

## 새만금 방조제 최종 끝막이시 조류속 측정 및 예측 A Tidal Current Measurement and Forecast during the Final Closing of Saemangeum Barriers

고광오<sup>1</sup>, 인태훈<sup>2</sup>, 유정구<sup>3</sup>, 박동서<sup>4</sup>  
Kwang Oh Ko<sup>1</sup>, Tae-Hoon Lin<sup>2</sup>, Jung Gu Yu<sup>3</sup> and Dong Suh Park<sup>4</sup>

### 1. 서 론

방조제의 끝막이 개방구간 폭이 넓을 때는 흐름이 점변류(Gradually Varied Flow)인 조석흐름(Tidal Flow)의 양상을 보이거나 개방 구간의 폭이 좁아짐에 따라 수심, 폭 및 선단부의 마찰 영향에 의해 흐름이 좌우되는 급변류(Rapidly Varied Flow)형태인 수리학적 흐름(Hydraulic Flow)의 양상을 보이므로, 그 변화를 분석하여 조류속을 정확하게 예측하는 것은 상당히 어려운 일이다. 이러한 조류속의 변화를 정도 높게 예측하기 위해서는 여러 조건들이 잘 갖추어져 있어야 한다. 그 조건들로는 흐름 현상을 잘 묘사할 수 있는 수치모형(Numerical Model)의 적용, 적절한 경계조건(Boundary Condition)의 사용, 정확한 지형 데이터의 입력과 모형의 검증(Calibration)이 필요하며 이를 통해 산출된 예측 결과를 실측 유속과 비교·분석을 통하여 새만금 방조제 최종 끝막이시 개방구간 폭의 감소로 인한 수축 흐름, 와열(Vortex Street) 및 난류(Turbulence) 발생, 배수갑문의 흐름 특성 등 실제 자연 현상에 맞는 유속이 산출되어야 한다.

본 연구에서는 새만금 방조제 최종 끝막이시 개방구간의 유속예측을 위해 다양한 실험 결과를 제시하고, GPS Buoy를 이용한 실측유속과 비교 검증을 하였다.

### 2. 실 험

새만금 방조제 개방구간의 유속 예측을 위해 DELFT-3D(Delft Hydraulics, ver 3.25.00, 한국농촌공사 농어촌연구원:2006), ADCIRC-3D(ADCIRC Development Group, ver 43.XX, 최병호:2006)의 데이터 및 MIKE21 HD(DHI, ver 2005)와 Homma 공식을 이용한 내외차 수위법을 통해 나온 데이터를 비교하였다.

#### 2.1 Homma 모형

Homma 공식은 2차원 수리모형 단면 수조에서 실험한 결과를 바탕으로 만들어 졌으며, Sill의 형상과 내외 수위차를 이용하는 방법으로, 2차원이나 3차원 수치 모형에서 제대로 재현하지 못하는 Sill 배후측 Vertical wake의 효과가 포함되어 있는 장점이 있다. 위어를 통한 유량은 Homma(국립건설시험소, 1993) 공식을 이용하여 위어 상하류의 수위차  $h$  및 위어 상류부 수심  $H$ 에 따라 Fig 1과 같이 불완전 월류와 완전 월류로 구분하여 주어진다.

- 불완전 월류시 ( $h < H/3$  일 때)

$$Q = C(H-h)B\sqrt{2gh} \quad (1)$$

- 완전 월류시 ( $h > H/3$  일 때)

$$Q = \frac{2}{3} HBC\sqrt{g(H/3)} \quad (2)$$

여기서,  $Q$  는 월류유량 ( $m^3/s$ ),  $B$  는 위어의 폭

1 발표자: 현대건설 기술개발원 설계실  
2 현대건설 기술개발원 설계실  
3 현대건설 기술개발원 설계실  
4 현대건설 기술개발원

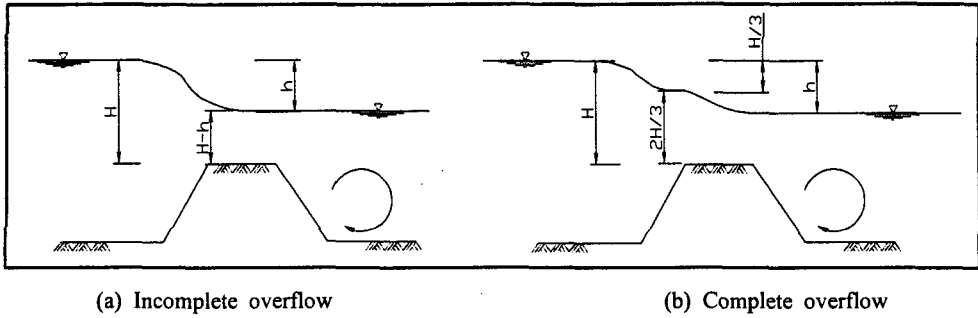


Fig 1. Overflow at weir

(m),  $g$  는 중력가속도( $9.81 \text{ m/s}^2$ ),  $C$  는 유량계수이며, 수위 및 Sill 형상에 따른 적절한 유량 계수의 산정이 유속 산정에 가장 중요한 요소이다.

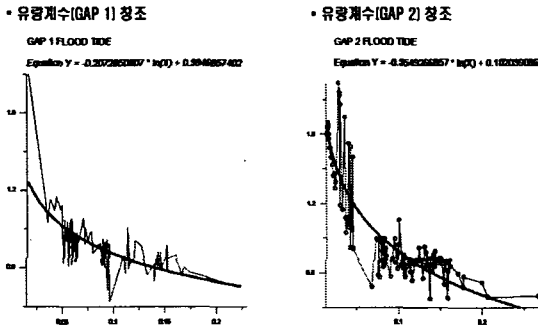


Fig 2. Flux coefficient for the difference of in and out water level(Flood)

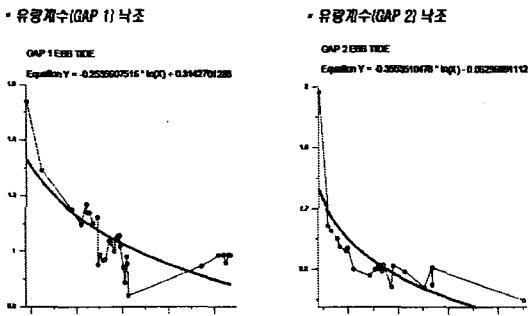


Fig 3. Flux coefficient for the difference of in and out water level(Ebb)

새만금 방조제의 실측 유속 자료와 실측 조위 자료를 이용하여 유량계수를 분석해 본 결과, 창조와 낙조시의 유량계수가 다른 분포를 보임을 알 수 있었으며, 내외 수위차에 따른 유량계수의 최적 곡선은 Fig 2와 Fig 3에 나타나 있다. Fig 2와 Fig 3에 나타나 있듯이 내외수위차에 따른 유량계수의 변동폭

이 커서, 최적 곡선에서 얻어진 유량계수를 적용하더라도 Homma공식에 의한 예측 유속은 어느 정도의 오차가 불가피 하므로, 본 연구에서는 유량계수를 창조시에는  $C=1.05$ , 낙조시에는  $C=1.13$ 을 적용하여 유속 예측을 실시하였다. 이러한 유량계수의 큰 변동폭은 개방구간의 평균유속 산정시에 놓여준 연구원이 제안했던 51초 이동 평균 유속을 일괄 적용한데서 나타난 것으로 판단된다(농림부, 농업기반공사 농어촌연구원, 2004). 따라서 유속이 빠른 경우에는 Fig 4에서 보여지는 것처럼 순간 속도와 51초 이동 평균유속이 차이가 크게 나타나서 각 유속별로 유속의 공간적 분포를 고려한 적당한 기간의 이동평균을 취해야 함을 알 수 있다. 최대 유속이 발생하는 지점의 이동평균 유속은 51초 이동평균을 일괄적으로 취할 것이 아니라 예를 들면 7초 이동평균이나 5초 이동 평균 등 유속의 공간적 분포를 고려한 이동평균을 취해야만 정확한 유량계수의 산정이 가능하다.

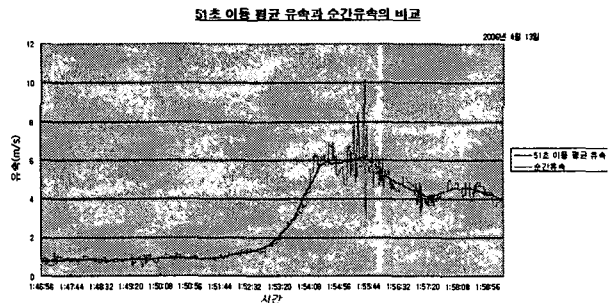


Fig 4. Comparison between mean velocity for 51s and instantaneous velocity

## 2.2 MIKE21 HD 모형

MIKE21 HD 모형을 이용하여 새만금 방조제 유속 예측을 하였다. Fig 5와 같이 새만금 방조제 및 군산의향, 위도, 송이도를 포함하는  $101\text{km} \times$

91km 영역을 대상으로 하였으며 4대 분조에 의한 조석자료를 경계조건으로 입력하였다. 공사기간 중 측정된 실측 유속과 비교 검증 및 모델의 바닥 마찰항과 와점성 계수를 보정하였다.

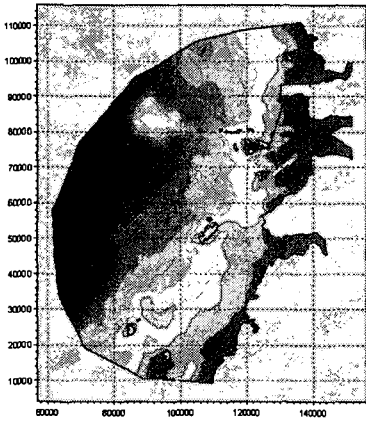
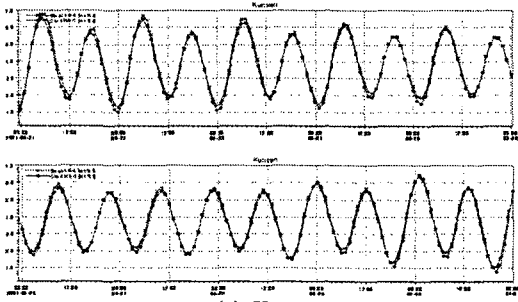
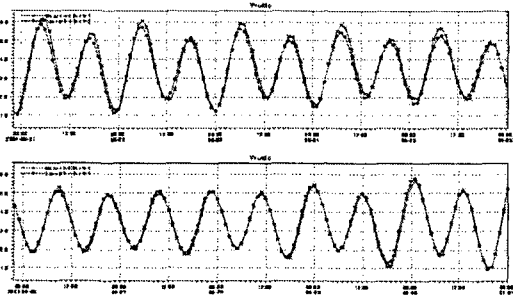


Fig 5. Computational domain

2004년 6월 21일부터 30일까지 10일간 영역내에 있는 군산외항검조소와 위도검조소의 실측조위와 계산된 조위를 비교하였다. 비교결과 실측 조위와 MIKE21 HD 모델을 이용한 예측 조위가 매우 잘 일치함을 알 수 있다.



(a) Kunsan



(b) Wuido

Fig 6. Comparison of measurement and calculated tide level

Fig 7은 3월 17일과 18일에 개방구간의 실측유속과 계산유속을 비교한 것으로 실측유속과 계산유속이 잘 맞는 것을 알 수 있다. Fig 6과 Fig 7의 결과로 볼 때 조위 및 조류속에 대한 수치모형의 검증(calibration)이 잘 수행되었음을 알 수 있다.

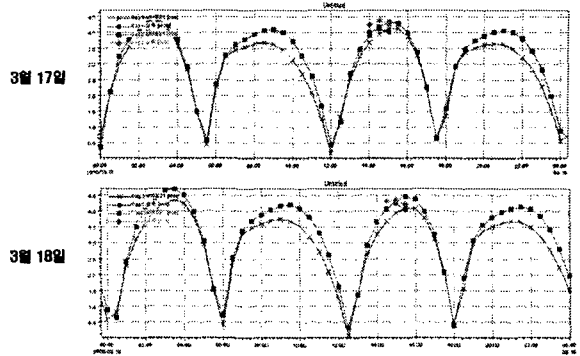


Fig 7. Comparison of measurement and calculated tidal current

### 2.3 GPS Buoy를 이용한 조류속 측정

GPS 유속 측정은 끝막이 기간 중 주간에 일일 최대 유속이 발생하는 전후 45분(총 90분)동안 GAP1, GAP2 개방구간 중간의 사석제 중심으로부터 1,000m 이격된 지점에서 GPS 유속계를 부표에 부착하여 투하하고 부표가 개방구간을 유하한 후 회수하였다.

투하 위치는 창조시에는 해측에서 호측으로, 낙조시에는 호측에서 해측으로 유하하도록 부표를 투하하였으며 개방구간 별로 각각 9개의 GPS 유속계를 10분 간격으로 투하 하였다.

자료의 독취는 1초 간격으로 측정된 GPS 데이터 중 방조제 개방구간의 사석제 중심에 도달한 시간의 데이터를 놓여준 연구원이 제시한 51초 이동 평균 유속을 적용하여 얻었다.

### 3. 예측 유속과 실측 유속의 비교

최종 끝막이는 조위와 유속에 따라 준비단계를 포함해 총 4번의 전진작업과 2번의 대조대기기간 등 6 단계로 나누어 진행하였다. 3월 17일부터 3월 23일까지 7일을 준비단계로 정하였고 1단계는 3월 24일부터 3월 29일까지이며 대조기인 3월 30일부터 4월 2일까지는 1차 대조대기기간으로 전진작업을 중단했으며 다시 4월 3일부터 4월 13일까지 2단계 기간에는 선단부 전진을 하였으며 4월 14일부터 4월 16일까지 3일간 2차 대조대기기간에는 다시 전진을 중단하고 선단보강을 하였으며 최종적으로 3단계인 4월 17일

부터 4월 21일까지 전진작업을 완료하였다.

Fig 8과 Fig 9는 최종 끝막이 기간 중 실측유속과 DELFT 3D, ADCIRC 3D, MIKE21 HD 및 Homma 공식에 의해 계산된 유속의 일별 최대유속분포를 나타내고 있다.

준비단계 초반에는 큰 조차에 의해 4~5m/s의 강한 유속을 보였으나 소조기에 접어들면서 유속은 점차 감소하였다. 1단계 초반 소조기에는 2~3m/s의 유속분포를 나타냈으며, 조차가 증가함에 따라 유속 역시 급격히 증가하여 3월 29일에는 6m/s 이상의 유속이 발생하였다. 1차 대조대기 기간에는 큰 조차에 의해 전반적으로 5~6m/s의 강한 유속이 발생하였다. 1차 대조대기 이후 유속이 점차 감소하여 2단계 중 소조기에는 2~3m/s의 유속분포를 나타냈으며, 조차가 증가하고 개방구간의 거리가 급격히 감소함에 따라 6m/s 이상의 강한 유속이 발생하였다. 2차 대조대기 기간에는 큰 조차 및 공사진행에 따른 개방구간의 감소로 인해 전반적으로 강한 유속이 발생하였으며, 6~7m/s의 유속분포가 나타났다. 3단계는 기상 악화 및 강한 유속에 의해 유속측정이 불가능하여 실측 유속자료가 포함되지 않았으나 각 수치모델의 유속 계산 결과에 의하면 GAP2에서 7m/s 이상의 강한 유속이 발생하였음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

새만금 방조제 최종 끝막이시 개방구간의 유속 예측을 위해 DELFT 3D, ADCIRC 3D, MIKE21 HD 및 Homma 공식을 이용한 내의차 수위법을 통해 나온 데이터를 GPS Buoy를 이용한 실측유속과 비교하였다. Homma 공식을 적용하기 위해서는 정확한 유량계수의 산정이 매우 중요하며 개방구간에서 일률적으로 51초 이동 평균을 사용하는 것이 아니라 공간의

영향도 고려하여 순간 유속이 빠른 곳에서는 5~7초의 이동 평균 산정을 고려해야 보다 정확한 유량계수의 산정이 가능함을 알 수 있다. 한편 본 연구에서는 전반적으로 실측 유속과 수치 모형 결과의 경향이 비슷하나, 4월 13일 이후부터는 DELFT 3D는 실측 유속보다 작게 나오고 MIKE21 HD는 실측 유속보다 크게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 실제 자연현상에서는 개방구간이 좁아지면서 흐름이 조석의 흐름이 아닌 수리학적 흐름으로 변화하였는데 2D 수치모델에서 이를 반영하지 못해 생긴 결과로 사료된다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 3D 난류 모델을 이용한 선단부 벽면 마찰의 효과를 고려한 선단부의 수축흐름을 재현할 수 있는 추가적인 연구가 필요하고, 새만금 방조제 끝막이에서 얻은 유속 예측 노하우는 간척이 가능한 저개발 국가의 식량 부족 해소와 공단용지 및 수자원 확보가 필요한 프로젝트에 활용이 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구의 수행을 위해 새만금 방조제 최종 끝막이 기간동안 헌신적으로 지원해주신 현대건설 새만금 2공구 현장 관계자 및 자문위원, 농어촌연구원 기술지원팀 및 성균관대학교 최병호 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- 국립건설시험소 (1993). 최종체절 공법 조사연구 (체절에 따른 흐름의 예측기법).
- 농림부, 농업기반공사 농어촌연구원 (2004). '04 새만금지구 수리실험 보고서.
- 현대건설, 새만금지구 제2호 방조제 끝막이 완료보고서(2006. 6).

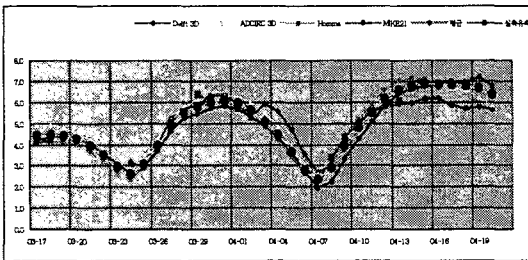


Fig 8. Daily Maximum velocity (GAP1)

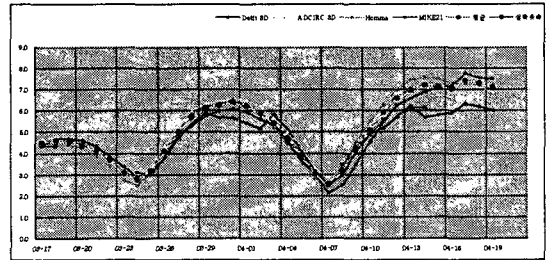


Fig 9. Daily Maximum velocity (GAP 2)