

연구논문

## 건설 예정인 댐에서 유역유출과 취수형태에 따른 탁수의 거동 예측

박재충\* · 최재훈\*\* · 송영일\*\*\* · 유경미\*\* · 강보승\* · 송상진\*

K-water 수자원사업처\*, (주)엠큐빅\*\*, 한국환경정책·평가연구원 환경평가검토센터\*\*\*  
(2010년 3월 31일 접수, 2010년 5월 27일 승인)

### Simulation of Turbid Water According to Watershed Runoff and Withdrawal Type in a Constructing Reservoir

Jae-Chung Park\* · Jae-Hun Choi\*\* · Young-Il Song\*\*\* ·  
Kyung-Mi Yu\*\* · Bo-Seung Kang\* · Sang-Jin Song\*

Water Resources Business Dept., K-water, Daejeon, Korea\*, M-Cubic Co., Daejeon, Korea\*\*  
Environmental Appraisal Center, Korea Environmental Institute(KEI), Seoul, Korea\*\*\*

(Manuscript received 31 March 2010; accepted 27 May 2010)

### Abstract

Watershed runoff and turbid water dynamics were simulated in the Youngju Dam, being constructed. The runoff flow and suspended solids were simulated and then thermal stratification and turbid water current in the reservoir were predicted by HSPF and CE-QUAL-W2 model, respectively. Considering selective withdrawal, we hypothesized 3 withdrawal types from the dam, i.e. surface layer, middle layer and the lowest layer. The maximum concentration of SS was 400mg/L in reservoir and it was decreased by the withdrawal. The inflowed turbid water fell to 30 NTU after 12 days regardless of the withdrawal types, but the surface layer withdrawal was a better type at turbid water discharge than the others. In current environmental impact assessment(EIA), we concluded that runoff and reservoir water quality predicted by HSPF and CE-QUAL-W2 was desirable, and appropriate parameters were selected by continuous monitoring after EIA.

Keywords : Environmental Impact Assessment(EIA), Simulation, Turbid water, Withdrawal type, Youngju Dam

## 1. 서론

현행 환경영향평가법에서는 환경영향평가 대상 사업의 종류와 규모를 정하고 그 사업의 시행이 환경에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 해로운 환경영향을 피하거나 줄일 수 있는 방안을 강구하도록 하고 있다. 환경영향평가를 실시하여야 하는 대상사업을 도시 개발, 산업단지 조성, 도로 건설, 수자원 개발 등 18개 분야의 개발·건설사업 별로 구분하고, 대상사업 시행으로 영향을 받게 될 대기환경, 수환경, 토지환경, 자연생태환경, 생활환경 및 사회·경제 분야 등 6개 분야, 총 21개 항목에 대한 영향을 검토하도록 규정하고 있다. 이 중에서 '수자원의 개발사업'은 「댐건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률」, 「하천법」 및 「농어촌정비법」 등 각각의 개별법에서 정하는 만수면적 200만 $m^2$  이상이거나 총 저수용량 2천만 $m^3$  이상인 댐, 하구언 및 저수지·보 등의 설치사업인 경우에는 환경영향평가를 하여야 한다(환경부, 2008).

국내 댐에 대한 환경영향평가는 경상북도 청송군에 소재하는 성덕다목적댐 재개발사업(저수용량 27.9백만 $m^3$ )을 2004년 10월에 협의 완료한 이후 2009년 12월에 건설공사를 착공한 영주다목적댐(저수용량 181백만 $m^3$ )이 가장 최근에 환경부와 협의를 완료하였다. 영주다목적댐은 우리나라 최초로 댐 하류 하천의 수질개선 용수공급을 주요 목적으로 하고 있으며, 그 비율은 공급량의 약 92%에 달한다. 하류 하천으로 수질개선 용수를 공급하기 위해서는 댐 내에 양질의 원수를 확보하고 하천 유향에 따라 필요량을 배분하여 공급하는 체계가 마련되어야 할 것이다. K-water(한국수자원공사)에서 실시한 영주댐 환경영향평가에서는 호소의 수질보전을 위해 유역의 점·비점오염원 관리대책, 휴·폐광산으로 인한 수질오염 방지대책과 습지조성, 수중폭기장치 설치 등 호소 내의 수질개선 방안을 제시하고 있다(한국수자원공사, 2009).

일반적으로, 호소 수질은 유역에서의 인간활동과 하천의 흐름특성이 댐으로 인해 정체되면서 유입되는 하천의 수질과는 차이를 보인다. 유역에서의 오

염물질 유출모의는 SWAT, HSPF, EFDC 등을, 호소 내에서의 수질 예측은 WASP, CE-QUAL-W2, WQRRS 등의 모델링기법을 이용한다. 기존의 연구에서 유역 유출은 미계측 지역의 비점오염원 추정을 위해 개발한 SWAT이나 도시 및 농촌 산지에 모두 적합한 혼합모형인 HSPF를 주로 사용하였다(박윤식 등, 2007; 정은성 등, 2007). 호소의 수질변화, 부영양화 현상의 모의에는 3차원 모델인 WASP를 주로 사용하였고(김만식과 한제석, 1999; 서동일 등, 2001), 호소 내의 수온분포 해석, 탁수의 영향예측에는 CE-QUAL-W2를 주로 사용하였다(김윤희 등, 2001; 정세웅, 2004). WASP 모델의 수리해석 모듈인 HYNHYD는 성층현상과 홍수 유입에 따른 밀도류 등 복잡한 수리현상을 잘 반영하지 못하는 반면, CE-QUAL-W2는 수체의 길이방향과 수심방향의 구배가 존재한다고 가정하는 연직 2차원 모델로서 우리나라 산악지형에 조성된 폭이 좁고 수심이 깊은 수지형 호소의 수온성층, 전도현상, 탁수를 모의하는데 적합한 것으로 알려져 있다(이상욱 등, 2007; 정세웅 등, 2007).

임하댐, 대청댐, 소양강댐 등 현재 운영 중인 댐에 대한 수질모의는 실측자료를 바탕으로 보정·검증 과정을 거쳐 해당 댐에 가장 적합한 매개변수를 결정하지만, 영주댐처럼 건설 중인 댐에서는 유역상황이 유사한 타 댐이나 일반적으로 사용되는 매개변수를 적용하여 수질변화를 예측하고 있다. 실측자료의 부족으로 충분한 검·보정과정을 수행할 수 없기 때문에 모델에 사용한 매개변수가 모의 대상 댐의 유역상황, 호소형상 및 자정능력 등 그 댐만이 가지고 있는 특성을 정확히 반영하는 데에는 한계가 있다. 본 연구는 건설 예정인 영주댐을 대상으로 환경영향평가 단계에서 활용 가능한 매개변수를 사용하여 유역 유출에 의한 탁수발생 정도를 예측하고 취수형태(방류구 위치)에 따른 탁수의 거동 및 배제효과를 비교·제시함으로써 수자원 개발사업의 환경영향평가에서 수행하여야 할 탁수모의에 대한 검토방안을 제시하고자 한다. 또한, 환경영향평가에서 예측한 결과를 건설 후 운영단계에서 비교·검토할 수 있도록

기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상지 개황

영주댐은 2009년 12월에 착공하여 2014년에 준공 예정인 댐으로, 낙동강 합류점에서 56km 상류인 내성천 중류지점에 위치한다. 영주댐은 하루 하천의 수질개선 용수공급을 주요 목적으로 하면서 홍수조절과 생·공용수 공급, 수력발전을 위한 다목적댐이다. 유역면적은 500km<sup>2</sup>이며, 총 저수용량 181백만m<sup>3</sup>, 저수면적 10.46km<sup>2</sup>, 저수지 길이는 21km이고 최대 수심은 43m이다(표 1). 댐 저수지로 직접 유입되는 하천은 토일천과 내성천이며, 가계천, 낙화암천 등이 댐 상류에서 내성천과 합류되어 영주댐으로 유입된다(그림 1).

### 2. 유역 유출 분석

#### 1) HSPF 모델 개요

강우로 유역에서 유출되는 비점오염원의 유출특성을 반영하기 위하여 유역모델인 HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran, Bicknell *et al.*, 2001)를 이용하여 해석하였다. 1980년에 개발된 HSPF 모형은 서로 다른 기능을 가진 수문순환의 개별 모델들을 결합시킨 수량-수질 복합 유출모델로, 강우-유출 연속 모의모델인 HSP, 수질모의를 위한 ARM, NPS, SERATRA를 결합시켜 새로운 모의체계를 갖추고 있다. HSPF는 도시지역과 비도시지역 모두에 적합한 모델로서 도시지역의 유출은 build-up/wash-off 모델을 사용하였고, 비도시지역의 투수지역(pervious land)은 경험식과 토사침식 기작을 상세히 묘사한다. 또한 이 모델은 영양물질 변화와 이동의 복잡한 거동을 고려하여 모의할 수 있으며, 투수지역에서의 수문-수질을 모의하는 PERLND 모듈, 불투수지역(impervious land)의 수문-수질을 모의하는 IMPLND 모듈, 수체 내의 수리-수질을 모의하는 RCHRES 모듈로 나누어져 있다.

표 1. 영주댐 현황

구분	단위	규모	
유역	유역면적	km <sup>2</sup>	500
	평균강우량	mm/년	1,137
저수지	계획홍수위	EL.m	164.0
	상시만수위	EL.m	163.0
	저수위	EL.m	135.0
	저수용량	백만m <sup>3</sup>	181.1
	저수면적	km <sup>2</sup>	10.46
사업효과	용수공급	백만m <sup>3</sup> /년	203.3
	- 생공용수	백만m <sup>3</sup> /년	10.7
	- 농업용수	백만m <sup>3</sup> /년	6.0
	- 하천유지용수	백만m <sup>3</sup> /년	186.6
	홍수조절		
	- 계획홍수량	m <sup>3</sup> /s	2,317
- 계획방류량	m <sup>3</sup> /s	713	
수력발전	시설용량	kW/기	2,500×2
	발전량	GWh/년	16.3



그림 1. 영주댐 수계도 및 조사지점도

#### 2) 입력자료 구성(BASINS 구축)

##### (1) 유역분할-수치고도지도-토지이용지도 생성

영주댐 건설지점을 최종 말단지점으로 하여 내성천, 낙화암천, 토일천 등을 고려하여 유역을 13개의 배수구역으로 구분한 후(그림 2a) 1:25,000의 수치지도를 이용하여 수치고도지도(Digital Elevation

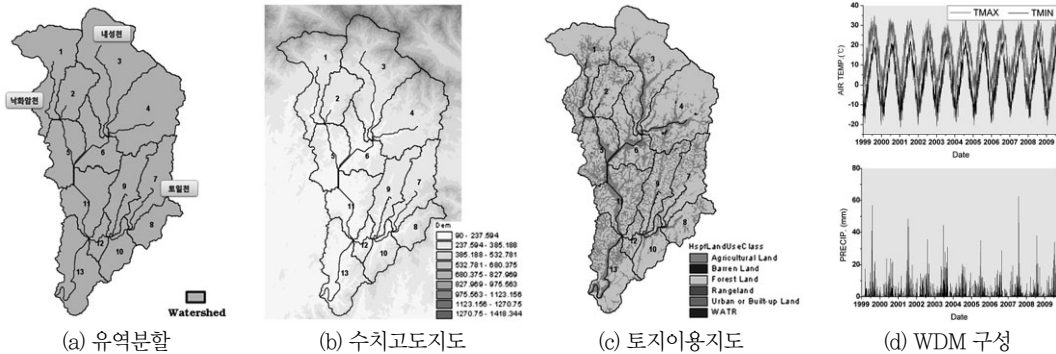


그림 2. HSPF 입력자료 구성도

Model, DEM)를 생성하였다(그림 2b). 토지이용지도는 국가수자원관리종합정보시스템(www.wamis.go.kr)에서 제공하는 자료를 사용하였으며, HSPF에서 분류되는 8개(시가화지역, 농업지역, 산림지역, 나지, 습지, 목초지, 초지, 수역)의 코드로 해당 유역을 분류하였다(그림 2c). 영주댐 유역은 500km<sup>2</sup> 중에 산림지역, 농업지역 및 시가화지역이 각각 351.86km<sup>2</sup>(70.4%), 107.06km<sup>2</sup>(21.4%) 및 1.26km<sup>2</sup>(0.2%)로서 전형적인 농촌-산림지역으로 나타났다.

(2) 기상자료 구성

모델에 입력하는 기상자료(Watershed Data in Management, WDM)는 영주댐 인근에 위치한 영주기상관측소의 자료를 사용하였고 결측된 자료는 안동기상대 자료로 구성하였다. 입력자료는 1999년 1월 1일부터 2009년 8월 31일까지의 시간별 기온, 강수량, 이슬점온도, 풍속, 운량, 일사량, 증발량 등 7개 항목이다(그림 2d).

3) 모델 보정

BASINS에서 DEM으로 유역을 분할하고 토지이용도를 중첩시켜 해당 유역의 속성을 부여한 후 WINHSPF으로 연동하여 1999년 1월 1일부터 2009년 8월 31일까지의 유량, SS를 모의하였다. 보정에 사용한 자료는 2009년 8월에 그림 1의 낙화암천(RW-1), 내성천(RW-2) 및 토일천(RW-3)에서 각각 실측하였다. 유량-수질은 강우시와 비강우시에 3개 지점에서 각각 2시간 간격으로 총 10회씩 측정된 유량과 SS를 사용하였다. 수문과 부유사 예측에 사용한 매개변수는 표 2와 같고 보정결과는 그림 3과 같다.

3. 호소 내 탁수 모의

1) CE-QUAL-W2 모델 개요

CE-QUAL-W2 모델은 2차원의 횡방향 평균화 수리·수질 모델이기 때문에 폭 방향의 수질이 균일하다고 가정하므로 상대적으로 길이 및 수심방향

표 2. 수문 및 부유사 보정 매개변수

수 문			부 유 사		
구 분	범 위	적 용	구 분	범 위	적 용
토양하부 저류능(in)	0.01~100	6	토양 이탄식 계수	0~	0.2
토양 침투능(in/hr)	0.0001~100	0.16	토양 이탄식 지수	-	2
지표유출면 길이(ft)	1~	150	토사저류능 감소분율(day <sup>-1</sup> )	0~1	0.002~0.01
지하수 유출인자(in <sup>-1</sup> )	0~	1	토사유실식 계수	0~	0.1~0.9
지하수 변환율(day <sup>-1</sup> )	0.001~0.999	0.99	토사유실식 지수	-	2
토양 상부 저류능(in)	0.01~10	2	토양세굴식 계수	0~	0.005
복류수 유입 변수	0~	0.75	토양세굴식 지수	-	1

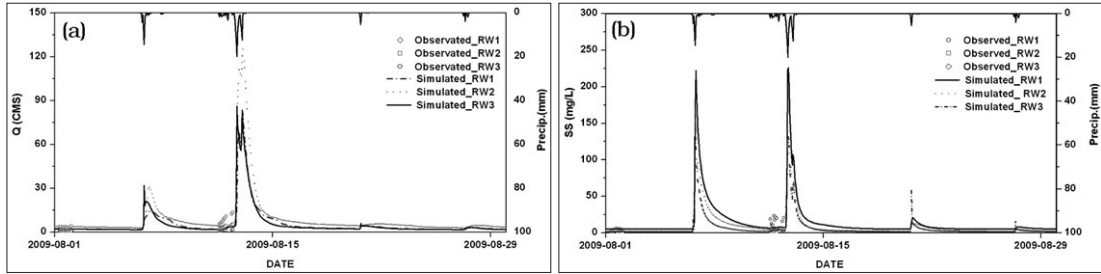


그림 3. 수문 및 SS 보정결과; (a)수문, (b)SS

으로 수질변화가 크고, 폭이 좁은 긴 수체에 적합하다고 할 수 있다. 미공병단(U.S Army Corps of Engineers)에서 1986년 개발한 이 모델은 지금까지 개선되어 왔다. Edinger and Buchak(1975)에 의해 개발된 원 모델은 LARM(Laterally Averaged Reservoir Model)으로 알려져 있으며, 지류가 없는 저수지에 최초로 적용되었다. 이후 여러 지류와 하구 경계조건이 허용되도록 추가하여 발전된 GLVHT(Generalized Longitudinal-Vertical Hydrodynamic and Transport Model)가 개발되었고 미공병단 WES(Waterways Experiment Station)에 의해 수질 알고리즘이 추가되어 Version 1.0(1986)이 개발되어 2009년에는 Version 3.6까지 개발되었다. CE-QUAL-W2의 해를 구하는 식은 기본식과 보조식으로 구성되어 있다. 방정식은 크게 운동방정식, 연속방정식, 이류 확산방정식, 수표면 고도방정식, 수압방정식, 상태 방정식 등 6개의 기본식으로 이루어져 있으며, 6개의 미지수(자유수표고( $\eta$ ), 압력(P), 횡방향 유속(U), 종방향 유속(W), 구성성분 농도( $\phi$ ), 밀도( $\rho$ ))에 대한 6개의 방정식의 해는 기본모델 구조를 형성한다. 보조식은 난류확산, 열교환, 증발, 선택적 취수에 관한 방정식 등이 포함된다(Cole and Buchak, 2003).

## 2) 입력자료 구성

모델에 필요한 입력자료는 지형 · 기상 · 유량자료 및 경계 · 초기조건 등이다. 지형자료는 1:5,000 수치지형도를 바탕으로 Auto-CAD 프로그램을 이용하여 구성하여 본류인 내성천(Branch 1)과 지류인 토일천(Branch 2)을 고려하여 흐름방향으로

500m 간격으로 소구간(segment)을 나누었다. 수심방향으로는 바닥표고를 기준으로 계획홍수위인 EL.164m까지 1m 간격으로 41개 수층(layer)으로 구분하였다(그림 4).

유량자료와 경계 · 초기조건은 유역 유출모의 시기와 동일한 2008년의 HSPF 모의결과를 사용하였다. 기상 입력자료는 이 시기의 시간별 기온, 풍향, 풍속과 3시간 간격의 이슬점온도, 운량을 사용하였다. CE-QUAL-W2 모델은 탁도를 직접 모의할 수 없으므로 HSPF에서 모의된 SS 농도를 1:1로 적용하였다. 방류량은 유입되는 유량이 그대로 방류되는 것으로 가정하였고, 유입수의 수온은 비슷한 위도상에 위치하는 인근 임하댐의 유입수 수온자료를 이용하였다. 본 연구에 사용한 수리 매개변수는 Cole and Buchak(2003)에 의해 제시된 값이며(표 3), 이 계수들은 국내의 여러 댐 모의에 적용되어 수온성층을 잘 재현하는 것으로 보고된 바 있다(이상욱 등, 2007; 정세웅 등, 2007).



그림 4. CE-QUAL-W2 모델의 격자 구성도

표 3. 영주댐 탁수 모의에 적용한 매개변수

Coefficient	Default <sup>a</sup>	임하댐 <sup>b</sup>	대청댐 <sup>c</sup>	영주댐
Horizontal eddy viscosity(m <sup>2</sup> · sec <sup>-1</sup> )	1	1	1	1
Horizontal eddy diffusivity(m <sup>2</sup> · sec <sup>-1</sup> )	1	1	1	1
Coefficient of bottom heat exchange(W · m <sup>2</sup> · sec)	0.3	-	0.3	0.3
Wind sheltering coefficient	-	0.85	0.85	0.85
Chezy coefficient(m <sup>1/2</sup> · sec <sup>-1</sup> )	70	70	70	70
Solar radiation absorbed in surface layer	0.45	0.6	0.6	0.45
Suspended solids settling rate(m · day <sup>-1</sup> )	-	-	-	0.1

<sup>a</sup>Cole and Buchak(2003), <sup>b</sup>이상욱 등(2007), <sup>c</sup>정세웅 등(2007)

### 3) 시나리오 설정

영주댐은 하류의 냉해방지, 안개발생 감소 및 호소 내로 유입되는 토사로 인한 탁수발생 등에 유연하게 대처하기 위해 방류수를 선택적으로 취수(selective withdrawal)할 계획이다. 취수구는 5개를 설치할 예정이며, 최상부 취수구는 상시만수위(EL.163m)에서 8m 아래에, 최하부는 호소 바닥에서 14m 상부에 위치하게 된다. 본 연구에서는 최상부(EL.155m)의 취수구로 배제하는 표층취수, 중앙부(EL.145m)의 취수구로 방류하는 중층취수 및 최심부(EL.135m)의 취수구로 방류하는 저층취수로 구분하여 취수 위치별 탁수층의 거동과 지속기간을 모의하였다.

## III. 연구결과

### 1. 유역 유출량 해석

댐으로 유입되는 하천인 내성천과 토일천의 일평균 유출량을 모의한 결과는 그림 5와 같다. 1999

년 1월부터 2009년 8월까지의 수문변화는 선형 강우의 정도에 따라 침투유량이 변화하였다. 유출량은 최대 강우량일 때 최대였으며, 10년간 연 평균 최대 유출량은 2002년에 내성천, 토일천에서 각각 10.011m<sup>3</sup>/sec와 3.608m<sup>3</sup>/sec이었다. 최소는 강우량이 적었던 2005년에 각각 5.689m<sup>3</sup>/sec, 2.046m<sup>3</sup>/sec으로 모의되었다(그림 5a). 탁수 유발 및 토사 유실에 가장 민감한 암반은 퇴적암질의 지질 매질로서, 영주댐 인근의 임하호의 탁수발생의 주요 원인인 도계동층의 세일 등도 모두 퇴적암층에 속하는 것으로 조사되었다(황상구와 정기영, 2006). 영주댐에서 탁수를 유발할 수 있는 퇴적암은 토일천 최상류에 일부 산재해 있으며 전체 유역(500km<sup>2</sup>)의 0.55%에 해당되어 임하댐 유역(1,361km<sup>2</sup>)의 42.02%에 비해 1/76배(면적대비 1/208배)로 나타나 강우에 의한 탁수발생 가능성은 매우 낮은 것으로 판단된다(한국수자원공사, 2006).

강우에 의해 영주댐 유역으로부터 유출되는 부유사 농도를 HSPF로 모의한 결과, 내성천에서 최대 약 400mg/L(2000년)가 발생하는 것으로 모의되었

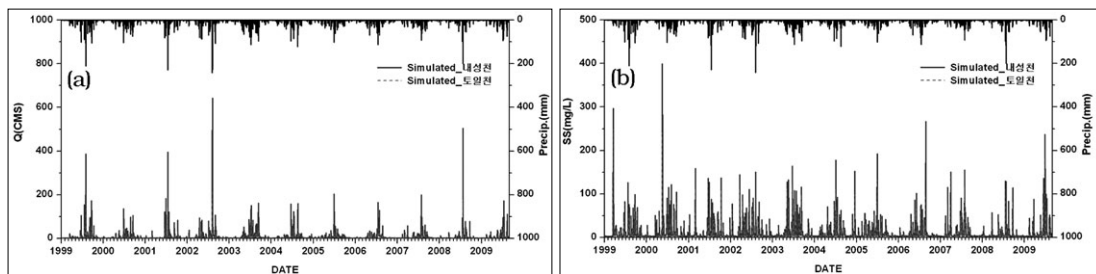


그림 5. HSPF 모의결과; (a)수문, (b)SS

다. HSPF에서 부유사 유출경향은 유량 증가 경향과 일치하지는 않았는데, 이는 선형강우로 인한 쓸림현상(first flush)에 의한 것으로 판단된다(그림 5b).

## 2. 수심별 수온분포

본 연구에서 모의한 수심별 수온분포를 표층취수를 하는 임하댐에서 2008년에 실측한 성층분포와 비교할 때 유사한 수온변화 경향을 나타내어 모의에 사용된 매개변수(표 3)는 적절한 것으로 판단된다(그림 6a, 6d).

호소 내 수체의 유동은 취수위치에 따라 변화될 수 있고 수체의 유동으로 인해 성층특성이 변화되므로, 본 연구에서는 표층부, 중층부 및 저층부에서 각각 취수하는 경우로 구분하여 수온성층을 모의하였다. 표층취수의 조건에서 4월 이후 표층과 심층의 수온차이가 10℃ 이상이었으며, 7월과 8월에는 20℃ 이상이였다. 이후 표층의 수온은 점차 낮아졌으며 수심별 수온의 변화가 급격한 수온약층은 수심 10~15m에 형성되었다(그림 6a). 중층취수 조건에

서 5월까지의 표층취수와 유사한 수온변화를 나타내고, 6월 이후 수온약층의 범위는 점차 하강하여 9월에는 수심 20~25m 구간에 형성되어 표층취수에 비해 약 10m 하강하는 결과를 보였다(그림 6b). 저층취수의 경우에 5월까지의 표층·중층취수와 유사한 수온분포를 보이다가 6월에는 중층취수와 유사하였으며, 이후 점차 하강하여 9월에는 수심 25~30m까지 수온약층이 하강하였다(그림 6c). 이러한 결과는 우리나라의 기후 특성상 6월까지의 강우량이 적으나 7월부터는 유입량 증가에 따라 방류량도 증가하므로 이 시기에 중층 또는 저층에서 취수량을 증가시키면 표층의 범위가 확대되는 것으로 판단된다.

## 3. 취수형태별 탁수 거동

유입된 탁수의 호소 내 거동은 표층취수, 중층취수 및 저층취수로 구분하여 CE-QUAL-W2로 모의하였다. 유역에서 유출되는 유량과 SS 농도는 HSPF 모델에서 예측한 모의값을 적용하였으나, 탁

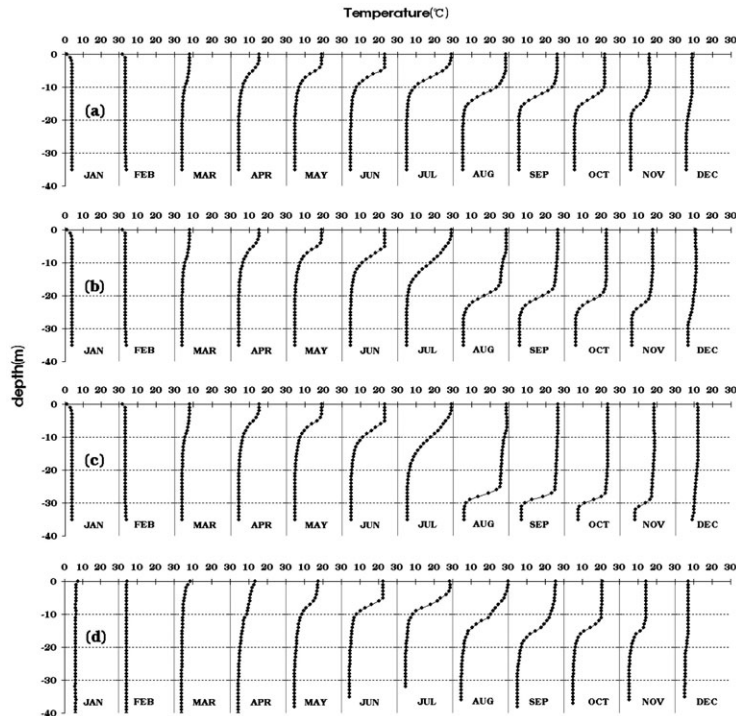


그림 6. 취수형태에 따른 월별, 수심별 수온분포: (a) 표층취수, (b) 중층취수, (c) 저층취수, (d) 임하댐(표층취수)

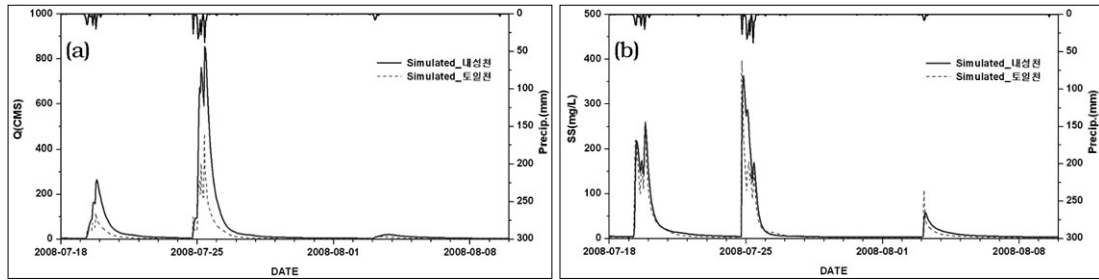


그림 7. 강우에 의한 유역 유출: (a)유량, (b)SS

도(Turbidity)는 유입되는 SS 농도를 1:1로 적용하였다. 최근 연도 중 강우에 의한 최대 유출은 2008년 7월 18일에서 7월 27일까지의 강우로 발생되었다(그림 5a). 이 기간의 총 강우량은 344.8mm이고 시간 최대 강우량은 38.0mm이었다. 일 평균 90mm를 초과한 강우사상은 7월 19일과 7월 25일로 각각 97mm, 198.5mm이었다. 내성천과 토일천을 통해 유입된 일 평균 최대 부유사 농도는 각각 363mg/L, 397mg/L이었으며, 일 평균 최대 유입량은 각각 505m<sup>3</sup>/sec, 178m<sup>3</sup>/sec로 모의되었다(그림 7).

유역 유출에 의해 호소로 유입된 탁수는 취수형태에 따라 이동거리와 거동이 달라졌다(그림 8). 1차 강우에 의해 유입된 탁수는 호소 내에서 최고 100 NTU를 보였다. 유입된 탁수는 2일 후에 약 12km를 이동하였으며 표층취수가 중·저층취수보다 이동속도가 빨랐다. 표층취수에서는 유입 7일 후에 1차 유입된 탁수의 대부분 배출되었으나 중·저층취수에서는 최고 탁도층이 취수탑에 도달할 시기였다. 이 시기의 2차 강우로 유입된 탁수는 최고 110 NTU로서, 표층취수가 중·저층취수보다 1차 강우시와 유사하게 1~2km를 더 이동하였다. 댐 부근까지 이동한 탁수층은 표층취수에서는 5~15m, 중층취수는 5~20m, 저층취수는 수심 5~25m에 각각 분포하여 표층취수에 비해 중·저층취수가 탁수층을 심층으로 유인하는 것으로 나타났다. 유입된 탁수는 12일 후에 30 NTU 이하로 감소하였으나 표층취수의 배출속도가 상대적으로 빠르고 잔존 탁수층도 작게 모의되었다. 영주댐으로 유입된 탁수층은 표층취수 5~10m, 중층취수 10~15m, 저층취

수에서는 수심 15~20m 범위에서 소멸되었다.

유입된 고탁수층은 유입 유량에 따라 하류로의 이동 속도가 달라졌다. 시간당 최대 20mm(97mm/일)의 강우로 일 평균 133m<sup>3</sup>/sec가 유입된 경우 약 7일 후에 댐축까지 이동하였으나, 시간당 최대 38mm(198.5mm/일), 일 평균 715m<sup>3</sup>/sec가 유입되었을 경우에는 표층취수 2일, 중층취수 3일, 저층취수에서는 3일 후에 댐축까지 이동하였다(그림 8).

표층·중층·저층취수를 통한 탁수 소멸과정을 CE-QUAL-W2로 각각 모의한 결과, 영주댐으로 유입된 고탁수는 유입 12일 후에 30 NTU 이상의 탁수대는 소멸되었으나, 표층취수가 중층·저층취수에 비해 호소 내 탁수층의 배제기간 단축과 수체 내 확산방지에 효과적인 것으로 예측되었다.

#### IV. 결론

일정 규모 이상의 댐을 건설할 때에는 환경영향평가를 실시하여야 하며, 사업자는 각종 모델기법을 이용하여 댐 건설 후의 수질변화를 예측하여 평가서에 수록하고 있다. 그러나, 건설 중이거나 건설 예정인 댐은 실측자료가 없거나 부족하여 모의결과에 대한 충분한 검·보정을 수행할 수 없으므로 사용한 매개변수의 적정성과 가정의 적합성에 대해서는 검증이 곤란하다.

본 연구에서는 현행 환경영향평가에서 검토하는 호소 내 탁수예측과 탁수를 저감하기 위해 도입하는 선택취수의 취수 수심에 따른 배제효과를 예측하는 평가기법을 제시하였다. 먼저, HSPF 모델을 사용하여 소유역별로 유역을 분할한 후 지형자료와



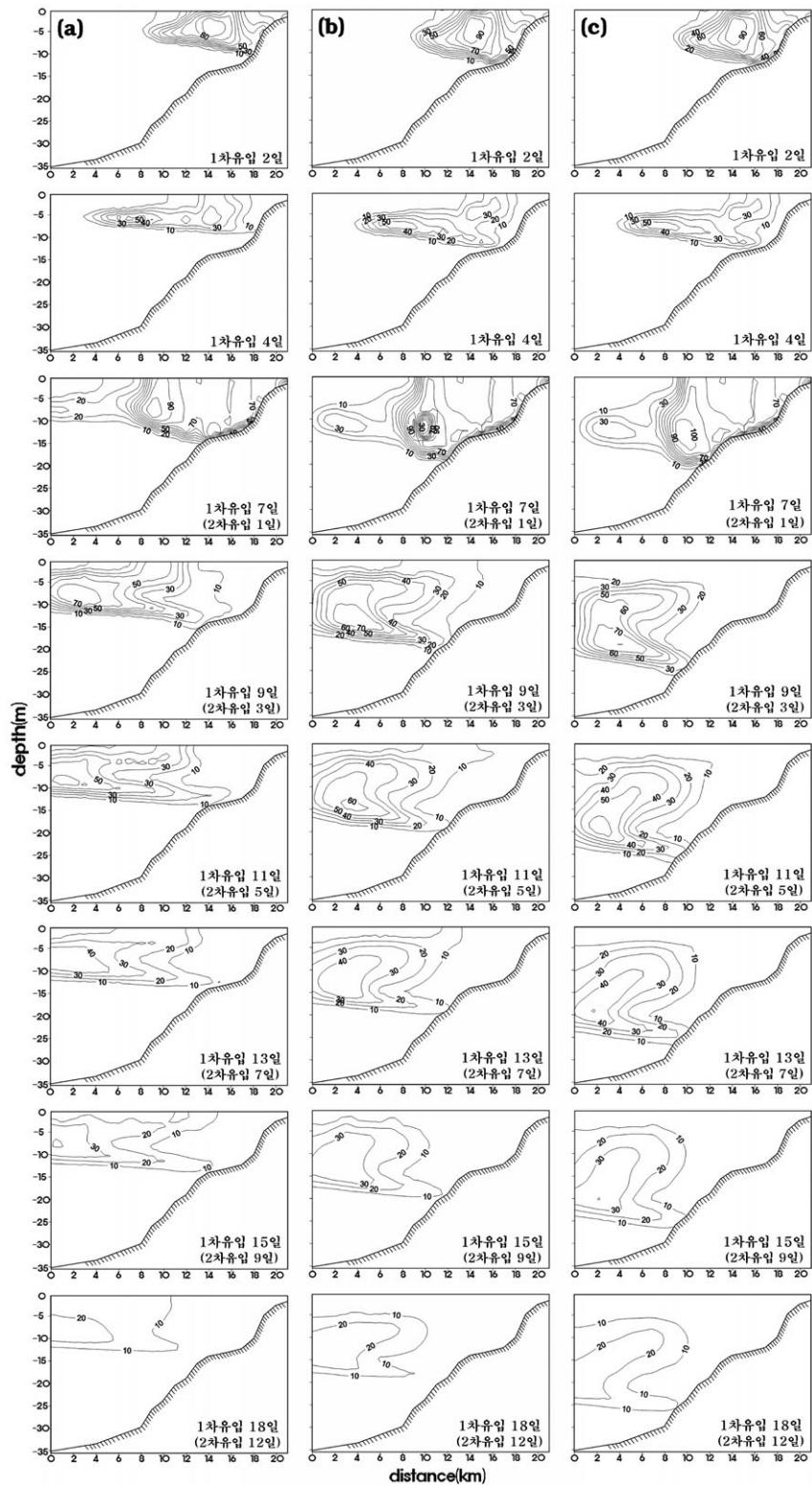


그림 8. 취수형태별 호소 내 탁수분포 변화: (a)표층취수(EL.155m), (b)중층취수(EL.145m), (c)저층취수(EL.135m)

토지이용지도를 중첩시켜 해당 지역의 속성을 부여하고 기상자료를 사용하여 10년간의 유출량과 SS를 모의하였다. 모델의 보정에는 주요 유입 하천의 강우, 비강우 시기에 측정된 유량, 수질자료를 사용하였고 매개변수는 이상욱 등(2007), 정세웅 등(2007)이 제안한 값을 사용하였다. 다음으로, 호소 내 수온성층과 탁수의 거동을 CE-QUAL-W2 모델로 모의하였다. 호소의 지형자료는 수치지형도를 이용하여 구성하고 호소를 길이 방향 500m, 수심 방향 1m 간격으로 수층을 구분하였다. 매개변수는 기존 연구에서 사용한 타 댐의 자료를 사용하였고, 취수 수심은 10m 간격으로 표층, 중층 및 저층에서 각각 취수하는 것으로 가정하였다. 수온성층의 모의결과는 인근에 위치한 타 댐의 실측자료로 검증하였다. 댐 운영자료와 수질자료가 없으므로 방류량은 유입량이 그대로 배출되고, 탁도는 SS가 1:1로 전환되는 것으로 입력하였다. 유역모델(HSPF)에서 영주댐 유역은 연 평균 최대  $13.6\text{m}^3/\text{sec}$ 의 유출이 발생되며 최대 SS는 약  $400\text{mg/L}$ 인 것으로 모의되었다. 호소 내로 유입된 탁수는 취수 수심에 따라 거동이 상이하게 모의되었다. 탁수의 이동 및 배제 속도는 표층취수가 중층·저층취수보다 빠르고 탁수층의 확산 수심도 5~10m 정도 좁았다. 따라서, 영주댐의 경우 호소 내로 유입된 고탁수 배제에는 표층취수가 중층·저층취수보다 유리한 것으로 판단된다.

유역에서 유입된 홍수량과 탁수는 호소 내에 형성된 성층구조와 유입수의 부피, 수온 및 부유물질량, 유출수의 양과 배제 위치 등에 따라 이동과 분포 범위는 변화한다. 신재기 등(2006)은 용담호를 대상으로 한 연구에서 표층수를 방류하는 경우 저층에 존재하는 탁수층의 상승작용을 유도하여 상층부의 탁도를 장기화시키는 주요한 요인으로 작용할 수 있다고 보고하여 영주댐의 모의결과와는 차이를 보인다. 향후 댐 운영과정에서 호소 내의 성층구조, 유입·방류수의 수질·수문 실측자료를 기초로 취수위치에 따른 탁수층의 확산정도, 배제효과를 판단하여야 할 것으로 사료된다.

운영 중인 댐에서는 유역에 설치한 우량·수위국자료와 댐 저수위(량), 방류량을 바탕으로 유역 유출량을 산정하고 검·보정을 통해 해당 유역에 적합한 모델을 구축할 수 있다. 또한, 유입수와 호소 내의 SS, 탁도 측정을 통해 유입되는 SS( $\text{mg/L}$ )가 탁도(NTU)로 전환되는 비율을 산정하여 CE-QUAL-W2의 입력자료를 구축할 수 있다. 본 연구는 건설 예정인 영주댐 유역에서 유출되는 부유사를 예측하고 호소로 유입된 탁수의 취수형태에 따른 거동을 모의한 것으로서, 수자원개발사업의 환경영향평가 단계에서 검토하여야 할 탁수모의의 범위, 방법 및 모의 가능한 결과를 제시하였다. 향후, 건설 후의 실측자료를 통해 영주댐에 적합한 유역 모델과 수질모델을 구축하여 댐 운영에 활용하는 것이 사업의 영향을 조사·예측·평가하여 해로운 환경영향을 줄이는 환경영향평가 제도의 취지를 제고하고 평가기법 발전에 기여할 것으로 본다.

## 사 사

영주다목적댐 건설사업 환경영향평가에 참여하신 (주)삼안과 (주)KG엔지니어링 관계자 분들께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김만식, 한재석, 1999, 대청다목적댐 저수지의 부영양화 예측, 환경관리학회지, 5(2), 261-269.
- 김윤희, 김범철, 최광순, 서동일, 2001, 2차원 수리수질모델(CE-QUAL-W2)을 이용한 소양호 수온 성층현상과 홍수기 밀도류 이동현상의 모델링, 상하수도학회지, 15(1), 40-49.
- 박윤식, 김종건, 박준호, 전지홍, 최동혁, 김태동, 최중대, 안재훈, 김기성, 임경재, 2007, 임하댐 유역의 유사 거동모의를 위한 SWAT 모델의 적용성 평가, 한국물환경학회지, 23(4), 467-473.
- 서동일, 이은형, 최재훈, 이혜근, 2001, EUTRO5를

- 이용한 시화호 수질모델 보정 및 검증, 대한 환경공학회지, 23(1), 131-139.
- 신재기, 허 진, 이홍수, 박재충, 황순진, 2006, 표층수를 방류하는 저수지(용담호)에서 몬순 탁수환경의 공간적 해석, 한국물환경학회지, 22(5), 933-943.
- 이상욱, 김정곤, 노준우, 고익환, 2007, CE-QUAL-W2 모델을 이용한 임하호 선택배제시설의 효과분석, 한국물환경학회지, 23(2), 228-235.
- 정세웅, 2004, 성층화된 저수지로 유입되는 탁류의 공간분포 특성 및 연직 2차원 모델링, 대한 환경공학회지, 26(9), 970-978.
- 정세웅, 박재호, 김유경, 윤성완, 2007, 대청호 부영양화 모의를 위한 CE-QUAL-W2 모델의 적용, 한국물환경학회지, 23(1), 52-63.
- 정은성, 이준석, 이길성, 김상욱, 김경태, 2007, HSPF 모형을 이용한 안양천 유역의 물순환 건전화 대안기술 효과분석, 한국물환경학회지, 23(6), 973-984.
- 한국수자원공사, 2006, 영주(송리원)다목적댐 이상탁수 발생 가능성 조사 자문결과보고서, pp. 82.
- 한국수자원공사, 2009, 영주다목적댐 건설사업 환경영향평가서, pp. 1435.
- 환경부, 2008, 환경영향평가법(전부개정 2008.3.28, 법률 제9037호).
- 황상구, 정기영, 2006, 안동 임하댐 유역의 지질과 임하호 고탁수의 원인, 한국환경지질학회지, 39(6), 771-786.
- Bicknell, B. R., Imhoff, J. C., Kittle, J. L. Jr., Jobes, T. H. and Donigian, 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.
- Cole, T. and Buchak, E. M., 2003, CE-QUAL-W2: A two dimensional, Laterally averaged, Hydrodynamic and Water quality Model, Version 3.2 user's manual, Instruction report EL-95-1, U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.