

## 금강하구둑 축조 전·후의 지형 및 흐름특성에 관한 연구

신문섭\* · 배기성\*\* · 강신중\*\*\* · 김재형\*\*\*

\*군산대학교 토목환경공학부

\*\*경상대학교 해양토목공학과

\*\*\*군산대학교 토목공학과

### A Study on the Topography and Current Characteristic of the Before and After Construction at Geum River Estuary Dike

MOON-SEUP SHIN\*, KI-SEONG BAE\*\*, SHIN-JUNG KANG\*\*\*AND JAE-HYOUNG KIM\*\*\*

\*Division of Civil & Environmental Engineering Division Professor

\*\*Department of Ocean Civil Engineering Department Professor

\*\*\*Department of Civil Engineering, Kunsan Univ, Kunsan, Korea

**KEY WORDS:** Estuary 하구역, Geum river estuary 금강 하구, Topography change 지형 변화, Digitizing 디지털화, Change of water depth 수심변화

**ABSTRACT:** The estuary has a very complex coastline and bottom topography. Before the close of floodgate, the Keum river estuary was deposited with sediment from the Keum river, created by the construction of the Keum river estuary dike. So, a periodical dredging is necessary to assure water depth for boat entry and departure to Kunsan port. The of this study is to find the change of tidal current of M2 tide and the topography before and after construction at the Geum River estuary dike. The change of water depth is investigated by digitizing the sea map (No.305) of Kunsan port, which was edited by National Oceanographic Research Institute. The calculated co-range and co-tidal charts of M2 tide before the dike construction are similar to the observed ones. Therefore, the amplitude and phase after construction at Geum River estuary dike increases compared to before construction at Geum River estuary dike. The scour occurred in the A-A' section.

### 1. 서 론

금강하구는 복잡한 지형적 변화 및 천해특성에 기인된 조석의 현상이 뚜렷이 나타나는 곳이다. 군산항은 1899년에 개항된 이후 큰 환경의 변화가 없었다. 하지만 1974~1979년에 외항의 건설이 이루어졌고, 현재는 하구 입구인 명암으로부터 8km, 18km, 22km 지점에 군산외항, 장항항 및 군산내항이 각각 위치하게 되었다. 금강하구는 하구둑의 축조 후 수문이 닫히기 전까지 금강으로부터 공급되는 유사로 인해 퇴적되었다. 그래서 군산항으로 입·출항하는 선박의 수심을 확보하기 위하여 주기적으로 준설을 해야만 했다. 그리고 1994년 8월 금강하구둑 수문의 닫힘과 북측도류제 및 남측도류제와 군장국가공단 조성사업 및 새만금 4호 방조제 건설 등의 영향으로 금강하구 일대 해역의 흐름이 급격히 변화되고 있다.

금강하구둑 축조 전·후의 해수면 변화와 조석체계에 대한 연구들을 보면, 박원경과 서승원 (1995)는 1960~1993년까지의 조위자료를 분석하였고, 서승원(1998a; 1998b)는 군산내항의 조위자료를 조화분해하여 반일구조의 진폭증가를 연구하였다. 또한 안 등(1995)은 만 내부에서 진폭의 증가요인을 조사하였으며, 권 등(1997)은 해수면의 변화와 반일구조의 진폭에 대하여 연구하였다. 그리고 최 등(1987)은 금강하구둑 건설에 따른 변화에 대해서 1차원 수리역학 모델을 이용하여 평균대조차, M<sub>2</sub>분조와 S<sub>2</sub> 분조의 변화를 예측하였다. 신문섭, 배기성, 김남형(2001)은 새만금 간척전·후 금강 하구의 퇴적 과정에 관한 연구를 하였다. 그리고 신문섭(2002)은 새만금간척 퇴적과정에 관한 연구와 신문섭과 Yanagi(2002)는 새만금간척 전·후 잔차류의 계절변화에 관한 연구를 하였다. 새만금 간척 및 금강하구둑 건설은 하구역의 조류 및 잔차류 등의 흐름을 변화시키고 있다. 이러한 흐름 변화는 하구지형을 변화시켰다고 판단된다. 금강하구둑 축조 전·후에 대한 지형변화 특성을 알아보기 위하여 해도가 새롭게 제작된 1958년, 1966년, 1971년, 1979년, 1996년, 1999년의

교신저자 신문섭: 전북 군산시 미룡동 산68번지

063-469-4755 seup@kunsan.ac.kr

해도자료를 이용하여 퇴적변화를 알아보았다. 또한 금강하구둑 축조 전·후의 조석변화를 조사하고 분석하여 퇴적변화 현상을 규명하고자 한다.

## 2. 금강하구의 기초자료 조사

### 2.1 지형자료

금강하구인 지형은 평균 만조선과 평균 간조선 사이의 조간대(Intertidal zone)에 위치하고 있다. 이러한 조간대는 해수면의 주기적인 상승과 하강에 의한 퇴적작용이 우세한 환경

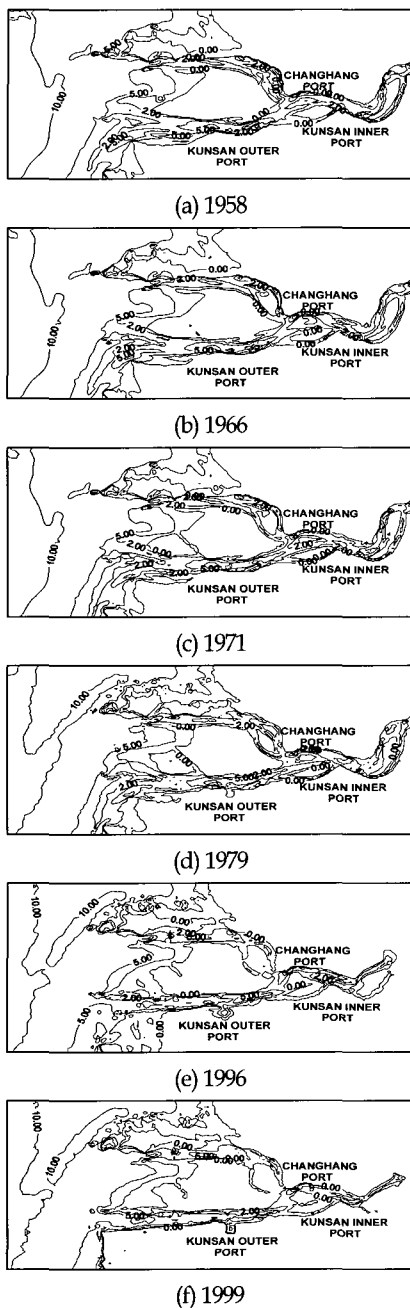


Fig. 1 Water depth distribution of each year

이다. 또한 금강을 통하여 육지로부터 공급된 많은 퇴적물이 하구에 쌓이고, 조류에 의하여 침식과 퇴적이 반복되고 있다.

대상해역의 지형자료는 국립해양조사원에서 편수한 “군산외항 부근(No. 305)”의 해도에서 얻었다. Fig. 1(a, b, c, d, e, f)은 각각 1958년, 1966년, 1971년, 1979년, 1996년, 1999년의 해도자료를 구축한 것이다. 이 자료를 이용하여 금강하구둑 축조 전·후의 수심을 분석하였다. 금강하구둑 축조 위치는 그림에서 오른쪽 끝이다.

### 2.2 조석자료

금강하구둑 축조 전·후의 조석변화를 알아보기 위하여 군산지방해양수산청의 “금강하구 수리현상 변화조사 보고서(1999)” 및 “군·장항 매물저감대책시설 기본계획수립 용역 보고서(2001)”를 인용하여, 금강하구둑 축조 전·후의 군산외항 조석변화를 Table 1에 나타내었다.

### 2.3 지형자료 분석결과

공사로 인한 유동의 변화는 직·간접적으로 퇴적환경의 변화를 초래하고 수심 및 지형의 변화를 유발하게 된다. 이에 금강하구의 연도별 해도자료를 이용하여 Fig. 2과 같이 AA', BB', CC', DD'의 구간에서 수심변화를 분석하였다. 분석결과는 Fig. 3과 같다.

AA'구간은 남·북측도류제 사이 수로로써 외해에서 외항으로의 수심변화를 나타내었다. 1996년 이전에는 외해에서는 수심이 낮고, 외항으로 갈수록 수심이 깊어졌다. 하지만 1999년에는 외해의 수심이 깊고, 외항으로 갈수록 수심이 낮아진 것으로 분석되었다.

그리고 BB'구간은 군산외항에서 장항까지의 수심변화를 나타내었다. 1958년에서 1971년까지는 수심이 깊어지다가 그 이후에는 수심이 얕아졌다. CC'구간은 군산외항에서 군산내항까지의 수심변화를 나타내었다. 이 구간은 BB'구간과 마찬가지로의 변화를 보였다. DD'구간은 장항항에서 군산내항까지의 수심변화를 나타내었다. 이 구간에서는 1966년에만 수심이 깊어졌다가 이후에는 계속 얕아진 것으로 분석되었다.

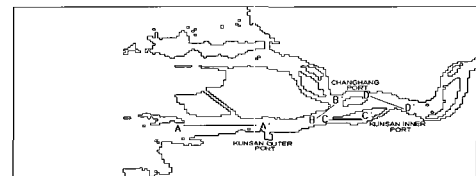


Fig. 2 A compared location of water depth change

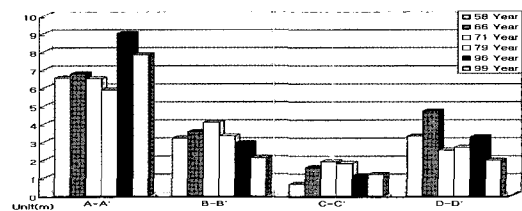


Fig. 3 Water depth distribution of every section by yearly

**Table 1** Kunsan outer port tide change before and after estuary dike constructing

Item	Before estuary dike construction		After estuary dike construction		Note		
	Component tide	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	

### 3. 수치모형실험

#### 3.1 기본방정식

해수를 비압축성 유체로 보고 표층 대기의 바람에 의한 영향을 무시하면 유체의 운동은 연속방정식 (1)과 운동방정식 (2), (3)으로 주어진다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(h+\eta)u}{\partial x} + \frac{\partial(h+\eta)v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv \quad (2)$$

$$= -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_x}{(h+\eta)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu \quad (3)$$

$$= -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_y}{(h+\eta)}$$

여기서  $x, y$ 는 각각 직교 좌표상에서 동쪽, 북쪽에서의 위치,  $u, v$ 는 각각 연직으로 평균된  $x, y$ 방향의 유속,  $f$ 는 Coriolis 계수,  $\eta$ 는 수평 해면으로부터 해면변위,  $h$ 는 평균 해면으로부터 수심이다.  $A_h$ 는 수평 와동점성계수 ( $5 \times 10^5 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ )를 나타낸다.

이상의 기본방정식을 차분형으로 표현하기 위해, 공간에 대해서는 중앙 차분형(Central difference scheme), 시간에 대해

서는 전방 차분형(Forward difference scheme)으로 구성하였으며, 연속방정식(1)을 차분형으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{h^{n+1}(i, j) - h^n(i, j)}{\Delta t} \\ &= - \frac{M^n(i+1, j) - M^n(i, j)}{\Delta x} \\ & \quad - \frac{N^n(i, j+1) - N^n(i, j)}{\Delta y} \end{aligned} \quad (4)$$

따라서,

$$M \frac{\Delta t}{\Delta s} = (\eta + h) U \frac{\Delta t}{\Delta s} = SX$$

$$N \frac{\Delta t}{\Delta s} = (\eta + h) V \frac{\Delta t}{\Delta s} = SY$$

따라서, 해면의 변화를 구하는 차분식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} & h^{n+1}(i, j) \\ &= h^n(i, j) - SX^n(i+1, j) + SX^n(i, j) \\ & \quad - SY^n(i, j+1) + SY^n(i, j) \end{aligned} \quad (5)$$

위와 같은 방법으로 운동방정식 (2)와 (3)을 차분식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
SX^{n+1}(i,j) &= SX^n(i,j) - \frac{g}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta S} \right)^2 \{h^n(i,j) + h^n(i-1,j) + 2hx(i,j)\} \\
&\quad * \{h^n(i,j) - h^n(i-1,j)\} - \Gamma_b^2 \frac{(\Delta t)^2}{\Delta S} u^n(i,j) \\
&\quad * \sqrt{[u^n(i,j)^2 + \{v^n(i,j) + v^n(i-1,j) + v^n(i-1,j+1) + v^n(i,j+1)\}/4]^2} \\
&\quad + \frac{f\Delta t}{4} \{SY^n(i,j) + SY^n(i-1,j) + SY^n(i-1,j+1) + SY^n(i,j+1)\} - AX^n(i,j)
\end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
SY^{n+1}(i,j) &= SY^n(i,j) - \frac{g}{2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta S} \right)^2 \{h^n(i,j) + h^n(i,j-1) + 2hy(i,j)\} \\
&\quad * \{h^n(i,j) - h^n(i,j-1)\} - \Gamma_b^2 \frac{(\Delta t)^2}{\Delta S} u^n(i,j) \\
&\quad * \sqrt{[v^n(i,j)^2 + \{u^n(i,j) + u^n(i,j-1) + u^n(i+1,j-1) + u^n(i+1,j)\}/4]^2} \\
&\quad + \frac{f\Delta t}{4} \{SX^n(i,j) + SX^n(i,j-1) + SX^n(i+1,j-1) + SX^n(i+1,j)\} - AY^n(i,j)
\end{aligned} \tag{7}$$

### 3.2 초기조건 및 경계조건

처음 계산할 때 모든 변수들의 초기조건은 0으로 하고, 경계조건은 대표조석의 개념으로서  $M_2$ 분조의 조위와 위상 자료를 이용하여 해수유동을 계산하였으며, 계산식은 다음과 같다.

$$\eta(t) = \eta_0 \sin(\sigma t - \theta) \tag{8}$$

계산영역을 정방형 격자로 나누고, 계산의 시간간격( $\Delta t$ )은 계산결과와 발산을 방지하기 위하여 CFL(Courant Friedrichs Lewy)의 안정성, 수렴성, 적합성의 조건을 만족해야한다. CFL 조건식은 다음과 같다.

$$\Delta t \leq \frac{\Delta S}{\sqrt{2} \times g \times h_{\max}} \tag{9}$$

해수유동에 관한 식에서  $\eta_0$ 는 관측된  $M_2$ 분조의 진폭(Amplitude),  $\theta$ 는 관측된  $M_2$ 분조의 위상(Phase),  $\sigma$ 는  $M_2$ 분조의 각속도,  $t$ 는 시간이며, CFL조건식에서  $\Delta S$ 는 계산 격자의 크기,  $g$ 는 중력가속도( $980 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ ),  $h_{\max}$ 는 최대 수심이다.

경계치는 농어촌진흥공사에서 관측으로부터 얻어진 Fig. 4의

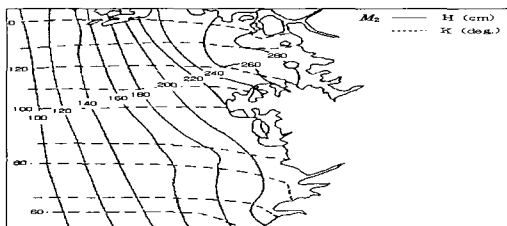


Fig. 4 Observed co-range(full line) and co-tidal (broken line) of  $M_2$  tidal constituent

$M_2$  분조의 진폭과 위상을 남쪽 경계에서 214.0cm~216.0cm, 76.5°~77.3°, 북쪽 경계에서 214.3cm~217.0cm, 76.5°~80.5°, 서쪽 경계에서 214.0cm~215.3cm, 76.5°~78.5°로 계산하였다. 해면은 평균수면(평균해면: 3.84m)으로 하였으며 정지하고 있는 상태에서 계산을 시작하였다. 조류 계산을 위한 계수는 Table 2와 같다.

## 4.결과 분석

### 4.1 위상과 진폭의 계산결과

Fig. 5, 6는 계산결과에 의한 하구둑 축조전후의 위상을 나타내고, Fig. 7, 8은 진폭을 나타내고 있다. 계산결과 하구둑 건설전보다 건설 후에 조금 위상과 진폭이 증가하였다. 금강 하구둑 축조 위치는 아래 그림에서 오른쪽 끝이다.

Table 2 Parameters of  $M_2$  tidal current.

Mesh in size( $\Delta S$ )	150m
Time step( $\Delta t$ )	1.0sec
Coefficient of horizontal eddy viscosity $A_h$	$5 \times 10^5 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$
Coriolis parameter ( $f$ )	$2.14 \times 10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$

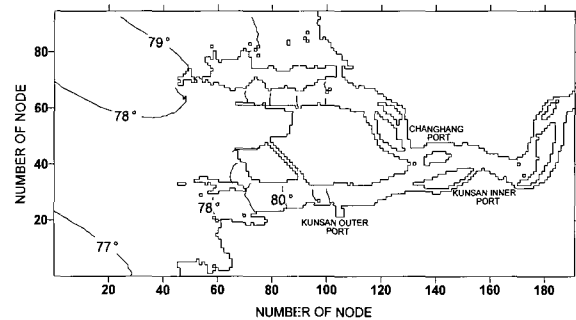


Fig. 5 Phase of estuary dike construction (before)

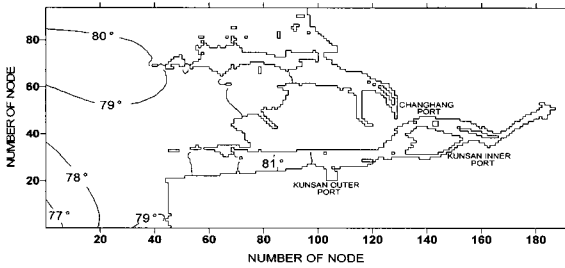


Fig. 6 Phase of estuary dike construction (after)

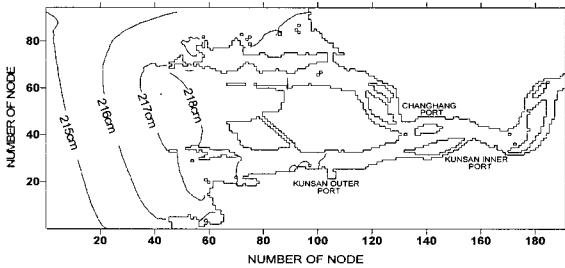


Fig. 7 Amplitude of estuary dike construction (before)

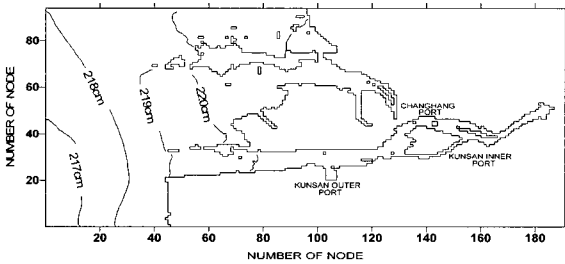


Fig. 8 Amplitude of estuary dike construction (after)

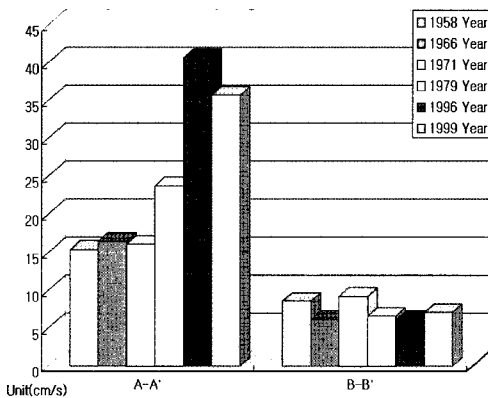


Fig. 9 Velocity distribution at every section by yearly(flood)

4.2 조류유속 계산결과

Fig. 9과 Fig. 10은 각 연도별 각각의 구간에서 창·낙조류의 계산결과를 보여준다. 지형자료 분석과 마찬가지로 AA'구간은 남·북측도류제 사이 수로로써 외해에서 외항으로의 유속변화를 나타내었다. 창조시에는 하구둑 건설 후인 1996년 이후의 유속이 높았으나, 낙조시에는 유속이 하구둑 건설 전보다 낮아진 것을 알 수 있다.

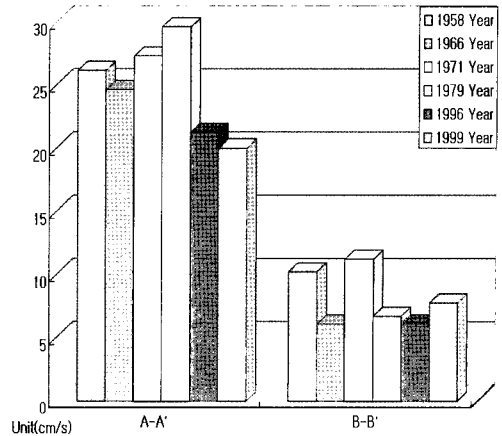


Fig. 10 Velocity distribution at every section by yearly(ebb)

BB'구간은 군산외항에서 장항항까지의 유속변화를 나타내었다. 이 구간은 창·낙조시에 동일한 분포양상을 보였지만 오히려 창조시보다 낙조시의 유속이 조금 더 크다. 그리고 연도별 유속분포는 불규칙한 양상을 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 금강하구둑 축조 전·후의 군산외항 조석변화와 제작 연도별 해도자료를 구축하여 지형변화 및 유속변화를 비교·분석 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 금강하구둑 축조 전·후의 군산외항 조석변화를 비교하여 분석한 결과, 하구둑 축조 후에 조화상수인 주태음·주태양 반일주조 및 일월합성일주조는 각각 3.3cm, 3.2cm, 0.9cm의 진폭이 증가되었다. 또한 비조화상수도 하구둑 축조 후에 증가한 것을 알 수 있었다. 이러한 조석변화는 금강하구 일대에 축조된 북측도류제, 남측도류제, 군장국가공단, 새만금 4호 방조제 건설 및 준설 등의 인위적 영향과 금강하구둑 건설로 인하여 조석전파가 차단됨으로써 나타난 것으로 추정된다.

(2) 연도별 해도자료를 활용하여 4개의 구간에서 지형변화 및 유속변화를 분석한 결과, AA'구간인 남·북측도류제 사이의 수로에서는 하구둑 축조 후에 수심이 깊어졌지만, BB', CC', DD'구간에서는 수심이 얕아진 것을 알 수 있었다. AA'구간의 경우는 도류제 건설로 인하여 조류속이 빨라져서 퇴적에 영향을 적게 끼친 것을 알 수 있다. 하지만 다른 구간의 경우는 금강상류 60km 정도 되는 지점까지 영향을 미치던 조수가 하구둑에 의해 차단되어 창조류와 함께 외해로부터 유입된 토사 일부가 퇴적되어 많은 퇴적이 발생한다고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 군산대학교 교수 장·단기 해외연수의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 군산지방해양수산청 (1999). 금강하구 수리현상 변화조사 보고서.
- 군산지방해양수산청 (2001). 군·장항 매물저감대책시설 기본 계획수립 용역 보고서.
- 권효근, 이상호 (1997). “금강 하구언의 수문단음으로 인한 하구의 해수면 변화” 춘계학술발표회 요약집, 한국해양학회, pp 1-1.
- 박원경, 서승원 (1995). “대규모 공사로 인한 금강하구역의 퇴적환경변화” 정기학술강연회 발표논문 초록집, 한국해양안·해양공학회, pp 44-47.
- 서승원 (1998a). “금강하구역의 수동역학적 변화(1) -관측자료를 중심으로-” 한국해양안·해양공학회논문집, 한국해양안·해양공학회, 제10권, 제1호, pp 10-17.
- 서승원 (1998b). “금강하구역의 수동역학적 변화(2) -수치실험을 중심으로-” 한국해양안·해양공학회논문집, 제10권, 제1호, pp 18-26.
- 신문섭 (2002). “새만금간척 퇴적과정에 관한 연구(II)” 한국농공학회지, 제44권, 제5호, 별책. pp 33-40.
- 신문섭, 배기성, 김남형 (2001). “새만금 간척전·후 금강 하구의 퇴적 과정에 관한 연구” 한국지반환경공학회논문집, 제2권, 제3호, pp 5-15.
- 신문섭, Yanagi T. (2002). “새만금간척 전·후 잔차류의 계절 변화에 관한 연구” 한국수자원학회논문집, 제35권, 제4호, pp 425-442.
- 안희수, 오임상 (1995). “유한요소법에 의한 금강하구역의 조석 및 금강 유입의 수치실험” 한국해양학회지, 제30권, pp 299-308.
- 최병호, 오윤근 (1987). “금강하구둑에 의한 조석변화의 초기 추정” 한국수문학회지, 제20권, 제2호, pp 161-168.
- 해운항만청 (1982). 군산항 수심측량 용역보고서.
- Masch, F.D., Branders R.J. and Reagan J.D. (1997). “Computation of Numerical Hydraulic Models” Masonboro Inlet, North Carolina, Giti Report 6.

---

2005년 5월 7일 원고 접수

2006년 6월 19일 최종 수정본 채택