

1994년 7-8월 가막만의 조석 및 해류

이재철 · 추효상* · 이규형* · 조규대
부산수산대학교 해양학과 · *여수수산대학교 해양학과

Tides and Currents of Kamag Bay in July-August 1994

Jae Chul LEE, Hyo Sang CHOO*, Kyu Hyong LEE* and Kyu Dae CHO
Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea
*Department of Oceanography, National Fisheries University of YosU, YosU 550-749, Korea

Tides at both of northern and southern entrances of Kamag Bay were compared by deploying tide gauges for 18 days during July-August 1994. To examine the response of the inner bay to the tidal waves through both entrances, a current meter was moored at the eastern part of the inner bay. Current meter mooring failed at the northern entrance (Yosu) while the current data was collected for only 5 days at the southern site (Songdo).

Maximum range was 357 and 352 cm at Yosu and Songdo, respectively. Respective amplitudes for M2, S2, K1, O1 tides of 95.5, 48.8, 20.5, 14.0 cm at Yosu and 93.6, 47.2, 21.3, 13.1 cm at Songdo yielded the form numbers of 0.23 and 0.24, respectively, both of which belong to the predominantly semidiurnal tide. Contributions from the overtides and compound tides were less than 4% at both sites. Differences in Greenwich phase of major partial tides between two sites were negligible.

Maximum speed of tidal current was about 100 cm/sec at the southern entrance and about 40 cm/sec at the inner bay. Residual current speed was 17 cm/sec southwestward at the southern entrance and 0.9 cm/sec southeastward at the inner bay. Temporal change in current at the inner bay showed that the wind had a significant influence upon the circulation in Kamag Bay.

Key words : Kamag Bay, semidiurnal tide, overtide, compound tide, residual current

서 론

가막만은 한국 남해의 여수반도 남단과 돌산도에 둘러싸여 있고 남쪽의 입구에는 여러 섬들 사이에 좁은 수로들이 형성되어 남해와 접해있으며 북쪽으로는 돌산대교가 위치한 좁은 수로를 통하여 여수해만과 연결된다(Fig. 1). 가막만의 크기는 남북 방향으로 약 15 km, 동서 방향으로 약 9 km 이고 평균수심은 약 9 m 이며 북서부의 내만역과 대경도 북동부 및 남쪽 수로 부근은 비교적 수심이 깊으나 중앙부는 대부분 7 m 이하의 천해이다.

Kim (1983)은 가막만의 수온과 염분의 계절변동을 연구하였고 Lee and Choe (1985) 및 Lee and Cho (1990)는 조시별, 계절별로 만내의 수온과 염분의 분

포를 조사한 바가 있다. 그리고 Lee and Chang (1982)은 만구에서 조석류에 따른 해수교환을, Lee (1983)가 해수교환에 의한 자정능력을, Lee (1992)가 측류판 추적에 의한 해수유동을, Lee (1992b)가 수치실험에 의한 해수유동을 연구한 바가 있다. 가막만은 지형적인 특성으로 인하여 대체로 3가지의 수괴가 존재하는 것으로 알려져 있는데 (Lee and Cho, 1990), 이들 수괴의 구조변화를 잘 이해하기 위해서는 만내의 해수유동에 대한 충분한 조사가 필요하다. 그러나 과거 대부분의 해수유동조사는 일시적인 정선관측이나 부표추적, 혹은 25시간 계류관측에 의존했을 뿐 장기적인 측정에 의한 시간변화에 대한 연구는 없었다. 가막만은 남쪽과 북쪽의 두 수로를 통하여 외해수의 유입과 유출이 이루어지기 때문에 이로인한 만내의 해

수순환을 정확하게 이해하기 위해서는 양쪽 입구 부근을 비롯한 만내의 여러 장소에서 장기적인 조석 및 조류의 관측이 필요하다. 제한된 장비로 효과적인 관측을 달성하기 위하여 우선 양쪽 입구 부근 및 만내 1개 지점에 조위계 및 유속계를 장기간 계류하여 가막만의 조석과 조류 및 항류의 특성을 연구하였다.

자료 및 방법

가막만의 해수유동을 조사하기 위하여 1994년 7월 21일부터 8월 8일까지 가막만 남쪽 입구의 송도 부근(C1), 북쪽 입구의 여수(C3) 그리고 만 중앙부의 평사 부근(C2)의 3개 지점에 유속계를 계류하였고, 송도 선착장(T1)과 여수항 부근(T3)의 2지점에 조위계를 설치하여 10분 간격으로 연속 관측하였는데 관측점 및 사용된 기기명은 Table 1과 같고 각각의 관측위치는 Fig. 1에 나타내었다. 모든 유속계로는 수온 및 염분도 측정되었고 조위계로 수온도 동시에 관측되었으나 염분자료는 부착생물의 영향으로 점진적으로 감소하여 신뢰성에 문제가 있어서 제외하였다. 수심이 얇은 C2에서는 유속계가 수면하 2m 정도에 위치하도록 계류하였고 C1과 C3에서는 수면하 5m가 되도록 하였다.

유속계와 조위계의 위치는 가능한 한 가깝도록 설치하였는데 그것은 조석과 조류의 시간변화를 동시에 비교하기 위한 것이었다. 그리고 기기들을 남쪽과 북

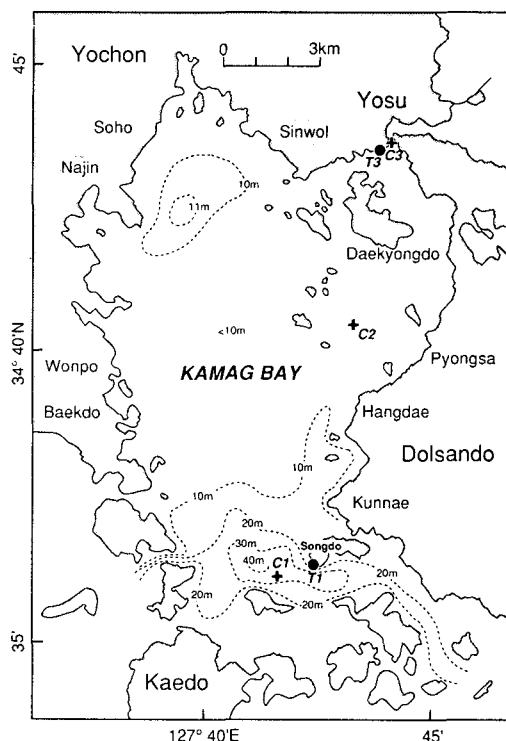


Fig. 1. Locations of tide (black circle) and current observation (cross) in Kamag Bay.

쪽의 입구에 설치한 것은 양쪽에 도달하는 조석과의 위상관계를 알아보기 위해서였으며 이들 입구를 통해서 유입, 유출되는 조류가 만 내부의 해수순환에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해서 평사 부근에 유속계를 추가로 설치하였다. 이 관측은 더욱 오래 지속할

Table 1. Instruments deployed at each station and positions of observation

Observation	Station	Instrument (Company)	Position	Period
Current Temperature Salinity	C1	RCM-7 (Aanderaa Instruments)	34° 35.97' N 127° 41.80' E	July 21~26
	C2	ACM 16M (Alec Electronics)	34° 41.17' N 127° 43.87' E	July 21~Aug. 8
	C3	RCM-7 (Aanderaa Instruments)	34° 43.63' N 127° 44.17' E	failed
Tide	T1	Wave-tide gauge (Coastal Leasing)	34° 36.33' N 127° 42.41' E	July 21~Aug. 8
	T3	SBE-26 Wave-tide gauge (Sea Bird Electronics)	34° 43.56' N 127° 44.00' E	July 21~Aug. 8

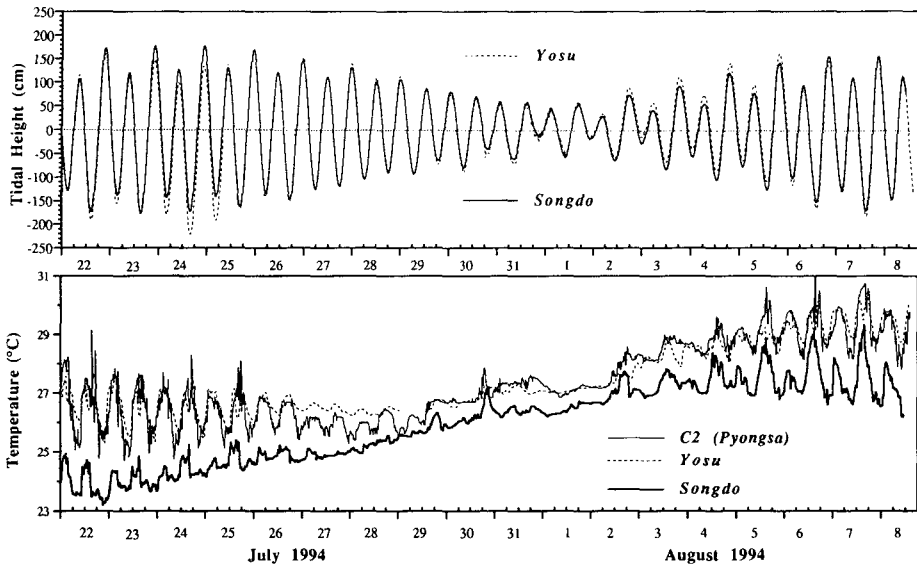


Fig. 2. Time series of water level and temperature.

예정이었으나 8월 8일 태풍이 접근함에 따라 회수되었으
며, 송도 부근의 유속계는 그 전에 이미 유실되었
다가 나중에 찾아서 5일간의 자료만 정상적으로 확
득되어 부분적인 자료분석이 가능하였다. 한편 둘산
대교의 조류관측은 장애물로 인하여 실패하였다.

양쪽 입구의 조석자료는 기초적인 비교분석을 한
후에 조석성분을 파악하기 위해 조화분석을 하였고
두 곳의 위상관계를 규명하기 위해서 cross-spectrum
분석을 하였다. 조석 및 조류의 조화분석에는 Fore-
man (1977, 1978)의 방법이 사용되었다. 그리고 바람
의 영향을 알아보기 위하여 여수측후소에서 관측한
시간별 풍향과 풍속자료를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 조석 및 수온

Fig. 2의 윗부분에는 여수 (T3)와 송도 (T1)에서의
해수면, 그리고 아랫부분에는 수온의 시간변화를 보
여준다. 여수와 송도의 수온은 조위계로, 평사 (C2)
에서는 유속계로 측정된 결과이다. 조위자료는 각각의
평균해면 값을 뺀 결과이다. 조위관측은 대조기에 시
작해서 다음 대조기까지 대략 18일간 지속되었는데
두 곳의 조석은 전형적인 반일주조로서 시간적으로는

서로 거의 일치하며 조차는 약간의 차이가 있다. 최
대조차는 7월 24일에 여수에서 357 cm, 7월 23일에
송도에서 352 cm였다.

수온은 외해와 가까운 송도에서 비교적 낮았으며
하계에 점차 증가하다가 8월 4일경부터 감소 추세를
보이는 반면 여수와 평사는 대체로 높으며 꾸준한 증
가한다. 세 곳에서 수온의 시간변화는 서로 유사한
양상을 나타내는데 변화폭은 대조기에 크고 소조기에
작았다. 조위변화와 비교해 보면 만조시에 수온이 낮
아지는 반면 간조시에 높아지는 것이 공통점이다. 이
것은 여름철에 내만의 수온이 외해보다 높기 때문이
며, 만조와 간조 사이의 수온변화는 내만의 경우 대
조기에 약 3°C에 이르고 있다. 이 값은 Lee and Cho
(1990)가 하루중 밀물과 썰물때에 여수와 평사에서
관측한 수온차 1.0°C, 1.5°C와 비교할때 훨씬 큰 변화
이며 이러한 경향이 천해역인 평사에서 대조기에 더
큰 점이 유사하다. 이 현상을 설명하려면 수직방향의
성층효과와 수평방향의 이류효과를 고려할 필요가 있
다. 그러나 여기서는 수온의 성층에 관한 관측이 이
루어지지 않아 그 영향을 분명하게 평가할 수는 없으
나 여름철에 내만역 천해의 고온수와 외해쪽의 저온
수가 대조기에 조류에 의해 빠르게 이동하므로 수온
이 변화하는 것으로 나타난다. 이와 같은 영향은 모두
해수면이 상승할때 수온을 감소시키는 작용을 할 것

이다. 그리고 송도에서는 관측초기보다 말기에 수온 변화폭이 컸는데 이것은 외해와 내만과의 수온차가 그만큼 증가했음을 암시한다.

Fig. 3은 조위자료를 스펙트럼 분석한 결과이다. 일주조와 반일주조의 크기는 여수와 송도에서 거의 같으나, 주로 배조와 복합조로 구성되는 고주파 성분은 여수쪽이 더 높다. 이것은 외해에서 밀려오는 조석파에 대해서 좁은 수로가 필터의 역할을 하고 (DiLorenzo, 1988), 반일주조의 일부가 천해에서의 마찰효과 및 비선형효과로 인하여 변형되기 때문이지만 (Le Provost, 1991; Walters and Werner, 1991) 그 크기는 매우 작다.

조석자료를 조화분석한 결과는 Table 2와 같다. 여수에서는 반일주조에 해당하는 M2, S2, K2 분조의 진폭이 각각 95.5, 48.8, 13.3cm로서 그 합은 전체의

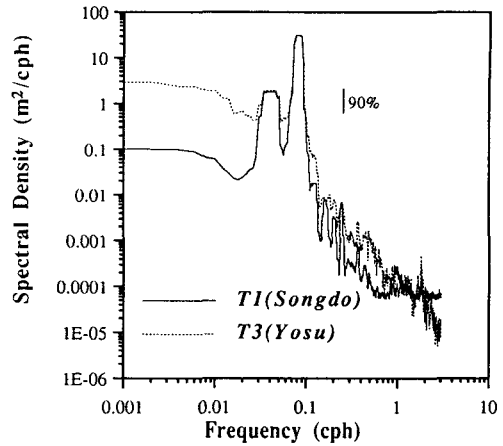


Fig. 3. Spectral density of water level at Yosu and Songdo.

72%를 차지하며, 송도에서는 각각 93.6, 47.2, 12.8 cm

Table 2. Amplitude (A) and Greenwich phase (G) of partial tides at Yosu and Songdo

Name	f (cph)	Yosu		Songdo	
		A (cm)	G (deg)	A (cm)	G (deg)
Z0	.0000000	1.66	180.0	1.07	180.0
MSF	.00282193	14.04	222.3	5.23	178.8
O1	.03873065	12.37	25.7	13.11	28.4
P1	.04155259	6.78	53.7	7.05	57.6
K1	.04178075	20.51	46.7	21.31	50.5
M2	.08051140	95.53	2.7	93.59	4.9
S2	.08333334	48.82	26.0	47.16	28.3
K2	.08356149	13.29	48.4	12.83	50.7
M3	.12076710	3.01	350.5	2.45	351.8
SK3	.12511410	1.64	163.8	1.74	129.4
M4	.16102280	0.44	265.6	0.60	31.6
MS4	.16384470	1.14	127.5	1.05	112.0
S4	.16666670	0.49	291.5	0.50	275.22
MK5	.20280360	1.40	94.3	1.30	83.72
SK5	.20844740	0.45	248.2	0.10	76.4
M6	.24153420	0.98	28.7	0.85	19.92
MS6	.24435610	0.89	58.9	0.91	70.02
SM6	.24717810	0.34	78.5	0.26	86.73
MK7	.28331490	0.21	195.1	0.38	300.3
M8	.32204560	0.15	273.3	0.12	318.8
M10	.40255700	0.00	42.5	0.03	257.9

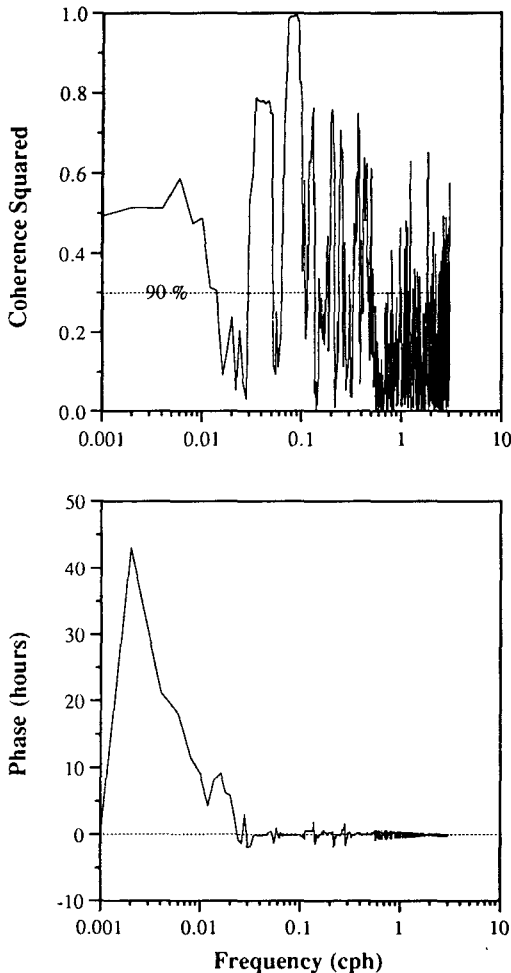


Fig. 4. Coherence squared and phase of sea level between Yosu and Songdo.

로서 전체의 73%를 차지한다. 한편 일주조인 O1, K1 분조는 여수에서 12.4, 20.5 cm로서 그 합이 전체의 14.8%이고, 송도에서는 13.1, 21.3 cm로서 16%를 차지하였다. 이 4대분조의 진폭으로부터 구한 조석 형태수는 여수와 송도에서 각각 2.3, 2.4로서 반일주조가 지배적인 조석형태에 속한다. 천해조 성분인 배조와 복합조의 진폭은 두 곳 모두 전체의 4% 미만으로 가막만에서의 마찰효과 및 비선형효과는 매우 작음을 알 수 있다.

두 곳에서의 주요분조의 Greenwich phase를 비교해보면 두 곳에서의 조석의 위상차는 매우 작아 양쪽으로부터 조석파가 거의 동시에 들어옴을 알 수 있다. 예를 들면 가장 중요한 M2 분조의 경우, 여수와 송

도의 Greenwich phase는 각각 2.7 및 4.9도로서 여수가 2.2도 앞서며 이것은 4.5분의 시간차에 해당된다. 주파수별 위상관계는 Fig. 4와 같은 cross-spectrum을 통해서 더욱 잘 알 수 있다. 무엇보다 일주조와 반일주조의 상관성이 매우 높으며 공통적으로 위상차는 0에 가까운데, 정확하게 계산하면 4~5분 정도로 여수의 조석이 앞선다. 주요 천해조 성분의 상관성도 비교적 높으며 위상차도 거의 없다.

2. 조류 및 항류

가막만의 해수순환을 효과적으로 이해하기 위해서는 남쪽과 북쪽의 입구를 통과하는 조류 및 해류를 동시에 알아야 하지만 계획된 관측 중에서 북쪽 여수항에서의 관측은 실패하였고 송도부근의 C1에서도 약 5일간의 자료만이 획득되었으며 내만의 평사 (C2)에서만 정상적인 관측이 이루어졌다. 그러므로 가막만의 조류특성과 해수순환을 이해하기에는 미흡하지만 두 곳의 자료를 분석하였다.

Fig. 5는 두 지점에서의 유속자료를 벡터도표로 나타낸 것이다. 송도 부근의 유속이 내만의 평사보다 훨씬 커서 최대조류는 송도부근이 약 100 cm/sec이고 내만 정점에서는 약 40 cm/sec로 약하다. 그리고 벡터의 시간적인 변화를 보면 송도 부근에서는 반시계 방향으로 회전하는 반면에 평사에서는 시계방향으로 회전한다. 그러나 평사는 송도에 비해서 회전성이 그리 크지 않아 북동-남서 방향의 주축 성분이 더욱 지배적이다. 여기서 조류의 주축 방향과 그 집중도를 알아보기 위해서 분산도표로 나타내면 Fig. 6와 같다. 이미 벡터도표에서 알 수 있듯이 송도 부근에서는 주축방향이 북서-남동 방향이나 상관계수가 0.60으로 그 집중도가 작은 반면에 내만의 평사에서는 상관계수 0.88로 북동-남서 방향에 집중되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 C1과 C2 두 곳의 조류를 동방분속 (U-component)과 북방분속 (V-component)으로 분해하여 도시한 것이다. C1에서는 자료가 5일치에 불과하므로 1994년 7월 22일 0시부터 경과한 시간으로 표시를 하였고 비교를 위하여 조석곡선도 포함시켰다. 그리고 C1에서 7월 23~24일에 자료의 상태가 대기기인데도 불구하고 유속이 거의 없는 것으로 나타나서 제외하였다. 아마도 유속계의 rotor에 이물질이 끼었다가 나중에 풀어졌기 때문이라 추측된다. 그림 중 우선 현

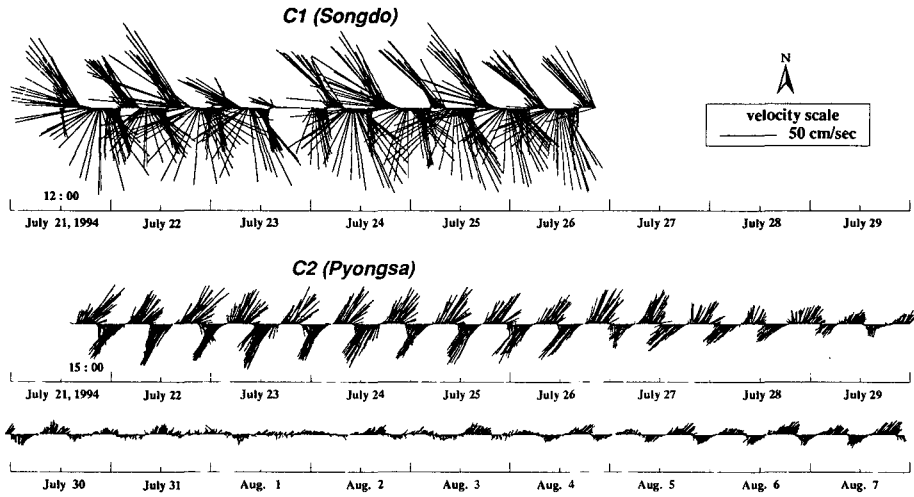


Fig. 5. Stick vector plot of current velocity at C1 (Songdo) and C2 (Pyongsa).

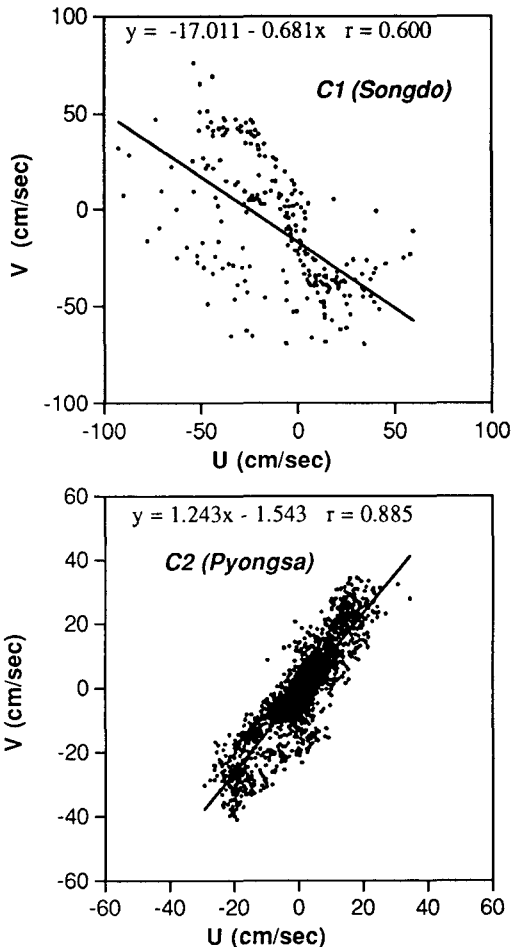


Fig. 6. Scatter diagram of current velocity at C1 (Songdo) and C2 (Pyongsa).

저하게 눈에 띄는 것은 C1에서 동방분속과 북방분속의 부호가 반대인 경향을 갖는데 반해서 C2에서는 거의 똑같이 변화한다는 것이다. 이것은 조류의 주축이 C1에서는 북서-남동 방향이고 C2에서는 북동-남서 방향이기 때문에 나타난 결과이다. C1은 남쪽 입구가 가까우면서도 만조와 간조시에 동방분속이 0에 가까우므로 정상과의 성질을 갖는 것으로 생각할 수 있으나 북방분속은 간조시에는 0에 가깝지만 해수면이 상승하는 중에 북향류가 비교적 짧은 시간동안 지속되다가 만조시 직후에 남향류의 최대유속이 나타나는 점이 특이하다. 이러한 비교를 위해서는 조류의 주축성분을 분리하는 것이 더욱 효과적이겠으나 이 경우에는 자료의 길이가 짧고 주축방향의 집중도 또한 높지 않으므로 (Fig. 6) 보다 좋은 관측자료가 요구된다.

여기서 조류 및 해류 성분이 오랜 시간동안 어떻게 변화하는지 알아보기 위하여 유속자료를 시간적으로 적분하여 벡터진행도를 구한 것이 Fig. 8이다. 우선 C1 (송도)에서는 북서-남동 방향으로 왕복하면서 반시계 방향으로 회전하는 조류 성분과 남서향의 비교적 강한 향류가 중첩된 것으로 드러난다. 이렇게 강한 조류와 향류의 방향이 서로 직각인 것이 Fig. 6와 같이 주축방향의 집중도를 감소시킨 원인으로 생각되며 이러한 조건이라면 관측기간이 연장되더라도 집중도가 향상되는 것은 기대하기 어렵다. 그러나 C2 (평사)에서는 북동-남서 방향이 우세한 시계방향의 회전성

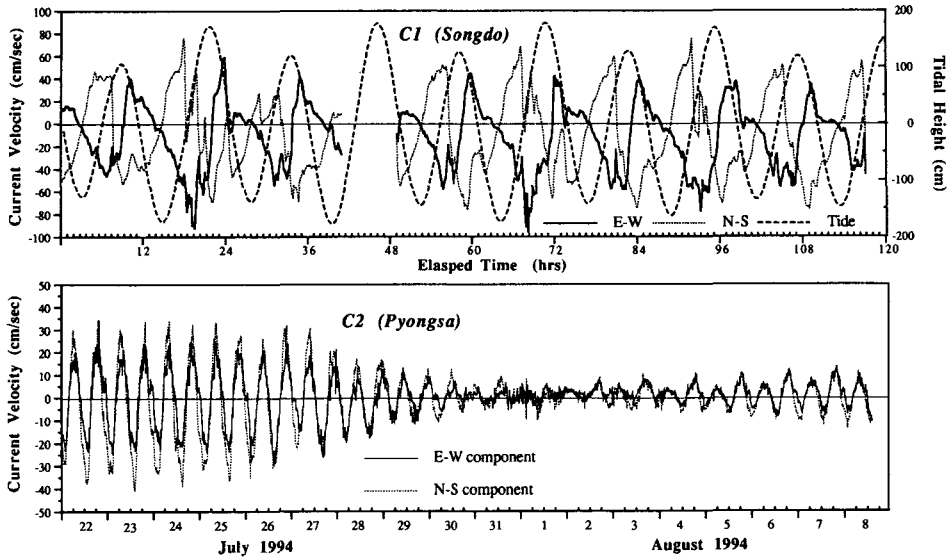


Fig. 7. Time series of velocity components at C1 (Songdo) and C2 (Pyonsa). Tidal height is included at C1 for comparison.

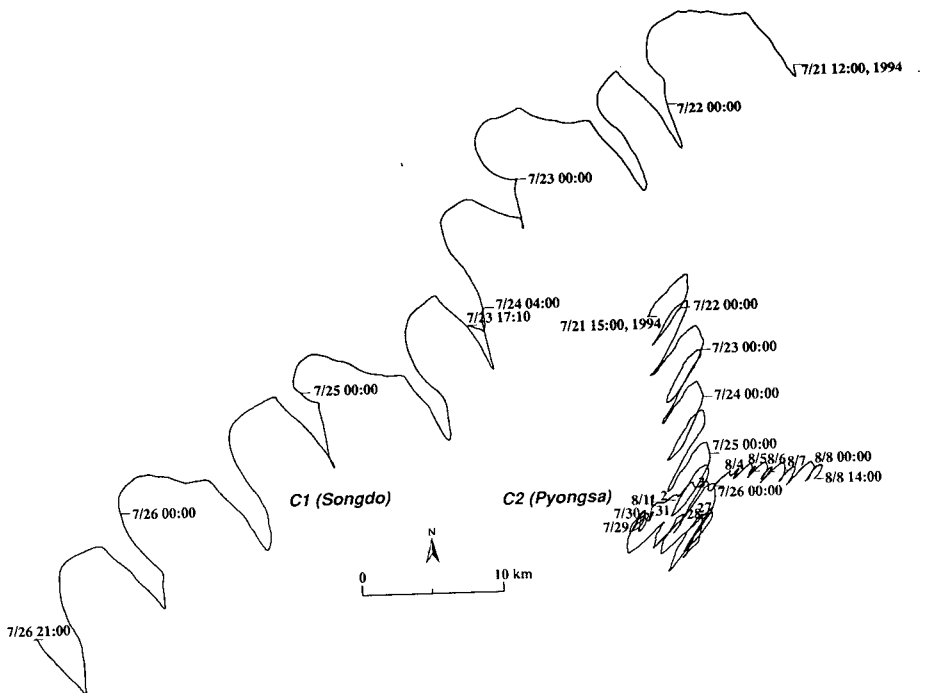


Fig. 8. Progressive vector diagram of current velocity at C1 (Songdo) and C2 (Pyonsa).

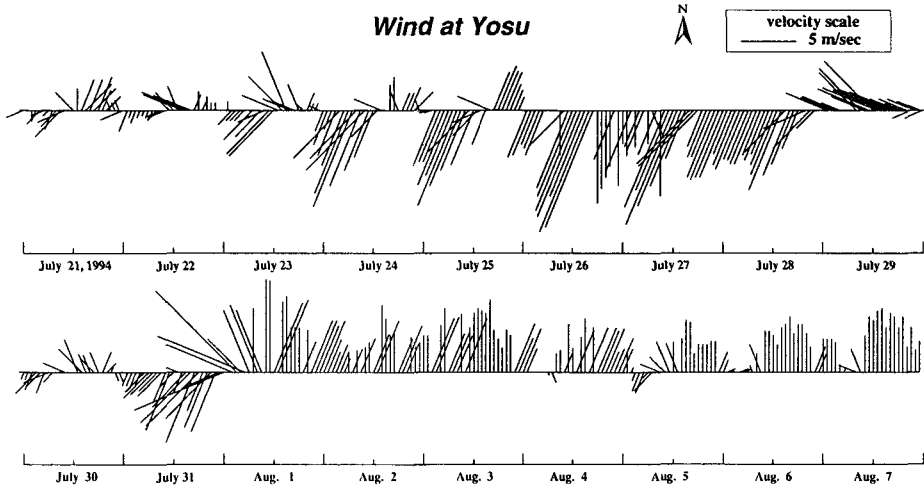


Fig. 9. Stick vector plot of wind velocity at Yosu.

조류에 남향 혹은 동향의 향류가 중첩되어 나타나며 그 유속은 매우 작아서 시간이 짧은 C1과 대조적이다. 이러한 조류에 의해서 어떤 물체가 이동한다고 가정할 때, 창조류시 혹은 낙조류시에 이동할 수 있는 최대거리는 C1의 경우 약 12 km인 반면 C2에서는 5~6 km 정도이고 Fig. 2에서 수온 변화폭이 3가 정도였으므로 하계에 수온의 수평변화율은 대조때 대략 0.5 °C/km 됨을 유추할 수 있다.

Fig. 9는 향류에 미치는 바람의 영향을 살펴보기 위하여 조류관측 기간 동안의 여수 측후소에서 관측한 바람자료를 도시한 것이다. 이것을 향류가 남향에서 동향으로 바뀌는 C2에서의 유속자료 (Fig. 8)와 비교를 해보면 흥미로운 사실을 발견할 수 있다. 즉 7월 23일부터 28일까지 북북동풍이 강하게 불었는데 이때의 향류는 남향이였으며 바람의 지속성이 떨어진 7월 29일에서 31일 사이에는 향류가 매우 약했던 한편, 그 후의 소조기에 조류가 미약했음에도 (Fig. 7) 동향류가 지속되었는데 이 기간에는 남풍이 지배적이었다. 따라서 가막만 내에서의 해수순환에는 바람의 영향이 상당히 중요하다는 것을 알 수 있다. 그러나 바람이 약하고 방향도 변화가 심했던 처음 3일간에도 내만에서 남향류가 뚜렷하였고 더구나 입구 부근의 C1에서는 더욱 큰 남서향류가 있었다는 사실, 그리고 내만에서 후반에 남풍에 의하여 동향류가 다소 약하게 나타났다는 사실은 이 지역의 해수순환이 바람의 영향을 받기는 하나 거의 언제나 남쪽으로 일어난다는 것

을 뒷받침 한다.

이것은 Lee (1992a)의 측류관 추적 결과, 남북 양쪽 만구에서 유입하는 해수가 밀물때는 대경도 남방 약 2 km 지점에서 상접하지만 썰물때는 그보다 북쪽 지역에서 각각 분리하여 유출되므로 결국 만내의 해수가 북쪽의 여수쪽에서 남쪽 입구로 순환한다는 주장과 일치한다. 남향류가 약하나마 우세하기 위한 조건은 남쪽에서 유입되는 유량보다 북쪽에서 유입되는 유량이 더 많은 경우를 생각해볼 수 있다. 여수항의 수로가 매우 협소하므로 해수의 유입과 유출 모두가 자유롭지 못할것이나 밀물때 북쪽에서 유입한 해수의 일부가 썰물때 협소한 북쪽으로 되돌아 나가기 보다 유동역이 넓고 입구가 훨씬 큰 남쪽으로 쉽게 나갈 것으로 사료된다. 그리고 하계에는 북쪽의 연등천과 같은 하천으로부터 유입되는 담수량의 급증이 남향류에 기여하고 동계에는 북풍계 계절풍 때문에 남향의 취송류가 지배적일 수 있다. 본 연구에서는 북쪽 입구에서의 유속관측이 실패하여 유입과 유출을 비교할 수 없었지만 이에 대해서는 후에 더욱 장기적인 관측을 통해서 밝혀져야 할 것이다. Fig. 8에 의하면 동일한 기간을 비교하면 C1에서의 향류는 C2에 비해서 4~5배 커서 남쪽 입구쪽으로 갈수록 증가하는 것으로 보이는데, 북쪽의 협소한 입구를 통해서 유입된 해수와 하천에 의한 담수의 유입량 두가지가 이러한 현상을 모두 설명할 수 있을만큼 충분한지 면밀하게 검토할 필요가 있다. 위의 두가지 효과 외에 가막만으로

Table 3. Amplitude of major and minor axes (cm/sec), inclination of major axis from the east (degrees) and Greenwich phase (degrees) of the current ellipse forms at C1 and C2. Minus signs of minor axis stand for the clockwise rotation of the current ellipse

Name	f (cph)	C2(Pyongsa)				C1(Songdo)			
		Major	Minor	Inc	G	Major	Minor	Inc	G
Z0	.00000000	.91	.00	318.4	0.0	15.25	.00	220.5	0.0
MSF	.00282193	2.23	-1.22	79.7	207.8				
O1	.03873065	1.46	.05	.7	304.6				
P1	.04155259	.23	-.02	31.6	41.1	1.81	.04	147.8	7.7
K1	.04178075	.98	-.31	33.8	38.8	7.49	-1.66	150.0	5.4
M2	.08051140	14.78	-2.05	55.4	295.7	47.18	13.30	127.8	274.7
S2	.08333334	9.46	-.82	56.0	333.4				
K2	.08356149	1.92	-.26	35.0	327.2				
M3	.12076710	1.28	-.04	37.7	302.2	9.60	1.02	105.6	259.3
SK3	.12511410	.70	.24	38.3	256.0				
M4	.16102280	1.28	.44	65.3	159.8	12.47	9.08	33.3	140.1
MS4	.16384470	.93	.51	25.6	168.4				
S4	.166666670	.53	.13	36.1	249.4				
2MK5	.20280360	.54	.31	161.3	105.8	4.90	2.18	91.8	62.9
2SK5	.20844740	.45	.04	82.0	252.4				
M6	.24153420	.49	.23	55.4	275.2	6.22	3.17	119.8	299.9
2MS6	.24435610	.69	-.08	31.6	277.3				
2SM6	.24717810	.37	-.10	89.2	227.3				
3MK7	.28331490	.52	-.01	48.5	278.3	7.22	1.16	62.8	32.7
M8	.32204560	.27	-1.5	9.06	116.7	4.30	2.33	32.9	308.0
M10	.40255700	.19	.02	19.0	338.1	3.82	.19	148.2	110.3

유입되는 흐름은 서부에서, 유출되는 흐름은 동부에서 우세하여 그 결과 동부에서는 남향류가, 서부에는 북향류가 지배적이어서 만내에서 시계방향의 순환이 일어난다면 이 현상을 보다 쉽게 설명할 수 있을 것이다. 그러나 이를 입증할만한 자료가 없으므로 동·서를 비교할 수 있는 관측을 통해서 밝혀져야 할 것이다.

유속자료의 조화분석 결과는 Table 3과 같다. 각 분조의 장축 (major) 및 단축 (minor)의 반경의 크기는 cm/sec 단위로, 장축의 방향 (Inc)이 동쪽을 기준으로 하여 반시계방향으로 각도로 나타냈으며 G는 장축의 Greenwich phase이다. 향류성분 (Z0)은 C2 (평사)에서 0.9 cm/sec로 매우 작고 방향은 318°로서 남동향이며 C1에서는 15.2 cm/sec이고 방향은 220°로서 남서향이다. 이것은 Lee (1992a)가 하계 및 동계에 C1

과 C2 부근에서 각각 25시간 연속 조류관측으로 얻은 향류치 4~25 cm/sec 및 7.9 cm/sec 보다 다소 작기는 하지만 모두 남향류인 것은 일치한다. 그리고 가장 큰 M2 분조의 장축 및 단축의 크기는 C2에서 각각 14.8, -2.0 cm/sec이고 C1에서는 각각 47.2, 13.3 cm/sec인데 단축의 음의 부호는 조류가 시계방향으로 회전함을 뜻한다. 특이한 점은 내만의 C2에서보다 입구 부근의 C1에서 배조인 M4조가 각각 12.5, 9.1 cm/sec로 크고 다른 배조 및 복합조 성분들도 크다는 것이다. 이것은 중간에 상태가 나빠 제외된 부분이 있고 자료의 길이가 짧아 반일주조에 있어서 M2와 S2를 구분할 수 없는 등 자료상태에 기인하는 효과도 있으리라 추측되므로 추후에 보다 좋은 관측을 통해서 입증될 필요가 있다. 주요 분조들의 조류타원과 향류 성분을 Fig. 10

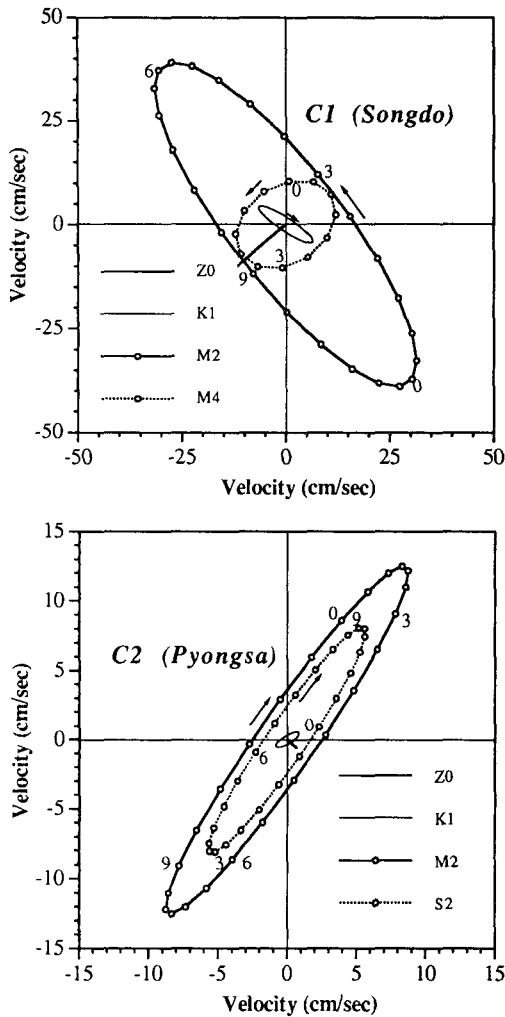


Fig. 10. Tidal current ellipse at C1 (Songdo) and C2 (Pyongsa).

에 나타내었다. 분조의 회전 방향은 화살표로 표시하였다. 조류의 주축방향은 이미 다른 그림에서 언급한 바와 같으며 내만에서는 지형적인 영향으로 송도 부근에 비해 왕복성이 더 강하다.

요 약

가막만의 해수유동 변동특성을 연구하기 위하여 1994년 7월 21일부터 8월 8일까지 가막만 남쪽 입구의 송도 부근, 북쪽 입구의 여수, 그리고 만 중앙부의 평사 부근의 3개 지점에 유속계를 계류하였고, 송도

선착장과 여수항 부근의 2개 지점에 조위계를 설치하여 10분 간격으로 연속관측하였다. 가막만의 양쪽 수로에 도달하는 조석과의 위상관계를 알아보기 위하여 기기를 남쪽과 북쪽의 입구에 설치하였으며 이들 입구를 통해서 유입, 유출되는 조류가 만 내부의 해수순환에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해서 내만의 평사 부근에 유속계를 추가로 설치하였다.

최대 조차는 여수와 송도에서 각각 357, 352 cm였다. M2, S2, K1, O1 분조의 진폭은 여수에서는 각각 95.5, 48.8, 20.5, 14.0 cm였고 송도에서는 각각 93.6, 47.2, 21.3, 13.1 cm로서 조석의 형태수는 공통적으로 0.25 미만으로 반일주조가 지배적이었다. 양쪽 입구를 통해서 들어오는 주요분조의 위상차는 거의 없었다. 천해조 성분은 양쪽 모두 전체 진폭의 4% 이하로서 마찰효과 및 비선형효과는 매우 작았다.

조류의 최대유속은 송도부근에서 약 100 cm/sec, 내만의 평사에서 약 40 cm/sec였으며 M2 분조의 유속은 각각 47.2, 14.8 cm/sec였다. 송도부근에서 조류성분은 주로 북서-남동 방향이고 반시계 방향의 회전성을 가지고 있으며 항류 성분은 남서 방향으로 17 cm/sec였다. 반면에 내만에서는 북동-남서 방향의 조류성분이 지배적이고 시계방향으로 회전하며 항류는 남동방향이고 0.9 cm/sec로 매우 약하지만 시간적으로 바람의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 전반적으로 가막만의 동부 내만과 송도 부근에서는 남쪽방향으로의 항류성분이 존재하는데 그 원인을 설명하기 위해서는 보다 충분한 관측을 통한 해수순환에 관한 연구가 필요하다.

사 사

이 연구는 한국과학재단 지정 우수공학연구센터인 부산수산대학교 해양산업개발연구소의 1994년도 연구비 지원에 의해서 수행되었다. 자료의 분석과 그래픽작업을 도와준 김순영 박사에게 감사하는 바이다.

참 고 문 헌

DiLorenzo, J. L. 1988. The overtide and filtering re-

- response of small inlet/bay systems. In *Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets*, D. G. Aubrey and L. Weishar, eds. Springer-Verlag, pp. 24~53.
- Foreman, M. G. G. 1977. Manual for tidal heights analysis and prediction. *Pacific Marine Science Report* 77~10, 101p.
- Foreman, M. G. G. 1978. Manual for tidal currents analysis and prediction. *Pacific Marine Science Report* 78~6, 70p.
- Le Provost, C. 1991. Generation of overtides and compound tides (review). in *Tidal hydrodynamics*, B. B. Parker, ed. John Wiley & Sons, pp. 269~296.
- Lee, G. H. 1992a. The pattern of sea water circulation in Kamak Bay. *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.*, 28, 117~131 (in Korean).
- Lee, S. N. 1992b. Numerical model of pollutant dispersion due to tidal flow. Ph.D. thesis, Chonnam National University, 99p (in Korean).
- Lee, G. H. and K. D. Cho. 1990. Distributions of the temperature and salinity in Kamak Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 23, 25~39 (in Korean).
- Lee, G. H. and K. J. Choe. 1985. Distributions of water temperature, salinity and transparency in Kamak Bay in June. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 18, 157~165.
- Lee, M. C. 1983. A capacity of self-purification in Kamak Bay. *Bull. Yosu Nat'l Fish. Univ.*, 4, 19-25 (in Korean).
- Lee, M. C. and S. D. Chang. 1982. Tidal exchange of sea water in Kamag Bay. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17, 12~18 (in Korean).
- Walters, R. A. and F. E. Werner, 1991. Nonlinear generation of overtides, compound tides, and residuals. in *Tidal hydrodynamics*, B. B. Parker, ed. John Wiley & Sons, pp. 297~320.

1995년 7월 11일 접수

1995년 9월 12일 수리