

남극크릴새우의 분포 및 자원량에 관한 연구현황

서해립* · 김수암** · 서호영*

* 전남대학교 해양학과
** 한국해양연구소, 극지연구소

Distribution and Abundance of the Antarctic Krill (*Euphausia superba*): A Brief Overview

Hae-Lip Suh*, Suam Kim**, and Ho Young Soh*

*Department of Oceanography, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea
**Polar Research Center, Korea Ocean Research & Development Institute,
Ansan, P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea

요약 : 남극크릴새우(*Euphausia superba*) 분포의 변동 양상을 계절별 및 해역별로, 그리고 수 년간 조사하여 보고된 최근의 자료를 정리하였다. 아울러 유생, 미성체 및 성체의 분포에 영향을 주는 환경요인을 검토하였다. 남극크릴새우는 어느 계절이나 해역에서든 먹이를 최대한으로 이용할 수 있도록 해빙과 해류의 순환양상에 잘 적응하고 있는 것으로 판단된다. 이들의 생식활동은 환경요인에 의하여 조절될 것으로 여겨진다. 그러나 남극크릴새우의 분포와 출현량의 연간 변동이 단순히 물리적 요인에 의한 단순한 재분포에 기인하는지 대량사망에 기인하는지는 아직 불확실하다. 잠수부에 의한 현장 관찰 결과는 해빙이 ice-algae에 기질을 제공하여 줄 뿐 아니라 남극크릴새우에 도피처를 제공하여 주고 있음을 보여준다. 남극크릴새우의 개체군의 크기 및 가입량은 결빙면적의 연간 변동에 영향을 받을 것으로 추정된다. 또한 남극크릴새우 자원은 매년 40~50여만톤 정도가 어획되는데, 이들은 대부분 대서양측 남극해에서 주로 소련과 일본의 어선에 의해 어획된다. 세계는 남극생태계를 파괴하지 않는 범위내에서 이 생물자원을 이용하려 하고 있으며, 몇몇 비어업 국가들에 의해 사전 예방 한계를 설정하려는 움직임이 나타나고 있다.

주요어 : 남극크릴새우, *Euphausia superba*, 크릴새우 분포, 크릴새우 자원량, 사전 예방 어획한계

Abstract : A brief overview is given of recent progress in estimating the distribution of Antarctic krill (*Euphausia superba*) through studies of seasonal, regional and interannual variation. Emphasis is placed on environmental factors to influence the distribution of larvae, juveniles and adults. It is reasonable to expect that krill has adapted its life cycle to oceanic circulation patterns, including that of sea ice, in a way that maximizes seasonal and regional exploitation of foods. Although krill reproduction is likely to be regulated by environmental conditions, it is still unclear whether interannual variation in distribution and abundance is due to redistribution of krill by physical factors or mass mortality. Reports by divers strongly indicated that sea ice not only provides a substrate to ice-algae but is the refuge of krill. The stock size and recruitment of krill seem to be affected by interannual variation in seasonal ice cover. Also, annually 400~500 thousand metric tonnes of Antarctic krill were being caught from the Antarctic waters, especially the Atlantic sector of Southern Ocean. USSR and Japan are the major fishing nations, and they are ban to establish precautionary catch limit, which could minimize the possibility of krill overfishing, unless any believable krill biomass be estimated.

Key words : Antarctic krill, *Euphausia superba*, krill distribution, krill abundance, precautionary catch limit.

서 언

크릴새우목(Euphausiacea)에는 현재 2과 11屬 86

종이 보고되어 있다(Mauchline and Fisher, 1969; Brinton, 1987). 남극권 해역에는 모두 2속(*Euphausia*와 *Thysanoessa*) 7종의 크릴새우가 있으며 일반적

으로 잘 알려진 남극크릴새우(*Euphausia superba* Dana)는 *Euphausia* 속에 속한다. 이들은 같은 속의 다른 종에 비하여 체장이 가장 크며, 성체는 5~6cm에 이른다(Fig.1). 또한 이 종은 남극해에 분포하는 7종의 크릴새우류 가운데 양적으로 가장 풍부하여 해양 생태학적으로나 수산학적으로 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 것으로 알려져 있다(John, 1936). 남극크릴새우에 관한 연구는 1925~1939년에 이루어진 디스

커버리 항해에서 비롯된다. 항해 결과를 정리한 보고서가 차례로 발표되면서 남극크릴새우의 참모습이 보고되기 시작하였는데(Mackintosh, 1934; Hardy and Gunther, 1935; John, 1936; Bargmann, 1945; Foxton, 1956; Marr, 1962), 남극해양생태계에서 이 종은 식물플랑크톤으로 대표되는 생산자와 고래류, 조류 등의 소비자를 이어주는 중간 고리와 같은 역할을 담당하고 있는 중요한 생물군임이 밝혀졌다.

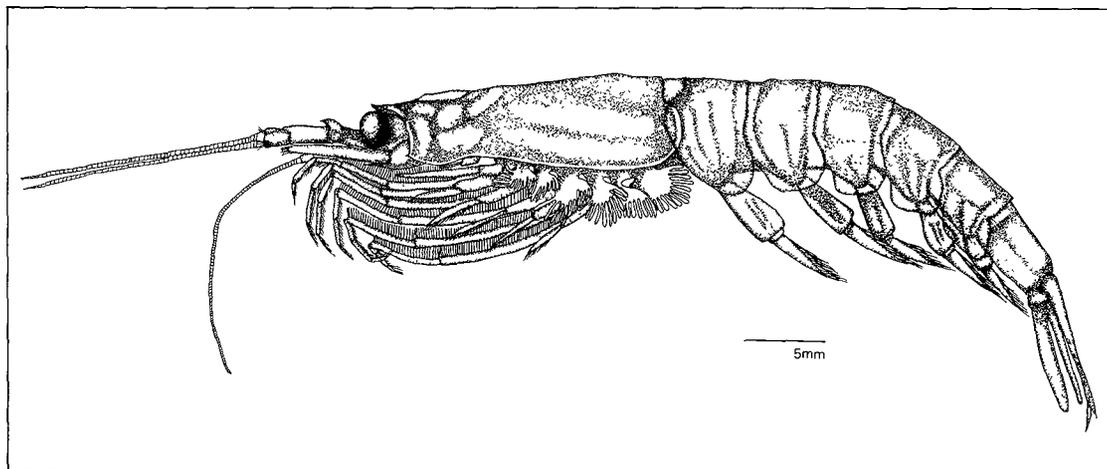


Fig. 1. Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana, 1850).

20세기 중반까지 성행하던 남극 고래류에 대한 남획은 고래 자원량의 감소로 나타났고 과거 고래의 먹이가 되었던 분량만큼의 크릴새우가 “잉여분”으로 남게 되었다. 학자들 간에 이견은 있으나, Miller and Hampton(1989)은 이 잉여분만도 약 1억 5천만톤에 이를 것으로 추정하고 있다. 인류가 남극크릴새우를 이용하기 위해서는 먼저 어획후의 빠른 자기소화 현상과 크릴새우의 외피에 고농도로 분포하는 불소(F) 성분을 제거하는 문제 등이 있지만 이는 가공과정에서 극복되었다. 또한 남극크릴새우는 필수아미노산 농도가 높아 새로운 인류의 단백질 공급원으로 이용 가능할 뿐 아니라, 고밀도로 커다란 무리를 이루면서 이동하는 습성이 있으므로 중층 트롤어선에 의한 조업이 가능한 점, 그리고 무엇보다 막대한 자원량 때문에 인류의 관심 대상이 되고 있다. 이 종에 대한 어획은

1960년대부터 시작하여 1970년대에 지속적으로 확대되었고 최근에는 연간 약 50만톤을 어획하고 있다(Everson, 1988). 따라서 현수준의 어획량은 “잉여분”에 비교하면 결코 높은 수준이라고 할 수 없다. 그러나 남극크릴새우는 고래류, 물개류, 조류, 어류 및 오징어류 같은 포식자의 주요 먹이가 되므로, 만약 어획이 포식자가 집중적으로 분포하는 해역(예를 들어 번식지등)에서 이루어진다면 현수준의 어획량으로도 포식자의 생존에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 그러므로 남극크릴새우의 분포특징을 파악하는 작업은 어장으로 이용 가능한 해역과 해역별 자원량, 그리고 적정 어획량 등을 추정하는데 긴요하다.

우리나라에서는 남극크릴새우의 번식·섭이·수명과 같은 생물학적 지식이 서(1988)에 의하여 정리되었고, 70년대 후반부터 7차에 걸쳐 시행된 남극

털새우 시험조업(국립수산진흥원, 1979, 1982, 1983, 1984, 1986, 1987, 1988)과 남극세종과학기지 주변 해역의 환경조사(한국해양연구소, 1988, 1989, 1990, 1991a)로 남극크릴새우에 대하여 꾸준히 관심을 기울여 오고 있다. 비록 양은 적으나 우리 나라는 남극크릴새우에 대한 어업국으로 남극해양생물자원보존협약(CCAMLR)에서 활동하고 있으므로, 이들의 이용과 보존에 적극적으로 대처해 나갈 필요가 있다.

본 논문은 앞으로의 조사계획 및 수행에 참고하기 위하여 작성되었다. 그러므로 기존의 문헌을 중심으로, 먼저 남극크릴새우의 분포와 깊은 관련이 있는 남극해의 해황을 개략적으로 살펴보고, 남극크릴새우의 유생, 미성체 및 성체의 분포양상과 이들의 분포에 영향을 주는 요인들에 관한 연구현황을 정리 분석하고 고찰하였다. 또한 현재 행해지고 있는 남극크릴새우 어업에 대한 상황과, 이들의 이용과 보존에 국제사회는 어떻게 대처해 나가고 있는가를 서술하였다.

남극해의 해황

남극크릴새우는 南極海(Antarctic Ocean)의 해류 순환에 크게 영향을 받아 周極分布를 하므로 이들의 분포를 파악하기 위하여는 남극해의 海況(hydrography)에 대한 이해가 필요하다. 남극대륙 주변해역의 표층수에는 南極收斂域(Antarctic Convergence) 혹은 南極前線(Antarctic Polar Front)이라는 고리모양의 띠가 형성되어 있어, 그 외부의 해양으로부터 격리되어 있으며, 일반적으로 남극해라고 부르는 곳은 남극수렴역에서 남극대륙 사이의 해역이다(Fig.2).

남극해의 플랑크톤은 생물·지리학적으로 주극분포를 하지만(Baker, 1954; Mackintosh, 1960, 1972; Deacon, 1982), 국지적인 분포는 소규모의 지역적인 해황에 크게 의존하므로, 남극크릴새우가 어느 해역에서 얼마나 발견되는가를 결정하는 데는 해황의 영향이 크

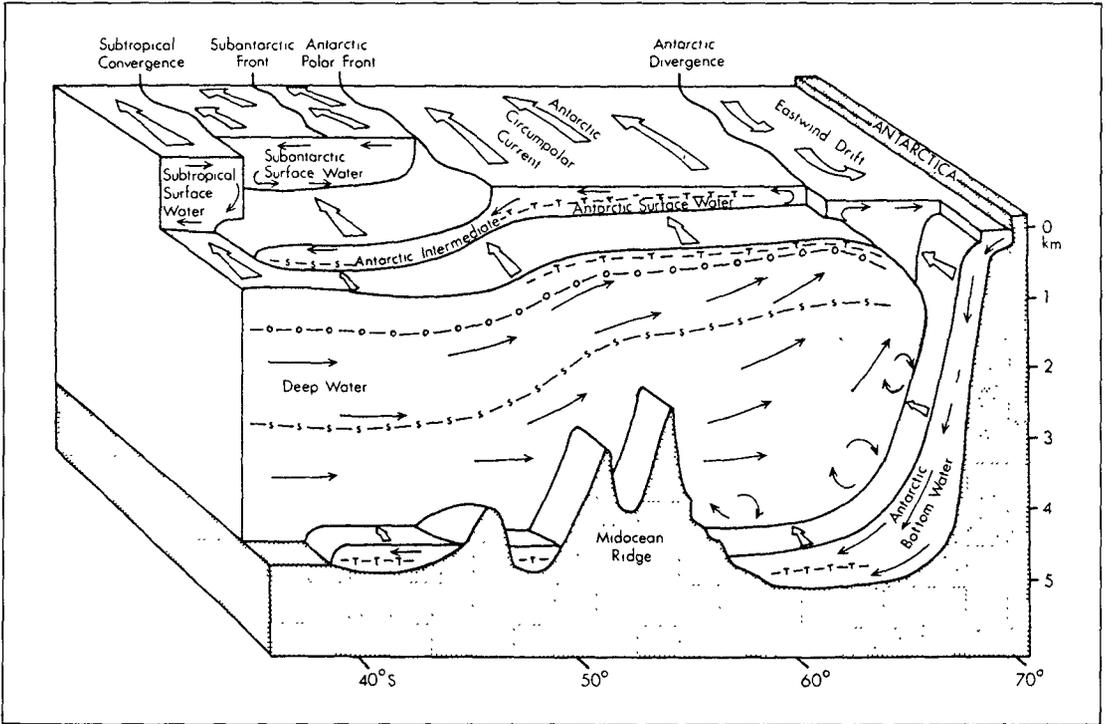


Fig. 2. Schematic diagram of meridional and zonal flow in the Southern Ocean (from Sverdrup et al., 1942; Knox, 1984; Miller and Hampton, 1989).

게 작용한다(Miller and Hampton, 1989). 남극대륙을 둘러싸고 있는 남극해의 지리적 특성과 강한 서풍은 남대양 대부분의 해역에서 표층수를 동쪽으로 흐르게 한다. 이것을 南極環流(Antarctic Circumpolar Current), 또는 西風皮流(West Wind Drift)라고 부른다(Fig.2). 한편, 남극대륙의 연안을 따라 동쪽에서 불어오는 바람은 표층수를 서쪽으로 흐르게 하며, 이것을 南極沿岸流(Antarctic Coastal Current) 또는 東風皮流(East Wind Drift)라고 부른다. 서쪽으로 순환하는 남극연안류 내에서는 바람, 대륙연안의 지형, 그리고 해저 지형적 효과가 결합하여 시계 방향의 旋流(gyre)가 나타나기도 한다. 지금까지 알려진 선류 가운데 가장 규모가 큰 것은 웨델 선류이며 (Deacon,

1976), 약 60° W와 30°E 부근 해역의 해수순환에 커다란 영향을 미친다. 선류는 웨델해 이외에도, 프리즈만(Smith et al., 1984)과 로스해의 북서부에서도 관찰되었다. 남극연안류와 남극환류의 경계면을 南極發散域(Antarctic Divergence)이라 부른다. 이곳은 매우 복잡한 해황을 나타내며 남극발산역의 위치, 출현빈도 및 발산강도는 기상조건 및 海氷(sea ice)의 분포 양상에 크게 의존한다(Fig.3). Maykut(1985)는 인공위성의 원격탐사자료를 기초로 하여 겨울철의 결빙면적은 2,000만 km²이며 여름에는 크게 줄어들어 500만 km²에 달한다고 보고하였다. 이러한 결빙면적의 계절변동은 남극해양생물의 분포에 커다란 영향을 미친다(Ivanov,1970; Mackintosh, 1972; Tranter,1982).

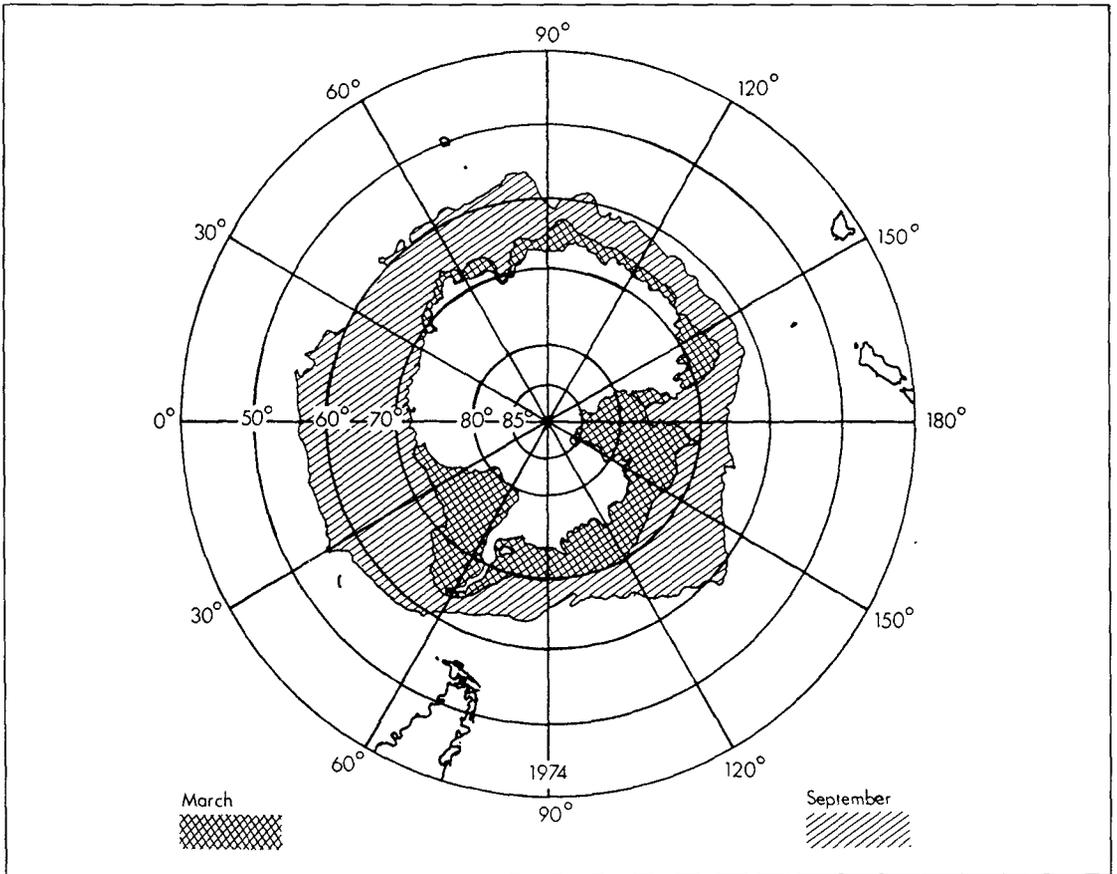


Fig. 3. The distribution of Antarctic pack-ice in winter (September) and summer (March) (after Tranter 1982; Knox, 1984).

Deacon(1937)은 남대양의 표층에서 저층에 걸쳐 3 종류의 수塊가 분포하는 것을 확인하고 이를 각각 南極表層水(Antarctic Surface Water), 周極深層水(Circumpolar Deep Water), 그리고 南極低層水(Antarctic Bottom Water)라 불렀다(Fig. 2). 남극표층수는 대륙 연안에 기원을 두고 있으며, 수괴의 분포양상은 여름과 겨울의 결빙면적의 변동에 의하여 결정된다. 남극표층수는 표층에서 수심 100~250m 층까지 분포하며, 염분은 34.5% 이하 그리고 수온은 해수의 결빙점은 -1.0°C 까지 나타난다(Deacon, 1937). 또한 주극심층수는 남극표층수 아래에 위치하며 두께는 2,000m에 달하기도 한다. 이 수괴는 수심 300~600m 에서 $1.5\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 로 비교적 높은 온도를 나타내지만 해저에서는 $0\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 정도로 온도가 낮아진다. 염분은 평균 약 34.5%이다. 그리고 주극심층수는 남극환류에 의하여 남쪽으로 운반되어진 후 수직 이류(advection) 형태로 표층으로 이동한다. 남극발산역에서 나타나는 심층수의 표층 이동은 기초생산자에게 영양염을 공급하여 주는 역할을 한다(Deacon, 1982).

유생의 분포

남극크릴새우의 유생발달 및 분포양상에 관한 연구는 서(1988)에 의하여 정리 보고된 바 있으므로, 본 논문에서는 그 이후에 발표된 연구를 중심으로 살펴보고자 한다.

해수중에 방출된 남극크릴새우의 수정란은 nauplius, metanauplius, calytopis, 그리고 furcilia기를 거쳐 성체가 된다. 발생과정에 있어 배(embryos)나 nauplius기 유생은 낮은 온도에 매우 민감한 시기가 있으며, 이 시기에 -1°C 이하의 낮은 온도를 경험하게 되면 calytopis기를 넘지 못하고 대부분이 죽게 된다(Quetin and Ross, 1989). 또한 Ross and Quetin(1989)은 최초로 먹이를 먹기 시작하는 calytopis기에 불과 며칠 동안이라도 적절한 먹이를 먹을 수 없게 된다면, 그 후 아무리 먹이를 충분히 공급하여 주더라도 생존할 수 없다고 보고하였다. 이와 같은 실험실의

연구결과는 수정란이 부화하는 수심에 수온 $0\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 의 남극심층수가 분포하므로 실험실에서와 같은 효과가 현장에서 실제로 나타날 것인지는 의문이지만, 적어도 유생의 발달과정 중 배~calytopis기에는 환경의 변화에 매우 민감한 것을 나타낸다고 하겠다. 그러므로 경우에 따라서는 환경의 변화에 의하여 유생의 대량 사망이 일어날 수 있음을 보여준다고 하겠다.

일찌기 Marr(1962)는 남극크릴새우 유생이 海水의 가장자리에서 높은 밀도로 분포하고 있다고 보고하였다. 그러나, 그 후 약 20년간 Marr의 발견을 뒷받침해 줄 수 있는 연구는 이루어지지 않았다. 80년대에 들어 비로소 남극의 해빙과 생물간의 상호작용에 대한 연구가 활발히 이루어지기 시작하였다. 그 결과 해빙의 밑에 서식하는 ice-algae가 기초생산자로서 중요하며 특히 해빙 주위에서는 식물플랑크톤에 의한 광합성량을 증가한다는 것이 밝혀졌다(Palmisano and Sullivan, 1985). SCUBA를 이용한 현장 관찰에서 Daly(1990)는 남극크릴새우의 유생이 외양보다 해빙 부근에서 많이 분포하고 있음을 발견하였다. 이와 같은 현상은 해빙의 밑바닥에 풍부하게 분포하는 녹색 또는 황갈색의 ice-algae가 먹이로 이용되고, 또 해빙의 틈은 포식자로부터 자신을 보호해 주는 역할을 하기 때문이라고 추측하였다.

스코티아-웨델 해역과 브랜스필드 해협은 남극크릴새우 유생이 국지적으로 밀집되어 나타나는 빈도가 잦아 이 해역이 이들의 중요한 생육장인 것으로 여겨지고 있다(Marr, 1962; Brinton and Townsend, 1984; Miller and Hampton, 1989). 이처럼 스코티아-웨델 해역에서 남극크릴새우의 밀도가 높게 나타난 이유는 유생의 분포가 표층순환류 및 와류(eddy)에 의하여 밀집되거나(Witek et al., 1980, Priddel et al., 1988), 겨울동안 유생이 밀집되어 있는 해빙이 해류와 바람에 의하여 표류하여 오기 때문으로 추측된다(Daly, 1990).

우리 나라 세종기지가 설치되어 있는 킹조지 섬을 포함한 남셰틀랜드 군도와 남극반도 사이 해역인 브랜스필드 해협도 크릴새우의 밀집해역 가운데 한 곳이다(Marr, 1962; Musica and Asencio, 1985). 이 해

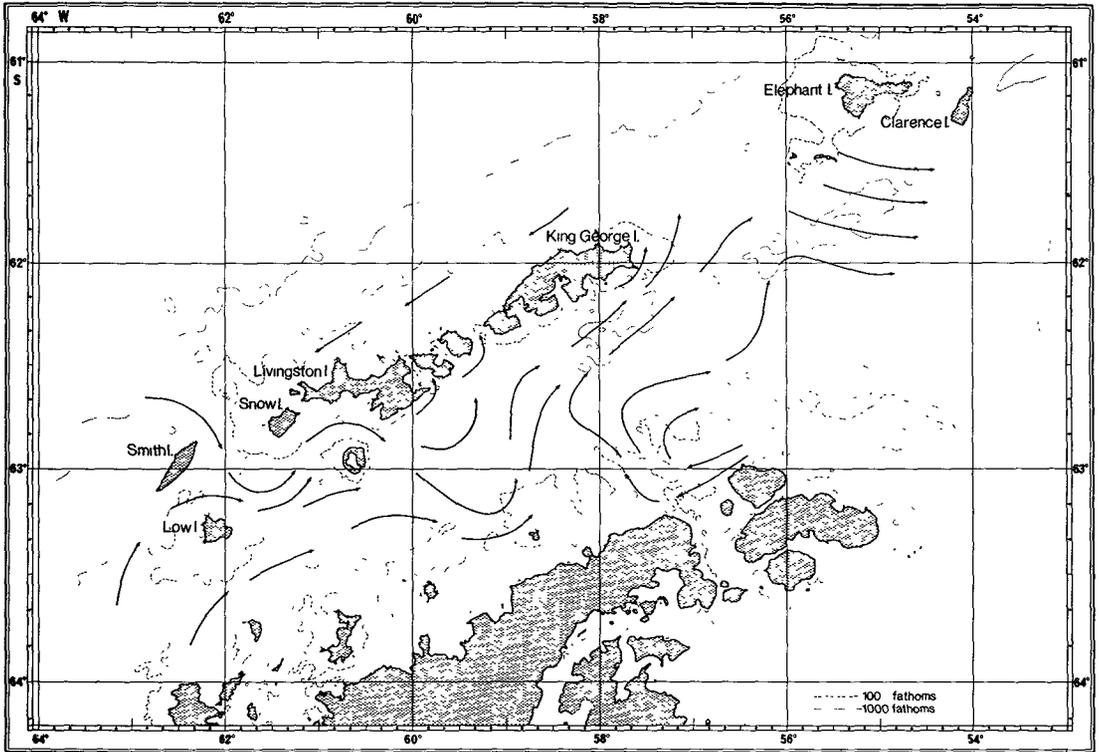


Fig. 4. Mean surface circulation in the Bransfield Strait (from Stein, 1988).

역에는 벨링스하우젠 해로부터 유입된 해수가 남셰틀랜드 군도의 남쪽 해안을 따라 북동쪽으로 강하게 흐르는 해류와 동쪽에서 이 흐름의 복상을 저지하는 반대 방향의 흐름 즉, 웨델 해 기원의 해수가 남극반도 북단의 대륙붕을 돌아 브랜스필드 해협의 남쪽으로 흘러 들어오는 해류가 만나는 곳이다 (Kim and Suk, 1991). 그러므로 이 해역에서 북동류에 분포하던 유생이 확산되지 않고 밀집되어 나타나게 된다(Fig.4). 또한 봄에 웨델 해에서 유입된 해수에는 크릴새우의 밀도가 낮으므로, 브랜스필드 해협의 남극크릴새우 분포에 직접 영향을 미치는 것은 벨링스하우젠 해에서 흘러 들어오는 해수라고 추측되고 있다 (Stein,

1988; Siegel, 1988). 또한 Kim et al.(1991)은 젤라쉬 해협으로부터 브랜스필드 해협을 통과하여 스코티아 해 입구까지 이어지는 남극크릴새우 유생의 이동과정을 해류의 흐름과 연관시켜 설명해 보려고 생각하였다. 한편 세종기지가 위치한 맥스웰 만은 브랜스필드 해협쪽으로 개방되어 있으므로 외양의 영향을 직접 받으며, 겨울에 얼음으로 덮여 있다가 봄에 얼음이 녹으면서 염분이 낮아진다(Chang et al.,1990). 그러므로 맥스웰 만 주변해역은 국지적인 환경변화에 대한 남극크릴새우의 적응상태를 조사할 수 있는 곳일 뿐만 아니라 브랜스필드 해협내의 남극크릴새우의 생물학적 특징을 파악하기에 유리한 곳이라 하겠다.

성체와 미성체의 분포

가. 지리적 분포

유생기를 지난 미성체 및 성체의 분포에 관하여 많은 연구가 이루어져 있다(Marr, 1962; Makarov et al., 1970; Mackintosh, 1973; Voronina, 1974; Makarov, 1983; Amos, 1984; Miller and Hampton, 1989; Ichii, 1990; Kittel and Sicinski, 1991). 이상의 연구를 종합해 보면, 남극크릴새우의 여름철 분포는 주극적이며, 북쪽은 南極前線(Antarctic Polar Front)에 의하여, 남쪽은 叢氷(pack-ice)에 의하여 제한된다는 사실은 거의 명확하다. 그러나 겨울동안 일부 해역에서는 해빙이 남극전선 부근까지 확장되므로 개체군의 상당 부분이 해빙 아래에 서식하는 것으로 추정되고 있다 (Marschall, 1988). 남극크릴새우의 북쪽 분포

한계는 서대서양에서 북쪽으로 가장 멀리 확장되어 50°S에 이르며, 동대서양으로 갈수록 점차로 남쪽으로 내려와, 태평양에 이르러서는 가장 남쪽인 65°S에 달한다 (Fig. 5). 이러한 분포양상은 인도양과 태평양에서 얻어진 어획자료와 대서양과 인도양에서의 음향탐사 자료와도 잘 일치하고 있다(Miller and Hampton, 1989).

지금까지 크릴새우가 높은 밀도로 분포하는 곳으로 서대서양에서는 스코티아해, 웨델해 북서부와 동부해역, 그리고 인도양과 태평양에서는 남극연안류 특히 남극발산역 부근인 것으로 알려져 있다(Marr, 1962; Voronina, 1968; Nasu, 1983; Amos, 1984). 한편, 이 밖에도 여러 해역에서 국지적으로 높은 밀도의 무리가 관찰되었다. 예를 들어 서대서양에서는 스코티아해 (Marr, 1962; Mackintosh, 1972, 1973), 남극반도 부근 해역의 브랜스필드 해협(Siegel, 1985, 1986)과

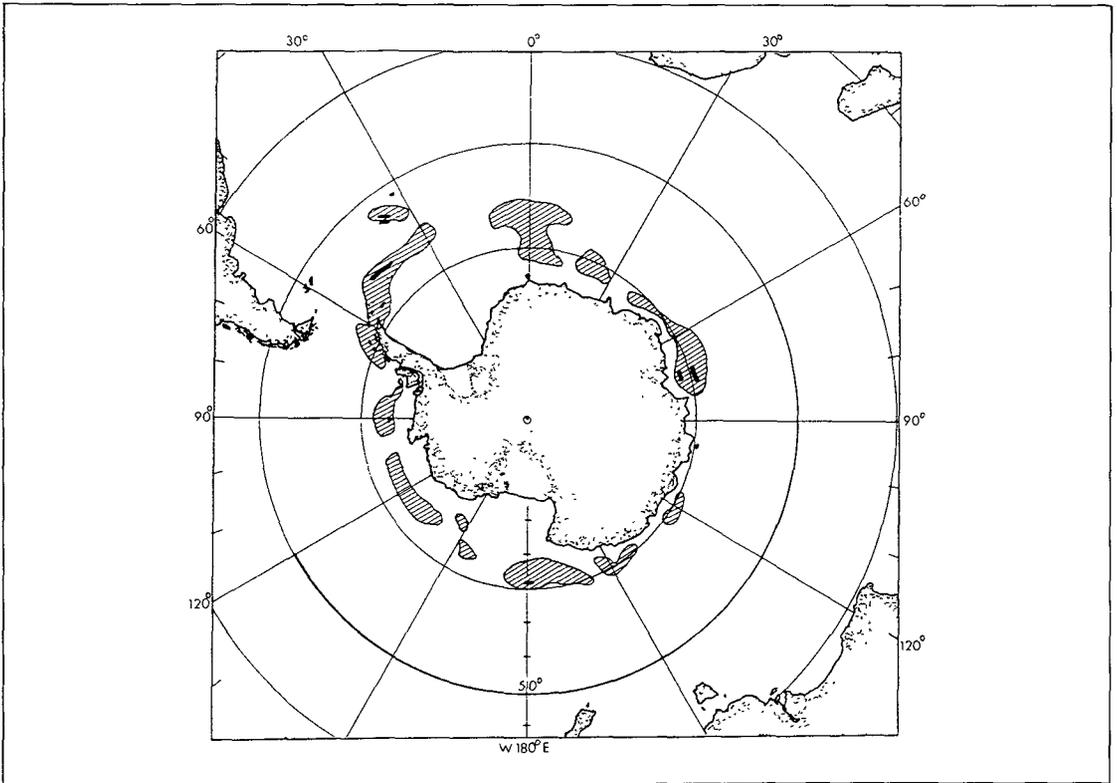


Fig. 5. Distribution of major concentrations of krill from Soviet trawler surveys undertaken between 1964 and 1978 (from Miller and Hampton, 1989).

엘리판트섬 부근(Rosenberg and Hewitt, 1991), 웨델해의 북쪽에서 동쪽에 이르는 해역(Marr, 1962; Mackintosh, 1973; Fevolden, 1979, 1980), 때때로 남조지아섬 부근 해역(Ivanov, 1970; Heywood et al., 1985) 등이다. 이와 같이 서대서양에서 남극크릴새우가 높은 밀도로 나타나는 이유에 대하여는 아직 명확하게 밝혀진 바 없으나, 남극반도 서쪽에 발달되어 있는 대륙붕(Marr, 1962)과 스코티아-웨델 해역에서 불연속으로 나타나는 전선역(front) (Mackintosh, 1972)으로 일부 설명하고 있다. 특히 여름동안에 남극반도 서부 해역에서 포란성체가 대륙붕을 따라 외해 쪽에 나타나며, 해안 쪽과 브랜스필드 해협에서는 미성숙 성체(subadult)가, 그리고 연안에서는 미성체(juvenile)가 우점적으로 나타난다(Fig. 6). 이처럼 남극반도의 서부해역에서 남극반도를 따라 발달 및 성숙과정에 따른 분포해역의 차이가 나타나는 이유는 이 해역의 해류의 방향과 발달단계에 따른 유영력의 차이 때문으로 여겨지고 있다(Siegel, 1988). 이와 함께, 해역별로 남극크릴새우가 출현하는 시기가 해마다 일정하게 나타나는 것이 아니라 해류의 방향, 속도, 강약 등의 변동에 따라 한 해역에서의 크릴새우 출현 시기가 당겨지거나 지연되어 나타날 수 있다.

반면, 서대서양에 비하여 인도양과 태평양에서의 남극크릴새우의 분포양상은 훨씬 부정확하다. Mackintosh(1973)는 남극연안류내에서 남극크릴새우가 고밀도로 나타나는 곳으로 30°E 부근해역 및 85~100°E 사이해역을 지적하였으며, 이들 해역에는 각각 고유의 계군이 존재한다고 주장하였다. 그러나, 그후 발표된 소련의 어획자료는 Mackintosh가 제안한 계군을 지지하지 않고 있으며, 남극연안류내에서도 남극크릴새우가 고밀도로 분포하는 해역이 많이 나타나고 있었다. 또한 동인도양과 서태평양에서의 13년간에 걸친 일본의 어획자료 역시 남극크릴새우의 분포를 해역별로 명확히 구분할 수 없었다(Miller and Hampton, 1989; Ichii, 1990). 또한 남극대륙 주위에 분포하는 남극크릴새우가 1개의 계군인지 혹은 대양별로 독립된 계군인지에 대한 명확한 결론은 내릴 수 없으

나, 최근 조사된 남극크릴새우의 유전자 수가 동남극과 서남극의 것들이 다르게 분석되어 여러 계군의 남극크릴새우가 각 해역별로 서식할 가능성이 있다는 견해도 대두되고 있다(P.V. Ngan, pers. comm.).

나. 수직분포

남극크릴새우는 <100m 수층에서 많이 나타나는 경향이 있으며, <10m 수층에서 가장 빈번하게 출현한다(Marr, 1962). 현단계에서 겨울의 조사자료가 빈약하여 겨울의 양상은 명확히 파악되어 있지 않지만 적어도 여름동안의 수직분포 양상은 대체로 Marr의 발견과 일치하고 있음이 플랑크톤 네트채집(Nast, 1978/79; Arimoto et al., 1979)과 음향탐사(Kalinowski and Witek, 1980; Ichii, 1990)에 의하여 확인되었다.

Kils(1979)는 남극크릴새우의 높은 산소요구량 때문에 이 종은 산소가 풍부한 표층에 제한적으로 분포할 것으로 추정하였으며, Kalinowski and Witek(1980)는 >150m 수층에 존재하는 주극심층수까지 분포역을 확장하지 않는다고 주장하였다. 남극크릴새우와 용존산소의 수직분포양상을 비교하여 보면 대체로 Kils의 주장을 지지하는 것으로 나타난다(Hampton, 1985). 또한 남극크릴새우는 낮동안 수온약층 부근에 높은 밀도로 모이는 경향이 나타났다. 이러한 현상이 나타나는 이유로 수온약층 부근의 생물·물리학적 환경이 남극크릴새우의 섭식과 응집에 유리한 환경을 제공하여 주기 때문으로 여겨지고 있다(Hampton, 1985).

“과연 얼마나 많은 크릴새우가 표층에 모여 있는가?”라는 질문에 대한 명확한 해답은 현단계에서 찾을 수 없다. 그 이유는 음향탐사에 사용되는 기구의 대부분이 배의 밑바닥에 부착되어 있어 <10m 수층에 분포하는 남극크릴새우에 관한 자료를 제공하여 줄 수 없기 때문이다. 그러나 남조지아섬과 브랜스필드해협 부근에서 3개의 수층별로 수평 채집한 Marr(1962)의 어획자료에 근거하여 추측하여 보면, 야간에 <5m 수층에서 남극크릴새우 생물량의 약 40%가 분포하는 것으로 여겨진다. <10m 수층을 음향탐사하기 위하여

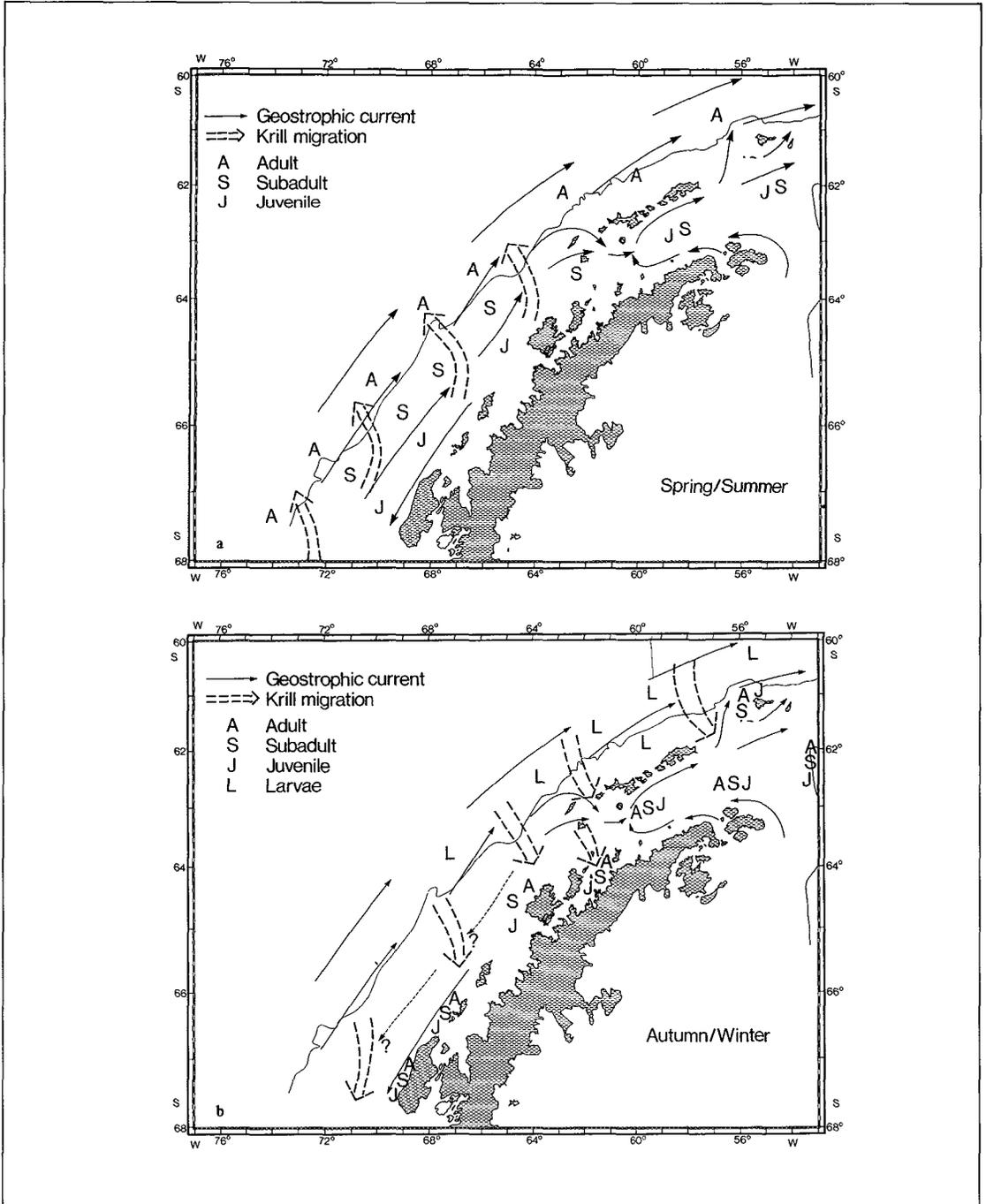


Fig. 6. Seasonal distribution pattern of juvenile, subadult and adult krill development stages off the Antarctic Peninsula. a. Krill migration into oceanic waters during spring/summer spawning season. b. Post-spawning movement into neritic areas (from Siegel, 1988).

측면음향탐사(side-scan sonar)에 의한 연구가 시험적으로 진행된 바 있으나 본격적인 사용에는 아직 이르지 못하고 있다(Hampton, 1985).

다. 수직이동

플랑크톤 네트 채집이 갖는 기계적·생물학적 문제점 때문에, <10m수층을 조사할 수 없다는 커다란 단점에도 불구하고 음향탐사가 남극크릴새우의 수직이동 연구에 가장 유력한 조사방법으로 등장하였다. Kalinowski and Witek(1980)는 여름동안 서대서양의 대부분의 조사지역에서 남극크릴새우는 낮보다는 밤에 더 얇은 곳에 분포하는 일주기 수직이동을 한다고 보고하였다. 이러한 분포양상은 어획자료에도 분명히 나타난다. 그 예로, 1986년 1~3월 사이 월크스랜드 연안에서 조업한 일본의 트롤어선 음향탐사자료는 최소한 1월과 2월에 명확한 수직이동이 존재하였음을 보여준다(Ichii, 1990).

Godlewska and Klusek(1987)는 드레이크 수로와 브랜스펠드해협에서 남극크릴새우의 수직이동은 상당히 넓은 해역에서 지속적으로 일어나며, 예측할 수도 있다고 보고하였다. 또한 그들은 대부분의 남극크릴새우가 야간에 표면 가까이에서 있다가 주간에 더 깊은 곳으로 이동함을 발견하여 수직이동의 24시간 주기성을 다음 실험식으로 나타내었다:

$$H(t) = A + B \cos(2\pi t/T + \varphi)$$

여기에서 t 는 하루중 어느 시간, $H(t)$ 는 시간 t 일때 남극크릴새우의 분포수심, A 는 남극크릴새우의 평균 분포수심, B 는 수심의 일주변화 폭, 그리고 φ 는 수직이동과정의 상(phase), T 는 24시간을 나타낸다. 성체와 미성체를 포함한 남극크릴새우를 연구대상으로 한다면, $A=53.6m$, $B=13.9m$, $\varphi=0.88$ 시간이라고 보고하였다. 또한 그들은 24시간 주기 이외에 미성체들에 기인할 것으로 추정되는 6시간 주기성의 작은 일주변화도 발견하여 A, B, T 와 φ 는 모두 남극크릴새우의

크기에 의존한다고 주장하였다.

한편, Nast(1978/79)는 주간에 성체와 유생은 100~200m 수층에서 혼재하여 나타나다가, 야간에 성체만이 표층으로 이동하며 유생은 원래의 수심에 그대로 남아있다고 보고하였다. Loeb and Shulenberg(1987)도 이와 유사한 결과를 얻어 남극크릴새우의 수직적 분리현상은 발달단계와 크기에 따라 나타난다고 하였다. 한편, 이외는 반대로 Witek et al.(1981)과 Piatkowski(1985)는 남극크릴새우의 수직이동과 하루 중 특정시간 또는 광주기 사이에는 직접적인 관계가 없다고 주장하였다. 또한 Everson(1983)도 외양에서는 일주기 이동이 분명하게 나타났으나 남조지아섬 부근과 같은 연안에서는 나타나지 않았다고 보고하였다. 그러므로 수심에 따른 크기의 차이는, 특히 표면 가까이에서 플랑크톤 네트 채집시, 발달단계에 따른 남극크릴새우의 도피능력에 따라 나타날 수도 있으며(Brinton, 1967; Hempel, 1981; Marschoff, 1985), 또한 연구자간의 측정오차에도 기인할 수 있다는 사실에 주목하여야 한다(Watkins et al., 1985).

분포에 영향을 미치는 요인

가. 해황 및 해저지형

남극크릴새우의 분포를 조절하는 기작을 설명하기 위하여 많은 이론들이 제안되어 있지만, 그 가운데 일부는 아직 증명되어지지 않은 것도 있다. 본 논문에서는 비교적 폭넓은 지지를 받고 있는 이론들을 중심으로 소개하고자 한다.

많은 주요 이론들에서 공통적인 것은 남극크릴새우도 본질적으로 부유생활을 하는 플랑크톤이므로 남극 전체의 규모에서 본 유생과 성체의 분포양상은 해수의 순환과 밀접한 관련을 가질 수 밖에 없다는 점이다. 남극크릴새우의 주극적 분포양상은 동쪽으로 흐르는 남극환류, 대륙의 연안을 따라 서쪽으로 흐르는 남극연안류, 그리고 남극반도에서 약 20°E~30°E까지 확장되어 있는 웨델 선류계의 북쪽 지류 흐름에 크게 영

향을 받는 것으로 여겨진다. 특히 대서양측 남극해에서는 남극 환류와 웨델 선류의 영향이 강하리라 생각된다. 최근에, 남극반도부근에서의 해류의 흐름과 스코티아 해의 남극크릴새우의 분포에 대해 함께 고려해야 하며 흐름(flux)의 강약을 해양물리학자들이 추구해야 할 첫번째 과제라고 하는 의견들이 대두되었다(CCAMLR, 1991).

웨델 선류계의 표층수에서 후기 유생과 미성체가 다량으로 발견되며 때때로 스코티아-웨델 해역에서도 유생들이 많이 출현하고, 또한 늦은 여름에 이 해역에서 동쪽으로 유생이 이동하는 현상 등이 관찰되었다. 그러므로 웨델 선류계의 흐름은 서대서양과 웨델 해의 북부해역 그리고 웨델 해의 훨씬 동부해역에서 나타나는 남극크릴새우의 분포에도 영향을 주는 중요한 요인으로 추정된다(Marr, 1962; Makarov, 1983). 웨델 선류계의 표층수는 남극반도의 부근 해역에서는 북쪽으로 흐르기도 하므로 운동력이 약한 남극크릴새우의 유생을 남극전선을 가로질러 이동시킬 수도 있다. 웨델 선류계의 표층수에서 산란된 수정란은 가라앉으면서 남쪽으로 운반되어 주극심층수에 이른다. 이곳에서 부화한 nauplius 유생은 상승하여 웨델 선류계의 표층수에 도달하여 웨델해의 남극크릴새우 개체군에 가입하는 것으로 추정되었다. 그러나 그 후 웨델 선류계의 표층수에서 후기 유생이 많이 출현하며(Hempel, 1981), 또한 해역별로 유생의 성장 및 분포에서 차이가 나타날 수 있음이 밝혀져(Hempel and Hempel, 1982), 웨델 선류와 남극환류의 경계면에 나타나는 남극발산역이 웨델해의 남극크릴새우 개체군을 다른 해역으로 확산시키는 역할을 할 수 있다고 보고되었다(Mackintosh, 1972, 1973; Makarov, 1983). 즉 남극발산역에서는 수직이류에 의하여 심층수가 표층으로 이동하게 된다. 이때에 발산역의 가운데 축을 중심으로 북쪽과 남쪽으로 해수가 올라오게 되는데, 북쪽으로 올라온 해수는 남극환류를 타고 북쪽으로 이동하게 되는 반면, 남쪽으로 올라온 해수는 남극연안류를 타고 대륙쪽으로 향하게 된다. 그러므로 후자의 흐름이 남극대륙쪽으로 유생을 모아줄 수

있으며 결과적으로 웨델해 개체군을 유지시켜준다고 여겨진다(Mackintosh, 1972). 더구나 30°E 부근에서 남극크릴새우의 분포가 남쪽으로 제한되어 나타나는 현상에도 웨델 선류계가 깊히 관여하고 있을 것으로 추정하고 있지만, 웨델해 동쪽에서 선류계의 표층수가 남쪽으로 움직이는 현상은 명확히 밝혀진 바 없다. 특히 웨델 선류가 영향을 미치는 동쪽 끝부분의 위치에 대해서는 아직 불확실한 상태이므로(Deacon, 1979), 웨델 해의 동부해역에서 남극크릴새우의 분포에 미치는 웨델 선류의 효과는 추정에 의존할 수 밖에 없다. 남극연안류가 웨델해의 동부해역에 분포하는 남극크릴새우를 웨델 선류계로 운반할 것이며, 운반되어진 성체 가운데 극히 일부만이 30°E의 동쪽으로 돌아가는 것으로 추측된다. 따라서 웨델 선류의 동부해역에서 남극크릴새우의 자원량이 높게 나타나는 현상은 웨델해 이외의 해역에서도 남극연안류와 남극환류가 혼합되는 남극발산역이 존재하고 있음을 의미한다.

로스해의 북부와 동부해역, 프리즈만의 북부해역 그리고 라사레브 해의 표층수에서 해저지형에 의하여 발생한 큰 규모의 선류가 나타난다(Amon, 1984; Smith et al., 1984). 이러한 선류들은 웨델 선류 만큼 뚜렷하지 않지만, Mackintosh가 제안했던 크릴새우 개체의 분포와 소련의 어획자료 분포와 대략 일치한다. 남극크릴새우의 국지적인 분포는 해저지형이 이들의 분포의 영향을 미칠 수 있을 것으로 추정된다. 그러나 이들 해역의 해저지형이 다른 해역에 비교하여 그렇게 뚜렷한 차이를 보이지 않기 때문에 이들 해역에서의 남극크릴새우 분포는 해저지형보다 변화가 심한 남극의 해수 순환양상에 보다 큰 영향을 받을 것으로 추정된다. 그러므로 Figure 5에서와 같은 남극크릴새우의 국지적 분포는 어느 해역에서도 지속적으로 유지될 수 없다.

한편, 전선역(front)과 해저지형효과가 나타나는 곳에서 소규모적으로 남극크릴새우가 높은 밀도로 관찰되었는데 이러한 현상은 이들 해역에서 볼 수 있는 해류 및 유속의 차이 때문으로 여겨진다. 또한 Ivanov(1970)도 소규모적인 와류의 출현과 어획의 대상

이 될 수 있는 남극크릴새우의 무리와의 밀접한 관계가 있다고 보고하였다. 일찌기 Marr(1962)도 남조지아섬 부근 해역에서 높은 밀도로 남극크릴새우가 분포하는 현상을 웨델해에서 올라오는 흐름이 이들을 운반하여 오기 때문이라고 설명하였다. 그러나 이러한 흐름은 매년 그 세력에 있어 가변적이므로 남조지아섬 부근 해역의 남극크릴새우의 출현량은 매년 커다란 변동이 생길 수 있다. Witek et al.(1981)는 유속이 낮은 해역보다 유속의 차이가 특히 크게 나타나는 전선역과 와류역에서 남극크릴새우의 밀도가 보다 높게 나타났음을 음향탐사 자료로 확인하였다. 스코티아해와 남조지아섬 부근해역 그리고 브랜스필드해협에서 이루어진 최근의 연구결과는 전선역의 위치나 와류의 출현빈도의 변화와 같은 물리적요인이 이들 해역에 분포하는 남극크릴새우의 분포를 변화시키는 중요한 요인이라는 것을 보여주고 있다. (Priddle et al., 1988).

남극크릴새우의 성체는 좋은 장소를 찾아 능동적으로 모이는 것으로 여겨진다. 왜냐하면, 유생기를 지난 남극크릴새우는 유영능력이 뛰어나고 (Kils, 1981), 비교적 오랜시간 동안 물의 흐름을 거슬러 전진할 수 있기 때문이다. 좋은 장소라 함은 용승이 일어나 기초생산이 높게 일어나는 곳을 가리키며 용승작용은 발산역 및 선류의 중앙부, 빙연과 해저 돌출부의 주변해역에서 일어난다(Mackintosh, 1972; El-Sayed and Taguchi, 1981; Amos, 1984). 이들 해역에서 고밀도의 크릴새우가 커다란 규모로 분포하는 현상은 지금까지 자주 보고되었다. 그러나 남극크릴새우의 뛰어난 유영능력이 종의 분포를 정하는 요인 중 하나임은 분명하지만 그렇다고 남극 전체의 분포양상을 설명하기에는 불충분하므로, 해수의 이동과 환경조건들과 크릴새우의 밀도간에 과연 어느 정도 관련이 있는가를 좀 더 밝힐 필요가 있다.

수온과 남극크릴새우의 주극분포 사이에도 관련이 있다고 알려져 있다. Naganobu and Hirano(1982)는 1월~3월에 남극크릴새우의 밀도가 높게 나타났던 해역은 <200m수층에서 평균 0~1.5°C의 수온이 관

측되었던 해역과 대체로 일치하고 있음을 밝혔다. 그러나 남극크릴새우는 이보다 높은 수온의 해역에서도 관찰되고 있으므로(Marr, 1962; Mackintosh, 1973), Naganobu and Hirano의 결과가 남극크릴새우의 저수온 선호경향이라든지 이들이 가장 흔히 발견되는 수괴의 특징을 가리킨다고 볼 수 없다.

나. 海氷(sea ice)

결빙면적의 계절적인 변동은 남극크릴새우의 분포에 결정적인 영향을 줄 뿐만 아니라 다른 생물의 분포에도 직·간접으로 영향을 준다. 그러나 남극크릴새우의 분포해역에 결빙현상이 일어나면 해빙 아래로 계절적인 수직이동을 하거나, 빙연을 따라 외해쪽으로 수평이동하는 등의 적응양상을 보일 것으로 예상된다. 해빙 아래에도 남극크릴새우가 많이 분포하고 있어 (Kawaguchi et al., 1986; O'Brien, 1987; Daly and Macaulay, 1988; Smith et al, 1988; Stretch et al., 1988; Marschall, 1988), 이 종이 해빙 밑의 생활에 잘 적응하고 있는 것으로 추측된다. 지금까지의 현장관찰에 의하면, 성체와 미성체는 빙연에서 거의 혼재하여 분포하지 않는 서식지 격리현상이 뚜렷하여 미성체는 주로 해빙의 가장자리에 분포하고 성체는 이보다 훨씬 남쪽인 해빙 아래에 분포하는 경향이 뚜렷하였다. 이러한 분포양상은 같은 장소에 서식할 경우 일어날 수 있는 먹이 경쟁을 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 생산력이 높은 해빙의 가장자리를 미성체가 차지할 수 있음을 의미한다. 남극해에서 봄~여름에 이루어진 산란분은 거의가 미성체로까지 성장한 다음 월동을 하게 되므로(Marr, 1962), 결과적으로 미성체는 가을에 남쪽으로 이동하는 성체에 비하여 보다 좋은 환경에서 월동하게 된다.

겨울에 해빙 밑에서 남극크릴새우가 높은 밀도로 나타날 것은 쉽게 예상할 수 있다. 즉, 남극크릴새우의 생물량은 2~6억 톤으로 보고(El-Sayed, 1988), 1개체 중량을 1g으로 본다면 총개체수는 2~6 × 10¹⁴에 이르며, 이들이 최대결빙면적인 2,000만 km²에 (Maykut,

1985) 균일하게 분포한다고 가정하면, 남극크릴새우의 평균밀도는 10~30개체/m² 라는 매우 높은 값이 나온다(Smetacek et al., 1990). 그러나 실제 해빙의 표면적은 표면의 굴곡으로 인하여 1/3 정도 늘어날 것이다. 실험실에서 1개체가 5분 동안에 100cm²에 자란 ice-algae를 섭식하는 것이 밝혀져(Marschall, 1988), 해빙 밑바닥에서의 섭식압(grazing pressure)은 매우 높을 것으로 여겨진다.

남극의 결빙해역의 특징 중 하나는 북극의 해빙에서 흔히 볼 수 있는 요각류와 단각류가 거의 관찰되지 않는 점이다. 이것은 남극크릴새우가 남극생태계에서 초식자일 뿐만 아니라 육식자의 역할을 하고 있음을 간접적으로 나타낸다 하겠다. 비록 현장에서는 아직 확인된 바 없으나 사육수조에서 관찰된 共食현상(McWhinnie et al., 1979)은 현장에서도 먹이가 부족될 때 일어날 수 있다. 그러므로 먹이의 부족이 예상되는 겨울에 해빙에서 공식현상이 일어난다면 남극크릴새우 스스로 개체군의 크기를 조절하게 되며, 결과적으로 보다 튼튼한 개체가 살아남아 개체군을 보존하는데 기여할 것이다.

남극크릴새우의 자원학적 고찰

가. 자원량 추정

일반적으로 해양의 수산자원량을 추정하는 데는 두 가지의 큰 흐름이 있는데, 과학적인 표집방법 및 이론에 근거하여 연구선을 이용한 직접적인 자원조사를 수행하는 직접적인 방법과, 상업어선에 의한 어획량을 수산자원 평가모델을 이용하여 총 자원량을 추정하거나 아니면 해양생태계 내에서의 먹이단계 사이의 관계를 파악하여 2차 혹은 3차 생산력을 추정하는 간접적인 방법이 있다(김, 1991). 전자의 방법은 좁은 지역에서의 집중적인 연구이기에 비교적 공정한 자원추정을 할 수 있으나, 조사해역이 넓은 경우에는 경비가 너무 많이 드는 단점이 있다. 또한 후자의 경우는 전자에 비해 자원량을 비교적 쉽게 계산할 수 있는

장점이 있으나, 근거가 된 가정들이 너무 단순화되었거나 무리하게 설정되었기에 그 결과치의 범위가 매우 넓다. 특히, 남극해의 경우에는, 상업어획 자료나 해양조사 자료가 매우 빈약하여 현 시점에서는 어떠한 방법으로도 남극크릴새우의 자원량을 정확히 추정할 수 없다. 한 예로, 간접적인 방법으로 남극해 전체의 남극크릴새우 자원량을 계산한 결과를 보면, Everson (1977)은 1,400만톤에서 2억 8,000만톤 사이가 될 것이라고 하였고, Moiseev(1970)은 50~70억톤일 것이라 하였다. 이와 같이 학자에 따라 총 자원량에 대한 견해가 무척 다르며, 한 학자가 추정한 것이라 하더라도 최대치와 최소치 사이에는 현저한 차이가 있다.

과거의 직접적인 해양조사에서는 플랑크톤 네트나 중층 트롤 네트가 많이 이용되었다. 물론 두 기기의 사용은 각각의 연구목표에 따라 장단점이 서로 다를 수 있겠으나, 남극크릴새우의 자원량 추정에는 트롤 네트가 플랑크톤 네트보다 더 효율적이라는 것이 일반적인 견해다. 그러나 20여년전부터 개발되어온 음향탐사기기의 발달은 수산생물의 자원량 추정에 새로운 방법으로 각광을 받게 되었다. 아직도 음향기기의 사용이 완전한 방법이 되는 것은 아니지만, 넓은 해역을 비교적 짧은 시간으로 조사할 수 있어서 생물체들의 분포형태와 상대적 혹은 절대적 양을 쉽게 얻을 수 있으므로 남극크릴새우 자원량 추정에는 가장 적합한 방법이다. 음향기기를 이용하여 남극크릴새우 자원량을 파악하기 위하여 1981년 10개국으로부터의 11척의 연구선이 동시에 남극해의 여러 곳에서 자원조사를 한 FIBEX조사결과는 해양조사에 의한 직접적인 남극크릴새우 자원평가의 좋은 예로 들 수 있다

Table 1. Density and biomass of krill in FIBEX Indian and West Atlantic Sectors (from Anon., 1986)

Sector	Mean density (g/m ²)	Area surveyed (km ² × 10 ⁶)	Biomass (tonnes × 10 ⁶)
Indian	1.97	2.29	4.51
W. Atlantic	4.46	0.59	2.65
Overall	2.49	2.88	7.16

(Table 1). 인도양측 남극해와 서대서양측 남극해에서 $2.88 \times 10^6 \text{ km}^2$ 에 걸쳐 조사를 한 결과 약 700만톤의 자원량을 확인 하였는데(태평양측 남극해에서는 조사가 완전하지 않아 계산에서 제외하였음), 만약 조사되지 않은 해역에서의 남극크릴새우의 분포가 위와 동일하다면 인도양측 남극해와 대서양측 남극해의 넓이가 $25 \times 10^6 \text{ km}^2$ 이므로 두 해역에서의 자원량은 약 6,000만톤 정도이다. 또한 이와 같은 가정을 남극해 전체로 확대한다면 남극해의 남극크릴새우의 자원량은 약 1억톤으로 추정할 수 있다. 또한 1980년대 후반에 네트와 음향조사법으로 대서양측 남극해에서 시행한 조사에 따르면, 총 $0.475 \times 10^6 \text{ km}^2$ 의 해역에서 584만톤의 남극크릴 새우 자원량이 계산되었다(한국해양연구소, 1991b). 이러한 추정은 위에서 언급된 계산의 약 5배에 해당되는 것으로서, 남극크릴새우자원의 이용에 대한 가능성을 더욱 높게 하여 주는 자료라 할 것이다. 그러나 생물자원량은 매년 다르게 출현하므로 단 한번의 조사 결과만으로 결론을 내리기는 힘들다. 또한 지난 10년동안 기기의 성능도 많이 개선되고, 각국에서의 남극에 대한 관심도 많이 높아졌기에 90년대에 FIBEX와 비슷한 국가간 공동연구가 한번 더 이루어진다면 남극해의 남극크릴새우 자원량의 파악에 큰 도움이 될 것이다.

나. 어획현황

고래, 물개 등의 포유류에 대한 포획은 19세기부터 시작되었지만, 그외의 남극생물자원의 이용은 1960년대 말에 시작되었다. 처음에는 남극에 서식하는 어류가 주로 어획대상이 되어, 대서양측과 인도양측 남극해에서 어획되던 남극어류의 총 어획량은 한때 40만톤을 넘었다. 그러나 무분별한 남획으로 자원이 급격히 감소되어 70년대 중반에는 어획량이 총 10만톤에도 못미치는 미미한 어로활동을 보이게 되었다(김, 1990). 따라서 그 이후 남극 어업자들은 자원량이 막대한 남극크릴새우에 대한 어획을 본격적으로 시작하게 되었으며, 이 어업은 70년대말에 급성장하여 80년대 초반에는 40만톤을 상회하는 중요한 어업으로 자리를 잡았다(Fig.7). 그 이후 약간의 기복은 있지만 대체로 매년 약 40만톤 내외의 생산이 유지되어 오고 있는데, CCAMLR에 1980~1989년 사이에 보고된 통계를 보면 전체 남극생물자원 연평균 어획 47만톤 중 36만톤을 남극크릴새우가 차지한 것으로 집계되어 있다(CCAMLR, 1990).

남극크릴새우 어업은 한때 인도양측 남극해에서 약 30% 까지 어획한 때도 있었으나, 혹심한 자연환경과 지리적 악조건으로 인하여 80년대 중반부터는 95%

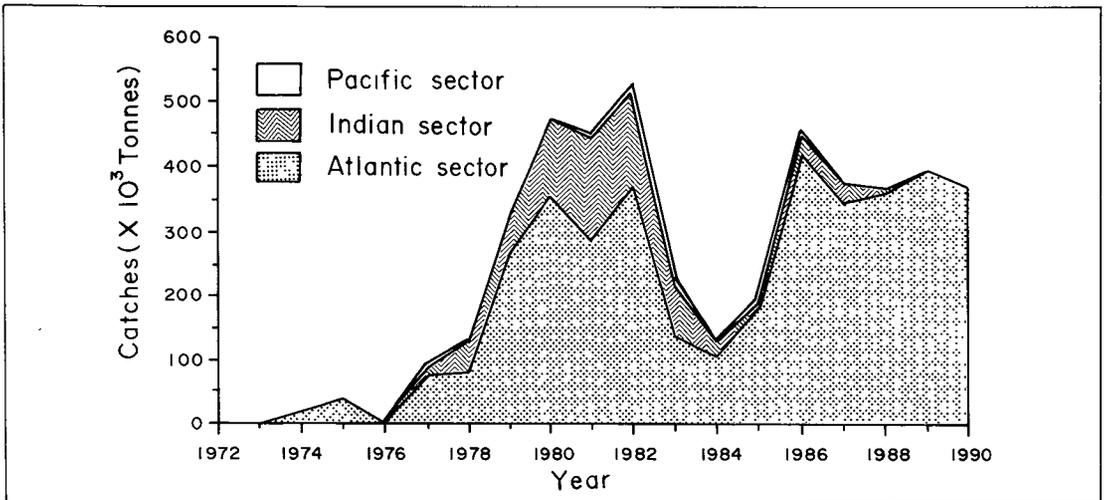


Fig. 7. Total krill catches from 1973 to 1990 in the Antarctic Ocean.

이상이 대서양측 남극해에서 어획되고 있다. 또한 이들에 대한 어획은 주로 소련과 일본의 트롤 어선에 의해 주도되어 왔는데 지난 10년 동안의 각국별 어획비율의 평균을 계산하면 소련이 80.4%, 일본이 17.1%를 차지하였고 나머지 2.5%가량을 우리 나라, 칠레, 독일, 폴란드, 스페인이 나누어 어획하였다.

다. 어업개발의 추세 및 자원보존 조치 동향

남극해가 세계 주요 어업국들로부터 멀리 떨어져 있고, 각국마다 어부들의 인건비 상승율이 매우 빨라 남극크릴새우 어획이 아직 경제적 이윤을 많이 낼 정도는 아니다. 그러나 지난 20년간 남극크릴새우의 식품가공기술이 현저히 발달하여, 이미 소련과 일본에서는 이에 대한 가공식품들이 많이 시판되고 있다. 또한 근래의 전세계 해양에서의 어류 및 갑각류의 어획고가 연 7,500만톤 정도이고(김,1991), 남극크릴새우 자원의 허용 어획량이 그에 버금갈 것이라는 일반적인 추측은 이 어업에 대한 경제적 가능성을 높여주어, 남극해와 지리적으로 가까운 칠레와 호주, 그리고 유럽의 대표적 수산국인 노르웨이 등이 본격적으로 어업을 시작하려는 움직임에 있다.

그러나 이와는 반대로 공산권 국가였던 소련과 폴란드는 국가의 체제가 민주화·자본주의화 되면서 인건비의 급속한 상승이 새로운 문제로 대두되었다. 한국과 일본도 국내의 고임금 현상 때문에 남극크릴새우의 판매시장이 안정적으로 형성되지 못하고 있다. 이와 같은 이유들로 전통적인 남극크릴새우 어업국들은 앞으로 당분간은 어획량을 대폭적으로 증가시키지 못할 처지에 있으며, 이 어업의 장래조차도 매우 불투명한 현실에 있다(한국해양연구소,1991b).

남극크릴새우가 수산자원 중에서 최대의 생물량을 보인다고 하는 데는 이견이 없다. 또한 현수준의 어획량은 남극크릴새우의 전체 자원량에 비해 매우 적으므로, 자원의 고갈을 유발시키지 않으리라는 데에 많은 사람들이 공감하고 있다. 그러나 서언에서 언급된 바와 같이, 짧은 시기 동안의 좁은 해역에서의

집중적인 어로활동은 부근의 펭귄, 물개등 포식자들의 생존을 위협할 수 있으며, 어로작업중 부수적으로 잡히는 남극어류의 유어에 대한 포획은 어류의 가입에 치명적일 수 있다. 또한 많은 수산학자들은 과거의 경험으로 보아 자원상태가 양호할 때 자원의 관리정책을 시행하지 않는다면 결국은 고갈되어지는 것이 수산자원의 운명이라는 것을 우려하고 있다. 그러나 생물자원의 올바른 관리를 위하여 가장 중요하게 생각되는 것이 전체 자원량의 파악임에도 불구하고, 남극크릴새우 자원량의 파악이 현재와 같은 지역적으로나 계절적으로 제한된 조사활동으로는 불가능하다는 데에 문제가 있다.

남극크릴새우에 대한 어획을 하면서 남극생태계의 파괴를 최소화하기 위하여, 각국의 남극 수산 및 해양과학자들은 매년 남극 생물자원 보존협약을 중심으로 회의를 계속해 왔다. 그들은 기존의 수산자원학적 모델이나 해양조사를 통하여 남극권의 생태계를 보존해 나갈 수 있도록 노력하고 있는데, 최근의 가장 큰 현안 문제는 각 해역별로 자원의 고갈을 피할 수 있는 안전한 수준의 사전예방 어획한계(precautionary catch limit)를 설정하자는 것이다(CCAMLR, 1991). 물론 우리나라를 비롯한 소련과 일본 등 주요 어업국들은 원칙적으로 이 계획에 찬성하지만 과학자들에 의한 자원평가가 전제되지 않는 한 반대한다는 견해를 피력했으며, 그 외의 국가들은 부정확하나마 지금이라도 이러한 어획 한계를 만들지 않으면 자원이 고갈될 것이라 하여 즉각적인 시행을 요구하고 있다. 따라서 1991년의 크릴새우 전문가회의에서는 현재 자료가 가장 많은 해역인 대서양측 남극해에서의 어획한계를 과거의 여러 조사결과를 종합하여 계산했는데, 그들은 잠정적으로 어획한계를 150만톤이라고 제시하였으며 이를 총회에 보고하는 자료로서 확정하자는 데에 동의하였다. 그러나 비어업국들의 주장에 따라, 이러한 잠정적 어획한계가 절대적으로 옳은 것은 아니며, 좀 더 상세한 연구가 추가로 시행되어야만 이 수치에 신빙성을 줄 수 있다는 단서조항을 첨부하였다. 따라서 앞으로 몇 년 동안은 크릴새우

자원의 이용국과 비이용국 사이에 열띤 토론이 더 전개될 것으로 예측된다. 이러한 시도는 과거에 다른 어장에서 나타났던 것과 같은 무분별한 남획을 제거 혹은 지연시키려고 하는 우리 인간의 노력이라는 점에서 긍정적으로 평가할 수 있으며, 또한 남극크릴새우 자원을 올바르게 관리하는 데 크게 기여할 것이다.

결 언

남극크릴새우의 분포양상은 시·공간적으로 커다란 변동을 나타낸다. 현재까지 밝혀진 사실로는 남극크릴새우가 외양보다는 섬 주변, 대륙붕, 대륙사면, 그리고 뱅크에서 고밀도로 분포하는 경향이 있으며, 수직적으로 약 <150m 수층에 집중되어 있음을 알 수 있다. 남극크릴새우의 주구분포는 해수의 순환 양상에 커다란 영향을 받으며, 해빙의 분포, 해저지형, 그리고 수온 등도 이들의 국지적인 분포에 영향을 미친다. 그러나 해저지형을 제외한 물리, 화학, 생물학적 요인은 가변적이므로 남극크릴새우의 분포를 파악하기 위하여는 지속적인 관찰이 요구된다. 어느 해역에서 생물자원이 유지되기 위해서는 사망과 어획에 의한 감소요인을 능가하는 성장과 가입이 이루어져야 한다. 남극크릴새우의 가입량을 나타내는 유생의 양적 출현양상은 매년 커다란 변화가 있다(Brinton et al., 1986). 최근의 실험결과에 의하면 유생 발달 과정 중 어느시기에 특히 환경의 변화에 민감하여, 만약 자연상태에서 나쁜 환경에 직면한다면 대량사망도 일어날 수 있을 것으로 추정된다. 따라서 지속적으로 유생의 분포양상을 파악하는 일은 가입량의 변동 뿐 아니라 전체 자원량의 변동을 예측하는데 중요하다.

지금까지 대부분의 남극크릴새우의 분포조사들은 늦은 여름인 1~3월에 수행되어 왔으며, 최근에 각국의 상설기지를 중심으로 겨울조사가 이루어져 많은 새로운 사실이 밝혀졌다. 최근까지, 겨울에 결빙면적이 확장되면 남극크릴새우에게 나쁜 영향을 미칠

것으로 여겨져 왔지만, 지금은 해빙의 밑 바닥이 먹이가 될 수 있는 ice-algae의 基質역할 뿐아니라 유생 및 미성체의 성육장과 도피처를 제공하여 주는 것으로 알려져, 남극크릴새우의 번식에 없어서는 안될 부분으로 인식되고 있다. 또한, 남극크릴새우의 개체군과 결빙면적의 계절변동 사이에 깊은 관련이 있으며, 결빙기간 및 면적의 연간 변동은 개체군의 크기와 가입량에 영향을 미칠 것으로 추정하고 있다. 이러한 가정을 검증하기 위하여 앞으로 밝혀져야 할 과제는, 먼저 넓은 결빙면적은 미성체에 충분한 먹이를 제공하여 주기 때문에 과연 가입량을 증가시키는지 여부와 해빙 표면의 굴곡이 심할수록 공식현상이 적게 일어나 성체의 사망율을 줄일 수 있는지 여부, 그리고 해빙의 가장자리 면적과 용융수층(meltwater layer)의 형성이 식물플랑크톤의 번식을 유발시키기 때문에 봄철 먹이 공급을 증가시키는지 여부, 또한 웨델해 서부 해역에 연중 분포하는 해빙 아래 과연 남극크릴새우가 얼마나 서식하고 있는지의 여부 등이다.

남극크릴새우의 분포를 조사하기 위하여는 플랑크톤 네트와 음향탐사 조사가 주로 이용되어 왔다. 디스크버리 항해에서부터 사용되어온 플랑크톤 네트 조사로는, 최근에 확인된 남극크릴새우의 뛰어난 도피능력으로 인하여, 생물량을 정량화하기 어려움이 밝혀졌다. 그럼에도 불구하고 지금도 분포조사에 플랑크톤 네트가 사용되는 이유는 먼저 음향탐사로서는 조사할 수 없는 <10m 수층을 채집할 수 있는 점과 음향탐사로 확인될 수 없는 낮은 밀도의 무리와 유생도 채집할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 반면 전자기술의 발달과 더불어 비교적 최근에 등장한 음향탐사 조사는 신속하게 넓은 해역을 조사할 수 있는 장점이 있지만 위에 언급한 단점도 동시에 갖는다. 그러나 최근 <10m 수층을 조사할 수 있는 측면 음향탐사법의 개발이 시도되고 있으며(Hampton, 1985), 남극크릴새우의 표적강도도 현장에서 직접 측정되는 등(Everson et al., 1990) 비약적인 발전이 이루어지고 있어 음향탐사는 앞으로의 남극크릴새우의 분포조사에 널리 이용될 전망이다.

참 고 문 헌

- 국립수산진흥원, 1979. 남극새우 어획시험 조사보고서. 137p.
- 국립수산진흥원, 1982. 남빙양 새우어장 시험 조사 보고서. 165p.
- 국립수산진흥원, 1983. 남빙양 새우어장 시험 조사 보고서. 146p.
- 국립수산진흥원, 1984. 남빙양 새우어장 시험 조사 보고서. 148p.
- 국립수산진흥원, 1986. 남빙양 새우어장 시험 조사 보고서. 84p.
- 국립수산진흥원, 1987. 남빙양 새우어장 시험조사보고서. 122p.
- 국립수산진흥원, 1988. 남빙양 새우어장 시험조사보고서. 166p.
- 김수암. 1990. 남극해 어류자원의 현황과 생물학적 특징. 한국극지연구 1:67-75.
- 김수암. 1991. 수산자원 평가론. 우성문화사, 서울, 175p.
- 서해립. 1988. 남극크릴새우의 번식, 섭이와 수명에 관한 총설. 한국수산학회지 21:303-310.
- 한국해양연구소. 1988. 남극과학기지 주변 환경조사 (예비조사). 382p.
- 한국해양연구소. 1989. 남극과학기지 주변 환경조사 (제2차년도). 485p.
- 한국해양연구소. 1990. 남극과학기지 주변 환경조사 (제3차년도). 513p.
- 한국해양연구소. 1991a. 남극과학기지 주변 환경조사 (제4차년도). 782p.
- 한국해양연구소. 1991b. 제3차 남극 생물자원 보존협약(CCAMLR)의 크릴 전문가회의 (WG-krill) 참가 보고서, 17p.
- Amos, A.F. 1984. Distribution of krill (*Euphausia superba*) and the hydrography of the Southern Ocean: large-scale processes. J. Crust. Biol., 4: 306-329.
- Anon., 1986. Post-FIBEX acoustic workshop. Frankfurt, Federal Republic of Germany, September 1984. BIOMASS Rept. Ser., 40, 106p.
- Arimoto, T., K. Matuda, K. Hamada, and K. Kanda. 1979. Diel vertical migration of krill swarms in the Antarctic Ocean. Trans. Tokyo Univ. Fish., 3: 93-97.
- Baker, A. de C. 1954. The circumpolar continuity of Antarctic plankton species. Discovery Rept., 27: 201-218.
- Bargmann, H.E. 1945. The development and life-history of adolescent and adult krill *Euphausia superba*. Discovery Rept., 23: 103-176.
- Brinton, E. 1967. Vertical migration and avoidance capability of euphausiids in the California Current. Limnol. Oceanogr., 12: 451-483.
- Brinton, E. 1987. A new abyssal euphausiid, *Thysanopoda minyops*, with comparisons of eye size, photophores, and associated structures among deep-living species. J. Crust. Biol., 7: 636-666.
- Brinton, E., M. Huntely, and W. Townsend. 1986. Larvae of *Euphausia superba* in the Scotia Sea and Bransfield Strait in March 1984-Development and abundance compared with 1981 larvae. Polar Biol., 5: 221-234.
- Brinton, E. and A.W. Townsend. 1984. Regional relationships between development and growth in larvae of Antarctic krill, *Euphausia superba*, from field samples. J. Crust. Biol., 4: 224-246.
- CCAMLR. 1990. Draft statistical bulletin. SC-CAMLR-IX/BG/2.
- CCAMLR. 1991. Report of the third meeting of the working group on krill. SC-CAMLR-X/4.
- Chang, K.I., G.T. Park, and Y.S. Eo. 1990. Oceanographic conditions of Maxwell Bay, King George Island, Antarctica (austral summer 1989). Korean J. Polar Res., 1: 27-46.
- Daly, K.L. 1990. Overwintering development, growth, and feeding of larval *Euphausia superba* in the

- Antarctic marginal ice zone. *Limnol. Oceanogr.*, 37: 1564-1576.
- Daly, K.L. and M.C. Macaulay. 1988. Abundance and distribution of krill in the ice edge zone of the Weddell Sea, austral spring 1983. *Deep-Sea Res.*, 35: 21-41.
- Deacon, G.E.R. 1937. The hydrology of the Southern Ocean. *Discovery Rept.*, 15: 1-124.
- Deacon, G.E.R. 1976. The cyclonic circulation in the Weddell Sea. *Deep-Sea Res.*, 23: 125-126.
- Deacon, G.E.R. 1979. The Weddell gyre. *Deep-Sea Res.*, 26: 981-995.
- Deacon, G.E.R. 1982. Physical and biological zonation in the Southern Ocean. *Deep-Sea Res.*, 29: 1-15.
- El-Sayed, S.Z. 1988. The BIOMASS program. *Oceanus*, 31: 75-79.
- El-Sayed, S.Z. and S. Taguchi. 1981. Primary production and standing crop of phytoplankton along the ice-edge in the Weddell Sea. *Deep-Sea Res.*, 28: 1017-1032.
- Everson, I. 1977. The living resources of the Southern Ocean. Southern Ocean Fisheries Survey Programme. GLO/SO/77/1, 156p. Rome:FAO.
- Everson, I. 1983. Estimation of krill abundance. *Ber. Polarforsch.*, 4:156-168.
- Everson, I. 1988. Can we satisfactorily estimate variation in abundance? In: Sahrhage, D.(ed.), Antarctic Ocean and Resources Variability, Springer-Verlag, 199-208.
- Everson, I., J.L. Watkins, D.G. Bone, and K.G. Foote. 1990. Implications of a new acoustic target strength for abundance estimates of Antarctic krill. *Nature*, 345: 338-340.
- Fevolden, S.E. 1979. Investigations on krill (*Euphausiacea*) sampled during the Norwegian Antarctic Research Expedition, 1976-1977. *Sarsia*, 64: 189-198.
- Fevolden, S.E. 1980. Krill off Bouvetoya and in the southern Weddell Sea with a description of larval stages of *Euphausia crystallorophias*. *Sarsia*, 65: 149-162.
- Foxton, P. 1956. The distribution of the standing crop of zooplankton in the Southern Ocean. *Discovery Rept.*, 28: 191-236.
- Godlewska, M. and Z. Klusek. 1987. Vertical distribution and diurnal migrations of krill-*Euphausia superba* Dana-from hydroacoustical observation, SIBEX, December 1983/January 1984. *Polar Biol.*, 8: 17-22.
- Hampton, I. 1985. Abundance, distribution and behaviour of *Euphausia superba* in the Southern Ocean between 15 and 30°E during FIBEX. In: Sahrhage, D.(ed.), Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs, Springer-Verlag, 294-303.
- Hardy, A.C. and E.R. Gunther. 1935. The plankton of the South Georgia whaling grounds and adjacent waters, 1926-1927. *Discovery Rept.*, 11:1-456.
- Hempel, I. 1981. Euphausiid larvae in the Scotia Sea and adjacent waters in summer 1977/78. *Meeresforsch.*, 29: 53-59.
- Hempel, I. and G. Hempel. 1982. Distribution of euphausiid larvae in the southern Weddell Sea. *Meeresforsch.*, 29: 253-266.
- Heywood, R.B., I. Everson, and J. Priddle. 1985. The absence of krill from the South Georgia zone, winter 1983. *Deep-Sea Res.*, 32: 369-378.
- Ichii, T. 1990. Distribution of Antarctic krill concentrations exploited by Japanese krill trawlers and Minke whales. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 3: 36-56.
- Ivanov, B.G. 1970. On the biology of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). *Mar. Biol.*, 7: 340-351.
- John, D.D. 1936. The southern species of the genus *Euphausia*. *Discovery Rept.*, 14: 193-324.

- Kalinowski, J. and Z. Witek. 1980. Diurnal vertical distribution of Krill aggregation in the Western Atlantic. *Pol. Polar Res.*, 1: 127-146.
- Kawaguchi, K., S. Ishikawa, and O. Matsuda. 1986. The overwintering of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) under the coastal fast ice off the Ongul Islands in Lutzow-Holm Bay, Antarctica. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 44: 67-85.
- Kils, U. 1979. Swimming performance and escape capacity of Antarctic krill, *Euphausia superba*. *Meeresforsch.*, 27: 264-266.
- Kils, U. 1981. Swimming behaviour, swimming performance and energy balance of Antarctic krill *Euphausia superba*. *BIOMASS Sci. Ser.*, 3, 122p.
- Kim, D.Y., S. Kim, K.I. Yoo, M.S. Han, and Y.O. Kim. 1991. Distribution and abundance of planktonic organisms in Bransfield Strait during austral summer 1989/1990. *Korean J. Polar Res.* 2: 17-27.
- Kim, S., and M.S. Suk. 1991. Oceanic condition and zooplankton distribution/abundance in Bransfield Strait during austral summer 1989/1990. *CCAMLR WG-krill-91/14*.
- Kittel, W., and J. Sicsinski. 1991. Population structure of krill (*Euphausia superba* Dana) near sea-ice zone between Elephant Island and South Orkney Islands. *Korean J. Polar Res.* 2: 29-35.
- Knox, G.A. 1984. The key role of krill in the ecosystem of the Southern Ocean with special reference to the convention on the conservation of Antarctic marine living resources. *Ocean Management*, 9: 113-156.
- Loeb, V.J. and E. Shulenberger. 1987. Vertical distribution and relation of euphausiid population off Elephant Island, March 1984. *Polar Biol.*, 7: 363-373.
- Mackintosh, N.A. 1934. Distribution of the macrop-lankton in the Atlantic sector of the Antarctic. *Discovery Rept.*, 9:65-100.
- Mackintosh, N.A. 1960. The pattern of distribution of Antarctic fauna. *Proc. Roy. Soc. Lond., B*, 154: 624-631.
- Mackintosh, N.A. 1972. Life cycle of Antarctic krill in relation to ice and water conditions. *Discovery Rept.*, 36: 1-94.
- Mackintosh, N.A. 1973. Distribution of post larval krill in the Antarctic. *Discovery Rept.*, 36: 95-156.
- Makarov, R.R. 1983. Geographical aspects in the investigation of the life history of *Euphausia superba* Dana. *Ber. Polarforsch.*, 4: 47-57.
- Makarov, R.R., A.G. Naumov, and V.V. Shevtsov. 1970. The biology and distribution of the Antarctic krill. In: Holdgate, M.W. (ed.), *Antarctic Ecology*, Vol. 1, Academic Press, 173-176.
- Marr, J.W.S. 1962. The natural history geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). *Discovery Rept.*, 32:33-464.
- Marschall, H.P. 1988. The overwintering strategy of Antarctic krill under the pack-ice of the Weddell Sea. *Polar Biol.*, 9: 129-135.
- Marschoff, E.R. 1985. Profile analysis of *Euphausia superba* larvae vertical distribution in the Scotia Sea, related to time factor. *Polar Biol.*, 5: 35-41.
- Mauchline, J. and L.R. Fisher. 1969. The biology of euphausiids. *Adv. Mar. Biol.*, 7, 454 p.
- Maykut, G.A. 1985. The ice environment. In: Horner, R.A. (ed.), *Sea Ice Biota*, CRC Press, 21-82.
- McWhinnie, M.A., C.J. Denys, R. Parkin, and K. Parkin. 1979. Biological investigations of *Euphausia superba* (krill). *Antart. J.U.S.*, 141: 163-164.
- Miller, D.G.M. and I. Hampton. 1989. Biology and ecology of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana): a review. *BIOMASS Sci. Ser.*, 9, 166p.
- Moiseev, P.A. 1970. Some aspects of the commercial use of the krill resources of the Antarctic seas.

- In: Holdgate, M.W. (ed.), Antarctic Ecology, Vol. 1, Academic Press, 213-216.
- Musica, A., and V. Asencio. 1985. Fish larvae, euphausiids and community structure of zooplankton in the Bransfield Strait (SIBEX phase I), 1984. Ser. Cient. INACH 33: 131-154.
- Naganobu, M. and T. Hirano. 1982. Geographical distribution of the Antarctic krill, *Euphausia superba* and its environmental structure. Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue, 23: 1-4.
- Nast, F. 1978/79. The vertical distribution of larval and adult krill (*Euphausia superba* Dana) on a time station south of Elephant Island, South Shetlands. Meeresforsch., 27:103-118.
- Nasu, K. 1983. On the geographic boundary of Antarctic krill distribution. Ber. Polarforsch., 4:216-222.
- O'Brien, D.P. 1987. Direct observation of the behavior of *Euphausia superba* and *Euphausia crysallorophias* (Crustacea: Euphausiacea) under pack ice during the Antarctic winter of 1985. J. Crust. Biol., 78: 437-448.
- Palmisano, A.C. and C.W. Sullivan. 1985. Pathways of photosynthetic carbon assimilation in sea-ice microalgae from McMurdo Sound, Antarctica. Limnol. Oceanogr., 30: 674-678.
- Piatkowski, U. 1985. Distribution, abundance and diurnal migration of macro-zooplankton in Antarctic surface waters. Meeresforsch., 30: 264-279.
- Priddle, J., J.P. Croxall, I. Everson, R.B. Heywood, E.J. Murphy, P.A. Prince, and C.B. Sear. 1988. Large scale fluctuations in the distribution and abundance of krill - a discussion of possible causes. In: Sahrhage, D.(ed.), Antarctic Ocean and Resources Variability, Springer-Verlag, 169-182.
- Quetin, L.B. and R.M. Ross. 1989. Effects of oxygen, temperature and egg on the metabolic rate of embryos and early larval stages of the Antarctic krill, *Euphausia superba*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 125: 43-62.
- Rosenberg, J. and R. Hewitt. 1991. AMLR 1990/91 Field season report. Southwest Fisheries Science Center, Adm. Rep. LJ-91-18, La Jolla, California, 97p.
- Ross, R.M. and L.B. Quetin. 1989. Energetic cost to develop to the first feeding stage of *Euphausia superba* Dana and the effect of delays in food availability. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 133: 103-127
- Siegel, V. 1985. The distribution pattern of krill, *Euphausia superba* west of the Antarctic Peninsula in February 1982. Meeresforsch., 30: 292-305.
- Siegel, V. 1986. Structure and composition of the Antarctic krill stock in the Bransfield Strait (Antarctic Peninsula) during the second international BIOMASS experiment (SIBEX). Arch. FishWiss., 37:51-72.
- Siegel, V. 1988. A concept of seasonal variation of krill (*Euphausia superba*) distribution and abundance west of the Antarctic Peninsula. In: Sahrhage, D. (ed.) Antarctic Ocean and Resources Variability. Springer-Verlag, 219-230.
- Smetacek, V., R. Scharek, and E.-M. Nøthig. 1990. Seasonal and regional variation in the pelagical and its relationship to the life history cycle of krill. In: Kerry, K.R. and G. Hempel (eds.), Antarctic Ecosystems. Ecological Change and Conservation, Springer-Verlag, 103-114.
- Smith, N.R., Z. Dong, K.R. Kerry, and S. Wright. 1984. Water circulation in the region of Prydz Bay, Antarctica. Deep-Sea Res., 31: 1121-1147.
- Smith, W.O. Jr., N.K. Keene, and J.C. Comiso. 1988. Interannual variability in estimated primary productivity of the Antarctic marginal ice zone. In: Sahrhage, D.(ed.), Antarctic Ocean and Resources

- Variability, Springer-Verlag, 131-139.
- Stein, M. 1988. Variation of geostrophic circulation off the Antarctic Peninsula and in the southwest Scotia Sea, 1975-1985. In: Sahrhage, D.(ed.), Antarctic Ocean and Resources Variability, Springer-Verlag, 81-91.
- Stretch, J.J., P.P. Hammer, W.M. Hammer, W.C. Michel, J. Cook, and C.W. Sullivan. 1988. Foraging behaviour of Antarctic krill *Euphausia superba* on sea ice microalgae. Mar. Ecol. Prog. Ser., 44:131-139.
- Sverdrup, H.E., M.W. Johnson, and R.H. Fleming, 1942. The Oceans: Their Physics, Chemistry and General biology. Prentice-Hall, N.Y., 1087 p.
- Tranter, D.J. 1982. Interlinking of physical and biological processes in the Antarctic Ocean. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 20: 12-35.
- Voronina, N.M. 1968. The distribution of zooplankton in the Southern Ocean and its dependence on the circulation of water. Sarsia, 34: 277-284.
- Voronina, N.M. 1974. An attempt at a functional analysis of the distributional range of *Euphausia superba*. Mar. Biol., 24: 347-352.
- Watkins, J.L., D.J. Morris, and C. Ricketts. 1985. Nocturnal changes in the mean length of a euphausiid population: vertical migration, net avoidance or experimental error? Mar. Biol., 86: 123-127.
- Witek, Z., A. Koronkiewicz, and G.J. Soszka. 1980. Certain aspects of the early life history of krill, *Euphausia superba* Dana (Crustacea). Pol. Polar Res., 1: 97-115.
- Witek, Z., J. Kalinowski, A. Grelowski, and N. Wolnomiejski. 1981. Studies of aggregations of krill (*Euphausia superba*). Meeresforsch., 28: 228-248.
- Zwally, H.J., C.L. Parkinson, and J.C. Comiso. 1983. Variability of Antarctic sea ice and changes in carbon dioxide. Science, 220: 1005-1012.
-