

경기만 한강하구 조석 / 조류 전파 특성 Propagation Characteristic of Tide / Tidal Current at Kyunggi Bay

우승범¹, 윤병일²

Seung Bum Woo¹ and Byung il Yoon²

1. 서 론

경기만 해역은 수도권에 인접한 지리적 요인으로 인해 인천 국제공항, 시화 조력발전소, 송도 신도시, 인천남항 건설 등 크고 작은 개발사업이 지속적으로 진행되고 있다. 특히, 남북한 공동 골재 채취 계획, 북한 개성공단 및 수도권 물동량 소화를 위한 서울항(가칭) 추진 계획 등 경기만 개발 압력이 증가하는 추세이다. 그러나 하구역 개발에 따른 하구 생태계의 파괴에 대한 우려의 목소리도 커지고 있다. 하구역 보존, 개발과 관련된 과학적 의사결정을 위해서는 경기만 한강 하구역 해수유동과 관련된 퇴적물, 오염물질 이동 등을 이해하고 있어야 한다.

경기만 한강 하구지역의 경우 군사적 이유로 접근의 제한되어 있어 조석, 조류 관측 같은 기본적인 관측이 수행되지 못하였다. 하구지역의 물리적 특성에 관한 연구는 미비한 실정이지만 우리나라에서 거의 유일하게 인위적 개발에 노출이 안 된 지역으로 보존상태가 양호하여 하구역의 특징적인 물리적 현상을 이해하기에 좋은 장점이 있다. 외해에서 전파되는 조석파와 계절적인 한강 담수의 영향, 수심, 지형적 요인에 의해 비선형 천해분조가 강하게 작용하고 있다. 비선형 천해분조는 그 크기가 비록 크지 않더라도 조석 비대칭성을 유발하여 퇴적물 이동이나 오염 확산에 미치는 영향이 지대하므로 천해분조에 대한 관심이 높아지고 있다.

본 연구에서는 조석, 조류 관측자료 분석 및 경기만 수치모델링 모의를 통해서 하구역 물리적 현상을 이해하고 해수유동과 관련된 오염물질 확산과 퇴적물 이동에 관한 기본적인 척도를 제시하고자 한다.

2. 조석 전파 특성

한강 하구역의 경우 염하수로, 석모수로와 교동수로를 왕복하는 조석, 조류 운동과 담수 유입에 의해 해수 유동 시스템이 조절되고 있다. 이에 각 수로의 지형적 특성, 수심, 담수 유입량 등의 원인으로 인해 수로 별 특징적인 비선형 천해분조의 발생으로 조석파의 전파 양상이 수로 별로 특징적으로 나타난다. 분조의 진폭 변화는 하구역으로 진입할수록 천문조의 진폭은 감소하고, 비선형 효과에 의해서 천해분조의 진폭이 증가하고 있음을 알 수 있다. 강상류로 진입하면서 비선형 천해분조의 강도가 더욱 커지며 천문조와 천해분조의 상대 위상차를 정점별로 봤을 때 대부분 정점에서 상대 위상차가 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 사이로 Friedrichs and Aubrey (1988)의 연구 결과를 봤을 때, 창조 우세 현상이 뚜렷하게 나타나고 있다

3. 조류 전파 특성

Chapter 2의 조석 조화상수의 상대 위상차 분석 결과로 볼 때, 한강 하구역은 대부분 창조 우세 현상이라고 볼 수 있다. 그러나 조석 조화상수는 계절변동성, 담수의 유입량, 기상조건 같은 시간 변동성이 큰 외력 조건에 영향을 받기 때문에 Fig.5과 같이 2005년 11월~12월에 한강하구지역에서 조류 동시 관측을 수행하였다. 조류 관측 자료의 통계분석 및 조화분석을 통한 한강하구 지역의 조류 흐름 특성에 대한 분석 결과 조석의 M_2 분조의 감소율에 비하여 조류 M_2 분조의 감소율이 적었다. 그러나 M_4 분조의 증가율은 조류가 크기 때문에 진폭비의 증

1 인하대학교 해양학과 조교수

2 발표자: 인하대학교 해양학과 석사과정

가는 조류가 크게 된다. 수로를 따라 하구역으로 진입하면서 조석 보다는 조류가 비선형 효과의 영향을 더욱 받고 있다. 조류 변형이 수로를 따라서 변하는 양상을 보기 위해 각 정점 간 조류 관측 자료의 상관도 분석을 실시하였다. 분석 결과 적어도 인천항 이후 염하수로를 따라 흐르는 조류 변형 특성은 일정한 경향을 보이지만 이후 강화도 북쪽에서 진입하는 조석파의 영향으로 일정한 변화 양상을 보이지는 않는다.

동시에 관측된 조류 자료를 low pass filter 하여 잔차 흐름 분석을 수행하였다. 인천항과 강화대교 조위 자료, 행주대교 유입량은 본 연구의 공통 관측 기간과 같은 기간의 자료를 분석에 사용하였다. 분석결과 정점 별 잔차 특성에 가장 큰 영향을 미치는 인자들이 정점에 따라 차이가 나고 있음을 (Fig. 1 ~ 4)에서 확인할 수 있다. C5, C6 지역의 경우 한강 담수 유입량에 의한 잔차 성분과 상관도가 높으며 C1, C4의 경우 인천항 조위 자료의 잔차 성분과 유사함을 볼 수 있다. 한강 담수 유입량이 증가하고 인천항 조위 잔차 성분이 감소하는 시점에서는 C1, C4 정점에서 담수의 영향에 따른 잔차 흐름이 보여진다. 본 연구의 관측기간이 담수 유입량이 적은 동계 기간임을 감안 하더라도 경기만 외해로부터 진입하는 조석파의 영향 이상의 담수 잔차 성분이 작용하고 있다고 보여진다.

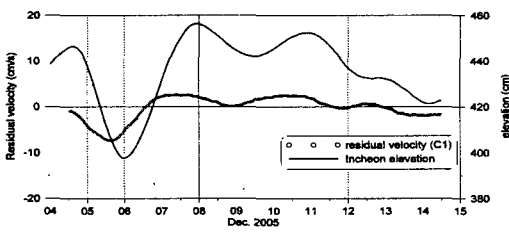


Fig. 1 Comparison of residual current between C1 and Incheon tide elevation.

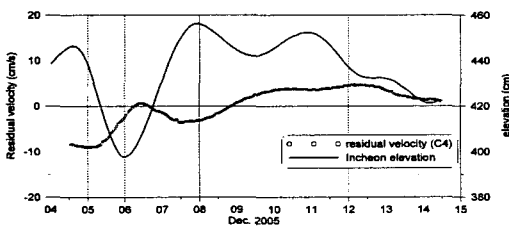


Fig. 2 Comparison of residual current between C4 and Incheon tide elevation.

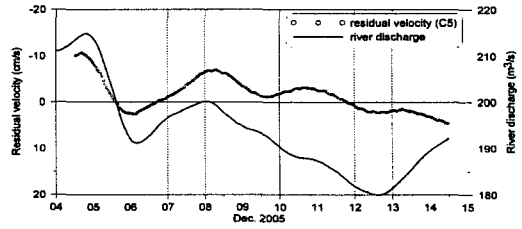


Fig. 3 Comparison of residual current between C5 and discharge of Han River.

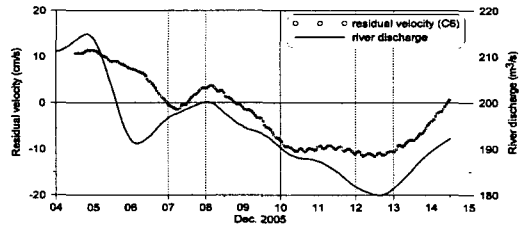


Fig. 4 Comparison of residual current between C6 and discharge of Han River.

4. 수치 모델 모의

본 연구에서 사용된 모델은 3차원/2차원 수치모델링이 가능한 EFDC (Environmental Fluids Dynamics Code)로써 조간대 모의가 가능하다. 조간대 모의에 관한 신뢰성을 검증하고자 쳐오름 현상을 모의하였다. 모의 결과 모델 내의 간석지 처리 능력이 상당히 높은 것을 확인할 수 있었다.

외해 개방경계조건으로 주요 4대 분조를 강제 진동 조건으로 하였다. 모델 격자 구성은 외해 조석파가 하구역으로 진입하면서 발생할 수 있는 반사파에 의한 왜곡현상을 최소화하기 위해 한강 상류까지 확장하였다. 모델 모의 영역 내의 55개 정점에 대하여 검·보증을 수행한 결과 외해 경계 지점을 비롯하여 하구역 정점의 모델 결과와 실제 관측 결과의 조화상수 값이 상당히 일치함을 확인하였다. 신뢰성이 확보된 모델을 이용하여 한강 담수량에 따른 조석/조류 전파 특성의 변화 양상을 살펴보았다. (Fig. 5 ~ 6)에서 보면 홍수기의 경우 M_2 의 진폭이 수로 입구에서 강 상류로 갈수록 감소하는 것을 볼 수 있으며, 이는 담수의 영향으로 파악된다. 그러나 진폭비를 보면 거의 일정한 것을 볼 수 있는데 M_2 의 감소에 따라 M_4 분조 또한 감소하기 때문이라고 사료된다.

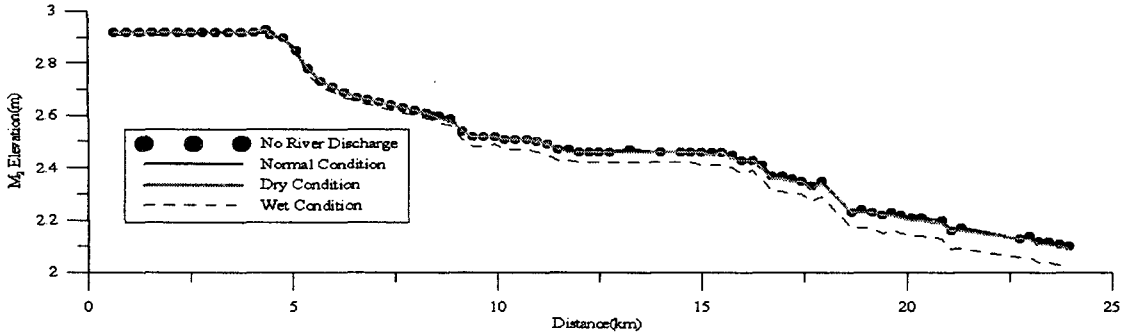


Fig. 5 Model results of change M_2 amplitude by river discharge at Yeumha waterway

5. 결 과

조석 자료의 위상차에 의한 창조 낙조 우세 현상을 분석한 결과 한강하구역으로 진입 할수록 창조 우세 현상이 뚜렷함을 알 수 있다. 조류 관측 결과 동계 관측 임에도 불구하고 담수의 영향이 상류로 진입하는 조석파의 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 수치 모델 모의 결과 담수의 영향에 따라 염하 수로, 석모수로의 조석 변형 특성이 다르게 나타나고 있다.

6. 결 론

한강하구역의 경우 외해에서 진입하는 조석파의 영향으로 강한 창조 우세 현상을 나타내고 있다. 그러나 계절적으로 담수 유입이 적은 겨울철에도 한강, 임진강 담수에 의해서 조석파가 크게 영향을 받고 있으며, 이는 비선형 천해분조에 의한 조석 비대칭 곡선에 지대한 작용을 할 것이다. 또한, 황해 전체 지역에서는 바람 성분에 의한 잔차 흐름도 형성될 수 있으나, 육지와 섬들에 둘러싸여 있는 경기만 한강 하구역의 경우 특별한 경우 이외에는 무시할 정도로 판단된다. 집중호우에 의해 담수 유입량이 증가하는 하계 홍수기에는 동계 보다 더 큰 담수 영향에 의해 잔차 성분 흐름이 존재할 것이다.

참고문헌

- 강주환 (2000). 우리나라 서남해역의 창조 낙조우세와 황해에서의 조류타운도의 회전. 대한토목학회논문집, 20(2-B), 269-276
- 김 원 (2001). 신평수중보와 조석운동을 고려한 한강 본류의 흐름특성. 대한토목학회논문집, 21(3-B), 305-314
- 신영재 (2001). 평수시 한강과 임진강에서의 조석전파특성 연구. 석사학위청구논문, 서울대학교
- 해양수산부, (2002). 한강 임진강 유역에 대한 조위 영향 연구(II).
- Dyer K.R., (1997). Chapter 3 Tides in Estuaries Estuaries: A Physical Introduction 2nd Edition (Ed : Dyer., K. R.) John Wiley & Sons Ltd
- Friedrichs, C.T. and Aubrey, D.G. (1988). Nonlinear tidal distortion in shallow well mixed estuaries: A synthesis. Estuarine Coastal and Shelf Science, 26, 521-54
- Hamrick, J.M. (1994). Application of the EFDC, environmental fluid dynamics computer code to SFWMD Water Conservation Area 2A. Report JMH-SFWMD-94-01, Williamsburg, VA.
- Kang, J.W. and Jun, K.S. (2003). Flood and ebb dominance in estuaries in Korea. Estuarine Coastal and Shelf Science, 56, 187-196
- Park, K., Oh, J.H., Kim, H.S. and Im, H.H. (2000). Case study: Mass Transport Mechanism in Kyunggi Bay around Han River Mouth. Journal of Hydraulic Engineering, 128(3), 257-267

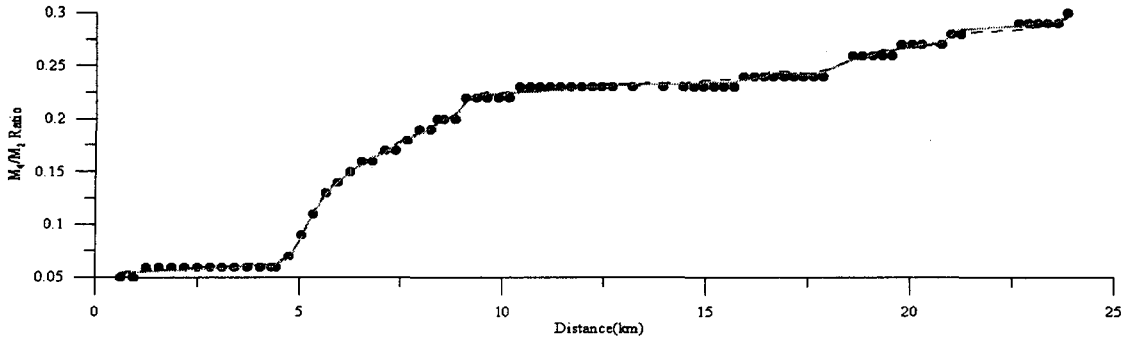


Fig. 6 Model results of change M_4/M_2 ratio by river discharge at Yeumha waterway

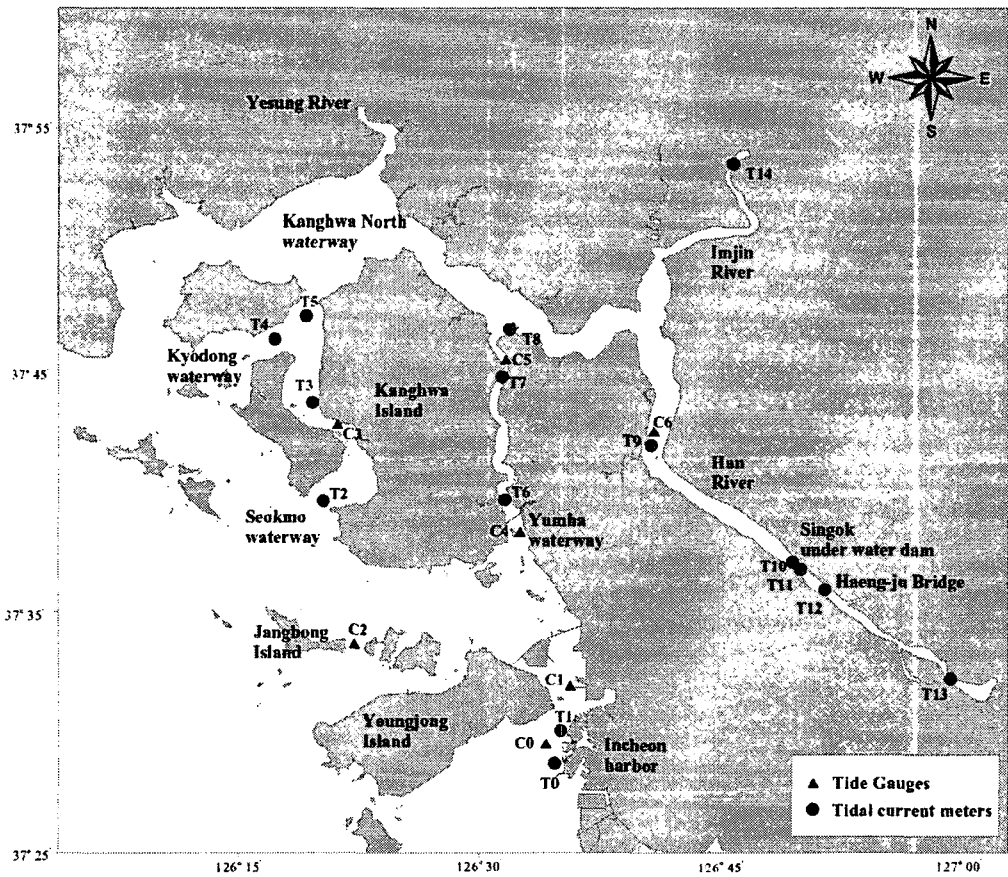


Fig. 7 The location of stations for the tide data (T0~T14) and current meter measurements (C0~C6)