첨부 1-1

- 낙동강 수해복구 3D 시뮬레이션
시범예제 -

제1장 서론

제1절 시범예제의 목적

국가하천인 낙동강 삼랑진 검세지구 ~ 양산물금구간의 홍수피해 저감을 위해 위험지구 대한 선정과 2차원, 3차원 유체시뮬레이션을 통해 흐름특성을 분석하여 적합한 대책마련을 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있음.

제2절 시범예제의 범위

- 하천명 : 낙동강 (국가하천)
- 시범예제구간 : 삼랑진 검세지구 ~ 양산물금 16Km구간



< 그림 1 > 시범예제위치도

제2장 기초현황조사

제1절 분석대상지 현황

본 시범예제에서는 분석대상지의 현황을 파악하고자, 다음과 같이 현장조사를 실시하였음. 현장조사에서는 2012.09.17~18일 발생한 태풍 '산바' 에 의해 피해가 발생한 구간과 세굴지역, 퇴적지역, 하천현황 및 지형에 대하여 다음<그림 2>와 같이 조사하였음.



<그림 2> 현장사진 위치

조사지점 01





조사지점 02





조사지점 03





< 그림 3 > 피해지구 현장사진-1

조사지점 04





조사지점 05

조사지점 06





조사지점 07





< 그림 4 > 피해지구 현장사진-2

조사지점 08	조사지점 09
	
조사지점 10	조사지점 11
	
조사지점 11	
	

< 그림 5 > 피해지구 현장사진-3

조사지점 11





조사지점 12





조사지점 13



조사지점 14



< 그림 6 > 피해지구 현장사진-4

조사지점 15	조사지점 16
	
조사지점 17	
	

< 그림 7 > 피해지구 현장사진-5

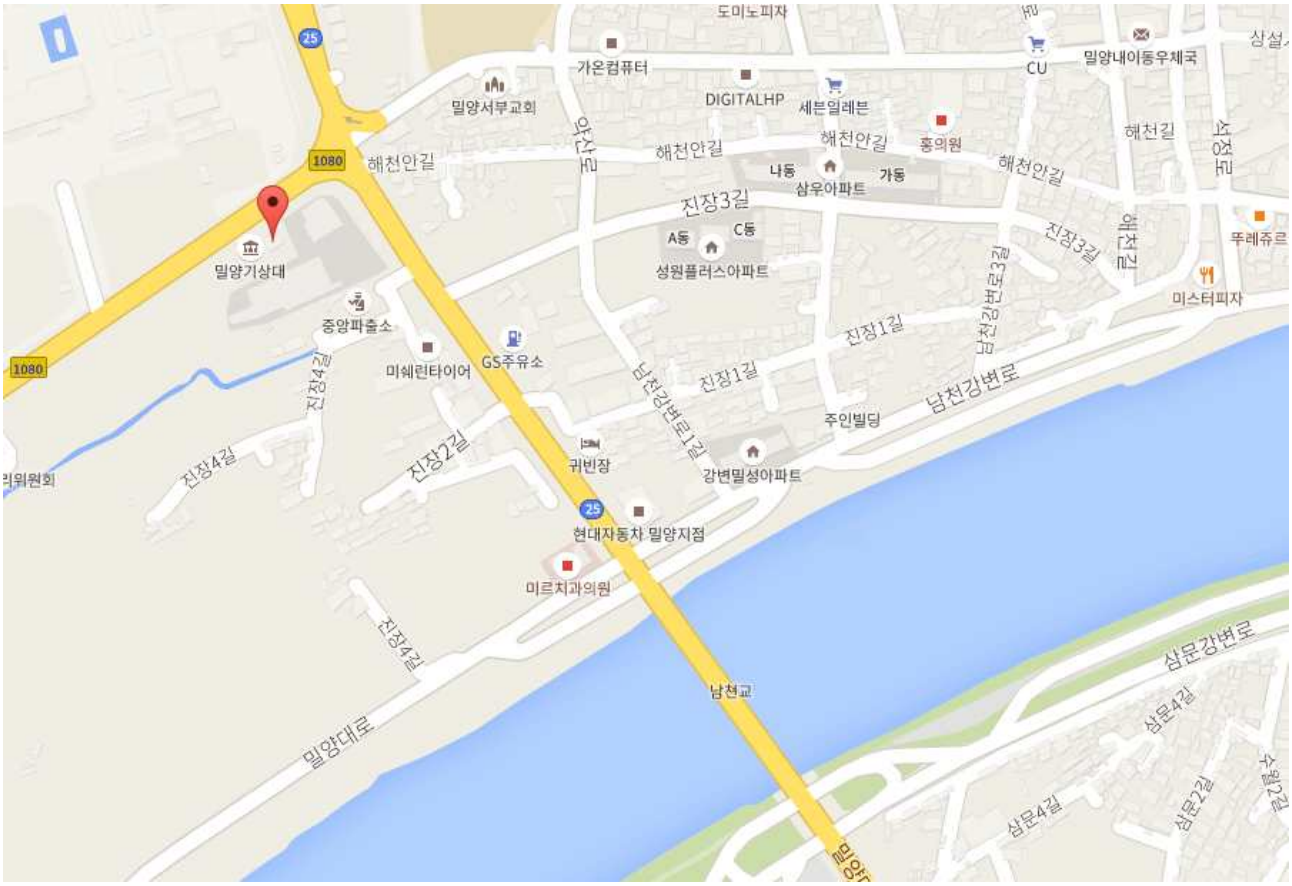
제2절 기상 및 수문특성

1. 수문관측소 현황

금회 분석대상지인 낙동강(No.67~No.100)의 관련 수문관측소는 기상청 관할의 밀양관측소와 국토해양부 관할의 김해, 상북에 있는 것으로 확인되었음. 본 분석에서는 충분한기간의 자료를 보유하고 있고 분석대상지와 근거리에 위치한 밀양의 관측자료를 이용하여 기상특성을 분석하였으며, 관측소 현황은 다음<표 1> 및 <그림 8>에 나타내었음.

< 표 1 > 수문관측소 현황

관측소	위 치			관 측 개시일	관할 기관
	행 정 구 역	경도	위도		
밀양	경상남도 밀양시 내이동 1073-3	128-44-39	35-29-33	1971.01.01	기상청
김해	경상남도 김해시 봉황초교	128-52-31	35-13-47	1988.01.01	국토해양부
상북	경상남도 양산시 상북면 석계리 상북문화의집	129-04-37	35-25-35	1961.08.01	〃



< 그림 8 > 밀양 수문관측소 위치도

2. 기상자료 분석

본 분석대상지의 기상개황을 분석하기 위해 밀양기상관측소의 최근 10년간(2003년~2012년)의 관측자료를 이용하였으며, 분석결과는 다음 <표 2> 및 <그림 3>과 같음.

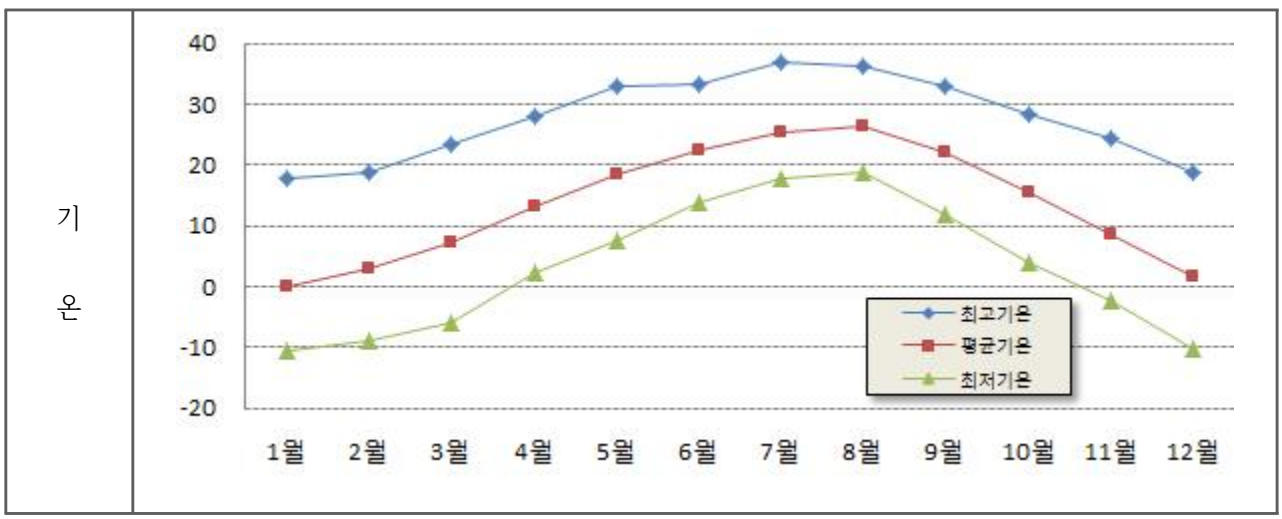
가. 기온 및 풍속

밀양관측소의 최근 10년간의 연평균기온은 13.7℃이고, 최고 및 최저기온은 각각 20.4년 7.9℃, 2004년 21.7℃로 가장 높은 기온을 나타내고 있음. 최근 10개년의 연평균 강우량은 3,258.5mm로, 6~9월에 걸쳐 집중강우 현상을 보이며, 관측개시 후 연최대강우량은 2003년 3,688.3mm, 연최소강우량은 2008년 2,815.5mm로 확인되었음.

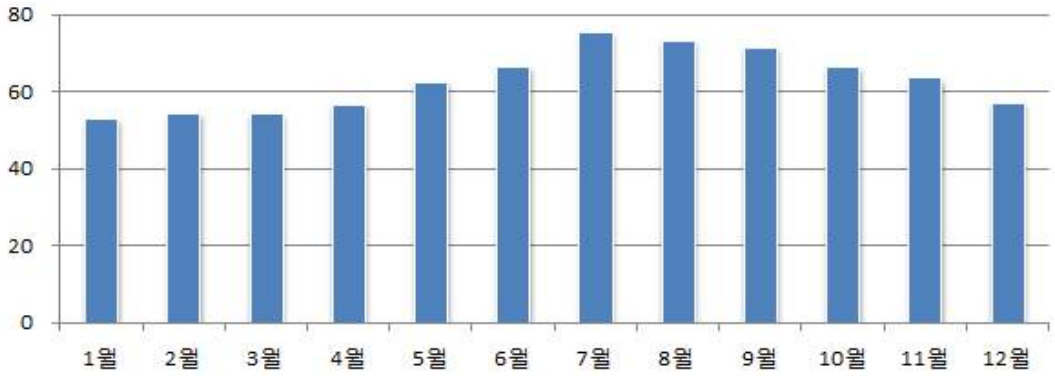
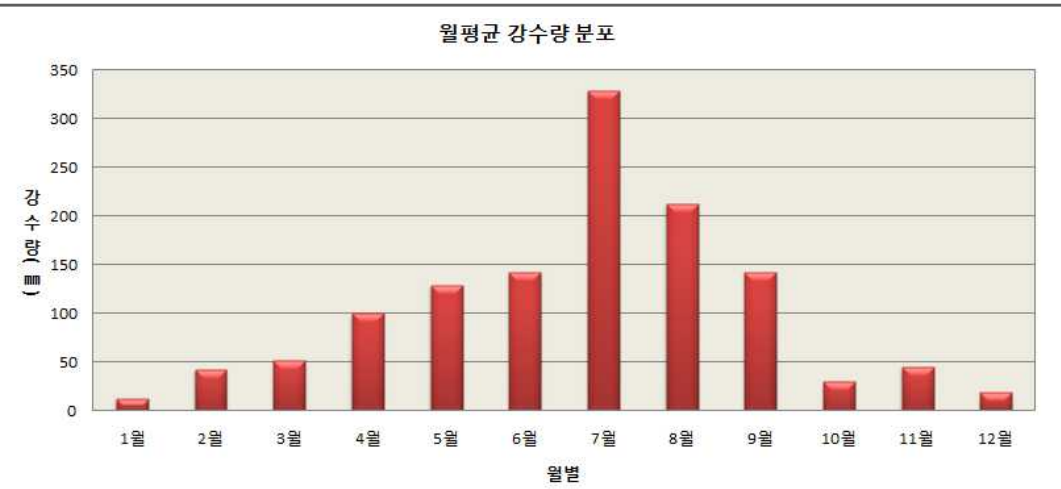
< 표 2 > 연도별 기상개황(밀양기상관측소)

년도	기 온 (℃)			강수량	습도(%)	풍속(m/sec)
	평균	최고	최저	(mm)	평균	평균
2003	13.3	19.5	8.2	3,688.3	63.8	1.3
2004	14.5	21.7	8.2	3,381.4	62.7	1.4
2005	13.2	20.2	7.2	2,976.5	60.7	1.3
2006	13.1	20.0	7.4	3,330.5	63.2	1.3
2007	13.7	20.6	7.9	3,068.0	63.1	1.4
2008	13.6	20.8	7.5	2,815.5	63.5	1.4
2009	14.5	21.2	8.6	3,139.8	61.5	1.7
2010	13.6	20.0	8.1	3,261.5	64.1	1.7
2011	13.5	19.8	7.9	3,540.8	62.9	1.7
2012	13.4	19.7	7.8	3,382.4	62.1	1.6
전년	13.7	20.4	7.9	3,258.5	62.8	1.5

주) 자료 : 기상연보(2003~2012년)



< 그림 9 > 기상개황도

상대습도	
강수량	 
풍속	

< 그림 10 > 기상개황도

나. 강우 관측기록

밀양관측소(기상청)의 연도별 월별 강우량은 다음 같으며, 가장 많은 강수량이 발생한 년도는 2003년 3,688.3mm, 월별 최다강우량이 발생한 달은 2006년 7월에 572.5mm로, 이는 집중호우에 의한 것으로 조사되었음.

밀양관측소의 최근 10년간의 강우기록을 살펴본 결과, 매년 6~9월에 걸쳐 연간강수량의 약 66%가 여름철 집중 호우 시 발생하고 있으며, 겨울철인 12월~1월은 적은 강우량을 보이고 있으며, 연도별, 월별 강우기록은 다음<표 3>과 같음.

< 표 3 > 월별 강우기록(단위 : mm)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	년간
2003	21.8	39.5	40.5	204.5	223.0	179.0	411.5	222.5	270.0	3.5	58.5	11.0	3,688.3
2004	0.0	75.0	29.3	112.0	126.5	190.5	201.0	332.0	214.5	0.0	70.5	26.1	3,381.4
2005	7.5	20.0	89.0	91.5	64.0	141.0	206.5	244.0	72.0	8.0	27.5	0.5	2,976.5
2006	25.0	24.5	17.5	82.5	192.0	164.0	572.5	118.0	79.5	19.0	20.0	10.0	3,330.5
2007	0.0	38.5	87.5	26.5	65.0	75.0	151.0	290.5	235.5	62.0	-	29.5	3,068.0
2008	32.6	11.0	31.3	50.0	180.7	195.0	154.6	109.5	9.8	10.4	12.0	10.6	2,815.5
2009	7.5	45.0	37.5	39.6	125.9	189.2	479.7	78.5	22.4	49.5	37.7	18.3	3,139.8
2010	27.0	102.2	66.3	111.1	123.6	47.0	354.2	180.4	177.2	35.8	7.1	19.6	3,261.5
2011	0.0	60.3	17.0	125.5	142.5	185.7	512.5	258.2	31.0	74.6	116.5	6.0	3,540.8
2012	2.4	7.2	99.7	160.5	46.3	56.0	244.2	287.5	315.5	39.0	56.6	55.5	3,382.4
최 소	0.0	7.2	17.0	26.5	46.3	47.0	151.0	78.5	9.8	0.0	7.1	0.5	2,815.5
최 대	32.6	102.2	99.7	204.5	223.0	195.0	572.5	332.0	315.5	74.6	116.5	55.5	3,688.3
평 균	12.4	42.3	51.6	100.4	129.0	142.2	328.8	212.1	142.7	30.2	45.2	18.7	3,258.5

제3절 지형특성

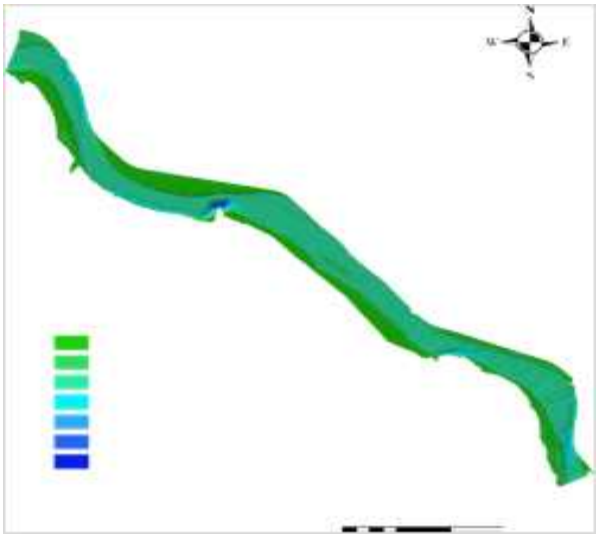
1. 지형 및 지세

분석대상지 주변에는 신어산, 금동산, 석용산, 무척산, 사명산, 천태산, 토곡산, 오봉산등이 위치해 있으며, 낙동강 분석대상구간은 북서쪽에서 남동방향으로 흐르고 있음.

2. 하도 표고 및 경사

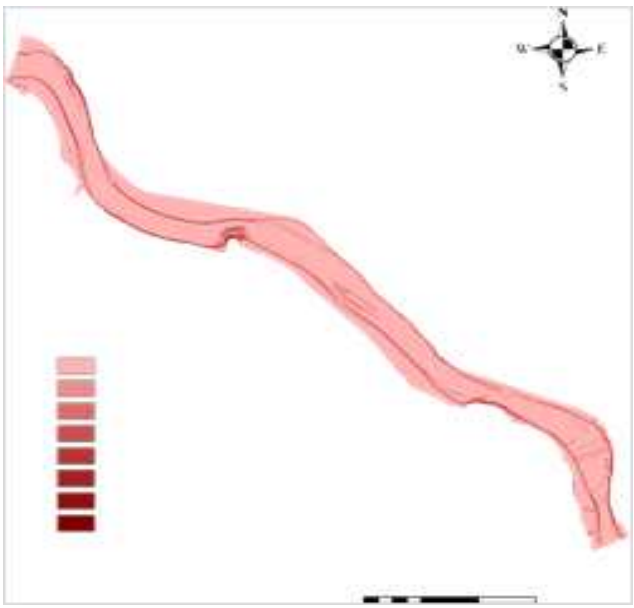
분석대상지의 전체면적 중 표고 0m 이하는 60.84%를 차지하고 있어, 낮은 지대가 상당히 넓게 분포하고 있는 것으로 나타났음. 한편, 경사도는 5° 이하가 79.72%로, 대부분 하도측에 분포되어 있는 것으로 분석되었으며, 상세한 표고 및 경사분석은 다음<그림 11>에 나타내었음.

표고분석



고도 (EL.m)	면적 (㎢)	비율 (%)
−38.03 ~ −30	0.02	0.18
−30 ~ −20	0.03	0.27
−20 ~ −10	0.62	5.34
−10 ~ 0	6.39	55.05
0 ~ 5	1.49	12.80
5 ~ 10	3.06	26.36
계	11.61	100.00

경사분석



경사 (°)	면적 (㎢)	비율 (%)
0 ° ~5 °	9.26	79.72
5 ° ~10 °	1.27	10.91
10 ° ~15 °	0.57	4.93
15 ° ~20 °	0.30	2.56
20 ° ~25 °	0.15	1.29
25 ° ~30 °	0.05	0.41
30 ° ~40 °	0.02	0.16
40 ° 이상	0.00	0.02
계	11.61	100.00

< 그림 11 > 표고 및 경사분석도

제4절 관련계획 현황 및 적용

본 시범예제는 낙동강 삼랑진 검세지구 ~ 양산물금구간의 홍수피해 저감을 위해 피해예상지구에 대한 선정과 2차원, 3차원 유체시뮬레이션을 통해 흐름특성을 분석하여 기 수립된, 관련계획과의 연관성 파악이 선행되어져야 함.

본 분석과 관련한 상위계획은 분석대상에 속하는 4대강살리기 마스터플랜, 유역종합치수계획, 하천기본계획이 있으며, 세부내용은 다음<표 4>와 같음.

< 표 4 > 상위계획 수립현황

계 획 명	수립연도	수 립 처	비 고
4대강살리기 마스터플랜	2009. 6	국토해양부 4대강살리기추진본부	
낙동강 유역종합치수계획(보완)	2009. 7	국토해양부 부산지방국토관리청	법정계획
낙동강수계 하천기본계획(변경)	2009. 7	국토해양부 부산지방국토관리청	법정계획

1. 4대강 살리기 마스터 플랜

가. 주요 시범예제내용

정부는 2009년 6월 8일 관계부처 합동으로 4대강 살리기 마스터 플랜(2009. 6 국토해양부, 4대강살리기 추진본부)을 최종 확정하였으며, 주요내용은 다음<표 5>과 같음.

< 표 5 > 4대강 살리기 마스터 플랜

비 전	생명이 깨어나는 강, 새로운 대한민국 !
목 표	○기후변화 대비 ○자연과 인간의 공생 ○국토 재창조 ○지역균형발전과 녹색성장 기반 구축
전 략	○사후대책에서 벗어나 사전예방 종합대책 수립 ○IT·ET·GT기술을 선도하는 첨단 수변네트워크 구축 ○치수선진화로 세계적 녹색국가 발돋움 ○지역주민 중심의 협력적 거버넌스 구축
기대효과	○물부족과 홍수피해를 근본적으로 해결 ○수질개선과 하천복원으로 건전한 수생태계 조성 ○국민 여가문화 수준 및 삶의 질 향상 ○녹색뉴딜 사업으로 지역경제 활성화 견인 ○물관리 글로벌리더로서 국가경쟁력 제고

“기후변화 대비, 자연과 인간의 공생, 지역균형발전과 녹색성장 기반 구축, 국토재창조”를 목표로 5大 핵심과제를 추진 함.

(1) 향후 물 부족(11년 8억㎥, 16년 10억㎥)과 기후변화에 따른 이상 가뭄에 대비하기 위해, 보 설치, 중소규모 댐 건설, 농업용 저수지 증고 등을 통해 충분한 수자원(총 13.0억㎥)을 확보 함.

(2) 갈수록 빈발하는 대규모 홍수에 선제적으로 대응하기 위해 200년 빈도 이상의 홍수에 대비할 수 있도록 퇴적토 준설, 노후제방 보강, 댐 건설 등을 추진 함(홍수조절용량 9.2억㎥ 확보).

(3) 하수처리시설 확충과 녹조저감시설 설치 등으로 12년까지 본류 수질을 평균 2급수(BOD 3㎎/L 이하) 수준으로 개선하고, 생태하천 및 습지 조성, 농경지 정리 등을 통해 생태를 복원 중.

(4) 하천을 생활·여가·관광·문화·녹색성장 등이 어우러지는 다기능 복합공간으로 개조하기 위하여 자전거길 조성, 체험관광 활성화, 산책로·체육시설 설치 등을 확대 함.

(5) 금수강촌 만들기, 문화가 흐르는 4대강 등 강 살리기로 확보되는 인프라와 수변경관을 활용한 다양한 연계사업 추진으로 지역 발전에 기여 함.

핵심과제 추진을 위한 사업내용은 본 사업, 직접연계사업 및 연계사업으로 구분함.

- 본 사업은 물 확보 · 홍수조절 등을 위해 4대강 본류에 시행하는 사업으로 국토부 · 농식품부 · 환경부가 시행한 사업 내용은 다음<표 6>, <표 7>과 같음.

< 표 6 > 4대강 살리기 마스터 플랜 부터별 본류사업

구 분	사 업	단위	물 량				
			계	한 강	낙동강	금 강	영산강
국 토 부	준 설	억㎥	5.7	0.5	4.4	0.5	0.3
	보	개소	16	3	8	3	2
	생태하천	㎞	537	127	213	124	73
	제방보강	㎞	377	75	214	71	17
	댐, 조절지	개소	5	-	3	-	2
	자전거길	㎞	1,206	189	549	248	220
농식품부	농업용저수지	개소	87	12	31	30	14
환 경 부	수질개선(총인처리)	개소	353	106	124	99	24

- 직접연계사업은 섬진강 및 주요지류 국가하천(대도시 통과, 다목적댐 하류) 정비와 하수처

리시설 등의 확충을 위한 수질개선 사업임.

< 표 7 > 4대강 살리기 마스터 플랜 부처별 직접연계사업

구 분	사 업	단위	물 량				
			계	한 강	낙동강	금 강	영산강
국 토 부	생태하천	㎞	392	66	194	75	57
	제방보강	㎞	243	56	121	46	20
	자전거길	㎞	522	116	194	-	212
농식품부	농업용저수지	개소	9	-	-	-	9
환 경 부	수질개선	식	1	1	1	1	1

- 연계사업은 문화·관광 등 강 살리기 효과를 높이기 위한 사업으로 각 부처별 계획에 따라 연차별로 시행 됨.

• 4대강 살리기 본사업비는 16.9조원이 소요될 것으로 전망, 사업기간은 본 사업은 2011년까지 완료하고, 댐·농업용저수지와 직접연계사업은 2012년 완료.

• 4대강 사업의 하천구역내 경작지는 전체에 대해 보상하여 수질개선과 생태복원에 기여할 계획으로, 원활한 보상을 위해 4대강 주변 65개 시·군과 보상 위수탁 협약을 체결하였으며, 물건조사를 2009년 6월말까지 완료하고 7월부터 본격 보상에 착수

• 준설토는 골재(모래)와 사토로 구분하여 처리할 계획으로 모래는 지자체와 함께 다수의 적치장을 확보하여 시장상황을 고려하여 수급조절하며 중장기 판매할 계획이며, 사토는 4대강 인근 국가산단 및 저지대 농경지 보강 사업 등의 성토재로 사용할 계획

• 환경영향평가는 환경관련 D/B 정보의 최대한 활용 등으로 충실하게 추진하며, 문화재는 지표조사(’09.2~4) 결과 시발굴조사가 필요한 구간(407건)에 대해 체계적 조사 추진

• 사업완공후 효율적인 유지관리를 위해 홍수예보 등에 IT 기술을 접목한 최신관리 기법을 도입하고 유지관리 조직도 보강

• 선택과 집중을 통해 기존 “사후복구”에서 “사전예방” 위주의 투자로 전환함으로써 4대강 유역의 수해로 인한 연평균 피해액(1.5조원)과 복구비(2.4조원)를 상당부분 절감할 수 있으며, 수질개선, 물 확보, 문화·관광 활성화 등의 간접 편익도 매우 클 것으로 기대.

• 홍수·가뭄 방지와 수질문제 해결 등 기후변화로 인한 물위기에 대비할 수 있으며, 수자원 기술발전과 우리기업의 해외 진출을 촉진하여 대한민국을 세계적인 “물관리 선진국”으로 도약시키는 계기가 될 것으로 예상.

2. 낙동강 살리기

물확보 방안 : 용수확보량 10.2억㎥ 증대 됨.
• 보 8개소 설치(6.7억㎥)에 의한 구간별 저류량 현황은 아래<표 8>과 같음.
• 중소규모댐 건설 등(2.5억㎥)
– 송리원댐(2.0억㎥), 보현댐(0.2억㎥), 안동-임하댐 연결(0.3억㎥)
• 농업용저수지 31개 증고(1.0억㎥)

홍수방어 대책 : 홍수조절용량 6.1억㎥ 증대
• 하도정비 – 준설(4.4억㎥)
• 송리원댐 건설(0.8억m^3) 및 농업용저수지 증고(0.9억㎥)
• 하구둑 배수문 증설(475→760m)
– 홍수시 하류부 수위 약 1.1m 저감
• 영강, 광산천, 금호강 합류부에 도류제를 설치하여 흐름개선
• 노후제방 보강(335㎞) * 수퍼제방 20㎞ 포함

수질개선과 생태복원
• 수질개선 주요 사업
– 환경기초시설 확충 및 고도화 : 하·폐수처리장(74개), 마을하수도(238개), 가축분뇨처리시설 신·증설(20개), TP 처리시설 보강(179개), 하수관거 확대(112개)
– 비점오염원 관리대책 : 빗물침투 저류시설, 생태유수지 등(23개), 농촌 둠벙 및 생태습지 등(33개)
– 완충저류시설 설치(낙동왜관 유역 등) : 오염사고 방지를 위해 왜관·성서 산업단지에 설치(9개소)
• 생태복원 주요 사업
– 하천 내 농경지 정리 및 생태습지 조성(8개소, 15㎞)
– 수계 내 국가하천 생태하천조성(407㎞)과 함께 지천(13개소) 및 도심하천(1개소) 복원

지역주민과 함께하는 복합공간 창조
• 상하류를 연결하는 자전거길 설치(743㎞)
• 신설보 주변을 지역의 랜드마크로 조성
• 그린 수퍼벨트 조성 : 자전거길, 마라톤코스, 녹지벨트 등을 조성하여 랜드마크화(대구시 달성군 화원유원지 ~ 현풍면 대니산)

강 중심의 지역발전
• 낙동강에 직접 유입되는 지방하천(148개소, 862㎞) 단계적 정비
* 제방축조·보강(633㎞), 하도준설(99㎞), 생태하천 조성(130㎞)
• 부산 강서신도시 워터프론트 조성 지원, 대구 그린 수퍼벨트 조성

< 표 8 > 낙동강 살리기 구간별 저류량

구 간	구간길이 (㎞)	보높이 (m)	관리수위 (EL.m)	저류량(백만㎥)		
				전	후	증가
하구둑~함안보	75.7	-	0.3	174.6	316.2	141.6
함안보~합천보	42.9	13.2	7.5	11.5	127.1	115.6
합천보~달성보	29.0	9.0	10.5	12.2	66.6	54.4
달성보~강정보	20.4	10.5	14.0	6.2	56.0	49.8
강정보~칠곡보	25.2	11.5	19.5	5.9	107.7	101.8
칠곡보~구미보	27.3	12.0	25.5	3.2	93.6	90.4
구미보~낙단보	18.1	11.0	32.5	2.5	55.4	52.9
낙단보~상주보	14.9	11.5	40.0	1.0	34.3	33.3
상주보~영 강	13.0	11.0	47.0	1.1	28.7	27.6
영 강~안동댐	67.7	-	-	6.3	10.8	4.5
계	334.2			224.5	896.4	671.9

< 표 9 > 낙동강 살리기 사업비

사업내용		수 량	사업비(억원)
합 계			97,875
국 토 부	소 계		88,872
	하도정비(준설)	4.4억㎥	41,897
	보	8개소	8,454
	생태하천 조성	52개소, 213㎞	9,084
	제방보강	26개소, 214㎞	3,477
	강변저류지	1개소	103
	낙동강 하구둑	1식	2,400
	신규댐	3개소	12,056
	자전거 도로	549㎞	653
	기 타	-	10,748
농 림 부	농업용 저수지	31개소	6,667
환 경 부	수질대책	124개소	2,336

3. 낙동강 유역종합치수계획(보완)

가. 시범예제의 목적

홍수량을 하도와 유역으로 적절히 재배분하고, 시설물 계획의 우선순위 및 투자계획을 수립하여 낙동강 유역의 적절한 홍수방어대책의 목표를 제시하고, 이를 달성하기 위한 합리적인 대책방안을 제시하는데 목적을 두고 수립하고자 함.

나. 시범예제의 범위

낙동강 수계의 국가하천 11개소, 지방하천 774개소 총 785개소의 하천연장 7,304.42㎞, 유역면적 23,384.21㎢에 대해 유역종합치수계획을 수립한 내용은 다음<표 10>과 같다.

< 표 10 > 낙동강 유역종합치수계획(보완) 시범예제 대상하천 현황

번호	권역명	하천연장 (㎞)	유역면적 (㎢)	제1지류 (개소)	제2지류 (개소)	제3지류 (개소)	제4지류 (개소)	제5지류 (개소)
1	낙동강	401	23,384	102	110	43	10	5
2	반변천	34	1,973	18	18	3	1	
3	내성천	27	1,815	12	15	2		
4	감 천	41	1,004	14	3			
5	금호강	69	2,108	18	31	3		
6	황 강	79	1,344	39	42	4		
7	남 강	145	3,468	70	84	37	4	
8	덕천강	3	445	12	9			
9	함안천	9	156	6	2			
10	밀양강	33	1,421	9	22	11		
11	양산천	10	243	11	4			
계	11개소	851	37,361	311	340	103	15	5

다. 유역종합치수계획의 기본방향

현재 낙동강의 대부분의 구간은 하천개수가 완료된 상태이며, 하천개수가 미흡한 구간은 제방을 축조하거나 보축을 하여 하도 분담량을 증대하기에는 지형적 특성상 무리가 있는 것으로 조사 됨. 이 구간을 홍수로부터 방어하기 위해서는 상류지역에 적절한 대안이 계획되어질 필요가 있고 상위계획 및 타 계획에서 수립한 신규댐 설치계획과 기존 농업용댐 재개발 계획 등을 반영하여 치수계획을 수립함. 하도분담량을 증가시키기 어려운 구간에 대해서는 적절한 홍수방어 대안을 수립하여 하도분담량 저감 계획을 수립함. 부산광역시를 포함하는 양산천 합류점 하류구간은 하구둑의 규모 및 운영에 따라 수위가 좌우되므로, 하구둑 운영방안 개선과 하구둑 증설 등을 통해 홍수방어능력 증대계획을 수립 함.

라. 사업시행 계획유역

주요 사업내용은 다음<표 11> 및 <표 12>과 같음.

< 표 11 > 낙동강 유역종합치수계획(보완) 주요사업

종 류	명 칭	비 고
댐 건설	신규댐 개발	송리원댐, 보현댐, 임천수계댐
기존댐 재개발	농업용 저수지 증고	성주댐
하구둑 증설	낙동강 하구둑	6련 증설

< 표 12 > 시설물별 사업비 부담 및 사업시행 주체

시설물명	주요 수혜지역	사업비 부 담	사업시행 주 체	공사시행	평 상 시 유지관리	홍수시 운 영
하도정비	낙동강유역	국비	국토해양부	국토해양부	국토해양부	국토해양부
신 규 댐	낙동강유역	국비	국토해양부	국토해양부	국토해양부	국토해양부

4. 낙동강수계 하천기본계획(변경)

가. 시범예제의 목적

하천법 제25조 및 동법시행령 제24조 규정에 의거 하천기본계획을 수립, 수자원 종합개발 지침 확립에 기여코자 부산지방국토관리청에서 수립함.

나. 시범예제의 범위

낙동강수계 국가하천 중 낙동강 하구에서 금호강합류점까지와 밀양강 및 양산천 국가하천 전 구간을 대상으로 수립연장은 다음<표 13>과 같음.

< 표 13 > 시범예제의 범위

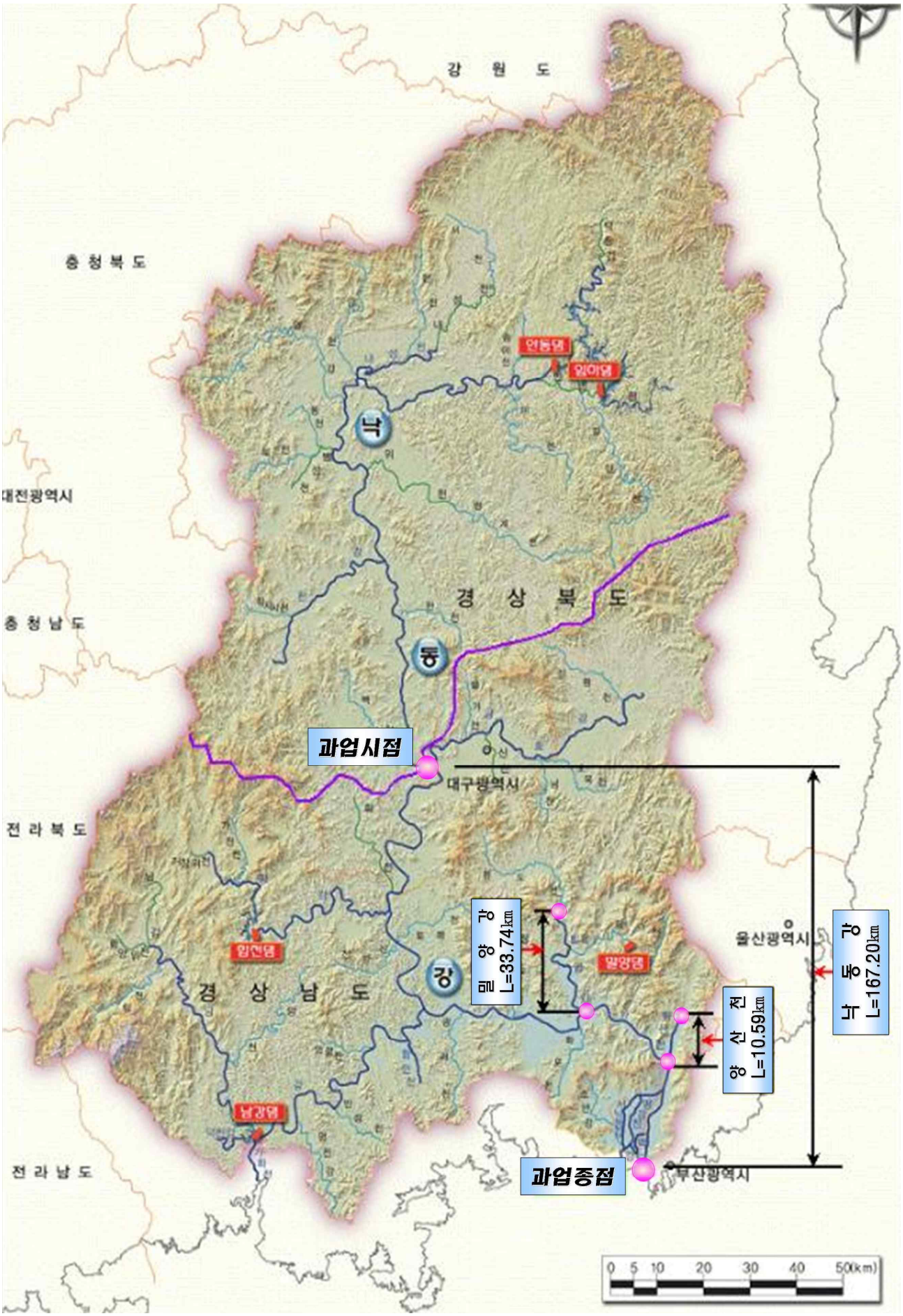
하천명	하천등급	과 업 구 간	수립연장(㎞)
낙동강	국가하천	부산시 강서구 명지동 낙동강 하구둑 외곽선 ~ 대구시 달성군 다사면 금호강 합류점	167.20
밀양강	국가하천	경상남도 밀양시 상동 청도천 합류점 ~ 경상남도 밀양시 삼랑진읍 낙동강합류점	31.50
양산천	국가하천	경상남도 양산시 상부면, 산막동의 경계 ~ 경상남도 양산시 동면 낙동강합류점	10.05
계			208.75

다. 기본홍수량 및 계획홍수량

유역의 일관된 관리를 위하여 상위계획인 “낙동강 유역종합치수계획[보완]”의 기본홍수량 및 하도분담홍수량을 각각 기본홍수량 및 계획홍수량으로 채택하였으며, 주요 지점별 홍수량은 다음<표 14>와 같음.

< 표 14 > 기본홍수량 및 계획홍수량

하천명	산정지점명	부 호	유역면적 (㎢)	유로연장 (㎞)	홍수량 (㎥/s)		비 고
					기 본	계 획	
낙동강	낙동강 하 구	ND01	23,384.21	510.36	29,100	22,300	200년 빈도
	양산천 합류후	ND02	23,274.20	488.85	29,100	22,300	〃
	양산천 합류전	ND03	23,030.98	488.85	26,000	19,900	100년 빈도
	밀양강 합류후	ND04	22,773.38	464.05	25,900	19,600	〃

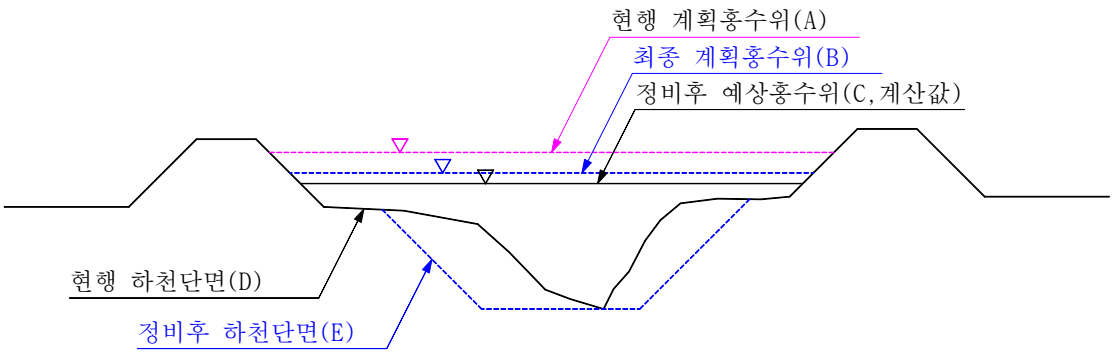


< 그림 12 > 낙동강수계 및 유역도

라. 계획홍수위 및 계획하폭

(1) 계획홍수위의 결정

“4대강 살리기 마스터 플랜” 사업 완료시 전구간에 걸친 하도정비로 계획홍수위 변동폭이 클 것으로 예상되며, 정비후 예상홍수위만을 고시할 경우, 공사 중에는 하도정비 미완료로 계획홍수위를 과소평가하는 경우가 발생할 수 있음. 따라서, 하천기본계획에서는 “4대강 하천기본계획 변경 시 계획홍수위 결정방안 통보(국토해양부 하천계획과-1175, 2009.05.11)” 에 따라 기고시 계획홍수위와 현행 계획홍수위, 정비후 예상홍수위를 비교하여 현행 계획홍수위와 정비후 예상홍수위를 결정한 내용은 다음<그림 13>에 나타내었음.



구 분	계획홍수위 결정방법
C ≥ 기고시 계획홍수위	- C를 고시·운영
C < 기고시 계획홍수위	- A와 C를 병기하되 정비완료시까지는 A적용 ※ A≥"기고시 계획홍수위" 일때는 "기고시 계획홍수위" 적용 - 정비완료 후에는 기후변화·하상변동 등을 감안, 최종 계획홍수위 결정

< 그림 13 > 계획홍수의 결정

- 기고시 계획홍수위 : 과거 고시된 하천기본계획상 계획홍수위

- 현행(공사전) 계획홍수위 : 4대강 살리기 마스터플랜, 유역종합치수계획 등에 따른 홍수저감시설 계획이 시행되지 않은 상태에서 최근의 하상단면을 기준으로 산정한 계획홍수위

- 정비후 계획(예상)홍수위 : 정비후 계획하천단면을 기준으로, 홍수저감시설 등의 설치에 따른 영향을 고려하여 계산한 계획홍수위

정비후 예상홍수위가 기고시 계획홍수위보다 상승하는 경우에는 정비후 예상홍수위를 고시하여 운영하도록 하였음. 정비후 예상홍수위가 기고시 계획홍수위보다 낮은 경우에는 현행 계획홍수위와 정비후 예상홍수위를 병기하여 고시하고, 정비완료시까지는 현행 계획홍수위를 기준으로 적용하고 정비완료 후에는 정비후 예상홍수위를 기준으로 운영하도록 하였음. 단, 현행 계획홍수위가 기고시 계획홍수위보다 상승한 경우에는 기고시 계획홍수위를 현행 계획홍수위로 채택함. 또한 사업 종료후에는 이상기후, 하상변동 등에 따른 영향을 감안하여 정비후 예상

홍수위를 보정하거나, 여유고를 조정하는 방법 등으로 최종 계획홍수위를 결정하도록 하였음.

낙동강(하구둑~금호강합류점 하류)의 경우 전구간에서 정비후 예상홍수위가 기고시 계획홍수위보다 낮아 현행 계획홍수위와 정비후 예상홍수위를 병기하였음. 하도정비계획과 하구둑 확장에 따른 기점수위 저하의 영향으로 정비후 예상홍수위가 기고시 계획홍수위보다 낮게 산정되었으며, 현행 계획홍수위의 경우 일부구간에서 현행 계획홍수위가 기고시 계획홍수위보다 높게 산정되어 해당 구간의 기고시 계획홍수위를 현행 계획홍수위로 다음<표 15>,<표 16>과 같이 적용하였음.

< 표 15 > 낙동강 계획홍수위의 결정

하천	측점 (No.)	STA.	거리 (m)	누가거리 (m)	기고시 홍수위 (EL.m)	정비전 홍수위 (EL.m)	정비후 홍수위 (EL.m)	현행 계획 홍수위 (EL.m)	정비후 예상 홍수위 (EL.m)	비고
낙	67	26+040	580	26,040	7.98	8.49	7.17	7.98	7.17	
동	68	26+530	490	26,530	7.98	8.49	7.27	7.98	7.27	
강	69	27+000	380	27,000	7.99	8.69	7.32	7.99	7.32	
	70	27+600	600	27,600	8.27	9.05	7.49	8.27	7.49	
	71	28+210	610	28,210	8.43	9.19	7.61	8.43	7.61	
	72	28+640	430	28,640	8.43	9.20	7.61	8.43	7.61	
	73	29+210	570	29,210	8.43	9.24	7.61	8.43	7.61	
	74	29+740	530	29,740	8.43	9.24	7.61	8.43	7.61	
	75	30+230	490	30,230	8.53	9.57	7.92	8.53	7.92	
	76	30+770	540	30,770	8.82	9.80	8.11	8.82	8.11	
	77	31+320	550	31,320	8.86	9.85	8.13	8.86	8.13	
	78	31+770	450	31,770	8.94	9.93	8.23	8.94	8.23	
	79	32+340	400	32,340	8.97	9.99	8.29	8.97	8.29	
	80	32+830	490	32,830	9.05	10.06	8.34	9.05	8.34	
	81	33+350	520	33,350	9.13	10.18	8.44	9.13	8.44	
	82	33+890	400	33,890	9.23	10.27	8.50	9.23	8.50	

< 표 16 > 낙동강 계획홍수의 결정 – 계속

하천	측점 (No.)	STA.	거리 (m)	누가거리 (m)	기고시 홍수위 (EL.m)	정비전 홍수위 (EL.m)	정비후 홍수위 (EL.m)	현행 계획 홍수위 (EL.m)	정비후 예상 홍수위 (EL.m)	비고
낙	83	34+360	470	34,360	9.31	10.33	8.53	9.31	8.53	
동	84	34+840	480	34,840	9.43	10.43	8.60	9.43	8.60	
강	85	35+350	510	35,350	9.43	10.45	8.60	9.43	8.60	
	86	35+980	630	35,980	9.43	10.58	8.73	9.43	8.73	
	87	36+430	230	36,430	9.49	10.58	8.73	9.49	8.73	
	88	36+920	490	36,920	9.53	10.61	8.77	9.53	8.77	
	89	37+370	450	37,370	9.69	10.72	8.84	9.69	8.84	
	90	37+850	480	37,850	9.82	10.82	8.89	9.82	8.89	
	91	38+300	450	38,300	9.96	10.93	8.92	9.96	8.92	
	92	38+780	480	38,780	10.01	11.00	8.96	10.01	8.96	
	93	39+400	620	39,400	10.01	11.00	8.96	10.01	8.96	
	94	39+950	550	39,950	10.07	11.04	9.16	10.07	9.16	
	95	40+360	280	40,360	10.33	11.26	9.26	10.33	9.26	
	96	40+850	490	40,850	10.56	11.44	9.31	10.56	9.31	
	97	41+360	510	41,360	10.70	11.57	9.42	10.70	9.42	
	98	41+940	580	41,940	10.72	11.59	9.44	10.72	9.44	
	99	42+600	660	42,600	10.72	11.59	9.44	10.72	9.44	
	100	43+080	480	43,080	10.77	11.68	9.52	10.77	9.52	

(2) 계획홍수위, 하폭, 기설제방고

낙동강 분석 내용 중 금회시범예제 구간이 속한 주요 지점별 홍수위는 다음<표 17>에 정리함.

< 표 17 > 계획홍수위, 하폭, 기설제방고

하천	측점 (No.)		거리 (m)		계획 홍수량	홍수위 (EL.m)		하폭(m)		기설제방고 (EL.m)		비고
	금회	STA.	구간	누가	(㎥/s)	현행1)	예상2)	현재	계획	좌안	우안	
낙	67	26+040	580	26,040	19,900	7.98	7.17	690	690	-	-	
동	68	26+530	490	26,530	19,900	7.98	7.27	650	505	산	-	
강	69	27+000	380	27,000	19,900	7.99	7.32	645	645	산	-	
	70	27+600	600	27,600	19,900	8.27	7.49	800	800	산	-	
	71	28+210	610	28,210	19,900	8.43	7.61	930	895	-	-	
	72	28+640	430	28,640	19,900	8.43	7.61	770	720	-	-	
	73	29+210	570	29,210	19,900	8.43	7.61	625	590	-	-	
	74	29+740	530	29,740	19,900	8.43	7.61	520	470	-	-	
	75	30+230	490	30,230	19,900	8.53	7.92	540	510	-	산	
	76	30+770	540	30,770	19,900	8.82	8.11	750	690	-	-	
	77	31+320	550	31,320	19,900	8.86	8.13	975	785	-	-	
	78	31+770	450	31,770	19,900	8.94	8.23	810	810	-	-	
	79	32+340	400	32,340	19,900	8.97	8.23	775	760	-	-	
	80	32+830	490	32,830	19,900	9.05	8.34	785	785	-	-	
	81	33+350	520	33,350	19,900	9.13	8.44	790	770	-	-	
	82	33+890	400	33,890	19,900	9.23	8.50	810	810	-	-	
	83	34+360	470	34,360	19,900	9.31	8.53	890	865	-	-	
	84	34+840	480	34,840	19,900	9.43	8.60	1,015	890	-	-	
	85	35+350	510	35,350	19,900	9.43	8.60	1,025	1,015	-	-	
	86	35+980	630	35,980	19,900	9.43	8.73	635	790	-	산	
	87	36+430	230	36,430	19,900	9.49	8.73	960	960	-	11.43	
	88	36+920	490	36,920	19,900	9.53	8.77	880	865	-	11.49	
	89	37+370	450	37,370	19,900	9.69	8.84	845	840	-	산	
	90	37+850	480	37,850	19,900	9.82	8.89	750	750	-	산	
	91	38+300	450	38,300	19,900	9.96	8.92	750	750	-	산	
	92	38+780	480	38,780	19,900	10.01	8.96	740	740	-	산	
	93	39+400	620	39,400	19,900	10.01	8.96	795	660	-	-	
	94	39+950	550	39,950	19,900	10.07	9.16	935	655	-	-	
	95	40+360	280	40,360	19,900	10.33	9.26	1,035	730	-	-	
	96	40+850	490	40,850	19,900	10.56	9.31	1045	820	산	-	
	97	41+360	510	41,360	19,900	10.70	9.42	1150	990	-	-	
	98	41+940	580	41,940	19,900	10.72	9.44	930	930	-	산	
	99	42+600	660	42,600	19,900	10.72	9.44	725	725	12.72	산	
	100	43+080	480	43,080	19,900	10.77	9.52	795	795	12.77	11.63	

마. "4대강 살리기 마스터 플랜"과 연계한 정비계획

본 시범예제대상 구간인 낙동강 6~12공구는 국가정책사업으로 시행중인 "4대강 살리기 마스터 플랜"의 낙동강 구간에 속함. 따라서, "4대강 살리기 마스터 플랜"의 자전거도로 설치계획과 연계한 계획의 수립이 필요함. "4대강살리기 마스터플랜"의 자전거도로 설치계획은 다음과 같음.

(1) 자전거도로 설치개요

하천주변 공간은 문화와 여가생활 공간 활용이 가능하여 물과 사람이 중심이 되는 친수시설을 도입하고 하천의 상·하류를 연결하는 동선을 확보, 주민들의 휴식 및 여가활동 기회를 제공하기 위하여 낙동강하구둑~금호강합류점까지 자전거도로를 다음<표 18>과 같이 계획하였으며, 총 연장은 276.23㎞ 임.

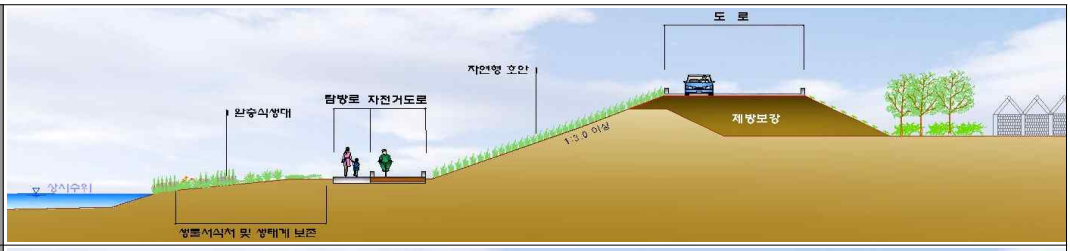
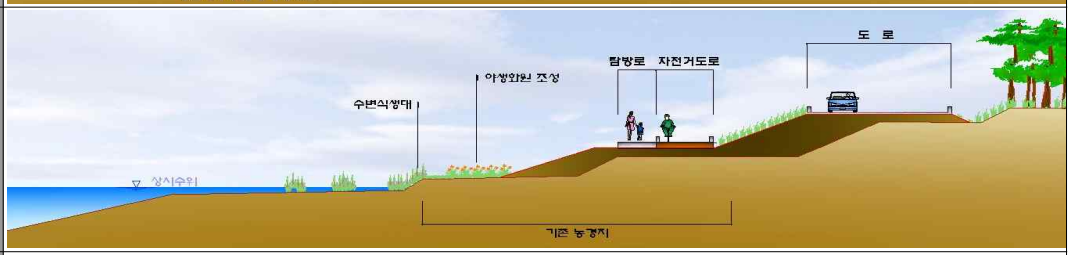
< 표 18 > 자전거도로 설치현황

구 분	구 간	위 치	연장 (㎞)	비 고
자전거도로	0 ~ 363	낙동강하구둑~금호강합류점	276.23	

(2) 자전거도로 계획의 기본방향

금회 시범예제구간 내에 설치되는 자전거도로는 다음과 같은 사항을 기본전제로 하여 계획을 수립함.

- 사업구간 전체에 걸쳐 일환(一環)으로 통행이 가능하도록 계획
- 공간별 순환형 산책로 체계 구축
- 자전거도로와 산책로는 이용객의 안전을 위하여 분리 설치
- 사업부지의 지형여건 및 공간계획에 맞춰 자연스런 선형을 유지
- 동선은 접근성과 연계성을 최대한 고려
- 고수부지로의 진입은 기존시설을 최대한 활용하되 필요한 구간에는 진입도로 및 진입계단 계획
- 자전거도로는 하천변을 따라 지형여건에 맞춰 자연스런 선형을 유지
- 생태정화수로 및 배수로 등으로 고수부지가 단절된 구간에는 횡단데크를 설치하여 자전거도로를 연결하였으며, 주요 지점별 표준단면도는 다음<그림 13>에 제안 함.

(a) 유제부	
(b) 무제부	
(c) 산지부	

< 그림 13 > 자전거도로 표준단면도

제3장 수리영향 분석

제1절 분석개요

일반적으로 하천 내 홍수시 호안 파괴원인은 다음과 같은 사항 등에 기인하고 있음.

- 기초부분 세굴에 의한 파괴
- 뒤채움 토사 흡출에 의한 파괴
- 잔류수압에 의한 파괴
- 유수력에 의한 비탈덮기 파괴
- 호안머리부분 세굴에 의한 파괴
- 호안구조 변화점 부근의 파괴

금회 현장조사결과 저수부 여러 지점에서 세굴이 관측되었으며, 저수호안 보강이 되어있지 않은 원인에 의해 호안 및 자전거도로 등 시설물의 피해가 가중된 것으로 예상됨. 따라서 본 분석구간(삼랑진 검세지구 ~ 양산물금)의 재해 피해예상지구 선정 및 대책을 위하여, 2차원, 3차원 유체시뮬레이션을 통하여 홍수흐름 특성을 분석하였음.

제2절 분석 모형의 적용

1. 2차원 유체시뮬레이션 모형의 개요

- 2차원 천수(Shallow water) 방정식 (A Second-Order Well-Balanced Positivity Preserving Central-Upwind Scheme, Kurganov-Petrova Scheme)
  2차원 유체시뮬레이션에 적용된 천수방정식은 다음 <식 1>과 같이 나타낼 수 있음.

$$\begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix}_t + \begin{bmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \\ huv \end{bmatrix}_x + \begin{bmatrix} hv \\ huv \\ hv^2 + \frac{1}{2}gh^2 \end{bmatrix}_y = \begin{bmatrix} R - I \\ -gh\frac{\partial B}{\partial x} - S_{fx} \\ -gh\frac{\partial B}{\partial y} - S_{fy} \end{bmatrix}$$

< 식 1 > 천수방정식

t : 시간
h : 물 깊이
u, v : x, y 방향 유속
R : 강우강도
I : 투수계수
g : 중력가속도
B : 바닥 높이
S : 바닥 마찰력

2. 3차원 유체시뮬레이션 모형의 개요

3차원 유체시뮬레이션을 구현하기 위한 입자방식으로 다음과 같은 단상 혹은 다상으로 존재하는 점성을 가진 비압축성 유체 운동의 연속방정식인 Navier-Stokes 식을 이용했으며, 미소단위시간 속도를 나타내는 방정식은 다음<식 2>와 같음.

$$\frac{D\vec{u}}{Dt} = -\frac{\nabla P}{\rho} + \nu\nabla^2\vec{u} + \vec{g}$$

< 식 2 > 미소단위시간 속도 방정식

여기서 u는 속도, p는 압력, ρ는 밀도, ν는 동점성계수, g는 중력과 같은 외력을 뜻함. 또한 이번 시범예제에서 다루는 유체는 비압축성 유체이므로 시간에 대한 밀도의 변화율은 0이 됨. 즉, $\frac{D\rho}{Dt} = 0$임. 또한 입자의 운동에 대한 Gradient model과 Laplacian model은 다음<식 3>과 <식 4>와 같이 유도됨.

$$\langle \nabla\phi \rangle_i = \frac{d}{n_0}\sum_{j\neq i}\frac{\phi_j - \phi_i}{\left|\vec{r_j} - \vec{r_i}\right|}\frac{(\vec{r_j} - \vec{r_i})}{\left|\vec{r_j} - \vec{r_i}\right|}w(\left|\vec{r_j} - \vec{r_i}\right|)$$

< 식 3 > Gradient model

$$\langle \nabla^2\phi \rangle_i = \frac{2d}{\lambda n_0}\sum_{j\neq i}(\phi_j - \phi_i)w(\left|\vec{r_j} - \vec{r_i}\right|),\ \lambda = \frac{\sum_{j\neq i}\left|\vec{r_j} - \vec{r_i}\right|^2 w(\left|\vec{r_j} - \vec{r_i}\right|)}{\sum_{j\neq i} w(\left|\vec{r_j} - \vec{r_i}\right|)}$$

< 식 4 > Laplacian model

여기서 n_0는 비압축성 유체에 대한 유효입자의 밀도를 나타냄.

가. 유체 운동에 대한 계산방법론

입자 간의 거리에 대하여 영향을 주는 함수를 $w(r)$이라고 정하고 다음과 같이 정의함. 여기서 r_e는 입자간의 거리가 유효영향 거리로 정의하고 r은 하나의 입자가 다른 입자와의 거리로 정의할 수 있으며, 영향 함수를 나타내는 기준은 다음<식 5>와 같음.

$$w(r)=\begin{cases}\dfrac{r}{r_e}-1 & (r<r_e)\\ 0 & (r\geq r_e)\end{cases}$$

< 식 5 > 영향 함수를 나타내는 기준

하나의 입자가 같은 기준점에서의 위치 벡터를 $\vec{r_i}$, 그 벡터가 가지는 압력의 크기를 P_i로 정의하고 그 입자에 영향을 주는 임의의 위치 벡터를 $\vec{r_j}$, 그 벡터가 가지는 압력의 크기를 P_j로 정의함. 압력의 변화에 대한 Gradient, $\langle \nabla P \rangle_i$는 다음<식 6>과 같이 표현할 수 있음.

$$\langle \nabla P \rangle_i = \frac{d}{n_0}\sum_{j\neq i}\frac{P_j-P_i}{\left|\vec{r_j}-\vec{r_i}\right|}\frac{(\vec{r_j}-\vec{r_i})}{\left|\vec{r_j}-\vec{r_i}\right|}w(\left|\vec{r_j}-\vec{r_i}\right|)$$

< 식 6 > 압력의 변화에 대한 Gradient 방정식

점성과 압력에 의한 Poisson 방정식 $\langle \nabla^2 \vec{u} \rangle_i$는 다음<식 7>과 같이 정의할 수 있음.

$$\langle \nabla^2 \vec{u} \rangle_i = \frac{2d}{\lambda n_0}\sum_{j\neq i}(\vec{u_j}-\vec{u_i})w(\left|\vec{r_j}-\vec{r_i}\right|),\quad \lambda=\frac{\sum_{j\neq i}\left|\vec{r_j}-\vec{r_i}\right|^2 w(\left|\vec{r_j}-\vec{r_i}\right|)}{\sum_{j\neq i}w(\left|\vec{r_j}-\vec{r_i}\right|)}$$

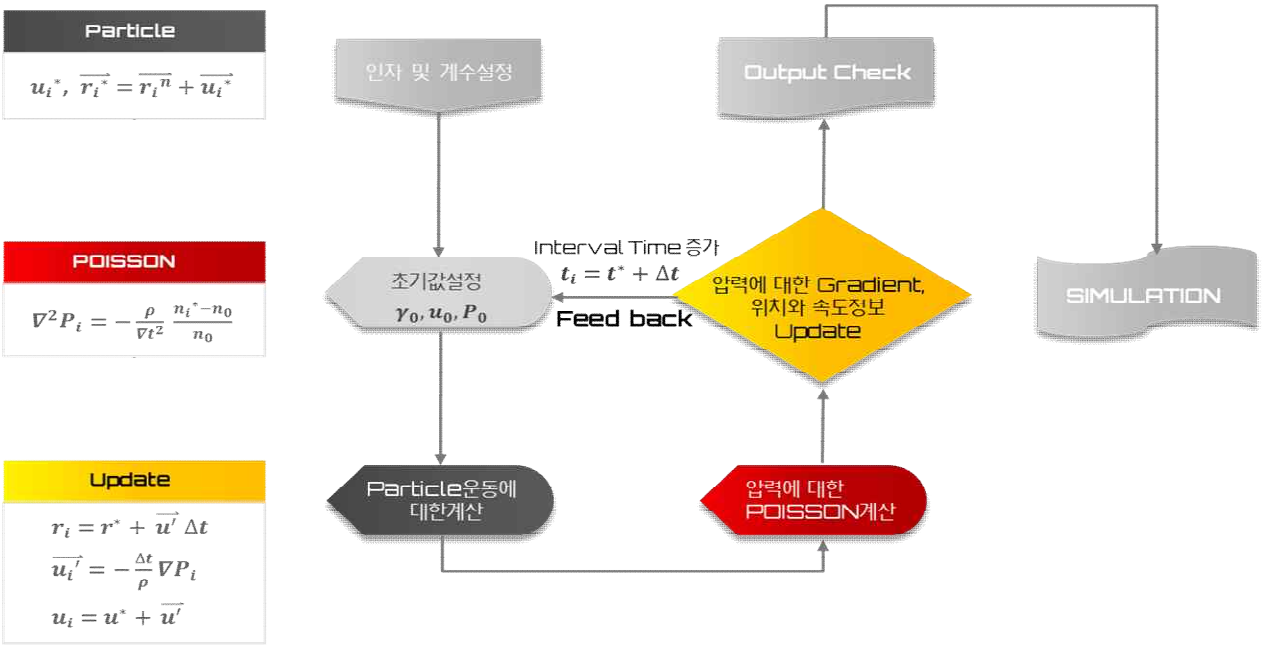
< 식 7 > 점성과 압력에 의한 Poisson 방정식

입자 하나에 대하여 유효 범위 내에 있는 다른 입자들과의 압력의 Gradient와 점성, 압력에 대한 Poisson 방정식을 이용하여 변화된 속도와 위치를 데이터를 구하고 각각 구해진 데이터의 합으로 정해진 단위 시간동안의 속도와 위치의 변화를 표현할 수 있으며 다음<식 8>과 같이 유도할 수 있음.

$$\text{유도된 값} \approx \sum_{j\neq i} \text{(입자간의 벡터계산)}\times\text{(거리에 대한 } w(r)\text{함수값)}$$

< 식 8 > 단위 시간동안의 속도와 위치 변화 표현

나. 알고리즘 구현 블록다이어그램



< 그림 14 > Navier-Stokes식을 이용한 3차원시뮬레이션 알고리즘 다이어그램

제3절 수위 및 유속분석

1. 수위 및 유속분석 구간

금회 2차원 및 3차원 수위 및 유속분석을 위한 지역은 다음과 같으며, 「낙동강수계 하천기본계획(변경)(홍수위재산정)(부산청)」의 성과 및 「낙동강살리기 사업(6·7·9·10·11공구) 실시설계(2011, 부산청)」 자료를 토대로 하천횡단 No.67~No.100 단면을 대상으로 하였음.

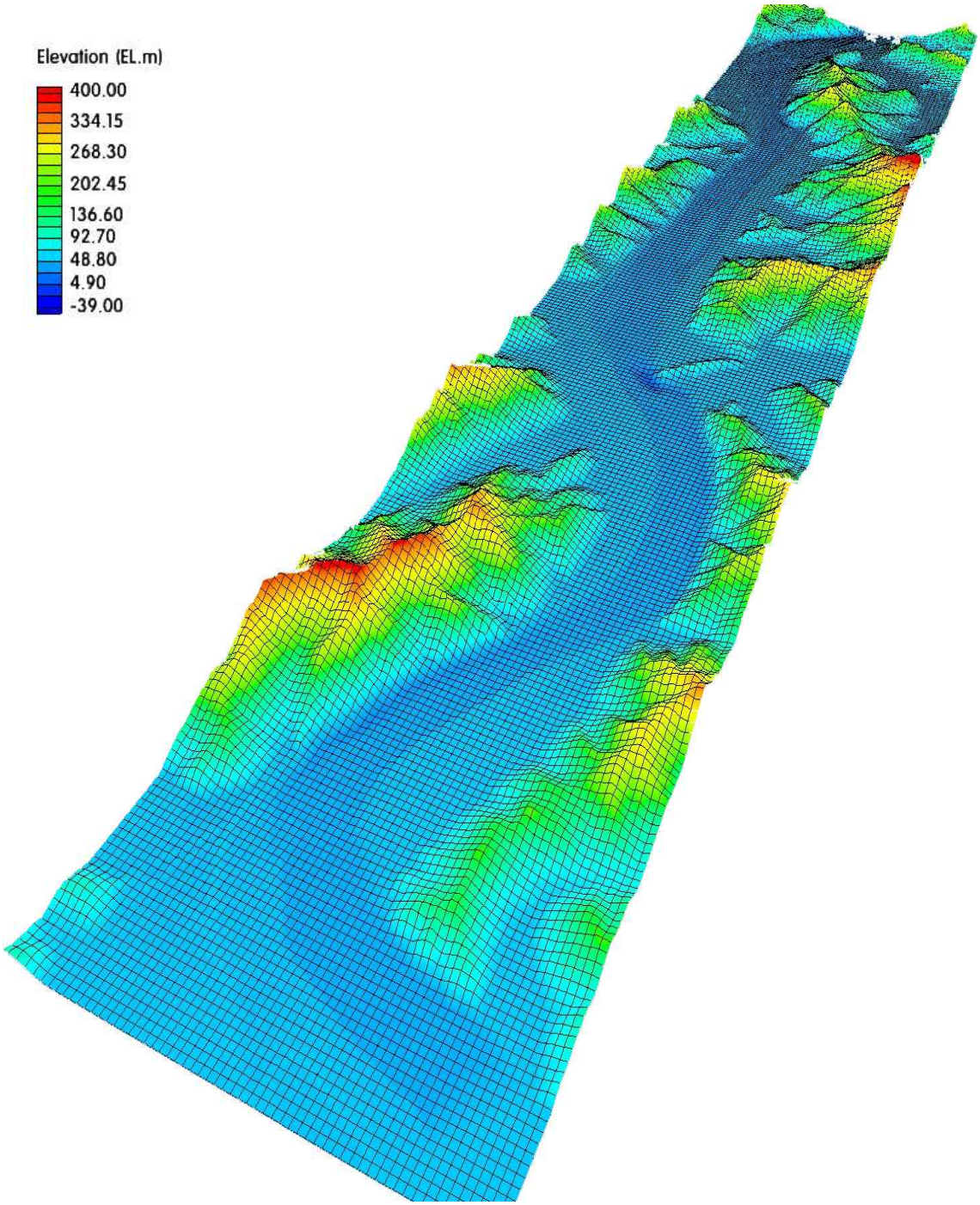


< 그림 15 > 수위 및 유속분석 대상위치

2. 입력자료 및 경계조건 구성

가. 지형자료의 구축

본 분석의 지형자료 생성은 「낙동강살리기 사업(6·7·9·10·11공구) 실시설계(2011, 부산청)」의 1/1,000 수치지형도 및 수심측량도와 국토지리정보원의 1/5,000 수치지형도를 이용하였으며, 최대한 현지지형과 같은 형상이 나타나도록 구축하였으며, 지형도 Modeling 결과는 다음 <그림 16>과 같음.



< 그림 16 > 지형자료의 Modeling

나. 경계조건 및 조도계수

분석대상 하천은「낙동강수계 하천기본계획(변경)(홍수위재산정)(부산청)」의 내용을 인용하여 계획빈도인 100년 빈도 홍수량, 홍수위를 적용하였으며 적용 결과는 다음<표 19>와 같음.

< 표 19 > 경계조건

하 천	홍수량	홍수위	비고
낙 동 강	19,900㎥/sec	EL. 7.75m	계획빈도 100년
	No. 100	No. 67	

조도계수는 하천 내 흐르는 물에 대한 마찰저항을 나타내는 수리학적인 계수로서 일반적으로 Manning의 조도계수를 의미함. Manning의 조도계수에 영향을 주는 요소들로서는 수로의 표면조도, 하천의 식물, 수로단면의 불규칙성, 수로법선, 침전 및 세굴, 장애물, 수로의 크기와 형상, 수위 및 유량, 계절의 변화, 부유물질 및 수류물질 등으로 다양함. 따라서 본 시범예제에서는 「낙동강수계 하천기본계획(변경)(홍수위재산정)(부산청)」결과를 참고하여 조도계수를 결정함. 수치해석 수행을 위해 적용한 Manning의 조도계수 n값은 홍수시 낙동강에 적용된 조도계수를 참고하여 0.023를 적용함.

3. 수위 및 유속분석 결과

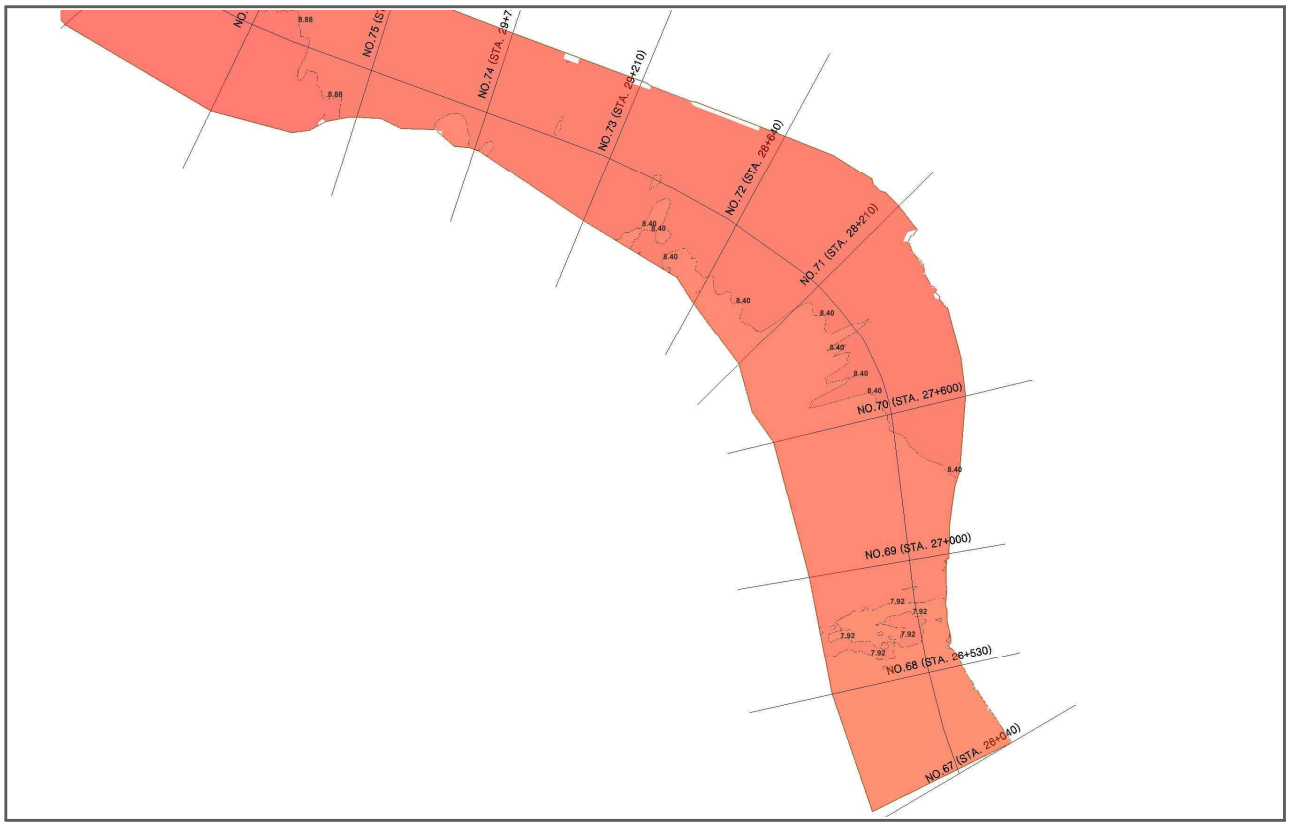
가. 2차원 유체시뮬레이션

2차원 수리분석은 전 구간에 대하여 실시함. 낙동강 계획홍수량, 19,900㎥/s(100년 빈도) 유하시에 대한 2차원 수리분석 결과 No.93지점에서 좌우안 최대수위 상승(37㎝)이 발생하는 것으로 파악되었으며, 최대유속은 만곡부 외측 협착부 지점인 No.68 지점 좌안에서 4.21m/s까지 발생하는 것으로 분석됨. 이는 No.68지점의 단면평균유속인 2.97m/s보다 약 1.24m/s 큰 값을 나타내고 있으며, 최단 결과는 다음<표 20>에 정리 함. 또한 측점별 유속분포와 하천 좌우 횡단 변화는 다음 <그림 17> ~ <그림 32>에 도식하였음.

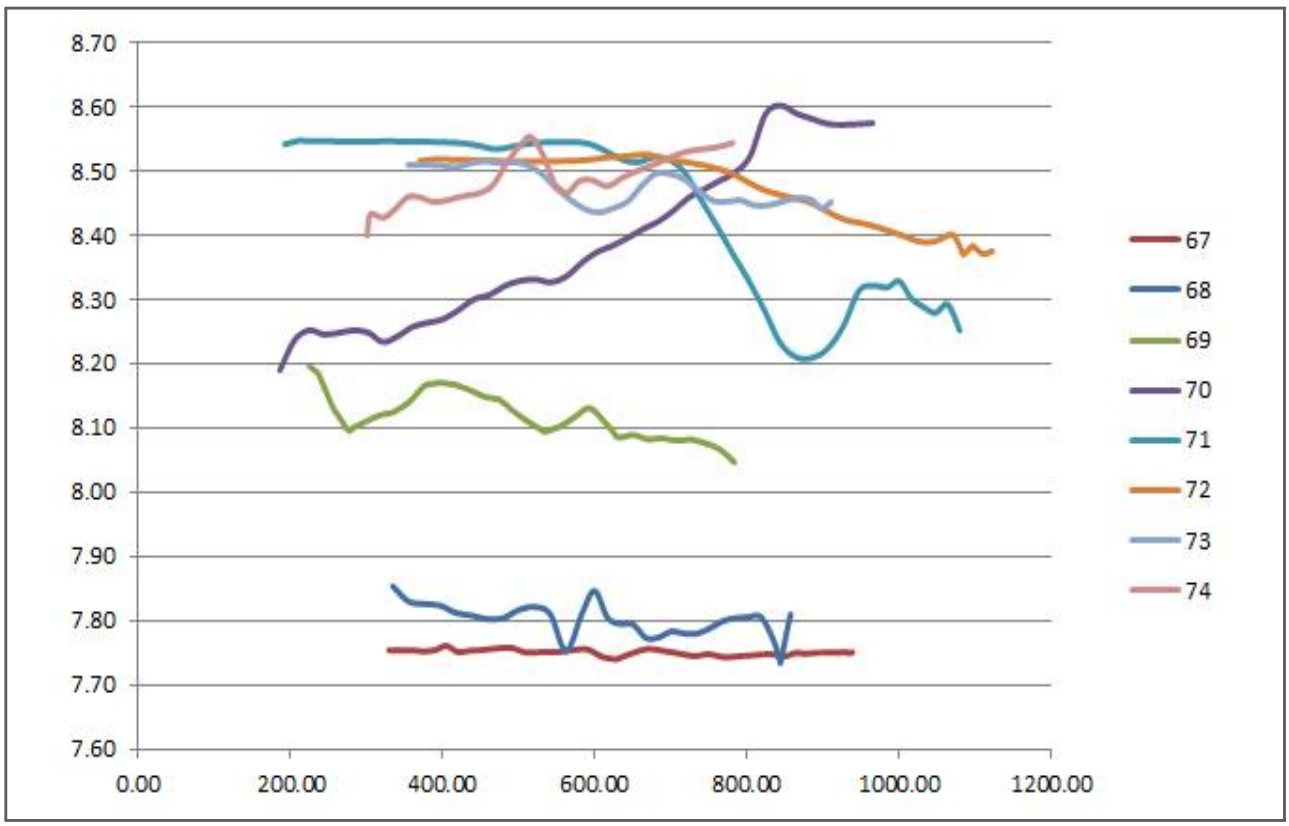
< 표 20 > 편수위 및 유속 분석 결과

하천	측점 (No.)	누가 거리 (m)	계획 홍수량 (㎥/s)	홍수위(EL.m)				유속(m/s)			비고
				기본 계획	2차원 유체시뮬레이션			2차원 유체시뮬레이션			
					좌안	우안	평균	좌안	우안	평균	
낙	67	26,040	19,900	7.75	7.75	7.75	7.75	0.75	1.71	1.23	
동	68	26,530	19,900	7.88	7.75	7.78	7.77	2.51	3.42	2.97	
강	69	27,000	19,900	8.06	8.19	8.08	8.14	2.47	1.48	1.98	

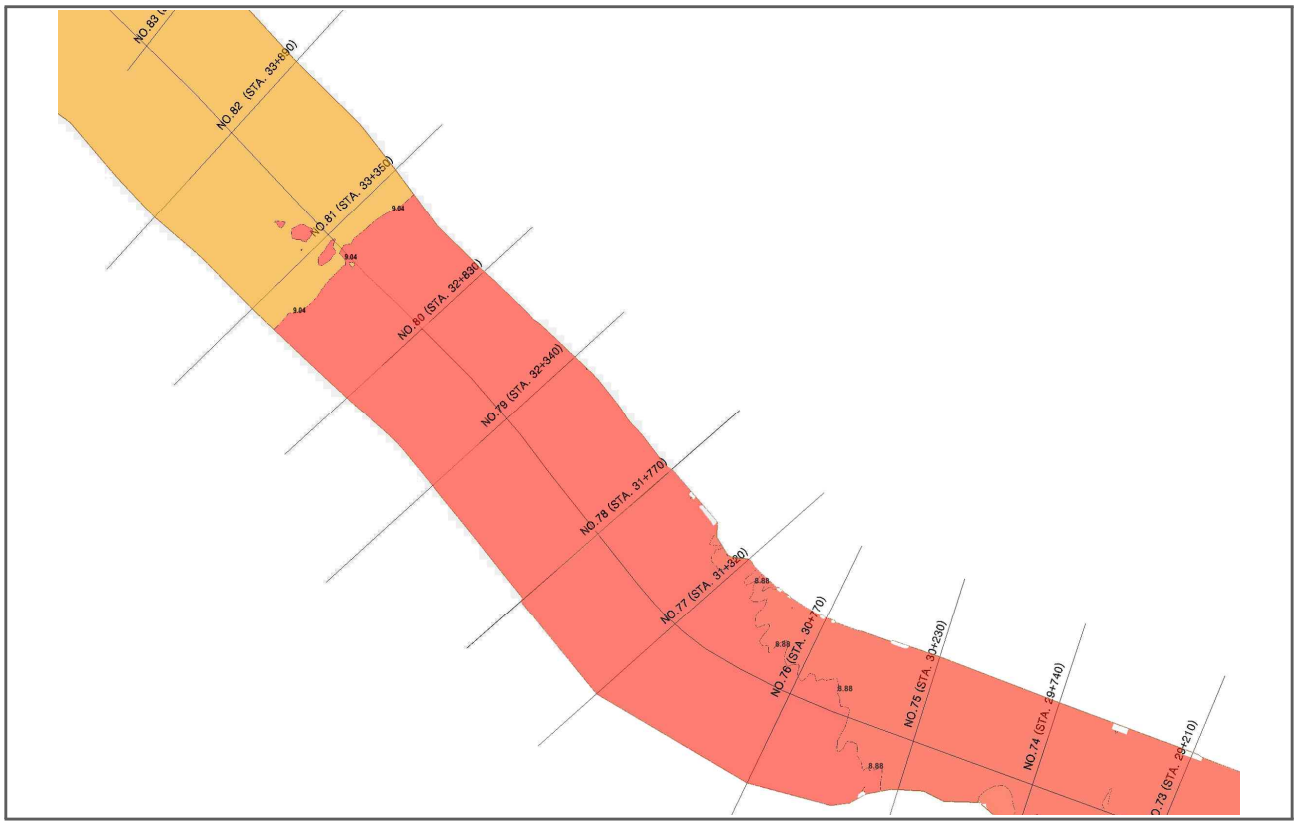
하천	측점 (No.)	누가 거리 (m)	계획 홍수량 (㎥/s)	홍수위(EL.m)				유속(m/s)			비고
				기본 계획	2차원 유체시뮬레이션			2차원 유체시뮬레이션			
					좌안	우안	평균	좌안	우안	평균	
낙	70	27,600	19,900	8.28	8.57	8.24	8.41	0.82	1.94	1.38	
동	71	28,210	19,900	8.34	8.55	8.32	8.44	0.25	2.20	1.23	
강	72	28,640	19,900	8.35	8.52	8.39	8.46	0.30	1.51	0.91	
	73	29,210	19,900	8.44	8.51	8.45	8.48	1.91	1.59	1.75	
	74	29,740	19,900	8.53	8.51	8.43	8.47	2.79	0.96	1.88	
	75	30,230	19,900	8.61	8.79	8.84	8.82	2.60	1.82	2.21	
	76	30,770	19,900	8.75	8.80	8.99	8.90	2.32	1.13	1.73	
	77	31,320	19,900	8.79	9.00	8.98	8.99	1.14	2.18	1.66	
	78	31,770	19,900	8.88	8.88	8.88	8.88	2.29	2.25	2.60	
	79	32,340	19,900	8.99	9.01	8.94	8.98	1.79	2.20	2.00	
	80	32,830	19,900	8.99	8.90	8.97	8.94	2.27	2.29	2.28	
	81	33,350	19,900	9.16	9.05	9.12	9.09	2.06	1.33	1.70	
	82	33,890	19,900	9.19	9.19	9.16	9.18	1.19	1.05	1.12	
	83	34,360	19,900	9.28	9.23	9.17	9.20	1.35	0.90	1.13	
	84	34,840	19,900	9.34	9.29	9.15	9.22	0.27	0.11	0.19	
	85	35,350	19,900	9.35	9.27	9.10	9.19	0.45	0.48	0.47	
	86	35,980	19,900	9.38	9.27	9.11	9.19	0.79	2.31	1.55	
	87	36,430	19,900	9.46	9.27	9.41	9.34	2.81	0.87	1.84	
	88	36,920	19,900	9.56	9.33	9.44	9.39	1.59	1.20	1.40	
	89	37,370	19,900	9.63	9.33	9.48	9.41	0.71	1.23	0.97	
	90	37,850	19,900	9.68	9.34	9.53	9.44	1.02	0.86	0.94	
	91	38,300	19,900	9.70	9.29	9.54	9.42	2.38	0.07	1.23	
	92	38,780	19,900	9.73	9.41	9.49	9.45	3.07	0.12	1.60	
	93	39,400	19,900	9.83	9.48	9.59	9.54	3.04	2.02	2.53	
	94	39,950	19,900	9.91	9.82	9.75	9.79	2.35	2.73	2.54	
	95	40,360	19,900	10.06	9.93	9.82	9.88	1.86	2.72	2.29	
	96	40,850	19,900	10.15	10.08	9.87	9.98	1.00	2.52	1.76	
	97	41,360	19,900	10.21	10.13	10.02	10.08	0.15	1.94	1.05	
	98	41,940	19,900	10.23	10.13	9.90	10.02	0.08	2.14	1.11	
	99	42,600	19,900	10.28	10.08	10.10	10.09	1.22	1.60	1.41	
	100	43,080	19,900	10.31	10.26	10.23	10.25	2.22	2.11	2.17	



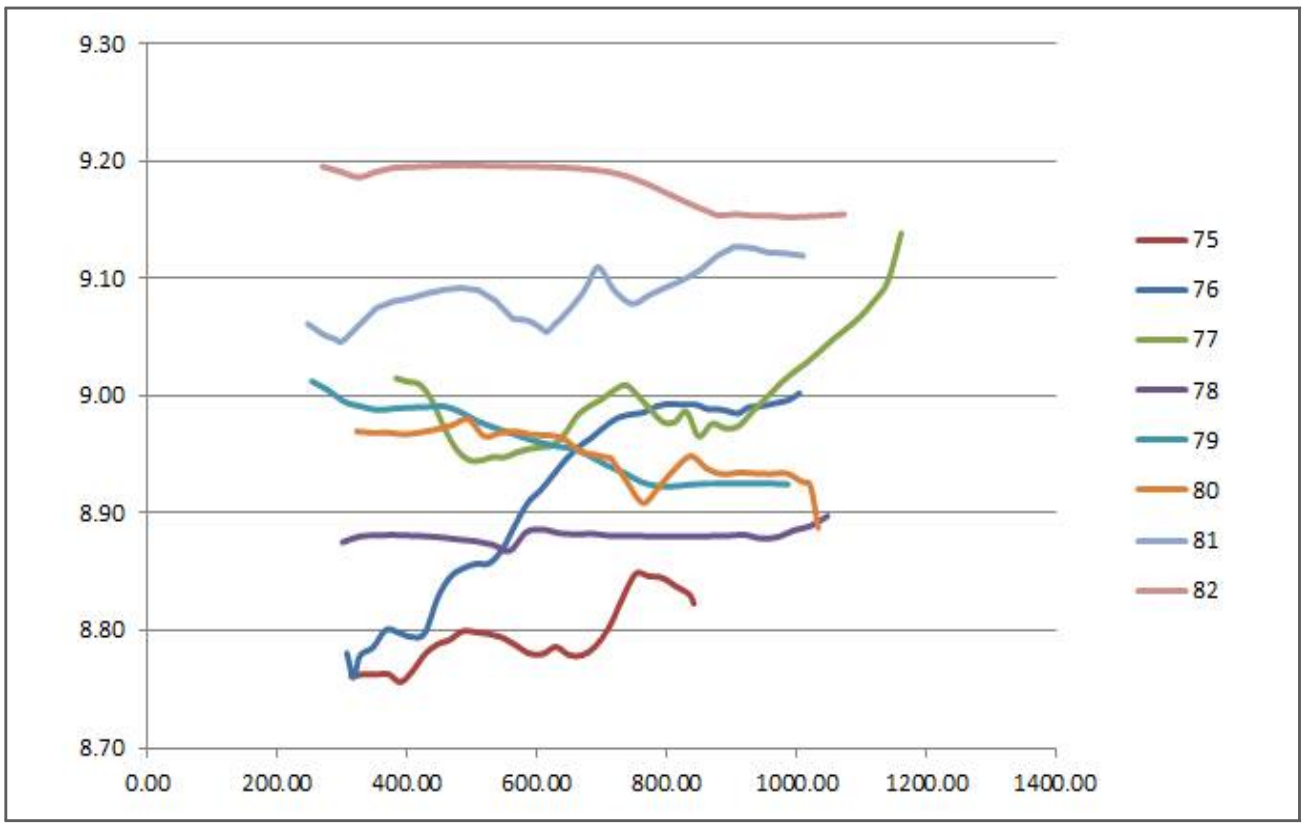
< 그림 17 > No.67 ~ No. 74 구간 수위 분포도



< 그림 18 > No.67 ~ No. 74 구간 수위 횡적변화



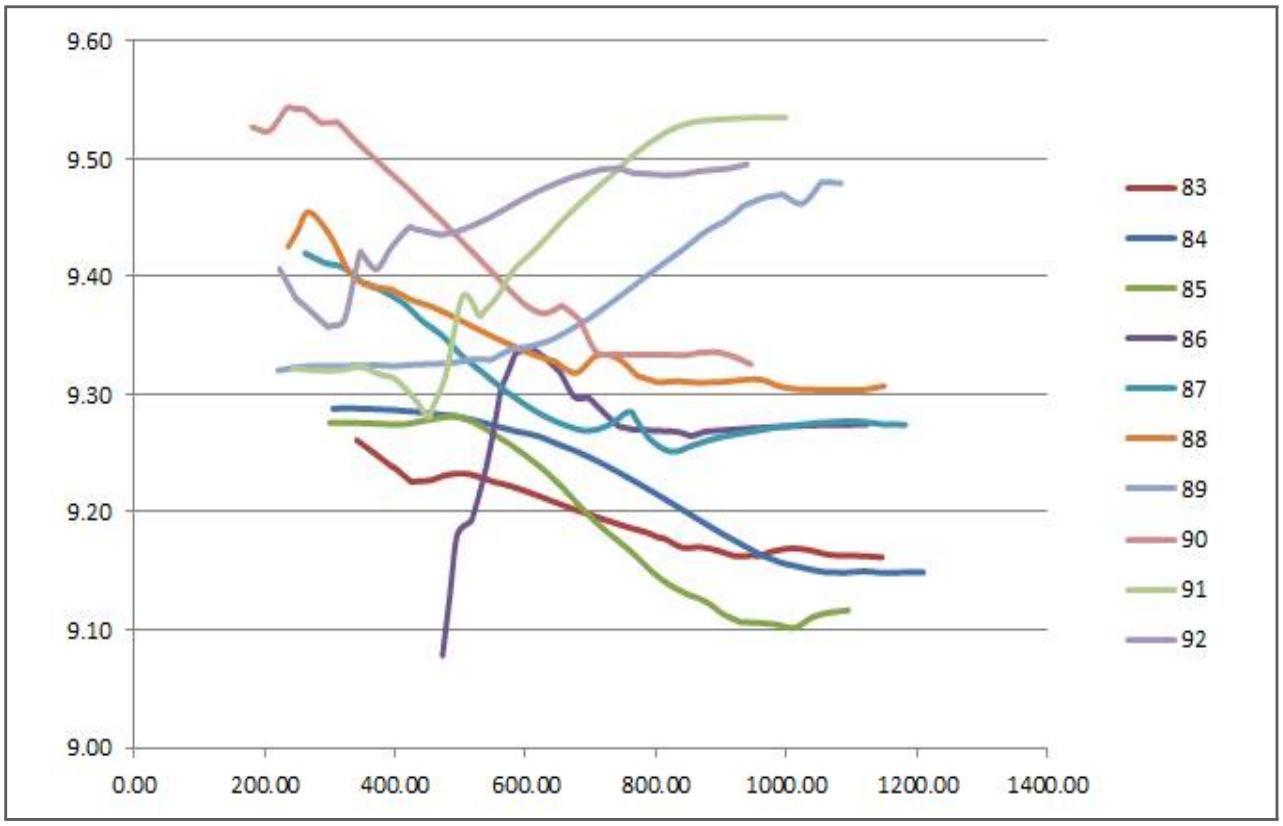
< 그림 19 > No.75 ~ No.82 구간 수위 분포도



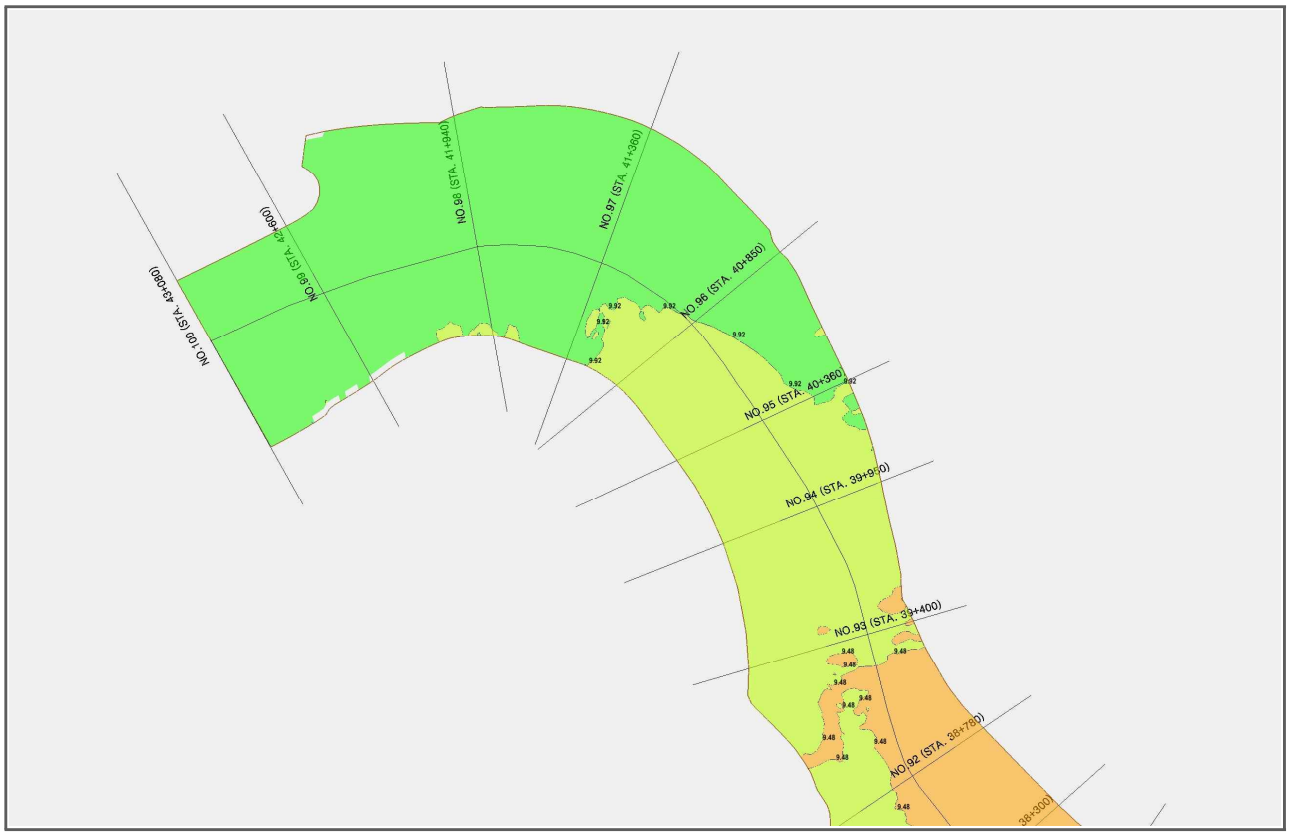
< 그림 20 > No.75 ~ No.82 구간 수위 횡적변화



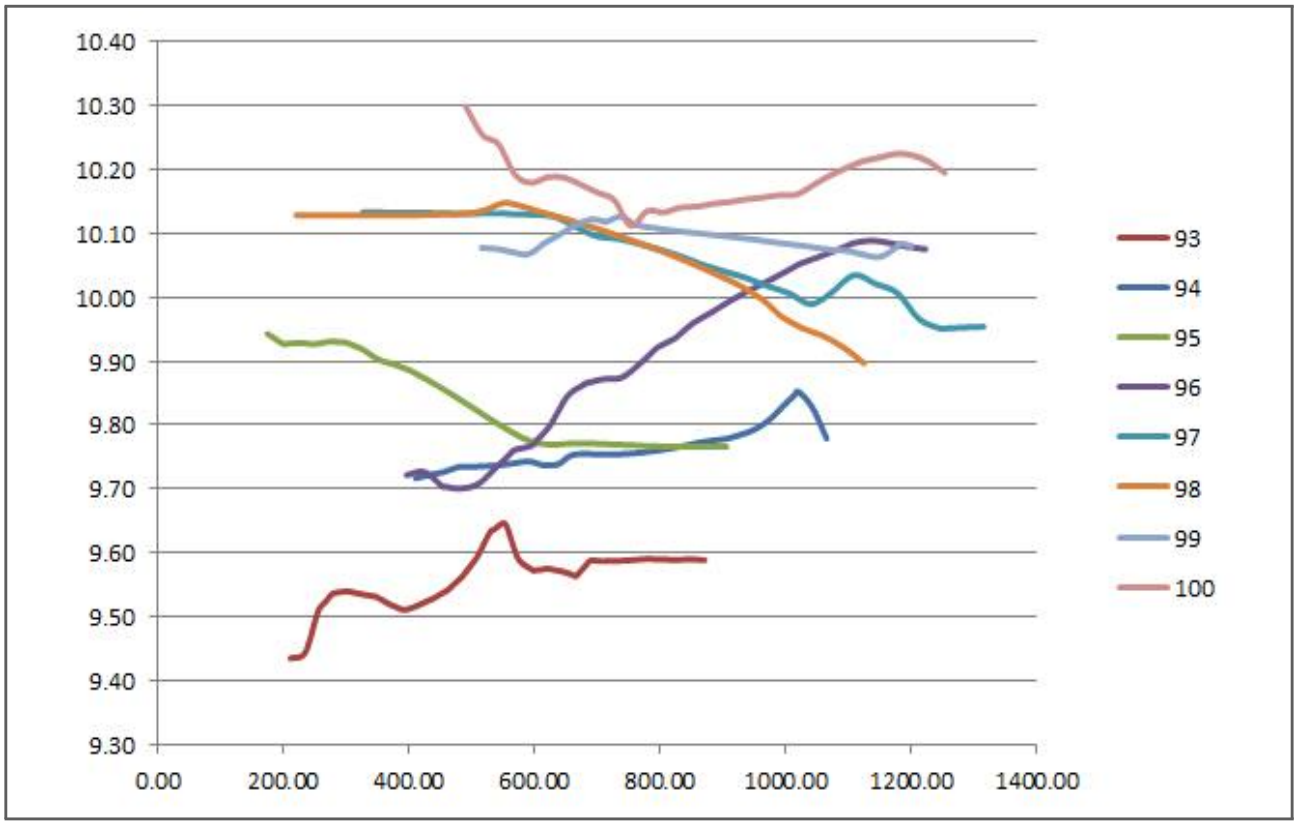
< 그림 21 > No.83 ~ No.92 구간 수위 분포도



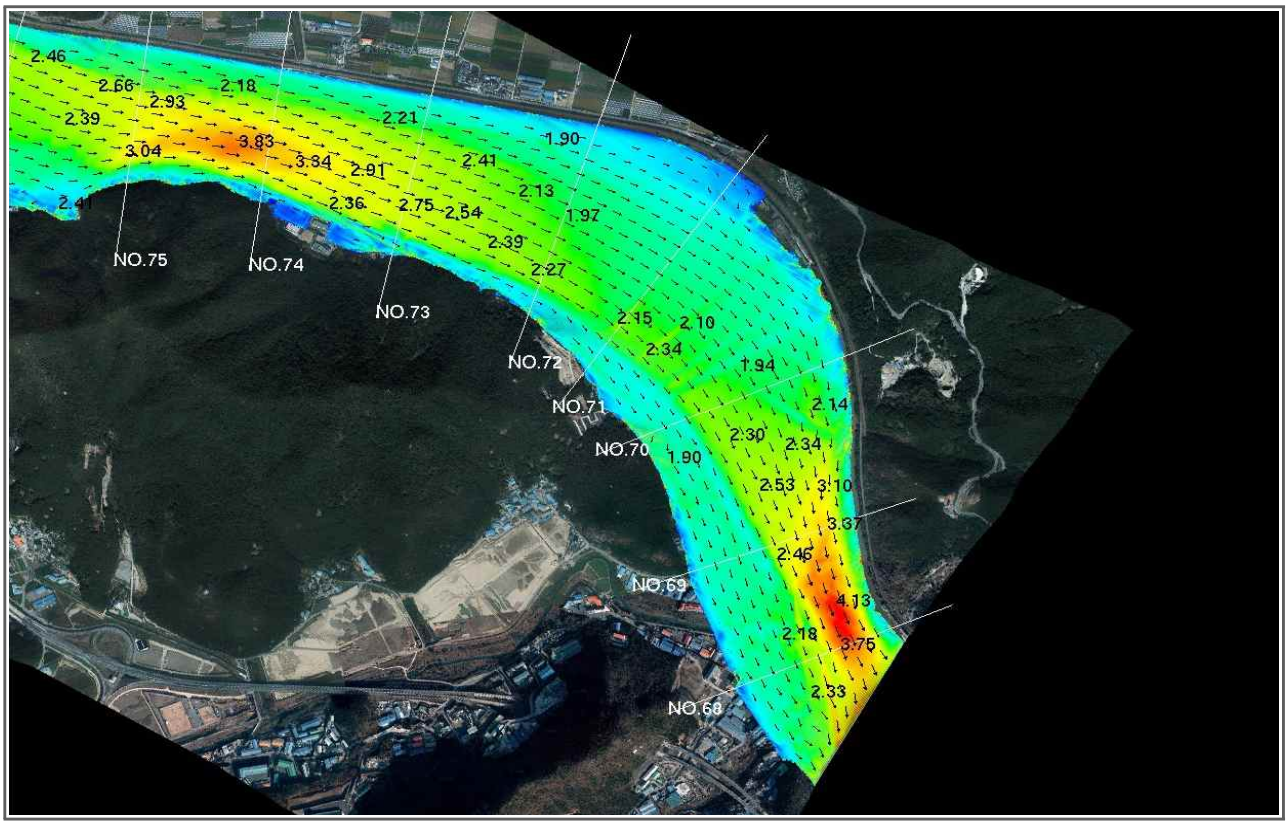
< 그림 22 > No.83 ~ No.92 구간 수위 횡적변화



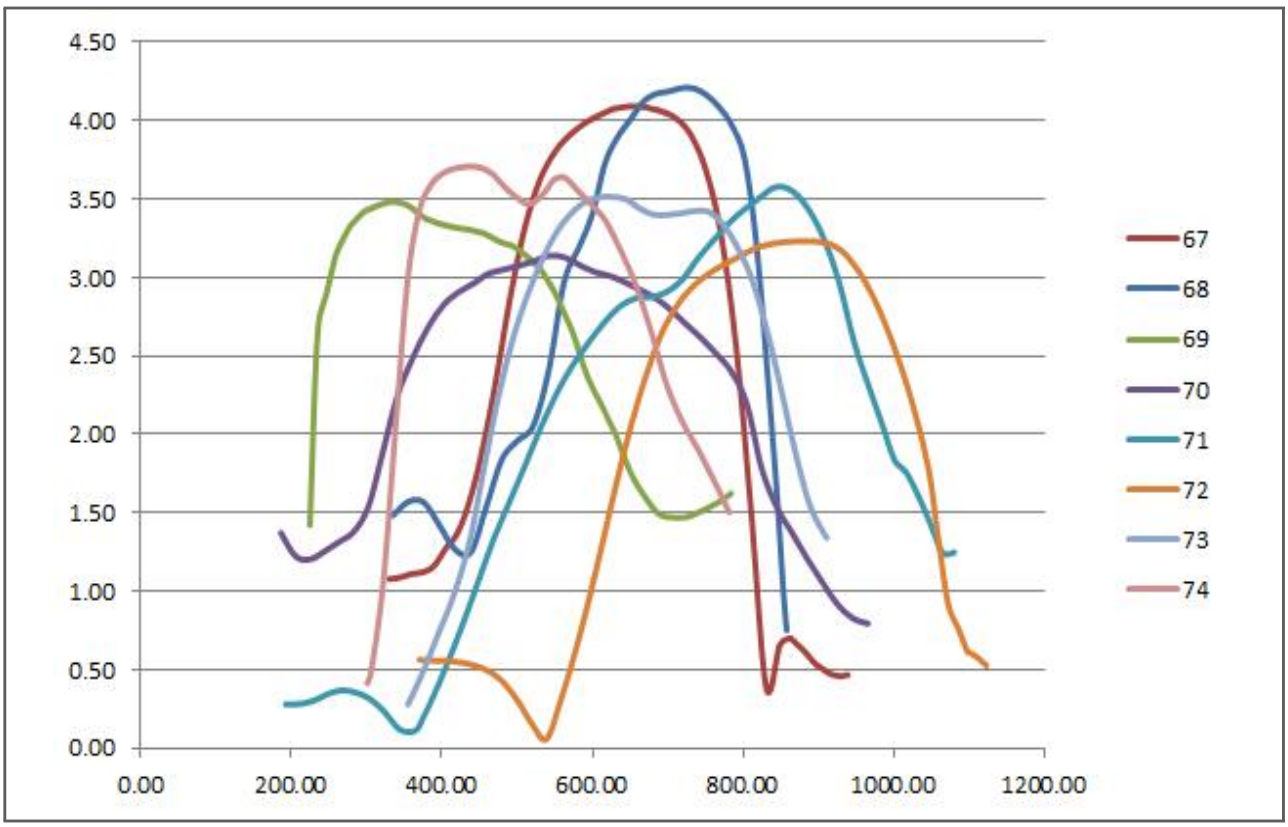
< 그림 23 > No.93 ~ No.100 구간 수위 분포도



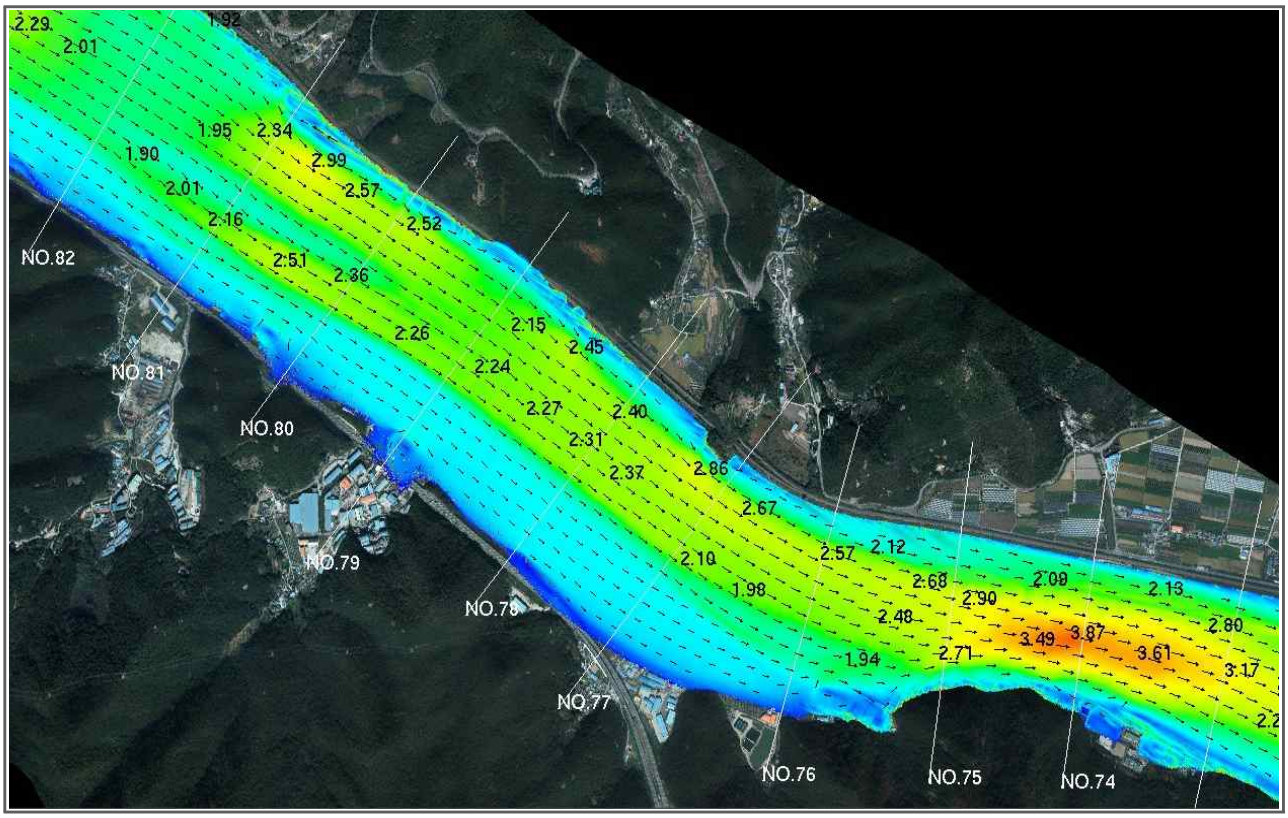
< 그림 24 > No.93 ~ No.100 구간 수위 횡적변화



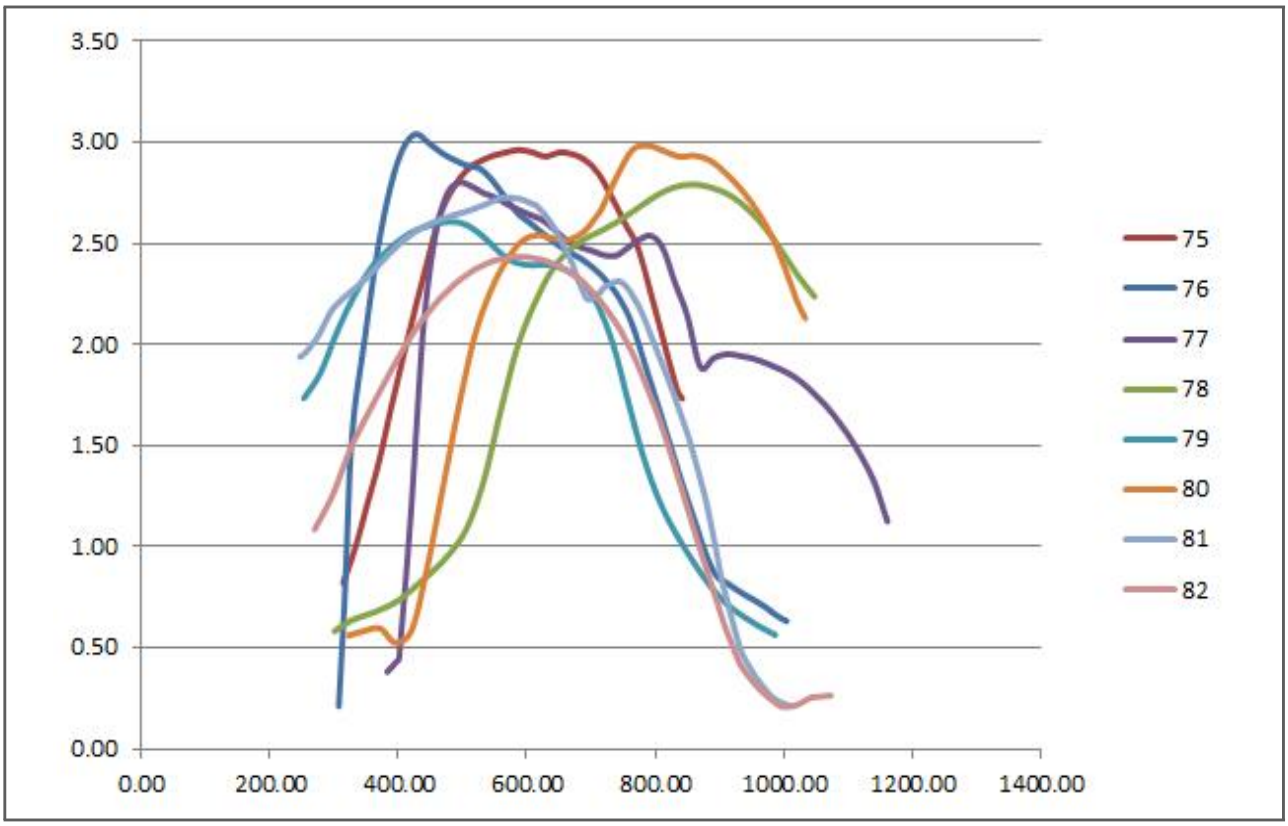
< 그림 25 > No.67 ~ No.74 구간 유속 분포도



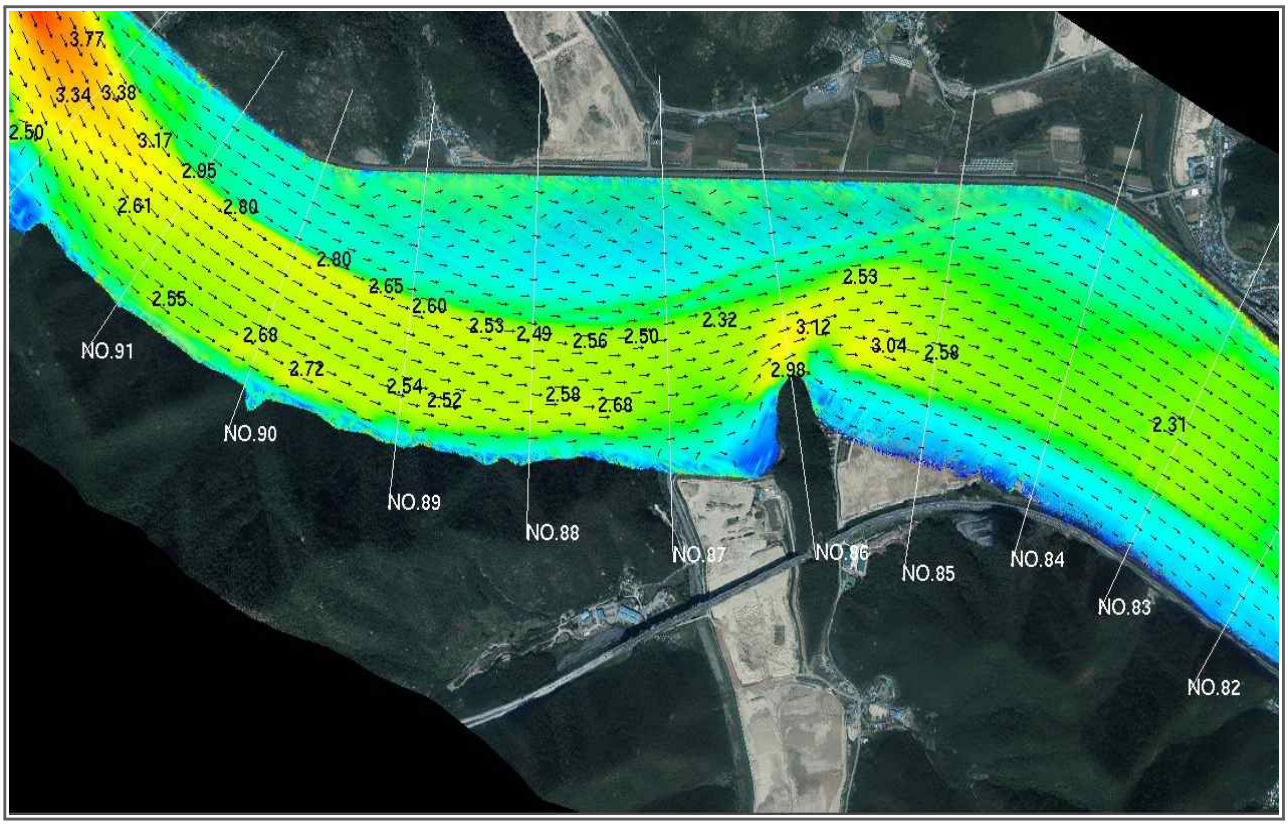
< 그림 26 > No.67 ~ No.74 구간 유속 횡적변화



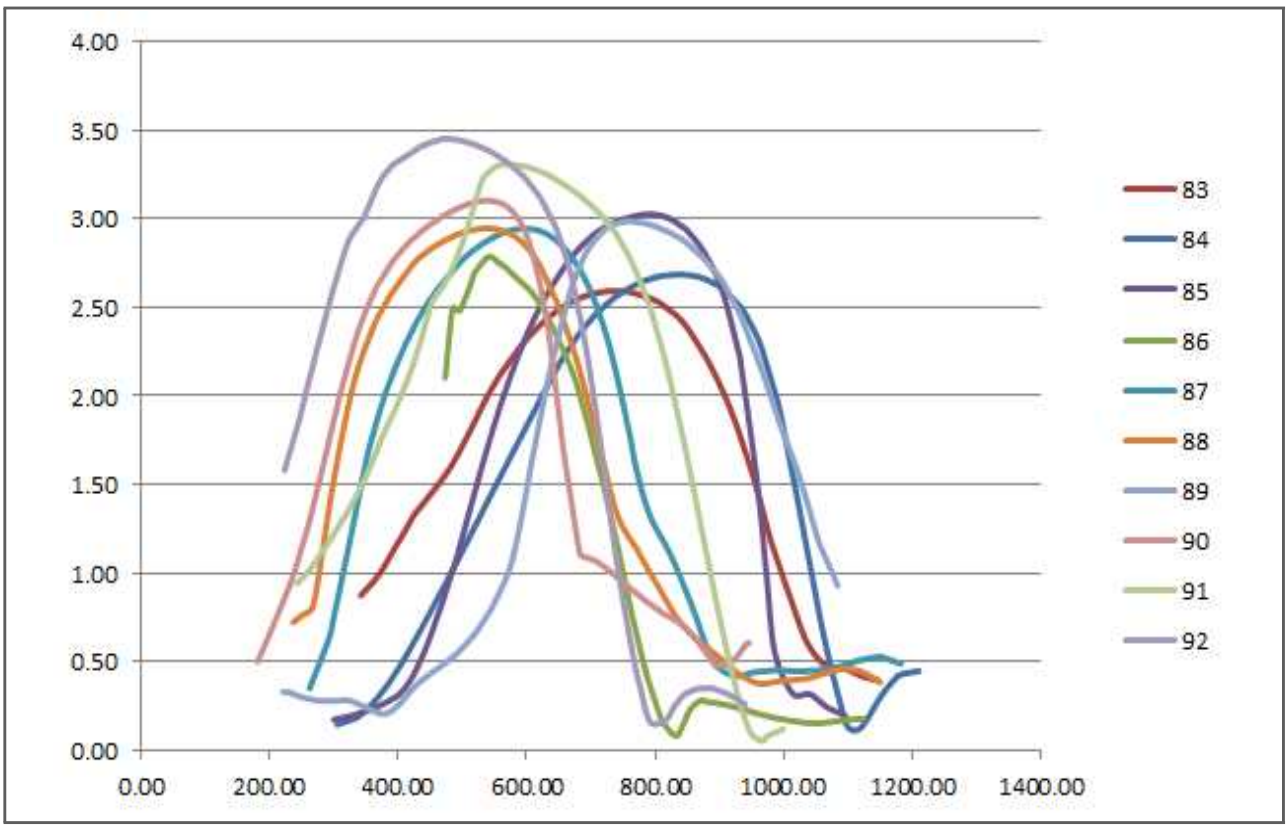
< 그림 27 > No.75 ~ No.82 구간 유속 분포도



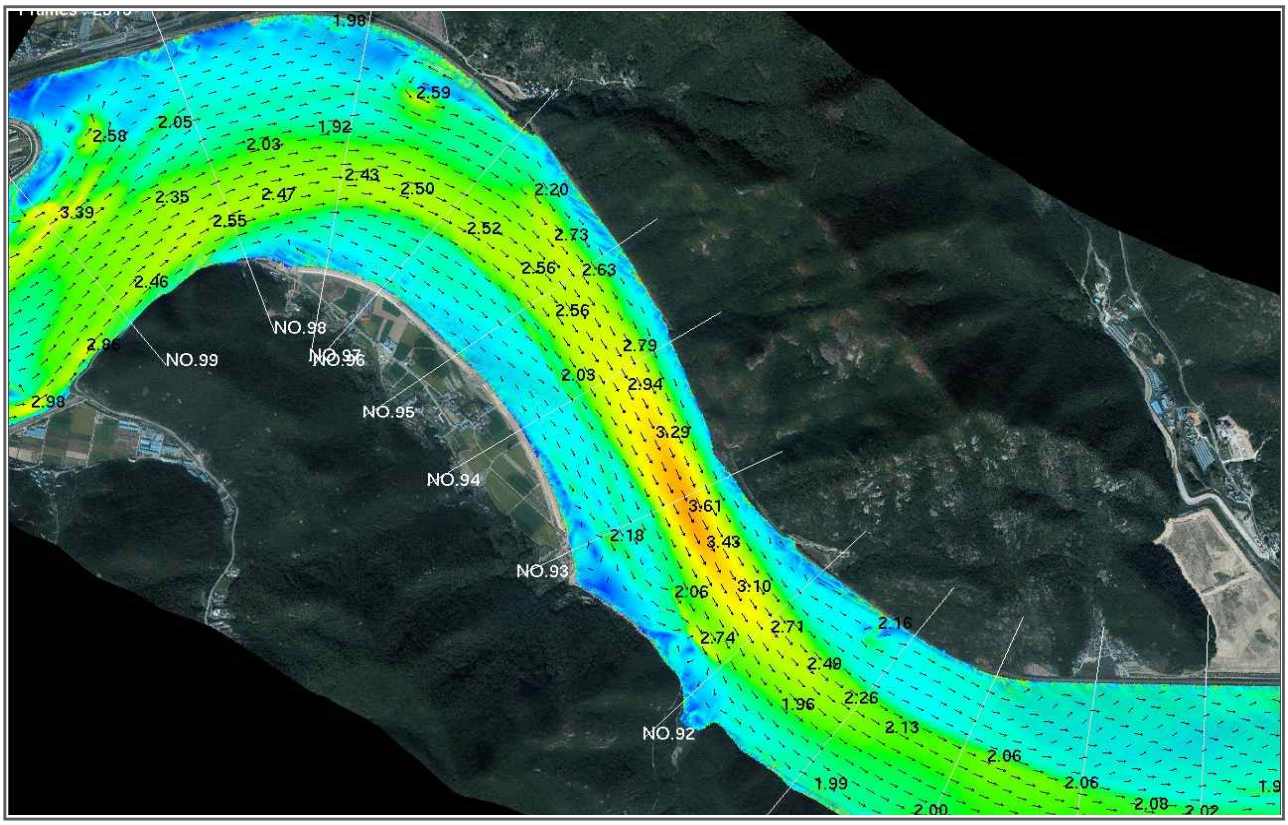
< 그림 28 > No.75 ~ No.82 구간 유속 횡적변화



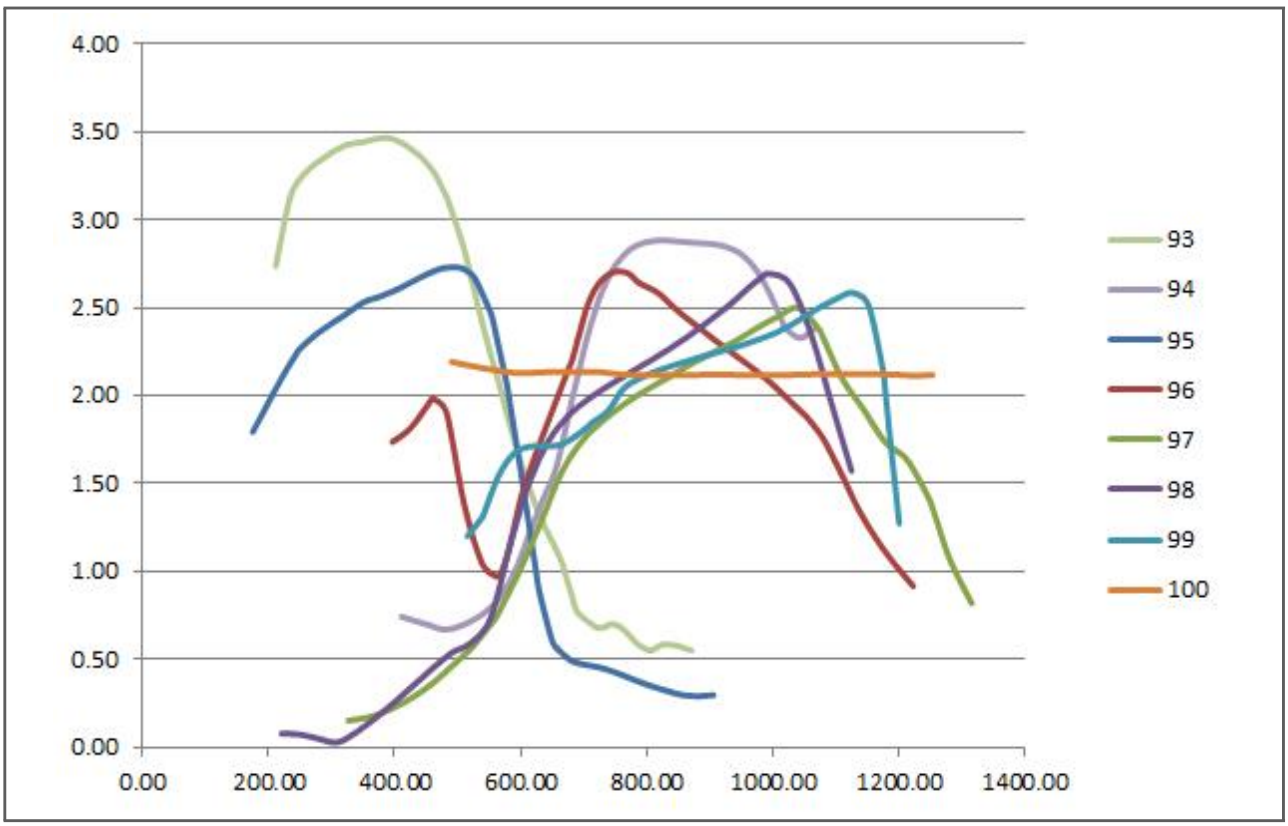
< 그림 29 > No.83 ~ No.92 구간 유속 분포도



< 그림 30 > No.83 ~ No.92 구간 유속 횡적변화



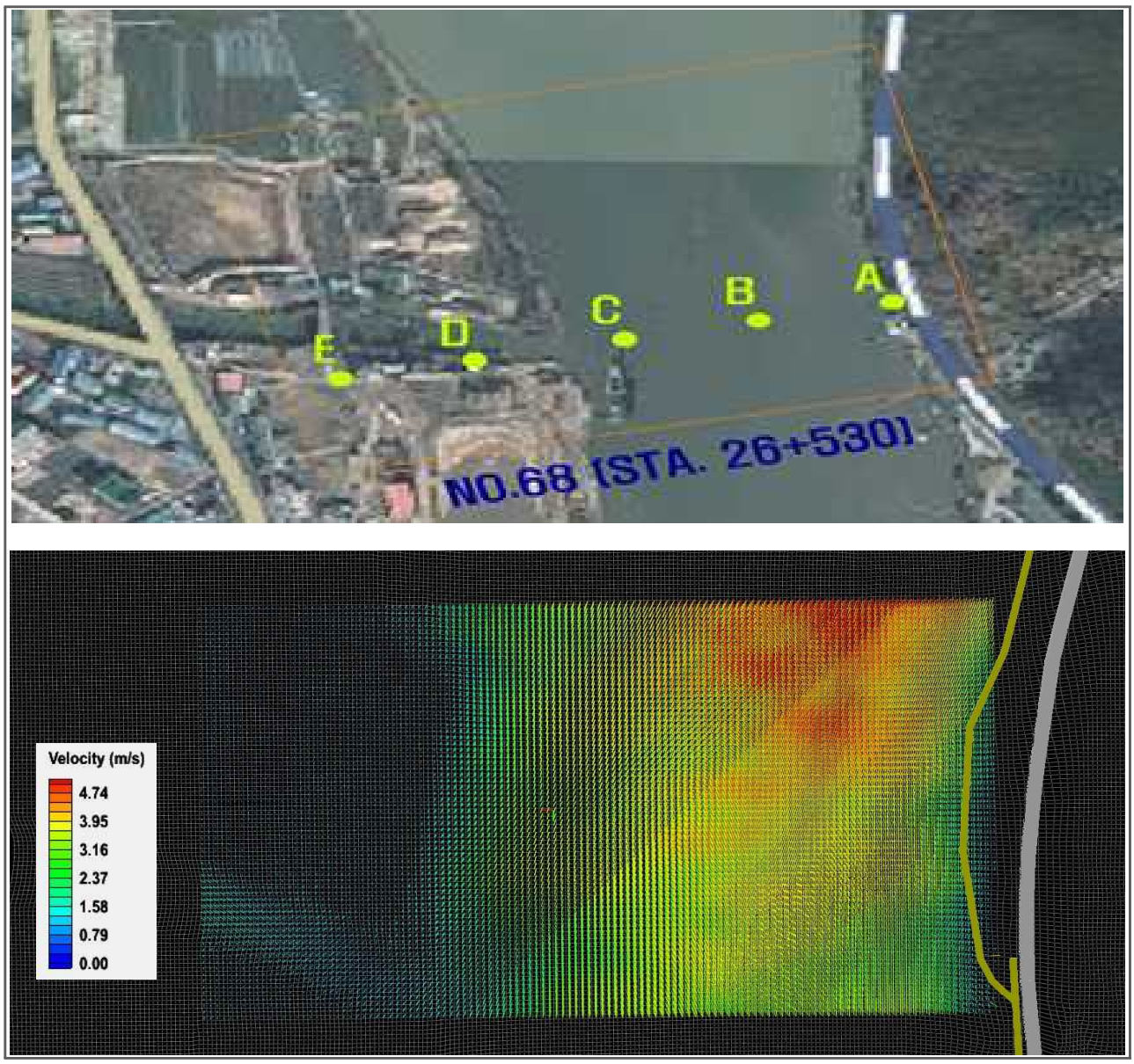
< 그림 31 > No.93 ~ No.100 구간 유속 분포도



< 그림 32 > No.93 ~ No.100 구간 유속 횡적변화

나. 3차원 유체시뮬레이션

3차원 수리분석은 태풍 '산바' 에 의한 만곡부, 협착부, 합류부등 피해가 발생 되었거나 피해가 예상되는 곳에 대하여 실시하였음. 유속 측정 위치 및 분석 결과는 다음<그림 33~34>와 <표 21>에 나타낸 바와 같음. 낙동강 계획홍수량, 19,900㎥/s(100년 빈도) 유하시에 대한 3차원 수리분석 결과 최대유속은 대포천 합류부 D지점 EL. 7.8m에서 4.39m/s로 최대 유속이 발생하는 것으로 파악되었으며, 최소유속은 C지점 EL. 0.0m에서 1.11m/s가 발생하는 것으로 분석되었음. 수심평균 최대유속은 3.43m/s로 B, D지점이 큰 것으로 분석되었음.

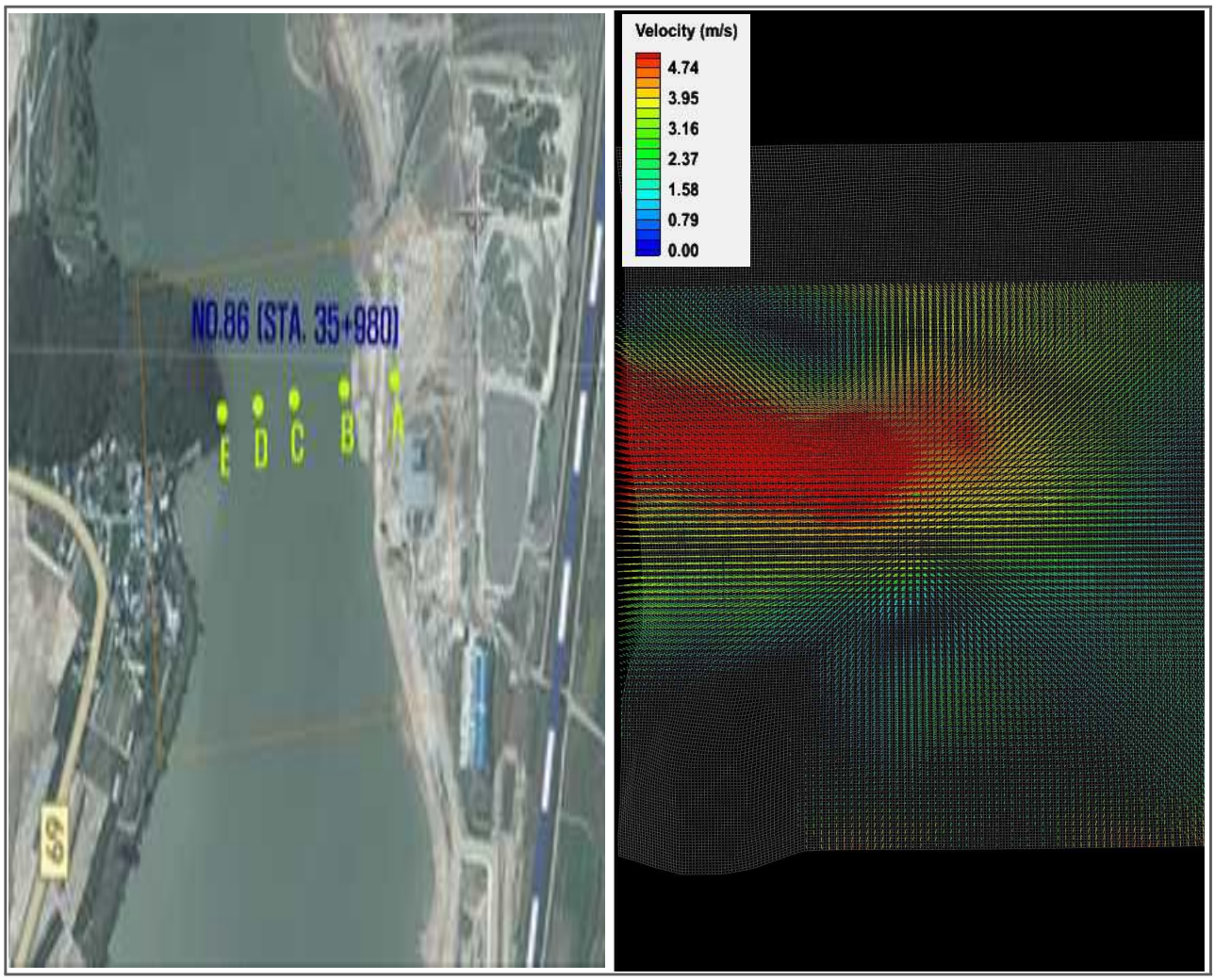


< 그림 33 > 대포천 합류부 유속측정 위치 및 유속분포도

< 표 21 > 대포천 합류부 수심별 유속분석 결과

하천	수위 (EL.m)	유속(m/s)				비고
		A 지점	B 지점	C 지점	D 지점	
낙	−12.0	−	2.46	−	1.96	
동	−6.0	2.66	3.34	−	3.32	
강	0.0	3.32	3.81	1.11	4.03	
	7.8	3.59	4.09	1.92	4.39	
		3.19	3.43	1.52	3.43	수심평균

D지점 EL. 0.0m에서 3.51m/s로 최대 유속이 발생하는 것으로 파악되었으며, 최소유속은 C지점 EL. 0.0m에서 1.18m/s가 발생하는 것으로 분석되었음. 수심평균 최대유속은 3.35m/s로 D지점이 큰 것으로 분석되었음.



< 그림 34 > 원동나루터 협착부 유속측정 위치 및 유속분포도

< 표 22 > 원동나루터 협착부 수심별 유속 분석 결과

하천	수위 (EL.m)	유속(m/s)				비고
		A 지점	B 지점	C 지점	D 지점	
낙	−28.0	−	−	−	3.19	
동	−21.0	−	−	−	3.27	
강	−14.0	−	−	−	3.35	
	−7.0	−	−	−	3.45	
	0.0	1.59	1.66	1.18	3.51	
	4.5	1.84	2.13	1.77	−	
	9.0	2.02	2.32	2.01	−	
		1.82	2.04	1.65	3.35	수심평균

A지점 EL. 6.0m에서 3.94m/s로 최대 유속이 발생하는 것으로 파악되었으며, 최소유속은 D 지점 EL. 3.0m에서 0.52m/s가 발생하는 것으로 분석되었음. 수심평균 최대유속은 3.31m/s로 A지점이 큰 것으로 분석되었음.



< 그림 35 > 11공구 지점 유속측정 위치 및 유속분포도

< 표 23 > 11공구 피해지점 수심별 유속분석 결과

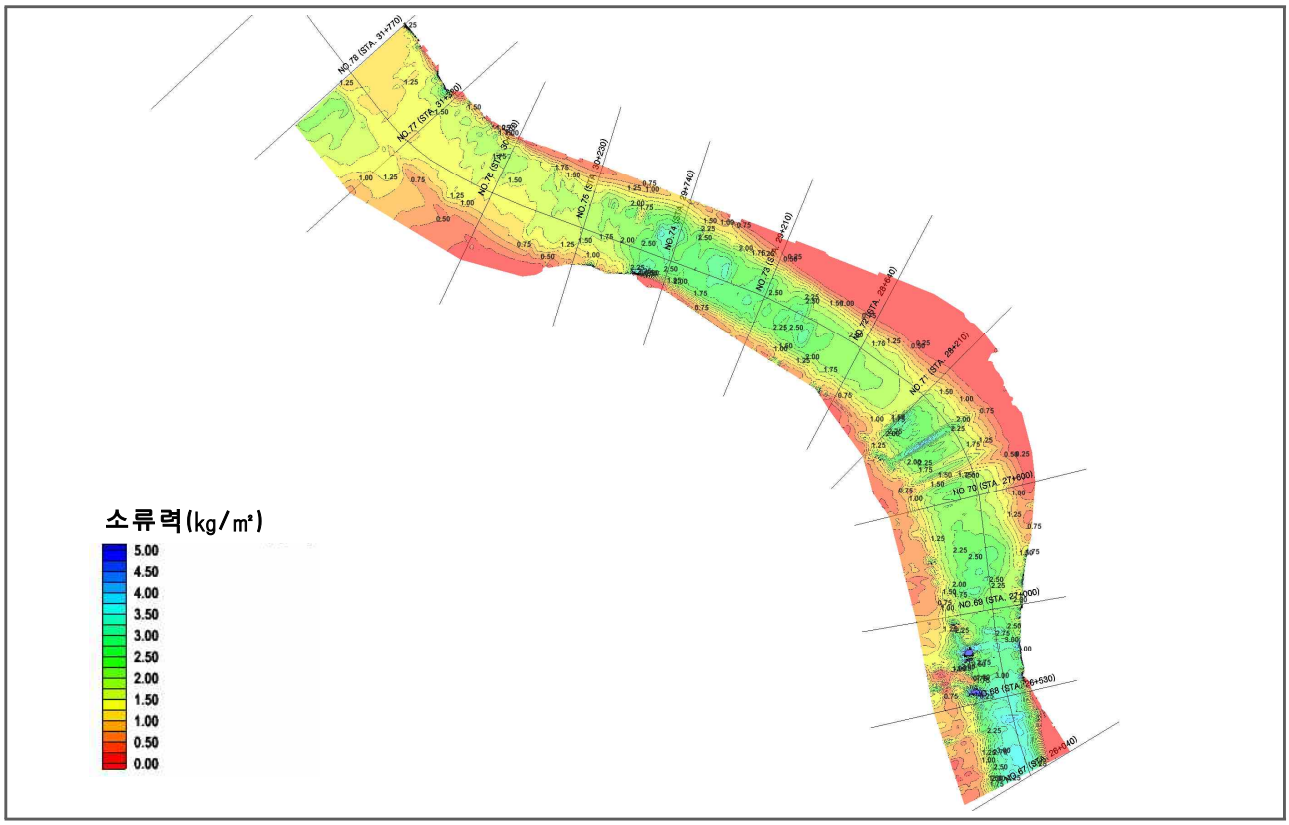
하천	수심 (m)	유속(m/s)					비고
		A 지점	B 지점	C 지점	D 지점	E 지점	
낙	−9.0	2.68	−	−	−	−	
동	−6.0	2.81	2.28	−	−	−	
강	−3.0	2.90	2.30	0.95	−	−	
	0.0	3.08	2.37	0.75	−	−	
	3.0	4.46	2.65	0.64	0.52	−	
	6.0	3.94	3.10	0.72	0.96	0.87	
		3.31	2.54	0.77	0.74	0.87	수심평균

제4절 소류력 분석

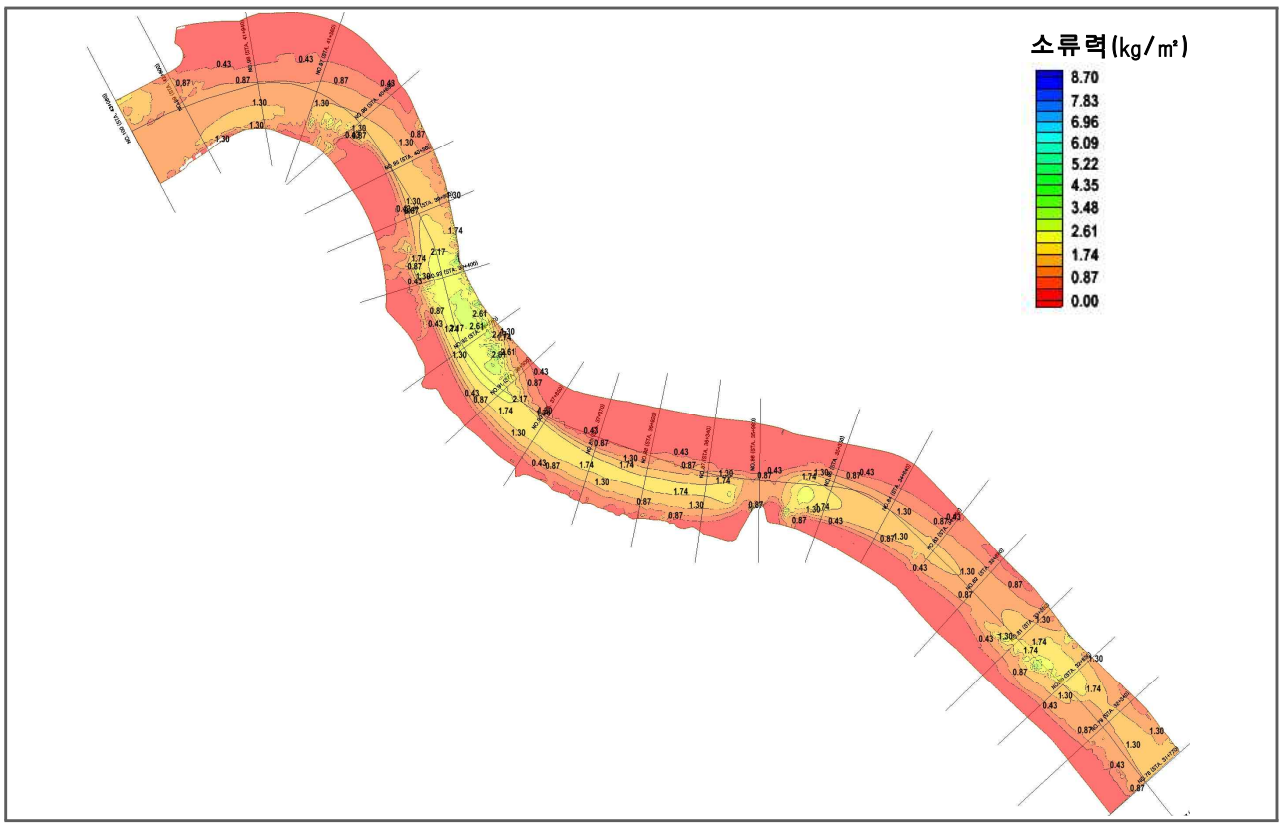
저수로 비탈면에 발생된 수리 modeling 결과에 의한 발생유속 크기별 소류력을 계산하여 피해구간 및 피해우려 구간 호안 공법 결정 자료로 활용하였을 때, 계산된 각 지점별 소류력 크기 산정결과는 다음<표 26>와 같고 분포도는 다음<그림 36~37>과 같음.

< 표 24 > 호안 소류력 분석

하천	측점 (No.)	좌 안				우 안			
		저수부 호안	유속 (m/s)	소류력 (kg/㎡)	분석	저수부 호안	유속 (m/s)	소류력 (kg/㎡)	분석
낙동강	67	토사	0.75	0.02	N.G	토사	1.71	0.71	N.G
	68	–	2.51	1.01	–	“	3.42	2.77	N.G
	69	–	2.47	1.91	–	“	1.48	0.87	N.G
	70	–	0.82	0.17	–	“	1.94	1.52	N.G
	71	–	0.25	0.02	–	“	2.20	1.26	N.G
	72	토사	0.30	0.02	N.G	–	1.51	0.57	–
	73	“	1.91	0.86	N.G	–	1.59	0.72	–
	74	“	2.79	2.27	N.G	–	0.96	0.28	–
	75	“	2.60	1.54	N.G	–	1.82	0.80	–
	76	“	2.32	1.57	N.G	토사	1.13	0.28	N.G
	77	“	1.14	0.45	N.G	“	2.18	1.26	N.G
	78	돌망태	2.24	1.25	N.G	“	2.28	1.07	N.G
	79	“	1.79	0.76	N.G	“	2.20	1.01	N.G
	80	시트파일	2.27	1.21	O.K	“	2.29	1.08	N.G
	81	“	2.06	1.14	O.K	“	1.33	0.41	N.G
	82	토사	1.19	0.38	N.G	“	1.05	0.25	N.G
	83	“	1.35	0.47	N.G	“	0.90	0.22	N.G
	84	줄떼	0.27	0.02	N.G	“	0.11	0.01	N.G
	85	“	0.45	0.05	N.G	“	0.48	0.06	N.G
	86	토사	0.79	0.11	N.G	–	2.31	1.88	–
	87	“	2.81	1.65	N.G	–	0.87	0.19	–
	88	“	1.59	0.66	N.G	–	1.20	0.35	–
	89	“	0.71	0.17	N.G	–	1.23	0.48	–
	90	“	1.02	0.34	N.G	–	0.86	0.16	–
	91	“	2.38	1.94	N.G	–	0.07	0.00	–
	92	“	3.07	2.44	N.G	–	0.12	0.00	–
	93	–	3.04	2.38	–	토사	2.02	1.17	N.G
	94	–	2.35	1.32	–	“	2.73	1.51	N.G
	95	–	1.86	1.01	–	“	2.72	1.51	N.G
	96	–	1.00	0.32	–	“	2.52	1.34	N.G
	97	토사	0.15	0.01	N.G	“	1.94	0.99	N.G
	98	“	0.08	0.00	N.G	–	2.14	1.30	–
	99	“	1.22	0.65	N.G	–	1.60	0.03	–
	100	“	2.22	2.02	N.G	토사	2.11	1.09	N.G



< 그림 36 > No.67 ~ No.78구간 소류력 분포도



< 그림 37 > No.78 ~ No.100구간 분포도

제4장 피해예상지구 분석

제1절 피해예상지구

1. 분석목적

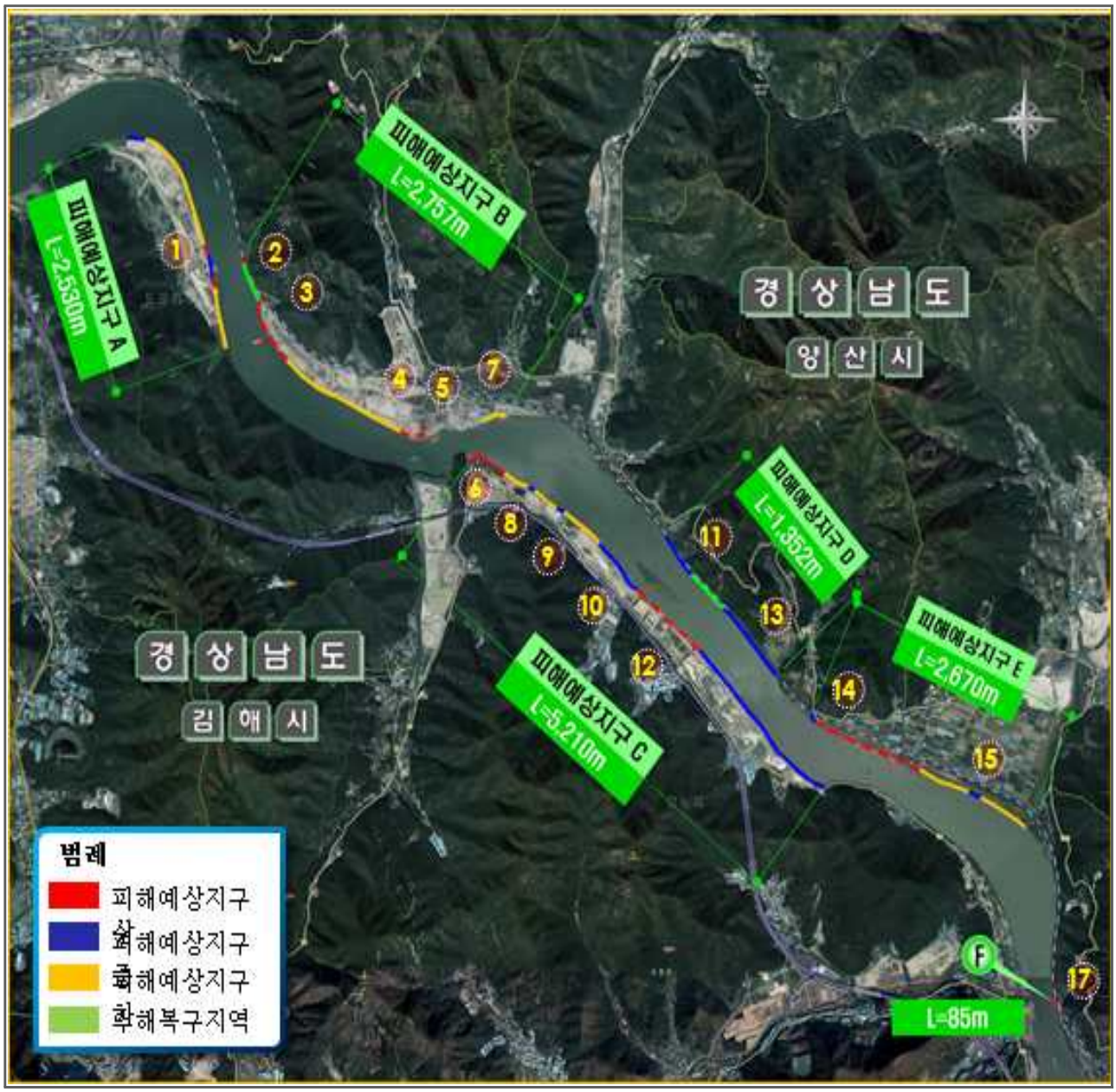
홍수피해를 줄이기 위한 치수대책은 여러 가지가 있으나, 국가의 재원은 한정되어 있으므로 투자규모를 최적화하고 사업의 타당성과 우선순위를 정하는 객관적인 기준이 필요함. 본 분석은 시범예제구간 (삼랑진 검세지구 ~ 양산물금) 구간내 홍수피해예상 지구에 대하여 투자우선순위와 합리적인 예방사업의 기본방향을 제시하는데 그 목적이 있음.

2. 피해예상지구 범위

금회 피해예상지구는 현장조사를 통하여 호안유실 및 세굴이 나타나는 곳과 2차원, 3차원 유체시뮬레이션 결과 수충부, 협착부, 유속이 빠른 지점 등을 피해예상지구로 선정하였으며, 대상 지구는 <표 25>와 <그림 38>에 제시하였음.

< 표 25 > 피해예상지구

하천명	피해예상 지구	위 치	측점(No.)	안별	연장 (m)	비고
낙동강	A	김해시 생림면 도요리 일원	97+007 ~ 91+408	우안	2,530	
	B	양산시 원동면 용당리 일원	93+056~86+356 85+085~85+319	좌안	2,757	
	C	김해시 상동면 여차리 일원 ~ 김해시 상동면 감노리 일원	85+439 ~ 75+158	우안	5,210	
	D	양산시 원동면 원리 ~ 양산시 원동면 서동리	81+061 ~ 77+255	좌안	1,352	
	E	양산시 원동면 서동리	76+082 ~ 71+002	좌안	2,670	

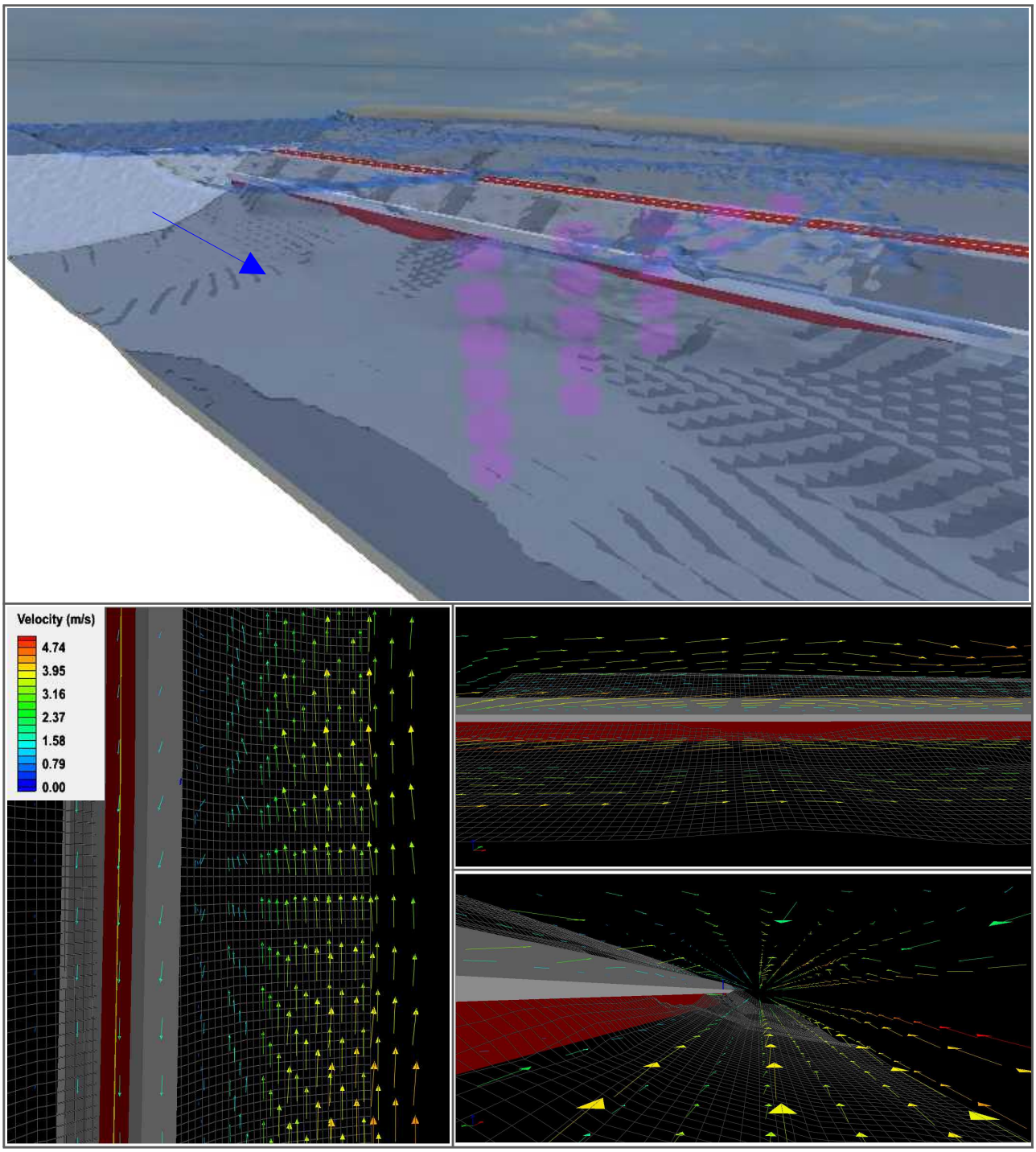


< 그림 38 > 피해예상지구 위치도

제2절 피해예상지구 원인 및 대책

1. 피해예상지구 원인

피해예상지구의 적절한 설계 및 공법의 선정을 위해서는 하천특성 뿐만 아니라 호안의 파괴 원인을 파악하고 이에 대한 안전성을 분석하는 것이 필요하며, 주로 기초부분 세굴에 의한 것이지만 그 외에도 여러 가지 원인이 있으므로 이러한 원인들을 정확하게 파악하여야 함.



< 그림 39 > 저수부 사면 유속분포도

금회 피해예상지구는 대부분 유수에 의한 비탈면 침식으로 저수부 사면에 세굴이 발생하였으며, 계획빈도(100년) 홍수시 수중에 잠겼다가 수위가 급강하되어 잔류수압에 의해 호안 이음눈 등에서 뒷채움 토사가 유출되는 파이핑현상이 나타났을거라 판단 됨. 저수부 발생하는 난류를 방지하고 고수부지의 세굴 방지를 위하여 저수부 보강이 필요함.

2. 피해예상지구 대책

가. 호안의 설치기준

호안의 설치위치와 연장은 하도내의 수리현상, 세굴, 퇴적 등의 변화를 고려하여 결정하고 소류력 또는 유속에 따라 호안공법을 선정해야 하며, 하도의 유형 및 수리특성은 다음 <표 26>에 제시 하였음.

< 표 26 > 하도의 분류별 수리특성

하 도	수 리 특 성			하상재료	비 고
	유속(m/s)	소류력(kg/m²)	하상경사		
급 류 부	3.0 이상	6.67 이상	1/200 이상	굵은자갈이 대부분	전면설치
준급류부	2.0~3.0 미만	5.00~6.67 미만	1/200~1/1,000	모래자갈과 잔자갈이 소량존재	
준완류부	1.0~2.0 미만	3.33~5.00 미만	1/1,000~1/2,000	자갈과 모래혼합	부분설치
완 류 부	1.0 미만	3.33 미만	1/2,000 미만	주로 모래	

주) 하천공사 설계실무요령 (2009, 국토해양부)

수충구간에 부분적인 호안의 설치시 수충부가 하류로 이동할 수 있으므로 호안의 설치구간을 충분히 하고, 호안설치 구간과 설치하지 않는 접합부는 조도의 차이로 인한 세굴이 발생할 수 있으므로 호안의 시점 및 종점부는 굴요성이 좋은 호안 또는 띠장을 설치하여야 함.

급류하천이나 준급류 하천에서는 전 구간에 걸쳐서 호안을 설치하며, 완류 하천에서는 수충부에 중점적으로 설치하고, 비수충 구간은 식물자생 등을 고려한 환경호안을 우선하여 계획하여야 함.

나. 호안공법 종류

일반적인 하천에서 설치되는 호안 공법의 분류를 다음 <표 27>에 제시된 바와 같음.

< 표 27 > 호안공법의 종류

대분류	중분류	소분류
호안공	식생공	평떼, 초본류 파종, 식생매트
	돌망태	타원형, 사각형(이불형), 매트리스형, 옹벽형
	돌붙임	돌붙임, 전석붙임(찰붙임,메붙임)
	돌쌓기	돌쌓기, 전석쌓기(찰쌓기,메쌓기)
	콘크리트블럭 (무공, 유공, 환경)	장방형블럭, 장대형블럭, I형블럭 소형, 대형, 방틀형
	옹벽	콘크리트, 축조블럭(자중형), 축조블럭(앵커형)
	파일공	콘크리트말뚝, 강널말뚝

주) 하천 호안공법에 대한 비교·검토(2005. 5, 부산지방국토관리청)

다. 밑다짐

밑다짐은 호안 및 호안기초의 하상변화에 의한 움직임을 막기 위하여 하상변화에 순응성(굴요성)을 가진 재료로 호안 밑단에 설치하는 것으로 아래 조건을 만족해야 하며, 밑다짐공의 종류별 내용은 다음 <표 28>에 나타내었음.

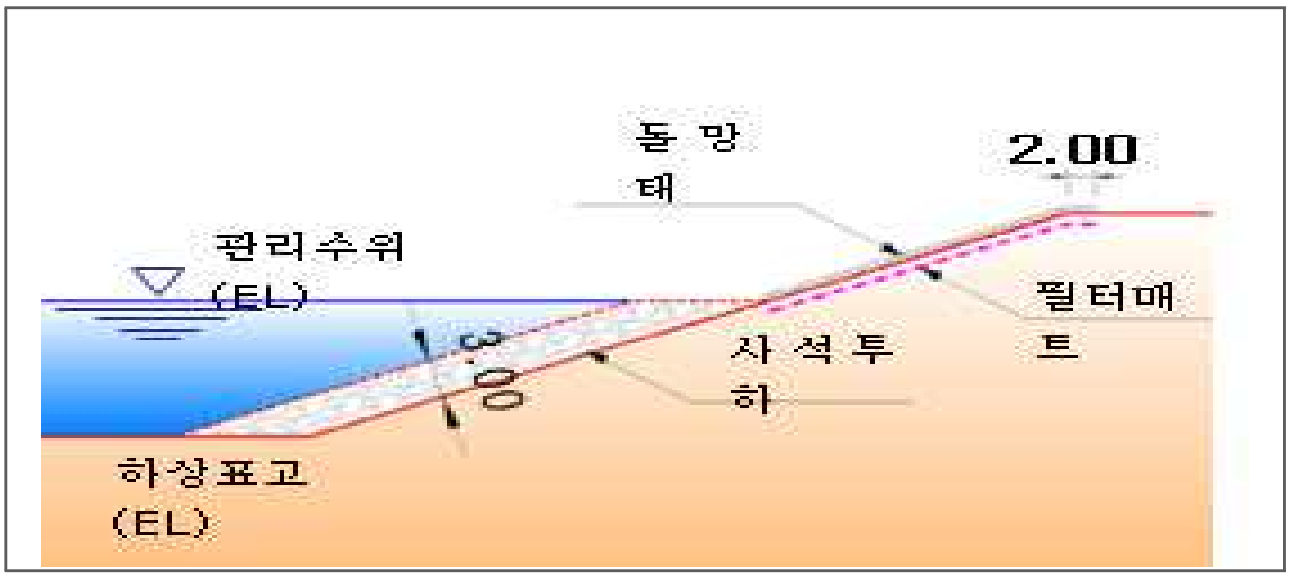
- 소류력에 견딜 것
- 하상변화에 대해 순응성(굴요성)을 가질 것
- 시공이 용이할 것
- 내구성이 좋을 것

< 표 28 > 밑다짐의 종류

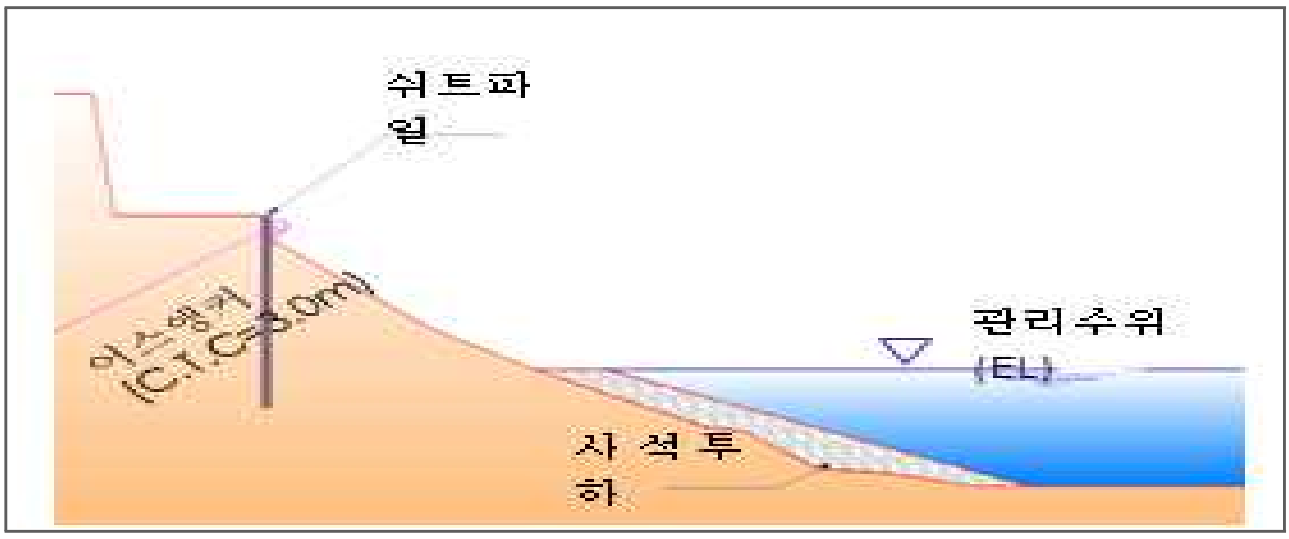
구 분	내 용
콘크리트 블록공	굴요성, 내구성 등을 증가시키기 위해 콘크리트블록을 서로 맞물려 전체가 일체로 유수에 저항함
사석공	순응성(굴요성)이 좋은 재료로서 수심이 깊고, 세굴이 많이 발생하는 직역의 저수호안이나 밑다짐 및 연약지반에서 압사석으로 적용
돌망태	타원형, 사각형, 거북형, 매트리스형이 있음 굴요성이 좋지만 철선의 내구적인 측면이 다소 약함
주머니형 돌망태	기존 돌망태와 달리 뚜껑이 없고 다양한 크기 및 형태로 철선을 꼬아 제작하여 조립·투하
침상공	섶침상, 목공침상, 개량침상, 콘크리트 방틀공 등

라. 저수호안 저수호안계획

상기에서 분석한 내용과 본 시범예제구간내 피해예상지구의 특성 등을 고려하여 저수호안 표준단면 및 호안의 종류를 검토하였으며, 사업시행시 피해예상지구의 특성, 호안의 종류 재료구득의 용이성, 지반의 지질상태, 지형 및 수리적 특성 등에 따라 통수단면에 문제가 없는 범위 내에서 적절히 조정해야 함. 호안 표준단면도는 다음 <그림 40>, <그림 41>과 같음.



< 그림 40 > 사석부설 표준단면도



< 그림 41 > 가물막이공법 돌망태 표준단면도

마. 설치방향

지점평균유속에 의한 소류력을 산정하여 호안의 공종 결정시 참고할 수 있도록 유속규모별 소류력 크기를 계산한 결과는 다음<표 29>와 같음. 금회 피해예상지구의 호안계획은 사석보강, 가물막이공법과 돌망태호안 설치하는 방법을 각각 적용해 보고자 함.

< 표 29 > 피해예상지구별 호안계획

하천	지구명	안별	연장 (m)	수 리 특 성		비고
				유속(m/s)	소류력(kg/m²)	
낙동강	A	우안	2,530	0.15 ~ 2.83	0.02 ~ 2.62	
	B	좌안	2,757	0.72 ~ 3.39	0.18 ~ 3.44	
	C	우안	5,210	0.05 ~ 2.85	0.63 ~ 2.45	
	D	좌안	1,352	1.66 ~ 2.98	0.01 ~ 2.07	
	E	좌안	2,670	0.16 ~ 2.68	0.01 ~ 2.13	

제3절 피해예상지구 개략소요사업비

1. 피해예상지구 평가

금회 대상구간의 피해예상지구 우선순위 선정에 대한 기준이 없어 현장조사를 통하여 호안유실 및 세굴이 나타나는 곳과 2차원, 3차원 유체시뮬레이션 결과 수충부, 협착부, 유속이 비교적 크게 산정된 지점, 이용현황 등을 참조하여 다음<표 30>과 같이 선정하였음.

< 표 30 > 피해예상지구 평가

하천	피해예상		연장 (m)	재해발생 위험성	지구별 이용현황	평가	투자우선순위
	지구	구간					
낙동강	A	1	196	상	고수부지	0.27	4
		2	1,285	하	고수부지	0.76	
		3	107	중	고수부지	0.11	
		4	227	하	고수부지	0.13	
		5	109	중	고수부지	0.11	
		6	606	하	고수부지	0.36	
		계	2,530			1.74	
	B	1	66	중	자전거도로	0.07	3
		2	689	중	고수부지	0.62	
		3	1,458	하	고수부지	0.79	
		4	290	중	고수부지	0.26	
		5	254	중	고수부지	0.23	
		계	2,757			1.97	
	C	1	156	상	주거지 및 농경지	0.39	2
		2	286	중	고수부지	0.14	
		3	297	하	고수부지	0.09	
		4	83	중	고수부지	0.04	
		5	295	하	고수부지	0.08	
		6	94	중	고수부지	0.05	
		7	504	하	고수부지	0.15	
		8	87	중	고수부지	0.04	
		9	534	하	고수부지	0.15	
		10	926	중	고수부지	0.44	
		11	1,948	하	고수부지	0.56	
		계	5,210			2.13	
	D	1	463	상	자전거도로	1.30	1
		2	765	하	자전거도로	1.02	
		3	124	상	자전거도로	0.35	
		계	1,352			2.67	
	E	1	100	상	고수부지	0.13	5
		2	1,254	중	고수부지	1.17	
		3	588	하	고수부지	0.33	
		4	148	중	고수부지	0.14	
		5	580	하	고수부지	0.33	
		계	2,670			0.80	

지구별 피해예상 D지구가 투자우선 순위로 평가되었음. 구간에서는 D-1구간이 가장우선 투자되어야 할 대상으로 평가되었음.

2. 개략소요사업비

낙동강 시범예제구간 피해예상지구의 저수부 저수호안 보강 대책은 100년 빈도를 대상으로 분석된 수리검토 결과를 토대로 호안공법 선정과 시공에 필요한 공종은 선택하여 각 지구별 개략사업비를 산출하였음.

가. 피해예상지구 상

피해예상지구 상에 대한 각 지구별 개략사업비를 산출한바 다음 <표 31>과 같음.

< 표 31 > 피해예상지구별 개략소요사업비

구분	지구명	안별	연장 (m)	유속(m/s)	이용 현황	평가	투자 우선순위	소요사업비 (백만원)
낙동강	A-1	우안	196	1.77 ~ 2.76	고수부지	0.66	3	622
	C-1	우안	156	0.65 ~ 2.85	주거지 농경지	1.95	1	540
	D-1	좌안	463	1.73 ~ 2.98	자전거도로	1.69	2	1,176
	D-3	좌안	124	0.76 ~ 2.54	자전거도로	0.45	4	257
	E-1	좌안	100	1.17 ~ 2.49	고수부지	0.34	5	422
	계		1,039					3,017

나. 피해예상지구 전 구간

피해예상지구 전 구간에 대한 각 지구별 개략사업비를 산출한바 다음 <표 32>와 같음.

< 표 32 > 피해예상지구별 개략소요사업비

구분	지구명	안별	연장 (m)	유속(m/s)	평가	투자 우선순위	소요사업비 (백만원)
낙동강	A	우안	2,530	0.15 ~ 2.83	1.74	4	8,642
	B	좌안	2,757	0.72 ~ 3.39	1.97	3	9,418
	C	우안	5,210	0.05 ~ 2.85	2.13	2	17,797
	D	좌안	1,352	1.66 ~ 2.98	2.67	1	4,618
	E	좌안	2,670	0.16 ~ 2.68	0.80	5	9,121
	계		14,519				49,596

제5장 분석결과

제1절 피해원인 및 유형

시범예제구간의 지형을 분석해 보면 지형 형상에 따라 만곡이 발전된 전형적인 자연하천 형상을 유지하고 있음. 특히 낙동강 하구부에 속한 이 지역은 상류에 설치된 댐에서의 홍수조절 방류 결과에 따라 수리적 변화가 크게 발생되는 구간임.

중, 소규모 하천과 달리 대하천의 경우 관리수위나 상시수위 상태(담수호 형태)에서 물결에 따라 저수부 비탈면 침식이 꾸준하게 진행되고 대홍수가 발생하게 되면 홍수위와 연계하여 피해가 가중됨. 또한 자연하천을 인위적 굴착이나 성토부 또는 시설물(산책로, 자전거길, 기타)을 설치하는 지점은 토사부와 접속부 지점에서 이질적인 조도차이에 따라 세굴이나 침식이 발생함.

본 낙동강 시범예제구간에서도 상시수위에 따른 물결 파랑 만곡부 한계 유속 발생지점 등에서 특히 세굴과 침식이 발생된 것으로 판단됨.

제2절 수리분석

본 시범예제구간에 2차원 및 3차원 시뮬레이션 결과와 기본계획에서 분석된 결과를 분석해 잠정 결정된 지구별 범위를 나타내면 다음<표 33>과 같음.

< 표 33 > 지구별 수리분석 결과

하천	지구명	대표 횡단	누가 거리 (m)	수리특성							비고
				유속(m/s)			홍수위(EL.m)				
				평균	좌안	우안	기본 계획	평균	좌안	우안	
낙동강	A	No.93	39,400	2.53	3.04	2.02	9.83	9.54	9.48	9.59	
	B	No.91	38,300	1.23	2.38	0.07	9.70	9.42	9.29	9.54	
	C, D	No.80	32,830	2.28	2.27	2.29	8.99	8.94	8.90	8.97	
	E	No.74	29,740	1.88	2.79	0.96	8.53	8.47	8.51	8.43	

수리분석 결과에 나타난 결과를 분석해 보면 낙동강 하천단면을 기준으로 유속 및 수위평균을 나타내는 기본계획과 금회 분석된 2차원 및 3차원 시뮬레이션의 좌안 및 우안의 차이가 발생하고 있는 것을 보면 수리적 특성이 다르다는 사실을 알 수 있음. 따라서 보강 방법 또한 수리적 변화가 심하게 발생된 구간을 중심으로 시공이 선행되어야 할 것으로 판단됨.

제3절 침식 및 유실방지 대안

A지구는 우안 만곡 시작부의 지점 둔치 저수로부에 사석공법을 L=196m 시공하여 둔치를 보호하고, 하류부의 폭 넓게 발달된 둔치 비탈면은 현 상태와 같이 자연 비탈면으로 조성하고, B지구도 A지구와 마찬가지로 둔치가 시작되는 지점 L=689m 구간만 사석공법으로 보강하고, 하류부의 둔치가 발달된 구간은 현 상태와 같이 자연 비탈면을 조성함. 또한 C지구는 시점부 주거지와 농경지에 연결된 둔치 시작부 L=156m 구간만 사석공법으로 보강하고 A, B지구와 마찬가지로 현 상태와 같이 자연사면을 조성하고, D지구는 경부선 철도 및 산지부가 발달되어 있고 급경사 및 수심이 깊은 지역으로 수중 공사가 가능한 sheet-pile공법 및 사석 또는 개비온 옹벽 돌망태를 육상에서 가공 또는 일정규모 바지선과 크레인 및 잠수부를 동원한 공사 기법 등을 도입하여 침식 및 세굴 부위만 보강함. E지구도 둔치가 시작되는 시점부만 A, B, C지구와 동일한 공법으로 보강하고, 본 낙동강 구간은 상시 담수심이 유지되는 관계로 수중 공사가 가능하여야 하므로 공법도입에 한계가 있음. 따라서 둔치가 발달된 저수부 비탈면 전 구간을 보강할 경우에는 보다 세밀한 조사, 분석을 통하여 결정되어야 함.

제4절 사업 효과

일반적으로 실무에서 하천공사를 위한 수리 분석 조건은 1차원(HEC-RAS) 분석을 시행하거나 주요 구조물 또는 만곡부, 합류부 등에 국한하여 2차원 수치 Modeling이나 모형실험을 통한 결과를 이용하여 대책공법을 적용하고 있음.

본 시범예제에 적용된 3차원 시뮬레이션 방법은 기존의 국한된 일부 구간에 한하여 국부적으로 시행해 왔던 결과에 비하여 광범위한 구간을 대상으로 3차원 분석을 통한 보다 정확하고 세밀한 결과를 이용하여 보다 근본적이고 용이한 공법 선정이 가능함.

본 시범예제 구간도 당초 3D SIMULATION OPERATION 뿐만 아니라 실제 SOC사업에 적용할 수 있도록 분석결과를 이용하여 조사 및 공법선정에 의한 정밀한 설계가 연속적으로 시행된다면 경제적, 시간적 단축 및 절감효과와 환경적인 측면에서의 접목이 가능할 것임.

첨부 1-2

- 문발재 수제 시공 3D 시뮬레이션

시범 예제 -

제 1 장 시범예제의 개요

제1절 시범예제의 목적

2011년 7월 26일부터 7월 29일까지 나흘간 약 600mm(서울기상관측소 기준)의 호우로 문발제 일부 구간에서 제방유실 등의 피해가 발생하였음. 피해 발생 구간은 하상 퇴적 등의 영향으로 유심부에 거대한 사주가 형성되어 있고, 수충부 직하류부에 위치하여 세굴에 취약하며, 감조구간으로 조차에 의한 수위변동이 크고 급격한 수위의 상승과 하강을 반복하는 구간임. 따라서 국가하천인 한강 하류 문발제 구간의 홍수피해 저감을 도모하기 위하여 피해 원인에 대한 분석과 적합한 대책마련으로 수제설치를 결정하였으며, 수제 설치 시 하천의 흐름영향을 검토하기 위하여 시공순서에 따른 설치기수별 흐름을 검토하여 시공 시 합리적이고 안정적인 시공의 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있음.

제 2절 시범예제의 범위

- 문발제 보강공사 실시설계 구간: 파주시 교하면 문발리 일원(L = 5.0 km)
- 내용

- 계획빈도 홍수시(200년 빈도), 지배유량시, 역류시(만조위) 수제 시공순서에 따른 수제 설치 기수별 흐름영향 검토
- 계획빈도 홍수시(200년 빈도), 지배유량시, 역류시(만조위) 수제 시공순서에 따른 수제 설치 기수별 흐름영향에 따른 수충부 흐름검토



< 그림 1 > 시범예제의 위치

제 2 장 유체 시뮬레이션

제1절 개요

1. 배경

최근 집중호우 및 태풍으로 하천의 홍수가 발생하여 제방유실 및 구조물 파손 등의 피해가 발생하고, 피해범위를 예측할 수 없음. 또한 예방사업비 보다 복구비가 많은 비효율적 투자로 홍수 피해 및 복구비가 증가하고 있음.

2. 목적

공학기술과 IT기술, 최첨단 유체영상기술을 융합한 3D 유체시뮬레이션 시스템을 이용하여 가상현실 공간에서 실시간으로 (도로·철도 위험지구, 산사태, 하천의 홍수, 도심지침수, 츠나미 발생 등) 피해상황을 연출하여 피해규모 및 범위를 사전에 효과적으로 예방하기 위한 개선대책을 수립하고, 경제성과 타당성을 분석하여 사업가치 향상을 위해 최적의 대안을 창출하여 예산절감 및 기능향상을 도모하며 안전과 품질을 확보하는데 목적이 있음.

제2절 유체 시뮬레이션 시범예제 수행계획

1. 유체 시뮬레이션 수행절차

자료수집 및 모델링	1. 시범예제구간의 현황 및 기하학적, 수리학적 자료수집 2. 시범예제구간 내 구조물 자료수집 3. 시범예제구간의 지형모델링 4. 구조물 모델링 5. 모델링 보정작업 6. 유체시뮬레이션 범위설정
⇩	
유체해석 및 3D 시뮬레이션	1. 해당지역의 수문조건설정 2. 유체흐름에 대한 초기 및 경계조건설정 3. 유체해석 및 유체시뮬레이션 수행 4. 형상화 작업 5. 렌더링 및 후처리작업
⇩	
결과 및 output 도출	유체시뮬레이션 보고서

< 그림 2 > 유체시뮬레이션 수행절차

2. 유체 시뮬레이션 분석방법

가. 자료 수집을 통해 기본적으로 수치지형 및 구조물 관련 DATA를 이용하여 Modeling 함.

나. 유체의 흐름을 연산 및 해석하기 위한 초기조건 및 경계조건을 설정하여 시뮬레이션을 수행함.

다. 시뮬레이션에 의해 도출된 DATA를 기준으로 유체에 대한 형상화 작업을 수행함.

라. Rendering 및 후처리 작업을 수행하여 성과물을 도출함.

3. 유체 시뮬레이션 설정조건

< 표 1 > 유체 시뮬레이션 설정조건

구 분	분 류	설 명
수 문 조 건	강 우 조 건	설계빈도별 강우량, 기상청관측 이래 1시간 및 일 최대강우량, 태풍발생시 강우량
	강우 지속시간	확률강우, 실강우
	홍 수 량	재현기간별 홍수량, 기왕최대 홍수량
기하구조 조건	하천횡단	기본 및 실시설계에서 측정된 횡단 및 GIS DATA
	하천수위	평수위, 홍수위, 갈수위, 저수위, 기왕최대 흔적수위
	시 설 물	제방, 호완, 횡단교량, 취입보, 낙차공, 수제, 보, 댐 등..
기 타 조 건	유 역 현 황	

4. 유체 시뮬레이션 지배방정식

가. 비압축성 유체 운동해석을 위한 Navier-Stokes 방정식

3차원 유체시뮬레이션을 구현하기 위한 지배방정식으로 다음과 같은 단상 혹은 다상으로 존재하는 점성을 가진 비압축성 유체 운동의 연속방정식 Navier-Stokes 방정식을 고려해야 함.

$$\rho\left(\frac{D\vec{u}}{Dt}\right) = -\nabla P + \nu\nabla^2\vec{u} + \rho\vec{g}$$

여기서 u는 속도, p는 압력, ρ는 밀도, ν는 점성계수, g는 중력과 같은 외력을 뜻함. 또한 이번에 적용할 기술에서 다루는 유체는 비압축성 유체이므로 시간에 대한 밀도의 변화율은 0이 됨. 즉, $\frac{D\rho}{Dt}=0$임.

위 식에서 우항의 각 요소들은 각각 압력($-\nabla p$), 점성($v\nabla^2\mu$), 그리고 외력(ρg)으로 구성되어 각 입자 i에 대한 F_i에 대해 정리하면 다음과 같음.

$$F_i = f_i^{pressure} + f_i^{viscosity} + f_i^{external}$$

(1) 입자 이동에 대한 계산 이론인 SPH 기법 (Smoothed Particle Hydrodynamics)

각각의 입자에 대하여 밀도에 관한 함수는 $\rho_i = \sum_j m_j W(r_i - r_j,\ h)$이며, 유효반경 h, 입자간 간격 r에 대한 커널함수 $W(r,\ h)$는 다음과 같이 적용함.

$$W(r,\ h) = \frac{315}{64\pi h^9}\begin{cases}(h^2 - \|r\|^2)^3 & 0 \le \|r\| \le h \\ 0 & \|r\| > h\end{cases}$$

위에서 구한 밀도로 다음 이상기체 방정식에 의해 압력을 구할 수 있음.

$p = k(\rho - \rho_0)$, k : 기체 상수, ρ_0 : 초기 밀도

각각의 입자에 대하여 압력에 관한 함수는 $f_i^{pressure} = -\sum_{j \neq i} \frac{p_i + p_j}{2} \frac{m_j}{\rho_j} \nabla W(r_i - r_j,\ h)$이며, 유효반경 h, 입자간 간격 r에 대한 커널함수는 다음과 같음.

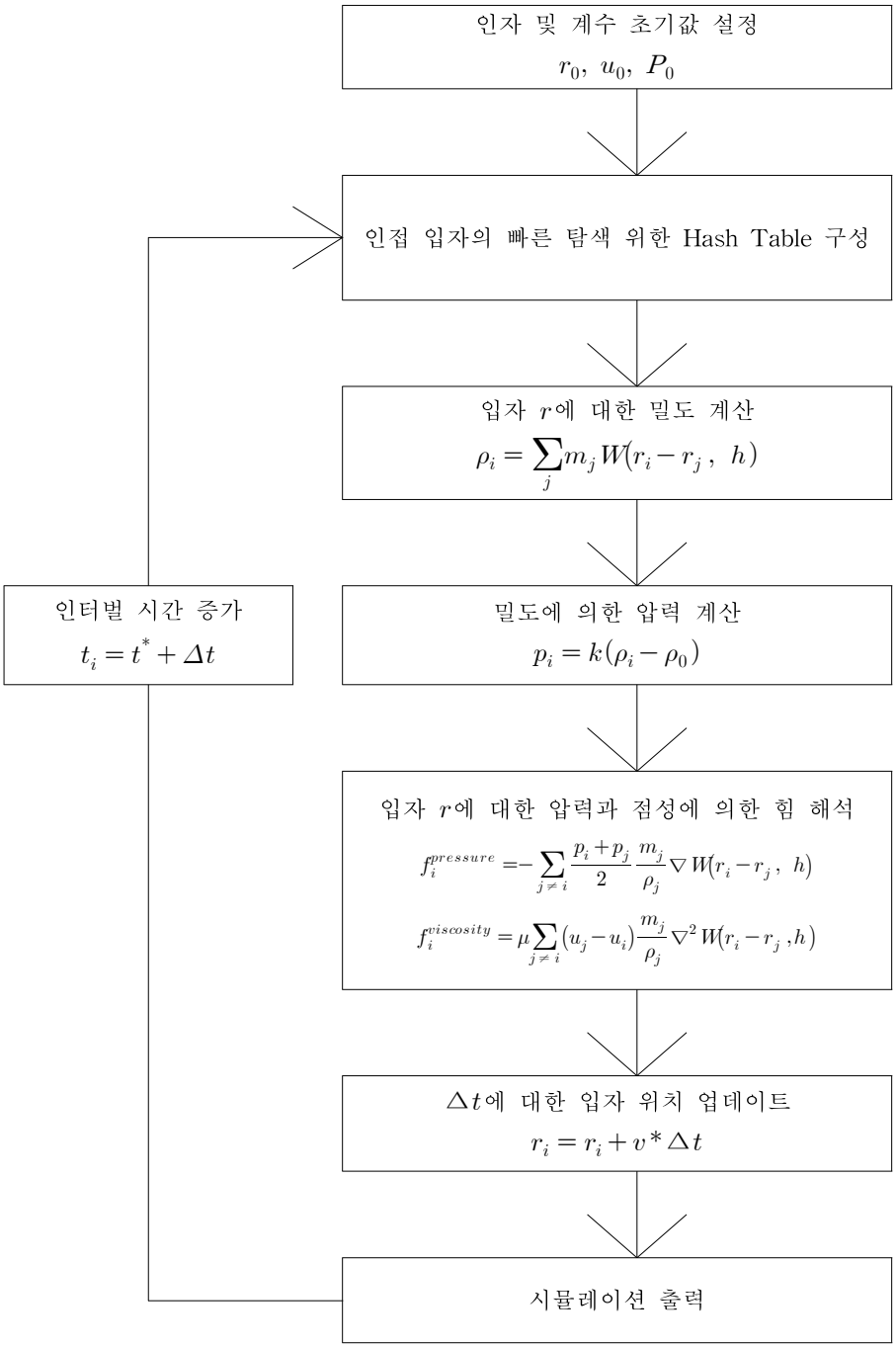
$$\nabla W(r,\ h) = -\frac{45}{\pi h^6} \frac{r}{\|r\|}(h - \|r\|)^2$$

각각의 입자에 대하여 점성에 관한 함수는 $f_i^{viscosity} = \mu \sum_{j \neq i} (u_j - u_i) \frac{m_j}{\rho_j} \nabla^2 W(r_i - r_j, h)$이며, 유효반경 h, 입자간 간격 r에 대한 커널함수는 다음과 같음.

$$\nabla^2 W(r,\ h) = \frac{45}{\pi h^6}(h - \|r\|)$$

입자 하나에 대하여 유효 범위 내에 있는 다른 입자들과의 압력의 Gradient와 점성, 압력에 대한 Poisson 방정식을 이용하여 변화된 속도와 위치의 데이터를 구하고 각각 구해진 데이터의 합으로 정해진 단위 시간동안의 속도와 위치의 변화를 표현함.

(2) 알고리즘 구현 블록다이어그램



< 그림 3 > 알고리즘 구현 블록 다이어그램

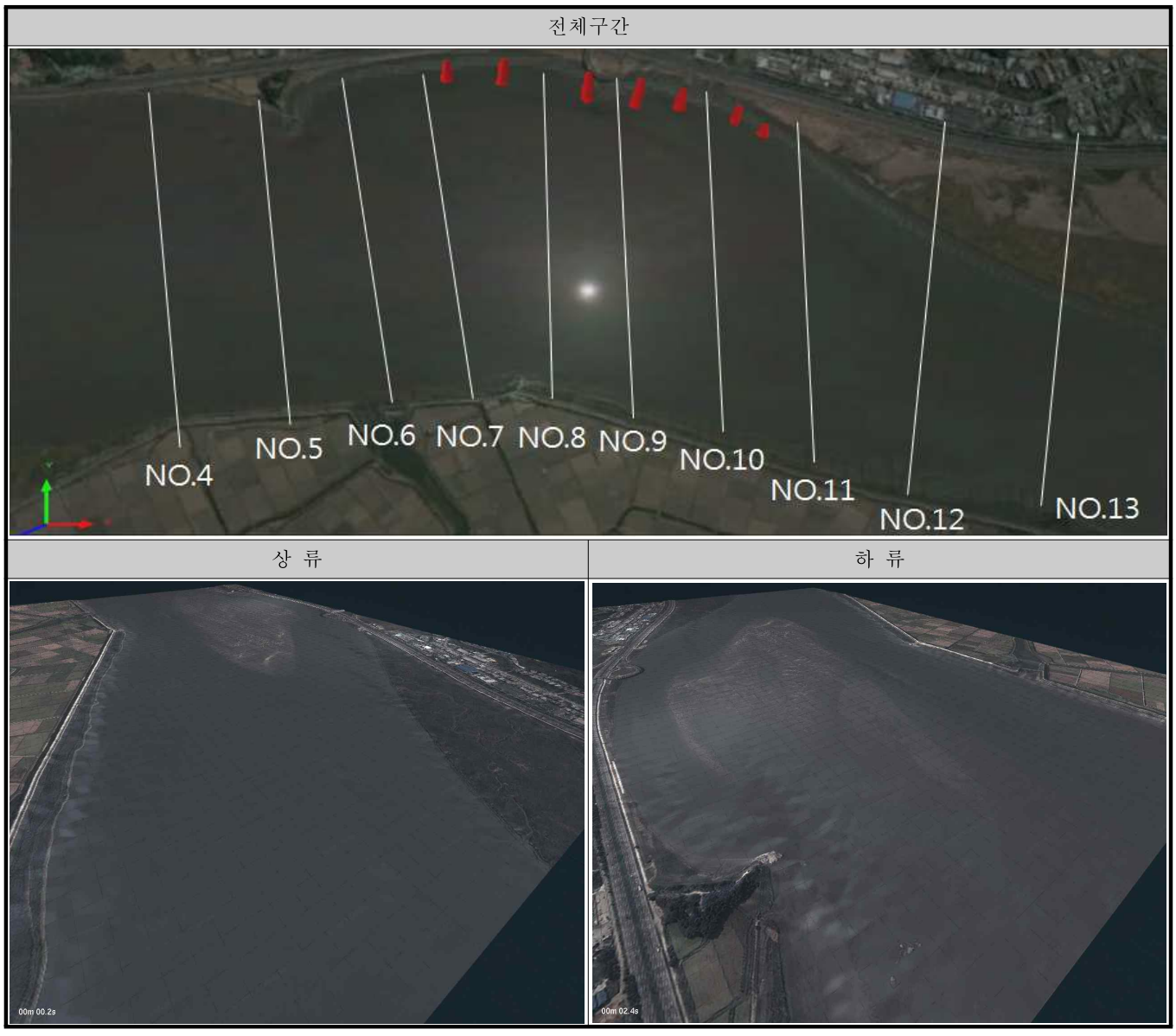
제3절 유체 시뮬레이션의 구성

문발제 보강공사 흐름해석 구간에 대한 피해원인 분석을 위하여 현재 상태에 대한 흐름해석을 수행하였음. 상류 유입량조건은 계획홍수량(200년 빈도), 지배유량, 만조유량(역류시)이고, 지형 및 구조물조건은 현재 상태, 수제설치에 대하여 수행하였음.

1. 모형 구축

가. 지형 구성

수치해석을 수행하기 위해 대상구간을 선정하고 지형자료를 분석하였음. 유체 시뮬레이션을 수행하기 위해 금회 측량성과, 수치지형도, 시범예제 대상구간의 평면도와 횡단면도를 이용하여 Auto CAD로 3D로 Mesh를 생성한 후, 가로세로 10m간격의 Grid를 생성하여 모형의 지형자료로 사용하였음.



< 그림 4 > 지형자료

나. 시범예제 범위 대상 구간

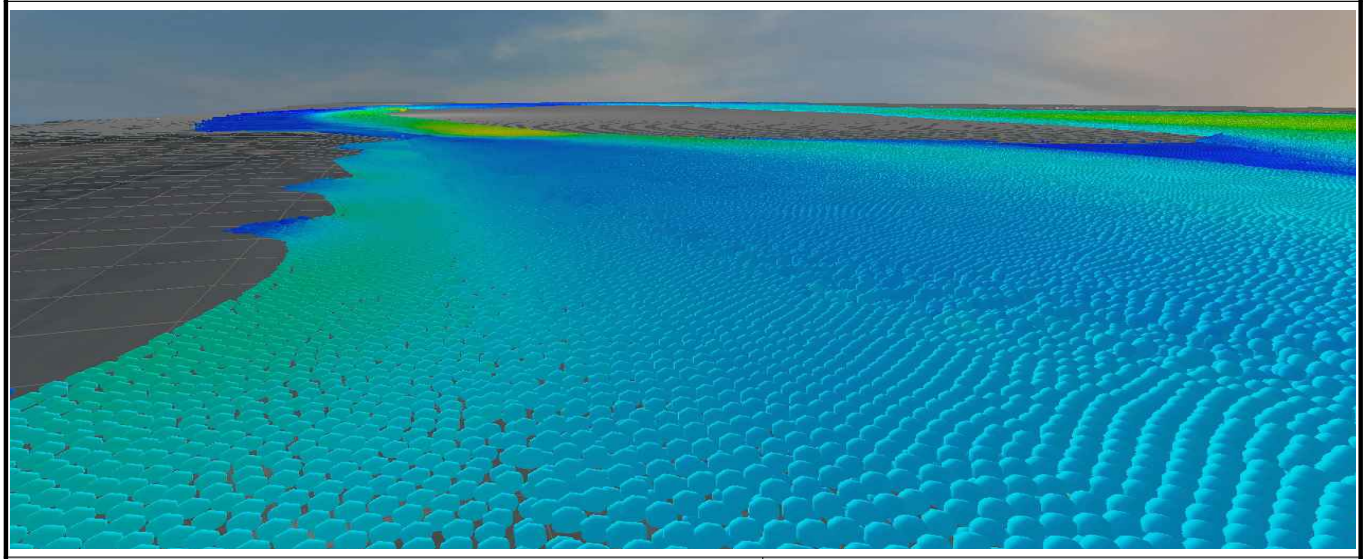
수치해석을 수행하기 위한 시범예제범위의 대상구간을 선정하여 하천의 흐름을 분석하였으며, 시범예제범위의 대상구간을 2가지로 분류하였으며, 다음과 같음.

< 표 2 > 시범예제 범위 대상 구간

구 분		시 점	종 점
현상태 (계획홍수량, 지배유량, 역류시)		NO.6	NO.12
수제설치효과검토 (계획홍수량, 지배유량, 역류시)	수제 5호기만 설치 시		
	수제 5, 6호기만 설치 시		
	수제 5, 6, 7호기만 설치 시		
	수제 5, 6, 7호기만 설치 시		

현 상태 및 수제 설치 시 해석범위는 NO.6~NO.12이고, 이에 적절한 입자크기를 0.5m로 설정하였으며, 이유는 다음과 같음. FSS는 유체역학에서 유용한 Navier-Stokes Equation을 지배 방정식으로 사용하여 수학적 해를 구하지만, 해를 구하는 것이 어려워 수치해석적 방법으로 근사해를 구하고 있음. 따라서 입자의 개수가 많을수록 근사해를 구하는 시간이 길어져, 유역 면적대비 적절한 입자크기를 선정함으로써 해를 구하는 속도를 향상 시킬 수 있으며, 입자의 크기가 특정크기 이하에서는 해석 결과값의 차이가 거의 없어, 해석시간대비 적정한 입자크기를 설정하였음.

해석시 사용된 파티클 (입자크기 0.5m)



구 분		입자크기
현상태 (계획홍수량, 지배유량, 역류시)		0.5m
수제설치효과검토 (계획홍수량, 지배유량, 역류시)	수제 5호기만 설치 시	
	수제 5, 6호기만 설치 시	
	수제 5, 6, 7호기만 설치 시	
	수제 5, 6, 7호기만 설치 시	

< 그림 5 > 입자크기 설정

2. 경계조건 및 매개변수 입력

유체 시뮬레이션을 수행하기 위한 경계조건 파일에는 상·하류단의 유량 및 수위조건이 필요함.



< 그림 6 > 경계 및 초기 조건 입력

가. 경계조건 (현상태 및 수제설치시)

본 시범예제에서는 상류단 경계조건으로는 유량을, 하류단 경계조건으로는 수위를 부여하였음. 계획빈도 홍수시는 상류 경계조건으로는 한강 하천정비기본계획(보완) (팔당댐~하구) (2002.12)에서 제시된 200년 빈도 홍수량을, 하류 경계조건으로는 (No. 4) 지점의 200년 빈도 홍수위 조건을 부여하였음. 평상시는 유입유량은 한강 하천정비기본계획(보완) (팔당댐~하구) (2002.12)의 유황분석 결과를 이용하였고, 이 때 하류부 수위조건으로는 공릉천 하류의 6 ~ 8월 실측데이터 중 저조위의 값을 평균하여 EL.1.57m를 적용하였음. 각 Case별 경계조건은 아래 표와 같음.

< 표 3 > Case별 경계조건

구분		경계조건	횡단 No.
계획빈도 홍수시 (200년 빈도)	상류(홍수량)	37,000.0㎥/s	No. 12
	하류(홍수위)	EL. 7.38m	No. 6
평상시 (지배유량시)	상류(지배유량)	11,000.0㎥/s	No. 12
	하류(저조위)	EL. 2.67m	No. 6
평상시 (만조시)	상류(만조위)	EL. 1.57m	No. 12
	하류(만조유량)	13,000.0 ㎥/s	No. 6

나. 입력자료 및 물성자료

수치모형의 마지막 입력자료 구성은 계산영역 내 유체나 구조물들의 물성을 결정해 주어야 함. 일반적으로 수리학적 가정에 기초한 1, 2차원 계산의 경우 사용자가 하도의 조도계수나 확산계수 등을 설정해 주어야 하지만, FSS와 같이 3차원 Navier-Stokes 방정식을 해석하는 경우에는 이와 같은 종류의 입력 자료가 이론 자체에 포함되어 있어 입력 자료가 상대적으로 단순함. FSS의 유동해석에서 사용되는 입력 물성치들은 유체의 밀도, 점성, 중력가속도 및 구조물의 조도 등이 있음.

< 표 4 > 수치모형의 압력 물성치

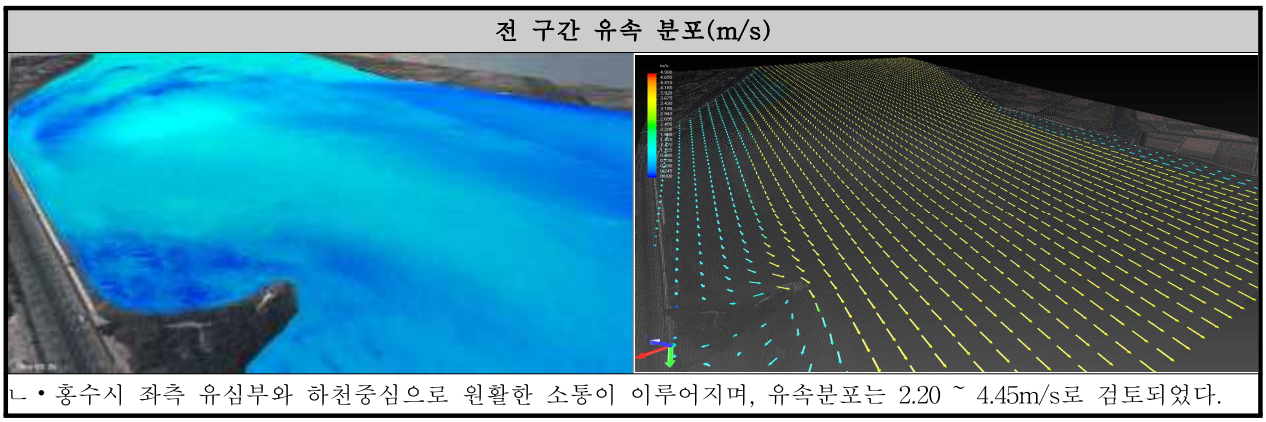
수치모형의 입력 물성치		
물리량	**입력값**	**설 명**
ρ	999.999kg/㎥	물의 밀도
ν	0.001Pa/sec	물의 동점도
g	9.81m/sec²	중력가속도

조도계수는 하천 내 흐르는 물에 대한 마찰저항을 나타내는 수리학적인 계수로서 일반적으로 Manning의 조도계수를 의미함. Manning의 조도계수에 영향을 주는 요소들로서는 수로의 표면조도, 하천의 식물, 수로단면의 불규칙성, 수로법선, 침전 및 세굴, 장애물, 수로의 크기와 형상, 수위 및 유량, 계절의 변화, 부유물질 및 수류물질 등 다양함. 따라서 본 시범예제에서는 한강하류부 기 수립된 하천정비기본계획과 금회 조사결과를 참고하여 조도계수를 결정하였음. 수치해석 수행을 위해 적용한 Manning의 조도계수 n값은 홍수시 한강본류에 적용된 유량별 조도계수를 참고하여 0.020을, 평상시 n값은 금회 조사결과 0.02 ~ 0.023의 평균값인 0.0215를 적용하였음.

제4절 현재상태 흐름분석

1. 홍수시 흐름분석

문발제 구간의 피해원인을 분석하기 위하여 현재상태에서 계획홍수량(200년빈도)조건으로 하천 흐름을 분석하였음.

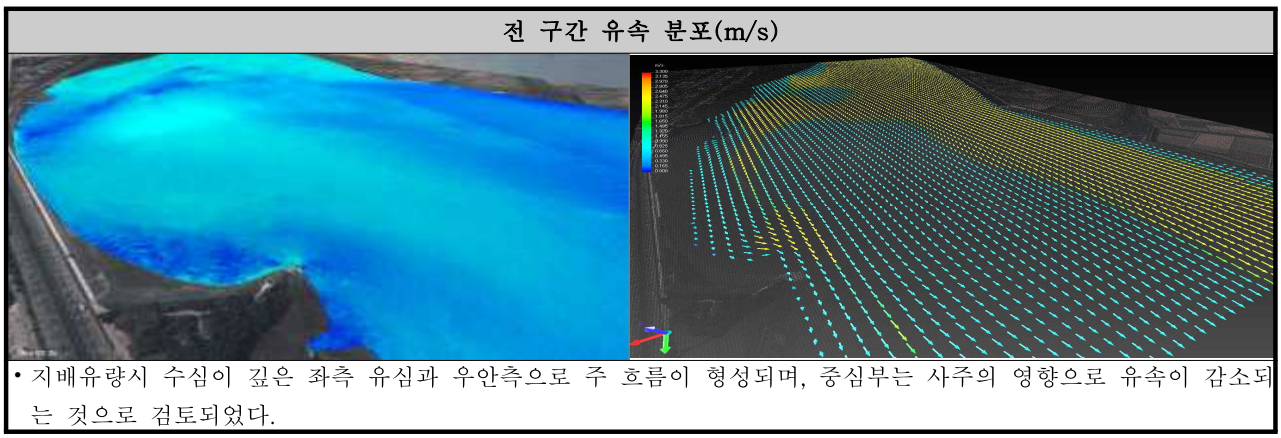


< 그림 7 > 하천의 흐름

2. 평상시 흐름분석

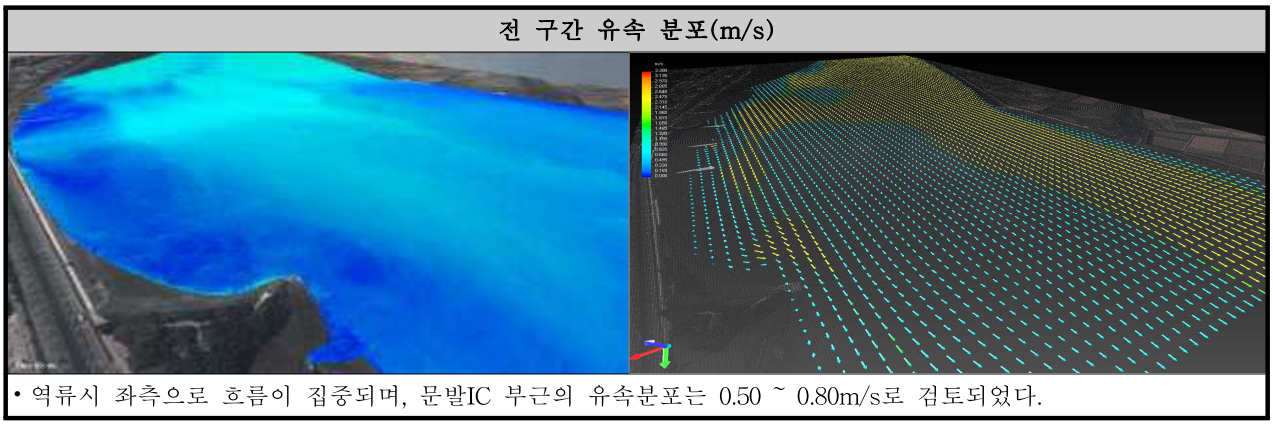
문발제 구간의 피해원인을 분석하기 위하여 현재상태에서 만조위시, 지배유량시 조건으로 하천 흐름을 분석하였음.

가. 지배유량시 흐름특성



< 그림 8 > 지배유량시 하천의 흐름

나. 만조위시 흐름특성



< 그림 9 > 만조위시 하천의 흐름

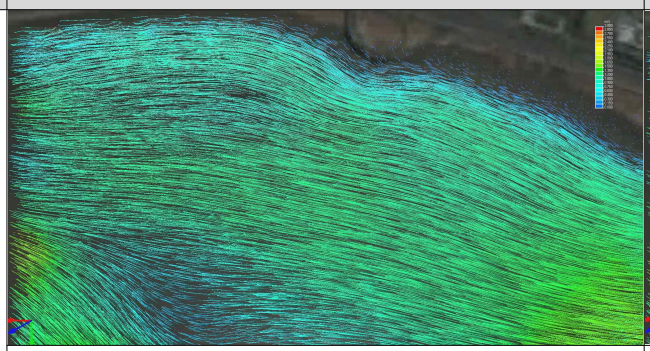
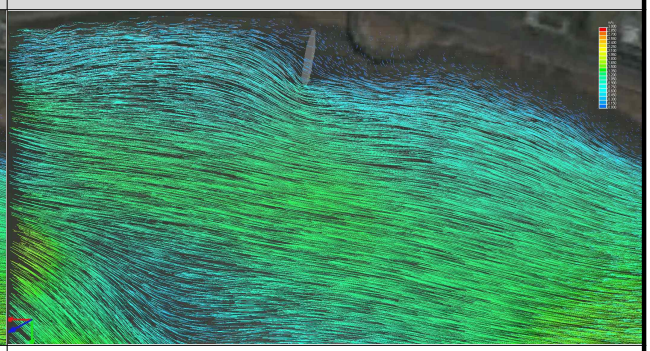
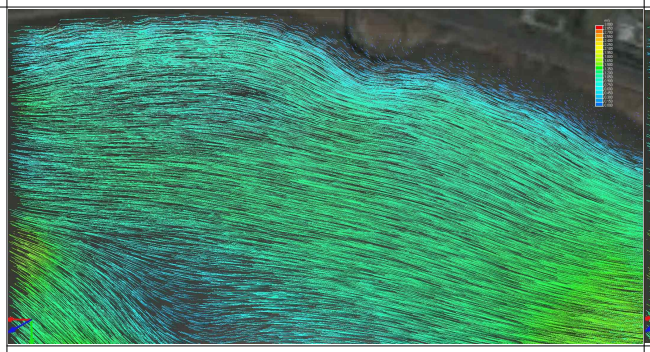
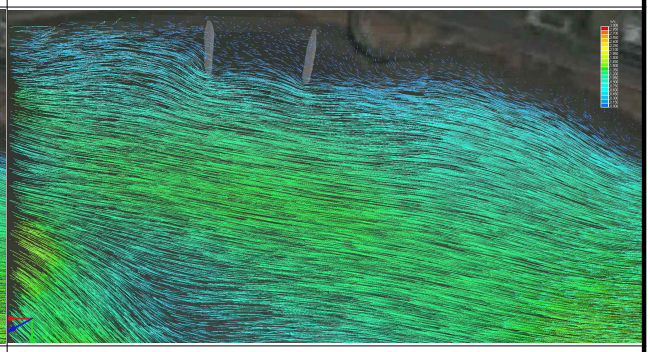
제5절 수제 설치시 흐름분석

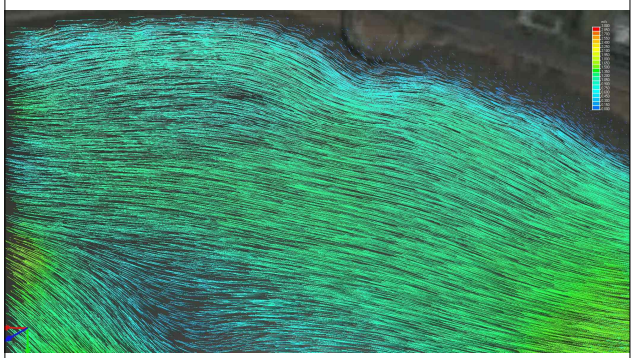
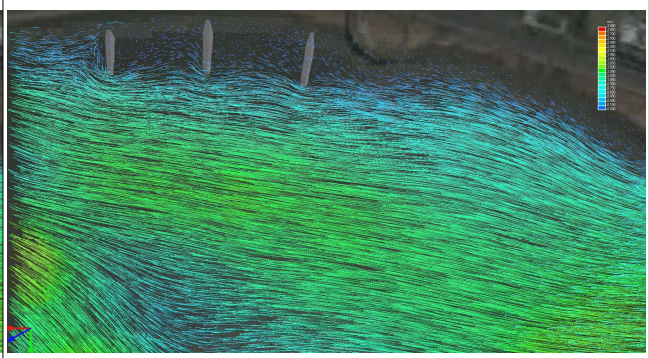
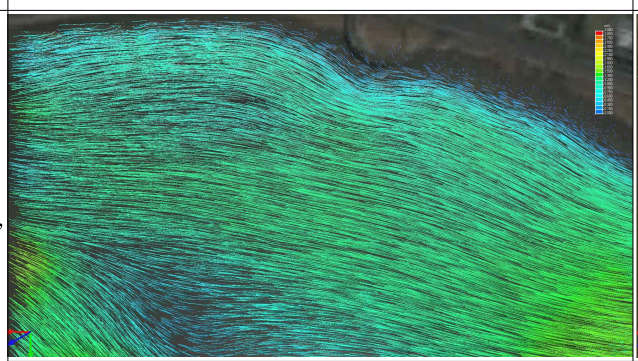
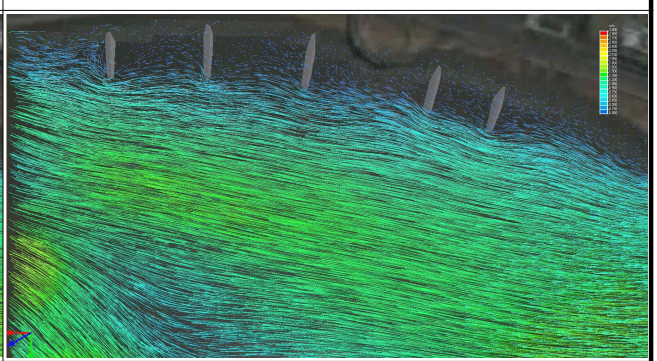
문발제의 보강대책 및 하안 근방에서 발생하는 침식과 하상세굴에 대비한 합리적인 대책과 공법으로 수제설치를 결정하였음. 또한 현재 상태 대비 수제의 시공순서에 따른 설치기수별 흐름을 분석하여, 시공 시 합리적이고 안정적인 시공을 위하여 문발제 구간의 안정성을 검토하였음. 경계조건은 계획빈도 홍수시, 지배유량시, 만조시이며, 수제설치 조건은 아래와 같음.

< 표 5 > 수제설치 조건

구 분	수제 설치 조건	
	길이(m)	높이(m)
수제 1기	60	E.L 3.4
수제 2기	105	E.L 2.9
수제 3기	125	E.L 2.4
수제 4기	120	E.L 2.4
수제 5기	115	E.L 2.4
수제 6기	126	E.L 2.4
수제 7기	120	E.L 2.4

1. 계획빈도 홍수시 (200년빈도, 37,000.0m^3/s)

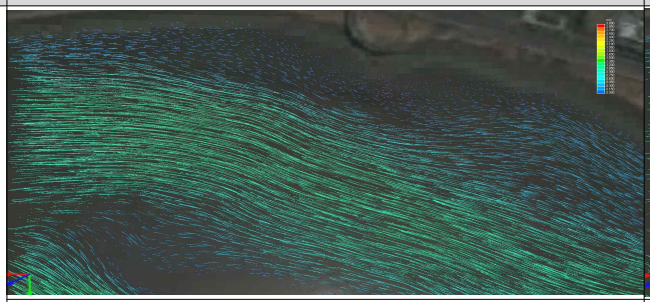
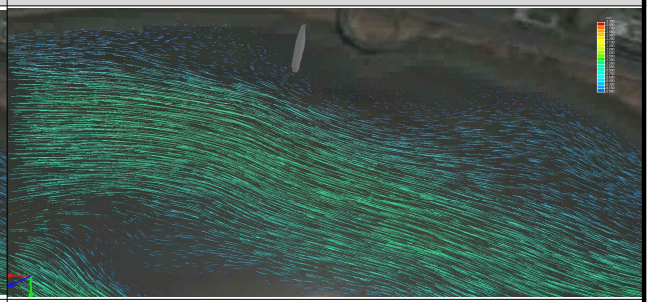
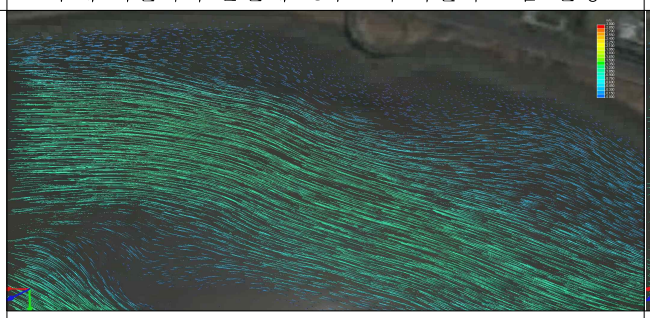
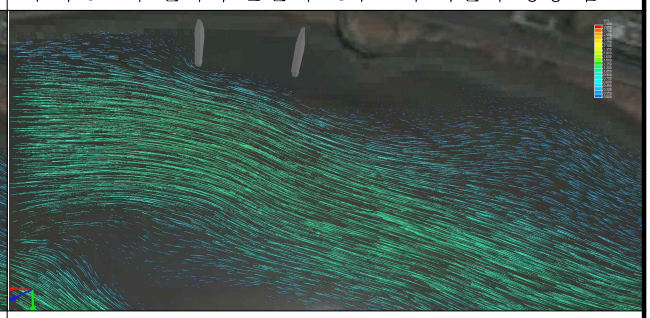
구분	현재상태	수제 설치
수제 5호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 5호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소
수제 5,6 호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 5,6호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소

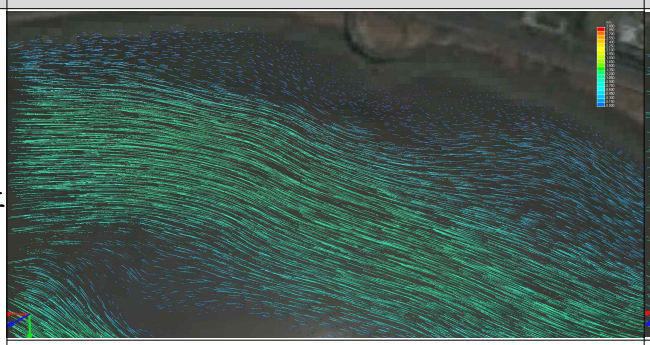
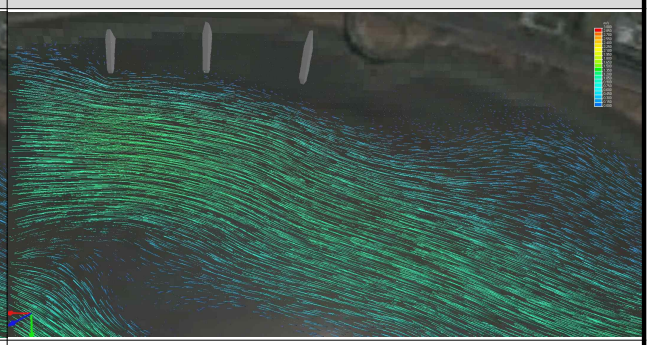
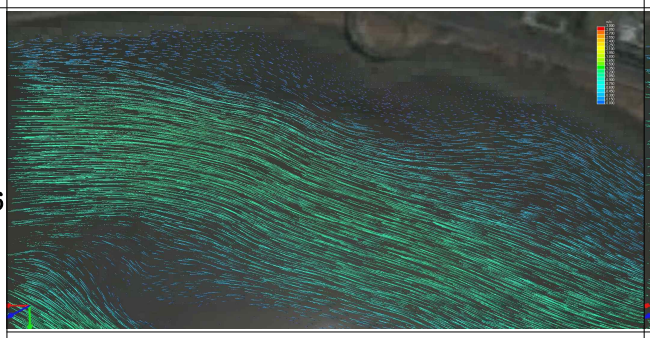
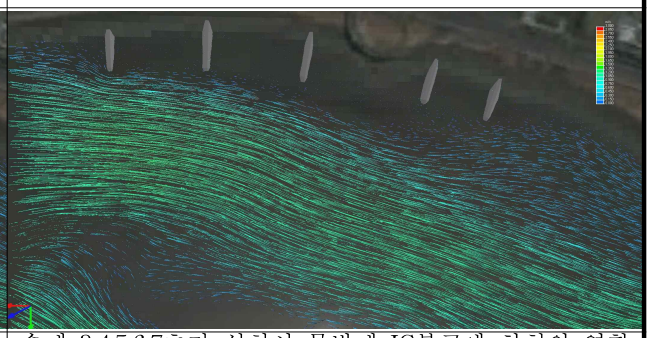
구분	현재상태	수제 설치
수제 5,6,7호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 5,6,7호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소
수제 3,4,5,6, 7호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 3,4,5,6,7호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소

< 그림 10 > 계획빈도 홍수 시 현상태(수제 미설치)와 수제 시공순서에 따른 하천 흐름 비교

계획빈도 홍수 시 현상태(수제 미설치)와 수제 시공순서에 따른 하천의 흐름을 비교하였을 때 수제를 설치할 때 마다 수제사이의 하천 흐름이 거의 없다는 것을 확인 할 수 있음. 또한 시공순서에 따른 수제설치로 문발IC부근으로 집중되는 흐름도 없으며, 홍수시 최대유속은 2.2m/s라는 것을 확인할 수 있음.

2. 지배유량시 (11,000m^3/s)

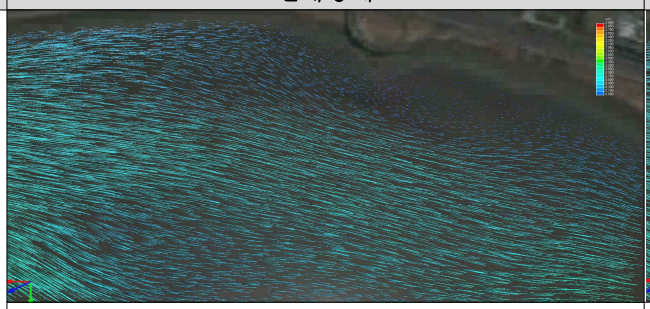
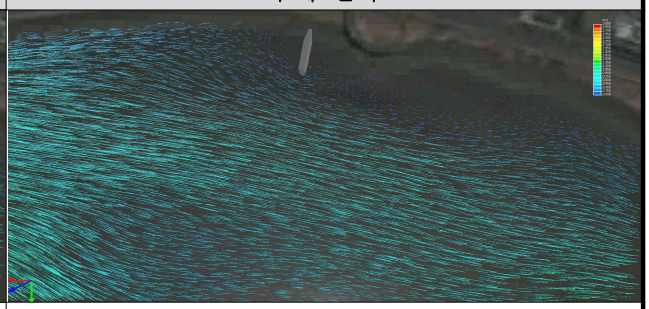
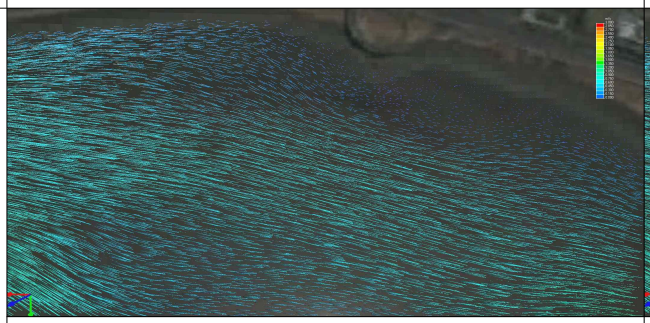
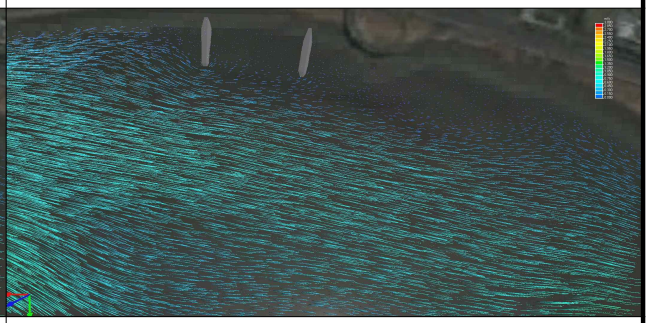
구분	현재상태	수제 설치
수제 5호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 5호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소
수제 5,6 호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 5,6호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소

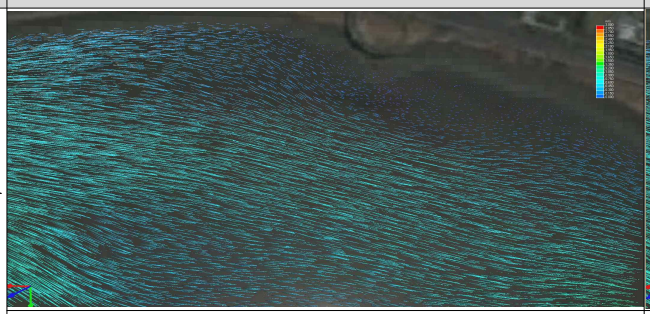
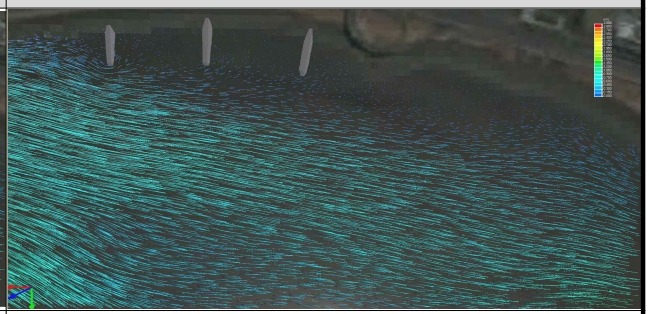
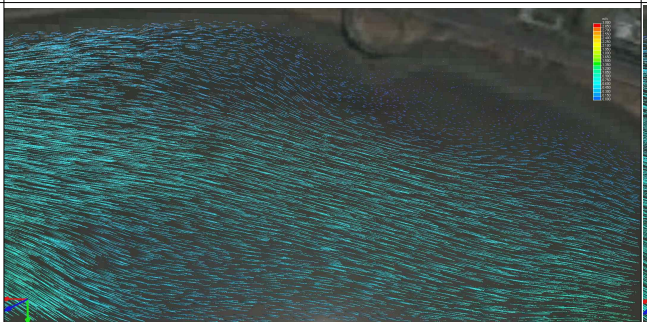
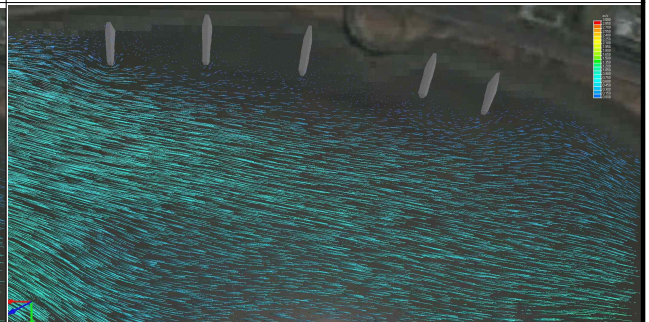
구분	현재상태	수제 설치
수제 5,6,7호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 5,6,7호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소
수제 3,4,5,6,7호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 3,4,5,6,7호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소

< 그림 11 >계획빈도 홍수 시 현상태와 수제 시공순서에 따른 하천의 흐름을 비교

계획빈도 홍수 시 현상태(수제 미설치)와 수제 시공순서에 따른 하천의 흐름을 비교하였을 때 수제를 설치할 때 마다 수제사이의 하천 흐름이 거의 없다는 것을 확인 할 수 있음. 또한 시공순서에 따른 수제설치로 문발IC부근으로 집중되는 흐름도 없으며, 홍수시 최대유속은 1.9m/s라는 것을 확인할 수 있음.

3. 평상시(만조위시) (13,000m^3/s)

구분	현재상태	수제 설치
수제 5호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 5호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소
수제 5,6 호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 5,6호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소

구분	현재상태	수제 설치
수제 5,6,7호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 5,6,7호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소
수제 3,4,5,6, 7호기		
	수제 미설치시 문발제 IC부근에 하천의 흐름 발생	수제 3,4,5,6,7호기 설치시 문발제 IC부근에 하천의 영향 감소

< 그림 12 > 계획빈도 홍수 시 현상태와 수제 시공순서에 따른 하천의 흐름을 비교

계획빈도 홍수 시 현상태(수제 미설치)와 수제 시공순서에 따른 하천의 흐름을 비교하였을 때 수제를 설치할 때 마다 수제사이의 하천 흐름이 거의 없다는 것을 확인 할 수 있음. 또한 시공순서에 따른 수제설치로 문발IC부근으로 집중되는 흐름도 없으며, 홍수시 최대유속은 1.1m/s라는 것 을 확인 할 수 있음.

제 3 장 결론 및 요약

본 시범예제에서는 한강(No.4~No.13)의 지리적인 형상 구현을 위해 3차원 CAD 를 사용하였으며, 수치계산은 범용 유동해석 프로그램인 FSS를 사용하였음. 이 프로그램은 Navier-Stokes의 원리를 이용하는 Software로서, SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)방식을 사용하여 복잡한 유동해석 문제를 쉽게 해결할 수 있는 해석 프로그램임. FSS의 SPH기법의 입자는 스스로 질량을 나타내기에 별도의 계산 없이 질량보존을 보장하고, 이웃 입자의 특정지점에서의 값은 모든 입자의 영향을 가중치를 두어 합함으로써 계산함. 따라서 타 프로그램보다 계산시간과 모형구성이 우수하고 쉬움. 또한 수제 설치 시 한강(No.6~No.12)에서의 각종 수리현상과 수리학적 거동을 검토하였음. 결론을 요약하면 다음과 같음.

1. 현재상태 : 계획빈도 홍수시

홍수시 좌측 유심부와 하천중심으로 원활한 소통이 이루어지며, 유속분포는 2.20 ~ 4.45m/s로 검토되었음.

2. 현재상태 : 지배유량시

지배유량시 수심이 깊은 좌측 유심과 우안측으로 주 흐름이 형성되며, 중심부는 사주의 영향으로 유속이 감소되는 것으로 검토되었음.

3. 현재상태 : 평상시(만조위시)

역류시 좌측으로 흐름이 집중되며, 문발IC 부근의 유속분포는 0.50 ~ 0.80m/s로 검토되었음.

가. 수제설치시 : 계획빈도 홍수시

계획빈도 홍수 시 현상태(수제 미설치)와 수제 시공순서에 따른 하천의 흐름을 비교하였을 때 수제를 설치할 때 마다 수제 사이의 하천 흐름이 거의 없다는 것을 확인 할 수 있음. 또한 시공순서에 따른 수제설치로 문발IC부근으로 집중되는 흐름도 없으며, 홍수시 최대유속은 2.2m/s라는 것을 확인 할 수 있음.

나. 수제설치시 : 지배유량시

계획빈도 홍수 시 현상태(수제 미설치)와 수제 시공순서에 따른 하천의 흐름을 비교하였을 때 수제를 설치할 때 마다 수제사이의 하천 흐름이 거의 없다는 것을 확인 할 수 있음. 또한 시공순서에 따른 수제설치로 문발IC부근으로 집중되는 흐름도 없으며, 홍수시 최대유속은 2.2m/s라는 것을 확인할 수 있음.

다. 수제설치시 : 만조위시

계획빈도 홍수 시 현상태(수제 미설치)와 수제 시공순서에 따른 하천의 흐름을 비교하였을 때 수제를 설치할 때 마다 수제 사이의 하천 흐름이 거의 없다는 것을 확인 할 수 있음. 또한 시공순서에 따른 수제설치로 문발IC부근으로 집중되는 흐름도 없으며, 홍수시 최대유속은 1.1m/s라는 것을 확인할 수 있음.

제 4 장 입 · 출력 자료

제1절 경계조건

1. 현재상태 및 수제설치시

// 유체물성

```
//////////////////////////////////////////////
**FLUD,1
// Key
// Fluid Color, Opacity, Unit Weight, Particle Size
// Fluid viscosity, Stiffness, Restitution Coeff., Friction Coeff.
1
100/150/255,0.5,9806.65,1.5
1,20,0,0.001
```

// 재료

```
//////////////////////////////////////////////
**MATL,3
// Key
// Name, Texture Styles
// Textuer, Color
// Restitution Coeff., Static Friction Coeff., Dynamic Friction Coeff.
1
벽,0
,150/150/150,
0.05,0.01,0.5
//----------------------------------------------
2
수제,0
,160/160/164,
0.05,0.01,0.5
//----------------------------------------------
3
바닥,0
,0/255/0,
0,0.001,0.5
```

// 출력값 설정

```
//////////////////////////////////////////////
**OUTS,1
```

// Key
// Trajectory Precision, Trajectory Time, FlowRateTime
1
6,120,120

// 랜더링설정
//
**REND,1
// Key
// - Option : Sight Check, Title Check, Position Title, Title Name, Frame Check, Position Frame, Time Check, Position Time, Particle Check, Particle Position, Background Type, Background Check, Ref Background Type, Mapgird Check, Mapgrid Interval, Mapgrid Color, Rain Color, Auto Position Check
// Rain Position min(X), Rain Position min(Y), Rain Position min(Z), Rain Velocity min(X), Rain Velocity min(Y), Rain Velocity min(Z), Rain Width(Min), Rain Energy(Min)
// Rain Position Max(X), Rain Position Max(Y), Rain Position Max(Z), Rain Velocity Max(X), Rain Velocity Max(Y), Rain Velocity Max(Z), Rain Width(Max), Rain Energy(Max)
// - Part : Type, FludRadius Check, Radius, Max(X), Min(X), Max(Y), Min(Y), Max(Z), Min(Z), Rendering Radius, Iso Value, MaxVerts, Grid Lenth, 2Multi(X), 2Multi(Y), 2Multi(Z), Sigma Check, Sigma, Offset Position(X), Offset Position(Y), Offset Position(Z), Boundary Auto chk, Rendering Auto chk, Offset Auto chk
// - Shallow: Map Image Check, Map Image Type, Map Level Min, Map Level Max, Map Level Contour, Map Line Check, Map Line Type, Map Line Level
// - Light : Size
// Name, Light Intensity, Color, Opacity, Vecter(X), Vecter(Y), Vecter(Z)
// - Out : Position Output Check, Position Output Type, Grid Output Check, Grid Output Type, Grid Line Check, Grid Line Type, Grid Line Color, Screen Output Check, Screen Output Type, VeloContour Type, Velocity Min, Velocity Max, Velocity Contour, Velocity Contour Min, Velocity Contour Max, Velocity Contour Type
// Shallow Data Check, Shallow Data Type, Shallow Velocity Min, Shallow Velocity Max, Shallow Velocity Contour, Shallow Vecter Check, Shallow Vecter Type, Shallow Velocity Scale, Shallow Text Value, Font Size, Trace Type, Trace Width
// - Legend : Position Type, Position Size, Font Name, Font Size, Font Color, Font Underline, Fint StrikOut, Font Itlic, Font Bold
1
FALSE,FALSE,0,,FALSE,8,TRUE,2,FALSE,2,Sky,FALSE,BlueSky,FALSE,1,0/255/0,180/180/180,TRUE
0,0,0,-0.1,-0.1,10,0.1,0.1
0,0,0,0.1,0.1,50,1.5,0.9
0,TRUE,0.05,1080,-1680,1180,-1180,20,-15,2.25,1e-007,10000000,1.5,0,0,0,FALSE,1,0,0,0,FALSE,FALSE,FALSE

FALSE,0,10,-10,0,FALSE,0,0
2
Light01,1,250/250/250,1,1,0.2,-0.707,-0.6
Light02,1,200/200/200,1,1,-0.2,0.707,-0.6
FALSE,0,FALSE,0,FALSE,0/200/0,0,1,0,0,10,1060837888,2.64591e-314,4.94066e-324,0
FALSE,0,0,0,0,FALSE,0,1,FALSE,10,0,0.1
0,0,,10,0/0/0,FALSE,FALSE,FALSE,FALSE

//
// 해석설정
//
**ANAL,1
// Key
// --- Particle
// - Max. Particles, Solver Type, Frame per Sec., Gravity, Time Level
// - Auto Range Calculation, X Dir(min), X Dir(max), Y Dir(min), Y Dir(max), Z Dir(min), Z Dir(max)
// - Friction Coeff., Restitution Coeff., Max. Velocity, Max. Acceleration
// - Save Trajectory, Save Measurement Box, Save Measurement Grid, Save Measurement Screen, Save Particle, Save Marching Cube, Save Image
// - Auto Save, Start Time, End Time, Time Interval, End Solver Type, Set End Time
// - Simulation Key, BeforeResult Chk, BeforeResult Time, Redraw Interval, LowSize
// --- Shllow Water
// - TerrType, TerrLevel, StruK
// - InitWaterLevel, bAutoCalcTime, CalcTime, SimuK
// - bAdvection, bTrubFlow, VisoityTrub, FrictionType, Friction, SLM, Roughness
// - AutoRec, StratTime, EndTime, OutTerm, QuitType, QuitTime, RedrawTerm
1
1000000,1,50,9.80665,3
TRUE,0,0,0,0,0,0
0,0,30,98.0665
FALSE,FALSE,FALSE,FALSE,FALSE,FALSE,FALSE
FALSE,0,0,3,0,0
0,FALSE,0,3,FALSE
0,1,0
0,FALSE,0.1,0
FALSE,TRUE,6,0,0,0.95,0.02
FALSE,0,3600,3,1,3600,3
FALSE,0,3600,3,1,3600,3

// 결과 표현 옵션

```
//////////////////////////////////////////////
**RDOP,1
// Key
// OutDataType
// (chk)Velocity      , Type, Scale, 1 m / s Length, Thickness, Arrow head, Head ratio, Gap, R?esults Range(ResType), R?esults Range(ResSubType), R?esults Range(Msrs)
// (chk)Trajectory   , Type, Range, Thickness
// (chk)Surface       , Type, bRefBackGround, strReflBackGround, Shader Type
// (chk)Particle     , Type, Size
// (chk)Water Level , Type, Range
// Legend                                                    , Position Type, Position Size, Font Name, Font Size, Font Color, Font Underline, Fint StrikOut, Font Itlic, Font Bold
// Velocity Contour, Velocity Contour Type, Velocity Contour Max, Velocity Contour Min
// Water Level Contour, Water Level Contour Type, Water Level Contour Max, Water Level Contour Min
// Use Boundary, Boundary X min, X max, Y min, Y Max, Zmin, Zmax
// Use Offset, Offset X, Y, Z
1
0
FALSE,1,5,5,0.1,0.3,1,1,2,-1,0
TRUE,1,0,0.2
FALSE,0,FALSE,BlueSky,0
FALSE,1,8
FALSE,0,5
4,0,굴림체,10,0/0/0,FALSE,FALSE,FALSE,FALSE
1,0,0.7,0
0,0,0,0
FALSE,0,0,0,0,0,0
FALSE,0,0,0
```

제2절 지형자료

```
**TERR,1
// Key
// nPosType, Posiotion(x), Posiotion(y), Posiotion(z), Node
// Range Size Rotation : Size(x), Size(y), Angle
// Amount Grid(x), Amount Grid(y)
// Texture, Repeats Num.(x), Repeats Num.(y)
// Matl.Property          : Suface Roughness, Restitution Coff., Stiffness
// Assign Impervious Layer, User Terrain Height
// - Size
//        -...mapHeight Repeat
1
1,0,0,0,0
119,269,90
2360,5360
D:\0. 문발제\0625\문발제 지형2.bmp,20,20
0.001,0,0
FALSE,1
32016
0,0,8
32,108,8
0,142,8
96,182,4.7
64,216,-2.51
87,34,-2.14
55,68,-2.09
9,41,8
41,149,-2.71
9,183,8
105,223,8
73,257,4.7
32,1,-1.58
0,35,8
96,75,-2.28
64,109,0.24
18,82,8
```

82,156,0.15
50,190,-1.49
18,224,-3.44
114,264,8
73,8,-0.87
41,42,-1.85
9,76,8
105,116,0.38
73,150,0.31
27,123,8
91,197,4.7
59,231,-1.43
27,265,-3.32
82,49,-2.28
50,83,-2.99
114,157,8
82,191,-3.14
105,9,8
36,164,-2.49
4,198,8
100,238,8
27,16,-0.59
91,90,-0.88
59,124,0.19
91,232,8
114,50,8
45,205,-1.29
13,239,-3.27
36,57,-1.55
4,91,8
100,131,0.88
68,165,0.86
59,17,-1.08
54,246,0.03
45,98,-3.96
13,132,8
109,172,8

77,206,2
100,24,-0.34
68,58,-1.37
54,139,-1.77
22,173,2.228
118,213,8
86,247,4.7
13,25,8
109,65,8
77,99,0.18
8,254,-1.59
63,180,0.8
31,214,-0.21
54,32,-1.68
22,66,8
118,106,8
86,140,-0.01
8,147,8
72,221,4.7
40,255,-3.14
95,39,-1.61
63,73,-1.54
31,107,8
95,181,-1.32
86,33,-1.87
17,188,4.152
81,262,4.7
40,6,-0.63
8,40,8
104,80,0
72,114,0.01
40,148,-2.66
104,222,8
95,74,-2.68
58,195,-1.51
26,229,0.28
49,47,-2.59

17,81,8
113,121,-3.49
81,155,0.11
49,189,-1.42
113,263,8
72,7,-0.84
104,115,0.44
3,162,8
67,236,4.7
58,88,-2.87
26,122,8
90,196,4.7
58,230,-1.92
113,14,8
81,48,-3.83
12,203,8.5
3,55,8
67,129,1.11
35,163,-2.43
99,237,8
26,15,-0.1
90,89,-0.62
21,244,-2.48
12,96,8
76,170,0.16
44,204,-1.01
67,22,-2.01
35,56,-1.09
99,130,0.77
21,137,8
85,211,4.7
53,245,-0.6
76,63,-2
44,97,-3.7
108,171,8
99,23,-0.63
30,178,-2.15

94,252,8
21,30,8
85,104,0.15
53,138,-2.17
117,212,8
108,64,8
39,219,-1.08
7,253,-0.92
30,71,8.5
94,145,0.6
62,179,0.97
53,31,-1.58
117,105,8
48,260,-0.15
7,4,8
71,78,-1.41
39,112,-5.68
7,146,8
103,186,8
71,220,4.7
94,38,-1.12
62,72,-1.34
16,45,8
80,119,0.66
48,153,-3.42
16,187,6.373
112,227,8
80,261,4.7
39,5,-0.71
103,79,-0.13
71,113,0.11
34,234,-1.65
2,268,3.36
25,86,8
89,160,0.61
57,194,-1.73
25,228,0.22

80,12,-2.39
48,46,-2.49
112,120,-3.08
80,154,0.01
34,127,3.9
2,161,8
98,201,8
66,235,4.7
89,53,-2.05
57,87,-2.74
112,13,8
43,168,-2.68
11,202,8.5
107,242,8
34,20,-1.34
2,54,8
98,94,-0.64
66,128,0.72
52,209,-1.91
20,243,-2.73
43,61,-2.59
11,95,8
107,135,-8.29
75,169,0.18
66,21,-1.89
61,250,4.7
52,102,-5.01
20,136,8
116,176,8
84,210,4.7
107,28,8
75,62,-2.07
6,217,8
61,143,1.44
29,177,-2.27
93,251,8
20,29,8

116,69,8
84,103,0.25
15,258,-2.52
6,110,8
70,184,0.52
38,218,-0.84
93,2,-3.33
61,36,-2.05
29,70,8.5
93,144,0.45
47,117,-4.48
15,151,8
79,225,4.7
47,259,-0.72
6,3,8
102,43,-0.4
70,77,-1.81
38,111,-4.21
102,185,8
93,37,-1.57
56,158,-0.94
24,192,-3.03
88,266,8
47,10,-0.45
15,44,8
111,84,-3.52
79,118,0.58
47,152,-3.28
111,226,8
1,125,8
65,199,0.77
33,233,-1.39
1,267,5.62
56,51,-2.19
24,85,8
88,159,0.6
56,193,-1.91

79,11,-2.52
10,166,8
74,240,4.7
1,18,8
65,92,-1
33,126,8.5
97,200,8
88,52,-2.09
19,207,-6.1
10,59,8
74,133,0.61
42,167,-2.93
106,241,8
33,19,-1.32
97,93,-0.79
28,248,-2.29
19,100,8
83,174,0.81
51,208,-1.88
74,26,-1.55
42,60,-2.53
106,134,-6.64
28,141,8.5
92,215,8
60,249,4.7
83,67,-0.69
51,101,-4.23
115,175,8
106,27,6.5
37,182,-2.18
5,216,8
101,256,8
60,0,-0.32
28,34,2.188
92,108,-0.65
60,142,1.39
115,68,8

46,223,-2.14
14,257,-2.4
69,41,-1.27
37,75,-2.12
5,109,8
101,149,-2.31
69,183,0.57
92,1,-3.95
60,35,-2.03
23,156,8.5
55,264,4.7
14,8,6.755
78,82,0.22
46,116,-4.37
14,150,8
110,190,8
78,224,4.7
101,42,-0.64
69,76,-2.07
32,197,-1.67
0,231,8
23,49,8
87,123,-0.11
55,157,-1.05
23,191,-3.1
87,265,6.5
46,9,-0.37
110,83,-3.73
41,238,-3.13
32,90,8.5
0,124,8
96,164,-0.93
64,198,1.4
32,232,-1.03
87,16,-3.1
55,50,-2.47
41,131,-3.75

9,165,8
105,205,8
73,239,4.7
0,17,8
96,57,-2.41
64,91,-1.46
50,172,-1.81
18,206,-7.33
114,246,8
41,24,-1.18
9,58,8
105,98,0.16
73,132,0.74
59,213,-2.48
27,247,-1.98
50,65,-2.7
18,99,8
114,139,6.8
82,173,0.77
73,25,-1.73
4,180,8
68,254,4.7
59,106,-1.03
27,140,8
91,214,4.7
114,32,8
82,66,-0.74
13,221,-2.3
36,39,-1.13
4,73,8
68,147,1.08
36,181,-2.15
100,255,8
27,33,4.135
91,107,-0.71
22,262,-3.02
45,80,-2.87

13,114,8
77,188,-1.06
45,222,-2.05
100,6,-0.7
68,40,-1.18
36,74,-1.8
100,148,-2.14
54,121,-1.56
22,155,8
118,195,8
86,229,4.7
54,263,4.7
13,7,6.795
109,47,8
77,81,-0.29
45,115,-4.74
109,189,8
8,236,1.6
63,162,1.19
31,196,-1.78
54,14,-0.76
22,48,8
118,88,8
86,122,-0.06
118,230,8
8,129,8
72,203,-2.38
40,237,-2.74
63,55,-0.92
31,89,8
95,163,-0.75
86,15,-3.77
17,170,8
81,244,4.7
8,22,8
72,96,-0.61
40,130,-3.7

104,204,8
95,56,-2.63
26,211,-1.51
17,63,8
81,137,0.11
49,171,-1.84
113,245,8
40,23,-1.09
104,97,0.13
35,252,-3.49
26,104,8
90,178,-2.27
58,212,-2.57
81,30,-3.2
49,64,-2.74
113,138,4.7
35,145,-2.42
3,179,8
99,219,8
67,253,4.7
90,71,-0.8
58,105,-1.21
113,31,8
12,78,8
44,186,-1.14
12,220,0.3
108,260,8
67,4,-0.63
35,38,-0.96
3,72,8
99,112,-0.02
67,146,1.28
21,119,8
53,227,-4.11
21,261,-3.01
76,45,-2.75
44,79,-2.72

12,113,8
108,153,-2.71
76,187,0.18
99,5,-1.27
30,160,-2.07
94,234,8
62,268,4.7
21,12,3.094
85,86,-0.2
53,120,-2.94
21,154,8
117,194,8
85,228,4.7
108,46,7.5
39,201,-0.48
7,235,3.9
30,53,5.5
94,127,0.31
62,161,1.27
53,13,-0.72
117,87,8
48,242,-3.55
39,94,-2.7
7,128,8
103,168,-1.39
71,202,-2.31
94,20,-1.81
62,54,-0.83
48,135,-3.36
16,169,8
112,209,8
80,243,4.7
7,21,8
103,61,7
71,95,-0.57
2,250,7.53
57,176,-1.17

25,210,-1.82
48,28,-1.23
16,62,8
112,102,-4.18
80,136,0.13
2,143,8
66,217,-2.3
34,251,-3.04
57,69,-1.85
25,103,8
89,177,-1.71
80,29,-3.22
11,184,8
75,258,4.7
34,2,-1.31
2,36,8
66,110,0.39
34,144,-2.46
98,218,8
89,70,-0.8
20,225,-1.74
43,43,-2.03
11,77,8
107,117,-1.03
75,151,0.1
43,185,-1.29
107,259,8
66,3,-0.56
34,37,-0.88
98,111,-0.17
29,266,-3.38
52,84,-3.26
20,118,8
116,158,8
84,192,-3.37
52,226,-3.65
107,10,8

75,44,-2.7
107,152,-4.79
6,199,8
61,125,1.59
29,159,-2.17
93,233,8
61,267,4.7
20,11,3.609
116,51,8
84,85,-0.16
116,193,8
15,240,-3.44
6,92,8
70,166,0.65
38,200,-0.48
61,18,-1.3
29,52,8.5
93,126,0.27
15,133,8
79,207,4.7
47,241,-3.73
70,59,-1.96
38,93,-2.48
102,167,-3.5
93,19,-1.87
24,174,-3.28
88,248,8
15,26,8
79,100,0.32
47,134,-3.4
111,208,8
102,60,4.5
33,215,-0.03
1,249,8.5
24,67,8
88,141,0.13
56,175,-1.28

47,27,-1.21
111,101,-3.73
42,256,-3.22
1,0,8
33,108,8.5
1,142,8
97,182,4.7
65,216,-2.52
88,34,-2.18
56,68,-1.86
10,41,8
42,149,-2.75
10,183,8
106,223,8
74,257,4.7
33,1,-1.44
1,35,8
97,75,-2.06
65,109,0.39
19,82,8
83,156,0.19
51,190,-1.61
19,224,-2.55
115,264,8
74,8,-1.06
42,42,-1.88
10,76,8
106,116,0.38
74,150,0.21
28,123,8
92,197,4.7
60,231,-0.87
28,265,-3.3
83,49,-1.98
51,83,-2.99
115,157,8
83,191,-3.27

106,9,8
37,164,-2.54
5,198,8
101,238,8
28,16,-0.97
92,90,-0.94
60,124,0.79
92,232,8
115,50,8
46,205,-1.45
14,239,-3.44
37,57,-1.91
5,91,8
101,131,0.91
69,165,0.79
60,17,-1.15
55,246,0.5
46,98,-4.02
14,132,8
110,172,8
78,206,4.7
101,24,-0.16
69,58,-1.58
0,213,8
55,139,-1.35
23,173,0.304
87,247,6.5
14,25,8
110,65,8
78,99,0.26
9,254,-2.12
0,106,8
64,180,0.73
32,214,-0.12
55,32,-1.76
23,66,8
87,140,0.01

9,147,8
73,221,4.7
41,255,-3.25
96,39,-1.45
64,73,-1.62
32,107,8
96,181,1.9
87,33,-2.06
18,188,2.228
82,262,4.7
41,6,-0.5
9,40,8
105,80,-0.67
73,114,-0.13
41,148,-2.71
105,222,8
96,74,-2.57
59,195,-0.76
27,229,0.17
50,47,-2.47
18,81,8
114,121,-3.12
82,155,0.12
50,189,-1.51
114,263,8
73,7,-0.85
105,115,0.35
4,162,8
68,236,4.7
59,88,-2.8
27,122,8
91,196,4.7
59,230,-1.96
114,14,8
82,48,-2.05
13,203,6.1
4,55,8

68,129,0.76
36,163,-2.49
100,237,8
27,15,-0.69
91,89,-0.9
22,244,-1.96
13,96,8
77,170,0.22
45,204,-1.22
68,22,-2.1
36,56,-1.5
100,130,0.85
22,137,8
86,211,4.7
54,245,-0.05
77,63,-1.7
45,97,-3.88
109,171,8
100,23,-0.37
31,178,-2.19
95,252,8
22,30,8.5
86,104,0.13
54,138,-1.71
118,212,8
109,64,8
40,219,-1.27
8,253,-1.54
31,71,6
95,145,0.7
63,179,0.97
54,31,-1.71
118,105,8
49,260,0.2
8,4,8
72,78,-1.26
40,112,-6.46

8,146,8
104,186,8
72,220,4.7
95,38,-1.22
63,72,-1.53
17,45,8
81,119,0.69
49,153,-3.45
17,187,4.697
113,227,8
81,261,4.7
40,5,-0.61
104,79,-0.02
72,113,-0.05
35,234,-1.83
3,268,1.1
26,86,8
90,160,0.62
58,194,-1.52
26,228,0.26
81,12,-2.49
49,46,-2.53
113,120,-3.47
81,154,0.07
35,127,1.6
3,161,8
99,201,8
67,235,4.7
90,53,-2.09
58,87,-2.83
113,13,8
44,168,-2.68
12,202,8.5
108,242,8
35,20,-1.29
3,54,8
99,94,-0.49

67,128,0.81
53,209,-1.93
21,243,-2.43
44,61,-2.61
12,95,8
108,135,-7.13
76,169,0.19
67,21,-1.97
62,250,4.7
53,102,-3.58
21,136,8
117,176,8
85,210,4.7
108,28,8
76,62,-2.25
7,217,8
62,143,1.46
30,177,-2.1
94,251,8
21,29,8
117,69,8
85,103,0.17
16,258,-2.69
7,110,8
71,184,0.6
39,218,-1.04
94,2,-2.84
62,36,-2.11
30,70,8.5
94,144,0.58
48,117,-4.48
16,151,8
80,225,4.7
48,259,-0.26
7,3,8
103,43,-0.11
71,77,-1.45

39,111,-5.16
103,185,8
94,37,-1.11
57,158,-0.64
25,192,-2.97
89,266,8
48,10,-0.44
16,44,8
112,84,1.2
80,118,0.67
48,152,-3.41
112,226,8
2,125,8
66,199,-0.26
34,233,-1.58
2,267,3.36
57,51,-1.99
25,85,8
89,159,0.65
57,193,-1.81
80,11,-2.36
11,166,8
75,240,4.7
2,18,8
66,92,-1.08
34,126,5.442
98,200,8
89,52,-2.12
20,207,-4.06
11,59,8
75,133,0.57
43,167,-3.03
107,241,8
34,19,-1.35
98,93,-0.64
29,248,-2.46
20,100,8

84,174,0.62
52,208,-1.93
75,26,-1.74
43,60,-2.57
107,134,-7.27
29,141,8.5
93,215,8
61,249,4.7
84,67,-0.75
52,101,-4.95
116,175,8
107,27,8
38,182,-2.32
6,216,8
102,256,8
61,0,-0.4
29,34,0.25
93,108,-0.53
61,142,1.42
116,68,8
47,223,-2.22
15,257,-2.52
70,41,-1.59
38,75,-2.24
6,109,8
102,149,-2.48
70,183,0.57
93,1,-3.4
61,35,-2.03
24,156,8.5
56,264,4.7
15,8,6.133
79,82,0.23
47,116,-4.55
15,150,8
111,190,8
79,224,4.7

102,42,-0.35
70,76,-1.74
33,197,-1.42
1,231,8
24,49,8
88,123,-0.17
56,157,-0.9
24,191,-3.04
88,265,8
47,9,-0.37
111,83,-3.91
42,238,-3.32
33,90,8.5
1,124,8
97,164,-1.32
65,198,1.35
33,232,-1.27
88,16,-3
56,50,-2.23
42,131,-3.9
10,165,8
106,205,8
74,239,4.7
1,17,8
97,57,-2.48
65,91,-1.01
51,172,-1.67
19,206,-8.23
115,246,8
42,24,-1.09
10,58,8
106,98,0.15
74,132,0.61
60,213,-2.38
28,247,-2.15
51,65,-2.58
19,99,8

115,139,8
83,173,0.82
74,25,-1.57
5,180,8
69,254,4.7
60,106,-0.63
28,140,8.5
92,214,7
115,32,8
83,66,-0.63
14,221,-4.35
37,39,-1.29
5,73,8
69,147,0.82
37,181,-2.09
101,255,8
28,33,2.203
92,107,-0.71
23,262,-3.02
46,80,-2.91
14,114,8
78,188,-1.5
46,222,-2.12
101,6,-0.5
69,40,-1.29
37,74,-2.13
101,148,-2.42
0,195,8
55,121,-1.63
23,155,8.5
87,229,4.7
55,263,4.7
14,7,6.193
110,47,8
78,81,0.36
46,115,-4.34
110,189,8

9,236,-0.6
0,88,8
64,162,1.11
32,196,-1.61
0,230,8
55,14,-0.78
23,48,8
87,122,-0.12
9,129,8
73,203,-2.91
41,237,-2.95
64,55,-0.92
32,89,8.5
96,163,-0.85
87,15,-3.35
18,170,8
82,244,4.7
9,22,8
73,96,-0.21
41,130,-3.91
105,204,8
96,56,-2.43
27,211,-1.26
18,63,8
82,137,0.05
50,171,-1.81
114,245,8
41,23,-1.14
105,97,0.15
36,252,-3.55
27,104,8
91,178,-2.57
59,212,-2.43
82,30,-2.82
50,64,-2.67
114,138,6.3
36,145,-2.7

4,179,8
100,219,8
68,253,4.7
91,71,-0.99
59,105,-1.14
114,31,8
13,78,8
45,186,-1.07
13,220,-2.3
109,260,8
68,4,-0.77
36,38,-1.15
4,72,8
100,112,0.09
68,146,1.11
22,119,8
54,227,-3.67
22,261,-2.95
77,45,-3.06
45,79,-2.86
13,113,8
109,153,3.5
77,187,-0.52
100,5,-0.7
31,160,-2.13
95,234,8
63,268,4.7
22,12,2.393
86,86,-0.36
54,120,-1.56
22,154,8
118,194,8
86,228,4.7
109,46,6
40,201,-0.5
8,235,1.6
31,53,3

95,127,0.42
63,161,1.2
54,13,-0.75
118,87,8
49,242,-3.22
40,94,-2.79
8,128,8
104,168,2
72,202,-2.37
95,20,-1.81
63,54,-0.87
49,135,-3.44
17,169,8
113,209,8
81,243,4.7
8,21,8
104,61,8
72,95,-0.72
3,250,5.42
58,176,-0.94
26,210,-1.44
49,28,-1.27
17,62,8
113,102,-4.44
81,136,0.1
3,143,8
67,217,-2.05
35,251,-3.34
58,69,-1.54
26,103,8
90,177,-1.93
81,29,-3.23
12,184,8
76,258,4.7
35,2,-1.1
3,36,8
67,110,0.24

35,144,-2.51
99,218,8
90,70,-0.88
21,225,-1.07
44,43,-2.14
12,77,8
108,117,-1.98
76,151,-0.02
44,185,-1.36
108,259,8
67,3,-0.62
35,37,-1.09
99,111,-0.02
30,266,-3.45
53,84,-2.76
21,118,8
117,158,8
85,192,-3.72
53,226,-4.09
108,10,8
76,44,-2.81
108,152,-3.73
7,199,8
62,125,1.64
30,159,-2.14
94,233,8
62,267,4.7
21,11,2.877
117,51,8
85,85,-0.23
117,193,8
16,240,-3.13
7,92,8
71,166,0.5
39,200,-0.14
62,18,-1.4
30,52,5.5

94,126,0.27
16,133,8
80,207,4.7
48,241,-3.52
71,59,-2.21
39,93,-2.71
103,167,-3.07
94,19,-1.85
25,174,-3.29
89,248,8
16,26,8
80,100,0.3
48,134,-3.39
112,208,8
103,60,7
34,215,0.09
2,249,7.53
25,67,8
89,141,0.11
57,175,-1.24
48,27,-1.26
112,101,-4.22
43,256,-3.14
2,0,8
34,108,8.5
2,142,8
98,182,4.7
66,216,-2.41
89,34,-2.07
57,68,-1.82
11,41,8
43,149,-2.88
11,183,8
107,223,8
75,257,4.7
34,1,-1.22
2,35,8

98,75,-1.98
66,109,0.35
20,82,8
84,156,0.25
52,190,-1.76
20,224,-1.8
116,264,8
75,8,-1.28
43,42,-2.17
11,76,8
107,116,-0.79
75,150,0.06
29,123,8
93,197,4.7
61,231,-0.44
29,265,-3.38
84,49,-1.92
52,83,-2.98
116,157,8
84,191,-3.25
107,9,8
38,164,-2.59
6,198,8
102,238,8
29,16,-1.15
93,90,-0.98
61,124,1.17
93,232,8
116,50,8
47,205,-1.59
15,239,-3.16
38,57,-2.14
6,91,8
102,131,0.85
70,165,0.67
61,17,-1.21
56,246,0.7

47,98,-4.08
15,132,8
111,172,8
79,206,4.7
102,24,0.22
70,58,-1.87
1,213,8
56,139,-0.89
24,173,-1.01
88,247,8
15,25,8
111,65,8
79,99,0.32
10,254,-2.43
1,106,8
65,180,0.66
33,214,-0.16
56,32,-1.83
24,66,8
88,140,0.08
10,147,8
74,221,4.7
42,255,-3.26
97,39,-1.55
65,73,-1.74
33,107,8.5
97,181,4.7
88,33,-2.21
19,188,0.304
83,262,4.7
42,6,-0.45
10,40,8
106,80,-1.65
74,114,-0.11
42,148,-2.71
106,222,8
97,74,-2.31

60,195,0.37
28,229,0.17
51,47,-2.55
19,81,8
115,121,0.8
83,155,0.15
51,189,-1.61
115,263,8
74,7,-0.94
106,115,0.36
5,162,8
69,236,4.7
60,88,-2.38
28,122,8
92,196,4.7
60,230,-1.21
115,14,8
83,48,-1.78
14,203,3.8
5,55,8
69,129,0.38
37,163,-2.59
101,237,8
28,15,-1.04
92,89,-0.97
23,244,-1.6
14,96,8
78,170,0.29
46,204,-1.39
69,22,-2.14
37,56,-1.87
101,130,0.87
23,137,8
87,211,4.7
55,245,0.19
78,63,-1.85
46,97,-3.93

110,171,8
101,23,-0.14
32,178,-2.19
0,212,8
96,252,8
23,30,8.5
87,104,-0.02
55,138,-1.32
110,64,8
41,219,-1.38
9,253,-1.88
32,71,3.8
0,105,8
96,145,0.8
64,179,0.86
55,31,-1.76
50,260,1.5
9,4,8.5
73,78,-0.87
41,112,-6.25
9,146,8
105,186,8
73,220,4.7
96,38,-1.33
64,72,-1.56
18,45,8
82,119,0.66
50,153,-3.1
18,187,3.02
114,227,8
82,261,4.7
41,5,-0.55
105,79,-1
73,113,-0.16
36,234,-1.94
4,268,-1.16
27,86,8

91,160,0.49
59,194,-0.84
27,228,0.3
82,12,-2.98
50,46,-2.55
114,120,-3.63
82,154,0.1
36,127,-0.

첨부 1-3

- 새만금 지역 3D 유체시뮬레이션

시범예제 -

제1장 시범예제의 개요

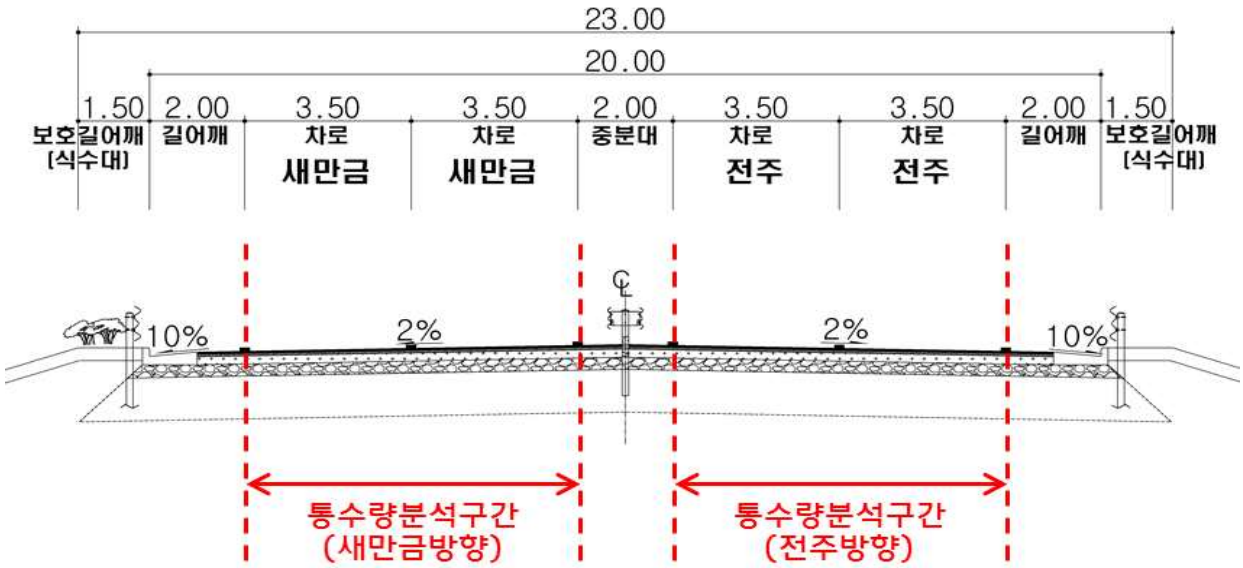
제1절 시범예제의 목적

기후변화로 인한 강우패턴의 변화 및 국지성 집중호우 발생 시 설계기준에서 정한 설계빈도이상의 강우발생이 빈번하여 도로의 노면 및 각종 배수시설물 등의 피해가 발생하여 교통사고의 위험이 증가할 뿐 아니라, 국민의 안전과 재산에도 막대한 피해가 발생하고 있음.

그러므로 현재 시공 중인 새만금 동서2축 도로건설공사 구간 중 취약구간에 3D 유체시뮬레이션으로 변화된 기후상황을 고려하여 도로의 배수상황을 시뮬레이션 함으로써 기존 설계기준 및 지침에서 예측할 수 없는 배수형태 및 시설물 결함을 파악하여 문제점 및 개선대책을 도출하는데 그 목적이 있음.

제2절 시범예제의 대상

- 평면곡선구간 편경사 변화구간 : STA. 2+100 ~ 3+500
- 종배수관 배수처리 구간 중 장거리 구간 : STA. 4+400 ~ 5+800
- 종단경사 및 VIP간격에 따른 배수효율 검토 : STA. 5+000 ~ 6+300



< 그림 1 > 수리분석 구간의 횡단면도

제3절 시범예제의 내용

- 가상현실 공간에서 현재 설계기준 및 지침에 대한 배수검증과 집중호우 등을 실시간으로 3D 유체 시뮬레이션을 통해 가시화하여 보여줌으로써 배수불량구간에 대한 문제점 및 개선 대책 도출

- 시범예제구간 중 취약구간인 평면곡선구간 편경사 변화구간 (STA. 2+100 ~ 3+500), 종배수관 배수처리 구간 중 장거리 구간 (STA. 4+400 ~ 5+800)에 좌표에 의해 결정된 강우강도 (227.8mm/hr, 설계빈도 20년) 발생시 3D 유체시뮬레이션을 통해 우수의 흐름특성을 검토함으로써 배수불량구간 선정 및 개선 대책 도출

- 새만금 동서2축 도로건설공사 설계에 최적의 배수효율을 위한 종단구배 및 VIP간격을 선정하기 위해서 종단구배 및 VIP간격에 따른 배수효율 검토를 위해 3D 유체시뮬레이션을 적용

제2장 수리 분석 및 결과

제1절 분석 개요

강우시 새만금 도로건설공사 구간 중 평면곡선구간 편경사 변화구간 (STA. 2+100 ~ 3+500), 종배수관 배수처리 구간 중 장거리 구간 (STA. 4+400 ~ 5+800)에 설계빈도 20년(227.8mm/hr)의 강우가 발생할 때 배수가 원활하게 되는지 3D 유체시뮬레이션을 통하여 배수적정성을 검토함. 또한 종단경사 및 VIP간격에 따른 배수효율 검토 (STA. 5+000 ~ 6+300)를 통해 최적 안을 도출함.

제2절 자료 분석

1. 지형 자료

수리 분석 단계 전에 선행 작업으로 구성한 지형 자료는 CAD 관련 소프트웨어를 이용하여 시범예제대상도로 내 배수시설물에 대한 기하학적 특성들을 부여하였음. 도로의 연장길이, 횡단폭, 주요지점의 표고(elevation)와 배수시설에 해당되는 측구와 경계석 등의 표고를 조사하였음.

2. 시뮬레이션 구간

배수적정성을 검토하기 위한 타입별 시뮬레이션 구간은 다음과 같음.

< 표 3 > 시뮬레이션 구간

구 분	시뮬레이션 구간
평면곡선구간 편경사 변화구간	STA. 2+100 ~ 3+500
종배수관 배수처리 구간 중 장거리 구간	STA. 4+400 ~ 5+800
종단경사 및 VIP간격에 따른 배수효율 검토	STA. 5+000 ~ 6+300

3. 수리, 수문 자료

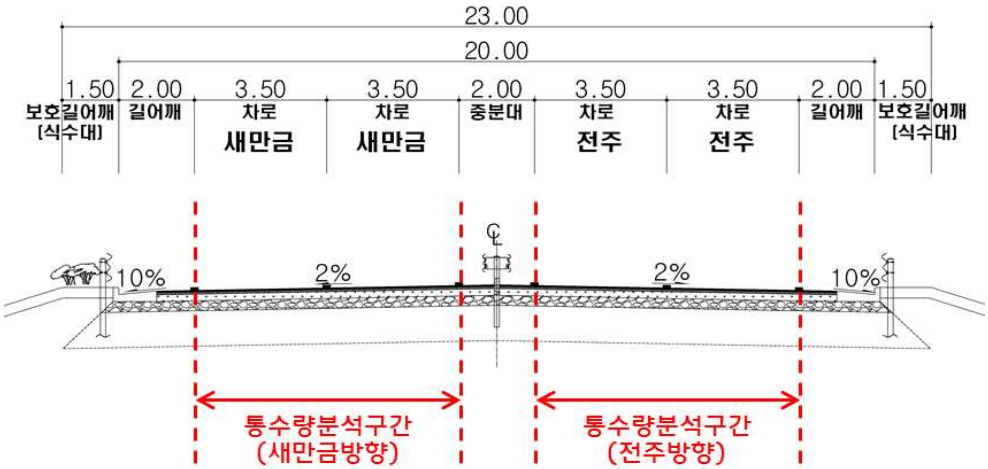
3D 유체시뮬레이션을 위한 도로 내 수리분석에 적용된 수리 및 수문특성 입력자료는 다음과 같음.

< 표 4 > 수리 및 수문특성 입력자료

구 분		값
조도계수 (n)		0.013
유출계수 (C)		0.9
강우강도 (I)	평면곡선구간 편경사 변화구간	227.8mm/hr (좌표, 설계빈도 20년)
	종배수관 배수처리 구간 중 장거리 구간	227.8mm/hr (좌표, 설계빈도 20년)
	종단경사 및 VIP간격에 따른 배수효율 검토	227.8mm/hr (좌표, 설계빈도 20년), 341.7mm/hr (기존의 1.5배)

제3절 TYPE1 : 평면곡선구간 편경사 변화구간

1. 시뮬레이션 분석 조건



< 그림 4 > 횡단면도 중 우수량 분석구간 표현

2. 시뮬레이션 분석

가. 분석 Key point

(1) 편경사 변화구간의 배수적정성 검토

-> 곡선구간의 편경사 변화 (+ → - or - → +)로 편경사가 0%에 가까워질 때 배수적정성을 검토 함.

(2) 시뮬레이션 분석구간 및 내용

< 표 5 > 시뮬레이션 분석구간 및 내용

편경사 변화구간	내 용
STA. 2+400 ~ 2+455 (-2% → +2%)	1. 종단경사 변화구간을 포함해서 STA. 2+380 ~ 2+480 의 우수량을 측정 2. 정확한 배수불량구간 선정을 위하여 20m단위로 우수량을 측정
STA. 3+200 ~ 3+255 (+2% → -2%)	1. 종단경사 변화구간을 포함해서 STA. 3+180 ~ 3+280 의 우수량을 측정 2. 정확한 배수불량구간 선정을 위하여 20m단위로 우수량을 측정

나. 시뮬레이션 분석결과

< 표 6 > 구간별 시뮬레이션 분석결과

구 분		방 향							
편경사 변화구간	우수 측정구간	새만금 (좌측)				전주 (우측)			
		5	10	15	20	5	10	15	20
STA. 2+400 ~ 2+455 (-2% → +2%)	STA. 2+380 ~ 2+400 (20m)	0.063	0.065	0.059	0.067	0.061	0.064	0.065	0.063
	10m당 우수량	0.032	0.033	0.030	0.034	0.031	0.032	0.033	0.032
	STA. 2+400 ~ 2+420 (20m)	0.066	0.062	0.063	0.073	0.092	0.101	0.091	0.099
	10m당 우수량	0.033	0.031	0.032	0.037	0.046	0.051	0.046	0.050
	STA. 2+420 ~ 2+440 (20m)	0.076	0.086	0.076	0.096	1.630	2.626	3.247	3.371
	10m당 우수량	0.038	0.043	0.038	0.048	0.815	1.313	1.624	1.686
	STA. 2+440 ~ 2+460 (20m)	0.117	0.130	0.123	0.131	0.101	0.096	0.102	0.100
	10m당 우수량	0.059	0.065	0.062	0.066	0.051	0.048	0.051	0.050
	STA. 2+460 ~ 2+480 (20m)	0.110	0.113	0.114	0.112	0.056	0.059	0.052	0.059
	10m당 우수량	0.055	0.057	0.057	0.056	0.028	0.030	0.026	0.030
STA. 3+200 ~ 3+255 (+2% → -2%)	STA. 3+180 ~ 3+200 (20m)	0.117	0.121	0.121	0.117	0.052	0.058	0.059	0.062
	10m당 우수량	0.059	0.061	0.061	0.059	0.026	0.029	0.030	0.031
	STA. 3+200 ~ 3+220 (20m)	0.118	0.108	0.106	0.114	0.062	0.066	0.072	0.065
	10m당 우수량	0.059	0.054	0.053	0.057	0.031	0.033	0.036	0.033
	STA. 3+220 ~ 3+240 (20m)	0.072	0.079	0.078	0.082	1.907	3.069	3.604	3.616
	10m당 우수량	0.036	0.040	0.039	0.041	0.954	1.535	1.802	1.808
	STA. 3+240 ~ 3+260 (20m)	0.061	0.061	0.058	0.062	0.092	0.090	0.092	0.094
	10m당 우수량	0.031	0.031	0.029	0.031	0.046	0.045	0.046	0.047
	STA. 3+260 ~ 3+280 (20m)	0.064	0.063	0.067	0.066	0.071	0.072	0.070	0.069
	10m당 우수량	0.032	0.032	0.034	0.033	0.036	0.036	0.035	0.035

(1) 편경사 변화에 의한 영향

(가) STA. 2+380 ~ 2+480(전주방향)

-> 구간별로 우수량을 측정한 결과 STA. 2+420 ~ 2+440이 우수량이 가장 많았으며, 시간이 지날수록 우수량이 증가함. 즉, 물이 가장 많이 고였으며, 시간이 지날수록 물고임 구간 (배수 불량구간)이 증가함.

-> STA. 2+420 ~ 2+440은 횡단 편경사가 -2% -> +2%으로 변경되는 구간으로 편경사가 0%에 가까워지므로 우수의 움직임이 거의 없음. 즉, 우수가 횡방향으로 이동하여 배수구조물 (집수정) 로 최종배수 되지 않고 차로구간에 물고임 현상이 발생함.

(나) STA. 3+180 ~ 3+280(전주방향)

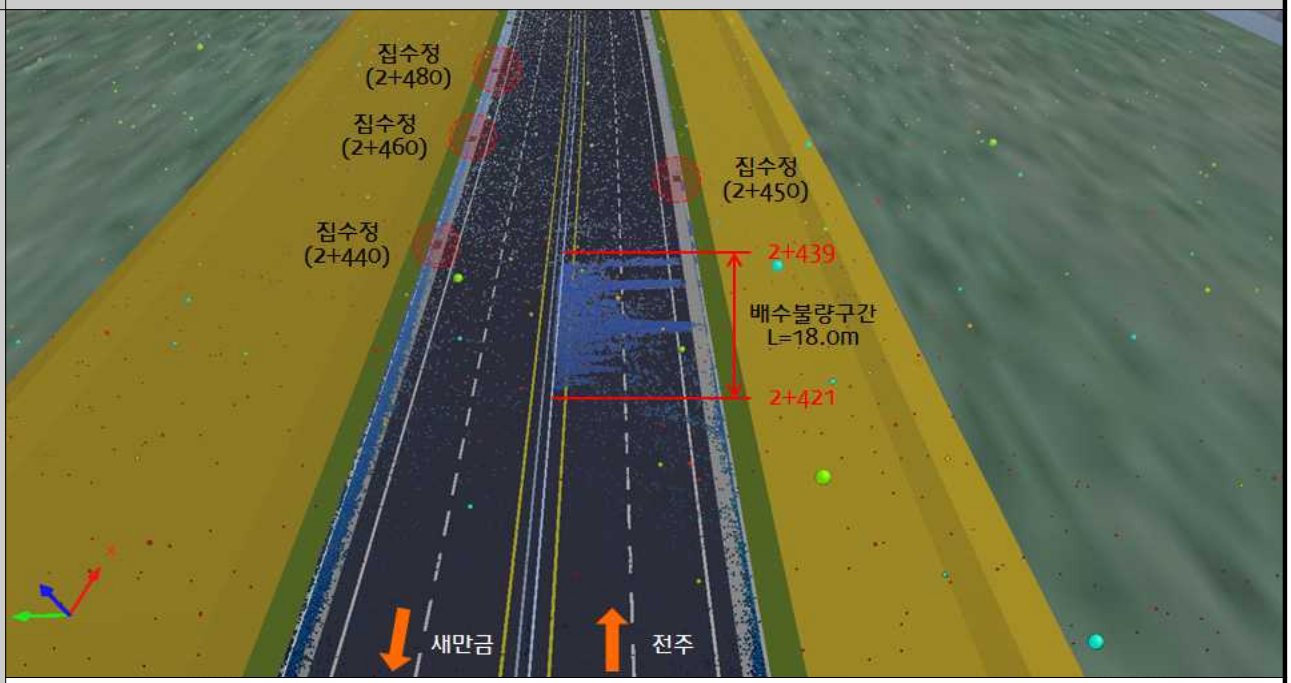
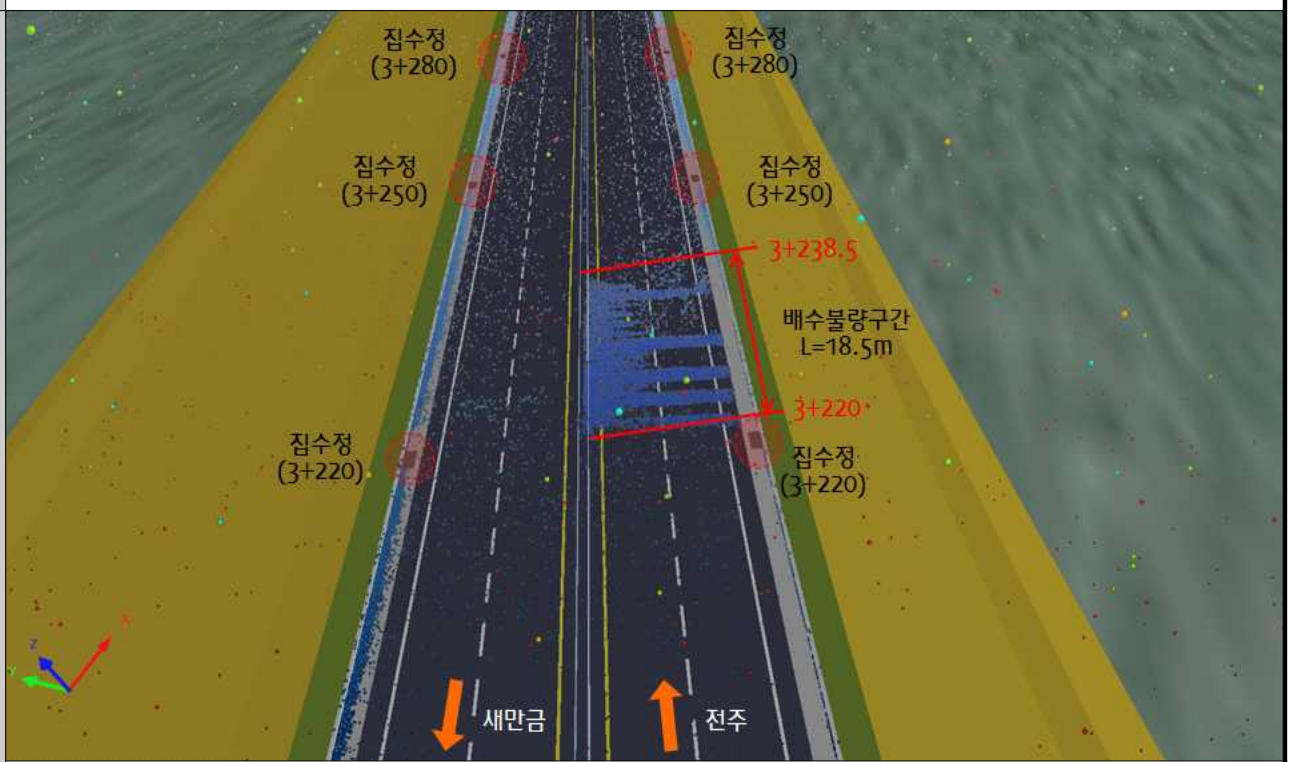
-> 구간별로 우수량을 측정한 결과 STA. 3+220 ~ 3+240이 우수량이 가장 많았으며, 시간이 지날수록 우수량이 증가함. 즉, 물이 가장 많이 고였으며, 시간이 지날수록 물고임 구간 (배수불량구간)이 증가함.

-> STA. 3+220 ~ 3+240은 횡단 편경사가 +2% -> -2%으로 변경되는 구간으로 편경사가 0%에 가까워지므로 우수의 움직임이 거의 없음. 즉, 우수가 횡방향으로 이동하여 배수구조물 (집수정) 로 최종배수 되지 않고 차로구간에 물고임 현상이 발생함.

다. 시뮬레이션 상황

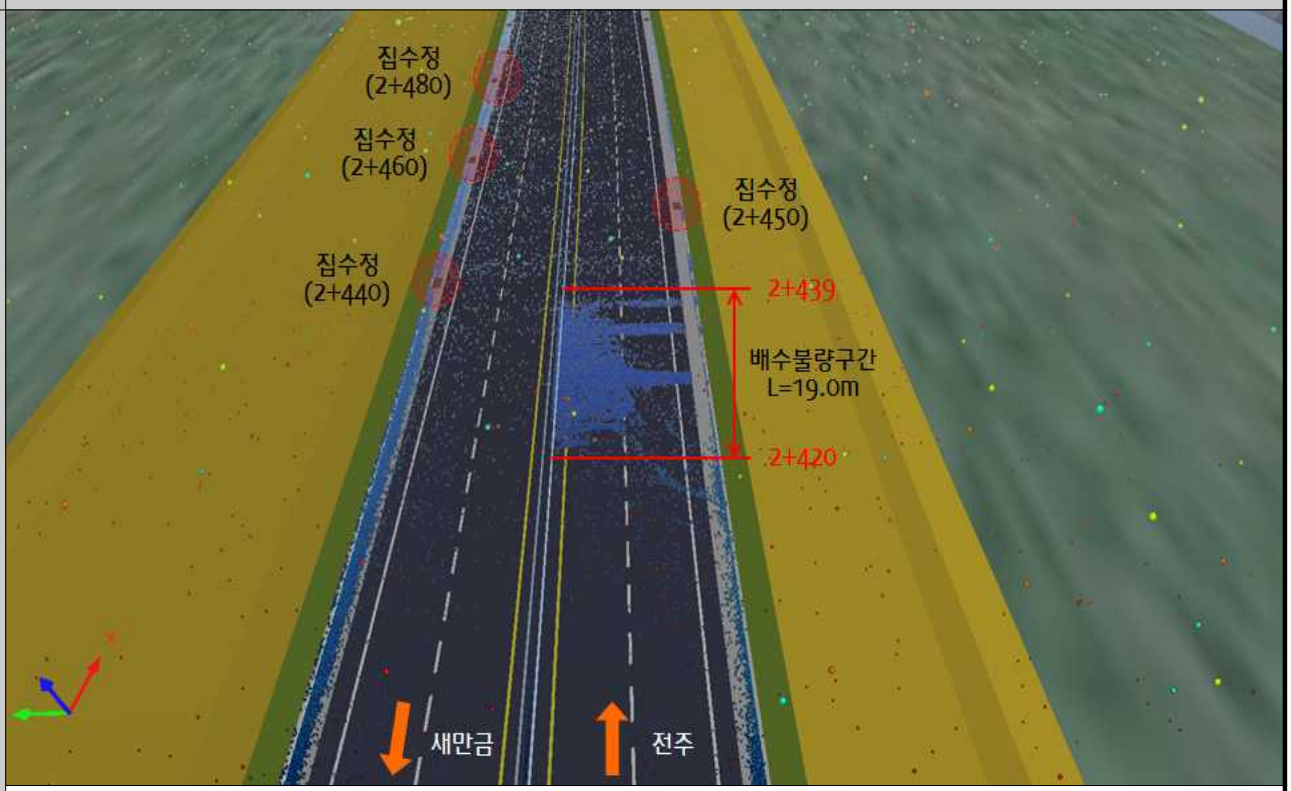
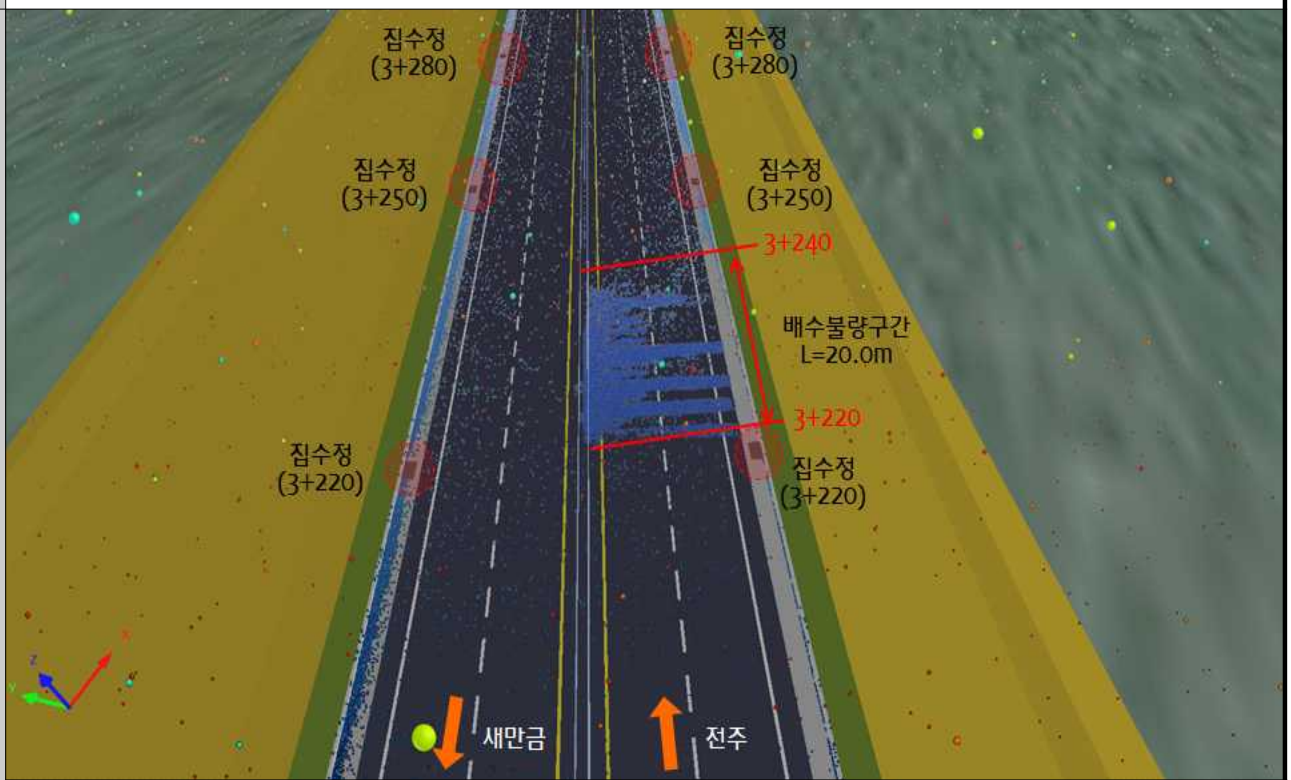
(1) T = 10분

< 표 7 > T=10분 일 때 시뮬레이션 상황

구 분	T = 10분
STA. 2+420	 STA. 2+421 ~ 2+439 (전주방향) 배수불량구간 발생 -> L=18.0m
STA. 3+220	 STA. 3+220 ~ 3+238.5 (전주방향) 배수불량구간 발생 -> L=18.5m

(2) T = 20분

< 표 8 > T=20분 일 때 시뮬레이션 상황

구 분	T = 10분
STA. 2+420	
	STA. 2+420 ~ 2+439 (전주방향) 배수불량구간 발생 -> L=19.0m
STA. 3+220	
	STA. 3+220 ~ 3+240 (전주방향) 배수불량구간 발생 -> L=20.0m

3. 분석 결과

가. 구간별 우수량 측정을 통하여 배수불량구간 선정 (3.3.2.2 시뮬레이션 분석결과)

-> STA. 2+420 ~ 2+440 (전주방향, 우측)

-> STA. 3+220 ~ 3+240 (전주방향, 우측)

나. 좀 더 정확한 배수불량구간 선정을 위하여 시뮬레이션 상황을 T=10,20분 일 때 분석 (3.3.2.3 시뮬레이션 상황)

-> T = 10분 : STA. 2+421 ~ 2+439 (전주방향,우측) 배수불량구간 발생 -> L=18.0m

-> T = 10분 : STA. 3+220 ~ 3+238.5 (전주방향,우측) 배수불량구간 발생 -> L=18.5m

-> T = 20분 : STA. 2+420 ~ 2+439 (전주방향,우측) 배수불량구간 발생 -> L=19.0m

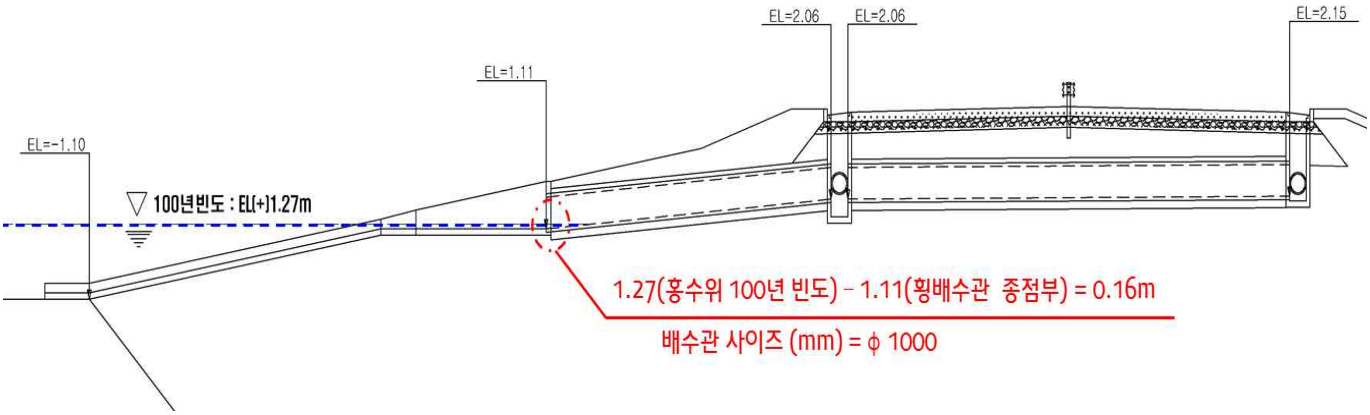
-> T = 20분 : STA. 3+220 ~ 3+240 (전주방향,우측) 배수불량구간 발생 -> L=20.0m

다. 시뮬레이션을 통하여 도출된 STA. 2+420~2+439 (전주방향, 우측), STA. 3+220~3+240 (전주방향, 우측)에 배수구조물을 추가로 설치함. 설치위치는 시뮬레이션 결과 중분대구간에 물고임이 발생하여 차도구간으로 우수가 유입되므로 추가로 중분대에 배수구조물 (선배수시설 등)을 설치함.

라. 시뮬레이션을 통한 정확한 배수불량구간의 사전예측으로 시공 전에 배수불량구간을 해결함.

제4절 TYPE2 : 종배수관 배수처리 구간 중 장거리 구간

1. 시뮬레이션 분석 조건



< 그림 5 > 배수구조물 횡단면도 (STA. 5+200)

2. 시뮬레이션 분석

가. 분석 Key point

(1) 종배수관 배수처리 장거리 구간 (STA. 4+400 ~ 5+800)의 배수적정성 검토

-> 횡배수관(STA. 5+200)을 중심으로 좌측 800m, 우측 600m의 도로노면 우수를 집수정에 모은후 종배수관으로 끌고 가다가 최종적으로 횡배수관(STA. 5+200)으로 최종배수

-> 약 1400m 도로노면의 우수를 STA. 5+200의 횡배수관에서 최종 배수될 때 상부 배수구 조물(집수정) 과 하부 배수구조물(종배수관)의 적정성 검토

-> 즉, 종배수관으로 장거리 끌고 갈 때 관에 물이 꽉 차서 상부 배수구조물(집수정)의 배수 불량이 발생할 수 있으므로 사전에 검토

-> 오목구간에 우수가 집중되므로 오목구간 STA. 4+800, 5+200, 5+600을 시간대 별로 검토

(2) 100년 빈도 홍수위 시 횡배수관 (STA. 5+200)의 배수적정성 검토

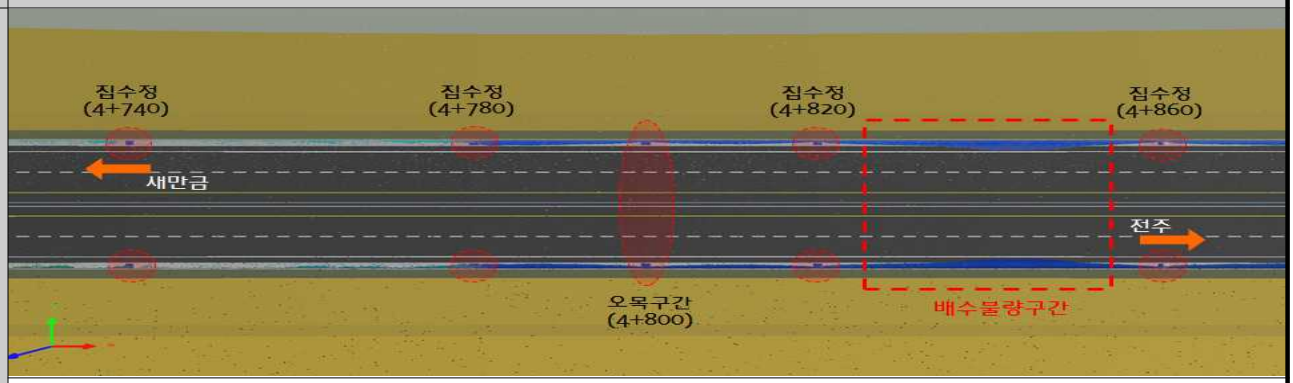
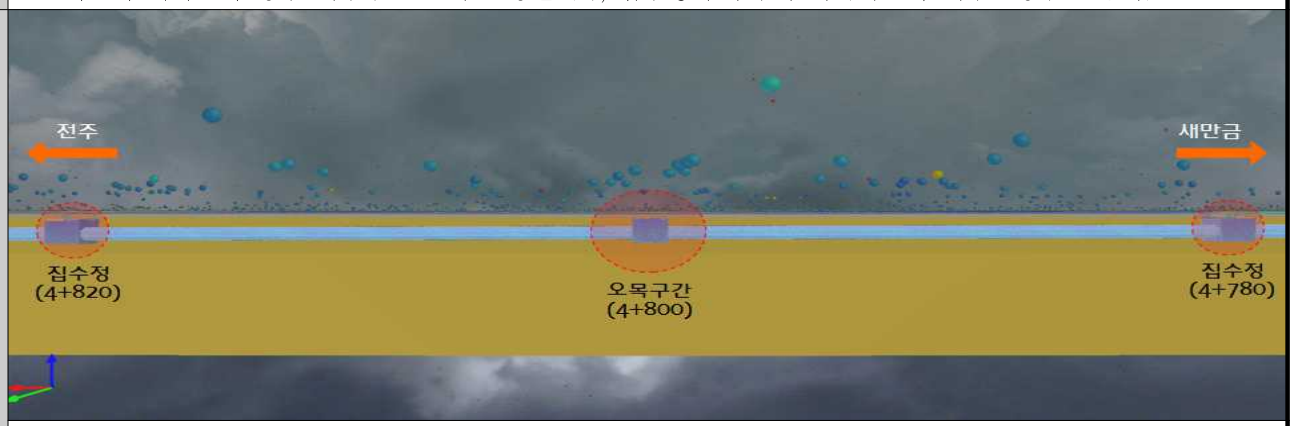
-> 횡배수관으로 우수가 유출될 때 횡배수관 최종 유출부 (EL 1.11)가 100년 빈도 홍수위 (EL1.27) 보다 낮으므로 배수적정성 검토

나. 시뮬레이션 분석결과

(1) 종배수관 배수처리 장거리 구간

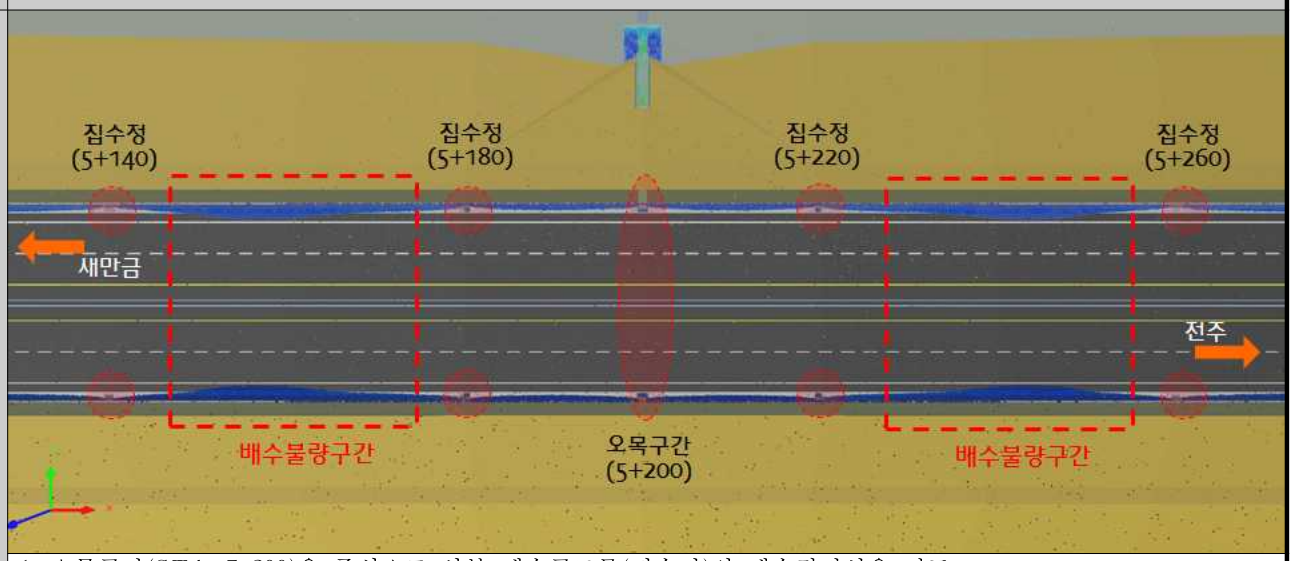
(가) 오목구간 1 : STA. 4+800

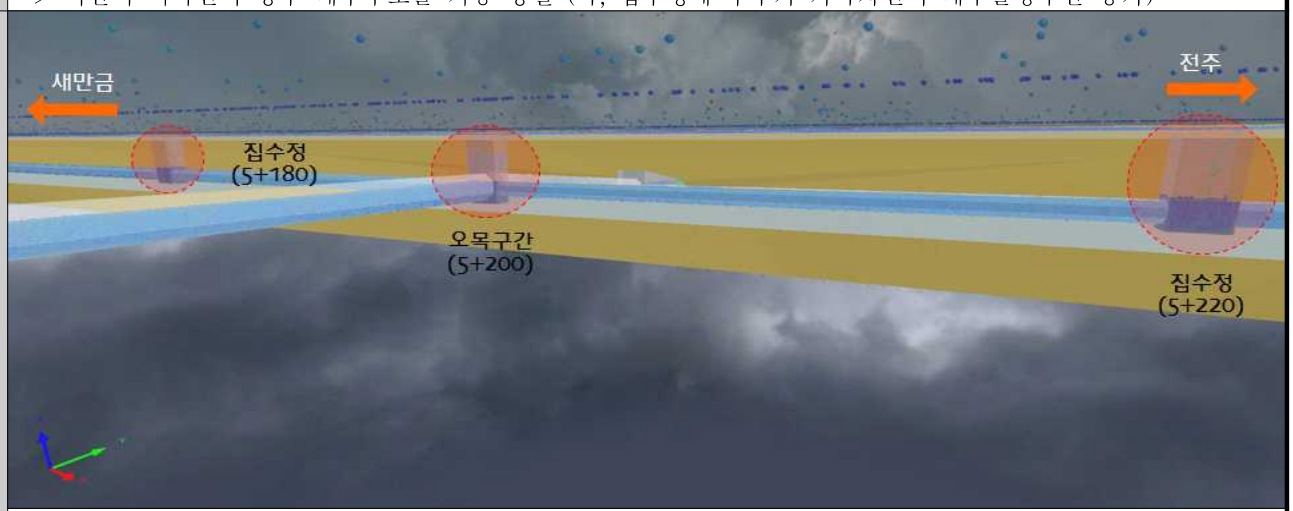
< 표 9 > T=30분 일 때 STA. 4+800의 시뮬레이션 상황

구 분	STA. 4+800
지상 (T= 30분)	 1. 오목구간(STA. 4+800)을 중심으로 상부 배수구조물(집수정)의 배수적정성을 검토 - 오목구간(STA. 4+800) 좌측 : 배수불량구간 미발생 -> 종단구배가 3.90%로 강하므로 배수가 원활 - 오목구간(STA. 4+800) 우측 : 배수불량구간 발생 (STA. 4+820 ~ 4+860) -> 종단구배가 0.3%로 약하고, 오목구간(4+800) 주변으로 우수가 집중되므로 배수가 불량 2. 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 STA.4+820 ~ 4+860 사이의 배수불량구간이 증가 -> 시간이 지나면서 상부 배수구조물 기능 상실 (즉, 집수정에 우수가 가득차면서 배수불량구간 증가)
지하 (T= 30분)	 1. 오목구간(STA. 4+800)을 중심으로 하부 배수구조물(종배수관)의 배수적정성을 검토 - 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 집수정에 우수가 점점 차오르므로 개선안 필요 -> 하부 배수구조물(종배수관)에 우수가 가득차면 상부 배수구조물(집수정)도 우수가 가득 차므로 기능상실 하여 배수불량구간 발생

(나) 오목구간 2 : STA. 5+200

< 표 10 > T=30분 일 때 STA. 5+200의 시뮬레이션 상황

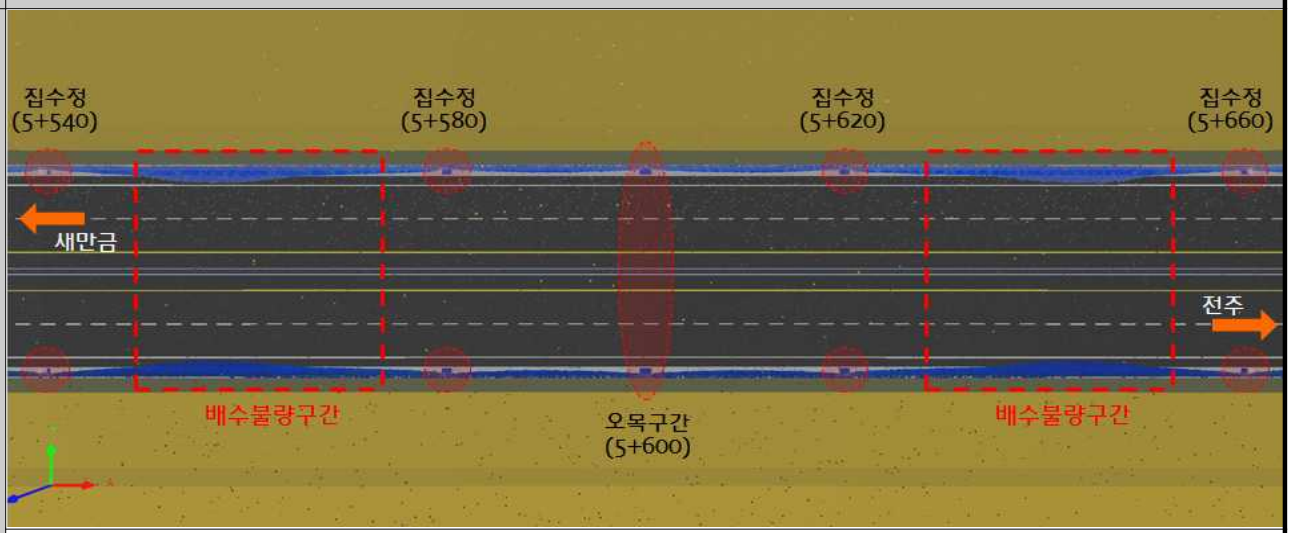
<table>
<tr><th>구 분</th><th>STA. 5+200</th></tr>
<tr><td>지상
(T=
30분)</td><td> 

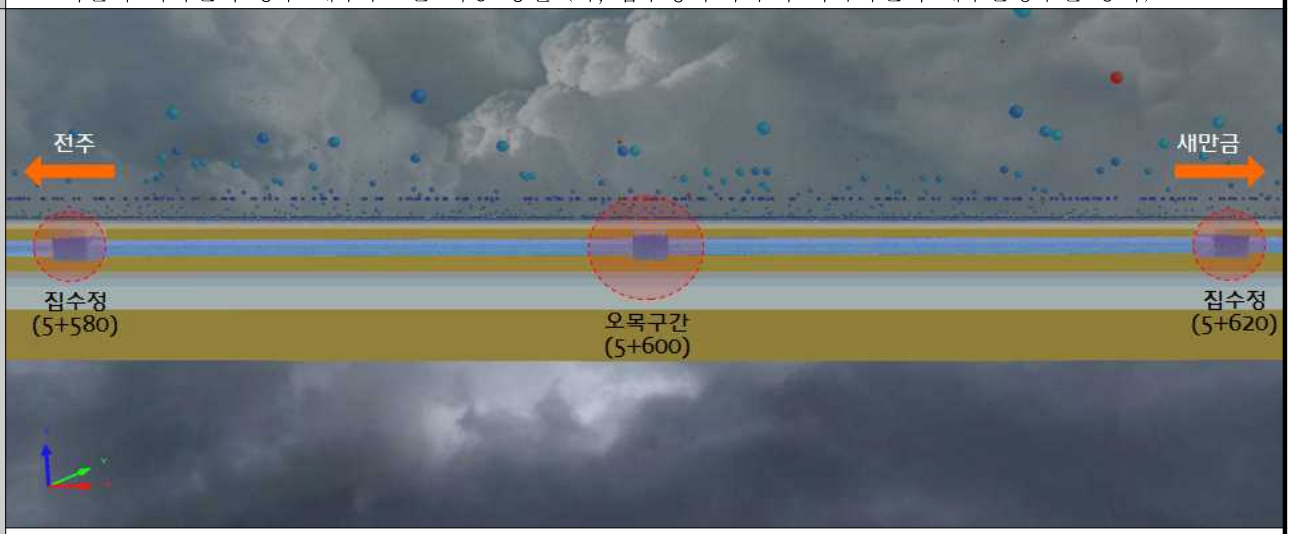
1. 오목구간(STA. 5+200)을 중심으로 상부 배수구조물(집수정)의 배수적정성을 검토
- 오목구간(STA. 5+200) 좌측 : 배수불량구간 발생 (STA. 5+140 ~ 5+180)
-> 종단구배가 0.3%로 약하고, 오목구간(5+200) 주변으로 우수가 집중되므로 배수가 불량
- 오목구간(STA. 5+200) 우측 : 배수불량구간 발생 (STA. 5+220 ~ 5+260)
-> 종단구배가 0.3%로 약하고, 오목구간(5+200) 주변으로 우수가 집중되므로 배수가 불량
2. 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 STA. 5+140 ~ 5+180, STA. 5+220 ~ 5+260 사이의 배수불량 구간이 증가
-> 시간이 지나면서 상부 배수구조물 기능 상실 (즉, 집수정에 우수가 가득차면서 배수불량구간 증가)</td></tr>
<tr><td>지하
(T=
30분)</td><td> 

1. 오목구간(STA. 5+200)을 중심으로 하부 배수구조물(종배수관)의 배수적정성을 검토
- 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 집수정에 우수가 점점 차오르므로 개선안 필요
-> 하부 배수구조물(종배수관)에 우수가 가득차면 상부 배수구조물(집수정)도 우수가 가득 차므로 기능상실하여 배수불량구간 발생</td></tr>
</table>

(다) 오목구간 3 : STA. 5+600

< 표 11 > T=30분 일 때 STA. 5+600의 시뮬레이션 상황

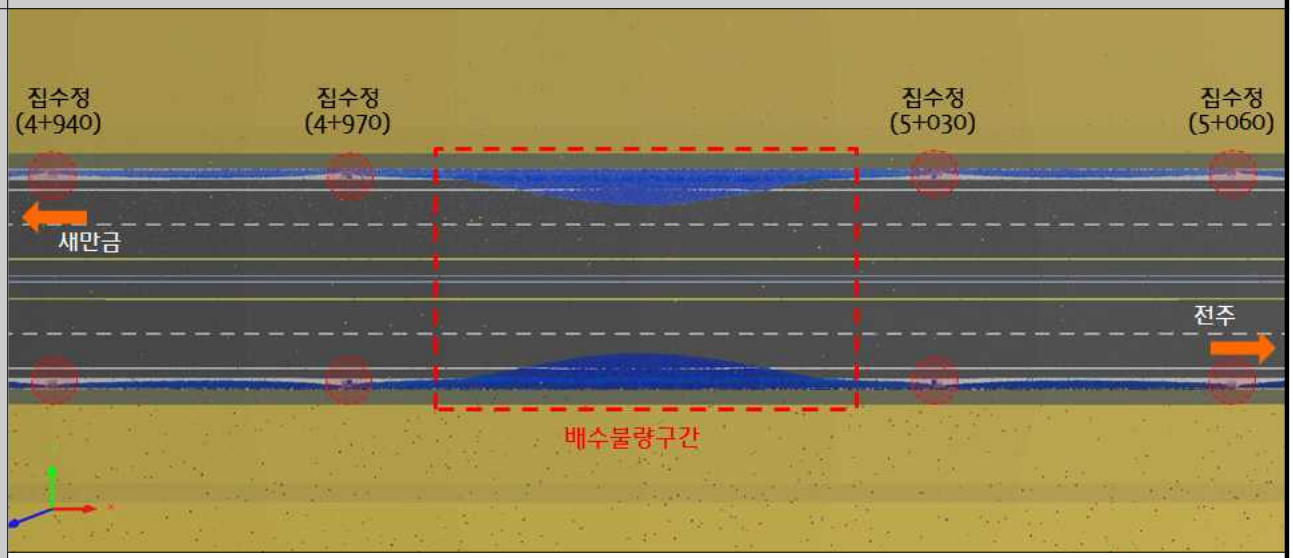
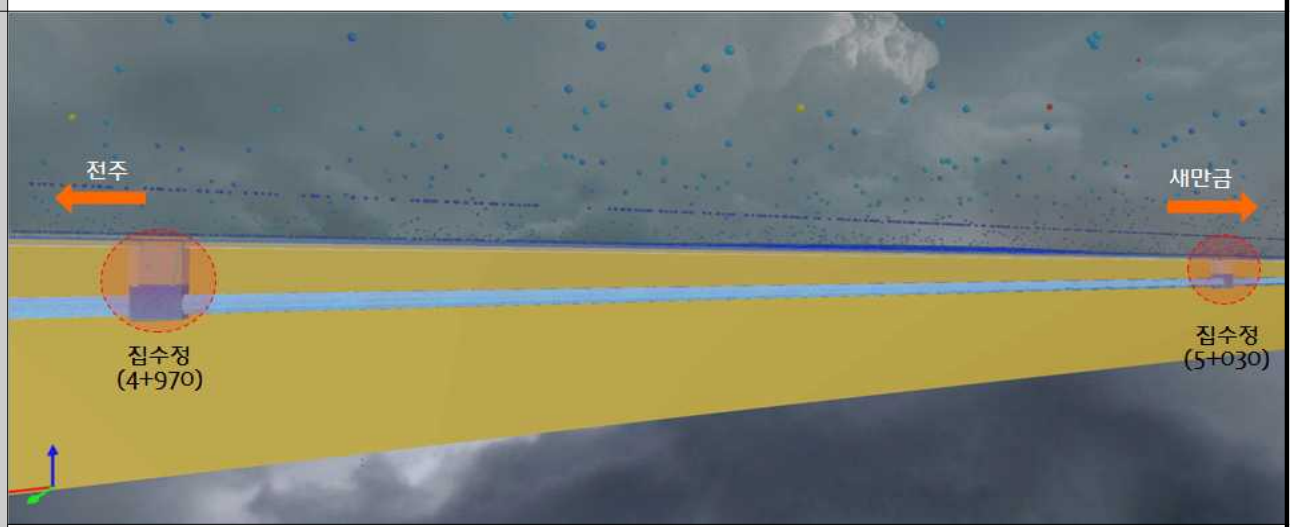
<table>
<tr><th>구 분</th><th>STA. 5+600</th></tr>
<tr><td>지상
(T=
30분)</td><td> 

1. 오목구간(STA. 5+600)을 중심으로 상부 배수구조물(집수정)의 배수적정성을 검토
- 오목구간(STA. 5+600) 좌측 : 배수불량구간 발생 (STA. 5+540 ~ 5+580)
-> 종단구배가 0.3%로 약하고, 오목구간(5+600) 주변으로 우수가 집중되므로 배수가 불량
- 오목구간(STA. 5+600) 우측 : 배수불량구간 발생 (STA. 5+620 ~ 5+660)
-> 종단구배가 0.3%로 약하고, 오목구간(5+600) 주변으로 우수가 집중되므로 배수가 불량
2. 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 STA. 5+540 ~ 5+580, STA. 5+620 ~ 5+660 사이의 배수불량 구간이 증가
-> 시간이 지나면서 상부 배수구조물 기능 상실 (즉, 집수정에 우수가 가득차면서 배수불량구간 증가)</td></tr>
<tr><td>지하
(T=
30분)</td><td> 

1. 오목구간(STA. 5+600)을 중심으로 하부 배수구조물(종배수관)의 배수적정성을 검토
- 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 집수정에 우수가 점점 차오르므로 개선안 필요
-> 하부 배수구조물(종배수관)에 우수가 가득차면 상부 배수구조물(집수정)도 우수가 가득 차므로 기능상실하여 배수불량구간 발생</td></tr>
</table>

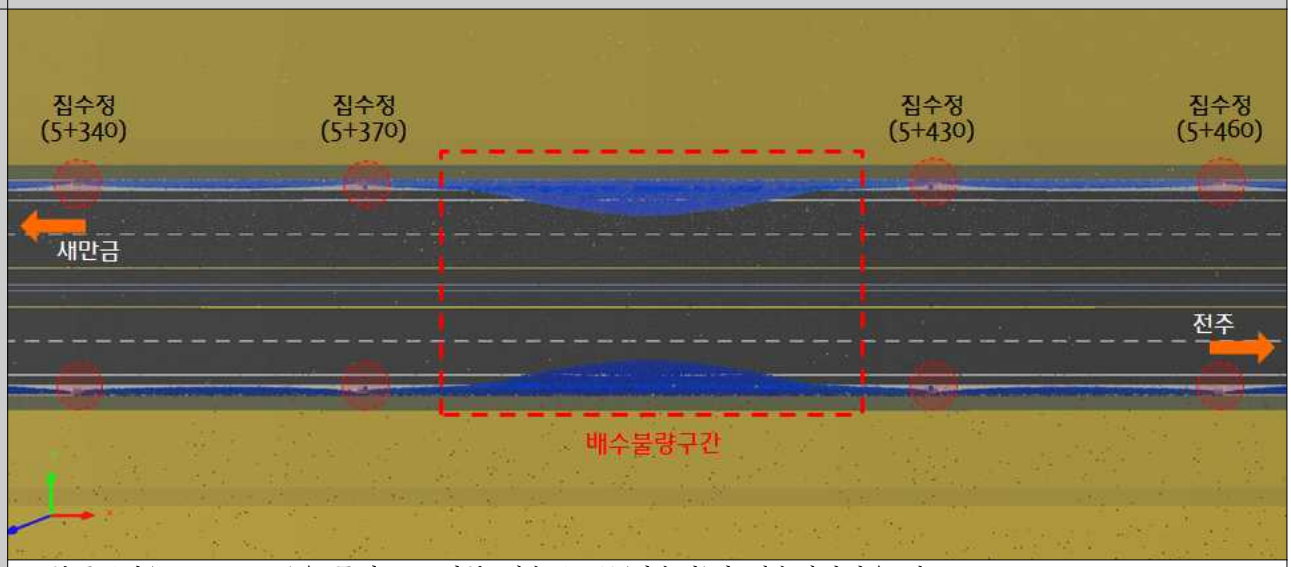
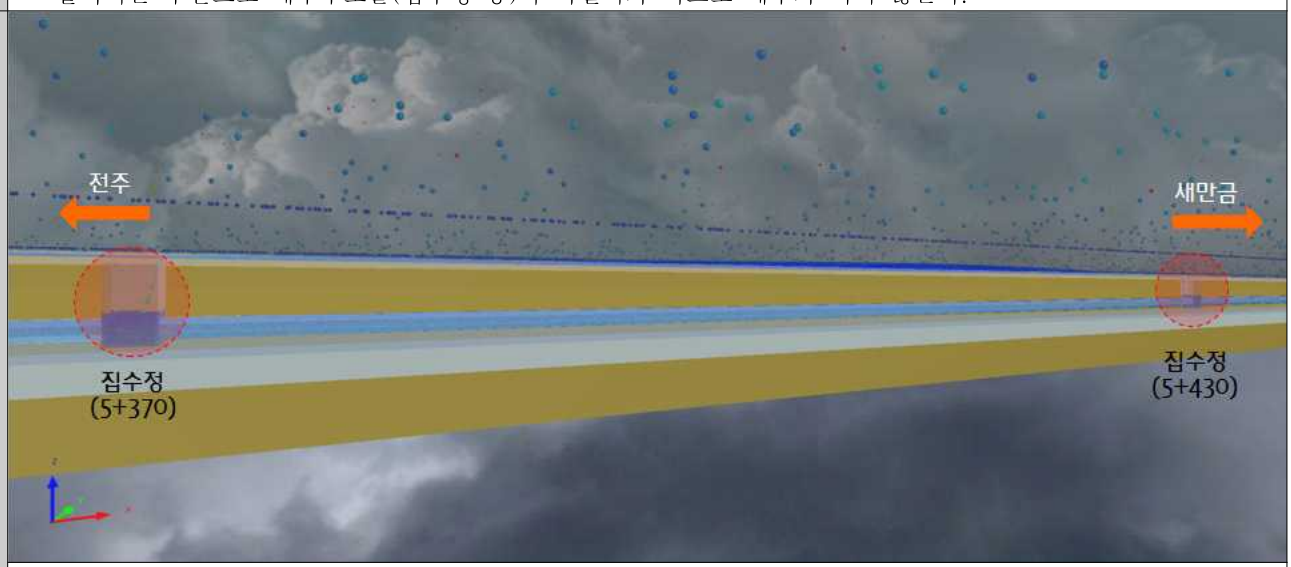
(라) 볼록구간 1 : STA. 5+000

< 표 12 > T=30분 일 때 STA. 5+000의 시뮬레이션 상황

구 분	STA. 5+000
지상 (T= 30분)	 1. 볼록구간(STA. 5+000)을 중심으로 상부 배수구조물(집수정)의 배수적정성을 검토 - 볼록구간(STA. 5+000) 주변 : 배수불량구간 발생 (STA. 4+970 ~ 5+030) -> 종단구배가 0%에 가까워 우수의 움직임이 거의 없으므로 배수불량구간 발생 2. 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 STA. 4+970 ~ 5+030 사이의 배수불량 구간이 증가 -> 시간이 지나면서 우수의 움직임이 거의 없고, 상부 배수구조물(집수정)이 없으므로 배수불량구간 증가 3. 오목구간은 우수가 집중되는 구간으로 배수구조물(집수정 등)이 설치되어 배수가 되지만, 볼록구간에는 우수가 흩어지는 구간으로 배수구조물(집수정 등)이 미설치가 되므로 배수가 되지 않는다.
지하 (T= 30분)	 1. 볼록구간(STA. 5+000)을 중심으로 하부 배수구조물(종배수관)의 배수적정성을 검토 - 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 집수정에 우수가 점점 차오르므로 개선안 필요 -> 하부 배수구조물(종배수관)에 우수가 가득차면 상부 배수구조물(집수정)도 우수가 가득 차므로 기능상실하여 배수불량구간 발생

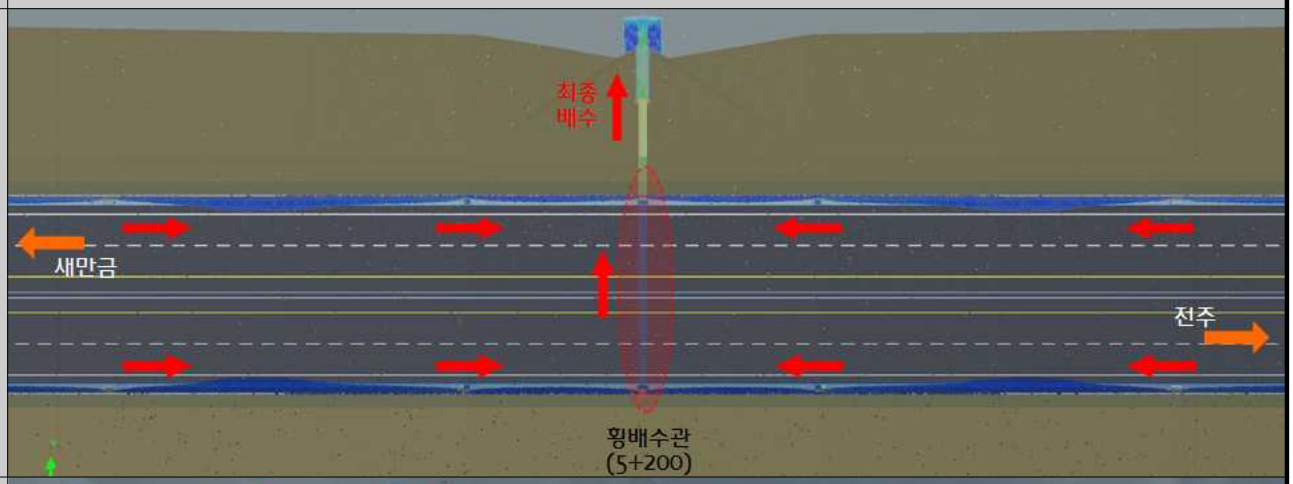
(마) 볼록구간 2 : STA. 5+400

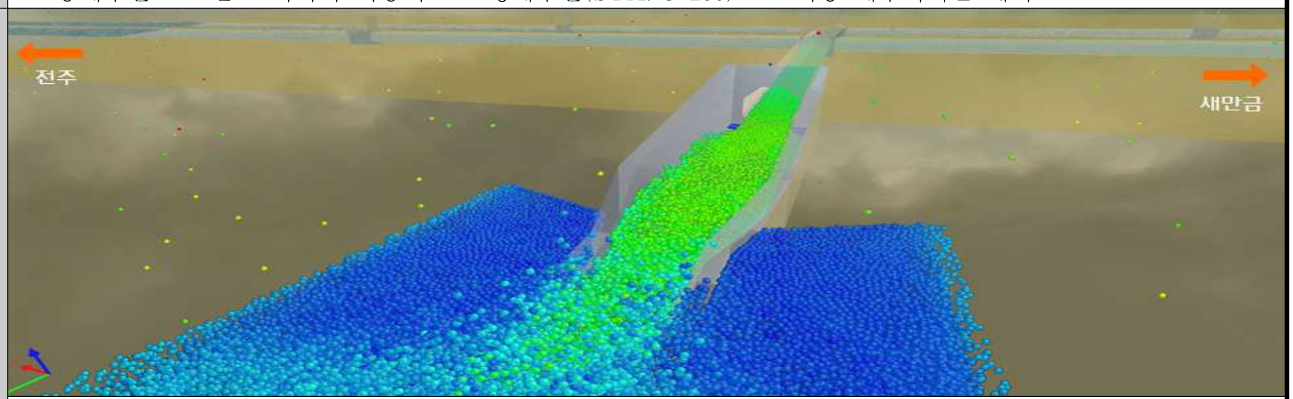
< 표 13 > T=30분 일 때 STA. 5+400의 시뮬레이션 상황

구 분	STA. 5+400
지상 (T= 30분)	 1. 볼록구간(STA. 5+400)을 중심으로 상부 배수구조물(집수정)의 배수적정성을 검토 - 볼록구간(STA. 5+400) 주변 : 배수불량구간 발생 (STA. 5+370 ~ 5+430) -> 종단구배가 0%에 가까워 우수의 움직임이 거의 없으므로 배수불량구간 발생 2. 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 STA. 5+370 ~ 5+430 사이의 배수불량 구간이 증가 -> 시간이 지나면서 우수의 움직임이 거의 없고, 상부 배수구조물(집수정)이 없으므로 배수불량구간 증가 3. 오목구간은 우수가 집중되는 구간으로 배수구조물(집수정 등)이 설치되어 배수가 되지만, 볼록구간에는 우수가 흩어지는 구간으로 배수구조물(집수정 등)이 미설치가 되므로 배수가 되지 않는다.
지하 (T= 30분)	 1. 볼록구간(STA. 5+400)을 중심으로 하부 배수구조물(종배수관)의 배수적정성을 검토 - 시뮬레이션 결과 시간이 지날수록 집수정에 우수가 점점 차오르므로 개선안 필요 -> 하부 배수구조물(종배수관)에 우수가 가득차면 상부 배수구조물(집수정)도 우수가 가득 차므로 기능상실하여 배수불량구간 발생

(2) 100년 빈도 홍수위 시 횡배수관(STA. 5+200)의 배수

< 표 14 > T=30분 일 때 STA. 5+200의 시뮬레이션 상황

<table>
<tr><th>구 분</th><th>STA. 5+200</th></tr>
<tr><td>지상
(T=
30분)</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>지하
(T=
30분)</td><td> 

1. 횡배수관(STA. 5+200)을 중심으로 좌측 800m, 우측 600m의 도로노면 우수를 집수정에 모은 후 종배수관으로 끌고 가다가 최종적으로 횡배수관(STA. 5+200)으로 최종 배수시키는 계획</td></tr>
<tr><td>횡배
수관
유출부
(T=
30분)</td><td> 

1. 최종배수될 때 횡배수관 최종 유출부 (EL 1.11)가 100년 빈도 홍수위 (EL 1.27)보다 낮지만 유출되는 배수관(D=1000mm)에 비하면 높이차(△H=160mm)가 작으므로 최종 유출부에서는 배수가 원활
2. 하지만 시뮬레이션 결과 최종배수되는 횡배수관보다 최종배수에 도달하기 전 상부 배수구조물(집수정), 하부 배수구조물(종배수관)에서 배수불량이 발생</td></tr>
</table>

3. 분석결과

가. 종배수관 배수처리 장거리 구간

(1) 오목구간별 시뮬레이션을 통하여 배수불량구간 선정 (3.4.2.2 시뮬레이션 분석결과)

- 오목구간 1 : STA. 4+800
-> STA. 4+820 ~ 4+860 (오목구간 중심으로 우측)

- 오목구간 2 : STA. 5+200
-> STA. 5+140 ~ 5+180 (오목구간 중심으로 좌측)
-> STA. 5+220 ~ 5+260 (오목구간 중심으로 우측)

- 오목구간 3 : STA. 5+600
-> STA. 5+540 ~ 5+580 (오목구간 중심으로 좌측)
-> STA. 5+620 ~ 5+660 (오목구간 중심으로 우측)

(2) 볼록구간별 시뮬레이션을 통하여 배수불량구간 선정 (3.4.2.2 시뮬레이션 분석결과)

- 볼록구간 1 : STA. 5+000
-> STA. 4+970 ~ 5+030 (오목구간 중심으로 좌우측)

- 볼록구간 2 : STA. 5+400
-> STA. 5+370 ~ 5+430 (오목구간 중심으로 좌우측)

(3) 좀 더 정확한 배수불량구간 선정을 위하여 시뮬레이션 상황을 T=10,20,30분 일 때 분석

- 오목구간
-> 시간이 지날수록 배수불량구간 증가
-> 배수불량구간에 상부 배수구조물(집수정) 추가 설치하여 노면의 우수를 배수시키고, 하부 배수구조물(종배수관)에 우수가 가득 차므로 횡배수관을 추가 설치하여 종배수관의 우수를 배수

- 볼록구간

-> 시간이 지날수록 배수불량구간 증가

-> 배수불량구간에 상부 배수구조물(집수정) 추가 설치하여 노면의 우수를 배수시키고, 하부 배수구조물(종배수관)에 우수가 가득 차므로 횡배수관을 추가 설치하여 종배수관의 우수를 배수

(4) 시뮬레이션을 통한 정확한 배수불량구간의 사전예측으로 시공 전에 배수불량구간을 해결함.

나. 100년 빈도 홍수위 시 횡배수관(STA.5+200)의 배수

(1) 100년 빈도 홍수위 시 배수적정성 검토

- 횡배수관 최종 유출부 (EL 1.11) < 100년 빈도 홍수위 (EL 1.27)

-> 유출되는 배수관(D=1000mm)에 비하면 높이차(△H=160mm)가 작으므로 최종 유출부에서는 배수가 원활

(2) 좀 더 정확한 배수불량구간 선정을 위하여 시뮬레이션 상황을 T=10,20,30분 일 때 분석

- 시간이 지나도 횡배수관 유출부에서의 배수는 원활

- 하지만 최종배수에 도달하기 전 상부배수구조물(집수정), 하부 배수구조물(종배수관)에서 배수불량이 발생하므로 배수구조물 추가설치 필요

제5절 TYPE3 : 종단경사 및 VIP간격에 따른 배수효율 검토

1. 분석 Key Point

가. 종단경사 및 VIP간격 변경에 따른 배수효율 검토

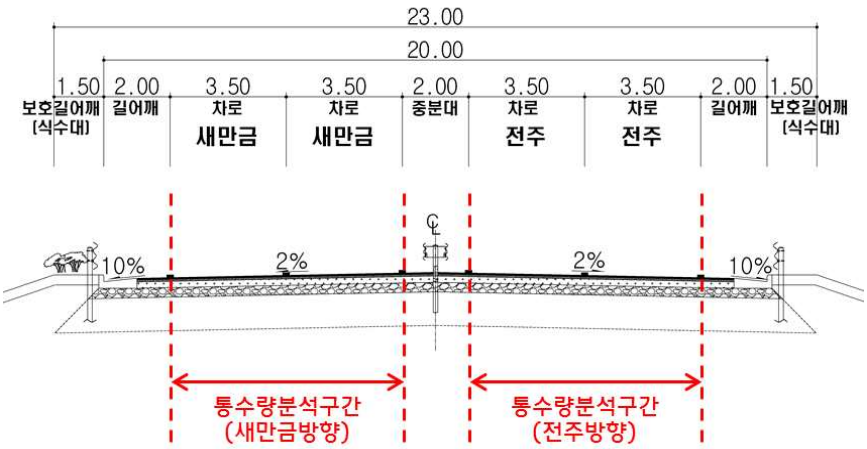
-> 종단경사와 VIP간격 변경을 통한 구간별 우수측정으로 원안과 대안의 배수효율 비교검토

-> 좌(새만금방향)와 우(전주방향)의 횡단경사가 같은 직선구간으로 우수량이 같으므로 우(전주방향)만 우수량을 측정

-> 우수가 길어깨가 아닌 차로까지 월류할 때 배수불량이라고 정의

2. 시뮬레이션 분석 : 첫 번째 케이스

가. 시뮬레이션 분석 조건



< 그림 6 > 횡단면도 중 우수량 분석구간 표현

나. 시뮬레이션 조건

(1) 경계조건

< 표 15 > 시뮬레이션 경계조건

구 분	값
강우강도	227.8mm/hr (좌표, 설계빈도 20년)

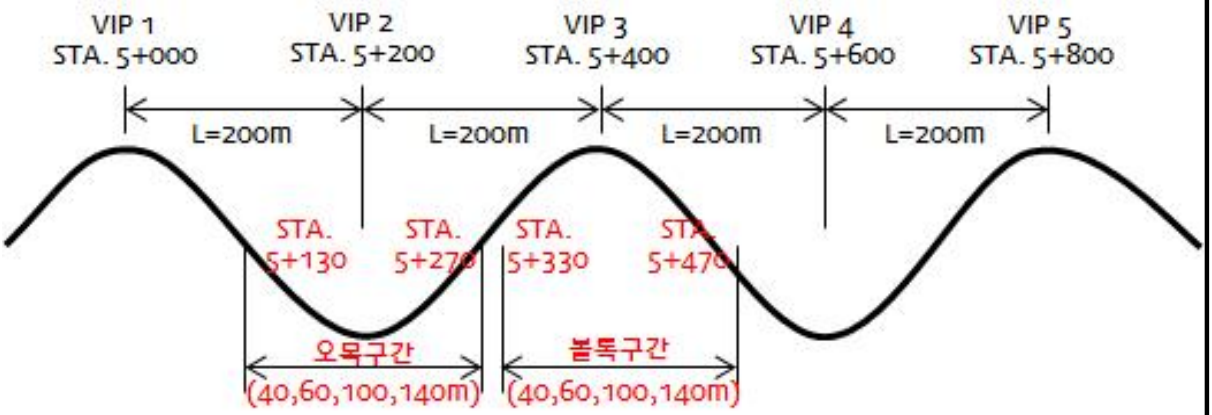
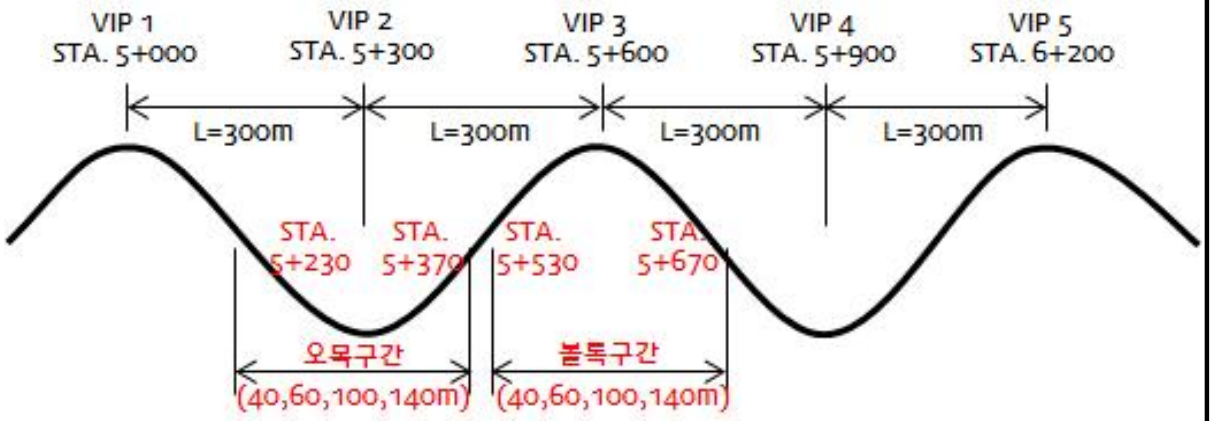
(2) 종단경사 및 VIP간격 변경에 따른 대안

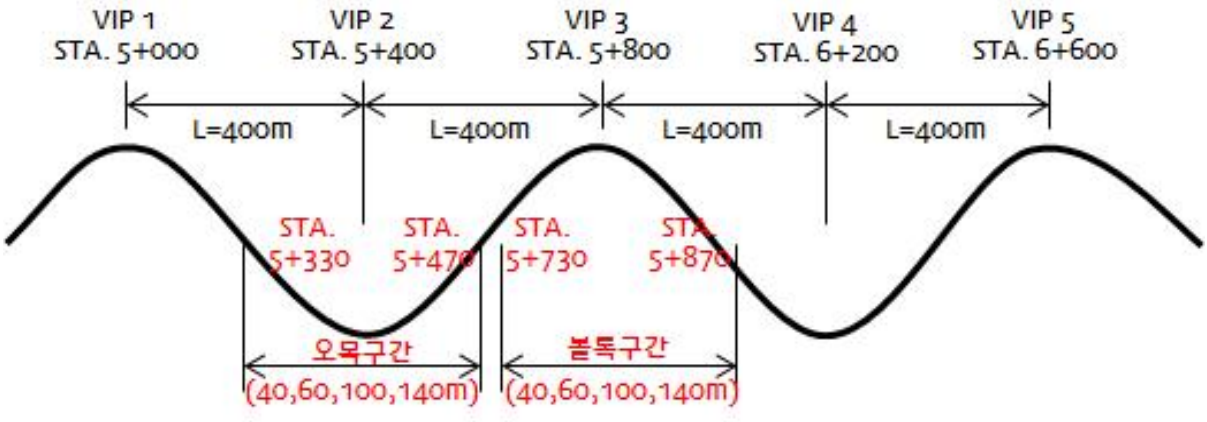
< 표 16 > 종단경사 및 VIP간격 변경에 따른 대안

구 분		종단경사	
		S=0.3%	S=0.5%
VIP 간격	L=200m	○ (원안)	○
	L=300m	○	○
	L=400m	○	○

(3) VIP간격에 따른 종단면도

< 표 17 > VIP간격에 따른 종단면도

<table>
<tr><th>VIP
간격</th><th>종단면도</th></tr>
<tr><td>L =
200m</td><td> 
</td></tr>
<tr><td></td><td>1. 오목구간(STA. 5+200) 과 볼록구간(STA. 5+400)으로 구분하여 우수량을 측정
2. 시뮬레이션 구간 : STA. 5+000 ~ STA. 5+700
3. 집수정 설치구간 : STA. 5+030, 5+060, 5+100, 5+140, 5+180, 5+200(오목),
5+220, 5+260, 5+300, 5+340, 5+370, 5+430, 5+460, 5+500,
5+540, 5+580, 5+600(오목), 5+620, 5+660, 5+700</td></tr>
<tr><td>L =
300m</td><td> 
</td></tr>
<tr><td></td><td>1. 오목구간(STA. 5+300) 과 볼록구간(STA. 5+600)으로 구분하여 우수량을 측정
2. 시뮬레이션 구간 : STA. 5+000 ~ STA. 6+000
3. 집수정 설치구간 : STA. 5+030, 5+060, 5+090, 5+120, 5+160, 5+200, 5+240,
5+280, 5+300(오목), 5+320, 5+360, 5+400, 5+440, 5+480,
5+510, 5+540, 5+570, 5+630, 5+660, 5+690, 5+720, 5+760,
5+800, 5+840, 5+880, 5+900(오목), 5+920, 5+960, 6+000</td></tr>
</table>

VIP 간격	종단면도
L = 400m	
	1. 오목구간(STA. 5+400) 과 볼록구간(STA. 5+800)으로 구분하여 우수량을 측정 2. 시뮬레이션 구간 : STA. 5+000 ~ STA. 6+300 3. 집수정 설치구간 : STA. 5+030, 5+060, 5+100, 5+140, 5+180, 5+220, 5+260, 5+300, 5+340, 5+380, 5+400(오목), 5+420, 5+460, 5+500, 5+540, 5+580, 5+620, 5+660, 5+700, 5+740, 5+770, 5+830, 5+860, 5+900, 5+940, 5+980, 6+020, 6+060, 6+100, 6+140, 6+180, 6+200(오목), 6+220, 6+260, 6+300

다. 시뮬레이션 분석결과

(1) 볼록구간

< 표 18 > 볼록구간의 시뮬레이션 분석결과

구 분			종단경사									
VIP 간격	우수 측정구간		S=0.3%					S=0.5%				
			전주방향, 우측					전주방향, 우측				
			2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
L=200m	볼록지점(STA 5+400)	STA 5+380 ~ 5+420(40m)	0.126	0.144	0.155	0.146	0.150	0.129	0.140	0.147	0.144	0.141
		10m당 우수량	0.032	0.036	0.039	0.037	0.038	0.032	0.035	0.037	0.036	0.035
		STA 5+370 ~ 5+430(60m)	0.192	0.203	0.225	0.207	0.216	0.196	0.200	0.214	0.206	0.203
		10m당 우수량	0.032	0.034	0.038	0.035	0.036	0.033	0.033	0.036	0.034	0.034
		STA 5+350 ~ 5+450(100m)	0.323	0.329	0.350	0.331	0.354	0.325	0.321	0.339	0.326	0.338
		10m당 우수량	0.032	0.033	0.035	0.033	0.035	0.033	0.032	0.034	0.033	0.034
		STA 5+330 ~ 5+470(140m)	0.444	0.450	0.468	0.456	0.476	0.440	0.437	0.459	0.448	0.460
		10m당 우수량	0.032	0.032	0.033	0.033	0.034	0.031	0.031	0.033	0.032	0.033
L=300m	볼록지점(STA 5+600)	STA 5+580 ~ 5+620(40m)	0.129	0.154	0.151	0.149	0.156	0.128	0.141	0.149	0.142	0.145
		10m당 우수량	0.032	0.039	0.038	0.037	0.039	0.032	0.035	0.037	0.036	0.036
		STA 5+570 ~ 5+630(60m)	0.19	0.222	0.215	0.222	0.227	0.189	0.208	0.215	0.211	0.216
		10m당 우수량	0.032	0.037	0.036	0.037	0.038	0.032	0.035	0.036	0.035	0.036
		STA 5+550 ~ 5+650(100m)	0.325	0.344	0.331	0.342	0.354	0.322	0.329	0.332	0.331	0.338
		10m당 우수량	0.033	0.034	0.033	0.034	0.035	0.032	0.033	0.033	0.033	0.034
		STA 5+530 ~ 5+670(140m)	0.443	0.463	0.457	0.47	0.482	0.44	0.45	0.453	0.451	0.464
		10m당 우수량	0.032	0.033	0.033	0.034	0.034	0.031	0.032	0.032	0.032	0.033
L=400m	볼록지점(STA 5+800)	STA 5+780 ~ 5+820(40m)	0.145	0.141	0.147	0.146	0.152	0.137	0.136	0.138	0.141	0.138
		10m당 우수량	0.036	0.035	0.037	0.037	0.038	0.034	0.034	0.035	0.035	0.035
		STA 5+770 ~ 5+830(60m)	0.211	0.214	0.21	0.209	0.223	0.201	0.205	0.204	0.198	0.207
		10m당 우수량	0.035	0.036	0.035	0.035	0.037	0.034	0.034	0.034	0.033	0.035
		STA 5+750 ~ 5+850(100m)	0.331	0.353	0.339	0.333	0.352	0.321	0.333	0.328	0.315	0.335
		10m당 우수량	0.033	0.035	0.034	0.033	0.035	0.032	0.033	0.033	0.032	0.034
		STA 5+730 ~ 5+870(140m)	0.463	0.486	0.485	0.467	0.492	0.446	0.462	0.461	0.436	0.467
		10m당 우수량	0.033	0.035	0.035	0.033	0.035	0.032	0.033	0.033	0.031	0.033

(2) 오목구간

< 표 19 > 오목구간의 시뮬레이션 분석결과

구 분			종단경사									
VIP 간격	우수 측정구간		S=0.3%					S=0.5%				
			전주방향, 우측					전주방향, 우측				
			2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
L=200m	오목지점(STA 5+200)	STA 5+180 ~ 5+220(40m)	0.124	0.131	0.127	0.128	0.123	0.130	0.126	0.125	0.127	0.122
		10m당 우수량	0.031	0.033	0.032	0.032	0.031	0.033	0.032	0.031	0.032	0.031
		STA 5+170 ~ 5+230(60m)	0.186	0.200	0.201	0.199	0.192	0.192	0.195	0.200	0.200	0.192
		10m당 우수량	0.031	0.033	0.034	0.033	0.032	0.032	0.033	0.033	0.033	0.032
		STA 5+150 ~ 5+250(100m)	0.329	0.333	0.342	0.327	0.344	0.333	0.328	0.329	0.326	0.342
		10m당 우수량	0.033	0.033	0.034	0.033	0.034	0.033	0.033	0.033	0.033	0.034
		STA 5+130 ~ 5+270(140m)	0.452	0.467	0.467	0.458	0.475	0.458	0.454	0.450	0.455	0.466
		10m당 우수량	0.032	0.033	0.033	0.033	0.034	0.033	0.032	0.032	0.033	0.033
L=300m	오목지점(STA 5+300)	STA 5+280 ~ 5+320(40m)	0.117	0.118	0.124	0.126	0.121	0.122	0.119	0.122	0.128	0.125
		10m당 우수량	0.029	0.030	0.031	0.032	0.030	0.031	0.030	0.031	0.032	0.031
		STA 5+270 ~ 5+330(60m)	0.185	0.19	0.194	0.198	0.185	0.19	0.189	0.194	0.199	0.194
		10m당 우수량	0.031	0.032	0.032	0.033	0.031	0.032	0.032	0.032	0.033	0.032
		STA 5+250 ~ 5+350(100m)	0.318	0.34	0.33	0.359	0.326	0.327	0.331	0.323	0.349	0.334
		10m당 우수량	0.032	0.034	0.033	0.036	0.033	0.033	0.033	0.032	0.035	0.033
		STA 5+230 ~ 5+370(140m)	0.453	0.463	0.458	0.485	0.468	0.455	0.452	0.45	0.48	0.478
		10m당 우수량	0.032	0.033	0.033	0.035	0.033	0.033	0.032	0.032	0.034	0.034
L=400m	오목지점(STA 5+400)	STA 5+380 ~ 5+420(40m)	0.129	0.122	0.128	0.126	0.123	0.127	0.122	0.127	0.125	0.124
		10m당 우수량	0.032	0.031	0.032	0.032	0.031	0.032	0.031	0.032	0.031	0.031
		STA 5+370 ~ 5+430(60m)	0.196	0.191	0.198	0.193	0.192	0.194	0.191	0.194	0.195	0.195
		10m당 우수량	0.033	0.032	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.033	0.033
		STA 5+350 ~ 5+450(100m)	0.326	0.333	0.346	0.337	0.322	0.324	0.331	0.329	0.341	0.327
		10m당 우수량	0.033	0.033	0.035	0.034	0.032	0.032	0.033	0.033	0.034	0.033
		STA 5+330 ~ 5+470(140m)	0.454	0.458	0.479	0.471	0.452	0.447	0.451	0.456	0.47	0.455
		10m당 우수량	0.032	0.033	0.034	0.034	0.032	0.032	0.032	0.033	0.034	0.033

(가) 오목구간 과 볼록구간에 의한 영향

- 오목구간 우수량 ≒ 볼록구간 우수량

- 종단구배(0.3% OR 0.5%) 및 강우강도(227.8mm/hr)가 작고, 배수구조물(집수정)이 조밀하게 설치되어 있음. 즉, 종단구배가 작아 오목 및 볼록구간에서 우수의 움직임이 거의 없고, 집수정이 조밀하게 설치되고 우수량이 적어 배수가 바로 되므로 차이가 거의 없음.

(나) 종단구배에 의한 영향

- 볼록구간 : 종단구배 0.3% 우수량 ≒ 종단구배 0.5% 우수량

-> 종단구배(0.3% OR 0.5%) 및 강우강도(227.8mm/hr)가 작고, 배수구조물(집수정)이 조밀하게 설치되어 있음. 즉, 종단구배가 작아 우수의 움직임이 거의 없고, 집수정이 조밀하게 설치되고 우수량이 적어 배수가 바로 되므로 차이가 거의 없음.

- 오목구간 : 종단구배 0.3% 우수량 ≒ 종단구배 0.5% 우수량

-> 종단구배(0.3% OR 0.5%) 및 강우강도(227.8mm/hr)가 작고, 배수구조물(집수정)이 조밀하게 설치되어 있음. 즉, 종단구배가 작아 우수의 움직임이 거의 없고, 집수정이 조밀하게 설치되고 우수량이 적어 배수가 바로 되므로 차이가 거의 없음.

(다) VIP간격에 따른 영향

- 볼록구간

-> VIP간격에 따른 영향 없음

-> VIP간격이 길어지더라고 배수구조물(집수정)이 조밀하게 설치되어 있어 배수가 바로 되므로 VIP간격에 따른 영향이 거의 없음.

- 오목구간

-> VIP간격에 따른 영향 없음

-> VIP간격이 길어지더라고 배수구조물(집수정)이 조밀하게 설치되어 있어 배수가 바로 되므로 VIP 간격에 따른 영향이 거의 없음.

(라) 결론

위의 내용을 종합해보면 오목 및 볼록구간, 종단구배, VIP간격에 따른 영향은 거의 없다는 것을 확인할 수 있음. 즉, 6가지 조건 중 배수효율을 비교했을 때 거의 비슷하다는 것을 확인할 수 있음.

라. 시뮬레이션 상황

(1) 볼록구간

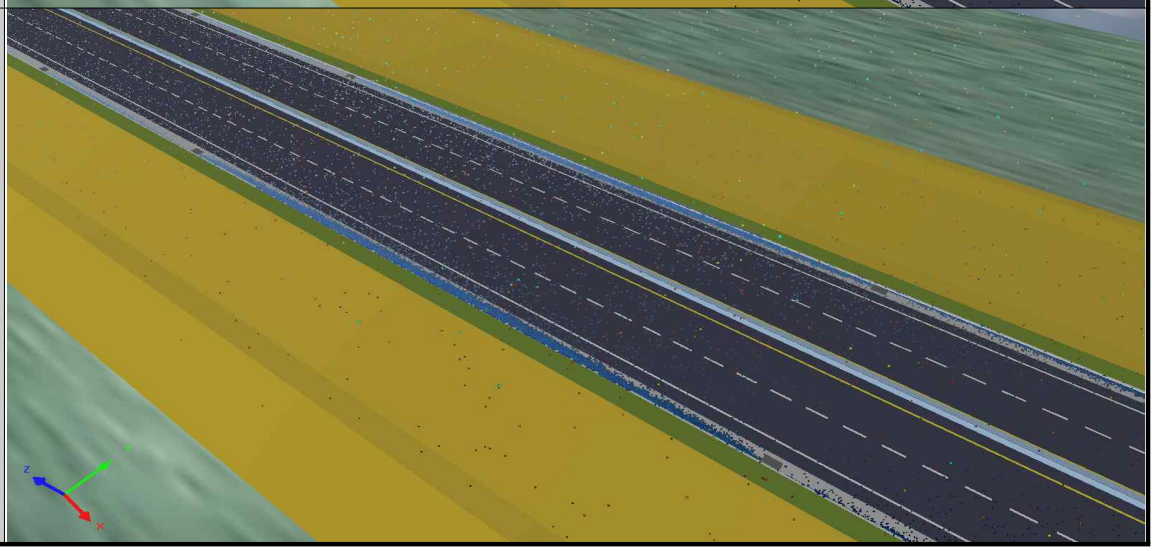
(가) S=0.3%

< 표 20 > 볼록구간의 시뮬레이션 상황 (S=0.3%, T=10분)

VIP 간격	시뮬레이션 상황 (10분)
L= 200m , 볼록 구간 : STA. 5+400	
L= 300m , 볼록 구간 : STA. 5+600	
L= 400m , 볼록 구간 : STA. 5+800	

(나) S=0.5%

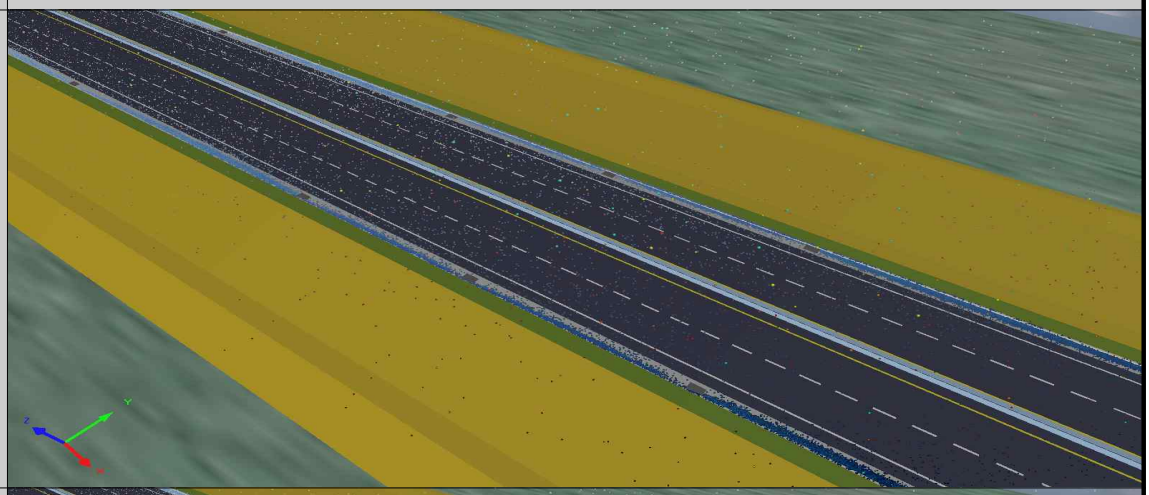
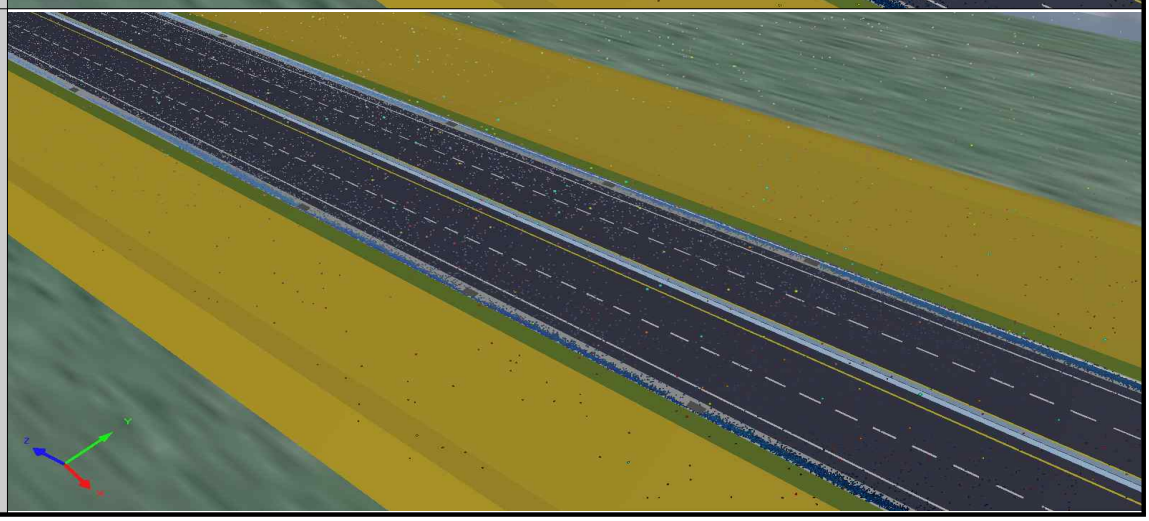
< 표 21 > 볼록구간의 시뮬레이션 상황 (S=0.5%, T=10분)

VIP 간격	시뮬레이션 상황 (10분)
L= 200m , 볼록 구간 : STA. 5+400	
L= 300m , 볼록 구간 : STA. 5+600	
L= 400m , 볼록 구간 : STA. 5+800	

(2) 오목구간

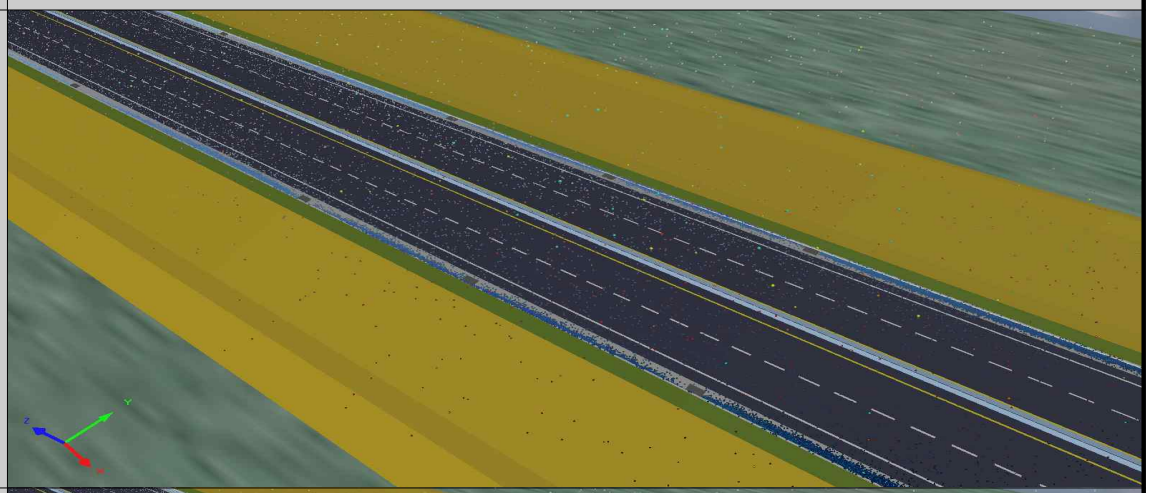
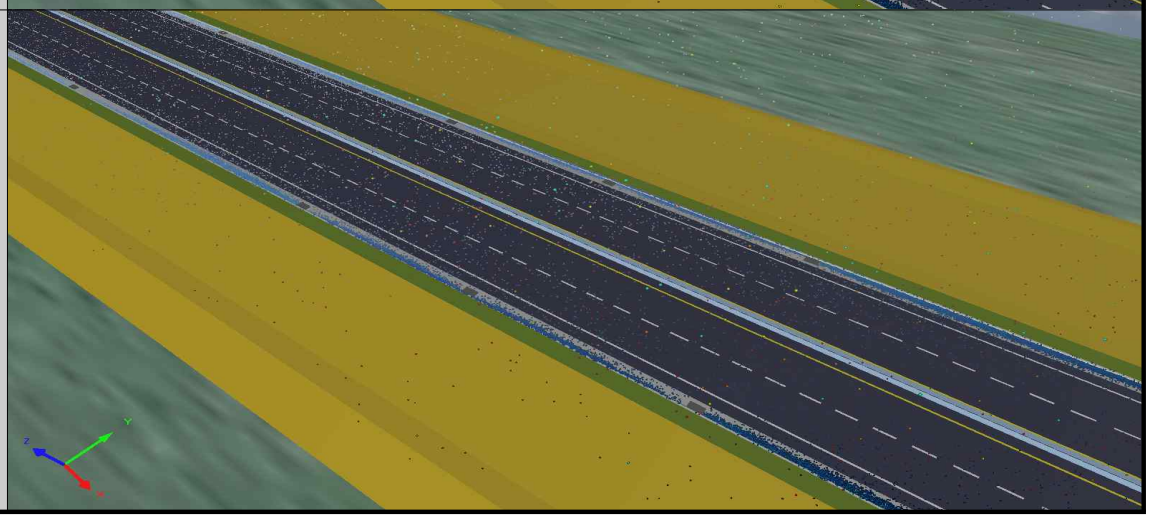
(가) S=0.3%

< 표 22 > 오목구간의 시뮬레이션 상황 (S=0.3%, T=10분)

VIP 간격	시뮬레이션 상황 (10분)
L= 200m , 오목 구간 : STA. 5+200	
L= 300m , 오목 구간 : STA. 5+300	
L= 400m , 오목 구간 : STA. 5+400	

(나) S=0.5%

< 표 23 > 오목구간의 시뮬레이션 상황 (S=0.5%, T=10분)

VIP 간격	시뮬레이션 상황 (10분)
L= 200m , 오목 구간 : STA. 5+200	
L= 300m , 오목 구간 : STA. 5+300	
L= 400m , 오목 구간 : STA. 5+400	

마. 분석결과

(1) 오목구간 과 볼록구간에 의한 영향

-> 오목구간 우수량 ≒ 볼록구간 우수량

-> 즉, 오목 및 볼록구간에 의한 차이가 거의 없음.

(2) 종단구배에 의한 영향

-> 볼록구간 : 종단구배 0.3% 우수량 ≒ 종단구배 0.5% 우수량

-> 오목구간 : 종단구배 0.3% 우수량 ≒ 종단구배 0.5% 우수량

-> 즉, 종단구배에 의한 차이가 거의 없음.

(3) VIP간격에 따른 영향

-> 볼록구간 : VIP간격에 따른 영향 없음.

-> 오목구간 : VIP간격에 따른 영향 없음.

-> 즉, VIP간격에 의한 차이가 거의 없음.

(4) 위의 내용을 종합해보면 오목 및 볼록구간, 종단구배, VIP간격에 따른 영향은 거의 없다는 것을 확인할 수 있음. 즉, 6가지 조건 중 배수효율을 비교했을 때 거의 비슷하다는 것을 확인할 수 있음.

(5) 그래서 좀 더 정확한 오목 및 볼록구간, 종단구배, VIP간격에 따른 영향을 고려한 배수효율을 검토하기 위해서 강우강도 (227.8 mm/hr -> 341.7 mm/hr)를 변경하였고, 당초의 배수구조물 (집수정)이 조밀하여 우수량이 비교되지 않았으므로 배수구조물 설치간격(원안 ->100m 간격), 우수량 측정구간(횡방향 및 종방향)을 변경하였다. 또한 추가로 VIP간격 250m를 추가하여 종단경사 및

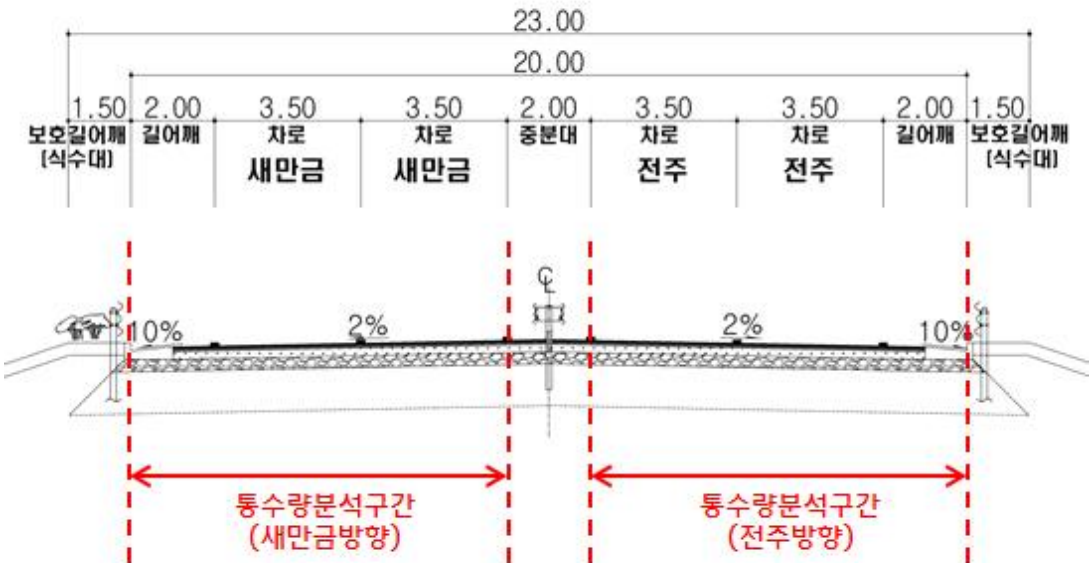
VIP 간격에 따른 배수효율 검토를 위한 두번째 케이스로 시뮬레이션 하였음.

< 표 24 > 시뮬레이션 조건비교 (당초 VS 변경)

구 분		조건	
		당초	변경
강우강도		227.8 mm/hr	341.7 mm/hr
배수구조물 설치간격		원안	100m간격으로 설치
우수량 측정구간	횡방향	차로구간	차로 및 길어깨 구간
	종방향	오목 및 볼록 구간 -> 40, 60, 100, 140m	오목 및 볼록 구간 -> 50, 100, 150, 200m
VIP간격		200, 300, 400m	200, 250, 300, 400m

3. 시뮬레이션 분석 : 두 번째 케이스

가. 시뮬레이션 분석조건



< 그림 7 > 횡단면도 중 우수량 분석구간 표현

나. 시뮬레이션 조건

(1) 경계조건

< 표 25 > 시뮬레이션 경계조건

구 분	값
강우강도	기존 : 227.8mm/hr (좌표, 20년) -> 변경 : 341.7mm/hr (기존의 1.5배)

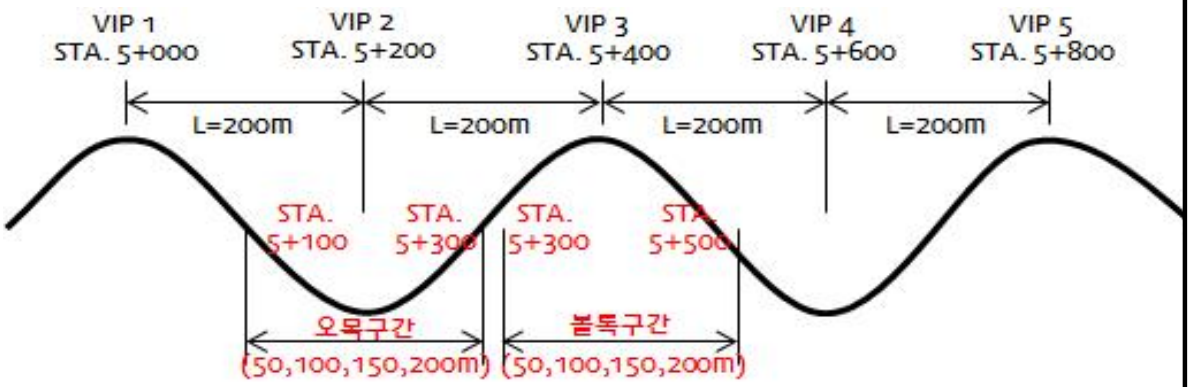
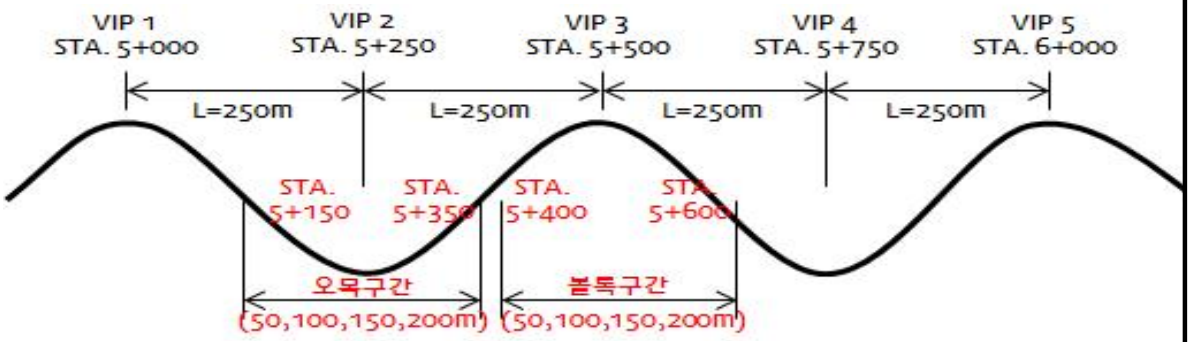
(2) 종단경사 및 VIP간격 변경에 따른 대안

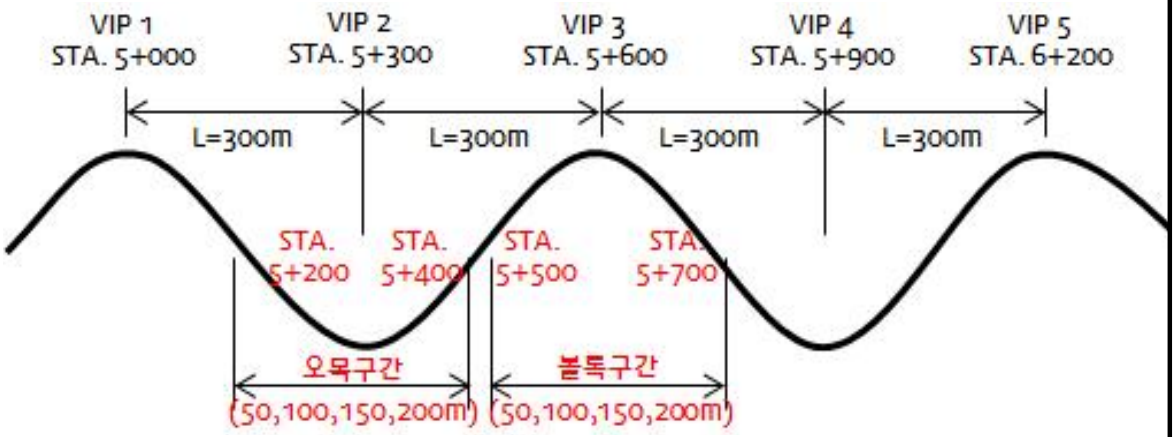
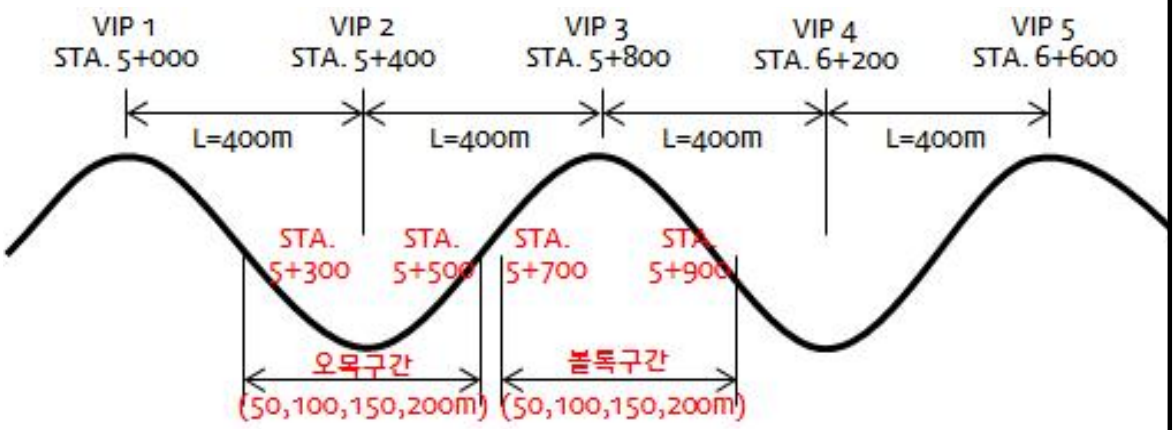
< 표 26 > 종단경사 및 VIP간격 변경에 따른 대안

구 분		종단경사	
		S=0.3%	S=0.5%
VIP 간격	L=200m	○ (원안)	○
	L=250m	○	○
	L=300m	○	○
	L=400m	○	○

(3) VIP간격에 따른 종단면도

< 표 27 > VIP간격에 따른 종단면도

<table>
<tr><th>VIP
간격</th><th>종단면도</th></tr>
<tr><td>L =
200m</td><td> 
</td></tr>
<tr><td></td><td>1. 오목구간(STA. 5+200) 과 볼록구간(STA. 5+400)으로 구분하여 우수량을 측정
2. 시뮬레이션 구간 : STA. 5+000 ~ STA. 5+700
3. 집수정 설치구간 : STA. 5+100, 5+200(오목), 5+300, 5+500, 5+600(오목), 5+700</td></tr>
<tr><td>L =
250m</td><td> 
</td></tr>
<tr><td></td><td>1. 오목구간(STA. 5+250) 과 볼록구간(STA. 5+500)으로 구분하여 우수량을 측정
2. 시뮬레이션 구간 : STA. 5+000 ~ STA. 5+850
3. 집수정 설치구간 : STA. 5+100, 5+150, 5+250(오목), 5+350, 5+400, 5+600, 5+650,
5+750(오목), 5+850</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>VIP
간격</th><th>종단면도</th></tr>
<tr><td rowspan="2">L =
300m</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>1. 오목구간(STA. 5+300) 과 볼록구간(STA. 5+600)으로 구분하여 우수량을 측정
2. 시뮬레이션 구간 : STA. 5+000 ~ STA. 6+000
3. 집수정 설치구간 : STA. 5+100, 5+200, 5+300(오목), 5+400, 5+500, 5+700,
5+800, 5+900(오목), 6+000</td></tr>
<tr><td rowspan="2">L =
400m</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>1. 오목구간(STA. 5+400) 과 볼록구간(STA. 5+800)으로 구분하여 우수량을 측정
2. 시뮬레이션 구간 : STA. 5+000 ~ STA. 6+300
3. 집수정 설치구간 : STA. 5+100, 5+200, 5+300, 5+400(오목), 5+500, 5+600,
5+700, 5+900, 6+000, 6+100, 6+200(오목), 6+300</td></tr>
</table>

다. 시뮬레이션 분석결과

(1) 볼록구간

< 표 28 > 볼록구간의 시뮬레이션 분석결과

구 분			종단경사											
			S=0.3%						S=0.5%					
VIP 간격	우수 측정구간		전주방향, 우측						전주방향, 우측					
			5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
L=200m	볼록지점 : 5+400	STA. 5+375 ~ 5+425(50m)	5.792	6.186	6.230	6.232	6.289	6.225	4.542	4.581	4.574	4.596	4.613	4.617
		10m당 우수량	1.158	1.237	1.246	1.246	1.258	1.245	0.908	0.916	0.915	0.919	0.923	0.923
		STA. 5+350 ~ 5+450(100m)	12.051	12.908	13.000	12.982	13.045	12.976	8.974	9.057	9.049	9.056	9.085	9.079
		10m당 우수량	1.205	1.291	1.300	1.298	1.305	1.298	0.897	0.906	0.905	0.906	0.909	0.908
		STA. 5+325 ~ 5+475(150m)	18.597	20.016	20.157	20.104	20.155	20.063	14.165	14.387	14.361	14.403	14.374	14.397
		10m당 우수량	1.240	1.334	1.344	1.340	1.344	1.338	0.944	0.959	0.957	0.960	0.958	0.960
		STA. 5+300 ~ 5+500(200m)	24.681	26.578	26.836	26.745	26.818	26.698	19.791	20.310	20.317	20.318	20.280	20.332
		10m당 우수량	1.234	1.329	1.342	1.337	1.341	1.335	0.990	1.016	1.016	1.016	1.014	1.017
L=250m	볼록지점 : 5+500	STA. 5+475 ~ 5+525(50m)	5.885	6.276	6.375	6.362	6.339	6.368	4.519	4.578	4.569	4.575	4.595	4.563
		10m당 우수량	1.177	1.255	1.275	1.272	1.268	1.274	0.904	0.916	0.914	0.915	0.919	0.913
		STA. 5+450 ~ 5+550(100m)	11.837	12.723	12.854	12.835	12.797	12.821	9.139	9.226	9.234	9.212	9.230	9.202
		10m당 우수량	1.184	1.272	1.285	1.284	1.280	1.282	0.914	0.923	0.923	0.921	0.923	0.920
		STA. 5+425 ~ 5+575(150m)	18.721	20.148	20.337	20.308	20.287	20.289	14.359	14.556	14.576	14.529	14.566	14.588
		10m당 우수량	1.248	1.343	1.356	1.354	1.352	1.353	0.957	0.970	0.972	0.969	0.971	0.973
		STA. 5+400 ~ 5+600(200m)	24.298	26.193	26.443	26.434	26.418	26.419	19.869	20.422	20.432	20.388	20.449	20.439
		10m당 우수량	1.215	1.310	1.322	1.322	1.321	1.321	0.993	1.021	1.022	1.019	1.022	1.022
L=300m	볼록지점 : 5+600	STA. 5+575 ~ 5+625(50m)	6.128	6.607	6.629	6.665	6.686	6.660	4.566	4.590	4.614	4.592	4.594	4.609
		10m당 우수량	1.226	1.321	1.326	1.333	1.337	1.332	0.913	0.918	0.923	0.918	0.919	0.922
		STA. 5+550 ~ 5+650(100m)	11.920	12.867	12.972	12.998	13.031	12.999	9.007	9.055	9.084	9.063	9.078	9.103
		10m당 우수량	1.192	1.287	1.297	1.300	1.303	1.300	0.901	0.906	0.908	0.906	0.908	0.910
		STA. 5+525 ~ 5+675(150m)	18.740	20.219	20.393	20.440	20.430	20.435	14.209	14.358	14.398	14.356	14.360	14.478
		10m당 우수량	1.249	1.348	1.360	1.363	1.362	1.362	0.947	0.957	0.960	0.957	0.957	0.965
		STA. 5+500 ~ 5+700(200m)	24.292	26.288	26.480	26.555	26.529	26.554	19.800	20.275	20.342	20.333	20.282	20.395
		10m당 우수량	1.215	1.314	1.324	1.328	1.326	1.328	0.990	1.014	1.017	1.017	1.014	1.020
L=400m	볼록지점 : 5+800	STA. 5+775 ~ 5+825(50m)	5.693	6.107	6.109	6.175	6.133	6.150	4.526	4.572	4.601	4.609	4.583	4.602
		10m당 우수량	1.139	1.221	1.222	1.235	1.227	1.230	0.905	0.914	0.920	0.922	0.917	0.920
		STA. 5+750 ~ 5+850(100m)	11.620	12.460	12.453	12.559	12.522	12.559	8.952	9.018	9.074	9.098	9.097	9.075
		10m당 우수량	1.162	1.246	1.245	1.256	1.252	1.256	0.895	0.902	0.907	0.910	0.910	0.908
		STA. 5+725 ~ 5+875(150m)	18.868	20.007	20.053	20.157	20.135	20.194	14.148	14.351	14.454	14.420	14.426	14.415
		10m당 우수량	1.245	1.334	1.337	1.344	1.342	1.346	0.943	0.957	0.964	0.961	0.962	0.961
		STA. 5+700 ~ 5+900(200m)	24.311	26.148	26.248	23.370	26.356	26.420	19.782	20.271	20.403	20.341	20.365	20.367
		10m당 우수량	1.216	1.307	1.312	1.319	1.318	1.321	0.989	1.014	1.020	1.017	1.018	1.018

(2) 오목구간

< 표 29 > 오목구간의 시뮬레이션 분석결과

구 분			종단경사											
			S=0.3%						S=0.5%					
VIP 간격	우수 측정구간		전주방향, 우측						전주방향, 우측					
			5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
L=200m	오목지점: 5+200	STA. 5+175 ~ 5+225(50m)	6.898	7.609	7.636	7.613	7.610	7.592	8.277	8.838	8.837	8.828	8.824	8.828
		10m당 우수량	1.380	1.522	1.527	1.523	1.522	1.518	1.655	1.768	1.767	1.766	1.765	1.766
		STA. 5+150 ~ 5+250(100m)	16.035	17.463	17.512	17.507	17.482	17.442	17.492	18.453	18.468	18.436	18.436	18.433
		10m당 우수량	1.604	1.746	1.751	1.751	1.748	1.744	1.749	1.845	1.847	1.844	1.844	1.843
		STA. 5+125 ~ 5+275(150m)	22.177	23.927	23.970	23.981	23.927	23.891	22.351	23.396	23.420	23.388	23.384	23.375
		10m당 우수량	1.478	1.595	1.598	1.599	1.595	1.593	1.490	1.560	1.561	1.559	1.559	1.558
		STA. 5+100 ~ 5+300(200m)	25.550	27.355	27.397	27.408	27.350	27.305	24.760	25.777	25.809	25.780	25.754	25.756
		10m당 우수량	1.278	1.368	1.370	1.370	1.368	1.365	1.238	1.289	1.290	1.289	1.288	1.288
L=250m	오목지점: 5+250	STA. 5+225 ~ 5+275(50m)	6.947	7.649	7.655	7.690	7.661	7.694	8.456	9.076	9.084	9.054	9.076	9.091
		10m당 우수량	1.389	1.530	1.531	1.538	1.533	1.539	1.691	1.815	1.817	1.811	1.815	1.818
		STA. 5+200 ~ 5+300(100m)	16.299	17.654	17.698	17.747	17.695	17.709	17.753	18.785	18.761	18.768	18.843	18.791
		10m당 우수량	1.630	1.766	1.770	1.775	1.770	1.771	1.776	1.878	1.876	1.877	1.884	1.879
		STA. 5+175 ~ 5+325(150m)	22.678	24.303	24.413	24.434	24.365	24.438	22.578	23.729	23.709	23.719	23.786	23.755
		10m당 우수량	1.512	1.620	1.627	1.629	1.624	1.629	1.505	1.582	1.581	1.581	1.586	1.584
		STA. 5+150 ~ 5+350(200m)	26.051	27.748	27.861	27.882	27.805	27.862	24.992	26.163	26.173	26.167	26.229	26.182
		10m당 우수량	1.302	1.388	1.393	1.394	1.390	1.393	1.249	1.309	1.309	1.309	1.312	1.310
L=300m	오목지점: 5+300	STA. 5+275 ~ 5+325(50m)	6.964	7.663	7.697	7.657	7.687	7.718	8.495	9.077	9.147	9.090	9.059	9.090
		10m당 우수량	1.393	1.532	1.539	1.531	1.538	1.543	1.700	1.816	1.829	1.818	1.812	1.818
		STA. 5+250 ~ 5+350(100m)	16.261	17.625	17.686	17.637	17.682	17.693	17.994	18.951	19.040	18.993	18.919	18.979
		10m당 우수량	1.626	1.762	1.769	1.763	1.769	1.770	1.799	1.895	1.904	1.899	1.892	1.898
		STA. 5+225 ~ 5+375(150m)	22.708	24.439	24.479	24.418	24.444	24.451	22.995	24.042	24.126	24.084	24.034	24.060
		10m당 우수량	1.514	1.629	1.632	1.627	1.629	1.630	1.533	1.603	1.609	1.606	1.603	1.604
		STA. 5+200 ~ 5+400(200m)	26.199	27.974	28.019	27.973	28.022	28.000	25.443	26.487	26.577	26.532	26.492	26.503
		10m당 우수량	1.310	1.399	1.401	1.399	1.401	1.400	1.272	1.325	1.329	1.327	1.325	1.326
L=400m	오목지점: 5+400	STA. 5+375 ~ 5+425(50m)	7.356	8.060	8.076	8.126	8.117	8.100	8.768	9.398	9.402	9.377	9.368	9.438
		10m당 우수량	1.471	1.612	1.616	1.625	1.623	1.620	1.754	1.880	1.881	1.875	1.873	1.887
		STA. 5+350 ~ 5+450(100m)	17.136	18.540	18.543	18.632	18.650	18.578	18.553	19.614	19.655	19.572	19.618	19.636
		10m당 우수량	1.714	1.854	1.854	1.864	1.865	1.857	1.855	1.962	1.966	1.957	1.962	1.964
		STA. 5+325 ~ 5+475(150m)	23.659	25.403	25.430	25.488	25.515	25.466	23.714	24.871	24.894	24.819	24.865	24.906
		10m당 우수량	1.577	1.693	1.695	1.699	1.701	1.698	1.580	1.658	1.659	1.655	1.657	1.660
		STA. 5+300 ~ 5+500(200m)	27.240	29.043	29.090	29.153	29.152	29.100	26.244	27.402	27.442	27.341	27.399	27.441
		10m당 우수량	1.362	1.453	1.455	1.458	1.458	1.455	1.312	1.371	1.372	1.367	1.370	1.372

(가) 오목구간 과 볼록구간에 의한 영향

- 오목구간 우수량 > 볼록구간 우수량

- 오목구간은 주변에서 물이 모이는 구간으로 물이 흩어지는 볼록구간보다 우수량이 많음. 즉, 오목구간은 오목구간을 중심으로 좌우로 물이 유입되지만, 볼록구간은 볼록구간을 중심으로 물이 유입되지 않으므로 오목구간에 우수량이 더 많음.

(나) 종단구배에 의한 영향

- 볼록구간 : 종단구배 ↑ -> 우수량 ↓, 종단구배 ↓ -> 우수량 ↑

-> 종단구배가 클수록 볼록구간에서 오목구간으로 우수가 빠르게 이동하기 때문에 볼록구간 근처에 우수량이 적고, 종단구배가 작을수록 볼록구간에서 오목구간으로 우수가 느리게 이동하기 때문에 볼록구간 근처에 우수량이 많음.

- 오목구간

-> 오목구간에서 가까운 구간 (오목구간을 중심으로 50m 및 100m의 우수량 측정구간)

: 종단구배 ↑ -> 우수량 ↑

: 종단구배가 클수록 오목구간에 우수가 빠르게 모이므로 우수량이 많음.

-> 오목구간에서 먼 구간 (오목구간을 중심으로 150m 및 200m의 우수량 측정구간)

: 종단구배 ↑ -> 우수량 ↓

: 종단구배가 클수록 오목구간으로 빠르게 이동하므로 우수량이 적음.

(다) VIP간격에 따른 영향

- 볼록구간

: VIP간격에 따른 영향 없음

: 볼록구간은 우수가 흩어지는 구간으로 좌우에서 물이 유입되지 않는다. 즉, VIP간격에 따라 볼록지점이 다를 뿐 구간별 우수량은 동일함.

- 오목구간

: VIP간격 ↑ -> 우수량 ↑, VIP간격 ↓ -> 우수량 ↓

: VIP간격 200m일 때 볼록구간에서 오목구간 까지 집수정 2개설치 되며, 300m 일 때 집수정 3개, 400m일 때 집수정 4개가 설치됨. 즉, VIP 간격 200m일 때 볼록구간에 가장 가까운 집수정 (1번째 집수정)에 초기 배수되고 다음에 오목구간에 설치된 집수정(2번째 집수정)으로 최종 배수됨. 하지만 VIP 간격 400m일 때 볼록구간에 가장 가까운 집수정(1번째 집수정)에 초기 배수되고 다음에 2번째, 3번째 집수정에서 배수되며 최종적으로 오목구간에 설치된 집수정 (4번째 집수정)에 최종 배수 되는 배수계획으로 1번째, 2번째, 3번째 집수정에서 볼록구간에서 흘러오는 우수가 완전히 배수가 되지 않으므로 VIP간격이 길수록 오목구간의 우수량이 많아짐.

- VIP간격이 짧을 수록 배수효율이 좋지만 효율의 차이는 크지 않음. 즉, VIP간격 200m 와 400m를 비교할 때 VIP 간격 200m 일 때 오목구간의 우수량이 작지만 차이는 크지 않음.

(라) 결론

- 위의 내용을 종합해보면 VIP간격이 짧고, 종단구배가 커야 배수효율이 가장 좋음. 즉, 8가지 조건 중 VIP 간격 200m 및 종단구배 0.5% 일 때 배수효율이 가장 좋다는 것을 확인할 수 있음.

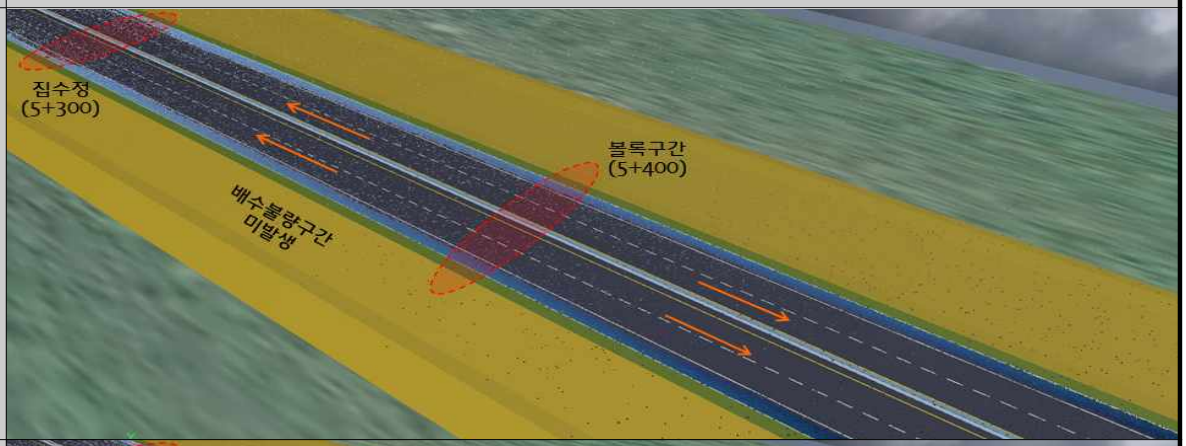
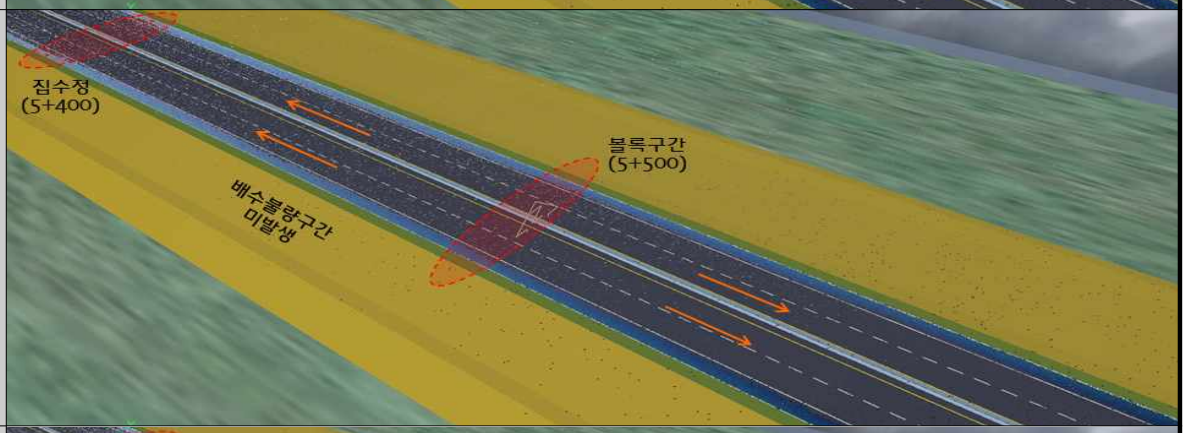
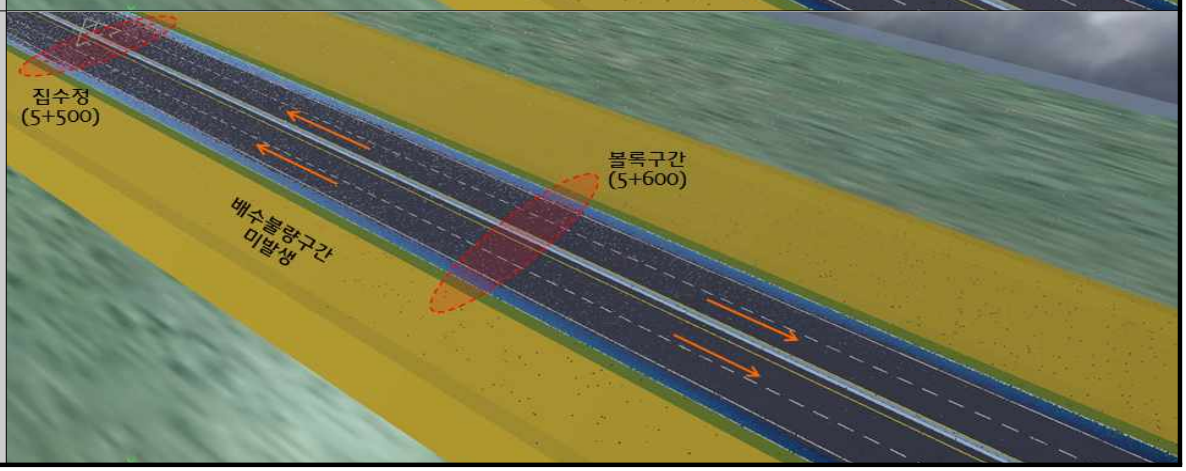
- 하지만 구배에 의한 구간별 우수량의 차이가 크지만, VIP간격에 의한 우수량의 차이는 크지 않으므로 운전자의 주행 및 공사비를 고려했을 때 종단구배(0.5%) 및 VIP간격(300m) 조건이 바람직할 것으로 판단됨.

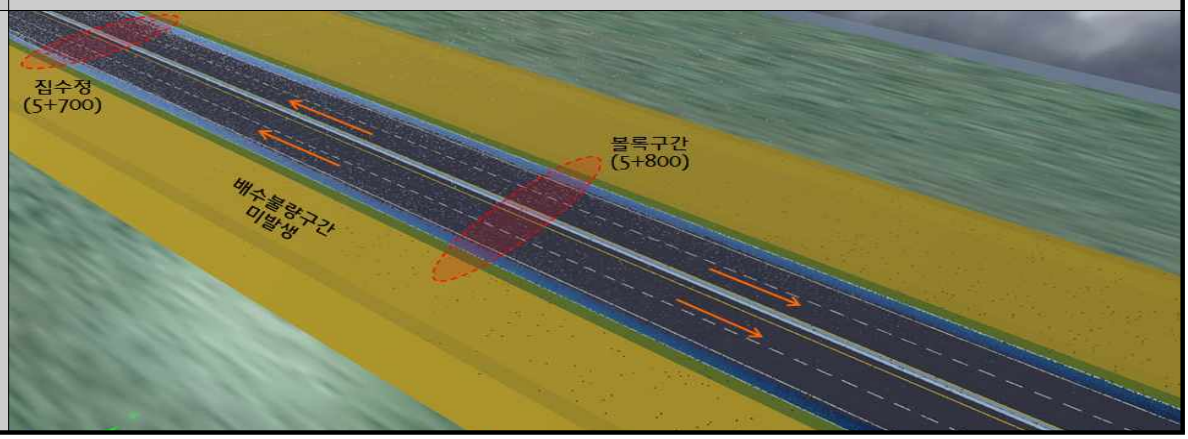
라. 시뮬레이션 상황

(1) 볼록구간

(가) S=0.3%

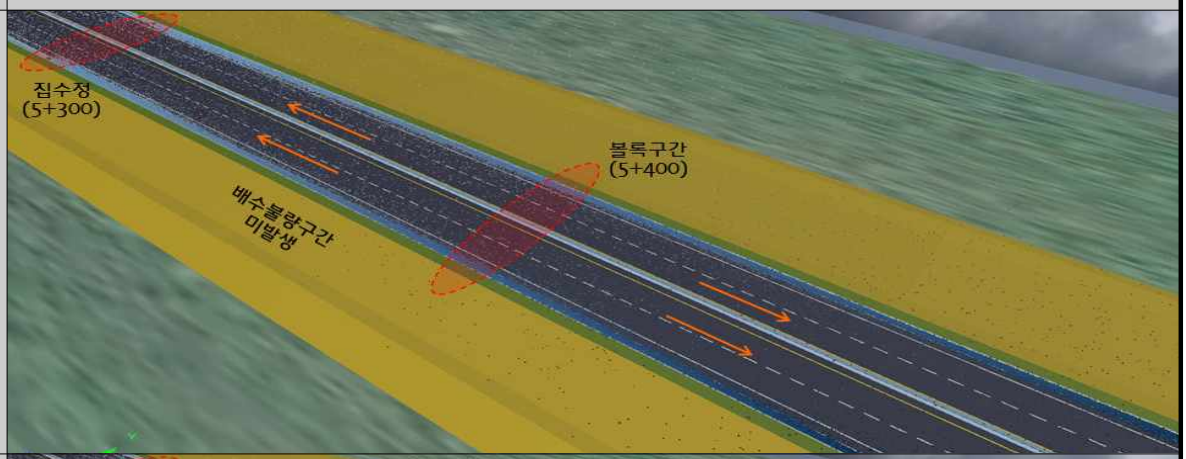
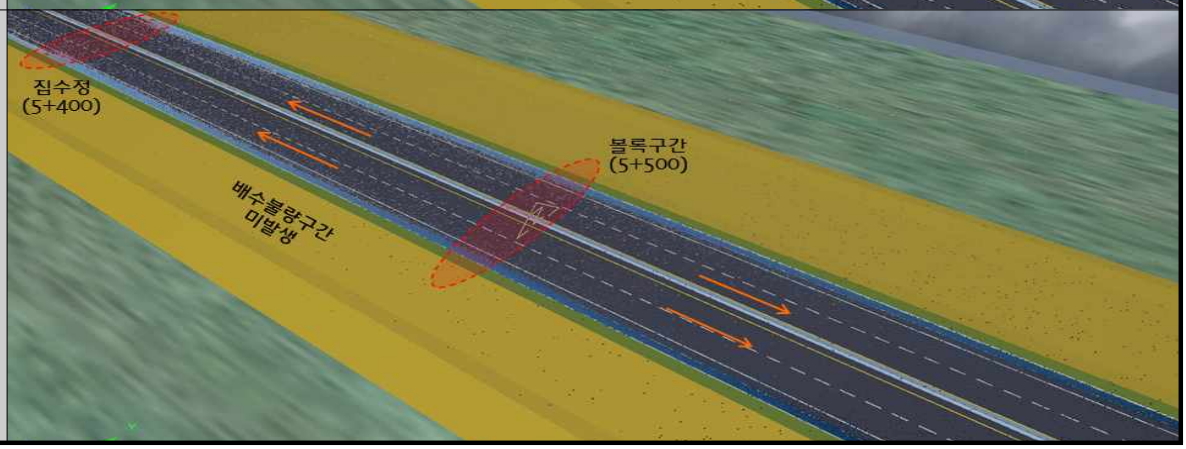
< 표 30 > 볼록구간의 시뮬레이션 상황 (S=0.3%, T=30분)

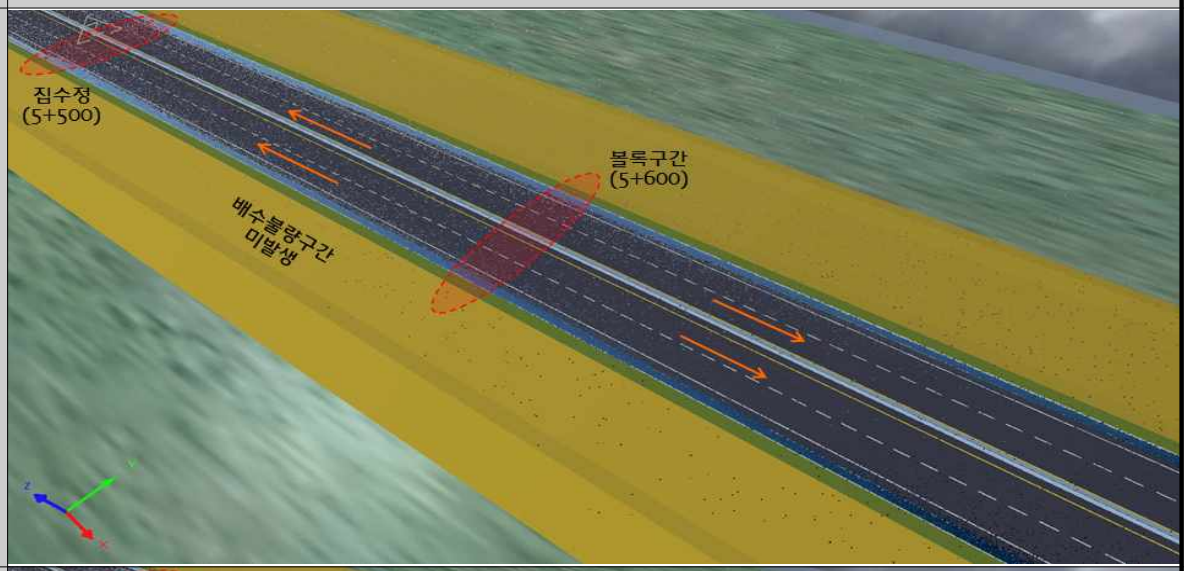
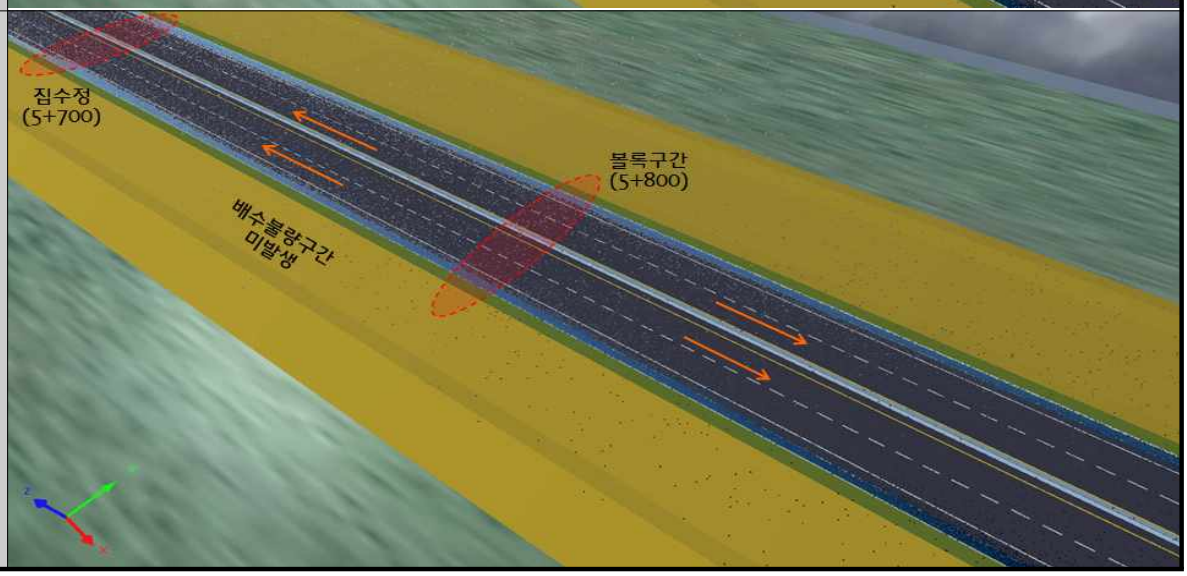
VIP 간격	시뮬레이션 상황 (30분)
L= 200m , 볼록 구간 : STA. 5+400	
L= 250m , 볼록 구간 : STA. 5+500	
L= 300m , 볼록 구간 : STA. 5+600	

VIP 간격	시뮬레이션 상황 (30분)
L= 400m , 볼록 구간 : STA. 5+800	

(나) S=0.5%

< 표 31 > 볼록구간의 시뮬레이션 상황 (S=0.5%, T=30분)

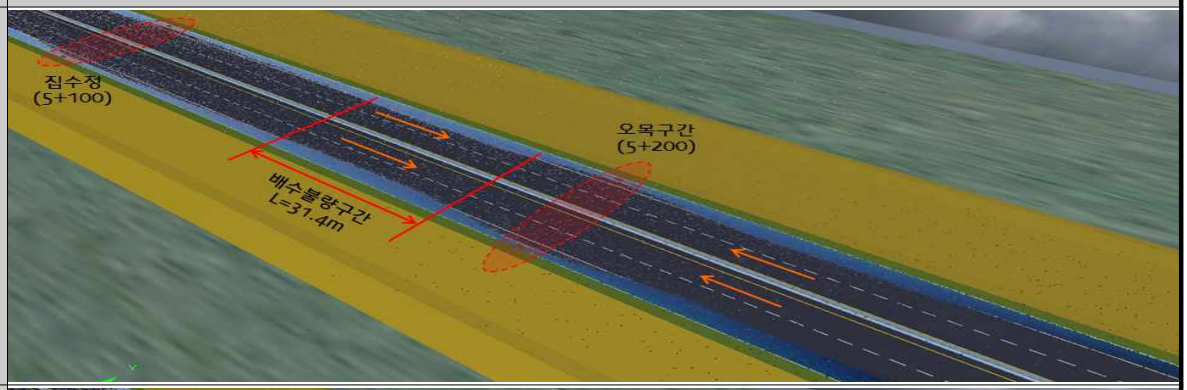
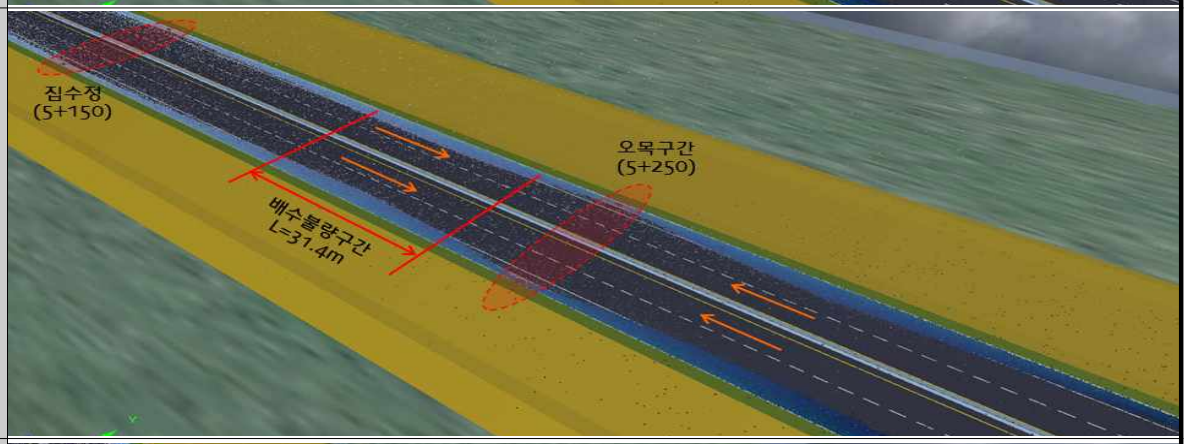
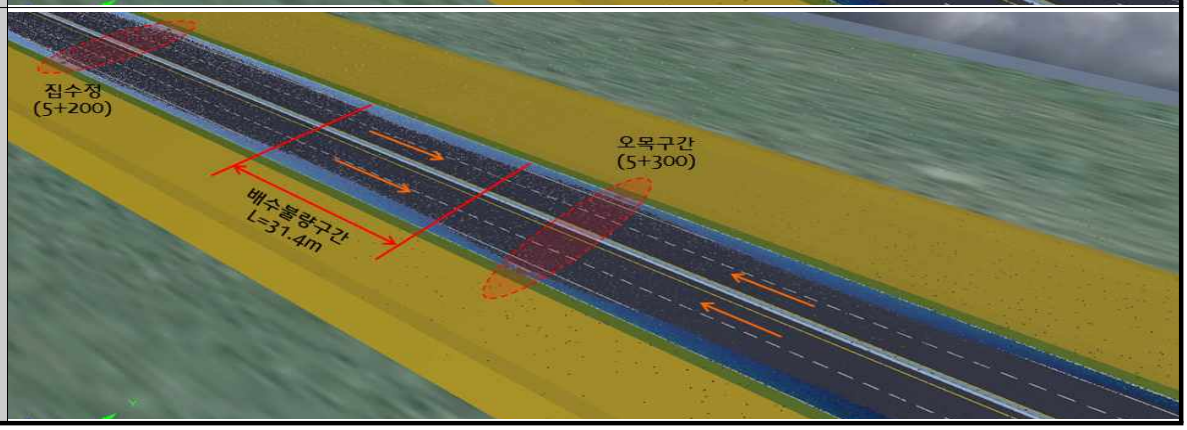
VIP 간격	시뮬레이션 상황 (30분)
L= 200m , 볼록 구간 : STA. 5+400	
L= 250m , 볼록 구간 : STA. 5+500	

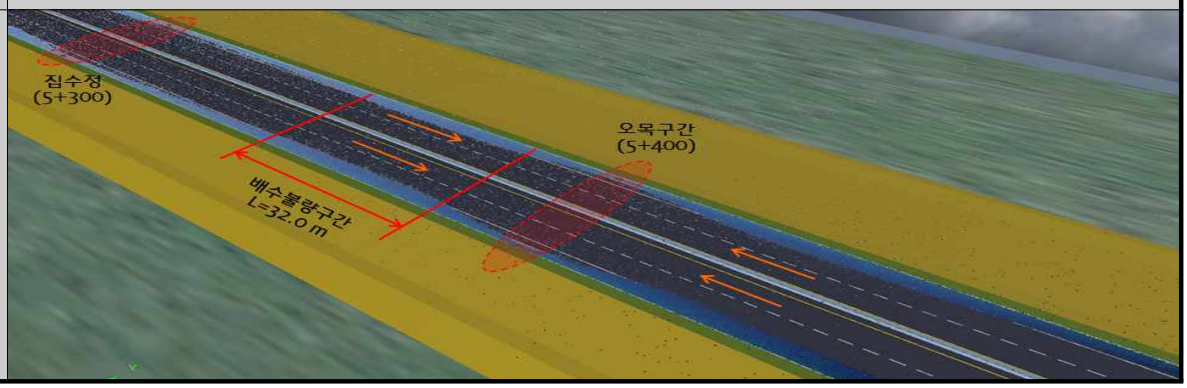
VIP 간격	시뮬레이션 상황 (30분)
L= 300m , 볼록 구간 : STA. 5+600	
L= 400m , 볼록 구간 : STA. 5+800	

(2) 오목구간

(가) S=0.3%

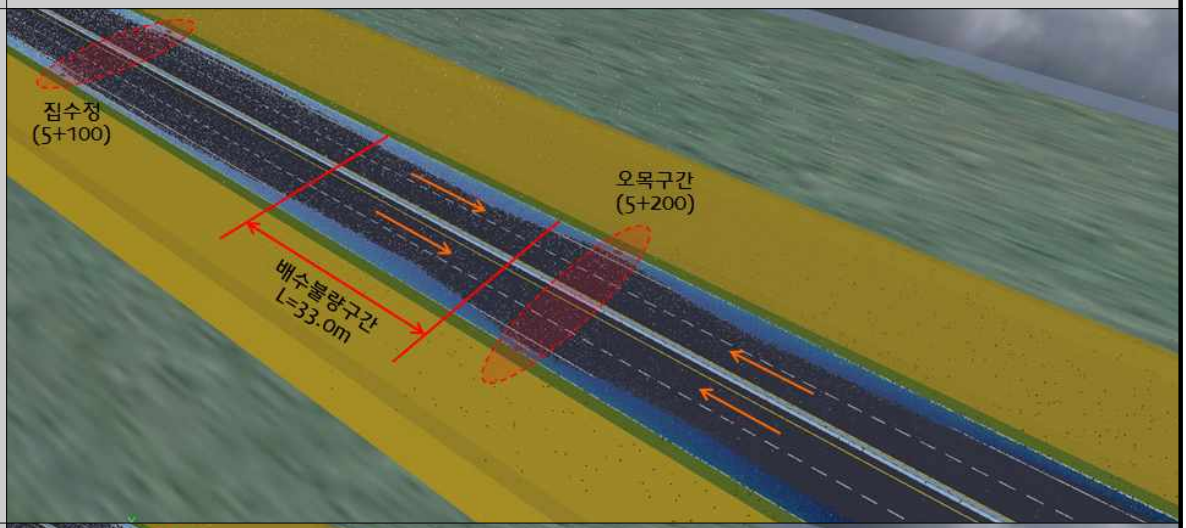
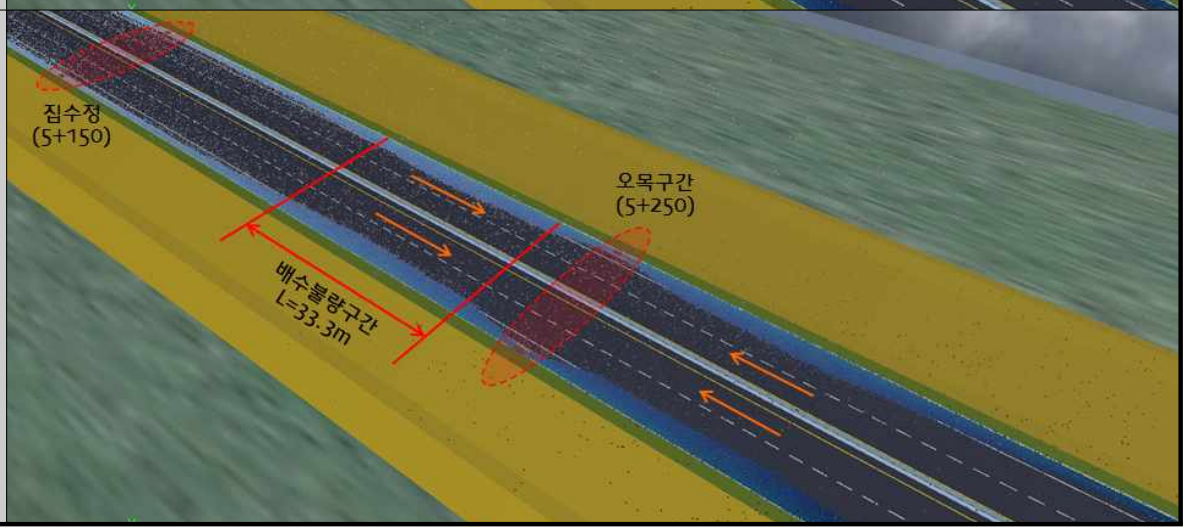
< 표 32 > 오목구간의 시뮬레이션 상황 (S=0.3%, T=30분)

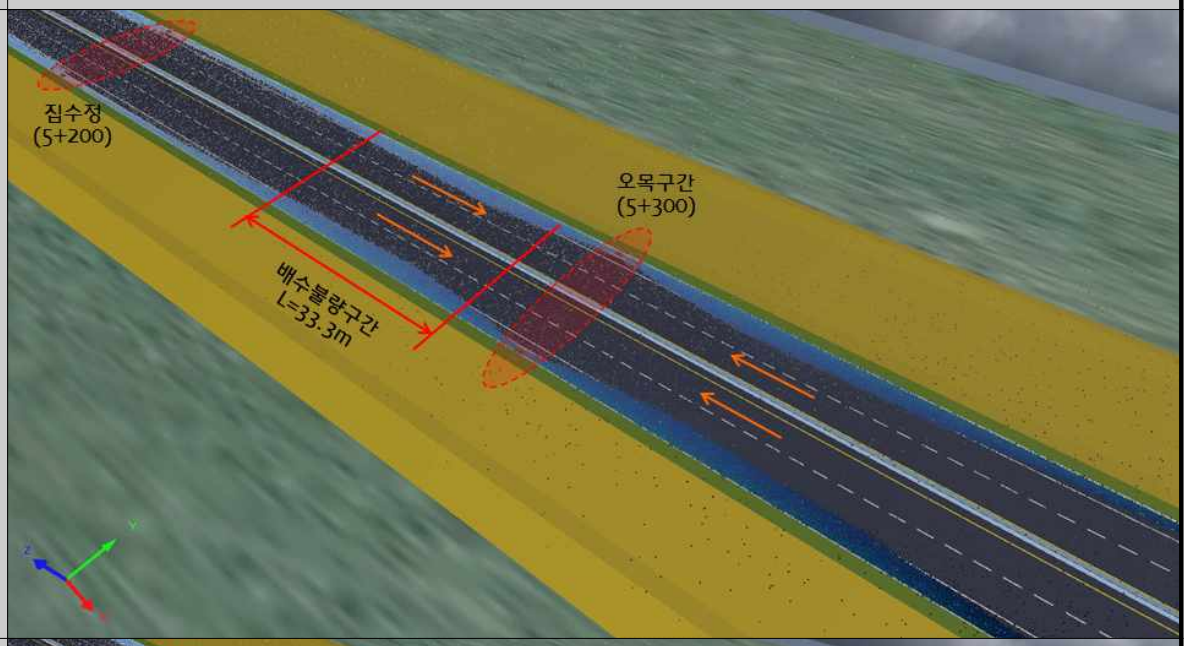
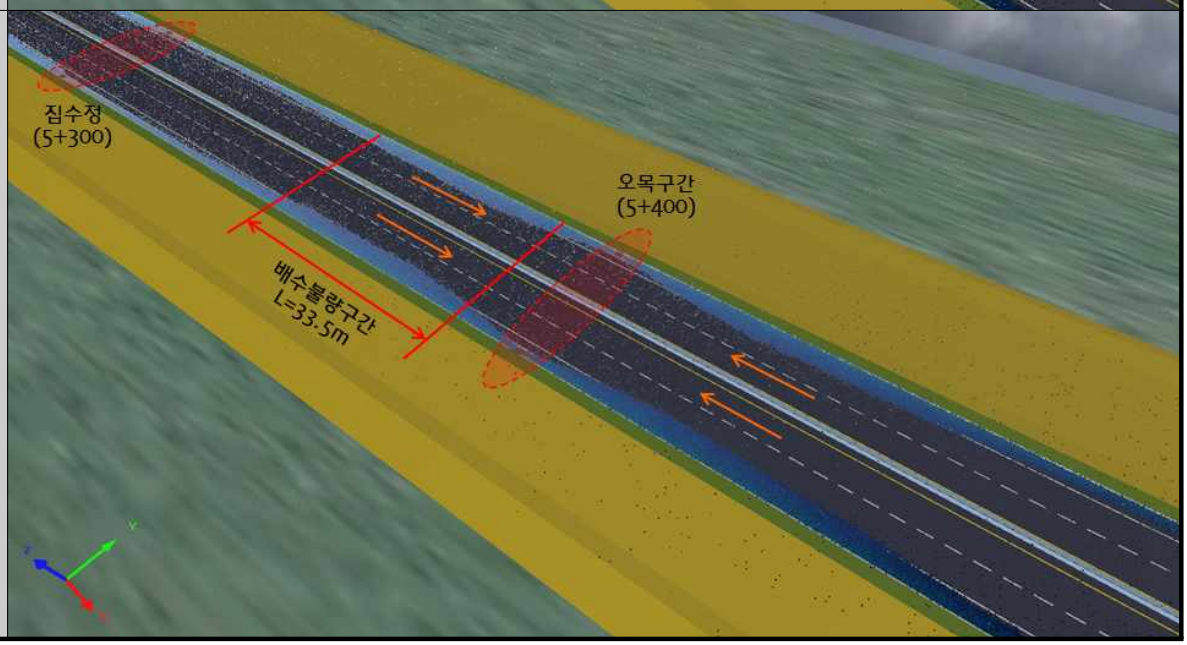
VIP 간격	시뮬레이션 상황 (30분)
L= 200m , 오목 구간 : STA. 5+200	
L= 250m , 오목 구간 : STA. 5+250	
L= 300m , 오목 구간 : STA. 5+300	

VIP 간격	시뮬레이션 상황 (30분)
L= 400m , 오목 구간 : STA. 5+400	

(나) S=0.5%

< 표 33 > 오목구간의 시뮬레이션 상황 (S=0.5%, T=30분)

VIP 간격	시뮬레이션 상황 (30분)
L= 200m , 오목 구간 : STA. 5+200	
L= 250m , 오목 구간 : STA. 5+250	

VIP 간격	시뮬레이션 상황 (30분)
L= 300m , 오목 구간 : STA. 5+300	
L= 400m , 오목 구간 : STA. 5+400	

마. 분석결과

(1) 종단구배에 따른 배수효율 검토

-> 볼록구간 : 종단구배 ↑ -> 우수량 ↓, 종단구배 ↓ -> 우수량 ↑

-> 오목구간 : 종단구배 ↑ -> 우수량 ↑ (오목구간에 가까운 구간), 종단구배 ↑ -> 우수량 ↓ (오목구간에 먼 구간)

-> 즉, 종단구배 5%일 때 배수효율 가장 좋음.

(2) VIP간격에 따른 배수효율 검토

-> 볼록구간 : VIP간격에 따른 영향 없음

-> 오목구간 : VIP간격 ↑ -> 우수량 ↑, VIP간격 ↓ -> 우수량 ↓

-> 즉, VIP간격 200m 일 때 배수효율 가장 좋음.

(3) 종단구배 및 VIP간격에 따른 배수효율 검토를 위한 시뮬레이션에 의해 도출된 가장 배수효율이 좋은 조건은 종단구배가 크고, VIP간격이 짧아야 배수효율이 가장 좋음. 즉, 8가지 조건 중 종단구배 0.5% 및 VIP간격 200m일 때 배수효율이 가장 좋다는 것을 확인할 수 있음.

(4) 하지만 종단구배에 의한 구간별 우수량의 차이가 크지만, VIP간격에 의한 우수량의 차이는 크지 않으므로 운전자의 주행 및 공사비를 고려하여 종단구배(0.5%) 및 VIP간격(300m) 조건이 바람직할 것으로 판단됨.

(5) 시공 전 시뮬레이션을 통한 배수효율 검토로 배수효율을 극대화함.



2015년도 제17회

한국도로학회 학술대회

Program

일시_ 2015년 10월 8일(목) 10:00~18:00

장소_ 한국과학기술회관 국제회의실 및 소회의실

주최_ 한국도로학회

후원_ 국토교통부 ex 한국도로공사

사단법인 한국도로학회

2015년도 한국도로학회 학술대회 협찬사

인성산업주식회사

(주)에스엔건설
www.sncons.co.kr

KBIZ 한국아스콘공업협동조합연합회

SK 에너지

이레하이테크 E&C

(주)한진중공업

YOUNGJONG

DOOSAN 두산건설

beyond the best
금호석유화학

※기념품 협찬※

SAMWOO SIMC
Samwoo Innovation Maintenance Construction
[주] 삼 우 아 이 엠 씨

전 시 업 체

키슬러코리아

ROADTECH

품질검사전문기관
(주) 한국건설품질시험연구원
Korea Construction Quality Test Institute

[주] 포이닉스

SEOUL WORLD ROAD CONGRESS 2015

친환경 포장도로 연구단
ECO-PAVE Research Center

학술대회 등록비

구 분	정 회 원	학생회원	비 회 원
사 전 등 록	40,000원	20,000원	50,000원
현 장 등 록	50,000원	30,000원	70,000원

참 가 문 의 한국도로학회 사무국 (전화 02-3272-1992)

인사말씀



회원여러분 안녕하십니까?

이젠 아침저녁으로 시원하고 상쾌한 바람이 느껴지는 가을입니다. 그동안 회원님들의 노력으로 거두신 도로 및 교통 분야 연구성과를 발표하고 토론하는 학술대회를 한국과학기술회관 국제회의실에서 개최합니다. 회원님들의 많은 관심과 참여를 바랍니다.

이번 학술대회에서는 초청 강연으로 유엔미래포럼의 박영숙 대표께서 "**미래 메가트랜드와 도로**"라는 제목으로 강연을 합니다. 또한, 최근 도로와 관련되어 사회적 관심이 제기된 도로의 함몰 현상의 빈번한 발생과 관련하여 특별 세션(도로함몰 예방과 대책)을 구성하였습니다. 논문은 총 82편이 접수되었으며, 아스팔트분과, 시멘트분과, 유지보수 및 재활용분과, 도로설계분과, 도로운전자행태분과에서 논문 분류 및 프로그램 구성을 하여, 올해는 분과위주로 논문을 발표하게 됩니다. 관심 있는 분야에 회원 여러분께서 적극적으로 참여해 주셔서 성과있는 학술대회가 될 수 있도록 힘써 주시길 부탁드립니다.

회원님의 건승하심을 기원합니다. 감사합니다.

2015. 10.

사단법인 **한국도로학회**

회장 **이 광 호**

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	
13:30~14:30	특 별 세 션	도로함몰 예방과 대책
	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 푸짐한 선물을 드립니다.

『입자방식 3D 유체시뮬레이션 개발 사업』

2015. 10. 08.

발표자 : 주관연구책임자 신창수

목 차

Ⅰ. 연구개발 개요

Ⅱ. 연구목표 및 연구내용

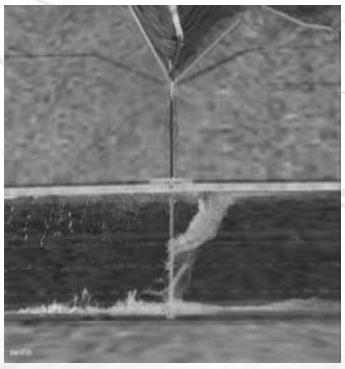
I. 연구 개발 개요

과제명	『입자방식의 3D 유체흐름 시뮬레이션 개발』
발주기관	국토교통과학기술진흥원
주관/공동기관	동남이앤씨 / ENGSOFT
연구예산	956,000,000원
과제 수행기간	'12.11.19 ~ '15.12.23
세부과제명	✓ 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속처리 3D 유체시뮬레이션 시스템 개발(주관기관) ✓ 2차원 유한요소 유체해석 엔진개발(공동기관)

II. 연구목표 및 내용

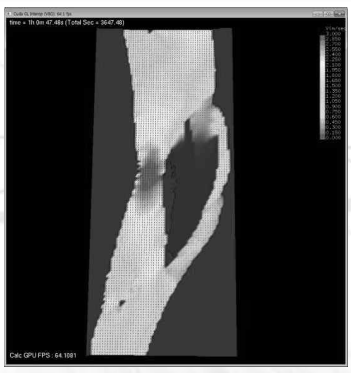
1. 연구 목표

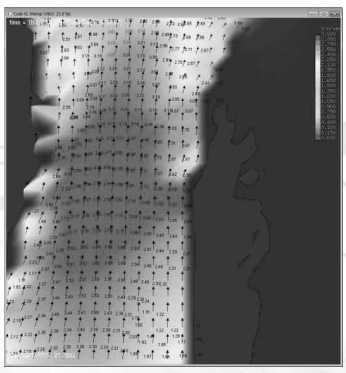
✓ 본 연구의 최종 목표는 외산 상용 해석 소프트웨어에 의존하여 분석해오던 유체의 흐름특성을 순수 국내 기술로 한국형 수치해석 엔진을 개발하고 이 기술과 연계를 통해 유체의 흐름을 3차원 형상으로 가시화하여 재난 시 재해 상황을 직관적이고 시각적으로 파악할 수 있는 3D 유체시뮬레이션 시스템 개발에 있음





〈 3D 유체시뮬레이션 개발 〉





〈 2차원 유한요소 유체 해석 엔진 개발 〉

Ⅱ. 연구목표 및 내용

2. 연구 내용

1 차 년 도

- 유체 초기/경계 조건 설정 모듈 개발
- SOC 규모에 맞는 방대한 양의 3D 유체 Motion 연산 모듈 개발
- 유체 흐름의 지배방정식 알고리즘 정립
- 해석 관련 초기/경계 조건 설정 모듈 개발

2 차 년 도

- Volume Rendering 기법을 통한 유체형상화 모듈 개발
- 고품질 Rendering를 위한 시각화 모듈 개발
- FEM 수치해석 기술을 바탕으로 해석모듈 개발
- 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 연산 수행속도 증대기술 개발

3 차 년 도

- 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속처리 기술 개발
- 대규모 SOC 및 방재분야 실무 적용 검증
- 해석 엔진의 실무 적용성 확인

Ⅱ. 연구목표 및 내용

3. 연구 성과 관리 MAP

구 분 \ 년 도		1차년도('12.11.~'13.11.)				2차년도('13.11.~'14.7.)				3차년도('14.9.~'15.12.)				최종 성과물 (성과물 유형)
		1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	
3D유체시뮬레이션시스템	TRL	TRL 7				TRL 8				TRL 9				
	중간 산출물	학술지 게재 2건				특허 등록 1건				특허 등록 1건				
	주관기관 (1세부)	조사 분석 → 수치지형 모듈 / 시설물 모듈 / 경계조건 모듈 → 모듈 적용 (NO) → (YES) 파티클 형상화 모듈 → 조명 기법 개발 / 맵핑 모듈 개발 → 적용 확인 (NO) → (YES) 병렬 컴퓨팅 → 분산유체 → 시범 사업 적용													병렬컴퓨팅 기법을 통한 고속처리 3D유체시뮬레이션 시스템개발 (소프트웨어)
2차원 유한요소 유체해석 엔진	공동기관 (2세부)	조사 분석 → 2차원 지배방정식 이론 정립 → 알고리즘 업그레이드 → 적용 확인 (NO) → (YES) 입출력 모듈 → 모델링 모듈 → 적용 확인 (NO) → (YES) 표현기능 개발 → 시범 사업 적용												2차원 유한요소 유체해석 엔진 개발 (소프트웨어)
총괄(단위) 이슈 포인트	점검 대상	▲ 모듈 적용 확인				▲ 개발 공법				▲ 시범사업 적용				특이사항
	시기	'13년 12월				'14년 07월				'15년10월				
	검증 기준	- 모듈 설정 기능 확인 - 경계 조건 인력 확인 - 수치 지형 입력 확인				- 렌더링 기능 확인 - 조명 기능 확인 - 맵핑 모듈 입출력 확인				- 병렬 컴퓨팅 속도 향상 확인 - 시범 사업에 적용				

Ⅱ. 연구목표 및 내용

4. 연구 핵심성과

병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속처리 3D 유체시뮬레이션 시스템

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. 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 개발을 통하여 피해규모 및 범위를 사전에 효과적으로 예측하고, 경제성과 타탕성 분석을 통해 사업가치 향상을 위한 최적의 대안을 도출한다. 최종적으로는 국가(SOC) 예산절감 및 안전과 품질을 확보하는데 목적이 있음.

성능 목표

- 유체 현상을 3차원으로 시뮬레이션하고, 뛰어난 시각화 기술을 이용하여 실사와 같이 표현
- 병렬프로그래밍을 통하여 연산 및 렌더링 속도가 증대되어 SOC 등의 대규모 범위적용가능
- 가상시나리오를 손쉽게 구현 가능하므로 설계변형을 비교하면서 최적의 개선안 도출이 가능

Ⅱ. 연구목표 및 내용

4. 연구 핵심성과

2차원 유한요소 유체 해석 엔진 개발

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 이용하였음. 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 있다. 이러한 효과로 해외의 유체 해석S/W에 대한 의존도를 낮추어 비용 절감 및 경쟁력 확보가 가능함.

성능 목표

- 유체 현상을 2차원으로 시뮬레이션하고, 뛰어난 시각화 기술을 이용하여 실사와 같이 표현
- 실시간으로 표현 가능하며 연산 및 해석 속도가 빠름
- 가상시나리오를 손쉽게 구현 가능하므로 설계변형을 비교하면서 최적의 개선안 도출이 가능

Q & A



감사합니다

『입자방식 3D 유체시뮬레이션 개발 사업』

입자방식의 3D 유체시뮬레이션을 통한
노면 배수 취약구역 예측

2015. 10. 08.

발표자 :

목 차

Ⅰ. 연구개발 개요

Ⅱ. 연구 개발내용

I. 연구 개발 개요



과제명	『입자방식의 3D 유체흐름 시뮬레이션 개발』
발주기관	국토교통과학기술진흥원
주관/공동기관	동남이앤씨 / ENGSOFT
연구예산	956,000,000원
과제 수행기간	'12.11.19 ~ '15.12.21
세부과제명	✓ 병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속처리 3D 유체시뮬레이션 시스템 개발(주관기관) ✓ 2차원 유한요소 유체해석 엔진개발(공동기관)

II. 연구 개발 내용

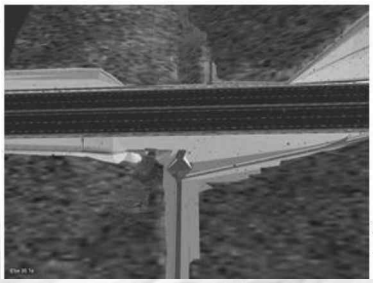
Ⅱ. 연구 내용

1. 3차원 Volume Rendering 기법을 통한 유체 형상화 모듈 개발

- 파티클 방식의 유체형상화 모듈을 개발하였으며, 연산 및 해석 작업을 통해 결과값을 확인 할 수 있음







1 2 3

파티클 방식의 유체형상화 모듈 개발

```
void C3DPlanView::DrawWaterFacePolygon(BOOL bUseReflectionSky, BOOL bShaderFace)
{
    if (!m_p3DPlan->m_p3DWaterFacePolygon)
        return;

    int nCount = m_p3DPlan->m_p3DWaterFacePolygon->m_nSizeVertiesData;
    //int nCount = m_p3DPlan->m_p3DWaterFacePolygon->m_nSizeVerties;
    if (nCount <=0)
        return;

    glPushMatrix();
    /* ... */

    glEnable(GL_LIGHTING);
    glEnable(GL_DEPTH_TEST);
    glEnable( GL_BLEND );
    glBindBufferARB ( GL_ARRAY_BUFFER_ARB,   m_VBOWater );

    //glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_LINE);

    float *pPointArr = m_p3DPlan->m_p3DWaterFacePolygon->m_pPointArr;
    float *pNomalArr = m_p3DPlan->m_p3DWaterFacePolygon->m_pNomalArr;
    float *pColorArr = m_p3DPlan->m_p3DWaterFacePolygon->m_pColorArr;

    glBufferDataARB ( GL_ARRAY_BUFFER_ARB, nCount*(3+3+4)*sizeof(float)), 0, GL_STATIC_DRAW_ARB);  //xyz + (point+nonal+color)

    glBufferSubDataARB(GL_ARRAY_BUFFER_ARB, 0, nCount*3*sizeof(float), pPointArr);
    glBufferSubDataARB(GL_ARRAY_BUFFER_ARB, nCount*3*sizeof(float), nCount*3*sizeof(float), pNomalArr);
    glBufferSubDataARB(GL_ARRAY_BUFFER_ARB, nCount*(3+3)*sizeof(float), nCount*4*sizeof(float), pColorArr);

    glEnableClientState ( GL_VERTEX_ARRAY );
    glEnableClientState ( GL_NORMAL_ARRAY );
    glEnableClientState ( GL_COLOR_ARRAY );

    glVertexPointer (      3, GL_FLOAT, 0, 0x0 );
    glNormalPointer(GL_FLOAT,       0, (void*)(nCount*3*sizeof(float)));
    glColorPointer (       4, GL_FLOAT, 0, (void*)(nCount*(3+3)*sizeof(float)));

    if (bShaderFace)
        EnableWaterCGShader(bUseReflectionSky);

    glDrawArrays ( GL_TRIANGLES, 0, nCount );

    glDisableClientState ( GL_VERTEX_ARRAY );
    glDisableClientState ( GL_NORMAL_ARRAY );
    glDisableClientState ( GL_COLOR_ARRAY );

    glBindBufferARB(GL_ARRAY_BUFFER_ARB, 0);

    glDisable( GL_BLEND );
    glDisable(GL_DEPTH_TEST);
```


Ⅱ. 연구 내용

1. 3차원 Volume Rendering 기법을 통한 유체 형상화 모듈 개발

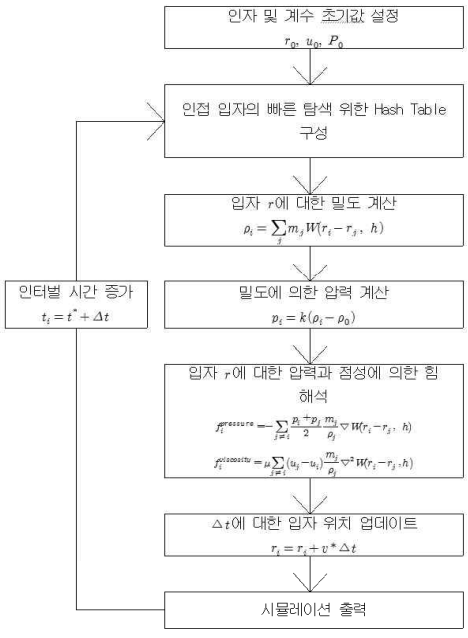
- 비압축성 유체 운동해석을 위한 Navier-Stokes 방정식 이용
- 알고리즘 구현 블록 다이어그램

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+v\cdot\nabla v\right)=\rho g-\nabla p+\mu\nabla^2 v$$

가속도항 | 외력항 | 압력항 | 점성항

$$\nabla\cdot v=0$$

입자방식에 의한 질량보존



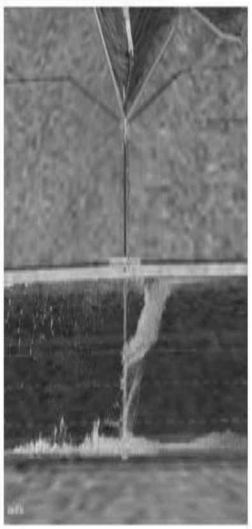
Ⅱ. 연구 내용

2. 고품질 Rendering를 위한 시각화 모듈 개발

- 전역조영 기법 모듈 개발
- 다양한 매핑 모듈 개발



1 2 3 전역조영 기법 모듈개발



1 2 3 다양한 매핑 모듈개발

Ⅱ. 연구 내용

3. 개발된 시뮬레이션 설계용역 시범 적용

- 00~00 도로건설공사구간에 3D 유체시뮬레이션을 시범 적용하였으며 적용된 구간은 STA. 1+077.0. STA. 1+380.0 으로 2구간에 적용



〈시뮬레이션 검토구간 (STA. 1+000.0 ~ STA. 1+520.0)〉

구분	STA.1+380.0
도수로 규격	0.6X0.5
도수로 집수정규격	0.7 X 0.7 X 1.0
연결관 규격	D250
횡배수관 규격	D1000
종배수관 규격	D 600

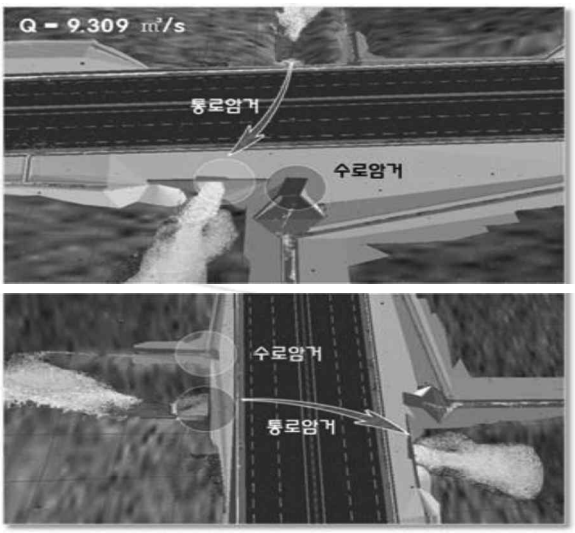
구분	적용조건
설계빈도	25년
지속시간	10분
강우강도	195.6mm/hr
유출계수	0.9
조도계수	0.013

구분	STA.1+077.0
측구규격	0.65X0.45
수로암거 규격	2.0X2.0
개거 규격	1.5X1.5

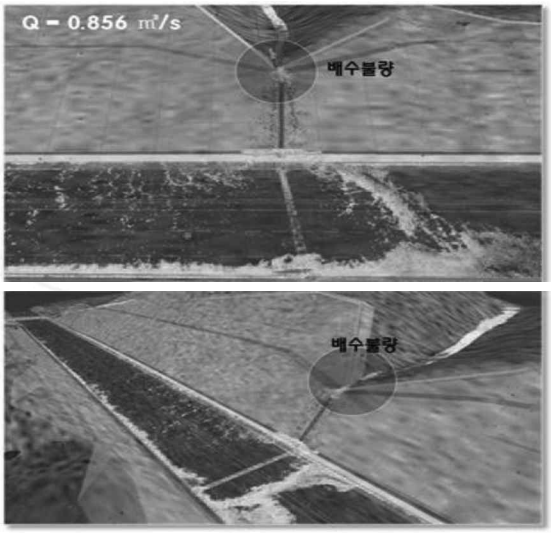
Ⅱ. 연구 내용

3. 개발된 시뮬레이션 설계용역 시범 적용

- 본 과제를 통해 개발된 시뮬레이션을 통해 기존 설계에 따른 노면 배수에 대한 현황을 파악 하였음.



<STA. 1+077.0 수로암거 및 통로 암거 구간>

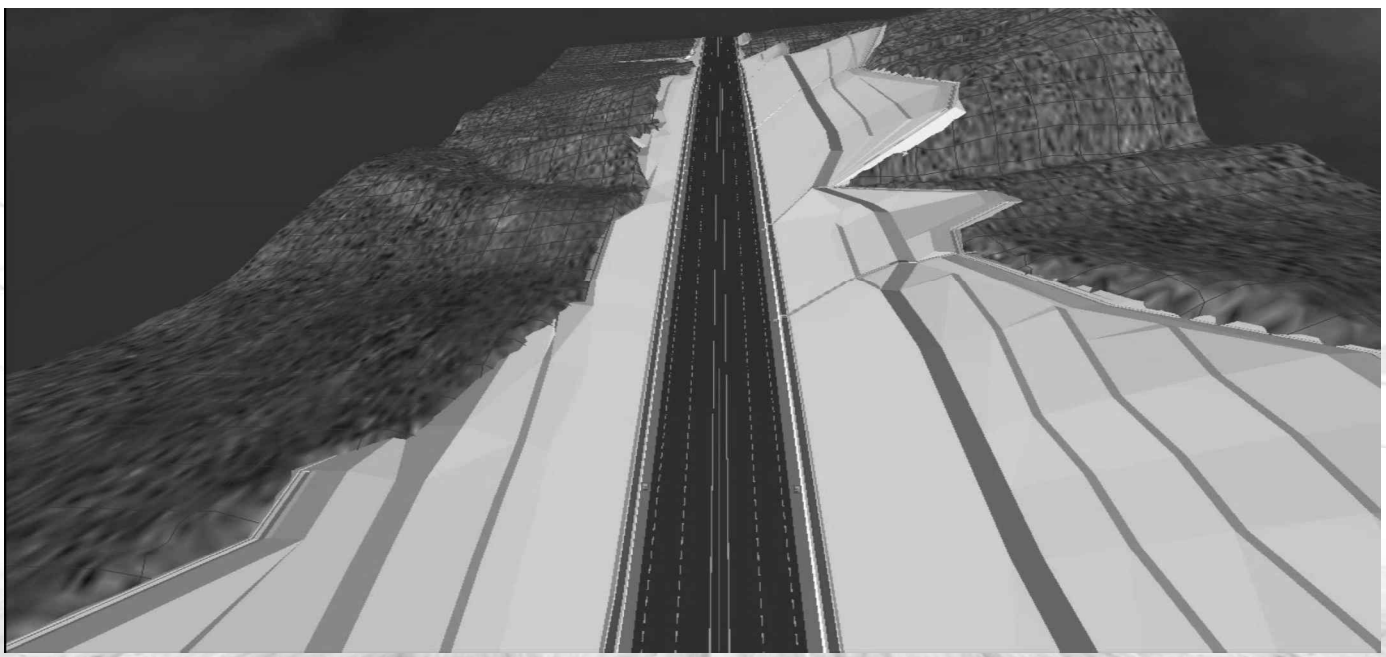


<STA. 1+380.0 절토사면 구간>

Ⅱ. 연구 내용

3. 개발된 시뮬레이션 설계용역 시범 적용

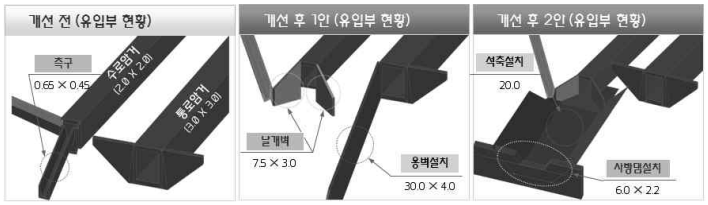
- 본 과제를 통해 개발된 시뮬레이션을 통해 기존 설계에 따른 노면 배수에 대한 현황을 파악 하였음.

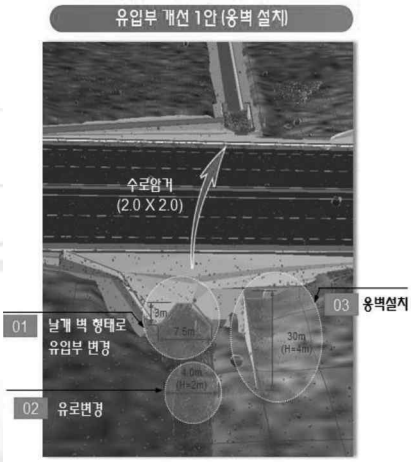


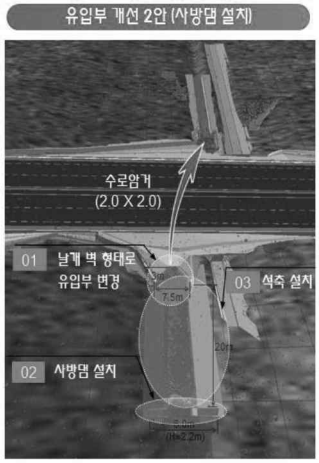
Ⅱ. 연구 내용

3. 개발된 시뮬레이션 설계용역 시범 적용

- 본 과제를 통해 개발된 시뮬레이션을 통해 기존 설계에 따른 문제점을 파악한 후 개선안 제시(암거구간)







Ⅱ. 연구 내용

3. 개발된 시뮬레이션 설계용역 시범 적용

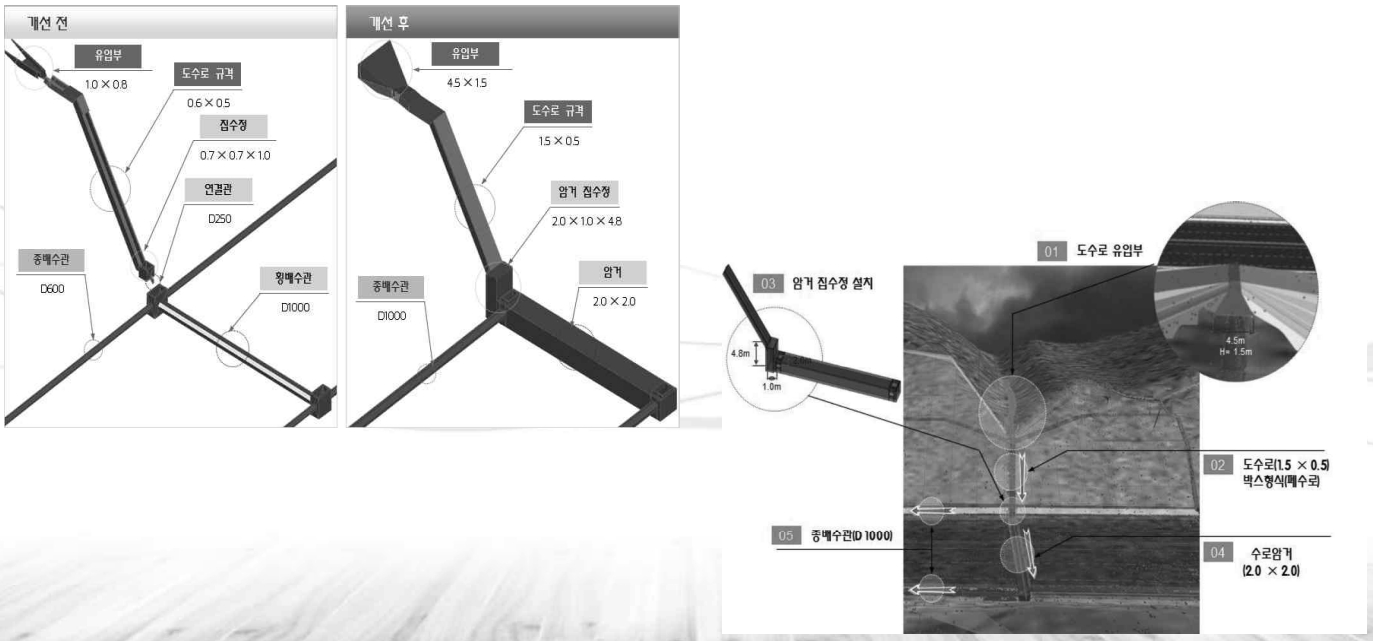
- 본 과제를 통해 개발된 시뮬레이션을 통해 기존 설계에 따른 문제점을 파악한 후 개선안 제시(암거구간)



Ⅱ. 연구 내용

3. 개발된 시뮬레이션 설계용역 시범 적용

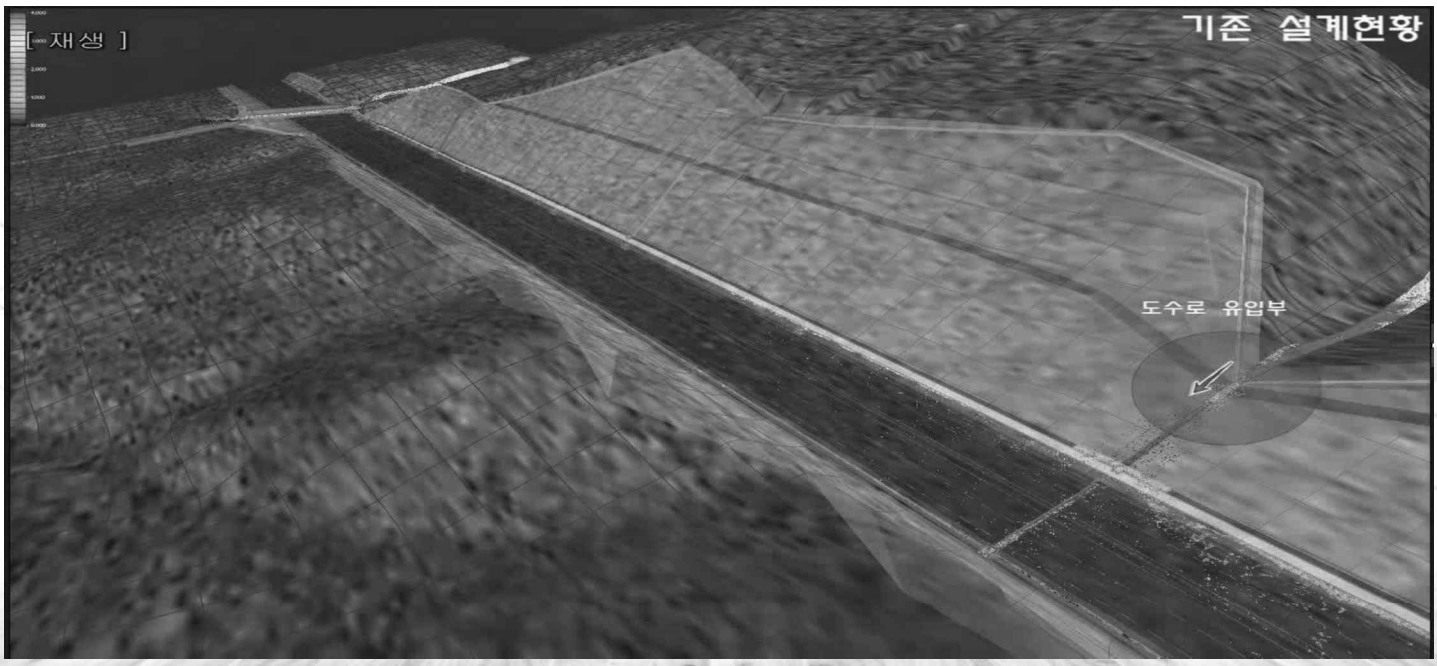
- 본 과제를 통해 개발된 시뮬레이션을 통해 기존 설계에 따른 문제점을 파악한 후 개선안 제시(절토사면)



Ⅱ. 연구 내용

3. 개발된 시뮬레이션 설계용역 시범 적용

- 본 과제를 통해 개발된 시뮬레이션을 통해 기존 설계에 따른 문제점을 파악한 후 개선안 제시(절토사면)



II. 연구 내용

3. 개발된 시뮬레이션 시범 적용 효과

- 가상현실공간에서 피해범위 및 위험지구 예측을 통한 향후 위험지구 우선순위를 결정하여 재해 저감 대책 수립
- 기존의 국한된 일부 구간에 한하여 국부적으로 시행해 왔던 1,2차원 수치해석결과에 비하여 광범위한 구간을 대상으로 3차원 유체시뮬레이션을 통해 보다 정확하고 세밀한 결과를 이용하여 근본적이고 용이한 공법선정이 가능
- 사회간접 시설 및 자연재해에 대한 사전대비책 수립으로 인한 피해 경감 및 막대한 예산절감 효과로 국가 경제 발전에 기여
- 3차원 유체 시뮬레이션 기술을 통해 가상시나리오를 손쉽게 구현하여 설계변형을 비교하면서 사업가치 향상을 위해 최적의 대안을 창출



Q & A

감사합니다

『입자방식 3D 유체시뮬레이션 개발 사업』

GPU를 이용한 2차원 흐름모형의 개발

2015. 10. 08.

발표자 : ㈜ 이엔지소프트 김성곤

목 차

I. 연구개발 개요

II. 연구개발 내용

1. 2차원 흐름모형의 개발
2. GPU를 이용한 유한요소코드의 개발
3. 실무 프로젝트 적용사례(대청호)
4. CPU와 GPU의 연산속도 비교

III. 결론

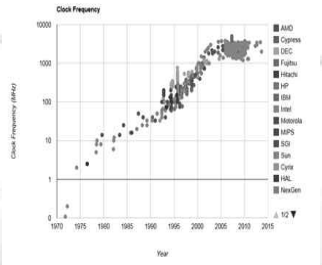
I. 연구 개발 개요

흐름해석을 위한 유한요소기법

과거 1차원 해석 → 현재 2차원 해석 → 미래 3차원 해석

CPU 성능의존도 증가





GPU 적용



II. 연구 개발 내용

1. 2차원 흐름모형의 개발
2. GPU를 이용한 유한요소코드의 개발
3. 실무 프로젝트 적용사례(대청호)
4. CPU와 GPU의 연산속도 비교

Ⅱ. 연구 내용

1. 2차원 흐름모형의 개발

- 연속방정식과 운동량 방정식을 이산화한 유한요소모형의 적용

$$\frac{\partial n}{\partial t}+\frac{\partial (Hu)}{\partial x}+\frac{\partial (Hv)}{\partial y}=0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+g\frac{\partial H}{\partial x}-\varepsilon\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)-fv+\frac{\tau_{*x}}{\rho H}=0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+g\frac{\partial H}{\partial x}-\varepsilon\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-fu+\frac{\tau_{*y}}{\rho H}=0$$

```
sw[0]=(ae*w[i1]+be*w[i2]+be*w[i3])*areaTri[nElm]/12.0-cdt-adv*dt24
dtt*(2.0*wn[i1]+wn[i2]+wn[i3])*tau*areaTri[nElm]/12.0
+dtt*(ed[1][1]*wn[i1]+ed[1][2]*wn[i2]+ed[1][3]*wn[i3])*visc*turb;

sw[1]=(be*w[i1]+ae*w[i2]+be*w[i3])*areaTri[nElm]/12.0-cdt-adv*dt24
(w1+2.0*w2+w3)-dtt*(wn[i1]+2.0*wn[i2]+wn[i3])*tau*areaTri[nElm]/12
+dtt*(ed[2][1]*wn[i1]+ed[2][2]*wn[i2]+ed[2][3]*wn[i3])*visc*turb;

sw[2]=(be*w[i1]+be*w[i2]+ae*w[i3])*areaTri[nElm]/12.0-cdt-adv*dt24
-dtt*(wn[i1]+wn[i2]+2.0*wn[i3])*tau*areaTri[nElm]/12.0
+dtt*(ed[3][1]*wn[i1]+ed[3][2]*wn[i2]+ed[3][3]*wn[i3])*visc*turb;


/* definitions of twoh1, twoh2, and twoh3 for the
continuity equation using the divergence of the
total depth times velocity i.e. nonlinear continuity*/

twoh1=2*d1+d2+d3;
twoh2=d1+2*d2+d3;
twoh3=d1+d2+2*d3;

twohu=twoh1*un[i1]+twoh2*un[i2]+twoh3*un[i3];
twohw=twoh1*wn[i1]+twoh2*wn[i2]+twoh3*wn[i3];

se[0]=(ae*zeta[i1]+be*zeta[i2]+be*zeta[i3])*areaTri[nElm]/12.0+dt2
se[1]=(be*zeta[i1]+ae*zeta[i2]+be*zeta[i3])*areaTri[nElm]/12.0+dt2
se[2]=(be*zeta[i1]+be*zeta[i2]+ae*zeta[i3])*areaTri[nElm]/12.0+dt2
```


Ⅱ. 연구 내용

2. GPU를 이용한 유한요소코드의 개발

- CUDA언어를 이용한 GPU 프로그래밍

CUDA : GPU 연산을 지원하기 위한 nVIDIA에서 개발된 C언어 기반의 프로그램 언어

- **GPU와 GPU간에 메모리 공유불가**
- **메모리로 부터 데이터를 전송 받아 계산**
- **연산속도향상을 위해 CPU와 GPU간의 데이터 교환 최소화 필요**
- **사용된 CPU는 Intel Xeon E5-2620 (2.0GHz), GPU는 NVIDIA Titan**

```
vector_CUDA_Step1<<<block_N,thread_N>>>(d_nodewet, d_um, d_wm, d_em, d_am, g_nQtyNode);

/*calculating b1,b2,b3,c1,c2 and c3 for each wet triangle*/
vector_kernel_CUDA<<<block_E,thread_E>>>(d_trianglewet, d_areaTri, d_arrIdxNode, d_am, d_arrX, d_arrY,
d_arrDepth,
d_u, d_w, d_zeta, d_un, d_wn, d_dn, d_um, d_wm, d_em,
g_turb, g_hmin, g_nmann, g_bUsingLinearFriction, g_ltau, dtt, g_ae, g_be, g_adv, g_visc, g_nQtyElm);

// incl[nNode] is the number of wet triangles that node k is included in
cudaError_t cudaStatus;
cudaStatus = cudaMemset(d_incl, 0, g_nQtyNode * sizeof(int));

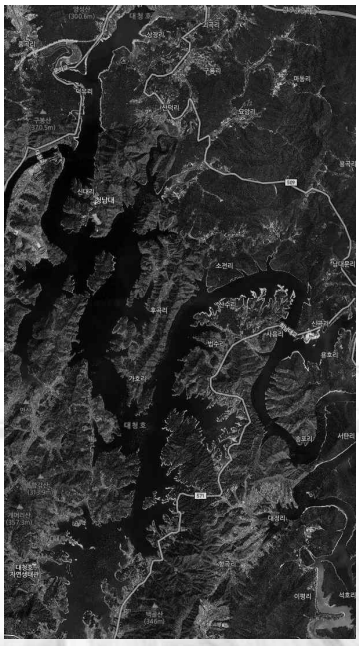
vector_CUDA_Step2<<<block_E,thread_E>>>(d_arrIdxNode, d_incl, d_trianglewet, g_nQtyElm);
vector_CUDA_Step3<<<block_N,thread_N>>>(d_incl, d_un, d_wn, d_dn, d_um, d_wm, d_em, d_am, d_QS, dtt, g_nQtyNode);
```

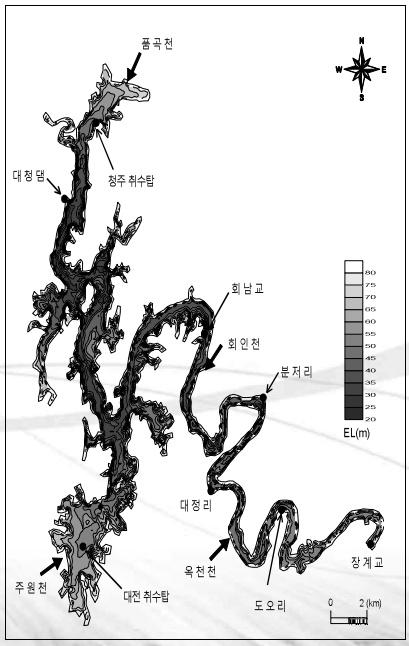
II. 연구 내용

3. 실무프로젝트 적용사례 (대청호)

◎ 대청호내의 흐름해석 및 결과분석

- 대전 및 충청지역 중요한 수자원
- 매년 부영양화 문제로 조류의 과잉 발생
- 수질악화 원인 : 오염원이 홍수시 다량 유입
- 유역 및 수계에서 물의 순환과정 파악필요





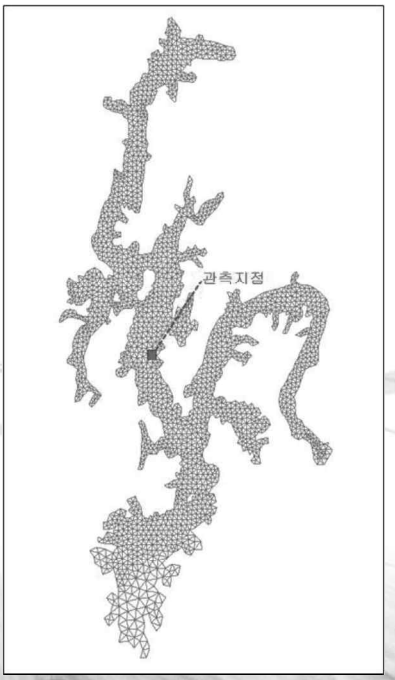
II. 연구 내용

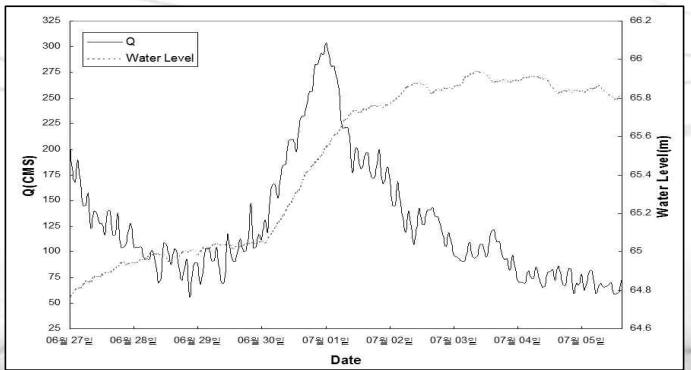
3. 실무프로젝트 적용사례 (대청호)

◎ 유한요소 모형

- 요소격자 최소길이 : 50m
- 요소격자 최대길이 : 394m
- 노드개수 : 2585개
- 요소개수 : 4145개
- 개방경계조건 :

  2001년6월27일~7월5일 까지의 상류유량과 대청댐전면 수위자료



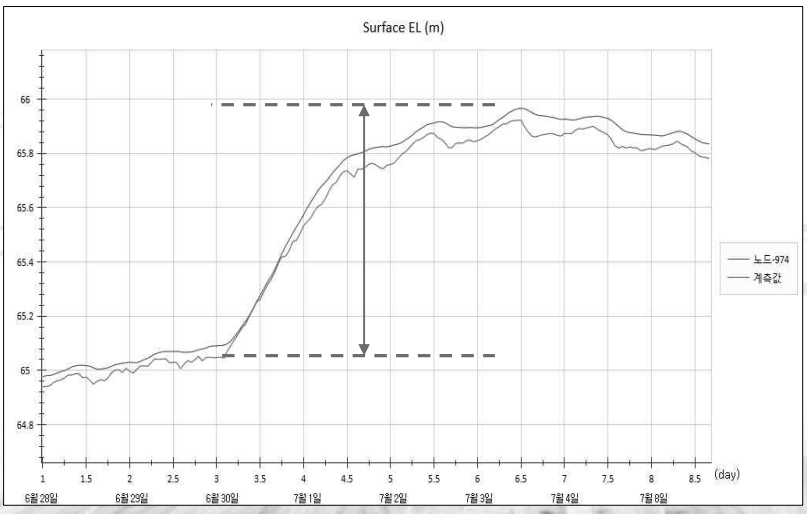


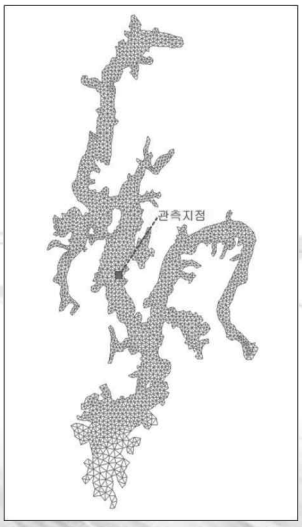
Ⅱ. 연구 내용

3. 실무프로젝트 적용사례 (대청호)

○ 계산결과값과 실측값의 비교

- 7월1일 전후로 강우발생시 상류에서 유입유량증가로 수심이 1m이상 증가함
- 실측값과 비교시 최대 0.08m 차이 발생
- 전체적인 수위양상 일치

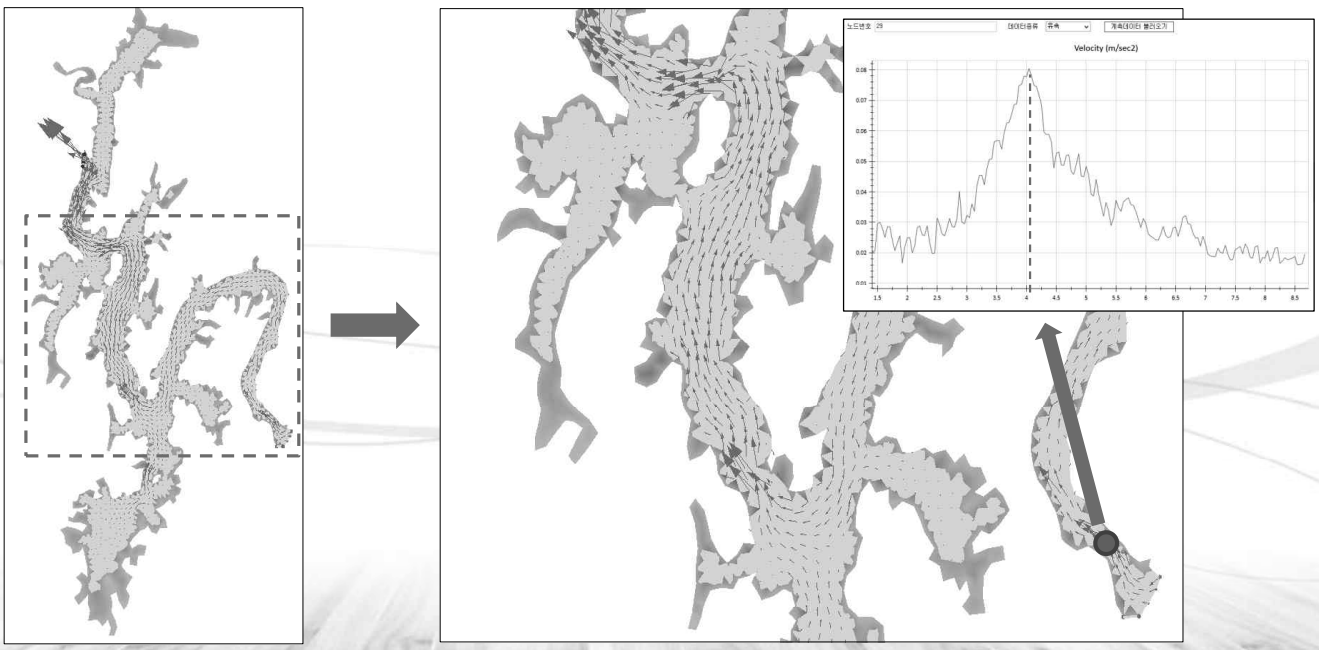




Ⅱ. 연구 내용

3. 실무프로젝트 적용사례 (대청호)

○ 7월1일 강우발생시 유속분포 (상류유입유량의 증가로 전체적인 유속증가)



II. 연구 내용

4. CPU와 GPU의 연산속도 비교

- 유한요소 격자밀도를 2가지 타입으로 만들어서 격자수에 따른 연산속도를 비교함.

- 두 방법을 사용하여 총 208시간을 모의한 결과(유속분포)는 동일한 결과값을 산출
- 동일한 조건에서 노드수만 변경하였을 경우
  노드개수 : 2588개 일 경우 GPU가 CPU대비 3.6배의 성능을 보였으며,
  노드개수 : 5021개 일 경우 GPU가 CPU대비 10.25배의 성능을 보여주었다.

노드개수	CPU기반	GPU기반	효율
2588	47분	13분	3.6 배
5021	164분	16분	10.25 배

GPU 계산 Block별 계산노드수가 많아질수록 계산효율증가

사용자는 동일시간에 좀 더 다양한 해석케이스에 대한 해석 수행 가능
더욱 정확한 흐름현상모의 가능

III. 결론

- 현재 GPU를 이용한 수치모형 개발 연구는 진행 중에 있으며, 앞으로 저수지 흐름모의, 연안 해수유동 모의 등의 다양한 흐름 현상을 모의하고, 적용성을 보다 면밀하게 평가할 예정이다.

- GPU를 활용하면, 신속하게 각종 흐름현상을 모의 할 수 있음을 확인하였다.

- 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 발생되는 수질오염 현상을 신속하게 예측하는 활용하면, 수질오염 방제대책을 신속하게 수립할 수 있게 되어서 수질오염의 확산을 방지하는 데 기여할 것이다.

Q & A



감사합니다

병렬 컴퓨팅 기법을 통한 고속 처리 3D 유체

시뮬레이션 시스템

(FSS : Fluid Simulation System)

- 사용 매뉴얼 -

기관 : 동남 이앤씨㈜

담당자 : 동남이앤씨 기술개발부

T) 02-430-7117

본 프로그램은 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받은 '3D 유체 흐름 시뮬레이션 개발 ' 사업의 결과물 입니다.

CONTENTS

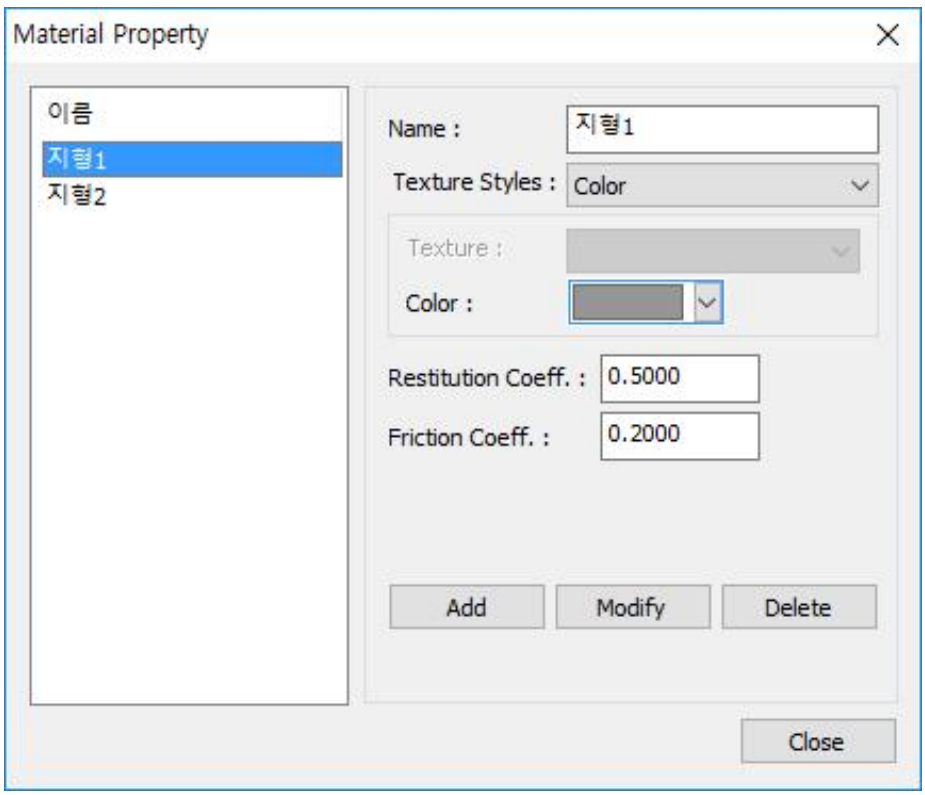
- 프로그램 설명
- 프로그램 화면
- 입력 메뉴
- 결과 메뉴
- 설정 메뉴

프로그램 설명

FSS프로그램의 특징으로는 Dialog 입력방식, Table 입력방식, 두가지의 좌표계 형식이 있음.

• Dialog 입력방식

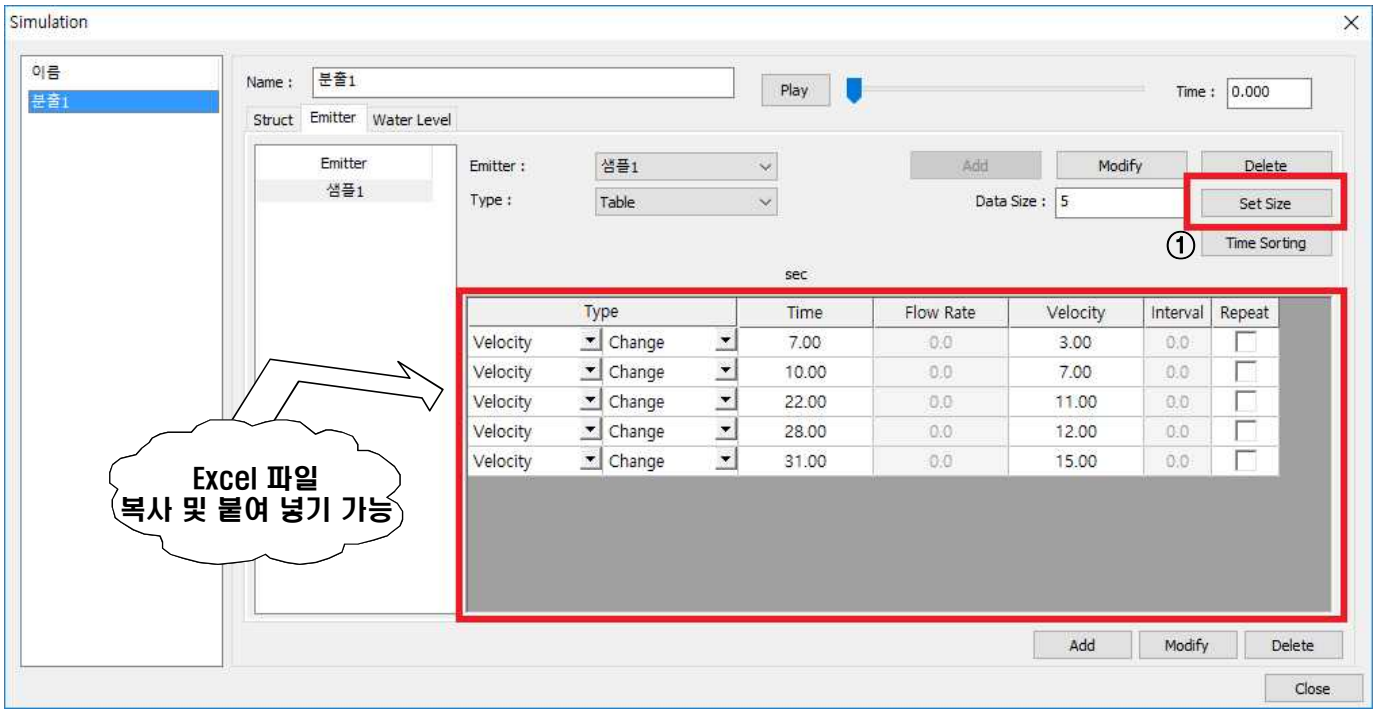
대부분의 다이얼로그는 현재 정보가 있는 List가 좌측에 나타남. Data를 입력이 가능한 경우로 추가, 수정, 삭제를 위한 Add, Modify, Delete 버튼이 있으며, 해당 버튼을 눌러야 DB에 저장이 됨. DB에 저장하기전에 Dialog을 닫으면 정보는 저장되지 않음.



< Dialog 입력방식 >

• Table 입력방식

대부분의 좌표 입력창은 작업을 돕기 위한 Table 입력 형식을 제공함. Table 입력 형식은 아래와 비슷한 형태로 제공되며, Set Size(①) 버튼을 통하여 테이블의 크기를 조절할 수 있음. Excel로 복사 및 붙여 넣기가 가능함.

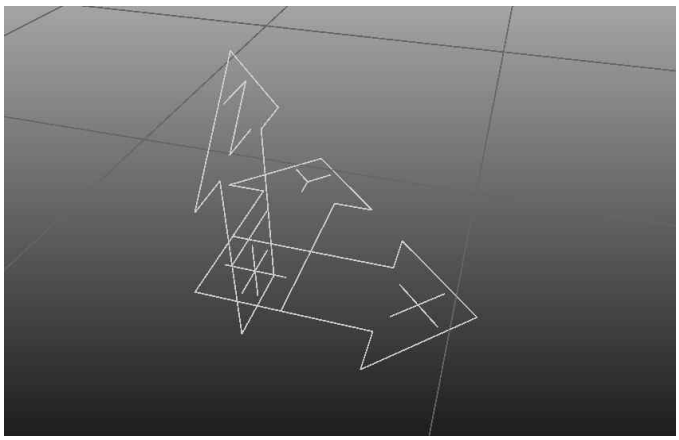


〈 Table 입력방식 〉

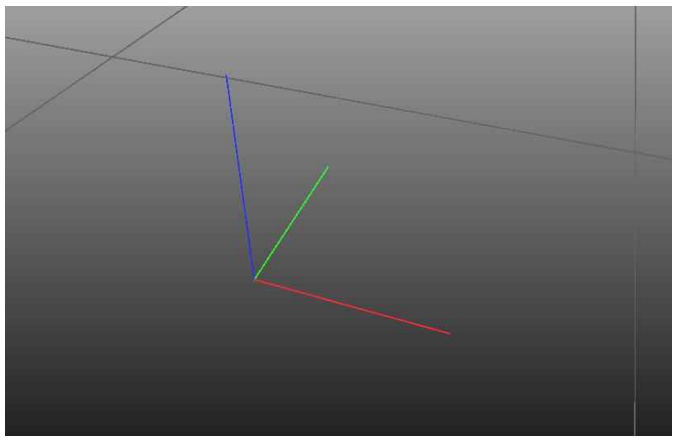
• 두 가지의 좌표계

FSS의 좌표 입력방식은 절대 좌표 입력방식, 지형 좌표 입력방식이 있음.

- 절대 좌표 : 가장 기본이 되는 좌표계.
- 지형 좌표 : 지형좌표축을 원점으로 하는 좌표계.



〈 절대 좌표계 〉



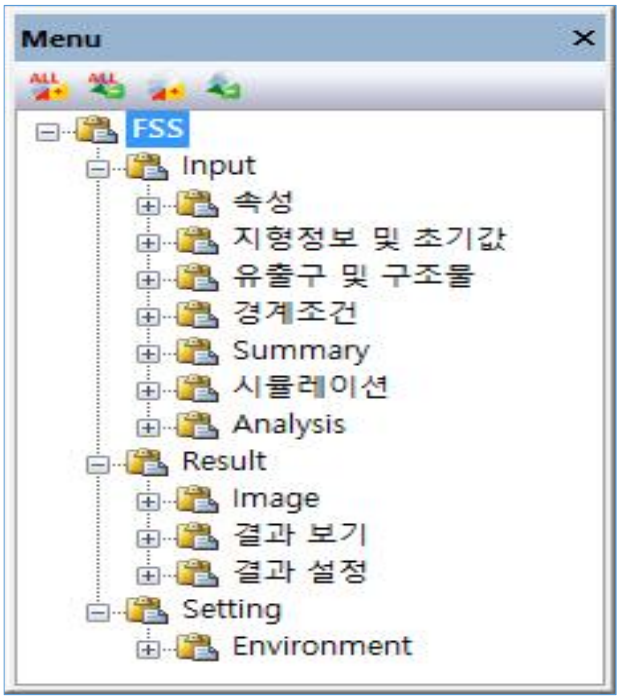
〈 지형 좌표계 〉

프로그램 화면

• Main Interface

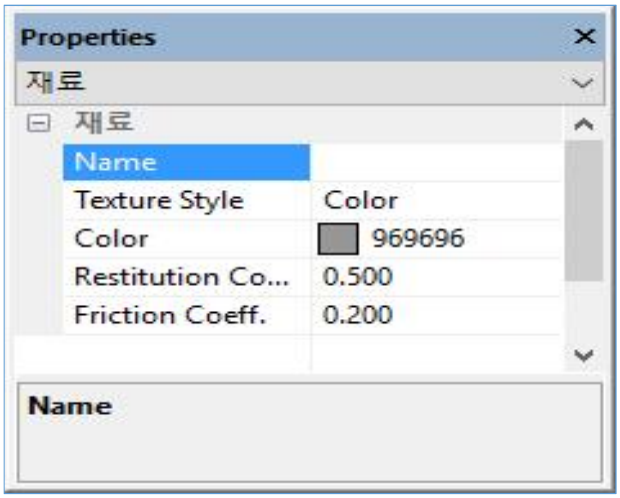


• Tree View



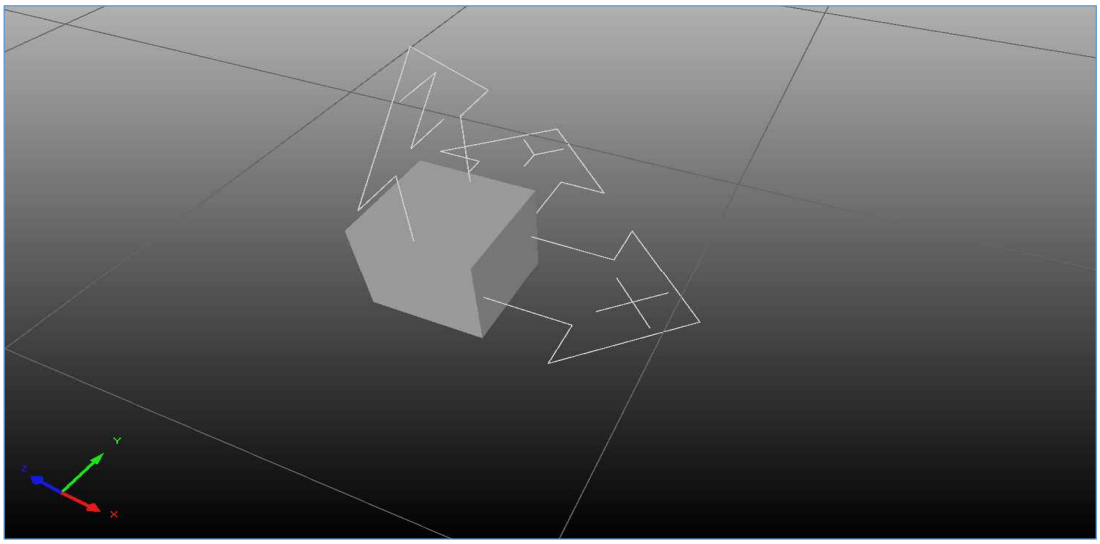
모든 메뉴 항목을 Tree 형태로 나타내며,
관련된 작업을 할 수 있음.

• Properties Window



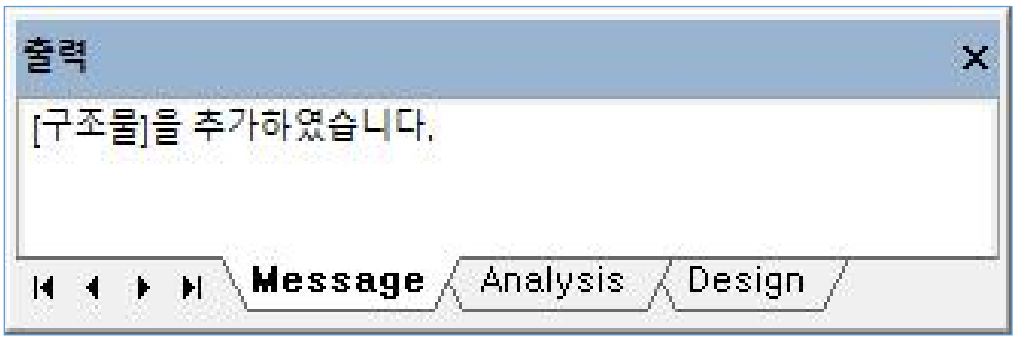
선택된 항목의 상세정보를 보여주며
수정이 가능함

• Main View



작업 결과를 3D Modeling 형태로 보여줌

• Output View

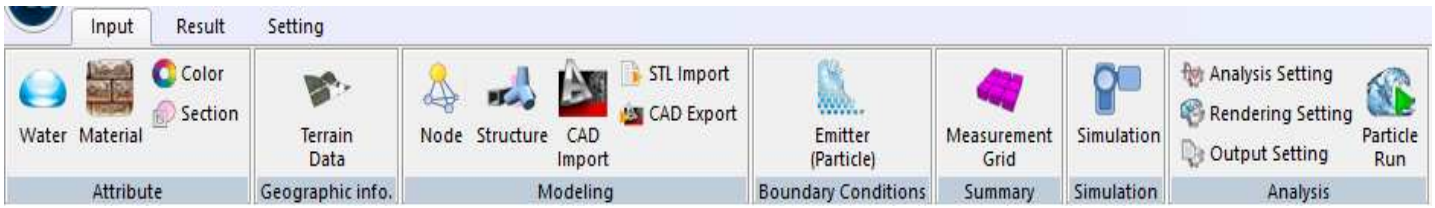


작업과정에서 발생하는 Output 또는 Error Massage를 출력함

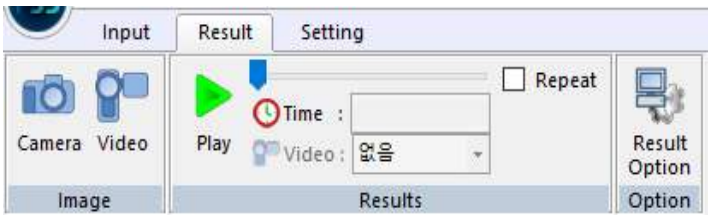
• Main Menu Summary

Main Menu는 1개의 Ribbon Menu(파일의 입출력 작업관리)와 3개의 Menu Panel(Data 입력창과 연결)이 있음.

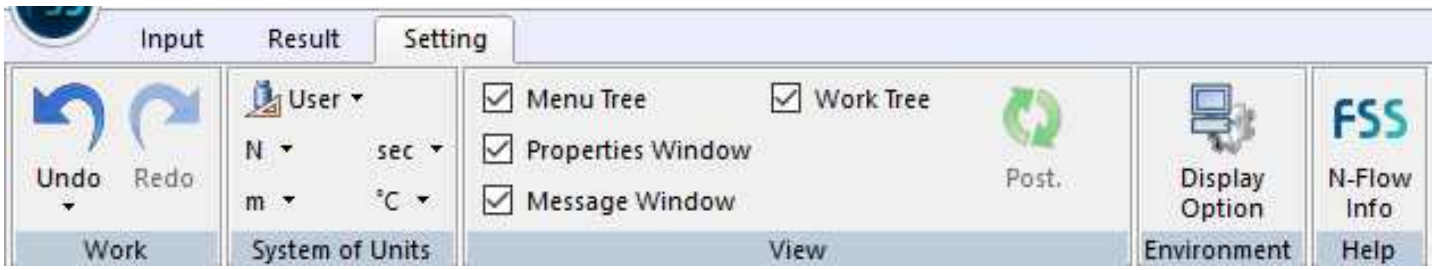
- Input Panel은 모델링을 하기 위한 명령 Panel



- Result Panel은 해석결과를 불러왔을 때 동영상 효과 등의 명령 Panel



- Setting Panel은 작업관리 및 단위, 창 표시 여부, 화면 설정 등을 조절하는 명령 Panel



입력 메뉴

• Attribute (속성)

아래의 각 항목들은 모델링을 구성하는 최소한의 기초 항목들로써 모델링 작업중이나 작업 후에도 속성 값을 변경하게 되면 해당 속성을 사용하는 개체들은 모두 연계되어 적용됨.

○ Water (유체) : 해석 계산에 필요한 유체의 특성

- Unit Weight : 유체의 종류에 따른 단위 중량
- Particle Size : 유체를 표현하는 Particle의 크기
- Fluid Viscosity : 유체의 종류에 따른 점도
- Stiffness : 유체 종류에 따른 강성
- Transparency : 유체의 투명도

○ Material (재료) : 재료의 특성을 입력 및 색상을 설정

- Name : 재료의 이름
- Texture Styles : 구조물의 표현을 위해 구조물 표면에 입힐 색상
- Color : 재료의 색상
- Restitution Coeff : Particle과 구조물의 충돌에 대한 반역에 대한 반발 계수
- Friction Coeff : Particle과 구조물의 마찰력을 나타내는 마찰계수

○ Color(색) : 단순히 색상만을 필요로 하는 아이템의 색상 정의에 사용

○ Section Property : 'Structure' 및 'Component' 입력 시 사용될 단면 정의

- Name : Section Property의 이름
- Type : 단면의 Type
- Tapered : 단면 설정 중 시작 위치와 끝의 단면 끄기가 다를 때 선택
- Center Type : 단면의 기준점의 위치를 선택
- Size : 단면 별로 입력할 치수 값 입력

• Geographic Information (지형 정보)

○ Terrain Data

FSS의 지형 정보는 Elevation을 가지는 격자망 형태로 구성되어 있음. 입력방식은 사용자가 직접 입력하는 방식, Terrain 형태의 Data 또는 CAD File를 불러오는 입력방식을 가지고 있음.

○ Reference Point Type

FSS 내에 생성될 지형의 위치를 지정하는 부분으로 지형좌표의 기준점의 위치와 형식을 설정함. 기준점의 입력은 Node 입력방식과 좌표입력방식으로 구분되어 있으며, 기준점의 위치는 지형의 중심과 좌측 하단으로 선택이 가능함. 총 4가지의 기준점 위치를 지원하고 있음.

○ Range Size & Rotation

지형의 가로 세로 크기와 회전각을 입력

○ Amount Grid

지형 격자의 X 방향 반복 개수와 Y방향 반복 개수를 입력

○ Texture

지형에 맵핑하려고 하는 이미지를 선택. 반복의 경우 Repeats Num에 숫자를 입력

○ Material Property

지형의 마찰계수 및 반발계수를 입력

○ 기타 변수

- Assign Impervious Layer : 불투수층으로 지정여부
- User Terrain Height : 지형높이 값 입력여부
- Import *.TRN : Terrain File 불러오기

• Modeling

○ Node

Node는 화면상에 좌표를 미리 지정해 놓는 기능으로 교차점, 자주 사용하는 위치, 해당 Node만 이동으로 해당 Node를 공유한 정보들이 연계되어 변경을 원할 때에 사용함. 입력방식으로는 점을 하나씩 입력 방식, 여러 점을 동일 간격으로 반복적으로 입력하는 방식으로 나누어짐

- Node 점 입력 : 각각의 점(x, y, z)에 좌표를 입력하여 추가하는 방식
- Node 복수 입력 : 다수의 Node를 동시에 입력하는 방식으로 기준점 입력 후 x, y, z 방향으로 간격을 입력하면 그 간격만큼 반복적으로 생성

○ Structure & Drain

해석과정에서 필요한 구조물과 Drain을 생성하는 기능

- Structure & Drain의 형식과 관계없이 공통적으로 입력해야 하는 DATA
  - ◇ Name : 구조물 또는 Drain의 이름
  - ◇ Form : 입력 형식을 선택
  - ◇ Position Input : 입력할 좌표의 기준 축을 선택
  - ◇ Opacity : 투명도
  - ◇ Material & Color : 정의한 재료와 색상을 선택
  - ◇ Active : 해석 시 Particle에 영향을 주는 지 여부를 결정
  - ◇ Drain : 해석 시 해당 객체에 Particle이 접합 경우 제거시키는 기능
  - ◇ Hide : 화면상에서 시각적으로 보이지 않도록 설정
  - ◇ Section : Line과 Polyline의 경우 해당 선을 중심으로 생성할 단면 선택
  - ◇ Beta Angle : Line과 Polyline의 경우 해당 선을 축으로 단면을 회전시켜 생성

- Line Type 입력 : 3D 입체생성방식으로 Particle입자에 대한 저항 설정
- Polyline Type 입력 : 구조물 형식을 Polyline Type 선택 후 각각의 절점을 입력 하면 부재가 형성
- Plane Type 입력 : 구조물 형식을 Plane Type으로 선택하고 면을 이루를 각각의 절점을 입력하면 부재가 형성
- Box Type 입력 : 구조물 형식을 Box Type으로 선택하고 Box의 기준점 및 Size를 입력하면 부재가 형성
  - ◇ Box Size : Box의 크기
  - ◇ Reference Point : Box가 생성 될 기준점 입력
  - ◇ Rotation Angle : 생성 된 Box의 회전각 입력

○ CAD Import 및 STL Import

CAD Format의 *.dwg file과 Text Format의 *.stl file를 불러와 구조물 형성 기능

○ CAD Export

FSS내의 지형 및 구조물을 CAD Format인 *.dwg file로 출력하는 기능

• Boundary Conditions (경계 조건)

○ Emitter

유출면인 사각형의 폭과 높이를 입력하고, 유속이나 유량을 입력하여 Emitter를 생성

- Name : Emitter의 이름
- Width, Height : Particle의 유출면인 사각형의 폭과 높이 입력
- Type : 간격, 유속, 유량 입력
- Interval : 유출되는 Particle간의 유출면 방향과 간격 비율
- Interval(Vel.) : 유출되는 Particle의 유출 평면의 수직방향의 간격
- Velocity : Particle의 유출 속도 결정
- Flow Rate : 유출되는 Particle의 유량 설정

(* 유량 입력 시에는 해석 상 이전에 유출된 Particle과의 겹침 현상 때문에 interval(vel.)값을 1.5로 계산된 값으로 적용함에 따라 실제보다 빠른 유속이 입력)

- Position : Emitter의 위치(절대좌표, 지형좌표)
- Rotate Angel : 유출 방향을 설정하기 위한 면의 회전각
- Random Distribution : Particle를 Random 방향으로의 유출 여부 설정
- Position : Particle를 Random 유출 시 임의 거리 최대값 설정

• Summary

○ Measurement Grid

해석 중 particle결과를 격자 별로 정리하여 저장할 때 저장할 격자의 영역 및 격자 크기 입력

• Simulation

해석 중 Structure 이동이나 Emitter의 유량 변경 Event 를 설정

○ Struct

Structure별로 각각 Event를 부여가 가능함

- Structure : Event를 적용할 구조물 선택
- Position Input : 입력 좌표의 기준좌표 축을 선택
- Rotate Center : 회전 중심점의 위치를 지정하는 방법은 2가지로 첫번째, Position Input에서 지정한 원점중심으로 회전 중심점으로 정하는 방법과 두번째, 구조물의 중심(각 방향별 ½ 지점)을 기준으로 회전 중심점을 정하는 방법 구분됨.
- Table : 각 시간 별 이동 거리 및 회전각을 입력

○ Emitter

Emitter별로 각각 Event를 부여가 가능함

- Emitter : Event를 적용할 Emitter를 선택
- Type : Emitter 변경을 직접 Table에 입력할 지 앞서 입력한 Hydro Graph을 적용할 지 여부를 선택
- Table : 각 시간 별 Emitter의 유출 변동 값 입력

• Analysis (해석)

○ Analysis Setting

해석을 위한 각종 설정 값 입력

- Solver Type : 해석 방법 선택(SPH).
- Frame per Sec. : 1초당 해석할 Frame 수.
- Max Particle : 해석 시 사용할 수 있는 최대 Particle 수.
- Gravity : 해석 시 사용되는 중력가속도.
- Particle Range
  - ◇ Auto Setting (120%) : 자동으로 해석 영역을 계산할지 여부.
  - ◇ Calculation 버튼 : 자동 계산 시의 값.
- Initial Material Data : 마찰계수 및 반발계수.
- Constraints : Particle 입자가 특정 값 이상의 값을 가지지 못하도록 제약.
- Save Results : 해석결과 저장 정보.
  - ◇ Save Out : out파일 생성 여부.
  - ◇ Start Time, End Time : 해석결과 저장 시작 시간과 끝 시간.
  - ◇ Set End Solver : Solver 해석 종료 시점.
  - ◇ Save Interval : 해석결과를 몇 초 간격으로 저장할지를 설정.
  - ◇ Redraw Interval : 해석 진행상황을 View에 표시할 때 몇 초 간격으로 표현할지를 설정.
  - ◇ Particle, Marching Cube, Image Trajectory, Measurement Grid등의 결과값을 저장할지 여부.

○ Rendering Setting

해석결과 중 Marching Cude 정보를 만들기 위한 정보 설정

- Boundary : Marching Cube을 계산할 영역.
  - ◇ Auto Setting(110%) : 선택 시 계산 영역을 자동 계산.
- Offset : 표면을 입력한 거리만큼 이동시켜서 Marching Cube를 생성.
  - ◇ Auto Setting(110%) : z값을 Particle크기의 ½만큼 위로 설정.

- Rendering Parameter : Marching Cube생성시 필요한 변수 값.
  ◇ Grid Size : Marching Cube검토를 위한 격자의 크기를 입력.
  ◇ Critical Value : 격자 내에 Particle의 양적인 값으로 존재여부를 판단.
  (※ 입자크기가 클수록 작은 값을 입력합니다.)
  ◇ Max Polygons : Rendering을 위해 사용되는 면의 최대 개수.
  ◇ Effective Radius : 수면의 곡면을 적용할 때 반지름 크기.
- Filter : Marching Cube을 더 부드럽게 만들어 주는 기능.
(대신 입자가 적은 부분에서는 주변부가 좀더 커지는 경향이 있어 사용하지 않음.)

○ Output Setting

결과 저장 시 Trajectory 생성과 Flow Rate 계산 방법을 설정

- Trajectory : 궤적 표현 방법
  ◇ Precision : Particle 몇 개당 1개의 궤적을 그릴지를 선택.
  ◇ Time : 궤적 꼬리의 길이로 궤적을 표현할 시간.
- Flow Rate : Measurement Screen에서 유량 측정 시 일정시간 동안 계측된 값의 평균계측시간 사용설정

(※ 계측 시간이 길수록 부드러운 유량 변화가 보이나 대신 민감한 반응을 표현 하지 못함)

○ Particle Run

입력된 Data를 가지고 해석을 시작하며 화면상 진행상태를 입자형식으로 표현

결과 메뉴

• Image

○ Camera

입력과정에서 지정해 놓은 지점의 Camera View를 지정하거나 해당 위치에서 Image file를 만드는 기능

- Name : Camera View의 이름.
- Select Input Type : 기준 좌표축.
- Reference Point : Camera View 위치.
- Rotation Angle : Camera View 방향.
- Applied Screen : Camera View의 좌표 및 회전각.
- Check Screen : 입력된 Camera View 좌표와 회전각으로 View를 이동.
- Save Selected Screen : 해당 위치에서의 View를 이미지 File로 저장함.

○ Video

해석결과를 시간에 따라 Camera 위치 및 각도, 결과값 표현 형식 등을 변경하여 영상결과물을 만들어 내는 기능. 만들어진 Video List 메뉴에서 Result 그룹에서 Play에 반영시킬 수 있음

- Name : Video의 이름.
- Applied Screen : 현재 View의 좌표 및 회전각.
- Check Screen : 현재 행에 입력된 좌표와 회전각으로 View를 이동.
- Table : 각 시간 별로 View상태를 입력.
  - ◇ Type : View 전환 방법을 설정.
  - ◇ Location : 해당 시간에 View를 입력한 위치로 변경.
  - ◇ Move(Time) : 다음 시간까지 View를 부드럽게 이동시.
  - ◇ Move(Velo.) : 다음 위치까지 입력한 속도로 View를 부드럽게 이동.
  - ◇ Move (Velo. Fluctuation) : 다음 위치까지 시작 속도와 끝 속도로 View를 부드럽게 가속 또는 감속 시키며 이동

• Results

해석 결과를 시간에 따라 Paly 시키는 기능

○ Play

실행 시 현재 시간부터 저장된 프레임 별 결과를 순차적으로 재생

○ Repeat

Paly시 최종 시간에 도달하면 처음으로 돌아가 반복재생

○ Time

현재 보여주는 프레임의 시간 표시

○ Video

앞서 입력한 Video 정보에 따라 화면과 결과 형식을 변경

• Option

○ Result Option

저장된 해석결과를 표현하는 방식을 설정

- Display Result Type : 불러올 결과 파일을 선택

FSS의 해석결과 외에도 이후에 설명드릴 Import Results 메뉴그룹에서 변환한 Flow3D, RMA-2, HEC_RAS 결과파일을 적용할 수 있음.

- Velocity : Measurement Grid로 만들어진 격자별 유속 정보를 화면상에 화살표로 보여줌.
  - ◇ Type : 화살표 표현방법을 선으로 표현한 Vector 방식과 3D입체로 표현한 Cylinder방식중 선택.
  - ◇ Scale : 화살표의 전체 크기를 변경할 때 사용.
  - ◇ 1 m/s Length : 속도 1m/s당 표현할 화살표 길이.
  - ◇ Thickness : 화살표의 두께.
  - ◇ Arrow Head : 화살표 머리의 크기.
  - ◇ Head Ratio : 화살표 머리의 길이, 폭 비율.

◇ Gap : 표현하는 화살표가 많을 경우 입력한 개수 중에 1개만 표현하도록 하는 기능.

◇ Result Range : 화살표를 전체를 표현하거나 특정 x, y, z면 만을 표현하도록 하는 기능

- Trajectory : 저장된 궤적정보를 화면에 표시.

◇ Type : 화살표 표현방법을 선으로 표현한 Vector 방식과 3D입체로 표현한 Cylinder방식중 선택.

◇ Thickness : 화살표의 두께.

◇ Range : 저장된 궤적의 꼬리 정보를 몇%까지 표현할지 여부를 선택.

- Surface : 유체의 표면을 화면상에 표시.

◇ Type : 표현방식으로 Water에 입력된 색상으로 표현하는 방법과 Shader를 이용하여 하늘 Image를 반사시켜 표현하는 방법 2종류를 제공. 좌측에 있는 Combo Box는 유체 표면을 표현하기 위해 가져올 Data를 Out파일에 저장된 Marching Cube로 저장된 정보와 Measurement Grid내의 수위 정보 중에서 선택.

◇ Water Reflection : 표면 표현 방식을 유체(Shader)선택시 유체표면에 반사광 이미지를 배경화면의 이미지를 사용하지 않고 별도로 배경이미지를 유체표면에 반사시킬 때 사용. 해당 Check Box를 On상태로 만든 뒤 별도로 반사시킬 배경 이미지를 Combo Box에서 선택.

- Particle : 파티클 입자를 화면상에 표시.

◇ Type : 표현 방식으로 3D입자 표현 방식(3차원으로 크기를 가진 구 이미지로 표현)으로 유속을 표현 하는 방식과 표현하지 않는 방식이 있으며, 입자크기와 상관없이 픽셀 크기로 표현하는 방법이 있음. Screen Space방식은 입자들의 밀도와 유속에 따라 물처럼 표현 하는 방법.

◇ Size : 표현방식을 점 표현 방식을 사용할 경우 점의 크기.

설정 메뉴

• Work

선행 된 작업의 취소 및 취소된 작업을 복구하는 명령

• System of Units

단위계는 User가 선택한 단위계 외에 KS, SI 단위계로 구성되어 있으며, 메뉴에서 ▼를 통해 변경이 가능함. 단위계 설정은 Dialog가 나타나 단위계를 수정할 수 있음.

• View

여러 Docking Dialog들의 표현 여부를 설정

• Environment

○ Display Option

화면상에 보여지는 여러 설정을 조절

- Coordinate Axis : 전체 좌표축과 지형좌표죽의 형태와 크기, 색상 결정
- Display : 바탕 색상이나 Guide Mesh 형식

• Keyboard & Mouse 입력

○ View 위치 이동

카메라의 이동은 마우스와 단축키 등을 통해 이동할 수 있음

- 마우스 : 마우스 오른쪽 버튼을 누르고 이동하면 View의 축이 회전함.
- W : 전진.
- S : 후퇴.
- Q : Z축 방향을 기준으로 위로 올라감.
- E : Z축 방향을 기준으로 아래로 내려감.
- A : 화면의 좌측으로 이동.
- D : 화면의 우측으로 이동 .

○ Context 메뉴

마우스 우 클릭 시 활성화 메뉴

- Perspective or Orthogonal : 직교 또는 원근 View로 변환.
- Select Delete : 선택한 객체를 제거.
- DeSelect : 선택한 객체를 선택 해제.
- Input Dialog : 선택한 객체의 입력 Dialog 호출.
- Screen Save : 현재 화면을 bmp 형식으로 저장.

Fluid Simulation System

F.S.S

Tutorial Introduction

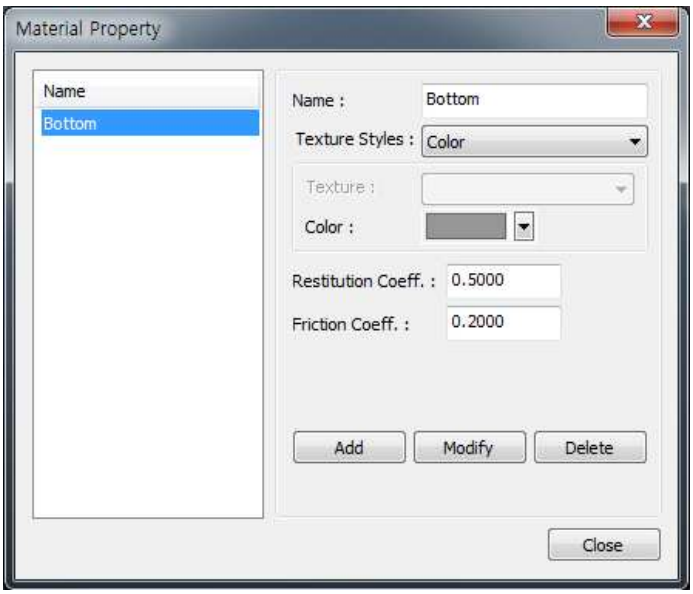
간단한 구조물 만들기

- 단순한 단면과 Emitter(급수구)로 이루어진 기본 모델을 만들어 보겠습니다.
- 각 항목에 대한 자세한 설명은 Menual에 설명되어 있으니 참고하여 보시면 이해에 도움이 됩니다.
- 언급하지 않는 항목은 기본값이므로 입력하지 않아도 됩니다..

1. Material

- 구조물의 재료의 특성를 만듭니다. 재료의 마찰력과 반발력, 색상 등을 설정 할 수 있습니다.

Input > Attribute > Material



Name : **Bottom**

Color : **Gray**

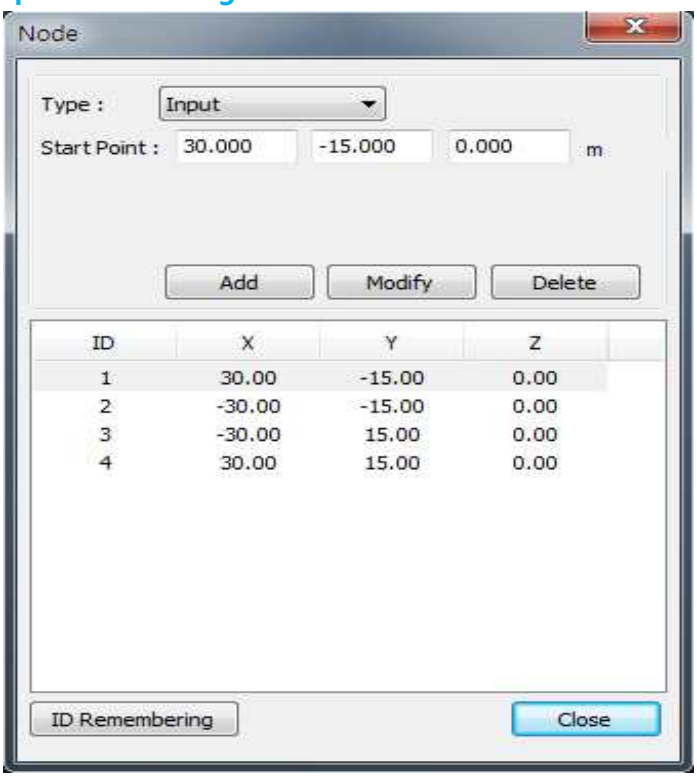
..... Add

.... Close

2. Node

- Node를 생성하여 구조물이나 Emitter등에서 사용할 수 있습니다.

Input > Modeling > Node



순서대로

Start Point : **30, -15, 0** .....Add

Start Point : **-30, -15, 0** .....Add

Start Point : **-30, 15, 0** .....Add

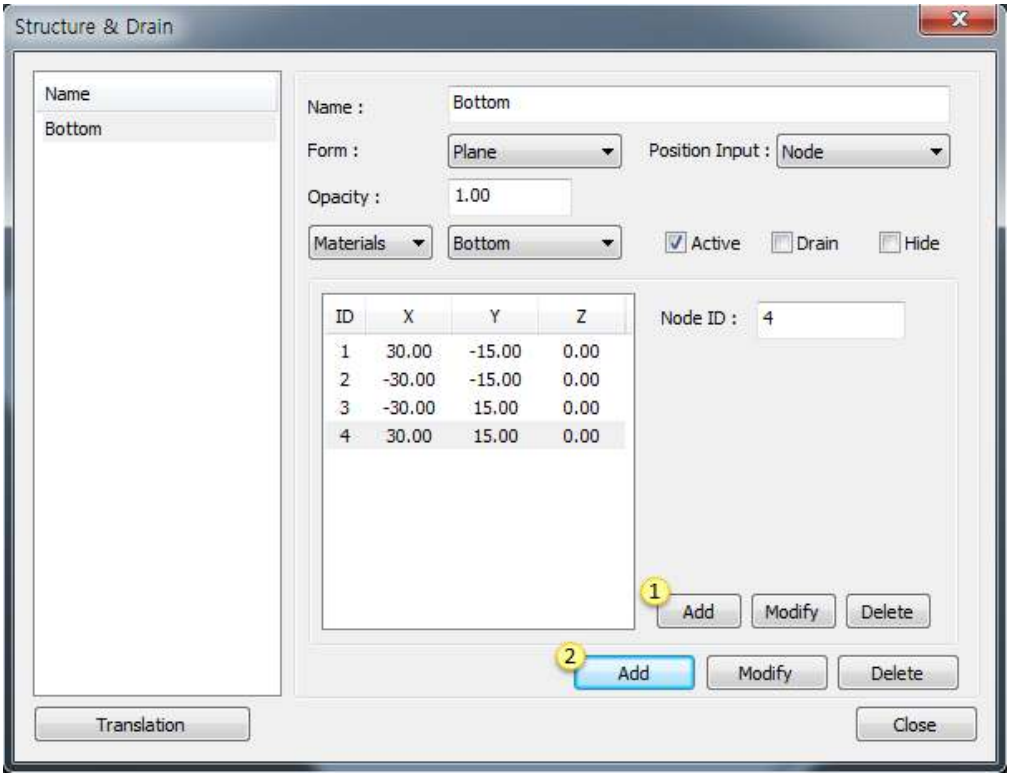
Start Point : **30, 15, 0** .....Add

.... Close

3. Structure

- 구조물을 만들 수 있습니다. 가장 기본적인 평면을 하나 만들어 보겠습니다.

Input > Modeling > Structure

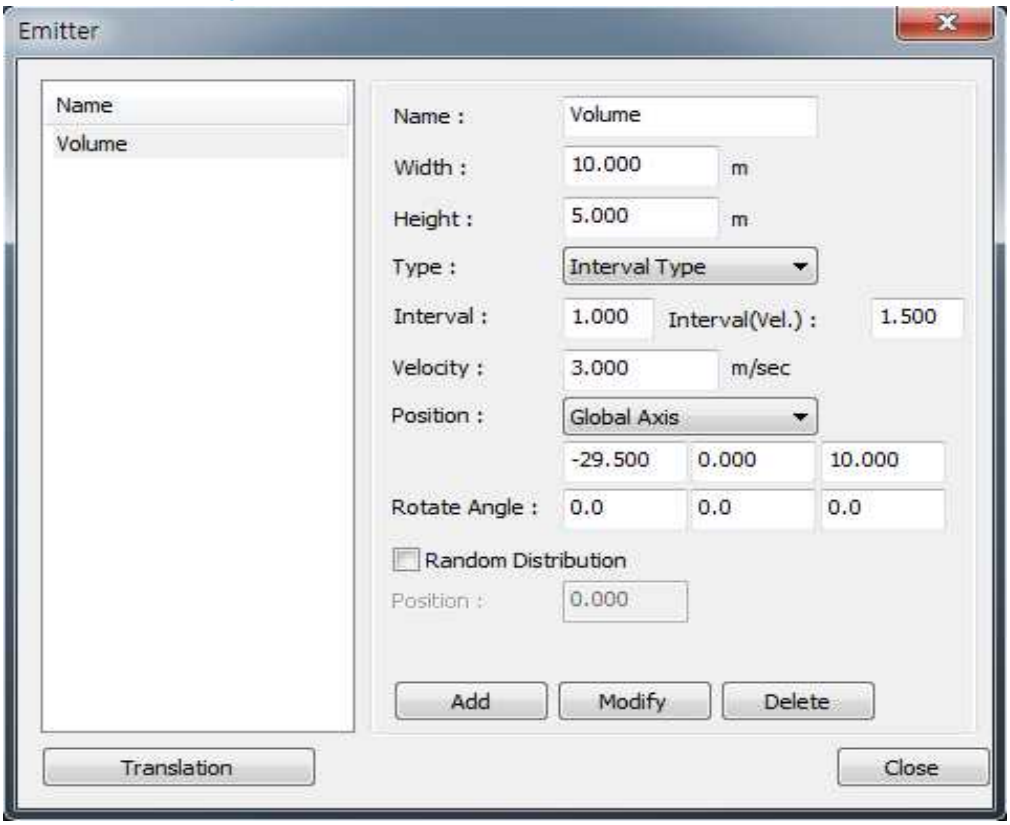


Name : **Bottom**
From : **Plane**
Position Input : **Node**
Material : **Bottom**
Node ID : **1** ..... Add①
Node ID : **2** ..... Add①
Node ID : **3** ..... Add①
Node ID : **4** ..... Add①
.... Add②
.... Close

4. Emitter

- Particle(입자)을 생성하는 Emitter(급수구)를 만듭니다.

Input > Boundary Conditions > Emitter



Name : **Volume**
Width : **9.8**
Height : **5.2**
Velocity : **3**
Position : **Global Axis**
-29.5, 0, 10
.....Add
.... Close

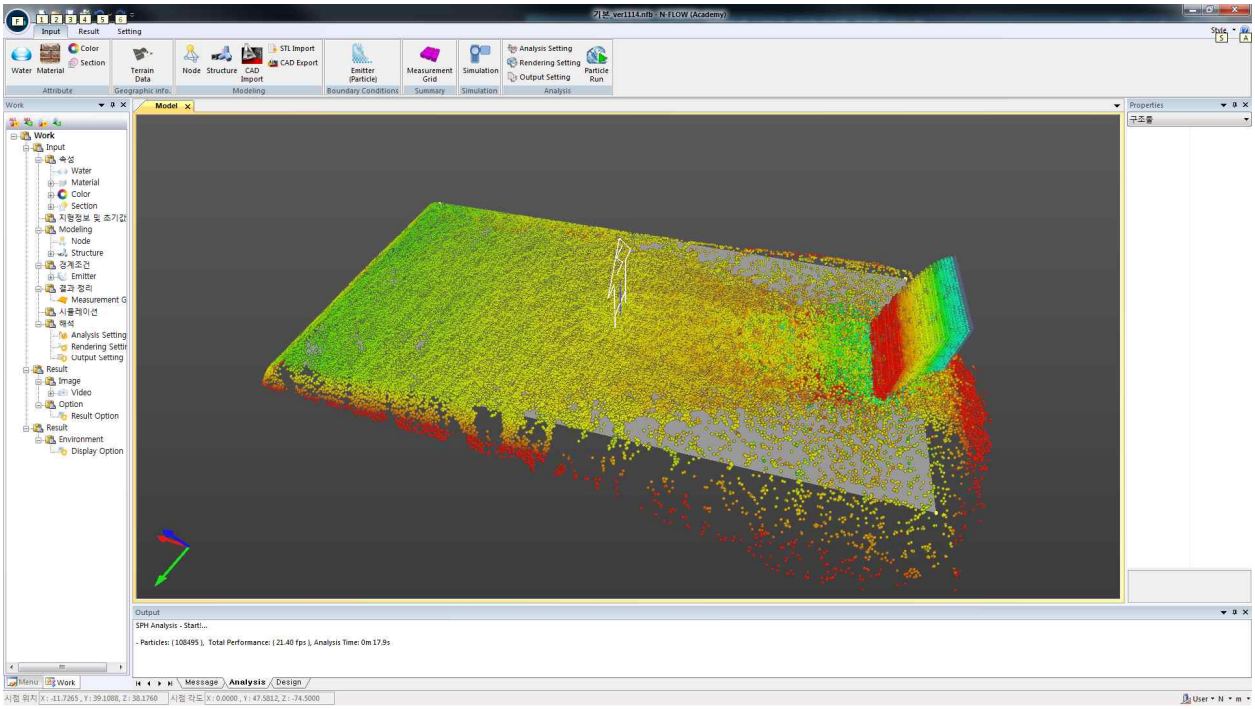
5. 해석

- 지금까지 만든 모델로 해석을 수행합니다.

먼저 파일을 **Tutorial.nfb** 이라는 파일명으로 **Save** 합니다.

그 후 해석을 Particle Run을 눌러 해석을 시작합니다.

Input > Analysis > Particle Run



댐 만들기

- 벽과 댐, 수문 구조물을 만들겠습니다.

1. 파일 열기

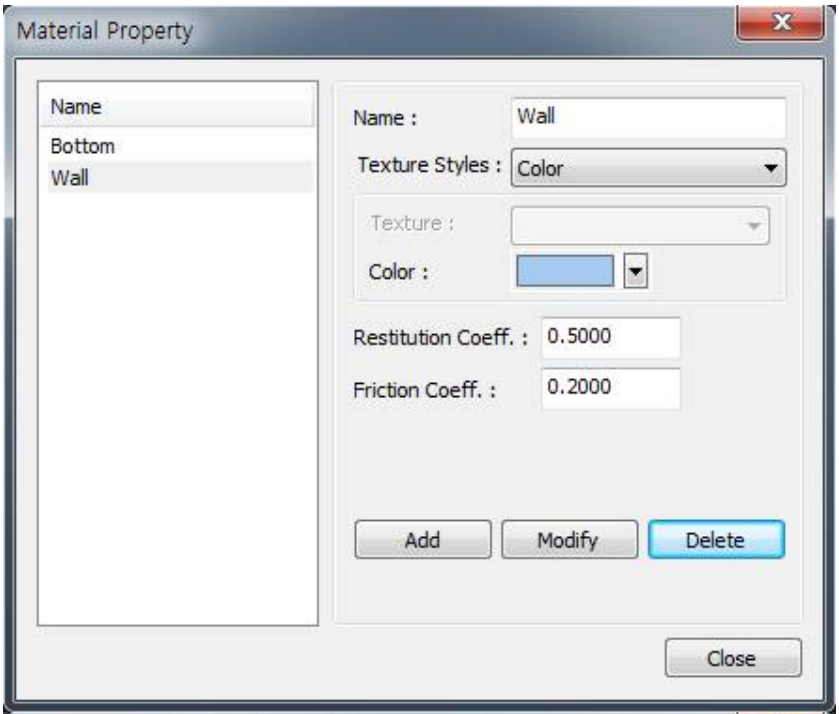
앞에서 '간단한 구조물 만들기'에서 만든 데이터(**Tutorial.nfb**)를 **Open** 합니다.

(이전 '간단한 구조물 만들기'에 이어 '댐 만들기'를 하는 경우 따로 Open을 하지 않아도 됩니다.)

2. Material.

- 앞에서와 동일하게 필요한 재료의 특성을 만들고, 이후 해당 재료 특성으로 구조물을 만들게 됩니다.

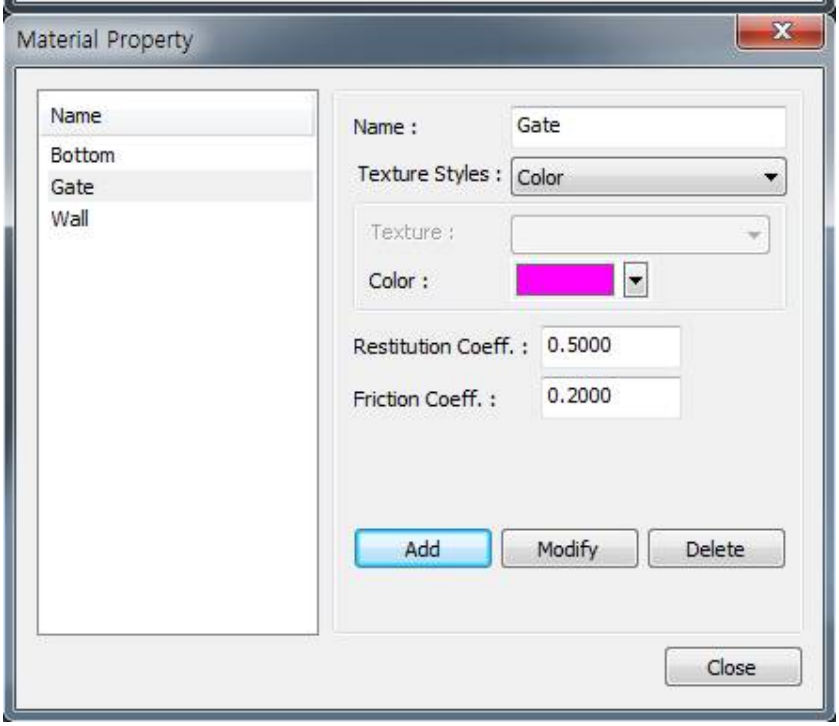
Input > Attribute > Material



Name : **Wall**

Color : **Sky Blue**

..... Add



Name : **Gate**

Color : **Purple**

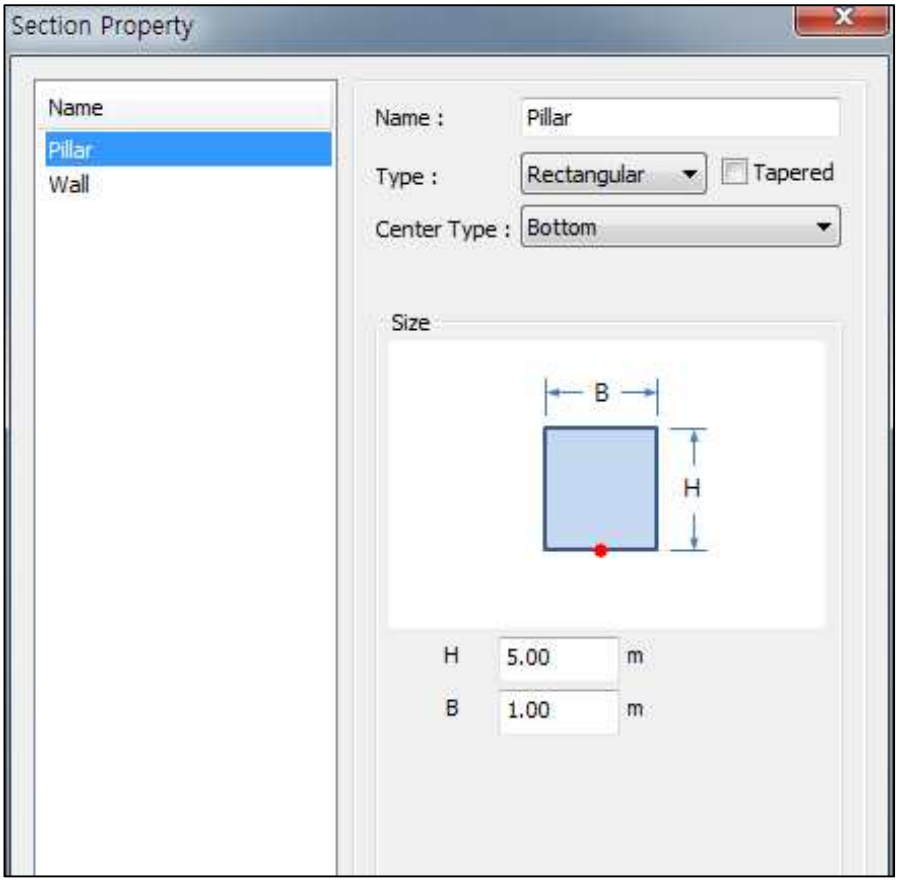
..... Add

.... Close

3. Section.

- 구조물을 생성하기 전에 구조물의 단면 부품을 우선 만들겠습니다.

Input > Attribute > Section



Name : **Pillar**

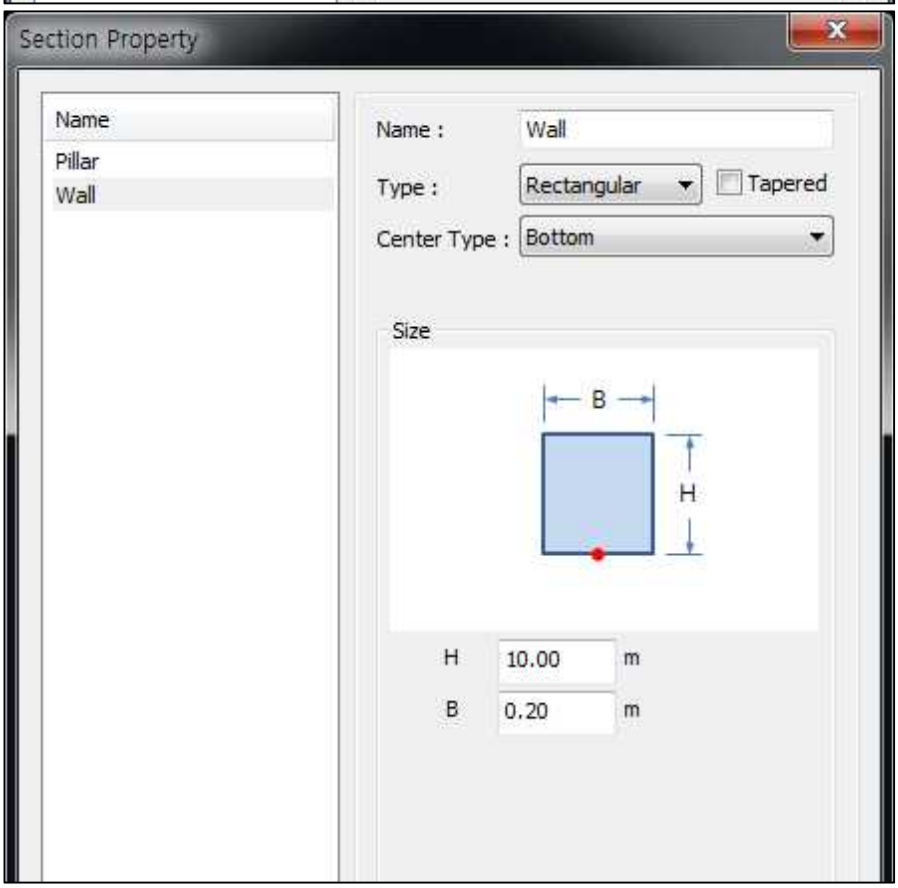
Type : **Rectangular**

Center Type : **Bottom**

H : **5**

B : **1**

..... Add



Name : **Wall**

Type : **Rectangular**

Center Type : **Bottom**

H : **10**

B : **0.2**

..... Add

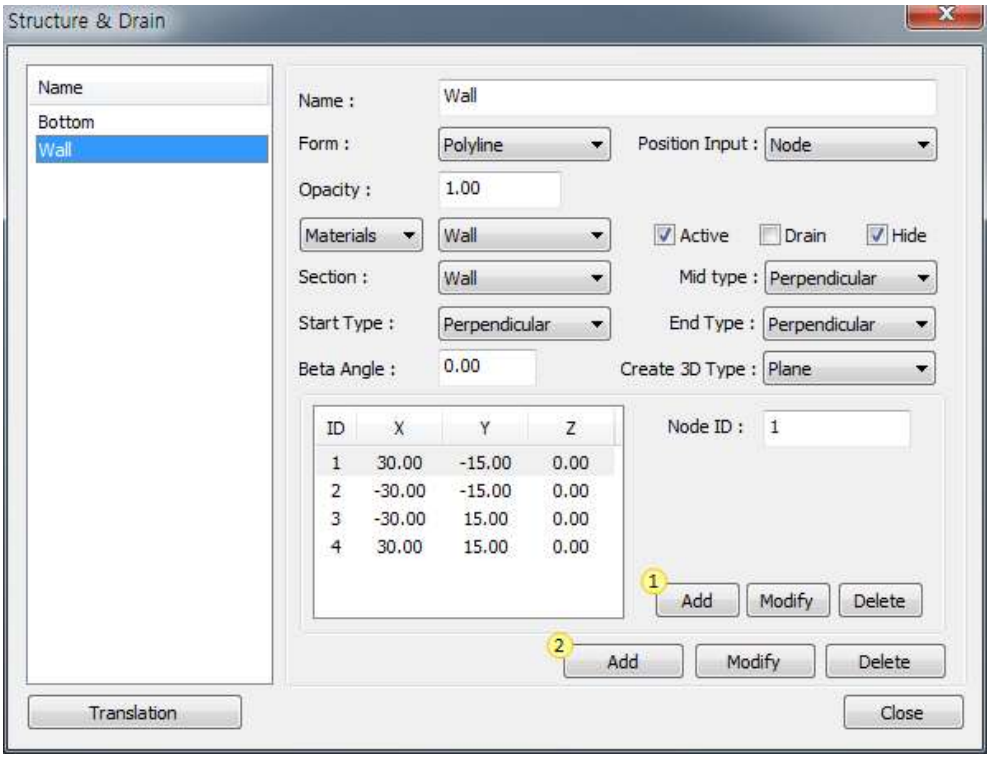
.... Close

4. Structure.

앞서 만들어둔 Section, Component를 이용하여 구조물을 만듭니다.

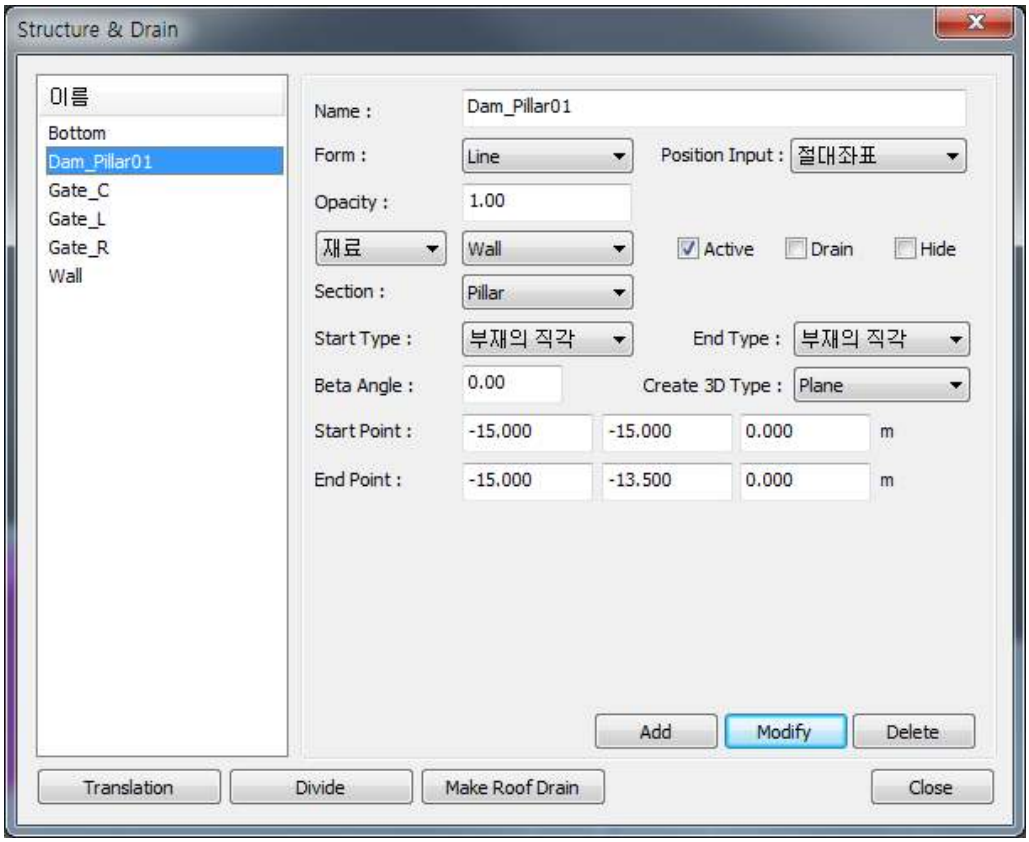
Input > Modeling > Structure

- Section에서 만들어둔 부품을 이용하여 벽을 만듭니다.



Name : **Wall**
Form : **Polyline**
Position Input : **Node**
Materials : **Wall**
Section : **Wall**
Hide : **Check**
Beta Angle : **0**
Node ID : **1** ..... Add①
Node ID : **2** ..... Add①
Node ID : **3** ..... Add①
Node ID : **4** ..... Add①
..... Add②

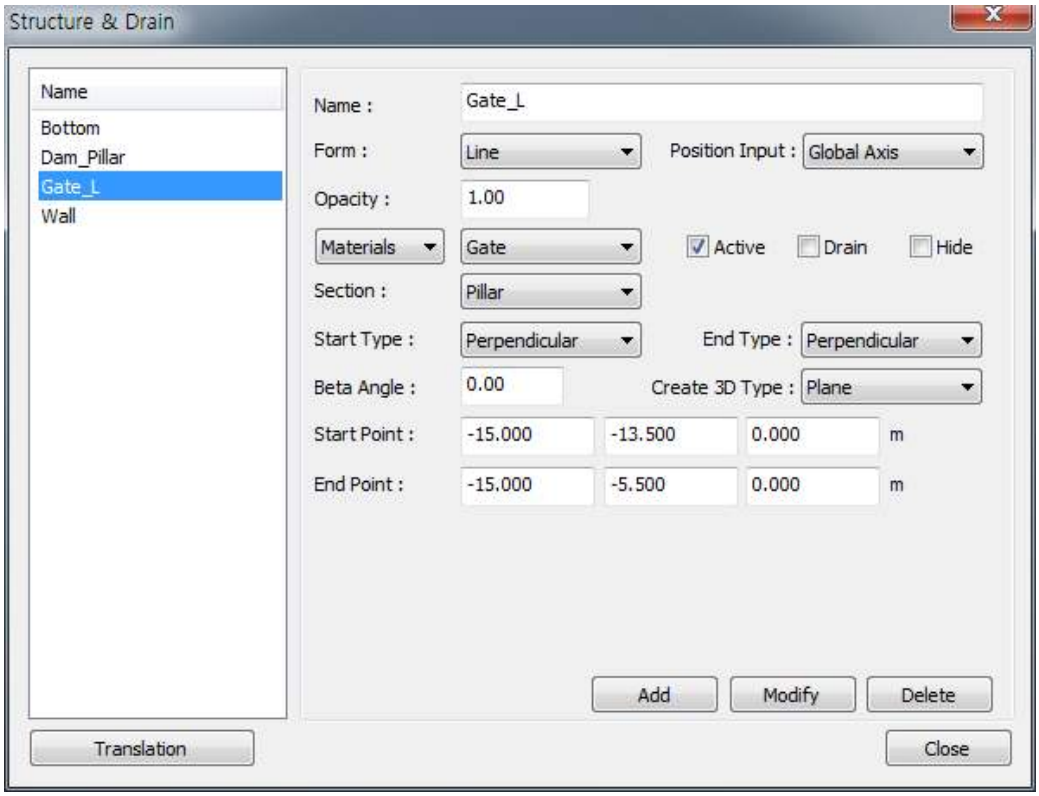
- Section에서 만들어둔 부품을 이용하여 댐의 기둥을 만듭니다. (Y방향으로 9.5m 간격으로 4회 반복)



Name : **Dam_Pillar01**
Form : **Line**
Position Input : **Global Axis**
Materials : **Wall**
Section : **Pillar**
Start Point : **-15, -15, 0**
End Point : **-15, -13.5, 0**

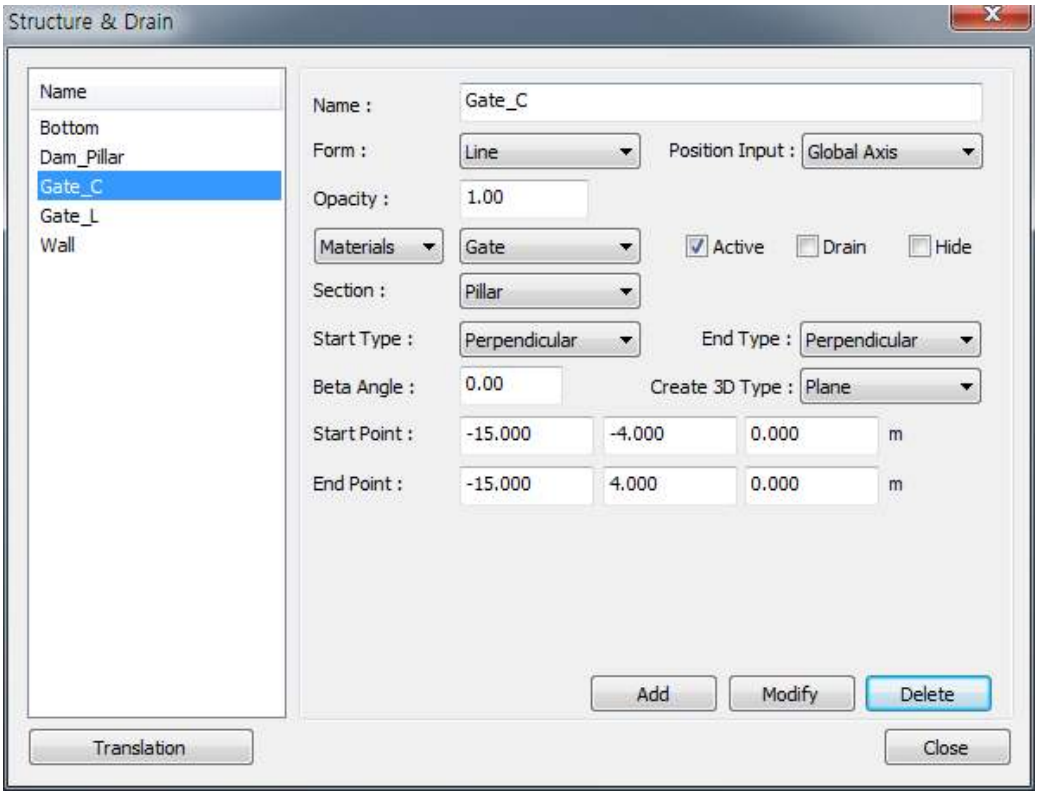
..... Add

- Section에서 만들어둔 부품을 이용하여 왼쪽 수문을 만듭니다.



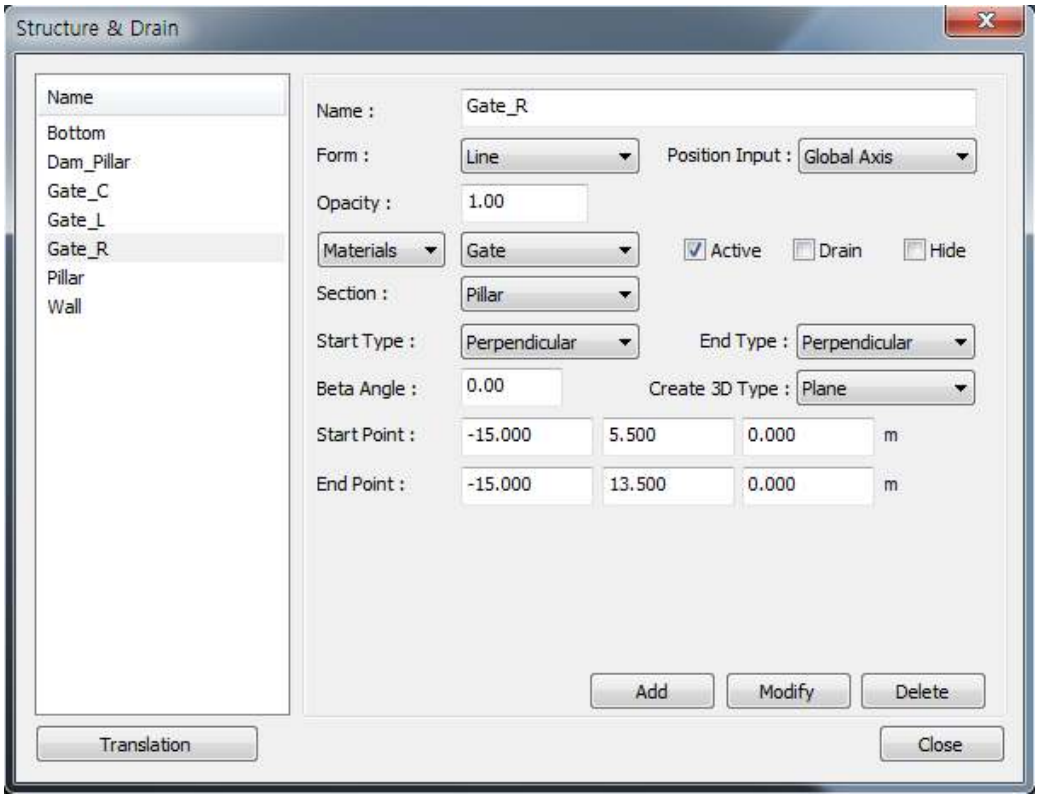
Name : **Gate_L**
Form : **Line**
Position Input : **Global Axis**
Materials : **Gate**
Section : **Pillar**
Beta Angle : **0**
Start Point : **-15, -13.5, 0**
End Point : **-15, -5.5, 0**
..... Add

Section에서 만들어둔 부품을 연결하여 중간 수문을 만듭니다.



Name : **Gate_C**
Form : **Line**
Position Input : **Global Axis**
Materials : **Gate**
Section : **Pillar**
Beta Angle : **0**
Start Point : **-15, -4, 0**
End Point : **-15, 4, 0**
..... Add

Section에서 만들어둔 부품을 연결하여 오른쪽 수문을 만듭니다.



Name : **Gate_R**
Form : **Line**
Position Input : **Global Axis**
Materials : **Gate**
Section : **Pillar**
Beta Angle : **0**
Start Point : **-15, 5.5, 0**
End Point : **-15, 13.5, 0**

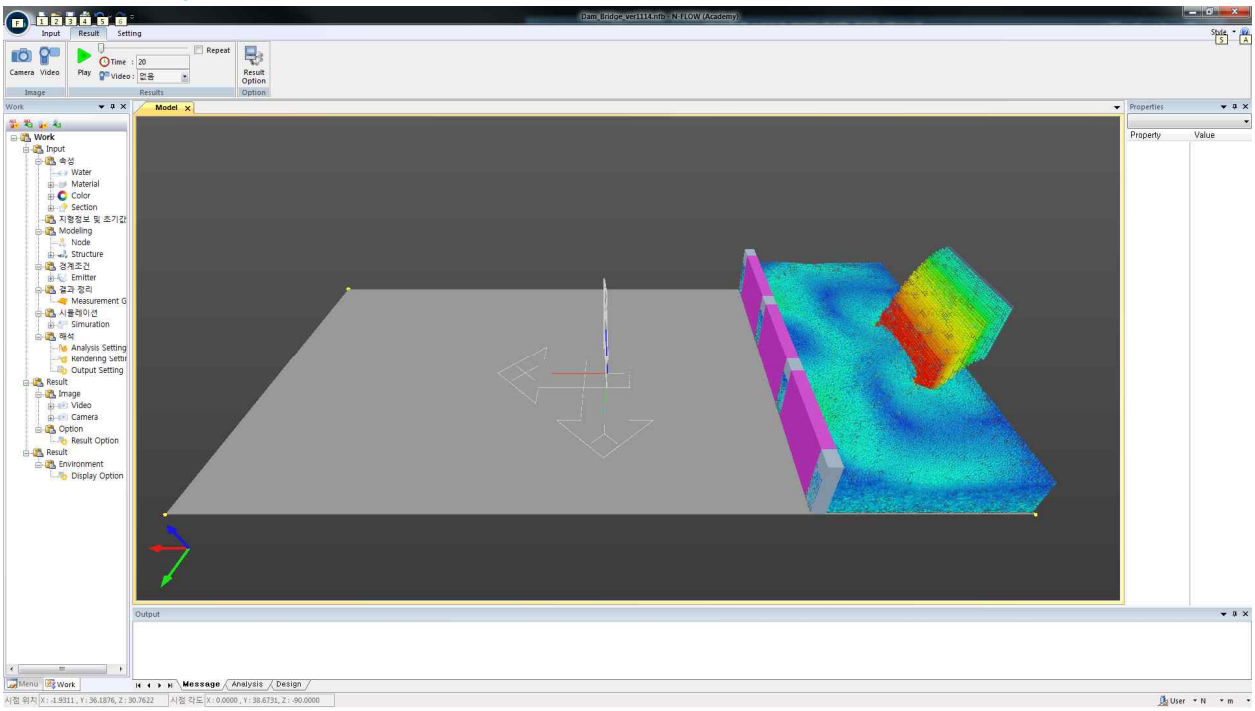
..... Add
....Close

6. 해석

- 지금까지 만든 것으로 해석을 합니다.

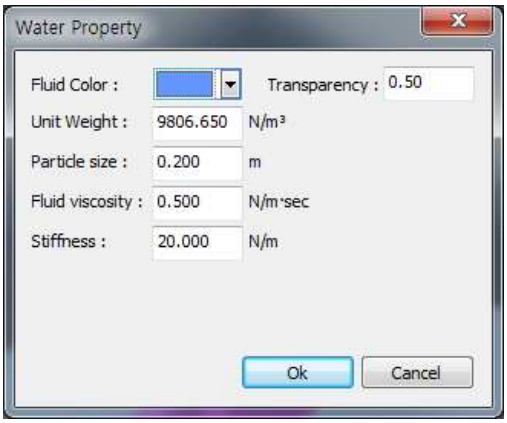
Particle Run을 눌러 해석을 시작합니다. (**Save** 를 하지 않아도 자동 저장됩니다.)

Input > Analysis > Particle Run



※ 참고 : 만약 해석이 느리다면 파티클의 크기를 크게 하고 다시 해석을 하면 속도가 올라갑니다.

Input > Analysis > Stop! Analysis



Particle Size : **0.3 이나 0.4**

.... OK

Simulation

- 해석하는 중에 Structure의 이동이나 Emitter에서 입자를 생성하는 양을 변경 할 수 있습니다.
- 앞에서 만든 댐의 경우 물이 무한대로 나와 넘치고 댐이 방류를 하지 않았는데, 이번에는 Emitter을 조정하여 일정 수준에서 물을 멈추고 Structure을 이동하여 댐의 수문을 열어보도록 하겠습니다.

1. Simulation

Input > Simulation > Simulation

Name : **Open**

1. Structure Tab.

- Structure Tab에서 해석 시간 31초부터 33초까지 Gate_C가 구조물 상단을 기준으로 90˚ 회전하도록 설정합니다.

Structure : **Gate_C**

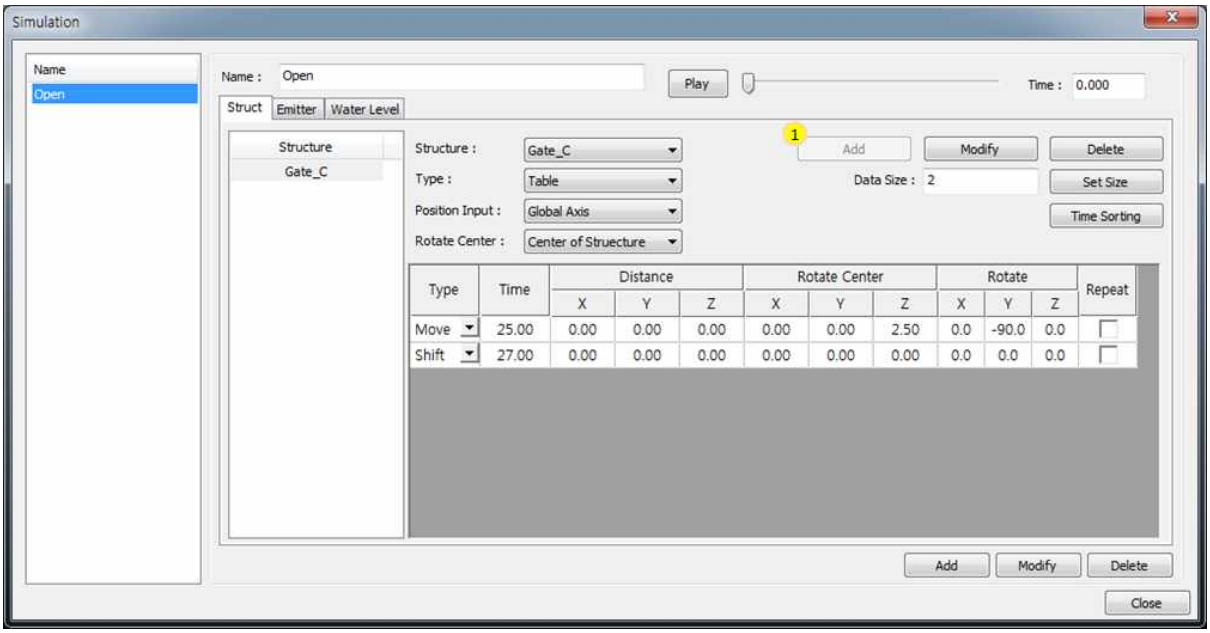
Position Input : **Global Axis**

Rotate Center : **구조물 중심**

Data Size : **2** ... Set Size

Type	Time	Distance			Rotate Center			Rotate			Repeat
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
Move	**25**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**2.5**	**0**	**-90**	**0**	☐
Shift	**27**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	☐

.....Add①



2 Emitter Tab.

- Emitter Tab에서 해석 시간 23초에 입자생성을 멈추도록 설정합니다.

Emitter : **Volume**

Type : **Table**

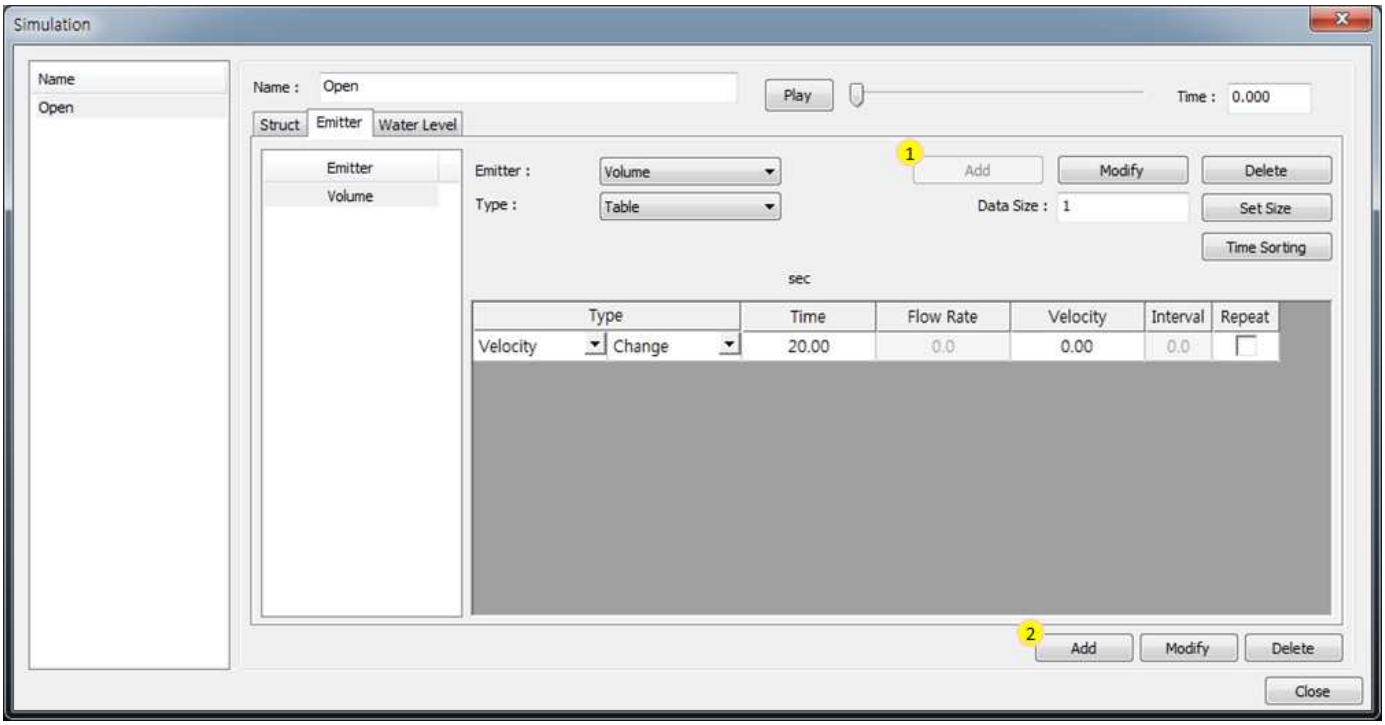
Data Size : **1** ...Set Size

Type		Time	Flow Rate	Velocity	Interval	Repeat
Velocity	**Change**	**20**	**0**	**0**	**0**	☐

.....Add①

.....Add②

.....Close

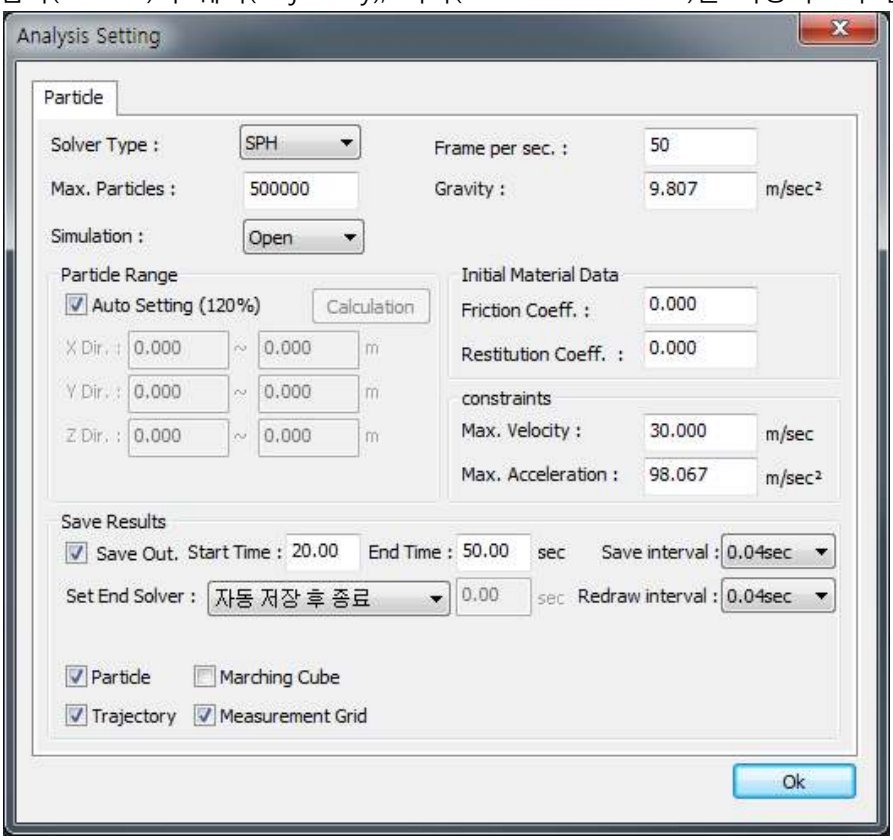


3. Analysis Setting

Input > Analysis > Analysis Setting

시뮬레이션을 선택하고 저장시간을 설정하고 저장시간이 끝나면 해석을 종료하도록 설정합니다..

입자(Particle)과 궤적(Trajectory), 격자(Measurement Grid)를 저장하도록 설정합니다.



Simulation : **Open**

Save to Low Volume Data Files : **Check**

Particle : **Check**

Trajectory : **Check**

Measurement Grid : **Check**

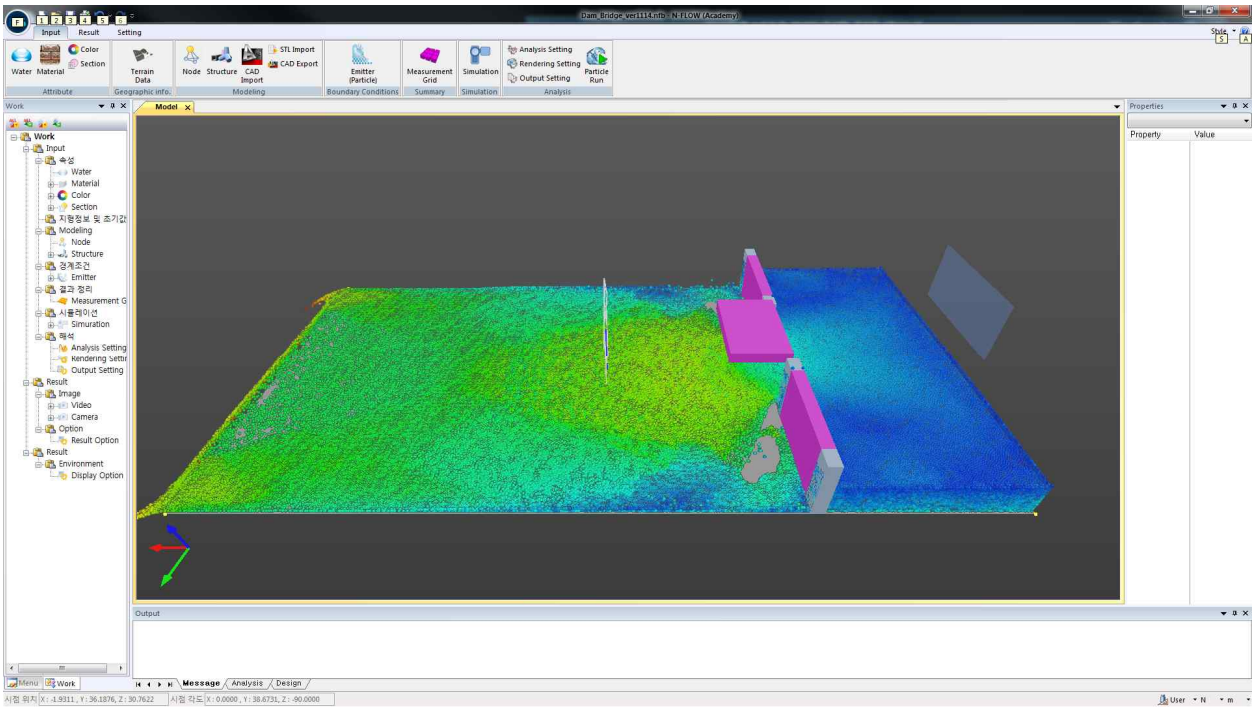
..... OK

4. 해석.

- 지금까지 만든 것으로 해석을 합니다.

Particle Run을 눌러 해석을 시작합니다. (**Save** 를 하지 않아도 자동 저장됩니다.)

Input > Analysis > Particle Run



해석 저장 및 저장된 결과 보기

- 해석된 데이터의 결과를 저장하여 다시 볼 수 있습니다.

1. 저장된 결과 보기

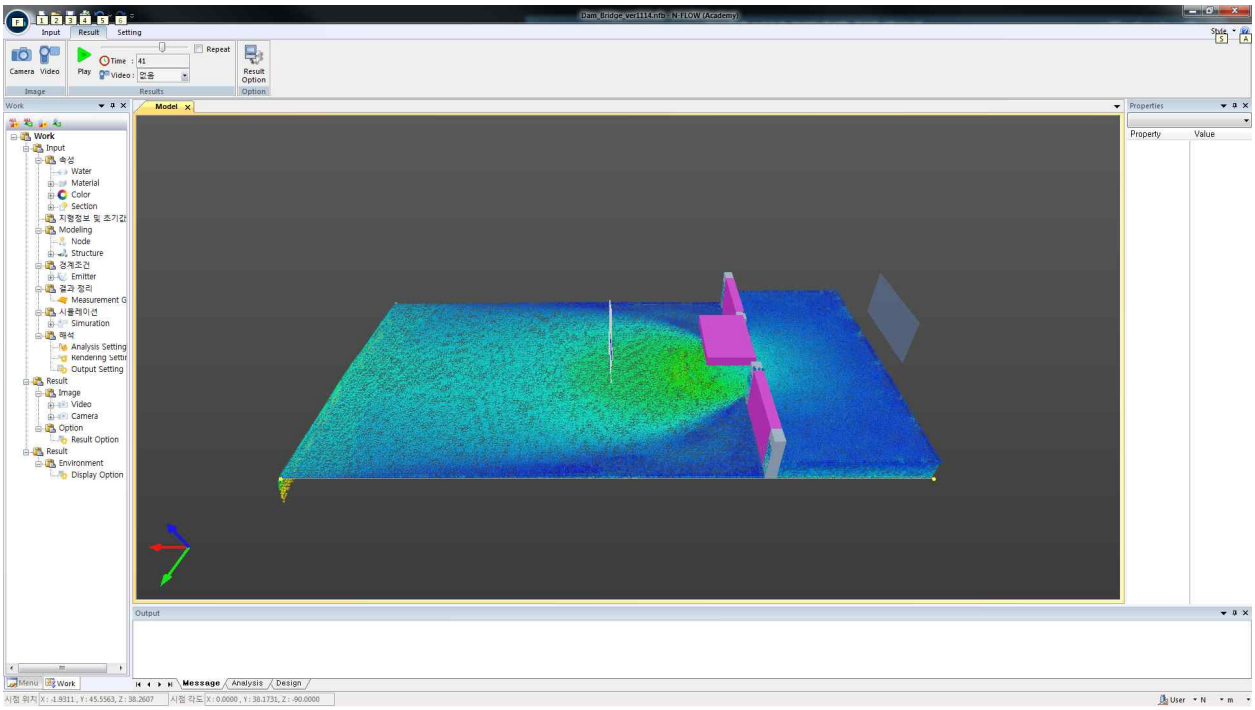
- 여러 가지 방식으로 저장된 결과 보기.

Result > Option > Result Option

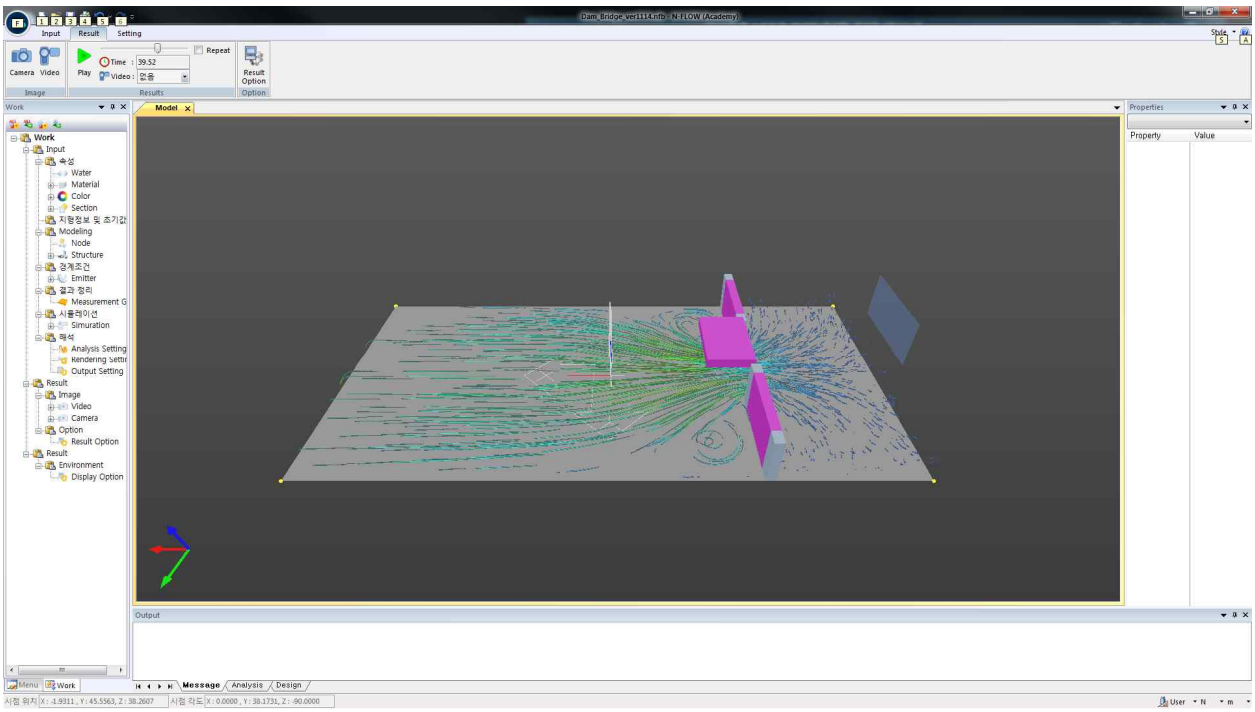
Particle -> 입자, 또는 Trajectory -> 궤적 중 보고자 하는 결과를 체크하고 Ok를 클릭한 후

Result > Results > Play 를 눌러 결과를 재생한다.

1-1. 입자(Particle)



1-2. 궤적(Trajectory)



2 차원 천수방정식 해석시스템의 개발

Korea Shallow Water Modeling

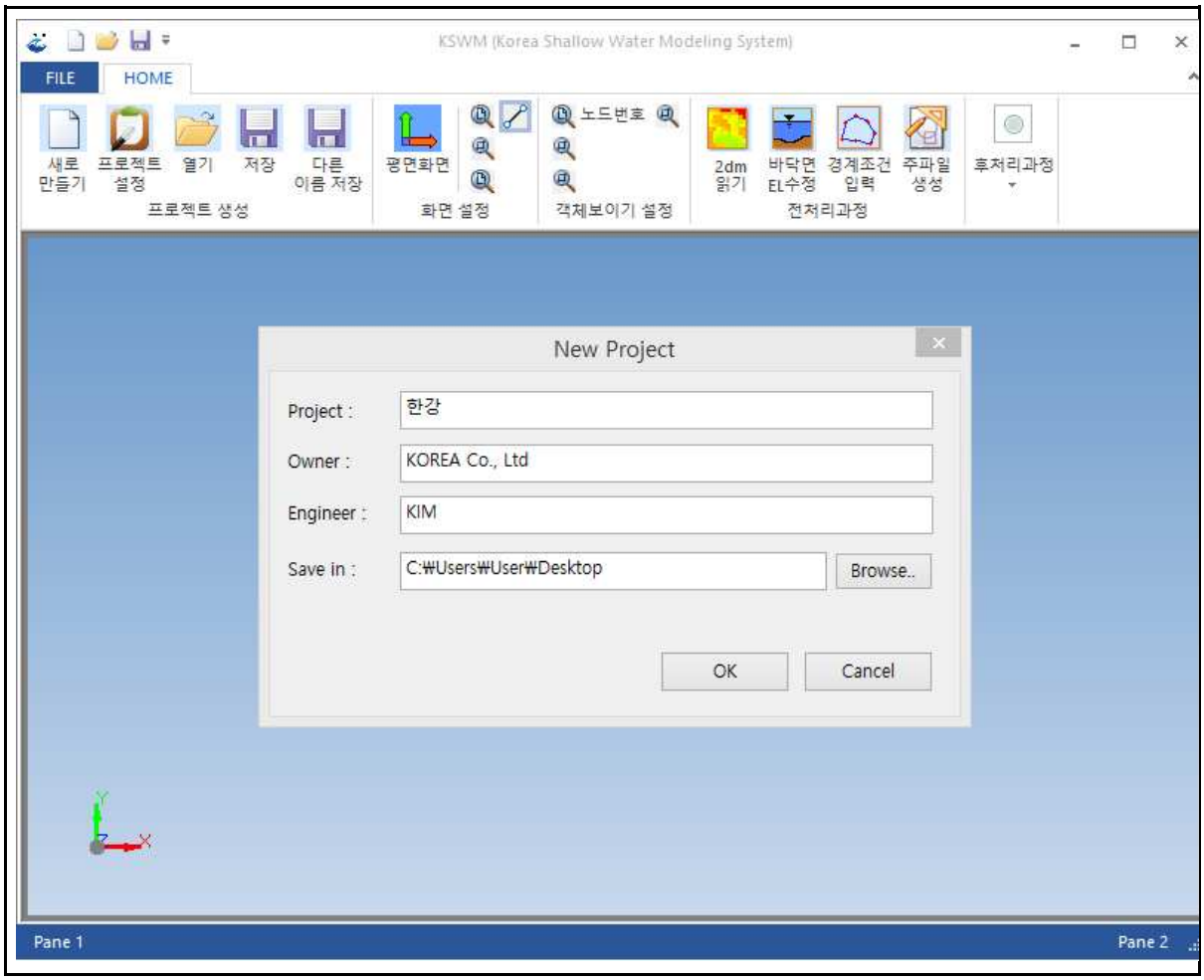
KSWM GUI

사용자 매뉴얼

Manual version : 1.0

ENGSOFT
SOFTWARE DEVELOPMENT

KSWM GUI 매뉴얼


KSWM (Korea Shallow Water Modeling System)
FILE
HOME
새로 만들기
프로젝트 설정
열기
저장
다른 이름 저장
프로젝트 생성
평면화면
화면 설정
노드번호
객체보이기 설정
2dm 읽기
바닥면 EL수정
경계조건 입력
주파일 생성
전처리과정
후처리과정
New Project
Project :
한강
Owner :
KOREA Co., Ltd
Engineer :
KIM
Save in :
C:₩Users₩User₩Desktop
Browse..
OK
Cancel
Pane 1
Pane 2

제 1 장 사용자 인터페이스

1.1 프로젝트 생성

- **새로 만들기** : 현재 설정된 모든 모델링 정보를 초기화한 후 신규모델링 생성을 위한 준비를 한다.
- **프로젝트 설정**: 프로젝트명**,** 발주처, 설계자, KSWM 모델링을 수행할 폴더를 생성 후 선택한다. 모델링폴더에는 그림6-1과 같이 모델링 수행에 필요한 기본파일들이 생성된다.

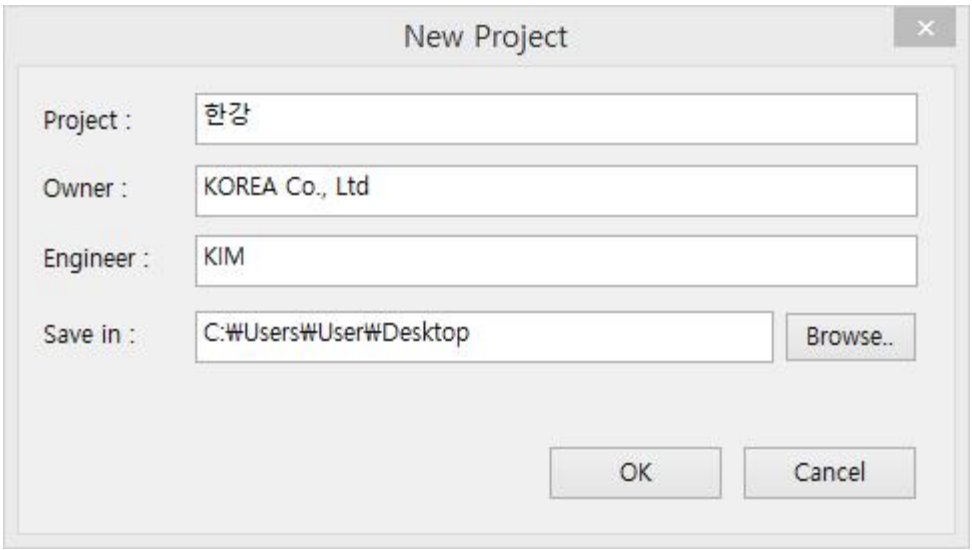


그림 1 프로젝트 설정 입력창

- **저장** : 현재 설정된 모든 모델링 정보를 저장한다. (확장자 : swm)
- **다른 이름으로 저장:** 현재 설정된 모든 모델링 정보를 다른 이름으로 저장한다.

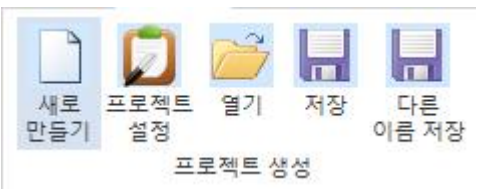


그림 2 프로젝트 생성툴바

1.2 화면설정

- **평면화면 :** 현재의 3차원 화면을 평면뷰로 전환한다. 노드선택 및 개방경계조건설정을 위한 노드스트링 입력시 평면뷰로 설정되어야 한다.
- **전체보기 :** 화면을 전체보기
- **영역보기 :** 선택한 화면영역 보기
- **영역 재계산 :** 현재의 화면영역을 전체영역으로 설정한다.
- **끝점 스냅 :** 노드 Osnap 설정시 사용됨



그림 3 화면설정 툴바

1.3 객체보이기 설정

- **노드번호 :** 현재 화면에서 노드위치에 노드번호를 표현함
- **수심 :** 현재 화면에서 노드위치에 수심값을 표현함
- **수면EL** : 현재 화면에서 노드위치에 수면 EL 값을 표현함
- **유속 :** 현재 화면에서 노드위치에 유속값을 표현함

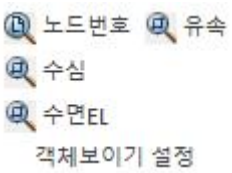


그림 4 객체보이기 설정

1.4 전처리과정

- **2dm읽기 :** SMS등에서 출력된 Mesh파일을 읽는다.
- **바닥면 EL수정 :** 현재 지형의 바닥고를 수정한다.
- **경계조건입력 :** 유한요소 모델의 경계조건을 입력한다.
- **주파일 생성 :** 유한요소 모델의 주입력파일을 생성한다.



그림 5 전처리과정 툴바

1.5 후처리과정

- **초기수면 :** SMS등에서 출력된 Mesh파일을 읽는다.
- **격자보기 :** 현재 지형의 바닥고를 수정한다.
- **유속벡터보기 :** 유한요소 모델의 경계조건을 입력한다.
- **유속분포보기 :** 유한요소 모델의 주입력파일을 생성한다.
- **수심보기 :** 계산된 수심결과값을 이용하여 수심을 표현함
- **바닥면보기 :** 바닥면을 표현함
- **시계열그래프 :** 계산된 시계열결과값을 이용하여 시계열그래프 생성함
- **결과보기 :** 결과값을 보여주는 옵션을 설정함

제 2 장 전처리과정

2.1 2dm읽기

생성한 지형파일 (*.2dm) 을 읽어온다.

```
MESH2D
E3T       1      37      36       1       1
E3T       2       2       1      36       1
E3T       3      36      38       2       1
E3T       4       2      38       3       1
E3T       5       3      38      39       1
E3T       6       3      39       4       1
E3T       7      39      40       4       1
E3T       8       5       4      40       1
E3T       9       5      40      41       1
E3T      10       5      41       6       1
E3T      11      41      42       6       1

.....................................
E3T    4799    2583    2587    2584       1
ND        1 -2.80000000e+002 1.99000000e+004 5.00000000e+000
ND        2 -3.96204000e+001 2.03365101e+004 -1.20000000e+001
ND        3 2.00759100e+002 2.07730203e+004 -1.00000000e+001
ND        4 4.41138700e+002 2.12095304e+004 -4.00000000e+000
ND        5 6.81518200e+002 2.16460406e+004 -5.00000000e+000
ND        6 9.21897800e+002 2.20825507e+004 -1.40000000e+001
ND        7 1.16227730e+003 2.25190609e+004 -2.00000000e+001
```

2.2 바닥면 EL수정

생성한 지형파일 (*.2dm)의 수심 데이터를 GUI를 통해 수정 가능하다.

[전처리과정 / 바닥면 EL 수정] 을 선택 후 원하는 노드를 더블클릭하면 아래와 같은 해저면 EL 수정창이 보인다. 사용자는 변경을 원하는 해저면 EL값을 입력 후 [확인]을 하며 지형의 해저면 EL이 변경되어 적용된다.

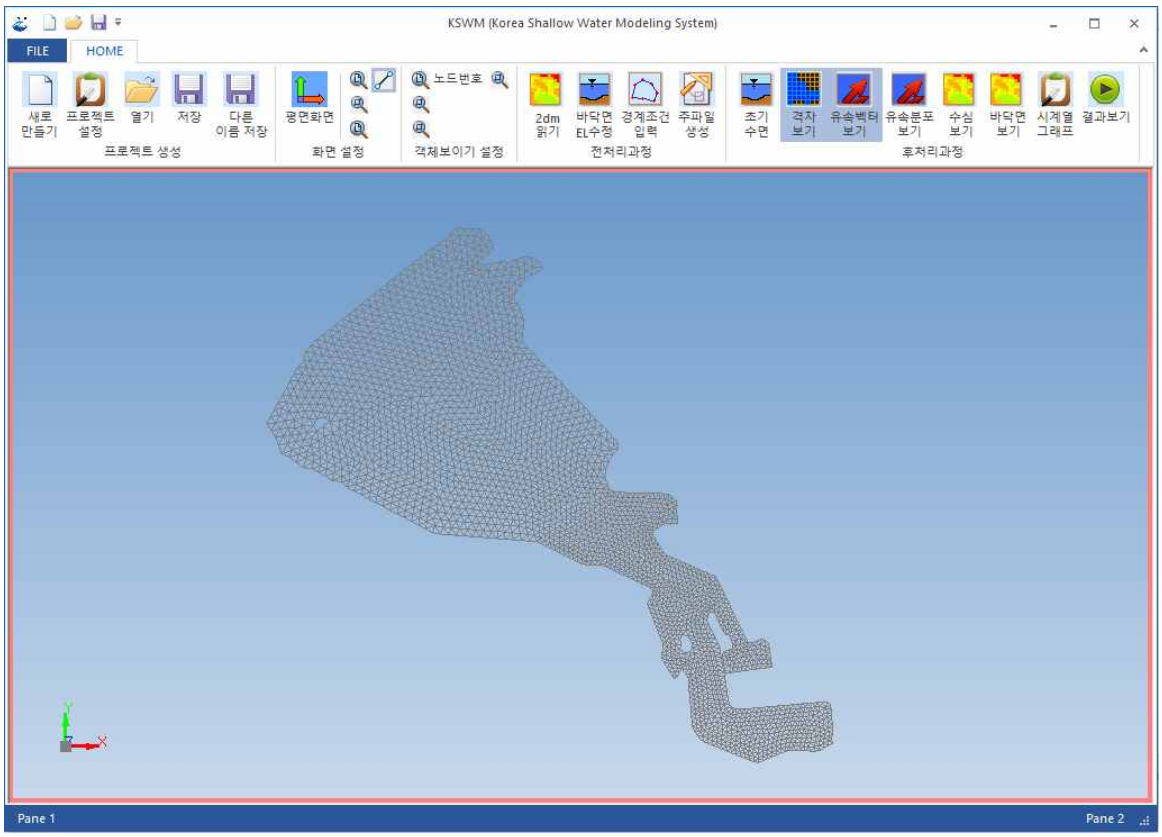
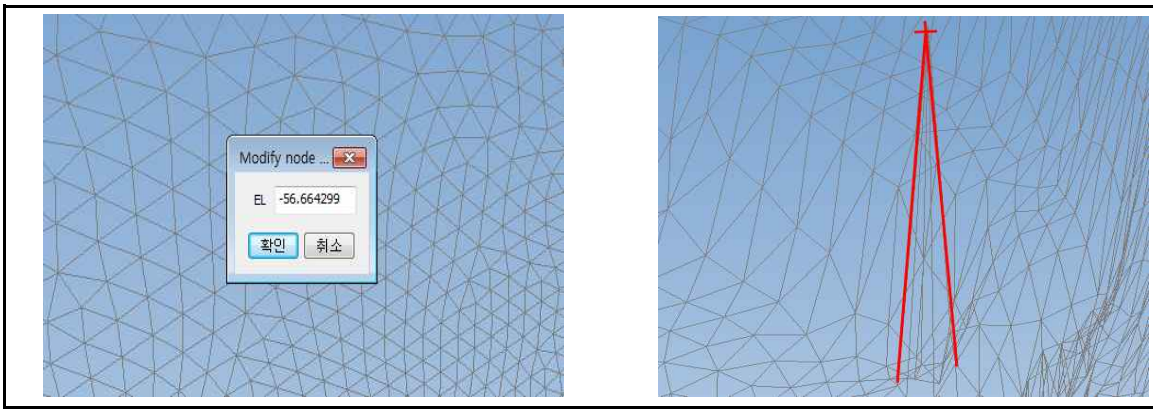


그림 6 2dm 파일을 import한 상태



2.3 경계조건 입력

유한요소 모델 수행을 위한 개방경계조건을 입력한다.



그림 7 경계조건입력

경계조건입력을 클릭하면 화면에서 노드를 선택할 수 있는 노드선택모드로 변경된다.

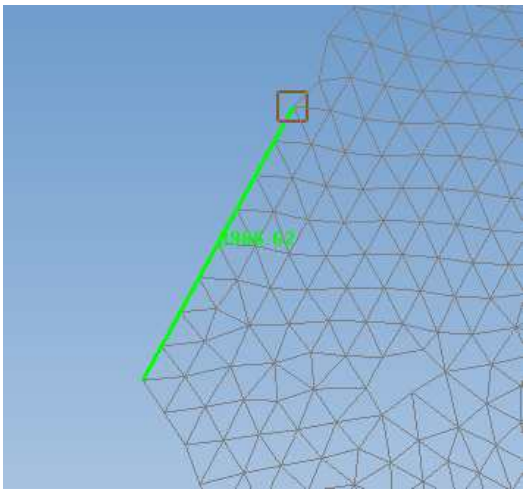


그림 8 노드선택모드

개방경계조건 입력하기 위한 노드를 차례대로 선택하여 노드스트링을 생성한다.

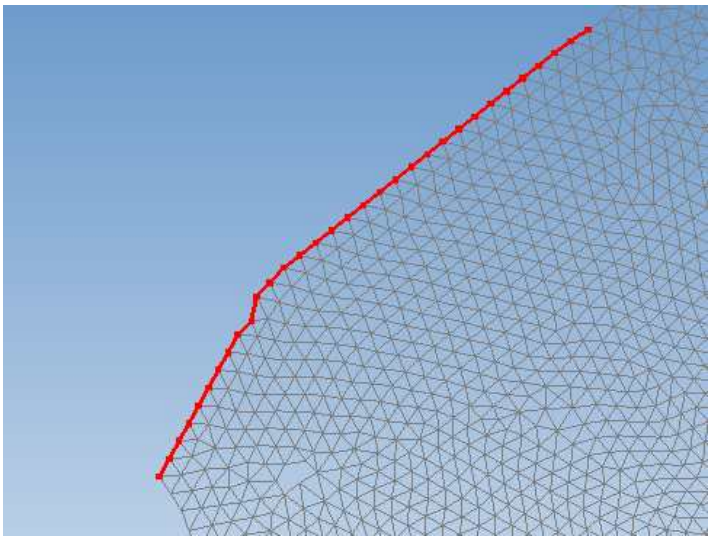


그림 9 생성된 노드스트링

초기 생성된 노드스트링은 적색이며, 노드스트링을 더블클릭시 그림10과 같이 개방경계조건을 입력할 수 있는 입력창이 나타난다.

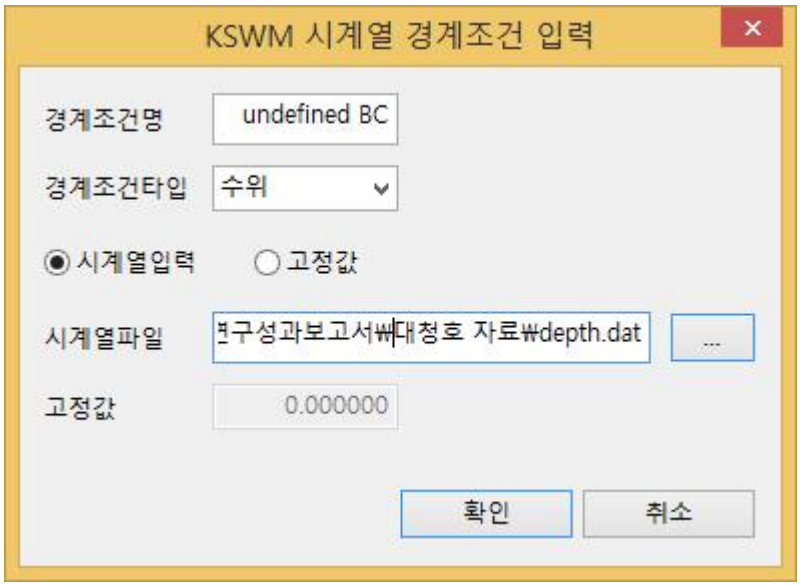


그림 10 시계열 경계조건입력 화면

경계조건은 유량, 수위 2가지 타입으로 입력이 가능하며, 시계열파일을 이용하여 시간별로 수위 또는 유량을 변화시켜가며 부정류 해석을 하거나 고정값을 이용하여 정류해석이 가능하다.

① 정류상태 해석 : 고정값에 수위 또는 유량을 입력하게 되면 초기계산시각부터 종료시각까지 동일한 값을 이용하여 해석을 하게 된다.

② 부정류 해석 : 시계열파일 (수위 또는 유량값) 을 이용하여 계산시간대별로 경계조건값을 변경하여 부정류상태를 모의 할 수 있다.

3600	64.77
7200	64.787
10800	64.805
14400	64.809
18000	64.815
21600	64.833
25200	64.848

<시계열파일>

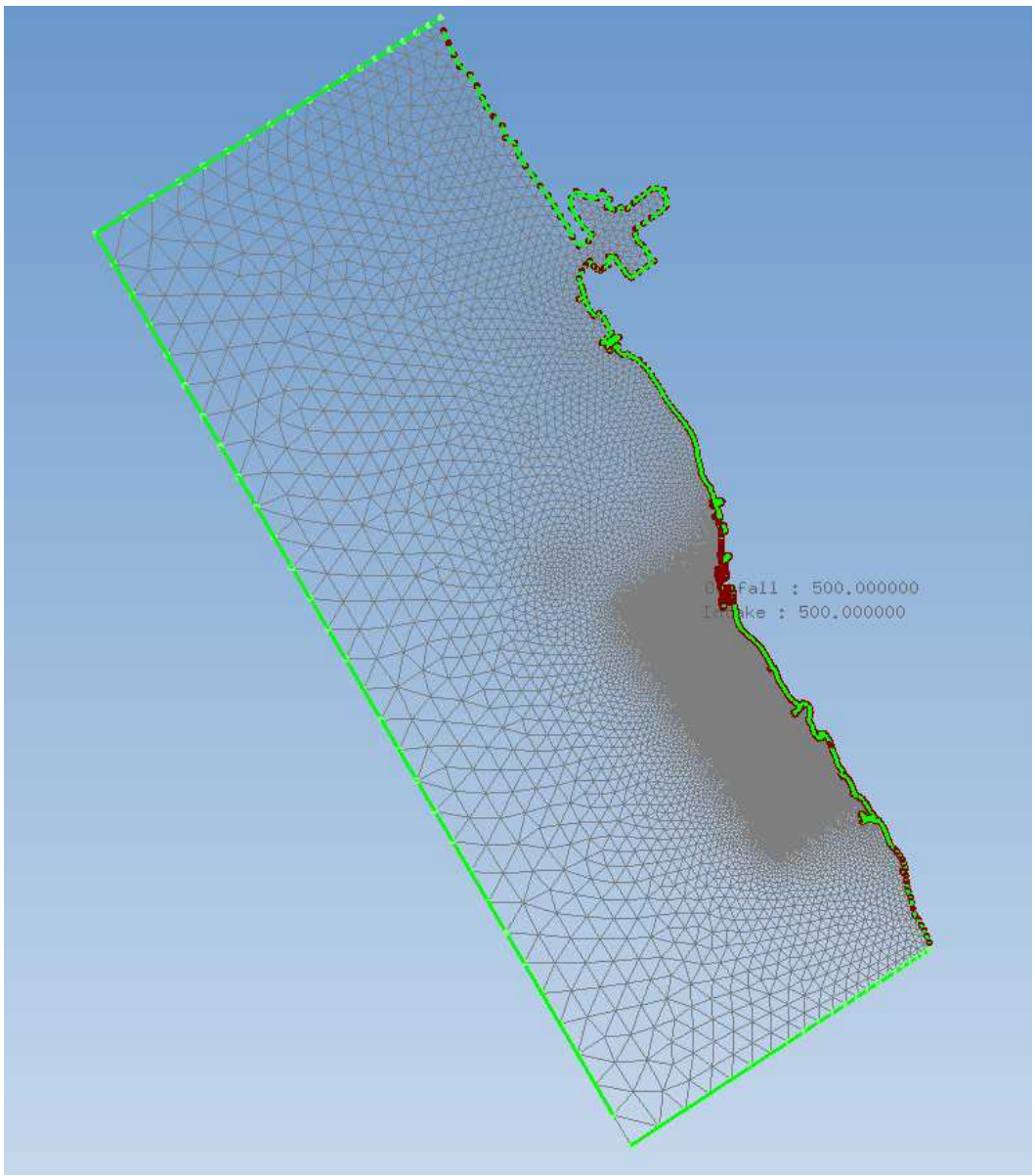


그림 11 개방경계조건을 입력한 화면

2.4 주파일 생성

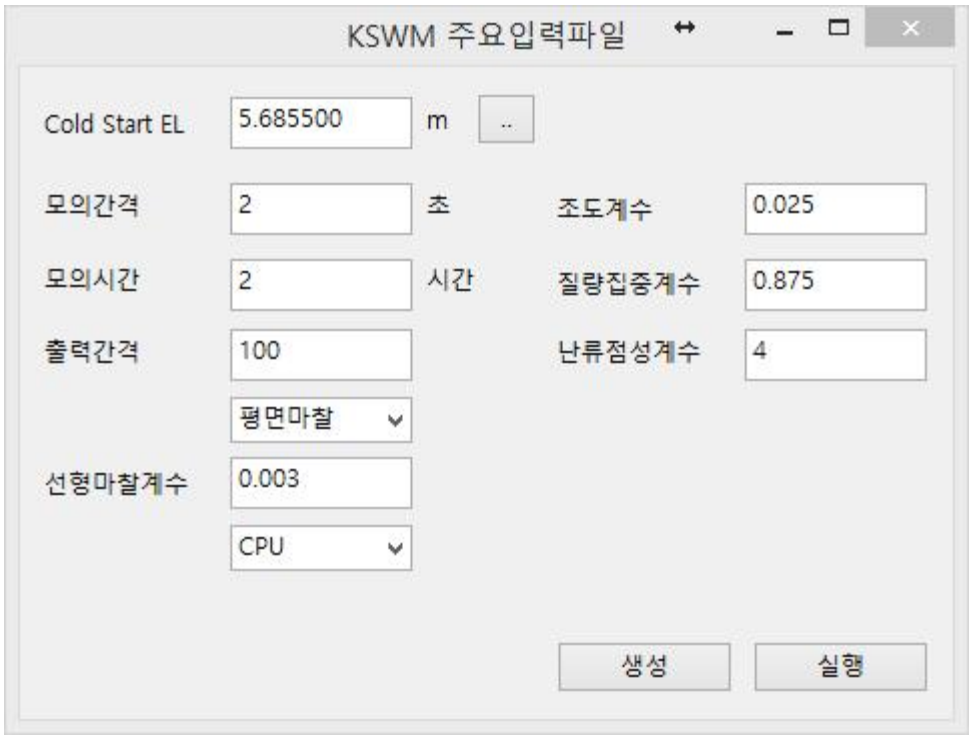


그림 12 주입력파일창

-Cold Start EL : 계산 초기수위를 설정함. 우측버튼 클릭시 최대바닥면 높이를 자동으로 계산함

-모의간격 : 계산시간간격 -모의시간 : 전체 계산시간

-출력간격 : 결과값 출력간격

-마찰계수 옵션 : 평면마찰, 선형마찰, 일반적으로 평면마찰을 적용함.

평면마찰계수는 자동으로 계산됨

-프로세서 선택 : CPU / GPU

-조도계수 : Manning 계수 입력

-질량집중계수, -난류점성계수 입력

-생성 : 모델실행을 위한 주입력파일이 생성됨

-실행 : CPU 또는 GPU 용 실행파일을 선택적으로 실행한다.

제 3 장 후처리과정

3.1 초기수면

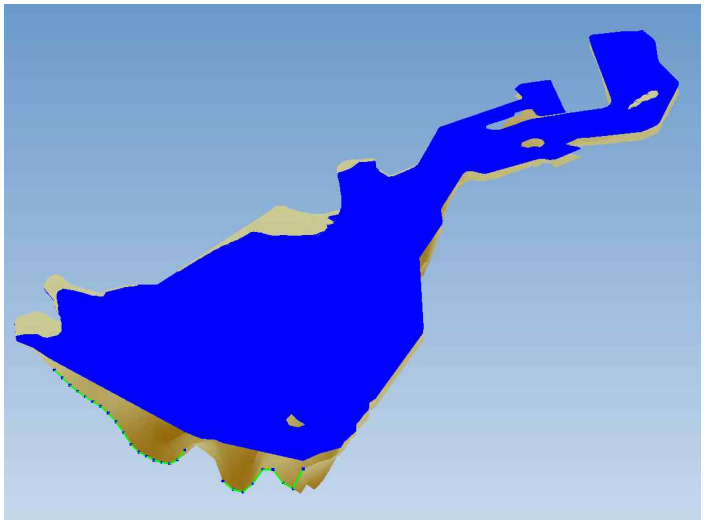


그림 13 초기수위면

초기 수면 EL 은 주파일 생성에서 입력된 Cold Start EL 값을 3 차원 화면에서 표현함

3.2 격자보기

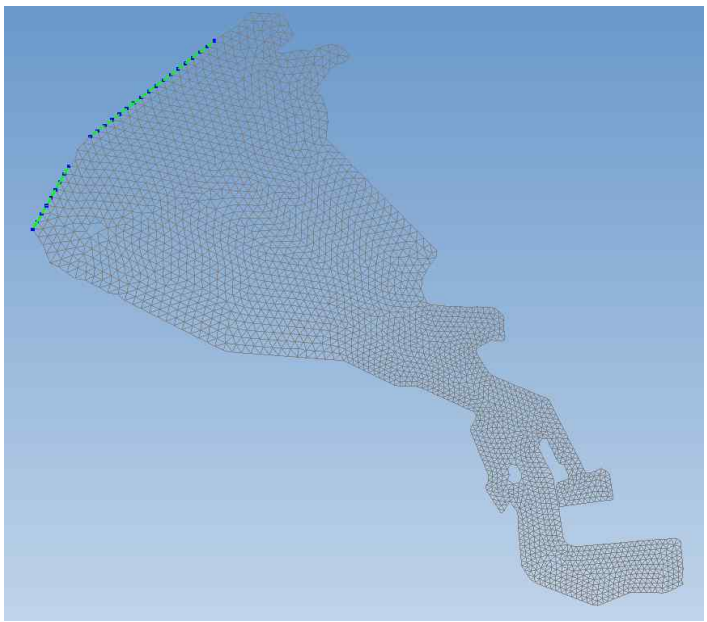


그림 14 격자보기

3.3 유속벡터보기

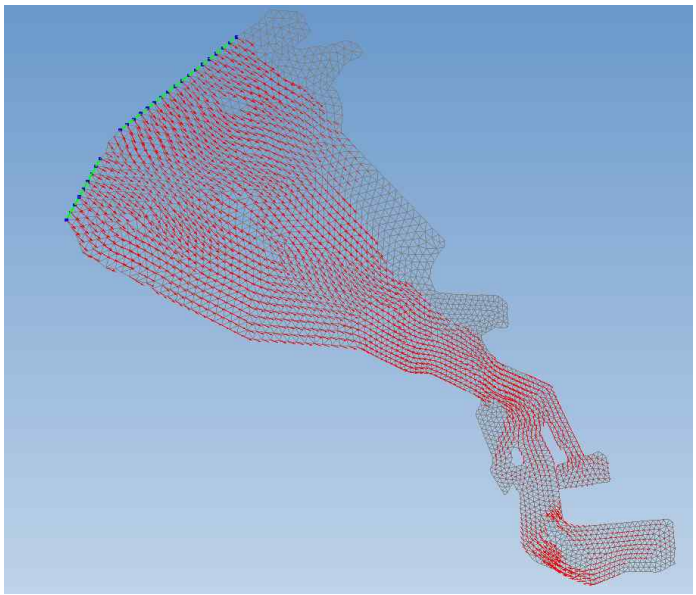


그림 15 유속벡터보기

3.4 유속분포보기

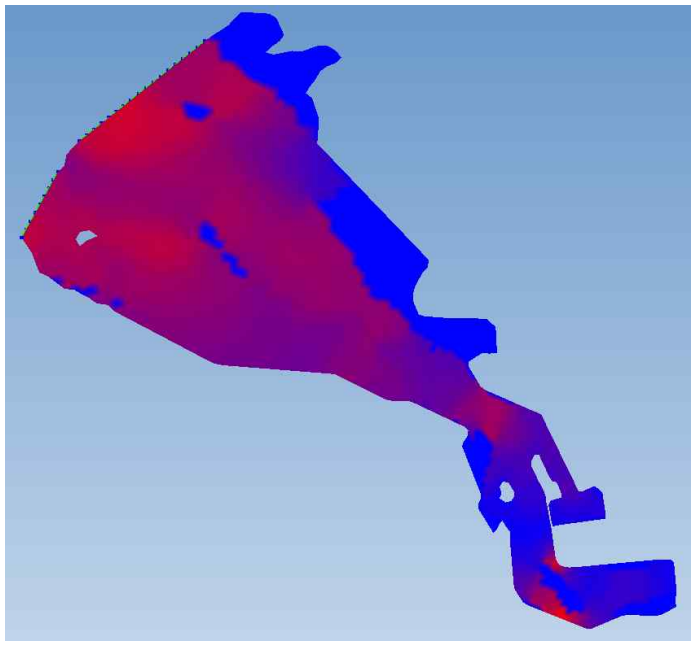


그림 16 유속분포보기

3.5 수심보기



그림 17 수심보기

3.6 바닥면보기

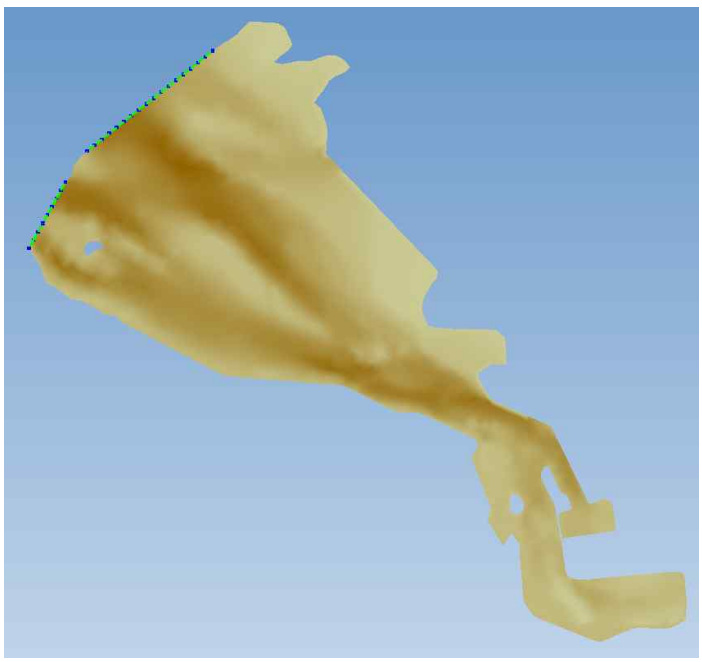


그림 18 바닥면보기

3.7 시계열그래프

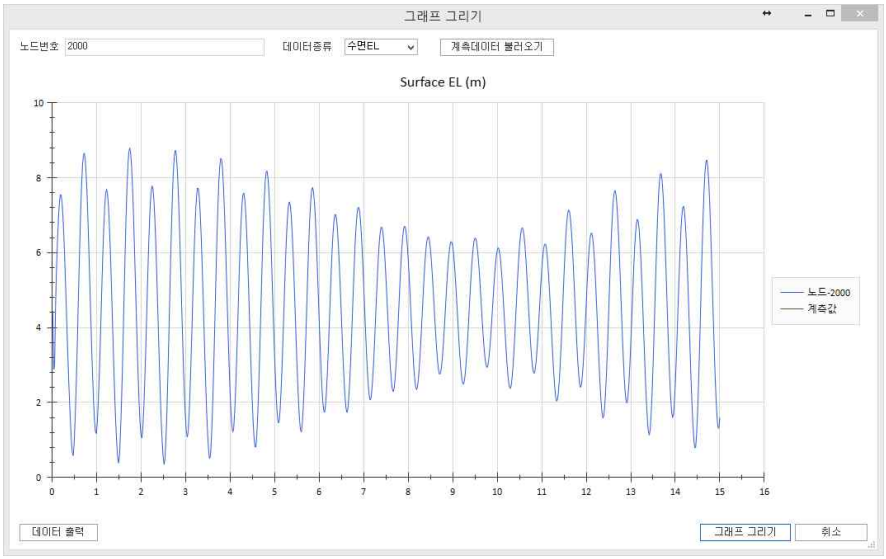


그림 19 시계열그래프 그리기

시계열데이터를 표현하고 싶은 노드번호를 입력한다. 복수입력이 가능함

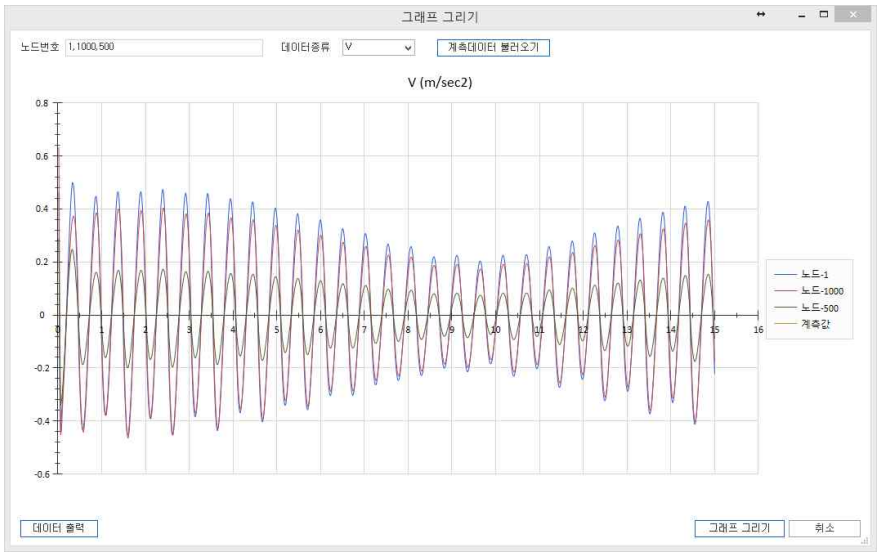


그림 20 여러개의 노드입력이 가능함

데이터의 종류는 U, V, 유속, 수심, 수면EL 이 있다.

데이터출력시 현재의 노드위치에서의 시계열 계산값이 텍스트로 출력됨.

출력된 데이터는 SPH 3D와 연계시 사용된다.

3.8 결과보기옵션



그림 21 결과보기 옵션

결과폴더 : 현재 모델의 계산결과값이 생성된 폴더를 선택한다.

결과읽고 적용 : 계산이 수행하는 동안 클릭시 현재까지의 결과파일을 읽어서 화면에 표햔한다.

해석시각 : 현재 표현될 계산시각을 선택

Z 스케일 : 수직스케일 설정

벡터스케일 : 유속표현시 적용할 스케일 설정

최대유속범위 : 유속분포보기시 최대유속범위를 설정함.

KSWM을 이용한 하천 2차원해석 따라하기

Step 1.

메뉴의 프로젝트 설정을 실행한다.

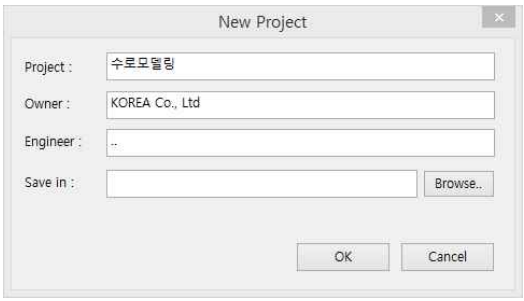


그림 1 New Project

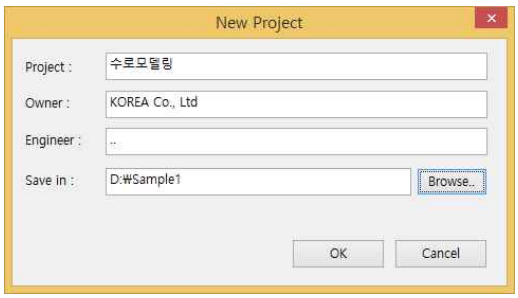


그림 2 프로젝트 폴더 선택

Step 2.

Save In 의 [Browse..] 버튼을 클릭하여 프로젝트 폴더를 선택한다. [새 폴더 만들기]를 클릭하여 프로젝트폴더를 생성하여 선택한다.

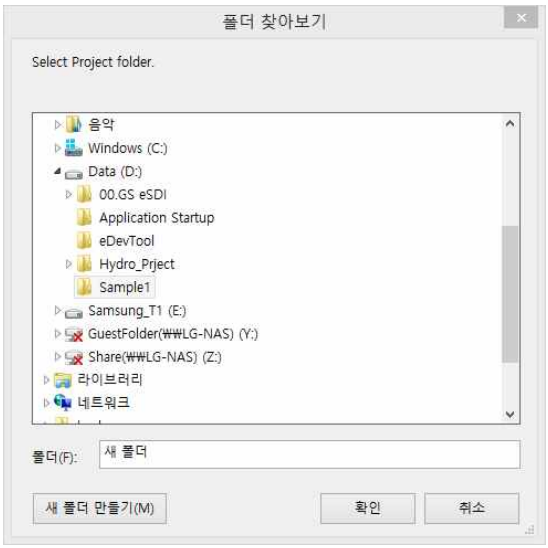


그림 3 프로젝트 폴더선택

Step 3.

메뉴의 [2dm읽기]를 클릭하여 SMS를 이용하여 생성된 2dm파일을 불러온다.

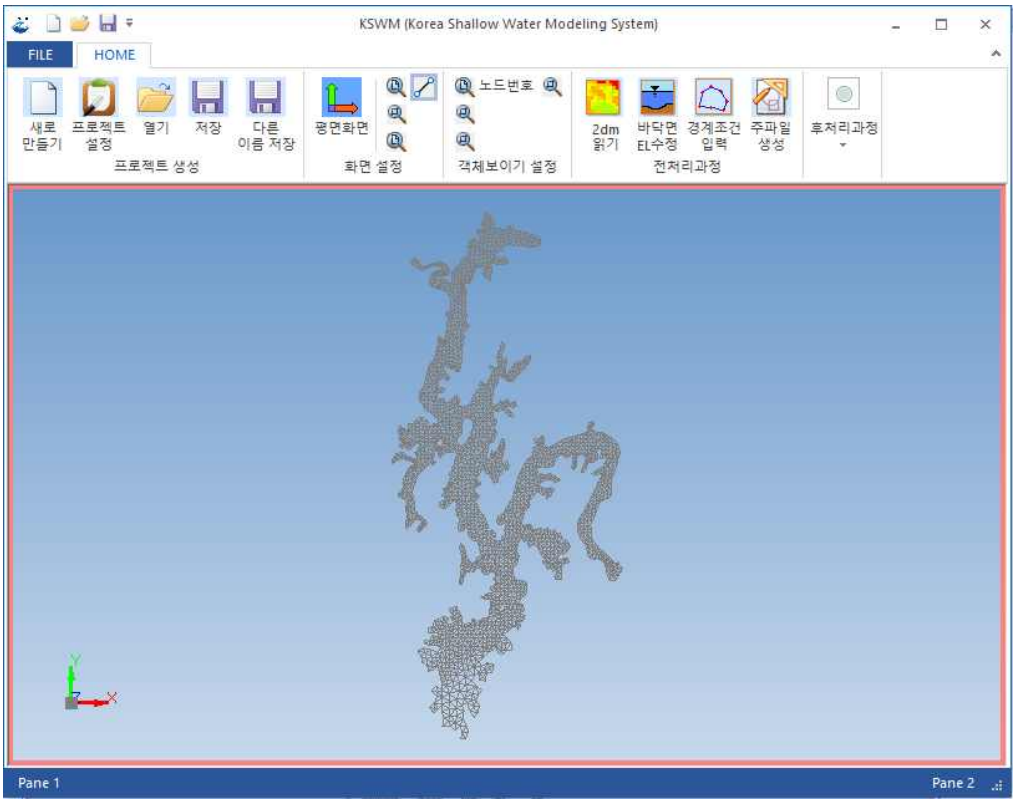


그림 4 2dm 파일을 읽어온 상태

Step 4.

메뉴의 [경계조건입력]을 이용하여 상류단과 하류단의 개방경계조건을 생성한다.

[경계조건입력] 클릭 후 개방경계조건을 설정한 노드를 순서대로 선택 한 후 우측버튼을 클릭하면 종료된다.

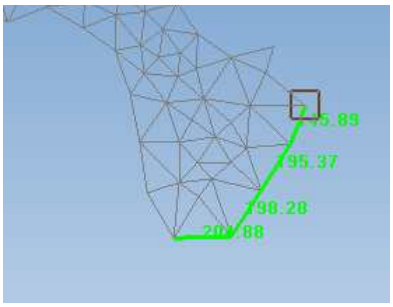


그림 5 노드를 선택하여 노드스트링 생성

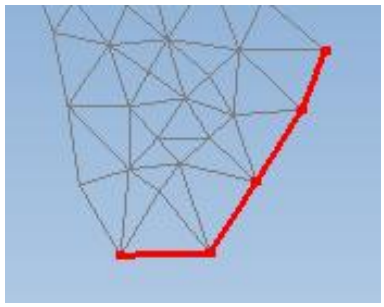


그림 6 생성된 노드스트링

초기 생성된 개방경계조건은 경계조건명이 정의되지 않아서 적색으로 표현되며 경계조건명이 입력되면 녹색으로 변경된다. 적색 노드스트링을 더블클릭하면 아래와 같이 속성을 입력할 수 있는 입력창이 생성된다.

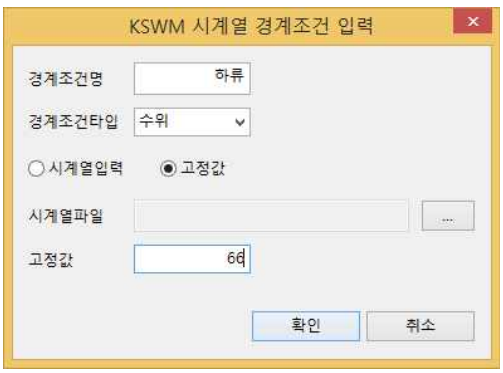


그림 7 하류단 경계조건 입력

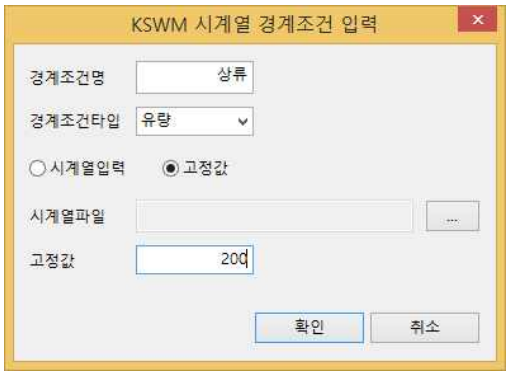


그림 8 상류단 경계조건입력

경계조건명, 경계조건타입, 경계조건값을 시계열데이터 또는 고정데이터를 입력할 수 있다.

상류단 유량을 입력하기 위하여 고정값을 선택 후 200 ㎥/s 를 입력한다.
하류단 수위를 입력하기 위하여 고정값을 선택 후 66m를 입력한다.

Step 5.
메뉴의 [주파일생성]을 클릭하여 유한요소 해석을 위한 주파일을 생성한다.

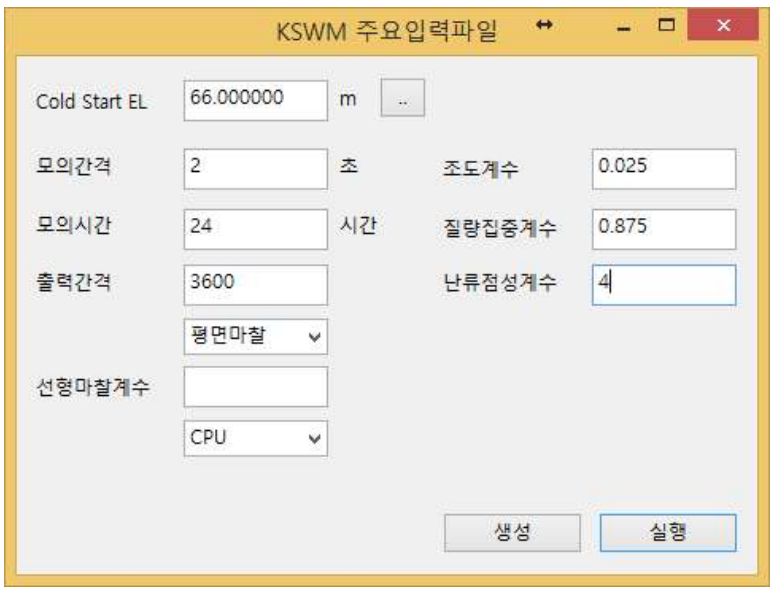


그림 9 주요입력파일 생성

Cold Start EL은 해석초기수위이며 바닥면의 EL을 고려하여 적정값을 입력한다. 초기수위는 개방경계조건에서 입력된 수위보다 커야한다.

모의간격 2초, 모의시간 24시간, 출력간격 3600(2시간마다)로 입력한다.
마찰은 기본적으로 평면마찰력을 이용하고 조도계수 0.025, 질량집중계수는 0.875~0.9사이에서 조정한다. 난류점성계수는 4로 입력한다.

생성을 클릭 후 실행을 하면 유한요소 해석이 실행된다.

Step 6.

해석 후 메뉴의 [결과보기]를 클릭하면 아래와 같이 해석결과를 볼 수 있는 옵션을 설정할 수 있다. 결과폴더에서 프로젝트폴더의 result폴더를 선택하고 [결과읽고 적용]버튼을 클릭시 생성된 해석파일을 불러온다. 해석도중에 [결과읽고 적용]을 클릭하면 현재까지 해석된 데이터를 읽어서 화면에서 확인할 수 있다.

보기옵션에서 아래와 같이 설정 후 시작버튼을 클릭시 해석시각단계별로 모의된 결과값을 3차원화면에서 확인 할 수 있다.



그림 10 결과보기

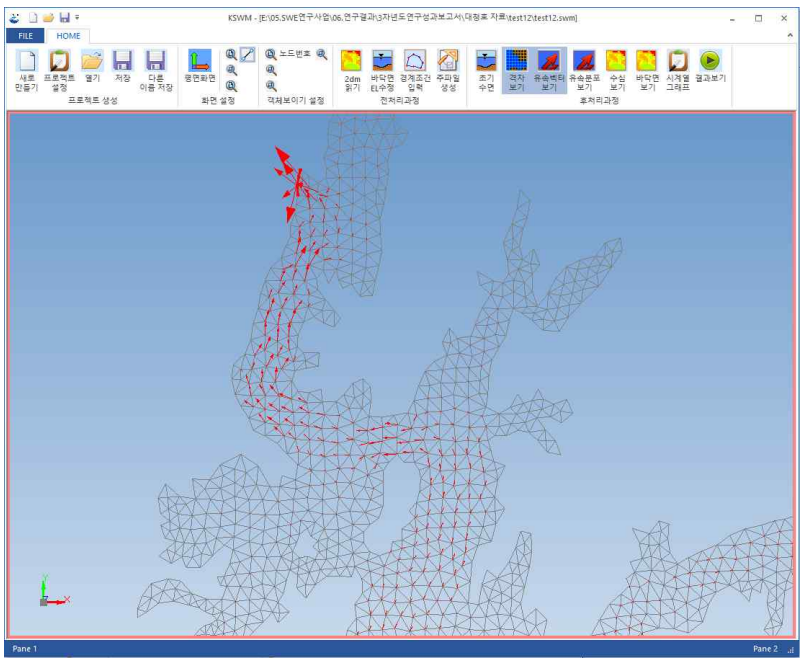


그림 11 해석 후 모의된 결과값

Step 7.

메뉴의 [시계열그래프]를 클릭하면 아래와 같은 그래프생성창이 생성된다.

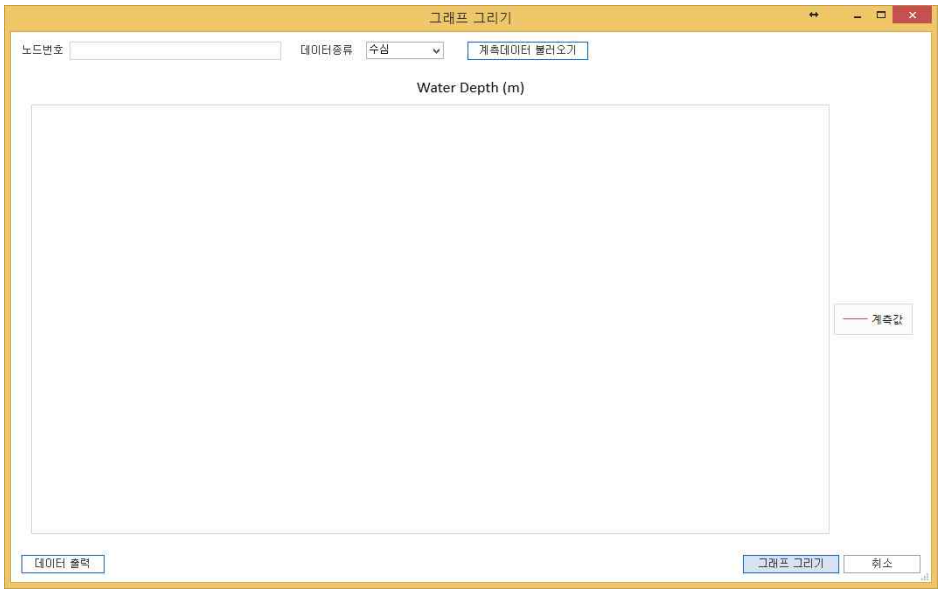


그림 12 그래프 그리기

노드번호에 결과값 표기를 원하는 노드의 번호를 입력 후 그래프 그리기를 하면 아래와 같이 시계열 그래프를 얻을 수 있다.

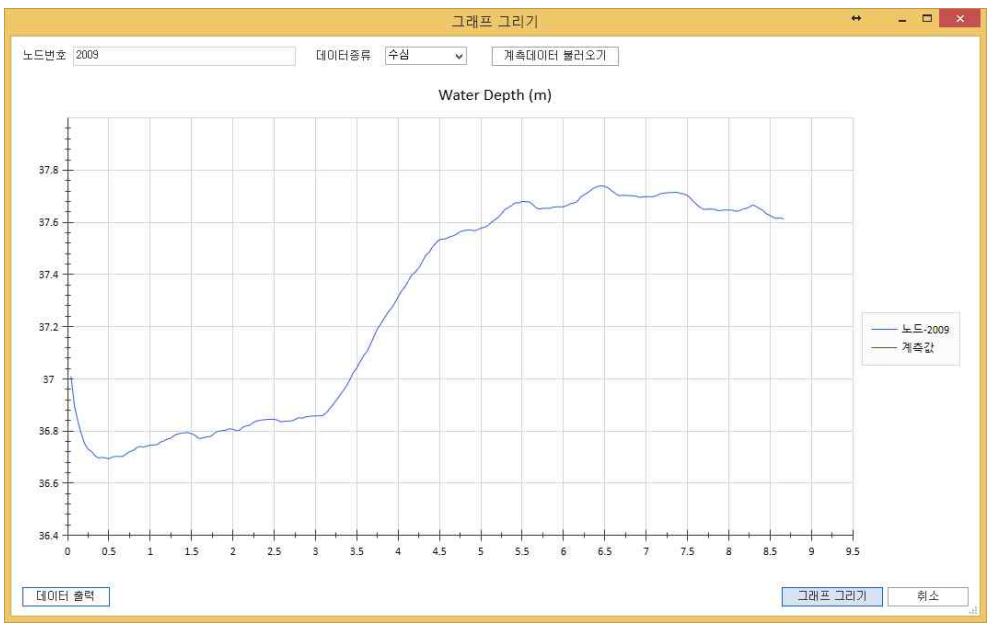


그림 13 노드 2009번의 시계열 수심값

대한상하수도학회 2015 공동학술발표회 (08.27~08.28)

GPU를 이용한 2차원 흐름모형의 개발
Development of 2D flow model using GPU

김성곤[1].조광준[2].신창수[3]

Seonggon Kim[1] · Kwangjoon Cho[2]· Changsu Sin [3]

[1]이엔지소프트 대표이사, [2]디엔에프코텍 부사장, [3]동남이엔씨 부사장

[1]ENGSOFT, [2]DNFCOTEC, [3]DongNam E&C

1. 서론

지난 수십년간 하천흐름을 해석하기 위하여 다양한 수치모델이 개발되어 왔으며, 하천흐름 모형은 많은 계산시간을 요구하여 실제 하천흐름 현상을 제한적으로 모의할 수 없는 실정이다. 그러나 이동경계 처리 및 구조물 부근의 정확한 흐름해석을 위해서는 빠른 계산능력이 필요하다. 이에 대한 대안으로 동시에 분할된 영역을 계산할 수 있는 병렬처리기법인 GPU(Graphic Processing Unit)가 최근에 복잡한 수리현상을 해석하기 위해서 사용되기 시작하였다. 본 연구에서는 GPU를 사용할 수 있는 2차원 흐름모형을 구축하였으며, 수립된 모형의 계산시간과 하나의 중앙연산장치(CPU)를 사용하는 기존의 모형과 계산시간을 비교하였다.

2. 2차원 흐름 수치모형

모형비교 및 GPU 병렬처리기법의 적용을 위해 사용된 모형은 3차원 연속방정식과 Navier-Stokes 운동량방정식으로부터 수심방향에 관하여 적분하여 유도된 천수방정식을 지배방정식으로 사용한다. 공간에 대해서는 삼각형 유한요소로 분할하고 시간에 대해서는 양해법으로 수치 적분하는 유한요소모형이다(Jung and Kim, 1992; Kawahara et al., 1982).

$$\frac{\partial n}{\partial t}+\frac{\partial (Hu)}{\partial x}+\frac{\partial (Hv)}{\partial y}=0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+g\frac{\partial H}{\partial x}-\varepsilon\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)-fv+\frac{\tau_{*x}}{\rho H}=0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+g\frac{\partial H}{\partial x}-\varepsilon\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-fu+\frac{\tau_{*y}}{\rho H}=0$$

Fig. 1 지배방정식

3. GPU를 이용한 병렬처리기법

nVIDIA에서 개발한 CUDA는 GPU에서 수행하는 알고리즘을 코딩시 C프로그래밍 언어를 사용할 수 있도록 하는 기술이다. 이는 기존의 CPU와 달리 많은 수의 프로세서를 포함하고 있는 GPU를 이용하여 연산을 수행하게 해주는 GPU 프로그래밍 언어이다.

CUDA는 C언어를 기반으로 하기 때문에 C를 알고 있는 프로그래머라면 복잡한 그래픽에 대한 사전지식없이 쉽게 GPU를 이용한 일반연산을 구현할 수 있다. 또한 기존에 쉐이딩 언어를 사용함으로써 발생할 수 있는 오버헤드가 제거됨으로써 더욱 효율적인 연산수행을 가능하게 한다. CUDA도 GPU를 이용하는 언어이기 때문에 하드웨어의 구조적인 원인에서 오는 문제점을 가지고 있다. 즉 GPU와 GPU간에 메모리를 공유하여 사용할 수 없으며, GPU에서 연산을 하기 위해선 주기억장치로부터 데이터를 전송 받아 연산을 수행해야 한다. 데이터 전송에 따른 지연을 줄이고 프로그램 의 효율을 높이기 위해선 CPU와 GPU간의 데이터 교환은 최소가 되도록 한다.

GPU는 NVidia사의 Geforce Titan을 사용하였으며, GPU연산을 위해서는 CPU 메모리에서 GPU 메모리로 데이터를 복사하여 전체 요한요소를 Core 수로 분할한 각 요소집단에 대하여 Core별로 연산을 수행한다. 또한 데이터전송에 따른 지연을 줄이고 프로그램 효율을 높이기 위하여 CPU와 GPU의 데이터교환은 최소로 하였다.

```
for(int nElm=0;nElm<nQtyElm;nElm++)
{
    if (trianglewet[nElm]==1)
    {
        delt=areaTri[nElm]/3.0;
        for(im=0;im<3;im++)
        {
            ir=arrIdxNode[nElm][im];
            am[ir]=am[ir]+delt;
        }
        ed[1][1]=(b1*b1+c1*c1)*(turb/(4*areaTri[nElm]));
        ed[1][2]=(b1*b2+c1*c2)*(turb/(4*areaTri[nElm]));
        ed[1][3]=(b1*b3+c1*c3)*(turb/(4*areaTri[nElm]));
        ……
        /*definition of su[0] for the nonadvective or advective case*/
        su[0]=(ae*u[i1]+be*u[i2]+be*u[i3])*areaTri[nElm]/12.0-bdt-adv*dt24*(2.0*u1+u2+u3)-
        dtt*(2.0*un[i1]+un[i2]+un[i3])*tau*areaTri[nElm]/12.0
        +dtt*(ed[1][1]*un[i1]+ed[1][2]*un[i2]+ed[1][3]*un[i3])*visc*turb;

        …
    }
}
```

Fig. 2 CPU 처리방식 코드

```
vector_CUDA_Step1<<<block_N,thread_N>>>(d_nodewet, d_um, d_wm, d_em, d_am, g_nQtyNode);

/*calculating b1,b2,b3,c1,c2 and c3 for each wet triangle*/
vector_kernel_CUDA<<<block_E,thread_E>>>(d_trianglewet, d_areaTri, d_arrIdxNode, d_am, d_arrX, d_arrY,
d_arrDepth,
d_u, d_w, d_zeta, d_un, d_wn, d_dn, d_um, d_wm, d_em,
g_turb, g_hmin, g_nmann, g_bUsingLinearFriction, g_ltau, dtt, g_ae, g_be, g_adv, g_visc, g_nQtyElm);

// incl[nNode] is the number of wet triangles that node k is included in
cudaError_t cudaStatus;
cudaStatus = cudaMemset(d_incl, 0, g_nQtyNode * sizeof(int));

vector_CUDA_Step2<<<block_E,thread_E>>>(d_arrIdxNode, d_incl, d_trianglewet, g_nQtyElm);
vector_CUDA_Step3<<<block_N,thread_N>>>(d_incl, d_un, d_wn, d_dn, d_um, d_wm, d_em, d_am, d_QS, dtt, g_nQtyNode);
```

Fig. 3 GPU 처리방식 코드

4. CPU 모형과 GPU 모형의 비교

CPU 및 GPU를 사용하는 모형을 한강의 반포지구에서 흐름모의에 적용하고, 비교하였다. 모의영역은 격점수 3,088개, 요소수 5,848개로 분할하였다. 계산시간간격은 1sec, 조도계수는 0.025, 초기수위는 10m, 초기유속은 0m/sec로 설정하였다.

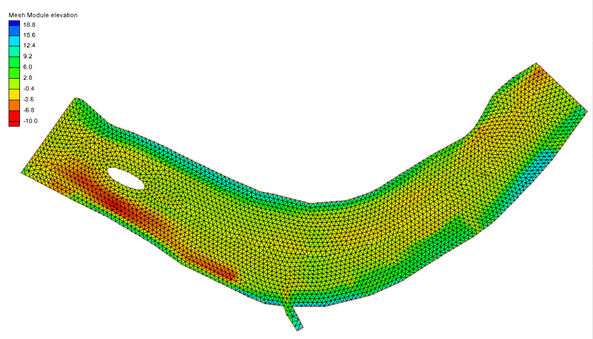


Fig. 4 대상모델링 영역

적 용 구 간	비 고
· 한강철교(No.91) ~ 한남대교(No.104) · L=6.73km	· 한강 하천정비기본계획 (2002.12, 건교부)
· No.0 ~ No.7 · L=0.35km	· 반포천등 5개 하천정비기본계획 (2002.12, 서울특별시)
· 반포지구 · L=1.4km A=145,000㎡	· 금회 20m 간격 측량 (엔지니어링사 제공) (측선 76개)

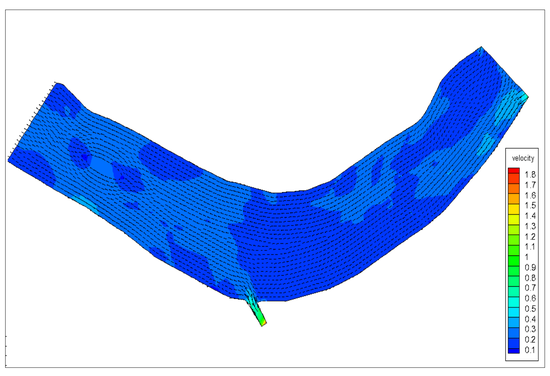


Fig. 5 CPU 수행결과

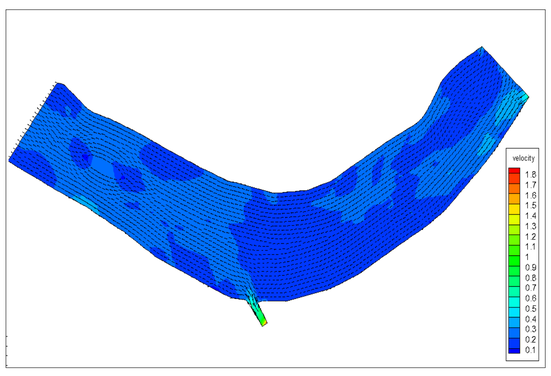


Fig. 6 GPU 수행결과

두 방법을 사용하여 모의된 최종시각의 결과(유속분포)는 그림과 같이 동일하였다. 총 모의시간을 3시간하여 계산을 수행한 결과, 계산시간이 CPU 모형과 GPU 모형은 각각 56초와 7초가 소요되었다.

본 모의사례에서는 GPU 모형이 CPU 모형에 비하여 약 8배의 연산성능을 보였다.

5. 결론 및 향후계획

현재 GPU를 이용한 수치모형 개발 연구는 진행 중에 있으며 앞으로 저수지 흐름모의, 연안해수유동 모의 등의 다양한 흐름 현상을 모의하고, 적용성을 보다 면밀하게 평가할 예정이다. GPU를 활용하면, 신속하게 각종 흐름현상을 모의 할 수 있음을 확인하였다. 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 발생되는 수질오염 현상을 신속하게 예측하는 활용하면, 수질오염 방제대책을 신속하게 수립할 수 있게 되어서 수질오염의 확산을 방지하는 데 기여할 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2015년도 국토교통과학기술진흥원으로부터 지원받은 건설교통기술 촉진연구사업 입자방식의 3D 유체흐름 시뮬레이션 개발(과제번호 1615007359)에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

1. Jung, T.S. and Kim, Chang Shik. (1992) A finite element hydrodynamic model for moving boundary prpblems, J. of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 4(3):146~155
2. Kawahara, M., Hirana, H. and Tsubota, K. (1982) Selective lumping finite element method for shallow water flow, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2, 89-112.

입자방식의 유체해석모형 개발

Development of fluid analysis model using a paticle method

조광준*, 임채만**, 신창수***, 김철문****, 안원식*****

Kwang Joon Cho, Che Man Lim, Chang Su Sin, Cheol Moon Kim, Won Sik Ahn

요 지

종래 격자를 이용한 수치해석 방법은 움직이는 물질의 접촉면, 경계의 변형, 자유표면, 구조물과의 상호작용 등을 처리하는 어려움이 있고 또한, 복잡한 형상에 대해서 격자를 생성하는데 많은 어려움과 방대한 시간이 소요되고 있다. 한편, SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)법을 이용하여 종래 격자를 사용한 수치해석 방법과 달리 가상의 유체입자를 이용한 격자 없는 Lagrangian 접근에 의한 해석 방법은 격자생성의 복잡한 작업이 불필요하며, 특히 비선형성 자유표면 유동의 해석의 경우에 있어서 입자방식의 해석 방법은 격자를 이용한 해석 방법보다 복잡한 형상의 물리 현상을 해석하는데 유리하기 때문에 다양한 분야로 적용이 시도되고 있다. 본 연구에서는 입자방식을 이용하여 마른하도로 전파하는 부분적 댐 붕괴의 3차원 수치해석을 수행하였고, 그 결과를 Fraccarollo and Toro(1995)의 실험결과와 입자방식의 계산결과를 비교하였다. 또한, 렌더링을 사용하여 댐 붕괴현상을 가시화하였다.

핵심용어 : 입자방식, 유체해석, 흐름해석, 가시화, SPH

1. 서론

컴퓨터 성능과 IT기술이 발전함에 따라 이론적으로 해석 및 예측이 쉽지 않은 홍수피해에 대한 물리적 현상들을 해결하기 위한 유체해석 모형에 대한 연구는 활발히 연구되어 왔다. 이러한 유체해석 모의방법 들은 대부분 격자를 이용하는 방법이 널리 사용 되어 왔다. 하지만 이러한 대부분의 방법은 복잡한 형상에 대해서는 격자생성에 많은 어려움과 방대한 시간이 소요되며 자유수면 및 경계면의 변형이 클 경우 또는 다상유동, 다상물리, 유체-구조 연성해석 등을 처리하는데 많은 어려움이 있다. 한편 SPH법을 이용한 입자방식의 해석방법은 격자가 없는 입자를 이용한 순수 Lagrangian기법으로서, 격자생성의 복잡한 작업이 불필요하며 격자가 꼬이는 등의 위상관계를 고려할 필요가 없어 경계면이 크게 변형되는 문제에도 적용 될 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 비선형 자유표현 유동의 모의를 할 경우에 있어서 입자방식의 해석방법은 격자를 이용한 해석방법보다 불규칙 또는 복잡한 형상의 물리현상을 해석하는데 유리하다. 그리고 실제의 유동현상과 가깝게 가시적으로 보여줄 수 있고 실시간으로 분석할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 널리 사용되는 격자를 이용하는 방법의 어려움을 해결하고자 자유표면 유동을 포함하는 다양한 해석의 검증에 이용된 댐 붕괴 문제에 적용시켜 프로그램의 알고리즘 정확성 입증목적으로 한다. 그리고 개발모형을 마른하도로 전파하는 부분적 댐 붕괴해석을 수행하고 수치모의 결과를 실험자료와 비교하였다. 또한, 아직까지는 입자방식의 해석방법을 대규모 SOC사업에 접목하여 연구한 사례가 많지 않다. 아울러 향후, 하천, 댐, 도로, 철도, 도시침수, 호소, 특수수리구조물 등 SOC사업의 경우 최근 발전을 거듭하고 있는 건설IT기술과 Computer Modeling기술 및 가상현실기술 등을 융합하여 유체의 흐름을 실시간으로 영상매체처

* 정회원・(주)디엔에프컨설팅 엔진개발팀・E-mail : b747@dnf-korea.com
** 정회원・동남이엔씨(주) 수자원팀・E-mail : lcm-2020@hanmail.com
*** 정회원・동남이엔씨(주) 부설연구소・E-mail : qptu21@hanmai.net
**** 정회원・한국건설기술연구원・E-mail : stgate0327@gmail.com
***** 정회원・수원대학교 명예교수・E-mail : wsan@suwon.ac.kr

럼 표현함으로써 계획 및 설계단계부터 자연재해로 인한 피해지역, 범위, 규모 등을 효과적으로 파악하는데 기여할 수 있을 것이다. 본 모형의 개발로 자연재난상황을 실시간 시각적 영상홍보를 통한 효과와 재난대처 능력 확보, 복잡하고 대규모적인 SOC사업에 필요한 특수수리구조물의 원활한 설계, 유체해석 관련 고도의 기술개발에 따른 선도적 입장에서의 국가 경쟁력 향상 등을 키워나갈 수 있을 것이다.

2. 입자방식 3차원 유체시뮬레이션

2.1 Navier-Stokes 방정식

비압축성 유체를 나타내는 Navier-Stokes 방정식에 SPH는 입자시스템 기반이므로 식 (2.1)와 같이 표현된다.

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \mu\nabla^2\mathbf{u} + \mathbf{f} \tag{2.1}$$

여기서 $\mathbf{u}$는 유속, p는 압력, ρ는 밀도, μ는 점성, $\mathbf{f}$는 중력을 비롯한 외력을 나타낸다. 또한 입자시스템에서는 입자의 개수는 변하지 않으므로 질량보존의 법칙을 나타내는 식 (2.2)는 필요하지 않게 된다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho\mathbf{u} = 0 \tag{2.2}$$

따라서 비압축성 유체에 대한 Navier-Stokes 방정식은 입자시스템에서 식 (2.1)의 우항의 $\mathbf{F}_i = \mathbf{f}_i^{pressure} + \mathbf{f}_i^{viscosity} + \mathbf{f}^{external}$이다.

3. 수치모형의 적용

SPH기법을 이용한 3차원 수치모형 시뮬레이션을 댐 붕괴로 인한 홍수파가 여러 가지 상태의 하도로 전파하는 홍수파 해석에 적용하여 모형의 정확성 및 적용성을 검증하였다. 이를 위해 실험실에서 수행된 댐 붕괴 실험에 대한 조건과 동일하게 개발모형을 적용하여 계산 결과를 실험자료와 비교하였다.

3.1 마른바닥에서 댐붕괴 경계조건

Fraccarollo and Toro는 (그림 3.1)과 같은 실험하도에서 댐 붕괴파가 마른하도로 전파하는 댐 붕괴 실험을 수행하였다. 실험하도는 크기가 4m×2m이며, 저수지와 수로의 2개 부분으로 구분되어 있다. 저수지의 초기수위는 0.6m이고, 댐 하류 수로는 수위가 0m인 마른하도이며, 댐의 중심부에서 0.4m의 붕괴가 발생하는 조건이다. 저수지의 경계는 닫힌 경계조건이며, 수로의 경계는 모두 열린 조건으로 설정하였다. 하상의 마찰은 고려하지 않았으며, 입자크기는 지름 0.02m, 입자 수 271,000개로 시뮬레이션을 수행하였다.

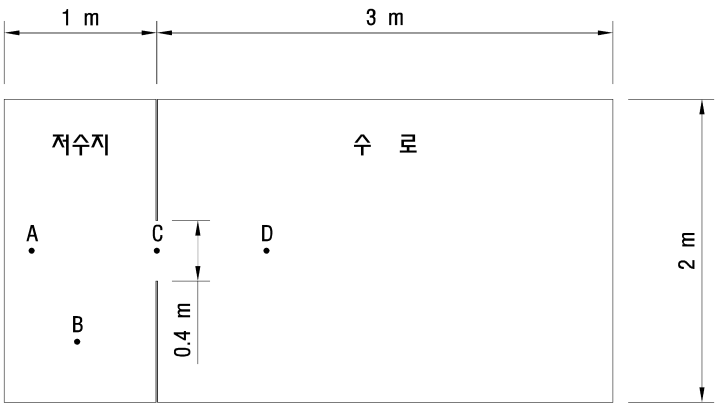
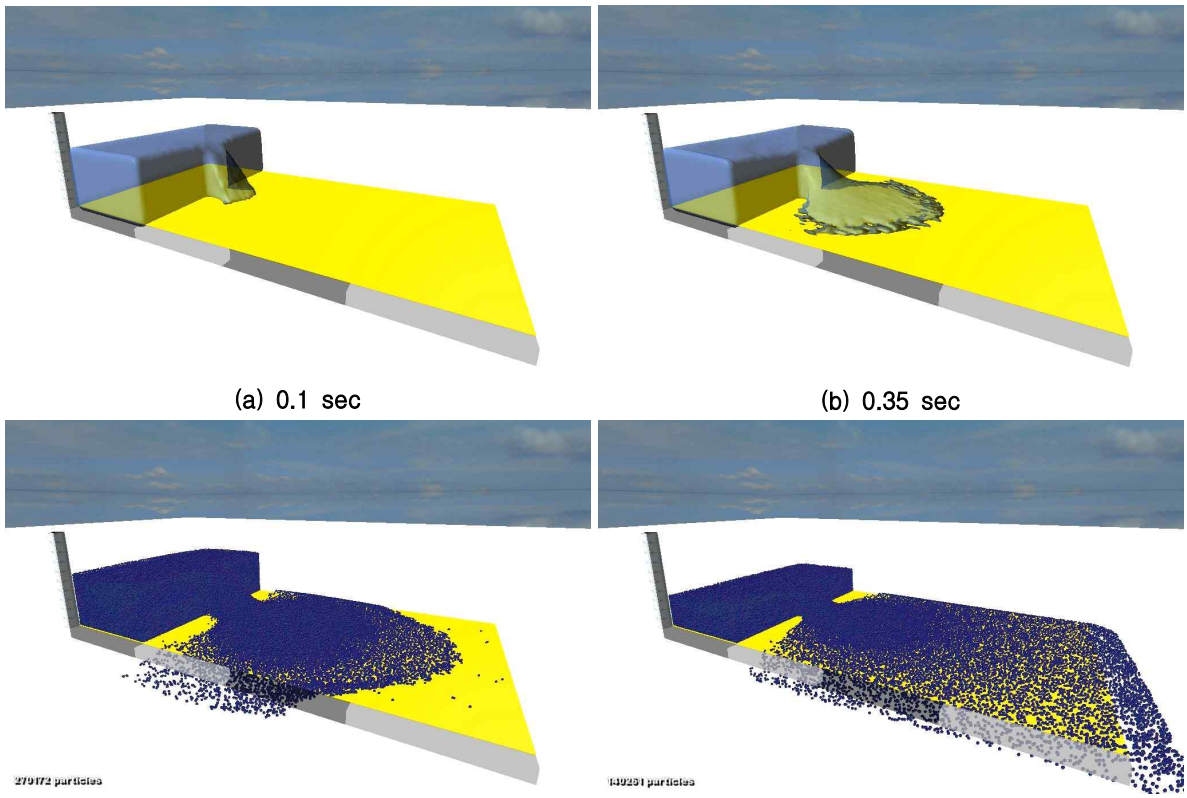


그림 3.1 실험하도

3.2 마른바닥에서 댐붕괴 시뮬레이션결과

(그림 3.2)는 댐 붕괴 후 0.1초, 0.35초, 0.75초, 5초에 대한 Rendering된 수면과 Particle형태 수면을 각각 보여준다. (그림 3.2)의 수면형에서 볼 수 있듯이, 댐이 붕괴되면서 전향 붕괴파는 하류수로에 전파하고, 후향 붕괴파는 상류로 전파된다. 후향 붕괴파가 최상류단에 도달하여 벽에 부딪쳐 반사파를 발생시키며, 이러한 현상이 반복되면서 저수지에서의 수위는 요동하게 된다. 0.75초 후에는 초기의 댐 붕괴파가 계산격자 밖으로 전파하며, 시간이 지남에 따라 저수지에서의 수위는 낮아지고, 하류로 흘러내려가는 유량은 적어지는데, 이것은 수로의 경계조건을 열린 경계조건으로 지정하였기 때문으로 판단된다.

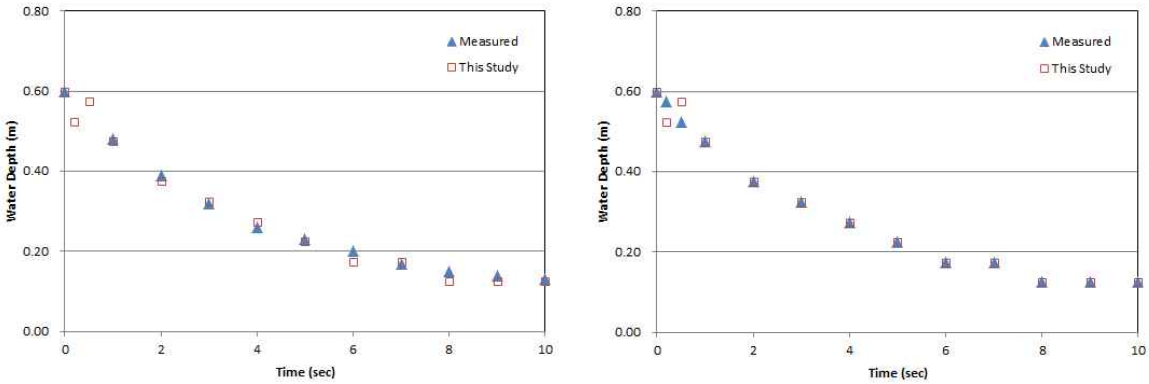


(a) 0.1 sec (b) 0.35 sec

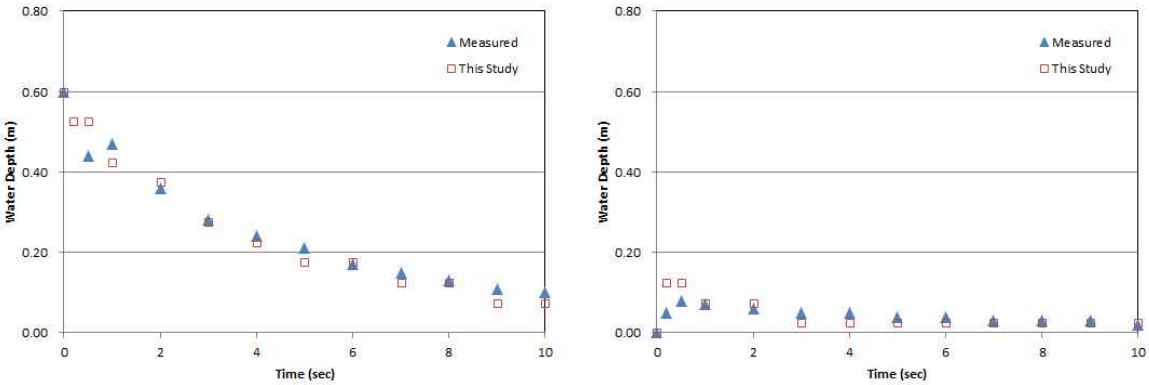
(c) 0.75 sec (d) 5.0 sec

그림 3.2 Rendering된 수면형과 Particle 수면형

(그림 3.3)는 SPH기법을 이용한 3차원 수치모형시뮬레이션 계산결과와 실험수심의 결과를 비교하였다. 모든 지점에서 시뮬레이션 결과가 실험자료와 대부분 일치하는 것으로 나타났다. (그림 3.3)의 A와 B지점은 저수지내에 존재하는 지점으로 댐의 붕괴유량이 하류로 전파하면서 수위가 점차 낮아지고, 붕괴폭이 좁아 일부는 후향 전파되면서 약간의 수위상승이 발생하였다. D는 수로에 위치한 지점으로 저수지내에 존재하는 실측지점과 마찬가지로 실측수심과 계산수심이 비교적 잘 일치하였다. 하지만 모든 지점은 댐 붕괴직후 실측수심과 약간의 오차가 발생하였다. 이러한 오차는 복잡한 흐름현상과 실험의 부정확성 때문에 발생한다고 하였다. 그리고 시뮬레이션에서 실측지점과 일치하는 지점에 대한 결과를 출력하는 것은 어려우므로 실측지점과 가장 인근한 측정격자의 결과를 이용하는데 이는 계산의 정확도에 매우 큰 영향을 미칠 수 있다. C지점의 계산결과를 나타내는 (그림 3.3)의 (c)에서 댐 붕괴 초기에 오차가 많이 발생하지만 흐름이 안정화되면서 실측치와 계산치가 잘 일치한다는 점이 이를 잘 보여준다. 향후 입자자체의 개별계산결과를 출력한다면 좀 더 정확한 계산 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.



(a) A지점 (b) B지점



(c) C지점 (d) D지점

그림 3.3 3차원 수치모형시뮬레이션 계산결과와 실험수심의 결과비교

4. 결론

본 연구에서는 SPH기법을 이용한 3차원 수치모형 시뮬레이션을 마른하도로 전파하는 3차원 부분적 댐 붕괴파 해석을 위해 적용하였다. 그리고 해석결과를 실험자료와 비교하여 해석 알고리즘에 대한 정확도 및 적용성을 검증하였다. 본 연구에 대한 주요 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구에서는 SPH기법의 3차원 Navier-Stokes방정식을 이용하여 3차원 입자방식의 유체해석 시뮬레이션을 개발하였다.
2. 하상경사 및 마찰이 없는 마른하도로 전파하는 3차원 부분적 댐 붕괴파에 대한 해석결과는 실험수치와 대분분 일치하여 알고리즘의 정확성을 입증하였다.
3. 따라서, 3차원 입자방식의 유체해석 시뮬레이션은 댐 및 제방붕괴로 인한 연속 및 불연속 흐름 그리고 마른하도 흐름해석에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 대규모 자연하천에서의 댐 붕괴와 같은 복잡한 지형 및 흐름현상을 해석할 수 있는 Particle개수의 확장이 필요하다고 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원으로부터 지원받은 국토해양기술연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 이민아 외2명(2011), **SPH 입자의 경계조건 분석 및 해석,** 한국전산구조공학회.
2. 김병형 외3명(2009), Riemann 해법을 이용한 **댐 붕괴파**의 전파 해석, 대한토목학회논문집 제29권 제5호 (2009. 9) pp.429-439
3. Fraccarollo, L. and Toro, E.F. (1995) Experimental and numerical assessment of the shallow water model for two-dimensional **dam-break type problems**. Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 33, No. 6, pp. 843-864.
4. Moonho, Tak. (2011) **Computational coupled and parallel analysis for porous media**, Ph.D. Thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
5. Matthias Müller, David Charypar and Markus Gross, **Particle-Based Fluid Simulation for Interactive Applications, Department of Computer Science**, Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ), Switzerland.
6. Micky Kelager (2006), **Lagrangian Fluid Dynamics Using Smoothed Particle Hydrodynamics**, Department of Computer Science • University of Copenhagen Universitetsparken 1 • DK-2100 Copenhagen • Denmark
7. Adam Lerer, **3-Dimensional Fluid Simulation with Smoothed Particle Hydrodynamics**.
8. Stefan Auer, **Realtime particle-based fluid simulation**, Technische Universität München

장애물이 있는 하상에서의 댐붕괴 흐름해석

Analysis of Dam-Break Flow in the Riverbed of Obstacle

임채만*, 조광준**, 신창수***, 안원식****

Che Man Lim, Kwang Joon Cho, Chang Su Sin, Won Sik Ahn

요 지

종래 격자를 이용한 수치해석 방법은 움직이는 물체의 접촉면, 경계의 변형, 자유표면, 구조물과의 상호작용 등을 처리하는 어려움이 있고 또한, 복잡한 지형형상에 대해서 격자를 생성하는데 많은 어려움과 방대한 시간이 소요되고 있다. SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)법은 과거의 종래 격자를 사용한 수치해석 방법과 달리 가상의 유체입자를 이용한 격자 없는 Lagrangian방법이다. 비압축 점성흐름을 풀기 위하여 Navier-Stokes방정식을 사용하였다. 본 연구에서는 최근 개발된 입자방식을 이용하여 댐이 설치되어 있는 하류 하상에 장애물이 설치되어 있는 건조한 하도를 따라 전파하는 댐 붕괴 흐름의 3차원 수치해석을 수행하였고, 그 결과를 Hatice and Selahattin (2011)의 실험에서 분석된 결과와 격자방식의 상용프로그램인 Flow-3D로 분석된 결과 및 본 입자방식의 계산결과를 비교분석을 수행하였다. 본 입자 방식에 의한 수계내에 설치되어 있는 댐이 붕괴될 경우 많은 하도내에 설치되어 있는 수공구조물 지점에서의 흐름 특성을 분석하고 이들의 시설물들이 붕괴되는 현상에 대하여 적용할 수 있음을 보여주었으며, 장래 복잡한 지형상의 다양한 변화에 따른 다른 모형 실험에 유용한 수치 모델과 비교 사용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 입자방식, Flow-3D, 반대파, SPH

1. 서론

많은 물을 저장하고 있는 댐이 느닷없이 붕괴될 경우 많은 재산과 인명피해를 불러온다. 댐 파괴 홍수파는 가장 빠르고 복잡한 형태로 흐름이 진행된다. 일반적으로 흐름은 복잡한 지형에 따라 형성이 되는데 하류의 지형은 유체흐름의 수심을 결정하는데 아주 중요한 역할을 한다. 하천의 하상형상, 보뿐만 아니라 교량, 도시지역의 건물 등은 모두 흐름에 지장을 초래하고 있는 장애물이다. 이러한 댐 붕괴파의 거동을 예측하고 분석하기 위한 다양한 수치모형들이 개발되어져 왔다. 1차원 수치모형의 경우 단지 댐으로부터 하류방향을 따라 전파되는 댐 붕괴파를 모의하기 위해 적용될 수 있을 것이다. 그러나 1차원 모형은 댐 붕괴파가 하도와 홍수터가 함께 존재하는 경우, 하도가 급하게 굴곡된 경우 그리고 하도 내에 큰 구조물이 있는 경우에는 댐 붕괴파의 거동을 정확하게 모의할 수 없는 단점이 있다(Hervouet and Petitjean, 1999). 수심 적분된 천수방정식을 지배방정식으로 하고 정수압 가정 하에서 적용되는 2차원 모형은 1차원 모형의 적용한계를 보완하는 측면에서 많은 연구들에 의해 다양한 수치기법과 함께 개발되어져 왔으며, 실제 댐 붕괴파 모의에 성공적으로 적용되어져 왔다(김등, 2003; 김 등, 2009; 김, 2008; 김과 한, 2010, 정과 박,2011, Hervouet and Petitjean, 1999; Valiani et al, 2002;Yoon and Kang, 2004; Begnudelli and Sanders, 2007). 그러나 흐름이 급변하는 댐 직하류부 장애물이 포함된 경우와 댐 붕괴

* 정회원 · 동남이엔씨 · E-mail : lcm-2020@hanmail.com

** 정회원 · D&F 엔진개발팀 · E-mail : b747@dnf-korea.com

*** 정회원 · 동남이엔씨 연구소장

**** 정회원 · 수원대학교 명예교수 · E-mail : wsan@suwon.ac.kr

파가 하도 내 교량과 제방 등에 부딪치면서 충격파가 발생되는 경우에는 연직방향으로의 유속은 매우 중요하므로 2차원 모형을 적용하는데 있어 한계로 지적되고 있다(조와 김, 2008; Vasquez and Roncal, 2009). 이러한 경우에는 비정수압 조건 하에서 3가지 방향의 유속성분이 계산되는 3차원 모형의 적용이 요구된다. 또한 실제 현장 조건하에서 댐 붕괴에 의해 전파되는 댐 붕괴파의 수리학적 특성을 보다 세부적으로 분석하기 위해서는 3차원 수치모형의 적용이 필수적이다(Vasquez and Roncal, 2009). 그러나 댐 붕괴파 흐름에 있어 3차원 모형의 적용에 관한 연구는 국내외적으로 미비한 실정이다. DeMaio et al.(2004)은 댐 붕괴파의 전파현상을 모의하기 위해 2차원 수직 격자시스템과 상용 프로그램인 Fluent를 이용하였으나 완전한 3차원 모의는 수행하지 못하였다. Lohneret al.(2006)은 순간적인 댐 붕괴 이후 자유수면의 이동과 원통형 교각과 홍수파와의 상호작용을 모의하기 위해 3차원 VOF(Volume of Fluid) 모형을 개발하였다. Vasquez and Roncal (2009)는 RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation)를 지배방정식으로 하며, 자유수면 종단을 위해 VOF 기법이 적용된 상용 프로그램인 FLOW-3D 모형을 이용하여 댐 붕괴에 따른 복잡한 댐 붕괴파의 전파양상을 모의하는데 성공적으로 적용될 수 있음을 보여주었으며, 김과 황(2011)은 FLOW-3D 모형을 이용하여 고정상 및 이동상 수로에서의 댐 붕괴파의 수치해석을 수행하였다. 조와 김(2009)은 SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기반의 3차원모형을 적용하여 댐 붕괴파의 전파양상을 2차원으로 해석하는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 기존의 FLOW-3D 이외에 또 다른 3차원 유동해석 모형인 SPH기법의 모형을 이용하여 하류에 장애물이 있는 댐 붕괴파의 흐름해석과 관련된 기존 수리모형실험에 대해 입자방식의 3차원 모의 및 적용성 검토를 수행하였다.

2. SPH 기법

SPH법은 격자가 아닌 입자들 간의 관계로부터 물리량을 계산한다. 임의 입자의 물리량을 결정하기 위하여 핵함수 근사(kennel approximation)와 입자근사(particle approximation)를 식(2.1)과 같이 사용한다.

$$A(\vec{r}) = \int A(\vec{r}')\, W(\vec{r}-\vec{r}', h) d\vec{r}' \tag{2.1}$$

여기서 h는 완화길이(smooth length)고 $W(\vec{r}-\vec{r}', h)$는 커널함수 이다. 연속계의 영역 적분을 유한개의 입자항으로 치환하면 다음 식(2.2)의 입자 근사식을 얻을 수 있다.

$$A(\vec{r}) = \sum_b m_b \frac{A_b}{\rho_b} W_{ab} \tag{2.2}$$

여기서 m_b, ρ_b는 입자의 질량과 밀도이고, $W_{ab} = W(\vec{r}_a - \vec{r}_b, h)$는 커널함수 이다.

2.1 지배방정식

위의 SPH법을 이용하여 비점성, 약한 압축성 유체에 대한 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 표현하면 다음 식(2.3) 및 식(2.4)와 같다.

$$\frac{d\rho_b}{d_t} = \sum_b m_b \overrightarrow{v_{ab}} \nabla_b W_{ab} \tag{2.3}$$

$$\frac{d\overrightarrow{v_a}}{d_t} = -\sum_b m_b \left(\frac{P_b}{\rho_b^2} + \frac{P_a}{\rho_a^2} + \Pi_{ab} \right) \overrightarrow{\nabla}_a W_{ab} + \vec{g} \tag{2.4}$$

여기서 $\vec{g} = (0,0,-9.81) ms^{-2}$는 중력 가속도, $\overrightarrow{\nabla}_a$는 입자 b에 대한 핵함수 증감을 나타낸다. 압력 P_a는 약한 압축성이라는 가정하에 유체압력의 상태방정식 (2.6)을 이용하여 구할 수 있다.

2.2 핵함수

핵함수는 해석상 입자들이 영향을 받는 면적을 결정하기 때문에 SPH법에서 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 Monaghan and Lattanzio(1985)가 제안한 The cubic spline function을 사용하였다. 이 함수는 공간영역 내에 입자까지만 계산하게 되므로 이는 연속방정식(2.3)과 운동량 방정식(2.4)에서 계산하는데 걸리는 시간을 줄여주게 되며, 다음 식(2.5)와 같이 쓸 수 있다.

$$W(r,h)=\frac{1}{\pi h^3}\begin{cases}1-\frac{3}{2}q^2+\frac{3}{4}q^3 & 0\le q\le 1\\ \frac{1}{4}(2-q)^3 & 1\le q\le 2\\ 0 & q\ge 2\end{cases} \tag{2.5}$$

여기서 $q=\frac{r}{h}$이고, r은 입자와 $\vec{r}$ 사이의 거리이다.

2.3 상태방정식

SPH법에 비압축성 자유수면의 유동을 위해 유체의 압력은 다음 식(2.6)의 상태방정식으로부터 얻을 수 있다(Monaghan, 1999; Batchelor, 1974).

$$P=B\left[\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{\gamma}-1\right] \tag{2.6}$$

여기서 $\gamma=7$는 무차원 상수이고, B는 조건에 따라 결정되는 상수이고, ρ_0는 초기밀도이다.

2.4 가상 점성

가상점성은 경계면에서의 수치적 발산을 제거하기 위하여 SPH법에서 주로 사용되고 있으며, Monaghan(1992)는 가상점성에 Π_{ab}에 대하여 다음의 식 (2.7)과 같이 제시하였다.

$$\Pi_{ab}=\begin{cases}\frac{-\alpha\overline{c_{ab}}\mu_{ab}}{\overline{\rho_{ab}}} & \vec{v}_{ab}\vec{r}_{ab}<0\\ 0 & \vec{v}_{ab}\vec{r}_{ab}>0\end{cases} \tag{2.7}$$

여기서 $\mu_{ab}=\frac{h\vec{v}_{ab}\vec{r}_{ab}}{\vec{r}_{ab}^{\,2}+\eta^2}$, $\overline{c_{ab}}=\frac{c_a+c_b}{2}$, c는 음속을 나타내며, α항은 운동량 보존 방정식의 전단과 제적점성의 역할을 하며, η항은 값으로 수치적인 발산을 방지하기 위한 작은 값이다.

2.5 경계조건

경계조건은 유체 입자가 물체경계를 관통하는 것을 방지하기 위해 Lennard-Jones form을 사용하였으며, 실험 설비는 Hatice and Selahattin(2011)이 사용한 직사각형 수평수로로 상세 모형수로 자료는 다음 그림. 1과 같다.

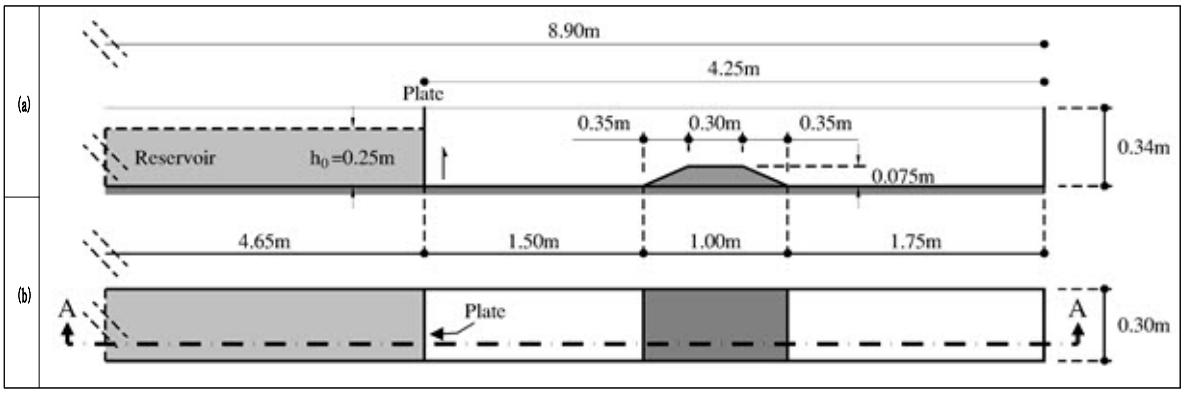


그림.1 Test Arrangement and Initial Conditions (a) Section A-A; (B) Plan, Lengths in m.

3.0 분석결과

그림 2에 나타난 바와 같이 그림 2a 와 그림 2b의 입자방식과 모형 실험에서 댐파괴파가 장애물에 도달하게 되면 가장 복잡한 흐름 형식이 전개되는 것을 발견할 수 있고, 장애물에 도달하는 흐름은 충돌하는 순간 상류 방향으로 분출되는 현상을 알 수 있다. 시간이 진행됨에 따라 반대파의 유속은 전면으로 이동하면서 상류 흐름 방향은 증가함을 알 수 있고 특히 난류 효과는 전면파가 반사되어 뚜렷한 변화를 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 2 하류단 종단방향 흐름에서 보면 장애물과 충돌로 넘치는 홍수파가 통과되면 상류흐름 표면의 충돌지점의 자유수면 종단상에서 극명하게 구분되어 나타남을 보이고 있다.

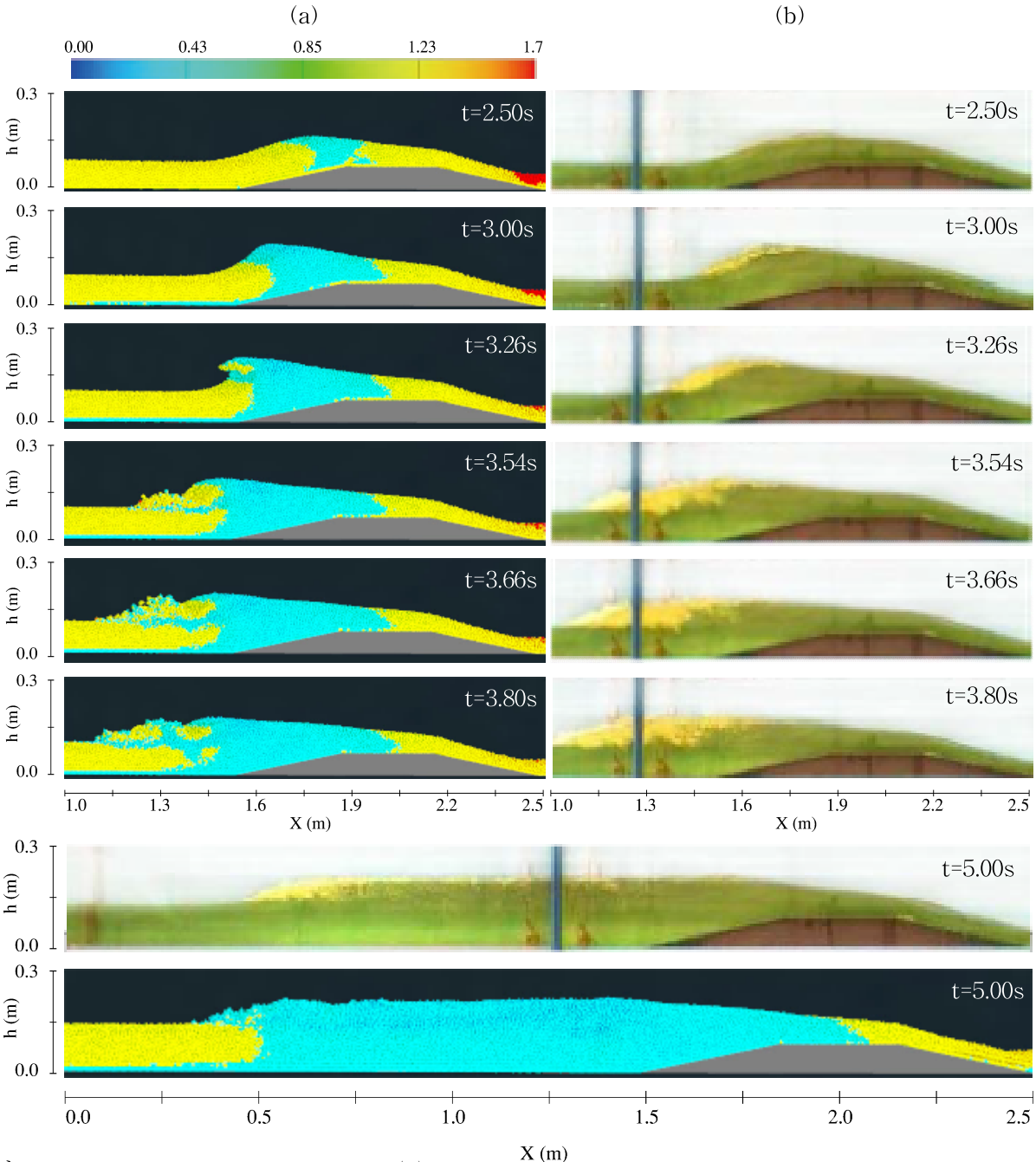


그림. 2 Evolution of reflected wave: (a) with computed velocity vectors and contours with magnitudes; (b) Simulation model, Lengths in m.

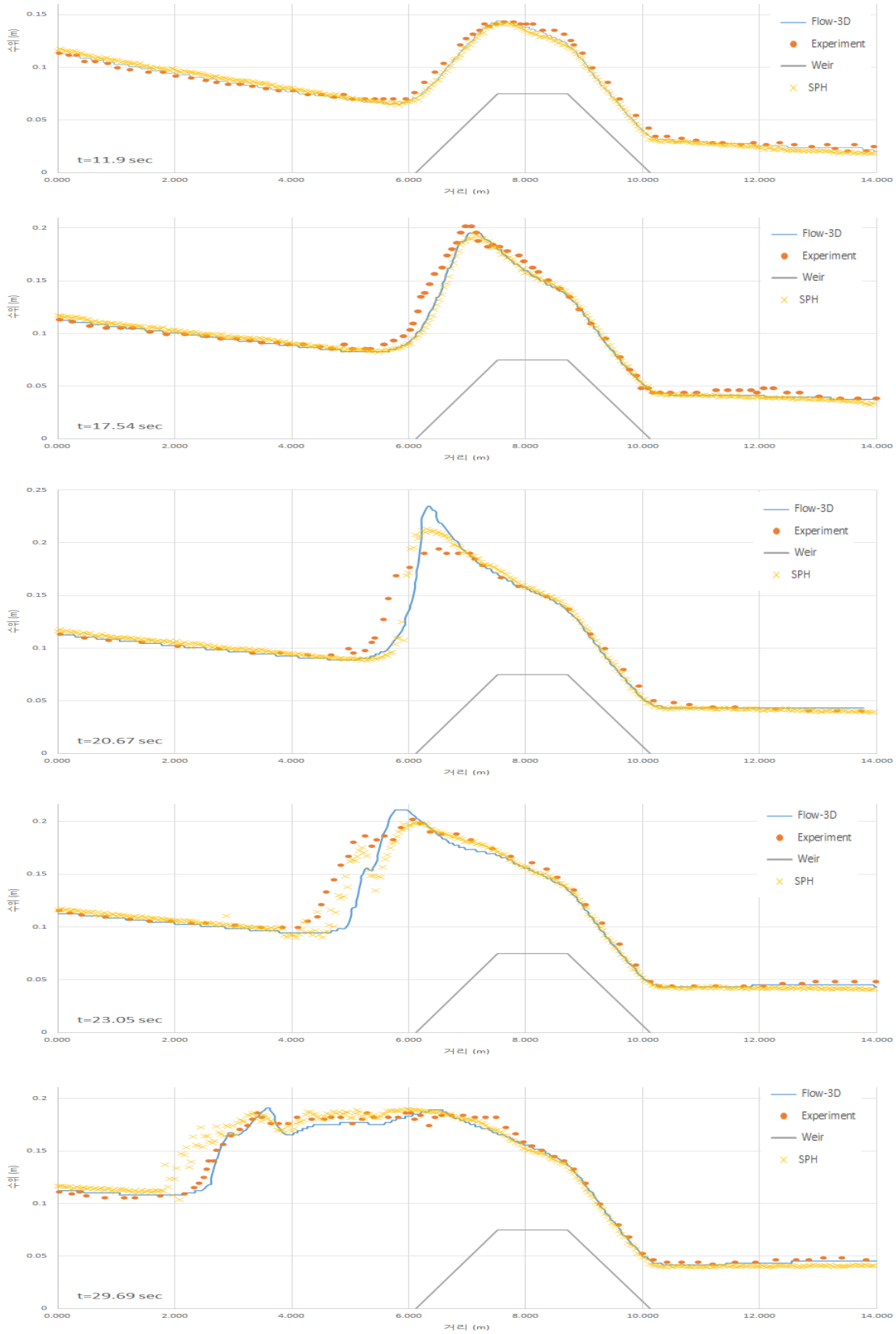


그림. 3 Comparison of computed free surface profiles with experimental data over channel with bottom sill at various points of time.

또한 상기 그림. 3에서 보는 바와 같이 자유표면상 계산값과 다양한 시간 단계의 사다리꼴 장애물의 하류부 건조한 하도로 전파하는 댐붕괴파의 실험데이터를 비교하였다.

비교된 실험데이터에서 장애물에 충돌로 넘치는 홍수파가 통과되면, 충돌지점의 상류 자유표면에서 반대파가 관찰이 되고 있는데, 계산된 자유표면 종단상에서 보면 수위값은 t=11.90, 17.54 시간대에서 정확하게 예측되고 있음을 확일 할 수 있다. 장애물에 충돌하는 t=20.67 시간대에는 부 단파가 형성되기 시작하고, 장애물 뒷편의 수위값은 계속해서 증가한다. 이때 SPH모형과 수리모형의 수위값은 동일하나 Flow-3D에서는 수위값이 다소 과하게 측정되고 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 t=23.05, 29.69 시간대에서도 SPH모형과 수리모형의 수위값이 비교적 정확하게 일치한다는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 VOF모형을 사용한 Flow-3D는 수리모형의 수위값은 다소 과소하게 평가되어 있음을 확인할 수 있었다. 즉, SPH모형이 VOF모형보다는 실험 결과에 정확도와 정확성면에서 잘 수렴되고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 SPH기법을 이용한 입자방식의 3차원 유체해석 시뮬레이션을 댐이 설치되어 있는 하류 하상에 보와 같은 장애물이 있는 건조한 하도로 전파하는 3차원 댐 붕괴파 해석을 위해 적용하였다. 그리고 해석결과를 모형실험자료 및 Flow-3D 격자방식 결과치와 비교 및 분석을 통하여 본 해석 알고리즘에 대한 정확도 및 적용성을 검증하였으며, 본 연구에 대한 주요 결론은 다음과 같다.

1) 댐 붕괴파 모의 결과 댐 붕괴로 인한 하류부에서의 최대수심과 발생시간은 Flow-3D모형에 비하여 SPH모형이 실제모형 실험 결과에 비교적 정확하게 예측하는 것으로 나타났다.
2) 하류에 장애물이 있으며 하상경사 및 마찰이 없는 건조한 하도로 전파하는 3차원 댐 붕괴파에 대한 해석결과는 모형실험 수치와 대분분 일치하여 입자방식에 의한 수치 모의에 대한 알고리즘의 정확성을 입증하였다.
3) 따라서, 3차원 입자방식의 유체해석 시뮬레이션은 댐 및 제방붕괴로 인한 연속 및 불연속 흐름 그리고 복잡한 지형조건을 형성하고 있는 일반적인 하상에서의 흐름해석에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.
4) 본 입자 방식에 의한 수계내에 설치되어 있는 댐이 붕괴될 경우 많은 하도내에 설치되어 있는 수공구조물 지점에서의 흐름 특성을 분석하고 이들의 시설물들이 붕괴되는 현상에 대하여 적용할 수 있음을 보여주었으며, 자연상태의 복잡한 지형형상의 다양한 변화에 따른 다른 모형 실험에 유용한 수치 모델과 비교 사용될 수 있을 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원으로부터 지원받은 국토해양기술연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 조광준 외4명(2013), “입자방식의 유체해석모형의 개발”, 수자원학회.
2. 김남형 외1명(2007), “SPH법을 이용한 물기둥 붕괴의 수치모의”, 대한토목학회논문집 제27권 제3B호 (2007. 5) pp.313-318
3. 김철호 외2명(2010), “SPH법을 이용한 해안에서의 2차원 비선형파 수치시뮬레이션”, 대한조선학회논문집 제47권 제4호 2010년 8월 pp.525-532
4. 김대근, 황건 (2011) 고정상 및 이동상 수로에서 댐 붕괴파의 3차원 수치해석, 대한토목학회 논

문집, 대한토목학회, 제31권, 제4B호, pp. 331-341.
5. 조용준, 김권수 (2008) 제체의 갑작스런 붕괴로 인한 충격파 수치해석 - SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)를 중심으로, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제28권, 제3B호, pp.261-270.
6. Ozmen-Cagatay, Hatice, and Selahattin Kocaman. "**Dam-break flow in the presence of obstacle: experiment and CFD simulation.**", Eng. Appl. Comput. Fluid Mech 5.4 (2011): 541-552.
7. Gomez-Gesteira, Moncho, et al. "**SPHysics - development of a free-surface fluid solver** - Part 1: Theory and formulations", Computers & Geosciences 48 (2012): 289-299.
8. Furnes, Kjartan. "**Flow in Pelton turbines.**" (2013).

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0093830
(43) 공개일자 2014년07월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 19/00 (2011.01) *G06T 17/05* (2011.01)
(21) 출원번호 10-2013-0005640
(22) 출원일자 2013년01월18일
심사청구일자 2013년01월18일

(71) 출원인
동남이엔씨(주)
인천 남동구 구월동 1106 에이동 3층
(72) 발명자
김철문
경북 포항시 북구 삼호로 149-4, (항구동)
이기선
서울 동작구 현충로 119, 109동 1501호 (흑석동, 명수대현대아파트)
손장훈
서울특별시 송파구 문정로 83 삼성래미안아파트 116동 1802호
(74) 대리인
특허법인 동원

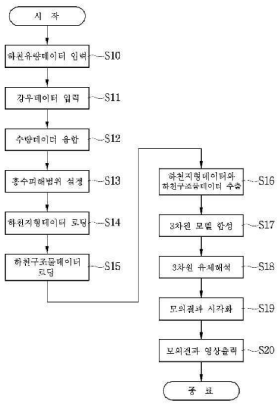
전체 청구항 수 : 총 2 항

(54) 발명의 명칭 **3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 하천에서 발생할 수 있는 홍수피해를 3차원 가상현실을 이용해서 모의하여 하천설계에 반영할 수 있도록 한 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 시스템 및 방법에 관한 것으로, 하천의 지형데이터를 저장하기 위한 하천지형데이터저장부(32)와, 하천의 구조물에 관한 데이터를 저장하기 위한 하천구조물데이터저장부(34)와, 하천유량데이터와 강우데이터를 입력하고 홍수피해범위를 설정하기 위한 입력장치(22)와, 입력장치(22)로부터 입력된 하천유량데이터와 강우데이터를 융합하여 수량데이터를 산출하기 위한 데이터연산부(20)와, 데이터연산부(20)로부터 융합된 수량데이터를 임시로 저장하기 위한 메모리(21)와, 입력장치(22)에 의해 설정된 홍수피해범위에 해당하는 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 상기 하천지형데이터저장부(32)와 하천구조물데이터저장부(34)로부터 추출하고 추출된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 기반으로 3차원모델링객체를 생성한 후 합성하며 합성된 3차원모델링객체와 융합된 수량데이터를 기반으로 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하기 위한 3차원모델링 워크스테이션(30)과, 3차원모델링 워크스테이션(30)에서 생성된 모의결과 영상을 출력하기 위한 컬러디스플레이장치(36)를 포함하여 구성된 것이다.

대 표 도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

하천의 지형데이터를 저장하기 위한 하천지형데이터저장부(32)와;

하천의 구조물에 관한 데이터를 저장하기 위한 하천구조물데이터저장부(34)와;

하천유량데이터와 강우데이터를 입력하고, 홍수피해범위를 설정하기 위한 입력장치(22)와;

상기 입력장치(22)로부터 입력된 하천유량데이터와 강우데이터를 융합하여 수량데이터를 산출하기 위한 데이터연산부(20)와;

상기 데이터연산부(20)로부터 융합된 수량데이터를 임시로 저장하기 위한 메모리(21)와;

상기 입력장치(22)에 의해 설정된 홍수피해범위에 해당하는 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 상기 하천지형데이터저장부(32)와 하천구조물데이터저장부(34)로부터 추출하고, 추출된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 기반으로 3차원모델링객체를 생성한 후 합성하며, 합성된 3차원모델링객체와 융합된 수량데이터를 기반으로 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하기 위한 3차원모델링 워크스테이션(30)과;

상기 3차원모델링 워크스테이션(30)에서 생성된 모의결과 영상을 출력하기 위한 컬러디스플레이장치(36)를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 시스템.

청구항 2

하천의 유량데이터와 강우데이터를 입력받아 수량데이터를 융합하는 단계;

설정된 홍수피해범위에 해당하는 데이터를 하천지형데이터와 하천구조물데이터로부터 추출하는 단계;

추출된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 기반으로 3차원모델링객체를 생성한 후 합성하는 단계;

합성된 3차원모델링객체와 융합된 수량데이터를 기반으로 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하여 영상으로 출력하는 단계로 이루어진 것을 특징으로 하는 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 하천에서 발생할 수 있는 홍수피해를 3차원 가상현실을 이용해서 모의하여 하천설계에 반영할 수 있도록 한 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 기후변화로 인한 홍수발생빈도와 그 피해규모는 해마다 증가하여 현재 우리나라를 비롯하여 지구촌은 매해 천문학적인 재산피해와 많은 수의 사망자를 기록하고 있다. 이러한 홍수가 발생하는 원인으로는 해안홍수, 돌발홍수, 도시홍수, 하천홍수와 같이 크게 4 종류로 분류할 수 있다.

[0003] 첫 번째, 해안홍수의 경우는 대부분 강한 호우를 동반한 태풍에 의해 발생되며, 많은 강우를 발생시키기도 하지만 바닷물을 지상으로 밀어 올려 모래사장이나 해안가에 위치한 건물들을 밀려온 바닷물에 의해 침수시키거나 휩쓸어버리기도 하며, 해양에서 발생한 화산폭발이나 지진 등으로 인해 유발되는 높은 파도인 쓰나미도 일종의 해안홍수에 해당되며 이러한 쓰나미는 내륙 깊숙한 지역까지 침투하여 대규모 인명피해를 낳기도 한다.

[0004] 두 번째, 돌발홍수는 경사가 급한 계곡에서 많은 비가 짧은 기간 동안에 집중될 때, 계곡에 모인 빗물이 쌓여 높은 수위의 홍수파를 형성한 후 순식간에 낮은 지역까지 흘러가서 발생되며, 첨단부에서의 높은 수위와 빠른 유속으로 계곡에 잔류하던 흙, 자갈, 바위, 나무 등이 빗물에 휩쓸려서 토석류(土石流) 형태로 흐르며, 짧은 시

간동안에 발생되기 때문에 특히 계곡에 머문 등산객이나 야영객의 인명피해가 크다.

[0005] 세 번째, 도시홍수는 빗물이 땅속으로 스며들지 못하는 콘크리트 구조물과 아스팔트 도로 등과 같은 불투수면에서 강우가 미처 배수되지 못하고 지하주차장, 저지대 도로, 지하철로, 지하실 등을 침수시키는 형태이며, 특히 도시홍수는 강우가 도시배수시설 처리능력 이상일 때 발생하며, 빗물에 쓸려 내려오는 도시쓰레기 등이 배수구를 막아 빗물배수를 어렵게 하면서 침수를 가중시키게 된다.

[0006] 네 번째, 하천홍수는 강을 따라 발생하는 자연적인 홍수로, 주로 우기에 많은 비가 내려 하천 제방이 월류되어 발생하며, 상류에 많은 비가 내릴 경우 비가 내리지 않은 하류의 제방이 월류되어 발생될 수도 있다.

[0007] 이러한 하천에서 발생하는 홍수피해는 큰 하천지역의 홍수 예측을 위해 설치된 우량계를 이용하는 기존의 방식으로는 홍수피해를 대비하는데 이미 한계를 드러내고 있다.

[0008] 이러한 대책으로 하천의 구조물적 홍수대처 방안에 대한 점검과 확충이 필요하나 현재에는 하천의 구조물과 하천 주변지형이 강우에 대비해 재해유형이 어떻게 발생되는가에 대한 평가가 제대로 이루어지지 않은 상태에서 건설되기 때문에 홍수로 인해 많은 피해를 낳고 있어 이에 대한 사전 평가시스템의 개발이 시급하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 이루어진 것으로, 그 목적은 3차원 유체 시뮬레이션을 활용하여 하천에서 발생할 수 있는 홍수피해를 가상현실공간에서 실사와 같은 피해상황을 모의하여 하천설계에 이용하도록 함으로써 홍수피해를 최소화할 수 있는 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 시스템 및 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 이러한 본 발명의 목적을 달성하기 위한 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 시스템은 하천의 지형데이터를 저장하기 위한 하천지형데이터저장부와, 하천의 구조물에 관한 데이터를 저장하기 위한 하천구조물데이터저장부와, 하천유량데이터와 강우데이터를 입력하고 홍수피해범위를 설정하기 위한 입력장치와, 입력장치로부터 입력된 하천유량데이터와 강우데이터를 융합하여 수량데이터를 산출하기 위한 데이터연산부와, 데이터연산부로부터 융합된 수량데이터를 임시로 저장하기 위한 메모리와, 입력장치에 의해 설정된 홍수피해범위에 해당하는 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 상기 하천지형데이터저장부와 하천구조물데이터저장부로부터 추출하고 추출된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 기반으로 3차원모델링객체를 생성한 후 합성하며 합성된 3차원모델링객체와 융합된 수량데이터를 기반으로 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하기 위한 3차원모델링 워크스테이션과, 3차원모델링 워크스테이션에서 생성된 모의결과 영상을 출력하기 위한 컬러디스플레이장치로 구성된 특징을 갖는다.

[0011] 본 발명에 따른 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 방법은 하천의 유량데이터와 강우데이터를 입력받아 수량데이터를 융합하는 단계, 설정된 홍수피해범위에 해당하는 데이터를 하천지형데이터와 하천구조물데이터로부터 추출하는 단계, 추출된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 기반으로 3차원모델링객체를 생성한 후 합성하는 단계, 합성된 3차원모델링객체와 융합된 수량데이터를 기반으로 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하여 영상으로 출력하는 단계로 구성된 특징을 갖는다.

발명의 효과

[0012] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명은 하천지형이나 구조물에 의해 발생될 수 있는 홍수피해규모 및 취약부를 가상현실공간에서 3차원 모델링으로 해석하고 시각화할 수 있도록 되어 있기 때문에 모의시험을 통해 적정한 설계치를 하천설계에 반영할 수 있게 되어 하천의 홍수피해를 최소화할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명에 따른 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 시스템을 보인 블록구성도

도 2는 본 발명에 따른 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 방법을 설명하기 위한 플로차트

도 3a 및 도 3b는 본 발명에서 하상과 하천 주변지형의 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 4a 및 도 4b는 본 발명에서 하천에서의 흐름을 모의한 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 5a 및 도 5b는 본 발명에서 하천구조물의 조건을 변경하면서 모의한 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 6a 및 도 6b는 본 발명에서 최적의 상태로 하천구조물을 재설계한 후 모의한 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하 본 발명에 따른 실시예를 첨부도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0015] 첨부도면 도 1은 본 발명에 따른 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 시스템을 보인 블록구성도로서, 이에 도시된 바와 같이 하천의 지형데이터를 저장하기 위한 하천지형데이터저장부(32)와, 하천의 구조물에 관한 데이터를 저장하기 위한 하천구조물데이터저장부(34)와, 하천유량데이터와 강우데이터를 입력하고 홍수피해범위를 설정하기 위한 입력장치(22)와, 입력장치(22)로부터 입력된 하천유량데이터와 강우데이터를 융합하여 수량데이터를 산출하기 위한 데이터연산부(20)와, 데이터연산부(20)로부터 융합된 수량데이터를 임시로 저장하기 위한 메모리(21)와, 3차원모델링 워크스테이션(30) 및 컬러디스플레이장치(36)로 구성된다.

[0016] 상기 3차원모델링 워크스테이션(30)은 입력장치(22)에 의해 설정된 홍수피해범위에 해당하는 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 상기 하천지형데이터저장부(32)와 하천구조물데이터저장부(34)로부터 추출하고 추출된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 기반으로 3차원모델링객체를 생성한 후 합성하며 합성된 3차원모델링객체와 융합된 수량데이터를 기반으로 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하는 기능을 수행하게 된다.

[0017] 또, 컬러디스플레이장치(36)는 컬러액정모니터, 모노크롬액정디스플레이, 영상투사기, 프로젝션화면 등으로 구성된 것이며, 3차원모델링 워크스테이션(30)에서 생성된 모의결과 영상을 출력하는 기능을 담당한다.

[0018] 상기 메모리(21)는 전원이 꺼지면 데이터를 잃어버리지만 읽고/쓰기 속도가 매우 빠른 휘발성메모리(RAM, random access memory)를 사용하여 구성할 수 있으며, 상기 입력장치(22)는 키보드, 키패드, 터치패드, 마우스, 터치스크린, 터치펜 중에서 하나 또는 하나 이상의 조합으로 구성할 수 있다.

[0019] 상기 하천지형데이터저장부(32)와 하천구조물데이터저장부(34)는 대용량의 데이터를 저장하기 위한 기계적인 하드디스크(HDD), 반도체 형태의 솔리드스테이트디스크(SSD), 테이프 드라이브, 광디스크 드라이브 중에서 하나 또는 하나 이상의 조합으로 구성할 수 있다.

[0020] 상기 3차원모델링 워크스테이션(30)은 3차원모델링만을 전문으로 수행하는 고성능 컴퓨터의 일종으로, 데이터연산부(20)는 하천유량데이터와 강우데이터만의 융합 및 입력출력을 담당하고, 3차원모델링 워크스테이션(30)는 3차원모델링과 합성 모의결과의 시각화 등 고속연산처리가 가능한 부분을 맡도록 한다.

[0021] 한편, 첨부도면 도 2는 본 발명에 따른 3차원 가상현실을 이용한 하천의 홍수피해 유체시뮬레이션 방법을 보인 플로차트로서, 이에 도시된 바와 같이 하천의 유량데이터와 강우데이터를 입력받아 수량데이터를 융합하는 단계(S10, S11, S12)와, 설정된 홍수피해범위에 해당하는 데이터를 하천지형데이터와 하천구조물데이터로부터 추출하는 단계(S13, S14, S15, S16)와, 추출된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 기반으로 3차원모델링객체를 생성한 후 합성하는 단계(S17)와, 합성된 3차원모델링객체와 융합된 수량데이터를 기반으로 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하여 영상으로 출력하는 단계(S18, S19, S20)로 이루어진다.

[0022] 즉, 도 2의 단계 S10, S11, S12에서 데이터연산부(20)는 입력장치(22)를 통해 하천의 유량데이터와 강우데이터를 입력받아 융합하여 수량데이터를 산출하게 된다.

[0023] 또, 도 2의 단계 S13에서 입력장치(22)를 통해 입력된 홍수피해범위에 대한 데이터를 바탕으로 도 2의 단계 S14, S15, S16에서 3차원모델링 워크스테이션(30)은 홍수피해범위에 해당하는 데이터를 하천지형데이터저장부(32)와 하천구조물데이터저장부(34)에 저장된 하천지형데이터와 하천구조물데이터로부터 추출한 다음 도 2의 단계 S17에서 추출된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 기반으로 3차원모델링객체를 생성한 후 합성하게 된다.

[0024] 또한, 도 2의 단계 S18, S19, S20에서 3차원모델링 워크스테이션(30)은 합성된 3차원모델링객체와 융합된 수량데이터를 기반으로 3차원 유체해석을 수행하게 되고, 이를 통해 모의결과를 시각화하여 컬러디스플레이장치(36)를 통해 영상으로 출력하게 된다.

[0025] 이하 본 발명에 따른 작용을 첨부된 도면에 의거하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0026] 첨부도면 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이 하천의 실시설계단계에서 홍수피해로 인한 하천의 흐름과 홍수피해 지역을 3차원으로 모의하여 하천설계에 반영하려는 경우 사용자가 3차원모의프로그램을 실행하게 되면, 도 2의 단계 “S10” 와 “S11” 에서 입력장치(22)를 통해 데이터연산부(20)로 하천유량데이터와 강우데이터를 입력하게 되면, 데이터연산부(20)는 도 2의 단계 “S12” 에서 하천유량데이터와 강우데이터를 융합하여 메모리(21)에 임시로 저장하게 된다.

[0027] 즉, 하천유량데이터와 강우데이터는 하천에서 모여서 흐르기 때문에 최종적으로 하나의 수량데이터로 간주하여 처리하기 위해 융합처리하게 된다.

[0028] 이후 도 2의 단계 “S13” 에서 입력장치(22)를 통해 데이터연산부(20)로 홍수피해범위를 설정하게 되면, 데이터연산부(20)는 설정된 홍수피해범위에 대한 데이터를 3차원모델링 워크스테이션(30)로 전송하게 된다.

[0029] 그 다음 3차원모델링 워크스테이션(30)는 전송된 홍수피해범위에 해당하는 부위를 하천지형데이터와 하천구조물데이터로부터 찾아내기 위해 도 2의 단계 “S14” 와 도 2의 단계 “S15” 에서 하천지형데이터저장부(32)와 하천구조물데이터저장부(34)로부터 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 읽어서 내장된 기억공간(도시생략)에 로딩한 다음 도 2의 단계 “S16” 에서 하천지형데이터와 하천구조물데이터로부터 홍수피해범위에 해당하는 부분을 추출하게 된다.

[0030] 이때 3차원모델링 워크스테이션(30)는 도 2의 단계 “S17” 에서 추출된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 기반으로 3차원모델링객체를 생성하고 합성하게 되며, 다시 도 2의 단계 “S18” 에서 합성된 3차원모델링객체와 융합된 수량데이터를 기반으로 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 산출한 다음 도 2의 단계 “S19” 에서 렌더링 과정을 통해 영상으로 볼 수 있는 시각화처리를 한 후 도 2의 단계 “S20” 에서 컬러디스플레이장치(36)를 통해 출력하게 된다.

[0031] 한편, 첨부도면 도3a 및 도3b는 본 발명에서 하상과 하천 주변지형의 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진으로서, 이에 도시된 바와 같이 하천지형데이터를 이용 하상과 주변지형을 모델링하여 컬러디스플레이장치(36)를 통해 3차원 시뮬레이션 영상으로 출력되면, 이를 이용해서 하상설계에 반영할 수 있게 된다.

[0032] 도 4a 및 도 4b는 본 발명에서 하천에서의 흐름을 모의한 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진으로서, 이에 도시된 바와 같이 하천지형데이터와 융합된 수량데이터를 이용 하천에서의 흐름을 모의하여 컬러디스플레이장치(36)를 통해 3차원 시뮬레이션 영상으로 출력되면, 이를 이용해서 하천의 흐름을 검토하여 문제구간을 도출한다.

[0033] 도 5a 및 도 5b는 본 발명에서 하천구조물에 의한 영향을 모의한 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진으로서, 이에 도시된 바와 같이 합성된 하천지형데이터와 하천구조물데이터를 이용 하천에서의 흐름을 모의하여 컬러디스플레이장치(36)를 통해 3차원 시뮬레이션 영상으로 출력되면, 이를 이용해서 하천구조물의 조건을 변화시키면서 문제구간의 영향을 검토하고, 구조물의 조건별 홍수피해 등을 파악하여 설계에 반영할 수 있다.

[0034] 즉, 3차원 시뮬레이션을 통해 홍수시 하천의 배수취약구간 검토, 강우강도에 따른 홍수피해범위 검토, 하천의 유역별 유출계수 효율성 검토, 쓰레기나 부유물의 이동경로 추적, 하천 주변지형이나 구조물의 침수피해부위 검토, 홍수위(평상시 수위, 계획 홍수위, 만조시간때 수위) 검토 등을 수행할 수 있게 된다.

[0035] 도 6a 및 도 6b는 본 발명에서 최적의 상태로 하천구조물을 재설계한 후 모의한 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진으로서, 이에 도시된 바와 같이 도 4a 및 도 4b에 파악된 홍수피해 취약부를 도출하고, 도 5a 및 도 5b를 통해 하천구조물의 조건중에 취약부를 가장 효과적으로 제어하는 최적의 안을 하천설계에 반영하여 재설계한 다음 모델링 한 후 컬러디스플레이장치(36)를 통해 재출력하게 되면, 이를 이용해서 홍수피해 최소화 및 예산절감 효과를 예측할 수 있다.

부호의 설명

[0036] 20 : 데이터연산부

21 : 메모리

22 : 입력장치

30 : 3차원모델링 워크스테이션

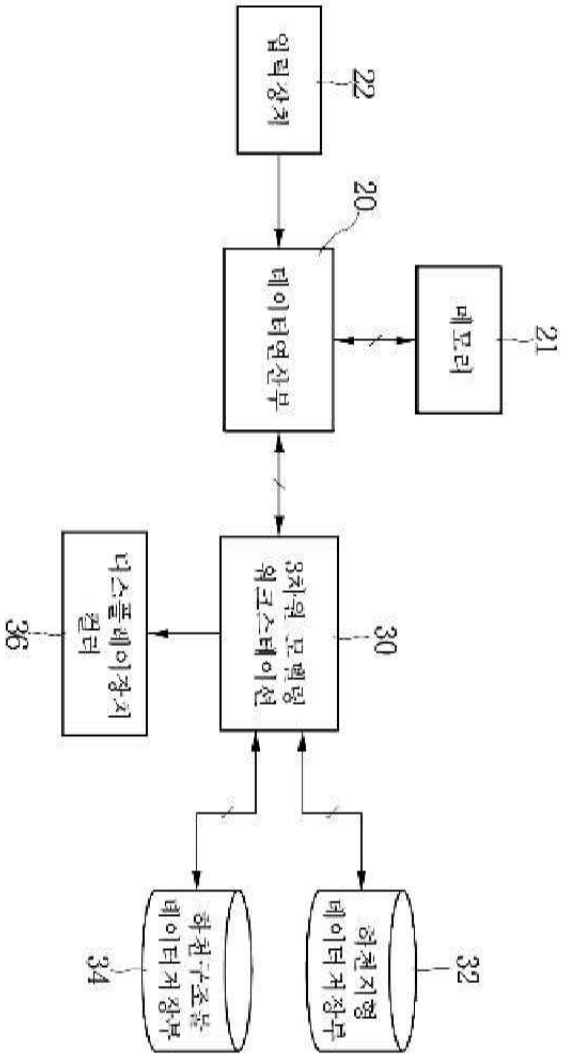
32 : 하천지형데이터저장부

34 : 하천구조물데이터저장부

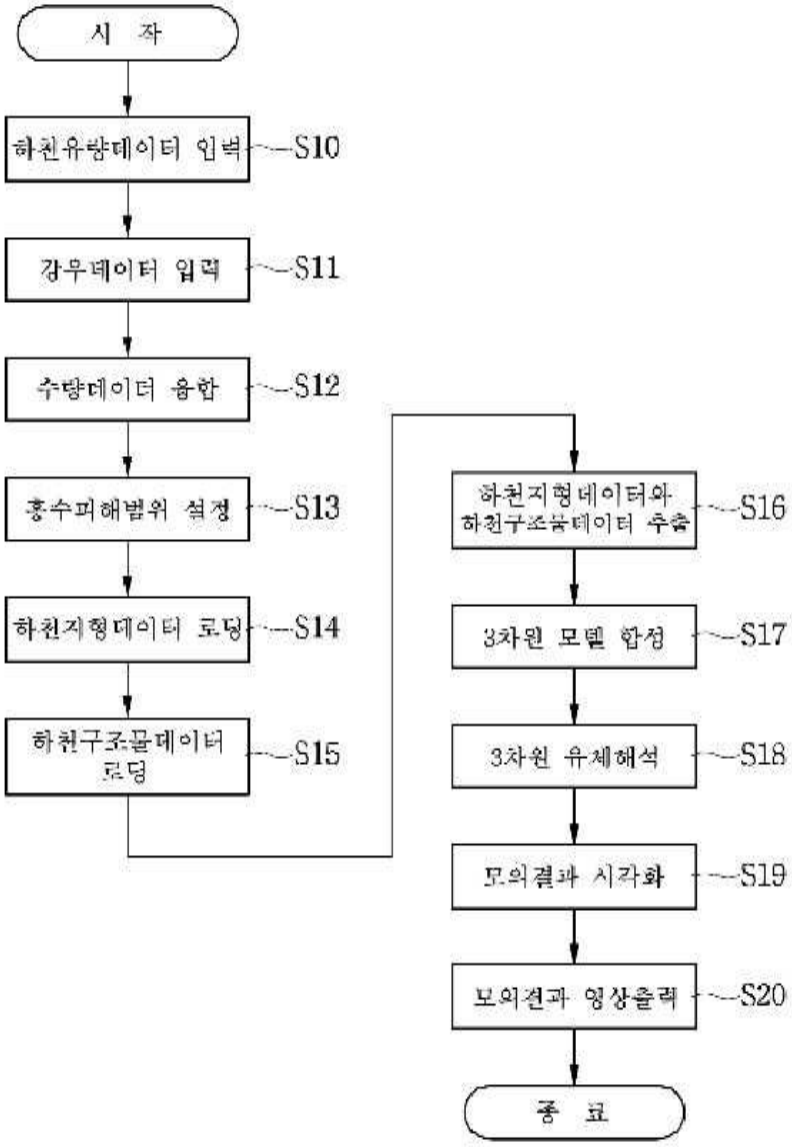
36 : 컬러디스플레이장치

도면

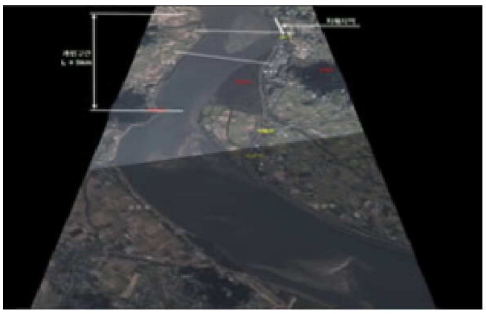
도면1



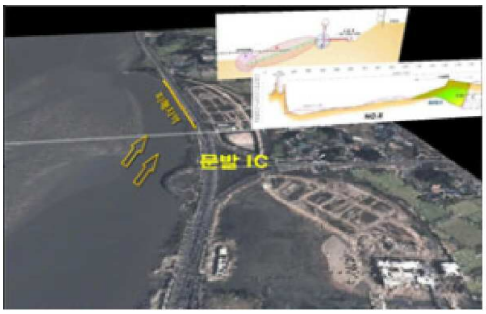
도면2


시 작
하천유량데이터 입력
S10
강우데이터 입력
S11
수량데이터 융합
S12
홍수피해범위 설정
S13
하천지형데이터 로딩
S14
하천구조물데이터 로딩
S15
하천지형데이터와 하천구조물데이터 추출
S16
3차원 모델 합성
S17
3차원 유체해석
S18
모의결과 시각화
S19
모의결과 영상출력
S20
종 료

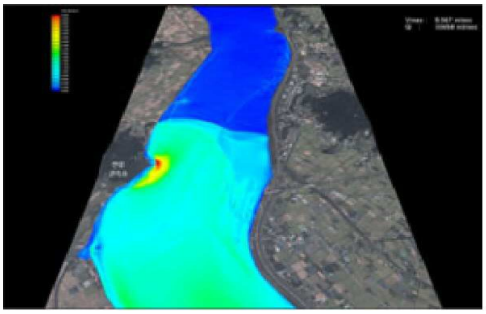
도면3a



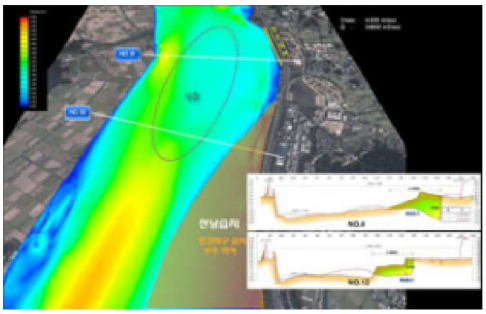
도면3b



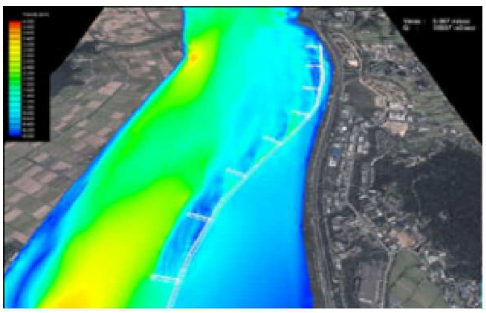
도면4a



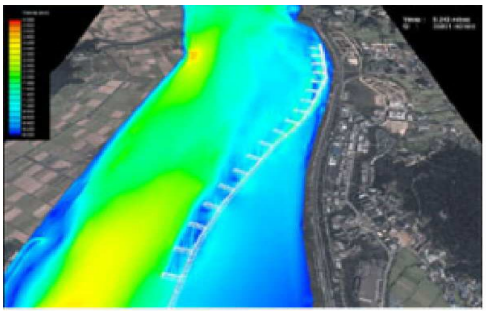
도면4b



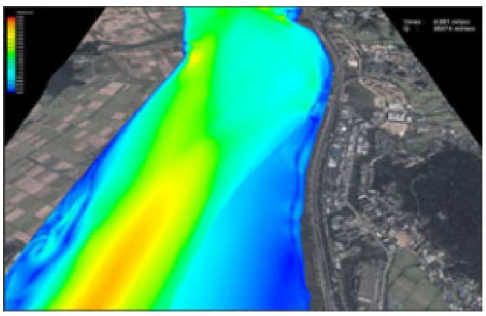
도면5a



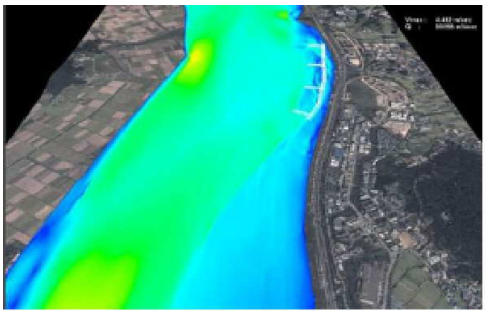
도면5b



도면6a



도면6b



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0093828
(43) 공개일자 2014년07월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 17/05 (2011.01)
(21) 출원번호 10-2013-0005627
(22) 출원일자 2013년01월18일
심사청구일자 2013년01월18일

(71) 출원인
동남이엔씨(주)
인천 남동구 구월동 1106 에이동 3층
(72) 발명자
김철문
경북 포항시 북구 삼호로 149-4, (항구동)
이기선
서울 동작구 현충로 119, 109동 1501호 (흑석동, 명수대현대아파트)
손장훈
서울특별시 송파구 문정로 83 삼성래미안아파트 116동 1802호
(74) 대리인
특허법인 동원

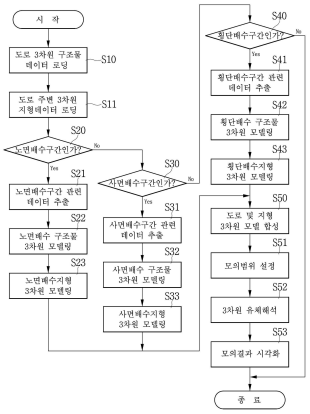
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 집중호우시 도로 배수구간인 노면배수구간, 사면배수구간, 횡단배수구간의 배수성능을 모의검증하기 위해 3차원 모델링으로 해석하고 시각화하여 도로설계에 반영할 수 있도록 한 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치 및 방법에 관한 것으로, 도로에 관한 3차원 구조물데이터를 저장하기 위한 도로데이터저장부(40)와, 도로에 관련된 3차원 지형데이터를 저장하기 위한 지형데이터저장부(42)와, 배수구간 선택과 모의범위를 설정하기 위한 입력장치(35)와, 입력장치(35)에 의해 선택된 배수구간에 관련한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 도로데이터저장부(40)와 지형데이터저장부(42)로부터 추출하기 위한 마이크로프로세서(30)와, 마이크로프로세서(30)로부터 추출된 배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 임시로 저장하기 위한 데이터메모리(34)와, 데이터메모리(34)에 저장된 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 모델링객체를 생성한 후 합성하고 설정된 모의범위 내에서 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하기 위한 3차원모델링프로세서(38)와, 3차원모델링프로세서(38)로부터 해석되어 시각화된 모의결과 영상데이터를 저장하기 위한 비디오메모리(36)와, 비디오메모리(36)에 저장된 영상을 출력하기 위한 영상출력장치(32)로 구성된 것이다.

대 표 도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

도로에 관한 3차원 구조물데이터를 저장하기 위한 도로데이터저장부(40)와;

도로에 관련된 3차원 지형데이터를 저장하기 위한 지형데이터저장부(42)와;

배수구간 선택과 모의범위를 설정하기 위한 입력장치(35)와;

상기 입력장치(35)에 의해 선택된 배수구간에 관련한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 도로데이터저장부(40)와 지형데이터저장부(42)로부터 추출하기 위한 마이크로프로세서(30)와;

상기 마이크로프로세서(30)로부터 추출된 배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 임시로 저장하기 위한 데이터메모리(34)와;

상기 데이터메모리(34)에 저장된 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 모델링객체를 생성한 후 합성하고, 설정된 모의범위 내에서 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하기 위한 3차원모델링프로세서(38)와;

상기 3차원모델링프로세서(38)로부터 해석되어 시각화된 모의결과 영상데이터를 저장하기 위한 비디오메모리(36)와;

상기 비디오메모리(36)에 저장된 영상을 출력하기 위한 영상출력장치(32)를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치.

청구항 2

도로에 관한 3차원 구조물데이터와 도로 주변의 3차원 지형데이터를 데이터메모리(34)에 저장하는 단계;

데이터메모리(34)에 저장된 도로 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터로부터 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 추출하는 단계;

추출된 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 구조물 모델링객체와 3차원 지형 모델링객체를 생성하는 단계;

생성된 3차원 구조물 모델링객체와 3차원 지형 모델링객체를 합성하고, 설정된 모의범위 내에서 3차원 유체해석을 실행하여 시각화하는 단계로 이루어진 것을 특징으로 하는 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 도로 및 지형에 관한 3차원데이터로부터 추출되는 배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터는 노면배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터인 것을 특징으로 하는 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서, 상기 도로 및 지형에 관한 3차원데이터로부터 추출되는 배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터는 사면배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터인 것을 특징으로 하는 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 방법.

청구항 5

제 2 항에 있어서, 상기 도로 및 지형에 관한 3차원데이터로부터 추출되는 배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터는 횡단배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터인 것을 특징으로 하는 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 집중호우시 도로 배수구간인 노면배수구간, 사면배수구간, 횡단배수구간의 배수성능을 모의검증하기 위해 3차원 모델링으로 해석하고 시각화하여 도로설계에 반영할 수 있도록 한 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 지구의 온난화로 인한 이상기후에 의해 강우패턴이 급격하게 변화되면서 국지성 집중호우로 인한 호우피해가 지구촌을 엄습하면서 매해 천문학적인 재산피해와 많은 수의 사상자를 기록하고 있다.

[0003] 현재 도로를 설계할 때 적용되는 강우강도는 최대 50년 빈도로 적용되고 있고, 산악지대에 설치된 도로의 경우에는 최대 100년까지 적용하고 있으나 단기간에 집중되는 최근의 호우패턴은 설계 빈도 100~200년을 간단히 넘는 경우가 허다하기 때문에 도로설계기준의 소폭개선에도 불구하고 피해는 계속 발생되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 이루어진 것으로, 그 목적은 도로실시설계 단계에서 집중호우로 인한 도로의 배수성능을 미리 모의함으로써 해석된 결과를 토대로 적정한 설계치를 도로설계에 반영하여 호우피해를 최소화할 수 있는 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치 및 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 이러한 본 발명의 목적을 달성하기 위하여 도로에 관한 3차원 구조물데이터를 저장하기 위한 도로데이터저장부와, 도로에 관련된 3차원 지형데이터를 저장하기 위한 지형데이터저장부와, 배수구간 선택과 모의범위를 설정하기 위한 입력장치와, 입력장치에 의해 선택된 배수구간에 관련한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 도로데이터저장부와 지형데이터저장부로부터 추출하기 위한 마이크로프로세서와, 마이크로프로세서로부터 추출된 배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 임시로 저장하기 위한 데이터메모리와, 데이터메모리에 저장된 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 모델링객체를 생성한 후 합성하고, 설정된 모의범위 내에서 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하기 위한 3차원모델링프로세서와, 3차원모델링프로세서로부터 해석되어 시각화된 모의결과 영상데이터를 저장하기 위한 비디오메모리와, 비디오메모리에 저장된 영상을 출력하기 위한 영상출력장치로 구성하여 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치가 제공된다.

[0006] 본 발명의 또 다른 양태에 따르면, 도로에 관한 3차원 구조물데이터와 도로 주변의 3차원 지형데이터를 데이터메모리에 저장하는 단계, 데이터메모리에 저장된 도로 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터로부터 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 추출하는 단계, 추출된 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 구조물 모델링객체와 3차원 지형 모델링객체를 생성하는 단계, 생성된 3차원 구조물 모델링객체와 3차원 지형 모델링객체를 합성하고, 설정된 모의범위 내에서 3차원 유체해석을 실행하여 시각화하는 단계로 구성하여 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 방법이 제공된다.

발명의 효과

[0007] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명은 도로의 배수구간인 노면배수구간, 사면배수구간, 횡단배수구간의 배수성능을 3차원 모델링으로 해석하고 시각화할 수 있도록 되어 있기 때문에 모의시험을 통해 적정한 설계치를 도로설계에 반영할 수 있게 되어 집중호우에 의한 호우피해를 최소화할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 본 발명에 따른 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치를 보인 블록구성도

도 2는 본 발명에 따른 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 방법을 설명하기 위한 플로차

트

도 3a는 본 발명에서 비가내리기 전 도로의 노면배수구간을 보이기 위한 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 3b는 본 발명에서 도로의 노면배수구간으로 집중호우가 내리는 것을 보이는 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 3c는 본 발명에서 도로와 지형으로부터 노면배수구간으로 우수가 흘러내리는 것을 보인 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 3d는 본 발명에서 지하차도의 노면배수구간에서의 배수상태를 보인 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 4a는 본 발명에서 도로 사면배수구간인 깍기부 도수로에서의 배수상태를 보인 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 4b는 본 발명에서 도로 사면배수구간인 도수로에서 유입되는 강우에 대한 깍기부 집수정에서의 배수상태를 보인 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 5a는 본 발명에서 도로 횡단배수구간인 수로암거와 배수관의 배수상태를 보인 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

도 5b는 본 발명에서 도로 횡단배수구간인 토석류차단시설을 보인 3차원 시뮬레이션 영상 캡쳐사진

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 이하 본 발명에 따른 실시예를 첨부도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0010] 첨부도면 도 1은 본 발명에 따른 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치를 보인 블록구성도로서, 이에 도시된 바와 같이 도로에 관한 3차원 구조물데이터를 저장하기 위한 도로데이터저장부(40)와, 도로에 관련된 3차원 지형데이터를 저장하기 위한 지형데이터저장부(42)와, 배수구간 선택과 모의범위를 설정하기 위한 입력장치(35)와, 입력장치(35)에 의해 선택된 배수구간에 관련한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 도로데이터저장부(40)와 지형데이터저장부(42)로부터 추출하기 위한 마이크로프로세서(30)와, 마이크로프로세서(30)로부터 추출된 배수구간에 관한 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 임시로 저장하기 위한 데이터메모리(34)와, 데이터메모리(34)에 저장된 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 모델링객체를 생성한 후 합성하고 설정된 모의범위 내에서 3차원 유체해석을 통해 모의결과를 시각화하기 위한 3차원모델링프로세서(38)와, 3차원모델링프로세서(38)로부터 해석되어 시각화된 모의결과 영상데이터를 저장하기 위한 비디오메모리(36)와, 비디오메모리(36)에 저장된 영상을 출력하기 위한 영상출력장치(32)로 구성한다.

[0011] 여기서, 데이터메모리(34)와 비디오메모리(36)는 전원이 꺼지면 데이터를 잃어버리지만 읽고/쓰기 속도가 매우 빠른 휘발성메모리(RAM, random access memory)를 사용하여 구성할 수 있으며, 상기 입력장치(35)는 키보드, 키패드, 터치패드, 마우스, 터치스크린, 터치펜 중에서 하나 또는 하나 이상의 조합으로 구성할 수 있다.

[0012] 상기 영상출력장치(32)는 컬러액정모니터, 모노크롬액정디스플레이, 영상투사기, 프로젝션화면 중에서 하나 또는 하나 이상의 조합으로 구성할 수 있다.

[0013] 상기 도로데이터저장부(40)와 지형데이터저장부(42)는 대용량의 데이터를 저장하기 위한 기계적인 하드디스크(HDD), 반도체 형태의 솔리드스테이트디스크(SSD), 테이프 드라이브, 광디스크 드라이브 중에서 하나 또는 하나 이상의 조합으로 구성할 수 있다.

[0014] 상기 3차원모델링프로세서(38)는 일종의 3차원모델링만을 전문으로 수행하는 프로세서이며, 마이크로프로세서(30)는 다른 제어명령을 수행하고, 이 3차원모델링프로세서(38)에 3차원모델링을 부여함으로써 실시간으로 출력결과를 매우 부드럽게 관찰할 수 있게 된다.

[0015] 한편, 첨부도면 도 2는 본 발명에 따른 도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 방법을 보인 플로차트로서, 이에 도시된 바와 같이 도로에 관한 3차원 구조물데이터와 도로 주변의 3차원 지형데이터를 데이터메모리(34)에 저장하는 단계(S10, S11)와, 데이터메모리(34)에 저장된 도로 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터로부터 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 추출하는 단계(S20, S21, S30, S31, S40, S41)와, 추출된 배수구간에 관련된 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 구조물 모델링객체와 3차원 지형 모델링객체를 생성하는 단계(S22, S23, S32, S33, S42, S43)와, 생성된 3차원 구조물 모델링객체와 3차원 지형 모델링객체를 합성하고, 설정된 모의범위 내에서 3차원 유체해석을 실행하여 시각화하는

단계(S50, S51, S52, S53)로 구성한다.

[0016] 상기 도 2의 단계 S10, S11에서 마이크로프로세서(30)는 도로 3차원 구조물데이터와 지형 3차원 지형데이터를 각각 도로데이터저장부(40)와 지형데이터저장부(42)로부터 액세스하여 데이터메모리(34)에 임시로 저장한다.

[0017] 또, 도 2의 단계 S20, S21, S30, S31, S40, S41에서 마이크로프로세서(30)는 데이터메모리(34)이 저장된 도로 3차원 구조물데이터와 지형 3차원 지형데이터로부터 모의시험하기 위한 배수구간인 노면배수구간(예; 길어깨 배수구간, 중앙분리대 배수구간), 사면배수구간(예; 흙쌓기, 깍기부), 횡단배수구간(예; 수로암거시설, 배수로, 토석류 차단시설) 중에서 하나를 입력장치(35)로부터 선택받아 선택된 해당 배수구간에 해당하는 3차원데이터를 도로 및 지형에 관한 3차원데이터로부터 추출한다.

[0018] 또한, 도 2의 단계 S22, S23, S32, S33, S42, S43에서 3차원모델링프로세서(38)는 추출된 노면배수구간, 사면배수구간, 횡단배수구간 중 하나의 배수구간에 해당하는 3차원 구조물데이터와 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 모델링객체를 생성한다.

[0019] 또, 도 2의 단계 S50, S51, S52, S53에서 3차원모델링프로세서(38)는 생성된 배수구간에 해당하는 3차원 구조물 모델링객체와 3차원 지형 모델링객체를 합성하고, 입력장치(35)로부터 입력된 모의범위내에서 3차원 유체해석을 통해 영상을 프레임 형태로 만든 다음 마이크로프로세서(30)와 영상출력장치(32)를 통해 출력한다.

[0020] 이하 본 발명에 따른 작용을 첨부된 도면에 의거하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0021] 첨부도면 도1 및 도2에 도시된 바와 같이 도로의 실시설계단계에서 집중호우에 의한 도로의 배수상태를 3차원으로 모의하여 도로설계에 반영하려는 경우 사용자가 3차원모의프로그램을 실행하게 되면, 마이크로프로세서(30)는 도 2의 단계 “S10”에서 도로데이터저장부(40)로부터 도로에 관한 3차원구조물 데이터를 액세스하여 데이터메모리(34)의 도로데이터 할당공간으로 로딩한 다음 도 2의 단계 “S11”에서 해당 도로에 관련된 주변의 3차원 지형데이터를 지형데이터저장부(42)로부터 액세스하여 데이터메모리(34)의 지형데이터 할당공간으로 로딩하게 된다.

[0022] 이후 마이크로프로세서(30)는 노면배수구간(예; 길어깨 배수구간, 중앙분리대 배수구간), 사면배수구간(예; 흙쌓기, 깍기부), 횡단배수구간(예; 수로암거시설, 배수로, 토석류 차단시설)을 모의하는 것을 입력장치(35)를 통해 입력받아 처리하게 되는데, 이때 단계 “S20”에서 사용자가 입력한 정보가 노면배수구간을 모의하는 것으로 판정되면, 마이크로프로세서(30)는 도 2의 단계 “S21”에서 데이터메모리(34)에 저장된 도로에 관련된 3차원 구조물 데이터와 3차원 지형데이터로부터 노면배수구간에 관련된 구조물데이터와 노면배수구간에 관련된 지형데이터를 추출한 다음 3차원모델링프로세서(38)를 경유하여 비디오메모리(36)에 저장한 후 3차원모델링프로세서(38)에 3차원 모델링객체 생성을 명령하게 된다.

[0023] 그 다음 도 2의 단계 “S22”에서 3차원모델링프로세서(38)는 비디오메모리(36)에 저장된 노면배수구간 관련 3차원 도로데이터를 바탕으로 3차원 모델링 객체를 메시(mesh)형태로 생성하게 되며, 도 2의 단계 “S23”에서 노면배수구간 관련 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 모델링 객체를 생성하게 된다.

[0024] 또, 단계 “S30”에서 사용자가 입력한 정보가 사면배수구간을 모의하는 것으로 판정되면, 마이크로프로세서(30)는 도 2의 단계 “S31”에서 데이터메모리(34)에 저장된 도로에 관련된 3차원 구조물 데이터와 3차원 지형데이터로부터 사면배수구간에 관련된 구조물데이터와 사면배수구간에 관련된 지형데이터를 추출한 다음 3차원모델링프로세서(38)를 경유하여 비디오메모리(36)에 저장한 후 3차원모델링프로세서(38)에 3차원 모델링객체 생성을 명령하게 된다.

[0025] 이후 도 2의 단계 “S32”에서 3차원모델링프로세서(38)는 비디오메모리(36)에 저장된 사면배수구간 관련 3차원 도로데이터를 바탕으로 3차원 모델링 객체를 메시(mesh)형태로 생성하게 되며, 도 2의 단계 “S33”에서 사면배수구간 관련 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 모델링 객체를 생성하게 된다.

[0026] 또한, 단계 “S40”에서 사용자가 입력한 정보가 횡단배수구간을 모의하는 것으로 판정되면, 마이크로프로세서(30)는 도 2의 단계 “S41”에서 데이터메모리(34)에 저장된 도로에 관련된 3차원 구조물 데이터와 3차원 지형데이터로부터 횡단배수구간에 관련된 구조물데이터와 횡단배수구간에 관련된 지형데이터를 추출한 다음 3차원모델링프로세서(38)를 경유하여 비디오메모리(36)에 저장한 후 3차원모델링프로세서(38)에 3차원 모델링객체 생성을 명령하게 된다.

[0027] 그 다음 도 2의 단계 “S42”에서 3차원모델링프로세서(38)는 비디오메모리(36)에 저장된 횡단배수구간 관련 3차원 도로데이터를 바탕으로 3차원 모델링 객체를 메시(mesh)형태로 생성하게 되며, 도 2의 단계 “S43”에서

횡단배수구간 관련 3차원 지형데이터를 바탕으로 3차원 모델링 객체를 생성하게 된다.

[0028] 한편, 3차원모델링프로세서(38)는 도 2의 단계 “S50”에서 앞에서 생성된 도로 및 지형에 관한 3차원 모델을 합성한 다음 대기하게 되며, 도 2의 단계 “S51”에서 마이크로프로세서(30)는 생성된 3차원 모델링객체에서 집중호우에 의한 각 시설의 배수성능을 모의하기 위한 범위를 입력장치(35)를 통해 사용자로부터 입력받아 3차원 모델링프로세서(38)로 전송하게 된다.

[0029] 이후 3차원모델링프로세서(38)는 도 2의 단계 “S52”에서 모의범위를 바탕으로 초기조건과 경계조건을 설정하여 수치연산에 의해 3차원 유체해석을 실행하게 되며, 도 2의 단계 “S53”에서 3차원모델링프로세서(38)는 3차원 시뮬레이션 영상을 생성한 후 영상을 프레임 형태로 렌더링하여 시각화한 후 영상데이터를 마이크로프로세서(30)로 전송하게 되며, 마이크로프로세서(30)는 생성된 모의결과를 영상출력장치(32)를 통해 출력하게 된다.

[0030] 이와 같은 초기조건은 예컨대, 강우강도, 시간당 강우량, 최대강우량, 최대강우량의 집중시간설정(예, 10분, 20분), 노면 및 주변지형의 유출계수, 노면과 유체입자 간의 마찰계수, 집수정 그레이팅의 배수효율, 집수거 길이당 집수효율 등으로 설정될 수 있다.

[0031] 또, 첨부도면 도3a 내지 도3d에 도시된 바와 같이 노면배수구간을 모의하는 경우 영상출력장치(32)를 통해 도로의 노면배수구간을 통해 배수되는 화면이 3차원 영상으로 출력되며, 첨부도면 도4a 및 도4b에 도시된 바와 같이 사면배수구간을 모의하는 경우 영상출력장치(32)를 통해 도로의 사면배수구간을 통해 배수되는 화면이 3차원 영상으로 출력되고, 첨부도면 도5a 및 도5b에 도시된 바와 같이 횡단배수구간을 모의하는 경우 영상출력장치(32)를 통해 도로의 횡단배수구간을 통해 배수되는 화면이 3차원 영상으로 출력된다.

[0032] 첨부도면 도3a 내지 도3d에 도시된 바와 같이 영상출력장치(32)를 통해 노면배수구간에 해당하는 3차원 시뮬레이션 영상이 출력되는 경우 검토하여 설계에 반영할 수 있는 내용으로는 예를 들어서, 노면강우량(강우강도) 검토, 길어깨 및 중분대 측의 월류여부 검토, 오목구간 및 우수 집중구간의 예측, 노면수의 모의산정에 의한 유량변화 및 유속변화 데이터 추출, 선배수, 집수정 및 도수로 간격 조정 등에 의한 배수개선대책안 검토 등을 수행할 수 있게 된다.

[0033] 첨부도면 도4a 및 도4b에 도시된 바와 같이 영상출력장치(32)를 통해 사면배수구간에 해당하는 3차원 시뮬레이션 영상이 출력되는 경우 검토하여 설계에 반영할 수 있는 내용으로는 예를 들어서, 도수로의 지점별 유속, 유량, 용량검토, 사면 구조물의 유입량 계산, 도수로에 연결되는 집수정의 통수능력 및 월류 여부 검토 등을 수행할 수 있게 된다.

[0034] 첨부도면 도5a 및 도5b에 도시된 바와 같이 영상출력장치(32)를 통해 횡단배수구간에 해당하는 3차원 시뮬레이션 영상이 출력되는 경우 검토하여 설계에 반영할 수 있는 내용으로는 예를 들어서, 암거사이즈 변경시 효과검증, 토석류 차단시설 설치시 효과 및 적정위치 검토, 유입 및 유출부 모의산정(실시간으로 수위변화 검토) 등을 수행할 수 있게 된다.

[0035] 위와 같은 모의 결과를 토대로 도로 편경사에 따른 노면수 정체구간의 산정 및 대책 수립, 도로 종단 및 횡단경사에 따른 우수정체구간의 도출, 도로 확장구간의 배수 검토 및 개선방안 도출(LCS 차로 구간, 기존도로 확장구간), 대 절토부의 집중호우 시 우수의 도로 유입량산정(절개사면 및 산마루 측구 효율검토), 터널 유입부의 절개면 배수 집중수 처리 방안 도출, 집수정 설치구간의 집수정 효율검토, 교량 구간의 배수 적정성 검토, 횡 배수 시설의 상시 토사 퇴적 및 토석류 유입 시 토석류 량에 따른 배수검토, IC, JC 등 입체 교차로의 실질적인 배수검토, 지하차도 등 구조물 배수의 효율성 검토, 기존 배수구조물의 설계법 개선에 대한 효과 검증, 터널 내 배수시설의 효과검증 등에 이용할 수 있게 된다.

부호의 설명

[0036] 30 : 마이크로프로세서

32 : 영상출력장치

34 : 데이터메모리

35 : 입력장치

36 : 비디오메모리

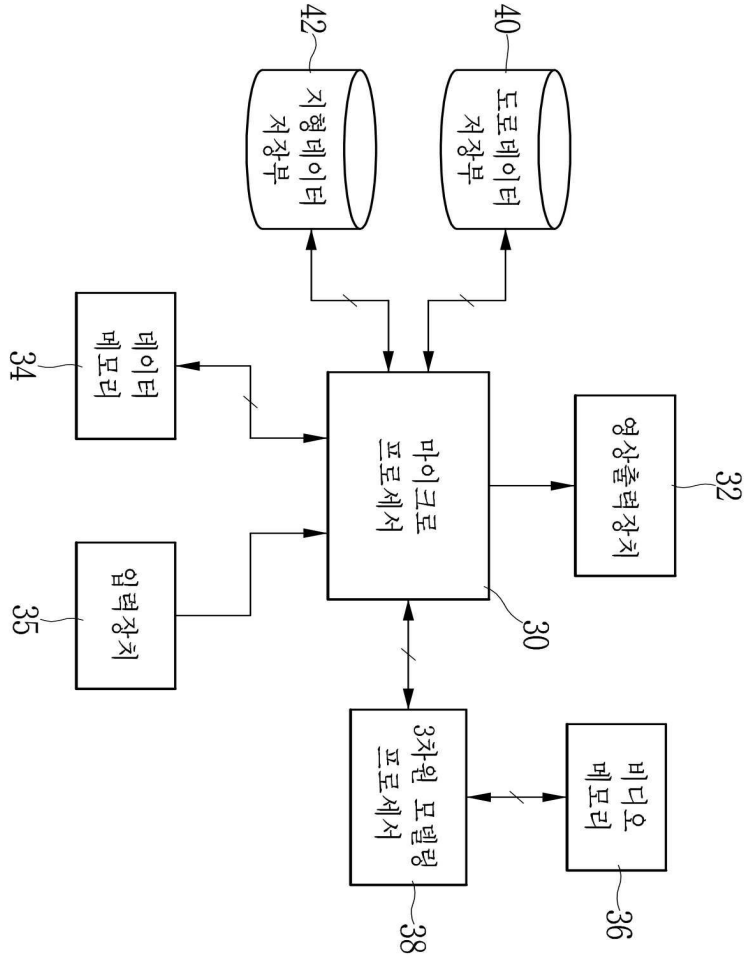
38 : 3차원모델링프로세서

40 : 도로데이터저장부

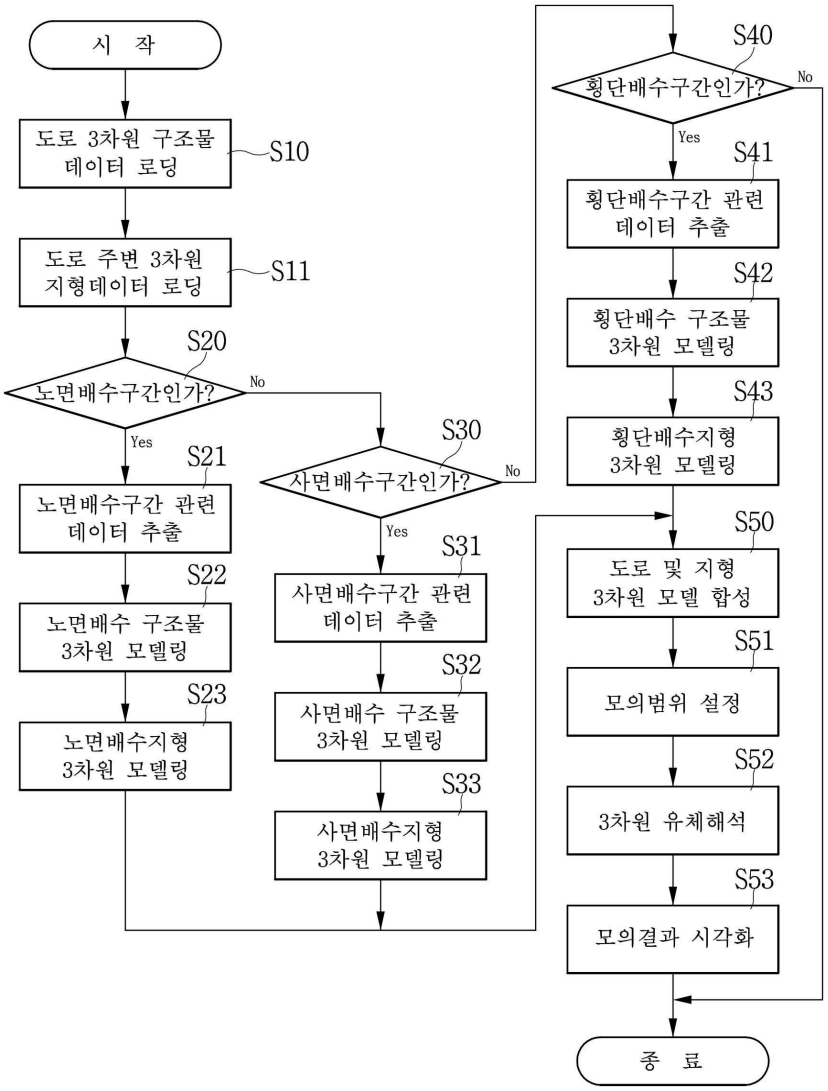
42 : 지형데이터저장부

도면

도면1



도면2


시 작
도로 3차원 구조물 데이터 로딩
S10
도로 주변 3차원 지형데이터 로딩
S11
S20
노면배수구간인가?
No
Yes
S21
노면배수구간 관련 데이터 추출
S22
노면배수 구조물 3차원 모델링
S23
노면배수지형 3차원 모델링
S30
사면배수구간인가?
No
Yes
S31
사면배수구간 관련 데이터 추출
S32
사면배수 구조물 3차원 모델링
S33
사면배수지형 3차원 모델링
S40
횡단배수구간인가?
No
Yes
S41
횡단배수구간 관련 데이터 추출
S42
횡단배수 구조물 3차원 모델링
S43
횡단배수지형 3차원 모델링
S50
도로 및 지형 3차원 모델 합성
S51
모의범위 설정
S52
3차원 유체해석
S53
모의결과 시각화
종 료

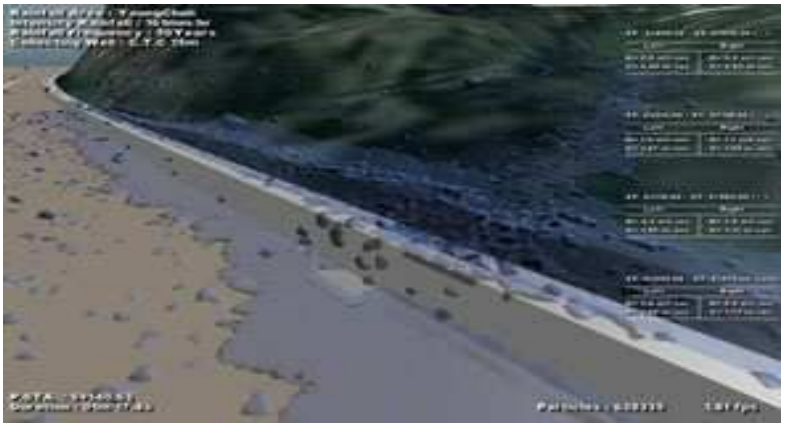
도면3a



도면3b



도면3c



도면3d



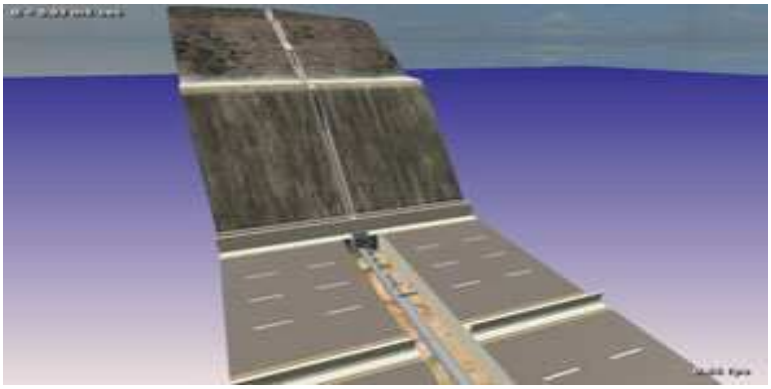
도면4a



도면4b



도면5a



도면5b



관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2015.09.23
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(KP15570)
출 원 번 호	10-2015-0134273 (접수번호 1-1-2015-0925634-32)
출원인 명칭	동남이엔씨(주)(1-2000-054929-0)
대리인 성명	김수진(9-2000-000441-7)
발명자 성명	이기선 손장훈 신창수
발명의 명칭	홍수발생시 도로 및 하천으로 유입되는 빗물의 흐름을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 시스템 및 이를 이용한 시뮬레이션 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 Patent Number	제 10-1508603 호
출원번호 Application Number	제 10-2013-0005627 호
출원일 Filing Date	2013년 01월 18일
등록일 Registration Date	2015년 03월 30일

발명의 명칭 Title of the Invention

도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치 및 방법

특허권자 Patentee

동남이엔씨(주)(141211-0****)**
인천 남동구 구월동 1106 에이동 3층

발명자 Inventor

등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2015년 03월 30일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

등 록 사 항

특 허 **등록 제 10-1508603 호**

Patent Number

발명자 Inventors

김철문(530327-1****)**
경북 포항시 북구 삼호로 149-4, (항구동)

이기선(550612-1****)**
서울 동작구 현충로 119, 109동 1501호 (흑석동, 명수대현대아파트)

손장훈(590705-1****)**
서울특별시 송파구 문정로 83 삼성래미안아파트 116동 1802호

발급번호 : 5-5-2015-025426748

특허등록원부

특 허 번 호	제 1508603 호

[권 리 란]

표시번호	등 록 사 항			
1번	출원연월일	2013년 01월 18일	출원번호	2013-0005627
	특허결정(심결)연월일	2015년 03월 23일	청구범위의 항수	2
	유 별	G06T 17/05		
	발명의 명칭	도로의 배수 성능을 모의하기 위한 3차원 유체 시뮬레이션 장치 및 방법		
	존속기간(예정)만료일	2033년 01월 18일		
		2015년 03월 30일 등록		

[특 허 료 란]

제 01 - 03 년분 (2015.03.30 ~ 2018.03.30) 금 액 36,900 원(중기업)	2015년 03월 30일 납입

[특 허 권 자 란]

(최종권리자)
동남이엔씨(주) (141211-0******)
인천 남동구 구월동 1106 에이동 3층

순위번호	등 록 사 항
1번	(등록권리자) 동남이엔씨(주)(141211-0******) 인천 남동구 구월동 1106 에이동 3층 2015년 03월 30일 등록

이 등본(초본)은 등록원부와 틀림이 없음을 증명합니다.
(제 000071092 호)

2015년 04월 06일

특 허 청 장

1

◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-온라인제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

제 C-2014-016496 호

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭) Fluid Simulation System(3차원 유체시뮬레이션)
2. 저작자 성명 (법인명) 동남이엔씨 주식회사 인천광역시 남동구 문화서로 3. 생년월일 (법인등록번호) 141211-0010739

4. 창작연월일 2014년06월25일

5. 공표연월일 -

6. 등록사항 저작자 : 동남이엔씨 주식회사, 창작 : 2014.06.25

7. 등록연월일 2014년07월03일

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2014년 07월 03일

한국저작권위원회

제 C-2015-024007 호

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭)	KSWM(Korea Shallow Water Modeling system), 한국형 하천흐름모델링 시스템		
2. 저작자 성명 (법인명)	주식회사 이엔지소프트 서울특별시 금천구 벚꽃로	3. 생년월일 (법인등록번호)	121111-0220368
4. 창작연월일	2015년06월01일		
5. 공표연월일	-		
6. 등록사항	저작자 : 주식회사 이엔지소프트, 창작 : 2015.06.01		
7. 등록연월일	2015년10월15일		

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2015년 10월 19일

한 국 저 작 권 위 원 회