

## 1998년 춘계 제주도 북서쪽해역에 출현하는 저밀도수의 거동 특성

김상현<sup>+</sup> · 노홍길 · 松野 健\*  
 제주대학교 해양과학대학, \*일본 규슈대학 응용역학연구소

## The Characteristics of Low Density Water Appeared in the Northwestern Sea of Cheju Island and Its Effect in Spring, 1998

Sang Hyun KIM<sup>+</sup>, Hong Kil RHO and Takeshi MATSUNO  
 College of Ocean Sciences, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea  
 \*Kyushu University, Kasuga, Fukuoka 816, Japan

The low temperature, low salinity and low density sea water which was originated from the southern part of the Yellow Sea and distributed from the surface to 20 m depth was transported by the northwesterly wind during the period from the middle of March to the beginning of April, 1998 and had an influence on the northern coastal sea area of Cheju Island. Accordingly, this kind of accumulated data may supply the fundamental data for the realtime monitoring of oceanographic conditions and may improve degree of the forecasting accuracy of fishing and oceanographic conditions.

**Key words:** Low temperature, Low salinity, Low density water, Transport

### 서 론

제주도 주변해역은 계절에 따라 서로 다른 이질수괴의 교차로 역할을 하는 해역으로 대마난류수, 황해난류수와 같은 고온·고염의 난류계수, 황해저층냉수와 같은 저온·저염의 냉수계수 및 중국대륙연안수, 한국남해안연안수와 같은 고(지)온·저염의 연안계수가 시기에 따른 축소·확장을 달리하여 해양환경 변화에 다양성을 보여주고 있다. 특히 제주도 주변해역은 연중 고온·고염의 대마난류수가 제주도 서방해역으로 북상하여 그 일부가 제주해협 서쪽입구를 통하여 유입된 뒤 해협을 통하여 동쪽으로 대부분 유출되고 (Kim and Rho, 1997a), 제주도 주변 연안역에서 5월부터 11월까지 발달되는 조석전선이 연안수와 외해수를 구분하는 역할을 하고 있으며 (Kim et al., 1998), 12월부터 익년 4월까지의 제주해협에서 대류혼합으로 표·저층수 간에 균질한 동계 해황을 나타내고 있다 (Kim and Rho, 1997b).

이와 같이 다양한 해양환경의 변동특성을 나타내는 제주도 주변해역 해황이 동계 및 춘계의 기상에 따라 변동하는 특성 등과 제주도 주변해역에 출현하는 해양학적 특성의 단기적인 변동 등에 대해서 아직까지 구체적으로 연구된 바 없다. 따라서 본 연구는 1998년 동·춘계의 제주해협 및 제주도 북서쪽해역의 해황 특성이 기상 변화에 대응하는 특성 등을 비교·분석하여 Realtime으로 그 현상을 monitoring할 필요성을 제시하였다.

### 재료 및 방법

제주해협에 대한 해황을 조사하기 위하여 Fig. 1과 같이 해협내 4개의 남북단면에 대한 관측정점을 설정하여 1998년 3월 16~17일

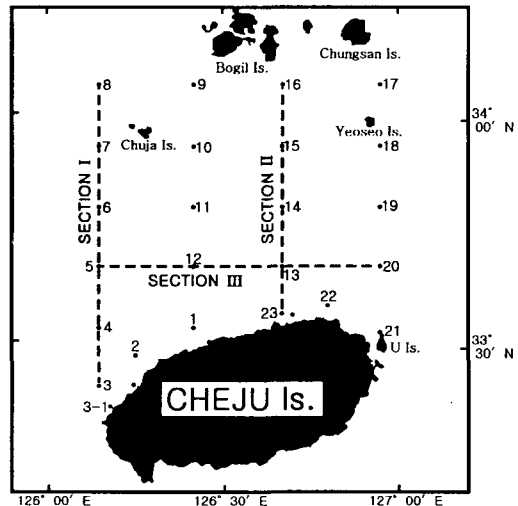


Fig. 1. Location of oceanographic stations observed by the fisheries patrol vessel of Cheju provincial government, Samda during March 16~17 and April 20~21, 1998.

및 4월 20~21일의 2회에 걸쳐 관측하였다. 제주도 북서쪽해역에 대한 해황을 파악하기 위하여 Fig. 2와 같은 관측정점을 설정하여 1998년 3월 30~31일에 제주도청 소속의 어업지도선 (삼다호)과 CTD (SBE-19, Sea Bird Co.)를 이용하여 관측을 실시하였다.

제주해협과 제주도 북서쪽해역에서의 해황 관측과 동시기에 제주도 연안 천해역에서 해황을 조사하기 위하여 1998년 3월 15일에 Fig. 3과 같이 제주도 연안을 따라 관측정점을 설정하여 CTD 관측을 수행하였다. 동시기에 군산, 목포 및 제주의 기상자료 (풍향·풍속)를 이용하여 바람에 영향을 받는 제주도 북서쪽 해역의 해수 유동특성을 비교·분석하였다 (Fig. 4). 또한 홍도, 소록산도, 죽도, 제주 (산지), 거문도 및 우도에서 1998년 관측한 일일 연안 정지 관측점의 SST자료를 이용하여 외해역해수가 연안역으로

<sup>+</sup>Corresponding author: hairtail@cheju.ac.kr

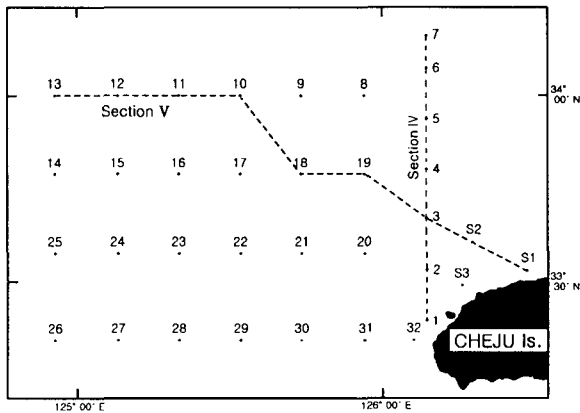


Fig. 2. Location of oceanographic stations observed by the fisheries patrol vessel of Cheju provincial government, Samda in March 30~31, 1998.

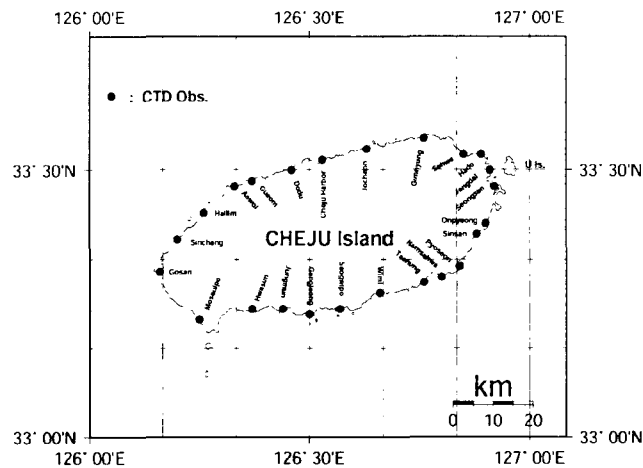


Fig. 3. Location of oceanographic stations along the coast line Cheju Island in March 15, 1998.

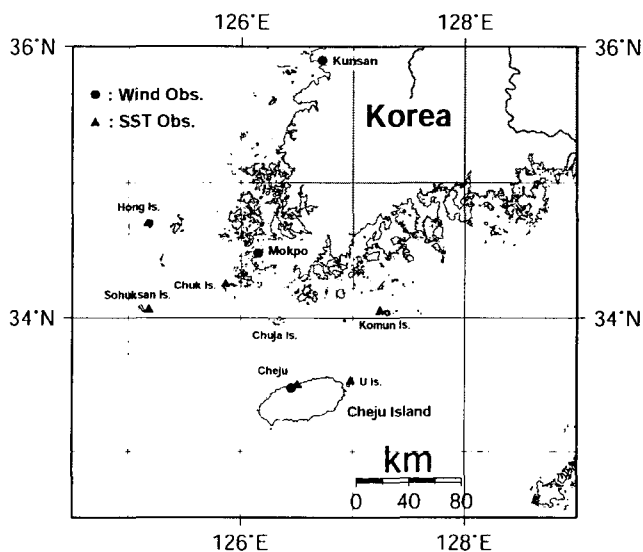


Fig. 4. SST observing stations (▲) by KODC and the wind observing stations (●) by KMA.

유입되는 현상 등에 대하여 동시 공간적으로 분석하였다.

## 결 과

### 1. 동계 제주해협의 해황

#### 1) 제주해협 해황 (1998년 3월 16~17일)

1998년 3월 16~17일에 제주해협에서 관측된 표층, 10 m, 50 m 및 저층에 대한 수온, 염분, 밀도의 수평분포를 Fig. 5에 나타냈다.

표층은 제주도 북서쪽의 Sta. 5를 중심으로  $10^{\circ}\text{C}$  이하 · 32.80 psu ·  $\sigma_t$  25.3의 최저수온 · 최저염분 · 저밀도수가 출현하여 제주해협 서쪽입구를 통하여 해협내로 영향을 미치고 있으며, 이 해수의 영향으로 제주도 북서쪽 해역에 폭넓게 분포했던  $13.0^{\circ}\text{C}$  · 34.00 psu ·  $\sigma_t$  25.6의 고온 · 고염 · 고밀도의 대마난류수가 제주도 북서쪽 연안역으로 축소되면서 두수과의 경계역에 전선대가 조밀하게 형성되었다. 그리고, 추자도 북쪽 해역에는  $12.0^{\circ}\text{C}$  이하 · 34.0 psu 이상 ·  $\sigma_t$  25.8 이상의 저온 · 고염 · 고밀도수가 출현하였고, 제주도 북쪽 해역 및 제주해협의 동쪽입구는  $13.0^{\circ}\text{C}$  · 34.0 psu ·  $\sigma_t$  25.6의 고온 · 고염 · 고밀도의 대마난류수가 영향을 미치고 있으며, 추자도와 보길도 사이 해역에서는  $12.0^{\circ}\text{C}$  이하 · 34.0 psu 이상 ·  $\sigma_t$  25.8 이상의 저온 · 고염 · 고밀도수가 제주해협에 영향을 미치고 있어 동계의 해황이 다소 복잡한 양상을 나타내며, 이들 해수들의 경계역에 전선대가 형성되었다.

수심 10 m층의 수온 · 염분 · 밀도분포는 표층과 같이 Sta. 5를 중심으로  $9.0^{\circ}\text{C}$  이하 · 33.20 psu ·  $\sigma_t$  25.6의 분포로 이는 표층보다 수온이 약  $1^{\circ}\text{C}$  낮고, 염분이 0.40 psu 높은 상태이며, 밀도도 0.3 높은 분포를 나타내 표층과 비교해 볼 때 저온 · 고염 · 고밀도의 분포를 보였다. 제주도 북쪽 연안역 및 제주해협의 동쪽입구는 표층과 같이  $13.0^{\circ}\text{C}$  이상 · 34.0 psu 이상 ·  $\sigma_t$  25.6 이상의 고온 · 고염 · 고밀도의 대마난류수가 영향을 미쳤으며 또한, 추자도와 보길도 사이 해역에는  $12.0^{\circ}\text{C}$  이하 · 34.0 psu 이하 ·  $\sigma_t$  25.8 이상의 저온 · 저염 · 고밀도의 한국남해연안수가 분포하는 해역으로 판단된다.

수심 50 m층 및 저층의 수온 · 염분 · 밀도분포는 10 m층과 같이 거의 유사한 형태를 나타냈고, Sta. 5의 저온 · 저염분수는 10 m층에서 저층까지 출현하는 특징을 보였다.

이상의 1998년 3월 16~17일에 조사된 제주해협의 해황은 해협 서쪽입구 중앙부를 통하여 저온 · 저염의 저밀도수가 설상으로 제주해협에 영향을 미치면서 제주도 서방해역을 통하여 제주해협내로 유입되는 혼합수 계열의 대마난류수를 남동쪽으로 밀어내며 주변해수와 경계역에서 조밀한 전선대를 형성하였다. 특히 이러한 전선대는 제주도 북서쪽해역에서 조밀한 분포를 보였다.

#### 2) 제주도 북서부 해역의 해황 (1998년 3월 30~31일)

1998년 3월 16~17일 제주해협 서쪽입구의 중앙해역에 출현한 저온 · 저염 · 저밀도수의 기원 및 거동특성을 파악하기 위하여, 1998년 3월 30~31일의 제주도 북서부 해역의 광역에 대한 조사 결과를 Fig. 6에 나타냈다.

표층의 수온 · 염분 · 밀도는 황해남부해역인 Sta. 12에  $9^{\circ}\text{C}$  이하 · 33.00 psu ·  $\sigma_t$  25.5 이상의 저온 · 고염 · 고밀도수가 분포하고

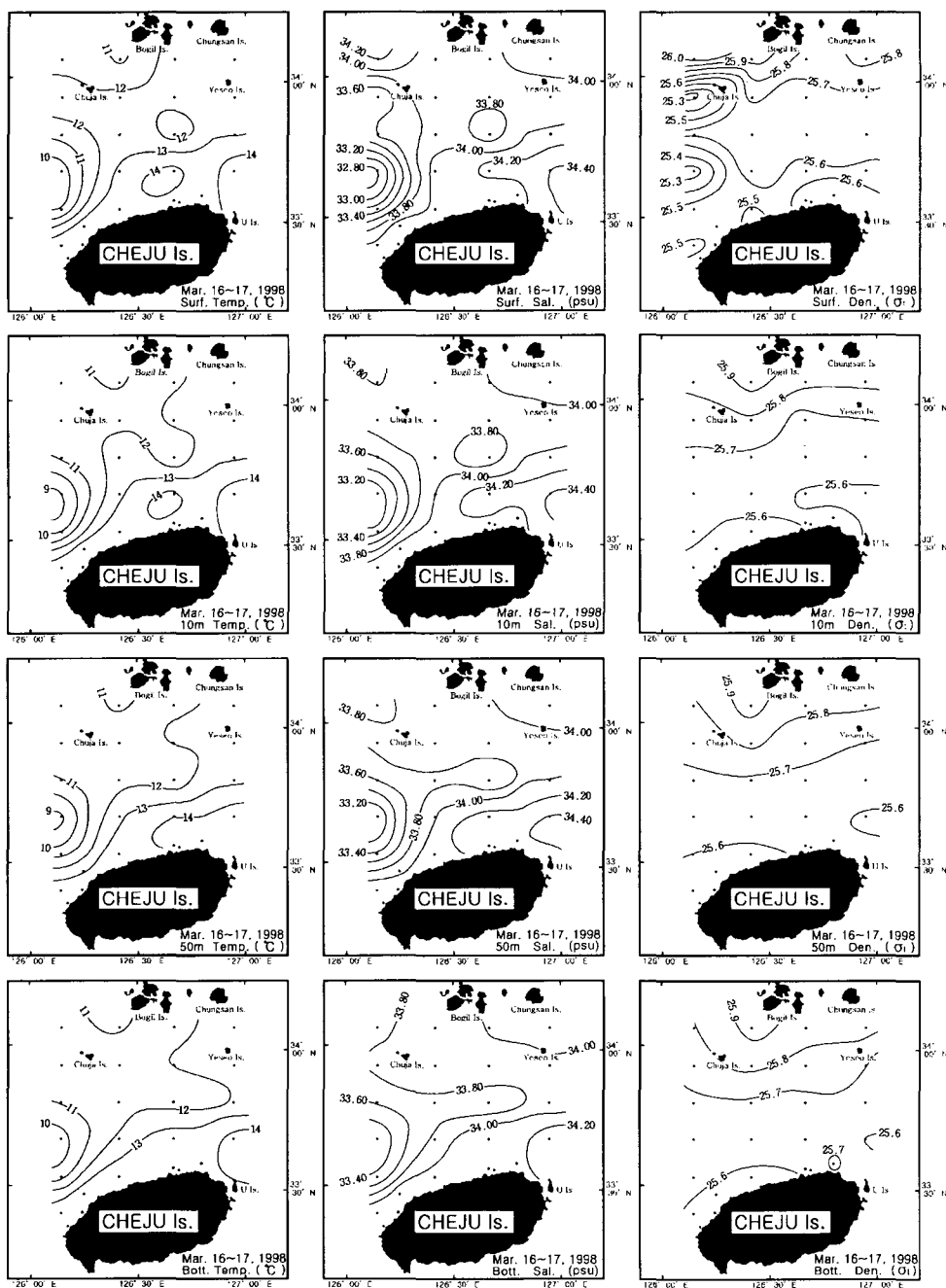


Fig. 5. Horizontal distributions of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity (psu) and density ( $\sigma_t$ ) at the surface, 10 m, 50 m and bottom in March 16~17, 1998.

있는데 반하여, 남쪽해역인 Sta. 23에서는  $11^{\circ}\text{C} \cdot 32.60 \text{ psu} \cdot \sigma_t 24.7$ 의 저온·저염·저밀도수가 Eddy의 형태로 분포하여, 3월 중순 제주해협에 출현한 최저 염분수의 염분보다 약 0.2 psu 낮은 상태를 나타냈다. 또한 저밀도수 ( $\sigma_t 24.7$ )는 Sta. 24의 최저염분수가 출현한 해역에 Eddy 형태로 나타났다. 이와 같은 저온·저염·저밀도수에 의해 제주도 서방해역에서의 해황은, 동계에 제주도 서쪽해역을 통하여 제주해협내로 유입되는 대만난류수를 제주도 서쪽 60 mile 부근해역 (Sta. 26)에  $13^{\circ}\text{C} \cdot 33.60 \text{ psu} \cdot \sigma_t 25.2$ 의 수온·염분·밀도분포를 나타내는 해수와 제주도 북서쪽 연안역의  $14^{\circ}\text{C} \cdot$

$34.40 \text{ psu} \cdot \sigma_t 25.6$  이상의 분포를 나타내는 해수를 갈라놓는 것과 같은 형상을 하고 있고, 이 저온·저염·저밀도수가 제주도 북서쪽해역에서는 제주해협내로 유입되는 고온·고염의 대만난류수를 제주도 연안역으로 밀어 붙이면서 그 경계역에 조밀한 수온·염분·밀도 전선대를 형성시키고 있다. 이는 3월초의 제주해협내의 조사 결과에서 제주해협 서쪽입구 중앙부에 출현한 저온·저염의 저밀도수가 조금 더 남동쪽으로 밀려내려 오면서 확장되어 제주도 북서쪽 연안역에서 조밀한 수온·염분·밀도전선대를 형성한 것으로 보인다.

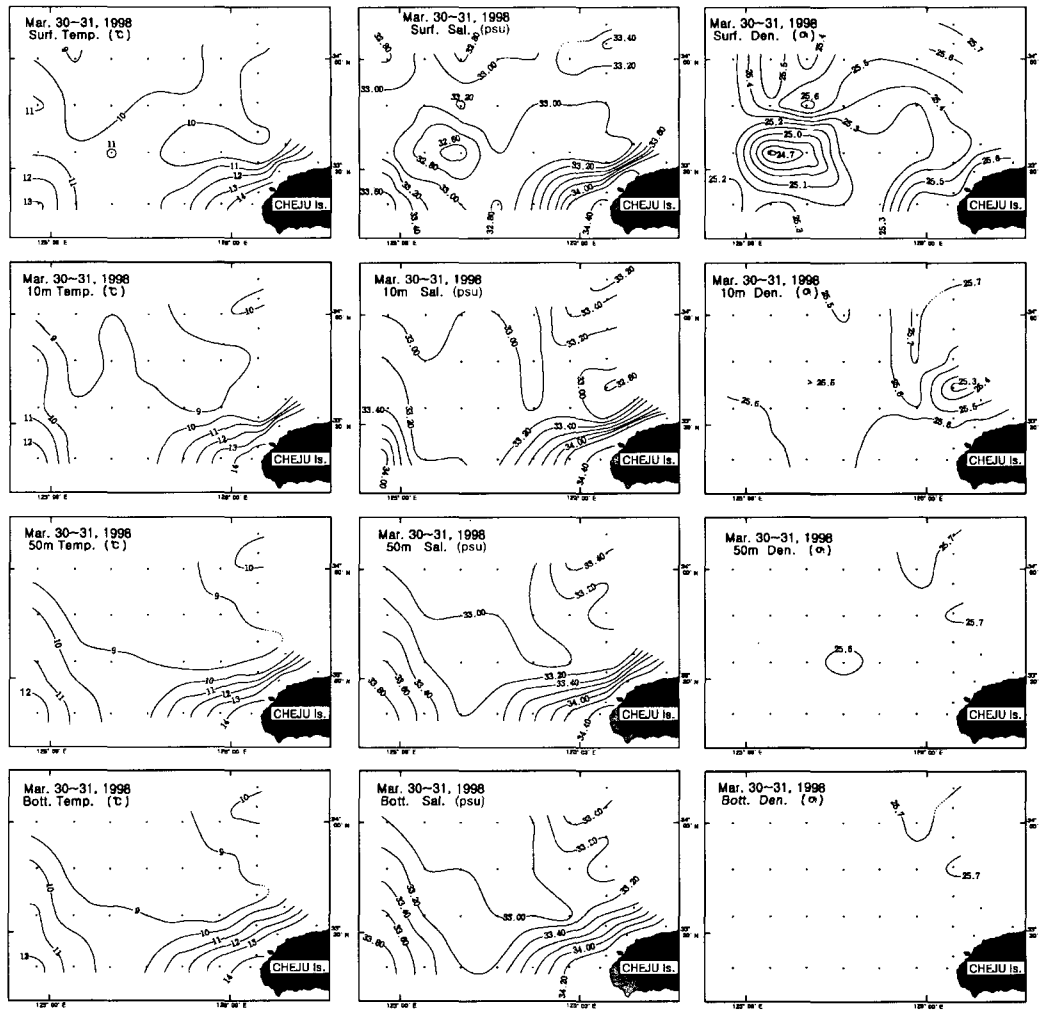


Fig. 6. Horizontal distributions of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity (psu) and density ( $\sigma_t$ ) at the surface, 10 m, 50 m and bottom in March 30~31, 1998.

10 m 및 50 m · 저층의 해황은 표층의 제주도 북서쪽 Sta. 12에서 국지적으로 출현한  $9^{\circ}\text{C}$ 의 최저수온수가 10 m 이심층에서는 광범위하게 제주도 북서쪽해역까지 설상으로 분포하면서 남·남동방향으로 확장하고 있으며, 최저수온역의 염분은 33.0 psu였다. 10 m층에서의 최저염분은 32.80 psu로 제주도 북서쪽 (Sta. 3)에서 출현하였으며, 이때  $\sigma_t$  25.3의 최저밀도가 출현하여 표층에서와 같이 최저염분역에 저밀도수가 출현하는 특성을 나타내어, 표층에서는 저밀도수가 제주도 북서쪽 외해역 (Sta. 23)에 출현하였으나 10 m층에서는 Sta. 3에 출현하여 제주도 북서쪽에서 Eddy 형태로 연안역에 영향을 미치고 있다.

이상의 1998년 3월 30~31일의 제주도 북서쪽해역의 해황은 황해남부역에서 저온·저염의 저밀도수가 남쪽해역으로 확장하면서 표층과 10 m층에서는 Eddy의 형태로 잔존되어 제주도 북쪽해역에 나타나며, 10 m 이심층에서는 출현하지 않았다. 중·저층에서는 저온수가 광범위한 영역에 걸쳐 남동쪽으로 설상으로 확장하면서 제주도 서쪽 60 mile 부근해역의 외해수 (고온·고염분수)와 제주도 북서쪽의 대마난류수를 갈라놓는 것과 같은 형태를 하면서 경계역에는 조밀한 수온·염분·밀도전선대가 형성되었다. 특히, 이

최저염분이 출현한 위치에 저밀도가 나타남으로써 주변해수보다 상대적으로 낮은 염분을 나타내는 해역에 저밀도수가 출현하고 있음을 보여주고 있다. 또한 제주도 북서쪽 50 mile 해역의 표층에서 출현했던 최저염분·최저밀도수는 10 m층에서는 제주도 북서쪽 13 mile 떨어진 Sta. 3에서 출현하여 3월 중순보다 더욱 남하하여 제주도 북부연안역에 더 가까이 영향을 미친 것으로 판단된다.

### 3) 제주해협 해황 (1998년 4월 20~21일)

1998년 3월 30~31일의 조사가 있던 20일 후인 4월 20~21일의 제주해협에서 관측된 결과를 Fig. 7에 나타냈다. 표층 해황은 제주해협의 서쪽입구를 통하여 제주해협내로 유입된  $16^{\circ}\text{C} \cdot 34.20$  psu 이상의 대마난류수가 제주도 북쪽연안으로부터 해협의 중앙해역까지 폭넓게 영향을 미치고 있으며, 최저수온과 염분은  $12.0^{\circ}\text{C} \cdot 33.20$  psu로 추자도 북서쪽 및 보길도 남쪽해역의 한국 남해안 연안역에서 출현하여 3월 중순보다 수온이 상승하였다. 또한 Sta. 6과 13을 중심으로  $\sigma_t$  25.1의 저밀도수가 분포하고 있으며, 제주도 북동쪽해역 (Sta. 13)의 저밀도수는 수온과 염분이  $16.0^{\circ}\text{C} \cdot 34.20$  psu 이상으로 3월 중순과 말경의 저밀도수와 비교해 볼 때 수온과 염분이 상승

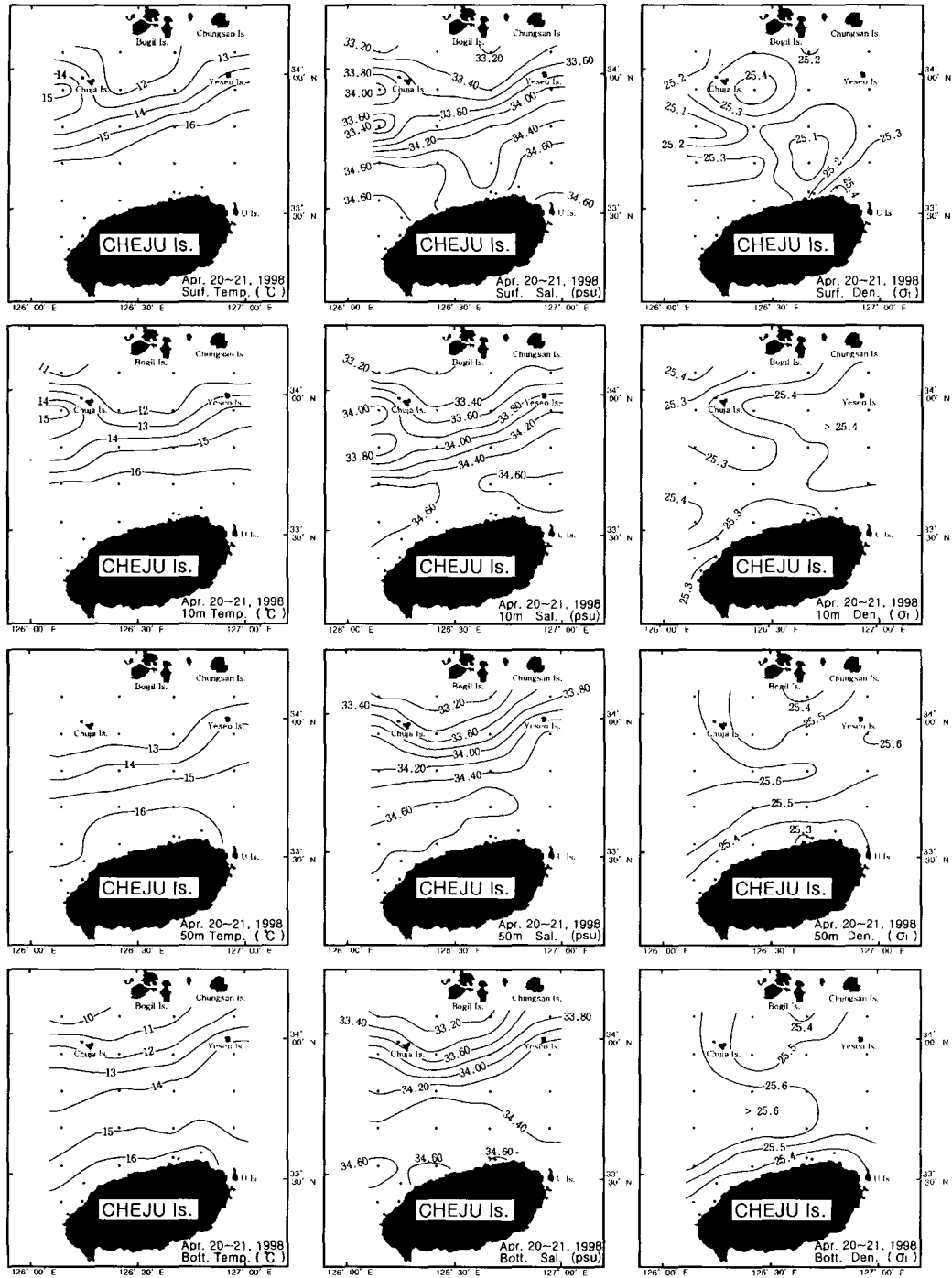


Fig. 7. Horizontal distributions of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity (psu) and density ( $\sigma_t$ ) at the surface, 10 m, 50 m and bottom in April 20~21, 1998.

하여 3월 중순과 말경의 조사에서 제주도 북서쪽해역에 출현했던 저밀도수가 서서히 제주도 북동쪽해역으로 확장되면서 혼합되어 나타남 현상으로 이는 염분분포에서 제주도 북쪽해역의 34.40 psu 해수가 Eddy의 형태로 제주도 북동쪽 (Sta. 13, 23)으로 확장하고 있는 형상으로 나타났다.

10 m, 50 m 및 저층은 한국남해안역의 저온·저염분수와 제주도

북부해역의 대마난류수 사이에 수온·염분전선대가 형성되고, 대체로 3월보다는 수온과 염분이 상승한 상태였다.

이상의 1998년 4월 20~21일의 제주해협에서의 해황은 제주해협의 서쪽입구를 통하여 제주해협내로 유입되는 대마난류수가 강하게 영향을 미쳐, 3월에 제주해협 서쪽에 출현했던 저온·저염의 저밀도수가 추자도서쪽으로 축소되어 나타났으며, 일부는 제주도

북동쪽해역까지 확장되면서 주변 해수와 혼합에 의해 수온과 염분이 상승한 것으로 사료된다. 따라서 제주해협 서쪽입구에 출현했던 저밀도수는 시간의 경과와 함께 축소되었으며, 일부는 남동쪽으로 확장하며 제주도 북쪽 연안역에 영향을 미치고 있는 것으로 사료되어진다.

2. 저밀도수의 연직특성

1998년 3월 16~17일의 해황조사에 대한 연직단면도를 Fig. 8에 나타냈다. 제주해협에서는 연직적으로 거의 균질한 해황을 나타내나, 제주해협 서쪽입구 단면 I의 Sta. 5를 중심으로 9°C·33.20 psu의 저온·저염분수가 유입된 형상을 하고 있어 이 저온·저염분수에 기인한 저밀도수 ( $\sigma_t$  25.3)가 Sta. 5와 7의 표층에 출현하였다. 제주해협의 동쪽 중앙단면 (단면 II)에서는 제주도 북부연안역을 따라 동쪽으로 유출되는 고온·고염분인 대마난류수가 폭넓게 분포하

면서 Sta. 13과 14의 경계역에서 수온·염분전선이 출현하였고, Sta. 13에  $\sigma_t$  25.6의 상대적으로 낮은 저밀도수가 Sta. 13의 표층에 출현한 것을 제외하면 단면 I에 출현했던 저온·저염의 특성을 갖는 저밀도수가 해협의 중앙역까지는 출현하지 않는 것으로 판단된다. 그러나 동서로 가로지르는 연직단면 III에 대한 수온·염분·밀도분포를 보면 제주해협 서쪽입구의 중앙 (Sta. 5)에 중심이 있는 저밀도수는 표층을 따라 동쪽으로 확장되고 있는 형태를 하고 있다.

1998년 3월 30~31일의 해황조사에 대한 연직단면도를 Fig. 9에 나타냈다. 3월 중순 (3월 16~17일의 결과)에 제주해협의 중앙해역에 출현한 저온·저염의 저밀도수가, 제주해협 서쪽입구 남북단면 (단면 IV)에서는 Sta. 3의 10m층에 중심을 두고서 20m 이천층에 분포하며 시간의 경과와 함께 제주도 북서쪽 해역으로 남하 확장하고 있는 것으로 보이며, 황해남동부해역에서 제주도쪽으로

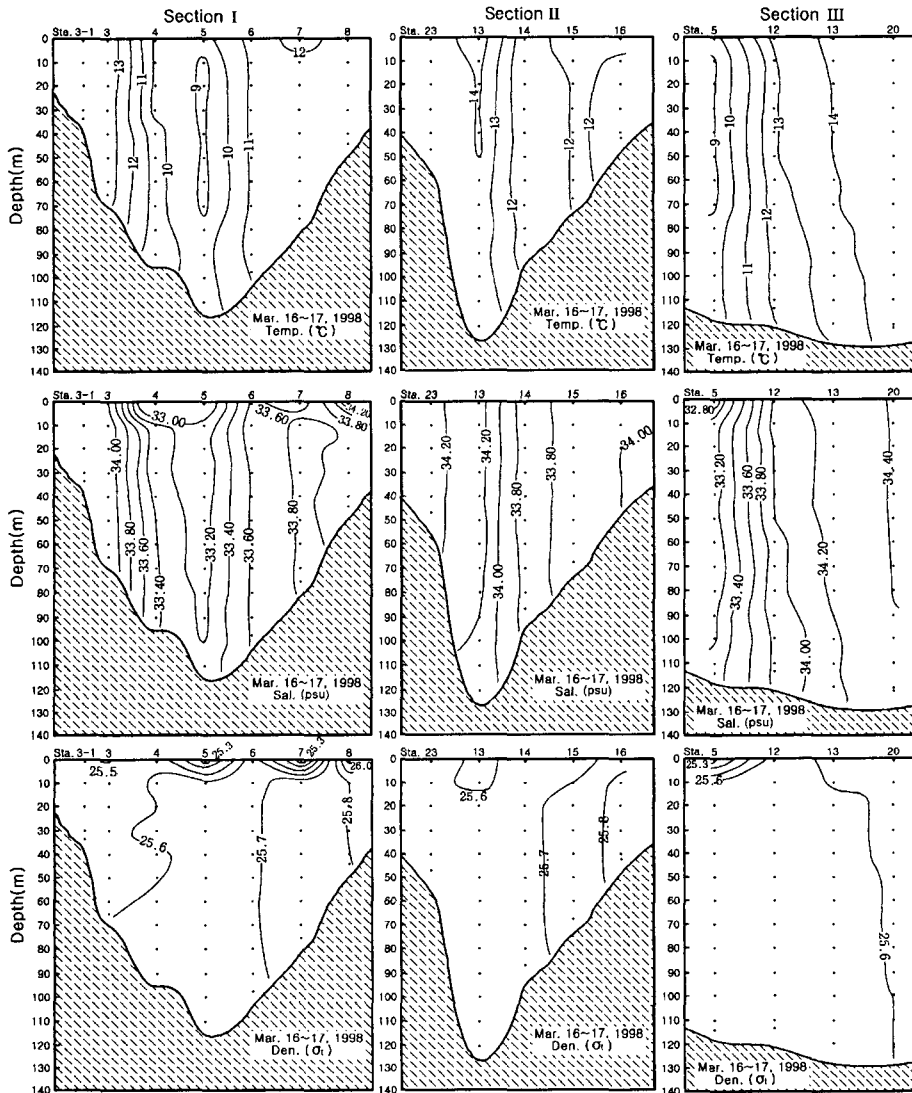


Fig. 8. Vertical distributions of temperature (°C), salinity (psu) and density ( $\sigma_t$ ) along section I, II, III in March 16~17, 1998.

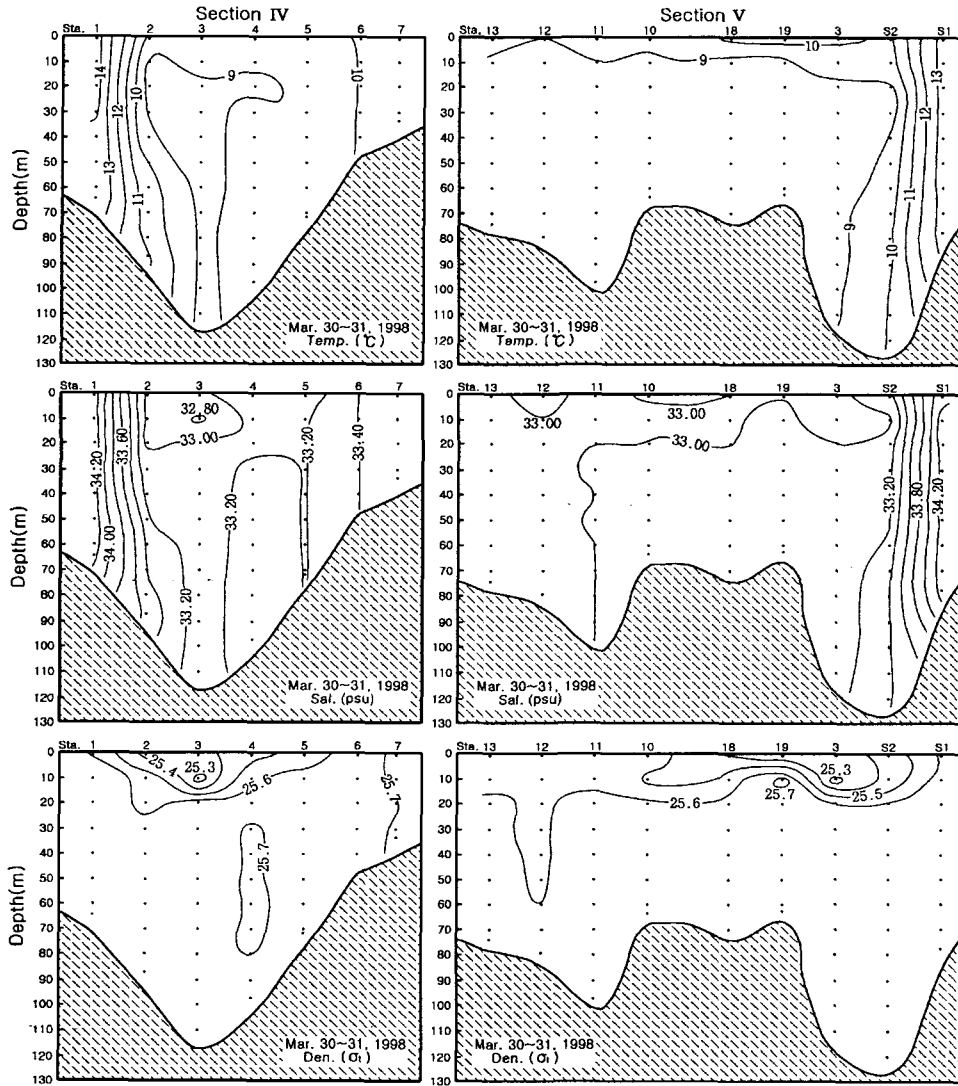


Fig. 9. Vertical distributions of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity (psu) and density ( $\sigma_t$ ) along section IV, V in March 30~31, 1998.

연결한 단면 V에서도 저밀도수의 거동이 Sta. 18, 19, 3, S2, S1 쪽으로 이동해가고 있는 형상을 하고 있는 것으로 보아 제주도 북부연안역에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

1998년 4월 20~21일에 대한 제주해협내의 연직단면도를 Fig. 10에 나타냈다. 4월 중순에도 제주해협은 연직적으로 균질한 해황을 보이고 있고, 제주해협의 중앙부근해역까지 대마난류수가 폭넓게 분포하고 있으며 한국남해안 해역에 위치한 저온·저염의 한국남해안연안수와와의 사이에 수온, 염분전선이 연직적으로 형성되어 있다. 제주해협 서쪽입구단면(단면 I)의 Sta. 6에 다소 저온·저염의 저밀도수 ( $\sigma_t$  25.1)가 분포해 있는 반면, 제주해협의 동쪽 중앙단면(단면 II)에는 제주해협 서쪽입구단면에서 출현한 것과 같은  $\sigma_t$  25.1의 저밀도수가 제주도 북동쪽 해역으로 유입되어 주위 해수와 혼합되며 상대적으로 고온·고염한 특성을 반영하는 것으로 판단된다. 또한 동서단면(단면 III)에서도 Sta. 13을 중

심으로 저밀도수가 분포하여 3월 중순과 말경의 연직단면도에서 제주도 서방해역에 있던 저밀도수가 동쪽으로 이동한 형태의 연직단면도를 하고 있다.

이상의 연직단면에 대한 정리를 하면 수평분포도와 같이 제주해협 서쪽입구에서 3월 중순에 출현한 저온·저염의 저밀도수는 10 m층을 중심축으로 하여 20 m 이천층에 분포를 하며 제주해협의 동쪽으로 확장되는 특성을 나타냈고, 시간의 경과와 함께 주위 해수와 혼합에 의해 수온과 염분이 상승하였으며 제주도 북동쪽 연안역까지 확장되고 있었다.

### 고찰

#### 1. 저온수의 거동특성

3월 중순부터 4월 초순에 걸쳐 저온·저염의 특성을 갖고 있

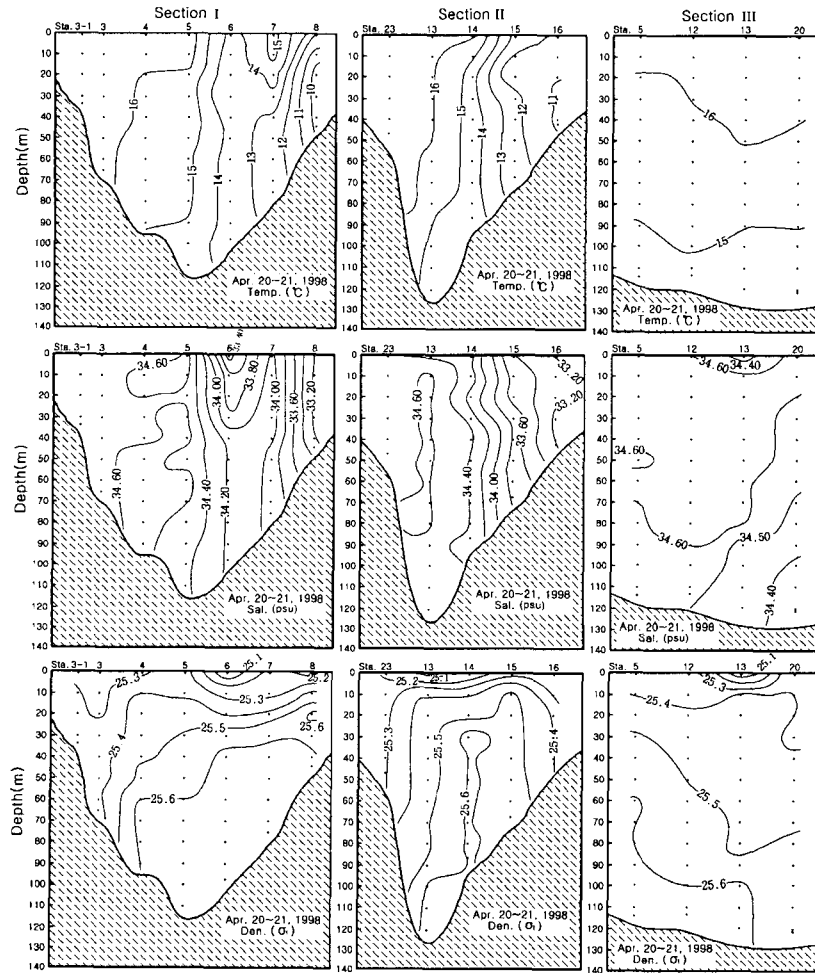


Fig. 10. Vertical distributions of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity (psu) and density ( $\sigma_t$ ) along section I, II, III in April 20~21, 1998.

는 저밀도수가 제주해협 중앙해역에 출현한 후 시간의 경과와 함께 제주도 북서쪽해역의 연안역으로 유입되어 영향을 미치고 있는 현상이 파악되었다. 따라서 이러한 저온·저염의 저밀도수 거동특성을 한국해양연구원 (KORDI, 1998)에서 약 일주일간의 NOAA 인공위성 표면수온 (SST) 화상을 합성하여 분석한 표면수온화상 자료를 Time Series 형식으로 그 변화 양상을 추적하였다 (Fig. 11).

1998년 2월의 경우 황해냉수의 확장범위가 황해남부해역으로 확장하여 추자도 북서쪽 해역까지 남하하여 영향을 미치고 있으며 제주도 북서쪽해역의 대마난류수와 의 경계역에서 동서방향의 수온전선을 형성하였다. 3월에 접어들면서 동계 표층으로부터 냉각작용이 진전됨과 동시에 북서계절풍의 영향으로 황해냉수의 확장범위가 점차 넓어져 제주도 북서쪽해역 가까이까지 남동쪽으로 영향을 미쳤다. 이러한 현상은 지속적인 동계 북서계절풍의 영향으로 점차 남동쪽으로 확장하여 1998년 3월 23~29일의 화상에서는 제주도 북동쪽연안역에 접안하여 연안역에 영향을 미치고 있다. 이러한 현상은 1998년 4월 6~10일의 화상자료에서 보는 바와

같이 4월 초순까지 지속되어 제주도 북동쪽 및 동쪽의 연안천해역에 잔존해 있으며, 그 후 2월에 위치해 있던 추자도 북서쪽해역까지 축소되어 있음을 인공위성화상자료를 통하여 볼 수 있었다.

인공위성화상에서 본 바와 같이 제주도 북동쪽연안역에 영향을 미치는 저온수의 특성은 해양분석결과에서 서술한 저온·저염분·저밀도의 특성을 갖고 있으며, 표층으로부터 수심 약 20m까지의 표층을 따라 남동쪽으로 확장하여 제주도 북쪽의 연안역까지 영향을 미치는 취송류로 판단된다. 이 저온·저염의 저밀도수의 거동특성은 동계가 접어드는 11월, 12월, 익년 1월, 2월의 동계 전 기간에 걸쳐 남동쪽으로 확장되는 것이 아니라 동계상황의 지속적인 진전으로 황해남부해역까지 저온수의 확장역이 가장 넓어지는 3월경에 어떤 의력, 즉 북서계절풍의 영향으로 일시적으로 표층을 따라 제주도 북부연안역에 영향을 미쳤다.

이러한 사실을 뒷받침하는 것으로 1997년 12월 1일부터 1998년 5월 31일까지의 시간대별 균산, 목포 및 제주기상대에서 관측된 풍향·풍속자료를 Fig. 12에 나타내어 분석하여 보았다. 동계 북서계절풍의 영향을 직접적으로 받는 세 지역 중 목포쪽이 균산과



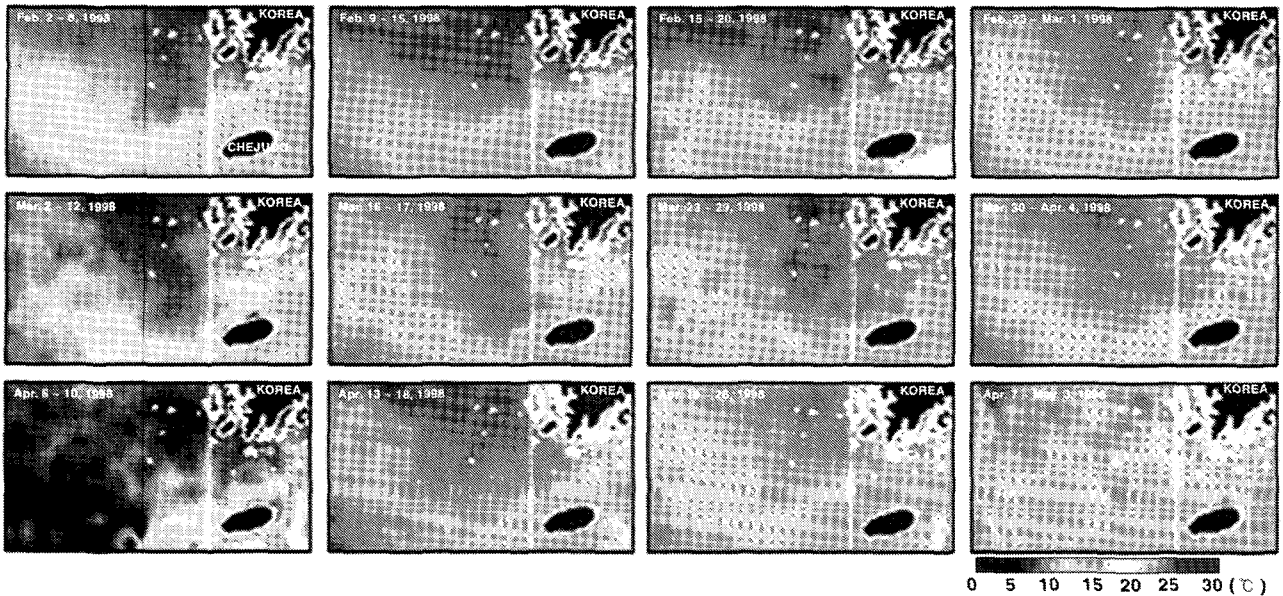


Fig. 11. Weekly SST (°C) variations using the images of NOAA-12 from KORDI (1998).

제주기상대에 비하여 풍향이 장시간 일정한 방향으로 계속 불었고 전반적으로 강한 풍속을 나타내었으며, 해양 분석 자료와 같이 저온·저염분의 저밀도수가 황해남부해역에 위치해 있어 이 해수의 거동 특성을 좌우하는 것은 목포쪽 기상이라 사료되며 목포기상대의 풍향·풍속자료를 비교해 보면, 1997년 12월, 1998년 1, 2월 및 3월의 초순까지도 강한 북서계절풍이 관측되었으나 저온·저염분의 저밀도수가 충분히 성숙하지 못하여 더 이상 추자도 남쪽해역으로 확장하지 못하였다. 그러나 3월 18일~19일경에는 일시적으로 남동풍 계열로 바뀌어 불었으나, 1998년 3월 11일경부터 불기 시작한 북서계절풍이 16~17일간 지속적으로 강하게 불어 황해역에 중심이 있으면서 추자도 부근해역까지 확장의 정도가 가장 커진 저온·저염분의 저밀도수가 북서계절풍에 의해 남동쪽으로 확장하여 약 4월 초순까지 간헐적으로 제주도 연안역에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이런 현상은 동계 황해냉수의 동중국해 북부해역으로의 남하가 북서계절풍이 강한 해는 나타나고 그렇지 않은 해는 다소 축소된다는 보고 (Otsuka, 1964; Asaoka and Moriyasu, 1966; Nakao, 1977)에 비추어 볼 때, 북서계절풍이 황해남부역에 중심이 있는 해수를 제주도 연안역까지 공급되게 하는 원인으로 사료된다. 또한 Nakao (1977)는 황해냉수 뿐만 아니라 황해저층냉수의 수온 연변동에 따른 남하에 있어서도 동계의 북서계절풍이 상당히 관련이 있음을 지적하기도 하였다.

이러한 외해수의 연안해역 유입상황을 SST변화로부터 파악하기 위하여 1998년의 한국남서해역의 흥도, 소흑산도, 죽도 및 제주(산지), 거문도, 우도 연안 정지관측점에서 관측된 수온 자료를 토대로 연구기간 동안에 평균 SST에 대한 변화곡선을 Fig. 13에 나타냈다. 지역별 SST변화를 보면 저온·저염·저밀도수가 영향을 미쳤던 1998년 3월 20일경의 사선을 경계로 한국남서해역의 흥도, 소흑산도 및 죽도와 제주도 동쪽해역인 우도 해역의 SST변화는 1월, 2월 및 3월 20일 전후로 하여 별다른 변화가 없는 완만

한 곡선을 나타내어 한국남서해역의 흥도, 소흑산도, 죽도 해역은 동계 황해냉수의 영향을 직접적으로 받는 곳으로서 그 변화 양상이 완만하게 나타나는 것이라 판단되며, 또한 제주도 우도에서의 SST변화도 대마난류수의 영향을 직접 받는 해역으로 이와 같이 완만하게 나타난 것이라 판단이 된다. 그러나, 제주(산지)의 연안 정지관측점은 제주도 서쪽을 거쳐 제주해협을 통과하여 유입되는 고온·고염의 대마난류수가 통과하는 해역임에도 불구하고 그 변화 양상이 상당히 요철을 보이는 파동현상이 나타나고 있음을 볼 수 있는데, 이처럼 동계에 SST의 변화가 심하게 나타나는 것은 1998년 3월 20일을 경계로 약 10일 동안 지속적으로 이 해역에 다른 외해수 즉, 저온·저염의 저밀도수가 Ekman 수송되어 이 해수의 영향을 간헐적으로 받고 있기 때문에 나타나는 현상이라 할 수 있다. 이러한 저온·저염분의 저밀도수의 이동은 제주를 통과하여 거문도해역으로 통과하는 것과 같은 phase를 나타내었고, 우도해역에서는 이와 같은 변화양상이 4월초에 약간 나타났을 뿐이다.

2. 저온·저염분수의 제주도 연안천해역 출현특성

저온·저염분의 특성을 갖고 있는 저밀도수의 연안접근 정도를 파악하기 위하여 Fig. 3의 제주도 주변 연안천해역에서 1998년 3월 15일에 관측된 자료를 Fig. 14에 나타냈다. Fig. 12의 풍향·풍속 자료에서도 살펴본 바와 같이 1998년 3월 11일경부터 북서계절풍이 강하게 불기 시작하였으므로 관측일인 3월 15일경에는 저온·저염분수가 제주도 주변 연안천해역의 어느 곳에는 영향을 미칠 것으로 판단이 된다. 따라서, Fig. 14에서 보는 바와 같이 저온·저염분수가 출현하는 연안천해역은 크게 3곳으로 대별할 수 있는데, 그 첫째는 표선, 태홍의 저온수 및 온평, 태홍에 저염분수가 출현하는 연안천해역, 둘째, 화순, 모슬포, 고산, 신창, 한림의 순으로 수온이 점차로 상승하면서 저온상을 나타내는 연안천해역, 셋

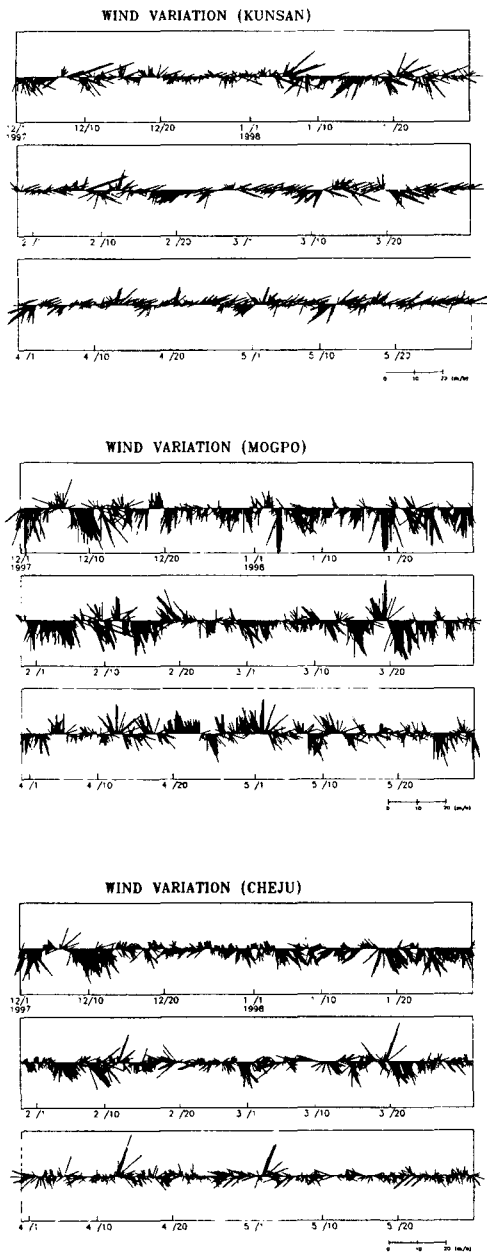


Fig. 12. Temporal variation in hourly wind vector at the Kunsan, Mogpo and Cheju from December 1997 to May 1998.

제, 제주도의 북쪽 연안천해역인 도두에서부터 제주항, 조천, 김녕의 순으로 수온과 염분이 점진적으로 떨어지기 시작하는 phase를 보이면서 세화, 하도에서 가장 낮은 수온 (12.1°C)을 나타내는 저온수 출현 해역으로 구분할 수 있다.

첫 번째 표선과 태흥 등에서의 저온수 및 온평, 태흥 연안 천해역에서의 저염분 출현현상은 제주도 주변 연안 천해역에서의 지역 특성을 나타내는 해역 (Ko, 2000)으로 저온·저염분수의 출현과는 다소 관계가 적은 해역이라 사료된다. 그러나, 두 번째 제주도 연안천해역에서의 변화경향은 Fig. 5에서 살펴본 바와 같이 제주도

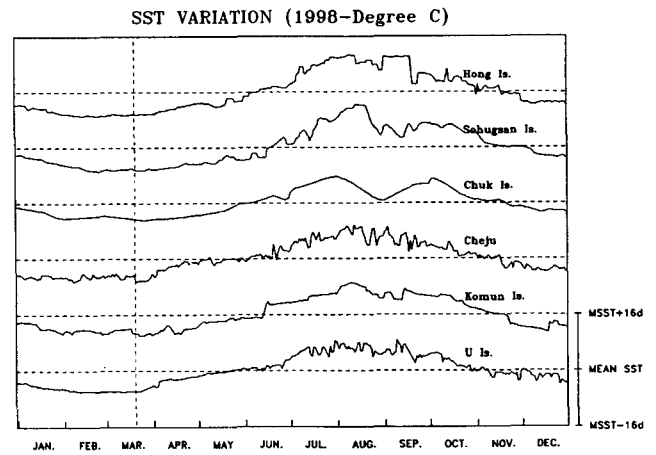


Fig. 13. SST variation at the Hong Is., Sohugan Is., Chuk Is., Cheju, Komun Is. and U Is. in 1998.

북서쪽 약 20 mile 해역에 위치해 있던 저온·저염의 저밀도수가 이 시기의 북서계절풍에 의해 남쪽으로 취송된 후, 제주도 서방해역을 우회하여 제주해협 서쪽입구로 유입되는 대마난류수에 편승하여 제주도 남서쪽 연안천해역인 화순, 모슬포, 고산, 신창, 한림의 순으로 유동되며 이와 같은 수온변화 경향을 보이고 있으며, 대마난류수의 영향으로 염분도 다소 높게 나타나는 것으로 사료된다. 이처럼 제주도 남서쪽 연안천해역부터 낮은 수온분포를 나타내는 것은 Fig. 11의 1998년 3월 2~12일 NOAA 인공위성 표면수온 (SST) 화상 자료에서도 3월 2~12일 이전의 제주도 북서쪽 외해역에 위치해 있던 저온수가 시간의 경과와 함께 남동쪽으로 이동되는 변화 경향에서도 이러한 사실을 뒷받침해 주고 있다. 세 번째 수온변화 경향은 제주도 북쪽 연안 천해역인 도두에서부터 조천, 김녕까지는 수온 및 염분이 점차로 하강하여 저온·저염한 저밀도수의 영향을 받아 저온·저염상을 나타낸 것으로 Fig. 11의 NOAA 인공위성 표면수온 (SST) 화상자료에서도 제주시를 중심으로 제주도 북부 연안천해역에 저온수의 유입양상을 볼 수 있고, 반면에 세화, 하도에서 가장 낮은 수온을 나타내지만 염분이 김녕보다 약 0.4 psu 높은 염분을 나타내 이곳 연안천해역이 저온·저염분수의 출현현상과는 차이를 보임으로써 저밀도수의 영향을 받았지만 이와 같은 현상을 나타내는 것인지, 혹은 Ko (2000)의 연구결과에서도 지적한 것과 같이 세화, 하도 주변 연안천해역에 동계뿐만 아니라 다른 계절에도 저온수 현상이 자주 출현하여 연안천해역의 특성을 나타냈는지 등, 이 지역에 대한 세밀한 조사·분석이 필요하다고 사료된다.

### 요 약

황해남부해역에 근원을 갖고 있는 저온·저염의 저밀도수가 춘계인 1998년 3월 중순부터 4월 초순까지 표층에서부터 약 20 m층까지 분포하며 연취되는 북서계절풍에 편승하여 제주도 연안천해역으로 Ekman 수송되어 제주도 북부 연안천해역에 영향을 미쳤다. 따라서 이러한 자료의 축적을 통하여 해양환경의 Realtime

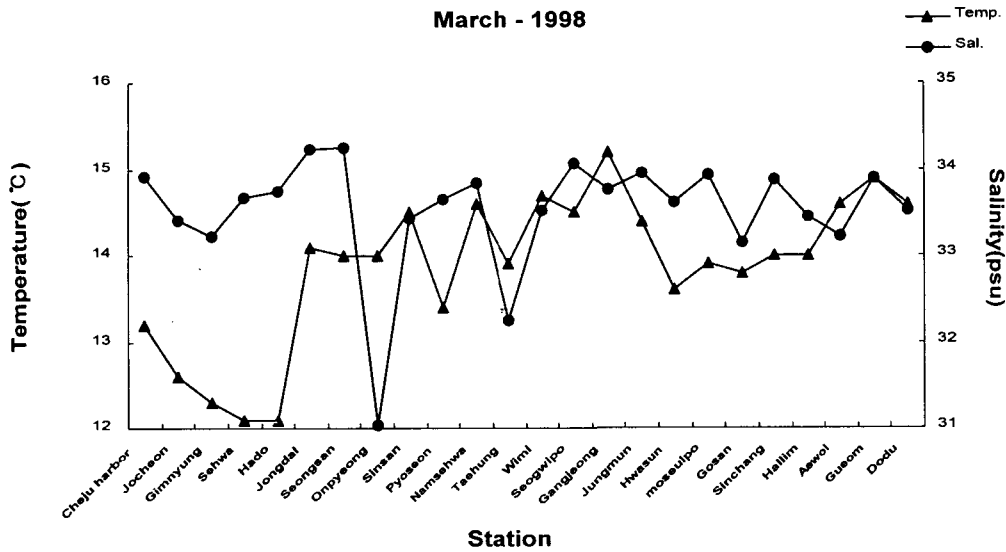


Fig. 14. Variation of temperature (°C) and salinity (psu) in the coastal sea of Cheju Island in March 15, 1998.

monitoring을 위한 기초자료의 제공과 어·해황예보의 정도를 향상시킬 수 있는 중요한 자료를 제공하게 된다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단 1999년 하반기 해외 Post-Doc. 과정의 연구논문 중 일부분으로 지원을 아끼지 않으신 한국과학재단 관계자 여러분에게 감사드리며, 본 연구의 조사를 가능하게 해주신 제주도청 소속 어업지도선 삼다호 선장님 이하 선원여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

Asaoka, T. and S. Moriyasu. 1966. On the circulation in the East China Sea and the Yellow Sea in winter (Preliminary Report). *Oceanogr. Mag.*, 18, 73~81.  
 Kim, S.H., H.K. Rho and C.M. Choi. 1998. A study of the hydrographic conditions and tidal front on the northern coastal area

of Cheju Island. *J. Korean Fish. Soc.*, 31, 437~446 (in Korean).  
 Kim, S.H. and H.K. Rho. 1997a. A study on the residual current in the Cheju strait. *J. Korean Fish. Soc.*, 30, 759~770 (in Korean).  
 Kim, S.H. and H.K. Rho. 1997b. Characteristics of hydrographic conditions of the Cheju strait in winter. *Bull. Mar. Res. Ins. Cheju National University*, 21, 65~73 (in Korean).  
 Ko, J.C. 2000. Study on the Characteristic of the Marine Environments and Fluctuation of Fishing Conditions at the Set Net in the Coastal Area of Jeju Island. M. S. Thesis, Cheju National Univ., pp. 91.  
 KORDI. 1998. NOAA Sea Surface Temperature, Composite SST.  
 Nakao, T. 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. mar. Sci. Technol. Tokai Univ. Spec. No. Nov.*, 199~364.  
 Otsuka, K. 1964. On the unusual low temperature in the East China Sea in winter of 1963 - Discussed from the heat balance. *J. met. Res.*, 16, 14~21 (in Japanese).

2001년 8월 17일 접수  
 2002년 1월 9일 수리