

BSPE 00369-696-1

수온 및 염분 전선 부근의 수직
미세구조 역학연구

A study on the dynamics of vertical finestructure
near the thermohaline fronts

1994. 6.

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “수은 및 염분 전선 부근의 수직 미세구조 역학 연구” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

1994년 6월 일

한국해양연구소

연구책임자 : 이재학 (물리연구부)

연구원 : 신창웅

요 약 문

I. 제 목

수온 및 염분 전선 부근의 수직 미세구조 역학 연구

II. 연구개발의 필요성 및 목적

외해와 해수교환이 세 해협에 국한된 동해는 전선(front), 사행(meandering) 및 소용돌이(eddy)의 변화가 심하여 해수의 운동이 매우 활발히 진행되고 있음을 보여주는 곳이다. 이러한 해역에서의 전반적인 물리적 과정을 이해하는 것은 해황의 특성과 에너지 이동을 규명하는 데 필수적인 일이다. 그러나 동해의 연구는 전반적인 분야보다 수괴분석, 순환, 국지적인 해류관측 및 연안역의 현상 등 규모가 큰 분야가 주 연구대상이 되어왔다. 최근에는 중규모 현상에도 많은 관심을 보이고 있지만 미세규모 현상의 연구는 극히 미진한 상태다. 남쪽에서 북상하는 고온·고염의 대마난류수와 북쪽의 상반된 수괴가 만나는 동해 중서부해역은 다양한 중규모 현상과 함께 미세규모의 현상도 중요한 물리적 과정으로 사료되는 바 이에 관한 연구는 이 해역의 특성규명에 필요한 과제이다. 특히, 동해의 열염순환의 중요성이 제기되고 있는 상황과 기후변화 관련 연구에서 해양내부의 일반적인 수직방향 에너지 이동 연구가 많은 비중을 차지하고 있는 점에서 수온 및 염분의 수직 미세구조 연구의 중요성을 찾을 수 있다.

본 연구는 1992년도에 수행된 '동해 남서해역의 수온 및 염분 수직 미세구조 연구'의 계속으로 동해 중서부해역에서 수직 미세구조의 관찰과 관찰된 현상의 역학을 고찰하는데 목적을 두고있다.

III. 결과 및 건의

1992년 8월과 1993년 7월에 동해 중서부해역에서 관측된 CTD 자료를 분석한 수온 및 염분의 수직 미세구조의 특성은 다음과 같다. 1. 수온과 염분의 수직구배가 밀도에 대하여 서로 보상적인 영향을 주는 특성을 보이는 역전층과 약한 혼합층의 형태를 나타낸다. 2. 역전층과 미세혼합층은 각각 연안역과 외해역에서 주로 형성된다. 3. 혼합층의 수직방향 크기는 1-3m로 매우 얇았다. 4. 역전층의 수직방향 크기는 3-4m가 많았으며 역전층내의 수온과 염분 평균변화폭은 각각 0.3°C 및 0.2psu 로 나타났다. 5. 연안역에서 내부구조는 수 시간 주기로 전층에 걸쳐 수직이동이 있음이 관측되었다. 이러한 특징을 보이는 물리적 이유는 이중확산성 관입, 수평유속의 연직변형불안정에 의한 국지적 난류, salt finger 형태의 이중확산이라 사료되고 24시간 연속관측에서 나타난 내부구조의 수직방향의 이동은 내부파에 의한 것이라 판단된다. 본 연구와 1992년도 연구결과는 동해에는 다양한 수직 미세구조가 존재하고 이들과 관련있는 물리적 현상이 진행되고 있음을 보여주고 있다. 이는 대한해협을 통하여 공급된 에너지가 매우 활발한 중규모와 미세규모의 현상을 통하여 소멸되고 있음을 의미한다. 에너지 이동의 이해는 해역에 관계없이 수온약층역학, 혼합층의 형성, 수피의 수평적인 혼합 및 기후관계 연구에도 필수적이기 때문에 이를 위해서 미세구조 연구에 적절한 현장관측과 실험실 및 해석적 연구가 필요하다.

S U M M A R Y

I . Title

A study on the dynamics of vertical finestructure near the thermohaline fronts.

II . Significance and objectives of the study

The East Sea where the exchange of seawater with open ocean occurs through three straits is known as very active sea because of strong variability of fronts, meanderings and eddies. Understanding the whole physical processes in such a sea is essential to determine characteristics of oceanic conditions and energetics. However, researches of the East Sea have been focused mainly on analysis of water masses, circulation, current observation in a limited area and phenomena in the coastal area. Though meso-scale phenomena have recently become a question of great interest, it is very hard to see studies for fine-scale phenomena. It is believed that not only various meso-scale phenomena but also fine-scale ones are important processes in the mid-western East Sea where the Tsushima current meets with different water masses, and thus, it is necessary to study such areas to examine oceanic characteristics.

This study, as a continuation of 'A study on the vertical thermohaline structure in the southwestern East Sea' performed in 1992, takes aims at researches of vertical thermohaline finestructure in the mid-western East Sea and analyze related dynamics.

III. Results

The characteristics of the vertical thermohaline finestructure based on CTD data gathered in the mid-western East Sea on August 1992 and July 1993 are as follows: 1. The vertical finestructures observed are inversion and weak mixed layers in which vertical gradients of heat and salt compensate each other. 2. The inversion and mixed layers are developed mainly in the coastal and open seas, respectively. 3. The vertical length scale of mixed layers is 1-3m. 4. The vertical length scale of inversion layers is 3-4m and mean values of variations of temperature and salinity in the layers are 0.3°C and 0.2psu, respectively. 5. Vertical movements of internal structure with a period of hours are observed in a coastal region. Physical reasons of the formation of vertical finestructure may be double-diffusive intrusion, turbulence induced by the shear instability of horizontal velocity and double diffusion of salt finger type. Vertical movements of internal structure discovered from 24-hour observation may be due to internal waves. The results of this study and 1992's show that various vertical finestructure are developed in the East Sea and related physical processes are very active. This means that the energy supplied through the Straits of Korea is dissipated by meso- and fine-scale phenomena. Understanding the energetics is essential to studies of thermocline dynamics, mixed layers, lateral mixing of water masses and climate, and for this, field observations, laboratory experiments and analytical studies of the finestructure are required.

목 차

요약문(국문)	i
요약문(영문)	iii
그림목차	vii
표목차	ix
제 1 장 서론	1
제 2 장 자료	2
제 3 장 분석	4
3.1 1992년 8월	4
3.1.1 일반 해황	4
3.1.2 미세구조의 특징 및 분포	8
3.1.3 24시간 연속 관측 자료	12
3.2 1993년 7월	23
3.2.1 일반 해황	23
3.2.2 미세구조의 특징 및 분포	24
3.2.3 24시간 연속 관측 자료	24
제 4 장 토의	35
4.1 수직 미세구조	35
4.2 이중확산성 관입	36
4.3 내부(조석)파의 존재 증거	38
제 5 장 결론	41
참고문헌	43

C O N T E N T S

Summary(Korean)	i
Summary(English)	iii
List of Figures	vii
List of Tables	ix
Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. Data	2
Chapter 3. Analysis	4
3.1 August 1992	4
3.1.1 General oceanographic conditions	4
3.1.2 Distribution and characteristics of finestructure	8
3.1.3 24-hour observation	12
3.2 July 1993	23
3.2.1 General oceanographic conditions	23
3.2.2 Distribution and characteristics of finestructure	24
3.2.3 24-hour observation	24
Chapter 4. Discussion	35
4.1 Vertical finestructure	35
4.2 Double-diffusive intrusion	36
4.3 Evidences of internal waves (tides)	38
Chapter 5. Conclusion	41
References	43

그림 목 차

그림 1. 연구해역 및 관측점 위치도.	3
그림 2. 1992년 8월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 수온 수평분포. ..	5
그림 3. 1992년 8월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 염분 수평분포. ..	6
그림 4. 1992년 8월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 밀도 수평분포. ..	7
그림 5. 1992년 8월에 관측점 A2와 B17의 수온, 염분 및 밀도의 수직분포.	9
그림 6. 1992년 8월 관측단면 A와 C에서 역전층 및 미세혼합층이 발달된 수심.	10
그림 7. 표 1에서 사용한 역전층과 관련된 용어의 정의.	12
그림 8. 1992년 8월 수온역전층의 수온변화.	13
그림 9. 1992년 8월 관측점 A2, B3 및 D3의 관측결과.	14
그림 10. 1992년 8월 관측점 C2의 24시간 연속관측때 시간별 관측위치.	15
그림 11. 1992년 8월 26일 3시와 10시 사이의 관측결과.	16
그림 12. 1992년 8월 26일 11시와 15시 사이의 관측결과.	17
그림 13. 1992년 8월 26일 근접한 관측점들 사이의 자료 비교.	18
그림 14. 1993년 7월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 수온 수평분포. ..	20
그림 15. 1993년 7월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 염분 수평분포. ..	21
그림 16. 1993년 7월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 밀도 수평분포. ..	22
그림 17. 1993년 7월 관측단면 A와 C에서 역전층 및 미세혼합층이 발달된 수심.	25
그림 18. 1993년 7월 관측점 A2의 24시간 연속관측때 시간별 관측위치.	26

그림 19. 1993년 7월 6일 2시와 7시 사이의 관측점 A2의 관측결과.	28
그림 20. 1993년 7월 6일 2시와 7시 사이에 관측된 염분최고층 주위의 TS도.	29
그림 21. 1993년 7월 관측점 C2의 24시간 연속관측때 시간별 관측위치.	31
그림 22. 1993년 7월 9일 20시 관측점 C2 관측결과.	32
그림 23. 1993년 7월 관측점 C2의 내부구조 시간별 변화.	33
그림 24. 1993년 7월 10일 3시와 7시 사이의 관측점 C2의 관측결과. ...	34
그림 25. 이중확장성 관입.	37
그림 26. 1993년 7월 10일 3시와 7시의 관측점 C2의 자료 비교.	39

표 목 차

표 1. 1992년 8월 역전구조의 관측수심과 두께 및 수온과 염분의 변화폭.	11
표 2. 1993년 7월 관측점 A2의 풍속.	27
표 3. 1993년 7월 관측점 C2의 풍속.	30

제 1 장 서 론

외해와 해수교환이 세 해협에 국한된 동해는 전선(front), 사행(meandering) 및 소용돌이(eddy)의 변화가 심하여 해수의 운동이 매우 활발히 진행되고 있음을 보여주는 곳이다. 이러한 해역에서의 전반적인 물리적 과정을 이해하는 것은 해황의 특성과 에너지 이동을 규명하는 데 필수적인 일이다. 그러나 동해의 연구는 전반적인 분야보다 수괴분석, 순환, 국지적인 해류관측 및 연안역의 현상 등 규모가 큰 분야가 주 연구대상이 되어왔다. 최근에는 중규모 현상에도 많은 관심을 보이고 있지만 미세규모 현상의 연구는 극히 미진한 상태다.

남쪽에서 북상하는 고온고염의 대마난류수와 북쪽의 상반된 수괴가 만나는 동해 중서부해역은 다양한 중규모 현상과 함께 미세규모의 현상도 중요한 물리적 과정으로 사료되는 바 이에 관한 연구는 이 해역의 특성규명에 필요한 과제이다. 특히, 동해의 열염순환의 중요성이 제기되고 있는 상황과 기후변화 관련 연구에서 해양내부의 일반적인 수직방향 에너지 이동 연구가 많은 비중을 차지하고 있는 점에서 수온 및 염분의 수직 미세구조 연구의 중요성을 찾을 수 있다.

본 연구는 1992년도에 수행된 '동해 남서해역의 수온 및 염분 수직 미세구조 연구'의 계속으로 동해 중서부해역에서 수직 미세구조의 관찰과 관찰된 현상의 역학을 고찰하는데 그 목적을 두고있다. 전반적인 분석은 에너지 이동에 있어서 수직혼합이 특히 중요하리라 생각되는 수온약층 부근에 중점을 두었다. 자료(특히 염분)의 정확성 한계 때문에 물리적 의미를 주는 각 변수들의 이차적인 계산보다는 관측자료로 부터 직접적인 기술에 초점을 맞추었고 가능성 있는 물리적 과정에 대해 고찰하였다. 다음장에서는 자료에 대하여 기술하였고, 3장에서는 수온 및 염분의 수직 구조를 설명 하였으며, 4장에서는 3장에서 관측된 수직구조에 대하여 가능한 물리적 이유를 고찰하였다.

제 2 장 자 료

본 연구에서는 1992년 8월 22-29일 사이와 1993년 7월 2-11일 사이에 동해 중서부해역의 관측점들(그림 1)에서 CTD(Mark IIIb, Neil Brown)를 이용하여 관측된 수온 및 염분 자료를 이용하였다. 같은 시기에 연안에서 가까운 관측점에서 1시간 마다 24 시간 연속 관측된 자료 (1992년 8월: 1 관측점, 1993년 7월: 2 관측점)도 사용되었다. 초음파식 유속계인 ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers, RD-SC0150)에 의한 유속관측도 함께 실시되었는데 해저면을 무류면으로 가정하여 측정된(bottom tracking) 수심 350m 이내의 연안역을 제외하면 절대치의 신빙도가 떨어지기 때문에 24시간 연속관측 자료분석에서만 이용하였다.

자료의 획득방법으로 CTD의 하강관측을 통하여 얻어진 기본자료로부터 매 1m 간격마다 평균하여 얻어졌다. 1992년도 본 연구자의 기본과제 연구 보고서에서 지적한 바와 같이 CTD 자료 중 염분자료에 강한 spikes의 존재로 인한 오류로 연구와 해석에 대하여 정확성의 문제점을 가지고 있기 때문에 이의 사용을 위하여 재편집이 필요하였다. 한편, 표층 수 십 m 에서의 하강과 상승관측 자료 사이의 불일치 문제는 기기 투하 후 표층에서 압력센서 적응시간을 충분히 줌으로써 개선이 되었음은 다행한 일이다. 그러나 아직도 기기 자체의 검교정 과정을 거치지 않아 관측치 자체가 포함하고 있을지도 모르는 측정오차의 가능성 때문에 수온이나 염분의 관측값 자체를 이용한 이차적인 계산에 의한 해석은 지양하였다. 염분자료의 spikes 제거를 위해서는 단순 이동평균을 이용하였다.

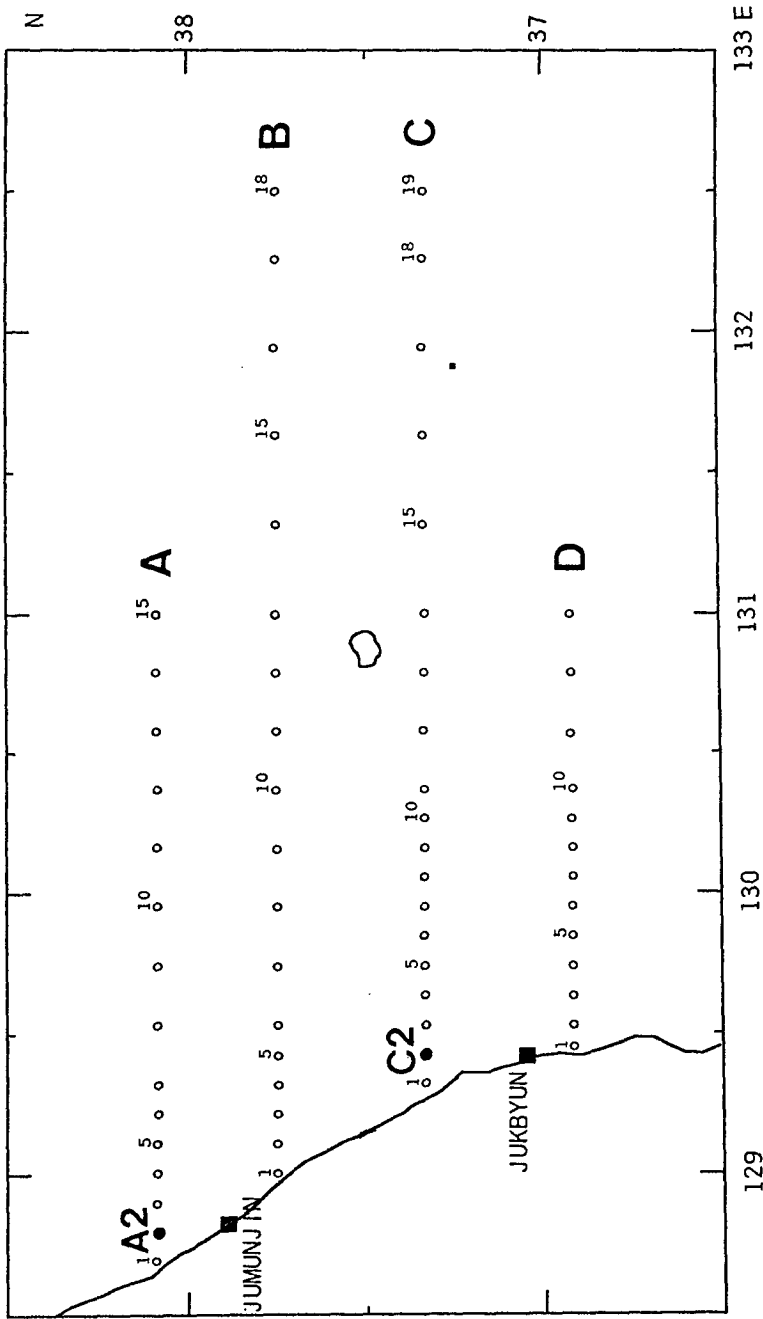


그림 1. 연구해역 및 관측점 위치도.

제 3 장 분 석

두 자료의 관측일수가 각각 8일과 10일 이어서 전선이나 소용돌이와 같은 중규모 현상의 위치 파악에 동시성을 부여할 수 있기 때문에 중규모 현상에 수반된 미세규모 현상의 공간적 분포를 파악하는데 무리는 없으리라 생각된다. 하나의 미세구조의 변화과정이나 시공간적 크기를 파악하기에는 24시간 연속관측 자료로는 한계가 있었음을 밝혀둔다. 본장에서는 관측시기에 따라 해황, 미세구조 분포 및 24시간 연속 관측자료의 분석을 설명하였다.

3.1 1992년 8월

3.1.1 일반 해황

그림 2-4는 수심 20, 100 및 200m 에서의 수온, 염분 및 밀도의 수평분포를 보여주고 있다. 수평분포가 상층에서 변화가 다양하고 저층에 이를수록 단순화되는 경향을 잘 나타내고 있어서 소규모 또는 미세규모 구조를 형성하는 물리적 과정이 상층에서 주로 존재할 것임을 암시하고 있다. 20m 층의 경우 염분전선을 뚜렷하게 구분하기가 어렵게 염분의 수평구배가 울릉도 동쪽을 제외한 대부분 해역에 걸쳐 비슷한 정도이지만 수온의 분포는 연안 쪽과 울릉도 동쪽에 전선이 형성되어 있음을 보이고 있다. 일반적인 예상과는 달리 저온고염수(주문진 부근)와 고온저염수(울릉도 서쪽 해역)가 접촉하고 있는 양상을 보여 표층에서는 쓰시마난류의 영향이 약하거나 대기로부터 열 유입과 같은 계절적인 영향이 있었을 것으로 생각된다. 100m 층의 분포는 전선이 보이는데 수온 7-13°C 및 염분 34.1-34.4psu의 폭으로 130°E 부근에서 남북방향으로 잘 발달되어 있다. 울릉도 부근을 통과하는 전선도 같은 변화폭으로 형성되어 북쪽 해역에서 사행되었음을 추측할 수 있다. 전선역에서 수온 및 염분의 수평구배는 20m 층보다 완만하여 이 전선역의 흐름이 지형류 구조를 따르고 있을 가능성이 높음을 나타내고 있다. 200m 층의

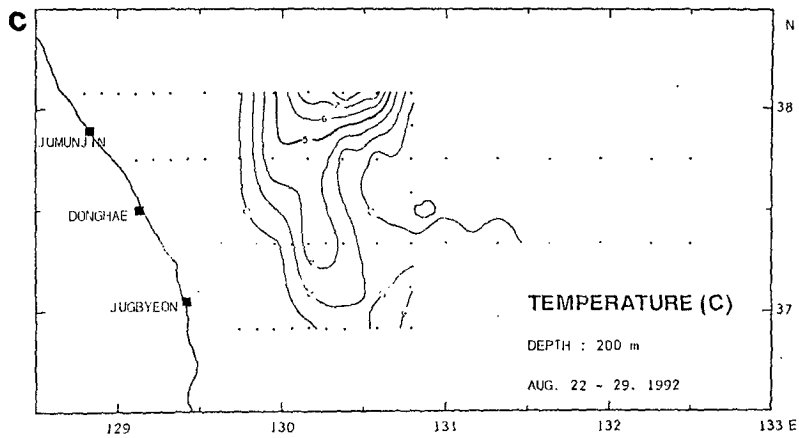
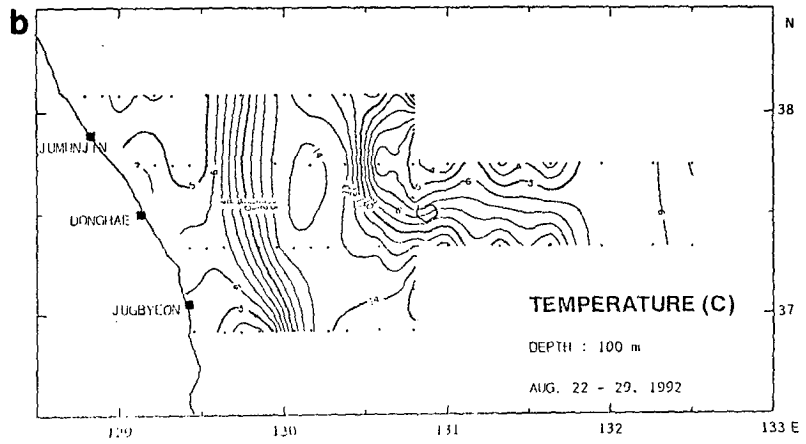
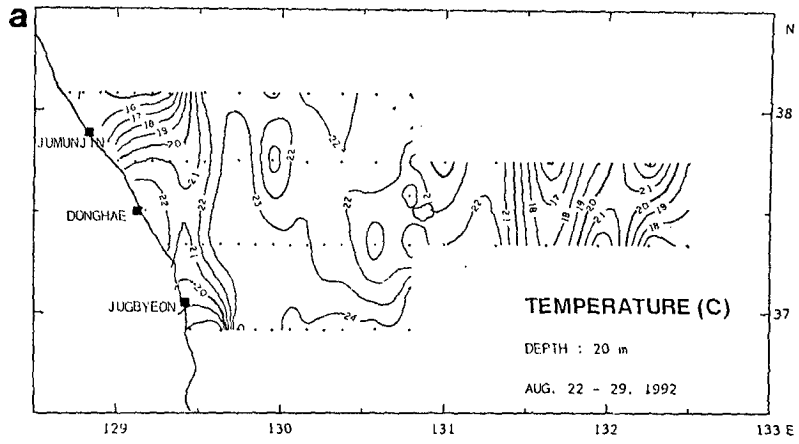


그림 2. 1992년 8월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 수온 수평분포.

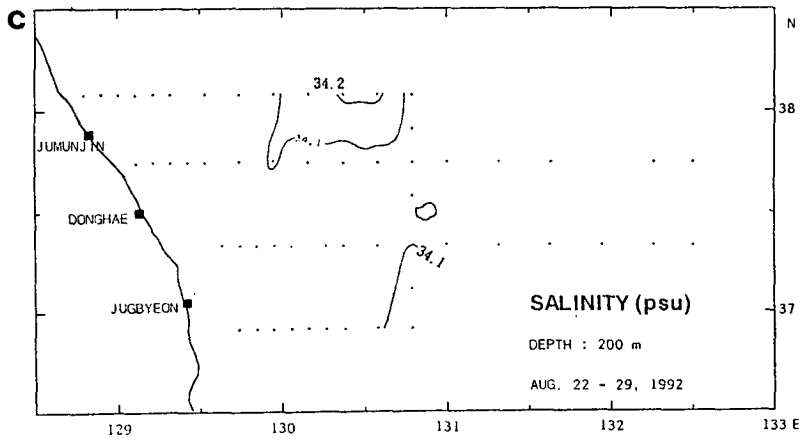
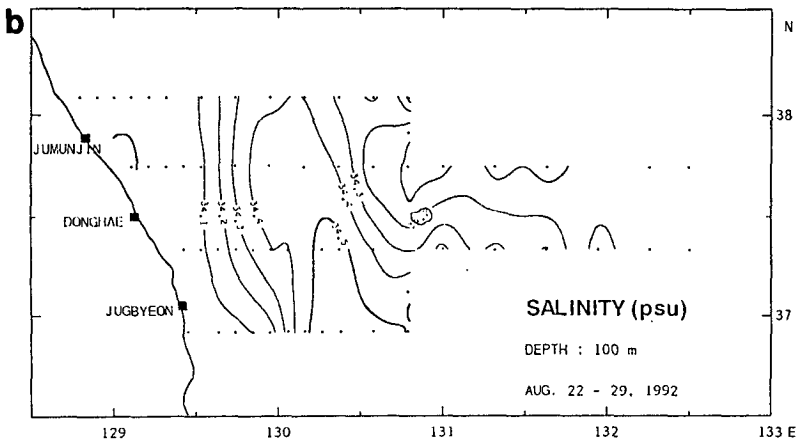
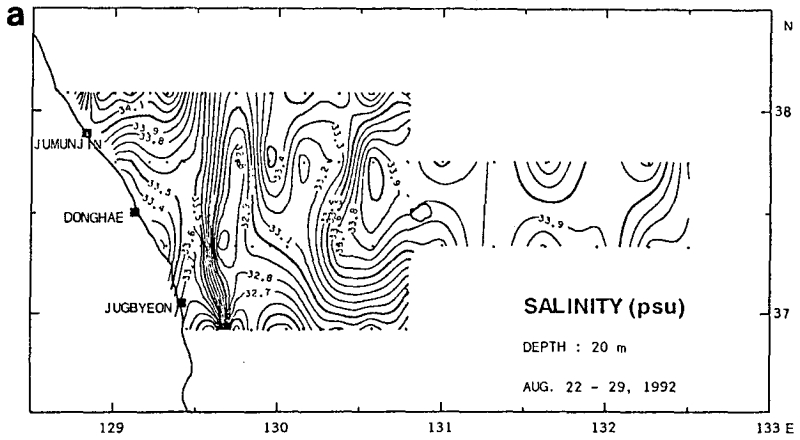


그림 3. 1992년 8월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 염분 수평분포.

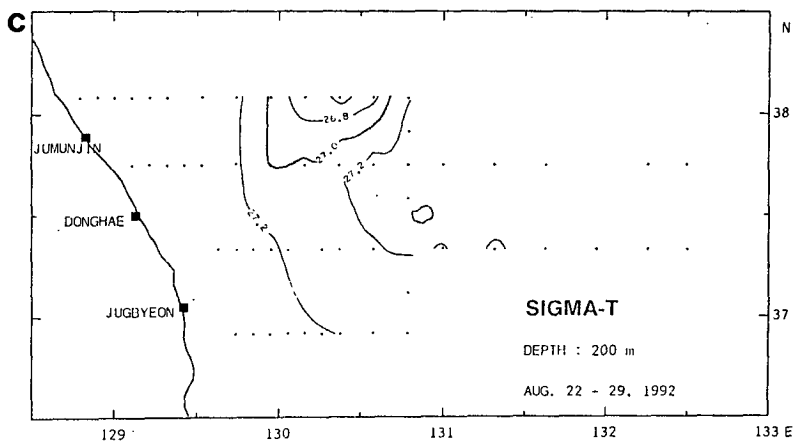
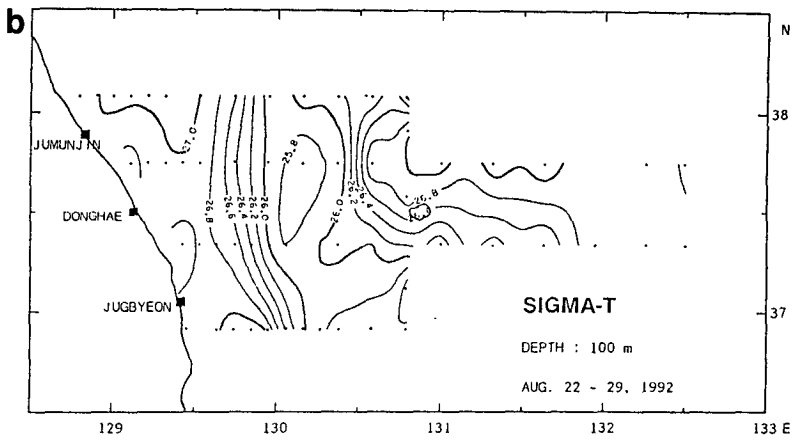
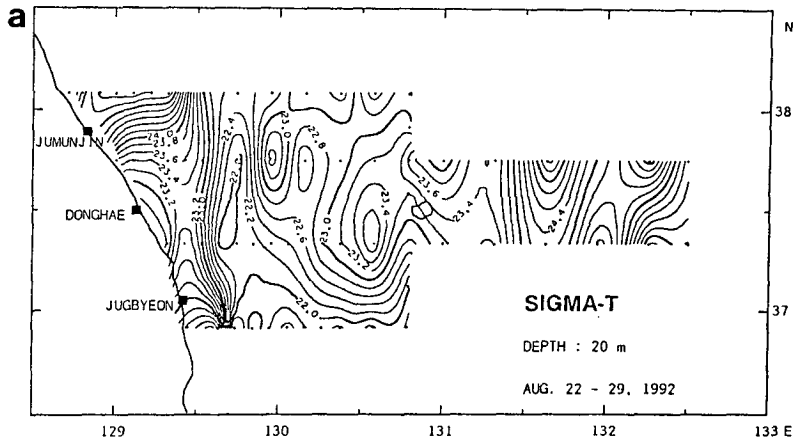


그림 4. 1992년 8월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 밀도 수평분포.

수평분포는 100m 층과는 달라서 조사해역의 북동쪽에서 3°C 이상과 34.1psu 이상의 고온고염수가 소용돌이 형태로 보이고 있다. 밀도가 주위보다 낮아 난수성 소용돌이라 할 수 있는데 수평방향의 수온 변화가 크기 때문에 200m 보다 더 깊은 수심에 까지 형성되어 있음을 짐작할 수 있다. 이상의 해황의 특징은 200m 층에서는 난수성 소용돌이가 형성되어 넓은 해역에 그 영향을 미치고 있고, 100m 층에서는 동해안과 울릉도 사이에서 남북방향의 전선과 울릉도를 끼고 도는 형태의 전선이 발달되어 있으며, 20m 층에서는 전 해역에서 심한 수온 변화를 보여주고 있는것으로 요약할 수 있다. 소용돌이와 전선같은 중규모 현상이 형성되어 있음은 해수의 물리적인 움직임이 매우 활발함을 나타내고 아울러 보다 작은 소규모 또는 미세규모의 현상도 많을 것임을 암시하고 있다.

3.1.2 미세구조 특징 및 분포

그림 5는 전형적인 수직 미세구조가 발달된 경우를 보여준다. 관측점 A2의 경우 100m 수심에서 수온과 염분의 역전구조가 형성되어 있고 관측점 B17에서는 수온약층의 아래 부분인 80-130m 수심에 약한 혼합층들이 발달되어 있음을 알 수 있다. 그림 6은 이러한 역전층 또는 미세혼합층이 잘 발달되어 있는 경우를 정선 A와 C를 선택하여 표시한 것이다. 전반적으로 수온약층 부근에서 발견 빈도가 높음을 보여주고 있다. 염분의 분포와 비교하여 보면 발견 수심이 염분 최고층의 부근 즉, 연안역에서는 고염수 또는 저염수가 확장하고 있음을 암시하는 수심에서, 그리고 외해역에서는 염분최고층의 아래부근의 수심에 해당됨을 나타내고 있다. 이는 미세구조 형성의 물리적 과정에 대한 중요한 단서를 제공하고 있다. 연안의 경우 서로 다른 수괴의 접촉해역의 현상으로 본다면 미세구조의 발달은 두 수괴 사이에서 일어나는 관입의 결과라 할 수 있고, 외해역의 경우 염분최고층이 난수성 소용돌이 내부이거나 동안난류의 축이거나에 관계없이 미세구조 발견수심

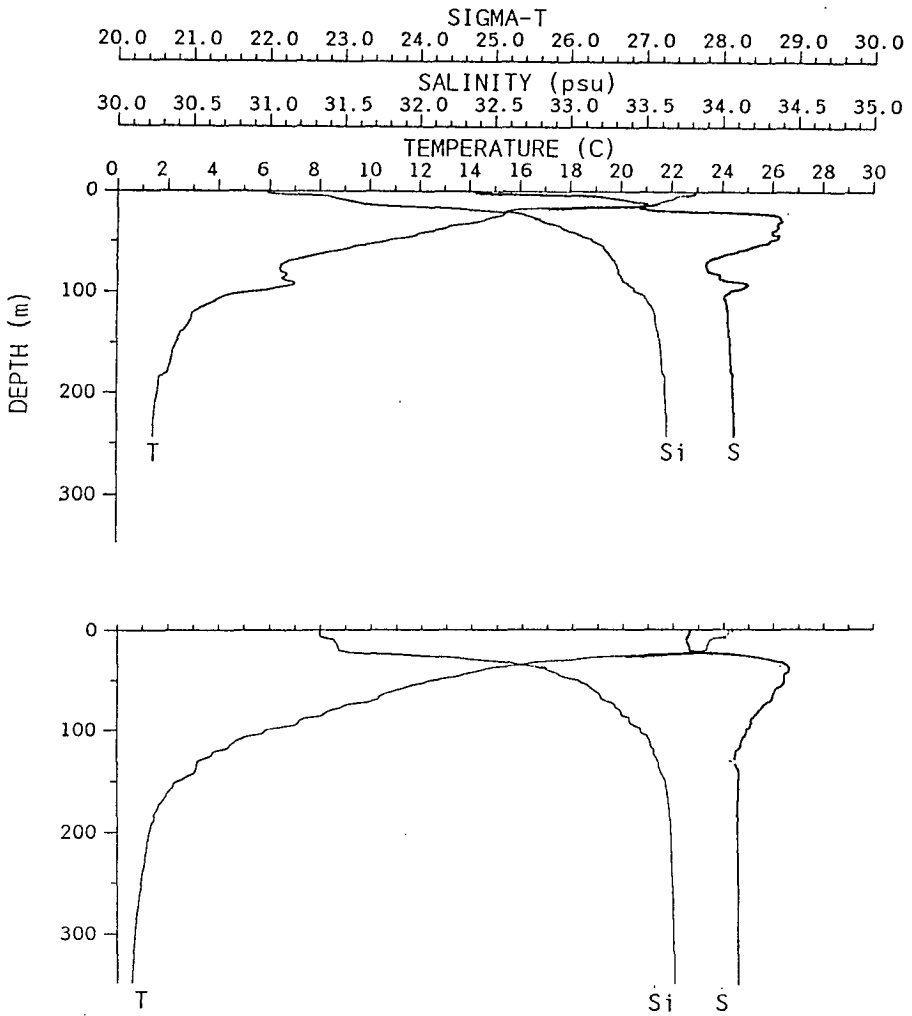


그림 5. 1992년 8월에 관측점 A2(윗그림)와 B17(아랫그림)의 수온, 염분 및 밀도의 수직분포.

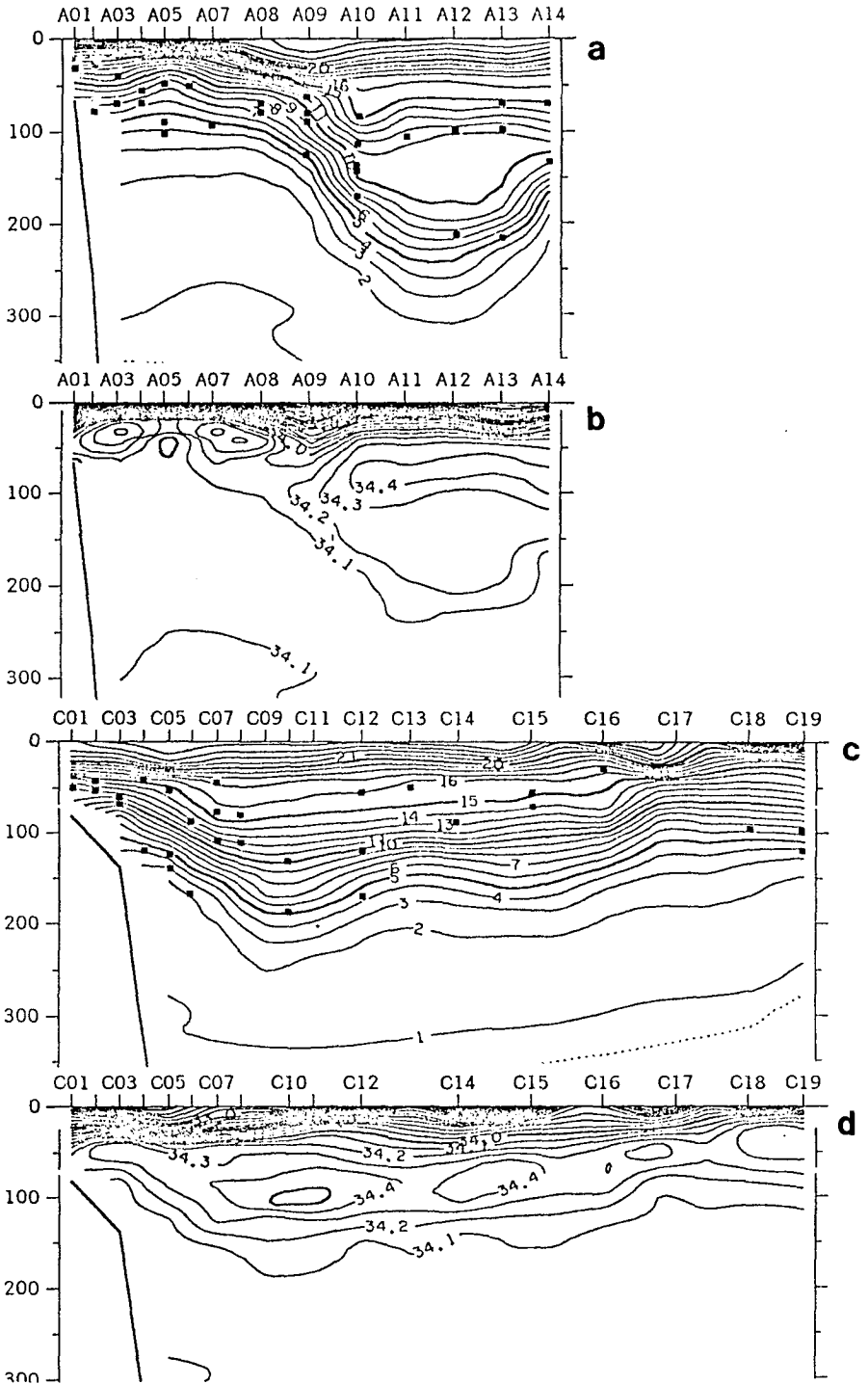


그림 6. 1992년 8월 관측단면 A와 C에서 역전층 및 미세혼합층이 발달된 수심. a) 단면 A의 수온분포, b) 단면 A의 염분분포, c) 단면 C의 수온분포, d) 단면 C의 염분분포.

(즉, 염분최고층의 아래)이 수평유속의 연직변형이 큰 수심에 해당되기 때문에 유속변형의 불안정에 의한 것이라 생각할 수 있다. 이러한 설명은 미세구조의 형태에 있어 구분하여 표시는 하지 않았지만 수온역전층은 연안역에서 많이 발견되고 미세혼합층은 주로 외해쪽에서 발견빈도가 높은 사실로부터 그 가능성을 찾을 수 있다.

표 1은 뚜렷이 형성된 역전층의 분포통계인데 그림 7과 같이 정의된 역전층 수심, 두께 및 수온과 염분의 변화폭을 나타내고 있다. 두께는 3-4m 인

표 1. 1992년 8월 역전현상의 관측수심과 두께 및 수온과 염분의 역전 크기.

관측점	Du-Dl(m)	$\Delta D(m)$	$\Delta T (^{\circ}C)$	$\Delta S (psu)$
A02	79-83	4	0.28	0.08
A04	62-66	4	0.37	0.09
A06	53-56	3	0.10	0.09
A09	83-95	4	0.29	0.12
B03	75-83	8	0.69	0.21
B04	57-67	10	0.63	0.26
B05	39-43	4	0.31	0.21
B06	27-30	3	0.28	0.43
B07	38-41	3	0.11	0.25
C02	48-52	4	0.35	0.42
C13	52-57	5	0.20	0.19
D03	53-56	3	0.17	0.08
MEAN	27-95	3-10	0.32	0.20

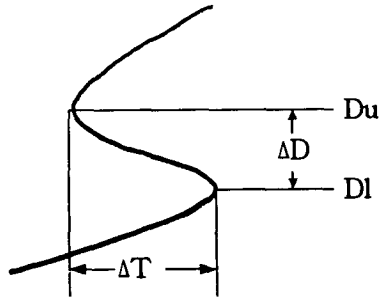


그림 7. 표 1에서 사용한 역전층과 관계된 정의.

경우가 대부분이고 최고 값은 관측점 B04에서 10m로 관측되었다. 역전층의 수온과 염분 변화는 각각 0.3°C 및 0.2psu 로 나타났다. 그림 8은 수온 변화 폭을 관측점에 따라 도시한 것으로 연안에 가까울수록 수온역전이 강함을 보여주고 있다. 이는 수온역전이 관입의 결과라면 두 수괴의 마찰이 연안 가까워서 활발함을 뜻하고 나아가 북한한류계수의 남하가 연안 가까워서 진행됨을 의미하고 있다. 역전층의 발견 수심은 대체로 50m와 100m 사이로 나타났는데 이는 두 수괴 중의 하나로 생각되는 북한한류계수의 이동 수심과 밀접한 관계가 있을 것으로 본다. 그림 9는 연안에 가까운 관측점들의 수직분포를 나타내고 있는데 수온 역전층이 염분최소층 아래에 위치하고 있음을 보여주고 있다. 이는 난류수괴의 사이로 저온저염수가 관입하였을 가능성을 시사한다.

3.1.3 24시간 연속 관측 자료

1992년 8월 25일과 26일에 관측점 C2 부근에서 1시간 간격으로 24시간 연속 관측을 수행하였다. 그림 10은 시간별 관측점의 위치를 나타낸 것이다. 바람과 해류의 영향으로 조사선이 움직였기 때문에 선박을 최초 관측점 부근으로 3차례 이동시킨 후 관측을 하였는데 매 관측점마다 위치를 기록하지 못하고 그림의 각 정선 끝 점들에서만 위치를 기록한 관계로 사이의 관측점들 위치는 정확하지가 않음을 밝혀둔다. 그림 11은 8월 26일 3시와 10시 사

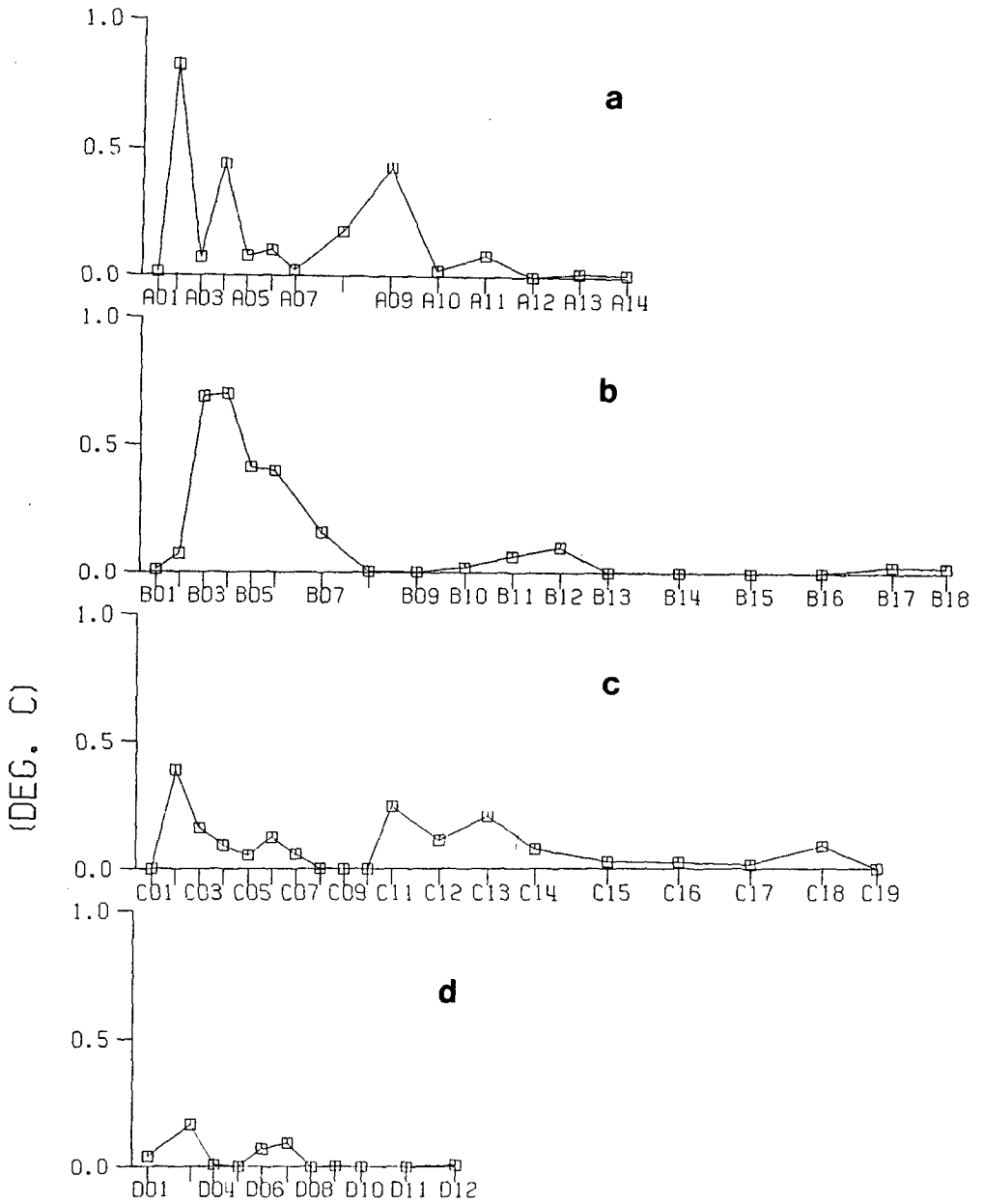


그림 8. 1992년 8월 수온역전층의 수온변화.

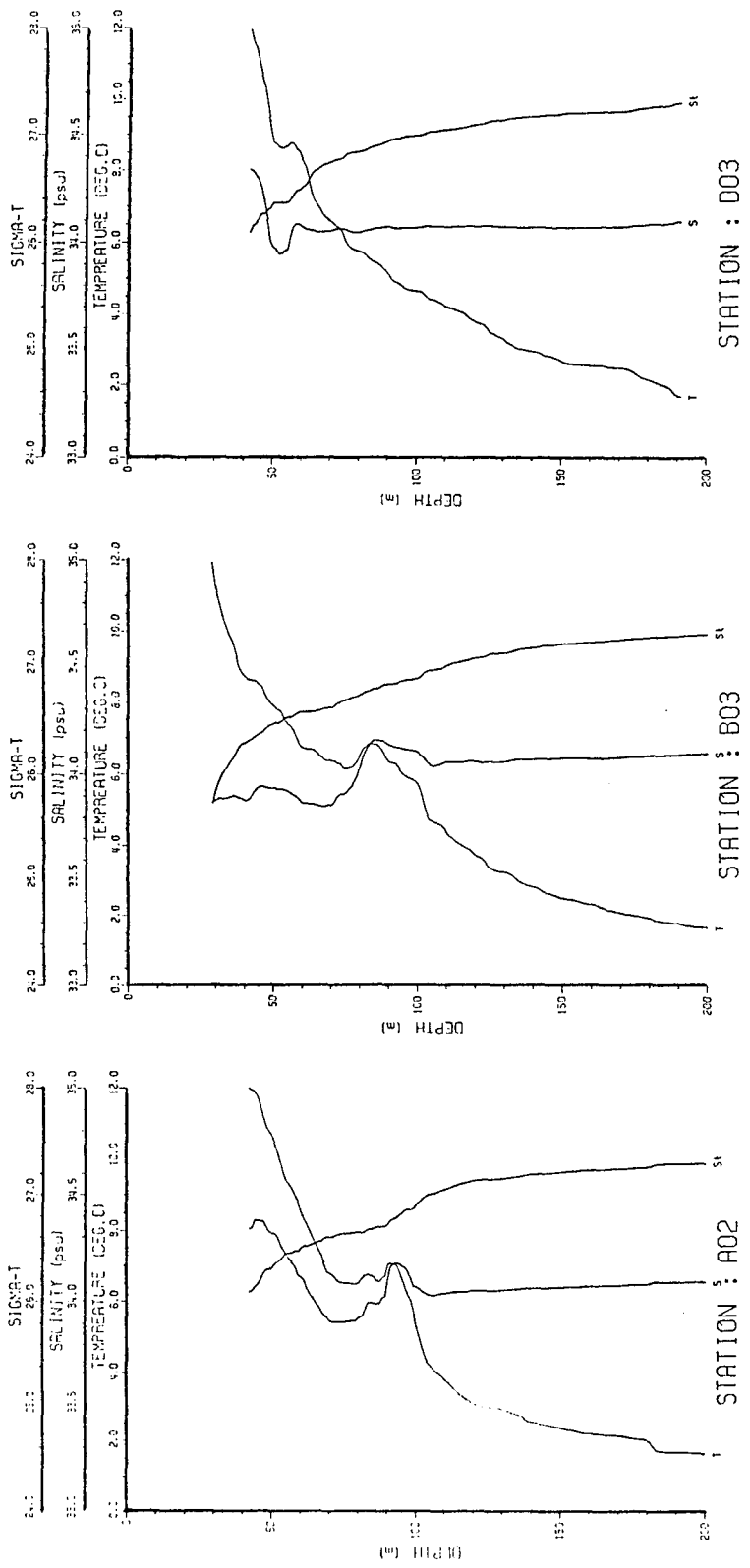


그림 9. 1992년 8월 관측점 A2, B3 및 D3의 관측결과.

Station C02, AUG. 25-26, 1992

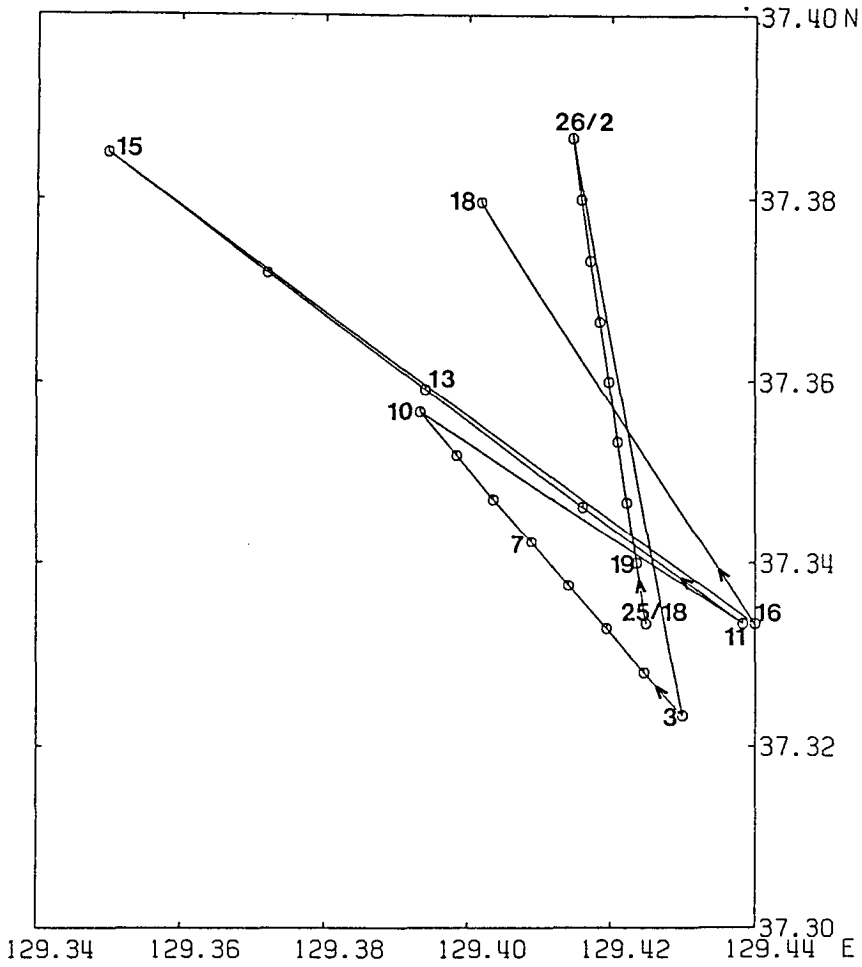


그림 10. 1992년 8월 관측점 C2의 24시간 연속관측때 시간별 관측위치.

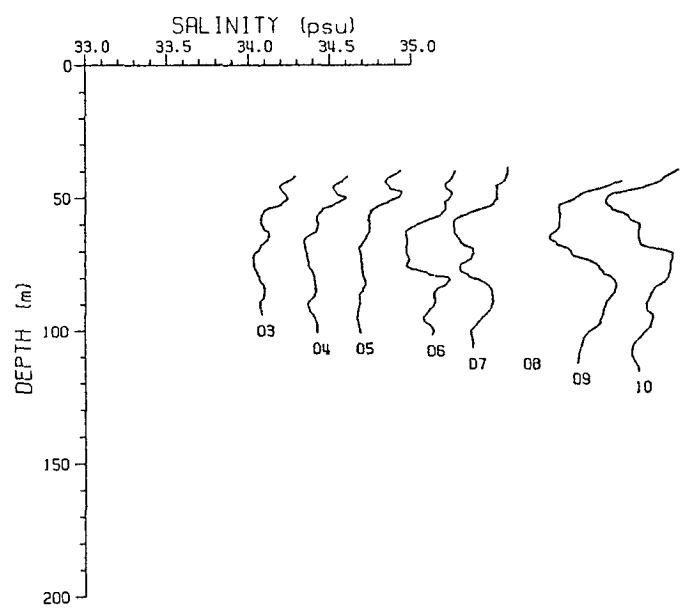
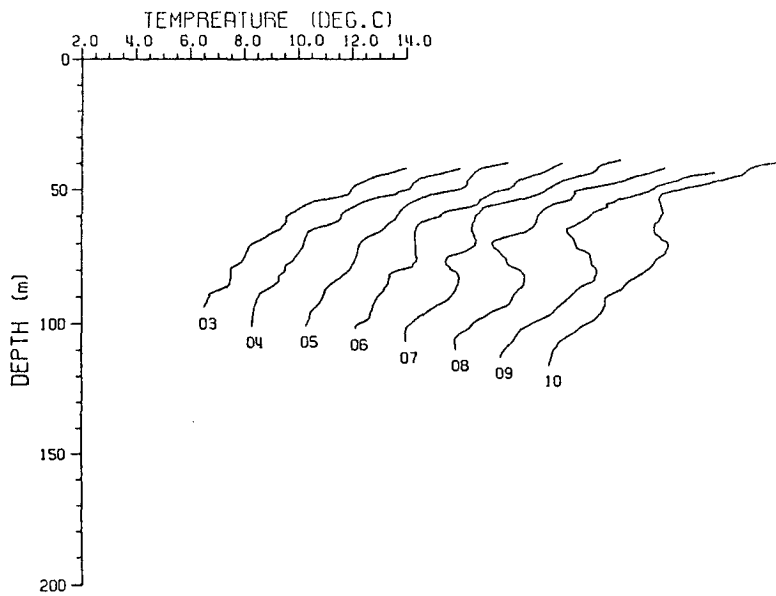


그림 11. 1992년 8월 26일 3시와 10시 사이의 관측결과. 위와 아래 그림은 각각 수온과 염분을 나타냄.

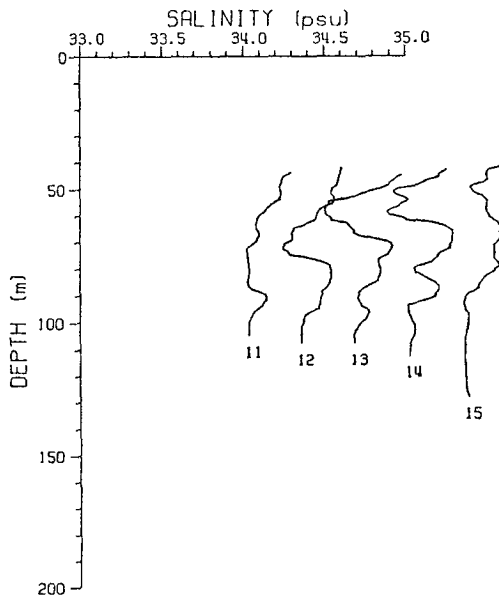
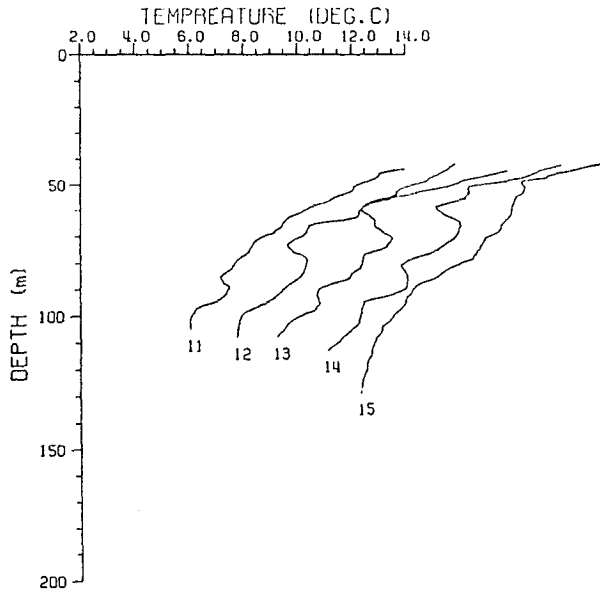


그림 12. 1992년 8월 26일 11시와 15시 사이의 관측결과. 위와 아래 그림은 각각 수온과 염분을 나타냄.

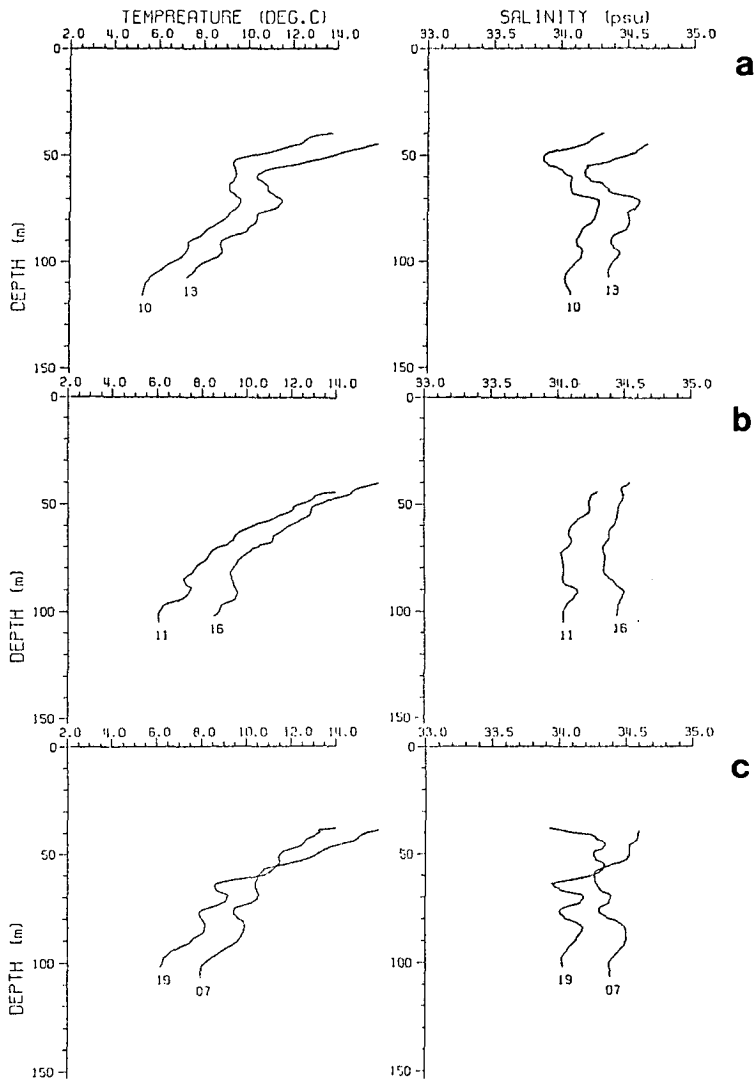


그림 13. 1992년 8월 26일 근접한 관측점들 사이의 자료 비교.

이의 관측 결과를 도시한 것이다. 3시 부터 6시 사이에는 50m 수심에서 수온은 약한 혼합층이 그리고 염분은 역전층을 보이고 있다. 6시에는 70m 수심을 중심으로 수온과 염분 모두 10m 이상의 두께로 혼합이 잘 된 구조를 보여준다. 이때 염분은 위아래층 보다 낮은 값을 보인다. 이 구조는 1시간 후인 7시에는 다소 변형이 되어 국지적인 수온최소층이 형성이 되었고 염분의 분포도 두 개의 최소층을 갖는 구조로 바뀌어 물리적 현상이 진행되고 있음을 보여주고 있다. 8시에는 수온최소층이 뚜렷하게 발달되고 15m 아래 수온최대층이 형성되어 1.2°C의 폭을 갖는 역전을 잘 보여주고 있다. 계속하여 9시에는 역전층이 조금 두꺼워진 형태를 보여 활발한 물리적 현상이 진행되고 있거나 공간적인 분포의 암시를 주고있다. 특히 수온과 염분의 최소층 및 최고층이 각각 일치함을 보여 특정한 수괴끼리 부딪치고 있음을 시사하고 있다. 10시 자료는 모양이 조금 변하였지만 9시의 자료와 상관관계를 찾을 수 있다. 시간별 위치가 정확하지 않아서 공간적 구조를 알 수는 없지만 수온최소층 및 최고층이 시간에 따라 상승하는 것으로 보아 고온고염수는 북서방향으로 표층을 향하고 저온저염수는 남동방향으로 깊어지는 형태의 관입이 있음을 생각할 수 있다. 또한 공간 분포는 5km 이내일 것으로 판단된다. 그러나 이러한 상승은 내부파의 영향일 가능성도 있다.

그림 12는 11시와 15시 사이의 자료인데 시간 또는 공간에 따른 역전층의 수직방향 이동 형태를 잘 나타내고 있다. 11시에 85m 보인 수온최소층이 시간에 따라 상승하여 14시에는 60m 수심에 위치하여 15m 정도 올라왔음을 보여주고 있다. 이는 동일 지점에서의 시간에 따른 상승과 수 km 이상의 공간적 구조에 의할 가능성이 있다. 그림 11과 12는 수온 역전층과 같은 미세구조가 시간 및 공간적으로 연속성을 가지고 있음을 말해주고 있으며 많은 물리적 현상이 계속 진행중에 있음을 시사하고 있다. 그림 13은 인접한 관측점으로 판단되는 자료를 골라 도시한 것으로 수직 미세구조들이 3시간 이상 12시간 경과후에도 유사한 구조를 가지고 있음을 보여주고 있다.

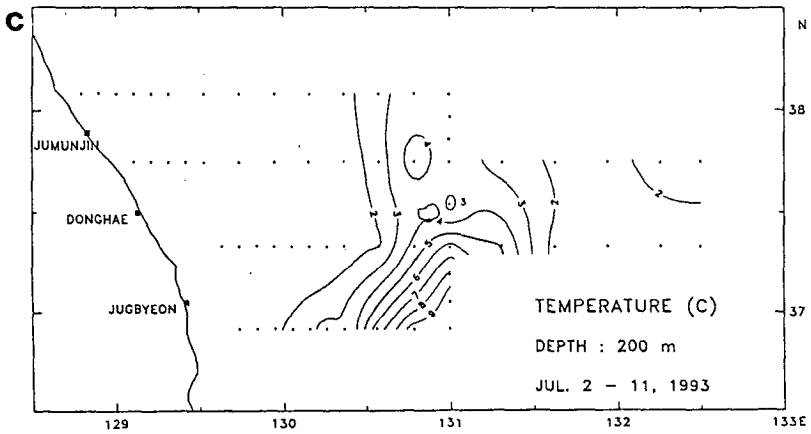
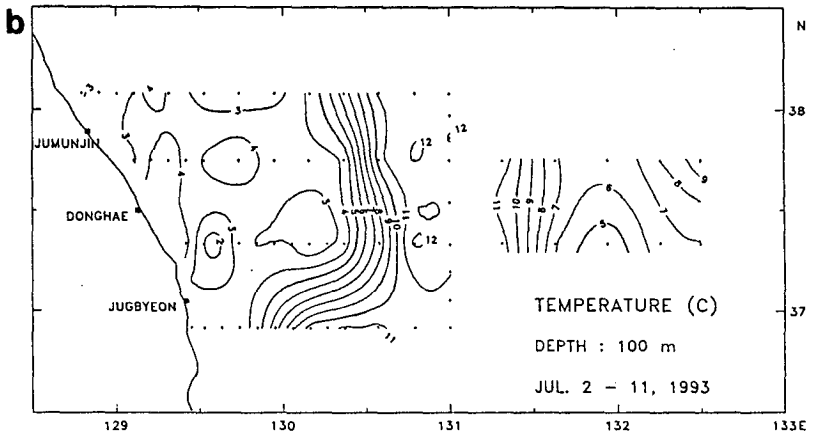
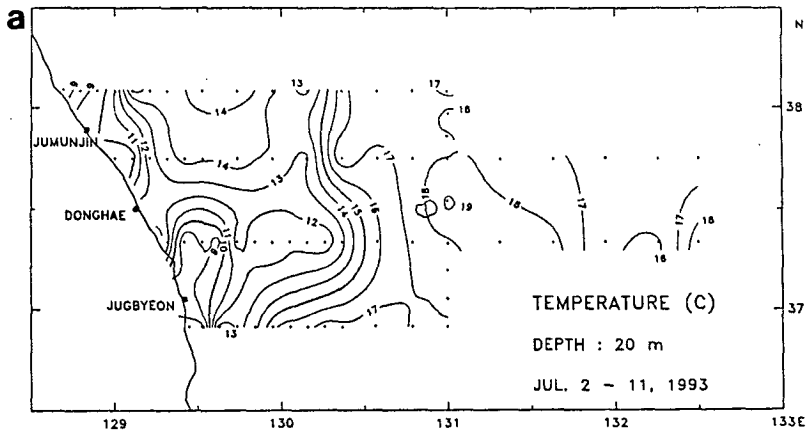


그림 14. 1993년 7월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 수온 수평분포.

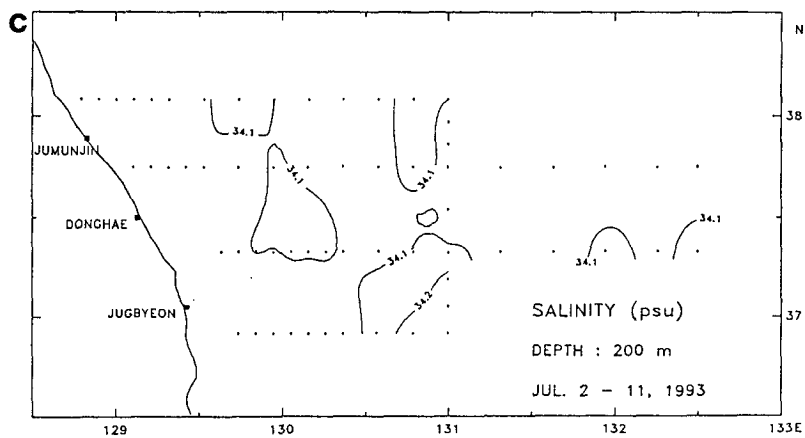
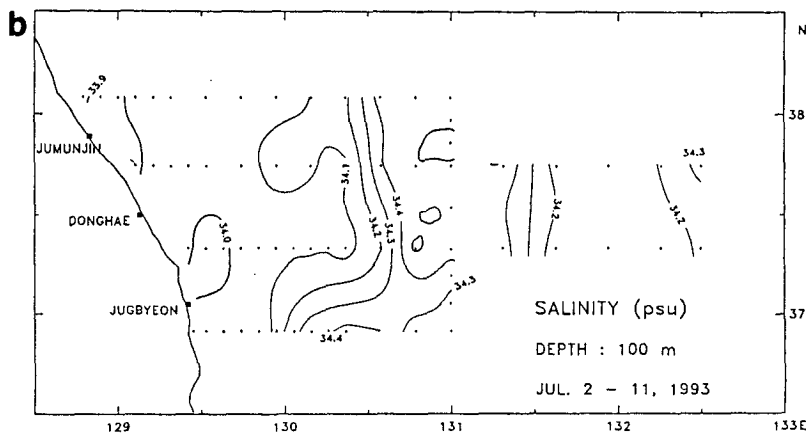
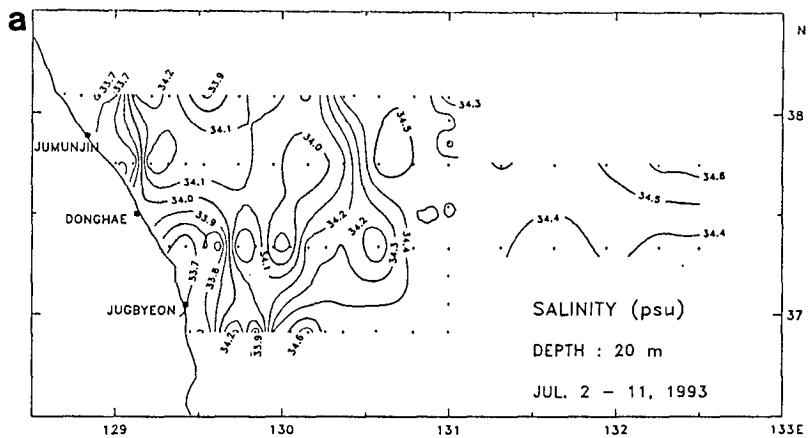


그림 15. 1993년 7월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 염분 수평분포.

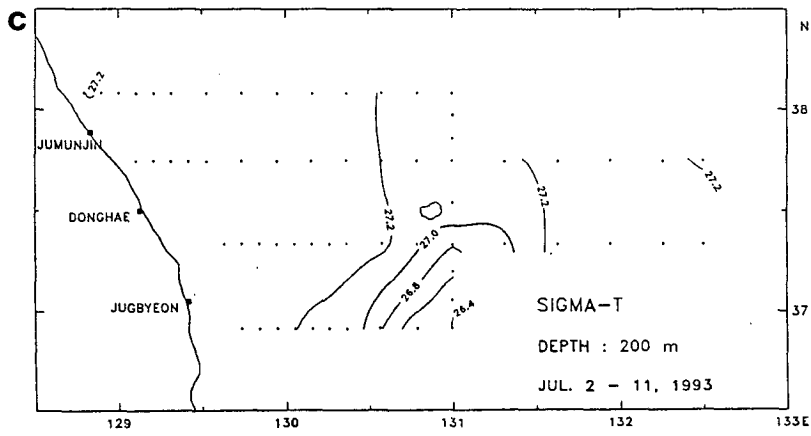
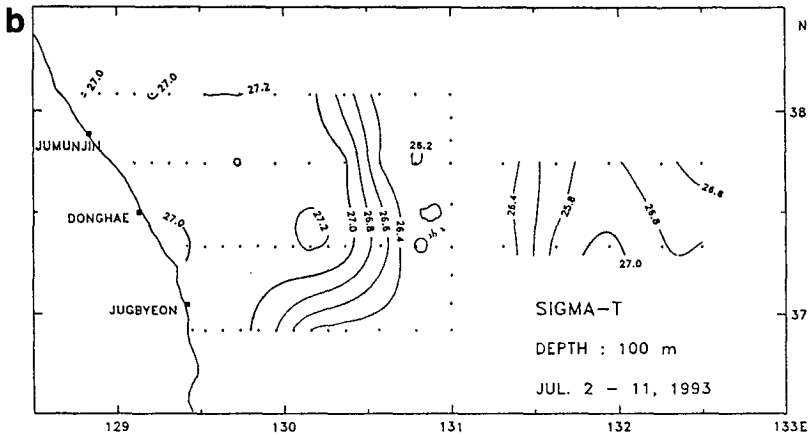
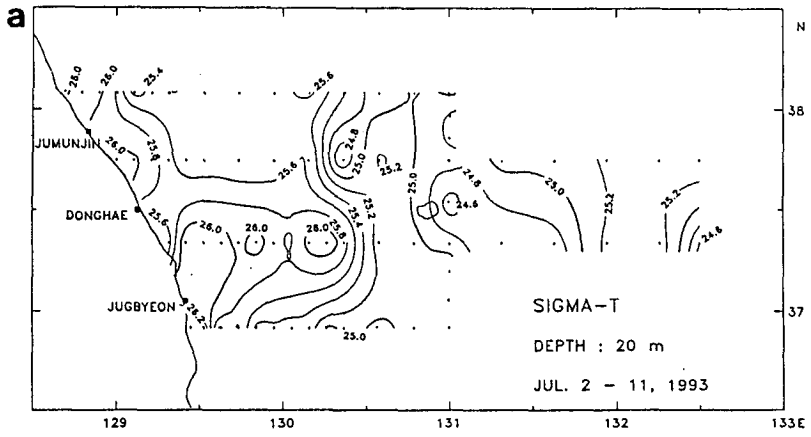


그림 16. 1993년 7월에 관측된 수심 20, 100 및 200m의 밀도 수평분포.

3.2 1993년 7월

3.2.1 일반 해황

그림 14-16은 수심 20, 100 및 200m 에서의 수온, 염분 및 밀도의 수평분포를 보여주고 있다. 1992년 8월과 마찬가지로 수평분포가 상층에서 복잡하고 저층에 이를수록 단순화되는 경향을 잘 나타내고 있다. 20m 층의 경우 수온 및 염분의 전선이 많이 형성되어 있는데 수온의 분포에서 더 뚜렷하게 보여주고 있다. 쓰시마난류의 지류에 의한 것으로 판단되는 전선은 죽변쪽에서 (정선 D) 13-16°C의 수온과 34.0-34.4psu의 염분 변화폭을 가지고 전선은 정선 C로 감에 따라 동쪽으로 이동된 후 남북방향의 구조를 나타내고 있다. 연안쪽에는 수온 11°C 및 염분 33.9psu를 축으로 하는 전선이 다소 복잡하게 형성되어 있어서 다른 수괴들 간의 접촉이 활발함을 알 수 있다. 100m 층에서는 연안쪽에는 뚜렷한 전선이 보이지 않는 반면 4-10°C의 수온과 34.1-34.4psu의 염분값을 보이는 전선이 20m 층과 비슷한 구조를 가지고 외양쪽으로 이동된 형태로 형성되어 있다. 울릉도 동쪽에 또다른 전선이 형성되어 있는데 이는 울릉도 서쪽의 전선이 사행되어 연결된 것으로 보인다. 200m 층에서는 2-3°C의 수온이 100m 층의 전선 분포와 유사한 모양으로 분포되어 있고 4°C 이상과 34.1psu 이상의 상대적으로 고온고염면서 가벼운 해수가 울릉도 남쪽 해역에 나타나고 있는데 이는 1993년 4월에 관측된(김등, 1993) 난수성 소용돌이가 동쪽으로 이동된 후의 일부분일 가능성이 높다. 이상의 해황으로 보아 쓰시마해류 계열의 고온고염수와 북쪽에서 내려오는 저온저염이면서 고밀도인 해수의 접촉은 연안역에 국한되고 이에따른 수직 미세구조도 연안역에서 보다 다양할 것을 예상할 수 있다. 한편, 울릉도 동서쪽의 전선이 강한 해류와 축과 관계가 있다면 수평유속의 수직방향 변형이 강하리라 보며 이로부터 유발된 불안정에 기인한 미세구조가 발달될 가능성이 있다.

3.2.2 미세구조 특징 및 분포

그림 17은 역전층 또는 미세혼합층이 잘 발달되어 있는 경우를 정선 A와 C를 선택하여 표시한 것이다. 1992년 8월의 자료와 마찬가지로 전반적으로 수온약층 부근에서 발견 빈도가 높게 나타났고 고염수의 주위에서 주로 발달되어 있음을 볼 수 있다. 아울러 역전층 및 미세혼합층의 분포도 연안역과 외해역으로 구분되어 이들의 형성을 지배하는 물리적 과정에 대한 3.1.2 절에서의 설명을 뒷받침하고 있다. 고염수 핵을 중심으로 외해쪽(A15, C15, C16 등) 보다 육지쪽의 전선(관측점 A11, A12, C11, C12 등) 부근에서 미세구조가 잘 관측되는 점도 유의할 필요가 있다.

3.2.3 24시간 연속 관측 자료

1993년 7월에는 두 관측점 (A2 및 C2) 에서 24시간 연속관측을 수행하였고 매 시간 위치를 정확히 측정하여 시·공간적인 구조 파악에 이용하였다.

관측점 A2 - 그림 18은 시간별 관측점의 위치를 보여주고 있다. 관측점 A2의 경우 7월 6일 2시와 7시 사이에는 조사선의 이동이 1시간에 80m 이내의 위치 변동을 보인 반면 나머지 관측기간에는 1시간에 500m 이상의 위치변동을 보였다. 표 2는 관측기간중 측정된 바람의 세기를 나타내는데 관측시작 부터 6일 7시 사이의 선박의 위치변화의 크기와 풍속의 상관관계가 높아 조사선이 바람의 영향으로 움직였을 가능성을 시사하여 준다. 그러나 8시 이후에는 낮은 풍속에도 위치변화가 커서 이류의 영향 때문으로 판단된다. 관측시작때의 ADCP 관측 결과 해류가 극히 미약하였고 관측시기가 대조기 직후여서 조류의 효과가 많았을 가능성이 있다. 대략적인 염분의 수직 분포는 표층에서 33.0psu정도로 낮고 해저 부근에서 34.0psu 정도까지 상승하는 단순한 구조를 보이고 수온은 17℃ 이상에서 1℃ 근처까지 감소하는 구조를 보인다. 표층에서는 시간에 따라 혼합층이 있음을 볼 수 있다. 이들의 수직방향 두께는 10-20 m 이고 미세구조내에서의 수온과 염분의 변화는

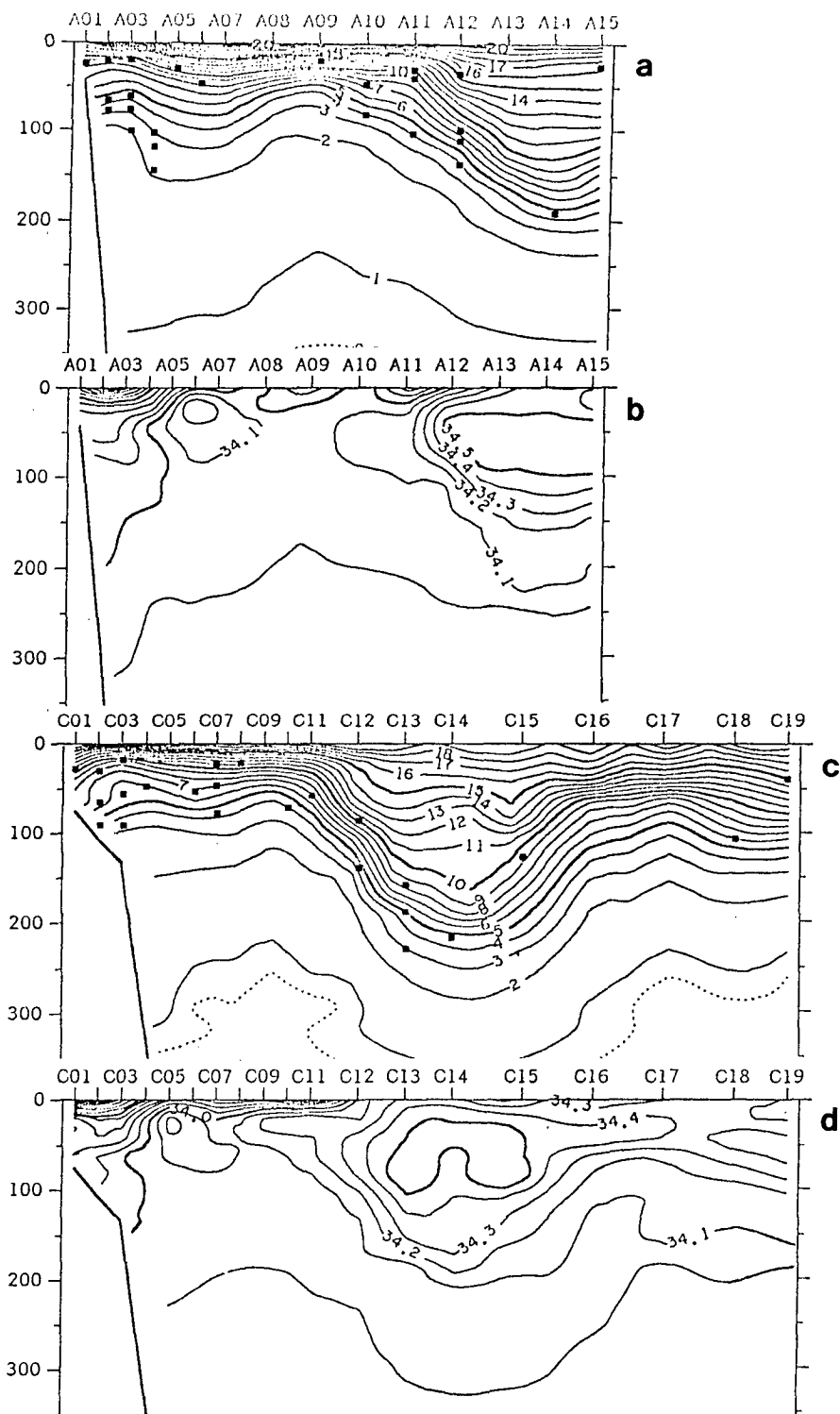


그림 17. 1993년 7월 관측단면 A와 C에서 역전층 및 미세혼합층이 발달된 수심. a) 단면 A의 수온분포, b) 단면 A의 염분분포, c) 단면 C의 수온분포, d) 단면 C의 염분분포.

Station A02, JULY 5-6, 1993

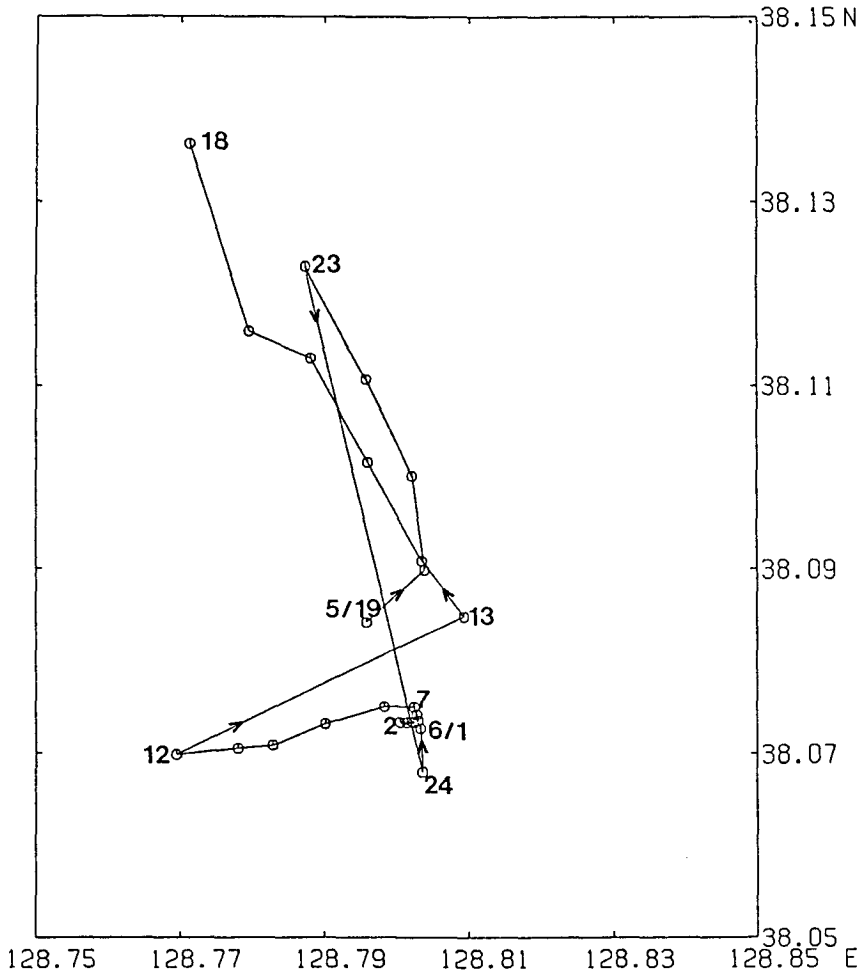


그림 18. 1993년 7월 관측점 A2의 24시간 연속관측때 시간별 관측위치.

표 2. 1993년 7월 관측점 A2의 풍속 (단위: knots). 매 5분마다 관측된 자료로 부터 정리한 풍속이며 풍향은 관측하지 못하였기 때문에 선박이동을 유추하는 데는 오류의 가능성이 있다.

관측시간	풍속	관측시간	풍속	관측시간	풍속	관측시간	풍속
5일 19시	9	6일 1시	6	6일 7시	3	6일 13시	7
20	11	2	8	8시	3	14	11
21	12	3	6	9	8	15	10
22	14	4	7	10	4	16	13
23	12	5	7	11	2	17	15
6일 0시	8	6	6	12	6	18	16

각각 약 1.5°C와 0.2psu로 나타났다. 표층을 제외하고 눈에 띄는 미세구조는 수심 70-100m 부근에서 나타나는 염분의 구조로 주위(상하층)보다 상대적으로 0.2 psu 정도 높은값을 보이고 있다. 수심이 낮은 곳에서는 나타나지 않거나 발견수심과 수온의 수직구조가 수 시간 또는 수 백m의 위치변동에도 형태가 달라지는 등 물리적인 현상이 계속중에 있음을 보여주고 있다. 6일 1시와 7시 사이에는 관측점의 위치가 500m 이내에 위치하는데 그림 19는 이때의 미세구조 변화를 잘 보여주고 있다. 2시에서 7시에 이르면서 블록한 염분분포가 작아짐을 보여주는데 흥미로운 것은 블록한 부분의 아래쪽이 없어지는, 즉, 염분이 감소하는 양상으로 진행되는 점이다. 이때 수온은 차츰 감소하여 동일한 밀도값을 보이고 있음은 해수의 물리적 현상이 등밀도를 유지하면서 진행되고 있음을 말해주고 있다 (그림 20). 500m 정도 떨어진 1시와 2시 사이보다 80m 이내일 것으로 보이는 1시와 5시 사이에서 수직분포 구조의 변화가 크게 나타남으로써 미세구조의 수평적인 이동 또는 변화보다 시간에 따른 변화가 더 큼을 시사하고 있다. 상대적 고염의 구조를 보이는 해수는 앞질의 종관적 분포(그림 17)에서 관측점 A04의 60m 수심에서 나타난 고염수 확장형태로 미루어 관입된 해수가 떨어져 나온 후 변

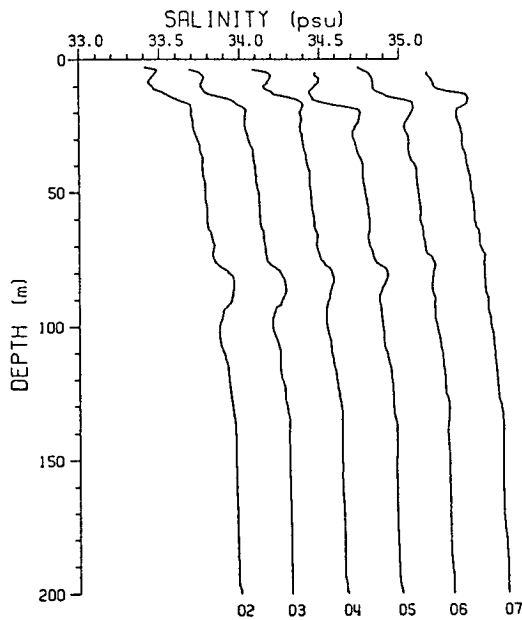
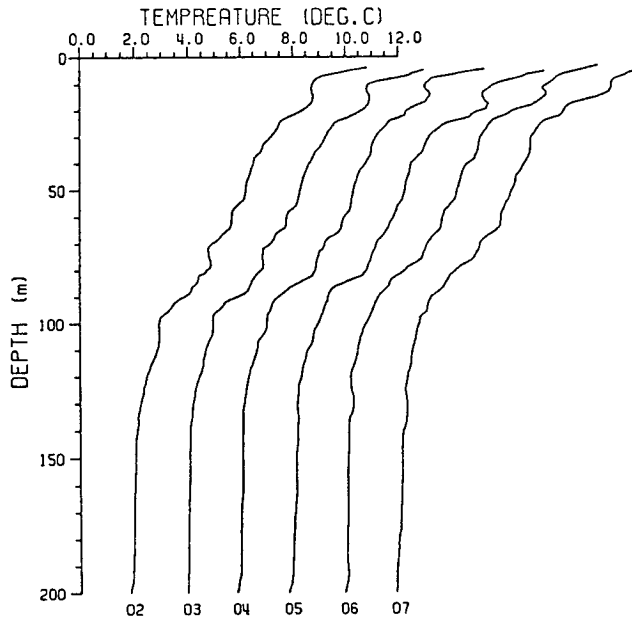


그림 19. 1993년 7월 6일 2시와 7시 사이의 관측점 A2의 관측결과. 위와 아래 그림은 각각 수온과 염분을 나타냄.

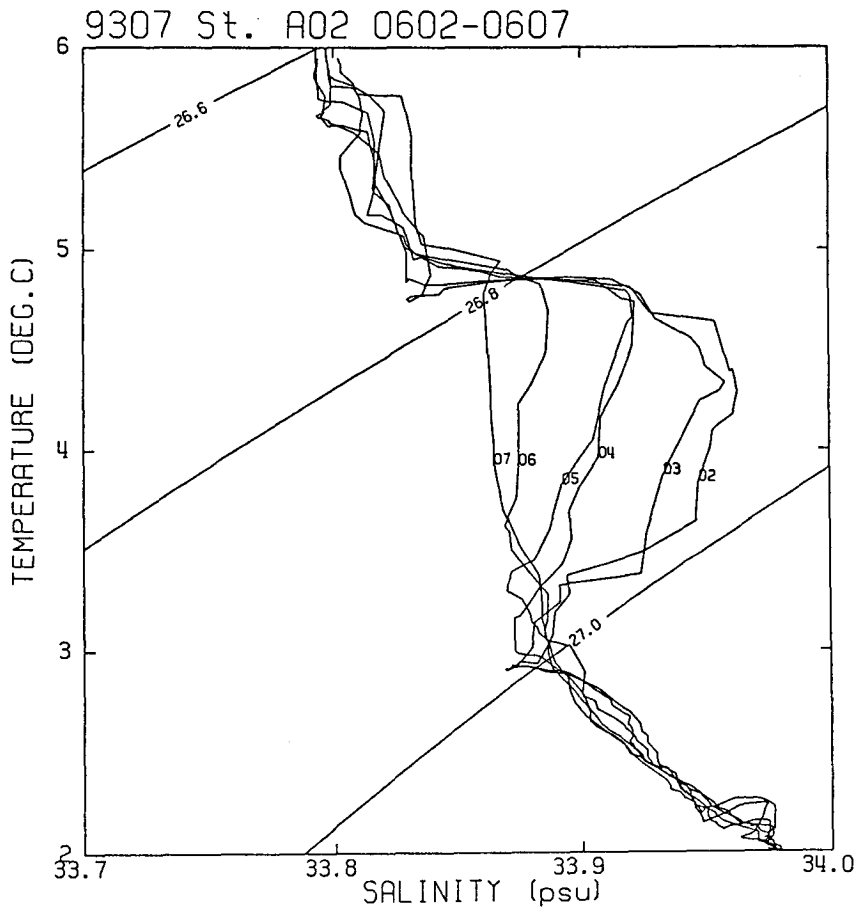


그림 20. 1993년 7월 6일 2시와 7시 사이에 관측된 염분최고층 주위의 TS도.

질된 해수일 가능성이 있고 이는 계속진행중인 혼합과정의 일부분이라 할 수 있다. 그러나 관입이나 혼합과정이 매우 느려 관측기간의 시간범위에서 정형을 유지하던 미세구조가 떠다니는 것을 관측했을 가능성도 있다. 따라서 미세구조의 분포나 변화를 연구하려면 해류의 동시관측이 필요하리라 본다.

관측점 C2 - 정점 C2 부근의 관측점들의 위치는 그림 21에 표시하였는데 선박의 이동간격이 관측점 A2의 경우보다 고르게 나타났다. 바람은 약하였고 (표 3) 관측이 수행된 7월 9일과 10일은 소조기에 가까와 조류도 미약하였기 때문에 관측선박의 이동은 해류에 의한 것으로 판단된다. ADCP 자료(그림없음)는 표층 가까이에서 약 10cm/sec 크기이고 저층으로 갈수록 감소하면서 전층이 선박의 이동방향과 일치하는 남서류가 있음을 보여 이를 뒷받침하고 있다. 수직 미세구조는 A2 자료보다 더욱 복잡하게 나타났다. 그림 22는 9일 20시 자료로 50m 수심 부근에 20m 두께의 수온 4.8℃ 및 염분 33.95psu의 상대적으로 고온고염수와 70m 수심에 10m 두께의 수온 3.5℃ 및 염분 33.90psu인 저온저염수가 관입된 형태를 보이고 있다. 고온고염수의 핵은 수심이 낮은 연안쪽을 제외하고 모두 보이고 있으며 저온저염수

표 3 . 1993년 7월 관측점 C2의 풍속 (단위: knots).

관측시간	풍속	관측시간	풍속	관측시간	풍속	관측시간	풍속
9일 11시	13	9일 17시	4	9일 23시	2	10일 5시	0
12	9	18	2	10일 0시	6	6	0
13	7	19	1	1	7	7	3
14	14	20	0	2	3	8	5
15	11	21	2	3	4	9	6
16	8	22	2	4	1	10	7

Station C02, JULY 9-10, 1993

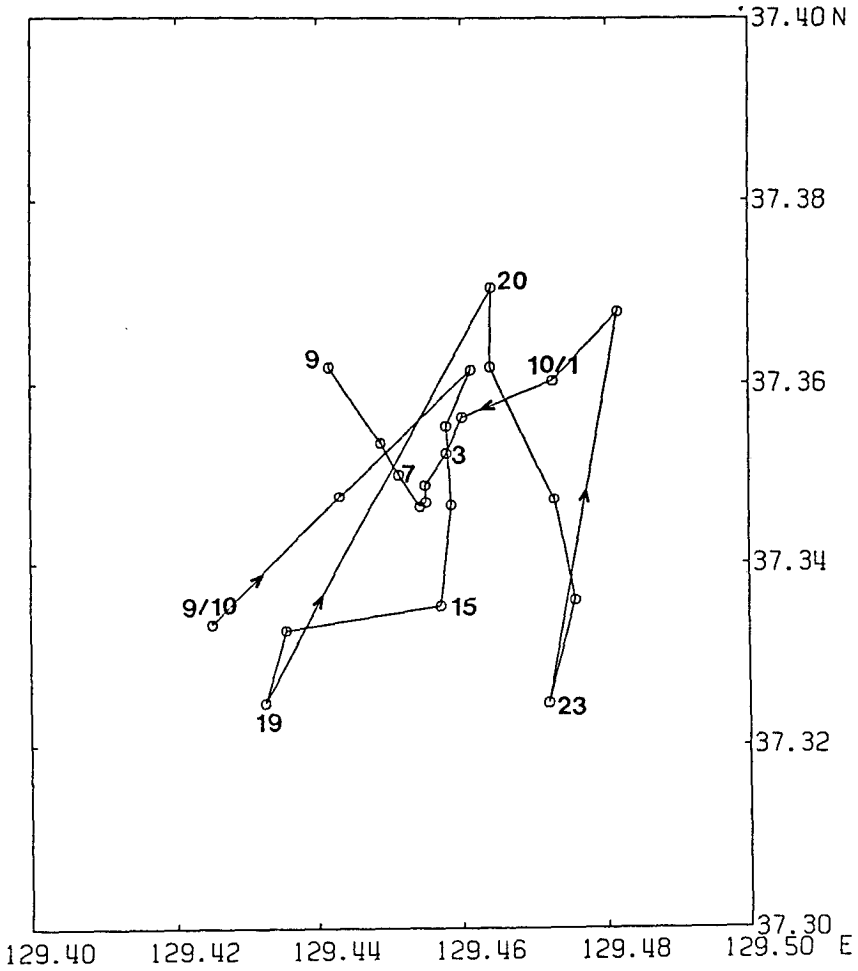
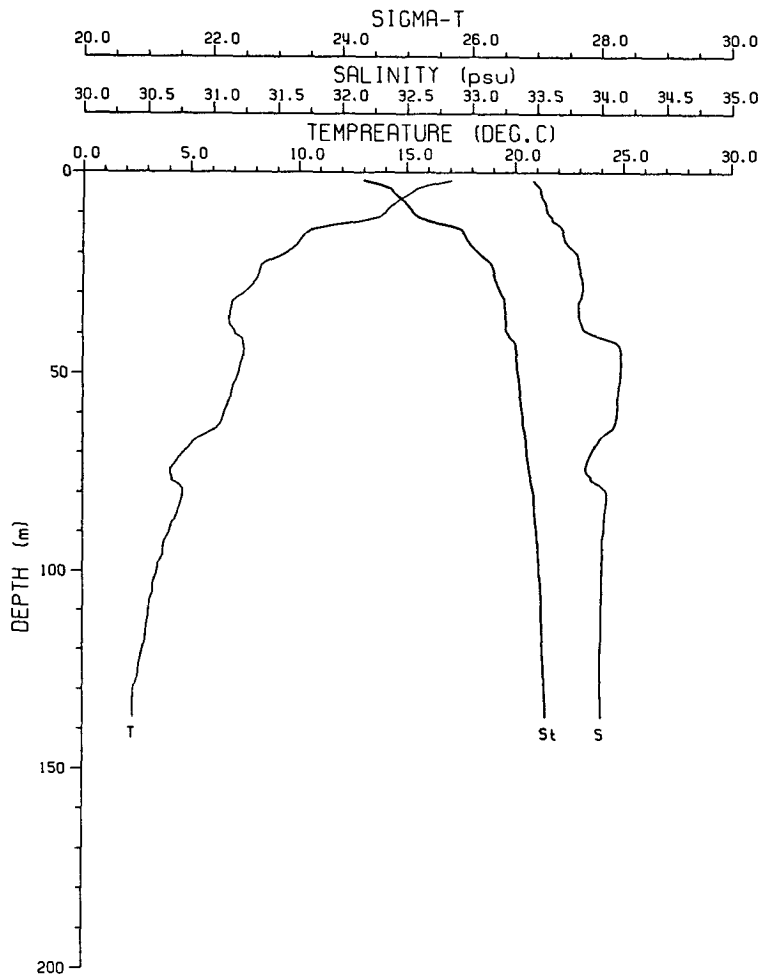


그림 21. 1993년 7월 관측점 C2의 24시간 연속관측때 시간별 관측위치.



STATION : 0920D

그림 22. 1993년 7월 9일 20시 관측점 C2 관측결과.

의 핵은 장소에 따라 발달정도가 다르게 나타났다. 유의할만한 구조 변화의 특징은 수직방향의 이동이 현저한 점이다. 그림 23은 고온고염수 핵의 위쪽 경계의 수심을 시간에 따라 나타낸 것이다. 연안에 위치했던 7월 9일 10, 11, 17, 18시는 제외하면 수심의 승강이 있음을 볼 수 있다. 수심변화의 폭은 9일 22시 부터 10일 3시 까지 20m 까지 하강한 것으로 나타났다. 관측 점들의 위치분포가 약 1km 이내였던 10일 3시 부터 7시 사이에는 그림 24와 같이 내부구조의 모양을 유지하면서 약 3.8m/h의 속도로 상승하여 15m의 수직이동이 있었음을 보여주고 있다. 같은 자료에서 표층의 혼합층의 두께는 계속 얇아지는 경향을 보여 내부에서 발달한 내부파의 진행과정의 영향으로 중층의 해수가 상승하고 질량보전을 위해 표층의 물은 외부로 나가고 저층을 통하여 보충이 되는 기작이 있음을 시사하고 있다. 즉, 내부파가 전층에 영향을 미침을 뜻한다. 1992년 8월에 관측된 부분적인 미세구조의 상승도 내부파의 영향으로 나타난 결과일 가능성이 높다. 부분적으로 나타난 저온저염층의 핵은 10일 3시의 자료와 같이 고온고염의 해수가 관입이 먼저 일어난 후에 이차적으로 진행된 관입의 결과로 생각할 수 있다.

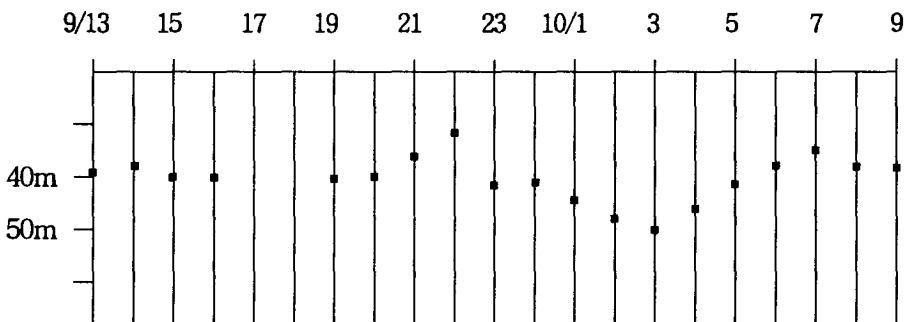


그림 23. 1993년 7월 9일 13시와 10일 9시 사이의 관측점 C2의 국지적인 수온최소층의 수심을 기준으로 본 내부구조 시간별 변화.

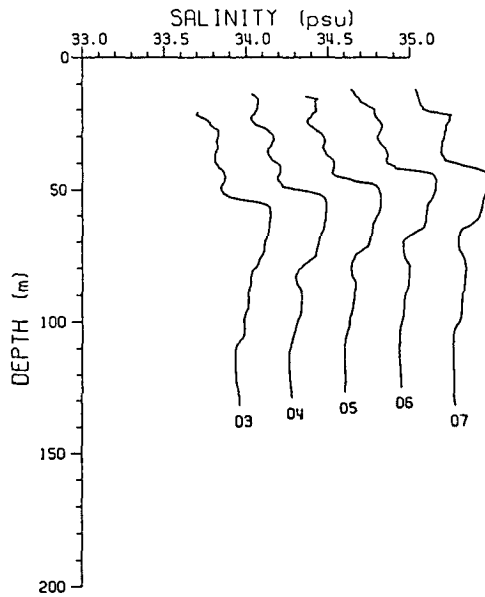
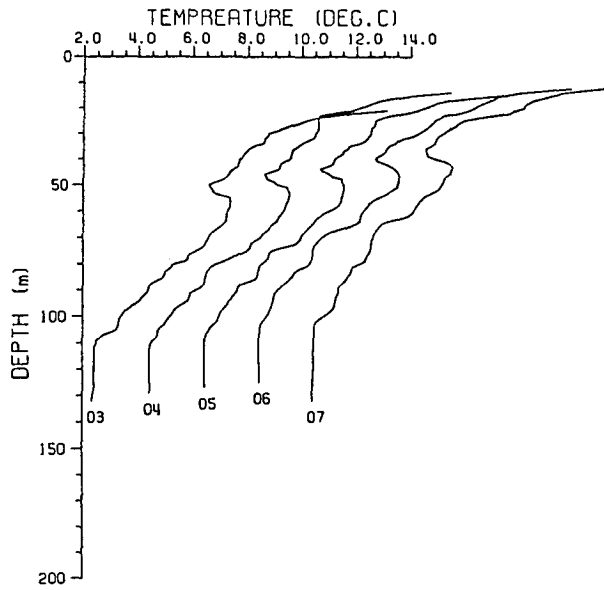


그림 24. 1993년 7월 10일 3시와 7시 사이의 관측점 C2의 관측결과.

제 4 장 토 의

본 장에서는 관측된 수직 미세구조의 분포특징과 가능한 물리적 원인을 살펴보고 본 연구에서 중요하다고 생각되는 관입과 내부파에 대하여 기술하였다.

4.1 수직 미세구조

관측된 수온과 염분의 미세구조는 밀도에 대하여 상호보상적인 특징을 갖는 역전구조와 미세혼합층으로 구분할 수 있는데 전자는 연안역에서 주로 발견되고 후자는 해황이 비교적 단순한 외해역에서 자주 발견되었다. 이들은 수온 및 염분의 수평변화가 많은 해역의 수온약층부근에서 많이 나타났다. 염분의 분포와 비교하여 보면 발견 수심이 염분최고층의 부근 즉, 연안역에서는 고염수 또는 저염수가 확장하고 있음을 암시하는 수심에서, 그리고 외해역에서는 염분최고층의 하부 수심에 해당됨을 나타내어 미세구조 형성의 물리적 과정에 대한 중요한 단서를 제공하고 있다. 연안의 경우는 서로 다른 수괴의 접촉해역의 현상으로 본다면 미세구조의 발달은 두 수괴 사이에서 일어나는 관입의 결과라 할 수 있다. 외해역의 경우는 염분최고층이 난수성 소용돌이 내부이거나 동한난류의 축이거나에 관계없이 미세구조 발견수심(즉, 염분최고층의 아래)이 수평유속의 연직변형이 큰 수심에 해당되기 때문에 유속변형의 불안정에 의한것이라 생각할 수 있고 수온과 염분이 함께 수심에 따라 증가하는 경우에는 이(1993)가 제시한 바와 같이 salt finger 형태의 이중확산도 중요한 물리적 과정일 가능성이 높다.

다양한 수직 미세구조의 존재는 물리적인 이유의 이해유무에 관계없이 이들과 관련있는 물리적 현상이 계속 진행되고 있음을 의미한다. 이는 대한해협을 통하여 공급된 에너지가 매우 활발한 중규모와 미세규모의 현상을 통하여 소멸되고 있음을 의미한다. 에너지 이동의 이해는 해역에 관계없이 수

온약층역학, 혼합층의 형성, 수괴의 수평적인 혼합 및 기후관계 연구에도 필수적이기 때문에 이를 위해서 미세구조 연구에 적절한 현장관측과 실험실 및 해석적 연구가 필요하다고 본다.

4.2 이중확장성 관입

수온 및 염분의 수직 미세구조는 Stommel and Fedorov(1967)에 의해 처음으로 역전층이 발견된 이래 꾸준한 연구의 대상이 되어왔다. 수평혼합을 의미하는 관입은 이러한 역전층의 요인으로 받아들여 졌으며 Stern(1967)은 수온과 염분의 수평구배가 큰곳이면 관입이 자연스럽게 일어남을 이론으로 설명하였다. 전선역의 미세구조는 많은 현장자료와 이론 및 실험실모델 연구를 통하여 기본적인 수온과 염분의 수직분포가 salt finger 형태의 이중확산이 가능한 구조일 경우에 일반적으로 1) 확산성 경계면과 salt finger형 경계면이 반복되는 여러개의 역전층이 있고; 2) 고온고염수의 관입은 위로 경사지면서 이루어지고; 3) 역전층 내에서의 수온 및 염분의 변화는 salt finger flux와 일치한다는 Turner(1978)의 설명을 뒷받침해 왔다. 그림 25는 이러한 상황을 도시한 것이다. 대부분의 전선역 미세구조들은 밀도장에 대하여 수온과 염분이 상쇄적 특성을 보인다는 것도 잘 알려져 왔다 (예, Fedorov, 1983). 본 연구에서 관측된 대부분의 역전층 수온과 염분이 수심 증가에 따라 감소하면서 밀도의 안정을 유지하는 수직구조상에서 형성되고, 역전층내의 수온과 염분의 구조 형태가 유사하기 때문에 전형적인 이중확산성 관입에 의한 결과라는 해석이 가능하다. 이때 상반된 두 수괴들은 고온고염수인 대마난류수괴와 동해안 가까이에서 남하하는 저온저염수인 북한한류계수(Kim and Kim, 1983)로 볼 수 있다.

그러나 1993년 7월의 관측점 A2의 경우처럼 전선역이 아닌 경우에는 이미 변형이 많이 된 해수일 가능성이 많으므로 용존산소도와 같은 다른 자료와 더 자세한 관측이 필요하리라 본다. 또한 그림 19에 보인 바와 같이 기

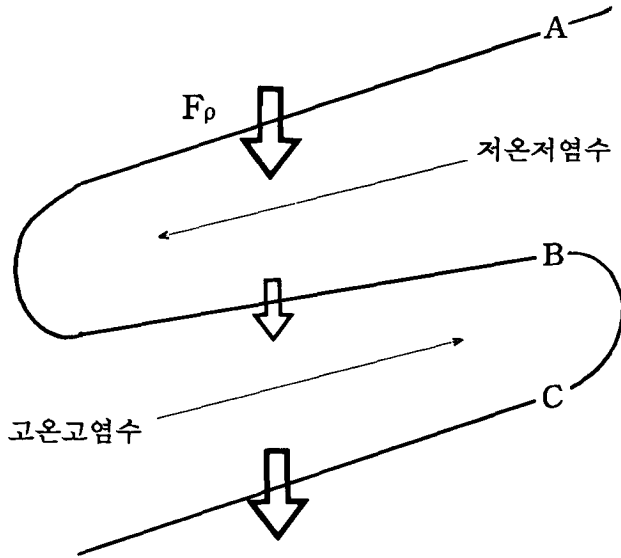


그림 25. 이중확산성 관입. 왼쪽의 고온고염수와 오른쪽의 저온저염수가 관입을 시작하면 경계면 A와 C에서는 salt finger, B에서는 diffusive 형태의 이중확산이 가능하게 된다. 각각의 경우 밀도의 유동(F_ρ)은 아래방향으로 향하며 원래의 수온과 염분 수직분포가 salt finger 형태의 이중확산이 가능한 경우 salt finger 형태의 경계면을 통한 유동량이 diffusive 형태의 경계면을 통한 것 보다 더 크기 때문에 밀도의 발산과 수렴이 일어나게 된다 (Stern, 1967). 즉, 저온저염수의 관입층의 밀도는 높아지고 고온고염수의 관입층의 밀도는 낮아진다. 따라서, 저온저염수와 고염고염수인 두 수괴가 수평적으로 부딪치는 경우 각각 아랫방향과 윗방향으로 경사져서 관입이 계속된다.

본적으로 수온과 염분이 각각 안정된 수직구조를 갖는 경우에는 이중확산성 관입으로는 설명이 되지 않기 때문에 이의 연구가 요구된다.

관입 현상의 두께, 경사도 및 형성속도 등의 이론적 설명은 Ruddick and Turner (1979), Toole and Geori (1981) 및 McDougall (1985) 등에 의하여 시도 되었는데 마찰과 소위 density ratio, $(\alpha \partial T / \partial z) / (\beta \partial S / \partial z)$ 여기서 $\alpha = (-1/\rho) \partial \rho / \partial T$, $\beta = (1/\rho) \partial \rho / \partial S$, 에 크게 의존됨을 밝혔다. 역전층의 두께나 역전층내의 수온과 염분의 변화 크기를 이론적인 결과와 구체적으로 비교하는 것은 본 연구자의 1994년도 기본연구사업인 이론연구에서 수행할 예정이다.

4.3 내부(조석)파의 존재 증거

수온과 염분분포의 내부구조 수직방향 이동은 관측점 C2에서 두드러지게 관측이 되었는데 이는 내부(조석)파의 영향일 가능성이 높다. 관측점 C2는 등수심선이 해안과 평행하고 대륙사면의 상부에 위치하면서 여름철에 성층이 발달되어 일반적으로 알려져 있는 내부조석파 발생해역의 지형적 조건과 밀도구조를 가지고 있다. 특히 1993년 7월의 경우 C2의 관측 시작때 얻어진 ADCP의 자료는 남서쪽 또는 서쪽을 향하는 수평해류가 있었음을 보여주어 등수심선에 수직한 성층수의 이류에 의해 내부조석파가 발생한다는 Baines(1986)의 이론과 부합되고 있다. 그림 23에서 1993년 7월 9일 22시와 10일 7시를 내부조석파의 정점이라 한다면 주기는 9시간 정도 된다. 관측점 C2에서 관성주기(inertial period)가 약 20시간이고 수온약층 깊이에서 Brunt-Väisälä 주기는 수 십분이기 때문에 관측된 내부파는 반일주기의 내부조석파이거나 수온약층보다 안정도가 훨씬 낮은 더 깊은 수심에서 발생했을 내부파일 가능성이 있다. 10일 3시와 7시의 자료를(그림 26) 기준으로 변화폭은 15m 이상일 것으로 판단된다. 이러한 변화폭은 1992년 8월 자료(그림 12)에서도 나타났기 때문에 관측해역에서 일반적으로 존재하는 현상임을

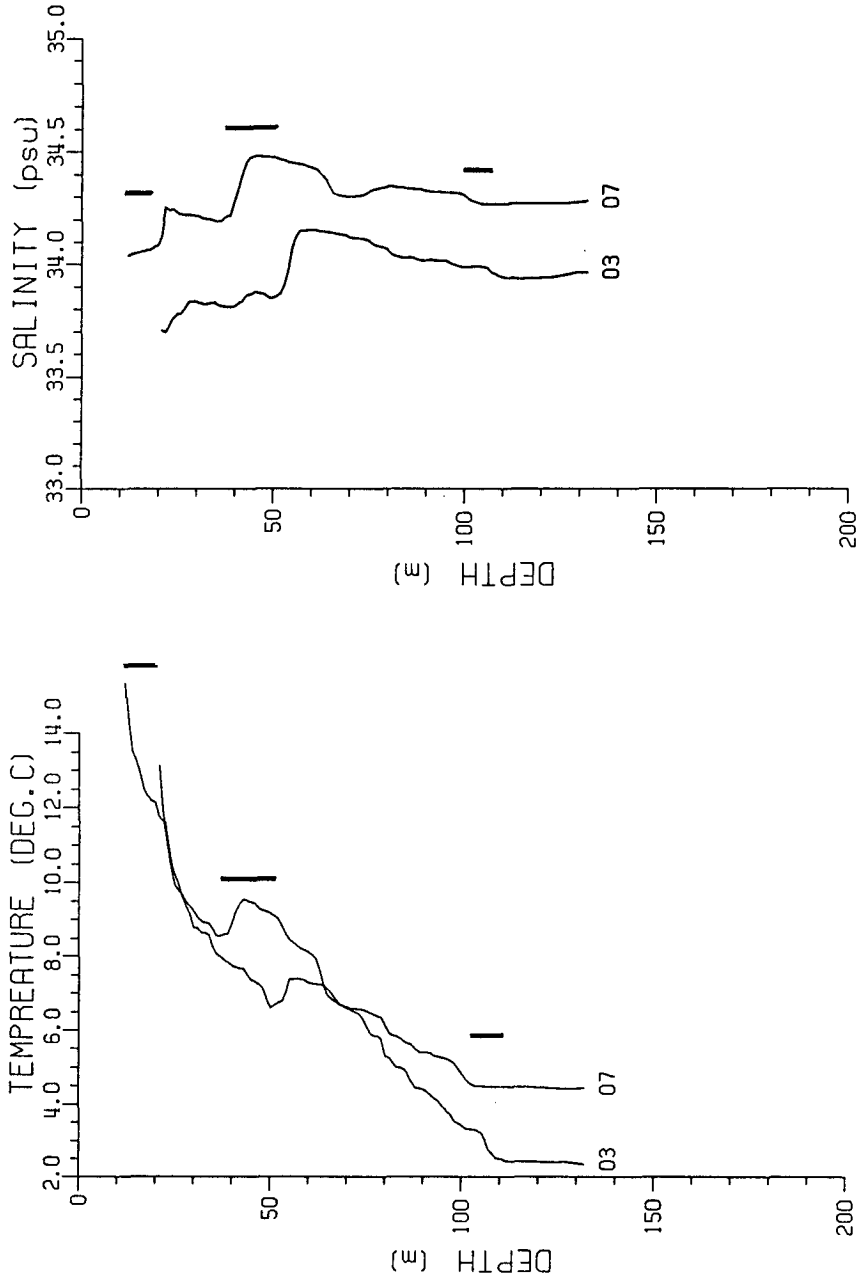


그림 26. 1993년 7월 10일 3시와 7시의 관측점 C2의 자료 비교.

암시하고 있다. 이 등(1992)은 주변 연안해역에서 비슷한 진폭을 갖는 조석 주기의 내부수온변동을 관측하였고 Lim(1991)는 동해안에서 첫번째의 baroclinic 모드에 의한 반일주기의 내부조석 가능성을 제시한 바 있어 내부파 존재를 뒷받침하고 있다. 진폭과 관련하여 한가지 의미있는 사실은 10일 3시와 7시의 자료에서 수온과 염분 구조의 수직이동폭이 수심에 따라 비슷하지 않다는 점이다. 즉, 그림 26에 표시한것과 같이 역전층이 있는 내부에서는 약 15m의 상승을 보였지만 표층 부근과 저층에서는 약 7m의 수직이동을 한 것으로 나타났다. 이는 내부파가 있는 해역에서 물입자의 궤적반경이 발생수심에서 표층이나 저층으로 멀어질수록 작아진다는 이론(Defant, 1961)과 잘 일치하여 내부파 존재 가능성을 뒷받침하고 있으며 발생수심에 대한 암시를 주고 있다. 이는 관측해역이 소규모 소용돌이, 판입, 연안용승과 내부파의 존재로 매우 복잡한 물리적 현상이 공존하고 에너지 이동이 활발함을 의미한다. 만일 내부파의 존재가 맞는 것이라면 이의 발생해역과 전파 및 변형에 관한 연구가 필요하리라 보며 이를 위해서는 여러 지점에서의 장기간 동시 관측과 해류의 측정이 있어야 할 것이다.

제 5 장 결 론

1992년 7월과 1993년 8월에 동해 중서부해역에서 CTD로 측정한 수온과 염분의 수직 미세구조를 분석하여 얻어진 주요 결과들은 다음과 같다.

1. 수온과 염분의 수직 미세구조는 밀도에 대하여 보상적인 영향을 주는 형태로 형성된 역전층과 약한 혼합층이 대부분이고, 전자는 연안역에서 주로 발견되고 후자는 해황이 비교적 단순한 곳에서 자주 발견되었다.
2. 혼합층의 수직방향 크기는 1-3m로 매우 얇은 반면 역전층의 수직방향 크기는 대부분 3-4m로 나타났다. 역전층내의 수온과 염분 평균변화폭은 각각 0.3°C 및 0.2psu 로 나타났다. 그러나 역전층의 크기와 수온 및 염분의 구배는 전선과의 거리에 따라 변화가 크리라 사료된다.
3. 역전층 구조는 남쪽에서 유입된 고온고염의 대마난류수와 북쪽의 상반된 해수가 만나 야기된 관입의 결과로 판단된다. 연안 가까이에서는 앞의 두 수괴라기 보다는 변질된 해수들 간의 관입일 가능성도 있다.
4. 역전층의 위아래 경계면에서는 이중확산에 의한 에너지의 연직유동 (vertical flux)이 활발하리라 생각되며 구체적인 연구를 위해서는 측정오차가 낮은 (특히 염분자료의) 정밀한 관측이 요구된다.
5. 외해역의 약한 혼합층은 주로 수평유속의 연직변형 불안정에 의한 것으로 사료되며 수온과 염분이 모두 수심에 따라 감소하는 경우에는 이중확산도 중요한 물리적 과정일 수 있다.
6. 24시간 연속관측 자료의 분석결과 관측점 C2에서는 내부구조의 연직이동이 7-15m의 폭으로 나타났다. 이는 내부파에 의한 것으로 생각되며 자세한 파악을 위해서는 여러 관측점에서의 동시 관측과 계류에 의한 해류관측이 필요하리라 본다.

이상의 결과들은 1992년도 연구결과와 함께 동해에는 다양한 수직 미세구조가 존재하고 이들과 관련있는 물리적 현상이 계속 진행됨을 보여주고 있다. 이는 대한해협을 통하여 공급된 에너지가 매우 활발한 중규모와 미세규모의 현상을 통하여 소멸되고 있음을 의미한다. 에너지 이동의 이해는 해역에 관계없이 수온약층역학, 혼합층의 형성, 수괴의 수평적인 혼합 및 기후관계 연구에도 필수적이기 때문에 이를 위해서 미세구조 연구에 적절한 현장관측과 실험실 및 해석적 연구가 필요하다. 본 연구자가 수행할 1994년도 기본연구사업에서는 1992, 1993년도 자료분석 결과를 참고하여 관련된 물리적 현상들에 대한 이론 연구를 수행할 계획이다.

謝意 - 본 연구에서 사용한 자료의 획득에 참여한 해양물리연구부 여러분과 조사선 이어도호의 승선원들께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 김철수 외 7인, 동해에서의 중규모 해황변동에 관한 연구, 한국해양연구소, BSPN 00187-611-1, 84pp.
- 이재학, 1993, 동해 남서해역의 수온 및 염분 수직 미세구조 연구, 한국해양연구소, BSPE 00363-577-1, 36pp.
- 이홍재, 신창용, 송영호, 1992, 동해 죽변 연안해역에서 조석주기의 내부수온 변동, 한국해양학회지, 27, 228-237.
- Baines, P.G., 1986, Internal tides, internal waves, and near-inertial motions, In: *Baroclinic processes on continental shelves*, Ed. by C.N. K. Mooers, AGU, Washington, D.C., 19-31.
- Defant, A., 1961, *Physical Oceanography*, Vol. II, Pergamon Press, New York, 590pp.
- Fedorov, K.N., 1983, *The Physical Nature and Structure of Oceanic Fronts*, Lecture notes on Coastal and Estuarine Studies, 19, Springer-Verlag, New York, 333pp.
- Kim, C.H. and K.Kim, 1983, Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea, J. Oceanol. Soc. Korea, 18, 73-83.
- Lim, K-S., 1991, Internal tides in an axially symmetric basin, J. Oceanol. Soc. Korea, 26, 133-143.
- McDougall, T.J., 1985, Double-diffusive interleaving. Part I: linear stability analysis, J. Phys. Oceanogr., 15, 1532-1541.
- Ruddick, B.R. and J.S. Turner, 1979, The vertical length scale of double-diffusive intrusion, Deep-Sea Res., 26, 903-913.
- Stern, M.E., 1967, Lateral mixing of water masses, Deep-Sea Res., 14, 747-753.

- Stommel, H. and K.N.Fedorov, 1967, Small scale structure in temperature and salinity near Timor and Mindanao, *Tellus*, **19**, 306-325.
- Toole, J.M., and D.T. Georgi, 1981, On the dynamics and effects of double-diffusively driven intrusions, *Prog. Oceanogr.*, **10**, 121-145.
- Turner J.S., 1978, Double-diffusive intrusions into a density gradient, *J. Geophys. Res.*, **83**, 2887-2901.