

새만금호 수문 개방에 따른 내측의 혼합수송 및 외해역의 방류영향모의 Simulation of Mixing Transport on Inner Reservoir and Influence Impacts on Outer Region for the Saemankeum Effluents Caused by Gate Operation

서승원* · 조완희* · 유경선*
SeungWon Suh*, WanHei Cho* and GyeongSeon Yoo*

요 지 : 해수소통을 전제한 경우 새만금호 내측의 염분변화가 만경강의 평수량 및 홍수량 유입에 따라 혼합 확산되는 것을 평가하고, 내부 개발이후 배수수문을 통한 새만금호소수 방류시 관리수위별로 저염수가 외해에 미치는 영향범위를 평가하기 위한 수치모형실험이 실시되었다. 해석에는 2차원 ADCIRC 및 3차원 TIDE3D 모형과 3개 연직층을 고려한 3차원 CE-QUAL-ICM 모델이 이용되었다. 내부의 확산 모의결과는 시간이 지남에 따라 외해에서 유입되는 염수가 점차 혼합확산되며, 최소 1개월 이상 경과되어야 만경호측에 외해수가 혼합되고, 6개월 지속되어야만 동진호측까지 혼합된다. 호내측의 수위를 관리하기 위해 신시 또는 가력수문을 개방하면 유속이 지속적으로 감소되나 갑문으로부터 전면 10Km 이상까지 0.5m/s의 유동장이 형성된다. 이러한 결과는 저염수 방류로 인한 영향이 주기적으로 낙조시에 발생되어 새만금 방조제 전면의 해수순환과 유동 및 생태환경에 적지 않은 영향을 미칠 개연성을 제시하는 것으로 해석된다.

핵심용어 : 새만금호, 수문조작, 저염수, 방류, 혼합확산, 3차원 ICM

Abstract : Numerical model tests are done in order to evaluate impact zone of low salinity water on outer region of the developing Saemankeum reservoir. Also saline mixing processes are investigated for the inner reservoir with consideration of Mankyong and Dongjin riverine flood discharges when sea water is passing freely through gate. In these analyses 2-d ADCIRC, 3-d TIDED3D and CE-QUAL-ICM models are used. Through models tests, it is found that inner reservoir mixing process caused by inflow of outer sea water occurs gradually. It takes at least one month for complete mixing on Mankyong part and 6 month on Dongjin part of the reservoir. When Sinsi or Garyeok gates are opened to control inner reservoir level, discharging velocities decrease exponentially from the gates, but show very strong currents of 0.5m/sec to the 10Km region apart. These results imply that hydrodynamic circulation and ecosystem of frontal region of the Saemankeum dike might be affected in amount by gate operations, since low saline inner waters are discharged periodically at ebb tide according to tidal level.

Keywords : Saemakeum reservoir, gate operation, low saline water, discharge, diffusive mixing, 3-D ICM

1. 서 론

새만금 방조제공사 완공이 목전에 있으나 행정법원의 권고조정안으로 새만금 사업이 장기간 표류하게 되면서, 건설 당초의 내부 개발과는 다른 방향으로 변경과 함께 새만금호 내·외부의 수동역학적 특성에 대한 이해가 관심의

대상이 되고 있다. 33Km의 방조제 공사 중 현재 2.7Km의 물막이 구간만 남겨 둔 상황과 방조제 완공이후 내부의 개발이 순차적으로 이루어진 이후의 수동역학적 변화는 환경에 미치는 영향이 부정적일 수도 있으며 순기능으로 작용할 수도 있을 것이다. 그러나 현재 논의되는 새만금호 내·외부의 수동역학 변화와 향후 내부 개발에 따른 목

*군산대학교 해양시스템공학전공(Corresponding author: SeungWon Suh, Department of Ocean System Engineering, Miryong, Kusan, Chonbuk, 573-701, Korea. suh@kusan.ac.kr)

표 수질 확보문제는 심층적이고 전문적인 공학적 접근이 결여된 상태에서 피상적으로 다양한 계층에서 다루어지고 있는 실정이다. 따라서 계량화되고 정량화된 수동역학의 변화를 파악하는 것이 무엇보다 중요하며, 상류의 오염부하 변화와 함께 이러한 수동역학 특성이 새만금호 내부의 순환과 수질관리에 절대적으로 필요하다고 판단된다.

시화호의 예를 들어 새만금호 완공 이후에 유사한 과정을 겪을 것이라는 단순한 예견은 시화호 내부개발 이후의 특성이 현재와 달라지는 현상과 변화를 충분히 이해하지 못한데서 비롯된 잘못된 것일 수 있다. 시화호의 내부단지 개발과 관리수위가 달라지는 장래의 변화된 상황에 대한 수동역학적 특성과 수질변화를 평가한 선행 연구(서승원 등, 2002)에 따르면 간석지를 매립하는 내부 개발로 인해 절대적인 수표면적이 감소되면서 대기와 접하는 면적이 줄어들어 용존산소는 현재에 비해 좋지 않게 변화되지만, 직선화되는 유하과정이 체류시간을 단축시키면서 현재와 달리 다양한 변화를 유발함을 알 수 있다. 따라서 새만금호의 대조구로 선행 연구된 시화호의 특성 변화처럼 새만금호의 내부개발과 수표면적의 축소, 체류시간의 변화, 관리수위별 수체적의 변화에 대해서는 일률적인 개념적 평가 적용이 제한적이라는 것을 시사한다. 그러므로 선행의 연구에서와 같이 새만금호의 내부 개발과 장래 변화되는 관리수위별 수체적의 변화에 따른 종합적이고 정량적인 수동역학적 평가가 수질관리 모형의 적용과 함께 심도 있게 검토되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 새만금호 조성 이후, 당초의 계획과 같이 내부 개발과 함께 담수호로 조성되는 경우 수문의 개방에 따른 외해역으로의 영향범위를 내부의 관리수위별 평가는 저염수의 외해 물리적 확산영향과 이로 인한 인근 생태계에 미치는 영향을 평가하는데 목적을 둔다. 또한 해수소통을 전제로 개발하는 경우 상류의 평수시 및 홍수시의 유량변화에 따라 내부 염도변화에 대해 본 연구에서 검토한 혼합확산 평가는 새만금호 내·외측의 수질관리에 있어 귀중한 정보를 제공하게 된다. 본 연구에서 시도하는 접근은 향후 내부개발 방안이 확정되는 상황에 대해 오염부하의 평가와 함께 실시할 수질관리모형의 전 단계 해석으로 의의가 크며, 향후의 변동되는 대안별 수질관리 지침을 제시할 수 있는 기틀을 마련할 수 있다.

새만금호 수문 개폐의 동적인 변화를 능동적으로 처리할 수 있는 수치모형으로는 2차원 ADCIRC(Luetlich et al., 1992; Westerink et al., 1992) 모형이 적합하여 이를 선정하였고 저염수의 방류에 따른 외해측의 영향범위 평

가에 이용하였다. 호소 내부에서는 외해수와의 혼합확산을 모의하기 위해 TIDE3D(Walters, 1992) 모형과 연계시킨 3차원 CE-QUAL-ICM(Cerco and Cole, 1994; 1995) 모형을 적용하는데 3개 연직층에 대해 실험하고 그 결과를 분석하였다.

2. 수치모형

본 논문에서는 현재 국내·외에서 적용되는 모형 중 본 연구목적과 부합되고 최신기술로 평가되는 모형을 선정하여 적용하였다. 해안해양 및 호소 그리고 하천과 연계된 지표수(surface water)의 수리모델링에 적합한 모형으로 알려진 ADCIRC 모형을 저염수 방류에 따른 외해역 평가에 있어 수리특성 해석도구로 선정하였다. 염분농도의 변화뿐만 아니라 새만금의 장래 내부개발에 따른 부영양화 등 생태환경을 모의할 수 있도록 3차원의 CE-QUAL-ICM(이하 ICM)모형을 TIDE3D 모형과 함께 호내에 적용하여, 새만금호 완공이후 1년 이상 장기적인 유동장 및 내측 담수의 확산변화를 파악하였다. TIDE3D는 해수유동에 대한 모델로 3차원 유한요소모형으로 이 모형은 이미 기존의 연구(서승원, 1999)에서 황해 및 서해 연안역에 적용되어져 3차원적인 수동역학 특성을 잘 재현한 바 있다. 본 고에서는 이들 모형의 상세한 이론은 생략한다.

2.1 ADCIRC

ADCIRC(ADvanced CIRCulation model for oceanic, coastal and estuarine water)는 정밀한 경계 처리를 하며 장기간 동안 넓은 영역에서 해수순환을 모의할 수 있도록 개발된 유한요소 모형이다. 근저에는 넓은 영역을 처리하는데 있어 계산효율을 증진시키기 위해 병렬화를 구성한 접근이 이루어지고 있다(Chipada et al., 1996). 모형은 기본적으로 수심 적분된 2차원 모형(2DDI)과 3차원 모형(3DVS)으로 구성되어 있다. 2DDI(two-dimension, depth-integrated)는 바다마찰계수와 운동량 확산계수를 이용하는 수심 적분된 외부모드 방정식(external mode equation)만 풀게 되어있고 3DL(three-dimensional, local)은 모드분리(mode splitting) 기법을 이용하여 2DDI에서처럼 외부모드(external mode)에서 자유수면에 대해서 수심 적분된 연속 방정식과 운동방정식을 풀고, 내부모드(internal mode)에서 상대적으로 긴 시간간격동안 3차원 방정식을 풀어 수직 성분을 계산한다. ADCIRC는 기본방정식으로 천수방정식의 연속방정식을 변형한 형태인 일반화된 파동연속방정식

(generalized wave continuity equation)과 운동량방정식을 택하고 있다. 시간진행 모형인 ADCIRC는 양-음해법으로 시간 적분을 수행할 수 있는 특징이 있다. 초기에 모형의 기본사항이 발표된 이후 현재까지 계속적인 수정보완을 거치면서 모형의 세련화와 기능의 향상이 추진되고 있으며, ver. 44가 본 연구에 적용되었다.

ADCIRC모형은 Luettich(1992) 등과 Westersink(1992) 등에 의해 개발된 이후 많은 후속 연구 및 응용 (Blain et al., 1994; Kolar et al., 1994; Westerink et al., 1994; Cobb and Balin, 2001; Atkinson et al., 2004)에서 모형이 검증되고 다양한 응용분야로 확대되고 있다. 현재 미국에서는 국립허리케인센터에서 대기-해양을 접목하여 허리케인의 예경보에 활용하고 있다. 국내에서는 서승원-김정훈(2003b)이 본 연구의 대상 해역인 군장해역에 적용하여 조건대의 침수-노출 처리의 필요성을 다룬 바 있으며, 이 논문에서 관측된 유동과 정량적인 비교 검증을 통해 연구와 동일해역인 새만금해역에 대해 모형을 수립한 바 있다. 또한 Choi and Lee(2003)는 황해 및 새만금해역에 대해 본 모형을 적용하여 해저전단응력의 변화에 따른 침퇴적성향을 분석한 바 있는 등, ADCIRC는 모형의 수립과 검증에 있어 국내외에서 안정적으로 입증된 모델이다.

2.2 CE-QUAL-ICM

ICM은 유한체적방법을 이용하여 완벽한 질량보존을 만족하도록 개발되고 적용된 모형으로, Chesapeake에 적용 (Cercio and Cole 1994; 1995)된 3차원 수질 모형으로서 초기에는 정규격자체계를 갖는 CH3D-WES 수동역학 모델과 연동되어 수질변화 연구(Dortch et al., 1999)에 이용되었다. 국내에서는 TIDE3D와 연동하여 새만금과 유사한 하구호로서 내부 수질환경이 쟁점이 되었던 시화호에 적용(서승원 등, 2002; 서승원-김정훈, 2003a)된 바 있다. 선행의 연구에서는 시화호의 상류에서 유입되는 오염부하에 따라 변동되는 내부의 수질을 평가하였고, 특히 저니토와 수체와의 상호작용을 고려하여 시화호에 대해 장기간에 걸

친 부영양화 등을 모의한 바 있다. ICM모델에서는 염분은 물론 다양한 형태의 Algae, 질소, 인, 탄소와 COD, DO등 총 22개 수질 항목에 대하여 시뮬레이션이 가능토록 설계되어 있으며, 서브 모델을 통하여 저질에 관하여 분석 및 예측할 수 있다.

3. 수치실험 및 토의

새만금호 완공이후 내부 단지 개발에 따라 설정될 관리수위별로 배수수문 개방의 영향범위를 내-외측에 걸쳐 평가한다. 수문개폐는 신시, 가력 배수수문을 동시에 개방하거나 혹은 하나만을 개방하는 경우로 설정하였고, 이때 호내 관리수위는 DL=-1.5m, 홍수시인 DL=+0.5m, 중간수위인 DL=-0.5m의 세 가지 경우이다. 실험조건을 요약하여 Table 1에 수록하였다. 담수방류에 따른 새만금호 외해측 수리특성 및 확산양상을 분석하기 위해 내부단지 개발 전의 방조제 완공 후 관리수위별로 신시 또는 가력수문을 통해 제방 안쪽의 호소수가 외해로 방류되는 영향을 평가하기 위하여 CASE-A로 설정하였다. 두 번째로, CASE-B의 경우는 수문으로 자유롭게 해수 소통이 있는 경우에 상류로부터 평상시와 홍수시 유입되는 담수로 인해 새만금호 내부에서 염분 분포가 장기적으로 어떻게 변화될지를 모의하였다.

수치실험에서는 새만금을 포함한 서해중부 연안역에 대해 Fig. 1, 2에서 보는 바와 같이 유한요소 격자시스템을 구성하여 이를 토대로 외해역의 영향성을 검토한다. Fig. 1에 보이는 외해경계에서는 4개 주요분조(M₂, S₂, K₁, O₁)의 진폭과 위상각을 대입하여 수심적분의 시간진행 ADCIRC 모형실험과 조화합수를 이용한 3차원 TIDE3D 모형을 적용한 수치실험이 실시되었다. 이때 수문에서 경계 조건은 외조위가 담수호 수위보다 낮아지는 경우에만 수문이 열리면서 호 내부의 물이 외해로 배출되는 비연속적인 작동을 하게 된다. 수치실험에서는 이러한 조건을 고려하여 내부의 호소수가 외조위와 연계되어 단속적으로 외해로 방류되는 것으로 설정되었다.

Table 1. Simulation cases, test conditions and models

Case	purpose	control water surface elevation	gate operation	inflow condition	model applied
CASE-A	저염수의 외해측 영향검토	DL-1.5 m	1 신시on, 가력off	평수	ADCIRC, TIDE3D
		DL-0.5 m	2 신시off, 가력on		
		DL+0.5 m	3 신시on, 가력on		
CASE-B	호내측 저염수의 혼합영향검토	고려안함 (해수소통조건)	신시on 가력off	평수,홍수	TIDE3D, ICM

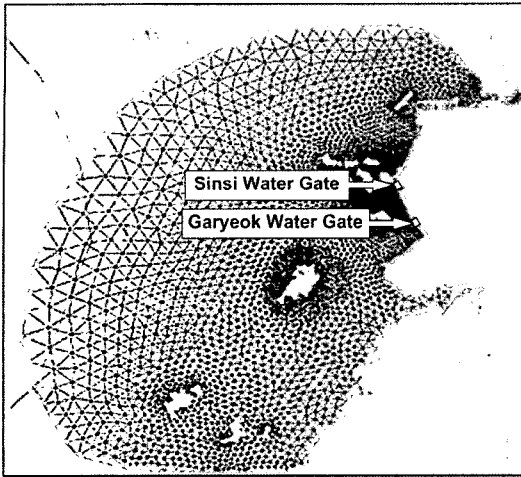


Fig. 1. Map showing study area, Saemankeum outer region with gates.



Fig. 2. Saemankeum inner reservoir after scheduled development.

3.1 수문개방에 따른 저염수의 외해측 영향

방조제 완공이후 조성된 담수호(실제로는 끝 물막이 공사시까지 개방된 관계로 담수호가 아닌 저염의 호소)에서 수문을 개방할 때 이의 영향이 외해측으로 얼마나 영향을 끼치는지를 평가하기 위한 수치실험이 실시되었다. 수문은 외조위와 연동되어 관리수위 이하로 외조위가 낮아질 때만 열리는 조건으로 설정되었다. 수문을 개방하지 않은 상태에서 수문 인근지점의 최강창낙조시 조류속도는 0.5~0.6 m/s 정도이다. 신시, 가력수문을 개방하는 경우 방류된 담수의 영향범위를 파악하기 위하여 관리수위별로 담수 영향범위를 산정하였다. 이를 요약하여 Table 2~3에 수록하

Table 2. Impact distance of effluents from Sinsi gate according to control WSE

velocity (m/s)	Distance from Sinsi gate (km)		
	Control water surface elevation		
	DL=-1.5 m	DL=-0.5 m	DL=0.5 m
6.0	0.2	0.5	1.0
5.5	0.4	0.8	1.2
5.0	0.7	1.1	1.4
4.5	0.9	1.3	1.5
4.0	1.1	1.5	1.7
3.5	1.4	1.6	2.0
3.0	1.5	1.9	2.3
2.5	1.8	2.2	2.5
2.0	2.2	2.4	3.0
1.5	2.5	4.0	5.8
1.0	5.6	7.6	9.0
0.5	10.0	12.0	13.0

Table 3. Impact distance of effluents from Garyok gate according to control WSE

velocity (m/s)	Distance from Garyok gate (km)		
	Control water surface elevation		
	DL=-1.5 m	DL=-0.5 m	DL=0.5 m
5.0	0.0	0.7	0.9
4.5	0.6	0.7	1.0
4.0	0.7	0.8	1.1
3.5	0.8	1.1	1.4
3.0	0.9	1.4	1.7
2.5	1.2	1.7	2.2
2.0	1.5	2.3	3.4
1.5	2.3	4.1	5.8
1.0	4.9	8.0	9.5
0.5	10.0	13.0	14.0

였으며, 모의 결과 중 일부를 Fig. 3, 4에 도시하였다. 계산결과는 관리수위가 DL=-1.5 m와 DL=+0.5 m로 변함에 따라 수문 전면 10 Km~13 Km에 이르는 해역까지 최대 0.5 m/s의 유속이 형성되고, 수문 전면 1.5 Km~2.3 Km까지 3 m/s에 다다른 매우 강한 유속이 나타난다. 실험결과를 분석하면 가력수문을 개방하는 경우 신시수문의 개방에 따른 영향보다는 작지만 수문 전면 14 Km까지 0.5 m/s의 강한 유동이 관리수위별로 나타나고 있다. 이러한 결과는 저염수 방류로 인한 영향이 주기적으로 낙조시에 발생되어 새만금 방조제 전면의 해수순환과 유동에 적지 않은 영향을 미칠 것으로 판단된다. HF radar를 이용하여 새만금 4호 방조제 개방구간에서 유출되는 영향을 평가한 성과(이상호, 2005)에서도 본 연구에서 수행한 수치실험과 유사한 경향을 보이는 관측 결과를 제시하고 있다. 이

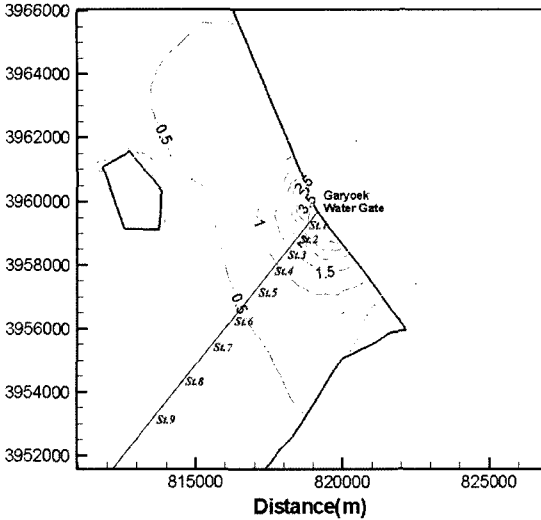


Fig. 3. Discharging velocity from Garyok gate.

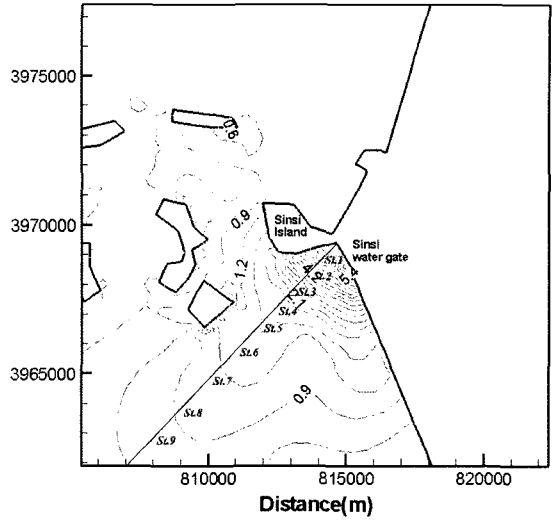


Fig. 4. Discharging velocity from Sinsi gate.

에 따르면 낙조시에 유출되는 제트플룸은 외해역으로 10 Km 이상 영향을 미치는 것으로 나타난다.

수문으로부터 방출된 유속의 감소영향을 정량적으로 분석하기 위하여 Fig. 5와 같이 외해방향으로의 거리별 유속을 도시한 그림을 살펴보면, 방류 유속의 크기는 수문으로부터 점

차 거리가 멀어질수록 지수함수적(exponential)으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 관리수위별로 유속 둔화의 양상이 달라지나 $DL=-0.5$ m 인 경우, 외해방향으로의 거리를 x 라 하면, 신시와 가력 전면의 유속변화는 각각 $V_{S_{max}} = 6.85e^{-0.36x}$, $V_{G_{max}} = 4.13e^{-0.25x}$ 로 표현되고, 신시수문 전면에서 유속

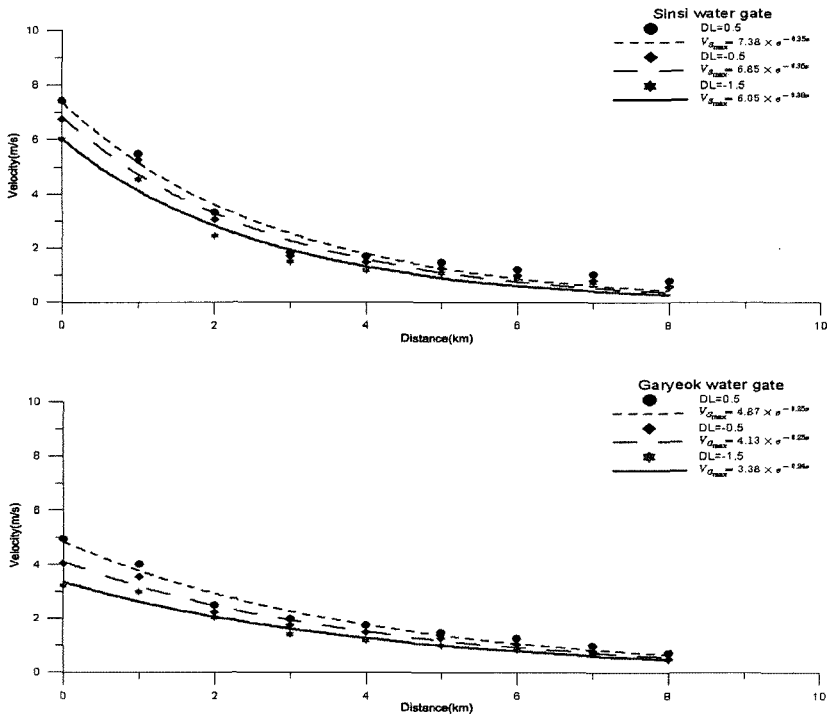


Fig. 5. Discharging velocity variation and curve fittings at Sinsi and Garyok gates.

의 둔화가 뚜렷하게 나타나는 것으로 분석되었다. 그러나 이렇게 급감하는 유속이라 하더라도 수문을 개방하지 않은 상태 즉, 방조제가 완공된 이후 수문을 닫은 상태로 존치하는 경우 최강유속을 제외한 새만금 해역의 대체적인 유속인 0.1-0.2 m/s 내외의 미약한 유동장에 비하면 매우 크게 영향을 미치는 것으로 평가된다. 이는 앞서 제시한 바와 같이, 수문 개방으로 인한 담수 영향이 외해에 직접적으로 크게 영향을 미칠 수 있음을 시사하는 것이다.

3.2 수문개방에 따른 담수호 축 염분농도변화

새만금호의 담수화가 미확정적인 현재상태에서 목표수질 확보가 곤란하다면 시화호와 같이 해수소통을 전제로 개발이 추진될 예정이며, 이때 새만금호 내부의 염분변화가 수문 운영 및 만경강에서 유입되는 평수량과 홍수량에 따라 어떻게 변화 되는지를 모의하기 위하여 1년 이상의 기간에 대해 ICM 모델을 이용한 수치실험이 실시되었다. ICM은 22개의 수질인자에 대해 모의 가능 하지만 본 연구에서는 새만금호에 대한 초기접근으로 호소 내부의 혼합확산 과정 이해에 초점을 맞추고 있어 상류의 담수 유입 및 수문을 통해 유입되는 염수에 의하여 새만금호 염도가 변화되는 상황만을 모의하는 것에 국한하였다. 본 연구는 새만금호 완공이후 호내의 확산과정에 대한 초기접근으로 호소 내부의 수질변화 과정의 이해에 초점을 맞추고 있다.

이러한 변화에 직접적으로 영향을 미치는데는 물리적 특성의 변화가 주된 인자로 작용한다. Fig. 2에서 보듯이 내부개발에 따라 새만금 호소의 수표면적과 수체적은 급감하여 각각 70% 및 50% 줄어들고, 평균수심은 증가하게 된다. 더욱이 만경호 및 동진호의 상류측은 하천의 직선화가 이루어지면서 기존의 감조하천에서 직선화된 하천형태로 바뀌게 되는 등 물리적 특성에 있어 상당한 변화를 겪게 된다. 이를 정리하면 Table 4와 같다. 기본적으로 염도의 혼합확산 등 수질변화 기작은 이러한 물리적 변화특성에 의해 크게 좌우되게 된다.

계산 초기조건은 현재상태에서 새만금호가 완공되어 내부 염도가 현재상태로 존치하는 경우로 설정하여 17%을 초기조건으로 취하였다. 이와 같은 상태에서 해수소통을 조건으로 신시수문이 상시 개방하게 되면 외해의 평균염도인 32%의 해수가 조위변화에 따라 연속적으로 유출입되는 것으로 설정하였다. 수치모의 결과를 분석하면 Fig. 6과 같이 외해에서 유입되는 염수가 시간이 지남에 따라 상대적으로 저염인 담수호 내부로 유입 확산되는 것이 평면적으로나 연직방향으로 변화가 뚜렷하다. 이러한 염도 확산은 해수소통 이후 최소 1개월 이상 경과되어야 만경호에 혼합되는 것이 보이며, 3개월이 지속되면 만경호측 전반에 균등한 분포를 보이게 된다. 그러나 상류에서 평상시 유입되는 담수의 영향으로 상류까지는 전파되지 못하는 것으로 실험되었다. 만경호와 동진호를 잇는 새만금호 내부 연결수로를 고려하지 않고 신시수문이 해수 소통으로 계속 유지되는 경우, 동진호측으로는 최소 6개월 이상의 시간이 경과되어야 외해의 해수가 혼합 되는 것으로 실험되었다. 즉, 신시수문을 개방하게 되면 외해수는 만경호측의 저염 호소수와 먼저 혼합 확산된 이후에 동진호측 호소수와 혼합하는 것으로 파악되었다.

3.3 홍수량 유입에 따른 내부 혼합확산

만경강 상류에서 홍수와 유입에 따른 새만금호 내부의 수리특성의 동적 변화는 서승원·조완희(2005)에 의해 심도 있게 검토되었으며, 본 고에서는 혼합확산 특성에 대해서만 살펴본다. 수치실험은 향후 호내의 수질모의를 염두에 두어 3차원 모델인 ICM을 이용하여 실시하였다. Fig. 7에서 보듯이 상류로부터 농업기반공사(2004)에서 추정된 50년 빈도 홍수량이 유입되면 수리학적인 동적변화와는 달리, 홍수파가 새만금호 내부로 급격하게 유입되어 5시간이 경과되면 만경호 유입부까지 저염의 침투 홍수파가 도달하고, 15시간 경과되면 만경호 중앙부까지 홍수량이 전파되어 표층과 저층의 상이한 밀도차이를 보이는 것을 알 수 있다. 여기서 Fig. 8의 하단에 도시된 연직방향의 염도분

Table 4. Physical characteristics changes due to Saemankum development

Elevation (m)	Volume (*10 ⁹ m ³)	Volume change (%)	Area (*10 ⁶ m ²)	Area change (%)	Mean depth (m)
CASE-A (방조제 완공 후)					
(DL=0.0)	1.43		395.50		3.61
CASE-B (내부개발 이후)					
(DL=+0.5)	0.74	-48.25	121.81	-69.20	6.04
(DL=-0.5)	0.61	-57.34	121.81	-69.20	5.04
(DL=-1.5)	0.49	-65.73	121.81	-69.20	4.04

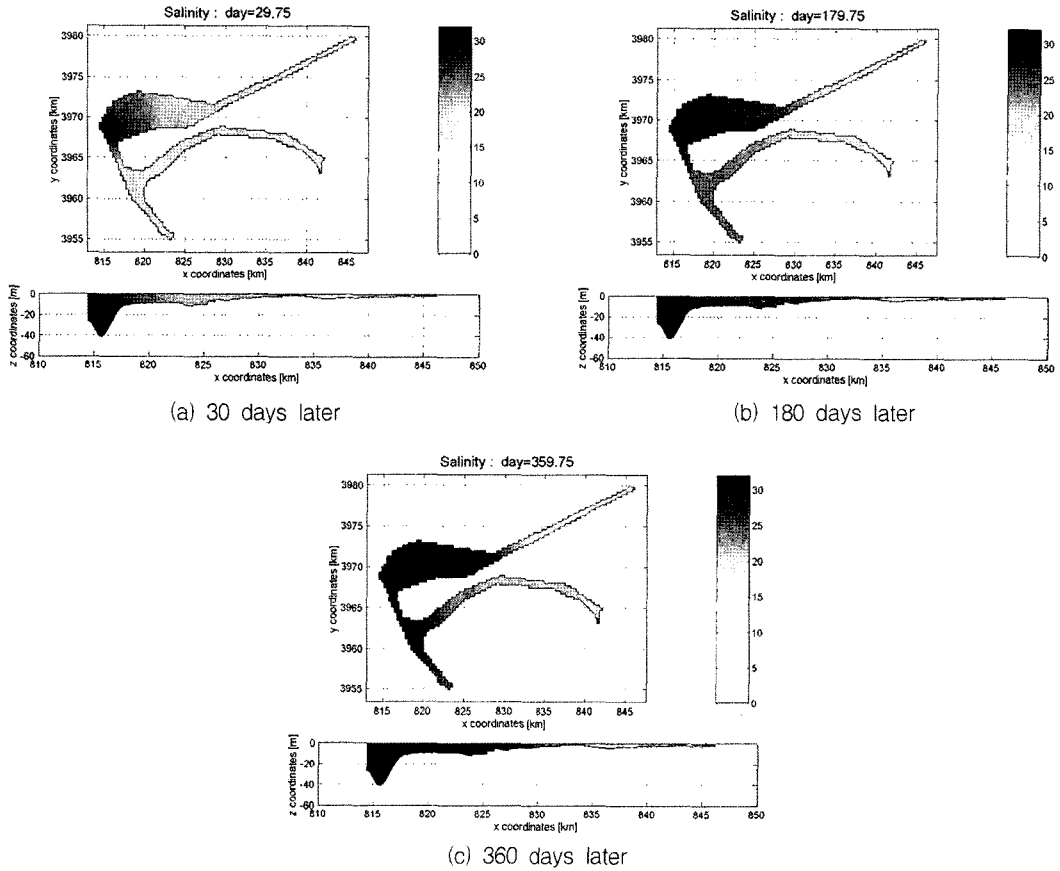


Fig. 6. Saline mixing processes by gate operation in normal flow condition.

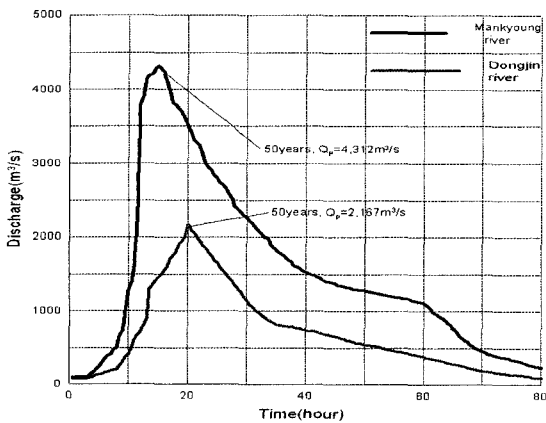


Fig. 7. Hydrographs of 50 years flooding event at Mankyong and Dongjin rivers.

포는 상단의 그림에서 만경강 본류부를 따라 이은 하천흐름의 종방향을 의미한다. 24시간 경과되면 표층에서는 만경호 신시수문 근처까지 홍수파가 도달하지만 저층에서는

새만금호내의 기존 염도가 희석되어 체류하는 것으로 실험되었다. 수치실험결과를 분석한 바에 따르면, 홍수시에는 신시수문 해수소통에 따른 내부의 혼합확산 보다 상류에서 이동되는 저염의 담수 홍수량이 새만금호 내부 혼합을 지배한다.

3.4 토의

새만금호 조성 후 수문개폐에 따른 저염수의 외해역 영향범위를 모의하기 위해 본 연구에서는 2차원 ADCIRC 모형을 적용하였으며, 해수소통이 전제된 경우 상류에서의 유량변화에 따라 내부의 혼합확산거동을 모의하기 위해 3차원 TIDE3D 및 ICM 모형을 적용하여 부분적으로 폐쇄된 새만금호에 적용하여 1년간의 모델 실험을 수행 하였다.

수문을 개방하지 않은 상태에서 새만금호 외해의 최강 창낙조시 조류속도는 0.5~0.6 m/s 정도에 해당되는 것으로 분석되었고, 저염수 방류가 외해로 미치는 물리적 영향 범위를 파악하기 위해 호내의 관리 수위별로 모의한 결과 신

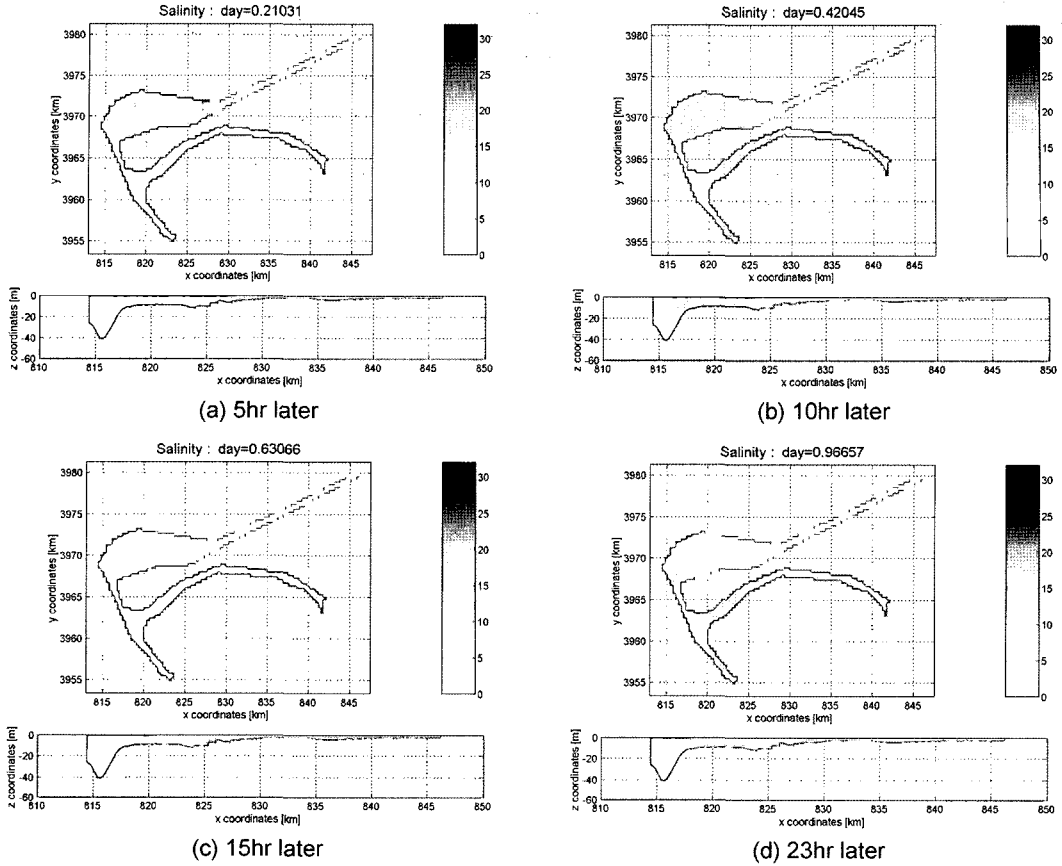


Fig. 8. Saline mixing processes under 50 years flooding flow condition.

시수문과 가력수문에서 최대 11.5 km, 9 km까지 주변의 최강 조류속도에 버금가는 강한 유동이 형성되고 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 저염수 방류로 인한 영향이 새만금 방조제 전면의 해수순환과 유동에 적지 않은 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서 초기 추정된 결과를 토대로 이어지는 연구에서 상세 격자시스템과 운영과 경계조건의 합리화를 통해 지속적으로 보완발전시키면서 수행한다면 보다 자세한 해석이 가능할 것이다.

새만금호 내부의 혼합확산을 수치모의한 결과 평수량 유입시 외해에서 유입되는 염수가 담수호 내부로 유입 확산되는 것이 평면적이나 연직방향으로 변화되는 것이 뚜렷하게 나타났다. 동진호측으로는 최소 6개월 이상의 시간이 경과되어야 해수가 혼합유입 되고, 만경호 상류에서 유입되는 담수의 영향으로 상류의 하천측까지는 전파되지 못하는 것으로 분석되었다. 즉, 신시수문을 개방하게 되면 염수는 만경호측 저염 호소수와 먼저 혼합확산된 이후에 동진호측 호소수에 영향을 주는 것으로 판단된다. 만경호에

50년 빈도 홍수과가 유입되면 24시간 경과되어도, 표층에서는 신시수문 근처까지 홍수과가 도달하지만 저층에서는 기존의 새만금호내의 염도가 희석되어 체류하는 것으로 나타났다. 홍수과 유입시 이송되는 저염의 담수 홍수량은 즉각적으로 담수호 내부 혼합을 지배하는 것으로 판단된다. 해수소통을 전제로 외해수가 연속적으로 유출입하게 되면, 해수소통 이후 최소 1개월 이상 경과되어야 만경호측에 외해수가 혼합되는 것으로 평가된다. 이러한 염도 확산은 해수소통 이후 3개월이 지속되면 만경호측 전반에 균등한 분포를 보이게 되지만, 상류에서 평상시 유입되는 담수의 영향으로 상류의 하천까지는 전파되지 못하는 것으로 실험되었다. 또한 수문인근에서 외해수가 유입되면서 만경호측에서는 매우 급격한 혼합확산이 일어나는 것으로 예상된다. 이러한 수동역학적인 특성의 변화와 혼합특성의 변화는 방조제 완공 이후 내부개발이 시행되면서, 새만금호의 전반적 물리적 특성이 변화를 겪게 되면서 나타나는 필연적인 결과로 인식된다.

4. 결 론

본 연구에서는 새만금호 원공이후 방류수가 외해에 미치는 영향을 배수수문의 운영과 연계하여 검토하였으며, 호소 내부에서 외해수와의 혼합확산에 대한 기초적인 평가 및 검토가 수행되었다.

여기에서는 2차원 ADCIRC 모형을 이용하여 새만금호 내부의 관리수위별 외조위와 동적으로 연동되는 수문 개방의 외해 영향이 만족스럽게 재현되었다. 새만금호 내부의 관리수위에 따라 수문을 개방하게 되면 외해방향으로 물리적인 특성의 영향범위는 달라지지만, 외해측으로 최소 10Km 이상 방류수가 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 해수소통을 전제로 수문이 상시 개방되는 경우 내부의 염도변화를 ICM을 이용하여 1년 이상에 걸쳐 장기간 모의한 결과, 3개월 이상 지속되면 만경호측의 전반에 균등한 분포를 보이게 된다. 그러나 상류에서 평상시 유입되는 담수의 영향으로 상류까지는 전파되지 못하는 것으로 실험되었다. 새만금호 내부의 연결수로를 고려하지 않고, 신시수문이 해수 소통으로 계속 유지되는 경우에 동진호측으로는 최소 6개월 이상의 시간이 경과되어야 외해의 염도가 혼합유입 되는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에 적용된 ICM 모델은 이러한 새만금호의 장기간 수질변화 추이에 매우 적합한 것으로 판단되고, 또한 3차원 동적모형이므로 호내의 수평적인 분포의 이해뿐만이 아니라 연직방향으로의 수질변화를 공간적으로 매우 용이하게 이해할 수 있는 것으로 분석되었다. 홍수량이 일시에 유입되는 경우는 홍수와 전파가 급격하게 만경호 내부로 유입되어 혼합확산 되는 것이 확연하게 모의되었으며, 연직방향으로 성층화된 현상도 잘 재현되고 있다. 본 연구결과와 함께 동적모의를 수행한 연구(서승원-조완희, 2005)를 보완발전하면, 기존 시화호의 수질문제를 중점적으로 다루었던 선행의 연구(서승원-김정훈, 2003)와 같이 저니토-수체의 상호작용과 상류에서 유입되는 오염부하에 따른 새만금호 수질 종합관리에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 즉, 본 연구에서 제시하는 새만금호 장래 수리 및 수질변화의 초기 추정 결과는 새만금호 내·외측에서의 수문 운영과 연동하여 향후 제기될 목표수질관리에 있어 제반 부정적인 미확정 부분을 상당부분 고려할 수 있을 것으로 기대된다. 본격적으로 향후의 연구가 이어진다면 현재 논란되는 새만금호의 수질저하 문제를 충분히 관리하고 저감하는데 귀중한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단한다.

감사의 글

본 연구에 사용된 ADCIRC ver. 44의 국내에서의 사용 및 저자와의 공동개발에 따른 제반사항을 협조해 준 Luettich와 Westerink 교수께 감사의 뜻을 전한다. 본 연구는 해양수산부의 2005 KSGP, 새만금환경연구센터(SERC)의 연구지원 및 수산과학연구소의 논문발간 지원에 의해 수행되었기에 심심한 사의를 표한다.

참고문헌

농림부 농업기반공사 (2004). 새만금호 종합물관리 방안 수립(II) 수문조사 보고서.

서승원(1999). 비선형 3차원 조화유한요소 모형을 이용한 황해의 천해조석 발생. 대한토목학회, 19(II-3), 389-399.

서승원, 김정훈, 유시홍 (2002). 배수수문을 통해 부분 개방된 하구호에서의 순환과 수질모의. 한국해양해양공학회, 14(2), 136-150.

서승원, 김정훈 (2003a). 급격한 저니토 교란이 인공 하구호 수질에 미치는 영향. 한국해양해양공학회지, 15(1), 39-50.

서승원, 김정훈 (2003b). 조석수동역학 모의에서 조건대 침수노출 고려효과 비교연구. 한국해양해양공학회지, 15(2), 97-107.

서승원, 조완희(2005). 홍수전파와 배수감문 운영에 따른 새만금호 내부 수리특성의 동적응답. 한국해양해양공학회지, 17(4), 269-279.

이상호(2005). HF radar로 관측된 2002년 하계 금강하구역 표층류의 변동성. 서해연안관리와 환경복원에 관한 워크샵, 군산대학교, 137-140.

Atkinson, J.H., Westerink, J.J. and Luettich, R.A. (2004). Two-dimensional dispersion analyses of nite element approximations to the shallow water equations. Int. J. for Numerical Methods in Fluids, 45, 715-749.

Blain, C.A., Westerink, J.J. and Luettich, R.A. (1994). The influence of domain size on the response characteristics of a hurricane storm surge model. J. Geophys. Res., 99(C9), 18467-18479.

Cerco, C.F. and Cole, T.M. (1994). Three-dimensional eutrophication model of Chesapeake Bay. Technical Report EL-94-4, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Cerco, C.F. and Cole, T.M. (1995). User's Guide to the CE-QUAL-ICM. Three-dimensional eutrophication model, Release Version 1.0. Technical Report EL-95-15, Us Army Corps of Engineers Water Experiment Station, Vicksburg, MS.

- Chippada, S., Dawson, C.N., Martinez, M.L. and Wheeler, M.F. (1996). Parallel computing for finite element models of surface water flow. *Computational Methods in Water Resources* XI, 2.
- Choi, B.H. and Lee, H.S. (2003). Changes in tidal current regime and sedimentation at Saemankeum. *Workshop on sedimentation in the Yellow Sea Coasts*, 97-115.
- Cobb, M. and Balin, C.A. (2001). A Coupled hydrodynamic-wave model for simulating wave and tidally-driven 2d circulation in inlets. *Proceedings of the 7th international conference on estuarine and coastal modeling*, ASCE.
- Dortch, M., Fleming, B. and Bunch, B. (1999). Modeling water quality for dredged material disposal. *estuarine and coastal modeling*, 6th Proc. Int. Conf., ASCE, New Orleans, LA, 335-349.
- Kolar, R.L., Westerink, J.J., Cantekin, M.E. and Blain, C.A. (1994). Aspects of nonlinear simulations using shallow water models based on the wave continuity equation. *Computers and Fluids*, 23, 523-538.
- Luettich, R.A., Westerink, J.J. and Scheffner, N.W. (1992). ADCIRC: An advanced three-dimensional circulation model for shelves, coasts and estuaries. Report 1 Theory and methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL, Technical report DRP-92-6, US Army Corps of Engineers.
- Walters, R.A. (1992). A three-dimensional finite element model for coastal and estuarine circulation. *Continental Shelf Research*, 12(1), 83-102.
- Westerink, J.J. et al. (1992). ADCIRC: An advanced three-dimensional circulation model for shelves, coasts and estuaries, Report 2: Users manual for ADCIRC-2DDI. Technical report DRP-92-6, US Army Corps of Engineers.
- Westerink, J.J., Luettich, R.A. and Muccino, J.C. (1994). Modeling tides in the western north Atlantic using unstructured graded grids. *Tellus*, 46A, 178-199.

Received May 18, 2005

Accepted January 27, 2006