

3차원 수질모형을 이용한 인공호수 수질관리 방안 모의 Simulations of Artificial Lake for Water Quality Management by Using the EFDC

이화영¹, 박원경², 서승원³

Hwa Young Lee¹, Won Kyung Park² and Seung Won Suh³

1. 서 론

최근 인천연안을 중심으로 신도시 개발이 이뤄지고 있다. 그 중 인천 송도 신도시와 함께 조성될 인공호수는 시화호나 새만금과 같이 담수 이용 및 토지 이용이라는 목적보다는 인천송도 신도시 조성에 따른 친수공간을 마련하는데 주목적이 있으며 그 면적 또한 시화호나 새만금 인공호에 비해 소규모이다.

친수공간을 목적으로 한 인공호수의 사례를 살펴보면 일산호수공원 같은 담수로 조성된 인공호수는 쉽게 찾아볼 수 있으나(한국토지공사, 2003) 해수를 이용한 경우에는 국내에서 그 예를 찾아볼 수 없다. 다만, 국외의 경우 캘리포니아 주의 계획도시인 Foster City에서 해수를 사용하여 친수목적으로 호수를 조성하여 관리중인 예(www.fostercity.org)를 찾아볼 수 있다.

시화호 및 새만금호와 같이 담수 이용목적을 충족하기 위하여 건설된 인공적인 호는 일반적으로 외부로부터의 오염물 유입에 능동적으로 대처할 동수역학적 반응이 자연하구에 비하여 현저히 떨어지는 특징을 갖는다. 인위적인 수문조작 등의 제한적인 수동적 방법에 의해서는 폐쇄된 하구호 내의 수질 개선에 크게 기여하지 못하기 때문이다(서승원·김정훈, 2003).

본 연구에서 다루는 인천송도 신도시 예정지에 건설예정인 인공호수의 수면적은 73만 m^2 이며 레크레이션이 가능한 수질을 목표로 인천광역시 경제자유구역청(2005)과 유신코퍼레이션(2007)에서 여러 관리 방안들에 대하여 검토된 바 있다.

인공호수의 친수환경 조성이라는 목적에 부합되는 목표수질을 확보하기 위한 관리수위 및 저면고 결정

등은 공학적 측면뿐만 아니라, 호 내부의 수질환경에도 밀접하게 연관된다. 본 연구에서는 인천송도 신도시와 함께 조성될 인공호수의 최적의 수질 관리방안을 설정하는데 있어 저면과 수체의 반응 그리고 관리수위에 따른 수질의 변화양상을 분석하여 인공호수 조성시 기초자료를 제공하는데 기여하고자 한다.

2. 3차원 수질모형의 개요

본 연구에 사용한 수치모형은 3차원의 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)모형으로 수리 및 수질을 재현할 수 있으며 연안, 강, 호수, 하구 등에 적용할 수 있다. 최근에는 σ -level과 z -level의 장점만을 고려한 Hybrid 버전이 개발되어 US EPA에 공개되었다(Tetra Tech, 2007). EFDC 모형의 수동역학분야는 Hamrick(1992)에 의해 그리고 수질분야는 CE-QUAL-ICM(Cero and Cole, 1995)을 기반으로 Park et al.(1995)에 의해 개발되었다. EFDC 모형은 US EPA의 Public Domain에 공개된 후, 다양한 버전으로 변화·발전 되었는데, 본 논문에서는 Dynamic Solution사의 Craig(2004)에 의해 전·후처리 기능이 추가되고 원시 코드를 Fortran 95로 코딩한 EFDC_DS 버전을 사용하였다. EFDC 모형은 크게 수동역학(Hydrodynamics), 수질(Water Quality), 퇴적물 이동(Sediment Transport) 모듈로 나뉜다. 모형의 자세한 기술은 모형의 이론서(Hamrick, 1992)에 상세히 소개되어 있으므로 생략한다.

1 발표자 : (주) 대영엔지니어링 부설연구소 연구원

2 (주) 대영엔지니어링 부설연구소 수석연구원

3 군산대학교 해양시스템공학 전공 교수

2.1 대상영역과 입력조건

인공호수의 수질모의를 위해서 평면격자는 직교 곡면형 선형좌표계(Orthogonal Curvilinear Coordinate System)를 사용하였고, 연직방향은 5층의 σ -level로 구성하였다. 자세한 초기 입력조건은 Fig. 1에 제시하였다.

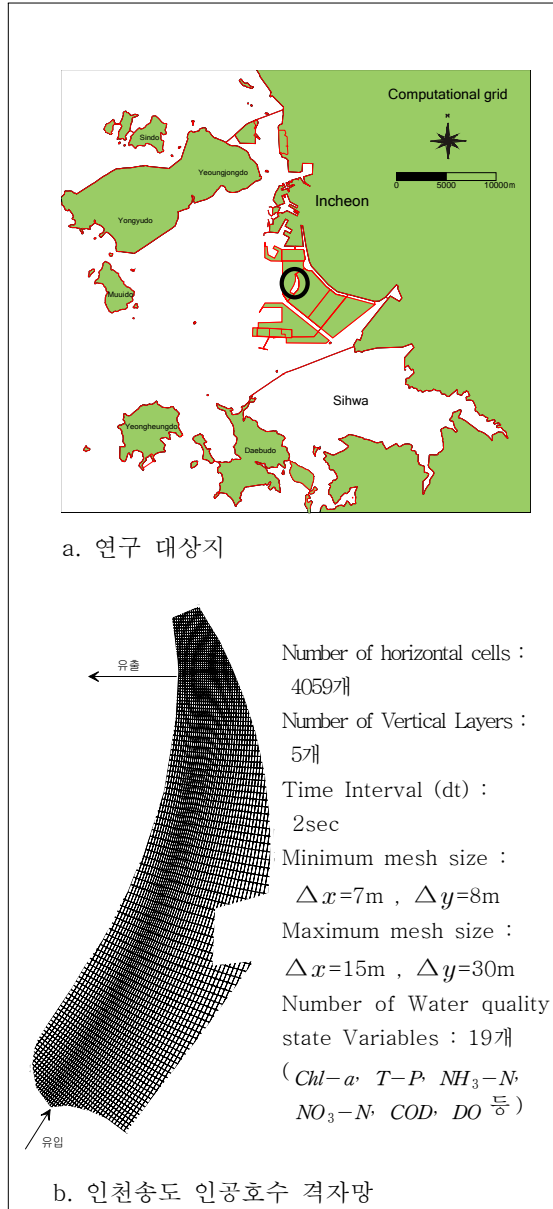


Fig. 1. 인천송도 인공호수 격자망

입력 수질은 인천광역시 경제자유구역청(2005)에서 사용한 수질데이터와 국립수산과학원의 자료를 종합적으로 분석하여 적절한 수온, 염분 및 T-P, NH₃-N, NO₃-N, COD, DO 등 총 19개의 수질인자를 고려하였으며 인공호수의 수질이 가장 우

려되는 하계(8월)를 기준으로 30일간 모의 하였다.

유입유량 조건으로는 창조시 외조위가 인공호수 수위보다 0.5m 높을 경우 유입을 시작하여 내수위가 1.5m에 도달하면 유입을 종료하고 낙조시 외조위가 내수위보다 0.5m 이상 낮을 때 유출을 시작하도록 설정하였다.

이외에도 기상청에서 제공하는 기상조건들(1971-2000)과 8월 달의 최근 5년간의 풍향 풍속을 고려하여 수치모형에 반영하도록 하였다.

수치모형은 결과의 신뢰성을 보여주기 위하여 보정 및 검증이 필요한데 본 연구에서는 서승원·이화영(2008)이 새만금 해역에 적용한 상태변수를 기준으로 인천광역시 경제자유구역청(2005)과 유신코퍼레이션(2007)에서 수행한 상태변수를 참조하여 사용하였다.

3. 관리수위에 따른 수질모의

관리수위를 결정하는데 있어 관리수위의 폭이 커질수록 친수목적으로서 유지·관리가 어렵기 때문에 목표수질을 만족하는 최적의 관리수위를 선정해야한다.

본 연구에서는 기 실시된 유신코퍼레이션(2007)의 인공호수 관리방안 중 최적인인 1.0-1.5m를 기본으로 하여 관리수위로 설정하고 인공호수 내부의 수질이 해역 수질기준 2등급을 만족할 수 있도록 비교안을 Table 1에 제시하였다.

인공호수 조성시 시화호(한국수자원공사, 2001)나 새만금(서승원·이화영, 2008)의 예와 같이 저니토와 수체간의 용출 및 침강을 고려한 수체와 저질간의 상호작용에 대한 이해가 반폐쇄된 인공호의 수질 해석에 매우 중요하다. 본 연구에서도 수체 저질간의 상호작용을 고려함으로써 부분적으로 정체된 인공호수의 수질해석에 정도를 높이고자 하였다.

Table 1의 제시된 결과들에서 저층과 수체간의 영향성을 비교 분석해보면 저층과의 상호작용을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 영양염류는 큰 변화가 없는 것으로 모의 되었으나 DO 및 COD는 유의할만한 변화를 나타내었다.

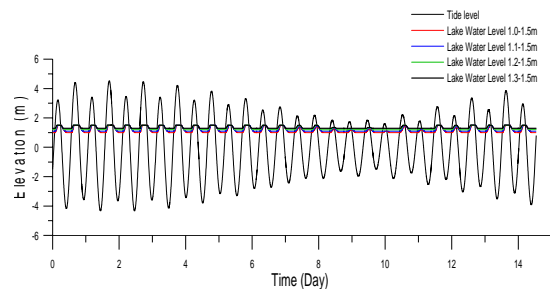


Fig. 2. 관리수위에 따른 호내부 수위변화 곡선

인공호수의 수질은 대체적으로 유량이 클수록 인공 호수 내에 유입된 유입수의 체류시간이 짧아져 양호한 수질을 나타낸다(Table 1). 반면 체류시간이 5.6일로 가장 긴 C1_c의 경우 클로로필(Chl-a)은 영양염류인 T-N, T-P 및 DO를 소모하며 매우 크게 증식 하고 COD를 증가시킨다.

특히, 관리수위를 나타낸 Fig. 2와 같이 소조시에는 관리수위가 높을수록 외해조위에 따라 유입되는 유입량이 적기 때문에 호 내부는 일시 정체된 상태가 된다. 결과적으로 Fig. 3과 같이 일시적 정체시기인 소조시에 클로로필이 증식하여 인공호수는 수질상태가 악화된다.

Table 1. 설정안별 모의결과 비교

구분	C1	C2	C1_a	C1_b	C1_c	
	저면고 결정		관리수위 결정			
저면고	현지반 유지	2.5m 준설	현 지반 유지			
관리수위 (m)	1.0-1.5		1.1-1.5	1.2-1.5	1.3-1.5	
유입부 제원 (m)	3.0H*4L@2련 SILL 표고 E.L 0.0					
담수용량 (만톤)	140	293	140			
일 유입량 (만톤/일)	61	61	49	37	25	
체류시간 (일)	2.3	4.8	2.86	3.78	5.6	
수질결과	Chl-a (µg/L)	3.32 (3.29)	6.80	4.39	6.4	17.47
	T-N (mg/L)	1.13 (1.11)	1.07	1.12	1.10	0.98
	T-P (mg/L)	0.063 (0.062)	0.057	0.062	0.060	0.048
	COD (mg/L)	2.13 (1.47)	1.82	2.23	2.3	2.52
	DO (mg/L)	6.43 (6.84)	5.89	6.35	6.29	6.2

()저면 차단(저면 용출을 0 로 설정)

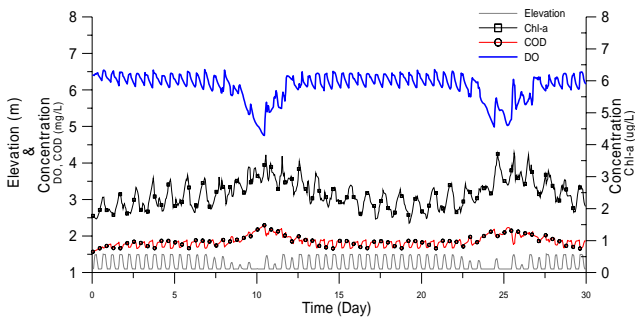


Fig. 3. 내부 조위에 따른 수질변화(C1 b)

설정된 방안들 중 경제성과 목표수질을 모두 고려했을 경우 관리수위 1.2-1.5m인 유량 37만톤/일 이상을 유입하는 C1_b안이 최적의 안으로 평가되었다. 공간적 수질분포 양상을 Fig. 4에 도시하여 나타내었다.

수질이 가장 악화되는 소조시, T-N을 제외한 수질 항목에서 해역수질 2등급을 만족하는 것으로 모의되었으며 부영양화 평가지수 중의 하나인 TSI(Carlson, 1977) 평가결과 50 내외의 중영양 상태에 이르는 것으로 나타났다.

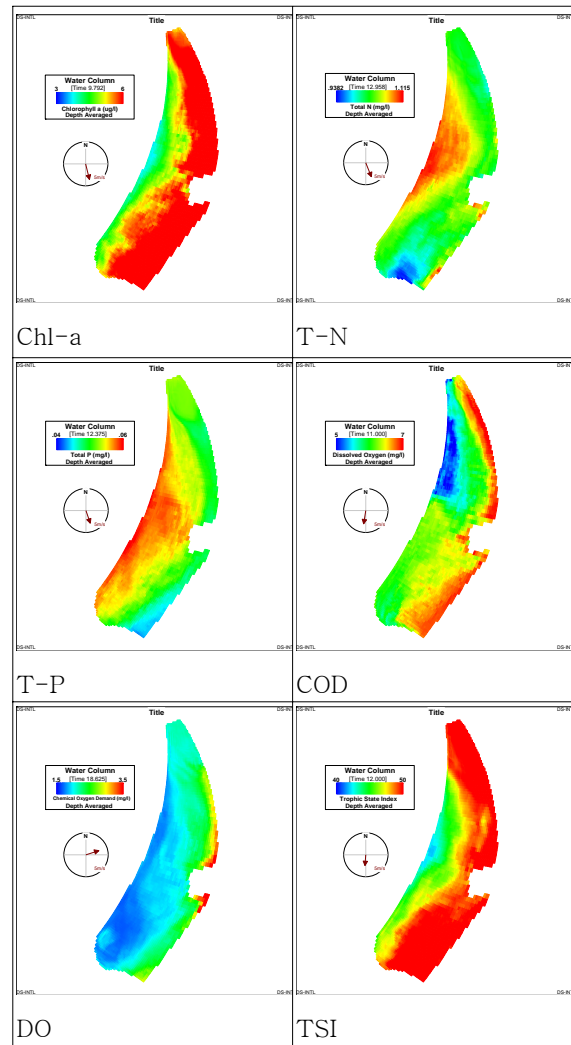


Fig. 4. C1_b의 공간적 수질분포

4. 결 론

본 연구는 친환경 친수공간 조성의 필요성 증대로 설계 및 시공이 활성화되는 인공호수의 최적 수질관리를 위한 다각적 방안을 고려하기 위하여 수행하였다. 인천 송도 신도시와 함께 조성되는 인공호수의 수질관리를 위한 관리방안 설정을 위해 수체와 저질과의 영향 그리고 관리수위에 따른 인공호수의 수질변화를 3차원 EFDC 모형으로 분석하였다. 수체와 저질을 고려할 경우 DO, COD에서 큰 변화를 나타내며 영양염류인 T-N, T-P에서는 영향성이 작게 나타났다. 그러나 체류시간이 길어질 경우 인공호수 내부는 일시적으로 정체된 환경에서 클로로필은 영양염과 DO를 소모하며 증식하고 인공호 내부의 수질을 악화시킨다.

친수목적으로 인공호수를 조성할 경우 관리수위의 변동을 최대한 작게 유지·관리해야 하나, 이 경우는 유입 유량이 적어지기 때문에 호 내부 체류시간이 늘어난다. 특히 소조시에는 호내 순환이 나빠져 클로로필이 증식되어 수체내의 용존산소를 소비하며 COD가 증가하게 되는 등 수질악화를 유발하는 인자로 작용한다.

또한 인공호수 조성시 선행연구에서 검토한 시화호 및 새만금호의 경우와 같이 수체와 저층의 상호작용을 고려해야 함을 확인할 수 있었다. 무엇보다도 인공호수의 활용 목적에 부합되는 범위 내에서 만족할 수 있는 최적의 관리수의 즉, 최적의 유량을 선정하여 체류시간을 줄이는 방안을 고려해야 될 것이다.

참고문헌

서승원·김정훈 (2003) 급격한 저니토 교란이 인공 하구호 수질에 미치는 영향, 한국해양·해양공학회, 15(1), 39-50.
서승원·이화영 (2008) 새만금 완공에 따른 수질변화 모의, 대한토목학회, 28(1B), 79-83
유신코퍼레이션(2007) 송도 6,8공구 매립영향 및 송도신도시 인공호수 타당성 조사 수치모형실험.
인천광역시 경제자유구역청 (2005) 송도 국제도시 6,8공구 공유수면매립 실시설계 용역 수치모형실험보고서.
한국수자원공사 (2001) 시화호 최적관리방안 수립연구.
한국토지공사 (2003) 생태개념을 도입한 호수·연못 조성 길라잡이.
Carlson R.E. (1977) A trophic state index for lakes, *Limnology and Oceanography* 22, 361-369
Cero, C.F. and Cole, T. (1995). User's guide to 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.
Craig, P.M. (2004) User's manual for EFDC_Explorer : A pre/post processor for the environmental fluid dynamic code.
Hamrick, J.M. (1992) A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code: theoretical and computational aspects, SRAMSOE #317. The College of William and Mary, Gloucester Point, VA.
Park, K., Kuo, A.Y., Shen, J., and Hamrick, J.M. (1995) A three-dimensional hydrodynamic-eutrophication model (HEM-3D): description of water quality and sediment process submodels, SRAMOSE No. 327, VIMS/SMS, SWM, VA.
Tetra Tech (2007) The Environmental Fluid Dynamics Code User Manual US EPA Version 1.01