

최종 보고서

국토교통과학기술진흥원 귀하

목 차

제1장. 연구개발 과제 개요	1
제1절. 연구개발 최종목표	1
제2절. 연구개발의 목적 및 필요성	2
제3절. 국내·외 기술개발 현황	4
제2장. 연구개발 수행 내용 및 결과	5
제1절. 연구수행 추진전략	5
제2절. 연구수행 결과	10
제3장. 최종 연구 성과 및 적용실적	41
제1절. 최종 핵심 연구 성과	41
제2절. 주요 성과	47
제4장. 연구목표 달성 및 효과	60
제1절. 연구개발 최종 목표 달성도	60
제2절. 연구개발 성과의 기술 및 경제적 효과	63
제5장. 연구목표 달성 및 효과	66
제1절. 연구 성과 향후 활용방안	66

제1장 연구개발 과제 개요

제1절 연구개발 최종목표

본 연구의 최종 목표는 외산 상용 해석 소프트웨어에 의존하여 분석해오던 유체의 흐름특성을 순수 국내 기술로 한국형 수치해석 엔진을 개발하고 이 기술과 연계를 통해 유체의 흐름을 3차원 형상으로 가시화하여 재난 시 재해 상황을 직관적이고 시각적으로 파악할 수 있는 3D 유체시뮬레이션 시스템을 개발하는 것에 있음.

피해지역과 대처방안에 대해 3차원 공간정보 등을 이용하여 각종 시뮬레이션 검토를 통해 실제 발생 가능한 다양한 문제점을 미리 검토 하여 적절한 대책을 수립하고 국민의 소중한 인명과 재산을 보호하고 나아가 재난, 재해로부터 안정된 생활권을 확보할 수 있는 기반을 마련하고자 함.

〈 표 1 〉 연차별 성과목표

연차 (단계)	연차별 성과목표		성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차 (1단계)	1-1	수치지형 모델링 생성 모듈 개발	지형모델의 형태적 정확성	기존 모델링 Tool과 비교	80%	10%
	1-2	시설물 모델링 생성 모듈개발	시설물형태의 정확성	기존 모델링 Tool과 비교	90%	10%
	2-1	SOC규모의 대용량 3D 유체 Motion 모듈개발	처리가능한 입자수	대용량 입자수 시뮬레이션 Test	GPU 개당 300만개 입자처리	35%
	3-1	하천흐름의 지배방정식 알고리즘 정립	국내학술지게재	국내학술지게재 2건	2건	10%
	3-2	보존형 천수방정식 알고리즘 업그레이드	신뢰성	전문가의 검토를 통한 기술의 적정성확인	80%	13%
	4-1	수치지형 모델링 생성 모듈 개발	지형모델의 형태적 정확성	기존 모델링 Tool과 비교	80%	12%
	4-2	초기 및 경계조건 입력 모듈 개발	신뢰성	전문가의 검토를 통한 기술의 적정성확인	90%	10%
소 계						100%
2차 (2단계)	1-1	파티클 방식의 유체형상화 모듈개발	다양한 유체형상 표현의 사실성	시범콘텐츠 제작을 통해 검증	80%	20%
	2-1	전역조영 기법 모듈개발	빛과 유체표면의 색상표현의 사실성	시범콘텐츠 제작을 통해 검증	70%	20%
	2-2	다양한 매핑 모듈개발	이미지 표현의 사실성	시범콘텐츠 제작을 통해 검증	80%	20%
	3-1	1차년도 개발된 천수방정식 해석엔진 개발	신뢰성	기존해석엔진과의 비교 Test	90%	16%
	3-2	해석결과 표현기능 개발	표현성	계산 값과 표현 값의 비교	90%	5%
	4-1	병렬컴퓨팅기법을 통한 수치연산 고속처리기술개발	속도/성능향상	CPU기반 VS GPU기반 -> 연산 및 해석 속도 비교	CPU기반속도 < GPU기반속도	8%
	4-2	고속연산처리를 위한 다중GPU처리 기술개발	속도/성능향상	수행시간측정/ 격자해상도 측정	xGPU수배	11%
소 계						100%

〈 표 2 〉 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	3차원 유체 초기/경계 조건 설정 모듈 개발 - 과 3D 유체 Motion 연산 모듈 개발	- 유체 초기/경계 조건 설정 모듈 개발 - S.O.C 규모에 맞는 방대한 양의 3D 유체 Motion 연산모듈 개발
	2차원 유체 흐름의 지배방정식 알고리즘 정립과 해석관련 - 모의/경계 조건 설정 모듈 개발	- 유체 흐름의 지배방정식 알고리즘 정립 - 해석 관련 초기/경계 조건 설정 모듈 개발
2차년도	3차원 Volume Rendering 기법을 통한 유체 형상화 모듈개발 - 고품질 Rendering을 위한 시각화모듈 개발	- Volume Rendering 기법을 통한 유체형상화 모듈 개발 - 고품질 Rendering을 위한 시각화 모듈 개발
	2차원 하천흐름 해석 엔진개발 2차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 연산 수행속도 증대 기술 개발	- FEM수치해석기술을 바탕으로 해석모듈 개발 - 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 연산 수행속도 증대 기술개발
3차년도	3차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속 처리 기술 개발 - 대규모 SOC 및 방재분야 실무 적용검증	- 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속처리 기술 개발 - 대규모 SOC 및 방재 분야 실무 적용 검증
	2차원 해석엔진의 실무적용성 확인	해석엔진의 실무 적용성 확인

제2절 연구개발의 목적 및 필요성

현재 이상기후변화로 인해 집중호우·홍수에 의한 재해가 대규모화 되어 매년 각종 재난으로 직·간접적으로 복구에 막대한 비용이 지불되고 있으나, 피해규모 및 피해지역을 예측하는 건설기술은 아직까지는 연구단계에 머물고 있는 실정임.

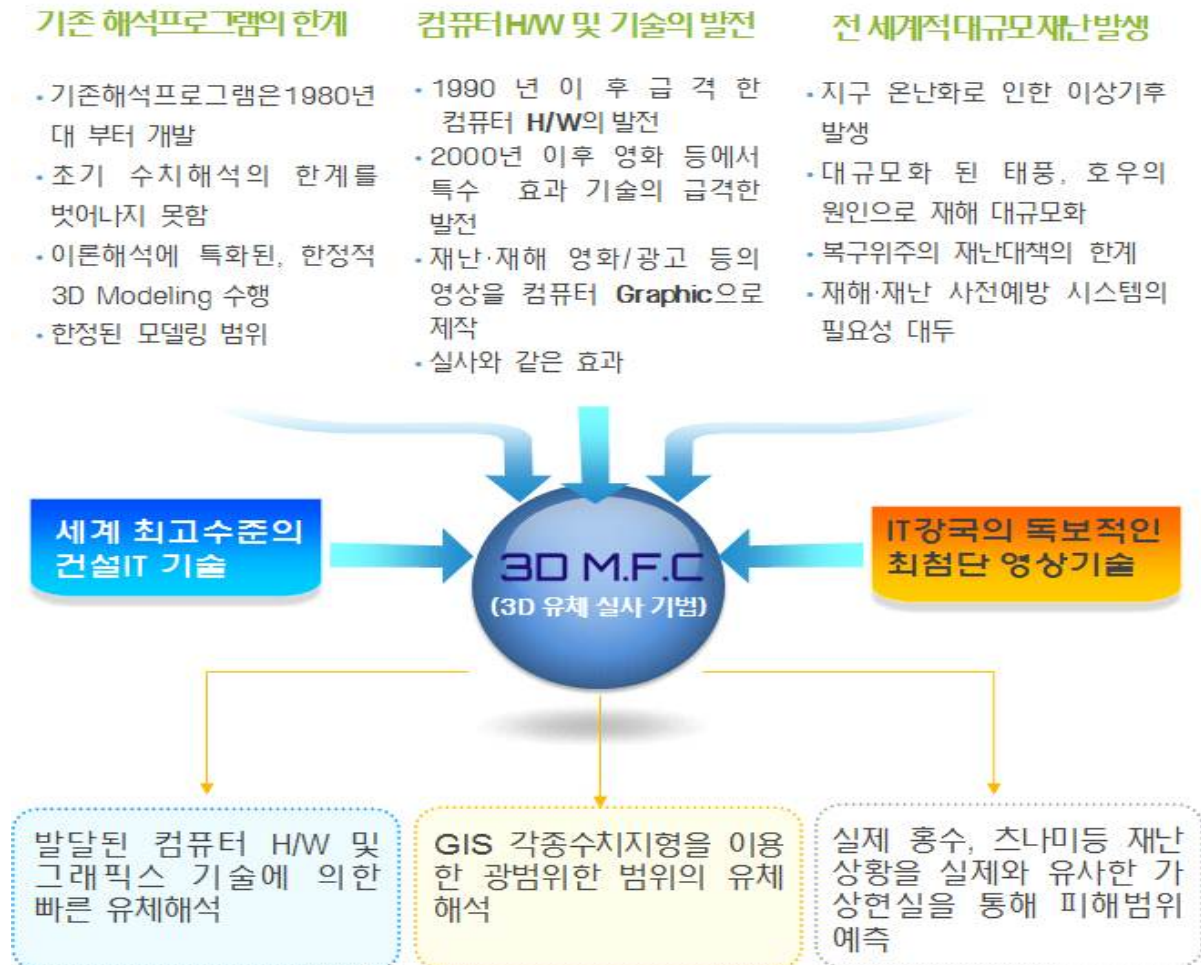
최근 S.O.C 시설물이 대규모화되고 복잡화됨에 따라 방재 및 안전 관리 등의 중요성이 증대되고 있으며, 이에 따라 3차원의 시각적 접근 또한 매우 중요하게 인식되고 있음. 시각적인 매체는 정보전달의 가장 효율적인 방법으로써, 향후 첨단정보기술의 핵심요인임. 현재 주로 사용되고 있는 2차원의 평면정보는 직관적, 시각적 정보를 효율적으로 구현, 제공 하는데 한계를 가지고 있기에 3차원 시뮬레이션기술의 필요성이 절실히 요구되고 있음.

홍수재해 관리 측면에서도 유체 수치 해석 및 3차원 영상 시뮬레이션 기술을 융합하여 홍수재해로 인한 침수 및 범람지역을 최근 발단된 건설 IT기술과 컴퓨터 모델링 기술, 가상현실(Virtual Reality, VR)기술 등을 이용하여 3차원 영상을 실시간으로 표현함으로써, 계획수립 및 설계초기부터 피해영역 및 규모를 가시적으로 파악하는 기술이 절실히 필요로 하고 있음. 특히, 하천, 댐, 도로, 철도 등 S.O.C 사업의 경우 3차원 유체시뮬레이션 시스템 개발을 통하여 문제점을 사전 파악하고, 이에 대한 정보를 확인함으로써, 유사시 발생할 수 있는 재난·재

해에 효과적으로 대처할 수 있음.

3차원 유체 영상 시뮬레이션들은 국내·외 활용 측면에서 보면, 아직까지 영화나 광고 등의 특수영상 부분의 일부 콘텐츠에 적용되어 애니메이션 수준에 머물러 있는 실정임. 또한 기존 개발된 수치해석 기술 또한 여러 가지 단점과 한계성을 가지고 있고 사용에 많은 제한이 있기 때문에 아직까지도 본 연구에서 제안한 각종 S.O.C와 공학적 측면을 융합해서 적용된 시스템과 대적할만한 적절한 시스템이 개발되지 않고 있음.

본 연구에서 신뢰도 높은 유체 해석 기술을 확보하고 국내 실정에 맞는 한국형 유체 수치해석 기술을 개발하고 재난·재해를 사전에 예방하고 대처할 수 있는 3차원 유체 영상시뮬레이션 시스템을 개발하고 나아가 병렬 후처리 알고리즘 기술 개발을 통해 실시간으로 연동되는 시스템이 구축되기 위해서는 국토 해양부 산하 한국건설교통기술 평가원의 적극적인 지원이 요구되며 순조롭게 개발할 경우 대규모 SOC사업에 적용되는 3차원 유체시뮬레이션을 제시할 수 있음.



< 그림 1 > 연구개발의 필요성

제3절 국내·외 기술개발 현황

국내 기술개발 현황을 살펴보면, 최근 10년간 영상특수효과 제작을 위한 유체 시뮬레이션 기술이 활발히 연구되었으나 현재까지는 영화, 광고 제작에만 활용되고 있으며 국내 자체 기술개발의 부재로 외산 상용 수치해석 소프트웨어가 사용되고 있는 실정임. 또한 해외 수치해석 소프트웨어의 구매하기 위해서는 많은 비용이 요구되며, 중소기업 등에서 쉽게 접근하지 못하는 한계가 있어서 학술적 용도로만 하천 및 수자원 분야 등 수치해석 분야에만 한정적으로 적용하는 실정임.

국외의 경우 외산 상용 수치해석 소프트웨어는 유체 내 단순 정보만 분석하여 유체를 단순 색상으로 맵핑하는 수준이므로 실시간으로 실사 표현이 불가능하고 SOC시설과 같은 대형구조물, 광범위한 지역에서 3차원 유체 시뮬레이션 기술을 적용하기 불가능한 실정임. 또한 공학적 기반에 입각하여 유체에 대한 수치해석기술과 모델링, 렌더링 그리고 최첨단 특수 영상기법을 융·복합하여 가상현실공간에서 실시간으로 SOC분야에 적용하거나 제품화 및 연구개발을 시도한 경우는 없었음.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 전략

1. 연구개발 추진 체계

분	주관 연구기관 - 동남이엔씨(주)	공동 연구기관 - (주)이엔지소프트
1차년도 (2012 ~ 2013)	3차원 유체 초기/경계 조건 설정 ○ 모듈 개발과 3D 유체 Motion 연산 모듈 개발	○ 2차원 유체 흐름의 지배방정식 알고리즘 정립 ○ 해석관련 모의/경계 조건 설정 모듈 개발
2차년도 (2013 ~ 2014)	○ 3차원 Volume Rendering 기법을 통한 유체형상화 모듈개발 ○ 고품질 Rendering을 위한 시각화 모듈 개발	○ 2차원 하천흐름 해석 엔진개발 ○ 2차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 연산 수행속도 증대 기술 개발
3차년도 (2014 ~ 2015)	○ 3차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속 처리 기술 개발 ○ 대규모 SOC 및 방재분야 실무적용 검증	○ 2차원 해석엔진의 실무적용성 확인

2. 연차별 세부 추진계획 및 방법

구분	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간	해당기관
1차년도	3차원 유체 초기/경계 조건 설정 모듈 개발	- 수치지형 모델링 생성 모듈 개발 - 시설물 모델링 생성 모듈개발 - 초기 및 경계조건 구현 모듈 개발	2012 ~ 2013	동남 이엔씨(주)
	3D 유체 Motion 연산 모듈 개발	SOC 규모에 맞는 대용량 파티클 방식의 3D 유체 Motion 알고리즘 정립	2012 ~ 2013	동남 이엔씨(주)
	2차원 유체 흐름의 지배 방정식 알고리즘 정립	- 하천흐름의 지배방정식 알고리즘 정립 - 보존형 천수방정식 알고리즘 업그레이드	2012 ~ 2013	(주)이엔지 소프트웨어
	2차원 해석관련 모의/경계 조건 설정 모듈 개발	- 수치지형 모델링 생성 모듈 개발 - 초기 및 경계조건 구현 모듈 개발	2012 ~ 2013	(주)이엔지 소프트웨어
2차년도	3차원 Volume Rendering 기법을 통한 유체형상화 모듈개발	파티클 방식의 유체형상화 모듈개발	2013 ~ 2014	동남 이엔씨(주)
	고품질 Rendering을 위한 시각화 모듈 개발	- 전역조영 기법 모듈개발 - 다양한 표면 매핑 모듈개발	2013 ~ 2014	동남 이엔씨(주)
	2차원 하천흐름 해석 엔진 개발	1차년도 개발된 천수방정식 해석엔진 개발 - 해석결과 표현기능 개발	2013 ~ 2014	(주)이엔지 소프트웨어
	2차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 연산 수행속도 증대 기술 개발	- 병렬 컴퓨팅기법을 통한 수치연산 고속처리 기술개발 - 고속연산처리를 위한 분산 네트워크 기술개발	2013 ~ 2014	(주)이엔지 소프트웨어
3차년도	3차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속 처리 기술 개발	- GPU간 병렬컴퓨팅 기술개발 - 분산 유체 네트워크 기술개발	2014 ~ 2015	동남 이엔씨(주)
	대규모 SOC 및 방재분야 실무적용 검증	- SOC 시범사업 참가 - 전문가의 자문 요청	2014 ~ 2015	동남 이엔씨(주)
	2차원 해석엔진의 실무적용성 확인	- 기 개발된 해석 엔진과의 비교 - 실시 설계에 적용	2014 ~ 2015	(주)이엔지 소프트웨어

3. 연구개발 추진 전략

연구범위	연구수행방법
3차원 Volume Rendering 기법을 통한 유체형상화 모듈개발	- 유체시뮬레이션 시스템의 입력모듈을 통해 파티클 속성에 따라 구 형태로 변환시키는 유체 형상화 모듈을 개발 - 본 연구에서 수치해석의 기본인 연산 및 결과도출의 정확도를 검증하기 위해서 연구에서 개발된 FSS의 결과값을 Hatice and Selahattin (2011)의 실험에서 분석된 결과와 격자방식의 상용프로그램인 Flow-3D의 분석된 결과로 비교 및 분석을 수행한 논문을 국내학술지에 게재
고품질 Rendering을 위한 시각화 모듈 개발	- 유체시뮬레이션 형상화 모듈에 빛에 대한 반사, 굴절을 표현 할 수 있는 모듈을 개발 - 유속을 벡터를 이용한 표현, 유속에 따라 색상을 이용하여 출력하는 방법 등을 선택할 수 있는 다양한 형태의 맵핑 모듈을 개발
2차원 하천흐름 해석 엔진 개발	- 본 연구에서 수치해석의 기본인 연산 및 결과도출의 정확도를 검증하기 위해서 연구에서 개발된 알고리즘 과 널리 사용되고 있는 알고리즘(SMS)의 비교 - 하천의 흐름해석 엔진에 연산 및 해석을 통해 나온 유속값에 따라 유속분포의 색상이 변화는 기능을 개발
2차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 연산 수행속도 증대 기술 개발	- NVidia사에서 제공하는 CUDA를 이용하여 CPU기반을 GPU기반으로 변경하고, 다중 GPU기술을 개발
연구 개발기술의 검증	- 과거의 홍수피해가 있었던 지역의 수치해석결과와 연구 개발된 S/W 결과값 비교 - 대학교와 협력을 통한 검증 -> 기존의 수리모형 실험결과 비교 -> 기존의 수치해석 소프트웨어와의 결과값 비교 -> 엔진에 적용된 알고리즘 및 엔진의 결과값 검증 - 실무자 및 관계자(교수님 등)를 초대하여 공청회 개최 - 수자원학회 등에서 개최하는 학술대회 참가 및 논문 발표
연구개발기술의 실용화	- 실제 사업(시공)구간에 적용 -> 실제 발생 가능한 다양한 문제점을 사전에 검토하고, 실무자 의견청취 - 공청회를 개최하여 실무자, 관계자 등의 의견청취 - 대학기관에 검증 등을 의뢰할 때 실제 사용하게 함으로써 연구 개발된 S/W의 실용화를 위한 문제점 파악
연구개발기술의 홍보전략	- CFD 및 기후변화 관련 전시회에 참가 - 트위터 및 블로그 등과 같은 SNS를 이용하여 홍보 - 국내 학술대회 등에 참가하여 대학관계자, 실무자 등에게 홍보

4. 한국도로학회 연구단 세션 개최

본 과제로 도출된 개발내용에 대한 홍보 및 전문가들의 의견을 듣기 위해 2015년 추계 한국도로학회에 연구단 세션을 개최하였음. <그림 2>는 도로학회 진행 순서이며, 세션과 관련된 발표자료는 첨부자료를 통해 확인 할 수 있음.

2015년도 제17회 한국도로학회 학술대회 진행순서

시 간	내 용
10:00~10:30	등 록
10:30~11:00	개 회 사 한국도로학회 이광호 회장
	축 사 국토교통부 여형구 차관 서울시 김준기 안전총괄본부장
11:00~11:15	세계도로대회 소개
11:15~12:15	초 청 강 연 미래 메가트렌드와 도로 - 유엔미래포럼 박영숙 대표
12:15~13:30	점 심 식 사
	특 별 세 셴 도로함물 예방과 대책
13:30~14:30	연구단 세션 입자방식의 3D 유체흐름(도로 및 하천) 시뮬레이션 개발 연구과제 성과발표회
14:30~15:00	포스터 세션 포스터 발표 및 휴식
15:00~17:30	논 문 발 표 1. 아스팔트포장 2. 콘크리트포장 3. 유지보수/재활용 4. 도로설계 및 안전 5. 도로교통
17:30~	논문상 시상 최우수 1편, 우수 5편

* 발표자료를 USB로 준비하세요. 빔 프로젝트를 준비하였습니다 *

※ 학술대회 참가하여 전 과정에 참여하시면 기술사교육이수 4시간이 인정되오니, 신청을 원하시는 회원께서는 등록접수대에 문의하시기 바랍니다.

※ 논문상 시상 후에는 행운권 추첨을 통해 태블릿PC 등 꾸민 선물물을 드립니다.

< 그림 2 > 한국도로학회 학술대회 진행순서



< 그림 3 > 한국도로학회 학술대회

제2절 연구수행 결과

1. 2D 해석엔진의 실무적용 사례

본 연구과제에서 개발된 2차원 해석엔진의 실무적용을 검토하기 위하여 2가지 사례에 대해 적용하였음.

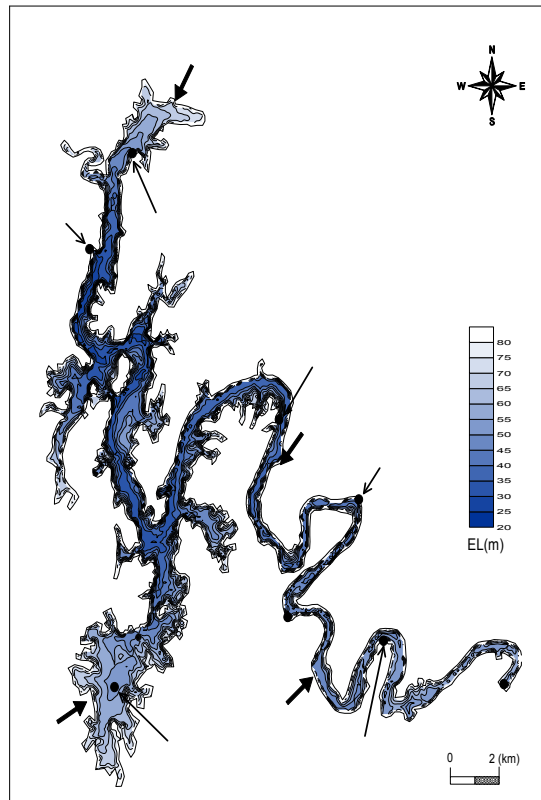
첫 번째 실무적용사례는 대청호 내에서 강우발생시 계산된 수위를 수위 계측 값과 비교하여 오차를 검토하고 유속 및 유향분포를 분석해 보았음.

두 번째는 아산만 연안에서 항만공사로 인한 조류의 유속 및 유향의 변화를 검토하고 공사 후 해저바닥면의 침식 및 퇴적양상을 분석해 보았음.

가. 대청호 내 흐름해석에 적용한 사례

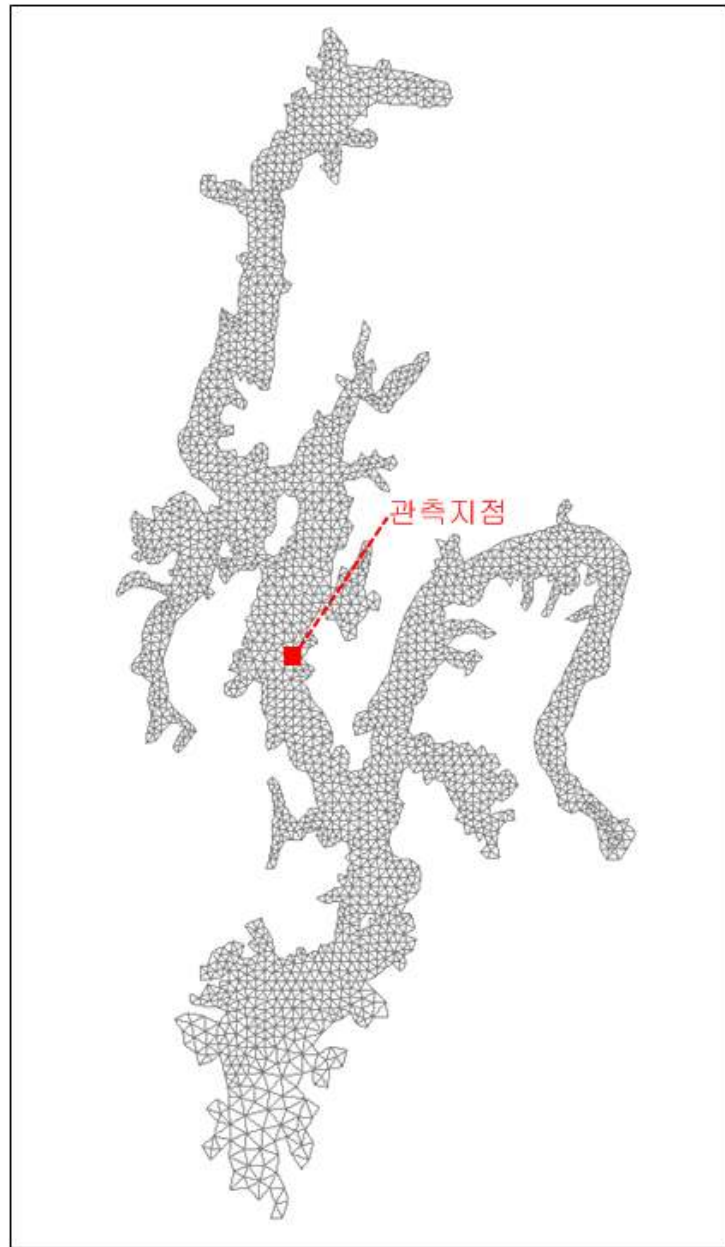
(1) 배경

대청호는 대전 및 충청지역에 생활용수와 공업용수를 공급하는 중요한 수자원임. 매년 수질오염 특히 부영양화 문제로 고통을 받고 있으며, 이에 따른 조류의 과잉 발생으로 수돗물에서 냄새가 유발되는 등 상수원에 대한 불신이 높아지고 있는 실정임. 이러한 대청호의 수질악화 원인은 대청호 상류지역의 각종 오염원으로부터 배출되는 오염물질이 미처리 상태로 대청호에 홍수 시 다량으로 유입되기 때문임. 따라서 대청호의 수질관리를 위해서는 유역 및 수계에서 물의 순환과정을 바르게 파악하여 수질관리에 도움이 될 수 있도록 강우 발생 시 물의 흐름을 분석하였음.



< 그림 4 > 대청호 지형

(2) 모형의 입력자료 및 검증자료

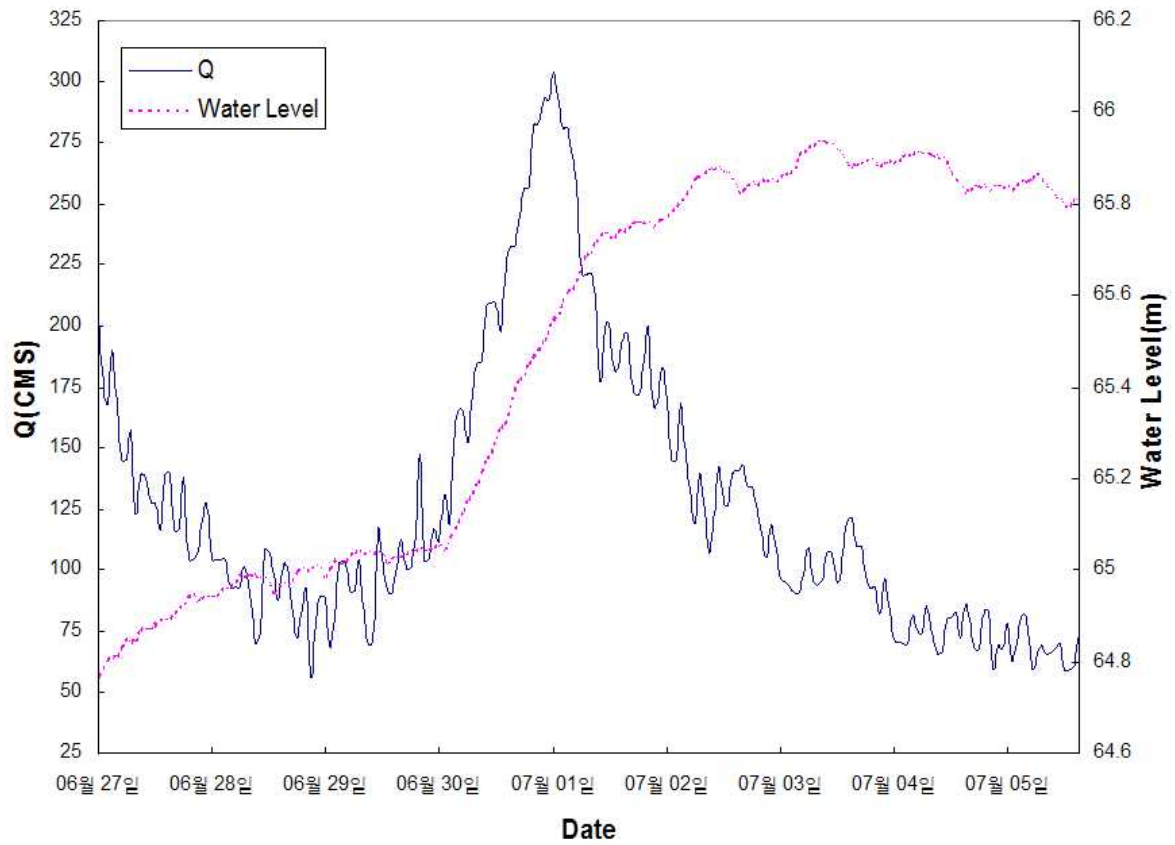


< 그림 5 > 유한요소 격자 및 관측지점위치

복잡한 지형을 가지고 있는 대청호 <그림 4> 내의 흐름해석을 위해 <그림 5>와 같은 유한요소 격자망을 사용하였으며, 격자요소의 최소길이는 50 m, 최대길이는 394 m이고 노드개수는 2585개, 요소개수는 4154개 임. 초기수위는 66m로 설정 하였고, 질량집중계수 0.875, 조도계수 0.025, 난류점성계수 4, 마찰계수 산정은 유속에 따른 평면마찰력을 계산하여 적용하였음.

모형의 입력자료와 검증자료로 사용한 수위자료의 관측위치는 <그림 5>에 표시된 정점에서 2001년 6월 27일부터 7월26일까지 약 28일간 관측결과(한국수자원공사[2001]) 중 9일간의 대청댐 전면 수위자료와 본류 유입량을 모형 입력조건으로 6월 27일에서 7월5일까지의 수

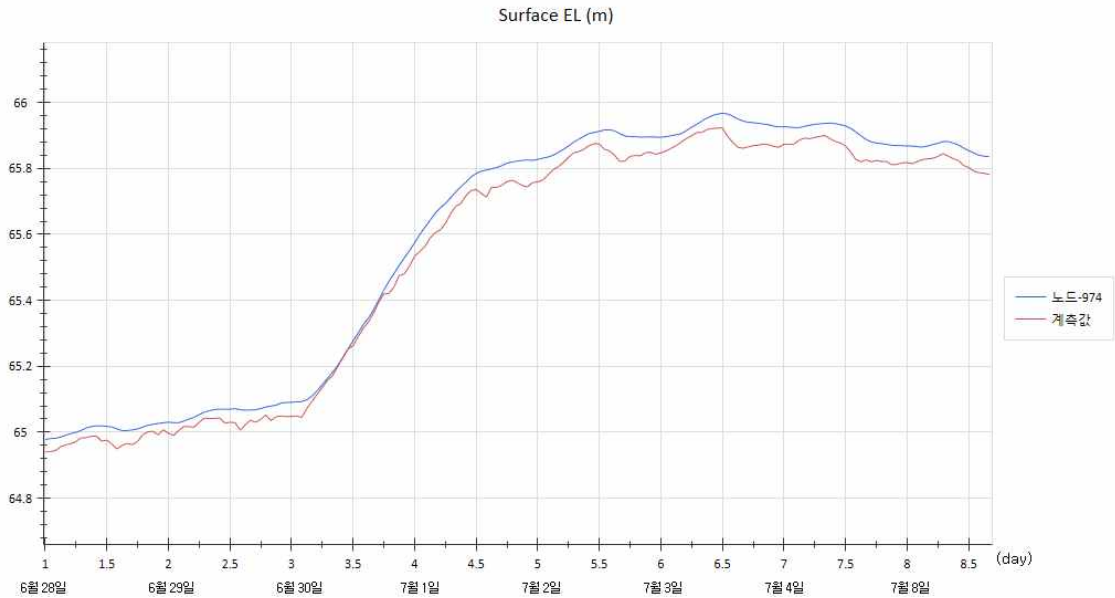
위관측 자료를 모형 검증자료로 사용하였음. 하류단 경계조건으로 사용한 수위변화와 댐 상류에서의 본류 유입량은 <그림 6>과 같음.



< 그림 6 > 강우시 경계조건

(3) 관측수위와 계산수위의 비교

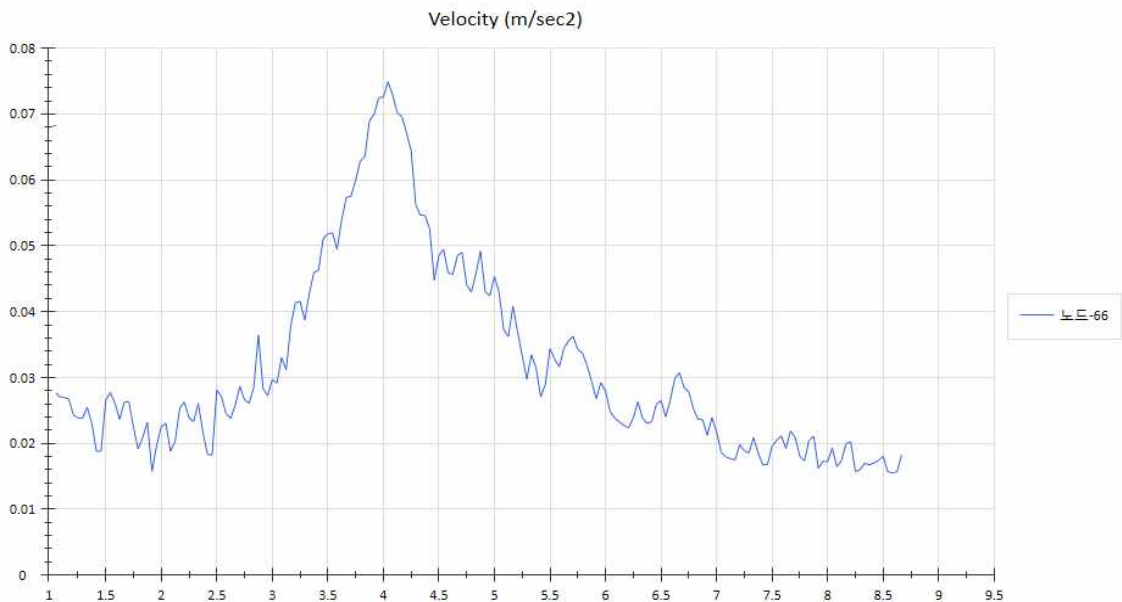
7월1일 전후로 강우발생시 상류에서 유입유량이 증가하면서 수심이 1m가량 증가하였고 관측 위치에서 관측결과와 계산결과를 비교하였을 때 <그림 7>과 같이 관측값과 거의 유사한 것을 확인할 수 있었음.



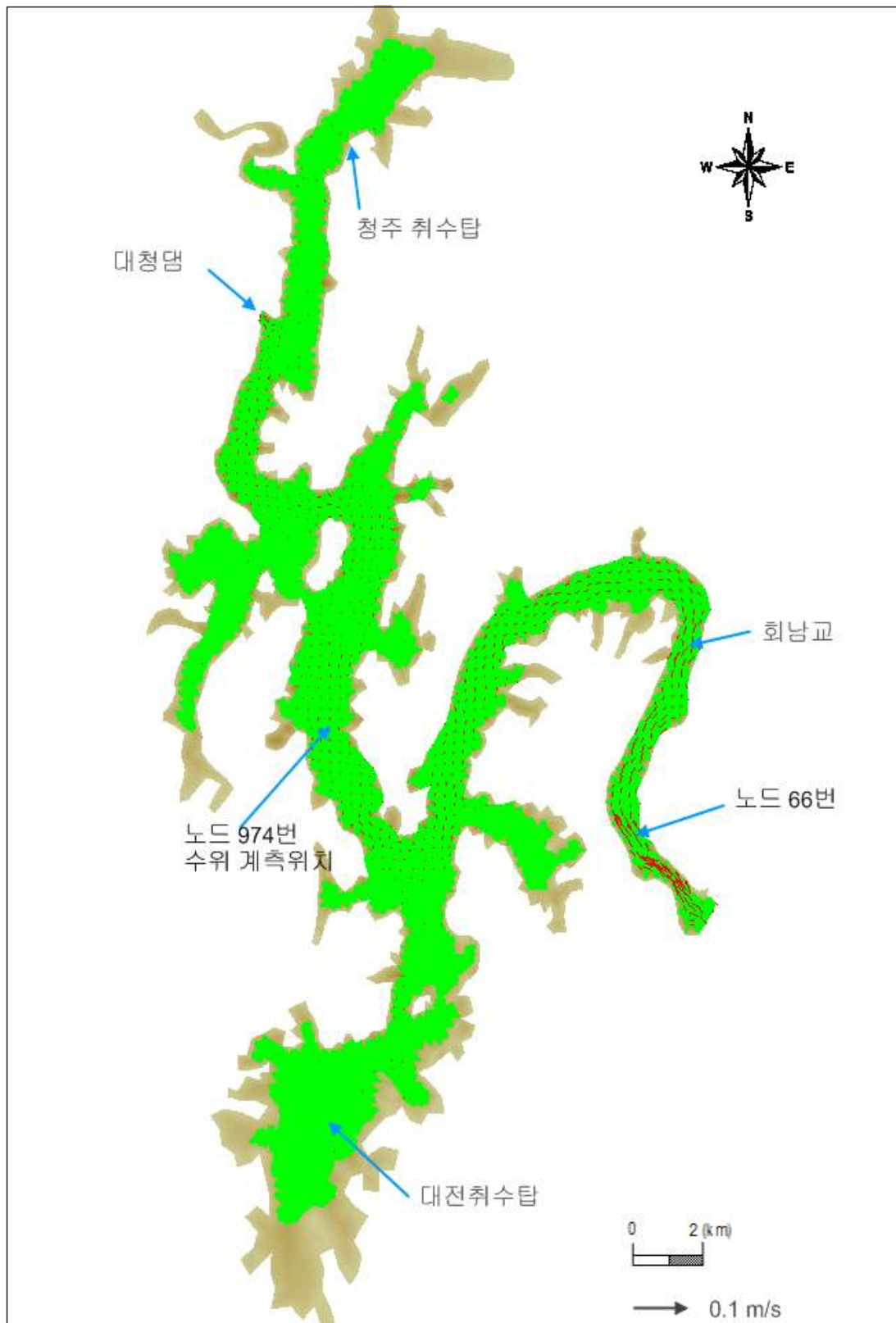
< 그림 7 > 관측지점에서 관측수위와 계산값 비교

(4) 강우발생시 유속분포

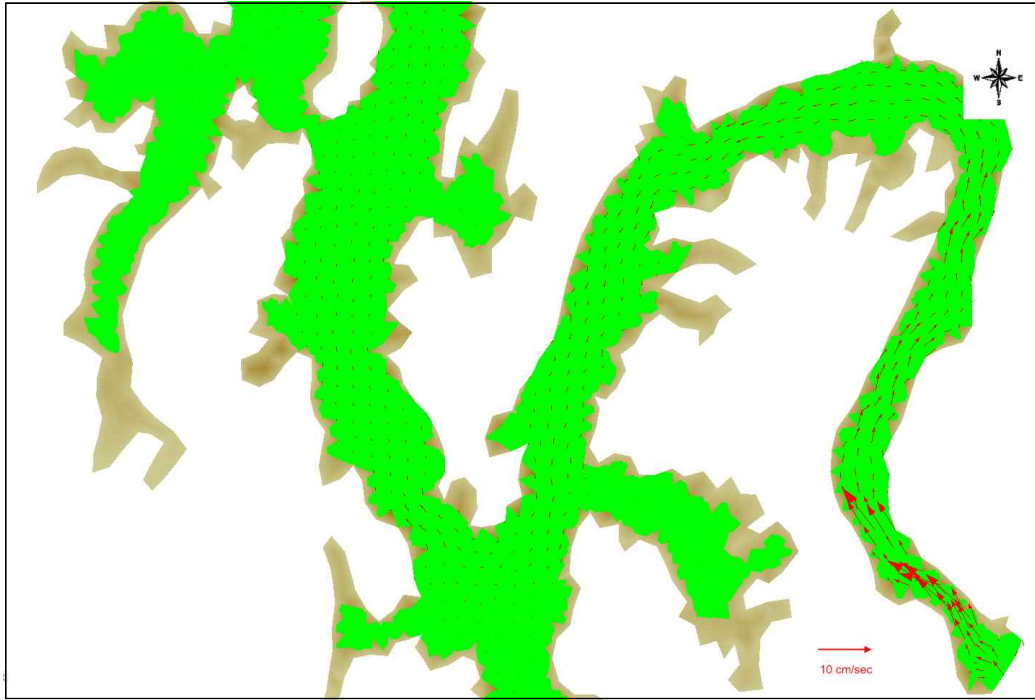
7월1일 강수시 유속분포는 <그림 9>, <그림 10>과 같으며 유량 그래프와 동일한 Peak 시점을 보이며 유속은 최대 8 cm/sec로 하폭이 작은 상류에서 크고, 수로폭이 커지는 하류부에서 유속은 최대 3 cm/sec였음.



< 그림 8 > 노드 66번 위치에서 시간대별 유속변화



< 그림 9 > 7월1일 0시 유속분포 I



< 그림 10 > 7월1일 0시 유속분포 II

(5) 모의 결과

모의결과에서 보면 본류로 유입된 하천수가 주로 주수로를 통해 흐르며, 본류와 연결되어 있는 대전취수탑이 위치해 있는 수역으로는 거의 흘러들어 가지 않음. 대전취수탑 부근에는 강우 시에도 약한 유속장이 형성되며, 이는 이 지역으로 유입된 오염물질이 정체된 흐름현상으로 인하여 이송-확산되지 못하고 장기간 잔류하는 원인이 될 수 있음. 이는 홍수기 후 대전취수탑 주위에 종종 발생하는 녹조현상과 무관하지 않음.

향후 부유사확산모형을 모델에 추가하여 오염물질의 확산양상 및 피해범위를 산정할 수 있는 시스템의 개발이 추가로 필요함.

(6) CPU모형과 GPU모형의 결과값 및 속도비교

두 방법을 사용하여 총 208시간을 모의한 결과(유속분포)는 동일한 결과값(유속 및 수위)을 산출하였으며 계산시간은 표1과 같음. 동일한 조건에서 유한요소격자수만 변경하였을 경우 노드가 2588개 일 경우 GPU가 CPU대비 3.6배의 성능을 보였으며, 노드가 5021개인 경우 GPU가 CPU대비 10.25배의 성능을 보여주었음. 노드수가 커질수록 계산속도가 향상되는 이유는 GPU의 계산블럭당 노드수가 많아질수록 성능이 높아짐. 이로 인해 GPU를 적용한 해석 엔진의 사용시 사용자는 좀 더 다양한 해석케이스에 해석을 수행함으로써 흐름현상을 좀 더 정확하게 분석할 수 있음.

< 표 3 > CPU와 GPU의 계산시간 비교

노드/요수개수	CPU기반	GPU기반	효율
2588/4154	47분	13분	3.6 배
5021/8682	164분	16분	10.25 배

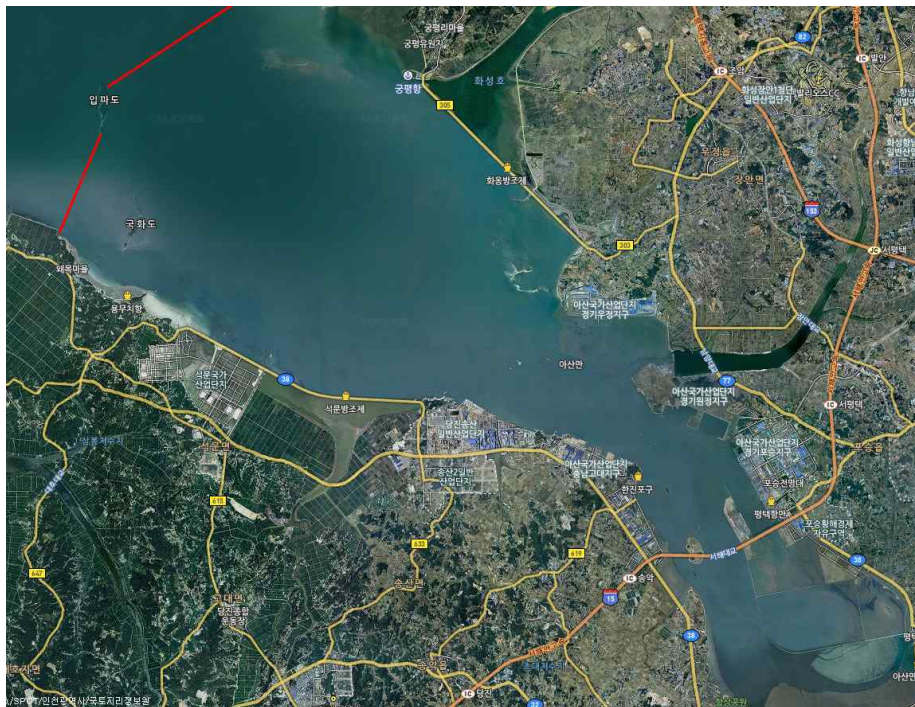
나. 아산만 조류모델

(1) 배경

최근 연안해역의 개발과 이용이 전국에서 활발하게 진행되고 있으며, 이에 따라 연안환경이 크게 변화하고 있음. 아산만을 비롯한 서해 연안에서는 담수호 개발과 간척을 목적으로 한 방조제 건설과 해운물동량 증가에 효과적으로 대처하기 위하여 항만개발이 최근 활발하게 진행되고 있음.

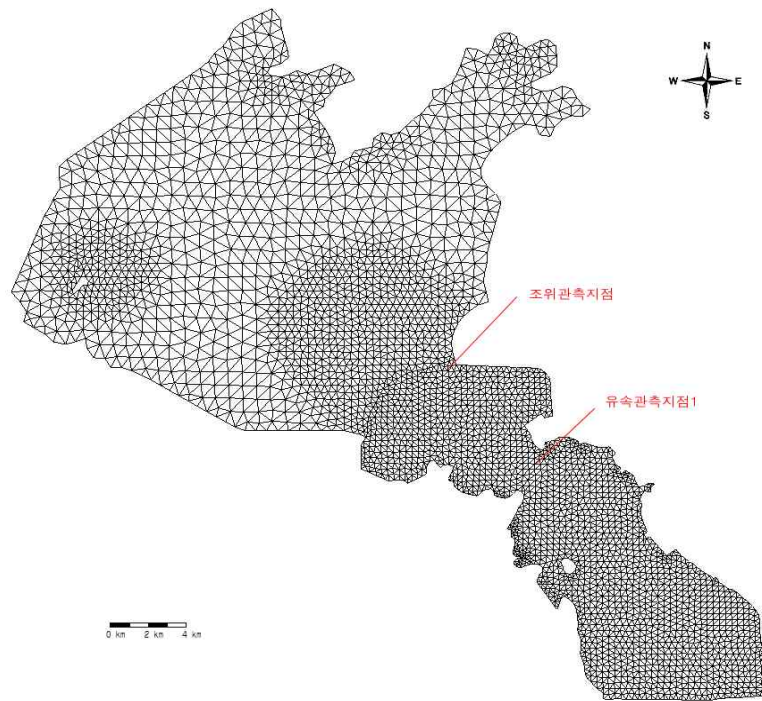
특히 아산만에서는 해안선을 포함한 지형변화로 인해 해수유동특성이 변화되고 이로 인한 퇴적물과 오염물질의 이동특성이 크게 변화하고 있음. 아산만은 복잡한 해안선을 가지고, 최대 10m에 달하는 큰 조차로 인해 조간대가 넓게 발달되어 있으며, 지형변화에 따라 유속이 변하는 복잡한 흐름구조를 가지고 있음. 따라서 아산만의 흐름현상을 정확히 이해하기 위하여 복잡한 해안선과 조간대를 효과적으로 고려할 수 있는 유한요소 모형이 필요함.

본 연구에서 개발된 유한요소 모형을 이용하여 아산만의 조류흐름을 모의하고 현장관측조류 분포와 비교검증을 통하여 연안해역에 적용성을 검토하였으며 초기 연구로 1989년과 2013년 당시의 조류를 모의하여 조류의 변화 및 수심변화의 관련성을 검토하였음.

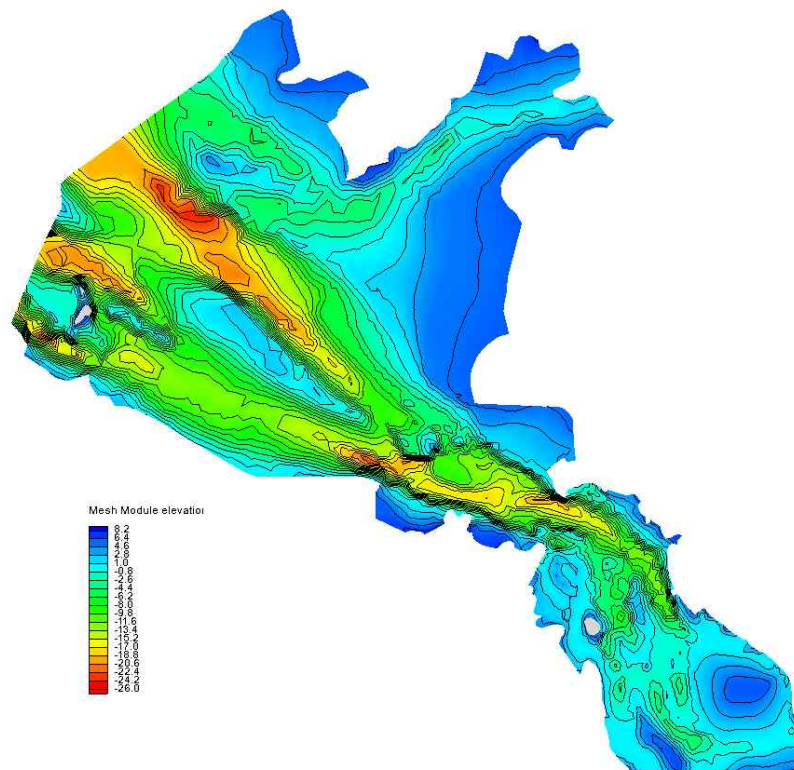


< 그림 11 > 아산만 위성사진

(2) 모형의 입력자료 및 검증자료



< 그림 12 > 유한요소 해석을 위한 격자망



< 그림 13 > 수심분포 (1989년)

<그림 12>와 같이 격자의 크기는 70~600m인 격자를 총격자수 3,517개, 총요소수 6,515개로 구성하였음. 모델영역은 위도 36° 53' 00" ~37° 11' 00" N, 경도 126° 31' 00" ~126° 55' 00" 이며 수심자료 및 지형자료는 수치해도 N0.307을 사용하여 89년 지형에 맞게 구성하여 15일간 계산을 수행한 후 조위 및 유속 관측자료(인천항건설사무소, 1993)와 비교 및 검증하였음.

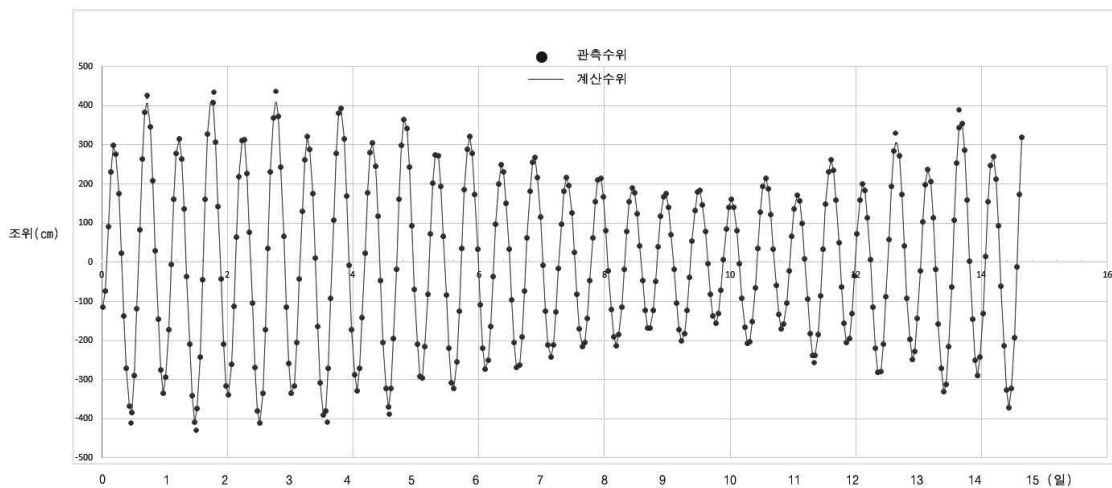
초기조건은 초기유속을 0 m/sec 로 주어 계산을 시작하였으며, 육지경계조건으로 경계에서의 유속의 수직성분이 0m/sec 되도록 하였음. 개방경계조건은 입파도를 기준으로 양측의 경계면 선상의 각 격자점에 주요4대분조(M2, S2, K1, O1)의 합성에 의한 조위값을 다음과 같이 지정하였음.

$$(x, y, t) = \sum_{i=1}^4 A_i(x, y) \cos(\omega_i t - k_i)$$

여기서 $A_i(x, y) = i$ 조의 반조차, $\omega_i = i$ 분조의 각속도, $k_i = i$ 분조의 위상임.

초기수위는 4.5m(아산만 평균해수면)로 설정을 하였고, 질량집중계수 0.875, 조도계수 0.025, 난류점성계수 4, 마찰계수 산정은 유속에 따른 평면마찰력을 계산하여 적용하였음.

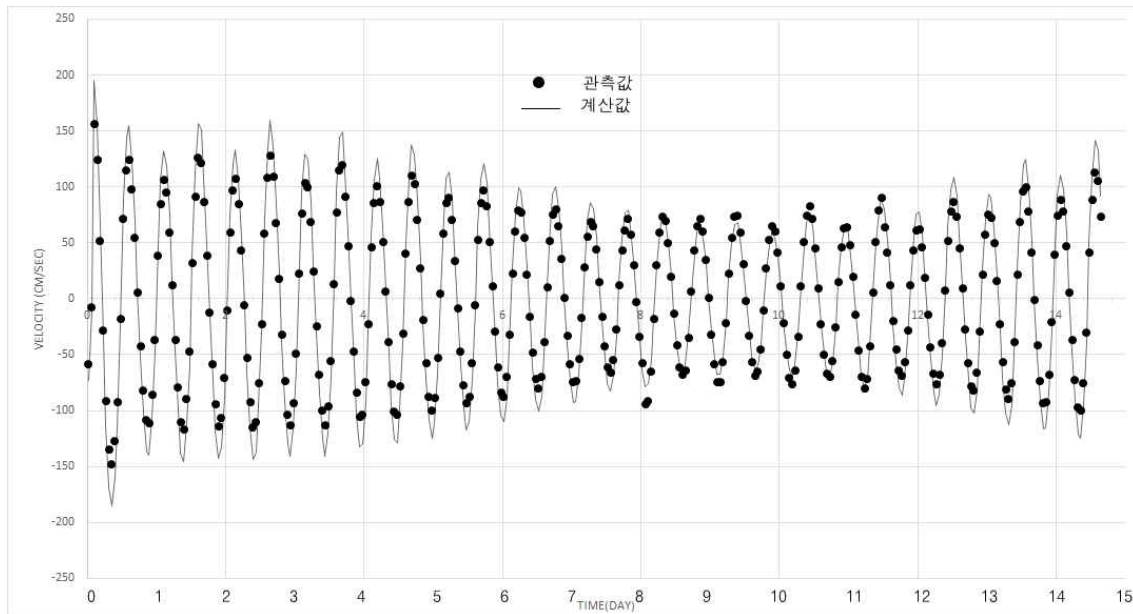
유한요소모형을 통해 계산된 조위값과 관측조위값을 비교하였음. <그림 14> 모의결과와 관측조위와 거의 비슷한 결과를 보여주고 있음.



< 그림 14 > 조위관측값과 계산값 비교

조류계산결과의 검증을 위하여 관측지점의 중층에서 관측된 15일간의 유속 시계열 자료를 이용하여 모의결과와 비교하였음.

관측지점에서의 중층관측자료와 유속크기를 비교한 결과 위상과 유속크기가 대체적으로 비슷한 패턴을 보였지만, 수심평균유속인 계산값과 중층관측유속값은 2차원해석의 한계상 약간의 차이를 보였음.

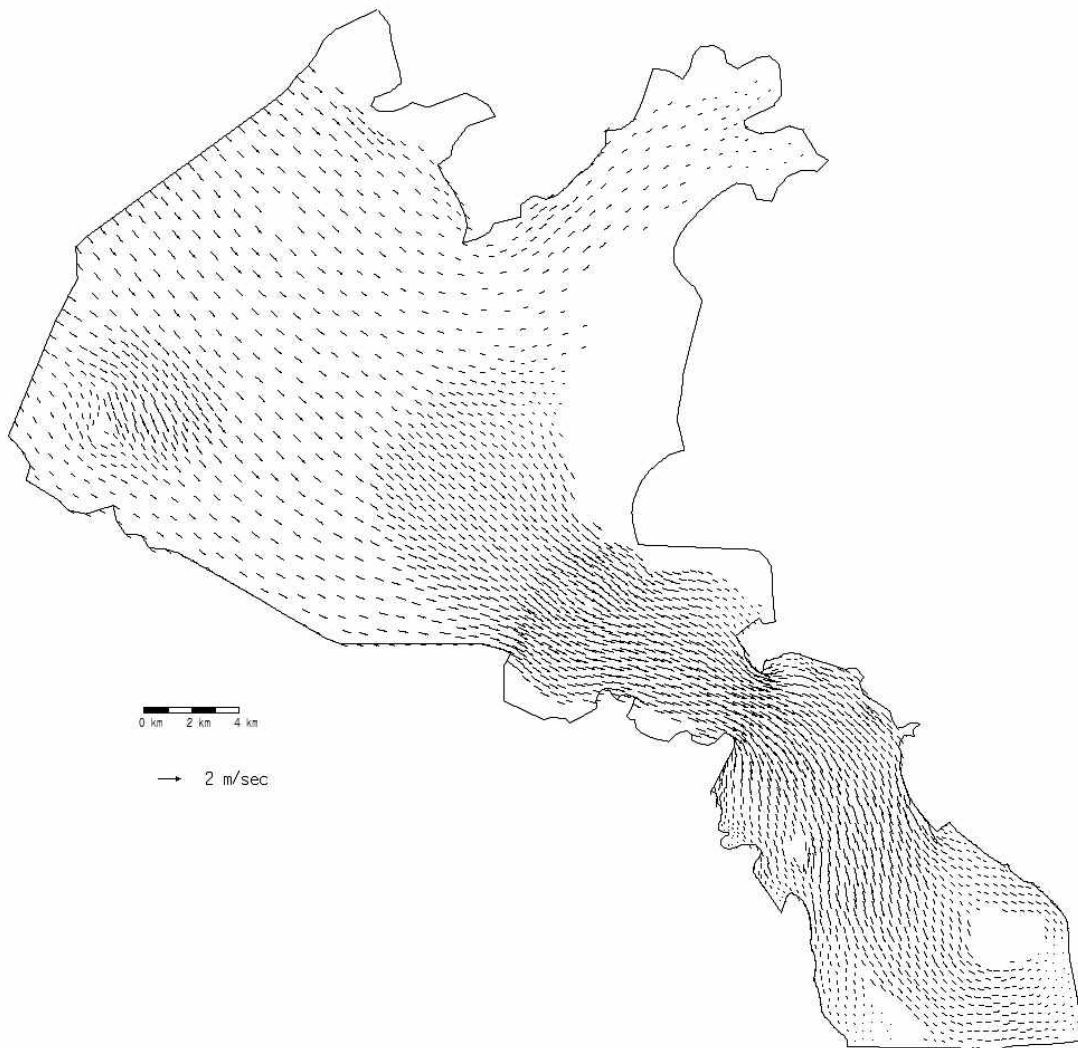


< 그림 15 > 유속 관측값과 계산값의 비교

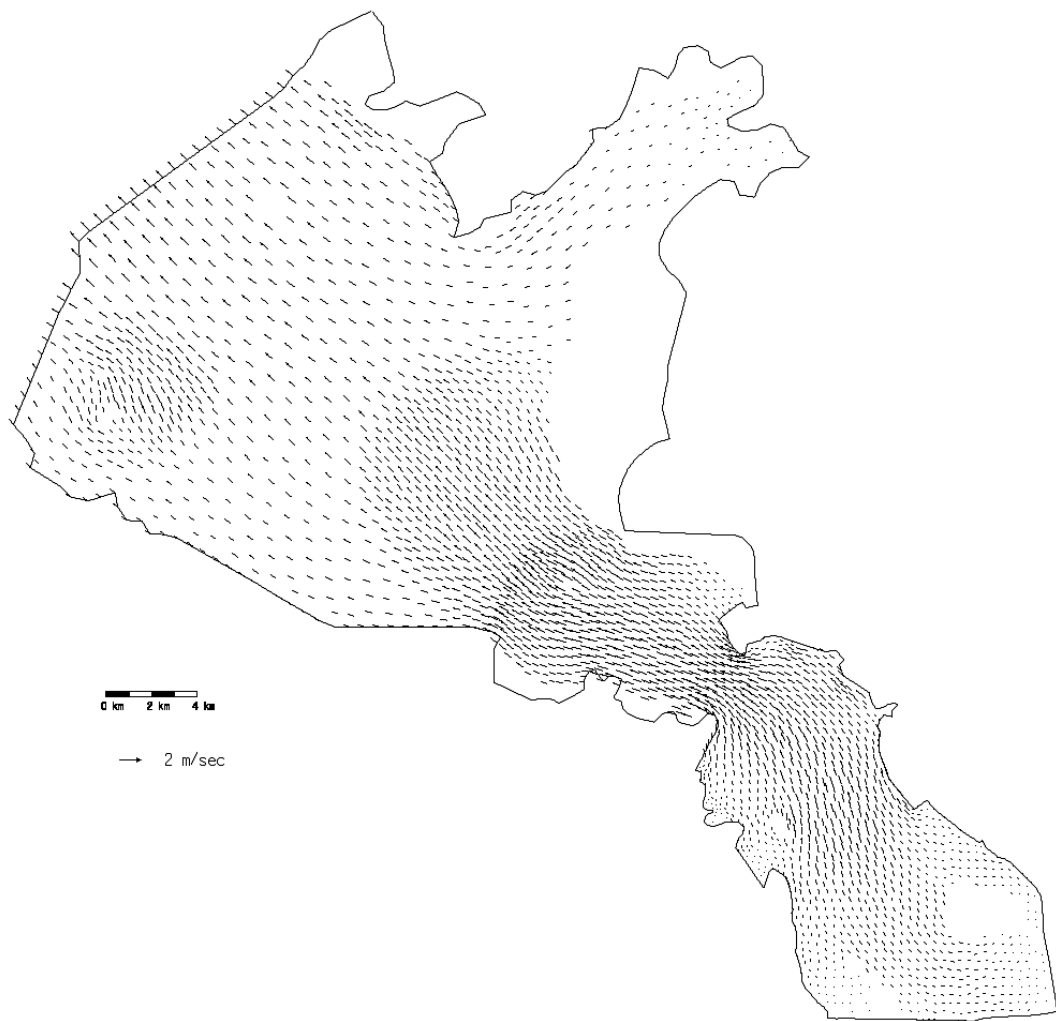
(3) 조류모의 결과

모형검증시 계산한 아산항 개발전 상황(1989년)에 대한 대조기 조류분포를 출력한 결과는 아래와 <그림 16>, <그림 17>과 같음.

전반적인 유속의 방향은 창조시는 남동방향, 낙조시는 북서방향이며, 유속크기는 아산항 개발 예정이역에서 가장 큰 유속을 보임. 만내로 유입된 해수는 대부분 아산항 건설예정지로 향하나 북측외해경계로부터 유입된 일부 해수는 평택항 북측에 위치한 남양호로 이동함. 대조기와 소조기의 흐름 패턴은 거의 동일하였으며, 단지 조차변화에 따라 대조기는 유속이 크고 소조기는 작았음.



< 그림 16 > 대조기 창조류 분포 (1989년)



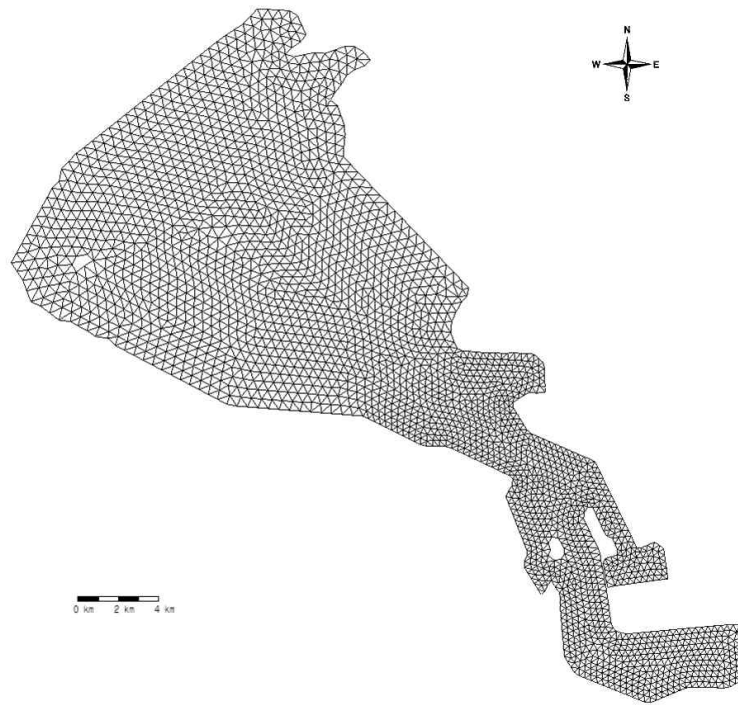
< 그림 17 > 대조기 낙조류 분포 (1989년)

(4) 현재 아산만의 조류분포 및 변화

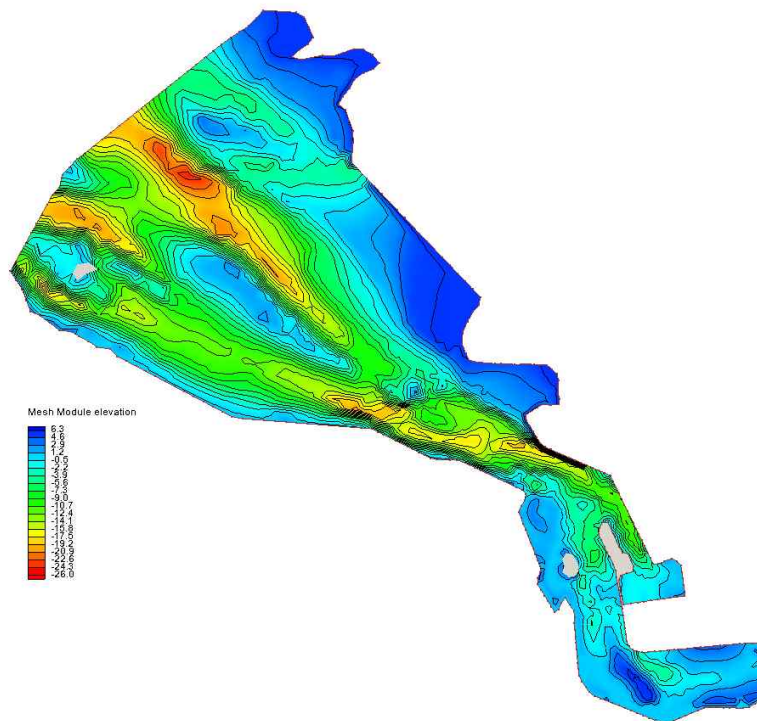
현재 아산만 지역은 아산신항만 건설로 인하여 과거에 비하여 해안선 변화로 수심 및 유속이 변화하고 있음. 이에 따라 1989년의 조류분포와 현재 의 조류분포 계산결과를 비교해 보았음.



< 그림 18 > 현재 아산항의 위성사진



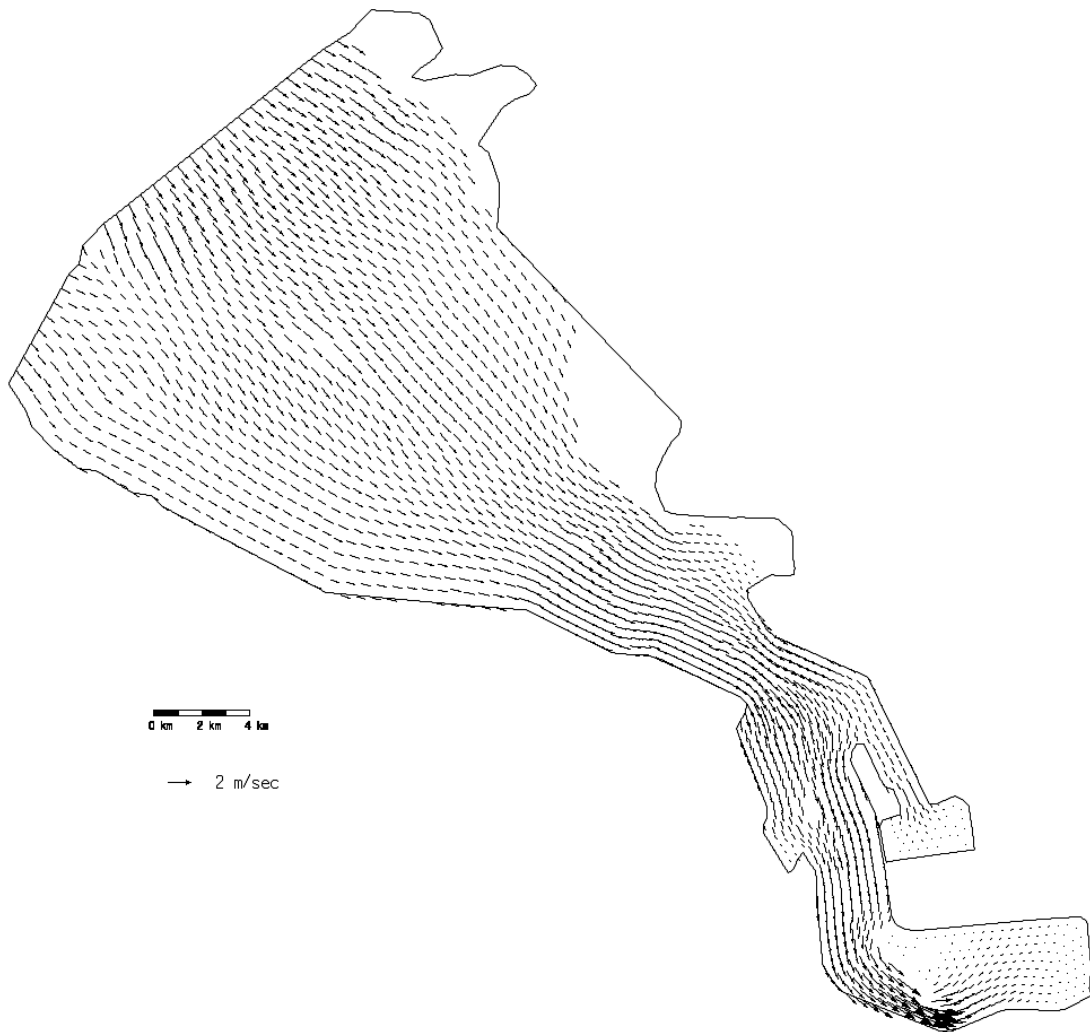
< 그림 19 > 현재 아산항의 유한요소 격자



< 그림 20 > 현재 아산만의 수위분포

<그림 19>와 같이 격자의 크기는 200~300m인 격자를 총격자수 2,587개, 총요소수 4,799개로 구성하였음. 모델영역은 위도 36° 53' 00" ~37° 11' 00" N, 경도 126° 31' 00" ~126° 55' 00" 이며 수심자료 및 지형자료는 수치해도 NO.307을 사용하여 현재 지형에 맞게 구성하여 15일간 계산을 수행하였음. 또한 개방경계조건 및 초기조건은 1989년 모델과

동일하게 적용함.

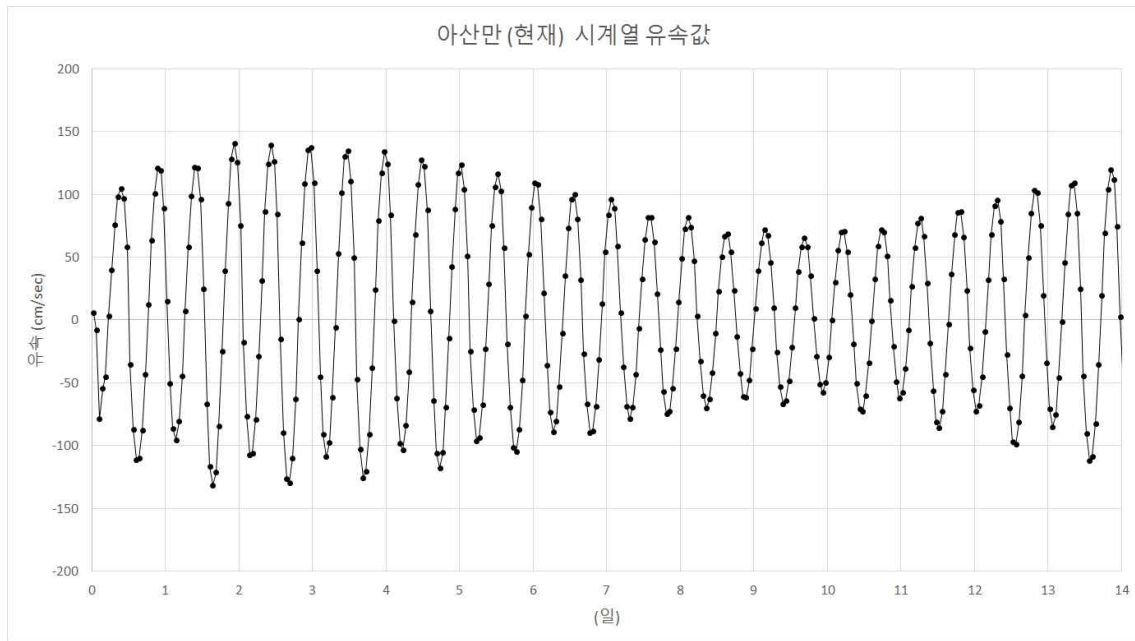


< 그림 21 > 대조기 창조류시 유속분포 (현재)

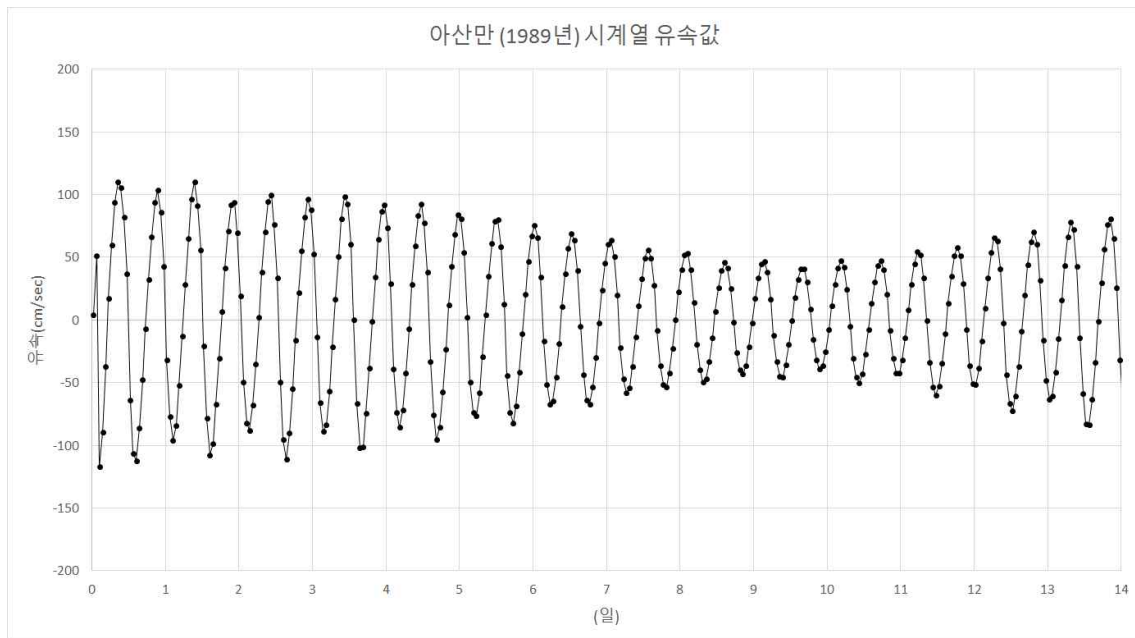


< 그림 22 > 대조기 낙조류시 유속분포 (현재)

전반적인 유속방향의 형태가 화옹방조제 및 평택항 개발로 인하여 많이 변화된 모습을 보이고 있음. 특히 행담도 사이의 수로가 좁아져 행담도 주변 수로에서 유속이 크게 증가하였으며 <그림 23>, <그림 24>는 행담도 우측수로에서 15일간의 유속변화를 보여주고 있음.



< 그림 23 > 아산만(현재) 시계열 유속값



< 그림 24 > 아산만 (1989년) 시계열 유속값

다. 맺음말

현재 GPU를 이용한 수치모형 개발 연구는 진행 중에 있으며, 앞으로 저수지 흐름모의, 연안 해수유동 모의 등의 다양한 흐름 현상을 모의하고, 적용성을 보다 면밀하게 평가할 예정임. GPU를 활용하면, 신속하게 각종 흐름현상을 모의 할 수 있음을 확인함. GPU 모형은 계산시간을 획기적으로 단축시킴에 따라 궁극적으로 자연 수괴(하천, 호소, 해양 등)에서 흐름변화와 수질변화를 신속하게 평가할 수 있는 예측시스템의 개발에 활용될 수 있을 것이며, 각종 사고로 발생하는 수질오염 현상을 신속하게 예측하는 활용하면, 수질오염 방제대책을 신속하게 수립할 수 있게 되어서 수질오염의 확산을 방지하는 데 기여할 수 있음.

2. GPU 병렬 컴퓨팅의 기술개발을 통한 속도 및 성능향상

가. 연구 필요성

본 연구에서는 SOC분야에 적용 가능한 3D 유체 시뮬레이션 소프트웨어를 개발 하는 것을 목표로 삼고 있음. 소프트웨어 개발 측면에서 보면 이는 많은 양의 DATA(입자)를 활용하고, 이 DATA(입자)의 움직임을 1/30초 단위로 매번 많은 횟수의 연산을 해야 하기 때문에 메모리 및 CPU(연산 장치)등의 많은 시스템 자원을 필요로 하게 됨. 그러나 현재 나와 있는 시스템의 연산 장치들을 보면 일반적으로 개인용 PC들은 QUAD Core CPU를 많이 사용 하고 있으며, 기업에서 많이 사용 되는 WorkStation급들의 PC들도 2 Socket Hexa Core CPU를 장착하여 사용하고 있음. 이렇듯 수개의 CPU자원을 활용하기 위해서는 CPU 병렬프로그램을 따로 개발해야 하며, 또한 개발을 하여도 이들 자원들은 본 연구에서 사용 되는 DATA를 빠르게 연산하는 데는 역부족으로 판단이 됨.

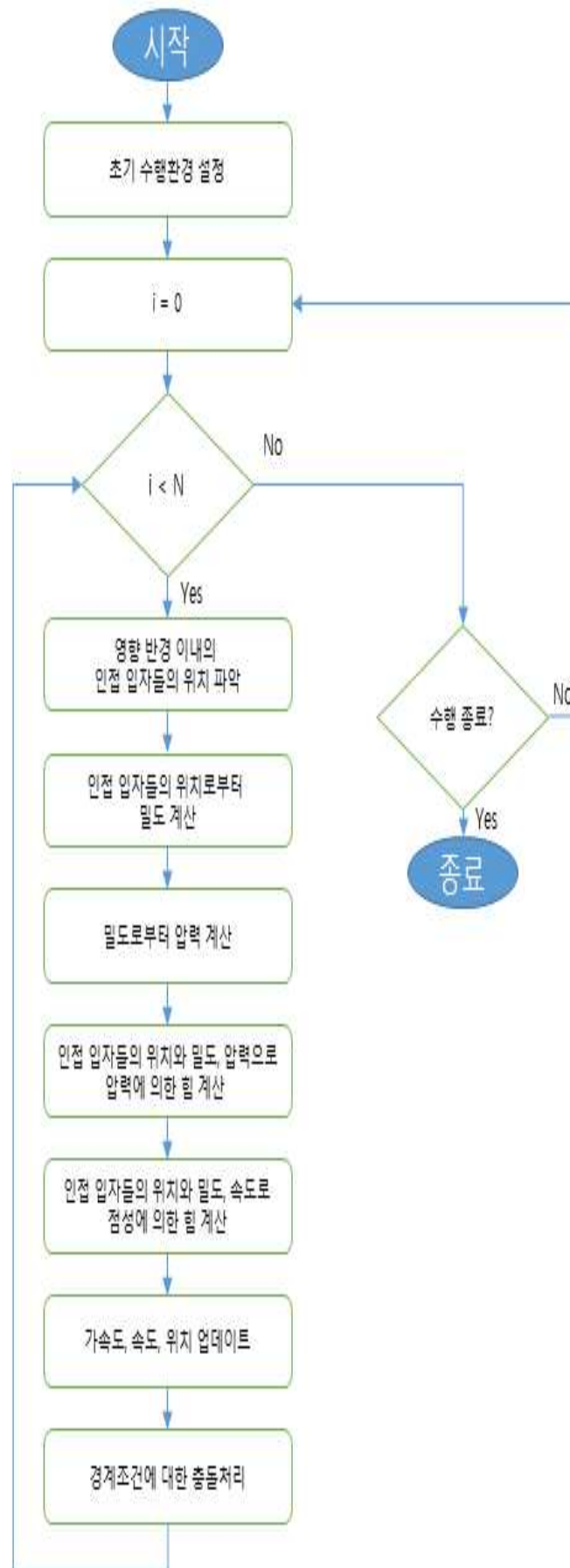
이에 따라 본 연구에서는 NVIDIA사의 CUDA(Compute Unified Device Architecture) 프로세서가 장착된 GPU를 활용하여 GPGPU(General Purpose Graphics Processing Unit) 기법을 통하여 DATA를 병렬 처리 하여 빠른 연산이 가능하도록 연구 하였음. 예를 들어 하나의 CPU에서는 다음 연산을 처리 하기 위하여 앞선 연산이 끝날 동안 대기 하는 병목 현상이 발생 하게 됨. 그러나 많은 수의 CUDA프로세서를 활용 할 경우 앞 연산이 끝나는 시점동안 대기 하는 것이 아니라 각자 할당된 프로세서별 연산을 동시에 진행함으로써 병목현상을 줄이고, 연산 속도 또한 획기적으로 줄일 수 있게 됨.

나. SPH Single-GPU 병렬화 알고리즘에 의한 프로세서

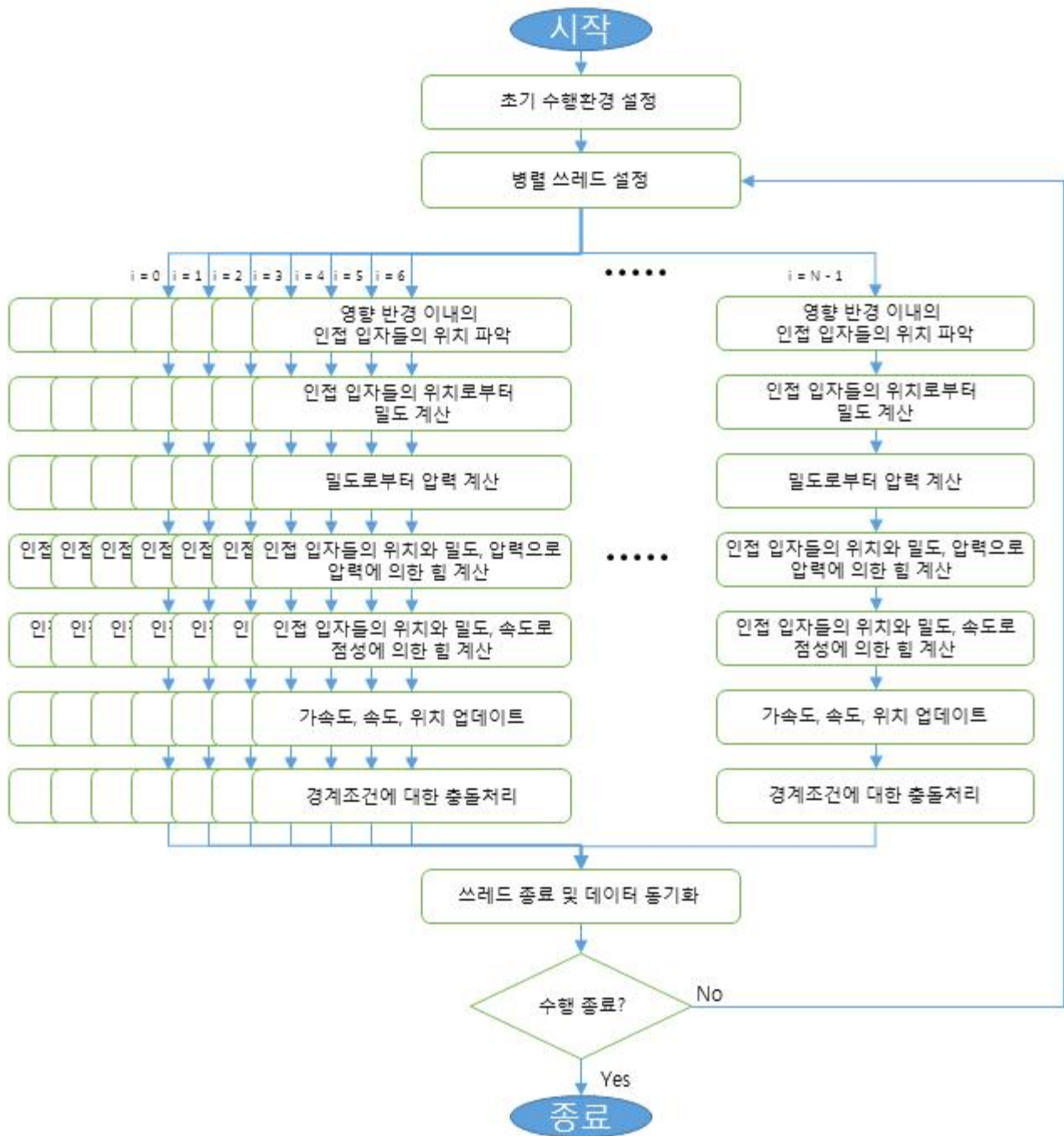
본 연구에서 사용 되는 유체 시뮬레이션 알고리즘인 SPH기법은 <그림 25>와 같은 SPH 연산 단일 프로세서로 연산 됨.

<그림 25>를 보면 i에 해당하는 각 입자마다 모두 동일한 계산을 수행하고 있는데 이는 알고리즘 병렬화에서 가장 중요한 요소인 각 프로세스의 독립성이 SPH 방식에서 잘 보장되어 있다는 것을 나타내며 SPH의 방식이 병렬화에 적합함을 알 수 있음.

<그림 26>은 위의 내용을 병렬화 프로세서로 변경하여 표현한 것임.



< 그림 25 > 유체 시뮬레이션 알고리즘



< 그림 26 > 병렬화 프로세서로 변경한 알고리즘

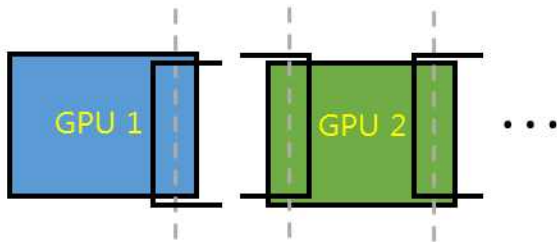
다. SPH Multi-GPU 병렬화 알고리즘에 의한 프로세서

GPU 1기만 사용 시에도 병렬화로 인해, Single CPU 대비 획기적인 연산 속도 증대를 가져올 수 있음. 하지만 SOC 분야에 사용 되는 3D 유체 시뮬레이션 소프트웨어는 넓은 영역의 면적에 많은 유량을 연산해야 하는 특징을 가지고 있음. 이럴 경우 GPU 1기당 처리 할 수 있는 DATA(입자)의 제한이 있고, 연산을 위한 프로세서도 병목이 생길 수 있음. 따라서 본 연구에서는 Multi-GPU 시스템을 활용한 분산 처리 기법을 통하여 넓은 영역에 사용 될 많은 DATA(입자)를 각각의 GPU 메모리에 할당하고 연산 처리 또한 각각의 GPU 시스템에 할당함으로써 연산의 분산처리를 통하여 연산 속도를 더욱 향상 시키고, 처리할 수 있는 DATA

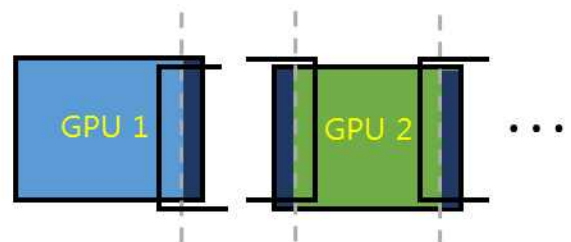
(입자)양도 추가 되는 GPU의 수에 거의 비례하게 증가 시킬 수 있게 되었음. 그러나 단순히 하나의 GPU에서 처리하던 프로세스를 각 GPU에서 나누어 처리하는 방식은 매 스텝마다 계산이 끝난 모든 GPU의 입자 정보들을 한군데에서 취합하고 다음 스텝을 위해 다시 전체 GPU로 복사하는 엄청난 양의 데이터 전송이 동반됨.

이러한 불합리한 방식을 해결하기 위하여 먼저 해석수행 영역을 일정거리만큼 약간씩 겹치게 분할하여 각 GPU가 담당함. 그리고 한 스텝의 계산이 끝나면 겹치는 구간 중 오류가 생길 수 있는 바깥쪽의 부분을 버리고 인접 구간에서 제대로 계산된 안쪽 부분의 입자 결과를 가져오는 방식으로 구현하였음. 이를 그림으로 표현하면 <그림 27> 과 같음.

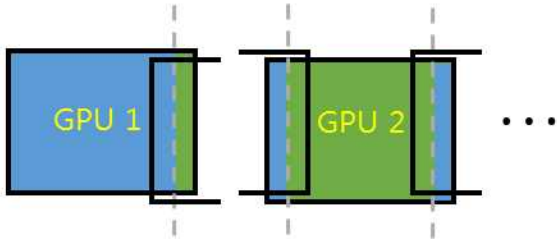
1. 각 GPU마다 자기 영역에 대한 계산을 수행



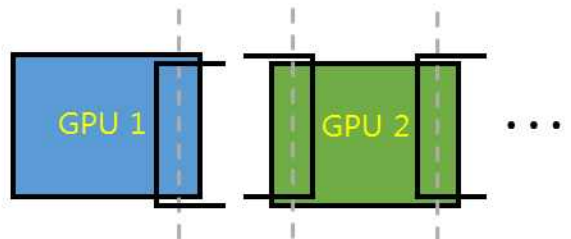
2. 경계 중심선을 기준으로 바깥 영역 입자 제거



3. 인접 GPU에서 바깥 영역 위치의 입자 복사해서 가져옴

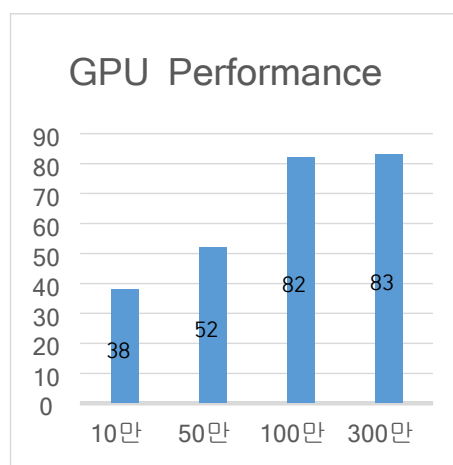


4. 다시 1번부터 반복수행



< 그림 27 > Multi-GPU 실행과정

라. 개인용 워크스테이션을 활용한 슈퍼 컴퓨팅 기술을 활용한 GPU간 병렬컴퓨팅 기술 성능 평가



< 그림 28 > 입자 수에 따른 CPU vs GPU 성능 차이 (GPU/CPU)

< 표 4 > CPU vs GPU 성능 비교(ms/step)

입자수	10만개	50만개	100만개	300만개
CPU	791.8	3746.7	7418.6	21544.8
GPU	20.6	71.8	90.1	260.4
비율	38x	52x	82x	83x

마. 분산처리 네트워크

SOC 분야에 이번 연구를 적용하기 위해서는 대규모 유량을 처리해야 하는 많은 입자수를 필요로 함. 즉 물이 차지하는 부피를 모두 입자의 부피로 채워야 하는데 적절한 입자크기로 했을 경우 유량이 많으면 많을수록 더 많은 입자의 개수가 필요함.

그리고 각 입자들을 일일이 하나씩 모두 계산을 해야 하는 방식에서 이를 위해서는 많은 수의 연산장치(CPU 혹은 GPU CUDA Process)와 해당 입자수에 따른 메모리 시스템이 요구됨. 따라서 연구 시작 시점에는 Clustering 시스템을 이용한 분산 처리 기법을 활용하려는 연구 계획을 수립하였음. 하지만 분산 처리 기법에서는 필연적으로 시스템 간 데이터 전송을 위한 네트워크 통신을 필요로 하는데 H/W 산업의 비약적 발전과 더불어 많은 양의 입자를 한번에 처리 할 수 있는 연산 장치의 성능 및 메모리 확보에 따라, 비용 절감 차원 및 네트워크 병목 현상에 따른 속도 저하를 막기 위해서 Clustering 환경 보다는 다중 GPU 시스템에서 최적화 하는 방법으로 연구 방향을 수정하였음.

Clustering 환경 구축을 위해서는 값비싼 시스템 및 Infiniband 등의 고가의 장비를 사용하여야 통신에서 생기는 병목현상을 다소나마 줄일 수 있음. 하지만 요즘 출시되는 개인용 워크스테이션 4GPU 시스템 및 8GPU 시스템의 경우 같은 시스템에 GPU가 존재하기 때문에 PCI Express 통신을 활용하여 네트워크 병목 현상을 없앨 수 있게 됨. 또한 이렇게 많은 DATA를 빠르게 처리하기 위하여 도입한 병렬 처리 기법에 사용할 CUDA 프로세서가 많을수록 연산 속도가 향상 됨. 따라서 최신 GPU는 본 연구를 시작할 때의 장비인 Tesla M2090 대비 거의 10배 가까운 연산 프로세서를 가지고 있어 기존 대비 우수한 성능을 낼 수 있음. 또한 고가의 Infiniband를 사용하지 않는 이상, Clustering 환경은 일반적으로 1Gbps 네트워크 환경으로 구축 할 수밖에 없는데 이럴 경우 시스템 내부의 PCI Express 통신 속도(32GB/s PCI Express 3.0 x16) 보다 현저히 떨어져 GPU 프로세서의 성능을 100% 발휘하기 힘들 수 있음.

따라서 본 연구는 고가의 비용과 성능 저하가 발생하는 Clustering 환경보다 개인용 워크스테이션을 활용한 슈퍼컴퓨팅 기술을 구현 및 최적화 연구에 주력을 하는 것으로 연구 방향에 대한 수정을 하였음.

< 표 5 > NVIDIA GPU 가속기 발전사

제품명	Tesla M2090	Tesla K40	Tesla K80
출시 시기	2011년 5월	2013년 12월	2015년 2월
연산 Core 수	512개	2880개	4992개
Memory 크기	6GB	12GB	24GB

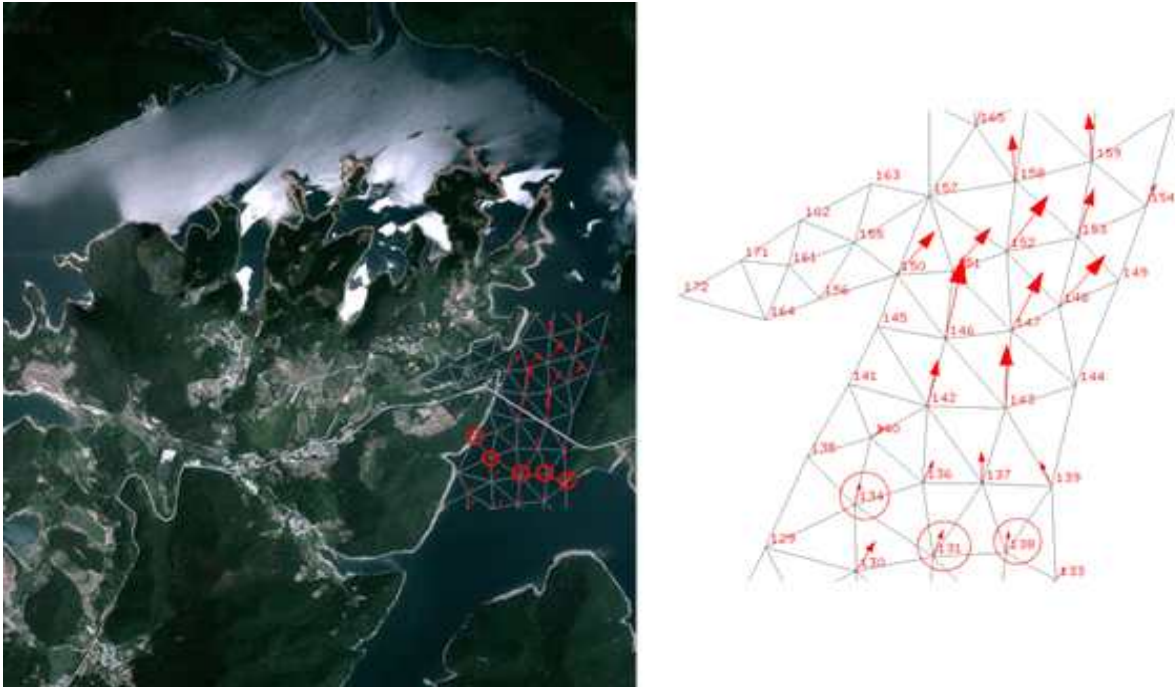
< 표 6 > 시스템별 계산가능 입자 수

시스템 종류	Clustering 시스템	단일 시스템 4GPU	단일 시스템 8GPU
System 수	4개	1개	1개
System당 최대 장착 GPU	3개	4개	8개
장착 GPU	M2090	K40/K80	K40/K80
GPU당 Memory	6GB	12GB/24GB	12GB/24GB
GPU당 처리 가능 입자수	300만개	600만개/1200만개	600만개/1200만개
전체 시스템 처리 가능 입자수	3600만개	2400만개/4800만개	4800만개/9600만개

3. 대청호인근의 2D 해석결과를 입력 받아 3D 입자 해석에 적용한 예제

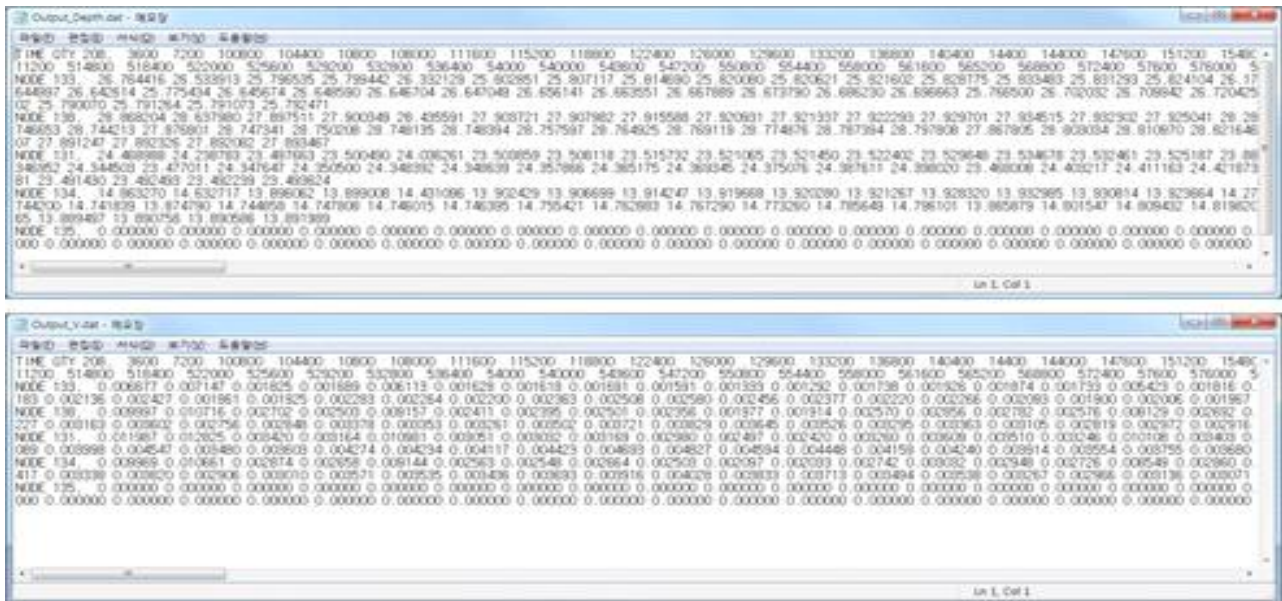
가. 2D 해석프로그램의 결과 정보

우선 2D로 해석된 결과에 대하여, 아래의 그림과 같이 5개의 Node의 해석결과 값을 가져와서 입자방식의 3D 유체흐름 시뮬레이션에 반영함.

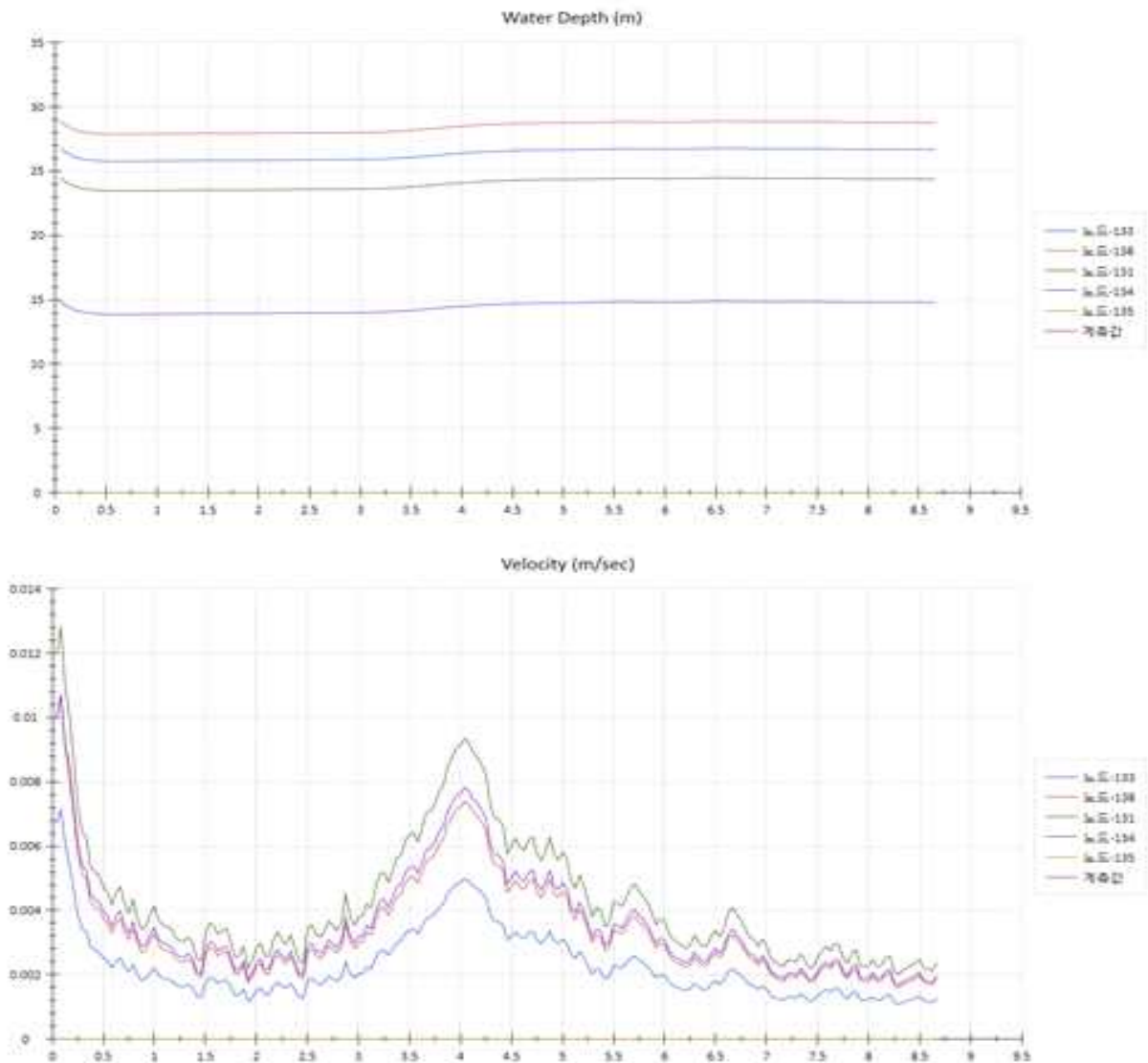


< 그림 29 > 2D,3D 해석 프로그램간 연계용 결과값 공유 측정점의 위치

또한 위 그림에서 연계에 사용한 측정점은 131, 133, 134, 135, 138번을 사용하였으며, 각 측정점의 해석 결과 값은 2D 유체 시뮬레이션으로부터 아래와 같이 Text 형식으로 수심정보와 유속정보에 대한 각 측정점별 결과 파일을 넘겨받았으며, 이를 이용하여 유량 값으로 계산하여 3D 유체흐름 시뮬레이션에 입력할 자료를 생성하였음.



< 그림 30 > 2D 유체시뮬레이션에서의 수위 및 유속 결과 파일



< 그림 31 > 2D 유체시뮬레이션의 수위 및 유속 결과 그래프

나. 3D 지형 모델 생성

앞장에서 2D 해석 프로그램으로부터 필요한 자료는 모두 넘겨받았으며, 본격적인 3D 모델 구축을 위하여 지형정보를 아래의 단계를 통하여 생성하였음.

– 첫 번째로 DEM 정보를 통하여 하천의 하부를 제외한 산지부 구간의 정보를 생성하였음.

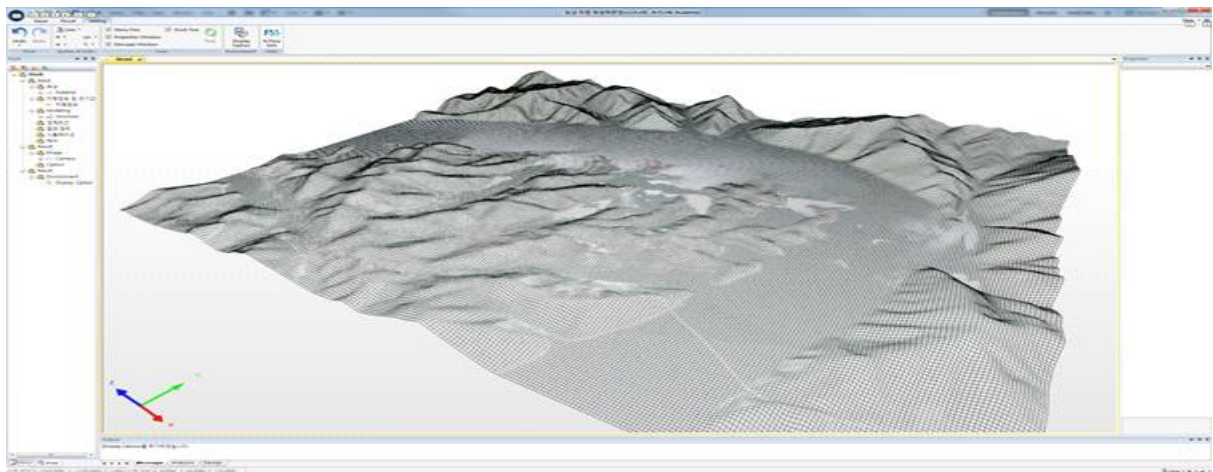
<그림 32>

– 두 번째로 하천하부에 대한 등고선 CAD자료를 바탕으로 3차원 삼각면을 생성하였음.

<그림 33>, <그림 34>

– 세 번째로 하천이 미 반영된 지형 정보에 3차원 삼각면 정보를 합쳐주어서 산지부와 하상이 모두 반영된 3차원 지형 정보를 생성하였음. <그림 35>, <그림 36>

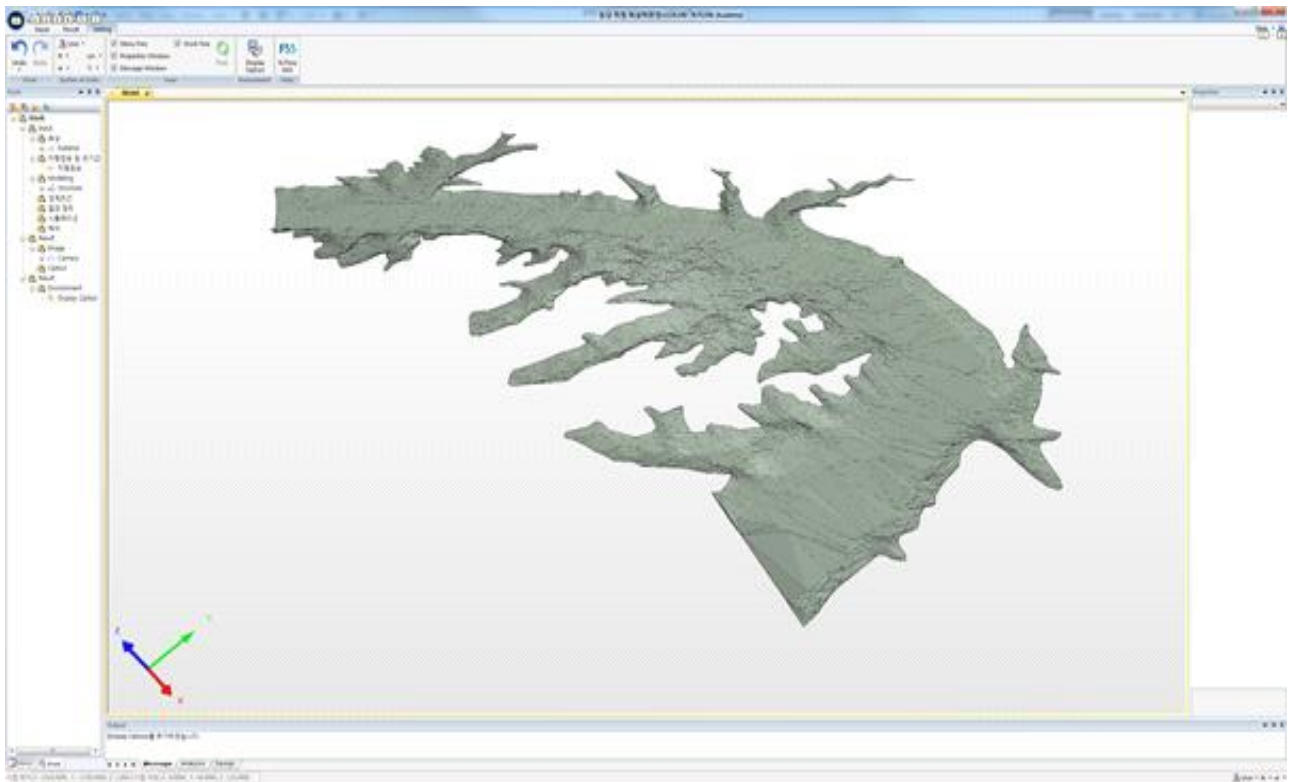
– 마지막으로 하천의 위성사진을 맵핑하여 지형모델을 완성함. <그림 37>



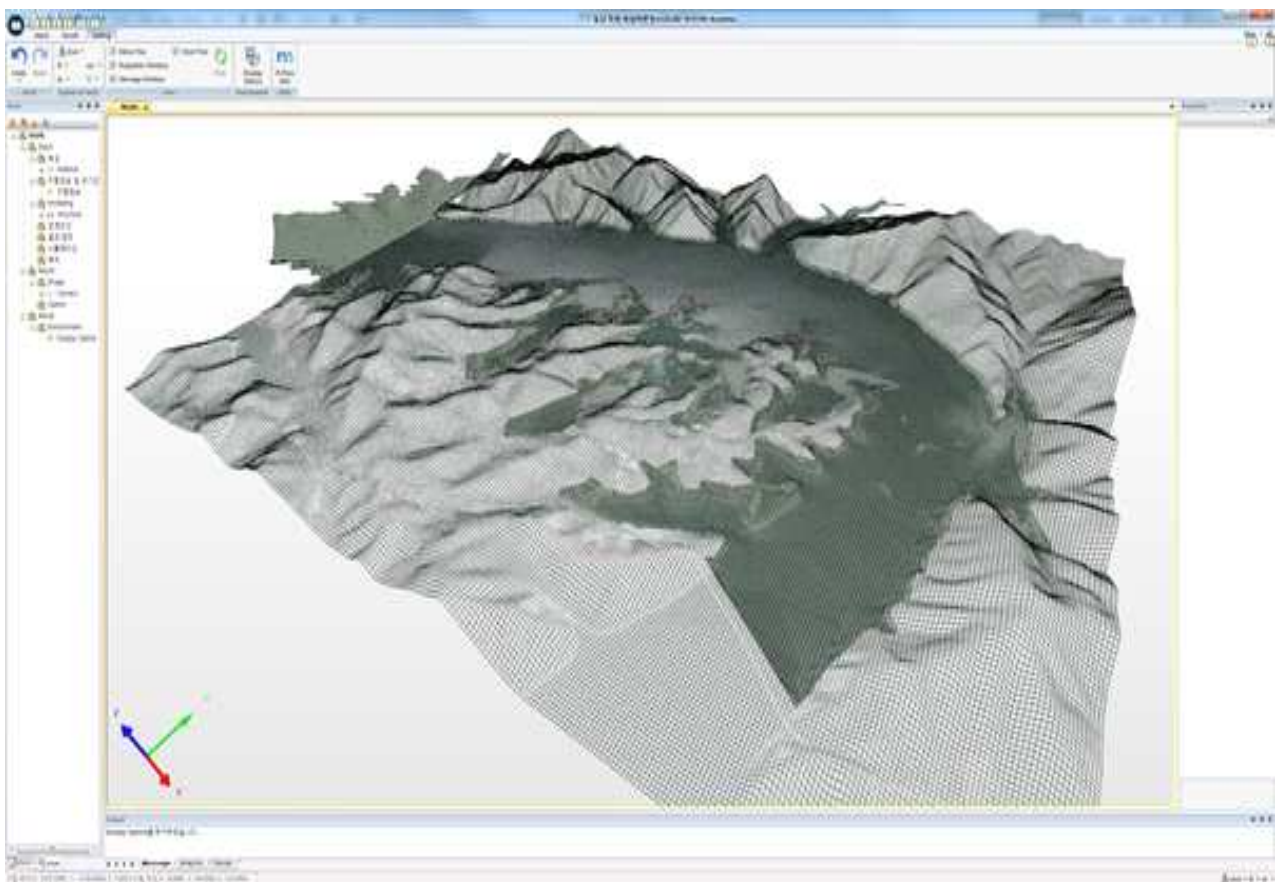
< 그림 32 > DEM으로 생성된 하상정보를 제외한 지형모델



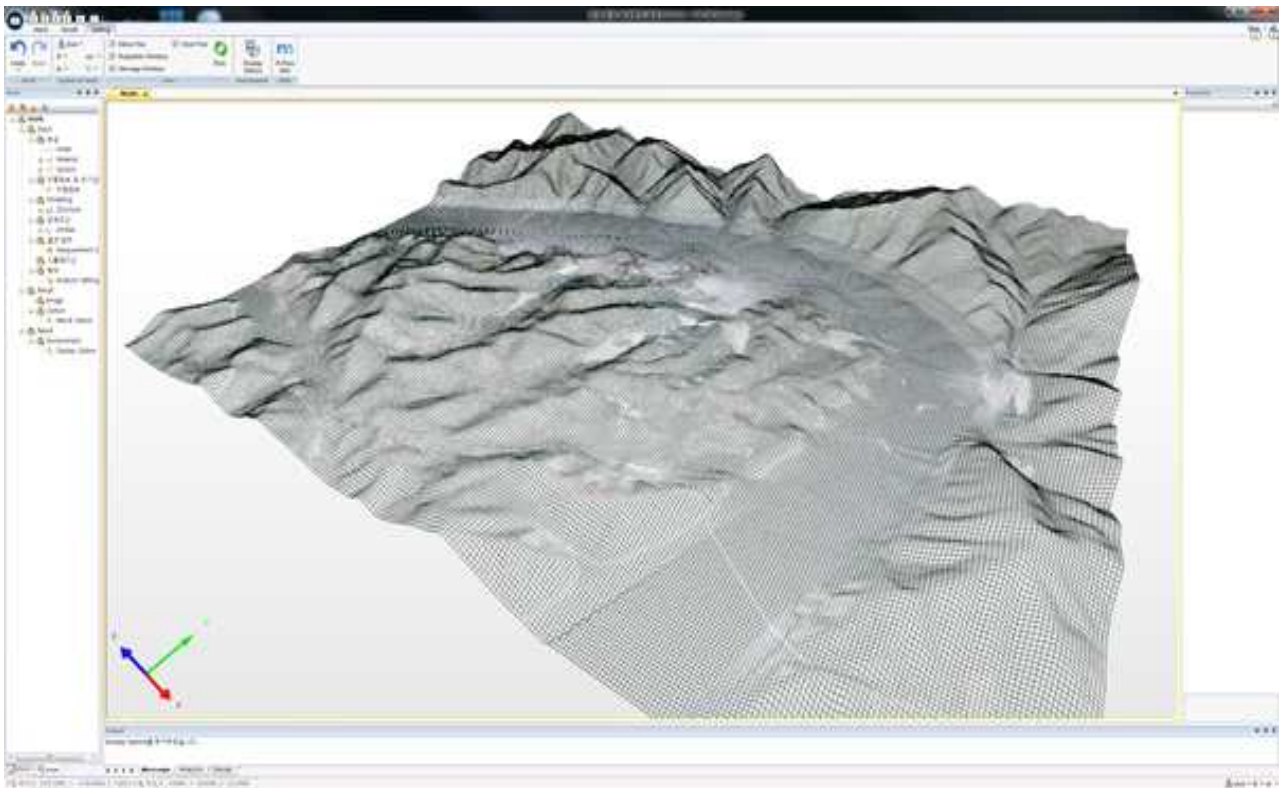
< 그림 33 > 하상 등고선 CAD도면



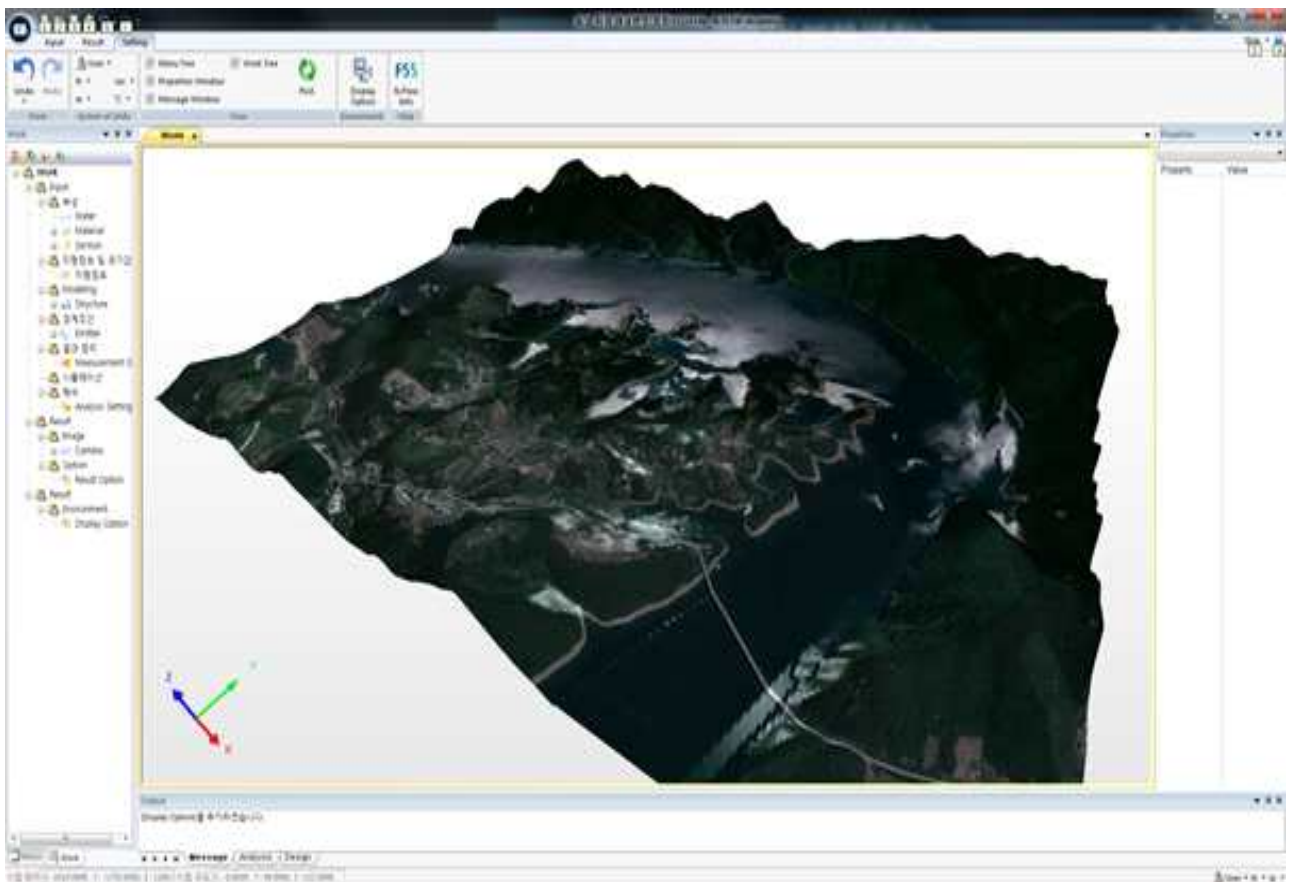
< 그림 34 > 하상 등고선을 이용하여 생성한 하상 3D 삼각망



< 그림 35 > 산지부 지형 Mesh정보와 하상 지형의 삼각망 정보



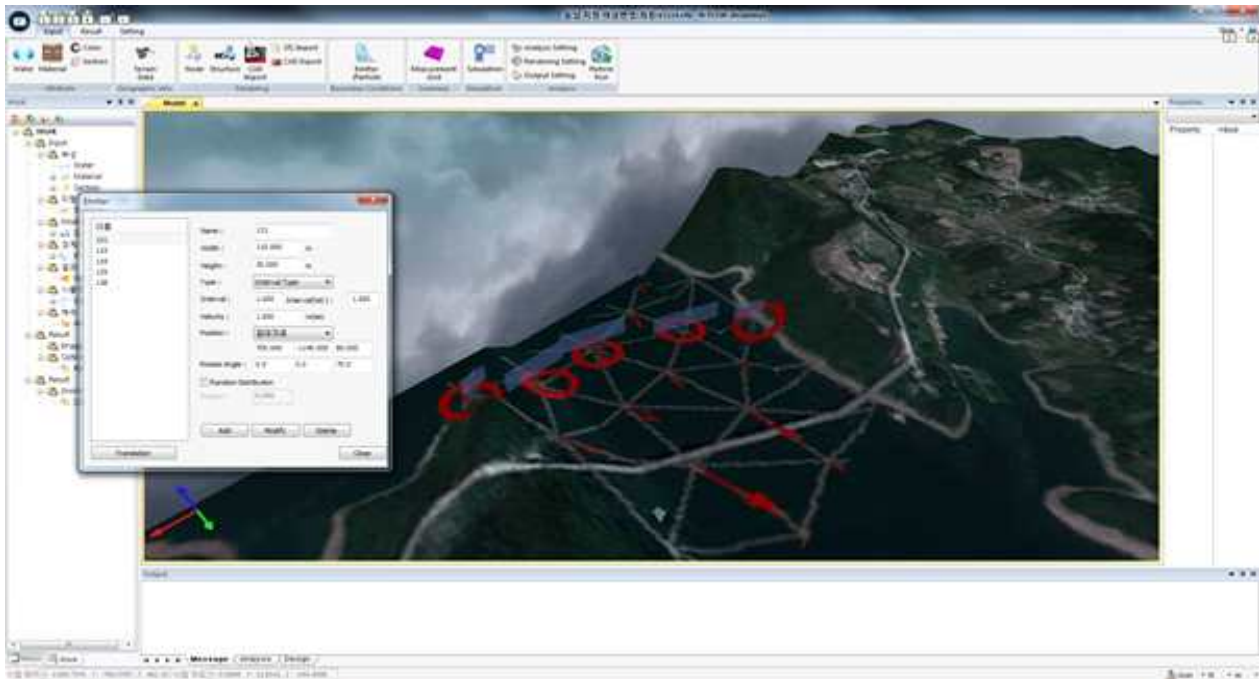
< 그림 36 > 하상을 반영한 지형 Mesh



< 그림 37 > 위성사진을 맵핑한 지형 모델

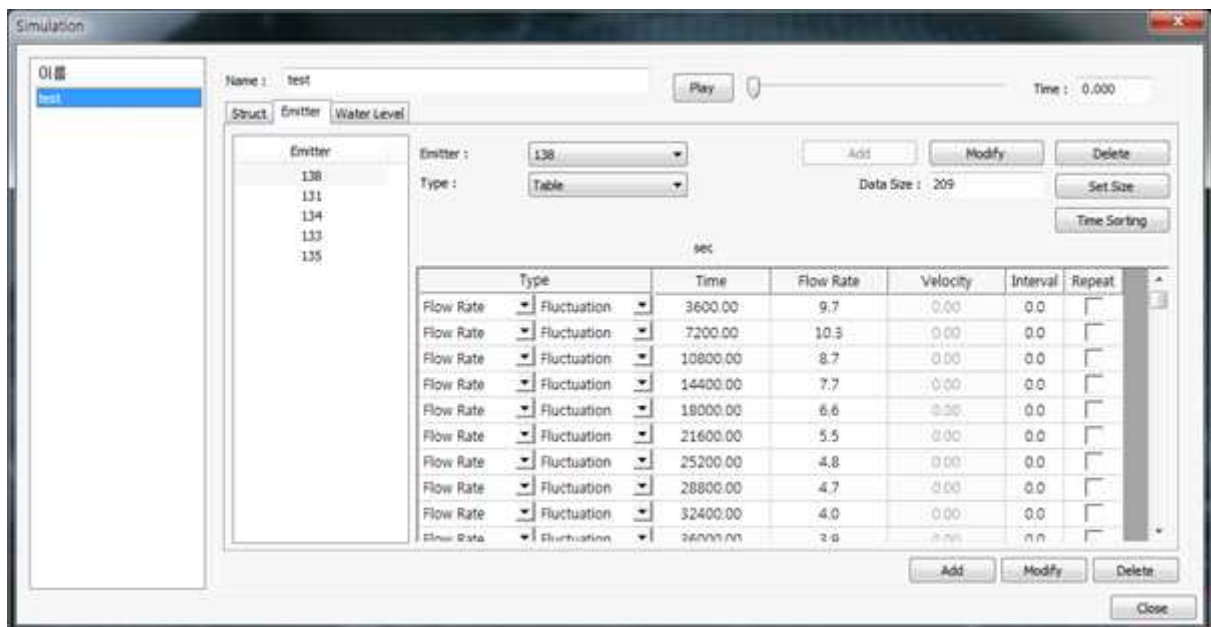
다. 2D 시뮬레이션 해석결과 반영

첫 번째 위치정보를 바탕으로 각 해당 Node에 대응되는 Emitter(유출구)를 생성하였음. 각 유출구는 아래와 같음.



< 그림 38 > 각 계측점에 대한 유출구 위치

이렇게 넘겨받은 수심과 유심을 바탕으로 각 계측점에 발생된 유량을 계산하여 저희 3D 유체 시뮬레이션 프로그램에서 각 시간별 조건을 변경할 수 있는 “Simulation” 기능 중 Emitter (유출구)입력창에서 각 계측점별로 해석시간에 대응하는 유량결과를 반영 할 수 있도록 함.



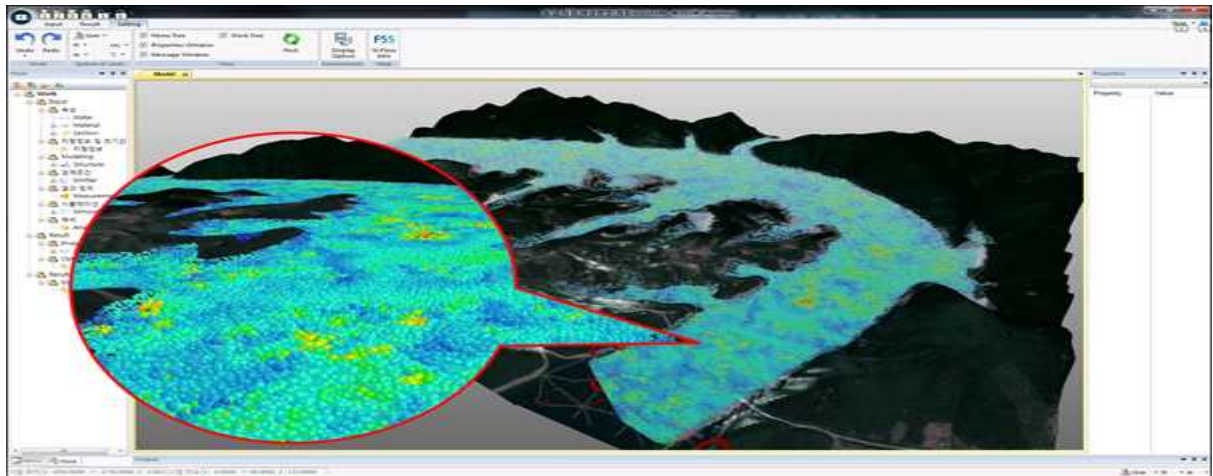
< 그림 39 > 2D해석 결과를 3D 시뮬레이션에 입력값 반영

라. 해석 및 해석결과

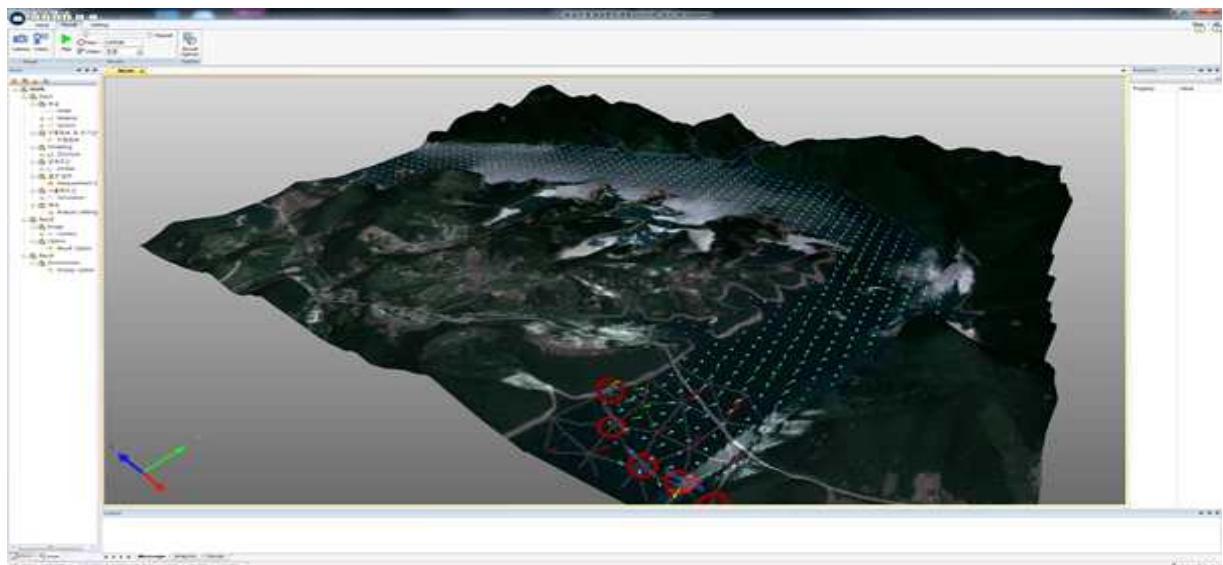
위의 입력정보를 바탕으로 입자방식의 3D 유체흐름 시뮬레이션프로그램의 해석을 수행하였으며, 해결과는 다음과 같음. 매 시간별로 유량정보를 3D해석 Step에 맞추어서 각 시간사이의 값에 대해서 유량을 선형보간하여 유량이 조절되어 유출되도록 해석되었음. 아래 <그림 40>과 같이 유체의 흐름은 각각 입자화 하여 해석을 수행 하였으며, 각각의 입자들은 유체량과 위치, 속도 및 방향값의 결과값을 가지고 있음.

이러한 결과값을 바탕으로 일반적인 결과 확인을 위하여, 등간격의 범위내의 결과값을 합쳐서 <그림 41>과 같이 유속값의 크기 및 방향을 Vector로 표현함으로써 결과값을 쉽게 확인이 가능하도록 하는 기능도 함께 포함되어 있음.

이렇게 하여 2D해석결과를 3D 유체 해석에 반영하여 특정 구간에 대하여 보다 정밀한 해석 수행이 가능함.



< 그림 40 > 입자방식에 의한 3D 유체 해석결과



< 그림 41 > 입자 해석결과를 사용자 편의를 위해 유속에 대한 Vector로 표현

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

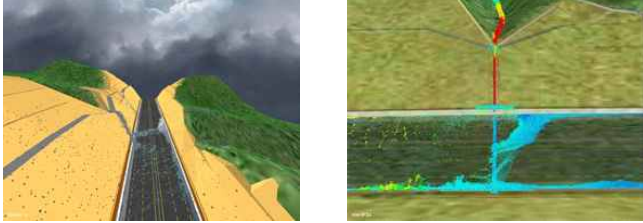
제1절 최종 핵심연구성과

1. 핵심성과 리스트

연번	핵심성과명	핵심성과 설명	성과 유형※	성과달성 책임	해당연차
1-1	GPU기반의 병렬 컴퓨팅 기술개발	- 기존의 CPU기반 연산에서 GPU기반으로 연산을 수행하여 3D 유체시뮬레이션에 특화된 S/W를 개발	소프트 웨어	동남 이엔씨 (주)	14.09 ~ 15.12 (1년3개월)
1-2	다중GPU처리 기술개발	- 단일 CPU 연산해석이 아닌 다중 GPU연산해석을 수행하여 3D 유체시뮬레이션에 특화된 S/W를 개발	소프트 웨어	동남 이엔씨 (주)	14.09 ~ 15.12 (1년3개월)
2-1	SOC 및 방재분야 적용	- 실제 사업구간에 적용함으로써 실제 발생 가능한 다양한 문제점을 사전에 검토하여 보완할 수 있도록 제안 - 수치해석 결과가 있는 지역(과거 홍수범람 피해지역 자료 등)을 대상으로 본 연구개발 성과와의 비교검토를 통한 신뢰성 확보	정책 · 제도	동남 이엔씨 (주)	14.09 ~ 15.12 (1년3개월)
2-2	3차원 해석엔진 검증	- 엔진에 적용된 이론식을 대학교와 협력하여 검증부분을 보완하고, FSS의 시뮬레이션 결과값을 기존의 CFD 소프트웨어와 비교하여 검증부분을 보완할 수 있도록 제안	소프트 웨어	동남 이엔씨 (주)	14.09 ~ 15.12 (1년3개월)
3-1	기 개발된 해석 엔진 과의 비교	- 엔진에 적용된 이론식을 대학교와 협력하여 검증부분을 보완하고, KSWM의 해석 결과값을 기존의 수치해석 소프트웨어와 비교하여 검증부분을 보완할 수 있도록 제안	소프트 웨어	(주)이엔지 소프트	14.09 ~ 15.12 (1년3개월)
3-2	실시 설계에 적용	- 실제 사업구간에 적용함으로써 실제 발생 가능한 다양한 문제점을 사전에 검토하여 보완할 수 있도록 제안 - 수치해석 결과가 있는 지역(과거 홍수범람 피해지역 자료 등)을 대상으로 본 연구개발 성과와의 비교검토를 통한 신뢰성 확보	정책 · 제도	(주)이엔지 소프트	14.09 ~ 15.12 (1년3개월)
3-3	2차원과 3차원 연계 방안	- 본 연구에서 개발된 KSWM(2차원FEM)과 3차원 SPH의 장점을 결합하여 비약적인 속도개선과 상세해석부근의 입자직경을 최소화하여 해석의 신뢰도 및 효율성을 증진	소프트 웨어	동남이엔씨 (주), (주)이엔지 소프트	14.09 ~ 15.12 (1년3개월)

2. 핵심성과 세부내용

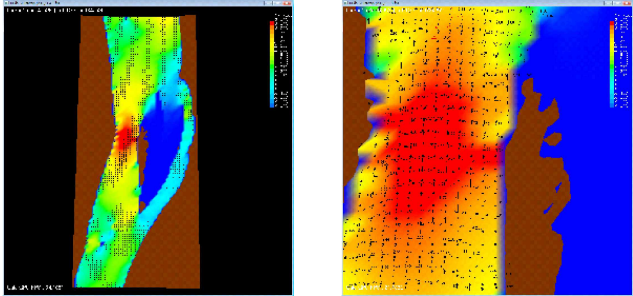
가. 핵심성과명 : 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속처리 3D 유체 시뮬레이션 시스템(FSS)

구 분	설 명
관련 그림 / 사진	
정의(설명)	· 3차원 유체 초기/경계 조건 설정 모듈 개발 · 3D 유체 Motion 연산 모듈 개발 · 3차원 Volume Rendering 기법을 통한 유체형상화 모듈개발 · 고품질 Rendering을 위한 시각화 모듈 개발 · 3차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속 처리 기술 개발 · 대규모 SOC 및 방재분야 실무적용 검증
설정사유	· 유사 시뮬레이션 대비 시각화기술의 수준을 높이고 병렬 컴퓨팅을 이용하여 속도 향상
목적	· 하천 및 도로를 효율적으로 관리하고, 이상기후에 의한 홍수 및 이수 상황을 대비하기 위해 유체의 수리학적 거동을 예측하기 위한 시뮬레이션 S/W를 사용하였는데 대부분 외국의 제품을 이용하였음. 게다가 학술적 연구 분야 에서 국내의 모델들이 연구되어 왔지만 이를 실용화하는 기술적인 측면의 접근이 부족하고 개발하는데 한계가 있음. · 국내 독자 기술을 통해 가상현실 공간에서 기능적, 시간적, 공간적, 환경적 요소를 고려하여 실시간으로 유체의 흐름특성을 분석 및 해석 할 수 있는 국내 최초의 3차원 유체시뮬레이션 시스템 개발이 목표임. 개발된 시스템을 통하여 피해규모 및 범위를 사전에 효과적으로 예측하고, 경제성과 타당성 분석을 통해 사업가치 향상을 위한 최적의 대안을 도출하고자 하며, 최종적으로는 국간 예산절감 및 안전과 품질을 확보하는데 목적이 있음.
성능목표	(기존기술 수준) · 유체내 단순정보만 분석하여 유체에 색상만 입히는 수준 · 유체현상을 일반적으로 독립된 S/W로 해석 및 연산을 수행한 후 나중에 별도의 S/W로 가시화함. · 연산 및 렌더링 속도가 느림 · 시뮬레이션 범위가 소규모로 하천 및 수자원분야 등 수치해석 분야 및 학술적 용도에 일부 한정적으로 적용 · 반드시 Mesh 생성 후 시뮬레이션 가능 (개발기술 수준) · 유체 현상을 3차원으로 시뮬레이션하고, 뛰어난 시각화 기술을 이용하여 실사와 같은 표현이 가능 · 입자운동방정식을 사용하여 Mesh없이 유동해석 및 시뮬레이션 수행이 가능 하므로, 기존수치해석 시뮬레이션에 비해 작업량이 감소하여 시뮬레이션을 빠르게 진행가능 · 병렬프로그래밍을 통하여 연산 및 렌더링 속도가 증대되어 SOC 등의 대규모 범위에 적용가능 · 컴퓨터게임, 영상분야 등으로 확장하여 적용가능 · 가상시나리오를 손쉽게 구현 가능하므로 설계변형을 비교하면서 최적의 개선안 도출이 가능

구 분	설 명
외산소프트웨어 대체가능성 여부	· 위의 성능목표에서 언급한 바와 같이 개발기술 수준에 도달한다면 하천분야에만 적용되는 한계점을 가지고 있는 Flow-3D 등의 외산 소프트웨어와는 다르게 하천, 도로분야 등에 적용이 가능하므로 외산 소프트웨어에 비교할 때 경쟁력이 있다고 판단됨. · 현재 IT의 트렌드인 병렬컴퓨팅을 적용하여 연산 및 속도가 증대됨으로써 실무자가 시뮬레이션 결과를 빠르게 확인하고, 여러 조건을 변경하여 다양한 결과값을 확인할 수 있다는 장점은 실무자와 감독관 모두가 만족할 수 있는 기능이라고 판단됨. · 현재 개발 중인 과제로 검증, 실무적용 등에 대한 문제점이 있음. 그러므로 3차년도에는 검증을 보완하여 결과값에 대한 신뢰성을 확보하고, 실무에 적용하여 프로그램의 문제점 파악 및 보완을 한다면 경쟁력은 더 강해 질것이라 판단됨.
적용범위 (활용분야)	1. 도로분야 1) 노면배수 - 강우량 별로 집수정, 도수로 등의 도로 배수 구조물 통수능력 검토 - 노면 위아래 배수구조물의 연동검토가 가능하므로 노면 위의 집수정 뿐만이 아니라 노면아래의 종배수관, 맨홀 등의 용량 검토 - 가상현실 공간에서 여러 조건의 배수구조물 변경을 통한 최적 안 도출 2) 사면배수 - 강우량별로 도수로, 산마루 측구 등의 사면 배수구조물 통수능력 검토 가능 - 사면에서 유입되는 우수에 대한 집수정의 통수능력 및 월류여부 검토 가능 3) 횡단배수 - 강우량 별로 암거, 횡배수관의 횡단 배수구조물 통수능력 검토 - 가상현실 공간에서 암거 및 횡배수관의 위치를 변경하여 적정위치 검토 - 사망시설의 설치위치 및 규모의 적정성 검토 ∴ 도로 배수시설물을 유지 및 관리, 시공 및 설계할 때 FSS를 활용 -> 시장 : 지자체, 공공기관, 설계사, 시공사 등 2. 하천분야 - 평상시, 홍수시 등에 따라 하천의 수위, 유속, 유향 등의 변화를 2D가 아닌 3D로 검토 가능 (하천구조물 (수제 등) 설치 시도 검토가능) - 하천의 유향 및 유속 등을 제어하기 위해 설치된 수제의 적정성 및 최적안 검토 가능 (수제설치 조건 (간격, 길이등)을 변화 시키면서 문제구간의 유향, 유속검토) - 실제축적으로 전체구간을 적은 비용으로 짧은 시간에 수리모형 실험가능 ∴ 하천 배수시설물을 유지 및 관리, 시공 및 설계할 때 FSS를 활용 -> 시장 : 지자체, 공공기관, 설계사, 시공사 등 ∴ 보, 댐과 같은 구조물의 안정성 검토를 위해 실행하는 수리모형 실험대체 가능 -> 시장 : 대학, 연구기관 등
성과달성 책임자 (소속기관)	신창수(동남이앤씨(주))

소요기간		' 2014.9.24. ~ ' 2015.12.23. (1년3개월)					
핵심성과	양적성과	차년도	특허	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타
			등록 1				1
	질적성과	차년도	- 3차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속 처리 기술 개발 - 대규모 SOC 및 방재분야 실무적용 검증				
	달성 확인방법	차년도	IdealTime/실측정시간, IdealTime/(실측정시간X노드수), 보고서				

나. 핵심성과명 : 2차원 유한요소 유체 해석 엔진 개발(KSWM)

구 분	설 명
관련 그림 / 사진	
정의 (설명)	· 2차원 유체 흐름의 지배방정식 알고리즘 정립 · 2차원 해석관련 모의/경계 조건 설정 모듈 개발 · 2차원 하천흐름 해석 엔진개발 · 2차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 연산 수행속도 증대 기술 개발 · 2차원 해석엔진의 실무적용성 확인
설정사유	기존 소프트웨어와의 가시적 비교 및 속도와 신뢰도에 대한 검증
목적	· 하천을 효율적으로 관리하고, 이상기후에 의한 홍수 및 이수 상황을 대비하기 위해 유체의 수리학적 거동을 예측하기 위한 2차원 해석 S/W를 사용하였는데 대부분 외국의 제품을 이용하였다. 게다가 학술적 연구 분야 에서 국내의 모델들이 연구되어 왔지만 이를 실용화하는 기술적인 측면의 접근이 부족하고 개발하는데 한계가 있음 · 국내 독자 기술을 이용한 2차원 유한요소 해석엔진을 개발하여 기존 2차원 해석 S/W와 비교할 때 신뢰도가 높고, 병렬컴퓨팅 기법을 이용하여 연산 및 해석 속도를 증대 시키는데 목적이 있음. 이러한 효과로 해외의 유체 해석S/W에 대한 의존도를 낮추어 비용 절감 및 경쟁력 확보가 가능함.
성능목표	(기존기술 수준) · 유체 내 단순정보만 분석하여 유체의 속도를 시간대별로 나누어 색상으로 표현만 하는 수준 · 유체현상을 일반적으로 독립된 S/W로 모델링작업 한 후에 나중에 별도의 S/W로 해석 및 연산 작업을 수행함 · 실시간으로 표현 불가능하며, 연산 및 해석 속도가 느림 · 시뮬레이션 범위가 소규모로 하천 및 수자원분야 등 수치해석 분야 및 학술적 용도에 일부 한정적으로 적용 (개발기술 수준) · 유체 현상을 2차원으로 시뮬레이션하고, 뛰어난 시각화 기술을 이용하여 실사와 같은 표현이 가능 · 실시간으로 표현 가능하며, 연산 및 해석 속도가 빠름 · 기존수치해석 S/W와 비교할 때 경쟁력 확보 및 비용절감이 가능 · 가상시나리오를 손쉽게 구현 가능하므로 설계변형을 비교하면서 최적의 개선안 도출
외산소프트웨어 대체가능성 여부	· 위의 성능목표에서 언급한 바와 같이 개발기술 수준에 도달한다면 KSWM은 현재 2차원 유한요소 유동해석만을 수행하기 때문에 RMA-2를 대체하기 위해서는 좀 더 많은 연구와 시간이 필요함. 하지만, 기존 Fortran이 아닌 C++과 CUDA 언어로 자체개발 되어 병렬화 및 GUI를 적용하기가 수월하며 업그레이드 속도가 빠름. · 자체연구를 통해 지속적으로 발전시켜 부유산 확산 및 입자추적기법을 지원하여 하천 및 호소, 연안의 오염물농도계산까지 지원하는 수준으로 개발할 예정임. · 현재 개발 중인 과제로 검증, 실무적용 등에 대한 문제점이 있음. 3차년도 에는 검증을 보완하여 결과 값에 대한 신뢰성을 확보하고, 실무에 적용하여 프로그램의 문제점 파악 및 보완을 한다면 경쟁력은 더 강해 질것이라 판단됨.

구 분		설 명					
적용범위		1. 하천분야 - 평상시, 홍수시 등에 따라 하천의 수위, 유속, 유량 등의 변화를 검토 2. 기타 - 3차원 해석하는데 한계가 있는 광역범위(하천, 도시침수 등)에 적용 - 부유산 확산 및 입자추적기법을 지원하여 하천 및 호소, 연안의 오염물농도계산 까지 지원하는 수준으로 개발할 예정 (자체연구를 통해 지속적으로 개발할 예정) ∴ 하천 배수시설물을 유지 및 관리, 시공 및 설계할 때 FSS를 활용 -> 시장 : 지자체, 공공기관, 설계사, 시공사 등					
성과달성 책임자 (소속기관)		심동윤 ((주)이엔지소프트)					
소요기간		' 2014.9.24. ~ ' 2015.12.23. (1년3개월)					
핵심성과	양적성과	차년도	특허	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타
					1	1	2
	질적성과	차년도	2차원 해석엔진의 실무 적용성 확인				
	달성 확인방법	차년도	연차실적계획서, 설계도서				

제2절 주요 성과

1. 학술적 성과 및 기술적 성과

본 사업을 통해 도출된 주요 성과로는 국내 학술지 게재, 특허 등록, S/W 등록, 프로그램 시범 적용, 매뉴얼 및 튜토리얼 등이 있으며 자세한 내용은 표와 같으며 각 성과에 대한 자료는 첨부자료를 통해 확인 가능함.

< 표 7 > 본 과제를 통해 도출된 주요성과

구분	국내 학술지게재/발표	특허 출원/등록	S/W 등록	프로그램 시범 적용	매뉴얼 및 튜토리얼
1차년도	1	2(출원)	-		-
2차년도	1	1(등록)	1	2	
3차년도	1	1(출원)	1	3	4

2. 기술 실시 및 적용사례

본 과제를 통해 개발된 FSS 프로그램에 대한 신뢰성 확보 및 검증을 통해 기존의 CFD 소프트웨어와의 비교하여 검증하였으며, 실제 사업구간에 FSS 프로그램을 적용함으로 본 연구개발을 통해 개발된 성과의 비교 검토를 실시하였음. 본 절에서는 기존 CFD와의 비교검증에 대한 내용을 작성하였으며, 실제 사업구간에 대한 프로그램 적용 보고서는 첨부자료를 통해 확인 할 수 있음.

가. FSS와 기존 CFD와의 비교검증

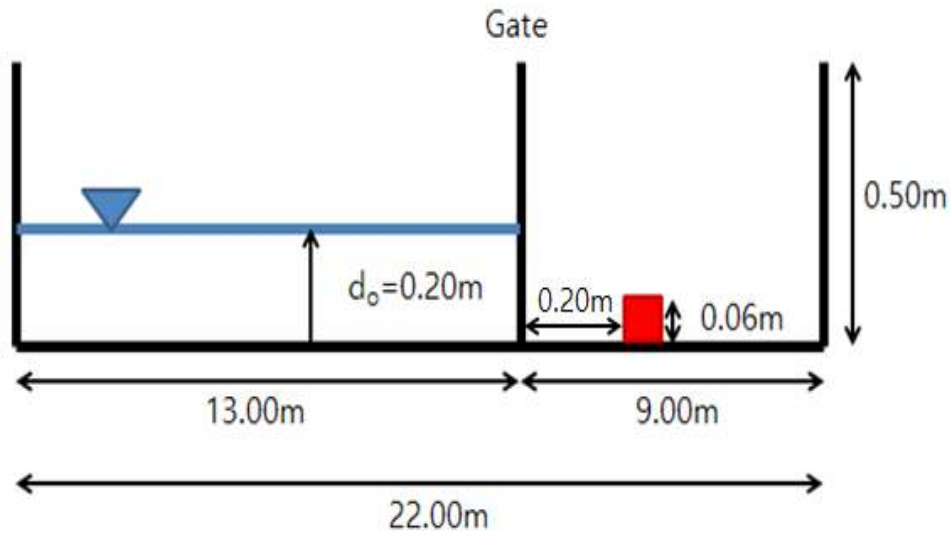
(1) 댐 붕괴파 해석검증

FSS 모형의 수리학 분야에서의 범용성과 정확성을 검토하기 위하여 CFD 모형 검증에 이용되는 대표적인 예제인 댐 붕괴파 흐름을 모의하고 결과를 검토하였음

검증 대상은 Oertel (2012)이 수행한 실험을 선정하였음. 전체 수조의 중앙부에 <그림 42>와 같이 상하 방향으로 개폐가 가능한 수문이 설치되어 있음. 초기조건으로 수문을 닫은 상태로 상류부에 수심이 20 cm가 되도록 물을 채우고 하류부의 수심은 0 cm로 유지시켰음. 수문의 20 cm 하단에는 높이 6 cm의 장애물을 설치하여 보다 복잡한 흐름양상을 나타나도록 하였음. 초기조건이 설정된 후, 중앙에 위치한 수문을 순간적으로 개방하여 물이 하류단으로 퍼져나가도록 하였음.

FSS 모형을 이용하여 해당 문제를 수치해석 하는 과정은 수리모형실험과 동일한 절차로 재현토록 하였음. 수문의 개방은 위로 0.45m까지 올리며 이 때, 1.12 s가 소요되었다. Particle의

크기는 수렴 정도와 계산 속도를 고려하여 현재 버전에서 이용 가능한 가장 작은 크기인 1 cm 직경이고, 204,459개의 particle을 사용하였음. 사용한 Workstation은 (CPU : Xeon E5-2620v2, RAM : 16GB, GPU : NVIDIA GeForce GTX TITAN Z)와 같은 사양임.



< 그림 42 > 수로 모식도

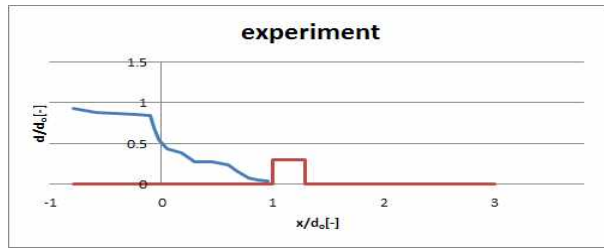
< 표 8 > FSS 계수 조건

case-1		case-2	
particle size	0.01 m	particle size	0.01 m
water viscosity	0.5 (없음)	water viscosity	5 (단위 없음)
water stiffness	20 (단위 없음)	water stiffness	10 (단위 없음)

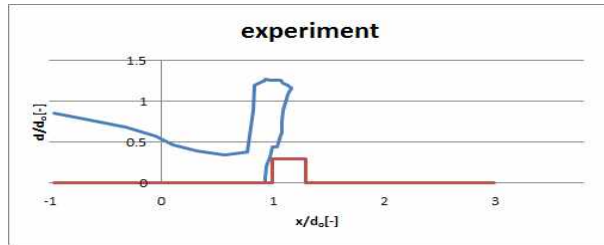
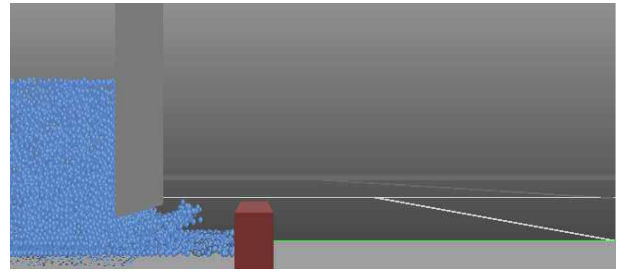
<표 8>은 FSS 수치모의에 입력이 필요한 대표적인 계수로, 본 검증에서는 case-1 과 case-2의 두 가지를 이용하였음. 현재의 FSS 버전은 case-1을 기본값으로 제공하고 있으나, 기본 값을 이용하는 경우 수렴성에 문제가 발생하여 본 검증에서는 case-2를 이용하여 수치모의를 수행하였음.

<그림 43>은 case-2의 계수를 이용하여 FSS와 수리모형 실험 결과를 비교한 것임. 비교적 타당한 범위 내에서 실험결과와 유사한 경향을 나타내고 있으나, (d)~(e)의 경우 다른 패턴을 나타내고 있는데, 이는 case-2에 사용한 계수의 영향으로 판단됨. 따라서 해당부분의 개선이 필요한 것으로 판단됨. <그림 44>는 해당 결과를 FLOW 3D의 결과와 비교한 것으로 두 결과가 유사한 양상을 나타내고 있음.

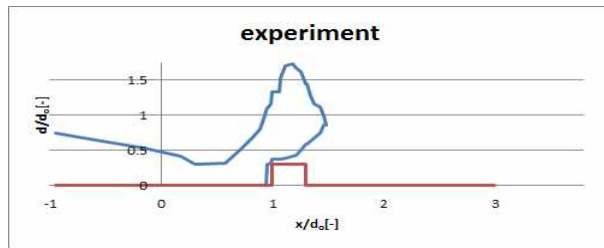
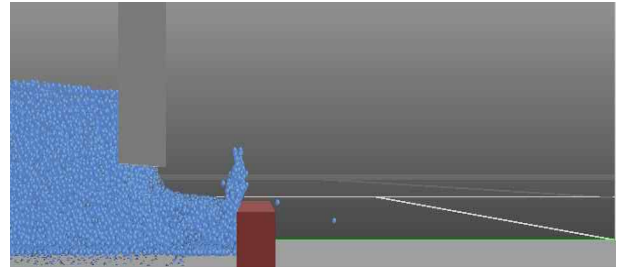
<그림 45>는 FSS의 정확성과 수렴성에 미치는 영향을 검토하기 위해 표 과 같이 계수를 변경하여 동일한 문제를 수치모의 한 것임. case-1에 제시된 FSS 모형이 제시하는 기본값(표 준치와 다른 의미)을 이용하는 경우 <그림 45>와 같이 particle들이 비물리적으로 반발하는 것이 관측되었음. 따라서 이에 대한 개선이 필요한 것으로 판단됨.



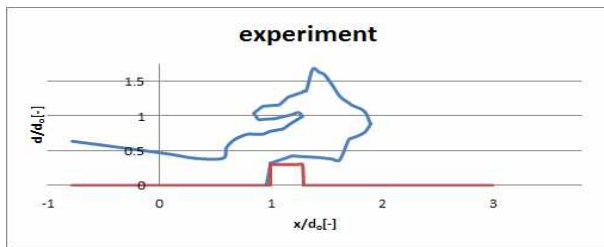
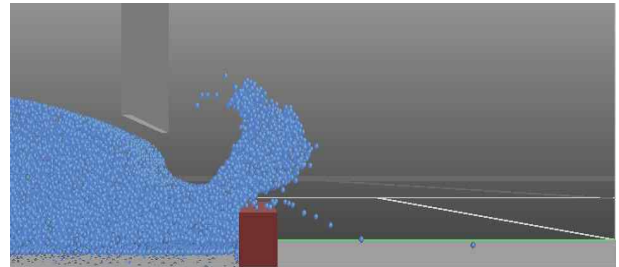
(a)



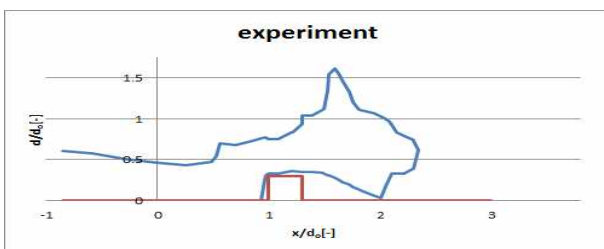
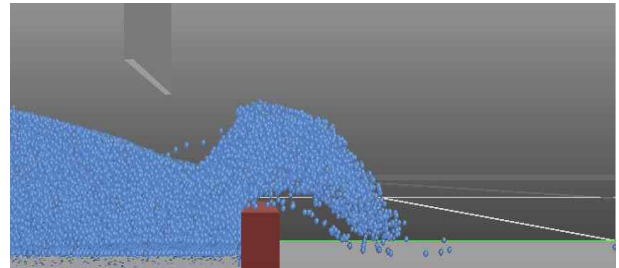
(b)



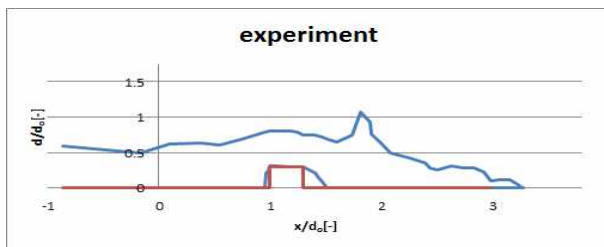
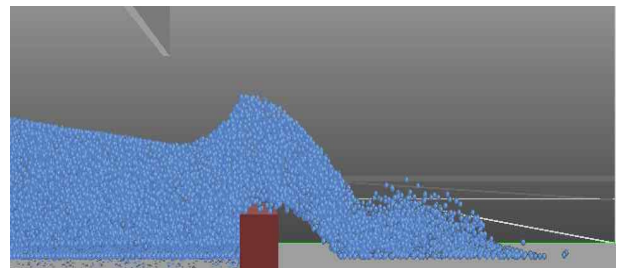
(c)



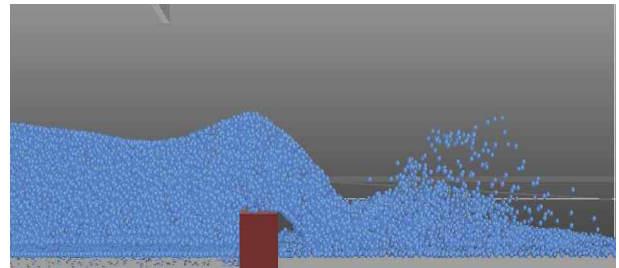
(d)



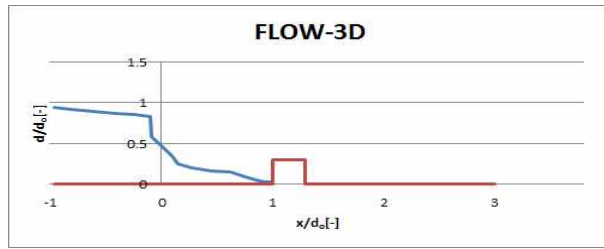
(e)



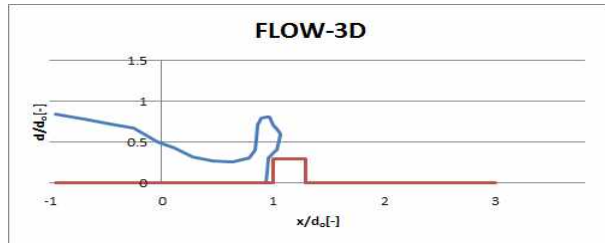
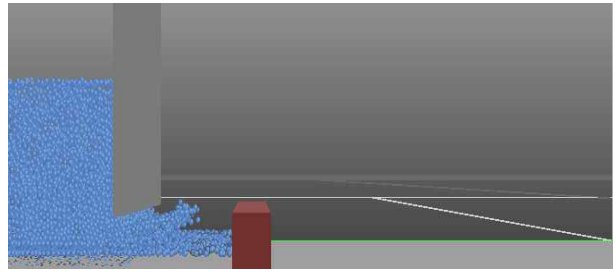
(f)



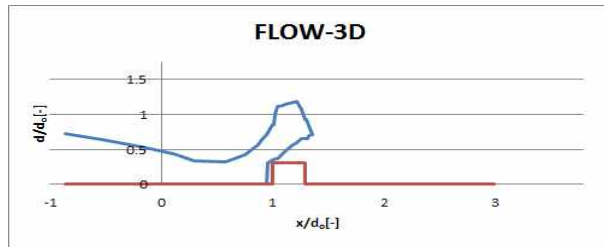
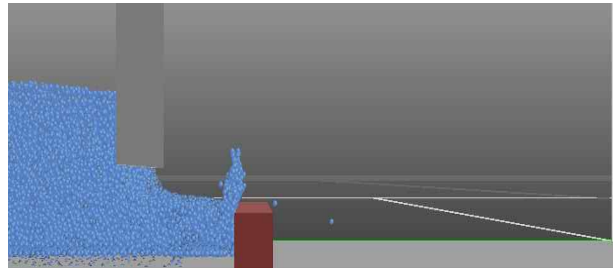
< 그림 43 > FSS 및 실험결과 비교: (a) $t(gd^{-1})^{0.5} = 0.70$, (b) $T = 1.4$, (c) $T = 2.1$, (d) $T = 2.8$, (e) $T = 3.5$, (f) $T = 4.2$. d_o = 장애물 높이, t = 수문개방후 시간



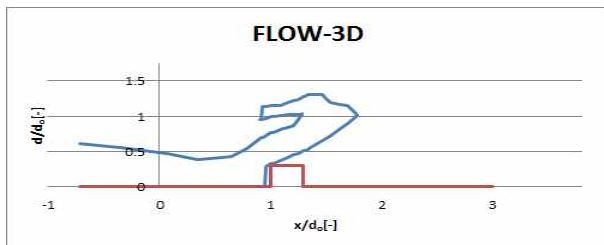
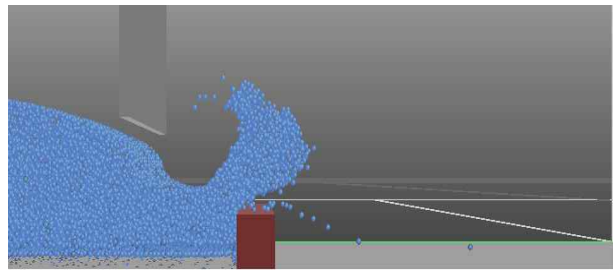
(a)



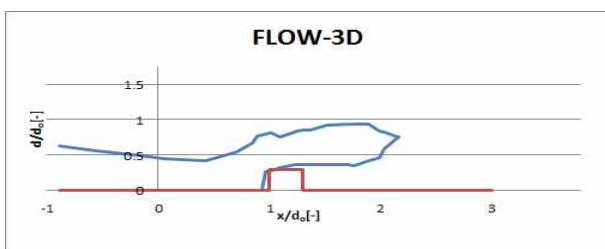
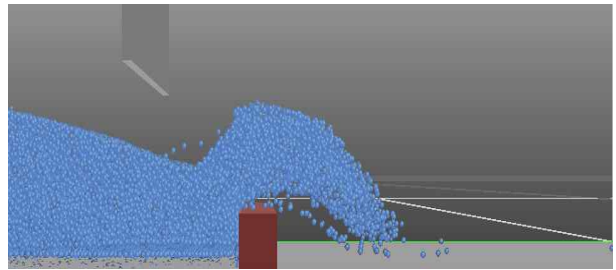
(b)



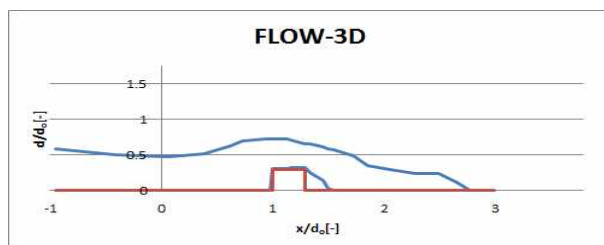
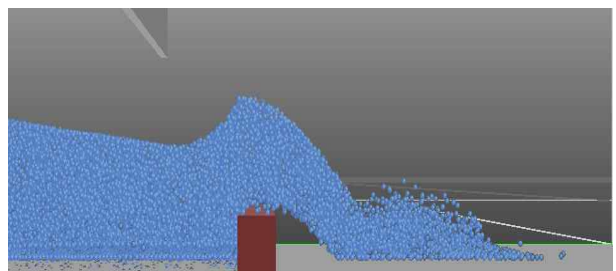
(c)



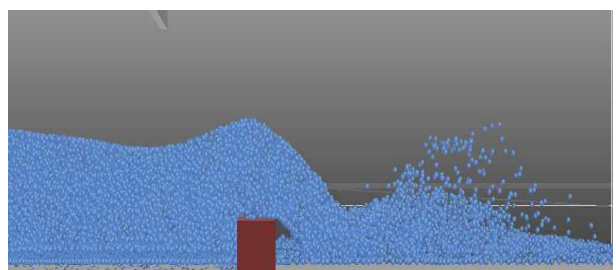
(d)



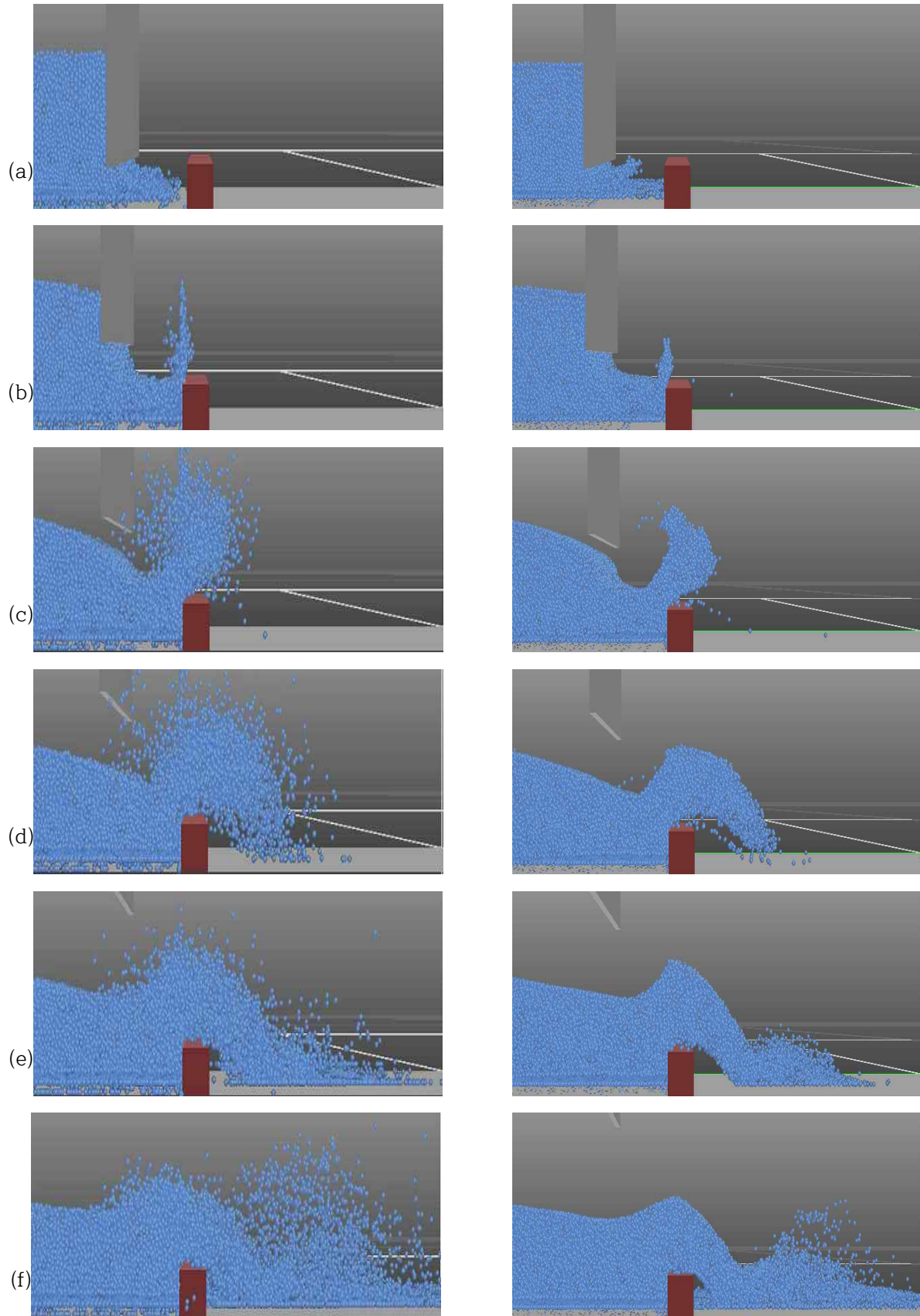
(e)



(f)



< 그림 44 > FSS 및 FLOW-3D 결과 비교: (a) $t/(gd^{-1})^{0.5} = 0.70$, (b) $T = 1.4$, (c) $T = 2.1$, (d) $T = 2.8$, (e) $T = 3.5$, (f) $T = 4.2$. d_0 = 장애물 높이, t = 수문개방후 시간

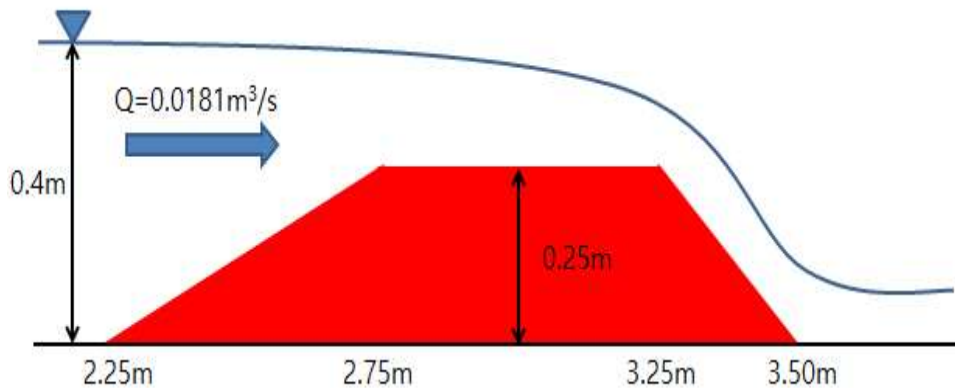


< 그림 45 > 계수에 따른 FSS 결과 비교. 좌측: case-1. 우측: case-2. (a) $t(gd^{-1})^{0.5}=0.70$, (b) $T=1.4$, (c) $T=2.1$, (d) $T=2.8$, (e) $T=3.5$, (f) $T=4.2$.
 d_o =장애물 높이, t =수문개방후 시간

(2) 위어흐름 검증

하천에 존재하는 가장 많은 구조물 중 하나인 위어 주변의 흐름을 대상으로 FSS 모형의 성능을 검토하였음. 검토를 위한 대상으로 Haun (2011)이 수행한 연구를 선정하였음. 대상수로는 <그림 46>과 같이 높이 25 cm의 사다리꼴 형태의 위어를 월류하는 흐름임. 경계조건으로 상류방향에서 유량이 0.018 m³/s 지속적으로 유입되고 있고, 상류부의 수심은 0.4 m로 유지됨.

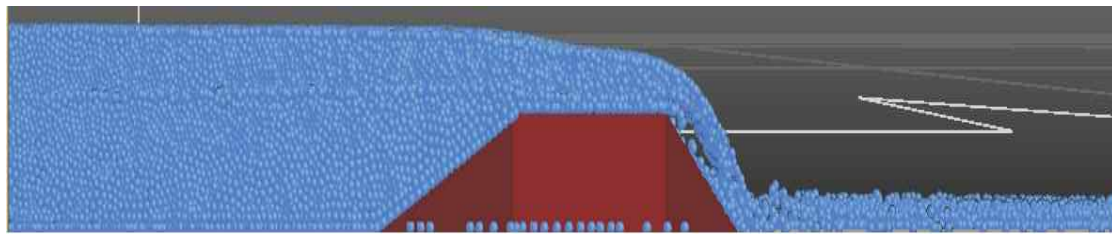
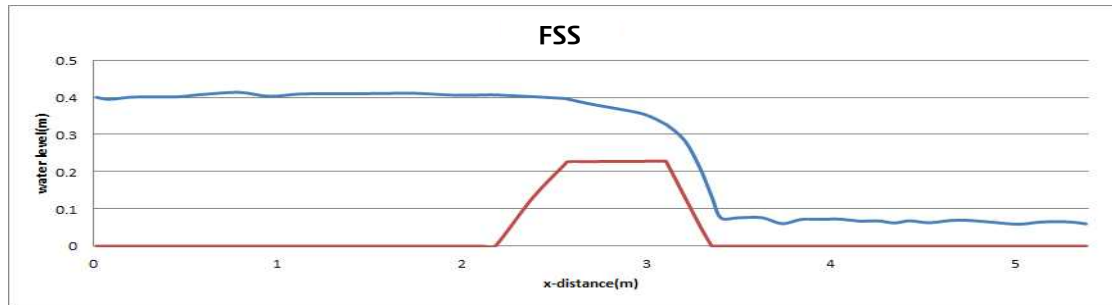
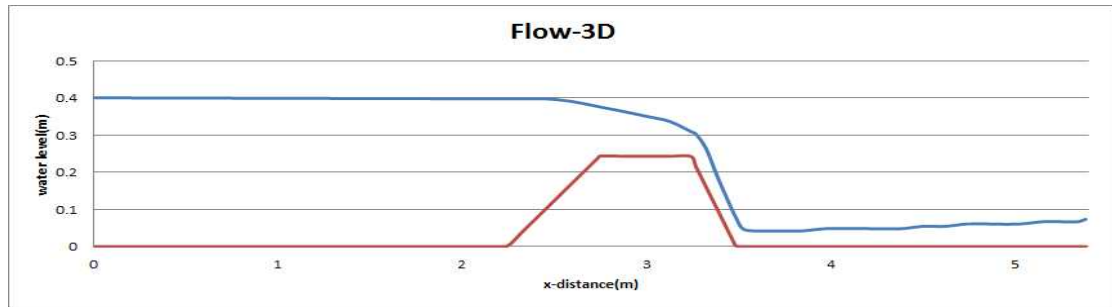
FSS를 이용한 수치모의에서는 <표 9>와 같은 조건을 포함하여 보다 큰 particle을 이용하여 수치모의를 수행하였으나, particle이 큰 경우 수렴되지 않은 것으로 판단하여, FSS의 최신 버전이 제공하는 가장 작은 크기인 1 cm 직경의 particle 121,000개의 particle를 이용하였음. HW는 (CPU : Xeon E5-2620v2, RAM : 16GB, GPU : NVIDIA GeForce GTX TITAN Z) 사양의 Workstation 사용하였음.



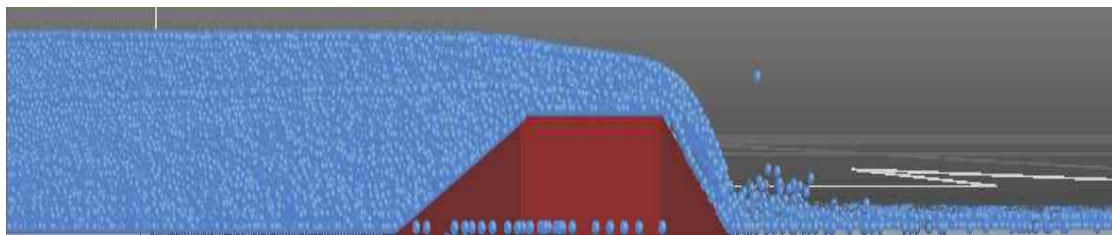
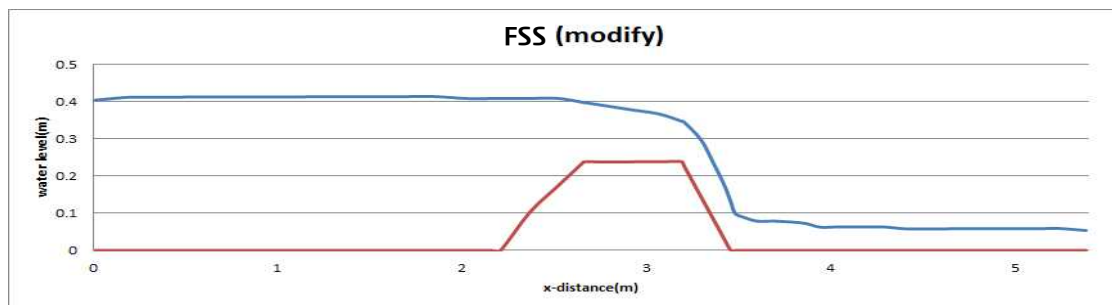
< 그림 46 > 위어흐름 모식도

< 표 9 > FSS 계수 조건

case-1		case-2	
particle size	0.01m	particle size	0.01m
water viscosity	0.5 (없음)	water viscosity	5 (단위 없음)
water stiffness	20 (단위 없음)	water stiffness	10 (단위 없음)



(a) particle size = 0.02m, viscosity = 1, stiffness = 20

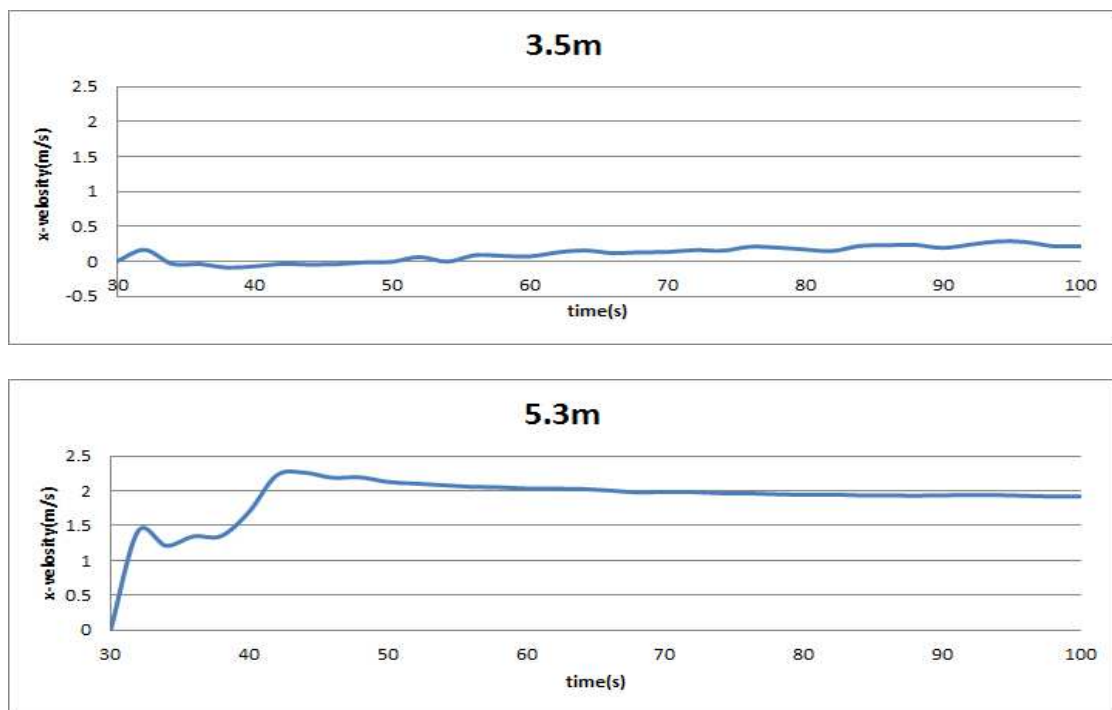


(b) particle size = 0.01m, viscosity = 2, stiffness = 10

< 그림 47 > FSS를 이용한 위어흐름 수치해석 결과

<그림 47>은 대상 위어흐름 해석 결과를 비교한 것으로, 전반적으로 FLOW3D와 유사한 결과를 나타내었음. 여기서 FSS 값은 Postprocess 기능 중에 수면 또는 유속의 거리에 따른 profile을 구현하는 기능이 제공되지 않아, 화면을 print screen 하여 디지털화한 값을 나타낸 것임.

전술한 바와 같이 FSS의 결과는 전체적으로 양호하지만, 위어 구조물 하강부와 하류부 수심이 상대적으로 크게 계산되었음. 특히 유량이 줄어들어 수심이 낮아지는 경우에는 FSS는 particle 직경의 영향으로 오차가 더 증가하게 됨. 또한 particle 모형을 특성으로 인하여 수렴이 완전히 되지 않게 되어 시간이 상대적으로 오래 지속되어도 <그림 48>에 제시된 3.5 m와 5.3m 하류지점에서의 유속과 같이 진동이 발생하게 됨. 이는 향후 중점적으로 개선이 필요한 사항으로 판단되며, 추가적으로 <그림 47>의 screen shot에 나타난 바와 같이 일부 particle이 수로의 지형에 끼어 있는 현상이 발견되고 있음.

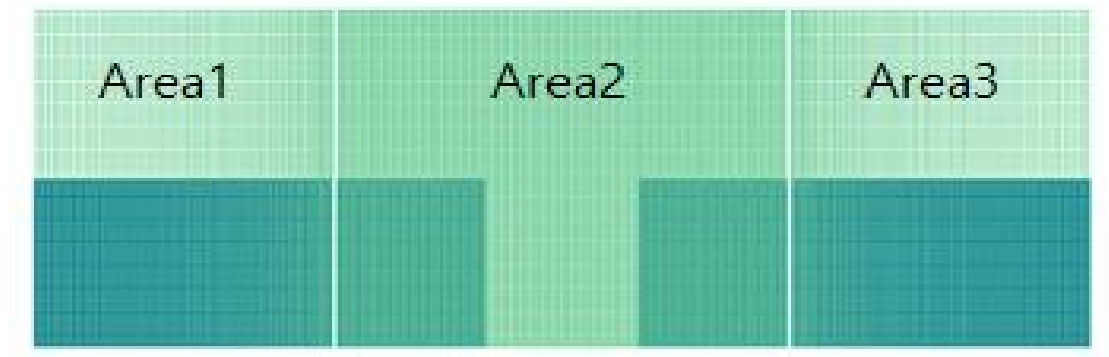


< 그림 48 > FSS 계산결과 : 시간에 따른 바닥에서의 유속

(3) 합류부 흐름 검증

FSS의 합류부 흐름 적용 가능성을 검토하였음. 대상 수로는 Shumate (1998)이 <그림 49>와 같은 수로에서 수행한 실험 결과를 이용하였음. 수로는 길이 21.946 m의 주 수로와 3.658 m의 지류 수로로 구성이 되어 있음. 지류는 본류 시작점의 5.486 m 하류에 연결되어 있음. 두 개의 수로 모두 폭은 0.914 m 이며, 수로의 바닥은 모두 평평하였고 하류단의 수위는 0.296 m 로 유지시켰음. 유입 유량은 주 수로와 보조수로에서 각각 0.127 및 0.043 m³/s 이 유지되었고, 합류된 이후의 총 유량은 0.170 m³/s 임.

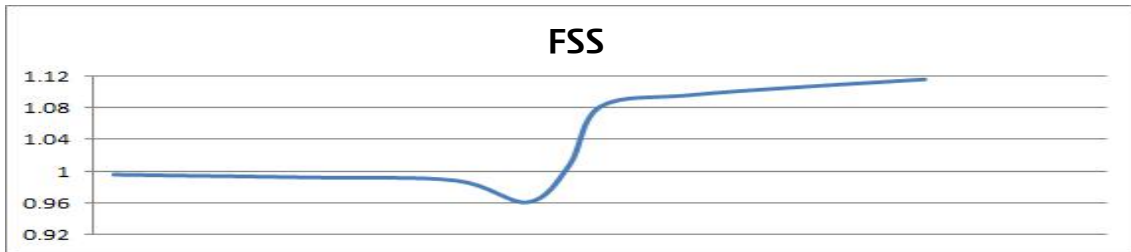
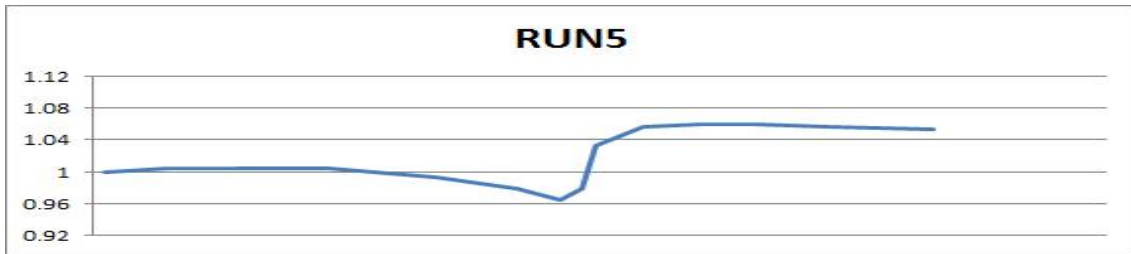
FSS를 이용하여 수치모의를 수행 시에 수리모형실험과 동일한 조건을 이용하였고, <표 10>에 제시된 계수와 총 190,000개의 particle를 사용하여 수치모의를 수행하였음. 사용한 H/W의 성능은 (CPU : Xeon E5-2620v2, RAM : 16GB, GPU : NVIDIA GeForce GTX TITAN Z)와 같음.



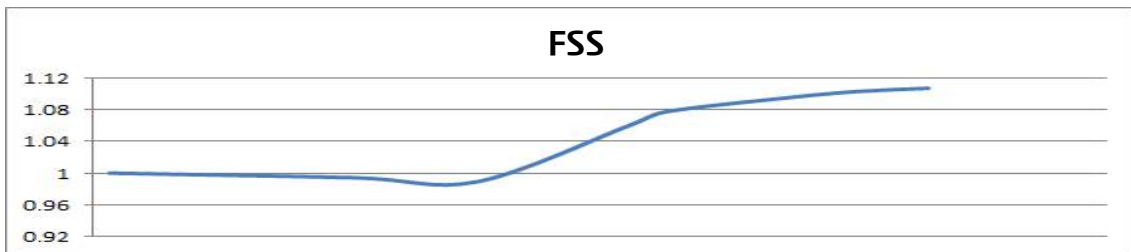
< 그림 49 > 합류부 수로(평면도) 수치 모의 격자구성
연두색 : 수로, 초록색 : 벽

< 표 10 > FSS 계수 조건

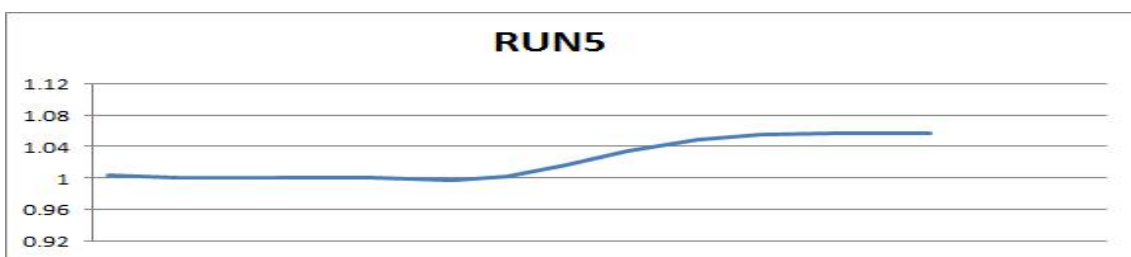
particle size	0.04m
water viscosity	5 (단위 없음)
water stiffness	10 (단위 없음)



(a)

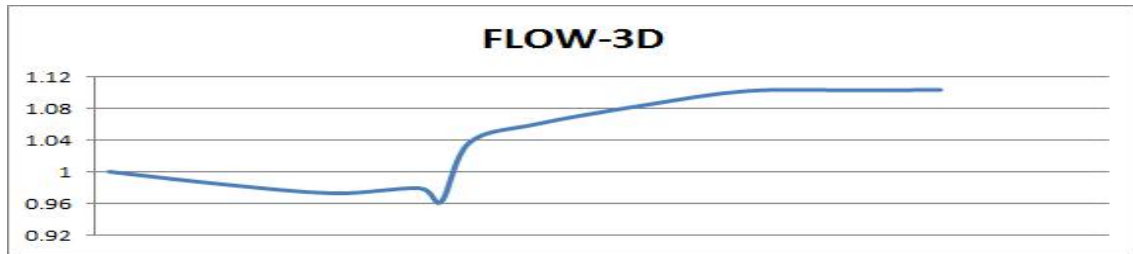


(c)

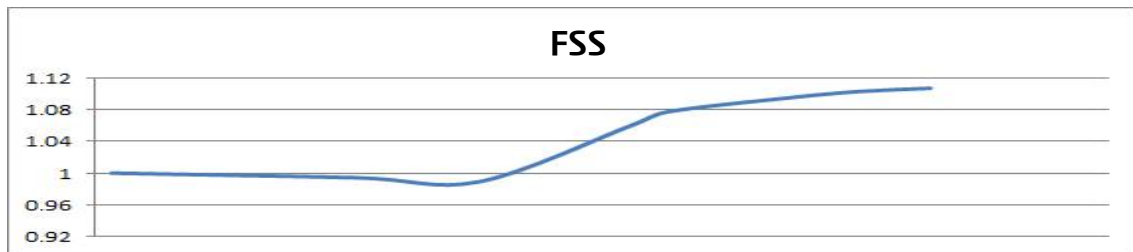
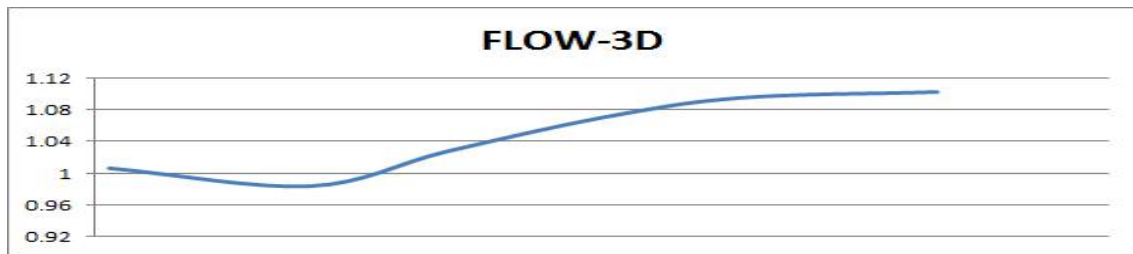


(e)

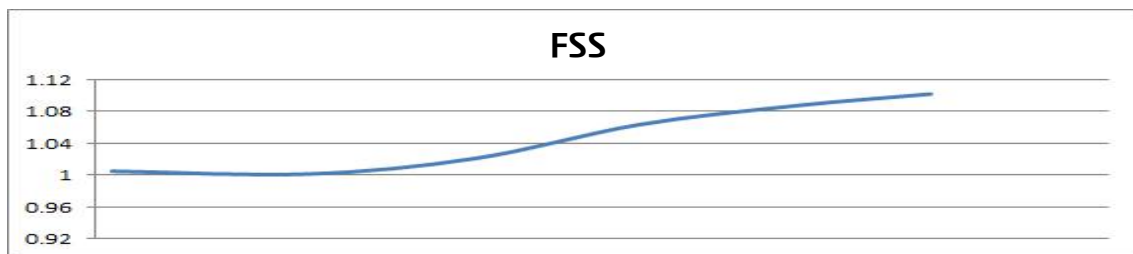
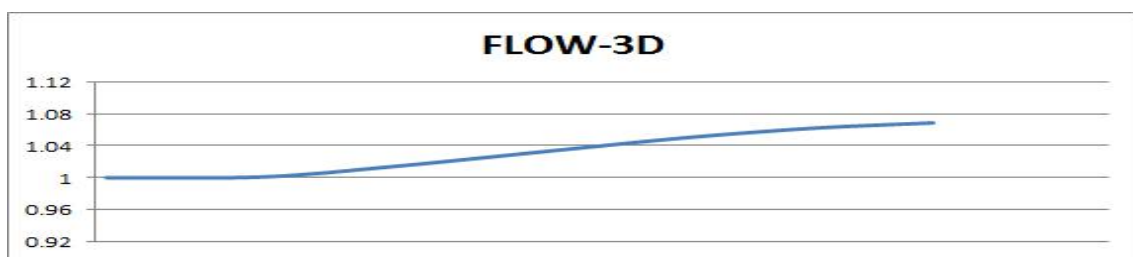
< 그림 50 > FSS 합류부 수로 수치모의 결과 비교



(a)



(c)



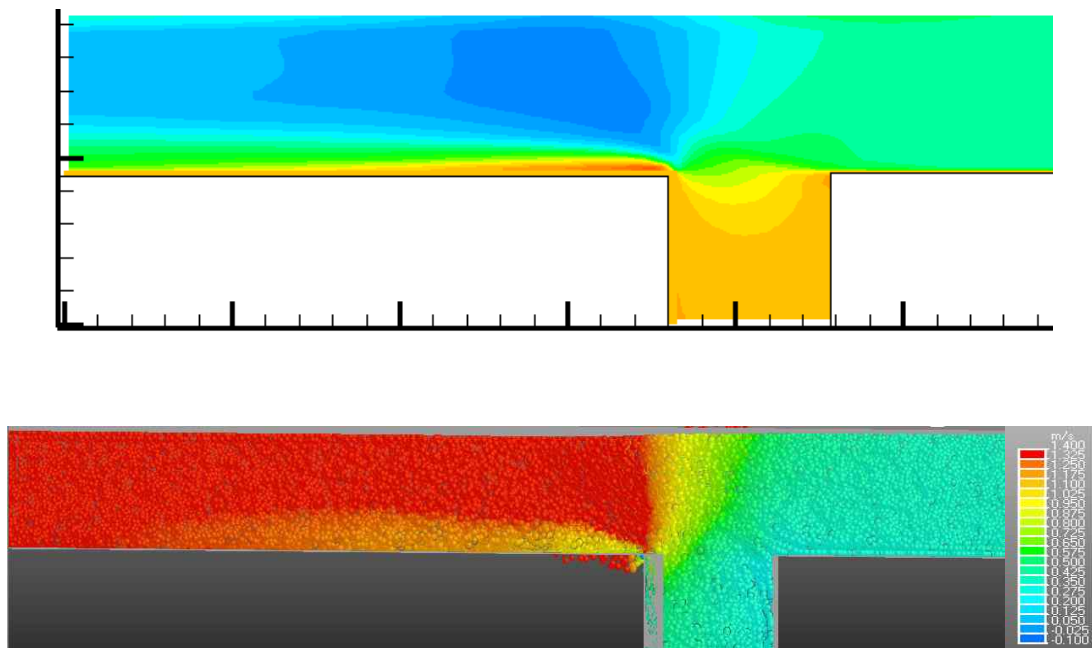
(e)

< 그림 51 > FSS 합류부 수로 수치모의 결과 비교

<그림 50>과 <그림 51>은 FSS를 이용하여 정상상태에 도달한 이후의 계산결과를 실험(Shumate, 1998) 및 FLOW3D 모형의 결과(홍익대학교 수리실험실)와 비교한 것임. 전반적으로 유사한 결과를 나타내고 있지만, FSS의 결과는 수면형의 경우 정확한 스케일을 확인할 수 있는 기능이 제공되지 않아 육안으로 흐름이 일정하게 발생하는 구간에서의 형상을 구현하였음

<그림 52>는 합류부에서의 유속분포를 도시한 것으로 두 모형이 전반적으로 비슷한 결과를 나타내었으며, FSS에서 다른 경우와 마찬가지로 합류부 외각에서 물이 새는 것을 확인할 수 있었음.

FLOW3D의 경우 사용자가 원하는 지점에서 원하는 방향으로 자유롭게 유속 분포를 도시할 수 있으나, FSS의 경우 해당 기능이 제공 되지 않아 비교를 수행하지 못하였음.



< 그림 52 > 유속분포. 상 : FLOW3D, 하 : FSS 모형 결과

(4) 결과

FSS 모형을 이용하여 다양한 개수로 흐름에 적용한 결과를 분석하여 정리하면 다음과 같음.

1. 수리학적으로 개수로 흐름에서의 전반적인 양상을 유사하게 모의하고 있으나, 다음과 같이 부분적으로 개선할 부분이 다수 남아 있음.
 - 정확한 흐름 예측 : 수치적인 안정성이 충분히 확보되지 않은 원인에서 기인하는 것으로 판단됨.
 - 점성항 : 현재 버전에 점성항의 포함 여부가 불확실함.
 - 난류모형 : 정확하고 물리적인 흐름 예측을 위해 난류모형의 추가가 반드시 필요하며, 수치적인 효과로 수치적인 안정성이 높아질 수도 있음.
 - Noslip condition : 벽면에서 noslip 효과를 고려할 수 있는 옵션이 필요함.
 - Particle 직경 : 낮은 수심의 흐름을 해석하는 경우에 현재 보다 작은 직경의 particle을 사용할 수 있도록 변경이 요구됨
 - 계수 : 사용자가 다양한 계수를 입력해야 하지만, 현재 계수들의 단위와 정의가 불분명함.
 - Solid wall : 계산 영역내에 설정한 벽 (solid wall) 사이로 물이 새는 경우가 가끔 관측됨
2. 현재 비교적 다양한 전후처리를 제공하고 있으나, 개수로에 적용 시에 보다 편리한 모형이 되기 위해 아래와 같은 옵션의 추가가 필요함.
 - Euler 좌표기반의 출력 기능 :
 - 하천 종단 profile (수위, 수심, 유속) 출력
 - 원하는 지점에서의 시간과 원하는 공간 방향으로 (수위, 수심, 유속) profile 출력
 - 수위 등고선도 (평면도)
 - 계산 중간과정에서 계산결과 확인용 출력 기능
 - Particle 모형의 특성을 고려한 계산결과 smoothing 처리 기능

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종 목표 달성도

본 연구의 최종 목표는 외산 상용 해석 소프트웨어에 의존하여 분석해오던 유체의 흐름을 순수 국내 기술로 개발된 한국형 수치해석 전문 프로그램을 개발하여 소프트웨어 자립도를 키우고 재난 시 재해 상황을 직관적이고 시각적으로 파악하여 적절한 대책을 수립하여 국민의 소중한 인명과 재산을 보호하고 설계 시 3차원 유체 시뮬레이션을 적용하여 재해 상황에 취약부분을 미리 점검하고 보강 설계가 가능하고 나아가 재난, 재해로부터 안정된 생활권을 확보할 수 있는 기반을 마련하는데 있음.

< 표 > 총괄 성과목표 및 성과지표

	과제명		성과목표		성과지표	성과검증 기준			가중치	해당 기관
						목표치	측정방법	검증방법		
목표	1	3 유체 초기/경계 조건 설정 모듈 개발	1-1	수치지형 모델링 생성 모듈 개발	지형모델의 형태적 정확성	80%	기존 모델링 Tool과 비교	소스코드	3%	동남이엔씨(주)
			1-2	시설물 모델링 생성 모듈개발	시설물형태의 정확성	90%	기존 모델링 Tool과 비교	소스코드	3%	동남이엔씨(주)
	2	3D 유체 Motion 연산 모듈 개발	2-1	SOC규모의 대용량 3D 유체 Motion 모듈개발	처리가능한 입자수	GPU 개당 300만개 입자처리	대용량 입자수 시뮬레이션 Test	실행결과비교	12%	동남이엔씨(주)
	3	2차원 유체 흐름의 지배방정식 알고리즘 정립	3-1	하천흐름의 지배방정식 알고리즘 정립	국내학술지게재	2건	국내학술지게재 2건	논문게재	3%	(주)이엔지소프트
			3-2	보존형 천수방정식 알고리즘 업그레이드	신뢰성	80%	전문가의 검토를 통한 기술의 적정성확인	보고서	4%	(주)이엔지소프트
	4	2차원 해석관련 모의/경계 조건 설정 모듈 개발	4-1	수치지형 모델링 생성 모듈 개발	지형모델의 형태적 정확성	80%	기존 모델링 Tool과 비교	DATA확인	4%	(주)이엔지소프트
			4-2	초기 및 경계조건 입력 모듈 개발	신뢰성	90%	전문가의 검토를 통한 기술의 적정성확인	연차실적계획서	3%	(주)이엔지소프트
	1	3차원 Volume Rendering 기법을 통한 유체형상화 모듈개발	1-1	파티클 방식의 유체형상화 모듈개발	다양한 유체형상 표현의 사실성	80%	시범콘텐츠 제작을 통해 검증	동영상비교	10%	동남이엔씨(주)
	2	고품질 Rendering을 위한 시각화 모듈 개발	2-1	전역조영 기법 모듈개발	빛과 유체표면의 색상표현의 사실성	70%	시범콘텐츠 제작을 통해 검증	동영상비교	6%	동남이엔씨(주)
			2-2	다양한 매핑 모듈개발	이미지 표현의 사실성	80%	시범콘텐츠 제작을 통해 검증	동영상비교	6%	동남이엔씨(주)

	3	2	하전흐름 해석 엔진개발	3-1	1차년도 개발된 천수방정식 해석엔진 개발	신뢰성	90%	기존해석엔진과의 비교 Test	Output의비교	6%	(주)이엔지소프트
				3-2	해석결과 표현기능 개발	표현성	90%	계산값과 표현값의 비교	Output의비교	2%	(주)이엔지소프트
	4	2차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 연산 수행속도 증대 기술 개발	4-1	병렬컴퓨팅기법을 통한 수치연산 고속처리기술개발	속도/성능향상	xGPU 수배	수행시간측정/ 격자해상도 측정	IdealTime/(실측정 시간X노드수)	3%	(주)이엔지소프트	
			4-2	고속연산처리를 위한 분산 네트워크 기술개발	속도/성능향상	x시스템수배	수행시간측정/ 격자해상도 측정	IdealTime/(실측정 시간X노드수)	4%	(주)이엔지소프트	
	1	3차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속 처리 기술 개발	1-1	GPU간 병렬컴퓨팅 기술개발	속도/성능향상	xGPU 수배	초당시뮬레이션 프레임수 측정/ 입자해상도 측정	IdealTime/(실측정 시간X노드수)	3%	동남이엔씨(주)	
			1-2	분산 유체 네트워크 기술개발	속도/성능향상	x시스템수배	수행시간측정/ 입자해상도 측정	IdealTime/(실측정 시간X노드수)	4%	동남이엔씨(주)	
	2	대규모 SOC 및 방재분야 실무적용 검증	2-1	SOC 시범사업 적용	시범사업참여	3개소 시뮬레이션	적용실적조사	보고서	5%	동남이엔씨(주)	
			2-2	3차원 해석엔진 검증	기존 수리모형 타 S/W 결과값	3건	적용실적조사		5%	동남이엔씨(주)	
	3	2차원 해석엔진의 실무 적용성 확인	3-1	기 개발된 해석 엔진과의 비교	신뢰성	90%	보고서	연차실적계획서	5%	(주)이엔지소프트	
			3-2	실시 설계에 적용	설계도서 비교검토	93%	설계도서 대비 오차율	설계도서	5%	(주)이엔지소프트	
	계										100%

목표	사업연계지표					성과지표		목표치	가중치	해당 기관
						특허등록		2	25%	
						실시용역 시범적용		5개소 시뮬레이션	25%	
						S/W 등록건수		2	25%	
						국내학술지게재		3	25%	
	계								100%	

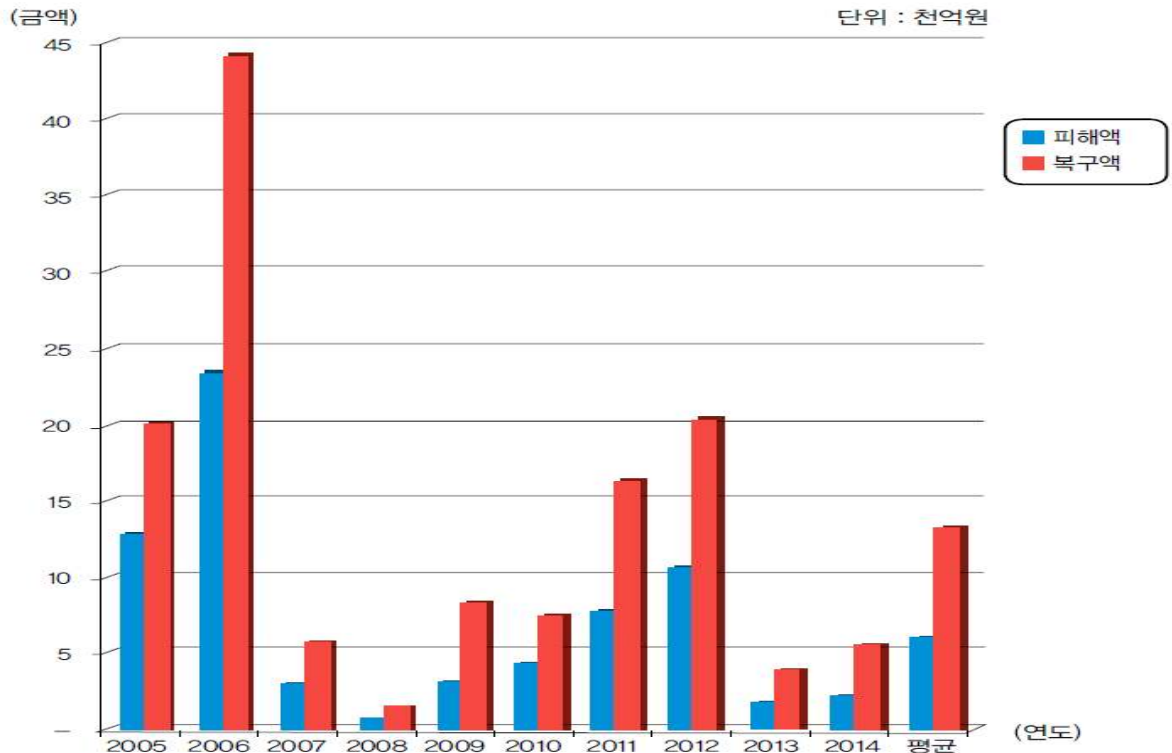
1. 연구목표 달성도

연차	목 표	달 성 도 (%)	내 용
1차년도	3차원 유체 초기/경계 조건 설정 모듈 개발과 3D 유체 Motion 연산 모듈 개발	100%	- 유체 초기/경계 조건 설정 모듈 개발 - S.O.C 규모에 맞는 방대한 양의 3D 유체 Motion 연산모듈 개발
	2차원 유체 흐름의 지배방정식 알고리즘 정립과 해석관련 - 모의/경계 조건 설정 모듈 개발	100%	- 유체 흐름의 지배방정식 알고리즘 정립 - 해석 관련 초기/경계 조건 설정 모듈 개발
2차년도	3차원 Volume Rendering 기법을 통한 유체형상화 모듈개발 - 고품질 Rendering을 위한 시각화 모듈 개발	100%	- Volume Rendering 기법을 통한 유체형상화 모듈 개발 - 고품질 Rendering을 위한 시각화 모듈 개발
	2차원 하천흐름 해석 엔진개발 2차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 연산수행속도 증대 기술 개발	100%	- FEM수치해석기술을 바탕으로 해석모듈 개발 - 병렬컴퓨팅 기법을 통한 연산 수행속도 증대기술개발
3차년도	3차원 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속 처리 기술 개발 - 대규모 SOC 및 방재분야 실무 적용검증	100%	- 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속처리 기술 개발 - 대규모 SOC 및 방재 분야 실무 적용 검증
	2차원 해석엔진의 실무 적용성 확인	100%	해석엔진의 실무적용성 확인

제2절 연구개발 성과의 기술 및 경제적 효과

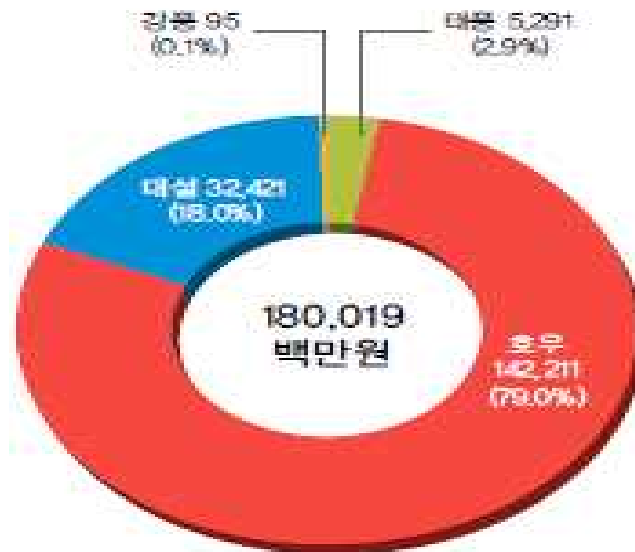
- 우리나라의 도시방재 체계 및 관련 법률의 대부분이 풍수해에 관련된 사항이지만, 각 위험 요소별로 위험 대책을 마련하지 않아 집중호우·홍수로 인해 자연재난이 발생할 경우 신속한 대응을 통해 2차 피해의 최소화가 어려운 실정임. 기존의 재해 예측 및 시뮬레이션 개발에 대한 다양한 연구가 진행되었으나, 광역적인 위험도 분석 연구는 미비한 실정이며, 기존의 연구 결과 또한 재해 실무 관리자가 활용하기에는 여러 한계가 있음.
- 급변하는 기후 변화로 인해 많은 강수량으로 인한 재해 발생률은 급증할 것으로 예상되며 동반되는 인적 물적 피해를 줄이기 위해서는 예측 시뮬레이터를 통한 피해 절감 기술이 반드시 필요한 실정임.
- 이상기후 및 지구온난화가 발생되고 있는 현시점에서 자연재해에 대한 대응전략과 관련하여 선진각국에서 많은 연구와 기술개발이 추진 중. 본 과업으로 개발된 세계수준의 3D 시뮬레이션을 통하여 국내 기술발전과 이에 따른 기술기반 구축의 가속화에 크게 기여할 것으로 기대됨
- 강우로 인한 재해는 대규모 그리고 복합적인 양상을 띠고 있어 재해를 저감하고 피해확산 감소를 위한 다양한 대규모의 조직, 인력, 물자 등이 동원되어 이를 효율적으로 관리하는 문제가 더욱 중요함.
- 집중호우·홍수로 인해 발생하는 우리나라 대표적 자연재해인 산사태는 1980년대 연간 231ha 발생하던 것이 2000년대 들어 713ha로 약 3.1배 정도 증가하였는데, 이는 시간당 50mm 이상의 폭우가 1980년대 10.6회에서 2000년대 14.4회로 증가한 것과 무관하지 않음. 이러한 기상이변과 산지 훼손으로 위험지역이 증가한 것도 주요 원인으로 고려됨. 2011년도 이상기후로 인한 피해액은 약 3.4조원으로 추정되었으며, 2012년에도 자연재해가 빈번할 것으로 예상 되고 있음(삼성경제연구소 박준 수석연구원).
- 홍수로 인한 재해는 경제·산업적 측면에서 엄청난 손실을 유발하는 문제를 안고 있으며, 또한, 근래 국내의 발생빈도와 규모가 과거에 비해 증가하고 있는 상황에서 집중호우·홍수 등으로 일어 날 수 있는 재해를 사전에 예측하고, 이를 기반으로 한 재해대비책을 수립하여 장기적으로 국가경제와 산업시설에 대한 대비를 철저히 하여야 함.
- 2000년대에 들어 기상이변의 의한 재산피해액은 급격히 증가하고 있으며, 재해복구비 역시 2005년에 재산피해액의 153%였으나 2009년에는 258%까지 증가.
- 우리나라의 재해복구비:예방비의 비율이 6:4인데 반하여 방재선진국인 일본의 경우 복구비:예방비 1:9에 달하는 것을 감안하면 재해예방에 관련된 시장규모는 지금보다 4배 이상 확대될 것으로 전망됨.
- 태풍 및 국지성 강우 등에 의한 자연재해는 반복성, 재발 가능성이 높아 위험개소에 대한

철저한 위험요인 및 경제성 분석을 통해 재해관리에 있어 최적화 방안 마련이 필요.



< 그림 53 > 최근 10년간 피해·복구액 현황(국민안전처)

- 기상이변에 대한 대책이 실행되지 않을 경우, 우리나라는 2100년에 연간 약 58조원(최소2조원에서 최대328조원)정도의 피해가 예상됨(CHes et.al., 2006).
- 태풍 및 국지성 강우 등에 의한 자연재해는 반복성, 재발 가능성이 높아 위험개소에 대한 철저한 위험요인 및 경제성 분석을 통해 재해관리에 있어 최적화 방안 마련이 필요.
- 2010재해연보(소방방재청)에 의하면 2010년도 재해에 의한 재산피해의 대부분 호우 및 태풍에 의한 피해로서 전체 피해액의 82%를 차지하고 있어 방재 분야에 대한 연구개발이 시급한 상황임.
- <그림 54>와 같이 2014재해연보(국민안전처)에 의하면 2014년도 재해에 의한 재산피해의 대부분 호우 및 태풍에 의한 피해로서 전체 피해액의 82%를 차지하고 있어 방재 분야에 대한 연구개발 및 피해예측 프로그램 개발이 시급한 상황임.



< 그림 54 > 원인별 재산피해 현황(국민안전처)

- 본 연구를 통해 개발된 3D 시뮬레이션으로 인해 재해 예방 및 피해저감이 가능하며 약 50%의 국가예산 절감, 재난복구 비용의 절감, 대응체계의 신속·정확 등으로 인해 재해 대응 비용의 절감효과가 기대됨.

제5장 연구성과의 활용

제1절 연구성과 향후 활용방안

○ 하천의 홍수 시 하천의 범람에 따른 피해범위 예측 및 방재 대책의 수립

지형데이터에 3D 유체시뮬레이션 기술을 적용함으로써, 홍수 시 발생할 수 있는 하천의 범람 조건을 예상 강우량별로 시뮬레이션이 가능하고, 범람 시 홍수가 미칠 수 있는 범위를 가정하여 단계별로 대피 계획을 수립하거나, 방재대책을 수립할 수 있음.



< 그림 55 > 하천의 홍수 시 피해예측

○ 도시지역의 침수범위에 대한 예측

최근 변화된 강우패턴으로 국지성 집중호우가 도시지역에 집중되면서 광화문침수(2010.2011년), 강남역 침수(2011년)와 같은 도심지의 침수에 대한 범위를 강우량과 강우지속시간 데이터를 이용하여 3차원 시뮬레이션 했을 경우 강우량과 강우지속시간에 따른 침수범위 예측과 시간대별 방재대책, 주민대피 대책 등을 수립 할 수 있음.



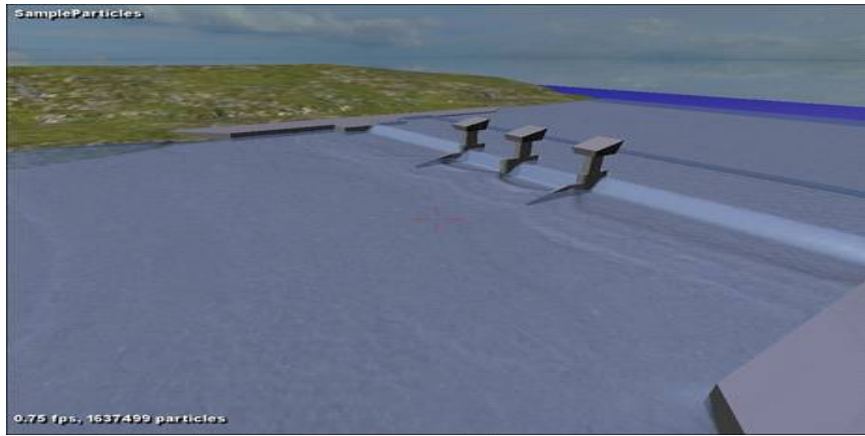
< 그림 56 > 도심지 침수지역의 사전예측 및 사전방재 대책 수립

○ 4대강과 같은 하천시설물의 설계 및 유지보수에 활용

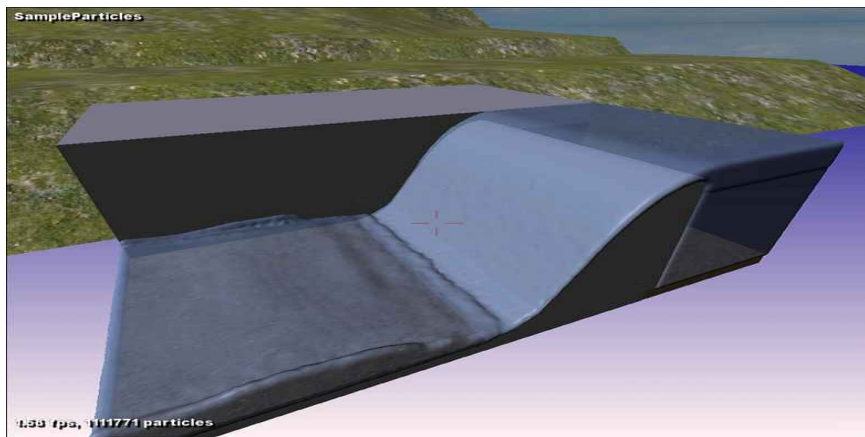
4대강에 설치되어 있는 보와 댐과 같은 대규모 수리 구조물은 구조물에 대한 유체흐름의 분석, 유량변화에 따른 하천의 영향 등을 3차원 유체시뮬레이션을 이용하여 하천의 흐름에 대한 유체역학적인 수치해석을 하여, 수리모형 실험에 대한 비용을 절감하고, 수많은 조건별 수리형상을 시뮬레이션 함으로써, 설계의 품질제고, 시공 후 유지보수비용 절감 등에 기여할 수 있음



(A)



(B)



(C)

< 그림 57 > 구미보 실제사진(A), 유량변화 시물레이션(B), 단면 유체해석(C)

○ 도로 및 철도 위험지구 피해범위 예측

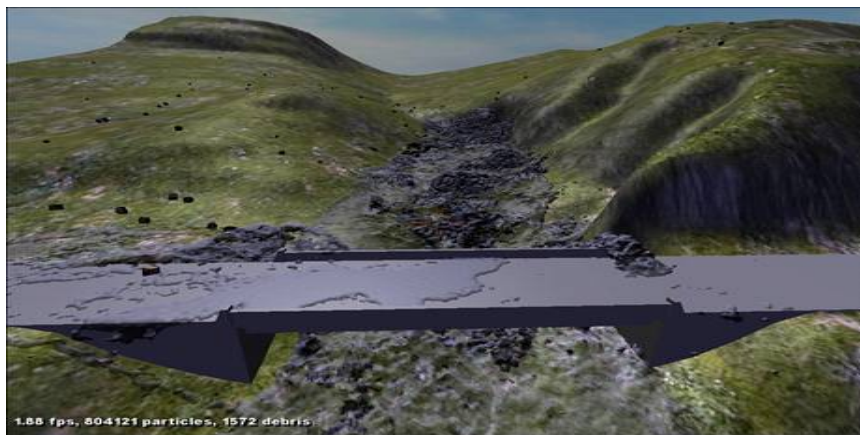
S.O.C사업 시설물 중 도로 및 철도 시설물의 재해에 의한 피해는 국민의 인명과 재산에 가장 많은 피해를 초래함. 도로 및 철도에서 발생할 수 있는 피해를 3D 유체시물레이션으로 사전에 예측함으로써, 도로 및 철도 시설물의 피해를 사전에 예방할 수 있음.



< 그림 58 > 고속도로 배수효율성 증대 시물레이션



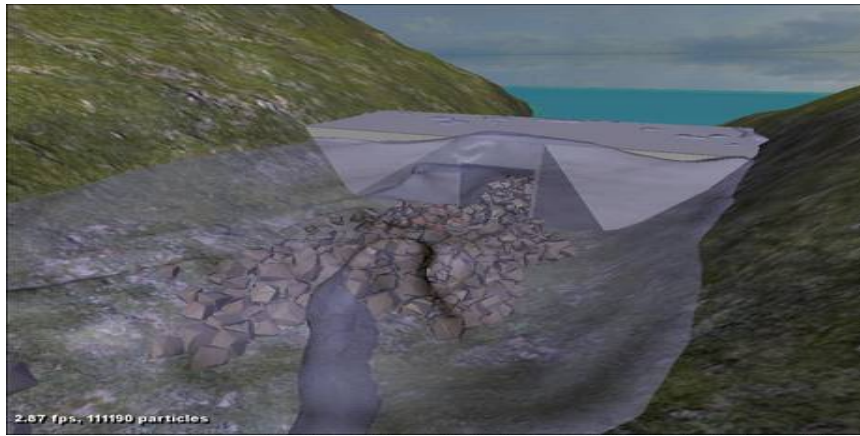
< 그림 59 > 토석류 피해 실제 사진(한계령 2006년)



< 그림 60 > 토석류 산사태 피해시뮬레이션

○ 효율적인 방재시설의 위치선정 및 효과 검증

2011년 우면산사태로 인해, 전국의 산사태 위험지역에 사방시설을 설치하여, 산사태에 의한 토석류의 피해를 줄이고자 하는 노력이 계속되고 있음. 그러나 우면산 복구 시 현재 언론에서 문제가 되고 있는 것은 현재 설치되고 있는 사방시설물의 적정성과 설치에 대한 효과 검증에 있음. 설치 위치 및 설치 규모이 적정성과 설치 시 효과 등을 검증할 수 있는 방안은 현재 제시되어 있지 않음. 따라서, 3차원 유체시뮬레이션을 통해 사방시설물의 위치별, 시설물의 규모별, 유입되는 토석류의 종류별 등 다양한 사방시설물의 시뮬레이션을 통해 가장 안전하고, 효율적인 방재 대책의 수립과 효과를 검증할 수 있음.



< 그림 61 > 사방시설물의 위치선정과 효과검증

○ 지진해일(Tsunami) 발생 시 피해범위 예측

3차원 유체 시뮬레이션을 통해 지진해일 발생시, 해일의 높이를 가정한 실제 시뮬레이션이 가능하며, 지진해일 발생 시 단계별 대책과 주민 대피의 단계별 상황대책을 수립할 수 있음.



< 그림 62 > 지진해일을 가정한 피해범위 예측 시뮬레이션

○ 이밖에도 변화된 기후변화로 인해 발생할 수 있는 여러 상황을 가정하고, 최근 발전한 GIS Map등의 첨단 지형정보와 3D 계측을 통한 3차원 수치 지형도 등에 3차원 영상 시뮬레이션 기술을 적용하여, 실제 재해시를 고려한 상황을 가상현실 공간(Virtual Reality Space)에서 시뮬레이션을 수행하여, 대규모화 되고 있는 호우에 대비가 가능함.

- 공학적 근거를 가진 3D M.F.C를 적용하여 실제 홍수 및 재난 사항을 가상현실 공간에서 실시간 조건별로 시뮬레이션을 통해 S.O.C사업 시설물 설계 가능
- 각종 S.O.C 사업 시설물의 효율적인 문제점의 검증
- S.O.C사업 가상현실을 통한 효율적인 유지관리