

2000년 여름 영산강 하구의 해수 특성과 순환

박래환* · 조양기 · 조 철 · 신연중 · 박경양¹

전남대학교 해양학과 · 해양연구소

¹목포대학교 해양자원학과

Hydrography and Circulation in the Youngsan River Estuary in Summer, 2000

LAE-HWAN PARK*, YANG-KI CHO, CHEOL CHO, YOUN-JONG SUN AND KYUNG-YANG PARK¹

Department of Oceanography, Institute of Marine Science, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

¹Department of Marine resource, Mokpo National University, Muan, Chonnam 534-729, Korea

영산강 하구 내 해수 유동의 시공간적 변화를 이해하기 위하여 해수의 물성과 유속을 종합적으로 관측하였다. 수문 개방으로 많은 양의 담수 유입이 있었던 다음 날인 2000년 7월 27일부터 28일까지 25시간 동안 영산강 하구에서 관측을 실시하였다. 하구 내 12개 정점에서 27일 저조, 28일 고조와 저조때 각각 CTD 관측을 하였고, 하구 내 한 정점에서 25시간 동안 수심별 수온과 유속 관측을 실시하였다. 유속은 Acoustic Doppler Profiler(1.5 MHz)를 이용하여 수직적으로 1 m 간격으로 측정하였다. 동시에 하구 내 두 정점에서 TGPS 부이를 띄워 표층 해수 유동을 관측하였다. 관측기간은 소조에 해당되며, 조차는 약 4 m, 최대 조류는 약 12 cm/sec였다. 25시간 동안 관측된 유속은 대부분의 수층에서 하구를 따라 동서방향으로 반일주조형태의 조류 특성을 잘 보여준다. 그러나 표층의 경우 바람에 의해 유속의 방향이 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 표층 2 m 이내에 존재하는 22 psu 이하의 저염수는, 관측 초기 남풍에 의해 북쪽 해안선을 따라 관측되었다. 바람의 방향이 동풍으로 바뀔 때 따라 표층수는 외해로 흘러 나가, 이튿날 관측시에는 하구 내에서 22 psu 이하의 저염수가 발견되지 않았다. 유속과 수괴 특성을 분석한 결과 일반적인 하구의 수직구조와 달리 본 해역은 수직적으로 네 개의 층으로 나눌 수 있었다. 담수 기원으로 생각되는 표층과 중층의 해수는 25시간 평균 유속이 외해를 향하며, 상층과 하층의 평균 유속은 강 쪽을 향하고 있다. 이러한 수직 구조는 하구언으로부터 강물의 유입이 불규칙적으로 이루어지기 때문에 발생한 현상이라고 생각된다.

Water movement in the Young San River Estuary where a sea dyke was constructed, was observed using an acoustic doppler profiler (ADP) and two TGPS buoys for 25 hours on 27–28 July 2000. Hydrographic observations were simultaneously taken using CTD to understand the characteristic of the spacial structure of temperature and salinity. A large quantity of fresh water was discharged from the sea dyke on 26 July 2000. The observation period fell on neap tide. The amplitude of the tidal elevation and the maximum velocity of the tidal current were about 4 m and 12 cm/sec respectively. The water movement at the surface layer is mainly controlled by wind, and those at the other layers are controlled by semidiurnal tide. The low salinity water less than 22 psu was observed along the northern part during the early observation period while southerly wind prevails. The less saline water moves westward and finally leaves the estuary by easterly wind early on the second day. We can divide the vertical structure into four layers by hydrography and current structure. Mean velocity structure shows that relatively less saline waters at the surface and the middle layer move seaward, and the waters at the upper and the bottom layers move landward. It is thought that the intermittent discharge of river water from the sea dyke makes vertical structure of four layers.

서 론

하구는 외해로부터 유입되는 해수와 육지의 강으로부터 유출되는 담수가 혼합되는 반폐쇄성 연안수역이다(Officer, 1976). 일반적인 하구의 순환은 표층에서는 바다 쪽으로 나가는 흐름이, 바다

에서는 강 쪽으로 들어오는 흐름이 우세한 이층 구조를 가진다(Officer, 1976). 그러나, 하구언이 건설된 영산강 하구는 평상시에는 담수의 유입이 거의 없어 하구 내 순환이 조석의 영향을 크게 받지만, 우기시에는 수문 개방으로 인해 많은 양의 담수가 유입되기 때문에(Table 1), 하구내의 물성과 순환이 크게 변할 것으로 생각된다.

영산강 하구 해역은 1981년 2월에 영산강 하구언이, 1991년 4

*Corresponding author: laehwan@hanmail.net

Table 1. Fresh water discharge from the Youngsan River dyke in 2000 year.

Month	Frequency	Discharge (m ³)	Ratio (%)
1	2	50,093,000	2.34
2	-	-	-
3	2	9,877,000	0.46
4	2	11,489,000	0.54
5	-	-	-
6	12	209,951,000	9.82
7	20	485,340,000	22.71
8	21	632,410,000	28.24
9	25	652,438,000	30.58
10	1	17,268,000	0.81
11	3	46,293,000	2.17
12	2	25,114,000	1.18
Total	90	2,137,273,000	100

월과 1994년 3월에 영암방조제와 금호방조제가 각각 건설되어, 많은 습지가 간척지로 전환되어 감소수역이 크게 감소하였다(강, 1996; 강과 임, 1998). 하구언 건설로 인해 조간대의 감소뿐만 아니라 조석 특성도 변화하였다(강 등, 1998; 이, 1994; 최, 1984). 하구 내 조석의 진폭이 커져 고조시 연안에 인접한 저지대의 침수현상을 발생시키고, 조류속 감소로 인하여 하구 내 체류시간이 증가하여 오염물질의 집적으로 인한 환경오염이 우려된다(강, 1996; 박, 1997).

이러한 문제 때문에 조석 특성의 변화와 관련되어 이 해역에서 비교적 많은 연구가 실시되었다. 관측자료 분석을 통하여 하구언 건설에 따른 하구언 건설전후의 조위변화에 대한 연구(최, 1984) 그리고 목포해역의 환경변화, 오염물질 확산에 관한 연구(강, 1996; 강과 임, 1998) 등이 있었다.

지금까지 영산강 하구의 조석 현상에 관한 연구가 많이 수행되어왔던 반면, 바람이나, 경압성 흐름과 같은 조석 이외의 순환에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 외국의 경우 현장 조사나 수치실험에 의해 하구의 순환에 관한 연구가 많이 진행되어 왔다(Bowden, 1963; Brooks, *et al.*, 1999; Hansen and Rattray, 1972; Naudin, *et al.*, 1997; Robinson *et al.*, 1983; Sylaios and Boxall, 1998). 그러나 이들 연구 대부분은 하구언이 설치되지 않은 하구를 대상으로 이루어졌다. 하구언 건설 후 비교적 많은 연구가 수행된 금강하구의 경우 하구언 설치로 인해 하구의 순환과 부유물질의 이동이 크게 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(최 등, 1995; 이 등, 1999; 최 등, 1999).

본 연구에서는 성층이 잘 형성되는 여름철 영산강 하구 내에서 25시간 동안 물성과 유동변화를 종합적으로 관측함으로써 하구언이 설치된 하구의 순환구조와 물성 변화를 이해하고자 한다. 하구언이 설치된 하구의 물질순환이나 생태계를 이해하는데 있어서, 본 연구의 결과가 중요하게 이용될 것으로 생각된다.

자료 및 방법

물성과 유속의 구조와 변화를 이해하기 위해 2000년 7월 27일부터 28일까지 25시간 동안 영산강 하구에서 종합적인 관측을 실

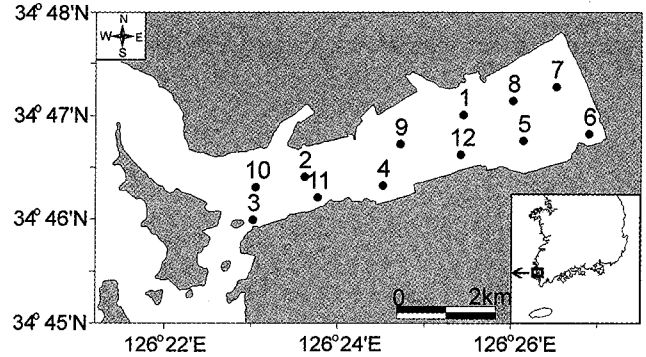


Fig. 1. Map of the study area. Solid circles denote CTD station.

시하였다. 하구 내 12개 정점(Fig. 1)에서 27일 저조(15시 35분부터 17시 03분까지), 28일 고조(10시 30분부터 13시 07분까지)와 저조(16시 20분부터 18시 01분까지)에 수심별 수온과 염분을 조사하기 위해 CTD 관측을 실시하였다. 정점 1번부터 7번까지는 목포대 해양자원학과에서 1998년부터 약 1주일 간격으로 CTD를 이용하여 지속적으로 관측을 실시하는 정점이며, 정점 8부터 12까지는 본 연구를 위하여 추가된 정점이다.

정점 12에서 해수의 유동 관측을 위해 Nortek회사의 Acoustic Doppler Profiler(1.5 MHz)를 이용하여 25시간동안 유속을 관측하였으며, 정점 4와 정점12 부근에 TGPS 부이(한국해양연구소 제작)를 표층에 띄워 관측기간 동안 하구내의 표층 해수 유동을 관측하였다(Fig. 2). 본 연구에 사용된 ADP는 수직적으로 1 m 간격으로 평균된 유속과 유향을 측정하고, 표층과 센서로부터 각각 약 1 m 씩에 해당되는 지역은 관측을 실시하지 못한다. TGPS 부이 drogue의 중심은 표층으로부터 약 1.75 m에 위치하게 설계되었다(Fig. 2).

수심별 수온과 염분을 조사하기 위해 Seabird 회사의 SBE 19를 이용했다. 정점 12의 각 수심에서 시간에 따른 수온의 연속적인 변화를 살펴보기 위해 Seamon회사의 Mini Temperature Recorder와 Seabird 회사의 SBE 39를 3~4 m 간격으로 설치하였다. 그 중 1 m, 7 m, 20 m에는 압력 센서가 함께 설치되어 각 센서의 수심변화를 내삽법으로 계산하였다. 관측기간은 소조에 해당되며, 조차는 약 4 m이다(Fig. 3). 관측을 실시하기 하루 전인 7월 26일 13시 8분부터 14시 42분까지 하구언으로부터 6,029,000톤의 담수 유입이 있었다.

결 과

해수 특성 구조

정점 12에서 25시간동안 연속적으로 관측된 수온은 저층보다는 표층에서 시공간적 변화가 크다(Fig. 4). 표층에서 약 2 m까지는 수온 24°C이상인 표면혼합층이 존재하며, 그 아래는 수온이 급격하게 낮아지는 수온약층이 존재한다. 수심에 따라 수온이 감소하다가 10 m부근에서 수온이 가장 낮은 21.8°C이하가 나타났다. 10 m보다 깊은 곳은 깊어질수록 오히려 수온이 높아 바닥 부근에서는 22°C이상이다. 수온역전이 나타나는 수심을 효과적으로 나타내기 위하여 22°C이하의 해수를 어둡게 표시하였다. 이와 같은

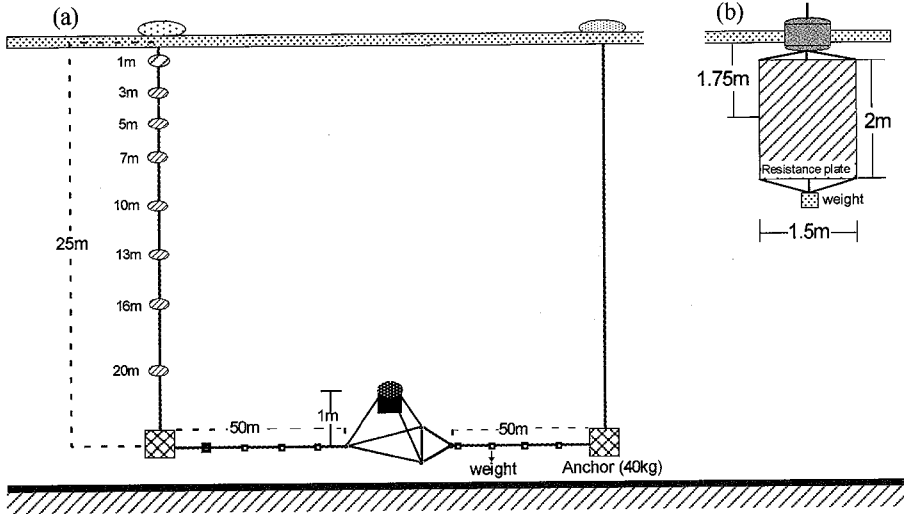


Fig. 2. Deployment of equipment to observe current and hydrography. (a) Temperature sensor and ADP, (b) TGPS buoy.

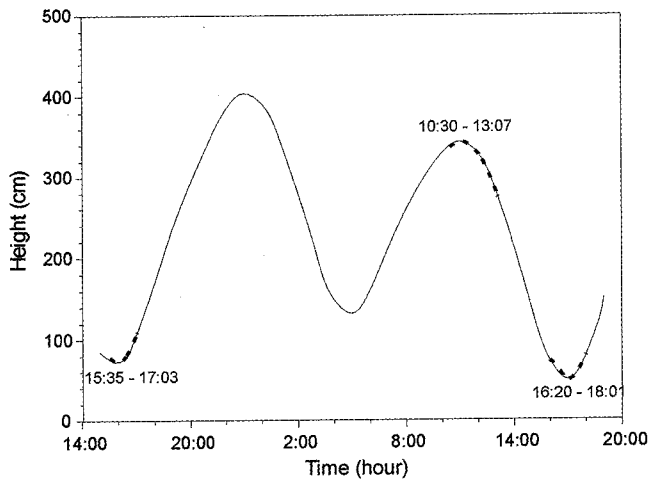


Fig. 3. Tidal height at Mokpo on 27-28 July 2000. Three dashed lines denote hydrographic casting periods.

수온 역전 구조는 관측기간동안 지속적으로 관측되었다.

12개 정점에서 세 차례의 관측으로 얻은 CTD자료를 이용하여 T-S diagram을 그렸다(Fig. 5). 세 번의 조사에서 공통적으로 표층에 상대적으로 고온저염수가 관측된다. 특히 27일 저조(Fig. 5의 ●)의 표층에서는 수온은 높고 염분은 낮은 물이 관측된다. 수온 28°C이상, 염분 22 psu 이하의 해수는 27일에만 관측되었다. 27일의 고온저염수는 7월 26일 유입된 담수의 영향으로 생각된다. 중층과 저층은 표층과 달리 시간에 따른 특성변화는 크지 않고 공간적인 변화가 더 크다. 수심이 증가할수록 염분은 지속적으로 증가하나, 수온의 경우 다른 모습을 보인다. 수온이 지속적으로 감소하는 정점도 있으나, 많은 정점에서 수온이 감소하다 다시 증가하는 모습을 보인다. 이러한 모습은 앞에서 살펴본 정점 12의 수온 역전 현상의 결과와 같다. 표층의 고온저염수만 제외하고 수온 염분구조는 28일 두 차례에 걸쳐 실시된 관측에서도 27일과 비슷한 구조를 보인다.

하구 내 수온과 염분의 수평, 수직적인 구조와 변화를 살펴보기 위해 수평분포도와 수직단면도를 그렸다. Fig. 6은 세 차례에 걸쳐 실시된 관측으로 얻은 표층 수온과 염분분포도이다. 27일 저조 때와 28일 저조 때 남쪽보다 북쪽이 표층수온이 더 높고, 28일 고조 때는 수평적인 수온 차이가 1°C이하로 작기는 하지만 남쪽 수온이 더 높다. 특히 27일 저조의 경우 수온의 범위가 23°C~29°C로써 28일 저조의 경우인 25°C~27°C보다 훨씬 남북간의 수온차이가 크다.

같은 기간에 관측된 표층 염분 분포도 수온 분포와 비슷한 모습을 보인다. 27일 저조때 염분의 범위가 11 psu~28 psu으로 남북의 염분 차이가 가장 크게 나타났으며, 28일 저조와 고조 시 염분 범위는 23 psu~27 psu이다. 특히 27일에 관측된 22 psu 이하의 저염수는 대부분 북쪽 연안을 따라 관측된다. 수온수평도에서 살펴본 바와 같이 이 저염수의 수온은 상대적으로 높다. 이러한 수온과 염분분포는 관측 전 날에 유입된 담수의 영향을 받은 고온저염의 해수가 북쪽연안을 따라 분포하다가 28일 고조 이전에 외해로 사라졌거나 주위 해수와 혼합되어 그 특성을 잃어 버렸을 것으로 생각된다.

수직적인 수온과 염분변화를 살펴보기 위해, 하구를 따라서 동서 방향으로 수온과 염분단면도를 작성하였다. 북쪽에 위치한 정점 10, 2, 9, 1, 8, 7을 따른 단면도와 남쪽에 위치한 정점 3, 11, 4, 12, 5, 6을 따른 단면도를 살펴보았으나, 두 단면도의 모습이 비슷하고 12번 정점부근에서 유속관측이 실시되었기 때문에, 본 논문에서는 남쪽 단면만 보여준다(Fig. 7).

수온단면을 먼저 살펴보자. 표층의 경우 27일 저조에 가장 고온의 해수가 관측되었다. 수심에 따른 온도 변화율에 차이는 있지만 수심 약 2m에 수온약층이 존재한다. 표층수는 시공간적으로 수온변화가 크나, 23°C이하의 해수로 구성된 수심 5m 이하에서는 시공간적인 변화가 상대적으로 작다. Fig. 4에서처럼 수심 10m 부근에 가장 수온이 낮은 해수가 세 관측기간 모두 나타난다. 22°C 이하의 저온수가 설상모양으로 저조시에는 바다 쪽으로 더 확장하고, 고조시에는 강 쪽으로 수축하는 변화를 보여주면서, 수온 역전 구조는 지속적으로 관측된다.

수직적인 염분은 수온과 같이 표층에서 변화가 크며 저층에서

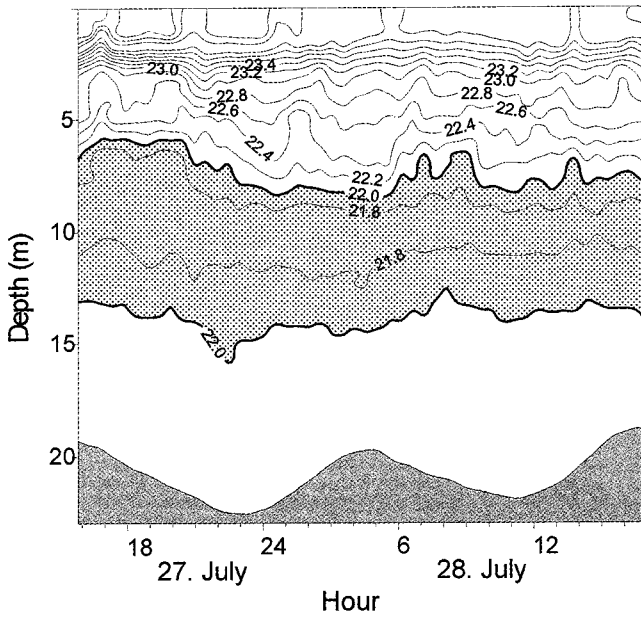


Fig. 4. Time series of temperature profile at station 12 on 27-28 July 2000. The cold water less than 22.0°C are shadowed.

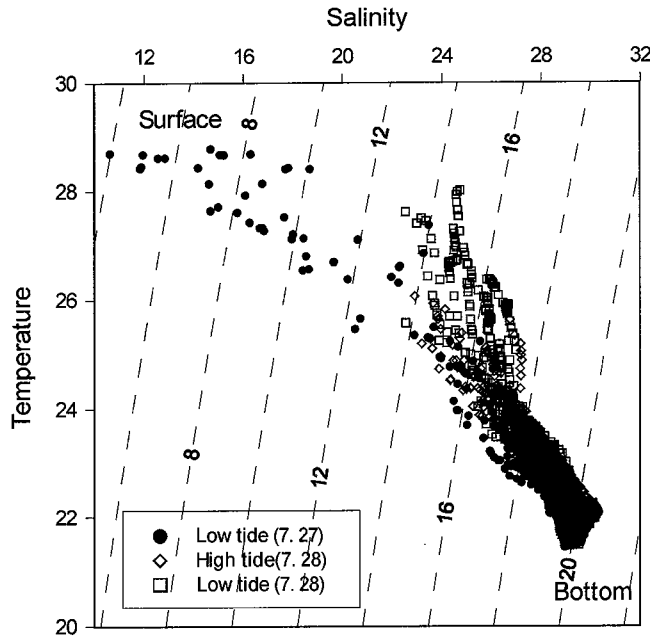


Fig. 5. T-S diagram for all CTD data taken on 27-28 July.

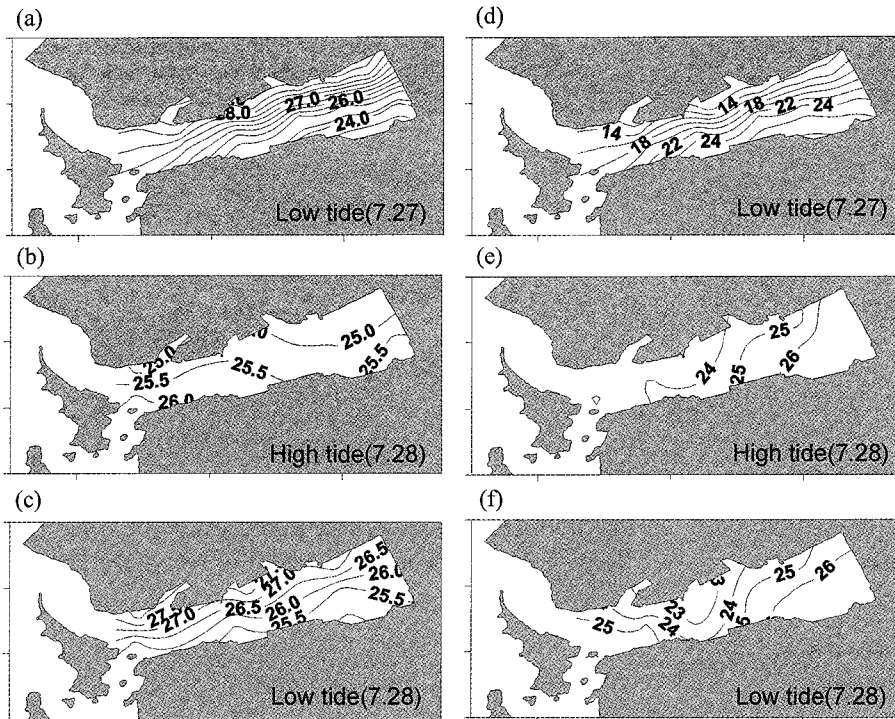


Fig. 6. Horizontal distributions of temperature (a,b,c) and salinity (d,e,f) at surface at low tide on 27 July 2000 (a,d), and high tide (b,e) and low tide (c,f) on 28 July 2000.

변화가 작다. 표층수의 경우 27일 저조 시에 정점 3의 20 psu 이하의 저염수를 중심으로 28일의 표층수 보다 염분이 낮다. 수온과 마찬가지로 수심 약 2m에 염분약층이 존재한다. 염분약층 아래에는 29 psu 이상의 해수가 존재하는데, 27일과 28일 저조에는 30 psu 이상의 고염수가 발견된다. 27일과 28일 저조 시 북쪽에 상대적으로 수온이 높아 밀도가 작은 표층수가 많이 관측되었고, 28일 고조 시에는 남쪽에서 많이 관측되었다.

유속구조

정점 12에서 ADP로 관측한 유속을 층별로 시간에 따라 그렸다(Fig. 8). 관측된 자료가 1m 간격으로 얻어지나, 전체를 모두 보여주기 어려워 다섯 개 층만 그렸다. 표층부터 12m까지의 자료는 표층부터 측정된 수심을 기준으로 하였다. 표층의 경우 관측값이 얻어지지 않는 표층으로부터 1m를 제거하고 1m부터 2m까지의 평균 유속이다. 바닥의 경우 바닥에 설치된 ADP 센서로

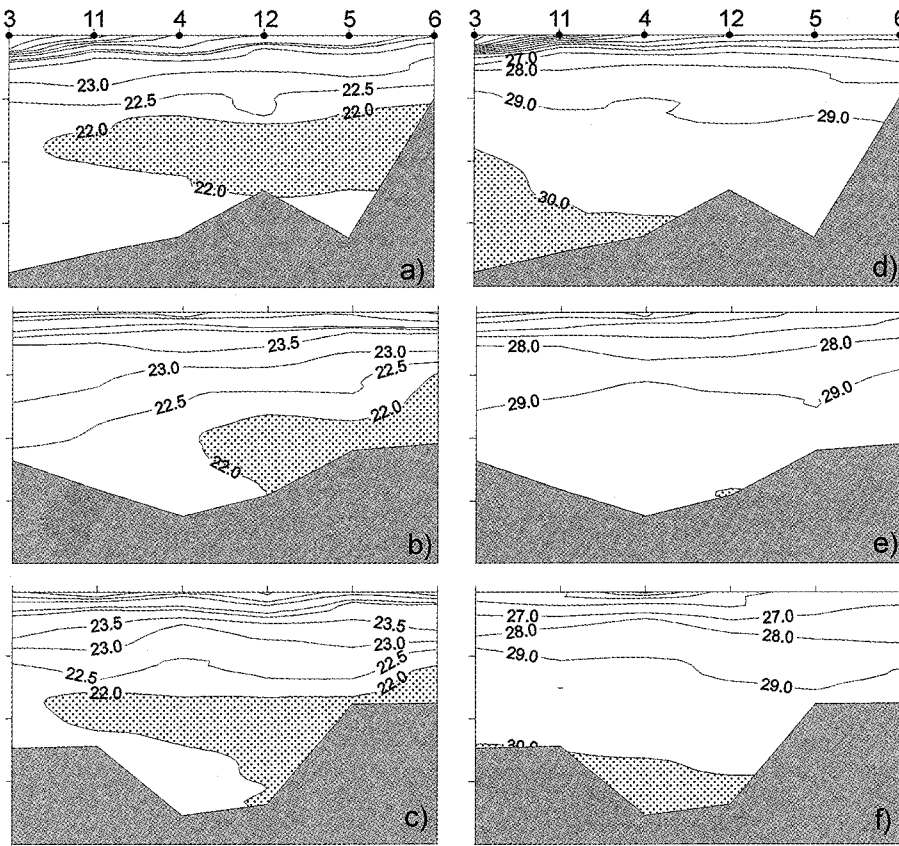


Fig. 7. Vertical sections of temperature (a,b,c) and salinity (d,e,f) along southern stations at low tide on 27 July 2000(a,d), and high tide (b,e) and low tide (c,f) on 28 July 2000. Cold Water less than 22°C in temperature sections and saline water more than 30 psu in salinity sections are shadowed.

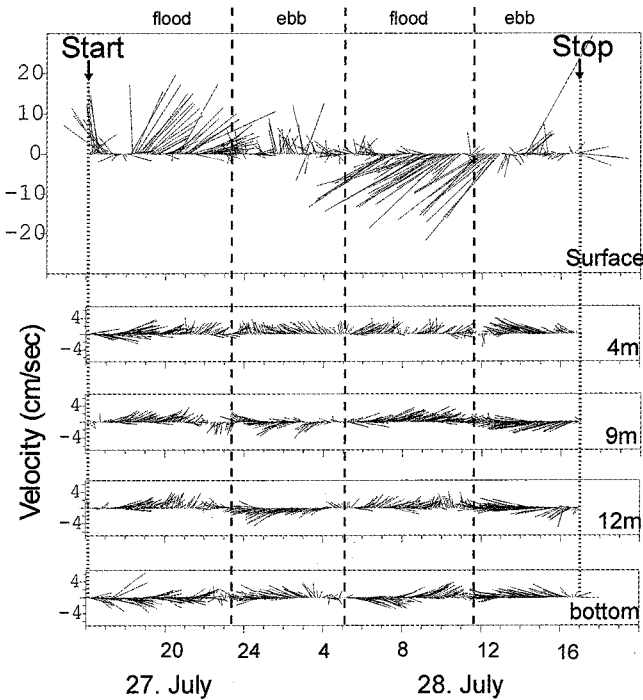


Fig. 8. Current time series of each layer at station 12 for 25 hours on 27-28 July 2000.

부터 1 m부터 2 m까지의 평균 유속이다.

유속은 표층에서 가장 커 20 cm/sec 이상의 유속이 관측되기도

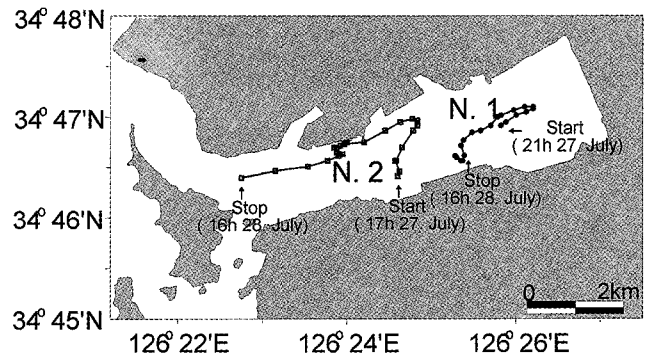


Fig. 9. Trajectories of TGPS buoy for 25 hours on 27-28 July 2000. Along the trajectories circles and rectangulars are plotted every succeeding one hour.

한다. 표층을 제외한 나머지 층에서는 대부분 유속의 크기가 10 cm/sec 이하이며, 방향은 규칙적으로 창조 시에는 동쪽을 낙조 시에는 서쪽을 향하는 흐름이 반복하는 조류의 특성을 잘 보여주고 있다. 그러나 표층의 경우 동서방향보다 남북 방향의 유속이 더 크게 나타난다. 남북으로는 처음 12시간 동안 북쪽 성분의 흐름이 강하고, 다음 6시간 동안은 남쪽 성분 그리고 마지막 6시간 동안은 크기는 작지만 다시 북쪽 성분의 흐름이 우세하게 나타난다. 동서 방향으로는 28일 창조 시 중층과 저층은 조석에 의해 동쪽으로 흐르는 흐름이 관측되었으나, 표층에서는 오히려 서쪽 방향의 흐름이 관측되었다. 이러한 사실로부터 표층의 경우 조석보다는 다른

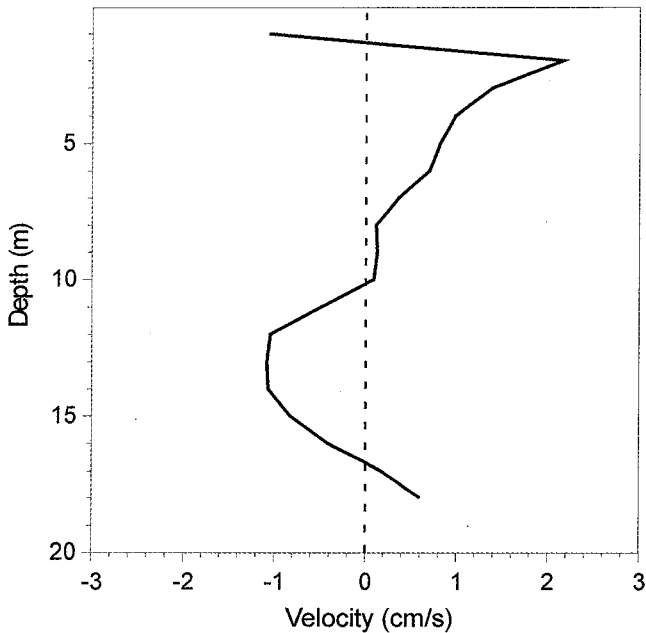


Fig. 10. Profile of mean velocity along the estuary for 25 hours on 27-28 July 2000. Eastward direction is positive.

요인에 의해 흐름이 지배된다고 생각할 수 있다.

이러한 표층의 흐름은 동시에 관측한 TGPS 부이 관측결과(Fig. 9)와도 잘 일치한다. 정점 4와 12에 투하한 두 개의 TGPS 부이는 관측 기간동안 조석에 따른 운동을 하지 않았다. 조석에 따라 움직였다면 동서방향으로 2회의 규칙적인 왕복 운동을 하였어야 하나, 처음 수 시간동안 북동으로 흐르다 나머지 시간 동안에는 지속적으로 서 또는 남서 방향으로 움직였다. 두 부이의 시간에 따른 흐름의 방향은 비슷하나 속도는 크게 달랐다. 정점 4에 투하한 부이는 북쪽 해안선을 따라 정점 12에 투하한 부이보다 훨씬 빠른 속도로 서쪽으로 움직였다.

조석의 영향을 제거하고, 각 층별 평균적인 유속 구조를 이해하기 위하여 25시간동안 관측된 ADP 자료를 이용하여 수심별 평균 유속을 구하였다. 여기에서는 하구를 따르는 방향의 유속구조만 보여준다. 하구가 정확하게 동서방향으로 발달해 있지 않으므로, 편의상 동서방향에 대해 반시계 방향으로 200회전하여 하구를 따르는 방향으로 설정하여 그림을 그렸다(Fig. 10).

평균유속구조는 수직적으로 네 개 층을 잘 보여주고 있다. 표층 부근은 유속이 약 1.1 cm/sec로 바다 쪽을 향하는 흐름이다. 표층을 제외한 10 m까지는 흐름이 강 쪽을 향하며, 수심 10 m에서 17 m 사이는 대부분 1 cm/sec 이하로 바다 쪽을 향하고, 수심 17 m 이하에서는 유속 1 cm/sec 이하로 다시 강 쪽을 향한다.

고찰 및 결론

지속적으로 강물이 유입되는 전형적인 하구와 달리 하구언이 설치된 영산강 하구의 해수 특성과 순환구조는 독특한 구조를 갖는다. 하구로 강물의 유입이 없는 시기에는 만의 특성을 갖는 것으로 생각된다. 전형적인 하구에서는 해수의 수평적인 특성변화가

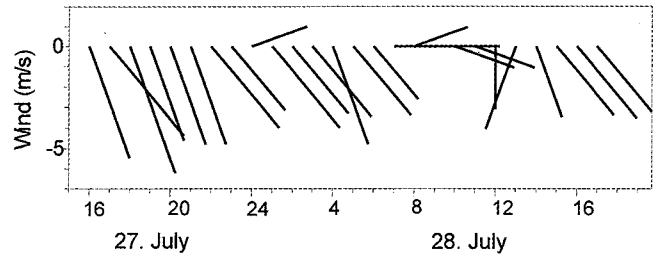


Fig. 11. Time series of wind velocity at Mokpo on 27-28 July 2000.

하구를 따라서 나타나는데(Officer, 1976), 본 조사 기간 동안 하구를 가로지르는 방향으로 특성변화가 주로 나타났다.

표층 해수 특성 분포는 하구의 순환과 밀접한 관련이 있다. 앞서 살펴 본 바와 같이 북쪽으로 흐름이 강한 27일 저조 시와 28일 저조 시에 밀도가 작은 고온저염수가 북쪽 해안선을 따라 주로 관측되었다. 남쪽으로 흐름이 강한 28일 고조 시에는 남쪽 해안선을 따라 고온수가 주로 관측되었다. 그러나 28일에는 27일에 관측된 22 psu 이하의 저염수가 하구 내에서 전혀 관측되지 않았다. 이러한 표층수의 특성과 순환은 조석보다는 다른 요인과 관련이 있는 것으로 생각된다.

표층에 영향을 미치는 중요한 요인으로 바람을 생각할 수 있어, 연구 지역 인근의 목포 기상대에서 관측한 바람 자료를 살펴보았다(Fig. 11). 27일 관측을 시작한 시각부터 약 12시간 동안 5 m/sec 이상의 크기로 남풍 바람이 지속적으로 불다가, 다음 약 5시간 동안 동풍 바람이 4~5 m/sec로 불고 나머지 시간동안에는 다시 5 m/sec 이상의 남풍 바람이 불었다.

이러한 바람 구조는 표층수의 특성분포와 잘 일치한다. 관측 전 반부 약 12시간 동안 남쪽에서 불어오는 바람에 의해 유속은 대부분 북쪽을 향하며, 이에 따라 26일 유입된 담수의 영향으로 남아 있던 표층의 고온저염수가 북쪽 해안선을 따라 관측되었다. 바람의 방향이 동풍으로 바뀐 여섯 시간 동안 북쪽 해안선에 쌓여 있던 고온 저염수가 서쪽으로 흘러 나간 것으로 추정되고, 북쪽에 쌓여 있던 일부 표층수는 남쪽으로 풀려 나간 것으로 생각된다. 실제로 이 기간동안 ADP 자료는 남서방향의 강한 흐름을 보여주고 있다. 이 기간에 해당하는 28일 고조시에 27일 관측되었던 22 psu 이하의 저염수는 관측되지 않았고, 상대적으로 고온의 표층수가 남쪽에서 관측되었다. 바람의 방향이 남풍으로 바뀐 마지막 여섯 시간동안에는 다시 유속이 작지만 북쪽으로 흐름이 나타나고 고온수도 북쪽 해안선을 따라 관측된다.

이러한 순환구조는 부이 관측결과와도 일치한다. 두 부이 모두 바람에 따라 초기에는 북쪽으로 움직이다가 시간이 지남에 따라 서쪽과 남서쪽에서의 흐름을 보여준다. 부이의 이동 모습에서 유속의 공간적인 구조를 이해할 수 있다. 두 부이의 바다 쪽으로 나가는 흐름의 속도를 간략하게 계산해볼 수 있다. 28일 2시부터 16시까지 12번 정점에 투하한 부이는 약 2 km 이동하였고(약 4 cm/sec), 4번 정점의 부이는 약 4 km를 이동하였다(약 8 cm/sec). 속도가 빠른 4번 정점 부이의 이동은 북쪽 연안을 따라 외해로 흘러 나가는 빠른 흐름이 있다는 것을 보여주며, 이 흐름에 의해 27일까지 남아있었던 22 psu 이하의 저염수가 하구 바깥으로 흘러 나간 것으로 생각된다.

수직적인 유속구조에서는 일반적인 하구의 이층 순환구조와 다른 사층 구조가 발견되었다. 표층과 수온이 가장 낮은 10 m 층의 흐름은 바다를 향하고 이 두 층 사이의 층과 바닥 층의 흐름은 강 쪽을 향했다. 이러한 수직구조는 해수의 물성 구조와도 관련이 있는 것으로 보여진다. 바닥 층은 염분이 높아 전형적인 하구에서 바다에서 강으로 유입되는 저층 해수와 같은 구조로 판단된다. 10 m 층은 바닥 층보다는 수온이 낮지만 염분도 낮아 밀도 역전을 일으키지는 않는다. 수온과 염분이 낮은 것으로 보아 이 층의 물은 기온이 더 낮은 시기에 상층에 존재하던 물이라고 생각된다. 그러다가 여름철에 고온의 담수가 빠른 속도로 강으로부터 표층으로 유입되면서, 기존의 표층저온수는 상대적으로 밀도가 높아 중층에 위치하게 된 것이라고 해석된다. 표층과 수온 역전 층 사이에 존재하는 층은 표층 저염수가 바다 쪽으로 유출되면서 만들어 내는 경압성 압력 차이에 의해 바다 쪽에서 유입되는 흐름일 가능성이 있다.

얕은 수심에서 이러한 네 개 층의 구조가 잘 발달한 이유는 하구언 건설로 인해 전형적인 하구의 특성을 잃고 많은 양의 담수가 불규칙적으로 유입되기 때문이라고 생각된다. 특히 본 관측기간이 소조여서 이러한 수직구조가 잘 유지될 수 있었을 것으로 생각된다. 유속이 빠른 대조시에도 사층구조가 지속적으로 유지될 수 있는지의 여부, 사층구조의 형성과정과 역학 등에 관한 연구는 추후 계획되어 있는 장기 관측과 수치실험 등을 통해 이루어질 예정이다.

감사의 글

본 논문의 발전에 대해 유익한 토의와 지적을 해 주신 김영규 박사님과 두 분의 심사위원께 감사드립니다. 본 연구에 사용된 TGPS 부이의 구입과(1999년 국산연구기기활용사업) 논문의 출판은 한국과학재단의 지원(2000-2-13500-001-2)으로 이루어졌습니다.

참고문헌

강주환, 1996. 하구언 및 방조제 건설에 따른 목포해역의 환경변화. 대한토목학회논문집, **16**: 611-619.
 강주환, 임병선, 1998. 방조제 건설로 인한 목포해역에서의 오염확산양상 변화. 대한 토목학회논문집, **18**: 613-622.
 강주환, 송재준, 오남선, 1998. 낙조우세와 관련된 목포해역의 조

류특성 분석. 대한 토목학회논문집, **18**: 185-193.
 박진형, 1997. 하구언 방류량에 의한 주변해역의 유동 및 물질 변화. 여수수산대학 석사학위논문, 66 pp.
 이석우, 1994. 영산강 하구둑 건설에 따른 목포항의 조위의 변화. 한국항만협회지, **18**: 27-37.
 이상호, 권효근, 최현용, 양재삼, 최진용, 1999. 하구언 수문작용으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화 II. 염분구조와 하구 유형. 한국해양학회지, **4**: 255-265.
 최병호, 1984. 영산강하구의 방조제건설에 따른 조위변화. 대한토목공학논문집, **4**: 113-124.
 최진용, 최현용, 서만석, 1995. 하구언 갑문폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성변화. 한국해양학회, **30**: 262-270.
 최현용, 이상호, 유광우, 1999. 금강하구언 대량방류시 황해 중동부 해역의 염분분포. 한국해양학회지, **4**: 1-4.
 Bowden K.F., 1967. Circulation and Diffusion. In: Estuaries, edited by Lauff, G.H., American Association for the Advancement of Science, Pub. No. 83, Washington, D.C., pp. 15-36.
 Brooks, D.A., Baca, M.W. and Lo, Y.T., 1999. Tidal Circulation and Residence Time in a Macrotidal Estuary: Cobscook Bay, Maine. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **49**: 647-665.
 Hansen, D.V., Jr. M. Rattray, 1965. Gravitational circulation in straits and estuaries. *Journal of Marine Research*, **23**: 104-122.
 Naudin, J.J., Cauwet, G., Chretiennot, M.J., Deniaux, B., Devenon, J.L. and Pauc, H., 1997. River Discharge and Wind Influence Upon Particulate Transfer at the Land-Ocean Interaction: Case Study of the Rhone River Plume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **45**: 303-316.
 Officer, C.B., 1976. Physical oceanography of estuaries (and associated coastal waters). John Wiley, New York: 465.
 Robinson, M., Swift and Brown, W.S., 1983. Distribution of Bottom Stress and Tidal Energy Dissipation in a Well-Mixed Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **17**: 297-317.
 Sylaios, G. and Boxall, S.R., 1998. Residual Currents and Flux Estimates in a Partially-mixed Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **46**: 671-682.

2001년 6월 5일 원고접수

2001년 9월 26일 수정본 채택

담당편집위원: 이동규