



HSPF 모형과 호소 물수지를 이용한 미계측 간척 담수화호 수문모델링

Streamflow Modeling in Data-scarce Estuary Reservoir Watershed Using HSPF

성충현^{*,†}

Seong, Chung Hyun

Abstract

This research presents a streamflow modeling approach in a data-scarce estuary reservoir watershed which has been suffered from high salinity irrigation water problem after completion of land reclamation project in South Korea. Since limited hydrology data was available on the Iwon estuary reservoir watershed, water balance relation of the reservoir was used to estimate runoff from upstream of the reservoir. Water balance components in the reservoir consists precipitation, inflow from upstream, discharge through sluice, and evaporation. Estimated daily inflow data, which is stream discharge from upstream, shows a good consistency with the observed water level data in the reservoir in terms of EI (0.93) and R^2 (0.94), and were used as observed flow data for the streamflow modeling. HSPF (Hydrological Simulation Program - Fortran) was used to simulate hydrologic response of upstream of the reservoir. The model was calibrated and validated for the periods of 2006 to 2007 and 2008 to 2009, respectively, showing that values of EI and R^2 were 0.89 and 0.91 for calibration period, 0.71 and 0.84 for validation period.

Keywords: Estuary reservoir; HSPF; surface water modeling; reservoir water balance

1. 서론

담수화는 바다에 방류되는 물을 저류하여 이용이 가능한 형태로 하기 위해 하구 또는 하구 부근에 설치된 저수지를 말하며, 담수화호 (freshening reservoir), 하구호 (estuary reservoir)라고도 한다. 담수화는 방조제 체절 당시에는 해수의 상태로써, 유역으로부터 유입되는 담수와 섞이면서 점차 염분 농도가 낮아지는 담수화 과정을 거치며, 담수화가 완료되더라도 염분농도는 일정한 범위 내에서 계절적인 변동이 반복되며, 가뭄시에는 염분농도가 상승하여 염해피해를 입기도 한다 (Kang et al., 1993).

KCR (2009)에 따르면 영산강Ⅲ-1, 영산강Ⅲ-2, 새만금, 흥보, 시화, 화옹의 6개 지구의 담수화가 모두 완료될 경우 연간 14억 톤의 추가적인 수자원이 확보될 수 있으며, 이들 지구는 담수화 기간동안 염도가 호소관리의 주요 인자가 된다. 또한, 농업지도기관에서 가뭄시 염도상승에 의한 농작물에 대한 염해가 우려되는 간척지로 전국 58개 지구를 관리하고 있으며, 그 면적이 약 64천 ha 에 이른다. 염해우려지구는 서남

해안간척사업이 많이 이루어진 전남이 30지구로 가장 많은 지역이 속해있다 (MOA, 2005). 특히, 2009년에 준공된 이원 간척지구는 2005년부터 담수화를 시작하였으나 당초 담수화 설계기간인 2년을 경과하고서도 담수화가 되지 않아 간척지에 경작을 하지 못하고 사업준공이 늦어지는 등 문제가 되었던 지구이다 (KRDC, 2009). 따라서, 간척지구에 안정적인 수량 및 수질의 수자원을 공급하기 위해서는 담수화 해석 및 계절변화에 따른 호소내 염분농도의 예측이 필수적이다.

담수화의 염도 예측을 위해서는 담수호의 유역유입량 및 배수량의 정량적인 산정을 통하여 호내 물수지 해석이 우선되어야 한다. 하지만 실측자료의 구득이 물리적으로 어려운 사업 계획단계에서는 간단한 경험식을 바탕으로 담수화 해석을 실시하는 것이 보통이며, 상류유역으로부터 담수호로 유입되는 하천수의 유입량도 비교적 간단한 유역유출량 추정방법을 이용하여 산정해 왔다 (KRC, 1988). 이러한 설계단계에서의 간단한 추정은 미계측유역 및 수문현상이 복잡한 유역에 적용될 경우 산정결과의 불확실성이 커진다는 단점 때문에, 완공후 담수호의 염도 문제가 지속되는 경우, 유역의 유출 특성을 잘 설명할 수 있는 수문모형의 적용이 필요하다.

유역의 지형, 토양 및 토지이용 등을 다양하게 고려할 수 있는 물리적 기반의 유역유출모형인 미국환경청 (EPA)과 미국 지리국 (USGS)에서 개발한 HSPF (Hydrological Simulation Program - Fortran) 모형은 다양한 수질항목의 모의가 가능하고, 호소수질모형과의 연계성이 뛰어나 호소, 하구 및 연안의

* Department of Biological Systems Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University

† Corresponding author

Tel.: +1-540-553-4162 FAX: +1-540-231-3199

E-mail: chseong@vt.edu

Received: November 12, 2014

Revised: November 14, 2014

Accepted: November 17, 2014

연계모의가 필요한 지역에 자주 이용되고 있다 (USEPA, 2001b). 특히, 미국 동부에 위치한 대표적 연안인 체사피크베이 (Chesapeake Bay)와 국내 새만금호의 수질모의를 위한 유역 모형으로 활용되어 그 적용성이 평가되고 있다 (Jeon et al., 2007; Roberts and Prince, 2010; Shenk et al., 2012; Shin et al., 2012; Sisson et al., 2007).

본 연구에서는 이원 간척담수호의 염도 예측을 위해, 담수호의 물수지를 정량적 파악하고, 호소내 하천수 유입량 산정을 위한 HSPF 모형을 구축하여 그 적용성을 평가하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지구 및 기상자료

충남 태안에 위치한 이원호는 이원간척사업에 의해 만들어진 담수호로 1997년 방조제가 완성되고, 2005년부터 담수화를 실시한 호소이다. 간척사업 설계시 농업용수로 이용하기 위한 담수화 기간은 약 2년으로 계산되었으나, 방조제에서 누수가 발견되어 2007년에 방조제 보강공사를 실시하는 등, 2009년 현재 담수화 5년차이지만 아직 호소 염도가 관개용수로 이용하기에 부적합하여 농경지에 관개를 실시하지 못하고 있는 지역이다.

이원호는 동경 126°12'20" - 126°18'13", 북위 36°50'16" - 36°54'34" 사이에 위치하고 있으며, Fig. 1은 이원호 유역의 전체적인 모습을 보여주고 있다. 이원호의 면적은 약 282 ha이며, 유역면적은 3,739 ha로서, 유역내 토지이용분포는 산지가 38%, 농경지가 33.4%, 주택지가 2.1% 순으로 나타났다.

기상자료는 대상유역에서 약 25 km 떨어진 기상청산하서산관측소 (36°46'37"N 126°29'38"E)와 대상유역내에 위치한 이원관측소 (36°50'12"N 126°17'04"E)에서 수집하였다. 강수량자료의 경우 서산관측소의 1시간단위 강수량자료와 대

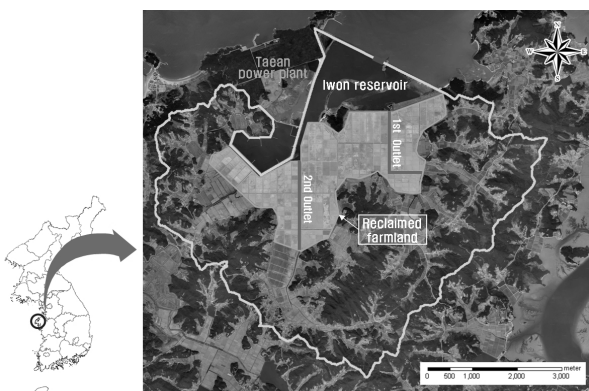


Fig. 1 Location of the Iwon estuary reservoir watershed

상지구내 이원관측소 일강수량자료를 바탕으로 대상지구의 1 시간단위 강수량자료를 구축하였으며, 잠재증발산량은 서산관측소의 최고기온, 최저기온 자료를 바탕으로 산정하였다.

2. 담수화호 물수지

담수화호의 물수지는 Fig. 2과 같이 도식화할 수 있다. 담수호에서의 물수지는 유입과 유출성분에 대한 저수량의 변화량으로 표현될 수 있으며, 식 (1)과 같다.

$$ST_t - ST_{t-1} = (IN_t + PR_t) - (RE_t + EV_t + PE_t + SP_t + GL_t + IT_t) \quad (1)$$

여기서, ST_t 는 t 일의 저수량 (Storage), IN 은 유입량 (Inflow), PR 은 강수량 (Precipitation), RE 는 방류량 (Release), EV 는 증발량 (Evaporation), PE 는 침투량 (Percolation), SP 는 제방 침윤량 (Seepage), IT 는 양수량 (Intake), GL 은 배수갑문누수량 (Gate leak) 이다. 한편, 유입량은 지표유출 (surface)과 지하수유출 (ground water)의 합을 나타낸 것이다.

제방침윤량과 배수갑문 누수량 요소는 외조위에 따라 호소로 유입되거나 유출되는 과정을 반복하게 되는데, 유입과 유출의 차이로 각 요소의 양을 계산할 수 있다. 일단위로 계산시 하루 두 번의 만조와 간조에 따른 유입과 유출의 양이 호소 물수지에 큰 영향을 미치지 못할 정도로 작다고 가정하여, 물수지 계산시 제방침윤량과 배수갑문 누수량은 고려하지 않았다. 또한, 침투량의 경우 해안가에 위치한 담수호는 지하수위가 높아 침투량이 물수지에 영향을 미칠 정도의 양이 되지 않는다고 가정하고, 물수지 계산시 제외하였으며, 담수화 과정의 담수호로서 관개를 실시하지 않고 있기 때문에 관개량 항목을 제외하면, 본 연구에서 사용된 물수지는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$ST_t - ST_{t-1} = (IN_t + PR_t) - (RE_t + EV_t) \quad (2)$$

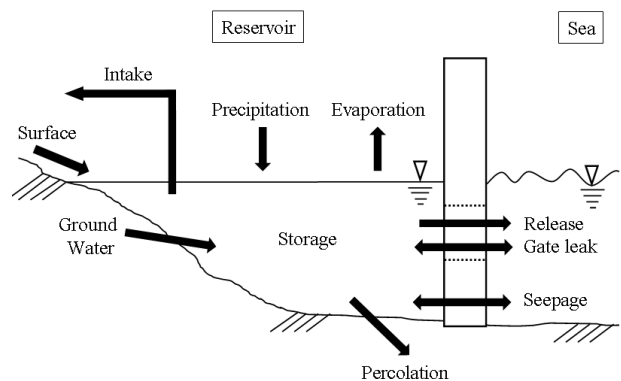


Fig. 2 Water balance in an estuary reservoir

3. 담수화호 수문자료

가. 수위자료 및 수위-내용적 곡선

수위기록은 2006년 1월부터 2009년 8월까지의 기간에 대하여 일단위로 작성된 공사일지, 배수갑문 운영일지 및 염도 측정일지에서 구득하였다. 공사일지 상의 수위기록은 일별 수위기록이며, 배수갑문 운영일지에는 배수갑문을 동작시킬 때 배수전 및 배수후 수위가 기록되어 있고, 염도측정일지에는 호소 염도를 측정하는 1-2주 간격의 호소수위가 기록되어 있다. 이들 수위자료는 호소 관리자가 목측한 값으로 수위계에 의한 자동수위관측 자료에 비해 자료의 신뢰성이 떨어지

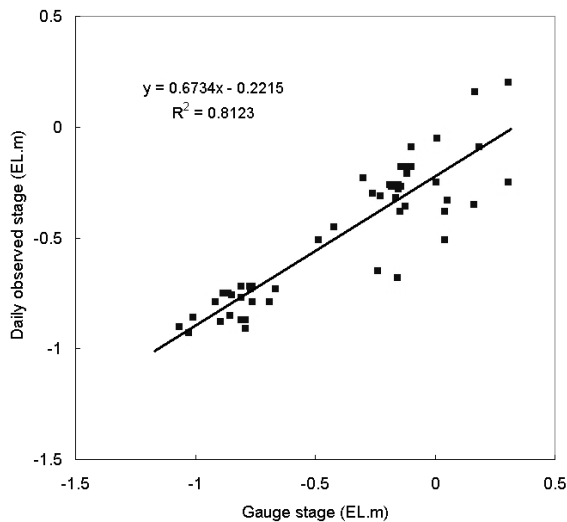


Fig. 3 Scatter diagram of daily visual stage and gauging stage at the Iwon estuary reservoir

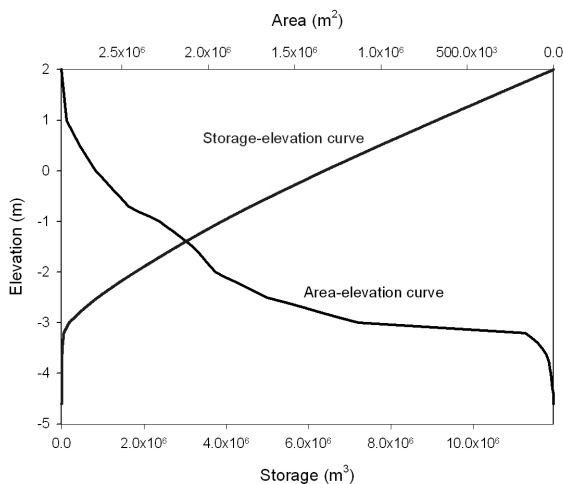


Fig. 4 Storage-area-elevation relationship of the Iwon estuary reservoir

는 문제점이 있어, 이원호의 과거 수위기록의 신뢰성을 평가하기 위해, 호소에 임시로 수위계를 설치하여 2009년 5월부터 약 4개월간 수위변화를 관측하였다. 사용된 수위계는 Schlumberger 사의 MiniDiver 모델이다. 호소내 바람에 의한 수면의 요동이 적은 이원 양수장 부근에 수위계를 설치하고, 10분단위간격의 수위를 측정하였다.

한편, Fig. 3은 수위계 수위와 수위기록간의 일대일 그래프이며, 결정계수는 0.81로서 자료간 높은 상관성을 보였다. 다만, 호우시가 아닌 정상시에는 공사일지의 일수위 기록이 실제 수위를 잘 반영하지 못하고 있는 것으로 판단되어, 본 연구에서는 방류일지와 염도측정일지 상의 수위기록을 이원호의 수위자료로 채택하였다.

이원호의 총 저수량은 460 ha·m이며, 유효저수량은 442 ha·m이다. 홍수위와 관리수위, 양수장 취수펌프의 높이는 각각 EL.0.89 m, EL.-0.7 m, EL.-3.0 m로 유지되고 있으며, Fig. 4은 수위-내용적 곡선을 보여주고 있다.

나. 방류량 자료 및 방류량의 계산

배수갑문 운영일지와 공사일보에 따르면 2006년부터 2009년까지 4년간 총 99회 방류를 실시한 것으로 나타났다 (Table 1). 6월부터 9월까지의 홍수기에는 총 72회 방류를 실시하였고, 평균 4기의 갑문을 개방하였고, 방류시간은 159분이었다. 한편, 10월부터 5월까지의 기간에는 27회 방류하였으며, 평균적으로 배수갑문 4기로 96분간 방류하는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 배수갑문의 내외수위 조건에 따른 방류량 계산공식을 보여주고 있다. 여기서 H_1 은 내수위, H_2 는 외조위, ΔH 는 내수위와 외조위의 차, W 는 개도높이, g 는 중력가속도이다. 이원호의 배수갑문은 폭 (B)이 4.0 m, 높이가 3.0 m인 갑문이 6개로 구성되어 있으며 최대 개도높이는 3.0 m이다. 계산단위는 10분단위로 계산하였으며, 각 단위시간별 방류량을 합산하여 총 방류량을 계산하였다. 외조위자료는 국립해양조사원 (KHOA)에서 제공하는 1시간단위 자료를 이용하였으며, 유량계수 (C)는 0.7을 적용하였다.

Fig. 6는 배수갑문 방류일지의 방류전 수위와 문비당 단위시간별 방류량을 나타낸 것이다. 문비당 단위시간 방류량은

Table 1 Sluice gate operation at the Iwon estuary reservoir

Items	Flood Season (Jun ~ Sep)	Other season (Oct ~ May)
Times	72	27
Number of gates	4	4
Mean duration (minute)	159	96
Mean discharge (m ³ /day)	665,536	393,912

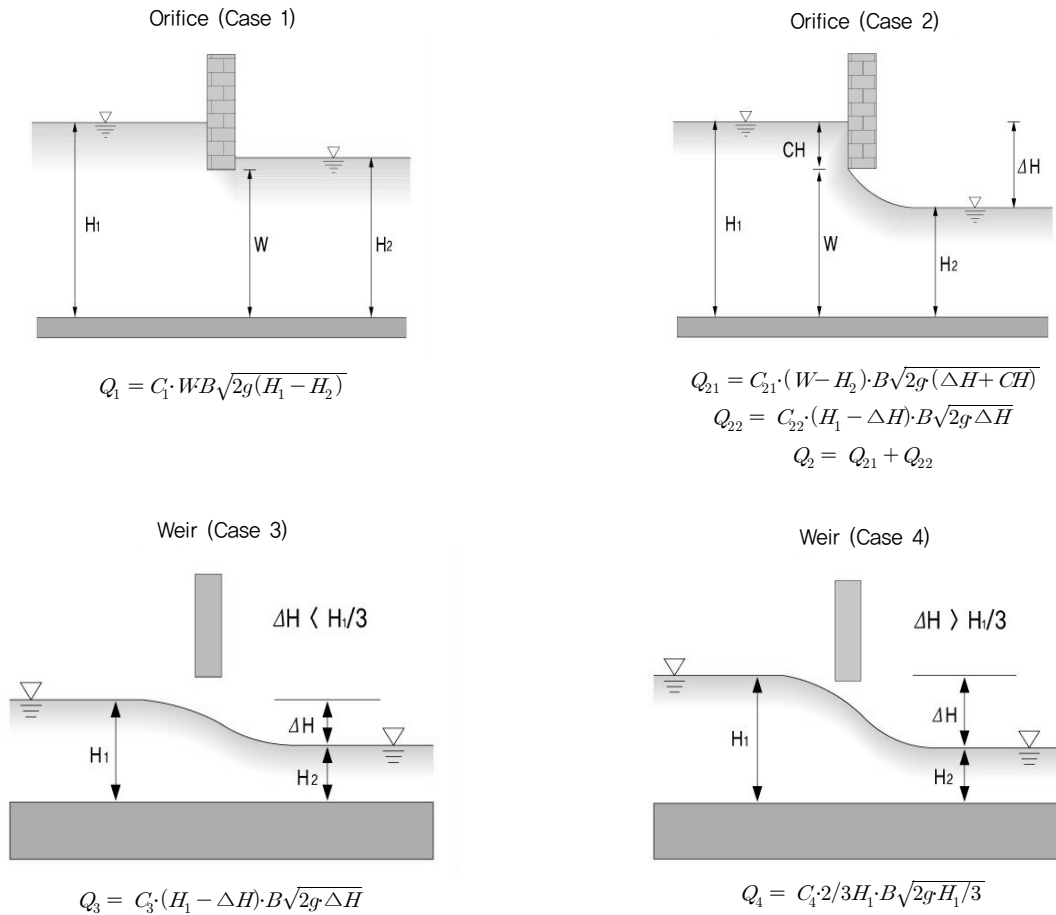


Fig. 5 Release discharge of a sluice according to the various stage

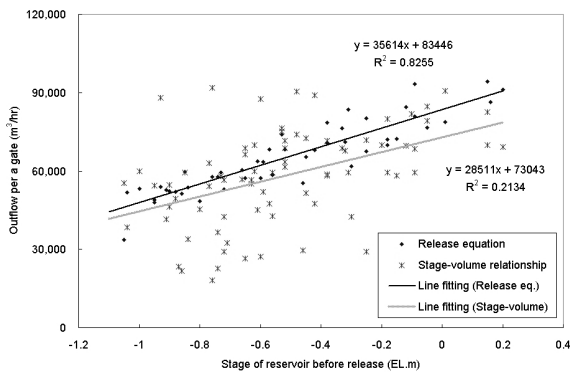


Fig. 6 Stage-discharge relationship in the Iwon estuary reservoir

각각의 방류시간 및 개방문비 개수가 다른 방류량을 동일 조건에서 비교하기 위해 산정한 값으로, 한시간 동안 1개의 문비로 방류되는 유량을 말한다. 수위에 따른 문비당 시간별 방류량은 수위가 증가할수록 증가하는 경향이 있었고, 결정계수 0.83인 선형회귀식을 도출하였다. 도출한 회귀식으로부터

과대 및 과소 추정치된 방류량을 보완하였다. 또한 공사일보에는 방류한 것으로 기록되어있으나, 방류일지에 구체적인 정보가 누락된 경우 등의 방류량 자료도 보완하였다.

또한, Fig. 5에 배수갑문 방류일지로부터 구득한 방류잔후 수위에 따른 내용적으로부터 산정한 수위-방류량 곡선도 함께 도시하였는데, 방류량공식을 이용한 경우와 비교하면 전반적으로 그 경향이 일치하고 있는 것을 볼 수 있다. 다만, 시험방류나 호우시 상류로부터 유입량이 많은 경우 등은 방류잔후 수위 차이가 실제 방류량을 잘 반영하지 못하는 것으로 나타났다.

다. 기타 수문자료

이월호로 직접 강하하는 강수량의 경우 이월관측소의 일강수량 자료를 이용하여 구축하였다. 저수지 수면으로부터의 증발량(EV)은 증발접시법으로 산정하였으며, Veihmeyer (1964)의 Pan 계수를 사용하여 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$EV_t = C \times A_t \times E \times P_c \quad (3)$$

여기서, EV_t 는 t 일의 수면증발량 (m^3), A_t 는 t 일의 저수지 수면적 (m^2), E 는 대형증발접시 증발량 (mm), P_c 는 접시계수 (0.7), C 는 단위환산계수 (1/1,000) 이다. 한편, 대형접시증발량 자료는 서산관측소의 일별 자료를 이용하였으며, 저수지 수위-면적 관계를 이용하여 호소수위에 따른 저수지 수면적을 고려하여 증발량을 산정하였다.

4. 유역모형 구축

대상유역의 유역유출모의를 위한 GIS 자료 및 기상자료를 구축하기 위해 미환경청 (USEPA)에서 제공하는 BASINS를 이용하였다 (USEPA, 2001a). 1/5,000 및 1/25,000 수치지형도, 토지이용도를 이용하여 하천망도를 생성하고, 소유역 경계도 등을 작성하였으며, 기상자료의 입력은 WDMUtil (USEPA, 2001c)을 이용하였다.

이원호 유역의 NGIS 수치지형도는 1/25,000 축척의 도면만 존재하나, 대상지구내 간척사업의 1/5,000 준공도면을 습득하여, 두 도면을 조합하여 등고선자료를 구축하였다. 특히 대상 지구는 해안가의 평탄한 지형이 대부분이어서 20 m 간격의 등고선 자료로는 대상지구의 지형을 판단하기가 쉽지 않으나, 준공도면상의 지형측량성과인 약 3,100여개의 표고점들을 이용하여 해안가 평탄지의 지형입력을 실시하였다.

구축한 등고선도로부터 해상도가 5 m인 수치표고모델 (DEM)을 작성하고, DEM을 이용하여 하천도를 생성 후, 주요지점에 출구점 (outlet)을 지정하고 최소 유역의 크기를 10 ha로 설정하여 소유역을 자동생성하였으며, 생성된 소유역 및 하천도는 Fig. 7과 같다.

한편, 이원호 유역의 토지이용은 환경부에서 제공하는

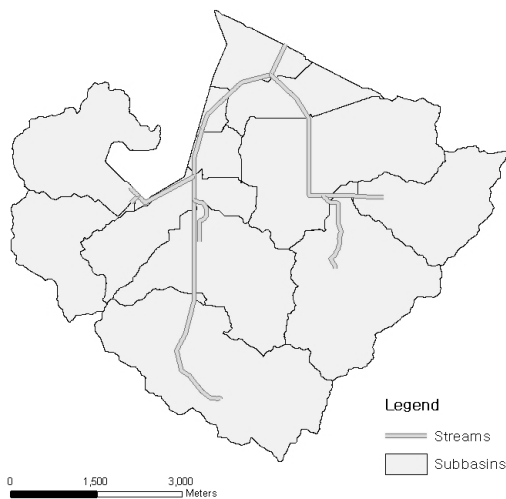


Fig. 7 Model segmentation and streams of the Iwon estuary reservoir watershed

1:25,000의 중분류 토지피복도를 이용하였다. 중분류 토지피복도는 토지이용을 총 38개로 분류하고 있는데, 이를 모형에 입력하면서 산림, 초지, 논, 밭, 물, 주거지의 6가지로 재분류하여 입력하였으며, 특히 논, 밭의 경우에는 기존논과 간척사업의 결과 조성된 개답지로 구분하여 입력하였다. Table 2에서 볼 수 있듯이, 대상지구의 전체면적 중 산림이 38.0%로 가장 많은 부분을 차지했고, 논 24.8%, 초지 17.8%의 순이었으며, 주거지의 경우 2.1%로 나타났다. 농촌유역의 일반적인 주거지 특성을 반영하여 주거지에 대한 불투수면을 50%로 가정하여 적용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 호소물수지를 이용한 유역유출량 산정

2006년부터 2009년까지의 이원호 수위 및 방류량 자료 등을 바탕으로 이원호 물수지식으로부터 역산하여 호소의 일별 유입량을 산정하였다. Table 3은 연도별 유입량을 정리한 것이다. 호소의 유입량을 호소입구를 출구로 하는 유역의 유출량으로 바꾸어 생각할 수 있다. 이에 따라 유출률이 연평균 0.37로 계산되었으며, 강우량이 평년에 비해 강우량이 적었던 2008년의 경우 유출율이 0.24로 낮게 나타났다.

Table 2 Landuse of the Iwon estuary reservoir watershed

Landuse	Area		Remarks	
	(ha)	(%)		
Water	329.1	8.7		
Paddy	Reclaimed	880.2	23.5	
	Existing	49.1	1.3	
Upland	320.4	8.6		
Pasture	663.8	17.8		
Forest	1,419.0	38.0		
Urban	76.9	2.1	Impervious 50 %	
Total	3,738.5	100.0		

Table. 3 Estimated inflow at the Iwon estuary reservoir

Year	Precipitation (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio
2006	1,023	437	0.43
2007	1,193	466	0.39
2008	954	229	0.24
2009	1,167	461	0.40
Average	1,084	398	0.37

Table 4 Water balance of the Iwon estuary reservoir (unit: mm)

Year	Precipitation	Inflow	Release	Evaporation
2006	1,023	4,621	4,951	652
2007	1,193	4,924	5,528	594
2008	954	2,419	2,857	651
2009	1,167	4,872	5,349	674
Average	1,084	4,209	4,671	643

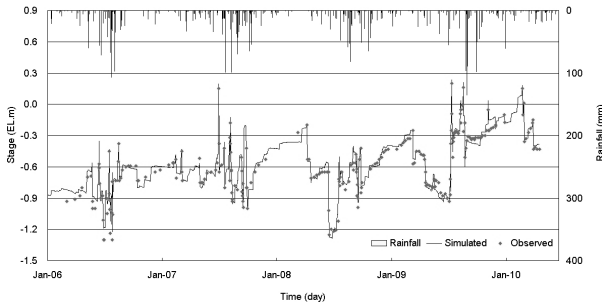


Fig. 8 Comparison of simulated and observed stage at the Iwon estuary reservoir

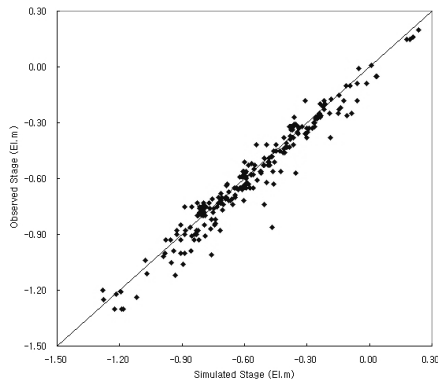


Fig. 9 Scatter diagram of simulated and observed stage at the Iwon estuary reservoir

호의 물수지는 Table 4와 같이 유입요소와 유출요소가 거의 평형을 이루는 것으로 나타났다. 유역의 강우유출로 인해 호내로 유입되는 유입량은 연평균 4,209 mm이며, 담수호 표면으로 직접 떨어지는 강우는 연평균 1,084 mm로서, 유입요소의 약 80%가 유역으로부터의 유입량으로 나타났다. 배수갑문을 통한 방류량은 연평균 4,671 mm이었으며, 호내 수면을 통한 증발량은 평균적으로 연간 643 mm로서, 유출요소의 약 88%가 배수갑문을 통한 방류량을 구성된다.

Fig. 8과 Fig. 9는 산정된 담수호의 일별 물수지 결과와 수위-내용적 곡선을 이용하여 수위를 계산하고, 실측수위와 비교한 것이다. RMSE가 0.07 m, RMAE는 -0.09 m로 나타났으며, 결정계수는 0.94로 나타나, 호의 물수지를 이용하여 산정한 수위가 실측 수위와 높은 상관관계를 보였다.

2. 모형의 보정

구축된 HSPF 모형의 보정은 2006년부터 2007년까지의 기간에 대해 실시하였다. 대상지구의 경우 유량측정자료가 없는 관계로, 보정을 위한 유량자료로 담수호의 물수지로부터 산정한 일별 유입량자료를 이용하였다. 하지만, 이 자료는 저수지 수위-내용적관계와 물수지로부터 유량을 산정하기 때문에 수위변동이 큰 호우시 일별유량은 현실을 잘 반영하지만, 호소의 수위변화가 없거나 있어도 수위측정단위 이하로 수위가 변하는 무강우시의 일별유량은 현실을 잘 반영하지 못하는 한계가 있다. 따라서, 유출량의 보정은 호우발생시의 일정량 (0.1 mm/day) 이상의 유입량이 발생한 경우에 대해 실시하였다.

모형의 보정에 사용된 매개변수는 총 8개로, Table 5에는 대상지구에 대해 매개변수를 보정한 결과와 EPA (2000)에서 정의하고 매개변수의 설명 및 매개변수의 범위를 나타냈다. 보정된 매개변수들은 모두 매뉴얼상의 매개변수 범위를 만족

Table 5 Calibrated HSPF hydrology parameter values and those typical/possible ranges

Parameter	Definition	Units	Ranges of values				Calibrated value
			Typical		Possible		
			Min	Max	Min	Max	
LZSN	Lower zone nominal soil moisture storage	inches	3.0	8.0	2.0	15.0	5
INFILT	Index to infiltration capacity	in/hr	0.01	0.25	0.001	0.50	0.05
AGWRC	Base groundwater recession	none	0.92	0.99	0.85	0.999	0.85
UZSN	Upper zone nominal soil moisture storage	inches	0.1	1.0	0.05	2.0	0.75-2
INTFW	Interflow inflow parameter	none	1.0	3.0	1.0	10.0	1.0
LZETP	Lower zone ET parameter	none	0.2	0.7	0.1	0.9	0.4
DEEPPFR	Fraction of GW inflow to deep recharge	none	0.0	0.20	0.0	0.50	0.1
IRC	Interflow recession parameter	none	0.5	0.7	0.3	0.85	0.7

Table 6 Comparison of simulated and observed runoff during calibration period in the Iwon estuary reservoir watershed

Year	Rainfall (mm)	Runoff (mm)		Runoff ratio		Difference (%)
		Observed	Simulated	Observed	Simulated	
2006	1,023	437	410	0.43	0.40	-6.27
2007	1,193	466	458	0.38	0.38	-1.62
Total	2,216	903	868	0.41	0.39	-3.88

Table 7 Statistics on simulated and observed runoff during calibration period in the Iwon estuary reservoir watershed

Year	No. of measure (day)	Coefficient of determination (R^2)	RMSE (mm/day)	RMAE (mm/day)	EI
2006	75	0.93	4.44	0.41	0.90
2007	128	0.89	2.66	0.45	0.88
Total	203	0.91	3.42	0.43	0.89

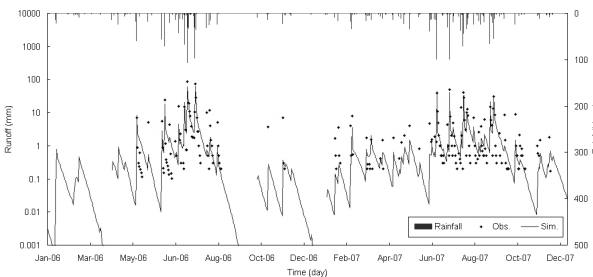


Fig. 10 Comparison of observed and simulated runoff during calibration period in the Iwon estuary reservoir watershed

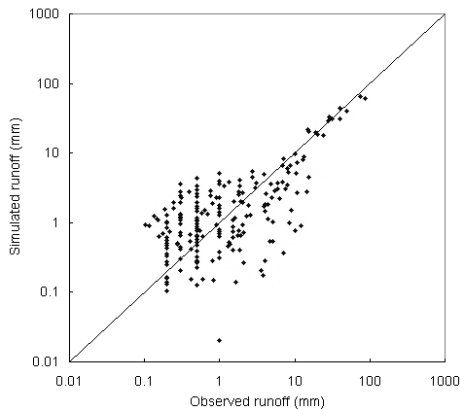


Fig. 11 Scatter diagram between simulated and observed daily runoff during calibration period in the Iwon estuary reservoir watershed

하는 것으로 나타났다.

Table 6는 모형의 보정 결과를 보여주고 있다. 모의자료로부터 유출율을 구한 결과, 2006년과 2007년 각각 0.40, 0.38로 나타나 물수지로부터 산정된 자료(관측자료)로부터 구한

유출율에 비해 약 1.62%와 6.27%가 적게 모의되었다.

Table 7는 통계적인 변량을 이용하여 실측치와 모의치를 비교평가한 결과이다. 실측치의 경우 저유량을 잘 반영할 수 없는 것으로 판단하여, 일정유량(0.1 mm/day) 이상의 유출에 대해서만 통계변량을 적용하여 산정하였다. 모형의 보정 결과 RMSE는 3.42 mm/day, RMAE는 0.43 mm/day, R^2 는 0.91, 효율지수(EI)는 0.89로 나타나 모의치가 실측치를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 한편, Fig. 10과 Fig. 11은 모형의 보정결과를 보여주고 있다.

3. 모형의 검정

모형의 검정은 2008년부터 2009년까지의 기간에 대하여 실시하였다. Table 8은 모형의 연도별 모의치와 실측치를 비교하여 보여주고 있다. 2008년의 경우 평년에 비해 강우량이 약 200 mm 정도 적은 해로 유출률이 약 0.24로 낮게 관측되었다. 모의치의 경우 0.26으로 거의 비슷한 결과를 보였다. 2009년은 모의치의 유출율이 0.45로서 관측치보다 약간 큰 값으로 모의되었다.

Table 9서는 실측치와 모의치의 통계적 변량을 보여주고 있다. 모형의 검정기간에 대한 모의 결과 RMSE는 4.21 mm/day, RMAE는 0.62 mm/day, R^2 는 0.84, 효율지수(EI)는 0.71로 나타났다. 한편, Fig. 12와 Fig. 13은 모형의 검정결과를 보여주고 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 유량자료가 없는 간척 담수화호 구역의 일 유출량을 모의하기 위해 호소의 관측자료와 물수지를 이용하

Table 8 Comparison of simulated and observed runoff during validation period in the Iwon estuary reservoir watershed

Year	Rainfall (mm)	Runoff (mm)		Runoff ratio		Difference (%)
		Observed	Simulated	Observed	Simulated	
2008	954	229	245	0,24	0,26	6,96
2009	1,167	461	521	0,40	0,45	13,02
Total	2,121	690	766	0,27	0,36	11,01

Table 9 Statistics on simulated and observed runoff during validation period in the Iwon estuary reservoir watershed

Year	No. of measure (day)	Coefficient of determination (R^2)	RMSE (mm/day)	RMAE (mm/day)	EI
2008	85	0.48	3,67	0,79	0,13
2009	65	0.91	4,82	0,51	0,80
Total	150	0.84	4,21	0,62	0,71

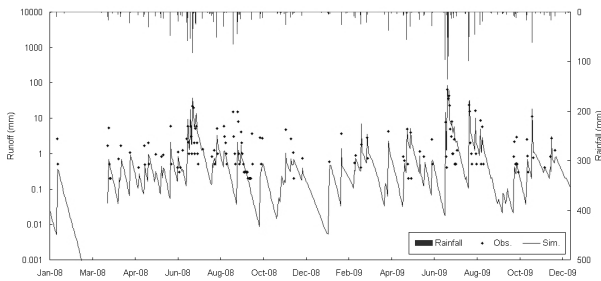


Fig. 12 Comparison of observed and simulated runoff during validation period in the Iwon estuary reservoir watershed

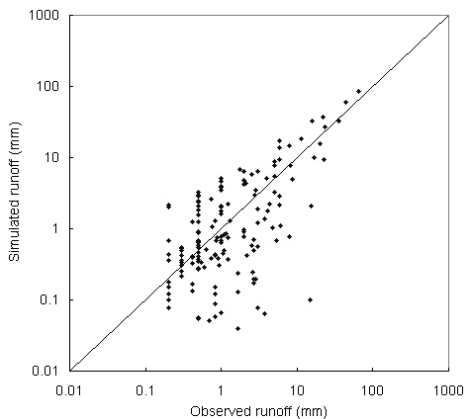


Fig. 13 Scatter diagram between simulated and observed daily runoff during validation period in the Iwon estuary reservoir watershed

여 유량자료를 산정하고, 구축한 HSPF 모형의 적용성을 평가하였다.

담수호 염분 농도가 문제가 되고 있는 이원 간척 담수화호

에 대해, 2006년부터 2009년까지의 유역의 수문자료, 호내 관측수위 및 배수갑문 운영자료 등을 바탕으로 물수지로부터 유역으로부터의 유입량을 산정하였다. 담수호 면적을 기준으로 연평균 유입량이 4,209 mm, 방류량이 4,671 mm, 강우량이 1,084 mm 및 증발량이 643 mm로 나타났다. 또한 물수지식으로부터 계산된 이원호의 내용적자료를 수위-내용적곡선으로 환산하여 관측수위와 비교한 결과, RMSE가 0.07 m, 결정계수가 0.94로 계산되어 산정된 유역유출량 자료가 타당한 것으로 평가되었다. 호소 유입량 산정을 위하여 HSPF 모형을 구축하고, 2006년과 2007년에 대하여 모형을 보정한 결과, RMSE가 3.42 mm/day, RMAE가 0.43 mm/day, 결정계수가 0.91로 나타났다. 2008년과 2009년에 대해 모형을 검증한 결과 RMSE가 4.21 mm/day, RMAE가 0.62 mm/day, 결정계수가 0.84로 나타나 적용성이 있는 것으로 평가되었다. 본 연구의 체계는 유량자료가 희박한 하구 담수호 유역에 대한 수문해석을 위한 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. Jeon, J. H., C. G. Yoon, K. W. Jung, and J. H. Jang, 2007. HSPF-Paddy simulation of water flow and quality for the Saemangeum watershed in Korea, *Water Sci. Technol.* 56(1): pp. 123-30.
2. Kang P. M., 1993. *Engineering in land reclamation.* 323-327. Hyangmoonsa. (In Korean)
3. Korea Rural Community Corporation (KRC), 1988. A plan of Iwon reclaimed land (Tide embankment and sluice, etc., 2/5). (In Korean)
4. Korea Rural Community Corporation (KRC), 2009. A statistical yearbook of agricultural infrastructure maintenance project,

27. (In Korean)
5. Korea Rural Development Center (KRDC), 2009. Desalination assessment in the Iwon reclaimed reservoir. (In Korean)
 6. Ministry of Construction and Transportation (MOCT), 2006. National longterm water plan. pp. 8-14. (In Korean)
 7. Ministry of Agriculture (MOA), 2005. Development of salinity warning system in land reclaimed reservoir. (In Korean)
 8. Roberts, A. D. and S. D. Prince, 2010. Effects of urban and non-urban land cover on nitrogen and phosphorus runoff to Chesapeake Bay. *Ecological indicators* 10(2): pp. 459-474.
 9. Shenk, G. W., J. Wu and L. C. Linker. 2012. Enhanced HSPF model structure for Chesapeake Bay Watershed simulation. *Journal of Environmental Engineering* 138(9): pp. 949-957.
 10. Shin, Y. L., J. Y. Jeong, H. J. Choi, and K. W. Jeong, 2012. Hydrodynamic modeling of Saemangeum Reservoir and watershed using HSPF and EFDC. *Journal of Korean Society on Water Environment* 28(3): pp. 384-393. (In Korean)
 11. Sisson, G. M., Z. Jin, C. Lee, J. Shen, and J. J. Jia, 2007. Developing a cost-effective methodology to manage fecal coliform loading in shellfish harvesting areas of upper Chesapeake Bay, Maryland, *Estuarine and Coastal Modeling* 2007: pp. 543-560.
 12. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 1999. BASINS Technical Note 6: Estimating Hydrology and Hydraulic Parameters for HSPF, EPA-823-R-99-012, Washington, D.C., Office of Water, USEPA.
 13. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2001a. *Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources (BASINS) Version 3.0 User's Manual*, EPA-823-B01-001, Washington, D.C., Office of Water, USEPA.
 14. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2001b. *Hydrological Simulation Program - Fortran (HSPF) User's Manual Version 12*, Washington, D.C., Office of Water, USEPA.
 15. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2001c. *A Tool for Managing Watershed Modeling Time-Series Data (WDMUtil) Version 2.0 User's Manual*, Contract No. 68-C-98-010 (Work Assignment NO. 2-25), Washington, D.C., Office of Water, USEPA.
 16. Veihmeyer, F. J., 1964, Evapotranspiration, in Chow, V.T., ed., *Handbook of applied hydrology*. New York, McGraw-Hill Book Co., chap. 11. p. 1-38.