

15AWMP
-C104709
-01

극한 수재해 대응을 위한 다단식 다기능 하단배출형
가동보 수문 시스템 개발 최종보고서

2018

국토교통과학기술진흥원
국 토 교 통 부

Development of lower discharge type movable
weir for reduction of flood damage R&D Report

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
물관리연구사업 제3차 연도 최종보고서

R&D /
15AWMP-C104709-01

극한 수재해 대응을 위한 다단식 다기능 하단배출형 가동보 수문시스템 개발 최종보고서

2018. 06. 29.

주관연구기관 / 상지대학교 산학협력단
공동연구기관 / 삼화건설환경(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

'극한 수재해 대응을 위한 다단식 다기능 하단배출형 가동보 수문시스템 개발'(연구개발 기간 : 2015. 09. 15. ~ 2018. 06. 14.) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2018. 08. 27.

주관연구기관명 : 삼지대학교 산학협력단 (대표자) 이 무 천 (인)



공동연구기관명 : 삼화건설환경㈜ (대표자) 한 경 희 (인)



주관연구기관책임자: 최 흥 식



공동연구기관책임자: 한 일 영



국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

[illegible]

〈 국문요약문 〉

연구의 목적 및 내용	• 극한 수재해 대응의 노후된 하천 시설물의 개선을 위한 대안으로 다단식 다기능 하단 배출식 가동보 수문시스템의 개발을 통해 기존 하천시설물에 의한 퇴적토사 배출의 수질오염 문제와 더불어 고유기능인 이·치수적 능력 증대를 도모함 • 더불어 이수·치수 기능과 함께 생태적 연결성이 확보된 친환경적 하천 시설물 설계 기술을 개발함으로써 홍수피해 저감과 함께 갈수시에도 깨끗하고 풍부한 용수확보가 가능함 • 본 연구에서는 산·학 협력을 통한 신뢰성 있는 기술검증이 이루어진 하천 시설물 설계기술과 모형 (시제품)을 개발하고자 함 • 저수구간의 수위조절과 유속제어에 의한 안정적 취수량 확보와 홍수시 목표지점 홍수위 저감 • 다단식 하단 배출형 가동보의 하상 퇴적토 배출에 의한 수질 개선이 가능한 전자동식 shutter box 가동보 개발 • 저수 및 분배에 의한 치수 성능을 고려한 다단식 가동보의 성능향상을 위한 최적 규모/배치 설계 방안과 최적 운전 기법 개발 • 다단식 다기능 하단 배출형 가동보 수문 시스템의 제시				
연구개발성과	• 하단 배출형 가동보 모형 - 수위조절, 하상퇴적물 배출, 부유물 filtering, 홍수예방, 안정적 저수량 확보를 목적으로 함 • 다단식 다기능 하단 배출형 가동보 수문시스템 설계보고서 제시 - 홍수예방, 취수원의 확보, 수질개선을 목적으로 함				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 제작된 모형의 원형실험을 통하여 다단식 다기능 하단 배출형 가동보 수문시스템의 성능을 검증 • 지자체 제안으로 시범사업을 유도하고 상용화를 추진. • 특허 및 신기술 인증을 획득하여 국내에서 추진 중인 하천정비사업, 하천복원사업, 수계치수사업, 노후된 하천 시설물의 성능개선 및 개량 사업 등에 활용 • 해외 개발도상국 (동남아시아, 아프리카 등)의 농업용수, 식수난 해결을 위한 사업에 활용 • 보 상부를 교량으로 이용함으로써 좌·우안 연결성 확보 • 연간 4천억 규모의 수리시설 관련 예산에서 수리시설 개·보수 부분의 약 10% 예산 절감 • 보 상류의 정체 수역과 퇴적토사 제거를 통한 하천 수질의 개선 • 수자원 분야 (용수이용, 하천, 자연재해 모니터링·예측·대응기술)의 기술수준과 기술격차 향상을 가져올 것으로 기대				
핵심어 (5개 이내)	다단식 하단배출형 가동보 수문시스템	Shutter box 가동보	저류량 극대화	홍수피해 저감	수질개선

< SUMMARY >

Purpose & Contents	• The intrinsic functions of river which are water use and water control would be improved through the development of a series of lower discharge type shutter box movable weirs as an alternative way of the upgrade of old hydraulic structures. • To minimize the flood damages and secure an abundant water for use through a development of design technology of hydraulic structures with a function of ecological connection. • Need to develop a verified design technology for hydraulic structures through consortium of industry-academic cooperation. • To develop a series of lower discharge type shutter box movable weir with features of control of water level and flow velocity, flushing out the sludge on river bed, improvement of water quality, and having a good water intake. • To develop a technique on the sizing and layout of a series of lower discharge type movable weir for the optimized performance of a storage and distribution. • To prepare a user's manual on a series of lower discharge type shutter box movable weir.				
Results	• A pilot model on the lower discharge type shutter box movable weir. • Reports of design and user's manual on the lower discharge type shutter box movable weir				
Expected Contribution	• A performance verification of the lower discharge type shutter box movable weir through a pilot model experiment. • To carry forward a commercialization by offering a pilot project to a local government. • To utilize the developed technology for the projects such as river maintenance and improvement, water system improvement, performance improvement of old hydraulic structures through acquiring patents and new technology certificates. • To utilize the developed technology for the projects such as an irrigation, and a supplying drinking water of underdeveloped countries. • To utilize the upper part of the shutter box movable weir as a walkway by connecting the left and right bank. • To reduce a budget, which reaches to 0.4 billion dollars a year, by 10% for hydraulic structures renovation. • The improvement of water quality through a sludge removal on river bed. • To expect an improvement of level of technology in the field of water resources market such as a water utilization, a river planning, a natural disaster response.				
Keywords	A series of lower discharge type movable weir system	Shutter box movable weir	Maximize the storage	Minimize the flood damages	Improvement of water quality

< Contents >

1. Outline	7
2. A state of the art reviews for the domestic and the abroad	9
3. Contents and achievements	11
4. Accomplishment and its contribution	49
5. Application plan	51
6. Overseas science and technology informations collected during the research process	52
7. Degree of preservation for R&D achievements	53
8. Research facilities and equipments registered in the National Science and Technology Comprehensive Information System	54
9. Implementation of safety measures in laboratories due to R&D tasks	55
10. Representative research achievements of R&D tasks	57
11. Others	58
12. Bibliography	59

< 목 차 >

1. 연구개발 과제의 개요	7
2. 국내·외 기술 개발 현황	9
3. 연구 수행 내용 및 성과	11
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	49
5. 연구개발 성과의 활용 계획	51
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	52
7. 연구개발 성과의 보안등급	53
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	54
9. 연구개발 과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	55
10. 연구개발 과제의 대표적 연구 실적	57
11. 기타 사항	58
12. 참고 문헌	59

제1장 연구개발 과제의 개요

1. 연구개발 목적

- 하천 저류량 확보를 위한 수위조절, 홍수위 저감, 하상 퇴적토 배출 성능이 우수한 가동보 시제품 개발
- 목표 저류량과 하류단 목표 홍수위를 위한 구간별 보에서의 관리수위 결정에 의한 이·치수와 퇴적토사 배출 성능향상의 최적 운전 기법개발

2. 연구개발의 필요성

- 저류량 확보, 홍수위 저감과 퇴적토 배출 향상을 위한 수위 자동조절 시설물 설치 필요
 - 기후변화에 의한 극한 가뭄과 지형학적 여건으로 하천 유황이 불안정하여 갈수시 저류량 확보와 관리가 취약
 - 돌발호우 빈도 증가로 홍수 피해 급증
 - 하상토 퇴적의 수질악화, 수생태계 파괴와 홍수위 상승으로 치수능력 저하
- 국내 수리구조물 (고정보, 가동보)의 문제점
 - 수문의 수동조작으로 인하여 연간 3,200억원의 유지관리비 발생
 - 수문 및 조작장치의 수로 내 고착으로 인한 홍수 시 통수단면 20% 이상 감소
 - 고정보 및 전도식 가동보는 하상토 퇴적으로 수질악화와 홍수위 상승 유발
- 해결방안 (가동보 개발 방향)
 - 무동력식 자동수문으로 수위 자동조절에 의한 저류능력 향상
 - 홍수 시, 통수단면을 극대화할 수 있는 수문개방 및 거치방식 개발에 의한 홍수위 저감
 - 하상토를 저장하였다가, 하단 방류시 자동 배출방식 개발
 - 다단식 최적운전에 의한 갈수시 저수율 10% 및 홍수시 홍수위 저감을 10% 향상과 하상토 배출을 50%를 향상 기법

3. 연구개발 범위

연차	연구 목표	주요 연구내용
1차년도	• 저류효과 극대화 기법	· 다단식 다기능 하단배출형 가동보에 따른 수리특성 분석 - 다단식 다기능 가동보 유사연구 사례 조사 - 실내실험을 통한 유량계수, 수위-유량관계식 분석 · 저류능력 분석 - 관리수위별 및 갈수기 (90일)의 저류능력 분석
	• 하단배출형 가동보 시제품 설계와 제작	· 국내·외 기술동향과 차별화 검토 · 가동보 시제품 설계 및 제작 - 개념설계 - Shutter box 수문 시제품 설계, 제작 및 설치
2차년도	• 다단식 하단배출형 가동보 하상토 배출/홍수위 저감 극대화	· 다단식 다기능 하단배출형 가동보 설치에 따른 홍수저감 - 단일/다단 배치에 저수 및 수위조절 효과와 홍수저감분석 - 관리수위 제어에 의한 홍수위 저감 분석 · 하단배출형 가동보의 유사배출 성능 분석 - 퇴적토사 동반 배출시 무차원 수리특성식 개발 (유량계

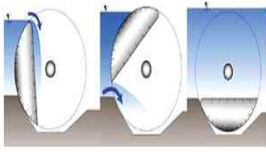
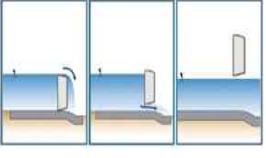
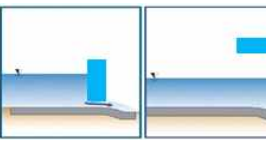
		수, 도수, 퇴적토 침식, 토사이동특성) - Bagnold 이론에 의한 하상토 배출성능 분석
	• 하단배출형 가동보 성능 실험 (Shutter box 모형 수문/제어장치 작동)	• 다단식 다기능 하단배출형 가동보 성능실험 - 동력식 수문의 lift fender, 체인 기어식 구동장치의 작동 test - 관리수위 유지를 위한 부력식 수문 개방도 평가의 수리학적 설계 • 부력 승강식 수문의 비용편익 분석 - 다단식 하단배출형 가동보와 고정보의 수위조절 성능을 비교평가 및 비용편익 분석
3차년도	• 하단배출형 가동보의 성능향상 및 최적 운전기법 개발 (수문의 다단 배치 및 수문개폐조작 기법)	• 하단배출형 가동보 수문시스템의 적용성 분석 - 대상하천을 완경사, 중경사, 급경사로 구분하여 설정된 관리수위에 따른 이.치수 성능분석 - 추가 하천을 대상으로 하단배출형 수문 시스템의 검증 • 하단배출형 가동보 수문시스템의 최적 운전기법 개발 - 인공신경망 기법에 의한 대상구간의 목표 저류량과 하류부 홍수위에 대응하는 각 보의 관리수위 결정 최적화 - 다단식 하단배출형 가동보의 제약조건 검토 • 성과 보고서
	• 하단배출형 부력 승강식 가동보 시제품 제작과 성능평가 완료	• 부력 승강식 가동보의 구조적 안정성 해석 및 설계 - 관리교, 상판 슬라브, 교각, 승강식 수문 및 부력식 수문 구조물의 두께에 대한 최소 단면 도출 • 부력식 자동수문의 자동개폐 및 개방도 test - 모형실험을 통한 부력식 연직수문의 자유흐름 상태에서 하단방류 특성 분석 - 임의의 수심에서 동수압 상태의 수문개방고 예측을 위한 무차원 관계식 도출 • 겹 수문 및 침전 저장조 모형제작 - 겹 수문과 하상토 침전 저장조 모형을 결합하여 제작 • 설계보고서와 매뉴얼

제2장 국내·외 기술 개발 현황

1. 국내 기술 동향

- 4대강 사업에는 회전식, 승강식, 전도식 수동수문이 설치되었으나, 수동수문의 조작은 하천의 유량에 따라 수문의 개폐시점과 개방도를 판단하여야 하는 하천관리 상의 불편함이 있음
- 부력·승강식 가동보의 다단식 배치에 따른 저류, 분배에 의한 치수 극대화과 이에 대한 최적 운전 기법과 하상토 배출효과 극대화

<4대강에 적용된 수동수문의 종류와 금회 개발 기술의 차별성>

성능	국내 기존 기술			금회 개발 기술	
	회전식	전도식	승강식	부력·승강식	
전경					
수문 모식도					
조작 방식	유압식, 기계식	유압식	유압식, 기계식	기계식	무동력식
	수문 활동면에 토석류 유입 시 회전 불가	수문 배면에 토석류 유입 시 도복 불가	승강 후, 상단 거치로 오작동 가능성 없음	승강 후, 상단 거치로 오작동 가능성 없음	
홍수위	회전불가 시 하천 통수능 저하	도복불가 시 하천 통수능 저하	승강 후, 보 상단 거치로 하천 통수능 극대화	승강 후, 보 상단 거치로 하천 통수능 극대화	
수위 조절	관리수위 수동 조절	관리수위 수동 조절	관리수위 수동 조절	관리수위 자동 조절	
적용 사례	강천보 (한강) 함안보, 달성보, 강정보 (낙동강)	세종보 (금강)	이포보, 여주보 (한강) 백제보, 공주보 (금강) 합천보, 낙단보, 상주보, 칠곡보, 구미보 (낙동강) 승촌보, 죽산보 (영산강)	적용 예정	

2. 국외 기술 동향

- 국외에서는 1930년대부터 부력의 원리를 이용하여 자동적으로 하천의 수위를 조절하는 웨어에 관한 연구가 진행되었음. 상용화된 대표적인 사례는 프랑스에서 개발된 Amil gate로서 부력을 이용하여 보 상류 수위를 자동으로 조절 가능하도록 되어 있고, 현재는 보 하류수위까지 조절할 수 있는 기술로 발전하였음
 - 프랑스 (Neyrtec series)의 Amil gate는 수로 내에서 관리수위가 정해지고 관리수위보다 수위가 올라가면 수문비 앞에 부착되어 있는 부력판에 부력이 발생하여 수문을 위로 들어 올리는 양력이 발생하고 이때부터 수문이 개방되어 수문 상류로부터 유입되는 유량을 하류로 방출하면서 수문상류의 수위를 일정하게 유지하게 됨. 반대로 최대유량에 의해 최대로 개방되어진 수문이 유량감소에 의해 수문이 점점 닫히다가 수로 내 수위가 수문 상류 관리수위에 다다르면 완전히 닫힘. 이러한 동작을 유량과 수위의 변화에 따라 계속적으로 반복하게 됨. 이러한 동작의 반복이 외부로부터 유입되는 동력이나 인력의 도움 없이 수로 내 수위의 증감에 따라서 수문 스스로 작동한다는 것이 특징
 - 일본은 인력이 필요 없이 스스로 수로 내의 수위를 일정하게 유지시켜 주고 급수를 하게 하는 무동력 자동 수문을 프랑스로부터 일치감치 기술을 들여와 용수사업 지구에 적용시켰음. 이후, 간선 용수로에는 프랑스의 Amil gate 타입을 적용시키고 지선 급 이하에서는 일본 자체적으로 개발한 Watchman gate를 개발하여 적용하고 있음
-

제3장 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구 내용 및 핵심성과

가. (주관 연구기관) 하단배출형 가동보의 저류, 분배에 의한 치수 기능과 퇴적토사 배출 성능향상 및 최적 운전기법 개발

(1) 연구목표

구분	내용
최종 목표	하단배출형 가동보의 저류, 분배에 의한 이·치수 성능과 퇴적토사 배출 성능향상 및 최적 운전기법 개발
세부 목표	○ As-is • 기후변화에 의한 극한가뭄과 지형학적 여건으로 하천 유황이 불안 전하여 갈수시 저류량 확보와 관리가 취약 • 돌발호우 빈도증가로 홍수피해 급증 • 하상토 퇴적으로 수질악화, 수생태 파괴와 홍수위 상승에 의한 치수 능력 저하 • 가동보의 배치와 운전 - 수문 흐름 특성을 반영한 단일 배치 - 단일배치 구간의 흐름 특성에 따른 운전
	○ To-be • 다단식 하단배출형 가동보의 수위자동 조절에 의한 저류능력 향상 - 하단배출형 가동보 수리특성의 분석: 유량계수, 수위-유량관계식 - 다단 배치의 흐름 특성을 반영한 관리수위 별 및 갈수기 (90일) 의 저류능력 분석 • 하상토 배출특성 분석과 홍수위 저감 능력 향상 분석 - 퇴적토사 동반 배출시 무차원 수리특성식 개발 (유량계수, 도수, 퇴적토사 침식과 이동) - Bagnold 이론에 의한 하상토 배출성능 분석 - 단일/다단식 배치와 관리수위 제어에 의한 하류단 침투 홍수량과 수위 저감성능 분석 • 하단배출형 가동보의 저류, 분배에 의한 치수성능 향상과 최적운전 기법 - 인공지능망을 이용한 대상구간의 목표 저류량과 하류부 홍수위에 대응하는 각 보의 관리수위 결정 최적화 • 다단식 하단배출형 가동보 수문시스템의 적용성 분석 - 저류와 분배에 의한 이·치수 성능 (치성천, 곤지암천) - 입경별 퇴적토 배출 특성 분석 • 최종 성과보고서

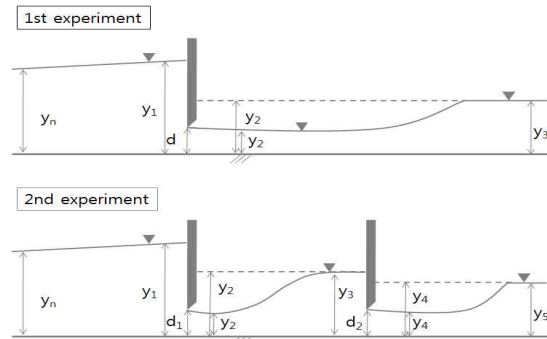
(2) 연구내용

(가) 하단배출형 수문의 유량계수 산정식 도출

- 다단 배치된 하단배출형 승강식 수문의 흐름 상태에 따라 방류량과 저류량에 영향을 미침
- 실내실험을 통한 다단 배치된 하단배출형 승강식 수문의 방류량과 그에 따른 저류량 산정을 위한 유량계수 도출



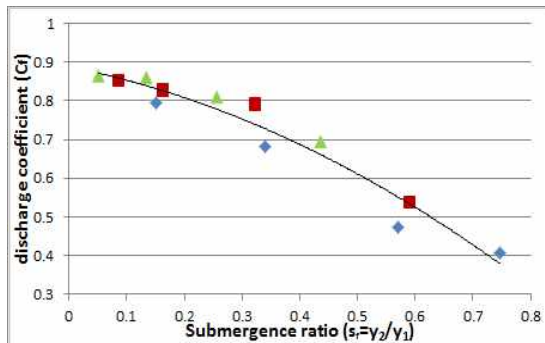
<하단배출형 가동보 모형 설치 모습>



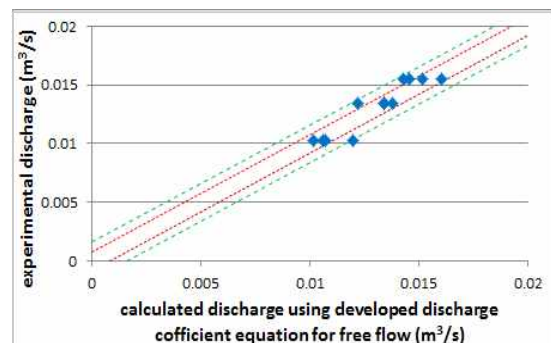
<실내 실험 모식도>

- 자유흐름에서는 잠수도 ($s_f = y_2/y_1$)가 증가함에 따라 유량계수가 감소함을 확인하였고, 유량계수는 0.4에서 0.9의 범위 안에 나타남, 개도높이/상하류 수심차 ($d/(\Delta y)$)와 잠수도 (s_f)를 이용하여 개선된 유량계수 (C_f)의 상관관계를 구함

$$: C_f = 0.929 - 0.599 s_f - 0.023 (d/\Delta y)$$



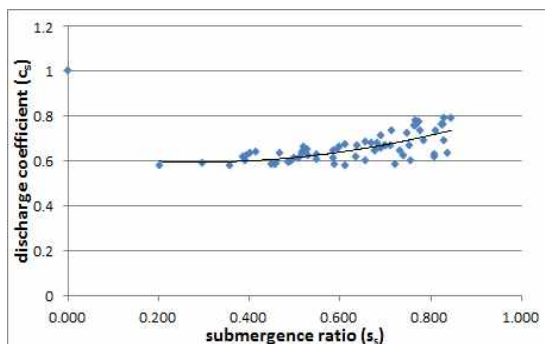
<자유흐름 유량계수-상하류수심비>



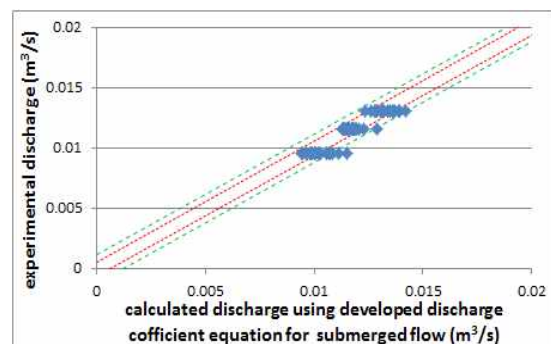
<방류량 산정식 개발>

- 잠수흐름에서 잠수도 ($s_s = (y_2 - d)/(y_1 - d)$)가 증가함에 따라 유량계도가 증가하는 양상을 보였으며, 유량계수는 0.6에서 0.8의 범위 안에 나타남, 개도높이/상하류 수심차 ($d/(\Delta y)$)와 잠수도 (s_s)를 이용하여 개선된 유량계수 (C_s)의 상관관계를 구함

$$: C_s = 0.606 - 0.045 s_s - 0.050 (d/\Delta y)$$



<잠수흐름 유량계수-잠수도>

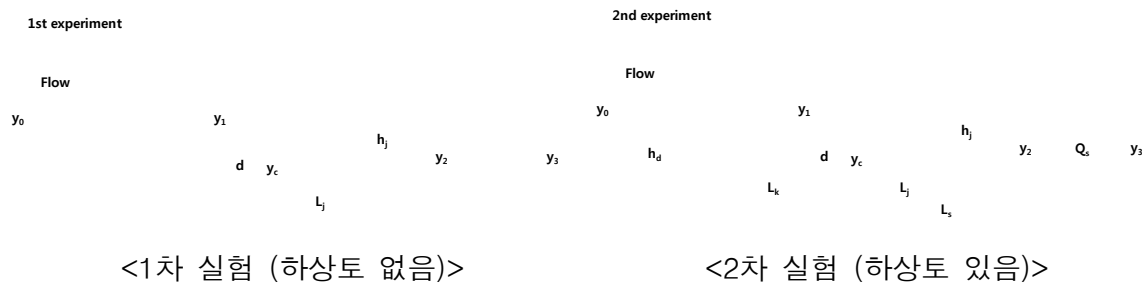


<방류량 산정식 개발>

- 잠수도와 더불어 수문의 개도높이 (d)와 수문의 상·하류의 수심차 (Δy)와의 비 ($d/\Delta y$)를 이용한 유량계수 관계식 의한 방류량의 산정은 수문의 개도에 따른 하단배출형 가동보의 구간별 유입과 유출의 산정이 가능하여 효과적인 방류량과 저류량의 산정이 가능함

(나) 하상토 배출 성능의 실험적 검증

- 하단배출형 승강식 수문의 하상토를 수반한 수리특성과 하상토 배출 효과 검증을 위한 실내 실험을 수행함
- 실내 실험은 1, 2차로 구분하여 수행하였으며, 1차 실험에서는 하상토의 영향을 고려하지 않았고, 2차 실험은 하상토 영향을 고려하여 실험을 수행함



- 실험 결과를 바탕으로 유량계수와 도수의 수리특성을 분석하였고, 두부침식거리, 하상토 이동량, 하상토 이동거리의 하상토 거동특성을 분석함
- 유량계수는 상류수심과 하상토 높이의 관계로 나타났으며, 도출된 유량계수 관계식은 하상토 유무에 따라 사용이 가능하며, 하상토가 없을 경우 하상토 높이 변수를 1로 설정하여 계산이 가능함

$$: C_d = \{e^{-0.766} (y_1/y_3)^{0.365} (h_d/y_3)^{0.031}\}$$

<유량계수 (관계식 v.s. 측정)>

- 도수높이는 하류단 수심, 상류수심과 하상토 높이의 관계로 나타남

$$: h_j = y_3 \{e^{-1.078} (y_1/y_3)^{0.902} (h_d/y_3)^{-0.464}\}$$

- 도수거리는 하류단 수심, 개방도와 하상토 높이의 관계로 나타남

$$: L_j = y_3 \{e^{-5.758} (d/y_3)^{-5.358} (h_d/y_3)^{0.264}\}$$

-
- 도수높이, 도수거리 관계식은 하상토 유무에 따라 사용이 가능하며, 하상토가 없을 경우 하상토 높이 변수를 1로 설정하여 계산이 가능함

<도수높이 (관계식 v.s. 측정)>

<도수거리 (관계식 v.s. 측정)>

- 두부침식거리는 하류단 수심, 상하류 수심차와 하상토의 관계로 나타남

$$: L_k = y_3 \left\{ e^{0.240} ((y_1 - y_c) / y_3)^{-0.360} (h_d / y_3)^{0.243} \right\}$$

- 하상토 배출거리는 하류단 수심과 개방도의 관계로 나타났음

$$: L_s = y_3 \left\{ e^{1.868} (d / y_3)^{-0.992} \right\}$$

<두부침식거리 (관계식 v.s. 측정)>

<하상토 배출거리 (관계식 v.s. 측정)>

- 하상토 배출량은 하류단 수심, 상하류 수심차와 하상토 높이의 관계로 나타났음

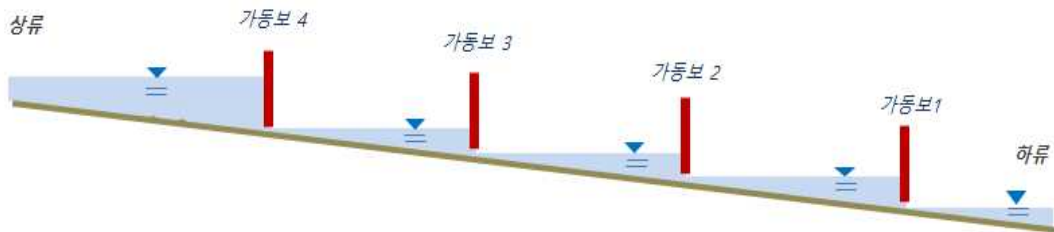
$$: Q_s = y_3^3 \rho \left\{ e^{0.825} ((y_1 - y_c) / y_3)^{-0.922} (h_d / y_3)^{1.278} \right\}$$

- 하상토 배출성능은 기존 고정보 대비 50% 이상 향상 되었으며, 하상토 배출량은 수문 개방도 조절을 통해 조절이 가능함
-

<하상도 배출량 (관계식 v.s. 측정)>

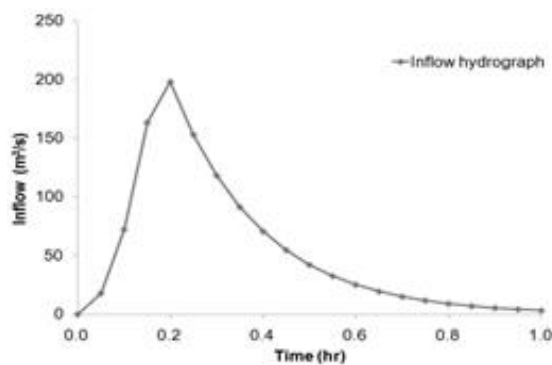
(다) 다단식 하단배출형 가동보의 저류, 분배에 의한 치수 성능 평가

- 다단 배치된 하단배출형 가동보의 저류와 홍수위 저감 효과를 홍수위가 상습적으로 발생하는 중·소하천 (치성천)을 대상으로 수치모의를 통해 분석함



<하단배출형 가동보 다단 배치 개념도>

- 유입수문곡선은 치성천 하천기본계획에 의한 80년 빈도 계획홍수량과 홍수위를 이용하여 첨두 홍수량 $198 \text{ m}^3/\text{s}$, 첨두 홍수량 발생시간 0.2 hr , 홍수 지속 시간은 1 hr 을 가지는 가상의 수문곡선을 작성하고, 수치모의 시나리오는 아래 표와 같음

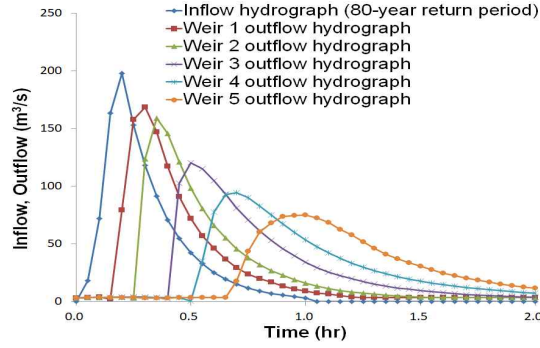


<80년 빈도 유입수문곡선>

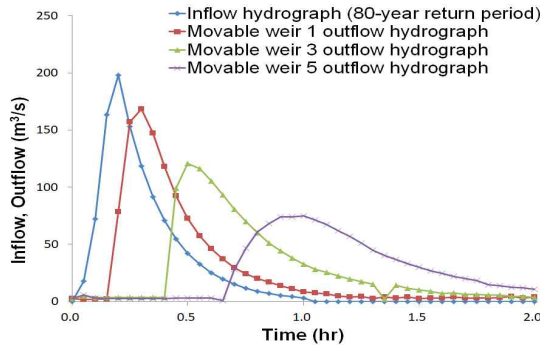
<수치모의 시나리오>

Scenario	Water level management
I	Current condition with weir
II	20% of the high limit water level
III	30% of the high limit water level
IV	40% of the high limit water level
V	50% of the high limit water level
VI	60% of the high limit water level
VII	70% of the high limit water level

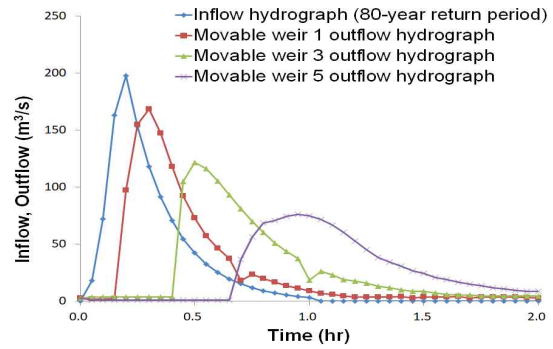
- 기존의 고정보 위치에 하단배출형 승강식 수문 (3개소)을 설치하여 수치모의를 진행하였고, 수문 조작은 elevation controlled gates를 이용하여 수리구조물 상류부 특정단면에서의 수위변화를 기준으로 수문개폐를 설정하는 방식을 사용하였음
- 각 가동보 설치 지점에서 첨두 유량을 시나리오 I (현 상태)과 시나리오별로 비교하였을 경우, 가동보 1 위치에서는 변화가 없었으나, 가동보 3 위치에서는 고정보에서 $120 \text{ m}^3/\text{s}$ 가 57% 감소한 $52 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 감소하였고, 가동보 5 위치에서는 고정보에서 $75 \text{ m}^3/\text{s}$ 가 97% 감소한 $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 감소하였음



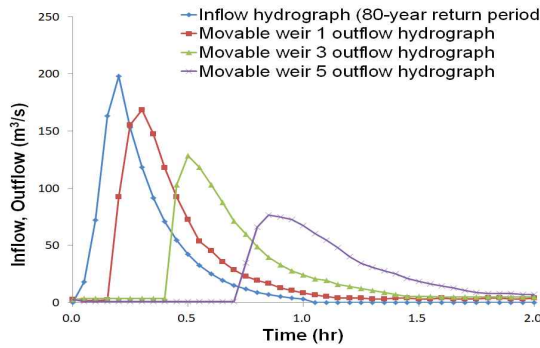
(a) Scenario I



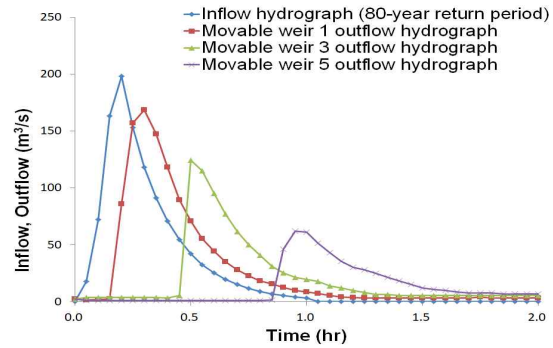
(b) Scenario II



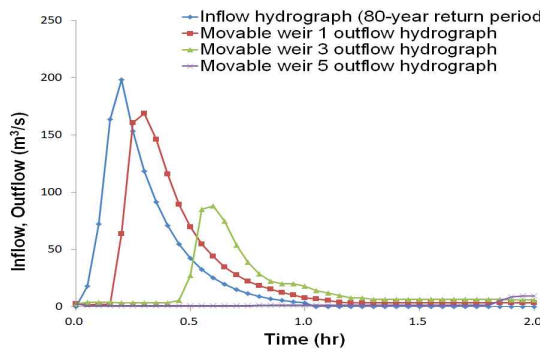
(c) Scenario III



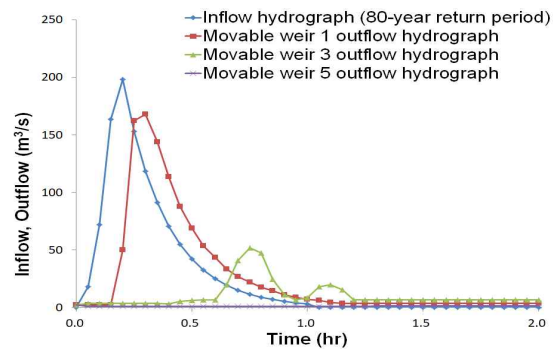
(d) Scenario IV



(e) Scenario V



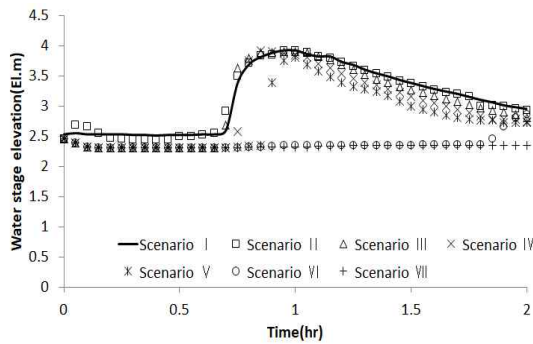
(f) Scenario VI



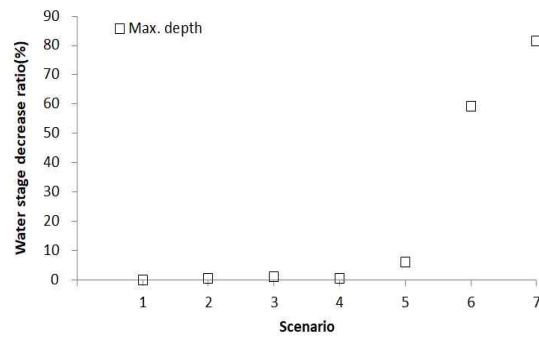
(g) Scenario VII

<각 시나리오별 유출수문곡선 비교>

- 하류단에서의 홍수위 검토결과, 하단배출형 가동보를 다단으로 배치하였을 경우 고정 보 대비 홍수위 저감이 두드러지게 나타났고, 최대 홍수위 저감율은 6%에서 82%까지 나타남
- 하류단에서의 홍수위 저감율은 기존 홍수위와 금회 홍수위를 비교하여 산정하였으며, 개방도에 따른 홍수위 저감율이 10% 이상 향상함

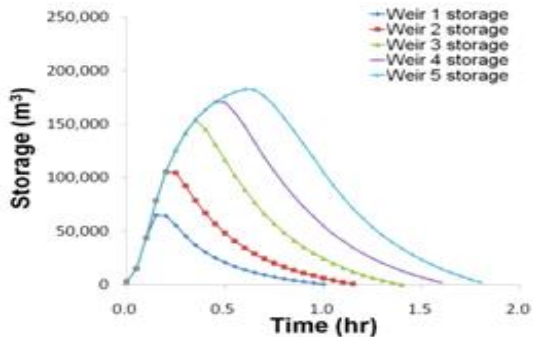


<하류단 수위 분석>

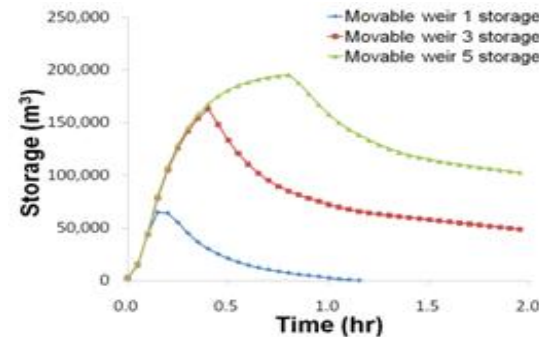


<하류단 수심 저감율>

- 하단배출형 승강식 수문이 설치된 각 지점 상류의 저류량을 비교한 결과, 2시간 동안 총 저류량이 각 지점에서 고정보 대비 52%에서 203%까지 증가하는 것을 확인하였음
- 승강식 수문 설치 구간에서의 저수율은 기존 저류량과 증가 저류량을 비교하여 산정하였으며, 다단 배치시 저수율이 10% 이상 향상함



<고정보 저류량>

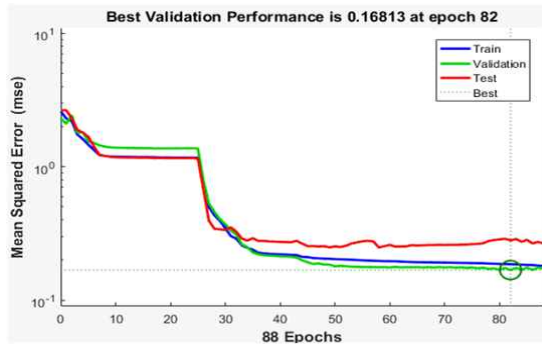


<하단배출형 가동보 저류량>

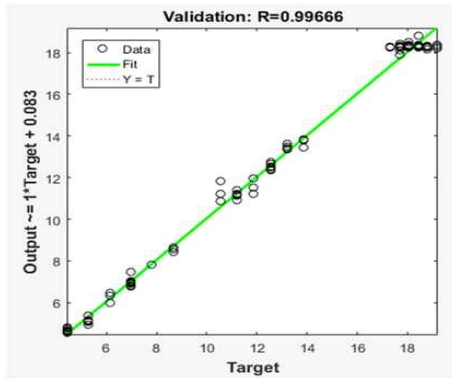
- 중·소하천에 하단배출형 승강식 수문을 다단으로 배치하였을 때, 기존 고정보 대비 홍수위 저감율은 80% 이상, 저류량은 200% 이상 증가하였음

(라) 인공지능망을 이용한 하단배출형 구간별 가동보의 목표 저류량과 하류부 목표 홍수위 저감을 위한 관리수위 결정 최적화

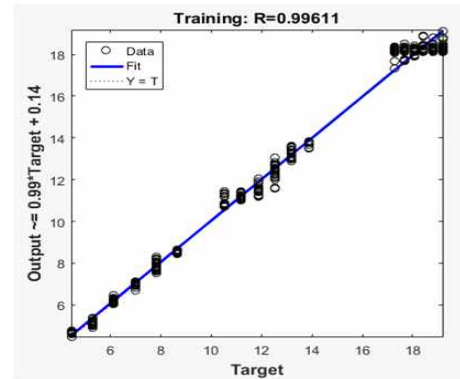
- 보의 고유 기능인 저류량의 확보와 더불어 보가 설치된 대상구간의 하류부 홍수위 조절을 동시에 만족시킬 수 있는 수문에서의 관리수위 제안
- HEC-RAS 수치모의를 통해 다단 배치된 하단배출형 승강식 수문의 관리수위에 따른 하류단에서의 총 저류량과 홍수위를 추정함
- 수치모의 결과를 이용하여 인공지능망 학습모델 입력 자료를 구축하였고, 신경망의 구조는 입력층 (하류단 홍수위, 총 저류량)과 출력층 (각 가동보의 관리수위) 사이에 하나의 은닉층이 존재하는 구조로 구축하였음
- 학습결과 학습, 검증 및 시험에 사용된 자료의 최적의 평균제곱오차가 82번째 반복횟수에서 0.1681 m^2 로 나타났고, 학습, 검증 및 시험에서 얻어지는 예측 결과 (예측된 관리수위)와 목표값 (관리수위)과의 관계에서는 결정계수가 학습, 검증, 시험에서 각각 0.9961, 0.9967, 0.9943로 높게 나타남



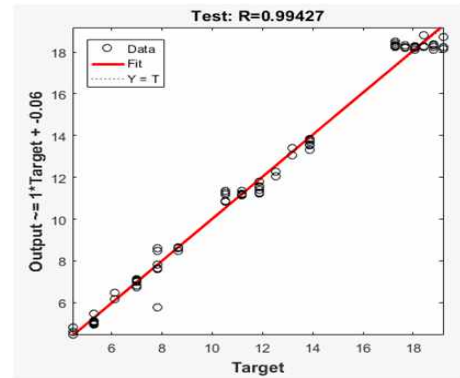
<Mean squared error>



<검증 결과>



<학습 결과>



<시험 결과>

- 예측된 관리수위를 이용하여 수치모의를 적용한 결과, 목표 하류단 홍수위는 오차율이 0에서 2.60%의 범위를 보였으며, 총 저류량은 0.17에서 5.64%의 오차율을 보여 인공신경망 모형을 이용한 관리수위 예측결과가 매우 높은 것으로 나타남
- 인공신경망 기법을 이용하여 하단배출형 가동보의 다단 배치에 따른 대상구간의 목표 저류량과 하류부의 목표 홍수위에 대응하는 각 가동보의 관리수위 결정방안을 제시함

(마) 다단식 하단배출형 가동보 수문시스템의 적용성 분석 (치성천)

① 이·치수 성능 분석 방법

- 대상 지역 : 치성천

- 분석방법

: 이·치수 성능을 분석하기 위해 HEC-RAS를 이용하여 분석하였음. 저수성능은 갈수기의 기저유출수의 저수량을 계산, 홍수위 저감 성능은 80년 빈도의 유입수문곡선을 기반으로 Case별 (경사별 배치, 규모) 유출수문곡선을 작성하여 첨두홍수위 저감율을 비교분석하였음

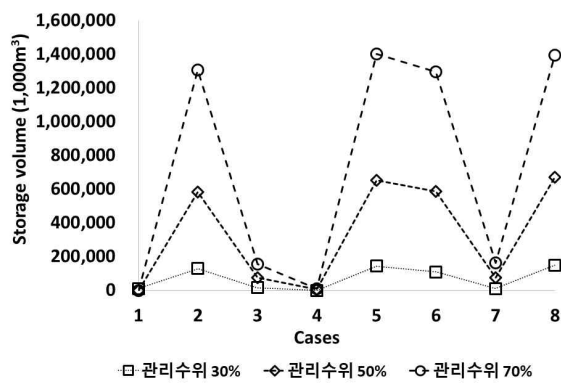
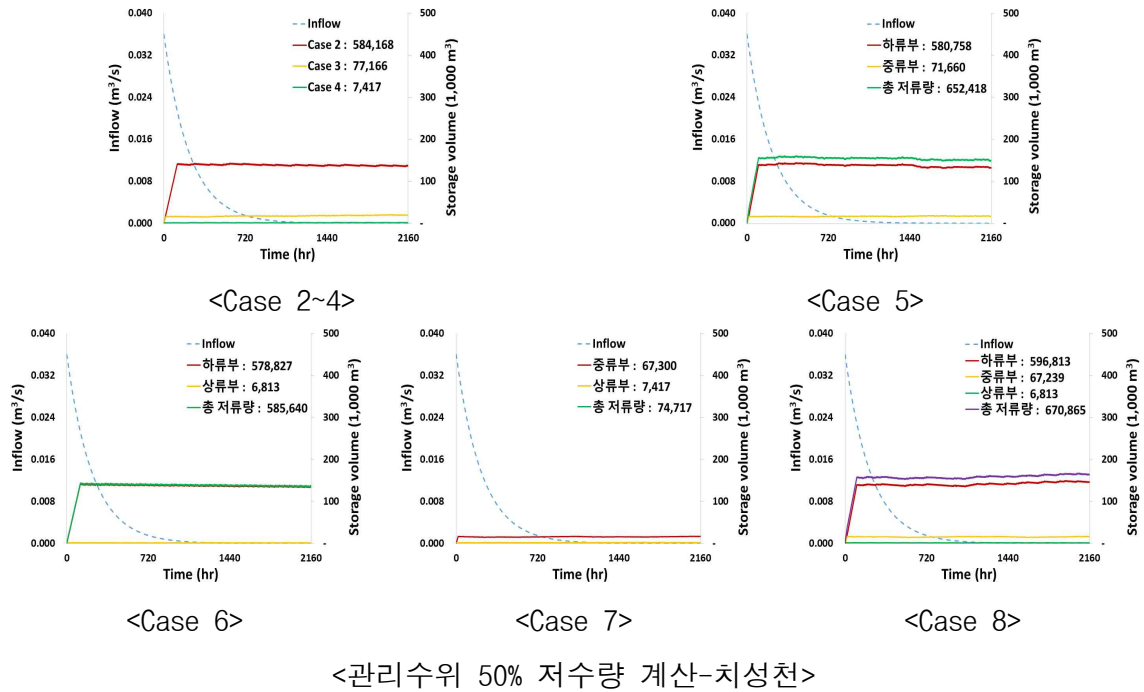
- 수치모의 조건

: 대상구간을 완경사, 중경사, 급경사 (하류부 1/435, 중류부 1/178, 상류부 1/82)로 구분하였으며, 규모는 관리수위 30%, 50%, 70%로 설정하였음

	하류부 (1/435)	중류부 (1/178)	상류부 (1/82)	규모 = 관리수위 관리수위 = 구조물 설치 지점 제방고의 30, 50, 70%로 설정	
Case 1					
Case 2				관리수위 30%	제방고 관리수위
Case 3					
Case 4				관리수위 50%	
Case 5					
Case 6					
Case 7				관리수위 70%	
Case 8					

② 이수성능 검토

- 단일 배치의 경우 (case 2~4)는 하류부, 중류부, 상류부 순으로 저수량이 크게 나타났으며, 하천의 경사가 완만할수록 하단배출형 가동보의 이수성능이 증가하는 것을 확인함
- 다단 배치의 경우 (case 5~8)는 3단으로 배치한 case 8의 저수량이 가장 크게 나타났으나, case 5와의 차이는 비교적 적게 나타남. 이는 상류부의 설치된 가동보의 이수효과가 다른 지점에 상대적으로 작게 나타나기 때문임
- 하단배출형 가동보의 규모 (관리수위)가 커질수록 저수량이 증가하며, 3단으로 배치한 case 8 보다 case 5의 저수량이 크게 나타남. 이는 규모가 커질수록 경사가 완만한 지점에 설치된 가동보의 저수 확보량이 커짐에 따라 나타남



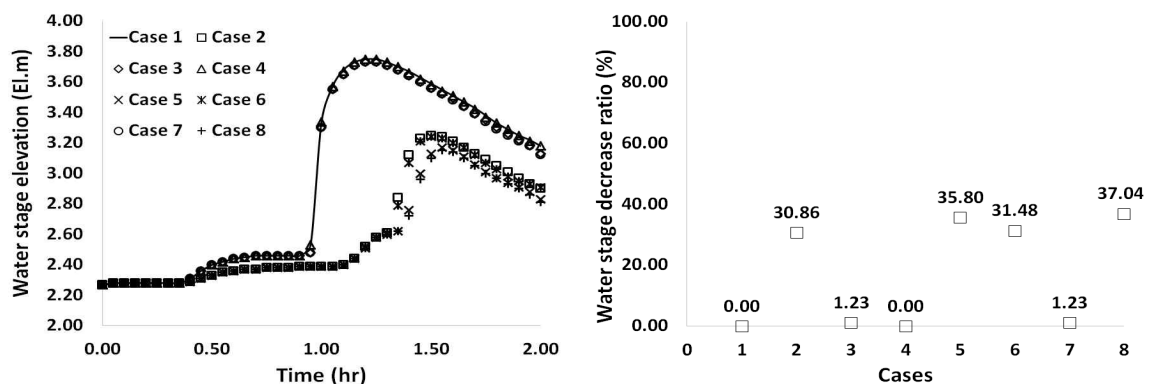
<관리수위별 저수량-치성천>

Cases	저수량 (1,000 m³)		
	관리수위 30%	관리수위 50%	관리수위 70%
1	0	0	0
2	130,387	548,168	1,307,783
3	15,459	77,166	157,720
4	396	7,417	9,567
5	144,611	652,418	1,401,040
6	108,529	585,640	1,295,901
7	11,395	74,717	162,380
8	149,069	670,865	1,396,509

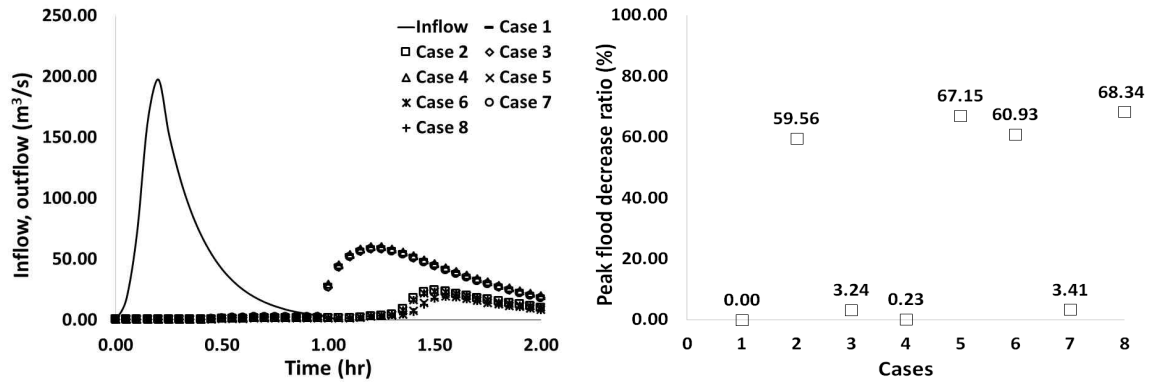
<관리수위별 저수량 계산-치성천>

③ 치수성능 검토

- 단일 배치의 경우 (case 2~4) 홍수위 저감율은 하류부 30.86%, 중류부 1.23%, 상류부 0.00%로 나타났으며, 첨두홍수량 저감율은 하류부 59.56%, 중류부 3.24%, 상류부 0.23%로 나타나 이수능력과 동일하게 하천의 경사가 완만할수록 치수성능이 크게 나타남

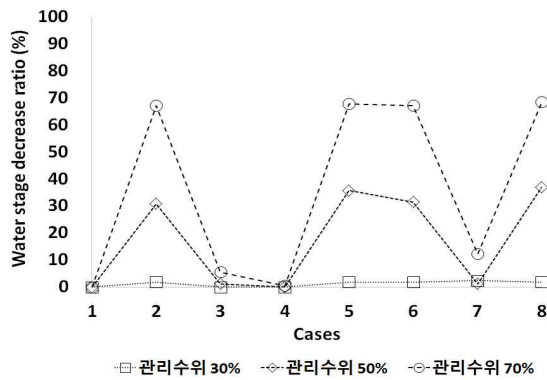


<관리수위별 홍수위 수문곡선과 첨두홍수위 저감율-치성천>



<관리수위별 유출수문곡선과 첨두홍수량 저감율-치성천>

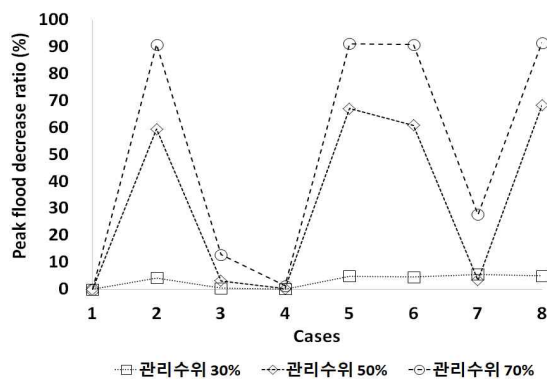
- 첨두홍수위 저감율과 첨두홍수량 저감율은 최대 약 68%, 약 92%로 나타남
- 다단 배치의 경우 (case 5~8)는 3단으로 배치한 case 8의 홍수위 저감율과 첨두홍수량 저감율이 가장 크게 나타났으나, case 5와의 차이는 비교적 적게 나타남
- 하단배출형 가동보의 규모 (관리수위)가 커질수록 홍수저감 효과가 증가하며, 3단으로 배치한 case 8이 가장 크게 나타났으나 case 5와의 차이가 크지 않음. 이는 규모가 커질수록 경사가 완만한 지점에 설치된 가동보의 홍수저감 효과가 상대적으로 커짐에 따라 나타남



<관리수위별 첨두홍수위 저감율-치성천>

<관리수위별 첨두홍수위 저감율-치성천>

Cases	첨두홍수위 저감율 (%)		
	관리수위 30%	관리수위 50%	관리수위 70%
1	0.00	0.00	0.00
2	1.85	30.86	67.28
3	0.00	1.23	5.56
4	0.00	0.00	0.62
5	1.85	35.80	67.90
6	1.85	31.48	67.28
7	2.47	1.23	12.35
8	1.85	37.04	68.52



<관리수위별 첨두홍수량 저감율-치성천>

<관리수위별 첨두홍수량 저감율-치성천>

Cases	첨두홍수량 저감율 (%)		
	관리수위 30%	관리수위 50%	관리수위 70%
1	0.00	0.00	0.00
2	4.30	59.56	90.82
3	0.45	3.24	12.90
4	0.18	0.23	1.36
5	4.93	67.15	91.15
6	4.58	60.93	90.87
7	5.61	3.41	27.78
8	5.03	68.34	91.50

(바) 다단식 하단배출형 가동보 수문시스템의 적용성 검증 (곤지암천)

① 이·치수 성능 검증 방법

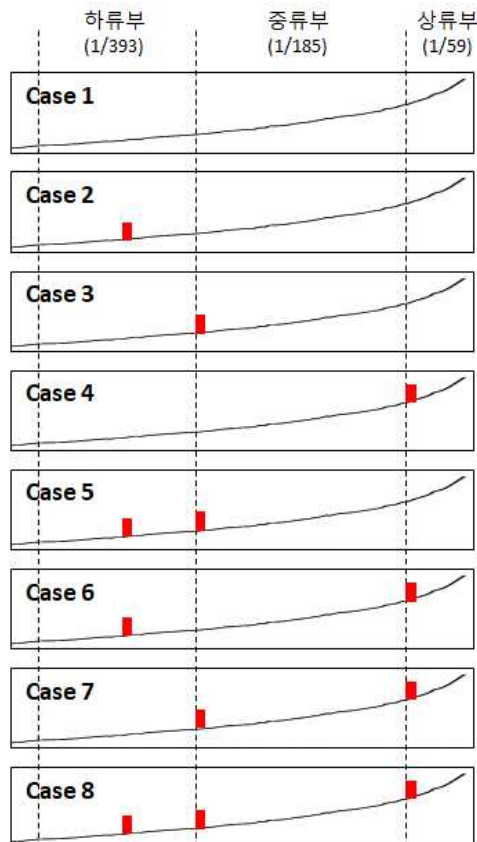
- 대상하천 : 곤지암천

- 검증 방법

: 다단식 하단배출형 가동보의 이·치수 성능을 검증하기 위해, 앞서 치성천을 대상으로 수행한 이·치수 성능 검토 방법을 이용하여 곤지암천을 대상으로 검증 수행함

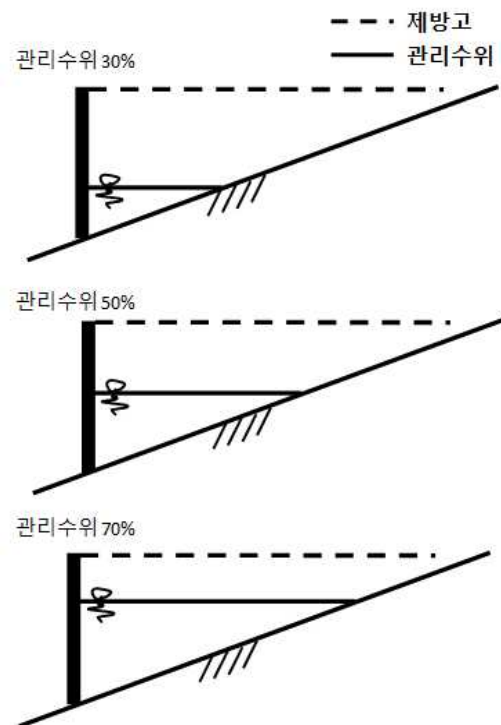
- 수치모의 조건

: 대상구간을 완경사, 중경사, 급경사 (하류부 1/393, 중류부 1/185, 상류부 1/59)로 구분하였으며, 규모는 관리수위 30%, 50%, 70%로 설정하였음

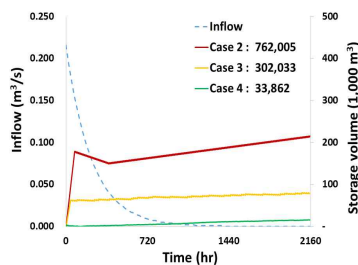


규모 = 관리수위

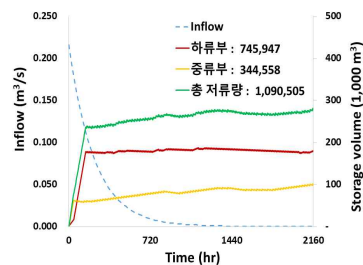
관리수위 = 구조물 설치 지점 제방고의 30, 50, 70%로 설정



② 이수성능 검토

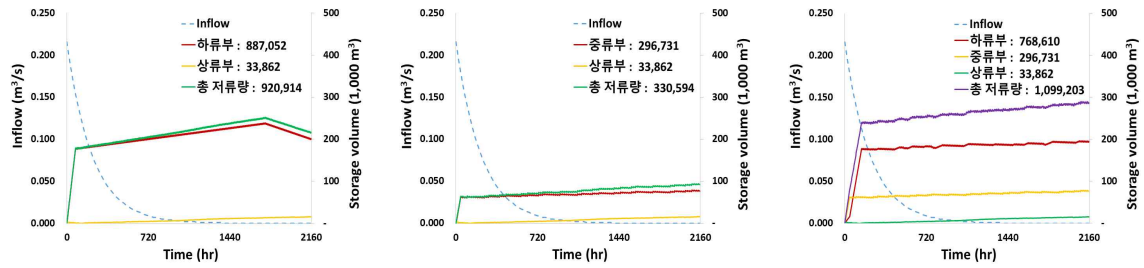


<Case 2~4>



<Case 5>

<관리수위 50% 저수량 계산-곤지암천(1/2)>

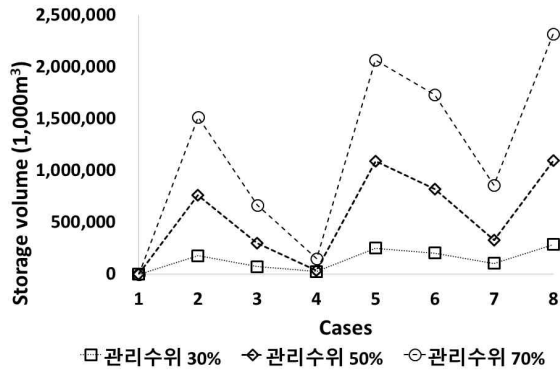


<Case 6>

<Case 7>

<Case 8>

<관리수위 50% 저수량 계산-곤지암천(2/2)>

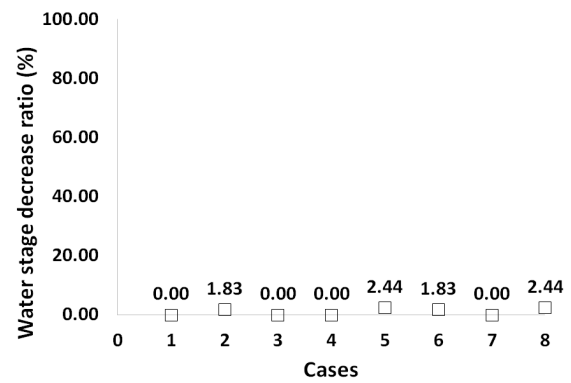
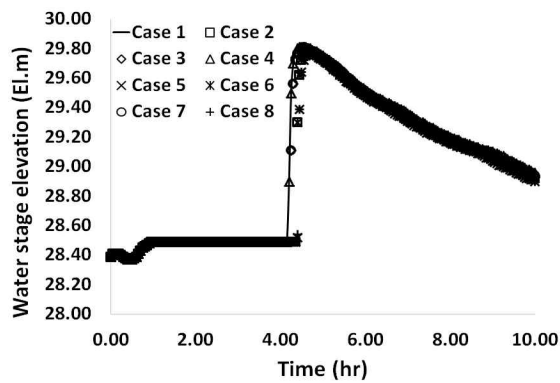


<관리수위별 저수량 계산-곤지암천>

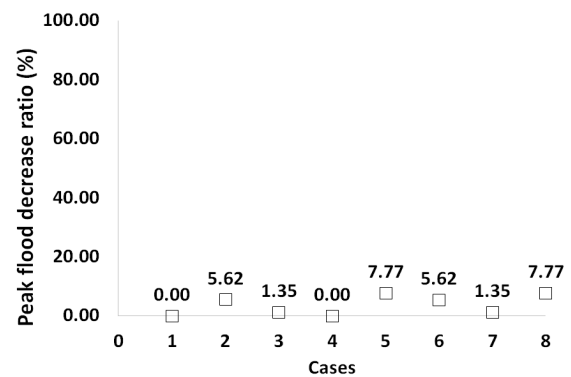
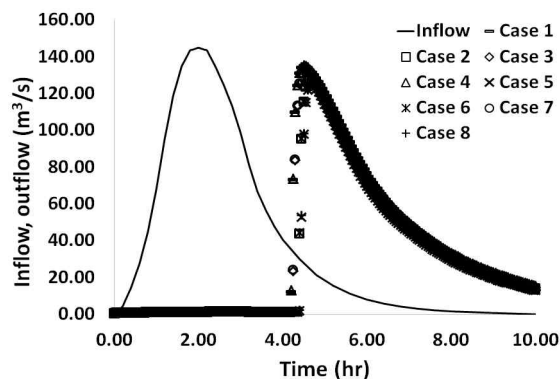
<관리수위별 저수량-곤지암천>

Cases	저수량 (1,000 m ³)		
	관리수위 30%	관리수위 50%	관리수위 70%
1	0	0	0
2	176,867	762,005	1,515,398
3	73,746	302,033	664,875
4	26,532	33,862	147,711
5	252,407	1,090,505	2,066,128
6	204,836	920,914	1,733,328
7	103,552	330,862	861,109
8	235,673	1,099,203	2,317,183

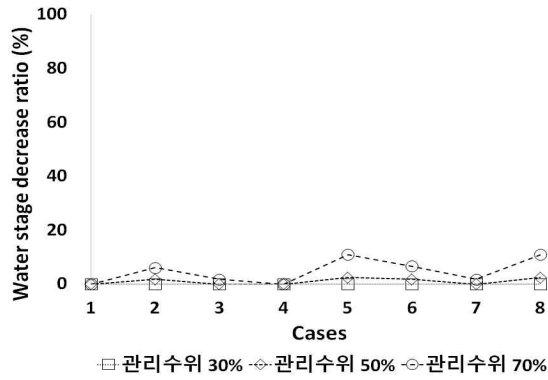
③ 치수성능 검토



<관리수위별 홍수위 수문곡선과 침투홍수위 저감율-곤지암천>



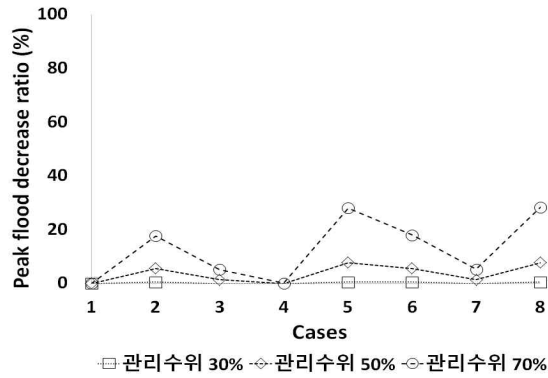
<관리수위별 유출수문곡선과 침투홍수량 저감율-곤지암천>



<관리수위별 침투홍수위 저감율-곤지암천>

Cases	침투홍수위 저감율 (%)		
	관리수위 30%	관리수위 50%	관리수위 70%
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	1.83	6.10
3	0.00	0.00	1.83
4	0.00	0.00	0.00
5	0.00	2.44	10.98
6	0.00	1.83	6.71
7	0.00	0.00	1.83
8	0.00	2.44	10.98

<관리수위별 침투홍수위 저감율-곤지암천>



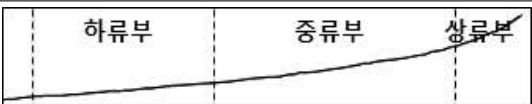
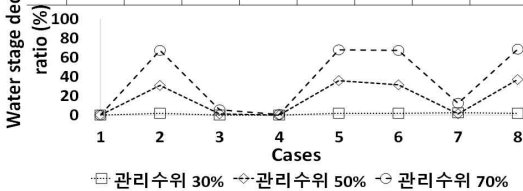
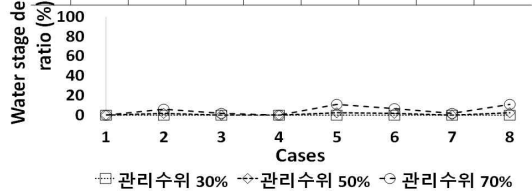
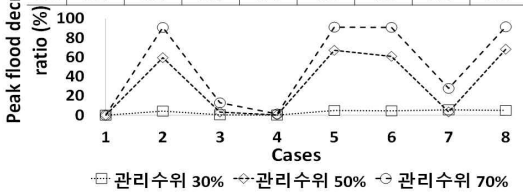
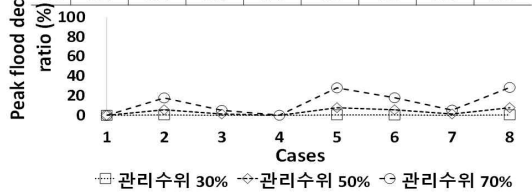
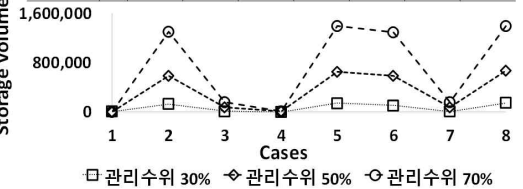
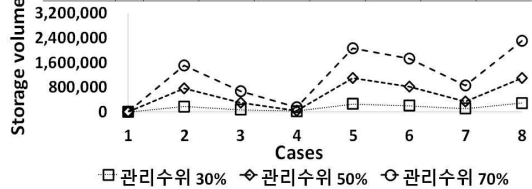
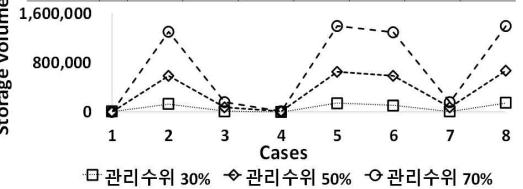
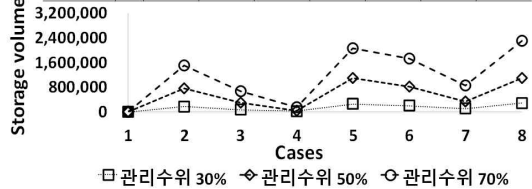
<관리수위별 침투홍수량 저감율-곤지암천>

Cases	침투홍수량 저감율 (%)		
	관리수위 30%	관리수위 50%	관리수위 70%
1	0.00	0.00	0.00
2	0.50	5.62	17.73
3	0.00	1.35	5.13
4	0.00	0.00	0.13
5	0.52	7.77	28.07
6	0.50	5.62	17.97
7	0.00	1.35	5.32
8	0.52	7.77	28.39

<관리수위별 침투홍수량 저감율-곤지암천>

⑤ 제약조건 검토

- 이·치수 성능 검토 종합
- 치성천, 곤지암천을 대상으로 적용성을 분석한 결과 관리수위별 홍수위 저감율과 저류량이 10% 이상 향상

구분	치성천			곤지암천																																																																										
종단 면도																																																																														
유로연장 (<i>m</i>)	8,900			24,478																																																																										
유역면적 (<i>km</i> ²)	43.55			158.72																																																																										
구간	하류부	중류부	상류부	하류부	중류부	상류부																																																																								
구간길이 (<i>m</i>)	2,400	2,800	200	8,570	11,312	3,096																																																																								
구간경사	1/435	1/178	1/82	1/393	1/185	1/59																																																																								
하폭 (<i>m</i>)	87.25	37.55	24.83	104.9	109.8	29.1																																																																								
제방높이 (<i>m</i>)	8.44	4.18	3.37	8.51	7.36	4.76																																																																								
첨두 홍수위 (<i>El.m</i>)	3.75			29.81																																																																										
첨두 홍수량 (<i>m</i> ³ / <i>s</i>)	198			145																																																																										
첨두 홍수위 저감율 (%)	<table><tr><td>Cases</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>70%</td><td>0.00</td><td>67.28</td><td>5.56</td><td>0.62</td><td>67.90</td><td>67.28</td><td>12.35</td><td>68.52</td></tr><tr><td>50%</td><td>0.00</td><td>30.86</td><td>1.23</td><td>0.00</td><td>35.80</td><td>31.48</td><td>1.23</td><td>37.04</td></tr><tr><td>30%</td><td>0.00</td><td>1.85</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>1.85</td><td>1.85</td><td>2.47</td><td>1.85</td></tr></table> 			Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	70%	0.00	67.28	5.56	0.62	67.90	67.28	12.35	68.52	50%	0.00	30.86	1.23	0.00	35.80	31.48	1.23	37.04	30%	0.00	1.85	0.00	0.00	1.85	1.85	2.47	1.85	<table><tr><td>Cases</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>70%</td><td>0.00</td><td>67.28</td><td>5.56</td><td>0.62</td><td>67.90</td><td>67.28</td><td>12.35</td><td>68.52</td></tr><tr><td>50%</td><td>0.00</td><td>30.86</td><td>1.23</td><td>0.00</td><td>35.80</td><td>31.48</td><td>1.23</td><td>37.04</td></tr><tr><td>30%</td><td>0.00</td><td>1.85</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>1.85</td><td>1.85</td><td>2.47</td><td>1.85</td></tr></table> 			Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	70%	0.00	67.28	5.56	0.62	67.90	67.28	12.35	68.52	50%	0.00	30.86	1.23	0.00	35.80	31.48	1.23	37.04	30%	0.00	1.85	0.00	0.00	1.85	1.85	2.47	1.85
	Cases	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																					
70%	0.00	67.28	5.56	0.62	67.90	67.28	12.35	68.52																																																																						
50%	0.00	30.86	1.23	0.00	35.80	31.48	1.23	37.04																																																																						
30%	0.00	1.85	0.00	0.00	1.85	1.85	2.47	1.85																																																																						
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																						
70%	0.00	67.28	5.56	0.62	67.90	67.28	12.35	68.52																																																																						
50%	0.00	30.86	1.23	0.00	35.80	31.48	1.23	37.04																																																																						
30%	0.00	1.85	0.00	0.00	1.85	1.85	2.47	1.85																																																																						
첨두 홍수량 저감율 (%)	<table><tr><td>Cases</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>70%</td><td>0.00</td><td>90.82</td><td>12.90</td><td>1.36</td><td>91.15</td><td>90.87</td><td>27.78</td><td>91.50</td></tr><tr><td>50%</td><td>0.00</td><td>59.56</td><td>3.24</td><td>0.23</td><td>67.15</td><td>60.93</td><td>3.41</td><td>68.34</td></tr><tr><td>30%</td><td>0.00</td><td>4.30</td><td>0.45</td><td>0.18</td><td>4.93</td><td>4.58</td><td>5.61</td><td>5.03</td></tr></table> 			Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	70%	0.00	90.82	12.90	1.36	91.15	90.87	27.78	91.50	50%	0.00	59.56	3.24	0.23	67.15	60.93	3.41	68.34	30%	0.00	4.30	0.45	0.18	4.93	4.58	5.61	5.03	<table><tr><td>Cases</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>70%</td><td>0.00</td><td>90.82</td><td>12.90</td><td>1.36</td><td>91.15</td><td>90.87</td><td>27.78</td><td>91.50</td></tr><tr><td>50%</td><td>0.00</td><td>59.56</td><td>3.24</td><td>0.23</td><td>67.15</td><td>60.93</td><td>3.41</td><td>68.34</td></tr><tr><td>30%</td><td>0.00</td><td>4.30</td><td>0.45</td><td>0.18</td><td>4.93</td><td>4.58</td><td>5.61</td><td>5.03</td></tr></table> 			Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	70%	0.00	90.82	12.90	1.36	91.15	90.87	27.78	91.50	50%	0.00	59.56	3.24	0.23	67.15	60.93	3.41	68.34	30%	0.00	4.30	0.45	0.18	4.93	4.58	5.61	5.03
	Cases	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																					
70%	0.00	90.82	12.90	1.36	91.15	90.87	27.78	91.50																																																																						
50%	0.00	59.56	3.24	0.23	67.15	60.93	3.41	68.34																																																																						
30%	0.00	4.30	0.45	0.18	4.93	4.58	5.61	5.03																																																																						
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																						
70%	0.00	90.82	12.90	1.36	91.15	90.87	27.78	91.50																																																																						
50%	0.00	59.56	3.24	0.23	67.15	60.93	3.41	68.34																																																																						
30%	0.00	4.30	0.45	0.18	4.93	4.58	5.61	5.03																																																																						
저수량 (1,000 <i>m</i> ³)	<table><tr><td>Cases</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>70%</td><td>0</td><td>1,307,783</td><td>157,720</td><td>9,567</td><td>1,401,040</td><td>1,295,901</td><td>162,380</td><td>1,396,509</td></tr><tr><td>50%</td><td>0</td><td>584,168</td><td>77,166</td><td>7,417</td><td>652,418</td><td>585,640</td><td>74,717</td><td>670,865</td></tr><tr><td>30%</td><td>0</td><td>130,387</td><td>15,459</td><td>396</td><td>144,611</td><td>108,529</td><td>11,392</td><td>149,069</td></tr></table> 			Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	70%	0	1,307,783	157,720	9,567	1,401,040	1,295,901	162,380	1,396,509	50%	0	584,168	77,166	7,417	652,418	585,640	74,717	670,865	30%	0	130,387	15,459	396	144,611	108,529	11,392	149,069	<table><tr><td>Cases</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>70%</td><td>0</td><td>1,307,783</td><td>157,720</td><td>9,567</td><td>1,401,040</td><td>1,295,901</td><td>162,380</td><td>1,396,509</td></tr><tr><td>50%</td><td>0</td><td>584,168</td><td>77,166</td><td>7,417</td><td>652,418</td><td>585,640</td><td>74,717</td><td>670,865</td></tr><tr><td>30%</td><td>0</td><td>130,387</td><td>15,459</td><td>396</td><td>144,611</td><td>108,529</td><td>11,392</td><td>149,069</td></tr></table> 			Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	70%	0	1,307,783	157,720	9,567	1,401,040	1,295,901	162,380	1,396,509	50%	0	584,168	77,166	7,417	652,418	585,640	74,717	670,865	30%	0	130,387	15,459	396	144,611	108,529	11,392	149,069
	Cases	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																					
70%	0	1,307,783	157,720	9,567	1,401,040	1,295,901	162,380	1,396,509																																																																						
50%	0	584,168	77,166	7,417	652,418	585,640	74,717	670,865																																																																						
30%	0	130,387	15,459	396	144,611	108,529	11,392	149,069																																																																						
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																						
70%	0	1,307,783	157,720	9,567	1,401,040	1,295,901	162,380	1,396,509																																																																						
50%	0	584,168	77,166	7,417	652,418	585,640	74,717	670,865																																																																						
30%	0	130,387	15,459	396	144,611	108,529	11,392	149,069																																																																						
	<table><tr><td>Cases</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>70%</td><td>0</td><td>1,307,783</td><td>157,720</td><td>9,567</td><td>1,401,040</td><td>1,295,901</td><td>162,380</td><td>1,396,509</td></tr><tr><td>50%</td><td>0</td><td>584,168</td><td>77,166</td><td>7,417</td><td>652,418</td><td>585,640</td><td>74,717</td><td>670,865</td></tr><tr><td>30%</td><td>0</td><td>130,387</td><td>15,459</td><td>396</td><td>144,611</td><td>108,529</td><td>11,392</td><td>149,069</td></tr></table> 			Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	70%	0	1,307,783	157,720	9,567	1,401,040	1,295,901	162,380	1,396,509	50%	0	584,168	77,166	7,417	652,418	585,640	74,717	670,865	30%	0	130,387	15,459	396	144,611	108,529	11,392	149,069	<table><tr><td>Cases</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>70%</td><td>0</td><td>1,307,783</td><td>157,720</td><td>9,567</td><td>1,401,040</td><td>1,295,901</td><td>162,380</td><td>1,396,509</td></tr><tr><td>50%</td><td>0</td><td>584,168</td><td>77,166</td><td>7,417</td><td>652,418</td><td>585,640</td><td>74,717</td><td>670,865</td></tr><tr><td>30%</td><td>0</td><td>130,387</td><td>15,459</td><td>396</td><td>144,611</td><td>108,529</td><td>11,392</td><td>149,069</td></tr></table> 			Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	70%	0	1,307,783	157,720	9,567	1,401,040	1,295,901	162,380	1,396,509	50%	0	584,168	77,166	7,417	652,418	585,640	74,717	670,865	30%	0	130,387	15,459	396	144,611	108,529	11,392	149,069
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																						
70%	0	1,307,783	157,720	9,567	1,401,040	1,295,901	162,380	1,396,509																																																																						
50%	0	584,168	77,166	7,417	652,418	585,640	74,717	670,865																																																																						
30%	0	130,387	15,459	396	144,611	108,529	11,392	149,069																																																																						
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																						
70%	0	1,307,783	157,720	9,567	1,401,040	1,295,901	162,380	1,396,509																																																																						
50%	0	584,168	77,166	7,417	652,418	585,640	74,717	670,865																																																																						
30%	0	130,387	15,459	396	144,611	108,529	11,392	149,069																																																																						

- 제약조건

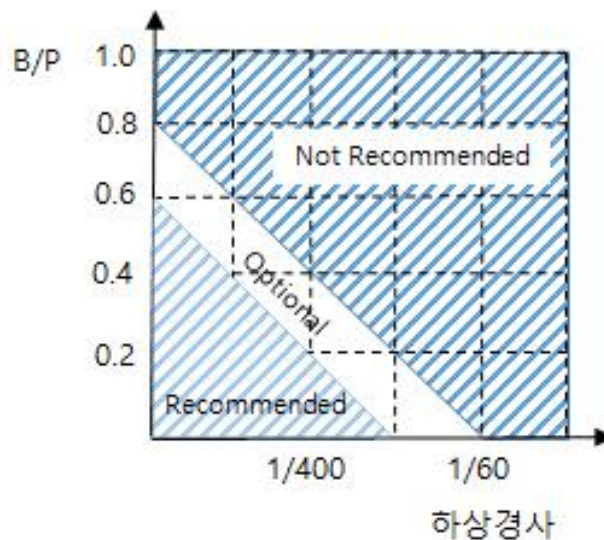
- 수문의 규모는 계획홍수위 대비 관리수위는 30% 이상일 경우에 저수효과는 있으나, 크지 않음

- 일정량 이상의 저수효과를 위해서는 계획홍수위 대비 50% 이상의 관리수위의 유지가 바람직함
- 급경사 지역에 배치는 저수효과가 크지 않았고 중·하류 구간에 설치가 권장됨

구분		급경사 (1/60 이상)	중경사 (1/60~1/400)	완경사 (1/400 이하)	비고
		산지하천 (소하천)	중소규모 하천 (지방하천)	대하천 (국가하천)	
이수 (저수량 확보)	성능	미흡	양호	좋음	규모: 계획홍수위 대비 목표 관리수위
	배치	-	선택적 다단배치	단일/선택적 다단배치	
	규모	-	50% 이상	30% 이상	
치수 (홍수저감)	성능	미흡	양호	좋음	
	배치	-	선택적 다단배치	단일/선택적 다단배치	
	규모	-	50% 이상	50% 이상	
퇴적토 배출	성능	좋음	좋음	좋음	
	배치	단일/선택적 다단배치	단일/선택적 다단배치	단일/선택적 다단배치	

(사) 다단식 하단배출형 가동보 수문시스템의 한계 및 적용조건 검토

- 부력·승강식 가동보 시스템의 이수 및 치수효과는 하상경사가 완만하고, 저류성능이 큰 하천에서 적용성이 뛰어남
- 적용성 제한(not recommended): 하상경사가 매우 급하여 (1/60 이상) 다단식 구간별 저류 및 저수규모가 작고, 수심에 비해 하천의 폭이 넓어서 (B/P=0.8 이상, B=하천폭, P=윤변) 저류성능이 낮은 하천
- 선택적 적용(optional): 1/400~1/60, B/P 0.6~0.8 사이의 저류성능과 치수성능의 조합 또는 선택적 향상이 기대되는 하천
- 적용성이 큼(recommended): 하상경사 1/400 이하의 저류 및 저수규모가 크고, 하천폭과 윤변의 비 B/P=0.6 이하의 저류성능이 큰 하천



<하천경사와 B/P에 따른 가동보 시스템 적용범위>

(아) 하단배출형 가동보에서의 입경별 토사 배출 특성 분석

① 하상토 배출 특성 분석

- 분석 방법

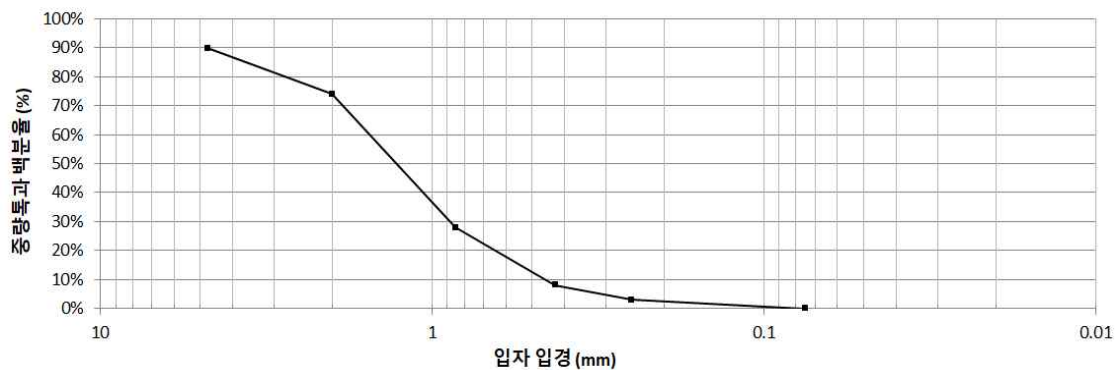
: 하단배출형 가동보의 입경별 하상토 배출 특성을 분석하기 위해, 하상토 입경에 따른 실내실험을 수행함

- 실내실험 조건

: 실내실험은 하상토 입경구분에 따라 수행하였으며, 입경은 4 mm 자갈, 혼합토로 구분, 유량은 0.00998~0.01526 m^3/s , 퇴적토 포설두께는 0.03~0.05 m, 퇴적토 포설길이는 3 m로 하여 하상토 배출 특성을 분석함

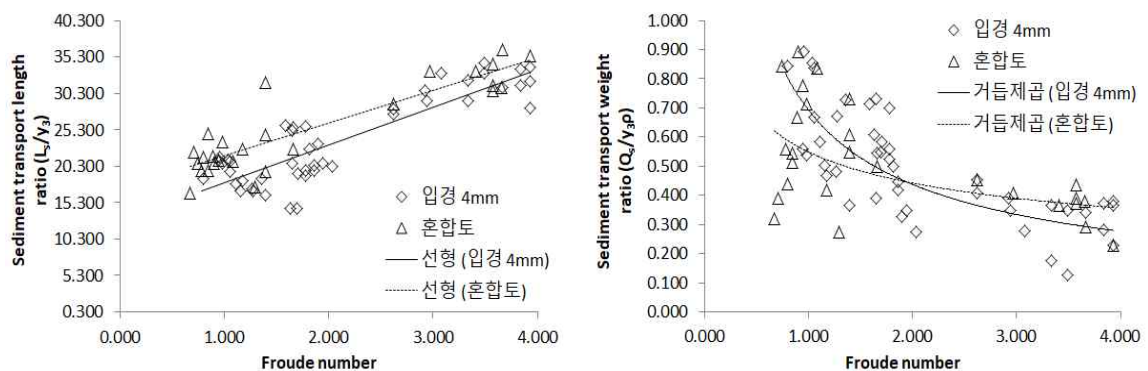
<하상토 배출 실내실험 조건>

입경 (mm)	유량 (m^3/s)	가동보 개방높이 (m)	퇴적토 포설두께 (m)	퇴적토 포설길이 (m)	비고
4 혼합골재	0.01298	0.03 0.04 0.05	0.03 0.04 0.05	3	
	0.01361				
	0.01394				
	0.01459				
	0.01526				



<혼합토 체가름 분석 결과>

- 하상토 입경별 퇴적토사 배출거리와 배출량



<프루드 수에 따른 하상토 입경별 퇴적토사 배출거리 및 배출량>

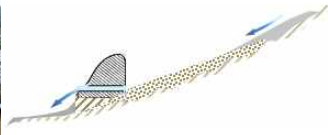
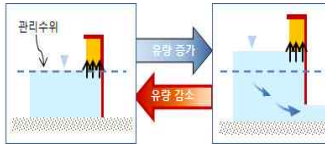
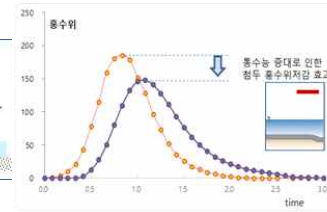
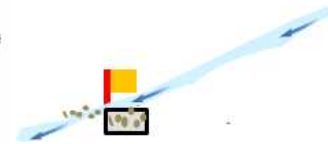
(3) 핵심성과

(가) 성과명 : 하단배출형 가동보의 저류, 분배에 의한 이·치수기능과 퇴적토사 배출 성능향상 및 최적 운전기법 개발

관련 그림 / 사진	Numerical simulation ANN model Management water level Determination of gate openness •시간에 따른 홍수위 평가 (dh/dt) •시간에 따른 저류량 평가 (dS/dt) weir 3 weir 2 weir 1						
	•저류와 분배에 의한 이·치수성능 분석						

나. (공동 연구기관) 하상토 하단배출형 부력·승강식 가동보 시제품 개발

(1) 연구목표

구분	내용
최종 목표	하상토 하단배출형 부력·승강식 가동보 시제품 제작
세부 목표	○ As-is - 하천 횡단구조물에 의한 이치수 성능 저감 및 수질악화 - 하천유량 : 토사 퇴적, 건천화 - 홍수조절 : 연직거치로 홍수범람 유발 - 하천수질 : 오염물질, 토사 퇴적으로 수질악화  <건천화>  <홍수범람>  <하천수질 악화> ○ To-be - 가동보 시제품 및 조작 장치 제작 및 성능 실험 - 하천유량 : 유량유지 성능이 우수한 부력식 수문 - 홍수조절 : 수평거치로 홍수 통수성능이 우수한 승강식 수문 - 하천수질 : 하상토 배출 성능이 우수한 하상토 침전 저장조  <하천유량 유지>  <홍수조절>  <하천수질 향상>

(2) 연구내용

(가) 개념설계

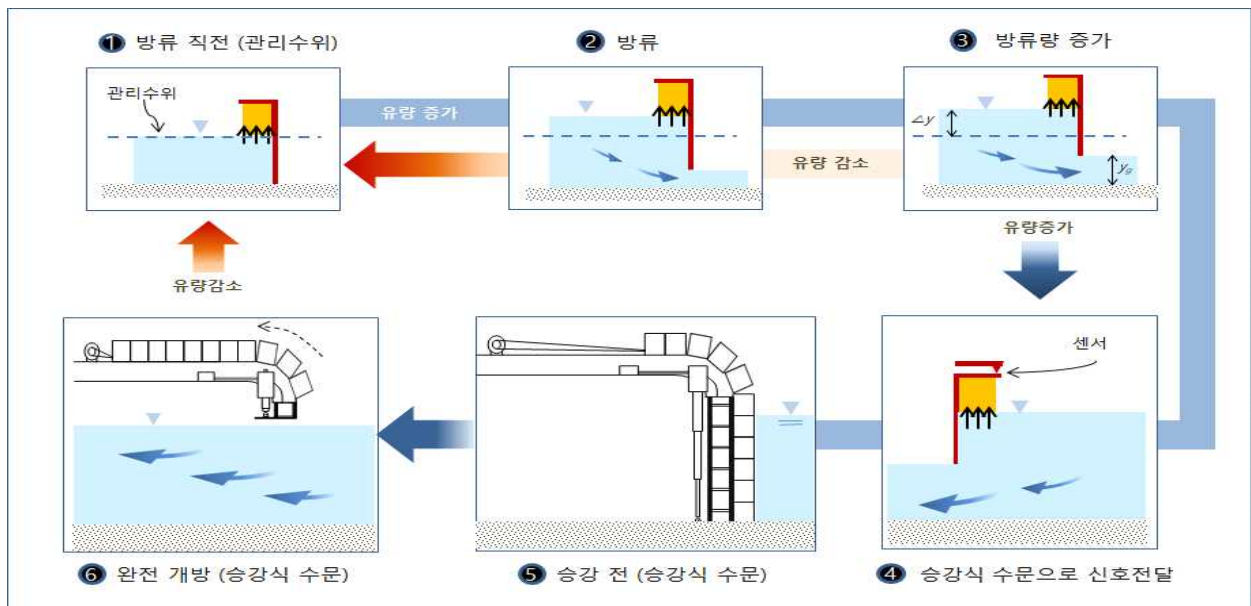
① 하상토 하단배출형 부력 승강식 가동보

- 부력식 수문, 승강식 수문, 하상토 침전 저장조로 유기적, 복합적으로 구성
- 부력식 수문 : 관리수위 자동 조절 및 하상토 배출
- 승강식 수문 : 저수 (유량유지) 및 홍수 시 수문 완전개방
- 하상토 침전 저장조 : 하상토 유입, 침전, 저장, 배출



② 부력식 수문과 승강식 수문에 의한 수위 자동조절 및 수문개방 개념 정립

- 유량 크기와 연동하여 수문이 개폐되고, 자동으로 개방도가 조절되어 관리수위를 자동 유지

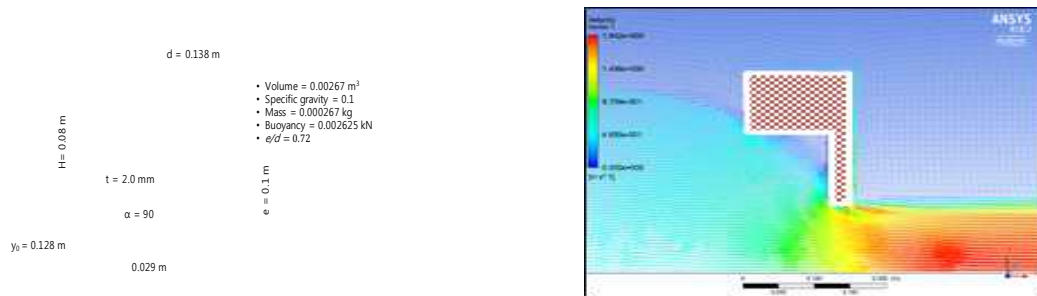


<부력식 수문과 승강식 수문에 의한 수위 자동조절 및 수문개방 개념도>

③ 부력식 수문의 최적 형상비

- 문헌조사 결과, 수문 방류 시에는 압력 차에 의해서 수문개방을 억제하는 동수압 하중이 발생
- 동수압 하중을 가장 작게 받는 수문형상을 찾기 위해 수치적 실험 (ANSYS-FLUENT)을 수행

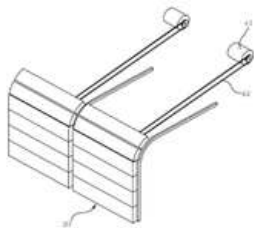
- 다양한 수문 형상비에 대해서 흐름해석을 실시, 동수압 하중을 분석하고, 최적 형상비 ($e/d=0.72$) 도출



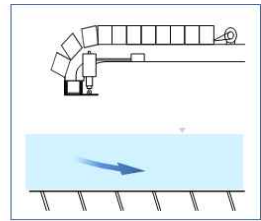
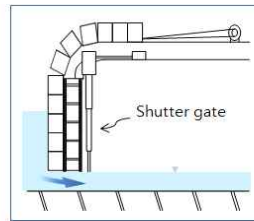
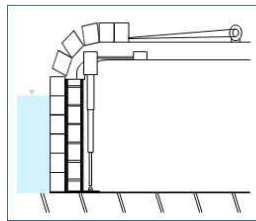
<부력식 수문의 형상, 제원 및 물리적 특성> <부력식 수문 방류 CFD 수치해석_ANSYS-FLUENT>

④ 승강식 shutter 수문과 수문 승.하강 구조

- 승강 후, 수문과 홍수위와의 여유공간을 확보하기 위하여 수평으로 거치하도록 디자인

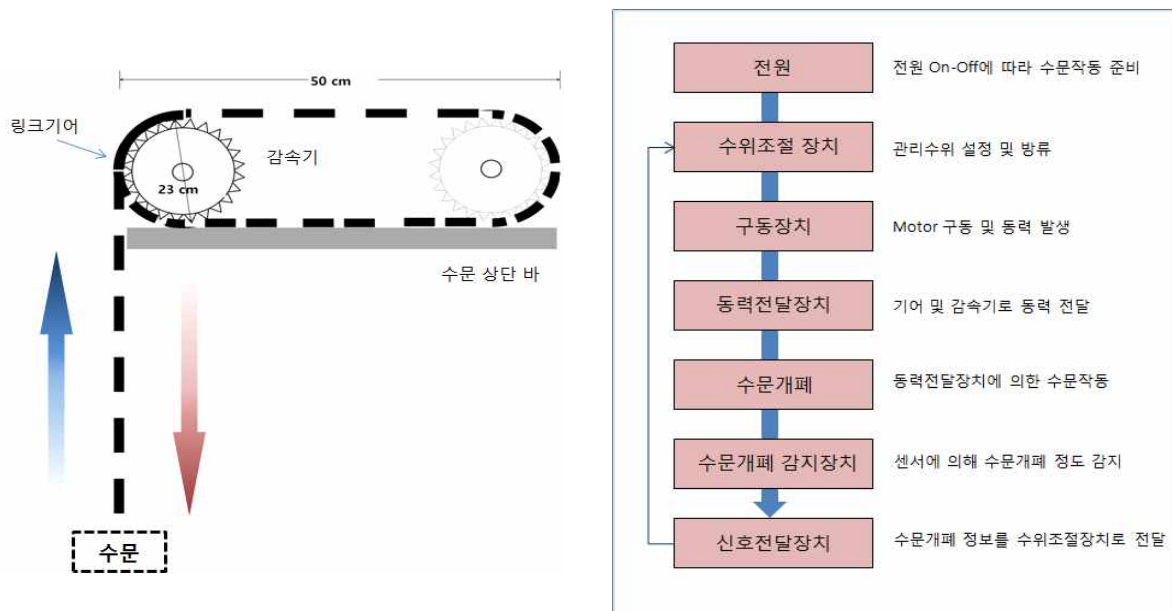


<Shutter 수문>



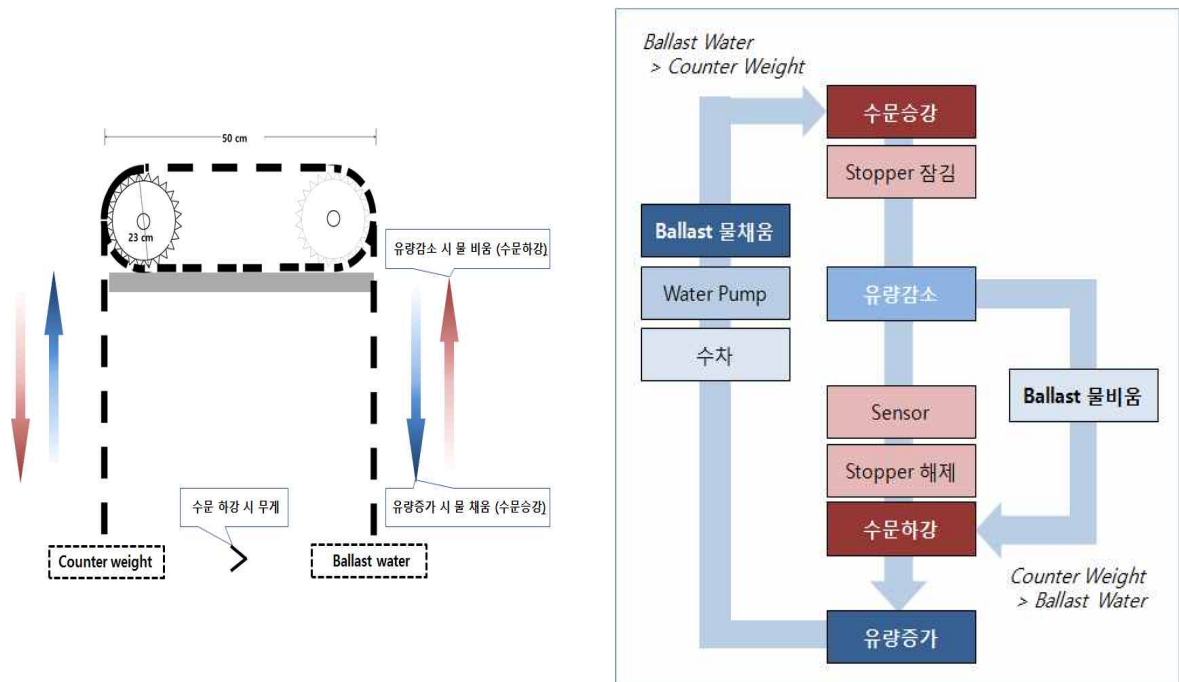
<Shutter 수문과 수문 승.하강 구조 (측면)>

- Shutter 수문의 동력식 조작장치는 관리수위에 따라 모터가 자동으로 작동하고 링크기어로 동력을 전달. 제어부, 구동부, 동력 전달부, 신호감지, 전달부로 구성



<동력식 작동>

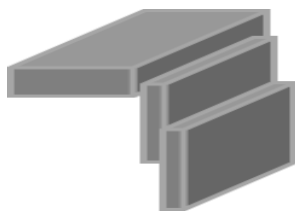
- Shutter 수문의 무동력식 조작장치는 외부전기의 인입 없이 하천유량에 따라 ballast water와 counter weight의 무게 차이에 의해 수문개폐가 자동으로 조작되는 방식. 수위 조절장치, 수위 감지기, 물레형 수차, water pump, counter weight, ballast water, stopper로 구성



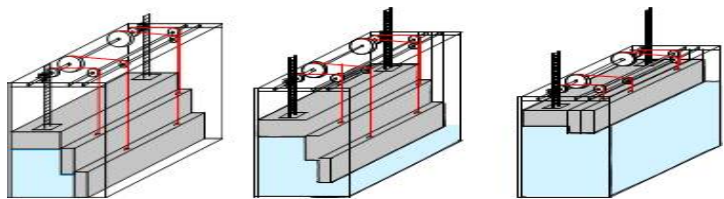
<무동력식 작동>

⑤ 승강식 겹 수문 (multi-layered gate)과 수문 승.하강 구조

- 수문의 구조적 안정성과 홍수위와의 여유공간 확보를 위해서 겹 (multi-layered) 구조로 디자인

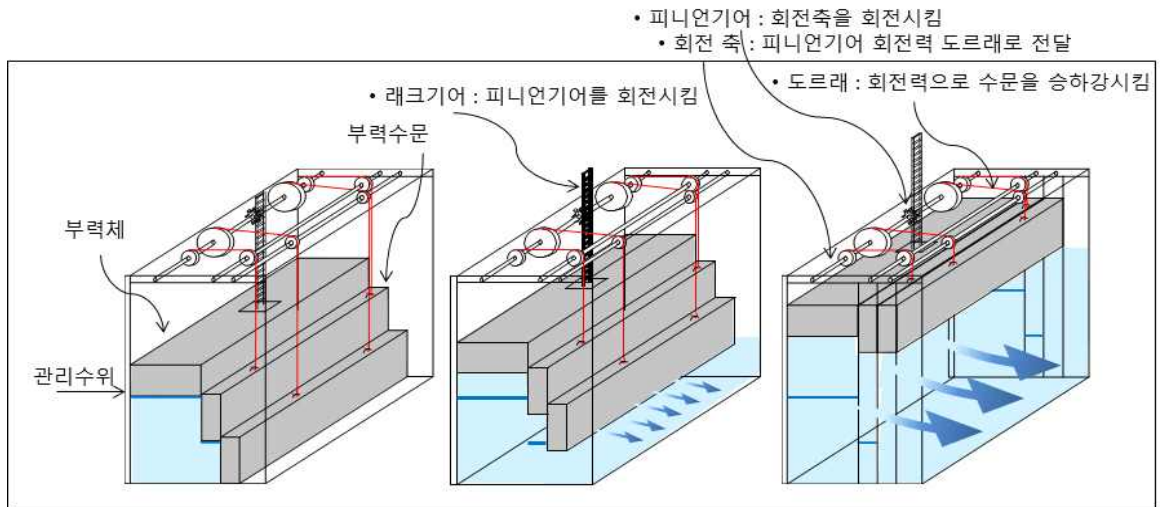


<겹 수문 (multi-layered gate)>



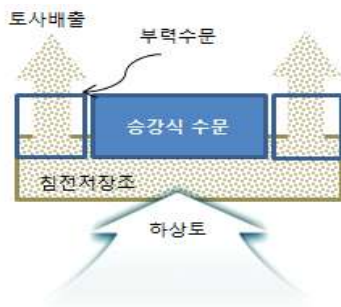
<겹 수문과 수문 승.하강 구조>

- 겹 수문의 조작은 유량과 연동하여 부력체가 승.하강하면, 변속장치에 의해 겹벽 부력 수문이 열리고 닫히면서 수위를 자동으로 조절

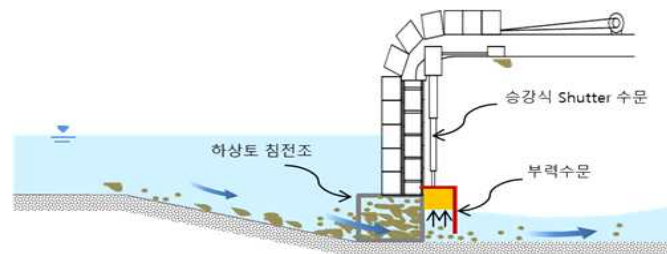


⑥ 하상토 침전 저장조 구조

- 경사구간으로 유입되는 하상토를 침전 저장조에 저장하였다가 부력수문 방류 시 배출



<하상토 침전 저장조>

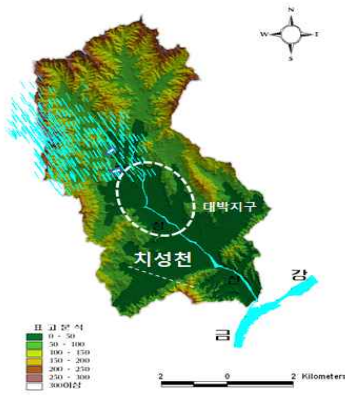


<하상토 유입 및 배출 구조>

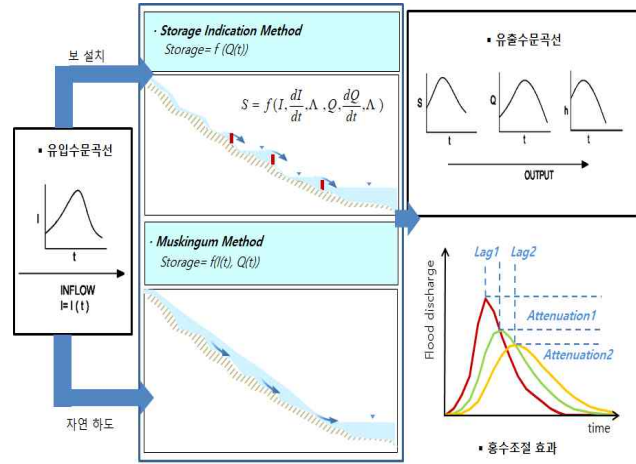
(나) 성능분석

① 이.치수 성능 분석 방법

- 연구대상 지역 : 충남 치성천 대박지구
- 분석방법 : 하상토 배출성능은 Bagnold 이론을 적용하여 고정보와 가동보의 퇴적토 배출량 계산, 저수성능은 갈수기 기간의 기저유출수의 저수량을 계산, 홍수 조절 성능은 80년 빈도의 홍수 유입수문곡선을 기반으로 case 별 (고정보, 자연하도, 가동보 설치 시) 유출수문곡선을 작성하여, 첨두 홍수위 저감, 지체시간을 분석, 비교



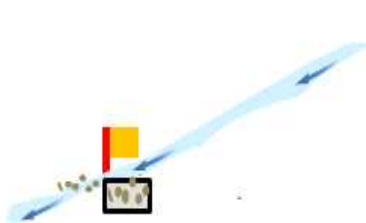
<연구대상 지역>



<Case별 홍수추적 방법>

② 하상토 배출 성능

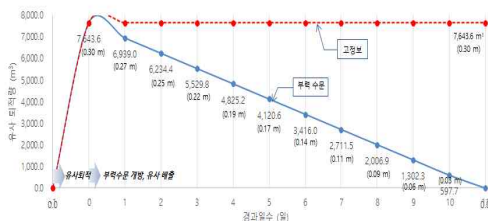
- 가동보 하상토 배출효율 100% : 하상토 저장조 퇴적량= 7,643.6 m^3 , 완전배출 소요일 수=11일
- 하상토 배출효율은 하상토 퇴적량과 하상토 배출량을 비교하여 산정하였으며, 배출효율이 50% 이상 향상함
- 토사 배출율 694 m^3 /일이 계산됨 (고정보 배출율은 0임)



<연구대상 지역>

<토사조건>

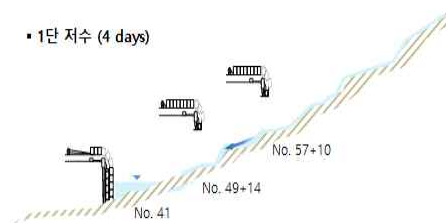
d 16	0.24 mm
D 50	0.34 mm
d 84	0.44 mm
토사비중	2.65
수온	20°C
비중량	9,800 N/m ³



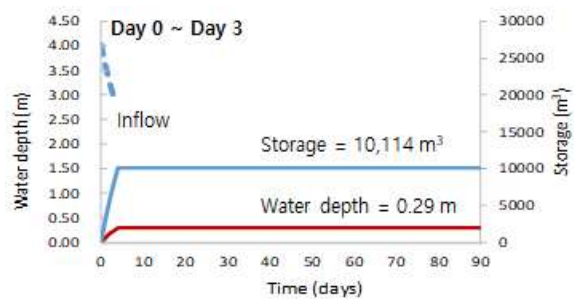
<하상토 배출 곡선_고정보 (적색), 가동보 (청색)>

② 갈수기 저수 (유량유지) 성능

- 갈수기에는 유사퇴적으로 저수가 불가능한 고정보에 반하여, 기저유출량의 100% 다단 저수 가능
- 1단 저수율= 10,114 m^3 /4 days

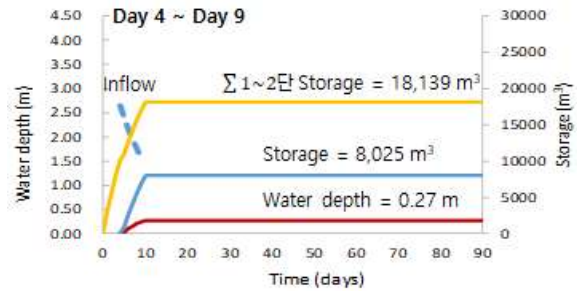
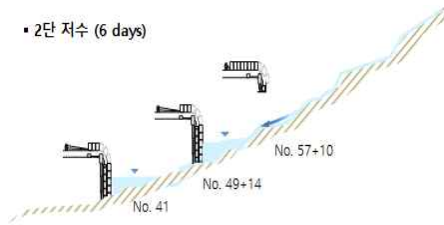


<승강식 수문 1단 저수>



<수심 0.29 m, 1단 저수율= 10,114 m^3 /4 days >

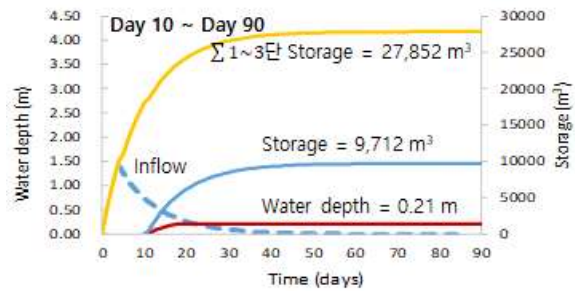
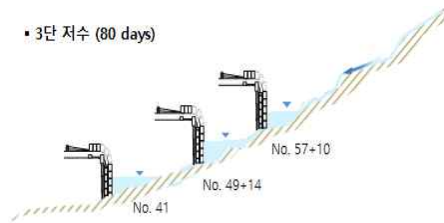
- 2단 저수율= 18,139 m³/6 days



<승강식 수문 2단 저수>

<수심 0.27m, 2단 저수율= 18,139 m³/6 days >

- 3단 저수율= 27,852 m³/80 days



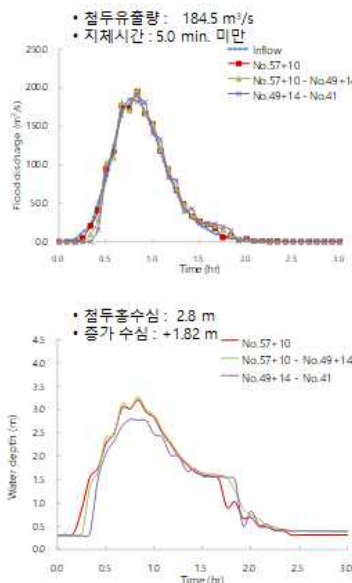
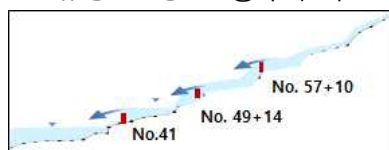
<승강식 수문 3단 저수>

<수심= 0.21m, 3단 저수율 = 27,852 m³/80 days >

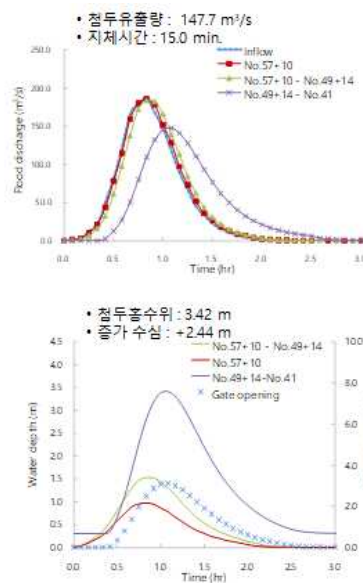
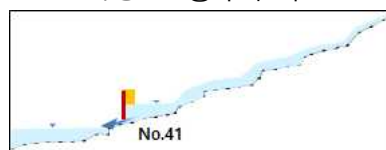
③ 홍수조절 성능

- 부력·승강식 가동보의 3단배치 시, 최종 출구지점 (No.41)에서 유입 첨두 홍수량 189.3 m³/s의 저감율은 33%, 지체시간은 25분이며, 1개소 배치보다 저감율은 14% 향상, 지체시간은 67% 향상
- 고정보 대비 홍수량 저감효과는 약 20%, 지체시간은 약 5배 향상

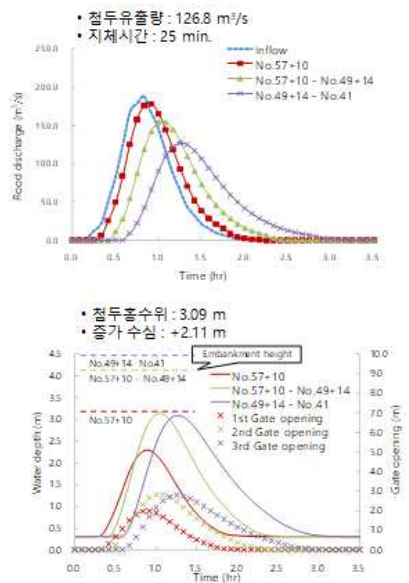
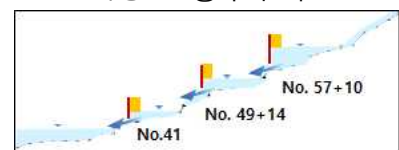
■ 월류형 고정보 홍수추적



■ 1단 가동보 홍수추적



■ 3단 가동보 홍수추적



(다) 경제성 분석 (비용편익 비율)

① 비용편익 비율 계산 조건

- 운영기간 = 50년, - 할인율 = 3%
- 담수량 : 고정보 25,000 m^3 (250 $m^2 \times 100 m$), 가동보 50,000 m^3 (500 $m^2 \times 100 m$)
- 갈수기 용수 구매 절감액 : 24,000,000원
- 갈수기 하천 유지용수 구매 절감액 : 고정보 7,440,000원 ($297.6\text{원}/m^3 \times 25,000 m^3$)
가동보 14,880,000원 ($297.6\text{원}/m^3 \times 50,000 m^3$)
- 홍수위 상승 : 고정보 1 m , 가동보 -1 m
- 침수피해 면적 : 0.15 km^2
- 2011년 면적당 평균 침수피해액 : 22,000원/ m^2
- 침수피해 절감액 : 3,300,000,000원 ($0.15 km^2 \times 22,000\text{원}/m^2$)
- 편익계산 : $A + \frac{(B+C) \times [(1+D)^E - 1]}{D \times (1+D)^E}$
- 여기서 A: 침수피해 절감액, B: 용수구입 절감액, C: 갈수기 용수구매 절감액, D: 할인율, E: 운전 년수
- 부대설비 비용은 시설물의 이용목적과 하천의 규모에 따라 다르므로 실용화 단계의 설계 시 반영

② 계산결과

- 비용 : 고정보 2,562,500,000원, 가동보 2,800,000,000원
- 편익 : 고정보 191,429,444원, 가동보 4,300,373,225원
- B/C : 고정보 0.07, 가동보 1.54
- 부력 승강식 가동보는 고정보 대비 홍수피해 절감과 용수확보 측면에서 편익성이 뛰어나, 비용 편익 비율은 1.54로 계산됨



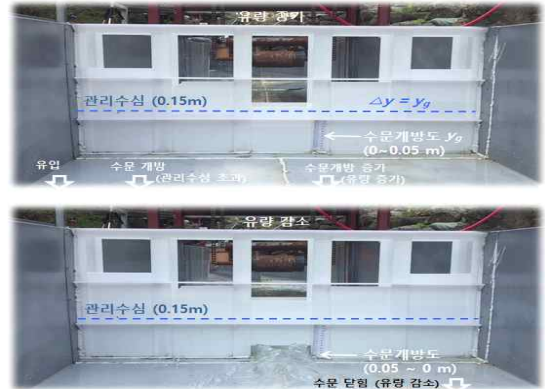
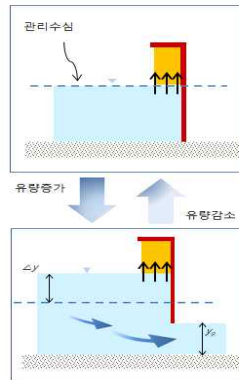
(라) 시제품 제작 및 성능 실험

① 부력식 수문 시제품 제작 및 성능 실험

- 수문 자동개폐 및 개방도 실험결과, 일정시간 경과 후, 수문이 닫히면서 관리수심 0.15 m 유지
- 부력식 수문 모형의 성능 실험을 통해 부력식 수문 작동률 100% 확인



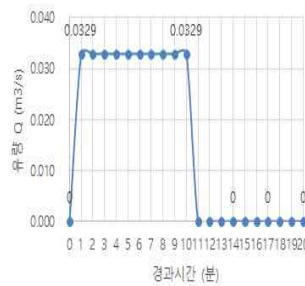
<부력식 수문 모형>



<부력식 수문의 수위자동조절 개념 및 성능 Test>



<부력식 수문 조립체>



<유입량 곡선>



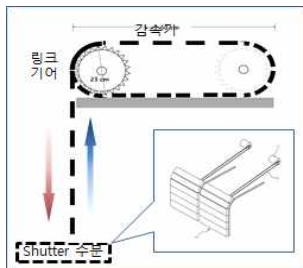
<관리수심 및 수문개방도 곡선>

② 승강식 수문 시제품 제작 및 성능 실험

- Shutter 수문 시제품을 제작하고, 동력식과 무동력식 작동 실험을 실시
- 동력식 수문과 무동력식 수문 시제품의 성능 실험을 통해 승강식 수문 수문 작동률 100% 확인



<Shutter 수문 모형>



<동력식 승하강>



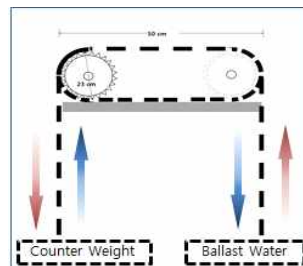
<수문하강 상태>



<수문 수평거치 상태>



<승하강 조작장치>



<무동력식 승하강>



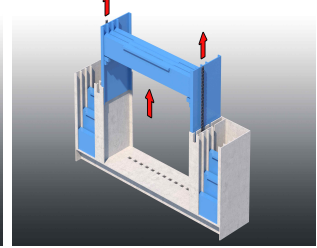
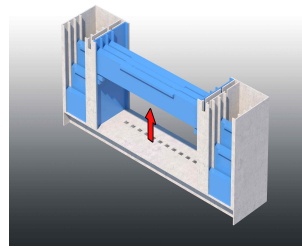
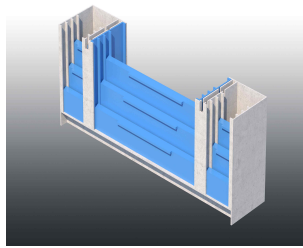
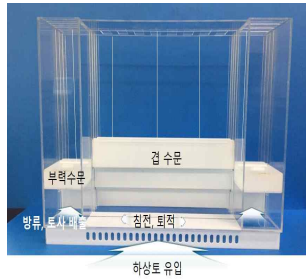
<무동력 하강 상태>



<무동력 승강 상태>

③ 겹 수문(multi-layered gate) 및 침전 저장조 시제품 제작

- 겹 수문과 하상토 침전 저장조 시제품을 결합하여 제작



<겹수문과 침전조 시제품> <겹 수문 닫힘 상태> <겹 수문 부분개방> <겹 수문 완전개방>

(마) 방류실험

① 실험목적

- 부력·승강식 가동보 (부력식 자동수문 형상비, $e/d=0.72$)의 임의의 수심에서 수문 개방고를 예측할 수 있는 무차원식을 도출하고, 방류량을 산정할 수 있는 유량계수를 산정하기 위함

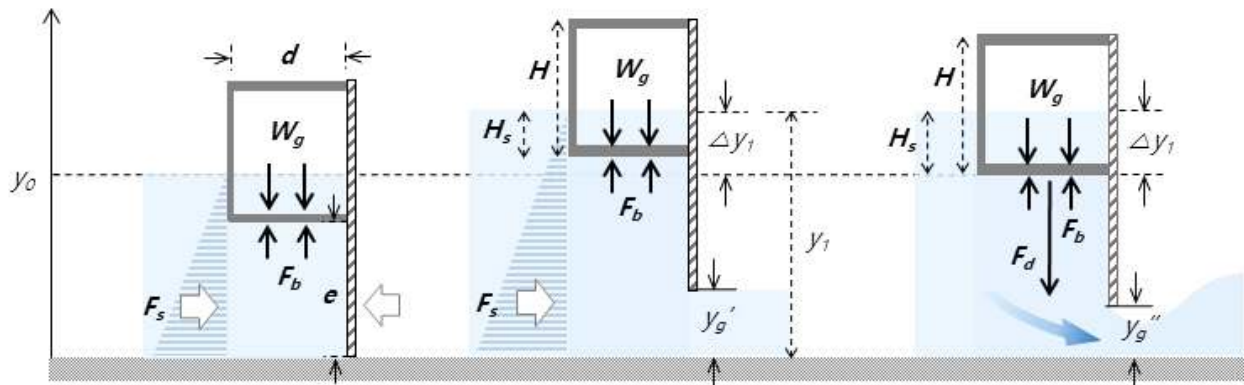


<실험장 부지구성 및 시제품 설치 전경>

② 수문 개방고 예측 접근방법

- 부력식 수문에 작용하는 작용력에 따라 수문의 개방도가 달라짐
- 수문의 자중, 부력, 정수압, 동수압이 작용을 고려할 때, ①정수압 상태의 부력에 의한 상류수심과 수문 개방율을 이론적으로 계산, ②방류실험 (동수압 상태)으로 부터 상류수심과 수문 개방고를 측정, ③무차원 수문 개방율 계산값과 측정값의 관계식 도

출, ④관계식으로부터 임의의 수심에서의 동수압 상태의 수문 개방고를 계산



<수문자중, 부력, 정수압>

$$y_g' = 0$$

<수문자중, 부력, 정수압>

$$y_g' = y_1 - y_0 = \Delta y_1 \quad (y_1 > y_0)$$

<수문자중, 부력, 동수압>

$$y_g'' < y_g'$$

③ 실험장치 구성



<유입부>

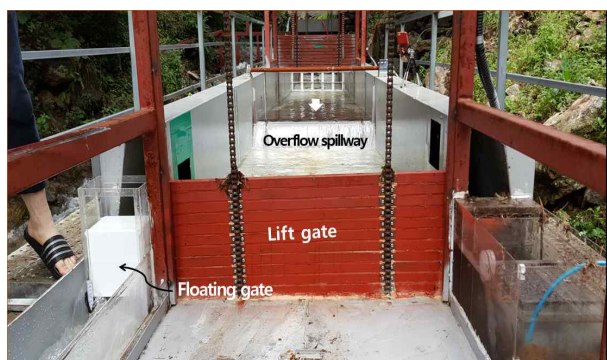
<Shutter 수문 상류부>

<부력식 수문 방류부>

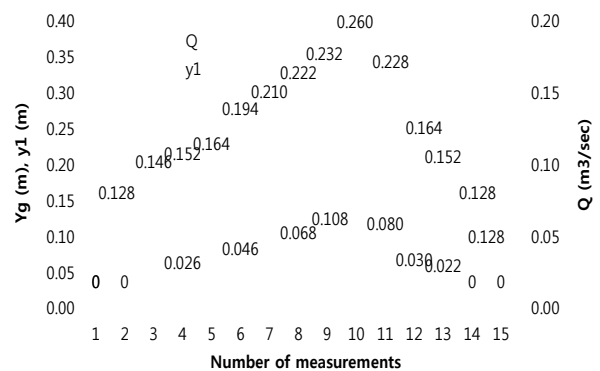
<방류 측정>

④ 부력식 자동수문의 자동개폐 및 개방도 성능 test

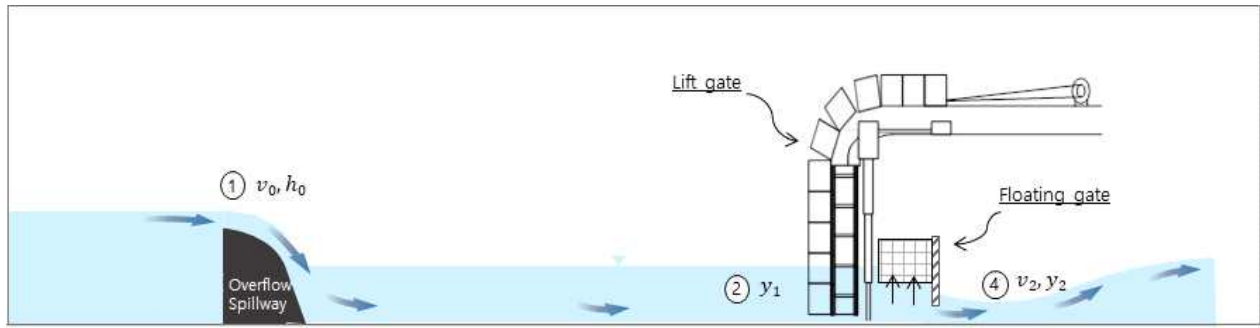
- 설정 관리수심 : 0.128 m
- 부력식 자동수문 형상비 : $e/d=0.72$
- 설정된 관리수심 범위 내에서 유입량의 증감에 따라 수문의 개폐가 자동으로 이루어짐을 확인
- 측정 결과를 통해 유량크기와 연동하여 수문이 개폐되는 수문개방 유량 연동률 100% 확인



<부력식 자동수문의 자동개폐 및 개방도 측정>



<측정 결과>



① 월류댐 월류지점 ② Shutter 수문 상류부 ③ 부력수문 개방구 ④ 부력수문 하류부
 <수심과 유속 측정 단면>

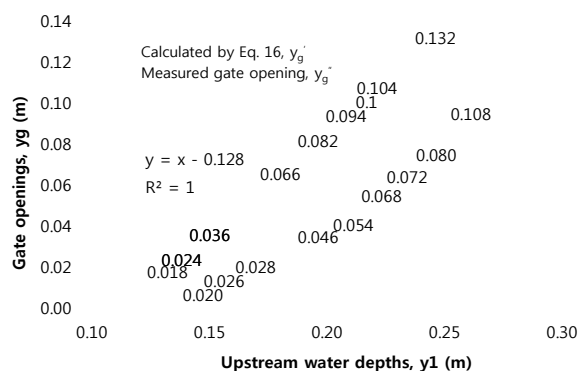
<수심, 유속 측정 및 무차원수 계산 결과 ($y_0=0.128$ m)>

No.	Measured variables								Calculated dimensionless variables				
	Section 1		Section 2	Section 3			Section 4		R_g		R_s	C_p	C_d
	h (m)	q (m^3/s)	y_1 (m)	y_g'' (m)	h_i (m)	H_s (m)	v_2 (m/s)	y_2 (m)	y_g'/y_1	y_g''/y_1	H_s/H	$\frac{h_i - y_2}{v_2^2/2g}$	$\frac{q}{y_g''\sqrt{2gy_1}}$
1	0.015	0.0037	0.146	0.020	0.120	0.026	1.71	0.015	0.123	0.137	0.325	0.704	0.579
2	0.018	0.0049	0.152	0.026	0.126	0.026	1.77	0.018	0.158	0.171	0.325	0.676	0.574
3	0.019	0.0053	0.164	0.028	0.128	0.036	1.85	0.019	0.220	0.171	0.450	0.624	0.556
4	0.028	0.0095	0.194	0.046	0.146	0.048	2.03	0.028	0.340	0.237	0.600	0.561	0.551
5	0.032	0.0114	0.210	0.054	0.154	0.056	2.10	0.035	0.390	0.257	0.700	0.529	0.544
6	0.037	0.0145	0.222	0.068	0.168	0.054	2.15	0.040	0.423	0.306	0.675	0.543	0.535
7	0.039	0.0157	0.232	0.072	0.172	0.060	2.21	0.045	0.448	0.310	0.750	0.510	0.535
8	0.051	0.0236	0.260	0.108	0.208	0.052	2.46	0.069	0.508	0.415	0.650	0.452	0.504
9	0.041	0.0170	0.228	0.080	0.180	0.048	2.25	0.050	0.439	0.351	0.600	0.506	0.523
10	0.020	0.0057	0.164	0.030	0.130	0.034	1.82	0.020	0.220	0.183	0.425	0.651	0.561
11	0.016	0.0041	0.152	0.022	0.122	0.03	1.73	0.017	0.158	0.145	0.375	0.688	0.568

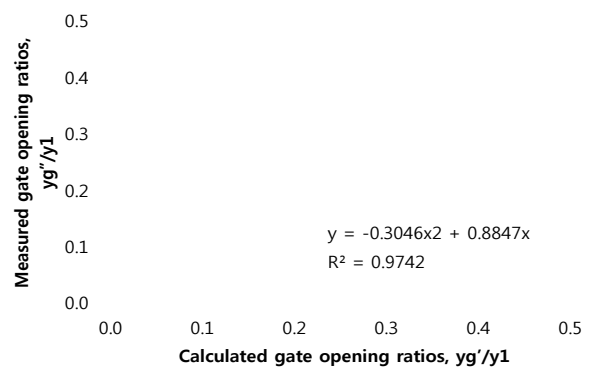
⑤ 실험결과 분석

- 상류수심 약 0.16 m 이후부터, 수문 개방고 측정값은 정수압 이론 계산값보다 작은 값을 보임
- 수문 개방율의 계산값과 실험측정값과의 관계로부터, 임의의 수심에서 동수압 상태의 수문 개방고를 예측할 수 있는 무차원 관계식을 도출

$$: y_g''/y_1 = -0.3046 \times (y_g'/y_1)^2 + 0.8847 \times (y_g'/y_1)$$



<상류수심 vs 수문 개방고>

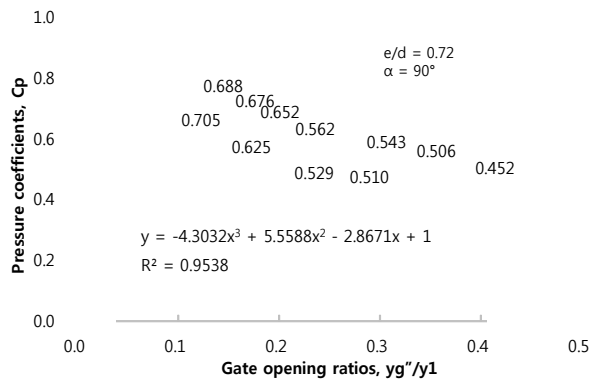


<수문 개방율 계산값 vs 측정값>

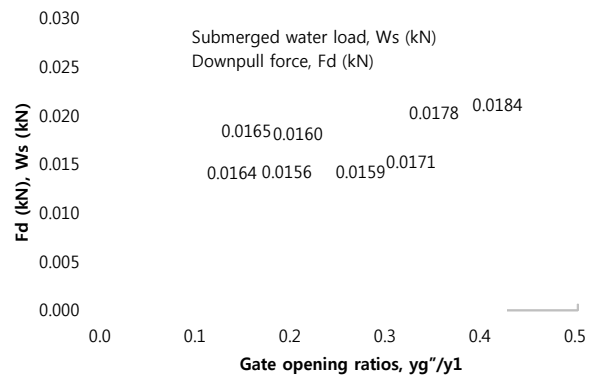
- 수문 개방율에 따른 압력계수를 계산하고, 동수압 하중 산정

$$: C_p = -4,303 \times (y_g''/y_1)^3 + 5,558 \times (y_g''/y_1)^2 - 2,867 \times (y_g''/y_1) + 1$$

- 잠수하중과 동수압 하중을 비교하여, 수문개방 억제 효과가 동수압 하중에 의한 영향임을 검증



<수문개방율 vs 압력계수>

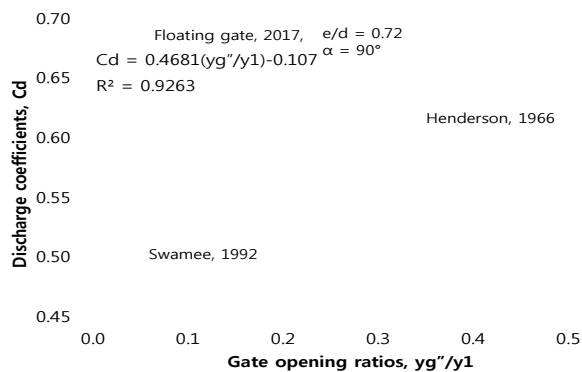


<수문개방율 vs 동수압 하중, 잠수하중>

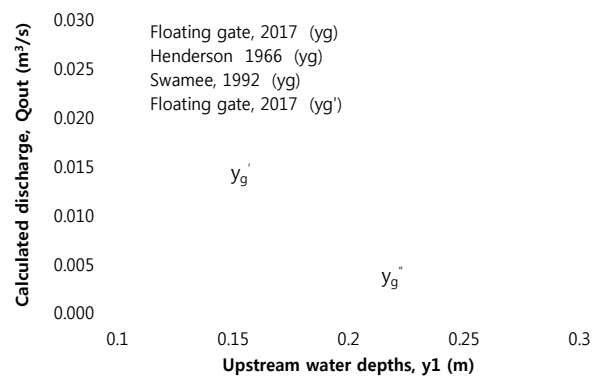
- 수문 개방율과 유량계수의 무차원 관계식을 도출

$$: C_d = 0.4681 \times (y_g''/y_1)^{-0.107}$$

- 상류수심에 따른 방류량은 유량계수 산정식들 간에는 차이가 나지 않는 반면, 수문 개방고에 크게 영향을 받는 것으로 나타남



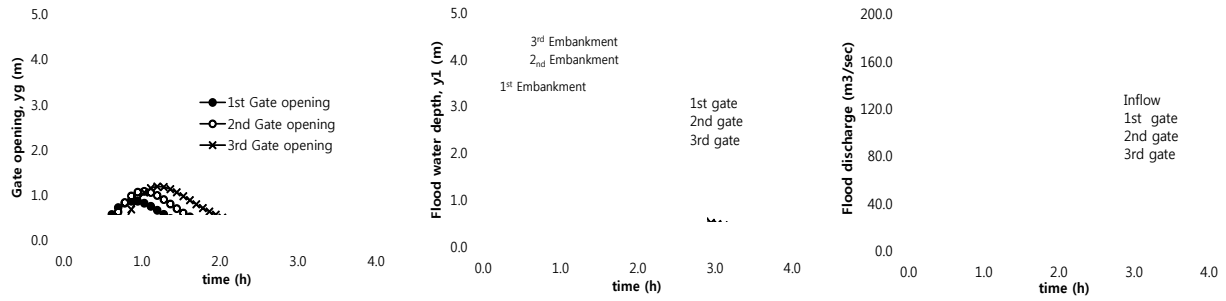
<수문개방율 vs 유량계수>



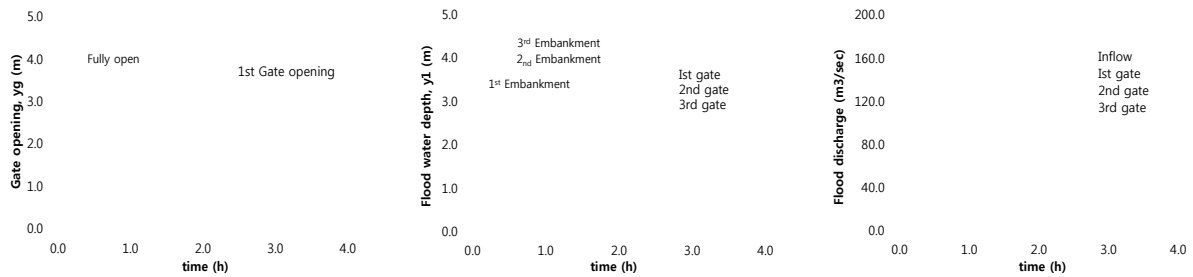
<유량계수 산정식별 상류수심 vs 방류량>

⑥ 홍수추적에 적용

- (나) 성능분석과 동일한 대상에 홍수추적을 실시한 결과, 동수압 하중을 고려한 수문 개방고를 적용할 경우, 고려하지 않을 경우와 달리, 수문을 완전 개방하여야 함
- 수문설계 시에는 동수압 하중으로 인한 수문개방 억제 효과를 충분히 고려하여야 함



(a) 수문 개방고 (b) 수위곡선 (c) 유출수문곡선
 <동수압 하중을 고려하지 않은 수문 개방고, 수위곡선, 유출수문곡선>



(a) 수문 개방고 (b) 수위곡선 (c) 유출수문곡선
 <동수압 하중을 고려한 수문 개방고, 수위곡선, 유출수문곡선>

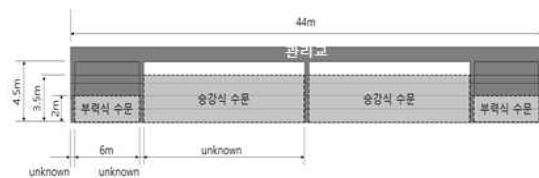
(바) 구조적 안정성 수치해석

① 해석목적

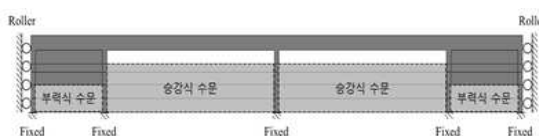
- 관리교 상판 슬라브, 교각, 승강식 수문 및 부력식 수문 구조물의 두께에 대한 최소 단면을 도출

② 해석방법 및 해석조건

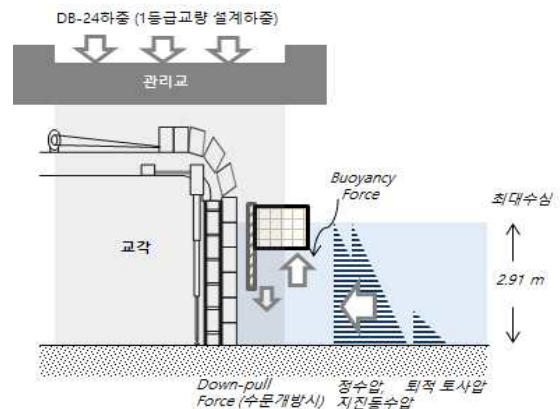
- 상용 유한요소해석 프로그램인 Abaqus 6.12 사용
- 대상 구조물은 폭 44 m 치성천 중상류 구간에 설치될 것으로 예상하여 총 4 경간으로 나누고, 높이 4.5 m, 폭 5 m의 교각, 6×6×1 m의 상판 슬라브, 높이 2 m, 폭 6 m의 부력식 수문 2개와 높이 3.5 m의 승강식 수문으로 구성
- 하중조건은 구조물에 대해서 정수압, 퇴적 토사압, 지진 동수압을 적용. 수문개방 시에는 down-pull force를 추가로 적용하여 수문개방 억제 효과에 대한 응력변화 양상을 구하고, 사용 한계 응력에 근접한 각 부재의 두께를 도출



<수치해석 대상 구조물의 제원>



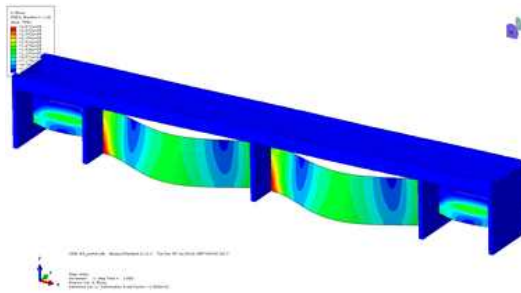
<수치해석 경계조건 : fixed, roller>



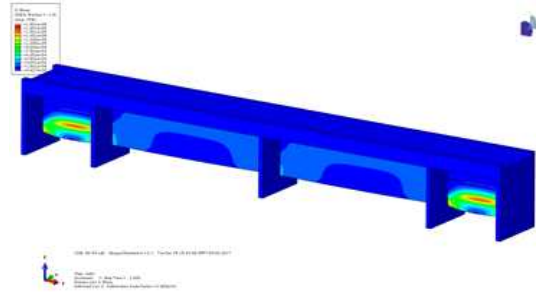
<작용하중 : 정수압, 부력, 퇴적 토사압, 지진 동수압, down-pull force>

② 해석결과

- 설계강도 27 MPa 및 SM490을 기준으로 도출된 극한상태에서의 steel 수문의 최적 단면의 두께는 관리고 교각= 0.4 m, 승강식 수문= 0.08 m, 부력식 수문= 0.014 m임
- GFRP 수문의 최적 단면의 두께는 교각= 0.4 m, 승강식 수문= 0.045 m, 부력식 수문= 0.008 m이며, steel 수문 대비 약 43%의 단면 감소와 약 84%의 중량 감소 효과를 보임
- 수문단면의 안전율은 극한상태에서 1.03~1.83, 정상 운용상태에서 1.2~2.14로 도출됨
- 문틀과 분비의 조립상태는 수밀을 고려하여 최대한 정밀하게 가공 조립하며, 수밀재료로 고무, PE 등을 사용하여 수밀성 100% 확보가 가능함



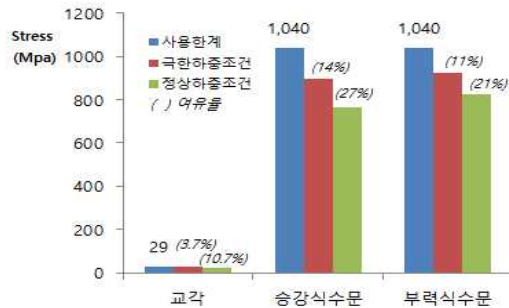
<부력식 수문 개방 시 응력분포>



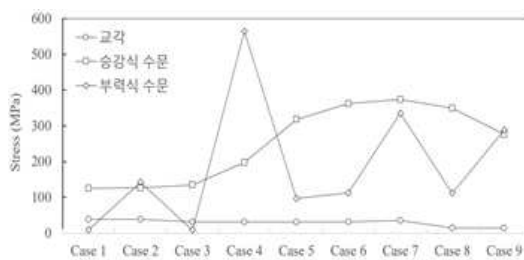
<수문 동시 개방 시 응력분포>



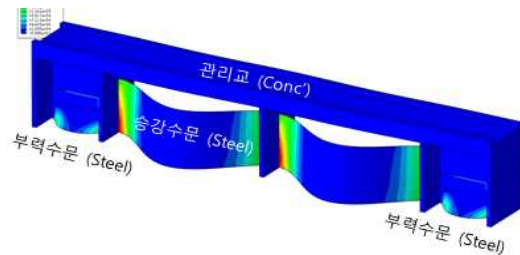
<하중 조건별 분포응력_steel>



<하중 조건별 분포응력_GFRP>



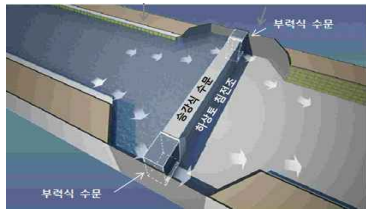
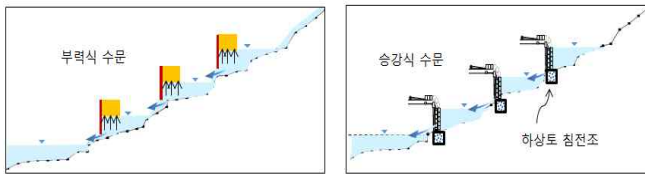
<구조물 두께별 최대응력_9 cases>



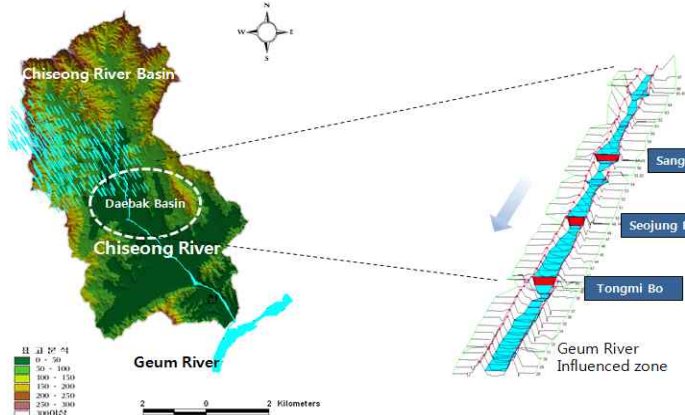
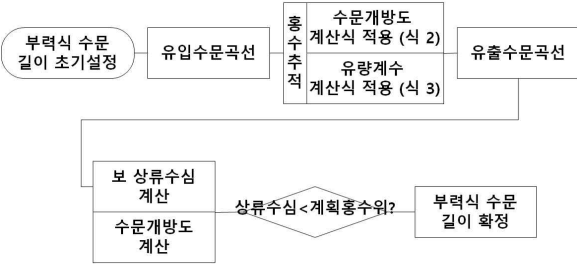
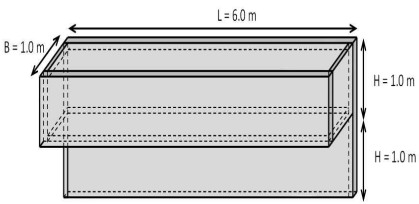
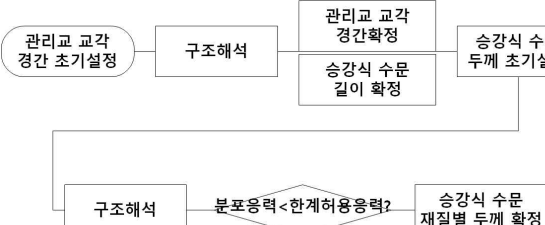
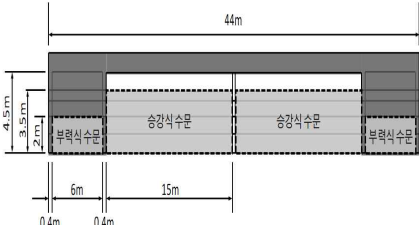
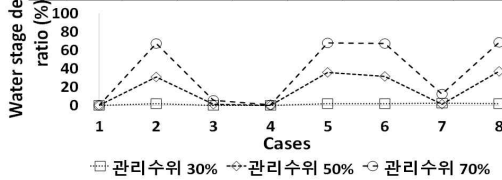
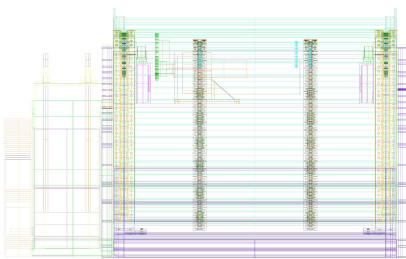
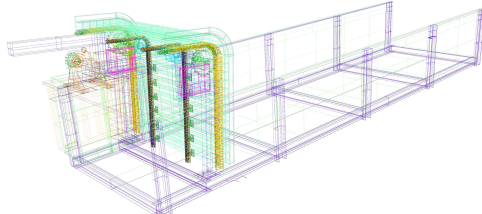
<최적단면 응력분포>

(3) 핵심성과

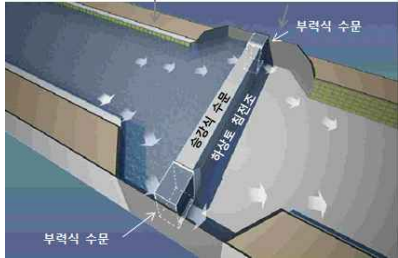
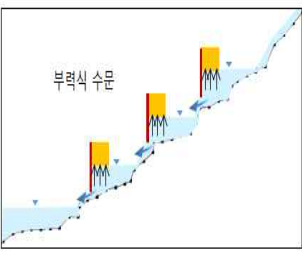
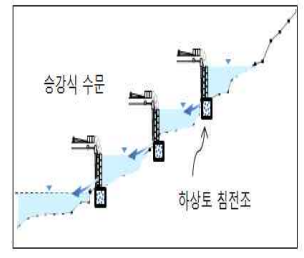
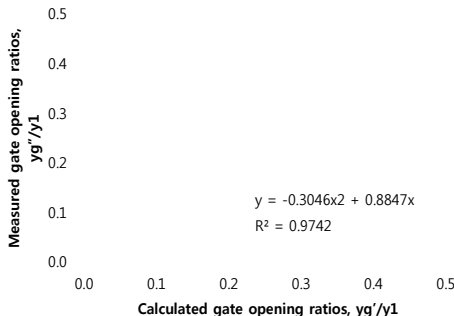
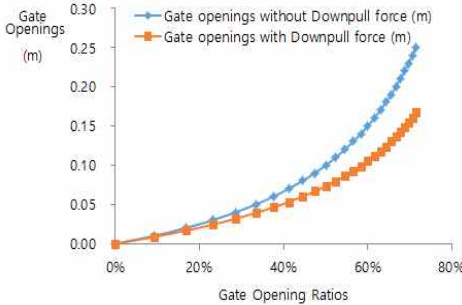
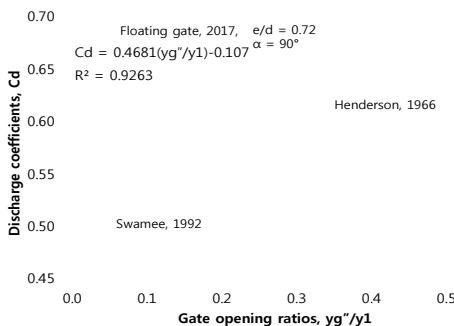
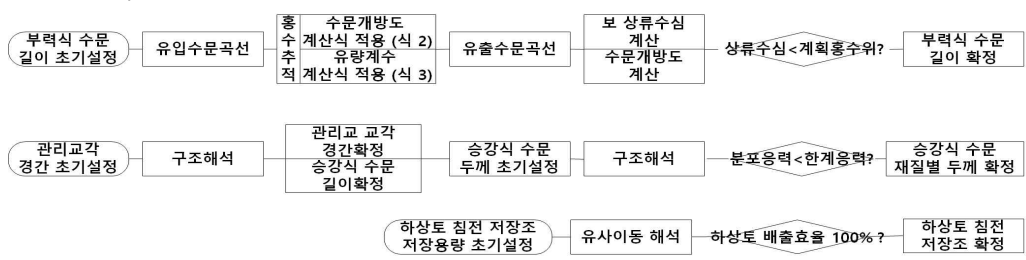
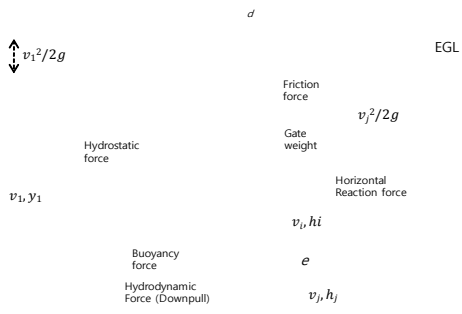
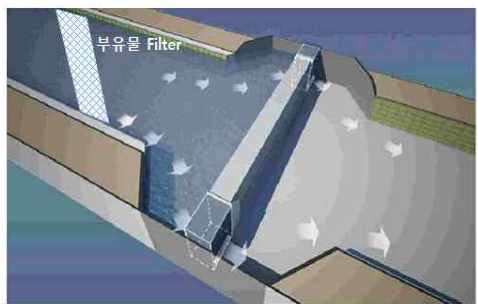
(가) 성과명 : 하상토 하단 배출형 부력 승강식 가동보 개발

관련 그림 / 사진								
		• 하상토 하단 배출형 부력 승강식 가동보		• 부력식 수문 : 관리수위 자동 유지 및 하상토 배출 • 승강식 수문 : 저수 • 하상토 침전 저장조 : 하상토 유입, 침전, 저장, 배출				
정의		• 하상토 하단 배출형 부력 승강식 가동보는 부력식 수문, 하상토 저장조, 승강식 수문이 유기적, 복합적으로 구성된 가동보임. 부력식 수문은 수위를 자동으로 조절하면서, 저장조에 퇴적된 하상토를 배출하며, 승강식 수문은 필요 시, 수문개폐와 개방도를 조작함으로써, 상시 깨끗한 하천용수가 유지될 뿐만 아니라, 가뭄과 홍수에 대응할 수 있는 기술임						
목적		• 갈수기에는 기저유출수를 저수하여, 용수확보 • 평수기에는 하상 오염물질과 토사를 하단으로 배출함으로써, 수질을 개선 • 홍수시에는 하천을 완전히 개방함으로써, 홍수범람을 방지						
성능목표		(기존기술 수준) • 고정보 : 하상토 퇴적 • 가동보 (전도식 수문) : 수동조작, 토사배출이 원활하지 않아 도복이 불가한 현상 발생 • 가동보 (승강식 수문) : 수동조작, 승강 후, 연직거치로 수문개방 효율 저하 (개발기술 수준) • 하천유량 유지 효율 100% 향상 • 수문개방 효율 100% 향상 • 하상토 배출 효율 100% 향상						
성과달성 책임자 (소속기관)		• 한일영 (삼화건설환경(주))						
소요기간		' 15.09 ~ ' 18.06(2년9개월, 1년차, 2년차, 3년차)						
핵심성과	달성 확인방법	1차년도	• 설계도, 실적보고서					
		2차년도	• 시제품, 작동 test 동영상					
		3차년도	• 시제품, 실험보고서, 실험 동영상, 구조해석 보고서					
	양적 성과	1차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타
			국내 2건					
		2차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타
			국내 2건			국내 2		
		3차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타
			국외 1건			국내 1		
	질적 성과	1차년도	• 수문 승하강 작동율 (수문개방효율) 100%					
2차년도		• 하천유량 유지 효율 100%						
3차년도		• 하상토 배출효율 100%						
성과 활용계획		• 활용계획 - 최종 수요처 및 분야 : 남양주시 생태하천과 - 활용시기 및 방식 : 외방천 정비사업에 적용하여 기술검증 (2018/12)						

(나) 설계보고서 (별쇄본)

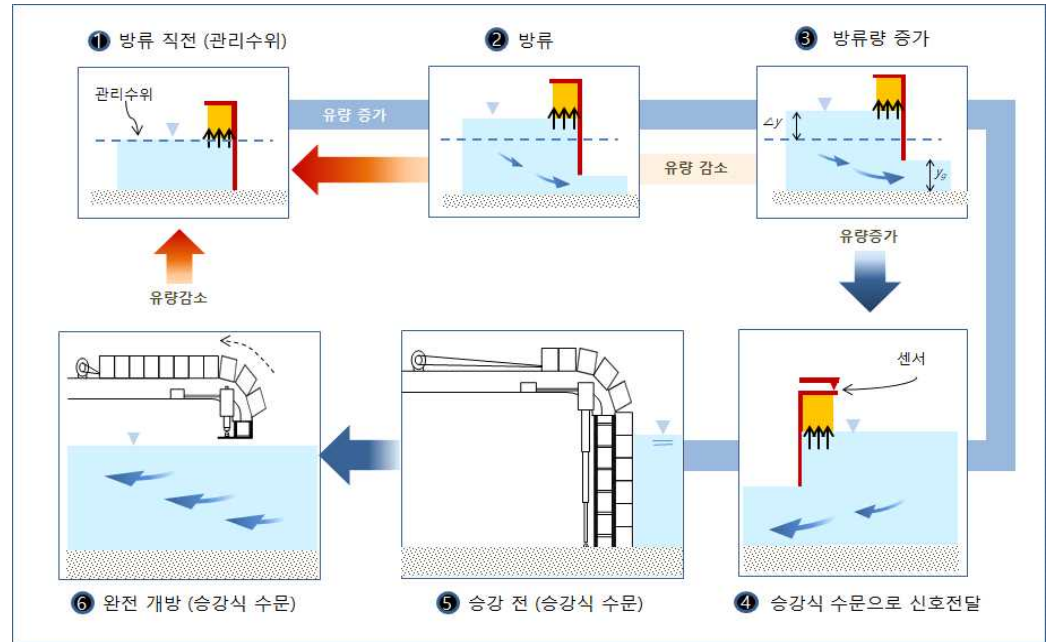
	- 하상토 하단배출형 부력·승강식 가동보의 설계방향 설정 																																				
1. 설계방향 설정																																					
2. 부력식 수문설계	- 부력식 수문 설계 절차  																																				
3. 승강식 수문설계	- 승강식 수문 설계 절차  																																				
4. 다단식 하단배출형 가동보 수문시스템	- 하단배출형 가동보 수문시스템의 적응성 검토 및 최적 운전 지침 <table><tr><td>Cases</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>70%</td><td>0.00</td><td>67.28</td><td>5.56</td><td>0.62</td><td>67.90</td><td>67.28</td><td>12.35</td><td>68.52</td></tr><tr><td>50%</td><td>0.00</td><td>30.86</td><td>1.23</td><td>0.00</td><td>35.80</td><td>31.48</td><td>1.23</td><td>37.04</td></tr><tr><td>30%</td><td>0.00</td><td>1.85</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>1.85</td><td>1.85</td><td>2.47</td><td>1.85</td></tr></table> Numerical simulation ANN model Management water level Determination of gate openness •시간에 따른 홍수위 평가 (dh/dt) •시간에 따른 저류량 평가 (dS/dt) weir 3 weir 2 weir 1	Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	70%	0.00	67.28	5.56	0.62	67.90	67.28	12.35	68.52	50%	0.00	30.86	1.23	0.00	35.80	31.48	1.23	37.04	30%	0.00	1.85	0.00	0.00	1.85	1.85	2.47	1.85
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8																													
70%	0.00	67.28	5.56	0.62	67.90	67.28	12.35	68.52																													
50%	0.00	30.86	1.23	0.00	35.80	31.48	1.23	37.04																													
30%	0.00	1.85	0.00	0.00	1.85	1.85	2.47	1.85																													
부록. 가동보 시제품 설계도면	- 부력식 수문과 승강식 수문 시제품 설계도면 																																				

(다) 사용자 매뉴얼 (별쇄본)

1. 개발 배경 및 목적	- 홍수 시에 하천을 완전히 개방함으로써 홍수범람을 방지 - 갈수기에는 기저유출수를 저수하여 용수확보 - 평수기에는 하상 오염물질과 토사를 하단으로 배출함으로써 수질 개선
2. 시스템의 구성 및 기능	- 하상토 하단배출형 부력·승강식 가동보 시스템 - 요소기술 : 부력식 자동수문, 승강식 자동수문 (shutter), 승강식 수동 수문 (shutter), 승강식 겹수문, 하사오 침전 저장조   
3. 설계방법	- 수문 개방도 산출식   - 유량계수 산정식  Floating gate, 2017, $e/d = 0.72$ $C_d = 0.4681(yg'/y1)^{-0.107}$ $\alpha = 90^\circ$ $R^2 = 0.9263$ Henderson, 1966 Swamee, 1992 • Henderson, 1966 • Swamee, 1992 • Floating gate, 2017 ($e/d=0.72$) $C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1+\eta}}$ $C_d = 0.611 \left(\frac{y_1 - y_g}{y_1 + 15y_g} \right)^{0.071}$ $C_d = 0.4681 \times (y_g''/y_1)^{-0.107}$ - 설계절차  - 수문인양 동력 및 유송잡물 filtering  

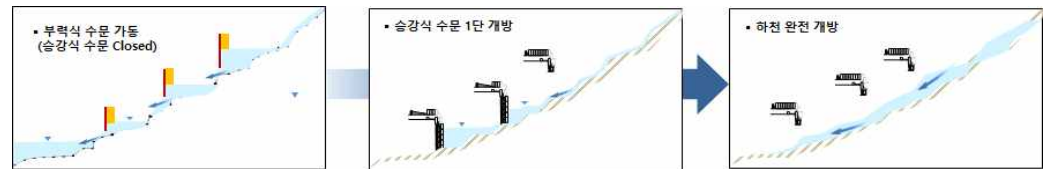
4. 가동보 시스템 작동

- 유입 유량에 따른 부력식 수문과 승강식 수문의 유기적인 작동

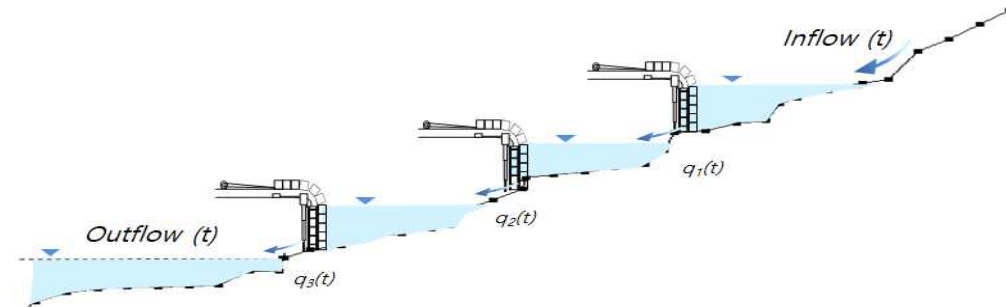


5. 이·치수를 위한 수문개방 관리

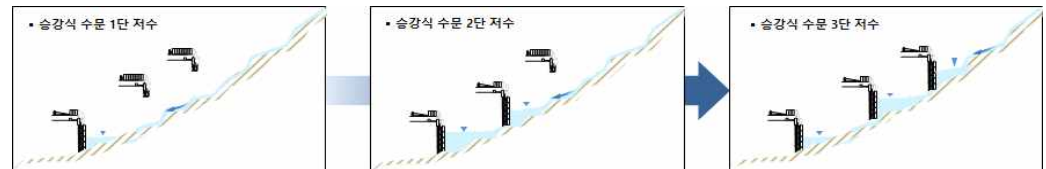
- 홍수기 부력식 자동수문 수위 자동조절



- 승강식 수문 수문조작



- 갈수기



6. 가동보 시스템의 적용범위

- 부력·승강식 가동보 수문시스템의 이수 및 치수효과는 하상경사가 완만, 저류 성능이 큰 하천에서 적용성이 뛰어남

- 하상경사와 하천의 폭 B와 윤변 P의 비인 B/P의 관계를 이용한 적용성의 도식화 제공



다. 최종성과보고서 (별쇄본)

물관리연구사업 극한 수재해 대응을 위한 다단식 다기능 하단배출형 가동보 수문 시스템 개발 성 과 보 고 서 2018. 06 상지대학교 산학협력단 삼화건설환경(주)	목차 제 1 장 과학의 개요 1 제 2 장 하단 배출형 부력 승강식 가동보 모형제막과 성능실험 5 제 3 장 구조해석을 통한 최적단면 설계 41 제 4 장 하단 배출형 부력 승강식 가동보 설계, 성능분석 및 비용편익 75 제 5 장 하단배출형 수문의 저류와 지수효과 분석 94 제 6 장 하단배출형 수문의 하상트 배류효과 분석 106 제 7 장 다단식 하단배출형 수문의 최적 운전기법 121 제 8 장 수문시스템의 적용성 분석 및 검증 134 제 9 장 결론 144 2
---	---

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 수문 모형 및 제어설비 제작 (하상토 하단 배출형 부력 승강식 수문 및 승·하강 조작장치)

- (1) 국내 설치된 가동보의 문제점을 파악하여 개선점에 주안점을 두고, 기술개발을 수행함
- (2) 수위 자동조절이 가능한 자동수문 제작
 - 유량과 연동하여 수위 자동조절이 가능한 자동수문
- (3) 수평거치가 가능한 승강식 수문 제작
 - 동력식, 무동력식 승·하강 조작
 - 승강 후 수평거치로 홍수위와 여유 공간 증대
- (4) 하상토 침전 저장조 모형제작
 - 하상토의 유입, 침전, 저장, 배출
- (5) 하상토 배출형 부력 승강식 가동보 모형제작
 - 부력식 수문, 승강식 수문, 하상토 침전 저장조의 복합구조를 개발
 - 다기능 (평수기 수위 자동조절 및 유사 배출, 갈수기 저수, 홍수기 수문 완전개방) 구현이 가능

나. 다단식 다기능 하단 배출형 가동보의 저류 기능 향상, 홍수위 저감과 퇴적토 배출 극대화 기법

- (1) 수문학적 및 수리학적 홍수추적을 통하여 구간별 저류 기능 향상, 첨두 홍수량 저감과 지체시간 효과를 계산함
 - 가동보의 다단배치 시, 구간별 저류 효과와 홍수위 조절 성능평가 기법을 정립
 - 가동보 설치에 따른 퇴적토 이동특성 실험과 분석
- (2) 수치모의 결과를 인경신경망 프로그램에 적용함
 - 홍수위 저감 극대화를 위한 제약조건 및 최적변수 도출을 시도함
 - 다단식 가동보 구간 연계운동을 위한 수리학적 운영데이터 확보
 - 목표 저류량과 하류단 목표 홍수위의 제어를 위한 다단식 보에서의 관리수위 최적화 결정

다. 다단식 다기능 하단배출형 가동보 하상토 배출 극대화 기법

- (1) Bagnold 이론 방정식을 적용하여 월류형 수문과 하단 배출형 수문의 유사 (하상토) 배출특성을 분석, 비교함
 - 고정보, 가동보 흐름조건을 정립
 - 유사이동 계산결과를 저류지시법에 적용함으로써, 유사의 퇴적깊이 산출 방법을 정립
- (2) 유사이동 실내실험을 통하여
 - 하단배출형 수문의 흐름조건과 유사배출 관계의 무차원 관계식을 개발

2. 관련 분야 기여도

가. 기술적

- (1) 관련 분야에서의 수위 자동조절 기능을 갖는 무동력 자동수문의 활용성 증대
- (2) 다단식 가동보에 의한 다단저류 기술의 수력발전 시장 (신재생 에너지) 활성화
- (3) 기후변화와 화석연료에 대응한 수자원 확보전략에 본 기술 반영
- (4) 타 산업에서의 자동화 운전의 파급효과 증대

나. 경제적

- (1) 홍수로 인한 피해 저감 (최근 10년간 국내 홍수 피해액 : 약 51,196억원)
 - (2) 가뭄피해 저감 (수도권의 경우, 향후 10년 동안 가뭄피해액 : 약 7조원)
 - (3) 유지관리비 절감 (국가하천 유지관리비 : 연간 2,400억원)
 - (4) 신기술 해외수출로 인한 국부창출
-

제5장 연구개발 성과의 활용 계획

1. 기대효과

가. 기술적 기대효과

- 하상토 배출과 저류, 치수성능 향상 극대화를 위한 최적 운전기법의 개발
- 하천 유지 (또는 생태) 유량의 저류 및 관리 효율 향상
- 하상토 배출 효율 향상과 치수 성능 극대화

나. 경제적 기대효과

- 홍수피해로 인한 경제적 손실 연간 2,500억원 절감 (하천홍수피해액 1,000억원/년 (국내하천 1997년~2012년 15년간 년평균 하천홍수피해액), 홍수피해 복구액 1,500억원/년 (소방방재청 홈페이지))
- 하천유량 유지관리비 연간 3,200억원 절감 (유지용수 구입비 1,200억원/년 (2020년 물 부족 4.0억 m³, 구매단가 300원/m³, 국회입법조사처, 2017), 국가하천 가동보 유지관리비 200억원/년 (news1, 2013))
- 하도 준설비 연간 325억원 절감 (평년 하도준설비 405억원, 추가 하도준설비 269억원 (프레시안, 2012))
- 해외 기술수출로 국부창출

다. 사회적 기대효과

- 하천유량 관리에 의한 쾌적한 친수공간 확보로 수변공간 활용성 제고
- 갈수시 하천구간별 목표 저수량의 확보에 의한 건전한 수중생태 서식공간의 향상
- 국가적 시범사업 유도로 일자리 창출

2. 활용계획

가. 노후 보 개량사업에 적용

- 저수량 확보, 분배에 의한 치수 능력 증대와 퇴적토사 배출 기능의 향상
- 노후 낙차공 개보수

나. 하천정비 사업에 적용

- 홍수조절이 요구되는 하천에 신규 하천 시설물 설치
- 기존 가동보를 교체

다. 수위자동조절 수문이 필요한 분야에 적용

- 홍수조절지, 생태저류지, 빗물저류지, 인공습지 등
- 관개용 수로, 하천에서 취수용 수문에서 취수량의 조절 가능

3. 시범사업 추진

가. 남양주시 외방천 (별쇄본: 시범사업 추진)

- 부력·승강식 가동보 시범사업제안서 (외방천) 송부
 - 시범사업 추진을 위한 업무협약
-

제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

제7장 연구개발성과의 보안등급

일반

제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1. 연구실 안전조치 이행

가. 인력전문성 제고

- 연구활동종사자 안전교육 : 교내 연구활동종사자 안전관리 정기교육 (연2회)

나. 점검사항

구분	점검분야	중점 점검 사항	비고
자체	○ 소방 (방화) 점검	○ 소화장비 설치 여부 ○ 인가받지 않은 전열기구 사용여부 ○ 전기시설 (제품)의 규격품 사용여부 ○ 전열기구 동시 사용 금지 시행 여부 ○ 사용하지 않는 전기제품 전원 차단 여부 ○ 가스배관 누출 확인 여부 ○ 경보기 설치 및 작동상태 여부 ○ 비상구, 피난통로, 비상출입문 개폐 여부 ○ 소화장비 취급요령 숙지여부 ○ 옥내소화전 방화셔터 장애물 제거 여부 ○ 유류통 및 가스통 지정수량 이하 보관 여부 ○ 최종 퇴실자의 방화 점검표에 의한 점검 실시 여부	일일
	○ 실험실안전점검 (일반안전)	○ 적정장소 소화기, 보호구, 구급약품비치 여부 ○ 정전대비 비상조명등 설치 여부 ○ 실험실 안전지침서 비치 여부 ○ 실험실내 금연 실시 여부 ○ 실험실내 음식물 반입 및 섭취 여부 ○ 선반 및 물품등의 낙하방지 조치 여부	일일
	○ 실험실안전점검 (전기가스안전)	○ 전열기 설치된 주위 가연물 근접 여부 ○ 보온용전열기 온도 과승방지 장치 설치 여부 ○ 전기 기기 접지 여부 ○ 전기기기 절연상태 양호 여부 ○ 코드피복 손상 등의 여부 ○ 방습코드 및 누전차단기 설치 여부 ○ 코드, 배선기구 용량과 규격 적합여부 ○ 접속부위 등 접속 불량 여부 ○ 가스시설 누설감지기 설치여부 ○ 가스시설 사용안전조치사항 이행 여부	일일
외부 전문 기관	○ 공공기관 소방안전관리 및 화재 예방 점검	○ 피난시설 및 소화시설 점검 ○ 전열기구 및 전기시설 점검 (전기히터사용금지) ○ 유류통, 가스난로 등 보관상태 점검 ○ 비상계단 및 복도 통행 방해 적재물 점검 ○ 허가받지 않은 장소에서 취사 및 취침 행위 여부 점검	일일

다. 관련수칙

수칙명	주요내용	비고
○ 실험실안전지침	○ 안전관리규정, 안전점검계획, 정밀안전진단계획, 실험실 안전환경 증진 주요사항 등	

라. 연구실 안전점검 정기적 실시

- 연구실의 기능 및 안전을 유지 관리하기 위하여 안전점검지침에 따라 연구실에 관한 안전점검을 정기적으로 실시함
-

제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	인공신경망을 이용한 다단 배치된 하단배출형 가동보의 저류 및 홍수 조절을 위한 관리수위 결정	삼화건 설환경 (주)	공동 연구 기관	한국수자원 학회	0.50	2017.02	단독 사사	-
2	논문	부력식 연직수문의 자유흐름 상태에서 하단방류 특성에 관한 실험적 연구	삼화건 설환경 (주)	공동 연구 기관	한국수자원 학회	0.50	2018.05	단독 사사	-
3	특허 출원	셔터형 댐	삼화건 설환경 (주)	공동 연구 기관	대한민국	-	2016.05.10	단독 사사	-
4	특허 출원	부력 댐	삼화건 설환경 (주)	공동 연구 기관	대한민국	-	2017.03.31	단독 사사	-
5	국외 특허 출원	발전기능을 갖는 다기능 댐	삼화건 설환경 (주)	공동 연구 기관	PCT/WIPO	-	2018.02.07	단독 사사	-

제11장 기타 사항

제12장 Bibliography

- Aydin, I., Telci, I., and Dundar, O. (2006). "Prediction of Downpull on Closing High Head Gates." *Journal of Hydraulic Research IAHR*, Vol. 44, No.6, pp. 822-831.
- Aher, P.D. and Sharma, H.C. (2014). "Morphometric characterisation of gagar watershed in Kumaon region of Uttarakhand for management planning: a GIS approach." *Agricultural Science Digest*, Vol. 34, No. 3, pp. 163-170.
- Ahn, J.M. and Lyu, S. (2013). "A study on the effect of dredging and operation of weirs on hydraulic characteristics in Nakdong River." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 5, pp. 1829-1840. (in Korean)
- Bakhmeteff, B. A. and Matzke, A. E. (1979) Classical hydraulic jump: sequent depths. *J. Mech. Eng., ASME*, 60(2): 565-585.
- Bruner, G.W. (2016). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*, CPD-69, US Army Corps of Engineers, Hydraulic Engineering Center, pp. 8.12-13.
- Brush Jr, L. M. and Gordon Wolman, M. (1960). "Knickpoint behavior in noncohesive material: a laboratory study." *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 71, No. 1, pp. 59-74.
- Cantelli, A., Paola, C., and Parker, G. (2004). "Experiments on upstream-migrating erosional narrowing and widening of an incisional channel caused by dam removal." *Water Resources Research*, Vol. 40, No. 3.
- Cassan, L. and Belaud, G. (2011). "Experimental and numerical investigation of flow under sluice gates." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 138, No. 4, pp. 367-373.
- Chandramouli, V. and Raman, H. (2001). "Multireservoir modeling with dynamic programming and neural networks." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 127, No. 2, pp. 89-98.
- Choi, H.S., Park, C.S., and Moon, H. G. (2006). "A Study on Rainfall-Runoff Analysis by Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH)." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 6(1), pp. 49-58 (in Korean).
- Choi, Y.H., Lee, J.H., and Choi, H.S. (2016). "Discharge Calculation of Under Flow through Vertical Lift Weir." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 5, pp. 333-339 (in Korean).
- Chung Nam Provincial Government (2008). *Fundamental planning report in Chiseong River*, No. 4, pp. 3-78. (in Korean)
- Chung Nam Provincial Government. (2008). *Fundamental Planning Report for Chiseong*
-

- Erbisti, P.C. (2004). *Design of Hydraulic Gates*. Tokyo: A.A Balkema Publishers.
- Fluent, A.N.S.Y.S. (2011). *ANSYS fluent user's guide*, release 14.0. PA: ANSYS Fluent.
- Ham, H. B. (2007). *Data Analysis and SAS Programming*, Vol. 328 (in Korean).
- Han, I.Y., Choi, H.S., Lee, J.H., and Ra. S.M. (2017). "The performance of the floating and lift type movable weir for automatic water level control at middle and upper stream of tributary river." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 2, pp. 481-493. (in Korean)
- Hayawi, H. A. and Mohammed, A. Y. (2011). "Properties of Hydraulic Jump Down Stream Sluice Gate." *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 81-83.
- Henderson, F.M. (1966). *Open channel flow*, Macmillan, New York.
- Henry, H. R. (1950). "Discussion: Diffusion of submerged jet." *Trans. American Society of Civil Engineers*, Vol. 115, pp. 687-697.
- Hydrology Engineering Center. (2010). *HEC-RAS River Analysis System User's Manual*. US Army Corps of Engineering, Davis, CA, USA.
- Jang, C. L. (2012). "2-Dimensional numerical simulation of the behaviors of knickpoint in the channel with noncohesive materials." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 6, pp. 259-265 (in Korean).
- Jee, H.K. and Choo, Y.M. (2014). "Flood Forecasting Study using Neural Network Theory and Hydraulic Routing." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 2, pp. 207-221. (in Korean)
- Jin, R.M. (2014). *Estimation of gate opening degree in movable weir using data mining*. Master's Thesis, Department of Industrial Technology, Chonbuk National University, Chonbuk, Republic of Korea. (in Korean)
- Jung, J. K. (2011). "An experimental study for estimation of bed protection length." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 13, No. 3, pp. 677-686 (in Korean).
- Kang, H.S., Kim, S.E., and Hong, H.J. (2011). "Numerical investigations of flood level reduction via securing lateral river space for extreme flood." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 6, pp. 217-226. (in Korean)
- Kang, S.O., Jun, S.O., Park, K.H., Jeon, Y.H., and Lee, D.H. (2009). "Study of neural network training algorithm comparison and prediction of unsteady aerodynamic forces of 2D airfoil." *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 37, No. 5, pp. 425-432. (in Korean)
-

-
- Kim, J. G. (2006). "The variation of flow characteristics by installing improved movable weir in a river." Master's dissertation, University of Incheon, Incheon, Republic of Korea (in Korean).
- Kim, J.H. (2007) The Study on The Bed Change Simulation depend on Moveable Weir Establishment, Kunsan National University, Kunsan, Republic of Korea (in Korean).
- Kim, J.H., Ahn, S.S., and We, Y.M. (2003). "Hydraulic characteristics and improvement effect of water quality by the type of overflow weir." *Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers Conference*. pp. 2751-2754. (in Korean)
- Kim, J.H., Kang, K.W., and Park, C.Y. (1992). "Nonlinear forecasting of streamflows by pattern recognition method." *Korean Journal of Hydroscience*, Korean Ed, 25(3), 105-113. (in Korean)
- Kim, K.H. (1998). *Hydraulics, Bosunggak*, pp. 65-67, pp. 432-434. pp. 444-445. pp. 495. (in Korean)
- Kim, S.J., Kim, M.J., and Jun, K.S. (2011). "Analysis of the effect of the flood control in the Nakdong Rivers restoration project according to movable weir operating." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, KWRA*. pp.152-152. (in Korean)
- Kwon, K.D., Choo, Y.M., and Jee, H.K. (2013). "Flood mitigation research method on management water level in weir (upstream/downstream)." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, KWRA*. pp. 881-885. (in Korean)
- Lee, J.Y., Kim, K.Y., and Shin, D.H. (2014). "Development of hydraulic model to enable the simulation for operation rule of multi-function weir during the flood season." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 3, pp. 329-339. (in Korean)
- Luis, J., Sidek, L.M., Desa, M.N.B.M., and Julien, P.Y. (2013). "Hydropower reservoir for flood control: a case study on Ringlet Reservoir, Cameron Highlands, Malaysia." *Journal of Flood Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 87-102.
- Math Works Inc. (2010). *MATLAB : Neural Network Toolbox™ User's Guide, Ver. R2011b*, Itasca Consulting Group, Minnesota, USA.
- Murray, R.I. (1966). *Hydraulic downpull forces on large gates*.
- Na, M.S., Kim, J.H., and Kim, S.K. (2010). "Development of Operating Guidelines of a Multi-reservoir System Using an Artificial Neural Network Model." *IE interfaces*, Vol. 23, No. 4, pp. 311-318. (in Korean)
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models Part I – A discussion of principles." *Journal of hydrology*, Vol. 10, No. 3, pp. 282-290.
-

-
- Naudascher, E., Kobus, H., and Rao, R.P.R. (1964). Hydrodynamic analysis for high-head leaf gates.
- Navarathinam, K., Gusyev, M., Hasegawa, A., Magome, J., and Takeuchi, K. (2015). "Agricultural flood and drought risk reduction by a proposed multi-purpose dam: A case study of the Malwathoya River Basin, Sri Lanka." *Proceedings of the 21st International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2015)*, November 29th-December 4th, Queensland, Australia, pp. 1600-1606.
- Noh, J.W., Park, M.K., Shim, M.G., and Lee, S. J. (2012). "Development of flood routing model in the navigation waterway to support operations of weir and flood gate." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 9, pp. 959-968. (in Korean)
- Oskuyi, N. N. and Salmasi, F. (2012). "Vertical sluice gate discharge coefficient." *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, Vol. 2, No. 3, pp. 108-114.
- Oskuyi, N.N. and Salmasi, F. (2012). "Vertical sluice gate discharge coefficient." *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, Vol. 2, No. 3, pp. 108-114.
- Park, H. S., Yoon, G. H., Koo, B. J., and Choi, G. W. (2013). "A Comparative Study on Hydraulic Jump and Specific Energy Losses at Downstream According to the Weir Discharge Types." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 15, No. 1, pp. 149-157 (in Korean).
- Rajaratnam, N. and Subramanya, K. (1967). "Flow equation for the sluice gate." *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, Vol. 93, No. 3, pp. 167-186.
- Raman, H. and Chandramouli, V. (1996). "Deriving a general operating policy for reservoirs using neural network." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 122, No. 5, pp. 342-347.
- Raymond, M. (2014). "Wivenhoe Somerset Dam optimisation study-simulating dam operations for numerous floods." *Proceedings of Australian National Committee on Large Dams Conference*.
- Razi, M., Adib, M., Tjahjanto, D., Mohamed, W., Afnizan, W., and Ishak, N. B. (2008). Investigation of the properties of flow beneath a sluice gate.
- Robert L.S., Gary Z.W., and John K.V. (1996). *Elementary Fluid Mechanics 7th edition*, John Wiley & Sons. pp. 519
- Sagar, B. (1977). *Downpull in High-head Gate Installations, Parts 1, 2, 3*. Water Power Dam Construct, (3), 38-39; (4), 52-55; (5), 29-35.
- Shayan, H. K., Farhoudi, J., and Roshan, R. (2014). "Estimation of flow discharge under the sluice and radial gates based on contraction coefficient." *Iranian Journal of Science and Technology*. Transactions of Civil Engineering, Vol. 38,
-

No. C2, pp. 449–463.

Sohn, B.J, Maeng, J.S., and Lee, S.H. (1992). *Fluid mechanics*, Hweo jung dang pp.522–553. (in Korean)

Stein, O. R. and Julien, P. Y. (1993). “Criterion delineating the mode of headcut migration.” *Journal of hydraulic engineering*, Vol. 119, No. 1, pp. 37–50.

Swamee, P.K. (1992). "Sluice-gate discharge equations", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 118, No. 1, pp. 56–60.

Vasquez, J. A., Millar, R. G., and Steffler, P. M. (2005). “Two-dimensional morphological simulation in transcritical flow.” In Proceedings of the 4th IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, RCEM (pp. 253–258).

Wasserman, P.D. (1989). Neural computing. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 44–54.

Yen, J. F., Lin, C. H., and Tsai, C. T. (2001). “Hydraulic characteristics and discharge control of sluice gates.” *Journal of the Chinese institute of engineers*, Vol. 24, No. 3, pp. 301–310.

Yoshioka, Y., Masumoto, T., Maruyama, K., and Minakawa, H. (2015). “Agricultural water-gate management for operational flood protection in low-lying paddies.” *Journal Teknologi*, Vol. 76, No. 15, pp. 37–44.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 물관리연구사업사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.