

연구논문

HSPF, EFDC 및 WASP에 의한 영주다목적댐 저수지의 수질예측

박재충* · 최재훈** · 송영일*** · 송상진* · 서동일****

K-water 수자원사업처*, (주)엠큐빅**, 한국환경정책·평가연구원 환경평가검토센터***,
충남대학교 환경공학과****

(2010년 6월 16일 접수, 2010년 9월 29일 승인)

Water Quality Modeling of Youngju Dam Reservoir by HSPF, EFDC and WASP

Jae-Chung Park* · Jae-Hun Choi** · Young-Il Song*** · Sang-Jin Song* · Dong-Il, Seo****

Water Resources Business Dept., K-water, Daejeon, Korea*, M-Cubic Co., Daejeon, Korea**

Environmental Appraisal Center, Korea Environmental Institute(KEI), Seoul, Korea***

Department of Environmental Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea****

(Manuscript received 16 June 2010; accepted 29 September 2010)

Abstract

This study was carried out to investigate the effect of EFDC hydrodynamic result on the WASP7.3 water quality modeling result in accordance with the change of number of grid for the dam reservoir to be constructed. The simulated flow and BOD, T-N and T-P loads by the HSPF watershed model was used for boundary conditions and the hydrodynamic modeling results was linked with WASP model to predict future water quality after dam construction. The scenarios for EFDC modeling were composed of Scenario 1(141 grid cells) and Scenario 2(568 grid cells). The results of Scenario 2 showed that BOD, T-N, T-P and Chl-a concentrations were decreased 0.073mg/L(8.5%), 0.032mg/L(2.6%), 0.003mg/L(6.8%), 0.644 μ g/L(4.2%) compared with those of Scenario 1, respectively. As number of grid cell increased, water quality concentrations were decreased and also it caused the longer running time. Therefore, this study suggests that the consideration of the geometry of water body is more important than the number of grid cells for the prediction of water quality of a dam reservoir in EIA.

Keywords : Dam reservoir, EFDC, EIA, HSPF, WASP7.3

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

우리나라의 지형특성상 대부분의 댐은 하천의 중·상류에 위치하여 댐 하류지역의 홍수조절과 용수공급의 기능을 담당한다. 댐 건설의 계획단계에서는 치수측면과 이수측면을 동시에 고려하여 댐의 위치, 규모 등을 결정하며, 효과의 예측과 평가에는 각종 모델링기법을 이용한다. 사업 시행자는 하천의 유수환경이 댐에 의한 정수환경으로 변하면서 야기되는 부영양화와 유역에서 부하되는 각종 오염물질에 의한 수질변화를 예측하여 오염부하량의 삭감 규모, 수질개선 사업의 종류와 수량을 결정하게 된다. 현재 건설 중에 있는 댐의 환경영향평가에서도 다양한 모델기법을 사용하여 건설 후의 수질상태와 보전방안을 제시하고 있다. 군위댐, 성덕댐과 영주댐에서는 WASP 모델을, 한탄강댐은 CE-QUAL-W2 모델을 사용하여 장래 수질을 예측하였다. 호소 수질모의를 위한 모델은 WASP, CE-QUAL-W2, WQRRS, EFDC 등이 있으나, 기존 국내 호소에 대한 적용 사례에서 호소의 수온분포, 탁수 영향예측에는 CE-QUAL-W2를(김운희 등, 2001; 정선아, 2003), 수질변화나 오염부하량 변화와 같은 부영양화 모의에는 WASP 모델이 주로 사용되고 있다(정팔진 등, 2004; 한건연과 백창현, 2004).

본 연구는 건설 예정인 댐 저수지의 수질변화를 예측함에 있어 HSPF로 유역 유출량을 모의하고 EFDC로 호소 내의 유동을 해석한 후 WASP 모델로 수질예측을 수행하는 과정과 수질모의의 사전작업인 수리모형 최적화를 위해 구분하는 격자(cell)수가 수질모의 결과에 미치는 영향을 검토하여 향후의 환경영향평가에 활용하는 방안을 제안하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

현재 건설 중인 영주다목적댐 저수지를 대상으로 하였다. 영주댐의 총 저수용량은 181백만 m^3 로서 최근에 개발되는 댐으로는 큰 규모에 해당되며, 댐 건설을 위한 환경영향평가는 2009년 12월에 완료되

었다. 낙동강 제1 지류인 내성천 중류에 위치하고 유역면적 500 km^2 , 저수면적은 10.46 km^2 이다. 영주댐은 낙동강 중·하류 하천의 수질개선 용수를 포함한 각종 용수공급, 홍수조절을 목적으로 하며, 선택취수탑과 연결된 소수력발전기를 통해 상시 방류가 이루어지므로 하류로 공급되는 수량 조절과 수온 상승을 위한 별도의 조절지점은 계획되어 있지 않다.

본 연구는 기상요소, 지형특성정보, 유역의 물리·화학적 특성, 수문특성을 고려할 수 있는 HSPF 모델을 이용하여 유역으로부터 유출되는 비점오염원을 정량적으로 해석하였으며, 저수지 유동 해석에는 EFDC 모델을 이용하였고 수질예측을 위하여 WASP 모델을 연동하여 사용하였다. HSPF 모델을 이용하여 영주댐 유역에서 유출되는 유량, BOD, T-N, T-P를 모의하였고, 이 결과를 이용하여 유달부하량을 산정한 후 저수지 수질모의를 위한 경계조건으로 입력하였다. 호소의 유동은 EFDC 모델로 해석한 후 WASP 모델과 연동하여 수질을 예측하였다. WASP 모델의 경우 DYNHYD를 이용하여 유동을 해석할 수 있으나, DYNHYD는 1차원 모델로서 수심방향으로 상이한 수질특성을 나타내는 저수지의 물리·화학적 특성을 모의할 수 없는 한계가 있어 3차원 유동해석이 가능하고 WASP 모델과 연동하여 수질을 해석할 수 있는 EFDC 모델을 이용하였다. EFDC, WASP 모델의 경우 사용자의 경험에 의해 모의대상 구간의 격자수를 다양하게 구성할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 동일한 모의구간을 대상으로 모의 격자수를 다르게 구성하여 수질을 예측하였으며, 그 결과를 비교·고찰하였다.

II. 유역유출과 유동해석

1. 유역유출

1) HSPF 모델

유역에서 유출되는 오염물질의 부하량을 산정하기 위하여 유역모델인 HSPF(Hydrological Simulation Program-Fortran, Bicknell et al.,

2001)를 이용하였다. 1980년에 개발된 HSPF 모형은 서로 다른 기능을 가진 수문순환의 개별 모델들을 결합시킨 수량-수질 복합 유출모델로, 유역분할, 수치고도지도 및 토지이용지도를 생성하고 기상자료를 바탕으로 유역에서의 유량, 부유사, BOD, T-N, T-P 유출량 등을 모의할 수 있다. 상세한 수문 모의과정과 매개변수의 적용범위는 박재충 등(2010)에 제시하였다.

2) 보정과 모의

유역유출 모의 대상인 BOD, T-N, T-P는 영주댐의 유입 하천인 내성천과 토일천(그림 2a)에서 강우시와 비강우시에 2시간 간격으로 각각 10회씩 실측한 자료로 보정하였다. 보정에 사용한 매개변수는 HSPF에서 제시한 범위에서 시행착오법으로 결정하였다. 수질항목별 모의결과에서, BOD의 경우 내성천과 토일천의 유입 농도 변화경향은 유사하였

으며 강우시에 최대 5mg/L가 유입되었다. T-N은 초기 강우시에 최대 7mg/L까지 급격히 높아지는 경향을 보이다가 강우가 지속됨에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다. 이는 유역의 비점오염물질이 강우 초기에 집중 유입되고 쓸림현상에 의해 농도가 감소하는 것으로 판단된다(박재충 등, 2010). T-P도 T-N과 유사한 변화양상을 보였으며, 약 0.02mg/L의 기저농도를 보이다가 강우시에는 최대 0.205mg/L까지 상승하였다. 각 항목의 일별 유출농도의 모의결과는 그림 1과 같다.

2. 유동해석

1) EFDC 모델

EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code; Hamrick, 1992) 모델은 Virginia Institute of Marine Science에서 개발되어 현재는 US EPA와 Tetra Tech, Inc.에 의해 개발·관리되고 있는 3차원 유동모델이며, 수질 모델, 부유사 이동 및 독성물질 모델과 연결된 통합 버전의 모델로도 사용되고 있다. 본 모의에서는 Hydrodynamic 모듈에 대한 유동 모의 결과를 수질모델인 WASP7의 수리 입력자료로 연계하여 사용하였다.

2) 모의격자 구성

영주댐이 완공된 후 유역의 부하량 증감에 따른 저수지의 수질예측을 위하여 1:5,000 수치지도를 이용하여 담수부의 유입지점부터 방류지점까지 모의구간을 설정하였다. 본류인 내성천과 지류인 토일천이 영주댐으로 유입되는 것으로 구성하였으며, 하천 유지용수 등의 유출은 댐축지점에서 일어나는 것으로 구성하였다. Active cell은 영주댐(그림 2a)을 수평방향으로 141개의 격자로 분할한 시나리오 1(그림 2b), 568개 격자인 시나리오 2(그림 2c)로 각각 구성하고 각 cell은 상·하층으로 분리하여 유동해석을 하였다.

3) 유출·입량 산정

유출량은 표 1과 같이 '영주댐 건설사업 환경영향평가서'에서 제시한 생활·공업용수, 농업용수 및 하천

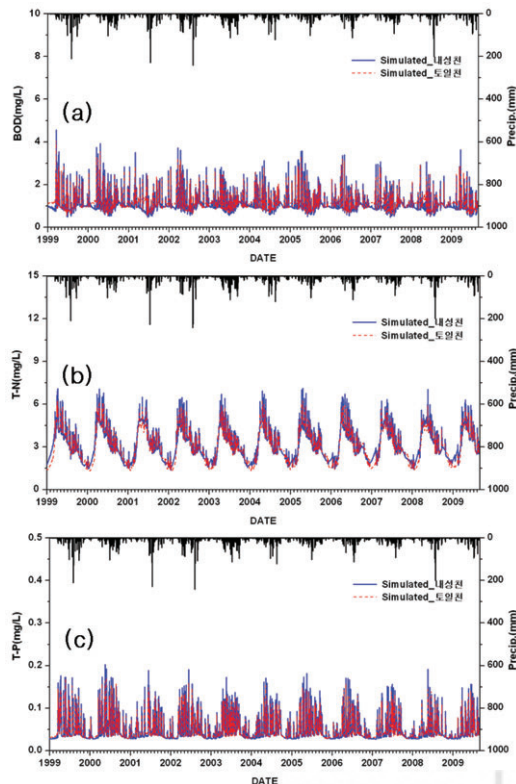


그림 1. HSPF에 의한 수질모의 결과: (a)BOD, (b)T-N, (c)T-P

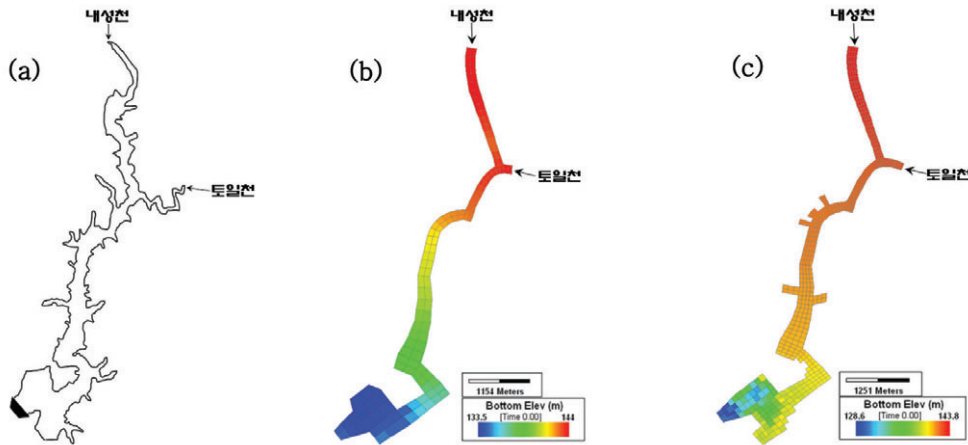


그림 2. EFDC active cell 구성: (a)영주댐, (b)시나리오 1, (c)시나리오 2

표 1. 영주댐의 월별 용수공급 계획량(m³/s)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평 균
생공용수	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
농업용수	-	-	-	0.12	0.22	0.42	0.55	0.58	0.37	0.01	0.01	-	0.19
하천유지용수	4.79	4.79	8.81	14.67	13.05	10.94	1.13	1.13	1.13	1.13	4.79	4.79	5.92

유지용수를 위한 방류량을 이용하였으며, 유입량은 HSPF의 유역유출 모의결과를 이용하였다(그림 3a). 또한, 여름철 강우로 인한 유입량 증가로 용수공급만으로는 댐의 수위가 급격히 증가할 것으로 예상되므로 홍수기인 7~9월에도 홍수기 제한수위(EL.156.7m)를 유지하는 것으로 구성하였다(그림 3b).

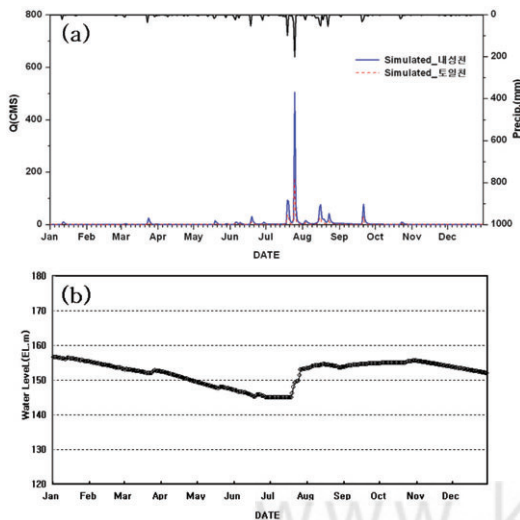


그림 3. 유입량과 수위 해석 결과: (a)유입 유량, (b)수위 해석

III. 호소 수질예측

1. WASP 모델

기존 호소의 수질모의에 다수 사용되었던 DOS 기반의 WASP5 모델은 유동 해석시 1차원 유동 모델인 DYNHYD와 연계되어 사용될 수 있었다. 그러나, 1차원으로 유동 해석된 결과를 수심이 깊은 호소의 유동모의에 적용하기에는 한계가 있어 별도의 유동 해석 프로그램과 연계하여 사용할 수 있도록 윈도우 기반 프로그램인 WASP6를 미국 EPA에서 개발하였으며, 2008년에는 WASP7.3으로 발전시켜 사용하고 있다. 수질모의를 위한 영향예측시 3차원 수리 해석이 가능한 유동 모델인 EFDC 모델을 이용하여 유동 해석을 실시하였으며, 유동 해석 결과는 부영양화 모의가 가능한 WASP7.3과 연계하여 댐 건설 후 저수지 내의 수질변화를 모의하였다.

WASP 모델은 부영양화를 모의할 수 있는 EUTRO 모듈과 독성물질에 대한 모의가 가능한 TOXI 모듈로 구분할 수 있다. WASP5의 EUTRO 모듈에서는 총 8개의 수질 항목(NH₃-N, NO₃-N,

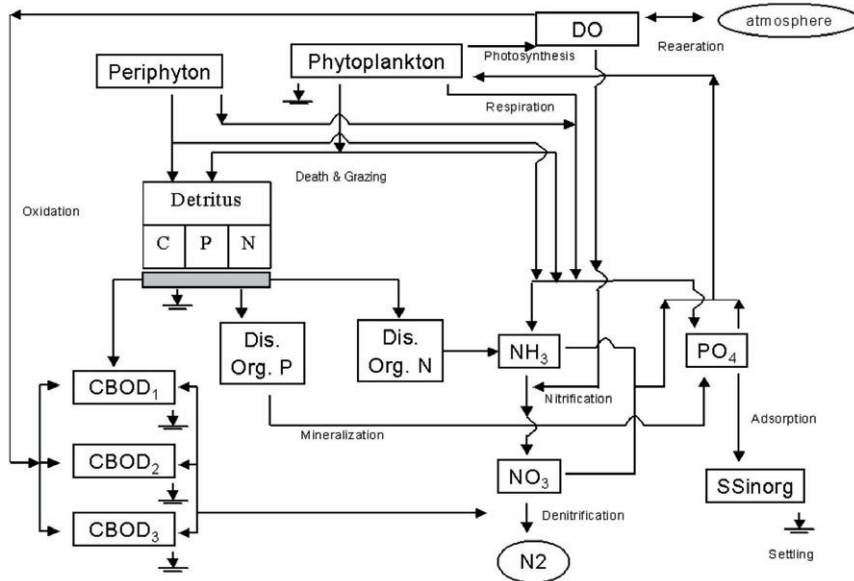


그림 4. WASP7.3(EUTRO) 모델 내 수질항목 반응도(US EPA)

PO₄-P, DO, CBOD, Chl-a, O-N, O-P)에 대한 모의가 가능하였으나, WASP7.3의 EUTRO 모듈에서는 모의항목이 추가되어 CBOD의 경우 분해속도에 따라 3가지 종류로 구분하여 모의가 가능하다(그림 4). 본 연구에서는 댐 저수지 수질관리에 직접 활용되고 있는 CBOD, T-N, T-P, Chl-a 등 4개 항목에 대한 모의결과를 제시하였다.

2. 경계조건

수질모의를 위한 경계농도는 강우에 의한 비점오염원 유입특성이 고려된 연 중 수질변화를 모의하기 위하여 강우의 영향이 고려되어 출력된 HSPF 결과를 이용하였다. 유역모델(HSPF)의 모의결과는 일별 수질농도로 출력되어 영주댐의 수질모의시 강우에 의한 오염부하량 증가를 고려하였다. 입력된 월 평균 농도는 내성천의 경우 BOD 0.494mg/L~3.068mg/L, T-N 1.426mg/L~7.032mg/L, T-P 0.027mg/L~0.191mg/L의 범위이고, 토일천의 경우 BOD 0.547mg/L~2.948mg/L, T-N 1.383mg/L~5.910mg/L, T-P 0.028mg/L~0.144mg/L의 범위로 나타났다(그림 5).

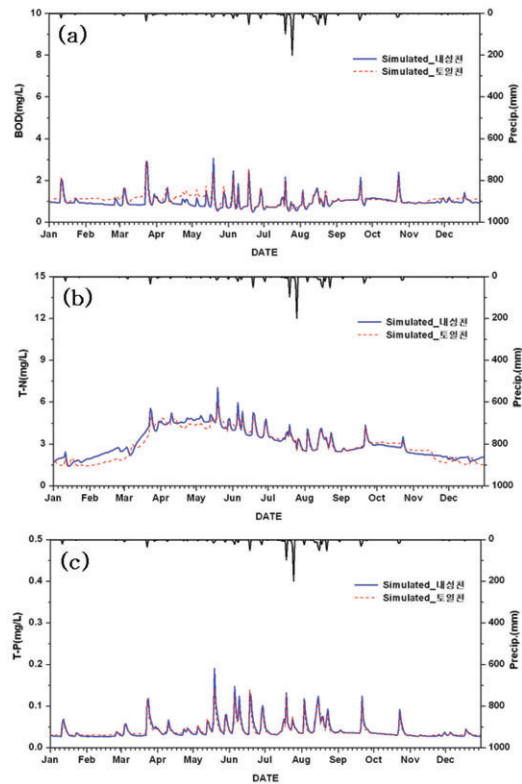


그림 5. 일별 수질 입력농도: (a)BOD, (b)T-N, (c)T-P

3. 반응계수

영주다목적댐과 같이 건설 예정인 댐의 경우는 댐 건설 후 호소 내 수질변화를 대표할 수 있는 매개변수를 산정하는 데에는 어려움이 있다. 일반적으로, 운영 중인 호소에 대해서는 모델의 입력자료로서 현재의 유입수질 등의 경계조건을 적용하고 동일한 시간대의 호소 내 수질을 고려하여 모델을 보정한 후 장래 수질변화를 예측한다. 이 때 모델의 보정단계에서 호소 내 자정작용 및 각 호소의 유역 상황 등이 고려된 매개변수를 산정할 수 있다. 국내 실정상 보편화되어 있는 월별 측정자료를 적용하였을 때 정확히 현재 호소의 상황을 재현할 수는 없지만 장래의 수질변화 예측시 현재와 비교하여 대략

적인 상대비교를 함에 있어서는 큰 무리가 없어 대부분 이와 같은 방법을 사용하고 있다.

따라서, 유역의 상황이 유사한 운영 중에 있는 댐의 매개변수를 고려하여 영주댐 건설 후의 수질변화를 예측하고자 하였으나, 이 매개변수도 정확히 영주댐의 유역 상황, 호소의 형상 및 자정 능력 등을 반영하지는 못하며, 일부 그 댐만이 가지고 있는 특성을 반영한 것이기 때문에 영주댐 수질예측에 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 그러나 우리나라 호소에서 일반적으로 사용되는 매개변수를 비교한 결과 조류사멸율과 같이 각 댐에 따라 상이한 값도 있지만 대부분의 매개변수들은 유사한 것으로 조사되어, 국내에 기 적용한 각 매개변수의

표 2. 영주댐 수질보정에 적용한 매개변수

항 목	상수 번호	정의 및 단위	WASP5의 적용범위 ^a	EPA의 적용범위 ^b	국내 적용범위 ^c	영주댐
NH ₃ -N	11	20℃에서의 질화 반응율(day ⁻¹)	0.09~0.13	0.025~0.16	0.13~0.6	0.29
	12	상수 11의 온도보정계수	1.08	1.02~1.08	1.08	1.08
	13	질화 반응시 반포화용존산소농도(mgO ₂ /L)	0.5(mgN/L)	-	2.00	1.52
NO ₃ -N	21	20℃에서의 탈질화 반응율(day ⁻¹)	0.09	0.002~1.0	0.01~0.04	0.025
	22	상수 21의 온도보정계수	1.08	1.02~1.09	1.08	1.08
	23	탈질화반응시 반포화 용존산소농도(mgO ₂ /L)	0.5(mgN/L)	-	0.10~2.0	1.05
Phyto-plank-ton	41	Phytoplankton 최대성장률(day ⁻¹)	2.0	0.2~8.0	2.0~2.5	2.1
	42	상수 41의 온도보정계수	1.0	1.0	1.068	1.068
	46	조류 내의 탄소와 Chlorophyll의 비율(mgC/mgChl-a)	30	10~100	30~150	82.5
	48	조류 성장시 질소 반포화 상수(mg/L)	0.025	0.01~0.4	0.025~0.05	0.0275
	49	조류 성장시 인 반포화 상수(mg/L)	0.001	0.0005~0.08	0.001~0.05	0.0166
	52	조류 사멸률 (day ⁻¹)	0.02	0.003~0.17	0.02~0.15	0.07
	57	조류 내의 인과 탄소의 비율(mgP/mgC)	0.025	0.024~0.24	0.01~0.03	0.023
CBOD	71	20℃에서 CBOD에 의한 산소제거율(day ⁻¹)	0.16~0.21	0.01~4.24	0.001~0.01	0.0082
	72	상수 71의 온도보정계수	1.047	1.02~1.15	1.047	1.047
O ₂	81	조류 내의 산소와 탄소의 비	[2.67]	1.4~2.67	2.67	2.67
	82	20℃ 수체 내의 재포기상수	-	-	5.0	4
	83	상수 82의 온도보정계수	-	-	1.024	1.028
Org.-N	91	용존 유기질소의 무기화율(day ⁻¹)	0.075	0.001~0.4	0.01~0.4	0.1875
	92	상수 91의 온도보정계수	1.0	1.02	1.08	1.08
	93	20℃ 저니층에서 유기 질소의 분해 반응율(day ⁻¹)	0.0004	0.0004~1.8	0.0004	0.0004
	94	상수 93의 온도보정계수	1.08	1.02~1.14	1.08	1.08
Org.-P	100	용존 유기성 인의 무기화율(day ⁻¹)	0.22	0.003~0.8	0.22	0.22
	101	상수 100의 온도보정계수	[1.0]	1.08	1.08	1.08

^aUS EPA, 1993; ^bBowie, G. L. et al., 1985; ^c곽대홍, 2001; 김선주, 2003; 서동일과 이은형, 2002; 한국수자원공사, 2007

평균값을 사용하여 영주댐 건설 후의 수질변화를 예측하였다(표 2). 또한, 유역의 비점오염원 유출특성을 반영하기 위하여 영주댐 유역에서 강우에 의해 유출되는 비점오염원에 대해서는 유역모델(HSPF)을 이용하여 해석하고, 그 결과를 WASP7.3과 연계하여 예측하였다.

IV. 연구결과 및 결론

건설 예정인 영주댐을 대상으로 HSPF 모형을 이용하여 유역유출을 모의하고 EFDC로 저수지 유동을 모의한 결과를 WASP에 연동시켜 건설 후의 저수지 수질을 예측하였다. 유동모의를 위한 EFDC의 격자수 변화가 WASP에 의한 수질모의 결과에 반영되는 정도를 검토하고자 다른 조건들은 동일하게 적용하면서 EFDC의 active cell 개수가 141개와 568개인 시나리오 1, 시나리오 2로 각각 수행하였다. 시나리오 1에서 BOD, T-N, T-P 및 Chl-a의 연 평균 농도는 각각 0.861mg/L, 1.249mg/L, 0.044mg/L 및 15.347µg/L이었다. 시나리오 2(568개 cell)에서는 각각 0.788mg/L, 1.217mg/L, 0.041mg/L 및 14.703µg/L로 모의되었다. 두 시나리오의 연 평균 농도 차이는 각각 0.073mg/L(8.5%), 0.032mg/L(2.6%), 0.003mg/L(6.8%)

및 0.644µg/L(4.2%)로 BOD와 T-P가 상대적으로 컸으며, 모든 항목이 4배로 격자수를 증가시킨 시나리오 2에서 감소하는 것으로 나타났다(표 3, 그림 6). 시나리오 2는 모든 항목이 5~6월에 최대로 감소하였으며, T-N과 Chl-a는 8월부터 시나리오 2에서 증가하는 유사한 경향을 보였다(표 3, 그림 7).

시나리오 1(x axis)과 시나리오 2(y axis)의 상관성 비교에서 R²는 0.91~0.98의 범위로 높았으며, BOD가 낮고 T-N이 상대적으로 높았다(그림 6). 두 시나리오에 대한 선형회귀분석의 기울기는 모든 항목에서 1 미만으로 나타나 표 3과 같이 시나리오 2의 낮은 예측결과를 반영하였다. BOD, T-N, T-P 및 Chl-a의 기울기는 각각 0.62, 0.98, 0.93 및 0.96 으로서 BOD가 상대적으로 낮았으나 다른 항목은 1에 근접하는 결과를 보였다. 호소 수질모의를 위한 수리모형의 격자수 증감에 따른 모의 결과는 평균 95%의 유사도를 보이고, 격자수를 증가시키면 다른 항목에 비해 BOD는 상대적으로 낮게 모의되지만 T-N, T-P 및 Chl-a는 유의한 차이가 없었다.

국내 호소를 대상으로 한 수질모의에서 대부분의 연구자들은 100개 미만의 격자를 사용하고 있다. 이종호(1999)는 WASP5를 이용하여 대청호를 14개의 segment로 구획·모의하였고, 정팔진 등(2004)은 WASP5/WASP Builder를 이용하여 소

표 3. 시나리오별 수질모의 결과

구 분	BOD(mg/L)			T-N(mg/L)			T-P(mg/L)			Chl-a(µg/L)		
	시나리오1	시나리오2	증감(%)	시나리오1	시나리오2	증감(%)	시나리오1	시나리오2	증감(%)	시나리오1	시나리오2	증감(%)
1월	0.771	0.771	0.0	0.578	0.576	-0.3	0.030	0.029	-2.0	4.326	4.462	3.1
2월	0.723	0.724	0.0	0.469	0.456	-2.8	0.028	0.027	-5.9	2.974	3.270	9.9
3월	0.710	0.694	-2.3	0.431	0.385	-10.6	0.028	0.025	-10.9	4.044	3.948	-2.4
4월	0.817	0.754	-7.7	0.676	0.606	-10.4	0.031	0.027	-15.3	10.224	9.039	-11.6
5월	0.878	0.784	-10.6	0.727	0.636	-12.6	0.031	0.025	-17.8	13.252	11.091	-16.3
6월	1.075	0.908	-15.5	2.057	1.726	-16.1	0.053	0.040	-23.5	25.197	19.752	-21.6
7월	1.062	0.943	-11.3	2.735	2.701	-1.3	0.069	0.063	-8.4	30.843	29.173	-5.4
8월	0.836	0.740	-11.4	2.409	2.480	2.9	0.061	0.062	1.0	25.250	26.341	4.3
9월	0.874	0.782	-10.5	1.937	1.987	2.6	0.058	0.058	-0.2	24.199	24.914	3.0
10월	0.898	0.807	-10.2	1.419	1.427	0.6	0.051	0.050	-2.0	20.814	21.036	1.1
11월	0.865	0.789	-8.8	0.946	0.974	2.9	0.044	0.043	-3.2	14.005	14.237	1.6
12월	0.817	0.756	-7.4	0.601	0.649	8.0	0.039	0.037	-4.8	9.038	9.179	1.6
연평균	0.861	0.788	-8.5	1.249	1.217	-2.6	0.044	0.041	-6.8	15.347	14.703	-4.2

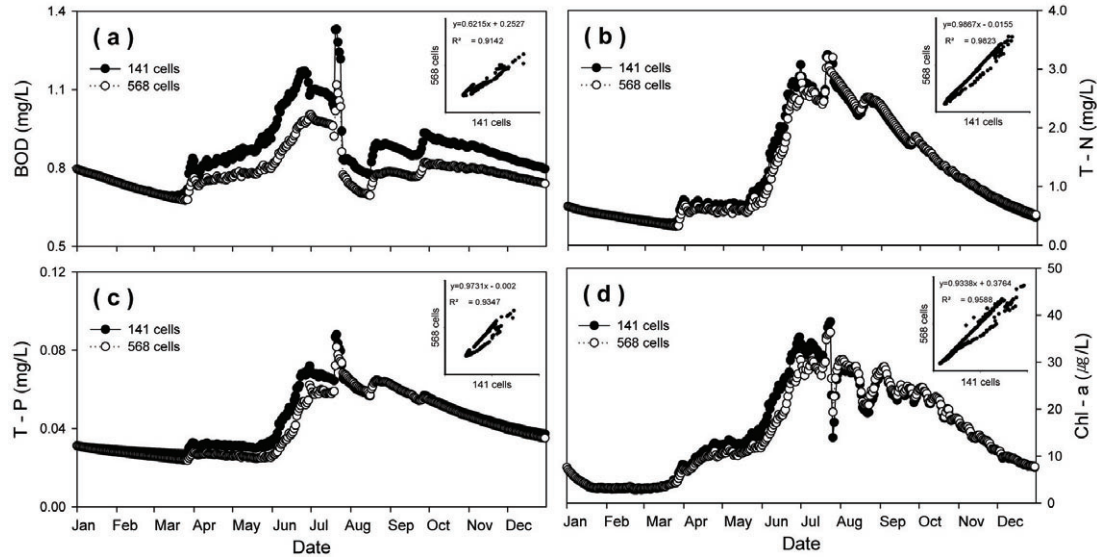


그림 6. 시나리오(격자수)별 수질변화: (a)BOD, (b)T-N, (c)T-P, (d)Chl-a

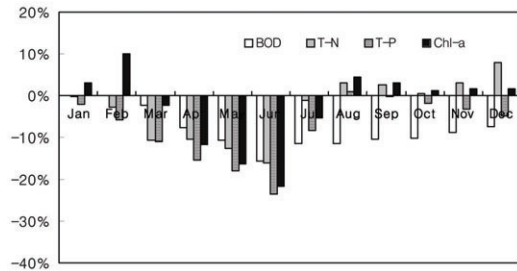


그림 7. 시나리오 2/시나리오 1의 항목별 모의결과 증감

규모 농업용 저수지를 4개로 구획하여 수질을 모의하였다. 또한, 안승섭 등(2008)은 WASP7을 이용하여 임하호를 24개의 격자로 구획하였고, 장인수 등(2009)은 충주댐 조정지호를 15개로 구획하여 수질을 예측하였다. 또한, 이용성 등(2008)은 광동댐을 67개, 권기환 등(2008)은 대청댐(저수면적 72.8km²)을 수평방향으로 301개의 격자로 각각 구획하여 EFDC와 WASP를 연계하여 수리-수질을 모의하였다.

댐 환경영향평가에서 호소 수질을 모의하는 것은 장래의 수질예측을 통해 댐의 건설목적에 부합되도록 수질관리 방안을 모색하는데 그 목적이 있다. 사업자는 예측 수질을 기초로 유역의 오염부하량 삭감 방안을 강구·제시하거나 호소 내 수질개선을 위한

사업의 종류와 규모를 결정하게 된다. 본 연구에서와 같이 저수지 유동모의를 위한 EFDC의 격자수 증가가 WASP에 의한 수질모의 농도를 감소시키는 결과를 가져올 때 수질개선 방안 수립에 바람직한 결과로 이어진다고 볼 수 없다. 또한, 수리모형의 격자수 증가는 그림 2와 같이 실제 저수지의 형상을 유사하게 표현할 수 있으나, 출력자료 확인을 위한 모델의 계산시간을 증가시켜 모델의 보정, 검증 및 반응계수 선정에 시간적 제약사항으로 작용하게 된다.

환경영향평가 단계에서 WASP를 이용한 수질모의는 반응계수에 대한 보정과정이 없이 타 적용사례를 이용하여 예측한 후 유출·입량, 유역의 오염원 변화 등의 조건을 적용하여 저수지의 수질변화를 예측하는 과정이며, 수질모의시 입력된 반응계수의 적정성은 댐 건설이 완료된 운영단계에서 검증이 가능하다. 따라서, 건설 예정인 댐의 환경영향평가에서 수행되는 수질모의 과정에서는 단순한 수평 격자수의 증감보다는 수체의 기하학적 구조와 오염부하량, 유출 위치, 유량 증감, 저감방안 등 다양한 시나리오 하에서 수질변화를 예측하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

사 사

논문의 내용과 체제를 세심하게 검토하여 주신 심사위원님들께 감사드립니다.

참고문헌

- 곽대홍, 2001, WASP5모형을 이용한 탐진댐의 수질예측, 전남대학교 석사학위 논문, 39.
- 권기환, 서동일, 윤진호, 주명호, EFDC와 WASP를 이용한 대청호 수리-수질 연계 모델링, 한국물환경학회 2008 추계학술발표회 논문집, 29-30.
- 김선주, 2003, WASP5를 이용한 용담호 수질모델링, 충남대학교 석사학위 논문, 68-69.
- 김윤희, 김범철, 최광순, 서동일, 2001, 2차원 수리수질모델(CE-QUAL-W2)을 이용한 소양호 수온 성층현상과 홍수기 밀도류 이동현상의 모델링, 상하수도학회지, 15(1), 40-49.
- 박재충, 최재훈, 송영일, 유경미, 강보승, 송상진, 2010, 건설 예정인 댐에서 유역유출과 취수 형태에 따른 탁수의 거동 예측, 환경영향평가, 19(3), 247-257.
- 서동일, 이은형, 2002, 용담댐의 영향분석을 위한 대청호 수질모델링, 한국수자원학회지, 35(6), 737-751.
- 안승섭, 서명준, 정도준, 박노삼, 2008, WASP7 모형을 이용한 임하호 수질모의에 관한 연구, 한국환경과학회지, 17(6), 611-621.
- 이용성, 서동일, 박명준, EFDC와 WASP를 이용한 광동댐의 수리·수질 연계 모델링, 한국물환경학회 2008 추계학술발표회 논문집, 71-72.
- 이종호, 1999, WASP5에 의한 대청호 수질모델링, 환경영향평가, 8(1), 93-105.
- 장인수, 박기범, 이원호, 김지학, 2009, WASP 모형에 의한 충주댐 조정지호의 수질예측, 한국환경과학회지, 18(6), 683-690.
- 정선아, 2003, 연직 2차원 모델을 이용한 댐 재개발이 수리 및 수질에 미치는 영향 분석, 이화여자대학교 대학원 석사학위 논문, 75.
- 정팔진, 고흥석, 현미희, 이은주, 2004, WASP5 & WASP Builder를 이용한 농업용저수지 유역의 수질관리, 한국물환경학회지, 20(5), 422-431.
- 한건연, 백창현, 2004, GIS를 이용한 저수지의 수질관리시스템 구축, 한국GIS학회, 12(1), 13-27.
- 한국수자원공사, 2007, 사연·대곡댐 수질개선대책 기본계획 수립 보고서, 744-745.
- 한국수자원공사, 2009, 영주다목적댐 건설사업 환경영향평가서, 1435.
- 환경부, 2008, 환경영향평가법(전부개정 2008.3.28, 법률 제9037호).
- Bicknell, B. R., Imhoff, J. C., Kittle, J. L. Jr., Jobes, T. H. and Donigan, A. S. Jr., 2001, Hydrologic Simulation Program-Fortran(HSPF) User's Manual for Version 12, U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, GA.
- George L. Bowie, William B. Mills, Donald B. Porcella, Carrie L. Campbell, James R. Pagenkopf, Gretchen L. Rupp, Kay M. Johnson, Peter W.H. Chan, Steven A. Gherini, 1985, Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling, EPA/600/3-85/040.
- US EPA, 1993, The Water Quality Analysis simulation Program, WASP5.