

한국 남해연안의 해표면 수온분포와 천해전선의 변동 특성

양 성 기

제주대학교 해양과학대학 해양토목공학과
(1994년 4월 16일 접수)

Variations of the Sea Surface Temperature Distribution and the Shelf Fronts in the Cheju Strait and the Korea Strait

Sung-Kee Yang

*Dept. of Ocean Civil Engineering, College of Ocean Sciences, Cheju National University,
Ara-Dong, Cheju 690-756, Korea*
(Manuscript received 16 April 1994)

Abstract

The distributions of sea surface temperature across the Cheju Strait and the Korea Strait have been measured by using a thermometer installed on board No.1 Cheju, a ferry that operates regularly between Pusan and Seogwipo. The data from 14 October 1991 to 15 August 1992 were analyzed in this paper.

A clear temperature front is formed at the adjacent sea of Geomundo, and its position is not fixed and moves north and south. The slow northward movement of the front can easily be traced, but the southward movement from March to October is obscure. The temperature contrast in the Cheju Strait and the Korea Strait is very weak in this period. Some periodical fluctuations with a period of several tens of days are observed in the region of the temperature front from November to February. This fluctuation seems to be caused by winter heat flux exchange and the strong southeastward wind force. The result shows that continuous observation of the sea surface temperature distribution across the Cheju Strait and the Korea Strait yields a good method for monitoring the presence of Tsushima Warm Current and the fluctuations of South Korea Coastal Water.

The formation and structure of shelf front in the Cheju Strait and the Korea Strait was analysed based on the detailed oceanographic data observed during the period of 1990-1992. The analysis shows that well-defined fronts were formed through yearly around the Chuja Island, particularly, in summer. In nature, its structure and formation position can be changed easily from year to year and by season. But, in region of the Korea Strait this front is relatively weak.

Key Words : Temperature front, Shelf front, Periodical fluctuations, South Korea Coastal Water, Tsushima Warm Current

* 이 연구는 '91년도 한국과학재단 연구지원비에 의한 결과임(과제번호:913-0505-004-2)

1. 서 론

한국 주변해역은 동해, 서해, 남해로 나누어지며, 이들 해역은 각각 지리적인 성상과 해양학적인 특성을 달리하고 있다. 대한해협(Korea Strait) 및 제주해협(Cheju Strait)은 황해와 동해를 잇는 중요한 해상교통의 통로로서, 한국남안연안수(South Korea Coastal Water)와 대마난류수(Tsushima Warm Water)가 상접하여 복잡한 해양구조를 이루고 있는 해역이다.

대한해협 및 제주해협은 그 수심이 대부분 100m 이내의 천해로서 해상기상 및 해수순환의 변화에 따라 해양구조가 크게 달라질 수가 있다(Hur, *et al.*, 1981; Hsueh and Romea, 1983). 또한, 이들 해역에는 한국 남안연안수와 대마난류수(Tsushima Warm Current)의 혼합 및 해수의 교환 등이 복잡한 양상으로 나타나고 있다. 대마난류의 본류는 제주도과 일본 고도열도 사이의 해역을 통과하여 대한해협으로 유입되지만, 제주도 남쪽 해역에서 분리되어 제주도 서방해역을 따라 북상하는 황해난류는 황해 남부해역과 제주해협에 유입하면서 고온·고염의 해수를 공급하고 있기 때문에 저온·저염인 한국 서안 및 남안 연안수와 사이에는 현저한 전선을 형성하고 있다(Gong, 1971; Lim, 1976). 그러므로, 황해난류수와 한국 연안수와의 시공간적인 분포 상태는 황해 및 남해의 해황에 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나 지금까지의 대마난류 및 한국 서·남해 연안수에 대한 연구 및 조사에도 불구하고, 이들 이질 수괴들의 혼합과정, 해수의 이화학특성 및 장·단기적인 변동기구나 수괴들 상호간에 형성되는 천해전선의 미세구조와 변동기구 등은 아직도 해결되지 않은 중요한 문제로 남아 있고, 특히 대마난류수의 형성기원과 황해난류가 황해에 유입되는 경로나 북상한계 등은 학자들 간에 많은 논란이 되고 있는 과제이다. 따라서, 우리나라 남·서해의 수괴형성과 해수순환에 중요한 영향을 미치는 대마난류수와 한국 남안연안수와의 역학구조를 연구하기 위해서는 특정한 주제에 대한 중·단기간의 정밀조사와 함께 장기간에 걸친 조사가 절실히 필요하다.

제주해협의 표면수온 변화에 대한 연구에는 노와 김(1983) 및 나 등(1990)의 연구가 있으나, 북미 및 일본의 경우는 정기연안 여객선을 이용하여 해표면수온을 장기간 연속적으로 관측하여 연안해역

의 중·장기적인 해황의 변동특성과 연안해역에서 형성되는 해양전선의 이동이나 해류의 변동(Nagata and Takeshita, 1985), 연안어장의 해·어황예보(Kimura and Sugimoto, 1988), 인공위성 영상자료에 의한 해상수온을 보정하기 위한 현장의 절대수온치 등으로서 일반적으로 널리 이용되고 있다(Ichikawa, 1988; Tawara and Fujiwara, 1985; Tomosada, 1983; Yanagi, 1980; Yanagi and Sanuki, 1991).

그러나, 우리나라에서는 아직도 이같은 연구·조사는 도입되지 않고 있는 실정이다. 또한, 대한해협 및 제주해협을 포함한 한국 근해의 해양전선에 대한 연구조사도 아직까지 충분히 이루어져 있지 않다. 이들 해역에서는 천해전선이 연중 상시 형성되고 있으나, 계절에 따라 그 형성위치와 분포양상이 매우 다르다(Lee, 1983; Lee *et al.*, 1984; Nagasaki Marine Observatory, 1985). 즉, 하계에는 강한 성층 해양이 형성되어 표층과 저층해수의 성질 및 유동이 서로 다르며, 또 하천수의 유입, 해저지형 및 대마난류수의 유입 세력과 바람 등의 영향으로 전선은 매우 복잡한 형태로 나타나고 있다(임, 1976). 초겨울 제주해협과 대한해협에서 형성되는 전선에 대해서 Lee *et al.*(1984)은 바람의 영향이 크게 작용함을 밝혔다. 동계 남해연안수의 확장과 수온전선의 변화에 대한 바람과의 관계에서, 나 등(1990)은 동계 북서계절풍의 영향을 강하게 받아 남해연안수의 소장은 단시일(수시간~수일)에도 많은 변동을 하며, 외해로의 확장형태를 침강과 표류확장으로 구분하여 설명하였다. 그러나 한국 남해안에서의 해양전선에 관한 연구는 그 대상해역이 국한되어 있거나 사용한 자료의 정도 및 시간성의 제한 등으로 인해 천해전선의 미세구조를 이해하는데는 다소 미흡하였다.

본 연구에서는 한국 연안해역의 전선구조와 변동기구를 해명하기 위한 연구의 일환으로 대한해협과 제주해협에서 주로 하계에 체계적이며 정밀한 해양관측을 실시하여 천해전선의 공간적인 분포특성과 미세구조를 밝히고자 하였다. 또한, 연안 정기여객선을 이용하여 중·장기적으로 해표면수온의 연속관측망을 구축하고, 이들의 연속적인 자료를 사용하여 해양 표면해수의 시공간적인 변화와 대마난류수가 제주해협과 대한해협에 유입 및 공급하는 과정을 조사하고, 특히 표면해수의 단기변화 및 계절변화의 특성을 규명하고자 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1 연구의 내용 및 범위

한국 연안해역의 전선에 대한 종합적인 연구를 수행 하기 위한 처음 단계로서 대한해협 및 제주해협을 선정하여 해표면수온의 시공간적인 변동특성과 전선의 물리적인 특성을 밝히고자 하였다. 대한해협 및 제주해협은 천해로서 해수순환과 해상기상의 변화에 따라 해황이 크게 영향을 받는다. 이 해역에서 형성되는 천해전선의 물리적 특성과 시공간적인 변동은 대마난류수의 한국 남해 연안해역에의 유입 및 파급과정과 한국 남해 연안수의 소장에 따라 특징 지어진다.

이러한 연구를 위해서는 종래의 관측에 보다 밀도있는 자료의 수집과 효율적인 조사방법이 도입되어야만 한다. 우리나라에서는 처음으로 정기연안여객선에 해표면 수온의 연속자동기록장치를 설치하여 실시간(real time)으로 해표면의 수온변화를 조사하였다. 대한해협과 제주해협을 운항하는 서귀포-성산포-부산 간의 정기연안여객선 항로에 관측정선을 설정하였다.

연구대상 해역에서 수온, 염분, 밀도 등의 기초 자료를 사용하여 특정한 시기에 대한 전선의 공간적인 분포특성 및 해양구조를 파악하였다. 이러한 분포특성으로부터 한국연안수와 대마난류수와 의 상호작용 및 계절적 변화를 조사하고, 특히 천해나 섬 주변의 연안수와 외해수가 전선을 형성하는 하계에 약 7mile간격의 정밀 현장관측을 실시하여 전선역의 미세구조를 조사하였다.

2.2 연구방법

한국 남해안에서 정기여객선을 이용하여 해표면 수온의 연속관측을 실시하였다. 제주도를 기점으로 남해안을 연결하는 정기여객선은 몇 개의 항로가 설정되어 있다. 제주해협 및 한국 남해안의 해표면 수온을 연속적으로 약 1년간 관측하여 수온 분포의 특성과 이 해역에서 형성되는 천해전선의 변화를 조사하였다.

2.2.1 정기여객선에 의한 한국 남해안 해표면 수온의 연속관측

이 방법은 우리나라에서는 처음으로 시도되는 관측법으로서 ANRITSU사의 AP-210 연속 수온 기록장치를 구입 제작하여, 제1단계로서 서귀포를 출항하여 성산포를 경유, 부산을 연결하는 정기여객선 카-페리 제주1호(약 2,800톤)의 기관실 해수 Suction Pipe 부분에 프란지를 제작하고, 수온계의 센사 부분을 설치(1991년 10월 12일)하여 케이블을 기관 사무실의 기록부에 연결하여 측정하였다. 기록부는 매 30분(약 10Km)마다 표층하 약 4m 수심의 수온을 자동기록하도록 설계되었다.

이 여객선은 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 주 6회(매일 1회 운행) 서귀포와 부산을 12.5~13.0 Knot로 왕복운항하고 있다. 통상 운항시간은 부산에서 서귀포까지는 18:30~10:00, 서귀포에서 부산은 16:30~07:30이나, 도중에 성산포를 경유하므로 화물량에 따라 1~1.5시간의 차이가 날 수도 있고, 해상 상태에 따라 운항시간과 항로가 다소 달라질 수도 있다. 그러나 제주해협 및 대한해협을 항상 야간에 통과 하므로 관측 사정은 좋은 편이다.

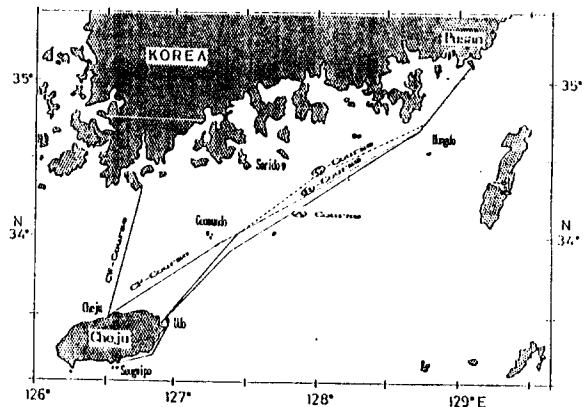


Fig. 1. Track of the Ferry #1 Cheju at which sea surface temperature(SST) was obtained. Three course from Seogwipo to Busan are shown by outer course(A), middle course(B) and inner course(C). CW and CP - Course indicate the Cheju - Wando and the Cheju - Pusan course of the ferry boats, respectively.

이때 수온 센사는 특수한 재질로된 금속을 주문 제작하여 #2 Suction Pipe에 설치하고, #1 발전기를 가동할 때는 수온 측정이 불가능 하므로 자료의 수집 일수가 줄어들게 되지만 주로 #2 발전기를 사용하고 있다.

관측기간은 1990년 10월 12일에 설치하여 10월 14일 부터 여객선이 정기검사를 위해 도크에 들어간 1991년 8월 15일까지 였다. 이때 #1발전기를 사용한 경우와 항해 Course가 항천으로 인해 연안에 접근하여 항해하는 C - Course인 경우는 제외하였다. 또한 폭풍주위보나 태풍주위보시 및 관측기기의 이상으로 인해 관측되지 않은 경우도 있어 연간 자료의 취득율은 70% 전후이다.

카-페리 제주1호의 운항 Course에는 3개가 있다(Fig. 1). A - Course는 통상 운항하는 최단 항로이며, C - Course는 항천시 한국 내해역을 항로로 취하고 있었으며, B - Course는 A와 C Course의 중간 항로를 나타내고 있다. 매 30분 마다의 위치는 여객선의 log book을 참조하여 확인 기록하고, 특히 출항 시간과 우도, 거문도, 매물도 및 홍도를 통과한 시간을 기준으로 그 위치를 기록지 위에 기입하도록 하였다.

수온 기록은 기관실에서 출항과 동시에 기록지 위에 기록이 시작되고, 입항 후 Finish Engine이 될 때 관측이 종료되며, 매 항해시 마다 반복 된다. 수온계 자체의 정도는 0.01°C이고, 취수구 부근에서 0.1~0.2°C 정도 승온의 가능성이 있으나 여기서는 절대온도로 보정하지 않고 그대로 사용하였다. 여객선의 항로선에서 부산, 홍도, 거문도 우도, 서귀포 등의 측점이 선정되어 분석되었다. 이러한 실시간 관측 연구는 장차 연안수역의 어항예보, 기상예보, 항해예보 등에 매우 유효하며 필수적인 사항이되리라 판단된다.

2.2.2 해양정선관측 및 자료의 분석

본 연구에서는 대한해협 및 제주해협에서 직접 CTD관측한 하계(1981, 1990, 1992) 및 춘계(1991)의 해양관측 자료, 국립수산진흥원이 조사한 1990년도의 하계(6월, 8월) 자료와 1991년의 춘계(4월)의 자료를 사용하였다.

수온 및 염분과 밀도전선에 대한 계절변화를 조사하기 위하여 수평 분포도를 작성하였다. 특히, 하계 한국 남해연안에서 실시된 기존 관측자료의 검토와 해석을 통하여 각종 수괴들의 특성을 파악한 후, 본 연구의 대상해역이 되는 대한해협 및 제주해협에서 형성되는 전선역 부근에 대해 CTD, DBT 등을 이용하여 관측하였으며, 약 7mile 간격으로 정밀 해양조사를 실시하여 전선의 미세구조를 분석하였다.

하계 제주해협 및 대한해협의 해양관측은 1990년 7월 3일~7월 10일까지 제주대학교 실습선 백경호에 의한 해양관측 기간 중 CTD관측 기간은 7월 4~7일이었으며, 해양관측점은 Fig. 2에 나타내었다. 또한, 1992년 하계 제주해협 및 대한해협의 해양관측(8월 31일~9월 7일)은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 55개의 측점에서 실시하였다. 관측항목은 Sea-Bird사의 CTD를 사용하여 연속수층에 대한 수온 및 염분의 관측과 봉상온도계에 의한 해표면 수온과 전선역에서의 해조류의 관측을 동시에 실시하였다. 춘계 제주해협 및 남해연안의 해양관측(1991년)은 제주대학교 실습선 백경호를 이용하여 Fig. 4에서 나타낸 해양관측점에서 DBT-V(KKK사)을 사용하여 실시하여 표층수온의 수평분포 및 춘계의 전선에 대한 분포특성을 조사하였다.

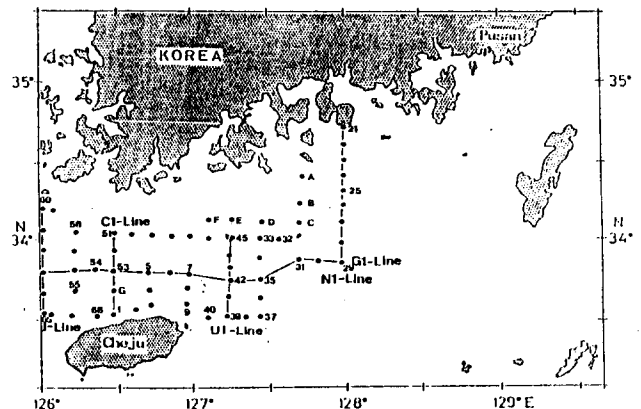


Fig. 2. Observation stations of CTD casting on 3-7 July 1990.

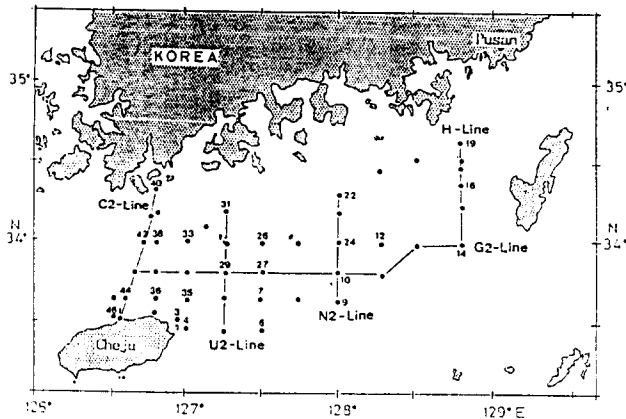


Fig. 3. Observation stations of CTD casting on 3-6 September 1992.

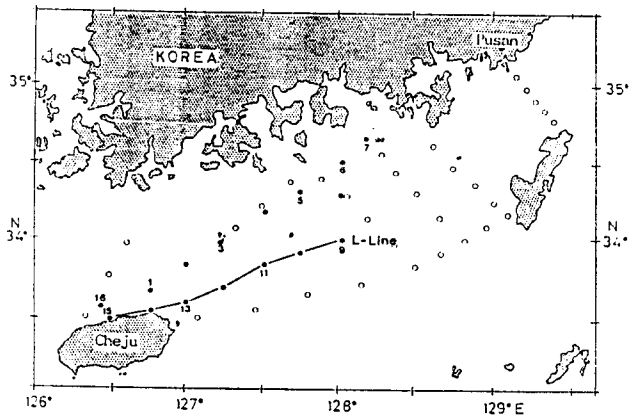


Fig. 4. Observation stations of DBT-V casting (black points) on 17-22 April 1991. Open circles are the hydrographic station by Korea Fishery Reserch and Development Agency and the thick line indicates the temperature section.

한편, 인공위성을 이용한 해표면수온 조사에는 1990년 하계 한국 남해안의 해양 관측 기간과 거의 같은 시기에 NOAA-11호로서 관측된 해표면수온의 영상을 Fig. 7에 나타내었다. 이러한 수온분포는 기기의 오차나 대기의 상태 등에 따라 현장 수온과 차이가 날 수 있으며, 또 상대적인 수온의 분포를 나타내는 것으로서 절대수온의 분포는 알 수 없는 단점이 있다. 이러한 제한점을 실시시간의 해표면 수온의 관측 결과로 보정하면 넓은 해역의 해표면 수온의 분포를 보다 현실에 가까운 수치로서 파악할 수 있다.

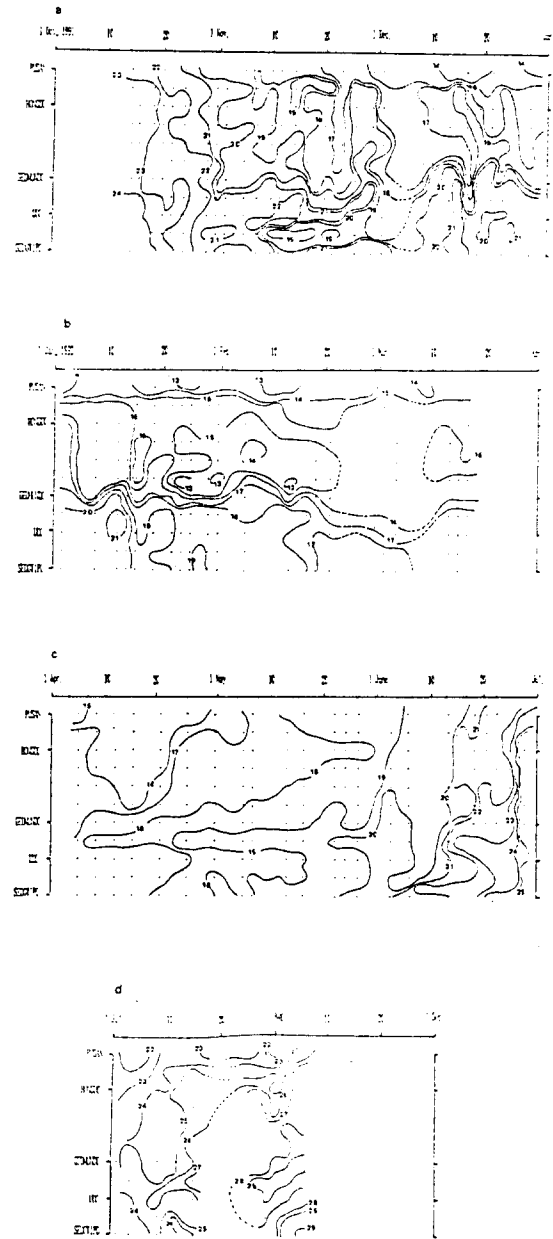


Fig. 5. Space-time diagram of the SST distribution across the Cheju Strait and Korea Strait: (a) from October to December 1991, and (b) from January to March 1992, (c) from April to June 1992, and (d) from July to August 1992. The positions of the check points are shown in the ordinate. Small dots in the figure indicate the data points, and numerals attached to isotherms show the SST value in $^{\circ}\text{C}$.

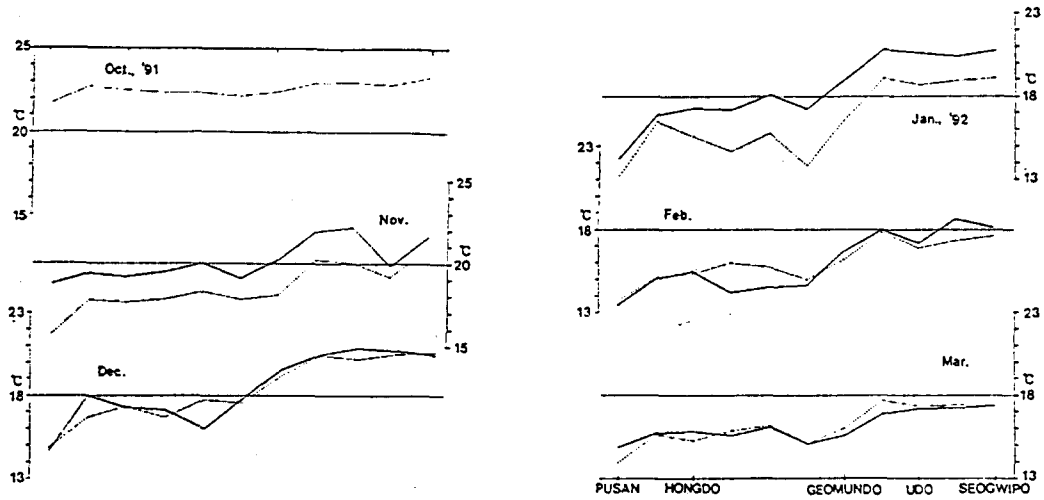


Fig. 6. Seasonal variation of SST distribution across the Cheju Strait and the Korea Strait. Solid line indicates the average value for the first half and the dotted line for the second half of each month. Data from October 1991 to August 1992 were used.

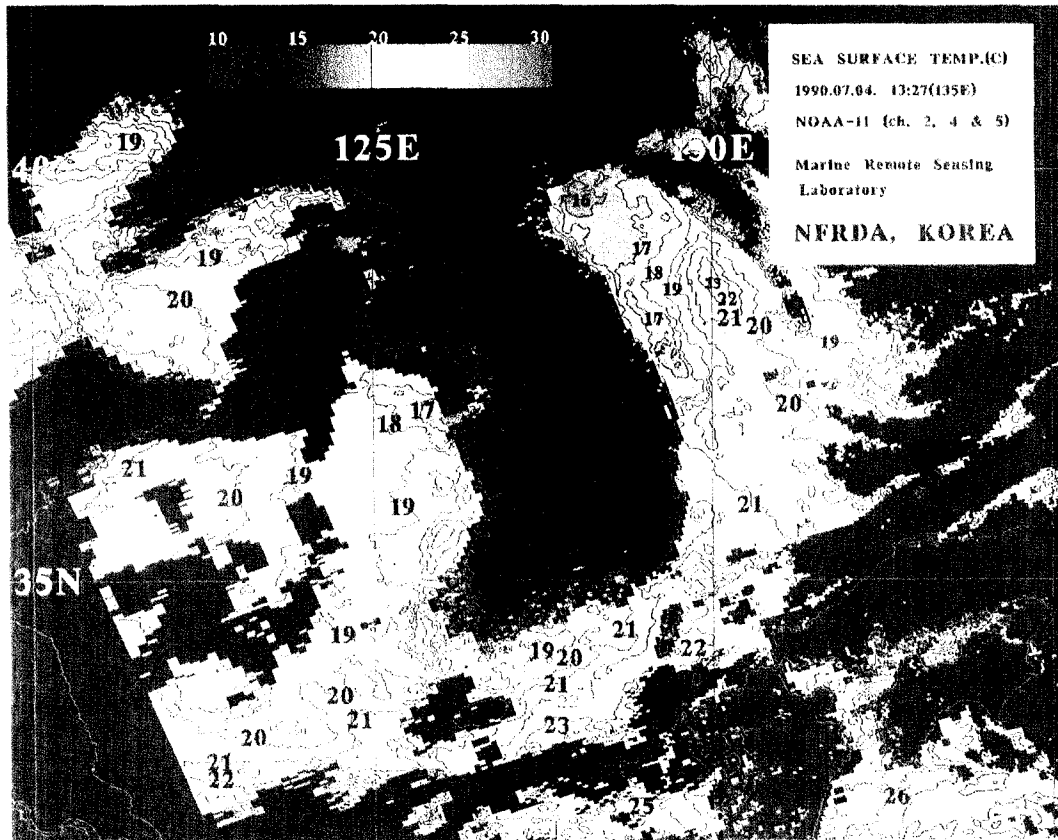


Fig. 7. NOAA-11 infrared image at 13 : 27 KMT on 4 July 1990. Contour line and numbers show the sea surface temperature(°C). The dark areas on sea surface indicate cloud parts(after KFRDA).

3. 연안 정기여객선에 의한 해표면 수온의 관측

대륙붕해역의 해양물리 현상에 있어서 많은 연구의 관심대상이 되고있는 것은 표층 또는 천해역의 문제들이고, 특히 계절변화 또는 단주기의 변동이 탁월한 것이 보통이다. 이러한 의미에서 외양역의 연구 이상으로 밀도가 높은 해양관측 자료를 필요로 하고 있다. 따라서 운항 빈도가 높은 연안의 정기선을 이용하는 표면 수온의 관측은 해양 연구에 이용할 수 있는 보기 드문 연속적인 관측자료로서 대단히 중요하다. 여기서는 그 유효성에 대해서 대한해협 및 제주해협에서의 관측결과를 토대로 설명코져 한다.

3.1 해표면 수온의 분포 특성

부산항을 출항하여 대한해협과 제주해협을 거쳐 성산포항을 경유 서귀포항 행의 정기선에 의해 관측된 해표면수온 분포의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 이 그림에서 표면수온은 수일 단위의 단주기 변화뿐만 아니라 현저한 계절변화를 나타내고 있다. 11~2월에는 수온의 수평구배가 크며, 11월부터 2월까지의 수온전선이 각각 제주해협과 대한해협에 존재하고 있다. 그 하나는 부산과 홍도 부근에서 11월부터 2월까지 나타나는 약한 전선으로서 위치가 7월말부터 8월을 제외하고는 거의 변하지 않는 것이고, 또 하나는 거문도를 중심으로 변동하는 수평구배가 큰 전선이다. 전자는 부산을 중심으로 한 연안저온수와 고온수인 대마난류수와 사이에서 형성되는 전선이며, 후자는 한국 남해연안수와 대마난류의 본류수 또는 대마난류수가 제주도 서방해역과 제주해협을 통과하여 북북동류하는 대마난류수가 서로 마주치는 해역에서 형성되는 전선이다. 이 전선의 위치를 추적함으로써 제주해협에서의 대마난류수의 확장 범위나 대마난류 본류수의 유속에 대한 단기변동을 모니터 할 수가 있고, 동시에 한국 남해연안수의 남하범위를 파악할 수가 있다.

우도와 거문도 사이의 제주해협에서 형성되는

전선의 남북이동에는 계절에 따라 어떠한 주기성이 있는 것으로 보인다. 약 1년간의 자료에 대한 전선의 남북 이동 범위는 중심이 거문도 부근의 해역이며, 수온변화의 주기성은 11월말부터 2월까지의 10~20일 정도의 단주기변동이 나타나고 있다. 이같이 짧은 기간을 취해보면 규칙적으로 보여도, 그 변동은 반드시 오랫동안 계속되지는 않는다. 비교적 짧은 주기의 변동은 동계 북서계절풍과 같은 외부요인의 주기적인 변화와 비교 검토하면 변동을 일으키는 원인을 규명할 수도 있다 (Lee *et al.*, 1984). 나 등(1990)은 동계 북서계절풍의 영향으로 수일 단위의 단기간에도 변하고 있음을 제시하였다.

제주해협에서 형성되는 수온전선의 단주기변동에 대해서 흥미있는 또 하나의 현상은 Fig. 5에서 보여지는 것과 같이 그 이동 특성이 비대칭적인 점이다. 즉, 우도와 거문도에서 형성되는 전선이 초가을에서 겨울에 걸쳐 북으로 이동할 때는 일반적으로 전선이 뚜렷한데 대하여, 남으로 이동할 때는 전선의 구조가 불명확한 경향이 있다. 더우기 전선이 북쪽으로 이동할 때는 이동속도가 느린데 대하여, 남으로 이동하는 속도는 빠르고 변동의 형태도 단순한 편이다. 해양의 성층이 발달하기 시작하는 6월말경 부터는 2~3일 사이에 수온이 급변하여 약 2~3°C 승온하고 있고, 이 때는 전 해역의 수온이 거의 일정하게 된다. 또한, 6월말 부터는 남쪽 해역에서 승온이 시작되어 2~3일 내에 전해역이 25°C 이상의 고온역으로 된다.

3.2 해표면 수온의 계절변화

해협의 수온분포 특성에서 흥미있는 것은 계절 변화이다. 해협을 횡단하는 수온분포에는 수온의 수평경도가 강한 시기와 약한 시기가 존재하고, 수온경도가 약한 시기에는 전선도 뚜렷하지 않다. 10월에는 수온의 경도가 약하고 전선도 확실하지 않지만, 그 후 11월 중순부터 뚜렷한 전선이 나타나게 된다. 그 상태는 2월까지 계속되지만 3월부터는 갑자기 없어지게 되며, 다시 전선이 불명확한 시기가 계속된다. 그러나 이것이 일어나는 월일이 연에 따라 달라질 수 있고, 등온선의 분포가

밀한 시기에서 소한 시기에, 또는 그 역의 이동이 특정될 수 있는 형으로 매우 갑자기 일어날 수도 있다. 따라서 통상 예상할 수 있을 만큼 단순히 하계에 약하고 동계에 강한 것이 아니고, 춘계부터 추계 즉, 3월에서 10월에는 등온선의 간격이 소하게 된다. 1년중 11월에 가장 복잡한 수온변화를 보이는 것은 해양의 성층시기에서 수온이 연직적으로 발달하기 시작하는 시기에 해당되며, 이때는 해양표면으로부터 대기로 방열하는 열수지와 관련되는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 1991년 10월부터 1992년 8월까지의 자료를 각 측점에 대해서 월별로 상순(실선)과 하순(점선)의 평균치를 구하여 수온의 계절변화를 나타내었다. 수온이 최고치에 달하는 것은 제주해협 측의 측점이 빠른 경향이 있지만, 조사기간중 모든 점에서 8월에 최고 수온을, 2월부터 3월에 걸쳐 최저수온을 나타내고 있다. 상순과 하순의 수온편차가 가장 큰 시기는 수온 상승기인 6~7월로서 약 3°C 정도의 차이가 있지만 수온 하강기인 1월에는 약 2°C의 차이를 보이고 있다.

대한해협 및 제주해협의 표면수온도 심한 계절변화를 보이며, 각 월의 수온곡선이 12월, 2~3월을 제외하고는 거의 교차하지 않고 있다. 측정된 개개의 수온분포에는 작은 공간 스케일의 변동이 많은 것을 알 수 있다. 이 소규모의 변동은 대부분 전월 또는 다음달의 분포에 대응하는 파이크를 가지지 않는 것이 보통이며, 시간 스케일도 짧다. 이 수온분포에 있어서 비교적 시간 스케일이 긴 공통점은 부산 연안해역에서 1년을 통해 냉수가 존재하며, 이 냉수의 남서방향에는 춘계에서 초가을의 시기를 제외하고는 약한 수온전선이 존재하고 있다. 또한, 제주해협에서는 수온이 일반적으로 남서방향을 향해 상승하는 경향이 있지만, 10월부터 4월에 걸쳐 거문도 부근 해역에서는 냉수역이 나타나며, 이 시기에 거문도와 우도 사이의 해역에서는 작은 수온극대치를 나타내고 있다. 거문도를 중심으로 한 대한 해협에 냉수가 존재하는 것은 추·동계의 한랭한 시베리아 기단의 남하·확장의 영향으로 생각된다. Tawara and Fujiwara(1985)는 부산과 대마도사이의 대한해협에서 형성되는 강한 전선의 남동해역에는 수온이 최대값을 가지

는 난수괴(warm-core ring)의 영향이 있다고 하였으며, 또한 이 해역에서 대마난류수의 분포양상은 한국연안 냉수의 소장에 의해 좌우된다고 하였다.

4. 천해전선의 미세구조

제주해협 및 대한해협에서 고온·고염인 외양의 대마난류수와 저온·저염인 연안수와의 경계에서 발달하는 해양전선은 일반적으로는 약한 밀도의 전선이다. 그러나 전선은 연안의 국지적인 기상과 연관을 가진다. 연안수의 수온이 해면의 냉각·가열에 따라 크게 계절변동을 하기 때문에 동계에는 수온 전선, 하계에는 염분전선이 형성되는 경향이 있다. 해면의 냉각·가열이나 담수의 공급이 연·계절에 많은 변화를 하고 있다. 여기서는 하계에 형성되는 조석전선의 공간적인 분포특성과 그 구조를 밝히고자 한다.

4.1 수온, 염분 및 밀도의 수평분포와 수직분포 특성

하계 남해연안해역의 표층에 분포하는 연안의 저온수는 인공위성의 열적외선화상으로부터 쉽게 파악할 수가 있다. Fig. 7은 1990년 7월 4일 13:27에 수신한 인공위성 NOAA-11호의 열적외선 화상으로서 한국 연안해역의 해표면 수온분포를 나타내고 있다. 동해안과 울릉도 사이의 해역에서는 강한 수온전선과 함께 난수괴(warm-core ring)가 형성되고 있다. 또한, 한국 서해안의 남부 연안에서는 냉수괴의 출현과 동시에 강한 수온전선이 형성되고 있으며, 한국 남서해 연안에서는 19°C 이하의 냉수가 존재하고 있으나 전선이 한국 남안역에서 멀리 떨어진 제주도과 대마도사이의 해역에서 21°C를 중심으로 한 약한 수온전선이 북동-남동방향으로 형성되고 있다.

Fig. 8은 인공위성에서 관측(Fig. 7)한 시기와 거의 비슷한 1990년 7월 4일부터 7일까지 CTD관측한 5m 수심의 수온, 염분 및 밀도의 자료와 일부해역의 자료는 국립수산진흥원에서 관측한 6월과 8월의 자료를 평균하여 본 조사의 기간과 거의

일치되도록 보정하여 나타내었다. 수온의 수평분포에서 전체적인 분포 형태는 Fig. 7과 거의 비슷한 양상을 보이고 있으며, 수온의 절대치에 약간의 차이를 제외하고는 대부분 일치되고 있다. 한국 연안역의 수온은 대체로 20°C 이하의 저온수인데 반하여, 대마난류역에서는 21°C 이상의 고온역을 나타내고 있다. 수온전선은 제주해협의 서방(제주도와 추자도 사이의 해역)의 해역에서 형성된 18~21°C의 전선과, 거문도 남방해역에서 20~22°C의 약한 전선이 형성되고 있으나, Fig. 1에서 나타낸 정기선의 항로상에서는 전선이 거의 관측되지 않는 대각선 방향으로 분포하고 있다. 염분의 분포에서는 제주도 북방해역에서 변화가 크고, 대한해협에서는 거의 32.0로서 일정한 값을 보이고 있다. 제주도 북방해역에서는 30.0를 중심으로 한 전선이 형성되고 있으며, 31.0 이하의 저염분수가 제주도 서방해역을 우회하여 제주도의 동쪽 우도 연안해역까지 제주도를 둘러싸는 형상으로 염분전선을 형성하고 있다. 또한, 밀도의 수평분포에서도 전선의 형성위치가 염분전선과 거의 같은 해역임을 알 수 있다. 고온·저염인 제주도 북방에서는 20이하인 저밀도수와 22~24인 고밀도수 사이에 전선이 형성되고 있다. 1990년 7월 6일의 현장 CTD관측시에도 Fig. 2에서 나타낸 Stns. 52~53과 Stns. 56~57 사이의 해역에서 많은 부유물질의 집적을 육안으로 확인할 수 있을 만큼 대상으로 뚜렷이 형성되고 있음을 관측하였다. 또한, 거문도 남쪽 해역인 Stns. 43~44에서도 약한 전선을 식별할 수 있었다(Fig. 8에서 나타낸 그림자 부분). 따라서, 육안으로 뚜렷이 관측된 전선이 인공위성의 화상이나 CTD관측의 결과에서도 형성해역 및 범위를 확인할 수 있었다. 표층의 저염·저밀도수는 제주도 남서방의 중국 대륙 연안수의 영향으로 추측된다. Fig. 7에서 인공위성의 수온 자료로부터도 제주도를 중심으로 제주도 서쪽과 동쪽의 표면수가 서로 다른 기원을 가진 해수임을 알 수 있다. 그러나 거문도 남방해역의 수온전선역에서는 염분전선이 형성되지 않는 특성을 보이고 있다.

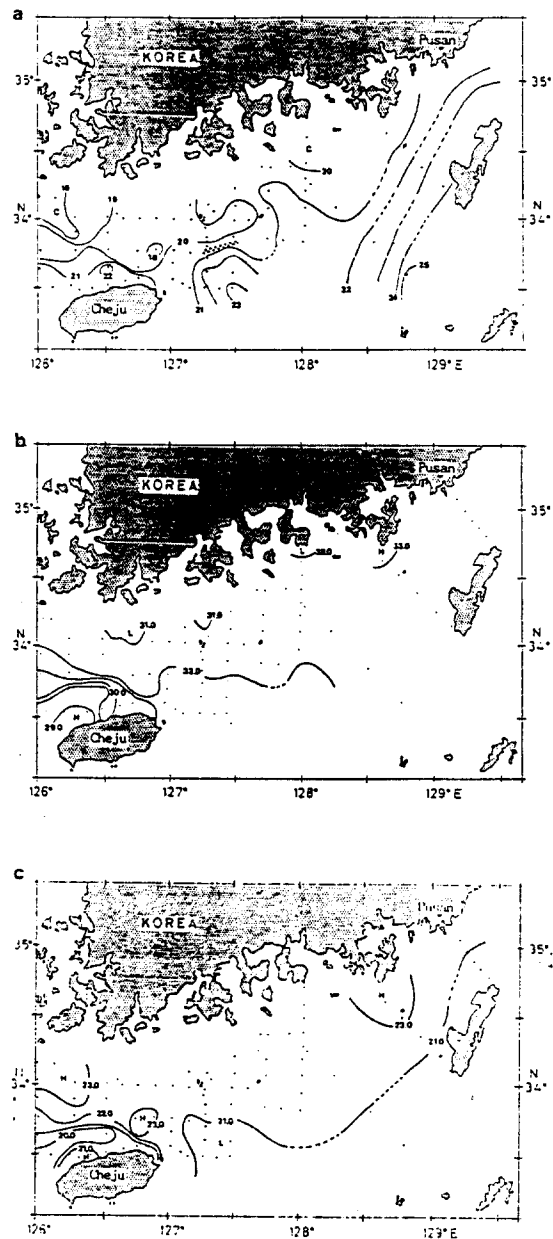


Fig. 8. Temperature(a : in °C), salinity(b : in psu) and density(c) distributions at 5m depth on 4-7 July 1990. KFRDA hydrographic data was added by mean values from June to August 1990.

Fig. 9는 제주해협에서 형성되는 전선역 부근의 측정점을 동서방향(위도방향)으로 잇는 단면(Fig. 2의 G1-Line)에 대한 수온, 염분 및 밀도의 연직분

포를 나타낸 것이다. 표층의 20°C 이상의 고온수와 저층의 15°C 이하의 저온수 사이에 성층이 형성되고 있다. 수온약층이 제주해협 서방의 해역에서는 15m로서 얇은 수심에서 형성되고 있으나, 제주 동부 해역으로 갈수록 약간 깊어지고 있다. 특히 15°C의 등온선 깊이가 대마난류역의 본류역에서는 해협의 서부역보다 2배이상 깊어지고 있으며, Stns. 5~7의 25~75m 수심에서 15°C 이상, 염분이 33.7이하이며 밀도 25이하인 수괴가 타원형으로 존재하고 있는 것은 특징적이라할 수 있다. 이 수심에서는 수온의 역전 뿐만이 아니라 밀도의 역전으로 연직혼합이 일어나기 직전의 형상을 보여주고 있고, 이 수괴의 영향으로 해양 표면에서는 서쪽의 저온(20°C이하) 저염분수(33.0이하)가 차단되어 연안전선을 형성하고 있으며, 22의 값을 갖는 해수밀도가 현저한 불연속을 이루고 있다. 이 연안전선은 제주도 연안 또는 중국 대륙연안수가 한국 서해 또는 남동연안수와 의 경계를 이루고 있다. 또한, 수온역전현상은 고온고염한 쓰시마난류와 저온저염한 한국 남해연안수와 의 상호작용에 의해 발생하며(Cho and Park, 1990), 제주도 동쪽에서 형성되는 연안전선도 이들 두 수괴의 경계를 나타내고 있다.

전선의 방향으로 본 해양구조를 한국 연안역과 외양역으로 구분하여 더욱 미세하게 고찰하기 위해서 Fig. 2에서 나타난 남북방향의 단면에서 조사하였다. Fig. 10은 제주해협에서 가장 서쪽에 위치하는 J-Line에서의 수온, 염분 및 밀도의 단면을 나타낸 것이다. Stns. 62~63에서부터는 외양역을 향해 수온, 염분 및 밀도의 약층이 형성되고 있으며, 그 깊이는 점점 깊어지고 있다. 한국 남해 연안역(Stns. 60~61)에서는 연안역의 강한 조류에 의해 연직적으로 거의 균일한 해수로 되어 있으며, 연안전선이 Stns. 61과 Stns. 62 사이의 해역에서 형성되고 있다. 또한 Stn. 63 보다 외해의 저층에서 수온 15°C, 염분 34.0 및 밀도 25 전후의 균일한 해수층이 존재하는 것은 해양 저층의 난류에 의한 혼합으로 생각된다. 제주해협 중앙부의 C1-Line에서는 Stns. 52-53의 표층에서 수온 20°C 이하이고, 염분 32이하, 밀도 20이하인 연안수괴와 이보다 상대적으로 고온, 저염, 저밀도인 제주도

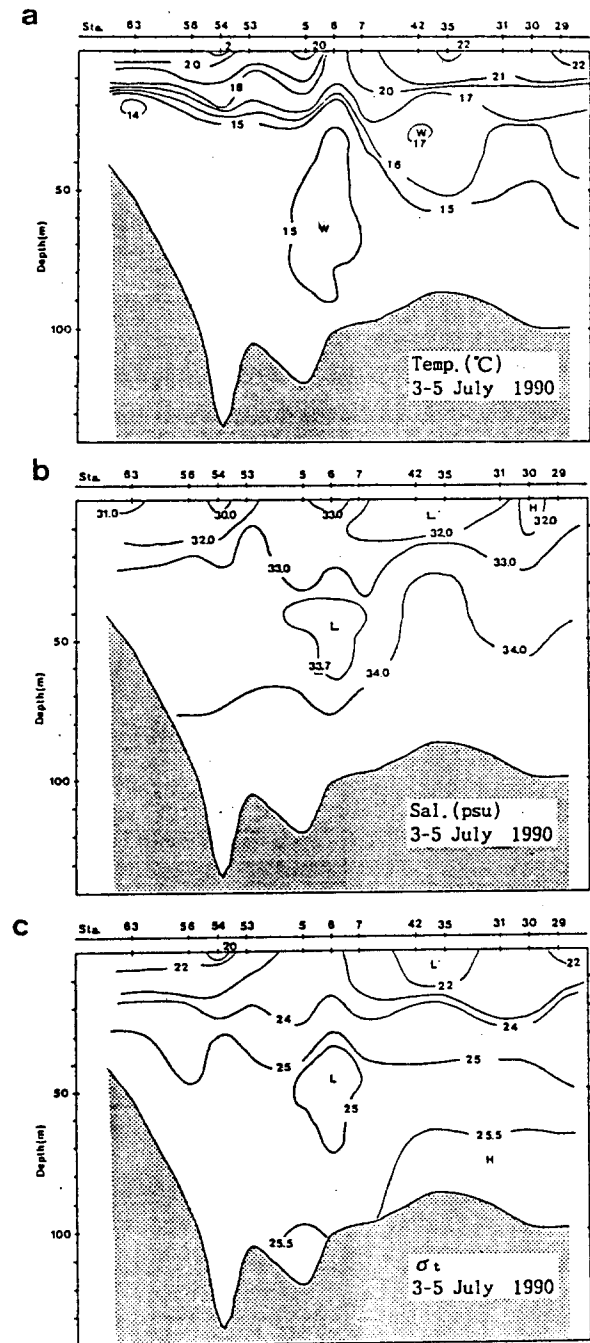


Fig. 9. Temperature(a : in °C), salinity(b : in psu) and density(c : sigma-t) cross-sections along the G1-Line shown in the Fig. 2 on 3-5 July 1990.

연안역의 해수가 전선을 형성하고 있다(Fig. 11). 이러한 제주도 연안역의 고온, 저염, 저밀도인 해수가 중국 대륙연안수 인지, 또는 쓰시마난류수가 변질된 해수인지는 인지는 알 수 없다. 이 전선은 중층의 수괴가 렌즈형으로 솟아 있는 위치와 거의 일치하고 있다. 이 전선역의 연안쪽에는 상하층이 거의 균질한 해수로 되어 있어 연안쪽의 전선은 강한 조류에 의해 성층이 파괴되어 있음을 알 수 있다.

제주 해협 동부해역에서는 거문도 남방 Stns. 43~44에서 약한 수온전선이 형성되고 있었다(Fig. 8). Fig. 12에 이 전선의 남북방향으로 횡단하는 수온, 염분 및 밀도의 연직 구조를 나타내었다. 이 전선의 부근에서 수온, 염분 및 밀도가 표층에서 불연속을 이루며, 전선에서 연안역 약 20m 수심까지는 거의 균일한 해수로 되어 있다. Stn. 42의 30~50m에서 17°C, 34.25의 해수가 고립되어 있다. 제주해협 중앙부(G-Line의 Stns. 5~7)의 중층에 고립적으로 존재하는(Fig. 9) 이 수괴는 대마난류수가 관입하여 주변의 해수와 혼합하여 변질하였거나 아직도 그 성질을 유지하고 있는 상태라 생각된다. 이 보다 동쪽에 위치한 N1-Line의 표층에서는 전선역이 발견되지 않고 있으나, 수온 약층이 Stn. 26보다 남쪽의 대마난류역 수심 20m에서 강하게 나타나고 있다(Fig. 13).

한국 남해연안역에서 형성되는 천해전선은 제주해협의 서방 해역에서 대한해협으로 갈수록 약해지고 있는데, 이것은 조류의 강도와 관계가 깊은 것 같다. 1992년 9월 초순(3~6일)에 제주해협에서 대한해협까지 CTD관측한 결과를 분석하였다. 이 관측을 실시하기 직전까지 해상에는 폭풍주의보가 8월 30일부터 9월 2일까지 발효(해상파고; 3~5m, 풍향; NE-SE, 풍속; 14~18m/sec)되었다. Fig. 14는 이 기간동안에 관측한 5m 수심의 수온과 염분의 분포를 나타낸 것이다. 이들 그림에서는 제주도 북부해역에서 초여름에 형성되었던 것과 같은 강한 전선은 나타나지 않았으나 전 해역의 수온과 염분이 대부분 26~28°C와 29.0~30.0이었다.

Fig. 15는 G2-Line에 대한 수온 및 염분의 연직 분포를 나타낸 것이다. 수온 약층이 제주해협 서방해역에서는 20~50m 수심에, 대한해협에서는

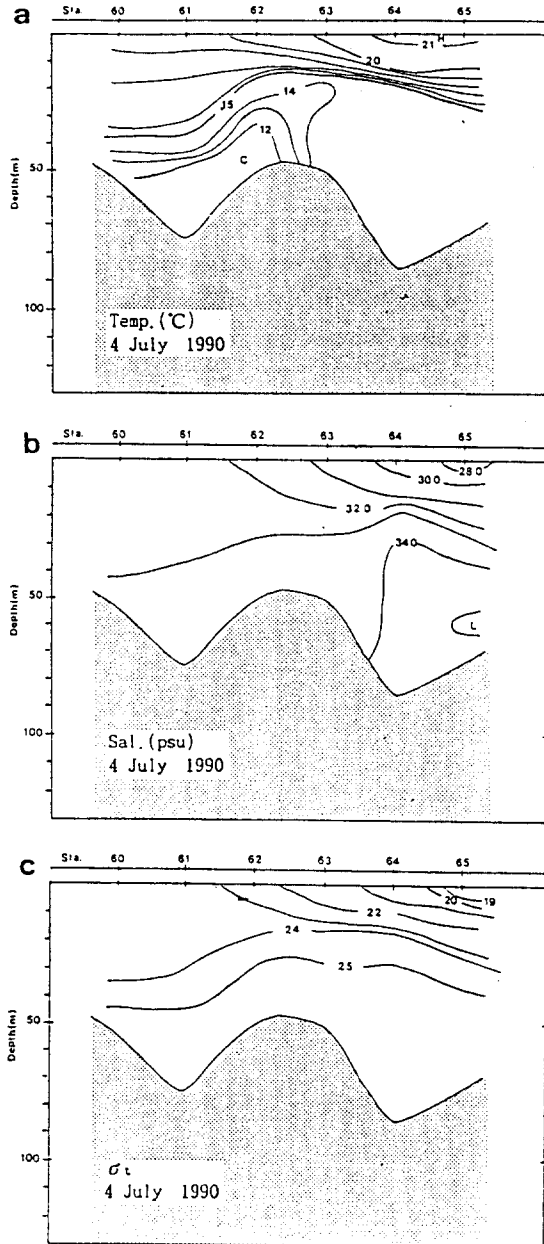


Fig. 10. Temperature(a : in °C), salinity(b : in psu) and density(c : sigma-t) cross-sections along the J-Line shown in the Fig. 2 on 4 July 1990.

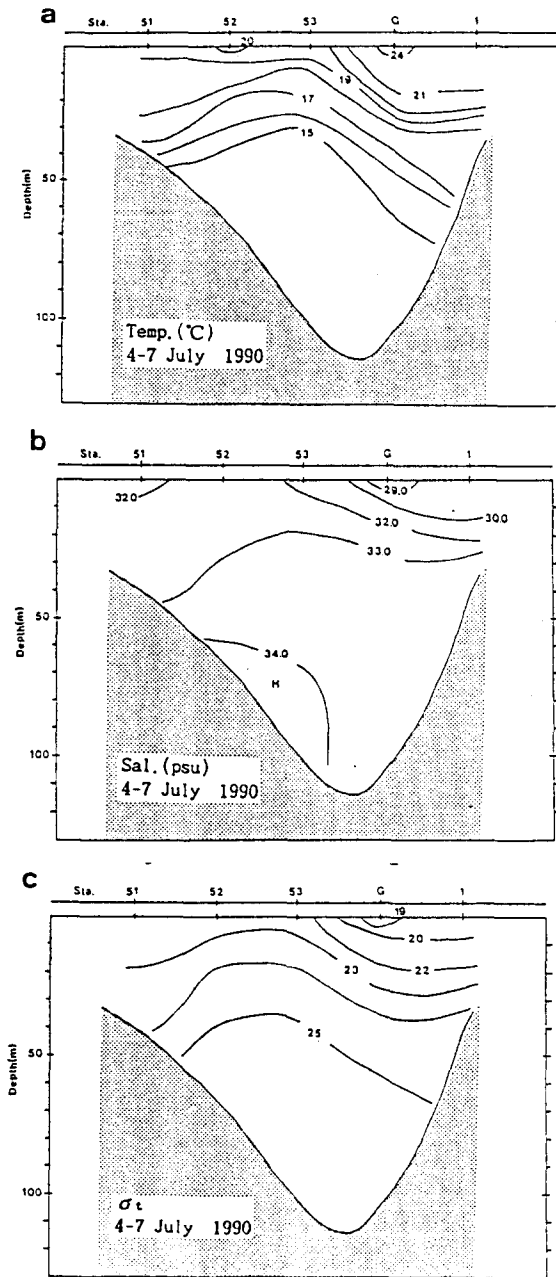


Fig. 11. Temperature(a : in $^{\circ}\text{C}$), salinity(b : in psu) and density(c : sigma-t) cross-sections along the C1-Line shown in the Fig. 2 on 4-7 July 1990.

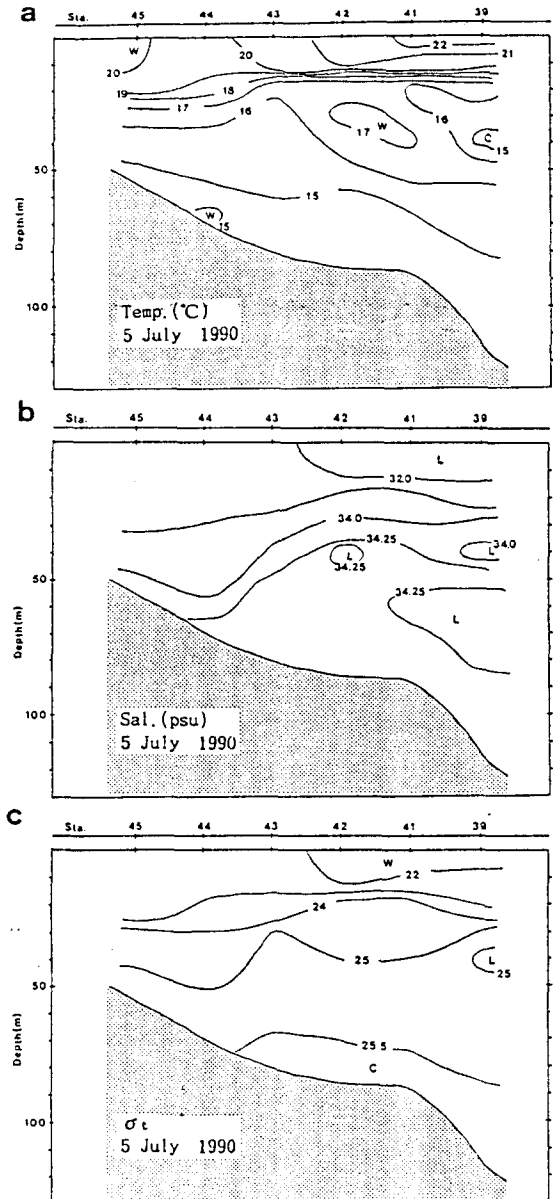


Fig. 12. Temperature(a : in $^{\circ}\text{C}$), salinity(b : in psu) and density(c : sigma-t) cross-sections along the U1-Line shown in the Fig. 2 on 5 July 1990.

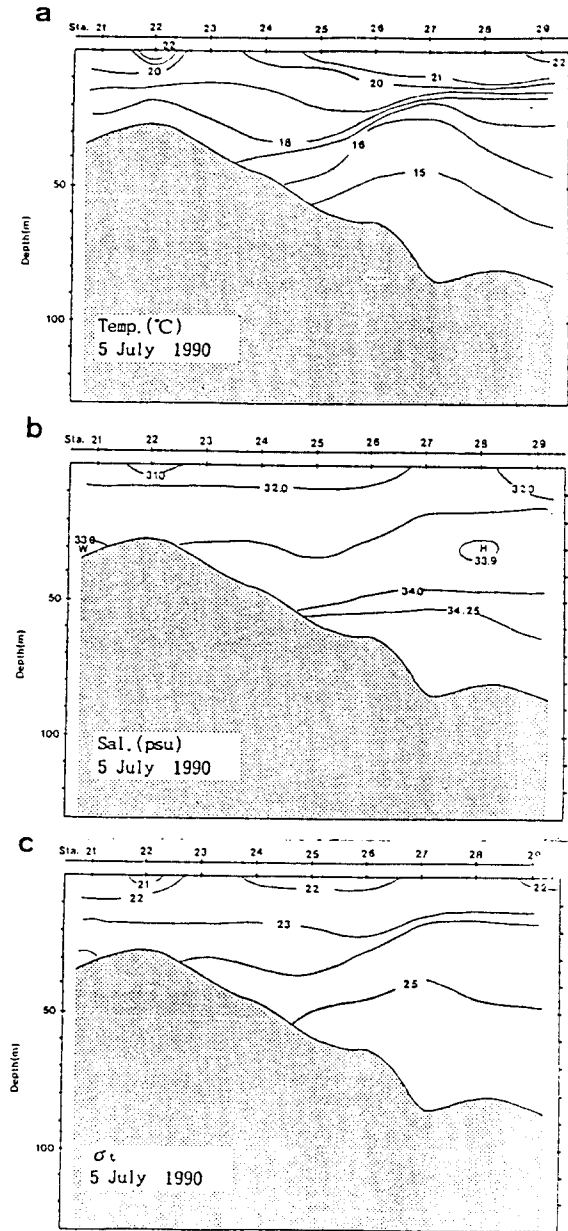


Fig. 13. Temperature(a : in $^{\circ}\text{C}$), salinity(b : in psu) and density(c : sigma-t) cross-sections along the N1-Line shown in the Fig. 2 on 6 July 1990.

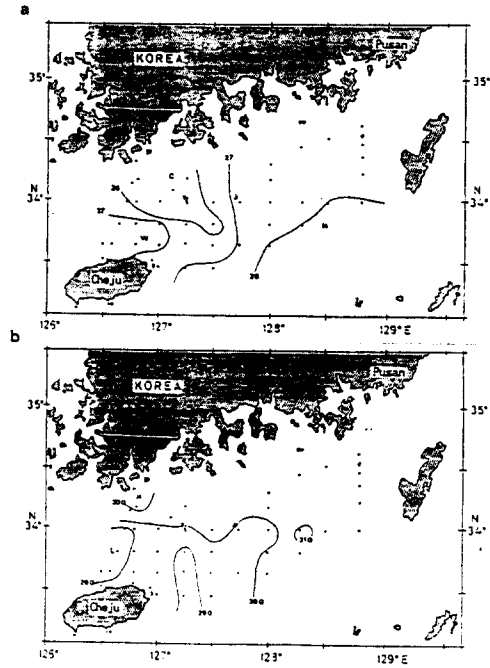


Fig. 14. Temperature(a : in $^{\circ}\text{C}$) and salinity(b : in psu) distributions at 5m depth on 3-6 September 1992.

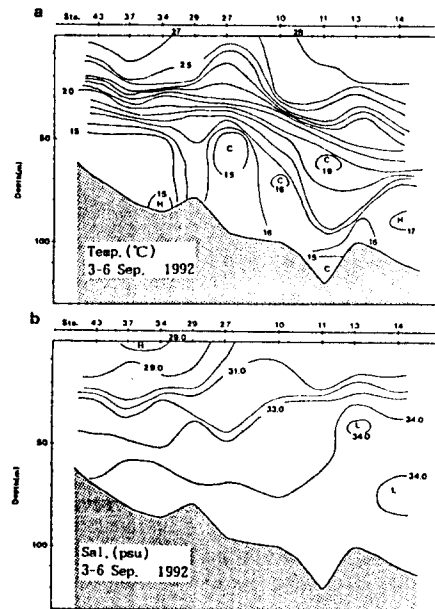


Fig. 15. Temperature(a : in $^{\circ}\text{C}$) and salinity(b : in psu) cross-sections along the G2-Line shown in the Fig. 3 on 3-6 September 1992.

이보다 약 20m이상 깊은 30~70m 수심에서 형성되고 있으나, 이는 7월에 비해 20~30m 깊어지고 있다. 그러나 염분의 약층이 대마난류의 본류역에서는 수온약층보다 15~30m 정도 얕아지고 있다. C2-Line에서는 표층에서 30m 수심까지 강한 조류의 영향으로 인해 거의 균질한 해수로 되어있으며 (Fig. 16), U2-Line에서는 연안역까지 강한 성층을 이루어, Fig. 12의 연안역과 같은 위치에서 형성되었던 조석 전선은 나타나지 않았다. 이같은 성질은 Fig. 17과 Fig. 18의 N2-Line과 H-Line에서도 거의 같았다. 대마난류역에서는 표층의 저염분수와 저층의 고염분수 사이에 강한 약층이 형성되고 있으며, 이 약층은 대마난류의 강류대 일수록 깊어지고 있다.

4.2 수온전선의 계절변동

한국 남해안에서 형성되는 전선은 수일주기(2~3일)의 단주기변동에서부터 계절 또는 연변동 등 다양한 변동을 하고있다. 특히, 이 해역에서의 계절변동은 매우 탁월한 편이다. 동계(2월)에는 제주해협에서 수온전선이 1년을 통해 가장 강하게 파상으로 형성되고 있고, 또 그 위치가 한국 남안역에 가장 근접해 있다(KFRDA, 1983). 그러나 하계(8월)에는 한국 남서해 연안을 제외하고는 전선역이 확실하지 않거나 약하며, 그 위치와 등온선의 분포 형태가 Fig.1에서 나타낸 연안 여객선의 A-Course와 거의 평행하다. 춘계(4월)와 추계(12월)는 등온선의 분포 형태가 서로 거의 비슷하나, 추계가 춘계에 비해 같은 해역에서 수온이 2~3°C 높고, 전선의 위치가 약간 남으로 처져있으며, 추계 제주해협에서는 위도방향과 거의 같다. 따라서 한국 남해안의 수온전선은 하계를 제외하고 추계부터 춘계에 걸쳐 항상 동서 방향으로 수심과 거의 평행하게 분포하고 있으며, 특히 동계에 가장 뚜렷하게 나타나고 있다.

Fig. 19는 1991년 4월 17일부터 21일까지 Fig. 3에서 나타낸 DBT-V의 수온관측자료와 이것과 거의 같은 기간에 국립수산진흥원이 관측한 수온 및 염분의 자료를 합쳐서 수평분포를 나타낸 것이다. 수온전선이 4월의 평균분포(KFRDA, 1983)와 거

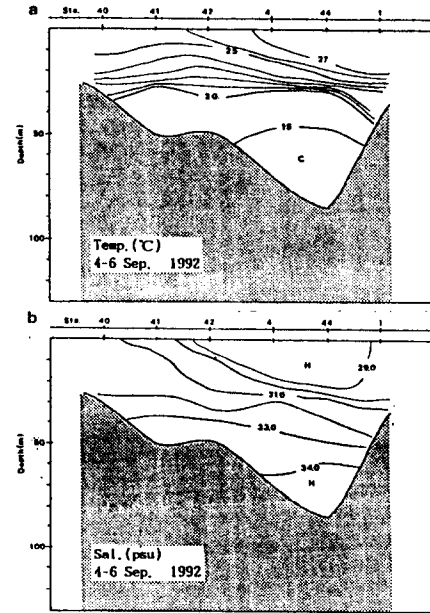


Fig. 16. Temperature(a : in $^{\circ}\text{C}$) and salinity(b : in psu) cross-sections along the C2-Line shown in the Fig. 3 on 4-6 September 1992.

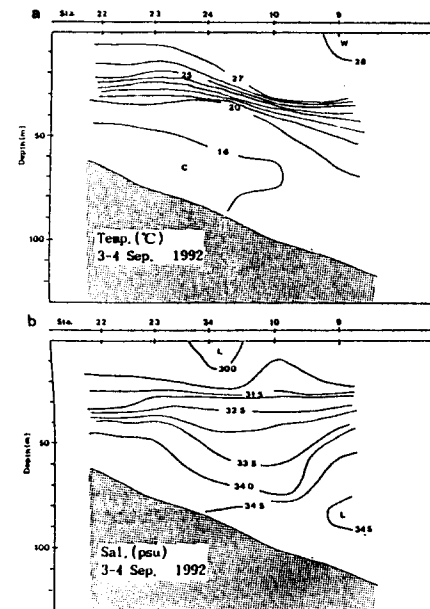


Fig. 17. Temperature(a : in $^{\circ}\text{C}$) and salinity(b : in psu) cross-sections along the N2-Line shown in the Fig. 3 on 3-4 September 1992.

의 같은 형태를 나타내고 있으나, 평균분포에 비해 15°C 등온선의 위치가 약간 북상하고 있으며, 그 분포형태가 파상을 보이고 있다. Cho and Yang(1985)은 이 등온선과 염분 34.0~34.5‰의 염분포는 거의 일치하고 있어 쓰시마 난류수계를 구분하고 있다. 따라서 15°C 등온선은 쓰시마 난류수의 지표수온으로 볼 수 있다. 또한 한국 남해연안역에서는 14°C이하의 저온수가 분포하고 있고, 34.3 전후의 고염분수가 나타나고 있다. 또한, 수온의 연직분포에서도 수온상승기 직전의 상하층 수온은 큰 차가 없는 14.5~15°C를 나타내고 있으나, 대마난류의 분류역에서도 15°C의 등온선이 해저까지 분포하고 있다. 한국 남해안에서 형성되는 수온전선은 제주해협에서 대한해협을 향해 파상으로 분포하고 있어 Fig 19에서 나타낸 수온전선과 거의 같은 분포를 하고 있다.

5. 고찰

한국 남해안에 위치한 대한해협(Korea Strait) 및 제주해협(Cheju Strait)에는 대마난류수 및 한국남해연안수가 복잡한 형태로 상접하고 있다. 그러나, 지금까지 이들 해역에 대한 연구 및 조사에도 불구하고, 이 난류수와 연안수 사이에 형성되는 전선의 단주기 및 계절적인 변동기구, 대기와의 상호작용에 의한 열적구조나 천해전선의 구조가 해양생물의 서식장에 미치는 영향 등은 아직도 해결되지 않은 문제들이다.

연안역을 운항하는 정기여객선에 의한 해표면 수온의 연속 관측자료는 연안수의 변동특성을 밝혀줄 수 있는 유효한 방법이다. 제주해협과 대한해협에는 추·동계에 걸쳐 현저한 수온전선이 형성되고 있는데, 거문도를 중심으로한 강한 수온전선과 부산과 홍도사이에서 형성되는 약한 수온전선이 있다. 거문도 부근 해역에서 형성되는 수온전선은 수일주기의 단주기변동 뿐만 아니라 계절변동도 큰 편이다. 동계의 단주기 변동은 외부적 힘의 영향을 받은 결과로서 강한 북서계절풍과 해면과 대기와의 상호작용에 의한 열이동에 따라 응

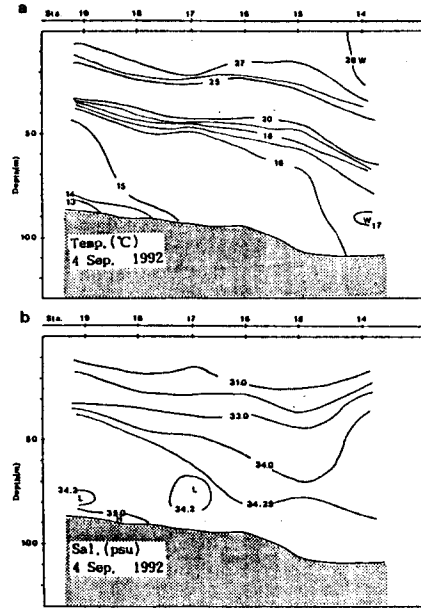


Fig. 18. Temperature(a : in °C) and salinity(b : in psu) cross-sections along the H2-Line shown in the Fig. 3 on 4 September 1992.

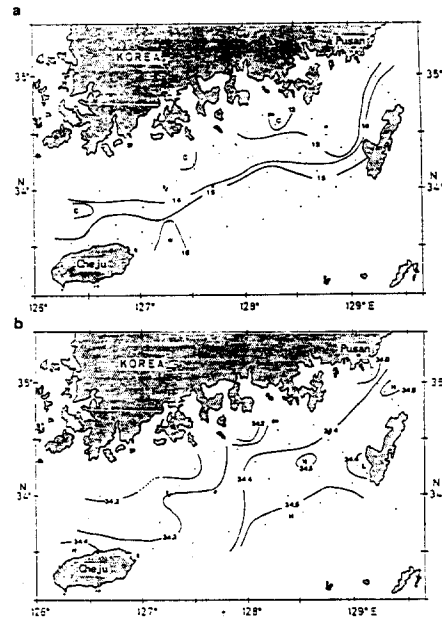


Fig. 19. Temperature(a : in °C) and salinity(b : in psu) distributions at sea surface on 17-22 April 1991.

답한 해표면수의 변동특성을 나타내고 있다. 이 수온전선은 Lim(1976)과 나 등(1990)이 밝힌 한국 남해연안수의 확장범위가 거문도 부근해역이라고 제시한 결과와 일치하고 있다. 특히, 나 등(1990)이 밝힌 남해연안수의 표류확장과도 관계가 있다. 또한 이 수온전선은 거문도를 중심으로 하여 남으로 이동할때는 이동속도가 빠르나 북으로 이동할때는 느리다.

한국 남안연안수는 현저한 계절변화를 보이고 있다. 이 수괴와 대마난류수 사이에 형성되는 전선은 동계에 강하게 나타나며, 하계에 약하게 나타난다. 부산 부근해역의 수온전선은 거문도 부근해역의 수온전선의 형성시기와 거의 일치하며, 또 Tawara and Fujiwara(1985)가 밝힌바와 같이 연중 냉수가 존재하고 있다. 따라서, 제주해협과 대한해협에서의 한국 남안연안수와 대마난류수의 분포양상은 한국 연안냉수의 소장에 의해 상호 복잡한 시·공간 스케일을 가지며 변동하고 있다. 따라서 해양전선의 미세구조를 파악하기 위해서는 정밀한 현장관측과 연속성이 있는 조사가 실시되어야만 한다.

한국 남해안은 하계 강한 태양열복사에 의해 표층수는 높은 수온을 보이며, 해수는 밀도가 낮아진다. 반면, 중·저층에서는 상대적으로 낮은 수온층을 형성하여 이들 층 사이에는 강한 수온 약층이 발달하며 성층을 이루게 된다. 또한, 연안역에서는 강한 조석류의 영향으로 성층이 파괴되어 상하층의 해수가 혼합하는데, 연안역의 표층 수온이 외양역에 비해 상대적으로 저온역을 보이고 있다.

최근 해면의 수온분포나 수괴의 분포가 인공위성으로부터 열적외선 화상이나 수색화상으로부터 동시에 광역적으로 관측되어 전선에 동반되는 파동, 와동(eddy)과 해수 횡방향 수송의 수평2차원적인 실태가 파악하게 되었다. 또한, 유속계나 CTD 등을 사용하여 전선의 3차원적 구조도 조사되게 되었다. 해양전선(oceanic front)이란 수온이나 염분 및 수질이 불연속적인 변화를 하는 이질 수괴의 경계로서, 여기에는 수색의 차이나 파랑의 발생, 부유물의 집적을 동반하는 한 줄 또는 여러 줄의 선이 뚜렷이 나타나게 된다.

하계 제주해협에서는 육안으로 식별이 가능할

정도로 탁월한 수온·염분·밀도전선이 형성되는 경우도 있다. 이와같은 전선의 분포는 인공위성의 화상으로부터도 관측되고 있다. 제주해협의 표층에서는 연에 따라 한국 남안수보다 저온·저염이며 저밀도인 중국 연안수가 나타나고 있다. 이들 수괴는 조류가 강한 서해 남부 연안에서 뚜렷이 전선의 형태로서 나타나게 된다. 이 전선은 연중 항상 제주와 추자도사이의 해역에 존재하는데, 이것이 지금까지 구분되어 온 서해남부연안수이다. 하계에는 제주와 추자도 사이의 해역까지 발달하고 있으나 동계에 비하면 약한 편이다. 이 전선의 강도는 거문도 서쪽의 제주해협에서는 강하게 나타나고 있으나 대한해협에서는 약하게 형성되고 있다. 그러나 이 전선의 강도와 형성위치는 연에 따라, 관측점의 설정에 따라 상당히 달라질 수도 있다. Lim(1976)이 국립수산진흥의 관측자료를 분석한 결과와 본 연구의 정밀한 측정에서 조사한 결과와는 몇가지 차이점을 보이고 있다. 1990년도 7월의 관측에서는 제주도를 둘러싸는 듯한 전선이 제주해협에서 형성되고 있으며, 제주도 동안 대마난류의 본류역에서는 수온 전선에 비해 약한 염분과 밀도 전선이 형성되고 있다. 특히 제주도와 거문도사이의 해역에서는 대마난류수와 한국 연안수 사이에 현저한 경계를 보이며, 복잡한 양상으로 관입과 혼합·교환이 일어나고 있어 중심층에서 거대한 고립수층을 만들기도 한다.

전선의 시간적 변화에 있어서 극히 짧은 일일단위 스케일의 변동으로부터 계절 또 연변동 등 그 스케일이 매우 다양하다. 하구역의 전선은 하천 유량의 변동에 따라 크게 변동하고, 연안역의 천해역에서는 조석 및 조류의 영향을 받아 조석주기로 크게 변동한다. 또한, 연안전선이나 천해 조석전선도 해면으로부터 가열 및 냉각 또는 하천 유량의 계절변화에 따라 크게 양상이 바뀌고 있다. 연안용승 전선은 하계 저기압에 동반되는 비교적 강한 남풍이 2~3일 이상 계속 불때 남북으로 향하는 해안선의 동측 연안에서 발생하게 된다. 이러한 계절변화와 단기변동이 생물의 산란이나 군집 등에 영향을 미치고 있다. 전선의 생성과 유지 기구는 가열과 냉각, 담수의 공급과 확산·혼합 등에 의한 수괴의 변질 과정과 해수유동구조 등이

밀접하게 관련하고 있다. 해양전선역에서 수온, 염분 및 해수밀도가 큰 수평구배가 플랑크톤, 난치자어, 부어류의 생리·생태에 중대한 영향을 미치고 있다.

한국 남해안에 정기적으로 운항하는 여객선에 의해 해표면 수온을 연속적으로 관측하여 한국남안연안수의 분포 및 변화특성을 파악할 수 있었다. 이 연안수는 추·동계에 거문도를 중심으로 강한 전선을 형성하고 있었으며, 그 위치는 단기적으로 많은 변화를 보이고 있다. 이 수괴의 소장은 동계의 기상조건에 의해 큰 영향을 받고 있었다. 하계에는 제주해협에서 강한 조석전선이 형성되고 있으나, 대한해협에서는 조석전선이 매우 미약하였다. 하계 해양전선의 위치는 인공위성에 의한 해표면 관측에서도 쉽게 파악될 수 있다.

6. 요약

서귀포와 부산사이를 취항하고 있는 “카페리 제주1호”에 수온계를 설치하여 1990년 10월 부터 10개월간 제주해협과 대한해협을 횡단하는 해역에서 표면수온의 관측을 실시하였다. 그 결과 거문도 부근의 해역에서 뚜렷한 수온전선이 형성되고 있으나, 그 위치는 약간의 변동성을 나타내고 있었다. 전선이 북으로 이동할 때는 비교적 느리고 뚜렷하나 남으로 이동할 때는 전선구조가 분명하지 않았다. 수온전선에는 수십일 주기를 가진 단주기 변동이 관측된다. 이 변동은 동계 강한 북서계절풍의 영향과 열이동의 효과로 인한 것으로 사료된다. 표면수온의 수평구배가 3월부터 10월에 걸쳐 매우 약하고, 그 이외의 시기에는 확실하다. 이러한 결과는 제주해협과 대한해협을 횡단하는 표면수온의 연속적인 관측이 한국남안수의 소장과 대마난류수의 출현 등을 모니터링하는데 매우 유효함을 나타내고 있다.

제주해협과 대한해협에서의 해양관측을 통하여 추자도 부근 해역에서 형성되는 연안전선의 구조를 파악하였다. 이 전선은 연중 형성되고 있으나, 계절과 연에 따라 그 위치 및 분포형상이 매우 다르다. 이같은 연안전선이 대한해협에서는 매우 약

하게 형성되고 있었다.

참고문헌

- Cho, K., D. and S. W. Park, 1990, Inversion phenomenon of Temperature off East Cheju Island in Summer, 1986, Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 26(3), 265-274.
- Cho, K., D. and Y. R. Yang, 1985, Environment of the Purse-Seiner Fishing Ground in the Tsushima Current, Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 26(3), 265-274.
- Gong, Y., 1971, A study on the south Korean coastal front, J. Oceanol. Soc. Korea, 6(1) : 25-36
- Hsueh, Y., & Cushman - Rosin, 1983, On the formation of surface to bottom fronts over steep topography, J. Geophys. Res., 88 : 743-750
- Hur, O. K., L. J. Rouse, S. A. Hsu, J.T. Wells & T. Shim, 1981, Korea Strait - East China Sea - Yellow Sea remote-sensing experiment November - December 1980, Data Report
- Japan Meteorological Agency, 1977, A study of the mixing mechanism between the Kuroshio and the continental shelf waters in the East china Sea, Japan Meteorological Agency, Tech. Rep.: 130pp.
- Kimura, S. and T. Sugimoto, 1988, Characteristics of short period fluctuations in oceanographic and fishing conditions in the coastal area of Enshu-nada Sea, J. Fish. Oceanogr. Soc. Japan, 52(3): 221-228
- KFRDA, 1983, Oceanographic Handbook of the Neighbouring Seas of Korea, Fisheries Research and Dvelopment Agency, 650pp. (in Korean).

- Lee, J. C., 1983, Characteristics of front near the Cheju Strait in early winter, Bull. Korean Fish. Soc., 16 : 51-58
- Lee, J. C., J. Y. Na and S. D. Chang, 1984, Thermohaline structure of the shelf front in the Korea Strait in early winter, J. Oceanol. Soc. Korea, 19(1) : 56-67
- Lim, D. B., 1976, The movements of the waters off the south coast of Korea, J. Oceanol. Soc. Korea, 11(2) : 77-88
- Nagasaki Marine Observatory, 1985, Mean sea surface temperature in the East China Sea for the years 1953-1982, Oceanography & Meteorology, 26 : 27pp.
- Nagata, U & K. Takeshita, 1985, Variation of the sea surface temperature distribution across the Kuroshio in the Tokara Strait, J. Oceanogr. Soc. Japan, 41 : 244-258
- 나정열, 한상규, 조규대, 1990, 한반도 근해의 해류와 해수 특성(남해연안수의 확장과 수온변화), 한국수산학회, 23(4) : 267-279
- 노홍길, 김구, 1983, 제주와 목포, 제주와 완도간의 표면수온 변화, 18(1) : 64-72
- Tawara, S. and T. Fujiwara, 1985, Sea surface temperature distribution and its variability across the Tsushima Strait, J. Oceanogr. Soc. Japan, 41 : 49-55
- Tomosada, A., 1983, Thermal structure on the Izu Ridge from the sea surface temperature monitoring by a ferry boat, Marine Science, 15(6) : 344-351(in Japanese)
- Ichikawa, H, 1988, The oceanic condition in the vicinity of oceanic front between two water mass, Studies on fisheries oceanography edited by the Japanese Society of fisheries oceanography, 266-272(in Japanese)
- Nagasaki Marine Observatory, 1985, Mean sea surface temperature in the East China Sea for the year 1953-1982, Oceanography and Meteorology, 26 : 1-27
- Yanagi, T & T. Sanuki, 1991, Variation of the thermocline front at the mouth of Tokyo Bay, J. Oceanogr. Soc. Japan, 47 : 105-110
- Yanagi T., 1980, A coastal front in the sea of Iyo, J. Oceanogr. Soc. Japan, 35 : 253-260