

석사학위논문

황해해수분포의 계절변화와
그 원인

제주대학교 대학원
해양학과



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
김수정

1993년 12월

황해해수분포의 계절변화와 그 원인

지도교수 방 익 찬

김 수 정

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

1993년 12월



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

김수정의 이학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장

위 원

위 원

김 수 정
방 익 찬
양 성 기

제 주 대 학 교 대 학 원

1993년 12월

**The seasonal variation of water mass
distributions in the Yellow Sea
and its causes**

Soo-Jung Kim

(Supervised by professor Ig-Chan Pang)



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF NATUAL SCIENCE**

**DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

1993. 12.

목 차

List of Figures and table

Summary

I. 서 론	3
II. 황해해수특성	6
III. 해수분포의 계절변화	9
1. 황해난류수	23
2. 황해저층냉수	37
IV. 해수의 계절분포 변화의 원인	39
1. 바람	39
a. 바람과 황해저층냉수	39
b. 바람과 황해난류수	44
2. 기 온	45
3. 황해난류수와 황해저층냉수의 분포와의 관계	47
V. 결론 및 고찰	49
VI. 참고문헌	51

감사의 말씀

List of Figures and Tables

Fig. 1. Bathymetric map and observational stations in southeastern Yellow Sea. Dots mark the locations of observation. Depths are meters.	5
Fig. 2. T-S diagrams in the southeastern Yellow Sea during 1981 to 1990.	
(a) in February	7
(b) in August	8
Fig. 3. Vertical distributions of (a) temperature and (b) salinity along the section of the station 10s in 307~314 lines during 1981 to 1990.....	10
(a-1) in February (a-2) in April (a-3) in June	
(a-4) in August (a-5) in October (a-6) in December	
(b-1) in February (b-2) in April (b-3) in June	
(b-4) in August (b-5) in October (b-6) in December.	
Fig. 4. Horizontal distributions of (a) temperature and (b) salinity at the 50m layer in the southeastern Yellow Sea.....	24
(a-1) in February (a-2) in April (a-3) in June	
(a-4) in August (a-5) in October (a-6) in December	
(b-1) in February (b-2) in April (b-3) in June	
(b-4) in August (b-5) in October (b-6) in December	
Fig. 5. T-S diagram at the 50m layer of (a) 311-10, (b) 312-10, (c) 313-10, and (d) 314-10 station in February and August during 10 years(1981~1990)	38

Fig. 6. Horizontal distributions of 33.0‰ isolines in february
and august at the 50m layer in the
southeastern Yellow Sea.43

Fig. 7. Time variations of temperature and salinity distributions
on the layer of 50m depth along the section of 313 line. 48

Table 1. The monthly resultant wind direction and speed of Cheju-city ..41

Table 2. The monthly average air temperature(℃) of Incheon.46



SUMMARY

In spite of some reports on the seasonal variations of water masses and their causes in the Yellow Sea, we still need more analyses of a long period of hydrographic data and other data such as winds, to clarify the movements of Yellow Sea Bottom Cold Waters and Yellow Sea Warm Waters. In this thesis, we analyze a 10-year period hydrographic in the southeastern Yellow Sea and wind data.

In the southeastern Yellow Sea, the distributions of bottom water masses are highly related with the wind stress. In summer, the distribution of Yellow Sea Bottom Waters in this region are extended southward by southeasterly wind. The southward extension is strong during the south resultant winds and weak during the east resultant winds. However they are not extended southward during the northwest resultant winds in 1987.

In winter, Yellow Sea Warm Waters are extended northward by northwesterly wind. They are extended northward during north resultant winds and distributed in east-west direction during west-northwest resultant winds. Yellow Sea Warm Waters seem to be extended strongly northward in '84, '86, '87, '88 because of the strong resultant wind speed.

The northward flows of Yellow Sea Warm Waters in winter seem to be restricted when the formation strength of Yellow Bottom Cold Waters is strong. If the southward flows of Yellow Bottom Cold Water is strong in summer, the duration of extension of Yellow Sea Warm

Waters in the following season is short. In contrast with this, if the southward flows of Yellow Bottom Cold Water are weak in summer, the duration of extension of Yellow Sea Warm Waters in the following season is long.



I. 서론

황해에 해수순환과 수괴분포에 대해서는 Uda(1936) 이래로 많은 연구가 수행되어 왔으며, 서로 성질이 다른 대양수계인 고온고염의 황해난류수와 연안수계인 저온저염의 황해저층냉수가 계절을 달리하여 분포 변화를 하고 있음이 꾸준히 보고되어 오고 있다. 이런 계절에 따른 분포변화는 황해가 중국대륙과 한반도로 둘러싸인 수심 100m미만의 내만같은 천해역이고 계절에 따른 기상 변화가 뚜렷한 편서풍대에 위치하고 있으므로 기상변화의 영향을 받게 될것이다. 그런데, 두 해수의 계절에 따른 분포 변화를 일으킬 수 있는 수괴의 이동은 겨울철과 여름철에 나타나는 기상변화인 북서계절풍과 남동계절풍에 의한다고 보고되고 있다(Park, 1986; 김, 1990; 방과 김, 1990; Park *et al*, 1992).

여름철에는 동중국해에서 대마난류수의 후퇴와 계절풍의 영향으로 겨울철 황해중부해역에서 형성된 냉수괴가 황해중앙부를 따라 남하하고 있다고 보고하고 있는데, 수괴 분포범위와 해수 특성치에 대해서는 연구자들에 따라 견해가 다소 다르다(Nakao, 1977; Park, 1985, 1986; 윤, 1986; Lie, 1986; 윤 등, 1991).

그리고, 북서계절풍이 탁월한 겨울철에는 대마난류수가 동중국해에서 북서방향으로 확장되고(Kordi, 1986), 황해난류수가 황해로 유입되는 역학이 제시되고 있음에도 불구하고(Park, 1986; Park *et al*, 1992), 황해난류수의 북상에 대해서는 부정적인 견해들도 제시되어 오고 있다(Lie, 1985; 이와 김, 1989).

그러나, 일부 선행된 연구를 제외하고는 한계절에 나타난 수괴분포만으로 수괴의 이동을 설명하고 있는데(Park, 1985, 1986), 시간경과에 따른 분포변

화가 제시되지 않고 수괴의 이동을 설명하는 것은 문제점이 있다. 그리고, 수치실험에 의한 결과들로 황해난류수의 북상, 황해저층냉수의 남하가 계절풍에 의한다는 보고도 있으나, 일부는 실측적인 분포변화가 제시되지 않고 있다(Park, 1986). 그리고, 실측적인 분포를 제시한 것도(방과 김, 1990; Park *et al*, 1992) 좀 더 장기적인 실측적인 자료의 분석이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 장기간 시간의 변화에 따른 해수분포변화를 살펴봄으로써 장기적인 분석 자료를 제공하고, 과연 황해저층냉수의 남하와 황해난류수의 북상이 존재하는지를 살펴보고자 한다. 또, 두 수괴의 이동이 계절풍의 영향을 받고 있는지를 알아보기 위해, 겨울철 해수분포의 변화와 기상변화와의 관계에 대해서도 알아보하고자 한다.

황해남동해역(Fig. 1)에서 계절별 해수의 분포변화를 살펴보기 위해 1981~1990년 국립수산진흥원 자료를 이용하였고, 계절별 해수의 분포변화와 그 계절에 나타난 기상변화와의 관계를 살펴보기 위해 중앙기상대의 제주 합성풍향, 풍속과 인천의 월평균기온 자료를 이용하였다.



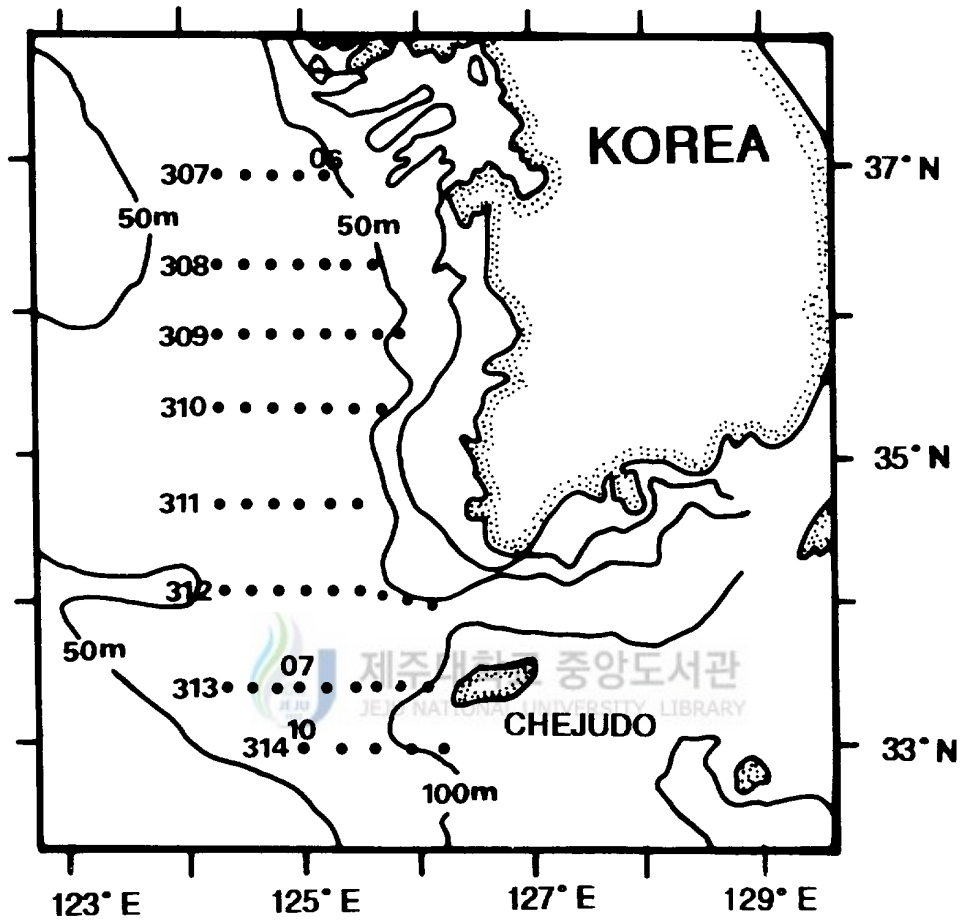


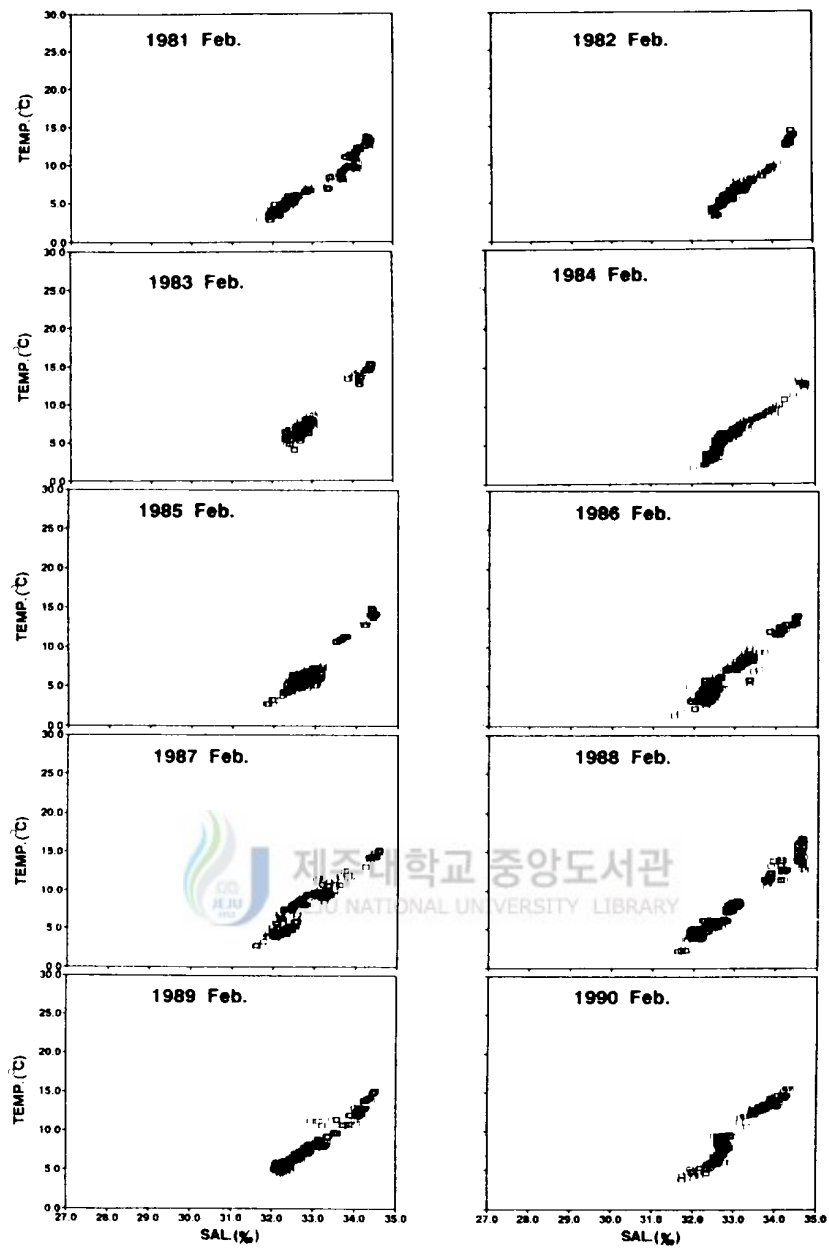
Fig. 1. Bathymetric map and observational stations in southeastern Yellow Sea.
Dots mark the locations of observation. Depths are meters.

II. 황해해수특성

Fig. 2는 황해남동해역(Fig. 1)에서 표층부터 저층까지 T-S diagram을 나타낸 것이다. 2월의 해수 특성은 고온고염의 황해난류수와 저온저염의 황해저층냉수로 나타나고, 이들을 잇는 직선상에 두수괴의 혼합수가 나타난다. 그리고, T-S diagram은 각년도에 따라 약간 변화하긴 하지만 대체로 저온저염수는 수온 10℃이하 염분 32.0~33.0% 사이에 밀집되어 분포하고 고온고염수는 수온 10℃이상 염분 34.0%이상으로 나타난다.

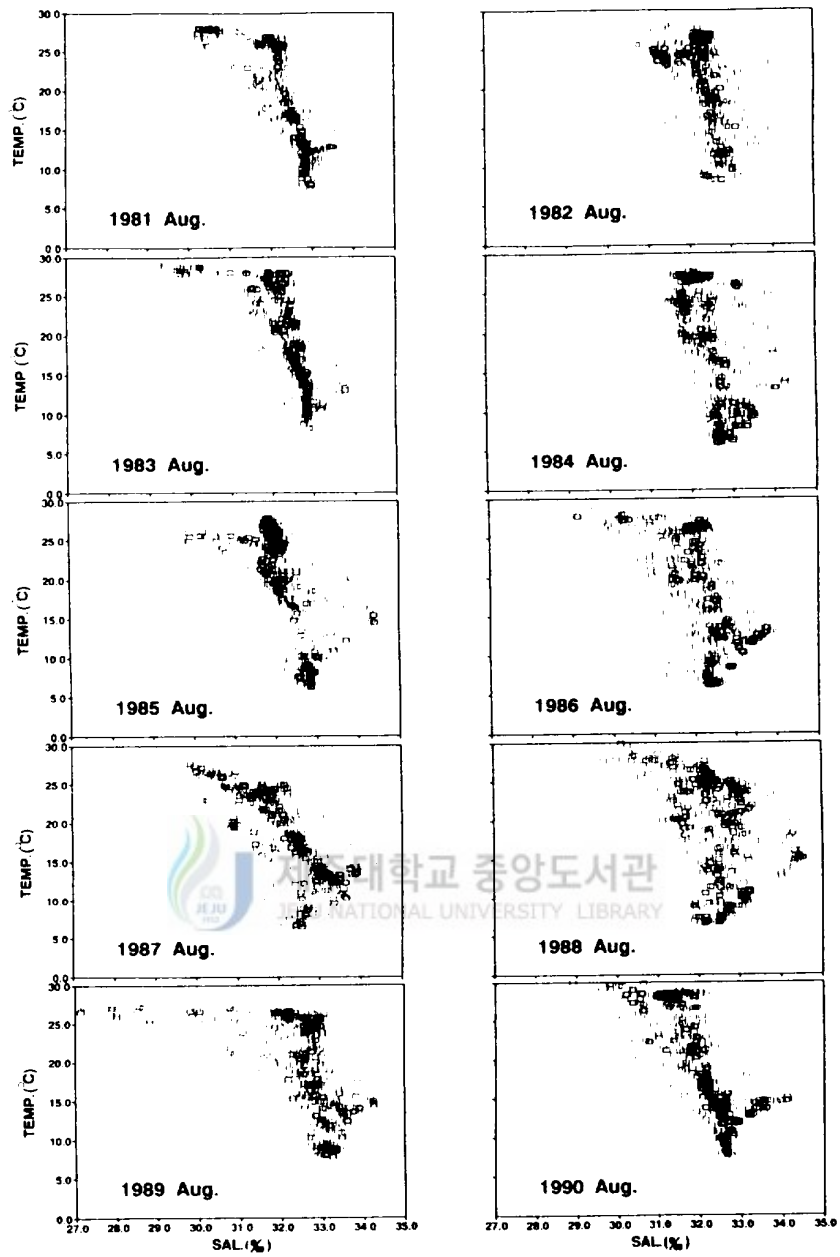
그러나, 81, 84년에는 염분 34.0%이상인 고염수가 수온이 10℃이하인 해수도 나타나고 있다. 그리고, 저온저염수 중에도 86년에는 저온저염수의 최저 염분이 1.5℃정도로 최저 수온으로 나타나고 89년에는 최저 염분이 4℃정도로 최고 수온을 나타낸다. 그리고, 84년에는 고온고염수가 비교년도 중 최고 염분을 나타내나 T-S점은 비교년도 중 가장 적게 분포하므로 저온저염수가 넓은지역에 분포하고 있음을 알 수 있다. 또, 고온고염수가 수온 14℃이하에 분포하여 비교년도에서 최저 수온을 기록한다. 그리고, 83년에는 저온저염수와 고온고염수로 두 수괴가 분리되어 혼합수 성격을 띄는 수괴가 나타나지 않고 있다.

8월의 T-S diagram은 2월의 T-S diagram과 다르게 다양하게 변화하고 T-S점들이 분산되어 나타나며, 2월의 T-Sdiagram에는 나타나지 않았던 염분 31.0%이하의 고온저염수가 나타난다. 그리고, 2월의 고염수가 8월에는 거의 나타나지 않고 있어 전해역이 저염화되고 있다. 2월에 염분 32.0~33.0% 사이 수온 10℃이하에 밀집되었던 황해저층냉수가 8월에는 수온이 5℃이상에서 분포하여 수온 변화가 나타나고 있다.



(a) in February

Fig. 2. T-S diagrams in the southeastern Yellow Sea during 1981 to 1990.



(b) In August

Fig. 2. continued.

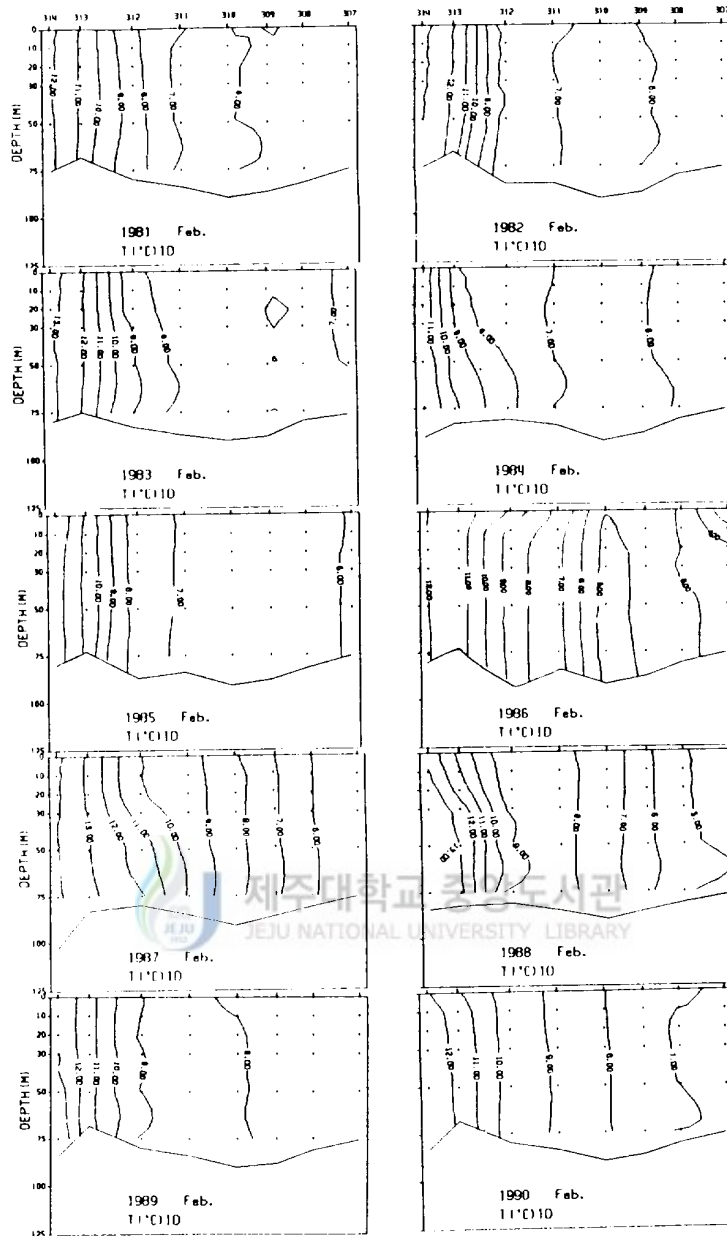
III. 해수분포의 계절변화

겨울철에 차고건조한 극기단의 영향을 받아 탁월한 북서풍과 낮은 기온으로 표층수가 냉각된다. 표층의 냉각으로 대류가 일어나 표층과 저층의 해수가 균질하게 되는 수직 혼합 현상이 일어나며, 강한 북서계절풍은 대류에 의한 혼합을 가속화시켜준다(양 등, 1984)

한편, 여름철에는 고온다습한 열대해양성기단의 영향으로 바람은 남동풍이 우세하며, 강수량 및 연안수 유입의 증가와 더불어 증가하는 태양복사에너지의 영향으로 표층수는 고온저염수가 형성된다. 10~30m에서는 수온약층이 형성되며, 이 성층을 경계로 고온저염인 표층수와 저온고염인 저층수로 구분되는 성층해양을 나타낸다(양 등, 1984). 따라서, 50m이심의 저층수는 태양복사에너지, 연안수 및 강수 등의 영향을 미약하게 받으므로 겨울철에 형성된 황해저층냉수의 해수특성이 변질되지 않고 유지될 가능성이 크다.

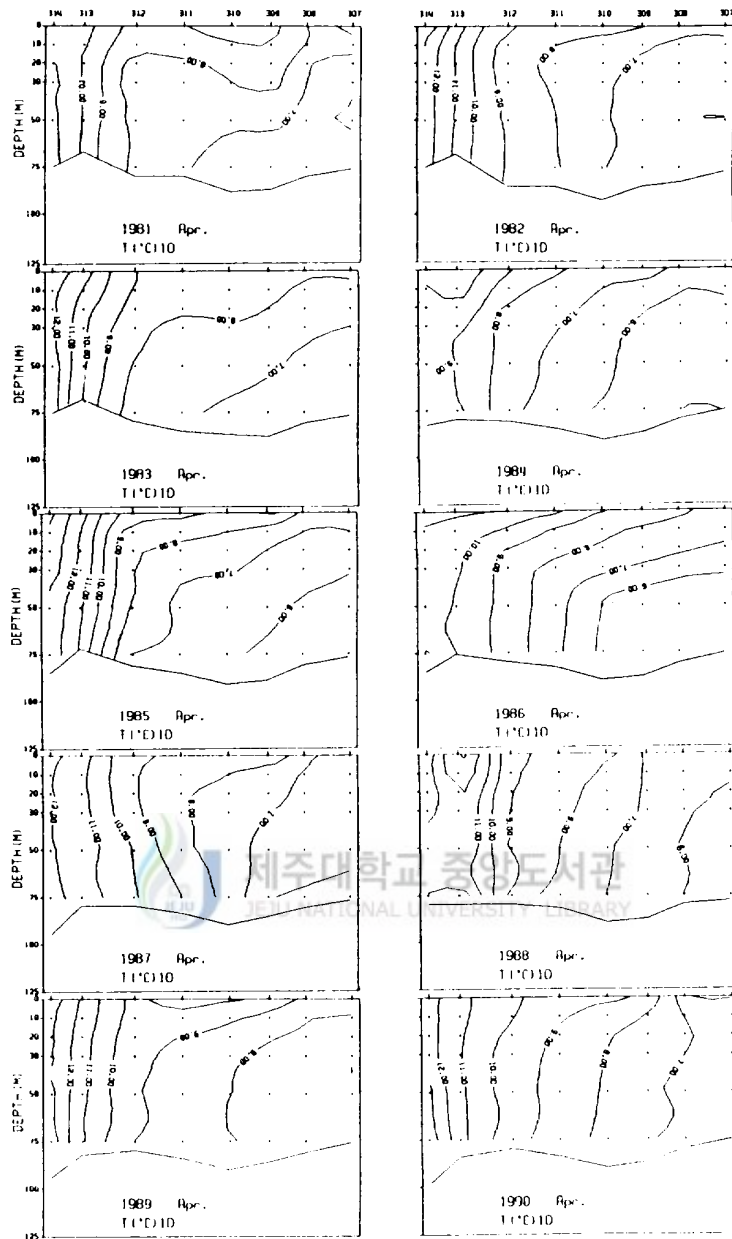
이런 황해에 여름철 황해저층냉수의 남하와 겨울철 황해난류수의 북상은 황해중앙부를 따라 이루어진다고 보아지고 있으므로(방과 김, 1989), 해수의 계절에 따른 두수괴의 분포는 황해중앙부를 중심으로 변화할 것이다. 그래서, 황해중앙부에 가장 근접한 지점인 307~314Line의 Sta.10를 선택하여 표층부터 저층까지 수온과 염분의 계절변화를 살펴보기 위해 격월별 수직분포도를 그렸다. (Fig. 3)

2월에 표층부터 저층까지 수온, 염분이 균일하게 분포하고 있으며, Sta. 312~313-10을 중심으로 등온선, 등염분선이 밀집되어 열·염전선을 형성하고 있다. 전선대 이북에는 저온저염인 해수가 분포하고 이남은 고온고염인 해수가 분포한다. 그런데, 4월부터는 표층 수온은 서서히 높아지고 6월에는 10~30m사이에 등온선이 밀집되어 수온약층이 형성되고 있다. 그리고, 8월



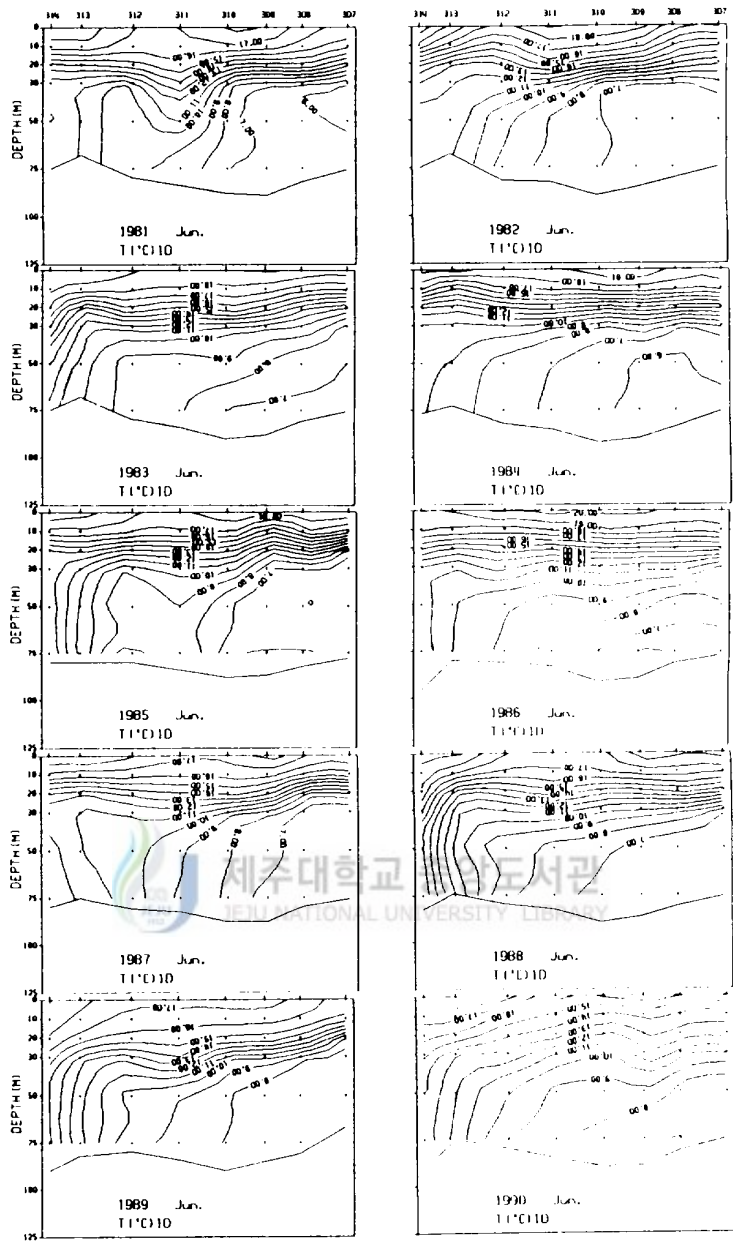
(a-1) in February

Fig. 3. Vertical distributions of (a) temperature and (b) salinity along the section of the station 10s in 307~314 lines during 1981 to 1990.



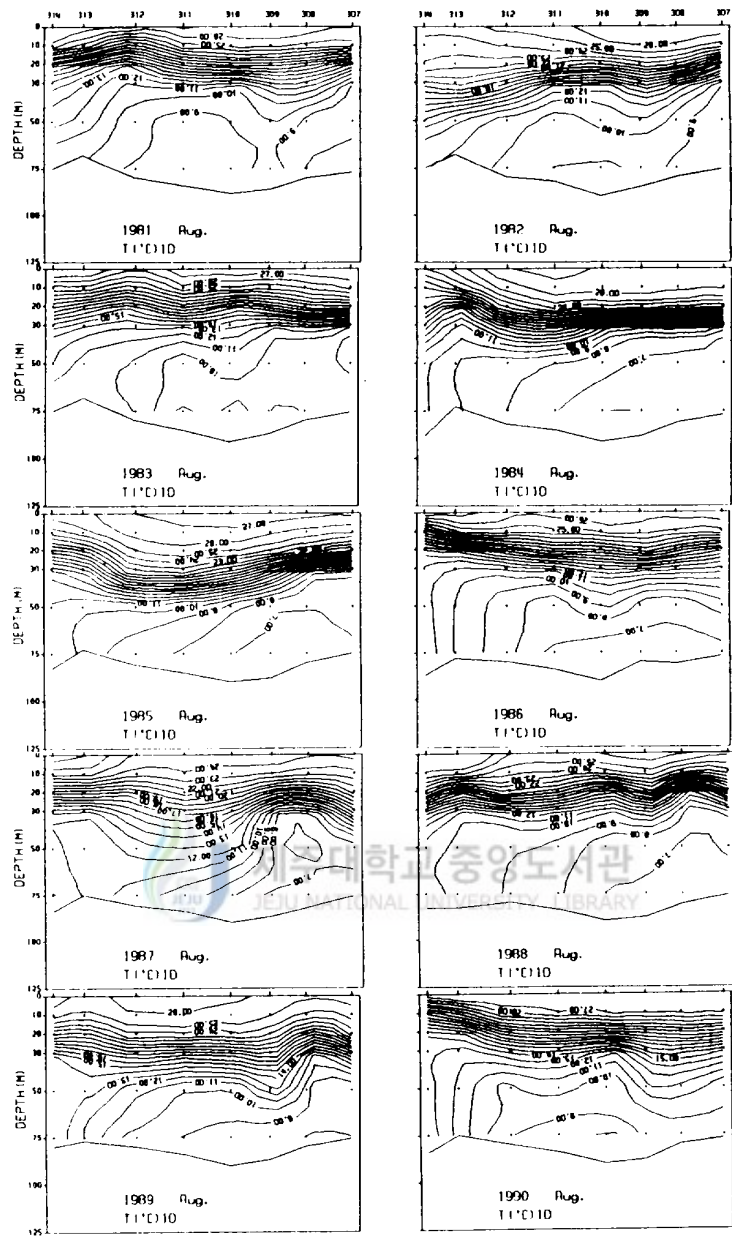
(a-2) in April

Fig. 3. continued.



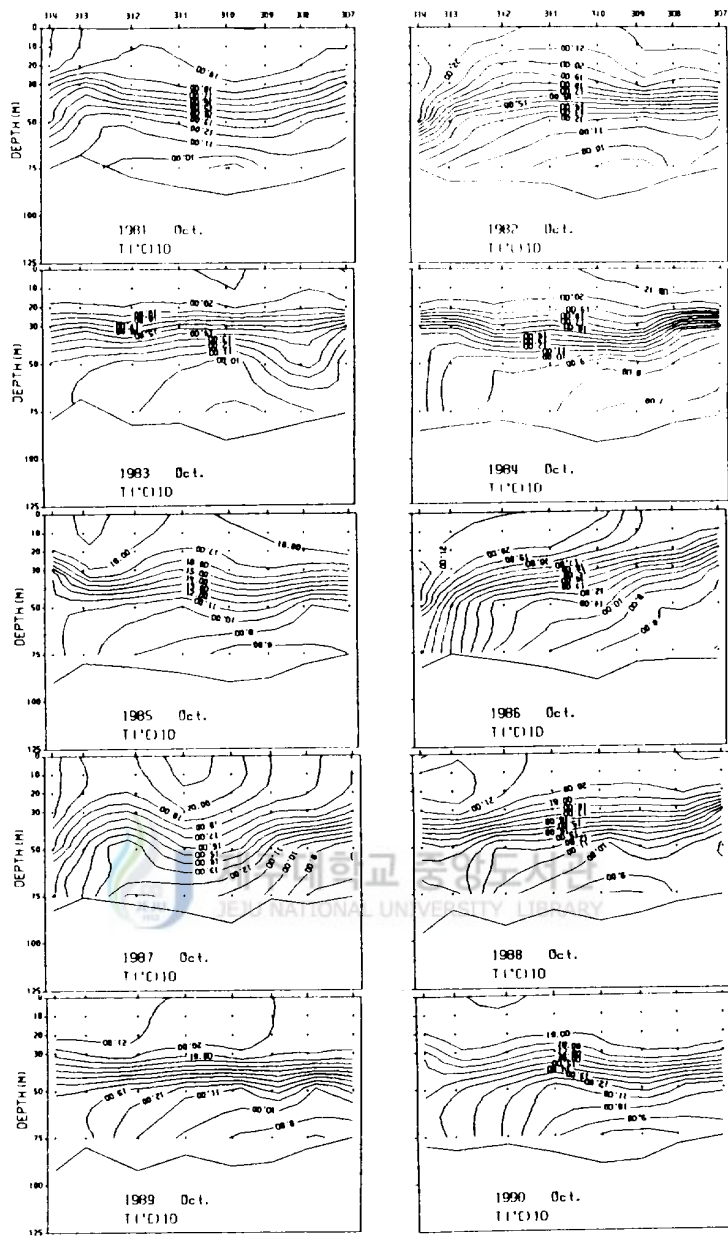
(a-3) in June

Fig. 3. continued.



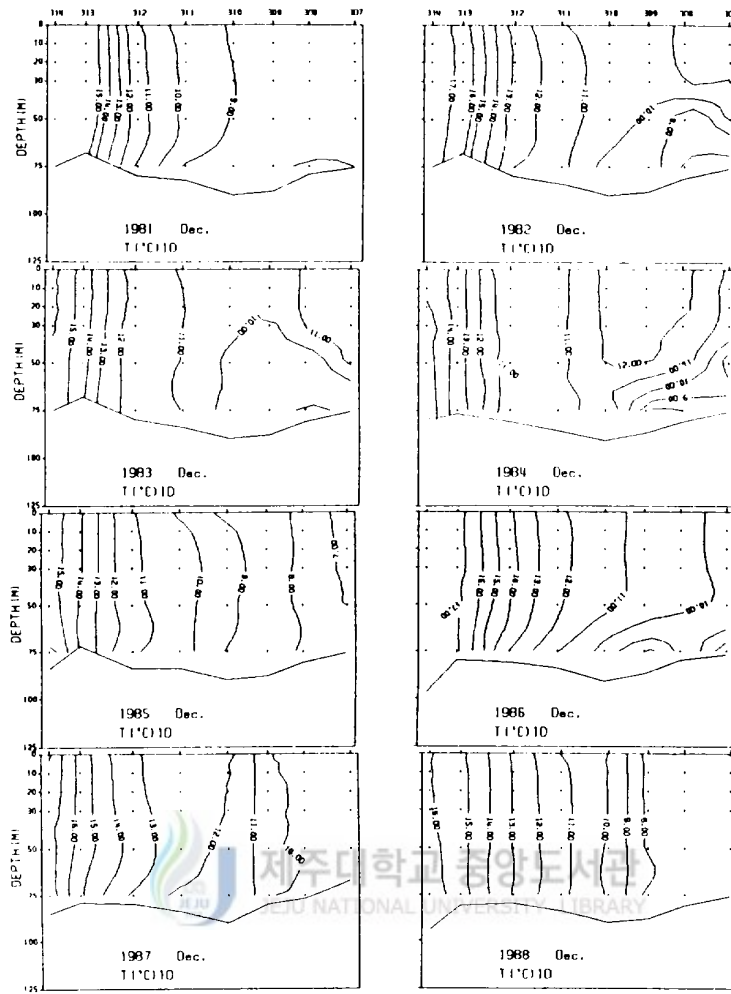
(a-4) in August

Fig. 3. continued.



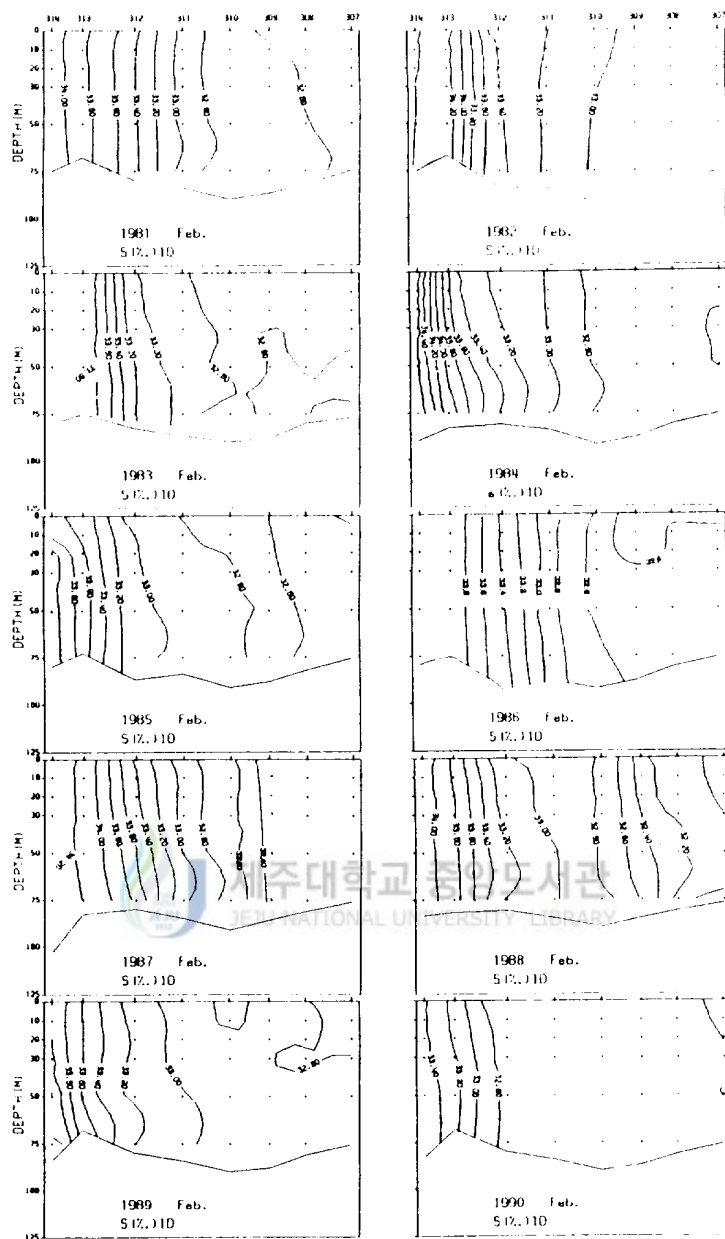
(a-5) in October

Fig. 3. continued.



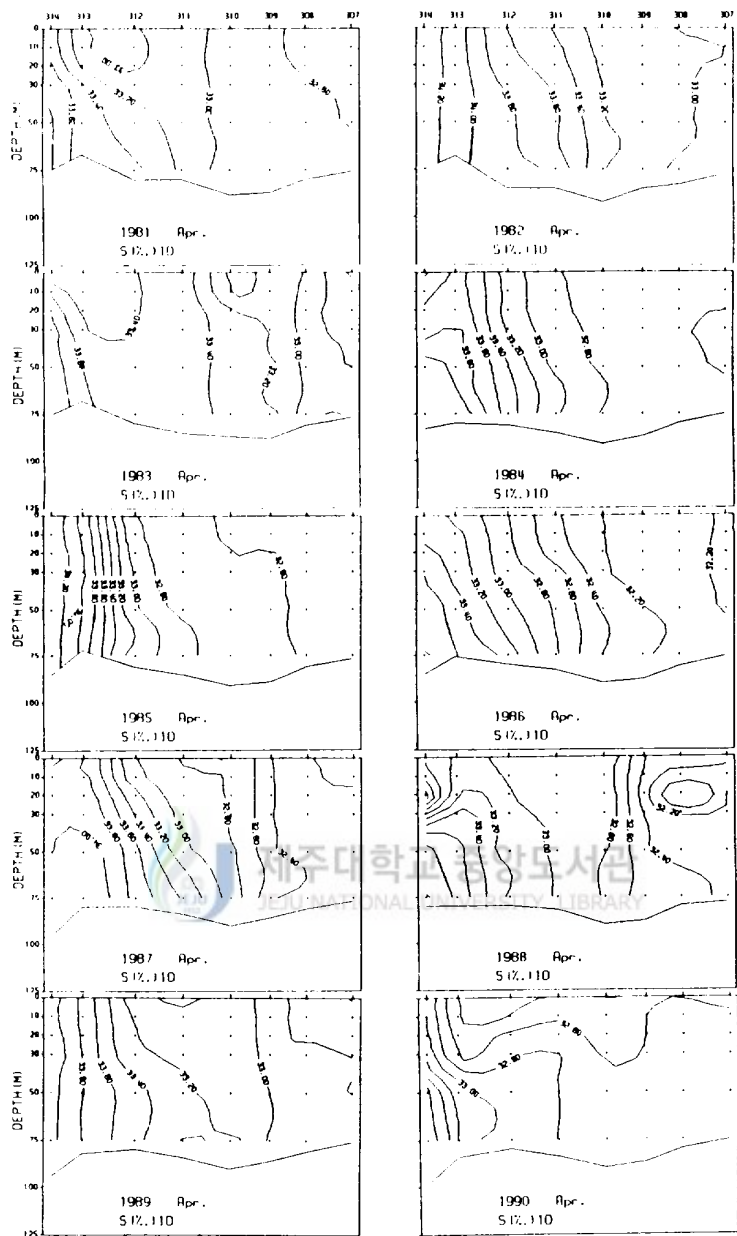
(a-6) in December

Fig. 3. continued.



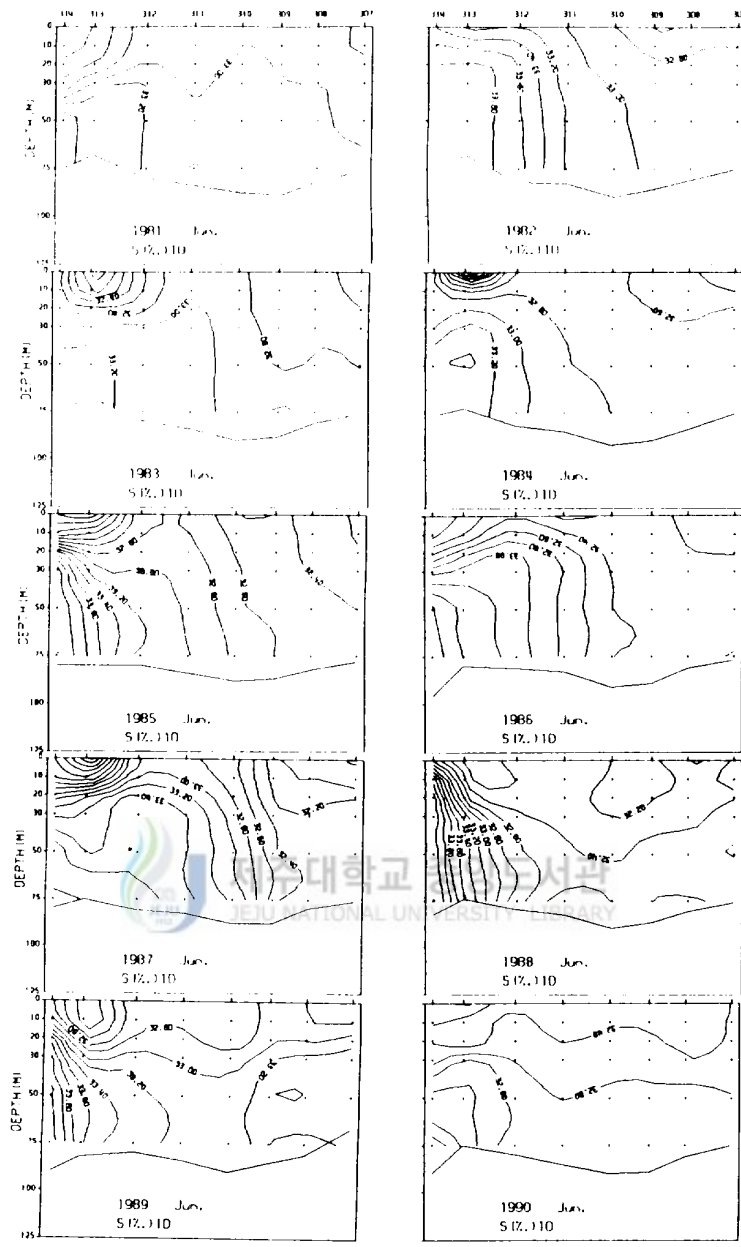
(b-1) in February

Fig. 3. continued.



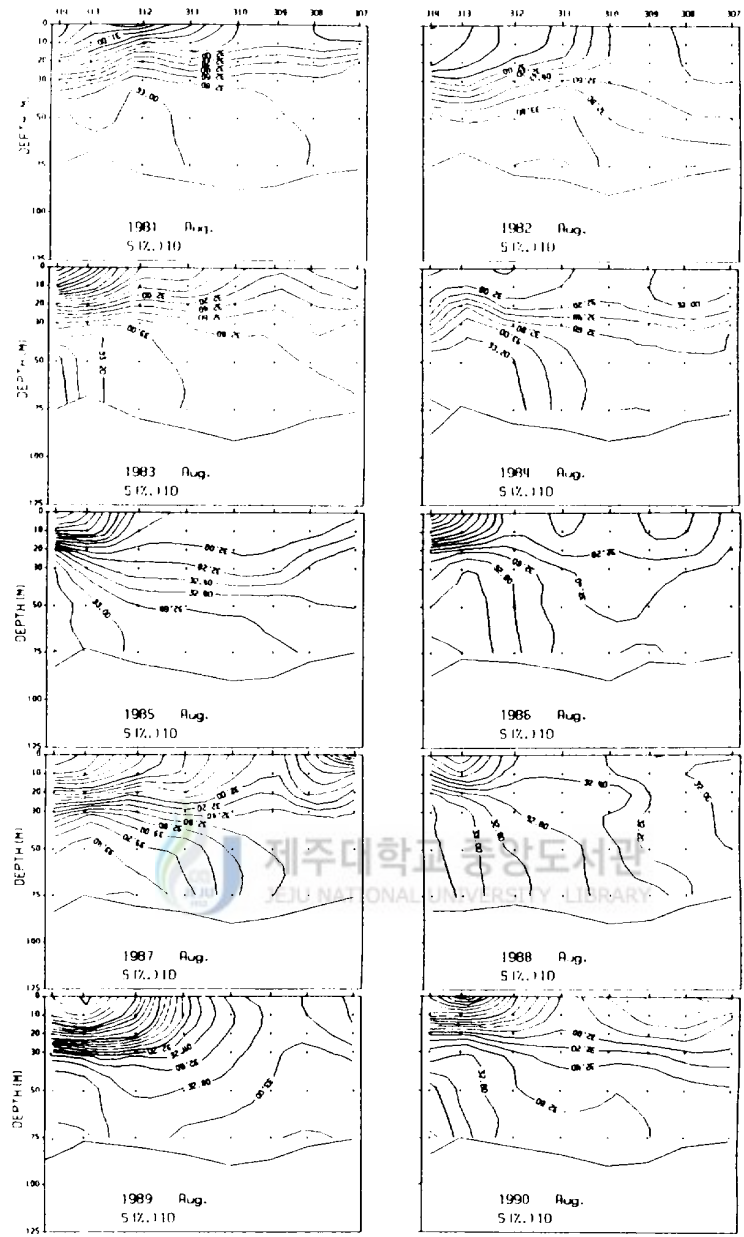
(b-2) in April

Fig. 3. continued.



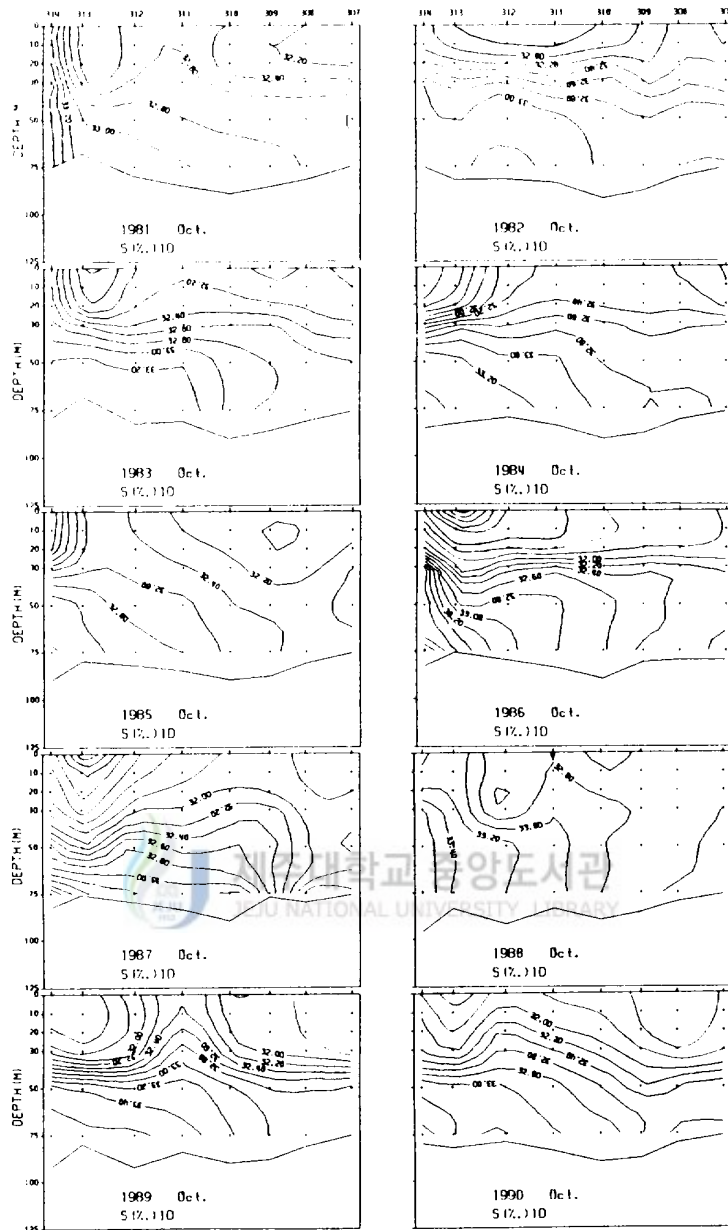
(b-3) in June

Fig. 3. continued.



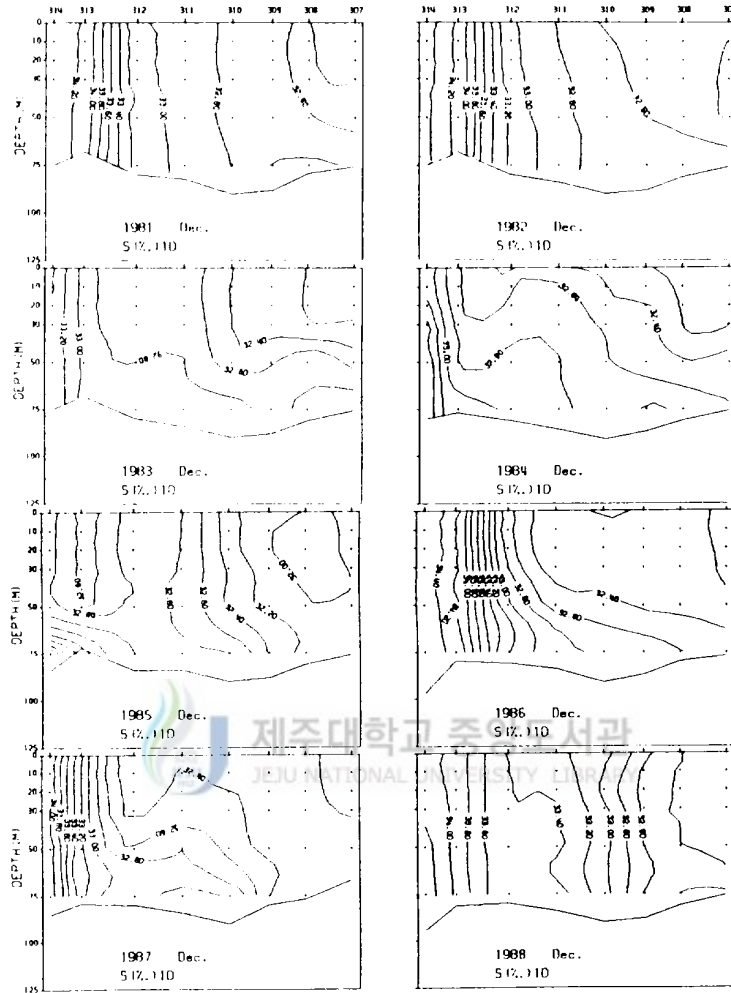
(b-4) in August

Fig. 3. continued.



(b-5) in October

Fig. 3. continued.



(b-6) in December.

Fig. 3. continued.

에 표층은 최고 수온을 보이고 6월보다 10~30m사이의 등온선이 더욱 조밀하게 분포하여 수온약층이 강화되고 있다. 그러나, 10월에는 표층부터 30m 사이에 분포하는 등온선이 적게 나타나므로 혼합층이 30m까지 낮아지고 있음을 알 수 있고, 수온약층도 30~50m사이로 낮아지고 있으며 8월에 비해 등온선 간격이 넓게 나타나 수온약층이 약화되고 있다.

표층수온은 4월에서 10월에 걸쳐 급격히 변화하는 반면, 50m이심의 수온은 311지점 이북은 대체로 4월부터 10월까지 서서히 높아지고 있다. 그러나, 312지점 이남은 2월보다 4월이 대체로 낮고 6월부터 8월까지 년도에 따라 높아지기도, 낮아지기도 하지만 2월의 수온과 큰 차이를 보이지는 않고 있다. 그러나, 10월에는 수온이 2월보다 증가한다.

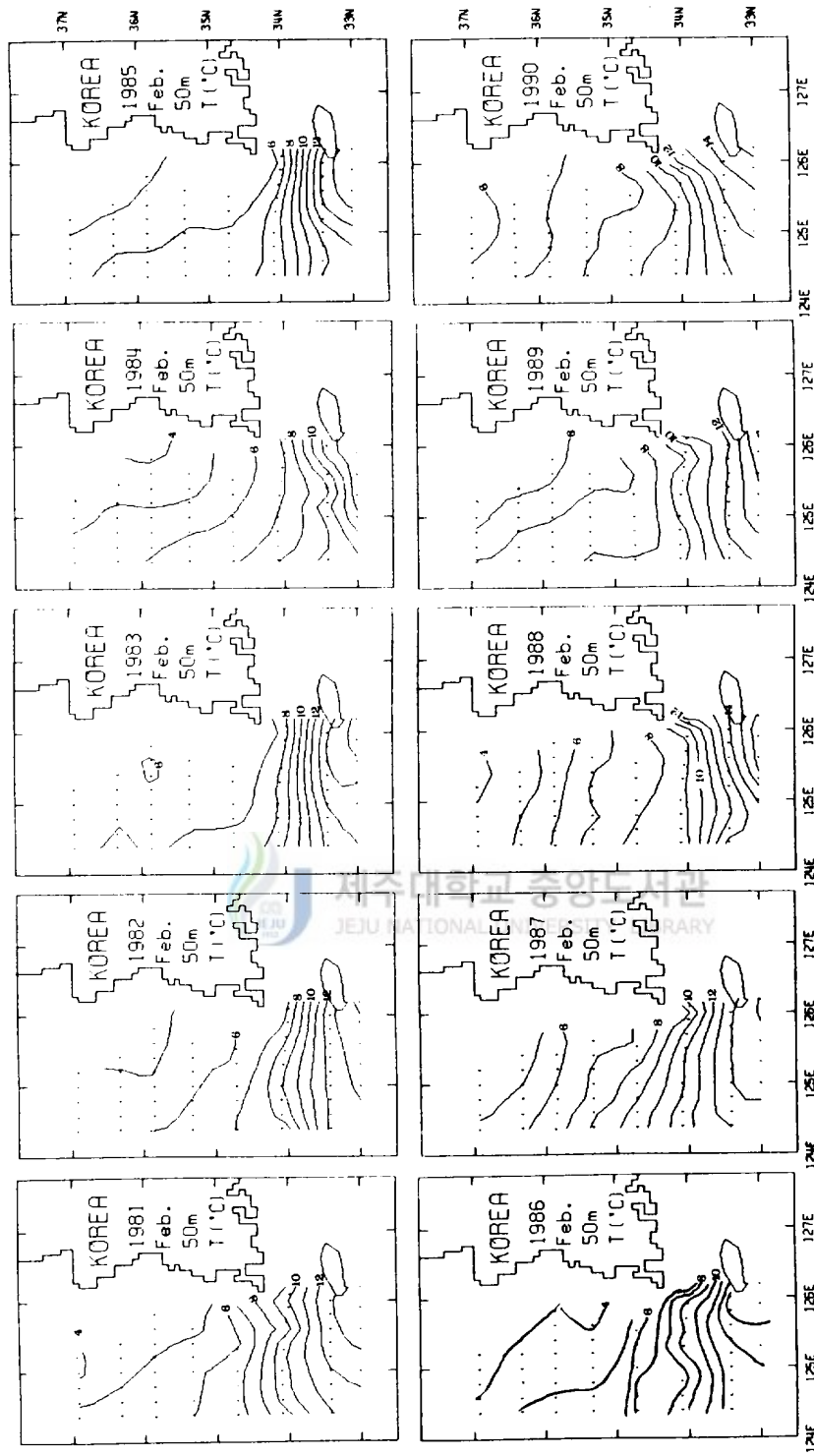
또, 표층염분은 4월부터 2월보다 낮아지기 시작하고 6월 또는 8월에 Sta.313-10을 중심으로 표층에 저염분 골이 나타나고 있다. 이 저염분 골은 양자강에 근원하는 것으로 보아진다(김 등, 1991; 김, 1986). 8월에는 10~30m사이에는 등염분이 밀집되어 염분약층이 형성되고 있다. 그리고, 10월에는 혼합층이 수심 30m까지 광범위하게 형성되어 표층부터 30m까지 전반에 걸쳐 저염분화되거나 저염분 골이 이 때까지도 남아 있는 년도도 보인다. 그러나, 50m이심의 염분은 4월부터 8월까지 전해역에 걸쳐 서서히 낮아지다가 10월부터는 Sta.312-10 이남해역부터 높아지고 있다. 12월에는 다시 수온과 염분이 전층에 균일하게 분포하고, Sta.312-10 이남에는 고온고염수가 나타나고 Sta.312~313-10 사이에 등온선과 등염분선이 밀집되어 전선대를 이루고 있어 2월의 분포와 비슷한 양상이 되고 있음을 볼 수 있다.

여름철에 수온약층에 의해 차단되어 표층으로 부터 영향을 거의 받지 않는 50m이심은 전해역에 저염인 해수가 분포하였다가 겨울철에는 비교적 고염인 해수가 분포하고, 특히, Sta.312-10 이남에는 34.0%이상인 해수가 분포하는 계절변화를 하고 있음을 볼 수 있다. 이는 성질이 다른 두 수괴가 계절을 달리하여 이동하고 있다고 생각된다.

1. 황해난류수

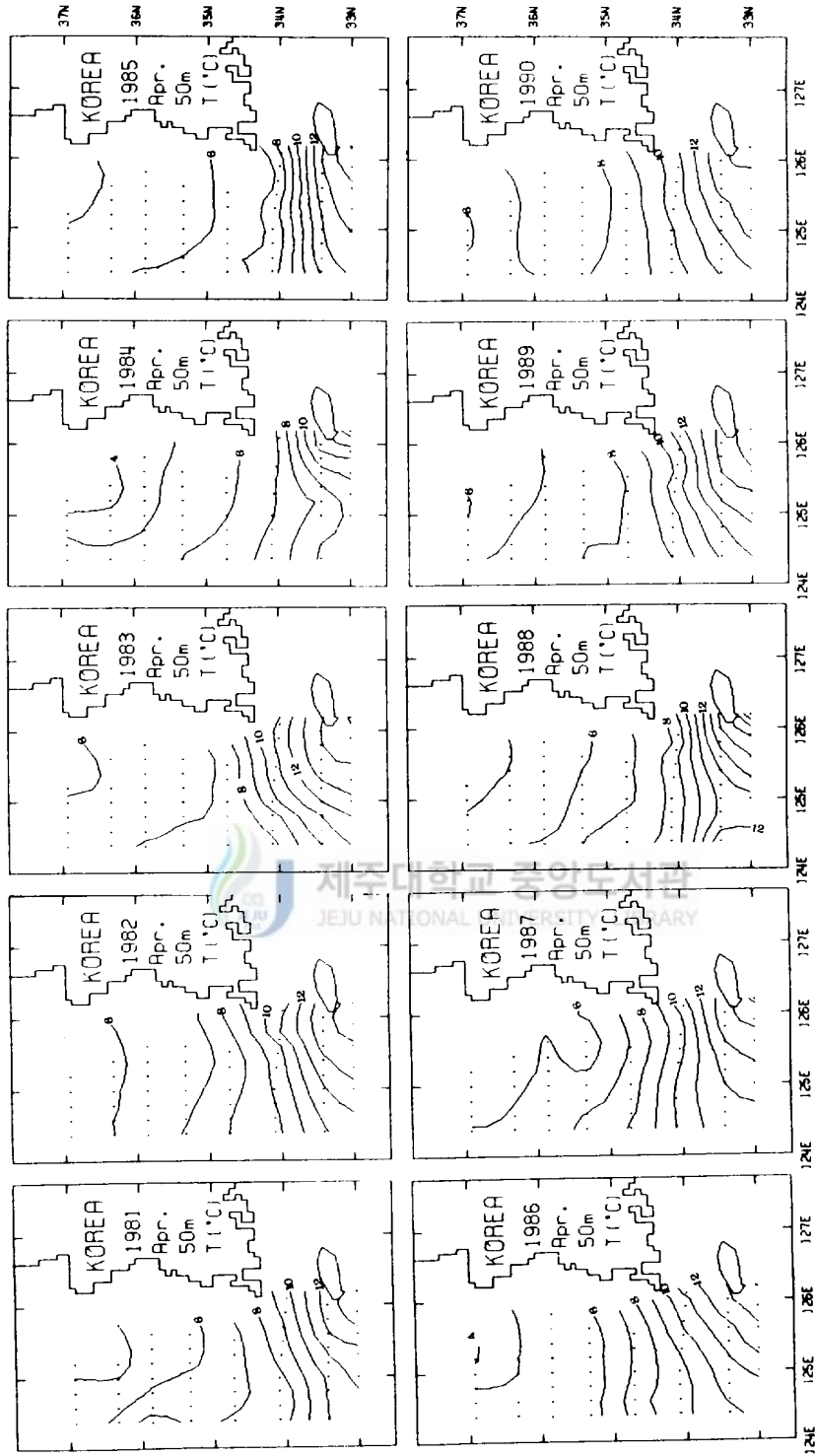
염분의 수직분포도에서, 50m이심 Sta.312-10 이남 해역의 변화를 살펴보면, 8월에 비교적 저염이었다가 10월에 염분값이 높아지고 12, 2월에는 고염수가 출현하는 것을 볼 수 있었다. Lie(1984)는 장기간(20년) 자료를 이용하여 겨울철(2월) 황해에 분포하는 황해난류수의 특성치를 수온 11~15℃와 염분 34.0~35.0‰로 한정하고 있다. 그런데, 각 년도의 2월에 황해남동해역에서 T-S diagram을 보면(Fig. 2), 34.0‰이상 고염수의 수온 범위가 각 년도에 따라 달라지고 있음을 볼 수 있다. 예를들면, 81, 84년인 경우 염분 34.0‰이상인 해수가 수온 10℃이하에 분포하는 것도 볼 수 있는데, 이 때 기온이 비교년도 중에서 가장 낮게 나타난다(Table 2). 그러므로, 겨울철 수온은 기온에 영향을 많이 받고 있다고 할 수 있으므로, 황해난류수의 수온에 대한 특성치는 그년도의 기온에 따라 달라져야 함을 알 수 있다.

염분 34.0‰이상의 특성치를 갖는 황해난류수의 분포양상을 50m층의 수평 분포도를 통해 살펴보면(Fig. 4), 각 년도의 10월에 8월에는 분포하지 않았던 34.0‰이상의 고염수가 제주서남방해역에서 나타나는 년도도 있음을 볼 수 있다. 이 때 등온선도 북쪽에 위치한 남-북방향의 등온선과 구별되게 동-서방향인 8월보다 고온인 등온선이 분포한다. 이 34.0‰이상의 고염수가 나타나지 않을 때도 제주서남방해역에서 나타나는 고온인 동-서방향 또는 설상형태인 등온선이 8월보다 북쪽으로 확장하고 있는 것은 황해난류수가 황해로 유입하고 있음을 추측할 수 있게 한다. 그리고, 제주서남방해역에 나타나는 등온선과 등염분선이 북쪽을 향해 설상의 분포 모양을 하거나 8월에 염분 수평분포도에 없었던 34.0‰이상의 고염수가 이곳에 나타나는 것은 이곳이 겨울철(2월) 황해남동해역에 분포하는 황해난류수의 유입로라는 것을 알 수 있게 한다. 10월에 황해로 유입해 들어온 황해난류수는 12월에 10월



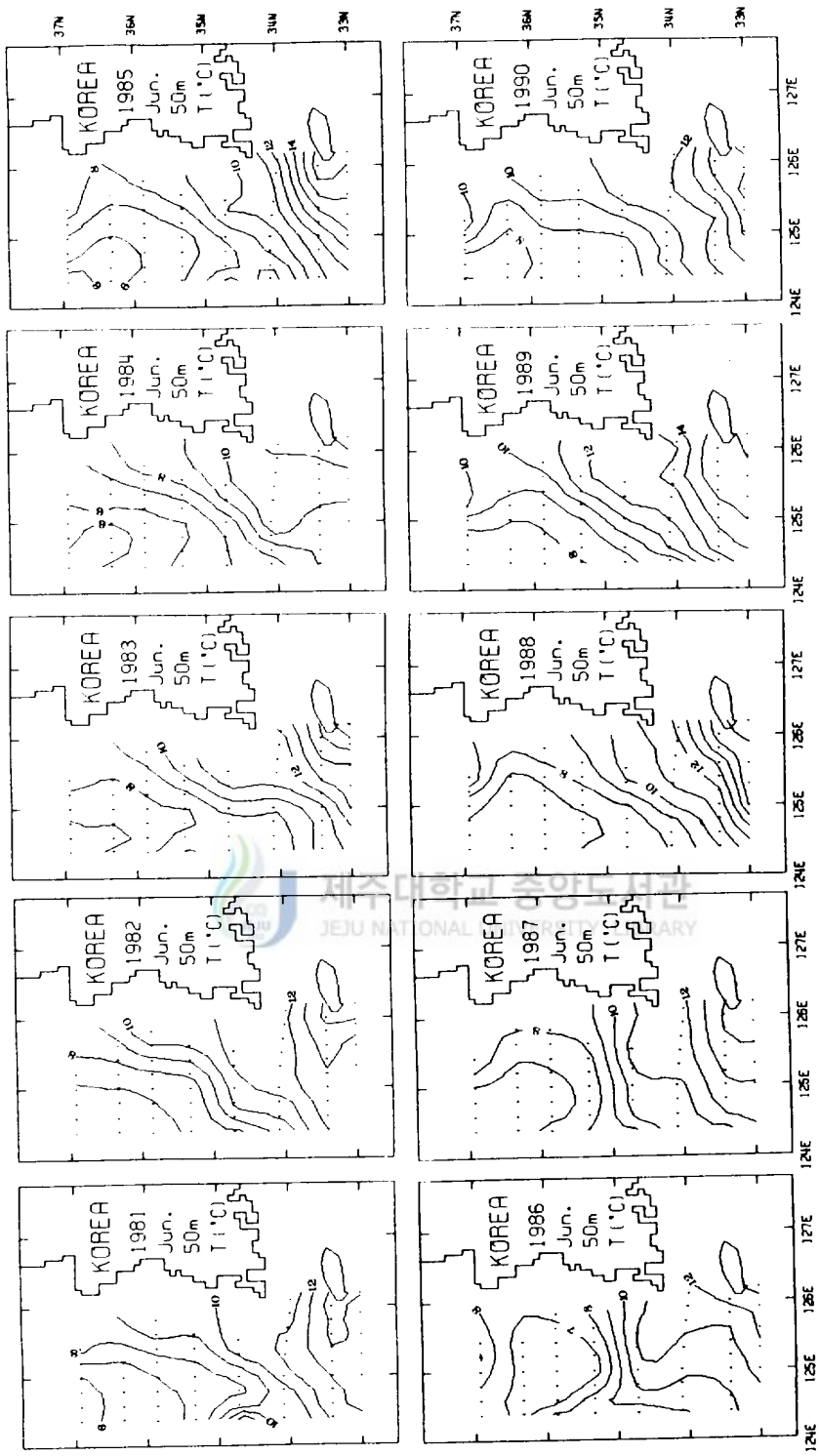
(a-1) in February

Fig. 4. Horizontal distributions of (a) temperature and (b) salinity at the 50m layer in the southeastern Yellow Sea.



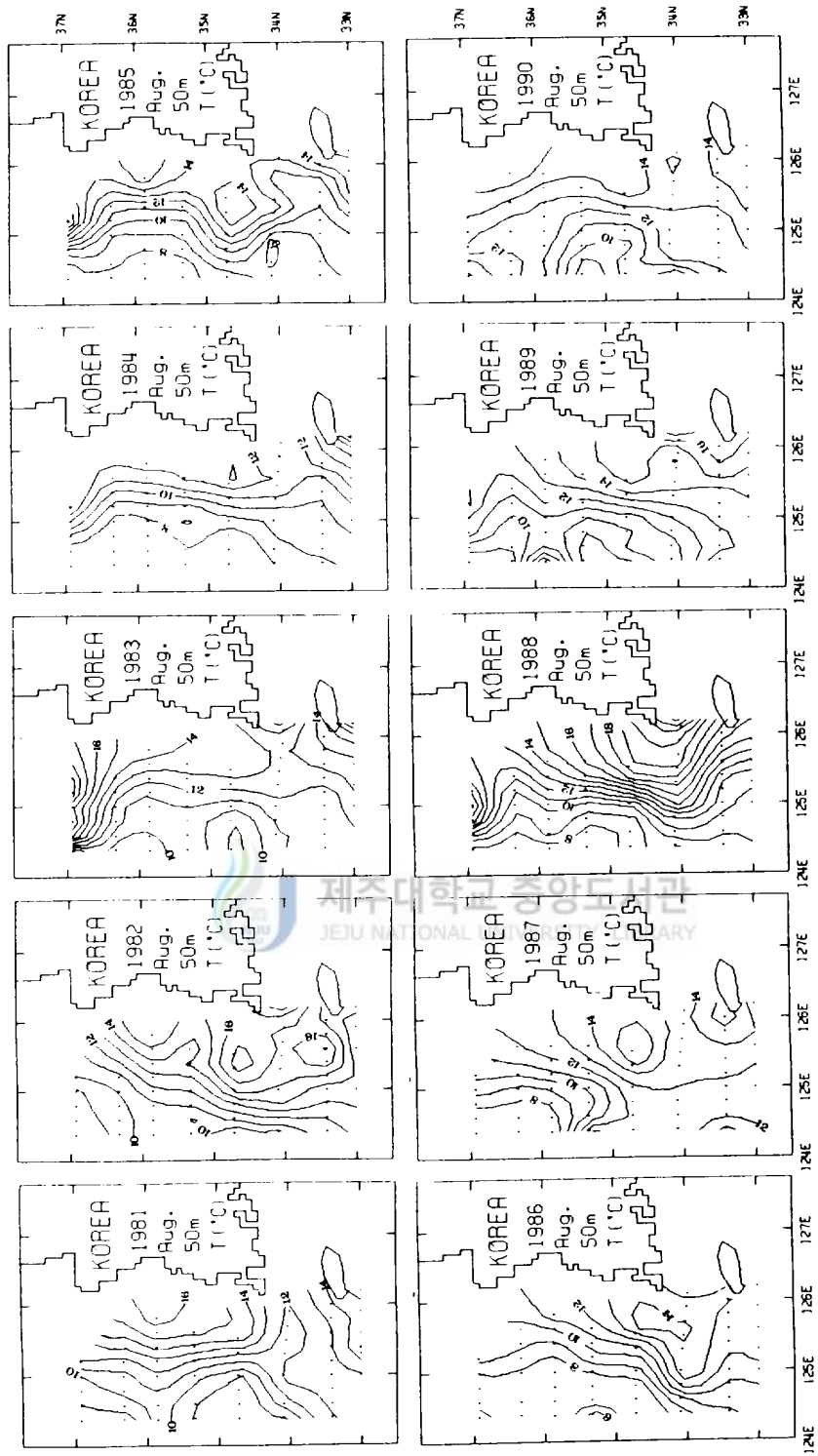
(a-2) in April

Fig. 4. continued.



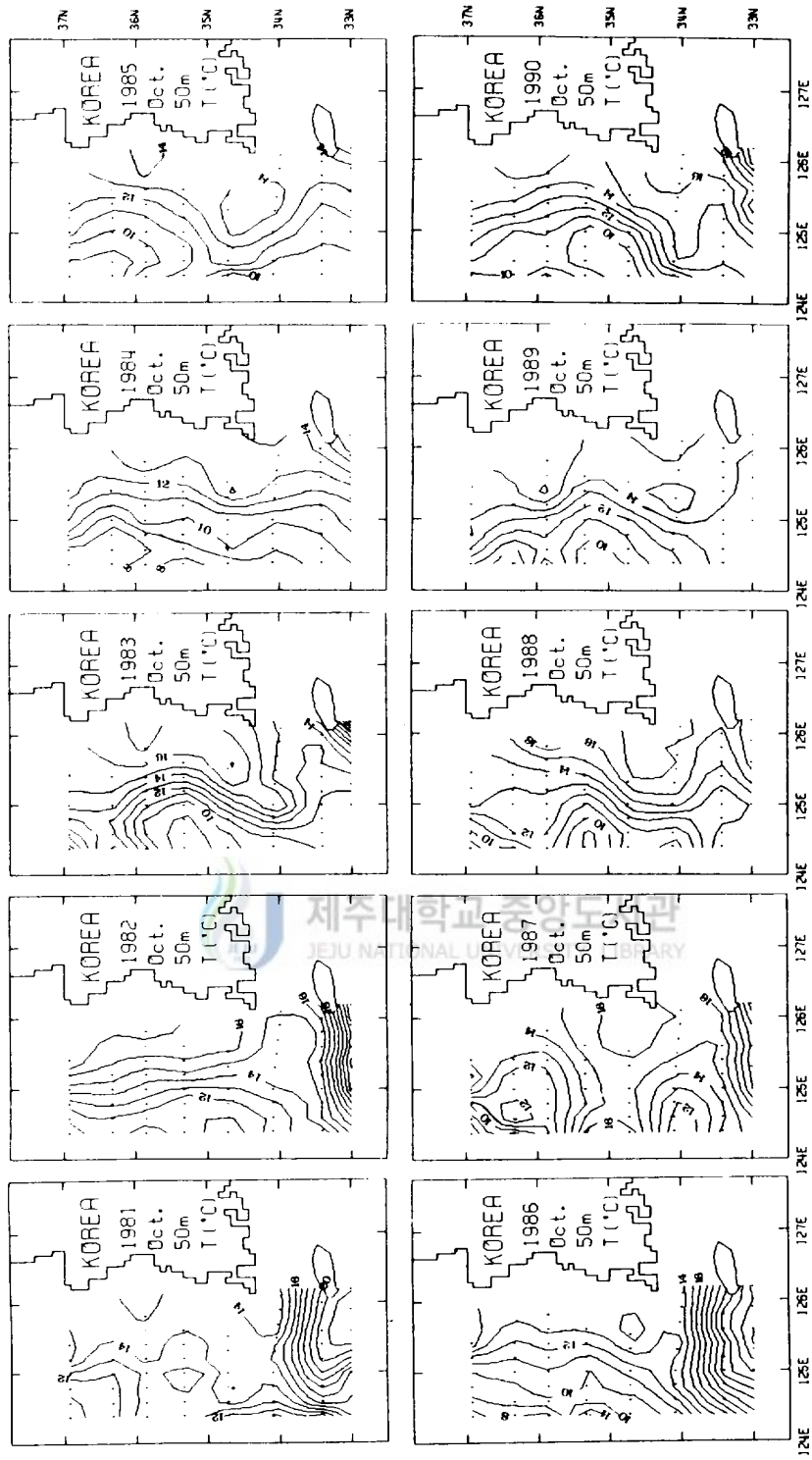
(a-3) in June

Fig. 4. continued.



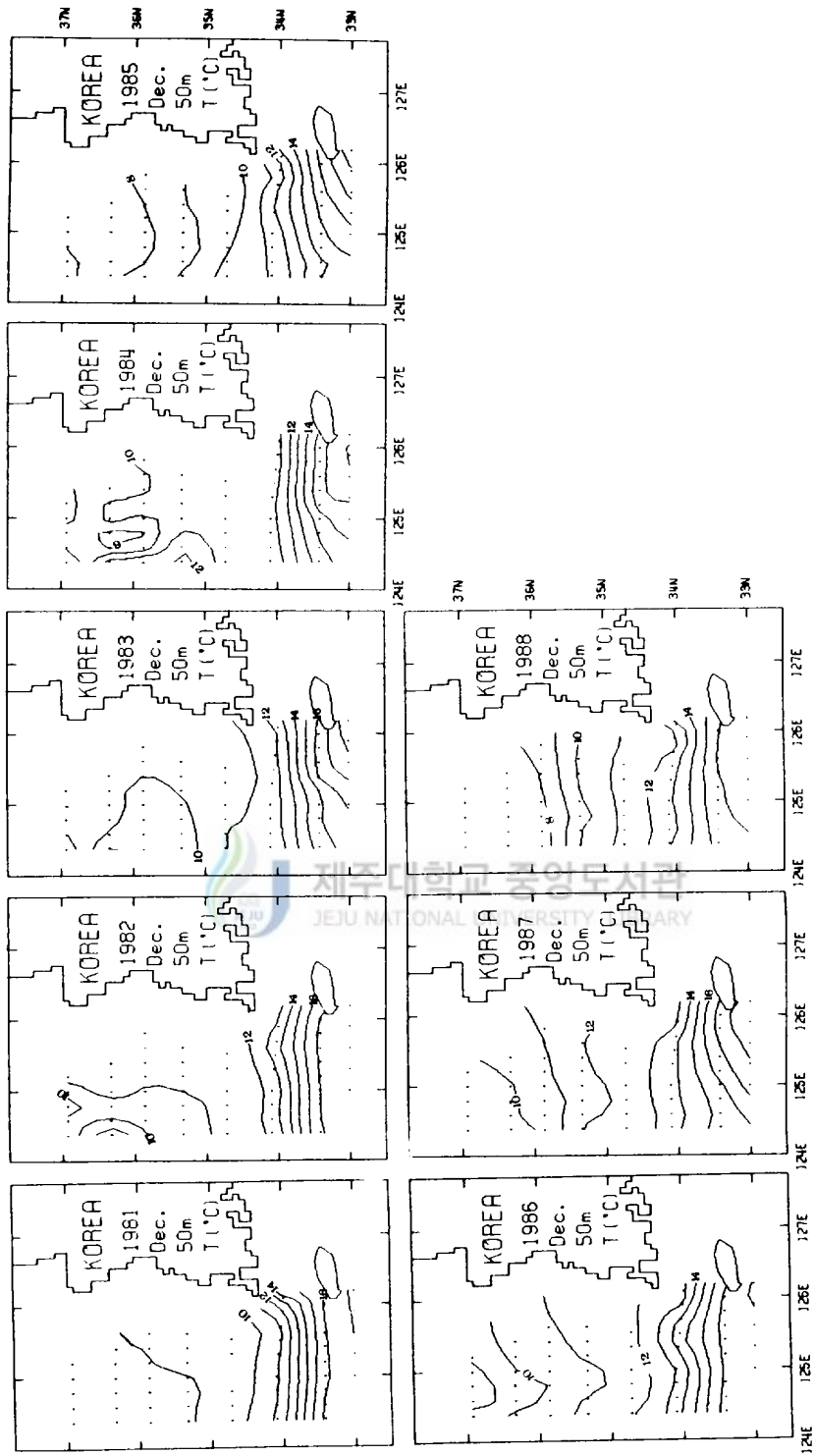
(a-4) in August

Fig. 4. continued.



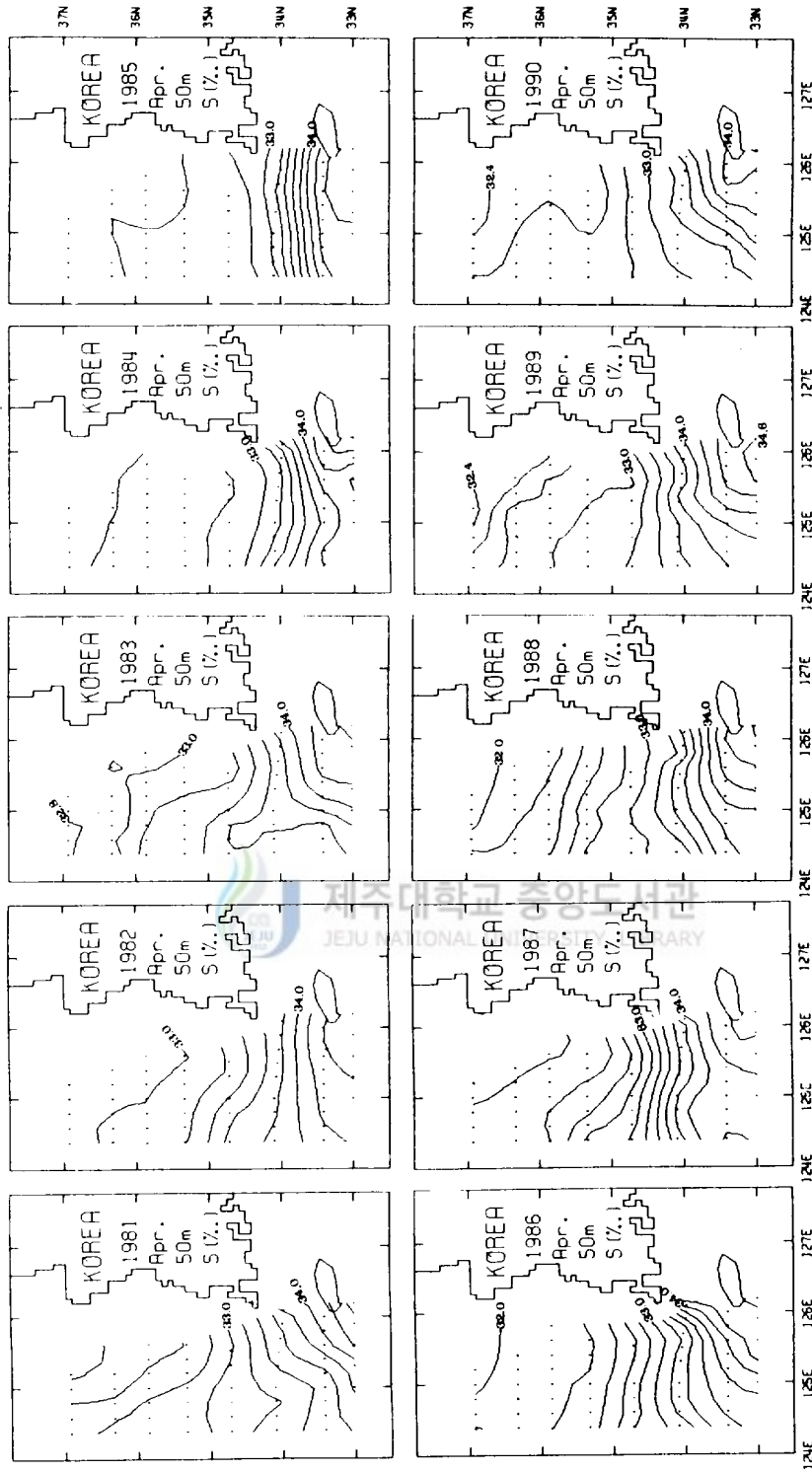
(a-5) in October

Fig. 4. continued.



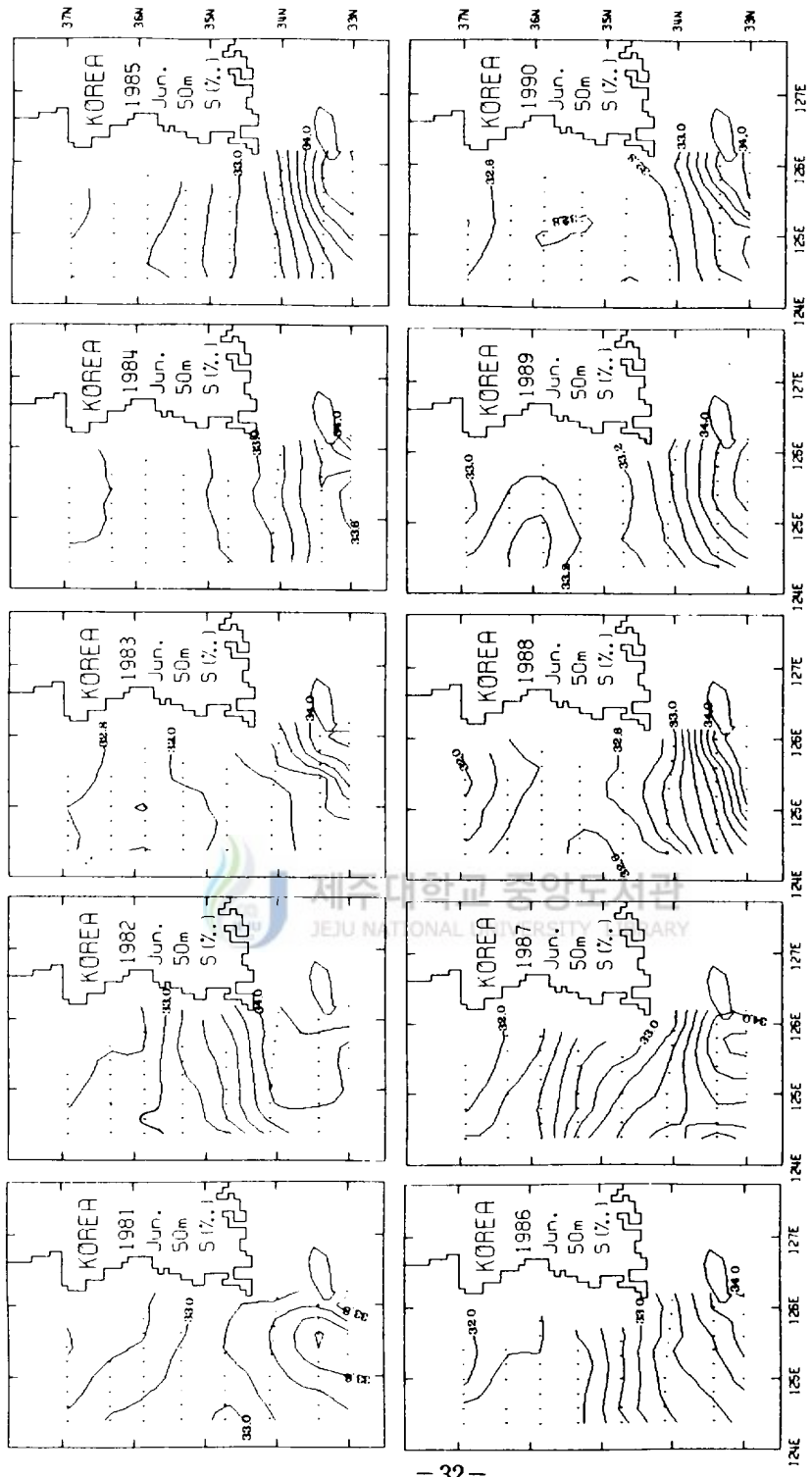
(a-6) in December

Fig. 4. continued.



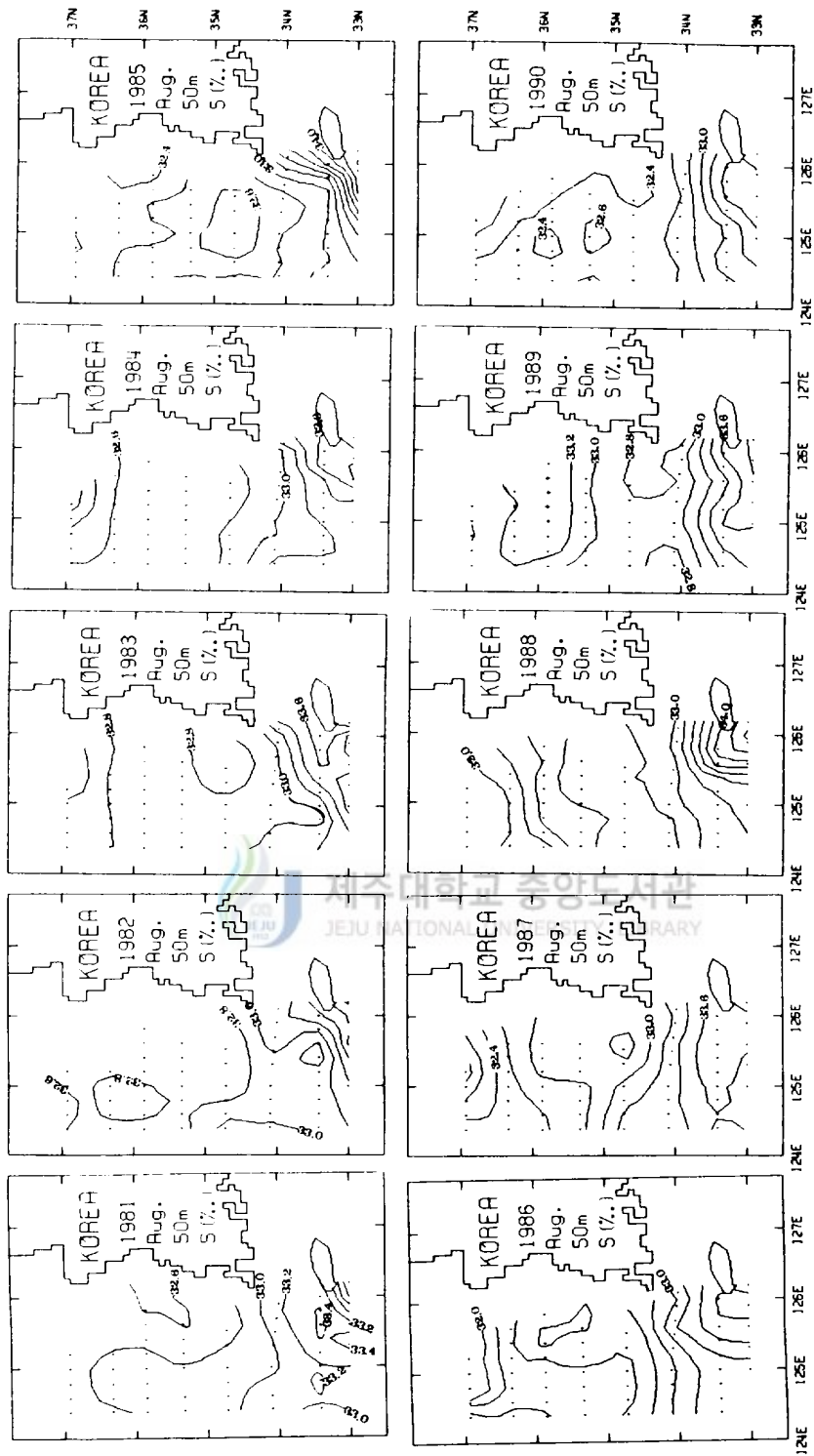
(b-2) in April

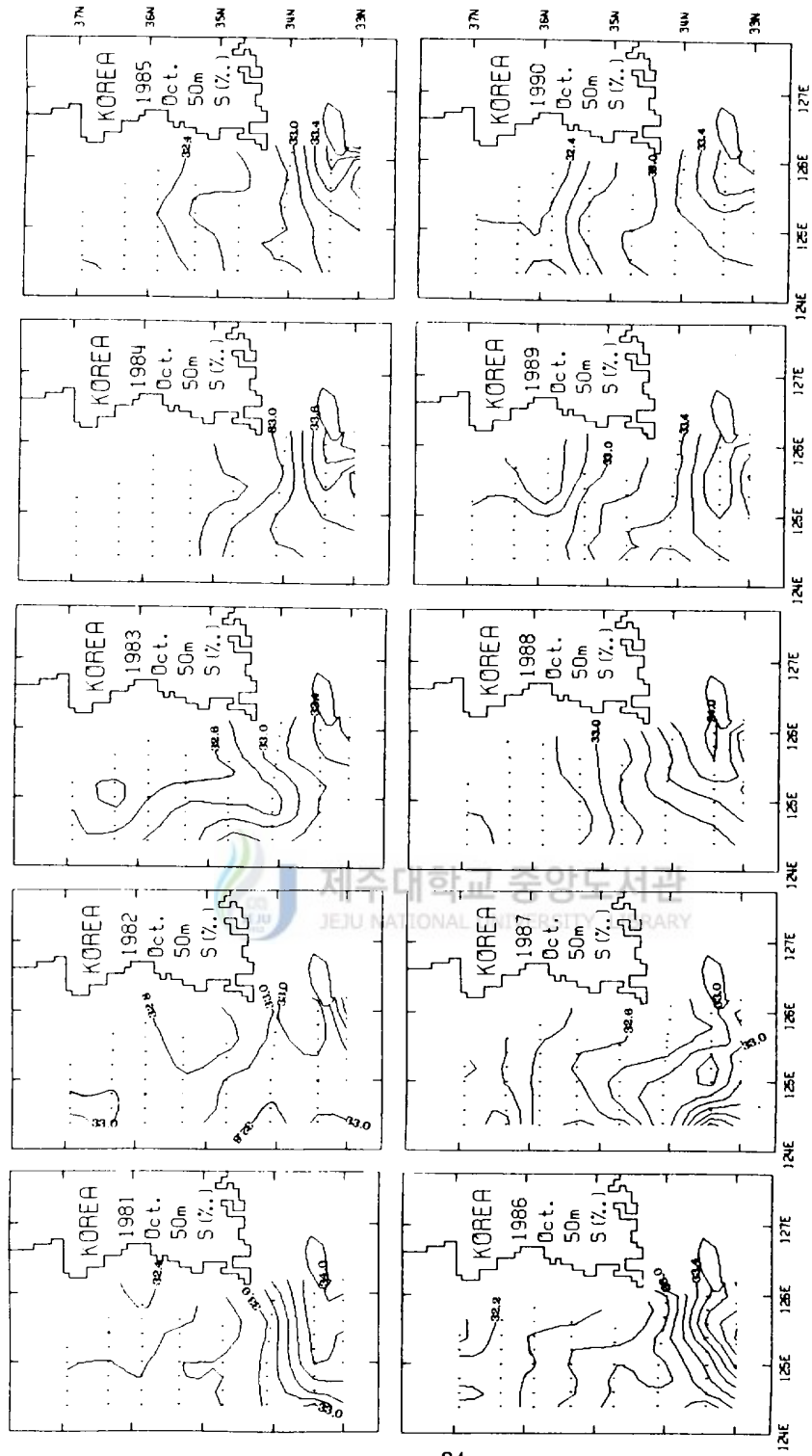
Fig. 4. continued.



(b-3) in June

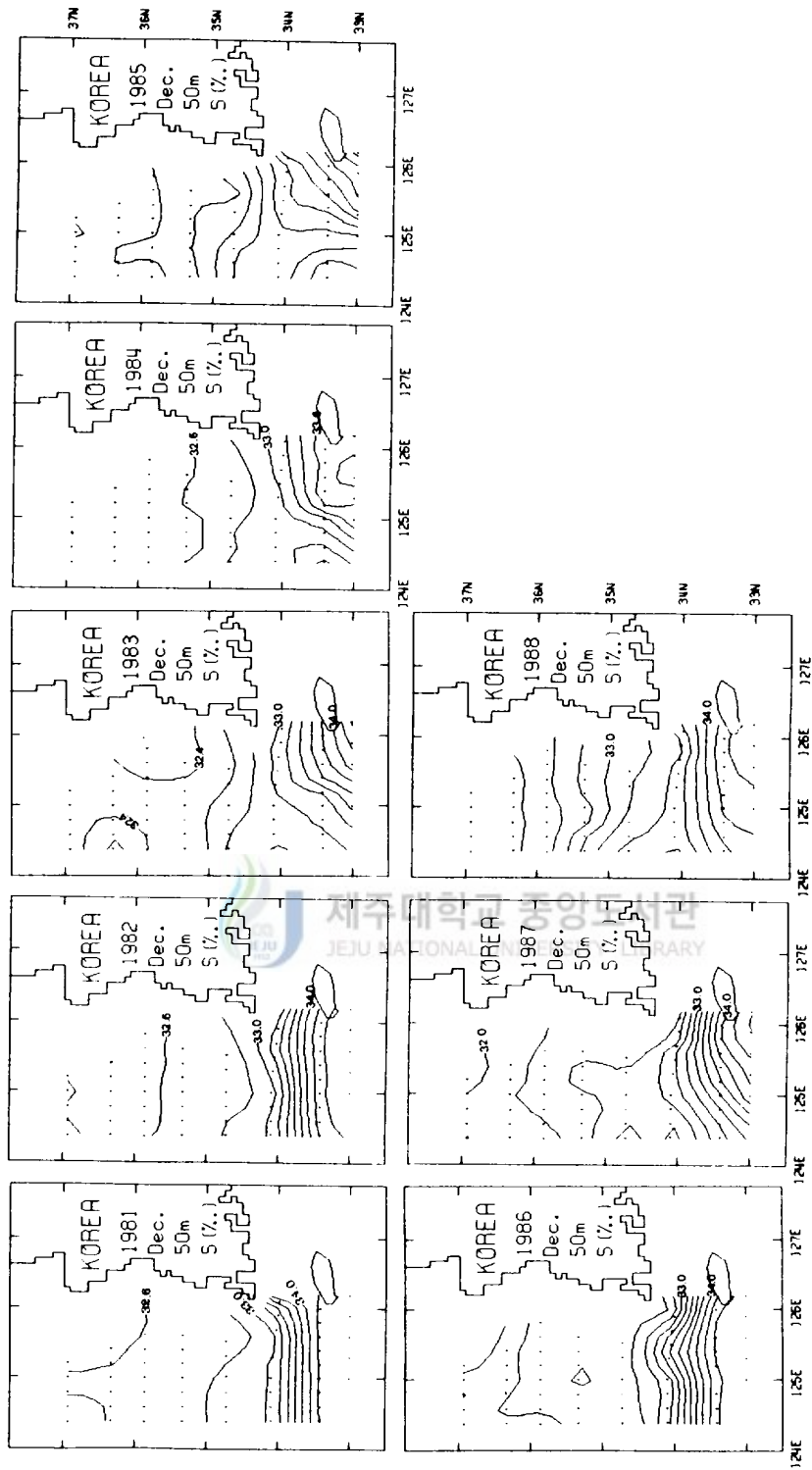
Fig. 4. continued.





(b-5) in October

Fig. 4. continued.



(b-6) in December

Fig. 4. continued.

보다 34.0%이상의 고염수가 더 북쪽으로 확장해 분포하고 있는 것으로 보아 황해난류수가 북상하고 있다고 생각된다.

2월에는 34.0%이상의 고염수 분포 범위가 12월보다 더 북쪽으로 확장하거나 그 분포범위가 12월과 별차이는 없으나 12월보다 비교적 고염인 해수가 분포하고 있는 것을 볼 수 있다. 그리고, 4월에는 34.0%이상의 고염수의 분포 범위가 2월보다 남쪽으로 축소되거나 확장을 하더라도 2월보다 저염으로 바뀌는 것을 볼 수 있다. 이것으로써 2월에 황해난류수가 가장 강하게 북상하고 있고 4월에는 황해난류수가 후퇴하고 있다고 생각된다.

그러나, 특이하게 85년에는 2월에 강세를 보이는 황해난류수가 4월에 후퇴하지 않고 오히려 2월보다 분포범위를 확장하고 있고 34.4%이상의 고염수가 차지하는 범위도 커지고 있다. 그리고, 6월에는 2월에 없었던 34.6%이상의 고염수까지 제주서남방해역에 나타나고 8월에야 34.0%이상의 고염수가 분포범위를 남쪽으로 축소하고 있으므로 황해난류수가 6월까지 강세를 보이다가 8월에야 후퇴하고 있다고 추측할 수 있다. 89년에는 2월에 없었던 34.6%이상의 고염수가 4월에 출현하고 6월에야 34.0%이상의 고염수 분포범위가 남쪽으로 축소하므로 4월까지 황해난류수가 강세를 보이다가 6월에야 후퇴하고 있다고 생각된다.

그런데, 2월에 대체로 가장 강세를 보이는 황해난류수도 각년도에 따라 분포모양을 달리하고 있다. 염분 34.0%에 상응하는 등온선과 등염분선의 분포모양을 보면 81, 85, 88, 90년에는 제주 동편에 치우쳐 북쪽을 향하는 형태로 분포하고, 82, 83, 84, 86, 87, 89년에는 동서로 분포하는 것을 볼 수 있다. 그리고, 84, 88년에는 34.6%이상의 고염수가 북상하여 분포하고, 86, 87년도는 34.4%이상 고염수의 출현과 34.0%이상 고염수의 등염분선 간격과 34.0%이상 고염수에 상응하는 등온선의 간격이 좁게 나타나는데, 이 때 황해난류수의 세력이 비교년도 중에서 비교적 강하게 북상하고 있다고 생각된다.

2. 황해저층냉수

황해저층냉수는 겨울철(12월, 2월)에 낮은 기온에 기인하여 표층에서 형성된다(Fig. 3). 4월부터 표층수가 가열되고 여름철에 수온약층이 형성되어 수온약층 밑에 한정된 냉수괴의 변동을 살펴보면, Sta. 311-10 이북지역은 4월에서 8월에 걸쳐 서서히 수온이 증가하고 있다. 그러나, Sta. 312-10 이남은 대체로 4월 수온이 2월보다 낮아지고, 6월에서 8월까지 2월보다 수온이 떨어지는 년도도 있고, 증가하는 년도도 있으나 2월에 비해 차이가 거의 나타나지 않는다.

그런데, 염분의 수직분포도를 살펴보면, 겨울철(12, 2월)에 황해 북부해역에는 저염수가 남부해역에는 고염수가 전층에서 균일하게 분포하고 있다. 특히, Sta. 312-10 이남에는 34.0%이상의 고염수가 분포하고 있다가 4월부터 떨어지기 시작하여 6월~8월에는 표층은 연안수의 영향으로 급격히 저염화되는 것에 반해 50m이심은 서서히 염분이 떨어지는 것을 볼 수 있다.

수심 50m이심의 분포변화를 50m층 수평분포도(Fig. 4)를 통해 황해남동해역의 전반에 걸친 수온과 염분의 변화를 살펴보면, 겨울철 황해 남부해역에는 고온고염수가 분포하고 황해 북부해역으로 갈수록 저온저염수가 분포하는데, 4월부터 8월까지 연안역과 황해 북부해역은 수온이 증가하고 있음을 볼 수 있다. 그러나, 황해남부중앙해역은 2월보다 4월이 수온이 떨어지고, 6월에서 8월까지 2월보다 년도에 따라 떨어지기도 증가하기도 하지만 2월과 큰차이를 보이지 않는다. 그러나, 염분은 대체로 4월에서 8월에 걸쳐 전해역에서 서서히 떨어지고 있는 것을 볼 수 있다.

4월에서 8월까지 수직분포도에 나타난 50m이심에서 Sta. 311-10 이북지역은 수온이 상승하는데 반해 Sta. 312-10 이남해역에서 수온이 떨어지거나 거의 변동이 없게 나타나는 것과 염분이 전해역에서 서서히 떨어지는 것,

그리고, 수평분포도에서 황해 남부 중앙해역의 수온이 떨어지거나 변동이 작은 것과 염분이 전해역에 걸쳐 떨어지는 것등으로 보아 좀더 북쪽에 있는 저온저염수가 남하하고 있음을 추측할 수 있다.

이를 좀더 자세히 살펴보기 위해 연안으로부터 멀리 떨어지고 수심이 비교적 깊은 Sta.311-10, 312-10, 313-10, 314-10의 여름철과 겨울철 T-S diagram를 작성하였다(Fig. 5). 겨울철에 제주도 서북방해역에서 열·염전선대가 형성되고 전선대 북쪽에 위치한 Sta.311-10, 312-10은 이미 존재해 있던 냉수기 때문에 이 지점의 해수의 여름철 염분값이 약간 떨어지기는 하나 남하현상이 뚜렷하게 보이지는 않는 것 같다. 그러나 전선대 남쪽 겨울철 고온고염수가 분포해 있던 Sta.313-10, 314-10은 수온은 여름철이 겨울철보다 다소 낮게 나타나고 염분은 떨어지는 정도가 크게 나타난다. 이는 황해 저층냉수의 남하에 따른 결과라 여겨진다.

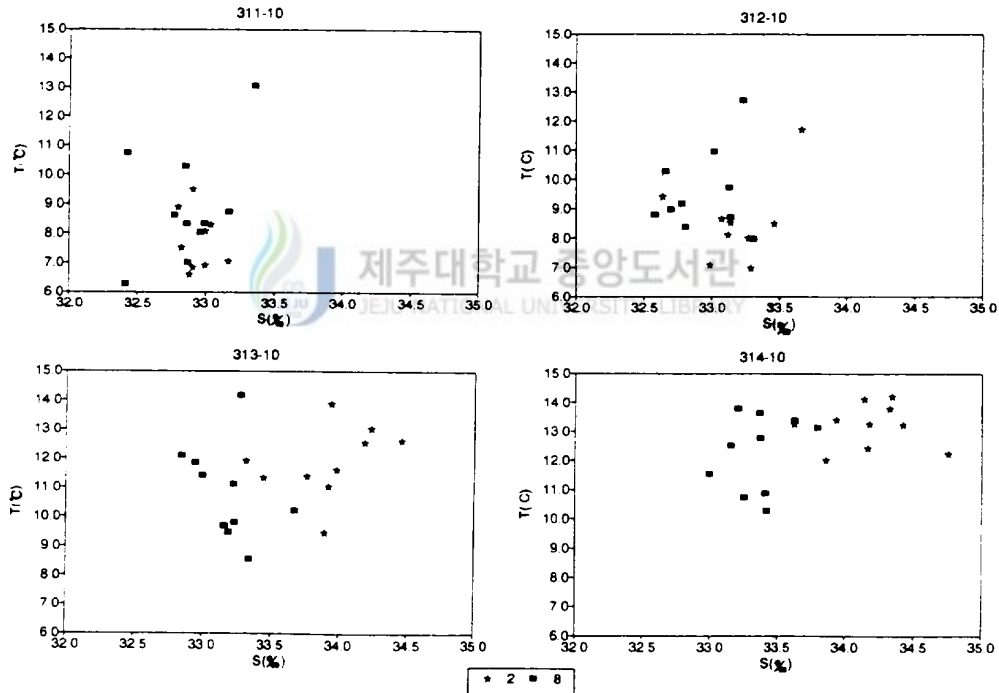


Fig. 5. T-S diagram at the 50m layer of (a) 311-10, (b) 312-10, (c) 313-10, and (d) 314-10 station in February and August during 10 years(1981~1990)

IV. 해수의 계절분포 변화의 원인

황해 50m층에 나타난 해수분포변화의 원인은 크게 바람과 기온 그리고 쿠로시오에 근원하는 대마난류수의 동중국해에서 분포변화일 것이다. 동중국해에서 대마난류수의 분포변화는 황해의 분포변화에, 특히 대마난류수에 근원하는 황해난류수의 분포변화에 영향을 미친다고 보고있다(방과 김, 1989). 그러나, 본 논문의 연구 해역인 황해남동해역에서는 대마난류수의 변동에 의한 황해난류수의 분포변화를 살펴볼 수는 없다. 그래서, 여기서는 바람과 기온이 황해의 해수분포에 어떻게 영향을 미치고 있는지 알아보려고 한다. 또, 황해난류수와 황해저층냉수의 분포변화가 황해의 남부를 중심으로 계절을 달리하고 있어, 서로 분포변화에 영향을 줄 수 있는 원인으로 작용할 것이라고 생각된다. 그래서, 황해저층냉수의 분포와 황해난류수의 분포와는 어떤 상관성이 나타나는지 살펴보고자 한다.



1. 바람

a. 바람과 황해저층냉수

수온의 수평분포도(Fig. 4)에서, 2월에 등온선이 동-서로 분포하고 4월에는 북부해역과 연안역의 수온이 2월보다 다소 증가하며 황해 남부 중앙역은 다소 수온이 낮아지나 역시 등온선은 동-서로 분포한다. 6월에는 연안역과 황해 북부해역의 수온이 증가로 등온선이 남-북방향으로 점차 바뀌는 것을

볼 수 있다. 8월에는 등온선 분포가 남-북방향이 되고 10℃ 등온선이 6~8월에 걸쳐 황해의 중앙해역에 편중되고 있고, 8월의 황해의 연안역과 북부해역은 고온이 되는 것을 볼 수 있다.

그런데, 이 고온 현상을 염분 수평분포도와 관련지어 살펴보면, 염분은 4월에서 8월에 걸쳐 2월보다 전해역에서 떨어지는 것을 볼 수 있다. 만약에, 연안역과 북부해역의 고온 현상이 고온저염인 연안수 영향이라면 연안역과 북부해역의 8월의 염분값이 2월의 염분값과 비교했을 때 그 차가 중앙해역보다 커야하는데도 불구하고 2월의 염분값과의 차가 크게 나타나지 않는다. 오히려, 황해남동해역의 중앙부에 위치한 해수의 염분값이 낮아지는 폭이 크게 나타나고 있으며, 등염분선이 분포도 동-서방향이나 남쪽으로 향하는 설상형태를 보이는 것으로 보아, 이 고온 현상은 연안수의 영향이 아니라고 생각된다.

이런 현상은 북부해역과 연안역은 지형상으로 점점 수심이 얕아지는 곳이므로 주변으로 부터 열의 확산작용을 받고 있다고 생각된다.

또, T-S diagram을 살펴보면(Fig. 2), 2월에 염분 32.0~33.0% 사이에 밀집되어 있던 10℃이하 황해저층냉수를 8월의 T-S diagram에서 찾아보면 32.0~33.0%를 사이에 분포하는 저층수가 수온이 증가하고 있음을 볼 수 있는데, 이는 수평분포도에 나타난 황해 연안역과 북부해역의 수온 증가에 기인한 것으로 생각된다.

그러므로, 이 해역에서 황해저층냉수의 남하현상을 설명할 때는 수온만으로 해석해서는 안된다고 생각한다. 그리고, 특히 남하정도를 파악할 때는, 수온은 적절하지가 않다고 생각한다. 전년도 겨울철 낮은 기온에 의해 황해저층냉수가 어느정도 강하게 형성되느냐에 따라 차이가 나기 때문이다. 예를들면, 84년도는 비교년도 중 기온이 가장 낮아(Table 2) 10℃이하 황해저층냉수가 가장 넓게 형성되고 있으므로, 여름철(8월)에 냉수괴가 열의 확산에 의한 변성을 크게 받지 않아 비교 년도중 10℃이하 냉수괴 분포가 가장 넓게 나타난다(Fig. 4). 그러므로, 남하정도를 설명하기 위해 확산에 의한 변

Table 1. The monthly resultant wind direction and speed of Cheju-city

Year	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		1982	Resultant wind speed(m/s)	1.9	1.2	1.1	0.7	1.2	0.2	0.3	0.3	0.6	0.4
	Resultant wind direction(m/s)	WNW	NW	WNW	WNW	SW	NNW	S	SW	-	NW	WNW	W
1983	Resultant wind speed(m/s)	1.6	1.8	0.8	1.2	0.6	0.0	1.2	0.4	0.6	0.7	1.5	2.2
	Resultant wind direction(m/s)	WNW	WNW	NNW	WSW	WSW	NW	SW	ENE	NE	NNW	WNW	WNW
1984	Resultant wind speed(m/s)	3.9	3.2	1.5	2.1	1.3	1.1	0.4	1.3	0.6	1.3	1.1	3.4
	Resultant wind direction(m/s)	NW	NW	NW	ENE	NE	ENE	NE	NE	SSE	NNE	NNE	NW
1985	Resultant wind speed(m/s)	3.0	2.2	1.3	0.3	0.5	1.9	1.5	1.9	0.5	0.8	3.1	3.0
	Resultant wind direction(m/s)	NW	NNW	N	NNE	ESE	ENE	SW	E	NE	NNE	NW	NW
1986	Resultant wind speed(m/s)	4.1	4.1	1.2	0.5	0.6	0.3	0.9	0.6	0.5	0.6	1.3	2.2
	Resultant wind direction(m/s)	WNW	NW	NW	N	NW	ENE	ENE	E	ENE	N	N	NW
1987	Resultant wind speed(m/s)	3.2	3.2	1.5	0.5	0.7	1.4	0.0	0.1	1.4	1.5	1.4	2.2
	Resultant wind direction(m/s)	NW	NW	N	N	NW	ENE	W	NNW	NE	NE	NNE	NW
1988	Resultant wind speed(m/s)	3.0	2.6	1.5	0.7	1.2	0.7	1.7	0.5	1.5	1.0	3.6	2.8
	Resultant wind direction(m/s)	NW	NNW	-	WNW	ENE	NE	ENE	ENE	NE	-	WNW	W
1989	Resultant wind speed(m/s)	2.0	2.0	1.6	0.5	0.5	0.8	1.1	1.6	0.9	0.6	2.2	2.1
	Resultant wind direction(m/s)	NW	NW	NW	NE	NNW	ENE	NE	ENE	NE	NNW	WNW	WNW
1990	Resultant wind speed(m/s)	2.7	1.4	1.4	0.6	0.1	0.5	0.4	1.6	1.4	0.9	0.8	3.0
	Resultant wind direction(m/s)	N	-	NNW	NW	W	SW	NE	E	E	NE	N	NW

성이 큰 수온보다는 변성이 작은 염분을 선택하고자 한다.

2월의 T-S diagram에서 수온 10℃이하의 해수가 대체로 염분 32.0~33.0% 사이에 밀집되고 있다. 그러므로, 염분 33.0%를 황해저층냉수의 상한선으로 선택하여 33.0% 등염분선의 겨울철과 여름철 분포변화를 살펴보고, 두 계절에 따라 나타난 분포변화의 차를 남하크기로 정하였다. 아울러, 황해저층냉수의 남하크기에 바람의 영향을 파악하기 위하여 남하크기와 바람의 변화와의 관계를 살펴 보았다.

Fig. 6는 국립수산진흥원 조사해역 307~314Line 50m층에서 1982~1990년 2월과 8월의 염분 33.0% 등염분선의 수평분포도이다. 대부분 여름철의 등염분선이 겨울철보다 남쪽에 분포하고 있음을 볼 수 있는데, 이는 겨울철에 형성된 황해저층냉수가 남하하고 있음을 보여준다.

82, 83, 85년도 여름철에 풍향이 남풍계열로 나타나고 있고(Table 1), 84, 86, 88, 89, 90년도에는 동풍계열로 나타난다. 동풍계열로 나타나는 년도보다 남풍계열로 나타나는 년도가 33.0% 등염분선의 남하정도가 비교적 크게 나타나고 남쪽으로 설상분포를 하고 있으며, 동풍계열로 나타나는 년도는 등염분선도 동서로 분포하고 있음을 볼 수 있다. 그리고, 풍속이 약하나 7월과 8월에 남풍계열로 나타나는 82년도는 등염분선이 2월에 310~311Line 사이에 분포하였던 것이 8월에는 그 끝이 314Line까지 내려와 분포한다. 또, 풍향이 유사한 83년도와 85년도를 비교해보면, 풍속이 83년보다 강한 85년도는 2월에 312Line 이북에서 313Line 이남까지 남하하며 83년은 312Line에서 313Line 이남까지 남하하여 분포한다.

풍속은 비교적 약하나 7, 8월에 남풍계열인 82년도가 남풍계열에서 동풍계열로 바뀌는 83, 85년도 보다 남하정도가 크게 나타나고 있으며 같은 계열인 83년도와 85년도 중에서는 풍속이 클수록 남하정도가 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 특히하게, 1987년 8월에는 북북서풍 0.1m/s로 이 때 33.0% 등염분선은 2월에 311~312Line 사이에서 311Line으로 북상하여 분포하고 있음을 볼 수 있다.

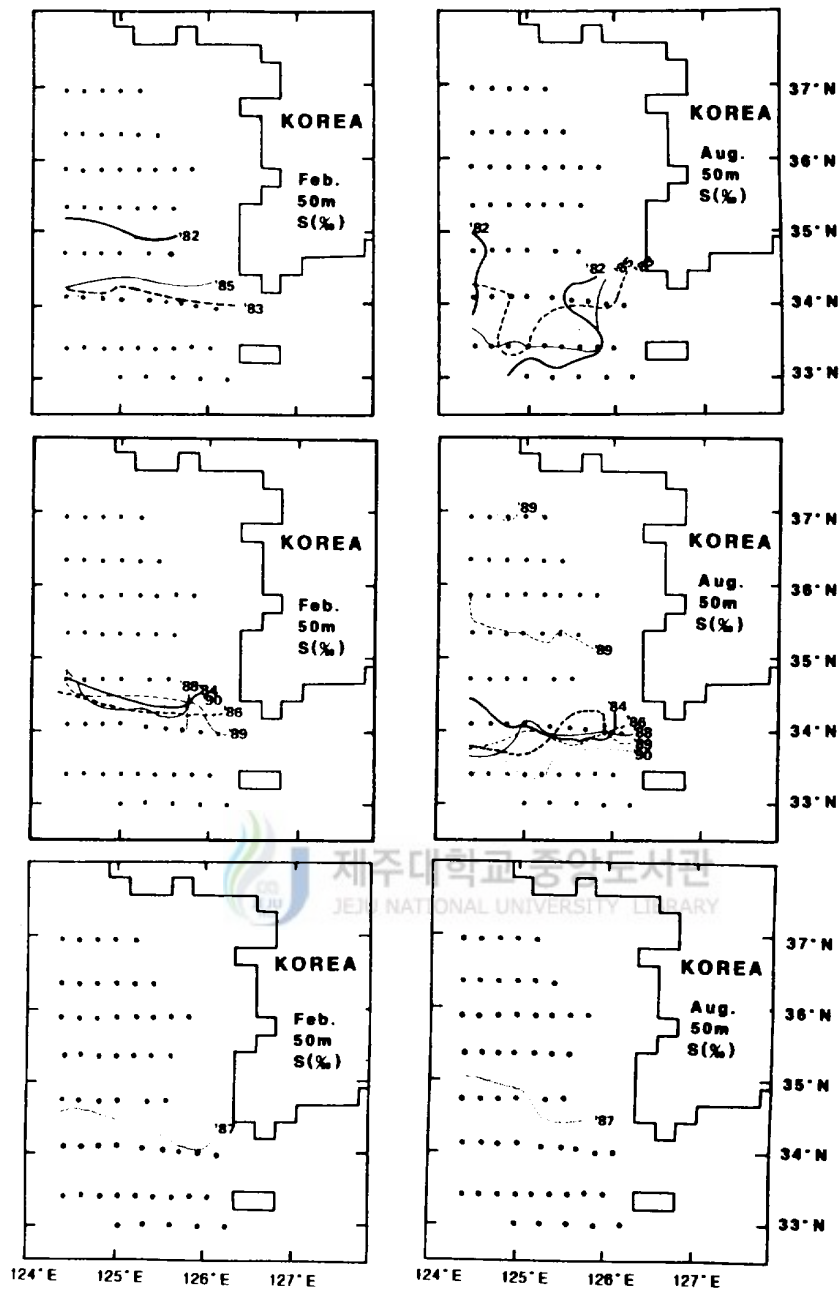


Fig. 6. Horizontal distributions of 33.0‰ isolines in February and August at the 50m layer in the southeastern Yellow Sea.

이는 풍향과 풍속이 황해저층냉수의 남하에 크게 영향을 미치고 있다고 할 수 있다. 특히, 여름철 1987년 8월 북서풍일때 황해동남해역에서 황해저층냉수가 남하하지 못한다고 생각된다.

b. 바람과 황해난류수

겨울철 황해에서 각 년도에 2월의 고온고염수 분포 양상이 다소 다르게 나타나고 있음을 앞에서 살펴보았다. 여기서는 겨울철에 이러한 해수 특성 분포의 변화가 겨울철 바람에 의해 어떻게 분포변화를 하는지 알아보고자 한다.

85, 88, 90년 34.0% 등염분선과 그에 상응하는 등온선이 제주도 서쪽지역에 근접하여 북쪽으로 향하는 형태로 분포하는데, 이 때 1, 2월 풍향은 북풍계열로 나타나고 있다(Table 1). 그리고, 82, 83, 86년은 34.0% 등염분선과 그에 상응하는 등온선이 제주 서쪽지역에 동서로 넓게 퍼져서 분포하는데 이때의 1, 2월 풍향은 서풍계열로 나타난다(국립수산진흥원 자료가 격월별 자료이므로 2월 수괴에 영향을 줄 수 있는 풍향은 1, 2월로 생각된다).

그리고, 84, 88년에는 34.6%이상의 고염수가 북상하여 분포하고, 86, 87년도는 2월에 34.4%이상 고염수의 분포와 34.0%이상 고염수의 등염분선 간격과 34.0%이상 고염수에 해당하는 해수의 등온선의 간격이 좁게 나타나므로 이 때 황해난류수가 강하게 북상하고 있음을 알 수 있는데, 이 때 1, 2월의 풍속은 비교년도 중에서 비교적 강하게 나타난다.

황해남동해역에서 겨울철(1, 2월) 풍향이 북풍계열일 때는 황해난류수가 제주도 서쪽해역에서 동쪽으로 치우쳐 북쪽을 향하는 형태로 분포하며, 서풍계열일 때는 황해난류수가 동서로 퍼지는 형태로 분포한다. 그리고, 풍속이 비교적 강할때는 황해난류수 강하게 북상하고 있음을 알 수 있다.

위의 결과들은 바람은 황해의 해수분포변화에 상당한 영향력을 제공하고

있음을 알게해 준다.

2.기온

황해저층냉수는 전년도 겨울철 표층에서 형성되고(양 등, 1984; 윤, 1986), 황해난류수도 역시 겨울철 북서계절풍에 의해 북상하여(김, 1990) 분포한다. 겨울철 표층에서 형성되어 수직혼합에 의해 저층(50m층)으로 이동된 황해저층냉수와 이때 제주도 서방해역에 북상하여 분포하는 황해난류수는 기온과 바람에 어떤 연관성이 있는지를 비교하여 살펴보고자 한다.

황해난류수의 특성치를 Lie(1984)는 황해남동해역에서 수온 11~15℃, 염분 34.0~35.0‰로 정의하고 있고, 황해저층냉수의 특성치는 Nakao(1977)는 봄부터 가을까지 수온 10℃이하, 염분 32.0~32.5‰로, Lie(1984)는 수온 10℃이하, 염분 32.0~33.0‰로, 윤(1986)은 해역에 따라 다소 다르지만 겨울철에 수온 10℃이하, 염분 32.0~33.7‰로 한정하고 있다.

여기서는 겨울철 바람에 의해 북상하는 황해난류수와 낮은 기온에 의해 형성되는 황해저층냉수의 세력관계를 보기 위함이므로 두 수괴를 구분짓고자 한다. 각년도의 2월의 T-S diagram에서 저온저염수는 수온 상한선이 10℃로 나타나고 있고 선행된 연구 결과들이 수온 상한선이 10℃로 일치하고 있어 겨울철 황해저층냉수 분포의 남쪽 경계를 수온 10℃로 선택하고자 한다(앞에서 황해저층냉수의 남하를 말할때 염분 33.0‰를 사용한 것은 여름철에 수온이 확산에 의한 변성을 많이 받고 있으므로 변성이 작은 염분을 사용한 것이고, 여기서는 겨울철에 황해저층냉수가 표층에서 형성되고 있고 표층수온은 기온의 영향을 받고 있다고 보고 있으므로(양 등,1984), 겨울철 황해저층냉수의 수온 상한선인 10℃를 사용하려는 것이다.). 그리고, 고온고염수인 황해난류수를 Lie(1984)는 염분 하한선을 34.0‰로 한정하고 있고

Table 2. The monthly average air temperature(°C) of Incheon.

Month \ Year	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1	-6.3	-3.4	-1.7	-5.2	-5.3	-5.0	-2.8	-1.8	0.6	-2.9
2	-1.5	0.1	-1.9	-3.6	-0.4	-3.2	-0.4	-1.5	2.2	2.2

T-S diagram상에서도 염분 하한선이 34.0‰로 나타나고 있어 황해난류수의 북쪽 경계를 염분 34.0‰로 선택하여 두 수괴를 구분하고자 한다.

Table 2는 인천의 1월, 2월 월평균기온을 나타낸 것이다(국립진흥원 자료가 격월별 자료이므로 2월의 해수에 영향을 끼칠 수 있는 기온을 1월과 2월로 선택했다.). 그리고, 여기서는 84, 87, 89년 3개년을 선택하여 비교하고자 한다. 그 이유는 이 년도들이 1, 2월 풍향이 같은 북서풍계열이므로 풍향에 의한 변수를 제외시킬 수 있기 때문이다.

84년 1월과 2월 월평균기온이 비교년도에서 가장 낮게 나타나 10°C이하의 냉수괴가 313지점 바로 남쪽지역까지 남하하여 형성되고 있다. 그런데, 이 때 바람은 풍속이 3.9m/s와 3.2m/s(Table 1)로 비교년도에 비해 비교적 강하게 나타나 34.6%이상인 고염수가 북상하지만, 황해저층냉수 형성세력이 황해난류수 북상세력보다 강하기 때문에 비교년도에서 가장 남쪽에 황해난류수가 분포하는 것 같다.

87년은 1월, 2월 풍속이 3.2m/s로 84년보다 다소 낮는데 월평균기온은 84년보다 약 3°C가량 높다. 이 때 10°C이하의 황해저층냉수가 형성되고 있는 남쪽 경계가 312지점 근처이므로 84년보다 10°C이하 냉수괴가 북쪽에서 형성되고 있다고 할 수 있다. 이처럼 황해저층냉수의 형성세력이 약하기 때문에 황해난류수가 풍속은 약간 약한듯 하지만 84년보다 좀 더 북쪽에 분포하게 되는 것 같다.

또, 87년과 89년을 비교해 보면, 89년의 기온이 87년보다 약 3°C가량 높지만 10°C등온선이 312Line 이남에 분포하여 87년보다 남쪽에 위치해 있는 것을 볼 수 있다. 이는 87년이 1, 2월 풍속이 3.2m/s이고 89년이 2.0m/s이므로 87년이 89년보다 풍속이 강하여 황해난류수가 강하게 북상함으로써 87년의

10℃등온선이 89년의 10℃등온선보다 북쪽에 분포하게 되는 것으로 보인다.

위의 사실로 부터 기온은 황해저층냉수의 형성에 밀접한 관계가 있다는 선행된 연구결과를 뒷받침해주며(윤, 1986; 양 등, 1984), 강한 북서계절풍은 기온에 의한 표층의 냉각효과를 가속화 시켜주기도 하지만(양 등, 1984), 오히려, 황해난류수의 북상하는 정도와 더욱 관계가 있음을 알 수 있다.

3. 황해난류수와 황해저층냉수의 분포와의 관계

Fig. 7은 313Line 50m층 동서단면의 시간에 따른 변화를 그린 것이다. 여름철 황해저층냉수가 남하정도가 7, 8월 풍향이 남풍계열에 의해 크게 나타났던 82, 83, 85년에는 뒤이은 83, 84, 86년에 황해난류수의 분포 기간이 짧은 시간대에 나타나고 있다. 그리고, 여름철 황해저층냉수 남하정도가 풍향이 동풍계열로 미약했던 84, 86, 88년에는 뒤이은 85, 87, 90에는 장시간에 걸쳐 황해난류수가 분포하고 있으며, 특히 여름철 남하현상이 없었던 것으로 생각되었던 87년에는 뒤이은 88년에는 1년 내내 황해난류수가 분포하고 있음을 볼 수 있다. 이는 황해저층냉수의 남하하는 정도에 따라 황해에 난류수가 분포하는 기간이 영향 받고 있다고 생각된다.

그러나, 85년에는 겨울철 북상한 황해난류수가 장시간 분포하고 있음에도 불구하고 여름철에 황해저층냉수가 바람이 남풍계열이므로 남하정도가 크게 나타나고, 86년에는 황해난류수가 가장 짧은 시간 분포하고 있음에도 불구하고, 황해저층냉수의 남하정도가 바람이 동풍인 관계로 미약하게 나타나는 것으로 보아 황해난류수의 분포기간이 황해저층냉수의 남하정도에는 영향을 미치지 않는 것 같다. 단지, 바람만이 황해저층냉수의 남하정도에 영향을 미치고 있다고 생각된다.

T(°C), 50m, 313 Line

S(‰), 50m, 313 Line

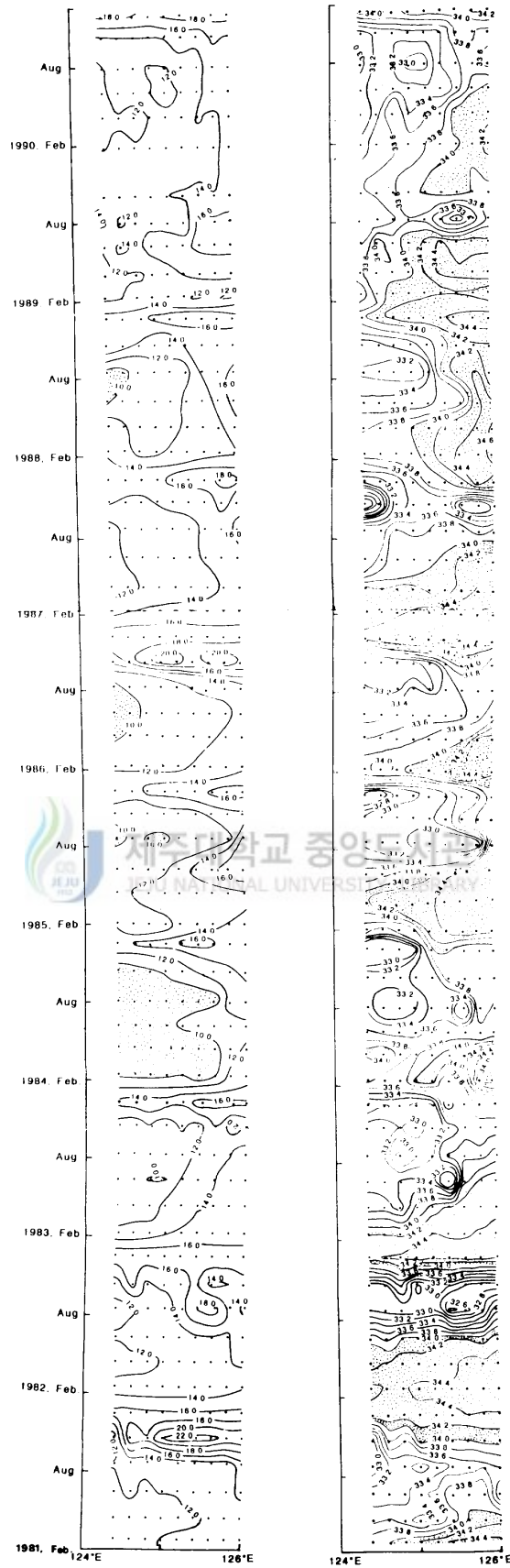


Fig. 7. Time variations of temperature and salinity distributions on the layer of 50m depth along the section of 313 line.

V. 결론 및 고찰

황해남동해역에서는 여름철 남동계절풍에 의해 황해저층냉수가 남하하고, 겨울철 북서계절풍에 의해 황해난류수가 북상하고 있음을 볼 수 있다.

남동계절풍의 영향으로 여름철에는 황해저층냉수가 남하하는데 합성풍향이 남풍계열일 때가 동풍계열일 때보다 남하정도가 크게 나타나고 있으며, 북서풍계열이 나타나는 87년도는 황해저층냉수가 남하하지 못하고 있다고 생각된다.

북서계절풍의 영향으로 겨울철에는 황해난류수가 북상하며 합성풍향이 북풍계열일 때는 제주서쪽지역에서 동편에 치우쳐 북쪽을 향하는 형태로 분포하고 서풍계열일 때는 동서로 퍼지는 형태로 분포하는 것을 볼 수 있다. 합성풍속이 비교적 클 때는 황해난류수 세력이 강해지는 것처럼 보인다.

이러한 황해저층냉수와 황해난류수의 분포는 겨울철 기상조건을 많이 반영하면서 서로 밀접한 관계를 가지며 나타난다. 겨울철 기온이 낮아 황해저층냉수 형성세력이 강하면 황해난류수의 역학적인 힘인 북서계절풍이 강하여도 황해남동해역에서 난류수 분포범위가 좁아지고, 기온이 높아 황해저층냉수 형성세력이 약할 때 북서풍이 강하면 난류수 분포범위도 넓어진다.

또, 황해저층냉수의 남하정도와 황해난류수 분포기간에는 밀접한 관계가 나타난다. 여름철 합성풍향이 남풍계열에 의한 황해저층냉수가 남하정도가 크면, 뒤이어 나타나는 황해난류수가 분포하는 기간이 짧아지고, 여름철 동풍계열에 의해 황해저층냉수의 남하정도가 미약하면 뒤이어 나타나는 황해난류수의 분포시기가 길게 나타나고 있다.

그러나, 85, 86년과 같이 황해난류수의 분포기간이 황해저층냉수의 남하에는 영향을 미치고 있지 않고 단지 풍향변화만이 남하정도에 영향을 미치고

있는 것으로 여겨지는데, 이는 방과 김(1991)이 황해난류수와 황해저층냉수와의 관계에 대한 보고와 다소 다르다.

본 연구에서 수온, 염분 자료와 제주의 합성풍속, 합성풍향, 월평균기온 자료를 이용하여 기상조건과 황해저층냉수와 황해난류수의 분포변화를 살펴 보았다. 그러나 해상풍 자료가 없기 때문에 풍속이 가장 강하게 나타나는 제주의 합성풍향, 합성풍속 자료를 사용하였지만, 이 자료가 황해 해상에 나타나는 바람을 대변할 수 없다는 문제가 있다.

그리고, 85년 2월부터 6월까지 황해난류수 세력이 강한 것은 85년도 전반에 걸친 월합성풍향자료를 살펴보아(Table 1), 동중국해 대마난류수의 분포변화에 기인한 것으로 생각된다. 그러므로, 황해의 해수분포변화를 설명하는데는 대마난류수의 분포변화를 제외시켜서는 충분한 분포변화를 설명할 수는 없다. 그래서, 황해난류수의 분포변화를 연구할 때는 기상조건과 대마난류수를 연관시켜 연구되어야 할 것이다.

그리고, 황해에서의 바람이 효과의 특징은 황해의 중앙부를 따라 흐르는 역풍류로(Park, 1986; 방과 김, 1989) 보고되고 있는데, 국립수산진흥원 관측지점이 $124^{\circ} 24.4' E$ 의 동쪽에 편중되어 있어 황해중앙부를 중심으로 변화하는 해수 분포변화를 살펴볼 수 없으므로 좀더 서쪽으로 관측지점을 넓혀야 한다. 그리고, 제주도 서방해역에 겨울철 열·염전선대가 형성되고 있는데(Lie, 1985), 이 열·염전선이 과연 황해난류수를 차단할 수 있는지를 알기 위해서는 전선대 구조를 밝혀야 하는데, 이 구조를 밝히기 위해서는 제주도 서방해역의 관측지점을 좀더 세분화 시킬 필요성이 있다. 그리고, 이곳의 관측지점이 세분화된다면, 황해난류수의 분포모양 역시 충분히 설명할 수 있을 것이라 생각된다.

VI. 참고문헌

- 국립수산진흥원, 1981~1990. 해양조사 연보.
- 김구, 노홍길, 이상호, 1991. 하계 제주도 주변 해역의 수계 및 해수순환. 한국해양학회지, 26(3). 262~277.
- 김인옥, 1986. 제주도주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 제주대학교 석사학위논문, 42pp.
- 김태희, 1990. 황해와 동중국해 해수순환에 대한 바람의 영향. 제주대학교 석사학위논문, 30pp.
- 방익찬, 김태희, 1989. 동지나해 해수분포의 계절변화와 해수순환. 제주대학교 논문집, 28. 61~73.
- 방익찬, 김태희, 1990. 황해와 동지나해 해수 순환에 대한 바람의 영향. 제주대학교 논문집, 31. 49~61.
- 윤용훈, 1986. 황해저층냉수의 특성규명과 남하증거. 제주대학교 석사학위논문집, 577~629.
- 윤용훈, 박용향, 봉종현, 1991. 황해저층냉수의 특성과 남하에 대한 재조명. 한국지구과학회지, 12(1). 25~37.
- 양성기, 조규대, 홍철훈, 1984. 1981년 하계 저층냉수의 이상저수온현상. J. Oceano. Soc. Korea, 19(2). 125~132.
- 이경택, 김구, 1989. 난류적 확산에 의한 황해 하층의 염분 변화. Yellow Sea Research, 2. 21~29.
- Lie, H. J, 1984. A Note on Water Masses and General Circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). J. Oceano. Soc. Korea, 19(2). 187~194.

-
- Lie, H. J., 1985. Wintertime Temperature-Salinity Characteristics in the Southeastern Hwanghae(Yellow Sea). *J. Oceanog. Soc. Japan*, 41. 291~298.
- Nakao, 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and The Yellow Sea. *J. Fac. mar. Sci. Technol. Tokai Univ. Spec.*, 205~240.
- Pang, J. C., R. K., and Kim, T. H., 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. Korean Fish. Soc.*, 25(2). 151~163.
- Park, Y. H., 1985. Some Important Summer Oceanographic Phenomena in the East China Sea. *J. Oceano. Soc. Korea*, 20(1). 12~21.
- Park, Y. H., 1986. A Simple Theoretical Model for the Upwind Flow in the Southern Yellow Sea. *J. Oceano. Soc. Korea*, 21(4). 203~210.
- Park, Y. H., 1986. Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in Summer. *Prog. Oceanog.*, 17. 243~254.



감사의 말씀

능력이 모자란 저에게 격려와 칭찬을 아끼시지 않으시고 업무와 배움을 같이 할 수 있도록 바쁘신 가운데도 시간을 할애하며 지도해 주신 방 익찬 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 본 논문을 심사해 주신 양 성기 교수님, 윤 정수 교수님께 감사드리며, 항상 관심을 기울여 주신 고 유봉 교수님, 최 영찬 교수님, 이 준백 교수님께도 감사드립니다.

또한, 프로그램을 지원해 주신 김 태희 선배님과 자료 정리를 도와준 고 방연, 박 상운 후배에게도 진심으로 감사드립니다.

그리고, 학업을 마칠 수 있도록 지원해 주신 고 용구 원장님과 보건환경연구원 동료직원 여러분들께도 감사드립니다.

끝으로 직장과 학업을 병행할 수 있도록 자잘한 일까지 뒷바라지해 주신 어머님과 멀리 계시면서도 항상 용기를 북돋아주신 아버님께 이 작은 결실을 바칩니다.

