

제주도 연안 천해역의 수온·염분 변동 특성

고준철* · 김준택 · 김상현 · 노홍길
 제주대학교 어업학과

Fluctuation Characteristic of Temperature and Salinity in Coastal Waters around Jeju Island

Jun-Cheol KO*, Jun-Teck KIM, Sang-Hyun KIM and Hong-Kil RHO
 Department of Fishery, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

We conducted a time-series analysis of temperature and salinity of sea water around Jeju Island, Korea. Monthly mean temperature and salinity was influenced by precipitation and weather conditions on Jeju as well as by oceanographic conditions of the open sea such as the Tsushima Warm Current and sea water in coastal areas. Salinity of Jeju coastal waters was the highest in April, and it was always over 34.00 psu with tiny fluctuation between December and June. Due to the effects of the Tsushima Warm Current, Jeju coastal waters maintained high salinity and stability. Low salinity and its large fluctuations during summer were closely associated with the China Coastal Water and precipitation in Jeju. The place of the lowest water temperature was the northeast coasts of Jeju (Gimneong, Hado, Jongdalri). In winter, as warmer water of the Tsushima Warm Current appeared in western area of Jeju dwindled flowing along the northern coasts of Jeju area and becoming cool, the lowest water temperature often appeared locally in Gimnyeong and its vicinity in summer. The Tsushima Warm Current flows into the east entrance of Jeju Strait, but its influence is weak because of geometry and strong vertical mixing due to fast tidal currents.

Key words: Jeju Island, Temperature, Salinity, Coastal waters around Jeju

서론

제주도 주변해역은 기본적으로 제주도 남쪽해역에서 북상하는 대마난류수의 영향을 받고 (Rho, 1985) 있지만, 제주해협 북쪽에는 한국남해안 연안수가 영향을 미치며 (choi, 1989), 하계 표층은 고온, 저염인 중국대륙연안수의 영향을 받는다 (Kim and Rho, 1994). 또한 동계에 형성된 저온·저염한 황해저층 냉수가 계절에 따라 남하 확장하면서 제주도 서방해역에 영향을 미치기도 하며 (Yoon, 1986), 제주해협의 중·저층에는 제주도 서방해역에서 유입하는 약간 변질된 대마난류수 및 11-13℃ 정도의 저온수가 하계에 출현하고 (Rho, 1985), 해협 동쪽입구에서는 제주도 동쪽을 따라 북상하는 대마난류수가 설상으로 삼입되고 있다 (Rho and Hirano, 1983). 이러한 외해역 환경에 영향을 받는 제주도 연안 천해역의 환경은 이들 수괴의 세력변화에 의해 크게 좌우되지만 이외에도 제주도의 강수량, 기온, 북서계절풍 등과 같은 기상상태나 육수유입, 파랑, 조석상태 등에 의해서도 시·공간적 차가 생길 수 있다. 이러한 현상의 구체적인 예로 성산포 주변 연안역은 우도 수도의 강한 조류에 의해 연직혼합이 잘 이루어지기 때문에 표·저층간의 수온차가 매우 적다고 하였고 (Byeon, 1981), 제주도 서쪽 비양도 주변해역은 조석혼합 및 용승에 의해 하계 표층냉수가 자주 출현한다고 하였으며 (Kim and Lee, 1982), 하계가 되면 중국대륙연안수

가 제주도 주변해역까지 이동해 오므로 제주도 주변해역의 표층염분이 현저히 저하한다고 했다 (Kim and Rho, 1994). 이처럼 제주도 연안 천해역 외측의 다양한 해황특성은 연안 천해역에 직·간접적으로 영향을 미치므로 제주도 연안 천해역의 해양환경도 지역적 또는 계절적으로 많은 차가 생기게 된다.

이러한 제주도 연안천해역은 많은 어류의 산란장, 치어 성육장이 되기도 하며 유용수산물들이 풍부하고 한국 연근해에 내유하는 많은 회유성 어종의 회유경로가 되기도 하므로 연안역의 수산 자원조성과 관리는 물론 어촌소득증대적 차원에서도 매우 중요한 해역이다. 그러나 지금까지의 연구경향은 제주도 외해역의 환경 특성 규명에만 많은 연구가 치우쳐 있고 수산자원관리나 수산업적측면 뿐만 아니고 제주도의 기후, 해양공간 활용, 관광적 측면에서도 매우 중요한 제주도 연안 천해역에 관한 연구는 Rho and Jeong (1976, 1997)의 연구를 비롯한 몇 개의 연구가 있을 뿐 매우 빈약한 실태이다.

본 연구는 제주도 연안 천해역의 지역적인 환경특성을 구체적으로 파악하기 위하여 주요지점의 월평균 강수량과 기온을 조사하고 제주도 전 해안선에 24개의 관측정점을 조밀하게 설정하여 월별 수온, 염분조사를 실시하여 제주도 연안 천해역의 수온, 염분변동특성, 기상과 수온, 염분과의 관계, 지역별·시기별 변화에 영향을 주는 환경요인 등을 종합적이고 구체적으로 구명하려고 했다.

*Corresponding author: ocean5719@cheju.ac.kr

재료 및 방법

강수량과 기온

제주도 주변 천해역의 해황과 기상과의 관계를 분석파악하기 위하여 1998년 1월 1일부터 1999년 12월 31일 까지 2년간 제주도 북부지역을 대표하는 제주지방기상청 (제주시), 남부지역을 대표하는 서귀포 기상대, 서부지역을 대표하는 제주고층 레이더기상대 (고산), 그리고 동부지역을 대표하는 성산포 기상관측소에서 관측한 강수량과 기온자료를 이용하여 분석하였다.

수온과 염분

1998년 3월부터 1999년 9월까지 Fig. 1에 표시한 제주도 전역 24개의 해안천해 관측점 (제주항 동부두, 조천 동방파제, 김녕 서방파제, 세화, 하도, 종달, 성산 동방파제, 온평, 신산, 표선 외측방파제, 남세화, 태흥, 위미 서방파제, 서귀포 중앙방파제, 강정, 중문, 화순 외측방파제, 모슬포 서방파제, 고산, 신창, 한림 서방파제, 애월 서방파제, 구업, 도두 동방파제)을 설정하여 CTD (SBE-19)를 이용한 수온, 염분 조사를 매월 1회 실시하였다. 단, 1998년의 6월과 9월이 결측되어 총 17개월에 대한 수온, 염분자료가 수집되었고, 또 천해역의 수온, 염분값이 그 지역의 일반적 상황을 대표할 수 있도록 간조시에도 상당한 수심이 유지되는 방파제 끝부근에 관측점을 정하여 조사하였다.

한 월별 강수량과 일별로 관측한 기온을 월별로 평균하여 구한 월평균 기온을 나타내고 있다.

제주시

1998년의 최고강수량이 413 mm로 9월에 나타났고, 최저치는 11 mm로 12월에 나타났으며 연평균강수량은 132 mm였다. 1999년의 경우는 7월에 706 mm의 최고강수량이 나타났고 이 값은 1998년 최고값 보다 393 mm 많았다. 1999년 연평균 강수량은 211 mm로 1998년 보다 78 mm 더 많았으며 특히 1999년의 7월, 8월, 9월에는 각각 706 mm, 643 mm, 508 mm의 강수량이 나타나 여름철에 집중호우가 제주북부지역에 출현한 결과라고 생각된다. 1998년 최고기온은 28℃로 8월에 나타났으며 최저기온은 7℃로 1월에 나타났고 연평균기온은 17℃였다. 1999년의 최고기온은 25.6℃로 8월에 나타났으며 최저기온은 6.8℃로 1월에 나타났고 1년간의 평균기온은 16.0℃로 1998년보다 1℃ 낮았다. 이처럼 1999년이 1998년보다 연 평균기온이 1℃ 낮게 나타난 것은 1999년의 하계에 강수량이 많은 것과 관련된 호된날씨가 1998년보다 많이 나타난 것이 원인으로 사료된다.

성산포

1998년 9월에 379 mm의 최고강수량을 보였고, 최저치는 7 mm로 12월에 나타났으며 연평균강수량은 186 mm로 북부지역인 제주시 보다 54 mm 많았다. 1999년의 최고 강수량은 628 mm로 7월에 나타났으며 1998년 보다 시기적으로는 2개월 빠르고 강수량은 249 mm 더 많았다. 최저 강수량은 20 mm로 1998년과 같이 12월에 나타났으며 1999년의 연평균 강수량은 194 mm로 제주시보다 17 mm 적다. 1998년 최고기온은 27.3℃로 8월에, 최저기온은 5.7℃로 1월에 나타났고 연평균기온은 16.4℃였다. 1999년의 최고기온은 24.7℃로 8월에 나타났고 최저기온은 6.0℃로 1월에 나타났으며, 연평균기온은 15.4℃로 1998년보다 약 1℃ 낮게 나타나 제주시 기온과 비슷한 경향을 나타냈다.

서귀포

1998년의 최고강수량은 478 mm로 9월에 나타났고, 최저치는 5 mm로 12월에 나타났으며 연평균강수량은 174 mm였다. 1999년은 7월에 918 mm의 최대 강수량을 나타냈고 이 강수량은 조사기간 중 최대의 강수량이었으며 최저치는 1 mm로 12월에 나타났고 연평균강수량은 248 mm로 1998년보다 74 mm가 많았다. 기온변동은 1998년 8월에 28.0℃의 최고기온, 1월에 6.7℃의 최저기온이 나타났고, 연평균기온은 17.5℃였다. 1999년에도 8월에 25.3℃의 최고기온, 1월에 7.7℃의 최저기온이 나타났고 연평균 기온은 16.6℃였으며 1999년이 1998년보다 연평균기온, 최고·최저 기온이 모두 낮게 나타났다.

고 산

1998년의 최고강수량은 218 mm로 10월에, 최저강수량은 8 mm로 12월에 나타났으며 연평균강수량은 88 mm로 각 관

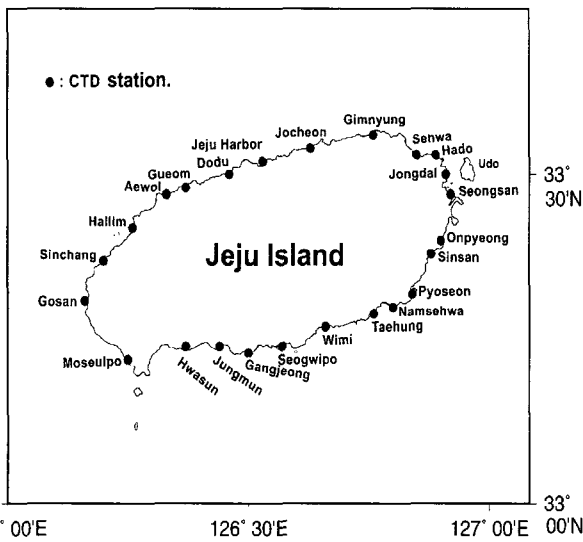


Fig. 1. Location of oceanographic stations (●) in the shallow sea area of Jeju Island.

결 과

강수량 및 기온

Fig. 2는 1998년 1월부터 1999년 12월까지 제주지방 기상청, 서귀포 기상대, 제주고층 레이더 기상대 (고산), 성산포 기상관측소에서 관측한 일별 강수량을 월별로 합산하여 구

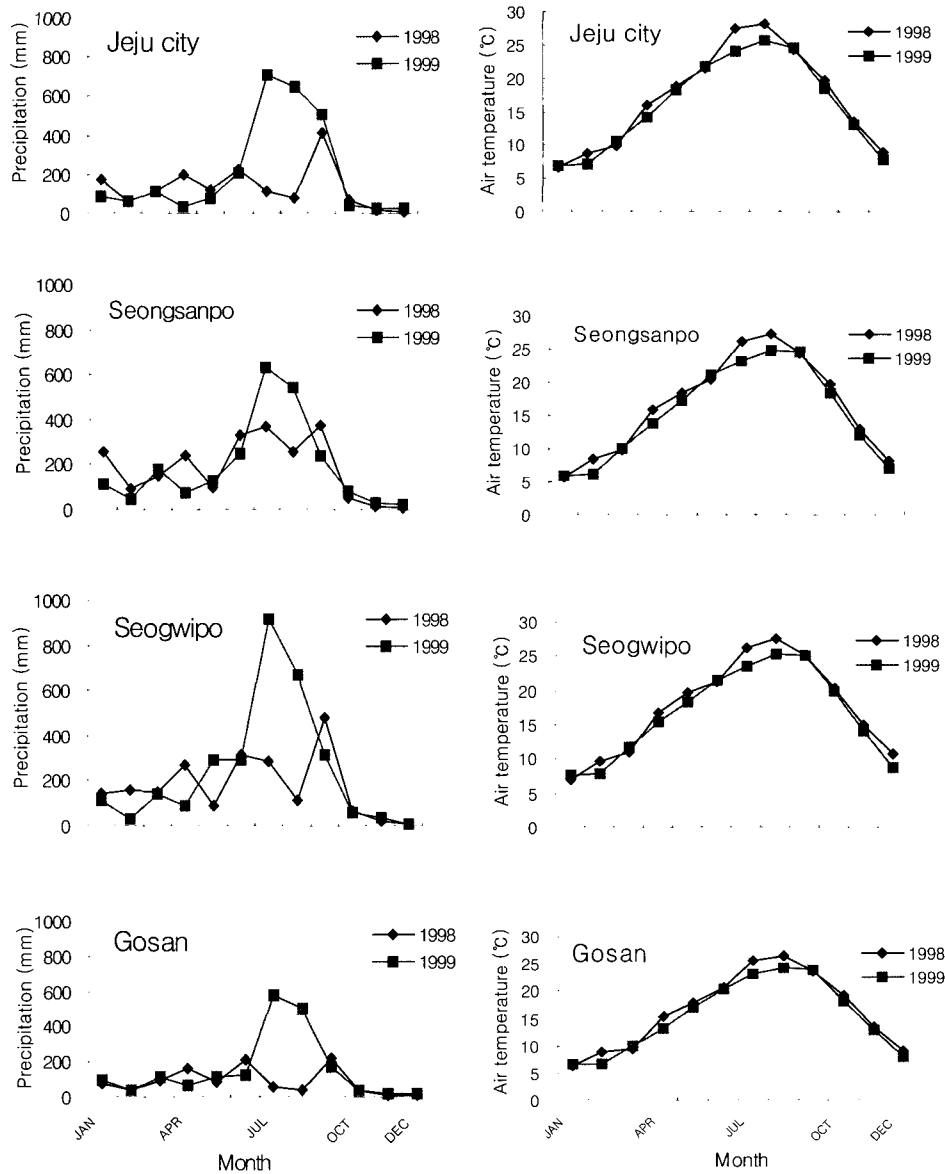


Fig. 2. Monthly variation of precipitation (mm) and air temperature (°C) at Jeju city, Seongsanpo, Seogwipo, Gosan from January, 1998 to December, 1999.

측소의 연평균 강수량 중 가장 낮은 강수량을 나타냈다. 1999년에는 7월에 576 mm의 최고값을 보였고, 최저값은 22 mm로 11월에 나타났으며 연평균 강수량은 156 mm로 1998년보다 약 2배 정도 많은 강수량을 나타냈다. 기온변동은 1998년 9월에 26.3°C의 최고, 최저기온은 6.4°C로 1월에 나타났으며 연평균기온은 16.3°C였다. 1999년에는 8월에 24.3°C의 최고기온이 출현했으며 최저기온은 6.6°C로 2월에 나타났고, 연평균기온은 15.4°C로 제주도의 기상관측소 대부분이 1998년보다 1999년의 최고, 최저기온, 연평균기온이 낮게 나타났으나 고산만이 유일하게 1998년보다 1999년의 최저기온이 약간 높게 나타난 것이 특징이다. 또, 1998년과 1999년의 경우

제주도의 최저기온은 1월에, 최고기온은 8월에 나타났으나 고산의 경우는 최고기온이 9월에 나타났다. 제주도의 강수량이 최대가 되는 시기는 지역 또는 해(年)에 따라서 약간의 차는 있지만 최저가 되는 시기는 대부분 12월이었다.

제주도 연안 천해역의 수온 및 염분

제주도 연안 천해역의 월별 평균수온 및 염분변동
 1998년 3월부터 1999년 9월까지의 조사기간 중 24개 연안 정점으로부터 수집된 수온, 염분값을 각 월별로 평균한 제주도 전 연안의 월별 평균수온과 염분을 Fig. 3에 나타냈다. 수온의 최저값은 13.5°C로 1999년 2월에 나타났으며, 최고

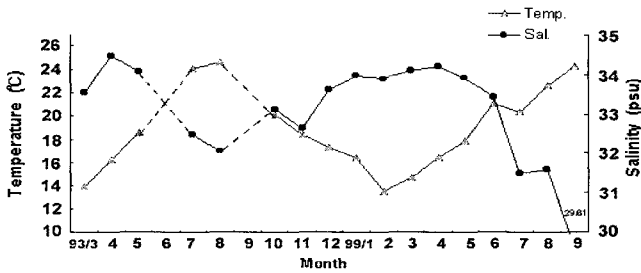


Fig. 3. Monthly variation of average water temperature (°C) and salinity (psu) at 24 stations in the Jeju Island.

값은 24.6°C로 1998년 8월에 나타났고, 1999년 최고값인 9월의 24.3°C보다는 0.3°C 높았다. 수온변화의 경향은 최저수온 및 최고수온이 나타나는 시기는 월별로 다르게 나타났으나 거의 일직선으로 상승 및 하강하는 양상을 보일 정도로 비교적 규칙적인 변화를 하고 있다.

염분의 최저치는 29.61 psu로 1999년 9월에 나타났고, 최고수온이 출현하는 시기와 일치하였다. 염분의 최고치는 34.45 psu로 1998년 4월에 나타났으며, 이 값은 1998년 최저수온 (13.9°C)이 출현한 시기 (3월)보다 1개월 후에 나타났고, 1999년의 최고값은 34.20 psu로 1998년의 최고치 보다 0.25 psu 낮지만 출현시기는 같은 4월 이었다. 염분변화 경향은 12월부터 익년 5월까지의 동·춘계는 33.50 psu 이상의 고염분이 크게 변동하지 않고 거의 일정하게 유지되며 특히, 1월부터 5월까지 34.00 psu 이상의 고염분이 지속되지만 하계에는 염분변화도 심하고 염분값도 매우 낮아 1999년의 경우는 최저염분이 29.61 psu에 달할 정도로 시기에 따른 염분변화가 크게 나타나고 있다.

월별 수온, 염분의 연안정점별 특성

1999년 1월의 경우 (Fig. 4 a) 제주도 천해역 중 1월의 최고수온은 17.9°C로 강정에서 나타났으며 최저수온은 14.3°C로 김녕에서 나타났고, 최고염분은 34.87 psu로 최고수온이 출현한 강정에서 나타났으며 최저염분은 33.10 psu로 애월에서 나타났고, 지역별 수온의 변화 경향은 비교적 완만하지만 염분의 경우는 그 변화가 심하다. 이처럼 같은 제주도 천해역 중에서도 지역에 따라 수온, 염분의 차가 크며 전체적으로 제주도 북부 천해역의 수온이 남쪽 천해역 보다 낮다. 그리고, 최저염분이 출현한 북쪽 천해역인 애월 보다는 다소 염분이 높지만 다른 관측점 보다는 염분이 낮게 나타나는 온평, 위미, 모슬포의 경우는 수온이 높게 나타난 점을 고려하면 육수의 유입 영향에 의한 국지적인 현상으로 판단되며, 이들 몇 곳의 저염분 지역을 제외하면 제주도 천해역의 대부분은 34.00 psu 이상의 고염분수가 출현하고 있다.

1999년 2월의 경우 (Fig. 4 b) 최고수온은 15.5°C로 위미에서 출현했고 최저수온은 11.0°C로 하도에서 나타났으며 이 수온은 전 관측기간동안 가장 낮은 수온값을 나타냈다. 최고염분은 34.42 psu로 1월과 같이 강정에서 관측되었으며 최저

염분은 32.49 psu로 모슬포에서 나타났다. 2월의 경우는 제주항에서부터 하도쪽으로 갈수록 점차 수온이 저하하여 같은 북부 천해역 인데도 11.0°C (하도)-13.0°C (제주항)의 수온범위를 나타내어 약 2°C의 지역간 수온차가 나타났다. 또 조천에서 하도까지의 천해역에 나타난 13.0°C이하의 낮은 수온과는 대조적으로 남세화, 태흥, 위미, 강정 등과 같은 남부역의 수온은 13.4-15.3°C로 제주도 천해역 중 가장 높게 나타났다. 염분은 세화, 온평, 태흥, 모슬포 등에서 나타난 저염분을 제외하면 제주도 천해역의 대부분은 34.00 psu 이상의 고염분을 나타내고 또, 지역적인 염분차도 비교적 작아 제주도 전역의 천해역까지 대마난류세력이 강하게 영향을 미치고 있음을 잘 나타내고 있다. 다만 위에 열거한 34.00 psu 이하의 저염분이 나타난 지역의 경우는 용천수나 육수의 영향에 의한 국지적인 현상으로 판단된다. 또 제주항에서 하도쪽으로 갈수록 수온이 낮아진 것과 같이 염분변화도 수온과 거의 비슷한 경향이 나타나고 있는 것이 특징이다.

관측기간 중 2회의 조사가 이루어진 1998년과 1999년 3월의 수온,염분 변동을 Fig. 4 (c, d)에 나타냈다. 1998년의 경우 최고수온은 15.2°C로 강정에서, 최저수온은 12.1°C로 세화, 하도에서 나타났으며, 최고염분은 34.26 psu로 성산에서, 최저염분은 31.04 psu로 온평에서 나타났다. 최고염분이 나타난 성산 가까이에 위치한 온평과 남부 천해역인 태흥에서 현저하게 낮은 염분 분포를 보인 것은 육수의 유입으로 인하여 나타난 결과로 사료된다. 1999년의 경우 최고수온은 15.8°C로 강정에서, 최저수온은 13.1°C로 애월에서 나타났고 최고염분은 34.73 psu로 애월에서, 최저염분은 32.19 psu로 도두에서 나타났다. 또, 온평과 태흥, 모슬포 천해역에는 1998년과 같이 저염분수가 출현하였다. 이처럼 온평, 태흥, 모슬포 등에 저염분수가 자주 나타나는 것은 다른 지역에 34.00 psu 이상의 고염분수가 나타나는 동계의 상황과는 구별되는 특징이라고 할 수 있다. 그리고 북쪽 천해역에서는 대체로 15.0°C 미만의 수온이 나타난 반면, 남쪽 천해역 특히, 남세화에서 고산까지의 천해역에는 15.04-15.75°C의 고수온이 출현했고 그중 강정 천해역은 동계 중 가장 높은 수온이 자주 출현했다.

1998년 4월의 경우(Fig. 4 e, f) 최고수온은 18.1°C로 모슬포에서, 최저수온은 14.7°C로 세화, 하도, 종달, 성산에서 나타났으며, 최고염분은 34.86 psu로 신창에서, 최저염분은 33.45 psu로 3월에 최저염분이 출현한 온평에서 다시 나타났다. 제주도 북동해역인 제주항 부터 성산항까지는 동쪽으로 갈수록 수온은 순차적으로 하강하고 염분은 상승했다. 온평과 태흥에서는 3월에 이어 저염분수가 출현하였으며, 그 외의 천해역에서는 34.00 psu 이상의 고염분과 제주항에서 성산항까지의 저온역을 제외하면 16.0°C 이상의 고수온을 나타냈다. 또한, 모슬포에서부터 고산, 신창, 한림, 애월, 구업의 순으로 수온 및 염분이 하강하는 경향이 나타났다. 1999년 4월의 경우 최고수온은 17.0°C로 모슬포에서, 최저수온은

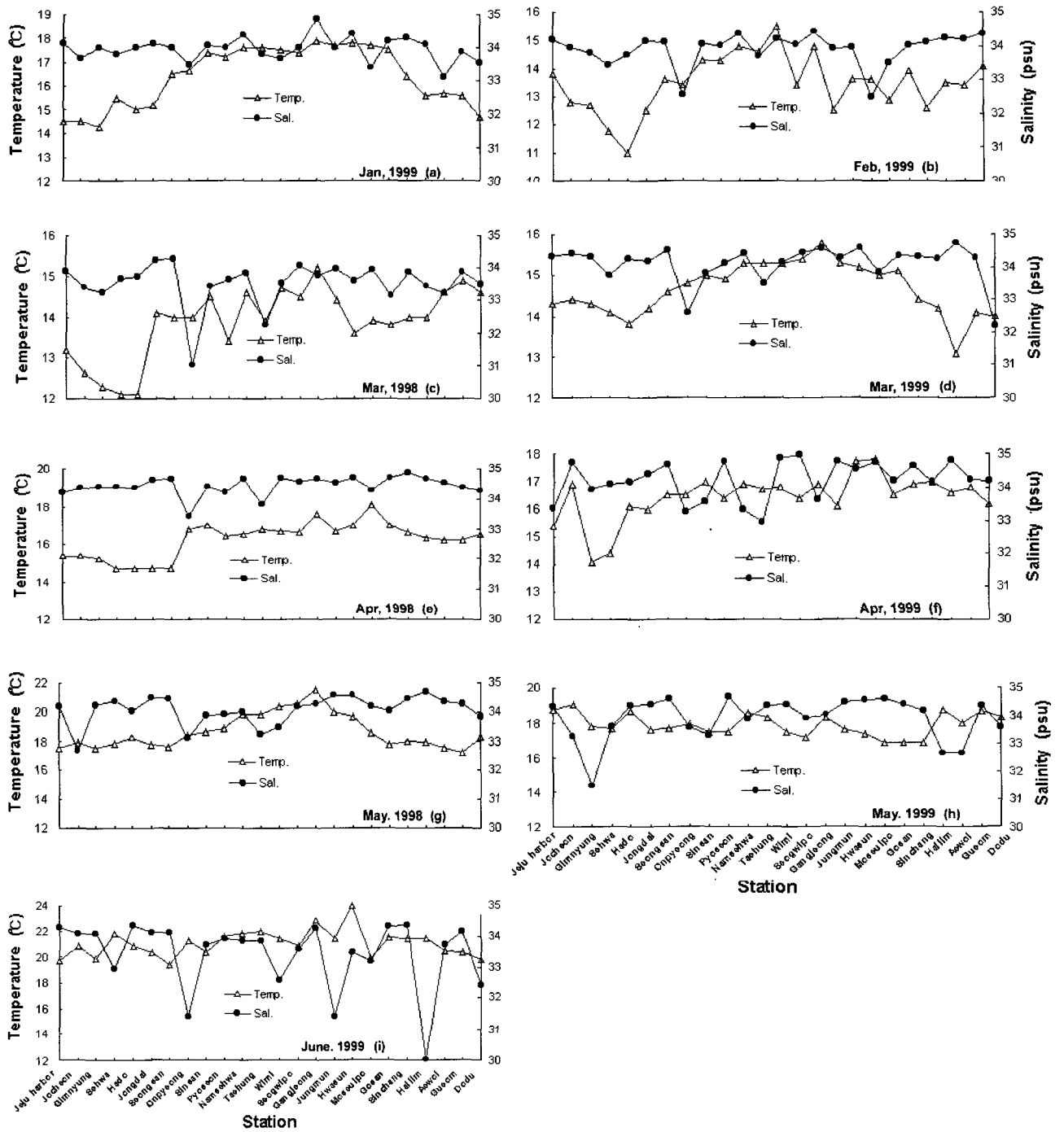


Fig. 4. Regional variation of temperature (°C) and salinity (psu) in the shallow sea area of Jeju Island in January-June, 1998 and 1999.

14.1°C로 김녕에서 나타났으며, 최고염분은 34.97 psu로 서귀포에서 관측기간 중 가장 높은 염분이 관측되었으며, 최저염분은 32.94 psu로 태홍에서 나타났다. 온평과 태홍에서의 저염분수 출현을 비롯한 제주항, 신산, 남세화, 강정 등에서도 저염분이 나타나 지역적인 염분변화가 심한 것이 특징이었

으며, 특히 남동부지역은 1998년, 1999년 모두 저염분과 지역별 염분변화가 심하게 나타났고 북동부 지역인 김녕과 세화에서 낮은 수온이 출현한 것이 4월의 특징이라고 할 수 있다.

1998년 5월의 경우 (Fig. 4 g, h) 최고수온은 21.5°C로 강정

에서, 최저수온은 17.2°C로 구업에서 출현했으며 4월 이후 급격히 수온이 상승하는 춘계 해황을 나타내기 시작했으며 최고염분은 34.69 psu로 한림에서, 최저염분은 32.69 psu로 조천에서 나타났다. 강정을 비롯한 위미, 서귀포, 중문의 남부천해역에서 20.0°C 이상의 고수온이 나타났고, 북쪽 천해역은 대체로 낮은 수온이 나타나 남북간의 지역 차가 나타났다. 이때에도 온평 (33.10 psu) 및 태흥 (33.25 psu)은 저염분수가 나타났고, 조천의 경우 저염분이 자주 출현하는 온평, 태흥 천해역보다 염분이 낮았다. 1999년 5월의 경우 최고수온은 19.1°C로 조천에서, 최저수온은 16.9°C로 모슬포, 고산, 신창에서 각각 나타났다. 그리고, 최고염분은 34.70 psu로 표선에서, 최저염분은 31.48 psu로 김녕에서 나타나 1998년 보다 최고염분 (1998년 최고염분 34.69 psu)을 제외하면 대체로 저수온·저염분상을 나타냈다.

6월의 경우 (Fig. 4 i) 1998년 6월은 결측되었으므로 1999년 자료만을 분석하였다. 1999년 6월의 최고수온은 24.0°C로 화순에서, 최저수온은 19.4°C로 성산에서 나타났으며, 최고염분은 34.35 psu로 신창에서, 최저염분은 30.04 psu로 한림에서 나타났다. 6월이 되면서 지역별로 수온, 염분 차가 크게 나타났으며, 세화에서부터 하도, 종달의 순으로 수온이 낮아져 성산에서 최저수온 (19.4°C)을 나타냈고, 이때 세화 (32.94 psu)를 제외하면 하도, 종달, 성산은 34.00 psu 이상의 고염분을 나타내고 있어 하도, 종달, 성산에서는 우도수도의 강한 조석류에 의한 연직혼합과 행원부근의 해저지형에 의한 연안 연직혼합 내지는 연안용승 등에 의해 이 해역에 저온고염분수가 나타나는 것으로 해석된다.

1998년 7월의 경우 (Fig. 5 a,b) 최고수온은 25.5°C로 화순에서, 최저수온은 22.6°C로 종달에서 나타났으며, 최고염분은 33.36 psu로 세화에서, 최저염분은 31.35 psu로 서귀포에서 나타났다. 수온분포에 있어서 김녕에서부터 세화, 하도, 종달, 성산, 온평의 순으로 수온이 점차 낮아지는 경향을 나타냈다. 6월에 제주도 남쪽 천해역에서 높은 염분분포를 나타낸 것과는 달리 신산, 남세화, 태흥, 위미, 서귀포의 순으로 32.00 psu 이하로 염분이 낮아졌고, 전 천해역의 수온과 염분을 평균해보면 각각 24.1°C, 32.48 psu로 6월보다 수온은 매우 높아지고 염분은 현저히 낮아진 점으로 보아 중국대륙연안수의 제주도 주변해역 출현과 제주도로부터의 육수유입 등에 의한 하계 천해역의 저염화현상이 나타나기 시작한 것으로 보인다. 이러한 경향과는 대조적으로 고산과 신창, 애월에서는 저수온·고염분수가 나타나는 데 이러한 지역적인 특성은 국지적인 용승현상이나 조석에 의한 강제 혼합과 관계있는 현상이라고 해석된다. 1999년의 경우 최고수온은 21.7°C로 강정에서, 최저수온은 18.1°C로 모슬포에서 나타났으며, 최고염분은 33.64 psu로 최저수온이 나타난 모슬포에서, 최저염분은 거의 기수에 가까운 25.65 psu로 중문에서 나타났다. 이처럼 1999년은 1998년에 비해 수온 및 염분이 현저히 낮은 것이 특징이다.

1998년 8월의 경우 (Fig. 5 c, d) 최고수온은 27.5°C로 화순에서, 최저수온은 21.3°C로 김녕에서 나타났으며, 최고염분은 34.64 psu로 김녕에서, 최저염분은 29.74 psu로 온평에서 나타났다. 전반적으로 태흥에서 모슬포까지의 남쪽 천해역은 24.8-27.5°C로 고수온을 나타낸 반면 북쪽 천해역은 21.5-24.1°C로 저수온이 나타나 지역적인 수온차가 크다. 또한 온평 (29.74 psu)과 태흥 (29.86 psu)에 저염분이 나타나는 것은 거의 매일 출현하는 현상으로서 용천수와 하천수의 영향이라고 사료된다. 1999년의 경우 최고수온은 26.1°C로 중문에서, 최저수온은 18.4°C로 제주항 동부두에서 나타났고, 최고염분은 33.40 psu로 종달에서, 최저염분은 27.37 psu로 제주항 동부두에서 나타났다. 제주도 연안 천해역 전체가 하계에 저염화 현상을 보이거나 특히, 7월과 8월에 제주항 부근의 천해역에 저염화 경향을 나타내는 것은 여름철 제주시에 내린 집중적인 강우 (Fig. 2)로 인해 많은 양의 육수가 산지천을 통해 바다로 유입되는 것과 관련된 현상이라고 판단되며 하도와 종달 부근 천해역에서 고염분, 저온수가 출현하는 것은 하계에 이 지역에 자주 나타나는 조석 또는 용승에 의한 연직혼합의 결과라고 판단된다.

1999년 9월의 경우 (Fig. 5 e) 최고수온은 26.6°C로 중문에서, 최저수온은 21.0°C로 온평에서 나타났고, 최고염분은 32.42 psu로 도두에서, 최저염분은 23.94 psu로 신산에서 나타났다. 북동쪽 및 남동쪽 천해역의 수온이 남쪽 및 북서쪽 천해역보다 낮게 나타났다. 1999년 9월의 경우 전 천해역의 염분이 33.00 psu 이하로 낮아진 것은 7, 8, 9월의 집중적인 대량 강수 및 하계에 중국대륙연안수가 제주도 주변 연안역까지 영향을 미치는 것과 관련된 복합적인 결과이다.

1998년 10월의 경우 (Fig. 5 f) 최고수온은 21.4°C로 한림에서, 최저수온은 16.8°C로 종달에서 나타났고, 최고염분은 32.81 psu로 하도에서, 최저염분은 30.68 psu로 한림에서 나타났다. 10월의 염분변동은 1998년 9월의 결측으로 연속적인 변동경향을 해석하기는 곤란하나 강수로 인해 전 천해역이 8월보다 다소 저염화된 상태를 보임으로써, 제주도 천해역에서의 하계 저염화 현상은 10월까지 이어지는 것으로 판단된다. 또한, 종달에서는 수온 (16.8°C)이 낮은 반면 염분 (32.64 psu)이 높게 나타나 외해수가 연안역으로 유입되었거나 우도수도의 조석혼합에 의해 나타난 결과로 사료되며 한림에서는 수온 (21.4°C)이 높은 반면 염분 (30.68 psu)이 낮게 나타나 육수의 유입과 더불어 중국대륙연안수의 영향을 강하게 받는 것으로 판단된다. 그리고 10월의 염분분포는 지역에 따른 기복이 심하며 전 천해역은 하계의 저염분이 지속되 모두 33.00 psu 이하의 낮은 염분이 나타났다.

1998년 11월의 경우 (Fig. 5 g) 최고수온은 20.8°C로 서귀포에서, 최저수온은 15.6°C로 하도에서 나타났고, 최고염분은 33.89 psu로 화순에서, 최저염분은 30.85 psu로 온평에서 나타났다. 온평, 모슬포, 및 한림은 지역적인 육수 유입에 의한 저염화된 것으로 판단되며, 전체적으로 1998년 10월에 비

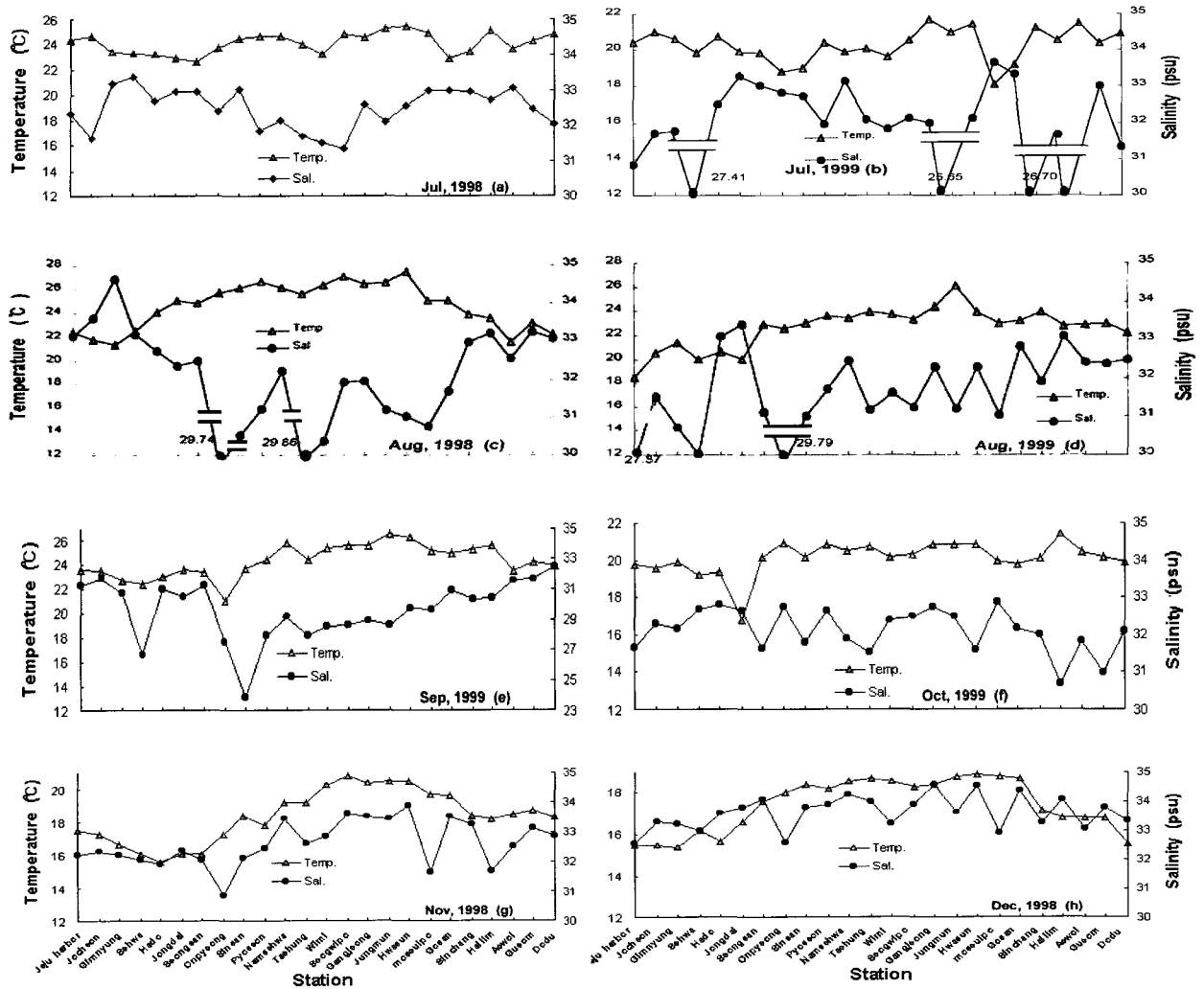


Fig. 5. Regional variation of temperature (°C) and salinity (psu) in the shallow sea area of Jeju Island in July-December, 1998 and 1999.

해 수온은 낮아지고 염분은 서서히 높아 가는 경향을 보였다. 10월의 경우 종달을 제외하고는 수온이 전반적으로 비슷한 경향을 나타낸 것과는 대조적으로 11월에는 동부 및 북부의 천해역 수온이 낮고 남부 천해역의 수온이 높았으며 염분도 수온과 거의 비슷한 변동경향을 나타냈다. 북부 및 동부해역의 수온변화 경향은 구업에서부터 도두, 제주항 등의 순으로 수온이 점차적으로 낮아지며 이러한 경향은 동쪽까지 지속되어 하도에서 최저수온에 이르고 이 저온현상은 종달과 성산까지 유지되었다. 이때 염분도 조천에서부터 하도까지 점차적으로 낮아진다.

1998년 12월의 경우 (Fig. 5 h) 최고수온은 18.9°C로 화순에서, 최저수온은 15.4°C로 김녕에서 나타났고, 최고염분은 34.57 psu로 강정에서, 최저염분은 32.56 psu로 제주항 동부 두에서 나타났다. 전체적으로 해역에 따른 수온의 변화는 완만하지만 도두, 제주항, 조천의 순으로 수온이 떨어져 김녕에

서 최저수온을 나타냈다. 염분의 변화는 해역에 따라 기복이 심하게 나타나 지역특성을 반영하고 있으며 남부 천해역에서 고온·고염상을 나타낸 반면 북부지역은 저온·저염현상을 나타냈다. 그러나 전체적으로 34.00 psu 내외의 고염분이 출현하고 있어 동계 제주도 천해역의 고염분수는 12월부터 나타나고 있음을 알 수 있다.

고찰

제주도 연안 천해역중 고수온 및 저수온이 자주 출현하는 지역과 주변해황과의 관계

Table 1은 관측기간 중 수온과 염분의 월별 최고, 최저값이 출현한 지역을 정리한 것으로서 최고수온이 자주 출현하는 지역은 주로 제주도 남부에 위치한 관측점들이고 그중에서도 강정의 경우는 최고수온이 가장 많이 관측된 곳이고

Table 1. Max and min temperature (°C) and salinity (psu) in the shallow sea stations of Jeju Island from 1998 to 1999

Month	1998				1999			
	Max. Temp.(°C)	Min. Temp.(°C)	Max. Sal.(psu)	Min. Sal.(psu)	Max. Temp.(°C)	Min. Temp.(°C)	Max. Sal.(psu)	Min. Sal.(psu)
Jan.					Gangjeong (17.9)	Gimnyoung (14.3)	Gangjeong (34.87)	Aewol (33.10)
Feb.					Wimi (15.5)	Hado (11.0)	Gangjeong (34.42)	Moseulpo (32.49)
Mar.	Gangjeong (15.2)	Sehwa (12.1)	Seongsan (34.26)	Onpyeong (31.04)	Gangjeong (15.8)	Aewol (13.1)	Aewol (34.73)	Dodu (32.19)
Apr.	Moseulpo (18.1)	Jongdal (14.67)	Sinchang (34.86)	Onpyeong (33.45)	Moseulpo (17.0)	Gimnyoung (14.1)	Seogwipo (34.97)	Taehung (32.94)
May	Gangjeong (21.5)	Gueom (17.2)	Hallim (34.69)	Jocheon (32.69)	Jocheon (19.1)	Sinchang (16.89)	Pyoseon (34.70)	Gimnyoung (31.48)
Jun.					Hwasun (24.0)	Seongsan (19.4)	Sinchang (34.35)	Hallim (30.04)
Jul.	Hwasun (25.5)	Jongdal (22.6)	Sehwa (33.36)	Seogwipo (31.35)	Gangjeong (21.7)	Moseulpo (18.1)	Moseulpo (33.64)	Jungmun (25.65)
Aug.	Hwasun (27.5)	Gimnyoung (21.3)	Gimnyoung (34.64)	Onpyeong (29.74)	Jungmun (26.1)	Jeju Harbor (18.4)	Jongdal (33.40)	Jeju Harbor (27.37)
Sep.					Jungmun (26.6)	Onpyeong (21.0)	Dodu (32.42)	Sinsan (23.94)
Oct.	Hallim (21.4)	Jongdal (16.8)	Hado (32.81)	Hallim (30.68)				
Nov.	Seogwipo (20.8)	Hado (15.6)	Hwasun (33.89)	Onpyeong (30.85)				
Dec.	Hwasun (18.9)	Gimnyoung (15.4)	Gangjeong (34.57)	Jeju Harbor (32.56)				

그 다음은 화순, 중문, 모슬포 등의 순이다. 이처럼 남부 연안역에 고수온이 자주 출현하는 것은 남부지역이 북부지역보다 기온이 높은 것도 그 원인중에 하나이겠지만 이것과는 별도로 Fig. 6의 수온분포 (2000년 5월 CTD조사에 의한 실측값)가 암시하는 바와 같이 제주도 연안역중에서는 남쪽의 대마난류수가 제주도의 지형적인 영향을 적게 받고 직접 연안역까지 유입되고 있는 것이 가장 큰 원인일 가능성이 높다. 즉, 쿠로시오로부터 분리되어 북상하는 대마난류수가 제주도 남쪽 연안 중 강정에서 모슬포 사이의 연안역으로 가장 먼저 유입하여 이 지역으로부터 대부분은 동쪽으로 방향을 바꾸어 제주도 남부 및 동쪽해역을 따라 이동하여 대마난류의 주류부와 합세하고 그 나머지 일부가 제주도 서부해역으로 진입하여 제주해협을 거쳐 한국 남해로 이동하기 때문에 제주도 연안 중 북상하는 대마난류수가 가장 먼저 그리고 가장 연안역까지 직접 접근하는 제주도 남서부해역 특히 강정의 수온이 년중 제주도 연안역에서는 가장 높게 유지되는 근본원인이 되는 것 같다.

이와는 대조적으로 최저수온이 가장 많이 출현하는 곳은 김녕이고 그외 하도, 종달의 순이다. 즉 제주도 북동부 연안역에 최저수온이 자주 출현하며 특히, 겨울철에는 11.0°C 내외의 년중 최저수온이 이해역에서 나타나고 동계 이외의 계

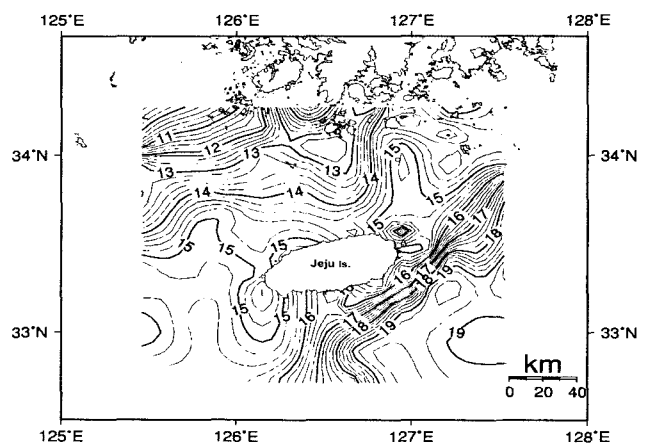


Fig. 6. Distribution of surface temperature (°C) surrounding sea of the Jeju Island in May, 2000.

절에도 최저수온이 자주 출현하는 것이 이 해역의 특징이다. 이처럼 제주도 북동부 연안 천해역이 제주도 연안 중에서도 가장 저온이 자주 출현하는 것은 기본적으로 대마난류 주류수의 영향을 가장 적게 받고 있는 것이 주원인인 것 같다. Fig. 7은 1997년 2월의 제주해협 및 제주도 동부해역의 수온 수평분포로써 동계 제주도 서부해역에 출현하는 대마난류수

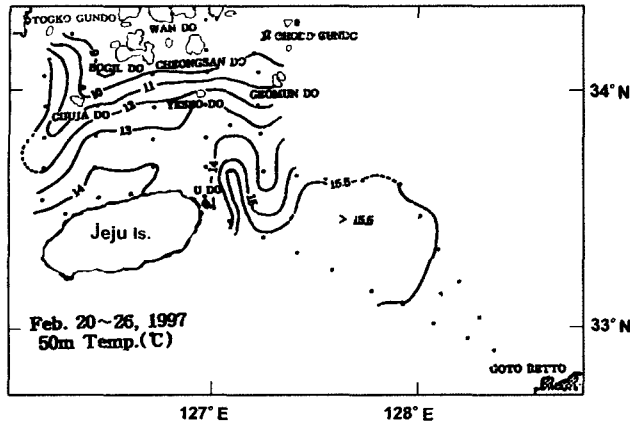


Fig. 7. Distribution of 50 m depth temperature (°C) in the Jeju Strait in February, 1997.

중 가장 고온역이 제주도 서쪽연안에 분포 (Rho, 1985)하고 이 고온역이 제주해협내로 유입하여 제주도 북부연안을 따라 동쪽으로 이동하지만 이 고온역은 동쪽으로 이동하면서 점점 약화되어 그 세력범위가 대체로 김녕 이서해역에 한정 되는 것 같다. 이와 같은 상황은 Fig. 7의 14°C 등온선 분포양상에도 잘 나타나 있다. 한편 제주도 동쪽해역에서는 제주도 남쪽을 거쳐 북상하는 대마난류의 주류역이 우도부근에서 그 방향을 동쪽으로 선회하지만 그 세력의 일부가 제주해협 동쪽 입구에서 설상으로 해협내로 삼입된다 (Rho and Hirano, 1983).

그러므로 동계 제주도 연안역의 대부분은 14°C 이상의 대마난류수의 영향을 직접 받지만 김녕에서 종달리까지의 연안천해역은 제주도 서쪽연안에서 제주도 북부연안역을 따라 이동하는 대마난류의 최고온수나 제주도 동쪽을 따라 북상하는 대마난류 주류수의 영향을 거의 받지 않는 유일한 해역이므로 제주도 연안 천해역 중에서 가장 낮은 수온이 출현하는 것으로 해석된다. 이와 같은 현상은 동계 이외에도 Fig. 8에서 알 수 있듯이 추계에도 나타날 수 있다. 또, 동계 제주도 북부연안 천해역의 수온이 제주항으로부터 동쪽으로 갈수록 점차 하강하는 규칙적인 변화가 나타나는 것도 제주도 서방해역에 나타나는 대마난류수 중 최고온수가 제주도 북부연안을 따라 동쪽으로 이동하면서 그 세력이 점차 약화되어 김녕에서 세화 부근이 그 말단부가 되기 때문이라고 해석된다.

이상의 원인 이외에 김녕에서 우도 및 우도수도 사이에는 1-2 knot의 빠른 조류 (Kim and Rho, 1997)가 있고 김녕에서 종달리 및 우도수도 사이에는 수심 50 m 미만의 넓은 천해역 (이 천해역의 외측은 바로 100 m 이상의 수심으로 급변함)이 분포함과 더불어 우도와 같은 고립도서가 위치하고 있는 등 지형적 특성과 빠른 조류가 복합적으로 작용하여 상하연직 혼합이 왕성하게 일어나기 때문에 Fig. 9와 같이 다른 연안 천해역 보다 표층수온이 국지적으로 낮아지게 되므로 이

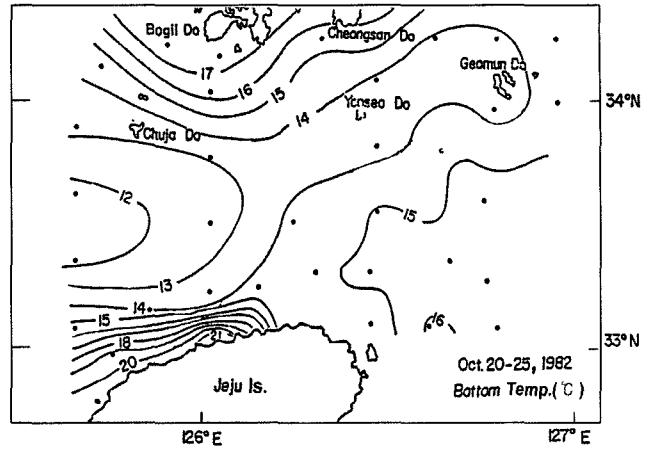


Fig. 8. Distribution of bottom temperature (°C) in the Jeju Strait in October, 1982.

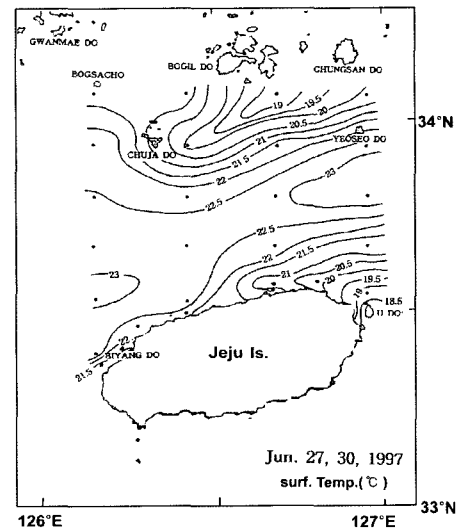


Fig. 9. Horizontal distribution of surface temperature (°C) in the Jeju Strait in June, 1997.

해역에 저온수가 출현하는 중요한 원인이 되며 이러한 현상은 주로 하계에 자주 나타난다.

제주도 연안 천해역의 해황에 영향을 미치는 요인들에 관한 검토

제주도 연안 천해역의 월평균 수온, 염분변동 (Fig. 3)에서 1999년의 수온, 염분이 1998년보다 낮게 나타난 것은 강수량 및 기온에서 설명했듯이 (Fig. 2) 연평균 강수량이 제주 ('98:132 mm, '99:211 mm), 성산 ('98:186 mm, '99:194 mm), 서귀 ('98:174 mm, '99:248 mm), 고산 ('98:88 mm, '99:156 mm)로 1998년에 비해 1999년 강수량이 월등히 많았고 또한, 연평균 기온의 경우 제주 ('98:17.0°C, '99:16.0°C), 성산 ('98:16.4°C, '99:15.4°C), 서귀 ('98:17.5°C, '99:16.6°C), 고산 ('98:16.3°C, '99:15.4°C)로 연평균 기온 역시 1999년이 1998

년보다 현저히 낮게 나타났다. 또, 많은 양의 강수량은 특히 여름철에 집중되어 있어 저염한 중국대륙연안수가 제주도 주변해역에 출현하는 시기에 다량의 육수 및 하천수가 연안 천해역으로 유입된 것이 저온·저염분수 출현의 주 원인으로 사료된다. 이처럼 제주도 연안 천해역의 수온, 염분변동 특성은 외해의 환경 조건 즉 대마난류수나 중국대륙연안수의 영향 이외에도 제주도의 강수량이나 담천일(曇天日)수의 증가 등과 같은 기상 여건에 의해서도 크게 좌우되는 것으로 판단된다.

또, 제주도 연안 천해역의 최저 평균수온이 1999년의 경우 13.5°C이며 최고 평균염분은 1998년에는 34.45 psu, 1999년에는 34.20 psu이고, 출현시기는 수온은 2월, 염분은 4월에 나타났다. 이처럼 제주도의 동계수온이 같은 시기의 제주도 지역별 최저 평균기온 5.7°C (성산)-7.7°C (서귀포)보다 훨씬 높고 염분도 가장 작으며 연중 최고 평균염분도 34.20-34.45 psu의 고염분이 출현하는 것은 제주도 연안 천해역까지 동계에서 춘계까지 대마난류수가 제주도 전역에 걸쳐 강하게 영향을 미치고 있고 강수량도 다른 시기에 비해 적고 육수의 영향도 적기 때문에 나타난 현상으로 해석된다.

제주도 연안 천해역에서 염분 34.60 psu 이상의 고염분수가 동·춘계에 자주 관측 (Table 1)된 것은 제주도 연안 천해역에서 동·춘계에 강한 일사에 의한 왕성한 증발현상에 의해 연안역의 염분이 외해측의 염분보다 높아지기 때문에 생기는 현상이라고 해석된다. 즉 제주도 주변에 나타나는 대마난류 주류역의 표층염분이 높은 동·춘계에도 34.60 psu 이상을 넘지 않는 것이 일반적인 경향 (Rho, 1985)이므로 제주도 연안 천해의 경우는 제주도로부터 유입되는 육수나 용천수의 영향을 받으므로 최소한 외해수 보다는 염분이 낮아지게 되며, 또 제주도 연안 천해역은 대마난류의 주류수가 직접 영향을 미치는 경우는 거의 없으므로 외해역의 고염분수라도 34.40-34.50 psu의 염분범위를 초과하지 않으므로 연안 천해역에서 34.60 psu 이상의 고염분수가 관측되는 것은 이 천해역에서 왕성한 증발에 의해 예외적으로 고염분수가 형성된 결과라고 해석될 수 있다.

이와는 대조적으로 34.00 psu 이상의 고염분수가 지속되는 동·춘계에 지역에 따라서는 국지적으로 저염분수가 출현하여 제주도 연안 천해역의 지역적인 염분변화가 심한 경우가 자주 관측되었다. 이러한 국지적 저염분수가 자주 나타난 지역으로는 온평, 태흥, 모슬포, 서귀포, 한림, 도두, 제주항 등을 들 수 있고 이러한 현상은 강수에 의한 육수유입 및 지역별로 해안선 가까이에 분포하고 있는 용천수의 영향 때문에 생기는 것으로 판단된다. 그러므로 제주도 연안 천해역은 외해수의 영향 이외에도 연안역의 강한 증발이나 육수 및 용천수 유입정도에 따라 지역 내지는 시기적 염분차가 심하게 나타날 수 있다.

고수온 출현시기인 하계의 경우 제주도 연안 천해역의 최고

평균 수온이 24.3°C (1999년 9월)-24.6°C (1998년 8월)로 외해역의 하계 표층수온 26.0°C-28.0°C (Kim, 1995)보다 훨씬 낮은 것은 Kim et al. (1997)이 지적한 바와 같이 제주도 연안 천해역에서는 조류나 파랑에 의한 표·저층간의 연직 혼합이나 지역적인 용승현상 등이 복합적으로 작용하여 나타나는 현상이라고 해석되며, 특히 이러한 현상은 제주도 남부 및 남동부 이외의 해역에서 자주 나타나고 있다.

사 사

이 논문은 2002년도 두뇌한국BK21사업에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

- Byeon, C.I. 1981. Study on the oceanographic condition characteristic of the coastal water in Jeju Island around Seong San. MS Thesis, Cheju Nat'l. Univ., 27 pp. (in Korean)
- Choi, C.M. 1989. A study on the origin of coastal waters in the southwestern seas of Korea. MS Thesis, Cheju Nat'l. Univ., 44 pp. (in Korean)
- Kim, K. and S.H. Lee. 1982. Vertically homogeneous waters along the west coast of Cheju Island. J. Oceanol. Soc. Korea, 17(2), 59-68. (in Korea)
- Kim, S.H. and H.K. Rho. 1998. A study on the assembling mechanism of the hairtail, *Trichiurus lepturus*, at the fishing ground of the Cheju Strait. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 34(2), 117-134. (in Korean)
- Kim, I.O. and H.K. Rho. 1994. A study on China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. J. Kor. Fish. Soc., 27(5), 515-528. (in Korean)
- Kim, S.H. and H.K. Rho. 1997. A study on the residual current in the Cheju Strait. J. Kor. Fish. Soc., 30(5), 759-770. (in Korean)
- Kim, J.T. 1996. Environmental characteristic and catch fluctuation of set net ground in the coastal water of Hanlim in Cheju Island. MS Thesis, Cheju Nat'l. Univ., 51 pp. (in Korean).
- Kim, S.H. 1995. Studies on the assembling mechanism of the hairtail, *Trichiurus lepturus*, at the fishing ground of the Cheju Strait. MS Thesis, Cheju Nat'l. Univ., 26 pp. (in Korean)
- Rho, H.K. 1985. Studies on marine environmental of fishing ground in the waters around Jeju Island. Ph.D Thesis, Tokyo University, 215 pp. (in Japanese)
- Rho, H.K. and K.H. Chung. 1976. Studies on the fluctuation of temperature and salinity in the cost of Jeju Island (I) The characteristics of general fluctuation. Cheju Nat'l. Univ. J., 8, 115-122. (in Korean)
- Rho, H.K. and K.H. Chung. 1997. Studies on the fluctuation of temperature and salinity in the cost of Jeju Island (II) The characteristics of general fluctuation. Cheju Nat'l.

- Univ. J., 9, 131-136. (in Korean)
- Rho, H.K. and T. Hirano. 1983. Tongue-like warm water appeared in the east entrance of the Jeju Strai. Bull. Korean Fish Soc., 16(4), 299-304. (in Korean)
- Youn, Y.H. 1986. The identification of wather characteristics of the Yellow Sea bottom cold water and the evidences of its southwards extension. MS Thesis, Cheju Nat'l.

- Univ., 55 pp. (in Korean)
- Youn, J.S., S.W. Park, S.S. Kang and Y.J. Hyun. 1998. Regional water quantity variation of spring water in Cheju Island. Cheju Nat'l. Univ. Environ. J. 6, 85-104. (in Korean).

2002년 11월 27일 접수
2003년 6월 18일 수리