

夏季 濟州道 周邊 海域의 水系 및 海水循環

김 구* · 노홍길** · 이상호†

*서울대학교 해양학과

**제주대학교 어로학과

†군산대학교 해양학과

Water masses and circulation around Cheju-Do in summer

KUH KIM*, HONG KIL RHO** AND SANG HO LEE†

*Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742

**Department of Fishery Technology, Cheju National University, Cheju 690-121

†Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-360

1980년 6월과 1981년 8월 제주해협과 황해의 동남 해역에서 8-16해리 간격으로 수온-염분의 정밀 관측을 실시한 결과, 대양성의 고온 고염수가 제주도 서쪽연안 20 km 이내에 존재함을 발견하였다. 동시에 제주도 주변 해역의 표층에 나타나는 저염분 골이 陽子江堆 해역의 저염분수에서 기원함이 확인되었다. 이 골에 의해 고온 고염수는 황해 표층수와 분리되며, 저층에서는 황해의 저층냉수와 전선을 이루고 있다. 황해 냉수는 陽子江堆의 70 m 수심을 따라 동지나해를 향하여 남하하며, 또한 부분적으로 제주해협의 북쪽 단면에도 나타나 남해로 유입 가능성이 크다. 이러한 복잡한 수계구조와 공간적 분포는 황해난류가 한국 서해안을 향하여 북상한다는 기존 학설(Uda, 1934)과는 일치하지 않으며, 지속적인 조밀한 정선관측을 제주도 주변 해역에서 실시하여 해류 구조의 시·공간적 변동상을 파악하여야 한다.

Hydrographic data taken at stations spaced 8-16 nautical miles in the Cheju Strait and the south-eastern part of the Yellow Sea in June 1980 and August 1981 show for the first time that oceanic water of high temperature and high salinity exists within 20 km from the northern and western coast of Cheju-Do. It is confirmed that the low salinity trough in the sea around Cheju-Do originates from the river plume on the Yantze Bank. The salinity trough separates the high temperature and high salinity water around Cheju-Do from the surface water of the Yellow Sea and below the seasonal thermocline this distinct water meets the Yellow Sea Cold Water forming a thermal front. The Yellow Sea Cold Water seems to spread southward along the Yantze Bank centered at the isobath of 70 m. Its characteristics also appear in the northern part of the Cheju Strait. These complex structures contradict the Yellow Sea Warm Current suggested by Uda (1934), which is supposed to flow northward into the Yellow Sea along the western coast of Korea. Our data show that dense hydrographic surveys in space and time are prerequisite to understand the circulation around Cheju-Do.

序 論

Uda(1934)는 1932년 6월 황해 및 동지나해에서 수집된 수온 및 염분 자료를 분석한 결과로 이 해역의 海流 모식도를 최초로 제시하였다. 그 후, 황해의 해수순환은 기본적으로 제주도 서쪽해역을 지

나 한국 서해안을 따라 북상하는 황해난류(Yellow Sea Warm Current)와 중국 연안을 따라 남하하는 沿岸水(China Coastal Water)의 이동에 의해 구성된다고 알려져왔다(Fig. 1). Uda(1934)의 연구에 비교할만한 대규모의 종합적 자료 수집이 최근까지 없었으며, Nino and Emery(1961), 강(1971), Ni-

tani(1972) 등이 Uda(1934)의 순환모형을 그대로 이용하였다. 특히 황해난류는 대마난류와 함께 黑潮의 한 支流로 해석되고 있으며, 여름철에 강해지는 것으로 알려져 있다(Nino and Emery, 1961; Nakao, 1977).

水深이 100 m 미만인 黃海와 인접한 동지나해는 겨울철에는 水溫과 鹽分이 강한 수직적 혼합으로 인하여 均一해지고, 여름철에는 熱輻射와 降水 및 강물의 유입 등으로 뚜렷한 二層構造를 이루는 것이 특징이다(Nakao, 1977). 여름철에는 황해의 중앙해역의 저층에 겨울에 형성된 冷水가 남아있어 黃海冷水로 분류되었고 이 냉수는 양자강 입구와 제주도 사이의 중간 해역을 통하여 황해에서 동지나해로 이동한다고 알려져왔다(Nakao, 1977). 또한 동경 125° 이동의 제주도 서쪽 및 남해에서는 여름철에 표층해수가 뚜렷히 低鹽化되는 바, 강(1971)과 공(1971)은 양자강에서 유출된 담수가 퍼져서 형성된 저염분수가 제주도쪽으로 이동될 가능성을 지적하였다.

이제까지 알려진 여름철의 수계분포와 순환모형을 종합하면 제주도 서쪽인 황해 동남부해역에서 北上하는 황해난류와 東進하는 양자강수에 의한 저염분 회색수가 서로 交叉하면서 존재하는 모순을 발견한다. 이러한 모순된 海流構造를 규명하기 위하여 上記 수계의 해류가 통과하는 제주도 서쪽해역(Fig. 1의 A 해역)에서 1980년 6월 서울대학교와 제주대학교의 共同觀測이 실시되었고, 1981년 8월에는 연구해역을 서쪽과 북쪽으로 확장하였다. 본 연구의 관측은 양자강 하구와 인접한 대륙붕 해역(Fig. 1의 B지역)에서 수행된 美國과 中國의 공동 해양조사와 동시에 실시되었으며, 광범위한 해역에 대한 종합적 자료를 수집할 수 있었다.

수집된 자료를 예비 분석한 결과, 황해 난류가 황해로 북상하는 것이 아니라 제주도를 우회하여 제주해협으로 유입할 가능성이 처음으로 발견되었고(김, 1980; Kim and Lee, 1982), 황해 및 동지나해에 관한 새로운 연구의 효시가 되었다. 특히 Park(1986)과 Lie(1986)는 1982-1984년 여름철(7월 또는 8월)에 그림 2의 A 해역보다 북쪽 또는 남동쪽으로 더 확장된 해역에서 수집된 수온-염분 자료를 황해 난류의 경로에 관한 새로운 보고와 연관되게 해석하였다. 이들 연구에서는 관측점 사이의 거리가

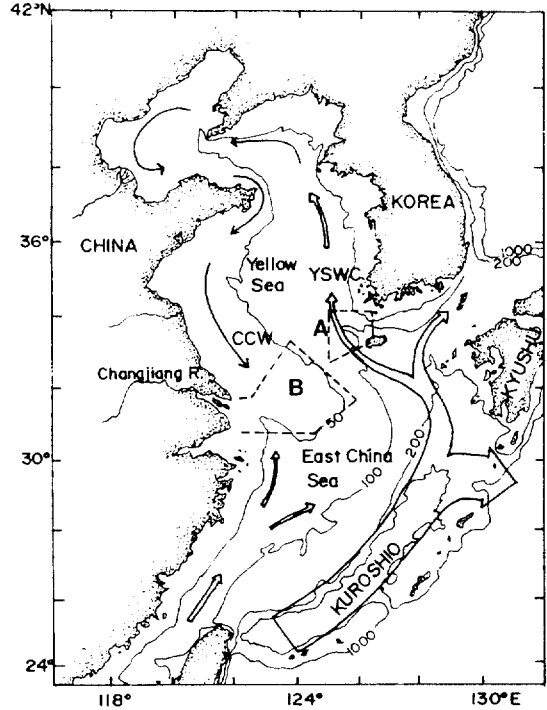


Fig. 1. Regional circulation in the Yellow Sea and the East China Sea since Uda (1934). YSWC is the Yellow Sea Warm Current and CCW is the China Coastal Water. In June 1980, hydrographic surveys were conducted in area "A" by Seoul National University and Cheju National University and in area "B" by the U.S.-China cooperative research. Depths are in meters.

12-30 해리이고, 관측선간의 간격은 60 해리로서, 광역 해역의 대체적 경향을 파악하기에 적절하였다.

본 연구에서는 특별히 제주해협과 제주도 서쪽해역을 집중적으로 조사하였으며, 제주도와 양자강 입구를 잇는 광범위한 해역에서 동시적으로 수집된 자료를 총체적으로 분석함으로써 제주도 주변의 세부구조를 파악함은 물론 이를 광역해역의 종합적 구조에 비추어 분석하였다. 이제까지 이와같은 관측망을 설정한 조사로서는 본 연구가 유일하다. 본 연구의 대상해역이 특성을 달리하는 해수가 모여드는 황해와 동지나해의 핵심적인 곳임은 수집된 자료 자체가 분명히 보여주었으나, 황해 및 동지나해 전 해역에 비추어 본 연구해역의 특성을 파악할 수 없었던 것이 단점이었다. 최근 Kim *et al.*(1991)이 1986년 2회(1월과 7월)에 걸쳐 황해와 동지나해에서 수집된 CTD 자료를 토대로 해수의 특성을 군집

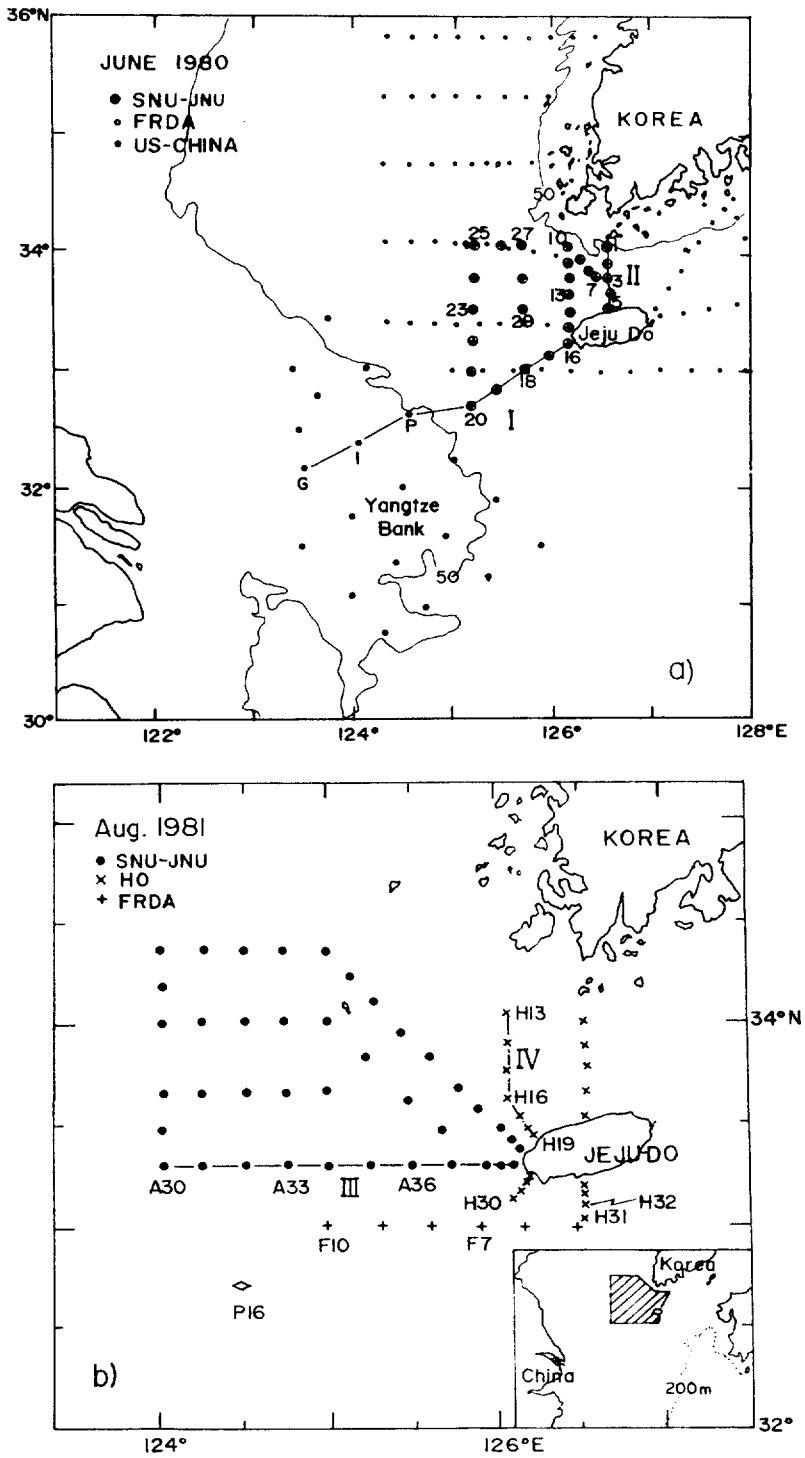


Fig. 2. a) Hydrographic stations occupied by organizations listed in Table 1 in June 1980. Sections I and II are presented in Figs.4 and 5. b) Hydrographic stations observed by organizations listed in Table 1 in August 1981. Station P16 was taken by Beardsley and Limeburner (1983) in August 1981. Sections III and IV are presented in Figs.8 and 9.

Table 1. Hydrographic data in June 1980 and August 1981

Organization	Area	Period	Cast	
June, 1980				Symbols in Fig. 2a
SNU-JNU	West of Cheju-Do	June 16-21	bottle	⊕
US-CHINA	Yangtze Bank	June 18-20	CTD	●
FRDA	Yellow Sea, South Sea	June 9-19	bottle	○
August, 1981				Symbols in Fig. 2b
SNU-JNU	West of Cheju-Do	Aug. 10-15	bottle	●
HO	Cheju Strait	Aug. 5-7	bottle	×
	South of Cheju-Do	Aug. 17-18		
FRDA	South of Cheju-Do	Aug. 18	bottle	+

SNU-JNU: Seoul National University and Cheju National University

HO: Hydrographic Office

FRDA: Fisheries Research and Development Agency

US-CHINA: U.S.-China cooperative survey II

분석함으로써 수괴를 새롭게 정의할 수 있는 근거를 마련하였으며, 본 연구해역의 특성을 이에 근거하여 이해하는 것이 해수 순환을 추측하는데 큰 도움이 될 수 있다.

資 料

양자강 입구와 제주도를 잇는 해역은 황해와 동지나해의 自然的 境界로서 황해와 동지나해의 수계 구조와 해수 순환을 규명하는데 열쇠가 되는 해역이다. 본 논문에서는 1980년 6월 16-21일 제주도 서쪽해역에서 연구진에 의해 수집된 총 29개 관측점의 자료(Fig. 2a, ⊕ 관측점)를 이용하여 水系를 분석하고, 동년 6월 3회에 걸쳐 수집된 미국-중국의 공동조사 자료 중에서(Beardsley and Limeburner, 1982) 18-20일 사이에 陽子江堆 주변에서 관측된 두번째 자료(● 관측점)와 국립수산진흥원(1980)이 6월 9-19일 사이에 황해남부와 남해에서 조사한 定線 관측자료(○ 관측점)를 이용하여 자료의 同時性이 12일 미만인(Table 1) 수온-염분의 綜觀의 수평분포를 구성하였다.

1981년 8월에는(Fig. 2b) 총 40개의 관측점에서 수온과 염분이 관측되었으며(● 관측점), 동시기에 제주도 주변에서 관측된 수로국 자료(1981, × 관측점)와 국립수산진흥원(1981)의 314 정선의 일부 자료(+ 관측점)가 함께 분석되었다. 8월의 경우 자료의 同時性은 약 13일 미만이다. 본 연구를 위한

정선 관측선은 해수 특성 변화가 심한 南北 方向으로 설정하였고, 관측점 간격은 8-16해리로 정하여 수온 및 염분의 水平的 構造를 자세히 파악할 수 있게 하였다. 기존의 조사 및 연구에서는 관측선의 간격이 너무 클 뿐만 아니라, 특성의 등치선과 거의 평행한 동서방향으로 설정되어, 특성의 공간적 구조를 파악하는데 어려움이 있었다.

특히 제주도 해안 가까이에서 조밀한 간격의 관측점을 선정하여 특징적 수계의 존재와 구조를 확인할 수 있었다. 각 관측점에서 층별(0, 10, 20, 30, 50, 75, 10 m, 해저)로 전도온도계를 이용하여 수온을 측정하였고, 염분은 Autosal(Model 8400)을 이용하여 분석하였다.

1. 1980년 6월

1.1 水系

연구 해역에서 해수의 物理的 特性은 T-S diagram에 잘 나타난다. Fig. 3은 Fig. 2의 ⊕ 관측점에서 관측된 자료를 T-S 곡선으로 도시한 것으로서 각 관측점 번호는 표층과 저층의 특성치에 표시하였다. 관측해역이 100 km×100 km 정도의 좁은 해역임에도 불구하고 T-S diagram에서 特性曲線이 나타나지 않는 영역이 존재하며, 따라서 관측점별 특성곡선을 크게 A와 B 두 집단으로 나눌 수 있다.

A 집단은 全 水層을 통하여 수온이 14°C 이상, 염분이 33.0‰ 이상인 것이 특징이며, 관측점별 특성곡선간의 相關이 매우 밀접하다. 특히 이 집단의

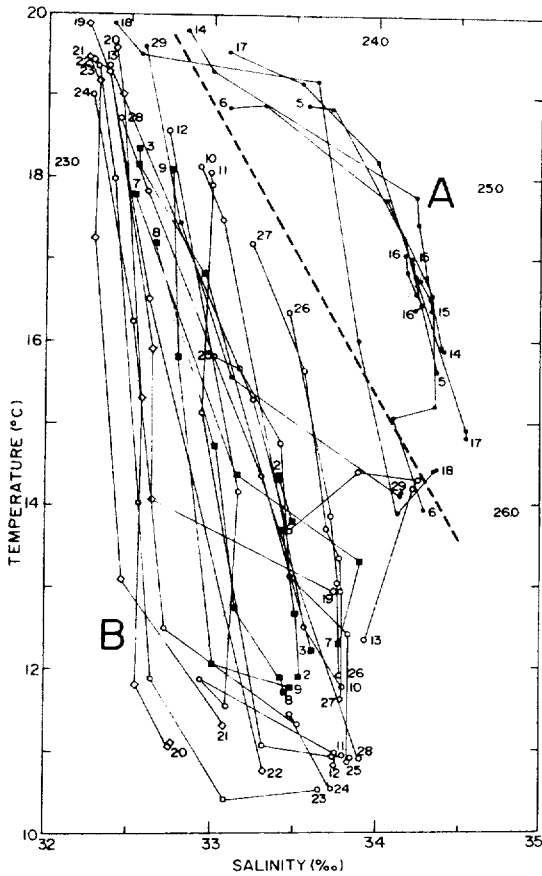


Fig. 3. Temperature-salinity diagram for 29 stations taken in June 1980 at locations indicated by '⊕' in Fig. 2a. T-S curves are divided into two groups, A and B, by a dashed line.

수계는 중층 및 저층에서 34.0‰ 이상의 높은 염분을 갖는다. 최고 염분은 34.5‰로서 관측점 17에서 관측되었고 여름철에 이러한 수온의 고염분수는 동지나해의 黑潮流域에서만 관측된다(Nitani, 1972; Kim *et al.*, 1991). 이 집단에 속하는 해수가 관측된 관측점 5, 6, 14, 15, 16, 17는 Fig. 2a에서 모두 제주도에서 20 km 이내의 거리에 있어, 제주도 연안에 고온 고염분의 해수가 좁은 띠를 형성하고 있음을 알 수 있다. Nakao(1977)는 황해와 동지나해의 광역에서 수집된 방대한 관측자료를 분석하였지만 A 집단과 같은 수계에 대한 언급이 없었다. 제주도 가까이에 조밀한 관측점을 설정한 결과로 이러한 수계의 발견이 가능하였으며, 특성곡선들의 밀접한 상관성과 더불어 고염분의 특성으로부터 이

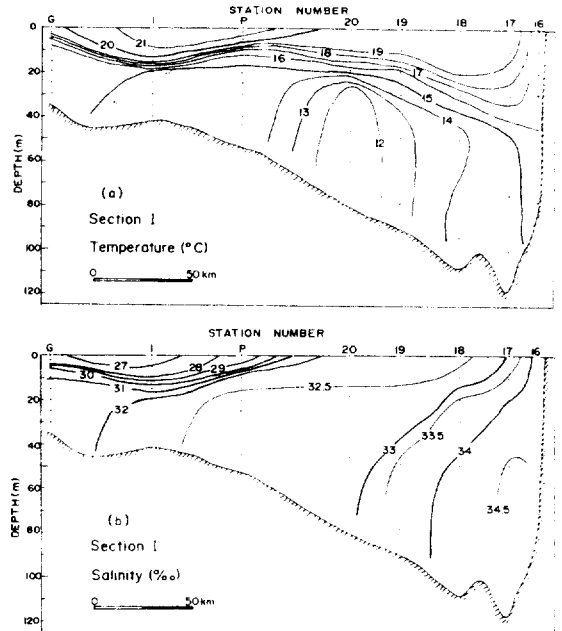


Fig. 4. Vertical distribution of temperature (a) and salinity (b) for Section I shown in Fig. 2a.

해수가 大洋에서 起源한 水系임을 추측할 수 있다. 이 수계의 특성분포는 断面構造와 水平分布에서 제시될 것이다.

B 집단의 특성곡선은 A 집단의 수계와 비교할 때 관측점에 따라 수온과 염분의 변화 범위가 광범위하여 Nakao(1977), Lie(1986) 등이 지적한 여름철 大陸棚 水系의 대표적 특징을 보인다. 이 집단의 해수는 大洋性 水系에 비하여 上層에서 32.4‰ 이하의 상대적으로 低鹽이고, 下層에서는 수온이 12°C 이하로서 大洋性 水系보다 2-4°C 정도 낮다. 이 低溫水는 조사 해역의 북서쪽에 위치한 관측점 20, 21, 22, 23, 24(Fig. 2a 참조)들에서 나타난다. 특성으로 보아 B 집단 수계는 Nakao(1977)에 의해 분류된 黃海 低層 冷水의 연속으로 사료된다. 이 저온수의 密度($\sigma_t \sim 25.9$)는 제주도 주변의 고염수의 밀도($\sigma_t \sim 25.6$)보다 크다.

1.2 水溫 鹽分의 断面構造

양자강하구-제주도 단면 I(Fig. 4): 황해의 開放境界인(Fig. 2a 참조) 단면 I는 황해로 유입되는 수계와 황해에서 유출되는 수계의 수온 및 염분의 특성을 살펴보기에 가장 적절하다. 본 연구에서는 관측점 16에서 20까지의 자료와 미국-중국 공동 해

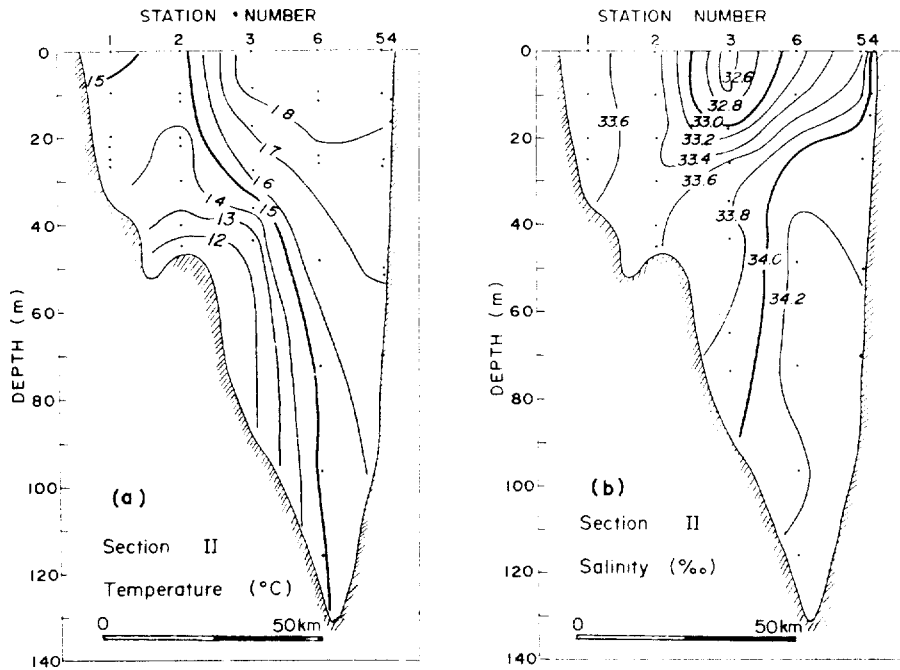


Fig. 5. Vertical distribution of temperature (a) and salinity (b) for Section II shown in Fig. 2a.

양조사에 의해 관측된 관측점 G, I, P의 자료를 연결하여 단면을 구성하였다. 양자강 입구 부근의 수계특성에 대하여는 Beardley and Limeburner(1983)의 연구결과에 자세히 기술되어 있으므로, 여기서는 단면의 전체적 수계구조를 살펴보기로 한다.

Fig. 4에서 수온과 염분의 수직분포는水深에 따라 뚜렷이 달라짐을 알 수 있다. 淺海域인 양자강퇴(관측점 G, I, P)에서는 단면상에서 가장 높은 온도와 가장 낮은 염분의 표층 해수가 렌즈형태를 보이고, 그 밑에 비교적 균질의 저층수가 존재한다. 표층수와 저층수 사이에는 강한 계절적 水溫躍層과 鹽分躍層이 발달한다. 이 렌즈형의 表層水는 양자강수에 의하여 희석된 저층수의 plume으로 밝혀졌다(Beardley et al., 1985). 렌즈의 형태는 특히 염분 단면에서 분명하고, 32.0‰의 등염분선이 plume의 경계를 이룬다. 한편 단면에서 수심이 50m 이상인 깊은 해역에서는 강한 계절적 水溫躍層이 형성되어 있으나 이에 相應하는 鹽分躍層이 형성되어 있지 않고, 염분이 32.0‰ 이상으로서 양자강 稀釋水의 직접적 영향이 나타나지 않는다. 수온약층 아래에서는 단면의 중앙인 관측점 20에서 12°C 이하의 최저

수온이 나타나고, 제주도 부근의 관측점 16과 17에서 최고 염분의 核(core)이 나타나 수온과 염분의 단면구조가 서로 다른 특징을 보인다.

관측점 20에 나타난 최저 온도는 약 11°C이고(Fig. 3), 관측점 23과 24에서는 10.5°C로서 관측점의 최저 온도가 북쪽으로 감소하는 경향이 뚜렷하다. 이것으로 미루어 보아 남쪽으로 移動하는 黃海冷水가 관측점 20을 통과하는 것으로 볼 수 있다. 관측점 17과 20은 T-S diagram(Fig. 3)에서 지적인 대양수계와 내륙붕수계를 대표한다. 연구해역의 수계는 저층수의 특성에 의해 구분되어지며, 최저수온과 최고염분은 연구해역에 나타나는 수계의 기원을 추적하는데 있어서 추적자(tracer) 역할을 한다. 이러한 특징을 이용하면 해수특성치의 수평적 분포로부터 연구해역의 海流經路를 추측할 수 있다.

관측점 16에서는 외해에 비하여 수직적으로 수온과 염분의 변화가 매우 적은 특이한 구조를 한다. 이로 인하여 Fig. 3에서 관측점 16의 T-S 곡선은 매우 짧으며, 북쪽에 이웃한 관측점 15도 같은 특성을 갖는다. Kim and Lee(1982)는 이러한 구조를 조류에 의한 혼합과 용승으로 설명하였다.

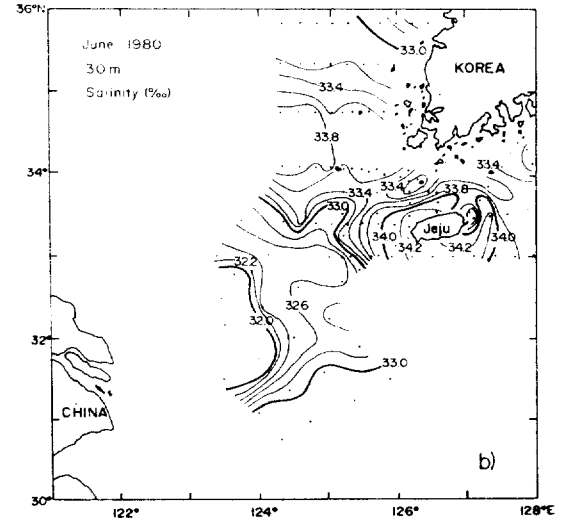
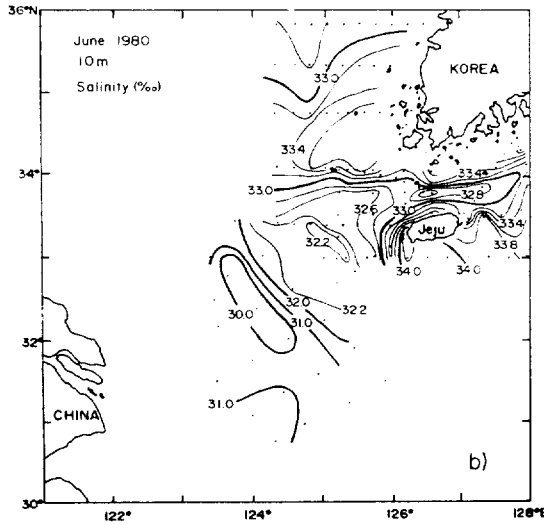
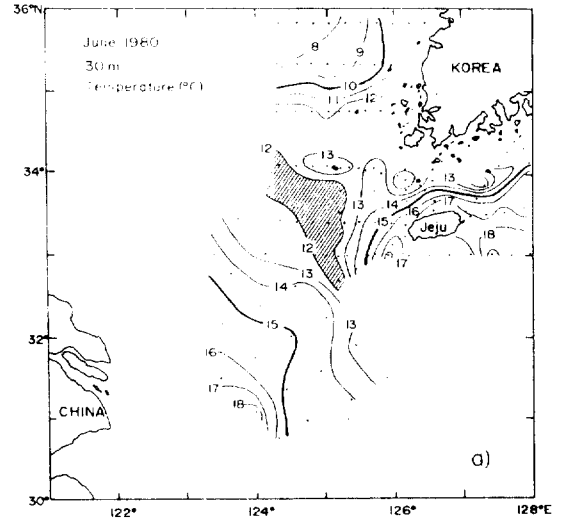
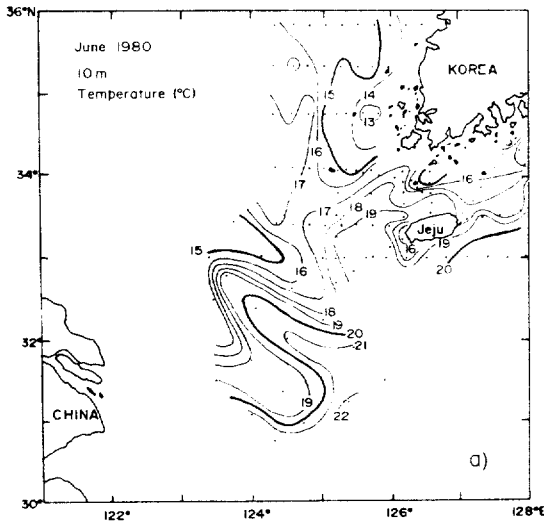


Fig. 6. Distribution of temperature (a) and salinity (b) at 10 m depth in June, 1980.

Fig. 7. Distribution of temperature (a) and salinity (b) at 30 m depth in June, 1980.

제주해협 단면 II (Fig. 5) : 제주해협은 해수가 황해로 유입되거나 황해에서 유출될 수 있는 또 하나의 자연적인 통로로서 단면 I과 단면 II(Fig. 2a)의 특성 분포를 비교하는 것은 중요하다. 단면 II의 수온구조는 계절적 수온약층이 없으며, 오히려 수평적 수온전선이 발달하였다. 제주도 주변에서는 全水層에 걸쳐 수온이 15°C 이상이고, 12°C 이하의 저온수核이 관측점 2의 저층에 존재하여 제주도쪽의 고온수와 강한 水溫前線을 형성하고 있다. 관측점 2의 저층 수온-염분 특성은 단면 I의 관측점 20에서 발견된

저온수와 유사하여 황해 냉수계열의 해수가 제주해협의 북측 저층에 나타나는 것으로 보인다.

염분구조에서는 33.0‰ 이하의 저염수가 강력한核을 이루며 관측점 3의 표층에 나타난다. 국립수산진흥원(1986)의 平年海況圖에 의하면 일반적으로 제주해협내에서는 표층 염분이 6월까지 33.0‰ 이상이고 6월 이후 염분이 32.0‰ 이하로 低鹽化된다. 만일 저염수가 계절적 집중 強雨에 의한 것이라면, 염분의 단면구조는 核(core)의 형태가 아니라, 표층에 폭넓게 나타나야 할 것이다. 따라서 본 연구

에서 관측된 표층 저염수는 국지적인 강우에 의한 것이 아니라 다른 해역에서 저염수가 移流되어 나타난 것으로 판단하는 것이 타당하다. 한편 제주도 주변의 30 m 이심에 나타나는 고온-고염수(34.0‰ 이상)는 제주도 서쪽의 단면 I에서 발견된 대양수 기원의 해수와 특성이 유사하여 暖流水의 流入을 추측할 수 있다.

1.3 水温 鹽分の 水平分布

수직 단면 구조에서 알 수 있듯이 조사해역에서 季節의 水温躍層이 대략 20 m 깊이에 발달되어 있으며, 수온약층을 경계로 상층과 하층의 특성 구조가 판이하다. 따라서 황해 입구의 綜觀的 構造를 상층과 하층으로 나누어 파악할 필요가 있으며, 10 m 깊이를 상층으로 택하였다. 수온약층의 수심이 제주도를 향하여 깊어지므로(Fig. 4), 50 m 정도의 수심이 제주도 주변의 하층을 대표하나, 수심이 얇은 양자강퇴 부근에서 본 연구와 동시에 관측된 미국-중국의 공동 해양조사 자료와 국립수산진흥원의 정선 관측자료를 활용하여 광역의 특성분포를 파악하기 위하여 30 m 깊이를 하층으로 택하였다. 따라서 제주도 주변의 수온 및 염분 분포를 해석함에 있어서는 수온약층의 깊이변화에 특히 유의하여야 한다.

상층 (10 m)의 수온 및 염분 분포 (Fig. 6) : 양자강 입구에서 한국 남서단을 연결하는 선을 경계로 하여 남동쪽 해역에 19℃ 이상의 고온수가 있고 북서쪽에 17℃ 미만의 상대적 저온수가 있어 양쪽의 표층수가 구분된다. 양자강퇴에서는 등온선이 심한 변동을 나타내고, 국지적으로 대흑산도 주변과(13℃ 이하) 제주도 서단에는 저온수가 보인다. 염분의 수평분포에서는 양자강퇴의 측면을 따라 31.0‰을 중심으로 염분이 급격히 변하고, 양자강 입구쪽으로 30.0‰ 이하의 저염수가 있다. 양자강퇴의 북동쪽으로는 상대적 저염분의 골(33.0‰ 이하)이 소흑산도와 제주도 사이를 지나 제주해협쪽으로 형성되어 남해까지 연장되어 있다. 양자강퇴 해역의 저염수는 단면 I의 관측점 “I”를 중심으로한 렌즈형태의 표층수이고(Fig. 4 참조), 수온의 수평분포에서 양자강퇴의 19℃ 이상 등온선 변동은 렌즈형 구조 때문이다.

Beardsley, et al.(1985, Fig. 7)은 1980년 6월에 3회에 걸쳐 관측된 염분 분포에서 양자강 외해역에서 표층 저염수가 시간과 공간적으로 많은 변동성을 보임을 발견하였고, 이를 평균하였을 때 양자강

퇴석수는 북동쪽인 제주도쪽으로 이동하고 있음을 보여주었으나 관측범위의 한계로 인하여 양자강퇴의 동쪽인 제주도 주변 및 황해 동부해역에서 양자강 퇴석수의 진로는 밝히지 못하였다. 연구해역의 서남쪽 양자강퇴 해역의 자료는 본 연구진에 의한 제주도 서쪽의 관측자료와 같은 기간에 관측된 것으로서(Table 1 참조), 광역에 걸친 10 m 수심의 동시적인 염분분포는 33.0‰ 이하 저염수의 골을 이루는 해수가 양자강수의 영향으로 저염화된 표층수임을 보여준다. 이 저염수의 골은 동쪽으로 가면서 좁아지고 있어 표층수가 제주해협으로 이동하고 있음을 제시한다.

제주도의 서단에 국지적으로 나타나는 16℃ 이하의 저온수는 단면 I에서 본 바와 같이 수직적으로 거의 균일한 특성치를 보인 해수이고, 대흑산도 주변에 나타나는 13℃ 이하의 저온수도 조선운동에 의한 혼합으로 설명하였다(Lie, 1989).

하층 (30 m) 수온 및 염분분포 (Fig. 7) : 수온분포는 연구해역이 세 지역으로 뚜렷히 구분되고 있음을 보여준다. 첫째, 황해내부에는 10℃ 이하의 低層冷水가 존재한다. 둘째, 천해역인 양자강퇴에는 상층(10 m)의 분포와는 대조적으로 등온선이 남동-북서 방향으로 분포하며, 수온이 상대적으로 높다. 셋째, 제주도 남쪽에는 수온이 17℃ 이상으로 비교적 균일하며, 제주도 북서 해안에 16℃ 이상의 고온수가 북쪽과 서쪽의 저온수와 강한 수평적 熱前線을 이룬다. 이 열전선은 제주해협을 지나 남해까지 이어져 있다. 하층의 열전선은 8월의 관측자료 분석에서 자세히 언급될 것이다. 이상의 세 지역의 중앙역에 해당하는 소흑산도 주변해역은 수온이 12-13℃이다. 그러나 소흑산도 남쪽으로 12℃ 이하의 低溫水가 舌狀으로 나타나며(빗금친 해역) 양자강퇴의 해수와 제주도 주변 고온수 사이로 연장되어 있다. 이는 단면 I에서 언급된 핵구조의 황해 냉수가 동지나해를 향하여 남동쪽으로 저층으로 따라 移動하고 있음을 보이는 구조의 윗부분이라 볼 수 있다.

30 m의 염분 분포에서는 양자강퇴에 32.0‰ 이하의 저염수가 분포하며, 반면에 제주도 주위에 34.0‰ 이상의 고염수가 나타나는 것이 가장 눈에 띄는 특징이다. 황해 내부는 33.2‰ 이하의 저염이나 북위 34°와 35° 사이에 33.6‰ 이상의 고염대가 동서로 뚜렷히 나타나 양자강퇴의 저염수와 분리되어

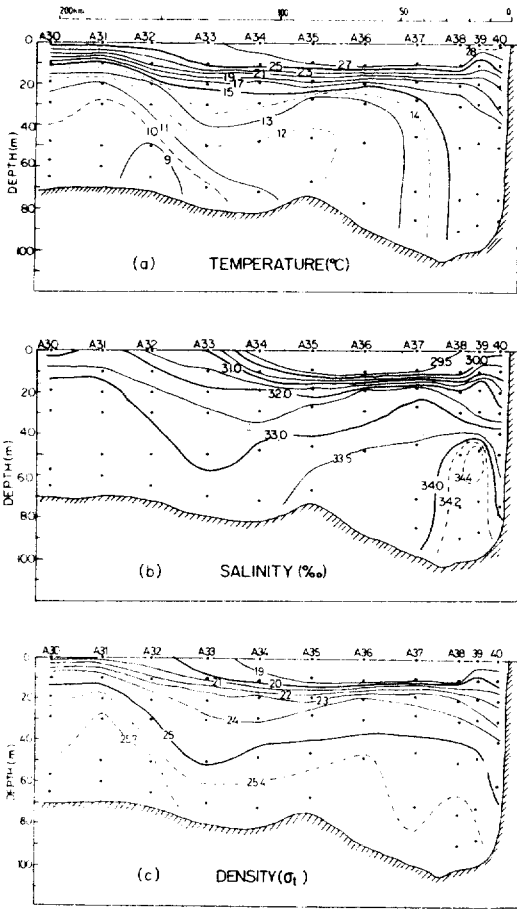


Fig. 8. Vertical distribution of temperature (a), salinity (b) and sigma-t (c) for Section III in Fig. 2b.

있다. 제주도 서쪽에는 고염수와 저염수가 접하면서 33.0‰와 34.0‰ 사이에서 강한 염분전선을 형성하며, 이 전선은 부분적으로 제주해협 중앙부로 연장되어 있다. 이 전선이 13°C와 17°C의 등온선으로 정의될 수 있는 열 전선은 분포와 공간적으로 거의 일치하는 것이 매우 중요하다.

2. 1981년 8월

2.1 水温 鹽分の 断面構造

제주도 서쪽 단면 III (Fig. 8): 제주도 서쪽에서 동서방향으로 설정된 단면 III (Fig. 2b 참조)의 表層水는 27°C 이상, 29.5‰ 이하로 고온 저염화되었고, 20 m 수심에 형성된 계절적 수온약층과 염분약층이 6월의 단면 I의 경우보다 잘 발달되어 密度的

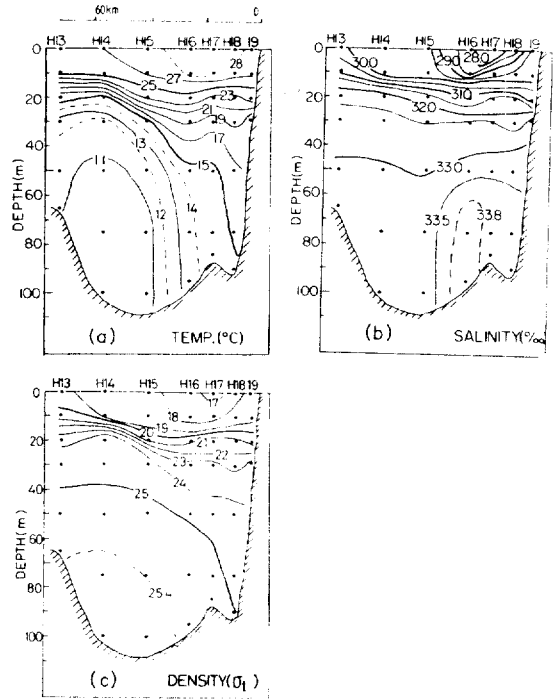


Fig. 9. Vertical distribution of temperature (a), salinity (b) and sigma-t (c) for Section IV in Fig. 2b.

二層構造 (Fig. 8c)를 이룬다. 저층에는 두 수계가 뚜렷한 核構造를 보이는데, 단면의 서쪽 관측점 A32에는 저온수(10°C 이하, 33.4‰ 이하)의 核이 있고, 제주도 연안 관측점 A38과 A39에는 高鹽水(15°C 이상, 34.0‰ 이상)의 核이 있다. 고염수는 50 m 깊이에서 염분이 최대가 되어 수직적으로 0.2‰의 鹽分逆轉 현상이 나타나며, 1980년 6월 같은 해역에서 발견되었던 大洋性 水系의 특성을 갖고 있다. 한편 서쪽의 저온수는 Nakao(1977)가 제시한 黃海 冷水의 특성과 잘 일치하며, 수심이 얕은 곳의 저층을 채우고 있어 수온약층의 깊이가 상대적으로 얇다. 단면내에서 황해냉수의 密度가 가장 크고, 수온과 염분 및 밀도의 등치선이 관측점 A31에서 A33까지 50 km에 걸쳐 20 m에서 70 m 깊이로 기울어져 수온약층 아래의 저층에서 水平的 前線을 이룬다. 제주해협 단면 IV (Fig. 9): 제주해협의 서쪽입구에 위치한 단면 IV (Fig. 2b 참조)에서 제주도쪽 저층에 高溫의 高鹽水 核이 나타나며, 해협의 북쪽 저층에는 11°C 이하의 低溫水가 존재하여 두 해수는 강한 前線을 형성하는데 단면 III에서와 같이 고염수의 密

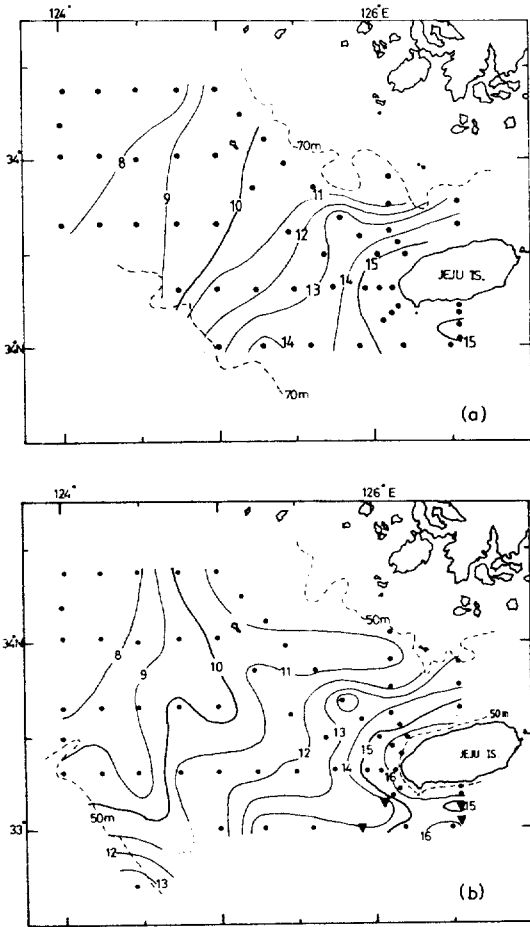


Fig. 10. Distribution of temperature at 70 m (a) and 50 m (b) in August, 1981.

도가 저온수의 밀도보다 작다. 표층에는 29.5‰ 이하의 저염수가 핵을 이루며 저층 고염수 위에 나타난다. 이러한 표층과 저층의 해수 特性構造는 1980년 6월의 제주해협내의 단면 II의 구조와 매우 유사하나, 8월에는 6월에 비해 수온의 二層構造가 강하게 발달하였다. 이 단면 표층 저염수는 단면 III의 표층수보다 염분은 1.5‰ 낮고 수온은 0.5℃ 높으며, 저층의 고온 고염수는 단면 III의 고염수보다 1.3℃, 0.6‰ 정도 낮다. 두 단면의 관측시기가 1주일 정도 다르기 때문에 이러한 특성치의 차이에서 空間的인構造와 時間的 變化를 구별하기는 어려우나, 저층의 상대적 고염분의 핵구조가 단면내에 존재한다는 사실은 제주도 서쪽 단면 III의 고염수가 제주해협으로 供給되고 있음을 의미한다.

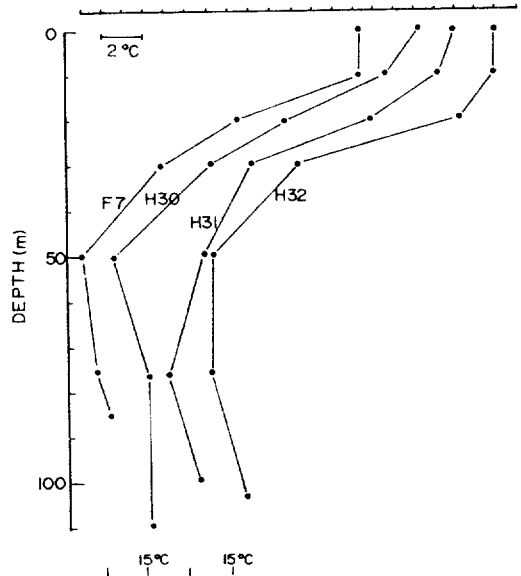


Fig. 11. Examples of temperature profile which show temperature inversion at 4 locations in Fig. 2b. Sticks of 15°C in the bottom of figure indicate the reference temperature of each profile.

2.2 低層 前線分布와 水溫逆轉

1981년 8월의 관측은 조밀한 간격으로 이루어져 수직단면에서 언급된 저층 전선의 수평적 분포를 파악할 수 있다. 70 m 깊이(Fig. 10a)에서는 제주도 주위에 15℃ 이상의 고온수가 있고, 북서쪽으로 열린 지형적 골에서 10℃ 이하의 황해 저층냉수와 접하여 북동-남서 방향의 水溫前線을 형성한다. 수온의 수평구배가 가장 큰 곳은 11-13℃ 사이로서 이 전선은 제주해협의 서쪽입구까지 延長되어 있다. 이러한 열전선의 존재는 제주도 주변의 高溫水가 저층을 통하여 黃海內部로 流入하지 않음을 보여준다.

50 m의 수온 분포(Fig. 10b)는 뚜렷한 열 전선이 나타나지는 않는 것이 70 m와는 다르나, 고온 및 저온의 공간적 분포 경향은 마찬가지로이다. 등온선의 굴곡이 심한 것이 특징으로 冷水의 舌狀이 연구해역의 서남쪽(9℃)과 제주해협 북부(11℃) 및 제주도 남쪽(14℃)에서 나타난다. 연구해역의 서남쪽에 나타나는 冷水의 舌狀은 1980년 6월의 30 m 수심(Fig. 7a)에서 陽子江堆의 측면을 따라 분포하는 12℃ 이하 저온수 설상과 같은 곳에 위치하며, Park(1985), Kondo(1985)가 보고한 북위 32° 부근의 동지나해 저온수와 연결된다.

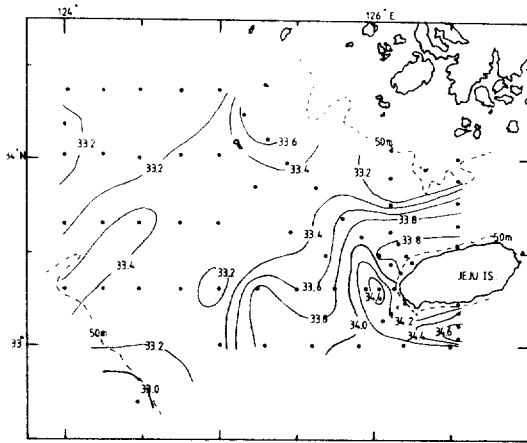


Fig. 12. Distribution of the maximum salinity in the water column at each station in August, 1981.

Fig. 10b에 나타난 등온선의 심한 굴곡은 水溫躍層 사이의 空間的 變化에 의한 것일 수도 있다. 예를 들어, 단면 III의 관측점 A33 부근에서 수온약층 아래의 12°C 등온선이 상대적으로 깊어져 있는 것을 볼 수 있다(Fig. 8a 참조). Nakao(1977)는 여름철에 황해냉수가 확장되는 황해남부 및 동지나해 북부에서 수온의 역전현상이 일어난다고 보고한 바 있다. Fig. 11은 1981년 8월 제주도 남쪽의 관측점 F7, H30, H31 및 H32에서 관측된(Fig. 2b 참조) 수온 수직구조로서 50-70 m 깊이에 수온역전층이 있고, 역전층의 수온은 15°C 이하임을 보여준다. 逆轉層의 염분은 33.2-33.7‰로서 아래층의 34.2‰ 이상의 고염수와 특징치가 확연히 구별된다(Fig. 12 참조). 50 m 깊이의 수온분포에서 제주도 남쪽으로 향하는 14°C 등온선의 舌狀(Fig. 10b, ▽관측점)은 수온약층의 공간적 구조와는 무관하며 수직적인 水溫逆轉 현상에 의한 것이다.

1980년 6월에도 제주해협의 관측점 13과 제주도 남서쪽의 관측점 18에서 수온역전이 관측되었으며(Fig. 3, 4a), 6월의 관측점 18의 위치는 8월의 관측점 F7 부근이다(Fig. 2a 참조). 이러한 수온역전은 인근해역에서 역전층을 통하여 低溫水가 移流되지 않으면 나타날 수 없다. Fig. 11에서 역전층의 수온은 관측점 H30에서 H31쪽으로 높아지는데, 이는 제주도 서쪽 前線域에서 상대적 低溫水가 제주도 남쪽으로 수온약층 아래를 통하여 供給됨으로 가능할 수 있다.

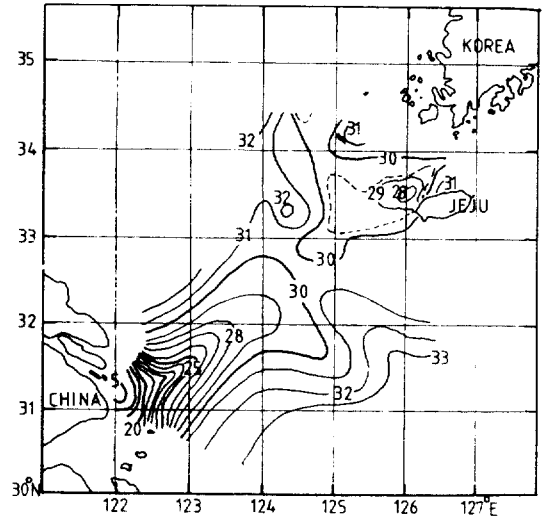


Fig. 13. Distribution of synoptic surface-salinity in August, 1981. Salinity field around Jeju Island is overlapped with plume structure of low salinity off the Changjiang (Yu, *et al.*, 1983) near 33°N and 125°E.

2.3 低層 高鹽水

제주도 남쪽 해역에서 발견된 수온역전 현상으로 인하여 고온 고염수를 저층의 수평분포도에서 추적하기가 어렵게 되었다. 흑조기원의 大洋水系는 高鹽이 특징임을 利用하여 각 관측점의 最高鹽分값을 뽑아 분포도를 작성하였다(Fig. 12). 최고염분은 제주도 남쪽에서 관측된 34.6‰이고, 이 곳에서 나타나는 水溫逆轉層 아래에 존재하는 해수이다. 고염수는 제주도 서단을 迂廻하여 제주해협으로 향하는 舌狀分佈를 이루며 저염화되고, 고염분의 골이 제주도 해안선에서 약 20 km 거리에 있다. 고염분 골의 서쪽 및 북쪽으로는 염분이 대부분 33.4‰ 이하이며 33.8‰ 이상의 염분은 보이지 않는다. 특히 33.4‰와 33.8‰ 사이의 염분을 갖는 해수가 존재하는 범위는 저층 수온전선의 위치(Fig. 10)와 일치하여 水溫前線과 鹽分前線이 함께 존재함을 알 수 있다.

제주도 주위 저층에서 이러한 고염분의 골이 설상으로 유지되기 위해서는 흑조에 기원을 둔 高鹽水가 황해쪽의 冷水와 열염분 전선에 의해 境界를 이루며 제주도 남쪽에서 제주도 서쪽으로 流入되어 제주해협으로 흘러가야 한다. 전선역에서 전선을 이루는 두 수괴의 密度차이가 있을 때, 전선과 평행인 방향으로 地衡流 平衡에 의해 海流가 형성된다

(Fedrov, 1983). 연구해역의 고염 고온수는 황해냉수보다 밀도가 작으므로 海底摩擦力을 무시하면, 지형류 평형에 의해 전선을 따라 시계방향의 해류를 기대할 수 있고, 이러한 해류는 제주도 주위의 고염분 골의 방향과 일치한다.

2.4 表層 低鹽水

1981년 8월의 서쪽 관측해역은 같은 시기인 8월 1일부터 16일 사이에 실시된 美國-中國 共同 調査 海域과(Yu *et al.*, 1983; Beardsley and Limeburner, 1982; Beardsley *et al.*, 1985) 重疊 連結된다. Yu *et al.*(1983, Fig. 1(b))의 결과를 본 연구의 자료와 연결하여 구성한 황해 입구 해역의 綜觀의 표층 염분분포는(Fig. 13) 제주도 주변의 低鹽水의 起源을 파악하는데 매우 중요하다.

본 연구에서 조사한 제주도 서쪽에서는 28.0% 이하의 저염수가 관측되었고, 29.5‰ 이하(Fig. 13의 점선)의 저염수는 양자강 하구쪽으로 연장되어 있으며 북쪽과 남쪽의 상대적 고염수 사이에 놓여 있다. 1980년 6월의 10 m 깊이의 염분분포(Fig. 6b)에 비해 30.0‰ 이하의 等鹽分線이 양자강 하구에서 북동쪽으로 혀 모양의 분포를 하여 양자강수에 의해 稀釋된 저염수가 북위 32°30', 동경 124°30'까지 擴張하고 있음이 분명하다(Yu *et al.*, 1983). 본 연구에서 조사한 저염분의 축이 양자강하구 외해의 축과 일치함을 보아 제주도 주변의 표층 저염수는 양자강 회석수가 移流되어 온 것임이 확실하다. 이러한 8월의 표층 염분분포는 1980년 6월의 10 m 깊이의 염분분포와는 달리 제주도 주변 표층 저염수의 기원이 양자강 회석수임을 직접적으로 밝혀준다. 본 연구의 조사해역에서는 소흑산도 북서쪽에 29.5‰ 이하의 저염분이 부분적으로 관측되었으나, 국립수산진흥원(1981)이 본 연구의 관측시기와 同時인 1981년 8월 10일에서 13일 사이에 관측한 311(북위 34°43')과 310(북위 35°20') 定線에서는 31.5‰ 이하의 염분이 나타나지 않는 것으로 미루어 보아 황해에 저염분의 요인이 있을 가능성은 없다.

Fig. 13에서 30.0‰ 등염분선을 보았을 때 鞍形의 염분 분포를 이루며 저염수의 골이 分離되는 곳이 있다. 이 곳은 양자강퇴의 측면으로서 1980년 6월에 10 m 깊이에서 31‰ 등염분선을 경계로 염분이 급격히 변하는 해역이고(Fig. 6b) 30 m 깊이

에서 저염수의 설상이 나타난 곳이다(Fig. 7a). 1981년 8월의 경우 이 곳은 단면 III의 서쪽에 수온약층 깊이가 얕아진 곳의 남쪽이며, 저층에서 黃海冷水가 저온의 舌狀을 보이며(Fig. 10b 참조) 남동쪽으로 확장하는 해역이다(Inoue, 1974; Park, 1986). 황해냉수의 설상의 축은 표층 저염수의 골의 연장선과 直角이다. Beardsley *et al.*(1985, Fig. 9)은 1981년 8월 동시기에 관측된 양자강 입구에서 제주도를 향하는 단면을 제시하였는데, 저층에서 황해냉수의 核구조에 의한 수온 전선역에서 표층 저염수의 plume이 斷折되고 있음이 나타난다. 8월의 수온-염분 단면구조와 Fig. 13의 안장형 염분분포는 표층을 통한 양자강 稀釋水의 移動이 저층의 黃海冷水가 확장하는 양자강퇴 측면에서 遮斷될 수 있는 가능성을 내포하나, 1980년 6월의 표층 저염수가 시공간적으로 변화하는 이동형태(Beardsley *et al.*, 1985, Fig. 7)를 보였던 것으로 미루어 8월에도 양자강 회석수는 동지나해로 향하는 냉수확장의 변화에 따라 間歇的으로 또는 우회하여 제주도 주변해역으로 移流되었음을 시사한다.

討議 및 結論

본 연구에서 분석된 제주도 주변의 高溫高鹽水는 그 특성으로 보아 흑조의 영향을 받은 대양수임이 틀림없으나, 제주도 남쪽 해역에서 동시에 관측된 자료가 없어 동지나해로부터의 해류 경로를 추측하기는 어렵다. Kim *et al.*(1991)은 제주도 남쪽의 동지나해와 황해를 포함하는 해역에서 겨울과 여름철의 표층 및 50 m 층의 수계를 분석하여 동지나해수(East China Sea Water)를 12.5℃ < T < 16.5℃, 33.5‰ < S < 34.6‰로 정의하였다. 이 특성은 본 연구의 제주도 주변 고염수의 특성치를 포함하며, 50 m 층에서 이 해수는 여름과 겨울에 제주도 남쪽과 제주도 주변에 분포함을 보여주었다. 동지나해수는 대륙붕수에 의하여 부분적인 저온 저염화 경향을 갖고 있으나, 매우 높은 염분은 흑조로부터의 기원을 분명히 보인다(Kim *et al.*, 1991; Fig. 2)

Lie(1986), Park(1986) 등이 광역 조사의 자료를 분석하여 흑조 기원의 고온 고염수가 봄과 여름에는 연구해역을 통하여 한국 서해안을 따라 북상하는 것이 불가능하며, 제주도 서단을 迂廻하여 흐를 필

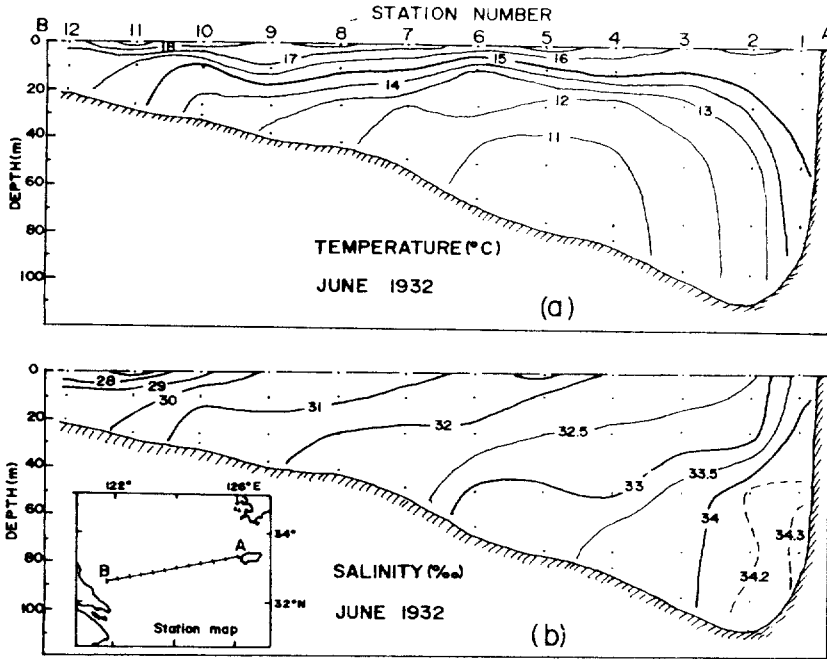


Fig. 14. Vertical distribution of temperature (a) and salinity (b) for the section shown in figure (b) in June 1932.

요성을 지적한 바가 있으나, 제주해협과 제주도 인접 서쪽 해역에 대한 관측점 간의 거리가 너무 큰 까닭에 Fig. 3과 같은 수계의 뚜렷한 분리와 Fig. 10과 같은 제주도 주변 저층에 형성되는 전선의 공간적 구조를 보여주지는 못하였다. Lie(1985, Fig. 2와 3)는 수산진흥원의 15년 평균자료를 이용하여 4월에 연구해역에서 남북방향으로 큰 수온구배가 형성됨을 보여 동서방향의 수온전선을 보고하였지만 남북방향의 관측점간격이 40마일 정도여서 1980년 6월과 1981년 8월에 연구해역의 저층에 존재하는 열염분前線과 같은 전선의 수평적 형태와 구조를 파악하지는 못하였다. 이 전선은 공(1971)이 보고한 남해의 여름철 전선과 제주해협을 통하여 연결될 가능성이 있다. 조(1989)는 여름철 남해 저층의 14°C 이하의 저온수가 제주해협을 통하여 유입한 것이라고 주장하였다. Lee(1983)와 Lee et al.(1984)는 11월 말에도 제주해협에서 남해로 이어지는 전선을 보고하였다.

연구해역에서 새롭게 밝혀진 수계 구조는 Uda(1934)가 제시한 이후 많은 학자들에게 定說로 받아들여졌던 황해난류의 존재와는 일치하지 않는 문제가 있다. Uda(1934)가 제시한 황해난류는 1932년

6월에 황해 및 동지나해의 광범위한 해역에서 동시에 조사된 수온-염분 자료의 분석에 바탕을 두고 黑潮의 한 支流로서 제주도 서쪽을 지나 황해 내부로 북상하는 황해난류를 주요한 해류로 제시하였다. 1932년 6월 3일과 4일에 조선 총독부 수산시험장(1932)에 의해 관측된 제주도와 양자강 입구를 연결하는 단면에서 수온과 염분구조(Fig. 14)는 대략적으로 본 연구의 단면 I과 매우 유사하여 50년의 시간이 지났음에도 황해의 남쪽 경계역 단면에서 基本的 特性構造가 계절적으로 반복 유지되고 있음을 보여준다. 그러나 1932년 6월에는 해수특성의 뚜렷한 변화가 일어나는 제주도와 소혹산도 사이 해역에서는 해양조사가 이루어지지 않았으며, 제주도 연안에서 관측된 34.3‰의 고염수의 중요성을 간과하였다.

본 연구에서 발견된 제주도 주위의 고온 고염수는 표층에서는 저염수 골에 의해 북쪽으로의 진로가 차단되고, 하층에서는 황해 냉수의 동지나해로 향한 남하와 제주해협으로의 유입으로 열염분 전선을 형성하여 황해로의 유입 가능성이 없다. 특히 저층에서 고온 고염수가 정체된 해수가 아니라 제주해협으로 流入해야 한다는 근거는 다음의 두 가지를 들 수

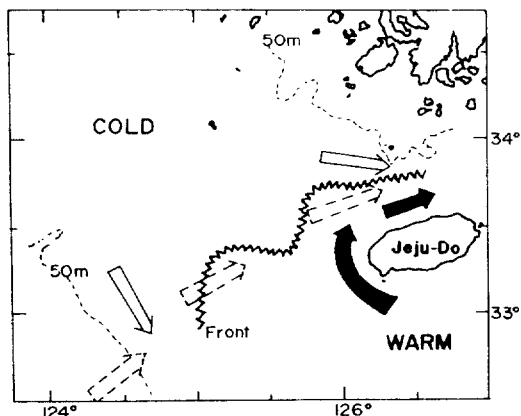


Fig. 15. Schematic map of lower-layer front and regional currents in summer. The closed and open arrows indicate a warm current and the Yellow Sea Cold Water spreading in the lower-layer. The broken arrow show the low-salinity surface plume advected from the Changjiang diluted water.

있다. 垂直構造上 염분의 핵(Core)을 유지하기 위하여 고염수의 유입이 지속되어야 하고, 力學的인 측면에서 密度가 상대적으로 높은 황해냉수와 前線을 유지하려면 밀도가 낮은 고온고염수는 지속적인 흐름이 필요하다. 이와 같은 전선구조가 지속적이라면 고온 고염수와 저온 저염수가 공급되지 않고서는 전선은 유지될 수 없으며, 고온 고염수의 밀도가 상대적으로 낮은 까닭에(Fig.3 참조), 지구 자전의 효과를 고려할 때 이상의 수평적 분포는 제주도 주위를 시계방향으로 흐르는 해류의 가능성을 보인다. Lee(1982)는 75 m를 기준으로 한 30 m 층의 지형류 계산에서 약 10 cm 정도의 유속으로 고온 고염수가 제주도 서단을 시계방향으로 돌아 제주해협으로 유입함을 보였다. 본 연구의 6월의 29 개 관측점에서 총별로 수집된 식물플랑크톤을 분류한 결과로 외양성 종들이 제주도 주변의 고온 고염수와 일치하는 해역에 분포함을 발견한 것(Shim and Park, 1984)은 이상의 결론을 간접적으로 확증한다.

한편, 본 연구에서는 양자강에서 유출되는 담수에 의하여 저염화된 표층의 해수가 제주해협까지 도달할 가능성이 자료에서 확인되었다. 표층 저염수의 이동에 관하여는 Beardsley *et al.*(1985)이 1980년 6월의 경우 양자강 하구 및 양자강퇴에서 저염수가

間歇的 혹은 斷片的으로 北東進한다고 보고하고 있다. 간헐적 저염수의 이동은 저염수의 이동이 일시적으로 중단될 수 있음을 의미하며, 황해난류가 간헐적으로 표층을 통하여 북상할 가능성을 완전히 배제할 수 없다. 그러나, 김(1986)은 제주해협을 가로 질러 조사된 표층의 염분이 7월 초부터 10월 까지 지속적으로 32.2‰ 이하의 값이 됨을 보고하였고, 이 저염수는 양자강 입구에서 제주도쪽으로 이동된 것으로 해석하였다. Kang and Jin(1984)은 여름철 表層水의 低鹽化 振幅이 골을 이루며 대마도에서 제주해협을 지나 제주도 서쪽으로 증가하고, 저염화의 位相은 진폭의 골을 따라 거의 同時이며 8월말 혹은 9월초에 해당됨을 보여주었다. 이는 여름철에 연구해역의 표층수가 低鹽化되어 황해 내부로 해류에 의한 高鹽分의 供給이 없으며, 황해난류로 구분될 수 있는 해류가 없음을 뜻한다. 염의 공급이 없으면 황해의 염분은 감소할 것이나, 이와 김(1989)은 난류적 확산을 통하여 염이 황해 내부로 전달될 수 있음을 보였다.

황해 남부 상층의 해수순환의 모형은 최근 Lie (1986, Fig. 13)에 의해 양자강 담수로 희석된 표층 저염수가 제주해협을 통과하지 않고 제주도 서쪽 해역을 지나 황해내부로 북상하는 것으로 제시되었다. Lie(1986)의 순환모형은 1983년과 1984년 8월의 관측자료에 바탕을 둔 해석이지만, 본 연구에서 사용한 1980년 6월과 1981년 8월의 종관적 염분분포는 양자강 희석수가 저염수의 골을 유지하며 제주해협을 통과하여 동진하는 것을 분명히 보여준다. 연구해역의 표층수 순환은 주변해역에서 일어나는 대규모적 해수순환의 연변화에 의해 달라질 수도 있으므로 이러한 관측자료들에 바탕을 둔 연구해역의 표층수 순환모형의 차이는 앞으로 규명되어야 할 과제이다.

연구해역내의 해류관측으로는 김(1982)에 의해 1981년 7월, 4 조석주기 동안 추적된 수심 5 m의 表層浮漂가 약 25 cm/sec의 유속으로 동진하는 것이 제주해협에서 관측되었으며, 최근에 김(1987)과 최(1987)는 1986년 7월에 양자강 하구 외해에(북위 31°30', 동경 128°) 투하한 人工衛星 追跡浮漂가 8월 말에는 제주해협을 통과하여 남해로 이동하고 있음을 보여주었다. 장(1983)은 제주해협에서 4월부터 1개월 이상 조사된 海流觀測에서 전층을 통하여

동쪽으로 향하는 10-20 cm/sec의 해류를 관측하였고, 5월 초에는 표층에서 상대적 저염분의 띠구조를 관측하였다. 이러한 봄과 여름철 표층수 이동의 직접관측은 비록 본 연구의 관측과는 다른 시기의 결과이지만, 제주도 서쪽 해역에서 저염수가 골을 이루며 제주해협으로 유입하는 것으로 해석한 본 연구결과를(Fig. 6, 13) 뒷받침한다.

본 연구에서 밝혀진 1980년 6월과 1981년 8월의 表層과 低層의 水系와 海水循環은 다음과 같이 요약되며 Fig. 15와 같이 模式的으로 표현된다. 계절적 수온약층에 의한 二層構造에서 低層에는 황해냉수가 황해내부에서 제주도쪽으로 연결된 수심이 깊은 골을 가득 채우고 있고 혹조 기원의 고온 고염수는 제주도 주변 저층에 국한되어 있어, 두 특징적 수계는 제주도와 소혹산도 사이에서 뚜렷한 熱鹽分前線을 이룬다. 이 전선역을 境界로 혹조 기원의 高鹽水는 황해 내부로 유입되지 못하고 제주도 서단을 迂迴하여 제주해협으로 흐르며, 黃海冷水는 제주해협 북쪽으로 이루어져 水溫逆轉 현상을 보여 주고 연구해역의 서쪽 양자강퇴의 측면을 따라 동지나해로 확장한다. 表層에서는 제주도쪽으로 확장하는 저염의 양자강 稀釋水가 제주도 주변 저층 전선을 따라 저염분의 골을 형성하여 제주해협으로 유입하여 남해로 향한다.

본 연구해역은 황해와 남해 및 동지나해의 해수 순환의 分岐点으로 실마리를 제공하는 현상들이 나타나는 곳이다. 이러한 현상들은 좁은 간격의 관측망을 구성한 2회의 여름철 관측자료에서 파악될 수 있었으며 자세한 해수구조와 순환모형이 제시되었다. 따라서 황해와 동지나해의 하계순환이 구체적으로 규명되기 위해서는 본 연구와 같은 관측망이 구성되어야 하며, 해수순환의 확실한 過程과 原因을 밝히기 위해서는 海流의 直接觀測이 필수적으로 요구된다.

감사의 글

본 연구는 제주대학교 실습선 백경호의 사관 및 선원들의 적극적 협조로 자료 수집이 가능하였고, 한국과학재단의 지원으로 수행되었다. 미국-중국 공동 해양조사의 자료를 제공해 준 Woods Hole 해양연구소의 Beardsley 박사과 1981년 8월의 해양

관측이 종합적 자료가 될 수 있도록 협조하여 준 수로국에 감사한다.

參考文獻

- 강철중, 1971. 한국 서해 해안의 계절적 변동에 관하여. 수진연구보고서. 8: 9-29.
- 공영, 1971. 한국 남해안 전선에 관한 연구. 한국해양학회지, 6: 25-36.
- 국립수산진흥원, 1980, 1981. 해양조사연보, 제 29권, 제 30권.
- 국립수산진흥원, 1986. 한국근해 평년해황도, 186pp.
- 김 구, 1980. 한국 남서해의 해류분포와 그 영향에 관한 연구. 서울대학교 연구보고서. 89pp.
- 김 구, 1987. 제주도 주변 해류에 관한 연구의 현재와 미래. 제주도 연구, 4: 83-97.
- 김인옥, 1986. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 석사학위 논문, 제주대학교, 46pp.
- 수로국, 1981. 수로기술연보. 서지 1101호.
- 이경택, 김 구, 1989. 난류적 확산에 의한 황해 하층의 염분 변화. *Yellow Sea Research*, 2: 21-29.
- 장경일, 1983. 제주 해협내 해류의 구조와 역학. 석사학위논문, 서울대학교, 62pp.
- 조선총독부 수산시험장, 1932. 해양조사요보 제 6호, 부록 조선근해해양도.
- 조양기, 1989. 남해의 저층수와 유량에 관한 연구. 석사학위논문, 서울대학교, 55pp.
- 최병호, 1987. 지도의 자동도화(기술정보). 대한토목학회지, 35: 78-84.
- Beardsley, R.C. and R. Limeburner, 1982. Hydrographic station data obtained in the East China Sea. June, 1980. *Woods Hole oceanog Inst. Tech. Rep.* WHOI-82-1065. 159pp.
- Beardsley, R.C. and R. Limeburner, 1983. Structure of the Changjiang River Plume in the East China Sea June 1980. In: *Proceedings of the international symposium on sedimentation on the continental shelf with special reference to the East Chian Sea. April 12-16, 1983. Hangzhou, China*, Vol. 1. China Ocean Press, Beijing. 265-284
- Beardsley, R.C. and R. Limeburner and G.A. Cannon, 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtz River) into the East China Sea. *Continental Shelf Res.* 4: 57-76.
- 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.
- Inoue, N., 1974. Oceanographic characteristics in the western sea of Japan. In: *Tsushima Warm Current*, Ed. by Japan Fishery Soc., Fishery Science Series 5: 27-41.
- Kang, Y.Q. and M.S. Jin, 1984. Annual variation of salinity in the neighbouring seas of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 105-110.
- Kim, K., K.-R. Kim, T.S. Rhee, H.K. Rho, R. Limeburner and R.C. Beardsley, 1991. Identification of water masses in the Yellow Sea and the East China Sea by cluster analysis. In: *Oceanography of Asian Mar-*

- ginal Seas*. Ed. by K. Takano. Elsevier Oceanography Series 54, 253-267.
- Kim, K. and S.H. Lee, 1982. Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17: 59-68.
- Kondo, M., 1985. Oceanographic investigations of fishing grounds in the East China Sea and the Yellow Sea-I. Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50 m and near the bottom. *Bulletin of Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, 62: 19-66.
- Lee, J.C., 1983. Characteristics of front near the Cheju Strait in early winter. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 16: 51-58.
- 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.
- Lee, S.H., 1982. On the cold surface water west of the Jeju Island. M.S. Thesis, Seoul National University, 47pp.
- 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. Oceanog.*, 17: 229-242.
- Lie, H.J., 1989. Tidal fronts in the southern Hwanghae (Yellow Sea). *Continental Shelf Research*, 9: 527-546.
- 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., 109-367.
- Nino, H. and K.O. Emery, 1961. Sediments of shallow portions of East China Sea and South China Sea. *Geological Society of America Bulletin*, 72: 731-762.
- Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio. In: *Kuroshio*, Ed. by Stommel and Yoshida, Univ. Tokyo Press, Japan, 129-163.
- Park, Y.H., 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20: 12-21.
- Park, Y.H., 1986. Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in Summer. *Prog. Oceanog.*, 17: 243-254.
- Shim, J.H. and Y.C. Park, 1984. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the southwestern sea of Korea in early summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 68-81.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *Japan Imp. Fish. Exp. Stations*, 5: 57-190.
- Yu, H., D. Zheng and J. Jiang, 1983. Basic hydrographic characteristics of the studied area. In: *Proceedings of the international symposium on sedimentation on the continental shelf with special reference to the East Chian Sea, April 12-16, 1983. Hangzhou, China*, Vol. 1, China Ocean Press, Beijing, 295-305.

Received November 26, 1990

Accepted September 2, 1991