

EFDC모형을 이용한 담수화호의 염분분포모의

Simulation of Salinity in Iwon Estuary Lake using EFDC model

정기웅*, 성충현**, 이은정***, 박승우****

Ki Woong Jung, Chung Hyun Seong, Eun Jeong Lee, Seung Woo Park

요 지

본 연구에서는 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모형을 이용하여 이원 담수화호의 염분분포를 모의하였다. SMS(Surface Water Modeling System) 모형을 이용하여 담수호에 대한 격자망을 구성하였다. 격자체계는 직교좌표계를 사용하였으며, 전체 2,620개의 유효계산격자를 구성하여 모형에 적용하였다. 수위 및 유량에 대한 경계조건은 기상자료와 배수갑문 운용자료를 통해 구축하였으며, 초기조건은 수위 실측자료를 이용하였다.

담수호의 염분모의를 위한 모형의 경계 조건은 호내에 위치한 5개소의 실측자료를 이용하였으며, 유역에서의 유입수 염분농도는 0.2 ppt, 방조제 외측으로부터의 유입수 염분농도는 해수조건(30 ppt)을 적용하였다.

염분분포 모의를 위해 2006년부터 2008년까지 3년동안의 염분농도 실측자료를 이용하여 보정과 검정을 실시한 결과, 대상 지역에 대해 EFDC 모형의 적용성이 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 담수화호, 염분모의, EFDC 모형

1. 서론

서·남해안에 분포되어 있는 간척 가능한 간척지의 면적은 635천 ha이며, 이 중 개발 가능한 간척지는 442천 ha인 것으로 조사되었다(농업기반공사, 2004). 우리나라는 고려시대부터 농지조성을 목적으로 한 간척이 시행되었으며, 현재 시행중인 가장 규모가 큰 간척사업은 새만금 사업으로 군산에서 부안을 연결하는 약 33km의 방조제를 축조하였다. 최근에는 자원 및 자연환경의 보존이 대두됨에 따라 간척사업은 수산업이나 자연환경에 미치는 영향을 최소화하면서 국토이용계획에 부합할 수 있도록 추진되고 있다.

특히, 방조제 축조 후에 생기는 간척지의 토양은 일반적으로 가용성 염류와 치환성 나트륨이 과다하게 함유되어 있기 때문에 염분 농도가 대단히 높으며, 작물생육에 큰 저해요인이 된다(강예목, 1993). 따라서 간척 후의 담수호를 통한 용수활용 및 농지개발을 위해서 호내의 염분분포를 모의할 필요성이 있으며, 이를 활용하여 담수호내 작물 염해피해의 대책수립을 위한 기초자료를 구축할 수 있다.

본 연구에서는 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모형을 이용하여 이원 담수화호의 염분분포를 모의하였으며, 2006년부터 2008년까지의 염분농도 실측자료를 이용하여 보정과 검정을 실시하였다. 3년간의 실측자료를 바탕으로 이원담수호에 대한 염분분포를 모의하였으며, 향후 완전 담수환경으로 이뤄지는 시기에 담수호내 수환경 관리에 대한 기초자료로 활용하고자 한다.

* 정회원 · 서울대학교 지역시스템공학부 · E-mail : garda815@snu.ac.kr
** 정회원 · 서울대학교 지역시스템공학부 · E-mail : fpdisao2@snu.ac.kr
*** 정회원 · 서울대학교 지역시스템공학부 · E-mail : tweety45@snu.ac.kr
**** 정회원 · 서울대학교 지역시스템공학부 · E-mail : swpark@snu.ac.kr

2. 재료 및 방법

2.1 대상 지역

이원담수호는 충남 태안군 원북면 방갈리 민어도에서 이원면 관리 반금봉을 연결하며, 간척농지 개발사업은 1990년에 착공하여 1997년 최종물막이 공사가 완료되었다. 담수호 면적은 282 ha이고, 방조제 길이는 2,981 m이다. 부대시설은 배수갑문, 어도, 진입도로 및 선착장을 갖추고 있다. 총 저수량은 460 ha·m이며, 조석을 고려하여 배수갑문을 통해 해수를 소통시키고 있다. 유역면적은 3,647 ha이며, 유역 내의 토지이용분포는 산지 57%, 경지 6%, 대지 1%, 염전 및 간사지 36%이다. 담수호에 유입되는 하천은 법정하천은 없으며, 소규모하천으로 제 1, 2, 3호 배수간선이 있다. 유역 내에서는 큰 수리시설은 없으며, 규모가 작은 저수지 4개소, 양수장 1개소, 취입보 2개소, 관정 2개소가 있다. 수해면적은 1,002 ha이며, 간척지가 638 ha, 염전개답이 28 ha, 배후지가 337 ha이다. 아래의 그림 1은 이원담수호의 위성사진이다.

2.2 EFDC 모형

EFDC 모형은 연안, 하구, 호소, 습지 및 저수지 등의 유동 및 물질수송을 모의하는 3차원 수치 모델로서 미국 VIMS(Virginia Institute of Marine Science)에서 개발되었으며, 미국 환경청(EPA; Environmental Protection Agency)의 공인 모델로 지정되어 있다.

EFDC 모형은 크게 유동, 퇴적물이동, 수질의 세 요소로 구성되어 있으며, 유동모델 부분은 수온과 염분이 함께 고려된 3차원 천해방정식을 기본으로 구성되어 있다. EFDC 모델은 연속방정식과 수평방향 운동방정식, 열·염보존 방정식, 퇴적물을 포함한 물질보존방정식들로 구성되어 있으며, 열·염 보존 방정식은 밀도차에 의해 발생하는 경압력에 의한 운동방정식과 연계되어 있다. 복잡한 해안선 및 수심 변화에 대해서 수직방향으로 σ 좌표계를 사용하고 수평방향으로는 직교 또는 곡선직교좌표계를 사용한다 (Hamrick, 1992; Hamrick, 1994a; Hamrick, 1994b). Galperin *et al.*(1988)에 의해 수정된 Mellor-Yamada level 2.5 난류모델(Mellor and Yamada, 1982)을 사용하여 수직혼합을 계산하고, 질량보존법칙을 사용하여 조간대 처리가 가능하며, 수평와동 점성계수는 Smagorinsky(1963)의 식을 이용한다. 내부와 외부모드를 분리하여 계산하는 모드분리법을 적용하여 계산시간을 단축시키며, HEM-3D(Three-Dimensional Hydrodynamic Eutrophication Model)와 연계가 가능하다.



그림 1. 이원 담수호 위성사진(출처:Naver)

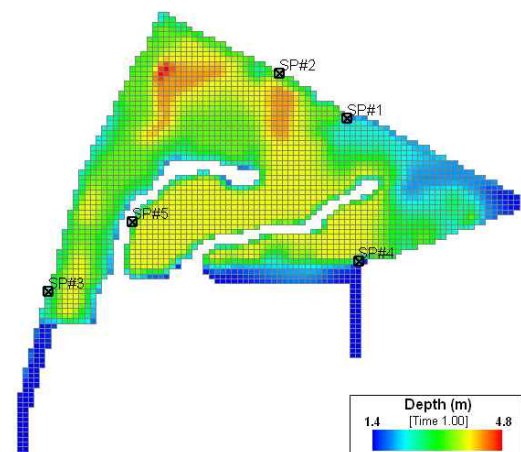


그림 2. 이원 담수호 격자분할도 및 염도측점

2.3 모형의 구성

수치모형을 이용한 염분분포를 모의하기 위하여 필요한 기본적인 자료는 지형자료, 평면격자자료, 담수호 경계조건(수위, 염분농도, 유입량) 및 기타 기상자료 등이 있다. SMS(Surface Water Modeling System) 모형을 이용하여 담수호에 대한 격자망을 구성하였다. 격자체계는 직교좌표계를 사용하였으며, 유효계산격자는 2,620개의 93×94 격자망(34m×30m), 수직방향으로 4개의 등간격층으로 구성하였다(그림 2).

모형에 입력한 수심은 관측된 수위자료와 지형자료를 이용하여 계산하였으며, 초기조건은 실측자료를 적용하였다. 담수호에 대한 유입량은 유역에서의 유입량, 방조제 누수에 따른 유입량, 배수갑문 역유입 유량으로 구분하였으며, 유출량은 배수갑문 개폐에 따른 수위변화를 고려하여 적용하였다.

이원호 방조제를 통한 방류 및 수문 개통에 따른 염분의 변화를 알기 위해서 염분 농도의 초기치는 담수호내 5개소의 실측자료에 대하여 Thiessen 가중법(Thiessen's weighting method)을 적용한 값을 입력하였다. 경계조건으로 유입수의 염분농도는 0.2 ppt를 적용하였고, 배수갑문 역유입으로 인한 염분은 해수 조건(30 ppt)으로 입력하였다.

3. 결과 및 고찰

8개소의 염분농도 실측자료에 대해 보정 및 검정을 실시하였다. 보정기간은 2006년 3월부터 2007년 7월까지이며, 검정은 2007년 8월부터 2008년 7월까지 실시하였다. 모형보정 및 검정의 목적함수로서 결정계수(R^2), RMSE(root mean square error), RMAE(relative mean absolute error), 효율지수(coefficient of efficiency, EI(Nash, Sutcliffe, 1970) 등의 통계적인 변량을 이용하였다.

3.1 모형의 보정

표 1은 5개 측정점 염분농도의 보정 결과에 대한 통계적 변량을 보여주고 있다. 결정계수 R^2 은 측정별로 0.72~0.83의 범위를 보였고, RMSE는 1.08~1.54, RMAE는 0.9~1.22, 효율지수 EI는 0.72~0.83의 범위를 보임으로서 이원담수호에 대한 염분농도 보정 결과가 실측치의 경향을 잘 따르도록 보정하였다.

그림 3은 모형을 적용하여 측정점 1번(SP#1)의 염분농도에 대해 보정한 모의치와 실측치를 비교하여 보여주고 있으며, 그림 4는 모의치와 실측치의 산포도를 나타내고 있다. 그림 3에서와 같이 보정한 모의결과가 실측자료의 경향을 잘 반영하고 있다.

표 1. 각 측정점에 대한 염분농도 보정결과

구 분	SP#1	SP#2	SP#3	SP#4	SP#5
R^2	0.7694	0.8139	0.7156	0.7568	0.8309
RMSE(ppt)	1.32	1.19	1.54	1.34	1.08
RMAE(ppt)	1.15	0.93	1.22	1.18	0.90
EI	0.769	0.814	0.716	0.757	0.831

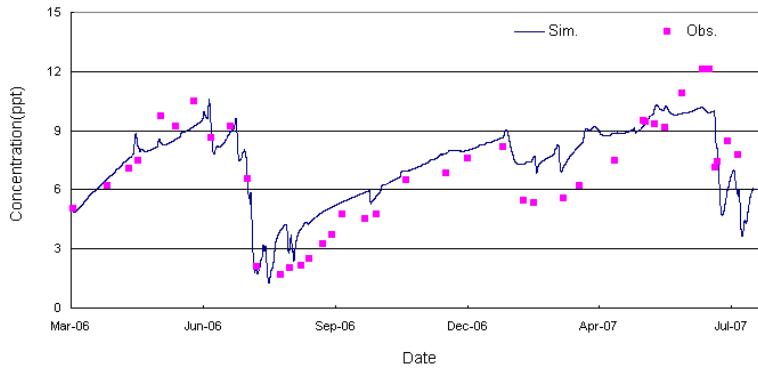


그림 3. 염분농도에 대한 모의치와 실측치의 비교

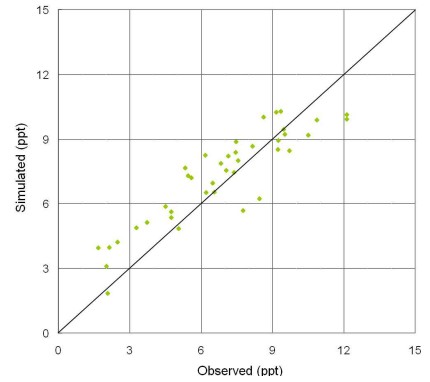


그림 4. 모의치와 실측치의 산포도

3.2 모형의 검정

표 2는 5개 측정 염분농도의 검정 결과에 대한 통계적 변량을 보여주고 있다. 결정계수 R^2 은 측정별로 0.71~0.85의 범위를 보였고, RMSE는 1.01~1.58, RMAE는 0.9~1.37, 효율지수 EI는 0.71~0.85의 범위를 보임으로서 보정 결과와 마찬가지로 이원담수호에 대한 염분농도 검정 결과도 실측치에 대해 적용성을 나타낸다고 볼 수 있다.

그림 5는 모형을 적용하여 측정 1번(SP#1)의 염분농도에 대해 검정한 모의치와 실측치를 비교하여 보여주고 있으며, 그림 6는 모의치와 실측치의 산포도를 나타내고 있다. 그림 5에서와 같이 검정한 모의결과가 실측자료의 경향을 잘 반영하고 있다.

표 2. 각 측정점에 대한 염분농도 검정결과

구 분	SP#1	SP#2	SP#3	SP#4	SP#5
R^2	0.8272	0.7922	0.7078	0.7357	0.8494
RMSE(ppt)	1.14	1.28	1.58	1.55	1.01
RMAE(ppt)	0.97	1.12	1.37	1.25	0.92
EI	0.827	0.792	0.708	0.736	0.849

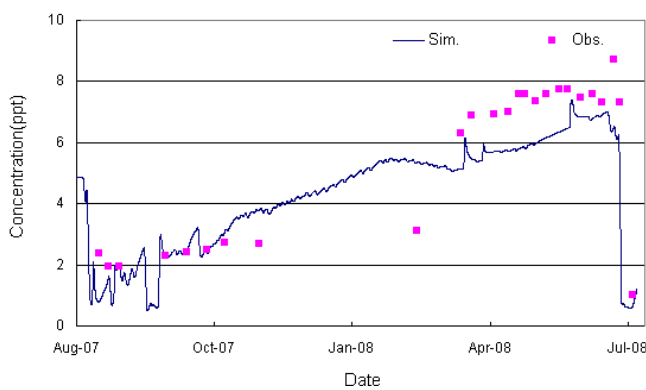


그림 5. 염분농도에 대한 모의치와 실측치의 비교

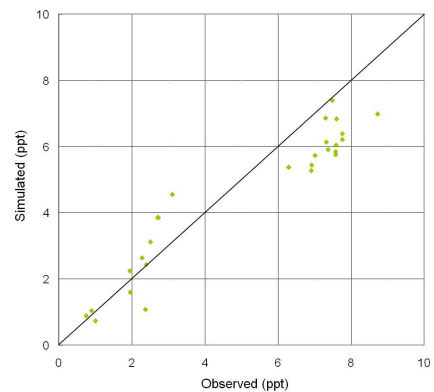


그림 6. 모의치와 실측치의 산포도

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모형을 이용하여 이원 담수화호의 염분분포를 모의하였고, 모의한 결과에 대해 2006년부터 2008년까지의 실측자료를 바탕으로 보정과 검정을 수행하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 대상 지역에 대해 2,620개의 격자를 구성하였고, 배수갑문 운용자료 및 수위자료와 5개소의 염분농도 실측자료를 바탕으로 초기조건과 경계조건을 설정하였다.

2) 2006년 3월부터 2007년 7월까지 염분농도에 대한 모형의 보정을 실시한 결과, R^2 은 측정별로 0.72~0.83로 모의치가 실측치의 경향을 따르도록 모형의 보정을 실시하였다.

3) 보정 결과를 바탕으로 2007년 8월부터 2008년 7월까지 염분농도에 대한 모형의 검정을 실시한 결과, R^2 은 측정별로 0.71~0.85로 모형 보정 수준과 비슷하게 산정되어 모형의 적용성이 있는 것으로 나타났으며, 이를 이용하여 향후 담수호내 작물 염해피해의 대책수립을 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

참고 문헌

1. 강예목 등 6명(1994). 향문사, 신제 간척공학, pp.299-306.
2. 농업기반공사(2004). 기반조성 사업현황.
2. Hamrick, J. M.(1992). *A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code: Theoretical and computational aspects*. The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science, Special Report 317, p.63.
3. Hamrick, J. M.(1994a). *Linking hydrodynamic and biogeochemical transport models for estuarine and coastal waters*. Estuarine and Coastal Modeling, Proceedings of the 3rd International Conference, M. L. Spaulding et al, Eds., American Society of Civil Engineers, New York, pp.591-608.
4. Hamrick, J. M.(1994b). *Evaluation of island creation alternatives in the Hampton Flats of the James River*. a report to the U. S. Army Corps of Engineers, Norfolk District.
5. Mellor, G. L., and T. Yamada(1982). *Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems*. Rev. Geophys. Space Phys., 20, pp.851-875.
6. Nach, J. E. and J. V. Sutcliffe(1970). *River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles*. Journal of Hydrology 10(3), pp.282-290.
7. Smogorinsky, J.(1963). *General circulation experiments with the primitive equations, Part I: the basic experiment*. Mon. Wea. Rev., 91, pp.99-152.