



# Impact of the coastal structures on the water circulation near Gusipo coast, Yellow Sea, Korea

Kim, Cha-Kyum<sup>a\*</sup> · Park, Il Heum<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Professor, Department of Industrial Safety Engineering, University of Gyeongnam Namhae, Namhae, Korea

<sup>b</sup>Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu, Korea

Paper number: 22-051

Received: 13 August 2022; Revised: 5 October 2022; Accepted: 6 October 2022

## Abstract

Field measurements and numerical simulations using EFDC model were performed to quantify the changes of water circulation near Gusipo coast located in the Yellow Sea of Korea to estimate the impact of the construction of the coastal structures (jetty, groin, Gusipo port and bridge). The model predicted tide and tidal currents agreed reasonably well with the measurements. The maximum currents during spring tide near the Gusipo Beach (GB) have the range of 20~40 cm/sec whereas those off the GB range from 60 to 80 cm/sec. The typical patterns of tidal current show parallel with the local isobath. Tidal currents flow northeastward during the flood tide whereas the currents during the ebb tide flow southwestward. The current speeds at shielded waters after the construction of coastal structures strongly decreased as compared with those before the construction. The tidal volume due to the construction of coastal structures was estimated using the depth averaged velocity for 24 hours of spring tide. Tidal volume after construction of coastal structures was compared with initial state (before construction). Tidal volume at present state (after construction of jetty, groin, Gusipo port and bridge) decreased by 28.4% as compared with that of the initial state. The volume after construction of jetty and groin decreased by 21.3%, and the volume after construction of Gusipo port and bridge decreased by 9.8%.

**Keywords:** Tide, Tidal current, Coastal structure, EFDC, Numerical modeling

## 서해 구시포 해안에서 해수유동에 미치는 구조물의 영향

김차겸<sup>a\*</sup> · 박일흠<sup>b</sup>

<sup>a</sup>경남도립남해대학교 산업안전관리과 교수, <sup>b</sup>전남대학교 수산해양대학 조선해양공학과 교수

## 요 지

서해안에 위치한 구시포 해안에서 구조물 설치에 해수유동의 변화에 미치는 영향을 해석하기 위해 조석·조류의 현장관측과 EFDC 모형을 이용하여 수치모형실험을 수행하였다. 해수유동 모델의 재현성을 검토하기 위하여 조석·조류의 모델 결과와 현장관측 결과를 비교·검증하였으며, 검증결과 비교적 서로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 구시포 해수욕장 전면해역에서 최강 유속분포는 약 20~40 cm/sec이고, 해수욕장 외해에서는 60~80 cm/sec로 나타났다. 구시포 해안에서 전형적인 해수유동 패턴은 등수심선에 평행하며, 창조시에는 북동방향으로 유입하고, 낙조시에는 남서방향으로 유출되는 특성을 보였다. 구조물의 설치로 인한 조류의 유속 및 유량의 변화율을 대조기 24시간 동안 평균유속을 이용하여 산출하였다. 전반적인 유속의 변화는 구조물의 설치로 인하여 차폐된 해역은 유속이 크게 감소하고, 구조물의 외해 영역에서는 유속이 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 구시포 해안의 해수유동 변화에 영향을 미치는 각 구조물의 영향은 초기상태(모든 구조물 설치전)를 기준으로 했을 때, 유량의 변화율은 ① 현 상태(방류제·돌제, 구시포항·연륙교 설치)에서는 약 28.4%, ② 방류제·돌제만 있을 경우는 약 21.3%, ③ 구시포항·연륙교만 있을 경우는 약 9.8% 감소하는 것으로 나타났다.

**핵심용어:** 조석, 조류, 해안 구조물, EFDC, 수치모델링

\*Corresponding Author. Tel: +82-55-254-2532  
E-mail: kick@namhae.ac.kr (Kim, Cha-Kyum)

## 1. 서론

본 연구 대상해역인 서해안에 위치한 구시포 해안(Fig. 1)에는 여러 형태의 구조물(방류제, 돌제, 구시포항, 구시포항 연육교)이 설치되어 주변 해역의 해수유동과 구시포 해수욕장의 침식·퇴적 문제를 일으키고 있다. 구시포 해수욕장의 총연장은 1,486 m, 해변폭은 80~190 m, 저질특성은 모래 또는 이토질 모래로 구성되어 있다. 연안의 활용 증가에 따른 개발 또는 해수유동 및 퇴적물의 이동을 제어하기 위해 인위적으로 구조물을 설치하는 사례가 많다. 특히 해수욕장 주변에 구조물을 설치하여 예기치 못한 침식이나 퇴적이 발생하여 해수욕장의 기능을 감소시키거나 상실하게 하는 경우도 발생하고 있다. 해안에서 구조물의 설치는 해수유동의 변화나 파랑변형 등을 유발시켜 결국에는 해안의 지형이 변화하게 된다. 인간의 레저 활동 등 해안에서의 활동은 갈수록 증가하게 되고, 자연적으로 해수욕장 및 해안의 공간 활용도가 높아지고 또한 경제적인 가치도 증가되고 있다. 따라서 해안의 공간적인 활용, 특히 해수욕장의 해변 침식과 퇴적 문제와 관련된 관리와 해수욕장의 지속적인 보전은 대단히 중요한 문제이다. 연안의 개발과 활용의 증가에 따라 해안에서 구조물 설치로 인한 조류, 해빈류 및 지형변화 등에 대한 연구도 활발히 수행되고 있다. Lee *et al.* (2014)은 구시포 해안에서 현장관측과 수치실험을 수행하여 연안류에 미치는 해빈류의 영향을 해석하였는데, 연안류에 미치는 해빈류의 영향이 미미하다는 결과를 제시하였다. Suh *et al.* (2007)은 서해안 구시포 해안에서 2차원 ADCIRC 모형을 이용하여 구조물(돌제) 설치 전후 유속과 저면 전단응력을 산정하여 퇴적물의 침식과 퇴적을 해석하기 위한 기초연구를 수행하였다. Kim (2014)은 남해도 옹강만에 위치한 두곡-월포 해수욕장 배후 도시의 방재대책을 수립하기 위해 수치모형실험을 수행하여 구조물 설치에 따른 해수순환 변동 특성을 해석하였다. 구조물 설치로 인한 조석이나 조류 등 해수유동 변화를 해석하고 예측하는 기법으로는 수리모형실험과 수치모형실험이 있는데 수리모형실험은 대규모의 실험장치, 시간, 인력 및 경비가 소요되기 때문에 연구수행이 쉽지 않은 실정이다. 따라서 현장의 여러 환경조건을 고려하는데 다소의 문제점이 있지만, 시간적으로나 비용측면에서 효율적이라고 할 수 있는 수치모형실험에 의존하고 있는 실정이다.

국내에서 3차원 해수유동모델의 개발과 활용은 1990년대부터 연구되어 왔으나(Kim *et al.* 1993, 1999; Kim and Lee, 1994; Jung, 1998 등), 최근에 와서는 연구와 사업수행과정에서 국내에서 개발된 모델의 사용에 대한 제약조건 등으로 인해 해외에서 개발된 모델(EFDC, FLOW-3D, ECOMSED,

Delft3D 등)을 주로 사용하고 있는 실정이다. Kim and Lee (1994)는 3차원 경압해수유동 모델을 개발하여 부산 수영만에 적용하였으며, 또한 Kim (1994)은 3차원 해수유동 모델을 진해만에 적용하여 진해만의 조류와 취송류 특성을 해석하였다. Jung (1998)은 유한요소법으로 3차원 해수유동 모델을 개발하여 진해만에 적용하여 모델의 정확성을 검증하였다. Kim *et al.* (1999)은 3차원 layer-level 혼성 해수유동 모델을 개발하였으며, Kim and Lee (2000)은 3차원 수질모델을 개발하여 진해만에 적용하여 진해만의 용존산소 분포 특성을 3차원적으로 해석하였다.

서해연안은 지속적인 해안개발 사업으로 인해 조석, 조류, 해류, 해빈류, 밀도류, 취송류, 해저지형 또는 해수욕장의 침식·퇴적이 사회적인 문제로 대두되고 있으며, 이와 관련된 연구도 활발히 진행되고 있다. Kang *et al.* (2005)은 군산과 목포 지역의 하구연과 방조제 건설에 따른 해수면의 변동에 대한 연구를 수행하였으며, 목포항의 경우 연암방조제와 금호방조제 건설 이후 평균고조위 상승이 뚜렷하게 나타난다고 밝혔다. Kwon and Kang (2007)는 EFDC모형을 이용하여 남동해안(포항 해안)에서 남서해안(목포 해안) 걸쳐 조석과 조류에 대한 수치모형을 광역적으로 수행하여 격자간격의 크기에 따른 EFDC모형의 정확도를 해석하였다. Park and Lee (2008)는 Delft3D 모형을 이용하여 아산만 방조제 배수갑문의 확장공사에 따른 주변해역의 해수유동변화를 2차원적으로 해석하였다. Jung and Choi (2010)는 목포연안에서 조석과 조류 관측 및 수치모형실험을 통해 조류의 비선형성 증가와 낙조류 우세현상이 뚜렷하게 발생한다는 것을 재확인하였다. Kang *et al.* (2011)은 목포 연안의 청계만 해역에서 EFDC 모형과 ESCORT모형을 이용하여 3차원 해수유동모형의 적용성을 검토하였으며, 연직유속분포 계산에 있어서는 EFDC 모형이 ESCORT모형보다 우수하다는 결과를 보여주었다. Bang *et al.* (2013)은 영산강 하구둑 방류로 인한 하구에서 해수순환과 퇴적물의 이동 특성에 대한 연구를 하였다. Jung *et al.* (2013)은 하계 천수만에서 ADCP를 이용한 유속 관측과 바람자료를 이용하여 조류와 잔차류의 특성을 해석하였다. 천수만에서 조류는 창조류가 낙조류보다 우세하는 것으로 나타났고, 잔차류는 바람과 담수의 유입에 의해 영향을 받는 것으로 연구되었다. Kim and Park (2013)은 서해안 구시포 해안에서 구조물의 설치가 주변해역의 해수유동에 미치는 영향을 해석하였다. Jung (2016)은 국립해양조사원의 자료를 활용하여 서해연안에서 조석의 경년변화를 해석하였으며, 특히 반일주조의 위상이 빨라진다는 연구결과를 제시하였다.

본 연구에서는 구시포 해안에 설치된 구조물(방류제, 돌제, 구시포항, 구시포항 연육교)에 따른 해수유동의 변화를 해석하고자 한다. 연구방법은 조석·조류의 현장관측과 조간대 처리가 가능한 3차원 해수유동모형인 EFDC (Environmental Fluid Dynamic Code) 모델을 사용하였다. 구시포 해안의 해수유동변화에 미치는 구조물의 영향을 해석하기 위해 구조물이 설치되기 전의 상태(초기상태)를 기준으로 하여 각각의 경우(현 상태, 구시포항·연육교 설치 후, 방류제·돌제 설치 후)에 대해 단계별 해수유동 수치실험을 수행한 후, 이러한 각종 구조물이 구시포 해안의 해수유동변화에 미치는 영향을 해석하고자 한다.

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1 현장관측 및 수치모형실험

#### 2.1.1 조석조류 현장관측

구시포 해안의 조석과 조류의 특성을 파악하기 위해 Fig. 1의 St. C1(35° 26' 35.7" N, 126° 25' 29.0" E) and C2(35° 27' 28.1" N, 126° 24' 33.7" E)에서 2011년 하계부터 2012년 춘계까지 계절별로 다중 도플러 유속계(ADCP 600 khz와 1200 khz)를 사용하여 10분 간격으로 30일간 조석조류를 관측하였다. 조류 관측은 TRBM (Trawl Resistant Bottom Mount)을 이용하여 ADCP를 저층 계류하는 방법을 사용하여 연직방향으로 0.25~0.5 m 간격으로 관측하였다. St. C1에서는 ADCP 1200 khz를

사용하였고, 관측수심은 DL 기준 2 m이기 때문에 층별 관측이 사실상 의미가 없다. St. C2에서는 ADCP 600 khz를 사용하였고, 관측수심은 DL 기준 6 m이며, 저층 관측지점은 저면으로부터 약 2 m, 중층은 저면으로부터 약 4 m, 표층은 저면으로부터 약 6 m 지점이다. 관측기간은 2011.08.06~2011.09.05(하계), 2011.10.07~2011.11.06(추계), 2012.01.06~2012.02.05(동계), 2012.04.06~2012.05.06(춘계)이다. 또한 St. C1 and C2에서 조위 관측결과와 동기인 영광 조위관측소인 Fig. 1의 St. YG(35° 25' N, 126° 25' E)에서 자료들을 수집 분석하여 구시포 해수욕장 주변해역의 조석특성을 해석하였다.

#### 2.1.2 조석조류 수치모형실험

조류는 Fig. 1의 St. C1 and C2, 조석은 Fig. 1의 St. C1, C2 and YG에서 관측 자료와 모델 결과와의 비교·검증을 통해 모델의 각종 조건들을 지정한 후 현 상태의 해수유동을 재현하였다. 그리고 동일한 경계조건 상태에서 구시포항·연육교 설치 후, 방류제·돌제 설치 후, 구조물이 없는 경우(초기조건) 지형조건을 적용하여 각각에 대하여 수치계산을 수행하였다. 구시포 해안의 해수유동변화에 미치는 구조물의 영향을 검토하기 위해 구조물 설치되기 전의 상태(초기상태)를 기준으로 각각의 경우(① 현상태, ② 방류제·돌제 설치 후, ③ 구시포항·연육교 설치 후)에 대해 해수유동 변화를 계산하고, 이러한 각종 구조물이 구시포 해안의 해수유동변화에 미치는 영향을 해석하였다. 즉, 현 상태의 지형조건에서 수치모형의 검증을 수행한 후 Table 1 및 Fig. 2에 나타난 4가지 CASE에 대하여 수치계산을 수행하였다. Fig. 1에서 ① CASE 1은 현재 상황(방류제·돌제, 구시포항·연육교 설치), ② CASE 2는 방류제·돌제만 설치했을 경우, ③ CASE 3은 구시포항·연육교만 설치했을 경우, ④ CASE 4는 구조물이 설치되기 전의 초기상태이다. 구조물이 설치되기 전인 CASE 4(초기상태)를 기준으로 하여 각종 구조물 설치가 구시포 해안의 해수유동변화에 미치는 영향을 해석하였다.

3차원 조석·조류 수치모형실험의 격자간격은 50 m~400 m의 직교 가변 격자로 구성하였고, 연직격자수는 5 level, 시간

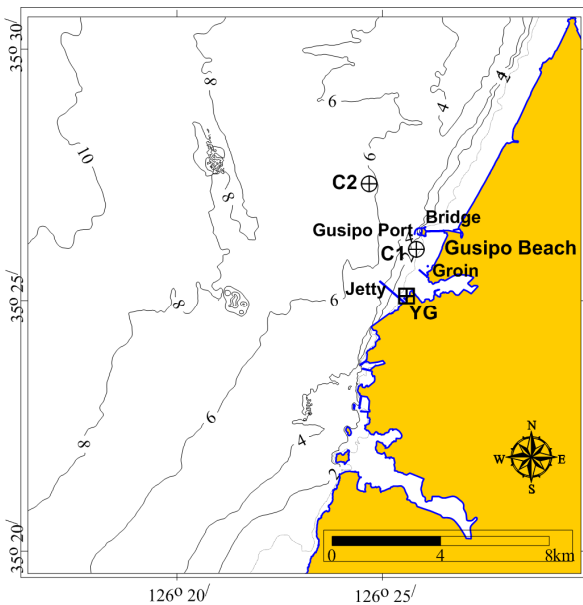


Fig. 1. Model domain and data sites near Gusipo coast

Table 1. Computational cases of tide and tidal current

CASE	Condition
CASE 1	Present state (after construction of jetty, groin, Gusipo port and bridge)
CASE 2	After construction of jetty and groin
CASE 3	After construction of Gusipo port and bridge
CASE 4	Initial state (before construction)

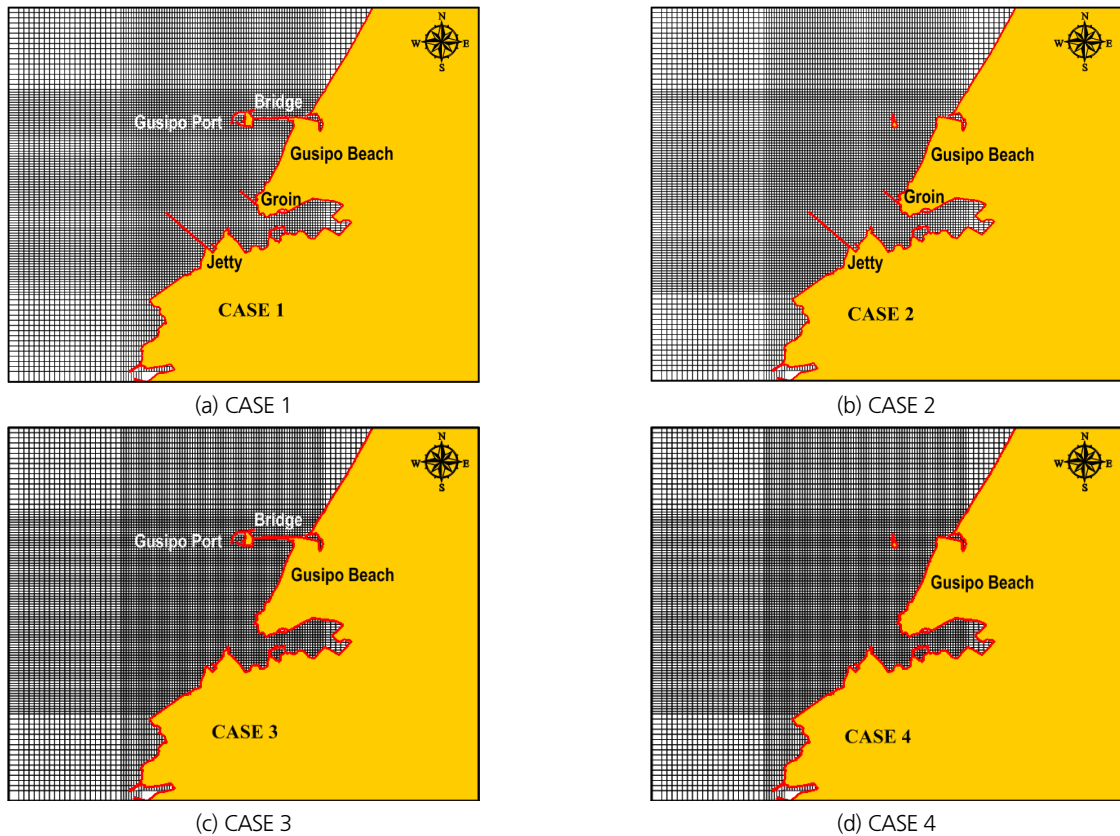


Fig. 2. Computational grid system and geometry of CASE 1~CASE 4

간격은 2초로 하여 총 17일간 계산하였다. 외해 개경계에서 조위는 국립해양조사원의 영광검조소(Fig. 1의 St. YG)와 본 연구의 조석조류 관측지점(Fig. 1의 St. C1 and C2)에서 관측된 조석 자료의 조화분해 결과를 이용하여 시행착오적으로 결정하였다. 대상해역에서  $N_2$  분조의 진폭이 주요 4대분조의 일주조 성분들보다 크게 나타났기 때문에 대상해역의 조석 및 조류특성을 보다 정확하게 재현하기 위하여 5대분조인  $M_2, S_2, N_2, K_1, O_1$  분조를 합성한 조석의 반조차와 지각을 조석경계조건으로 지정하였다. CASE 1~CASE 4의 계산영역과 지형조건은 Figs. 2(a) and 2(d)와 같다. 연육교 부분에서 유공구는 해수유통 영역과 차폐영역의 비를 고려해서 격자체계를 구성하였다.

### 3. 현장관측 결과

#### 3.1 조석관측 결과

2011년 하계 영광 조위관측소(Fig. 1의 St. YG)와 St. C1 and C2에서 관측된 조위자료를 조화분해하여 조석 조화상

수는 Table 2, 비 조화상수는 Table 3에 나타냈다. St. YG, C1 and C2에서 5대 조화상수 진폭은  $M_2$  분조가 각각 204.10 cm, 201.60 cm, 208.08 cm,  $S_2$  분조가 각각 79.91 cm, 78.46 cm, 80.61 cm,  $N_2$  분조가 각각 38.49 cm, 38.05 cm, 39.11 cm,  $K_1$  분조가 각각 36.61 cm, 36.32 cm, 37.45 cm,  $O_1$  분조가 각각 27.40 cm, 27.26 cm, 28.08 cm로 나타났다. 2011년 하계 St. YG, C1 and C2에서 대조차는 각각 568.02 cm, 560.12 cm, 577.38 cm, 소조차는 각각 248.38 cm, 246.28 cm, 254.94 cm 이다. 조석형태수는 3정점(St. YG, C1 and C2)에서 모두 0.23 으로서 반일주조가 탁월하게 발생하였다.

#### 3.2 조류관측 결과

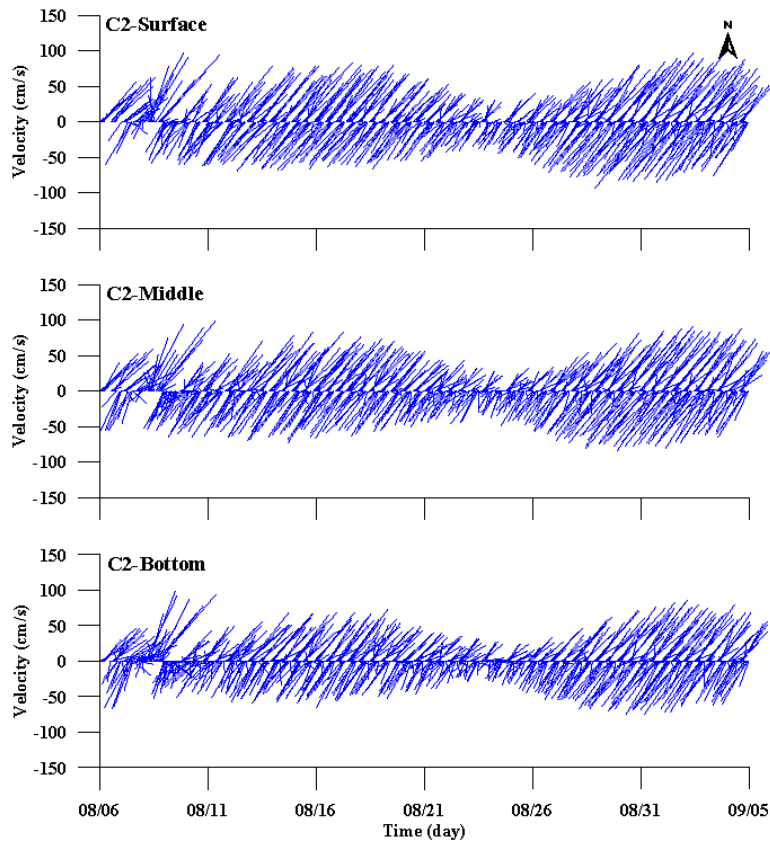
2011년 하계 St. C2의 표층, 중층 및 저층에서 관측된 조류의 시계열 벡터를 Fig. 3에 나타냈다. 조류의 주 방향은 창조류 시에는 북동방향으로 유입되었다가 낙조류 시에는 남서방향으로 유출되는 왕복성이 탁월한 흐름양상을 보였으며, 창조류가 낙조류보다 강하게 발생하였다.

**Table 2.** Tidal harmonic constituents at St. YG, C1 and C2

Point	Constituent									
	$M_2$		$S_2$		$N_2$		$K_1$		$O_1$	
	Amp. (cm)	Phase (°)	Amp. (cm)	Phase (°)	Amp. (cm)	Phase (°)	Amp. (cm)	Phase (°)	Amp. (cm)	Phase (°)
YG	204.10	71.11	79.91	122.78	38.49	50.71	36.61	273.55	27.40	235.66
C1	201.60	72.00	78.46	123.85	38.05	52.07	36.32	274.05	27.26	235.92
C2	208.08	72.56	80.61	124.57	39.11	52.25	37.45	275.07	28.08	236.77

**Table 3.** Non-tidal harmonic constituents at St. YG, C1 and C2

Point	Spring tidal range (cm)	Mean tidal range (cm)	Neap tidal range (cm)	Tide form number
YG	568.02	408.20	248.38	0.23
C1	560.12	403.20	246.28	0.23
C2	577.38	416.16	254.94	0.23



**Fig. 3.** Observed velocities at St. C2 during August 06~September 05, 2011

## 4. 수치모형실험 결과

### 4.1 수치모형의 검증

#### 4.1.1 조위검증 결과

해수유동 수치모델의 재현성을 검토하기 위하여 조석의 5개분조( $M_2, S_2, N_2, K_1, O_1$ )에 대해 Fig. 1에 나타난 St. YG, C1

and C2에서 모델결과와 현장관측 조위와 비교-검증을 수행하였다. Fig. 4는 St. YG, Fig. 5는 St. C1, Fig. 6은 St. C2에서 계산결과와 관측결과를 비교한 것이며, 조위와 조석위상이 잘 일치함을 볼 수 있다. Table 4는 St. YG, C1 and C2에서 5개분조( $M_2, S_2, N_2, K_1, O_1$ )의 현장관측결과와 수치계산결과를 정량적으로 비교하여 나타냈으며, 진폭의 평균오차는 2.1 cm로

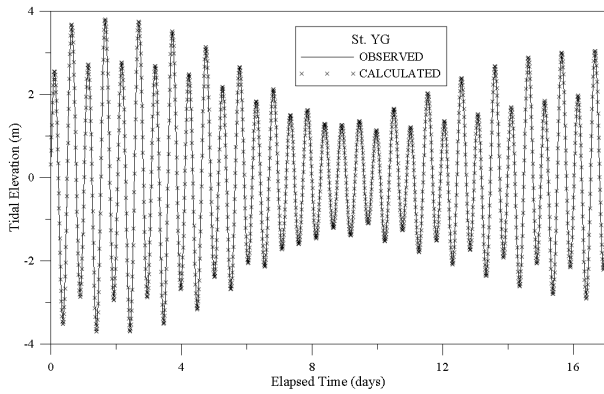


Fig. 4. Comparison of computed and observed water levels at St. YG

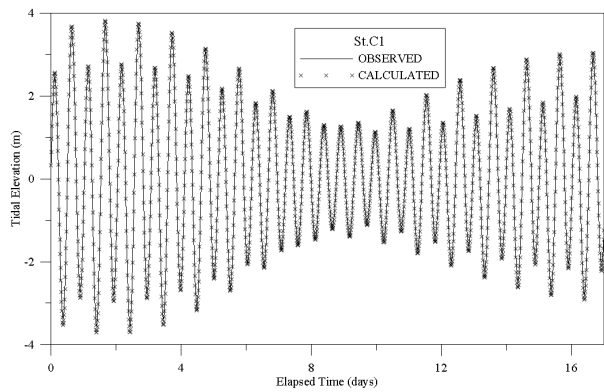


Fig. 5. Comparison of computed and observed water levels at St. C1

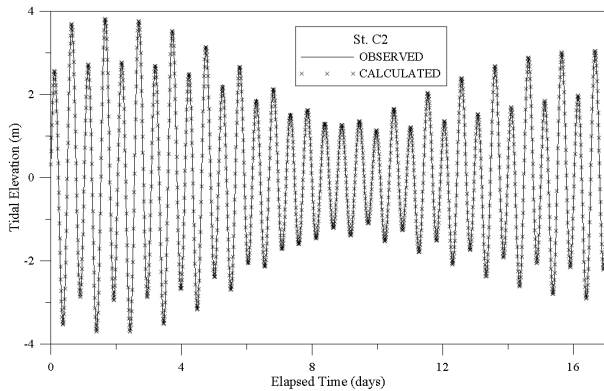


Fig. 6. Comparison of computed and observed water levels at St. C2

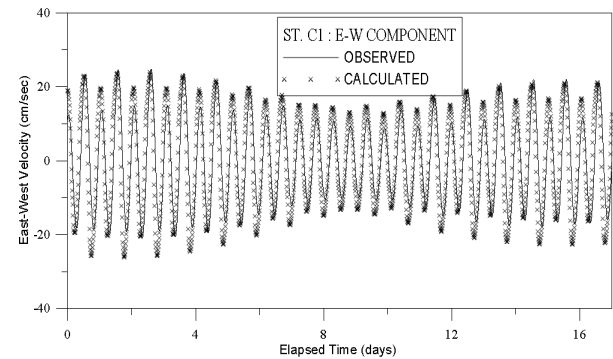
만족스런 결과를 얻었다.

4.1.2 조류검증 결과

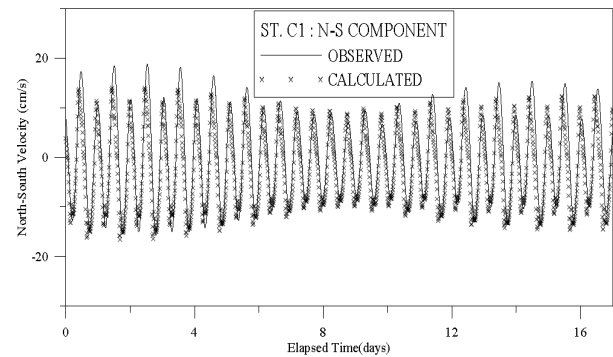
Fig. 7은 St. C1의 저면으로부터 2 m 지점에서 조류관측결과와 계산결과를 시계열로 비교한 것이고, Fig. 8은 St. C2의 표층에서 계산된 조류의 계산결과와 관측결과를 시계열로 비교한 것이다. St. C1에서는 관측수심이 DL기준 2m이기 때문

Table 4. Comparisons of computed and observed tidal constituents at St. YG, C1 and C2

Constituent	Point	Observed		Computed		Error	
		Amp. (cm)	Phase (°)	Amp. (cm)	Phase (°)	Amp. (cm)	
$M_2$	YG	204.10	71.11	208.73	71.60	4.63	
	C1	201.60	72.00	208.98	71.61	7.38	
	C2	208.08	72.56	208.88	71.76	0.80	
$S_2$	YG	79.91	122.78	82.31	122.63	2.40	
	C1	78.46	123.85	82.31	122.54	3.85	
	C2	80.61	124.57	82.34	122.58	1.73	
$N_2$	YG	38.49	50.71	39.23	57.20	0.74	
	C1	38.05	52.07	39.18	56.96	1.13	
	C2	39.11	52.25	39.25	56.94	0.14	
$K_1$	YG	36.61	273.55	38.61	276.19	2.00	
	C1	36.32	274.05	38.66	276.07	2.34	
	C2	37.45	275.07	38.76	276.18	1.31	
$O_1$	YG	27.40	235.66	28.56	233.60	1.16	
	C1	27.26	235.92	28.56	233.51	1.30	
	C2	28.08	236.77	28.67	233.57	0.59	
Mean Error							2.10



(a) East-west components



(b) North-south components

Fig. 7. Comparisons of computed and observed velocities at a distance 2 m from the bottom of St. C1

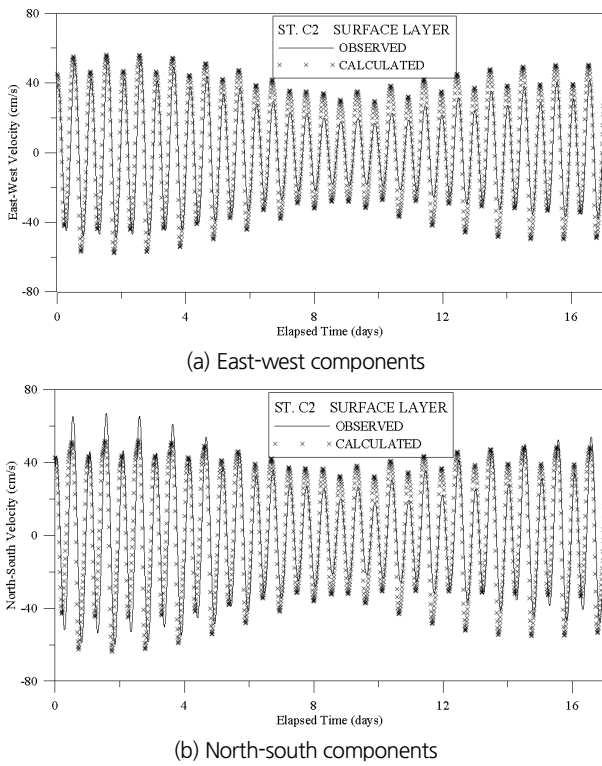


Fig. 8. Comparisons of computed and observed velocities at the surface layer of St. C2

에 층별 관측이 사실상 의미가 없기 때문에 저층으로부터 2 m 지점에서 관측된 유속을 대표유속으로 사용하였다. Table 5는 St. C2의 저층, 중층 및 표층에서 조류의 5개분조( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ )에 대해 계산결과와 관측결과를 정량적으로 비교·검증하였다. 조석의 경우 대상해역의 조위특성을 잘 재현하였지만, 조류의 경우에는 다소의 오차가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 수치모형의 경우 sigma level을 이용하여 수층을 수심에 따라 분할하였지만, 현장관측은 관측기기를 해저에 설치하여 일정한 수심 간격으로 관측하였기 때문에 조위의 변화에 따른 관측 수층을 변화시킬 수 없었다. 따라서 현장관측결과는 저층으로부터 고정된 간격으로 측정된 유속이기 때문에, 조차가 큰 천수역에서는 관측결과와 계산결과 사이에 오차가 발생할 수밖에 없는 것으로 사료된다. 그리고 수치모형에서는 현장의 조건과 경계조건 등을 모두 고려할 수 없는 한계로 인해 편차가 발생할 수 있고, 바람 등의 자연 환경적 영향으로 인해 오차가 발생할 수도 있다. 특히 유속(U, V 성분)의 위상에서 관측결과와 모델결과와의 차이가 일부 크게 발생하는 것도 경계조건, 지형조건, 해빈류 및 취송류 등의 영향을 받아 발생하는 것으로 사료된다. 저층에 TRBM을 설치하여 연직방향으로 층별 고정된 위치에서 관측된 현장관측결과와 모델결과와의 재현성을 보기 위해서는 z-level 모델

Table 5. Verifications of computed and observed tidal current constituents at the bottom, middle and surface layers of St. C2

Layer	Velocity	$M_2$		$S_2$		$N_2$		$K_1$		$O_1$		
		Amp. (cm/s)	Phase (°)	Amp. (cm/s)	Phase (°)	Amp. (cm/s)	Phase (°)	Amp. (cm/s)	Phase (°)	Amp. (cm/s)	Phase (°)	
Bot.	Obs.	U	25.31	8.69	10.35	54.01	7.22	352.59	1.56	212.36	1.62	158.28
		V	32.14	17.62	11.63	59.24	6.88	356.08	5.94	189.54	3.70	155.85
	Com.	U	26.83	350.83	6.09	16.95	4.32	288.36	3.24	178.05	2.86	125.17
		V	37.61	348.42	6.57	359.19	3.82	298.93	5.22	169.43	4.70	117.85
	Error	U	1.52		-4.26		-2.90		1.68		1.24	
		V	5.47		-5.06		-3.06		-0.72		1.00	
Mid.	Obs.	U	29.06	10.10	11.26	56.78	6.59	354.25	2.61	187.69	1.99	150.72
		V	36.50	17.95	12.60	62.09	6.71	358.17	6.92	189.90	3.99	156.26
	Cal.	U	34.52	351.94	8.85	16.89	3.48	299.10	4.79	158.79	4.13	135.19
		V	41.94	348.89	7.36	359.25	5.34	299.90	5.86	149.71	5.24	129.19
	Error	U	5.46		-2.41		-3.11		2.18		2.14	
		V	5.44		-5.24		-1.37		-1.06		1.25	
Sur.	Obs.	U	30.53	11.70	11.62	58.73	5.90	355.10	3.15	198.82	2.23	158.28
		V	37.26	18.21	12.93	65.47	6.63	9.38	6.82	190.98	3.91	158.97
	Cal.	U	35.52	352.64	9.89	17.03	4.02	301.76	5.38	159.14	4.61	138.60
		V	42.56	349.57	9.25	359.47	6.03	325.21	6.57	150.03	5.83	135.58
	Error	U	4.99		-1.73		-1.88		2.23		2.38	
		V	5.30		-3.68		-0.60		-0.25		1.92	

이 적합하지만, 여러 상황(구조물 설치 등)에 따른 조류의 영향을 예측·검토하기 위해서는 z-level 모델 보다는 현장 조위의 변화에 따른 조류를 보다 잘 재현하는 sigma 모델이 적합하다고 판단된다. 그래서 sigma 모델에 부합되는 현장성 있는 관측결과를 얻기 위해서는 현장관측도 조위의 변화를 고려하는 층별 관측과 해석이 필요하다.

**4.2 조류의 평면분포**

Fig. 9는 구시포항, 연륙교, 방류제 및 돌제의 존재 유무에 따라 대조기 낙조류 최강류시에 계산된 수심 평균한 조류분포이다. Fig. 9에서 ① CASE 1은 현재 상황(방류제·돌제, 구시포항·연육교 설치), ② CASE 2는 방류제·돌제만 설치했을 경우, ③ CASE 3은 구시포항·연육교만 설치했을 경우, ④ CASE 4는 구조물이 설치되기 전인 초기상태에서 계산한 결과이다. 구조물이 설치되기 전인 CASE 4(초기상태)를 기준으로 하여 각종 구조물 존재가 구시포 해안의 해수유동변화에 미치는 영향을 해석하였다. 구시포 해수욕장 전면해역에서 낙조류 최강류 유속분포는 약 20~40 cm/sec이고, 구시포 해수욕장 외해에서는 60~80 cm/sec이다. 구시포 해안에서 전형적인

해수유동 패턴은 등수심선을 따라 해안선에 평행하게 나타났다. 창조시에는 북동방향으로 유입하고, 낙조시에는 남서방향으로 유출되는 특성을 보이며, 각종 해상구조물 주변에서는 구조물의 영향을 많이 받는 흐름분포를 보인다.

**4.3 유속 변화율**

수치모형실험 결과를 이용하여 구시포항, 연륙교, 방류제 및 돌제가 모두 설치되기 전의 지형조건인 CASE 4(초기상태)를 기준으로 하여 유속 변화량과 변화율을 산출하였다. 구조물 설치로 인한 유속의 변화량 및 변화율을 대조기 24시간 동안 수심 평균한 유속을 이용하여 산출하였다. 유속변화량은 구조물 설치 전과 후의 유속차(구조물 설치 후의 유속-구조물 설치 전의 유속)로 산정하였고, 유속변화율은 구조물 설치 전의 유속을 기준으로 하여 구조물 설치 전과 후의 유속차의 변화율로 산정하였다. 대조기 24시간 동안 CASE 1(현 상태)과 CASE 4(구조물 설치 전)와의 유속변화율은 Fig. 10(a), CASE 2(방류제·돌제만 설치)와 CASE 4(구조물 설치 전)와의 유속 변화율은 Fig. 10(b), CASE 3(구시포항·연육교만 설치)과 CASE 4(구조물 설치 전)와의 유속변화율은 Fig. 10(c)에 나

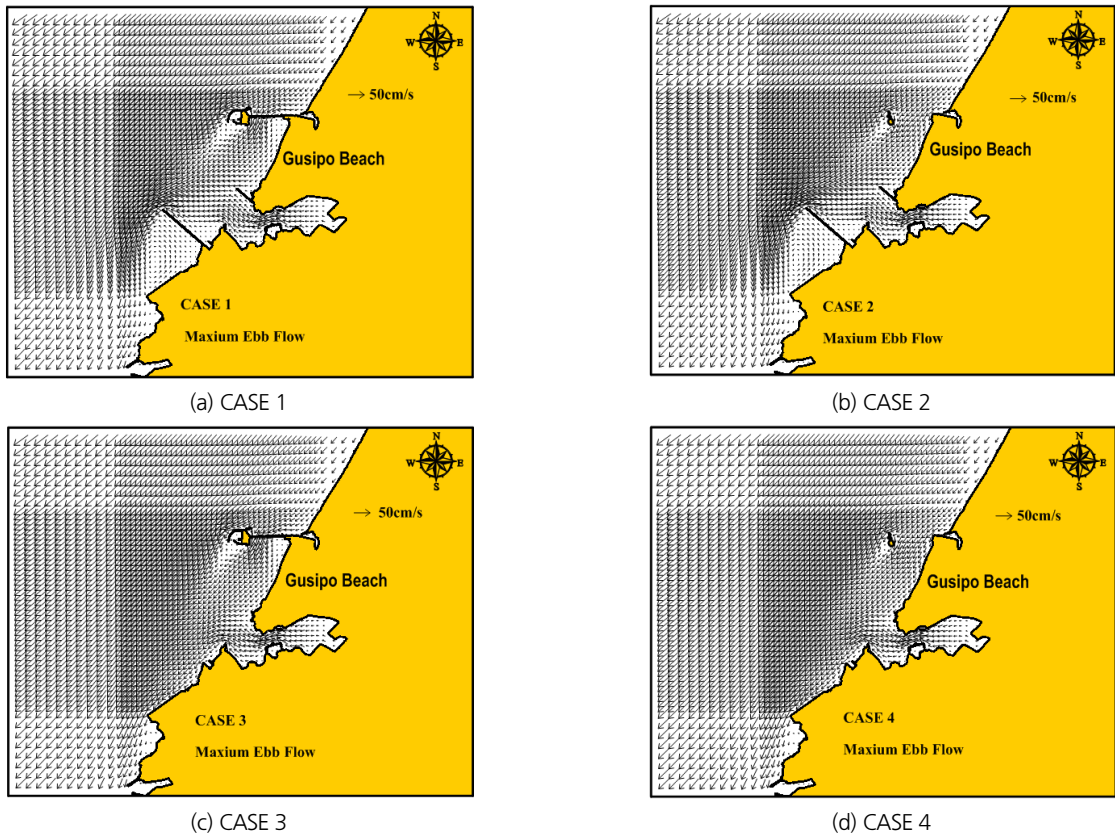
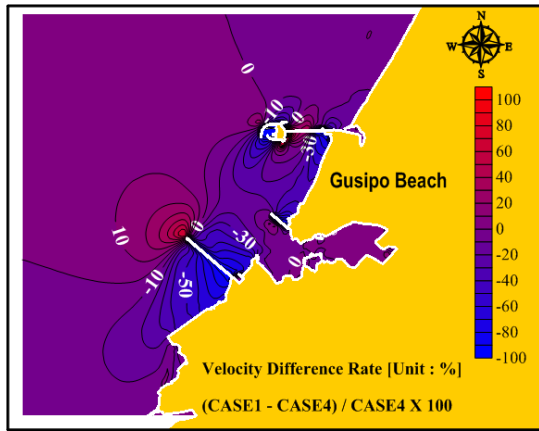
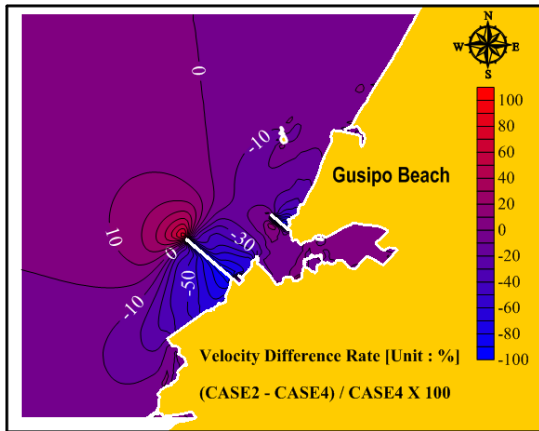


Fig. 9. Depth averaged tidal currents during the maximum ebb tide (CASE1~CASE 4)

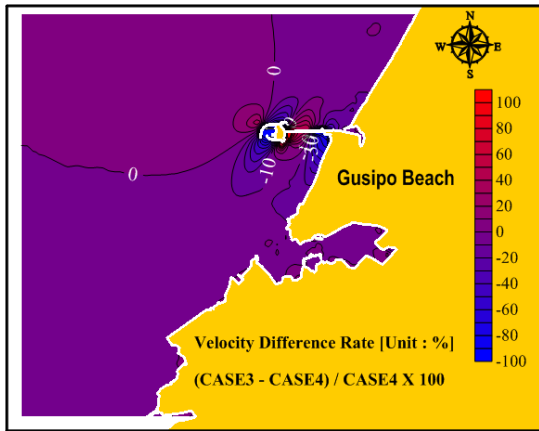




(a) (CASE 1-CASE 4)



(b) (CASE 2-CASE 4)



(c) (CASE 3-CASE 4)

Fig. 10. Change rate of depth averaged velocity for 24 hours of spring tide

타났다. 전반적인 유속의 변화는 구조물 설치로 인하여 차폐된 해역은 유속이 크게 감소하였고, 구조물의 외해 영역에서는 유속의 증가가 뚜렷하게 나타났다. Fig. 10에서 유속변화율의 등유속 분포 간격은 0을 기준으로 하여 유속의 감소는

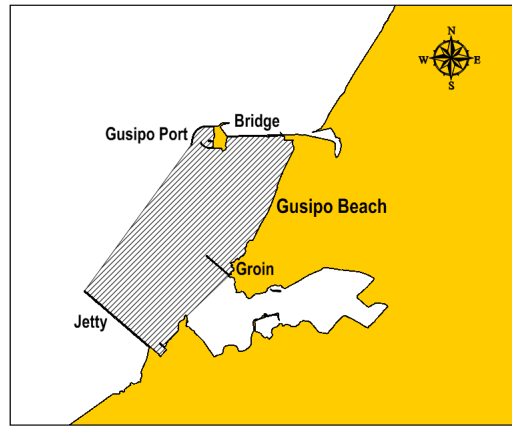


Fig. 11. Computational area of volumetric flow rate

-10, -20, -30, -40, -50, -60, -70%, 유속의 증가는 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70%로 나타났다.

#### 4.4 유량 변화율

조류의 수치모형실험 결과를 이용하여 구시포항, 연륙교, 방류제 및 돌제가 모두 설치되기 전의 지형조건인 CASE 4(초기상태)를 기준으로 하여 유량 변화율을 산출하였다. 유량 변화율은 구시포 해수욕장 주변해역(Fig. 11)에 한정하여 각각의 경우(CASE 1~CASE 4)에 대한 대조기 24시간 동안 수심 평균한 유속을 이용하여 유량변화율을 산정하였다. 초기상태(모든 구조물 설치 전)를 기준으로 했을 때 현 상태인 CASE 1의 경우에는 해수욕장 주변해역의 유량이 약 28.4% 감소하는 것으로 나타났고, 방류제와 돌제만 있는 CASE 2의 경우에는 유량이 약 21.3% 감소하였고, 구시포항과 연륙교만 있는 CASE 3의 경우에는 유량이 약 9.8% 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 해안에 구조물 설치(특히 해수욕장 주변의 구조물 설치)는 해수유동의 변화를 일으켜 해안지형의 침식과 퇴적을 유발시키기 때문에 보다 신중하게 접근하고 정확하게 평가해야 할 것으로 사료된다.

#### 5. 결론

구시포 해안에 설치된 구조물(방류제, 돌제, 구시포항, 구시포항 연륙교)에 따른 해수유동의 변화를 해석하기 위해 조석조류의 현장관측과 EFDC 모형을 이용하여 수치모형실험을 수행하였다. 해수유동 모델의 재현성을 검토하기 위하여 조석의 5개분조( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ )에 대해 모델 결과와 현장관측 결과를 비교·검증하였으며, 검증결과 조위 진폭의 평균

오차는 2.1 cm로 만족스런 결과를 얻었다. 조류는 수치모형결과와 현장관측결과와 다소의 오차가 발생하였다. 그 이유로는 수치모형에서는 현장의 환경조건과 경계조건 등을 모두 고려할 수 없는 한계로 인해 오차가 발생할 수 있고, 또한 바람, 해빈류 및 취송류 등의 자연 환경적 영향으로 인해 오차가 발생할 수 있는 것으로 사료된다. 구시포 해수욕장 전연해역에서 최강 유속분포는 약 20~40 cm/sec이고, 해수욕장 외해에서는 약 60~80 cm/sec이다. 구시포 해안에서 전형적인 해수유동 패턴은 등수심선을 따라 해안선에 평행하게 나타났으며, 창조시에는 북동방향으로 유입하고, 낙조시에는 남서방향으로 유출되는 특성을 보였다.

수치모형실험으로 구시포 해안의 유속과 유량변화에 미치는 각 구조물(구시포항·연륙교, 방류제·돌제)의 영향을 구시포 해수욕장 주변해역에 한정하여 정량적으로 해석하였다. 구조물의 설치로 인한 유속의 변화량 및 변화율을 대조기 24시간 수심 평균 유속을 이용하여 산출하였다. 유속변화량은 구조물 설치 전과 후의 유속차(구조물 설치 후의 유속-구조물 설치 전의 유속)로 산정하였고, 유속변화율은 구조물 설치 전의 유속을 기준으로 하여 구조물 설치 전과 후의 유속차의 변화율로 산정하였다. 전반적인 유속의 변화는 구조물의 설치로 인하여 차폐된 해역은 유속이 크게 감소하였고, 구조물의 외해 영역에서는 유속이 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 구조물 설치로 인한 구시포 해수욕장 주변해역의 유량변화율은 초기상태(모든 구조물 설치전)를 기준으로 했을 때, ① 현 상태(방류제·돌제, 구시포항·연륙교 설치)에서는 약 28.4%, ② 방류제·돌제만 있는 경우는 약 21.3%, ③ 구시포항·연륙교만 있는 경우는 약 9.8% 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 해안에 구조물 설치(특히 해수욕장 주변의 구조물 설치)는 해수유동의 변화를 일으켜 해안지형의 침식과 퇴적을 유발시키기 때문에 보다 신중하게 접근하고 정확하게 평가해야 할 것으로 사료된다.

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Bang, K.Y., Kim, T.I., Song, Y.S., Lee, J.H., Kim, S.W., Cho, J.G., Kim, J.W., Woo, S.B., and Oh, J.K. (2013). "Numerical modeling of sediment transport during the 2011 summer flood in the Youngsan river estuary, Korea." *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 25, No. 2, pp. 76-93.
- Jung, K.Y., Ro, Y.J., and Kim, B.J. (2013). "Tidal and sub-tidal current characteristics in the central part of Chunsu Bay, Yellow Sea, Korea during the summer season." *The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 18, No. 2, pp. 53-64.
- Jung, T.S. (1998). "A three-dimensional finite element model of water circulation." *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 10, No. 1, pp. 27-36.
- Jung, T.S. (2016). "Inter-annual variation of tides on the western coasts of Korea." *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 28, No. 2, pp. 81-91.
- Jung, T.S., and Choi, J.H. (2010). "Numerical modeling of ebb-dominant tidal flow in the Mokpo coastal zone." *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 22, No. 5, pp. 333-343.
- Kang, J.W., Kim, Y.S., and So, J.K. (2011). "Applicability of 3-D models for hydrodynamic simulation near tidal flat area." *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp. 176-183.
- Kang, J.W., Moon, S.R., and Oh, N.S. (2005). "Sea level rise at the southwestern coast." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 25, No. 2B, pp. 151-157.
- Kim, C.-K. (1994). "Three-dimensional numerical model experiments of tidal and wind-driven currents in Chinhae Bay." *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 29, No. 2, pp. 95-106.
- Kim, C.-K. (2014). "Impact of the coastal structures on the water circulation of Dugok-Weolpo Beach in Namhae Island." *Proceedings of KSCE 2014 Convention*, pp. 377-378.
- Kim, C.-K., and Lee, F.Y. (2000). "Three-dimensional water quality modeling of Chinhae Bay." *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 12, No. 1, pp. 1-10.
- Kim, C.-K., and Lee, J.S. (1994). "A three-dimensional PC-based hydrodynamic model using an ADI scheme." *Coastal Engineering*, Vol. 23, pp. 271-287.
- Kim, C.-K., and Park, I.H. (2013). "Impact of the coastal structures on the water circulation of Gusipo Beach, West Sea of Korea." *Proceedings of KSCE 2013 Convention*, pp. 1740-1743.
- Kim, C.-K., Lee, J.S., and Chang, S.D. (1993). "Development of three-dimensional baroclinic hydrodynamic model and flow patterns of the Suyoung Bay." *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 28, No. 2, pp. 86-100.
- Kim, C.-K., Yang, H.S., and Kim, K.C. (1999). "Development of three-dimensional combined layer and level hydrodynamic model." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 19, No. II-5, pp. 603-614.
- Kwon, S.J., and Kang, T.S. (2007). "Numerical simulation for behavior of tidal elevation and tidal currents in the South Sea." *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 19, No. 3, pp. 253-265.
- Lee, J.S., Kwon, K.H., and Park, I.H. (2014). "Analysis of littoral current by the coupled hydrodynamic model." *Journal of the*

*Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 20, No. 2, pp. 247-258.

Park, B.J., and Lee, S.H. (2008). "Estimation of hydraulic states caused by gate expansion in Asan Bay." *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 20, No. 2, pp. 184-193.

Suh, S.W., Yoo, G.S., and Lee, H.Y. (2007). "Analysis of sedimentation around jetties in the West Coast: based on the field measurement and hydrodynamic modeling." *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 19, No. 4, pp. 345-354.