

거금수로 해역의 수온과 염분의 변동

추효상 · 이규형 · 윤양호
 여수수산대학교 해양학과

Variations of Temperature and Salinity in Kugum Suro Channel

Hyo-Sang CHOO, Gyu-Hyong LEE and Yang-Ho YOON

Department of Oceanography, Yosu National Fisheries University, Yosu 550-749, Korea

Temperature and salinity were observed in Kugum Suro Channel in February, April, August and October 1993. Temperature ranged from 7.0°C to 25.0°C throughout the year and its variation was about 18°C. The maximum temperature difference between surface and bottom was less than 0.75°C for a year, which meant that the temperature stratification in Kugum Suro Channel was considerably weak. Salinity had also a small variation range of less than 0.5‰. Salinity varied from 34.0‰ in April to 30.0‰ in August and its fluctuation patterns were quite similar to the seasonal variations of the precipitation and the duration of sunshine observed at Kohung Weather station. Seasonal variation of sea water density in T-S diagram showed that the water mass in Kugum Suro Channel could be largely affected by regional atmospheric conditions. Temperature increased in ebb tide and decreased in flood tide, but salinity decreased in ebb tide and increased in flood tide for a day. The period of fluctuations in temperature and salinity measured for 25 hours was nearly coincident with the semi-diurnal tide which was predominant in that region. Stratification parameters computed in Kugum Suro Channel areas were less than 4.0 J/m³ the year round, which indicated that vertical mixing from the bottom boundary caused by tidal current played an important role in deciding the stratification regime in Kugum Suro Channel. In estimating the equation which defines stratification and mixing effects in the observed areas, the tidal mixing term ranged from 4.7 J/m³ to 14.1 J/m³ was greater than any other terms like solar radiation, river discharge and wind mixing.

Key words : Kugum Suro Channel, temperature, salinity, seasonal variation, tide, stratification

서 론

거금수로는 우리나라 남해의 고흥반도 남쪽과 거금도 사이에 위치한 기역자형의 수로로 수로 서쪽은 소록도를 가운데 두고 득량만과 연결되며, 남쪽은 남해와 접해있다 (Fig. 1). 따라서 거금수로는 남해의 해수와 득량만 만해수가 교환되어지는 입구에 해당된다. 수로의 전체 길이는 약 16.5 Km이며 그 폭은 수로 중앙에서 평균 약 3.3 Km이나 수로 서쪽과 남쪽으로 갈수록 4.2~7.2 Km로 넓어진다. 수로내의 수심은 수로 중앙이 수심 약 20 m로 깊고, 최대 수심은 약 25 m이다. 수로내 평균 수심은 약 15 m이다. 한편, 수심이 깊은 수로 중앙 한 가운데는 계도를 비롯한 두서너개의 섬이 위치하고 연안으로는 완만한 수심경사를 이룬다.

기존의 거금수로에 관한 연구에는 거금수로내의 약 9 개 조사정점에서 25시간 조사된 수로국 (1978)의 조류 관측 결과와 전라남도 (1993)가 조사한 거금수로내의 고흥군 풍남, 가화 지역여장의 입체적 이용 방안에 관한 연구 등이 있다. 거금수로내의 조류는 창조류시 수로 남쪽 입구에서 북류한 남해 외해수가 수로 서쪽으로 빠져 나가며, 수로 서쪽은 녹동과 소록도 사이의 협수로와 소

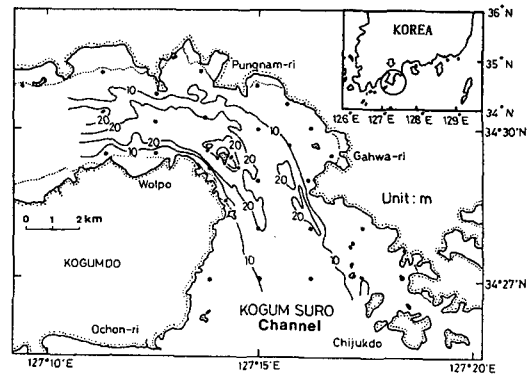


Fig. 1. A topographical map of study area.

록도와 거금도사이의 수로가 있으며 두 수로 모두 득량만과 연결된다. 낙조류는 그 역으로 득량만의 만해수가 수로 서쪽에서 유입되어 수로 남쪽의 남해 외해로 빠져 나간다. 따라서 거금수로는 남해 연안수가 득량만으로 유입되는 입구로 득량만수와 남해 연안수사이의 해수교환이 동 수로를 통해 이루어 지게 된다.

한편, 거금수로역은 예로부터 수로 중앙의 풍남, 가화

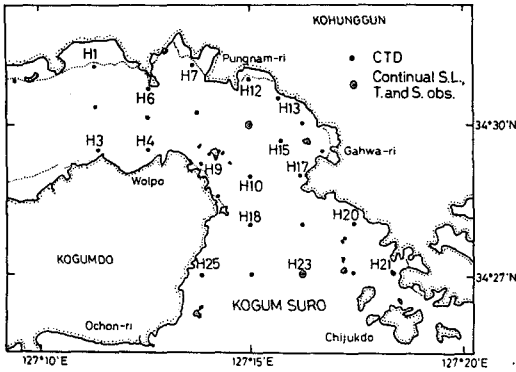


Fig. 2. Locations of hydrographic observation.

리 연안 해역을 중심으로 김, 미역, 전복등의 양식이 활발하게 이루어져, 이들 해역에서 생산되는 생산량은 전국 김, 미역 생산량의 약 0.5~1.0%에 이를 정도로 생산성이 높은 해역으로 알려져 있다. 그러나 이러한 주요 양식이장이 발달되어 있음에도 불구하고 기초적인 해양환경 조사나 연구가 미흡한 것은 동 해역 주변에 주된 산업시설 및 인구 밀집지역이 형성되지 못해, 수산해양과 관련된 해양변동의 현황 및 예측에 관한 연구의 필요성을 느끼지 못했을 것으로 판단된다.

본 연구는 거금수로역 주변 김, 미역 양식장의 생산성 향상과 수로내의 해양 변동을 파악하기 위해, 거금수로에서의 수온, 염분의 계절 및 일 변동 특성을 조사하였다. 또한, 조류가 지배적인 동 해역의 성층정도를 성층계수 및 해석적 진단식을 사용하여 계절별로 비교, 검토하였다.

자료 및 방법

거금수로내의 계절별 해양변동을 파악하기 위해 1993년 2월, 4월, 8월, 10월에 Fig. 2의 정점에서 해양변동의 지표로 사용되고 있는 수온, 염분 관측을 실시하였다. 관측은 CTD (model SBE-19)를 사용하였다. 2월과 10월은 조사 당일의 기상조건 악화로 수로 중앙 정점에서만 실시되었다. 한편, 수온, 염분의 시간 변동 특성을 조사하기 위해 수로 남쪽 입구와 수로 중앙의 정점 (Fig. 2)에서 1993년 2월 23~24일과 4월 29~30일에 각각 수심 약 5 m에서 관측을 행하였다. 수온, 염분의 25시간 연속 관측에는 전자유속계 (model Alec ACM-16M)에 부착된 수온, 염분 센서를 이용하였으며, 동 지점에서의 수위 변화는 추측색과 투언으로 목측 판독하였다.

측정자료는 기본적인 통계처리를 한 후, 수온, 염분의

표, 저층 수평분포와 수로를 따라서의 연직 단면도를 작성, 계절별 분포를 조사하였다. 또, 거금수로의 계절적인 수괴특성을 파악하기 위해 T-S diagram을 작성하였다. 한편, 해양 변동과 기상 조건과의 관계를 보기위해 해양 조사가 실시된 1993년 고흥 관측소의 월별 기상자료를 비교 검토하였다. 수온, 염분의 1일 이하의 단주기 변동은 각 시계열의 자기 상관 함수로부터 구하였다.

거금수로내의 계절별 수온, 염분 변동은 수로내의 계절적 성층을 좌우하며, 이들 성층조건은 수산생물의 양식에 필요한 계절적 서식환경을 결정하게 된다. 본 연구에서는 계절별로 수심 연속 조사된 수온, 염분 자료로 수로내의 계절별 성층 정도를 계산하였으며, 성층 계수 (Stratification parameter, Sp)로 관측 수주내의 밀도 분포 $\rho(z)$ 에 따른 포텐셜 에너지 (\bar{V}) (Simpson et al., 1977)

$$\bar{V} = \frac{1}{H} \int_{-H}^0 (\rho(z) - \bar{\rho}) g z dz \quad (1)$$

를 이용하였다. 여기서, $\bar{\rho} = \frac{1}{H} \int_{-H}^0 \rho(z) dz$ 이다. 또, 성층과 비성층(혼합)요소의 계절 변동을 비교한 성층 진단식에 의해 해수 성층의 시간적 변화를 검토, 거금수로내 해양 변동의 주 요인을 파악하였다.

결 과

1) 수온, 염분의 계절변동

수온 : Fig. 3에 거금수로 해역의 1993년 동계 (2. 24), 춘계 (4. 29), 하계 (8. 28), 추계 (10. 16)의 표면 (0 m)과 저층 수온의 수평 분포를 나타낸다. 동계 수온은 표면 6.75~7.25°C, 저층 6.5~7.0°C로 7.3°C 이하이며, 고흥 육지쪽 연안의 수온이 가장 낮다. 표·저층간의 수온차는 고흥 연안역을 제외하고는 수로 전체에서 0.25°C 이하로 크지 않다.

춘계는 표면 14.0~15.5°C, 저층 13.8~14.8°C로, 2개월 전 조사된 수온보다 대략 7~8°C 상승하여 나타난다. 고흥 연안의 수온은 14.5~15.5°C로, 다른 해역 보다 높다. 수심이 얇은 고흥 연안은 동계와 춘계에 수온의 하강과 상승이 크게 나타난다. 그러나 수로 중앙은 표면 14.0~14.5°C, 저층 13.8°C로, 수심이 얇은 고흥 연안보다 낮다. 특히 저층 수온은 수로중앙에서 거의 균일한 분포를 나타낸다. 거금수로 해역에서 수온이 가장 낮은 곳은 수로 남쪽의 14.0°C 이하로, 남해 외해수의 영향이 나타나는 곳이다.

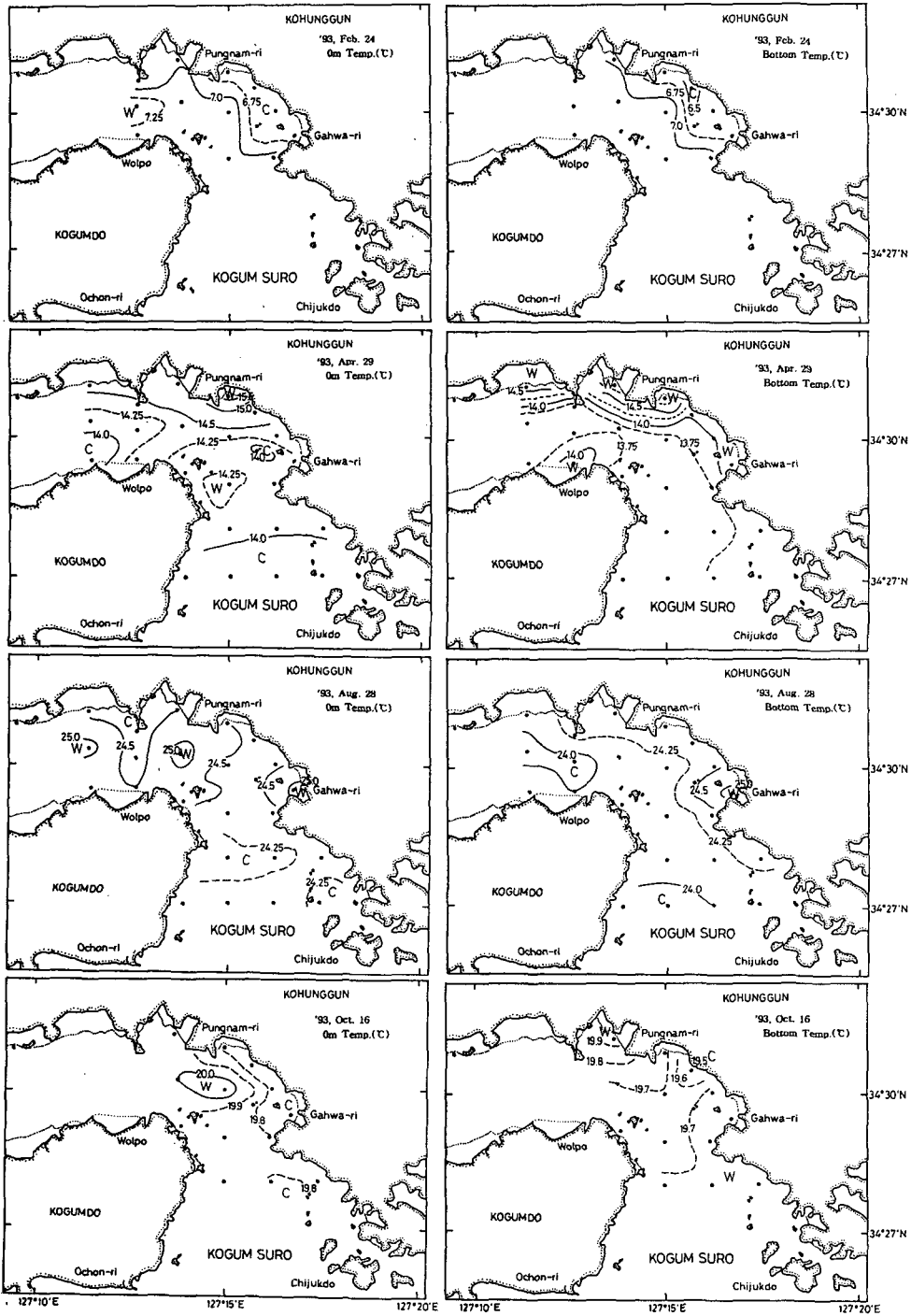


Fig. 3. Horizontal distributions of water temperature at surface and bottom on 24 February, 29 April, 28 August and 16 October 1993.

하계 8월은 표면수온이 24.3~25.0°C, 저층 24.0~25.0°C로
 년중 가장 수온이 높다. H2, H8, H16 정점 표면의 25.0°C

이상을 제외하면 전 해역의 수층이 24.0~24.5°C의 분포
 로, 춘계 4월과 동계 2월에 비해 수온이 10~18°C 상승하

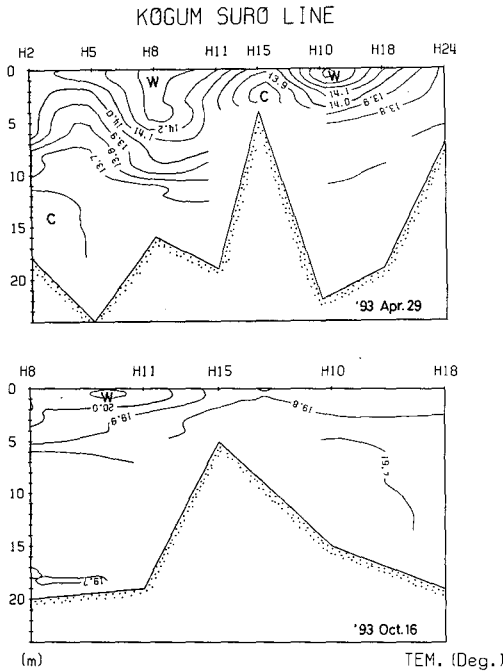


Fig. 4. Vertical sections of water temperature at Kugum Suro Line on 29 April and 16 October 1993.

였다. 수온 상승은 전 수층에서 일어나 하계에도 표·저층간의 수온차는 크지 않다. 수온은 10월(추계)에 접어들면서 표·저층이 20.0℃ 전후로, 8월에 비해 약 5℃ 하강하였다. 고흥 연안의 수온은 주변보다 약 0.2℃ 낮아, 수로내에서 가장 수온이 낮다.

Fig. 4에 4월과 10월 수로 중심부인 H2~H24 정점에서의 수온 연직 단면도를 나타낸다. 4월의 수온단면에서 10m 이심의 수온은 13.7℃로 균일하고, 10m 수심까지 상층부의 수온은 14.3~14.0℃로, 온도차는 수로를 따라서 크지 않다. 단, 수심이 5m 이하로 얇은 고흥 육지쪽 풍남리 가화리의 H15 정점과 수로 남쪽 입구 정점 H24는 14.0℃ 이하의 수온을 보여, 수로내의 수온 분포가 수심 변화 즉, 조류의 세기와 수심에 관계됨을 나타냈다. 10월의 경우엔 전 단면에서 19.8~20.0℃의 분포로, 수심이 얇은 H15 정점에서 약간 낮다.

염분: Fig. 5에 염분의 수평분포를 나타낸다. 염분은 동계에 표면 32.5~33.3‰, 저층 32.5~33.5‰로, 표·저층간 거의 차이를 보이지 않는다. 염분은 수로 중앙에서 다소 높은 경향을 보인다. 춘계는 표면 33.6~34.2‰, 저층 34.0~34.2‰로, 역시 표·저층간의 차는 거의 없다. 춘계 4월의 염분은 년중 가장 높게 나타나며, 육지 연안의 정점 몇곳을 제외하고는 수로내에서 염분은 거의 균

일하다.

한편, 하계는 표·저층에서 29.0~31.0‰의 분포로 년중 가장 낮은 염분치를 보여, 춘계인 4월에 비해 3~4‰ 낮다. 표면 염분이 30.0‰ 이하로 낮은 해역은 수로 북서 입구와 고흥군 풍남리 가화리 연안으로, 득량만 만내수와 육지로 부터의 담수에 의한 영향으로 보여진다. 수로 남쪽 입구 주변은 30.75‰ 이상으로 비교적 염분이 높다. 추계는 표면 31.6~32.2‰, 저층 31.9~32.15‰로 8월에 비해 0.6~1.2‰ 높으나, 2월과 4월에 비해 낮다. 염분은 동계와 같이 수로 중앙에서 다소 높다.

Fig. 6에 춘계와 추계의 수로내 염분 연직 단면을 나타낸다. 염분의 연직 구조는 수심에 따라 다소 복잡하나, 전반적으로 표·저층간 뚜렷한 염분의 성층현상은 보이지 않는다. 추계의 수로 중앙부인 H11과 H10 정점 부근은 타 정점에 비해 염분이 다소 높다.

2) 수온, 염분의 시간변동

1993년 4월 29일~30일(춘계) 수로 중앙 H11 정점과 2월 23일~24일(동계) 수로 남쪽 H23 정점의 수심 5m 지점에서 각각 조사된 수위 변화에 따른 수온, 염분의 시계열 자료를 Fig. 7에 나타냈다. 수온, 염분의 측정 간격은 춘계가 1분, 동계가 2시간 이다.

춘계의 수위 변화에 따른 수온, 염분의 변동을 보면, 먼저 염분은 수위가 상승하는 창조시 상승하고, 낙조시 하강한다. 염분의 변동폭은 0.1‰ 정도이다. 그러나 수온은 염분과 반대로, 창조시 하강하고 낙조시 상승하는 변동을 나타낸다. 수온의 변동폭은 0.4~0.9℃이다. 염분의 시간변동은 수위 변동과 거의 일치하나, 수온의 경우는 수위 변동과 약 90°의 위상차를 나타낸다. 수온의 시간변동에는 16시~19시의 1일 수온 상승기와 5시~8시의 수온 하강기가 포함되어 나타난다. 한편, 고조와 저조 사이는 단시간에 비교적 급한 염분 하강과 수온 상승이 나타나고, 저조와 고조 사이는 완만한 염분 상승과 수온 하강 현상이 나타난다.

동계 수로 남쪽 H23 정점은 춘계의 수온·염분 시간변화 범위보다 작은 수온 0.4℃ 이하, 염분 약 0.08‰의 폭으로 변동한다. 수위에 따른 변화는 춘계와 같이, 고조시 수온은 하강하고 염분은 상승한다. 또한, 고·저조 사이의 일시적인 수온 상승 현상도 나타난다.

고찰

1) 수온과 염분의 시간변동 특성

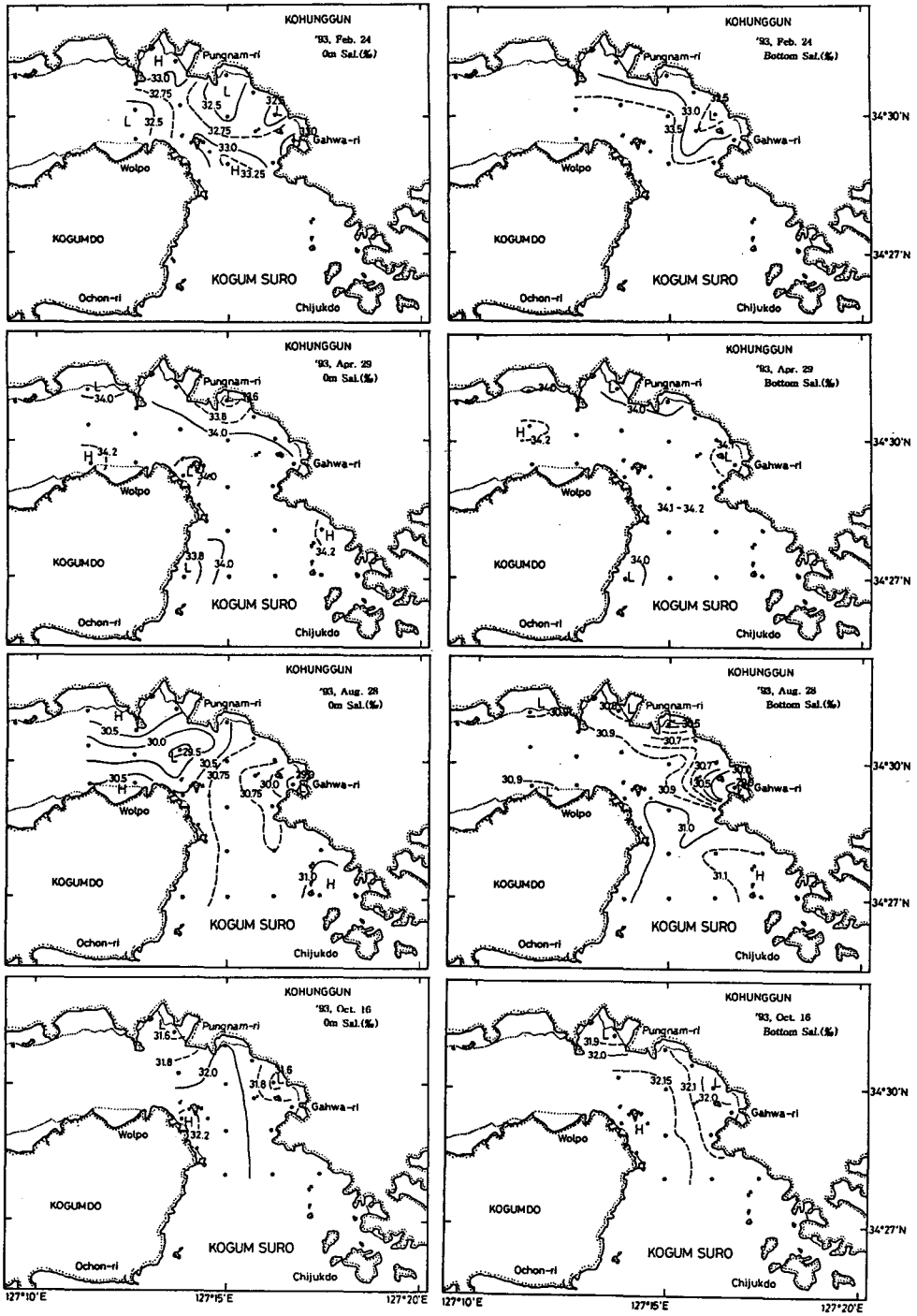


Fig. 5. Horizontal distributions of salinity at surface and bottom on 24 February, 29 April, 28 August and 16 October 1993.

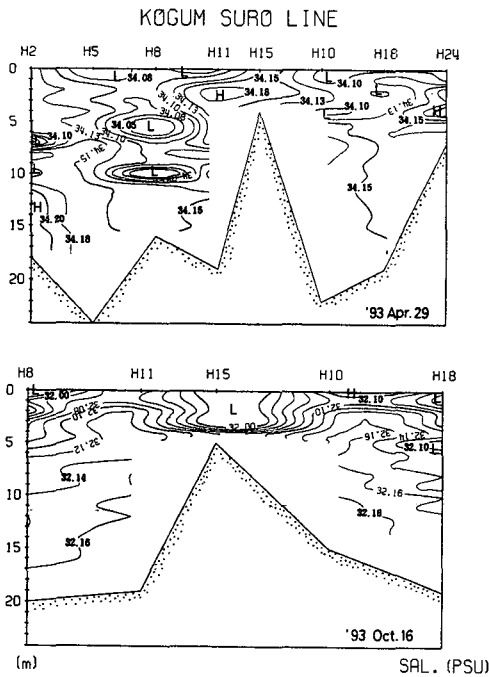


Fig. 6. Vertical sections of salinity at Kugum Suro Line on 29 April and 16 October 1993.

거금수로는 지리적으로 수로의 북서쪽 입구가 득량만과 연결되고 남쪽 입구는 남해 외해와 접하고 있다. 수로 남쪽은 하계에 24.0℃ 이하 (수산진흥원, 1993)의 남해 연안수 보다 저온수가, 그리고 동계는 10.0℃ 이상의 고온의 외해수가 존재하며, 북서쪽은 하계 24.0℃ 이상 (Kim et al., 1995) 그리고 동계는 남해 연안 고유의 저온의 득량만 만내수가 수로를 따라 유입되고 있다. 따라서 수로 양입구의 수온은 다소 차가 있을 것으로 예상되었으나, 수로를 따라 흐르는 강한 조류로, 수로 양단 및 표·저층간의 온도차는 매우 적었다. 한편, 염분도 수온과 같이 표·저층간 그리고 수로 중앙을 따라서는 거의 변화가 없으나, 수로 북동쪽 풍남리~가화리 주변의 어촌 부락형성 지역 연안의 염분은 타 해역에 비해 년중 낮았다. 그러나, 계절적으로는 수온과 염분의 변화가 현저하여, 거금수로 해역의 수온과 염분이 동 해역 주변의 기상에 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 동 해역의 수온·염분 변화와 기상요소와의 관계를 비교하기 위해 Fig. 8에 거금수로 해역과 인접한 고흥의 기온, 강우량, 풍속, 일조시간의 순별 및 월 변동을 나타낸다.

기온은 8월과 1월이 각각 22.7℃, 0.3℃로 최대, 최소이다. 8월 하순의 기온은 22.8℃로 수로내 표면수온 분포 범위보다 약 1.5℃ 낮으며, 2월 하순의 0.9℃는 동시기의

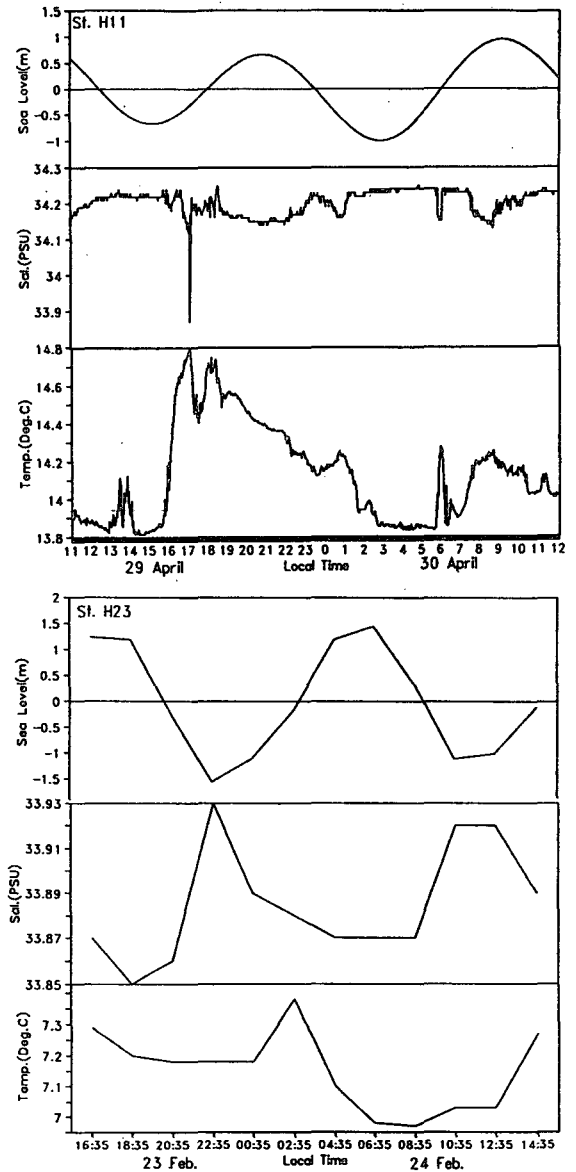


Fig. 7. Time series of sea level, water temperature and salinity observed for 25 hours at H11 station on 29~30 April (the upper) and at H23 station on 23~24 February (the lower) 1993.

수온 보다 약 6.0℃ 낮다. 일반적으로 대기온도는 하계가 수온보다 높고, 동계는 낮다. 그러나 1993년 8월은 대기온도가 평년에 비해 3.0~4.0℃ 낮고, 8월의 평균 일조시간도 예년에 비해 매우 적은 100시간 이하로 나타나, 하계 동 해역의 수온과 기온차는 대기의 이상 저온 현상이 그 원인으로 보인다. 강우량 분포는 염분 분포에서와 같이 4월에 강우량이 적고 8월에 가장 많다. 그리고 증발

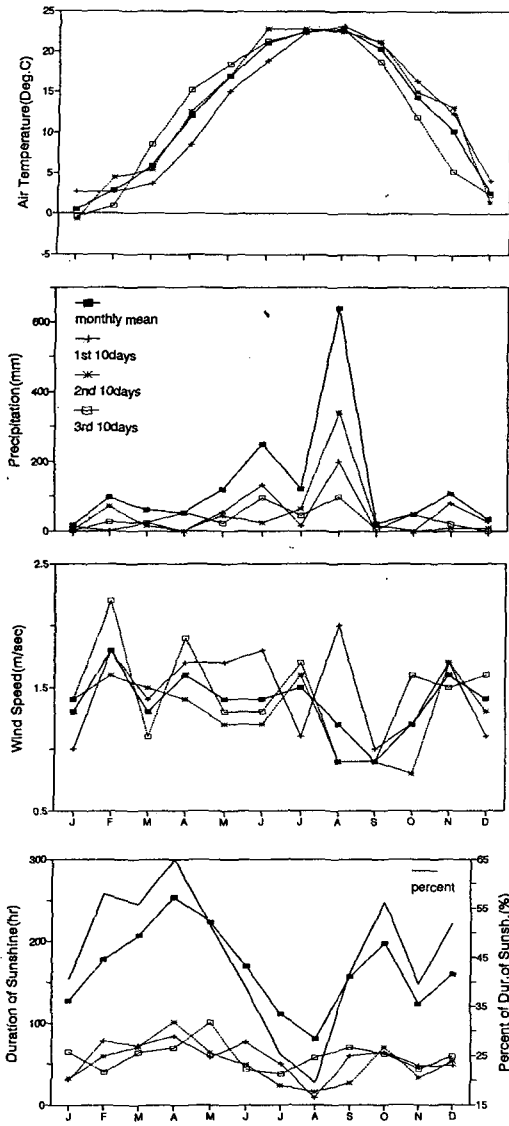


Fig. 8. Monthly variations of air temperature, precipitation, wind speed and duration of sunshine at Kohung Weather Station 1993.

및 일조량과 관계하는 일조시간에서도 4월이 250시간 이상으로 최대를, 8월은 최저를 나타낸다. 또, 동 시기의 풍속은 1.9 m/sec (4월 하순), 0.9 m/sec (8월 하순)로 4월의 풍속이 8월에 비해 2배 이상이다. 이 결과는 거금수로 해역의 염분이 기상 요인의 변화에 따라 변동함을 보여 준다.

한편, 계절별 수온, 염분에 의한 수괴의 변동을 조사하기 위해 Fig. 9에 수온, 염분의 T-S diagram을 나타냈다. Fig. 9에서 수온, 염분은 계절별로 서로 현저히 다른 수괴 특성을 보인다. 해수의 밀도는 2월 (동계)에서 8월 (하

계)로 갈수록 저온, 고염의 고밀도에서 고온, 저염의 저밀도로 변동한다. 계절별 밀도 (σ_t) 변화는 2월과 4월에 25.5, 8월 20.5, 10월 22.5로 동계와 춘계에 밀도가 크다. 2월과 4월의 밀도가 서로 유사한 것은 4월이 2월에 비해 수온은 6°C 이상 상승했으나, 4월이 다른 시기에 비해 염분이 매우 높았기 때문이다. 수로내 밀도의 변화는 수온 변동 보다 염분 변동에 더 크게 영향을 받는 것으로 생각된다. 표·저층간의 밀도 차는 2월과 8월이 1.0~1.5, 4월과 10월은 거의 차가 없다. 이는 수로내 조류로 인한 연직 혼합이 탁월함을 말해주고, 2월과 8월의 표·저층간 밀도차는 조사정점의 수심차에 의한 결과로 보여진다.

거금수로 해역의 수온과 염분의 일변화는 춘계, 조위에 따라 고조시 수온은 하강하고 염분은 상승하였다. 또, 저조시는 이와 반대로 수온이 상승하고 염분이 하강하였다. 이는 춘계에 수로 남쪽 입구로부터 상대적으로 저온 고염의 외해수가 수로를 따라 창조 (저조-고조)시에 북서진하고, 낙조 (고조-저조)시는 수로 북서쪽 입구의 고온 저염의 연안수가 남동진 함에 따른 현상이다. 수온, 염분의 시간변동 특성을 보기 위해, Fig. 10에 춘계 H11 정점의 수온과 염분의 자기 상관함수를 나타낸다. 수온은 Time Lag 약 340분 (5시간 40분), 염분은 320~370분 (5시간 20분~6시간 10분)에서 상관 함수치가 0.1이하로 가장 낮다. 이 결과는 Fig. 7에 나타난 조위 변화에 따른 수온, 염분의 변동과 거의 일치한다. 또, 춘계 정점 H11의 수온, 염분의 연직 분포 (Fig. 11)에서 염분은 표면~수심 8m의 표층에 34.07~34.19%의 고염분수가 존재한다. 이는 동 관측이 이루어진 시기가 수로 남쪽으로 부터 고염분의 남해 외해수가 유입되는 창조시임을 감안할 때, 동해역내의 조석에 따른 염분의 변동이 탁월함을 알 수 있다. 한편, Fig. 7에서 보여진 저·고조 사이 최강 창조류시의 일시적인 수온 하강, 염분 상승 그리고 고·저조 사이 최강 낙조류시의 수온 상승, 염분 하강은 연속 관측이 이루어진 5m 수심의 수온과 염분이 저층수와 연직 혼합되어지기 전 일시적으로 나타나는 현상이거나 혹은 빠른 조류로 인해 관측기기가 측정위치에서 다소 기울어져 나타난 현상으로 생각된다.

2) 거금수로 해역의 계절별 성층 정도

거금수로의 계절에 따른 성층의 정도는 관측 수주내의 밀도 분포에 따른 포텐셜 에너지를 이용한 성층 계수를 계산하면 구할 수 있다. 그러나, 이 계수가 어느 정도일 때 성층이 강한가 하는 절대치는 해역에 따라 그리고 시기에 따라 다르다. 따라서 거금수로내에서의 성층계수는 조사 해역과 여타 해역 간의 상대적 값의 차이에 의해

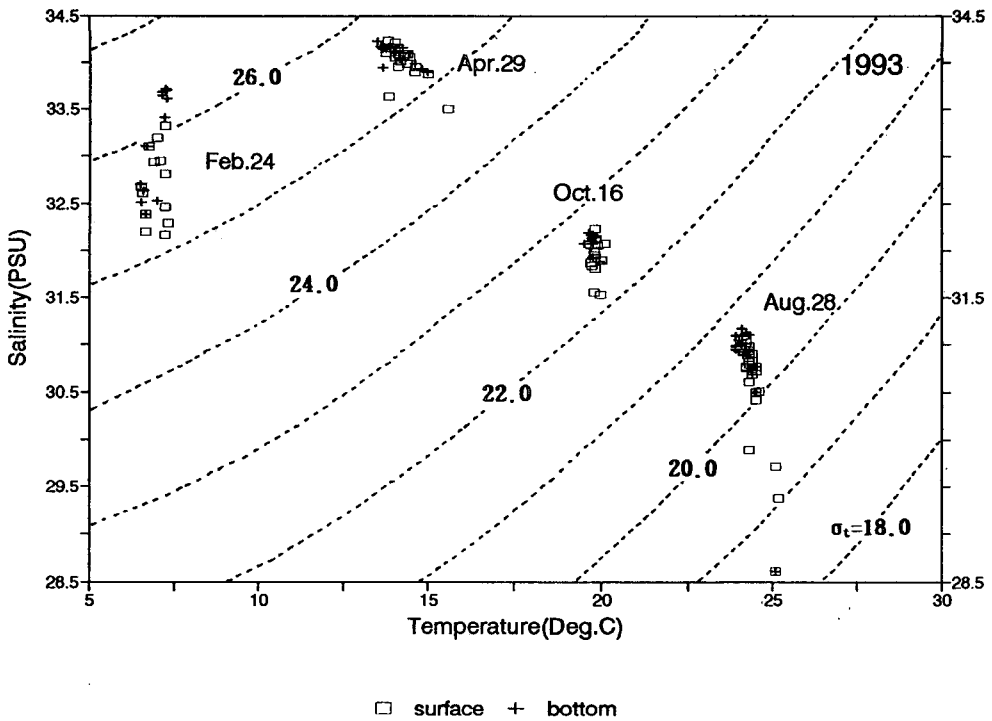


Fig. 9. T-S diagram of the observed water temperature and salinity on 24 February, 29 April, 28 August and 16 October 1993.

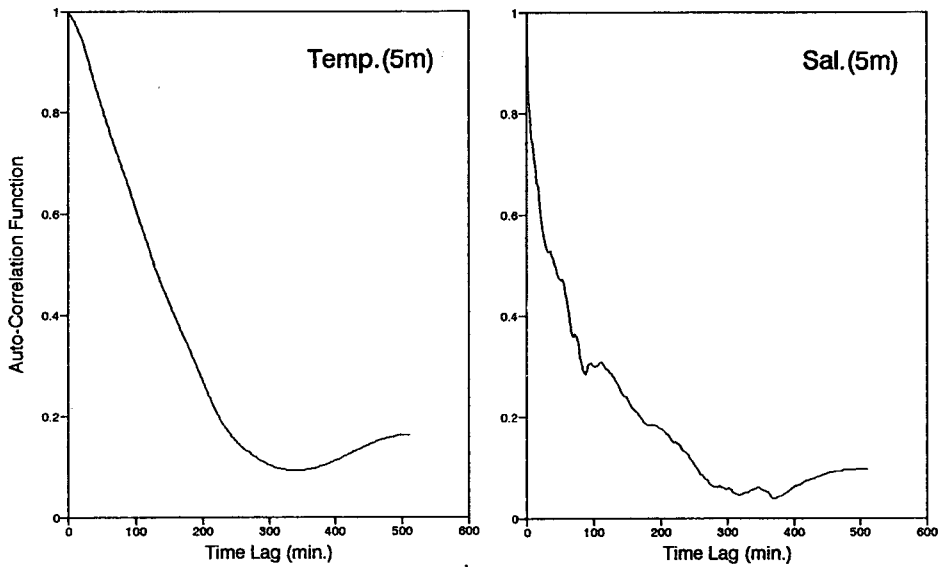


Fig. 10. Auto-correlation functions for the water temperature and salinity observed for 25 hours at H11 station on 29~30 April 1993.

그 성층의 정도가 파악될 수 있다.

Fig. 12는 (1)식에 따라 4월(춘계)과 10월(추계)에 조사된 성층계수의 수평 분포이다. Fig. 12에 나타난

성층 계수는 4월과 10월 모두 $40J/m^3$ 이하의 분포로, Simpson et al. (1977)의 영국 주변 천해역과 Choo and Cho (1984)의 한국 서해 연안역에서의 조석전선 발생역

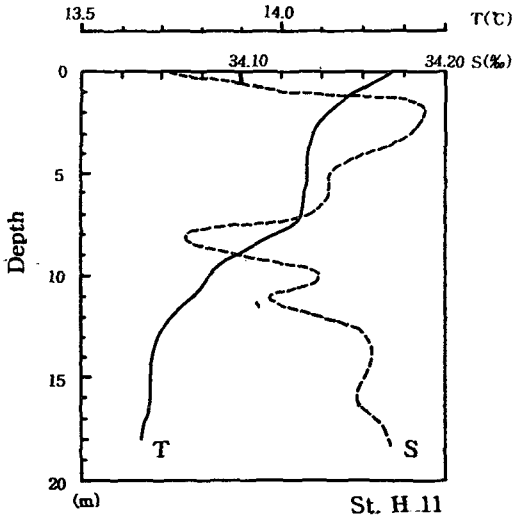


Fig. 11. Distributions of water temperature and salinity with depth at H11 station on 29 April 1993.

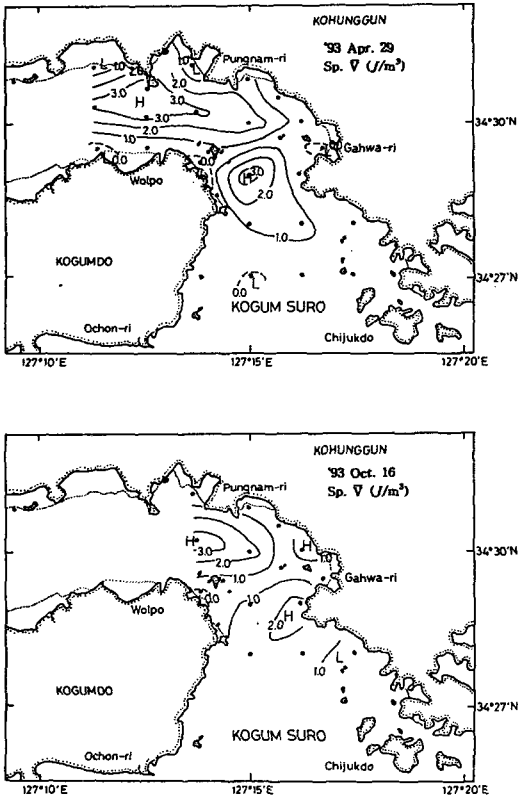


Fig. 12. Horizontal distributions of stratification parameter V on 29 April and 16 October 1993.

임계치인 10 J/m^3 보다 낮다. 이는 조류에 의한 저층으로부터의 연직 혼합이 커, 수주내의 성층 정도가 미약함을 나타낸다. 해역 별로 보면, 수로내 수심이 얇은 고히연안 풍남리~가화리 해역과 거금도 북서 연안해역이 $0.0 \sim 1.0 \text{ J/m}^3$ 로 표, 저층이 거의 혼합되어 있음을 나타낸다. 성층 계수 $3.0 \sim 4.0 \text{ J/m}^3$ 의 해역은 비교적 수심이 깊은 수로 중앙의 주수로에서 형성된다. 실제 동 하계의 분포는 그림에 나타내지 않았으나 전 해역이 10 J/m^3 미만으로, 년중 일사량, 담수유입등의 성층 강화 요인에 비해 성층 약화를 야기시키는 조류의 세기가 더 탁월하고 있음을 알 수 있다.

해역의 성층 정도를 나타내는 또 하나의 방법인 성층 진단식 (Czitröm et al., 1988)을 사용하면

$$\frac{g\sigma}{2C} Q + g \frac{h_1 h_2}{2h} A (\partial\rho/\partial x)^2 = \delta k_s \rho_s \frac{W^3}{h} + \frac{4}{3\pi} \epsilon k_b \rho \frac{U^3}{h} \quad (2)$$

여기서, a 는 해수의 열팽창 계수 ($1.5 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), Q 는 대기-해양간의 Heat Flux, C 는 해수의 비열 ($4.0 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), g 는 중력가속도, h_1, h_2 는 상, 하층의 깊이 (m), $h = h_1 + h_2$, h_1 은 5m, h_2 는 10m, A 는 수평적 밀도 경도와 속도 shear에 관계하는 계수 ($600 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), $\partial\rho/\partial x$ 는 수평 밀도 경도 (kg m^{-4}), δ 는 wind mixing efficiency (0.023), k_s 는 surface drag coefficient $\times \gamma$ (6.4×10^{-5}), 여기서 γ 는 풍속에 대한 표면 취송류의 비 (0.03), ρ_s 는 공기의 밀도 (1.22 kg m^{-3}), W 는 풍속 (m/s), ϵ 은 tidal mixing efficiency, k_b 는 저층 마찰 계수 (2.5×10^{-3}), ρ 는 물의 밀도, U 는 조류의 진폭 (m/s)을 나타낸다. (2)식의 좌변 두 항은 해양 표면을 통한 일사량과 담수 유입에 따른 성층 강화 요소이며, 우변은 바람에 의한 해양 표면으로부터의 혼합과 조류에 의한 해저면으로부터의 저층 혼합인 성층

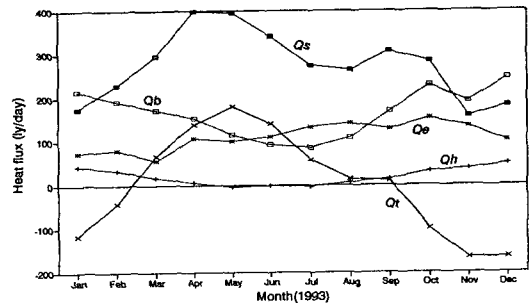


Fig. 13. Monthly variations of heat flux (Q_s, Q_b, Q_e, Q_h and Q_r) around Kugum Suro Channel in 1993.

Table 1. Surface density gradient in Kugum Suro channel

	1993. 2. 24	1993. 4. 29	1993. 8. 28	1993. 10.16
Along-channel	Max. 0.044	Max. 0.155	Max. 0.133	Max. 0.089
	Mean. 0.023	Mean. 0.083	Mean. 0.063	Mean. 0.054
Cross-channel	Max. 0.044	Max. 0.183	Max. 0.108	Max. 0.241
	Mean. 0.025	Mean. 0.106	Mean. 0.072	Mean. 0.116

(unit; $\times 10^{-3} \text{ kg m}^{-4}$)

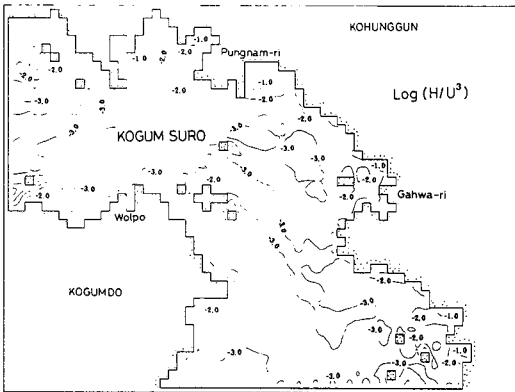


Fig. 14. Distribution of $\log(H/U^3)$ computed from the barotropic numerical model in Kugum Suro Channel.

약화 요소를 나타낸다. 따라서 거금수로 해역의 계절별 성층의 정도는 이 식 각항에 대한 평가가 이루어 지면 구할 수 있다.

(2)식 좌변 첫번째 항에 대한 평가로, Fig. 13에 1993년의 거금수로 해역의 월별 열수지를 나타낸다. 그림에서 Q_s 는 동 해역내의 수평면 일사량이다. Q_s 는 조사해역 주변의 자료가 없어 기상월보의 거금수로와 가장 인접한 목포, 제주, 진주 세곳의 월 평균 수평면 일사량의 평균치를 사용하였다. 한편, 장파 복사량 Q_b , 해면 증발에 의한 열량 Q_e , 대기 해면간의 현열을 통한 열량 Q_h 는

$$Q_b = 0.985 \sigma T_s^4 (0.39 - 0.05 e_a^{1/2}) (1 - 0.6 nc^2) \quad (3)$$

$$Q_e = a_e W [h_s e^0 (T_s) - h_a e^0 (T_s - \delta T)] \quad (4)$$

$$Q_h = \rho_a C_a D_h \delta T W \quad (5)$$

의 식을 사용하였다. 여기서 σ 는 Stefan's constant (Gill, 1982), T_s , T_a , δT 는 각각 해수 표면온도, 대기온도, 해수 표면온도와 대기온도와 차 ($T_s - T_a$)이다. e_a 는 대기의 증기압, nc 는 구름의 운량이다. a_e 는 $(0.622/p)$ $L \rho_a D_e$ 로 p 는 대기압, L 은 증발 잠열 ($=589 \text{ cal g}^{-1}$), ρ_a 는 공기의 밀도, D_e 는 Dalton number ($=1.5 \times 10^{-3}$ (Gill, 1982))이다. W 는 풍속, h_s , h_a 는 해양 표면 및 대기의 상대습도, $e^0(T)$ 는 온도 T 에서의 포화 증기압 (Kang, 1983)이다. 또, C_a

는 공기의 비열 ($=0.24 \text{ cal } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ g}^{-1}$), D_h 는 Stanton number ($=1.1 \times 10^{-3}$ (Smith, 1980))이다. 식의 계산에 사용된 각 기상 자료는 1993년 고흥 관측소에서 월 평균치를 이용하였다. 한편, Q_t 는 거금수로 해역 내로 입사되는 일사량 (Q_s)에서 해면을 통해 대기로 복사, 전도되는 열량 ($Q_b + Q_e + Q_h$)을 뺀 값이다. Q_s 는 4월과 5월이 최대로, Fig. 8의 일조시간의 월별 변화와 같다. 해양 표면 수온을 증가시켜 해역의 성층을 강화시키는 Q_t 의 변화는 주로 Q_s 에 영향을 받아 5월이 최대이고, 11월과 12월이 최저를 나타낸다. (2)식 좌변의 둘째항은 담수 유입과 같은 해역에서의 밀도 차에 대한 평가로 밀도 경사가 클수록 해역의 성층을 강화 시킨다. Table 1은 거금수로 해역의 해양표면의 밀도 경사를 나타낸다.

Table 1의 Along-channel은 Fig. 4의 Kugum suro line과 동일하며, Cross-channel은 거금도 북서 연안~고흥의 풍남리, 가화리 연안의 H9, H11, H13 정점을 연결하는 line과 H10, H15, H14 정점을 연결하는 line의 두 line을 대상으로 하였다. 밀도 경도는 정점간 최대와 평균치로 나타냈다. Along-channel 방향에서 최대와 최소 밀도 경도를 나타낸 시기는 4월과 2월, 그리고 Cross-channel에서는 10월과 2월이다.

성층 약화 요소인 (2)식 우변은 수로에서의 풍속과 조류에 관한 항으로, 풍속 W 는 Fig. 8의 월 풍속 변화에서, 조류 U 는 수로내 각 정점의 조류 진폭을 구함에 따라 평가될 수 있다. Choo (1995)의 거금수로내 조류 수치실험 결과에 따라 대·소조 평균 조류 진폭과 수심과의 비인 $\log(H/U^3)$ 결과를 Fig. 14에 나타낸다. Fig. 14에서 $\log(H/U^3)$ 은 전 해역이 $-1.0 \sim -3.0$ 으로 Pingree and Griffiths (1978), Choo and Cho (1984)와 Yanagi et al. (1995)가 조석 전선역에서 구한 수치보다 훨씬 낮다. 이는 거금수로의 조류가 해역의 수심에 비해 상대적으로 커, 저층으로부터의 조류 혼합에 의한 성층 파괴가 매우 효율적임을 나타낸다.

각 계절에 대한 (2)식 각항의 평가를 Table 2에 나타낸다. Table 2의 일사에 의한 항은 1993년 2월이 약 $2.0 \text{ Jm}^{-3}\text{day}^{-1}$ 로 가장 낮고, 4월이 $3.4 \text{ Jm}^{-3}\text{day}^{-1}$ 로 가장 크다. 밀도 경사에 의한 항의 계산에는 Table 1의 Along-

Table 2. Estimates of left-hand and right-hand side terms in equation (2)

	$\alpha g/2C Q$ ($Jm^{-3}day^{-1}$)	$gh_1 h_2/2h A (\partial \rho/\partial x)^2$ ($Jm^{-3}day^{-1}$)	$\delta k_s \rho_s W^3/h$ ($Jm^{-3}day^{-1}$)	$4/(3\pi) \epsilon k_b \rho U^3/h$ ($Jm^{-3}day^{-1}$)
Feb. 1993	1.96	0.45	0.20	4.70
Apr. 1993	3.40	5.83	0.14	4.70
Aug. 1993	2.26	2.47	0.03	4.69
Oct. 1993	2.42	3.36	0.03	4.69

channel 방향의 평균 밀도경도를 사용하였다. 밀도차에 의한 성층 효과는 일사에 의한 항과 같이 2월이 최저, 4월이 최대, 일사항의 계절 변동과 같다. 이들 두항의 합은 해역의 성층 강화 정도를 나타낸다.

한편, 풍속에 의한 표층 혼합항은 2월과 4월이 $0.1 \sim 0.2 Jm^{-3}day^{-1}$, 8월과 10월은 $0.03 Jm^{-3}day^{-1}$ 로 동계와 춘계가 크다. 그러나 이 수치는 일사항과 밀도 경사항에 비해 10~100배 정도 작은 값으로, 풍속이 비교적 큰 동계를 제외하고는 바람에 의한 성층 감소 효과는 다른 항에 비해 매우 작음을 알 수 있다.

조류에 의한 저층 연직 혼합항은 거금수로의 조류 진폭과 계절별 평균 해수 밀도, 그리고 조류 혼합을 ϵ 의 적용에 의해 계산된다. 실제 ϵ 는 Garrett et al. (1978)이 조류가 강한 Fundy만과 Maine만에서 0.003, Yanagi et al. (1995)이 Osaka만에서 0.015~0.15, Lee (1994)가 하계 득량만에서 0.01~0.015를 현장의 성층 정도 해석에 적용한 바 있어, 조류 혼합을 ϵ 의 크기는 해역에 따라 그 차이가 매우 큼을 알 수 있다. 본 거금수로 해역에서의 조류 혼합을 ϵ 은 0.005~0.015의 범위에서 적용하였으나, 0.005일 때 가장 좋은 결과를 얻었다.

Table 2의 각 항중, 조류에 의한 연직 혼합의 크기가 다른 항에 비해 크게 나타난다. 이는 거금수로 해역의 해황이 주로 조류에 지배되고, 해역의 수온, 염분 분포가 조류 세기에 따라 성층과 연직 균일한 구조를 나타낼 수 있음을 시사한다. 한편, 조류 혼합을 ϵ 을 0.005로 했을 때의 계절별 성층 정도는, 2월(동계)이 성층 강화 보다 혼합이 더 큰 $-2.39 Jm^{-3} day^{-1}$, 4월(춘계)은 $4.39 Jm^{-3} day^{-1}$ 로 성층 강화가, 8월(하계)은 $0.01 Jm^{-3}day^{-1}$ 로 거의 중립, 10월(추계)은 $1.06 Jm^{-3}day^{-1}$ 으로 약한 성층을 나타냈다. 이 결과는 실제 거금수로 해역에서 조사된 수온, 염분의 수평 및 연직 분포 결과와 거의 일치한다.

요 약

1993년 거금수로에서 계절별로 수온, 염분을 관측하였으며, 수로내 2개 정점에서 25시간 연속 수온, 염분 관측을 실시하여 이들 자료를 비교, 분석하였다.

수온은 년중 $7.0 \sim 25.0^\circ C$ 의 범위로 동, 하계의 온도차는 약 $18^\circ C$ 이다. 표, 저층간의 온도차는 년중 $0.75^\circ C$ 이하로 수로내 해수의 수온 성층은 매우 약하다. 수로방향으로의 수평 온도차도 약 $0.3^\circ C$ 이하로, 수로를 따라서의 강한 조류가 거금수로내 수온의 수평, 연직 분포에 크게 영향을 미치고 있음을 시사한다. 염분도 수온과 같이 년중 표, 저층 및 수로 방향에서 수평 염분차가 0.5% 이하로 작다. 염분은 4월이 34.0% , 8월이 30.0% 로, 4월이 8월에 비해 4% 정도 높다. 이는 동 시기의 강우량과 일조시간의 분포와 일치해 기상에 직접 영향을 받고 있음을 알 수 있다. T-S diagram에 나타난 계절별 수괴 특성은 동계에서 하계로 갈수록 저온 고염의 고밀도수에서 고온 저염의 저밀도수로 변화하며, 표, 저층간의 밀도차는 춘계와 추계에 거의 0, 동계와 하계에 $1.0 \sim 1.5$ 로 매우 작다.

1993년 4월 29~30일의 조위 변동에 따른 수온과 염분의 변화는 고조시 수온은 낮고 염분은 높다. 저조시는 그 역의 변화를 나타낸다. 1일 중의 수온과 염분의 탁월 변동 주기는 동 해역에서 탁월한 반 일주조의 조석주기와 거의 일치한다.

해역의 성층 정도를 판단하는 성층계수는 년중 $4.0 J/m^3$ 이하로 조류에 의한 저층 연직 혼합이 년중 매우 활발함을 나타낸다. 성층 진단식에 의한 성층과 혼합의 크기는 조류에 의한 혼합항이 $4.7 \sim 14.1 J/m^3 day^{-1}$ 로 가장 크다. 관측에서 나타난 계절별 수온, 염분 구조와 일치하는 조류 혼합률 ϵ 의 평가는 0.005였다.

사 사

본 연구 수행에 필요한 해양 관측 조사와 자료를 이용하게 해 주신 전라남도 수산국 여러분과 여수수산대학교 양식학과 고남표 교수님 그리고 조사에 참여한 해양학과 학생들에게 감사 드립니다.

참 고 문 헌

Choo, H.S. and K.D. Cho. 1984. The structure of tidal

- front in Eastern Yellow Sea in summer of 1982. J. Fish. Soc. Korea, 17 (2), 83~91 (in Korean).
- Choo, H.S. 1995. Tidal currents studied by numerical model experiments in Kugum Suro Channel. Bull. Mar. Sci., Inst., Yosu Nat'l Fish. Univ., 4, 41~49 (in Korean).
- Czitrom, S.P.R., G. Budeus and G. Krause. 1988. A tidal mixing front in an area influenced by land runoff. Continental Shelf Research, 8, 225~237.
- Garrett, C.J.R., J.R. Keeley and D.A. Greenberg. 1978. Tidal mixing versus thermal stratification in the Bay of Fundy and Gulf of Maine. Atmosphere-Ocean, 16, 403~423.
- Gill, A.E. 1982. Atmosphere-Ocean Dynamics. Academic Press, 30 pp.
- Kang, Y.Q. 1983. On the temperature differences across ground and sea surfaces in Korea. J. of Korean Met. Society, 19 (2), 88~95.
- Kim, S.W., K.D. Cho, H.K. Rho, J.C. Lee, S.H. Kim and S.I. Shin. 1995. Temperature and salinity distribution in Deukryang Bay in summer of 1992~93. J. Fish. Soc. Korea, 28 (1), 7~14 (in Korean).
- Lee, B.G. 1994. A study of physical oceanographic characteristics of Deukryang Bay using numerical and analytical models in summer. Ph.D. Thesis, National Fisheries University of Pusan, 100 pp.
- Pingree, R.D. and D.K. Griffiths. 1982. Tidal fronts on the shelf seas around the British Isle. JGR, 83, 4615~4622.
- Simpson, J.H., D.G. Hughes and N.C.G. Morris. 1977. The relation of seasonal stratification to tidal mixing on the continental shelf. In *A voyage of Discovery*, Ed. by M. Angel, Pergamon, pp 327~340.
- Smith, S.D. 1980. Wind stress and heat flux over the ocean in glae force winds. J. Phys. Oceanogr., 10, 709~727.
- Yanagi, T., S. Igawa and O. Matsuda. 1995. Tidal front at Osaka Bay, Japan, in winter. Continental Shelf Research, 15 (14), 1723~1735.
- 국립수산진흥원. 1993. 해양조사연보. pp. 222~230.
- 수로국. 1978. 나로도 부근일대 조류관측결과. 수로기술연보. pp. 154~158.
- 전라 남도. 1993. 고흥군 풍남, 가화지역 어장의 입체적인 이용방안에 관한 연구. pp. 71~222.

1996년 7월 19일 접수

1997년 3월 5일 수리