

Article

서해 태안반도 북서 연안해역에서의 연안류 특성

신 흥 렬*

공주대학교 자연과학대학 대기과학과, 보건환경연구소
(314-701) 충청남도 공주시 신관동 182

The Characteristics of Coastal Currents to the Northwest of the Taean Peninsula in the Yellow Sea

Hong-Ryeol Shin*

Department of Atmospheric Science, Health and Environment Institute
Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

Abstract : To investigate the characteristics of tidal currents and water circulation in the coastal waters off the Taean Peninsula, tidal currents and sea levels were measured at the study area from 1998 to 2004. In the central waterway to the south of Changan Sand Ridge, mean speed of tidal currents and residual currents were 74.0 cm/s, 17.8 cm/s respectively; the dominant residual currents flowed northeastward, and the amplitudes of semi-diurnal components (M_2 , S_2) were larger than diurnal components (O_1 , K_1). The flood and ebb tidal currents were northeastward and southwestward, respectively, and each period was about 6 hours for them, which was consistent with the period of sea levels at the study area. In the coastal region near Hakampo, Taean, mean velocities of tidal currents and residual currents were 46.1 cm/s, 30.8 cm/s respectively, and the dominant residual currents flowed southwestward. The amplitudes of shallow water constituents (M_4 , MS_4) were relatively large, which were weaker to the northeastern coastal region off Mineodo. The northeastward flow continued for about 2~3 hours, while the southwestward flow continued for about 9~10 hours near Hakampo during the tidal period. Tidal currents flowed northeastward in the central area of the waterway during the period from the Low Water Level (LWL) to the High Water Level (HWL). While the currents in the coastal region flowed northeastward for the first 3 hours after the LWL, southwestward counter-currents flowed between 3 and 6 hours after the LWL. During the period from the HWL to the LWL, the dominant currents flowed southwestward in the study area except to the northeastern coastal region off Mineodo. Along the shorelines, the counter-currents flowed northward between 4 and 6 hours after the HWL. It seems that the counter-currents near the coastal region are caused by the topography and the geography of the shorelines at the study area.

Key words : 태안반도(Taean Peninsula), 연안류(coastal currents), 반일주조(semi-diurnal components), 천해조(shallow water constituent), 창조류(flood currents), 낙조류(ebb currents)

1. 서 론

한국의 서해안은 많은 섬과 모래톱 등이 분포하며 복잡한 해안선과 해저지형의 영향으로 국지적으로 다양하고

강한 연안류가 존재한다. 또한 서해안을 따라 이루어지는 각종 경제·산업적 활동에 따라 많은 시설물들이 설치되고 각종 환경조사가 실시되고 있다. 연안에 설치되는 각종 시설물의 안전과 정확한 환경평가를 위해서는 연안류의 정확한 파악이 필수적이다. 반면에 서해 연안에는 활발한 어업 활동과 강한 연안류로 인하여 15일 이상의 장기간에

*Corresponding author. E-mail : hrshin@kongju.ac.kr

걸친 해류·조류 조사가 매우 어려운 실정으로 연안류 관측에 관한 연구는 많지 않다.

서해에서의 해류 조사 연구는 일본의 Uda(1934)가 최초로 시도하여 해류 모식도를 작성하였으며, 최근에는 주로 한국해양연구원과 국립해양조사원에서 서해 외해역과 연안해역의 관측점에서 해류계를 계류하여 해류 관측을 실시해 왔다(허 1985; 이 1998). 특히 국립해양조사원에서 1978년부터 1998년까지 서해 연안 25개 지점에서 조사한 15일 이상의 자료 분석에 의하면 연안류의 순간 최대 유속은 해역별로 80~270 cm/s 범위를 나타내지만 전 관측 기간에 걸친 평균 유속은 대부분의 관측지점에서 10 cm/s 미만이다(장 2000). 모든 관측점에서 반일주조인 M₂ 분조가 가장 강했으며 진폭은 해역에 따라 30~170 cm/s의 범위를 보인다. 또한 대부분의 연안역에서 반일주조류와 일주조류가 우세하지만, 일부 해역에서는 천해조인 M₄, MS₄ 분조가 강하게 나타나기도 한다. 조류타원은 거의 직선에 가까운 모양을 보이며, 회전 방향은 해역에 따라 시계 방향이나 반시계 방향을 보인다.

충청남도 태안반도 연안 학암포 부근에서의 유동 특성과 물질 확산 연구의 일환으로 이 등(1992)에 의해 단기간의 조류 관측, 표층부표 방류 및 조위관측이 실시되었고, 이 자료들을 사용하여 물질확산에 관한 수치실험을 하여

물질확산은 창조류 때보다 낙조류 때 탁월하게 일어난다고 제시하였다.

태안반도 서쪽 해역에는 봄과 여름철에 조석 전선이 형성된다. 특히 여름철에 전선의 규모가 작음에도 불구하고 전선 양측의 수온차가 5°C 이상으로 매우 강한 특징을 지니고 있다(조와 승 1989; Seung *et al.* 1990). 조석전선의 동측에 해당하는 태안군 학암포 인근의 연안역은 강한 조류에 의한 혼합으로 연중 상하층간에 수온의 수직경사가 나타나지 않는다.

연구해역인 태안반도 학암포(Hakampo) 부근의 해안지형은 대략 동서 방향이면서(Fig. 1), 태안군 이원(Iwon)면 연안의 지형으로 연구해역의 동쪽에서는 남북으로 가로막혀 있는 양상이다. 태안군 학암포 부근의 육지로부터 약 4~5 km 떨어진 외해쪽에는 장안사퇴(Changan Sand Ridge)가 발달되어 있으며, 그 사이에 수로가 형성되어 있다. 이 수로의 해저 지형은 북동-남서 방향으로 뻗어 있으며, 이곳에서는 조류가 해저 지형을 따라 북동-남서 방향으로 흐르고 있다. 그러나 해저 지형과 연안지형의 복합적인 영향으로 단순히 연안류가 북동-남서 방향으로 흐르지 않고 해역에 따라서는 다소 복잡한 양상을 나타내고 있다. 본 논문에서는 태안반도 북서쪽의 연안역에서 해저 지형과 육지 해안선의 영향으로 나타나는 연안류의 특성을 파악

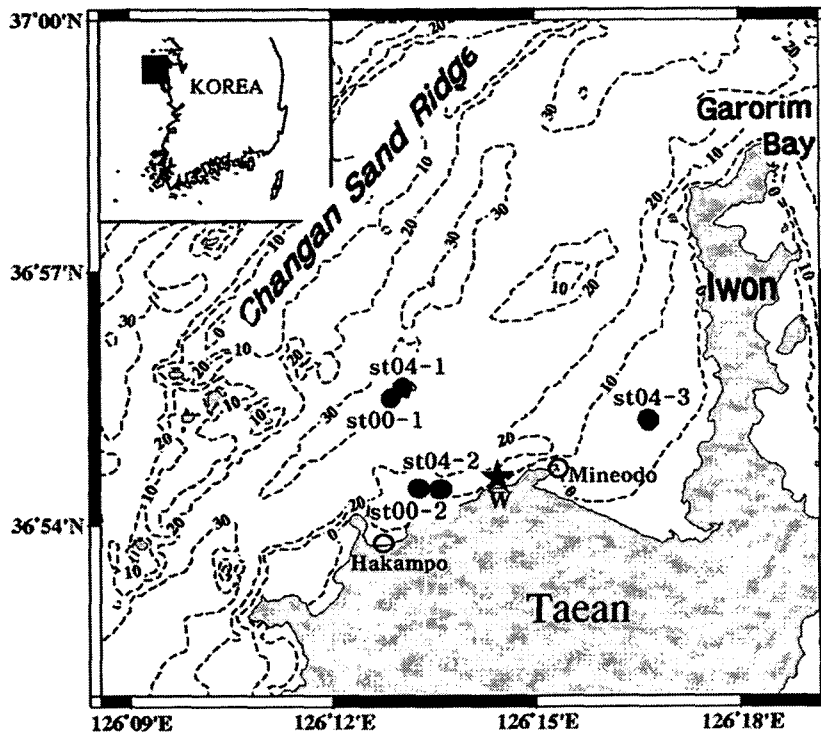


Fig. 1. A topographic map of the study area with isobaths and sampling sites. Solid circles (●) and star (★) denote the sites of current meter moorings and sea level observation (W), respectively.

하는 것이 목적이다.

2. 자 료

본 연구에서는 1998년부터 2004년까지 실시된 유속계 계류 및 ADCP 예인에 의한 조류 관측, 조위 관측, 표층 부표인 TGPS 부표 추적에 의한 해수 이동 자료를 사용하였다(Table 1). 조류는 2000년 7월 14일~8월 3일에 20일간, 2004년 8월 16~23일에 7일간 유속계(Aanderra RCM-8과 RCM-9)를 계류하여 측정하였다. 2000년 7월에 st00-1과 st00-2의 2정점에서, 2004년에 8월에는 st04-1과 st04-2, st04-3의 3정점에서 관측하였으며(Fig. 1), 자료는 10분 간격으로 수록하였다. 정점 st00-1과 st04-1 그리고 st00-2과 st04-2은 각각 거의 같은 위치이고 관측연도만 각각 2000년과 2004년으로 다르다. 해저 수심은 수로 중앙에 있는 st00-1에서 약 30m, 학암포 부근 연안쪽의 st00-2에서 약 15m이며, 유속계는 수면으로부터 약 2 m 아래의 수중에 부착하였다. 민어도(Mineodo) 북동 연안쪽의 정점 st04-3은 해저 수심이 약 5 m, 관측 수심은 약 2 m이었으며, 2004년 8월에 관측하였다.

또한 2004년 8월 17일에 ADCP(RDI Mariner, 300 kHz)를 소형선박에 장착하여 예인하는 형태로 연구해역을 4회 반복하여 관측하였다. ADCP는 수면으로부터 수심 1 m되는 곳에 위치하며 해저까지 수심 1 m 간격의 자료를 획득하였다. 연구해역의 최대 수심이 약 40 m 이내이기 때문에 bottom tracking을 사용하여 조류의 절대속도를 측정하였다. 선박은 약 7~8노트의 속력으로 항해하였고, GPS 위성자료 및 ADCP자료는 1초에 2회씩 수록하였기 때문에

Table 1. Summary of observations conducted near Taean Peninsula.

Items	Instruments	Observation period	No. of observation
Current meter	RCM-8	14th July - 3rd August, 2000 (20 days)	2(st00-1, st00-2)
	RCM-9	16th - 23th August, 2004 (7 days)	3(st04-1, st04-2, st04-3)
Sea level	WLR-7	21th Feb. - 24th March, 1998 (31 days)	1
		14th July - 3rd August, 2000 (20 days)	1
Circulations	TGPS buoy	12th July and 12th September, 1998	3
		26th July and 2nd August, 2000	2
		13th July, 2002	2
Currents	ADCP (300 kHz)	17th August, 2004	4

수평거리 약 2 m 간격으로 위도, 경도 및 조류의 유속과 유향이 관측되었다.

표층 부근 해수의 이동 양상을 파악하기 위하여 수심 3~4 m의 조류 움직임을 반영하도록 설계된 TGPS 부표 (Telemetric Global Positioning System, 전 등 1995)를 투하하여 추적하였다. 1998년부터 2002년까지 총 5일에 걸쳐 창조와 낙조시에 각각 2~3개씩의 TGPS 부표를 띄워서 해수의 이동 양상을 파악하였다. 자료는 1분 간격으로 저장되었다.

조위 관측은 1998년 2~3월에 31일간, 2000년 7~8월에 20일간 WLR-7을 설치하여 10분 간격으로 측정하였다(Fig. 1). 또한 국립해양조사원이 1998년 7~9월, 2000년 7~8월, 2002년 7월에 안흥항에서 1시간 간격으로 측정된 조위자료를 관측시에 사용하였다. 안흥항과 연구해역내 W정점에서의 조위의 위상차가 약 30분인 것을 고려하여 TGPS 부표의 방류 시간과 회수 시간을 결정하였다. 2004년 8월에는 대산항에서 측정된 1시간 간격의 조위자료를 사용하여 유속자료와의 비교 분석 및 ADCP 예인 시간 결정에 사용하였다. 본 연구에서 측정된 조위 관측지점으로부터 안흥항의 조위관측 지점까지는 남쪽으로 약 29 km, 대산항까지는 북동쪽으로 약 15 km의 거리이다.

3. 분석 결과

조류 특성

Fig. 2는 2000년 7~8월에 st00-1과 st00-2 정점에서 관측한 해·조류의 세기와 방향을 나타낸 그림(stick diagram)이다. 두 정점 모두 북동-남서류가 반복되는 양상으로 왕복성 조류가 매우 우세하였다. 관측기간 동안 수로 중앙의 st00-1 정점에서 최대 유속은 172.6 cm/s 평균 유속은 74.0 cm/s로 비교적 컸으며, 학암포 부근 연안쪽의 st00-2 정점에서는 최대 유속이 100.2 cm/s 평균 유속은 46.1 cm/s

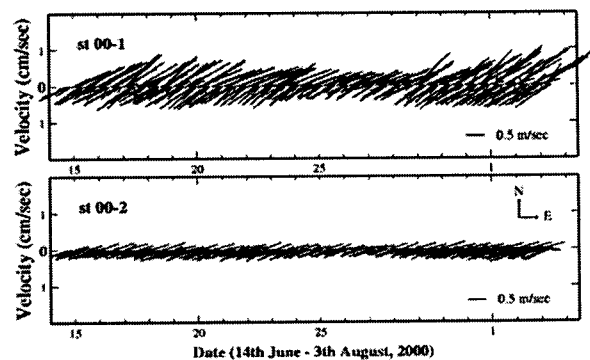


Fig. 2. Stick plots of current velocity at st00-1 (upper panel) and st00-2 (lower) in July-August 2000.

s로 상대적으로 작았다.

Fig. 3은 st00-1과 st00-2 정점에서 관측한 조류의 누적 유속도(progressive vector diagram)이다. 외해쪽의 st00-1 정점에서는 창조류가 낙조류보다 더 강하며, 약 20일 동안의 평균 잔차류는 북동방향으로 17.8 cm/s(15.4 km/day)의 크기를 나타내고 있었다. 연안쪽의 st00-2 정점에서는 낙조류가 창조류보다 더 커서 평균 잔차류는 남서방향으로 30.8 cm/s(26.6 km/day)이었다. 즉 학암포 부근 연안역에서 유속이 외해역보다 작지만 잔차류 성분은 더 크고 반대 방향인 것이 특징이다.

조류의 주기 및 조화분해

Fig. 4는 st00-1과 st00-2 정점에서의 주기 분석(로터리

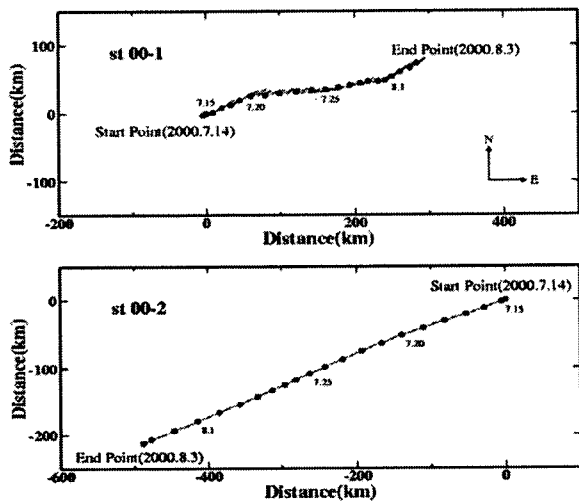


Fig. 3. Progressive vector diagrams of current velocity at st00-1 (upper panel) and st00-2 (lower) in July-August 2000.

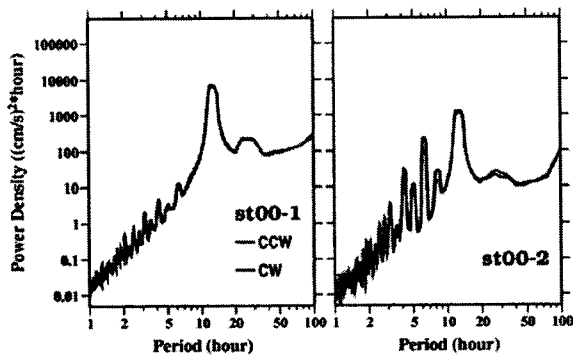


Fig. 4. Typical rotary spectra of current velocity at st00-1 (left panel) and st00-2 (right) in July-August 2000. The clockwise and anticlockwise rotary components are shown as blue and red line respectively.

스펙트럼 분석) 결과이다. 외해역에 위치한 st00-1에서는 약 12시간 주기 성분만이 우세하였다. 연안의 st00-2에서는 약 6시간과 12시간에서 큰 피크가 나타나서 해안쪽에서는 반일주조와 함께 1/4 주조 성분도 우세함을 나타내고 있다.

Fig. 5는 st00-1과 st00-2 정점에서 조류의 조화분해 결과를 나타낸 조류타원도이다. st00-1에서는 반일주조인 M₂ 분조와 S₂ 분조가 우세하였으며, 진폭은 M₂ 분조가 101.5 cm, S₂ 분조는 35.7 cm로 나타났다. 그 외의 분조에서는 일주조인 K₁, O₁과 1/4 주조인 M₄, MS₄가 각각 2~3 cm 이내의 진폭으로 비교적 약했다. 연안의 st00-2 정점에서는 반일주조인 M₂ 분조가 가장 컷으며, 1/4 주조인 M₄와 MS₄ 분조는 외해역의 st00-1 정점보다 더 크게 나타났다. 진폭은 M₂ 분조가 40.8 cm, S₂ 분조가 11.5 cm, M₄ 분조가 18.2 cm, MS₄ 분조가 10.9 cm로 연안에서는 외해역과 달리 반일주조가 약한 반면 약 6시간 주기인 1/4 주조가 강하게 나타났다. 이와 같이 배조인 M₄와 복합조인 MS₄ 성분이 크게 나타나는 것은 천해역의 특징을 나타낸 것이며, Fig. 4에서의 주기분석 결과와도 일치한다. 진폭이 가장 큰 M₂ 분조의 방향은 st00-1에서는 동쪽으로부터 약 30° 북쪽으로 기울어진 북동-남서 방향으로 해저지형의 방향과 비슷하다. 반면에 연안쪽의 st00-2에서는 동쪽으로부터 약 17° 북쪽으로 기울어져 있어서 해안선의 방향과 거의 일치하고 있다.

Fig. 6은 2004년 8월 16일~23일에 민어도 북동쪽의 연안역 st04-3 정점에서 관측한 조류의 유속과 방향 그리고 조류타원도를 나타낸 것이다. 이곳에서의 최대 유속은 49.4 cm/s, 평균 유속은 24.0 cm/s로 3정점 중에서는 가장 작았다. 반일주조인 M₂ 분조와 S₂ 분조의 진폭이 각각 27.2, 13.0 cm로 나타났으며, 일주조인 K₁과 1/4 주조인 M₄는 2~3 cm로 작았다. 또한 st04-3 정점은 해저 수심이 약 5 m인 천해역임에도 불구하고 천해조인 M₄ 분조 성분이 작은 것이 같은 천해역인 학암포 부근 st00-2 정점과는 다른 특징이다.

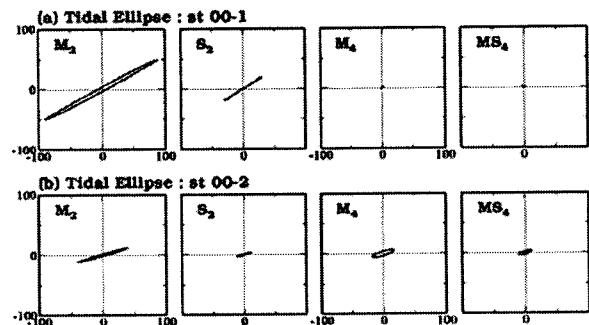


Fig. 5. Tidal ellipses of current velocity at st00-1 (upper panel) and st00-2 (lower) in July-August 2000.

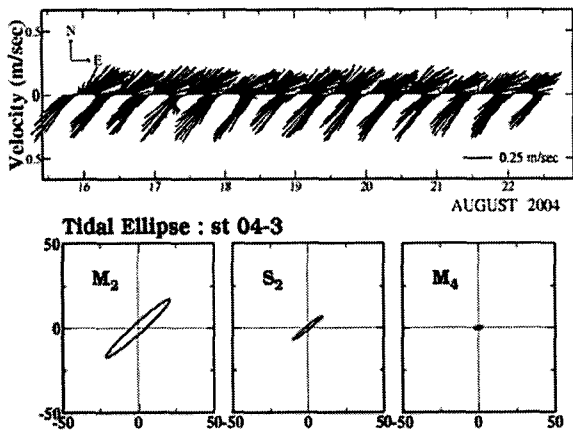


Fig. 6. Stick plots (upper panel) and tidal ellipses (lower) of current velocity at st04-3 in August 2004.

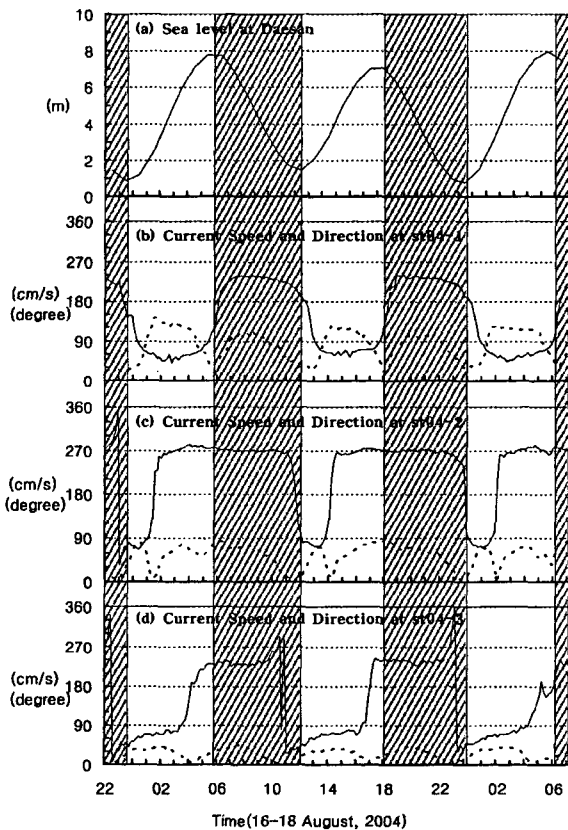


Fig. 7. Sea level at Daesan (a), and current speed (dotted line) and direction (solid line) at st04-1 (b), st04-2 (c) and st04-3 (d) in August 2004.

조류와 조위

연구해역의 정점 W에서 1998년 2~3월에 31일동안 관측한 조위 자료에 의하면, 조석형태수가 0.20으로 반일주

조가 우세한 혼합조의 특성을 나타내며, 대조차는 6.4 m 소조차는 2.8 m로 나타났다.

Fig. 7은 2004년 8월 16~18일에 3지점에서 관측한 조류 자료를 인근의 대산항에서의 조위 자료와 비교한 결과이다. 대산항 조위 자료(Fig. 7(a))의 고조와 저조 사이를 낙조(그림에서 빗금친 부분), 저조와 고조 사이를 창조(빗금이 없는 부분)의 시간에 해당한다. 또한 3지점에서 관측한 조류는 그림에서 유속을 점선, 유향을 실선으로 나타냈다(Fig. 7(b)-(d)). 그림에서 유속이 거의 없을 시간에 유향은 대략 180°를 나타내므로, 이때를 창조와 낙조의 조류가 바뀌는 시점으로 판단하였으며, 각 정점에서 유향이 180° 보다 작을 때를 창조류, 180° 보다 클 때를 낙조류로 정의하였다.

수로의 중앙에 위치한 st04-1 정점(Fig. 7(b))에서는 창조류와 낙조류의 시간대가 약 6시간씩 반복되어 대산항의 조위 변화 시간과 거의 일치한다. 반면에 연안쪽의 st04-2 정점(Fig. 7(c))에서는 창조류가 약 2~3시간씩 지속되지만, 낙조류는 약 9~10시간씩 지속된다. 즉 대산항에서의 조위가 높아지는 저조후 3~6시간 사이에 학암포와 민어도 사이 연안에서의 조류는 낙조류와 같은 남서 방향을 향하고 있다.

민어도의 북동쪽 연안에 위치한 st04-3 정점에서는 조류의 방향이 수로 중앙의 st04-1 정점에서의 조류 방향보다 약 1~2시간씩 일찍 바뀌는 것이 특징이다(Fig. 7(d)). 즉, 조위가 낮아지는 고조후 4~6시간 사이에 외해역에 위치한 st04-1에서 조류가 남서 방향이지만 st04-3 정점 부근의 연안에서는 조류가 북동 방향으로 나타나 창조류가 시작되는 양상이다. 반면 조위가 높아지는 저조후 4~6시간 사이에 st04-1에서 조류가 북동 방향이지만 st04-3 부근의 연안에서는 조류가 남서 방향으로 나타나 낙조류가 시작되고 있는 양상이다.

2000년 7월 19일~20일에 학암포와 민어도 사이의 연안에서 동시 관측한 조위자료(정점 W)와 조류 자료(st00-1, st00-2 정점에 의하면(Fig. 8), 학암포와 민어도 사이의 연안(st00-2 정점)에서는 저조후 약 3시간 동안 조위가 높아지면서 조류의 방향이 외해역의 st00-1 정점과 같이 북동 방향이었다. 계속해서 이후 고조시까지 조위는 높아지지만, 유향은 낙조류 방향인 남서향으로 바뀌어서 반류가 형성되었다. 이러한 양상은 2004년 8월과 같은 것으로, 저조후 3~6시간 사이에 수로의 중앙에서는 북동 방향의 창조류가, 학암포와 민어도 사이 연안에서는 남서방향의 반류가 형성되고 있다.

연안 조류의 시공간적 변동성

연구해역에서 연안류의 이동 양상을 파악하기 위하여 TGPS 표층 부표를 투하하여 추적하였다. Fig. 9는 1998년

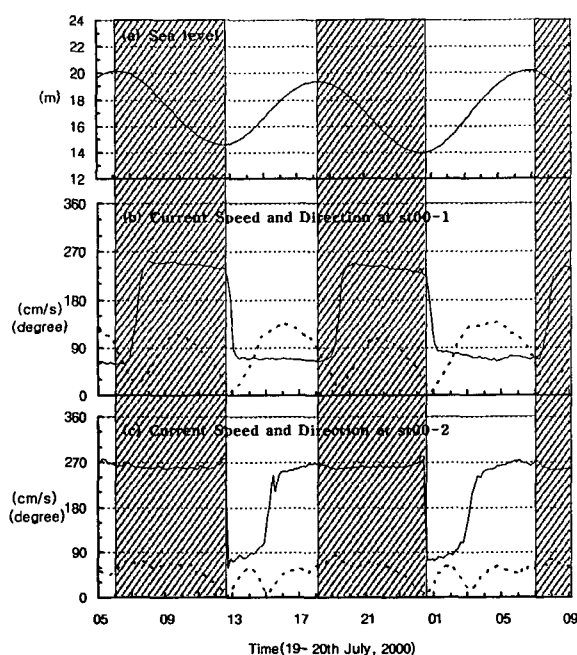


Fig. 8. Sea level at station W (a), and current speed (dotted line) and direction (solid line) at st00-1 (b), st00-2 (c) in July 2000.

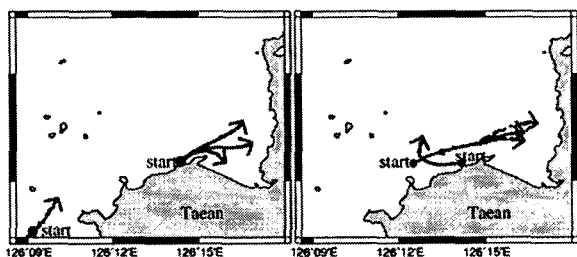


Fig. 9. Trajectories of TGPS buoys for the first 3 hours (left panel) and from 3 to 6 hours (right panel) after low water level, respectively.

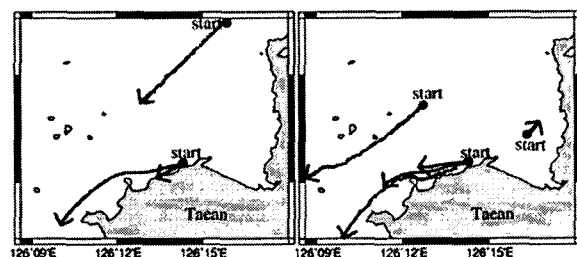


Fig. 10. Trajectories of TGPS buoys for the first 3 hours (left panel) and from 3 to 6 hours (right panel) after high water level, respectively.

부터 2002년 사이 저조~고조 사이(창조)의 시간대에 투하된 TGPS 부표의 이동 경로이며, 왼쪽 그림이 시간적으로

저조후 약 3시간 이내(수로의 중양을 기준으로 창조 시작 후 약 3시간 이내), 오른쪽 그림이 저조후 약 3~6시간 사이(수로의 중양을 기준으로 창조 시작 후 3~6시간 사이)에 해당한다. 그림에서 부표의 방류 위치를 원점(●)으로 표기하였으며, 화살표는 부표를 회수한 지점까지의 이동 방향만을 나타낸다.

저조후 약 3시간 이내에서는 연안역과 외해역에 투하된 부표가 모두 북동방향으로 이동하였다. 이후(저조후 약 3~6시간 사이)에는 외해쪽에 투하된 부표는 변함없이 북동방향으로 이동하지만, 민어도와 학암포 사이의 연안쪽에서는 부표가 반대 방향인 남서쪽으로 이동하다가 학암포 부근에서 북동 방향으로 바뀌었다.

Fig. 10은 고조~저조 사이(낙조)의 시간대에 투하된 TGPS 부표의 이동 경로이다. 고조후 약 3시간 이내(수로의 중양을 기준으로 낙조류 시작 후 약 3시간 이내)에 연안 해역과 외해역의 모든 부표가 남서방향으로 이동하였고, 이후(수로의 중양을 기준으로 낙조 시작 후 3~6시간 사이)에도 외해역은 물론 민어도와 학암포 사이의 연안쪽에서도 부표가 남서쪽으로 이동하는 양상이다. 다만 민어도 북쪽에서는 부표가 북쪽으로 이동하였다.

연구해역에서 연안역과 외해역의 해·조류의 수평분포를 파악하기 위하여 2004년 8월 17일에 대산항의 조위를 기준으로 저조~고조 시간대와 고조~저조 시간대에 각각 2회씩 ADCP를 예인하여 관측하였다(Figs. 11, 12). 그림에서 남북방향으로의 1개 라인 관측에는 약 15분이 소요되었으며, 약 2시간동안에 총 6~8개 라인의 관측이 이루어졌다. 그림은 수심 3m에서 해·조류의 분포도이다.

저조후 약 3시간 이내(Fig. 11(a))에는 외해역과 연안역에서 북동 방향의 조류가 관측되었으며 외해역에서 상대적으로 강한 조류가 관측되었다. 학암포 부근의 연안역의 좁은 범위에서 약한 남서류가 보이는 것은 이 해역을 관측할 때가 이미 저조후 약 2시간~3시간 사이가 되어 연안역의 좁은 범위에서는 약한 반류가 시작되었기 때문이다. 이후(저조후 약 3~6시간 사이)에는 외해역에서 변함없이 조류가 북동쪽으로 향하고 있는 반면 학암포와 민어도 사이의 연안역에서는 남서쪽을 향하고 있어서 외해역에서의 해·조류와는 반대 방향이었다(Fig. 11(b)).

일반적으로 유속의 수평방향 변화율(시어)이 크면 운동방정식에서 비선형항의 영향이 커지고, 이 영향으로 천해조인 M_4 와 MS_4 성분의 진폭이 커지는 것으로 알려져 있다. Fig. 11(a)의 A와 B 라인에서 유속의 수평 방향 변화율을 비교해 보면, B라인에서의 변화율이 A라인보다 크기 때문에 비선형항의 크기도 더 크다. 이러한 비선형항의 크기 차이로 인해 학암포와 민어도 사이 천해역에서의 천해조(M_4 와 MS_4 성분)가 민어도 북동쪽 연안 해역에서의 천해조 보다 상대적으로 크게 나타난다.

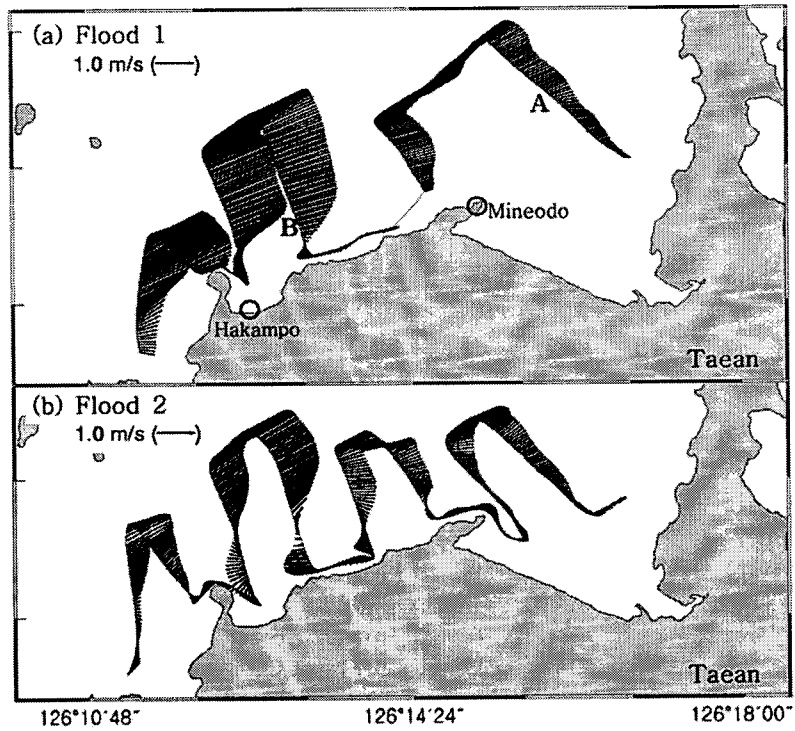


Fig. 11. Distributions of horizontal velocities measured by ADCP at 3 m depth for the first 3 hours (upper panel) and from 3 to 6 hours (lower panel) after low water level, respectively, in August 2004.

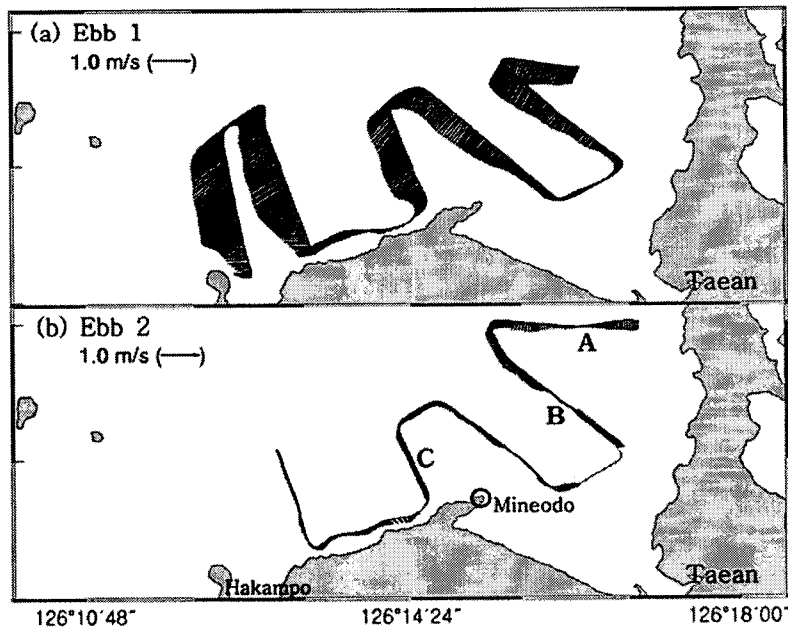


Fig. 12. Distributions of horizontal velocities measured by ADCP at 3 m depth for the first 3 hours (upper panel) and from 3 to 6 hours (lower panel) after high water level, respectively, in August 2004.

고조후 약 3시간 이내(Fig. 12(a))에 조류는 외해역과 연안역 모두 남서 방향이 우세하였지만, 고조후 약 4-6시

간 사이(Fig. 12(b))에는 외해역과 학암포와 민어도 사이의 연안역(C라인)에서는 조류가 남서 방향인 반면 민어도

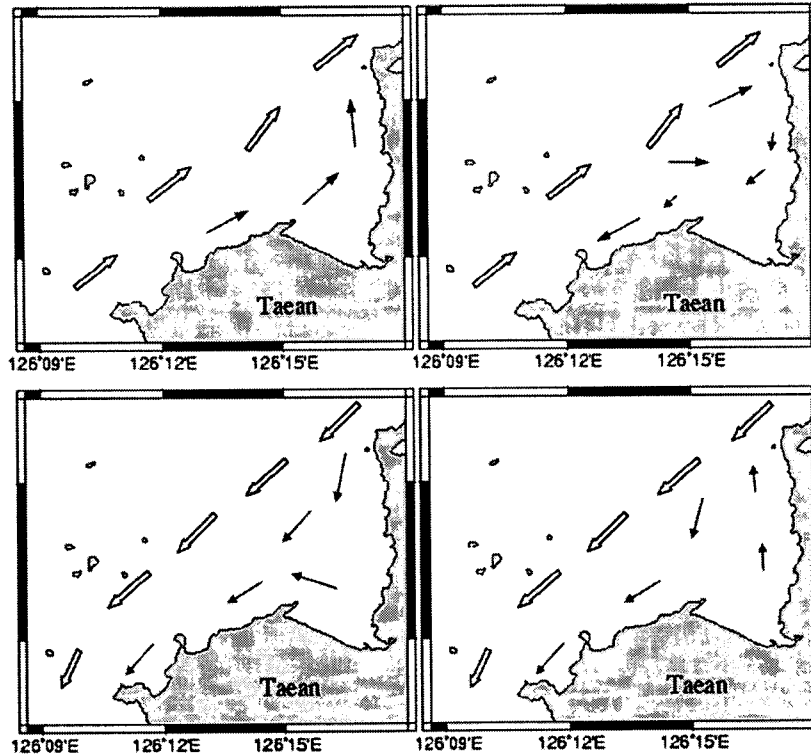


Fig. 13. Schematic diagram of coastal currents to the northwest of Taean Peninsula. Upper panels denote the currents for the first 3 hours (left) and from 3 to 6 hours (right) after low water level, respectively. Lower panels denote for the first 3 hours (left) and from 3 to 6 hours (right) after high water level, respectively.

북동쪽 연안역(A, B라인)에서는 조류가 외해역과는 반대 방향인 북쪽으로 흐르는 양상이었다. 이러한 분포 양상은 Figs. 9, 10의 결과와도 일치한다.

4. 결론 및 토의

태안반도 연안에서 해·조류의 특성 및 해수의 순환 양상을 파악하기 위하여 1998년부터 2004년까지 조류, 해수 이동 및 조위를 관측하였다. 장안사퇴 남쪽 수로의 중앙에서는 약 20일 동안의 평균 유속이 74.0 cm/s이며, 창조류가 낙조류보다 커서 평균 잔차류는 북동 방향으로 17.8 cm/s(15.4 km/day)로 나타났다. 반면 학암포 부근의 연안에서는 같은 기간 동안의 평균 유속이 46.1 cm/s로 외해역보다 작았지만 평균 잔차류는 남서 방향으로 30.8 cm/s(26.6 km/day)로 더 크게 나타났다.

수로의 중앙에서는 반일주조인 M_2 , S_2 분조의 진폭이 크고, 1/4 주조인 M_4 , MS_4 분조의 진폭이 작았지만, 학암포 부근의 연안에서는 반대로 나타나 M_2 , S_2 분조의 진폭이 작고, 천해조인 M_4 , MS_4 분조가 상대적으로 컸다. 또한 민어도 북동쪽 연안에서는 천해역임에도 불구하고 천

해조인 M_4 성분이 작게 나타났다. 이것은 학암포와 민어도 사이의 천해역에서 유속의 수평방향 변화율이 상대적으로 컸기 때문에 비선형항의 영향이 커서 천해조(M_4 와 MS_4 성분) 성분이 민어도 북동쪽 연안 해역의 천해조보다 상대적으로 크게 나타난 것으로 보인다.

또한 수로의 중앙에서는 연구해역(W 정점) 및 대산항에서 관측한 저조와 고조의 시각과 거의 일치하여 약 6시간 주기로 조류의 방향이 바뀌었다. 반면에 학암포 부근의 연안에서는 북동방향의 조류가 약 2~3시간, 남서방향의 조류가 약 9~10시간씩 반복되는 양상으로 나타났다. 즉, 저조후 3~6시간 사이에 조위는 높아지지만 조류는 남서 방향을 향하고 있었다. 또한 민어도 북동쪽의 연안에서는 항상 창조류와 낙조류가 수로의 중앙보다 1~2시간씩 일찍 시작되고 있었다.

Fig. 13은 태안반도 연안 해역에서의 연안류 관측 결과를 근거로 작성한 흐름의 모식도이다. 저조후 약 3시간 이내에는 조류가 연안과 외해역 모두 북동쪽을 향하고 있지만, 저조후 3~6시간 사이에는 학암포와 민어도 사이 연안에 남서 방향의 반류가 존재하여 작은 소용돌이를 형성하고 있다. 또한 고조후 약 3시간 이내에는 연안과 외해역

모두 남서쪽을 향하고 있지만, 고조후 4~6시간 사이에는 민어도 북동쪽 연안에서 반대 방향의 조류가 나타난다.

이것은 저조후 3~6시간 사이(수로의 중앙을 기준으로 창조류 후반부)에 민어도 부근과 북동쪽 연안해역에서 해수면이 어느 정도 높아진 후 흐름이 약해지면 연안쪽에서 반류가 나타나 해안을 따라 남서쪽으로 흘러가는 것으로 생각된다. 또한 고조후 4~6시간 사이(수로의 중앙을 기준으로 낙조류 후반부)에도 이원면 연안에서 물이 빠진 후 연안의 수위가 낮아지면 외해역에서 남서진 하던 해수가 민어도 부근 지형의 영향으로 연안쪽으로 흘러 들어가 해안선을 따라 북쪽으로 흐르는 반류가 형성되는 것으로 생각된다. 보다 상세한 역학적인 과정은 추후에 수치실험을 사용하여 밝힐 예정이다.

사 사

본 연구 논문의 자료 관측 및 분석에 많은 도움을 주신 한국해양연구원의 이석 박사님, (주)한국해양과학기술의 강재훈 씨와 공주대학교 대학원생 박유미, 강분순양에게 감사드립니다. 또한 논문 심사에서 오류 수정과 유익한 조언을 주신 한국해양연구원의 신창용 박사님과 익명의 심사자에게도 감사드립니다.

참고문헌

- 이종섭, 김차겸, 장신덕, 김종학. 1992. 황해연안해역의 물질 확산에 관하여. *한국해양·해양공학회지*, 4(4), 261-270.
- 이홍재. 1998. 황해의 해수순환과 물질 플럭스 연구. 한국해양연구소, BSPN 97357-01-1102-1. 348 p.
- 장경일. 2000. 한국 서해안 3차원 연안류 재현과 검증 연구. 한국해양연구원, BSPE 00785-00-1304-1. 243 p.
- 전호경, 함석현, 석문식, 박동원. 1995. 표층해류 관측을 위한 TGPS Buoy 개발 연구. *한국해양학회지*, 30(1), 27-38.
- 조철호, 승영호. 1989. 경기만 일대의 조석전선 조사연구. *Yellow Sea Res.*, 2, 51-61.
- 허형택. 1985. 한국해역 종합 해양환경도 작성 연구 -황해-. 한국해양연구소, BSPG 00023-79-7. 493 p.
- Seung, Y.H., J.H. Chung, and Y.C. Park. 1990. Oceanographic studies related to the tidal front in the Mid-Yellow Sea off Korea: Physical aspect. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 25, 84-95.
- Uda, M. 1934. The results of simultaneous oceanographic investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June. *J. Imp. Fish. Exp. Stn.*, 5, 57-190.

Received Oct. 13, 2005

Accepted Dec. 14, 2005