한국해안·해양공학회 학술발표논문집 (2004)
2004년 8월 19일-21일
제15권, pp. 282-285

하구둑 건설 전·후의 흐름특성에 관한 연구

A Study on the Tidal Flow Characteristics of Before and After Constructed Estuary Dike

신문섭[1], 김재형[2], 이건탁[3]
Moon Seup Shin[1], Jae Hyoung Kim[2] and Gun Tak Lee[3]

1. 서 론

대부분의 서해안은 천해역으로 간조시에 드러나는 넓은 간석지로 이루어져 있다. 이러한 천해역에서는 수로의 너비 변화 및 수심의 변화가 심하여 수로와 수로 사이에 중앙 천퇴가 발달하기도 하여 해안선 및 해저 지형이 매우 복잡하다. 이처럼 지형이 복잡한 천해역에서의 조류 형태(tidal flow regime)는 주로 만이나 해안선의 형태, 해저지형(bottom topography), 수로(channel), 천퇴(sand bar)나 간석지 등의 지형적인 요인에 의해 결정된다.(Masch et al. 1969) 금강하구는 복잡한 지형적 변화 및 천해특성에 기인된 조석의 현상이 뚜렷이 나타나는 곳으로, 1899년 군산항이 개항된 이후 큰 환경의 변화가 없다가 1974~1979년에 외항의 건설이 이루어져 하구 입구인 명암으로부터 8km, 18km, 22km 지점에 군산외항, 장항항 및 군산내항이 각각 위치하고 있다. 그러나 이들 주요 항들은 감조하구항으로서, 금강하구는 하구둑의 수문이 닫히기 전까지 금강으로부터 유사가 공급되어 퇴적이 심화되어 군산항으로 입출항하는 선박의 수심을 확보하기 위하여 주기적으로 준설을 실시해야만 했었다. 1994년 8월 금강하구둑 수문의 닫힘과 하구에 축조중인 북측도류제 및 남측도류제와 군장국가공단 조성사업 및 새만금 4호방조제 건설 등의 영향으로 금강하구 일대 해역의 흐름이 급격히 변화되었다. 금강하구둑 건설 전·후의 해수면 변화와 조석체계에 대한 연구들을 보면 박(1995)은 1960~1993년까지의 조위자료를 분석하였고, 최와 오(1987)는 금강하구언 건설에 따른 변화에 대해서 1차원 수리역학 모델을 이용하여 평균대조차, M_2분조와 S_2분조의 증가를 예측하였고, 안과 오(1995)는 만 내부에서 진폭의 증가요인을 조사하였다. 권과 이(1997)는 해수면의 변화와 반일주조의 진폭에 대하여, 서(1998)는 군산내항의 조위자료를 조화분해하여 반일주조의 진폭증가를 연구하였다.

본 연구의 목적은 금강하구둑 건설 전·후에 대한 흐름특성을 분석하고, 군산항과 장항항 부근의 퇴적현상등을 파악하는데 활용하고자 한다.

2. 기초자료조사

2.1 수심자료

대상해역의 수심자료는 국립해양조사원에서 편수한 No. 305 군산항 부근의 해도를 Digitizing하여, 금강하구둑 건설 전(1979)과 건설 후(2001)의 수심 자료를 구하였다.

2.2 모델체계

수치모형실험에서의 격자체계는 150m의 등간격 격자망을 이용하였으며, 해역의 총 격자수는 191×93개이다.

1 군산대학교 토목·환경공학부 교수
2 군산대학교 토목공학과 박사과정
3 군산대학교 토목공학과 석사과정

2.3 조석자료

군산외항의 주태음반일주조(M_2)는 하구둑 건설 전 219.7cm, 81.9°이고, 하구둑 건설 후 는 220.1cm, 82.2°이며, 평균해면(M.L.S)은 각각 361.4cm와 362.3cm로 본 자료는 해운항만청과 해양과학기술에서의 자료를 인용하였다.

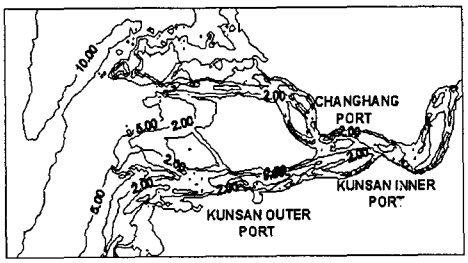

Fig. 1 하구둑 건설 전을 Digitizing한 수심도

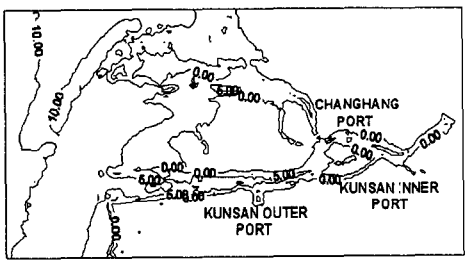

Fig. 2 하구둑 건설 후를 Digitizing한 수심도

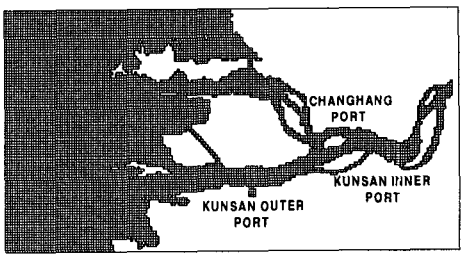

Fig. 3 하구둑 건설 전 격자망도

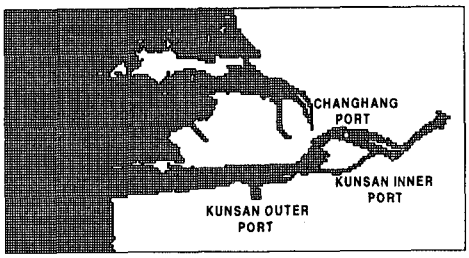

Fig. 4 하구둑 건설 후 격자망도

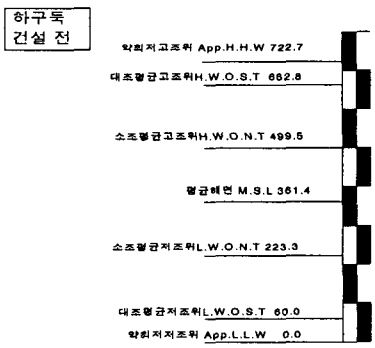

Fig. 5 하구둑 건설 전 조위도

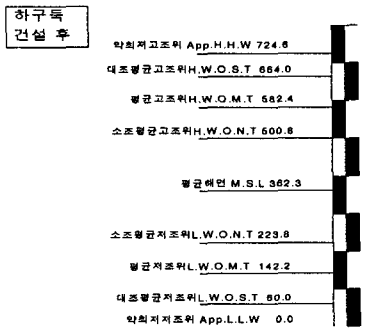

Fig. 6 하구둑 건설 후 조위도

3. 수치모형실험

해수를 비압축성 유체로 보고 표층 대기의 바람에 의한 영향을 무시하면, 연속방정식 식(3.1)과 같이 되며, 운동방정식은 식(3.2), (3.3)과 같이 된다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial (h+\eta)u}{\partial x}+\frac{\partial (h+\eta)v}{\partial y}=0 \tag{3.1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}-fv$$
$$=-g\frac{\partial \eta}{\partial x}+A_h\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)+\frac{\tau_x}{(h+\eta)} \tag{3.2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+fu=$$
$$-g\frac{\partial \eta}{\partial y}+A_h\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)+\frac{\tau_y}{(h+\eta)} \tag{3.3}$$

여기서 x, y는 각각 직교 좌표상에서 동쪽, 북쪽으로의 거리, u, v는 각각 연직으로 평균된 x, y방향의 유속, f는 Coriolis Parameter, η는 수평 해면으로부터 해면변위, h는 평균 해면으로부터 수심이다. 이상의 기본방정식을 차분형으로 표현하기 위해, 공간에 대해서는 중앙 차분형(centered difference scheme), 시간에 대해서는 전방 차분형(forward difference scheme)으로 구성하였으

며, 연속방정식인 식(3.1)을 차분형으로 쓰면 ;

$$\frac{h^{t+1}(i,\ j)-h^{t}(i,\ j)}{\Delta t} = -\frac{M^{t}(i+1,\ j)-M^{t}(i,\ j)}{\Delta x} - \frac{N^{t}(i,\ j+1)-N^{t}(i,\ j)}{\Delta y}$$

여기서,

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

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

로 하면 해면의 변화를 구하는 차분식은 다음과 같이 된다.

$$h^{t+1}(i,\ j) = h^{t}(i,\ j) - SX^{t}(i+1,\ j) + SX^{t}(i,\ j) - SY^{t}(i,\ j+1) + SY^{t}(i,\ j)$$

위와 같은 방법으로 운동 방정식인 식(3.2)와 식(3.3)을 차분식으로 표시하면 다음과 같다.

$$SX^{t+1}(i,\ j) = SX^{t}(i,\ j) - \frac{g}{2}\left(\frac{\Delta t}{\Delta s}\right)^{2}\{h^{t}(i,\ j)+h^{t}(i-1,\ j)+2h_{0}(i,\ j)\}$$
$$*\{h^{t}(i,\ j)-h^{t}(i-1,\ j)\} - \Gamma_{0}^{2}\frac{(\Delta t)^{2}}{\Delta s}u^{t}(i,\ j)$$
$$*\sqrt{[u^{t}(i,\ j)^{2}+[\{v^{t}(i,\ j)+v^{t}(i-1,\ j)+v^{t}(i-1,\ j+1)+v^{t}(i,\ j+1)\}/4]^{2}}$$
$$+\frac{f\Delta t}{4}\{SY^{t}(i,\ j)+SY^{t}(i-1,\ j)+SY^{t}(i-1,\ j+1)+SY^{t}(i,\ j+1)\}$$
$$-AX^{t}(i,\ j)$$

$$SY^{t+1}(i,\ j) = SY^{t}(i,\ j) - \frac{g}{2}\left(\frac{\Delta t}{\Delta s}\right)^{2}\{h^{t}(i,\ j)+h^{t}(i,\ j-1)+2h_{0}(i,\ j)\}$$
$$*\{h^{t}(i,\ j)-h^{t}(i,\ j-1)\} - \Gamma_{0}^{2}\frac{(\Delta t)^{2}}{\Delta s}v^{t}(i,\ j)$$
$$*\sqrt{[v^{t}(i,\ j)^{2}+[\{u^{t}(i,\ j)+u^{t}(i,\ j-1)+u^{t}(i+1,\ j-1)+u^{t}(i+1,\ j)\}/4]^{2}}$$
$$+\frac{f\Delta t}{4}\{SX^{t}(i,\ j)+SX^{t}(i,\ j-1)+SX^{t}(i+1,\ j-1)+SX^{t}(i+1,\ j)\}$$
$$-AY^{t}(i,\ j)$$

4. 초기조건 및 경계조건

처음 계산할 때 모든 변수들의 초기조건은 0으로 하고, 경계조건은 대표조석의 개념으로서 M_2 분조의 조위와 위상자료를 이용하여 해수유동을 계산 하였으며, 계산식은 다음과 같다.

$$\eta(t) = \eta_0 \sin(\sigma - \theta)$$

계산영역을 정방형 격자로 나누고, 계산의 시간간격(Δt)은 계산결과의 발산을 방지하기 위하여 CFL(Courant Friedrics Lewy criterion)의 안정성, 수렴성, 적합성의 조건을 만족해야한다. CFL조건식은 다음과 같다.

$$\Delta t \le \frac{\Delta S}{\sqrt{2\times g\times h_{\max}}}$$

해수유동에 관한 식에서 η_0는 관측된 M_2분조의 진폭(Amplitude), θ는 관측된 M_2분조의 위상(Phase), σ는 M_2분조의 각속도, t는 시간이며, CFL조건식에서 ΔS는 계산 격자의 크기, g는 중력가속도(980 $cm\cdot \sec^{-1}$), $h_{\max}$는 최대 수심이다.

5. 결과분석

5.1 위상과 진폭의 계산결과

개방경계는 서·남·북경계로 하였다. 경계치는 농어촌진흥공사에서 관측으로부터 얻어진 M_2분조의 위상과 진폭을 남쪽경계에서 76.5°~77.3°, 214.0cm~216.0cm, 북쪽경계에서 78.5°~80.5°, 215cm~217cm, 서쪽경계에서 78.4°~76.5°, 214.9cm~214.0cm를 사용하여 계산하였다.

5.2 하구둑 건설 전·후의 수심변화

수심 변화를 보면, 명암 부근, 군장국가공단, 군산외항~군산내항, 장항항 부근, 장항항~군산내항에서는 수심이 적색(+값)으로 표현되어 하구둑 건설 전보다 건설 후에 퇴적이 되었거나, 구조물들이 생긴 것을 알 수 있고, 군산외항으로 들어오는 항로, 군산외항 부근, 군산외항~장항항, 군산내항~금강하구둑에서는 수심이 청색(-값)으로 표현되어 건설 전보다 건설 후에 수심이 깊어진 것을 알 수 있었다.

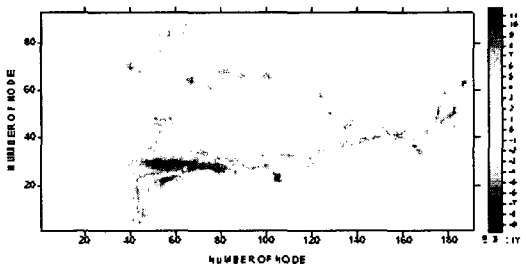

Fig. 7 하구둑 건설 전·후의 수심변화도

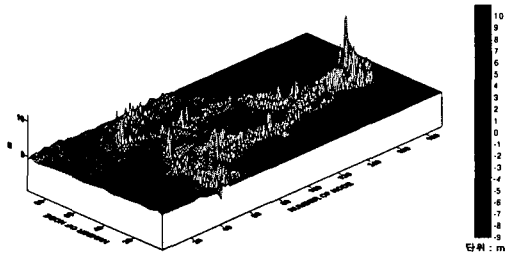

Fig. 8 하구둑 건설 전·후의
3차원 수심변화도

5.3 하구둑 건설 전·후의 유속변화

하구둑 건설 전·후의 유속변화를 알아보기 위하여, 조류계산결과의 2시간과 8시간째의 조류속을 비교하였다. 2시간 경과 후를 보면 하구둑 건설 전보다 건설 후에 군산외항으로 들어오는 항로, 군산외항 부근, 장항항~군산내항, 군산내항~금강하구둑의 유속은 작아졌다. 그러나 명암 부근, 군산외항~장항항, 군산외항~군산내항, 장항항 부근의 유속은 증가한 것을 알 수 있었다. 8시간 경과 후를 보면 2시간 경과 후의 경우와 비슷한 분포를 보였다.

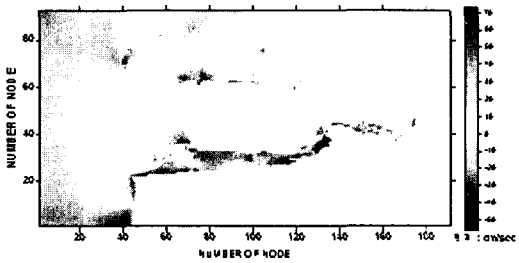

Fig. 9 하구둑 건설 전·후의 유속분포도(창조시)

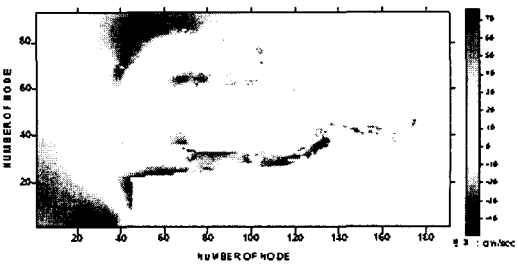

Fig. 10 하구둑 건설 전·후의 유속분포도(낙조시)

6. 결 론

2차원 유한차분기법을 이용하여 금강하구둑 건설 전• 후에 대한 수치실험 결과, 명암 부근, 군산외항~장항항, 군산외항~군산내항, 장항항 부근에서는 하구둑 건설 후에 유속이 증가하였으며, 군산외항으로 들어오는 항로, 군산외항 부근, 장항항~군산내항, 군산내항~금강하구둑은 하구둑 건설 후에 유속이 감소한 것을 알 수 있었다. 명암 부근, 군산외항~군산내항, 장항항 부근은 건설 후의 수심이 얕아짐으로서 유속이 증가 하였지만, 군산외항~장항항은 수심이 얕아졌지만, 유속은 감소한 것을 알 수 있었다. 군산외항 부근, 군산내항~금강하구둑은 수심이 깊어짐으로 유속이 감소하였지만, 장항항~군산내항은 수심이 깊어졌지만, 유속은 감소한 것을 알 수 있었다.

참고문헌

군산지방해양수산청 (2001). 군·장항 매몰저감대책 시설 기본계획수립 용역 보고서

군산지방해양수산청 (1999). 금강하구 수리현상 변화조사 보고서

신문섭 (1999). 만경강과 동진강하구의 퇴적과정에 관한 연구, 한국농공학회학술발표논문집. 143~148

신문섭, (2002). 새만금간척 퇴적과정에 관한 연구(II), 한국농공학회지 제44권 제5호 해운항만청, 1982, 군산항 수심측량 용역보고서

신문섭, T. Yanagi (2002). 새만금간척 전• 후 잔차류의 계절변화에 관한 연구, 한국수자원학회논문집 제35권 제4호, 425~442

최병호, 오윤근 (1987). 금강하구둑에 의한 조석변화의 초기추정, 한국수문학회지 제20권 제2호, 161~168

Tetsuo Yanagi, Satour Takahashi, Akira Hoshika and Terumi Tanimoto (1996). Seasonal Variation in the Transport of Suspended Matter in the East China Sea, Jounal of Oceanography, Vol. 52, pp.539~552

Tetsuo Yanagi and Satour Takahashi (1993). Seasonal Variation of Circulations in the East China Sea and the Yellow Sea, Jounal of Oceanography, Vol. 49, pp.503~520