

有限要素法을 이용한 海水流動解析 (II)

Analysis of Tidal Flow using the Frequency Domain Finite Element Method (II)

權 純 國* · 高 德 九* · 趙 國 光** · 金 俊 賢***
Kwun, Soon Kuk · Koh, Deuk Koo · Cho, Kuk Kwang · Kim, Joon Hyun

Summary

The TIDE, finite element model for the simulation of tidal flow in a shallow sea was tested for its applicability at the Saemangeum area.

Several pre and post processors were developed to facilitate handling of the complicated and large amount of input and output data for the model developed. Also an operation scheme to run the model and the processors were established.

As a result of calibration test using the observed data collected at 9 points within the region, linearized friction coefficients were adjusted to be ranged 0.0027~0.0072, and water depths below the mean sea level at every nodes were changed to be increased generally by 1 meter.

Comparisons of tidal velocities between the observed and the simulated for the 5 stations were made and obtained the result that the average relative error between simulated and observed tidal velocities was 11% for the maximum velocities and 22% for the minimum, and the absolute errors were less than 0.2m/sec. Also it was found that the average R.M.S. error between the velocities of observed and simulated was 0.119 m/sec and the average correlation coefficient was 0.70 showing close agreement.

Another comparison test was done to show the result that R.M.S. error between the simulated and the observed tidal elevations at the 4 stations was 0.476m in average and the correlation coefficients were ranged 0.96~0.99.

* 서울대학교 農業生命科學大學

** 水原專門大學

*** 江原대학교 工科學大學

키워드 : TIDE模型, 해수유동모형, 유한요소모형,
조화함수모형, 조석현상의 모의발생, 조위
및 조류속 계산, 새만금해역 조석분석

Though the simulated tidal circulation pattern in the region was well agreed with the observed, the simulated tidal velocities and elevations for specific points showed some errors with the observed. It was thought that the errors mainly due to the characteristics of TIDE Model which was developed to solve only with the linearized scheme.

Finally it was concluded that, to improve the simulation results by the model, a new attempt to develop a fully nonlinear model as well as further calibrations and the more reasonable generation of finite element grid would be needed.

I. 緒 論

深해간척과 같은 초대규모 간척사업을 시행함에 있어, 특히 방조제 끝막이 開放區間에서의 築造段階別 조류속 및 내외수위의 크기와 그 변화양상은 초미의 관심이 되고 있다.

본 연구의 제1보에서는 해안에서의 潮汐流의 水理的 學動을 모의발생하기 위한 선형 2차원 조화함수 유한요소모형(TIDE)을 개발하고, 嚴密解가 존재하는 직사각형 폐쇄수로에 모형을 적용하여 그 이론적 타당성을 밝혔으며, 입력자료별 銳敏度分析도 실시하였다. 본 제2보에서는 개발된 海水流動模型 TIDE를 방조제 축조단계별 수리현상 모의발생에 적용하기 위한 前段階로서, 현재 대규모 간척사업이 추진중인 새만금해역에 모형을 적용하여 방조제 축조전의 조위 및 조류속을 모의발생시키고 현장실측자료와 비교, 검토함으로써 본 모형의 실제 해역에 대한 적용가능성을 타진하고자 하였다.

이를 위해 본 연구에서는 첫째 TIDE모형을 실제해역에 적용하기 위한 電算프로그램化 과정 및 구조를 검토하고, 이를 바탕으로 유한요소 모형의 운영에 있어 필수적인 요소인 前後處理 프로그램과 함께 이들을 유기적으로 연결하여 그 적용이 용이하도록 TIDE모형 운영체제를 개발하였으며, 둘째 새만금해역 현장에서 1987년~1990년 기간동안 기초조사를 통해 측정된 조위 및 조류속 자료를 수집하고, 세째 모형에 의한 모의발생치를 수집한 실측자료와 비교, 분석하였다.

II. 電算프로그램

1. 해수유동모형 TIDE

가. 계산과정

TIDE모형의 계산과정은 제1보(한국농공학회지 33권 4호)에서 제시한 수치해법에 따라 우선 格子網 자료 및 지역특성 파라메타를 입력하여 요소별 質量行列을 구한 다음, 이들로부터 전체 微分行列 [D]와 조위에 대한 전체질량행렬 $[M_{\eta}]$ 를 구성하고, 또한 바닥마찰 및 偏向係數의 행렬 $[M_F]$, $[M_C]$ 와 조합하므로써 전체 質量集中行列 $[M_T]$ 를 구성한다. 다음 $[M_T]$ 의 逆行列을 계산하고, 하천유입경계조건 및 조위 경계조건, 바람에 의한 마찰항을 입력하여 각각의 부하벡타에 대입한 후, 이들로부터 제1보의 식(25)와 같은 最終行列式의 右邊을 계산한다. 다음 단계로서 조위에 대한 전체질량행렬 $[M_{\eta}]$ 와 미분행렬 [D]의 轉置行列을 이용하여 최종행렬식의 左邊을 계산하므로써 최종행렬식을 완성하고, 이를 Gauss消去法の 알고리즘에 대입하여 조위벡타를 계산한다. 마지막으로 그 결과를 제1보의 식(24)에 대입하여 조류속벡터를 계산한 후, 이로부터 절점별 조위와 조류속을 振幅 및 遲角으로 나누어 출력한다. 상세한 처리순서 및 과정은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

나. 입력자료

TIDE모형의 입력자료로는 크게 격자망구성에 관한 자료와 조석 및 지형특성 파라메타, 경계조건등을 들 수 있다.

격자망에 관련된 입력자료로는 요소의 위치와

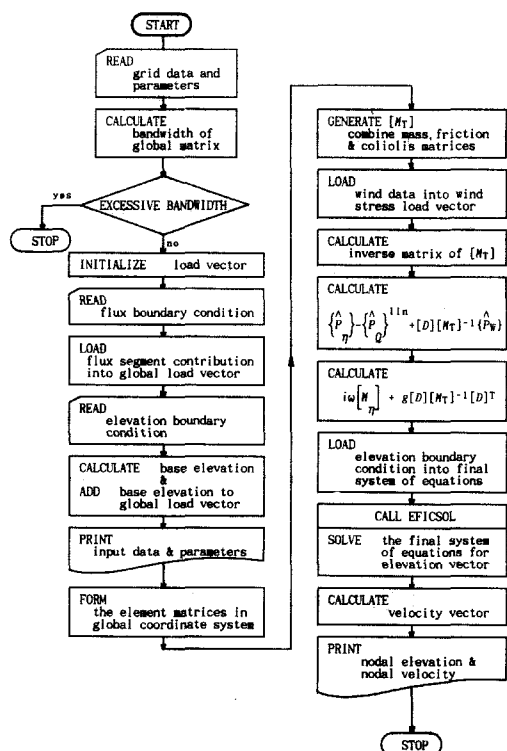


Fig. 1. Flow Chart of TIDE Model

면적등을 나타내는 각 절점의 座標와 수심, 그리고 요소별 構成절점의 번호 및 선형 바다마찰계수가 있으며, 조석 및 지역특성 파라메타로는 적용하고자 하는 각 분조의 角速度와 地球自轉力에 의해 조류가 받는 영향을 나타내는 편향계수, 해수면에서의 마찰력을 고려하기 위한 바람특성자료가 있다. 한편 모형에 입력되는 境界條件으로는 각 개방경계절점에서의 분조별 진폭 및 모의발생을 원하는 시점의 位相差, 또는 유입하천 경계절점에서의 x, y 방향 定常流 流速이 있다.

다. 출 력

TIDE모형의 출력에는 각 절점에서의 조위 및 x, y방향 조류속의 진폭과 위상이 포함된다. 그러나 TIDE모형은 매우 일정한 주기를 갖는 조석현상, 즉 분조별로만 적용이 가능하므로 그 계산결과가 복합조의 성격을 띄는 실제조석의

값이 아니라 특정분조만에 대한 것이므로 시간별, 절점별 실제 조류속 및 조위를 파악하기 위해서는 각 분조별 결과를 合成하여야 하는데, 이 과정은 뒤에 언급될 後處理프로그램에 의해 수행되도록 하였다.

2. 전·후처리 프로그램

유한요소법의 단점중 하나는 입력자료와 해석결과의 양이 방대하고 복잡하다는 점을 들 수 있다. TIDE모형의 입력자료중 절점별 平均海面水深과 선형 바다마찰계수, 경계조건에 관한 자료중 조위의 位相差 등을 계산하고 입력 file로 작성하는 과정은 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 또한 TIDE모형은 각 분조별로 따로 실행되어야 하므로 적용하는 분조의 수에 따라 출력의 양도 그만큼 늘어나게 되며, 그 계산 결과는 領域内 각 절점의 분조별 조위 및 조류속의 振幅과 位相뿐이므로 또한 그 결과를 合成하여 실제 해역의 시간별 조위와 조류속을 계산하는데는 엄청난 계산량이 요구된다.

뿐만 아니라 TIDE모형의 실행에 앞서, 프로그램의 계산효율을 높이기 위해서는 계산과정에 구성되는 행렬의 疎疎를 최소화할 수 있도록 절점의 番號體系를 再構成하여야 하는데 이 과정도 手動的인 방법에 의해서는 수행이 불가능한 작업이다.

그리고 격자망을 구성하는데 있어서는 作圖의 과정이 필수적일 뿐 아니라, 경우에 따라서는 모형의 결과를 領域内 조류속벡터, 또는 조위의 분포도로 제시하여야 하는데 이때에도 많은 시간과 노력을 필요로 하므로 신속한 graphic처리를 할 수 있는 도구가 필요하다.

이와같은 일들을 자동으로 수행하기 위하여 전후처리를 위한 전산프로그램들을 개발하였다. 전후처리 프로그램은 하드웨어의 구성과 사용자의 요구도에 따라 달라질 수 있으나, 본 연구에서는 Table-1에서와 같은 처리프로그램들을 개발하였다. 여기에 사용된 하드웨어는

Table-1. Pre and post processors for the operation of TIDE Model

	Name	Function
Pre processor	GRID	Displays the finite element grid system on a graphic device
	MKGRID	Generates the finite element grid data file for input to the TIDE
	MKBND	Generates the boundary condition data file for input to the TIDE
	OPTIMA	Renumbers nodal numbers of finite element grid system to facilitate more efficient execution of TIDE
Post processor	COMP	Generates a file for printing that contains velocities and tidal heights at a given node computed on the time basis, or displays the charts on a graphic device that show the comparisons of simulated and observed values at a given node
	VELO	Displays the nodal velocity vectors at a given time on a graphic device
	CONTR	Displays the contour lines of tidal heights at a given time on a graphic device

MIPS사의 RS-2030 엔지니어링 워크스테이션이며, graphic의 처리는 X-Window, 또는 HPGL plotter를 통해 이루어지도록 하였다.

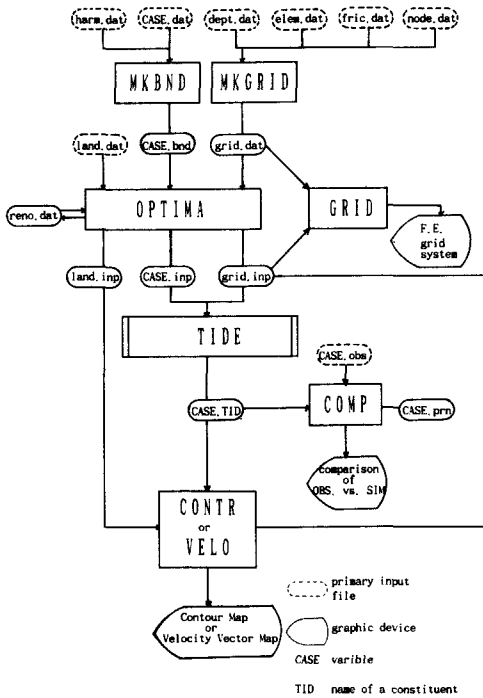


Fig. 2. Operating scheme of TIDE Model

3. TIDE모형의 運營體系

개발된 각종 전후처리 프로그램을 TIDE프로그램과 連繫하여 사용자가 원하는 결과를 손쉽게 얻을 수 있도록 하고, 이 과정에서 사용되는 모든 입출력 file들을 일관성 있게 관리하기 위한 운영체제를 개발하였다. Fig. 2는 이 운영체제를 圖式化하여 나타낸 것이다.

III. 補正 및 檢定

1. 對象海域의 概要

본 연구의 대상해역인 새만금해역의 지형을 보면(Fig. 3) 만경강과 동진강하구에는 대규모의 干瀉地가 전개되어 있으며, 고군산군도 주변의 수심은 略最低干潮位(基本水準面)를 기준으로 2~25m로 局部的인 큰 차이를 보이면서 두리도와 북가력도 사이, 신시도남단, 야미도동단 등 3개 지역에서는 峽谷을 이루고 있다. 대상해역의 일반적인 수심은 평균 20~30m에 달하고 있다. (6,9,10)

한편 이 해역의 平均大潮差는 6m에 달하고 있으며, 조석의 형태는 半日週潮에 해당된다. 漲潮時 남측 및 서측 의해로 부터 공급되는

조류의 주흐름은 동북방향으로 진행하지만 해

안에 접근하면서 正東向으로 전환되는 현상을 보이고 있으며, 落潮時에는 그 반대현상을 나타내고 있다. 새만금해역에 대한 M_2 , S_2 , O_1 , K_1 분조의 진폭과 위상 等潮汐圖를 이용하여 구하였다^{5,12)}

해저의 지질은 바닥마찰의 산정에 필요한 자료이다. 새만금해역의 해저지질은 대체적으로 silt질, 細粒砂 및 粘土가 주를 이루며 微粘土에 의한 堆積현상이 뚜렷하게 나타나는데 開也島 부근은 基盤岩이 海底에 노출되어 있고, 軍山 항부근은 砂質과 泥土質이, 高軍산군도 부근은 老岩과 貝砂가 넓게 분포되어 있다.⁷⁾

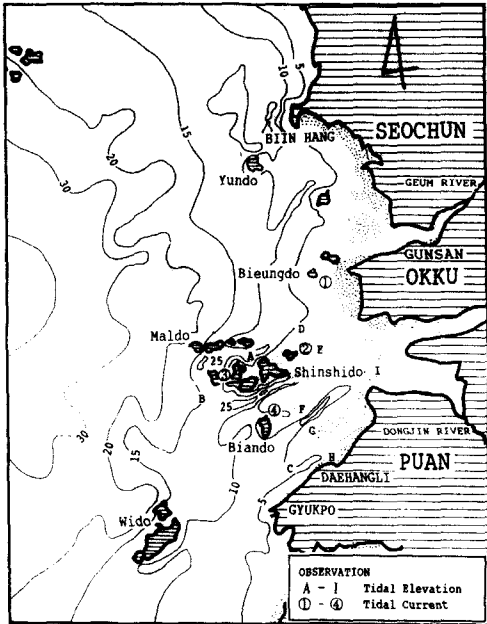


Fig. 3. Map of Saemangeum area

2. 실측자료의 수집

TIDE모형의 조류속 및 조위에 대한 예측능력을 검증하기 위한 자료로서 우선 조류속은 농업진흥공사의 새만금해역에 대한 기초조사 보고서 및 수리시험장의 보고서를 통해 해역근방의 9개 지점(A~I)에서 측정된 자료를, 조

Table-2. Complete list of observed field data(current velocity)

St. No.	Location	Depth(m)	Date of Observation	Tide	Usage
A	35° 50' 24"N	12.0	88. 7. 17(08 : 00) ~ 7. 18(19 : 20)	Spring	Calib.
	126° 25' 36"E		88. 7. 19(07 : 00) ~ 7. 19(19 : 00)	Neap	Verif.
B	35° 46' 40"N	19.8	89. 9. 2(09 : 00) ~ 9. 3(10 : 00)	Spring	Calib.
	126° 20' 15"E		89. 9. 7(13 : 00) ~ 9. 8(14 : 00)	Neap	Verif.
C	35° 41' 36"N	10.0	89. 11. 1(17 : 00) ~ 11. 2(06 : 00)	Spring	Calib.
	126° 29' 00"E		89. 11. 7(13 : 00) ~ 11. 8(03 : 00)	Neap	Verif.
D	35° 52' 00"N	10.1	90. 8. 17(13 : 00) ~ 8. 18(03 : 00)	Neap	Calib.
	126° 29' 32"E		90. 8. 19(07 : 00) ~ 19. 00)	Mean	Verif.
E	35° 51' 12"N 126° 31' 30"E	10.2	87. 8. 5(12 : 00) ~ 8. 6(13 : 00)	Spring	Calib.
F	35° 45' 45"N 126° 29' 56"E	9.2	90. 8. 17(13 : 30) ~ 8. 18(03 : 00)	Neap	Calib.
G	35° 45' 07"N 126° 31' 12"E	16.1	90. 8. 20(07 : 00 ~ 20 : 00)	Neap	Calib.
H	35° 42' 15"N 126° 32' 42"E	9.7	90. 8. 17(14 : 00) ~ 8. 18(02 : 00)	Neap	Calib.
			90. 8. 19(08 : 00 ~ 21 : 00)	Mean	Verif.
I	35° 48' 28"N 126° 37' 54"E	6.3	90. 8. 23(13 : 00) ~ 8. 24(03 : 00)	Spring	Calib.

위에 대해서는 4개지점(①~④)의 자료를 수집하였다. 조류속 및 조위 측정자료의 개요는 각각 Table-2, Table-3와 같으며 측정지점들의 위치는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다.^{9,10)}

Table-3. Complete list of observed field data (Tidal elevation)

St. No.	Location	Date of observation
①	35° 56' N 126° 32' E	1987. 10. 1~10. 30
②	35° 50' N 126° 29' E	1987. 9. 18~11. 16
③	35° 48' N 126° 23' E	1988. 5. 22~ 6. 28
④	35° 43' N 126° 27' E	1988. 10. 1~10. 30

3. 계산조건

가. 격자망작성

TIDE모형의 적용을 위해서는 수치모의실험 대상지역을 포함하는 有限한 영역의 선정과 이에 대한 格子網의 작성이 선행되어야 한다. 그러나 경계영역의 선정을 위한 기준이 定量的으로 제시된 경우는 거의 찾아볼 수 없는 실정이다.¹¹⁾

본 연구에서는 자료관측지점의 조석현상을 해석하는데 있어서 해의 歪曲을 최소화할 수 있도록 하기 위하여 試行錯誤를 거쳐 대상영역의 外海側 개방경계를 결정하였는 바, 북으로는 충청남도 서천군 마량리(36° 8'N, 126° 30'E)로 부터 시작하여 남으로 전라북도 고창군(35° 26'N, 126° 27'E)에 이르는 반원형의 노선으로서 외해쪽 침단은 동경 126° 2'을 지나고 있다.

선정된 영역의 면적은 약 4,700km²이고, 이 영역을 삼각형의 요소로 분할한 격자망은 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 요소를 분할하는데 있어서 해안선과 비교적 지형의 변화가 적은 부분에서

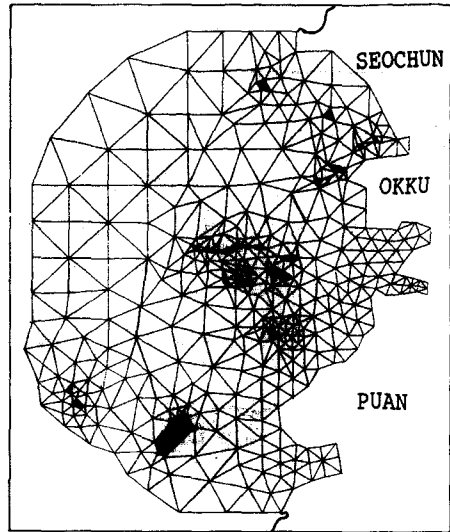


Fig. 4. Finite element grid discretization of Saemangeum area

는 요소의 크기를 크게 하였으며 섬주변과 같이 조석의 변화가 심할 것으로 예상되는 지점에 대해서는 요소의 크기를 점차적으로 작게 하였으며, 삼각형의 모양은 가급적 정삼각형이 유지되도록 하였다. 구성된 격자망의 요소수는 713개이고, 절점의 수는 422개이며 그 중 개방경계절점은 25개이다.

나. 입력자료의 준비

Fig. 5의 격자망에 대한 基準原點의 위치는 동경 125° 55'30", 북위 35° 29'16"이다. 그리고 각 절점의 수심은 해도상의 기준해면인 약최저간조위와 다음의 식(1)로 부터 계산되는 약최저간조위상의 평균해면높이(MSL)를 더하여 산정하였다.⁷⁾

$$MSL = 3.589 + 0.014\Delta x + 0.006\Delta y \quad \dots\dots(1)$$

식(1)은 새만금해역의 기준점인 군산항과 특정지점의 經度 및 緯度差(Δx , Δy)로 부터 평균해면높이를 계산할 수 있도록 기존의 관측자료들을 이용하여 유도한 회귀식이다.

선형마찰계수의 산정에는 Manning의 n 값을

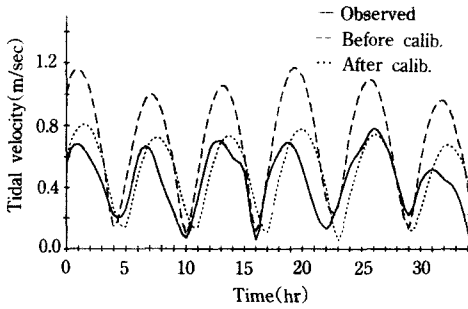


Fig. 5. The observed and the simulated tidal velocities at the station A.

(88. 7. 17, 08 : 00 ~ 7. 18, 19 : 20)

이용하였는데, 각 요소의 Manning'n은 해역의 바닥물질분포로부터 물질의 粒度를 추정하여 Strickler의 공식에 의해 계산하였다.^{1,3)} 그리고 제1보 식(4)의 대표최대조류속 U_{max} 는 강(1989)의 연구결과를 참고하여 1m/sec의 값을 사용하였다.⁵⁾

기타 자료로서 해역의 편향계수는 0.00008536으로 계산되었으며, 바람에 대한 영향은 추후에 다시 검토하기로 하고 이에 대한 파라메타는 모두 0(零)으로 취급하였다.

한편 경계조건 입력자료는 경계절점의 조위에 관한 자료를 분조별로 나누어 적용하여야 하므로 본 연구에서는 4개의 주요분조인 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 분조만을 적용하였으며, 각각에 대한 조위의 振幅과 位相을 등조석도로부터 결정하였다.

다. 보정방법

TIDE모형에 의해 조위 및 조류속을 모의발생시키기 위해 입력된 각종 파라메타는 대개 기존의 각종 자료로부터 결정가능한 物理的 意味를 갖는 것들이지만 바닥마찰계수나 수심 등은 조사의 불확실성과 격자망 구성과정에서의 歪曲등으로 인해 그 값을 보정해야 할 필요가 있다.

기존 자료들로부터 결정된 파라메타들을 TIDE모형에 입력하여 Table-2의 A, B지점 자

료의 수집기간에 대해 시간별 조류속 변화를 모의발생시킨 후, 이를 실측치와 비교하여 그 오차를 감소시키는 방향으로 영역 전체의 수심 및 마찰계수를 조정하였다. 조정된 파라메타를 다시 모형에 입력하고 모의발생된 결과를 다시 실측치와 비교하는 과정을 그 오차가 만족할 만한 수준에까지 최소화될 수 있도록 반복하였다. 기타 지점의 자료수집 기간에 대해서도 모의발생을 실시하고 그 지점 주변의 파라메타를 局部的으로 조정하는 과정을 수행하였다.

라. 모형의 검정

모형의 조위 및 조류속 예측능력을 검정하기 위하여 보정된 파라메타를 TIDE모형에 적용하여 Table-2의 A, B, C, D, H지점에 대한 조류속을 모의발생시키고 그 결과를 보정에 사용되지 않았던 실측치와 비교하였으며 조위에 대해서도 Table-3의 각 자료에 대해 검정을 실시하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 보 정

보정의 과정을 통해 영역내 수심 및 선형마찰계수의 分布가 조정되었다. 수심은 보정을 통해 전체 영역에 대해 1m씩 일률적으로 증가되었으며, 보정전 선형마찰계수 분포는 0.0015~0.0033이었으나 보정 후에는 0.0027~0.0072로 변화되었다.

보정전 TIDE모형에 의한 모의발생결과는 Fig. 5에서 예시한 바와 같이 대체적으로 조류속을 과다 모의발생하는 경향이 있었으나 보정을 통해 실측치에 근접하는 결과를 얻을 수 있었으며, 따라서 선형마찰계수가 전반적으로 증가되었다.

TIDE모형에 대한 보정 전후의 조류속을 실측치와 비교, 분석한 결과 Table-4에서 보는 바와 같이 보정전 최대조류속이 실측치가 0.672 m/sec인데 비해 0.804m/sec, 최저유속 0.091m

Table-4. Tidal velocity comparison between observed and simulated before and after calibration

Station	Observed tidal velocity (m/sec)		Simulated tidal velocity(m/sec)				R. M. S. of errors between velocities of observed & simulated	
			Before calib.		After calib.			
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Before	After
A	0.779	0.060	1.153	0.090	0.783	0.056	0.314	0.189
B	0.650	0.120	0.872	0.225	0.623	0.102	0.244	0.102
C	0.609	0.190	1.016	0.205	0.676	0.135	0.243	0.088
D	0.309	0.049	0.422	0.024	0.324	0.036	0.132	0.071
E	0.660	0.160	0.824	0.070	0.503	0.032	0.225	0.148
F	0.499	0.060	0.626	0.074	0.520	0.049	0.185	0.142
G	0.819	0.020	0.744	0.159	0.816	0.170	0.165	0.159
H	0.548	0.000	0.661	0.016	0.525	0.063	0.150	0.098
I	1.179	0.160	0.918	0.185	1.111	0.174	0.225	0.243
Mean	0.672	0.091	0.804	0.116	0.653	0.091	0.209	0.138

/sec에 비해 0.116m/sec으로 과다하게 모의발생되었던 조류속이 보정후 각각 0.653m/sec, 0.091m/sec로 거의 실측치와 접근하는 결과를 보였다.

수치모형을 보정하고 그 결과를 평가하는데 있어서 일반적으로 많이 이용되는 실측치와 모의발생치간의 R.M.S. (Root Mean Square) 오

차는²⁾는 평균 0.209m/sec에서 0.138m/sec로 크게 낮아져 보정과정의 타당성이 인정되었다.

2. 검 정

새만금해역에서의 1987년 8월 5일의 조류흐름을 TIDE모형에 의해 모의발생시키고 후처리 프로그램을 이용하여 작성한 조류속 벡터圖와

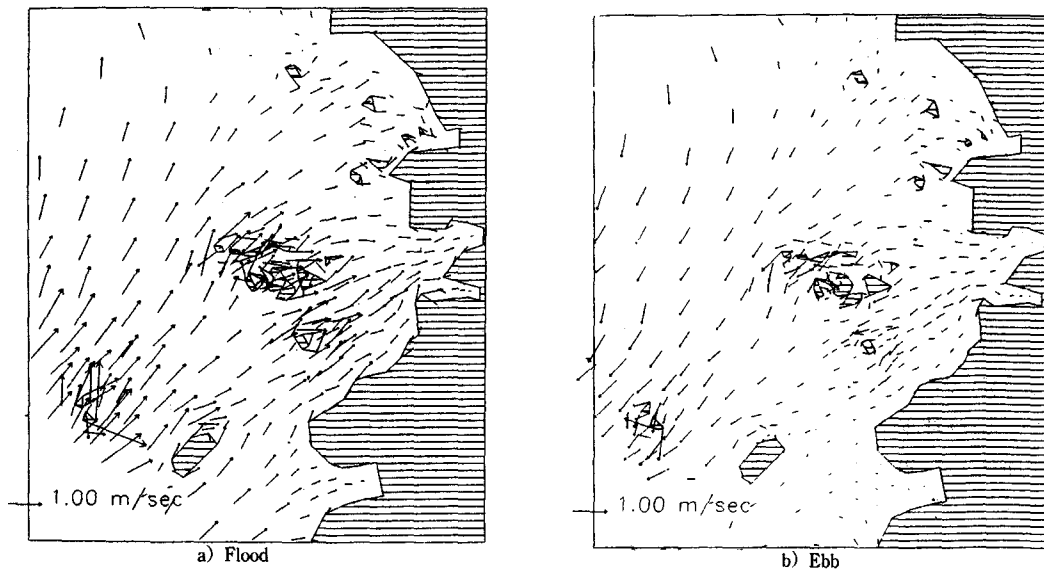


Fig. 6. Simulated tidal current of Saemangeum area (1987. 8. 5)

等潮位線圖를 각각 Fig. 6과 Fig. 7로 例示하였다.

Fig. 6, 7에서 보는 바와 같이 TIDE모형에 의해 모의발생된 새만금해역에서의 조류의 흐름은 漲潮時 외해의 남서쪽에서 동북방향으로 파급되다가 해안선 근방에서 서에서 동방향으로 변환되고, 落潮時에는 그 반대 현상을 보이고 있어 기존의 조사 결과와 잘 일치하는 결과를 보이고 있다.

Table-2에서 파라메타의 보정에 이용되지 않은 5개 자료의 기간에 대해 TIDE모형을 통해 시간별 조류속변화를 모의발생시키고 실측치와

비교, 분석한 결과를 Table-5로 나타내었다. Table-5에서 보는 바와 같이 최대 및 최소 조류속의 평균값은 실측치와 모의발생치간에 각각 11%와 22%의 상대오차를 보였으며 절대오차에 있어서는 0.2m/sec 내외로 나타났다. 한편 시간별 조류속간의 R.M.S. 오차는 평균 0.119 m/sec이내로서, 상관계수 R은 평균 0.70으로 나타나 모의발생된 시간별 조류속변화가 실측치와 유사한 경향을 가지고 거동하는 것으로 판단되었다. 특히 B, C지점의 경우 R.M.S.가 각각 0.235, 0.136으로, 상관계수가 0.28과 0.59로 다른 지점에 비해 모의발생결과와 실측치

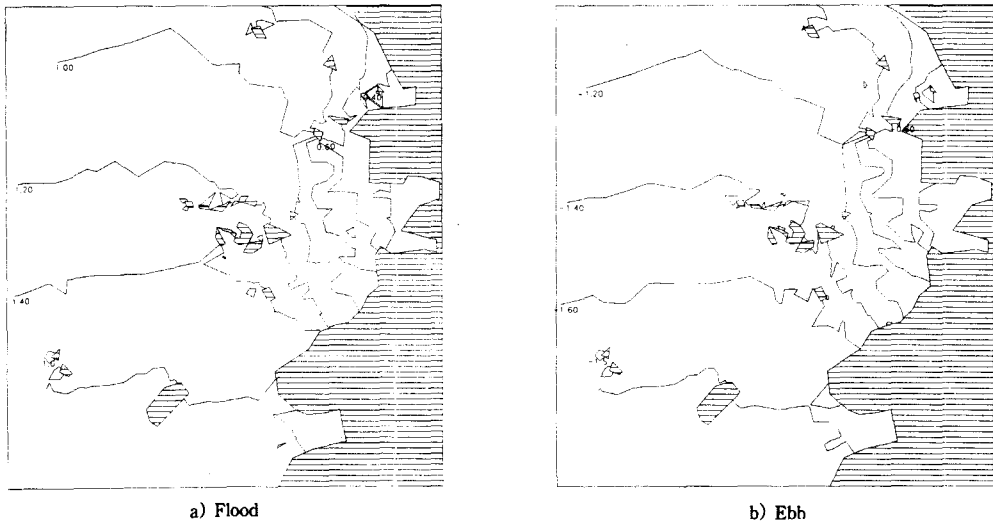


Fig. 7. Simulated tidal elevation distribution of Saemanguem area (1987. 8. 5)

Table-5. Tidal velocity comparison between observed and simulated for the verification test

Station	Observed (m/sec)		Simulated(m/sec)		RMS of Errors between velocities of OBS. & SIM.	Maximum absolute errors	R
	Max.	Min.	Max.	Min.			
A	0.750	0.140	0.768	0.057	0.116	0.193	0.90
B	0.380	0.010	0.486	0.102	0.142	0.235	0.28
C	0.380	0.160	0.393	0.037	0.089	0.136	0.59
D	0.350	0.089	0.479	0.062	0.087	0.068	0.82
H	0.619	0.000	0.634	0.054	0.159	0.075	0.88
Mean	0.496	0.080	0.552	0.062	0.119	0.141	0.70

간에 비교적 큰 오차가 있는 것으로 나타났는데 이는 부근의 복잡한 지형이 격자망속에 적절히 표현되지 않았기 때문인 것으로 추측되었다.

시간별 조류속 변화의 실측치와 모의 발생치를 그림으로 비교한 결과는 Fig. 8에 나타낸 바와 같았다.

한편 Table-3의 조위실측자료와 같은 기간에 대해 보정된 파라메타를 TIDE모형에 입력하였다. 그 결과로 부터 조위실측지점에 대한 24

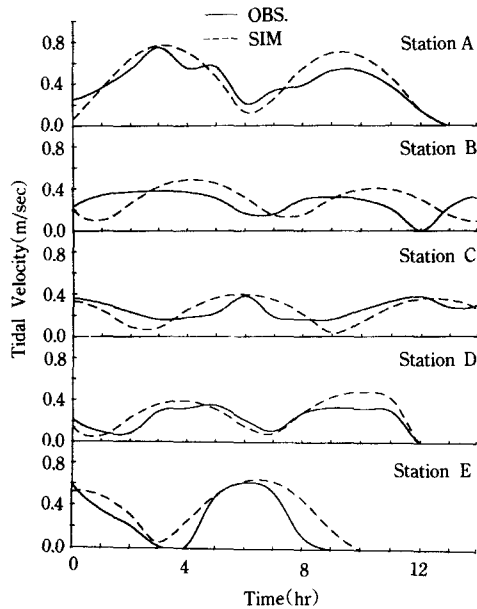


Fig. 8. Comparison of tidal velocities between observed and simulated

시간동안의 시간별 조위를 계산하여 실측치와 비교, 분석한 결과는 Table-6에 나타낸 바와 같으며, Fig. 9는 시간별 조위변화의 모의발생치와 실측치간의 비교를 그림으로 나타낸 것이다.

Table-6에서 보는 바와 같이 각 경우에 있어서 매시간별 모의발생치와 실측치를 비교한 결과는 R.M.S.가 평균 0.476m이내로 나타났으며 상관계수도 0.96~0.99로 나타나 매우 높은 有意性을 보이고 있었다.

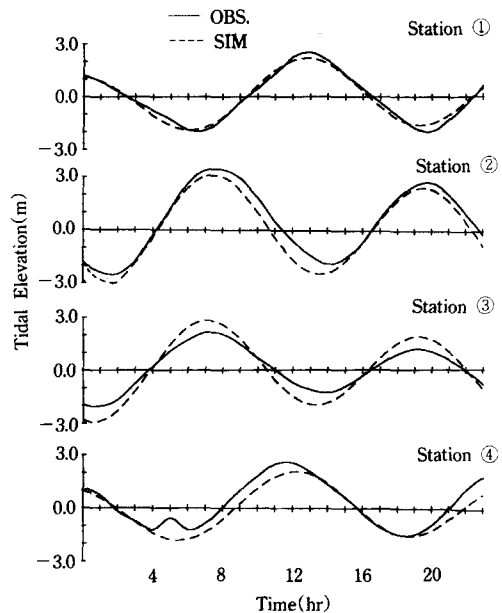


Fig. 9. Comparison of tidal elevations between observed and simulated

Table-6. Tidal elevation comparison between observed and simulated for the verification test

Station	Observed (m)		Simulated(m)		RMS of errors between elevation of OBS. & SIM.	Mimumum absolute errors	R
	Highest	Lowest	Highest	Lowest			
①	2.183	-1.894	2.514	-1.956	0.205	0.453	0.99
②	3.073	-3.262	3.603	-2.497	0.603	0.026	0.96
③	2.830	-2.847	2.140	-2.020	0.552	0.728	0.99
④	2.089	-1.765	2.590	-1.460	0.543	0.129	0.99
Mean	2.544	-2.442	2.712	-1.983	0.476	0.334	0.98

3. 고 찰

TIDE모형의 보정과 검정결과를 통해 볼 때 해역전반에서의 조류의 흐름방향에 있어서는 매우 타당성있게 모의발생이 이루어졌던 것으로 나타났다.

그러나 조류속이나 조위의 크기에 있어서 일부 부지점에서의 모의발생치는 실측치와 비교했을 때 높은 유의성과 정밀성을 나타내고 있으나 또 다른 일부 지점에서는 비교적 큰 오차를 보이고 있었다. 영역내 각 지점별 조위 및 조류속의 모의발생 오차가 지역적으로 다소 차이가 있는 것은 측정자료가 일부지역에 偏重되어 있어 파라메타의 보정도 일부 지역에 국한되었으며 격자망의 구성도 해역의 복잡한 지형과 측정지점의 표현에 다소 미흡했기 때문이었던 것으로 판단되었다. 보다 광범위한 지역에서의 실측자료 수집과 이를 통한 보정, 아울러 좀더 세밀하고 타당성 있는 격자망의 작성이 필요할 것으로 사료되었다.

뿐만 아니라 본 연구에서의 보정과 검정결과로 나타난 모의발생치의 오차는 제1보에서의 검증결과에 비해 대부분 큰 값으로 나타났는데 이는 제1보에서 선정하였던 대상영역이 균일한 수심과 마찰계수, 그리고 직사각형의 단순한 형태를 갖는 閉鎖水路였는데 비해 실제 해역은 매우 복잡한 지형과 마찰의 분포를 갖기 때문인 것으로 판단되었다. 이는 매우 복잡한 역학관계를 갖는 자연현상, 즉 3차원의 실제 영역을 2차원으로 취급할 뿐 아니라, 비선형성을 띄는 起潮力이나 마찰력, 수심의 변화등을 선형화시켜 취급하는 TIDE모형의 속성에 기인한다고 할 수 있을 것이다.

따라서 장차 모형의 예측능력을 제고시키기 위해서는 추가적인 보정 및 격자망의 개선과 아울러, 실제 영역의 비선형적인 요소들을 실제에 가깝게 다룰 수 있는 비선형모형으로의 개선을 위한 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

V. 結論 및 要約

본 연구의 제1보에서 개발된 해수유동모형인 TIDE의 실제 해역에 대한 적용가능성을 검증하고자, 유한요소 수치모형의 적용에 필요한 前後處理 프로그램 및 連繫運營體系를 개발하였으며, 새만금 해역에 대해 TIDE모형을 적용하여 보정과 검정을 실시하였다. 그 과정과 이를 통해 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. TIDE모형의 전산화과정 및 구조를 제시하고, 전처리 및 후처리 프로그램과 모형의 入出力 및 전후처리 프로그램을 체계적으로 연결하는 운영체계를 개발하였다.

2. 모형의 보정을 통하여 수심은 전체적으로 대개 1m씩 증가되었으며, 선형마찰계수분포는 0.0027~0.0072로 조정되었다. TIDE모형에 의한 시간별 조류속과 실측치간의 오차에 대한 평균 R.M.S.(Root Mean Square)값이 보정전 0.209m/sec에서 보정후 0.138m/sec로 크게 낮아져 보정과정의 타당성이 인정되었다.

3. TIDE모형에 의해 모의발생된 새만금해역에서의 조류흐름은 漲潮時 외해의 남서쪽에서 동북방향으로 파급되다가 해안선근방에서 서에서 동방향으로 변환되고, 落潮時에는 그 반대현상을 보이고 있어 기존의 조사 결과와 잘 일치하므로 수치모형에 의한 모의발생결과의 타당성이 인정되었다.

4. 검정의 결과 TIDE모형에 의한 모의발생치와 실측치간의 최대 및 최소조류속 평균값은 각각 11%와 22%의 상대오차를 보였으며 절대오차는 0.2m내외로 나타났다. 시간별 조류속 오차에 대한 R.M.S.는 평균 0.119m/sec이내, 상관계수 R은 평균 0.70으로 나타났으며, 시간별 조위의 오차에 대한 R.M.S.는 평균 0.476m이내, 상관계수 R은 0.96~0.99로 나타났다.

5. TIDE모형에 의한 모의발생치의 오차는 실제 해수의 유동을 지배하는 대부분의 요소들이 어느정도 非線型성을 띄는데 반해 이를 선

형화하여 취급하는 TIDE모형의 屬性때문인 것으로 판단되었다. 모형의 예측능력을 제고시키기 위해서는 추가적인 보정 및 격자망의 개선과 함께 비선형적인 요소들을 포함하여 해석할 수 있는 비선형모형의 개발이 필요할 것으로 사료되었다.

參 考 文 獻

1. Daily, J. W. and Harleman, D. R. F., 1966, Fluid Dynamics, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
2. Douglas, J. L. and S. J. Burges, 1982, Selection, Calibration, and Testing of Hydrologic Models in Hydrologic Modeling of Small Watersheds(C. T. Haan Ed.), An ASAE Monograph Number 5, ASAE.
3. Simons, D. B. and F. Sentürk, 1977, Sediment Transport Technology, Water Resources Publications.
4. Wu, J., 1960, Wind Stress and Surface Roughness at Air-Sea Interface, Journal of Geophysical Research, Vol. 74, No. 2.
5. 강용덕, 1989, 새만금해역의 조석수치모형, 성균관대학교 석사학위논문.
6. 농림수산부·농업진흥공사, 1988, 새만금지구 간척종합개발사업 기본조사보고서 제4권, 수문.
7. 농림수산부·농업진흥공사, 1988, 새만금지구 해수면 및 해저퇴적층 변화예측연구(Ⅲ), 서울대학교 농업개발연구소 보고서.
8. 농림수산부·농업진흥공사, 1989, 새만금지구 간척종합개발사업 기본계획서, 89-01-25.
9. 농림수산부·농업진흥공사, 1989, 새만금지구 방조계수리모형실험보고서.
10. 농림수산부·농어촌진흥공사, 1990, 새만금지구 수리시험보고서.
11. 서승원, 1988, 2차원 천수방정식의 개방경계조건, 한양대학교 박사학위논문.
12. 최병호, 1980, 황해 및 동지나해역의 조석모델, 해양개발연구소 보고서, 해양연보 80-02.