

다차원수리모형을 이용한 연계모의 GUI시스템 개발

안 정 민* / 류 시 완**+

Development of GUI System for Coupling of Multi-Dimensional Hydraulic Models

Ahn, Jung Min* / Lyu, Siwan**+

요약 : 4대강살리기사업을 통해 건설된 수리구조물의 효과적 운영과 홍수기 피해저감을 위해서는 적절한 의사결정 지원시스템의 구축이 필수적이다. 본 연구에서는 기존 일차원모의를 통한 하천관리의 한계를 보완하기 위하여 수문관측자료 또는 1차원모의 결과를 이용한 2, 3차원 모형 연계모의가 가능한 시스템을 개발하였다. 기존의 1차원 수리, 수문 모형으로 제공받던 선단위·지점단위 정보 뿐 아니라 추가적으로 공간·격자단위 정보를 제공받을 수 있는 다차원 모의를 수행함으로써 하천에서의 물리적 현상을 적절히 고려한 공간적 수리특성을 반영한 하천관리가 가능할 것이다. 급격한 지형변화 및 수리구조물에 의한 홍수에 대비하고 각 격자별 유량의 전달에 의한 홍수파의 전파양상에 대한 공간단위 정보를 토대로 합리적인 하천관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 연계모의시스템, 다차원 모형, 1차원 수리모형

Abstract : In order to operate the hydraulic structures efficiently for reducing flood damage after 4 Major River Restoration Project, it is essential to obtain enough hydraulic information with certain reliability. A coupled modeling system, providing spatial hydraulic information, for multi-dimensional hydraulic models was developed to complement 1-D hydraulic modeling. Developed system can offers spatial and grid unit information as well as line and section unit information from 1-D modeling. It is considered that the coupled modeling system can be used to provide various kinds of hydraulic information for river management and treatment.

keywords : Coupled Modeling System, Multi-dimensional Model, 1-D Hydraulic Model

1. 서 론

최근 들어 자주 언급되고 있는 “이상기후”는 과거와는 다른 기후변화의 양상으로 전개되고 있으며, 주로 지구온난화에 기인하는 것으로 알려져 있다. 또한 이상기후에 의한 기상현상은 홍수, 가뭄, 태풍, 폭설 등과 같은 자연재해를 발생시키는 대표적인 원인이기도 하다. 세계보건기구(WHO) 통계에 따르면 전 세계적으로 자연재해는 매년 6%씩 증가하는 추세를 보이고 있다. 자연재해 중

홍수는 매년 피해 복구에만 4조 2천억원이 넘는 비용이 들어가기 때문에 홍수로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 많은 연구와 사업이 수행되고 있다. 현재 추진되고 있는 4대강 살리기 사업은 홍수피해 방지를 위해 하도준설을 실시하고, 확보된 통수능을 바탕으로 홍수위 저감 효과를 얻고 준설로 인해 야기되는 지하수위저감을 상쇄시키기 위해 다기능보를 건설하고 있다. 자연하천의 준설이나 수리구조물 건설은 하도 내 흐름을 변화시킬 뿐 아니라 유황 변화에 의해 홍수터

+ Corresponding author : siwan@changwon.ac.kr

* 정희원 · 창원대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : ahnjm80@gmail.com

** 정희원 · 창원대학교 토목공학과 부교수 · E-mail : siwan@changwon.ac.kr

생태환경에도 많은 영향을 미칠 수 있다. 또한, 단기간의 하천공사 시행으로 급격한 하천단면 변화로 홍수분석 신뢰도가 저하되어 홍수재해 위험성이 증가된다. 따라서, 단기간에 걸쳐 이루어지는 수리구조물 건설과 하도준설에 의한 통수단면적의 감소, 그로 인한 지형변화로 발생할 수 있는 침수피해를 감소시키기 위해 하천환경 변화를 적절히 반영한 수위-유량 곡선식 및 홍수분석시스템의 개선이 필요하다. 김양수(2010)는 기존의 수문학적 모형은 하천구조물에 의한 배수영향 등을 고려하지 못하기 때문에 수리해석 모형의 병행 구축이 불가피하다고 판단하고 이를 보완하기 위해 국토해양부와 한국수자원공사는 1차원 수리모형인 FLDWAV를 채택하고 홍수예보시스템에 적용하여 원활한 홍수예보가 될 수 있도록 추진하고 있다. 하지만, 다기능보 주변에는 생태광장, 문화광장, 수중광장과 같은 친수공간이 마련되고 있기 때문에 이러한 친변공간에 대한 수리 안정성 검토를 위해서는 선단위 1차원 수리해석 뿐만 아니라 다차원 수리해석을 통한 면과 공간적 개념의 수리 정보가 필요하다. 4대강 사업 후 객관적이고 합리적인 다기능보 운영을 위해서는 국토해양부와 한국수자원공사에서 제공하고 있는 다양한 수문자료를 바탕으로 주요 하천에 대한 적절한 수리 해석을 수행하고 다기능보를 포함한 수리구조물들에 대한 적절한 운영기준을 결정해야 한다.

본 연구에서는 기존의 일차원모의를 통한 하천관리의 한계를 극복하기 위하여 수문관측자료 또는 1차원모의 결과를 이용한 2, 3차원 모형의 연계모의가 가능한 시스템을 개발하고자 한다. 일반적으로 다차원 모형을 이용한 모의는 상당한 수준의 숙련도와 시간과 노력을 필요로 하며, 관련 매개변수들과 사용자 결정요소의 선택에 따라 모의 결과도 차이를 보이게 된다. 따라서 본 연구에서 개발한 시스템을 통하여 실시간 수문자료 또는 1차원 수리·수문모의 결과를 입력자료로 활용하는 2, 3차원 수리모형의 연계모의를 일괄적으로 수행함으로써 하천에서의 물리적 현상을 적절히 고려한 공간적 수리특성을 반영한 하천관리가 가능할

것이다. 이를 통해 급격한 지형변화 및 수리구조물에 의한 홍수에 대비하고 각 격자별 유량의 전달에 의한 홍수과의 전파양상을 공간단위 정보로 얻을 수 있기 때문에 합리적인 하천관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구범위

4대강 살리기 사업에 따른 하천의 급격한 환경 변화는 수리·수질·생태에 대한 잠재적인 위험성을 증가시켰다. 예측 불가능한 피해를 최소화하기 위해서는 하천에서의 흐름특성에 대한 정확한 조사 및 분석과 정밀한 수리특성분석이 필요하다. 본 연구에서는 실시간으로 관측되는 수문데이터를 이용하거나 1차원 수문모형 COSFIM(Coordinated Operation System for Flood control In Multi-reservoirs)과 1차원 수리모형 FLDWAV의 연계를 통해 계산된 결과데이터를 이용하여 2차원 또는 3차원 수리검토가 가능한 연계모의시스템을 개발하고자 하였다. 본 연구에서는 지금까지 국내에서 널리 적용되어 왔고 하천에서의 물리적 현상을 적절히 반영하는 것으로 검증이 이루어진 대표적 다차원 모형들을 연계하여 모의할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 다차원 수리동역학모형으로 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)와 CCHE2D(Center for Computational Hydroscience and Engineering-2D)를 채택하였다.

본 연구에서 개발한 시스템은 실시간 관측수문자료 또는 수리·수문 모형을 통해 계산된 결과자료가 모형에 적합하게 자동적으로 변환될 수 있도록 구조화하였고 지형자료 구축 및 수리·수문학적 매개변수 처리를 간편하게 할 수 있는 GUI를 설계하여 관측수문자료 DB나 1차원 수리·수문모의결과와 모델 구동을 효과적으로 연동되도록 하여 기초자료 수집, 분석 및 전처리에 소요되는 시간을 최소화할 수 있도록 하였다. 개발된 시스템을 2006년 내습한 태풍 ‘에위니아’사상에 대해 적용한 결과를 HEC-RAS모형 모의결과와 비교합

으로써 연계모의시스템의 적정성을 검토하였다. 이상의 과정을 통해 본 시스템을 이용함으로써 선개념의 1차원 모의결과와 함께 공간적으로 분포된 수리정보를 취득할 수 있음을 확인하고자 한다. 한편, 본 시스템을 통해 모의되는 EFDC 모형은 양해법으로 흐름을 해석하고 있기 때문에 계산시간간격(time step)의 영향을 받지 않지만 CCHE2D 모형의 경우 음해법으로 해석하기 때문에 계산시간간격의 영향을 받을 것으로 판단되므로, 두 모형에 대한 적절한 계산시간간격을 결정하여 모의를 수행하였다.

3. 연구내용

3.1 모형소개

EFDC(Hamrick, 1996)와 CCHE2D(Jia and Wang, 2001) 모형은 각각 USEPA(The U.S. Environmental Protection Agency)와 NCCHE(National Center for Computational Hydroscience and Engineering)에서 개발된 다차원 수리동력학 모델이다. EFDC모형은 이론적인 면과 수치해석적인 면에서 Blumberg and Mellor(1987)의 모형과 많은 공통점을 가지며 질량보존기법을 이용하여 천해역에서 조간대 처리가 가능하도록 설계되어 있어 조간대가 넓게 분포하는 우리나라 연안이나 하천에 용이하게 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 허영택과 박진혁(2009)이 EFDC모형을 낙동강 하류부에 적용하여 수리해석 적용성을 평가하였으며 정상만 등(2010)은 EFDC 모형을 금강 하류에 적용하여 염수침투 특성을 연구하였다. 강형식 등(2011년)은 유역 모형과 하천 모형의 연계를 통한 낙동강 본류 흐름을 예측하기 위해 EFDC 모형을 활용하였다. CCHE2D 모형은 오랜 연구과정을 통해 많은 연구기관, 대학, 정부기관, 환경단체, 컨설팅 업체에서 이용되고 있다. CCHE2D 모형은 부정류, 난류흐름특성분석, 유사, 수질 등 다양한 모듈을 탑재하고 있으며 편리한 GUI를 갖추고 있다(M.A. Nassar, 2010). 김연수 등(2010)은 CCHE2D 모형을 이용하여 급만곡부

의 흐름특성을 분석 검증 하였고 지운 등(2010, 2011)은 하구둑에서의 하폭축소 방법을 이용한 퇴사저감 효과 분석과 상류 접근수로에서의 유사량 공식 및 유사 이송형태에 따른 하상변동 수치모의에 관한 연구를 위해 CCHE2D 모형을 활용하였다. 특히 수리분석 뿐만 아니라 수질, 유사 등의 모듈도 탑재하고 있어 향후 다기능보 운영을 위한 분석기능 확장에도 용이하다. HEC-RAS(USACE, 1997) 모형은 미육군공병단의 HEC(HydrologicEngineering Center)에서 개발된 1차원 수리 해석 모형으로 국내 많은 연구자들에 의해 검증된 모형이다. 지속적인 개발을 통해 유사 뿐만 아니라 수질모듈도 탑재하고 있어 본 연구에서 채택한 EFDC와 CCHE2D 모형과 비교하기 위한 모형으로 적합한 것으로 판단된다.

3.2 연계 시스템 구조

Data Base와 다차원 수리분석모형의 연계 시스템의 구현은 크게 데이터 모델 개발, 전처리 과정(Pre-Processing) 개발, 후처리 과정(Post-Processing) 개발의 3부분으로 이루어진다. 데이터 모델 개발은 연계 시스템 수행에 필요한 전반적인 정보를 검토하고, 구조화 분석에 의한 모형수행절차를 정의한 후, 절차별 입·출력 정보를 고려하여 데이터모델 및 분석 모듈을 설계하는 단계이며, 전처리 과정 개발은 EFDC 및 CCHE2D 모형의 입력 자료 생성을 위한 기초자료 처리 기능을 개발하는 단계로 사용자의 간단한 조작으로 모형수행에 필요한 정보가 자동으로 추출되도록 개발하는데 목적이 있다. 입력 자료 생성 시 분석자의 상당한 주의를 요구하기 때문에 입력 자료를 사용자의 판단과정의 유무를 기준으로 분리하여 구조화 분석을 실시하고 전처리과정과 입력 자료 생성을 하나의 GUI에서 처리하도록 설계하였다. 후처리 과정 개발은 모형수행 결과의 도식화 모듈을 개발하는 단계로, 출력파일의 구조화 분석을 통해 도식화 요소를 구분하고 이를 프로그래밍 언어를 이용하여 구현하였다. Fig. 1은 설계된 시스템의 연계절차를 나타낸 것이고 Fig. 2는 개발된

시스템 GUI 이다. Fig. 1과 같이 각 수문관측소에서 관측된 데이터는 DB를 통해 data 관리가 되고 있다. 관측된 수문데이터를 시스템에서 데이터 처리과정 없이 모형 구동에 필요한 데이터를 추출·연산·저장하여 ASCII 형태의 입력자료를 생성하고 모형을 구동하여 계산 결과의 도식화가 가능하도록 GUI를 설계하였다. 각 분석 모듈은 DB를 경유하여 데이터의 입·출력을 수행하기 때문에 일관적인 자료 관리가 가능하고 다른 모형으로 확장 등이 용이할 것으로 판단된다. 또한, 실시간 관측 데이터를 이용한 분석뿐 아니라 1차원 수리·수문 모형 모의 결과를 입력 자료로 Import 할 수 있도록 모듈을 추가하여 데이터 활용에 있어 유연한 시스템을 구축하고자 하였다. 안정된 수치모의에는 많은 초기 조건 및 매개변수 설정이 필요하지만 Fig. 2(a)~(c)와 같이 모형 수행 조건들을 간략

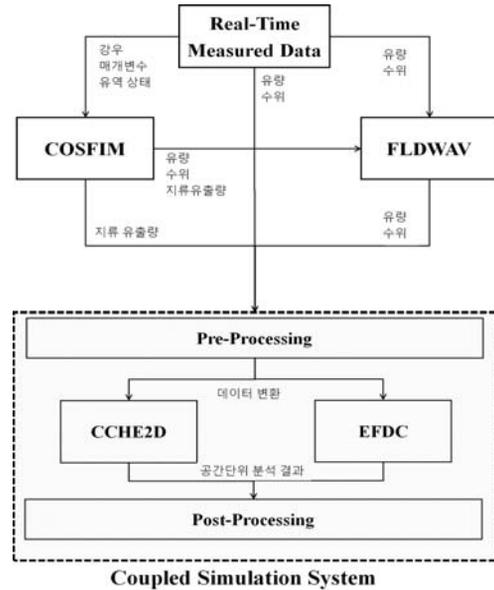
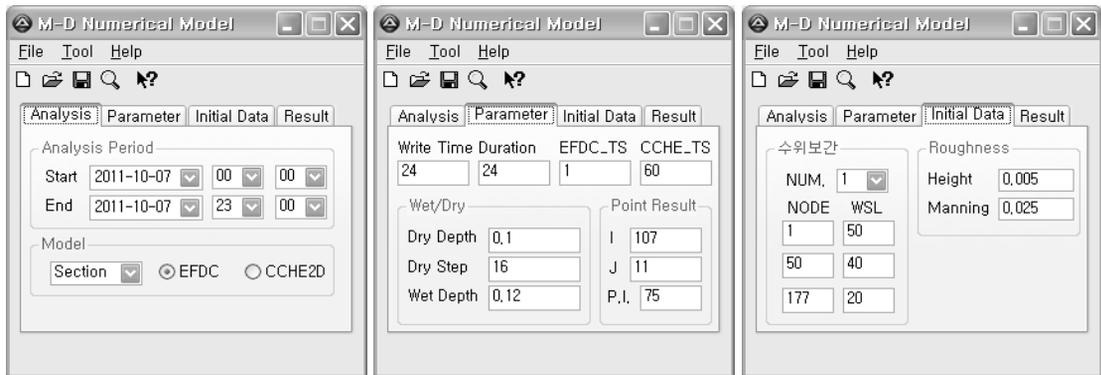


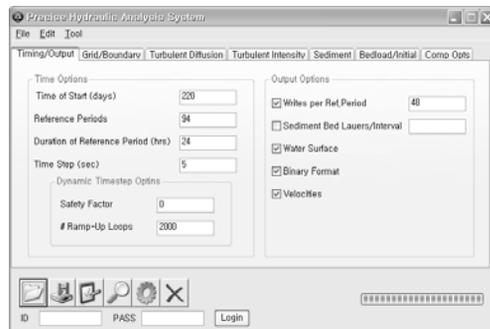
Fig 1. Coupled Simulation Procedure



(a) Analysis Window

(b) Parameter Window

(c) Initial Data Window



(d) System Window

Fig. 2. GUI for Coupled Modeling System

화하여 표현한 GUI에서 편리하게 초기수위 보간, 조도 및 조고 계수, Wet/Dry 조건, Monitor Point Node, Time Step 등을 수정할 수 있게 하였다. 특히 초기수위 및 Wet/Dry 조건은 모형의 안정적인 수행을 위해서 중요한 부분이다. 매개변수 세부조정이 필요하거나 유사부분의 수정과 구동을 위해서 Fig.2(d)와 같이 모형 적용을 위한 상세 GUI도 팝업 가능하게 설계하였다. 상세 GUI는 계산 시간의 적용, 모형 구동을 위한 계산인자 조정, 출력 관련 옵션과 더불어 난류변수, 격자구성, 경계조건, 유사해석을 위한 매개변수, 계산 옵션 등 다양한 세부조건들을 수정가능하다.

3.3 대상구간 지형 및 격자

낙동강은 금호강이 합류하는 구간으로 선정하였다(Fig. 3). 내부 주요지점으로는 대상구간 중간 지점에 금호강이 합류하고 있고 금호강 합류 후 화원수위표가 위치하고 있어 관측수위와 계산수위 비교를 통한 수리특성 검토가 용이하다. 상류단에 성주수위표가 위치하며 하류단에 고령교수위표가 위치한다. 성주수위표에서 고령교수위표까지의 거리는 대략 25 km이며 성주수위표에서 화원수위표까지는 12 km이고 화원수위표에서 고령교수위표 지점까지는 13 km이다. 수치모형은 일반적으로 하류 경계조건에 많은 지배를 받지만 대상구간에서 검토하고자 하는 화원수위표 지점은 상·하류 구간거리를 충분히 확보하였기 때문에 수리검토를 위한 지점으로 화원수위표를 채택하였다. 최심부를 연결한 하도선형은 매우 만족한 형태를 나타내며 복잡한 지형특성을 나타내고 있다. HEC-RAS 모형은 낙동강 하천정비기본계획(국토해양부, 2009)의 단면번호 387에서 332에 해당하는 4대강 건설 전 측량된 단면을 이용하여 구축하였다. 다차원 모형을 구축하기 위한 자료 중 가장 중요한 것은 물리적 실제 지형을 정확히 재현할 수 있는 3차원 지형도이다. 특히, 하천의 경우 주수로와 홍수터가

존재하여 두 구간내 큰 표고차가 발생하는 등 지형의 급격한 변화가 존재한다. 또한, 하도내에 존재하는 섬인 하중도와 각종 수리구조물은 유수의 흐름을 크게 바꿔놓을 수 있기 때문에 지형구축시에는 이러한 특징들을 종합적으로 고려해야 한다. 실제 지형을 정확히 재현하기 위해 종방향 20 m 간격으로 측량된 자료를 이용하여 주수로를 고려한 3차원 정밀 지형을 구축하였다. 안정민과 박인혁(2012)은 지형자료의 해상도와 공간보간기법에 따른 다차원 수리모형의 유출특성을 평가하였으며 본 연구에서 채택한 20 m 간격의 측량 자료는 수치모의를 위한 지형자료로 타당할 것으로 판단된다. 격자망 작성은 직교곡선 격자망 작성 프로그램인 Qmesh를 사용하였다. Qmesh(허영택 등, 2010)는 경계선 이동조건을 적용하여 하천망 형상 및 하도의 주수로 방향을 고려할 수 있고, 직교정확도가 높은 고품질의 직교곡선 격자망 작성이 가능하다. 특히 종횡비 및 직교성의 극대화를 위해 다단계 수렴계산 기법을 채용하고 있으며, 대상영역의 특성 및 검토조건에 따라 다양한 크기의 가변 격자망 작성이 가능하다. 격자는 지형을 충분히 표현 가능하고, 주수로와 홍수터 사이의 경사와 하천흐름방향의 경사 등 급격한 지형변화로 인해 발생하는 수치계산상의 안정성을 확보하였으며 종방향의 격자분할은 하천의 종방향 형상을 고려하고 유수의 흐름 방향과 평행하게 분할하였다(Fig. 4). 격자 개수가 증가함에 따라 모형수행 시간이 많이 걸리므로 내용과 목적, 계산의 효율성 측면에서 적절한 선택이 필요할 것으로 판단된다. 특히, 홍수기 빠른 의사 결정을 위한 수치모의를 위해서는 적절한 격자해상도가 필요하다. 본 연구에서는 안정민 등(2012)이 제안한 격자해상도 산정방법을 토대로 적절한 수준의 정확도와 계산시간을 확보할 수 있는 격자망을 구성하였으며 총 격자개수는 4,210개이며 횡방향 12개, 종방향 422개로 구성하였다.

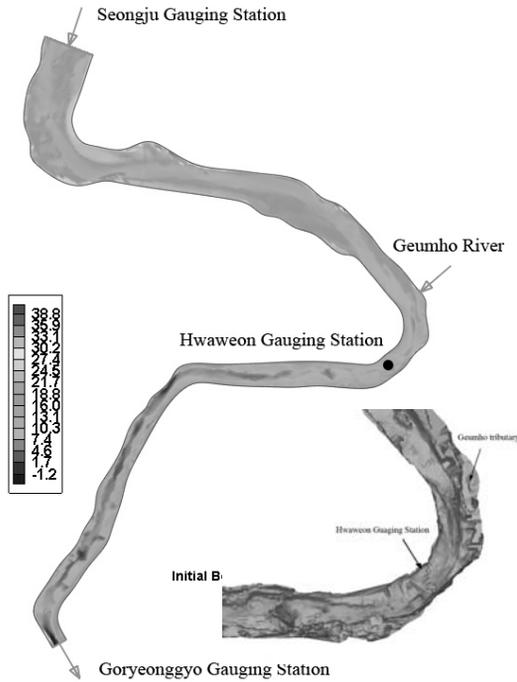


Fig. 3. Study Area

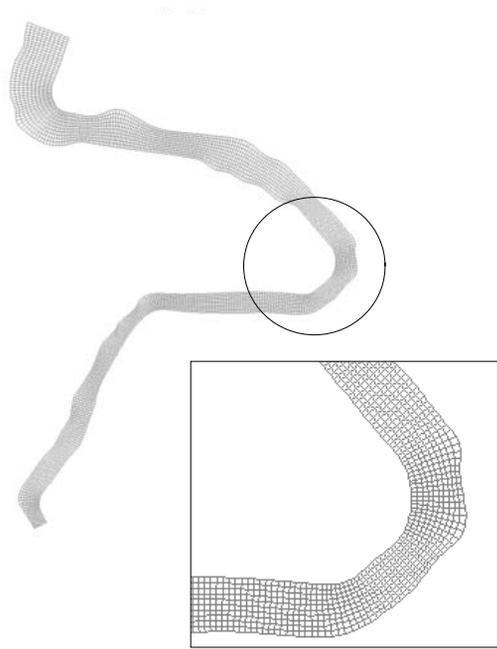


Fig. 4. Horizontal Curvilinear-Orthogonal Grid

4. 시스템 적용

2006년 태풍 “에위니아”사상을 대상으로 실제 관측 유입량에 대한 시스템의 수리학적 재현성을 검토하였다. 모의기간은 각각 2006년 7월 9일부터 12일, 2006년 7월 17일부터 21일이며 초기 수위는 거리에 따라 선형적으로 분포한다고 가정하여 각 격자에 적용하였다. 2006년 7월 9일부터 12일까지 수문 데이터를 이용하여 적절한 Time Step을 산정하였으며 2006년 7월 17일부터 21일까지 수문데이터를 이용하여 HEC-RAS, EFDC 그리고 CCHE2D 모형을 비교하였다. 난류해석 모델은 Smagorinski(Smagorinsky, 1963) 방법, Wall slipness 계수는 0.5, Wet/Dry 조건은 0.04 m, 중력가속도는 9.8 m/sec, von Karman 상수는 0.41, 동점성계수는 $1.0 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{sec}$ 를 적용하였다. 상류단 경계조건으로는 성주수위표의 관측 유량, 하류단 경계조건은 고령교 수위표의 관측

수위를 활용하였으며 상류단 경계조건 및 금호강 지류유입은 성주와 성서수위표에서 관측된 수위 자료를 바탕으로 한국수문조사연보(2006, 국토해양부)에 제시되어 있는 수위-유량 곡선식을 이용하여 유량으로 환산하여 적용하였다. EFDC와 CCHE2D 모형의 적절한 Time Step을 결정하기 위해 EFDC의 경우 1초 단위로 증가시켜서 모의하였고 CCHE2D의 경우 1초, 2초, 5초, 10초, 30초, 60초, 90초, 120초로 구분하여 각각 모의하였다.

5. 모의 결과 및 검토

다양한 유량에 대해서 검증하고 유량에 대한 수위 재현성을 평가하기 위해 부정류 흐름으로 수행하였고 적절한 Time Step을 결정하기 위해 EFDC와 CCHE2D 모형의 Time Step을 구분하여 모의하였다. 수치모의를 수행한 시스템에 대한

사양 및 규격은 Table 1과 같다. 태풍 “에위니아” 사상을 개발된 시스템에 적용하여 모의한 결과, EFDC 모형의 경우 Time Step을 3초 이상으로 설정할 경우 모형이 불안정해 졌으며 큰 유량이 유입되는 2.575 Days에 발산하였다. 따라서 EFDC 모형의 Time Step은 2초로 채택하였다. CCHE2D 모형의 경우 음해법으로 해석하기 때문에 Time Step을 1초, 2초, 5초, 10초, 30초, 60초, 90초, 120초로 구분하여 모의 하였고 각 Time Step의 모의 결과는 Fig. 5와 같다. 음해법으로 해석하는 경우 계산시간간격에 따라 계산 결과의 변동이 발생한다. Fig. 5에 도시된 계산된 결과를 바탕으로 각 Time Step별로 통계기법인 평균제곱근오차(Root mean square error, RMSE)와 Nash-sutcliffe 효율계수(Nash-sutcliffe efficiency coefficient, NSEC)를 분석하고 Time Step 1초로 계산된 결과를 기준으로 RMSE Ratio, NSEC Ratio를 계산하였다(Table 2와 Table 3). 평가지점은 화원수위표를 대상으로 하였으며 관측 값과 계산 값을 이용하여 통계기법으로 분석하였다. RMSE와 NSEC의 식은 아래와 같다. RMSE는 단위와 무관한 값이며 0 일 때 오차가 작은 것을 의미하고 NSEC는 1에 근접할수록 정확성이 높은 것을 의미한다. 분석 결과, RMSE ratio의 경우 Time Step이 60초가 될 경우 0.149로 계산되었고 Time Step 30초에서 계산된 0.073보다 두 배 증가하였다. NSEC ratio 분석 결과도 60초가 될 경우 변동이 발생하였다. 이와 같은 결과는 Fig. 6에서도 가시적으로 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 CCHE2D 모형의 적절한 Time Step을 30초로 설정하였다. 다차원 수리모형을 적용할 경우 격자구성, 입력자료 기간 그리고 Time Step에 따라 모의시간이 상이하기 때문에 본 연구에서 채택한 격자해상도, 입력자료 기간 그리고 Time Step을 적용할 경우, EFDC 모형은 15분 25초, CCHE2D 모형은 11분 55초의 모의 시간이 소요되었다. 따라서, 다음과 같이 15분 이내 홍수분석을 수행하고 예보해야 하는 경우에는 1차원 모형을 이용하여 예보하는 것이

타당할 것이나 다음과 같은 시간보다 여유가 있을 경우 본 시스템을 활용하여 다기능보 주변의 추가적인 공간적 수리분석을 수행하여 의사결정을 위한 다양한 정보를 제공받아 하천유지관리를 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

1차원 하천수리해석 모형인 HEC-RAS 모형과 다차원 모형인 EFDC와 CCHE2D 모형의 수위 계산결과를 화원 수위표 지점에서 비교한 결과, 다차원 모형인 EFDC와 CCHE2D 모형은 HEC-RAS 모형과 큰 오차 없이 비슷한 결과가 나타나며 수위가 상승 및 하강하는 전체구간에서 HEC-RAS, EFDC 그리고 CCHE2D 모형은 재현성이 높은 것으로 나타났다(Table 3와 Fig. 7). 본 연구를 통해 개발된 시스템은 Fig. 8(a)와 같이 수위 관측소 지점에서 측정되는 자료를 이용하여 모형을 적용하는 것과 더불어 Fig. 8(b)와 같이 다기능보와 다기능보 사이 구간을 대상으로 각 모형을 구축하여 향후 각 다기능보 지점의 관측 방류량 및 수위를 활용하여 정밀수리분석을 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 안정민 등(2011)은 4대강 수계 16개 다기능보 상·하류 10 km 구간에 대해 다기능보 건설 전·후로 구분하여 EFDC와 CCHE2D 모형을 구축하였기 때문에 본 시스템에 기 구축된 모형을 탑재한다면 다기능보 지점에서 유량과 수위예측이 가능할 것으로 판단된다. 또한, Import 기능을 활용하여 기존 홍수분석모형의 수문 및 수리모형에서 계산되는 값을 연계할 경우 기상에서 예측되는 강우량에 따른 다기능보 주변 구간의 유량 및 수위 값을 예측 할 수 있기 때문에 다양한 의사결정을 위한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다. 본 시스템은 환경부에서 추진하고 있는 수질오염총량제의 성공적 추진과 더불어 4대강살리기 사업으로 급변한 하천환경에 대한 과학적 물환경 관리 체계를 확보하고 기후변화 등 새로운 환경문제에 선제적으로 대응하기 위한 생태적 영향, 다기능보내 탁수와 조류 발생, 유사침전에 따른 준설시기 결정, 유형별·규모별 피해예측을 다각도로 검토할 수 있을 것이다.

Table 1. Specification of Calculation System

| Division | Contents |
|------------------|---|
| Processor | Intel(RP Core(TM)2 Quad CPU Q8300 @ 2.50GHz |
| Operating System | Microsoft Windows XP |
| Memory | 3.0GB |

Table 2. Error Analysis According to Time Step(CCHE2D)

| Statistics Properties | 1 | 2 | 5 | 10 | 30 | 60 | 90 | 120 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| RMSE | 0.305 | 0.311 | 0.312 | 0.318 | 0.310 | 0.304 | 0.347 | 0.501 |
| RMSE ratio | - | 0.044 | 0.062 | 0.067 | 0.073 | 0.149 | 0.340 | 0.591 |
| NSEC | 0.992 | 0.991 | 0.991 | 0.991 | 0.991 | 0.992 | 0.989 | 0.977 |
| NSEC ratio | - | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.998 | 0.990 | 0.970 |

Table 3. Error Analysis According to Models

| Statistics method | CCHE2D | EFDC | HEC-RAS |
|--|--------|-------|---------|
| RMSE(m) | 0.252 | 0.182 | 0.215 |
| Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient(m) | 0.986 | 0.993 | 0.990 |

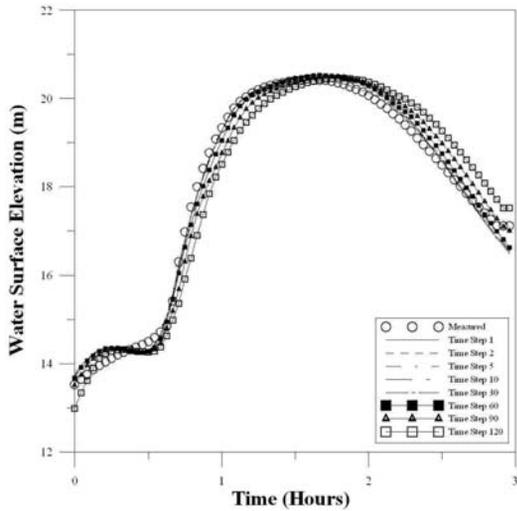


Fig. 5. Calculation Results According to Time Step(CCHE2D)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - X_i)^2} \quad (1)$$

$$NSEC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - O_M)^2} \quad (2)$$

여기서, O_i 는 관측수위, X_i 는 계산수위, N 은 데이터 개수, O_M 는 관측평균값이다.

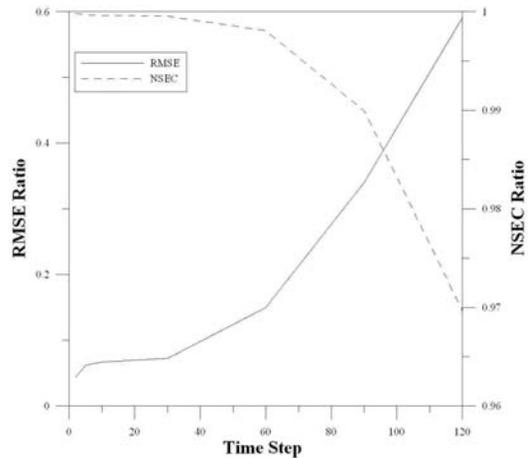


Fig. 6. RMSE and NSEC Error

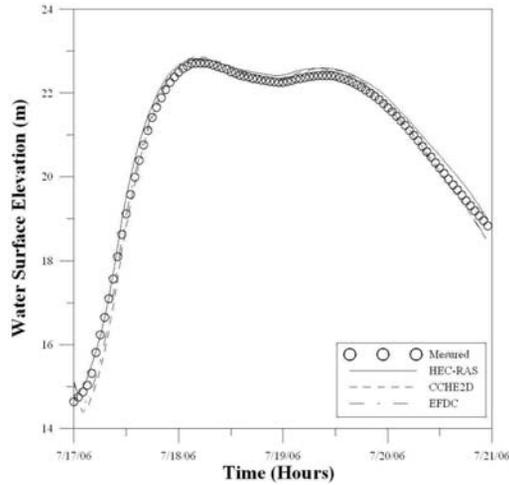


Fig. 7. Comparison of Simulated Water Level (Hwaweon)

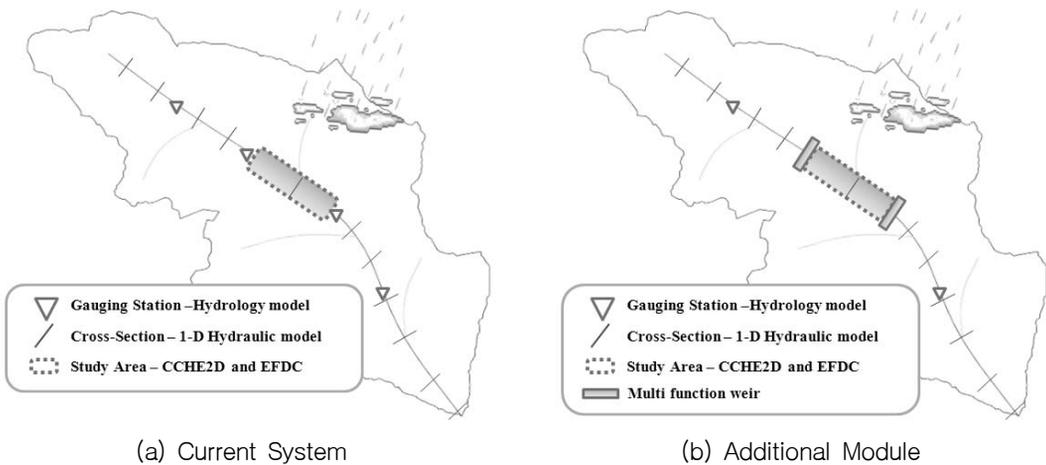


Fig. 8. Additional Module for Coupled Modeling System

6. 결론

4대강 살리기 사업 후 하도내 건설된 수리구조물의 운영과 홍수기 피해저감을 위해 다양한 의사결정 지원시스템은 필요하다. 본 연구에서는 기존의 1차원 수리, 수문 분석모형으로 제공받던 선단위·지점단위 정보에서 추가적으로 공간단위·격자단위 정보를 추가적으로 제공받을 수 있는 다차원 모형을 이용하여 분석 시스템을 개발하였다.

1) 다양한 응용 프로그램을 이용하여 여러 단

계를 거쳐야 했던 각종 공간정보 및 수위, 유량 정보 등의 산출과 수리·수문학적 매개변수를 하나의 프로그램에서 처리하고 상황에 맞게 처리 할 수 있도록 GUI를 설계하였고, 이를 통합된 DB에서 관리함으로써 효율적인 데이터의 관리 및 빠른 모형 구동이 가능하도록 개발하였다.

2) 정보 분석과 표준화된 분석절차로 진술한 모의 결과의 객관성 결여와 효율적인 시간적·금전적인 노력의 활용 문제가 근본적으

로 해소될 수 있을 것으로 기대된다. 심미적 기능이 강화되도록 UI를 재구성하고 모형의 자동 보정 기법 등을 추가함으로써 사용자 편의성을 극대화하고 모의 결과의 정확도를 높일 수 있는 방안을 검토하여 반영할 예정이다.

- 3) EFDC와 CCHE2D 모형의 적절한 Time Step을 산정한 결과, EFDC는 3초 이상의 Time Step을 설정하여 모의할 경우 발산하였으며 CCHE2D 모형은 음해법으로 흐름해석을 수행하기 때문에 30초 이상으로 모의할 경우 결과에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 EFDC 모형의 Time Step를 2초로 설정하였으며 CCHE2D 모형은 30초로 설정하였다.
- 4) 본 시스템을 이용하여 모의한 결과, EFDC와 CCHE2D 모형은 HEC-RAS 모형과 유속 및 수위 추세가 비슷하게 나타나며 수위 상승·하강 구간에서 재연성이 높은 것으로 나타났기 때문에 공간단위 수리분석모형으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) 향후, 건설이 완료된 각 다기능보 지점에서 관측되는 방류량 및 수위 데이터를 활용하거나 기존 홍수분석 모형의 수리·수문모형에서 계산되는 값을 Import 기능을 활용하여 기존 홍수분석모형의 수문 및 수리모형에서 계산되는 값을 연계할 경우 기상에서 예측되는 강우량에 따른 다기능보 주변 구간의 유량 및 수위 값을 예측 할 수 있기 때문에 다양한 의사결정을 위한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 창원대학교 연구교수연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- 강형식, 장재호, 안중호, 김익재. 2011. 유역 모형과 하천 모형의 연계를 통한 낙동강 분류 흐름 예측. 한국수자원학회논문집. 44(7): 577-590.
- 김양수. 2010. 4대강살리기 사업 공사중 홍수에 측방안 - 하도 및 하천시설물 관리-. 4대강 살리기 제 2회 컨퍼런스. 43(2): 14-17.
- 김연수, 장창래, 이기하, 정관수. 2010. CCHE2D 모형을 이용하여 급만곡부의 흐름특성을 분석. 한국방재학회논문집. 10(5): 125-133.
- 국토해양부. 2006. 한국수문조사연보.
- 국토해양부. 2009. 낙동강하천정비기본계획.
- 지운, 김권한, 여운광. 2011. 하구둑에서의 하폭 축소 방법을 이용한 퇴사저감 효과 분석. 한국수자원학회논문집. 44(1): 31-40.
- 지운, 여운광, 한승원. 2010. 낙동강 하구둑 상류 접근수로에서의 유사량 공식 및 유사 이송형태에 따른 하상변동 수치모의에 관한 연구. 한국수자원학회논문집. 43(6): 543-557.
- 안정민, 박인혁. 2012. 지형자료의 해상도와 공간 보간기법에 따른 다차원 수리모형의 유출 특성 평가. 한국지형공간정보학회지. 20(1호): 43-51.
- 안정민, 박인혁, 류시완, 허영택. 2012. 수리동역학적 모의를 위한 적정 격자해상도 산정방법. 한국지형공간정보학회지. 20(1호): 109-116.
- 안정민, 허영택, 공정택, 강신욱, 김현식. 2011. 다기능보 주변 다차원 정밀수리분석 시스템 개발 및 적용. 대한토목학회 학술발표논문집. pp. 1920-1923.
- 허영택, 류경식, 차기욱. 2010. 이동경계조건을 고려한 직교곡선격자 생성 기법 소개. 대한토목학회 학술대회논문집. pp. 2654.
- 허영택, 박진혁. 2009. EFDC 모형의 낙동강 하류부 수리해석 적용성 평가. 한국수자원학회논문집. 42(4호): 309-317.
- Blumberg, A. F., Mellor, G. L. 1987. A

- description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In Three-Dimensional Coastal Ocean Models. Coastal and Estuarine Science, American Geophysical Union 4: 1-19.
- Hamrick, J.M. 1996. A User's Manual for the Environmental Fluid Dynamics Computer Code(EFDC). The College of William and Mary. Virginia Institute of Marine Science. Special Report 331: 234.
- Jeong Sangman, Yeon Kyusung, Hur Youngteck, Oh Kukryul. 2010. Salinity Intrusion characteristics analysis using EFDC model in the downstream of Geum River. Journal of Environmental Sciences 22(6): 934-939.
- Jia, Y.F. and Wang, S.S.Y. 2001. CCHE2D: Two-dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flow Over Loose Bed. NCCHE Technical Report. NCCHE-TR-2001-01.
- Nassar, M.A. 2010. Multi-parametric sensitivity analysis of CCHE2D for channel flow simulations in Nile River. Journal of hydro-environment research 1: 1-9.
- Smagorinsky, J. 1963. General circulation experiments with the primitive equation, I. The basic experiment. Monthly Weather Review 91: 99-164.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). 1997. HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Hydrologic Engineering Center (HEC).
- 논문접수일 : 2011년 10월 21일
 - 심사의뢰일 : 2011년 10월 24일
 - 심사완료일 : 2012년 06월 12일