

제주도 서부 연안역의 용승

방익찬 · 김태희
제주대학교 해양학과

Upwelling in the western sea of Cheju Island

Ig-Chan Pang · Tea-Hee Kim

Department of Oceanography, Cheju National University,
Cheju-do 690-756, Korea

The characteristics of the vertical temperature and salinity distributions in the western sea of Cheju Island is a upper-upwelling and lower-downwelling feature. Although it is not clear in winter and summer seasons, it seems to be continued through the year. The feature is likely to be weaker, as waters flow north. The upwelling feature was very strong in November, when northerly winds had been blowing for 10 days before the observation, so that it reached to the bottom and the lower-downwelling feature disappeared then.

The year-lasting upwelling feature can not be explained by only winds, but, the effect of winds seems to be the strongest. There are a couple of problems in the explanation of upwelling by negative vorticity due to clockwise flows. First, it can not explain the lower-downwelling feature. Second, it is hard to explain why the feature is weaken, as waters flow north. Third, its estimated effect is so small compared to the observations.

The upper-upwelling and lower-downwelling feature may be caused by negative vorticity in the upper layer and positive vorticity in the lower layer. Such a vorticity variation can be driven when waters flow along the isobaths of which widths are widening. It will be followed by horizontal divergence in the upper layer and horizontal convergence in the lower layer.

Key words : Upwelling, Go San, Convergence, divergence, wind

서 론

제주도 연안역의 해양학적 특성은 주로 동중국해의 영향을 받고 있으며 이와함께 황해의 해수순환과 중국대륙에서 유출되는 양자강 연안수의 영향도 받고 있다. 또한 주변해양 뿐만 아니라 기상 조건에도 영향을 받으며(방 등, 1990; 양 등, 1992), 매우 약하기는 하나 제주도 연안수의 영향도 나타난다(박, 1985). 특히, 제주도 서부 해역은 동중국해의 대마난류에서 분기하여 겨울철에 황해로 부상하는 것으로 보이는 황해난류수와 황해중부에서 생성되어 남하하는 황해저층냉수의 길목일

뿐만 아니라, 양자강연안수가 여름철에 확장되는 해역으로 해양학적으로 중요한 해역이다. 이러한 중요성에도 불구하고 제주도 연안역에 대한 해양학적 조사연구가 체계적으로 이루어진 것은 별로 없고 대부분 부분적으로 이루어져 왔다(Kim and Lee, 1982; 양, 1984; 1985; 최 등, 1987; 최와 정, 1989; 변 등, 1983; 등). 그러나, 부분적인 현상의 연구도 전체를 이해하는데 도움이 되는 현상들이 있는데, 그 중 제주도 서부 연안역에서 보고되는 용승현상은(Kim and Lee, 1982) 제주도 주변해역의 해수순환을 밝혀줄 수 있는 현상으로 보인다.

그 이유는 제주도 서부 연안역의 용승이 해류가 제주도 서부해역을 시계방향으로 선회함에 의해 발생한다는 연구가 있기 때문이다 (Kim and Lee, 1982). 이러한 흐름이 사실이라면 이것은 쿠로시오의 지류가 제주도의 왼쪽으로 흘러들어 폭 10해리 정도의 해류를 형성하여 제주도를 시계 방향으로 돌아 제주해협을 통과해 동쪽으로 흐른다는 보고와 (김 등, 1980), 황해와 동중국해에 1차적인 순환이 있으며 이 순환이 제주도 주변해역에서는 시계방향의 흐름을 갖는다는 견해 (Pang etc., 1992) 뒷받침한다.

그러나 제주도 서부연안역의 용승연구는 (Kim and Lee, 1982) 6월과 10월의 관측결과만을 사용하였고 바람에 의한 효과를 고려하지 않았기 때문에 그 외의 계절에는 용승현상이 발견되는지의 문제와 바람의 효과는 과연 어떠한지를 조사해 볼 필요가 있다. 따라서 이 연구에서는 그 이외의 달에도 관측을 하였으며 그 결과와 관측시기전의 바

람과의 관계를 조사하여, 제주도 서부 연안역의 용승연구를 확장해 보았다.

그러므로 이 연구는 제주도 서부연안역의 용승 현상이 4계절에 걸쳐 나타나는지와 바람의 효과를 밝혀, 과연 시계방향의 흐름이 용승현상을 발생시키는지를 보다 구체적으로 확인하는데 도움이 될 것이다. 그러나 제주도 서부연안역의 용승현상이 그다지 뚜렷하지 않고, 바람이나 그 외의 효과도 복합적으로 작용할 것으로 보이기 때문에 제주도 서부 연안역의 용승원인을 밝히는 데는 지속적인 관측과 연구가 필요하다. 이러한 관측은 계속될 것이며 이 논문에서는 현재까지의 결과를 다루었다.

Fig. 1은 조사해역과 관측정점을 나타낸 것이며, C. T. D. 를 이용하여 수온과 염분을 관측하였다. 관측은 1993년 4월 28일, 30일, 6월 27일, 29일, 8월 24일, 그리고 11월 5일 4회에 걸쳐 관측하였으며, 8월과 11월에는 B정선에 대해서 관측하지 못했다.

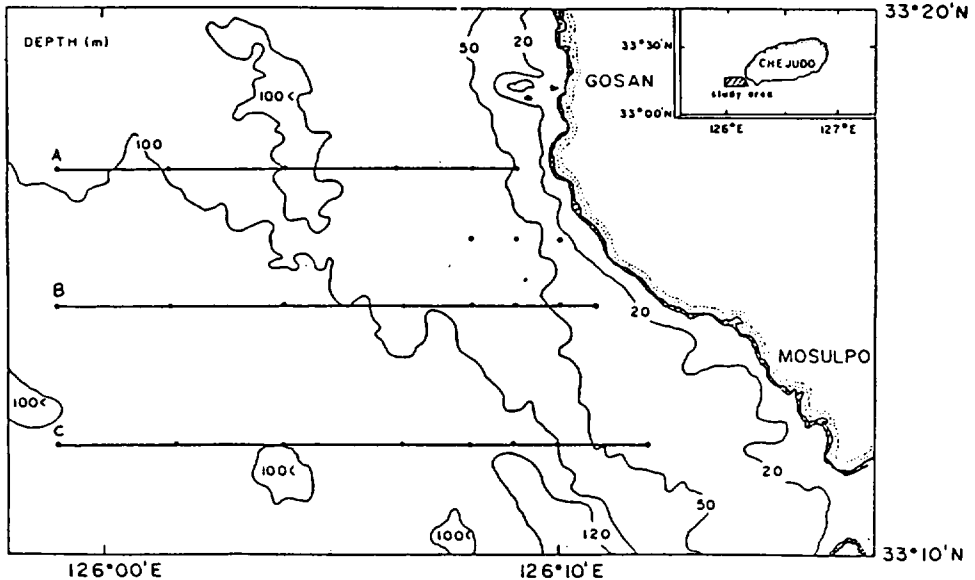


Fig. 1. Map of the western sea of Cheju Island. Depths are in meters. Dots mark the locations of observation in April 28 and 30, June 27 and 29, August 24, and November 5, 1993.

관측결과

제주도 서부 연안역에 출현하는 수괴

Fig. 2는 4월(A), 6월(B), 8월(C), 11월(D)

의 관측값의 T-S Diagram이다. 4월에는 거의 15°C, 34.5‰의 대마해수계의 해수가 균일하게 분포하고 있고, 6월부터는 고온저염의 표층수의 특성이 나타난다. 표층의 저염화는 8월에 30‰ 정도까지 이르는데, 이러한 저염은 보통 외해에서는 거

제주도 서부 연안역의 용승

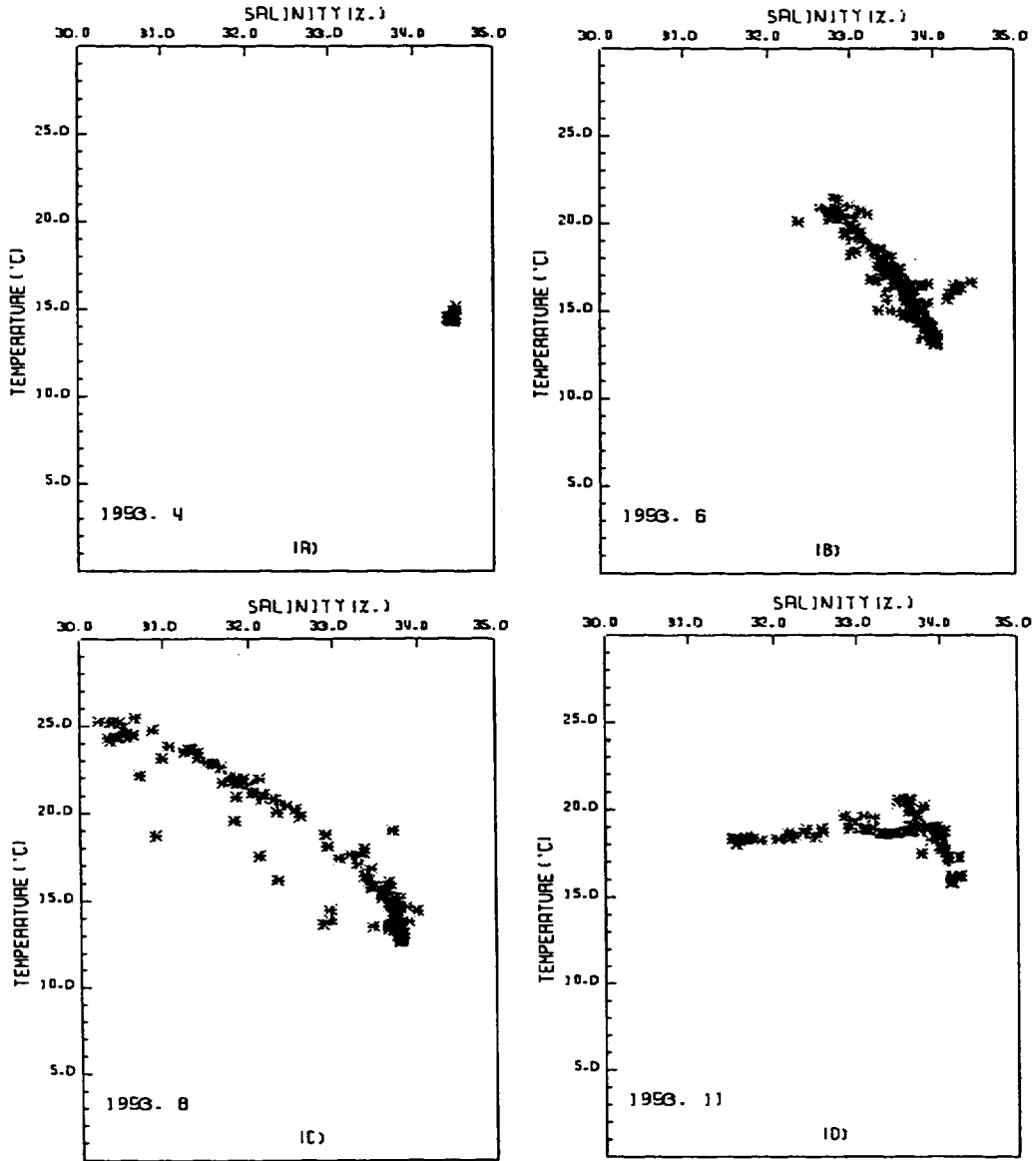


Fig. 2. T-S Diagrams for all data in April (A), June (B), August (C), and November (D).

의 관측되지 않으며 또한 제주도의 연안수도 외해에 이만큼의 영향을 미칠만큼 강하지 못하기 때문에, 이것은 양자강연안수의 영향으로 보여진다(김, 1986). 여름철 표층수의 저염화는 11월까지도 상당한 정도로 유지되고 있다.

표층수가 나타나는 여름에는 저층의 최고염분도 낮아져, 이 해역에서 대마난류수의 세력이 약화되

고 있음을 보여준다(Pang etc., 1992). 8월의 최고염분은 약 34.0‰ 정도로 대마해수와 저염의 표층수나 황해저층냉수의 중간값을 보인다. 그러나 저층수온의 값은 여름철에 표층수의 수온이 상승하는데 비해 년중 거의 일정하기 때문에 표층수의 영향으로 보기는 어렵고 황해저층냉수의 영향으로 보아야 할 것이다.

저층의 수온은 여름철에 상승하지 않고 약간이기는 하지만 오히려 하강하고 있기 때문에 이것은 황해저층냉수가 제주도 서부 연안까지 남하하는 것을 보여준다. 황해저층냉수가 여름철에 남하하는 것은 많이 보고되어 왔다(김 등, 1991; 방 등, 1992; 윤 등, 1991). 그러나 남하의 정도가 어느 정도인지는 밝혀지지 않았는데, 이 관측결과를 보면 여름철 황해저층냉수가 적어도 제주도 주변해역까지 남하하는 것을 알 수 있다.

제주도 서부 해안역의 용승

4월에는 Fig. 2에서 보이는 바와같이 조사해역의 전 해수가 거의 균일하기 때문에 수직 수평분포에

아무런 특이점을 찾아볼 수 없고 따라서 용승현상도 나타나지 않는다. 그러므로 겨울철 특성분포만으로는 용승현상이 발생하는지 알 수 없다.

6월에는 수직분포에서 용승의 징후를 약간 찾아볼 수 있다. Fig. 3은 6월의 수직분포도로 상층과 중층에서 등온선과 등염분선이 해안으로 갈수록 해수면으로 상승하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 형태는 관측선 B에서 가장 강하게 나타나고 관측선 A와 C에서는 약간 약하게 나타나고 있다. 그러나 중층과 하층에서는 등온선과 등염분선이 해안으로 갈수록 해저를 향해 오히려 하강하는 형태를 갖는다. 이 형태도 역시 관측선 B에서 가장 강하게 나타나고 관측선 A와 C에서는 약간 약하게 나타난

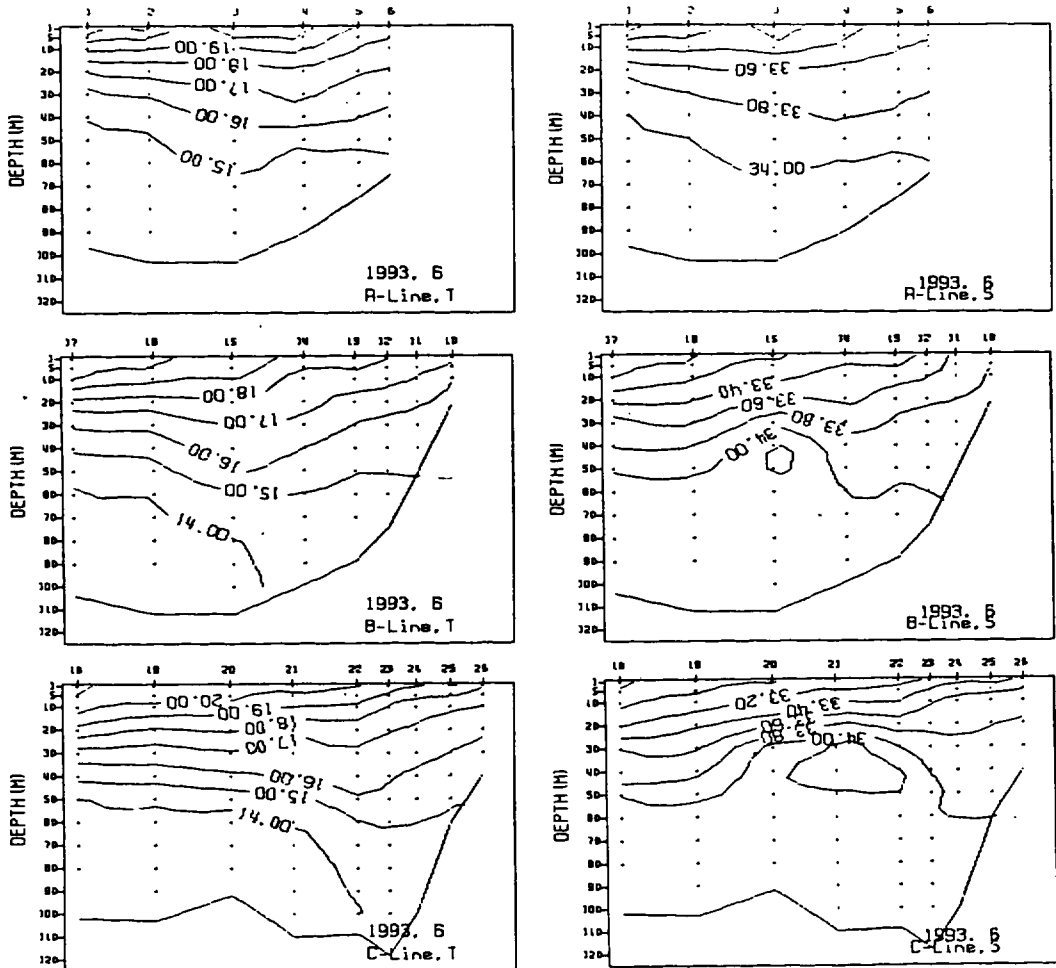


Fig. 3. Vertical distributions of temperature and salinity in June, 1993.

다.

이와같이 등온선과 등염분선이 해안으로 갈수록, 상·중층에서는 해수면으로 상승하고 (상층용승형) 중·하층에서는 해저면으로 하강하는 (하층침강형) 형태(상하분산형)가 이 해역의 특징으로 보인다. 이러한 형태는 수평분포에서도 나타난다. Fig. 6은 6월의 수평분포로 20m, 50m, 60m 층의 수온·염분분포를 보여준다. 상층인 20m 층에서는 외해에 비해 연안의 수온이 약 2°C 낮고 염분은 약 0.6‰, 높은데 반해, 하층인 60m 층에서는 외해에 비해 연안의 수온이 약 1°C 높고 염분은 약 0.1‰ 낮다. 그러나 중층인 50m 층에서는 고염의 해수가 중간에 자리잡은 것을 제외하고는 (Fig. 3 참조) 외해와 연안의 차이가 별로 나타나지 않는다.

8월에는 관측선 B에서는 관측되지 않았고 관측선 C에서도 해안정점에서는 관측되지 않았다. Fig. 4는 8월의 수직분포도로 8월에는 하층침강형 태는 나타나는데 비해, 상층용승형태는 말하기 어렵다. 상층용승형태가 뚜렷하지 않은 것은 이때 강하게 형성된 성층 때문으로 보인다. 강한 성층으로 인해 용승효과가 표층에 국한되고 또 표층의 큰 수

온 염분차이 때문에 약간의 관측오차도 용승현상으로 인한 수온·염분차이보다 크게 나타나 용승효과를 지워버릴 수 있기 때문이다. 그러므로, 비록 8월의 상층용승형태가 확실하지 않다 하더라도 하층침강형이 8월에 나타나고 상층용승형이 8월 전후에서 나타나는 것으로 보아 8월에 상층의 용승현상이 있다고 보는 것이 타당할 것이다.

8월의 수평분포(Fig. 7)를 보면 상층에서 연안의 수온은 외해보다 약간 높게 나타나며 염분도 동남해역의 저염을 제외하고는 외해보다 높다. 이것은 외해보다 연안의 수온이 낮고 염분이 높아지는 상층용승효과와 비교해 보면, 수온은 반대이고 염분은 같은 경향이다. 중층과 저층에는 연안의 수온이 높으나 염분은 어떤 경향을 갖지 않는 것으로 보인다.

11월에도 역시 관측선 B에서는 관측되지 않았고 관측선 C에서도 해안정점에서는 관측되지 않았다. 중층에 고온의 핵이 나타나는 것은 표층의 냉각에 의한 효과로 보여지며, 이 점을 제외하면 상하분산 형태가 11월에는 뚜렷이 나타난다 (Fig. 5). 관측선 C에서는 특히 상층용승형태가 매우 강하게 나타나고 있다. 그러나 중층의 고온의 핵에 의해 수

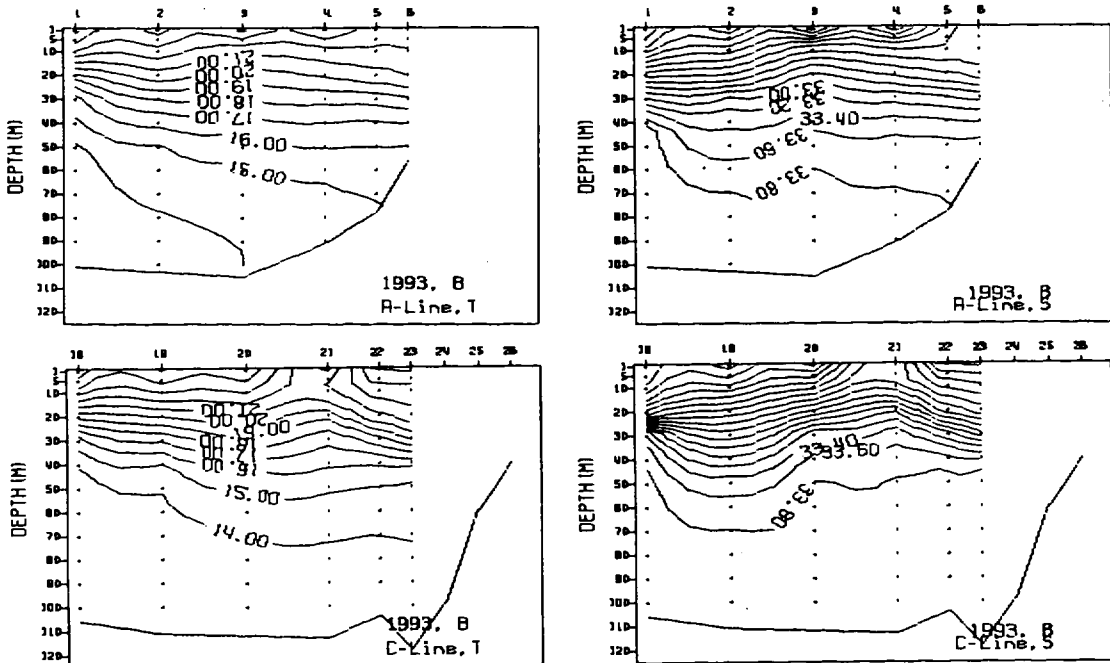


Fig. 4. Vertical distributions of temperature and salinity in August, 1993.

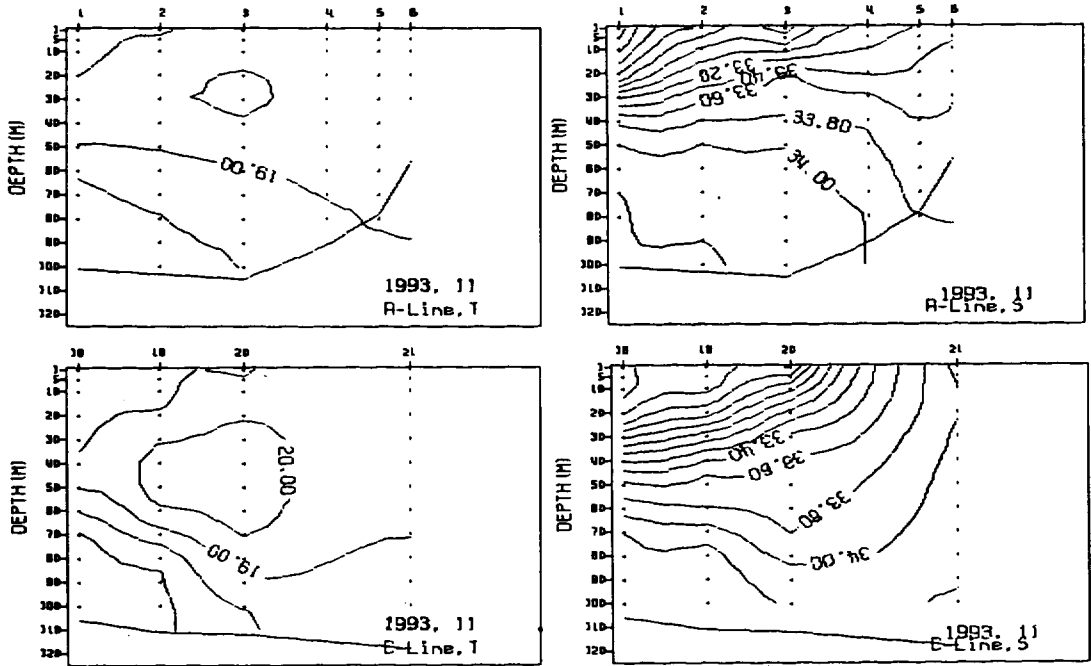


Fig. 5. Vertical distributions of temperature and salinity in November, 1993.

온수평분포(Fig. 8)에서는 이러한 경향이 잘 나타나지 않는다.

이상의 결과를 보면 상층용승형과 하층침강형가 복합된 상하분산형이 제주도서부 연안역에 나타난다. 겨울과 여름에는 이러한 형태가 뚜렷하지 않지만 겨울에는 전층의 해수가 균질하기 때문에, 또한 여름에는 상층의 강한 성층 때문에 이러한 효과가 나타나기 어렵다는 것을 감안하면 상하분산형은 년중 발생한다고 볼 수 있다.

지금까지의 결과만으로는 말하기 어렵지만 상층용승형태는 관측선 A보다는 그 이남에서 약간 강하게 나타나는 것으로 보인다. 이것은 특히 11월에 뚜렷이 나타난다.

용승 원인

제주도 서부연안역의 상층에 나타나는 용승형태가 년중 나타난다면 그 원인은 바람에 의한 것이라기 보다는 이미 보고된 바와같이 (Kim and Lee, 1982) 와도에 의한 것으로 볼 수 있다. 그러나 앞 절에서 언급한 바와같이 상층용승형태가 관측선 A

보다 그 이남에서 강하게 나타난다면 와도에 의한 설명만으로는 충분하지 않다. Kim and Lee (1982)의 연구에서는 바람의 효과를 전혀 고려하지 않았기 때문에 이 절에서는 우선 바람의 효과를 고려하였다.

바람에 의한 용승

Fig. 9는 각 관측시기 전 10일간 고산지역에서 매시간마다 관측된 풍향·풍속을 나타낸 것이다. 4, 6, 8월에는 관측 전에 남풍이 우세한데 비해 11월에는 북풍이 우세하다. Lee (1983)는 동해에서 용승이 일어나기 위한 조건으로 연안에 평행한 남풍계열의 바람이 평균 4.0m/sec 이상, 3일 이상 지속되어야 하며, time lag는 1~2일 정도라 하였다. 제주도 서부 해역은 동해보다 수심이 얕기 때문에 동해보다는 조건이 다소 완화될 것이다. 이러한 조건을 참고한다면 6월과 8월에는 바람에 의한 용승을 기대하기 힘들다. 북풍과 남풍이 약 1일 정도의 간격으로 바뀌고 있기 때문이다. 4월에는 남풍이 3~4일 지속되었으나 이 시기에는 전층의 해수가 균질하여 용승의 효과가 나타나지 않을 것이

제주도 서부 연안역의 용승

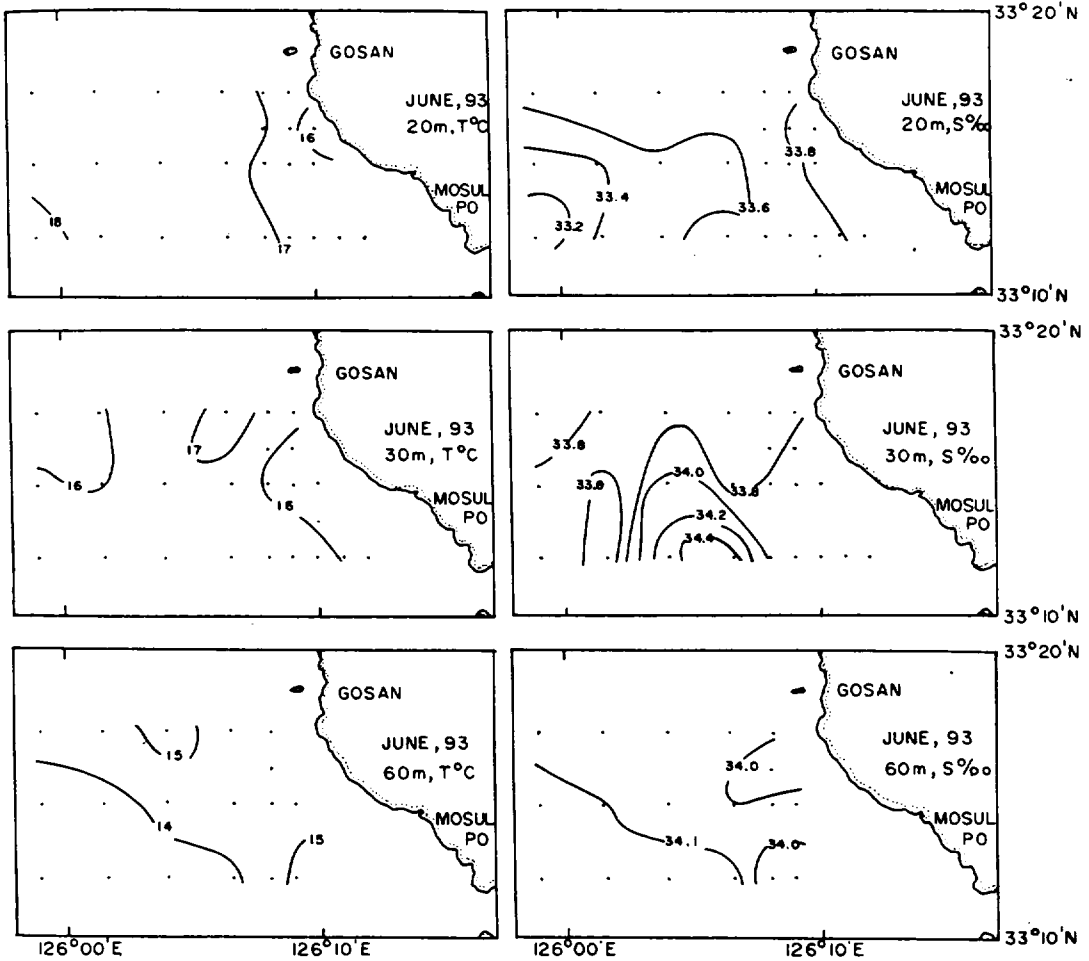


Fig. 6. Horizontal distributions of temperature and salinity in June, 1993.

기 때문에 바람의 효과를 기대할 수 없다. 용승효과를 발생시킬 수 있는 바람은 11월에 나타난다. 11월에는 북풍계열의 바람이 10일 내내 계속되었기 때문이다. 이러한 북풍바람으로 인해 11월에는 용승효과가 가장 뚜렷하게 나타난 것으로 보이며, 이것은 아울러 이 해역의 용승효과는 바람에 의해서 가장 강하게 나타날 수 있다는 것을 보여준다.

바람이 용승(upwelling)을 발생시킨다면, 침강(downwelling)도 발생시킬 것이다. 8월에는 남풍계열의 바람이 관측전에 약 1일 정도 불었다. 남풍전에 북풍이 불었고 남풍의 기간이 짧기 때문에 침강효과가 크지 않을 것이고 또한 8월의 강한 성층으로 인해 침강효과를 기대하기는 어렵지만, 8월

의 수직분포(Fig. 4)에 연안 가까이 표층에서 침강의 형태가 약간 보이는 것이 바람의 효과가 아닌 가 보여진다.

바람의 효과가 이 해역의 용승에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보이지만 바람은 6월의 용승을 설명해 주지 못한다. 6월의 용승을 설명하기 위해서는 다른 원인이 필요하다.

와도(vorticity)에 의한 용승

해류가 연안을 따라 흐를 때 육지의 형태에 의해 발생하는 와도는 다음의 와도방정식에서 볼 수 있는 바와 같이 수직속도를 발생시킨 (Arthur, 1965).

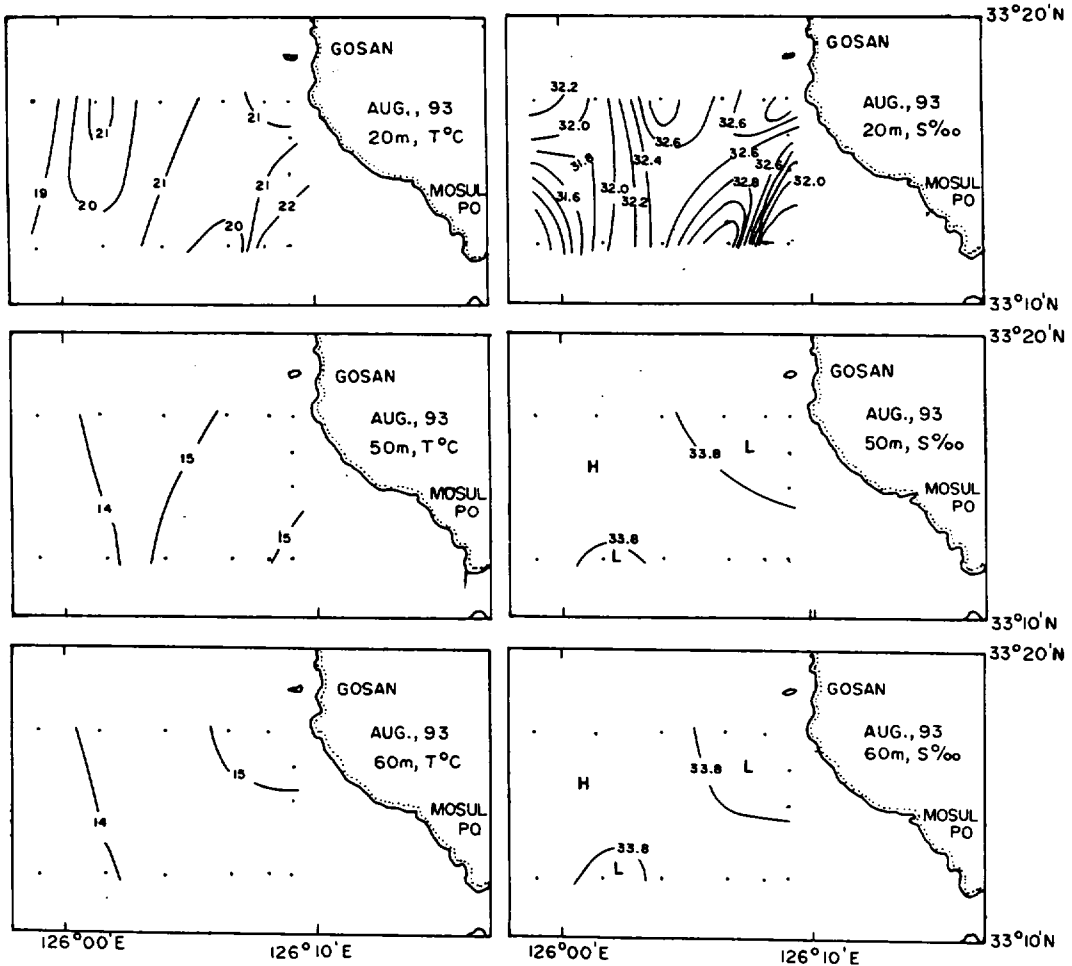


Fig. 7. Horizontal distributions of temperature and salinity in August, 1993.

$$f \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{D\xi}{Dt} + \beta v - A_v \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} - A_h \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial Y^2} \right)$$

여기서 z , f , w , v , t , β , ξ , A_v , A_h 는 각각 수직좌표 Coriolis parameter, 수직속도, 남북방향의 속도, 시간, Coriolis parameter의 남북방향에 따른 변화, 상대와도의 수직성분, 수평 와류마찰계수를 의미한다. 마찰항을 무시하면, 해류가 제주도를 시계방향으로 회전할 때 생기는 와도(-)는 해수표면에서 수직속도가 0이므로 수심이 깊어질수록(-) 수직속도가 증가(+)하여야 한다. 이 계산으로 Kim and Lee 는 (1982) 수심 약 40m에서 약 $4 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ (3.5m/day)의 수직속도를 얻었다.

이 수직속도로 해수가 관측선 C에서 관측선 A로 흐를 때 이동하는 수직거리를 계산하면, 관측선 C와 관측선 A 사이의 거리가 약 9km이므로 유속을 약 20cm/sec로 보면 약 2m 상승한다. 이 효과는 우리가 관측하기에는 너무 작은 양이다. 더구나 와도에 의한 용승의 다른 문제는, 해류가 제주도를 시계방향으로 흐를 때 생기는 와도의 효과는 관측선 C에서 관측선 A로 갈수록 증가하여야 함에도 불구하고 관측결과에 나타난 용승효과는 작아지고 있는 것이다.

수심의 변화로 인한 용승

해류가 흐를 때 수심이 변한다면 와도변화를 갖게되고 앞절과 마찬가지로의 효과가 나타날 것이다.

제주도 서부 연안역의 용승

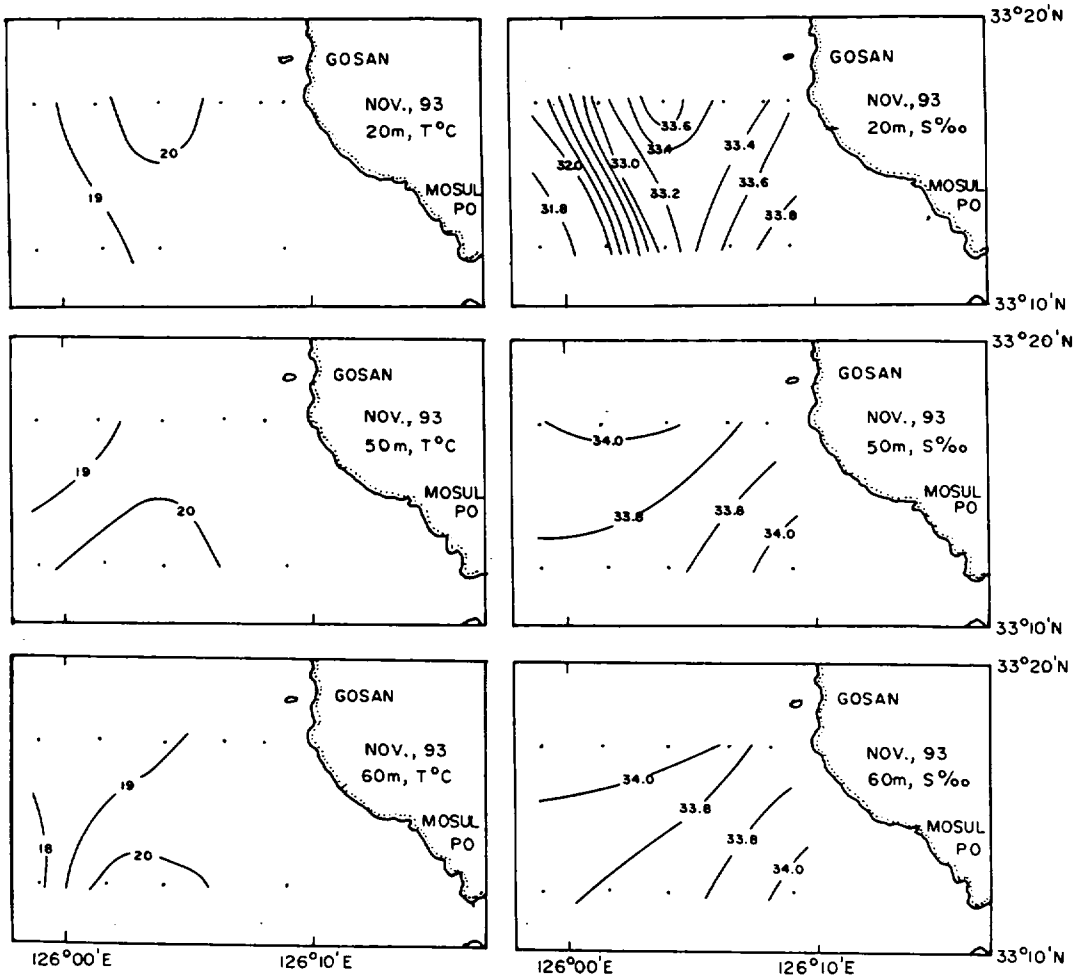


Fig. 8. Horizontal distributions of temperature and salinity in November, 1993.

Fig. 1을 보면 관측선 C에서 관측선 A로 갈수록 수심이 감소한다. 이 때 우리는 2가지 가능성을 생각할 수 있다.

하나는 해류가 등수심선을 가로 지르며 흐르는 경우이다. 그러면, 해수기둥은 길이가 줄어들어 (-)와도변화를 가지며 용승효과가 나타난다. 수심의 변화는 관측선 C에서 크기 때문에 용승효과가 관측선 A에서보다 클 것이다. 그러나 이럴 경우 중 저층의 침강현상은 설명되지 않는다.

다른 하나는 해류가 등수심선을 따라 흐르는 경우이다. 관측선 C에서 관측선 A로 갈수록 등수심선의 폭이 넓어지기 때문에 해수는 발산되고 역시 해수기둥 길이가 줄어들어 (-)와도변화를 가지며 용승효과가 나타날 것이다. 그러나 등수심선폭이

증가로 인한 해수량의 부족을 어디선가 채워야 된다. 한 방법은 위에서 채우는 방법이고 다른 방법은 밑에서 채우는 방법이다. 이 두방법 중 용승효과와 모순되지 않는 방법은 밑에서 위로 채우는 방법이다. 이 때 중 저층의 해수기둥의 길이는 늘어나 (+)의 와도변화를 가지며 침강효과가 나타날 것이다. 이 효과는 등수심선의 폭이 넓어지는 관측선 C에서 관측선 B 사이에서는 크고, 등수심선의 폭이 그다지 넓어지지 않는 관측선 B에서 관측선 A 사이에서는 별로 크지 않을 것이다.

결 론

제주도 서부연안역의 수직특성분포의 특징은 등

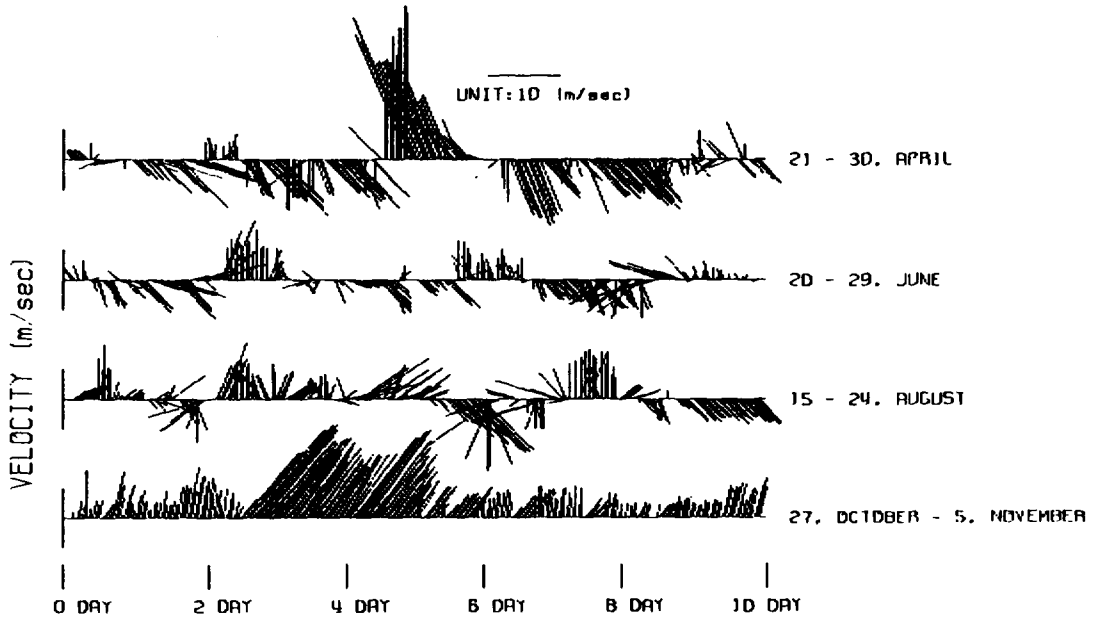


Fig. 9. Stick plots of wind data during April 21-30, Jun 20-29, August 15-24, and October 27-November 5 at Gosan.

온선과 등염분선이 해안으로 갈수록, 상·중층에서는 해수면으로 상승하고(상층용승형) 중·하층에서는 해저면으로 하강하는(하층침강형) 형태(상하분산형)다. 이러한 형태는 전 층의 해수가 균질한 겨울철(4월)에는 나타나지 않고 상층에 강한 성층이 형성되는 여름철(8월)에는 상층용승형태가 확실하지 않다. 그러나 나머지 계절(6, 11월)과 여름철 저층에 하층침강형이 나타나는 것으로 보아 상하분산형의 형태는 제주도 서부 연안역에서 년중 나타난다고 생각할 수 있다.

이러한 형태는 겨울철과 여름철에는 각각 균질한 해수와 강한 성층 때문에 잘 나타나지 않고 봄철과 가을철에 보다 뚜렷이 나타난다. 그러나, 이것이 겨울철과 여름철에 용승 침강현상이 약해서인지, 아니면 강하지만 그 효과가 특성분포에 나타나지 않는 것인지는 현재로서는 알 수 없다. 11월에는 상층의 용승현상이 매우 강하며 용승효과가 저층까지 나타난다.

관측전 10일의 바람방향을 보면 11월의 강한 용승현상은 북풍바람에 의한 것이며 이것은 여러가지 용승원인 중에서 바람이 가장 큰 효과를 나타낼 수 있다는 것을 보여준다. 그러나 바람은 다른 관측

때에는 방향이 자주 바뀌어 용승을 발생시키기 힘들므로 바람은 다른 계절에 나타나는 용승현상을 설명하기 어렵다. 따라서, 년중 나타나는 용승을 설명하기 위해서는 해류에 의한 설명이 보다 타당할 것이다.

해류에 의한 설명으로는 이미 보고된 와도에 의한 설명이 있다. 제주도 서부해역으로 북상한 해류는 제주도를 시계방향으로 돌아 제주해협으로 흐르기 때문에 (-)와도를 갖고 이 와도변화가 용승을 발생시킨다는 설명이다. 그러나 이 설명은 이 해역의 용승효과를 설명하는 데에 몇가지 문제점이 있다. 우선 하층침강형태를 설명하기 어렵고, 용승효과가 왜 관측선 A보다 C에서 더 강하게 나타나는지를 설명하기 어렵다. 또한, 이것으로 설명될 수 있는 용승효과는 약 2m 정도로 관측하기에는 너무 작으며 실제 관측된 것과 차이가 많다.

제주도 서부 연안역의 용승은 수심이 다른 곳을 해류가 흐르기 때문으로 보인다. 이 해역은 수심이 얕기 때문에 수심의 변화가 완충되지 못하고 바로 해류 흐름에 영향을 미칠 것이다. 만일 해류가 등수심선을 가로 지른다면, 해수기둥은 길이가 줄어들어 (-)와도변화를 가지며 용승효과가 나타난다.

그러나 이럴 경우 중·저층의 침강현상은 역시 설명되지 않는다. 만일 해류가 등수심선을 따라 흐른다면, 해류가 북상할 때 등수심선의 폭이 넓어지기 때문에 해수의 수평분포는 발산되고 역시 해수기둥 길이가 줄어들어 (-)와도변화를 가지며 용승효과가 나타날 것이다. 등수심선폭이 증가로 인한 해수량의 부족은 용승과 모순되지 않도록 저층에서 채워질 것이며, 이 경우 중·저층의 해수기둥의 길이는 늘어나 (+)의 와도변화를 갖게 되고 침강효과를 나타낼 것이다.

이 설명은 제주도 서부연안역의 상하분산형태를 설명해 주며, 용승효과가 등수심선의 폭이 넓어지는 관측선 C와 B 사이에서는 크고, 등수심선의 폭이 그다지 넓어지지 않는 관측선 B와 A 사이에서는 별로 크지 않은 것을 설명해 준다.

그러나 이 현상이 현재 완전히 파악되었다고 볼 수 없고 원인규명도 아직 초기단계이기 때문에 앞으로 이 연구는 계속되어야 할 것이다.

고찰

겨울철 용승현상은 수직적으로 거의 균일한 해수분포 때문에 수온과 염분의 자료에는 나타나기 어렵다. 그러나 최와 문(1991)은 제주도 주변해역에 대한 4월의 관측결과 제주도 서남방 해역은 다른 해역에 비해 부영양화 해역임을 밝혔는데, 이는 이 해역이 용승해역임을 시사하는 것이다. 겨울철 용승은 화학·생물학적 자료가 보완된다면 밝혀질 수 있을 것이다.

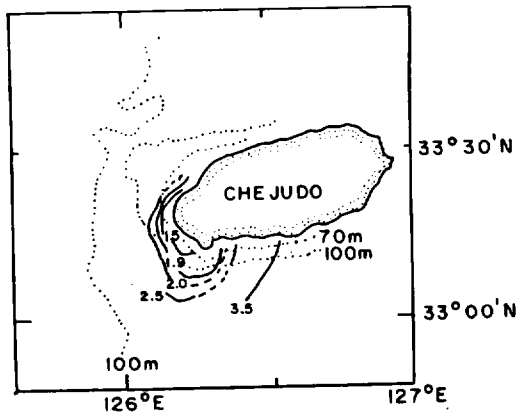


Fig. 10. Distributions of the mixing parameter, $\log H/Us^3$, around Cheju Island (from Kim and Lee, 1982).

제주도 서부 연안역의 하층침강형태는 조류마찰로도 설명되었다. 조류가 강한 천해역에서는 해저마찰에 의해 조류의 운동에너지가 위치에너지로 전환되는 수직 혼합이 나타나고, 조석혼합역인 연안과 성층해역인 외해 사이에는 조석전선이 형성된다. 성층역과 혼합역을 예측하기 위한 성층계수는 $\log H/Us^3$ (H: 수심, Us : 대조기 조류의 진폭, Simpson and Hunter, 1974) 이며, Fig. 10은 제주도 서남연안역의 조석성층계수값이다 (Kim and Lee, 1982). 제주도 남부해역은 2.0 이상이나 서안에서는 1.5미만의 값을 나타내 이 해역에 조석전선이 생길 수 있다는 것을 보여준다. 조와 승(1989)은 경기만의 조석전선연구에서 전선위치는 조석주기에 따라 이동하고 있음을 보여 주었다.

제주도 서부 연안역의 수직특성은 실제로는 조석전선을 포함하여 이미 언급된 여러 요인들에 의해 복합적으로 나타날 가능성이 많기 때문에 조석전선의 연구도 제주도 서부연안역의 특성을 밝히는 데 중요할 것이다.

요약

제주도 서부연안역의 수직 수온 분포의 특성은 상층용승형과 하층침강형이며 겨울철과 여름철에는 뚜렷하지 않으나 년중 나타나는 것으로 보인다. 이러한 형태는 해류가 북상하며 오히려 약화되는 듯이 보이며, 관측 전에 북풍이 계속 불었던 11월에는 용승효과가 매우 커 저층침강형태는 사라지고 저층까지 용승형태가 나타난다.

바람은 모든 계절의 용승현상을 설명하지는 못하지만 용승효과는 가장 큰 것으로 보이며, 시계방향의 흐름에 의한 와도변화로 용승을 설명하는 것에는 몇가지 문제점이 있다. 첫째, 하층침강이 설명되지 않으며, 둘째, 해류가 흐르며 용승효과가 약화되는 것을 설명하기 어렵고, 셋째, 그 효과가 관측에 비해 너무 작은 것이다.

제주도 서부연안역의 상층용승형과 하층침강형은 해류가 간격이 넓어지는 등수심선을 따라 흐르면서 생기는 상층발산과 이를 보충하려는 하층수렴에 의해, 상층에는 (-), 하층에는 (+)와도가 유도되어 발생하는 것으로 보인다.

참고문헌

- Arthur, R. S., 1965. On the Calculation of vertical motion in the eastern boundary currents from determinations of horizontal motion. *J. Geophys. Res.*, 70, 2799-2803.
- 변창익, 정용진, 노홍길, 1983. 제주도 연안의 해황특성에 관한 연구 -성산포를 중심으로-. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 7, 59-64.
- 조철호, 승영호, 1989. 경기만 일대의 조석전선 연구. 2, 51-61.
- 최영찬, 고기원, 김상현, 1987. 제주도 동남방 신천연안역 해수의 이화학적 특성과지질분포. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 11, 53-71.
- 최영찬, 문영석, 1991. 제주도 남방 연안역의 4월 달 해수특성. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 15, 73-80.
- 최영찬, 정용진, 1989. 제주도 해안선 주변 1개 정점(용두암 근처)에서 해수특성의 일주변화. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 13, 27-33.
- 김인욱, 1986. 제주도주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 제주대학교 석사학위논문, pp. 46.
- 김 구, 심재형, 노홍길, 고유봉 1980. 한국남서해의 해류분포와 그 영향에 관한연구(미발표 연구보고서).
- Kim, K. and S. H. Lee, 1982. Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17(2), 59-68.
- 김구, 노홍길, 이상호, 1991. 하계 제주도 주변해역의 수계 및 해수순환. *한국해양학회지*, 26(3), 262-277.
- Lee, J. C., 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in Summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18(2), 149-160.
- Pang, I. C., H. K. Rho and T. H. Kim, 1992. Seasonal Variations of Water mass Distributions and Their Causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the Adjacent Seas of Cheju Island. *Bull Korea Fish. Soc.*, 25(2), 151-163.
- 방익찬, 노홍길, 김유근, 김태희, 1990. 제주도북방 함덕연안역에서의 기상과 해황과의 관계. 제주대학교 논문집, 30, 31-52.
- 박용향, 1985. 조천연안역의 용천수와 해수유동 및 환경요인이 설상분포에 대한 고찰. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 9, 25-31.
- Simpson, J. H. and J. R. Hunter, 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature*, 250, 404-496.
- 양성기, 1984. 제주도 삼양연안역의 해양환경학적 연구 -수온, 염분 및 용존산소의 분포-. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 8, 1-8.
- 양성기, 1985. 동계 서귀포 연안의 해양환경과 해수유동의 특성. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 9, 13-24.
- 양성기, 노홍길, 손태준, 박원배, 1992. 제주도 연안 해역의 해황 및 기상이 어획생산량의 변동에 미치는 영향. 제주대학교 논문집, 34, 51-76.
- 윤용훈, 박용향, 봉종현, 1991. 황해 저층냉수의 특성과 남하에 대한 재조명. *한국지구과학학회지*, 12(1), 25-37.