

## 군·장항 주변의 흐름특성에 관한 연구 A Study on the Current Characteristic of around Gunsan and Jang-hang Port

신문섭<sup>1</sup>, 김재형<sup>2</sup>  
Moon Seup Shin<sup>1</sup> and Jae Hyoung Kim<sup>2</sup>

### 1. 서 론

금강하구에 위치한 군산항과 장항항은 복잡한 지형적 변화 및 천해특성에 기인된 조석 현상이 뚜렷이 나타나는 곳이다. 이곳은 최근 새만금방조제 건설 및 항로 주변의 목재, 자동차, 다목적 부두의 대형공사 등으로 인하여 일대 해역의 흐름의 변화가 심화되고 있다. 이에 입·출항하는 선박의 수심을 확보하기 위해서 주기적으로 준설을 행하고 있다. 또한 이러한 현상들을 규명하기 위한 많은 연구들이 이루어졌었다.

군·장항 주변의 해수면 변화 및 조석체계에 대한 연구를 보면, 박원경, 서승원(1995)은 1960 ~ 1993년까지의 조위자료를 분석하였고, 서승원(1998a)은 군산내항의 조위자료를 조화분해하여 반일주조의 진폭을 연구하였다. 또한 안희수, 오임상(1995)은 만 내부에서 진폭의 증가요인을 조사하였으며, 권효근, 이상호(1997) 해수면의 변화와 반일주조 진폭의 변화에 대하여 연구하였다. 또한 신문섭 등(2001)은 금강 하구의 퇴적과정에 관하여, 신문섭(2002)은 새만금간척 퇴적과정에 관한 연구와 신문섭, Yanagi(2002)는 새만금간척 전·후 잔차류의 계절변화에 관한 연구를 하였다. 군·장항 주변의 새만금간척, 각종 대형공사, 금강하구둑의 건설로 인하여 조류 및 잔차류 등의 흐름을 변화시키고 있으며, 이러한 흐름 변화는 항 주변의 지형을 변화 시켰다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 군·장항 주변의 흐름 변화 및 항 주변 지형 변화의 한가지 이유인 금강하구둑 건설 전·후에 대한 군·장항 주변의 조류변화를 알아보았다. 조류변화를 알아보기 위하여

금강하구둑 축조 전 1979년에 제작된 해도와 금강하구둑 축조 후 1999년도에 제작된 해도자료를 이용하였다.

### 2. 군·장항 주변의 지형변화

#### 2.1 지형조사

군·장항 주변의 지형은 평균 만조선과 평균 간조선 사이의 조간대에 위치하고 있다. 이러한 조간대는 해수면의 주기적인 상승과 하강에 의한 퇴적작용이 우세한 해역환경이다. 또한 금강을 통하여 육지로부터 공급된 많은 퇴적물이 하구에 쌓이고, 조류에 의하여 침식과 퇴적이 반복되고 있다. 대상해역의 지형자료는 국립해양조사원에서 편수한 “군산항 부근(No. 305)”의 해도에서 얻었다. 1979년과 1999년의 해도자료를 이용하여 군·장항 주변의 금강하구둑 축조 전·후의 수심을 분석하였다.

#### 2.2 수심변동 분석

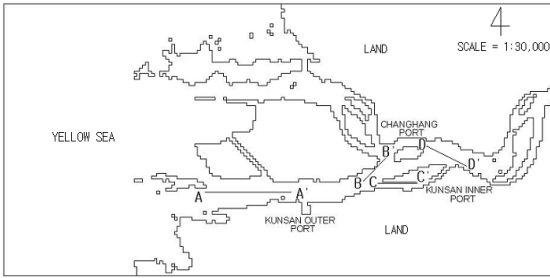
군·장항 주변의 퇴적분포를 분석하기 위하여 금강하구둑 축조 전·후인 1979년과 1999년의 해도자료를 이용하여 Fig 1과 같이 A-A' 구간(남·북측도류제), B-B', C-C', D-D' 구간으로 구분하여 하구둑 축조 전·후의 수심변화를 분석하였다. 분석결과 금강하구둑 축조 후 A-A' 구간(남·북측도류제) 사이의 수로에서는 세굴이 발생하였다. B-B' 구간에서 D-D' 구간에서는 퇴적이 발생하였다. 즉 군산내항 및 장항항 쪽으로 갈수록 퇴적이 심하게 발생하였다. Table 1은 군·장항 주변 금강하구둑 축조 전·후의 조석의 비조화 상수이다.

1 군산대학교 토목공학과 교수

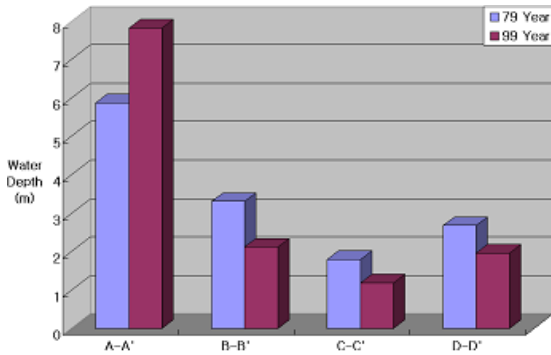
2 군산대학교 토목공학과 박사과정

**Table 1.** Kunsan Outer Port Tide Change of the Before and After Estuary Dike Constructing

Item	Before Estuary Dike Construction		After Estuary Dike Construction		Note	
	Amplitude (cm)	Phase (°)	Amplitude (cm)	Phase (°)	Amplitude (cm)	Phase (°)
M <sub>2</sub>	220.1	82.2	223.4	80.6	+ 3.3	-1.6
S <sub>2</sub>	81.6	126.3	84.8	125.5	+ 3.2	-0.8
K <sub>1</sub>	34.4	272.0	35.3	272.4	+ 0.9	+ 0.4
O <sub>1</sub>	26.2	243.9	25.8	244.9	-0.4	+ 1.0
Approx. H.H.W	724.6cm		738.5cm		+ 13.9cm	
H.W.O.S.T	664.0cm		677.4cm		+ 13.4cm	
H.W.O.M.T	582.4cm		592.6cm		+ 10.2cm	
H.W.O.N.T	500.8cm		507.8cm		+ 7.0cm	
M.S.L	362.3cm		369.3cm		+ 7.0cm	
L.W.O.N.T	223.8cm		230.7cm		+ 6.9cm	
L.W.O.M.T	142.2cm		145.9cm		+ 3.7cm	
L.W.O.S.T	60.6cm		61.1cm		+ 0.5cm	
Approx. L.L.W	0.0cm		0.0cm		0.0cm	



**Fig. 1.** Compared Location of Water Depth Change



**Fig. 2.** Water Depth Change of Each Section

### 3. 하구둑 축조 전·후의 조류계산

#### 3.1 해수유동 기본방정식

군·장항 주변의 흐름을 알기 위하여 평균해면을 원점으로 하여 직교 좌표계로 나타내었다. 여기서, x, y축은 수평면, z축은 연직방향으로 하고, u, v, w는 x, y, z축 방향의 유속성분으로 한다.

그리고  $z=-h$  및  $z=\zeta$ 는 해저 및 해면으로 한다. 해역의 흐름은 연속방정식인 식(1)과 운동방정식인 식(2a)~(2b), 스칼라 성분인 수온과 염분 확산방정식의 식(3)과 식(4)에 지배를 받는다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial u}{\partial z}) + F_x \end{aligned} \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fv = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial v}{\partial z}) + F_y \end{aligned} \quad (2b)$$

여기서,

$$p = \rho_o g \zeta - \int_z^\zeta g \frac{\rho_o - \rho}{\rho_o} dz, \quad \rho = \rho(T, S, p)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} (D_h \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_h \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_v \frac{\partial T}{\partial z}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} (D_h \frac{\partial S}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_h \frac{\partial S}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_v \frac{\partial S}{\partial z}) \end{aligned} \quad (4)$$

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{xx}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{xy}}{\partial x}$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{yx}}{\partial x}$$

여기서  $u, v, w$ 는  $x, y, z$ 방향의 유속,  $f$ 는 Coriolis 계수,  $g$ 는 중력가속도,  $\zeta$ 는 평균수면으로부터 해면상승량,  $T$ 는 수온,  $S$ 는 염분,  $h$ 는 수심,  $A_h$ 는 수평와동점성계수,  $D_h$ 는 수평와동확산계수,  $A_v$ 는 수직와동점성계수,  $D_v$ 는 수직와동확산계수,  $\tau_x, \tau_y$ 는  $x$ 와  $y$ 축의 해저마찰을 나타내고 있다.  $\rho_0$ 는 평균밀도,  $\rho$ 는 대상수심에서 밀도,  $p$ 는 압력,  $S_{xx}$ 는  $x$ 방향의  $x$ 조석응력성분,  $S_{yy}$ 는  $y$ 방향의  $y$ 조석응력성분이다. 수직속도성분  $w$ 는 연속방정식으로부터 얻을 수 있다.

### 3.2 적용 및 계산결과

#### 가. 경계조건

조류 계산을 위하여 수평 격자의 크기는  $0.15\text{km} \times 0.15\text{km}$ 하였다. 경계는 서·남·북 경계로, 농어촌진흥공사에서 관측으로부터 얻어진  $M_2$  분조의 진폭과 위상을 다음 식(11)과 같이 수위를 주었다.

$$\zeta = \zeta_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T_M} t - P\right) \quad (11)$$

$$v = 0$$

여기서,  $\zeta_0, P$ 는 open boundary의 진폭과 위상이고,  $T_M$ 는  $M_2$  조석의 주기,  $t$ 는 시간이다.

초기 조건은  $u=0, \zeta=0$ 로 하여 계산 영역을 정방형 격자로 나누고, CFL(Courant Friedrichs Lewy)조건을 만족하게 계산시간 간격(time step)을 결정하였다.

$$C = u \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad (12)$$

여기서,  $C$ 는 Courant number,  $\Delta x$ 는 mesh크기,  $\Delta t$ 는 time step,  $u$ 는 가장 빠른 천해파의 전파속도( $\sqrt{gh}$ )이다. 경계는 서·남·북 경계로 하였다. 경계치는 한국농촌공사의 “해수면 및 해저퇴적변화연구(1988)보고서”로부터 얻어진  $M_2$  분조의 진폭과 위상을 남쪽 경계에서  $214.0\text{cm} \sim 216.0\text{cm}$ ,  $76.5^\circ \sim 77.3^\circ$ , 북쪽 경계에서  $214.3\text{cm} \sim 217.0\text{cm}$ ,  $76.5^\circ \sim 80.5^\circ$ , 서쪽 경계에서  $214.0\text{cm} \sim 215.3\text{cm}$ ,  $76.5^\circ \sim 78.5^\circ$ 로 계산하였다.

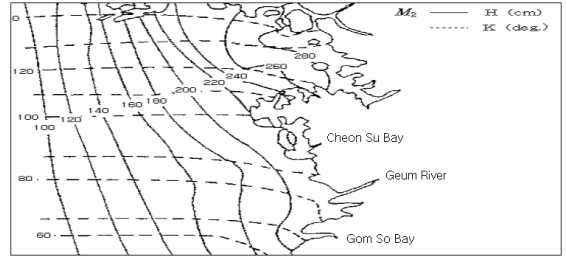


Fig. 3. Observed co-range(full line) and co-tidal (broken line) of  $M_2$  tidal constituent

#### 나. 조류계산 결과분석

하구둑 축조 전·후의 조류흐름변화를 알기 위하여 하구둑 축조 전·후의 수심자료를 이용하여 조류흐름분포를 분석하였다. 수치모델의 검증은 Fig. 4 및 Fig. 5와 같이 하구둑 축조 전·후 계산에 의하여 얻어진 조류의 위상과 진폭과 관측에 의하여 얻어진 조류의 위상과 진폭 Fig. 3과 비교하여 본 결과 유사하여 금강하구의 흐름을 잘 재현하였다고 판단된다. 금강하구 축조 전·후의 조류계산결과 최강창·낙조류분포는 Fig. 6에서 Fig. 9와 같다.

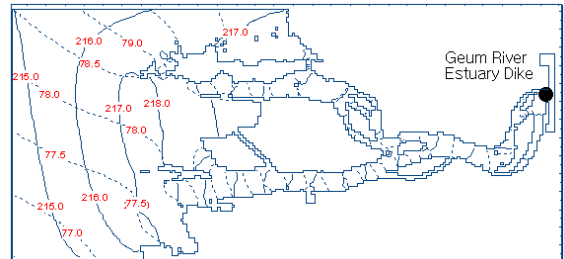


Fig. 4. Calculated co-range and co-tidal charts of  $M_2$  tide before construction at Estuary DiKe

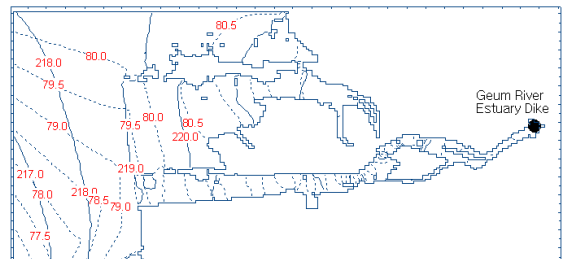


Fig. 5. Calculated co-range and co-tidal charts of  $M_2$  tide after construction at Estuary DiKe

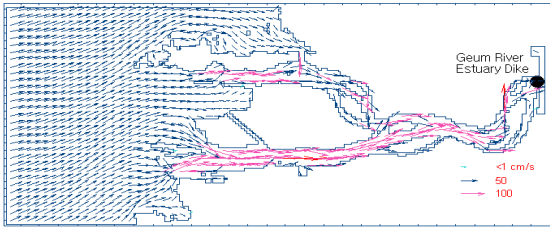


Fig. 6. Flow patterns of M2 tidal current in surface layer at the maximum flood before construction at Estuary Dike

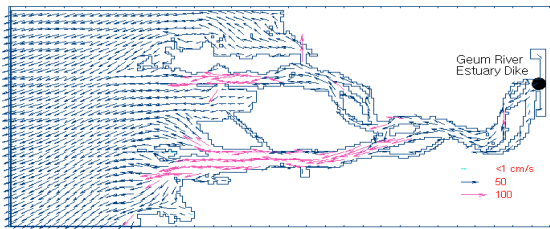


Fig. 7. Flow patterns of M2 tidal current for surface layer at the maximum ebb before construction at Estuary Dike

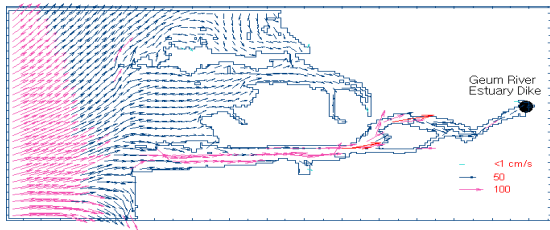


Fig. 8. Flow patterns of M2 tidal current for surface layer at the maximum flood after construction at Estuary Dike

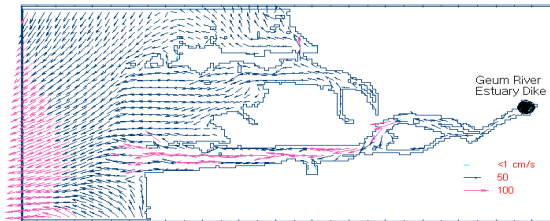


Fig. 9. Flow patterns of M2 tidal current for surface layer at the maximum ebb after construction at Estuary Dike

#### 4. 결 론

하구둑 축조 전·후의 조류의 흐름변화를 알기 위하여 수치실험 하였다. 그 결과는 다음과 같

다.

1. 계산에 의하여 얻어진 금강하구 축조 전·후의 조류의 위상과 진폭을 비교한 결과 하구둑 축조 후에 외해에서  $M_2$  분조의 진폭이 약 2cm 증가하였으며, 위상도  $2^\circ$  증가하였다. 이 결과는 관측치와 유사하였다.

2. 계산에 의하여 얻어진 금강하구 축조 전의 조류계산결과와 축조 후의 조류계산결과를 비교하여 본 결과 조류흐름특성은 낙조류보다 창조류가 우세한 것으로 판단된다.

3. 금강하구둑 축조 전·후의 퇴적분포를 분석하기 위하여 1979년과 1999년의 해도자료를 이용하여 분석한 결과 금강하구둑 축조 후 A-A' 구간 사이의 수로에서는 세굴이 발생하였다. B-B' 구간에서 D-D' 구간에서는 퇴적이 발생하였다.

#### 참고문헌

- 권효근, 이상호 (1997). “금강 하구연의 수문단음으로 인한 하구의 해수면 변화.” 1997년도 춘계학술발표회 요약집, 한국해양학회, pp. 1-1.
- 박원경, 서승원 (1995). “대규모 공사로 인한 금강하구역의 퇴적환경변화.” 1995년도 정기학술강연회 발표논문 수록집, 한국해양·해양공학회, pp. 44-47.
- 서승원 (1998a). “금강하구역의 수동역학적 변화 (1) -관측자료를 중심으로-.” 한국해양·해양공학회논문집, 한국해양·해양공학회, 제 10권, 제 1호, pp. 10-17.
- 서승원 (1998b). “금강하구역의 수동역학적 변화 (2) -수치실험을 중심으로-.” 한국해양·해양공학회논문집, 제 10권, 제 1호, pp. 18-26.
- 신문섭, 배기성, 김남형 (2001). “새만금 간척전·후 금강 하구의 퇴적 과정에 관한 연구.” 한국지반환경공학회논문집, 제 2권, 제 3호, pp. 5-15.
- 신문섭 (2002). “새만금간척 퇴적과정에 관한 연구(II).” 한국농공학회지, 제 44권, 제 5호, 별책.
- 신문섭, T. Yanagi (2002). “새만금간척 전·후 잔차류의 계절변화에 관한 연구.” 한국수자원학회논문집, 제 35권, 제 4호, pp. 425-442.
- 안희수, 오임상 (1995). “유한요소법에 의한 금강하구역의 조석 및 금강 유입의 수치실험.” 한국해양학회지, 제 30권, pp. 299-308.
- Masch, F. D., R. J. Branders and J. D. Reagan (1997). “Computation of Numerical Hydraulic Models.” Masonboro Inlet, North Carolina, Giti Report 6.