

브랜스필드해협과 인접해와의 경계역에서의 해황

석문식 · 이하웅 · 김동엽*

한국해양연구소 해양예측연구실

* 한국해양연구소 극지연구센터

Oceanographic Conditions in the Bransfield Strait and in the Limits of the Adjacent Seas

Moon-Sik Suk, Ha-Woong Lee and Dong-Yup Kim*

Ocean Prediction Lab., Korea Ocean Research & Development Institute,
Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

* Polar Research Center, Korea Ocean Research & Development Institute,
Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

요약 : 1991/92년 남극의 여름철에 제 5차 한국남극과학조사단은 브랜스필드해협에서의 해황 변동에 영향을 미치는 인접해와의 경계역에서 해양조사를 계획하였다. 서경 54도의 경도선을 따라 위도 30분 간격으로 종단관측을 실시하여 해협이 웨델해와 만나는 해역에서의 해황을 분석하였다. 웨델해로부터 이루어지는 하나의 경로라고 추정되는 Antarctic Sound의 웨델해 쪽의 해역과 해협 쪽의 해역을 관측하여 비교하였다. 표층 Drifter 추적 결과에서 유추하여 볼 때, 벨링스하우젠해로부터 해협의 해역으로 수송되는 양은 남극반도에 가깝게 연안을 따라 들어오는 부분도 상당하리라 추측되어 그 양 쪽의 해역에서도 관측을 실시하여 비교하였다. 해협의 중앙분지 부근의 해역에서 중규모 크기의 수괴고리를 추적하기 위하여 집중적인 관측을 실시하였다.

서경 54도의 경도선을 따라 구성된 관측정선은 남위 60도 30분부터 64도까지 위도 30분 간격으로 관측정점을 선택한 것으로서, 남셰틀랜드군도의 이북에 위치하여 드레이크 해협의 영향이 수직구조에서 뚜렷하게 나타나는 정점 1로부터 남셰틀랜드군도 이남의 해역으로 들어오면서 점차 웨델해 저수층의 영향이 나타난다. 조사기간 동안의 모든 관측값 중 최저수온은 정점 3의 수심 100m층에 나타난 섭씨 영하 1.54도이다. 정점 3의 수심 50m에서 400m에 이르기까지 넓게 존재하는 저수온층은 웨델해 선류가 이 정점 부근까지 불룩하게 확장되어 나타난 것으로 보인다. 정점 3에서와 같은 저수온층이 정점 3보다 북쪽이나 남쪽에 위치한 정점에서는 나타나지 않는다.

주요어 : 브랜스필드해협, 웨델해, 중규모 와류.

ABSTRACT : In the austral summer of 1991~1992, the 5th Korea Antarctic Research Program performed an observation in the Bransfield Strait and in the limits of the adjacent seas which affect the Strait. The observation stations were located at every 30' interval along the 54° W longitude line. Observations made in the area close to the Weddell Sea were compared to those made in the area close to the Strait. Observation was made in both sides of the strait because the amount of the inflow from the Bellingshausen Sea close to the Antarctic Peninsula would be large according to the drifter tracks. An intensive observation was tried to follow meso-scale eddies in the basin at the center of the strait.

Since the observation station were located at every 30' interval along the 54° W longitude line, the influence from the Drake Passage is evident at St. 1 in the area to the north of the South Shetland Islands and the influence of the Weddell Sea becomes dominant in the southern area. The lowest temperature

observed was -1.54°C at 100m depth of St.3. The low-temperature water mass found between 50m and 400m at St. 3 appears to be an extension of the low temperature water mass originated in the Weddell Sea Gyre. Except St.3, low temperature layers were not found at stations further north and south.

KEY WORDS : Bransfield Straits, Weddell Sea, Meso-scale eddies.

서 론

남극대륙의 연안 지형은 서쪽의 반과 동쪽의 반이 뚜렷하게 구분된다. 동쪽의 반은 육지 덩어리가 빗뚝하게 연결되는 반면에 서쪽의 반은 남극반도가 돌출되어 있으며 웨델해, 벨링스하우젠해, 그리고 로스해와 같은 연해로 형성되어 있다. 남극대륙을 둘러싸고 있는 남극해는 대서양, 인도양, 태평양을 연결하는 해역으로서 대양 사이의 수괴 교환 및 상호작용이 일어나는 독특한 곳이다. 남극대륙 주위를 순환하는 남극순환류는 세계에서 가장 강한 해류 중의 하나이며, 특히 남극반도, 남셰틀랜드 군도로 이어져 남아메리카 대륙 남단 사이에 위치한 드레이크해협에서의 강한 해류는 널리 알려져 있다. 그 중에서 남극반도와 남셰틀랜드군도 사이에 위치한 브랜스필드해협에서의 물리해양학적 연구는 남극권 해역 중에서 활발한 편이다. 이 해역에 관한 초기의 과학적 연구는 1901~3년의 스웨덴 남극탐사로 시작하여 불란서(1908~10년), 독일(1925~27년), 영국(1927~30년) 등의 조사활동이 있다.

앞서의 자료를 바탕으로 Clowes(1934)는 브랜스필드해협의 해황을 서술하였다. Clowes에 따르면, 하계에 해협의 북쪽과 서쪽에는 상대적으로 고온/저염인 해수가 표층에 퍼져있으며 중층에는 수온과 염분의 최고층이 나타나는데 이는 벨링스하우젠해에서 유입된 것이고, 해협의 남동 해역은 웨델해의 저온/고염인 해수의 영향을 받는다. 해협내의 심저층수는 남극반도 쪽의 대륙붕단 해역에서 동계의 결빙으로 인하여 수온/염분의 성층이 깨어지면서 침강하여 심저층수를 생성할 것으로 추측하였다. 이러한 Clowes의 추론은 최근의 활발한 연구로 뒷받침되고 있다. Gordon과 Nowlin(1978)은 수온, 염분 뿐만 아니라 용존산소와 영양염의 자료를 분석하여 해협내의 동, 서 및 중앙 3개 분지의 심저

층수의 특성이 각각 다름을 인식하였으며, 해협에서의 심저층수 생성이 국지적으로 일어나고 있다고 해석하였다. 그리고, 고전적인 접근 방법인 역학 계산을 통하여 지형류 또는 역학심도를 토의하는 연구가 많이 이루어졌는데, 대체로 수괴분석으로 유추한 흐름의 양상과 일치하는 결론을 도출하고 있다(Stein and Rakusa-Suszczewski, 1982; Grelowski and Tokarczyk, 1985; Heywood, 1985; Heywood and Priddle, 1986). 특히, 킹조지섬의 인근해에서 중규모 크기의 와류가 존재하고 있음이 보고되기도 하였으며(Heywood and Priddle, 1986), 해협내의 다른 관측결과의 제시에서도 중규모 해황 변동성이 지적되고 있다. Heywood와 Priddle(1986)은 킹조지섬 동쪽 해역에 anticyclonic의 와류를 인지하였다. 한국남극과학조사단은 1989/90년의 여름철에 관측한 해수특성 자료에서 중규모 크기의 고온수 고리 또는 저염수 고리를 발견하였고 활발한 중규모 변동성을 나타내는 해황특성을 인식하였다(석, 1990). 그리고 브랜스필드해협이 웨델해와 경계를 이루고 있는 해역은 웨델해 해역 전체의 크기로 존재하는 웨델해 선류의 북서단에 해당하여 해협의 해황 변동에 영향을 미칠 수 있다. 특히, 남극해의 심층수 형성에 있어서 웨델해의 저온/저염수는 남대서양 권역으로 이루어져온 북대서양 심저층수와 혼합되어 남극순환수를 생성하게 되고(Sverdrup et al, 1942), 남극순환수는 다시 남극순환류를 따라 남인도양과 남태평양 권역을 통과하여 드레이크해협으로 돌아 들어오는 고온/고염수로 알려져 있다(Reid and Lynn, 1971). 다시 돌아 들어오는 남극순환수가 북대서양 심저층수를 처음으로 만나는 해역이 웨델해 선류의 북서단인 엘레판트섬의 외해역이다.

앞에서 살펴본 바와 같이 브랜스필드해협은 복합적 해황현상을 나타내고 있는 것으로 보인다. 이

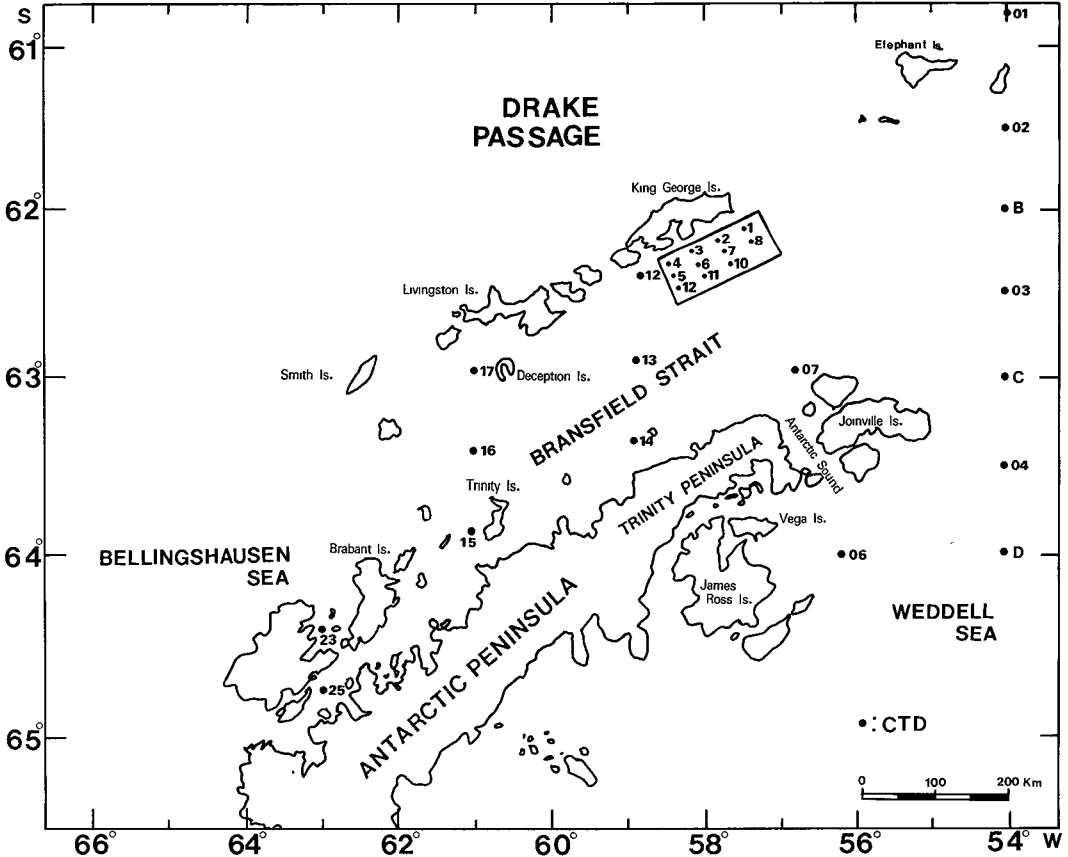


Fig. 1. All CTD stations in the Bransfield Strait and in the limits of the adjacent seas occupied in January 14-25, 1992.

러한 브랜스필드해협에서의 해황과 해협에 미치는 인접해의 영향을 밝히기 위하여 한국남극과학조사단은 제 5차 과학조사 활동으로 1992년 1월 14일부터 24일일 사이에 해협에 인접한 웨델해와 벨링스하우젠해와의 경계역을 관심있게 조사하였고, 해협의 중앙부지 부근의 해역에서 중규모 크기의 수괴고리를 추적하기 위하여 집중적인 관측을 실시하였다(Fig. 1과 Table 1). 본 조사에서는 EG & G사의 SCTD를 사용하였는데, 중규모 수괴고리 추적을 위한 집중 관측의 경우에는 250미터 수심층까지, 그리고 나머지는 전 수심층에 대한 수온과 염분을 관측하였다.

웨델해 경계역 종단관측

본 연구의 관측정선은 서경 54도의 경도선을 따라 남위 60도 30분부터 64도까지 위도 30분 간격으로의 관측정점을 선택하였다(Fig. 1과 Table 1). 이것은 웨델해로 열려있는 브랜스필드해협의 입구를 종단하고 있고 웨델해 선류의 북서단에 해당하며, 1992년 1월 14일부터 16일까지 3일 동안에 관측이 이루어졌다. 남쉐틀랜드군도의 일부인 엘레판트섬보다 북쪽에 위치한 정점 1에서부터 남쪽으로 남극대륙에 접근하는 정점의 구성에서 웨델해 저온/저염수의 영향이 각 정점별로 현저한 특이성을 보여줄수 있다.

Table 1. Location of all CTD stations in the Bransfield Strait and in the limits of the adjacent seas in January 14-25, 1992.

St.	Date	Location	Time(Arr/Dpt)	Depth(m)	Remark
01	14 Jan., 1992	60° 30.0'S 54° 00.0'W	18:30~20:54	2700	
02	15 Jan., 1992	61° 30.0' 54° 00.0'	03:30~06:45	750	
B		62° 00.0' 54° 00.0'	10:00~11:10	560	
03		62° 30.0' 54° 00.0'	14:20~16:50	800	
C		63° 00.0' 54° 00.0'	19:55~20:25	300	
04	16 Jan., 1992	63° 30.0' 54° 00.0'	01:10~01:50	280	
D		63° 56.8' 54° 00.2'	07:00~08:00	500	
06		63° 57.2' 56° 09.5'	16:40~17:20	450	
07	17 Jan., 1992	62° 56.8' 56° 52.0'	02:00~02:20	130	
12	25 Jan., 1992	62° 23.0' 58° 48.0'	09:50~10:40	900	
13	18 Jan., 1992	62° 54.0' 58° 50.0'	03:40~04:40	940	
14		63° 22.0' 58° 54.0'	07:40~08:40	650	
15		63° 52.0' 61° 00.0'	16:35~17:35	150	
24	19 Jan., 1992	64° 23.0' 62° 00.0'	03:42~05:36	800	CTD problem
25		64° 44.0' 63° 00.0'	09:00~10:40	350	
23		64° 25.0' 63° 00.0'	20:00~21:25	500	
17	22 Jan., 1992	62° 59.0' 61° 02.0'	13:25~13:35	250	
16		63° 23.0' 61° 00.0'	16:00~17:15	400	
E01	23 Jan., 1992	62° 10.0' 57° 28.0'	08:50~09:20	1200	
E02		62° 13.5' 57° 48.5'	10:55~11:15	900	
E03		62° 16.5' 58° 09.0'	12:20~12:45	1600	
E04		62° 20.0' 58° 29.5'	13:50~14:10	870	
E05		62° 24.5' 58° 26.0'	15:20~15:40	1000	
E06		62° 23.0' 58° 05.5'	16:25~17:05	1990	
E07		62° 18.0' 57° 45.5'	17:55~18:20	2000	
E08		62° 14.5' 57° 25.0'	19:10~19:35	2100	
E10	24 Jan., 1992	62° 22.5' 57° 41.5'	12:35~12:55	1400	
E11		62° 26.0' 58° 02.5'	15:10~15:30	1900	
E12		62° 29.5' 58° 22.5'	16:30~16:50	1600	

그리고, 여름철의 해빙으로 형성된 연안수가 연안역의 수괴특성을 직접적으로 결정하게 되는데, 해빙으로 형성된 연안수의 특징은 저온/저염이며 남극대륙 주위를 순환하고 있는 남극순환수와 혼합되어 그 해역의 독특한 수괴를 형성하게 된다(Anonymous, 1982). 웨델해에서 기원한 수괴의 특성은 남극순환수와 비교하여 저온/저염이지만, 벨링스하우젠해에서 기원한 수괴 또는 국지적으로 형성된 표층수와 비교할 때 웨델해에서 기원한 수괴의 특

성이 저염이지는 않다(석, 1990). 본 연구에서 가장 북쪽에 위치하여 남극순환수에 근접한 정점인 정점 1에서도 표층에서는 벨링스하우젠해에서 기원하여 남쉐틀랜드군도 구변으로 이루어진 연안수의 특성이 보이는 반면에 700미터보다 깊은 수심층에서 고온/고염인 남극순환수의 특성이 뚜렷하게 나타난다(Fig.2와 Fig.3). 특히, 정점 1의 수심이 600미터보다 얕은 수심층에서는 수온 썩기 형태가 강하게 나타나는데, 이것은 고온/고염인 남극순환수가 침

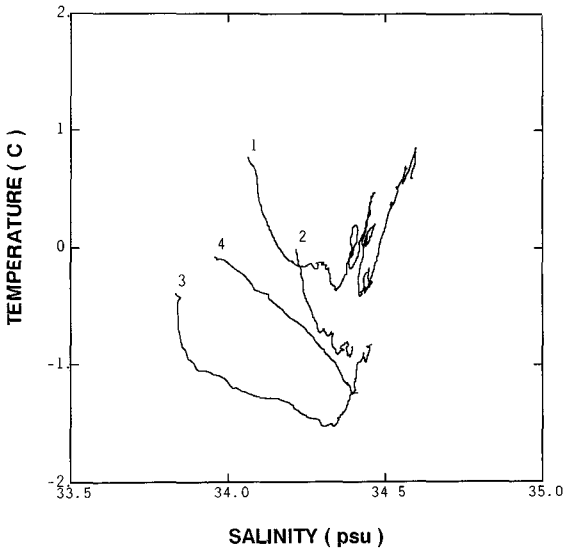


Fig.2. Temperature-Salinity diagram observed along 54°W on January 14-15, 1992.

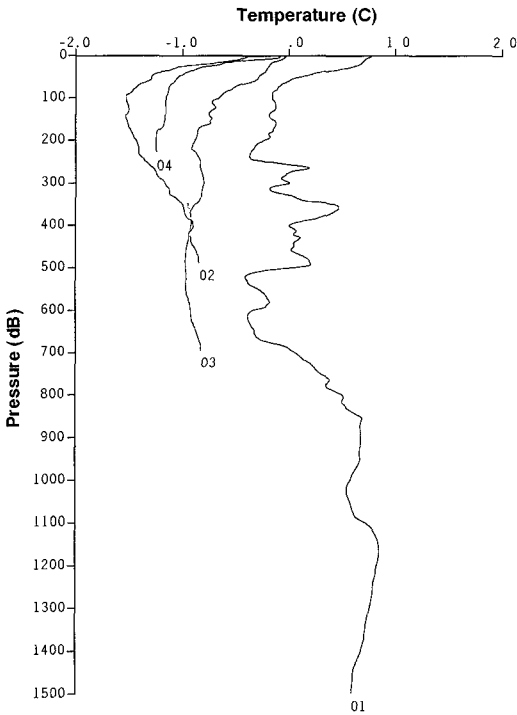


Fig.3. Vertical profiles of temperature observed along 54°W on January 14-15, 1992.

입하여 들어와 수괴의 혼합이 이루어지고 있음을 의미한다. 정점 3의 수심 50미터와 400미터 사이의 층에서 나타나는 저온수는 웨델해 저온수의 영향을 가장 뚜렷하게 보이는 것이다(Fig.4). 이러한 웨델해 저온수의 영향이 정점 3의 남쪽과 북쪽의 정점에서는 미약한데 이것은 웨델해 선류가 정점 3 부근에서 브랜스필드해협 쪽으로 불룩한 형태를 갖는 혼적으로 보인다. 즉, 정점 1에서는 드레이크해협에 존재하는 남극순환수의 영향이 수직구조에서 뚜렷하게 보이는 반면에 남쉐틀랜드군도의 이남의 해역으로 들어와 점차 웨델해 저온수의 영향이 나타난다(Fig.4). 조사기간 동안의 모든 관측값중 최저수온은 정점 3의 100미터 수심층에 나타난 섭씨 영하 1.54도로, 염분이 34.55 psu인 해수의 결빙점 섭씨 영하 1.90도의 수온에 접근하는 값이다.

TEMPERATURE LINE:

DATE: 1992. 1.14 - 1.16

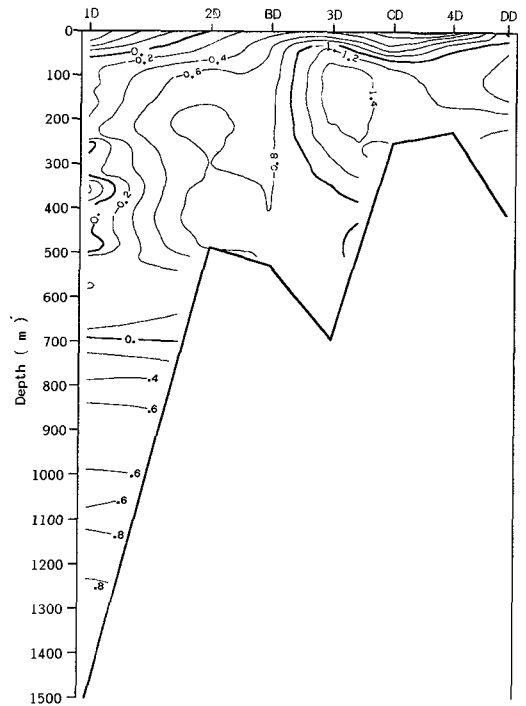


Fig.4. Vertical distribution of temperature observed along 54°W on January 14-16, 1992.

브랜스필드해협 의 중규모 해황 특성

브랜스필드해협에 나타나는 수괴는 상대적인 고온/저염, 저온/고염 그리고 고온/고염의 축을 보이고 있다(석, 1990). 벨링스하우젠해로부터 이루어진 남극표층수가 여름철 현상으로 변질되어 고온/저염의 특성을 가지며 웨델해의 영향은 저온으로 나타난다. 이밖의 중층에 나타나는 상대적 고온/고염의 특성인 물은 태평양에서 기원된 WDW(Warm Deep Water)로 알려진 수괴가 이류과정에서 부분적으로 변질된 것으로 알려져 있다. 특히, 킹조지섬의 인근해에서 중규모 크기의 와류가 존재하고 있음이 보고되기도 하였으며, 해협내의 해수특성 관측결과와 제시에서도 중규모 해황 변동성이 지적되고 있다(Heywood and Priddle, 1986; 석, 1990). 그래서 브랜스필드해협의 중앙부지 부근 해역에서 중규모 크기의 해황특성을 추적하기 위하여 집중적인 관측을 계획하였으나 기상악화로 인하여 원래 계획한 조사 해역의 반정도의 해역인 11개 정점에서 관측이 이루어졌다(Fig. 1과 Table 1). 관측정점의 구성은 킹조지섬과 나란한 방향으로는 약 19킬로미터, 수직인 방향으로는 약 9킬로미터의 간격으로 설정되었다.

Fig. 5는 킹조지섬 남쪽 해역에서 수괴의 수직적 특성과 구조를 이해하기 위하여 수심 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150 그리고 200미터에 해당하는 수온과 염분의 수평단면을 연속적으로 보여주는데 그림의 왼쪽이 수온이고 오른쪽이 염분을 나타낸다. 아울러 Fig. 6은 연안을 따라 평행한 관측 정선의 수직단면인데 왼쪽에서 오른쪽으로 킹조지섬 연안에 가까운 곳부터 정리하였고 그림의 윗 부분이 수온, 아랫 부분이 염분이다. 킹조지섬 남쪽에 위치한 조사해역의 상층에서는 연안에서 해빙으로 형성된 연안수가 벨링스하우젠해로부터 이루어진 남극표층수와 대치하고 있다(Fig. 5a). 표층에서 30미터 수심층에서는 킹조지섬 연안이 외해역과 비교하여 상대적 저온/저염을 보여준다. 이것은 외해역에 존재하는 벨링스하우젠해로부터 이루어진 남극표층수와 비교할 때, 국지적으로 해빙으로 형성된 연안수가 그

생성기간이 짧으므로 해빙이라는 요인이 내포하고 있는 저온/저염의 특성이 보다 뚜렷하게 나타난 결과이다. 수심 50미터 층에서는 서쪽으로부터 저온/고염인 물이 혀모양으로 두 수괴 사이에 관입되어 있다. 형태상으로 수평적 관입이라기 보다는 더 깊은 수심층으로부터 조사 해역의 중앙부에 솟아오른 형태이다. 이것은 Fig. 5의 수심 50미터와 75미터 층의 수온에 대한 도면에서 확인할 수 있다. 수심 75미터 층의 수온 수평분포를 보면 중앙의 찬 물을 사이에 두고 연안 가까운 곳과 먼 곳에서 따뜻한 물이 존재하지만, 연안 가까운 곳과 먼 곳의 염분은 전혀 다르다. 이것은 국지적으로 형성된 연안수와 벨링스하우젠해로부터 이루어진 남극표층수가 다르게 구별되는 점이다. 수심이 깊어지면서(Fig. 5b) 연안수의 특성은 소멸되며, 석(1990)이 해협의 개괄적 해황 배치 특성이라고 지적한 해협의 북쪽 킹조지섬의 연안에서 고온/저염이 존재하고 등치선은 해협을 종단하는 방향으로 평행한 배치를 갖는다. 그 중에서 특히 수심 150미터와 200미터 층의 수온분포를 보면 조사해역의 중앙에서 복잡한 모양을 보인다. 이것은 수직단면을 보여주는 Fig. 6에서 확인할 수 있듯이 중층에 고온핵이 존재한다. 킹조지섬 연안에 가까운 단면은 Fig. 6의 가장 왼쪽의 것인데 중층핵의 수온이 다른 두 단면과 비교하여 높은 값을 갖는다. 이것은 해협의 중층에 존재하는 것으로 알려진 고온/고염인 WDW로 보이며 다른 두 수직단면에 나타나는 중층핵은 직접적으로 연결되어 있는 한 덩어리의 수괴가 아니고 변질된 WDW의 존재인 것으로 보인다.

결론 및 토의

브랜스필드해협과 인접한 웨델해는 해양조사를 수행하기에 매우 힘든 해역이면서 남극권의 수괴 형성에 중요한 역할을 하고 있다. 본격적인 웨델해 해양조사는 앞으로 여건이 조성되면 가능하겠지만 이번에 웨델해 선류의 복서단에 해당하는 정선관측을 수행하고 자료를 획득한 것은 큰 성과이다. 이 정선관측 자료에서 웨델해 선류의 흔적을 볼 수 있

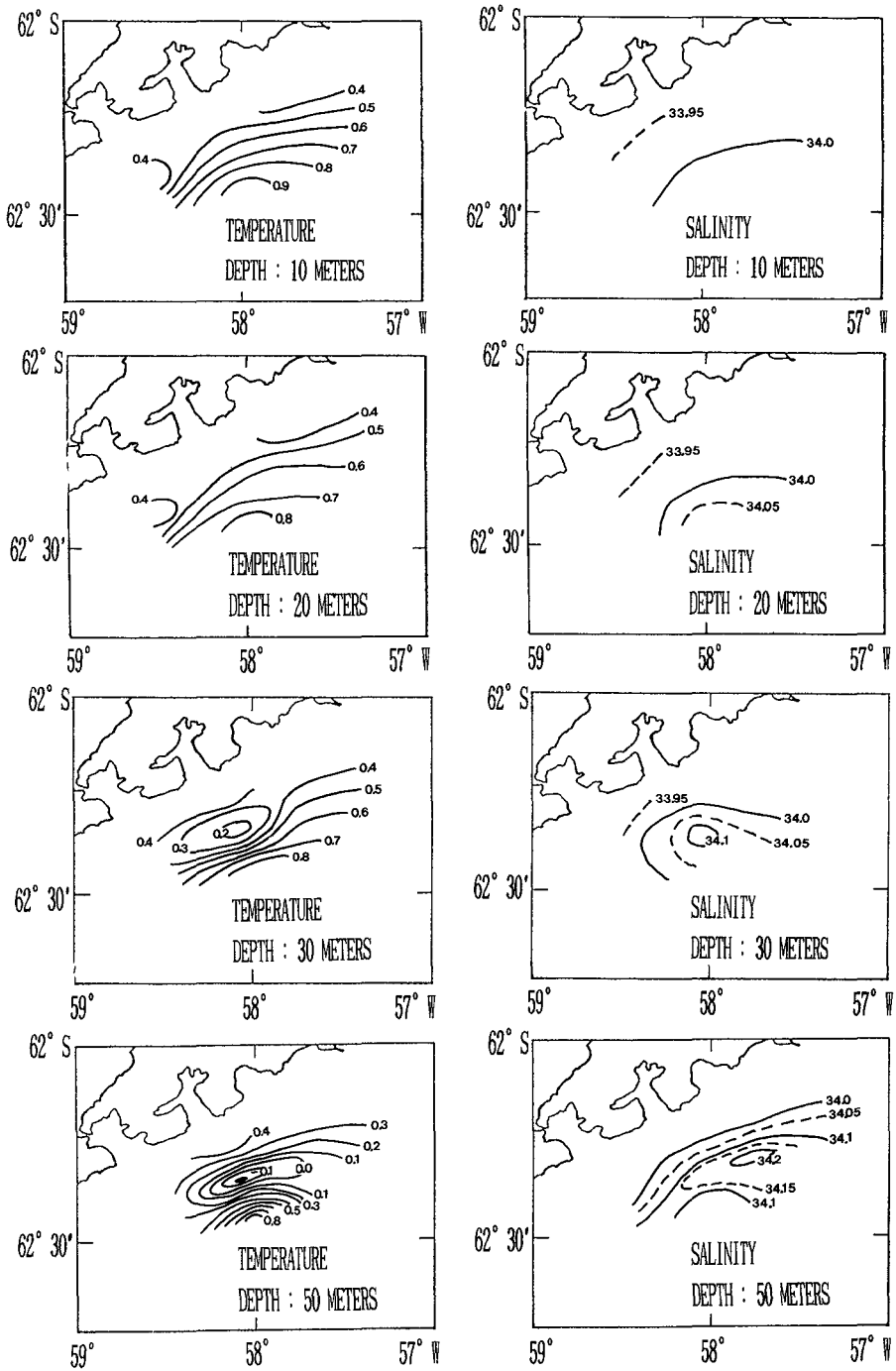


Fig. 5a. Horizontal distribution of temperature and salinity observed on January 23-24, 1992 near the King George Island.

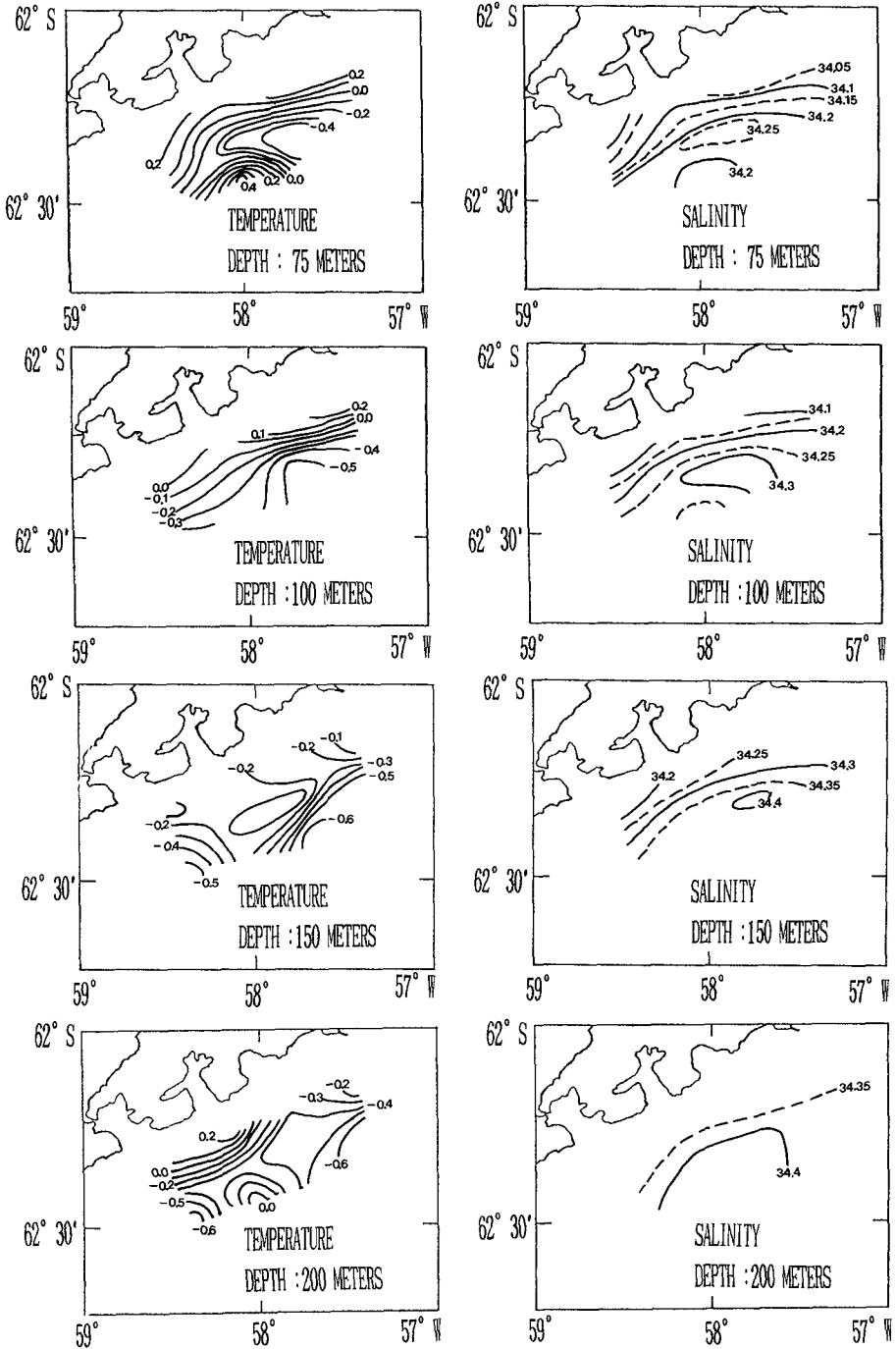


Fig. 5b. Horizontal distribution of temperature and salinity observed on January 23–24, 1992 near the King George Island.

브랜스필드해협과 인접해와의 경계역에서의 해황

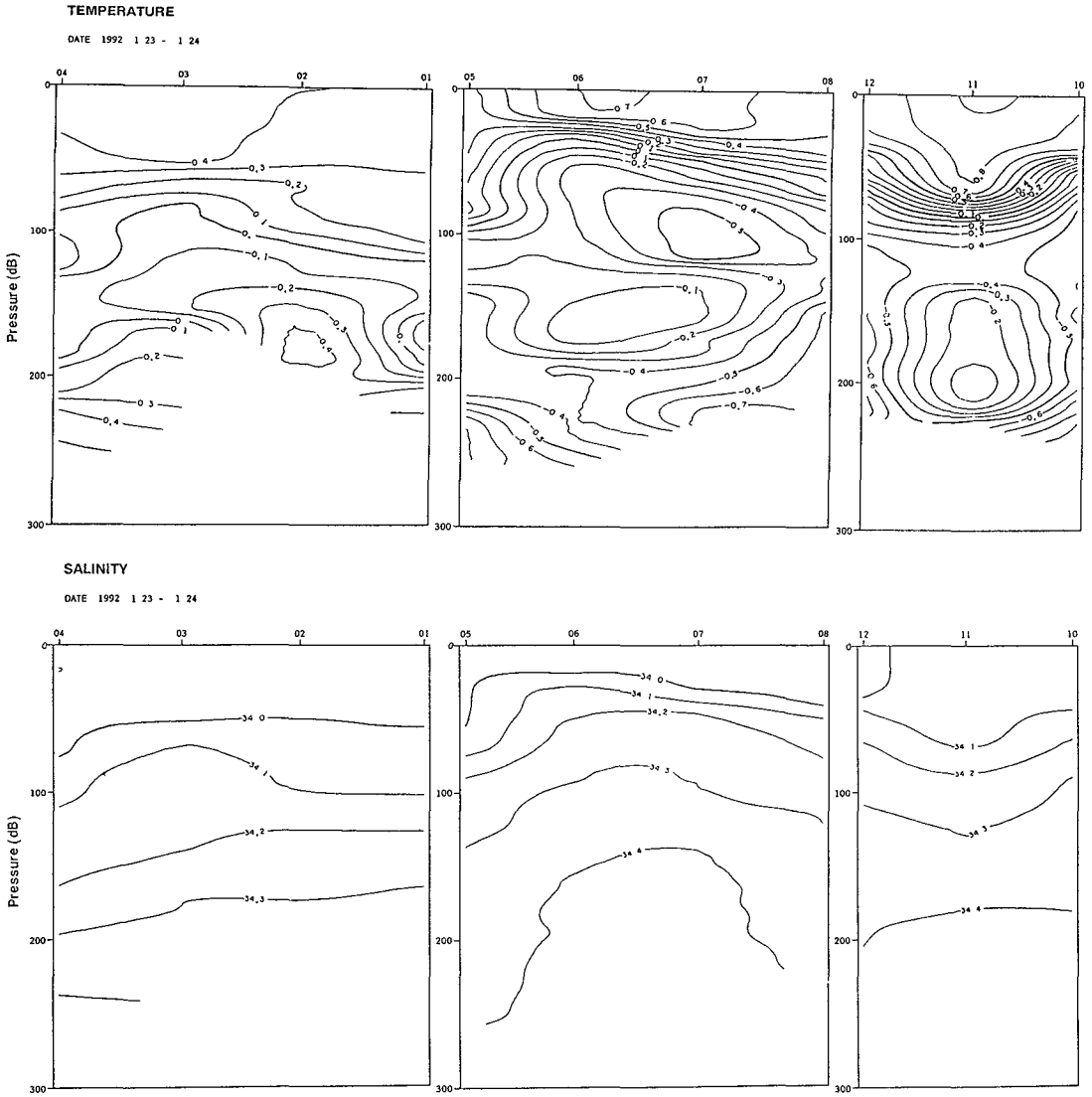


Fig. 6. Vertical distribution of temperature and salinity observed on January 23-24, 1992 near the King George Island.

있고, 드레이크해협에 존재하는 남극순환수의 영향이 수직구조에서 뚜렷하게 보이는 남쉐틀랜드군도의 이북의 해역과 남쪽으로 들어와 점차 웨델해저온수의 영향이 나타나는 남쉐틀랜드군도의 이남의 해역으로 구별된다. 해협의 중앙분지 부근의 해역에서 중규모 크기의 수괴고리를 추적하기 위하여 집중적인 관측을 실시하였는데, 킹조지섬 연안에서

국지적으로 형성된 연안수, 벨링스하우젠해로부터 이루어진 남극표층수, 그리고 웨델해로부터 이루어진 저온/고염수가 만나는 해역에서 중규모 현상으로 와류가 형성되는 것으로 판단된다. 아울러 브랜스필드해협에서 중층에 고온핵이 존재함을 확인하였는데, 킹조지섬 연안에 가까운 단면에 보이는 중층의 고온핵은 연안에서 먼 다른 두 단면과 비

교하여 높은 값을 갖는다. 이것은 해협이 중층에 존재하는 것으로 알려진 고온/고염인 WDW로 보이며 다른 두 수직단면에 나타나는 중층핵은 직접적으로 연결되어 있는 한 덩어리의 수괴가 아니고 변질된 WDW의 존재인 것으로 보인다. WDW는 태평양에서 기원된 것으로 알려져 있으며 이미 Clowes(1934)에 의하여 그 존재가 인지되고 있었다. Gordon과 Nowlin(1978) 그리고 Heywood(1985)는 해협에서 WDW의 영향이 전혀 나타나지 않거나 미약하게 나타나는 관측결과를 제시하였고 석(1990)은 WDW의 영향을 확인하였는데, 이것은 WDW가 해마다 나타나는 것이라기보다 영년변동성을 갖고 있다고 해석하는 것이 타당하다.

사 사

본 연구는 한국해양연구소의 주관으로 수행되고 있는 남극환경 및 자원탐사 기술연구의 일환으로 조사된 자료를 바탕으로 이루어진 것이다. 관계자 여러분께 깊은 감사를 드린다.

참 고 문 헌

석문식, 1990. 브랜스필드해협이 1989/90 하계 해양특성, 한국해양연구소 보고서, 남극과학기지 주변 환경조사(제 3차년도) 513pp. 157-188.
 Anonymous, 1982. First Post FIBEX Hydrographic Data Interpretation Workshop, Hambury 29-26 September 1982. BIOMASS Report Ser., 30 : 1-11.
 Clowes, A.J., 1934. Hydrology of the Bransfield Strait. Discovery Rep., 9, 1-64.

Gordon, A.L. and W.D. Nowlin, 1978. The basin water of the Bransfield Strait. J. Phys. Oceanogr., 8, 258-264.
 Grelowski, A. and R. Tokarczyk, 1985. Hydrological conditions in the region of Bransfield Strait and southern part of Drake Passage in the period from December 10, 1983 and January 8, 1984(BIOMASS-SIBEX). Polish Polar Res., 6(1-2), 31-41.
 Heywood, R.B., 1985. Environmental conditions in the Antarctic Peninsula area of the Southern Ocean during the Anglo-German Joint Biological Expedition, February 1982. Meeresforschung, 30(4), 220-239.
 Heywood, R.B. and J. Priddle, 1987. Retention of Phytoplankton by an eddy. Continental Shelf Res., 7(8), 937-955.
 Reid, L.L. and R.J. Lynn, 1971. On the influence of the Norwegian-Greenland and Weddell seas upon the bottom waters of the Indian and Pacific oceans. Deep Sea Res., 18, 1063-1088.
 Stein, M., and S. Rakusa-Suszczewski, 1982. Geostrophic Currents in the South Shetlands Islands area during FIBEX. Mem. Nat. Inst. Polar Res. Tokyo, 27, 24-34.
 Stein, M., 1989. Seasonal variation of water masses in Bransfield Strait and adjacent waters. Arch. Fisch. Wiss. 39(Beih.1) : 15-38.
 Sverdrup, H.U., M.W. Johnson and R.H. Fleming, 1942. The Oceans: their physics, chemistry, and general biology. Prentice-Hall, 1087pp.