

유한요소모형을 이용한 방조제 건설 전후의 조석특성변화 예측

Prediction of the Variation of Tidal Characteristics due to the Construction of Seadike Using Finite Element Model

박 영 욱*, 구 요 한*, 김 진 식**, 권 순 국***
Park, Yeong-wook, Koo, Yo-han, Kim, Jin-sik, Kwun, Soon-kuk

Abstract

Seadike construction in order to develop the tidal land is used to significantly affect the water circulation system not only resulting in changes of coastal geometry but causing environmental problems. Therefore it is necessary that resultant effects of seadike construction must be carefully assessed. In this study, it is intended to investigate the various effects due to seadike construction by comparing the simulated tidal velocities before and after the construction of Boryeong seadike. The simulations of tidal velocities and elevations in various locations were made by RMA-2, which is an existing nonlinear two-dimensional model formulated by finite element method.

Calibration and verification of the model have been carried out using the observed field data for tidal velocity. The result of simulation for the tidal velocities by the RMA-2 model showed well agreed with the observed field data. Therefore, the applicability of the model was satisfactory proved.

As a result of seadike construction, the variation of tidal velocities was much decreased with the tendency of rapidly decreasing toward the direction of upstream end, but the changes of the tidal elevation could be negligible.

I. 서 론

연안이나 하구의 개발을 위한 해안의 매립이나 방조제 축조는 하구조석의 상류로의 전파를 차단하며, 인접해역 및 하구의 물 순환체계를 변화시켜 동적 퇴적 체계를 포함하는 기존 하

구지형과 환경을 변화시킬 뿐만 아니라 조석의 확폭 현상에 따라 연안 대수층 체계에도 영향을 미칠 수 있다. 또한 이러한 수리현상의 변화는 환경적인 문제와 밀접한 관련이 있어 그 중요성이 크게 대두되고 있는 실정이다. 그런데 일반적으로 하구나 연안해역에서의 해저지형

* 농어촌진흥공사 농어촌연구원
** 농어촌진흥공사 화용사업단
*** 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 유한요소모형, 비선형 미분방정식, Galerkin형 유한요소법, 난류확산계수, 천수방정식, 모형의 보정, 모형의 검증

은 매우 복잡하고 조류의 흐름도 일정하지 않기 때문에 조석현상을 정확히 규명하는 것은 어려운 문제이지만 방조제 건설 등으로 인한 공사전 후 조석변화의 정확한 추정은 효율적인 공사계획 및 시공과 방조제 건설 후 예측되는 제반 환경변화의 예측을 위해서는 반드시 필요하다.

이를 위하여 본 연구에서는 2차원 천수방정식을 기본방정식으로 하고 이를 Galerkin Method에 의하여 해석하는 유한요소모형인 RMA-2 모형을 이용하였다. RMA-2 모형은 Resource Management Association Inc.의 Norton 등에 의해서 개발되어 이후 미육군공병단에서 계속적으로 수정 보완된 유한요소해석 프로그램이다.^{9),10)} 그리고 본 유한요소모형은 전처리 과정, 주처리 과정, 후처리 과정의 세부분으로 구성되어 각 처리과정이 일관성있게 수행되도록 구성되어 있다.

본 연구는 RMA-2 모형을 천수만 해역에 위치한 보령호 및 연안해역에 적용하여 보령방조제 건설에 따른 조석특성 변화 예측을 목적으로 한다. 이를 위하여 방조제 건설전 상태에 대해서 모형을 적용하여 그 모의발생 결과를 대상해역에서의 실측치와의 비교를 통해 모형의 보정과 검증을 하고, 이를 바탕으로 방조제 건설 후의 조류속 및 조위를 모의발생시켜 방조제 건설 전과 비교함으로써 보령방조제 건설에 따른 영향을 검토하고자 한다.

II. RMA-2 모형

1. 지배방정식

RMA-2 모형은 식(1)의 연속방정식과 식(2) 및 (3)과 같은 운동방정식을 지배방정식으로 하고 있다.^{10),11)}

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\left(\epsilon_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + g\frac{\partial a}{\partial x} + g\frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\left(\epsilon_{yx}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) + g\frac{\partial a}{\partial y} + g\frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0 \quad (3)$$

여기서 u, v는 x, y 방향의 유속성분, h는 수심, t는 시간, g는 중력가속도, a는 반조차, ϵ 는 확산계수, τ_x, τ_y 는 x, y 방향으로 작용하는 마찰 응력항으로 식(4), (5)와 같이 바닥마찰, 바람 영향 및 Coriolis 효과를 나타낸다.

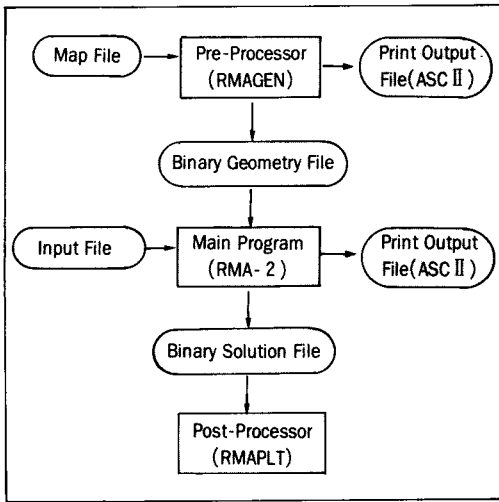
$$\tau_x = \frac{gu}{C^2h}(u^2 + v^2)^{1/2} - \frac{\zeta}{h}V_a^2\cos\psi - 2\omega v\sin\phi \quad (4)$$

$$\tau_y = \frac{gv}{C^2h}(u^2 + v^2)^{1/2} - \frac{\zeta}{h}V_a^2\cos\psi - 2\omega u\sin\phi \quad (5)$$

여기서, C는 Chezy 계수, ζ 는 경험적인 바람 응력계수, V_a, ψ 는 풍속과 풍향, ω 는 지구의 각속도, ϕ 는 적용대상 지역의 위도를 나타낸다.

2. 모형의 구성

RMA-2 모형은 (Fig. 1)에서와 같이 크게 나누어 전처리 과정인 RMAGEN 모듈, 계산과정인 RMA-2 모듈, 후처리 과정인 RMAPLT 모듈로 구성되어 있다. 전처리 과정인 RMAGEN 모듈에서는 대상영역에 대한 지형의 형상을 표현하는 격자망의 발생과 각 절점에서의 수심, 요소별 바닥마찰계수 및 각 방향에 대한 난류 확산계수가 입력되고 절점번호 및 요소에 대한 최적화가 수행되도록 하며, RMA-2 모듈 계산에 필요한 유한요소망의 정보가 이진 파일(Binary geometry file)로 생성된다. 이러한 과정이 수행되고 난 후 초기조건, 계산시간간격 및 경계 조건 등이 입력되면 계산과정인 RMA-2에서는 유속과 수위를 계산하는 과정이 수행된다. 그리고 후처리 과정인 RMAPLT 모듈에서는 주프로그램에서 계산된 특정절점에 대한 유속성분



<Fig. 1> Flowchart of operational scheme in RMA-2 Model

이나 수위가 수치화일(ASC II)과 전체 대상해역에 대한 그래픽 화일로써 출력된다.

3. 모형 계산에 필요한 주요 입력자료

가. 요소망의 구성

본 모형에서는 삼각형 요소와 사각형 요소를 혼합하여 2차원 요소 격자망을 구성할 수 있다. 대부분의 경우 사각형 요소는 삼각형 요소에 비해서 해의 수렴이 빠르고 정확한 결과를 보이는 것으로 알려져 있으나 유입부나 만곡부, 혹은 섬과 같이 복잡한 지형에서는 지형에 맞추어 격자를 구성하기 쉬운 삼각형 요소를 혼합해서 사용하는 것이 바람직하다. 또한 각 요소는 다음과 같은 기준에 맞추어서 분할되어야 한다.

- 인접한 요소의 면적이 50% 이내에서 변화하도록 구성한다.
- 각 요소는 가능한 한 1:1의 비율을 유지하도록 구성한다.
- 요소는 반드시 볼록(Convex)한 형태를 갖도록 구성한다.
- 요소내에서 흐름방향의 바닥경사는 10% 이내가 유지되도록 요소망을 구성한다.
- Solid boundary(폐쇄경계)에서의 인접한

요소의 변화 각도는 가능한 한 10°이내가 유지되도록 한다.

나. 초기 및 경계조건

각 격자별 초기조건은 정조를 기준으로 하여 조위가 극치일 때 x, y방향의 유속을 각각 '0' (Zero)으로 하여 계산하도록 되어있다. 이와같은 초기조건은 실제 상태와 동일하지 않으며, 초기계산 결과는 그 오차의 영향을 받게 되어 정확성에 문제가 있으므로 일정 계산시간이 경과한 후의 결과가 이용되어야 한다.

또한 모형에 입력되는 경계조건은 크게 두가지 유형으로써 개방경계조건과 하천유입경계조건이 있다. 개방경계조건은 유속이나 조위, 유량 및 분조의 진폭과 위상 등이 부여될 수 있으며, 하천수가 유입되는 하천유입경계에서는 유량 및 수위자료를 입력하게 된다.

다. 기타 주요입력 자료

2차원 부정류 계산을 수행함에 있어서 입력되는 자료는 Manning의 조도계수, 난류확산계수, 에너지 보정계수, 계산시간 간격, 총 계산시간과 같은 물리적인 자료와 편향계수의 계산을 위해 필요한 위도 등이 있다. Manning의 조도계수 n은 바닥재료의 특성과 지형특성 등에 따라서 결정할 수 있으나, 기존의 연구에서 제안된 Manning 조도계수 n의 범위는 대개 <Table 1>과 같다.¹¹⁾

그리고 난류확산계수는 와점성(Eddy viscosity)계수라고도 불리며, 다음과 같이 정의되는 Peclet number에 의해 지배된다.¹¹⁾

<Table 1> Suggested values of Manning's n

Conditions	n value
shallow river without snags	0.025~0.035
deep river	0.018~0.025
shallow estuary without vegetation	0.020~0.030
deep estuary	0.015~0.020
dense vegetation in a wetland	0.050~0.100

$$P = \frac{\rho U \Delta x}{\epsilon}$$

여기서 ρ 는 유체의 밀도, U 는 요소(Element)의 평균속도, Δx 는 흐름방향 요소의 길이, ϵ 는 난류확산계수를 나타낸다. 본 모형은 Peclet number가 50이내에서 안정하게 되는데 통상 난류확산계수는 모형의 안정성을 유지하는 범위에서 최대한 작은 값을 설정하는 것이 좋은 것으로 알려져 있다. 본 모형에서 제안한 개략적인 난류확산계수의 범위는 <Table 2>와 같다.¹¹⁾

<Table 2> Typical values of turbulent exchange coefficients

Conditions	ϵ Value(N · s/ m ²)
shallow river(fast currents)	1,200~2,400
deep estuary(small elements)	2,400~4,800
deep estuary(large elements)	9,500~14,400
wetland with tidal wetting and drying	4,800~9,500
flow separation around structures	50~240

※ ϵ is turbulent exchange coefficients

III. 모형의 적용

실제 해역에서의 복잡한 흐름에 관한 수치모형화 과정에 있어서는 대상시스템의 기하학적 지형학적 특성을 반영하여 수치해를 일관성 있게 처리해야 한다. 이러한 방법의 하나는 모형이 실제 대상해역에서의 실측자료를 재현하는 지를 검토해 보는 것이다. 따라서 본 절에서는 본 모형을 천수만 일대에 위치한 보령호 및 그 연안해역에 적용하여 그 결과를 관측자료와 비교해 봄으로써 적용성을 검토하였다.

1. 대상해역의 개요

본 연구의 대상해역인 보령호는 천수만으로 부터 약 14km 길이로 내륙 깊숙히 협소하게 형성되어 있는 내만(內灣)이며, 현재 농업종합개

발 사업의 일환으로 농업용수를 확보하기 위하여 보령방조제 공사가 진행되고 있는 지역이다. 보령방조제는 내만을 3km 정도 들어온 위치에 축조되며, 방조제 외측 약 500m 거리에 비교적 큰 어항인 오천항이 위치하고 있어 방조제 축조 과정이나 축조후 조위 및 조류속 변화 등으로 인하여 인근해역 및 오천항에 영향을 미칠 것으로 예상되는 곳이기도 하다. 한편 보령방조제 계획선 부근해역에서의 조석은 군산외항의 조석과 같은 반일주조가 우세한 조석형으로서 통상적으로 1일 2회조를 나타내고 있다. 그리고 보령방조제 계획선 하류에 위치한 오천항에서의 평균대조차는 6.30m에 이르며, 평균만조간격은 군산외항의 2시 50분 보다 약 35분 정도 늦은 3시 25분을 나타내고 있다.

2. 현장관측자료

모형의 보정 및 검정을 위한 현장관측자료는 농어촌진흥공사에서 관측한 것으로서 조류속에 대한 4개 지점(①~④)과 조위에 대한 1개 지점으로 하였다. 조류속 및 조위 측정자료의 측정개요는 <Table 3>과 같으며 측정지점들의 위치는 <Fig. 2>에 나타난 바와 같다.

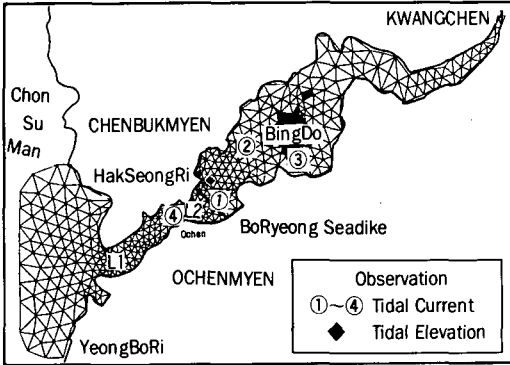
<Table 3> Measurement of tidal velocity and elevation

Station	Location	Observation Period	Remarks
①	36° 26.634' N 126° 31.641' E	'95. 8. 20 (00:00~24:00)	Tidal Velocity
		'95. 8. 26 (00:00~24:00)	
②	36° 27.291' N 126° 32.188' E	'95. 8. 20 (00:00~24:00)	
		'95. 8. 26 (00:00~24:00)	
③	36° 27.253' N 126° 33.144' E	'95. 8. 20 (00:00~24:00)	
④	36° 26.542' N 126° 31.422' E	'95. 11. 11 (00:00~24:00)	
		'95. 11. 16 (00:00~24:00)	
◆	36° 26' 50" N 126° 31' 35" E	'95. 11. 11 (00:00~24:00) '95. 11. 16 (00:00~24:00)	

3. 대상해역의 격자망 구성

모형의 적용을 위한 영역에 사용된 격자망은

대상해역의 기하학적 특성에 따라 삼각형 요소를 사용하였으며, 계산에 필요한 격자망을 작성한 결과는 <Fig. 2>와 같다.



<Fig. 2> Grid discretization of BoRyeong Estuary

대상해역의 요소를 분할하는데 있어서 지형의 변화가 비교적 적은 부분에서는 요소의 크기를 가능한 크게 하였으나, 지형이 협소한 곳이나 조석의 변화가 심할 것으로 예상되는 지역에서는 요소의 크기를 점차적으로 작게하여 상대적으로 조밀한 격자를 구성하였다. 보령방조제 건설전 대상해역에서 구성된 격자망의 요소수는 689개이고 절점수는 중간절점(Midside node)을 포함하여 1,564개이다. 그리고 개방경계에서의 절점은 28개이고 육지경계에서의 절

점은 섬을 구성하는 절점수를 포함하여 128개로 구성하였다.

4. 경계조건

본 모형의 적용기간에 대한 개방경계조건은 개방경계지점에서의 실측조위자료가 없기 때문에 개방경계지점 부근에 있는 고정항의 조위자료와 오천항의 조위관측자료를 거리의 비에 따라 선형보간법으로 산정하여 경계조건을 추정하였다. <Table 4>은 모형의 보정 및 검증에 위한 개방경계절점에서의 시간별 조위자료이다. 그리고 하천유입량에 대한 경계조건자료도 입력이 가능하나 모의발생 검증기간에는 하천유입량이 거의 없었기 때문에 무시하였다.

5. 모형의 보정

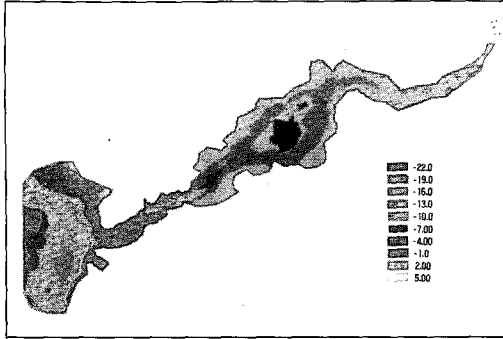
가. 주요 입력자료의 결정

모형의 입력자료로서는 각 절점별 수심, 요소별 바닥마찰계수 및 각 방향의 난류확산계수, 초기조건, 경계조건 등이 있다. 이들 입력자료에 대한 결정과정과 방법은 다음과 같다.

모형에 입력되는 절점별 수심자료는 평균해면으로 부터의 수심이다. 각 절점에서의 수심은 교통부 수로국의 해도와 농어촌진흥공사에서

<Table 4> Tidal elevations at boundary nodes used as model input

Date Hours	Neap Tide		Spring Tide		Date Hours	Neap Tide		Spring Tide	
	'95. 8. 20	'95. 11. 16	'95. 8. 26	'95. 11. 11		'95. 8. 20	'95. 11. 16	'95. 8. 26	'95. 11. 11
01:00	1.30	0.10	-0.50	-2.95	13:00	0.70	-0.40	-1.34	-3.09
02:00	0.90	-0.60	0.83	-2.56	14:00	0.20	-0.69	0.23	-2.56
03:00	0.40	-1.09	2.25	-1.41	15:00	-0.40	-1.18	1.81	-1.18
04:00	-0.30	-1.34	3.23	0.09	16:00	-0.90	-1.48	2.84	0.51
05:00	-0.60	-1.31	3.46	1.37	17:00	-1.30	-1.51	3.18	1.95
06:00	-0.50	-0.95	2.84	2.00	18:00	-1.20	-1.15	2.74	2.87
07:00	-0.10	-0.28	1.73	1.96	19:00	-0.90	-0.49	1.71	3.16
08:00	0.50	0.47	0.39	1.33	20:00	-0.40	0.32	0.56	2.71
09:00	0.90	1.05	-0.85	0.20	21:00	0.30	1.03	-0.52	1.68
10:00	1.20	1.29	-1.83	-1.04	22:00	0.80	1.48	-1.49	0.42
11:00	1.30	1.14	-2.37	-2.08	23:00	1.00	1.63	-2.07	-0.76
12:00	1.20	0.66	-2.30	-2.83	24:00	1.60	1.43	-2.27	-1.71



<Fig. 3> Depth schematization of Boryeong Estuary

1990년에 발행한 홍보지구 담수호 내용적도의 자료를 이용하였다. <Fig. 3>은 입력자료로써 완성된 대상해역의 각 절점별 수심분포를 나타낸 것이다.³⁾

요소별 마찰계수의 산정에는 Manning의 조도계수 n 값을 이용하였는데, 우선 전 해역에 걸쳐 큰 변화를 보이지 않는 것으로 가정하고 기존의 연구결과를 참조하여 0.018~0.035의 범위에서 추정하였다.¹⁰⁾

그리고 난류확산계수는 모형의 안정성을 보장하는 중요한 파라미터로써 해역의 특성에 따라 영향을 받는다. 본 대상해역에 대한 각 방향의 난류확산계수 ϵ_{xx} , ϵ_{xy} , ϵ_{yx} , ϵ_{yy} 값은 가능한 작은 값이 되도록 하여 6,000~8,000 $N \cdot s/m^2$ 의 범위에서 산정하였다.¹⁰⁾

본 모형의 계산시간 간격은 수치실험을 통하여 계산시간 간격이 해의 정확도 및 안정성에 영향을 미치지 않는 시간 간격인 2.5분으로 하

였으며, Coriolis항을 고려하기 위한 위도는 본 지구의 대략적인 중앙위도인 36°로 하였다.

한편 각 격자 지점별 초기조건은 모든 격자에 대해서 동일한 값으로 하고 조위는 계산시작시간을 극치인 상태로 하였다. 따라서 대상해역에서의 초기조건은 3.5m로 결정하였다.

나. 보정결과 및 분석

모형의 보정은 모형의 각종 파라미터를 대상해역의 조건에 맞게 일치시키는 과정으로 모의 발생치와 실측치가 가장 잘 일치되었을 때의 파라미터를 추정하기 위하여 실시한다. 본 연구에서는 조류속에 대해서만 모형의 입력 파라미터에 대한 보정을 하였는데, 그 이유는 일반적으로 조석예측에 있어서 조류속이 조위에 비해 모의 발생치와 실측치가 일치되기 어려운 것으로 알려져 있기 때문이다. 모형의 보정은 후처리 과정에서 발생하는 시간별 실측조류속과 모의 발생조류속이 가장 잘 일치 되었을 때를 취하는 방법으로 수행하였다.

모형에 의해 조위 및 조류속을 모의 발생시키기 위해 입력되는 각종 파라미터는 대개 기존의 각종 자료로부터 결정 가능한 것이지만 바다마찰계수나 난류확산계수 등은 조사의 불확실성과 격자망 구성과정에서의 왜곡 등으로 인하여 그 값들을 보정해야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서의 모형의 보정은 모의 발생 대상해역 내의 난류확산계수나 바다마찰계수를 조정하는 작업이었다. 본 대상해역에 적용한 난류확산계

<Table 5> Comparison between observed and simulated tidal velocities after calibration

Period	Station	Maximum Velocity(m/s)		Maximum Absolute Errors	RMSE	R ²
		Observed	Simulated			
Neap Tide	①	0.33	0.35	0.02	0.07	0.91
	②	0.30	0.29	0.01	0.05	0.95
	③	0.35	0.32	0.03	0.08	0.91
MEAN				0.02	0.07	0.92
Spring Tide	①	0.72	0.92	0.20	0.16	0.90
	②	0.94	0.75	0.19	0.19	0.86
MEAN				0.19	0.18	0.88

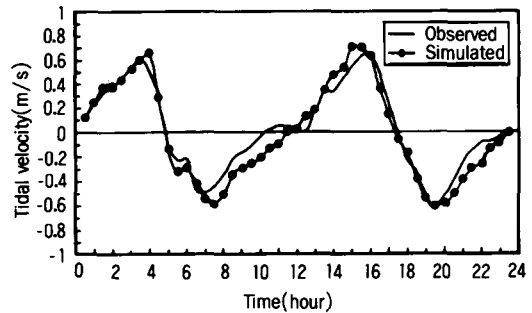
수 값은 $7,500N \cdot s/m^2$ 로써 이는 <Table 4>와 비교하면 Wetland and with tidal wetting and drying에 속하는 수치로써 대상해역이 감조구 간임을 적절히 반영하고 있다고 하겠다. 그리고 Manning의 조도계수에 대한 보정결과 조도계수 n 의 값이 소조기('95. 8. 20)에서는 0.018, 대조기('95. 8. 26)에서는 0.020일때 실측치와 가장 잘 일치하는 것으로 나타났다. 본 모형에 의한 보정후 조류속의 모의발생치와 실측치를 비교 분석한 결과는 <Table 5>에서와 같다. <Table 5>에서 보는 바와 같이 소조기에 대한 최대 조류속의 절대오차는 최대 0.03m/s, 평균 0.02m/s로 나타났으며, 대조기에 대한 최대 조류속의 절대오차는 최대 0.20m/s, 평균 0.19 m/s로서 소조기 보다는 다소 크게 발생하였다. 그리고 모의발생치와 실측치에 대한 시간별 조류속간의 RMSE는 평균 0.125m/s, R^2 의 평균은 0.90으로 모의발생조류속이 실측치와 거의 유사한 결과로 고도의 상관성을 보이고 있다.

6. 모형의 검증

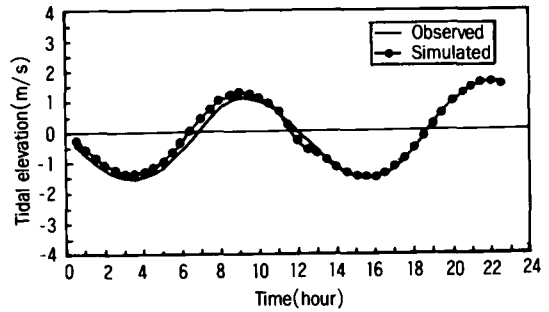
모형의 적용성을 검증하기 위해서 보정이 완료된 파라미터 값을 사용하여 모형의 보정에 사용되지 않은 대조기인 '95. 11. 11과 소조기인 '95. 11. 16에 대하여 ④지점에서만 조류속과 조위에 대한 모의발생치와 실측치를 비교 분석하였다. 대상해역에서의 모형의 검증은 보정에 사

용된 수심 및 Manning의 조도계수 n 의 값과 모든 파라미터를 동일하게 사용하여 수행하였다.

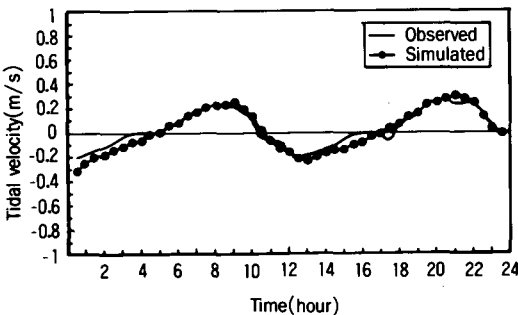
<Fig. 4>와 <Fig. 5>는 ④지점에서의 소조기('95. 11. 16) 및 대조기('95. 11. 11)의 조류속에 대한 현장관측치와 모의발생치를 비교한 결과로써 크거나 유항 등에 있어서 대체로 양호한



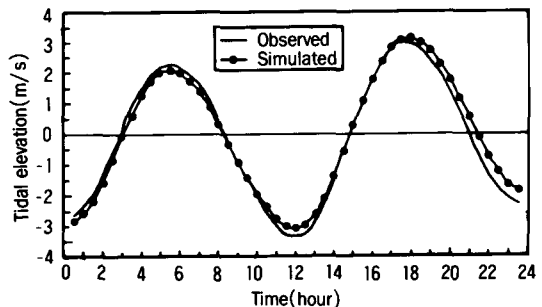
<Fig. 5> Verification result for tidal velocity (Spring tide)



<Fig. 6> Verification result for tidal elevation (Neap tide)



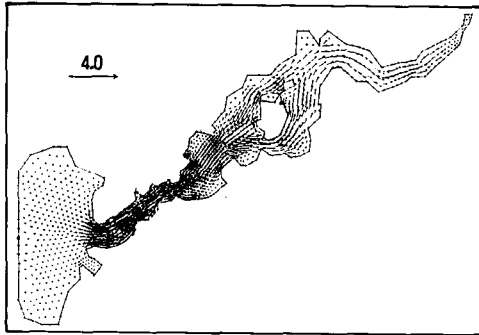
<Fig. 4> Verification result for tidal velocity (Neap tide)



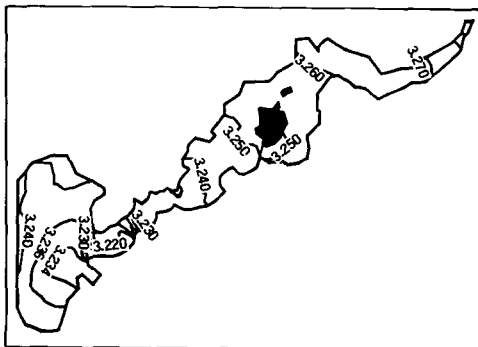
<Fig. 7> Verification result for tidal elevation (Spring tide)

결과를 나타내고 있으며 상관계수 $R^2=0.90$ 이상의 높은 상관성을 보였다. 다만 대조기의 경우 고조나 저조의 도달시간에 있어서 약간의 오차가 발생하였으나, 오차의 범위가 크지 않기 때문에 실무적인 문제를 다룰 때는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

그리고 모형에서 모의발생된 조위의 검증은 조류속의 검증에 사용된 파라미터를 변화시키지 않고 그대로 사용하였다. <Fig. 6>과 <Fig. 7>은 조류속의 검증기간과 동일한 기간에 대한 조위의 모의발생치와 실측치를 비교한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 진폭과 위상이 상당히 잘 일치하는 것을 보여주고 있으며, 상관계수 R^2 도 0.96으로 나타나 매우 높은 유의성을 보였다.



<Fig. 8> Tidal velocity pattern before the construction of seadike(Flood tide)

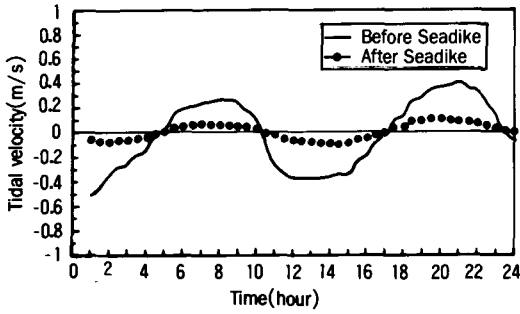


<Fig. 9> Tidal elevation distribution before the construction of seadike(Flood tide)

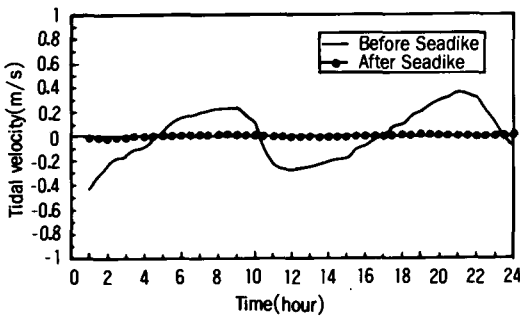
한편 <Fig. 8>과 <Fig. 9>는 대조기의 창조시에 대한 대상해역에서의 조류속과 조위분포를 후처리 과정을 이용하여 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 대상해역에서의 조류의 흐름은 방조제 부근에서 다소 빠르게 흐르고 있으나 외해와 접하는 하구에서는 상당히 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 것은 실제 해역에서 발생하는 것과 거의 동일한 현상이다.

IV. 방조제 건설전후의 조석특성 변화 예측

2차원 수치모형을 이용하여 보령방조제 건설로 인한 방조제 전면 및 인접해역에서의 수리적 특성 변화를 검토하고자 한다. 본 대상해역은 오천항 상류해역을 막는 간척사업인데, 방조제 건설은 인접해역의 조위 및 조류속의 변화를 초래할 수 있다. 이와같은 방조제 건설로 인하여 발생할지도 모를 조석변화를 정량적으로 분석함으로써 방조제 건설후 발생할 수도 있는 여러 가지의 피해 상황에 대한 저감대책을 수립할 수도 있다. 방조제 건설에 따른 조석변화의 추정은 조석계산을 통하여 규명할 수 있는데, 이를 위하여는 추정결과의 검증과 함께 방조제 건설 전후에 대한 조석계산을 실시하여야 한다. 본 지구의 방조제 건설에 따른 조위 및 조류속의 변화는 방조제 건설전의 조석계산 결과와 건설 후의 조석계산 결과를 비교함으로써 평가할 수 있다. 방조제 건설후의 조석계산은 방조제 노선을 고정경계로 변환하여 방조제 외해측에 대해서만 모형을 수행한다. 조석계산의 경계조건은 소조는 '95년 8월 20일, 대조는 '95년 8월 26일의 자료를 사용하였다. 그리고 방조제 건설후의 바닥마찰계수, 지형조건 및 기타 파라미터는 방조제 건설전의 보정 및 검증에 사용한 결과와 동일한 것으로 가정하여 사용되었다.

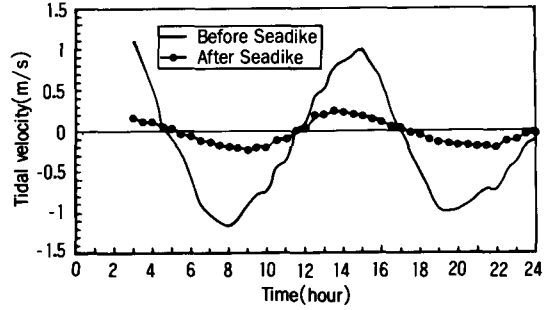


(1) Station L1

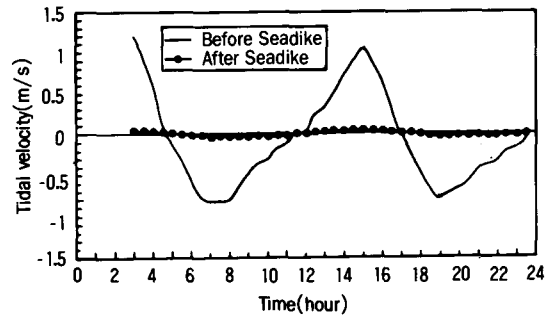


(2) Station L2

〈Fig. 10〉 Comparison of tidal velocity before and after the construction of seadike(Neap tide)



(1) Station L1



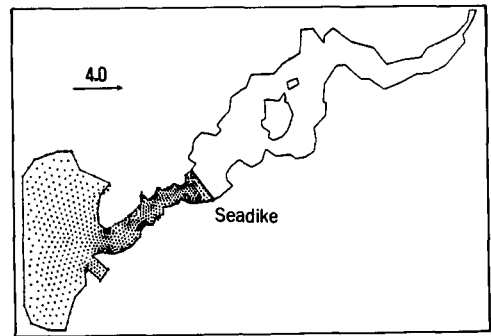
(2) Station L2

〈Fig. 11〉 Comparison of tidal velocity before and after the construction of seadike(Spring tide)

1. 조류속의 변화

〈Fig. 10〉은 소조기의 각 지점별 방조제 건설 전후의 조류속 변화를 비교하고 있다. 만의 입구인 L1지점에서의 조류속은 방조제 건설전 최대 약 0.35m/s 정도였으나, 건설후 약 0.15 m/s로 약 55% 정도 감소하는 것으로 추정되었다. 그리고 보령방조제 하류 약 500m 지점에 위치한 오천항 전면인 L2지점에서의 방조제 건설전의 조류속 0.45m/s는 방조제 건설후 거의 '0'(Zero)에 가깝게 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

〈Fig. 11〉은 대조기에 대한 각 지점별 방조제 건설전후의 조류속 변화를 비교하고 있다. 만의 입구인 L1지점에서의 조류속은 방조제 건설전 최대 약 1.20m/s 정도였으나 건설후 약 0.25 m/s로 약 80% 정도 감소하는 것으로 추정되었다. 그리고 오천항 전면인 L2지점에서의 방조제



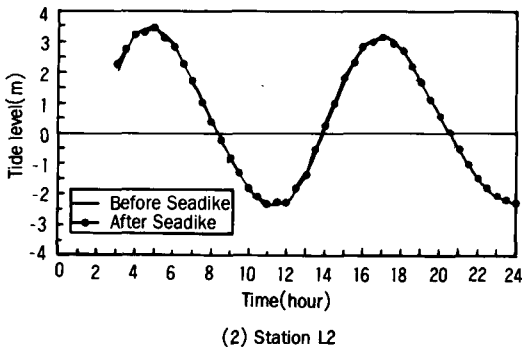
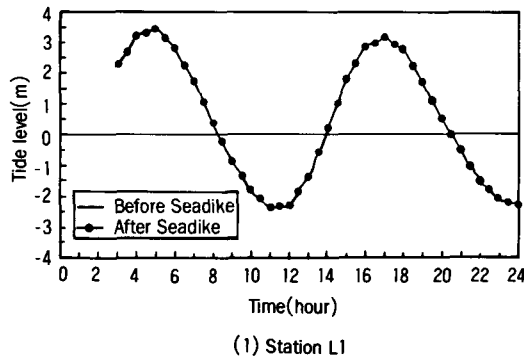
〈Fig. 12〉 Tidal velocity pattern after the construction of seadike(Flood tide)

건설전의 조류속 1.0m/s는 소조시와 마찬가지로 방조제 건설후 거의 '0'(Zero)에 가깝게 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 모의 발생결과에 의하면 방조제의 설치에 상당한 조류속의 감소를 초래하지만 그 감소율은 일정하지 않고 조류의 특성에 따라 다른 것으로 나타

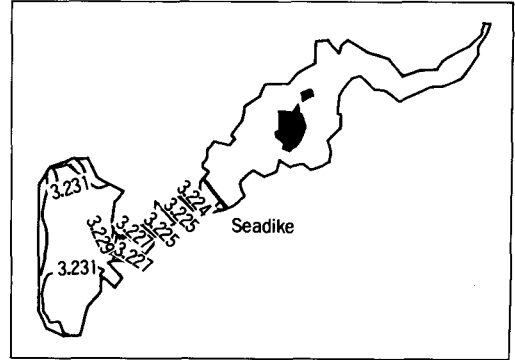
났다. 한편 <Fig. 12>는 대조기인 '95년 8월 26일의 방조제 건설후 조석전파가 완전히 차단된 상황의 모형에 의해 산정된 대상해역에 대한 조류속을 나타낸 것이다. 대상해역에 대한 조류속 분포도에서 보면 방조제 건설후 하구 입구에서 방조제 노선 부근으로 접근하면서 급격한 유속의 감소 현상을 보이고 있다.

2. 조위의 변화

방조제 건설후 조위의 시간적 공간적 변화는 이 해역일대의 조석현상에 의하여 지배된다는 기본원칙에는 변화가 있을 수 없다. 그러나 방조제 건설로 인한 조량의 감소등 조류특성의 변화는 조석의 공명작용과 마찰저항 등의 변화로 말미암아 조위변화율에 영향을 미칠 수 있다. 다음은 변화의 폭이 소조기 보다 더 클 것으로



<Fig. 13> Comparison of tidal elevation before and after the construction of seadike(Spring tide)



다른 조석특성 변화에 대한 추정은 비선형 2차원 유한요소모형인 RMA-2 모형을 보령호 및 연안해역에 적용하여 현장실측치와 모의발생치를 비교함으로써 모형의 적용성을 검토하였으며, 이러한 검토 결과를 바탕으로 보령방조제 건설전후의 연안해역에서의 조석변화 현상을 예측하였다. 이러한 과정에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 방조제 건설전 지형에 대한 모형의 보정결과 Manning의 조도계수 n 의 값이 소조기에서는 0.018, 대조기에서는 0.020 일때 실측치와 모의발생치가 가장 잘 일치하는 것으로 나타났다. 그리고 RMA-2 모형에 의한 시간별 모의발생 조류속과 실측 조류속간의 평균 RMSE는 소조기 0.07m/s, 대조기 0.18m/s로 나타났으며, 상관계수 R^2 은 평균 0.90 이상으로 나타나 보정에 대한 타당성이 입증되었다.

2. 보정과정을 통하여 결정된 파라미터를 사용하여 보정에 사용되지 않은 시점과 지점에 대하여 조류속 및 조위를 검증한 결과 조류속의 경우 모의발생치와 실측치에 대한 상관계수 R^2 은 0.90 이상의 높은 상관성을 보였다. 또한 조류속의 검정기간과 동일한 기간에 대한 조위의 모의발생치와 실측치를 비교한 결과 진폭과 위상이 상당히 일치 하였으며, 상관계수 R^2 도 0.96 이상으로 나타나 매우 높은 유의성을 보였다.

3. 보령방조제 건설후 방조제 연안해역에서의 조류속은 건설전 보다 평균 대조시 75% 이상, 소조시 55% 이상 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 오천항 부근에서 부터 방조제 노선 바로 전면까지는 유속이 매우 적게 나타났다. 그리고 대상해역 전체에 대한 방조제 건설후의 조류속 벡터 분포도는 만 입구에서부터 상류로 거슬러 올라가면서 심한 조류속의 감소현상을 보였다.

4. 조위는 방조제 건설후 소조기나 대조기 진폭에서는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나 대상해역 전체에 대한 해수면 구배는 방조제 건설전에 비하여 상당히 줄어드는 것으로 나타났다. 이러한 해수면 구배의 감소는 조류속의 감소를 나타내 주는 것으로 볼 수 있다.

이와같이 방조제 건설후 조류속 및 조위의 변화는 조석의 상류로의 전파가 차단되면서 반사 효과의 증대 및 조석운동에 대한 마찰저항의 증가 등에 따른 복합적인 원인에 의한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 권순국, 고덕구, 조국광, 김준현, 1992. 조류 예측 유한요소 수치모형개발(Ⅱ), 한국농공학회지, 34(2), pp.73~84.
2. 농림수산부, 농업진흥공사, 1984. 남포방조제 설치로 인한 조위 및 유사이동 영향.
3. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1991. 홍보지구 사업계획서.
4. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1991. 홍보지구 수문조사 보고서.
5. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1995. 새만금지구 수리시험 보고서.
6. 서승원, 1989. 방사효과가 고려된 해양개방경계조건의 비교, 한국수문학회지, 22(4), pp. 411~412.
7. Allaire, P. E., 1985. Basic of the finite element method, Wm. C. Brown Publishers.
8. Baker, A. I., 1985. Finite element Computational fluid mechanics, McGraw-Hill International Ed.
9. King, I. P., 1987. Finite Element Model for Two Dimensional Depth Averaged Flow RMA-2, U. S. Army Corps of Engineers.
10. King, I. P., 1992. Evaluation of Modeling for Simulation of Estuarial Systems in Estuarine and Coastal Modeling, Proceedings of the Second International Conference, Water, Port, Coastal and Ocean Division of ASCE.
11. Thomas, W. A., and W. H. Mcanally, Jr., 1985. User's Manual for the Generalized Computer System: Open-Channel Flow and Sedimentation TABS-2, US Army Engineer Waterways Experiment Station.

약 력

박 영 욱



1990. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
1992. 서울대학교 대학원 농학석사
1997. 농어촌진흥공사 농어촌연구원
연구원
KCID 환경분과위원

구 요 한



1967. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
1979. 토목기술사
1992. 충남대학교 대학원 농학석사
현재 농어촌진흥공사 농어촌연구원 부원장
KCID 전임이사

김 진 식



1974. 한양대학교 토목공학과 졸업
1982. 토목기술사
1992. 한양대학교 산업대학원 졸업
현재 농어촌진흥공사 화용사업단 공무부장

권 순 국



1964. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
1974. 미국 Colorado 주립대학교 대학원,
M.S.
1980. 미국 Iowa 주립대학교 대학원, Ph.D
현재 서울대학교 농업생명과학대학교수
KCID 부회장/편집·학술분과위원장
ICID 환경분과위원