

연구논문

저수지 모델의 지형정보 입력자료가 수리결과에 미치는 영향 분석  
- 대청호를 대상으로 -

이재일 · 서세덕\* · 하성룡

충북대학교 도시공학과, 한국수자원공사 수자원연구원\*

(2009년 6월 13일 접수, 2009년 8월 13일 승인)

Analysis of the Effects of Bathymetry Data on Hydraulic Results  
- Daecheong Reservoir -

Jae-Yil Lee · Se-Deok Seo\* · Sung-Ryong Ha

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University  
Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation\*

(Manuscript received 13 June 2009; accepted 13 August 2009)

Abstract

A lot of research on the application of GIS has been conducted in the field of water quality management. The function of a geometric data acquisition for reservoir and river models, however, is not enough to satisfy multiuser' convenience. CE-QUAL-W2 is a two-dimensional (2D) longitudinal/vertical hydrodynamic and water quality model for surface water bodies, modeling eutrophication processes such as temperature -nutrient -algae and sediment relationships. The purpose of this study is to analyzing which bathymetry information affects hydraulic results. There are consisted of three scenarios under consideration. The first scenario takes into account only tributary type data such as Heoin and Okchen river. The second scenario, Heoin river constructs to tributary and Okchen river constructs by branch. Last scenario constructs Heoin and Okchen river by branch. The RMSE error results for the first, second and third scenarios are 0.61, 0.36 and 0.28 respectively.

Keywords : reservoir, bathymetry, tributary, RMSE

## 1. 서론

최근 이상기후로 인하여 극심한 가뭄이 지속되고 있다. 가뭄은 인간의 삶과 직접적으로 관련되어 있으며 수자원확보에 매년 많은 예산을 투입하고 있다. 수자원의 중요성이 부각되면서 이수과 치수의 기능을 증대시키기 위하여 많은 댐이 건설되었고 건설되고 있다. 우리나라의 댐은 다목적댐, 생공용수댐, 수력발전댐, 농어용수댐, 홍수조절댐 등이 있으며, 5개강(한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강)수계에 모두 1,200여개의 댐이 있다(댐건설장기계획, 국토해양부, 2007.7).

댐은 식수공급, 농·공업용수공급, 홍수예방, 전력발전 등 많은 이점을 가지고 있다. 하지만 여름철 녹조발생 및 초기강우시 댐으로 유입되는 고탁도의 탁수문제는 지속적으로 풀어야 할 문제이다.

인공적인 대청호는 집중강우 후 조류발생에 필요한 영양염의 공급이 상류로부터 지속적으로 유입되기 때문에 매년 조류발생으로 인하여 수질문제를 야기한다(박 등, 2005; 조 등, 2003). 조류의 대량 발생은 강우시기 및 강우량, 수온, 일사량 등의 기상조건에 의해서 영향을 받는다고 하였다(오 등, 1995). 한편, 식물플랑크톤의 종 조성변화는 영양염 농도, 계절 변화에 따른 수온 상승, pH, 동물플랑크톤에 의한 포식 등의 여러 가지 요인이 복합되어 나타난다(허 등, 1992). 그러나 대청호는 지형적 특성상 길고 완곡부가 많으며 흐름이 유입량과 방류량에 따라 통제되어 조류의 공간적 분포가 수리·수문 환경에 따라 다르게 나타나고 있다(유 등, 2006).

CE-QUAL-W2모델은 인공 저수지 모의에 최적화된 모델이며, 국내외 논문에서도 녹조 및 탁수 문제를 모의하고 해결책을 제시하기 위한 도구로 꾸준히 사용되고 있다. 모델은 실제 현상을 완벽하게 재현시키는 것이 가장 중요하다. 이에, 저수지에 제한된 유입 실측값을 기준으로 유입농도를 산정하는 추세선 분석을 통하여 모델의 정확도를 높이는 연구(하성룡) 또는, 모델 내 반응하는 매개 변수의 세밀한 조정으로 실제 현상을 모델에 반영(정세웅)하기 위한 연구가 계속되고 있다.

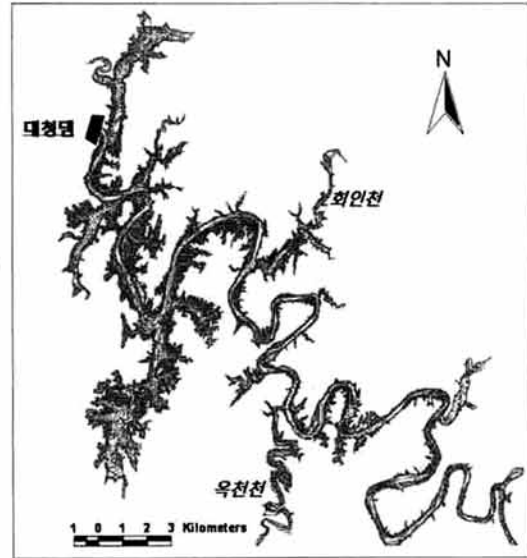


그림 1. 연구 대상지

본 연구에서는 CE-QUAL-W2모델의 입력자료 중 지형정보파일의 구성이 모델 결과에 미치는 영향을 분석하고 오차가 적은 모델을 구축하기 위한 방법을 제시하였다.

## II. 본론

### 1. 연구대상지

1980년 4대강유역 종합개발계획의 일환으로 건설된 대청댐은 다목적 댐으로써 총 면적 126만 6000m<sup>2</sup>, 저수용량은 14억 9000만톤이다. 콘크리트 중력댐·사력댐의 복합식이며 3개의 보조댐을 가지고 있다. 대청호로 유입되는 주요 하천은 회인천, 옥천천, 주원천등이 있으며 문의와 대전에 취수탑이 있다.

### 2. CE-QUAL-W2 모델

CE-QUAL-W2모델은 미육군공병단(U.S Army Corps of Engineers)에서 1986년 개발된 횡방향 평균화 2차원 수리·수질모델이다. 본 모델은 폭 방향의 수질이 균일하다고 가정하므로 상대적으로 폭이 좁고 수심이 깊으며 길이가 긴 인공호에 적합하다.

CE-QUAL-W2의 지배 방정식은 크게 운동방정식, 연속방정식, 이류확산방정식, 수표면 고도 방정식, 수압 방정식, 상태방정식의 6개 기본식으로 이루어져 있다.

$$\frac{\partial UB}{\partial t} + \frac{\partial UUB}{\partial x} + \frac{\partial WUB}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial BP}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( BA_x \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial \tau_x}{\partial z}$$

$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qB$$

$$\frac{\partial B\Phi}{\partial t} + \frac{\partial UB\Phi}{\partial x} + \frac{\partial WB\Phi}{\partial z} = \frac{\partial (BD_x \frac{\partial \Phi}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial (BD_z \frac{\partial \Phi}{\partial z})}{\partial z}$$

$$= q\phi B + S\phi B$$

$$= \frac{\partial B\eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \int_h^{\eta} UBdz - \int_h^{\eta} qBdz$$

$$= \frac{\partial P}{\partial z} = \rho g$$

$$\rho = f(T_w, \Phi_{TDS}, \Phi_{ISS})$$

U: x 방향, 횡방향으로 평균화된 유속(m · sec<sup>-1</sup>)

B: 수체의 폭(m)

W: z 방향 유속(m · sec<sup>-1</sup>)

t: 시간(sec)

A<sub>x</sub>: x 방향 운동확산 계수(m<sup>2</sup> · sec<sup>-1</sup>)

P: 압력(N · m<sup>2</sup>)

ρ: 밀도(kg · m<sup>-3</sup>)

Φ: 물질농도(g · m<sup>-3</sup>)

τ<sub>x</sub>: 수평방향 전단력(m<sup>2</sup> · sec<sup>-1</sup>)

D<sub>x</sub>: x 방향의 확산 계수(m<sup>2</sup> · sec<sup>-1</sup>)

q: 유입 또는 유출유량(m<sup>3</sup> · sec<sup>-1</sup>)

S<sub>φ</sub>: 반응에 의한 유입 또는 유출량(g · m<sup>-3</sup> · s · ec<sup>-1</sup>)

η: 자유수표면 위치(m)

h: 총수심(m)

g: 중력가속도(m · sec<sup>-2</sup>)

### 3. Bathymetry 파일구성

CE-QUAL-W2모델에서는 복잡한 지형을 단순화하여 모델의 입력자료로 구축한다. 2차원 모델 특성상 소수간의 면적을 길이와 그에 대응하는 폭의 곱으로 나타낸다. Bathymetry파일 구축은 자동지형

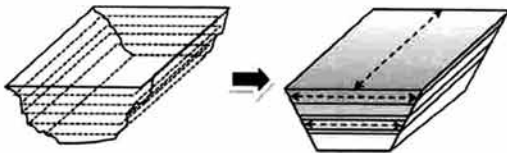


그림 2. 실제의 형상과 단순화된 형상

정보 생성프로그램(배기중)을 활용하여 구축하였다.

### 4. 시나리오 구성

본 연구에서는 총3개의 시나리오를 설정하였다. 시나리오A는 옥천천과 회인천을 Tributary로 구축하여 연구 대상지인 대청호를 총 5Br, 2Tr로 구성하는 시나리오며, 시나리오B는 회인천만을 Tributary로 구축하여 6Br, 1Tr로 구성된다. 마지막 시나리오C는 주요하천을 모두 Branch로 구축함으로써 총 7Br로 구성되는 시나리오이다.

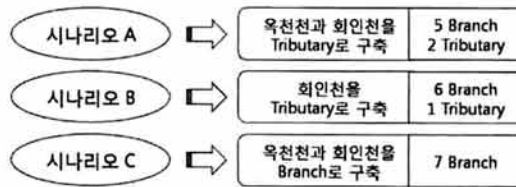


그림 3. 시나리오 구성

### 5. 모형의 평가

모의 결과의 적합성 평가는 절대평균오차(Mean Absolute Error, MAE), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE), 평균절대백분위오차(Mean Absolute Percent Error, MAPE)를 사용하였다.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - Q_i|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n}}$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Q_i - P_i|}{|P_i|} \times 100$$

Q<sub>i</sub>: 실측유량, P<sub>i</sub>: 모의유량, n: 실측 및 모의유량 데이터의 개수

RMSE는 모의 결과의 평균오차를 나타내는 지표이며, 0에 가까울수록 모델의 정확도가 우수하다는 것을 뜻한다. 또, MAPE에 대한 예측의 평가는 다음과 같다.

- 0% ≤ MAPE ≤ 10% : 매우정확한 예측
- 10% ≤ MAPE ≤ 20% : 비교적 정확한 예측
- 20% ≤ MAPE ≤ 50% : 비교적 합리적 예측
- MAPE ≥ 50% : 부정확한 예측

### III. 결 과

#### 1. Bathymetry 파일구축 결과

시나리오 A는 총 5개의 Branch, 117개의 Segment로 구축하였다. 시나리오 B와 C는 각각 6개, 7개의 Branch와 169, 182개의 Segment로 구축하였다(그림 4).

구축한 Bathymetry파일 기준으로 총 체적을 산출하였다. Elevation 71m를 기준으로 산출하였으며 시나리오 A는 1,026.3Mm<sup>3</sup>, 시나리오 B는 1,048.6Mm<sup>3</sup>, 시나리오 C는 1,091.9Mm<sup>3</sup>로 점점 증가하는 것으로 나타났다(표 1).

#### 2. 모델 정확도 분석

모델에 입력된 Bathymetry 파일은 체적에 영향을 주며, 체적은 댐 수위에 직접적인 영향을 준다. 이에, 모델의 정확도 분석은 수위를 대상으로 실측치와의 오차를 계산하였다.

회인천과 옥천천을 Tributary로 구축한 시나리오A의 RMSE, MAE, MAPE 오차는 각각 0.61, 0.52, 0.78로 계산되었으며, 회인천을 Tributary

로 구축한 시나리오B는 0.36, 0.28, 0.42로 계산되었다. 모든 하천을 Branch로 구축한 시나리오C는 0.28, 0.21, 0.31의 오차량을 보였다(표 2). 모든 시나리오가 매우 정확하게 예측되었다.

하지만, 오차량이 가장 적은 시나리오C와 가장 큰 시나리오A를 비교했을 때 RMSE오차는 0.61에서 0.28로 약 0.33정도의 오차 삭감량을 보여준다. 대청호의 수표면적을 126만 6000m<sup>2</sup>으로 보았을 때 RMSE오차 0.33은 42만톤의 오차를 줄인 효과이다.

모든 시나리오가 강우시 저수지내로 유량이 유입되는 시기는 적절하게 모의하였으나, 저수위때는 시나리오별 오차량이 컸다. 특히 El. 65m이내는 더욱 큰 오차량을 보였다(그림 5).

표 2. 시나리오별 오차량

	시나리오 A	시나리오 B	시나리오 C
RMSE	0.61	0.36	0.28
MAE	0.52	0.28	0.21
MAPE	0.78	0.42	0.31

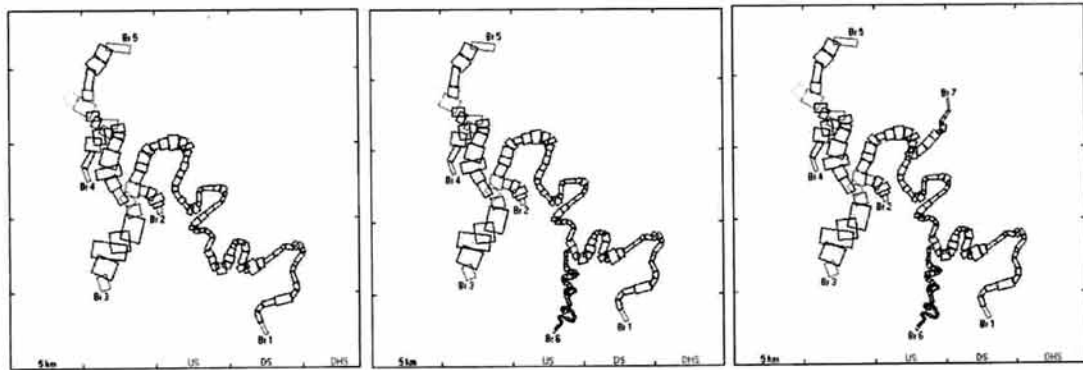


그림 4. 시나리오 별 Bathymetry 파일구축 결과(왼쪽부터 시나리오 A, B, C)

표 1. 모델에 입력된 Bathymetry파일의 체적(El. 71m기준)

	Branch1 Vol(Mm <sup>3</sup> )	Branch2 Vol(Mm <sup>3</sup> )	Branch3 Vol(Mm <sup>3</sup> )	Branch4 Vol(Mm <sup>3</sup> )	Branch5 Vol(Mm <sup>3</sup> )	Branch6 Vol(Mm <sup>3</sup> )	Branch7 Vol(Mm <sup>3</sup> )	총체적 (Mm <sup>3</sup> )
시나리오A	696.1	29.0	159.6	73.2	68.3	-(Tr.)	-(Tr.)	1,026.3
시나리오B	696.1	29.0	159.6	73.2	68.3	22.3	-(Tr.)	1,048.6
시나리오C	696.1	29.0	159.6	73.2	68.3	22.3	43.3	1,091.9

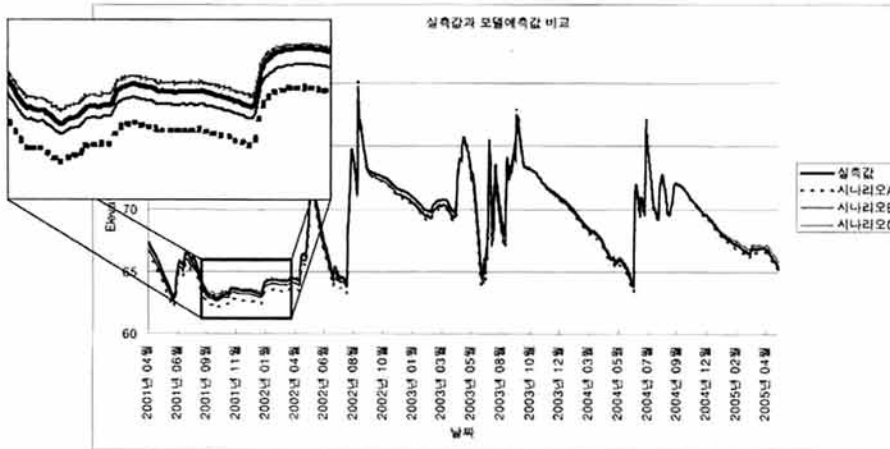


그림 5. 실측값과 모델결과의 시계열자료 비교

#### IV. 결론

본 논문에서는 CE-QUAL-W2 입력정보중 하나인 Bathymetry파일이 모델결과에 어떤 영향을 미치는지 분석하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

1. 시나리오는 총 3개로 구성하였다. 첫 번째 시나리오는 대청호에 직접적으로 유입되는 하천중 회인천과 옥천천을 Tributary로 구성하여 5Br, 2Tr로 모의하였으며, 두 번째는 회인천만을 Tributary로 구성하여 6Br, 1Tr로 모의 마지막으로 모든 하천을 Branch로 구축하여 7Br로 모의하였다.

2. Bathymetry파일의 체적계산 결과는 시나리오A, B, C가 각각 1,026.3Mm<sup>3</sup>, 1,048.6Mm<sup>3</sup>, 1,091.9Mm<sup>3</sup>로 계산되었다.

3. 회인천과 옥천천을 Tributary로 구축한 시나리오A의 RMSE, MAE, MAPE 오차는 각각 0.61, 0.52, 0.78로 계산되었으며, 회인천을 Tributary로 구축한 시나리오B는 0.36, 0.28, 0.42로 계산되었다. 모든 하천을 Branch로 구축한 시나리오C는 0.28, 0.21, 0.31의 오차량을 보였다. 오차량이 가장 적은 시나리오C와 가장 큰 시나리오A를 비교했을 때 RMSE오차는 0.61에서 0.28로 약 0.33정도의 오차 삭감량을 보여주었다.

#### 참고문헌

- ‘담건설장기계획 : 2007~2011’, 건설교통부, 2007
- 박세진, 차일권, 유태일, 2005, 정수처리공정에서 조류유래 유기물질 제거, 대한환경공학회지, 27(4), 377-384.
- 배기중, 2002, CE-QUAL-W2 데이터처리 향상을 위한 지리정보시스템기법 개발, 충북대학교 대학원 석사학위청국논문.
- 정세웅, 오정국, 박재호, 윤성완, 2005, ‘CE-QUAL-W2 모형의 수온 민감도분석 및 보정’, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2005공동 추계학술발표회 논문집.
- 조서현, 백경희, 김철진, 정은재, 2003, 원수 pH 조정에 의한 정수처리에서의 이취미 최적 제어방안 연구, 대한환경공학회지 춘계학술발표연구회, pp. 369-375.
- 오희목, 김도한, 1995, 대청호의 남조류 수화발생에 대한 단기적 예측, 한국육수학회지, 28, 127-135.
- 유순주, 하성룡, 임연택, 2005, 댐호에서 CE-QUAL-W2를 이용한 NOM 과 THMFP 거동모의, 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동추계학술발표논문집, pp. 349-353.
- 하성룡, 이재일, 2008, ‘대청호 저수지 수질해석을 위한 CE-QUAL-W2 모형의 검토’, 환경

- 영향평가, 17(6), 349-356.
- 허우명, 김범철, 조규송, 1992, Enclosure 실험에 의한 환경요인이 소양호 식물플랑크톤 군집 변화에 미치는 영향 연구, 한국육수학회지, 25, 131-137.
- Ha, S. R. and Kim, S. Y., 2005, Improvement of Wasp hydraulic module for a stratified reservoir, Proceedings of COE Joint Symposium on Environment Engineering among Hokkaido University, Chungbuk National University and Bandung Institute of Technology, Hokkaido, Japan.
- Leon, L. F., Lam, D. C., Mc Crimmon, C., and Swayne, D. A., 2003, Watershed management modeling in Malawi: Application and technology transfer. Environmental Modeling and Software, 18, 531-539.
- Liu, W. C., Kuo, J. T., and Kuo, A. Y., 2005, Modeling hydrodynamics and water quality in the separation waterway of the Yulin offshore industrial park, Taiwan. Environmental Modeling and Software, 20(3), 309-328.
- Lung, W. S., 2001, Water quality modeling for waste load allocations and TMDLs, John wiley & Sons Inc., 333.
- Pastres, R. and Ciavatta, S., 2005, A comparison between the uncertainties in model parameters and in forcing functions: its application to a 3D water-quality model. Environmental Modeling and Software, 20(8), 981-989.