

담수화호 염도모의에 관한 연구

Simulation of Salinity in Freshening Lake

정기웅*, 성충현**, 박승우***, 장태일****, 이은정*****

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

요 지

본 연구에서는 실측자료와 염분수지 계산식을 이용하여 이원 담수호의 염도변화를 모의하였다. 이원담수호는 충남 태안군 원북면 방갈리 민어도에서 이원면 관리 반금봉을 연결하며, 간척농지 개발사업은 1990년에 착공하여 1997년 최종물막이 공사가 완료되었다. 담수호의 염도변화를 모의하기 위한 유입량과 유출량자료는 배수갑문 운용자료와 일별 수위자료로부터 산정하였다. 유출량은 내·외수위 조건에 따라 계산식을 적용하였으며, 이와 함께 배수갑문 역유입량, 방조제 누수량, 호저토 확산 염분량을 계산하여 염분수지식에 적용하여, 2006년부터 2008년까지의 염도변화를 모의하였다. 모의치를 실측치와 비교한 결과, 결정계수(R^2)가 0.95~0.98의 값을 보였다. 이와 함께 RMSE를 통해 그 적용성을 검토하여 3년간의 이원 담수호의 염도변화를 모의하였다.

핵심용어 : 담수화호, 염도

1. 서론

간척사업은 공유수면을 간척 또는 매립하여 국토를 확장함으로써, 농업경쟁력 강화를 위한 농지를 창출함은 물론 담수호를 조성하여 용수를 확보·공급하여 국가발전에 기여할 수 있다. 우리나라의 경우 광복이후 소규모 간척사업을 시행하였으며, 새만금을 비롯하여 최근까지도 활발히 진행되고 있다. 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 염도가 대단히 높으며, 작물생육에 큰 저해요인이 된다(1993, 강예목). 따라서 간척 후의 담수호를 통한 용수활용 및 농지개발을 위해서 호내 염도를 계산할 필요성이 있다.

본 연구에서는 2006년부터 2008년까지 3년간의 실측자료를 바탕으로 이원담수호에 대한 염도를 계산하였으며, 향후 완전 담수환경으로 이뤄지는 시기에 간척호 수환경 관리에 대한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

* 정회원·서울대학교 지역시스템공학부-E-mail : garda815@snu.ac.kr
** 정회원·서울대학교 지역시스템공학부-E-mail : munymuny@naver.com
*** 정회원·서울대학교 지역시스템공학부 교수-E-mail : swpark@snu.ac.kr
**** 정회원·서울대학교 지역시스템공학부-E-mail : uriduri7@snu.ac.kr
***** 정회원·서울대학교 지역시스템공학부-E-mail : tweety45@snu.ac.kr

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.

강수량 자료는 한국농어촌공사에서 관측하여 제공되는 이원면의 일단위 실측자료를 활용하였으며, 3년 동안의 연평균 강수량은 849~1,193 mm를 보인다. 이 중 농번기인 4~8월은 월평균 39~358 mm의 강수량을 보이는 반면, 9~1월은 18~157 mm를 보인다. 배수갑문 운용자료와 일별 수위자료로부터 담수호 내용적을 계산하였으며 그 결과는 아래의 그림 2와 같다.



그림 1. 이원 담수호 위성사진(출처:Naver)

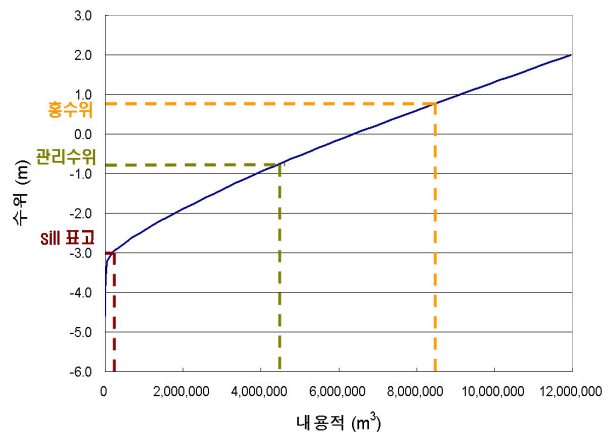


그림 2. 이원 담수호 내용적 곡선

2.2 염도 계산 방법

2.2.1 현장조사 및 염분수지식

담수호 내의 염도는 총 9개소의 실측자료에 대한 Thiessen 가중법(Thiessen's weighting method)을 적용하여 실측값을 산정하였다. 이를 이용하여 기간 내의 담수호 염도의 초기값은 실측치인 8,749 ppm을 적용하였다. 담수호 내의 염도 계산값은 담수호의 염분수지를 담수호 내용적으로 나눈 값을 일단위로 계산하였다. 이 때 사용된 담수호의 염분수지는 호내로 유입되는 유입수의 염분수지와 제방 외측에서 유입되는 염분수지, 배수갑문을 통해 유출되는 유출수의 염분수지를 고려하여 계산하였다. 아래 식 (1)은 담수호의 염분수지식을 나타낸 것이다.

$$F_t = I_t + L_t + F_{t-1} - O_t \quad (1)$$

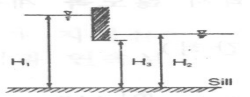
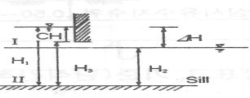
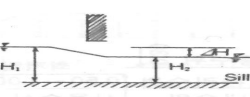
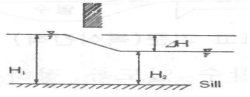
여기서, F_t 는 t일의 담수호 염분수지, I_t 는 t일의 유입수 염분수지, L_t 는 t일의 외측유입 염분수지, F_{t-1} 은 (t-1)일의 담수호 염분수지, O_t 는 t일의 유출수 염분수지이다.

2.2.2 염분수지식의 계산

유입수 염분수지는 배수갑문을 통해 유입되는 유입량에 유입수의 염도를 곱해주어 계산하였다. 여기서, 유입량은 배수갑문 운용자료와 강우량 자료를 바탕으로 산정하였으며, 유입수의 염도는 200 ppm을 적용하였다. 이와 함께, 배수갑문을 통한 유입 및 강우가 없음에도 불구하고 담수호의 실측 염도가 급격히 떨어진 것을 적용하여 유역에서 일부 유입수량이 있다고 판단되어서 이를 계산시에 고려하였다.

유출수 염분수지는 배수갑문을 통해 유출되는 유출량에 유출수의 염도를 곱해주어 계산하였다. 유출수의 염도는 전일의 담수호 염도와 같다고 가정하였으며, 유출량은 배수갑문 운용자료와 내·외수위 조건에 따른 유량을 통해 산출하였다. 내·외수위 조건에 따른 유량은 아래의 표 1과 같이 4가지 경우로 구분된다(1995, 농촌진흥공사).

표 1. 내·외수위 조건에 따른 유량

흐름 상태	내·외수위 조건	유량 공식
수중오리피스		$Q = C H_3 B \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$
불완전오리피스		$Q = Q_1 + Q_2$ $Q_1 = C_1 (H_3 - H_2) B \sqrt{g(\Delta H + CH)}$ $Q_2 = C_2 (H_1 - \Delta H) B \sqrt{2g\Delta H}$
수중웨어 ($\Delta H < \frac{H_1}{3}$)		$Q = C (H_1 - \Delta H) B \sqrt{2g\Delta H}$
한계류 ($\Delta H \geq \frac{H_1}{3}$)		$Q = C \frac{2}{3} H B \sqrt{2g \left(\frac{H_3}{3} \right)}$

방조제의 외측에서 유입되는 염분은 크게 배수갑문 역유입 염분, 방조제 누수에 따른 염분, 호저토 확산 염분으로 구분된다. 3가지에 대해서 염분수지를 구한 후, 이를 합산한 것이 외측에서 유입되는 염분수지가 되는 것이다. 배수갑문 역유입 염분은 배수갑문을 통해 해수가 역유입되는 것을 말하며, 이는 배수갑문 역유입량에 역유입수 염도를 곱하여 계산하였다. 배수갑문 역유입량 계산시에는 누수단면과 수위를 고려하였으며 아래의 식 (2)를 통해 계산하였다.

$$Q = CA \sqrt{2 \times g \times (H_1 - H_2)} \quad (2)$$

여기서, Q 는 배수갑문 역유입량(m^3/sec), C 는 상수(0.062), A 는 누수단면(m^2), g 는 중력가속도($9.8m/sec^2$), H_1 는 평균만수위(2.08m), H_2 는 관리수위(-1.00m)이다. 역유입수의 염도는 해수와 같다고 가정하였다.

방조제 누수 염분수지는 방조제 누수량과 방조제 누수 염도를 통해 계산하였으며, 아래의 식 (3)을 적용하였다.

$$Q = \frac{k}{2} \times \frac{H_s^2 - H_o^2}{R} \times l \quad (3)$$

여기서, Q 는 방조제 누수량(m^3/sec), k 는 투수계수(m/sec), H_s 는 대조 만수위부터 기초지반까지

의 높이(5.862m), H_0 는 관리수위부터 기초지반까지의 높이(2.0m), R 은 침투초장(48m), l 은 방조제 연장(2,981m)이다. 위 식을 통한 계산값에 최종 체질시 유속에 의한 재료 불균일 투입을 계산시 적용하였다.

호저토 확산 염분은 담수호 바닥 토양에서 확산되는 염분을 말하며, 아래의 식 (4)를 통해 계산하였다. 호저토 확산 염분량을 구한 후, 이를 외측유입 염분수지에 합산시켰다.

$$S_{di} = A \alpha (C_o - C_i) \sqrt{\frac{k}{\pi t}} \quad (4)$$

여기서, S_{di} 는 호저토 확산 염분량, A 는 호저토 면적(m^2), α 는 토량공극률(%), k 는 확산상수(m^2/day), t 는 경과일수(day), C_o 는 초기염분농도, C_i 는 유입염분농도이며 $C_i = 30,000 e^{-9.6 \times 10^{-4} t}$ 에 의해 구할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

아래의 표 2는 유입수와 배수갑문 역유입수, 방조제 누수, 호저토 확산에 대한 유량과 염도를 나타낸 것이다.

표 2. 염분수지식 계산결과

구 분	단위	연도별 평균값			
		2006	2007	2008	
유입수	유량	m^3/day	48,023	40,470	15,706
	농도	ppm	200	200	200
	염분량	ton	9.6	8.1	3.0
배수갑문 역유입수	유량	m^3/day	52	52	24
	농도	ppm	30,000	30,000	30,000
	염분량	ton	1.5	1.5	0.7
방조제 누수	유량	m^3/day	8,500	7,000	4,000
	농도	ppm	30,000	30,000	30,000
	염분량	ton	255.0	209.9	120.0
호저토 확산	염분량	ton	0.2	0.2	0.2

표 2를 보면 방조제 누수에 의한 염분유입이 지배적인 것을 확인할 수 있다. 또한, 2006년과 2007년에 비해 2008년의 염분수지가 낮은 값을 보이는 것은 2008년 4월 제2회사장에서 누수를 확인 후, 임시제방 공사 및 회사장 내측 석탄회 투하, 차수 그라우팅이 영향을 주었기 때문이다. 아래의 그림 3은 3년간의 담수호 내의 염도에 대한 실측치와 모의치를 그래프로 나타낸 것이다.

표 3. 염도에 대한 모의치와 실측치의 비교

연 도	평 균(ppm)		R^2	RMSE(ppm)
	모의치	실측치		
2006	5,831	5,496	0.98	586
2007	6,661	6,293	0.95	1193
2008	6,272	6,575	0.96	429
2006 ~ 2008	6,255	6,121	0.95	767

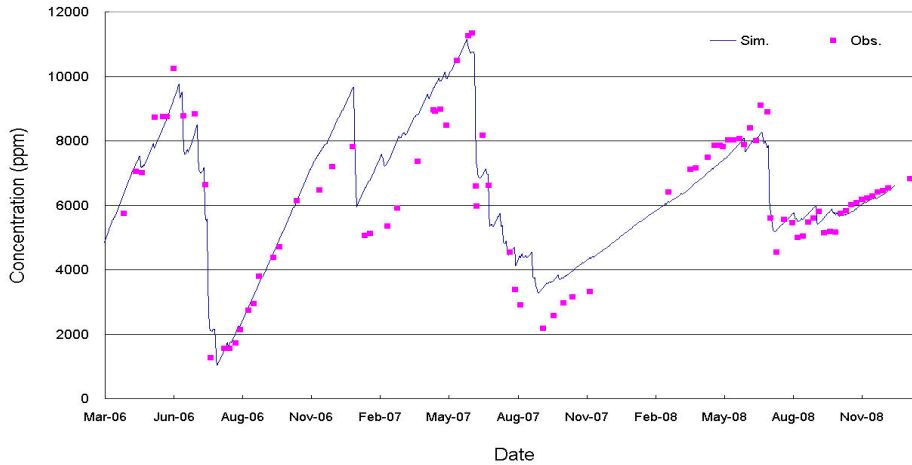


그림 3. 이원담수호 염도의 모의치와 실측치의 비교 (2006~2008년)

표 3과 그림 3은 2006년부터 2008년까지 이원담수호의 염도에 대한 모의치와 실측치를 비교한 것이다. 전체기간에 대해서 모의치와 실측치의 결정계수(R^2)값은 0.95~0.98의 값을 보인다. 이와 함께 오차의 정도를 나타내기 위해 RMSE(root mean square error)를 사용하였다. 결정계수와 RMSE를 통해 이원담수호에 대한 염도 계산이 실측치에 대해 적용성을 나타낸다고 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 이원담수호에 대한 2006년부터 2008년까지 3년간의 염도를 모의하였다. 이를 위해 먼저 배수갑문 운용자료와 내용적 조서를 적용하여 유입량과 유출량을 계산하였다. 또한, 실측자료와 함께 여러 공식을 적용한 염분수지식을 통해 담수호내 염도를 산정하였으며, 이를 실측치와 비교하여 그 적용성을 검토하였다.

계산 결과, 이원 담수호의 염분량에 있어서 방조제 누수로 인한 염분유입이 지배적임을 알 수 있다. 또한, 2006년과 2007년에 비해 2008년의 염도가 낮았으며, 이는 2008년에 실시한 차수공사의 영향이 크다고 볼 수 있다.

결정계수와 평균제곱근 오차를 통해 모의치와 실측치를 비교한 결과, 염분수지식에 의한 이원담수호 염도 모의가 적용성이 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강예목 등 6명(1994), 향문사, 신제 간척공학, pp.299-306.
2. 농어촌진흥공사(1987), 이원호 담수화 기본계획.
3. 농어촌진흥공사(1995), 한국의 간척, pp.144-146.
4. 한국농어촌공사(2003), 이원 담수호 보강계획.