

'95년 한국동해에서의 수온전선과 와동류의 구조 및 특성조사⁺

임근식* · 왕갑식* · 윤재열* · 김기철** · 김영규*** · 김구***
(96년 2월 12일 접수)

The characteristics and structures of thermal front and warm eddy
observed in the Southeastern part of the East Sea in 1995

Keun-Sik Lim* · Kap-Sik Wang* · Jae-Yul Yun* · Ki-Cheol Kim** ·
Young-Gyu Kim*** · Kuh Kim***

Key Words : Thermal Front(수온전선), Warm Eddy(와동류), Intermediate Water(중층수),
East Sea Proper Water(동해고유수), North Korea Cold Water(북한한류수),
Tsushima Warm Water(대마난류수)

Abstract

The characteristics and fluctuations of structures and spatial distributions of thermal fronts and warm eddy in the Southeastern part of the East sea are discussed based on the data collected by the Naval Academy, Korea during Feb. 6-9, May 9-19 and Oct. 12-18, 1995. The thermal fronts existed very often at the sea off the Pohang-Ulsan. The generation of the thermal front is related with the development of the North Korea Cold Current. The warm eddy is located in the central part of the Ulleung basin where the local depth exceeds 1500m. This warm eddy is quasi-ellipse, having a diameter of approximately 150km. This large anticyclonic eddy is a major contributor to mass transport in the northern part of the East Sea. It is evident that knowledge of warm eddy is important in understanding the circulation in the western part of the East Sea.

+ 이 논문은 1994년도 교육부 학술연구조성비(해양·수산과학분야)에 의하여 연구되었음

+ 1995년 10월 27일 한국해양공학회 학술대회 발표

* 해군사관학교 해양학과

** 동아대학교 해양공학과

*** 서울대학교 해양학과

1. 서론

동해는 북태평양의 연해로서 평균수심이 1,600m 이고 크기는 남북과 동서방향으로 약 1,000 km이다. 대한해협, 쓰가루해협 등 수심 200m 이하의 해협을 통하여 해수가 동해와 북태평양간에 교환되는 것을 제외하고는 거의 전부 폐쇄되어 있는 해양이다. 동해에는 대양의 서안강화류와 비슷하게 대마난류의 한지류가 한반도 연안을 따라서 북상하고, 대마난류의 북쪽경계에 전선이 나타나며, 그 북쪽에서 심층수가 형성되는 등 그 순환이 대양과 유사하여 동해를 대양의 축소판으로 생각하기도 한다. 한반도 주변의 난수역은 대체적으로 대한해협으로부터 유입되는 대마난류의 영향을 받으며, 대마난류수의 수송량은 약 3 sv로서 여름에 최대가 되고 겨울에 최소가 된다⁶⁾.

대한해협을 통과한 대마난류는 2 분지 또는 3 분지(branching)로 나누어져 북상하여 쓰가루해협 또는 쓰야해협으로 빠져 나가게 되는데, 현재 3 분지설이 유력하지만 분명한 증거제시가 불충분하다. 어느경우에나 대마난류는 대한해협으로 유입한 후 한국연안을 따라서 북상하는 동한난류와 일본연안을 따라 북상하는 일본연안지류로 분리된다. 난류 각 분지의 오른쪽에는 소규모의 난류성 와동류가 존재하면서 띠모양의 난수역을 형성한다⁷⁾. 특히 제 2 분지의 오른쪽(남쪽)에 형성되는 난류중층수의 특징은 다른 분지의 것보다 고온고염이다. 난류 각 분지의 북쪽에는 대규모의 냉수성 와동류가 있어 뚜렷한 냉수역을 형성한다. 가을이 되면 제 1 분지는 극도로 약해지고 제 3 분지류는 제 2 분지류에 합친 형태가 된다. 겨울이 되면 제 2 분지류도 약해져 고립상태로 분포하고 있던 냉수역의 연결이 뚜렷해진다. 여름에는 존재가 불분명하던 각 난수역이 분명해진다. 그리고 각 난수역의 주변을 크게 사행하던 남북방향의 흐름이 탁월하다. 봄이 되어 대마난류의 세기가 강해지면, 지금까지 크게 돌던 사행상태의 해류는 냉수역의 중심부를 피하면서 각각 인접한 각 난수역 사이를 연결하게 된다.

대한해협의 동수도에서는 대마난류가 전층에 걸쳐 나타나 해저지형의 영향을 받지만 서수도에서는 대마난류수의 두께가 수심보다 작기 때문에 해

저지형의 영향을 적게 받는다. 따라서 동수도를 지난 대마난류수는 등수심선을 따라 흐르게 된다고 하였다³⁾. 대한해협 서수도를 통과한 대마난류는 planetary- β 효과에 의해 동해안을 끼고 계속하여 북상하게 되는데, 이 해류는 북위 38도 부근에서 이안하게되며, 이안된 동한난류는 사행을 하면서 대체로 동쪽으로 이동되어 간다. 결국은 일본연안 지류와 합류한 후 쓰가루해협 또는 쓰야해협을 통해 빠져나간다. 동해에서는 대마난류의 사행에 따라 각 분지의 좌측에는 대규모의 냉수성 와동류가 있고, 우측에는 소규모의 난수성 와동류가 있다. 냉수역과 난수역의 식별은 각각 100m층의 수온분포와 200m층의 수온분포로 명확하게 그의 존재를 알 수 있다. 냉수역에서는 해수의 상승이 있으며 그의 밖에서보다 저온이며, 난수역에서는 침강이 일어나며 고온이 된다. 난수역에서는 400m가량의 수심까지 고온으로 되어 있어 그 수심까지 따뜻한 표층수의 침강이 미치고 있음을 보여 주고 있다. 대마난류의 사행이 해저지형에 관계된다면 냉수역, 난수역의 존재위치도 거의 정해져 있다고 하지만 이것은 해저지형과 관련이 있다고 할 수 있다. 동한난류와 냉수역사이에 형성된 해양전선 주위에는 소규모에서 중규모에 이르는 많은 와동류가 발생되고 있다. 남하하는 북한한류와 북상하는 동한난류가 서로 접하여 동해안을 따라 평행하게 수온전선이 형성되며, 이 수온전선은 사행하면서 존재한다. 냉수역의 북한한류는 동해안을 따라서 남하하다가 북위 38도 부근에서 북상하는 동한난류와 만나 극전선을 따라 동쪽으로 흐르는 것으로 알려져 있으나 때로는 포항, 울산까지 남하하는 경우도 있다. 동해의 와동류는 수온수평단면도에서 원형 또는 타원형으로 등온선이 나타나는데 중심이 주위보다 따뜻한 난수형 와동류와 주위보다 찬 냉수형 와동류가 존재하고 있다. 그 중 난수형 와동류는 대마난류와 관련하여 많이 연구되었는데, 그 수평적인 크기는 100km 정도이고 수직적으로는 수온약층이 주위보다 깊어진 사발형태이다. 특히 해양조사자료의 연구 결과 울릉도 주변에는 거의 매년 난수역이 형성되고 있다. Kang and Kang²⁾들은 수산진흥원의 해양자료를 사용하여 울릉도 부근의 해역에서 난수역의 존재, 이동방향 및 대마난류와

의 관계에 대하여 설명하였다. 그 결과 동해 남서해역에는 거의 매년 1-2개씩의 난수성 와동류가 존재하고 있으며, 북쪽 또는 서쪽으로 이동한다고 밝혔다.

본 연구에서는 동해 울릉분지를 포함한 동해중부해역부터 대한해협까지 수온전선 및 난수성 소용돌이의 특성과 변화에 관하여 관측한 자료를 분석, 연구하였다.

2. 관측방법 및 수괴의 정의

1995년 2월, 5월과 10월에 동해 수온전선과 와동류를 조사하기 위하여 CTD시스템을 사용하여 약 15 - 20km 간격으로 수온 및 염분 관측을 실시하였다. 관측 수심은 약 500m 또는 해저까지 정하였다. 1995년 2월에는 4개 정선의 17개 정점, 5월에는 7개 정선에서 총 33개의 관측점에 대해 CTD관측을 실시하였고, 10월에는 5개 정선에서 37개의 관측점에 대하여 CTD관측 및 XBT관측을 실시하였다 (Fig. 1). CTD(Conductivity - Temperature-Depth) 조사는 SEA-BIRD 사의 SBE-19, SBE-25를 사용하였으며, CTD 자료는 하강시의 자료만을 사용하여 매 1 m간격으로 평균을 취하였다. 현장에서의 CTD 하강속도는 약 1 m/sec를 항상 유지하였다. CTD에 의해 관측된 염분값의 정확도를 검증하기 위하여, 5월에는 2개 정점에서 SBE-19와 SBE-25로 동시에 관측하였다. 해양전선과 난수성 소용돌이는 매년 발생되는데, 해양전선은 쉽게 판별되어 진다. 10 km의 간격에 수온이 2.0 - 3.0°C의 변화가 있으면 이를 해양전선으로 정의한다. 수심 100m층의 수온수평분포는 수온전선의 중심축의 변화를 파악하는데 중요한 자료가 된다. 동해에서 50 - 100 km의 파장을 지닌 수온전선이 사행하는 특징을 100m층의 수온자료에서 볼 수 있다. 이런 파장은 여러형태로 겹쳐 나타나며 시간의 변화에 따라 사행의 파장이 증가하는 것을 알 수 있다. 해양전선은 연안해양에서 매우 중요한 현상이고 그 변화를 이해하는 것은 연안의 해양순환을 설명하는데 본질적인 문제이다.

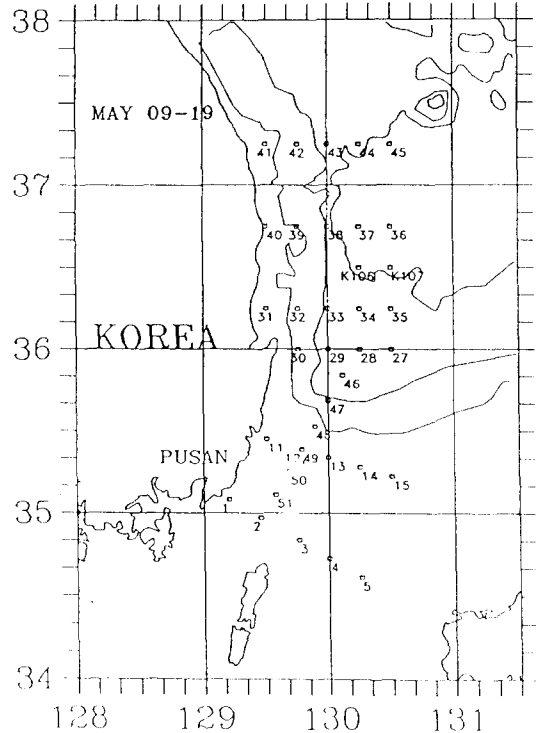


Fig. 1 Map of oceanographic stations observed during May 09-19, 1995

동해에 분포하는 해수는 수심별로 표층으로부터 저층까지 크게 네가지로 구분할 수 있다. 저층의 표층수 (surface water)는 구소련, 한국과 일본으로부터의 육수유입과 대한해협을 통한 동중국해해수의 유입에 의해 형성되며, 일반적으로 여름철 계절 수온약층 상층의 해수로 정의한다. 표층수 아래의 중층수 (intermediate water)는 극전선 남쪽의 난수역에서는 대마난류에 의해 운반되는 고온고염의 대마난류수를, 그리고 냉수역에서는 높은 용존산소값을 갖는 해수로 정의한다. 동해고유수 (East Sea Proper Water)는 동해내 해수의 대부분을 차지하는 수온 1.0°C 미만의 수직적으로 균질한 해수로 정의하고, 난수역의 동해고유수와 중층수 사이에 나타나는 수온 1.0 - 4.0°C, 그리고 용존산소 극대층으로 특징되는 해수로서 따로 정의된다. Kim and Chung⁴⁾들은 이 해수를 동해중층수 (East Sea Intermediate Water)로 명명하였고, 동해중층

수는 '용존산소 최대층'일 뿐만 아니라 '염분 최소층'으로 특징지워짐을 보고하였다. Kim et. al¹⁾들은 동해중층수가 동해고유수와 함께 동해 북부의 분지에서 형성되어, 울릉분지 내에서 영구 수온약층 밑으로 퍼져나감을 제시하였다. 김 등¹⁾들은 동해중층수는 염분의 최소값을 보일 뿐만 아니라, 결빙기 용존산소, 질산염, 인산염, 규산염의 농도가 모두 그 위나 아래 깊이에 비하여 작게 나타남을 보였다. 울릉분지내 염분 최소층 (< 34.0‰)의 해수가 북한한류수에서 기원하는 것과, 울릉도 북부에서 남쪽으로 확장하는 동해중층수에서 기원하는 두가지로 이루어져 있음을 제시하였다²⁾.

3. 관측 결과 및 고찰

3.1 95년 2월 동해 와동류의 특성분석

Fig. 2에서는 95년 2월에 관측한 수심 100 m에서의 수온, 염분, 밀도의 수평분포를 나타낸다. 겨울철 수온의 수평분포 특성은 한국연안역과 울릉도 남동부 해역에 상대적으로 수온이 낮은 해수가 분포하며 두 냉수괴 사이에 고온의 해수가 분포한다. 수심 100 m와 수심 200 m층에서는 수온 11.0 °C 이상의 난수성 와동류가 북위 37도, 동경 130도 30분을 중심으로 자리잡고 있다. 난수성 소용돌이의 형태가 타원체로 주위보다 수온이 높은 해수가 분포한다. 94년 11월에 한국해양연구소에서 관측한 수심 100m - 200m층의 수온분포와 비교하여 보면, 난수성 소용돌이의 위치와 형태가 변화했음을 알 수 있다. 즉, 94년 11월에는 동해연안에 평행하면서 연안가까이에 위치하고 있었는데, 95년 2월에는 동해연안에서 멀어지면서 동해연안에 평행하지 않고 울릉도와 영일만을 잇는 방향으로 자리잡고 있다. 난수성 소용돌이의 중심수온은 16.0°C에서 12.0°C로 낮아졌다. 한국연안역의 냉수괴와 타원형태의 난수성 소용돌이 사이에 수평적으로 수온 3.0 - 11.0°C의 강한 수온전선이 형성되어 있으며, 외해쪽에도 북동방향으로 강한 수온전선이 형성되어 있다. 수심이 깊어질수록 수온전선은 보다 외해쪽에 나타난다. 94년 11월에 관측한 수온전선과 비교하여 보면, 11월의 수온전선의 축이 동해연안에 평

행하게 형성되어 있는 반면에 95년 2월에는 수온전선의 축이 북동쪽 방향으로 변화하고 있다. 이는 난수성 소용돌이의 연안쪽 가장자리에 형성된 수온전선이기 때문이다. 수심 300 m층에는 난수성 소용돌이의 특징이 분명하게 보이지 않는다. 이는 난수성 소용돌이의 영향이 많이 약해졌음을 보여준다.

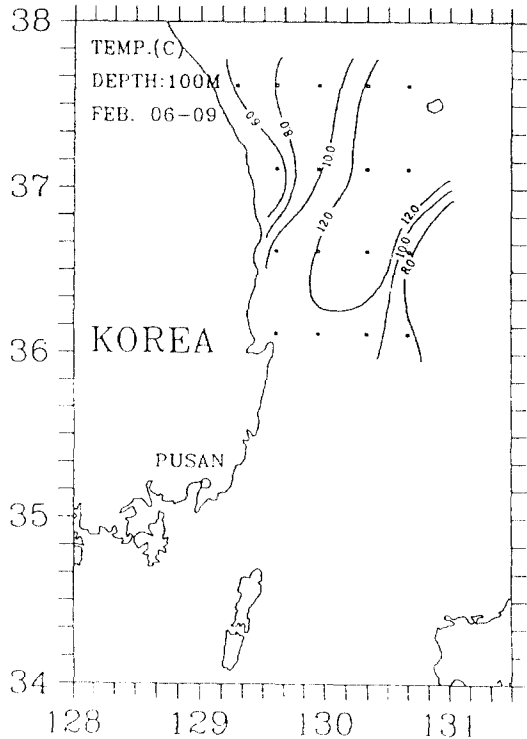


Fig. 2 Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 100m depth during Feb. 06-09, 1995

표층의 염분분포는 34.0‰ 이상의 염분의 해수가 남쪽과 북쪽으로 양분되어 분포하고 있고 33.0‰ 이하의 염분의 해수는 동서방향으로 자리잡고 있다. 100 m층의 염분분포를 보면 34.40‰ 이상의 해수가 난수성 소용돌이로 표시되는데 이는 울릉도에서 포항쪽을 연결하는 축을 중심으로 타원체로 형성되어 있다. 난수성 소용돌이를 중심으로 34.40‰에서 34.20‰ 이하로 염분이 약해지고 있다. 34.20

% 이하의 해수의 분포를 보면 연안가까이에는 측면에서 속초쪽에 있고 외해쪽에는 울릉도 남쪽에 자리잡고 있다. 200 m층에는 난수성 소용돌이의 중심에 34.30% 이상의 염분이 있고 그외에는 34.10% 이하의 염분이 분포하고 있다. 300 m층에는 34.02 - 34.06% 분포로 난수성 소용돌이의 형태가 거의 보이지 않는다.

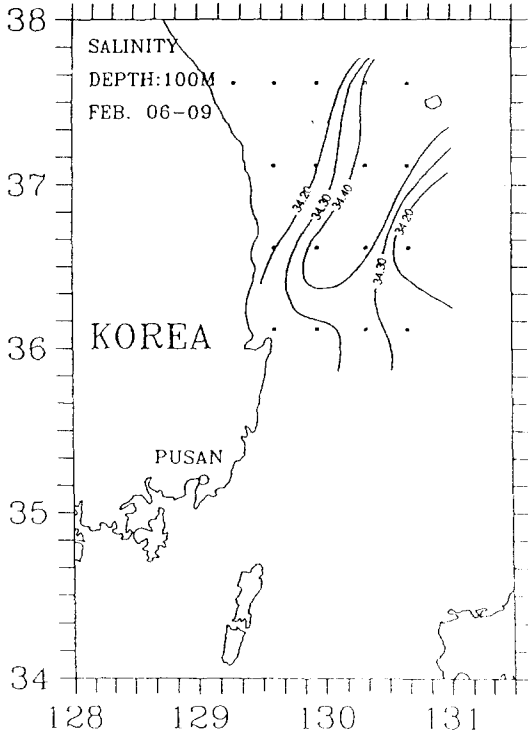


Fig. 2 Continued 1

표층의 밀도분포를 보면 속초연안 가까이 $\sigma_t = 24.00$ 이하로 분포하고 있고 25.00 - 26.00 사이의 밀도분포는 연안에 평행하게 형성되어 있다. 100 m층의 밀도분포는 수온분포와 비슷하고 난수성 소용돌이의 중심부에는 26.10 이하의 σ_t 가 분포하고 있다. 한국 동해안의 냉수역 분포에는 밀도가 높게 나타난다. 수심 200 m층에는 26.40 - 27.20의 밀도가 분포하고 있는데 울릉도에서 포항 쪽으로 연결하는 방향으로 등밀도선이 분포하고 있다.

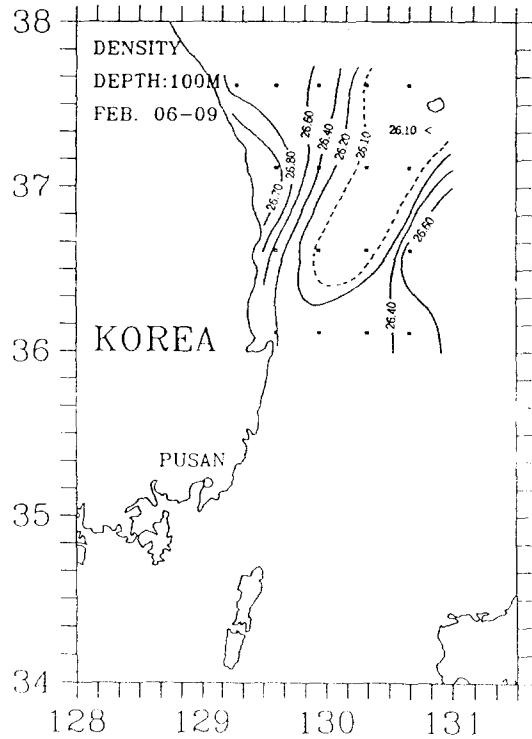


Fig. 2 Continued 2

3.2 95년 5월 수온전선의 수평적 분석

Fig. 3에서는 95년 5월에 관측한 수심 100 m층에서의 수온, 염분, 밀도의 수평분포를 나타낸다. 봄철 수온의 수평분포 특성은 일반적으로 대마난류의 수송량증가로 대한해협 입구에서부터 울릉도 해역까지 북쪽으로 진행할수록 낮은 수온이 분포하고 있다. 표층에서는 17.0 - 15.0°C의 수온이 분포하고 있다. 동해 측면부근 해역에는 13.0 - 14.0°C의 상대적으로 낮은 수온이 분포하며 냉수의 영향을 받고 있다. 100 m층의 수평분포를 살펴보면 동해연안해역을 제외하고는 대한해협 입구부터 울릉도해역에 걸쳐 10.0°C 이상의 수온이 분포하고 있다. 동해연안 50 km이내에서는 2.0°C 미만의 수온이 동해 해안선에 평행하게 분포하고 있다. 대만 난류와 냉수괴사이에는 강한 수온전선이 자리잡고 있는데 이는 95년 2월의 수온분포와는 다르게 분포하고 있다. 수심 100 m와 수심 200 m층에서는 난수성 소용돌이가 뚜렷하게 관측되지는 않는다. 94년

11월에 한국해양연구소에서 관측한 수심 100m - 200m층의 난수성 소용돌이가 95년 2월에는 위치와 형태가 크게 변화하였고, 95년 5월에는 좀더 북쪽으로 이동하였던지 아니면 소멸되고 있음을 알 수 있다. 수온전선의 중심축의 변화를 보면 94년 11월에는 동해연안에 평행하면서 연안가까이에 위치하고 있었고 95년 2월에는 동해연안에서 멀어지면서 동해연안에 평행하지 않고 울릉도와 영일만을 잇는 축선상에 자리잡고 있다. 95년 5월에는 동해연안에 평행하게 분포하면서 연안에서 멀어진 것을 알 수 있다. 수심 200 - 300m층을 살펴보면 울릉도부근 해역에서 상대적으로 높은 수온이 보이며 전반적으로 1.0 - 6.0°C 사이의 수온이 분포하고 있다. 뚜렷한 수온전선이나 난수성 소용돌이가 보이지 않는다. 이는 100m 층에서 보였던 수온전선이 300m층 이심에서는 크게 영향이 미치지 못함을 알 수 있다.

표층의 염분분포는 34.50% 이상의 고염분의 해수가 대한해협 입구쪽과 울릉도북쪽으로 양분되어 분포하고 있고 34.30% 이하의 염분의 해수는 동해연안역에 자리잡고 있다. 34.40% 이상의 고염분 분포로 보아 대마난류의 특성을 지닌 해수가 동해전역에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 100 m 층의 염분분포를 보면 34.10 - 34.40% 이상의 해수가 전선으로 표시되는데 이는 동해연안에 거의 평행하게 분포하고 있다. 이 결과는 수온분포와 잘 일치하고 있다. 난수성 소용돌이를 나타내는 염분분포는 보이지 않는다. 동해연안역에서는 34.10% 이하로 염분이 분포하고 있는데 이는 냉수괴를 나타내고 있다. 200 m층에는 전선의 형태가 전혀 보이지 않고 있다. 울릉도부근 해역에서 34.20% 이상의 해수가 있고 그외에는 34.10% 이하의 염분이 분포하고 있다. 300 m층에는 34.04 - 34.06% 분포로 전선이나 난수성 소용돌이의 분포가 보이지 않는다.

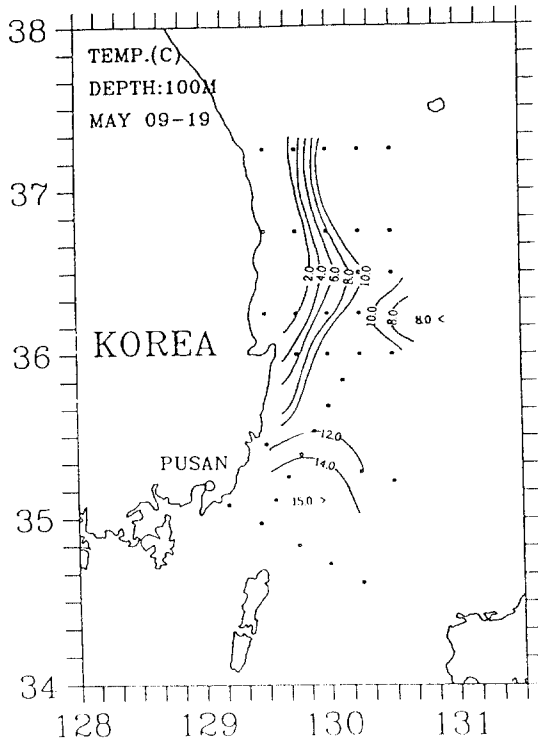


Fig. 3 Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 100m depth during May 09-19, 1995

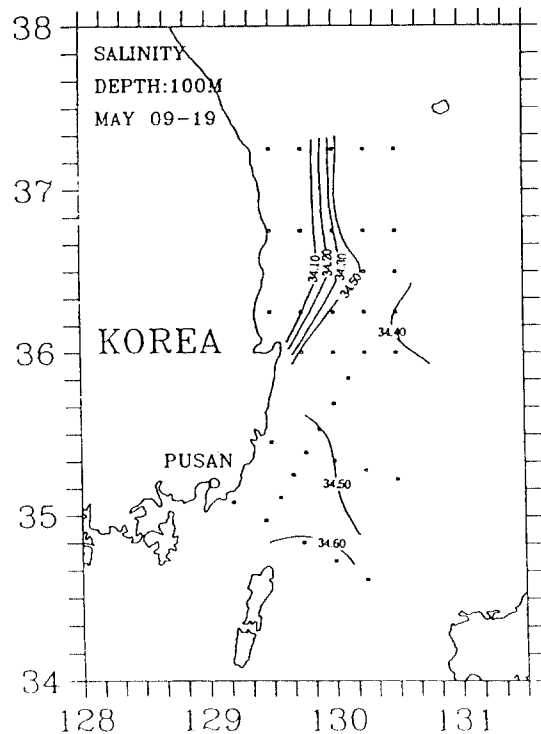


Fig. 3 Continued 1

표층의 밀도분포를 보면 수온분포와 비슷하고 죽변연안 가까이 $\sigma_t = 26.00$ 이상으로 고밀도 분포하고 있고, 25.20 - 25.50 사이의 밀도분포는 대한해협입구에서 울릉도부근 해역까지 위도에 평행하게 분포하고 있다. 100 m층의 밀도분포는 수온분포, 염분분포와 비슷하고 전선의 중심축에는 26.40 - 27.20 사이의 σ_t 가 분포하고 있다. 한국 동해안의 냉수역 분포에는 27.20 이상의 고밀도가 분포하고 있다. 그외 해역에서는 26.00 - 26.40 의 밀도가 분포하고 있다. 200 m층에는 27.00 - 27.30의 밀도가 분포하고 있는데 전선이나 난수성 소용돌이의 형태가 전혀 보이지 않는다. 300 m층에서는 27.20 - 27.30의 밀도분포가 존재하는데 이는 뚜렷한 해양현상을 보이지 않는다.

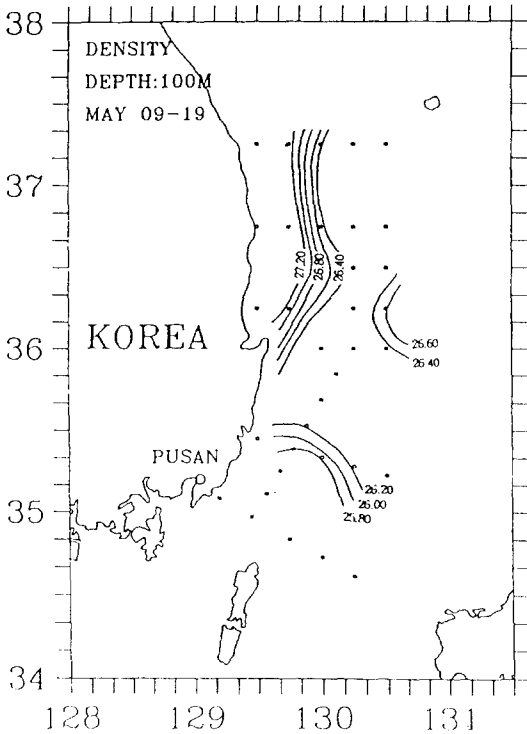


Fig. 3 Continued 2

3.3 수온전선의 수직적인 분포

Fig. 4에서는 동해안의 북위 36도 15분을 기점으로 동쪽으로 관측한 단면이다. 수온단면을 보면,

등수온선이 오목한 형태를 취하면서 정점 33에서 최저점 200m에 달하고 있다. 연안역에서는 5.0°C 이하의 냉수가 수심 50m층까지 상승하고 있다. 대마난류의 중심이 되는 11.0 - 15.0°C의 수온은 연안에서는 표층가까이에 있고 정점 33에서는 수심 100m까지 분포하고 혼합층은 전혀 보이지 않는다. 수온 3.0 - 11.0°C 사이의 대마난류수와 동해고유수의 경계층은 오목한 형태를 취하면서 정점 33에서 150m층에 달한다. 이는 영구적 수온약층에 해당된다. 염분분포에서는 34.40% 이상의 대마난류수가 정점 32 - 35의 수심 80.0m이천에서 나타나고 정점 33 - 35의 수심 200m이심에서는 염분최소층(34.05% 이하)이 나타난다. 등염분선의 분포는 등수온선의 오목한 형태와 비슷하다. 300m이심에는 34.10% 이하의 동해고유수가 자리 잡고 있다. 밀도의 수직적인 단면을 보면, 연안가까이에서는 등밀도선이 북향류의 기울기가 나타나고 외해에서 남향류의 기울기가 보인다.

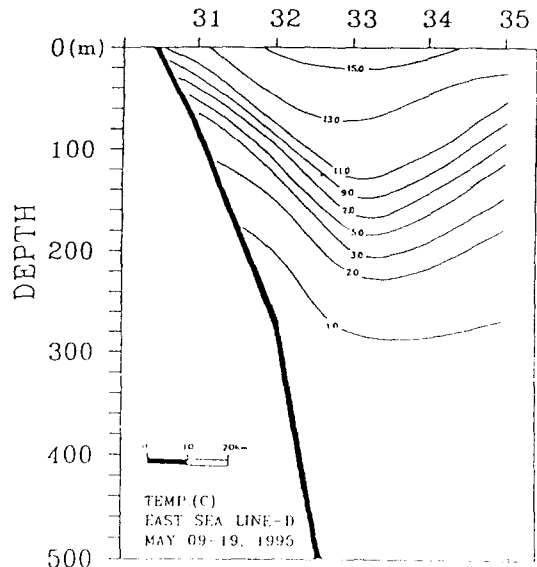


Fig. 4 Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line D during May 09-19, 1995

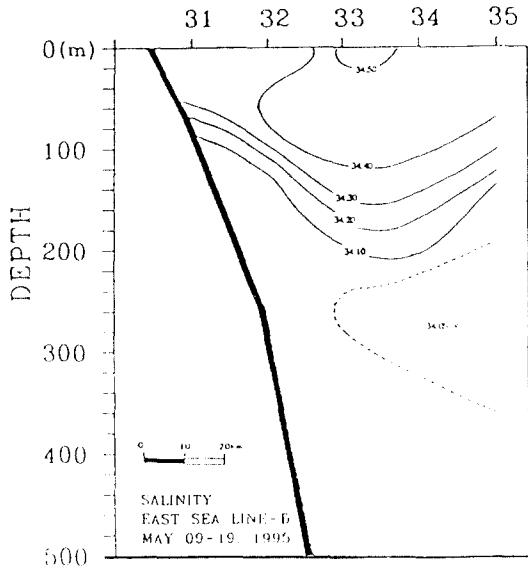


Fig. 4 Continued 1

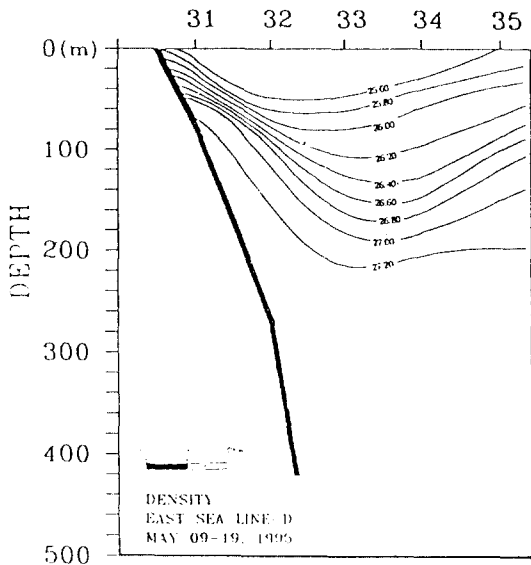


Fig. 4 Continued 2

Fig. 5에서는 동해안의 죽변을 기점으로 북위 36도 45분을 따라서 동쪽으로 관측한 단면이다. 수온 단면을 보면, 등수온선이 오목한 형태를 취하면서 정점 37에서 최저점 250m에 달하고 있다. Fig. 4와

다른점은 최저점의 위치가 외해쪽으로 더 멀리 떨어져 있다는 점이다. 연안역에서는 5.0°C 이하의 냉수가 수심 50m층까지 상승하고 있다. 대마난류의 중심이 되는 11.0 - 15.0°C의 수온은 연안에서는 표층가까이에 있고 정점 37에서는 수심 100m까지 분포하고 혼합층은 50 - 75m층까지 달하고 있다. 수온 3.0 - 11.0°C 사이의 대마난류수와 동해고유수의 경계층은 오목한 형태를 취하면서 정점 37에서 100 - 150m층에 달한다. 1.0°C 이하의 동해고유수는 수심 300m이심에 분포하고 있다. 염분분포에서는 34.40‰ 이상의 대마난류수가 정점 38 - 36의 수심 100.0m이천에서 나타나고 정점 37 - 36의 수심 200m이심에서는 염분최소층(34.05‰ 이하)이 나타난다. 등염분선의 분포는 등수온선의 오목한 형태와 비슷하지만 오목한 형태가 완만하다. 300m이심에는 34.10‰ 이하의 동해고유수가 자리 잡고 있다. 밀도의 수직적인 단면은 등수온선의 구조와 비슷하다. 연안가까이에서는 등밀도선이 북향류의 기울기가 나타난다.

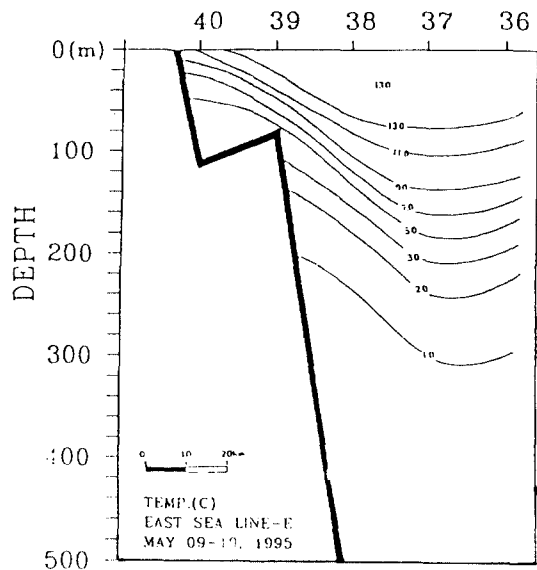


Fig. 5 Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line E during May 09-19, 1995

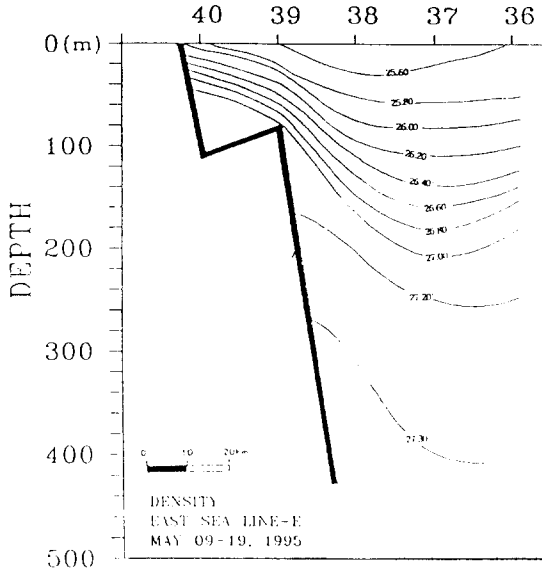


Fig. 5 Continued 1

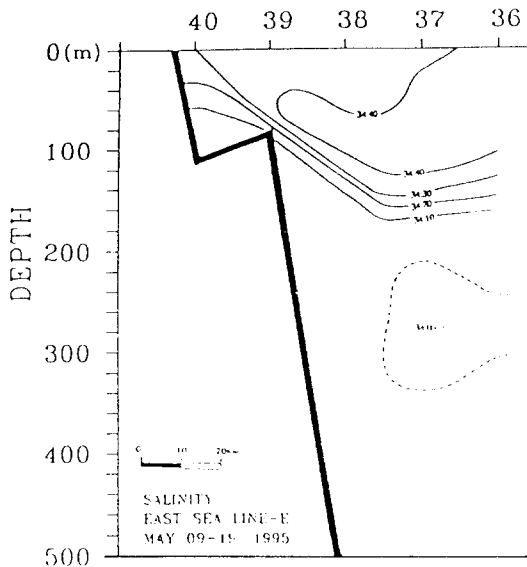


Fig. 5 Continued 2

Fig. 6에서는 동해안의 북위 37도 15분을 따라서 동쪽으로 관측한 단면이다. 수온단면을 보면, 등수온선이 반오목한 형태를 취하면서 정점 45에서 최저점 300m에 달하고 있다. Fig. 4, 5와 다른점은

최저점의 위치가 외해쪽으로 더 멀리 떨어져 있다는 점이다. 연안역에서는 Fig. 4, 5와 마찬가지로 5.0°C 이하의 냉수가 수심 50m층까지 상승하고 있다. 대마난류의 중심이 되는 11.0 - 15.0°C의 수온은 연안에서는 표층가까이에 있고 정점 44 - 45에서는 수심 100m 까지 분포하고 혼합층은 보이지 않는다. 수온 3.0 - 10.0°C 사이의 대마난류수와 동해고유수의 경계층은 반오목한 형태를 취하면서 정점 44-45에서 100 - 120m층에 달한다. 1.0°C 이하의 동해고유수는 수심 300m이심에 분포하고 있다. 염분분포에서는 34.40% 이상의 대마난류수가 정점 43-45의 수심 100m이천에서 나타나고 정점 43 - 45의 수심 200m이심에서는 염분최소층(34.05% 이하)이 나타난다. 등염분선의 분포는 등수온선의 오목한 형태와 비슷하지만 오목한 형태가 완만하다. 300m이심에는 34.10% 이하의 동해고유수가 자리 잡고 있다. 밀도의 수직적인 단면은 등수온선의 구조와 비슷하다. 정점 41-43에서는 등밀도선이 북향류의 기울기가 나타난다. 이는 수온전선 또는 밀도전선의 기울기 세기를 보여 주고 있다. 100m층의 단면에서 수온전선의 축이 정점 42 - 43사이에

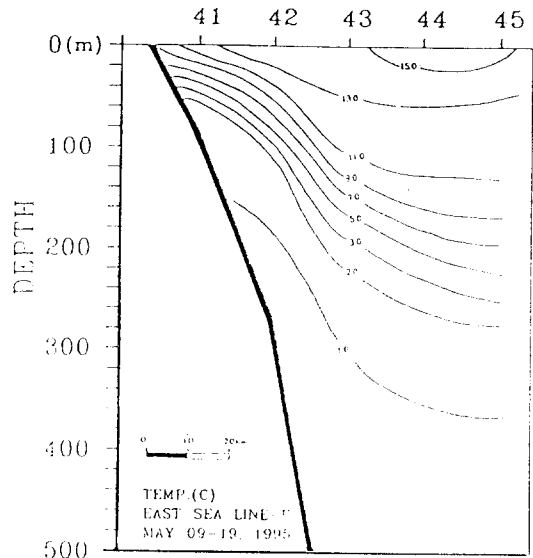


Fig. 6 Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line F during May 09-19, 1995

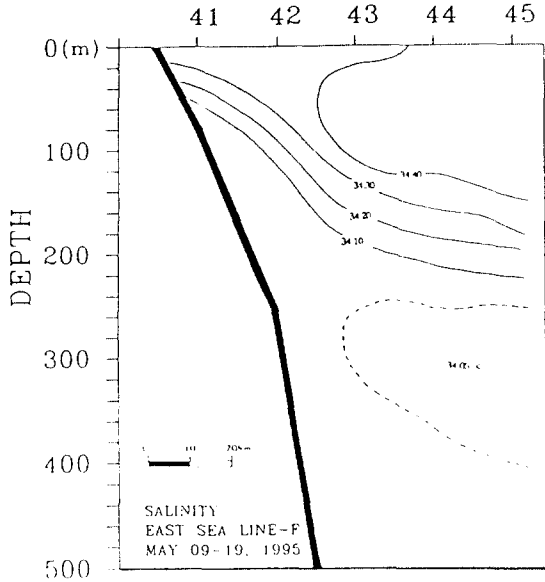


Fig. 6 Continued 1

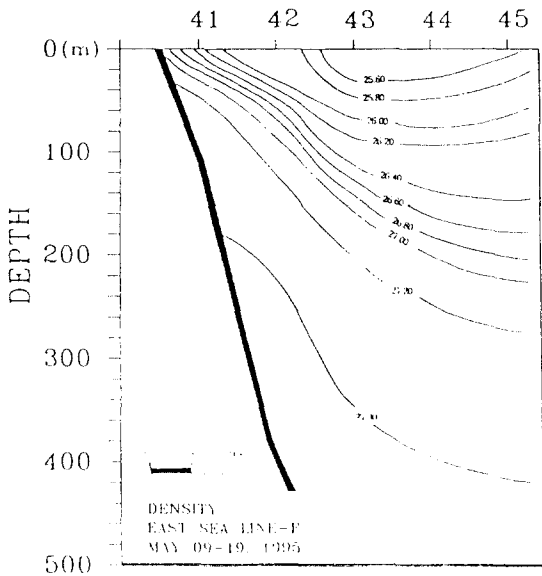


Fig. 6 Continued 2

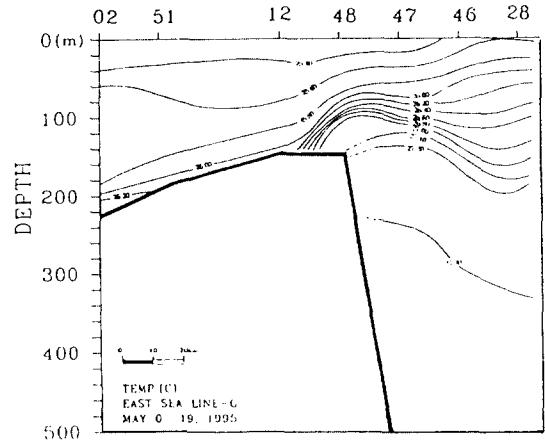


Fig. 7 Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line G during May 09-19, 1995

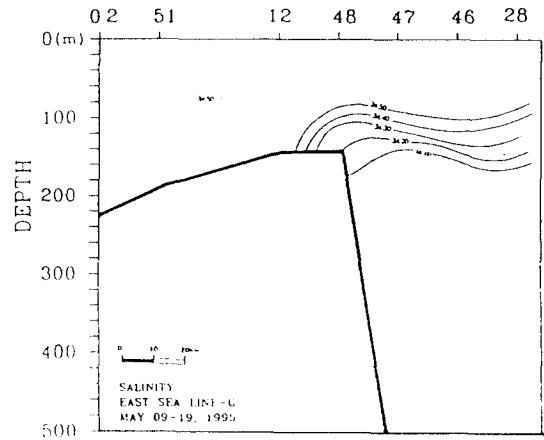


Fig. 7 Continued 1

있음을 보여 주고 있다. Fig. 4, 5, 6를 종합하여 보면, 수온전선의 축이 연안에서 거의 비슷한 거리에 있음을 알 수 있다. 즉 수온전선의 축이 동해연안에 평행하게 위치하고 있다.

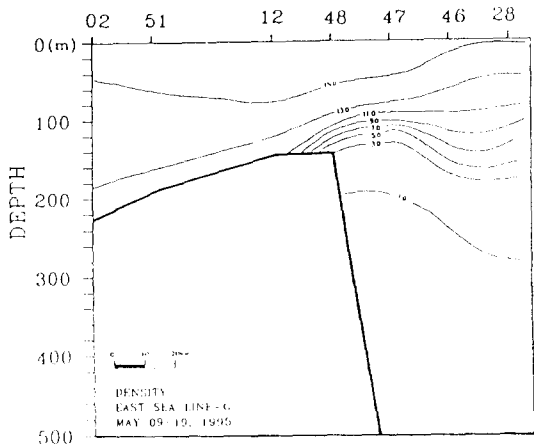


Fig. 7 Continued 2

Fig. 8에서는 대한해협을 서수도 입구(정점 02)에서 시작하여 수심이 가장 깊은 곳을 따라서 동해 쪽으로 관측한 단면이다. 수온단면을 보면, 등수온선이 정점 48 - 28사이에서 파형의 형태를 취하면서 상승하고 있다. 대마난류의 특성(수온 13.0 - 15.0°C, 염분 34.50‰ 이상, 밀도 26.00 이하)은 정점 02 - 12사이에서는 해저까지 분포하고 있고 정점 48 - 28에서는 100m층까지 분포하고 있다. 5.0°C이하의 냉수가 정점 48 - 49사이의 수심 125.0m층까지 상승하고 있는데 동해쪽으로 파형의 형태를 나타낸다. 혼합층은 정점 02 - 47에 걸쳐 20 - 30m층에서 보인다. 수온 3.0 - 10.0°C 사이의 대마난류수와 동해고유수의 경계층은 정점 48 - 28의 150m주위에서 파형 형태를 취하면서 분포하고 있다. 1.0°C이하의 동해고유수는 수심 250m이심에 분포하고 있다. 염분분포에서는 34.50‰ 이상의 대마난류수가 정점 02 - 12의 표층에서 해저면까지 나타나고 정점 48 - 28의 수심 100m이내에서 나타난다. 염분최소층(34.05‰ 이하)은 보이지 않고, 250m이심에는 34.10‰ 이하의 동해고유수가 자리 잡고 있다. 밀도의 수직적인 단면은 등수온선의 구조와 비슷하다. 정점 48 - 47에서는 등밀도선이 상승하는 경향이 보이고 이는 등수온선에서도 같은 경향을 보여 주고 있다.

3.4 95년 10월 수온전선의 관측결과

Fig. 9에서는 95년 10월에 관측한 수심 100 m층

에서의 수온, 염분, 밀도의 수평분포를 나타낸다. 가을철 수온의 수평분포 특성은 울산연안역과 포항북부해역에 수온이 낮은 해수가 분포하며 외해에 고온의 해수가 분포한다. 수심 75m와 수심 100m층에서는 수온 5 - 10°C 이상의 수온전선이 울산부근에서 울릉도를 연결하는 형태로 자리잡고 있다. 수온전선의 형태가 거의 직선적이고 강한 수평적인 수온경사를 가진다. 95년 5월에 관측한 수심 100m - 200m층의 수온분포와 비교하여 보면, 수온전선의 위치와 형태가 변화했음을 알 수 있다. 즉 95년 5월에는 수온전선이 동해연안에 평행하면서 연안가까이에 위치하고 있었다. 95년 10월에는 동해연안에서 멀어지면서 동해연안에 평행하지 않고 울릉도와 영일만을 잇는 방향에 자리잡고 있다. 수온전선의 중심수온을 보면 3.0 - 11.0°C 에서 5.0 - 10.0°C로 변화하였음을 알 수 있다. 수심이 깊어질수록 수온전선은 보다 외해쪽에 나타난다. 95년 5월에 관측한 수온전선과 비교하여 보면, 5월의 수온전선의 축이 동해연안에 평행하게 형성되어 있

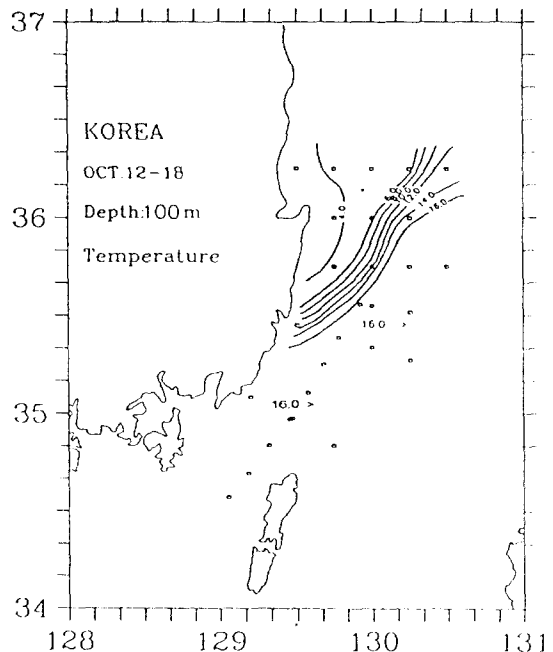


Fig. 9 Horizontal distributions of (a) Temperature, (b) Salinity, and (c) density at 100m depth during Oct 12-18, 1995

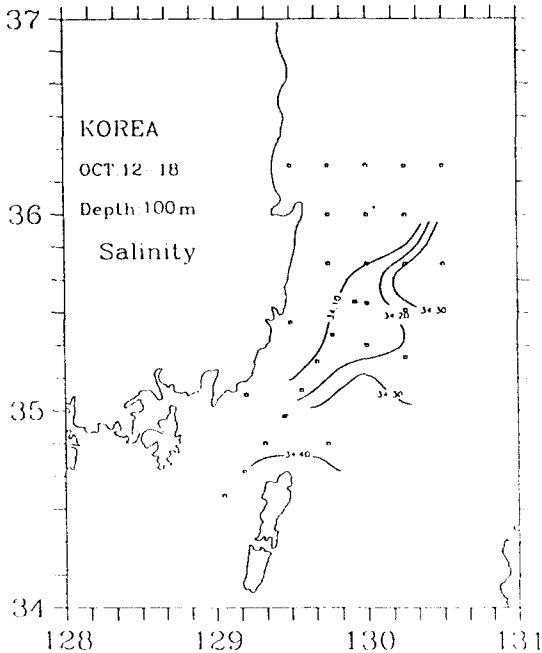


Fig. 9 Continue 1

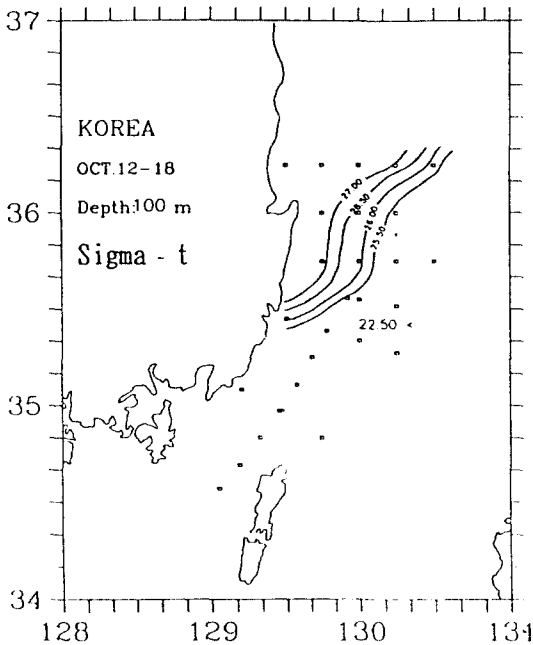


Fig. 9 Continue 2

는 반면에 95년 10월에는 수온전선의 축이 북동쪽 방향으로 변화하고 있다. 이는 북한한류의 냉수가

포항북부해역에 자리잡고 있기 때문이다.

표층의 염분분포는 34.0‰ 이하의 염분의 해수가 전반적으로 분포하고 있고 33.5‰ 이상의 염분의 해수는 대한해협 남쪽에 자리잡고 있다. 50m층의 염분분포를 보면 34.0‰ 이상의 해수가 울산해역에서 울릉도를 잇는 축선상의 북쪽에 있고 남쪽에는 저염의 해수가 분포하고 있다. 이는 수온전선의 축과 잘 일치하고 있다. 수심 100m층 이심에서는 34.10‰ 이상의 해수가 전체적으로 분포하고 있고 남쪽으로 갈수록 고염의 해수가 자리잡고 있다. 200m층에는 34.00 - 34.10‰의 염분이 있다. 25m층의 밀도분포를 보면, 수온의 분포 잘 일치하고 포항연안 가까이 $\sigma_t = 25.00$ 이상으로 분포하고 있고 22.00 - 23.00 사이의 밀도분포는 대한해협내에서 울산앞 해역까지 형성되어 있다. 50m층의 밀도분포는 수온분포와 비슷하고 수온전선의 중심축에는 24.0 - 26.0 사이의 σ_t 가 분포하고 있다. 한국 동해안의 냉수역 분포에는 밀도가 높게 나타난다. 수심 100m층에는 25.00 - 27.00의 밀도가 분포하고 있는데 울릉도에서 포항쪽으로 연결하는 방향으로 등밀도선이 분포하고 있다. 대한해협내에서는 25.00 이하의 밀도분포를 지낸다.

3.5 수직적인 분포

Fig. 10은 동해안의 북위 36도 15분을 기점으로 동쪽으로 관측한 단면이다. 수온단면을 보면, 등수온선이 오목한 형태를 취하면서 정점 13에서 최저점 200m에 달하고 있다. 연안역에서는 5.0℃ 이하의 냉수가 수심 80m층까지 상승하고 있다. 대만난류의 중심이 되는 11.0 - 16.0℃의 수온은 연안에서는 표층가까이에 있고 정점 13에서는 수심 100m까지 분포하고 혼합층은 전혀 보이지 않는다. 수온 3.0 - 11.0℃ 사이의 대만난류수와 동해고유수의 경계층은 오목한 형태를 취하면서 정점 13에서 150m층에 달한다. 이는 영구적 수온약층에 해당된다. 염분분포에서는 34.20‰ 이상의 대만난류수가 정점 14-13의 수심 80 - 100m 이심에서 나타나고 정점 14 - 17의 수심 150m이심에서는 염분최소층(34.05‰ 이하)이 나타난다. 등염분선의 분포는 등수온선의 오목한 형태와 비슷하다. 250m이심에는 34.10‰ 이하의 동해고유수가 자리 잡고 있다. 밀도의 수직적인 단면을 보면, 연안가까이에서는 등

밀도선이 북향류의 기울기가 나타나고 외해에서 남향류의 기울기가 보인다.

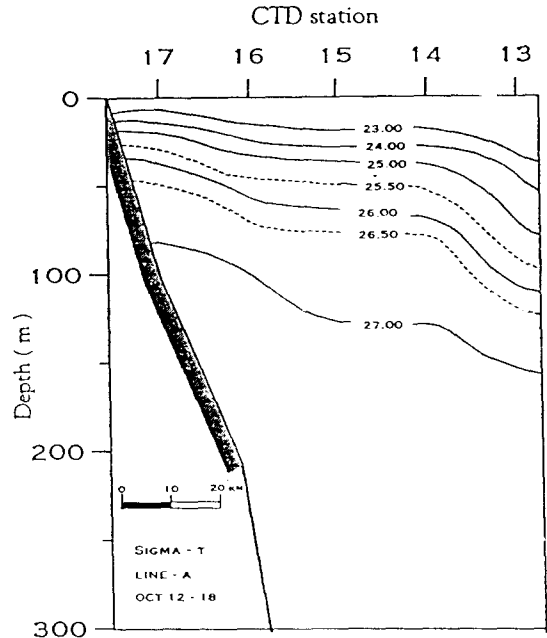
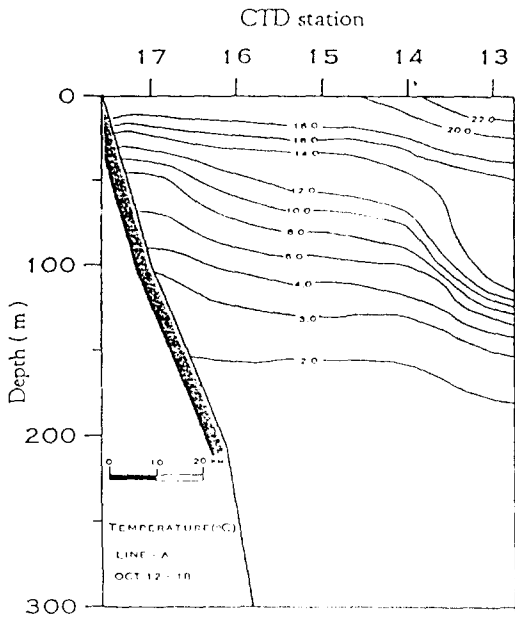


Fig. 10 Continue 2

Fig. 10 Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line A during Oct. 12-18, 1995

Fig. 11은 울산을 기점으로 일본쪽으로 관측한 단면으로 최고수심이 150 m이다. 수온, 염분, 밀도의 수직적인 단면을 보면, 대마난류의 특성인 수온 14.0°C 이상, 염분 34.20‰ 이상, 밀도 26.00 이하 등이 분포하고 있다. 그러나 등수온선, 등염분선, 등밀도선의 기울기가 반대로 되어 있어 북향류보다는 남향류가 존재하고 있다. 정점 8의 120 m 이하에서 수온 8.0°C 이하의 냉수가 나타나고 있는데 염분의 특성으로 보아 동해고유수로 볼 수는 없다. 연안가까이에는 대마난류수가 존재하고 외해에는 냉수괴가 자리잡고 있음을 알 수 있다.

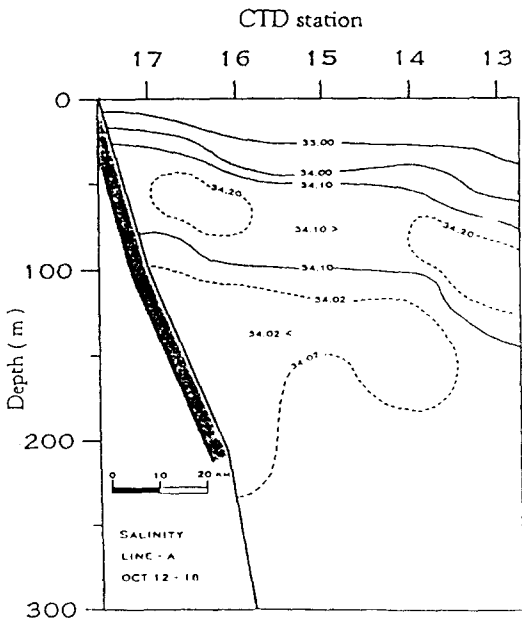


Fig. 10 Continue 1

3.6 수직적인 미세구조

CTD 관측장비를 사용하면 수온, 염분의 연속적인 수직구조를 관측하는데 유리한 이점이 있다. Fig. 12는 수심에 대한 수온, 염분, 밀도, 음속속도의 분포를 나타낸 것이다. 혼합층아래에서 수 m층에 걸쳐 염분의 급격한 변화를 보여주고 있다. 이런 변화는 표준수심 관측에서는 밝힐 수 없었던 사실이다. 이런 미세수직구조의 변화는 상층에서는 1.0 - 1.2‰ 크기의 변화, 하층에서는 0.2 - 0.3‰

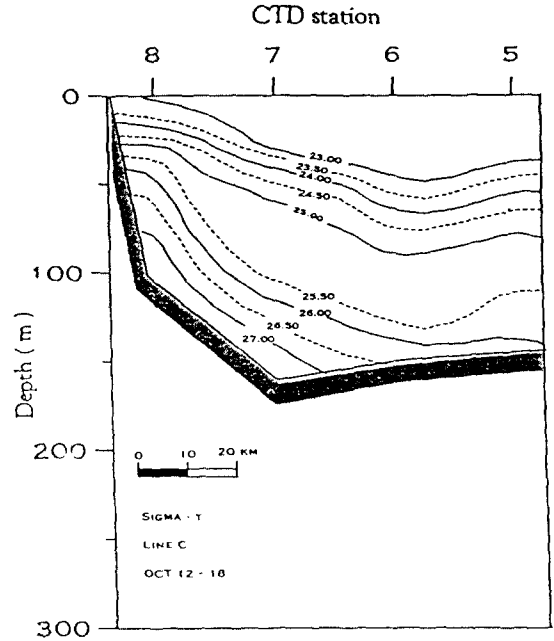
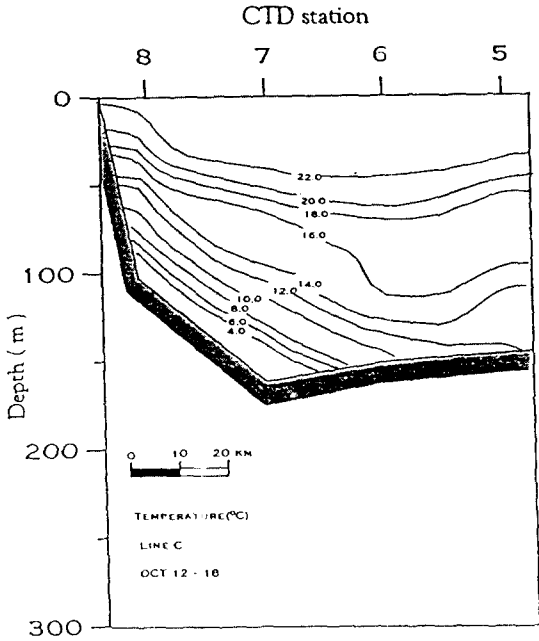


Fig. 11 Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line C during Oct. 12-18, 1995

Fig. 11 Continue 2

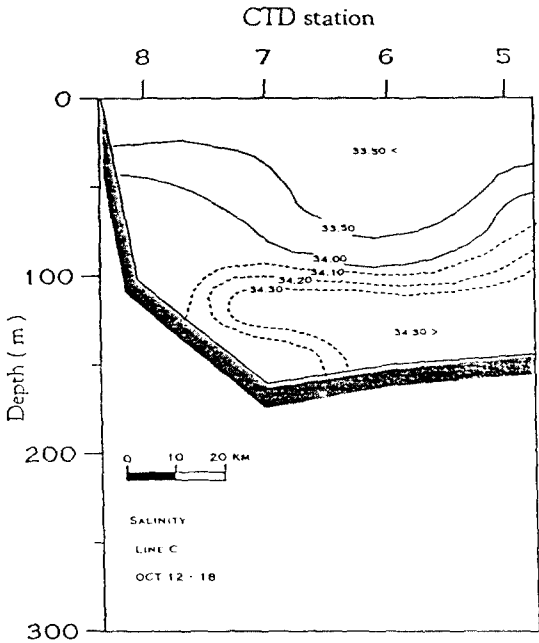


Fig. 11 Continue 1

염분변화를 보여주고 있다. 수온의 수직구조는 수 m층간에 7.5 - 10.0°C 이상의 수온변화를 보여주고 있다. 이런 변화는 대한해협 서수도에만 국한된 현상이 아니고 동남해역 전역에서 관측되는 현상이다. 수온의 수직구조는 40 - 50m층과 90 - 120m층 사이에서 급격한 변화를 보이고 있다. 급격한 수온변화는 염분변화를 동반하고 있다. 밀도의 수직구조는 22.8 - 27.0 범위에 속하고 이런 밀도분포로 보아 다양한 수괴가 분포하고 있음을 알 수 있다. 수직적으로 표층수, 대마난류수, 동해고유수가 분명하게 분포하고 있다. 대한해협은 대마도를 중심으로 서쪽해역을 서수도, 동쪽해역을 동수도라 부르고 있다. 부산과 대마도사이에는 수심이 200m정도인 깊은 골이 자리잡고 있고, 동수도는 수심이 얇아 대부분이 100 - 120m 사이에 있다. 대한해협내의 해류의 유속은 여름철에 최고치를 겨울철에 최저치를 갖는 월변화를 보이고 그 변화의 폭은 1.0 Knot 이상에 달하고 있다. 대마난류의 수송량을 3.0 - 3.5 sv 으로 추산하고 있다. 대한해협의 해양관측은 한일 영해권 문제로 지금까지 해

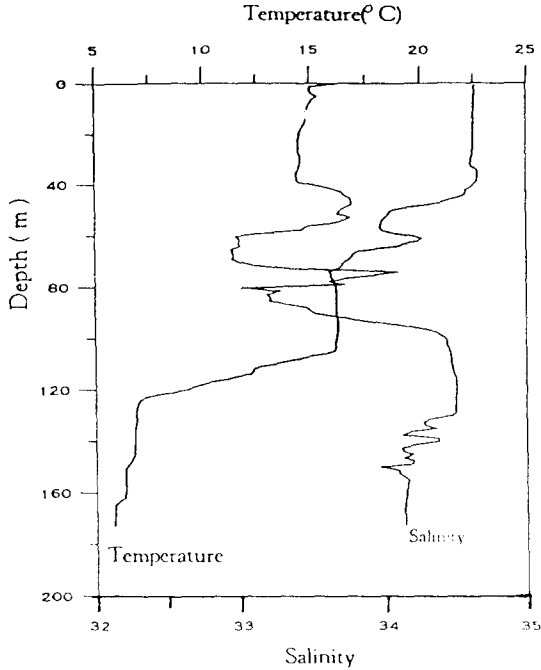


Fig. 12 Vertical micro-structure of (a) temperature, salinity and (b) sigma-t, sound velocity on the station 30 during Oct. 12-18, 1995

협의 서수도는 한국이, 동수도는 일본이 별도로 실시하여 왔다. 일반적으로 여름철의 가열과 난류의 영향으로 계절수온약층이 수심 50m정도에 강하게 형성되고 있는데, 서수도쪽이 동수도에서보다 수온약층이 더 강하게 형성되어 있다. 대한해협 저층에는 10.0°C 이하의 냉수가 자리잡고 있는데 이는 동해로부터 기원되어 해협의 깊은 골을 따라서 한국해안의 남동쪽으로 치우쳐 존재하고 있다. 이 저층냉수는 주로 여름철에 강하게 형성되어 있는데 북한한류의 세기에 밀접한 관계가 있다고 발표하고 있다.

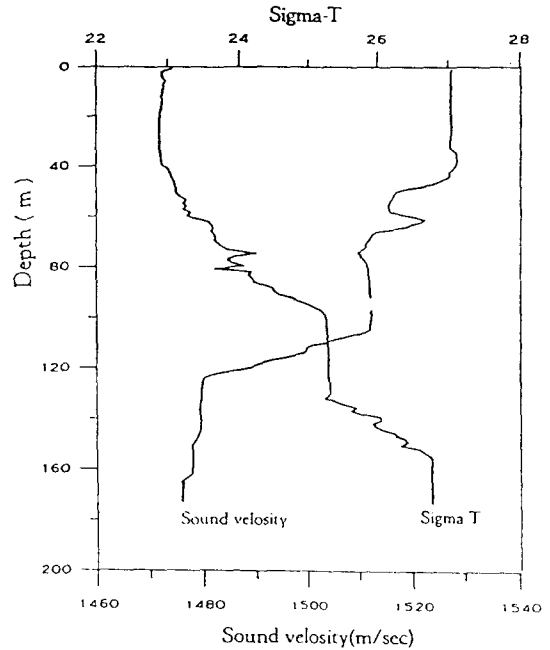


Fig. 12 Continue

4. 결 론

1995년 2월, 5월과 10월에 동해 수온전선과 와동류의 구조와 특성을 조사하기 위하여 해양 관측선을 이용하여 수온 및 염분 관측을 실시하였다.

- 1) 95년 2월에 관측한 와동류의 수평분포를 분석하여 보면, 수심 100 m와 수심 200 m층에서 수온 11.0°C 이상의 난수성 와동류가 북위 37도, 동경 130도 30분을 중심으로 자리잡고 있다. 난수성 소용돌이의 형태가 타원체로 주위보다 높은 수온의 해수가 자리잡고 있다. 한국연안역의 냉수괴와 타원형태의 난수성 소용돌이사이에서 수평적으로 수온 3.0 - 11.0°C의 강한 수온전선이 형성되어 있으며, 외해쪽에도 북동방향의 강한 수온전선이 형성되어 있다. 수심이 깊어질수록 수온전선은 보다 외해쪽에 나타난다. 95년 2월에는 수온전선의 축이 북동쪽 방향으로 변화하고 있다. 이는 난수성 소용돌이의 연안쪽 가장자리에 형성된 수온전선이기 때문이다.
- 2) 5월에 관측한 수온의 수평분포를 살펴보면, 봄

철 수온의 수평분포 특성은 일반적으로 대만난류의 수송량증가로 대한해협 입구에서부터 울릉도 해역까지 북쪽으로 진행할수록 낮은 수온이 분포하고 있다. 100 m층의 수평분포를 보면 동해연안해역을 제외하고는 대한해협 입구부터 울릉도해역에 걸쳐 10.0°C 이상의 수온이 분포하고 있다. 동해연안 50 km이내에서는 2.0°C 미만의 수온이 동해 해안선에 평행하게 분포하고 있다. 대만난류와 냉수괴사이에는 강한 수온전선이 자리잡고 있는데 이는 95년 2월의 수온분포와는 다르게 분포하고 있다. 수심 100 m와 수심 200 m층에서는 난수성 소용돌이가 관측되지 않는다. 94년 11월에 한국해양연구소에서 관측한 수심 100m - 200m층의 난수성 소용돌이가 95년 2월에는 위치와 형태가 크게 변화하였고, 95년 5월에는 좀더 북쪽으로 이동하였던지 아니면 소멸되었음을 알 수 있다. 수온전선의 중심축의 변화를 보면 94년 11월에는 동해연안에 평행하면서 연안가까이에 위치하고 있었고 95년 2월에는 동해연안에서 멀어지면서 동해연안에 평행하지 않고 울릉도와 영일만을 잇는 축선상에 자리잡고 있다. 95년 5월에는 동해연안에 평행하게 분포하면서 연안에서 멀어진 것을 알 수 있다.

3) 10월에 관측한 수온의 수평분포 특성은 울산연안역과 포항북부해역에 수온이 낮은 해수가 분포하며 외해에 고온의 해수가 분포한다. 수심 75 m와 수심 100 m층에서는 수온 5.0 - 10.0°C 이상의 수온전선이 울산역에서 울릉도를 연결하는 형태로 자리잡고 있다. 수온전선의 형태가 거의 직선적이고 강한 수평적인 수온경사를 가진다. 95년 5월에 관측한 수심 100m - 200m층의 수온분포와 비교하여 보면, 수온전선의 위치와 형태가 변화했음을 알 수 있다. 즉 95년 5월에는 수온전선이 동해연안에 평행하면서 연안가까이에 위치하고 있었다. 95년 10월에는 동해연안에서 멀어지면서 동해연안에 평행하지 않

고 울릉도와 영일만을 잇는 방향에 자리잡고 있다. 수온전선의 중심수온을 보면 3.0 - 11.0°C에서 5.0 - 10.0°C로 변화하였음을 알 수 있다. 수심이 깊어질수록 수온전선은 보다 외해쪽에 나타난다. 이는 북한난류의 냉수가 포항북부해역에 자리잡고 있기 때문이다.

참고문헌

- 1) 김경렬, 이태식, 김구, 정종률, "울릉분지 해역 동해 중층수의 화학적 특성", 한국해양학회지, 제26권, pp.278-290, 1991
- 2) Kang, H.E. and Y.Q. Kang, "Spatio-temporal characteristics of Ulleung warm lens", Bull. Korean Fish. Soc., vol.23, pp.407-415., 1990
- 3) Kawabe, M., "Branching of the Tsushima current in the Japan Sea, part I: data analysis", J. Oceanogr. Soc. Japan, vol.38, pp. 97-107, 1982a
- 4) Kim, K. and J.Y. Chung, "On the salinity-minimum and dissolved oxygen-maximum layer in the East Sea(Sea of Japan)", In: "Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea", T. Ichiye ed., Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp.55-65, 1984
- 5) Kim, K., K.R. Kim, J.Y. Chung, H.S. Yoo and S.G. Park, "Characteristics of physical properties in the Ulleung Basin", J. Oceanol. Soc. Korea, vol.26, pp.83-100, 1991
- 6) Yi, S., "Seasonal and secular variations of the water volume transport across the Korea Strait", J. Oceanol. Soc. Korea, vol.1, pp. 7-13, 1966
- 7) Yoon, J.H., "Numerical experimet on the circulation in the Japan Sea, Part I: Formation of the East Korean Warm Current", J. Oceanogr. Soc. Japan, vol.38, pp.43-51, 1982