

EFDC를 이용한 3차원 수리-수온 모델링

3-D Hydrodynamics and Temperature Modeling Using EFDC

서동일*, 권기환**, 박병준***

Dongil Seo, Kihoan Kwon, Byungjoon Park

요 지

하천의 수질모의를 위해서는 정상상태 모델인 QUAL2E 가 널리 사용되어 왔다. 그러나 우리나라는 기후 특성상 하절기에 강우가 집중되고 경우에 따라서는 댐등에 의해 장기간 수류의 정체현상이 발생하므로 지역 및 시기에 따라 발생하는 수질 문제가 서로 다를 수 있다. 따라서 우리나라의 대부분의 수체에서는 시간에 따라 모의를 할 수 있는 비정상 상태의 수질모델이 적용되어야 할 필요가 종종 발생한다. 미국공병단에서 개발된 CE-QUAL-W2 모델은 2차원 모델로서 수리동역학과 수질반응역학을 한데 묶어서 풀이하였다는 점에서 획기적인 변화로 볼 수 있다. 이 모델은 종방향으로 길고 수심이 깊으며 상대적으로 하폭이 좁은 형태의 수체에 적합하며 하폭방향의 수질 변화를 나타내는 데 사용되지 못하는 단점이 있다. WASP(Water Quality Analysis and Simulation Program) 은 미국 환경부에서 개발한 비정상상태 3차원 수질모델로서 세계적으로 다양한 수체에 널리 사용되어 왔다. 이 모델에서 1차원적 흐름을 예측할 수 있는 DYNHYD 라는 수리학적 부프로그램은 2차원 또는 3차원 상황에서는 사용할 수가 없었음에 따라 수리학적 고려가 빈약한 것이 이 모델의 가장 큰 약점으로 지적되어 왔다. 최근 미국 환경부는 EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code) 라는 3차원 수리동역학 프로그램을 이용하여 대상 수체의 수리학적 거동을 모의하고 그 결과를 WASP7 에 연계시킬 수 있도록 하여 기존의 단점을 대폭 보완하였다. 본 연구에서는 금강 상류에 위치하고 있는 용담호를 대상으로 EFDC 를 이용하여 2005년 1년간 수위 및 수온성층현상을 예측하고 그 결과가 WASP 에 연결되어 사용될 수 있도록 하였다. 적절한 격자의 수를 결정하기 위하여 다양한 경우가 시행착오적으로 시험되었으며 비교적 적은 숫자의 격자라도 수위 및 수온의 모의가 가능하다는 것을 발견하였다.

핵심용어 : EFDC, WASP7, QUAL2E, CE-QUAL-W2, 수리-수질 연계 모델링

1. 서 론

지표수의 수질 모델링은 대상 수체를 가상적으로 소구간으로 구분하고 이송, 확산 및 반응을 고려하여 각 소구간내의 수질농도를 산정한다는 점에서 공통점을 가진다. 컴퓨터와 프로그램의 기술이 발달함에 따라 과거에 비하여 수체를 더욱 자세한 소구간으로 구분하여 시간에 따라 자세하게 계산하는 모델의 사용이 증가하는 추세에 있다. 미국환경부에서 개발한 WASP(Di Toro et

* 정회원 · 충남대학교 환경공학과 교수 · E-mail : seodi@cnu.ac.kr
** 학생회원 · 충남대학교 환경공학과 석사과정 · E-mail : somasochoan@hanmail.net
*** 학생회원 · 충남대학교 환경학과 석사과정 · E-mail : byungjunny@hanmail.net

al., 1983) 모델은 WASP4, WASP5, WASP6 및 WASP7 으로 발전하였으며 WASP7 부터는 수체의 3차원적 거동을 예측할 수 있는 EFDC 와 연계하여 사용이 가능하게 됨에 따라 더욱 자세하고 정확한 모델링이 가능하게 되었다. 본 연구에서는 미국 환경부에서 개발된 EFDC USEPA Ver1.01 을 이용하여 수리 및 수온성층 결과를 발표하고자 한다.

2. EFDC USEPA Ver 1.01

EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)는 하천, 호수, 하구, 해역 등 3차원 수리동력학 모델로서 USEPA가 공식 지원하는 Public Domain Program 이다. 현재 EFDC는 Full Version과 Hydro Version으로 구분되며, Sigma Grid 와 GVC Grid로 표현이 가능하다.

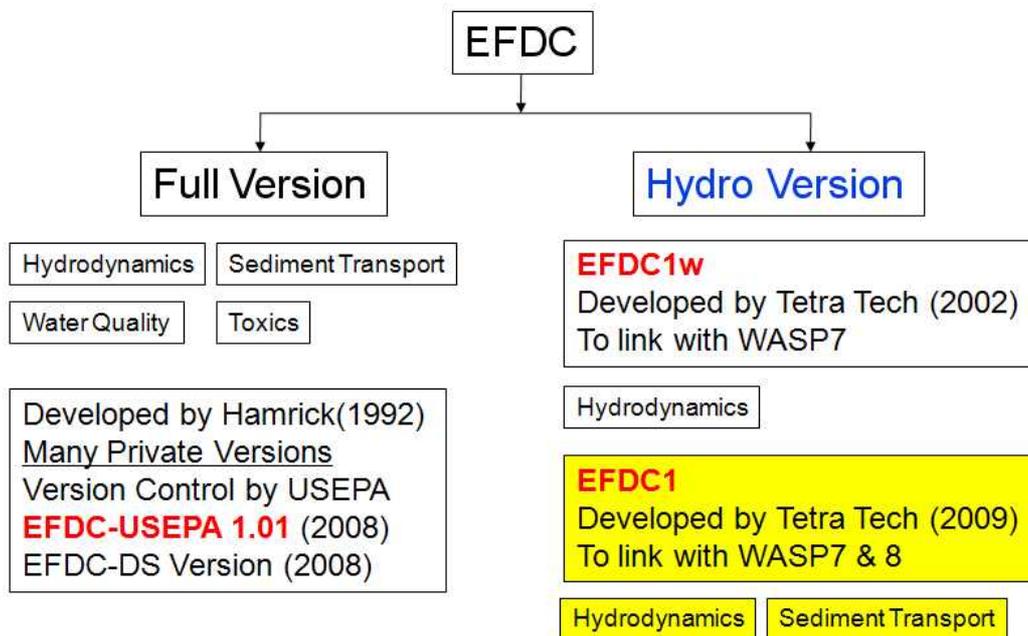


그림 1. EFDC 구성

3. 연구대상지역 및 연구방법

3.1 연구대상지역

본 연구의 대상 지역은 금강의 상류에 위치한 용담댐으로서 총 17개의 유입지류와 3개의 유출 지점으로 구분된다. 이중 주요 지류인 주자천, 정자천, 진안천, 금강(금강+구랑천) 4지점을 선정하여 기타 소하천 유역을 주요지류 4지점에 포함하여 유량을 산정하였다.

표 1. 용담호 유역현황

하천명	등급	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	하천연장 (km)
주자천	지방2급	127.20	30.31	29.00
정자천	지방2급	144.14	30.00	30.00
진안천	지방2급	89.03	12.00	8.00
금강	지방2급	574.80	42.81	36.00
구량천	지방2급	172.27	34.21	27.00

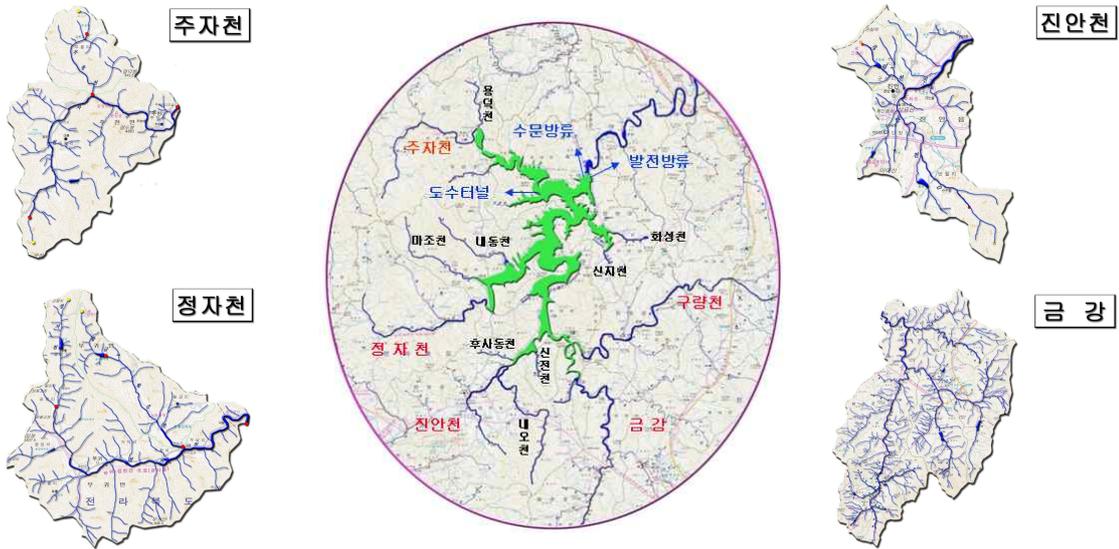


그림 2. 용담호 유역현황

2.2 연구방법

연구 대상지역의 모의 기간은 유입량 과 유출량 큰 2005년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지 1년을 모의기간으로 설정하였다. 소구간은 시행착오를 거쳐 수평면 372개, 수직층 10개, 총 3,720개로 구성하였다. 댐 수위 및 하천의 유량자료는 한국수자원공사 자료를 활용하였고 기상자료는 기상청의 자료를 활용하였으며 수위는 한국수자원공사의 댐 수문 자료를 이용하여 보정하였다.

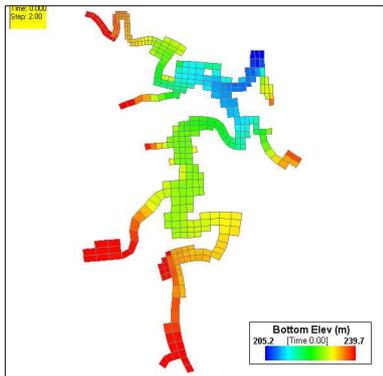


그림 3. 격자구성

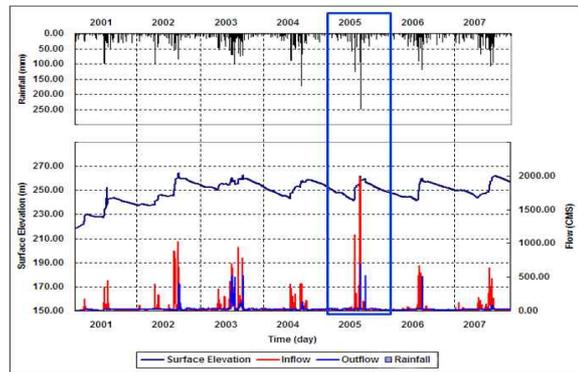


그림 4. 수리 - 수문 특성

3. 결과 및 고찰

3.1 격자구성과 수위비교

EFDC는 격자의 구성에 따라 용담호의 수위를 반영하는 수준이 서로 다른 것으로 나타났으며 용담댐의 연간 수위를 적절하게 반영하기 위해서는 최소한 372개의 수평격자가 필요한 것으로 나타났다.

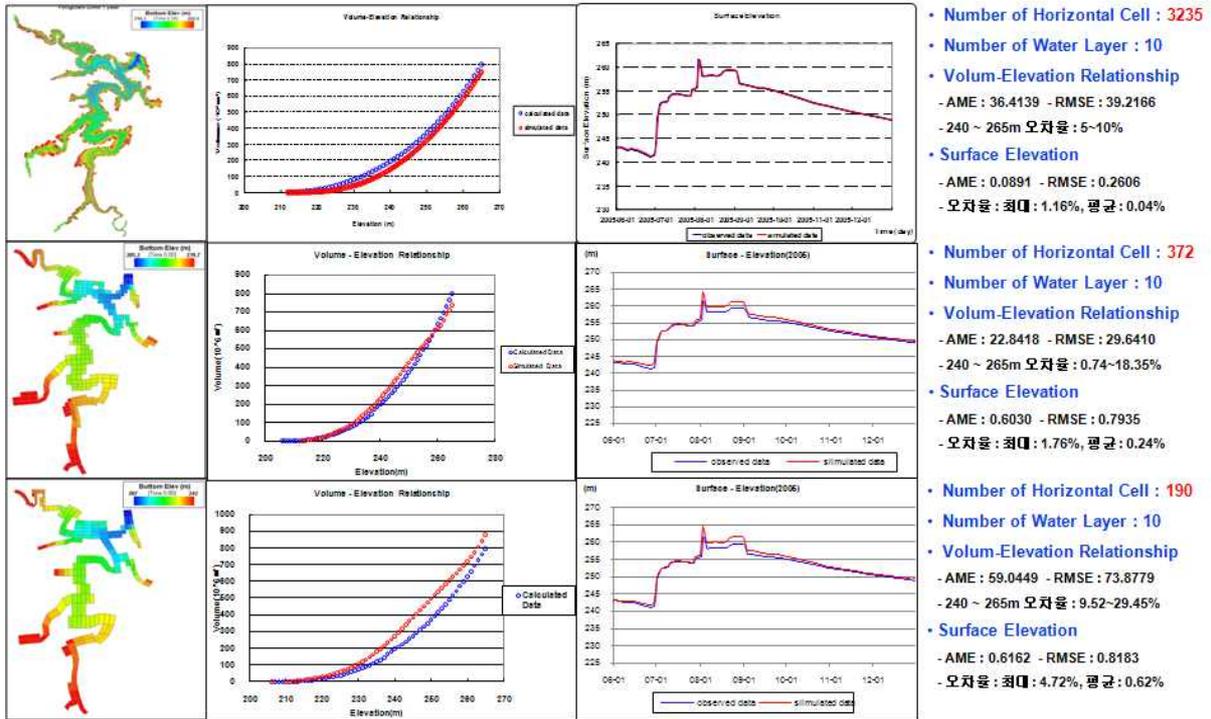


그림 5. 격자구성과 수위비교

3.2 용담호의 성층현상

2005년도 8월 9일자 금강과 구량천 합류점부터 댐축까지의 수체내 수온분포(왼쪽)를 나타내고 있다. 그리고 댐축의 깊이별 수온분포(오른쪽)를 보여주고 있다. 예측된 수온은 표층에서 관측결과를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났고 수온약층과 심수층 부근에서 보다 정교한 보정이 필요한 것으로 보인다. 그러나 전반적으로 유사한 변화 경향이 나타나고 있는 것으로 판단된다.

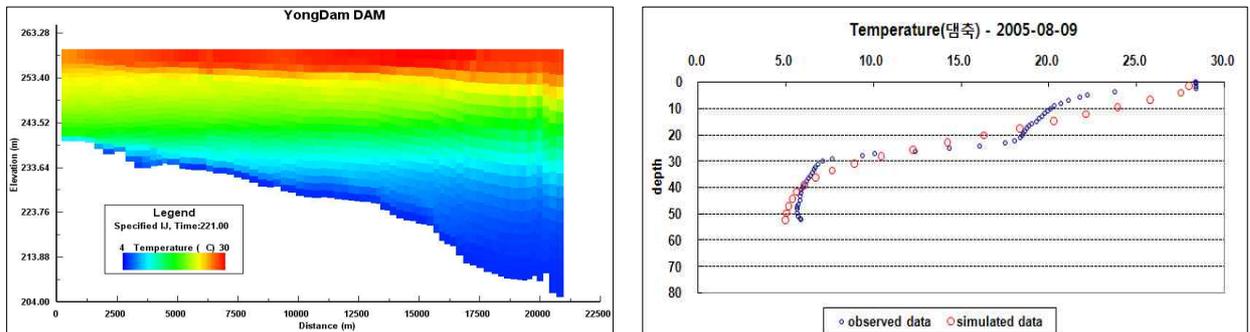


그림 6. 용담호의 성층현상

3. 결 론

3차원 수리동역학 모델인 EFDC USEPA Vers 1.01을 이용하여 190 - 3235 개의 수평격자를 이용하여 수위를 모의한 결과 대부분의 경우 연중 성공적인 수위를 재현할 수 있었으나 격자의 수가 많을수록 더욱 정밀한 모의가 가능한 것으로 나타났다. 그러나 EFDC 를 WASP 모델과 연계하여 수질을 모의하는 경우 소구간 수의 한계계 있는 관계로 3차원 격자의 수는 2,000 개 이하로 유지하는 것이 좋다. 따라서 본 연구에서는 다양한 시행착오를 거쳐 최종 수평격자 372개로 보는 것이 적절하다는 결론을 얻을 수 있었다

모의결과 수위보정과 성층현상을 성공적으로 모의 하였으며, 수온약층과 정체대(심수층)에서 보다 정밀한 보정이 필요하나 전체적인 경향은 실측수온과 유사한 것으로 나타났다. 본 연구의 성공적인 수행으로 지표수의 수리모델링의 정확도가 제고됨에 따라 향후 3차원 비정상상태 수질모델인 WASP7.3과 연계하여 용담호의 수리 및 수질관리에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 한국수자원공사의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드리는 바입니다.

참 고 문 헌

1. Ambrose, R. B., Wool, T. A., Martin, J L., (1993). The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5, Part A: Model Documentation, USEPA
2. Cole, Thomas M. Cole and Scott A. Wells, CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.5 User Manual, Environmental Laboratory U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station Vicksburg, MS 39180-6199 and Department of Civil and Environmental Engineering Portland State University Portland, OR 97207-0751, 2007.
3. Di Toro, D. M., J. J. Fitzpatrick and R. V. Thomann, Water Quality Analysis Simulation :Program (WASP) and Model Verification Program (MVP)-Documentation. Hydroscience, Inc., Westwood, NY doe USEPA, Duluth, MN Contract No., 68-01-3872, 1981, erv. 1983
4. Hamrick, J. M. (1992), A Three-Dimensional Environmental Fluid Dynamics Computer Code; Theoretical and Computational Aspects, The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science. Special Report 317, 63p.