

# 금강하굿둑과 각종 해안구조물 설치 전, 후의 금강하구역 해수유동 양상 비교

장창환  
특허청 건설기술심사과

## Comparison of Tidal Current Patterns at Keum River Estuary before and after Construction of Keum River Bank and Coastal Structures

Chang-Hwan Jang

Construction Technology Examination Division, Korean Intellectual Property Office

**요약** 해안구조물 설치 전, 후의 금강하구역 해수유동 양상을 CASE별로 비교하기 위해서 수심적분된 그리고 조간대 처리방법이 적용된 해수유동 수치모형인 FLOW2DH를 사용하였다. 실험조건은 해안구조물 설치 전(CASE1), 해안구조물 설치 후(CASE2), 배수갑문운영 추가(CASE1Q, CASE2Q) 및 현재 상태(CASE3)로 구성된다. CASE1의 경우, 자연형 하구의 안정화된 해수유동 양상을 보여주고 있고, CASE2의 경우, 설치된 해안구조물들로 인하여 금강하구역의 유속 및 유향에 변화가 발생하였다. 특히, CASE2의 개야수로 구간(P5~P9)은 CASE1과 대비하여 유속이 10~30% 크게 계산되었다. 금강하굿둑과 가장 가까운 군산 내항(P4)의 경우는, CASE1Q와 CASE2Q의 낙조 시 2.7시간의 배수갑문의 방류로 인하여 낙조 유속이 다른 CASE들과 비교하여 약 250~300% 빨라졌다. 이는 퇴적물이동에 영향을 줄 것이고, 나아가 해저지형변화를 야기할 것으로 예측된다. 현재 상태인 CASE3의 경우, 금강하구와 주변 해안역의 유속과 유향을 검토한 결과 안정화 단계로 접어들고 있는 것으로 판단된다.

**Abstract** The tidal current patterns at Keum River Estuary before and after the construction of coastal structures were compared according to the CASES. The depth-integrated and tidal difference treatment applied FLOW2DH numerical model was used for the tidal current predictions. The test conditions consisted of before construction of coastal structures (CASE1), after construction of coastal structures (CASE2), and the addition of watergate operation(CASE1Q and CASE2Q), and present (CASE3). CASE1 showed a stable tidal current pattern, such as a natural estuary. In CASE2, the tidal current velocities and directions of the Keum River Estuary were changed due to the installed coastal structures. In particular, the tidal current velocities of the Gaeya open channel sections (P5~P9) in CASE2 were calculated to be 10~30% larger than that of CASE1. In the case of the Gunsan Inner Harbor (P4), which is closest to the Geum River Estuary, the ebb flow rate was approximately 250~300% faster than that of other CASEs due to the discharge of the watergate operation for 2.7 hours during the ebb of CASE1Q and CASE2Q. This will affect sediment transport, and it is predicted to lead to seabed changes. CASE3 is considered to be entering the stabilization stage according to the simulation of the tidal current velocities and directions of the Keum River Estuary and the surrounding coastal area.

**Keywords** : Coastal Structure, Tidal Current, Watergate Operation, Sediment Transport, Seabed Change

\*Corresponding Author : Chang-Hwan Jang(Korean Intellectual Property Office)

email: cjang@korea.kr

Received February 8, 2021

Accepted April 2, 2021

Revised March 22, 2021

Published April 30, 2021

## 1. 서론

한강, 금강, 영산강 하구역은 조수간만의 차가 심한 천해역으로 수심변화가 심하여 해수유동 양상 및 해저지형 변화가 매우 복잡하다. 특히 금강하구 인근은 오랜 기간 각종 개발 사업으로 인하여 해안구조물들이 복잡한 형태로 설치되었고, 이는 금강하구 인근 해역의 해수유동 양상의 변화를 야기시켰다.

군산항은 1899년 개항된 이후 큰 주변 환경의 변화가 없었으나, 1990년도부터 최근까지 새만금 방조제 공사, 도류제 공사, 방파제 공사, 해망동 사주를 포함한 준설토 투기장 확장 공사(현재 금란도), 금강 하굿둑 공사와 같은 대규모 건설 공사 및 준설이 꾸준히 이루어졌으며[1, 2], 금강하굿둑의 배수갑문 운영 및 각종 개발 사업으로 인하여 금강하구 인근 해역의 해수유동 체계가 변화하고, 이로 인하여 해저지형의 변화가 발생하고 있다[3].

유호준 등(2019)과 조재갑 등(2017)은 금강하구 인근 해역의 해수유동에 대한 연구를 위해서 네덜란드 수자원 관리 연구소 델타레스(Deltares)에서 개발한 Delft3D-FLOW를 사용하였다[4, 5]. Delft3D는 하천, 하구, 연안을 대상으로 3차원 수치모의를 수행할 수 있으며, 해수유동, 퇴적물이동, 지형변화, 수질 등 다양한 모듈로 구성되어 있다[6]. 그러나 Delft3D는 상용 수치모델링 시스템으로 소스코드를 변경하기 어려워 다양한 조건들을 제어할 수 없다.

박기정 등(2012)은 Virginia Institute of Marine Science에서 개발한 3차원 수리동역학모델인 EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code)를 사용하여 보 설치 구간에서의 퇴적물질 확산모의를 수행한 바 있다[7]. EFDC는 공개 소스코드를 제공하고 있지만, 유체의 이동, 염분 및 온도 변화 모듈 외에도 부유물질의 이동, 부영양화 기작, 독성 오염물질의 이동 및 반응 등의 모듈들이 연계되어 있어 소스코드 변경 시 오류의 발생이 빈번하다.

본 연구에서는 각종 개발 사업으로 건설된 해안구조물들과 금강 하굿둑의 배수갑문 운영에 따른 해수유동 체계의 변화를 분석하기 위해서 자체 개발된 2차원 해수유동 수치모형(이하 FLOW2DH)을 사용하였다. FLOW2DH는 소스코드를 원하는 해양환경 조건(배수갑문 운영, 조건대 설정, 각종 파라미터 변경 등)에 따라 수정할 수 있다는 점에서 사용효과가 있다.

FLOW2DH 수치모형실험 결과를 통해 금강하구 인근 해역의 해안구조물 설치 전, 후의 유속 및 유향의 변화를

비교, 분석하였다.

## 2. 해수유동 수치모형

### 2.1 기본방정식

FLOW2DH 수치모형의 기본방정식은 3차원 연속방정식과 운동방정식에서 유도된다. 질량보존 법칙으로부터 유도되는 3차원 비압축성 유체의 연속방정식과 난류 유체의 운동량보존 방정식인 3차원 레이놀즈(Reynolds) 방정식을 수심방향으로 적분하면 수위와 수평방향 유속에 관한 다음의 식들이 된다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial(HU)}{\partial x} + \frac{\partial(HV)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - 2\omega(\sin\phi)V + \frac{fU\sqrt{U^2+V^2}}{8H} + g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial U}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial U}{\partial y} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + 2\omega(\sin\phi)U + \frac{fV\sqrt{U^2+V^2}}{8H} + g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial V}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial V}{\partial y} \right) = 0 \quad (3)$$

여기서  $t$ 는 시간,  $x$ 는 Cartesian 좌표계의 한 수평축,  $y$ 는 Cartesian 좌표계의  $x$ 축과 직교되는 다른 한 축,  $U, V$ 는 각각  $x, y$  방향의 연직평균수평유속 성분,  $H$ 는 총수심( $h + \xi$ ),  $h$ 는 평균수심,  $\xi$ 는 평균해면을 기준으로 한 해수위 상승높이,  $f = (8\tau_b)/(\rho|\vec{V}|^2)$ 는 Darcy-Weisbach의 마찰손실계수,  $\tau_b$ 는 해저면에서의 전단응력,  $\rho$ 는 해수밀도,  $g$ 는 중력가속도,  $D_x, D_y$ 는  $x, y$ 방향의 난류 확산/분산계수,  $\omega$ 는 지구자전 각속도,  $\phi$ 는 계산점 위도(군산 기준, 37.0°)이다[8].

개발된 FLOW2DH 수치모형은 금강하구 인근 해역의 해수유동 양상을 분석하는데 적합한 조건대 처리기법이 적용되었다.

조위의 상승 및 하강에 따라 노출되기도 하고 해수로 덮이기도 하는 조건대 해역의 처리는 Flather and Heaps(1975)에 의해 개발된 처리기법을 사용한다[9]. 이 기법은 격자 노출 여부와 유속 계산 여부를 다음의 조건중 하나가 만족하는지의 여부로 판단할 수 있다.

- ①  $H_i(t + \Delta t) > 0, H_{i+1}(t + \Delta t) > 0$  을 동시에 만족
- ②  $H_i(t + \Delta t) > 0, H_{i+1}(t + \Delta t) \leq 0$  을 동시에 만족



항 내부(P2)의 유속은 최대 0.05 m/s, 장항항 수로(P3)의 유속은 최대 1.38 m/s, 군산 내항(P4)의 유속은 최대 1.11 m/s, 개야수로 남서측(P5)의 유속은 최대 0.88 m/s, 개야수로 남동측(P6)의 최대 유속은 1.22 m/s, 개야수로 북서측(P7)의 최대 유속은 1.46 m/s, 개야수로 북동측(P8)은 1.55 m/s, 그리고 개야수로 북측 입구(P9)는 1.42 m/s로 낙조 시를 제외하고 CASE1과 개야수로 구간은 유속이 유사하게 계산되었다.

배수갑문 운영 시의 CASE2Q는 외항 주수로(P1)의 최대 유속이 1.16 m/s로 나타났으며, 군산 외항 내부(P2)의 유속은 0.02 m/s, 장항항 수로(P3)의 유속은 최대 1.19 m/s, 군산 내항(P4)의 유속은 최대 1.04 m/s, 개야수로 남서측(P5)의 유속은 최대 1.09 m/s, 개야수로 남동측(P6)의 최대 유속은 1.49 m/s, 개야수로 북서측(P7)의 최대 유속은 1.84 m/s, 개야수로 북동측(P8)은 1.77 m/s, 그리고 개야수로 북측 입구(P9)는 1.74 m/s로 낙조 시에 개야수로 구간의 유속이 비교적 타 CASE들보다 크게 계산되었다.

특히, Fig. 5에서와 같이, 금강하굿둑과 가장 가까운 군산 내항(P4)의 경우, CASE1Q와 CASE2Q의 낙조 시 2.7시간의 배수갑문의 방류로 인하여 낙조 유속이 다른 CASE들과 비교하여 약 250~300% 빠름을 알 수 있다. 개야수로(P5 내지 P9)의 경우, CASE3의 유속이 가장 느리게 나타났다(Fig. 6~Fig 9).

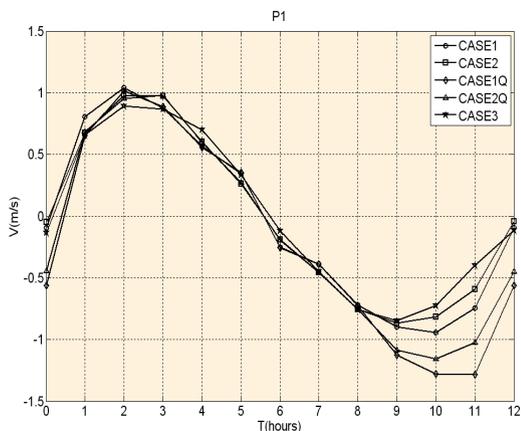


Fig. 2. Comparison of tidal current velocity for P1.

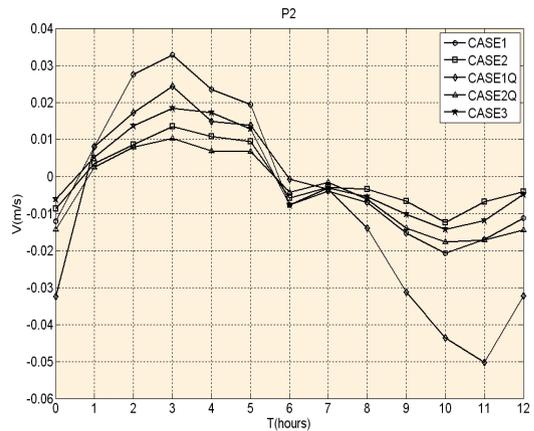


Fig. 3. Comparison of tidal current velocity for P2.

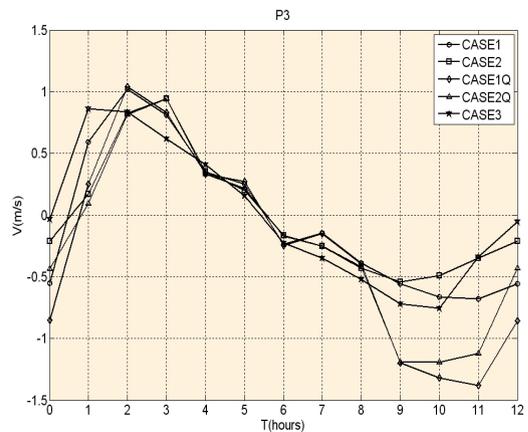


Fig. 4. Comparison of tidal current velocity for P3.

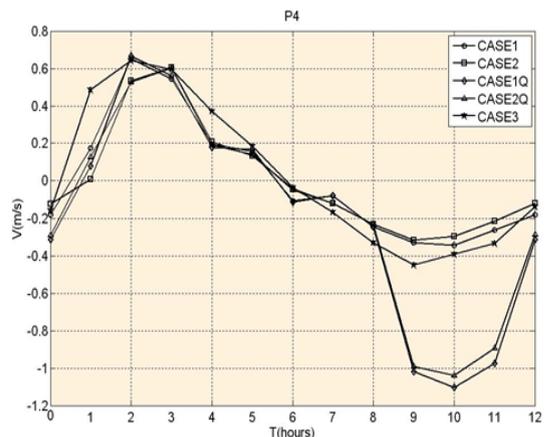


Fig. 5. Comparison of tidal current velocity for P4.

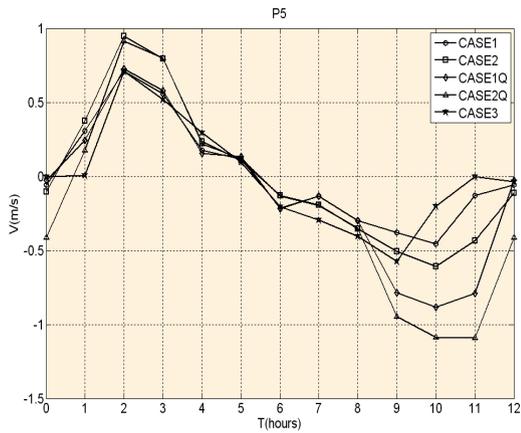


Fig. 6. Comparison of tidal current velocity for P5.

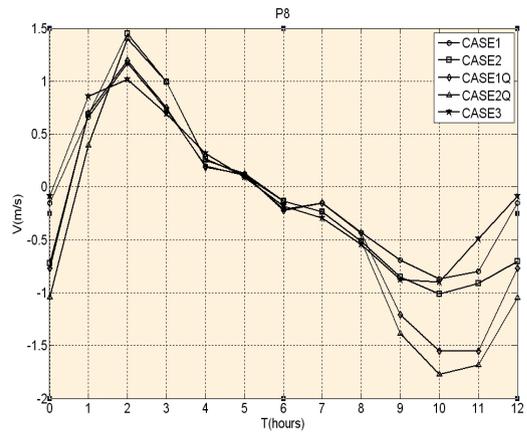


Fig. 9. Comparison of tidal current velocity for P8.

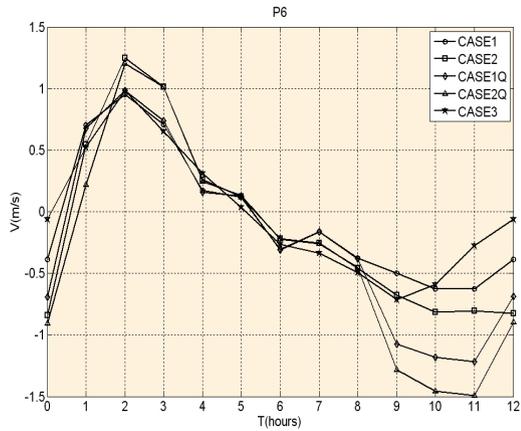


Fig. 7. Comparison of tidal current velocity for P6.

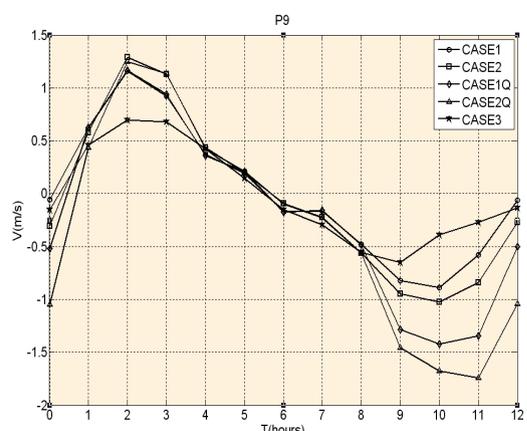


Fig. 10. Comparison of tidal current velocity for P9.

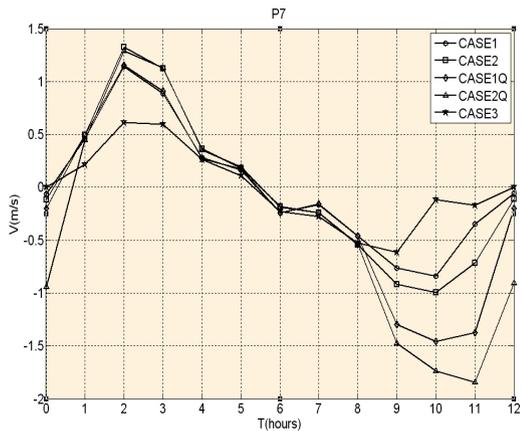


Fig. 8. Comparison of tidal current velocity for P7.

이는 현재 금란도의 완공과 장항항 서측 돌출 지형으로 인하여 개야수로 방향으로 해수가 원활하게 이동할 수 없기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 금강하굿둑의 배수갑문의 방류로 인한 유속 증가는 군산 내항(P4)의 침식을 유발했을 것으로 판단되고, 이 침식으로 인한 퇴적물들은 개야수로, 군산 외항, 북, 남측 도류제 인근으로 이동되었을 것으로 예측된다.

CASE3은 외항 주수로(P1)의 최대 유속이 0.89 m/s로 나타났으며, 군산 외항 내부(P2)의 유속은 0.02 m/s, 장항항 수로(P3)의 유속은 최대 0.86 m/s, 군산 내항(P4)의 유속은 최대 0.64 m/s, 개야수로 남서측(P5)의 유속은 최대 0.71 m/s, 개야수로 남동측(P6)의 최대 유속은 0.95 m/s, 개야수로 북서측(P7)의 최대 유속은 0.61 m/s, 개야수로 북동측(P8)은 1.01 m/s, 그리고 개

야수로 북측 입구(P9)는 0.70 m/s로 계산되었다. CASE3는 해안구조물의 완공 후 해저지형이 변화가 안정화되면서 유속이 CASE1과 비슷한 양상을 보이고 있다.

### 2.3.2 유향 비교

조석에 의한 조류이동 및 금강 하굿둑 배수갑문 운영에 따른 방류에 의한 해수유동 양상을 살펴보기로 한다.

CASE1은 자연형 하구로 오랜 시간에 걸쳐 해저지형이 안정화되어 있다(Fig. 11, 12 참조). 이에 반하여 CASE2는 창조 시 북측도류제, 서북측 방향으로 시공된 방파제공사 및 서측호안 상단에 의해서 해수유동이 급격하게 회전하고 있음을 알 수 있다(Fig. 13 참조). Fig. 11 내지 Fig. 14와 같이, 개야수로의 유향은 CASE1과 CASE2 모두 유사하게 나타났다. 하지만 Fig. 13과 같이, CASE2의 경우 금란도의 완공으로 인하여 창조 시 유입되는 조류의 유향이 원활하게 금강하굿둑으로 진행하지 못하고 북동쪽으로 회전하는 것을 알 수 있었고, 유속이 순간적으로 증가됨이 나타나므로, 금란도의 서측은 침식이 발생할 것으로 예측되었다.

Fig. 16, 18에서 보이는 바와 같이, 배수갑문 운영 시인 CASE1Q와 CASE2Q의 경우를 살펴보면, 전반적인 유향은 CASE1과 CASE2와 별 차이 없으나, 배수갑문의 개방에 따른 방류로 인하여 유속 및 유량에는 큰 차이가 있음을 보여주고 있다.

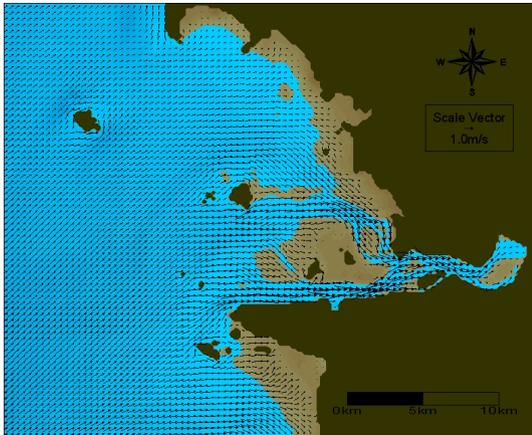


Fig. 11. Tidal current vectors at 3 (lunar time) for CASE1.

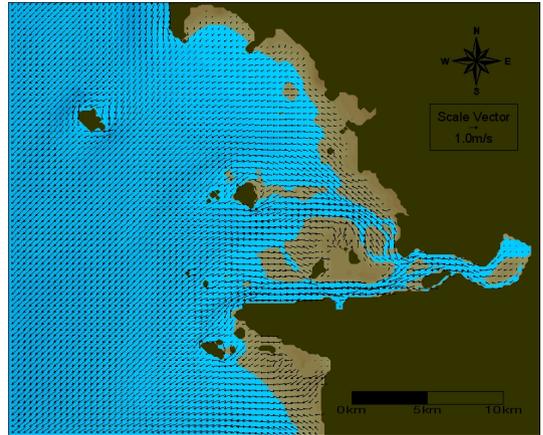


Fig. 12. Tidal current vectors at 9 (lunar time) for CASE1.

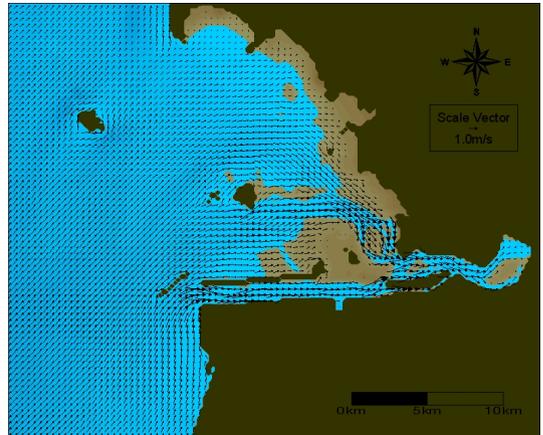


Fig. 13. Tidal current vectors at 3 (lunar time) for CASE2.

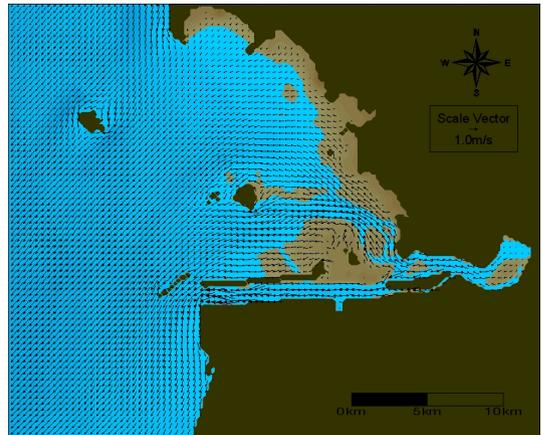


Fig. 14. Tidal current vectors at 9 (lunar time) for CASE2.

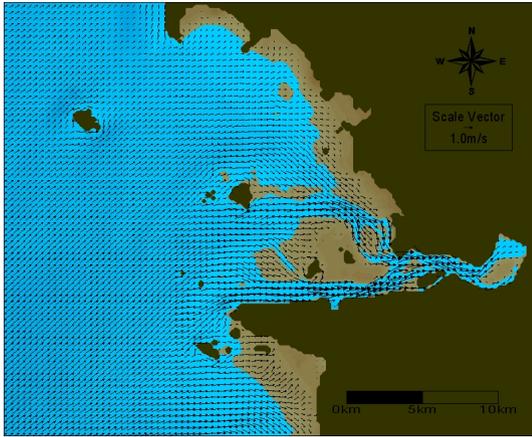


Fig. 15. Tidal current vectors at 3 (lunar time) for CASE1Q.

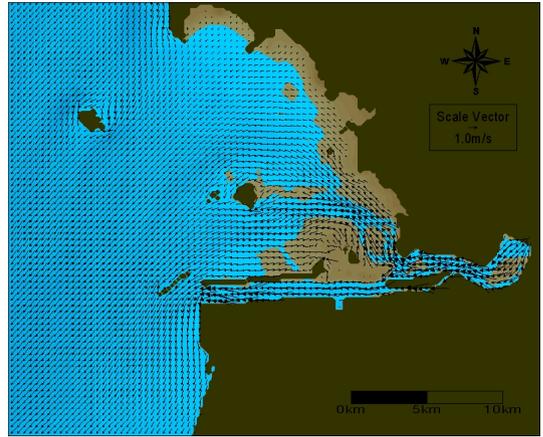


Fig. 18. Tidal current vectors at 9 (lunar time) for CASE2Q.



Fig. 16. Tidal current vectors at 9 (lunar time) for CASE1Q.

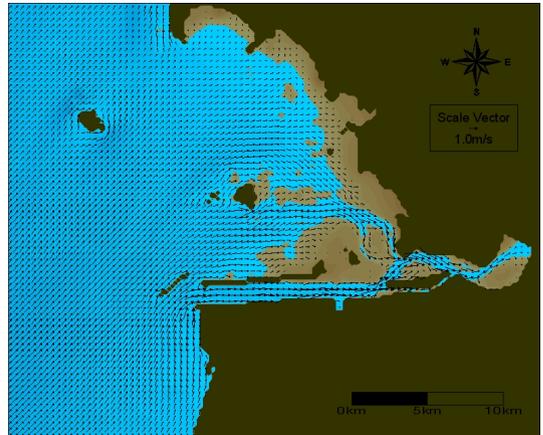


Fig. 19. Tidal current vectors at 3 (lunar time) for CASE3.

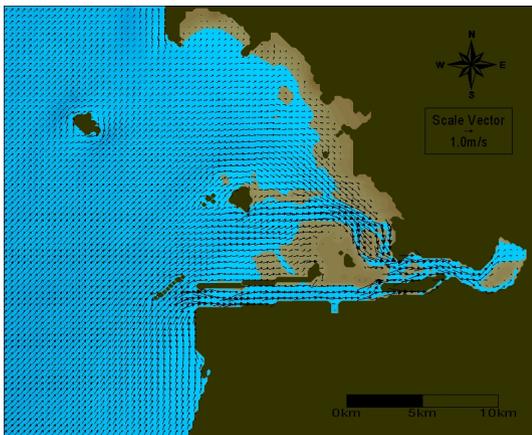


Fig. 17. Tidal current vectors at 3 (lunar time) for CASE2Q.

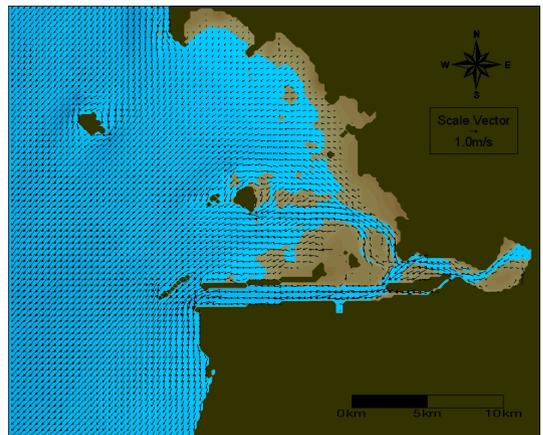


Fig. 20. Tidal current vectors at 9 (lunar time) for CASE3.

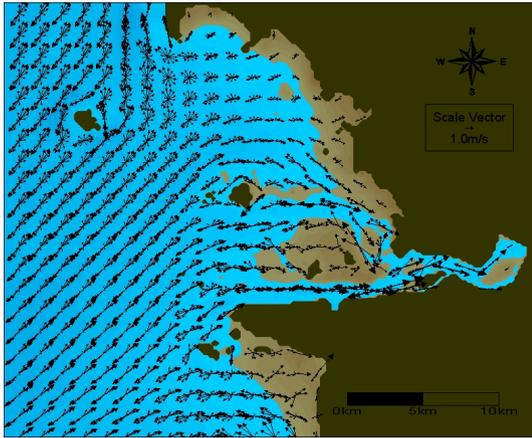


Fig. 21. Tidal ellipse diagram for CASE1.

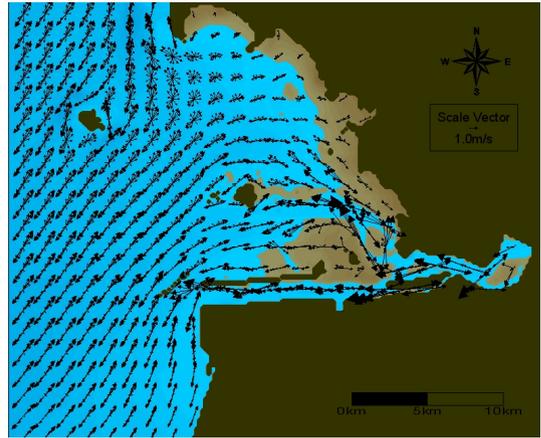


Fig. 24. Tidal ellipse diagram for CASE2Q.

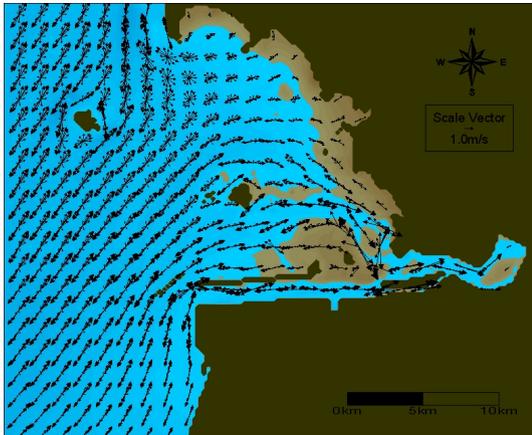


Fig. 22. Tidal ellipse diagram for CASE2.

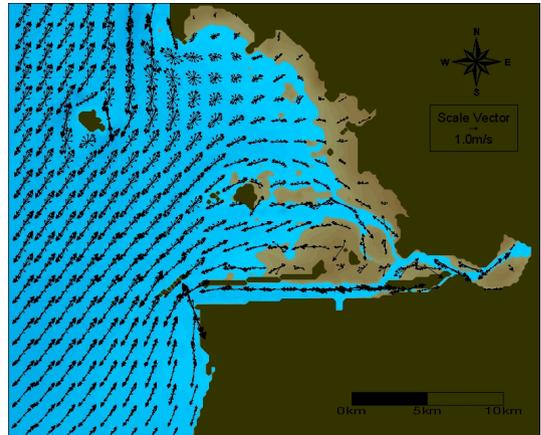


Fig. 25. Tidal ellipse diagram for CASE3.

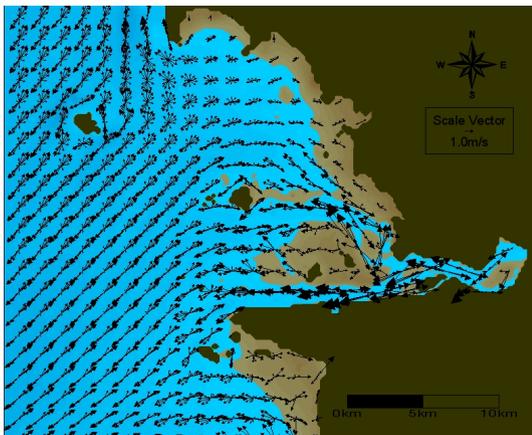


Fig. 23. Tidal ellipse diagram for CASE1Q.

특히 Fig. 18을 살펴보면, 배수갑문 방류 시 금란도에 의해 유향이 서측 방향으로 원활히 이동하지 못하고 북서 방향으로 이동하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 19, 20에서와 같이, CASE3는 각종 해안구조물의 완공 및 준설 등에 따라 장기간 개야수로의 해저지형이 변화한 것을 볼 수 있는 바, 개야수로에 퇴적물이 쌓이면서 CASE1에 비해 넓은 조간대가 형성된 것을 알 수 있다. 이로 인하여 개야수로 인근은 창조와 낙조 시 모두 유속이 느려지고 유출입 유량도 적어졌음을 알 수 있다. 하지만 현재까지도 금강하굿둑의 배수갑문이 운영되고 있는 실정이므로 배수갑문에서 방류되는 유량과 유속에 의해서 개야수로의 침식이 발생되는지 퇴적이 발생되는지는 현실적으로 명확히 규명할 수 없다.

Fig. 21 내지 Fig. 25는 각 CASE별 조류타원도를 도시화한 것이다. 1개의 조류타원은 1시간 당 1개의 벡터를 한 공간에 중첩한 것으로, 본 연구에서는 12시간에 대한 12개의 벡터가 타원을 이루고 있다. CASE2가 CASE1에 비해서 개야수로 및 북, 남측 도류제 사이의 유속이 증가됨을 알 수 있다(Fig. 21, 22 참조). 배수갑문 운영 시에도 CASE2Q가 CASE1Q에 비해서 개야수로 및 북, 남측 도류제 사이의 유속이 증가됨을 알 수 있다(Fig. 23, 24 참조). 이는 해안구조물의 설치에 의해서 금강하구역 인근의 해수유동 양상이 변화했다는 것을 의미한다.

특히, 해망동 사주와 준설토 투기장 확장공사로 만들어진 금란도를 기점으로 하여 해수유동 변화가 크게 발생하였다. CASE1과 CASE1Q에서는 해망동 사주만 형성되어 있어 배수갑문 운영 시 하천 유량과 낙조 시 해수의 대부분이 서측으로 이동하는데 반해 CASE2와 CASE2Q에서는 금란도가 배수갑문 운영 시 하천 유량 및 낙조 시 해수가 서측으로 이동하는 것을 일부 차단하여 해수유동 양상이 개야수로 쪽으로 변화함을 알 수 있다. Fig. 25와 같이, CASE3는 조류타원도의 해수유동 양상도 안정화 단계로 보인다.

### 3. 결론

해안구조물 설치 전, 후의 금강하구역 인근 해안역의 해수유동 양상 변화에 대하여 분석하였다. 분석 결과 해안구조물 설치 전은 자연형 하구로 해수유동의 흐름이 완만하다(CASE1). 그러나 CASE2와 같이 해안구조물 설치 후에 유속 및 유향의 변화가 발생하였고, 이로 인하여 퇴적물이동의 변화가 야기되고, 이는 곧 해저지형 변화로 이어진 것을 예측할 수 있다. 금강 하굿둑의 방류도 퇴적물 이동과 해저지형변화에 영향을 미쳤을 것이라고 예측된다. 특히 개야수로 인근의 평균 유속이 낙조시 CASE1에서 0.74 m/s, CASE2에서는 0.89 m/s로 계산되었다. 또한 배수갑문 운영 시 CASE1Q에서는 1.31 m/s, CASE2Q에서는 1.59 m/s로 계산되었다. 이는 각종 해안구조물들의 건설로 인하여 낙조시 개야수로의 유속이 증가한 것으로 판단되고, 금란도를 기점으로 개야수로 및 북, 남측 도류제 인근의 해수유동의 변화가 가장 활발하였다. CASE3인 현재 금강하구역과 주변 해안역은 유속과 유향을 검토한 결과 안정화 단계로 접어들고 있는 것으로 판단된다.

본 연구는 앞으로 서, 남, 동해안의 해안구조물의 신설 및 리모델링 등에 따른 해수유동의 양상을 예측할 수 있는데 기여할 수 있고, 해수유동 수치모형인 FLOW2DH는 수심적분 2차원 평면 수치모형이므로 수심방향으로 유속분포를 얻을 수 없다는 한계가 있으나, 파랑변형 수치모형과 연동하여 해안류 변화 예측을 수행하는 것이 가능하고, 더불어 퇴적물이동 수치모형과 연계하여 퇴적물 이동 확산 범위 및 지형변화에 대한 예측을 수행할 수도 있다.

본 연구의 결과물을 토대로 향후 연구에서는 금강하구역의 퇴적물 이동 및 지형변화에 대한 분석 결과를 제시하고자 한다.

### References

- [1] Gunsan Regional Office of Oceans and Fisheries, A Survey Report of Hydrodynamic Characteristic Changes at Keum River Estuary, 2002.
- [2] Gunsan Regional Office of Oceans and Fisheries, A Survey Report of Hydrodynamic Characteristic Changes at Keum River Estuary, 2004.
- [3] T. KIM, Hydrodynamics and Sedimentation Processes in the Keum River Estuary, West Coast of Korea, Ph.D. dissertation, Sungkyunkwan University, 2002. pp.1~71.
- [4] H. Yoo, J. Cho, T. Kim, S. Park, S. Lee, "Analysis of Sediment Transport Characteristics in Geum Estuary Using Delft3D Numerical Model" *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Annual Conference*, Korean Society of Coastal Disaster Prevention, Jeju, Korea, p.109, 2019.
- [5] J. Cho, Y. Song, T. Kim, E. Jeong, "A Integrated Numerical Model Development of Geum River Estuary with Watershed-River-Estuary" *Proceedings of Cooperation Spring Conference*, Journal of Korean Society on Water Environment, Gwangju, Korea, pp.106-107, March 2017.
- [6] Deltares systems, Delft3D-FLOW, User Manual, Version: 3.15, 2021, Deltres, Netherlands, pp.7-10.
- [7] G. J. Park, M. J. Jung, H. S. Kim, Y. Kim, J. Y. Yoo, "The Review of Models for Effect of Sediment in Weir Section", *Proceedings of the KAIS Spring Conference*, Korea, pp.348-351, May 2012.
- [8] H. Kim, Three Dimensional Sediment Transport Model, Ph.D. dissertation, University of Liverpool, 1993. pp.15~140.
- [9] R. A. Flather, N. S. Heaps, Tidal computations for Morecambe Bay. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*. Vol.42, No.2, pp.489-517, 1975. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1975.tb05874.x>

- [10] S. J. Kang, Y. K. Park, "Comparative Analysis for Numerical Modeling of Tidal Current on Geum River Estuary." Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.11, No.9, pp.3583-3589, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.9.3583>
- 

장 창 환(Chang-Hwan Jang)

[정회원]



- 2007년 5월 : Florida Institute of Technology, Ocean Engineering (공학석사)
- 2010년 2월 : 국민대학교 국민대학원 건설시스템공학과 (수공학박사)
- 2011년 8월 ~ 현재 : 특허청 건설기술심사과 책임심사관

<관심분야>

하천공학, 해안공학, 특허법, 디자인보호법