

黃海東部에서 4월에 觀測된 水溫逆轉

이 상 호

군산대학교 해양학과

Temperature inversions observed in April in the eastern Yellow Sea

SANG HO LEE

Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan, 573-350

黃海東部에서 1991년 4월에 관측된 CTD 자료를 분석한 결과, 해수의 垂直構造는 계절적 수온약층과 수온역전층에 의해 뚜렷이 구분되는 上部混合層, 中層低溫水 및 低層高溫水로 三層構造를 보여준다. 조사지역 남부에서 저층수는 중층수보다 수온이 3°C 높아 수온역전이 가장 뚜렷하다. 수온역전은 100 km×100 km의 관측해역에 걸쳐 형성되었고 약 1.5개월후에도 관측되었다. 이 저층수의 수온과 염분은 斷面內 核構造 및 남쪽에서 북쪽으로 향하는 舌狀分布를 보여, 조사해역 남쪽에 있는 봄철 海洋前線의 해수가 북쪽으로 150 km 정도의 거리에 걸쳐 黃海冷水 아래로 流入된 것을 제시한다.

A survey of CTD casting was taken in April 1991 in the eastern Yellow Sea. The vertical structure of water column consists of the upper mixed warm, the mid cold and the lower warm layers divided clearly by a seasonal thermocline and the temperature inversion. A strongest temperature inversion is found in the southern part of the survey area, where the low-layer water is 3°C higher than the mid-layer water. The area of the temperature inversion covers about 100 km×100 km and it is observed 1.5 month later. The temperature and salinity of the low-layer water shows a core structure in vertical sections and the tongue-like distribution extending from the south to the north, implying that the warm and saline water found in the oceanic front south of the survey area in early spring is advected to the north over 150 km underneath the Yellow Sea cold water.

序 論

우리나라 주변 大陸棚해역에서는 수온역전 현상이 많이 관측되었으며, 현상의 發生過程에 대한 해석 및 시기에 따라 다음의 두 경우로 분류될 수 있다. 첫번째로 겨울철에 관측되는 수온역전으로 해수표면에서 冷却된 해수가 북서풍에 의해 移流되어 아래층의 해수보다 수온이 낮아 지는 것으로 해석되었다. Nakao(1977)는 이상저온인 겨울철에 황해에서 수온역전이 많이 관측된다고 보고하였고, 김 등(1982)은 15년간의 수진원 관측자료를 분석하여 겨울철에 황해동부 해역에서 빈번하게 나타나는 수온역

전을 표층냉각수의 이동으로 해석하였다. 두번째 경우는 여름과 가을에 관측되는 수온역전으로 해수 특성이 相異한 水系가 수평적 전선을 형성할때 전선역 주변에서 일어나는 貫入(intrusion)으로 해석되어진 경우이다. 여름철에 黃海冷水의 출현으로 전선이 형성되는 황해남부 및 동지나해에서 수온역전 현상이 보고되었고(Nakao, 1977; 김 등, 1982; 양 등, 1984; Park, 1985), 황해냉수가 주변의 해수로 관입되어 일어나는 것으로 보았다. 김 등(1991)은 제주해협 북쪽과 제주도 서남쪽에서의 수온역전층이 제주도 서쪽 前線域에서 상대적 低溫水가 계절적 수온약층 아래로 貫入된 것으로 해석하였다. Lee et

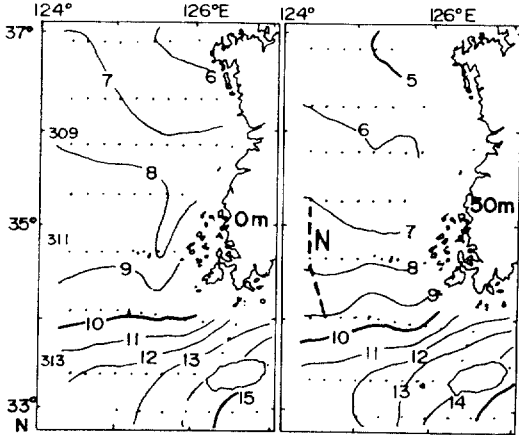


Fig. 1. Distributions of mean temperature(°C) at sea surface and 50 m depth in April in the eastern Yellow Sea(after Korea Fishery Research and Development Agency:KFRDA, 1986). Dots are the hydrographic station by KFRDA and the dashed line indicates the temperature section N shown in Fig. 10.

al.(1984)는 가을철에 남해에서 수온역전을 관측하여 수심이 얕은 연안의 해수가 급속히 냉각되면서 외해수와 전선을 형성할때 전선역 주변에서 일어나는 관입현상으로 해석하였다.

황해 동부해역에서 초봄의 海水構造를 조사하기 위하여 1991년 4월 중순에 군산대학교와 전남대학교는 共同으로 CTD 관측을 실시하였다. 관측결과 60 m 이상의 깊이에 상층보다 2°C 이상 수온이 높은 高溫高鹽水(10°C 이상, 33.6‰ 이상)를 관측하여 저층에서의 水溫逆轉을 발견하였다. 특히, CTD 관측의 결과로 해수특성의 수직구조를 자세히 파악할 수 있었다. 본 연구에서는 이 수온역전 현상을 분석하고 발생원인을 고찰하고자 한다.

일반적으로 황해 동부해역에서 계절적 수온약층은 4월부터 형성되고, 계절적 염분약층과 함께 해수밀도의 二層構造를 이룬다고 알려져 왔다(Nakao, 1977). 초봄인 4월에 특징적 수계로는 겨울철에 냉각되어 형성된 黃海冷水(수온 10°C 이하, 염분 32.5‰-33.0‰)와 쿠로시오의 영향을 받은 제주도 주변의 高溫高鹽水(수온 13°C 이상, 염분 34‰ 이상)로 대별되며(Lie, 1985), 수계의 地理的 분포는 대륙산도와 제주도 사이에서 전수심에 걸쳐 형성되는 동서방향의 海洋前線에 의해 구분되어져 왔다(Fig. 1, 국립수

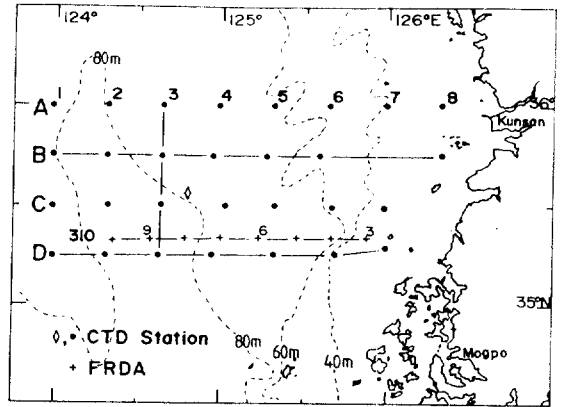


Fig. 2. Station map of CTD casting in April 1991. Section 310 is observed by Korea Fishery Research and Development Agency.

산진흥원, 1986). 본 연구의 조사해역은 북위 35°와 36°사이로서 4 월의 평균적 전선위치에서 북쪽으로 약 150 km 정도의 거리에 있다. 관측자료를 일차적으로 분석한 결과, 조사해역에서 수온역전을 형성하고 있는 저층 고온수의 特性은 황해남부의 전선역에서 관측되어 온 수온을 보였다(이와 송, 1991). 이 수온역전 현상은 同海域에서 지금까지 관측보고된 바 없는 大規模의 현상이었고, 관측된 해수의 特性構造와 分布의 특징적 형태는 연구해역의 남쪽에 있는 전선역의 해수가 조사해역으로 유입되었음을 보였다. 이러한 발견은 황해 동남부 해역에서 순계 해양전선에 의해 구분되어온 기존의 地理적 수괴분포 및 해수순환에 대한 해석이 일부 수정되어야 함을 의미한다. 본 연구에서는 관측된 자료를 바탕으로 同時期에 수진원에 의해 관측된 주변해역의 수온과 염분자료를 이용하여 수온역전 현상의 발생원인을 논의하였다.

資料分析

1991년 4월 19일에서 21일 사이에 황해동부 해역에서(Fig. 2) 調査된 CTD (SBE, model 19) 자료를 분석하였다. CTD의 現場資料 수집은 0.5초 간격이고, 현장관측시 평균 1 m/sec의 관측속도를 유지하였다. 현장자료는 一次 처리하여 1 decibar 단위로 사용하였다. 관측점간의 거리는 약 15 해리로 설정되어 수진원의 정규 관측망보다 남북방향으로 조밀

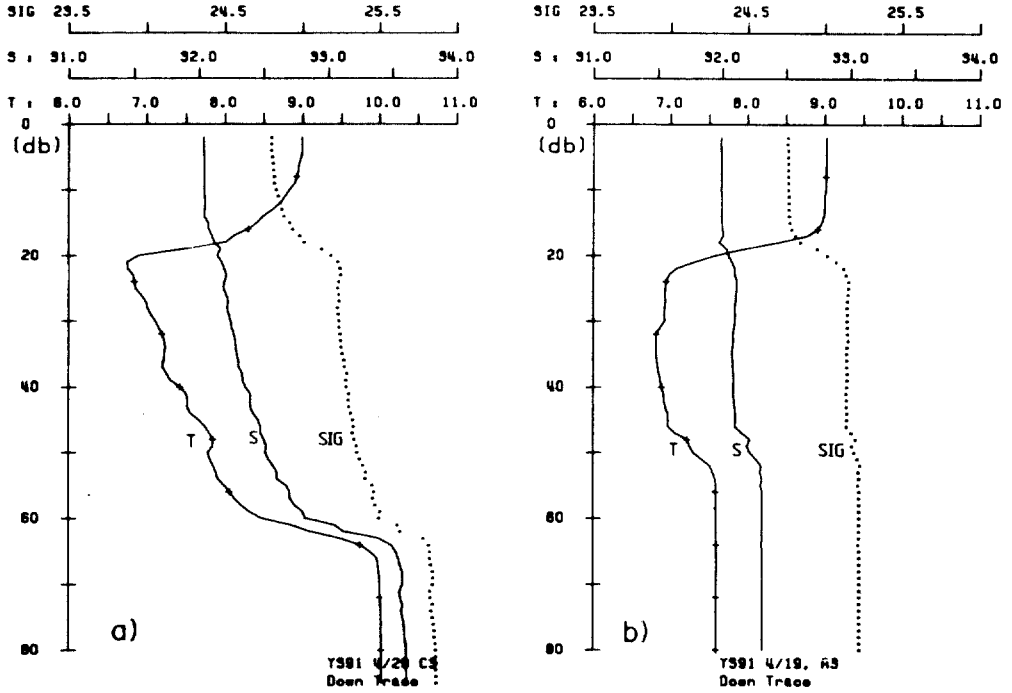


Fig. 3. Vertical profiles of temperature, salinity and sigma-t observed in April, 1991 at stations C3(a) and A3(b).

하여 해수의 특성구조 및 분포를 자세히 파악할 수 있었다. 4월에 관측된 수온역전의 持續性을 알아보기 위하여 1개월 후인 5월 17일에 현장을 재조사하였다 (Fig. 2, ◇ 지점). CTD로 관측된 수온역전 현상의 발생과정을 고찰하기 위하여 수진원에서 동년 2월과 4월에 관측한 310정선 斷面構造 및 조사해역 남쪽의 310-10, 311-10, 312-9 관측점을 잇는 수온단면 N (Fig. 1 쇄선)을 분석하였다.

1. 水溫 鹽分의 垂直構造

1.1 水溫逆轉構造

1991년 4월에 外海域에서 관측된 대표적 해수 특성構造는 (Fig. 3) 수온, 염분 및 밀도가 뚜렷한 三層構造를 하고 있음을 보여준다. 表層은 해면에서 약 10 m - 15 m까지로 수온이 9°C, 염분이 32‰ 정도의 해수특성이 均一한 表面 혼합층이 형성되어 있다. 이 층 아래에서 발달된 계절적 수온약층은 표층수와 중층수를 구분하고 있다. 中層水는 수온과 염분이 비교적 균일하거나 (관측점 A3), 수심이 증가할수록 조금씩 증가하여 (관측점 C3) 중층수의 특성은 空間的으로 차이가 있음을 보여준다. 중층수는 수온이

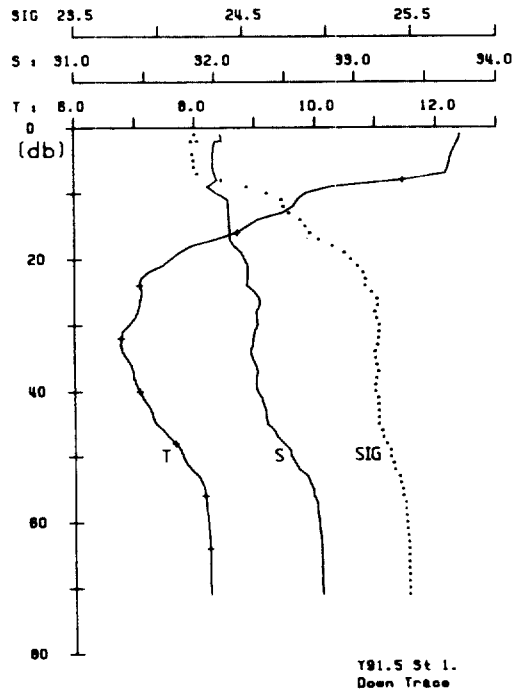


Fig. 4. Vertical profiles of temperature, salinity and sigma-t observed in May, 1991 at the station '◇' in Fig. 2.

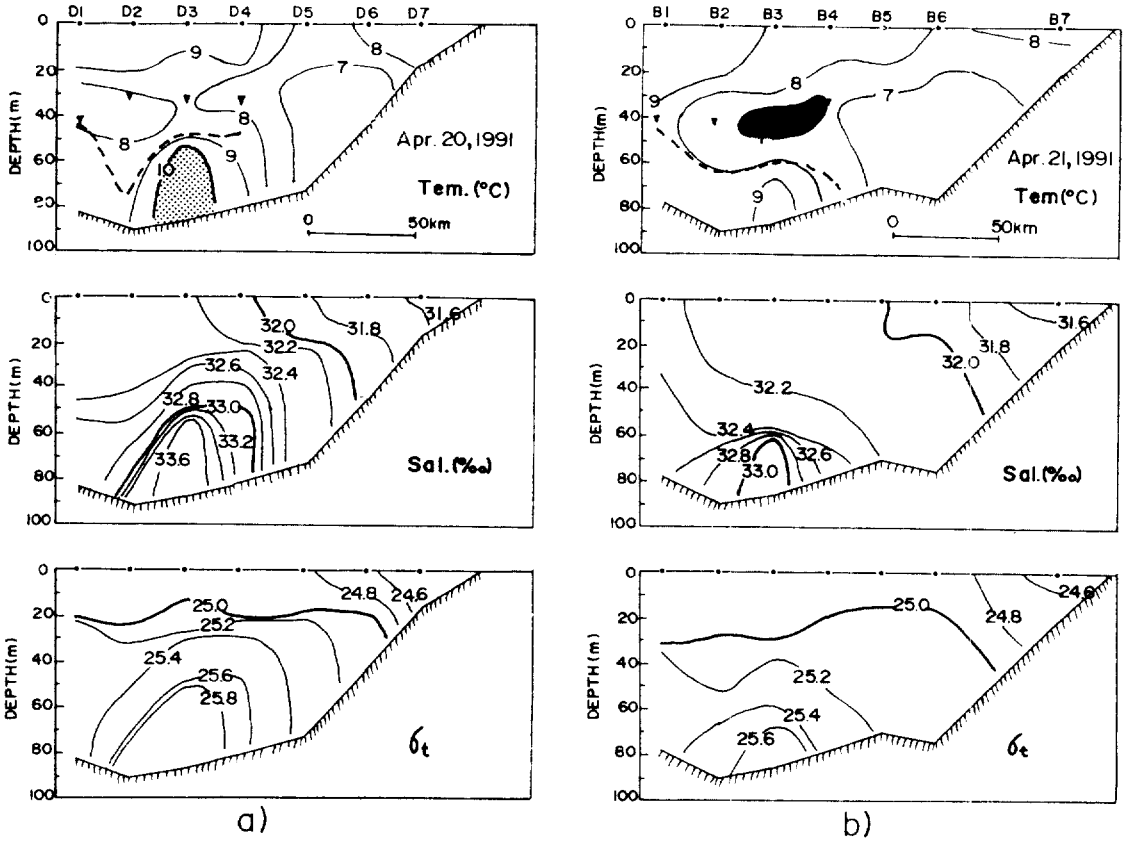


Fig. 5. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t for section D (a) and B (b) (See Fig. 2 for the locations). Symbol ∇ indicates the depth of minimum temperature in the water column and the dashed line presents the depth of maximum temperature inversion.

8°C 이하이고 염분은 32.0‰ - 32.4‰ 범위이며, 해수특성치에 의해 黃海冷水로 분류된다. 중층은 다시 水溫이 역전된 저층수와 확연히 구분되며, 수온역전의 깊이는 관측점에따라 다르다.

低層水の 해수특성은 수직적으로 균일하다. 관측점 C3의 경우 저층수의 수온과 염분이 복사가열된 표층수보다 오히려 높아 10°C 이상, 33.6‰의 값을 보이고, 중층과의 수온차이가 3.5°C 이상이며 수온역전의 세기는 2°C/5 m에 달한다. 이 저층수는 황해냉수보다 수온과 염분이 높아 黃海冷水로 분류하기 어렵고, 황해남부의 해양전선역에서 나타나는 특성치를 보인다. 한편, 각 층의 海水密度는 비교적 균일하며, 상부의 수온약층과 하부의 수온역전층에서 밀도가 증가되어 각 層間的 垂直安定度を 유지한다(σ_t 참조). 이러한 해수의 뚜렷한 3층구조는 중층과 저층사이의 수온역전 현상에 의한 것으로서

同海域에서 관측된 既存의 자료에서는 보고된 바 없는 최초의 발견이며 특이한 구조이다.

調查海域에서의 수온역전이 얼마나 持續되는 현상인지를 알아보기 위하여 同年 5월에 관측된 해수특성 구조는 Fig. 4와 같다. 표층의 수온이 12°C 이상으로 4월의 수온보다 증가하였으나, 中層의 7°C 미만의 저온수와 低層의 8°C 이상의 고온수는 水溫逆轉을 유지하고 있다. 저층수의 염분이 중층수보다 약 0.5% 정도 높아 수온역전층에서 해수밀도의 수직안정도가 유지되고 있다. 5월에 관측된 수온과 염분구조는 연구해역에서 발견된 수온역전이 적어도 1개월 이상 지속되고 있음을 보여준다.

1.2 水溫 鹽分 斷面

조사해역의 수온, 염분구조의 空間的 變化를 파악하기 위하여 4월에 관측된 동서방향의 두 단면을 구성하였다(Fig. 5). 단면에서는 沿岸쪽과 外海쪽의

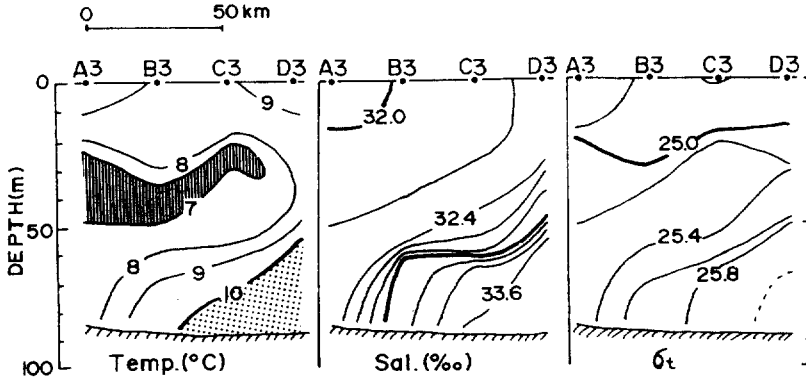


Fig. 6. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t for section 3.

수온 및 염분 분포가 相異하게 나타난다. 연안쪽인 관측점 D5와 D6, B5와 B6에서 7°C 이하의 저온수가 나타나며 水溫逆轉이 형성되지 않고, 계절적 염분 약층과 수온 약층에 의해 2층 구조를 이룬다. 저온수의 염분은 32.4% 이하이고 연안쪽일수록 저염이다. 외해역에서는(관측점 D1-D4, B1-B4) 약 100 km 폭에 걸쳐 중층의 수온이 저층의 수온보다 낮아 수온역전을 보이며 3층 구조를 이룬다. 水溫逆轉이 가장 강하게 나타나는 깊이(Fig. 5의 점선)는 관측 점에 따라 다르게 나타나고, 각 관측점에서 수직적 염분 변화가 가장 큰 깊이와 일치한다.

수온역전이 관측된 外海역에서는 중층과 저층의 수온과 염분 분포가 特徵的 構造를 보인다. 중층수는 最低水溫이 나타나는 깊이(Fig. 5의 ▽)가 30 m-40 m 정도 이나, 단면 내에서 연안쪽의 저온수와 분리되어 저온수의 核(Core)構造를 보인다. 핵구조는 단면 B에서 7°C 이하의 수온이고 단면 D에서 7°C 이상의 수온을 보여 북쪽 단면인 B에서 핵구조를 보이는 해수의 수온이 남쪽 단면인 D에서 보다 저온이다. 한편, 저층수는 고온의 핵구조 뿐만 아니라 고염의 핵구조를 이루고 있으며 수온과 염분 분포에서 핵구조의 위치가 一致하고, 해수 밀도 분포에서도 고밀도의 핵구조를 이루고 있다. 저층에서 해수 특성의 핵구조가 나타나는 곳은 황해의 海底地形上 골이 있는 위치이다(Fig. 2 참조). 단면 D에서의 핵구조의 크기는 해저면 위로 약 35 m의 두께에 달하여 단면 B의 핵구조보다 크다. 두 단면에서 나타나는 저층 핵구조의 수온과 염분 및 밀도를 비교하면 단면 D에서 고온, 고염 및 고밀도이다.

핵구조를 이루는 해수의 특성 변화가 나타나는 남북 방향으로 설정된 단면 3에서는 중층 저온수와 저층 고온수의 분포 양상이 뚜렷이 나타난다(Fig. 6). 중층 저온수는 북쪽(A3)에서부터 남쪽(D3)으로 향하는 舌狀分佈를 보이며 7°C 미만의 수온이 나타나는 층의 깊이는 다르나 두께는 남쪽으로 갈수록 작아진다. 저층의 고온수는 수온과 염분이 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 두께가 작아지는 썩기구조를 보여 준다. 이러한 설상 분포와 썩기구조에 의해 수온역전이 형성된 남북 방향의 거리는 약 80 km에 달한다. 수온과 염분 구조를 밀도 구조와 비교해 보면 중층 저온수의 밀도는 $\sigma_t \approx 25.2$ 정도로서 저온수가 等密度面을 따라 분포하고 있음을 알 수 있다. 저층 고온수의 밀도는 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 작아지고 등밀도면의 깊이도 깊어져 밀도의 썩기구조를 형성하고 있다.

이상의 단면에서 수온과 염분 분포상의 특징은 핵구조를 이루는 해수가 연구해역 밖에서 移流되어 왔을 가능성을 내포하며 핵구조의 물리적 해수 특성 변화의 方向性은 해수의 이동 방향을 제시한다. 즉, 밀도의 수평적 구배를 보이는 저층 고온고염수의 썩기구조는 남쪽에 起源을 둔 고온수가 밀도차이에 의해 연구해역으로 流入되었을 가능성을 제시하며, 등밀도면을 따라 분포하는 중층 저온수의 설상 분포는 연구해역의 북쪽에 기원을 둔 저온수가 남쪽으로 貫入되어 나타나는 현상일 가능성을 내포한다. 두 가능성에 대해서는 주변해역의 관측 자료를 분석하여 다음 장에서 討議될 것이다.

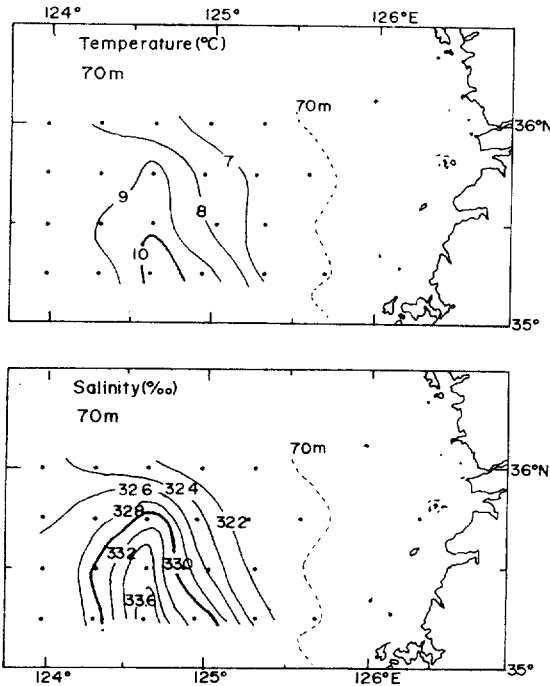


Fig. 7. Distributions of temperature and salinity at 70 m depth in April 1991.

2. 水温 鹽分の 水平分布

수직 단면구조에서 알 수 있듯이 조사해역에서 중층수와 저층수는 수온역전층을 경계로 해수특성이 상이하다. 따라서 조사해역이 비교적 좁은 해역이나 수온과 염분의 綜觀的 分布를 중층과 저층으로 나누어 파악할 필요가 있으며, 70 m 깊이를 저층으로 택하였다. 중층 저온수는 핵구조를 보이는 층의 깊이가 변하고(Fig. 6) 일정 깊이에서의 분포로는 종관적 구조를 파악하기 어려워 등밀도면에서 특성분포를 파악하기로 하여 $\sigma_t = 25.2$ 인 면을 택하였다.

저층인 수심 70 m 에서의 수온과 염분분포는 Fig. 7과 같다. 단면에서 핵구조를 보이던 고온수는 남쪽에서 북쪽으로 향하는 고온수의 뚜렷한 舌狀分布로 나타난다. 수온이 9°C 이상인 설상분포의 길이는 약 70 km 정도이고, 수심이 얇은 연안역의 저온수로 인하여 서쪽보다 동쪽으로 前線이 강하게 형성되고 있다. 염분분포도 남쪽에서 북쪽으로 향하는 고염수의 설상분포를 확연히 보이며 수온의 설상분포와 일치한다. 이러한 수평적 특성분포는 좁은 조사해역임에도 불구하고 저층의 고온고염수가 조사해역의 남쪽에서 북쪽으로 이루어졌을 가능성을 뒷받침한

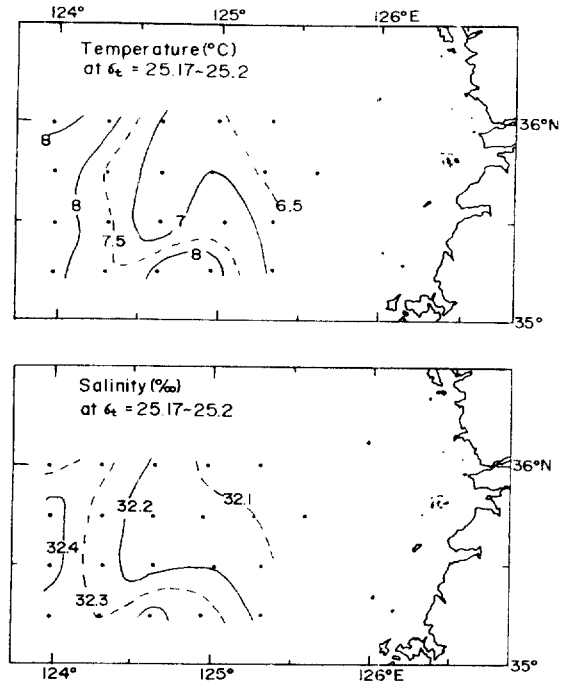


Fig. 8. Distributions of temperature and salinity at the sigma-t surface of mid layer in April 1991.

다.

중층 저온수가 나타난 등밀도면에서의 수온과 염분분포는 Fig. 8과 같다. 중층수의 수온과 염분분포는 전반적으로 저층수의 수온과 염분분포에 비하여 분포상 확연한 특징을 보이지 않는다. 조사해역의 북동쪽에 6.5°C 이하의 저온수가 있으며 7°C 이하의 저온수가 남서쪽으로 확장하는 분포가 보이지만 조사해역이 좁아 舌狀分布를 뚜렷이 구별할 수 없다. 염분분포에서는 북동쪽에서 남서쪽으로 염분이 증가하는 경향을 보이며 수온분포 양상과 유사하다.

討 議

자료에서 살펴본 수온과 염분의 수직단면과 수온역전을 이루는 중층 저온수와 저층 고온수의 수평분포는 해수의 水平的 流入 가능성을 제시하지만 조사해역이 남북방향으로는 100 km 미만으로 좁고, 한번의 관측자료에서 파악된 분포이므로 해수이동 과정을 추측하기는 어렵다. 본 연구의 조사시기보다 약 2.5 개월 前과 약 2주 前인 1991년 2월 5일과 4월 4일에는 수진원이 본 조사의 D단면 부근인 310

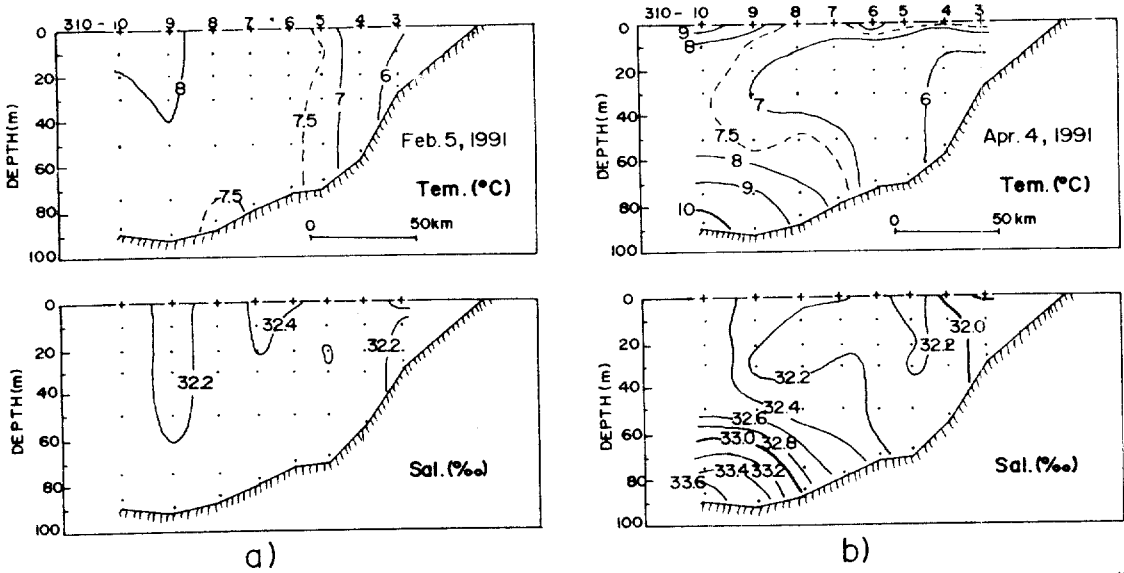


Fig. 9. Vertical distributions of temperature and salinity for section 310 (Fig. 2) observed in February (a) and April (b), 1991.

정선과 남쪽인 311, 312 정선의 정규관측을 하였다. 이 시기의 수온과 염분단면을 본 연구의 단면구조와 비교하면 해수특성의 시간적 변화 및 구조적 변화로부터 해수 移動過程과 수온역전층의 발생을 추론할 수 있다.

310 정선의 2월 단면(Fig. 9)에서 수온과 염분은 수직적으로 균일하여 겨울철에 조사해역에서 垂直冷却과 混合이 활발하였음을 보여주며, 연구해역의 중층 저온수와 유사한 특성치를 보인다. 한편, 4월 단면에서 수온과 염분은 본 조사의 단면 D (Fig. 5 b)와 매우 비슷한 構造를 보인다. 약 2주 後인 단면 D보다 상부혼합층은 발달되지 않았으나 외해역인 310정선의 8, 9, 10 관측점에서는 중층의 저온수와 저층의 고온수가 水溫逆轉을 보인다. 특히, 저층수는 수온이 10°C 이상이고, 염분이 33.6‰ 이상으로 2월의 단면에서는 나타나지 않았던 고온 고염의 해수로서 단면 D의 저층수와 특성치가 일치한다. 따라서 조사해역의 同一斷面에서 해수표면으로 부터 냉각이 지속되는 2월과 4월 사이에 저층수 특성의 시간적 변화가 高溫高鹽化된 현상은 저층수가 조사해역 밖에서 유입됨으로만 가능할 수 있다. 저층수의 유입은 2월과 4월초 사이에 조사해역으로 유입되었으며, 조사해역의 수온역전 현상은 유입된 고온수로 인하여 형성되었음을 알수 있다.

본 연구에서 관측된 수온역전 구조는 최대로 3.5°C 정도의 수온차이를 보이며 광범위에 걸쳐 발생한 것으로 황해에서 관측된 기존의 수온역전과는 강도와 규모가 다르다. 즉, 겨울철에 표층냉각수의 이동에 의한 수온역전이 비교적 광역에 걸쳐 발생하였으나 1°C 미만의 수온차를 보이는데(Nakao, 1977; 김 등, 1982) 비하여 본 연구에서 관측된 수온구조는 매우 강한 역전이다. 또한 여름철의 황해남부 전선역에서 관측되는 수온역전이 주로 1°C 미만의 수온차를 보이며 황해냉수의 출현지역 주변에 국지적으로 나타나는데(Nakao, 1977; 김 등, 1991) 비하여 본 연구에서 관측된 수온역전은 발생해역이 넓고 또한 수온차가 매우 크다. 특히, 기존에 보고된 수온역전이 대부분 상대적 저온수가 표층 혹은 중층으로 주변의 고온수내로 관입 혹은 이동된 것으로 해석되어지는 경우이나 본 연구에서 관측된 수온역전은 고온고염수가 저층을 통하여 상층 저온수 아래로 이루어져 형성된 것으로 해석되어지는 현상이다.

본 연구에서 조사된 중층 저온수는 연안수와 분리되는 핵구조를 하며 남쪽으로 향하는 설상분포를 보여(Fig. 5, Fig. 6) 등밀도면을 따라 관입되었을 가능성을 배제할수 없었다. 310 정선의 단면에서 2월과 4월의 중층 수온을 비교하면 겨울인 2월의

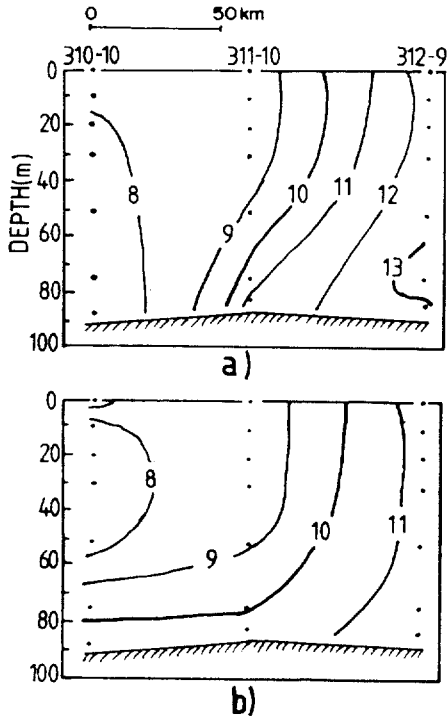


Fig. 10. Vertical distribution of temperature(°C) for the section N (Fig. 1) observed in February (a) and April (b), 1991.

수온이 7.5°C 이상이고(Fig. 9a), 초봄인 4월의 수온이 7°C 이하이다(Fig. 9b). 동일 단면에서 중층수의 수온이 시간적으로 低溫化된 사실은 저온수의 관입을 뒷바침하지만, 황해의 년중 최저수온이 나타나는 때가 一般적으로 3월이므로 2월과 4월의 중층수온변화에서 저온수의 貫入與否를 판단하기는 어렵다.

조사해역에서 발견된 저층 고온고염수는 황해 동남부의 전선역에서 관측되는 특성치와 일치하여 남쪽에 위치한 전선역의 해수가 북쪽으로 이류되어 왔음을 추측할수 있었다. 본 연구의 조사해역보다 남쪽에서 수진원이 관측한 2월과 4월의 수온변화에 의하면 동서방향의 단면들(Fig. 4, Fig. 6)에서 저층 핵구조가 발견되는 곳의 남쪽으로 해저지형상 골이 연결되는 곳을 따라 시간적 수온변화를 확인할수 있었고, 이 골을 따라 2월과 4월의 수온단면 N을 구성하였다(Fig. 10, 단면위치는 Fig. 1 참조). 2월의 단면에서는 9°C 이하의 저온수와 12°C 이상의 고온수가 311-10 정점과 312-9 정점사이에서 강한 前

線을 이루고 있으며, 전선은 全層에 걸쳐 형성되어 있다. 전선 양측의 수온으로 미루어 보면 Fig. 1에서 보이는 黃海冷水와 黑潮의 영향을 받은 高溫水가 접하여 형성된 전선임을 알수 있다. 그러나 4월에는 전선에서 수평적 수온차이가 감소하였고 저층에서 전선이 붕괴되어 構造的 變化가 일어났다. 즉, 전선역의 10°C 이상의 고온수가 황해냉수 아래의 저층을 통하여 북쪽으로 확장하였음을 분명히 보여준다. 약 2주일의 시간차이는 있으나 4월에 관측된 Fig. 6과 Fig. 10b의 수온단면을 연결하여 보면 전선에서 저층 고온수가 이동된 거리는 2월의 전선위치에서부터 적어도 150 km 정도에 달한다.

이 전선은 여름철에도 同海域에서 계절적 수온약층아래 존재한다고 보고되었고 황해남쪽의 고온고염수가 이 전선에 의해 황해중부로 流入되지 않는다고 해석되어져 왔다(Lie, 1985, 1986; Park, 1986a; 김 등 1991). 하지만 조사해역은 황해동부의 中央이며, 본 연구에서 관측된 수온역전은 조사해역의 남쪽에 형성되었던 전선이 겨울과 초봄사이에 수직인 구조의 변화를 일으켜 저층으로 고온수가 유입되면서 발생된 것이 분명하다. 따라서 4월에 고온고염수가 황해 동부해역의 북위 36°까지 유입한 것을 관측한 본 연구의 결과는 봄철 황해 남부해역의 지리적 수괴분포, 해수순환, 해양전선의 위치 및 역할 등에 대한 기존의 연구결과와는 다른 새로운 발견이다. 특히, 초봄에 발견된 고온고염수의 유입은 황해남부에서 염이 이류에 의해 황해동부로 공급될수 있음을 의미하며, 여름철 黃海低層水의 염분특성이 결정되는데 중요한 요소가 될수 있는 현상으로 사료되므로 황해의 해수순환에 대한 기존의 해석들이 재검토되어야 함을 제시한다.

해양에서 전선의 약화 및 전선구조의 변화는 기상변화 뿐만 아니라 해수밀도 분포의 변화 및 대규모적 해양운동의 변화등에 의해 일어날 수 있다(Fedrov, 1983). 겨울철 황해의 기상변화에 의한 해수이동 연구로 Hsueh et al.(1986), Hsueh and Pang(1989)은 겨울철 移動性 폭풍으로 해면구배가 발생하고 폭풍통과 후의 弛緩期(relaxation period)에 수압경도력과 전향력에 의해 황해 동부해역에서 북향류가 발생할수 있음을 보여주었으며, Choi(1982)와 Park(1986 b)도 북서풍에 의한 북향류 발생을 보였다. 이러한 북향류 발생에 대한 연구는 水深積

분된 2차원적 해양에서의 결과이므로 본 연구에서 밝혀진 전선구조 변동과 수온역전 현상을 직접적으로 설명할 수는 없고, 다만 겨울철 기상변화에 대한 황해수의 일차적 반응을 보여주는 것으로 사료된다. 따라서 수온역전층을 야기시키는 고온고염수의 流入機作을 분명하게 규명하기 위해서는 황해에서 봄철의 기상현상에 대한 연구 및 廣域에 걸친 해수특성 분포에 대한 조사가 요구된다.

結 論

황해 동부해역에서 4월에 관측된 수온역전 현상을 要約하면 다음과 같다. 해수의 수직구조는 상부의 계절적 수온약층과 하부의 수온역전층에 의해 확연히 구분되어 3층을 이룬다. 수온역전은 100 km×100 km 범위의 광역에 걸쳐 관측되었고 약 1.5 개월 이상 지속되는 현상이었으며, 조사해역에서 최고수온은 저층수에서 관측되었다. 조사해역의 단면에서 중층 저온수는 연안역의 저온수와 분리되어 있으며 등밀도면을 따라 분포하고, 저층수는 고온고염수가 核構造를 이루며 수평적으로는 남쪽에서 북쪽으로 향하는 舌狀分佈를 하고 있다. 이 저층 고온고염수는 2월에 조사해역의 남쪽 100 km 정도에 위치하던 해양전선역의 해수이고 4월에는 전선이 構造的으로 변화되어서 저층을 통하여 북쪽으로 流入된 해수로 밝혀졌으며, 연구해역에서 관측된 강한 수온역전 현상은 이 고온고염수의 유입에 의해 형성된 것으로 밝혀졌다.

감사의 글

본 연구의 해양조사는 강남해운의 사장님과 제 5 대립호 선원들의 지원과 협조로 가능하였고, 관측현장에서 함께 수고한 전남대학교 차성식, 서해립 교수님과 대학원생들에게 감사한다. 본 연구의 자료해석이 가능하게 자료를 협조해준 국립수산진흥원

수산 수산연구소에 감사한다.

參考文獻

국립수산진흥원(FRDA), 1986. 한국근해 평년해황도. 186 pp.

김 구, 노홍길, 이상호, 1991. 하계 제주도 주변 해역의 수계 및 해수순환. 한국해양학회지, **26**: 262-277.

김희준, 윤홍주, 양성기, 1982. 한국 서해의 수온역전현상. 한국어입기술회지, **18**: 91-96.

양성기, 조규대, 홍철훈, 1984. 하계 황해저층냉수의 이상 저온현상. 한국해양학회지, **19**: 125-132.

이 상호, 송 홍인, 1991. 황해 중부에서 관측된 수온역전-1991년 봄. 군산대학교 자연과학연구소 논문집, **6**: 121-129.

Choi, B.H., 1982. Note on currents driven by steady uniform wind stress on the Yellow Sea and the East China Sea. *La Mer*, **20**: 30-38.

Fedrov, K.N., 1983. The physical nature and structure of oceanic fronts. In Lecture notes on coastal and estuarine studies(Vol. 19). Springer-Verlag, 333pp.

Hsueh, Y., R.D. Romea and P.W. Dewitt, 1986. Wintertime winds and coastal sea-level fluctuations in the northeast China Sea, Part II: Numerical Model. *J. Phys. Oceanogr.* **16**: 241-261.

Hsueh, Y. and I. C. Pang, 1989. Coastally trapped long waves in the Yellow Sea. *J. Phys. Oceanogr.* **19**: 614-625.

Lee, J.C., J.Y. Na and S.D. Chang, 1984. Thermohaline structure of the shelf front in the Korean Strait in early winter. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 153-162.

Lie, H.J., 1985. Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Hwanghae(Yellow Sea). *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**: 291-298.

Lie, H.J., 1986. Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. *Prog. Oceanogr.* **17**: 229-242.

Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Tech., Sp. No.*, 199-367.

Park, Y.H., 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 12-21.

Park, Y.H., 1986a. Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in Summer. *Prog. Oceanogr.* **17**: 243-254.

Park, Y.H., 1986b. A simple theoretical model for the upwind flow in the southern Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **21**: 203-210.