

동계 제주해협의 해황특성

김 상 현 · 노 홍 길
제주대학교 해양과학대학

Characteristics of Hydrographic Conditions of the Cheju Strait in Winter

Sang-Hyun KIM and Hong-Kil RHO

College of Ocean Sciences Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

The duration of the winter hydrographic conditions is from December through April in the following year, when the Tsushima Current appears throughout the Cheju-Strait and expands to its extent in April. The hydrographic conditions are well mixed and are vertically homogeneous between the surface and the bottom making an even state.

The coastal waters of the South Sea of Korea cooled by convection cooling in the winter season flow into the Cheju Strait in February and March, and expand their extent to the restricted area between Bogil Island and Chuja Island. They are then mixed with the Tsushima Current forming a severe difference of water temperatures and salinities in the straight between Chuja Island and Chungsan Island. Waters in the southern coastal area with a high salinity of over 34.00‰ in the winter and spring seasons suggests that the area is affected by the Tsushima Current from the Cheju Strait rather than the cold water from the Yellow Sea.

Key words : hydrographic conditions, Cheju Strait, winter, vertically homogeneous

서 론

제주도 주변해역에는 대마난류수, 중국대륙연안수, 한국남해안연안수, 혼합수 등(노·平野, 1983; 노·김, 1983; 노, 1985; 조, 1988; 최, 1989; 한, 1989; 김·노, 1994)의 여러 이질수괴가 좁은 해역에 출현하고, 이들 이질 수괴가 계절에 따라 복잡하게 출현하므로써 각종 수괴가 나타내는 해양환경 특성은 다양한 변화를 보이고 있다.

그러나 동계 제주도 주변해역에 대한 연구로는 노(1985)가 동계 제주도 주변해역에 출현하는 대마난류수에 대한 연구와 이(1983)에 의한 제주해협 전선특성 연구 및 김(1995)에 의한 제주도 주

변해역의 동계해황을 언급한 연구가 있으며, 동계 한국남해안연안수에 대한 연구가 공(1971), Kang(1974), Lim(1976), 조(1988) 등에 의하여 연구된 바 있으나 제주도주변해역에 대한 동계상황을 구체적으로 제시하지는 못하였다. 또한 지금까지 제주해협에서의 연구들은 국립수산진흥원의 격월 해양관측자료를 분석하여 나타낸 결과들로서 아직까지 우리나라 주변해역의 동계 상황에 대한 연속적인 조사는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 제주해협내에서 시계열(Time Serial) 분석이 가능하도록 월별관측을 실시하고, 제주도 주변해역에 대한 해황연구의 시발점이 될 수 있는 동계상황을 비교·분석하여 그 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

제주해협내에 남북 방향으로 횡단하는 4개의 해양관측 정선을 Fig. 1과 같이 설정하여 정선상의 23개 정점에서 1992년 4월부터 1993년 9월까지 월별로 시계열 해석이 가능하도록 제주대학교 해양연구소 연구조사선 아라 2호(15G/T)와 제주해양경찰서 소속 제주 303호(300G/T급) 및 제주 507호(500G/T급)를 이용하여 CTD에 의한 해황조사를 실시했다. 또한 Fig. 1에 나타난 해양관측정선 중 제주해협 서쪽 입구단면(Section A)의 동계 월별 수온·염분의 연직특성을 분석하였다. 그리고 관측 기간의 제주해협내의 해황을 대표할 수 있는 일정점(Sta. 12)을 선정하여 시계열 분석을 통한 연직적인 수괴구조의 변화 및 수온·염분·밀도의 변동특성을 파악하였다.

결과 및 고찰

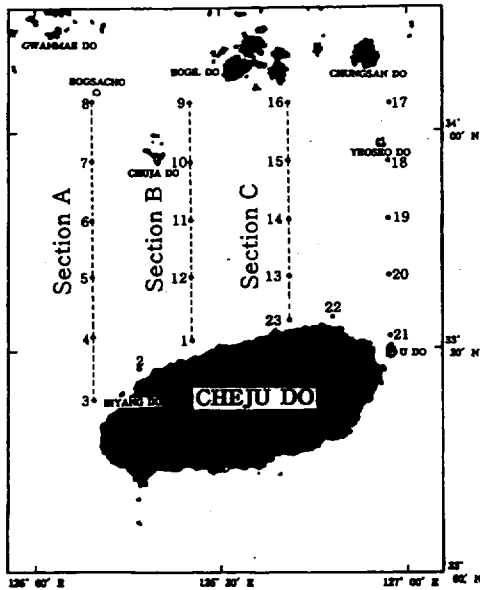


Fig. 1. Location of oceanographic stations observed by the research vessel of Marine Research Institute of Cheju National University in Apr. 1992~Sep. 1993.

동계 제주해협 해황

제주도 주변해역의 동계 해황을 분석하기 위하여 12월부터 익년 4월까지의 동계해황을 Fig. 2~6에 나타냈다. 1992년 12월(Fig. 2)의 T-S diagram에서 수온 15.2~17.9°C, 염분 34.19~34.58‰의 범위이고 표·저층간의 수온·염분의 차가 거의 없으며, 제주해협의 전해역이 대마난류수의 염분범위에 속하는 34.20‰ 이상의 고염분수가 출현하는 시기이다. 따라서 제주해협은 12월부터 전해역이 대마난류세력에 의해 지배되고 있다고 해석된다.

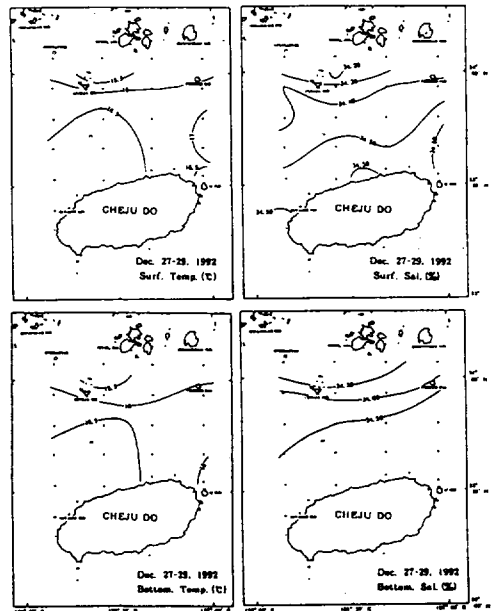
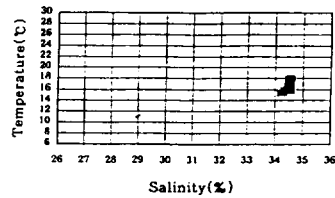


Fig. 2. T-S diagram and horizontal distributions of temperature(°C) and salinity(‰) at the surface and bottom in Dec. 27~29, 1992.

1992년 12월 27~28일 조사 이후 1993년 1월은 기상 악화로 해협내의 해황조사가 불가능하였으나

동계 제주해협의 해황특성

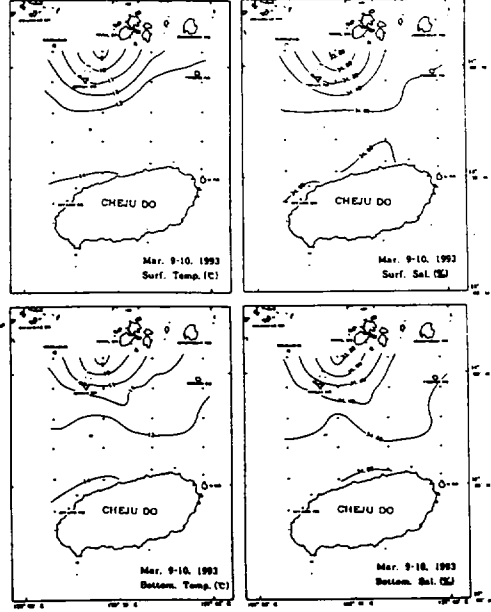
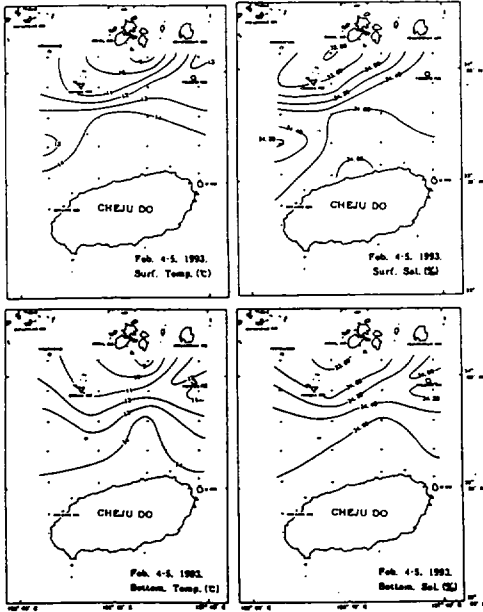
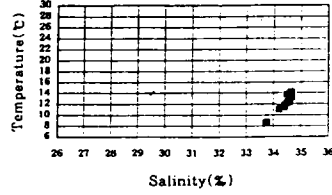
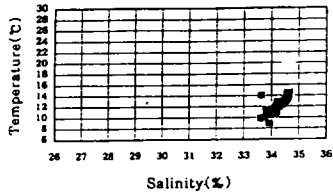


Fig. 3. T-S diagram and horizontal distributions of temperature(°C) and salinity(‰) at the surface and bottom in Feb. 4~5, 1993.

Fig. 4. T-S diagram and horizontal distributions of temperature(°C) and salinity(‰) at the surface and bottom in Mar. 9~10, 1993.

1993년 2월 4일(Fig. 3)에 실시된 해황조사 자료의 T-S diagram에서 나타난 바와 같이 동계 북서계절풍의 영향으로 표층으로부터 대류냉각작용이 심화되어 수온 8.8~14.0°C, 염분 33.60~34.65‰의 분포를 나타내므로서 12월 최저 수온보다 6.4°C, 최고 수온보다 3.3°C 하강하였고, 염분의 경우는 34.00‰미만의 비교적 저염분수가 출현하는 반면, 최고 염분농도는 12월보다 0.07‰ 상승하였다. 2월초에 12월의 최고염분보다 높은 34.65‰의 고염분수가 출현한 것은 쿠로시오로부터 분리된 대마난류수가 거의 변질되지 않고 해협내에 출현함을 뜻하고, 34.00‰미만의 저염분수가 나타난 것은 한국남해안연안의 보길도와 청산도 사이 해역(Sta. 14)에서 저온·저염(10.0°C · 34.00‰미만)의

한국남해안연안수가 제주해협내로 남하하고 있음을 뜻한다. 이 남해안 연안수는 해협내의 대마난류수와 마주쳐 동~서 방향으로 심한 수온·염분 전선을 형성하고 있다. 그러나 이 저염분수는 보길도로부터 추자도쪽으로 설상으로 확장하고 있어, 한정된 범위에 국한되고, 추자도와 진도 사이 연안에는 저층의 경우 이 남해안 연안수보다 수온·염분이 높은(10.0°C 이상, 33.80‰ 이상) 대마난류계수에 속하는 해수가 출현하고 있다. 그러므로 동계 이들 연안역에는 서해의 차고 저염(10.0°C 미만, 33.00‰ 미만)한 황해냉수계수보다는 대마난류계수의 영향을 받고 있다고 해석된다. 3월(Fig. 4)은 T-S diagram의 수온 분포 범위가 8.4~14.2°C, 염분이 33.71~34.65‰로 2월 최저 수온

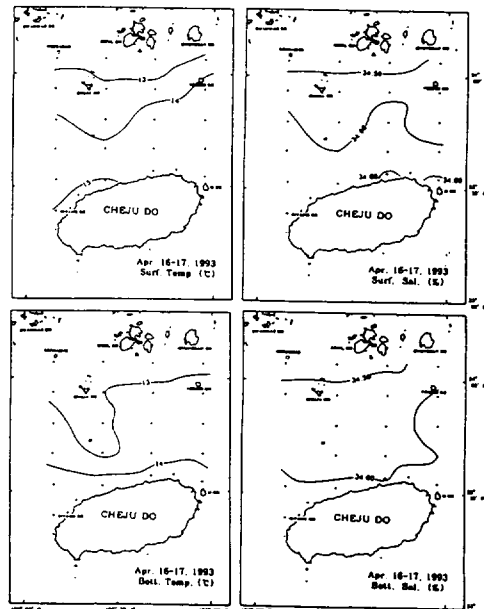
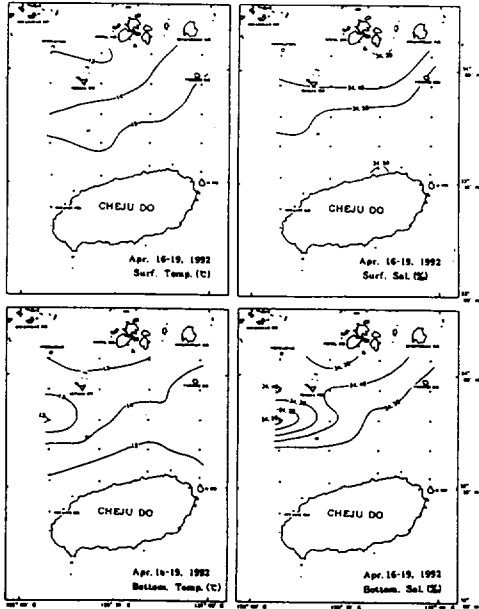
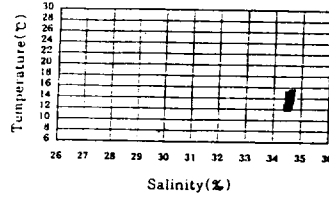
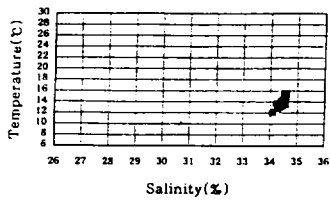


Fig. 5. T-S diagram and horizontal distributions of temperature(°C) and salinity(‰) at the surface and bottom in Apr. 16~19, 1992.

Fig. 6. T-S diagram and horizontal distributions of temperature(°C) and salinity(‰) at the surface and bottom in Apr. 16~17, 1993.

보다 0.4°C 하강하고, 최고 수온보다 0.2°C 상승했다. 염분 분포는 2월의 최저 염분보다 0.11‰ 상승했고, 2월과 같이 한국남해연안수가 대류냉각작용이 심화되어 보길도와 추자도 사이의 해역(Sta. 9)에서 9.0°C · 33.80‰의 저온·저염분수가 남쪽으로 확장하여 추자도 주변해역까지 영향을 미치고 있다. 4월 제주해협내의 해양환경 조사는 1992년(Fig. 5)과 1993년(Fig. 6) 2회에 걸쳐 조사된 결과로 한국남해연안수가 거의 소멸되고 1992년, 1993년 모두 13.0°C, 34.20‰~34.50‰의 대마난류수가 남해안 연안역까지 출현해 전해협이 대마난류수의 영향을 받게 된다. 또 1992년의 경우는 제주해협 서쪽입구의 중앙부(Sta. 6)의 저층에 12.0°C · 34.10‰의 주위수보다 저온·저염한 설상의

저층수가 해협내로 유입되어 추자도쪽인 북동쪽으로 확장되는 현상을 보였다.

따라서 제주해협내에서 동계 해황이 지속되는 시기는 12월부터 익년 4월까지이며, 특히 4월에 그 분포 범위가 가장 넓어지며 표·저층간에 연직 혼합이 잘 이루어져 균질상태가 되므로써 노(1985)가 지적한 바와 같이 동계에 제주해협 전역에 대마난류 세력에 의하여 지배되고 있음을 잘 나타내고 있다. 그리고 4월부터는 제주해협 서쪽 입구의 중앙저층부에 주위보다 저온·저염한 해수가 해협내로 유입되어 제주해협의 저층수에 영향을 미치기 시작하는데 이것이 좀더 발달하여 5월 이후 하계에 걸쳐 제주해협 저층에 출현하는 저온수의 근원이 되는 것으로 보인다.

동계 제주해협해황의 연직특성

제주해협은 12월부터 익년 4월까지 동계해황을 나타내는 데, 이 시기의 연직해황을 파악하기 위하여 Fig. 7에 단면 A의 1992년 10월부터 1993년 5월까지의 수온·염분 연직단면도를 나타내었다. 연직적으로 수온·염분 약층이 10월까지 유지되지만 11월부터 표층냉각이 시작되어 수온역전 현상이 나타나며, 12월에는 수온 16.0°C 이상, 염분 34.40~34.50%의 고온·고염한 균질수가 표·저층간에 형성되었다. 이후 익년 4월까지의 수온하강, 34.40% 이상의 고염분수가 남해연안역까지의 확장 등 수온·염분 변화는 있지만 연직적으로 표·저층간에 균질상태는 계속된다. 그러나 2월초에는 대류냉각 작용이 심화되어 최저 수온에 있어서는 12월보다 약 4.0°C 이상 떨어지고 염분에 있어서는 한국남해역에서 34.00%로 낮아졌다. 3월까지도 이와 같은 상황이 지속되었으나 한국남해역의 저염분수는 출현하지 않고 34.40%의 고염분수가 남해연안역까지 확장되었다. 1992년, 1993년 2회 관측된 4월의 경우도 수직적으로 거의 균질한 상태를 나타냈으며, 대부분 34.50% 이상의 고염분수가 전체역을 차지하고 있다. 그러나 5월부터는 중국대륙연안수가 해협내로 유입되고 표층으로부터의 태양 복사에너지의 증가로 약한 수온·염분 약층이 형성되기 시작된다. 따라서 제주해협내에서는 6월부터 지속되던 심한 성층상태가 소멸되기 시작하여 11월부터 표층으로부터의 수온 하강에 의해 12월부터 연직적으로 표·저층간에 완전히 균질한 상태가 되고, 이러한 상황은 익년 4월까지 유지되다가 5월부터 다시 성층상태가 형성되기 시작한다. 그러므로 제주해협의 균질수는 12월부터 익년 4월까지 지속되는 현상이며 11월과 5월은 수온의 경우는 거의 균질상태가 유지되는 시기로 볼 수 있다. 그러므로 한국 및 동중국해에서의 동계해황은 표층에서부터 저층까지 거의 균질한 수온·염분 분포를 보이므로써 표층 수온·염분자료만으로 저층까지 해황을 예측할 수 있고, 이 시기에는 NOAA 위성에 의한 표면수온 영상자료나 항해 중에 얻어진 표면 수온자료만으로도 해황해석에 유익하게 사용할 수 있는 편리한 점이 있다.

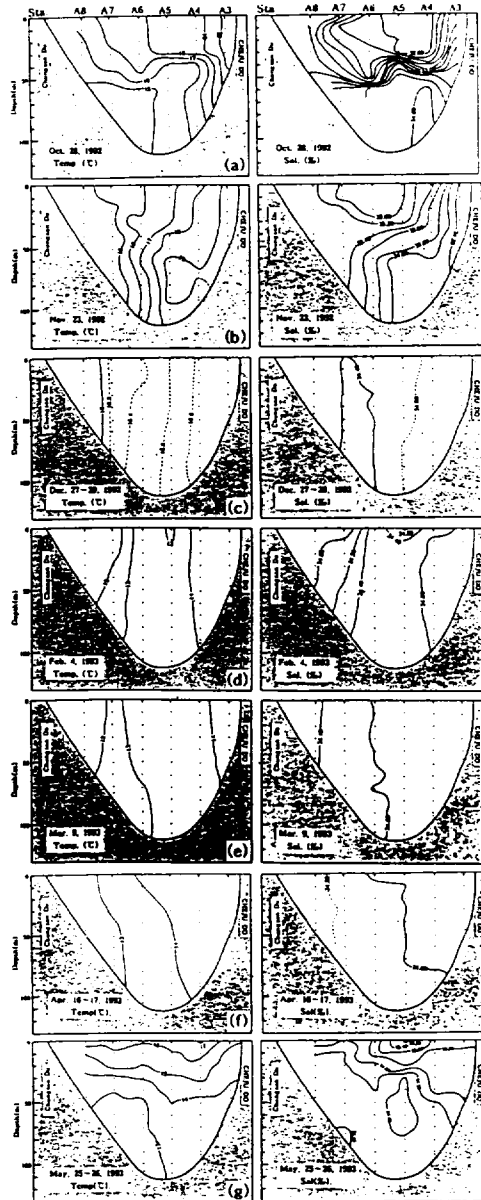


Fig. 7. Vertical distributions of temperature(°C) and salinity(‰) of section A in the west entrance of the Cheju Strait.

Fig. 8은 제주해협내의 해황 및 어장학적으로 중요한 위치를 차지하고 있는 Sta. 12의 1992년 4월부터 1993년 9월까지 조사된 수온·염분 및

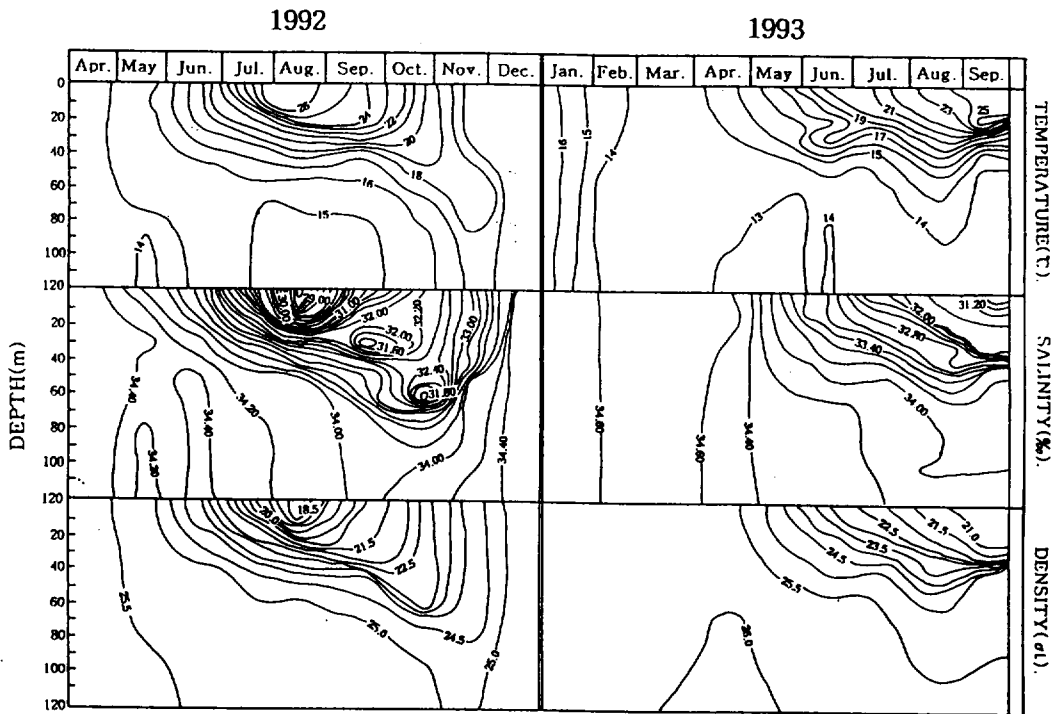


Fig. 8. The result of time serial analysis in the Sta. 12 from Apr. 1992 to Sep. 1993.

밀도에 대한 시계열분석 결과를 나타낸 것이다. 1992년, 1993년 모두 5월 표층에서부터 성층이 형성되기 시작되고 최고 수온은 1992년은 8월의 표층(26.6°C)에서, 1993년은 9월의 표층(25.0°C)에서 나타났으며 1993년은 1992년보다 약 1개월쯤 늦게 최고 수온이 나타나면서 수온도 약 2.0°C 낮다. 또한 최저 염분도 1992년은 8월 표층(29.00‰)에서, 1993년은 9월 표층(31.20‰)에서 나타났으며 염분 역시 1992년의 경우가 1993년보다 1개월 빠르고 염분도 약 2.20‰ 낮으며 최저 염분 출현시기와 최고 수온 출현 시기가 잘 일치하고 있다. 1992년의 8월 표층 밀도는 σ_t 18.5, 1993년 9월은 σ_t 20.5로 최저 밀도가 된다. 그리고 표층 수온·염분의 경우 1992년은 14.0~26.0°C, 29.00~34.40‰ 사이로 광범위하게 변하지만 저층의 수온·염분은 14.0~17.0°C, 34.00~34.40‰로 년중 변화 폭이 매우 좁다. 이와 같은 현상은 1993년도 거의 같다. 또 성층이 가장 발달한 8월을 기준으로 한 수온·염분 및 밀도의 평균 연직 변화율을 보면

1992년의 경우는 각각 0.25°C/m, 0.10‰/m, σ_t 0.12/m이고 1993년의 경우는 각각 0.16°C/m, 0.03‰/m, σ_t 0.06/m로 1992년이 1993년보다 약 2배 정도 성층상태가 현저했고 해황도 복잡했다. 이와 같은 성층 상태는 5월부터 그 두께가 점점 깊어져 10월에 최대로되, 수심 80m까지 심한 수온·염분약층이 나타나지만 11월경부터 표층에서 수온 역전이 일어나기 시작하면서 성층이 갑자기 소멸되어 12월에는 표층에서부터 저층까지 전층이 균질한 상태로 되고 이와 같은 해황은 4월까지 이어진다. 한편 저층에 최저 수온이 출현하는 시기는 4월, 5월이다.

제주해협내에 출현하는 동계 한국남해안 연안수의 특성

제주해협의 동계해황에서 한국남해안 연안수가 제주해협에 영향을 미치고 있는 상황을 분석하기 위하여 그 영향의 정도를 분석하여 보았다. 1992

동계 제주해협 해황특성

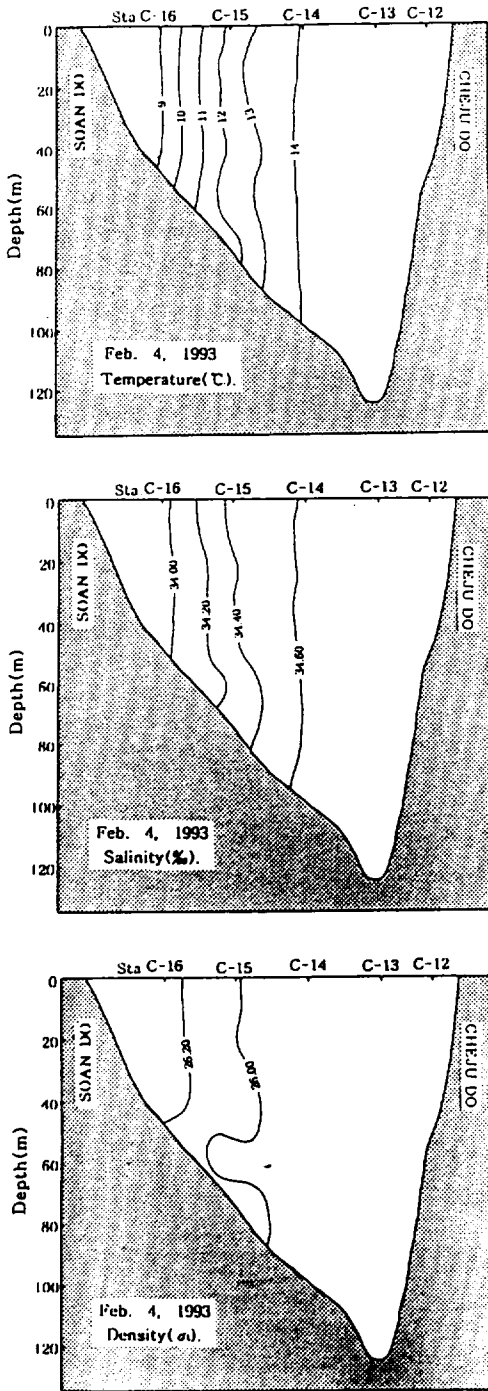


Fig. 9. Vertical distribution of temperature(°C), salinity(‰) and density(σ_t) in the section C

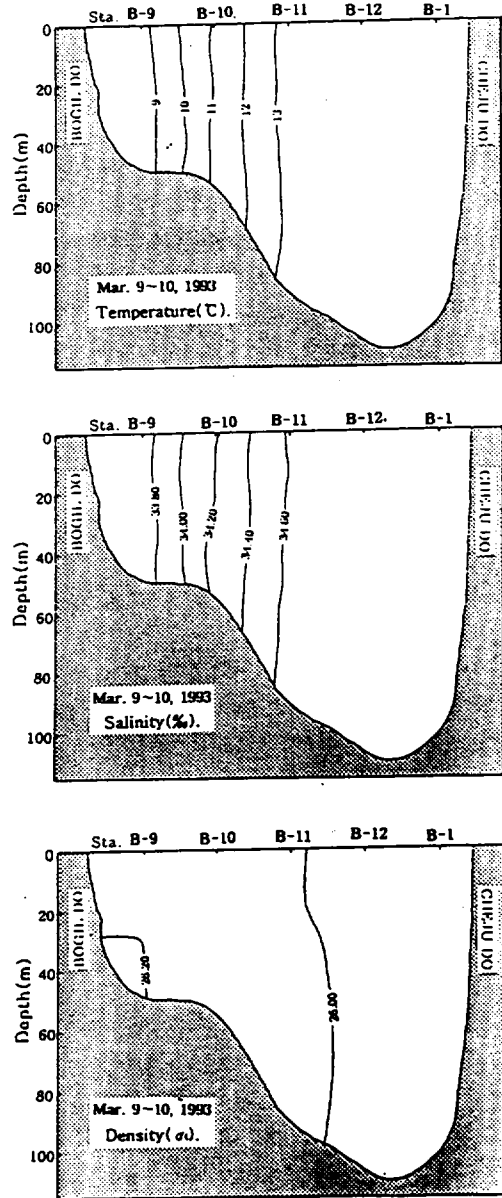


Fig. 10. Vertical distribution of temperature (°C), salinity(‰) and density(σ_t) in the section B.

년 12월의 경우(Fig. 2) 추자도에서 여서도를 잇는 선의 이북 연안쪽에는 16.0°C, 34.30‰ 이하의 제주해협 중에서 가장 낮은 수온·염분수가 나타

나지만 이들 수온·염분 범위는 모두 대마난류수에 속하는 범위로 이 연안역까지 대마난류 세력이 영향을 미치고 있으나, 2, 3월(Fig. 3, 4)에는 동계 표층으로부터의 심한 대류냉각작용에 의해 보길도 주변해역에서 $9.0^{\circ}\text{C} \cdot 33.80\%$ 의 저온·저염한 한국남해안 연안수가 남쪽으로 확장하여 추자도 주변해역까지 영향을 미치고 있다. 이와 같은 한국남해안 연안수의 동계 남하 확장 상태를 살펴 보기 위하여 1992년 2월의 보길도 남동쪽에서 시작한 남북단면(Section C)의 수온·염분·밀도의 연직단면도를 Fig. 9에 나타냈다. C-14~C-16 사이해역에서 조밀한 전선대를 형성하고 있고, $0.3^{\circ}\text{C} \cdot 0.04\% \cdot \sigma_t 0.025/\text{mile}$ 의 평균변화율을 나타내며, C-15 이북의 연안저층에 $\sigma_t 26.0$ 이상의 고밀도수가 제주해협내의 저층으로 침강 확장할 가능성이 있다. 1993년 3월에는 2월 상황과는 달리 추자도와 보길도 사이 해역에서 확장하므로 보길도 남서쪽 단면(Section B)의 수온·염분·밀도의 연직단면도를 Fig. 10에 나타냈다. Sta. B-9~B-11사이 해역에서 조밀한 수온·염분대를 형성하고 있으며 $0.29^{\circ}\text{C} \cdot 0.05\% \cdot \sigma_t 0.01/\text{mile}$ 의 평균변화율을 나타내어 2월보다는 변화율이 다소 낮아진 상황이었다. 3월의 경우는 거의 수직적으로 균질한 상태를 보여 표류 혹은 침강확장의 형태는 찾아 볼 수 없다. 그러나 4월(Fig. 5)에는 $13.0^{\circ}\text{C} \cdot 34.20\%$ 로 고염분의 대마난류수가 다시 출현하여 5월까지 유지되고 있어 4월에 출현한 대마난류수가 그대로 유지되면서 이 고염분수가 추자도와 여서도를 잇는 해역까지 확장하고 있다.

따라서 동계의 대류냉각작용에 의해 한국남해 연안수가 냉각되어 제주해협내로 확장하는 시기는 2월부터 3월까지이며 그 위치는 주로 보길도와 추자도 사이의 한정된 해역에서 추자도 주변해역으로 확장하여 대마난류수와 혼합되므로 추자도와 청산도를 잇는 해역에 심한 수온·염분전선이 형성된다. 특히 한국남해안 연안수의 2월 침강확장에 대해서는 Han(1989)의 결과와 일치하고 있으나 동계 제주해협에 영향을 미치는 한국남해 연안수에 관한 상세한 연구가 이루어져야 되리라 사료된다.

요 약

제주해협에서는 12월부터 연직적으로 완전히 균질한 상태가 되고 이러한 상황은 익년 4월까지 유지되므로 동계해황은 12월부터 익년 4월까지이다. 그리고 제주해협내에서 동계해황이 지속되는 시기에는 해협 전역에 대마난류수가 출현하고, 특히 4월에 그 분포 범위가 가장 넓어지며 표·저층간에 연직 혼합이 잘 이루어져 균질상태가 된다.

동계의 대류냉각작용에 의해 한국남해연안수가 냉각되어 제주해협내로 확장하는 시기는 2월부터 3월까지이며 그 위치는 주로 보길도와 추자도 사이의 한정된 해역에서 추자도 주변해역까지 확장하여 대마난류수와 혼합되므로 추자도와 청산도를 잇는 해역에 심한 수온·염분전선이 형성된다. 또 동계 및 춘계에 남해안 연안역에 34.00% 이상의 고염분수가 나타나는 것은 이 해역은 서해방수의 영향보다 제주해협에 나타나는 대마난류계의 영향을 받고 있다.

감사의 글

본 조사를 수행함에 있어 조사자료의 정리에 협조하여 준 양영진, 김준택 대학원생, 그리고 원활한 조사가 이루어 지도록 협조해 주신 아라 2호 김명학 선장님의 승무원 및 제주해양경찰청 고경옥선배님과 그 관계자 여러분에게 감사를 드립니다.

참고문헌

- 조양기, 1988. 남해의 저층수와 유량에 관한연구. 이학석사학위논문, 서울대학교, p 1~55.
- 崔燦文, 1989. 韓國 南西域 沿岸水의 根源에 關한 研究. 碩士學位論文, 濟州大學校, p 1~44.
- 孔 泳, 1971. 韓國 南海岸 前線에 關한 研究. 韓國海洋學會誌, 6(1), 25-36.
- Han, S. K., 1989. A Study on the explanation of coastal waters and variation of Thermal front in the South Sea of Korea. M.S.

동계 제주해협의 해황특성

- Thesis, Hanyang Univ., pp. 1~79(in Korea).
- Kang, C. J., 1974. A Study on the Seasonal variation of the Water Masses in the southern sea of Korea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 12, 107~121(in Korea).
- 金仁鈺·盧洪吉, 1994. 濟州島 周邊海域에 出現하는 中國大陸沿岸水에 관한 研究. 韓國水產學會誌, 27(5), 515~528
- 김상현, 1995. 제주해협의 갈치(*Trichiurus lepturus*) 어장 형성기구에 관한 연구. 박사학위논문, 제주대학교, 1~168.
- Lim, D. B., 1976. The movements of the waters off the south coast of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 11(2), 77~88.
- Lee J. C., 1983. Characteristics of Front near the Cheju Strait in Early Winter. Bull. Korean Fish. Soc. 16(2), 51~58.
- 盧洪吉, 1985. 濟州島周邊海域의 漁場海洋環境에 關する 研究. 博士學位論文, 東京大學, 1~215.
- 盧洪吉·金 坵, 1983. 濟州와 木浦, 제주와 莞島間의 表面水溫變化. 韓國海洋學會誌, 18(1), 64~72.
- 盧洪吉·平野敏行, 1983. 濟州海峽 東쪽 入口에 出現하는 舌狀의 暖水. 韓國水產學會誌, 16(4), 299~304.