

제주도 북부 외도 연안해역의 해양환경특성

김 상 현 · 김 준 텍
제주대학교 해양과환경연구소

Characteristics of Oceanographic Conditions in the Northern Coastal Area of Woido in Jeju Island

Sang-Hyun KIM and Jun-Teck KIM

Marine and Environmental Research Institute, Cheju National University, Jeju 695-814, Korea

We studied the characteristics of oceanographic conditions in costal area of Woido in northern of Jeju Island. The obtained results are summarized as follow:

The daily recorded temperature of the fixed point observation fluctuated from 11.9 to 28.9°C with the annual average 17°C and the highest temperature was in August and the lowest in February from 1990 to 1992. Horizontal distributions of temperature and salinity ranged from 13.6 to 28.2°C and from 28.20 to 34.60psu from 1992 to 1993. Especially, high salinity water in winter and low salinity water in summer might be a cause of partial influence of Tsushima Warm Current and Changjiang low salinity water. The current during the flood water flows toward westward and the ebb water flows toward eastward. The fastest speed and current degree of the flood water was about 60.6cm/sec, 20° and ebb water was about 47.4cm/sec, 184°. The residual current speed and direction showed 21.9cm/sec and 38°.

Key wards : Woido, Tsushima Warm Current, Changjiang low salinity water, residual current, flood water, ebb water

서 론

제주도는 내만의 특성을 갖는 해안지형이 없는 개방된 지형지세를 이루고 있어, 외해수의 영향을 직접적으로 받는 곳이 대부분이다. 이러한 지형적인 특성은 계절적으로 제주도 주변해역에 영향을 미치는 대마난류수, 황해난류수, 중국대륙연안수, 양자강회석수, 한국남해안연안

수, 황해냉수 및 황해저층냉수 등이 영향을 받아 (노, 1974; 노·정, 1975; 노·정, 1977; 노, 1985; 김, 1987; Kim and Rho, 1994; 김, 1986; 김, 1995) 이들 외양수 영향을 직접적으로 받기 쉬워진다. 그 중 제주도 북부의 외도 연안역은 개방된 해안지형을 이루고 있어서 제주시를 중심으로 이 부근 해역에는 국소적으로 수심이 깊은 해협이 중앙부와 비교해 보면, 표층에

저온·고염한 해수가 자주 출현하여 이 부근해역의 빠른 유속으로 표·저층수의 혼합이 왕성하게 나타나는 조석전선이 출현하는 해역이라고 지적한 바 있다(Kim et al., 1998).

따라서 개방된 해역이면서 외해수의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 제주도 북부의 외도 부근해역을 대상으로 근거리에서 조밀한 해양관측점을 설정하여 계절별 해황을 파악함과 동시에 해수유동 특성 등도 조사하여, 앞으로의 해황변화에 비교 자료로 활용될 수 있도록 하였다.

자료 및 방법

연안 정점·정선 조사

연구대상 해역의 수온 변동 특성을 파악하기 위하여 1990년 1월 1일부터 1992년 12월 31일까지 국립수산과학원 제주수산연구소 앞 연안 정점에서 1일 1회 관측된 표면 수온자료를 활용하여 분석하였다(Fig. 1(b)). 그리고, 제주시 북부 외도주변해역에 Fig. 1(1992. 8(a), 1993. 2(b))과 같이 조밀한 해양관측점을 설정하고, CTD(SBE-19, Sea-Bird Co.)를 이용하여 수온·염분을 조사했다. 1992년 8월 자료는 외해수와 연안수의 특징이 잘 나타는 하계의 특성을 파악하고자 동계보다 넓은 범위에 걸쳐 분석하였다. 또한, 단면(Section I, II)을 선정하여 수온·염분의 연직분포 상태를 분석했다.

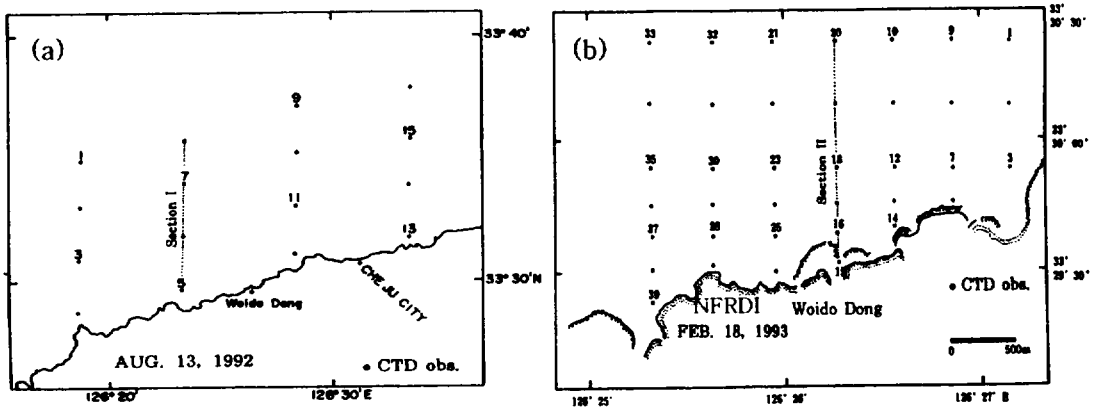


Fig. 1(a, b). Location of oceanographic stations at the around Wido Dong in Aug., 1992 and Feb., 1993.

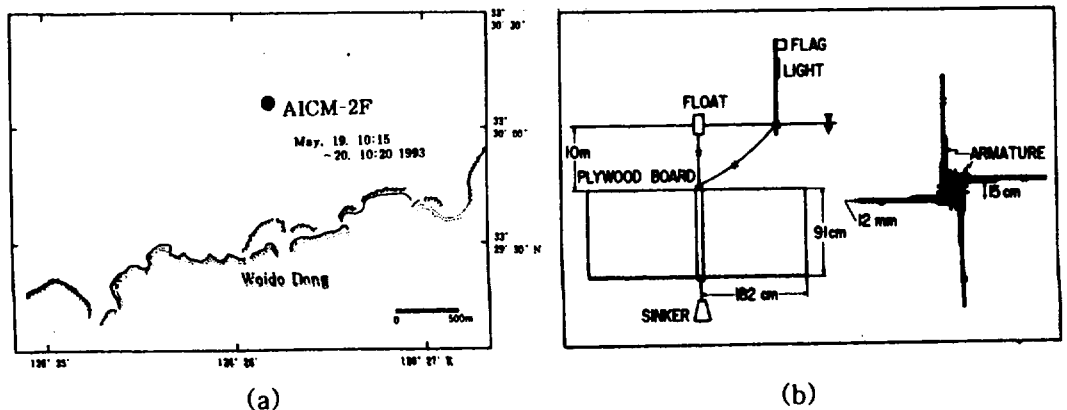


Fig. 2. The current meter mooring position(a) and the float buoy structure(b).

해수유동조사

연구대상해역의 해수유동특성을 파악할 목적으로 Fig. 2(a)와 같이 연안역의 흐름을 대표하는 해류관측점을 설정하여 1993년 5월 19일 10시 15분부터 5월 20일 10시 20분까지 25시간 동안 측류 하였다. 해류계(AICM-2F, Acoustics Current Meter)가 설치된 수심은 27m였고, 부설수심은 표층에서 4m층에 설치하였다. 그리고 정지측류 조사와 동시에 연구대상 해역의 수립자 이동 상황을 전체적으로 파악할 목적으로 해류관(Fig. 2(b))을 이용한 Lagrange식 유동조사를 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 해황

외도 연안역의 정점 수온 변동

국립수산과학원 제주수산연구소 앞에서 3년간(1990~1991년) 관측된 외도연안 표면수온의 변동특성을 보면 연구기간동안 나타난 표면수온

범위는 11.9~28.9℃로 연교차는 17℃이고 최저 및 최고수온은 2월과 8월에 나타나며 동계보다 하계에 단기적인 수온변화가 심하다.

최고수온은 1990년 8월 23일(28.9℃)에 최저수온은 1991년 2월 27일(11.9℃)에 나타났으며 15℃ 이하의 저수온이 유지되는 기간은 약 100~114일 정도이고, 25℃ 이상의 고온이 유지되는 기간은 약 50일 정도로 고온이 유지되는 기간은 저온이 유지되는 기간의 약 반 정도에 불과하다. 그리고 동계의 저온에서 수온이 상승하는 시기는 4월부터이고 하계의 고온에서 수온이 하강하는 시기는 9월부터이다. 또한 1990년 겨울의 현저한 저온 현상이 나타난 이듬해의 여름에 다소 낮은 저온 현상이 나타났다(Fig. 3).

하계와 동계의 수온·염분 수평분포 특성
· 하계(1992년 8월)

1992년 8월 외도 및 그 주변 외해역의 표·저층 수온, 염분 수평분포를 나타낸 것이다. 표층(a) 및 저층(b)의 수온수평분포는 각

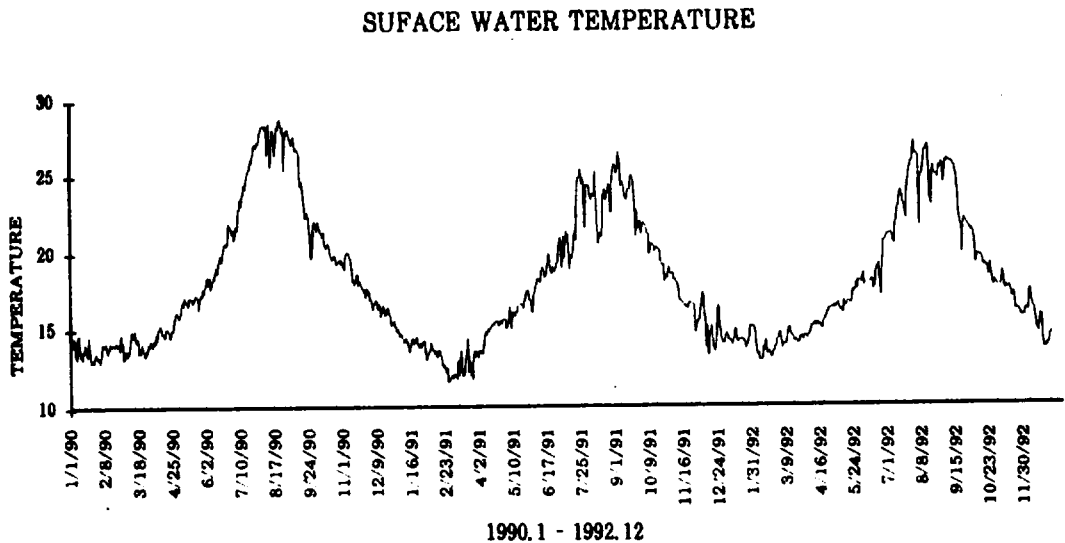


Fig. 3. Daily variation of temperature(℃) around Woido Dong from Jan., 1990 to Dec., 1992.

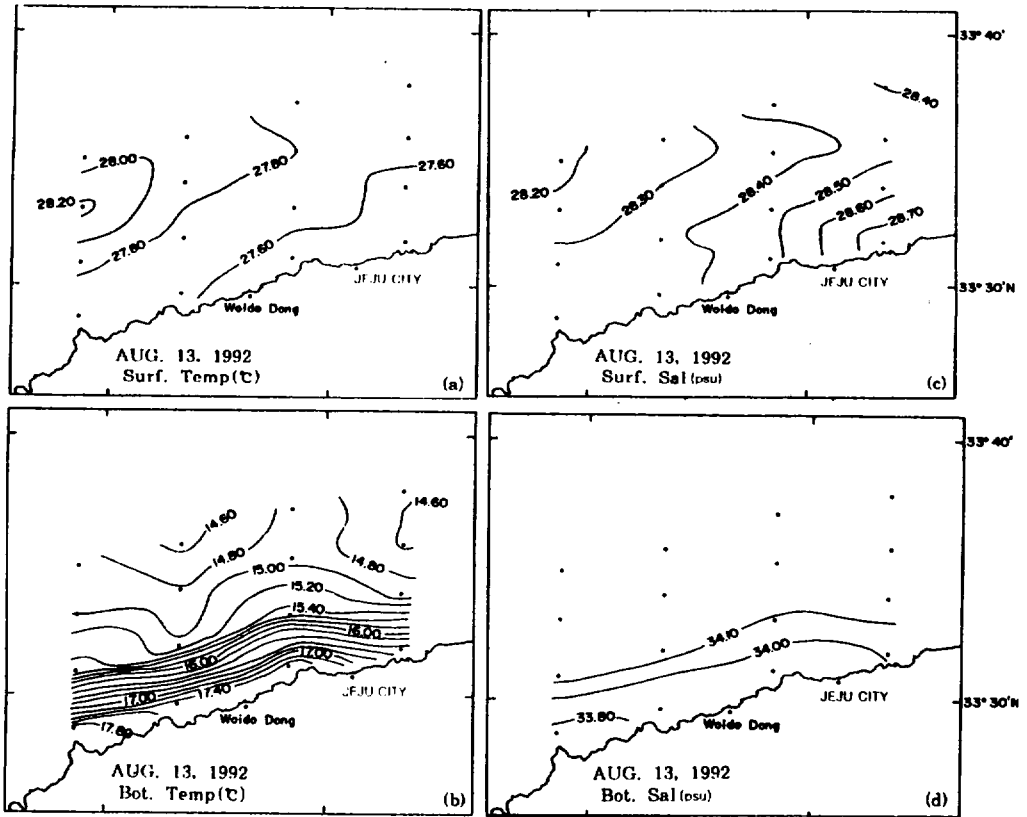


Fig. 4. Horizontal distributions of temperature(°C) and salinity(psu) at the study area in Aug., 1992.

각 27.6~28.2°C, 14.6~17.8°C로 표·저층 수온 차이는 약 10~13°C로 표·저층간 심한 성층상태가 이루어져 있다(Fig. 4a, b). 특히, 연안으로부터 1마일 이내의 연안천해역(50m이천)에서도 표층수온이 26.7°C 일때 저층수온은 17.4°C 정도로 표층과 저층의 수온차가 크고 외해역의 저층 저온수가 연안역까지 영향을 미치고 있음을 시사하고 있다. 표층수온은 외도 앞 연안역 수온이 외해역 수온보다 낮으며 저층수온은 표층과는 반대로 연안역이 외해역보다 높게 나타나고 있다. 또한 저층에서는 연안으로부터 3마일 범위에 등온선이 조밀하게 분포해 이곳에 뚜렷한 전선역이 존재하고 있음을 보여준다.

염분 분포범위는 표층(c) 및 저층(d)에서 각각 28.2~28.7psu, 33.8~34.1psu 정도로 염분역시 표층과 저층의 염분차가 현저하고, 표층의 경우는 전체적으로 양자강 저염분수 영향을 받아 저염화 현상이 뚜렷하나 연안역 염분이 외해역 염분보다 대략 0.5psu 정도 높게 나타나고 있어(Fig. 4c, d), 외도천의 담수가 하계에도 이 해역의 염분 분포에 크게 영향을 미치고 있지 않음을 암시하고 있으며, 특히 외도천의 육수유입이 있는데도 불구하고 외해역에 비해 연안역에 고염수가 출현하는 것은 앞에서 지적한 저온수 출현과 더불어 해양학적으로 큰 의미가 있는 것 같다. 그러나 저층에서는 표층에서와는 정반대로 연안역의 염분이 외양역보다 낮고 연

안 가까이까지 거의 변질되지 않는 대마난류수가 출현해 33.8~34.0psu의 고염분수가 나타나고 있다.

이와 같은 결과에서, 연안역이 외해역보다 표층에는 저온·고염분수가 저층에는 고온·저염분수가 출현하는 것은 조석의 강한 연안 천해역에서 흔히 나타나는 조석전선 때문인 것으로 해석된다. 이러한 조석전선 때문에 표층수와 저층수간에 혼합이 일어나 외해의 저층에 분포하고 있는 저온수가 연안 천해역까지 영향을 미치는 데도 불구하고 하계의 고온화된 표층수와 혼합하여 연안역의 저층수온이 상승하므로 Fig. 4c에서 나타낸 바와 같이 연안에서 3마일 이내의

해역에 현저한 수온전선이 출현하게 된다. 따라서, 하계의 경우 외도연안역은 조류에 의한 강제 연직혼합이 잘 일어나 조석전선이 출현하므로 표층수온은 외해보다 낮고 표층염분은 외해보다 높으며, 연안가까이까지 외해역의 저온·고염분인 저층수가 공급되고 있으며 해수교환이 활발하여 저층의 풍부한 영양염이 표층까지 잘 공급될 수 있는 조건을 갖추고 있고, 또 외도천으로부터의 영양염 공급도 추가될 것이 예상되므로 이 해역의 생물생산력이 매우 높을 것으로 판단된다. 또 하계에도 외도천으로부터의 육수 공급은 이 해역의 표층염분 분포에 크게 영향을 미치지 않는 것 같다.

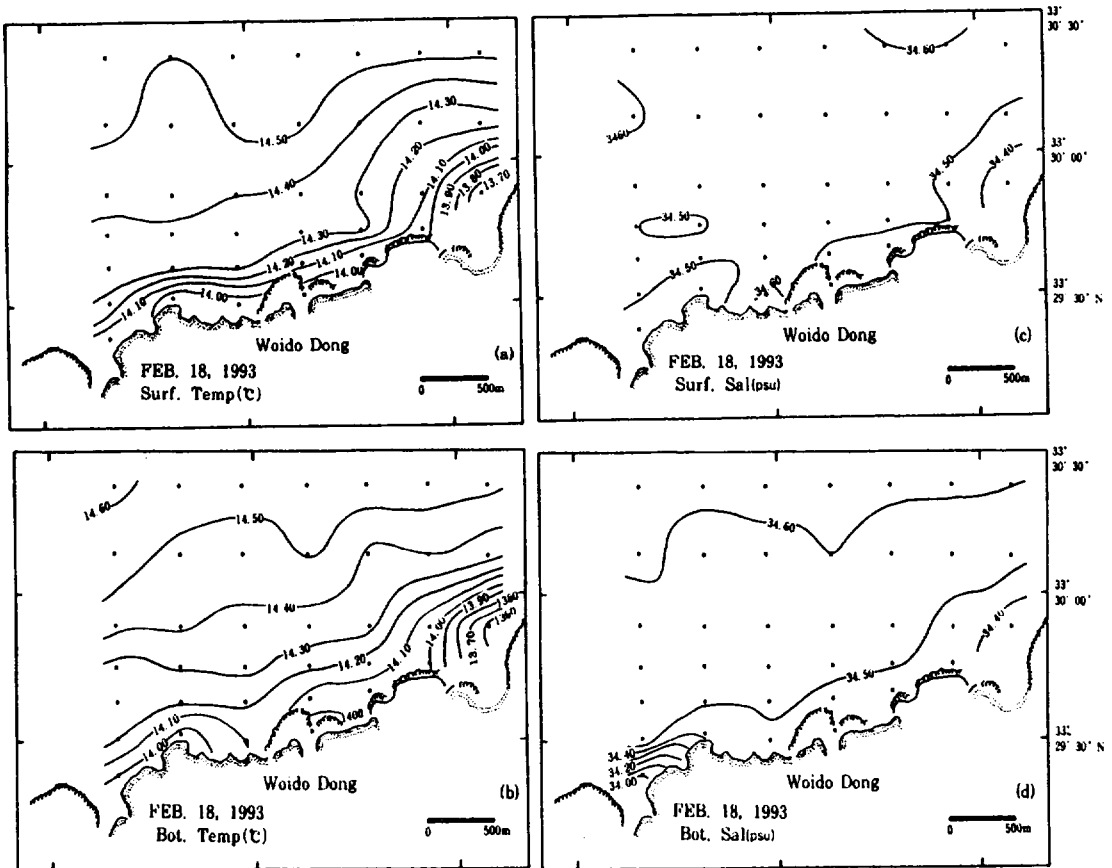


Fig. 5. Horizontal distributions of temperature(°C) and salinity(psu) at the study area in Feb., 1993.

· 동계(1992년 2월)

동계의 표층(a) 및 저층(b) 수온의 분포범위는 각각 13.7~14.5°C, 13.6~14.5°C로 동계의 경우 대류혼합에 의하여 표·저층간에 수온차가 거의 없어지는 것이 특징이다. 또 연안정점에서는 동계 최저수온이 11.9°C(2월, Fig. 3참조)까지 하강하는데 반해 해안선에서 약간 외측으로 나온 연안역의 수온은 이호해수욕장 앞을 제외하면 최저 14°C가 되는 것은, 이 해역이 기본적으로는 대마난류의 영향을 강하게 받고 있으므로 수심이 5m 보다 깊은 연안역의 동계수온은 14°C 이상으로 유지되지만 해안선 부근의 수온은 기온의 영향을 받아 12°C 이하로 하강할 수 있음을 암시하고 있다(Fig 5a, b).

염분의 표층(c) 및 저층(d) 분포범위는 각각 34.4~34.6psu, 34.0~34.6psu로 표·저층의 염분차가 크지 않고 표·저층 모두 연안역이 외해역보다 염분이 다소 낮으며 34.5~34.6psu 정도의 년중 최고염분이 연안역에서 출현하는 것은 동계 제주해협내의 대마난류수가 연안역에 접근 통과하고 있음을 뜻한다. 또 저층에는 관전동쪽에 다른 지역보다 다소 낮고 표층에 나타나지 않는 34.0psu의 저염분수가 분포하고 있다. 표층염분은 연안수와 외해수의 경계 구분이

확연하지 않으나 저층의 경우는 34.5psu의 등염분선에 의해 연안수와 외해수로 구분할 수 있다(Fig. 5c, d).

수온·염분의 연직분포

계절별 해황관측시의 1개 단면들에 대한 수온·염분의 연직분포상태를 보면, 하계(Fig. 6a, b)에는 표층 고온·저염, 저층 저온·고염화 현상이 뚜렷하고, 수심 10~30m층 사이에 현저한 수온·염분약층이 형성되어 확실한 성층상태가 이루어져 있다. 또한 수온 16.0°C, 염분 34.0psu의 저층수는 해저지형을 따라 연안역으로 확장하는 형상이고, 이와 같은 현상은 저층수가 해저지형을 따라 연안역으로 용승되고 있음을 시사하며 이 현상은 연안역인 Sta. 5까지 영향을 미치고 있다. 이처럼 제주해협 저층수가 연안역까지 용승되는 기구는 확실하지 않지만 용승된 저온·고염수는 연안 천해역에서는 앞서 지적한바와 같이 연안 조석전선의 영향으로 표·저층수가 혼합되어, 연안역 표층 수온이 외해역보다 낮게 나타나고 표층염분은 외해보다 높게 나타나는 이 해역의 독특한 해황을 나타내고 이러한 현상은 동계를 제외한 전시기에 모두 나타나고 있다.

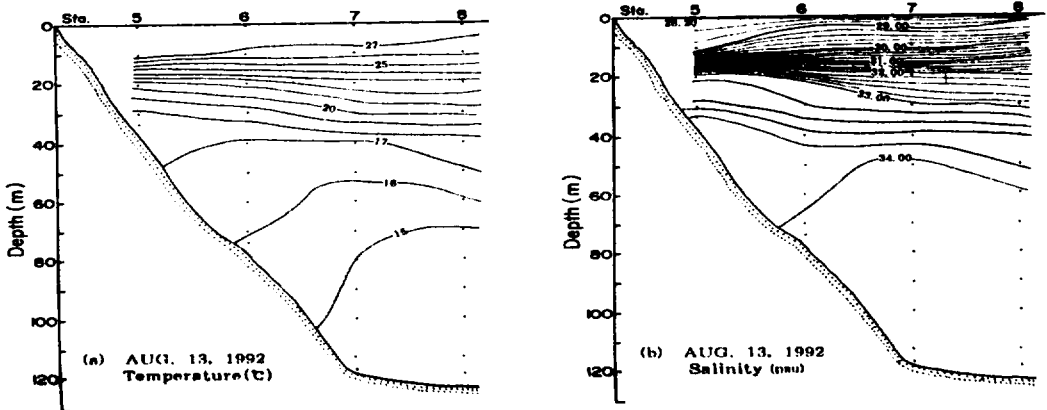


Fig. 6. Vertical distributions of temperature(°C) and salinity(psu) of Section I in Aug., 1992.

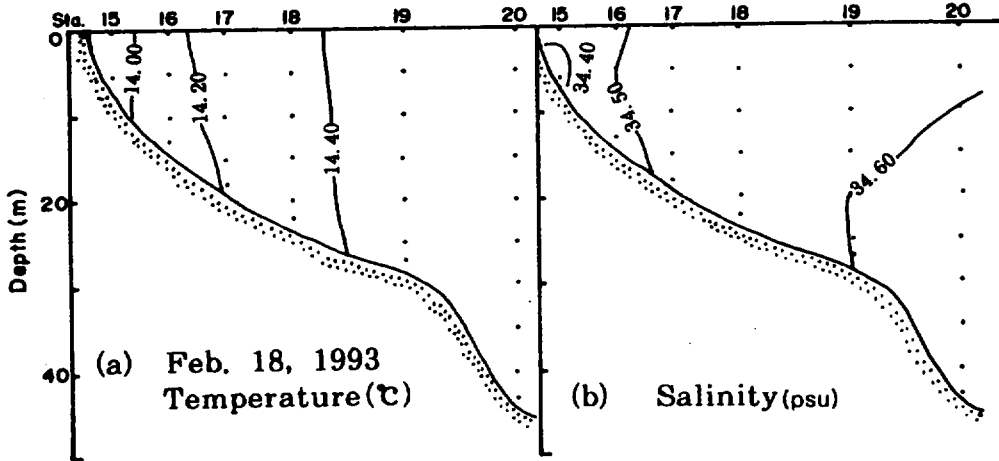


Fig. 7. Vertical distributions of temperature(°C) and salinity(psu) of Section II in Feb., 1993.

동계(Fig. 7a, b)에는 상하층수간 연직 혼합이 잘 이루어져 일년 중 동계만 성층이 파괴되어 연직적으로 균질한 해수가 되므로 등수온·염분선이 연직방향으로 직선을 이루며 분포하고 있고, 연중 최저수온 및 최고염분이 출현하고 있다.

연직단면도에서 잘 나타난 바와 같이 연안 천해역까지 외해쪽의 저층수가 용승되고 있는 해역으로써 이처럼 용승된 저층수는 연안역에서는 강한 조류에 의한 연직 혼합이 이루어지기 때문에 조석전선이 형성되는 특수한 해양특성을 갖는 해역이다.

따라서 본 연구 대상해역은 해수유동에 의한 상하층수의 혼합이 왕성하게 일어나고, 외양 저층수가 연안까지 공급되고 있어 지층의 영양분이 표층까지 공급될 수 있는 조건을 갖고 있으므로 생물 생산력이 높은 지역이라 사료된다.

2. 해수유동

정치측류 결과

정치측류 정점(Fig. 2)에서 얻어진 유황(流況)자료를 분석하여 Stick plot graph를 그려

보면, 조사기간 수온분포범위는 15.7~16.3°C 이고 주로 동서방향의 흐름이 우세하다. 썰물때 최대 유속·유향은 60.6cm/sec·20°로 북동류였고, 제주항 고조후 6시간 33분에 출현하였다. 들물때 최대 유속·유향은 47.4cm/sec·184°로 남류였고 제주항 저조후 6시간 25분에 출현하였다(Fig. 8).

제주항 고·저조시에 따른 관측지점의 전류시차를 살펴보면, 제주항 고조후 2시간 7분 및 1시간 47분에 전류가 되어 고조후 평균 1시간 57분에 전류되나, 제주항 저조후의 전류는 3시간 15분 및 2시간 15분으로 평균 2시간 45분으로 고조 및 저조에 따른 전류시차는 저조후가 약 48분 길게 나타나 썰물의 지속시간이 밀물보다 길다.

방향 성분(동-서, 남-북)에 대한 시계열 변화 특성을 Graph로 나타낸 것으로 전 관측시간 동안에 유속 변화 폭이 70cm/sec 범위에 수용되면서, 동-서 성분이 남-북 성분보다 월등히 빠른 경향을 보이고 있고, 동-서 성분에서도 동쪽성분이 유속이 강하며 지속시간도 길게 나타나고 있다. 남-북 성분은 동-서 성분보다 유속이 약하고 남쪽성분이 북쪽성분보다 다

소 빠른 유속이다. 그러므로 이 해역에는 유속 21.9cm/sec, 유향 38° 방향의 향류가 있다 (Fig. 9).

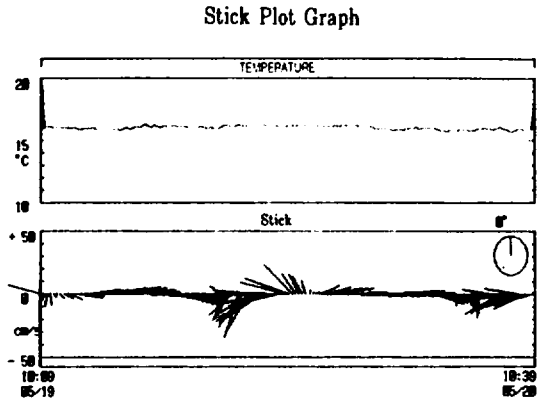


Fig. 8. The variation of temperature(°C) and current vector at the study area during 25 hours.

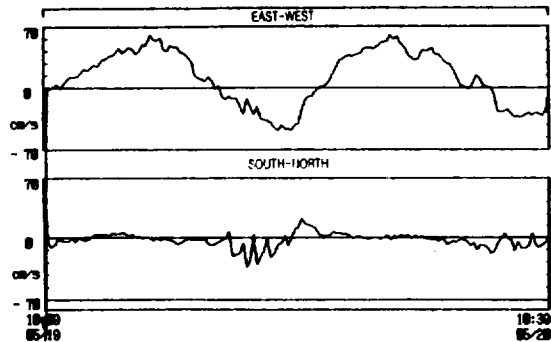


Fig. 9. Comparison of the current direction and speed at the study area during 25 hours.

해류계에 의한 관측자료를 진행 Vector로 나타낸 것으로 진행 Vector는 최초 약 2시간 동안은 서쪽으로 이동하고, 그 이후 약 7Km 정도를 동쪽으로 이동했다가 들물과 더불어 남서쪽으로 이동한 후, 썰물이 되면서 다시 동쪽으로 이동하는 경향으로 대략 25시간 이후는 약 10Km 정도 동쪽으로 이동하여 연구대상 해역을 빠져나가는 이동 형태를 보이고 있다. 이러한 이동 형태는 본 해류계 설치지점에서 동쪽

약 10Km 지점이 제주항이므로 측류전에서 폐기된 물질은 25시간 후에는 제주항 부근까지 이동할 수 있음을 시사하고 있다. 그러므로 외도 연안역의 흐름은 주로 동쪽방향의 흐름이 주류가 되며 지속시간도 길다. 즉 들물인 서향류는 지속시간이 짧고 썰물인 동류는 지속시간이 길게 나타난다(Fig. 10).

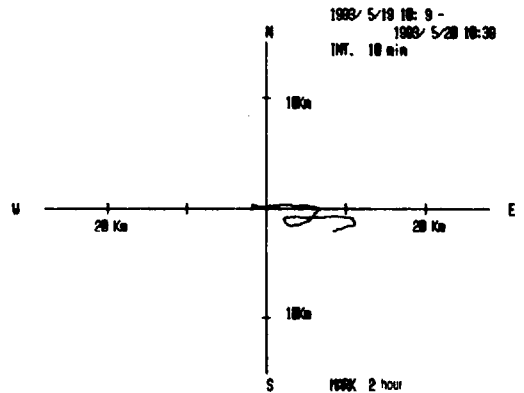


Fig. 10. Progress vector at the study area during 25 hours.

해류브이 추적

썰물과 들물때의 해류브이 추적상황을 나타내 보면 썰물때(Ebb time)는 연안에서 다소 떨어진 투하점 A, B의 유속은 각각 29.7 및 28.9cm/sec로 거의 북동쪽으로 연안선과 평행하게 이동하였다. 또한 연안역에 투하한 C점에서의 유속은 40.9cm/sec로 외해역(A, B점)보다 약 10cm/sec 강하게 연안선과 평행하게 동쪽으로 이동하였다. 그러므로 외도 앞바다는 외해쪽보다 연안쪽이 썰물때의 조류가 강하게 나타날 수 있음을 암시하고 있어 이 해역의 국지적인 조류특성을 이해하는데 매우 도움이 되는 결과이다. 이 세지점에 투하한 유속의 평균치, 즉 썰물때의 평균유속은 33.2cm/sec였다.

들물때(Flood time)는 외해역인 투하점 A, B, C의 유속은 각각 16.6, 12.4, 23.1cm/sec로

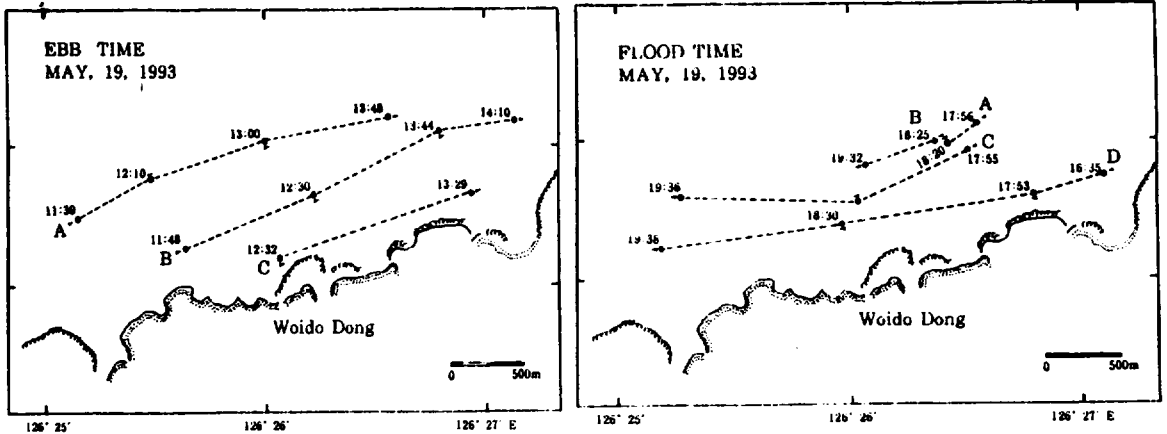


Fig. 11. Drift track of float buoy at the study area between Ebb time and Flood time in May, 19, 1993.

썰물때의 유속보다 느리게 나타났다. 연안역인 D점의 유속은 27.1cm/sec로 외해쪽인 A, B, C의 유속보다는 빠르고 썰물때의 연안역 유속보다는 약 10cm/sec정도 느리다. 들물때의 평균 유속은 19.8cm/sec로 썰물때의 평균 유속보다 약 13cm/sec 정도 느리며 서향류가 주류를 이루고 있다.

이상의 해류브이 추적 결과는 정치측류의 결과와도 잘 일치하며 들물때나 썰물때 모두 외해쪽의 유속보다 연안쪽의 유속이 빠르게 나타난 것은 앞서 해황 특성에서 지적한 바와 같이 연안 조석전선 형성에 중요한 역할이 되며, 이러한 현상은 주로 연안에서 약 500m 범위내의 연안역에서 일어나고 있어 이 해역에는 상하층수의 혼합이 쉽게 일어날 수 있으므로 수평 및 연직방향의 해수교환이 좋아 영양염 공급도 원활해지므로 생물생산력도 높을 것으로 판단된다.

요 약

1. 해황

가. 외도연안에 위치한 국립수산과학원 새수수산연구소 앞의 연안정점에서 조사된 3년간(1990~1992년)의 수온변화 경향은 최저·최

고수온은 각각 11.9℃, 28.9℃로 출현시키는 2월과 8월이며 년교차는 17℃이고, 15℃ 이하의 수온이 유지되는 기간은 대체로 100~114일 정도이며 25℃ 이상의 고온이 유지되는 기간은 50일 정도로 저온이 유지되는 기간보다 고온이 유지되는 기간은 매우 짧고 이 기간은 수온의 단기변화가 심하게 나타났다.

나. 외도연안의 계절별 수온·염분 분포 특성에서 수온은 동계(2월) 표층이 13.7~14.5℃, 저층 13.6~14.5℃, 염분은 표층이 34.4~34.6psu, 저층 34.0~34.6psu 범위이고 하계(8월)에는 수온이 표층 27.6~28.2℃, 저층 14.6~17.8℃, 염분이 표층 28.2~28.7psu, 저층 33.8~34.1psu 범위였다. 특히, 수온이 경우 5m 이심의 연안역 최저수온이 13.8~14.0℃로 대마난류수의 영향을 받지만, 5m 미만의 연안역은 기온의 영향을 받아 11~12℃ 정도가 될 가능성이 높다. 그리고 염분은 동계에 34.0psu 이상의 대마난류수와 하계 표층부에 30.0psu의 양자강 저염분수와 중·저층에 존재하는 고염분수 사이에는 현저한 수온·염분 약층이 형성된다.

다. 연안천해역에는 강한 조류에 의한 조석전선이 발달하여 연안쪽의 표층수온이 외해보다

저수온이고 표층염분은 외해쪽보다 연안쪽이고 염분으로 나타나고 있다. 또 연안 가까이까지 외해쪽의 저층수 세력이 미치고 있어 저층 영양염이 지속적으로 공급될수 있는 조건을 갖추고 있을뿐더러 외도천으로부터 육수까지 유입되고 있으므로 생물생산력이 높은 해역이라 판단된다.

2. 해수유동

가. 25시간 동안의 정치측류 결과에 의하면 이 해역의 조류는 들물때 시류, 썰물때 동류인 유속 30~50cm/sec의 흐름이 주류를 이루지만 조사기간(1993. 5.19~20) 동안에 나타난 썰물의 최대 유향, 유속은 20°, 60.6cm/sec였고, 들물때는 184°, 47.4cm/sec로 썰물이 들물보다 강하며 지속시간도 길었다. 그러므로 이 해역에는 유속 21.9cm/sec, 유향 38°인 북동류의 항류가 존재한다.

나. 해류관 추적결과에 의하면 들물, 썰물 모두 외해쪽보다 연안쪽에 보다 강한 흐름이 출현해 이 해역의 조석전선 형성에 중요한 역할을 하고 있다.

참고문헌

- 盧洪吉, 1985. 濟州島 周邊 海域의 漁場環境에 關する 研究. 博士學位論文, 東京水産大學: 1-215.
- 盧洪吉, 鄭公析, 1975. 濟州海峽의 夏季 海況에 關하여. 漁業研究誌, 7: 13-20.
- 盧洪吉, 1974. 濟州島 西方海域의 暖水塊에 關하여. 漁業研究誌, 6: 19-30.
- 盧洪吉, 鄭公析, 1977. 濟州島 沿岸의 水溫·鹽分 變動에 關한 研究-II. 地域的인 變動 特性. 濟州大學校 論文集, 9: 131-136.
- 金尙賢, 1987. 濟州海峽內的 海水流動에 關한 研究. 碩士學位論文, 濟州大學: 1-63.
- 金仁鉉, 1986. 濟州島 周邊 海域에 出現하는 中國大陸沿岸水에 關한 研究. 碩士學位論文, 濟州大學: 1-46.
- 金尙賢, 1995. 濟州海峽의 갈치漁場 形成機構에 關한 研究. 博士學位論文, 濟州大學: 1-168.
- Kim, I. O. and Rho, H. K., 1994. A study on China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. J. Oceanol. Kor. Fish. Soc., 27(5) : 515-528.
- Kim, S. H., Rho, H. K. and Choi, C. M. 1998. A study on the hydrographic conditions and tidal front on the northern coastal area of Cheju Island. J. Kor. Fish. Soc., 31(3): 437-446.
- 盧洪吉, 1985. 濟州島 周邊 海域의 漁場環境에 關する 研究. 博士學位論文, 東京水産大學: