대청호와 하류하천 통합 탁수 예측 모델 개발

Development of Integrated Turbidity model for Deacheong Reservoir and Downstream river.

정용락*, 정세웅**, 신상일***

Yong Rak Jung, Se Woong Chung, Sang Il Shin

요 지

본 연구의 목적은 대청호와 하류 하천을 연계하여 연속적으로 부유물질의 이송, 확산, 침강과정을 해석 할 수 있는 통합 탁수 모델을 구축하는데 있다. 저수지와 하천을 연속적으로 모의하기 위해서 횡방향 평균 2차원 수리·수질 모델인 CE-QUAL-W2 (W2)를 사용하였다. 그러나 W2모델은 탁도를 모의 할 수 있는 알고리즘이 없기 때문에 모델 경계지점에서의 탁도-부유사(SS) 농도 상관관계를 조사하여 연속 측정된 탁도를 SS로 변환하였고, SS를 입자크기에 따라 3개의 그룹으로 나누어 각각의 침강속도가 다르게 모의하였다. 모의된 SS는 다시 저수지내 관측지점의 탁도-SS 상관관계를 이용해 탁도로 변환하여 실측값과 비교하였고, 하류 하천에서 취수하는 부여 취수장의 탁도-SS 상관관계를 이용하여 취수 원수의 탁도와 모의값을 비교하였다. 하천의 탁도는 실측값이 없는 관계로 모의된 SS를 그대로 하천의 SS 실측값과 비교하였다. 연구결과 통합모델은 저수지내에서 탁도의 수심별 농도를 잘 예측하였고 입자 크기별 침강속도를 고려한 결과 기존의 단일 SS 침강속도 모델에 비해 탁도 예측 성능이 향상되었다. 모델은 강우시 하천에서 급증하는 SS의 농도 변화를 잘 예측하였고, 금강 하류에 위치한 부여 취수장의 일별 취수 원수의 탁도 시계열 변화와도 비교적 잘 일치하였다.

핵심용어 : 대청호, 금강, 탁도, CE-QUAL-W2, 저수지-하천 통합 모델

1. 서론

우리나라의 인공 저수지는 물 이용량의 53%를 공급하는 중요한 수자원이지만, 매년 발생되는 탁수로 인해 수자원공급과 수생태계 관리에 어려움을 겪고 있다. 최근들어 적절한 탁수관리를 위해 탁도 감시 장치 설치와 취수 시설 개선 등의 대책이 마련되고 있지만, 실제 저수지 운영자들이 이들 시설을 최적 운영할 수 있도록 지원하는 모델과 의사결정시스템의 개발 노력은 부족한 실정이다. 성층화된 저수지의 방류수는 하류 하천의 탁수 장기화뿐만 아니라 수온, 용존산소, 이화학적 수질에도 직접적인 영향을 미친다(정세웅 등 2004b, Sullivan et. al. 2007). 따라서 댐 하류 하천의 탁수피해 저감과 하류하천 수질관리를 위해서는 방류수가 하류하천의 수환경에 미치는 영향을 연속적으로 해석·평가할 수 있는 통합 해석모델이 필요하다. 본 연구에서는 선행 연구(정용락 등 2007)에서 수리 및 수온에 대해 보정한 저수지-하천-하구 모델을 사용하여 저수지와 하천에 대한 탁수 거동을 연속적으로 모의하였다. 연구에서 사용된 CE-QUAL-W2 (W2) 모델은 탁도를 직접

* 정회원 · 충북대학교 환경공학과 석사과정 · E-mail : jjangj98@nate.com
** 정회원 · 충북대학교 환경공학과 부교수 · E-mail : schung@chungbuk.ac.kr
*** 비회원 · 충북대학교 환경공학과 석사과정 · E-mail : saint0721@hanmail.net

모의할 수 없기 때문에 유입하천의 탁도-SS 상관관계를 이용해 SS로 모의하였다(Cole and Wells 2004). 모의 결과는 대청댐 방류수와 하천, 하구언의 실측 SS 농도와 비교하였다. 또한 탁도의 시계열 변화를 비교하기 위해 부여취수장의 탁도-SS 상관관계를 이용하여 탁도의 시계열 변화를 비교하였다.

2. 모델의 구성 및 연구방법

2.1 관측지점 및 대상

본 연구의 대상지역은 하구언으로 부터 약 132 km 상류까지 형성되어 있는 금강 본류와 조정지댐, 대청호를 포함한다. 모델의 적합성을 평가하기 위한 수온 및 수질 자료는 국립환경과학원(http://smat.nier.go.kr)에서 8일 간격으로 연속 측정한 자료를 사용하였다(그림 1, 표 1)). 또한 하천수온의 시계열 변화를 검증하기 위해 부여 취수장의 일 측정 자료를 사용하였다.

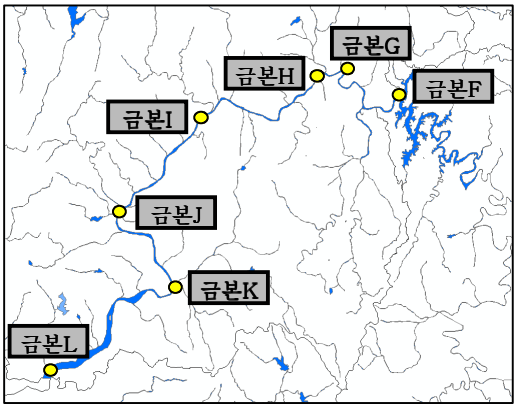

그림 1. 수질 관측지점

표 1. 수질 관측지점

Site	Name	Location (km)
금본F	대청교	137
금본G	부강	115.5
금본H	금남	106
금본I	공주	76
금본J	부여	61.5
금본K	강경	38
금본L	하구언	0

2.2 SS 모의

기존의 연구에서는 탁수의 거동을 모의하기 위해 W2 모델에서 탁도를 침강성을 가지는 입자상 물질로 가정하여 SS의 알고리즘으로 모의하였다(정세웅 등 2004a). 일반적으로 탁도와 SS는 높은 상관관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 아직 탁도를 직접 모의할 수 있는 알고리즘이 없기 때문이다(Gippel 1995, Lewis 1996). 그러나 빛에 의한 산란정도를 나타내는 탁도가 SS를 나타내는 간접지표로 사용될 수 있지만, SS와 탁도는 물리적 특성이 다르기 때문에 기존의 탁도를 사용하여 모의하던 연구에서는 한계를 가질 수밖에 없었다(정세웅 등 2005). 본 연구에서는 저수지 유입지점에서 연속 측정된 탁도를 측정지점의 탁도-SS 상관관계(그림 2)를 이용하여 변환된 SS를 이용해 모델에서 SS로 모의하였다(Sullivan et al. 2007). 모의된 SS는 방류수와 하천에서 실측한 SS 농도와 비교하였다. SS group은 대청댐 내의 입도분석 결과를 바탕으로 입자의 크기를 1, 5, 20 ㎛으로 나누고 SS group의 분율을 각각 20, 50, 30 %로 나누었다(정세웅 등, 2007). 대청호에서 각 입자의 침강속도는 stoke's 방정식에 입자의 형상과 표면 거칠기를 고려하여 모의값과 실측값의 차이가 최소가 되도록 시행오차법으로 산정하였다(Table 2). 금강 지류에서 유입 SS농도는 국립환경과학원의 8일 간격으로 측정한 자료를 사용하였다. 그러나 지류에서의 SS는 입도분석 자료가 없어서 대청댐의 분율을 그대로 적용하였다.

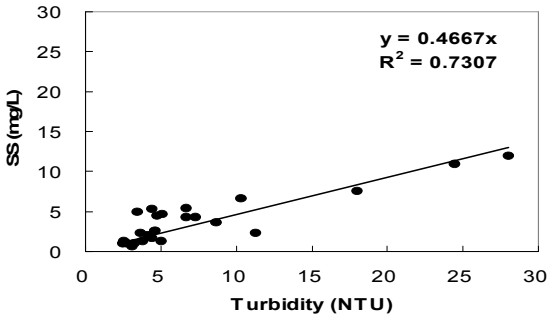

그림 2. 유입하천의 탁도-SS 상관관계

표 2. SS group 별 분율과 침강속도

Class	Diameter (㎛)	Fraction (%)	Velocity (m/d)
SS_1	1.0	20	0.05
SS_2	5.0	50	0.10
SS_3	20.0	30	2.00

3. 결과

3.1 SS 모의 결과

대청교와 하천에서의 SS 에 대한 모의값과 실측값을 그림 3에 비교하였다. 비교결과 모델은 강우에 의해 급변하는 SS 농도를 비교적 잘 모의하였다. 특히 대청댐 방류수의 SS 모의결과는 단일 SS group으로 모의한 선행 연구결과에 비해 예측 성능이 향상된 것을 확인 할 수 있었다(정세웅 등 2005) 하천에서도 지천에서의 peak 유입에 따른 SS의 농도 변화 비교적 잘 모의하는 것으로 보인다. SS의 AME와 RMSE는 대청교와 부강지점에서는 각각 3.16, 5.02 mg/L와 7.72, 12.06 mg/L로 비교적 낮았으나, 미호천 합류 이후 지점에서는 AME 값이 평균적으로 약 20 mg/L로 나타나 오차가 증가하였다(표 3). 이러한 결과는 SS농도의 유입특성에 기인하는 것으로 사료된다. 일반적으로 SS와 같은 입자상 물질은 유량과 매우 높은 상관성을 가진다(한국농촌공사 2006, Gippel 1995). 첫 번째 강우 시 미호천에서는 약 2000 CMS 높은 유입이 있었고 초기세척효과에 의해 SS의 농도가 시간 단위로 급격히 변하였을 것으로 생각된다. 모델은 이러한 SS의 급격한 농도변화를 잘 나타내고 있다. 그러나 실측값은 8일 간격으로 측정한 자료이기 때문에 하천에서 급변하는 SS의 농도변화를 제대로 반영해 주지 못하여 미호천 유입 이후 하천에서 오차가 증가한 것으로 평가된다.

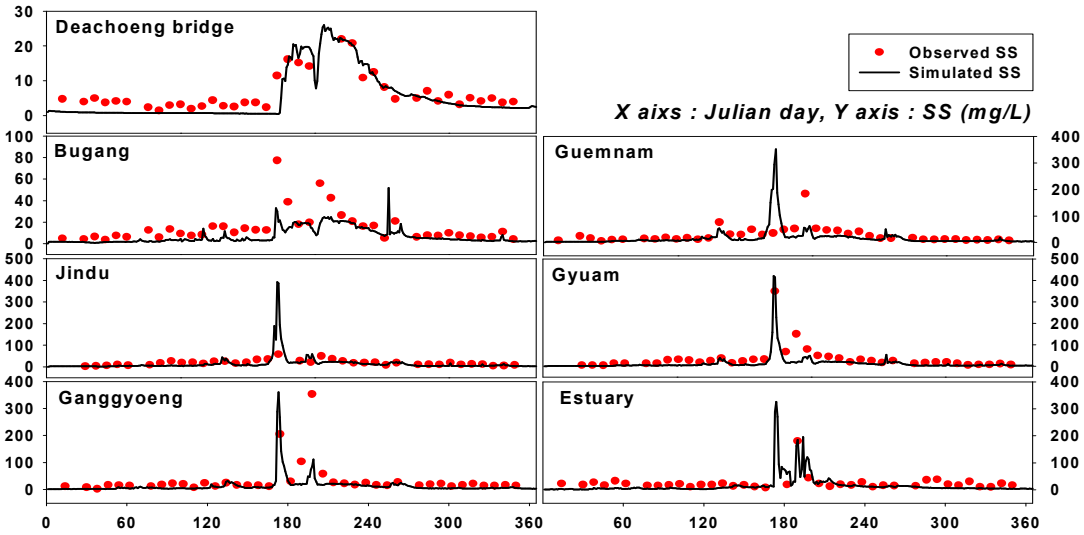

그림 3. 하천과 하구에서 SS 농도의 실측값과 모의값 비교

표 3. 하천과 하구의 SS에 대한 AME와 RMSE 통계분석

	2004			
	Range (mg/L)	AME (mg/L)	RMSE (mg/L)	R^2
대청교	0.48 ~ 26.02	3.16	5.02	0.76
부강	0.00 ~ 51.86	7.72	12.06	0.71
금남	0.00 ~ 352.11	18.79	36.65	0.12
공주	0.00 ~ 392.36	17.14	52.98	0.36
부여	0.00 ~ 420.67	18.90	29.59	0.84
강경	0.86 ~ 361.67	19.78	47.09	0.47
하구언	0.92 ~ 325.13	22.24	54.90	0.72

3.2 부여 취수장 탁도

SS 농도의 적절한 시계열 변화를 비교하기 위해 부여 취수장의 탁도와 SS 측정자료를 사용하였다. 연속 측정한 탁도와 비교하기 위해 부여취수장의 탁도-SS 상관관계를 이용하여 모의된 SS를 탁도로 변환하였다. 부여취수장의 2004년 탁도와 SS의 상관관계를 그림 4에 나타내었다. 상관관계는 30 NTU를 기준으로 고탁도와 저탁도로 나누었다. 부여취수장의 일 측정 탁도와 변환된 탁도의 시계열 자료를 비교해본 결과, AME와 RMSE는 각각 11.48, 39.29 NTU였으며 모델은 탁도의 시계열 변화를 적절히 반영하였다. 그러나, 큰 강우시 모의값과 실측값의 첨두 탁도는 다소 큰 편차를 보였는데, 이는 취수구조물이 하천 가장자리에 위치하고 있으며 모의값(하천의 횡방향 평균농도)과 실측값(착수정 시료 분석)의 공간적 차이 때문으로 사료된다.

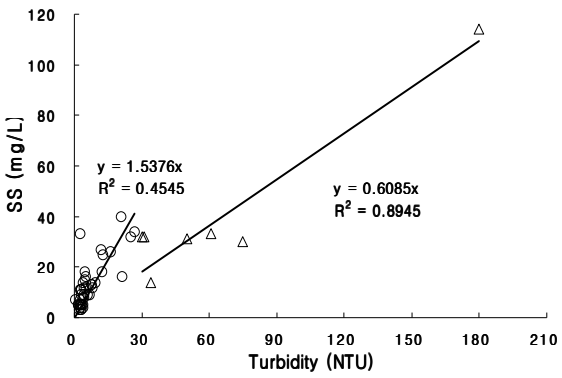

그림 4 부여 취수장의 탁도-SS 상관관계

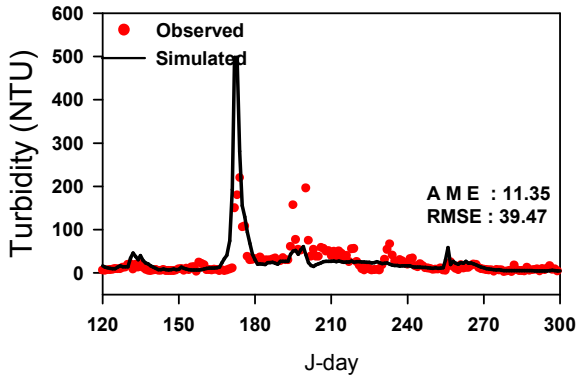

그림 5. 부여 취수장의 탁도 시계열 비교

4. 결론

본 연구에서는 대청호와 하류 하천을 연계하여 연속적으로 부유물질의 이송, 확산, 침강과정을 해석 할 수 있는 2차원 (x-z) 통합 탁수 모델을 구축하고 2004년 홍수기를 대상으로 모델을 검증하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 대청호-금강-하구언에 대한 연속 모의결과, 모델은 대청댐 방류수의 SS 농도와 하류 하천의 SS와 탁도의 시계열 변화를 적절히 모의하였다. 강우시 하천의 수질은 지천의 영향이 지배적이었으나, 강우 이후에는 장기화된 댐 방류수의 SS 농도에 영향을 받았다.
2) 대청댐 방류수와 부강지점의 SS 모의에 대한 AME는 3.16, 7.72 mg/L로 비교적 낮은데 비해 미호천 유입 이후 지점에서는 약 20 mg/L로 오차가 증가하였다. 이러한 결과는 강우시 지류

에서 들어오는 급격한 SS 부하에 따른 하천의 SS 농도 변화를 8일 간격으로 측정된 실측값으로는 적절히 반영하지 못하였기 때문인 것으로 사료된다.

3) 따라서 하천에서 모델의 SS 농도의 예측 성능을 검증하기 위해 부여 취수장의 일측정 탁도와 탁도-SS 상관관계를 이용해 변환된 하천의 일별 탁도 변화를 비교하였다. 비교결과, 모델은 탁도의 시계열 변화를 적절히 모의하였다. 그러나 큰 강우시 모의값과 실측값의 첨두 탁도는 다소 큰 편차를 보였는데, 이는 모의값(하천의 횡방향평균농도)과 실측값(착수정 시료 분석)의 공간적 차이 때문으로 사료된다.

4) 계산 효율성 측면에서 2차원 모델은 대청호-금강-하구언을 1년간 모의하는데 개인용 컴퓨터(1.88Ghz, 1.00GB RAM)로 약 3시간이 소요되어 저수지와 하류 하천을 연계한 실시간 탁수 예측에 활용 가능할 것으로 평가된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 : 1-6-3)에 의해 수행되었습니다. 연구를 지원해 주신 분들께 감사드립니다.

참고문헌

정세웅 (2004a). 성층화된 저수지로 유입하는 탁류의 공간분포 특성 및 연직 2차원 모델링, **대한환경공학회지**, 제26권, 제90호, pp. 970-978.

정세웅 (2004b). 저수지 플러싱 방류 효과분석을 위한 비정상상태 하천수질모형의 적용, **한국수자원학회논문집,** 제 37권, 제10호, pp.857~868

정세웅, 오정국, 고익환(2005). CE-QUAL-W2 모형을 이용한 저수지 탁수의 시공간 분포 모의, **한국수자원학회논문집**, 제 38권, 제 8호, pp.655~654

정세웅, 이흥수, 윤성완, 예령, 이준호, 추창오(2007). 홍수시 대청호 유역에 발생하는 착수의 물리적 특성, **한국물환경학회,** 제 23권, 제 6호, pp.934~944

한국농촌공사 (2006) 남양호 오염물질 유달율 산정 및 퇴적물 용출특성 연구.

Cole T.M. and Wells, S.A. (2004). *CE-QUAL-W2: A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.2 User Manual*, Instruction Report EL-03-1, U.S. Army Corps of Engineers. USA.

Gippel, C. J. (1995). Potential of turbidity monitoring for measuring the transport of suspended solids in streams. *Hydrol. Process.*, 9, pp. 83-97.

Lewis, J. (1996). Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation. *Water Resources Research*, 32(7), pp. 2299-2310.

Sullivan A.B., Rounds, S.A., Sobieszczyk, S., and Bragg, H.M. (2007). *Modeling hydrodynamics, water temperature, and suspended sediment in Detroit Lake, Oregon* : U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2007-5008, VA, USA.