

남강댐에 대한 EFDC 모델의 수리학적 적용성 검토

Evaluation for Hydraulic Application of EFDC model in Namgang Dam Reservoir

안기홍*, 이규탁**, 반양진***, 손병용****

Ki Hong Ahn, Kyu Tak Lee, Yang Jin Ban, Byung Yong Son

요 지

강우강도의 증가와 식생대의 변화 등 기후변화로 인한 저수지내 대형탁수와 조류대발생으로 사회적인 문제가 야기되고 있다. 이에 유역대책 평가와 저수지내 유체거동 및 영향평가를 위한 수단 확보가 절실한 상황이다. 본 연구에서는 국내 저수지에 대한 3차원 수리해석기술의 적용성을 검토하고자 하였다. 이를 위해 낙동강의 주요지류 중 하나인 남강에 위치한 남강댐에 대해 미 EPA의 오염총량지원도구인 EFDC 모델을 적용하였다. 저수지내 퇴사량 조사시 측정된 실측치와의 지형 재현성 검토, 실측수위와 모의결과의 비교를 그래프와 통계지표를 활용하여 실시하였고 염료 추적 모의를 통해 도달시간 등을 산정하였다.

핵심용어 : EFDC, 저수지, 수위, 지형, 추적자 모의, 남강댐

1. 서 론

저수지는 유속이 느리고 수심이 깊어 일반적으로 하류부쪽으로의 이송을 계산하는 하천에서의 1차원 해석과 달리 기상 및 수문조건, 지형, 밀도차에 의한 성층화 등 저수지 유체거동 조건에 의해 매우 큰 영향을 받게 되므로 이에 대한 해석과 하상과 수체와의 내부반응 등에 대한 고려가 필요하다. 그리고 기후변화로 인해 증대되는 대형탁수 피해, 조류대발생 등을 정확히 예측하고 유역 오염원 저감대책을 적절히 평가할 수 있는 수단확보가 절실한 상황이다.

현재 주요 선진국에서는 저수지 유체거동과 영향평가 수단으로서 3차원 수리·수질모형을 구축하여 활용하고 있다. 미국의 경우 미환경보호국(USEPA)과 미해양대기부(NOAA), 미 개척국(USBR), 지질조사국(USGS) 등에서 각자의 모형을 구축하여 수질관리를 위한 의사결정을 지원하고 있고, 호주의 경우 CWR과 호주국립과학원 등에서, 유럽의 경우 물환경관리지침(WFD : Water Framework Directive)을 수립하여 하천중심의 통합유역 관리를 시행중에 있다. 국내의 경우 2차원모형인 CE-QUAL-W2를 주로 이용하여 의사결정을 지원하고 있다. 이에 본 연구에서는 남강댐에 대해 EFDC 모델을 이용하여 향후 국내 저수지에 대한 수질관리 지원도구로서의 3차원 수리해석기술의 적용성을 검토하였다.

* 정회원·K-water 댐·유역관리처 위촉연구원(E-mail: khahn@kwater.or.kr)

** 정회원·K-water 댐·유역관리처 처장(E-mail: klee@kwater.or.kr)

*** 비회원·K-water 댐·유역관리처 수질환경팀장(E-mail: banyang@kwater.or.kr)

**** 비회원·K-water 댐·유역관리처 차장(E-mail: sonby@kwater.or.kr)

2. EFDC 모델

EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모델은 Virginia Institute of Marine Science의 Hamrick에 의해 90년대 초에 개발되었고 현재는 USEPA와 Tetra Tech, Inc.에 의해 개발·관리되고 있으며 Dynamic solutions Intl.에 의해 개발된 GUI version이 존재한다. EFDC 모델은 Blumberg-Mellor 모델과 미국공병단의 Chesapeake Bay 모델과 유사하다. EFDC 모형의 지배방정식 중에서 수리동역학 부분은 직교곡선수평좌표계(curvilinear orthogonal horizontal coordinates)와 시그마 연직좌표계(sigma vertical coordinate)를 기반으로 3차원 정수역학 방정식의 형태로 구성되어 있다. 직교곡선수평좌표계와 시그마 연직좌표계에서 3차원 연속방정식은 식 (1)과 같고, u 방향과 v 방향에 대한 3차원 운동방정식은 식 (2), (3)과 같다.

$$\partial_t(m_x m_y \zeta) + \partial_x(m_y H u) + \partial_y(m_x H v) + \partial_z(m_x m_y w) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \partial_t(m_x m_y H u) + \partial_x(m_y H u u) + \partial_y(m_x H v u) + \partial_z(m_x m_y w u) - m_x m_y f_e H v \\ = -m_y H \partial_x(p + q\zeta) - m_y (\partial_x h - z \partial_x H) \partial_z p + \partial_z(m_x m_y H^{-1} A_v \partial_z u) + Q_u \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \partial_t(m_x m_y H v) + \partial_x(m_y H u v) + \partial_y(m_x H v v) + \partial_z(m_x m_y w v) + m_x m_y f_e H u \\ = -m_x H \partial_y(p + q\zeta) - m_x (\partial_y h - z \partial_y H) \partial_z p + \partial_z(m_x m_y H^{-1} A_v \partial_z u) + Q_v \end{aligned} \quad (3)$$

EFDC 모델은 가변 밀도 흐름에 대한 수직적으로 정수압 가정을 하며, 자유표면, 그리고 난류 평균의 3차원 운동 방정식의 해를 구한다. EFDC 모델은 유체의 이동, 염분 및 수온모의 외에도 흡착성 또는 비흡착성 부유물질의 이동, 오염원 유입에 의한 희석, 부영양화 기작, 독성오염물질의 이동/반응 등의 모의가 가능하다. 특히 EFDC 유동부분 모의에 있어서 댐 또는 암거 등의 치수 구조물 해석뿐만 아니라 수심이 얇은 수체에 대한 젖음/마름(wet/dry) 현상을 모의할 수 있어 인공습지 등에서의 유동을 모의할 수 있다.

3. 연구 내용

3.1 대상 유역

남강유역은 유역면적이 3,466km²로서 낙동강 유역면적 23,859km²의 14.5%에 해당한다. 낙동강 합류점으로부터 80km 상류지점에 남강댐이 위치하고 있으며, 남강댐 지점의 유역면적은 2,285km²이다. 유역 중앙부의 지리산맥을 경계로 댐좌측으로 덕천강(450km²)이, 댐우측으로 남강분류(1,835km²)로 형성되어 댐지점에서 합류한다. 그림 1은 남강댐 유역도와 남강댐 현황을 나타내고 있다.

3.2 입력자료의 구성

저수지내 지형자료의 형성은 남강댐 퇴사량 조사용역보고서(한국수자원공사, 2004)의 결과를 활용하여 수평방향 100m 간격으로 총 2745개의 Cartesian coordinate의 격자망을 구성하였다. 모의

기간은 2008년 6월 25일부터 7월 5일까지이고, 한국수자원공사 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)의 남강댐 운영자료를 바탕으로 남강댐의 유입·유출량을 산정하였다. 남강댐의 유입유량은 유입·유출의 물수지와 남강댐의 전체 유역 면적에 대한 유입지류의 유역면적 비율을 고려하여 산정되었다. 유출량은 시간당 댐 방류량을 고려하였다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 경계조건을, 그림 3은 수위-저수용량 관계식과 비교한 연구모형의 지형 재현성을 나타내고 있으며 그림 4는 적용유역에 대해 구성한 계산 격자망을 나타내고 있다.

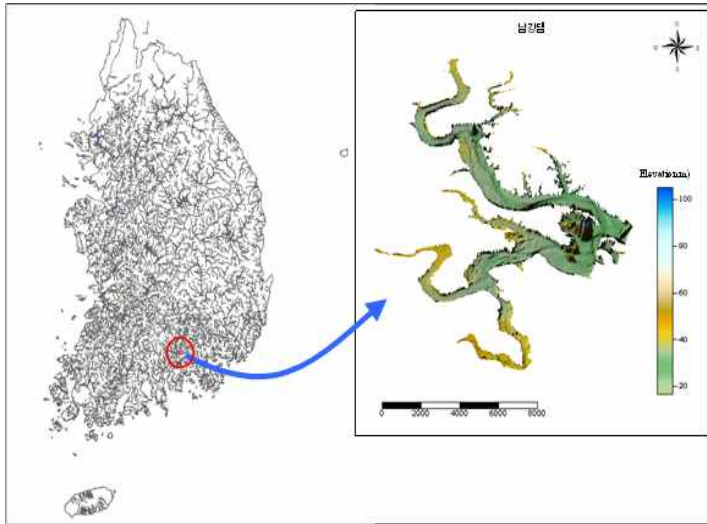


그림 1. 적용대상 유역도 및 남강댐 현황

▶ 유역 개요	
수 계	낙동강 수계
유역 면적	2,285km ²
▶ 시설 개요	
총 저수용량	309.2백만m ³ (EL.46.00m)
유효 저수용량	299.7백만m ³ (EL.32.00m ~ EL.46.00m)
계획홍수위	EL.46.00m
상시만수위	EL.41.00m
여수로표고	EL.29.00m
제수문표고	EL.30.00m

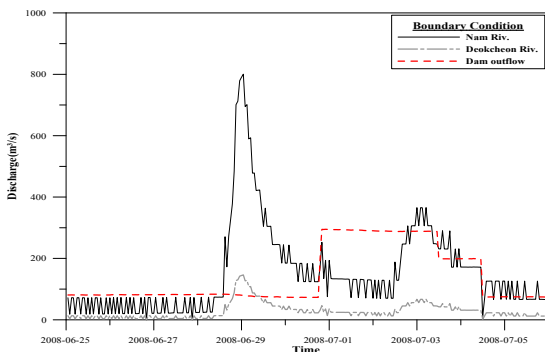


그림 2. 유입 및 유출수문곡선

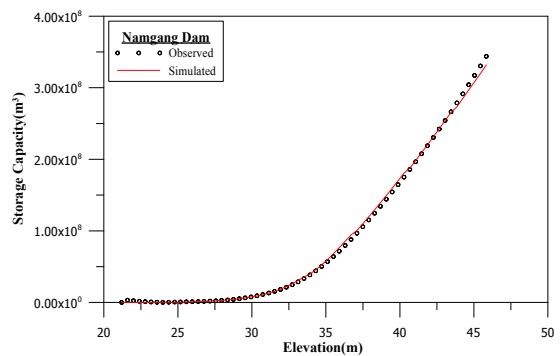


그림 3. 수위 저수용량 관계 비교

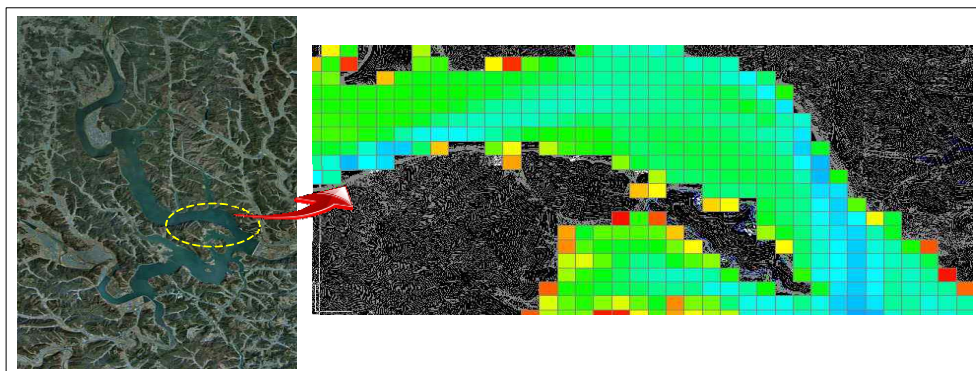


그림 4. 대상유역에 대한 계산 격자망

연구모형의 지형 재현성은 AME, RMSE 및 결정계수 등의 통계지표를 이용하여 그 신뢰도를 평가하였다. AME와 RMSE는 $2.389 \times 10^6 \text{ m}^3$, $3.683 \times 10^6 \text{ m}^3$, 그리고 결정계수는 0.999로 나타났고 이는 총 저수용량 대비 약 1%의 오차에 해당하는 것으로 매우 높은 지형 재현성을 나타내었다. 오차의 원인으로서는 수치지도 해상도, 지형 보간작업의 불확실성 등으로 판단된다.

3.3 모의 결과

2008년 6월~7월 호우사상을 대상으로 실제 관측 유입량에 대한 모형의 수리학적 재현성을 검토하였다. 수치모의시 CFL(Courant-Friedrichs-Lewy)조건을 만족하도록 계산 단위시간은 1초로 하였고 댐 내 조도계수는 0.02로 설정하였다. 기상조건에 의한 계산결과에 대한 영향은 미미할 것으로 판단되어 본 연구에서는 고려하지 않았다. 그림 5는 댐내 관문지점에서 측정한 수위와 모형 계산값을 비교한 그래프를 나타내고 있다. 최고수위시 실측치는 40.59m, 모의치는 40.52m로서 오차는 0.07m로 나타났다. 그리고 AME와 RMSE는 각각 0.065m, 0.088m이고, 결정계수는 0.99로서 매우 높은 수위재현성을 보였다.

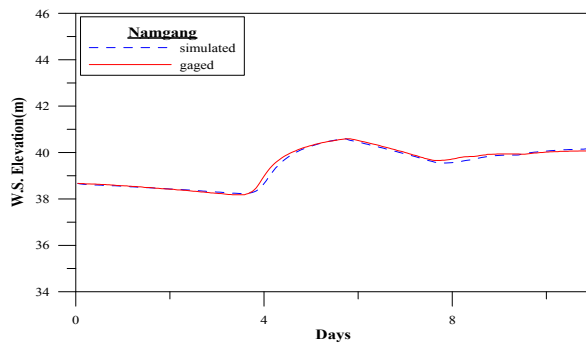


그림 5. 실측치와 계산결과와의 비교

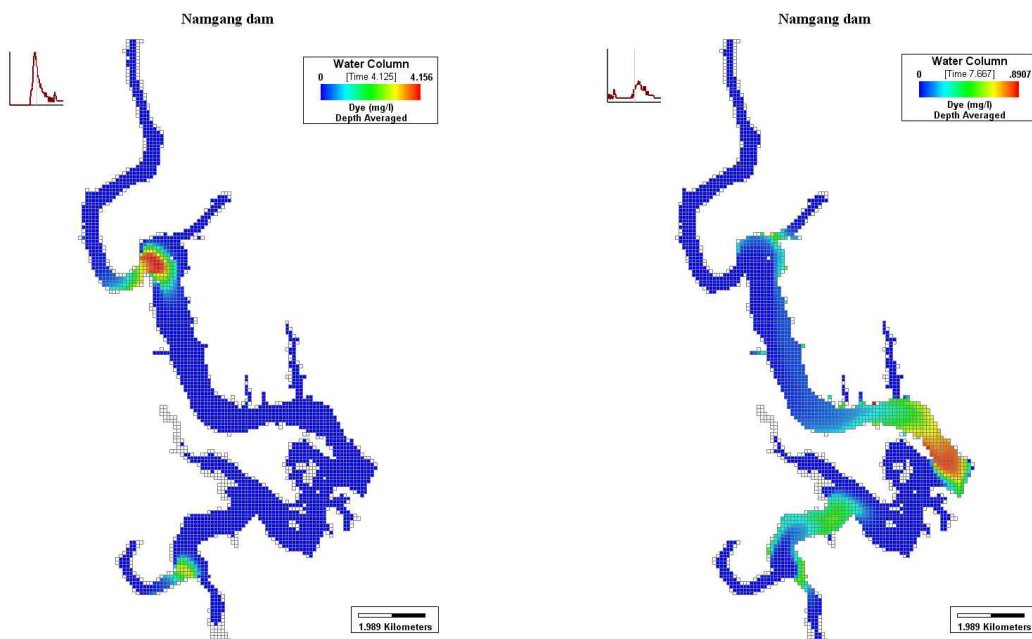


그림 6. 수체 추적자 모의

그림 6은 염료를 이용하여 유입량이 증가할 시기의 수체의 흐름을 추적해 본 결과이다. 모의 시작 약 3.8일인 6월 28일에 1시간 동안 염료를 주입하여 수체의 흐름을 추적해 본 결과 남강의 경우 3일만에 댐축에 도달하였으며 덕천강으로 유입되는 수체는 남강의 흐름에 의해 정체가 이루어짐을 알 수 있었다. 염료 추적자 모의결과는 염료의 농도와 유입시기에 따라 다소 차이가 발생할 수는 있으나 유속 계산결과를 고려해 볼 때 전반적인 염료 이동경로는 물리적인 타당성을 지닌 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 EFDC 모델을 이용하여 남강댐에 대한 수리학적 적용성을 검토해 보았다. 2008년 호우사상의 관측수위와 계산수위를 그래프 및 통계지표를 통해 비교·검토한 결과 높은 재현성을 보여주었으며 유속 및 염료 추적모의를 통해 수체의 흐름양상, 흐름의 도달시간과 정체구간 등을 산정할 수 있었다. 현재 정교한 3차원 수리모형을 이용한 수질예측시스템 구축이 절실한 상황을 고려할 때 본 연구에서 도출된 결과는 중요한 사전자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 서동일, 서미진, 구명서, 우재균 (2009). “EFDC-Hydro와 WASP 7.2 를 이용한 금강하류의 수리-수질 연계 모델링”, 대한상하수도학회지, 제23권, 1호, pp 15-22.
2. 한국수자원공사 (2004). 남강댐 퇴사량 조사용역보고서
3. Tetra Tech, Inc. (2007). The Environmental Fluid Dynamics Code Theory and Computation