ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/278192456

Analysis of Tidal Asymmetry and Flood/Ebb Dominance around the Yeomha Channel in the Han River Estuary

Article *in* Journal of Coastal Research · January 2013

DOI: 10.2112/SI65-210.1

CITATIONS
17

READS
736

2 authors:



Byung il Yoon
Inha University
29 PUBLICATIONS **183** CITATIONS
SEE PROFILE



Seung Buhm Woo
Inha University
108 PUBLICATIONS **874** CITATIONS
SEE PROFILE

All content following this page was uploaded by Byung il Yoon on 25 July 2017.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

韓國水資源學會論文集
第45卷 第9號·2012年 9月
pp. 915~928
http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2012.45.9.915

한강하구 염하수로 주변에서의 조석·조류 비대칭과 창·낙조 우세 분석

Analysis of Tidal Asymmetry and Flood/Ebb Dominance around the Yeomha Channel in the Han River Estuary

윤 병 일* / 우 승 범**
Yoon, Byung Il / Woo, Seung-Buhm

Abstract

Han River estuary (HRE) is located at the middle of the western coast of Korea, and tidal currents were measured at 4 stations in this estuary during the winter season, and previously observed tide data was analyzed. The results of amplitude ratio of M_4/M_2 showed that increasing upward to estuary in the HRE. Tide harmonic constants of relative phase $(2M_2-M_4)$ represent flood dominance, with under 180 degree. But this method has a limit of analysis that typically based on the non-linear distortion of the tidal current in tidal lagoon system where freshwater discharge is assumed to be relatively small. The results of statistically tidal current data indicated that ebb current velocity would be great unlike tide data. Ebb and flood duration time is calculated by slack time of tidal current showed that ebb duration time is longer than flood. The results of correlation of analysis show high value (0.9) between tidal current stations from Incheon harbor to north entrance of Yeomha channel. We reconstructed to find the reasons for the features of ebb dominance the results of harmonic analysis. As major component (M_2) in combination with shallow water component (M_4), the tidal curve was presented flood dominance that has a flood current is stronger. However, these curve were changed to ebb dominance add up the non-harmonic components that had ebb direction flow by calculated tidally averaged current. The characteristic of enhancement on ebb is showed around the Yeomha channel in the HRE, because averaged flow which acts seaward such as long-term tidal current components due to non-linear effect and freshwater which overcome the flood current.

Keywords : Han River estuary, Yeomha channel, Ebb enhancement, Tidal asymmetry

요 지

한강하구 염하수로 주변의 조석·조류 변형과 창·낙조 우세를 분석하기 위해서 4개 정점에서 동기간에 관측한 조류자료와 기 관측된 조석자료를 분석하였다. 조석 및 조류의 변형 정도는 M_4/M_2 진폭비를 분석한 결과 상류로 갈수록 증가하며, 조석의 상대 위상차$(2M_2-M_4)$를 계산하면 모든 정점의 값이 180° 이하로 창조 우세를 보여준다. 그러나 조류자료의 통계분석 결과를 보면 조석 조화상수의 상대 위상차 결과와는 다르게 최강·평균 낙조가 창조에 비하여 강하게 나타나며, 정조시각을 이용하여 창조, 낙조 지속시간을 계산하면 낙조 지속시간이 길게 나타난다. 각 조류 관측정점의 주축 방향 유속성분의 상관도를 분석한 결과 인천항 이후 염하수로 북쪽입구까지는 상관도 값이 0.9 이상으로 높게 나타났다. 조류 분석결과에서 보여지는 낙조가 우세하고 낙조 지속시간이 긴 형태의 원인을 분석하기 위해서 조화분해 결과를 재구성하였다. 주 분조(M_2)와 천해 분조(M_4)를 결합하면 창조가 우세하고 낙조 지속시간이 긴 전형적인 창조우세 형태의 곡선이 나타난다. 그러나

* 인하대학교 해양과학과 박사과정 (e-mail: obangss@hanmail.net)
Ph. D. Candidate, Dept. of Oceanography, Inha Univ., Inchoen 402-751, Korea
** 교신저자, 인하대학교 해양과학과 부교수 (e-mail: sbwoo@inha.ac.kr, Tel: 032-860-7710)
Corresponding Author, Associate Prof. Dept. of Oceanography, Inha Univ., Inchoen 402-751, Korea

이 곡선에 조류 성분의 산술 합으로 계산한 비 조류성분(잔차류)의 값을 더하면 낙조가 강해지고 낙조 지속시간이 긴 형태로 나타난다. 즉, 천해분조에 의해서 발생하는 상류방향의 흐름을 극복하는 담수와 하구 비선형 효과에 의해서 생성되는 장주기 조류성분과 같은 낙조방향의 평균적인 흐름이 존재하기 때문에 독특한 낙조심화 현상이 염하수로에서 나타난다.

핵심용어 : 한강하구, 염하수로, 낙조심화, 조석/조류 비대칭

1. 서 론

하구 및 연안지역에서 발생하는 비선형 효과는 바닥마찰, 담수, 수심 및 지형적 효과와 같은 다양한 원인의 복합적인 작용에 의해서 야기된다. 이런 비선형 효과는 하구 및 연안지역의 조석, 조류곡선을 비대칭한 형태로 변형시킨다(Ippen and Harleman 1966; Pugh, 1987; Aubrey and Speer 1985; Blanton et al., 2002; Kang and Jun, 2003). 조석, 조류의 비대칭성은 창조, 낙조의 지속시간과 최강, 평균 유속 크기의 차이를 야기하며, 이러한 불균형은 퇴적물 및 부유물질의 이동거리 및 이동량을 결정한다(Aubrey, 1986; Dronker, 1986). 또한, 하구에서의 식물플랑크톤의 생물량과 생산성을 조절하는 하구 최대 탁도 지점의 시공간적인 이동에도 영향을 미친다(Cloern, 1987). 하구지역의 조석, 조류의 왜곡현상에 의해 발생하는 해수순환, 퇴적물 이동 기작에 의한 조간대 지역의 침식과 퇴적현상을 규명하기 위해서는 조석, 조류의 비대칭 현상에 대한 이해가 필수적이다.

조간대를 포함하는 수심과 수로의 지형학적 형태에 의한 창조와 낙조 우세성과 퇴적물 이동에 관한 다양한 연구가 수행되었다(Aubrey and Speer, 1985; Speer and Aubrey, 1985; Friedrichs and Aubrey, 1988; Speer et al., 1991; Wang et al., 2002). Friedrichs and Aubrey (1988)은 26개 하구지역의 수위자료를 최소자승법으로 분해하여 M_2, M_4분조의 진폭과 위상값을 추출하였다. 추출한 분조의 진폭과 위상값을 이용하여 M_4/M_2 진폭비가 클수록 천해분조에 의한 조석 비대칭 현상의 왜곡 정도가 커지며, 상대 위상 차이($2M_2 - M_4$)를 이용하여 상대 위상 차이의 값이 0°~180° 사이면 창조 우세, 180°~360° 낙조 우세 현상이라고 제시하였다.

위와 같은 전통적인 방법은 유속에 근거한 것이 아니라 수위 자료를 이용하였기 때문에 퇴적물 이동 분석에 사용되기는 어렵다(Robin and Davies, 2010). 또한 연구지역이 석호와 같은 담수의 영향이 크게 중요하지 않은 지역이기 때문에 담수의 유입이 지속적이고 강하게 나타나는 하구 및 연안지역에서는 적용에 한계성이 있다(Seim et al., 2006). 즉, 담수의 영향이 강한 하구 또는 조석이 우세하구지역이라도 담수의 영향이 지속적으로 작용한다면 조석자료를 이용한 전통적인 분석방법은 정확하게 창조 또는 낙조의 우세성을 제시하는 것이 어려울 수도 있다. 또한, 조석과 조류의 창조 또는 낙조 우세성은 상호 연관되어 나타나기도 하지만, 조석에 비하여 조류는 조간대의 영향, 수심 그리고 지형학적 특성에 의해서 큰 영향을 받기 때문에 조석과 조류의 우세성이 반드시 일치하게 나타나지는 않을 가능성이 높다. 그러므로 조석 조화상수를 이용한 분석과 더불어 조류 관측 자료 분석을 통한 비교, 검토가 필요하다.

경기만 한강하구는 인천항을 기준으로 평균대조차가 8.0 m, 평균소조차 3.5 m인 대조차 해역이다. 해안지형이 복잡하며 크고 작은 섬들과 수로들이 연결되어 있으며, 큰 조차와 완만한 지형경사로 조간대가 넓게 발달되어 있어 복잡한 해수순환 특성을 보이며(Park et al., 2002), 각 수로들의 조석 전파 특성이 독특하게 나타난다(Woo and Yoon, 2011; 윤병일과 우승범, 2011). 김창식 등(2010)은 석모수로 지역의 경우 담수의 영향에 의해서 전 수층에서 낙조하는 조석 잔차류를 제시하였고, 송용식과 우승범(2011)는 염하수로 인근의 조류 관측자료 분석을 통해서 장주기 분조의 대·소조기 변동 특성을 제시하였다. 조석 및 조류의 변화가 수로 별로 독특하게 나타나며, 연중 유입되는 담수의 영향이 계절적으로 다르기 때문에 전통적인 방법과 더불어 조류자료를 이용한 창조와 낙조 우세성의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 경기만 한강하구 지역에서 수집한 조석 M_2, M_4분조를 이용하여 조석 변형 특성과 상대 위상차에 의한 창·낙조 우세를 분석하였다. 조석의 위상차를 이용한 분석과 더불어 염하수로 인근의 조류 관측자료를 이용하여 낙조우세 현상과 그 원인을 제시하였다. 조석 전파 특성을 조석과 조류 조화분해 결과를 이용하여 정상파와 진행파의 관점에서 해석하였으며, 각 조류 관측자료의 주성분 간의 상관도 분석을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

Fig. 1에 경기만 한강하구 지역의 조석 검조소 위치와

연구 보고서(국립해양조사원, 2002; 인하대학교, 2003)에서 제시한 수위 관측 위치를 제시하였다. 국립해양조사원에서 제공하는 검조소 자료와 한강홍수통제소의 수위 자료를 조화분석 프로그램 TASK Package(Proudman Oceanographic Laboratory, UK)을 이용하여 조화상수 값을 추출하였다. 2005년 11월부터 12월까지 경기만 한강하구 지역의 4개 정점(Fig. 1; C1과 C4~C6)에서 RCM 계열의 장비를 표층 부이에 계류하여 해수면 하 1.5~2 m 지점에서 10분 간격으로 유속을 관측하였다. 관측된 유속자료는 Preisendorfer and Mobley (1988)가 제시한 PCA (Principal component analysis)분석을 이용하여 원시자료(raw data)의 u(동서방향)와 v(남북방향)의 성분을 주축(major)방향과 횡(minor)방향의 새로운 좌표계로 선형변환하여 가장 지배적인 조류성분을 추출한 후 통계분석 및 정조시간 계산에 사용하였다. 조류의 주축 성분을 조화분해하여 주요 분조의 조화상수값을 이용하여 진폭비, 위상차 그리고 조류 변형률을 계산하였다.

각 조류 관측 정점의 관측 기간은 상이하지만 동기간 관측기간이 16일(12월 2일부터 17일까지) 이상 포함된다. 본 연구에서 사용한 조류자료는 동기간에 관측된 자료이기 동일한 담수의 영향, 바람 등의 계절적 영향을 동시에 고려할 수 있다는 장점이 있다. 또한 신곡수중보 하류에 위치한 C6(전류리)부터 염하수로를 따라서 C1(영종대교 인근)까지 총 4개 정점에서 동기간의 공간적인 변화도 고려할 수 있다. 관측 자료가 표층에 국한되어 있고, 동기간의 자료가 30일 이상 관측되지는 않았지만 조류 관측의 동시성과 집중성을 고려할 때 조류 변형 특성과 창조 또는 낙조의 우세 현상을 이해하고 효율적으로 해석하는데

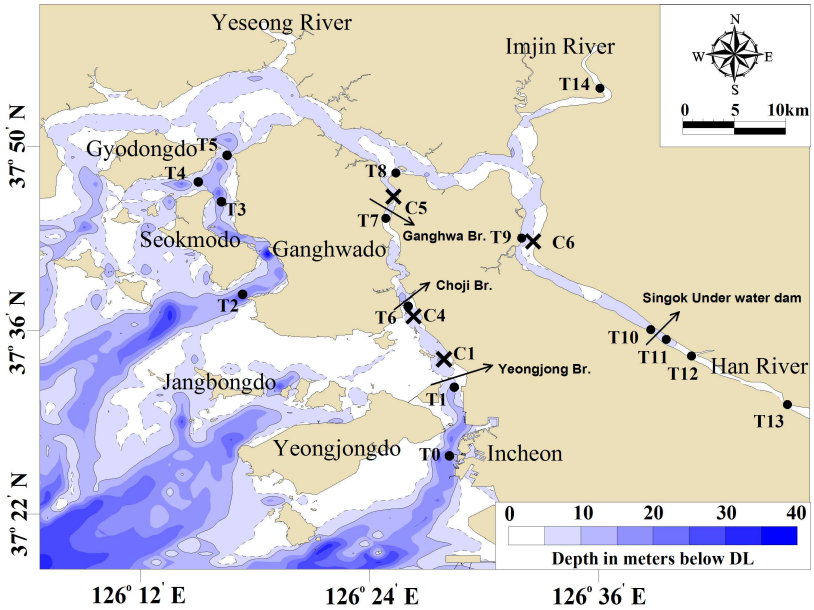


Fig. 1. Topographic Map of the Study with the 5 m (dotted line) and 10 m (solid line) Isobaths Shown. The Circle (●) ans Axis (X) Denote the Tide and Tidal Current Station, Respectively. An Arrow (→) is Indicated the Location of Bridge and Under Water Dam

Table 1. Location, Observation Period, and Depth of the Moored Instruments for Tidal Current Measurements

St.	Latitude Longitude	Observation period	Instrument depth (m) / Water depth (m)	Instruments
C1	N 37°30′49″ E 126°35′28″	2005.11.16~12.22	2/8	RCM-7
C4	N 37°36′50″ E 126°32′53″	2005.12.02~12.22	2/6	RCM-7
C5	N 37°45′12″ E 126°31′19″	2005.11.18~12.18	2/8	RCM-9
C6	N 37°42′22″ E 126°39′60″	2005.11.15~12.18	2/8	RCM-9

효과적이다. 또한, 동시 관측자료의 장점을 이용하여 각 관측 정점의 조류 주성분의 상관도 분석이 가능하다.

조류 관측 정점의 위치를 Fig. 1에 도시하였고, 각 조류 관측정점의 관측기간, 관측지점 및 관측장비에 대한 자세한 설명을 Table 1에 제시하였다. 조류 관측 정점 C6은 신곡수중보(T10~T11 사이)로부터 하류방향으로 약 15 km 떨어져 있으며, 총수심은 D.L(-) 8 m이고 수로 폭은 약 1.0 km이다. 정점 C5는 염하수로 북측입구에 위치한 강화대교에서 북쪽방향으로 약 3 km 지점에 위치한다. C4는 염하수로 남측입구에 위치하며, 초지대교에서 남쪽방향으로 약 2 km 지점이다. 정점 C1은 세어도 부근에 위치하며 영종대교에서 북쪽방향으로 약 4 km 떨어져 있다.

3. 결 과

3.1 최강, 평균 유속

Fig. 2에 제시한 조류 벡터도(stick diagram)를 보면 모든 정점에서 반일주조 현상이 우세하게 나타난다. 유속의 양과 음의 값은 각각 창조와 낙조 방향을 의미하며 C6 정점은 다른 정점과 반대방향의 유속값으로 표현된다. 전체적인 자료에서 볼 수 있듯이 조석 주기에 따라서 대조기 유속이 소조기에 비하여 강해지는 현상이 뚜렷하게 나타난다. 회전 성분이 상대적으로 강하게 나타난 C6 정점의 창조 유속은 낙조 유속에 비하여 방향성이 뚜렷하지 않으며 소조기보다 대조기 때 이러한 현상이 심화되며, 창조시 약 15 km 상류에 위치한 신곡수중보에 의한 반사파의 영향으로 사료된다. Fig. 3의 유동 분산도(scatter plot)를 보면 지형 및 수로 형태를 따라서 왕복성이 강한 유속 흐름이 분포하고 있으며, 주수로 방향인 남북 방향(v component)의 성분이 동서 방향(u component)보다 우세하고, 모든 정점에서 최강 창조 및 낙조의 유속 값은 1 m/s 이상 강하게 나타난다.

관측 정점의 유속 성분을 PCA분석을 통해서 구한 주축(major axis)방향 성분과 횡축(minor axis)방향 성분의

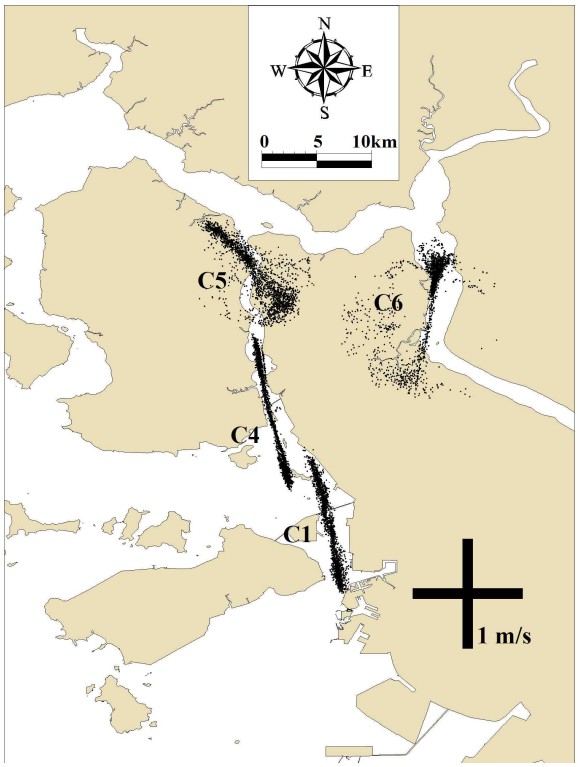


Fig. 3. Scatter Plot of U (lateral component) and V (along-channel component) of Tidal Current Station

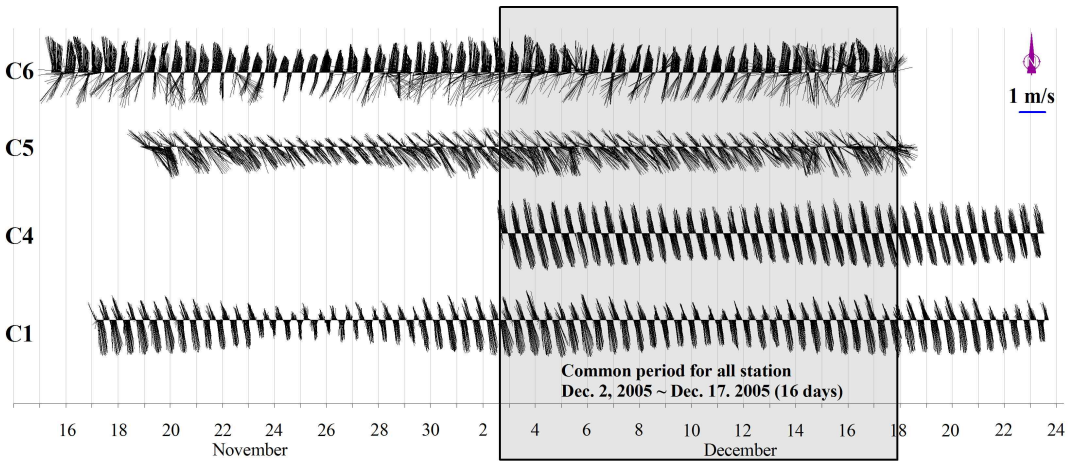


Fig. 2. Stick Diagram of Tidal Current. Gray Box Means Common Period from December 2, 2005 to December 16, 2005 for all Station. Positive and Negative Current Mean Flood and Ebb Current, Respectively (expect C1, opposite direction)

창조, 낙조에 대한 최강 및 평균유속 크기를 각 정점 별로 비교하였다(Fig. 4). 최강 유속을 구할 때 한 순간의 최강 유속 값일 경우 관측 오차가 발생을 할 수 있으므로, 유속이 강한 상위 5%의 유속 값을 앙상블 평균(ensemble average)하였으며, 평균 유속의 경우 동시 관측 기간의 유속 값을 산술 평균하였다. 모든 정점에서 최강 낙조 유속은 1.2 m/s 이상의 강한 유속을 보여 주며, 창조 유속은 1 m/s 이상의 유속 값을 보여준다. 평균 낙조 유속은 C6 정점에서 약 0.9 ms로 가장 크고, C5 정점에서 약 0.7 m/s로 가장 작게 나타났다. 그러나 평균 창조 유속은 C6 정점에서 약 0.8, C5 정점에서 약 0.4 m/s로 평균 낙조 유속에 비하여 차이가 크다. 정리해서 말하면 모든 정점에서 최강 및 평균 유속 모두 낙조가 창조 보다 강하게 나타났으며, 특히 C1과 C5 정점의 창조와 낙조의 유속 차이가 크게 나타난다.

3.2 창조, 낙조 지속시간

각 정점 별 조류 관측자료의 창조와 낙조의 지속시간을 정조시간을 이용하여 계산한 결과를 Fig. 5에 제시하였다. 일반적으로 정조란 고조 또는 저조의 전후에서 해면의 승강이 매우 느려서 마치 정지하고 있는 것과 같이 보이는 상태이므로, 조류 관측 자료의 정조 시점은 주축 방향의 유속이 0~±0.05 m/s 일 때의 시각이라고 정의하였다. 각 정점 별 창조, 낙조 지속시간에 대한 변화는 Fig. 5에서 보듯이 일조부등의 영향에 의해서 하루에 나타나는 변화도 약 0.5~1시간의 차이를 보여주며, C4 정점의 경우 대조기와 소조기에 따라서 지속시간이 1시간 이상 차이가 발생을 한다. C1 정점은 창조 지속시간은 5.5~6.5시간의 변화를 보이며 낙조 지속시간은 6.5~7.5시간의 변화를 보인다. C4 정점에서 상류 지점으로 갈수록 지속시간의 차이가 더욱 커지는데 C5와 C6정점의 창조 지속시간은 3~4

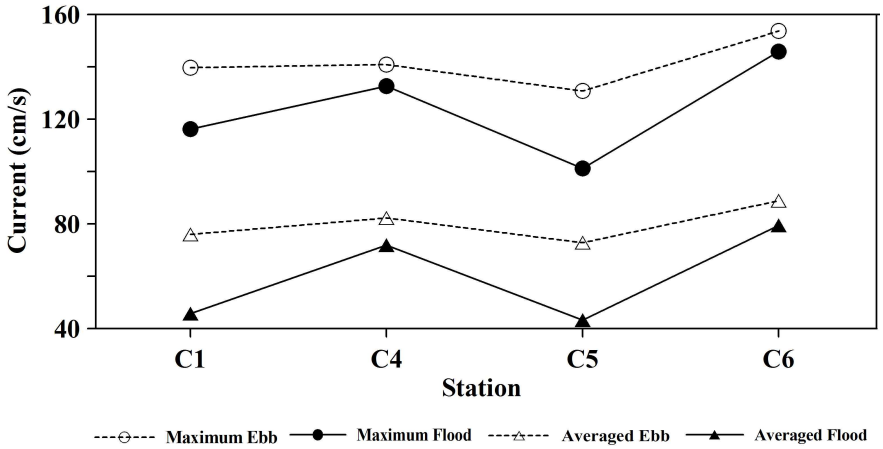


Fig. 4. Statistical Analysis of Tidal Current from all Stations. Maximum Currents Were Calculated Averaged Top 5% of Strong Current. Averaged Currents Were Estimated Mean Value during Common Observation Time

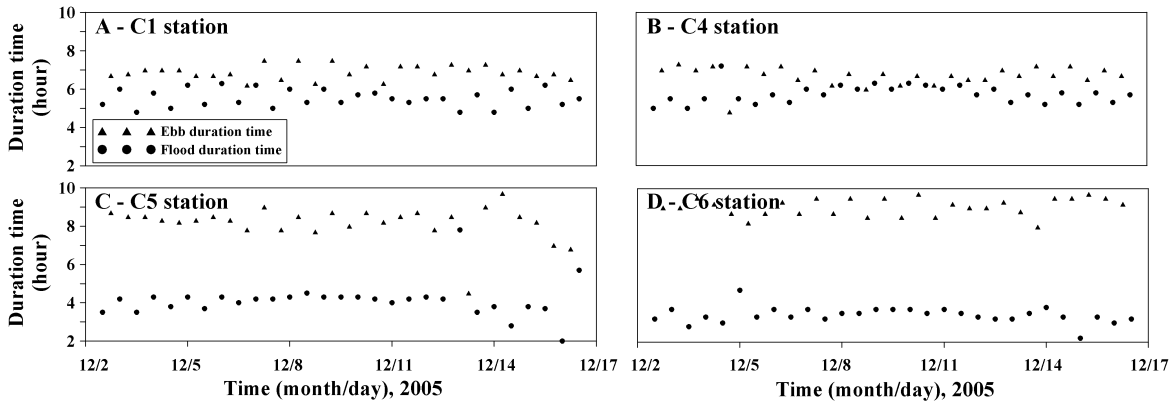


Fig. 5. Comparison of Duration Period Bet Ebb and Flood for C1 (A), C4 (B), C5 (C) and C6 (D). Ebb and Flood Duration Time Indicated Triangular and Circle, Respectively

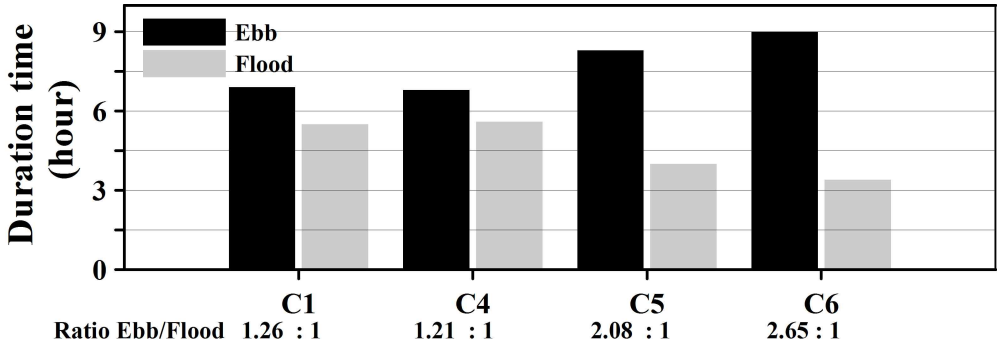


Fig. 6. Averaged Duration Time of Ebb (black box) and Flood (gray box). At the Bottom of Figure, Ratio of Averaged Ebb/Flood Duration Time is Indicated. The Ratio is Increasing from C4 to C6 Station along the Estuary

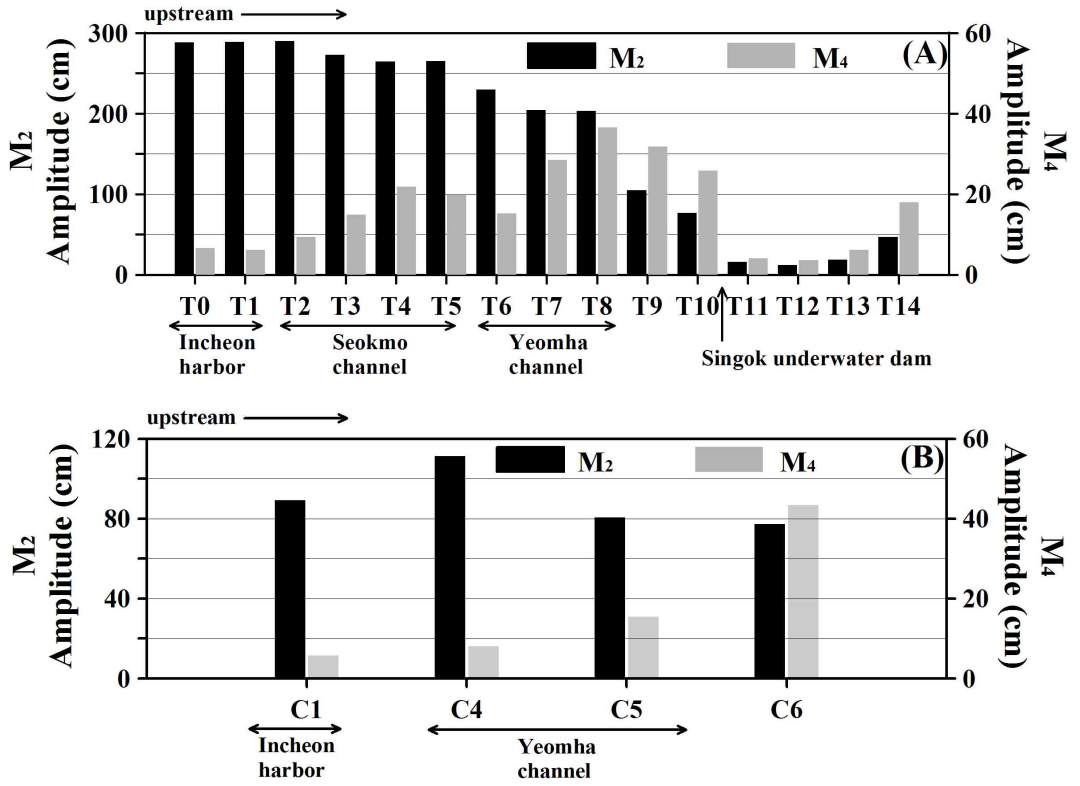


Fig. 7. The Amplitude of M_2 (black box), M_4 (gray box) Constituent for Water Level (A) and Velocity (B)

시간 정도, 낙조지속시간은 8~9시간으로 나타났다.

Fig. 6에 제시한 정점 별로 평균 지속시간과 낙조/창조 비율을 보면 C1과 C4 정점의 지속시간 차이는 1.5시간 이내이지만 C5 정점은 5시간 차이, C6 정점은 5.5시간 이상 차이를 보인다. C1과 C6 정점의 비율 변화가 거의 2배에 가깝다. 하구 상류로 진입하면서 낙조시간이 길어지고 창조시간이 짧아지는 형태가 강해지며, 대부분 정점에서 낙조 지속시간이 창조 지속시간 보다 길게 나타났다. 강주환(2000)이 제시한 조석의 M_2와 M_4분조의 진폭비와 상대위상을 이용하여 계산한 낙조 지속시간에서도 상류로 진입할수록 낙조 지속시간이 뚜렷하게 길어지는 것을 확인할 수 있다(Table 2).

3.3 조석, 조류 변형률

연구지역 내에서 수집한 조석의 조화상수와 국립해양조사원의 조위자료와 홍수통제소의 수위자료의 조화분석 결과에서 구한 조석 M_2와 M_4분조의 각 정점 별 진폭을 Fig. 7A에 제시하였다. 인천항 이후에 최대값을 보이는

Table 2. The Duration Time of Ebb Calculated with Amplitude Ratio (ϵ) and Relative Phase (ψ')

St.	M_2 Component		M_4 Component		Amplitude ratio	Relative phase (°)	Ebbing time* (hour)
	Amplitude (cm)	Phase (°)	Amplitude (m)	Phase (°)			
T0	288.49	131.28	6.56	125.44	0.02	137.10	6.32
T1	288.86	131.35	6.16	119.48	0.02	143.20	6.30
T2	289.78	143.56	9.35	212.82	0.03	74.30	6.44
T3	273.10	148.80	14.90	229.34	0.05	68.30	6.58
T4	264.90	149.50	21.90	247.37	0.08	51.60	6.71
T5	265.00	150.40	19.80	241.39	0.07	59.40	6.69
T6	229.79	157.91	15.26	276.59	0.07	39.20	6.56
T7	204.27	178.88	28.51	305.73	0.14	52.00	7.08
T8	203.50	176.70	36.60	291.00	0.18	62.40	7.47
T9	104.92	241.59	31.77	58.02	0.30	65.20	8.36
T10	76.70	252.70	25.80	86.00	0.34	59.40	8.52
T11	15.90	272.50	4.10	114.80	0.26	70.20	8.14
T12	12.31	281.17	3.57	136.40	0.29	65.90	8.30
T13	18.50	284.80	6.20	159.70	0.34	49.90	8.27
T14	47.00	256.79	18.00	98.07	0.38	55.50	8.69

*Ebbing time=$(\pi+4\epsilon\sin\psi')/\omega_2$ (강주환, 2000) 814페이지 table2가 중복되어 있습니다. 하나 삭제해주세요.

조석 M_2분조의 진폭은 염하수로 남쪽입구를 지나면서 마찰의 영향(Woo and Yoon, 2011)으로 급격히 감소하고, 염하수로 북쪽입구 이후에 다시 급격히 감소한다. T10 정점의 상류에 위치한 신곡수중보의 영향으로 상류 지점에서는 M_2분조의 진폭이 0.4 m 이하로 나타난다. 천해분조인 M_4분조의 변화는 M_2분조와는 다르게 염하수로 남쪽입구에서 증가한 이후에 염하수로 북쪽입구에서 최대값을 보인다. 이후에 M_2분조의 급격한 감소의 영향으로 M_4분조의 진폭도 감소를 하며, 신곡수중보 이후에 한차례 더 급격히 감소한다. 신곡수중보와 같은 인위적인 구조물에 의한 한강 상류지점의 조석변형에 대한 연구는 추후 더 필요할 것으로 보인다.

PCA분석을 통해 구한 조류의 주성분을 조화분해하여 구한 조류의 M_2와 M_4분조의 각 정점 별 진폭을 Fig. 7B에 제시하였다. 상류로 진입하면서 조석 진폭 변화와 비슷하게 M_2분조는 감소하고 M_4분조는 증가한다. 그러나 염하수로 남쪽입구지점(C4 정점)에서 M_2분조의 진폭이 최대값이 보이며, M_4분조의 진폭 최대값은 북쪽입구(C6 정점)에서 나타난다. 지형학적 수렴 정도(윤병일과 우승범, 2011)에 의해서 염하수로 남쪽입구에서 조석파가 수렴되면서 최대값을 보이는 것으로 보인다. C5 정점과 비교하여 C6 정점의 M_2분조 진폭 감소는 거의 없지만 M_4분조가 2배 이상 급격히 증가하여 M_2분조 크기의 약 60%에 이른다.

Fig. 8에 인천항 이후 염하수로에서 신곡수중보 상류지점까지의 조석과 조류의 M_4/M_2 진폭비를 계산하여 제시하였다. 염하수로 남쪽입구 지점인 T6와 C4 정점까지는 조석과 조류의 진폭비가 0.1 이하의 값을 보이지만 염하수로 북쪽입구에서 조류 진폭비는 약 0.35 이상으로 외해보다 높게 나타나며, 조석 진폭비도 거의 0.18의 값을 보인다. 염하수로 북쪽입구 이후에 조류의 진폭비는 0.5 이상 높고 조석의 진폭비는 0.3 이상 크게 나타난다. 조석 M_2분조의 감소율은 약 35% 정도이지만, 조류의 분조 감소율은 약 20% 정도이다. 그러나 조석 M_4의 증가율은 약 4배정도 증가하지만, 조류는 약 8배 정도 증가한다. 조류와 조석의 M_2분조 진폭 감소율과 M_4분조의 증가율의 차이로 인하여, 조석 보다는 조류의 왜곡 정도가 크게 나타난다.

Seim et al. (2006)가 Satilla River에서 연구한 조석과 조류의 변형 정도를 보면 하구 입구에서는 0.1 이하로 낮은 값을 보이지만 상류로 진입할수록 진폭비가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 조석에 비하여 조류의 진폭비 증가 크게 나타난다. 본 연구에서의 하구 입구에서의 조류와 조석의 M_4/M_2 진폭비는 비슷하지만 상류로 진입할수록 증

가율이 Seim et al. (2006)의 연구에서의 조류 최대 진폭비(0.16) 보다 2배 이상인 0.35~0.5 이상의 높은 값을 보인다. Blanton et al. (2002)이 제시한 Satilla River에서의 천해분조 생성 원인은 마찰과 수로의 수렴 정도라고 제시하였으며, Satilla River보다 염하수로는 지형학적 수렴 정도 보다 마찰의 영향이 조석과 조류의 변형에 크게 작용한다고 보인다. 이 결과는 윤병일과 우승범(2011)에서 제시한 염하수로의 지형학적 수렴 정도와 바닥 마찰간의 상관관계와 동일하며, 저면 마찰에 의한 에너지 감소로 M_4분조의 진폭 증가가 나타나고 그 영향은 조석에 비해 조류에 큰 영향을 미친다.

3.4 1차원 수로 특성

조류자료의 통계분석과 정조시간을 이용한 지속시간 결과를 종합하면, 한강하구 염하수로의 조류 특성은 낙조가 강하고 낙조 지속시간이 길다. 이런 독특한 특성을 보이는 원인은 천해분조에 의한 창조방향으로의 비선형 효과를 극복하는 낙조방향의 잔차류 성분이 강하기 때문이며, 본 연구의 4. 고찰에서 자세하게 제시하였다. 위와 같은 비선형 효과에 의해서 나타나는 낙조 특성 현상을 파악하기 위해서 각 정점의 조류의 주성분 값의 상관도 분석을 수행하였다.

정점간 동시 관측 자료를 주축방향 성분으로 이동한 주성분 유속의 상관도 분석을 수행하여 정점 간 상관관계를 분석하였다(Fig. 9). Fig. 9의 Y축은 각 정점의 유속 상관계수를 의미하며, X축은 각 정점의 유속 상관관계의 위상차이를 의미한다. 상관도 분석결과 C1과 C4 정점 그리고 C4와 C5 정점은 조류의 주성분 사이에 0.9 이상의 높은

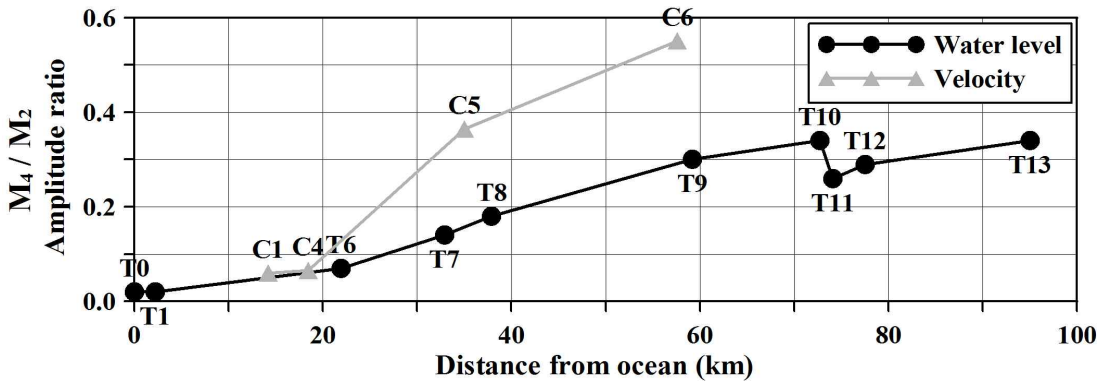


Fig. 8. The Amplitude Ratio of M_4/M_2 along the Channel for Water Level (black circle line) and Velocity (triangle gray line)

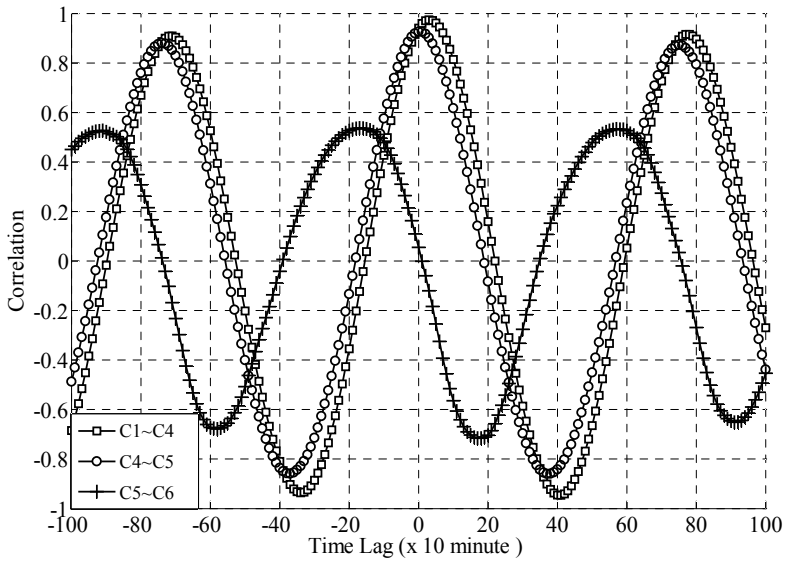


Fig. 9. Cross Correlation of between C1-C4 Stations, C4-C5 Stations, and C5-C6 Stations of Velocity Major Component. X-axis and y Axis Mean Correlation Value and Phase Lag of Tidal Current between Stations, Respectively

상관도를 보였다. C1과 C4 정점의 위상 차이는 약 30분 정도의 차이를 보였지만, C4와 C5 정점은 약 10분 정도의 위상 차이만 보여 주었다. C5와 C6정점의 경우 0.6 이하의 상대적으로 낮은 상관도가 나타났으며, 위상 차이도 2~3시간의 큰 차이를 보여주었다.

각 조류 정점의 상관도 분석 결과 적어도 인천항(C1) 이후 염하수로(C4와 C5)를 따라 진행하는 조류변형은 같은 원인에 의해서 변하거나, 비슷한 변화 양상을 보이고 있다. C6 정점과 다른 정점과의 상관도 분석 결과 C5 정점 이후에는 다른 원인에 의해서 또는 다른 원인과의 상호작용에 의해서 조류가 변형된다. 염하수로 북쪽입구는 석모수로와 염하수로에서 진입하는 조석파가 만나서 한강 상류로 진입을 한다. 또한 담수 유입에 의한 직접적인 영향을 받고 있기 때문에 조류 변형이 염하수로에서 나타나는 변화와는 다른 양상을 보이는 것으로 판단된다. 정리하면, 적어도 인천항 이후 염하수로에서는 1차원 변형 특성을 보인다고 볼 수 있다.

3.5 정상파, 진행파 특성

하구에서 조석 전파 특성은 마찰의 영향이 존재하는 조건에서 입사파와 반사파의 중첩 현상으로 설명하며(Ippen and Harleman, 1966), 진행파와 정상파의 관점으로 해석하기도 한다(Seim et al, 2006). Fig. 10에 조석과 조류의 전파 특성을 비교하기 위해 조류 관측자료 인근의 인천항(T1), 염하수로 남쪽입구(T6), 강화대교(T7), 전류리(T9)

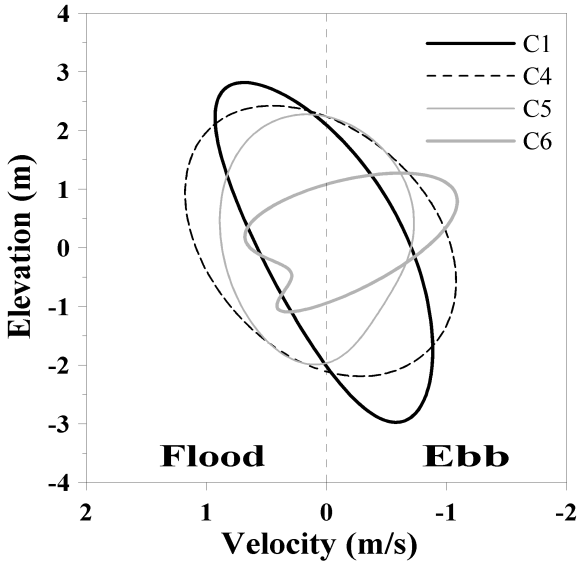


Fig. 10. Hysteresis Diagram for Axis Velocity (X-axis) as a Function of Water Level (Y-axis). Solid Line is M_2 Component, Dotted Line is M_2+M_4 Components

의 조화상수 값을 이용하여 조위와 조류의 관계를 정점별로 구성하였다.

C1 정점의 조석 전파 특성은 혼합된 형태를 보여주지만 진행파에 가까운 형태를 보여준다. C4 정점은 C1보다는 정상파에 가까운 혼합된 형태로 변형이 되며, C5 정점에서는 거의 정상파에 가까운 모습으로 변형이 된다. 이상적인 수로의 끝부분에서 반사파의 영향으로 조석과 조류의 위상이 90도 차이가 나는 정상파의 형태가 나타나지만(Lanzoni and Seminara 1998), 염하수로 끝 부분은 다른 수로와 연결되어 완전한 반사파의 영향이 나타나지 않은 형태이다. 강화도 북쪽 수로로부터 진입한 조석파의 영향으로 C6 정점에서는 다시 진행파의 모습이 나타나는데, 상관도 분석에서 보았듯이 전류리(C6)와 염하수로의 정점(C4, C5) 사이의 낮은 상관도와 일치하는 결과로 판단된다. 이러한 현상은 M_2분조가 M_4분조로 전이되면서 나타나는 현상이다(Blanton et al., 2002; Seim et al., 2006).

4. 고 찰

4.1 창조 우세

반일주조가 우세하고 조간대가 넓게 발달된 해역에서는 만조시 바닥마찰이 저조보다 증가하는 현상이 발생하므로 낙조우세가 형성되며, 국내에서는 목포해역에서 이런 현상에 대한 연구결과가 강주환(2000)에 의해서 제시되었다. 강주환(2000)은 조석의 M_2와 M_4분조의 상대 위상 차이 분석을 통해서 목포항 부근은 심한 낙조우세, 군산항 부근은 심한 창조우세를 각각 보이고 있는 반면, 본 연구지역 범위 안에 있는 인천항 부근에서는 창조 우세 또는 낙조우세가 두드러지지 않는다고 제시하였다. 본 연구지역인 경기만 해역의 경우 M_2와 M_4분조의 상대 위상 차이를 보면 대부분 정점에서 180° 이하(Fig. 11)로 나타나고, 상류로 갈수록 조석의 왜곡 정도가 심해진다(Fig. 8). 강주환(2000)과 Kang and Jun (2003)이 제시한 낙조 지속시간 산정 방법을 적용하면 상류로 갈수록 낙조 지속시간이 뚜렷하게 길어지는 것을 확인할 수 있다(Table 2). 즉, Aubrey and Speer (1985)의 정의에 의하면 본 연구지역인 경기만 해역은 창조가 우세한 지역으로 정의할 수 있다.

Friedrichs and Aubrey (1988)에 따르면 하구의 상류방향으로 상대위상의 변화는 크지 않다고 하였지만, 인천항 부근(Fig. 11; T0과 T1 정점)의 상대위상은 약 140~150°를 보이지만 하구 상류로 진입하면서 상대위상은 약 40~60°로 뚜렷하게 차이가 발생한다. 또한, 조석의 M_4/M_2 진폭비와 더불어 MS_f/M_2의 진폭비(Fig. 14)도 크게 증가하

고 있으므로, 조석의 M_2와 M_4분조만을 고려한 분석방법은 본 연구지역 특히, 염하수로에 적용하기에는 한계가 있을 수 있다. Nidzieko and Ralston (2012)에 의하면 조석에 의해서는 창조 우세(양의 왜도)가 나타나지만, 유속에서는 대, 소조기 변화에 의해서 창조 또는 낙조 우세(음의 왜도)가 교대로 발생할 수도 있다. 그러므로 본 연구에서는 상대위상 차이에 의한 방법과 함께 조류자료를 사용하여 창조, 낙조 우세에 대해서 논의하고자 한다.

4.2 낙조 심화

앞서 설명한 유속자료의 창조와 낙조의 최강, 평균 유속의 크기를 보면 모든 정점에서 낙조가 우세하며, 지속시간 계산에서는 낙조 지속시간이 모든 정점에서 창조 지속시간 보다 길게 나타난다. 선행연구에서 제시된 창조 또는 낙조우세의 개념과 본 연구지역에서 나타나는 낙조우세에 대한 의미 혼동을 배제하기 위해서 낙조심화로 표

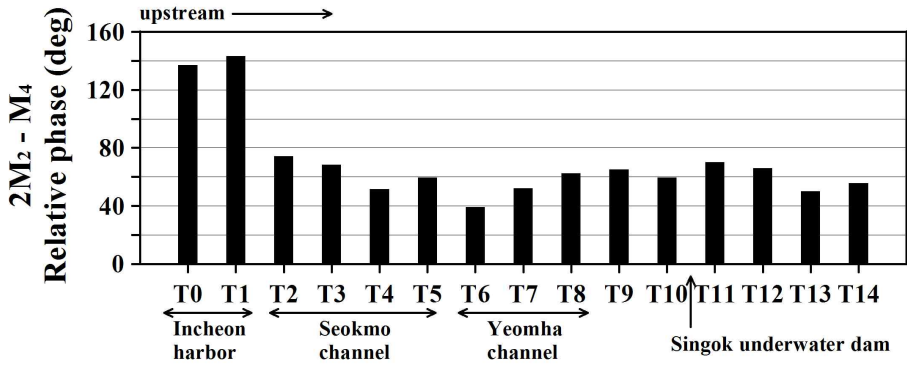


Fig. 11. The Relative Phase of $2M_2 - M_4$ at each Station Upward to the Channel

Table 2. The Duration Time of Ebb Calculated with Amplitude Ratio (ϵ) and Relative Phase (ψ')

St.	M_2 Component		M_4 Component		Amplitude ratio	Relative phase (°)	Ebbing time* (hour)
	Amplitude (cm)	Phase (°)	Amplitude (m)	Phase (°)			
T0	288.49	131.28	6.56	125.44	0.02	137.10	6.32
T1	288.86	131.35	6.16	119.48	0.02	143.20	6.30
T2	289.78	143.56	9.35	212.82	0.03	74.30	6.44
T3	273.10	148.80	14.90	229.34	0.05	68.30	6.58
T4	264.90	149.50	21.90	247.37	0.08	51.60	6.71
T5	265.00	150.40	19.80	241.39	0.07	59.40	6.69
T6	229.79	157.91	15.26	276.59	0.07	39.20	6.56
T7	204.27	178.88	28.51	305.73	0.14	52.00	7.08
T8	203.50	176.70	36.60	291.00	0.18	62.40	7.47
T9	104.92	241.59	31.77	58.02	0.30	65.20	8.36
T10	76.70	252.70	25.80	86.00	0.34	59.40	8.52
T11	15.90	272.50	4.10	114.80	0.26	70.20	8.14
T12	12.31	281.17	3.57	136.40	0.29	65.90	8.30
T13	18.50	284.80	6.20	159.70	0.34	49.90	8.27
T14	47.00	256.79	18.00	98.07	0.38	55.50	8.69

*Ebbing time= $(\pi + 4\epsilon \sin\psi')/\omega_2$ (강주환, 2000)

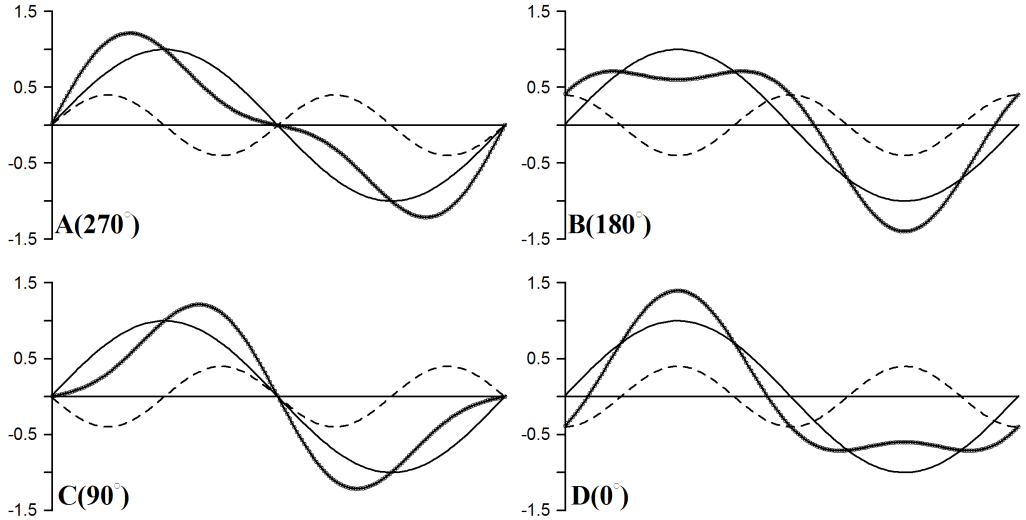


Fig. 12. Showing How the Shape of the Composite Sea-level Curve (M_2+M_4 bold line) is Controlled by the Relationship between the M_2 (solid line) and (M_4dotted line) Phases ($H_{M_4}=0.4H_{M_2}$).The Gray Line is Diagram of Tidal Current Plus Non-tidal Components. The y-axis is Current Speed (m/s) and x-axis is Time (hour). Flood-directed Flow is Denoted by a Plus Sign and a Negative Value Denotes Ebb Current

Table 3. Phase Difference of M_2 and M_4 at Tidal Current Station. A Magnitude and Direction (0°=north direction) of Residual Current

St.	M_2 Phase (°)	M_4 Phase (°)	$2M_2-M_4$ Relative Phase (°)	Residual current	
				Magnitude (cm/s)	Direction (°)
C1	71.6	269.9	233.3	11.2	151.2
C4	87.4	222.1	312.7	19.8	172.1
C5	88.4	229.2	307.6	31.3	133.6
C6	356.8	197.9	155.7	40.5	347.7

현하고자 한다. 조석의 상대 위상차 분석과 유속 자료를 비교했을 때 창조와 낙조의 우세성이 다르게 나타나는 원인을 분석하기 위해서 조류 조화상수 값과 비 조류 성분(잔차류)을 재구성하였다.

Pugh (1987)는 조류의 M_2와 M_4분조의 상대적인 위상차이($2M_2-M_4$)에 의해서 4가지 형태의 조류 곡선이 형성되고, 각 조류 곡선의 위상차에 따라서 지속시간 및 최강 유속 변화의 특징을 제시하였다(Fig. 12). 본 연구의 조류 관측 자료의 M_2와 M_4분조의 위상 차이를 Table 3에 제시하였다. C4와 C5 정점의 상대적인 위상 차이는 312.7°, 307.6°로 일반적인 낙조 우세의 정의에서 나타나는 창조가 강하고 낙조 지속시간이 긴 형태로 나타난다(Fig. 13A and Fig. 13D). C6 정점의 경우 M_2와 M_4분조의 상대적인 위상 차이는 155.7°이므로, 저조위는 낮아지고 두 번의 고조가 발생하는 형태의 비대칭 곡선이 만들어진다(Fig. 13B). 위의 위상차이에 의한 형태는 조류 성분만을 고려했을 때의 모습이다.

담수의 영향을 고려하기 위해서는 염하수로로 유입되는 담수량을 정확하게 파악해야 하지만 한강 및 임진강에서는 담수량이 얼마만큼 염하수로 유입되는지 모르기 때문에 동시 조류 관측 기간 동안의 산술 평균한 값을 잔차류로 정의하였다. 정의된 잔차류에는 조류 성분을 제외한 순압과 경압 등에 의해서 생성되는 모든 잔차 성분이 포함된다. Table 3에 제시된 각 정점의 잔차류의 크기와 방향을 보면 모든 정점에서 180도 이하(C6 정점은 180 이상이 낙조)의 낙조하는 흐름이 발생하며, 크기는 C6 정점에서 0.4 m/s로 가장 크고 C1에서는 0.1 m/s 정도이다.

Fig. 13에 C4와 C5 정점의 M_2와 M_4 분조의 진폭과 위상을 이용하여 재구성한 한 조석주기 동안의 조류 곡선을 제시하였고, M_2와 M_4분조의 조류 성분의 합으로 구성된 조

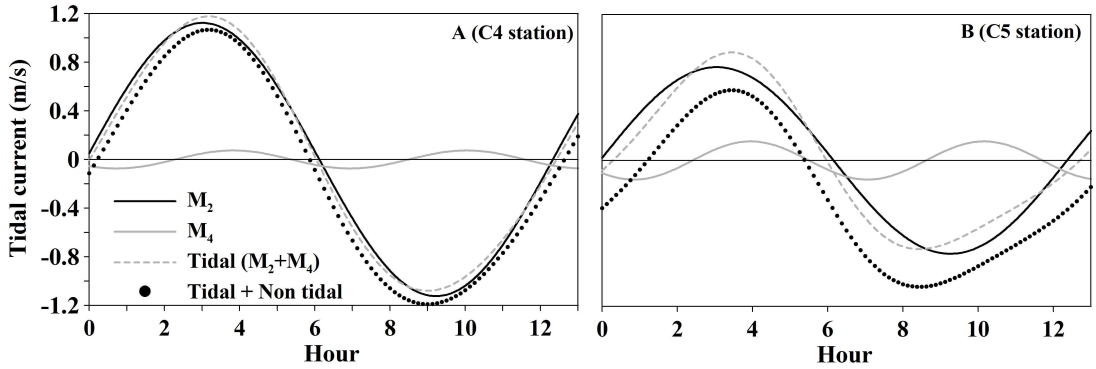


Fig. 13. A Schematic of the Interaction of the Tidal and Non-tidal Components. Positive and Negative Current Indicate the Flood and Ebb Current, Respectively. A Black Line is Calculated by Tidal Component (M_2 and M_4) for C1 and C5 Station. A GRAY DOTTED LIne is Calculated by Sum of Tidal Components (M_2+M_4) and a Circle Line is Sum of Tidal and Non-tidal Components

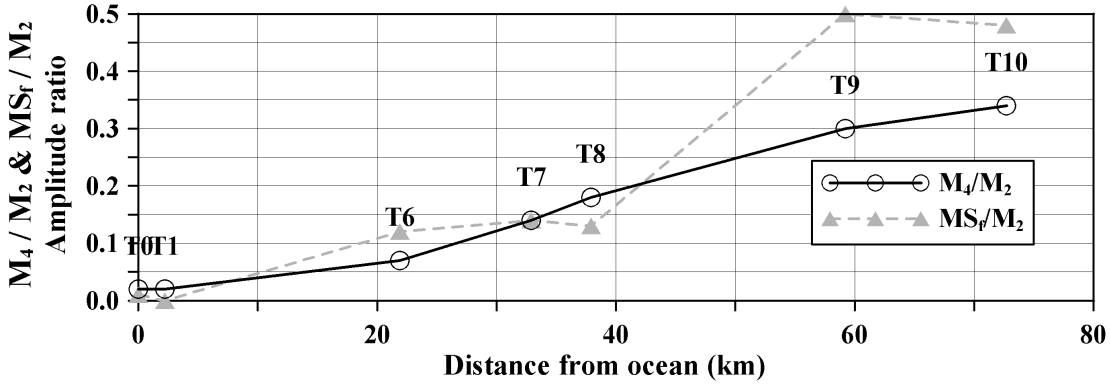


Fig. 14. The Amplitude Ratio along the Yeomha Channel for M_4/M_2 (black circle line) and MS_f/M_2 (triangle gray line)

류 곡선(Fig. 13; Tidal)과 잔차류 성분을 합한 성분(Fig. 13; Tidal + Non tidal)을 제시하였다. 검은 실선은 M_2분조, 회색 실선은 M_4분조의 조류 곡선이다. 두 성분을 합하면 회색 점선과 같이 창조의 위상은 느려지고 최강 창조 유속은 강해지며, 낙조의 위상은 빨라지고 최강 낙조 유속은 약해지는 전형적인 창조 우세의 조류곡선이 만들어진다. 그리고 여기에 잔차류 성분을 합하면 짙은 동그란 선과 같이 낙조가 우세하고 낙조가 지속시간이 강한 모습을 보여준다. Table 4에 자세하게 제시한 값을 보면, C4 정점의 창조 유속은 약 1.18 m/s, 낙조 유속은 -1.08 m/s에서 1.07 m/s과 -1.19 m/s로 바뀌었고, 지속시간은 낙조 지속시간이 더욱 길어졌다. C5 정점의 경우 Table 3에 제시한 잔차류 성분이 C4에 비하여 크기 때문에 아주 뚜렷하게 낙조류가 강해지고 낙조 지속시간이 길어진다. 즉, 조석, 조류의 조화분석 방법에서 제시된 창조우세에 비조류 성분(잔차류)이 더해지면 낙조심화 현상이 발생할 수 있다. 이런 낙조심화 현상에 대한 개념은 Blanton et al. (2002) and Seim et al. (2006)에서도 제시되었으며, 그 원인은 담수 때문이라고 제시하였다. Nidzieko and Ralston (2012)은 해수면 상승(sea surface setup)에 의한 낙조방향의 흐름과 담수에 의해서 낙조의 심화가 발생한다고 연구하였다.

본 연구지역인 경기만 한강하구에서는 김창식 등(2010)이 제시한 지속적인 담수 영향, 송용식과 우승범(2011)가 제시한 장주기 조류 성분의 대·소조기 변동성, 밀도 변화에 의한 경압력의 차이 등 다양한 원인이 낙조심화를 발생하는 잔차류에 영향을 미칠 수 있다. 각 정점의 잔차류의 흐름을 보면, C6 정점의 잔차류 크기가 0.4 m/s이고 하류로 갈수록 잔차류의 크기가 작아져 C1정점에서는 0.1 m/s인 것으로 볼 때(Table 3), 간접적으로 상류에 비하여 하류에 영향을 미치는 담수에 의한 잔차류의 영향이 작아지는 것을 가늠할 수는 있다. 표층 조류 관측자료라는 한계성이 존재하지만, 적어도 인천항 이후 염하수로 지역에서는 낙조 방향의 잔차 흐름이 낙조류가 강하고 낙조 지속시간이 긴 낙조심화 흐름이 형성된다고 판단된다.

Table 4. Variation of Tidal Current and Duration Time under the Tidal and Non Tidal Components at C4 and C5 Station.

St.	Components	Flood		Ebb	
		Velocity (m/s)	Duration time (hour)	Velocity (m/s)	Duration time (hour)
C4	Tidal	1.18	6.04	-1.08	6.38
	Tidal+Non tidal	1.07	5.29	-1.19	7.13
C5	Tidal	0.89	5.67	-0.73	6.75
	Tidal+Non tidal	0.58	2.71	-1.04	9.71

5. 결 론

경기만 한강하구역 해수유동 순환 특성과 물질이동을 이해하기 위해서 2005년 동계 기간의 조류 관측자료를 이용하여 창조, 낙조 우세성을 분석하였다. 4개 정점의 조류 관측자료에서 동기간인 16일 동안의 자료를 분석에 사용하였으며, 국립해양조사원의 검조소와 한강홍수통제소의 수위자료의 조화분석 결과의 조화상수를 수집하였다. 조석과 조류의 조화분석 결과의 인천항부터 전류리까지의 M_2와 M_4분조의 진폭 변화율을 계산하면, 조석의 M_2분조의 진폭 감소율 35%, 조류는 20% 정도로 나타났다. 분조의 증가율은 조석의 경우 약 4배 정도 증가하지만 조류의 경우 약 8배 정도 증가한다. 그러므로 실질적인 M_4/M_2 진폭비는 조류가 조석보다 크다. 조석, 조류의 정상파와 진행파의 결과를 도시하면 염하수로에서 상류로 진입하면서 정상파의 형태가 강해지며, 수로 끝 부분에서는 막혀져 있지 않은 지역이지만 거의 정상파의 형태가 나타난다. 이후 한강 상류로 진입하면서 강화도 북쪽에서 유입되는 다른 조석파의 영향으로 진행파의 형태로 변화된다. 각 정점의 조류의 주축방향 성분의 상관도 분석 결과 염하수로를 따라서는 0.9 정도의 상관도를 보여주며, 이후의 상류에 위치한 전류리 정점에서는 0.6 정도의 낮은 상관도를 보여준다. 전통적인 방법의 상대 위상차($2M_2 - M_4$)분석 방법을 적용한 결과 경기만 한강하구 대부분 지역은 창조가 우세 하지만, 조류의 통계분석과 지속시간 결과를 보면 낙조가 우세하고 낙조 지속시간이 긴 특성을 보여준다. 이러한 낙조 심화 현상을 보이는 이유는 M_2, M_4분조의 상대적 위상 차이와 담수유입 또는 조석, 조류의 비선형 효과에 의한 낙조방향으로의 비조류 성분의 증가 때문으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(해수순환 및 생태계변화 예측기술개발)

참고문헌

강주환 (2000). “우리나라 서남해역의 창·낙조우세와 황해에서의 조류타원도 회전.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권, 제II-2호, pp. 269-276.

국립해양조사원 (2002). 한강 임진강 유역에 대한 조위영향연구(II). 한국해양연구원, 한국건설기술연구원, BSPM 00080-00-1345-2.

김창식, 임학수, 김진아, 김선정, 박광순, 정경태 (2010). “경기만 조석 잔차류 산정 및 변동성.” **한국해안·해양공학회 논문집**, 한국해안해양공학회, 제22권, 제6호, pp. 353-360.

송용식, 우승범 (2011). “염하수로 인근에서 조석 변형과 장주기 조류성분의 변동 특성.” **한국해안·해양공학회 논문집**, 한국해안해양공학회, 제23권 제5호, pp. 393-400.

윤병일, 우승범 (2011). “조석 전파 특성을 활용한 한강하구 주요 수로의 지형학적 수렴과 바닥 마찰 간의 관계에 대한 연구.” **한국해안·해양공학회 논문집**, 한국해안해양공학회, 제23권 제5호, pp. 383-392.

인하대학교 (2003). 창후항 박지보수 및 창후리 교동간 항로보수를 위한 준설관련 해양조사 보고서. 해양과학기술연구소.

Aubrey, D.G., and Speer, P.E. (1985). “A Study of Non-linear Tidal Propagation in Shallow Inlet/Estuarine Systems. Part I: Observations.” *Estuarine, Coastal Shelf Science*, Elsevier, Vol. 21, No. 2, pp. 185-205.

Aubrey, D.G. (1986). “Hydrodynamic controls on sediment transport in well-mixed bays and estuaries.” Physics of Shallow Estuaries and Bays, Edited by van de Kreeke, J., Springer, Berlin, pp. 245-258.

Blanton, J.O., Lin G., and Elston, S.A. (2002). "Tidal current asymmetry in shallow estuaries and tidal creeks." *Continental Shelf Research, Elsevier,* Vol. 22, No. 11-13, pp. 1731-1743.

Cloern, J.E. (1987). "Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries." *Continental Shelf Research, Elsevier*, Vol. 7, No. 11-12, pp. 1367-1381.

Dronker, J. (1986). "Tidal asymmetry and estuarine morphology." *Netherlands Journal of Sea Research, Elsevier*, Vol. 20, No. 2, pp. 117-131.

Friedrichs, C.T., and Aubrey, D.G. (1988). "Nonlinear tidal distortion in shallow well mixed estuaries: A synthesis." *Estuarine, Coastal Shelf Science*, Elsevier, Vol 26, No. 5, pp. 521-545.

Ippen, A.T., and Harleman, D.R.F. (1966). "Tidal Dynamics in Estuaries." *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, Edited by Ippen, A.T., McGraw-Hill, New York, pp. 493-545.

Kang, J.W., and Jun, K.S. (2003). "Flood and ebb dominance in estuaries in Korea." *Estuarine, Coastal Shelf Science*, Elsevier, Vol. 56, No. 1, pp. 187-196.

Lanzoni, S., and Seminara, G. (1998). "On tide propagation in convergent estuaries." *Journal of Geophysical*, Research, AGU, Vol. 103, No. C13, pp. 30,793-30,812.

Nidzieko, N.J., and Ralston, D.K. (2012). "Tidal asymmetry and velocity skew over tidal flats and shallow channels within a macrotidal river delta" *Journal of Geophysical Research-Oceans*, AGU, Vol. 117, C03001, doi:10.1029/2011JC007384.

Park, K., Oh, J.H., Kim H.S., and Im, H.H. (2002). "Case study: Mass Transport Mechanism in Kyunggi Bay around Han River Mouth." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 128, No. 3, pp. 257-267.

Preisendorfer, R.W., and Mobley, C.D. (1988). Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography. Elsevier Science Ltd, 425 pp.

Pugh, D.T. (1987). Tides, surges and mean sea level: a handbook for engineers and scientists. Wiley, New York.

Robins, P.E., and Davies, A.G. (2010). "Morphological controls in sandy estuaries: the influence of tidal flats and bathymetry on sediment transport." *Ocean Dynamics, Springerlink*, Vol. 60, No. 3, pp. 503-517.

Seim, H., Blanton, J., and Elston, S. (2006). "Tidal circulation and energy dissipation in a shallow, sinuous estuary." *Ocean Dynamics, Springerlink*, Vol. 56, No. 3-4, pp. 360-375.

Speer, P.E., and Aubrey, D.G. (1985). "A study of nonlinear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems. Part II: theory." *Estuarine, Coastal Shelf Science*, Elsevier, Vol. 21, No. 2, pp. 207-224.

Speer, P.E., Aubrey, D.G., and Friedrichs, C.T. (1991). "Nonlinear hydrodynamics of shallow tidal inlet/bay system. Estuarine." Tidal Hydrodynamics, Edited by Parker, B.B., Wiley, Chichester, pp. 321-339.

Wang, Z.B., Jeuken, M.C.J.L., Gerritsen, H., De Vriend, H.J., and Kornman, B.A., (2002). "Morphology and asymmetry of the vertical tide in the Westerschelde estuary." *Continental Shelf Research*, Vol. 22, No. 17, pp. 2599-2609.

Woo, S.B., and Yoon, B.I. (2011). "The Classification of Estuary and Tidal Propagation Characteristics in the Gyeong-Gi Bay, South Korea." *Journal of Coastal Research*, CERF, Special Issue Vol. 64, pp. 1624-1628.

논문번호: 12-054	접수: 2012.05.25
수정일자: 2012.06.14/06.18	심사완료: 2012.06.18

View publication stats