

## 새만금방조제 축조에 따른 조류속 변화

### Changes of Tide Velocity with Construction of Saemangeum Seadike

김 정 균\*, 송 기 일\*, 최 진 규\*  
Kim, Jeong-Gyun, Song, Ki-Il, Choi, Jin-Kyu

#### Abstract

This study was carried out to investigate the changes of the tide velocity and direction during the construction of Saemangeum seadikes. Tide velocity and direction in the Saemangeum area were measured every year since the construction of Saemangeum seadikes had begun. Those data from Saemangeum area were analyzed and compared to the initial stage before construction. In addition, the data were also analyzed with those obtained from a numerical model. Compared to the data obtained before the construction, the velocity of flood tide has been increased by 70~80% and the velocity of ebb tide has been increased by 50~90%. However there was no significant change in the direction of tide current. Compared to the numerical results, there were 2~11% differences in the velocity and 0.3~7% differences in the current directions. It was considered to be caused by lack of depth adjustment in the model. Using the current topography the changes in tide velocity and current direction would be predictable precisely as the construction progress.

#### I. 서론

우리나라는 좁은 국토에 높은 인구밀도를 가지고 있으며, 국토 이용 면에서 볼 때 전면적의 65.8%는 임야로서, 농경지나 도시는 국토의 1/3의 좁은 면적에 국한되어 있다. 따라서, 21C의 급속한 산업화, 도시화에 따른 토지수요 및 용도변경에 대처하여 균형적인 국가발전을 유지하기 위해서는 공유수면을 간척 또는 매립하여 국토를 확장해야 하는 상황에 있다. 특히, 간척은 국토면적을 확장할 수 있고, 농지화를 통

하여 양질의 경지를 조성할 수 있으며, 농경지의 절대 면적의 감소에 대처할 수 있는 중요한 방법중의 하나이다. 그러나, 간척사업에서 방조제의 시공은 바다에서 이루어지므로 조수간만의 차에 의한 조류속에 크게 영향을 받게 되며, 공사의 진행에 따라 조류의 유출입로가 감소하여 조류속이 증가하고, 이로 인해 사업구역 주변 해저지형에 많은 변화를 보이게 된다.

방조제 공사로 인한 해안환경의 변화에 대한 연구는 조석체계의 변화, 수리특성의 변화, 해저 퇴적물의 변화 및 해저 지형의 변화 등과 같

\*농업기반공사 전북도본부

\*\*농업기반공사 새만금사업단

\*\*\*전북대학교 농과대학 (농업과학기술연구소)

(choijk@moak.chonbuk.ac.kr)

키워드 : 새만금 방조제, 조류속, 유향

은 다양한 측면에서 많은 연구가 수행되어 왔다 (농림부 1997, 1998 ; 농림수산부 1988, 1990, 1991 ; 농어촌진흥공사 1998, 1999).

방조제 건설과 같은 해안 환경의 인위적 그리고 급속한 변화에 의한 조석체계의 변화에 대한 연구를 보면, 나 (1994)와 나 등 (1994, 1995)은 유한요소 모형과 최소자승 조화분석법이 결합된 TIDE 모형을 개발하여 새만금 해역과 같은 천해지역에서의 조석유동 현상을 해석하였다. 박 (1995)은 지형이 좁거나 섬이 밀집되어 해수의 유입을 방해하는 지형을 가진 하구역 내에서 방조제 건설과 같은 하구의 지형을 변화시키는 일련의 공사 등에 의해 조석체계의 변화는 상당한 조차의 증폭과 위상의 감소를 가져온다고 보고하였다. 조 등 (1998)은 대규모 간척사업과 매립공사가 시행되고 있는 인천 연안해역의 개발로 인하여 조류의 통로가 좁아지거나 완전히 차단됨으로써 예상되는 조석 특성의 변화를 분석하였다. 신 (2000)은 장기적 관점에서 연안해역에서의 물질 수송에 큰 영향을 미치는 잔차류의 새만금 간척 전후 계절적 변화에 대해 연구하였다.

또한, 해안 환경의 변화에 의한 조류속 및 유향, 그리고 파랑 등과 같은 수리환경의 변화에 대하여 나 (1987)는 수리모형실험으로 방조제 체절구간에서의 유량 계산에 사용되는 유량공식의 유량계수를 정확하게 구할 수 있는 방법과 체절재료의 크기 결정시 가장 중요한 인자인 체절구간내의 유속계산 방법을 제시하였다. 이 (1989)는 투과성 및 불투과성 해안구조물로 인한 파랑의 변형 문제 중에서 파랑의 반사와 전달특성을 중심으로 하여 불투과성 구조물인 경우에는 경계요소법으로, 그리고 투과성 구조물인 경우에는 고유함수 전개법으로 각각 해석 검토를 실시하였고, 이를 통해 수치적 혹은 이론적으로 실용적인 해석 방법을 제시하였다. 홍 (1997)은 해양물리학적 환경변화를 MIT 2차원 조화유한요소 모델을 적용하고 해석하여 군장국가공단 조성 및 새만금 제4호 방조제 공

사에 의한 주변 해저 마찰응력을 이용한 퇴적 환경 변화를 추정하였다. 김 등 (2000)은 새만금사업지구에서의 연도별 조류속 및 해저지형 변화를 조사하여 실측한 자료를 바탕으로 하여 지형의 변동 상태, 조류속 및 유향의 변화 상태를 분석하였다.

본 연구는 새만금 사업지구에서의 방조제 공사로 인한 연도별 조류속 및 유향 변화를 조사하기 위하여 유속 및 수심을 측정하고, 이들 실측 자료와 수치 모형을 통해 산정된 결과와 비교, 검토함으로써 향후의 변화상태를 예상하여 현재 진행중인 방조제의 보다 안전한 시공을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 새만금 지구

새만금사업은 전라북도 군산시, 김제시, 부안군에 걸쳐 총 33 km의 방조제를 축조하는 대규모 간척사업으로 전체 개발면적은 40,100 ha이며, 이중 28,300 ha는 토지로, 11,800 ha는 담수호로 개발될 예정이다. 방조제는 전북 부안군 변산면 대항리에서 가력도까지의 제1호 방조제, 가력도에서 고군산군도의 신시도까지 제2호 방조제, 신시도에서 야미도까지의 제3호 방조제, 야미도에서 군산시 비웅도까지 제4호 방조제로 구분되며, 이들 총 4개조의 방조제가 부분적으로 준공 또는 시공 중에 있다.

### 2. 조류속 및 유향 측정

#### 가. 조사지점

방조제 공사가 진행됨에 따라 달라진 현장조건에 의한 조류속의 변화를 방조제 공사의 기초자료로 이용하기 위하여 조류속을 측정하였다. 조류속 측정은 새만금사업 기본조사시부터

2000년도까지 12번의 실측과 3번의 모형시험을 통해 조류속을 방조제 노선상의 여러 지점에서 실시하였다. 이 지점들 중에서 현재까지 지속적으로 측정을 실시하고 있고 또한 끝막이 시까지 계속적으로 측정을 실시할 지점은 끝막이 구간이 포함된 지점으로, 여기서는 제2호 방조제 No. 25 및 No. 90 지점, 제4호 방조제 No. 70 지점의 자료를 검토 대상으로 하였다. 한편, 제4호 방조제는 공사중의 지형변화로 인해 끝막이 구간이 변경되었고, 변경 전에는 No. 60 지점에서 조류속을 관측하였으므로 이 지점의 자료를 이용하였다. 그리고 실제 획득한 자료중 1996년 이전의 자료는 실측 데이터가 적을 뿐 아니라 수치모형을 통해 산출한 결과이므로 본 연구에서는 1996년 이후의 조사 자료를 주 대상으로 하여 1991년 10월 기본조사시 측정한 자료와 비교하였다.

나. 측정방법

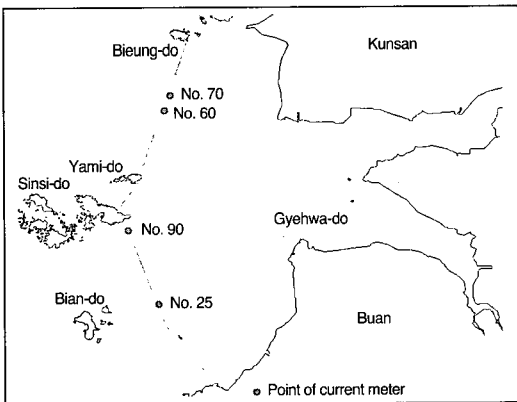


Fig. 1. Measuring points of current-meter

조류속 측정은 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 방조제 노선상의 3개 지점에서 유속계를 이용하여 측정하였다. 측정방법은 배를 이용하여 측정지점인 제2호 방조제 No. 25와 No. 90 지점, 제4호 방조제 No. 70 지점에 배를 고정시킨 후 12시간 또는 24시간 이상을 연속 측정하여 자료를 획득하였다. 조류속 측정에는 측정자가 배에서 직접 측정하여 기록하는 CM1,

배에서 직접 측정 기록하거나 자동저장장치를 가지고 있는 도플러 유속계 (doppler current meter), 그리고 수중에 설치하여 자동저장장치에 계속 데이터를 저장한 후 나중에 회수하여 데이터를 취득할 수 있는 RCM7 유속계를 이용하여 조류속을 측정하였다.

3. 수치모형 (Delft3D-Flow)

가. 모형의 개요

네덜란드의 델프트 시험소에서 개발된 3차원 수치모형인 Delft3D-Flow 모형은 불규칙한 경계영역이나 고정경계에서 기초력이나 기상력으로부터 발생하는 조석 및 부정류의 계산이나 수질, 유사이동 등의 계산을 위한 동수역학적 기초를 제공하는데 이용되도록 만들어 진 프로그램이다. Delft3D-Flow 모형의 기본방정식은 운동량 방정식과 연속방정식, 유사운송 방정식으로 이루어져 있다. 흐름방향 (수평방향)에 대한 운동량 방정식은 Coriolis 효과, 밀도경사, 난류확산효과, 바닥의 난류흐름에 의하여 발생하는 전단응력, 그리고 바람응력 등을 포함하고 있으며, 깊이방향(수직방향)에 대한 난류확산 영향은 흐름종속계수의 형태로 구성되어 있다.

나. 모형의 지배방정식

Delft3D-Flow 모형의 지배방정식은 운동량 방정식과 연속 방정식으로 구성되어 있으며, 유한차분법에 의해 방정식을 해석하고 있다. 두 개의 수평방향에 대한 운동량방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} + \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} + \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{w}{(d+\zeta)} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}$$

$$\frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\sqrt{\partial \eta}} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \xi} - fv$$

$$= \frac{1}{\rho\sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\xi} + F_{\xi} + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial\sigma} \left( v_{\sigma} \frac{\partial u}{\partial\sigma} \right) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} + \frac{\partial u}{\partial\xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial\eta} + \frac{w}{(d+\zeta)} \frac{\partial v}{\partial\sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \\ & \frac{\partial\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\sqrt{\partial\eta}} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial\eta} - fu \\ & = \frac{1}{\rho\sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\eta} + F_{\eta} + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial\sigma} \left( v_{\sigma} \frac{\partial v}{\partial\sigma} \right) \quad (2) \end{aligned}$$

식에서, 수직방향의 운동량방정식은 정수역학적 압력변화로 단순화시키고 수직방향의 가속도는 중력가속도에 비하여 무시할 정도로 작다고 가정한다. 또한, 연속방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial\zeta}{\partial t} + \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial[(d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial\xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \\ & \frac{\partial[(d+\zeta)V\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial\eta} = 0 \quad (3) \end{aligned}$$

여기서,  $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ ,  $\sqrt{G_{\eta\eta}}$  = 곡선좌표를 직교좌표로 변환하는 계수

$u = \xi$  방향 유속,  $v = \eta$  방향 유속,  $w = \sigma$  방향 유속  
 $U = \xi$  방향의 수심평균 유속,  $V = \eta$  방향의 수심평균 유속

$D =$  기준면에서 바닥까지의 수심,  $\zeta =$  기준면에서 수면까지의 수위

$f =$  Coriolis 파라미터,  $\rho =$  물의 밀도

$P_{\xi}$ ,  $P_{\eta} =$  압력경사 (gradient hydrostatic pressure)

$F_{\xi}$ ,  $F_{\eta} =$  난류 운동량 흐름률 (turbulent momentum flux)

### 다. 모형의 구성

Delft3D-Flow 모형은 Fig. 2와 같이 컴퓨터의 하드웨어와 관련된 shell module과 입력 데이터를 발생시키는 pre-processor module, 문제를 풀고 해석하는 execution module, 결과를 분석하는 post-processor module 등 네 부분으로 구성되어 있다.

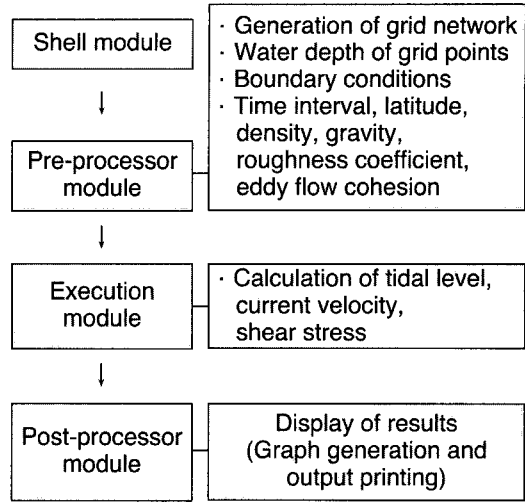


Fig. 2. Structure of the Delft3D-Flow model

### 라. 모형의 적용

본 연구에서는 남쪽의 경계는 북위 35° 20' 부근인 법성포까지, 북쪽의 경계는 북위 36° 27' 부근인 천수만까지, 외해쪽의 경계는 동경 125° 45' 부근으로 새만금 외곽 방조제로부터 60 km 서쪽지점이 되도록 설정하였다. 따라서 대상범위를 남북으로 약 120 km, 동서방향으로 약 90 km로 취하였다.

대상해역의 격자망 구성은 Fig. 3과 같이 UTM 좌표계 상에서 Curvilinear Orthogonal Grid를 적용하여 직교격자보다 지형 표현이 용

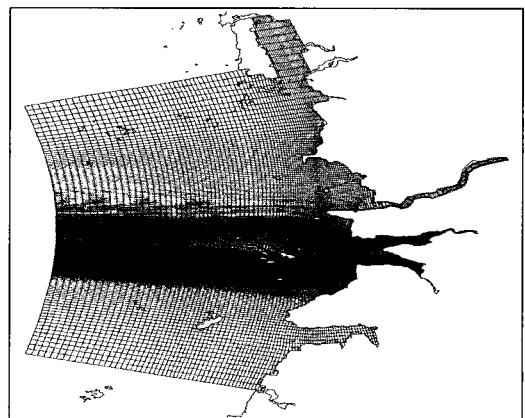


Fig. 3. Computational grid for the model

이하도록 하였다. 격자망은 서에서 동쪽방향을 M방향, 남에서 북쪽 방향을 N방향으로 하여 각 격자요소의 좌표에 대하여 고유번호를 부여하였으며, 최대값 (M,N)은 (122,336)이다. 따라서 총 40,922개의 격자점으로 구성되며, 실제 계산에 이용되는 격점수는 약 27,000개이다. 또한 격자 간격은 계산시간을 고려하여 외해 측을 넓게 하였으며, 방조제 끝막이 구간의 흐름특성을 재현할 수 있도록 끝막이 구간의 해상도를 높여 제2호 방조제 전구간에 걸쳐 100 m로 하고, 제4호 방조제는 100~200 m로 구성하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 조류속 및 유형

조류특성은 조석과 같이 매일 그 현상이 변화하므로 측정하는 날에 따라 각각 다른 크기로 나타난다. 따라서 이것을 통일된 기준으로 환산하여 비교하여야 하며, 여기서는, 측정일에 나타난 최강 유속에 다음 계산식으로 정의된 경정계수를 적용하였다

$$\text{경정계수} = \text{기준지점의 대조차} / \text{측정일의 조차} \quad (4)$$

여기서, 기준점의 대조차는 제2호 방조제의 경우 두리도에서 측정된 대조차인 5.936 m를, 제4호 방조제의 경우 비응도에서 측정된 대조차인 6.026 m를 사용하였고, 측정일의 조차는 최강 유속이 발생하는 시점의 간·만조의 조차이다. 이와 같은 관계식으로 계산된 경정계수를 이용하여 창·낙조류의 최강유속의 측정결과를 지점별로 나타내면 Tabel 1에서 Table 3까지 정리한 바와 같으며, 이를 도시하면 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다.

조류현상은 속도, 즉 Vector에 의해서 표현되기 때문에 방향과 크기에 의해 결정된다. 따라서 측정치의 유형 ( $\theta$ )과 유속 ( $V$ )으로부터 북방분속 ( $V_N$ )과 동방분속 ( $V_E$ )으로 분리할 수 있다.

$$V_N = V \cos \theta \quad (5)$$

$$V_E = V \sin \theta \quad (6)$$

여기서, 북방분속과 동방분속으로 분류된 각 지점에서의 유형을 보면 Fig. 6에서 Fig. 8까지 도시한 바와 같다.

Table 1. Maximum current at No. 25 (Sea Dike 2)

Date	Flood tide		Ebb tide	
	Velocity (m/s)	Direction (degree)	Velocity (m/s)	Direction (Degree)
1991. 10	1.21	85	1.01	255
1996. 4. 19	1.67	75	1.38	257
1996. 11. 16-17	1.62	36	1.24	252
1997. 4. 23-24	1.61	53	1.41	247
1997. 10. 15-16	1.71	39	1.21	244
1998. 3. 31	1.60	69	1.34	245
1998. 10. 8-9	1.87	63	1.82	235
1999. 4. 16-17	1.96	70	1.92	254
1999. 10. 25-26	1.99	90	1.91	212
2000. 4. 19-20	2.10	64	1.92	250

Table 2. Maximum current at No. 90 (Sea Dike 2)

Date	Flood tide		Ebb tide	
	Velocity (m/s)	Direction (degree)	Velocity (m/s)	Direction (degree)
1991. 10	1.41	70	1.37	245
1996. 4. 19	1.62	58	1.43	244
1996. 11. 16-17	1.47	60	0.95	261
1997. 4. 23-24	1.64	53	1.18	261
1997. 10. 15-16	1.71	53	1.51	246
1998. 3. 31	1.68	65	1.38	252
1998. 10. 8-9	1.78	49	1.72	259
1999. 4. 16-17	1.84	44	1.87	277
1999. 10. 25-26	2.68	55	1.94	261
2000. 4. 19-20	2.48	59	2.05	242

Table 3. Maximum current at No. 60 and 70 (Sea Dike 4)

Date	Flood tide		Ebb tide	
	Velocity (m/s)	Direction (degree)	Velocity (m/s)	Direction (degree)
1991. 10	1.09	70	1.14	250
1996. 4. 20	1.19	80	1.25	265
1996. 11. 17-19	1.12	-	1.18	-
1997. 4. 23-24	1.06	-	1.12	-
1997. 10. 17	1.20	80	1.34	261
1998. 4. 14	1.07	99	1.17	292
1998. 10. 8-9	1.63	98	1.51	273
1999. 4. 16-17	1.95	100	1.45	283
1999. 10. 25-26	2.01	107	1.68	276
2000. 4. 19-20	1.96	103	1.84	286

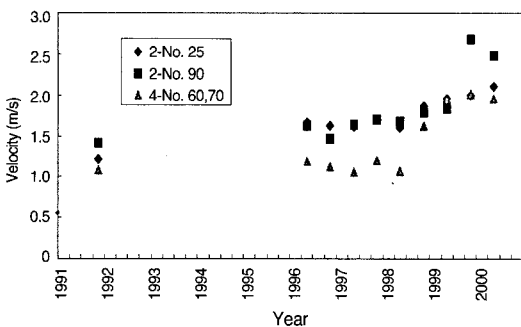


Fig. 4. Measured tide velocity at Spring, Flood tide

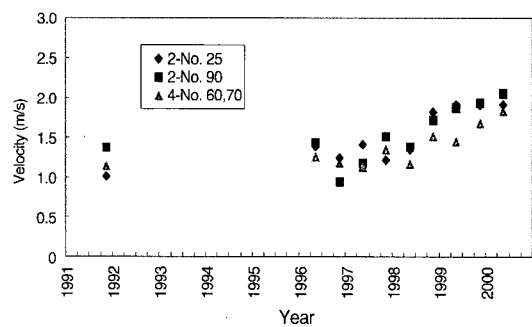


Fig. 5. Measured tide velocity at Spring, Ebb tide

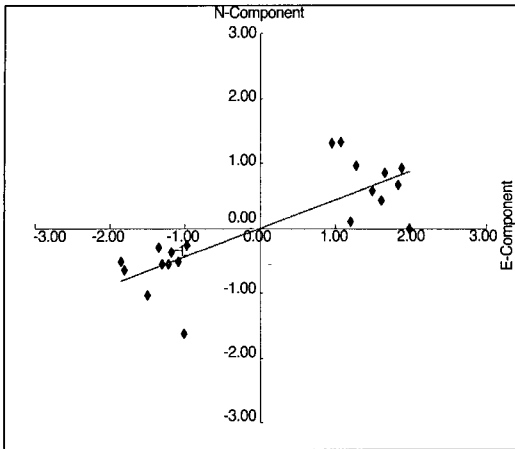


Fig. 6. Tide direction at No. 25, Sea dike 2

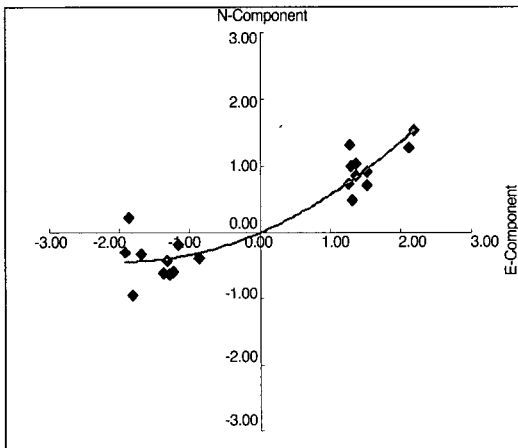


Fig. 7. Tide direction at No. 90, Sea dike 2

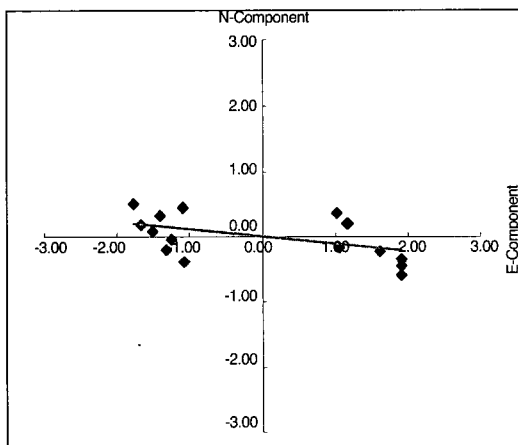


Fig. 8. Tide direction at No. 60 and 70, Sea dike 4

조류속은 1991년과 비교하면 창조시 각 구간에서 70~80% 정도의 증가를 가져 왔으며, 낙조시는 50~90% 정도의 증가로 큰 편차의 변화를 보이고 있다. 특히, 창조시는 제4호 방조제 No. 70 지점에서 80% 정도 증가하였고, 낙조시는 제2호 방조제 No. 25 지점에서 90% 정도 증가가 발생하였다. 이에 반해 유향의 변화는 제4호 방조제 No. 70을 제외하고는 창조시와 낙조시 모두 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 단지 제4호 방조제는 방조제 노선상의 지형변화로 인한 최종체절 구간의 변동으로 조류속 측정지점이 No. 60에서 No. 70으로 이동하였기 때문에 나타난 결과로 보이며, 최근 3년간의 측정결과를 보면 제4호 방조제 유향도 다른 구간과 마찬가지로 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 방조제 노선상의 주 수로가 방조제 시공전과 변화가 없으며 오히려 공사가 진행됨에 따라 더욱 그 방향과 형태가 분명해지고, 내측 사주들도 주 수로 방향으로 정렬되면서 주 수로가 더욱 발달하여 유향은 큰 변화가 없으며 앞으로도 변화가 크지 않을 것으로 예상된다. 그러나, 방조제 시공 전에는 제2호 방조제의 주 수로 부근은 창조유속에 낙조유속에 비해 강하고, 제4호 방조제 주 수로 부근은 반대로 낙조유속이 창조유속에 비해 강해 지구내 조류의 유출입은 반시계 방향의 형태를 가지고 있었지만, 현재 공사의 진척에 의해 각 주 수로에 창조류와 낙조류의 유속이 거의 같아지게 되었으며, 오히려 낙조류 유속은 제2호 방조제의 두 개의 주 수로 부근이 제4호 방조제의 주 수로의 유속보다 강하게 나타난 것으로 보아 지구내 조류의 흐름이 시계방향으로 바뀌어 나타나고 있다는 것을 알 수 있다.

## 2. 모형의 적용 결과

Delft3D-Flow 모형을 현재의 시공 및 지형 조건을 이용하여 실제 관측을 실시한 제2호 방조제 No. 25 및 No. 90 지점, 제4호 방조제

No. 70 지점에 대한 조류속 및 유향을 계산하였다. 개방구간은 1999년까지의 시공조건인 제2호 방조제 No.11~No.38 까지의 2,700m, No. 83~No. 98까지의 1,600m, 제4호 방조제 No. 35~No. 85까지의 5,000m로 하였고, 실제 조류속 관측을 실시한 1999년 10월 25, 26일과 2000년 4월 19, 20일의 조류속과 유향을 계산하기 위하여 Delft3D-Flow 모형을 적용하였다. 계산은 관측점의 축점 격자와 그 축점 격자의 서쪽 그리고 동쪽 격자에 대하여 실시하였다. 이것은 최대 유속이 반드시 방조제 노선 상에서 나타나는게 아니라 약간 동쪽 또

는 서쪽 부근에서 나타나기도 하기 때문이다. 실제 계산은 1999년 10월 24~26일과 2000년 4월 18~20일까지 2분 간격으로 실시하였고, 모형의 초기 조건중 조위를 E.L.(+)3.5m를 가정하여 입력하고 실제 조화상수를 통해 조위를 발생시켜 실제 조위를 계산하였다. 이 초기조건으로부터 조화상수를 통해 발생시킨 조위까지의 수렴기간이 필요하므로 실제 계산은 1999년 10월 24일과 2000년 4월 18일부터 실시하였다. 모형을 적용하여 계산된 결과중 2호 방조제의 No. 90 지점의 유속을 도시하면 Fig. 9 및 Fig. 10과 같다.

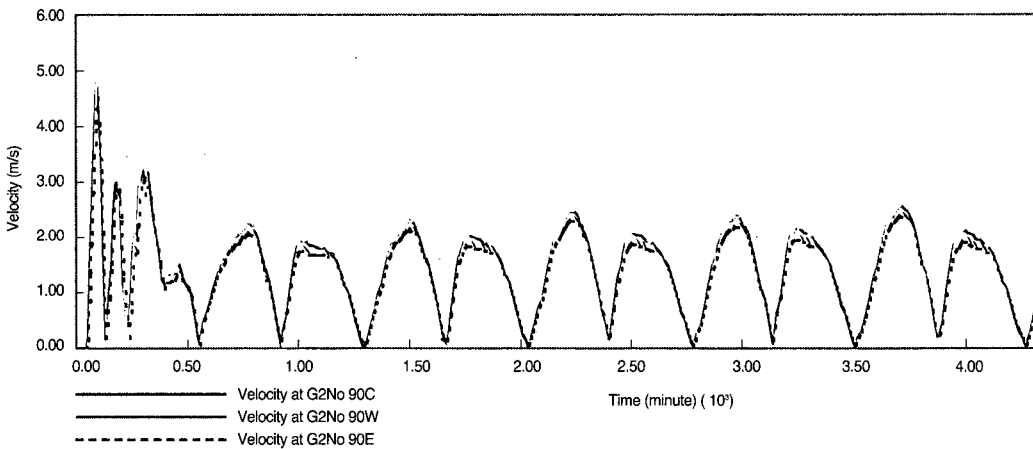


Fig. 9. Calculated tide velocity at No. 90, Sea dike 2 (1999)

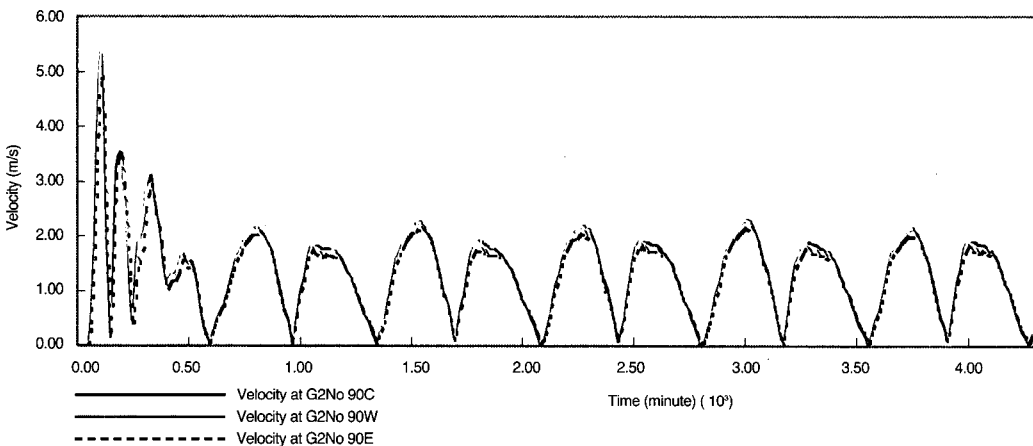


Fig. 10. Calculated tide velocity at No. 90, Sea dike 2 (2000)



Table 4. Calculated maximum tide velocity and direction

Date	Location		Flood tide		Ebb tide	
			Velocity (m/s)	Direction (degree)	Velocity (m/s)	Direction (degree)
1999.10. 25-26	Sea Dike 2 No. 25	Center	2.42	65.2	2.03	248.6
		East	2.61	65.7	1.81	246.4
		West	2.03	60.7	2.06	244.0
	Sea Dike 2 No. 90	Center	2.57	60.0	2.16	246.5
		East	2.38	64.5	1.97	251.0
		West	2.60	59.8	2.21	246.9
	Sea Dike 4 No. 70	Center	1.87	98.2	1.88	270.7
		East	2.05	95.9	1.78	267.4
		West	1.48	94.6	1.72	269.1
2000. 4. 19-20	Sea Dike 2 No. 25	Center	2.16	65.2	1.82	248.3
		East	2.32	63.8	1.65	246.5
		West	1.80	60.9	1.86	244.3
	Sea Dike 2 No. 90	Center	2.29	60.0	1.94	246.2
		East	2.14	64.6	1.79	251.9
		West	2.31	60.9	1.98	246.3
	Sea Dike 4 No. 70	Center	1.67	98.4	1.67	269.4
		East	1.85	96.2	1.51	266.0
		West	1.32	93.2	1.59	269.5

Table 5. Comparison of the measured and calculated data

Date	Location		Flood tide		Ebb tide	
			Velocity (m/s)	Direction (degree)	Velocity (m/s)	Direction (degree)
1999.10. 25-26	Sea Dike 2 No. 25	Measured	1.99	90	1.91	212
		Calculated	2.14	65.7	1.69	244
	Sea Dike 2 No. 90	Measured	2.68	55	1.94	261
		Calculated	2.13	59.8	1.81	246.9
	Sea Dike 4 No. 70	Measured	2.01	107	1.68	276
		Calculated	1.70	95.9	1.56	270.7
2000. 4. 19-20	Sea Dike 2 No. 25	Measured	2.10	64	1.92	250
		Calculated	2.20	63.8	1.88	244.3
	Sea Dike 2 No. 90	Measured	2.48	59	2.05	242
		Calculated	2.20	60.9	1.98	246.3
	Sea Dike 4 No. 70	Measured	1.96	103	1.84	286
		Calculated	1.78	96.2	1.69	269.4

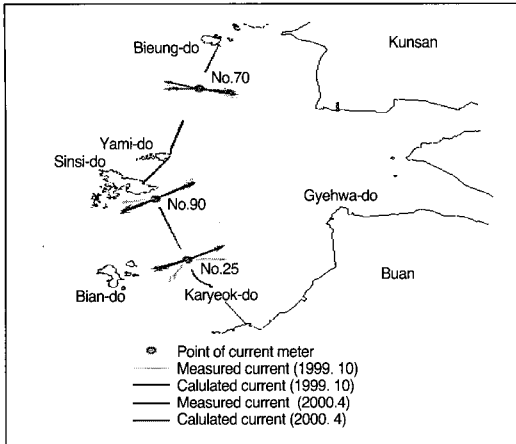


Fig. 11. Comparison of the tide velocity and direction

여기서 Velocity at G2No90C, 90W 및 90E는 2호 방조제 끝막이 제2구간의 No. 90 지점, 인접한 100 m 격자간격의 서쪽 및 동쪽 지점의 유속이다.

이상의 결과 자료를 기본으로 최대 유속과 당시의 유향을 총괄적으로 정리하면 Table 4 와 같다.

여기서 계산 결과를 보면 최대 유속은 반드시 관측지점이 포함된 격자에서만 발생하는 게 아니라, 관측점 또는 창조 (flood tide)와 낙조 (ebb tide)에 따라서 동쪽 또는 서쪽 격자에서 발생함을 알 수 있다. 계산된 최대치와 실제 관측한 결과를 비교하기 위하여 Delft3D-Flow 모형에서 발생한 조위의 조차를 관측일의 조차로 하여 실제 관측결과들과 비교하기 위해 경정계수를 적용하여 비교한 결과는 Table 5와 같으며, Fig. 11은 이를 도시한 것이다.

Delft3D-Flow 모형을 적용한 결과 제2호 방조제 No. 25 지점의 창조류만 실측치에 비해 크게 계산되었고, 나머지 구간에서는 전반적으로 작게 계산되었다. 실제 오차 범위는 조류속은 2~11% 정도이며, 유향은 0.3~7% 정도로 나타났다. 특히, 조류속의 경우 제2호 방조제 No. 90 지점의 창조때와 제4호 방조제 No. 70 지점의 창조와 낙조때 오차범위가 8~

11%로 크게 나타났는데 이는 모형의 입력 자료 중 대상해역의 수심이 방조제 시공으로 인해 변화하였음에도 이를 반영하지 못한 결과로 보인다. 한편, 유향에서 큰 변화가 없는 것은 내부 간석지의 지형은 변화가 있는 반면 주 수로의 방향에는 변화가 없기 때문으로 생각된다. 실측자료와 계산치의 검토 결과에서 Delft3D-Flow 모형에 현재 지형의 자료만 보완된다면 앞으로의 공사 진행에 따른 조류속 및 유향의 변동 상태를 보다 정확히 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

#### IV. 결론

새만금지구의 조류속 및 유향의 변화를 조사하기 위하여 시공중인 방조제의 주요지점별 조류속 측정을 실시하였다. 1991년부터 2000년까지의 10회의 조류속 측정자료를 이용하여 조류속의 변화를 검토하였고, 실측한 조류속 및 유향을 Delft3D-Flow model을 적용하여 수치모델링을 실시한 결과와 비교하였다. 방조제 시공전 새만금지구내 조류의 유출입은 제2호 방조제측은 창조가, 제4호 방조제측은 낙조가 강해 반시계 방향의 흐름을 보였으나, 현재는 각 주 수로의 창조와 낙조 유속이 거의 같아졌으며, 특히 낙조 유속은 제2호 방조제의 두 개의 주 수로 부근이 제4호 방조제의 주 수로의 유속 보다 강하게 나타난 것으로 보아 흐름이 시계방향으로 바뀌어 나타나는 것을 알 수 있었다. 조류속은 공사시행 전에 비하여 창조시 70~80% 정도의 증가를 보였고, 낙조시에는 50~90% 정도의 증가를 나타냈으나 유향은 큰 변화를 보이지 않았다. Delft3D-Flow model을 적용하여 실측치와 비교한 결과 조류속은 2~11%, 유향은 0.3~7% 정도의 오차가 발생하였으며, 이는 모형에 입력된 수심자료의 영향때문으로 판단되었다.

## 참고문헌

1. 김정균, 2001, 새만금사업에 따른 조류속 및 지형변화, 전북대학교 석사 학위논문.
2. 나정우, 1987, 방조제 체절구간에서의 수리특성에 관한 실험적 연구, 서울대학교 석사 학위논문.
3. 나정우, 1994, 새만금해역의 조석유동 해석을 위한 비선형 유한요소 모형의 개발, 서울대학교 박사 학위논문.
4. 나정우, 권순국, 1994, 조속 유동 해석을 위한 비선형 유한요소모형(Ⅰ), 한국농공학회지, 36(3), pp. 144~154.
5. 나정우, 권순국, 1995, 조속 유동 해석을 위한 비선형 유한요소모형(Ⅱ), 한국농공학회지, 37(1), pp. 37~48.
6. 농림부, 농어촌진흥공사, 1997, '97새만금지구 수리시험 및 파랑관측 보고서.
7. 농림부, 농어촌진흥공사, 1999, 새만금지구 수문 조사 보고서.
8. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1990, 예정방조제 내·외해역의 사퇴이동 및 부유물질의 분포와 이동에 관한 연구.
9. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1991, 새만금지구 간척종합개발 사업시행 계획서(외곽시설).
10. 농림수산부, 농업진흥공사, 1988, 새만금지구 해수면 및 해저 퇴적층 변화예측 연구(Ⅲ).
11. 농어촌진흥공사, 1998, 방조제 축조 후 연안의 해안지형과 퇴적환경 변화연구(Ⅱ).
12. 농어촌진흥공사, 1999, 방조제 축조 후 연안의 해안지형과 퇴적환경 변화 연구(최종).
13. 박기진, 1995, 하구역에서 지형변화에 따른 조석 체계의 변화, 부산대학교 박사 학위논문.
14. 신문섭, 2000, 새만금간척전후의 잔차류의 계절변화에 관한 연구, 2000년도 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 47~53.
15. 이성대, 1989, 해안 구조물로 인한 파랑변형의 해석에 관한 연구, 울산대학교 박사 학위논문.
16. 조진훈, 박상현, 구요한, 1998, 인천 연안해역의 대규모 매립사업에 따른 경기만 일대의 조석 특성 변화, 한국농공학회지, 40(6), pp. 70~78.
17. 홍재호, 1997, 금강하구에서의 소류력 변화, 군산대학교 석사 학위논문.