

## 영종도 연육교 건설에 따른 서해안 조석 체계의 변화

문 용주\*, 박 성진\*, 김 효섭\*

### 1. 서론

최근 자원의 효율적인 이용을 위한 연안 개발이 활발하게 진행되고 있는데, 이러한 연안 개발 사업은 초기의 막대한 투자비와 유지 관리가 소요되기 때문 파랑, 흐름, 퇴적물 이동, 조석 등의 설계 환경 요인을 정확하게 예측하는 것이 필요하다.

해수 유동에 관한 수치모형 실험이라 함은 조석을 비롯한 해수의 움직임을 1차원, 2차원, 3차원적으로 재현하는 것을 말한다. 본 연구에서는 영종도 연육교 건설에 따른 서해안 일대의 조석 체계의 변화에 대해 현장 관측 및 2차원적 수치모형 실험을 통해 정확한 모양을 재현하고자 한다.

### 2. 본론

당 해역의 조석 체계를 규명하기 위해 현장 관측을 실시하였는데, WLR-7으로 읽어들이는 메시 별 조위 곡선은 fig.1과 같으며, 30일간의 조석자료에 대한 표준 최소자승법을 이용한 영국 해양 연구소의 TIRA(Tidal Institute Recursive Analysis)프로그램을 사용하여 조화 분석한 자료는 표.1과 같다. 분석에 포함된 분조 수는 35개이며, 임의의 시간에 있어서의 조위 $Z(t)$ 를 분조의 화(和)로 표시하면 다음과 같다.

$$Z(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^n f_i H_i \cos(\omega_i t + (V_0 + u)_i - g_i)$$

여기서

$Z$ : 조위,  $t$ : 시간(표준 지방시),  $Z_0$ : 평균해면 높이,  $i$ : 분조를 표시하는 첨자,  $f_i$ : 교점계수 (node factor),  $H_i$ : 반조차,  $\omega_i$ : 각속도,  $(V_0 + u)_i$ : 천문학적 상수(표준시 기준),  $g_i$ : 지각(phase lag, 표준시 기준),  $n$ : 고려 분조의 수

수심 적분 평면 2차원(x, y방향) 조석 수치모형의 기본 방정식은 3차원 연속방정식(Continuity equation)과 운동 방정식에서 유도되었다. 질량 보존의 법칙으로부터 유도된 3차원 비압축성 유체의 연속 방정식 난류 유체의 운동량 보존 방정식인 3차원 Reynolds 방정식중 수평방향 유속에 관한 두 식에 대해 적분하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial(HU)}{\partial x} + \frac{\partial(HV)}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - 2\omega(\sin \varphi)V + fU \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{8H} \\ &+ g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial U}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial U}{\partial y}) = 0 \\ \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + 2\omega(\sin \varphi)U + fV \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{8H} \\ &+ g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial V}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial V}{\partial y}) = 0 \end{aligned}$$

\* 국민대학교 토목환경공학과

여기서

$t$ : 시간,  $x$ : Cartesian 좌표계의 한 수평축,  $y$ : Cartesian 좌표계의  $x$  축과 직교되는 다른 한 축,  $\xi$ : 평균해면을 기준으로 한 해수위 상승높이,  $U, V$ :  $x, y$  방향의 연직평균 수평 유속,  $D_x, D_y$ :  $x, y$  방향의 확산 / 분산 계수 (diffusion / dispersion coefficients),  $H$ : 총 수심 ( $h + \xi$ ),  $h$ : 평균수심,  $g$ : 중력 가속도,  $f$ : Darcy - Weisbach 의 마찰손실 계수

(bottom friction coefficient):  $8 \left( \frac{\tau_b}{\rho} U^2 \right)$ ,  $\tau_b$ : 해저면에서의 전단응력,  $\rho$ : 해수의 밀도,  $\omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 계산점의 위도이다.

본 해역은 부등류적인 특성이 크고, 난류 확산항의 크기가 크지만 이에 못지 않게, 전단강도 (Shear - dispersion)의 강도가 클 수 있다.

본 수치 모형에서는 기본 방정식에서 확산항을 제외하여, 운동 방정식은 다음과 같이 단순화할 수 있다..

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - 2 \omega (\sin \varphi) V + f U \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{8H} + g \frac{\partial \xi}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + 2 \omega (\sin \varphi) U + f V \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{8H} + g \frac{\partial \xi}{\partial y} = 0$$

조석, 조류의 에너지 감쇠를 나타내는 해저 마찰계수( $f$ )는 다음과 같다.

$$f = 8k^2 I_n^2 \left( \frac{d}{ez_0} \right)$$

주어진 모형의 해역에서 상기 방정식을 풀기 위해서는 경계 조건이 필요하다. 육지 경계 조건은 연안에서 수직 방향으로의 유량은 영(0)으로, 이때 연안에 평행한 방향으로의 유속에는 제약을 두지 않는다. 또한 외해 또는 하천과의 경계 면에서의 수위, 유속을 지정해줄 수 있으며, 방사방식 (radiation type) 경계 조건을 부여할 수 있다.

수치모형은 대상범위의 결정, 격자소 크기의 결정, 수심 자료 입력, 수심 및 현장관측 자료를 토대로한 경계 조건 결정 순으로 수립된다. 일반적으로 모형 범위의 결정은 모형실험을 통한 재현 및 관측결과와 직결된다. 이에 따라 전체 수치모형 범위는 Fig.2와 같이 경기만 일대 전역을 포괄하며, 또한 격자망은 광역 격자와 관심해역 일부의 상세격자로 나누어 설정하였는데. 광역 격자는  $\Delta x, \Delta y$ 가 259.2m x 308.5m 간격으로 354 x 444개, 상세격자는 32.8m x 34.3m 간격으로 126 x 99개의 격자로 설정하여 광역격자망과 동적 연결을하여 하나의 프로그램내에서 양격자망의 조석을 동시에 계산하였다(김효섭, 1996 : fig 3, 4 참조).

### 3. 계산 결과 및 토의

현장 관측 자료를 이용하여 검증과정을 거친 후 현상태와 공사후의 상태를 복합성분을 비교하면, fig. 5와 같으며, 공사전 모형실험 결과의  $M_2$  분조(진폭 :  $M_2 + S_2$  분조)의 등조고도(상세역)는 fig.6과 같으며, 또한 공사후의  $M_2$  분조(진폭 :  $M_2 + S_2$  분조)의 등조고도(상세역)는 fig.7과 같다.

### 4. 참고 문헌

김 효 섭. 1996. 대소 격자망의 동적 연결법. 국민대학교 공학논총 95

Godin, G. 1972. The analysis of tides, Univ. of Tomoto Press.

교통부. 1992. 수도권 신공항 고속도로 연육교 건설공사 해상조사 및 수치모형 실험보고서.

표.1 조석의 조화상수 및 비조화 상수

위도 (N)	37° 32' 25"	
경도 (E)	126° 35' 56"	
기간	1995. 11. 11. ~ 12. 12.	
분조	반조차 (cm)	지각(g) (Deg.)
M <sub>2</sub> 주태음반일주조	304.1	140.8
S <sub>2</sub> 주태양반일주조	121.9	208.5
K <sub>1</sub> 일월합성일주조	45.8	304.2
O <sub>1</sub> 주태음일주조	28.2	268.9

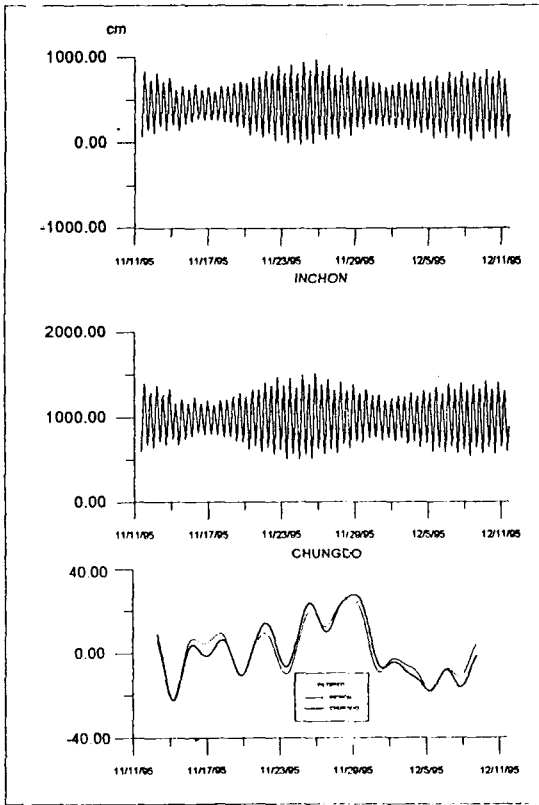


Fig 1. 인천과 경도의 조위곡선 및 평균해면 변화의 비교도

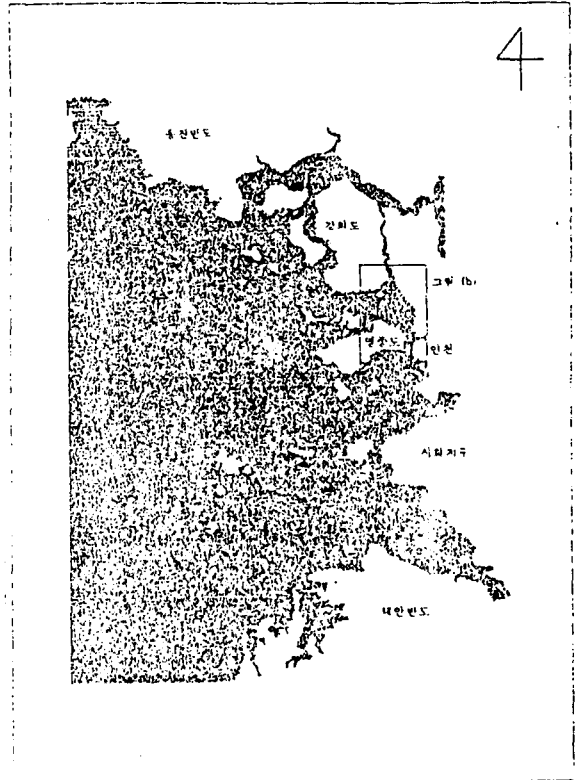


Fig 2. 수치모형 계산의 격자망도(광역)

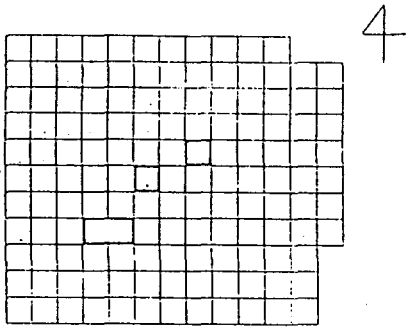


Fig. 3. 광역격자망의 상세 격자망으로의 변환(대상광역 격자)

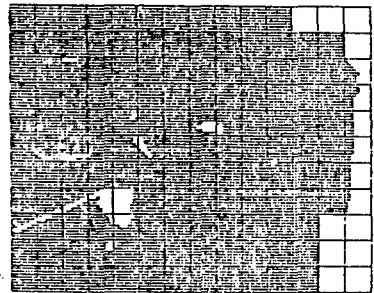


Fig. 4. 광역격자망의 상세 격자망으로의 변환(상세 격자)

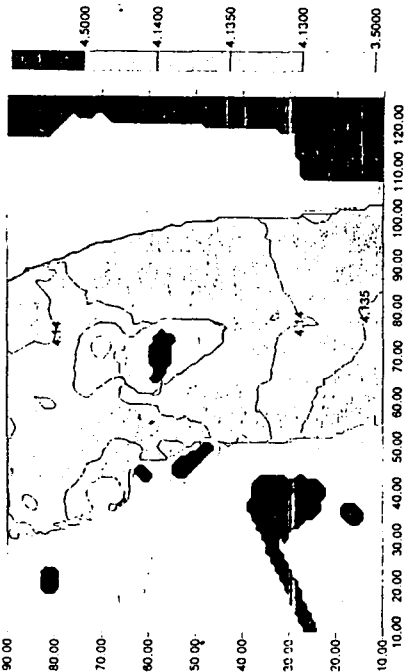


Fig. 6. 모형실험 결과의 M2 등고도(상세)

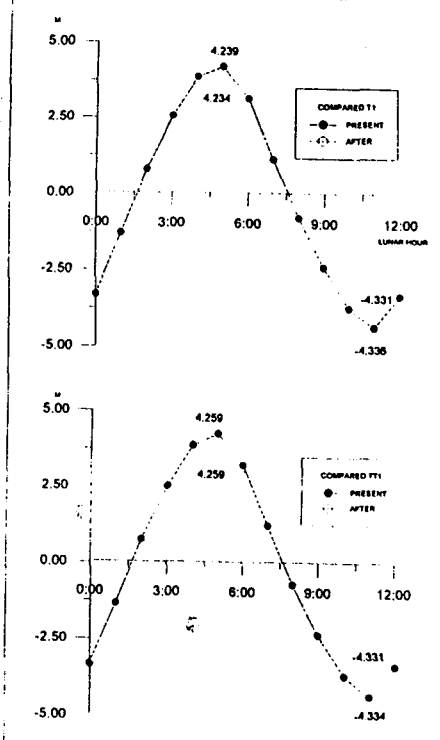


Fig. 5. 조의 복합성분의 현상태와 공사중 비교도

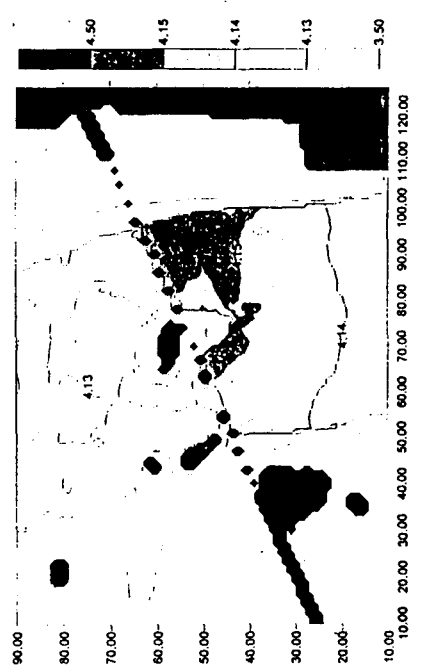


Fig. 7. 공사중 실험 결과의 조의 M2 등고도(상세)