배수갑문 운영을 고려한 간척 하구호의 해수순환모의

Simulation of circulation in Estuarine Lake caused by Operation of Drainage gates

박영진*·엄명철 (농업기반공사)·권순국 (서울대)
Park, Young Jin*·Eom, Myung-Chul· Kwun, Soon-Kuk

Abstract

This study aimed to estimate applicability of a model to simulate circulation in estuarine lake caused by operation of drainage gates. The model consists of 2D (depth-averaged) hydrodynamic models, Delft3D-FLOW model and operation model for drainage gates. The flow through drainage gates was calculated using weir formulae with discharge coefficient, 0.8. The simulations are performed under two conditions: uncontrolled condition and controlled by periods of two days. The results on simulation of the model showed that the water level in estuarine lake was tend to increase above mean sea level. Therefore it was proved that the calibration and verification were needed in order to applicate this model for Saemankeum area.

1. 서론

새만금방조제 끝막이 공사 완료 후 순차적 개발방안에 따라 만경강측 수역에 대해서는 배수갑문을 통한 해수유통이 실시될 예정이다. 이와 유사한 사례로 시화호와 화옹호는 해수유통 중에 있다. 해수유통이 이루어지는 담수호 예정 수역에 대해서는 배수갑문 조작을 통해 해수의 유출입량을 조절하는 것이 가능하다. 해수유통 기간 중 담수호 예정 수역의 적정한 수질유지는 향후 담수화시 호내 오염 부하를 줄여주고 내부 개발 단계에서 급격한 환경적 충격을 완화시킨다는 차원에서 중요한 문제이다. 수질 유지를 위한 대책들이 검토되고 있으며, 배수갑문 조작을 통한 해수와 담수의 희석효과를 최대화하는 방안도 검토가 필요하다. 이를 위해서는 방조제 내외측의 수위변화 및 배수갑문 조작방법에 따른 시간적 공간적인 기수역의 수리 현상을 모의할 수 있는 모델이 필요하다.

본 연구의 목적은 방조제 끝막이 완료 후 해수유통이 이루어지는 개발 예정 수역을 대상으로 배수갑문 운영조작에 따른 해수의 순환을 모의하기 위한 모델을 구성하여 적용성을 평가하고 배수갑문 운영방법에 따른 수리적 변화를 해석하는 것이다.

2. 재료 및 방법

가. 배수갑문 운영을 고려한 해수순환모의모델

배수갑문 운영방법에 따른 해수유출입량을 고려하여 새만금방조제 내측 개발 예정지의 해수순환을 모의하기 위하여 모델을 구성하였다. 구성된 모델은 크게 두 부분으로 구분된다. 첫 번째는 배수갑문 운영모델로서 외조위와 내수위, 그리고 배수갑문 운전조건에 따른 해수유출입량을 계산한다. 두 번째는 배수갑문 운영모델의 경계조건인 외조위를 제공하고 방조제 내측의 해수유통구역에서 발생하는 수리현상을 해석하기 위한 2차원 수동역학모델이다.

배수갑문 운영 모델과 2차원 수동역학모델은 완전 통합되지 않고 별도록 계산을 수행한 후 계산결과를 다른 모델의 경계조건으로 사용한다. 상용코드인 2차원 수동역학모델에서 배수갑문 조작조건에 따른 경계조건을 발생할 수 있는 모듈이 제공되면 이러한 불편은 해소될 것으로 생각된다.

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

나. 배수갑문 운영 모델

배수갑문 조작조건에 따른 해수 유출입량을 산정하기 위한 배수갑문 운영 모델을 구축하였다. 배수갑문을 통과하는 해수 유출입량은 웨어 흐름만 고려하여 계산하였다. 유출입량은 해측 조위와 배수갑문 호측 조위에 따라서 완전월류 조건과 잠류 조건으로 구분하여 유량계수와 유량공식을 적용하였다. 적용된 유량공식과 유량계수는 농림부(2001)의 공식과 계수 중 배수갑문 홍수량 배제 능력 검토에 이용되고 있는 것들을 이용하였다.

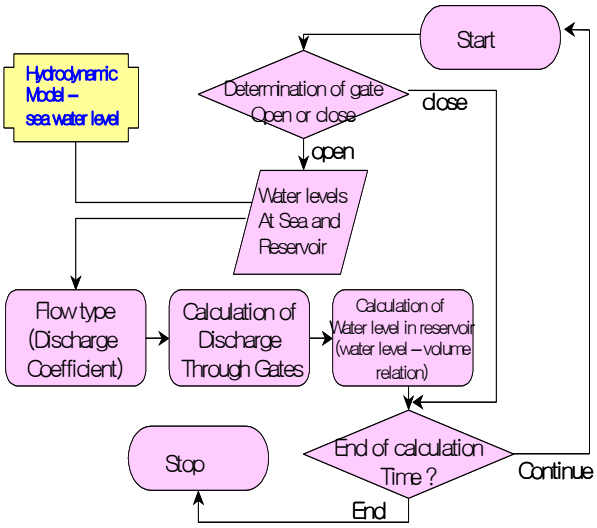

Fig. 1 Flow chart for calculation of flow through the drainage gates

모델의 계산 흐름도는 Fig.1과 같이, 2차원 수동역학모델에서 계산된 외조위를 입력자료로 사용하여 배수갑문 조작조건에 따른 배수갑문 유출입량을 계산한다. 계산은 엑셀 스프레드 시트의 함수 기능을 이용하여 이루어지도록 코딩하였으며, 10분 간격으로 외조위 및 내수위 그리고 배수갑문 통과유량에 대한 계산이 이루어진다.

실험조건은 배수갑문을 상시 개방할 경우와 2일 간격으로 조절하는 경우에 대해서 설정하였는데, 상시 개방 조건에서는 내외수위에 의해 배수갑문 통과 유량이 계산되고, 2일 간격 조절 조건에서는 2일간은 해측에서 호측으로 유입만 하고 다음 2일간은 호측에서 해측으로 유출만 되도록 설정하였다. 계산된 배수갑문 통과 유량은 방조제 내부 개발예정지의 해수순환모의를 위한 협역 모델의 해측 경계조건으로 입력하였다. 배수갑문의 통수단면폭은 신시배수갑문이 300m, 가력배수갑문이 240m이고, 배수갑문 바닥표고는 EL.-6.5m이다.

다. 동수역학모델

본 연구에서 이용한 수치해석모형은 네덜란드 델프트수리연구소에서 개발한 동수역학적 수치해석모형인 Delft3D-Flow모형을 이용하였다. 본 모형은 조석과 기상학적인 원인에 의하여 발생된 부정류 흐름 및 유동 현상을 계산하며, 천해, 연안지역, 하구지역 및 강과 호수에서의 불규칙한 온도와 염도 분포에 기인하는 밀도차이의 영향 또는 조석 및 바람에 의하여 발생된 흐름을 2차원 및 3차원적으로 계산한다.

모델의 지배방정식은 수평방향으로 직교좌표계 그리고 연직방향으로 시그마좌표계에 대해서 시간 평균한 3차원 연속방정식, Navier-Stokes방정식을 시간 평균한 Reynolds 운동량 방정식, 수온 및 염분의 이송·확산방정식과 상태방정식으로 구성된다. 지배방정식은 유한차분법을 사용하여 이산화하는데, 수평격자는 가변격자를 사용할 수 있도록 하여 지형이 복잡하거나 방류경계 부근에서는 조밀한 격자를 구성하여 해의 정확도를 높일 수 있도록 되어 있다. 계산격자는 엇갈린 격자 (staggered grid)가 사용되며, 곡선좌표상에서 구성된다.

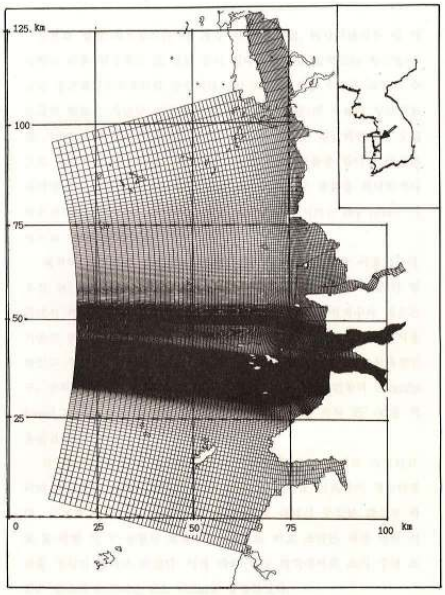

Fig. 2 Computational grid for calculation of tidal level

(1) 외조위 계산 모델

모형의 경계는 해의 왜곡을 최소화시키고 방조제 축조

후 반사파의 영향이 미치지 않도록 충분히 넓은 영역이 포함되도록 정하였다. 본 모형의 경계는 서쪽으로 동경125°40′, 북쪽은 안면도까지 포함하는 북위 36°30′, 남쪽은 북위 35°10′으로 결정하여 전체적인 모형 크기는 동서 100 km, 남북 170 km의 영역으로 하였다.

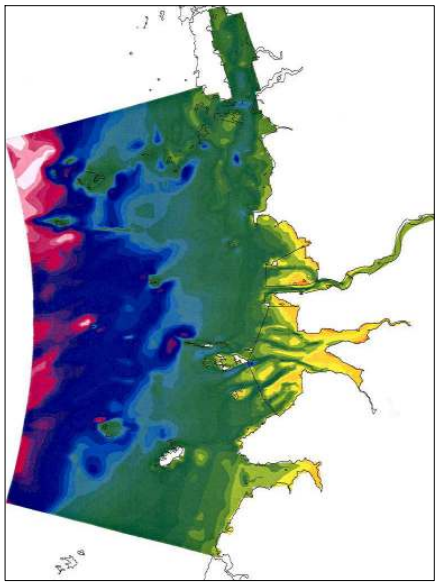

Fig.3. Bathymetry

모형의 계산격자는 곡선형 직교격자망을 구성하여 지형표현이 용이하도록 고려하였다. 새만금 방조제 구간은 해상도를 조밀하게 하였고, 외해쪽은 계산격자간격을 크게 하였다. 격자는 동서방향으로 123개, 남북방향으로 337개의 격자선들을 격자망으로 하여 구성하였다.

지형 및 수심자료는 대상지역을 포함하거나 대상지역에 포함되는 해도 및 연안해역도를 디지타이저를 이용하여 입력하였으며 UTM좌표계로 변경하여 사용하였다. 해도의 수심은 평균해면하 수심으로 보정하여 입력하였다.

계산시간간격은 해의 안정성이 유지되는 범위 내에서 길수록 계산시간이 짧아지므로 시간상 유리하다. 따라서 계산시간간격을 0.5, 1, 2, 5분의 4가지로 하여 예비실험을 실시하여 2분으로 결정하였다. 수평방향의 와점성계수 및 해수의 밀도는 기존의 연구결과를 참고하여 각각 10.11 m^2/sec와 1,024 kg/m^3의 값을 사용하였다. 해역의 바닥마찰계수 산정에는 Manning의 조도계수 n값을 이용하였는데, 조도계수는 모형의 보정작업을 통해서 결정하였다.

외해측 개방경계조건으로는 조위, 조류속, 유량자료 및 조화상수 등이 사용될 수 있다. 조석모형의 경우 외해측 개방경계를 따라 시간에 따라 변하는 조위가 개방경계조건으로 적용되며 본 연구에서는 델프트수리연구소의 황해모델응 이용하여 그 실행결과를 조화분해한 조화상수 (37개 조화상수)를 본 모형의 개방경계조건으로 사용하였다. Fig. 1 과 Fig. 2는 모형의 격자망도와 입력된 수심도이다.

(2) 호내 해수순환모의모델

방조제 내측의 개발 예정 구역에 대한 해수순환모의를 위해 별도의 계산격자를 가지는 세부모델을 구성하였다. 외조위 계산모델과 동일한 Delft3D-FLOW 모델을 이용하며, 방조제와 육지경계를 폐경계로 하고, 배수갑문을 개방경계로 설정하였다. 계산 격자의 크기는 100m에서 300m까지 크기를 변화시키면서 지형의 굴곡을 잘 재현하도록 하였다. 수심자료는 외조위 계산모델의 수심자료를 변환하여 이용하였으며, 그 외의 상수와 계수들도 외조위 계산모델과 같다.

3. 결과 및 고찰

가. 유량 계수

배수갑문을 통과하는 흐름은 내외수위의 차에 따라 오리피스와 웨어 흐름으로 구분할 수 있고, 하류 수위조건에 따라 완전월류와 잠류로 구분되어 크게 4가지의 흐름 상태가 있지만, 실제로 대부분의 수문조작에서는 바닥이 수평인 웨어 흐름상태로 배제된다. 본 연구에서는 배수갑문의 설계시 홍수 배제 능력 검토에 이용되고 있는 유량계산 공식을 사용하였으며, 다음과 같다.

잠류 상태의 유량 계산

$$IF \triangle H < \frac{H_1}{3}, \quad Q = C_2(H_1 - \triangle H)B\sqrt{2g\triangle H} \qquad \text{---------- Eq.(1-a)}$$
$$C_2 = 0.8$$

완전월류 상태의 유량 계산

$$IF \triangle H \geq \frac{H_1}{3}, \quad Q = 1.704 C_1 B H_1^{1.5} \qquad \text{----------}$$
$$C_1 = 0.8$$

Eq.(1-b)

여기서 H_1은 상류 경계의 수면에서 배수갑문 바닥까지 높이 (m), H_2는 하류 경계의 수면에서 배수갑문 바닥까지 높이 (m), ΔH는 상하류의 수위차 (m), C_1과 C_2는 각각 유량계수를 나타낸다.

권 등 (1986)은 잠류 상태의 흐름에서는 각각 상류와 하류의 수면에서 배수갑문 바닥까지 높이의 비로 정의되는 잠수도를 이용한 함수의 형태로 유량계수를 제시하였다.

$$Q = \mu B H_1 \sqrt{2gH_1} \qquad \text{---------- Eq.(2)}$$

잠류 상태의 유량 계수 : μ = 1.3 - 1.17 S, 완전월류 상태의 유량 계수 μ = 0.35.

잠류와 완전월류 상태의 경계는 S = 0.8이며, 잠수도 S = H_2/H_1 이다.

위에서 설명한 두 가지의 대표적 배수갑문 유량계수 공식을 실제 수리모형 실험 (농림부, 2004)과 수치모델 실험 (농업기반공사, 2004)과 비교한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Comparison of discharges derived by models and literature

Water level at upstream boundary (EL.m)	Water level at downstream boundary (EL.m)	Results on Hydraulic model (m^3/s)	Results on Numerical model (m^3/s)	Results on Eq(1) (m^3/s)	Results on Eq(2) (m^3/s)
1.500	0.500	1043.64	993.47	1052.38	744.15
1.500	-0.500	1157.83	1101.32	1270.38	902.04
1.500	-1.500	1192.91	1018.64	1710.12	925.37
-1.500	-2.500	585.20	-	540.79	425.23
-1.500	-3.500	576.11	-	888.44	457.23

나. 배수갑문 운영 방법에 따른 해수순환모의

배수갑문의 운영모델을 이용하여 배수갑문 조작조건에 따른 해수의 유출입량을 계산하였다. 배수갑문의 조작조건은 크게 두가지로 적용하였으며, 배수갑문을 조작하지 않고 상시 개방한 상태로 두었을 때의 조건과 배수갑문을 조작하여 2일간은 계속 해수를 호내로 유입하고, 다음 2일간은 바다로 계속 배제하는 조건을 선택하였다.

외조위계산 수동역학모델을 이용하여 약 한달간의 외조위를 10분 간격으로 계산한 후, 배수갑문 운영모델의 해측 경계 조위로 입력하였다. 상시 개방 조건에서는 내외수위차에 의하여 해수의 유출입이 계속 발생하게 하였고, 2일 간격 조절 조건하에서는 처음 2일 동안은 해측 조위가 내수위보다 높을 때 배수갑문을 통과하는 유량계산이 되고, 해측 조위가 내수위보다 낮아지면, 유량계산이 되지 않도록 하였다. 다음 2일 동안은 반대로 해측 조위가 내수위보다 낮은 조건에서만 유량계산이 되도록 하였다. 배수갑문 운영모델의 계산 결과는 Fig.4와 Fig.5에 나타내었다. 상시 개방 조건에서는 계산 기간 중 최대 내수위는 0.69m, 최저 내수위는 -1.03m이고, 2일 간격 조절조건에서 최대 내수위는 1.92m, 최저 내수위는 -1.84m로 나타났다. 대조기 4일간의 해수유통량을 비교하면, 상시 개방 조건에서는 4일간 총24억m3이 유출되고, 26억m3이 유입되었으며, 2일 간격 조절조건에

서는 11억m3이 유출되고, 11억m3이 유입되었다.

방조제 내측 호내의 해수순환모의 결과 호내의 유동장은 배수갑문 부근에서 1.8 m/s의 유속이 발생하고 상류쪽으로 갈수록 수로부에서는 0.5 m/s 정도의 유속이 발생하지만, 그 외의 지역에서는 유속의 크기가 0.2 m/s 이내로 작아진다. 호내의 해수순환모의를 위한 수동역학모델의 내수위 계산결과를 배수갑문 운영모델과 비교하면, 내수위 변화폭은 유사하게 나타나고 있으나, 수동역학모델의 내수위가 시간이 지남에 따라 다소 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 이런 현상의 원인을 분석해보면, 호내 해수순환모의를 위한 수동역학모델의 경계조건을 배수갑문 운영모델에서 입력받는 과정에서 별도의 계산을 수행하는데 따른 오차가 발생하는 것으로 보인다. 향후 배수갑문을 통해 해수유통이 되고 있는 지구의 현장 자료를 이용하여 모형에 대한 보정과 검증과정을 거친다면, 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단된다.

4. 결론

방조제 끝막이 완료 후 해수유통이 이루어지는 개발 예정 수역을 대상으로 배수갑문 운영조작에 따른 해수의 순환을 모의하기 위한 모델을 구성하여 적용성을 평가하고 배수갑문 운영방법에 따른 수리적 변화를 해석하였다.

해수순환모의모델은 외조위 계산을 위한 수동역학모델과 배수갑문 조작조건에 따른 해수유통량을 계산하기 위한 배수갑문 운영모델, 그리고 호내의 해수순환을 모의하기 위한 수동역학모델로 구성하였다. 배수갑문 운영모델의 해수유통량 계산은 웨어 공식을 이용하였으며, 유량계수를 0.8로 고정하여 이용하였다. 호내 해수순환모의모델의 경계조건은 배수갑문 운영모델의 계산결과를 입력하였으며, 두 모델의 내수위 계산결과를 비교한 결과 수동역학모델의 내수위 결과가 증가하는 경향을 나타났다. 따라서 본 모델의 적용을 위해서 배수갑문을 통한 해수유통이 이루어지고 있는 다른 지구에서 보정 및 검증 과정을 거친 후 적용해야 할 것으로 판단된다.

배수갑문 운영모델의 내수위 계산 결과를 보면, 상시 개방시 대조기의 최대 내수위는 최대 내수위는 0.69m, 최저 내수위는 -1.03m이고, 2일 간격 조절조건에서 최대 내수위는 1.92m, 최저 내수위는 -1.84m로 나타났다. 해수유통량은 상시 개방조건이 2일 간격 조절조건에 비해서 약2배정도였으며, 계산 기간 중 해수순환모의모델에서 계산된 유속은 해수유통 시간과 양의 차이로 인해 상시 개방조건 보다 2일 간격 조절조건이 최대 유속은 특정 지점에서 크게 나타났으나, 발생빈도는 적은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 권순국, 나정우, 1986, 배수갑문의 유량계수결정에 대한 실험적 연구, 한국농공학회지, 제45권, 제1호, pp.51 - 59
2. 농림부, 2001, 농업생산기반정비사업계획설계기준 배수편, pp.170 - 171
3. 농림부, 2004, '04 새만금지구 수리실험보고서, pp.319 - 335
4. 농업기반공사, 2004, 배수갑문 운영 및 관리방안 연구, pp.16
5. 서승원, 김정훈, 유시홍, 2002, 배수갑문을 통해 부분 개방된 하구호에서의 순환과 수질모의, 한국해안해양공학회지, 제14권, 제2호, pp.136~150
6. 한국농공학회, 2001, 만경수역의 해수유통으로 인한 수리특성변화 수치해석
7. Bielecka, M. and Kazmierski, J., 2003, A 3D mathematical model of Vistula Lagoon hydrodynamics - General assumptions and results of preliminary calculations, Diffuse Pollution Conference Dublin, pp. 6-140 ~ 6-145
8. Choi, K.W., and Lee, J.H.W., 2004, Numerical determination of flushing time for stratified water bodies, Journal of Marine Systems, Vol.50, pp.263-281
9. WL|delft hydraulics, 2003, User Manual Delft3D-FLOW, WL|delft hydraulics, Delft

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)