

최 종
연구보고서

농업용수확보 및 방재를 위한 저수지 여수토 게이트 개발
Development of Spillway Gate for the Sustainable
Agricultural Water and Flood Control

연 구 기 관
한국농촌공사 농어촌연구원

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농업용수확보 및 방제를 위한 저수지 여수토 게이트 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008 년 4 월

주관연구기관명 : 한국농촌공사 농어촌연구원

총괄연구책임자 : 이 광 야

세부연구책임자 : 김 해 도

연 구 원 : 조 진 훈

연 구 원 : 정 광 근

연 구 원 : 조 길 순

연 구 원 : 김 수 태

연 구 원 : 한 종 근

협동연구기관명 : 경상대학교

협동연구책임자 : 유 찬

참여연구기관명 : 제이디아이테크(주)

요 약 문

I. 제 목

농업용수확보 및 방재를 위한 저수지 여수토 게이트 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라의 농업용저수지 등 농업수리시설에 대한 방재 및 이수용량확대방안 연구는 2002년 낙동강 집중호우와 태풍 루사로 인한 많은 수해와 인명·재산의 피해 발생과, 매년 이상기후에 따른 국부적인 가뭄이 반복적으로 발생하고 있기 때문에 이를 극복하기 위한 기술적인 연구가 진행되고 있다.

농업용저수지는 다목적 댐 및 생·공용수댐에 비하여 규모는 작지만 개소수가 매우 많고 전국에 산재되어 있으며, 과거 농업용 저수지가 대부분 도시나 인구 밀집 지역과는 거리가 먼 산간지역 등에 분포되어 있으나 산업화와 도시화에의 영향으로 재해에 크게 노출되어 있다. 특히, 농업용저수지는 시설 자체로는 방재기능이나 이수증대기능이 없기 때문에 과거부터 관행적으로 이루어 졌던 농업용 수리시설의 이·치수관리방법으로는 최근 이상기후에 따른 집중호우에 적절히 대처하기 힘든 상황에 이르렀다.

그러므로 농촌현실에 적합하면서 유지관리가 용이한 새로운 형태의 기술이 개발되어 적용되어야 시점에 이르렀으며, 본 연구에서는 이를 위해 전국에 산재되어 있는 소규모 농업용수 저수지에 적용이 용이하며, 설치비와 유지관리노력을 절감할 수 있는 새로운 형태의 수문(gate)을 개발하여 방재기능 및 이수증대기능이 없는 농업용수 저수지에 적용 가능한 무동력 여수토 게이트를 개발하였다.

무동력 여수토게이트를 개발하게 된 구체적 동기와 필요성은 다음과 같다.

○ 농업용저수지의 홍수조절능력 부재 및 시설 노후화

- 대부분 농업용 저수지에서는 자연조절 방식을 홍수조절 방식으로 상류의 홍수가 그대로 여수토를 월류하게 되므로 사실상 홍수 조정능력이 없고 전국 17,000여개의 농업용 저수지 중에서 수위관리가 가능한 저수지중 총 142여개('06년도 수문설치 계획 포함)에 불과한 실정임

○ 물부족 시대에 대비한 수자원 개발

- 소규모 농업용저수지는 저류용량이 작아 하류부 하천을 유지하기 위한 환경용

수를 방류하지 못하여 건기인 관개기에는 농촌하천에 물이 말라 생태계를 위협하고 있으며, 호우시에는 홍수조절기능이 없어 피해가 빈번한 실정으로 수위조절이 가능한 수문을 설치함으로써 이수용량을 추가하여 활용 가능한 수자원을 추가로 확보할 필요가 있음.

○ 농촌의 고령화 및 일손부족에 의한 수리시설물 운영·관리의 어려움

- 우리의 농촌지역은 농촌인구 감소 및 고령화에 따른 일손부족 등에 어려움을 겪고 있고 특히, 비교적 전문인력이 필요한 농업수리시설의 유지관리도 고령의 노동자를 사용하고 있기 때문에 구조가 복잡하거나 전문인력을 필요로 하는 신기술은 적용이 매우 힘든 여건이므로 수리시설물에서 인력에 의한 노력을 배제하고 수리시설물 스스로가 작동과 운영이 가능한 형태로 전환하여 우리 농업의 경쟁력을 강화시키는 것이 시급한 실정임.

○ 수문 설치비 절감 및 운영의 간편화

- 기존의 수동식 수문과 초기투자비용이 많은 전동식 수문의 단점을 보완하기 위하여 스스로 수압에 의해 작동·유지되도록 무동력게이트 개발로 저수지의 상황에 따라 관리수위를 자유로이 변환시킬 수 있도록 하는 것이 필요함.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 연구개발목표

본 연구는 농업용수 확보와 인명, 재산, 농작물 등의 피해 방지를 위해 농업용 저수지에 이수용량 확보와 홍수조절기능 부여를 동시에 충족할 수 있도록 여수토 승상 목적의 무동력 자동 게이트 개발하는데 있다.

2. 연구내용 및 범위

1) 기초자료조사

- 유사기술 및 국내외 특허권 조사
 - 관련기술현황조사
 - 기존 게이트관련 특허제품 분석
- 기존 저수지 여수토게이트 설치현황조사 및 기술 분석
 - 게이트 설치저수지 현장조사(게이트종류, 설치년도, 문비형식, 인양형식)

- 게이트종류 및 형식별 기술 분석
- 2) 구조해석 및 성능분석
 - 여수토 적용을 위한 무동력 게이트 작동원리 해석
 - 수위 목적별 전도력 해석
 - 수위 목적별 복원력 해석
 - 단위 부재별 수압 및 마찰력
 - 성능분석을 위한 모형시험
 - 측정값 설정 및 시설배치
 - 모형 설치전 수위·유량 검증 실험
 - 모형 설치후 유량별 전도각 측정 실험
 - 전도 토오크 측정 실험
- 3) 시제품 제작 및 설치
 - 복원·전도, 평형에 따른 구조설계
 - 사양서 작성
 - 조립, 부품, 설치도 작성
 - 설계검토 및 설치
 - 보완제작
- 4) 현장 모니터링 및 홍수조절 성능평가 분석
 - 성능 모니터링
 - 게이트 거동분석을 위한 3차원 CFD 시뮬레이션 모델 설계
- 5) 기술권 보호
 - 시스템 특허 출원 및 등록

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과 요약

1) 기술현황 조사 및 분석

개보수대상 농업용저수지에 설치되고 있는 부분게이트의 홍수배제능력검토현황과 설치와 유지관리 현황조사를 통해 각 도별로 설치되고 있는 부분게이트의 설치

목적과 설치위치 그리고 설치된 게이트 형식에 대한 기술분석을 실시하였다.

분석결과 개보수에 의한 게이트 설계시 설계홍수량 증가에 따라 배제시설의 규모도 커져야 하나 지형적인 여건상 물넘이의 확장이 불가능한 지역도 많으며 물넘이 시설의 확장으로 인해 저수지 하류지역의 피해에 따른 민원도 제기됨에 따라 저수지용 게이트의 합리적이고 표준화된 모델이 제시되어야 하며, 본 연구에서 개발한 무동력 여수토게이트가 현 농촌현실에 비추어 이러한 목적에 잘 부합됨을 알 수 있다.

- 부분게이트 설치목적 고찰

- ① 03년 재해대비 설계기준이 나오기 이전에 부분게이트가 설계된(01~03) 저수지의 경우 지형적으로 물넘이 확장이 어려운 경우로 확장대신에 과거보다 증가된 홍수량을 배제시키기 위해 설치되었음
- ② 2003년 이후 설계된 저수지의 경우 특히 전도수문으로 설치된 저수지의 경우 홍수배제량 증가뿐만 아니라 예비방류를 목적으로 하고 있는데 농업용저수지는 저수용량이 작고 홍수조절을 위한 여유 공간이 없기 때문에 예비방류에 의한 제한수위로 관리방법도 홍수량이 급격히 유입되는 시기에는 수리적으로 홍수조절 효과가 미미한 것으로 분석됨.
- ③ 기존 설계자료에서 계산한 홍수배제량 검토에서는 물넘이와 부분게이트로 배제되는 배제량을 따로 계산하여 합한 것으로 하였으나, 실제 수리현상은 두 가지가 서로 간섭하여 설계 배제량과 차이가 발생하고 있기 때문이며, 적정 수리현상 분석을 통해 홍수시 적정배제량식이 도출되어야 함

- 부분게이트 설치위치 고찰

- ① 재해대비 설계기준은 여수토 물넘이 상류, 하류중 적당한 곳을 선정하도록 하였으나 수리적으로 유리한 위치는 물넘이 하류부(방수로 접경 하류부)로 판단됨
- ② 게이트 설치 위치에 따라 홍수시 유지관리 직원의 수문조작을 위한 접근이 매우 위험한 경우가 발생함. 물넘이 하류부에 게이트 설치시 유지관리가 부적합한 경우는 유지관리 및 홍수시 운영조작이 용이한 무동력 게이트가 바람직함

- 부분게이트 형식 고찰

- ① 현재 부분게이트로 사용되고 있는 수문의 문비는 슬라이드 방식과 전도방식이 사용되고 있으며, 강원도에서 슬라이드 방식으로 만든 부분게이트에 홍수시 이물질이 끼어서 작동이 않된 사례가 있음

- ② 하천 취입보에 주로 사용되던 전도방식이 개량되어 안전성이 확보된 뒤로 2003년 이후에 설치된 저수지에는 대부분 전도방식을 이용하고 있음. 도별로 문비형식을 비교하면 경기도의 경우 슬라이드 방식은 39개소중 35개소로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 반면 충북의 경우는 34개소중 30개소가 전도방식으로 지역별로 큰 편차를 보이고 있음
- ③ 부분 게이트 형식의 선택은 안전성과 유지관리 편리성이 확보된 상태에서 설계가 이루어져야 하나 지역적 특성보다는 도별로 일관된 게이트 방식을 고수하고 있기 때문에 매년 유지관리에 많이 비용과 노동력이 소요되고 있음

2) 여수토 적용을 위한 무동력 전도게이트 작동원리 해석

개보수대상 농업용저수지에 설치를 목표로 저수지 수위(전도, 복원, 평형)별로 거동되는 무동력 게이트의 작동원리를 해석하였다. 작동원리는 주로 수리실험을 통한 게이트의 작동성과 방류량 해석을 위주로 수행하였으며, 실제 농업용 저수지에서의 전도게이트의 이상적인 거동분석을 위해 수치적(CFD: Computational Fluid Dynamics)모델을 이용하여 해석하였다.

- 기본 작동원리 설정

- ① 무동력 게이트는 기본적으로 오투기 형태의 받침대와 수문으로 구성된 오투기형과, 천칭형으로 구분되며, 오투기형은 수압이나 유속이 수문에 가해졌을 때 전도와 복원을 반복하며 천칭형은 수문비의 무게와 천칭의 무게로서 일정한 수압이 수문에 가해졌을 때 수문이 전도와 복원을 반복하는 형태로서 본 연구에서는 오투기형과 천칭형에 적용되는 원리를 동시에 이용하여 수문이 다단형태로 개도되도록 설계함

- 전도력 해석

- ① 전도력은 수압에 의해서 오투기형 전도게이트가 일정한 편심을 가지고 기울어지는 힘을 해석하여 수위에 따라 얼마만큼이 기울어지는지를 해석함. 이 전도력은 전도게이트의 상부에 달려있는 수문비에 작용을 하게 됨.

- 수문에 걸리는 수압 계산

- ① 수문에 걸리는 힘(수압)을 계산하는 방법으로서 수문이 중력방향인 수직으로 서 있는 경우를 우선 상정하여 계산을 하면, 우선 수압이 전도게이트에 걸리는 형태를 두 가지로 나뉘짐.

- ② 한가지는 수문 상부의 수문비 부분에 걸리는 수압으로서 게이트의 전도에 관여하며, 또 하나는 부채꼴 원형단면에 걸리는 수압으로서 이는 역수압 즉 게이트의 복원력에 관계되는 수압임
- ③ 이 수압은 궁극적으로 모두 수문비나 부채꼴 원형단면의 무게중심에 걸리는 것으로서 동력원의 발생 역할을 함

- CFD 시뮬레이션을 이용한 여수토 게이트의 동작 해석

- ① 유체의 운동을 지배하는 비선형 방정식인 Navier - Stokes 방정식을 컴퓨터를 이용하여 수치적(CFD: Computational Fluid Dynamics)으로 해석하였음
- ② CFD 시뮬레이션 모델링을 위한 구조 설계
 - 1차 시작품 제작 결과를 바탕으로 시뮬레이션 구조를 설계함
 - CFD 시뮬레이션 환경조건으로 9가지 경우를 설계함
- ③ 시뮬레이션 결과 시간에 따른 수위 높이변화와 전도모멘트 변화를 통해 수위 변화시 적정 무게추와 수문높이의 비율을 찾아내어 설계에 반영함

3) 시작품 제작 및 제품 다양성 확보

본 연구에서는 무동력 게이트의 현장적용을 목표로 완성도 높은 제품 개발과 제품을 응용한 다양한 시작품을 제작하기 위해 총 4회에 걸쳐 시작품을 제작·보완하였다. 실용화 현장조사를 통해 본 제품이 농업용저수지 뿐만 아니라 하천수중보의 기능도 충분히 발휘 할 것으로 판단하여 여수토게이트 형태뿐만 아니라 하천수중보 형태의 무동력 게이트 시작품을 제작하였다.

현장 적용성 검증을 위해 농어촌연구원 습지배수로 말단에 무동력게이트를 설치하여 운용하였다. 운영결과 갈수기에는 기존에 배수로로 배제되는 용수를 효과적으로 차단하였으며 홍수기에도 일정수위 이상이 될 때 안전하게 게이트가 작동되었다.

- 무동력 여수토게이트 시작품 제작 요약

- ① 2006. 5 : 1차 시작품 제작 및 설치
 - 한국농촌공사 농어촌연구원내에 위치한 습지수로와 야외모형시험장에 「현장시험시작품」 과 「기능시험모형」 시작품을 제작·설치함
 - 기능시험 : 무동력게이트(W1,000 × H900 × 2련) 및 시험수로 설치
 - 현장시험 : 무동력게이트(W1,000 × H800 × 2련) 설치

② 2007. 3 : 1차 시작품 보완제작

1차 시작품 설치후 모니터링 및 자문회의를 통한 문제점 파악 및 보완대책 수립

·게이트 전도시 급격히 하강(완충장치 필요) : SHOCK ABSORBER 설치

·게이트 지수부 보강(지수재 재질변경 필요) : 특수지수고무 제작

③ 2007. 5 : 2차 시작품 제작 및 설치

다수위 유지 및 비상용 무동력 전도게이트 제작

·설정 수심 및 다수위 유지형 무동력 전도게이트(W1,000 × H700 × 3련)

·비상용 여수토게이트(사전방류용, W1,000 × H500 × 1련)

④ 2007. 11 : 3차 시작품 제작 및 설치

현장적용성 향상을 위한 무동력 전도게이트 개량품 제작

·무동력 게이트 수문(플레이트) 형상변경 제작 및 설치(초기 수문각도 변경)

·지수개량품 제작 및 설치(MC 나이론/탄성 재질 수직형 지수판 특수제작)

⑤ 2008. 3 : 4차 시작품 제작 및 설치

제품 다양성 확보를 위한 수중 전도형 무동력 게이트 제작

·수중보형 무동력 게이트 제작 및 설치(W1,000 × H700 × 2련)

·1:1 축척의 실물모형 제작 설치(연구원 습지배수로, W1,000 × H900 × 2련)

4) 모니터링 및 성능평가 분석

무동력 전도게이트 기본 작동원리를 해석하고 성능을 평가하기 위해 무동력게이트의 축척 모형을 제작하여 적용성 검토 구조설계 타당성 및 성능을 파악하였고 무동력 게이트 설치에 따른 이수용량 확보를 위한 만수위 상승시 수위상승에 따른 농업용저수지 제체의 안정성을 검토하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 1차년도 전도식 게이트 설치를 위한 모형실험에서 적정 수문비는 1.0~1.45로 판단되었으며, 모형실험에서는 수문 높이 25cm, 28cm 2가지 형식에 대한 구조계산 결과를 바탕으로 수문 높이 25cm(수문비 1.18))인 모형수문에 대한 실험을 수행.

② 모형실험 결과에서는 유량별 전도시 수위는 35cm 내외로 일정하였으며, 전도 각도 전면전도가 짧은 시간 안에 발생하여 전도 게이트의 작동은 원활한 것으로 판단. 그러나 수문전도 시 하류부로 유출되는 유량은 상부에서 유입되는 유

속에 따라 증가되는 것으로 나타났으나 모형실험에서는 이에 대한 조절이 용이하지 않았음.

- ③ 2차년도 모형실험에서는 1차년도 실험에서 확인된 문제점을 개선하여 수문측면의 마찰을 줄이기 위해 2련의 전도 게이트를 설치하여 실험을 실시하였으며, 수로 내 유입유량은 일정하게 유지하도록 하였으며, 전도 후 유출유량도 일정하게 나타나 모형 내 물이 하부수조로부터 게이트로 전도될 때까지 원활하게 유하 되는 것으로 나타남.
- ④ 전체적으로 게이트의 모든 구성품들의 작동은 원활하게 이루어지는 것으로 판단되었으며, 전도 후 게이트의 복원도 원활하게 작동.
- ⑤ 게이트 설치에 따른 기존 저수지 제체의 안정성을 검토하기 위하여 경남지역의 5개의 저수지를 선정하여 제체 내 수위상승에 따른 간극수압, 전단응력, 항복을 그리고 수평변위 등을 검토한 결과 큰 차이가 없는 것으로 나타남.
- ⑥ 또한 선정된 저수지 제체내 가상활동면에 대한 수위변동에 따른 사면안정해석을 실시한 결과 모든 댐에서 최소 안전률이 2.9 이상으로 높게 나타나 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승의 영향 없이 댐 사면은 매우 안정할 것으로 예상.

2. 연구개발 결과의 활용계획

- 특허등록(2007.5.30)을 연구 2차년도에 완료하였으며 연구결과 실용화를 위한 현장설치사업을 통해 기술료계약을 추진할 계획임
- 개발한 무동력 여수토 게이트를 국내 농업용저수지 관리기관인 한국농촌공사 시설관리처, 사업관리처 및 수자원관리처에 제공하여 생산기반개량사업(수리시설 개보수 사업)에 활용토록 할 계획임

SUMMARY

1. Title

Development of Spillway Gate for the Sustainable Agricultural Water and Flood Control

II. OBJECTIVES AND SIGNIFICANCE

Because of a flood disaster from 2002's typhoon 'Rusa' and localized heavy rain in Nakdong watershed, and because of a habitual drought regionally, more and more researches are using these subjects to mitigate disaster as well.

The number of agricultural reservoirs in Korea has a lot and being spreaded around the rural area where is hard to approach. Moreover it is being exposed to the disaster because rural industrialization and urbanization have an effect on the rural. Especially, Because agricultural reservoir has no function of the prevention and the increase of irrigation water, it is hard to maintain water level of the reservoir from the recent climatic changes and localized heavy rain that is not operated by flood control-centered, but operated by water utilization-centered habitually. So, new type of product that is suitable rural situation with easy management has to be presented at this point in time.

In this research, develop the fall down gate that is operated without supply of power but operated by water level. The new product is not only applying to the spilway of the reservoir but also applying to the river weir which is going to save the installation charges and save the management effort.

III. CONTENTS AND SCOPES OF THE STUDY

1. DEVELOPMENT OBJECTIVES

This research is aim to develop the new non-power automatic fall down gate

which is enable to guarantee not only flood control function but also increase irrigation water by raising the height of spillway weir.

2. CONTENTS

1) Basic Data Investigation and Analysis

- Similar techniques and patent right research
 - Investigation of the present condition related techniques
 - Exist patented products analysis
- Technical analysis of exist spillway weir gate installed in the agricultural reservoir
 - Field investigation(gate type, installed year, plate type, lift type)
 - Technical analysis of exist gate

2) Non-power Gate's Structure Theory and Performance Analysis

- Non-power Gate's Operate theory
 - Fall down power analysis at each case of water level
 - Recovery power analysis at each case of water level
 - water pressure and friction
- Experiment with a model
 - Establishment of structure and set up the value
 - Experiment of water level–flow verification before model installation
 - Experiment of an angle each the fall down stage after model installation
 - Experiment of the fall down torque

3) Trial Product Make and Installation

- Design of Fall down, Recover, balance water level
- Descriptions
- Assembling, component drawing

- Design Investigation and install
 - Complement make
- 4) Monitoring and flood control analysis
- Performance monitoring
 - Three-dimensional CFD simulation model design
- 5) Protection of technique
- Application of a patent and registration

IV. RESEARCH RESULTS AND PROPOSED APPLICATIONS

1. RESEARCH RESULTS

1) Investigation and analysis of a current status of techniques

In the research, the flood control ability and the current status of management of the gate which is installed in the agricultural reservoir are investigated. From the investigation, install purpose, gate types and the appropriate install position in the weir are analyzed regionally.

The analysis shows that some reservoirs have no space of an enlargement of spillway so that should be installed the gate as a current rule of designed flow is added while on the agricultural structure renovation project. but it cause of popular complaint about the damage of downstream area. From that reason, the reasonable model that is suitable to the rural situation should be presented like a non-power fall down gate

- Study of the gate installation purpose
- Study of the gate position
- Study of the gate type

① In the case of the installation of gate before a revision of 'Design Rules for

Preparation of Disaster(2003)', the purpose is to increase the flood flow capacity by the gate instead of enlarge the spillway weir because of topographical handicap.

- ② After the revision of the rule, the purpose of the installation is not only to increase of the flood flow but also to take pre-discharge in order to down the level of water before coming up a rainfall season. But small size of agricultural reservoir has small capacity of storage so that even though use the gate, the effect of the flood control capability is incapable.
- ③ An actual condition of flow over spillway which has two different phases overflow weir and flow through the gate and they are mixing in the channel has different from the exist design tools. so that should be come out to new method for calculating proper flood flow on the spillway.

2) Non-power gate's structure theory and performance analysis

Non-power gate' working theory has been analyzed each water level point(fall-down, recover, equilibrium). In order to proceed the analysis, use the hydraulic experiment with discharge and workability. Also, through the three-dimensional CFD simulation, find out the ideal working of the gate and use it to the design the model

3) Trial Product Make and Installation

In this research, in order to make in-depth goods for practical application, proceed 4th testing prototypes goods with several adjustment. From the investigation of application field, it is seems to apply to another purpose like reiver weir for intake of irrigation water.

In order to check the practical performance of its' ability, apply prototype gate to the end of the drainage downstream and operated for a long time. From the monitoring it, it is known that it is right working in the dry season and rainy season efficiently for the safe.

4) Monitoring and performance evaluation of gate

To analysis and evaluate the performance of tainter gate which was developed in this study, model tests were carried out. In model tests, the appropriateness of design, the durability of components and the performance of gate were observed. The stability of embankment of dam was also analyzed because water level could rise when gate was installed. The results were as below.

- ① In the model test of first year, it was shown that the appropriate ratio of gate shape was in the range of 1.00~1.45(the height of gate = 20~30cm) and, as the results of structural analyses on the gates which height were 25cm and 28cm, pilot-scale model was made on the base of the gate height of 25cm(the ratio of gate shape = 1.18).
- ② In the model test, gate was overturned at 35cm water level constantly. The overturning of gate with the quantity of in-flow was shown in an instant. Therefore it was expected that gate developed in this study could be harmonious in the viewpoint of operation. Although the quantity of discharge was increased when gate was overturned, it was modified second year model test.
- ③ In the model test of second year, the formation of gate was modified to parallel 2 continuous gates which could decrease the friction resistance of gate side and the quantity of in-flow was also fixed constantly. It was observed that the performance of gate was harmonious and the quantity of discharge from gate was maintained in the constant level.
- ④ Overall, it was expected that the components of gate is durable and the performance of gate, overturning and restoration of gate, could be in harmony.
- ⑤ To verify the stability of embankment of dams, 5 reservoirs were selected in Gyeongnam province and performed the analysis to evaluate the increase of pore pressure, shear stress, yield ratio and lateral displacement after the increasement of water level. It was shown that values not

significantly varied when it compared the results of current condition.

- ⑥ Also, in the results of slope stability analysis on apparent slip surfaces, the safety factor was shown above 2.90 and it was expected that the installation of gate developed in this study on the spillway was not adversely affect to the stability of embankment of dams.

2. APPLICATIONS AND RECOMMENDATIONS

- IP(Intellectual Property, 2007.5.30) and royalty contract is going to do from the actual project.
- New non-power automatic fall down gate is going to be applied to the agricultural reservoir remodeling project by providence this data to Korea Rural Infrastructure Corporation(Office of Water Resources Management and Office of Project Management)

목 차

제 출 문	I
요 약 문	II
SUMMARY	X

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경	1
제2절 연구개발의 필요성	2
제3절 연구개발 목표	6

제2장 국내·외 개발 기술 현황	8
제1절 국내·외의 연구현황	8
1. 기존 전도식 게이트 기술현황	8
2. 기존 게이트 관련 특허제품 조사	11
제2절 기존 저수지 여수토게이트 설치현황 분석	13
1. 농업용 시설물 재해대비 설계기준 분석	14
2. 농업용저수지 게이트 설치현황	15

제3장 연구개발수행 내용 및 결과	20
제1절 무동력 전도 게이트 구조 계산	20
1. 부채꼴 원형단면의 무게중심 변위식 검토를 통한 복원력 해석	20
2. 전도력	23
3. 수문에 걸리는 수압 계산	26
4. 실제 모델 적용	31
제2절 웨이트조정 전도게이트 구조 계산	38
1. 웨이트에 의해 작용하는 힘의 해석	38
2. 전도게이트에 의해 작용하는 힘의 해석	39
3. 웨이트와 전도게이트에 발생하는 힘의 상관관계	40
4. 실모델 적용예(수문의 위치가 도르레의 바로 뒤에 있는 경우를 상정)	4

제3절 축척 모형 시험	44
1. 목 적	44
2. 측정값	44
3. 시설배치	44
4. 준비실험(수위·유량검증시험): 게이트 설치 전	45
5. 모형작동상태 및 유량별 전도 측정 실험: 게이트 설치 후	46
6. 전도토크 측정실험	47
7. 실험시 주의사항	48
8. 데이터 정리표	48
제4절 CFD 시뮬레이션을 이용한 무동력 게이트의 동작 해석	49
1. 개 요	49
2. 연구 재료 및 방법	49
3. 게이트의 작동 해석 및 고찰	59
4. 결론	76
제5절 시작품 제작 및 제품 다양성 확보	77
1. 1차 무동력 여수토게이트 시작품	77
2. 1차 무동력 여수토게이트 보완 시작품 제작	87
3. 2차 무동력 여수토게이트 시작품 제작	92
4. 3차 무동력 여수토게이트 시작품 제작	98
5. 4차 무동력 여수토게이트 시작품 제작	103
제6절 모니터링 및 성능평가 분석	106
1. 기본작동원리 해석	107
2. 1차 축척모형실험	118
3. 2차 축척모형실험	130
4. 수위상승에 대한 제체의 안정검토	136
5. 모니터링 및 평가 결론	187
제7절 종합결론	188
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	193
제1절 연구개발의 목표 및 평가의 착안점	193
1. 당해연도 연구개발의 목표	193

2.평가의 착안점 및 기준	193
제2절 연구범위 및 연구수행방법	194
제3절 목표달성도 및 기술발전의 기여도	195
1. 연구개발목표의 달성도	195
2. 기술발전의 기여도	195

제5장 연구개발결과의 활용계획	196
-------------------------------	------------

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	197
--	------------

제7장 참고문헌	198
-----------------------	------------

부록

A1. 무동력 여수토게이트 메뉴얼	203
A2. 무동력 여수토게이트 표준도	220
A3. 무동력 여수토게이트 홍보자료	225

<이백>

제1장 서론

제1절 연구의 배경

우리나라 전체 저수지는 17,913개이고 한국농촌공사 관할 농업용저수지는 3,321개이며 이중 게이트가 설치 또는 계획된 저수지는 178개소로 전체의 5%내외 정도이다. 다목적댐이나 전면게이트가 설치되어있는 일정규모 이상의 큰 농업용저수지는 별도의 운영조작지침을 작성하여 이에 따라 홍수시에 게이트를 조작을 하여 홍수를 조절하고 있다. 하지만 게이트가 설치되어 있지 않은 기존의 중·소규모 농업용저수지는 자연조절 방식을 적용하고 있기 때문에 방류량의 조절이 불가능하고 홍수시 만수위 이상의 수량을 그대로 여수로 물넘이로 월류하는 방식으로 사실상 홍수조절능력이 없다. 더욱이 현재 농촌에서는 매년 가뭄에 대한 염려로 저수위 관리를 치수(治水) 측면이 아니라 이수(利水) 측면의 유지관리가 이루어지고 있기 때문에 홍수기에 예도 제한수위를 설정하여 운영하기가 어려운 실정이다. 또한 1945년도 이전에 축조한 저수지가 전체에 54%에 상당하는 등 현재 농업용저수지에 대해 재해에 대비한 보수보강이 시급한 상황으로 인식되고 있다. 특히 2000년 이전까지는 수리시설개보수사업을 하더라도 기존시설의 형태를 그대로 유지하는 방식으로 이루어져 왔는데 2002년 태풍 루사 및 집중호우로 강원도에 위치한 중·소규모 농업용저수지가 붕괴되면서 많은 인명과 재산의 피해가 발생한 것을 계기로 농림부에서는 기존 중·소규모 농업용저수지도 홍수조절능력이 필요한 것으로 판단하였고, 2003년에 재해대비설계기준을 개정하여 홍수기시 홍수배제량을 증대하고 예비방류가 가능하도록 여수로 물넘이에 부분게이트(비상수문)의 설치가 본격화 되었다.

지금까지 농업용저수지 부분게이트로 설치되고 있는 게이트의 형식은 과거 수동식에서 전동식으로 바뀌었으며 슬라이드 방식과 전도 방식을 사용하고 있는데 부분게이트의 성능이나 운영조작 측면에 대해 아직까지도 많은 문제점이 지적되고 있다.

슬라이드 방식의 부분게이트는 홍수시 넘어온 목재가 게이트에 걸려 작동이 되지 않았던 사례가 발생하였고, 기존 전도방식의 부분게이트는 전기인입시설이 필요하기 때문에 초기 설치비가 많이 소요되고 있다. 그리고 대부분게이트는 전동식으로 설치되고 있는데 대규모 농업용저수지의 경우는 직원이 상주하고 있어 조작에 어려움이 없지만 중·소규모 농업용저수지의 경우 규모는 작지만 개소수가 매우 많고 대부분 도시나 인구 밀집 지역과는 거리가 먼 산간지역 등에 분포되어 있기 때문에 유지관리가 매우 불편하고 특히 홍수시 조작실로의 접근이 위험한 문제가 있다.

한편으로는 기존의 농업용저수지가 갖고 있는 문제로 이수용량의 부족이 있다. 농업용저수지의 수자원의 이용패턴은 관개기간이 끝나는 11월부터 4월까지 저수지에 용수를 가두었다가 관개시작인 5월부터 용수를 이용하는데 그 동안 경지정리가 확대되면서 저수지 설치시점보다 경지면적이 확대된 반면 홍수 등으로 토사가 호내로 매년 많이 유입되면서 저수용량이 줄어들었다. 그래서 매년 겨울에 저수용량의 확대를 위해 여수로 물넘이 언체에 마대 쌓기를 하여 저수량을 늘리고 있는 등 유지관리에 많은 인력과 재원을 투자하고 있다.

그러므로 우리 농촌현실에 적합하면서 유지관리가 용이한 새로운 형태의 기술이 개발되어 적용되어야 시점에 이르렀으며, 본 연구에서는 이를 위해 전국에 산재되어 있는 중·소규모 농업용수 저수지에 적용이 용이하며, 설치비와 유지관리노력을 절감할 수 있는 새로운 형태의 수문(gate)을 개발하여 방재기능 및 이수증대기능이 농업용수 저수지에 적용 가능한 무동력 여수도 게이트를 개발하였다.

제2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

가. 이상기후와 집중호우 피해방지 대책방안 필요

농업용 저수지는 다목적 댐 및 생공용수 전용댐에 비하여 규모는 작지만 개소수가 많고 전국에 산재되어 있다. 과거 농업용 저수지가 대부분 도시나 인구 밀집 지역과는 거리가 먼 산간지역 등에 분포되어 있으나 산업화와 도시화에의 영향으로 재해에 크게 노출되어 있다. 최근 이상기후와 집중호우 등의 영향으로 많은 인명과 재산 피해를 가져 왔으며 특히 수리시설물의 피해가 컸음. 피해방지라는 방재차원에서 저수용량 확대방안모색이 필요하다.

<표 1.2.1> 태풍 루사 내습시 강릉지역 피해상황

저수지	피해상황	주민안전대책
장현	제당(L=130m) 붕괴	200여명 대피
동막	법면(L=180m) 및 여수도 유실	400여명 대피
칠성	제당월류	350여명 대피
오봉	만수위 보다 수위 상승(붕괴 직전)	11만 2천여명 대피

나. 농업용저수지의 홍수조절능력 부재 및 시설 노후화

대부분 농업용 저수지에서는 자연조절 방식을 홍수조절 방식으로 적용하고 있다. 이는 방류량의 조절이 불가하고 홍수기에 제한수위를 설정하여 운영하기도 어렵기 때문에 상류의 홍수가 그대로 여수토를 월류하게 되므로 사실상 홍수 조정능력이 없다. 전국 17,000여개의 농업용 저수지 중에서 수위관리가 가능한 저수지중 총 142여개('06년도 수문설치 계획 포함)에 불과한 실정이다. 또한 1945년이전에 축조한 저수지가 전체의 54%에 상당하는 등 일반적인 내구년한 인 50년을 넘는 시설물이 대부분을 차지하고 있으므로 재해에 위험요인이 되며 보수보강이 시급한 실정이다.

<표 1.2.2> 자연재해로 인한 인명 및 재산피해 순위(1904-2004년)

순위	인 명			재 산		
	발생일	태풍명	사망·실종 (명)	발생일	태풍명	재산피해총액 (백만원)
1	'36.8.20~28	3693호	1,232	'02.8.30~9.1	RUSA	5,147,917
2	'23.8.11~14	2353호	1,157	'03.9.12.~9.13	MAEMI	4,222,486
3	'59.9.15~18	SARAH	849	'99.7.23~8.4	OLGA	1,107,788
4	'72.8.19~20	BETTY	550	'87.7.15~16	THELMA	617,429
5	'25.7.15~18	2560호	516	'95.8.19~30	JANIS	567,578
6	'14.9.7~13	1428호	432	'91.8.22~26	GLADYS	326,899
7	'33.8.3~5	3383호	415	'98.9.29~10.1	YANNI	284,245
8	'87.7.15~16	THELMA	343	'00.8.23~9.1	PRAPIROON	260,846
10	'02.8.30~9.1	RUSA	246	'59.9.15~17	SARAH	254,148

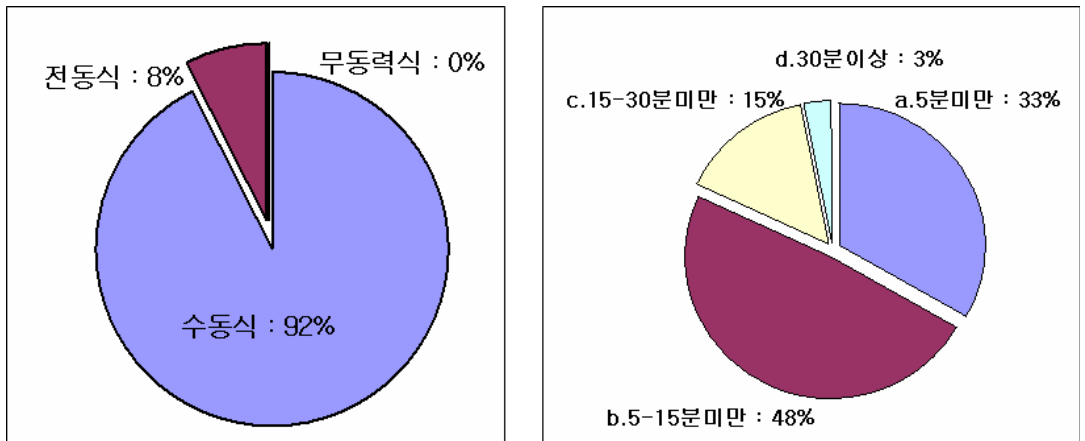
다. 물부족 시대에 대비한 수자원 개발

농업용수 공급을 위한 저수지중에서 주수원공은 14,800여개이며, 이중 관개면적이 50ha 이하인 소규모 저수지가 13,000여개로서 전체의 90%에 해당하는 실정으로 그 규모가 작아 효율적인 관리와 이용이 어려운 실정이다. 또한 소규모 저수지는 저류용량이 작아 하류부 하천을 유지하기 위한 환경용수를 방류하지 못하여 건기인 관개기에는 농촌하천에 물이 말라 생태계를 위협하고 있으며, 호우시에는 홍수조절기능이 없어 피해가 빈번한 실정이다. 따라서 수위조절이 가능한 수문을 설치함으로써 이수용량을 추가하여 활용 가능한 수자원을 추가로 확보할 필요가 있다.

2. 경제·산업적 측면

가. 게이트 작동 및 운영의 간편화

우리 농작업의 특성을 분석하기 위해 주식인 쌀 생산의 경우를 살펴보면 경지 10a 당 소요되는 총생산비 중 노력비가 차지하는 비율이 21.6%, 이 중 직접비용(토지 및 자본 용역비등 간접경비 제외분) 내에서 노력비가 차지하고 있는 비중은 43.1%로서 인력 고소비 중심의 작업구조이다. 이와 같이 인력 고소비 중심의 작업구조에서 쌀 생산 노동력 투하시간을 보면 526시간/ha으로서 이 중 물관리에 투입되는 시간이 68시간/ha을 차지하며 이 물관리는 대부분이 수문작동에 소요된다. 게이트(수문)중 직접적인 인력투입을 요하는 수동식이 약 93%이며, 또한 권양시간도 30cm 권양시 15분 정도 걸리는 것으로 조사되어 게이트의 작동 및 운영의 간편화가 우리 농업경쟁력 강화의 요건이 된다. 따라서 저수지의 여수토 게이트에 대해 조작의 어려움을 갖고 있는 수동식 수문과 초기투자비용(전기인입 45백만원/km)이 많은 전동식 수문의 단점을 보완하기 위하여 스스로 수압에 의해 작동을 하고 저수지의 수위를 유지시키며 유지수위를 저수지의 상황에 따라 자유로이 변환시킬 수 있도록 하는 것이 필요하다.



<그림 1.2.1> 기보급 수문의 종류 및 수동식 수문의 권양시간(30cm 권양시)¹⁾

나. 농촌의 고령화 및 일손부족에 의한 수리시설물 운영·관리의 어려움

WTO 체제의 출범에 따라 우리의 농업은 대외적으로 외국의 값싼 농산물과의 가격

1) 2005년도 「태양광 전동수문 시범사업」 보고서 농림부

경쟁, 대내적으로는 농촌인구 감소 및 고령화에 따른 일손부족 등에 어려움을 겪고 있다. 특히 우리 농작업의 특성상 많은 인력투입이 전제가 되는데 2004년 현재 우리의 농촌은 1970년 대비 24%까지 인구가 감소되었으며, 작업을 왕성하게 할 수 있는 50세 미만의 인구는 1970년 대비 2004년은 12.1%까지 크게 감소가 된 반면 70세 이상의 고령은 같은 연도 대비 35%나 증가되었다. 이러한 현상은 농촌의 양적 인구감소뿐만이 아니라 질적인 면에서도 크게 저하된 것을 의미하며 인력에 의한 농작업이 많은 우리 농업의 특성상 더더욱 어려움을 가중시키는 원인이 된다. 따라서 이러한 일손부족을 해소하기 위한 수단으로서 현재 인력에 의한 운영과 관리를 행하는 수리시설물에서 인력에 의한 노력을 배제하고 수리시설물 스스로가 작동과 운영이 가능한 형태로 전환하여 우리 농업의 경쟁력을 강화시키는 것이 시급한 실정이다.

<표 1.2.3> 우리나라 농촌인구 변동 추이

(단위 : 명)

연령구분	2004년 (a/f)	2000년 (b/f)	1995년 (c/f)	1990년 (d/f)	1980년 (e/f)	1970년 (f/f)
20세 미만 (%)	511,238 (7)	720,801 (9)	1,103,324 (14)	2,104,526 (27)	4,913,482 (63)	7,768,086 (100)
20세~30세 미만 (%)	269,932 (19)	417,183 (30)	574,247 (41)	809,717 (58)	1,371,946 (98)	1,403,225 (100)
30세~40세 미만 (%)	244,885 (15)	352,122 (22)	464,728 (29)	661,909 (41)	957,126 (59)	1,626,127 (100)
40세~50세 미만 (%)	447,835 (33)	531,597 (39)	586,890 (43)	787,039 (57)	1,372,080 (100)	1,374,351 (100)
50세~60세 미만 (%)	565,834 (51)	676,367 (61)	867,002 (78)	1,110,983 (100)	1,074,081 (97)	1,106,817 (100)
60세~70세 미만 (%)	801,470 (112)	845,945 (118)	790,480 (110)	735,600 (102)	709,523 (99)	717,867 (100)
70세 이상 (%)	573,308 (135)	487,050 (115)	464,409 (109)	451,548 (106)	428,510 (101)	425,227 (100)
총 계 (%)	3,414,551 (24)	4,031,065 (28)	4,851,080 (34)	6,661,322 (46)	10,826,748 (75)	14,421,730 (100)

※ 2005년도 농림부 통계자료

제3절 연구개발 목표 및 연구내용

1. 연구개발 목표

본 연구는 농업용수 확보와 인명, 재산, 농작물 등의 피해 방지를 위해 농업용 저수지에 이수용량 확보와 홍수조절기능 부여를 동시에 충족할 수 있도록 여수토 승상 목적의 무동력 자동 게이트 개발하는데 있다.

2. 연구 내용

1) 기초자료조사

- 유사기술 및 국내외 특허권 조사
 - 관련기술현황조사
 - 기존 게이트관련 특허제품 분석
- 기존 저수지 여수토게이트 설치현황조사 및 기술 분석
 - 게이트 설치저수지 현장조사(게이트종류, 설치년도, 문비형식, 인양형식)
 - 게이트종류 및 형식별 기술 분석

2) 구조해석 및 성능분석

- 여수토 적용을 위한 무동력 게이트 작동원리 해석
 - 수위 목적별 전도력 해석
 - 수위 목적별 복원력 해석
 - 단위 부재별 수압 및 마찰력
- 성능분석을 위한 모형시험
 - 측정값 설정 및 시설배치
 - 모형 설치전 수위·유량 검증 실험
 - 모형 설치후 유량별 전도각 측정 실험
 - 전도 토오크 측정 실험

3) 시제품 제작 및 설치

- 복원·전도, 평형에 따른 구조설계
- 사양서 작성
- 조립, 부품, 설치도 작성

- 설계검토 및 설치
- 보완제작
- 4) 현장 모니터링 및 홍수조절 성능평가 분석
 - 성능 모니터링
 - 게이트 거동분석을 위한 3차원 CFD 시뮬레이션 모델 설계
- 5) 기술권 보호
 - 시스템 특허 출원 및 등록

제2장 국내외 개발 기술 현황

제1절 국내·외의 연구현황

1. 기존 전도식 게이트 기술현황

가. 유압식 전도게이트

기존의 저수지여수로 게이트용으로 설치되었던 유압형식은 누유로 인한 오작동 및 환경오염과 관련된 문제가 꾸준히 지적되고 있다. 수문 기립시 유압발생장치로 인해 삼각대 모양을 갖추어 수압에 대한 압력에 대비가 되어 큰 치수에 수문을 제작 설치비용이하다. 그러나 수문 전체를 1련으로 제작 설치하였을 경우 일시에 전도 되어 방류가 될 경우 하류피해가 예상되며 및 고장 시 보수에 대한 대비책이 필요하다. 설계시 2련 이상으로 계획하는 것이 좋은 것으로 조사되었으며 유압발생장치 조작용을 위한 관리자의 철저한 교육이 필요하다. 그러나 유압장치를 구체에 설치하여 작동을 할 경우 상당부분 유압유로 인하여 발생할 수 있는 문제를 사전에 예방할 수 있으나 수문에 크기에 제약을 받고 있다.



<그림 2.1.1> 유압 기복 전도형 게이트

나. 다단전도식(와이어로프) 게이트

수문에 크기가 커질수록 수문 SKIN PLATE부분과 WIRE ROPE에 인장력에 문제가 있는 것으로 수문크기에 제한적이다. 또한 SHAVE에 WIRE ROPE를 이용하므로 일정 크기(1.5M)콘크리트 구체가 필요한 것으로 조사되었다. 기계식으로 작동에 대한 고장이

적고 다단으로 작동하여 홍수 시 일시방류로 인한 하류측 피해를 최소화할 수 있는 장점이 있다.



<그림 2.1.2> 와이어로프 전동구동형 게이트

다. Rubber(고무)타입 게이트

고무보 타입 조작 반에서 선정된 결정 수위를 수위계가 감지하여 공기 공급설비와 배출설비에 각각 신호를 보내 고무 보의 팽창과 수축을 시킴으로 기립과 도복을 자동으로 조절하는 원리로 작동된다. 고무보는 수위조절이 불가능한 점과 유지보수비가 많이 소요되는 단점이 있다.



<그림 2.1.3> Rubber type 게이트

기존 전도형 게이트의 작동원리 및 유지관리에 관한 기술현황을 비교하였다(표 2.1.1).

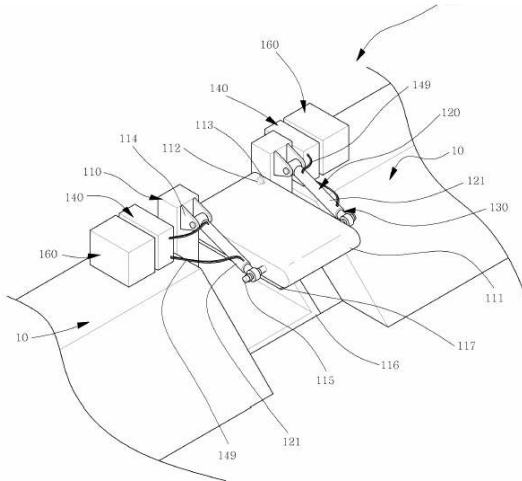
<표 2.1.1> 기존전도타입 게이트 기술현황 비교

구 분	유압 기복 전도형	Rubber type	와이어로프 전동구동형
재 질	- STS or SS41	- Rubber(고무)	- STS or SS41
작동원리	- 유압에 의한 기립/도복 - 평상시 받침대로 지탱	- 공기압을 급배기하여 기립/도복 되는 형식	- 권양기에 의한 와이어 조작
홍수 시 수위 상승 전원차단	- 완전도복으로 수위상승 없음 - 수동으로 작동	- 완전도복으로 수위상승 없음 - 수동으로 작동	- 완전도복으로 수위상승 없음
비상시의 대책	- 전도 고장시 대처방법이 없음	- 고무절개로 도복가능	- 전도하지 않을 경우 와이어 절단으로 도복 (장시간소요)
적정이용	- 이물질이 많을 경우 - 수문을 크게 할 경우 기간 공사 - 인양능력이 크게 요할 경우 - 저압으로 사용할 경우	- 이물질이 많은 경우 주변환경 고려시	- 이물질이 많은 경우 - 배제용량조절이 필요한 경우 - 전동화로 완전도복이 필요한 경우
수명, 부품 내구성	- 재질이 반영구적,수문기립시 삼각받침구조로 부품의 피로도가 저하되어 내구성 증대	- 고무재질로 화학약품에 약하며 내구성이 떨어짐	- 재질이 반영구적,주요 구조물을 콘크리트 내에 시공으로 외부 충격에 의한 안전성확보.
보의 보수 및 정비	- 게이트를 자립으로 세울 수 있어 정비가 용이, 경간 설치가 가능하여 부분보수 저렴	- 보가 고무이므로 세울 수가 없어, 가물막이 공사를 해야 정비가 가능	- 일정한 유지관리비용이 소요 - 일정보수비용 소요
유지관리	- 유압기계 계통의 유지보수로 인한 유지관리비 과다 - 자연적 산화와 누유로 유압유 보충이 필요함 - 인력으로 유지관리	- 정기적인 공압장치 점검 - 파손이 잘되며, 보수 비용 과다 - 인력으로 유지관리	- 기계식으로 구조가 간단함 - 와이어 점검 필수. - 인력으로 유지관리

2. 기존 게이트관련 특허제품 조사

가. 다중구동원을 구비한 하부 방류형 어도 겸용 가동보 수문 및 그 구동방법

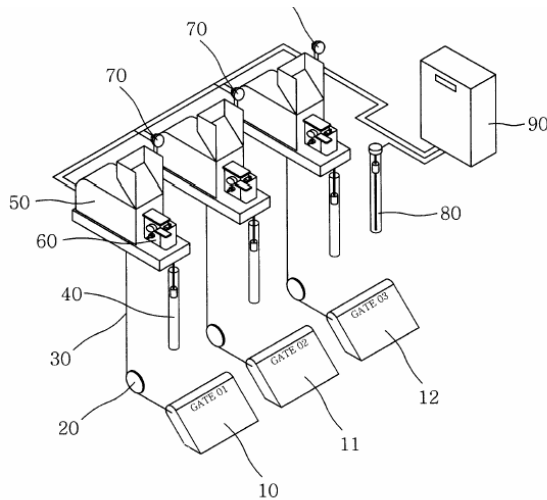
취수보에 저수된 물이 고여서 썩는것을 방지하기위해 수문의 하부를 통해 방류하는 원리이다.



<그림 2.1.4> 가동보 수문

나. 여수토 와이어로프식 다단 전도수문시스템

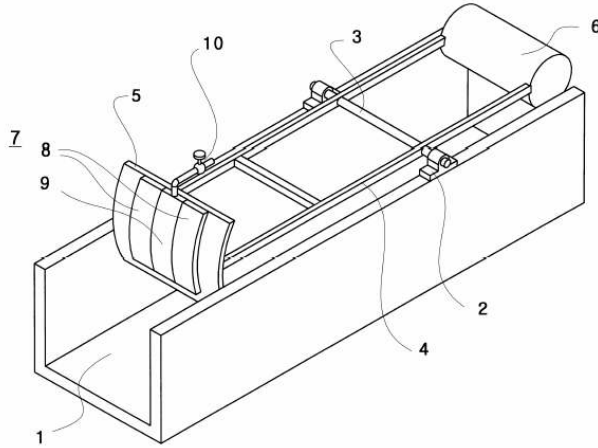
담수측의 수위변화에 따른 권양기제어에 필요한 동력을 공급하여 운영하는 원리 이다.



<그림 2.1.5> 다단전도 게이트

다. 무동력 자동제수문

소로 또는 하천의 수위를 일정하게 조절하기 위해 사용되는 무동력 자동제수문으로 특별한 동력이 없이 무게추와 부력을 이용하여 작동되는 기술이다.



<그림 2.1.6> 무동력 자동제수문

저수지 여수토 게이트는 현재까지 저수량 확보 및 방재 차원에서 부착시켜 왔으며 권양 방식별로 유압식과 와이어 로프식이 주종을 이루어 왔다. 그러나 이러한 방식의 게이트는 동력원이 전동식으로서 수문과 별도로 구동 및 제어장치가 필요하고 초기투자비용이 많이 드는 단점이 있으며, 이러한 기술은 대부분 외국에서 들여와서 국내에서 국산화하고 있다. 다만, 본 연구과제가 목표로 하는 무동력으로 여수토 게이트를 작동·운영하는 기술은 현존하지 않으며 제작·설치하고 있는 회사도 없는 실정이다.

제2절 기존 저수지 여수토게이트 설치현황 분석

우리나라 대부분의 소규모 농업용저수지는 자연유통방식이기 때문에 2003년 재해대비 수리시설 설계기준 개정 이후 농업용저수지에도 재해대비 목적으로 예비(사전)방류가 가능한 비상수문을 설치하기 시작하였다. 비상수문을 이용한 저수지 수위관리방법은 현실적으로 투자가 가능한 예산범위 안에서 최소한의 피해를 줄이기 위해 적절히 적용 가능한 방법이다. 2006년까지 비상수문이 설치 또는 계획된 농업용저수지는 178개소로서 매년 수리시설개보수 사업과 재해대비보강사업으로 계속 설계되고 있으나 비상수문 설치후 아직 적절히 조작할 수 있는 표준화된 비상수문 조작기법이 없다. 그 결과 비상수문이 설치된 저수지 중에서 집중호우시 비상수문을 작동하여 저수지체제는 안전했으나 하류부 농경지가 침수되는 사례가 발생하기도 했다.

수문조작의 어려움과 피해사례가 발생한 뒤 농업용저수지 관리기관인 한국농촌공사에서는 농업용저수지의 운영 및 수문조작이 포함된 “농업용 저수지(댐) 관리규정(2007.3)”이 신설되었다. 본 규정에는 수문조작 항이 포함되어 있지만 수문조작의 구체적인 방법과 수문조작절차는 명시되어 있지 않기 때문에 일선의 관리부서에서는 비상수문 조작에 대해 어려움을 호소하고 있다. 특히 수문이 있고 총저수량 1백만 m^3 이상의 저수지의 경우는 수문조작요령을 작성·비치하도록 규정하고 있지만 아직까지 농업용저수지에 적용한 수문에 대해 조작방법에 관한 연구가 미흡하기 때문에 관리부서에서는 수문조작요령을 제대로 갖추기가 어려운 실정이다.

현재 수리시설개보수사업을 통해 저수지를 보강하는 방법은 여수토의 통수능력을 증대시키기 위해 물넘이 길이를 확장하는 방법과 예비방류가 가능하도록 부분게이트를 설치하여 홍수조절효과를 기대하는 일정량 방류방식(Technical Reservoir Operation Method)을 혼합한 형태로 설계를 하고 있다. 아직까지 설치 위치나 형식 등이 명확하게 규정되어 있지 않고 홍수배제능력검토가 일관성 있게 이루어지고 있지 않으며 홍수조절효과를 검증한 사례역시 아직 없다. 또한 저수지를 유지 관리하는 측면에서는 수문의 설치에 따른 홍수기시 운영조작의 어려움과 동시에 유지관리비용이 발생하는 문제점이 있으며 과거에 비해 설계홍수량이 2~3배 이상 차이가 발생하였다.

설계홍수량 증가에 따라 배제시설의 규모도 커져야 하나 지형적인 여건상 물넘이의 확장이 불가능한 지역도 많으며 물넘이 시설의 확장으로 인해 저수지 하류지역의 피해에 따른 민원도 제기됨에 따라 우리농촌현실을 감안하여 농업용저수지용 게이트의 합리적이고 표준화된 모델 및 신제품이 제시되어야 할 것으로 판단되었다.

1. 농업용 시설물 재해대비 설계기준 분석

다목적댐이나 전면게이트가 설치되어있는 일정규모 이상의 큰 농업용 저수지는 별도의 운영조작지침을 작성하여 이에 따라 홍수시에 게이트를 조작을 하여 홍수를 조절하고 있다. 하지만 중규모 이하 농업용 저수지에 대해서는 2000년 이전까지는 수리시설개보수 사업을 통해 저수지 개보수를 시행할 경우 기존시설의 형태를 그대로 유지하는 방식으로 이루어져 왔다.

2002년 태풍 루사 및 집중호우로 인해 강원도에 위치한 농업용저수지가 붕괴되었고, 김해시 화포천유역에 많은 농경지가 침수되어 인명과 재산피해가 발생한 것을 계기로 기존농업용저수지도 홍수조절능력이 필요한 것으로 판단하여 재해대비 설계기준이 개정되었고 그 이후부터 농업용저수지를 개보수할 때 부분게이트를 설치하여 홍수기 전에 예비방류로 홍수조절용량을 확보하도록 하였다.

2003년 제정된 재해대비설계기준에는 재해대비보강이 필요한 저수지에 대해서 방류능력향상 및 홍수조절기능을 부여할 수 있는 목적으로 여수토(물넘이)에 게이트(수문)를 설치하도록 규정하였고, 재해대비 설계기준 개정 적용요령(2004, 한국농촌공사)에서는 물넘이 부분게이트에 대해 “설치위치”, “설치목적”, “실바닥표고와 방류시간”에 대한 기준과 설계요령을 기술하였다.

부분게이트 설치위치 유의사항으로 게이트의 설치위치를 물넘이의 상류 또는 하류에 설치할 수 있도록 규정하고 있으며 고려사항으로 ① 필요로 하는 저수위까지 예비방류가 가능한 위치, ②접근성, ③ 측수로 및 방수로 수리현상, ④ 기초지반상태 등을 제시하였다. 부분게이트의 설치 목적으로는 ①홍수배제 능력의 증대 ②홍수조절을 위한 저수량의 예비방류, ③ ①②가 복합된 경우라고 명시하고 있다. 문비의 실바닥표고 결정 및 방류시간의 고려사항에서는 방류시간에 미치는 요소가 문비의 단면 크기와 바닥표고로 결정되므로 설계시 신중히 고려할 것으로 기술하였다. 하지만 실제 부분게이트를 설계할 경우에는 설계기준에서 제시한 3가지 항목 외에도 문비의 형식, 인양방법같이 설계자가 결정해야할 부분이 상당히 많이 남아 있는 것으로 분석되었다. 현재 부분게이트에서 주로 사용되는 문비 형식은 인양식(스루스), 기복전도형이며 인양방식으로는 편책(스핀들)형, 와이어로프형 및 유압형을 주로 사용하고 있다.

2. 농업용저수지 게이트 설치현황

가. 도별 게이트 설치방법 및 설치년도 현황

전면게이트가 설치된 농업용저수지는 주로 저수용량이 비교적 큰저수지로 홍수조절 효과를 부여하고 있으며, 부분게이트가 설치된 농업용저수지는 주로 저수용량이 비교적 작은 저수지로서 개보수사업시 설계홍수량 증가에 따라 홍수배제능력을 키우는 목적과 사전방류를 통해 홍수조절효과를 부여하는 목적으로 만들어졌다. <표 2.2.1>는 한국농촌공사 관할 농업용저수지중 게이트가 설치된 현황으로서 공사관할 3,321개소중 게이트가 설치되거나 계획된 저수지는 178개소(2006년)로 집계되었다.

<표 2.2.1> 게이트가 설치된 농업용저수지 현황

구분	게이트 설치 저수지	게이트 설치방법(개소)		게이트 설치년도(개소)		
		전면게이트	부분게이트	'00년 이전	'00 ~ '03	'03 이후
경기	39	6	33	22	16	1
강원	2	2	0	0	2	0
충북	34	3	31	32	1	1
충남	22	10	12	3	8	11
전북	20	12	8	5	15	0
전남	34	19	15	3	22	9
경북	8	5	3	3	5	0
경남	18	4	14	13	4	1
제주	1	-	1	-	-	1
계	178	61	117	81	73	24

게이트 설치방법은 물넘이 상단 전면을 수문으로 설치하는 전면게이트설치 저수지는 61개소이고 물넘이 일부분을 수문으로 설치하는 부분게이트 설치 저수지는 117개소로서 전면게이트에 비해 2배 이상 많았다. 도별로는 경기도가 39개소가 가장 활발히 게이트를 설치하였으며 그 다음으로 충청이 34개소로 많이 설치되었다. 게이트 설치년도는 2000년 이전이 81개소로 대부분 신규축조당시 설치된 저수지이며 2000년 이후에 설치된 저수지는 개보수 사업을 통해 설치된 저수지이다.

2003년 재해대비 설계기준이 나오기 이전에 부분게이트가 설계된(01~03) 저수지의 경우 지형적으로 물넘이 확장이 어려운 경우로 확장대신에 과거보다 증가된 홍수량을 배제시키기 위해 설치되었다. 2003년 이후 설계된 저수지의 경우 특히 전도수문으로 설

치된 저수지의 경우 예비방류를 목적으로 하고 있다. 당시 설계자료에서 계산한 홍수배제량 검토에서는 물넘이와 부분게이트로 배제되는 배제량을 따로 계산하여 합한것으로 하였으나, 실제 방수로로 배제되는 수리현상은 두가지가 서로 간섭하게 되어 설계시 계산된 배제량과 차이가 발생하였다.

재해대비 설계기준은 여수도 물넘이 상류, 하류중 적당한 곳을 선정하도록 하였으나 수리적으로 유리한 위치는 물넘이 하류부(방수로 접경 하류부)로 판단된다. 게이트 설치 위치에 따라 홍수시 유지관리 직원의 수문조작을 위한 접근이 매우 위험한 경우가 발생한다. 물넘이 하류부에 게이트 설치시 유지관리가 부적합한 경우는 유지관리 및 홍수시 운영조작이 용이한 무동력 게이트가 바람직하다.

나. 도별 게이트 문비 및 인양형식별 분류

우리나라 농업용저수지에 적용된 게이트의 문비형식과 게이트 이양형식은 다음 <표 2.2.2>과 같다. 게이트 문비 형식으로 슬라이드방식이 84개소로 가장 많았으며 그 다음으로 전도방식이 61개소로 많았다. 레디알 방식은 총 30개소로 주로 유역면적이 상당히 2500ha 이상의 대규모 저수지에 모두 설치되었다. 게이트 인양형식은 유압식이 94개소로 가장 많았으며 그 다음으로 핀책형식이 49개소로 많았다. 핀책형식은 인력으로 인양하는 방식으로 대부분 1990이전에 설치된 저수지에 적용되었다.

<표 2.2.2> 게이트 문비형식 및 게이트 이양형식별 분류

구분	소계	게이트 문비 형식(개소)				게이트 인양 형식(개소)			
		레디알	슬라이드	전도	기타*	핀책	와이어로프	유압	기타*
경기	39	4	35	0	0	21	4	14	0
강원	2	2	0	0	0	0	2	0	0
충북	34	2	2	30	0	1	4	29	0
충남	22	4	10	7	1	7	4	10	1
전북	20	10	9	0	1	1	10	8	1
전남	34	3	19	12	0	15	3	16	0
경북	8	4	1	2	1	0	4	3	1
경남	18	1	8	9	0	4	1	13	0
제주	1	0	0	1	0	0	0	1	0
계	178	30	84	61	3	49	32	94	3

*기타 : 전북:사이펀 형식, 경북:로울러게이트

현재 부분게이트로 사용되고 있는 수문의 문비는 슬라이드 방식과 전도방식이 사용되고 있으며, 강원도에서 슬라이드 방식으로 만든 부분게이트에 홍수시 이물질이 끼어서 작동이 않된 사례가 발생하였다. 하천 취입보에 주로 사용되던 전도방식이 개량되어 안전성이 확보된 뒤로 2003년 이후에 설치된 저수지에는 대부분 전도방식을 이용하고 있다.

다. 기존 농업용저수지 게이트 설치현황 분석

대부분의 중소규모 농업용저수지는 1970년 이전에 축조되었으며 그 당시 물넘이 설계기준은 100년빈도 홍수량 배제로서 자연식 물넘이로도 설계기준에 충분히 만족했기 때문에 규모가 작은 저수지는 특별한 홍수조절이 의미가 없었다. 하지만 1970년 이후 유역면적이 비교적 큰 저수지가 축조되면서 홍수조절기능이 없이는 홍수시 급격한 수위상승에 따른 제당율류의 위험과 유입홍수가 그대로 방류되면서 하류지역의 홍수피해가 커질 수 있기 때문에 농업용 저수지에서도 댐 파괴로 인한 인명과 재산피해가 클 것으로 예상되는 일정규모 이상의 댐에 대해서는 홍수조절기능 확보가 필요해졌다. 농업생산기반정비기준 필댐편에서는 저수지 규모²⁾에 따른 홍수조절방법을 설정하였으며 이 기준에 의거해서 홍수조절이 필요한 저수지에 대해서는 전면게이트 또는 부분게이트를 설치하였다. <표 2.2.1>에서와 같이 2000년 이전에 설치한 게이트저수지는 81개소로 이곳은 홍수조절기준에 의거하여 축조당시부터 홍수조절을 목적으로 설치되었던 저수지이다. 하지만 2000년부터 건설되었던 여수로 게이트는 대부분 수리시설개보수사업시 설치된 것으로 설계시 홍수량설계기준의 변경³⁾ 때문에 과거보다 2배 이상의 홍수배제량이 요구되었다. 그래서 설계기준을 만족하기 위해서는 물넘이 길이를 확장해야 했는데 지형적으로 적정 물넘이 길이가 확보되지 않는 저수지에는 모자란 홍수배제능력을 키우기 위해 부분게이트가 도입되었다.

앞서 설명한 대로 재해대비설계기준에 의해 부분게이트의 목적은 홍수배제량 확보뿐만 아니라 사전방류로 2가지가 있는데 대부분의 중소규모 농업용저수지와 그 하류하천의 설계빈도가 다르기 때문에 하류하천의 개수 없이 단순 저수지의 홍수배제량 증가는

2) ① 유역면적이 5km² 이하이거나 홍수도달시간이 1시간 미만인 농업용저수지는 원칙적으로 홍수조절용량을 고려하지 않음

② 만수면적이 유역면적의 1/30 보다 크고 홍수도달시간이 상당히 긴 경우에는 홍수조절을 고려함

3) 100년빈도에서 200년빈도로 변경됨

곧바로 하류하천의 피해로 이어진다. 충북지역에서 이러한 피해사례가 발생하였고, 2003년 이후에 설치된 게이트는 재해대비 설계기준을 바탕으로 주로 사전방류의 목적으로 부분게이트가 설치되고 있다. 하지만 게이트의 가장 근본적인 목적은 저수지 제체 안전을 위한 적정 홍수배제량의 확보로서 저수지 파괴로 인한 피해는 게이트 방류로 인한 하류 농경지 침수정도로 끝나는 것이 아니라 하류지역 대규모 재해로 이어지므로 적정 홍수배제량의 확보가 가장 선행되어 중요한 목적으로 다루어져야 할 것으로 판단된다.

게이트 문비형식은 레디알, 슬라이드, 전도 및 기타 방식으로 레디알방식은 전체중 30개소로 17%정도이지만 규모가 큰 저수지는 대부분이 레디알 방식을 채택하고 있으나 최근에는 중규모 저수지의 경우는 설치비 및 유지관리가 편리한 전도방식을 채택하고 있다. 슬라이드 방식의 경우 84개소로서 전체 약 50%를 차지하였는데 설치가 다른 방식에 비교적 간단하면서 방류효과가 크기 때문에 대부분 부분게이트 방식에 이용되었다. 하지만 2002년 태풍루사 내습시 슬라이드 방식의 부분게이트에 나무가 끼어 작동이 안 된 사례가 있었으며 그 동안 하천 취입보에 주로 사용되던 전도방식이 개량되어 안전성이 확보된 뒤로 2003년 이후에 설치된 저수지에는 대부분 전도방식을 이용하고 있다. 도별로 문비형식을 비교하면 경기도의 경우 슬라이드 방식은 39개소중 35개소로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 반면 충북의 경우는 34개소중 30개소가 전도방식으로 지역별로 큰 편차를 보이고 있다.

게이트이 인양형식은 과거 설치비용이 적을 경우는 핀잭을 주로 사용하여 2000년 이전에 설치된 게이트중 슬라이드 방식은 99%가 핀잭 방식으로 사람이 직접 수문을 인양하도록 설치되어 있다. 현재 가장 많이 사용하고 있는 방식은 유압식으로 전체 50% 정도를 차지하고 있으며 이외에 와이어 로프방식이 18% 정도로 과거 유압방식의 문제점인 유류누수에 의한 환경오염방지 목적으로 사용되었다. 인양형식 역시 문비형식과 마찬가지로 도별로 사용방법에 큰 차이를 보이고 있다. 결국 설계자 의지로 다양한 방법이 적용되고 있는데 안전성과 유지관리 편리성이 확보된 상태에서 설계가 이루어져야 하나 지역적 특성보다는 도별로 일관된 게이트 방식을 고수하고 있기 때문에 매년 유지관리에 많이 비용과 노동력이 소요되고 있다. 따라서 향후 개보수에 의한 게이트 설치시 설계홍수량 증가에 따라 배제시설의 규모도 커져야 하나 지형적인 여건상 물넘이의 확장이 불가능한 지역도 많으며 물넘이 시설의 확장으로 인해 저수지 하류지역의 피해에 따른 민원도 제기됨에 따라 저수지용 게이트의 합리적이고 표준화된 모델이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

라. 저수지 게이트 홍수관리기법 분석

2000년 이후 우리의 농촌은 1970년 대비 24%까지 인구가 감소되었으며 50세 미만의 인구는 12.1%까지 크게 감소가 된 반면 70세 이상의 고령은 35%나 증가되어있는 상황이다. 농촌공사에서 작성한 “농업용저수지(댐) 관리규정”에서는 수위조절장치가 있는 총저수용량 1백만 m^3 이상의 저수지에 대해서는 해당분야 전문기술직으로 지정해야 한다고 되어 있으나 실제 현장에서는 저수지별로 매우 멀리 떨어져 있고 업무가 홍수기 때 집중되기 때문에 기존의 관행적인 방법으로 홍수관리가 이루어지고 있으며 1백만 m^3 이하의 저수지도 유역 특성에 따라서는 홍수량이 급격하게 증가하여 전문적인 수문조작이 필요한 경우가 발생하기 때문에 최근 이상홍수에 적절한 대처가 힘든 여건으로 분석되었다.

현재 설치되어 있는 비상수문은 조사결과 지역에 따라서 인양방법이나 수문형식 및 수문설치 방법 등이 달랐으며 비상수문의 종류와 형식이 다르기 때문에 같은 제원의 수문이라도 방류량 특성이 달라짐으로써 한가지 수문조작 방법만으로는 재해 안정성 확보가 될 수 없을 것으로 판단된다. 결국 2007년 3월에 만들어진 “농업용저수지(댐) 관리규정”에 수문조작 항목이 포함되어 있으나 수문조작의 구체적인 방법과 절차가 명시되지 못했다. 다만 수문이 있고 총저수용량 1백만 m^3 이상의 저수지는 수문조작요령을 작성·비치하도록 규정하고 있는데 아직까지 농업용저수지에 적용한 수문에 대해 조작 방법에 관한 연구가 미흡하기 때문에 일선 관리부서에서는 수문조작요령을 제대로 갖 추기가 어려운 실정이다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 무동력 전도 게이트 구조 계산

1. 부채꼴 원형단면의 무게중심 변위식 검토를 통한 복원력 해석

그림 3.1.1에서 보는 바와 같이 오뚜기형 부채꼴 원형단면은 전도게이트의 밑부분(반원모양)의 무게중심에 대한 것을 나타낸 것으로서 게이트 상류부로부터 일정한 수압이 형성되면 전도게이트는 게이트 하류부로 기울어진다. 이때 기울어진 각도를 편심이라고 하면 이 편심에 따라 전도게이트가 원래의 상태(중력방향인 수직으로 직립해 있는 상태)로 되돌아가려는 힘 즉, 복원력을 계산하는데 필요하다. 여기서 기준은 수로와 수평한 선과 중력방향의 선으로 하며, 이에 대해 기울어진 각도를 편심이라고 정의한다. 따라서 복원력은 이 기준선을 중심으로 생각하면 편심의 2배로서 작용을 한다.



<그림 3.1.1> 무동력 전도게이트 축척 모형

이하에 이렇게 편심이 주어졌을 때의 복원력과 전도력 그리고 수문에 걸리는 수압계산을 정리하였다.

<그림 3.1.2>에서,

G : 부채꼴 원형단면의 무게중심점

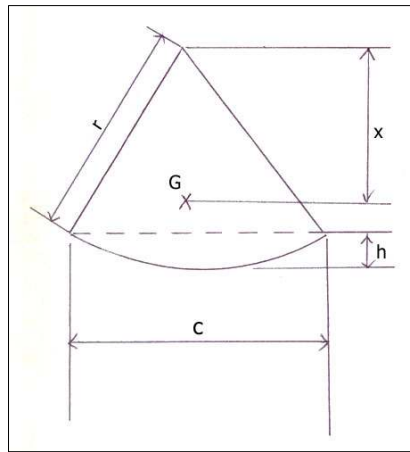
X : 부채꼴의 꼭지점부터 부채꼴 원형단면의 무게중심점까지의 거리

r : 부채꼴 원형단면의 반경

C : 부채꼴 원호의 수평거리

h : 부채꼴 원호의 수평거리의 중심점부터 원호의 중심점까지의 거리

또한 그림 3.1.1의 부채꼴 원형단면의 무게중심거리 X는 다음 식으로 계산한다.



<그림 3.1.2> 부채꼴 원형단면도

$$X = \frac{3}{8}(2r - h) \dots\dots\dots (1)$$

식(1)에서 h는 다음과 같이 표현된다.

$$h = r + \frac{1}{2}\sqrt{4r^2 - C^2} \dots\dots\dots (2)$$

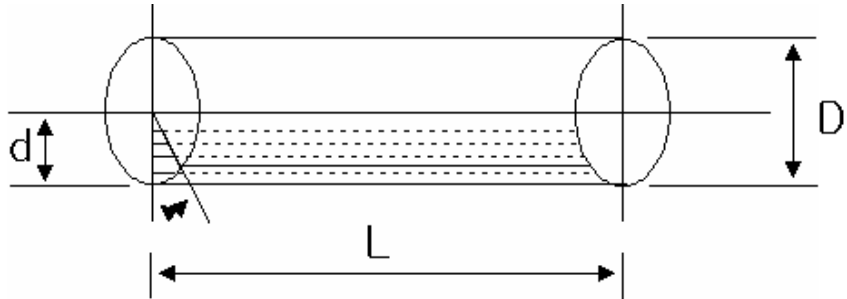
따라서 식(1)에 식(2)를 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$X = \frac{3}{8}(2r - r + \frac{1}{2}\sqrt{4r^2 - C^2}) = \frac{3}{8}r + \frac{3}{16}\sqrt{4r^2 - C^2} \dots\dots\dots$$

(3)

부채꼴 원형단면의 무게중심거리는 식(3)에 의해서 구할 수 있다.

다음에 실제로 전도게이트가 수압에 의해 편심을 형성하였을 때 복원력 계산으로서,



<그림 3.1.3> 부채꼴 원형단면 전체 모습

<그림 3.1.3> 에서,

L : 전도게이트의 길이

D : 부채꼴 원형단면의 직경

d : 부채꼴 원형단면의 반경

α : 편심의 배각이다.

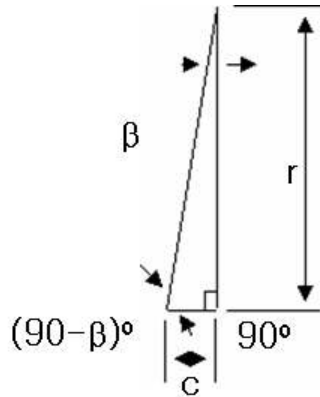
따라서 편심배각에 대한 부채꼴 형상의 전체적인 중량을 계산하는 식은,

$$W = \frac{\pi}{4} d^2 \times \frac{\alpha}{360} \times L \times W_s \dots\dots\dots$$

(4)

여기서 W_s 는 철의 비중으로서 $W_s = 7850 \times 10^{-6}$ (g/cm³)이다.

다음으로 편심하중의 무게중심거리를 구하기 위해 부채꼴 원호의 수평거리를 구해야 하는데 이는 편심각과 밀접한 관계가 있다. 수평거리는 <그림 3.1.4>에서 보는 바와 같이 만약에 편심각 β가 10°라고 가정한다면 다음과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 3.1.4> 편심각에 대한 삼각형 각도

$$\cos(90 - \beta) = \frac{c}{r} \dots\dots\dots$$

(5)

에서 계산에 의해 c 값을 구하며, $C = 2c$ 로서 계산할 수 있다.

따라서 복원력은

$$F = Wg \dots\dots\dots$$

(6)

로서 나타낼 수 있다. 여기서 g 는 중력가속도(9.81m/s²)이다.

또한 복원 토크는 다음과 같다.

$$T_r = FX \dots\dots\dots$$

(7)

2. 전도력

전도력은 수압에 의해서 오뚜기형 전도게이트가 일정한 편심을 가지고 기울어지는 힘을 말한다. 전도게이트가 기울어짐에 따라서 상류부에 모여 있던 물이 게이트 하류로 흘러나가서 제진기의 수차를 돌리게 된다. 이렇게 수문을 전도시키는 것을 전도력이라

고 하며 이 전도력은 전도게이트의 상부에 달려있는 수문비에 작용을 하게 된다. 전도력을 계산하기 위하여 그림 3.1.4를 기초로 하여 수문비 부분의 중량을 계산하면 다음과 같다.

1) 수문비 옆면판 중량

$$W_{G1} = \left(\frac{a+b}{2}\right) \times H \times t \times W_s \times 2 \text{개} \dots\dots\dots (8)$$

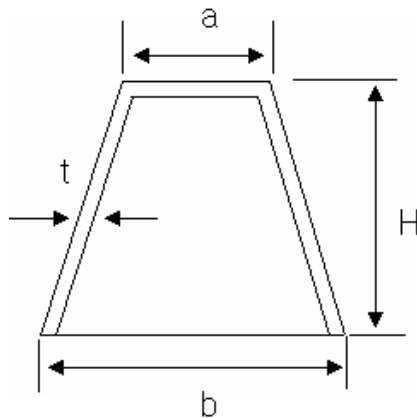
2) 수문비 정면판 중량

$$W_{G2} = H \times t \times L \times W_s \times 2 \text{개} \dots\dots\dots (9)$$

3) 수문비 윗면판 중량

$$W_{G3} = a \times L \times t \times W_s \dots\dots\dots$$

(10)



<그림 3.1.5> 수문비 구조

수문비의 총중량은 다음과 같다

$$W_T = W_{G1} \times W_{G2} \times W_{G3} \dots\dots\dots$$

(11)

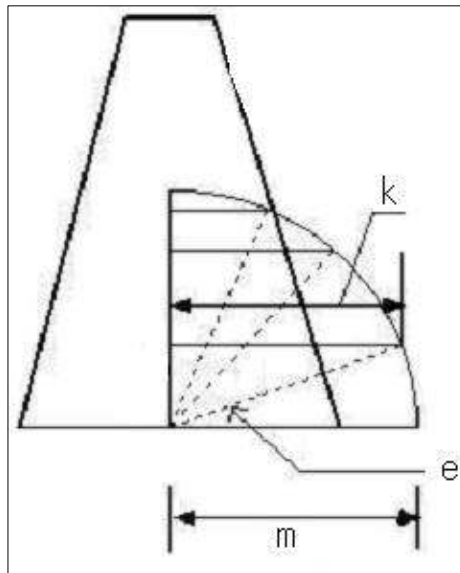
<그림 3.1.6>에서 보는 바와 같이 사다리꼴 모양의 무게중심까지의 거리 m은 다음 식에서 구한다.

$$m = \frac{H}{3} \frac{a+2b}{a+b} \dots\dots\dots$$

(12)

다음으로, 전도력 계산에 있어서 수문비의 총중량이 수문비 중심으로부터 편심각에 의한 만큼 기울기에 작용하기 때문에 다음과 같이 구한다.

$$F' = W_T g \sin e \tag{13}$$



<그림 3.1.6> 편심각에 의한 수문비의 기울기 수평거리

전도 토크를 구하기 위하여 전도토크가 발생하는 편심각 기울기 지점에서의 힌지방향까지의 거리를 구하려면 다음 식을 사용한다.

$$k = m \sin e \dots\dots\dots$$

(14)

또한 전도 토크는 다음과 같다.

$$T'_r = F' k \dots\dots\dots$$

(15)

따라서 순수한 복원력과 복원 토크는 다음과 같이 계산한다.

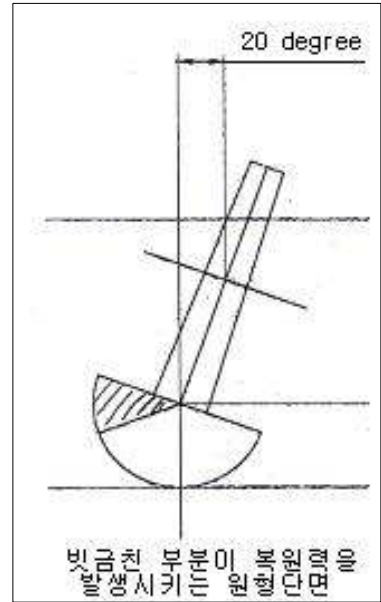
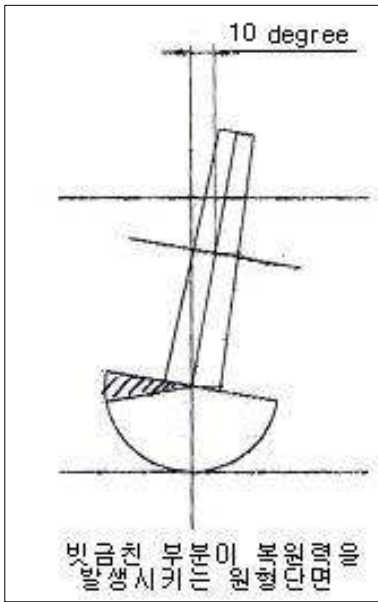
$$F_p = F - F' \dots\dots\dots$$

(16)

$$T_p = T_r - T_r' \dots\dots\dots$$

(17)

<그림 3.1.7>에서 보는 바와 같이 전도게이트가 10° 또는 20° 편심으로 기울어졌을 때의 전도게이트의 기울어진 모습이다.



(a) 10°기울 때의 전도게이트

(b) 20°기울 때의 전도게이트

<그림 3.1.7> 편심에 따른 전도게이트의 모습

3. 수문에 걸리는 수압 계산

다음은 수문에 걸리는 힘(수압)을 계산하는 방법으로서 수문이 중력방향인 수직으로 서 있는 경우를 우선 상정하여 계산을 하면, 우선 수압이 전도게이트에 걸리는 형태를 두 가지로 나눌 수 있다. 한가지는 수문 상부의 수문비 부분에 걸리는 수압으로서 게

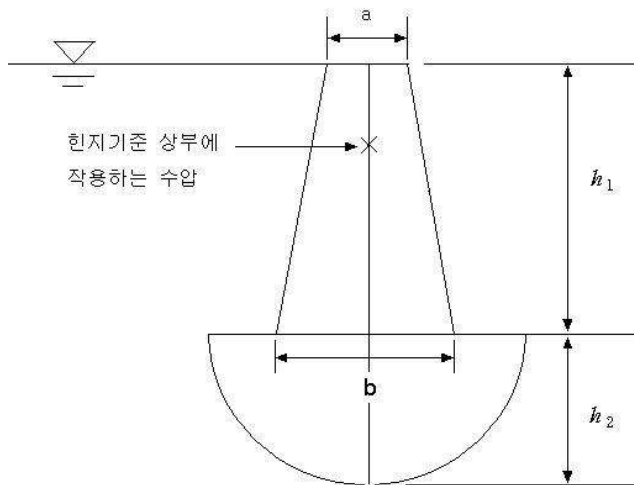
트의 전도에 관여하며, 또 하나는 부채꼴 원형단면에 걸리는 수압으로서 이는 역수압 즉 게이트의 복원력에 관계되는 수압이다. 이 수압은 궁극적으로 모두 수문비나 부채꼴 원형단면의 무게중심에 걸리는 것으로서 제진기의 운영을 위한 동력원의 발생 역할을 한다.

<그림 3.1.8>에서 알 수 있듯이 전도게이트의 힌지를 기준으로 상부(수문비측)에 걸리는 수압은 전도력으로, 하부(부채꼴 원형단면)에 걸리는 수압은 복원력으로 작용을 한다. 여기서 수압이 걸리는 상부 면적은

$$A_1 = L h_1 \dots\dots\dots (18)$$

따라서 힌지부 상부에 작용하는 수압은

$$P_{w1} = A_1 \omega \dots\dots\dots (19)$$



<그림 3.1.8> 전도게이트에 수압이 걸리는 모습

여기서, ω : 물의 비중량(g/cm^3)이다.

또한 힌지부 상부에 작용하는 수압에 의한 토오크는

$$T_{W1} = P_{W1} m \dots\dots\dots$$

(20)

다음으로는 부채꼴 원형단면에 작용하는 수압으로서, 이는 상부에 걸리는 수압의 역수압이며 복원력에 관계가 된다. 따라서 수압이 작용하는 힌지 하부의 면적은 다음과 같다.

$$A_2 = \frac{\pi}{4} d^2 \frac{180}{360} \dots\dots\dots$$

(21)

따라서 힌지부 하부에 작용하는 수압은

$$P_{W2} = A_2 \omega \dots\dots\dots$$

(22)

또한 힌지부 하부에 작용하는 토크는 다음과 같다.

$$T_{W2} = P_{W2} X \dots\dots\dots$$

(23)

따라서 수문비에 걸리는 순수 수압은

$$P_W = P_{W1} - P_{W2} \dots\dots\dots$$

(24)

수문비에 걸리는 순수 수압의 토크는

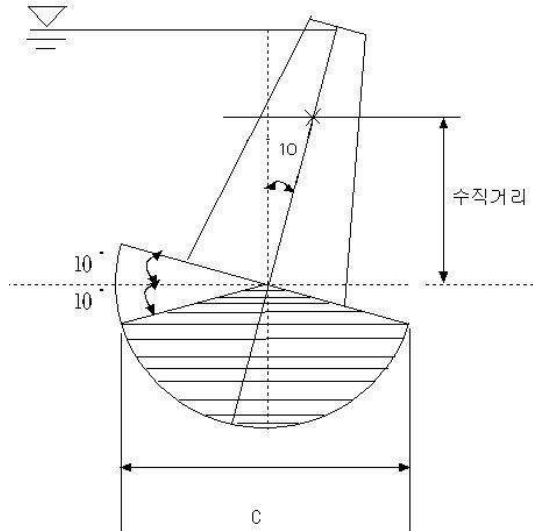
$$T_W = T_{W1} - T_{W2} \dots\dots\dots$$

(25)

다음은 실제로 전도게이트가 수압에 의해 기울어졌을 때 전도게이트가 받는 수압을 계산한다. 그림 3.1.8에서 보듯이 일정한 편심을 가지고 전도게이트가 기울어지면 이에 따라 수문비에는 전도력이 가해지며 빗금 치지 않은 부분에는 복원력이 작용을 한다. 우선 수압에 의해 전도게이트가 10° 기울었다고 가정하면, 수문비에 걸리는 수압은 다

음과 같다.

$$P_{w1} = A_1 \omega \dots\dots\dots (26)$$



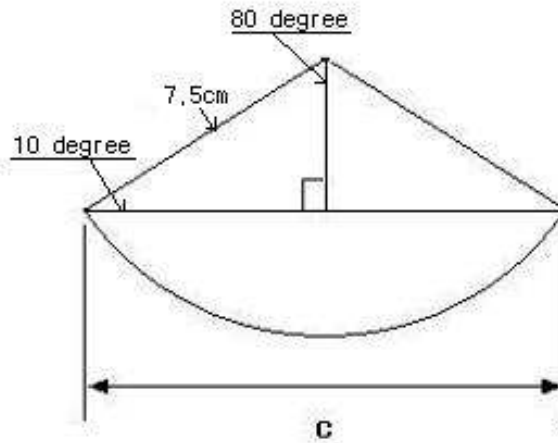
<그림 3.1.9> 전도게이트가 기울어진 모습

그리고 수압이 수문비에 작용하는 토크는 수문비가 기울어진 수문비의 무게중심까지의 중력방향 수직거리에 발생함으로,

$$T_{w1} = P_{w1} m \cos 10 \dots\dots\dots (27)$$

여기서 $\cos 10^\circ$ 는 수문비 무게중심까지의 중력방향 수직거리이다.

다음으로, 역수압 발생에 대해서 알아보면 우선 힌지기준 하부는 수로바닥에서 힌지까지의 높이가 일정하므로 수직상태와 동일하다고 할 수 있다. 따라서 복원력으로 작용하는 부채꼴 부분을 제외한 부채꼴의 중심을 구하는 것이 역발생 수압을 구하는 계산 방법이다. 그림으로 표현을 하면 <그림 3.1.9>의 빗금 친 부분에 해당한다.



<그림 3.1.10> 부채꼴 원형단면의 삼각형도

따라서 여기서는 부채꼴 원형단면의 반경이 7.5cm 이고 편심이 10°이기 때문에 그림으로 나타내면 <그림 3.1.10>과 같다. 따라서 무게중심거리는 상기 식(3)을 이용하면,

$$X = \frac{3}{8} \left(2r - r + \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - C^2} \right) = \frac{3}{8} r + \frac{3}{16} \sqrt{4r^2 - C^2} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 부채꼴 원호의 수평거리 C는 C=2c 이므로 삼각형의 밑변 c는

$$c = 7.5 \times \cos 10^\circ \dots\dots\dots (28)$$

따라서 하부의 부채꼴 원형단면에 작용하는 역수압은

$$P_{w2} = \frac{\pi}{4} d^2 \omega \frac{160}{360} \dots\dots\dots (29)$$

역수압 토크는 식(23)과 같다.

$$T_{w2} = P_{w2} X \dots\dots\dots (23)$$

상기와 같은 식으로 오투기형 전도게이트의 구조계산을 하여 설계·제작하면 다음과 같은 모습이 된다.



(a) 게이트 전면



(b) 게이트 후면



(c) 게이트가 기울어진 모습

<그림 3.1.11> 오투기형 전도게이트 전체 모습

4. 실제 모델 적용

다음은 상기의 복원력과 전도력에 의한 계산식을 사용하여 계산한 내용이다. 이것은 농어촌연구원 물관리자동화(TM/TC)시험포장의 관개용수로를 대상으로 하여 전도게이트를 설계한 것으로서 전도게이트에 필요한 사양은 다음과 같다.

수로폭은 0.8m, 수로높이는 0.4m이며, 전도게이트는 수문비의 높이가 0.225m, 부채꼴 원형단면 직경은 0.15m이고 전도되는 수심은 0.24m이다. 이 계산에 의한 결과에서는 편심에 대한 각종 계산치가 제시되어 있으며, 이는 현재까지 본 시험포장용 전도게이트 구조계산법에 한정되어 있다.

아래의 <표 3.1.1>과 <그림3.1.12, 13>을 보면 우선 전도게이트의 받침대 기울기(=편심)에 대하여, 일정한 수압 하에 게이트가 넘어지는 전도력은 대단히 낮은 기울기로 발생을 하며, 이에 대한 반발력으로서 존재하는 복원력은 거의 비례적으로 커진다. 이러한 현상은 바꾸어서 말하면 전도게이트가 수압을 많이 받아서 기울기가 심해지면 질수록 게이트가 올라오려는 복원력은 커지게 되며 완전히 게이트가 기울어져도(편심각도 : 90°) 게이트의 복원력이 한계에 다다르지는 않는다는 결론을 얻을 수가 있다. 이러한 현상은 수로 내에 많은 유량에 의해 게이트의 기능(=유량을 모아서 수압을 형성하여 하류로 송출하고 다시 수압을 형성시키는 기능)이 자연적으로 회복이 된다는 것을 의미한다. 이에 대하여 순수복원력은 총복원력보다는 일정한 크기로 작지만 이러한 현상은 스프링현상처럼 일정한 크기의 압력에 대한 반발력이 더해져서 복원력으로 작용한다는 것을 의미한다. 또한 일정한 길이에 대한 힘을 나타내는 토크를 보면 복원력이 무작정 크다고 해서 이를 나타내는 토크가 커지는 것은 아니다. 그림 3.1.13를 보면 편심이 54°근처에 오면 전도력에 대한 토크는 오히려 작아지는 것을 알 수 있으며, 이에 따라서 복원력도 그리 크게 증가하지는 않는다. 다만, 순수복원력은 전도력에 대한 반발력이 존재하지 않기 때문에 부하로서 작용을 하지 않아 지속적으로 순수복원력에 대한 토크는 증가를 한다.

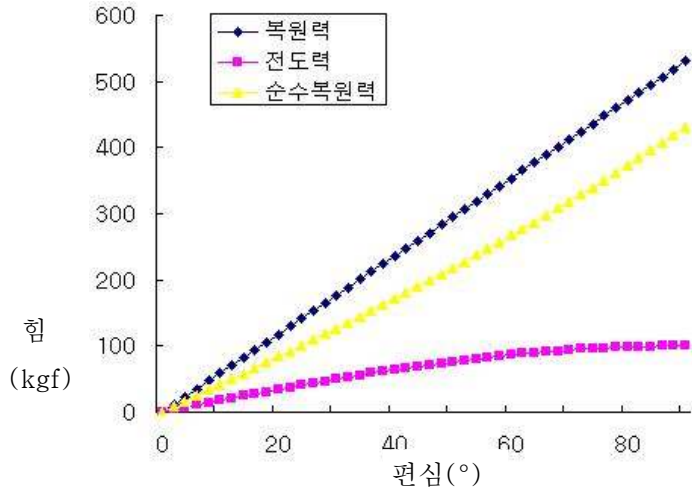
또한 <표 3.1.2>와 <그림 3.1.13. 14>를 보면 편심별 수문의 각 부분에 대한 수압과 수압토크를 나타낸 것으로서 수문 하부에 걸리는 수압이 항상 일정한데 비해서, 수문 상부에 걸리는 수압은 편심이 클수록 작아지는 것을 알 수 있으며, 편심이 45°~90°의 상태가 되면 수문에 대한 수압은 오히려 부압으로 작용하여 수문을 완전히 누르려는 현상보다는 오히려 일으켜 세우려는 측면으로 압력이 작용하는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 수문에 걸리는 수압토크를 계산한 결과를 보면 그래프 3과 같은 결과를 얻을 수 있다.

<표 3.1.1> 편심별 전도력, 복원력, 토크 계산

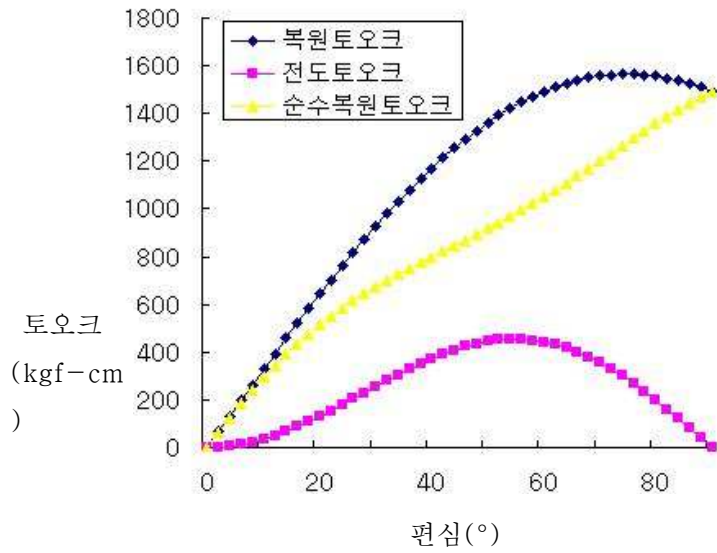
편 심	F (kgf)	F' (kgf)	F_P (kgf)	T_r (kgf-cm)	T'_r (kgf-cm)	T_P (kgf-cm)
2.00	11.79	3.49	8.30	66.29	1.43	64.85
4.00	23.58	6.97	16.60	132.45	5.72	126.73
6.00	35.36	10.45	24.91	198.37	12.80	185.58
8.00	47.15	13.91	33.24	263.93	22.59	241.34
10.00	58.94	17.36	41.58	329.00	34.97	294.03
12.00	70.73	20.79	49.94	393.47	49.79	343.68
14.00	82.52	24.19	58.33	457.22	66.87	390.36
16.00	94.30	27.56	66.75	520.14	85.99	434.15
18.00	106.09	30.89	75.20	582.11	106.93	475.17
20.00	117.88	34.19	83.69	643.01	129.43	513.59
22.00	129.67	37.45	92.22	702.75	153.20	549.55
24.00	141.46	40.66	100.79	761.20	177.95	583.26
26.00	153.24	43.83	109.42	818.28	203.37	614.91
28.00	165.03	46.94	118.10	873.86	229.13	644.73
30.00	176.82	49.99	126.83	927.86	254.92	672.94
32.00	188.61	52.98	135.63	980.18	280.40	699.78
34.00	200.40	55.91	144.49	1030.72	305.23	725.49
36.00	212.19	58.77	153.42	1079.40	329.10	750.30
38.00	223.97	61.55	162.42	1126.13	351.68	774.45
40.00	235.76	64.27	171.49	1170.84	372.67	798.17

<표 3.1.1> 편심별 전도력, 복원력, 토오크 계산(계속)

편 심	F (kgf)	F' (kgf)	F_P (kgf)	T_r (kgf-cm)	T'_r (kgf-cm)	T_P (kgf-cm)
42.00	247.55	66.90	180.65	1213.44	391.77	821.66
44.00	259.34	69.46	189.88	1253.86	408.71	845.14
46.00	271.13	71.92	199.20	1292.03	423.24	868.79
48.00	282.91	74.30	208.61	1327.90	435.12	892.78
50.00	294.70	76.59	218.11	1361.40	444.15	917.24
52.00	306.49	78.79	227.70	1392.48	450.16	942.31
54.00	318.28	80.89	237.38	1421.09	453.01	968.08
56.00	330.07	82.90	247.17	1447.18	452.57	994.61
58.00	341.85	84.80	257.06	1470.73	448.79	1021.95
60.00	353.64	86.60	267.04	1491.70	441.60	1050.10
62.00	365.43	88.29	277.14	1510.06	431.01	1079.05
64.00	377.22	89.88	287.34	1525.79	417.04	1108.74
66.00	389.01	91.35	297.65	1538.87	399.76	1139.11
68.00	400.79	92.72	308.08	1549.30	379.27	1170.03
70.00	412.58	93.97	318.61	1557.07	355.70	1201.38
72.00	424.37	95.11	329.26	1562.19	329.20	1232.98
74.00	436.16	96.13	340.03	1564.65	299.99	1264.66
76.00	447.95	97.04	350.91	1564.48	268.28	1296.21
78.00	459.73	97.82	361.91	1561.70	234.32	1327.38
80.00	471.52	98.49	373.03	1556.33	198.39	1357.94
82.00	483.31	99.04	384.27	1548.40	160.77	1387.62
84.00	495.10	99.47	395.63	1537.95	121.80	1416.15
86.00	506.89	99.78	407.11	1525.02	81.78	1443.23
88.00	518.68	99.96	418.71	1509.66	41.07	1468.59
90.00	530.46	100.02	430.44	1491.93	0.00	1491.93



<그림 3.1.12> 편심별 복원력, 전도력, 순수복원력



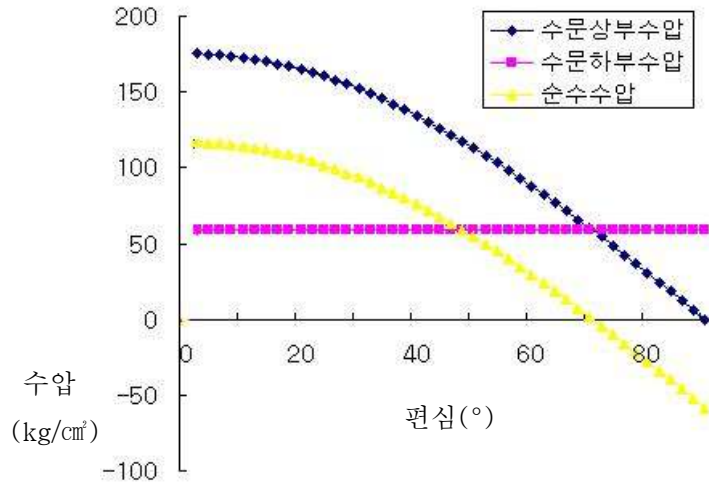
<그림 3.1.13> 편심별 복원토크, 전도토크, 순수복원토크

<표 3.1.2> 편심별 수문 수압 및 토오크

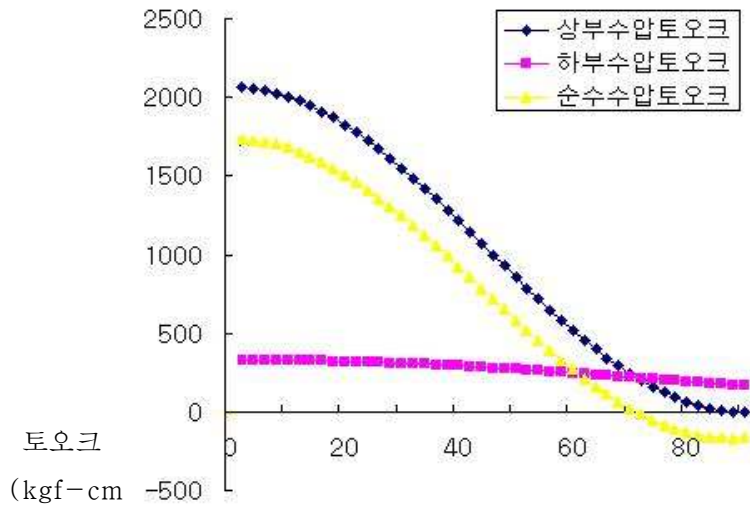
편 심	P_{W1} (kg/cm ²)	P_{W2} (kg/cm ²)	P_W (kg/cm ²)	T_{W1} (kgf-cm)	T_{W2} (kgf-cm)	T_W (kgf-cm)
2.00	175.39	58.50	116.89	2065.82	328.96	1736.86
4.00	175.07	58.50	116.57	2058.22	328.65	1729.57
6.00	174.54	58.50	116.04	2045.64	328.15	1717.50
8.00	173.79	58.50	115.29	2028.14	327.44	1700.70
10.00	172.84	58.50	114.34	2005.80	326.54	1679.26
12.00	171.67	58.50	113.17	1978.74	325.44	1653.29
14.00	170.29	58.50	111.79	1947.07	324.15	1622.92
16.00	168.71	58.50	110.21	1910.96	322.66	1588.30
18.00	166.92	58.50	108.42	1870.59	320.98	1549.61
20.00	164.93	58.50	106.43	1826.14	319.11	1507.04
22.00	162.73	58.50	104.23	1777.84	317.04	1460.80
24.00	160.34	58.50	101.84	1725.92	314.80	1411.12
26.00	157.76	58.50	99.26	1670.64	312.37	1358.27
28.00	154.98	58.50	96.48	1612.25	309.76	1302.49
30.00	152.01	58.50	93.51	1551.06	306.98	1244.08
32.00	148.86	58.50	90.36	1487.34	304.02	1183.33
34.00	145.53	58.50	87.03	1421.43	300.89	1120.54
36.00	142.02	58.50	83.52	1353.62	297.59	1056.03
38.00	138.33	58.50	79.83	1284.27	294.14	990.13
40.00	134.48	58.50	75.98	1213.69	290.52	923.17
42.00	130.47	58.50	71.97	1142.24	286.76	855.49
44.00	126.29	58.50	67.79	1070.27	282.84	787.43

<표 3.1.2> 편심별 수문 수압 및 토오크(계속)

편 심	P_{W1} (kg/cm ²)	P_{W2} (kg/cm ²)	P_W (kg/cm ²)	T_{W1} (kgf-cm)	T_{W2} (kgf-cm)	T_W (kgf-cm)
46.00	121.96	58.50	63.46	998.12	278.78	719.34
48.00	117.49	58.50	58.99	926.15	274.58	651.57
50.00	112.87	58.50	54.37	854.70	270.25	584.45
52.00	108.11	58.50	49.61	784.13	265.78	518.34
54.00	103.22	58.50	44.72	714.77	261.20	453.57
56.00	98.21	58.50	39.71	646.97	256.49	390.47
58.00	93.08	58.50	34.58	581.05	251.68	329.37
60.00	87.83	58.50	29.33	517.34	246.76	270.58
62.00	82.48	58.50	23.98	456.14	241.74	214.40
64.00	77.02	58.50	18.52	397.76	236.62	161.13
66.00	71.48	58.50	12.98	342.47	231.42	111.05
68.00	65.84	58.50	7.34	290.55	226.14	64.41
70.00	60.13	58.50	1.63	242.25	220.78	21.47
72.00	54.34	58.50	-4.16	197.80	215.35	-17.55
74.00	48.48	58.50	-10.02	157.43	209.86	-52.43
76.00	42.57	58.50	-15.93	121.32	204.32	-82.99
78.00	36.61	58.50	-21.89	89.66	198.72	-109.07
80.00	30.60	58.50	-27.90	62.59	193.09	-130.50
82.00	24.55	58.50	-33.95	40.25	187.42	-147.17
84.00	18.47	58.50	-40.03	22.75	181.72	-158.97
86.00	12.38	58.50	-46.12	10.17	176.00	-165.83
88.00	6.26	58.50	-52.24	2.57	170.27	-167.70
90.00	0.14	58.50	-58.36	0.00	164.53	-164.53



<그림 3.1.13> 편심별 수압, 역수압, 순수수압



<그림 3.1.14> 편심별 수압토크, 역수압토크, 순수수압토크

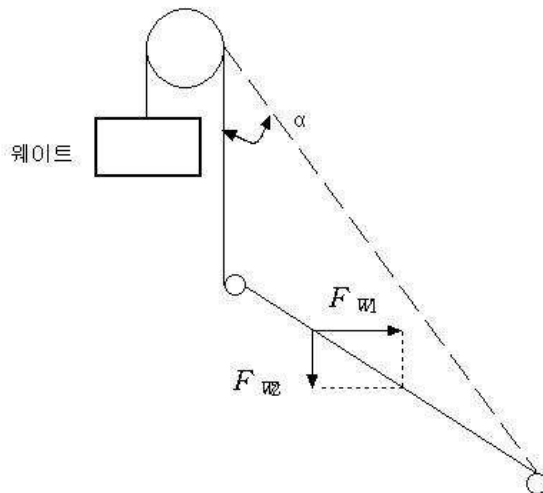
이와 같이 수압이 형성되어 게이트의 전도 및 복원기능을 수행하는데 있어서 받침대와 수문비의 높이가 기능수행의 조건이 편심(°) |한 전도게이트는 무동력으로 수행을 함으로서 상시적으로 반복 작동되는 수문의 피로도 저감 및 동력사용에 대한 부담감을 낮출 수 있다.

제2절 웨이트조정 전도게이트 구조 계산

본 웨이트 조정 전도게이트의 특징은 수로 내 유량의 다소에 따라 웨이트의 전도수심을 원하는 대로 조절을 할 수 있다는 것이다. 전절의 오투기형 전도게이트의 경우에는 구조계산에 따라 설계를 하여 제작을 하면 전도수심이 이미 결정되어지기 때문에 다양한 유량조건을 만족시킬 수는 없지만 웨이트 조정 전도게이트는 이러한 약점을 보완하기 위하여 개발을 하게 된 게이트이다.

따라서 본 절에서는 웨이트에 의한 전도게이트의 작동에 관하여 구조적인 해석을 시도하였으며 구조해석은 힘의 균형을 수평방향과 수직방향을 나누어서 행하였다.

1. 웨이트에 의해 작용하는 힘의 해석



<그림 3.2.1> 웨이트에 의해 발생하는 힘

웨이트에 의해 발생하는 힘은 우선 수압에 의해 수문이 움직이기 시작하면, 웨이트에 의해 수문과의 균형을 잡기 위해서 웨이트가 움직이기 시작한다. 이때 웨이트에 의해 발생하는 힘은<그림 3.2.1>에서 보는 바와 같이 도르레와 전도게이트를 연결하는 와이어를 따라서 수평힘과 수직힘으로 발생한다.

따라서 우선 웨이트에 의해 수평분력으로 발생하는 힘은,

$$F_{w1} = W_w \times g \times \sin \alpha \dots\dots\dots$$

(30)

웨이트에 의해 수직분력으로 발생하는 힘은,

$$F_{W2} = W_w \times g \times \cos \alpha \dots\dots\dots$$

(31)

여기서, W_w 는 웨이트의 무게이다.

2. 전도게이트에 의해 작용하는 힘의 해석

전도게이트에 일정한 수압이 걸리면 게이트가 전도된다. 여기서 전도게이트가 전도가 될 때 발생하는 힘은 그림 3.2.2에서 보는 바와 같이 크게 세 가지로 나눈다. 그 첫 번째가 전도게이트에 걸리는 수압이며, 두 번째가 전도게이트가 전도됨에 따라 발생하는 수평방향의 힘이며, 세 번째가 전도게이트가 전도됨에 따라 발생하는 수직방향의 힘이다. 이 세 가지 힘이 각각 작용하는 벡터의 방향과 크기에 따라 게이트가 전도되기도 하고 다시 일어나기도 한다. 그러나 여기서 하나 주의해야 할 것은 게이트의 받침대가 오투기형으로 형성되어 있기 때문에 완전 전도는 불가능하며 따라서 부압과 정압이 완전히 0이 되는 경우는 형성될 수 없다.

여기서, 전도게이트에 걸리는 수압은

$$P_{water} = a \times h \times \omega \dots\dots\dots$$

(32)

여기서, h 는 수심이며 ω 는 물의 단위체적중량이다.

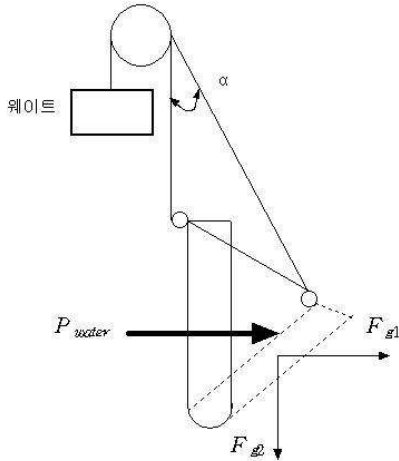
또한 전도게이트는 힌지에 의해서 90°회전을 하기 때문에 원래 작용의 반만 작용을 하기 때문에 수평방향분력은,

$$F_{g1} = \frac{1}{2} \times g \times W \times \sin \alpha \dots\dots\dots$$

(33)

수직방향의 분력은 다음과 같다.

$$F_{g2} = \frac{1}{2} \times g \times W \times \cos \alpha \dots\dots\dots (34)$$



<그림 3.2.2> 전도게이트에 의해 발생하는 힘

3. 웨이트와 전도게이트에 발생하는 힘의 상관관계

전도게이트의 작동은 수압에 의해 전도게이트와 수압과의 관계와 더불어 웨이트의 작용에 의하여 전도게이트가 작동을 하게 된다. 여기서 웨이트와 전도게이트 사이에서 일어나는 힘의 균형관계가 중요한 역할을 담당한다. 특히 수평분력과 수직분력의 상관관계를 파악하는 것이 중요하다. 우선 웨이트와 전도게이트의 수평적 힘의 균형을 나타내면, 웨이트의 수평방향의 힘은 수압에 의한 수평방향의 힘에다가 수문중량에 의한 수평방향의 힘을 합친 것과 같으므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{W1} = P_{water} + F_{g1} \dots\dots\dots (35)$$

수직방향의 힘은 다음과 같이 나눌 수 있다.

웨이트에 의한 수직방향의 힘 > 수문자중에 의한 수직방향의 힘..... (36)

웨이트에 의한 수직방향의 힘 = 수문자중에 의한 수직방향의 힘..... (37)

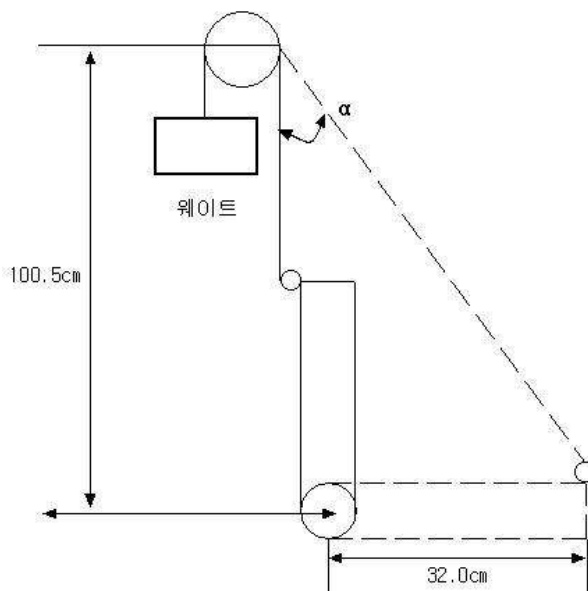
웨이트에 의한 수직방향의 힘 < 수문자중에 의한 수직방향의 힘..... (38)

여기서 식 (36)은 웨이트가 힘을 유지하여 수문이 전도되기 전의 힘의 균형을 나타내는 것이고, 식 (37)은 수압에 의해 전도게이트가 전도되기 시작하는 임계점을 나타내는 것이며, 식 (38)는 전도게이트가 전도된 것을 나타내는 것이다.

4. 실모델 적요예(수문의 위치가 도르레의 바로 뒤에 있는 경우를 상정)

웨이트(무계추)로 전도작동을 하는 전도게이트의 구조해석을 하기 위하여 우선 웨이트와 도르레 그리고 전도게이트의 형상을 나타내었다. 이 구조해석을 하기 위하여 우선 기본적으로 정해져야 할 사항은 전도게이트의 크기 및 중량, 전도수심, 도르레 위치등을 미리 정한 다음에 각 계산을 행한다.

<그림 3.2.3>에서 보는 바와 같이 게이트가 완전히 전도되었을 때의 각도를 α 라고 한다면



<그림 3.2.3> 웨이트 전도게이트 전도 모습

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{32}{100.5} = 17.66^\circ \dots\dots\dots$$

(39)

로 나타낼 수 있다.

여기서,

a : 전도게이트의 너비(79.0cm),

b : 전도게이트의 높이(35.0cm),

c : 전도게이트의 폭(4.86cm),

d : 힌지직경(4.86cm),

t : 철판두께(0.45cm),

w : 철의 비중(0.00785 kg/cm³),

h : 수위(24.0cm-4.86cm=19.14cm)이다.

또한 <그림 3.2.4>에서 나타낸 전도게이트의 총중량을 계산하기 위하여, 우선 전도게이트의 정면판의 중량(2개)를 계산하면,

$$W_1 = a \times b \times t \times w \times 2 (EA) = 19.53kg \dots\dots\dots$$

(40)

전도게이트의 옆면판의 중량(2개)를 계산하면,

$$W_2 = b \times c \times t \times w \times 2 (EA) = 1.21kg \dots\dots\dots$$

(41)

전도게이트의 윗면판의 중량을 계산하면,

$$W_3 = a \times c \times t \times w = 1.36kg \dots\dots\dots$$

(42)

따라서 전도게이트의 총중량은 다음과 같다.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = 22.1 \text{ kg} \dots\dots\dots$$

(43)

여기서, 수문이 완전히 전도되어 웨이트와 균형을 유지하면서 있을 힘은 수문의 중력 방향의 자중이므로 다음과 같다.

$$W_G = W \times g = 22.1 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/sec}^2 = 216.8 \text{ kg} \cdot \text{m/sec}^2 \quad (44)$$

현재 웨이트의 무게를 계산할 수 있는 방법은 웨이트와 전도게이트의 자중에 의한 힘을 수평과 수직분력으로 나누었기 때문에 2가지가 있다. 그러나 전도게이트에는 수압이라는 외부의 힘이 가중되기 때문에 수직분력이 아니라 수평분력에 의해서 웨이트의 중량을 결정해야 한다. 만약에 아래처럼 수직분력에 의해 웨이트의 중량을 결정하면 웨이트에 의한 수직방향의 힘은 수문자중에 의한 수직방향의 힘과 같기 때문에,

$$F_{W2} = F_{g2} \dots\dots\dots$$

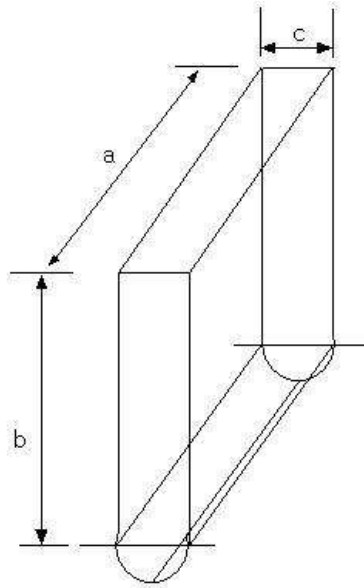
(45)

$$W_w \times g \times \cos\alpha = \frac{1}{2} \times g \times W \times \cos\alpha \dots\dots\dots$$

(46)

따라서 $W_w = \frac{W}{2} \dots\dots\dots$

(47)



<그림 3.2.4> 전도게이트 형상

즉, 웨이트는 수문 중량의 반이면 된다. 그러나 여기에는 수압에 의한 힘이 고려되지 않았기 때문에 일정한 수압에 도달하면 전도게이트가 갑자기 전도되는 위험성이 내재되어 있다. 따라서 웨이트의 중량은 수압을 고려한 수평방향의 분력을 이용하여 계산을 해야 한다.

제3절 축척 모형 시험

1. 목 적

저수지 무동력 여수토 게이트의 구조설계의 타당성 및 성능파악을 위하여 전도력, 복원력, 구동부 지수성, 힌지 내구성, 지수시트 내구성, 방류량, 유량-개도등을 축척모형실험을 통하여 입증하며 게이트 설계시 고려 변수를 확정시켜 게이트의 성능의 정확성과 저수지 설치시 정확한 기능을 발휘시키기 위함이다.

2. 측정값

본 시험은 전도게이트의 전도, 복원 성능 및 전도게이트 설치시 저수지에서의 방류량 등에 관한 값을 측정한다. 측정치는 다음과 같다

- 게이트의 전도력(kg/cm^2), 복원력(kg/cm^2)
- 게이트의 전도토크(kg-cm), 복원토크(kg-cm)
- 유량($\text{m}^3/\text{sec.}$)-개도(X°)

3. 시설배치

① 게이트

- 게이트는 수로에 탈부착식으로 만들며 현장에 적용할 게이트를 축척모형화시켜 설치함.

② 자(50cm)

- 자는 게이트 상류의 수로내 수위를 측정하기 위함이며, 게이트로부터 게이트 폭의 3배 거리에 부착시킴.

③ 각도계

- 각도계는 게이트 중심축에 맞추어서 수로에 부착시키며, 게이트의 전도 각도를 측정하기 위함.

④ 유량측정수문

- 게이트로부터 방류되는 수류를 안정시키며 유량계에서 측정이 가능하도록 게이

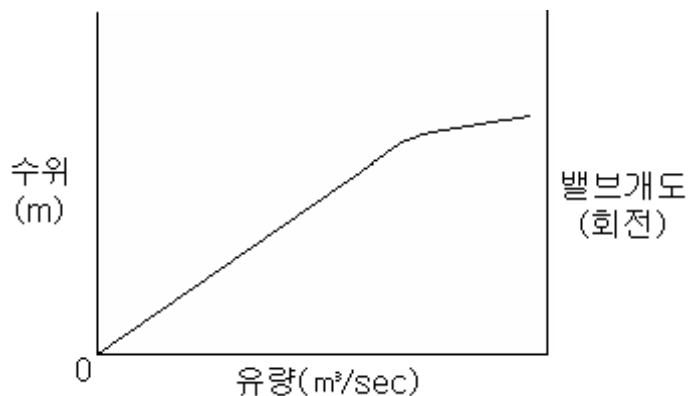
트 중간에 폐쇄회로를 만들

⑤ 유량계(개수로 유량계)

- 게이트에서 방류되는 방류량을 측정하기 위함

4. 준비실험(수위·유량검증시험) : 게이트 설치 전

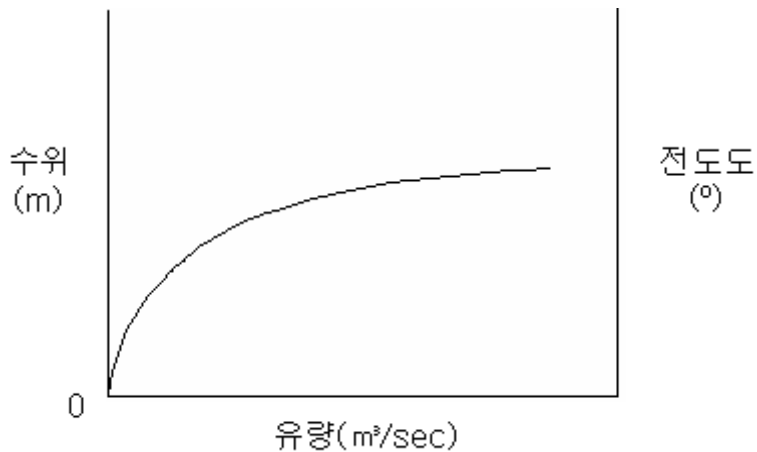
- 목 적 : 수조에서 밸브를 통한 수로의 공급유량과 수위를 사전 검증하기 위한 실험으로서 밸브의 개도를 결정함.
- 측정대상
 - 유량(1개소)
 - 수위(1개 지점)
- 측정기구
 - 개수로용 유량계
 - 수로부착 스틱자(1개) : 목측
- 측정방법 : 밸브개도별로 유량공급 후 수위가 일정해지면 목측으로 계측한 후, 유량계로 유량을 측정
- 결과물 : 밸브 개도별 수위-유량 곡선
예)



<그림 3.3.1> 밸브 개도별 수위-유량 곡선 예

5. 모형작동상태 및 유량별 전도 측정 실험 : 게이트 설치 후

- 목 적
게이트의 작동상태를 점검하고 및 유량별(밸브개도별) 전도도를 각도계에 의해서 목측으로 측정하며 이때 목측으로 수위를 측정하여 게이트의 순기능을 파악하기 위한 실험
- 측정대상
 - 전도도(1개소)
 - 유량(1개소)
 - 수위(1개소)
- 측정기구
 - 유량계(1개)
 - 수로부착 스틱자(1개) : 목측
 - 각도계(1개) : 목측
- 측정방법
밸브개도별로 유량공급 후 수위가 일정해지면 목측으로 수위를 측정하고, 게이트가 기울어진 전도각도를 측정하며, 유량계에 의해서 유량을 측정
- 결과물
유량별 개도 및 수위표 작성



<그림 3.3.2> 유량개도 및 수위표 작성 예

6. 전도토크 측정실험

- 목 적

유량별 게이트의 전도토크 측정실험

- 측정대상

- 게이트 전도토크
- 유량(1개소)
- 전도도(1개지점)

- 측정기구

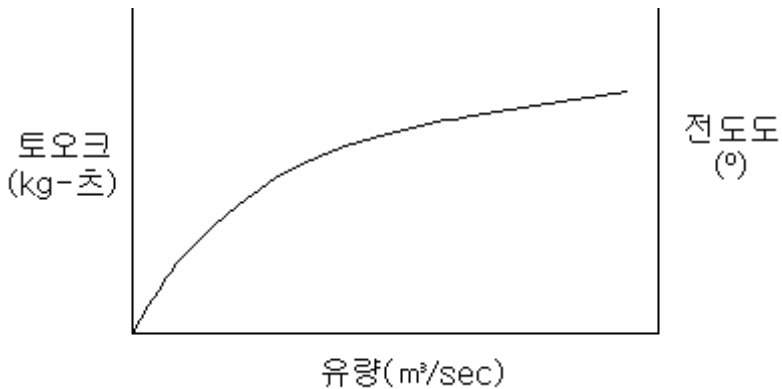
- 측지토크게이지(1개)
- 유량계(1개)
- 각도계(1개) : 목측

- 측정방법

밸브계도별로 유량공급 후 수위가 일정해지면 각도계를 통하여 목측으로 전도도를 측정하고 측지토크게이지를 게이트의 윗부분에 연결하여 전도토크를 측정함. 이 때 수로 내에서 전도토크를 측정하면 유속을 방해하여 정확한 데이터를 생성하지 못하므로 수로 상부에서 측지토크게이지를 연결하는 것이 중요함.

- 결과물

유량별 전도도 및 전도토크 작성



<그림 3.3.3> 유량별 전도도 및 전도토크 작성 예

7. 실험시 주의사항

게이트 타입별로 실험방법은 동일하며, 데이터의 신빙성을 기하기 위하여 같은 실험을 10회 이상 반복하여 데이터를 보정시킨다. 실험인부계획은 다음과 같다.

- 유량공급조절을 위한 밸브조절 및 유량측정 1인
- 수로내 수위 및 전도도 측정 1인
- 전도도 측정 및 데이터 정리 1인 등 총 3인으로 운영

8. 데이터 정리표

저수지의 저류량을 증대시키기 위한 방안으로 제시되고 있는 여수토 게이트는 그 특성상 정확한 작동을 요한다. 특히 수압이나 유속의 상관관계로서 작동을 하는 것으로서 무인·무동력화를 최종 목표로 잡고 있기 때문에 고장이나 긴급시에도 대처할 수 있도록 하는 것이 중요하다고 판단된다.

<표 3.3.1> 축척모형 데이터 정리표 예

실험횟수	밸브조정단계	수위측정 (m)	유량 (m ³ /sec.)	전도도 (°)	전도도토크 (kg-cm)
1회	1단계				
	2단계				
	· · ·				
· · ·	· · ·	· · ·	· · ·		· · ·
평 균					

제4절 CFD 시뮬레이션을 이용한 무동력 게이트의 동작 해석

1. 개 요

일반적으로 전도게이트는 수리실험을 통하여 게이트의 작동성능과 방류량 등을 해석하게 된다. 게이트의 전도 특성을 고려하여 일정한 수압이나 유속에 대하여 게이트에 가해지는 힘을 분석하여 설계안대로 전도와 복원이 가능한지를 해석하는 것이 중요하다. 따라서 적절한 형태와 규모의 게이트를 제시하기 위해서는 다양한 조건을 적용한 반복적인 수리실험을 필요로 한다. 그러나 수리실험 과정은 많은 시간과 제작비용을 필요로 하며, 다른 환경에 적용할 게이트를 설계하기 위해서는 형태와 규모를 변경하면서 반복적으로 실험을 수행하며 적정 설계를 찾아야 하는 문제를 가지고 있다. 이러한 반복 실험의 문제점들을 보완할 대안으로 전산유체역학을 사용한 시뮬레이션 기법을 이용한 연구가 효율적으로 적용될 수 있다. 시뮬레이션을 통한 연구에서는 다양한 환경 조건 및 게이트의 규모와 형태 등을 인위적으로 설정하여 모의할 수 있으며, 수리실험에서는 확인할 수 없는 물의 유동적인 특징 및 그의 영향을 파악할 수 있다. 또한 게이트가 전도되고 복원되는 과정의 역학적 특성을 분석하여 장비 제작에 반영할 수 있는 가능성을 가지고 있다.

본 연구과제의 최종 목표는 농업용수 확보와 인명, 재산, 농작물 등의 피해 방지를 위해 농업용 저수지에 이수용량 확보와 홍수조절기능 부여를 동시에 충족할 수 있도록 여수토 승상 목적의 무동력 자동 게이트를 개발하는 것이다. 이를 위해 수리 모형실험과 함께 유동시뮬레이션을 통한 게이트의 구조설계 방법을 정립하고 완성도 높은 제품을 개발하도록 한다.

2. 연구 재료 및 방법

가. 전산유체역학

전산유체역학(computational fluid dynamics)은 유체의 물리적 움직임을 표현하는 지배방정식들을 컴퓨터를 이용하여 수치적인 방법으로 해석하는 분야이다. 계산 영역 내부에서의 하나하나의 셀에 대하여 Navier-Stokes 방정식의 Reynolds 이론의 개념을 계산하며, 결과의 정확도를 향상시키기 위해서는 계산 영역 내부를 적절한 크기와 분포의 메쉬로 설계하여야 한다. 본 연구에서는 메쉬를 형성하기 위한 Pre-processor로써 Gambit(Ver. 2.3, Fluent Co. New Hampshire, USA)을 사용하였다. 이 프로그램은 GUI

(Graphical user interface)를 기반으로 하여 기본적인 외형과 격자망을 형성하며 외부 환경 조건을 지정할 수 있다. CFD 기술로 계산을 수행하는 메인 모듈로는 Fluent(Ver.6.3, Fluent Co. New Hampshire, USA)을 사용하였다. Fluent는 세계적으로 널리 상용화된 CFD solver software로 자동차, 항공우주, 기계, HVAC(Heating, ventilation, and air conditioning)등 전산업에서 광범위하게 적용되고 있다. Fluent는 C 언어를 기반으로 만들어졌으며 동적인 메모리 할당과 효율적인 데이터 구조, 유연한 계산 제어를 가능하게 제작된 CFD 기반의 컴퓨터 모델링 및 분석 툴이다. 또한 client/server 구조를 사용하여 여러 대의 computer를 사용하여 동시에 작업을 수행하는 Parallel Processing 기능을 가지고 있어 현대의 복잡하고 대규모적인 계산 문제들을 해결할 수 있는 능력을 가지고 있다.

유체 및 에너지의 이동현상의 해석에 필요한 방정식은 질량, 운동량, 에너지 보존법칙을 미소의 체적에 적용하여 얻어진 비선형 연립 편미분방정식이다. 각각을 정리하면 아래와 같다.

질량보존방정식 :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = S_m \dots\dots\dots (1)$$

운동량보존방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \frac{\partial}{\partial x_i} \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + \rho \vec{g} + \vec{F} \dots\dots\dots (2)$$

에너지보존방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{u}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\tau_{eff} \cdot \vec{u})) + S_h \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

- ρ : 밀도
- \vec{u} : 속력
- p : 정압
- S_m : 화학반응에 의한 질량 Source 항
- τ : 응력 텐서

- \vec{g} : 중력
- \vec{F} : external body force
- k_{eff} : effective conductivity
- \vec{J}_j : diffusion flux of species j
- T : 온도
- S_h : 화학반응이나 복사에 의한 엔탈피 증가

본 연구에서 사용된 fluent는 다음과 같은 방법으로 수치해석을 하게 된다. 먼저 u, v, w 방향의 운동량 보존방정식을 각각 계산한다. 이로부터 얻어진 속도는 질량보존을 만족하지 못할 수도 있으므로, 연속방정식으로부터 질량보존에 대한 계산을 수행하여 속도성분을 update한다. 엔탈피와 각각의 species를 계산하고, 난류(turbulence kinetic energy, eddy dissipation rate)에 대한 계산을 수행한 후 속도 성분을 update한다. 유체의 property를 update한 후, 수렴성을 판단하여 수렴하였으면 계산을 끝내고, 수렴하지 않았으면 다시 상기에서 반복 계산한다.

난류 모델은 시뮬레이션의 정확도에 중요한 요소이다. 그러나 현재 모든 종류의 공학적 문제에 대하여 포괄적으로 사용할 수 있는 단일한 난류 모델은 존재하지 않는다. 따라서 각 모델에서의 물리적인 특성과 문제의 특성, 요구되는 정확도의 정도, 시뮬레이션에 소요되는 시간 등을 고려하여 난류 모델을 결정해야 한다. 이번 시뮬레이션에 적용된 난류모델은 Standard k-ε 모델로서 Launder and Spalding (1972) 에 의하여 제시된 이후로 공학적인 계산에서 일반적으로 경제적이고 타당한 정확도를 보이는 것으로 알려져 있으며 넓은 범위의 시뮬레이션에 일반적으로 사용되는 모델이다. Standard k-ε 모델은 난류의 동적인 에너지 (k)와 확산율 (ϵ)에 대한 수송 방정식을 기초로 한 식으로 일부 상수는 실험을 통하여 결정된 반 경험식이다. 본 연구에서는 이 모델을 사용하기 위하여 완전 난류의 흐름을 가정하였다. 구체적인 수송방정식은 다음과 같다.

$$\rho \frac{dk}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y \dots\dots\dots (4)$$

$$\rho \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \dots\dots\dots (5)$$

여기서,

G_k : 평균 속도 경사장에 의한 난류 동적 에너지의 생성

G_b : 부력에 의한 난류 동적 에너지의 생성

μ_t : 난류 점성계수

Y_M : 전체 확산률에서 압축성 난류의 변동하는 팽창의 정도

$\sigma_k, \sigma_\epsilon$: 각각 k 와 ϵ 의 난류 Prandtl 수로 1.0과 1.3

$C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}$: 상수로 각각 1.44, 1.92

$C_{3\epsilon}$: 상수로 $\tanh\left|\frac{v}{u}\right|$ 이며,

여기서 v 와 u 는 유동속도 성분으로 각각 중력 방향에 평행한 벡터와 수직인 벡터를 뜻한다.

나. VOF(Volume Of Fluid) 방법

VOF 모델은 서로 침투하지 않는 둘 이상의 유체상에 대하여 각 유체의 체적을 주요 물리인자로 하여 유체들의 거동을 해석하는 방법이다. 계산영역 내의 각 셀은 모든 유체의 부피량을 가지고 있으며, 그 부피량들의 합은 셀의 부피와 일치한다. 즉, q 번째 유체의 체적비(volume fraction)를 α_q 라고 하면, 체적비는

$$\alpha_q = \frac{\text{volume of fluid } q}{\text{volume of cell}} \dots\dots\dots (4)$$

이 되고, α_q 가 1이면, 이 셀은 q 번째 유체로 가득 차 있는 상태이며, α_q 가 0이면 셀 내에는 q 번째 유체가 없는 상태이다. α_q 가 0보다 크고 1보다 작은 값이라면, 이 셀 내에는 q 번째 유체 외에도 다른 유체들이 같이 있는 상태를 의미한다.

물과 공기와 같이 서로 혼합하거나 침투하지 않는 두 유체 사이에는 경계면이 형성되며, 이러한 경계면은 유체들 사이의 체적비에 대하여 다음과 같은 연속방정식을 풀어 추적할 수 있다.

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{V}_q) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\vec{m}_{pq} - \vec{m}_{qp}) \dots\dots\dots$$

(5)

ρ_q : the density of phase q

\vec{v}_q : the velocity vector of phase q

\dot{m}_{pq} : the mass transfer from phase q to phase p

\dot{m}_{qp} : the mass transfer from phase p to phase q

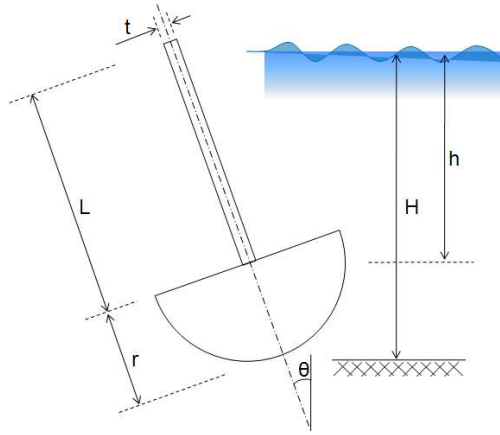
S_{α_q} : the source term

위의 연속방정식과 함께 질량, 운동량 보존 방정식을 동시에 풀어줌으로써 자유표면을 묘사할 수 있게 된다.

다. 게이트의 기본 작동 원리

본 연구과제에서 대상으로 하는 전도 게이트는 오뚜기형 수문으로, 수압이나 유속이 수문에 가해졌을 때 전도와 복원을 반복하며 다른 종류의 수문보다 해석이나 조작성이 편리하다. 오뚜기형 수문에 작용하는 전도력은 수문의 상판에 작용하는 수력과 상판의 무게에 의한 힘이며, 복원력은 오뚜기형 받침대에 작용하는 수압과 하부 추의 무게에 의해 작용하는 힘이다. 수문에 작용하는 힘을 산정하기 위하여, 오뚜기형 수문의 상판 길이를 L, 두께를 t라 하고, 받침대의 반경을 r, 수심을 H로 가정하였다. 이때, 수문 회전축의 깊이 h는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h = \min [L\cos\theta, H-r] \dots\dots\dots (6)$$



<그림 3.4.1> 무동력 수문의 개략적인 모형

수문이 편심 θ 만큼 기울어지게 되면, 상판에 작용하는 전도력과 받침대의 상부에 작용하는 복원력은 빗면에 작용하는 정수력에 의해 계산될 수 있다. 빗면에 작용하는 정수력과 작용점은

$$F = \gamma h_{CG} A \quad , \quad y_{CP} = -\frac{I_{xx} \sin \theta}{h_{CG} A} \dots\dots\dots (7)$$

F : 작용점에서의 정수력 (N)

γ : 물의 단위 중량 (N/m³)

h_{CG} : 도심의 깊이 (m)

A : 수압이 작용하는 면적 (m²)

y_{CP} : 도심으로부터 힘의 작용점까지의 거리 (m)

I_{xx} : 도심의 폭방향축에 관한 면적관성모멘트 (m⁴)

θ : 수평면으로부터 평판의 기울어진 각도 (°)

위 공식에 의하여, 수문의 상판에 작용하는 전도력과 그 작용점은 다음과 같이 계산된다. 단, 물의 단위중량은 9800 N/m³ 으로 가정하며, 수문은 폭방향으로 균일하다고 가정하며 편의상 단위폭에 대하여 계산을 수행하였다.

$$F_r = \frac{4900}{\cos \theta} h^2 (N) \quad , \quad y_{CP} = \frac{h}{6 \cos \theta} (m) \dots\dots\dots (8)$$

따라서 전도모멘트는 다음과 같이 계산된다.

$$\tau_r = \frac{4900}{3} \frac{h^3}{\cos^2\theta} \quad (\text{N-m}) \dots\dots\dots (9)$$

같은 방법으로 받침대의 상부에 작용하는 복원력은 다음과 같이 계산된다. 이때, 상판의 두께는 큰 차이를 나타내지 않으므로 무시하도록 하였다.

$$F_{p1} = 4900 r (2h - r \sin\theta) \quad (\text{N}), y_{CP} = \frac{r^2 \sin\theta}{6 (2h - r \sin\theta)} \quad (\text{m}) \dots\dots\dots (10)$$

따라서 받침대의 상부에 작용하는 정수력에 의한 복원 모멘트는 다음과 같다.

$$\tau_{p1} = 2450 r^2 (2h - r \sin\theta) - \frac{2450}{3} r^3 \sin\theta \quad (\text{N-m}) \dots\dots\dots (11)$$

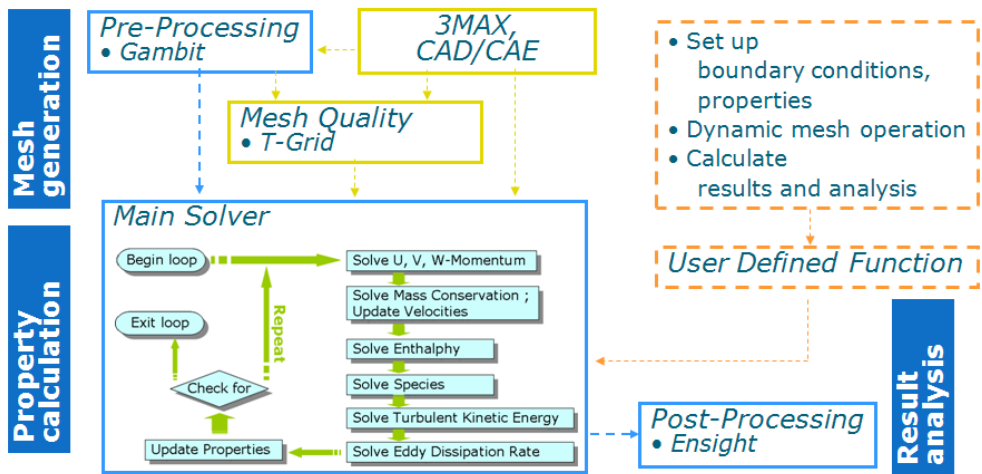
수문의 무게에 의한 전도력과 복원력은 동시에 작용하므로, 수문 전체의 무게 중심을 계산함으로써 동시에 고려할 수 있다. 먼저 수문의 무게중심을 계산하면, 반원 형태의 받침대의 무게중심은 원의 중심으로부터 $\frac{4r}{3\pi}$ 지점에 있고, 직사각형 형태의 상판의 무게중심은 $\frac{L}{2}$ 지점에 있으므로, 이로부터 수문의 무게중심은 다음과 같이 계산된다.

$$y' = \frac{\frac{2}{3} r^3 - \frac{1}{2} tL^2}{\frac{\pi r^2}{2} + tL} \quad \dots\dots\dots (12)$$

여기서 y' 은 받침대의 상부, 즉 회전축으로부터 아랫방향으로 무게중심까지의 거리로, 현재 적용할 모형들의 경우 모두 무게중심은 수문의 회전 중심의 아래쪽에 위치하게 되어, 편심 작용 시 복원력이 더 크게 작용하게 된다. 이로부터 수문에 의한 복원력을 계산하면 다음과 같다.

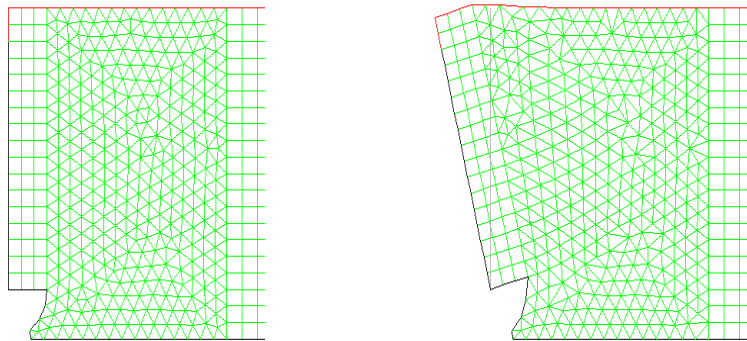
$$\tau_{p2} = \gamma_{gate} \times \left(\frac{2}{3} r^3 - \frac{1}{2} tL^2 \right) \times \sin\theta \quad (\text{N-m}) \quad \dots\dots\dots (13)$$

라. 시뮬레이션 모델링



<그림 3.4.2> CFD Simulation 플로우차트

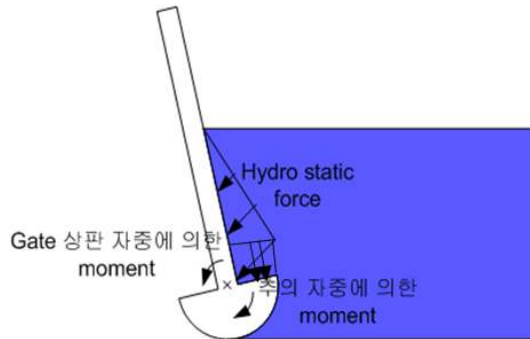
시뮬레이션을 위한 CFD 소프트웨어는 상용 범용 소프트웨어 중 가장 큰 시장 점유율을 점하고 있는 Fluent (ver, 6.3.26, Fluent Inc., N.H., USA)를 사용하여 해석의 일반성을 확보하였다. 접근하는 유동의 시간에 따른 변화를 위해 비정상상태(Unsteady state)해석을 하였고, 물과 공기층에 의해 형성되는 수면의 변화를 모델링하기 위해 VOF (Volume Of Fluid) 방법을 사용하였다. 추가로 시간에 따라 게이트가 열리는 거동을 구현하기 위해 Dynamic mesh 기법을 적용하였다.



<그림 3.4.3> Dynamic mesh 기법을 적용한 수문 전도 해석 예

위에 언급된 물리적인 모델을 정확히 해석하기 위한 수치적 기법으로는 압력 차분에

대해 PRESTO를 적용하고 VOF모델에 대해 Modified HRIC(High Resolution Interface Capturing)을 사용하여 경계면 계산에 정확성을 더하였다. 특히 수문의 열리는 거동은 <그림 3.4.4>와 같이 유체가 게이트에 작용하는 토크와 게이트의 자중에 의한 토크의 합에 의해 지배되기 때문에 이 현상을 구현하기 위한 별도의 UDF (User Define Function)를 작성하여 해석에 적용 하였다.



<그림 3.4.4> Gate에 작용하는 외력

UDF에서는 위의 그림에서의 Hydro static force에 의한 moment를 FLUENT를 이용하여 추출하고 전도된 각도에서의 추의 자중에 의한 복원력을 이전에 기술한 식(13)에 의해 계산하여 식 (14)의 각운동 방정식으로부터 식(15)를 적용하여 수문의 각속도를 구현 하였다.

$$\tau_{all} = I_{gate} \ddot{\theta} \dots\dots\dots (14)$$

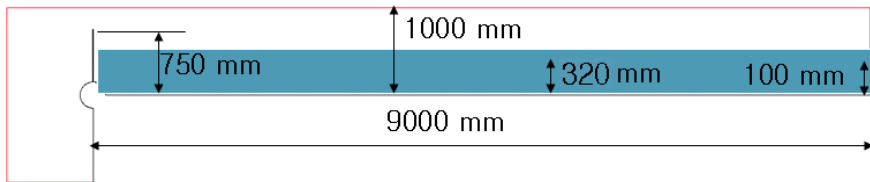
$$\therefore \omega = \dot{\theta} = \frac{\tau_{all}}{I_{gate}} \times \Delta T \dots\dots\dots (15)$$

where $\tau_{all} = \tau_{hydro static force} + \tau_{gate}$

CFD를 이용한 시뮬레이션은 실험 대상과 동일조건을 선정하여 진행하였다. 게이트에서 추는 직경 300mm ~ 320mm로 설정하였고, 상판은 두께 6mm, 길이 750mm로 설정하였다. 수문이 회전하는 중심축 힌지는 수문 상판과 하부 추의 접합부에 있는 것으로 설정하였다. 수문의 폭은 2m로 설정하였다. 물이 흘러들어오는 수로 영역은 길이 9000mm, 높이 1000mm 영역으로 설정하였고, 영역 내로 유입되는 물은 오른쪽 끝의

하부에 100mm의 유입부를 설정하여 유입시켰다. 시간을 단축하기 위하여 초기 상태를 물이 추의 직경길이 만큼 차 있는 상태로 두고 해석하였다. 해석에 사용된 geometry 재원 및 개략도는 <그림 3.4.5>과 같다.

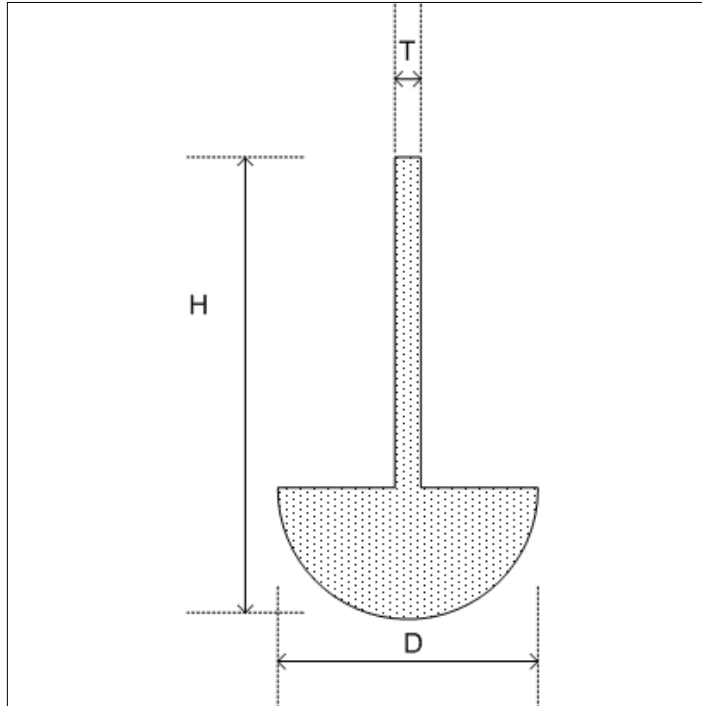
수문 높이	750 mm
수문 폭	2,000 mm
수로 높이	1,000 mm
수로 길이	9,000 mm
초기 수위	300 ~ 320 mm



<그림 3.4.5> 시뮬레이션에 사용된 geometry 개략도 및 재원

게이트의 외형 및 재원은 <그림 3.4.6>과 같다.

수문 두께 (T)	6 mm
수문 높이 (H)	900 mm
반원형 추의 지름 (D)	300mm, 310mm, 320mm
수문의 재질	강철
수문 재질의 밀도	7850 kg/m ³



<그림 3.4.6> Geometry 재원 및 외형치수

해석은 그림 3.4.6의 반원형 추의 지름D에 대해 30cm, 31cm, 32cm의 3가지 조건과 접근 유량에 대해 3.0m³/min, 6.0m³/min, 9.0m³/min 3가지 조건 (접근 유속 0.25m/s, 0.5m/s, 0.75m/s)을 적용하여 3×3 총 9가지 case에 대해 수행하였으며 해석 결과는 동일한 반지름의 추에 대해 서로 다른 접근 유속으로 정리하였다. 시뮬레이션의 시간 간격은 0.1초 간격으로 구동하여 수치해의 수렴성을 높이고, 전도 순간의 오차를 줄이고자 하였다. 또한 수문과 수로 벽면의 마찰력 값이 산정되어 있지 않아, 이 값은 시뮬레이션에서 제외하였다.

3. 게이트의 작동 해석 및 고찰

가. 시간에 따른 수위 및 개도 변화

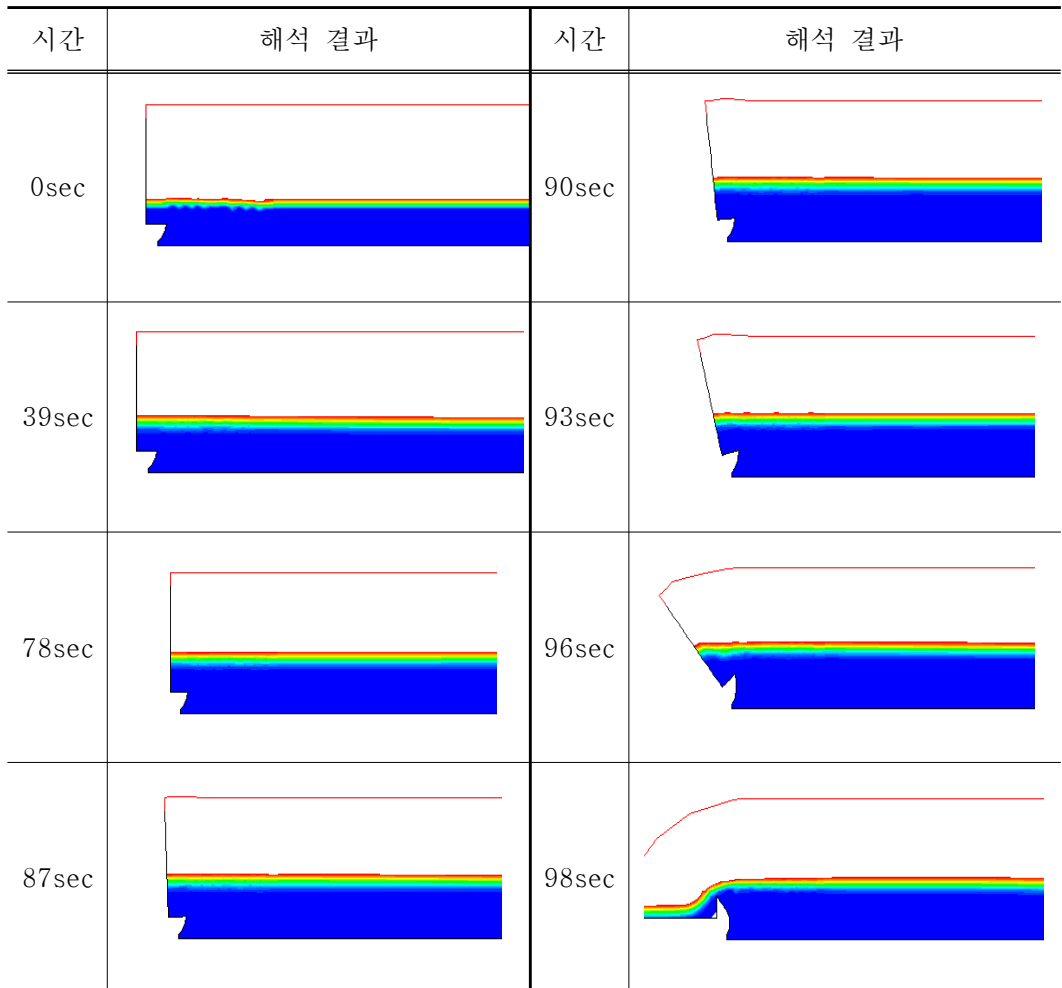
<표 3.4.1>는 추의 지름이 30cm이고 접근 유량이 3m³/min인 경우의 해석 결과이다. 약 80초 까지는 수면 변화 이외에 게이트의 움직임은 보이지 않으며 그 이후에는 급격한 개방으로 유입된 물을 방출하는 것을 알 수 있다. 수문이 움직이기 시작하여 완전히 전도하는데는 약 11초 가량 걸렸으며, 접근 유량이 6m³/min, 9m³/min로 커질수록 이 시간은 6초, 2.5초 등 점차 짧게 나타났다. 해석 결과를 명확히 하기 위해 서로 다른 시간 간격으로 그림을 나열하였다.

<표 3.4.2>는 각각의 경우에 대해 게이트의 개도를 나타내었다. 개도는 °로 표시하였으며, 수문이 서 있을 때를 0°, 완전히 전도된 상태를 90°로 하여, 초(sec) 단위로 표시하였다. 그래프는 같은 반원형 추의 지름에 대해 서로 다른 접근 유속으로 표시하였다.

수문의 전도가 시작되면서 전도되는 속도는 점차 빨라지는 것으로 나타났으며, 완전히 전도되는 순간에는 전도되는 가속도와 수력에 의하여 순간적으로 90°를 초과하는 현상이 나타났다. 추의 지름이 점차 커질수록 추에 의한 복원모멘트가 증가하여 위와 같이 90°를 초과하는 개도는 점차 감소하거나 사라지는 것으로 나타났다. 하지만 복원모멘트의 증가량이 수문의 전도에 영향을 줄 만큼 크지 않기 때문에, 전도 과정이 느려지거나 지연되는 현상은 나타나지 않았다. 또한 앞서 언급하였듯이, 수문이 전도되기 시작하는 시점부터 완전히 전도되는 시점까지 걸리는 시간은 접근 유량이 클수록 짧게 나타났다.

<표 3.4.1>는 수문이 완전히 전도되는 시간을 정리한 결과로서 수문의 개방 시간이 반원형 추의 지름에 따라 근소하게 변화하였고, 접근 유속에 따라 크게 달라지는 것을 알 수 있다. 수문 개방 여부는 수문의 개도가 90°가 되는 시점으로 결정하였다.



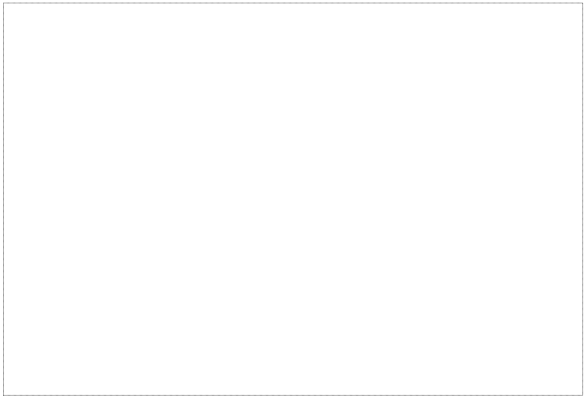
<표 3.4.1> 시간에 따른 수위 및 개도의 변화 (30cm, 3m³/min)



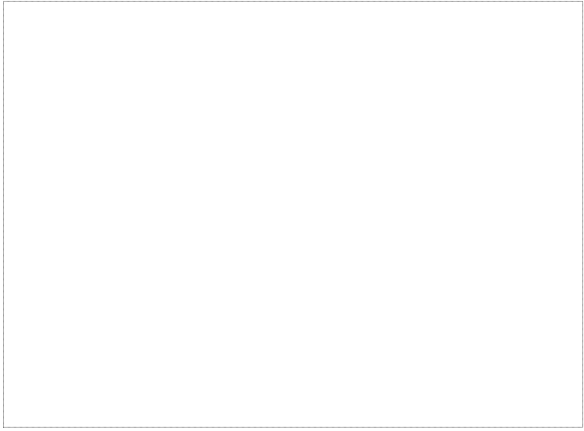
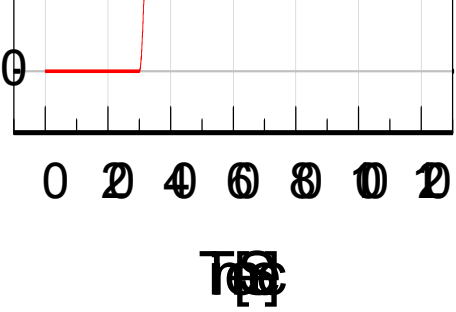

<표 3.4.2> 수문의 완전 개방 시간 [sec]

접근유량 \ 추의 반지름	30cm	31cm	32cm
	3m ³ /min	83.3	85.4
6m ³ /min	29.1	29.9	30.4
9m ³ /min	15.7	15.9	16.1

<표 3.4.3> 시간에 따른 개도 변화 분석 결과 (추의 지름 30cm)

접근 유속	시간에 따른 개도 변화 (추의 지름 30cm)
0.25m/s	
0.5m/s	
0.75m/s	

<표 3.4.4> 시간에 따른 개도 변화 분석 결과 (추의 지름 31cm)

접근 유속	시간에 따른 개도 변화 (추의 지름 31cm)
0.25m/s	
0.5m/s	
0.75m/s	

<표 3.4.5> 시간에 따른 개도 변화 분석 결과 (추의 지름 32cm)

접근 유속	시간에 따른 개도 변화 (추의 지름 32cm)	
0.25m/s		
0.5m/s		
0.75m/s		

나. 시간에 따른 수면 높이 변화

<표 3.4.7> ~ <표 3.4.9>는 각각의 경우에 대해 시간에 따른 수면 높이 변화를 나타내었다. 수면의 높이는 수문 위치에서 수로 바닥을 기준으로 m로 표시하였으며 시간은 초(sec) 단위로 표시 하였다. 그래프는 같은 반원형 추의 지름에 대해 서로 다른 접근 유속으로 표시하였다.

수문 반대편에서 물이 유입되면서, 수문 위치에서의 수위도 점차 상승하였다. 여수토의 길이가 9m로 접근유속에 비하여 긴 편이지만, 수위를 일정하게 유지하려는 특성으로 인하여 수문 부근에서도 5초 이내에 수위 상승이 나타나기 시작하였다. 수위는 순간적으로 0.03m 정도 상승 후, 약 10초 동안 수위를 유지하다 다시 순간적으로 수위가 상승하는 현상을 반복하는 주기성을 나타내었다. 이러한 주기성은 유입부에서 유입된 물이 9m 길이를 왕복하면서 수문에 반사되어 나타나는 현상으로, 접근유량이 많은, 즉 접근유속이 빠른 경우 주기가 더 짧게 나타났다. 수위가 일정하게 유지되는 순간은 약 10초 정도로, 이 순간에도 0.01m 이내의 작은 파랑은 계속하여 나타났다. 앞서 언급한 시간에 따른 수문의 개도 변화와 비교하여 보면, 수문이 개방되는 시점은 주기적인 수위 상승 시점 중에서 수위가 0.42~0.43m를 넘어서는 시점이며, 이로부터 일정 시간 후 수위가 완전히 개방되었다. 이 과정에서 접근 수량이 큰 경우에는 순간적으로 0.5m를 넘는 수위를 나타내기도 하였다. 이러한 파랑의 주기적 왕복으로 인하여 전도가 일어나는 시점은 유입유량과 전도 시의 수위로 계산된 시간과는 차이가 있었다.

<표 3.4.6>는 수문 개방 시의 수위를 정리한 결과이다. 어느 경우나 거의 같은 수위에서 수문의 개방이 이루어지는 것을 알 수 있다. 수문 개방 여부는 torque 값이 0보다 큰 순간을 기준으로 하였다.

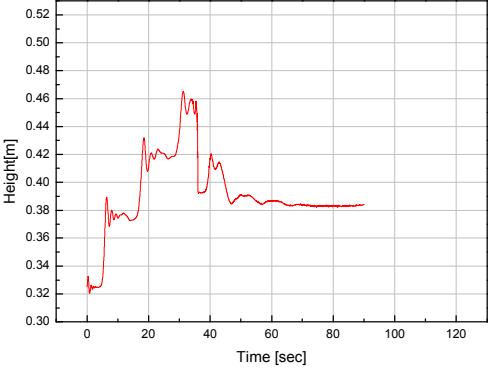
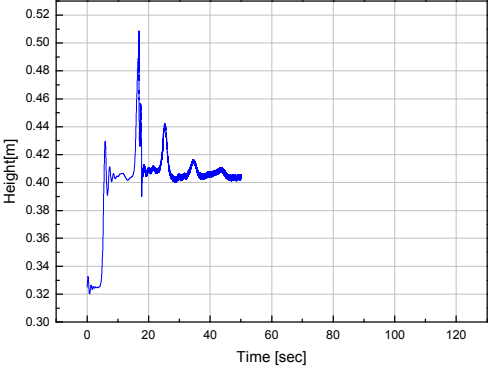
<표 3.4.6> 수문 개방 시 수위 [m]

추의 반지름 접근유량	30cm	31cm	32cm
3m ³ /min	0.425	0.430	0.434
6m ³ /min	0.424	0.429	0.433
9m ³ /min	0.422	0.427	0.431

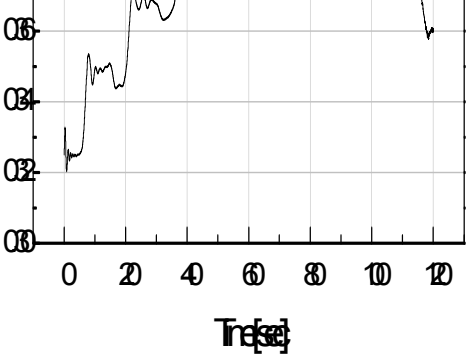
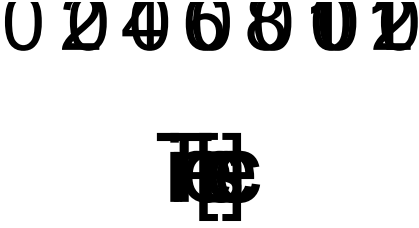
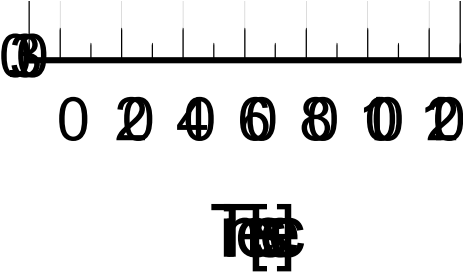
<표 3.4.7> 시간에 따른 개도 변화 분석 결과 (추의 지름 30cm)

접근 유속	시간에 따른 개도 변화 (추의 지름 30cm)	
0.25m/s		
0.5m/s		
0.75m/s		

<표 3.4.8> 시간에 따른 개도 변화 분석 결과 (추의 지름 31cm)

접근 유속	시간에 따른 개도 변화 (추의 지름 31cm)
0.25m/s	
0.5m/s	
0.75m/s	

<표 3.4.9> 시간에 따른 개도 변화 분석 결과 (추의 지름 32cm)

접근 유속	시간에 따른 개도 변화 (추의 지름 32cm)
0.25m/s	
0.5m/s	
0.75m/s	

수문이 완전히 전도된 후에는 수위가 점차 감소하여, 9m³/min의 접근 유량일 때는 약 0.41m 정도의 수위를 유지하였고, 6m³/min의 접근 유량에서는 0.39m 정도, 3m³/min의 접근 유량에서는 0.36m 정도의 수위를 유지하였다.

다. 시간에 따른 수력 정압에 의한 토크 변화

<표 3.4.10>~<표 3.4.12>는 각각의 경우에 대해 시간에 따른 수력 정압에 의한 토크 변화를 나타내었다. torque는 N-m로 표시하였으며 시간은 초(sec) 단위로 표시 하였다. 그래프는 같은 반원형 추의 지름에 대해 서로 다른 접근 유속으로 표시하였다.


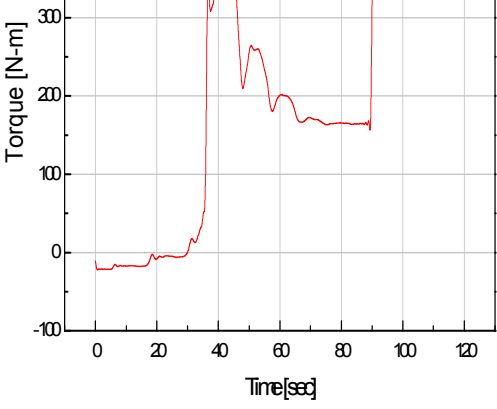
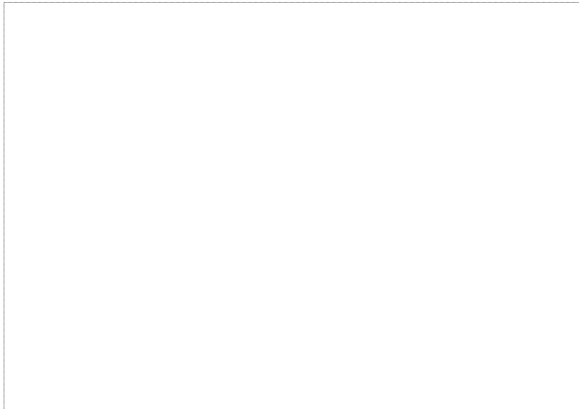
앞서 언급한 시간에 따른 개도 변화를 토대로, 수문의 전도가 일어나는 시점과 비교할 때, 전도가 일어나는 시점에서의 수력 정압에 의한 토크는 음의 값에서 양의 값으로 변화하는 시점, 즉 0의 값을 나타내고 있다. 수문이 완전히 서 있는 상황에서는 수문의 무게중심과 회전중심이 연직선 상에 위치하므로, 수문 자체의 무게에 의한 복원 모멘트가 0이기 때문에, 수문의 전도는 완전히 수력의 지배를 받게 된다. 일단 수문이 전도되기 시작하면 수력에 의한 전도모멘트는 약 350 N-m 까지 급상승하게 되며, 이때 수문의 하부 추에 의한 복원 모멘트는 이에 비하여 상대적으로 작기 때문에, 수문의 전도가 매우 빠르게 진행되었다. 수문이 완전히 전도된 후에는 뒤에 밀려오는 물에 의하여 약 10초 정도 높은 수력이 유지되며, 9m³/min의 접근 유량일 경우에는 500 N-m의 강한 모멘트가 순간적으로 형성되기도 하였다.

수문이 완전히 전도된 후, 20초 또는 그 이상의 일정 시간이 지난 후에는 수력에 의한 전도 모멘트가 어느 정도 감소하고 안정되는 경향을 나타내었다. 이 때는 수로 내에서 높은 수위를 유지하던 물이 거의 유출되고 난 후, 수로에 유입되는 물과 수로에서 유출되는 물이 평형을 유지하는 상태이다. 이때 수문에 걸리는 전도 모멘트는 3m³/min, 6m³/min, 9m³/min 접근 유량에 대하여 각각 80 N-m, 170 N-m, 325 N-m 정도가 지속적으로 작용하는 것으로 나타났다. 따라서 수문을 다시 원상태로 복원시키기 위해서는 이에 해당하는 복원 모멘트가 형성되도록 하부 추를 제작해야 할 것이다.

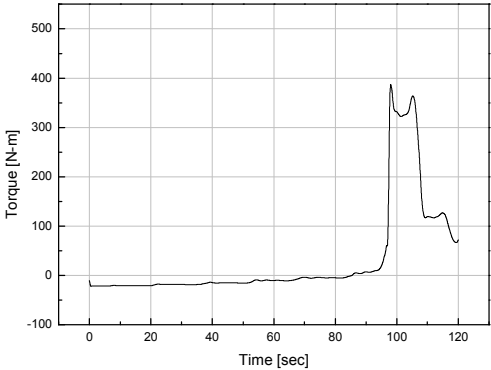
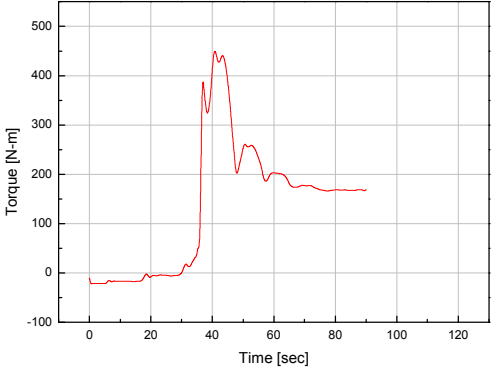
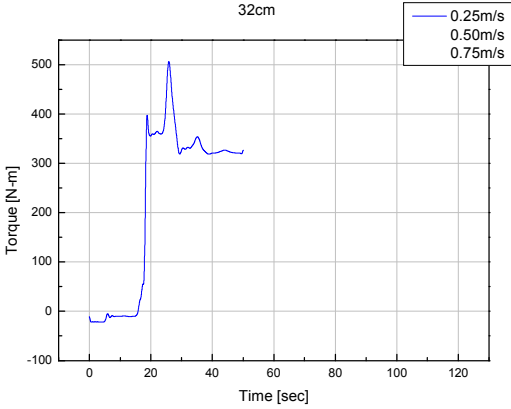
<표 3.4.10> 시간에 따른 개도 변화 분석 결과 (추의 지름 30cm)

접근 유속	시간에 따른 개도 변화 (추의 지름 30cm)
0.25m/s	
0.5m/s	
0.75m/s	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>

<표 3.4.11> 시간에 따른 개도 변화 분석 결과 (추의 지름 31cm)

접근 유속	시간에 따른 개도 변화 (추의 지름 31cm)
0.25m/s	
0.5m/s	
0.75m/s	

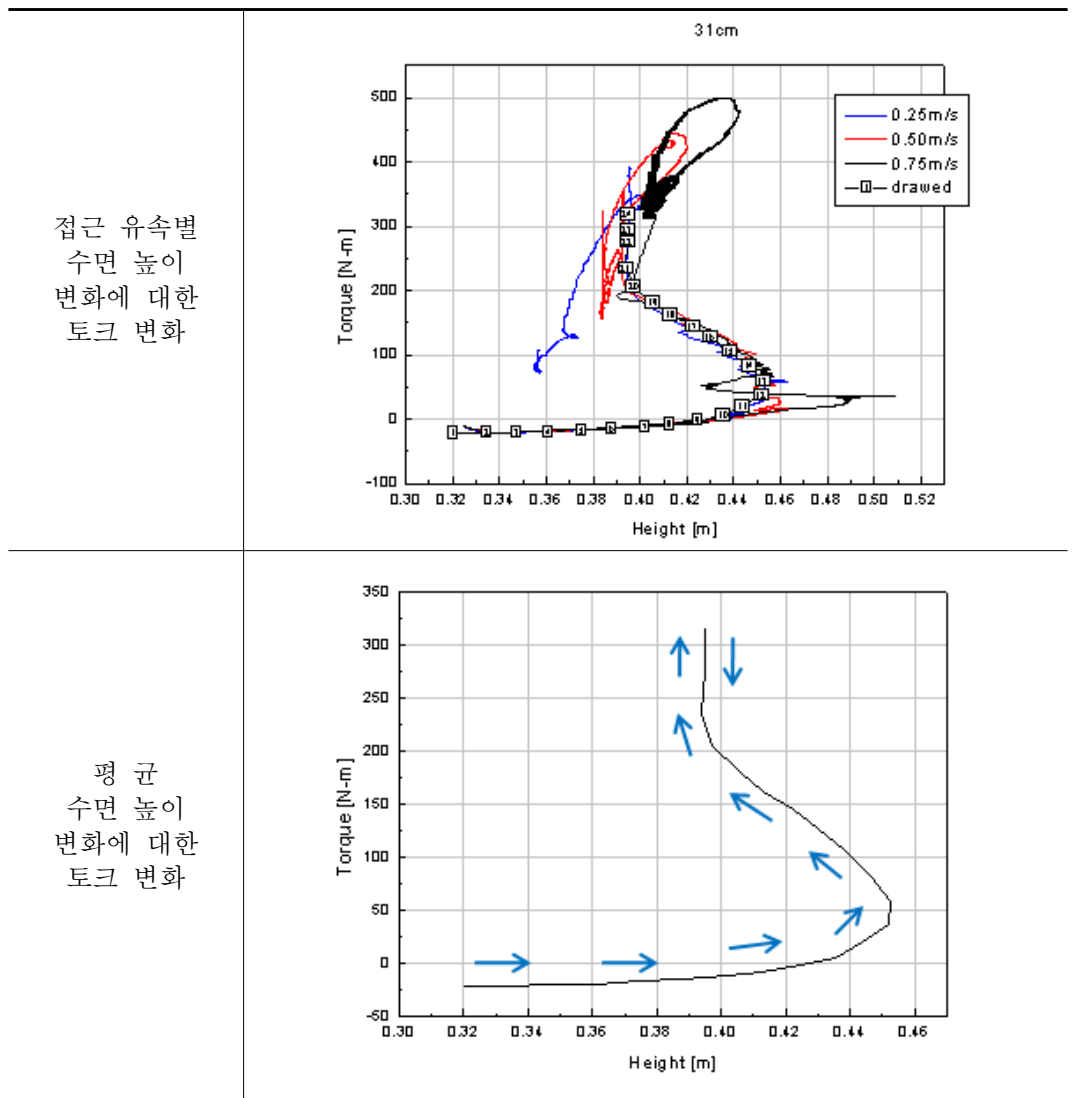
<표 3.4.12> 시간에 따른 개도 변화 분석 결과 (추의 지름 32cm)

접근 유속	시간에 따른 개도 변화 (추의 지름 32cm)
0.25m/s	
0.5m/s	
0.75m/s	<p style="text-align: center;">32cm</p> 

라. 수면 높이 변화에 대한 수문에 작용하는 토크 변화

<표 3.4.13>은 세 가지 추 크기 중에서 추의 지름이 31cm인 경우 각 접근 유속에 대해 수면의 높이 변화와 토크 변화를 추적하여 평균을 취한 그래프이다. 앞선 수면 변화, 토크 변화 등을 비교하였을 때, 추의 지름 변화에 따른 차이는 근소하게 나타났으며, 세 가지 추를 대표하여 중간 값인 31cm의 경우에 대하여 수면 높이에 따른 토크 변화를 분석해 보았다.

<표 3.4.13> 수면 높이 변화에 대한 토크 변화



초기에는 전도모멘트가 음의 값을 나타내지만, 수위가 증가할수록 점차 커지게 된다. 수위 0.43m 부근에서 전도모멘트는 0을 지나 양의 값을 가지게 되며, 이때 수문의 전도가 시작된다. 수문이 전도되면서 전도모멘트는 급속히 증가하기 시작하며, 수문은 수초 이내에 완전히 전도된다. 이후 수위는 다시 감소하기 시작하며, 완전히 90°로 전도된 수문 위로 수로의 물이 흘러들면서 수문에 걸리는 전도 모멘트는 최대가 되었다가 감소하여 꾸준히 형성되게 된다. 이때 수문에 걸리는 전도 모멘트는 수로에 유입되는 유량에 따라 차이가 있지만, 현재의 케이스에서는 평균적으로 약 200 ~ 325 N-m 정도로 유지되었다.

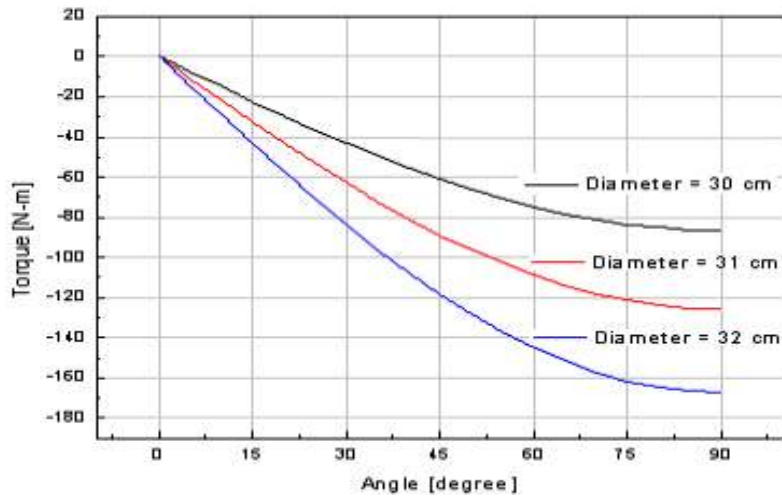
마. 현장실험과의 비교 및 수문의 복원 분석

시뮬레이션 결과 게이트의 개방 시 접근 유속은 수위 상승에 비례적인 영향을 미쳐 개방 시간을 좌우하는 원인이 되지만 개방 여부의 직접적인 영향은 수위 자체에 있는 것을 알 수 있었고 수위가 약 42~43cm에 이르면 수문의 개방이 이루어 졌다. 이는 앞서 보인 정수역학적인 계산 결과와도 유사하며, 이로부터 시뮬레이션의 결과가 충분한 타당성이 있음을 알 수 있다. 또한 시뮬레이션을 통하여 단순한 개방 수위의 산정뿐만 아니라 수문이 전도되는 현상에 미치는 물의 영향과 이때 형성되는 힘의 관계를 파악할 수 있었다.

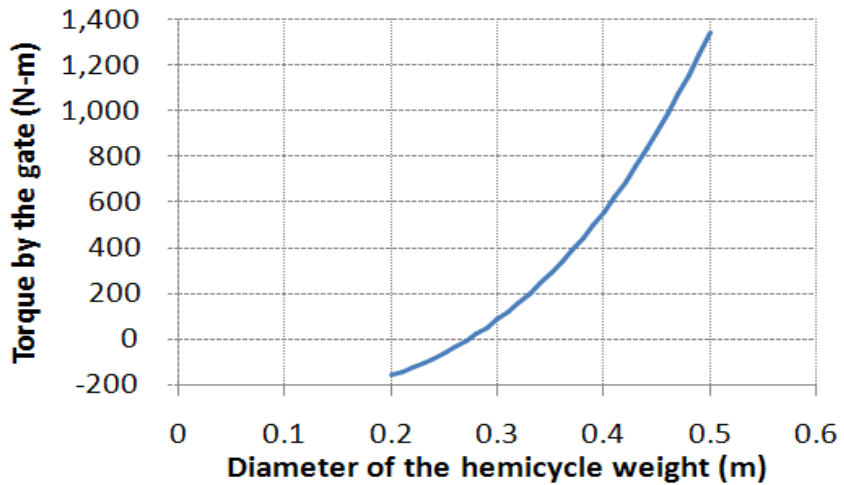
현장 실험 시의 개방 개시 수위인 51cm와 해석 결과 개방 개시 수위인 42~43cm의 차이는 수문과 수로 벽면의 최대 정지 마찰 계수의 영향으로 판단된다. 시뮬레이션 상에서는 수문과 수로의 양쪽 벽면과 만나는 지점에서의 마찰을 무시하고 분석을 하였다. 하지만 실제로는 이 부분에서 물이 새는 것을 억제하여야 하기 때문에 상당한 마찰력이 발생할 것으로 예상하며, 이때 마찰력은 두 수위의 차인 약 8cm의 수력에 해당하는 힘이라 판단된다.

수문이 완전히 90°로 전도된 후에 복원되기 위해서는 접근유량에 따라 차이가 크지만 앞서 언급하였듯이, 평균적으로 200 ~ 325 N-m의 복원 모멘트가 형성되어야 한다. 하지만 현재 시뮬레이션에서 적용한 3가지 형태의 추에서의 복원 모멘트는 그림 3.4.7 와 같이 90°에서 80 ~ 170 N-m 로 형성된다. 따라서 복원 작용이 충분히 일어나지 못하였다. 따라서 수문의 복원을 일으키기 위해서는 크게 다음의 두가지 대안을 고려해 볼 수 있다. 첫째로 수문의 복원력을 증가시키기 위하여 하부 추의 형태 및 크기를 변화시키는 것이고, 두 번째는 수문의 전도력을 감소시키기 위하여 수문 상판의 길이를 변화시키거나 형태를 변화시키는 것이다.

첫 번째로, 수문의 복원력을 증가시키는 방법은 다시 두 가지로, 첫 번째는 같은 무게의 추를 사용하더라도 반원형이 아닌 다른 형태를 사용함으로써 무게 중심을 아래로 낮추는 방법이다. 이 경우 모멘트암이 커지기 때문에 복원 모멘트는 증가하게 된다. 두 번째는 반원형 추의 크기를 크게 하는 것이다. 그림 3.4.8과 같이 수문의 복원 모멘트는 추의 크기에 3차식의 형태로 비례하기 때문에 지름을 36cm 정도로 변화시킬 경우 340 N-m 정도의 복원 모멘트를 얻을 수 있다.

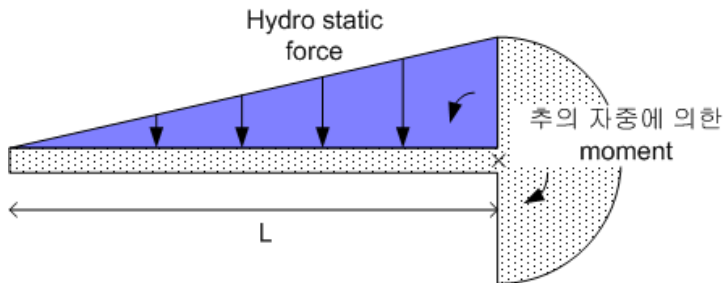


<그림 3.4.7> 개도(°)에 따른 수문의 복원 모멘트(N-m)

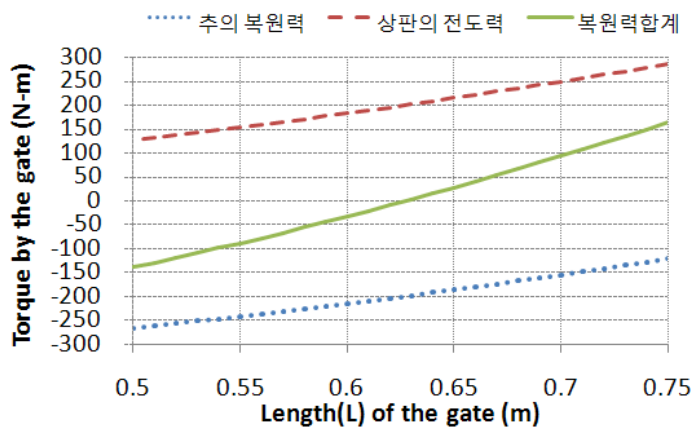


<그림 3.4.8> 반원형 추의 크기에 따른 수문의 복원 모멘트 변화

두 번째로 수문의 전도력을 감소시키는 방법은 마찬가지로 두가지 방법이 있다. 하나는 수문 상판의 형태를 변형시켜 수문이 완전히 전도되었을 때 상판 위의 물을 빨리 배수시키는 방법이다. 또 다른 방법은 상판의 크기를 줄여 상판 위에 상재하는 물의 양을 줄이는 방법이다. 상판을 줄이는 것은 상판위에 상재할 수 있는 물의 양을 줄여 전도 모멘트를 감소시키면서, 동시에 수문 전체의 무게중심을 추 방향으로 이동시켜 추의 복원 모멘트를 증가시키는 역할도 한다. 단순한 가정으로 수문이 전도되었을 때 그림 3.4.9과 같이 물이 분포한다고 가정을 하도록 한다. 물론 물이 계속 흐르고 있으므로 그림보다는 더 많은 물이 수문의 상판위를 지날 것이고 전도 모멘트는 더 클 것이다. 하지만 이와 같은 단순화된 경우에서도 상판의 길이에 따른 모멘트는 그림 3.4.10과 같이 나타난다. 상판의 길이가 감소하면서 상판의 전도력은 감소하지만 동시에 추의 복원력이 증가하기 때문에, 약 63cm에서 복원력이 더 크지게 된다. 따라서 63cm 이하로 상판의 길이를 줄이게 될 경우, 복원이 가능하게 된다. 물론 이 수치는 단순한 가정을 통하여 산출된 값이므로 시뮬레이션을 통하여 검증해 볼 필요가 있을 것이다.



<그림 3.4.9> 수문 완전 개방시 개념도



<그림 3.4.10> 수문의 상판 길이(L)에 따른 모멘트의 변화

4. 결론

여수도 상에 놓일 전도형 수문 게이트에 대하여 작동 과정을 전산유체역학 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 분석결과 수문 하부의 추의 크기에 관계없이 수문의 전도가 일어나는 시점은 수위가 약 43cm 일 때였으며, 이는 정역학적인 계산 결과와도 거의 일치하여, 시뮬레이션의 타당성을 충분히 확보할 수 있었다. 또한 현장실험 결과인 51cm 와는 차이를 나타내었는데, 이는 실제 수문과 수로 양 벽면의 최대정지마찰력이 약 8cm 상당의 수력에 해당함을 나타내고 있다. 이러한 마찰력은 수문이 전도되는 수위에 영향을 미치지만, 수문의 전도 후 복원 과정에도 큰 영향을 미치기 때문에, 향후 마찰력을 충분히 고려한 연구가 수행되어야 하며, 그 결과는 현 시뮬레이션의 결과와 차이를 보일 수 있을 것이다.

수문의 전도과정을 분석해보면, 수로 내의 수위는 파랑의 왕복에 의하여 주기적으로 상승하게 되며, 수위가 약 43cm를 넘어서는 주기에 수위 상승과 동시에 수문의 전도가 시작된다. 수문이 전도되면서 수력에 의한 전도모멘트는 급속히 증가하지만, 수문의 무게에 의한 복원 모멘트는 비교적 매우 작아 수문은 수 초 이내에 완전히 전도된다. 이후 수로 내의 여분의 물이 유출되면서 수문에 걸리는 전도모멘트는 최대가 된 후, 수로에 흘러드는 유입량과 수문을 넘어 나가는 유출량이 안정을 이루면서 점차 안정적인 값으로 감소하게 된다. 이때 수문에 걸리는 전도 모멘트는 수로에 유입되는 유량에 영향을 받으며, 이 전도 모멘트 값보다 복원 모멘트가 커지도록 수문을 설계할 필요가 있다. 현재 시뮬레이션에 적용한 수문의 경우, 복원 모멘트가 충분히 크지 않아 복원이 원활히 이루어지지 않았다. 이를 보완하기 위해서는 수문 하부의 추를 보완하여 복원력을 증가시키거나, 수문 상판을 보완하여 전도력을 감소시키는 방안을 고려하여야 할 것이다.

시뮬레이션 측면에 있어서는 해석 대상의 크기와 작동 시간을 감안하여 전체 mesh의 resolution을 충분히 작게 설정하기가 힘들어 계산이 수치적으로 매우 민감한 거동을 보였고 이를 해결하기 위해 적절한 time step size와 mesh size를 선정하여야 할 필요가 있다. 또한 수문의 작동과 수면의 움직임이 상호 연관되어 있어 수면 상승→수압 상승→torque 상승→수문 개방→수면 하강→압력 저하→torque 저하→수문 역방향 회전→수면 상승의 무한 loop가 형성되어 수문이 일정 각도에서 더 넘어가지 않거나 수치 해석적으로 발산 하는 경우가 있었다. 이의 해결을 위해 순간적인 역동작이 발생하는 경우 UDF에서 이를 under relaxation 하는 기능을 추가하여야 해석이 가능할 것이다.

제5절 시작품 제작 및 제품 다양성 확보

본 연구에서는 무동력 게이트의 현장적용을 목표로 완성도 높은 제품 개발과 제품을 응용한 다양한 시작품을 제작하기 위해 총 4회에 걸쳐 시작품을 제작·보완하였다. 실용화 현장조사를 통해 본 제품이 농업용저수지 뿐만 아니라 하천 취입보의 기능도 충분히 발휘 할 것으로 판단하여 여수토게이트 형태뿐만 아니라 취입보 형태의 무동력 게이트 시작품을 제작하였다.

현장적용성 검증을 위해 농어촌연구원 습지배수로 말단에 무동력게이트를 설치하여 운용하였다. 운영결과 갈수기에는 기존에 배수로로 배제되는 용수를 효과적으로 차단하였으며 홍수기에도 일정수위 이상이 될 때 안전하게 게이트가 작동되었다.

1. 1차 무동력 여수토게이트 시작품

1차년도 목표인 일정수위 유지형 무동력 전도게이트를 개발하기 위해 한국농촌공사 농어촌연구원내에 위치한 습지수로와 야외모형시험장에 「현장시험모형」 과 「기능시험 모형」 시작품을 제작·설치하였다.

- 기능시험 : 무동력게이트(W1,000 × H900 × 2련) 및 시험수로 설치
- 현장시험 : 무동력게이트(W1,000 × H800 × 2련) 설치



<그림 3.5.1> 1차 시작품 설치계획도(위치도)

가. 시작품 제작 사양

- 무동력 여수토 게이트
 - 형식 : 무계추 전도형 여수토 게이트
 - 운전방법 : 무동력운전
 - 규격 : W2,000 × H900
- 적용범위 : 무동력 전도형 여수토 게이트의 설계, 제작, 운반, 검사 설치 및 시운전에 관한 사항에 대하여 적용함
- 일반조건 : 본 상세 사양서는 저수지에 설치되어 저수지로에 유입되는 농업용수의 과도한 유입에 의한 저수지 제방의 보호 및 농업용수의 추가적인 확보를 위해 설치됨
- 종류 및 규격 : 본 공사의 제작에 사용되는 자재 및 부품은 정규 신품이어야 하며 특별히 명기하지 않은 사양은 한국공업규격(K.S) 및 기타 그 이상의 품질 규격에 적용
 - 한국공업규격 (K.S)
 - 상수도 시설 기준
 - 관계 토목 공사 시방서
 - 수문 첩관 기술 기준 (J.I.S)
 - 건축공사 표준 시방서
 - 기타 관련 법규
- 구조 및 특성 : 여수토 게이트는 저수지 제방 측부에 설치하고 농업용수를 추가 확보하기 위하여 설치함. 또한 장마 등 집중강우시 저수지 제방을 보호할 수 있도록 유입유량에 의해 자동으로 전도되어 제방을 보호할 수 있는 구조로 설계 제작함.
 - 당 사양서는 농어촌 연구원에 설치하여 전도상태 및 작동원리, 등을 시험하고 설계기준을 수립하기 위한 시험설비로 제작 설치함
 - 여수토 게이트는 철골구조로 제작된 시험용 수로에 제작설치 하며 시험시 관찰 및 데이터 수집을 위해 수로 양측에 WALK-WAY를 설치함
 - 수로는 H-BEAM 기둥에 첩관으로 제작된 수로를 제작하여 설치하고 철재 수로는 형강류로 수압에 견딜 수 있도록 보강하여 제작함.
 - 시험용 여수토 게이트는 무게 중심추를 목형으로 제작하여 주강으로 주물로 부어 제작함.

- 주강으로 제작된 무게 중심추는 물넘이 높이에 맞춰 구조계산하여 선반가공으로 제작함.
- 무게중심추가 가공이 완료되면 수로에 작용할 수문비를 용접구조로 제작함.
- 여수토 게이트 힌지는 도면에 의해 제작하며 힌지부 미끄럼 베어링은 녹이 나지 않는 재질인 MC 나일론으로 제작하여 부식에 의해 작동에 영향을 주지 않도록 제작함.
- 힌지 브라켓은 철골구조물에 착탈이 가능하도록 볼트구조로 제작 설치함.
- 무게추 중심 힌지는 부식에 강한 STS304로 제작하여 부식과 조립되어 부식에 의해 작동에 영향 없도록 함.
- 무게추 및 문비는 샌딩 및 메탈라이징 처리하여 부식에 노출되지 않도록 방청 처리함.

○ 제작 특기 사항

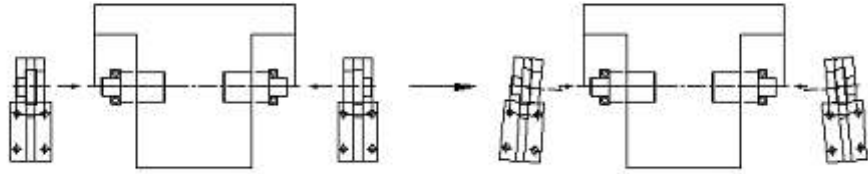
- 각종 강재의 절단은 원칙적으로 자동 절단으로 하고 절단부는 평활하게 끝맺음을 해야 함.
- 강재는 재질을 손상치 않는 방법으로 변형을 완전하게 제거 하여야 하며 판의 휨가공은 PRESS ROLLER 등을 사용하여 정확하게 행하고 HAMMER 등으로 두드려서 변형 가공해서는 안됨.
- 용접은 알곤 및 CO2가스 용접으로 하고, 이에 대한 사양은 제작도면에 의거 승인된 용접 사양에 준함.
- 용접은 용접에 대한 비틀림이나 과대한 국부응력의 잔류를 방지하여야 하며 공장에서의 용접은 하향을 원칙으로 함.
- 현장 용접은 될 수 있는 한 적게 하고 비틀림 및 변형을 일으키지 않도록 설계 하여야 함.
- 본 용접은 다층으로 행할 경우에는 각층마다 SLAG 또는 SPATTER 등을 완전히 제거하고 결함의 유무를 확인한 후에 차층의 용접을 해야 함.
- 재질은 일반 압연강재를 사용하고 수중에서의 부식 방지를 위해 아연 메탈라이징 200 μ 이상하여 부식을 방지토록 하여야 함.

나. 기능시험 모형 제작 및 설치

1) 평행도 불량 수정

기능시험모형용 게이트 설치시 하부 브라켓과 반달 무게추의 축선상의 평행도가 저

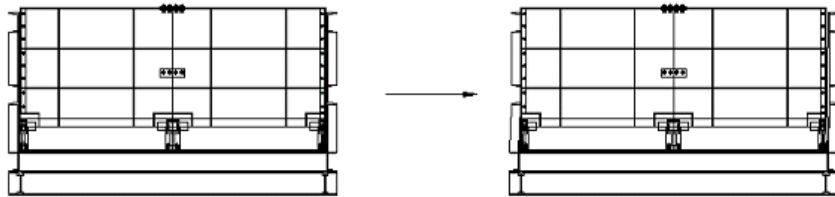
하 및 뒤틀어지는 되는 현상이 발생하여 게이트가 설치되는 바닥을 보강하여 문제점을 수정하였다.



<그림 3.5.2> 게이트 설치시 평행도 불량 모습

2) 게이트 하부 라이너 추가

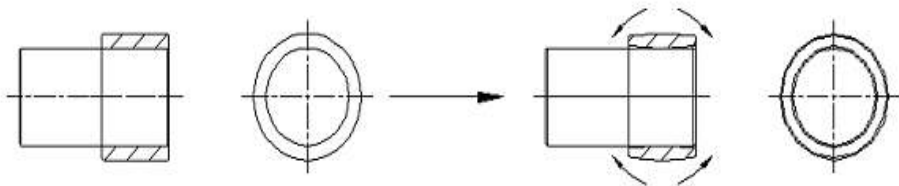
기능시험모형의 시험수로 제작시 벽체와 바닥이 직각이 나오지 않고 우측으로 약간 기울어진 문제점이 발생하였다. 수문을 그대로 설치하게 되면 수문의 양쪽이 대각으로 간섭하여 수문 작동시 적절한 움직임에 간섭이 발생할것으로 판단되어 하부에 라이너를 고여서 축선상의 평행도를 맞추어서 원활한 작동을 할 수 있게 조절하였다.



<그림 3.5.3> 게이트 벽체 평행도 지지를 위한 라이너 추가

3) 자동조심 베어링으로 바란싱 조절

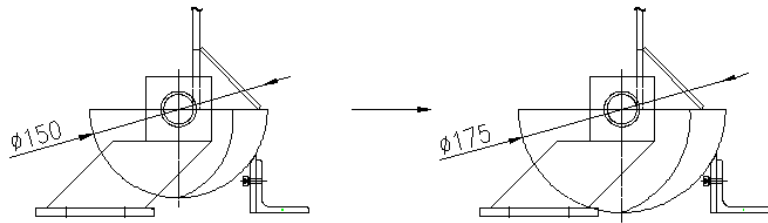
게이트 작동시 구동부를 자동조심 베어링으로 적용해 작동성과 바란싱을 조절하여 2면이상 설치시 수문간의 유격을 효율적으로 맞출 수가 있었다.



<그림 3.5.4> 게이트 힌지부 자동조심 베어링 채택

4) 게이트 무게추 변경 및 수문폭 변경

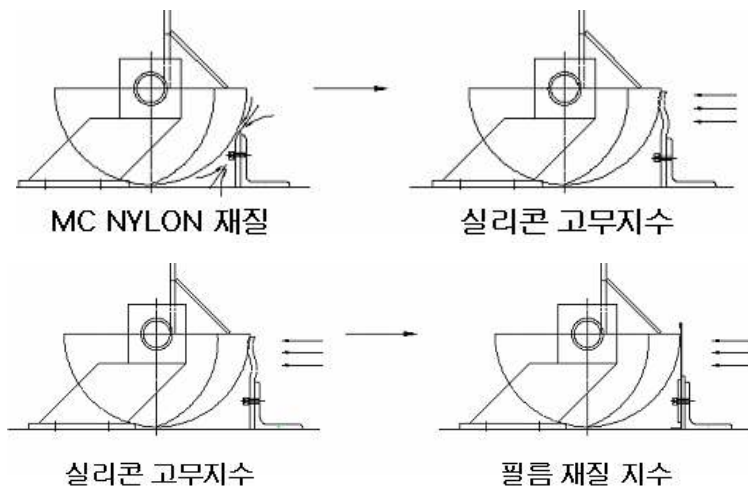
축척모형(1:3) 제작시 설계계산상에서는 문제가 없었지만 실제 게이트 작동시 지수의 마찰력 증가로 인해 작동성이 저하 되었다. 게이트 무게추의 외경을 150mm에서 175mm로 확대 적용하여 수직력을 증대하였다. 또한 수로가 제관폼이어서 지수를 요하는 간격이 일정치 않아 벽면에 지수보완작업을 추가하여 수문폭을 490mm에서 470mm로 수정하였다.



<그림 3.5.5> 무게추 외경 변경 및 수문폭 변경

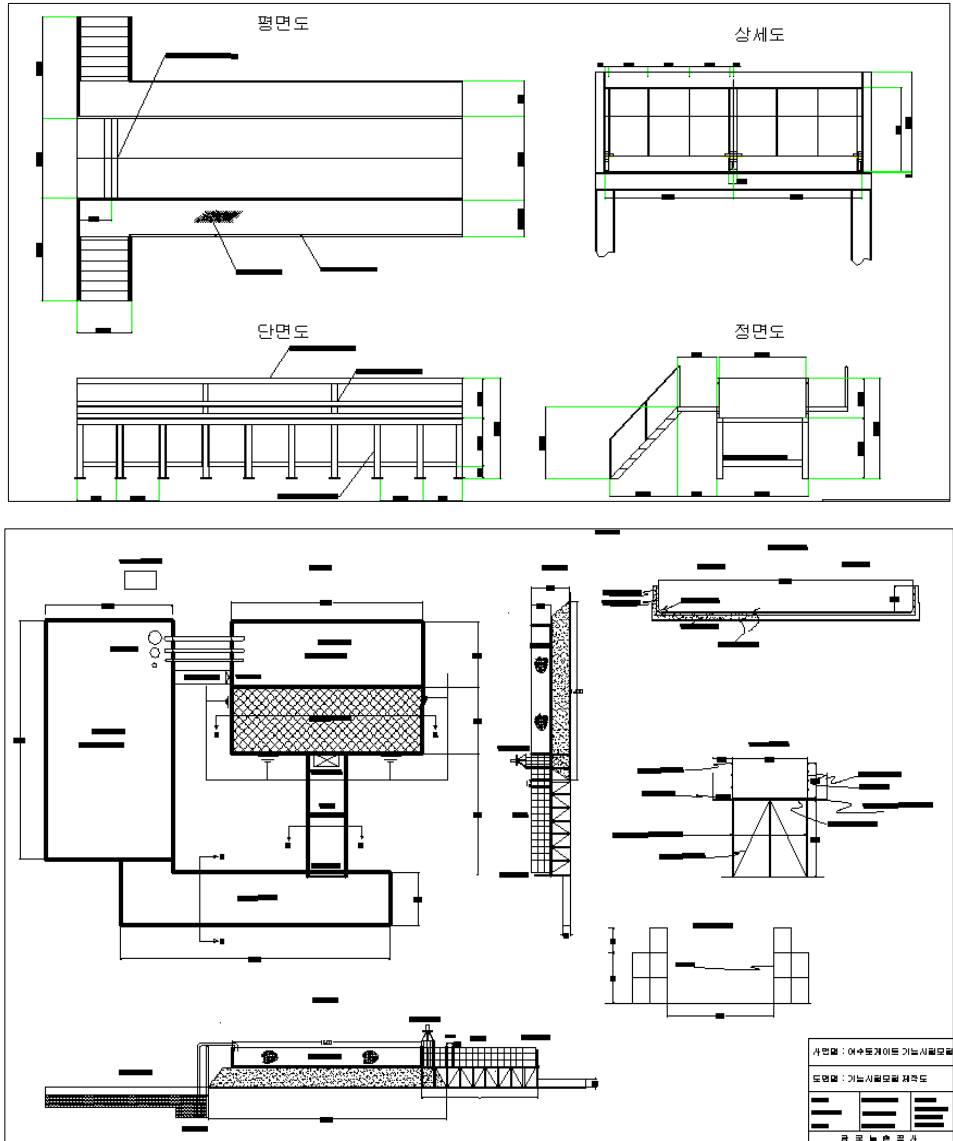
5) 지수재 변경

무동력 여수토게이트에 사용한 지수재는 처음 M/C NYLON계열 재질로 제작 하였는데 모형 실험시 지수효과가 50%로 저하되는 현상이 발생하였다. 다음으로는 M/C NYLON 계열 재질보다 보다 연질인 실리콘 고무 사용 사용하였는데 이번엔 벽체 통과 하부 후방 부위에 간섭이 발생하여 마찰력이 증가하는 현상이 때문에 게이트 작동성의 불량이 발생하였다.



<그림 3.5.6> 축척모형의 재수재질 변경

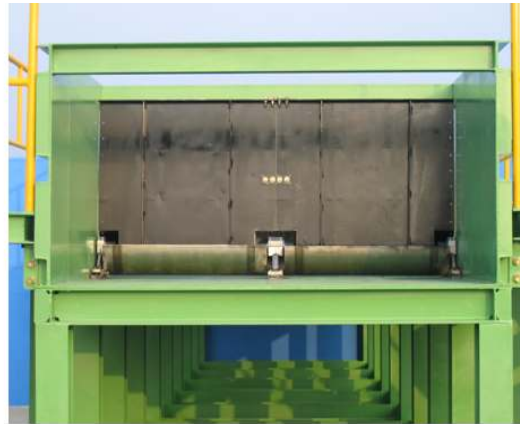
우선 고려해야 할 사항으로 마찰력을 확인한 후에 접착식 필름재질로 지수재를 변경하였다. 접착식 필름은 수위상승시 수압에 의한 가압으로 완벽한 지수가 실현되었는데 시간경과에 따른 경화가 예상되고 반복 작동시 필름의 손상이 예상되었기 때문에 지속적인 유지관리가 필요할 것으로 판단되어 가급적 영구적인 재질로 대체가 필요한 것으로 판단되었다.



<그림 3.5.7> 기능시험모형 제작도



(A)기능시험모형 시작품 전경



(B)기능시험모형용 시작품 전경(전면)



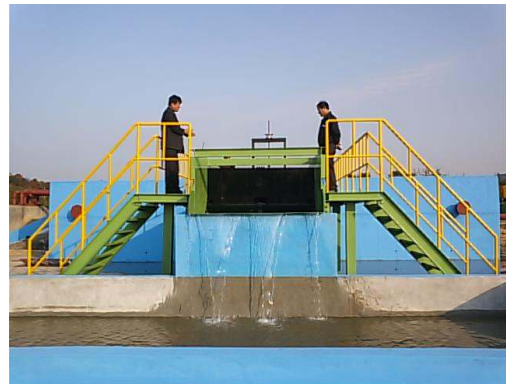
(C)기능시험모형용 여수토게이트(2련)



(D)기능시험모형용 브라켓



(E) 기능시험모형 입간판



(F)기능시험모형 작동

<그림 3.5.8> 기능시험모형 설치 및 작동

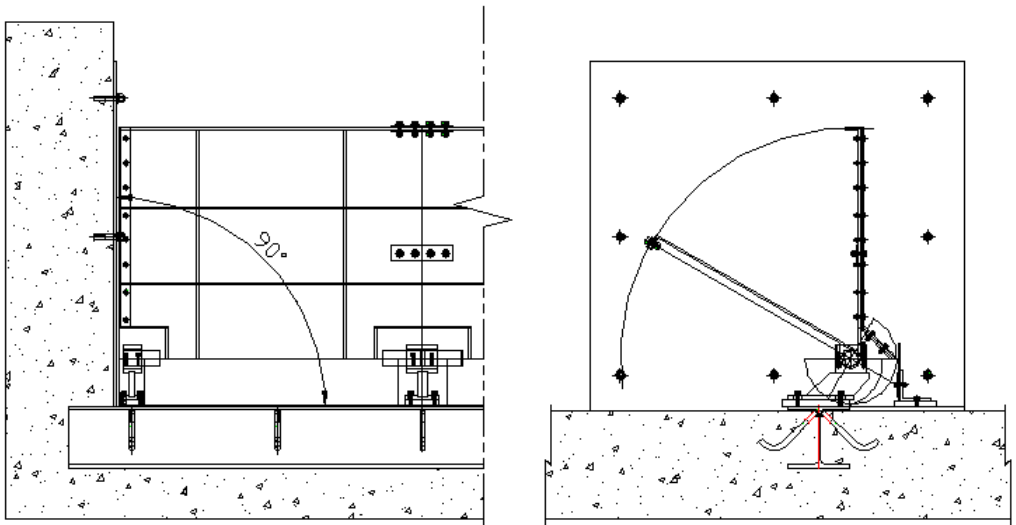
무동력 자동전도게이트 기능시험장

- 연구과제명 : 농업용수확보 및 방재를 위한 저수지 여수토게이트 개발
- 연구기간 : 2006. 4 ~ 2008. 4(2개년)
- 시험목적 : 시적용 성능시험
- 주요시설
 - 자동전도게이트(2.0mx1.0mx2면), 연달수로(2.0mx1.0mx9.0m)
 - 고수조(15.0mx10.0mx1.0m), 저수조(18.0mx10.0mx1.0m)
- 연구참여기관 : 한국농촌공사 농업연구팀, 케이디아이테크(주)

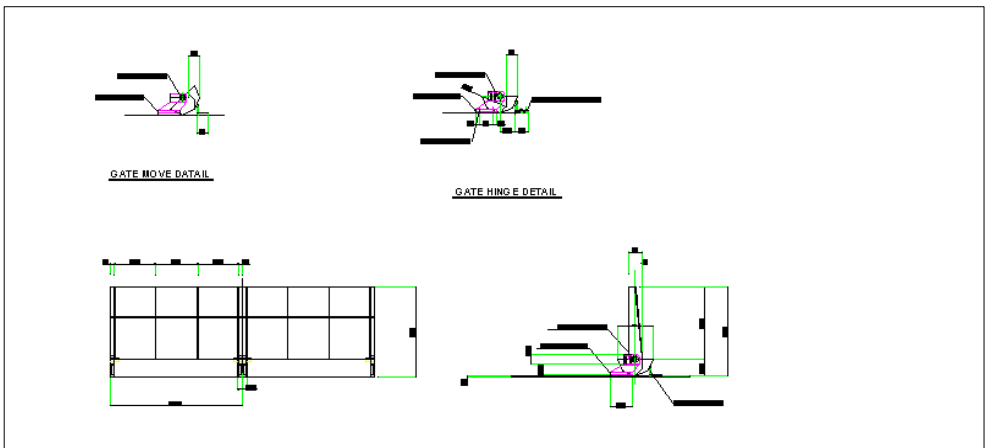
다. 하천시험모형 제작 및 설치

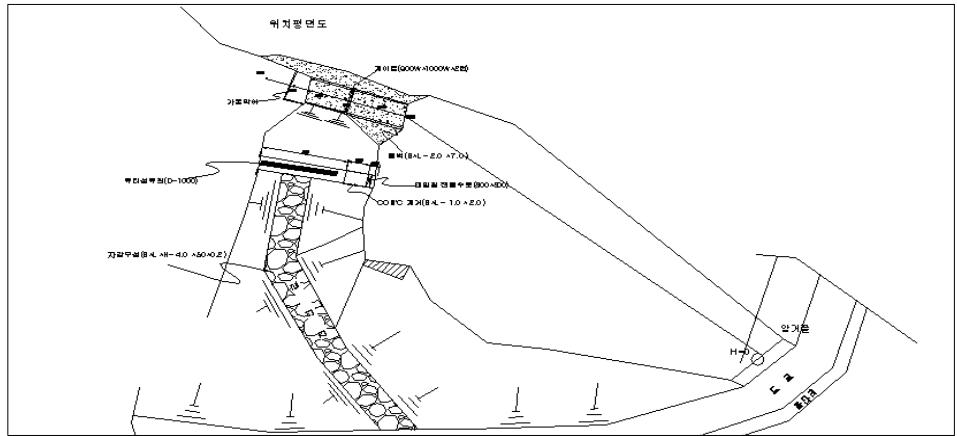
토목 공사시 철근과 함께 문틀을 매설하면 벽체와 베이스의 직각과 수평, 평행을 맞출 수가 있지만, 그렇지 않을 경우 바닥에 문틀 베이스의 조립을 위하여 미리 H-BEAM 을 레벨에 맞게 매설을 하면 문틀과 수문을 사양에 맞게 설치, 운전이 가능하다.

문틀을 미리 매설을 하면 수문 설치 후에 토목과 문틀간의 별도의 마감처리가 없으므로 기능상이나 외관상으로도 좋은 효과가 예상되었다.



<그림 3.5.9> 베이스 설치 시 H-BEAM 매설





<그림 3.5.10> 무동력 게이트 상세도 및 현장시험모형 평면도



(A) 하천시험모형 전경



(B) 하천시험모형 접근수로 및 게이트



(C) 하천시험모형 게이트



(D) 하천시험모형 비상수문

<그림 3.5.11> 하천시험모형 설치 및 비상수문 설치

라. 1차 시작품 작동성 모니터링 및 평가

1차 시작품 설치후 작동성에 대해 지속적으로 모니터링을 실시하였다. 다음 <표 3.5.1>은 1차시작품에 대해 작동성 을 테스트를 하여 문제점을 도출 및 보완대책을 수립하였다.

<표 3.5.1> 1차시작품 작동성 모니터링을 통한 보완대책 수립

NO	문 제 점	보완 방안
1	접근 유속에 따른 일괄 전도	○ 전도 후단부에 일괄 전도를 방지할 쿠션 장치의 장착이 필요
		○ 게이트 접근유속의 동수압의 분석을 통해 게이트 플레이트가 다단으로 거동될 수 있도록 전도높이 조절 기능이 필요
		○ 무동력의 장점을 최대한 살릴 수 있는 기구의 개발 장착으로 홍수시 방류기능 및 저수량 확보기능유지
2	지수 문제점	○ 지수재의 개발에 따른 마찰력감소소재 및 형상의 개발에 의한 지수문제 해결
		○ 재질 검토 및 형상은 시험을 거쳐서 기존 비닐 지수 자재의 형상별 개발에 의한 해결
3	복원시충격 발생	○ 복원시 원위치에 쿠션장착으로 충격방지 필요
4	설치시 수평 유지 불안	○ 여수토 게이트 힌지부분에 철강재 빔을 사용하여 토목공사시 매설에 의한 수평유지로 보완
		○ 여수토 힌지부분 미끄럼 베어링의 구면 가공에 의한 수직 수평의 오차를 최소화하여 설치
		○ 베어링 자리의 위치교정을 위한 지그 개발
5	콘크리트 정밀도 문제	○ 측벽에 강재로 여수토게이트 측벽을 제작하여 설치하여 공차를 최소화
		○ 최소한의 공차는 지수재의 탄성으로 보완
6	수압에 의한 변형	○ 수직 수평 보강재의 추가로 변형 방지 예정
		○ 여수토 전후단 스킨 플레이트 추가로 보강
7	2련이상 게이트 연결부지수	○ 연결부에 수압에 의한 변형으로 실리콘지수가 크랙되는 문제가 발생했는데 연결부를 강재로 현장 조립하여 지수문제 해결할 예정임
8	전도시 게이트 물고임현상	○ 게이트가 전도시 수문비와 무게추사이의 공간에 물이 고이게 되어 복원력을 감소시키고 있어 이의 배수방법이 필요함

2. 1차 무동력 여수토게이트 보완 시작품 제작

가. 전문가 자문회의

1차 시작품 제작후 게이트의 구조적 특성 분석과 성능향상을 위해 전문가 자문회의를 개최하여 자문 및 의견을 수렴하였다. 자문그룹의 구성은 가능한 본 개발제품의 실용화에 초점을 맞추어 현장에서 게이트를 설계 또는 설치한 유경험자들을 대상으로 구성하였다.

○ 목 적 : 무동력 여수토게이트 구조적 특성분석 및 성능향상을 위한 전문가 자문

○ 장 소 : 농어촌연구원 대회의실

○ 일 시 : 2006. 11. 20

○ 전문가 자문위원

- 신동원 : 농림부 시설관리과

- 이인복 : 서울대학교 농업생명과학대학

- 전종길 : 농업공학연구소

- 박장환 : 극동엔지니어링

- 심문산 : 한국농촌공사 사업계획처

- 함재승 : 한국농촌공사 경기도본부

○ 자문결과 요약

- 무동력 게이트형식의 아이디어가 뛰어나고, 무동력 여수토게이트 설치효과로 만수위를 올려줌으로서 이수측면에서 긍정적인 효과가 있을것으로 판단됨.

- 시작품의 구동시 부압이 발생할 수 있으니 방류부를 곡선으로 처리하는 방안이 실제 실용화 단계에서는 필요함

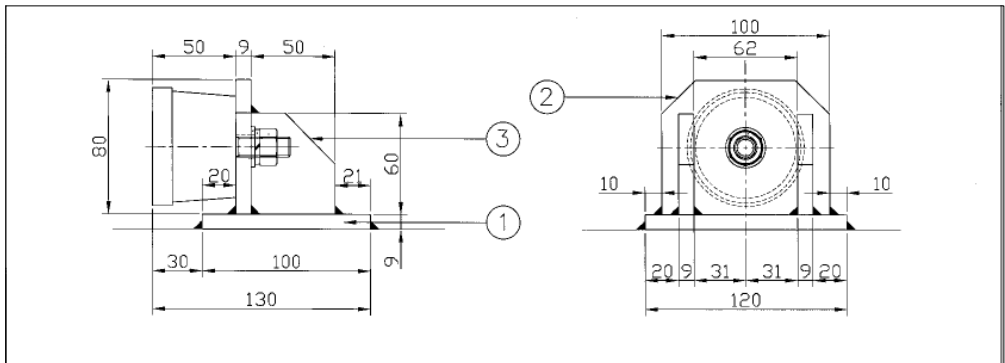
- 홍수시 저수지오 유입된 부유물질 뿐만 아니라 토사유출량도 심하므로 이에 게이트 무게추에 부유물 끼임 현상을 방지할 수 있는 대책마련이 필요함

- 수리모형실험시 정수압만 받는 상태와 동수압까지 받을 때 무동력 게이트의 거동에 대한 실험이 필요함

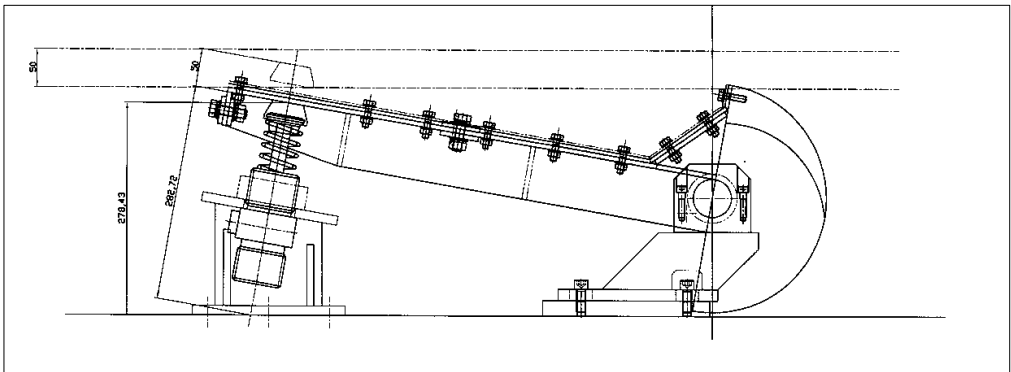
나. 1차 시작품 보완 제작

전문가 자문회의 및 모니터링 결과를 바탕으로 1차 시작품에 대한 보완 작업을 수행하였다.

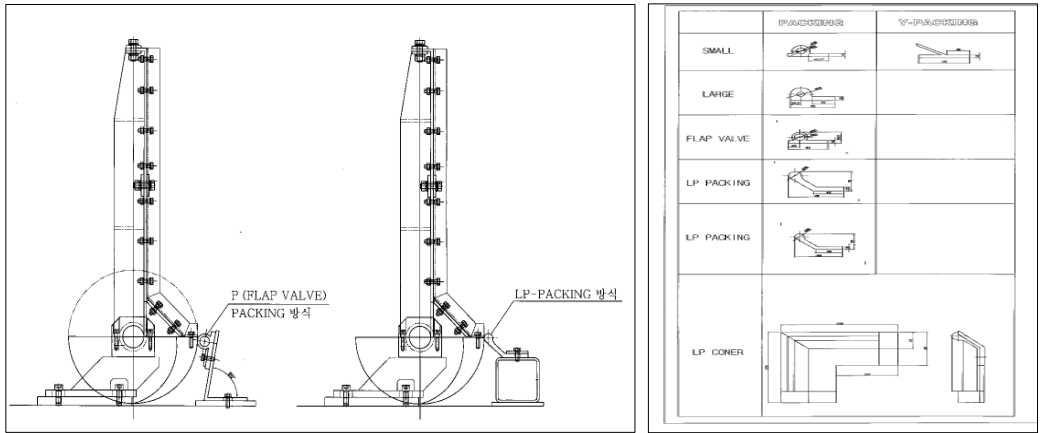
- 목적 : 1차 시제품 제작후 도출된 문제점에 따른 보완대책수립
- 주요 문제점 도출
 - 게이트 작동시 끼임현상발생(수평유지를 위한 게이트 발란스 작업 필요)
 - 게이트 전도시 급격히 하강(완충장치 필요)
 - 게이트 지수부 보강(지수재 재질변경 필요)
 - 게이트 전도시 물고임현상(수문비에 배수관 필요)
 - 게이트 구동시 이물질 끼임 현상 구명(하천시험모형의 지속적 모니터링필요)
- 보완작업 :
 - 게이트 BALANCE 작업
 - 전도 및 복원 STOPPER 2 SETS
 - 형상별 지수제작 2종류
 - 수문비 배수관 설치
 - SHOCK ABSORBER BRACKET



(A) 복원 STOPPER 제작도면



(B) SHOCK ABSORBER BRACKET 제작도면



(C) 지수제 종류별 제작·설치도면
 <그림 3.5.12> 1차 시작품 보완제작 도면



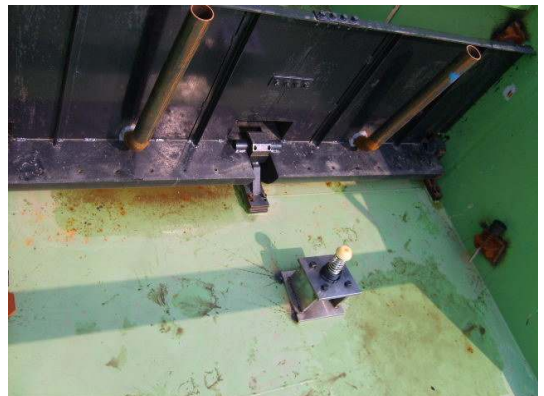
(A) BALANCE 및 재설치 작업



(B) 배수관 부착



(C) 전도 스토퍼 설치



(D) SHOCK ABSORBER 부착



(E) P형 지수고무 설치



(F) LP형 지수고무 설치

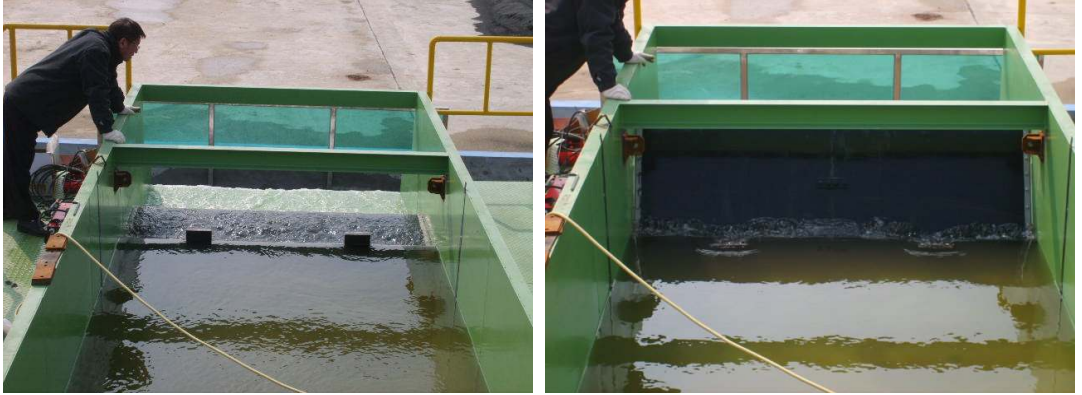
<그림 3.5.13> 1차 시작품 보완제작·설치

다. 1차 시작품 보완 작동성 모니터링 및 평가

1차 시작품 보완 제작·설치후 작동성에 대해 모니터링을 실시하였다. 모니터링 결과 수문의 변형 및 파손을 방지목적의 충격방지용 SHOCK ABSORBER 및 SPRING SORBER를 설치를 통해 전도 및 복원시 수문비로 전달되는 충격이 상당히 감소되었다. 하지만 충격방지장치가 수중에 위치하고 있기 때문에 부식에 의한 표면처리나 오일 누유 등 유지관리상의 문제가 있을 것으로 판단되었다. 또한 합성폴리계열의 지수고무를 적용했는데 지수능력이 이전에 비해 좋아졌지만 반복 작동시 수문비와 끼임현상이 발생하고 틈새가 벌어지는 현상이 발생하였다. 다음 그림은 1차 시작품 보완제작 설치 후 작동성 테스트를 수행한 내용이다.



(A) SHOCK ABSORBER 부착에 따른 복원력 점검



(B) 동수압에 따른 전도상태 CHECK

<그림 3.5.14> 1차 시작품 보완제작 작동성 테스트

3. 2차 무동력 여수토게이트 시작품 제작

가. 전문가 자문회의

1차 무동력 여수토게이트 시작품 제작이후 지속적인 모니터링과 보완작업을 수행하였고 실용화를 위해 완성도 높은 시작품제작을 위해 2차 무동력 여수토게이트 시작품 제작 이전에 2차 전문가 자문회의(2007.4)를 개최하였다.

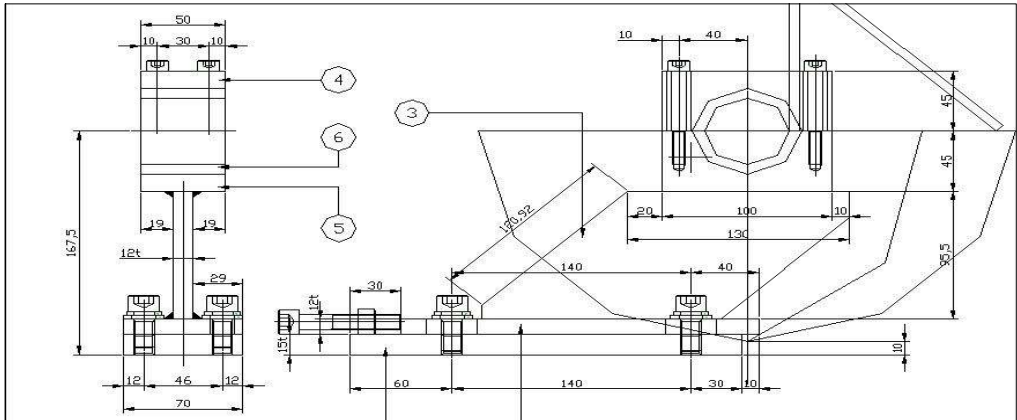
- 목 적 : 무동력 여수토게이트 2차 시작품 제작을 위한 전문가 자문
- 일 시 : 2007. 4.5
- 장 소 : 국립경상대학교 지역환경기반공학과
- 전문가 자문위원
 - 신동원 농림부 시설관리과
 - 장익주 : 경북대 생물산업기계공학과
 - 최경숙 : 경북대 농업토목공학과
 - 민영복 : 경상대 생물산업기계공학과
 - 하일규 : 한국농촌공사 경남도본부
 - 김영육 : 한국농촌공사 경남도본부
 - 강동화 : 한국농촌공사 진주산청지사
- 자문결과 요약
 - 시제품제작시 시제품을 여러번 만들수록 문제점들이 발생되며 이를 해결하는 과정에서 좀더 완성도 높은 제품이 탄생될것으로 생각되므로 가능하면 게이트를 크기를 달리하여 제작하는것이 바람직함
 - 시공시 정밀시공이 예상되므로 시제품 제작 및 설치시 현장상황을 가만하여 가능하면 실제여수토 환경에 가깝게 재현할 필요성이 있음. 기존 여수토에 어느 위치를 어떻게 처리할 것이며, 부분을 깎아서 시공시 다른 역효과는 없는지 생각해 보아야함
 - 농업용수 방재 확보차원에서 본 무동력 여수토게이트는 저수지의 안전을 위한 반드시 사전 검토가 잘 이루어져야함. 일단 넘어지면 완전 방류후 넘어져야 하므로 복원되는 것은 한참 후에 복원한다는 것은 의미하며 반발력을 감소시키기 위해 스프링을 달았는데 게이트에 진동이 수반되므로 수문비의 변형이 우려되므로 다른 대안이 필요함
 - 시제품제작시 각 지사에서 시행하는 시설 유지관리방법의 목적이나 내용과 잘

- 부합되는지를 파악해야함. 왜냐하면 통상적으로 비상수문을 개방할 경우 하류부에 방송등을 통해 방류사실을 알려 만의하나 인명사고가 나지 않게 하고 있음. 자동 전도시 하류부에 피해를 줄 수 있다면 수동으로 하는 것이 바람직함.
- 모형 제작시 실제로 현장적용은 훨씬 커지므로 문비 규격 등의 역학관계가 정립되어야 함. 비디오촬영에서 보듯이 게이트가 전도된 뒤에 물이 빠지고 올라오는 시간이 천천히 올라와도 큰 무리는 없을 것임.
 - 이상홍수 대비하여 현재 수리시설개보수지구에 포함되어 있는 저수지는 비상방류목적의 여수토게이트를 설치하고 있는데 여수토의 길이를 늘리는 것보다는 게이트의 설치가 배체측면에서 효과적임.
 - 문비규격은 다양화하면 효과적으로 시제품제작이 가능할 것으로 보임
 - 여수토게이트 설치를 목적으로 모형실험한 상황이므로 최대한 노력해 시범설치가 되도록 추진해야할 필요가 있음
 - 농업용 용량 확보 방재 목적이 있는데 농업용 저수지의 크기에 따라 스펙이 적절히 이루어져야 할것임.
 - 저수지 형상이나 규모별로 여수토게이트가 최적으로 활용 될 수 있는 유형이 있을 것이므로 거기에 대한 유형과 규모에 따라 적절히 분류하여 개발되어야 함

나. 2차 시작품 제작

연구계획 및 2차 자문회의를 통해 나타는 문제점을 보완하기 위해 2차 무동력 여수토게이트 시작품을 제작 하였다. 주요 제작내용으로 먼저 다양한 크기의 게이트를 제작하기 위해 기존의 2련 게이트뿐만 아니라 3련의 게이트로도 제작하였다. 또한 현장적용 시에는 비상작동이 가능한 시설이 되어야 한다는 의견에 따라 비상용여수토게이트를 제작하였다.

- 목 적 : 현장 적용성 향상을 위한 무동력 전도게이트 개량품 제작 및 현장설치 후 적용성 검토
- 시작품 내역 : 설정수심 및 다수위 유지형 무동력 전도게이트(개량품)
 - 개량형 무동력 게이트 제작(기능시험모형)
 - 1.0×0.9×2(W×H×련)



(C) SIDE HINGE BRACKET 제작도
 <그림 3.5.15> 2차 시작품 주요 제작도면



(A) 기능시험모형 2련 게이트 설치



(B) 기능시험모형 3련 게이트 설치



(C) 기능시험모형 비상 게이트 설치



(D) 하천시험모형 비상게이트 설치



(E) 기능시험모형 비상 게이트 시연

<그림 3.5.16> 2차 시작품 주요 설치 및 시연

다. 2차 시작품 작동성 모니터링 및 평가

2차 시작품 제작·설치후 작동성에 대해 모니터링을 실시하였다. 모니터링 결과 전체적으로 1차 시작품보다 지수 및 전도·복원 등 게이트가 갖추어야할 기능측면에서 개선되었다. 하지만 몇가지 문제점이 발생되었다. 우선 지수부분에서는 필름재질로 변경하여 제작하였는데 1차시작품에서 사용한 고무재질보다 수위작용에 따른 압력증가로 지수효과가 월등히 뛰어났다. 하지만 무계추와 수문비가 접하는 부분에서 여전히 지수가 불량한 것으로 판단되어 이에 대한 보강이 필요하였다. 그리고 전도 및 복원기능에서 작동성 테스트 결과 1차 시작품에 보다 수위에 따라 전도 및 복원이 원활히 반복되었다. 하지만 완전히 전도된 뒤 물이 모두 배제되어 복원수위까지 떨어졌는데 수문비에 남아있는 물이 배제되는데 시간이 많이 소요되었다. 수문비에 남아 있는 물이 모두 배제되어야지만 복원이 이루어지기 때문에 전도에서 복원으로 전환되는 시간이 당초 설계보다 많이 소요되어 이에 대한 대책이 필요하였다.



(A) 2차 시작품 작동성 테스트(수위 증가시작)



(B) 2차 시작품 작동성 테스트(전도)



(C) 2차 시작품 작동성 테스트(복원)

<그림 3.5.17> 2차 시작품 작동성 테스트

4. 3차 무동력 여수토게이트 시작품 제작

2차 시작품 제작·설치후 작동성에 대해 모니터링을 실시결과 문제점으로 지적된 기능을 보완하기 위해 3차 시작품 제작을 계획하였다. 3차 시작품을 제작하기 전에 2차 시작품의 성능에 대해 전문가로부터 자문의견을 수렴하여 보다 완성된 시작품 제작을 수행하였다.

가. 전문가 자문회의

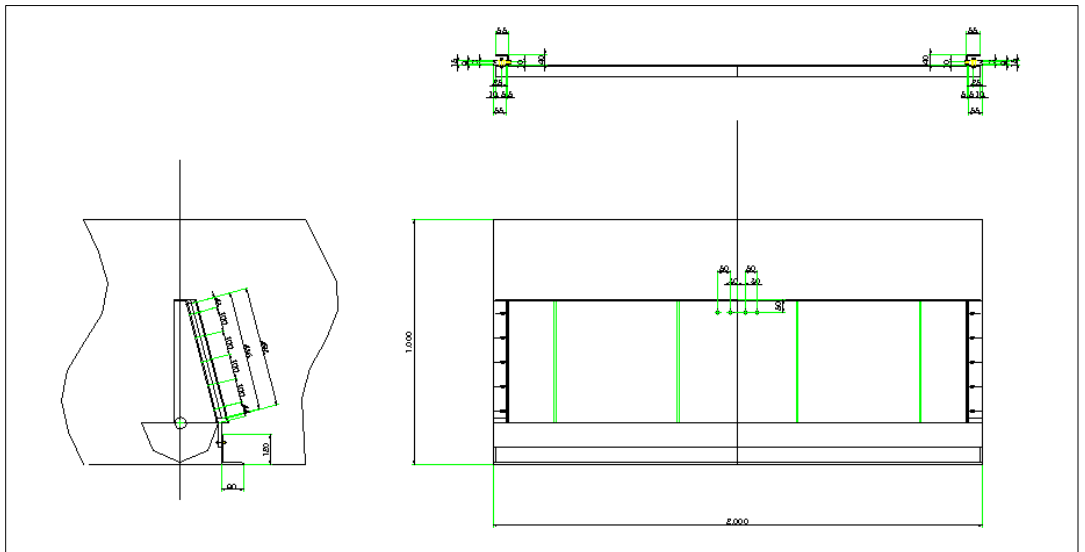
- 목 적 : 무동력 여수토게이트 3차 시작품 제작을 위한 전문가 자문
- 일 시 : 2007. 9. 13
- 장 소 : 한국농촌공사 농어촌연구원
- 전문가 자문위원
 - 이인복 : 서울대학교 농업생명과학대학
 - 이중용 : 서울대학교 농업생명과학대학
 - 정건영 : 한국농촌공사 시설관리처
 - 황동주 : 한국농촌공사 기술본부
- 자문결과 요약
 - 시작품 게이트의 외관을 좀더 미려하게 만들 필요가 있음. 기능적인 면에서 볼 때 대형저수지 보다는 중소형 농업용 저수지가 타당할 것임. 또한 실용화를 위해서 설계나 진단팀의 실무 설계자들에서 충분히 홍보가 필요함
 - 다단전도를 고려해야함. 초기 강우 도는 적은 량의 강우에 게이트가 완정 전도 된다면 필요저수량의 손실이 큼. 안정한 수량 확보를 위해서 다단 전도가 필요함
 - 베어링의 내구성을 다시 검토할 필요가 있음. 게이트의 내구년한이 최소 10년은 될 텐데 베어링 내구성 검토가 필요. 그리고 게이트의 무게를 경량화할 방안이 있다면 적용이 바람직함. 마지막으로 1~2 mm 정도의 누수는 문제가 없을 것으로 판단됨
 - 누수는 동결융해 때문에 중요함. 겨울철 소량의 물이 방수로에서 동결 융해 되면 방수로의 파괴요인이 되므로 가능한 완벽함 지수가 바람직함

나. 3차 시작품 제작

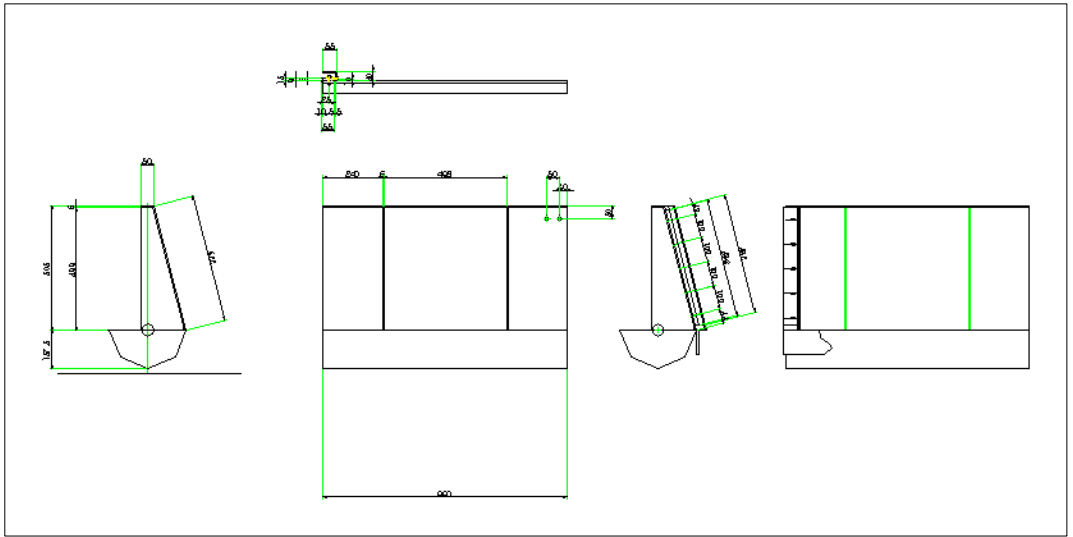
연구계획 및 3차 자문회의를 통해 나타는 문제점을 보완하기 위해 3차 무동력 여수토게이트 시작품을 제작 하였다. 주요 제작내용으로 2차 시작품에서 문제가 되었던 수

문비에 물고임을 제거하기 위해 무동력 게이트 플레이트의 형상을 변경(수직→ 사선) 하여 제작하였다. 그리고 지수방법을 개량하기 위해 지수재질을 변경하였고, 캡형식 등을 추가하여 가능한 완벽한 지수가 가능한 제품이 되도록 하였다. 지수재질은 MC 나이론 재질과 P.E. 재질을 구분하여 특수가공하였고, 캡형식은 STS로 특수제작 하였다. 또한 시작품의 디자인을 고려 노란페이트로 마감하여 미려하게 제작하였다.

- 목 적 : 현장적용성 향상을 위한 무동력 전도게이트 개량품 제작
- 시작품 내역 : 설정수심 및 다수위 유지형 무동력 전도게이트(개량품)
 - 기능시험모형 : 무동력 게이트 플레이트 형상변경 제작 및 설치
 - 전면부 2련, 측면부 2련, 비상용 1련
 - 지수개량품 제작 및 설치
 - 수직형 지수판 2조(MC 나이론 재질 특수제작)
 - 탄성 지수판 4조(P.E. 재질 특수제작)
 - 무계추 덮개 3조(STS 재질 곡선 특수제작)



(A) 무동력 게이트 플레이트 형상변경



(B) 무동력 게이트 지수재 설치
 <그림 3.5.18> 3차 시작품 주요 제작 도면



(A) 개량형 무동력 게이트 제작



(B) 개량형 무동력 게이트 설치



(C) 개량형 무동력 게이트 채수재 설치



(D) 개량형 무동력 게이트 전면 보호캡 설치

<그림 3.5.19> 3차 시작용품 주요 설치

다. 3차 시작용품 작동성 모니터링 및 평가

3차 시작용품 제작·설치후 작동성에 대해 모니터링을 실시하였다. 모니터링 결과 2차 시작용품보다 지수 및 전도·복원 등 게이트가 갖추어야할 기능측면과 외형측면이 모두 개선되었다. 우선 지수부분에서는 수직형 지수관(MC 나이론 재질)과 필름재 지수관 2중 구조로 제작하여 뛰어난 지수능력을 발휘하면서 벽면과의 마찰력을 최소로 하였다. 그리고 게이트 전면에는 곡선형의 무게추 보호캡을 설치하여 오물이나 유사에 의한 끼임 현상을 최소화하였다. 전도 및 복원기능 작동성에서는 수문비와 무게추를 사선으로 용접하여 설치했는데 2차 시작용품에 비해 전도력과 복원력이 더욱 좋아졌으며, 완전 전도후 수문비에 물이 고이지 않기 때문에 복원수위에 도달할 때 곧바로 복원되었다.

5. 4차 무동력 여수토게이트 시작품 제작

가. 4차 시작품 제작

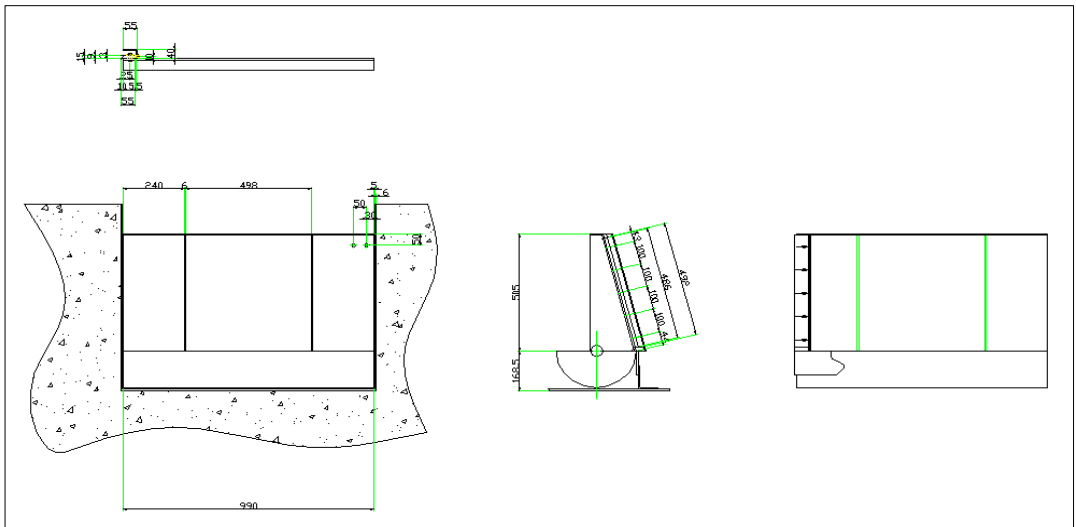
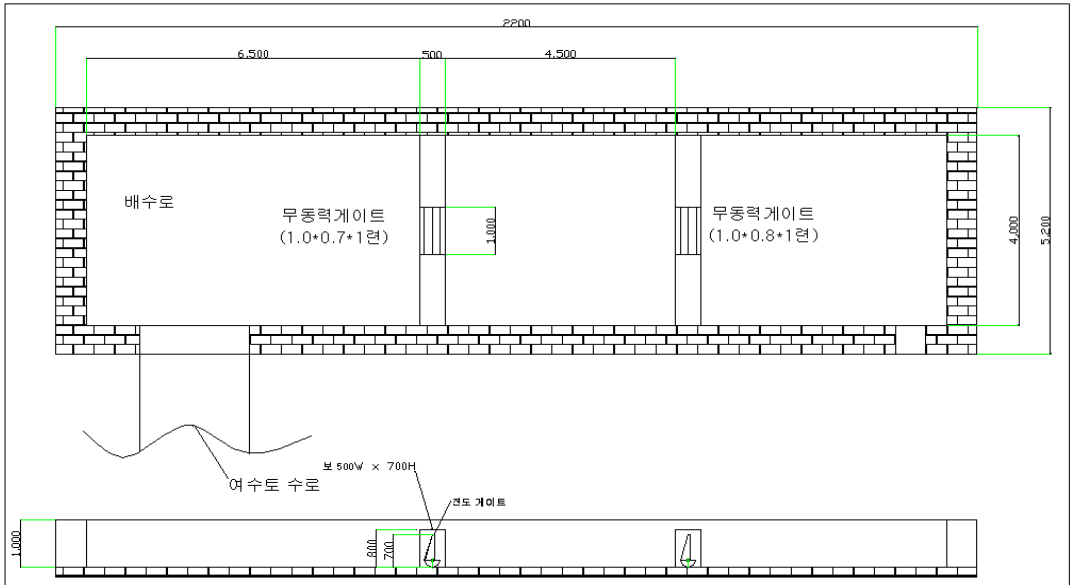
연구계획에 의거 무동력 게이트 제품의 다양성 확보를 위해 여수토게이트 전용 뿐만 아니라 하천 용수의 취수를 목적으로 하는 수중 전도형 무동력 게이트 시범 제작하였다. 그리고 하천시험모형에 1:1 축척의 실물모형을 제작하여 현장적용성 시험을 수행하였다.

- 목 적 : 제품 다양성 확보를 위한 수중 전도형 무동력 게이트 제작
- 위 치 :
 - 농어촌연구원 무동력게이트 기능시험장(하천수리모형시험장)
 - 농어촌연구원 습지배수로 출구지점
- 시작품 내역 : 설정수심 및 다수위 유지형 무동력 전도게이트(개량품)
 - 기능시험장 : 전면부1련(1.0×0.7), 후면부1련(1.0×0.8)
 - 습지배수로 : 실물모형 무동력 게이트(1.0×0.9×2련)
 - 기능 시험을 위한 시험수로

나. 4차 시작품 작동성 모니터링 및 평가

4차 시작품 제작설치후 작동성에 대해 모니터링을 실시하였다. 모니터링 결과 수위가 상승함에 따라 물이 넘치기 직전에 작동을 시작하며 수압이 증가함에 따라서 다단으로 전도가 되었다. 유입량이 모두 방류된뒤 수위가 복원시점까지 떨어졌을 때 복원력에 의하여 원상태로 복귀하였다.

무계추의 크기에 따라서 전도되는 높이가 틀리며 사용용도에 위치에 따라서 높이조절이 가능하기 때문에 하천 취입보 용도로 충분히 적용이 가능한 것으로 판단되었다.



<그림 3.5.20> 4차 시작용 주요 제작도면



<그림 3.5.21> 4차 시작품 현장설치

제6절 모니터링 및 성능평가 분석

무동력게이트 기본 작동원리를 해석하고 성능을 평가하기 위해 무동력게이트의 축척 모형을 제작하여 적용성 검토 구조설계 타당성 및 성능을 파악하였고 무동력게이트 설치에 따른 이수용량 증대로 인한 만수위 상승시 수위상승에 따른 농업용저수지 체체의 안정성을 검토하였다.

본 연구에서 모니터링 및 성능평가 분석을 위해 수행한 주요내용은 다음과 같다.

- 기본작동원리 해석 및 축척모형 준비
 - 전도부 해석(수문비)
 - 복원력 해석(받침대)
 - 평형상태 해석
- 모형실험(년차별 1회, 2 TYPES)
 - 전도 및 복원능력 확인
 - 구동부 지수성 및 내구성 검토
 - 받침대 성능 및 지수시트 내구성 평가
 - 방류량 추적 및 유량-개도 CURVE
- 결과분석 및 보완
 - 수문작동특성 해석
 - 수문방류특성 해석
 - 해석에 따른 보완책
- 전도게이트 설계개선
 - 게이트 기능개선
 - 모형실험용 게이트 설계
- 저수지 체체안정성 검토
 - 저수지 체체내의 공극수압 발생
 - 체체의 변형
 - 사면안정 검토

1. 기본작동원리 해석

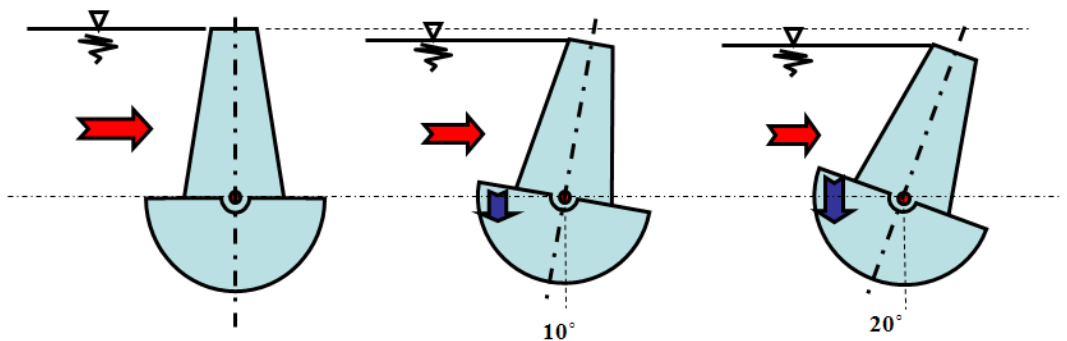
1차년도 연구에서는 모형실험을 실시하여 무동력 저수지 여수토 게이트의 구조설계에 대한 타당성 및 그 성능을 검토하였다.

가. 전도 게이트의 모형실험을 위한 구조해석

일반적으로 게이트의 수리실험은 게이트의 작동성능과 방류량 해석을 위주로 행해지는데, 이는 게이트의 전도특성을 고려해서 일정한 수압이나 유속에 대해 중력방향과 수평방향으로 가해지는 힘을 분석하여 설계안대로 전도와 복원이 가능한지를 해석하는 것이 중요하다(한국콘크리트학회, 1995; 한국 표준협회편).

전도게이트는 특성상 두 가지로 분류하는데 하나는 오투기 형태의 받침대를 가지고 수압이나 유속이 수문에 가해졌을 때 전도와 복원을 반복하는 오투기형 수문과 수문비의 무게와 천칭의 무게로서 일정한 수압이 수문에 가해졌을 때 수문이 전도와 복원을 반복하는 형태의 천칭형 수문으로 나뉜다. 형태적으로는 오투기형이 훨씬 더 간편하나 미세한 조정을 요할 때에는 천칭형 수문을 사용하기도 한다. 본 연구에서 구조가 간단하고 작동원리가 복잡하기 않아 농업용저수지 적용이 용이할 것으로 판단되는 오투기형 전도수문에 대해서 그 적용성 검토를 위한 모델 설계를 실시하였다(Leonards, 1962; Wyile, 1993).

오투기형 부채꼴 원형단면은 상류부로부터 일정한 수압이 형성되면 전도게이트는 게이트 하류부로 기울어진다(그림 3.6.1 참조).



<그림 3.6.1> 전도게이트의 원리

이때 기울어진 각도를 편심이라고 하면 이 편심에 따라 전도게이트가 원래의 상태(중력방향인 수직으로 직립해 있는 상태)로 되돌아가려는 힘 즉, 복원력을 계산하는데

필요하다. 여기서 기준은 수로와 수평한 선과 중력방향의 선으로 하며, 이에 대해 기울어진 각도를 편심이라고 정의한다. 따라서 복원력은 이 기준선을 중심으로 생각하면 편심의 2배로서 작용을 한다. 이렇게 편심이 주어졌을 때의 복원력(F)와 복원토크(T_r)은 식 (1)과 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$F = Wg \dots\dots\dots (1)$$

$$T_r = FX \dots\dots\dots (2)$$

여기서, W 는 부채꼴 형상의 전체적인 중량, X 는 부채꼴 원형단면의 무게중심거리 그리고 g 는 중력가속도(9.81m/s²)이다.

한편 전도력(F')은 수압에 의해서 오투기형 전도게이트가 일정한 편심을 가지고 기울어지는 힘을 말한다. 전도게이트가 기울어짐에 따라서 상류부에 모여 있던 물이 게이트 하류로 흘러나가서 수문이 전도된다. 이렇게 수문을 전도시키는 것을 전도력이라고 하며 이 전도력(F')은 다음 식 (3)과 같이 구하고 전도토크(T'_r)는 식 (4)와 같이 구한다.

$$F' = W_T g \sin e \dots\dots\dots (3)$$

$$T'_r = F' k \dots\dots\dots (4)$$

여기서, W_T 는 수문비의 총중량, e 는 전도토크가 발생하는 편심각, 그리고 k 는 전도토크가 발생하는 편심각 기울기 지점에서의 힌지방향까지의 거리이다. 따라서 순수한 복원력(F_p)과 복원토크(T_p)는 다음 식 (5) 및 식 (6)과 같이 계산할 수 있다.

$$F_p = F - F' \dots\dots\dots (5)$$

$$T_p = T_r - T'_r \dots\dots\dots (6)$$

수문에 걸리는 수압은 수문이 중력방향인 수직으로서 있는 경우에 대해서 계산을 하

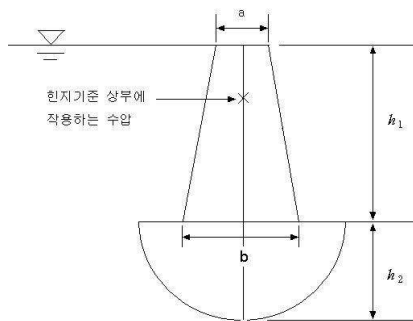
면, 우선 수압이 전도게이트에 걸리는 형태를 두 가지로 나눌 수 있다. 한가지는 수문 상부의 수문비 부분에 걸리는 수압으로서 게이트의 전도에 관여하며, 또 하나는 부채꼴 원형단면에 걸리는 수압으로서 이는 역수압 즉 게이트의 복원력에 관계되는 수압이다 (그림 3.6.1 참조).

이 수압은 궁극적으로 모두 수문비나 부채꼴 원형단면의 무게중심에 걸리는 것으로서 제진기의 운영을 위한 동력원의 발생 역할을 한다. 따라서 다음 Fig. 2에서와 같이 전도게이트의 힌지를 기준으로 상부(수문비측)에 걸리는 수압은 전도력으로, 하부(부채꼴 원형단면)에 걸리는 수압은 복원력으로 작용을 한다. 수문에 걸리는 순수 수압(P_w)은 식(7)과 같이 계산할 수 있으며, 여기서 P_{w1} 은 힌지부 상부에 작용하는 수압 그리고 P_{w2} 는 힌지부 하부에 작용하는 수압이다.

$$P_w = P_{w1} - P_{w2} \dots\dots\dots (7)$$

수문비에 걸리는 순수 수압의 토크는 식(8)과 같이 계산할 수 있으며, $T_{w1}(=P_{w1}m)$ 는 힌지부 상부에 작용하는 수압에 의한 토크 그리고 $T_{w2}(=P_{w2}X)$ 는 힌지부 하부에 작용하는 토크이다(단, m 은 사다리꼴 모양의 무게 중심까지의 거리).

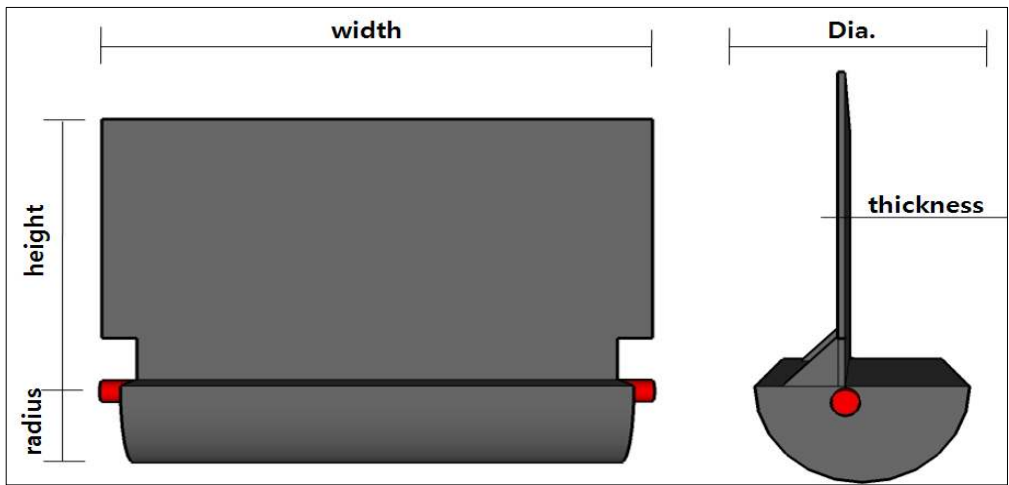
$$T_w = T_{w1} - T_{w2} \dots\dots\dots (8)$$



<그림 3.6.2> 전도게이트에 수압이 걸리는 모습

나. 전도게이트와 받침판의 기본구성

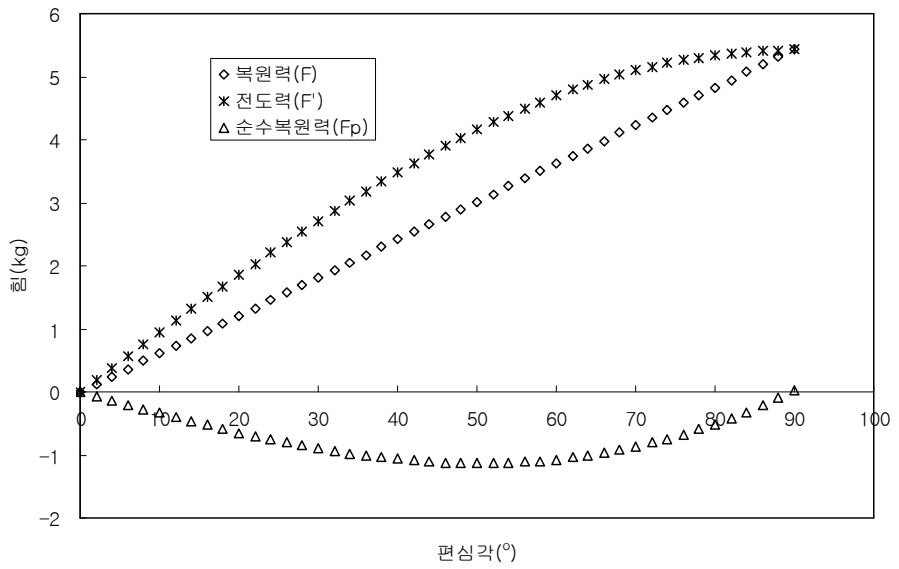
모형게이트는 실내모형실험에서의 적용성을 고려하여 그림 3.6.3과 같이 전도게이트와 받침판으로 구성되어있으며, 전도게이트는 폭, 470mm, 높이 200~350mm, 높이 200~350mm, 수문비 1.50~0.99, 그리고 두께 500mm의 강판으로 제작되었고, 받침판은 직경 155mm의 강재로 전도게이트와 연결되어있다.



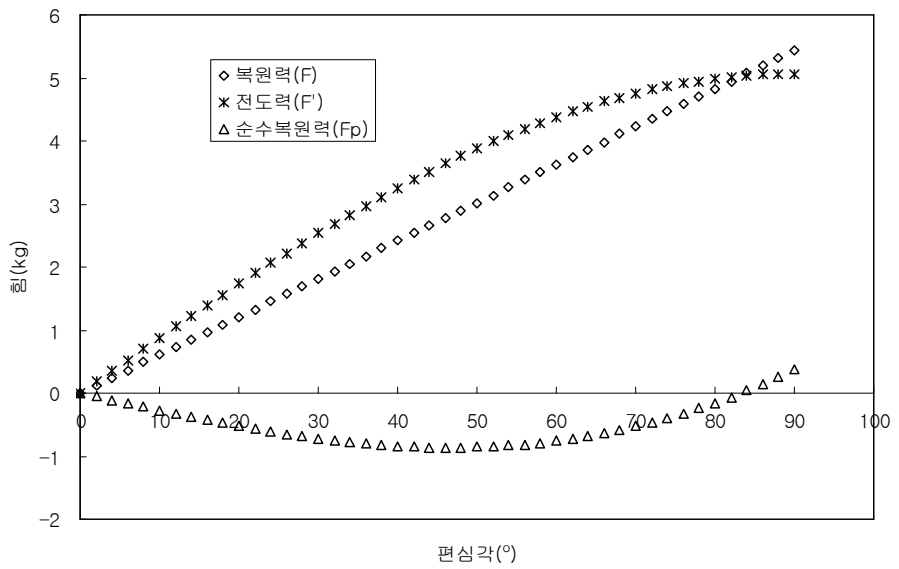
<그림 3.6.3> 전도게이트 기본구조

다. 평형상태해석

게이트가 전도 후, 다시 원활히 복원이 되는 적정수문비를 검토하기 위해 수문비에 따른 평형상태해석을 실시하였다. 복원력, 전도력 그리고 순수복원력의 관계를 그림 3.6.4에 각각 나타내었으며, 수문비와 복원각의 관계를 그림 5에 나타내었다. 결과를 종합해 보면 수문비 1.46이상(수문높이 31cm)에서는 게이트가 자연전도 되었으며, 수문비 0.94이하(수문높이 19cm)에서는 게이트가 전도되지 않고 유입수가 게이트를 월류하는 것으로 나타났다. 따라서 적정 수문비는 1.0~1.45(게이트 높이는 30~20cm)로 판단되었다.

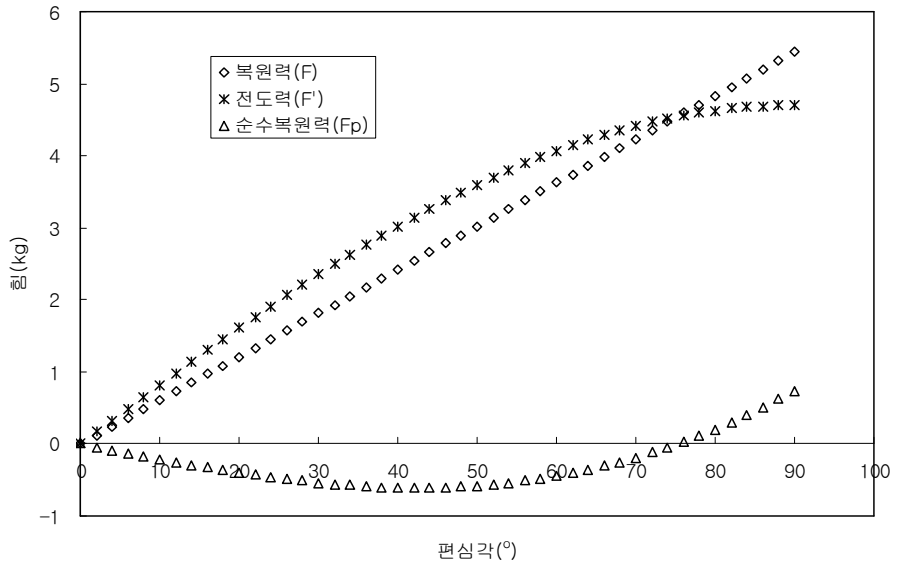


(a) 수분비 : 1.41(높이 : 30cm)

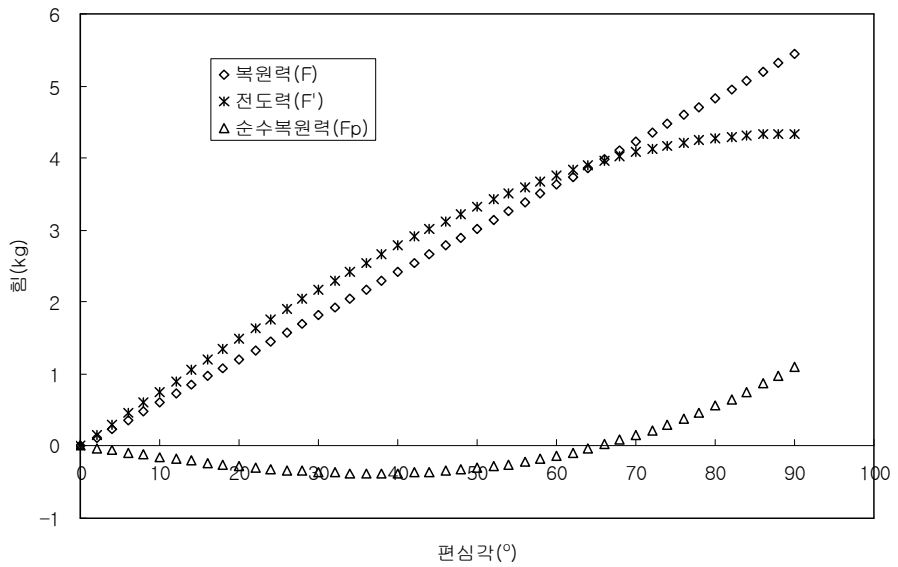


(b) 수분비 : 1.32(높이 : 28cm)

<그림 3.6.4> 수분비에 따른 복원력, 전도력 그리고 순수복원력의 관계

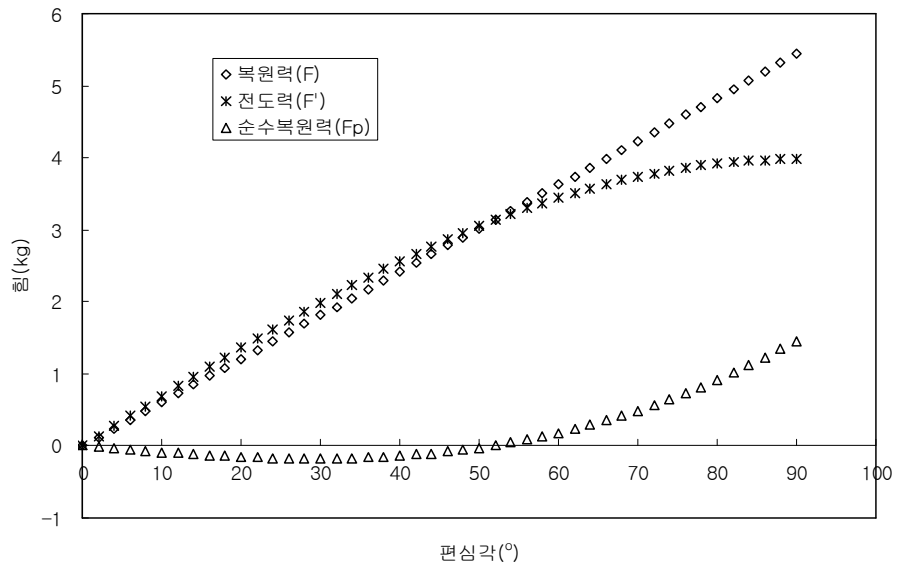


(c) 수분비 : 1.22(높이 : 26cm)

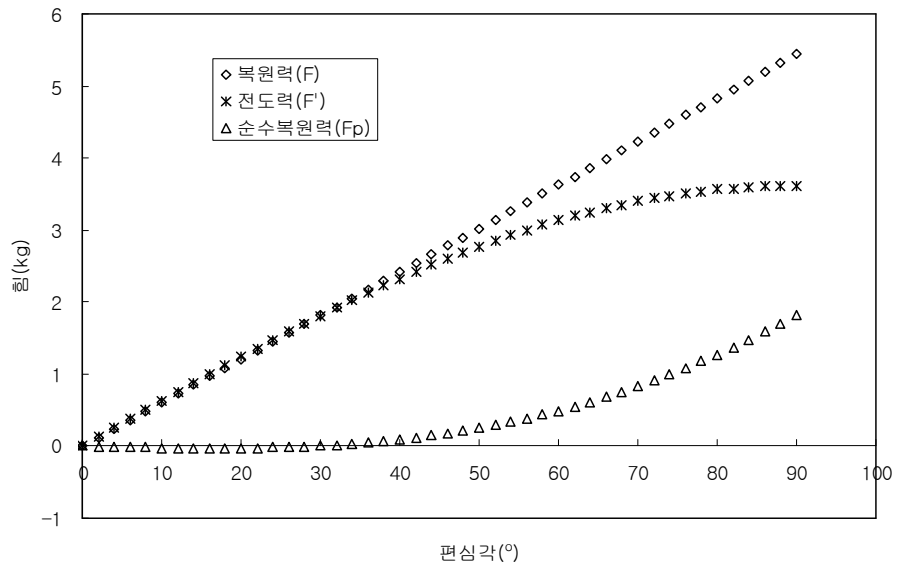


(d) 수분비 : 1.13(높이 : 24cm)

<그림 3.6.4> 수분비에 따른 복원력, 전도력 그리고 순수복원력의 관계(계속)

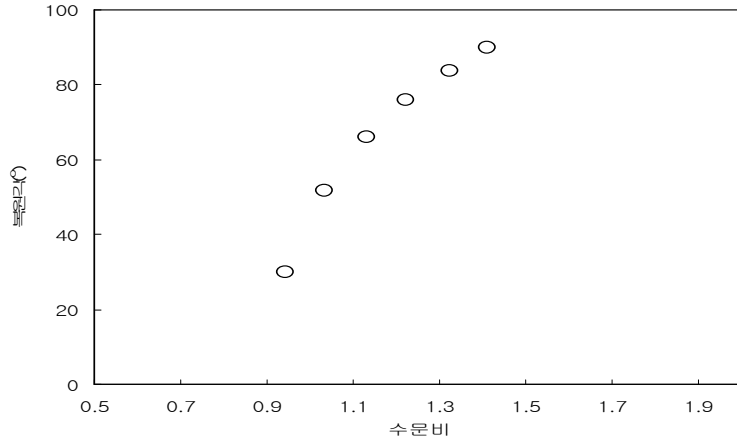


(e) 수문비 : 1.03(높이 : 22cm)



(f) 수문비 : 0.94(높이 : 20cm)

<그림 3.6.4> 수문비에 따른 복원력, 전도력 그리고 순수복원력의 관계(계속)

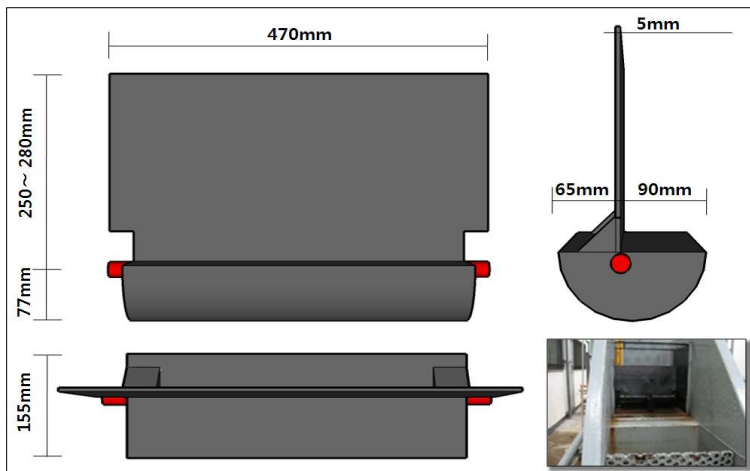


<그림 3.6.5> 수문비와 복원각의 관계

라. 모형게이트의 적용성검토

1) 모형게이트의 제원 및 실험

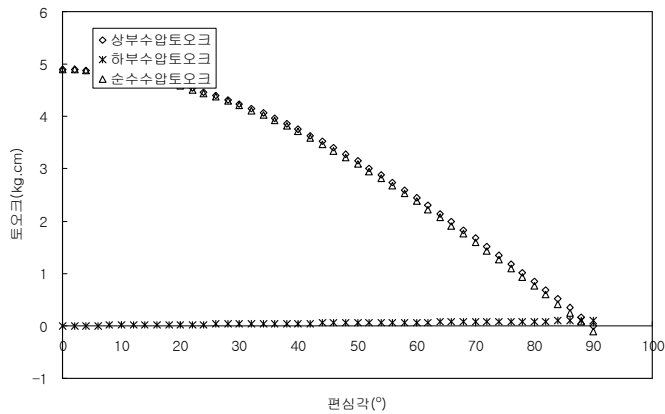
수위변화 및 유량변화를 고려한 모형축척실험을 실시하기에 앞서 실험에 사용할 모형게이트 자체의 적용성을 검토하기 위해서 전도각에 따른 모형게이트의 전도력, 복원력 그리고 수압토크 등을 알아보았다. 이 때 적정수문비(1.0~1.45) 이내인 수문높이가 각각 25cm(수문비 1.18), 28cm(수문비 1.32)인 2개의 모형게이트를 사용하여 실험을 실시하였으며, 사용한 모형게이트의 제원은 그림 3.6.6과 같다.



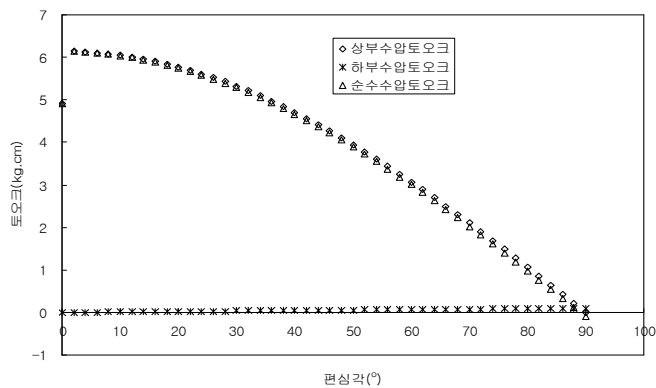
<그림 3.6.6> 모형실험을 위한 전도게이트 제원

2) 적용 모형수문 구조계산

수문높이가 다른 2개의 모형게이트를 이용하여 모형수문 구조를 계산한 결과를 그림 3.6.7~9에 각각 나타내었다. 전도각에 따른 수압토오크 등을 고려해볼 때 모형게이트에서 발생하는 힘과 모멘트의 크기는 수문재료(강재)에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되었었으며, 게이트가 전도된 후 수문비에 따라 다소 차이가 있었으나 2개 게이트 모두 절적인 복원력을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서 사용된 모형게이트의 수문비는 앞서 검토된 적정수문비의 범위 이내며, 전도각에 따른 측정된 평가 값들이 적절하게 나타났기 때문에 모형축척실험에 적용하여 그 결과를 이용하는데 있어서 큰 문제가 없을 것으로 판단되었다.

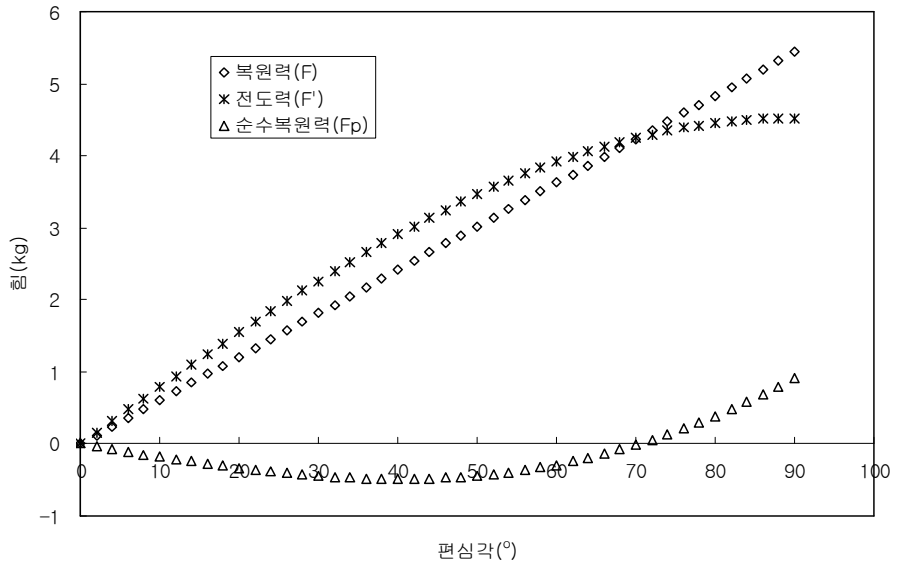


(a) 수문비=1.18(수문높이=25cm)

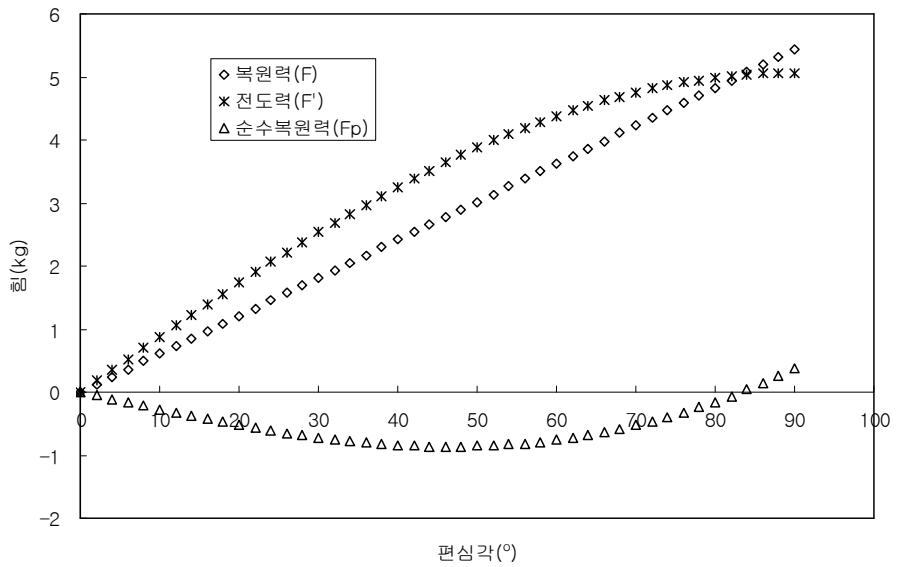


(b) 수문비=1.32(수문높이=28cm)

<그림 3.6.7> 전도각에 따른 상부, 하부 그리고 순수 수압토오크

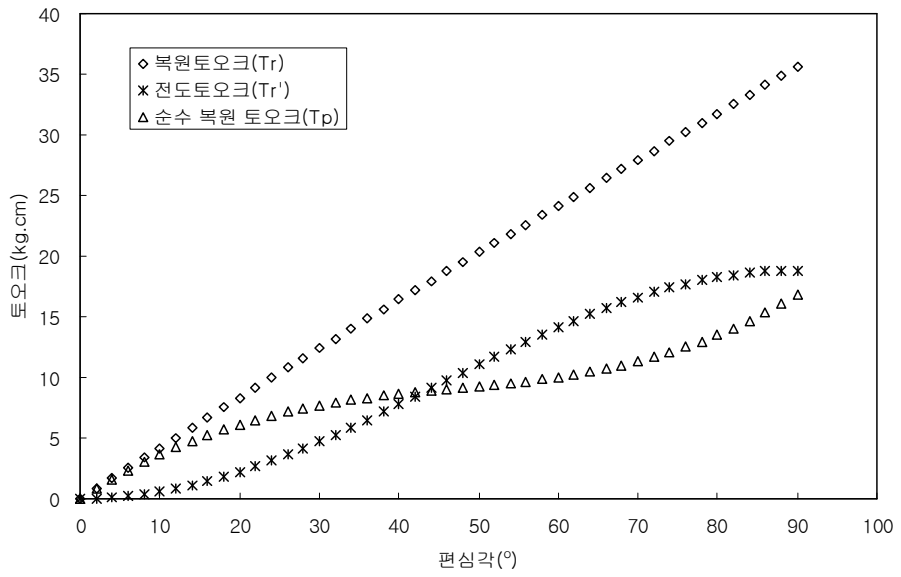


(a) 수분비=1.18(수문높이=25cm)

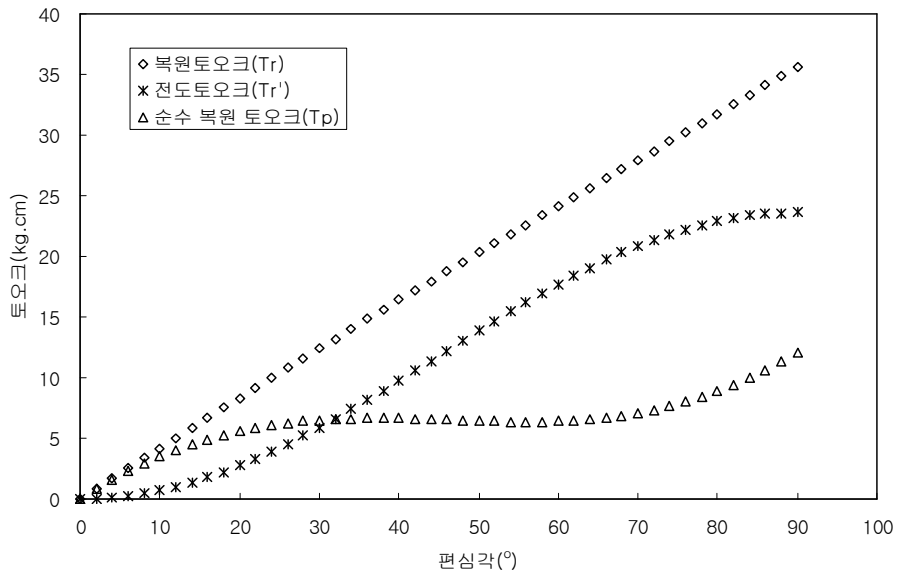


(b) 수분비=1.32(수문높이=28cm)

<그림 3.6.8> 전도각(편심)에 따른 전도력, 복원력 그리고 순수복원력



(a) 수분비=1.18(수분높이=25cm)



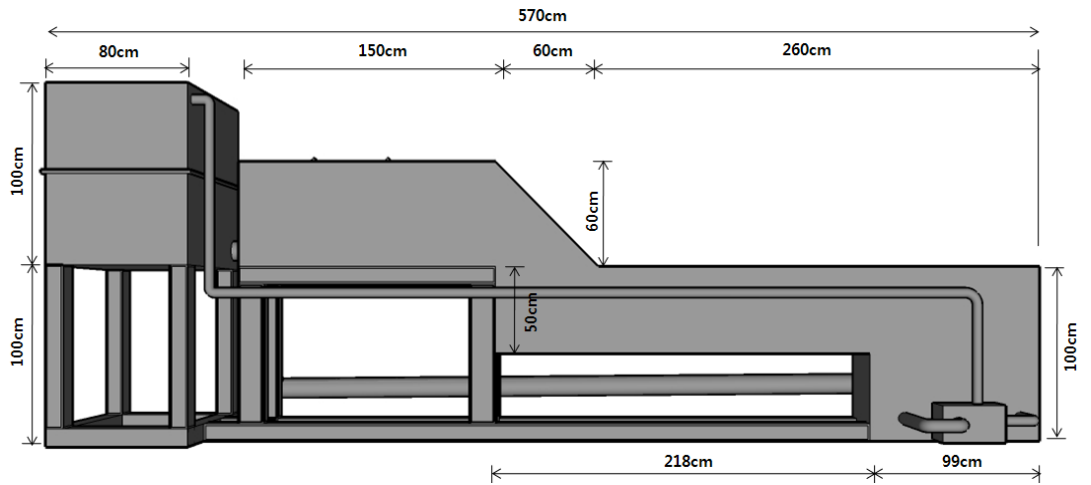
(b) 수분비=1.32(수분높이=28cm)

<그림 3.6.9> 전도각(편심)에 따른 전도, 복원 그리고 순수 복원토크

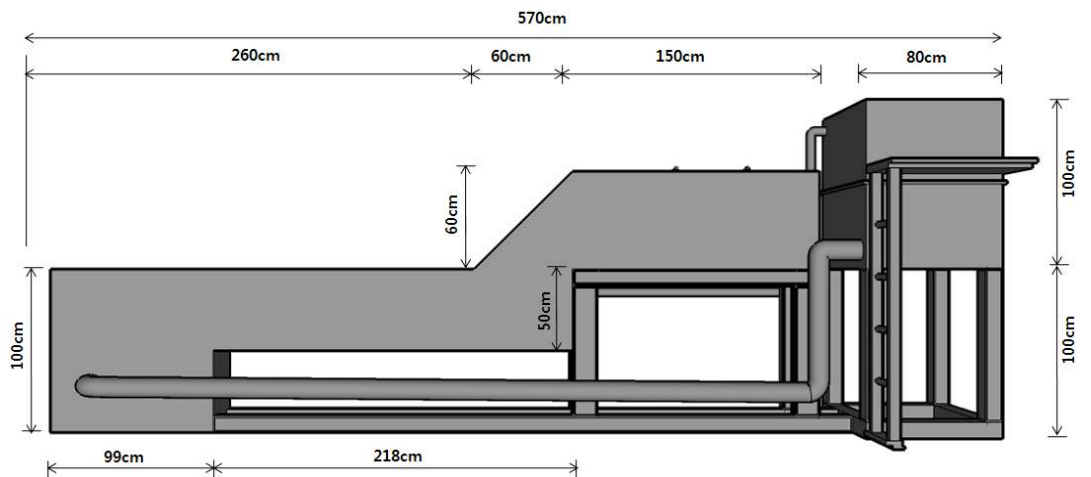
2. 1차 축척모형실험

가. 모형수로의 설계

모형수로는 총 연장 570cm, 높이 200cm로 그림 3.6.10~13에 제시된 제원으로 설계되었다.



<그림 3.6.10> 모형 측면구조 및 제원(좌측)



<그림 3.6.11> 모형 측면구조 및 제원(우측)

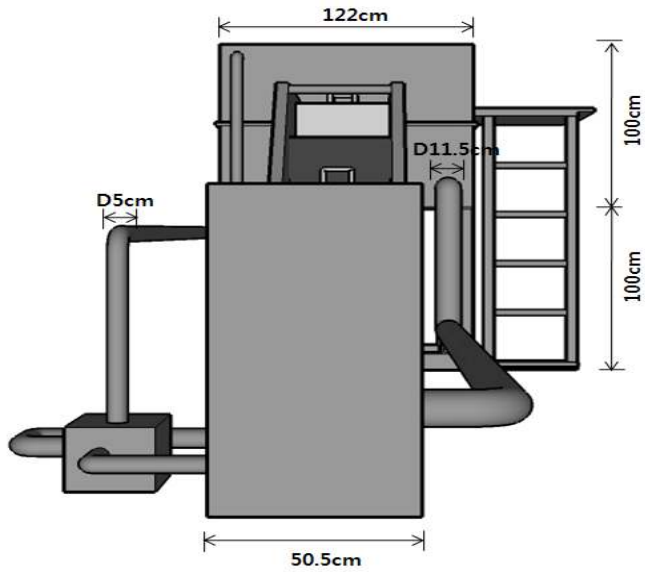
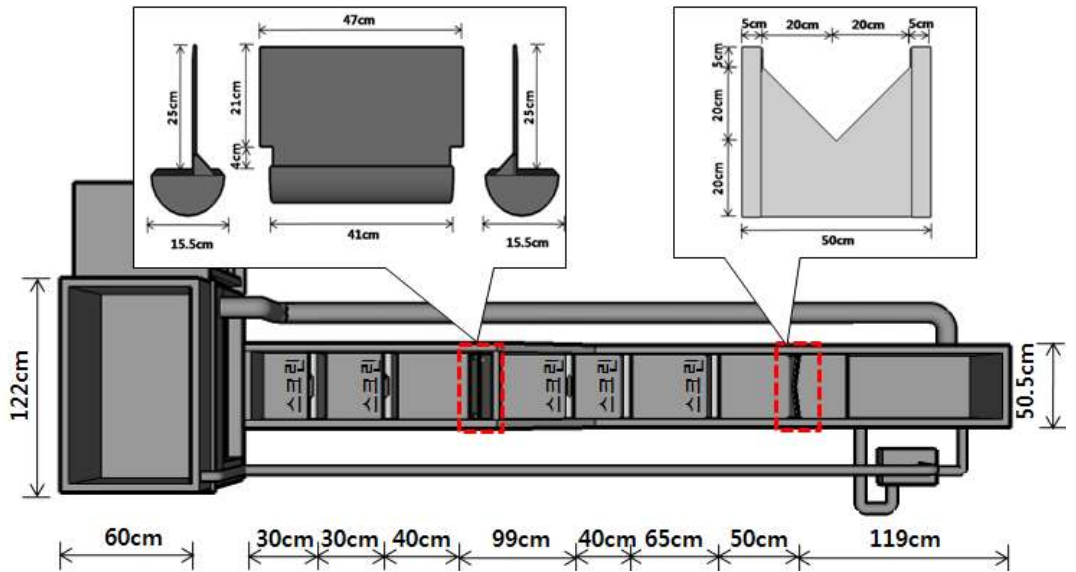


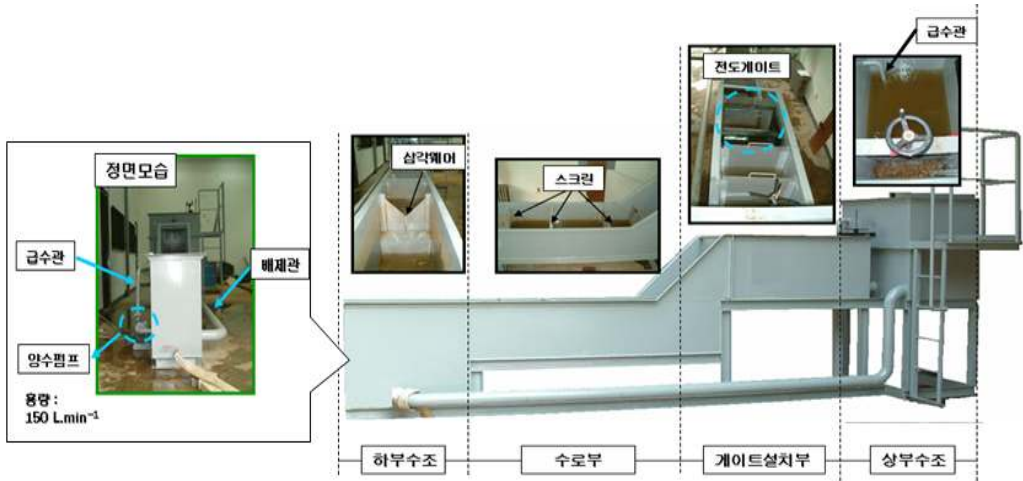
그림 3.6.12. 모형 정면구조 및 제원



<그림 3.6.13> 모형 평면구조 및 제원

나. 모형수로의 주요 구성

모형은 그림 3.6.14와 같이 크게 하부수조, 수로부, 게이트설치부 그리고 상부수조로 구성되어있으며, 상부수조에는 수위조절을 위한 개폐판과 게이트 배면의 유입량을 조절하기 위해 유량 조절밸브가 설치되어있고, 하부수조 측면에는 양수펌프가 설치되어 최대 $150 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 의 유량을 파이프 관을 통해 상부수조로 유입시킬 수 있는 구조로 되어있다. 그리고 게이트 내 유입수나 이후 하부수조로 배출되는 유출수 흐름의 난류화를 최대한 방지시키기 위해 게이트를 중심으로 상·하류에 3런 스크린이 설치되어있으며, 하부수조 직전에 삼각웨어를 설치하여 유출수의 유량측정이 용이하도록 제작되었다.



<그림 3.6.14> 모형의 구성

다. 모형의 운반 및 설치

모형은 부피와 중량이 커서 운반장비와 인력을 이용하여 실험장소로 이동시켰으며, 실험시 물의 이용과 배수가 용이하고 모형의 이동이 원활한 본 연구팀의 관개배수연구실에 설치하였다(그림 3.6.15).

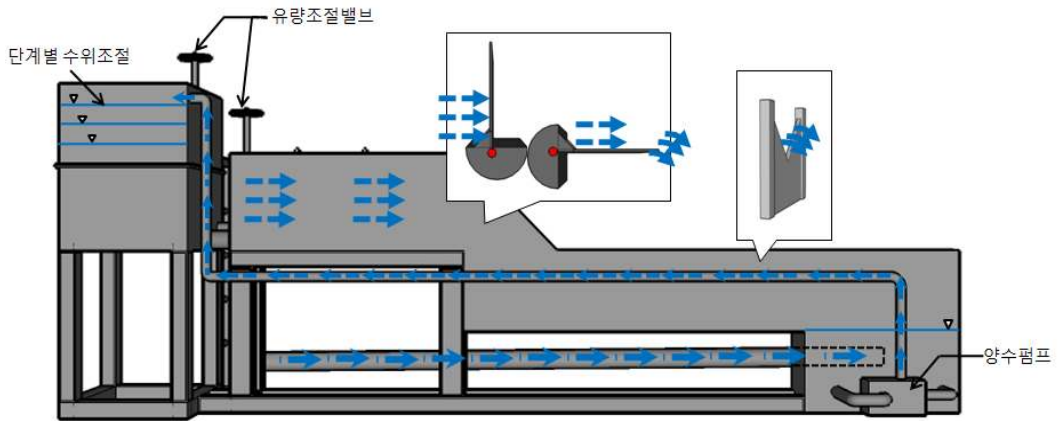


<그림 3.6.15> 모형 운반 및 설치 전경

라. 축척모형실험 방법

무동력 여수토게이트의 구조설계 타당성 및 성능을 파악하기 위하여 수위변화 및 유량변화에 따른 저수지 여수토 게이트의 전도력, 복원력, 구동부 지수성, 흰지 내구성, 방류량, 유량-개도관계 등을 모형축척실험을 통해 알아보았다.

하부수조에서 양수펌프에 의해 상부수조로 유입되는 유량을 상부수조에 설치된 유량조절 밸브를 이용하여 개폐높이를 조작하여 게이트 내로 유입되는 유량을 조절하였으며, 개폐높이는 5단계로 1단계를 최대 개폐높이로 하여 5 단계 까지 나누어 각 단계별 전도게이트 배면수위와 유출량의 변화를 알아보고 밸브 개폐높이에 따른 유입량 결정과 수위차이에 따른 게이트 전도시 수위-유량 관계를 검증하였다. 그리고 상부수조로부터 각 단계별 유입량에 따른 게이트 배면부 수위, 회전각, 전도시간, 토오크 등을 10회 이상 반복·측정하여 그 평균값을 이용하였다. 이 때 2개의 모형게이트 중 수문비 1.32(높이 28cm)인 게이트의 경우에는 게이트 전도시 수로벽면과 그 마찰력으로 인하여 전도 후 복원이 원활하지 않아 측정이 어려웠기 때문에 본 모형축척실험에서는 수문비 1.18(높이 25cm)인 모형게이트에 대한 실험만을 수행하였으나, 실제 현장 적용 시에는 수문의 폭을 크게 확대시킨다면 실내모형축척에서 발생된 이러한 문제는 없을 것으로 판단되었다.



<그림 3.6.16> 모형실험 방법 및 유량조절 방법

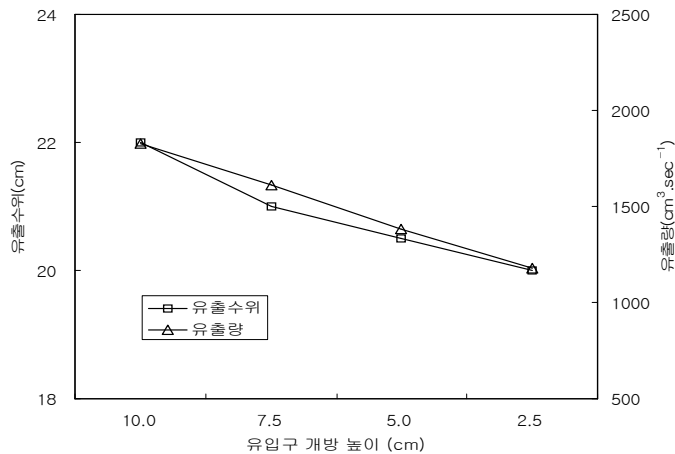
마. 1차 축척모형 실험

○ 유량-개도관계, 방류량

상부수조 내 설치된 유량조절 밸브 개폐높이 따른 하류부 삼각웨어에서 측정된 수위와 유출량을 표 3.6.1에 제시하였다. 상부수조 유입구의 개폐높이가 낮아질수록 하류면 수위와 유출량이 감소되는 것으로 나타났고, 그림 3.6.17에 나타난 바와 같이 밸브 개폐높이에 따라 하류부 유출수와 그 유출량은 거의 선형적인 관계를 나타내었다. 따라서 유입구의 개폐 높이를 조작함으로써 모형 내 유량 조절이 가능한 것을 확인하였다.

<표 3.6.1> 개폐높이에 따른 하류 수위 및 유출량

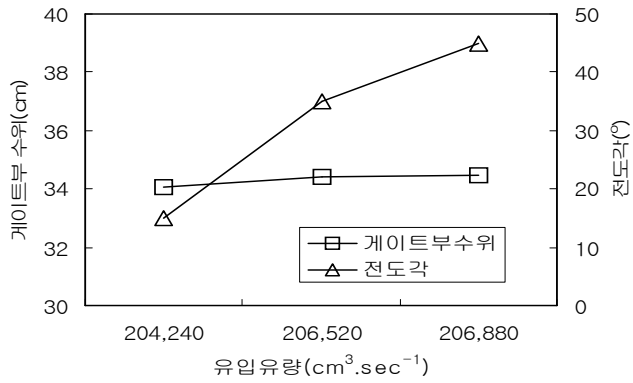
유입구개폐 (cm)	하류면 수위 (cm)	유출량 (cm ³)
10.0	22.0	1830
7.5	21.0	1610
5.0	20.5	1380
2.5	20.0	1180



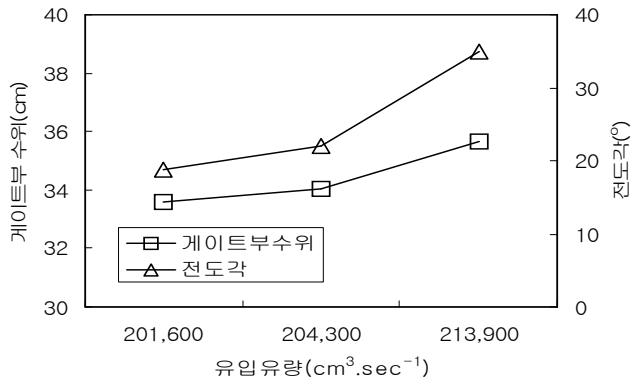
<그림 3.6.17> 유량과 개도관계

○ 상부수조로부터 유입량에 따른 수문 배면부 수위, 전도각

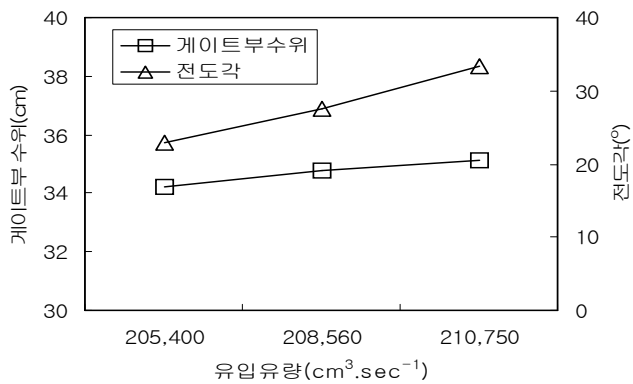
상부수조로부터 유입되는 유량에 비례하여 모형게이트의 전도각은 커지는 것으로 나타났고, 게이트 전도시 수문 하류부의 수위변화도 유입유량에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다(그림 3.6.18).



(a) 상부수조로부터 유입량 1,830 cm³·sec⁻¹



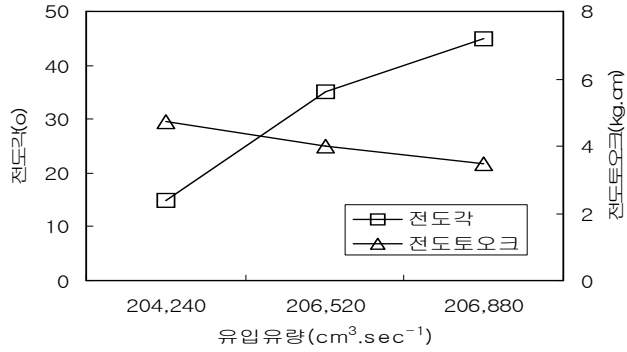
(b) 상부수조로부터 유입량 1,380 cm³·sec⁻¹



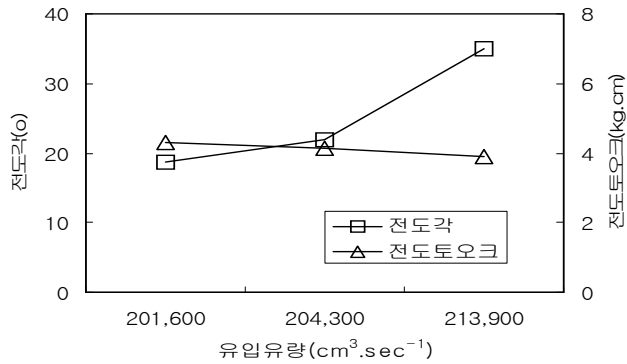
(c) 상부수조로부터 유입량 1,180 cm³·sec⁻¹

<그림 3.6.18> 유입량에 따른 게이트 배면부 수위-회전각 관계

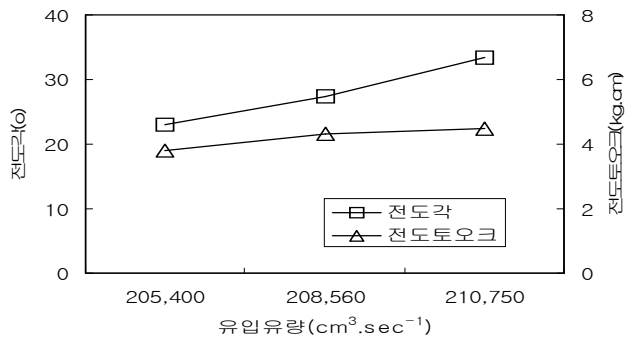
○ 상부수조로부터 유입량에 따른 수문 전도각과 전도 토크
 상부수조로부터 유입량에 따른 수문 배면부 유량과 전도시 전도각과 전도토크 차이는 그림 3.6.19에 나타난 바와 같이 크지 않은 것으로 나타났다.



(a) 상부수조로부터 유입량 $1,830 \text{ cm}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$



(b) 상부수조로부터 유입량 $1,380 \text{ cm}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$

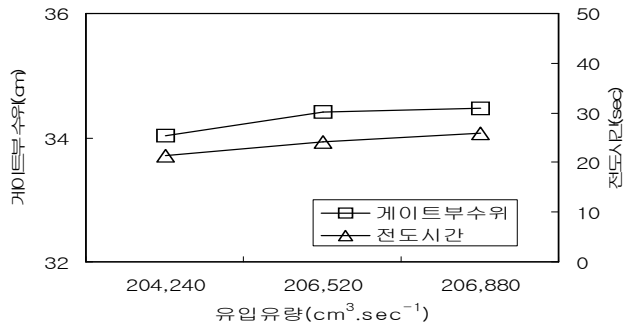


(c) 상부수조로부터 유입량 $1,180 \text{ cm}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$

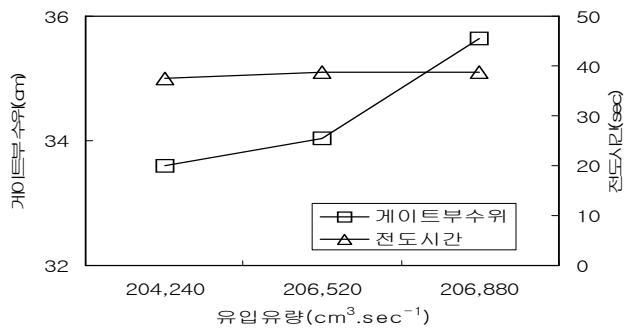
<그림 3.6.19> 유입량에 따른 게이트수위-전도시간 관계

○ 상부수조로부터 유입량에 따른 수문 배면수위와 전도시간

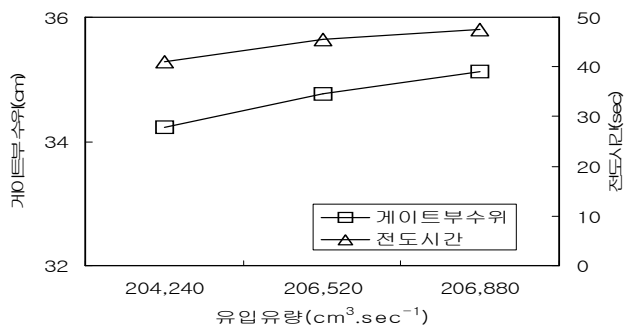
게이트의 전도시간은 게이트 내 유량이 유입되기 시작하여 20~40초 사이로 나타났으며, 유입량에 비례하여 전도시간이 짧아지는 것으로 나타났다. 그러나 전체적으로 유입량에 따른 게이트 전도시간의 차이는 크지 않은 것으로 판단되었다(그림 3.6.20).



(a) 상부수조로부터 유입량 1,830 cm³·sec⁻¹



(b) 상부수조로부터 유입량 1,380 cm³·sec⁻¹



(c) 상부수조로부터 유입량 1,180 cm³·sec⁻¹

<그림 3.6.20> 유입량에 따른 게이트 회전각-토오크 관계

○ 유량별 수위-유량 관계

상부수조 유입구의 개폐 높이를 조작하여 유입유량을 조절하였으며, 개폐높이는 5단계로 1단계를 최대 개폐높이로 하여 그 개폐높이를 단계별로 일정한 높이로 조절하였다. 각 단계별 유입유량을 측정한 결과는 <표 3.6.2>와 같다.

<표 3.6.2> 유입구 개폐 높이 조절에 따른 5단계 유입유량

a단계	유입유량 ($\text{cm}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$)
1단계	1,300
2단계	1,200
3단계	1,100
4단계	910
5단계	720

○ 유량별 전도시 수위, 전도각, 유출수량 측정

상부수조에서 게이트 내로 유입되는 유량에 따른 전도시 하류부의 수위 및 유출량을 비교해본 결과, 전도시 게이트 내 수위는 33cm 내외로 일정하였고, 하류부의 수위도 6.5cm 내외로 일정하였으며 전도각도 전면전도로 일정하게 나타났다. 그리고 하류부의 유출수량은 게이트 내 유량의 유입속도에 의존하는 것으로 나타났다(표 3.6.3).

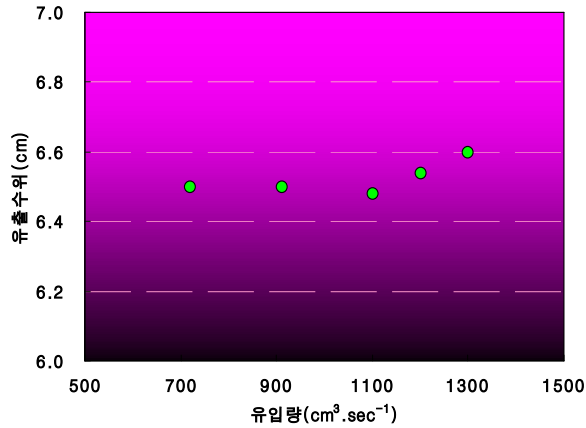
<표 3.6.3> 5단계 유입유량별 하류부 수위 및 유출량 비교

개폐단계	유입유량 ($\text{cm}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$)	수위측정 (cm)	유출유량 ($\text{cm}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$)
1단계	1,300	6.60	1,639.1
2단계	1,200	6.54	1,602.0
3단계	1,100	6.48	1,565.2
4단계	910	6.50	1,577.2
5단계	720	6.50	1,576.9

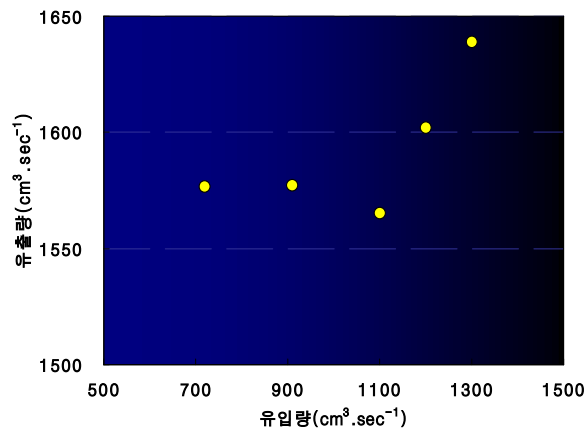
○ 유입량과 하류부 수위 및 유출량

3단계 유입량 이후 상부수조의 유입량이 증가할수록 게이트 전도시 하류부 유출수위

가 급격하게 증가하는 경향이 나타났으며(그림 3.6.21(a)), 이러한 경향은 유출량으로 계산하여 검토해보면 더 뚜렷하게 관찰할 수 있었다(그림 3.6.21(b)). 이에 대해서는 주 관기관에서 검토하여 현장 적용성 실험에서 주의하여 관찰할 필요가 있는 것으로 판단 되었다.



(a) 유입량에 따른 게이트 전도 후 하류부 유출수위



(b) 유입량에 따른 게이트 전도 후 유출량

<그림 3.6.21>. 유입량에 따른 게이트 전도 후 하류부 유출 수위 및 유출량

바. 1차 시험결과 분석

1차년도 연구에 수행된 모형축척실험의 결과를 종합해 보면 다음과 같다.

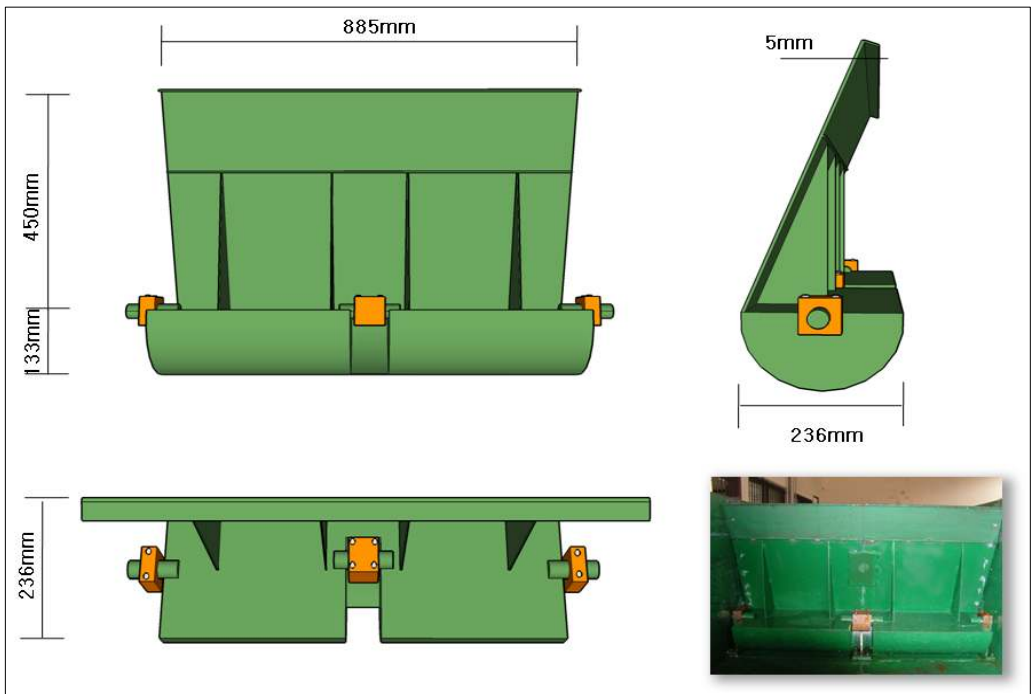
- 전도식 게이트 설치를 위한 모형실험 준비를 위하여 수문비 1.50~0.99 사이의 수문에 대한 평형상태 해석을 실시하였으며, 수문비 1.46이상(수문높이 31cm)에서는 자연전도 그리고 수문비 0.94이하(수문높이 19cm)에서는 전도불가인 것으로 나타났다.
- 따라서 적정 수문비는 1.0~1.45(게이트 높이는 30~20cm)로 판단되었으며, 모형실험에서는 수문 높이 25cm, 28cm 2가지 형식을 적용하기로 결정하였다.
- 적용 모형수문의 구조계산 결과에서는 발생하는 힘과 모멘트의 크기가 재료(강재)의 강도이하로 나타나서 모형의 설계가 적절한 것으로 판단되었으며, 따라서 실제 모형을 제작 설치하여 실험을 실시하였다.
- 그런데 수문 높이 28cm의 경우에는 실제 모형실험에서는 전도시 벽면과 마찰력으로 인하여 전도시 복원이 원활하지 않아 측정이 불가하였으며, 따라서 모형실험에서는 수문 높이 25cm(수문비 1.18))인 모형수문에 대한 실험만을 수행하였다. 그러나 실제 현장적용 시에는 수문의 폭을 크게 확대시키면 이러한 문제점은 없을 것으로 판단되었다.
- 모형실험 결과에서는 유량별 전도시 수위는 35cm 내외로 일정하였으며, 전도각도 전면전도가 짧은 시간 안에 발생하여 전도 게이트의 작동은 원활한 것으로 판단되었다. 그러나 수문전도 시 하류부로 유출되는 유량은 상부에서 유입되는 유속에 따라 증가되는 것으로 나타났으나 모형실험에서는 이에 대한 조절이 용이하지 않았다. 이에 대해서는 2차년도에 실시되는 모형실험에서 고려하여 계속 연구할 필요가 있는 것으로 판단된다

3. 2차 축척모형실험

2차축척모형실험에서는 1차실험에서 평가되었던 문제점들을 보완하여 설계한 모형을 이용하여 동일한 방식으로 여수게이트의 현장 적용성을 축척모형실험을 통해 검토하였다. 또한 본 연구에서 개발중인 무동력 여수토게이트를 현장에 설치할 경우 예상되는 수위상승에 따른 제체의 안정성을 검토하기 위해 경남지역에 위치한 저수지를 선정하여 수위상승에 대한 제체 내의 침투해석과 역학해석을 연계한 연동해석과 함께 사면안정을 검토 하였다.

가. 모형수로의 설계

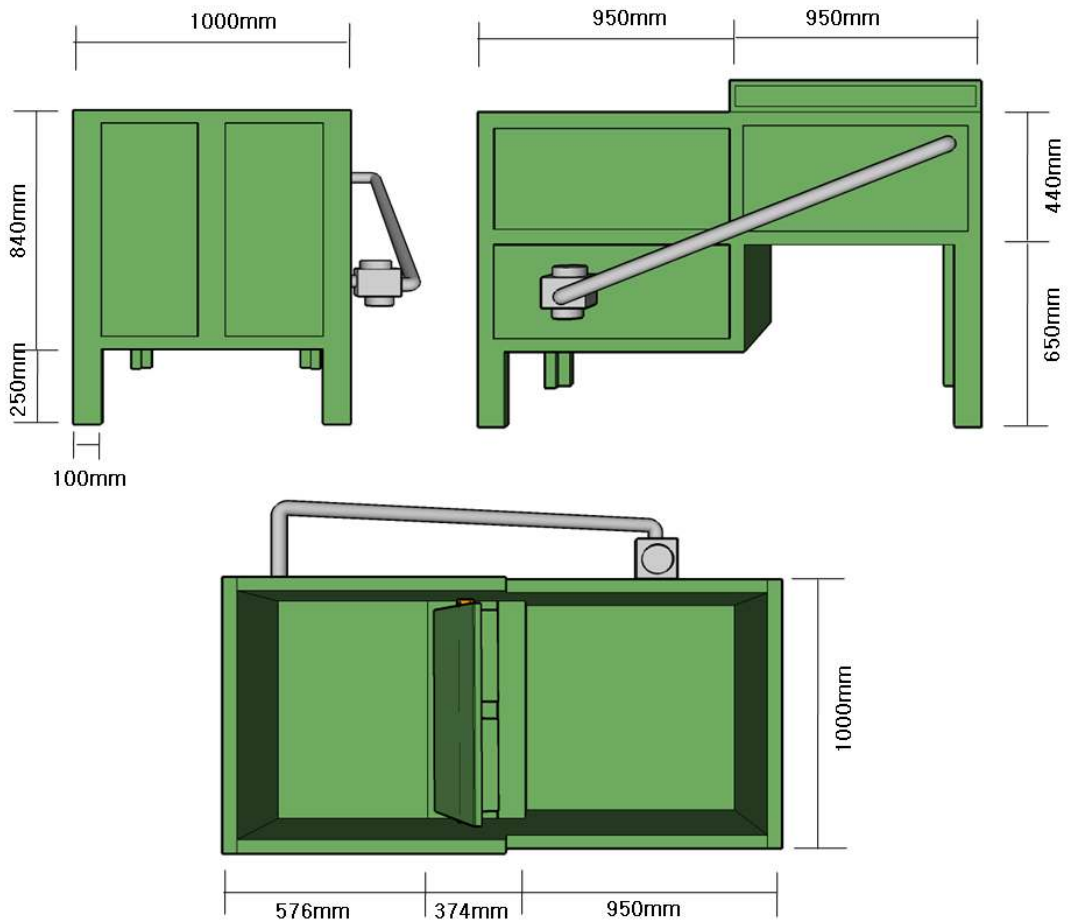
1차년도 실험에서 확인된 문제점을 개선하여 수문측면의 마찰을 줄이기 위해 2련의 무동력 게이트를 이용하여 축척모형실험을 실시하였으며, 게이트는 폭 885mm, 높이 450mm로 <그림 3.6.22>에 나타난 설계단면과 같은 제원으로 설계되었다.



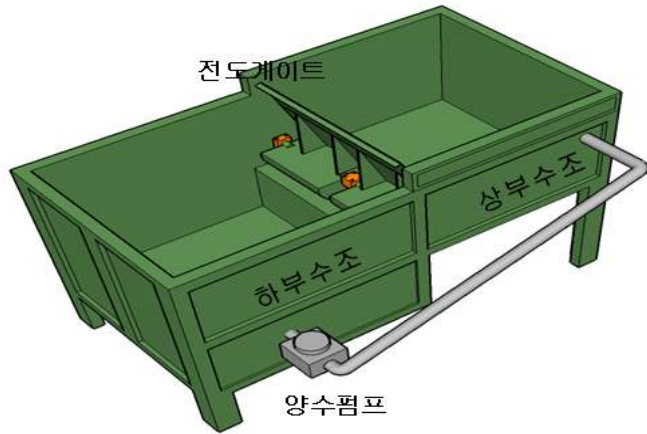
<그림 3.6.22> 모형게이트 제원

1) 모형의 설계 및 주요 구성

전도게이트는 그림 3.6.23(a)에 나타난 봐와 같이 폭 100cm, 높이 109cm, 길이 190cm로 제작된 모형에 설치되었으며, 하부수조 측면에 설치된 양수펌프에 의해 물이 상부수조로 유입되어 모형 내 전도게이트가 전도 및 복원이 이루어지는 구조로 되어있다.



(a) 모형수로 설계단면



(b) 모형수로 구성

<그림 3.6.23> 모형수로 설계단면 및 주요구성

2) 모형운반 및 설치

모형의 운반은 운반장비와 인력을 이용하여 실험장소로 이동시켰으며, 1차년도와 동일하게 물의 이용과 배수가 용이하고 이동 및 조작이 원활한 본 연구팀의 관개배수연구실에서 설치하여 실험을 실시하였다.



<그림 3.6.24> 모형 운반 및 설치 전경

나. 모형실험방법 및 결과

1) 실험방법

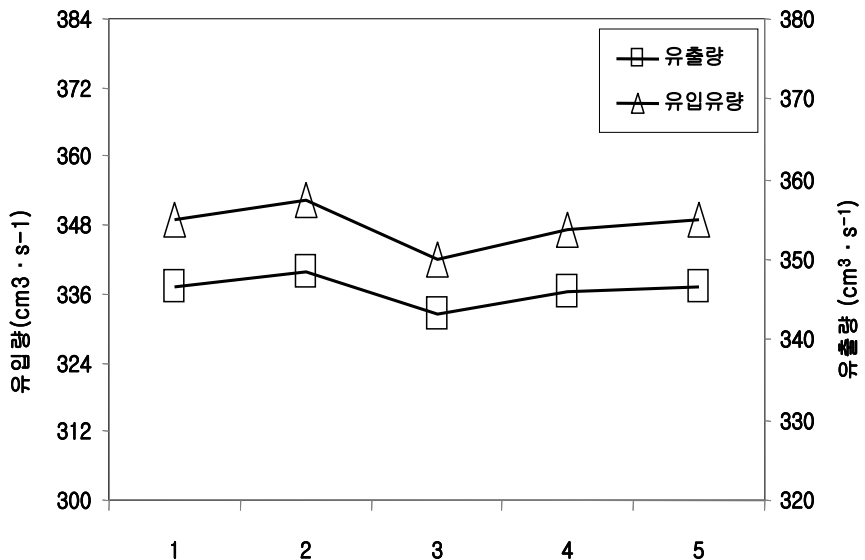
하부수조에서 양수펌프를 이용하여 상부수조로 72 L·min⁻¹의 유량으로 유입시켜 이후 전도게이트 내 유입수위와 유출량의 변화를 알아보고 일정한 유입유량 따른 게이트 전도시간, 회전각, 전도 후 수위 등을 1단계당 10회 이상 반복 측정하여 유입유량에 따른 전도게이트 작동성의 적절유무를 평가하였다. 이때 전도게이트와 수로의 연결부 사이에 약간의 누수가 발생하였으나, 누수량이 미비하여 실험시 문제는 발생하지 않았으며, 그 결과에도 영향이 없을 것으로 예상되었다.

2) 모형 내 유입량 및 유출량 검토

실험기간 동안 하부수조로부터 상부수조로 유입되는 유량은 표 3.6.4에 나타난 바와 같이 일정하게 유지되는 것으로 나타났고, 전도 후 유출유량도 일정하게 나타나 모형 내 물이 하부수조로부터 게이트로 전도될 때까지 원활하게 유하 되는 것으로 예상되었다.

<표 3.6.4> 5단계 유입유량별 하류부 수위 및 유출량 비교

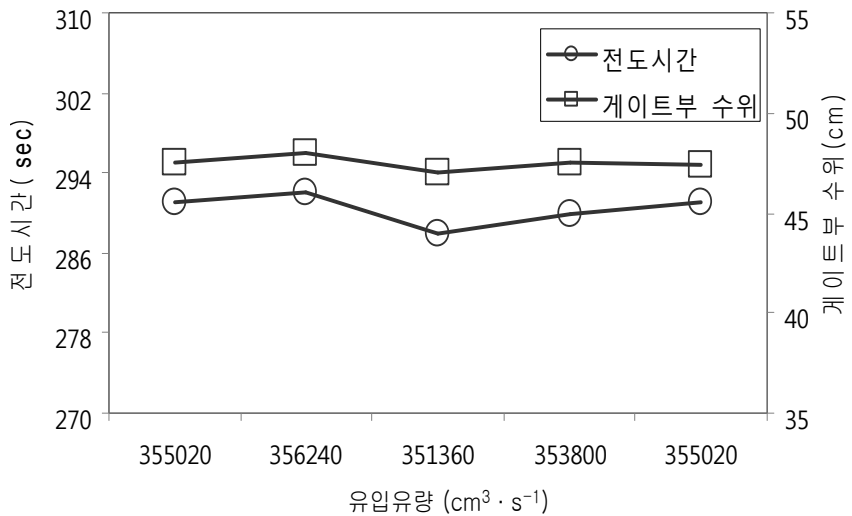
측정	유입유량 (cm ³ .sec ⁻¹)	수위측정 (cm)	유출유량 (cm ³ .sec ⁻¹)
1단계	355020	47.5	337380
2단계	357460	48	340036
3단계	350140	47	332320
4단계	353800	47.5	336304
5단계	355020	47.4	337344



<그림 3.6.25> 모형 내 유입량과 유출량 비교 ($\times 1,000$)

3) 유입량에 따른 게이트 내 수위와 전도시간

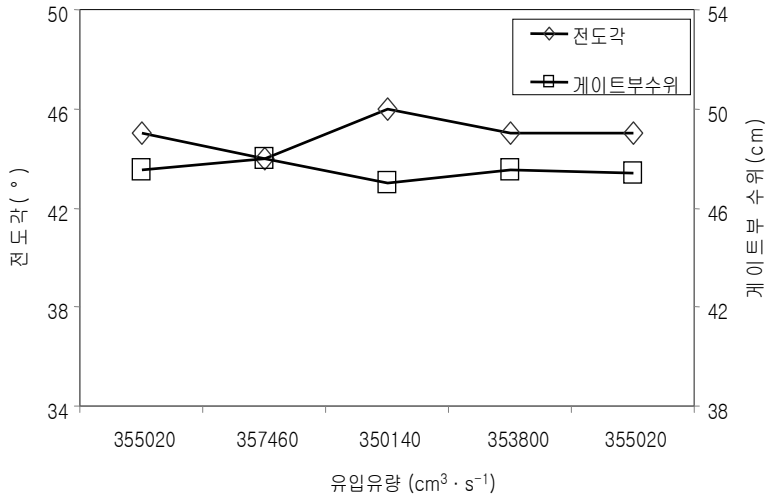
게이트의 전도시간은 게이트 내 유량이 유입되기 시작하여 5분 이내로 나타났고 유입량이 일정하게 유지됨에 따라 전도시간도 일정하게 측정되었으며, 각 측정단계의 유입량에 따른 게이트 전도시간의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.



<그림 3.6.26> 유입유량에 따른 수위-전도시간의 비교

4) 유입량에 따른 게이트 내 수위 및 전도각

상부수조로 유입되는 일정한 유입량에 따라 게이트의 전도각도 42~45도 사이에서 일정하게 유지되는 것으로 나타났고 전도 후 게이트의 복원도 원활하게 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 3.6.27> 유입량에 따른 전도각 (단위 : 천)

다. 2차 실험결과 분석

2차 축척모형실험은 1차년도 축척모형실험에서 얻은 결과들을 검토하여 설계한 모형을 이용하여 무동력 저주지 여수토 게이트의 현장적용성을 검토하였다.

- 실험기간 동안 수로 내 유입유량은 일정하게 유지되는 것으로 나타났으며, 전도 후 유출유량도 일정하게 나타나 모형 내 물이 하부수조로부터 게이트로 전도될 때까지 원활하게 유하 되는 것으로 예상되었다.
- 게이트의 전도시간은 게이트 내 유량이 유입되기 시작하여 5분 이내로 나타났고 유입량이 일정하게 유지됨에 따라 전도시간도 일정하게 측정되었으며, 각 측정단계의 유입량에 따른 게이트 전도시간의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.
- 상부수조로 유입되는 일정한 유입량에 따라 게이트의 전도각도 42~45도 사이에서 일정하게 유지되는 것으로 나타났고 전도 후 게이트의 복원도 원활하게 이루어졌다.

4. 수위상승에 대한 제체의 안정검토

가. 연구대상 농업용저수지 선정

무동력 여수토게이트 설치시 예상되는 수위상승에 대한 안정성을 평가하기 위해 경상남도지역에 공사가 현재 진행되고 있거나 예정되어있는 필댐으로 설계된 5개의 저수지 댐을 선정하였으며(그림 3.6.28), 선정된 저수지 댐에 대해서는 관련기관에서 설계도면을 입수하여 해석단면으로 이용하였다



<그림 3.6.28> 연구에 선정된 저수지의 위치

<표 3.6.5> 선정 저수지들의 위치 및 제원

저수지	위 치	만수위 (EL. m)	고수위 (EL. m)	제정고 (EL. m)
초동지구	경남 밀양시 초동면 신호리	419.6	420.6	422.6
조천지구	경남 밀양시 청도면, 무안면 조천리	195.1	196.1	198.1
진목지구	경남 거창군 남상면 진목리 외	349.7	350.7	352.7
갈전지구	경남 진주시 금산면 갈전리	259.5	260.5	262.5
노상지구	경남 함양군 서상면 대남리	663.1	664.2	666.2

나. 해석개요

침투수력에 따른 제체의 거동변화를 유한요소해석법과 같은 수치해석법을 이용하여 해석하여 검토할 수 있는데, 제체의 안정성을 검토하는데 있어서 이러한 해석이 필요한 경우가 많이 있으며, 본 연구에서 다루고자 하는 댐 운용 중 수위변화에 의해 제체 내 응력 및 변위에 영향을 주는 경우가 그 한 예라 할 수 있다. 이를 각각 단일해석으로 구분하면 침투해석과 역학해석으로 구분할 수 있으며, 저수지 댐 내의 흐름에 대한 문제를 표 3.6.6에 제시된 바와 같이 유한요소 해석을 실시하는데 필요한 정수를 이용하여 해석 후 그 결과를 검토하여 제체 내 수위변동에 따른 거동변화를 예상할 수 있다.

필댐으로 설계된 저수지 댐의 운영상 가장 위험한 경우 중 하나는 만수위시와 수위 급강하직후이다. 만수위시는 정상흐름이 발생되고 수위 급강하 시와 상승 시에는 비정상흐름이 발생되는데, 본 연구에서는 무동력 여수게이트를 설치 시 설계 만수위보다 상승되는 수위에 대한 침투해석 및 역학해석을 수행하여 만수위에서 수위급상승에 따른 제체 거동의 변화를 검토하여, 저수지 댐의 안정성을 평가하였다.

<표 3.6.6> 연동해석을 위한 필요정수 및 해석결과

구 분	침투해석	역학해석
필요정수	물성치 : 투수계수 체적함수비 경계조건 : 수두분포 수두변화	물성치 : 흙의 단위중량 물의 단위중량 구성모델식과 관련된 정수들 경계조건 및 하중조건
결과	속도, 침투수량, 간극수 압분포도, 동수경사	응력, 주응력, 변위, 변형률, 항복률, 간극수압

1) 해석방법 및 고려사항

댐의 거동은 여러 가지 변수가 내재해 있기 때문에 정확한 해석을 한다는 것은 매우 어려운 것으로 인식되어있다. 제체는 그 내부의 침투수에 대해 안정하도록 설계기준에

서 명시되어 있으며, 본 연구에서 수행하고자 하는 침투해석 및 역학해석을 통해 침투수에 대한 제체의 영향을 검토할 수 있다. 특히 선정된 5개의 저수지 댐은 투수층과 불투수층 등 2가지 이상의 층으로 이루어져 있어 각 층들의 물성 차이로 인해 댐거동에 영향을 끼치기 때문에 침투수를 고려한 안정성 검토에 더욱 중점을 둘 필요가 있을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 사용이 비교적 쉽고 침투수력을 고려하여 역학해석이 가능한 유한요소해석 프로그램인 VisualFEA을 이용하여 해석하였고, 각 수위에 따른 사면안정해석도 VisualFEA를 이용하여 검토하였으며, 선정된 5개의 저수지 댐에 대해서는 다음과 같은 사항들을 고려하여 해석을 실시하였다.

- 무동력 여수토게이트 설치시 예상되는 수위상승에 대한 댐 내의 침투수력을 고려함
- 무동력 여수토게이트 설치시 예상되는 수위상승높이는 설계만수위에서 30cm이며, 이후 60cm 상승시까지 함께 고려하여 해석함
- 무동력 여수토게이트 설치시 수위상승시간의 변화에 따른 제체 거동의 변화는 만수위, 만수위+30cm/3h, 만수위+60cm/6h 으로 가정하여 해석함
- 5개 저수지댐에 대하여 투수층과 불투수층의 물성치는 VisualFEA에서 추천하는 값을 사용하여 동일하게 적용함
- 댐의 단면 형상, 지지상태, 하중조건을 일정한 것으로 고려하여 평면 변형률의 문제로 해석함
- 침투해석에서 나타난 침투수력과 댐의 자중만이 역학해석에서 물체력으로 작용하는 것으로 가정하였으며, 탄성-완전소성모델을 Mohr-Coulomb 항복기준을 따라 적용함
- 사면안정해석은 활동면을 원호로 가정하여 Bishop법을 적용함

2) 해석에 사용된 필요정수

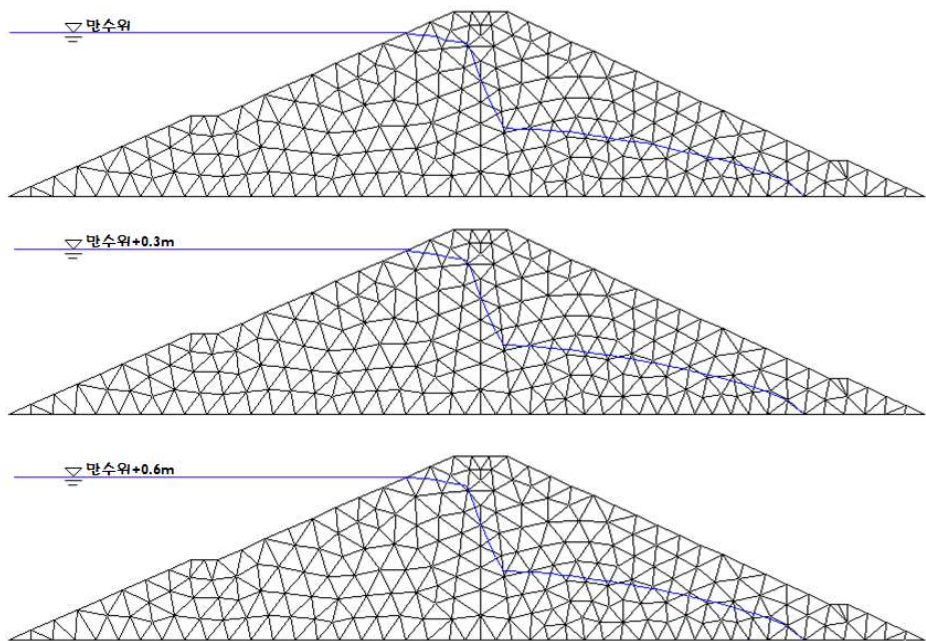
수위변동에 따른 저수지 댐 제체 내 침투해석 및 역학해석을 실시하기 위해 적용한 투수층과 불투수층의 물성치 및 경계조건은 표 3.6.7과 같다. 이때 5개 저수지 댐의 불투수층과 투수층에 대한 물성치를 모두 동일하게 가정하여 적용하였기 때문에 해석결과가 실제 저수지 댐과 차이를 낼 수 있으나 무동력 여수토게이트 설치시 발생하는 수위변동에 의한 제체 거동의 변화경향을 알아 보는데는 무리가 없을 것으로 판단되었다.

<표 3.6.7> 침투해석 및 역학해석에 사용된 입력정수

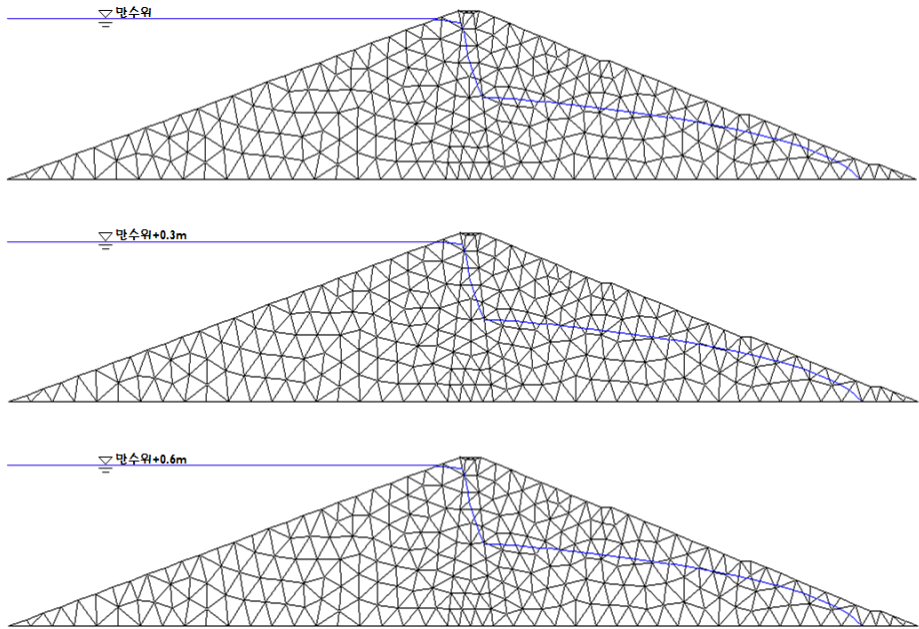
필요정수	투수층	불투수층
투수계수 $k(\text{m/sec})$	$1.0\text{e}-04\text{m/s}$	$2.7\text{e}-07\text{m/s}$
탄성계수 $E(\text{tf/m}^2)$	2800	1000
프와송비 ν	0.3	0.4
점착력 $c(\text{tf/m}^2)$	2	8
내부마찰각 ϕ	35	10
단위중량 $w(\text{tf/m}^3)$	2.2	2.0
토압계수 k_0	0.4	0.5
모관수두 $H'(\text{m})$	0	3

다. 해석단면 결과

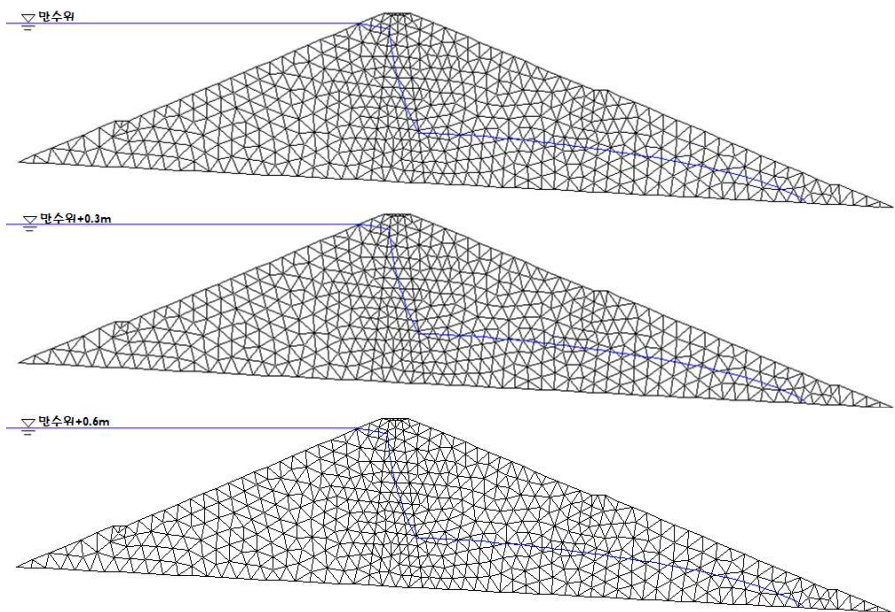
저수지 댐 설계도면을 이용하여 제작된 그림 3.6.29와 같은 해석단면으로 수위상승에 대한 체체의 침투해석 및 역학해석을 실시하여 안정성을 평가하였으며, 해석단면만을 검토할 때 수위가 만수위를 기준으로 0.6m까지 상승하여도 댐을 월류할 가능성은 없는 것으로 확인되었다.



(a) 초동지구 해석단면

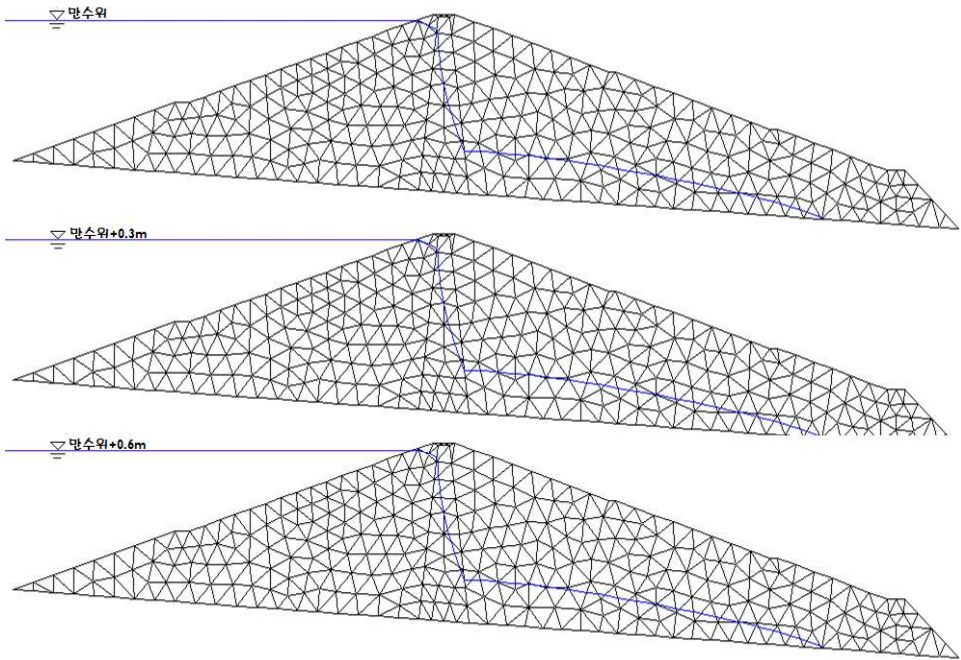


(b) 조천지구 해석단면

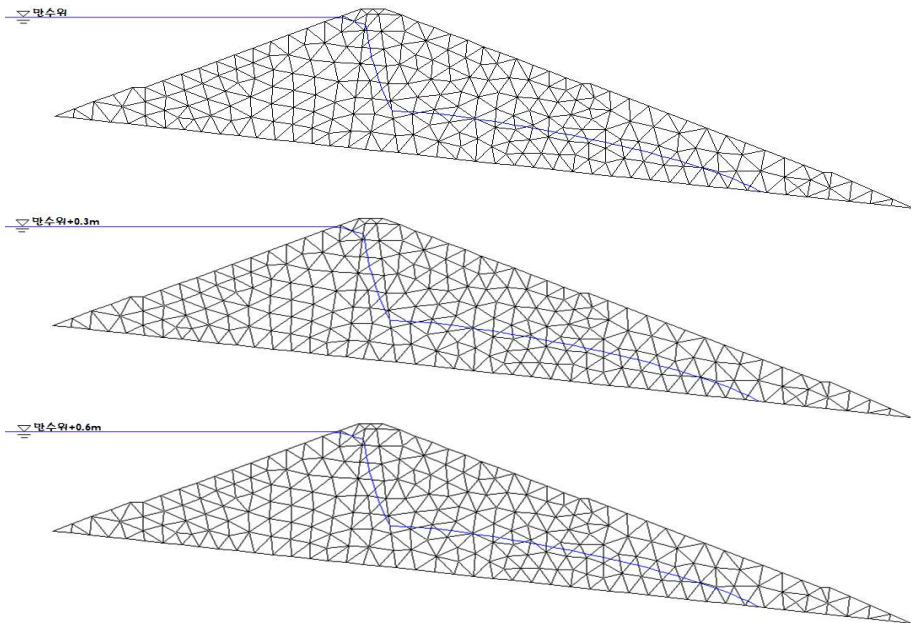


(c) 진목지구 해석단면

<그림 3.6.29> 저수지 댐의 해석단면(계속)



(d) 갈전지구 해석단면



(e) 노상지구 해석단면

<그림 3.6.29> 저수지 댐의 해석단면(계속)

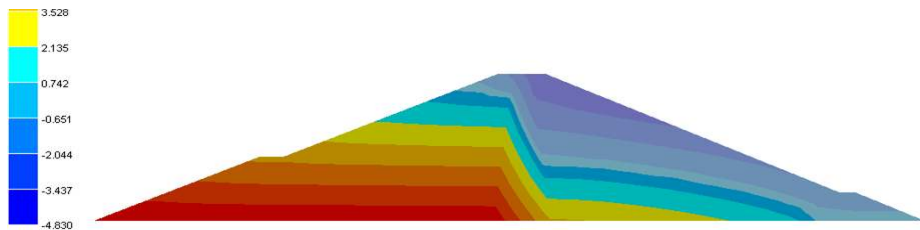
라. 침투수력에 따른 제체 내 거동변화

1) 수위상승에 따른 간극수압 분석

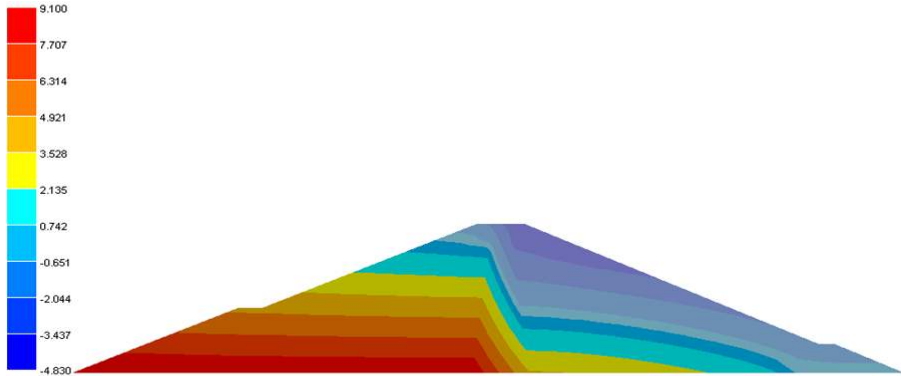
댐 코어 내 발생하는 간극수압은 유효응력과 전단응력 등을 감소시켜 댐에 큰 영향을 끼치기 때문에 간극수압의 측정과 분석은 댐의 안정성을 평가하는데 매우 중요한 검토사항이다. 따라서 본 연구에서는 무동력 여수토 게이트를 설치시 예상되는 수위상승에 대한 간극수압 분석을 연구대상 저수지를 대상으로 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

① 초동지구

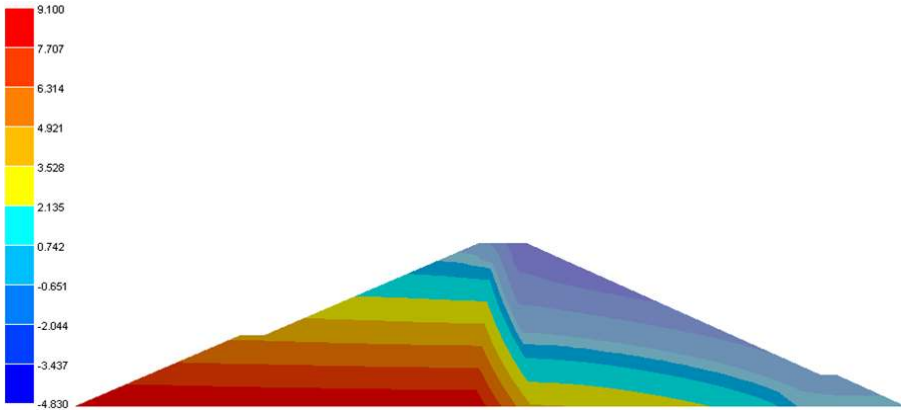
초동지구의 댐내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 간극수압 분포도를 그림 3.6.30에 나타내었고, 간극수압의 영향에 주의 깊게 고려해야 하는 댐 코어에 대해서는 상단부, 중간부 그리고 하단부 지점으로 나누어 수위상승에 따른 간극수압 분석값을 그림 3.6.31에 나타내었다. 해석 결과 만수위일때 댐내 간극수압은 하류측보다 상류측이 높은 것으로 나타났고, 또한 하단부로 내려갈수록 높은 것으로 나타나 일반적인 댐 내 간극수압의 특성과 유사한 경향을 보였다. 만수위에서 수위상승에 따른 간극수압 분포도를 비교해 볼 때 간극수압의 변화는 거의 나타나지 않았으며(그림 3.6.30), 댐 코어 내 가장 큰 간극수압을 나타낸 하단부와 중간부는 수위상승에 따라 변화가 거의 없는 것으로 나타났고 상단부의 경우는 만수위에서 수위가 높아질수록 다소 간극수압이 증가하는 경향이 나타났으나 만수위일 때 상단부의 간극수압 값과 수위상승에 따른 그 증가값이 작기 때문에, 댐의 안정성에 있어서 댐 코어 내 증가하는 간극수압의 영향은 거의 없을 것으로 예상되었다(그림 3.6.31).



(a) 만수위시 간극수압 분포도

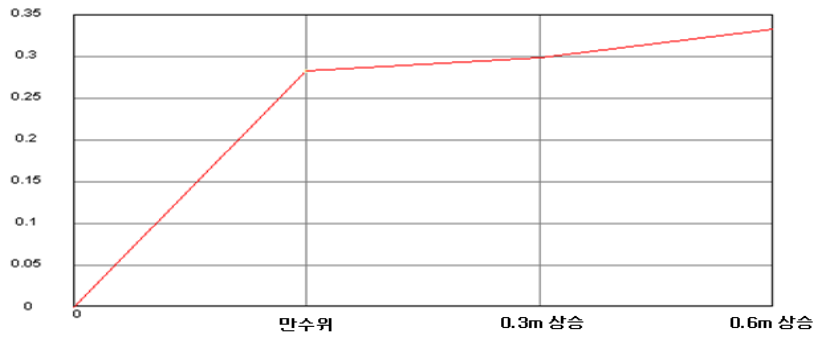


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 간극수압 분포도

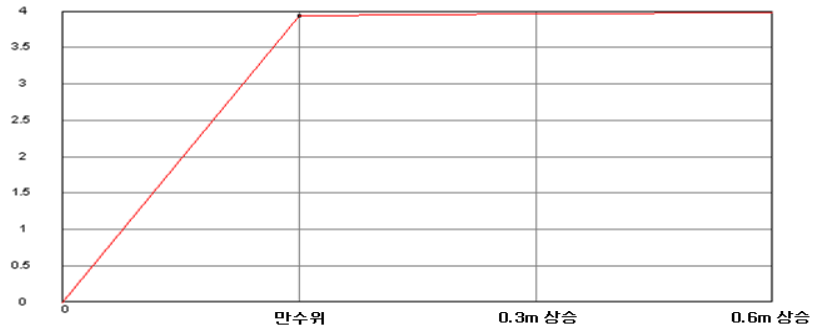


(c) 만수위에서 0.6m 상승시 간극수압 분포도

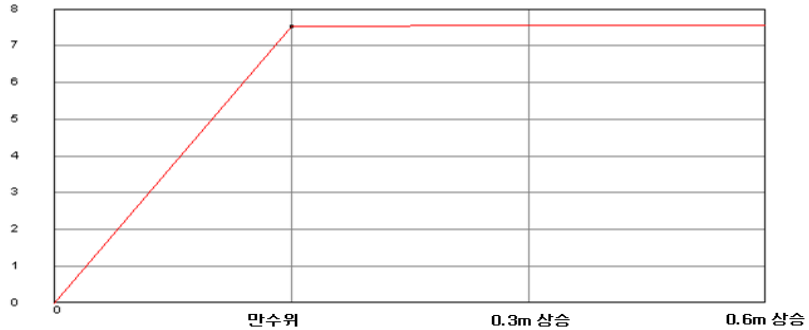
<그림 3.6.30> 초동지구 저수지 댐의 간극수압 분포도



(a) 댐 코어 상단부 간극수압



(b) 댐 코어 중간부 간극수압



(c) 댐 코어 하단부 간극수압

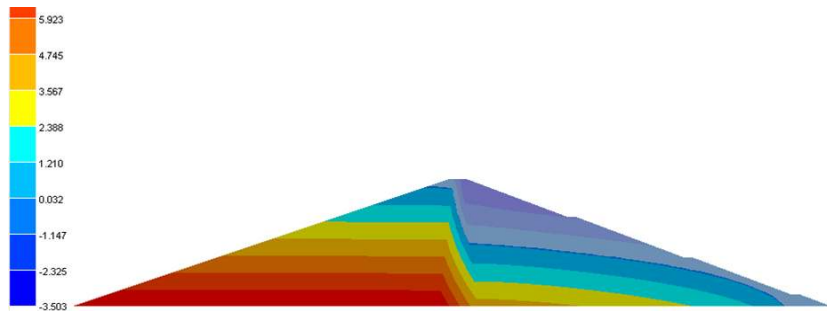
<그림 3.6.31> 수위상승에 따른 상류측 간극수압(초동지구)

② 조천지구

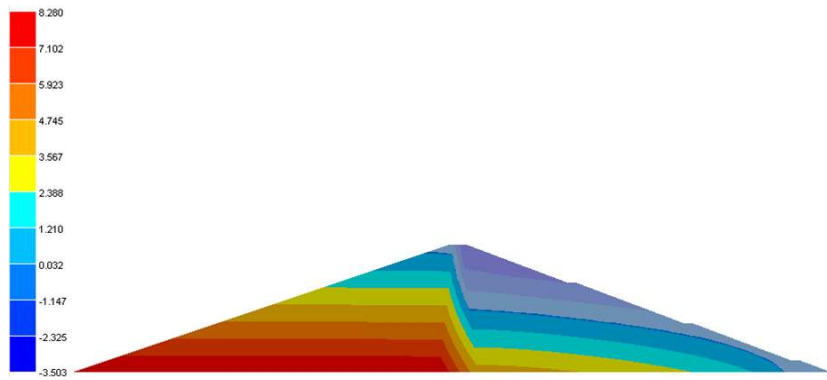
조천지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 간극수압분포도를 그림 3.6.32에 나타내었고, 간극수압의 영향을 주위깊게 관찰할 필요가 있는 댐 코어 에 대해서는 상단부, 중간부 그리고 하단부 지점으로 나누어 수위상승에 따른 간극수압분석값을 그림 3.6.33에 나타내었다.

해석 결과 만수위 일 때 간극수압은 하류보다 상류가 높은 것으로 나타났고, 또한 하단부로 내려갈수록 높은 것으로 나타나 일반적인 댐 내 간극수압의 특성과 유사한 경향을 보였다. 각 간극수압 분포도를 비교해 볼 때 수위상승에 따른 간극수압의 변화는 거의 나타나지 않았으며(그림 3.6.32), 댐 코어 내 하단부, 중간부 그리고 상단부의 간극수압값을 각각 비교해 보아도 수위상승에 따른 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 댐의 안정성에 있어서 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승에 따른

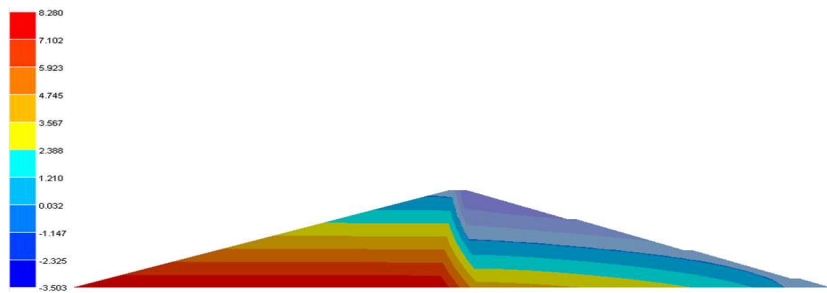
간극수압의 영향은 없을 것으로 예상되었다(그림 3.6.33).



(a) 만수위시 간극수압 분포도

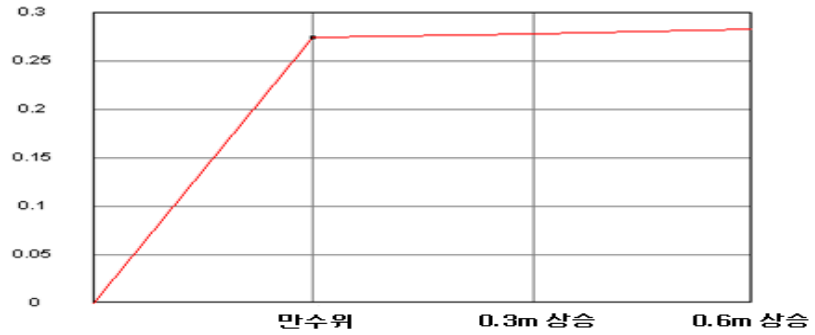


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 간극수압 분포도

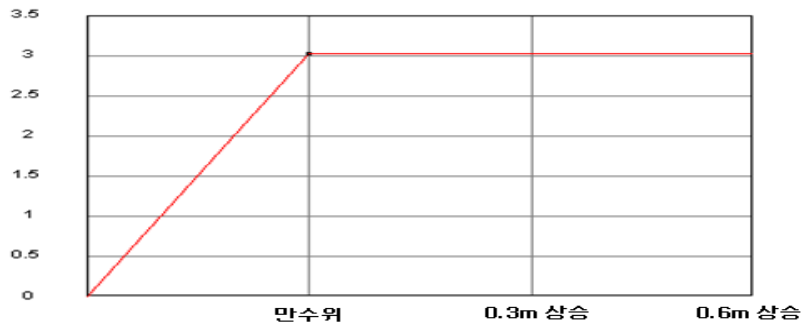


(c) 만수위에서 0.6m 상승시 간극수압 분포도

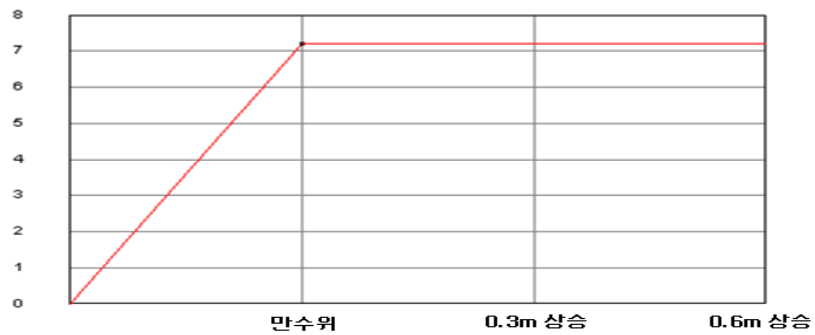
<그림 3.6.32> 조천지구 저수지 댐의 간극수압 분포도



(a) 댐 코어 상단부 간극수압



(b) 댐 코어 중간부 간극수압



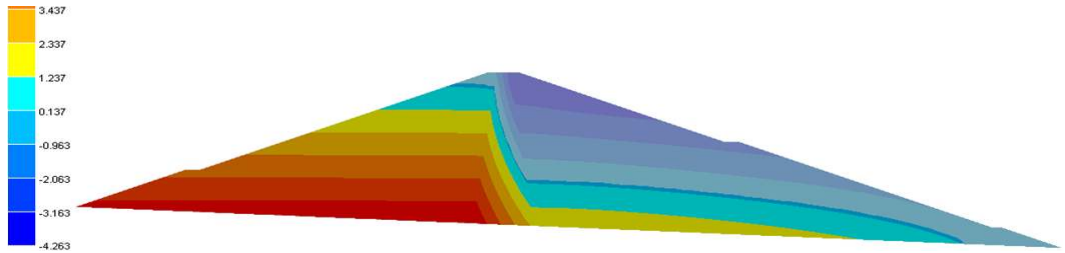
(c) 댐 코어 하단부 간극수압

<그림 3.6.33> 수위상승에 따른 상류측 간극수압(조천지구)

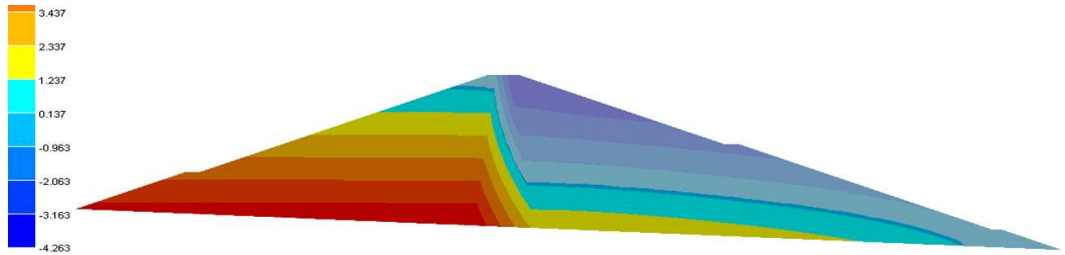
③ 진목지구

진목지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 간극수압분포도를 그림 3.6.34에 나타내었고, 간극수압의 영향을 주위깊게 관찰할 필요가 있는 댐 코어 에 대해서는 상단부, 중간부 그리고 하단부 지점으로 나누어 수위상승에 따른 간극수압분석값을 그림 3.6.35에 나타내었다.

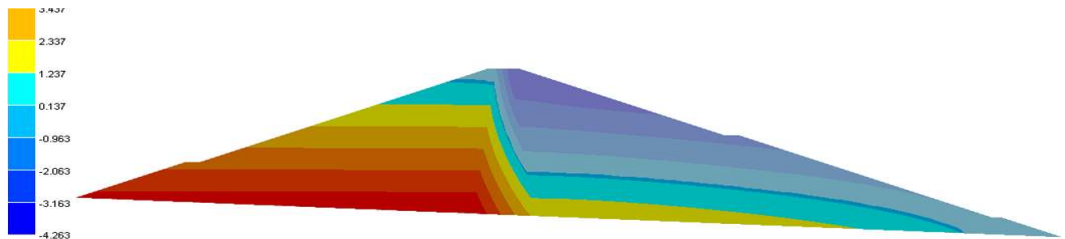
해석결과, 앞서 수행한 저수지댐들과 동일하게 수위변동에 대한 간극수압의 변화는 거의 없는 것으로 나타나 댐의 안정성에 있어서 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승에 따른 간극수압의 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 간극수압 분포도

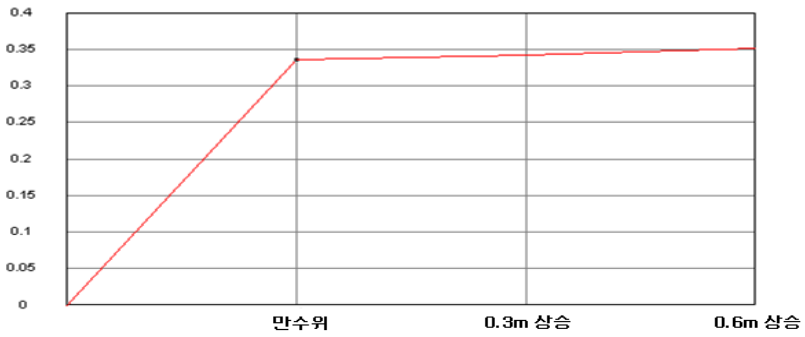


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 간극수압 분포도

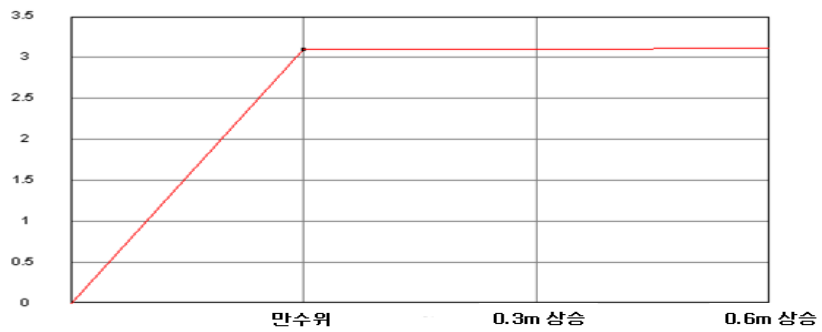


(c) 만수위에서 0.6m 상승시 간극수압 분포도

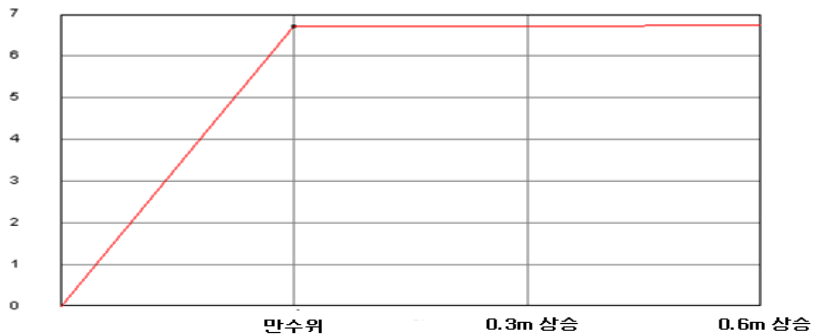
<그림 3.6.34> 진목지구 저수지 댐의 간극수압 분포도



(a) 댐 코어 상단부 간극수압



(b) 댐 코어 중간부 간극수압



(c) 댐 코어 하단부 간극수압

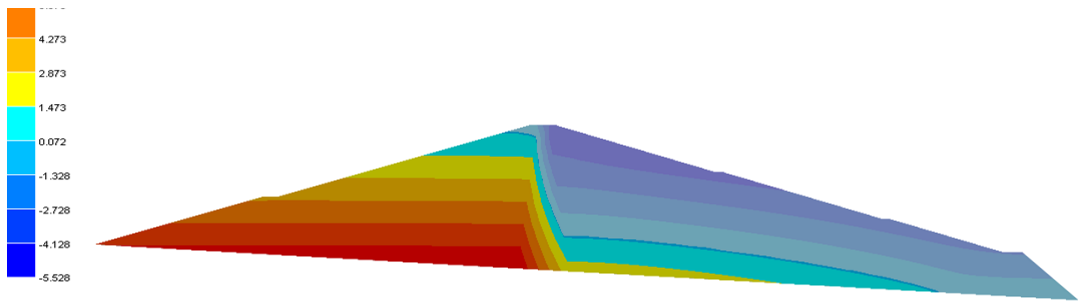
<그림 3.6.35> 수위상승에 따른 상류측 간극수압(진목지구)

④ 갈전지구

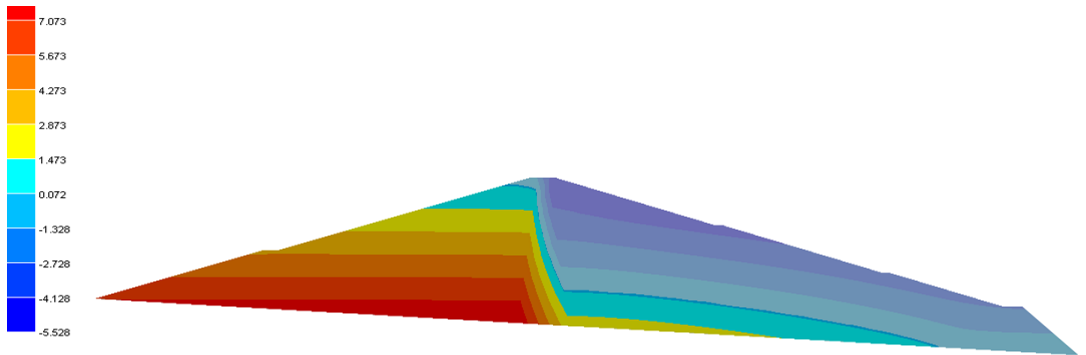
진목지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 간극수압 분포도를 그림 3.6.36에 나타내었고, 간극수압의 영향을 주위 깊게 관찰할 필요가 있는 댐 코어에 대해서는 상단부, 중간부 그리고 하단부 지점으로

나누어 수위상승에 따른 간극수압 분석값을 그림 3.6.37에 나타내었다.

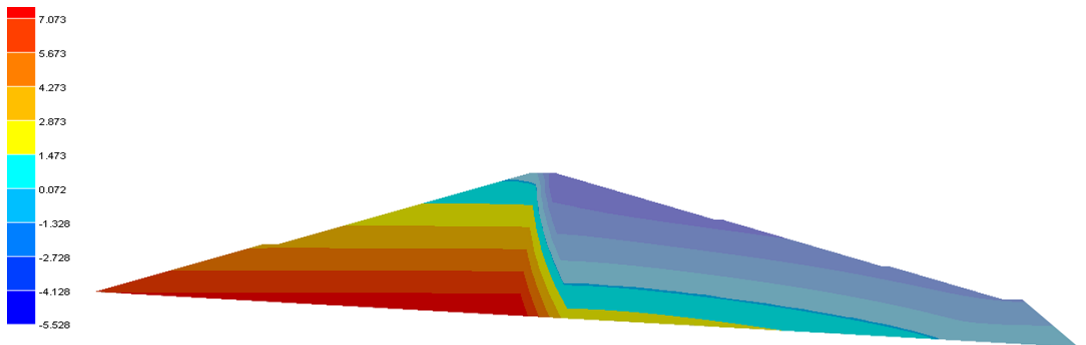
해석한 결과 앞서 수행한 저수지 댐들의 결과와 동일하게 수위변동에 대한 간극수압의 변화는 거의 없는 것으로 나타나 댐의 안정성에 있어서 예상되는 수위상승에 따른 간극수압의 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 간극수압 분포도

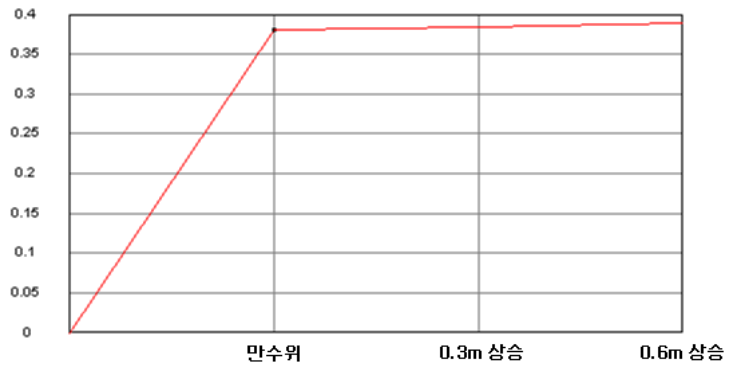


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 간극수압 분포도

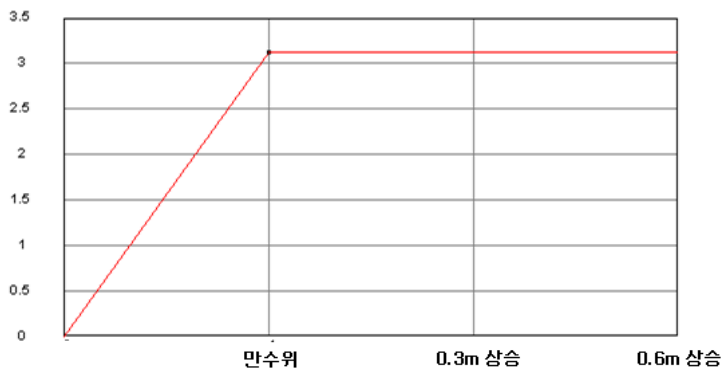


(c) 만수위에서 0.6m 상승시 간극수압 분포도

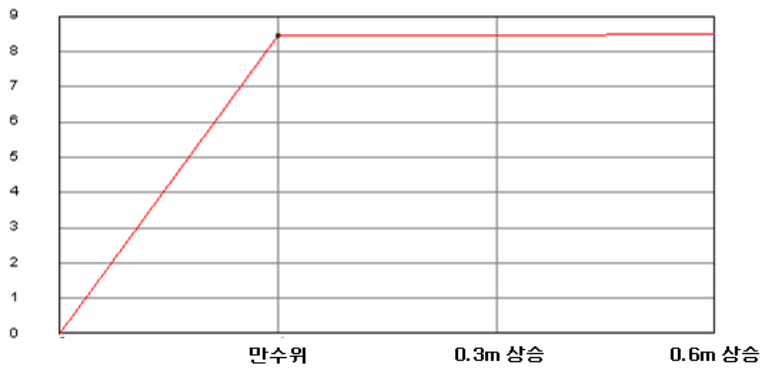
<그림 3.6.36> 갈전지구 저수지 댐의 간극수압 분포도



(a) 댐 코어 상단부 간극수압



(b) 댐 코어 중간부 간극수압



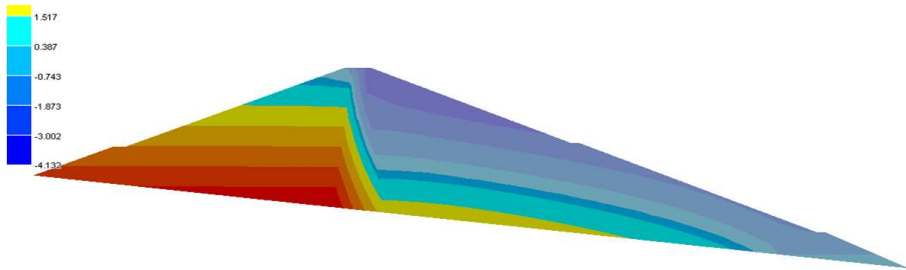
(c) 댐 코어 하단부 간극수압

<그림 3.6.37> 수위상승에 따른 상류측 간극수압(갈전지구)

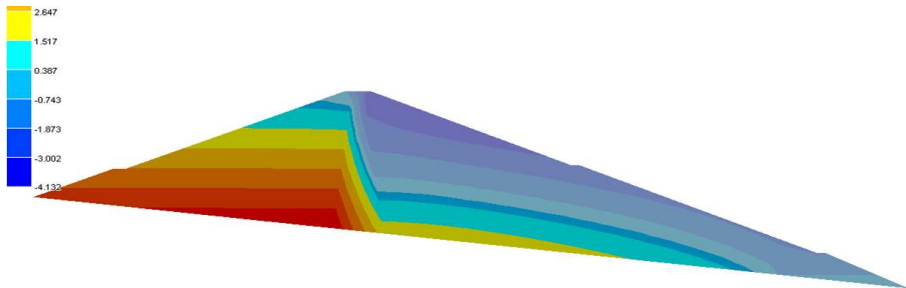
⑤ 노상지구

노상지구의 댐내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 간극수압분포도를 그림 3.6.38에 나타내었고, 간극수압의 영향을 주위깊게 관찰할 필요가 있는 댐 코어 에 대해서는 상단부, 중간부 그리고 하단부 지점으로 나누어 수위상승에 따른 간극수압분석값을 그림 3.6.39에 나타내었다.

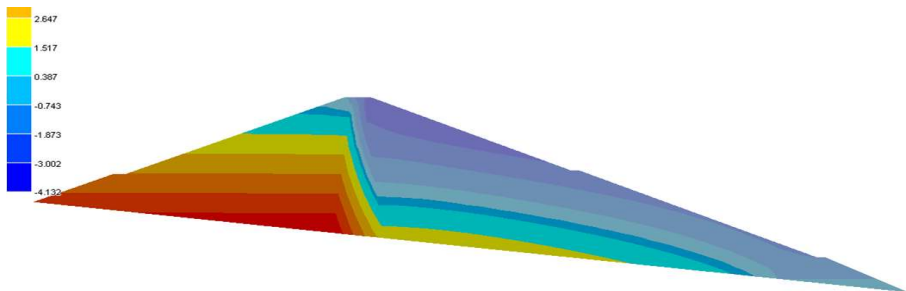
해석결과, 앞서 수행했던 다른 저수지 댐과 동일하게 수위변동에 대한 간극수압의 변화는 거의 없는 것으로 나타나 댐의 안정성에 있어서 예상되는 수위상승에 따른 간극수압의 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 간극수압 분포도

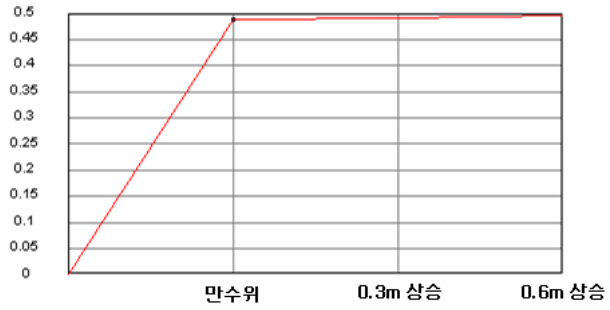


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 간극수압 분포도

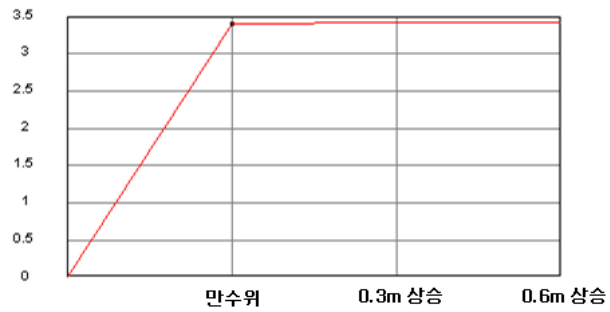


(c) 만수위에서 0.3m 상승시 간극수압 분포도

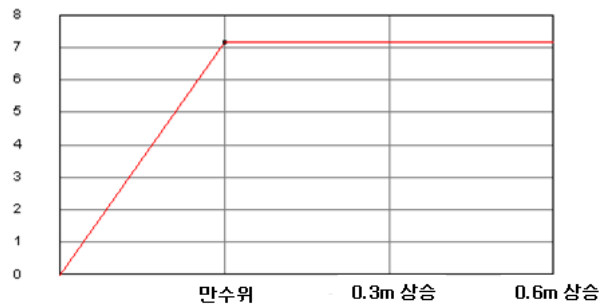
<그림 3.6.38> 노상지구 저수지 댐의 간극수압 분포도



(a) 댐 코어 상단부 간극수압



(b) 댐 코어 중간부 간극수압



(c) 댐 코어 하단부 간극수압

<그림 3.6.39> 수위상승에 따른 상류측
간극수압(노상지구)

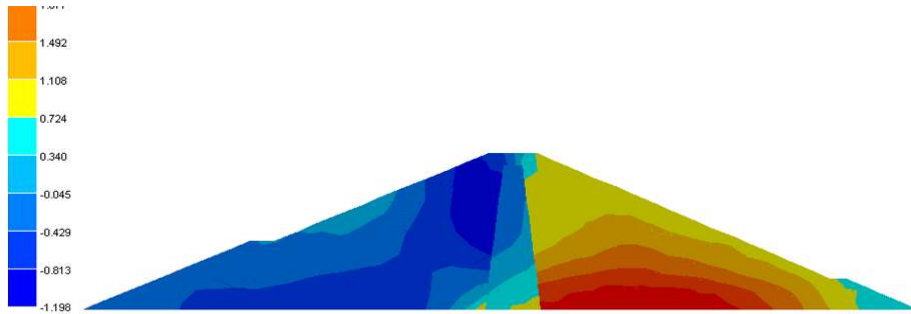
2) 수위변동에 따른 각 저수지 댐의 전단변형을

① 초동지구

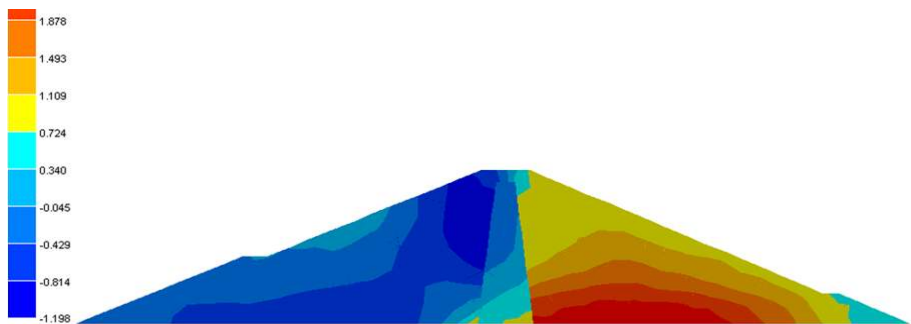
초동지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 전단응력도를 그림 3.6.40에 나타내었고, 댐 내 전단응력이 가장 낮은 영역인 댐 상류측 상단부분과 전단응력이 높은 영역인 하류측 하단부분 절점의 전단응력값을 그림 3.6.41에 나타내었다.

해석결과 만수위시 전단응력은 상류측 특히, 상단부에서 가장 낮은 것으로 나타났고, 하류측 하단부로 갈수록 전단응력이 분포가 집중되는 것으로 나타나 일반적인 만수위시 댐 내의 전단응력 분포와 유사한 경향을 나타내었다. 만수위 이후 수위상승에 따른 전단응력도를 비교해 볼 때 댐 내 전단응력의 변화는 거의 나타나지 않았으며(그림 3.6.40), 댐 상류측 상단부분과 하류측 하단부분의 전단응력값도 수위변동에 따라 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(그림 3.6.41).

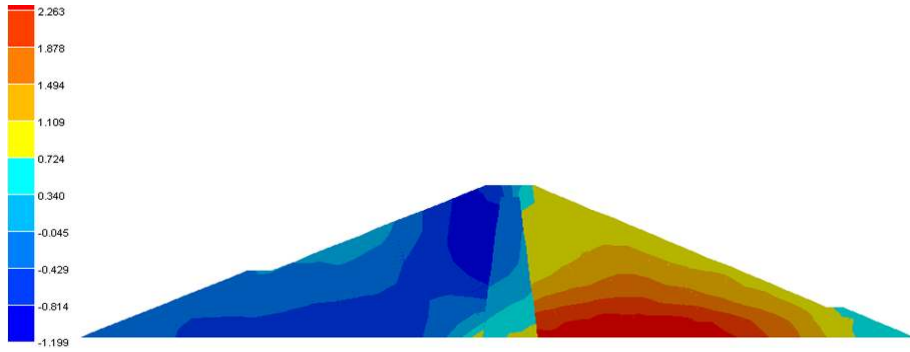
따라서 댐 내 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승으로 인한 전단응력의 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 전단응력도

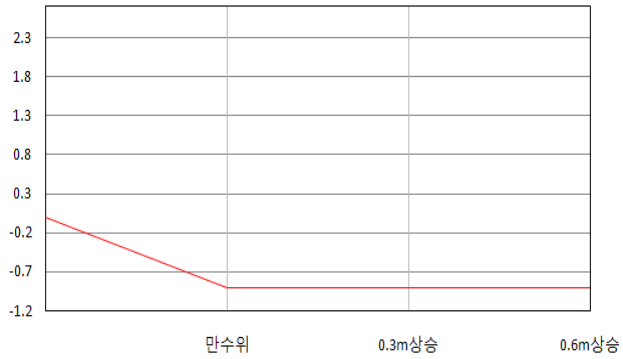


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 전단응력도

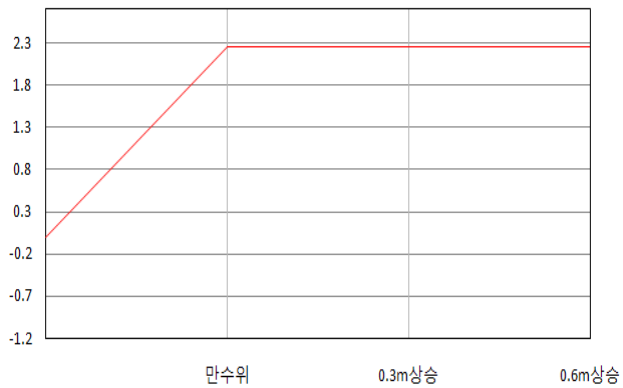


(C) 만수위에서 0.6m 상승시 전단응력도

<그림 3.6.40> 초동지구 저수지 댐의 전단응력도



(a) 상류측 전단응력변화



(b) 하류측 전단응력변화

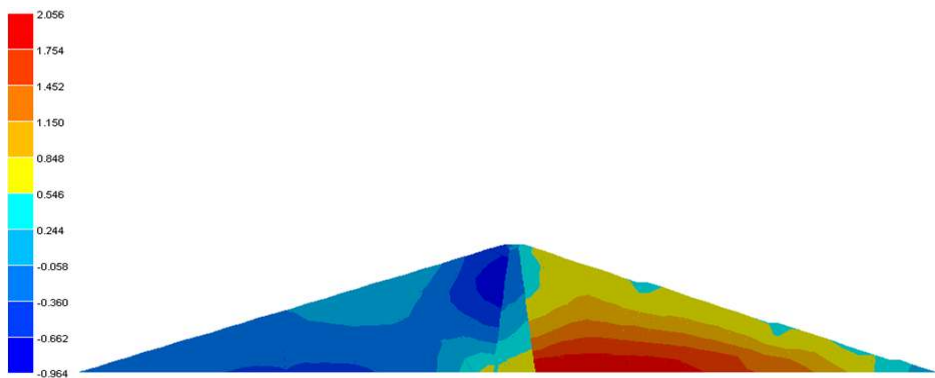
<그림 3.6.41> 수위상승에 따른 전단응력변화(초동지구)

② 조천지구

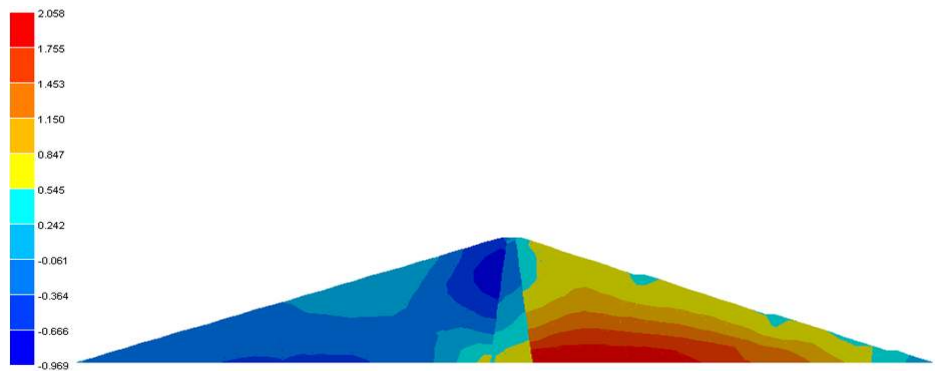
조천지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 전단응력도를 그림 3.6.42에 나타내었고, 댐 내 전단응력이 가장 낮게 나타난 댐 상류측 상단부분과 전단응력의 분포가 집중된 하류측 하단부분 절점의 전단응력값을 그림 3.6.43에 나타내었다.

해석결과 댐 내 수위에 따른 전단응력의 변화는 거의 나타나지 않았으며(그림 3.6.42), 댐 상류측 상단부분과 하류측 하단부분의 전단응력값도 수위변동에 따라 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(그림 3.6.43).

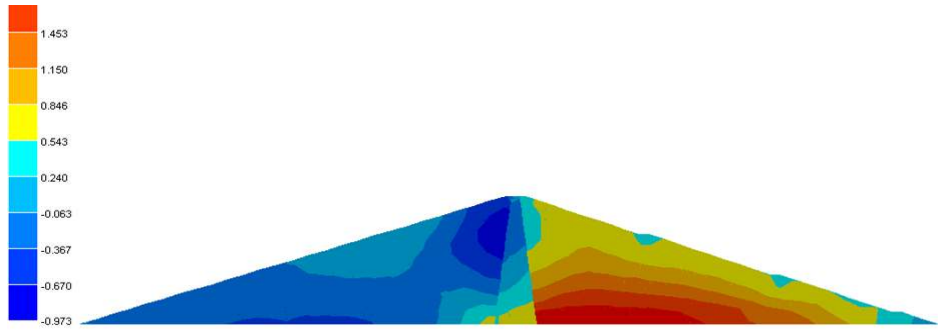
따라서 댐 내 예상되는 수위상승으로 인한 전단응력의 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 전단응력도

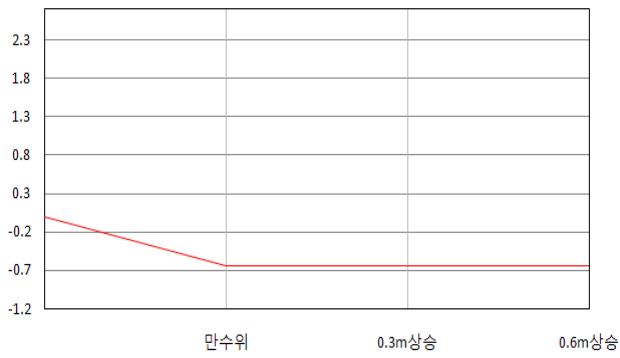


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 전단응력도

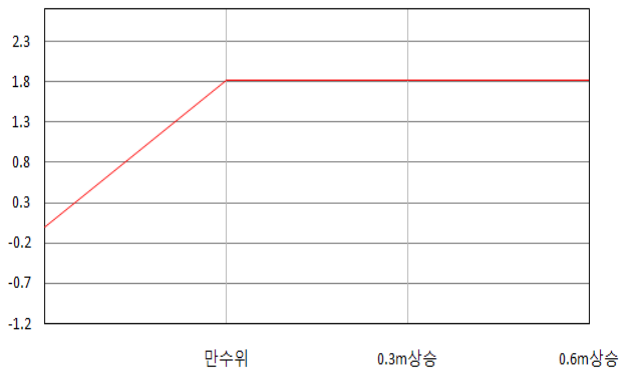


(C) 만수위에서 0.6m 상승시 전단응력도

<그림 3.6.42> 조천지구 저수지 댐의 전단응력



(a) 상류측 전단응력변화



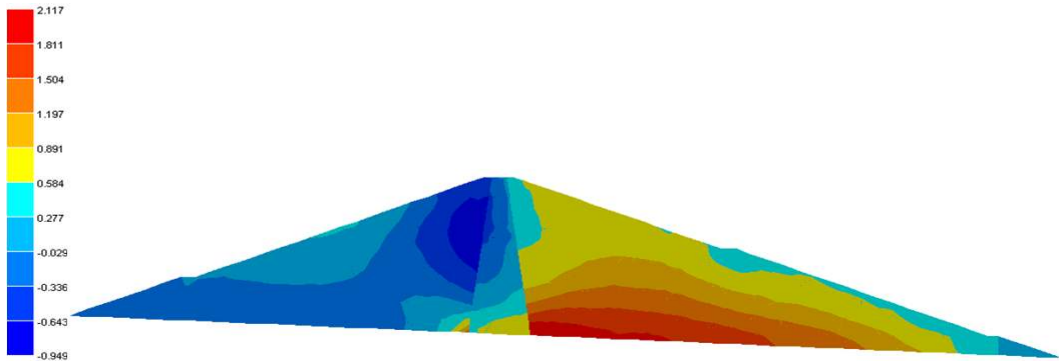
(b) 하류측 전단응력변화

<그림 3.6.43> 수위상승에 따른 전단응력변화(조천지구)

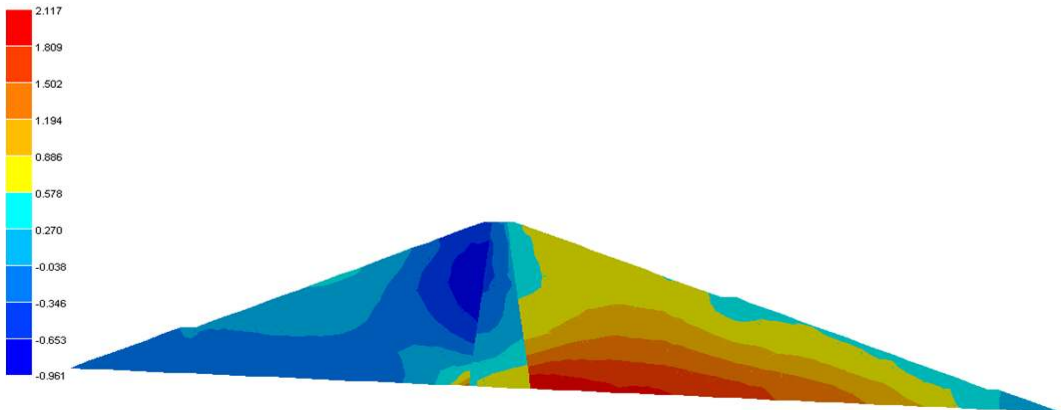
③ 진목지구

진목지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 전단응력도를 그림 3.6.44에 나타내었고, 댐 내 전단응력이 낮게 분포된 댐 상류측 상단부분과 전단응력이 집중적으로 분포된 하류측 하단부분 절점의 전단응력값을 그림 3.6.45에 나타내었다.

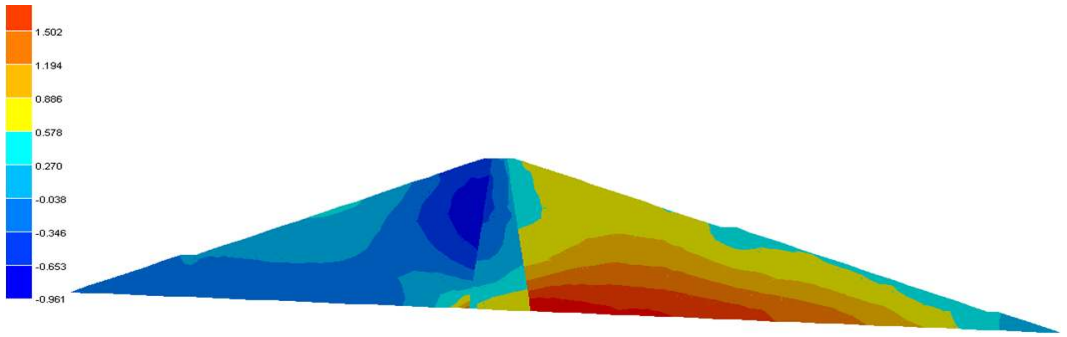
해석결과, 앞서 수행한 결과와 마찬가지로 수위에 따른 전단응력변화는 거의 없는 것으로 나타나 댐 내 예상되는 수위상승으로 인한 전단응력변화가 댐의 안정성에는 영향을 끼치지 않을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 전단응력도

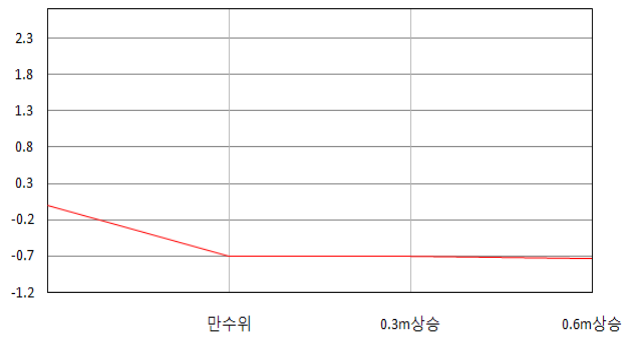


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 전단응력도

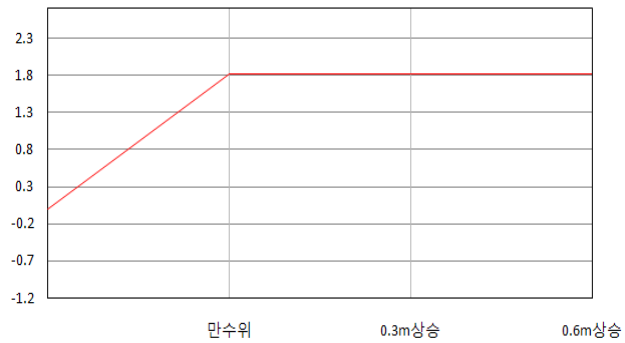


(C) 만수위에서 0.6m 상승시 전단응력도

<그림 3.6.44> 진목지구 저수지 댐의 전단응력도



(a) 상류측 전단응력변화



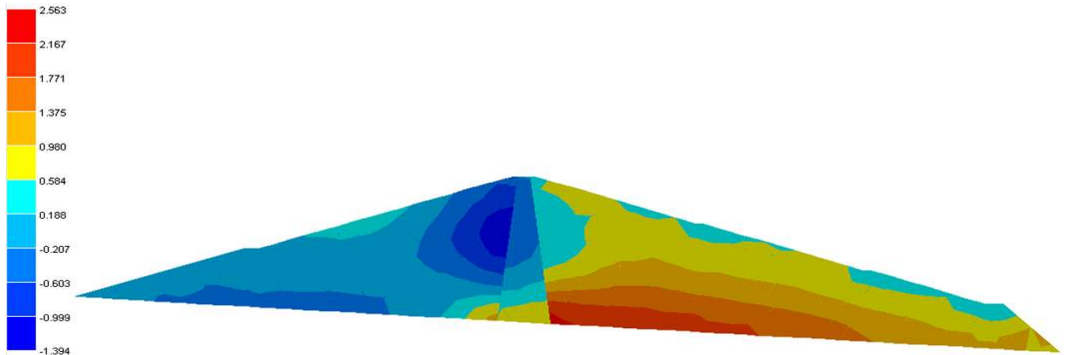
(b) 하류측 전단응력변화

<그림 3.6.45> 수위상승에 따른 전단응력변화(진목지구)

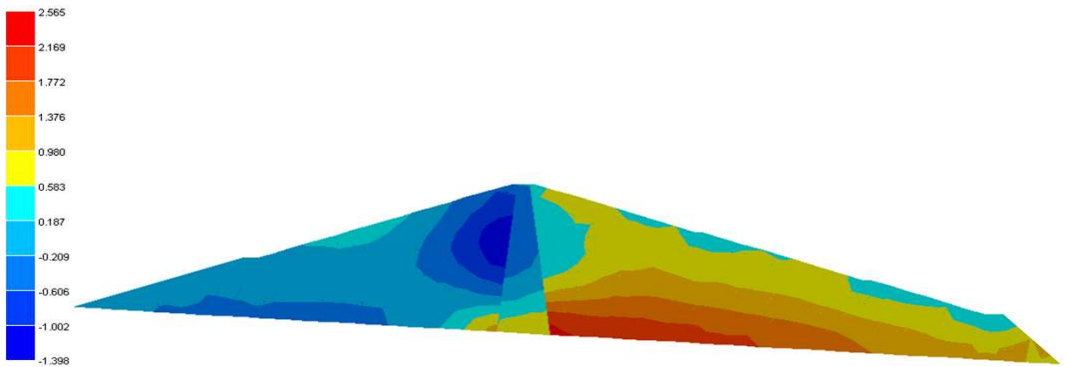
④ 갈전지구

갈전지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 전단응력도를 그림 3.6.46에 나타내었고, 댐 내 전단응력이 낮게 분포된 댐 상류측 상단부분과 전단응력이 집중적으로 분포된 하류측 하단부분 절점의 전단응력값을 그림 3.6.47에 나타내었다.

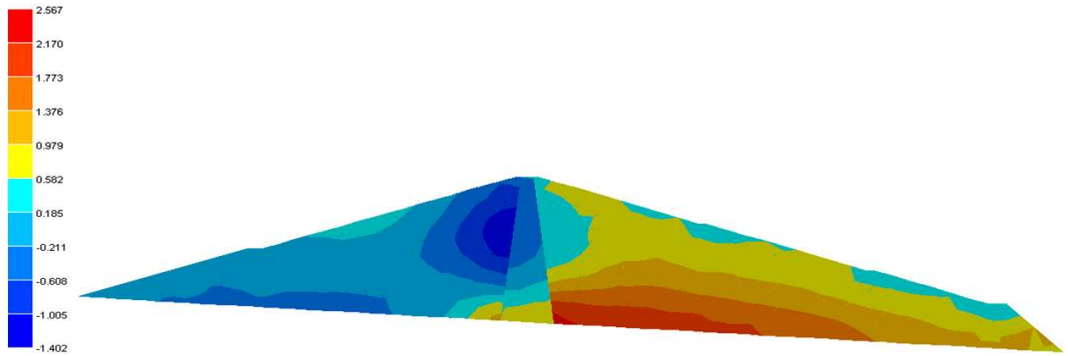
해석결과, 갈전지구의 댐도 앞서 수행한 결과와 마찬가지로 수위에 따른 전단응력변화는 거의 없는 것으로 나타나 댐 내 예상되는 수위상승으로 인한 전단응력변화가 댐의 안정성에는 영향을 끼치지 않을 것으로 예상되었다.



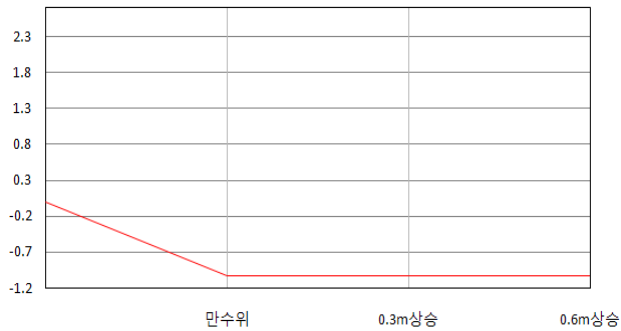
(a) 만수위시 전단응력도



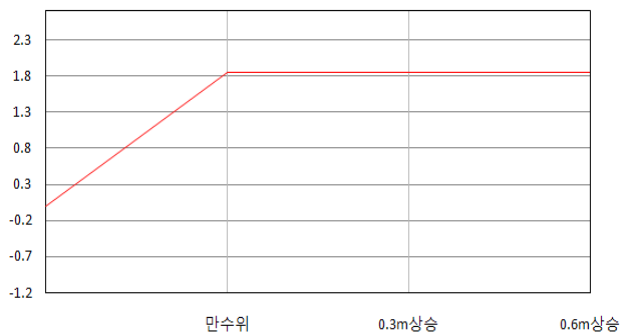
(b) 만수위에서 0.3m 상승시 전단응력도



(C) 만수위에서 0.6m 상승시 전단응력도
 <그림 3.6.46> 갈전지구 저수지 댐의 전단응력도



(a) 상류측 전단응력변화



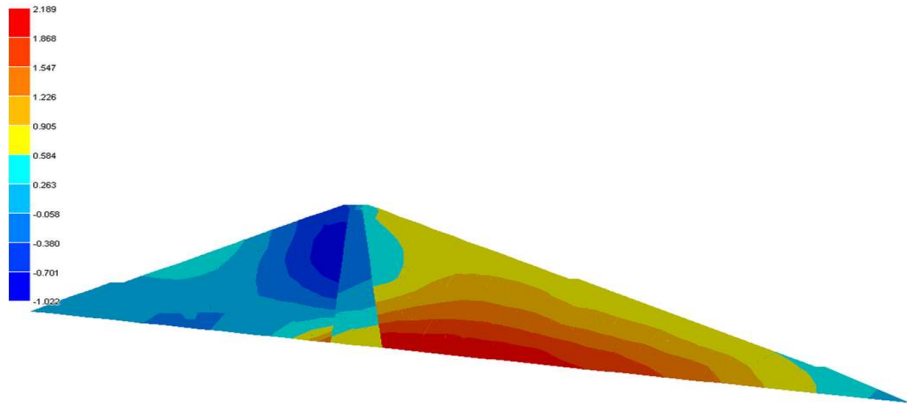
(b) 하류측 전단응력변화

<그림 3.6.47> 수위상승에 따른 전단응력변화(갈전지구)

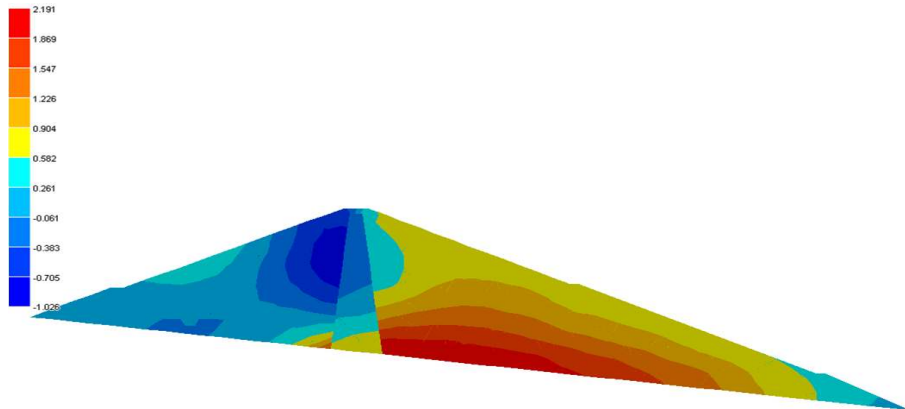
⑤ 노상지구

노상지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 전단응력도를 그림 3.6.48에 나타내었고, 댐 내 전단응력이 낮게 분포된 댐 상류측 상단부분과 전단응력이 집중적으로 분포된 하류측 하단부분 절점의 전단응력값을 그림 3.6.49에 나타내었다.

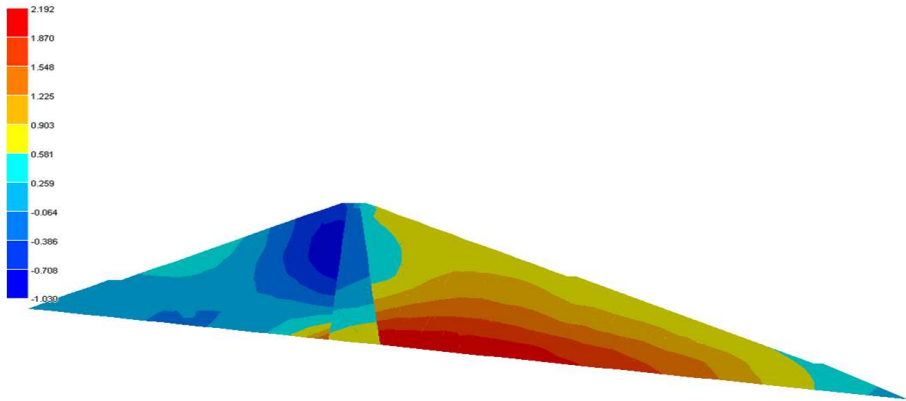
해석결과, 노상지구의 댐도 앞서 수행한 결과와 마찬가지로 수위에 따른 전단응력변화는 거의 없는 것으로 나타나 댐 내 예상되는 수위상승으로 인한 전단응력변화가 댐의 안정성에는 영향을 끼치지 않을 것으로 예상되었다.



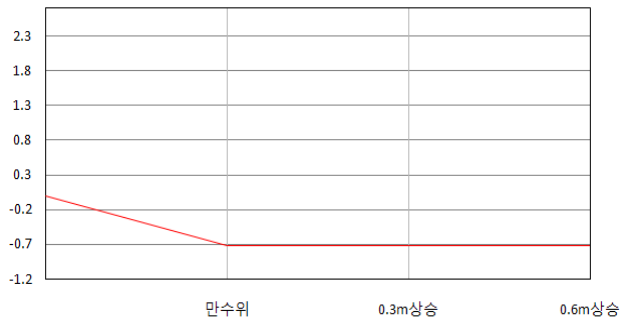
(a) 만수위시 전단응력도



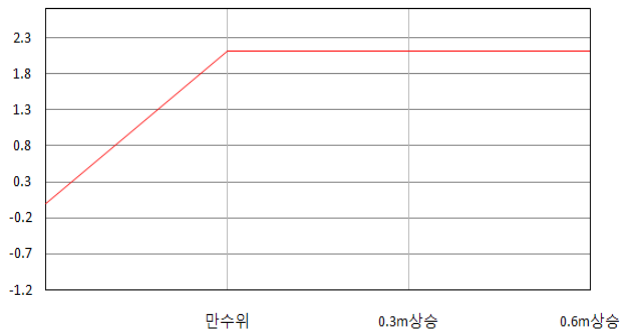
(b) 만수위에서 0.3m 상승시 전단응력도



(C) 만수위에서 0.6m 상승시 전단응력도
 <그림 3.6.48> 노상지구 저수지 댐의 전단응력도(계속)



(a) 상류측 전단응력변화



(b) 하류측 전단응력변화

<그림 3.6.49> 수위상승에 따른 전단응력변화(노상지구)

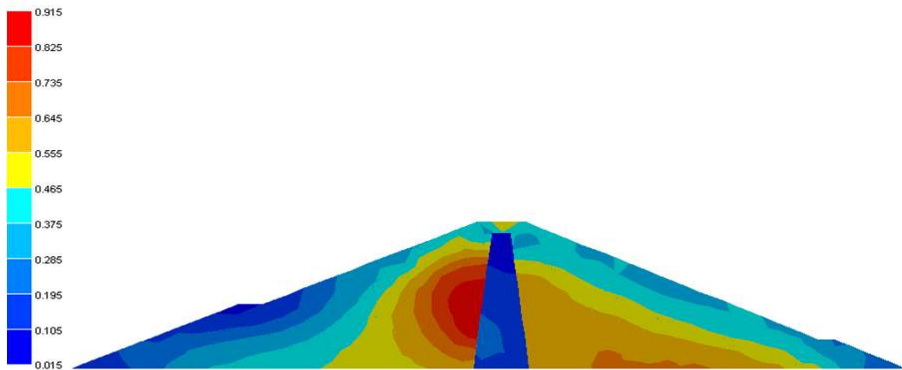
3) 수위상승에 따른 각 저수지 댐의 항복율도

① 초동지구

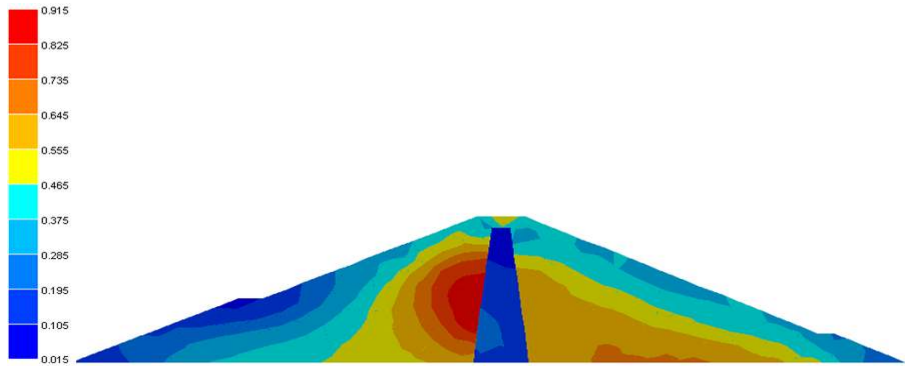
초동지구의 설계만수위를 기준으로 무동력 여수토 게이트를 설치시 예상되는 수위상승에 대한 제체 내 항복율을 해석하여 그 결과를 그림 3.6.50에 항복율 분포도로 나타내었다.

해석결과 만수위일 때 상류측 중간부의 투수층과 불투수층(댐코어)의 경계부에서 항복영역이 집중되는 것으로 나타났는데, 이후 본 연구에서 고려한 높이로 수위가 상승하여도 댐 내 항복율 분포는 만수위일 때와 큰 차이가 발생하지 않았으며(그림 3.6.50), 항복영역이 가장 집중적으로 분포된 상류측 중간부의 투수층과 불투수층의 경계부 지점의 항복율값을 비교해 본 결과도 수위변화와 관계가 없이 항복율값이 일정하게 유지되는 것으로 나타났다(그림 3.6.51).

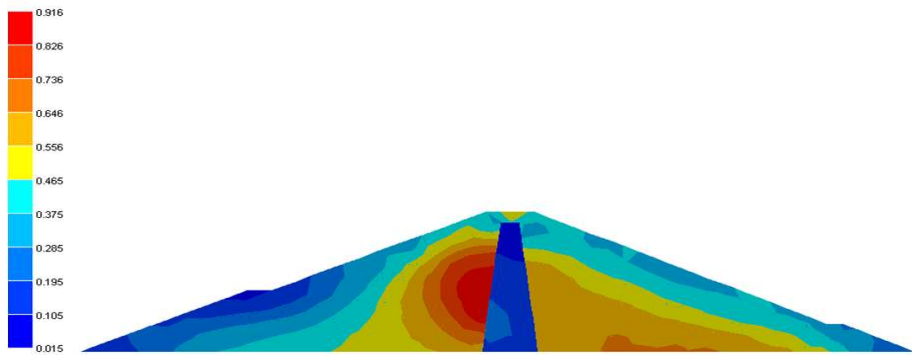
따라서 초동지구의 경우 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승에 따른 항복율 변화로 인한 제체 내 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 항복율도

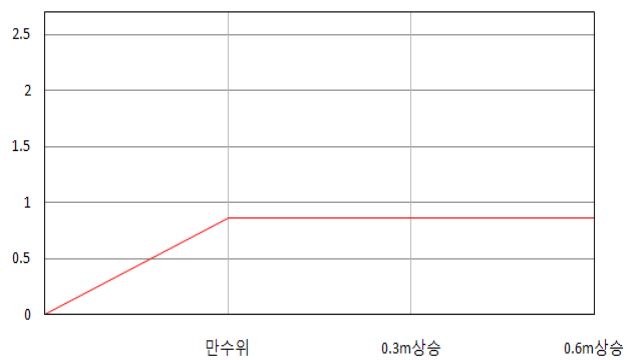


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 항복율도



(C) 만수위에서 0.6m 상승시 항복율도

<그림 3.6.50> 초동지구 저수지 댐의 항복율도(계속)



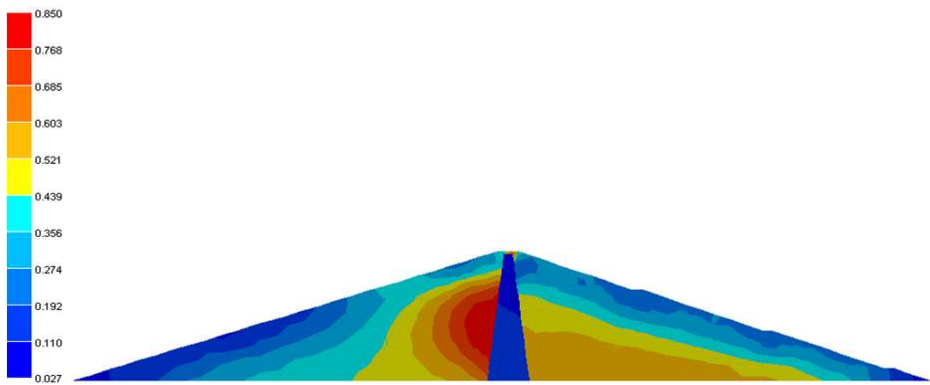
<그림 3.6.51> 수위상승에 따른 항복율변화(초동지구)

② 조천지구

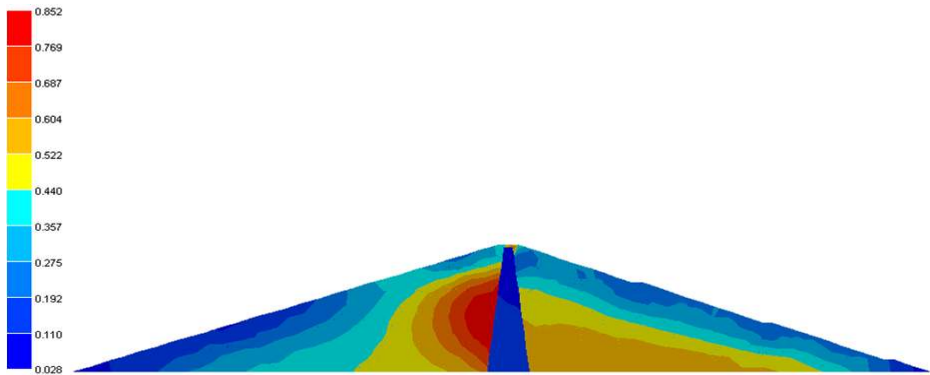
조천지구의 설계만수위를 기준으로 무동력 여수토 게이트를 설치시 예상되는 수위상승에 대한 제체 내 항복율을 해석하여 그 결과를 그림 3.6.52에 항복율 분포도로 나타내었다.

해석결과 앞서 수행한 초동지구의 결과와 동일하게 만수위 이후 본 연구에서 고려한 높이로 수위가 상승하여도 댐 내 항복율 분포는 만수위일 때와 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며(그림 3.6.52), 항복율에 가장 취약한 상류측 중간부의 투수층과 불투수층의 경계부 지점의 항복율값을 비교해 본 결과도 수위변화와 관계가 없이 항복율값이 일정하게 유지되는 것으로 나타났다(그림 3.6.53).

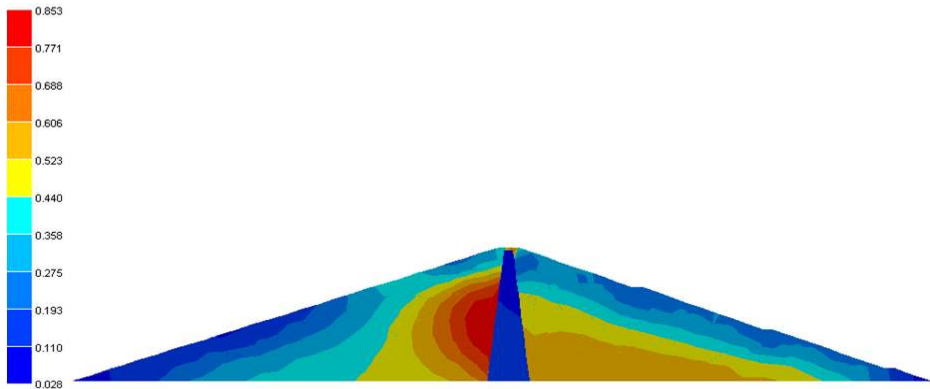
따라서 조천지구의 댐의 경우도 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승에 따른 항복율 변화로 인한 제체 내 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 항복율도

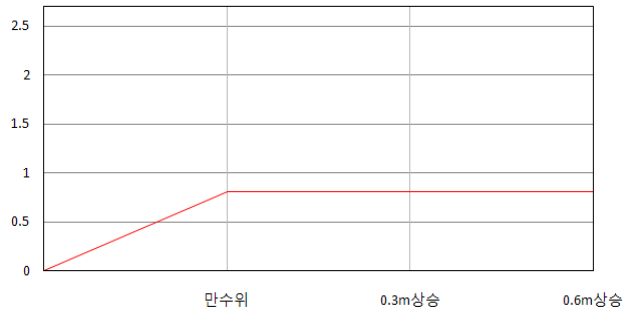


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 항복율도



(C) 만수위에서 0.6m 상승시 항복율도

<그림 3.6.52> 조천지구 저수지 댐의 항복율도



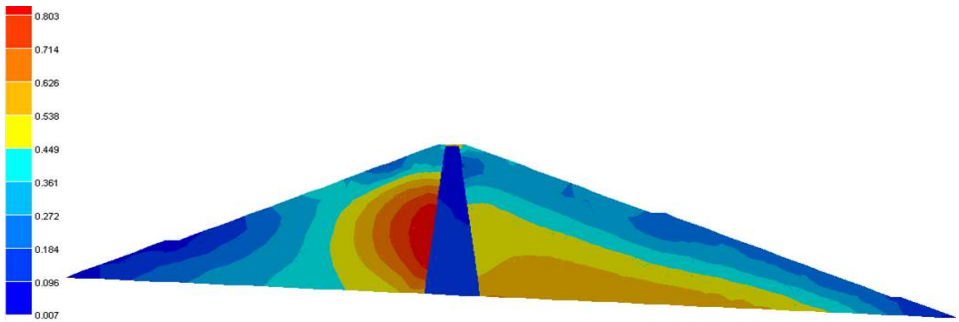
<그림 3.6.53> 수위상승에 따른 항복율변화(조천지구)

③ 진목지구

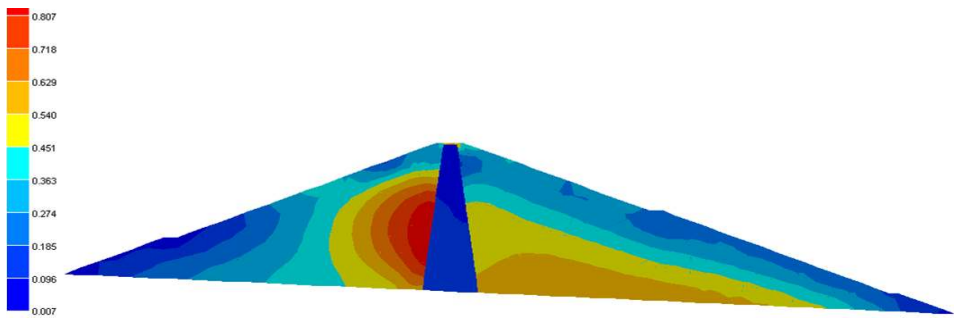
진목지구의 설계만수위를 기준으로 무동력 여수토 게이트를 설치시 예상되는 수위상승에 대한 제체 내 항복율을 해석하여 그 결과를 그림 3.6.54에 항복율 분포도로 나타내었다.

해석결과 앞서 수행한 저수지댐들의 결과와 동일하게 만수위 이후 본 연구에서 고려한 높이로 수위가 상승하여도 댐 내 항복율 분포는 만수위일 때와 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며(그림 3.6.54), 항복율에 가장 취약한 상류측 중간부의 투수층과 불투수층의 경계부 지점의 항복율값을 비교해 본 결과도 수위변화와 관계가 없이 항복율값이 일정하게 유지되는 것으로 나타났다(그림 3.6.55).

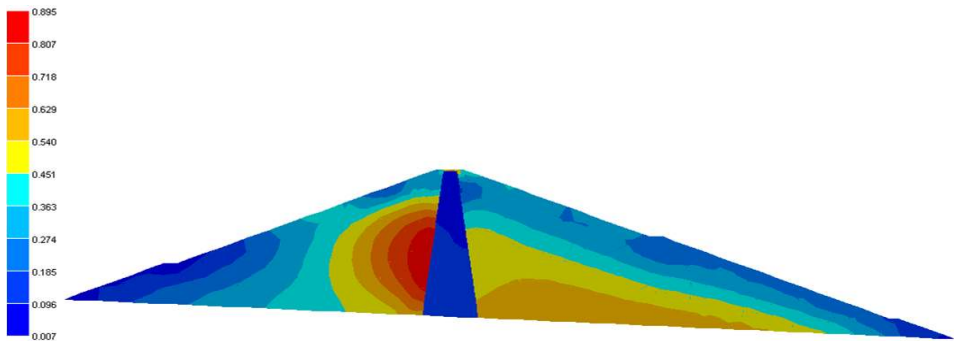
따라서 진목지구의 댐의 경우도 앞서 수행한 다른 저수지 댐들과 동일하게 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승에 따른 항복율 변화로 인한 제체 내 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 항복율도

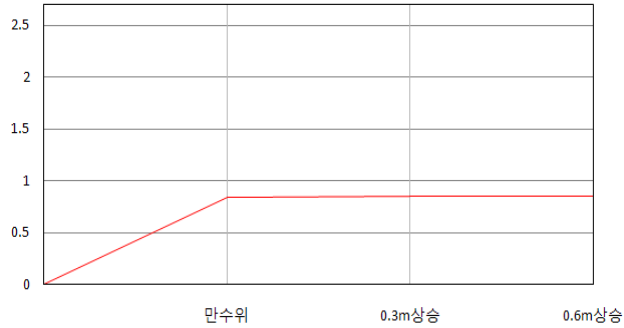


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 항복율도



(C) 만수위에서 0.6m 상승시 항복율도

<그림 3.6.54> 진목지구 저수지 댐의 항복율도



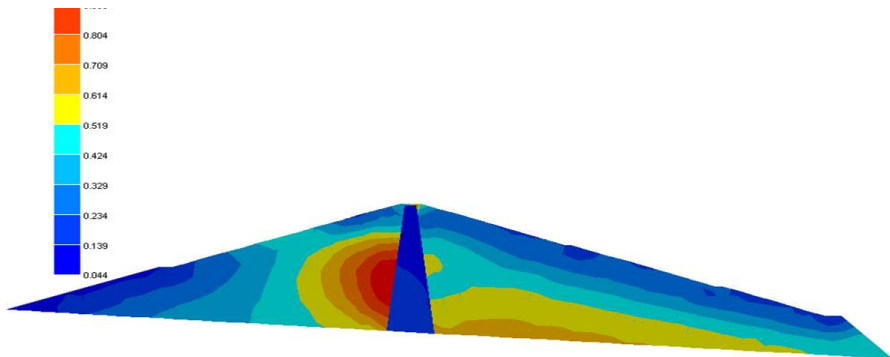
<그림 3.6.55> 수위상승에 따른 항복율변화(진목지구)

④ 갈전지구

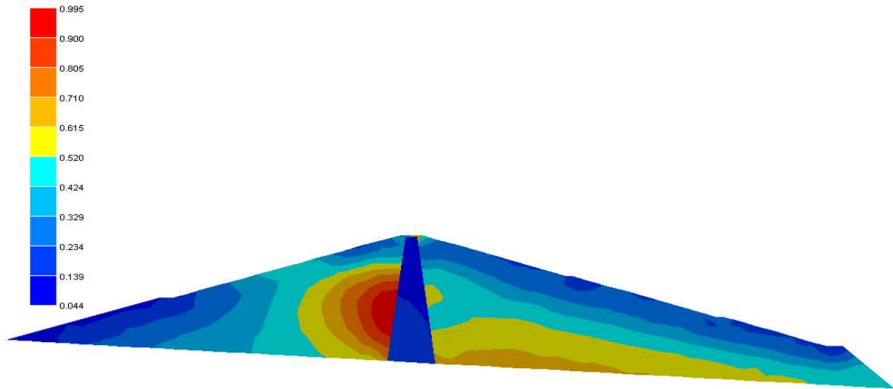
갈전지구의 설계만수위를 기준으로 무동력 여수토 게이트를 설치시 예상되는 수위상승에 대한 제체 내 항복율을 해석하여 그 결과를 그림 3.6.56에 항복율 분포도로 나타내었다.

해석결과, 앞서 수행한 저수지댐들의 결과와 동일하게 만수위 이후 본 연구에서 고려한 높이로 수위가 상승하여도 댐 내 항복율 분포는 만수위일 때와 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며(그림 3.6.56), 항복율에 가장 취약한 상류측 중간부의 투수층과 불투수층의 경계부 지점의 항복율값을 비교해 본 결과도 수위변화와 관계가 없이 항복율값이 일정하게 유지되는 것으로 나타났다(그림 3.6.57).

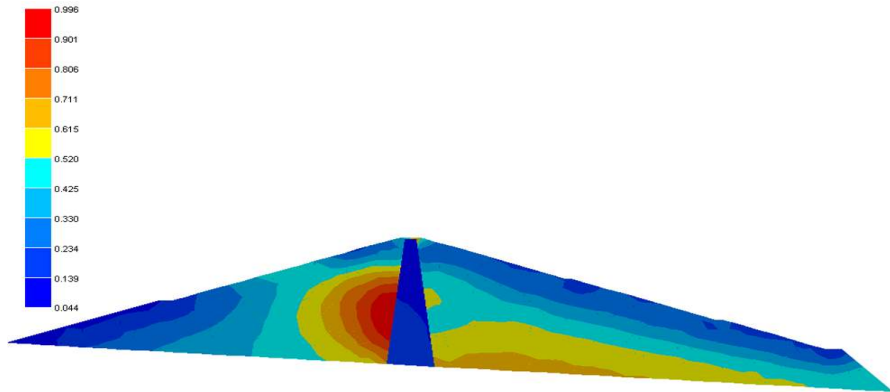
따라서 진목지구의 댐의 경우도 앞서 수행한 다른 저수지 댐들과 동일하게 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승에 따른 항복율 변화로 인한 제체 내 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 항복율도

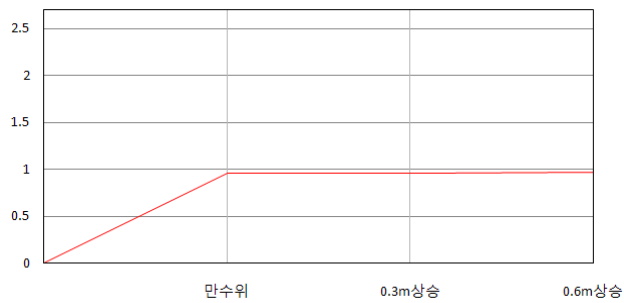


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 항복율도



(c) 만수위에서 0.6m 상승시 항복율도

<그림 3.6.56> 갈전지구 저수지 댐의 항복율도



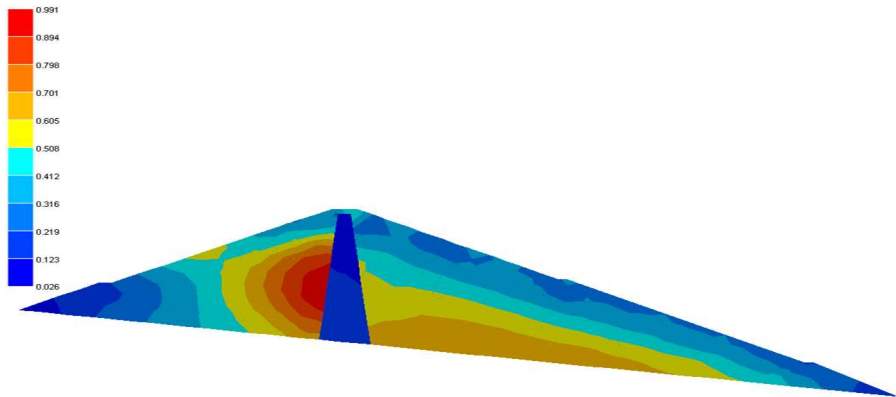
<그림 3.6.57> 수위상승에 따른
항복율변화(갈상지구)

⑤ 노상지구

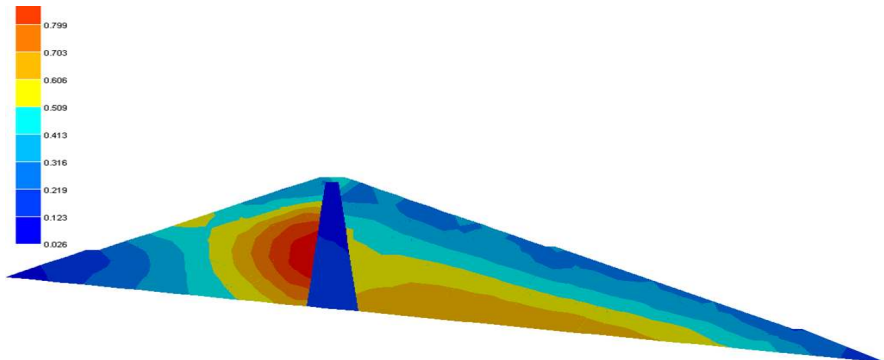
노상지구의 설계만수위를 기준으로 무동력 여수토 게이트를 설치시 예상되는 수위상승에 대한 제체 내 항복율을 해석하여 그 결과를 그림 3.6.58에 항복율 분포도로 나타내었다.

해석결과 앞서 수행한 저수지댐들의 결과와 동일하게 만수위 이후 본 연구에서 고려한 높이로 수위가 상승하여도 댐 내 항복율 분포는 만수위일 때와 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며(그림 3.6.58), 항복율에 가장 취약한 상류측 중간부의 투수층과 불투수층의 경계부 지점의 항복율값을 비교해 본 결과도 수위변화와 관계가 없이 항복율값이 일정하게 유지되는 것으로 나타났다(그림 3.6.59).

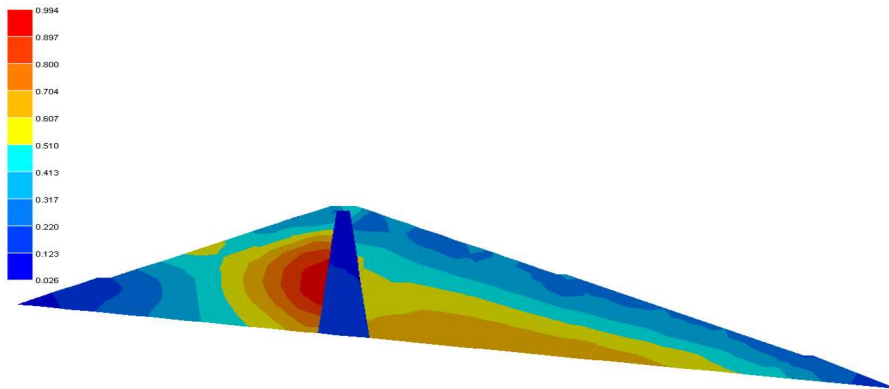
따라서 진목지구의 댐의 경우도 앞서 수행한 다른 저수지 댐들과 동일하게 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승에 따른 항복율 변화로 인한 제체 내 영향은 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 항복율도

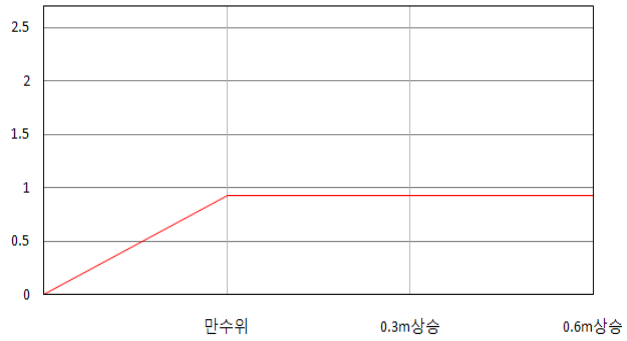


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 항복율도



(C) 만수위에서 0.6m 상승시 항복율도

<그림 3.6.58> 노상지구 저수지 댐의 항복율도



<그림 3.6.59> 수위상승에 따른 항복율변화(노상지구)

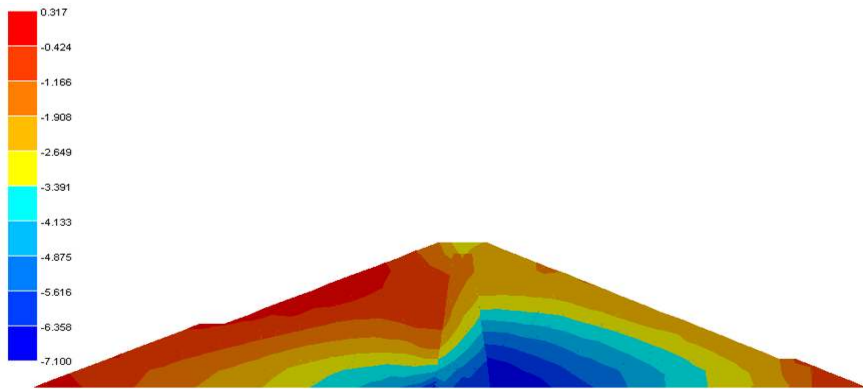
4) 수위상승에 따른 각 저수지 댐의 수평변위

① 초동지구

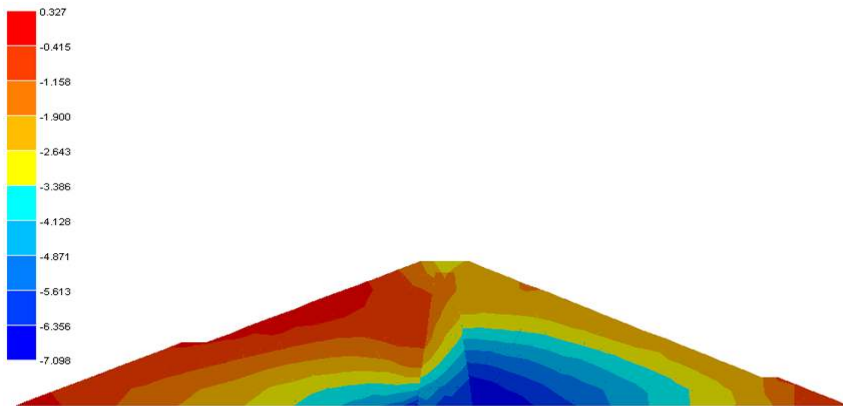
초동지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/1h 그리고 0.6m/2h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 수평변위를 그림 3.6.60에 분포도로 나타내었다.

만수위일 때 댐 내 수평변위도는 수압을 직접적으로 받는 댐 상류측 외측에서 그 값이 집중되는 경향이 나타났는데, 이후 수위가 본 연구에서 고려한 높이로 상승하여도 수평변위도의 변화는 만수위일 때와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 수평변위에 가장 취약한 지점인 상류 외측의 중간부 지점의 수평변위값을 비교해 보아도 수위변동에 관계없이 거의 유사한 것으로 나타났다(그림 3.6.61).

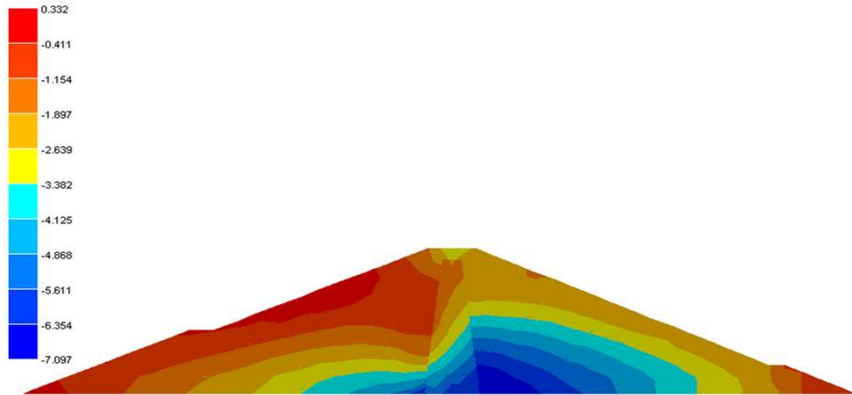
이러한 결과를 검토해볼 때, 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위변동에 의한 수평변위에 대하여 본 저수지 댐은 영향이 없을 것으로 예상되었다.



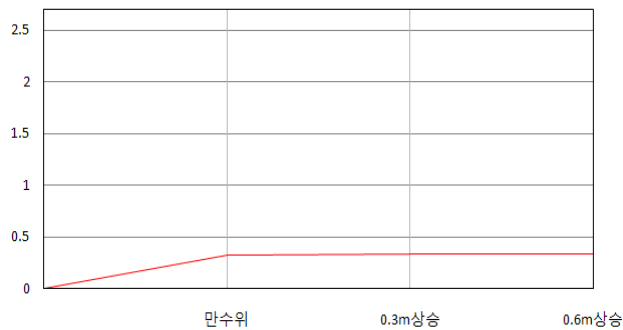
(a) 만수위시 수평변위도



(b) 만수위에서 0.3m 상승시 수평변위도



(c) 만수위에서 0.6m 상승시 수평변위도
 <그림 3.6.60.> 초동지구 저수지 댐의 수평변위도



<그림 3.6.61> 수위상승에 따른 수평변위변화(초동지구)

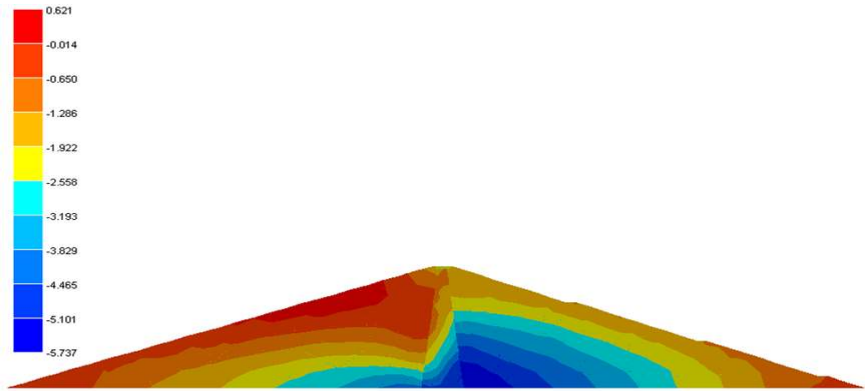
② 조천지구

조천지구의 댐 내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 수평변위를 그림 3.6.62에 분포도로 나타내었다.

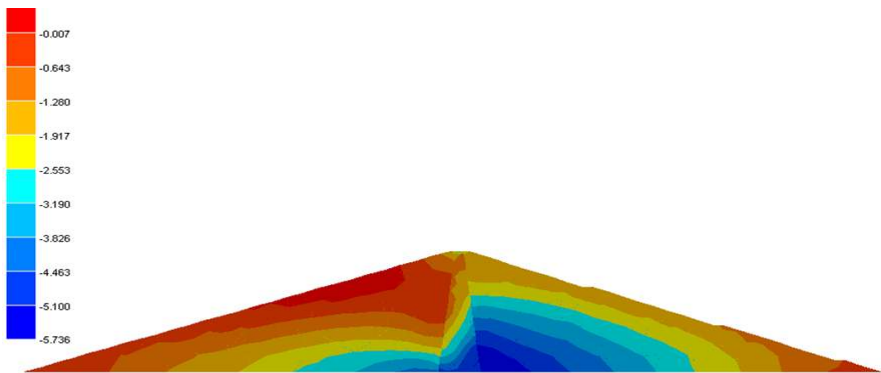
본 댐의 경우도 앞서 수행한 초동지구의 댐과 마찬가지로 만수위일 때 댐 내 수평변위도는 수압을 직접적으로 받는 댐 상류측 외측에서 그 값이 집중되는 경향이 나타났으며, 이후 본 연구에서 고려한 수위로 상승하여도 수평변위도의 변화는 만수위일 때와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 수평변위에 가장 취약한 지점인 상류 외측의 중간부 지점의 수평변위값도 수위변동에 관계없이 거의 유사한 것으로 나타났다(그림 3.6.63).

이러한 결과를 검토해볼 때, 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위변동에 의한

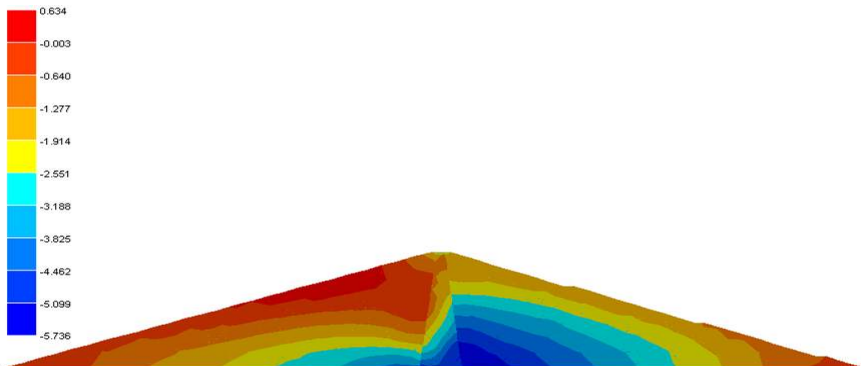
수평변위에 대하여 본 저수지 댐은 영향이 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 수평변위도

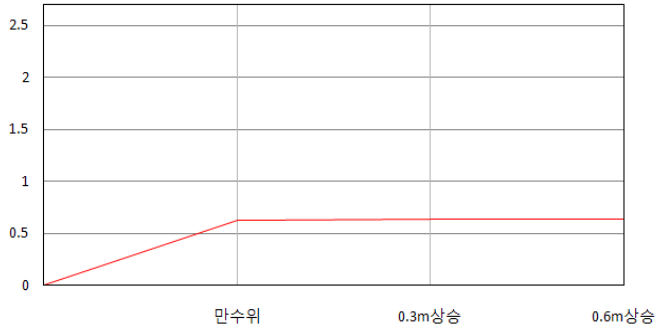


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 수평변위도



(c) 만수위에서 0.6m 상승시 수평변위도

<그림 3.6.62> 조천지구 저수지 댐의 수평변위도

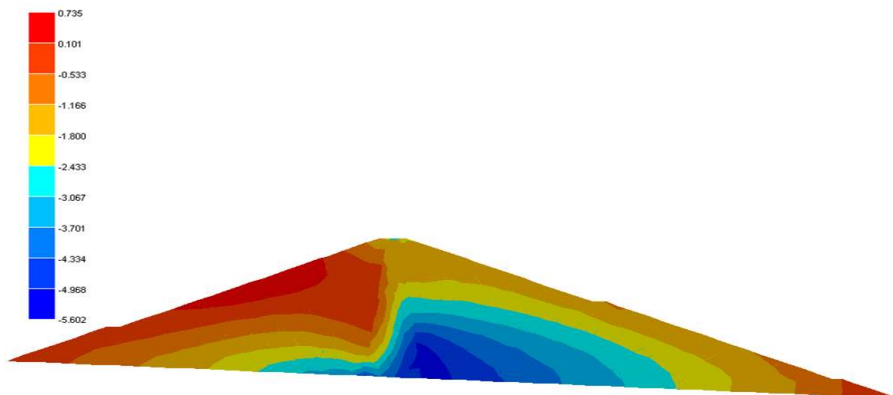


<그림 3.6.63> 수위상승에 따른 수평변위변화(조천지구)

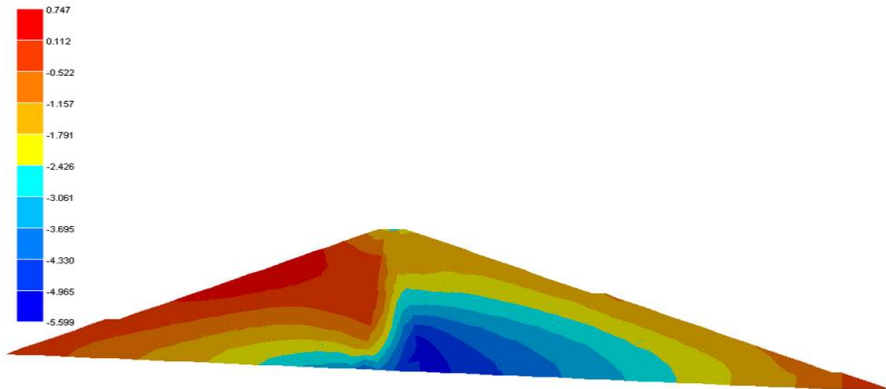
③ 진목지구

진목지구의 댐 경우에도 앞서 수행한 댐들과 마찬가지로 만수위를 기준으로 본 연구에서 적용시킨 수위로 상승하여도 수평변위도의 변화는 만수위일 때와 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며(그림 3.6.64), 수평변위에 가장 취약한 지점인 상류 외측의 중간부 지점의 수평변위값도 수위변동에 관계없이 거의 유사한 것으로 나타났다(그림 3.6.65).

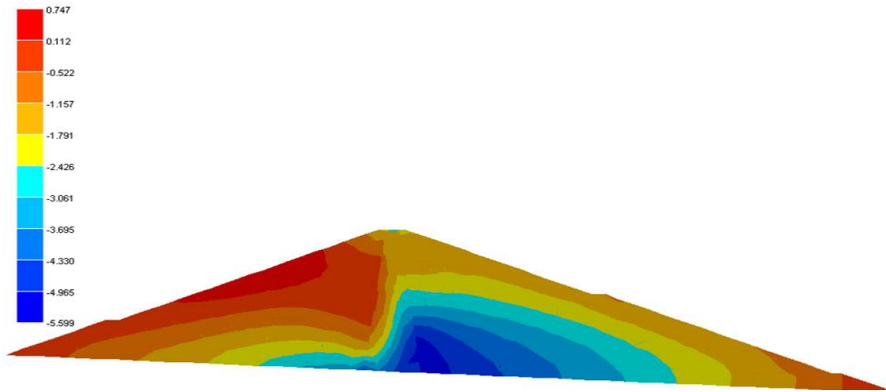
이러한 결과를 검토해볼 때, 무동력 여수로 게이트 설치시 예상되는 수위변동에 의한 수평변위에 대하여 본 저수지 댐은 영향이 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 수평변위도

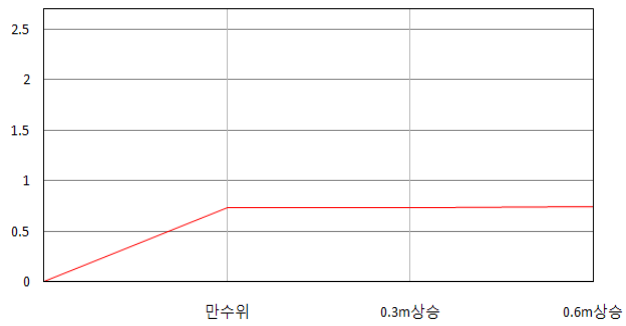


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 수평변위도



(c) 만수위에서 0.6m 상승시 수평변위도

<그림 3.6.64> 진목지구 저수지 댐의 수평변위도(계속)

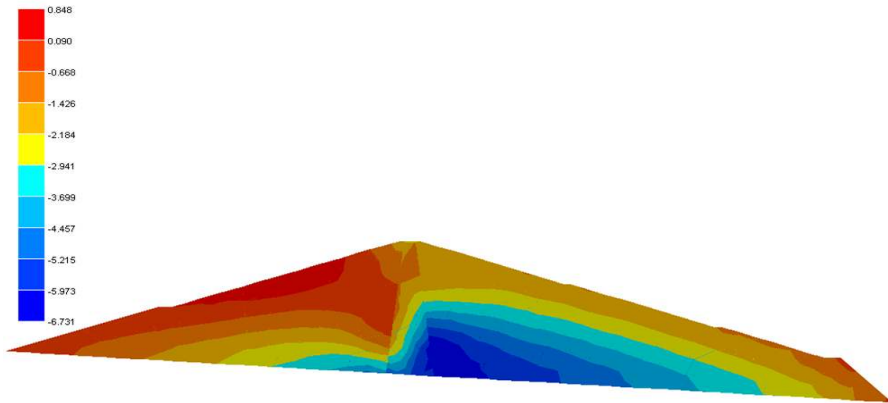


<그림 3.6.65> 수위상승에 따른 수평변위변화(진목지구)

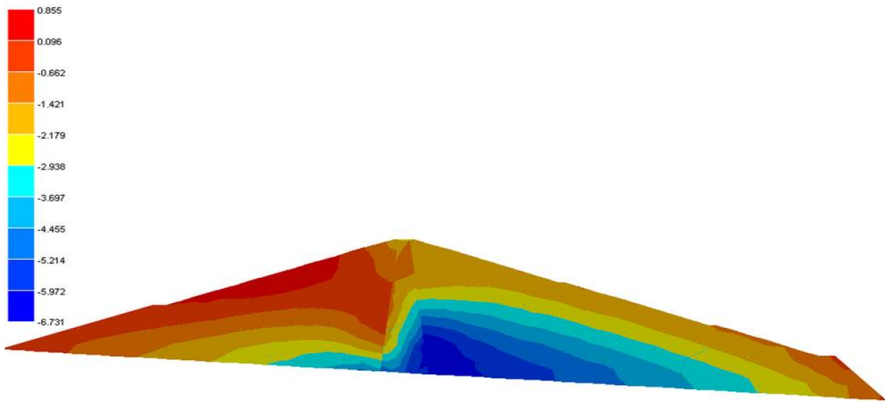
④ 갈전지구

갈전지구의 경우에도 앞서 수행한 댐들과 마찬가지로 수평변위도의 댐 내 분포는 유사한 경향이 나타났고 만수위를 기준으로 본 연구에서 적용시킨 수위로 상승시킬 경우 수평변위도의 변화는 만수위일 때와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다(그림 3.6.66).

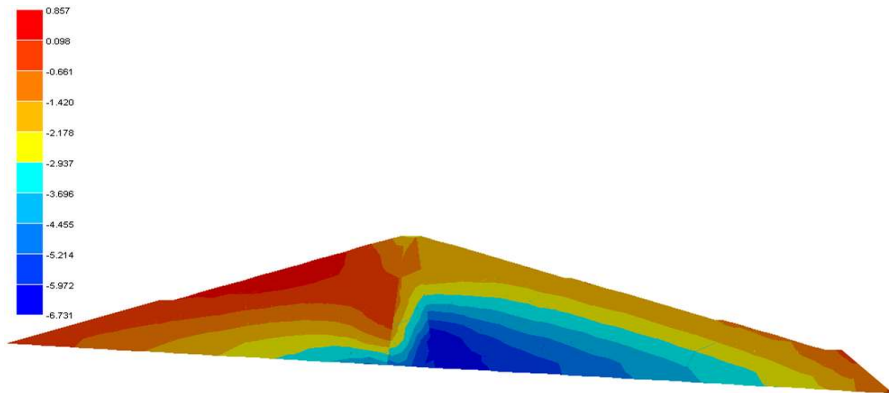
그리고 수평변위에 가장 취약한 지점인 상류 외측의 중간부 지점의 수평변위값도 수위변동에 관계없이 거의 유사한 것으로 나타났다(그림 3.6.67). 이러한 결과를 검토해볼 때, 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위변동에 의한 수평변위에 대하여 본 저수지 댐은 영향이 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 수평 변위도

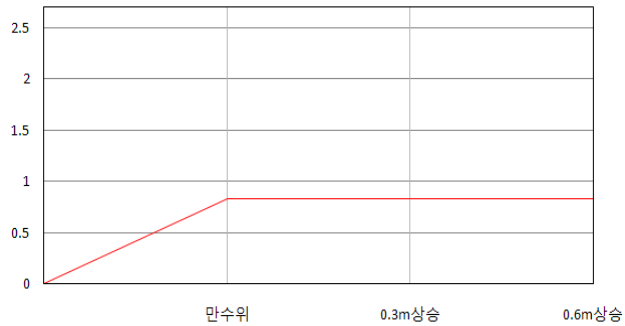


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 수평 변위도



(c) 만수위에서 0.6m 상승시 수평변위도

<그림 3.6.66> 갈전지구 저수지 댐의 수평변위도(계속)

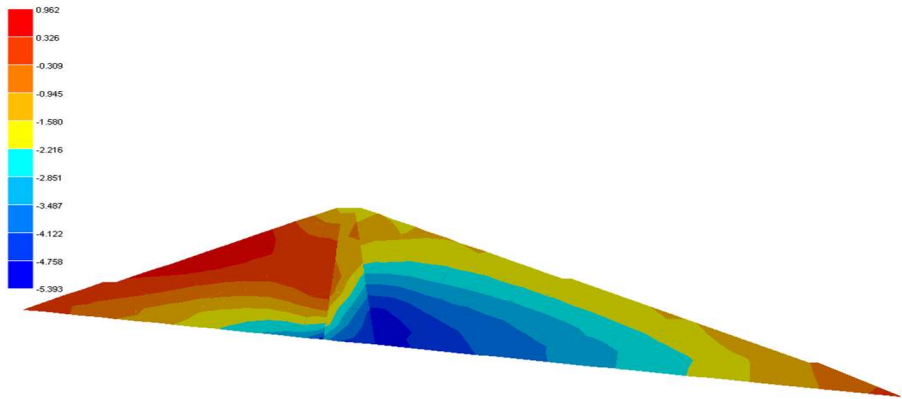


<그림 3.6.67> 수위상승에 따른 수평변위변화(갈전지구)

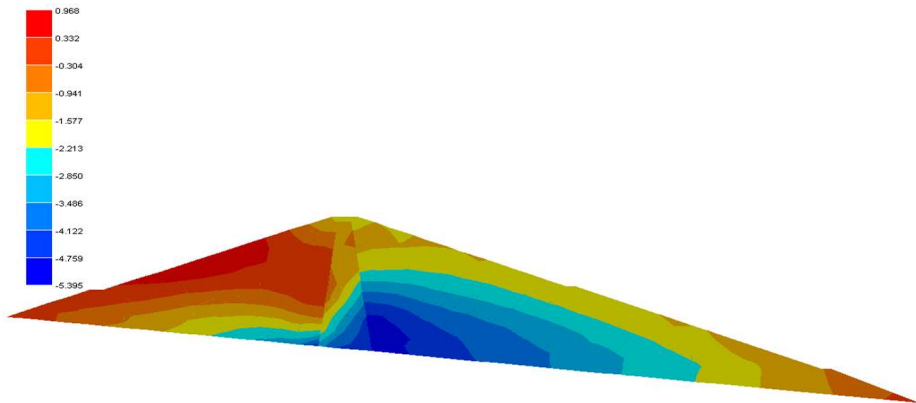
⑤ 노상지구

노상지구의 댐 경우에도 앞서 수행한 댐들과 마찬가지로 만수위 이후 본 연구에서 적용시킨 수위로 상승시킬 경우 수평변위도의 변화는 만수위일 때와 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며(그림 3.6.68), 수평변위에 가장 취약한 지점인 상류 외측의 중간부 지점의 수평변위값을 비교해 보아도 수위변동에 관계없이 거의 유사한 것으로 나타났다(그림 3.6.69).

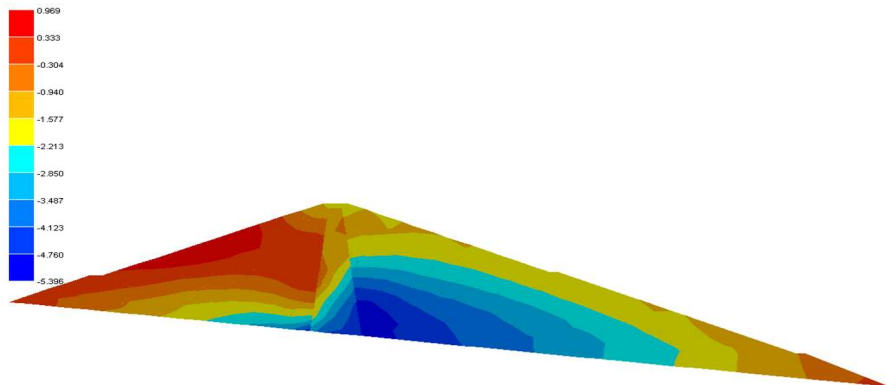
이러한 결과를 검토해볼 때, 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위변동에 의한 수평변위에 대하여 본 저수지 댐은 영향이 없을 것으로 예상되었다.



(a) 만수위시 수평변위도

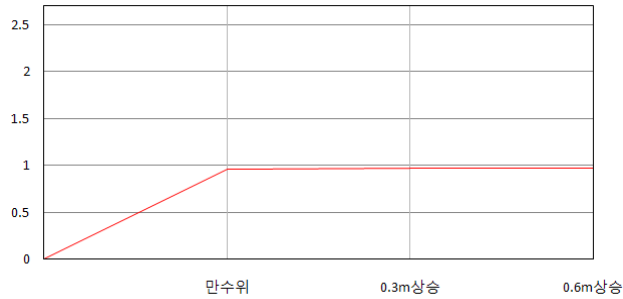


(b) 만수위에서 0.3m 상승시 수평변위도



(c) 만수위에서 0.6m 상승시 수평변위도

<그림 3.6.68> 노상지구 저수지 댐의 수평변위도



<그림 3.6.69> 수위상승에 따른 수평변위 변화(노상지구)

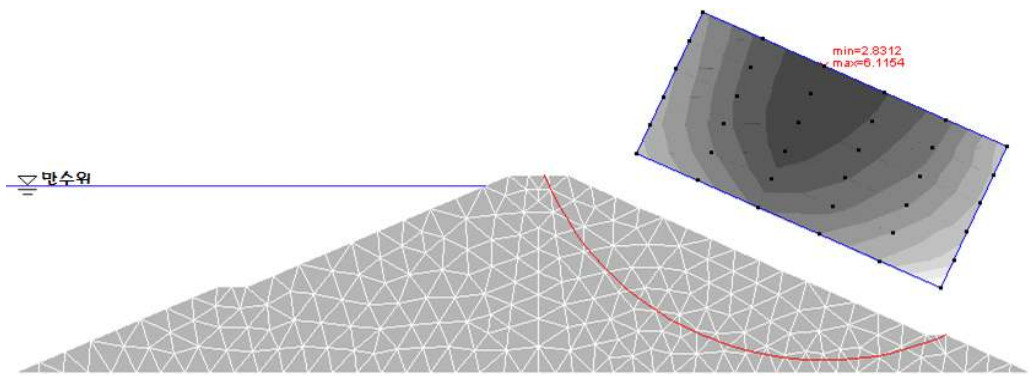
5) 수위에 따른 저수지 댐의 사면안정해석

무동력 게이트 설치시 예상되는 수위변동에 대해 본 연구에서 선정된 각 저수지 댐의 취약한 부분으로 예상되는 단면을 설정하여 사면안정해석을 실시하였으며, 원호활동에 대한 검토만을 실시하였다.

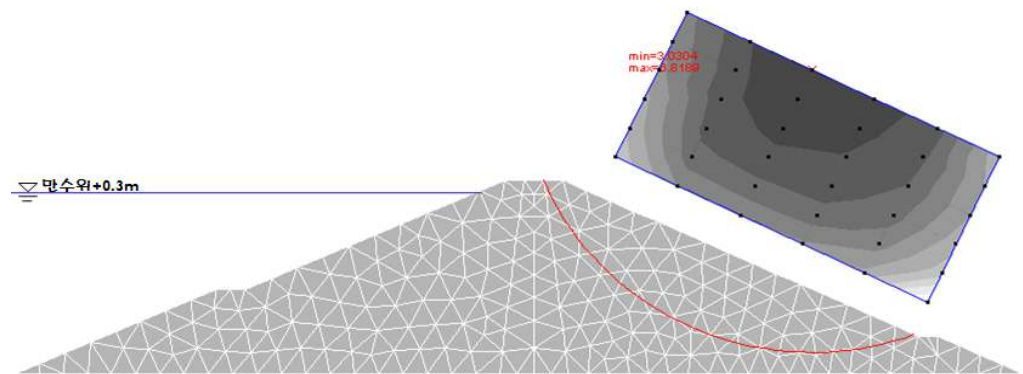
그림 3.6.70~74에 나타난 바와 같이 만수위에서 0.3m/3hr와 0.6m/3hr의 높이로 연속적으로 상승하는 수위에 대한 저수지 댐의 사면안정을 해석한 결과 모든 댐에서 최소 안전률이 2.9 이상으로 높게 나타나 선정된 각 저수지 댐들의 사면안정은 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승의 영향 없이 매우 안정할 것으로 예상되었다.

<표 3.6.8> 사면안정해석결과 임계원의 안전율

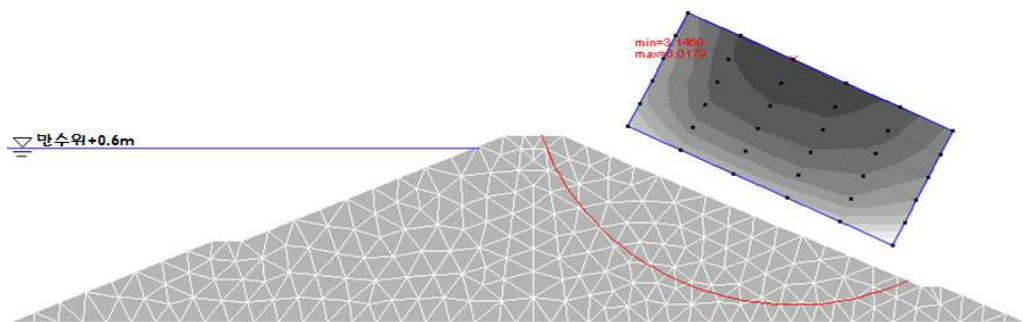
저수지	만수위	만수위+0.3m	만수위+0.6
초동지구	2.83	3.03	3.14
조천지구	4.00	3.97	4.03
진목지구	3.74	3.67	3.73
갈전지구	3.95	4.05	3.98
노상지구	3.27	3.29	3.29



(a) 만수위

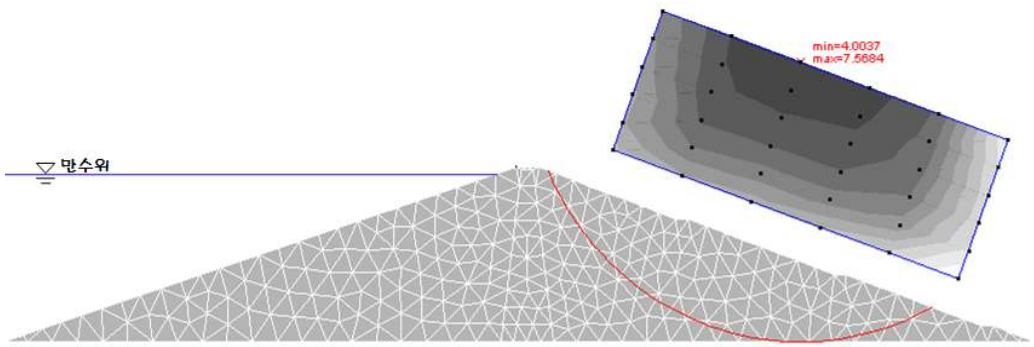


(b) 만수위+0.3m

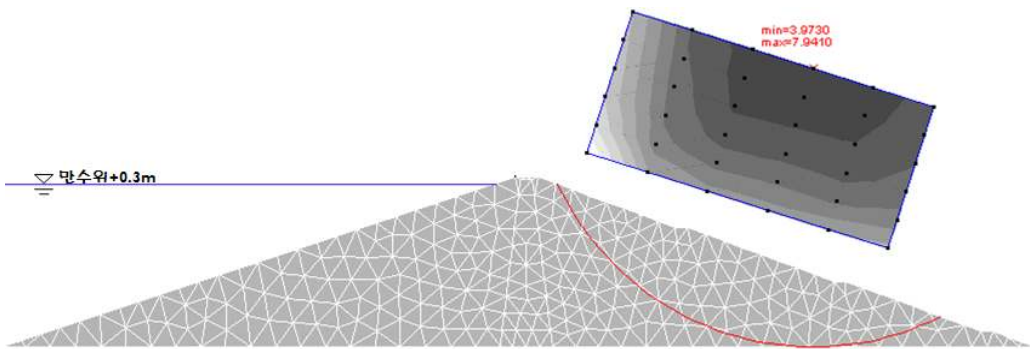


(b) 만수위+0.6m

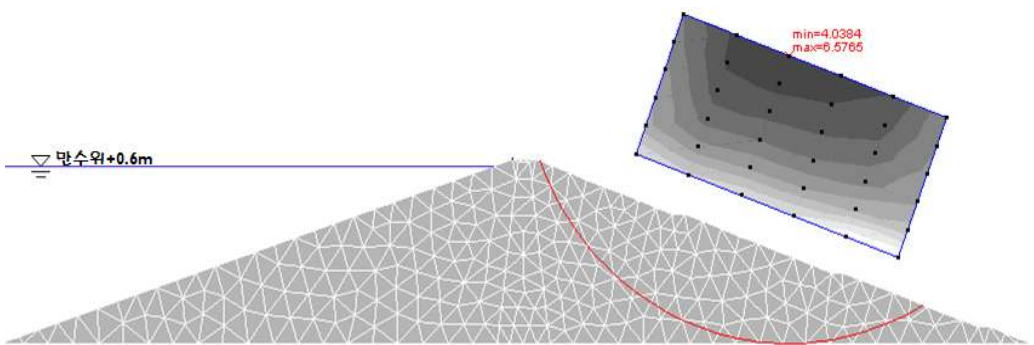
<그림 3.6.70> 초동지구 사면안정해석결과



(a) 만수위

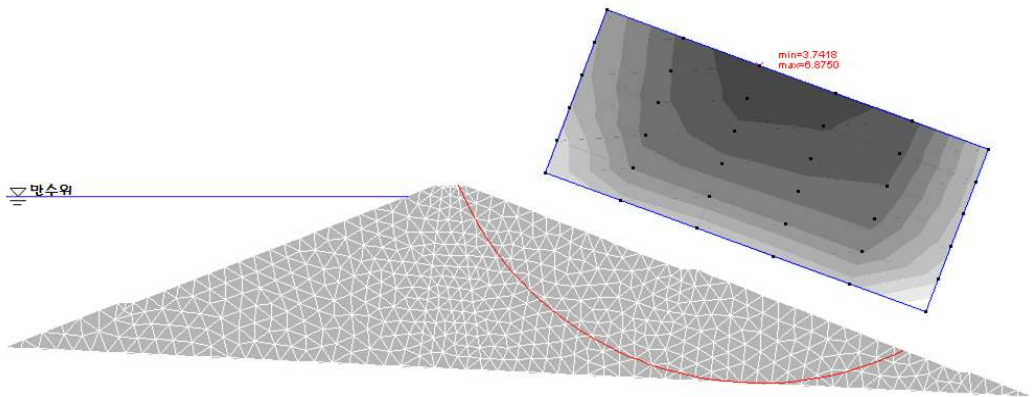


(b) 만수위+0.3m

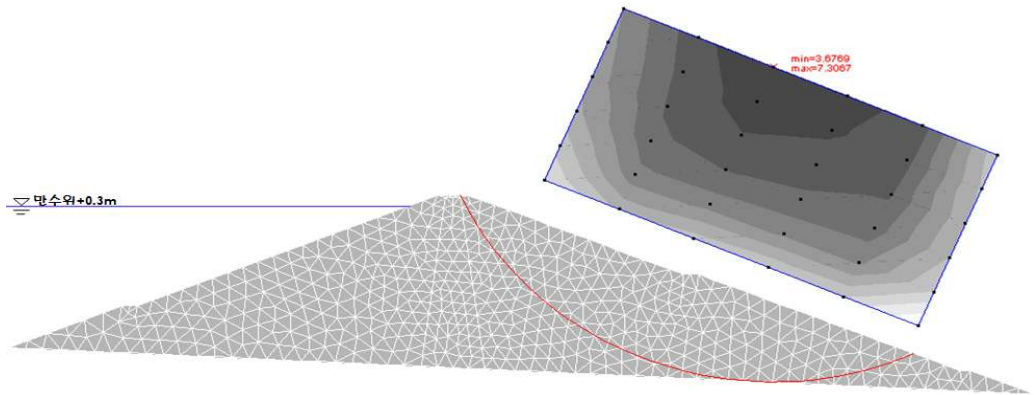


(b) 만수위+0.6m

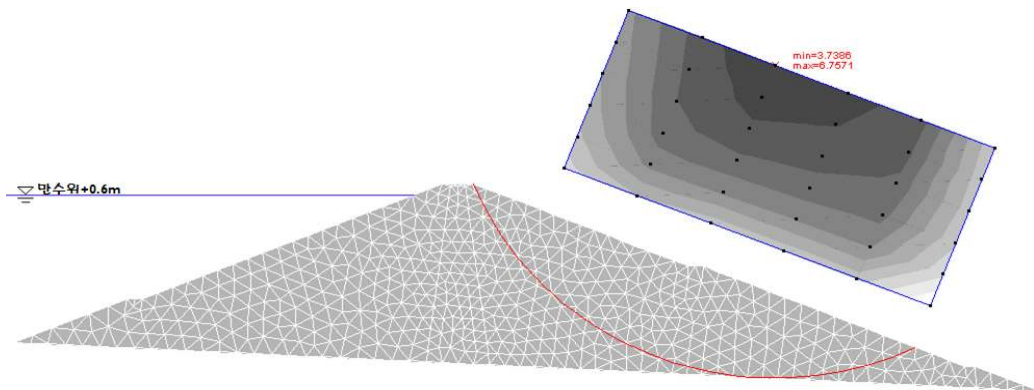
<그림 3.6.71> 조천지구 사면안정해석결과



(a) 만수위

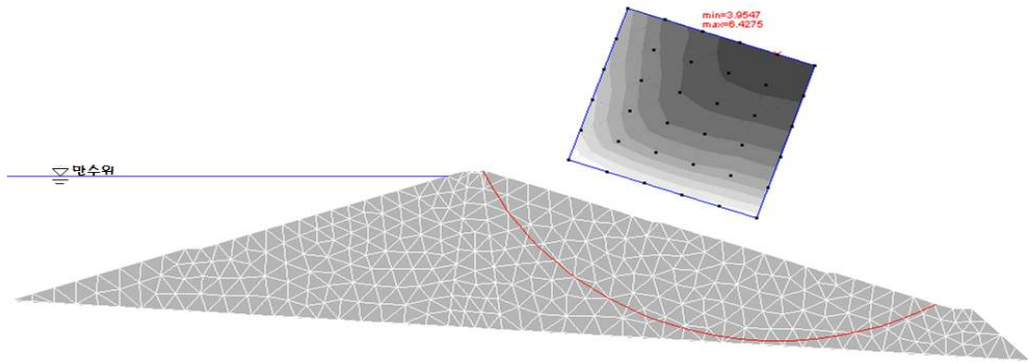


(b) 만수위+0.3cm

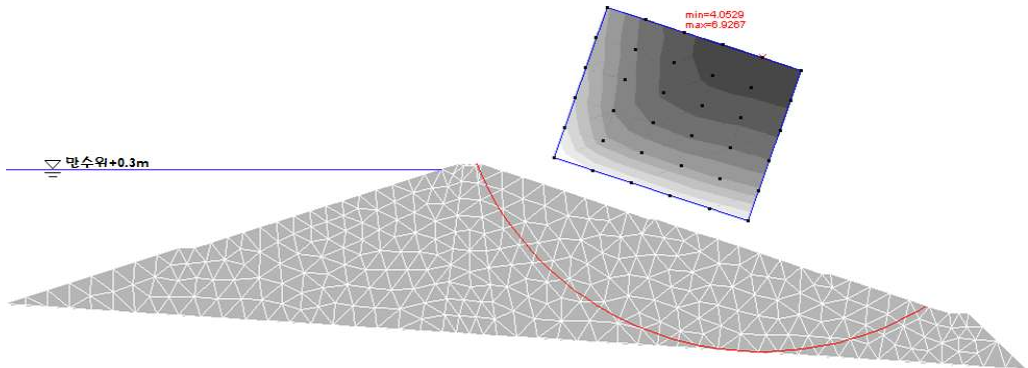


(c) 만수위+0.6cm

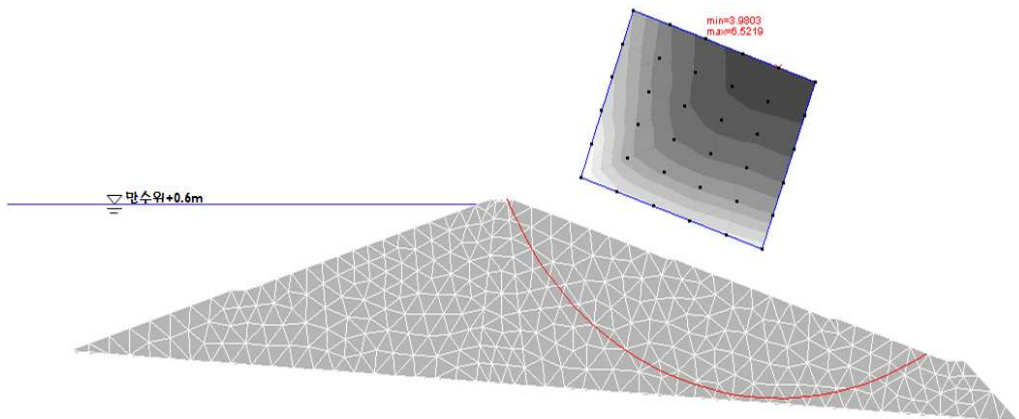
<그림 3.6.72> 진목지구 사면안정해석결과



(a) 만수위

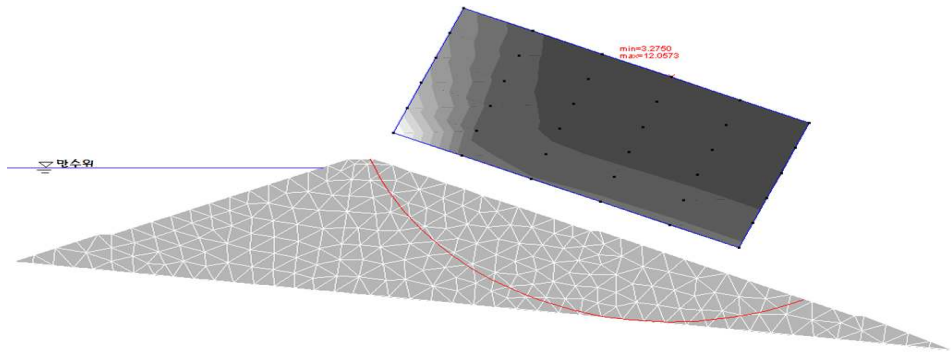


(b) 만수위+0.3cm

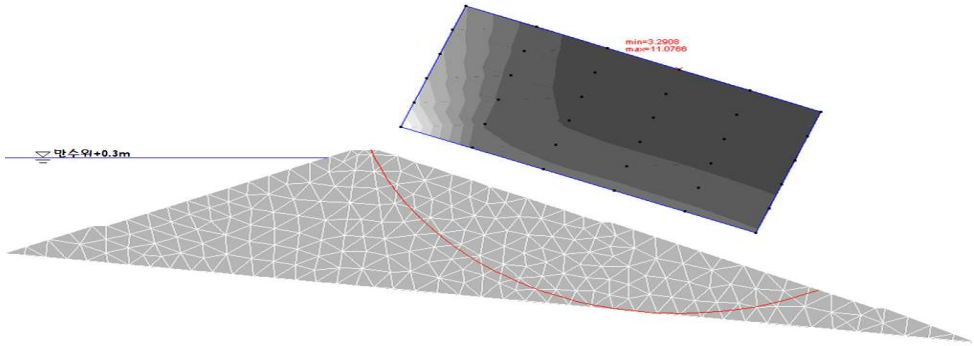


(c) 만수위+0.6cm

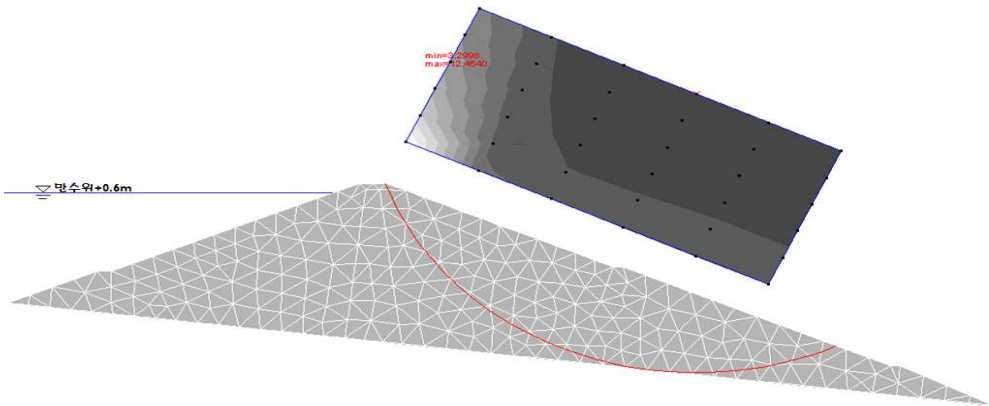
<그림 3.6.73> 갈전지구 사면안정해석결과



(a) 만수위



(b) 만수위 +0.3m



(c) 만수위 +0.6m

<그림 3.6.74> 노상지구 사면안정해석결과

마. 수위상승에 따른 댐내 거동 변화 결과

- 선정된 농업용저수지 내 수위상승에 따른 간극수압을 검토한 결과 만수위에서 여수토 게이트 설치시 예상되는 상승높이로 수위가 상승하여도 간극수압의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.
- 선정된 농업용저수지내 수위상승에 따른 전단응력을 검토한 결과 만수위시 전단응력은 상류측 상단부에서 가장 낮게 분포하는 것으로 나타났고, 하류측 하단부로 갈수록 전단응력이 분포가 집중되는 것으로 나타났다. 그러나 만수위 이후 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승에 따른 전단응력도는 만수위 일때와 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.
- 선정된 저수지의 만수위를 기준으로 무동력 여수토 게이트를 설치시 예상되는 수위상승에 대한 제체 내 항복율을 해석한 결과 만수위일 때 상류측 중간부의 투수층과 불투수층(댐코어)의 경계부에서 항복영역이 집중되는 것으로 나타났으며, 이후 본 연구에서 고려한 높이로 수위가 상승하여도 댐 내 항복율 분포는 만수위일 때와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 선정된 농업용 저수지내 수위가 만수위로부터 0.3m/3h 그리고 0.6m/6h까지 연속적으로 상승할 때 댐의 수평변위를 해석한 결과 5개 저수지 모두 만수위일 때 댐 내 수평변위도는 수압을 직접적으로 받는 댐 상류측 외측에서 그 값이 집중되는 경향이 나타났으며, 이후 본 연구에서 고려한 수위로 상승하여도 수평변위도의 변화는 만수위일 때와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 선정된 저수지 댐의 취약한 부분으로 예상되는 단면을 설정하여 수위변동에 따른 사면안정해석을 실시한 결과 모든 댐에서 최소 안전율이 2.9 이상으로 높게 나타나 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승의 영향 없이 댐 사면은 매우 안정할 것으로 예상되었다.
- 이상의 해석결과를 종합해볼 때 댐 내 만수위를 기준으로 수위변동에 따른 간극수압, 전단응력, 항복율, 수평변위 등은 만수위 일 때와 큰 차이가 나지 않았으며, 사면안정의 해석결과도 수위변동에 관계없이 매우 높은 안전율을 값을 보였

다. 따라서 본 연구에서 검토중인 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위 변동으로 인한 댐 내의 영향은 거의 없을 것으로 예상되었다.

5. 모니터링 및 평가 결론

- 1차년도 전도식 게이트 설치를 위한 모형실험에서 적정 수문비는 1.0~1.45로 판단되었으며, 모형실험에서는 수문 높이 25cm, 28cm 2가지 형식에 대한 구조계산 결과를 바탕으로 수문 높이 25cm(수문비 1.18)인 모형수문에 대한 실험을 수행하였다.
- 모형실험 결과에서는 유량별 전도시 수위는 35cm 내외로 일정하였으며, 전도각도 전면전도가 짧은 시간 안에 발생하여 전도 게이트의 작동은 원활한 것으로 판단되었다. 그러나 수문전도 시 하류부로 유출되는 유량은 상부에서 유입되는 유속에 따라 증가되는 것으로 나타났으나 모형실험에서는 이에 대한 조절이 용이하지 않았다.
- 2차년도 모형실험에서는 1차년도 실험에서 확인된 문제점을 개선하여 수문측면의 마찰을 줄이기 위해 2연의 전도 게이트를 설치하여 실험을 실시하였으며, 수로 내 유입유량은 일정하게 유지하도록 하였으며, 전도 후 유출유량도 일정하게 나타나 모형 내 물이 하부수조로부터 게이트로 전도될 때까지 원활하게 유하 되는 것으로 나타났다.
- 전체적으로 게이트의 모든 구성품들의 작동은 원활하게 이루어지는 것으로 판단되었으며, 전도 후 게이트의 복원도 원활하게 이루어졌다.
- 게이트 설치에 따른 기존 저수지 제체의 안정성을 검토하기 위하여 경남지역의 5개의 저수지를 선정하여 제체 내 수위상승에 따른 간극수압, 전단응력, 항복율 그리고 수평변위 등을 검토한 결과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 선정된 저수지 제체내 가상활동면에 대한 수위변동에 따른 사면안정해석을 실시한 결과 모든 댐에서 최소 안전률이 2.9 이상으로 높게 나타나 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승의 영향 없이 댐 사면은 매우 안정할 것으로 예상되었다.

제7절 종합결론

우리나라 농업용저수지는 규모는 작지만 개소수가 매우 많고 전국에 산재되어 있으며, 대부분 도시나 인구 밀집 지역과는 거리가 먼 산간지역 등에 분포되어 있으나 산업화와 도시화에의 영향으로 재해에 크게 노출되어 있다. 특히, 농업용저수지는 시설 자체로는 방재기능이나 이수증대기능이 없기 때문에 과거부터 관행적으로 이루어 졌던 농업용 수리시설의 이·치수관리방법으로는 최근 이상기후에 따른 집중호우에 적절히 대처하기 힘든 상황에 이르렀다. 그러므로 농촌현실에 적합하면서 유지관리가 용이한 새로운 형태의 기술이 개발되어 적용되어야 시점에 이르렀으며, 본 연구에서는 이를 위해 전국에 산재되어 있는 소규모 농업용수 저수지에 적용이 용이하며, 설치비와 유지관리노력을 절감할 수 있는 새로운 형태의 무동력 수문(gate)을 개발하여 방재기능 및 이수증대기능이 없는 농업용수 저수지에 적용하기 위한 무동력 전도게이트를 개발하였다.

본 연구에서는 기설 중·소규모 농업용저수지 게이트의 설치목적·위치·형식에 대해 분석한 결과 게이트의 목적·위치·형식이 도별로 매우 상이하였으며, 홍수시 유지관리 직원의 수문조작을 위한 접근이 매우 위험하고 유지관리가 매우 부적합한 경우가 발생함에 따라 운영조작 및 관리가 용이한 무동력 게이트가 적합한 것으로 분석되었다. 그리고 농업용 저수지에 적용을 위한 무동력 게이트의 작동원리를 해석하였고, CFD 시뮬레이션을 이용해 저수위 변화시 적정 무게추와 수문높이의 비율을 찾아내어 설계에 반영하였고, 무동력 전도게이트의 현장적용을 목표로 완성도 높은 제품 개발과 제품을 응용한 시작품을 제작하기 위해 총 4회에 걸쳐 시작품을 제작·보완하였다. 또한 무동력 전도게이트의 성능을 평가와 구조설계의 타당성을 평가하기 위해 축척모형을 제작하여 적용성을 검토하였으며, 게이트 설치시 만수위 상승에 따른 농업용저수지 체계의 안정성을 검토하였다. 다음은 각 연구내용별 결과 이다.

1. 기존 농업용저수지 게이트 설치현황 분석

- 부분게이트 설치목적 고찰

- ① 2003년 재해대비 설계기준이 나오기 이전에 부분게이트가 설계된(01~03) 저수지의 경우 지형적으로 물넘이 확장이 어려운 경우로 확장대신에 과거보다 증가된 홍수량을 배제시키기 위해 설치됨
- ② 2003년 이후 설계된 저수지의 경우 특히 전도수문으로 설치된 저수지의 경우 홍수배제량 증가뿐만 아니라 예비방류를 목적으로 하고 있는데 농업용저수지는 저수용량이 작고 홍수조절을 위한 여유 공간이 없기 때문에 예비방류에 의한 재

한수위로 관리방법도 홍수량이 급격히 유입되는 시기에는 수리적으로 홍수조절 효과가 미미한 것으로 분석됨.

- ③ 기존 설계자료에서 계산한 홍수배제량 검토에서는 물넘이와 부분게이트로 배제되는 배제량을 따로 계산하여 합한 것으로 하였으나, 실제 수리현상은 두 가지가 서로 간섭하여 설계 배제량과 차이가 발생하고 있기 때문이며, 적정 수리현상 분석을 통해 홍수시 적정배제량식이 도출되어야 함

- 부분게이트 설치위치 고찰

- ① 재해대비 설계기준은 여수도 물넘이 상류, 하류중 적당한 곳을 선정하도록 하였으나 수리적으로 유리한 위치는 물넘이 하류부(방수로 접경 하류부)로 판단됨
- ② 게이트 설치 위치에 따라 홍수시 유지관리 직원의 수문조작을 위한 접근이 매우 위험한 경우가 발생함. 물넘이 하류부에 게이트 설치시 유지관리가 부적합한 경우는 유지관리 및 홍수시 운영조작이 용이한 무동력 게이트가 바람직함

- 부분게이트 형식 고찰

- ① 현재 부분게이트로 사용되고 있는 수문의 문비는 슬라이드 방식과 전도방식이 사용되고 있으며, 강원도에서 슬라이드 방식으로 만든 부분게이트에 홍수시 이물질이 끼어서 작동이 않된 사례가 있음
- ② 하천 취입보에 주로 사용되던 전도방식이 개량되어 안전성이 확보된 뒤로 2003년 이후에 설치된 저수지에는 대부분 전도방식을 이용하고 있음. 도별로 문비형식을 비교하면 경기도의 경우 슬라이드 방식은 39개소중 35개소로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 반면 충북의 경우는 34개소중 30개소가 전도방식으로 지역별로 큰 편차를 보이고 있음
- ③ 부분 게이트 형식의 선택은 안전성과 유지관리 편리성이 확보된 상태에서 설계가 이루어져야 하나 지역적 특성보다는 도별로 일관된 게이트 방식을 고수하고 있기 때문에 매년 유지관리에 많이 비용과 노동력이 소요되고 있음

2. 무동력 게이트 작동원리 해석

- 기본 작동원리 설정

- ① 무동력 게이트는 기본적으로 오투기 형태의 받침대와 수문으로 구성된 오투기 형과, 천칭형으로 구분되며, 오투기형은 수압이나 유속이 수문에 가해졌을 때 전도와 복원을 반복하며 천칭형은 수문비의 무게와 천칭의 무게로서 일정한 수압이 수문에 가해졌을 때 수문이 전도와 복원을 반복하는 형태로서 본 연구에서는 오투기형과 천칭형에 적용되는 원리를 동시에 이용하여 수문이 다단형태로 개도되도록 설계함

- 전도력 해석

- ① 전도력은 수압에 의해서 오투기형 전도게이트가 일정한 편심을 가지고 기울어지는 힘을 해석하여 수위에 따라 얼마만큼이 기울어지는지를 해석함. 이 전도력은 전도게이트의 상부에 달려있는 수문비에 작용을 하게 됨.

- 수문에 걸리는 수압 계산

- ① 수문에 걸리는 힘(수압)을 계산하는 방법으로서 수문이 중력방향인 수직으로 서 있는 경우를 우선 상정하여 계산을 하면, 우선 수압이 전도게이트에 걸리는 형태를 두 가지로 나눠짐.
- ② 한가지는 수문 상부의 수문비 부분에 걸리는 수압으로서 게이트의 전도에 관여하며, 또 하나는 부채꼴 원형단면에 걸리는 수압으로서 이는 역수압 즉 게이트의 복원력에 관계되는 수압임
- ③ 이 수압은 궁극적으로 모두 수문비나 부채꼴 원형단면의 무게중심에 걸리는 것으로서 동력원의 발생 역할을 함

- CFD 시뮬레이션을 이용한 여수토 게이트의 동작 해석

- ① 유체의 운동을 지배하는 비선형 방정식인 Navier - Stokes 방정식을 컴퓨터를 이용하여 수치적(CFD: Computational Fluid Dynamics)으로 해석하였음
- ② CFD 시뮬레이션 모델링을 위한 구조 설계
 - 1차 시작품 제작 결과를 바탕으로 시뮬레이션 구조를 설계함
 - CFD 시뮬레이션 환경조건으로 9가지 경우를 설계함

- ③ 시뮬레이션 결과 시간에 따른 수위 높이변화와 전도모멘트 변화를 통해 수위변
화시 적정 무게추와 수문높이의 비율을 찾아내어 설계에 반영함

3. 시작품 제작 및 제품 다양성 확보

- 무동력 여수토게이트 시작품 제작 요약

① 2006. 5 : 1차 시작품 제작 및 설치

한국농촌공사 농어촌연구원내에 위치한 습지수로와 야외모형시험장에 「현장시
험시작품」 과 「기능시험모형」 시작품을 제작·설치함

·기능시험 : 무동력게이트(W1,000 × H900 × 2련) 및 시험수로 설치

·현장시험 : 무동력게이트(W1,000 × H800 × 2련) 설치

② 2007. 3 : 1차 시작품 보완제작

1차 시작품 설치후 모니터링 및 자문회의를 통한 문제점 파악 및 보완대책 수립

·게이트 전도시 급격히 하강(완충장치 필요) : SHOCK ABSORBER 설치

·게이트 지수부 보강(지수재 재질변경 필요) : 특수지수고무 제작

③ 2007. 5 : 2차 시작품 제작 및 설치

다수위 유지 및 비상용 무동력 전도게이트 제작

·설정 수심 및 다수위 유지형 무동력 전도게이트(W1,000 × H700 × 3련)

·비상용 여수토게이트(사전방류용, W1,000 × H500 × 1련)

④ 2007. 11 : 3차 시작품 제작 및 설치

현장적용성 향상을 위한 무동력 전도게이트 개량품 제작

·무동력 게이트 수문(플레이트) 형상변경 제작 및 설치(초기 수문각도 변경)

·지수개량품 제작 및 설치(MC 나이론/탄성 재질 수직형 지수판 특수제작)

⑤ 2008. 3 : 4차 시작품 제작 및 설치

제품 다양성 확보를 위한 수중 전도형 무동력 게이트 제작

·수중보형 무동력 게이트 제작 및 설치(W1,000 × H700 × 2련)

·1:1 축척의 실물모형 제작 설치(연구원 습지배수로, W1,000 × H900 × 2련)

4. 모니터링 및 성능평가 분석

- ① 1차년도 전도식 게이트 설치를 위한 모형실험에서 적정 수문비는 1.0~1.45로 판단되었으며, 모형실험에서는 수문 높이 25cm, 28cm 2가지 형식에 대한 구조 계산 결과를 바탕으로 수문 높이 25cm(수문비 1.18)인 모형수문에 대한 실험을 수행.
- ② 모형실험 결과에서는 유량별 전도시 수위는 35cm 내외로 일정하였으며, 전도 각도 전면전도가 짧은 시간 안에 발생하여 전도 게이트의 작동은 원활한 것으로 판단. 그러나 수문전도 시 하류부로 유출되는 유량은 상부에서 유입되는 유속에 따라 증가되는 것으로 나타났으나 모형실험에서는 이에 대한 조절이 용이하지 않았음.
- ③ 2차년도 모형실험에서는 1차년도 실험에서 확인된 문제점을 개선하여 수문측면의 마찰을 줄이기 위해 2련의 전도 게이트를 설치하여 실험을 실시하였으며, 수로 내 유입유량은 일정하게 유지하도록 하였으며, 전도 후 유출유량도 일정하게 나타나 모형 내 물이 하부수조로부터 게이트로 전도될 때까지 원활하게 유하 되는 것으로 나타남.
- ④ 전체적으로 게이트의 모든 구성품들의 작동은 원활하게 이루어지는 것으로 판단되었으며, 전도 후 게이트의 복원도 원활하게 작동.
- ⑤ 게이트 설치에 따른 기존 저수지 체체의 안정성을 검토하기 위하여 경남지역의 5개의 저수지를 선정하여 체체 내 수위상승에 따른 간극수압, 전단응력, 항복을 그리고 수평변위 등을 검토한 결과 큰 차이가 없는 것으로 나타남.
- ⑥ 또한 선정된 저수지 체체내 가상활동면에 대한 수위변동에 따른 사면안정해석을 실시한 결과 모든 댐에서 최소 안전률이 2.9 이상으로 높게 나타나 무동력 여수토 게이트 설치시 예상되는 수위상승의 영향 없이 댐 사면은 매우 안정할 것으로 예상.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발의 목표 및 평가의 착안점

1. 당해연도 연구개발의 목표

본 연구는 농업용수 확보와 인명, 재산, 농작물 등의 피해 방지를 위해 농업용 저수지에 이수용량 확보와 홍수조절기능 부여를 동시에 충족할 수 있도록 여수토 승상 목적의 무동력 자동 게이트 개발하는데 있다.

2. 평가의 착안점 및 기준

구분	연도	세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 기준
1차 연도	2006	○ 기초자료조사	10 %	기술조사
		○ 구조해석 및 성능분석	20 %	실험의 적정성 및 분석결과
		○ 게이트 개발 I	20 %	게이트의 구조설계방법 확립
		○ 제작 및 설치	10 %	사양에 의거 제작 및 설치 완료
		○ 모니터링 및 홍수조절 성능평가 분석	10 %	성능평가 및 작동성 조사
		○ 특허출원	30 %	특허출원 여부
2차 연도 (최종)	2007	○ 구조해석 및 성능분석	10 %	실험의 적정성 및 분석결과
		○ 게이트 개발 II	20 %	게이트의 구조설계방법 확립
		○ 제작 및 설치	10 %	사양에 의거 제작 및 설치 완료
		○ 모니터링 및 홍수조절 성능평가 분석	10 %	성능평가 및 작동성 조사
		○ 특허등록	30 %	특허등록 여부
		○ 호형도 작성	5 %	한국농촌공사 호형과 일치
		○ 매뉴얼 작성	5 %	각각의 매뉴얼의 타당성
		○ 보고서 작성	10 %	보고서 작성의 정확성

제2절 연구범위 및 연구수행 방법

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
○ 기초자료조사	<ul style="list-style-type: none"> - 관련기술현황조사 - 기존게이트 현황조사 	<ul style="list-style-type: none"> · 국내외 유사기술 및 특허권조사 · 개발제품의 구성별 기능조사 · 도별 게이트 설치저수지 현장조사(게이트종류, 설치년도, 문비형식, 인양형식)
○ 구조해석 및 성능분석	<ul style="list-style-type: none"> - 작동원리 해석 - 성능분석을 위한 모형실험 	<ul style="list-style-type: none"> · 전도부 해석(수문비) · 복원부 해석(받침대) · 평형상태 해석 · 전도력, 복원력시험 · 구동부 지수성시험 · 힌지 내구성 시험 · 방류량 추적 · 유량-개도 curve
○ 게이트 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 단계별 게이트 구조계산 - 사양확정 - 설계 - 설계검토 및 보완 	<ul style="list-style-type: none"> · 복원·전도, 평형에 따른 구조설계 · 사양서 작성 · 조립, 부품, 설치도 작성 · 설계검토 및 보완 · 보완설계
○ 제작 및 설치	<ul style="list-style-type: none"> - 제작 및 설치 - 시운전 및 문제점 보완 	<ul style="list-style-type: none"> · 참여기업 제작 · 참여기업 설치 및 주관기관 감독 · 작동성능, 지수성 확인
○ 모니터링 및 홍수조절 성능평가 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 성능 모니터링 - 수위상승에 따른 체체안정성 검토 	<ul style="list-style-type: none"> · 모니터링 체크리스트 작성 · 홍수조절 성능평가 분석 · 안전성 평가
○ 기술권보호	<ul style="list-style-type: none"> - 특허출원 및 등록 	<ul style="list-style-type: none"> · 여수도게이트 및 운영 · 시스템 특허 출원 및 등록

제3절 목표달성도 및 기술발전의 기여도

1. 연구개발목표의 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달 성 도(%)
○ 기초자료조사	- 관련기술현황조사 - 기존게이트 현황조사	100%
○ 구조해석 및 성능분석	- 기본작동원리 해석 - 모형실험	100%
○ 무동력 게이트 개발	- 단계별 게이트 구조계산 - 사양확정 - 설계 - 설계검토 및 보완	100%
○ 제작 및 설치	- 제작 - 설치	100%
○ 현장 모니터링 및 홍수조절 성능평가 분석	- 성능 모니터링	100%
○ 기술권보호	- 특허출원 및 등록	100%

2. 기술발전의 기여도

현재 무동력을 이용하여 저수지 여수토용 비상수문에 적용된 사례는 없으며, 무동력 전도게이트의 역학관계를 해석하기 위해 부채꼴 원형단면의 무게중심 변위식 검토를 통해 복원력을 해석하였고 전도력과 수문에 걸리는 수압을 해석함으로써 무동력을 이용한 기술의 발전을 이룩하였다. 특히 무동력 기술을 이용하여 여수토게이트 뿐만 아니라 하천취입보 제품의 개발이 가능하여 기술의 발전을 이룩하였다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

우리나라 농업·농촌의 현실 및 예산구조에 비추어 볼 때 농촌에 보급되는 제품의 성격은 우선 설치비가 저렴해야 하고, 유지관리방법이 쉽고, 비용이 적게 소요되는 제품이 환영받는다. 본 연구에서 개발한 무동력 게이트 기술은 우리나라 농촌현실에 적용하기 매우 적합하다.

무동력 전도게이트의 적용성은 농업용저수지 뿐만 아니라 하천취입보용으로도 충분히 응용 보급이 가능하기 때문에 수리시설 개보수사업의 하천취입보 개보수시 무동력 전도게이트의 보급이 기대되고 있다.

무동력 여수토게이트의 구조와 제품에 대한 특허등록(2007.5.30)을 연구 2차년도에 완료하였으며, 연구결과 실용화를 위한 현장설치사업을 통해 기술료계약을 추진할 계획이며 개발한 무동력 여수토 게이트를 국내 농업용저수지 관리기관인 한국농촌공사시설관리처, 사업관리처 및 수자원관리처에 제공하여 생산기반개량사업(수리시설 개보수 사업)에 활용토록 할 계획이다.

또한 무동력 게이트 제품의 다양성 확보를 위해 하천 용수의 취수를 목적으로 하는 수중 전도형 무동력게이트를 개발함에 따라 이에 대한 기술을 참여기업에 전파하여 제품이 상용화 할 수 있도록 추진할 계획이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

“해당사항 없음”

제 7 장 참고문헌

1. 건설부(1986), “구조물기초설계기준”
2. 김상규(1993), “토질역학 -이론과 응용-”, 청문각
3. 김영한, 오정선, 서일원(2003). “수치모형을 이용한 댐 상류 및 여수로 수리현상 해석” Analysis of Hydraulic Characteristics Upstream of Dam and in Spillway Using Numerical Models. 한국수자원학회논문집, 제36권 5호, pp.761~776.
4. 김필식, 김선주(2005). “소규모 댐의 효율적 관리를 위한 운영기법” Operation Method for the Effective Management of Small Dams. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.299~303.
5. 김필식, 김선주, 신문호(2004). “하류부 홍수영향을 고려한 댐 최적수문조작” Optimum Dam Gate Operation Considering Downstream Flood Effect. 한국수자원학회 학술발표회, pp.303~307.
6. 김현주, 오금호(2003). “재난관리를 위한 지역위험도 평가 및 적용에 관한 연구” A Study on the Regional Vulnerability Assessment and its Application for the Disaster Management. 국립방재연구소.
7. 농림부, 2002. 농업생산기반정비사업의 계획설계기준(필담편)
8. 농림부, 2001, 농업생산기반정비사업의 계획설계기준(배수편)
9. 농림부, 2003, 농업생산기반정비사업의 계획설계기준(수로편)
10. 농림부, 2003, 재해대비 수리시설 설계기준 개정
11. 농림부, 2005, 태양광 전동수문 시범사업 보고서
12. 농림부·농업기반공사, 2005, 농업생산기반정비사업통계연보
13. 농림사업평가위원회·한국농촌경제연구원, 1997, 농림사업 평가
14. 농어촌진흥공사(1991), “토공구조물에 의한 연약점토지반의 변형해석에 관한 연구(II)”
15. 백영식(1989), 사면안정(IV), 한국토질공학회, 제5권 1호, pp. 69~85
16. 백영식(1989), 사면안정(V), 한국토질공학회, 제5권 2호, pp. 85~102
17. 시설안전기술공단, 1996, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침
18. 심명필, 이재형, 권오익(1993). “예비방류에 의한 홍수조절 방안 연구” 수공학연구발표회논문집, pp.247~255.
19. 송시훈, 임기석, 지홍기, 이순탁(2001). “극한 호우시 소류지 방수로의 통수능력 해석” Capacity Analysis of Mminor Dam Spillway in Extreme Storm. 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), pp.441~446.

20. 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 2004, 지속가능한 댐 개발기술 세미나자료집
21. 이광야, 김해도, 정광근(2007), “농업용저수지 여수로 게이트 설치현황 조사
“Investigation of Installation of Water Gate in Agricultural Reservoir, 한국수
자원학회 학술발표회
22. 임재환, 1997, 농업투자분석론 : 이론과 실제, 선진문화사
23. 우효섭, 2001, 하천수리학
24. 한국농촌공사, 2004, 재해대비 설계기준 개정 적용요령
25. 한국수자원학회, 2004, 하천설계기준(개정)
26. 한국농촌공사 농어촌연구원, 2004, 농업기반시설 재해(홍수) 예방대책 문제점과 개
선방안 연구
27. 한국건설기술연구원(1989), 연구보고서 사면의 안전진단 및 보호공법
28. 한국건설기술연구원, 2002, 200년8월 낙동강유역 홍수
29. 한국개발연구원, 1996, 농어촌 투융자 효율성 제고방안
30. 한국농촌경제연구원, 1997, 농림사업 2단계 중간평가
31. 한국산업은행, 1991, 기술도입의 효과분석
32. 한국지반공학회(1994), <지반공학시리즈5> 사면안정
33. 한국지반공학회(1995), “연 약 지 반”, 지반공학시리즈 6
34. 한국콘크리트학회, 1995, 콘크리트 구조물의 진단, 보강 및 유지관리
35. 한국 표준협회편 : 한국산업규격 KS D 3565(상수도용 도복장관), KS D 4311(수도
용 원심력 덕타일주철관), KS F 4405(코어식 프리스트레스트 콘크리트관).
36. 홍원표(1994), 시리즈4 토목시공고등기술강좌, 대한토목학회, pp.169~208
37. Bjerrum L.(1973), "Problems of soil mechanics and Construction on Soft Clays
and Structurally Unstable Soils(Collapsible, Expansive and others), "State of the
art report Session IV, Proc. 8th int. Conf. Soil Mech., Vol. 3, Moscow, pp. 111~159
38. Bowles J. E.(1988), "Foundation Analysis and Design 4th-ed.", McGraw-Hill
39. Brand E. W. and Brenner R. P. edited(1981), "Soft Clay Engineering", Elsevier
40. Britto A. M. and Gunn M. J.(1987), "Critical State Soil Mechanics via Finite
Element", John Wiley & Sons
41. Das B. M.(1990), Principles of Geotechnical Engineering, PWS- KENT, Boston, pp.505~569
42. Duncan J. M. and Buchi ganani A. L.(1973), "Failure of Underwater Slope in
San Francisco Bay", ASCE, Jour. of Soil Mechanics and Foundation Division,
Vol. 99, No. SM9, pp. 687~703

43. Ladd C. C. and Foott R.(1974), "New Design Procedure for Stability of Soft Clays", ASCE, Jour. of Soil Mechanics and Foundation Division, Vol. 100, No. GT7, pp. 763~786
44. Lambe T. W. and Whitman R. V.(1979), "Soil Mechanics SI-version", John Wiley & Sons
45. Leonards, G. A., 1962, Chapter 11. Culvert and Conduits, Foundation Engineering, McGRAW-HILL BOOK COMPANY INC., pp. 965~999.
46. Leonards G. A.(1982), "Investigation of Failures", 16th Terzaghi Lecture, ASCE, Jour. of Geotech. Eng Division, Vol. 108, No. GT2, pp. 187~246
47. Leroueil S., Magnan J. P. and Tavenas F.(1990), "Embankments on the Soft Clays", Ellis Horwood
48. M. Hanif Chanudhry, 1993, Open-Channel Flow
49. Mitchell J. K, Seed R. B. and Seed H. B.(1990), "Kettleman Hills Waste Landfill Slope Failure. I : Liner-System Properties", ASCE, Jour. of Geotech. Eng Division, Vol. 116, No. 4, pp. 647~666
50. NAVFAC(1982), "Design Manual 7.1 - Soil Mechanics", NAVFAC DM 7.1., U.S. Department of Navy, Washington D.C.
51. Olson R. E., and Ladd C. C.(1979), " One-Dimensional Consolidation Problems", ASCE, Jour. of Geotech. Eng Division, Vol. 105, No. GT1, pp. 11~30
52. Seed R. B., Mitchell J. K. and Seed H. B.(1990), "Kettleman Hills Waste Landfill Slope Failure. II : Stability Analyses", ASCE, Jour. of Geotech. Eng Division, Vol. 116, No. 4, pp. 669~690
53. U.S.B.R, 1997, Water Measurement Manual
54. U.S.B.R, 1997, DESIGN OF DAMS
55. Ven Te Chow, 1959, Open-Channel Hydraulics
56. Wylie, E. Benjamin, 1993, Fluids Transients in System, Prentice-Hall, INC.,.
57. Zeevaert L.(1973), "Foundation Engineering for Difficult Subsoil Condition", VNR, pp. 245~281
58. 農林水産省構造改善局計劃部, 1997, 解説 土地改良の經濟效果, 大成出版社
59. 玉城哲, 旗手熏, 今村奈良臣 編, 1984, 水利の社会構造, 東京大學出版會

부 록

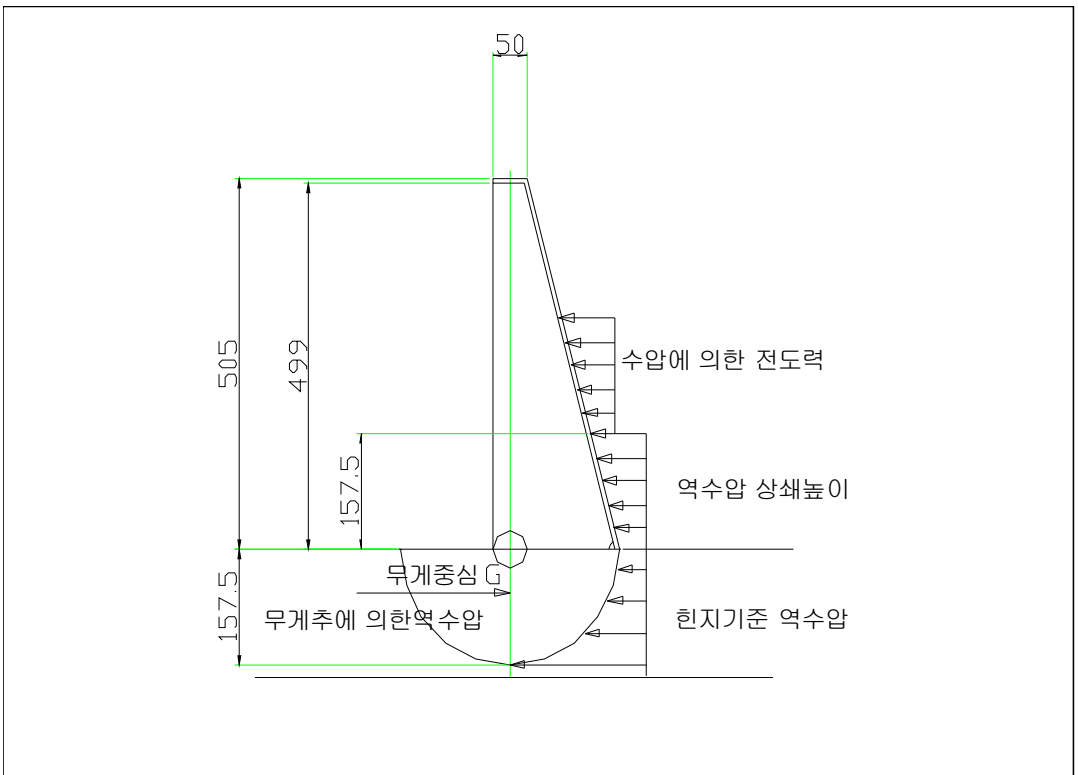
1. 무동력 여수토게이트 매뉴얼
2. 무동력 여수토게이트 표준도
3. 무동력 여수토게이트 홍보자료

1. 무동력 여수토게이트 설계·제작·유지관리 메뉴얼

1. 전도 게이트 설계 및 구조계산

가. 전도 게이트의 전도시작 수심의 검토

1) 수심에 의한 수압의 계산 개념



- 무게추에 의한 수압에 대한 반력은 무게추 중심(G)과 한지 기준거리에 의한 TORQUE 에 의해 결정됨
- 따라서 무게추의 수압에 의해 넘어가기 시작하는 순간은 수압에 의한 TORQUE 가 무게추에 의한 반력TORQUE가 커지기 시작할때 부터 전도가 이루어 짐
- 전도 시점은 수압에 의한 전도 TORQUE > 무게추에 의한 반력 TORQUE 임

나. 300D × 990L무게추의 전도 높이검토

- 한지를 기준으로 하여 무게추의 무게중심(G)를 구하면 반원형 실린더형 무게중

심 공식에서

$$X = \frac{3}{8} r + \frac{3}{16} \sqrt{(4r^2 - C^2)}$$

$$X = \frac{3}{8} r + \frac{3}{16} \sqrt{(415^2 - 30^2)} = 5.625 \text{ cm}$$

○ 무게추의 중량은

$$W = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \times \text{철의 비중}(7850\text{kg/m}^3)/2$$

○ 무게추의 중량을 계산하면

$$W = \frac{\pi}{4} \times 300\text{mm}^2 \times 990\text{mm} \times 7850\text{kg/m}^3 / 2 = 274.66\text{kg}$$

(반원 실린더형으로 원형중량에 1/2 임)

○ 무게추에 의해 작용하는 역수압을 TORQUE 값으로 계산하면

$$T = \text{무게중심거리} \times \text{중량} = 5.625 \times 274.66 = 1544.96 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

다. 수압에 의해 전도가 시작되는 높이의 검토

○ 수압이 작용하여 전도 되는 시점의 TORQUE를 검토하면

$$T = X \times L \times 1000\text{kg m}^3 \times X / 2$$

여기서 X = 수압에 의해 전도력이 발생하는 높이

L = 여수토 게이트의 폭

X / 2 = 수압이 작용하는 무게중심거리

○ 따라서 무게추와 균형이 이루어지고 전도되기 시작하는 높이 X 는

$$1544.96 \text{ kg} \cdot \text{cm} = \frac{1}{2} X^2 \times 99\text{cm} \times 0.1 \text{ KG cm}^3$$

$$X = \sqrt{(2 \times 1544.96 / 9.9)} = 17.66\text{cm}$$

○ 무게추를 이기고 전도가 시작되는 수심은

$$\begin{aligned} \text{전도수심} &= \text{현지 중심 하반부 수심} + \text{역수압에 의해 받는 수심} + \text{전도수심 } X \\ &= 15.5 + 15 + 17.66 = 48.16 \end{aligned}$$

○ 따라서 시작품으로 설치된 300D 무동력게이트는 49cm 수위에서 전도가 시작됨

○ 315D×990L 여수토 게이트를 계산시 52cm 에서 전도가 시작됨

2. 무동력 게이트 표준 시방서

2.1. 적용 범위

- 본 시방서는 저수지용 여수토 게이트와 보용 수로 제작 설치공사와 관련하여 철 구조물로 실험 수로를 설치하고 여수토 게이트를 설비하여 무동력으로 상류의 계획된 일정수위의 수위를 확보함은 물론 집중호우 등으로인한 수위의 갑작스런 변화에 따른 여수토 게이트의 유동적 수위조절을 통해 홍수를 예방하는 기능의 실험용 구조물로, 이의 설계, 제작, 납품, 시험 및 검사, 시운전 등에 적용한다.

2.2. 규격 및 수량

품 명	단위	수량	형식	규격	비고
여수토 게이트	SET		무동력/ 전도식		

2.3. 제출 서류 및 보증기간

No.	종 류	수 량		보증기간
		승인도면	최종도면	
1	제작 사양서			준공후 0년
2	조립도 및 제작도			

2.4. 제작 조건

- 평상시에는 수압과 자중에 의해 상,하 또는 선회 작동하는 가동보 (수문)와 이를 구속하여 통수 단면적에 변화를 줄 수 있도록 고안된 축을 갖춘 문틀이 있어 계획 수위를 상시 무동력으로 유지 할 수 있는 구조로 제작하여야한다.
- 홍수시에는 급격한 수위 변화에 즉시 대응 할 수 있도록 고안된 구조로서 홍수 시, 또는 이물질 등이 가동보(수문)에 걸릴 경우 즉시 전도(완전 개방)되어 수로에 대한 저항을 최소화 할 수 있는 구조로 제작하여야한다.
- 전도시에는 홍수 및 급격한 수위상승으로 인하여 전도된 수문은 자동으로 복귀

- 시킬 수 있는 구조를 가져야한다.
- 지수는 하부및 양끝단을 이용한 3방 수밀형으로 제작하여 수밀을 최대한 유지하여야한다.
 - 동력은 평상시에는 수압과 자중에 의해서 작동하는 무동력 구조로 작동하고 수로의 임의개방 및 전도된 수문 복원 시에만 권양장치에 의해 구동 또는 복원할 수있어야한다.
 - 설치시 구조물의 수평, 수직이 맞지 않더라도 GATE의 수평, 수직을 맞추기에 유리한 구조이어야 하며, 토목 구조물은 GATE의 설치및 유지보수가 용이한 구조로 시공되어야 한다.

2.5. 재질 및 구조

- 본 공사에 사용하는 재료는 원칙적으로 하기에 명시된 재료나 동등품 이상의 재질로 하여야 한다.
 - 1) 가동보 SKIN PLATE : STS 304
 - 2) 가동보 본체 및 보강 : STS 304+SS400
 - 3) 문틀(GUIDE) PLATE : SS400
 - 4) 문틀(GUIDE) COVER : SS400
 - 5) 지수 접촉면 : STS 304
 - 6) 콘크리트 접촉면 : STS 304 or SS400
 - 7) 축 (SHAFT) : STS 304
 - 8) BOLT & NUT : STS 304
 - 9) WEIGHT 및 기타자재 : SS 400

가. 문비 (GATE LEAF/ STS304+SS400)

- 1) 게이트는 유속의 영향을 적게 받는 구조로 제작되어야 한다.
- 2) 게이트는 충분한 강성을 갖고 진동과 충격에 대하여 안전한 구조로 제작하여야 한다.
- 3) 게이트측부는 기밀과 마찰이 적은 구조로 마감한다.
- 4) 수압을 직접 받는 게이트 최소판의 재질과 두께는 STS304? P/L 6m/m 이상으로 해야 한다.
- 5) 가동보의 강도 계산은 용접 효율의 저하를 충분히 고려해야 한다.

- 6) 지수는 3방 지수가 가능한 구조로 제작되어야 하며, 용이하게 교체가 가능한 구조여야 한다.
- 7) SHAFT는 수압 하중으로 휨이 발생하지 않도록 충분한 구조로 제작되어야 한다.
- 8) 모든 METAL BEARING 은 MC NYLON 재질을 사용하여 부식에 영향이 없도록 사용해야 한다.
- 9) 게이트와 문틀은 적정 이격 거리를 유지하여 저항을 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라 이물질 등이 끼는 현상 등을 최소화 할 수 있는 구조로 제작되어야 한다.
- 10) 수압에 의한 수문 본체의 굽힘율(DEFLECTION RATIO)은 1/800 이하로 한다.

나. 문틀 (GUIDE FRAME/ STS304)

- 1) 문틀은 게이트에서 전달되는 수압에 대한 충분한 강도를 갖어야 하며, 게이트의 힌지 ROLLER의 작동이 원활하도록 안내하는 원형의 GUIDE ROLLER를 구비하여 게이트가 원활하게 작동 할 수 있는 구조로 제작되어야 한다.
- 2) 문틀에 구비되는 지수는 마찰이 적은 구조를 가지며, 모서리 지수에 지장이 없는 효과적인 구조로서 3방 수밀 방식으로 하고, 게이트의 작동에 효과적으로 대응할 수 있는 충분한 여유를 두어야 한다.
- 3) 게이트와 문틀을 연결하는 SHAFT와 각 2개의 축 및 대칭의 MAIN ROLLER는 독립적이며 원활한 작동이 가능한 구조로서 편중 부하를 충분히 견딜 수 있는 것으로 하며, GUIDE 와의 간격은 비체의 온도변화에 의한 신축을 고려해야 한다.
- 4) 주요부의 두께는 강재의 안전율을 고려하여 충분한 두께로 한다.

다. SEALING

- 1) SEALING 완성품에 대하여 시방에서 정한 외관검사, 치수검사, 성능검사 등을 실시하여 결함 또는 이상이 발견될 시 즉시 재제작하여야 한다.
- 2) SEALING재는 내노화성, 내한성, 내오존성, 내후성, 내마모성 등이 우수하도록 보강재, 노화방지재, 등을 혼합한 마찰력이 적은 재료를 사용한다.
- 3) SEALING재의 외관은 사용상 유해한 흠, CRACK 등이 없고 외곽선형이 수려해야 한다.
- 4) 주요 치수는 기본적으로 관련도면에 의하며 조립, 체결, 간섭 등 관련된 중요 POINT 부분을 중점 CHECK하도록 한다.

5) SEALING재

- 재질 : POLY BYNIL
- 인장강도 : 100KG/cm²
- 신축(파괴시) : 300%이상
- 흡수율 : 최대 5%이하
- 비중 : 1.1-1.4
- 강도 : 40-80°(SHORE)

2.6. 용접

가. 적용규격

- KS (KOREAN INDUSTRIAL STANDARDS)
- JIS (JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS)
- ASME (THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- ASTM(AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALSANSI)
- AWS D1.1 (AMERICAN WELDING SOCIETY)

나. 용접시 주의사항

- 다음과 같은 조건에서는 특별한 대비장치가 없는 한 용접을 피해야 한다.
 - 1) 모재 표면에 물기가 있는 경우
 - 2) 상대습도가 85% 이상인 경우
 - 3) 바람이 심하게 부는 경우
 - 4) 대기온도가 -1.8℃ 이하인 경우

다. 모재의 용접준비

- 용접할 부분의 표면은 철금속의 경우에 용접점으로부터 최소 25mm까지 비철금속인 경우에는 51mm까지 스케일, 녹, 기름, 구리스 및 기타 이물질이 없도록 세척 및 청소되어야 한다.

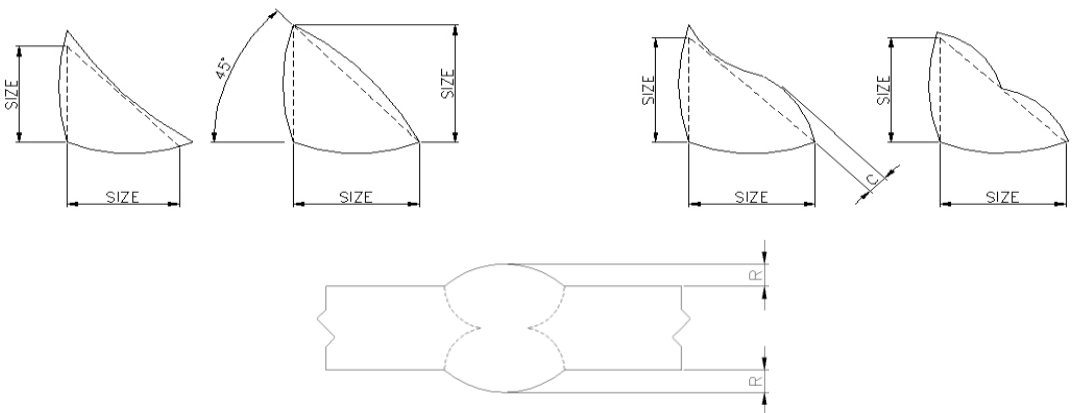
라. 탭크 용접과 임시 용접

- 1) 탭크 용접과 임시 용접은 본 용접과 같은 조건으로 용접되어야 한다.
- 2) 용접되는 부분은 적절한 지지물을 사용하여 어긋남이 없도록 용접해야 하며 응력을 최소화 시켜야한다.

3) 일시적 부착물은 용접되는 모재와 같은 재질이어야 한다.

마. 용접방법

- 1) 용접봉의 굵기와 패스의 순서는 용접 절차 사용서에 따라 실행해야 한다.
- 2) 각 용접은 전체적으로 일정한 폭과 높이를 형성해야하고 마지막 패스는 거칠은 파상, 흠, 겹침, 돌출된 용기 및 파여진 골 등이 없어야 한다.
- 3) 각 용접층 또는 패스는 내재된 용재, 틈, 가스구멍 및 접합부족 등의 결함이 없어야한다.
- 4) 그라인딩 또는 기계가공 등으로 흠을 개선하거나 텍크용접 또는 임시용접을 제거할때는 모재의 최소 두께이하로 가공해서는 안된다.
- 5) 용접비드의 높이는 AWS D1.1 CODE 또는 승인된 도면에 의한다.
- 6) 필렛 용접은 목두께와 각장이 일정해야하며, 도면에 표기된 설계치 이상이어야 한다.
- 7) 맞대기 용접은 사양서에 따라서 완전한 침투나 충분한 용입을 가져야 한다.
- 8) 오스테나이트 스텐레스강은 불꽃절단을 해서는 안되며, 기계절단 절곡을 원칙으로 하며 일부 강재의 경우 제한적으로 프라즈마 절단을 허용한다.된다.
- 9) BUTT 용접은 아래그림과 같은 현상으로서 시행되어야하며 BEAD의 높이는 PLATE의 두께가 50.8mm 이하일 경우는 3.2mm, 50.8mm이상일 경우 4.8mm를 초과해서는 안된다.



(합격된 필릿 용접 형상)

3. 무동력 게이트 시험 및 검사

3.1. 적용범위

- 본 절차서는 여수토 게이트,보용전도게이트및 수로 제작 설치공사의 검사에 대한 방법 및 절차를 확정하여 제품의 품질을 확보하고, 원활한 실험을 도모하여 제품의 기능 및 효율을 정확히 판단하고, 아울러 시공성, 경제성 을 향상시키는데 있다.

3.2. 참고규격

- 시험 및 검사계획서는 본 기준서에 규정된 이외의 내용에 대하여서는 다음 규격에 적합하게 실시되어야 한다.

KSD 4102 : 구조용 합금강 주강품

KSD 4101 : 탄소 주강품

KSD 3503 : 일반 구조용 압연강재

KSD 3706 : 스테인레스 강봉

KSD 3566 : 열간 압연 스테인레스

3.3. 시험 및 검사계획서 (별첨 ITP참조)

가. 일반 사항

- 1) 검사는 검사 7일전에 감독원에게 통보하여 확정 일정을 지시 받는다.
- 2) 시험 및 검사시 수검사는 자체 시험 및 검사 성적서를 작성하여 감독원의 부합 판정을 받고 이를 규정에 의해 제출한다.

나. 적용 규격

- 다음 규격 및 공업표준에 상당하는 규격 또는 그 이상의 물질을 보증할 수 있는 규격

1) 한국 공업 규격 (☞)

2) 기존 승인된 규격

다. 용접 검사

- 효율적인 제작을 위하여 작업 공정에 따라 다음과 같은 사항을 확인하다.

1) 자재 : 재질 검사, 두께 검사, 표면 상태 검사.

- 2) 현도 : 치수 검사, 부품 번호 및 마크 검사.
- 3) 절단 (용접부 개선) : 절단 및 용접부 개선 검사는 다음과 같이 검사하도록 한다.
 - ① 상연의 용해 상태
 - ② 평면도
 - ③ 거칠음
 - ④ 노치
 - ⑤ 개선 각도 : $+10 \sim 5j\text{.}\text{E}$
 - ⑥ 개선 길이 : $j\text{.}\text{E}1.6\text{mm}$
 - ⑦ 진척도
 - ⑧ 슬러그
- 4) FIT-UP
 - ① 각 부분의 두께 치수
 - ② 가접부 체크
- 5) 용접
 - ① WELD TYPE 검사
 - ② 용접 표면 검사
 - ③ 용접봉 검사
 - ④ FLUX 검사
 - ⑤ 용접 각장 및 길이 검사
 - ⑥ 예열 온도 검사
- 6) 가공
 - ① 구멍의 직경 검사
 - ② 각 중심선의 중심간 거리 검사
- 7) 조립
 - ① 구성부의 치수 검사
 - ② 각 구성부의 틈새 검사
- 8) 최종검사 : 최종검사는 제작이 완료되고 납부 되기전에 주문주의 사양이나 요구 사항에 적합한 것인가를 확인한다.
 - ① 각 품목들의 제작이 완료 되었는가를 확인한다.
 - ② 제출하여야 할 보고서가 완료되었는가를 확인한다.

라. 허용공차

○ 철구조물 및 기타 부분의 치수 허용차와 공장 가조립에 있어서 각 주요부의 허용차는 다음과 같다.

- 각부치수 허용차

$$E = \frac{EO}{2} \left(1 + \frac{L}{10}\right), \quad \text{다만 } \geq 20\text{mm를 넘지 않을 것.}$$

여기서 EO : 10m 당 표준 허용차

L : 부재 또는 부분의 허용차 (m)

폭, 높이 등의 일반 치수 : $\pm 8\text{mm}$

중심간의 길이 : $\pm 6\text{mm}$

수밀에 관계있는 치수 : $\pm 4\text{mm}$

- 전체길이에 대한 휨

일반구조부 : 1/800

4. 도장 절차서

4.1. 목적

- 본 절차서는 여수토 게이트, 보용전도게이트 및 수로 제작 설치공사에 대한 기재 및 장치의 산화로 인한 녹을 방지하고 제거하여 제품의 품질의 유지 및 향상시키는데 있다.

4.2. 적용범위

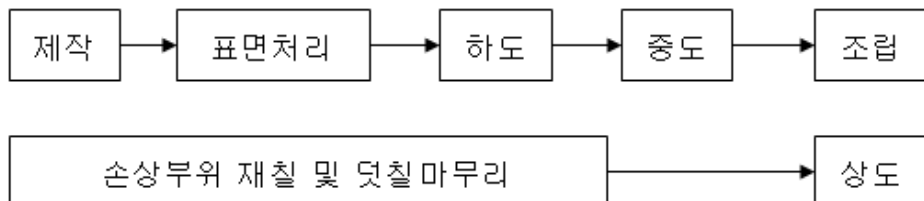
- 본 절차서는 여수토 게이트,보용전도게이트 및 수로 제작 설치공사 중 게이트 및 수로의 도장에 대하여 적용한다.

4.3. 관련규격

- SSPC SP10 : Commercial Blase Eleaning Surface Preparation
- SSPC PA1 : Shop Field and Maintenance Painting

4.4. 절차

- 표면처리는 SSPC SP10에 따라 Sa2 1/2 Grade로 하여 표면상태 확인 후 5시간 이전에 Paint를 실시한다.
- 페인팅
 - 상대습도 80%, 풍속 3m/sec 이상일때 페인트 작업은 실시하지 않으며 재 도장은 선행 도장이 완전 건조후 실시한다. (최소 건조시간은 도료 제조자의 지침서에 따른다.)
 - 상도는 하도도막두께를 측정한 후 시행한다. 페인트의 색상은 사양과 일치하는가를 확인한다.
 - 도막두께는 사양 두께이상이어야 하며 전표면에 걸쳐 일정하게 도장되어야 한다.
 - 피도체의 온도는 노점보다 3℃이상 높아야 한다. 또한 피도체 온도가 10℃이하 38℃이상에서는 도장을 행하지 아니한다.
- 도장 순서



5. 포장절차서

5.1. 목적

- 본 절차서는 여수토 게이트,보용전도게이트 및 수로 제작 설치공사에 대한 기자재 및 장치를 부식, 화학적 손상 또는 품질이 저하될 수 있는 어떤 영향으로부터 제품을 보호하기 위한 포장방법에 대한 요건을 기술하여 품질의 유지 및 향상시키는데 있다.

5.2. 적용범위

- 본 절차서는 여수토 게이트,보용전도게이트 및 수로 제작 설치공사 중 포장에 대하여 적용한다.

5.3. 포장 (packing)

- 각 품목은 포장전에 세척에 대한 검사가 수행되어야 한다.
- 모든 자재 및 장치는 WOODEN BOX, CRATE, SKID, BUNDLE 및 기타 형태 등의 방법으로 각각의 자재 및 장치의 특성과 그 형태에 따라 적절한 방법으로 포장되어야 한다.
- 중량물은 LIFTING시 추락을 방지하기 위하여 LIFTING POINT를 정확히 표시해야 한다.
- 모든 개구부는 PLASTIC CAP이나 합판카바로 보호한다.
- PACKING 방법

DESCRIPTION	P`KG TYPE	REMARKS
여수토 게이트	skid	
실험용 수로	skid	

- BENDING 작업시 포장 및 취급하는 동안 발생하는 손상방지를 위해 PACKING 제품의 표면과 BEND사이에 PLASTIC FOAM과 같은 쿠션재료나 충분한 강도에 견디는 두꺼운 고무재를 사용한다.

6.설치절차서

6.1. 목적

- 본 절차서는 여수토 게이트,보용전도게이트 및 수로 제작 설치공사에 대한 설치 방법 및 절차를 확정하여 제품의 품질을 확보하고 작업원과 시공의 안전성을 도모하며 아울러 시공성, 경제성을 향상시키는데 있다.

6.2. 적용범위

- 본 절차서는 여수토게이트,보용전도게이트의 설치공사에 대하여 적용한다.

6.3. 참조 및 품질 요건

- 참조
 - 1) 기술 시방서
 - 2) 자재 : KS, JIS
치수 : 미터 표기법에 의해 표기된 치수
용접 : AWS, KS, JIS

6.4. 책 임

- 현장 소장은 여수토 게이트의 GATE LEAF, CANAL FRAME 설비의 설치에 관한 전반적인 책임을 진다.
- 시공자의 현장 대리인, 현장 기술자 및 그 지정인은 배수문 설비 설치를 기술 시방서 및 절차서에 따라 시행할 책임을 갖으며, 설치전 절차서를 작성하여 감독관의 승인을 득하여야 한다.
- 현장 시공담당 및 안전 책임자는 작업 종사자에게 작업전 안전 교육을 실시하며, 안전사고 예방에 철저를 기할 책임을 갖는다.
- 감리원 및 그 지정인은 시공자가 제출한 여수토 게이트 설비의 설치 계획을 검토 승인하고, 작업이 승인내용과 기술 시방서 및 절차서에 따라 시행되는가를 검사할 책임을 갖는다.

6.5. 일반사항

- 현장에서 설치되는 제품 LIST
 - 1) SS400 GATE LEAF : 2SETS
 - 2) STS GATE CANAL FRAME : 1SET

○ 중기 장비 (HEAVY LIFTING EQUIPMENT)

- 설치 현장에서 이루어지는 모든 LIFTING 작업은 충분한 용량의 CRANE을 사용하여 수행되어야 한다.
- 설치 작업시 안전사고가 발생하지 않도록 주의 하고 공사에 관련되는 안전 교육을 실시하여 사고 방지에 만전을 기한다

6.6. 설치절차

○ 주요장비현황

장비 또는 공구	사양	수량
HYDRAULIC CRANE	25 TON	1
CARGO TRUCK	5 TON	1
AC WELDER		3
COMPRESSOR		1
LEVEL SCOPE		1

○ 설치전 준비사항

설치를 행하기에 앞서 다음 사항에 대한 검사가 수행되어야 한다.

- 고정시킬 설비에 사용될 매설 ANCHOR PLATE의 위치 및 수량 확인
- 기준선 (DATUM LINE), CENTER LINE 및 ELEVATION 확인
- 설치될 설비 품목의 상태 확인
- 사용 중장비의 접근로 및 작업 위치 확인
- 전기 전원 공급의 준비

○ GUIDE FRAME, GATE LEAF 설치 상세

1) GUIDE FRAME

- 매설 금속 (EMBEDDED METALS)

매설 금속은 수압하중 (HYDRAULIC LOAD)에 견딜수 있어야 하며 수밀이 잘 되도록 조심스럽게 그리고 안전하게 설치되어야 한다.

- GATE SILL

㉑ GATE SILL의 설치를 위한 측정 및 표시는 다음과 같은 기준선으로부터 정확하게 측정되어야 한다.

- * GATE 의 중심선 (CENTER LINE)
- * GATE SILL 의 높이 (ELEVATION)
- * DATUM LINE

㉒ 수평도의 측정점의 수는 LEVEL SCOPE 를 이용 5개소 이상 측정된다.

㉓ 허용오차

- * GATE SILL- DATUM LINE 과 BRIDGE CENTER 수평거리 편차는 2mm 이내
- * GATE SILL표면의 수평 (LEVEL) 편차는 1mm 이내

- CANAL FRAME

㉑ CANAL FRAME 은 SILL BEAM 과 같이 조립되어지며 허용오차이내에서 ANCHOR PAD와 견고하게 고정하여야 한다. 또한, 문틀 설치시 수평 및 수직 면은 수평기로 검측한 후 문틀과 콘크리트가 잘 접합 할 수 있도록 철근과 앙카바를 용접시켜 콘크리트 타설시 흔들림이 없도록 해야 한다.

㉒ 각 CANAL FRAME 의 경간(SPAN) 치수는 GATE 중심선으로부터 대칭으로 측정되어야 한다.

㉓ SEALING TRACK 의 표면은 BRIDGE CENTER 와 평행하게 고정되어야 하며 어느방향에서든 연직으로 정확하게 설치되어야 한다.

㉔ 연직 방향의 측정은 20kg이상의 연직추 (PLUMB BOB)를 사용하여 측정한다. 연직추는 회전에 의한 흔들림으로부터 방지하기 위해 고정도의 OIL안에 담겨야한다.

㉕ GUIDE FRAME 설치를 위하여 임시적으로 PIPE비계를 설치하여야 한다.

㉖ 허용오차

- * MAIN TRACK 및 SEALING TRACK 의 연직 방향 공차는 10M 당 2mm 이내이어야 한다.
- * 각각의 FRAME 간 경간 (SPAN)의 공차는 5mm 이내이어야 한다.
- * GUIDE RAIL의 연직 방향 공차는 전 길이의 2mm 이내이어야 한다.
- * 측정부의 허용오차는 "설치 검사 절차서"에 따른다.

2) GATE LEAF

- GATE LEAF 설치

- ㉠ GATE LEAF는 발주처 감독관의 현장 반입검사를 득한 후, CRANE을 사용하여 설치장소에 위치 시킨다.
- ㉡ CRANE에 의한 설치 작업은 GATE 상부의 CONNECTING BRACKET을 이용하거나 필요한 경우, LIFTING LUG를 부착 체결하여 이용토록 한다.
- ㉢ GATE 설치전 GUIDE FRAME 의 SS400 PLATE 면을 깨끗이 청소하여야 하며 SILL BEAM상에 이물질 등 기타 설치시 장애가 되는 요소들을 사전 제거하여야 한다.
- ㉣ GATE LEAF는 CRANE을 이용하여 DECK위로 GATE LEAF를 들어올린 후, GATE SLOT 내로 주의 깊게 내려 놓는다.
- ㉤ GATE LEAF 가 설치되면 SEALING 상태, GATE LEAF가 정위치에 놓여져 있는지를 CHECK 하여야 한다.
- ㉥ 여수토 게이트가 원활히 작동할 수 있도록 적정한 위치에 설치에 작동시 발생할 수 있는 진동에 의한 휨 발생이나 이탈을 방지할 수 있도록 견고하게 설치하여야하며, 설치 완료 후 감독원 입회하에 작동 시험 및 시운전을 실시하여 이상이 있을 시 즉시 시정해야 한다.

7. 유지관리지침서

7.1. 목적

- 본 절차서는 여수토 게이트,보용전도게이트 및 수로 제작 설치공사와 관련하여 신규 설치된 여수토 게이트의 운전 및 유지관리를 원만하게 하는데 그 목적이 있다.

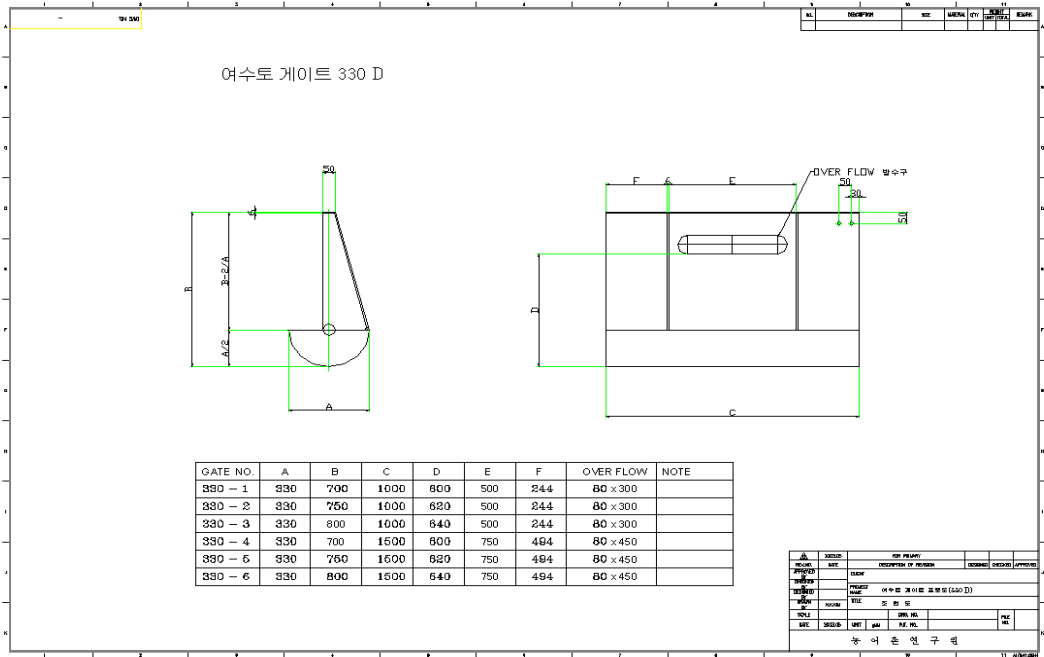
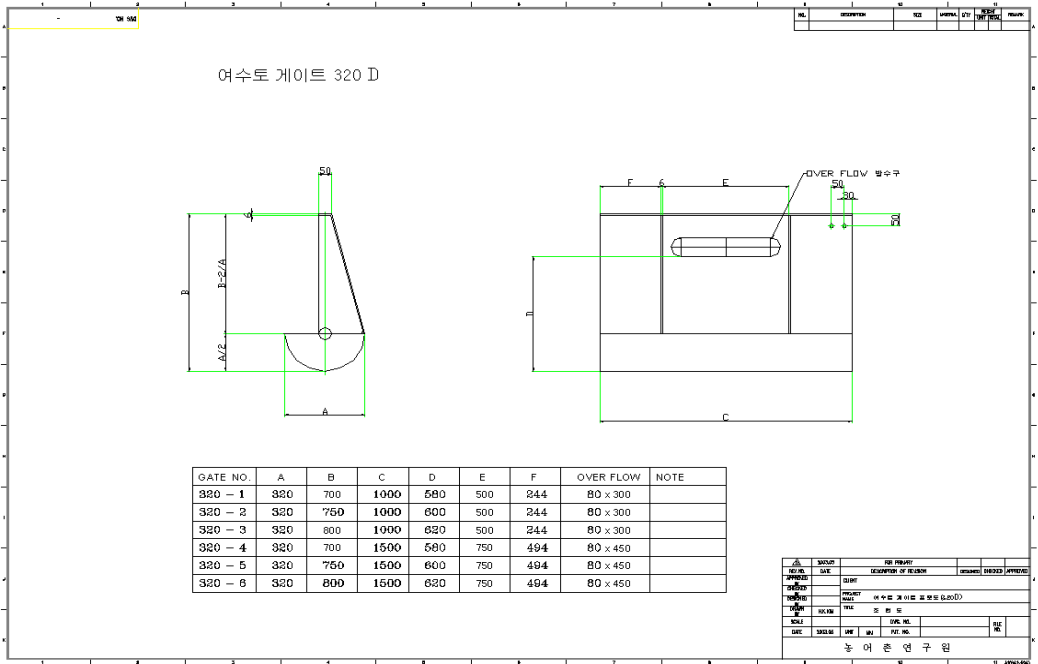
7.2. 점검

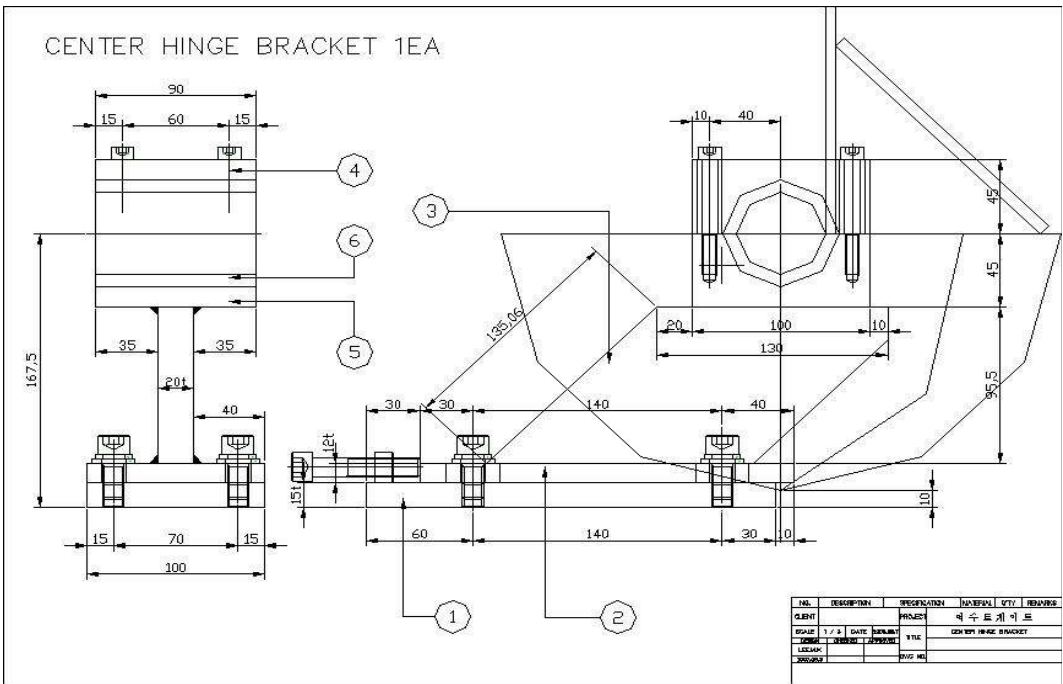
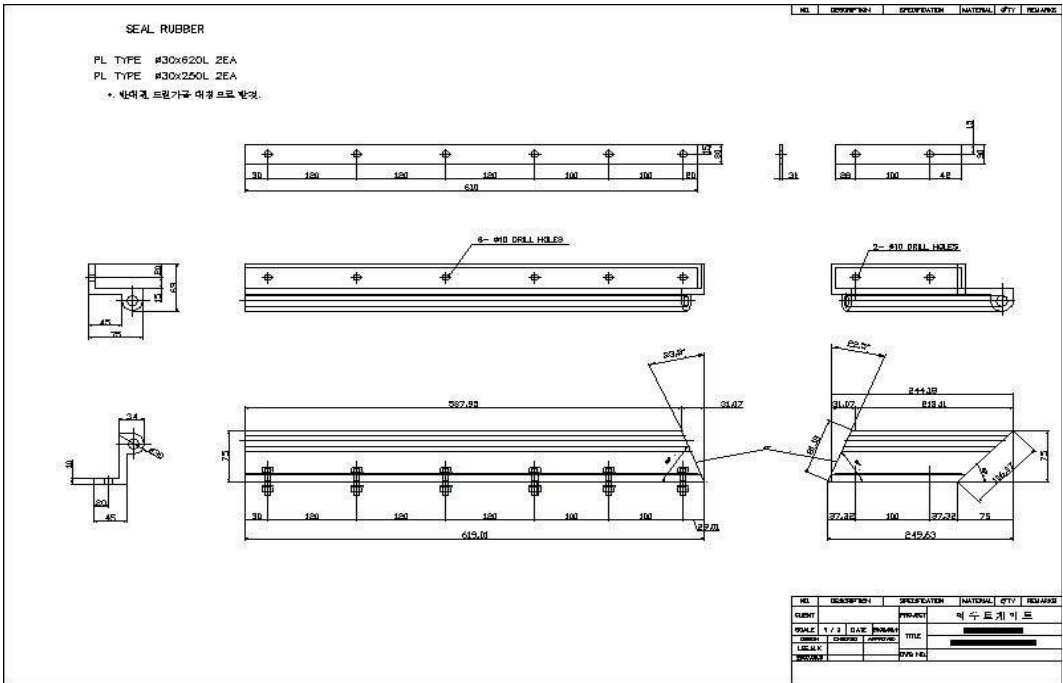
- 설계 자료 및 사용 자료 기기 일람표

기기명	단위	수량	형식	규격
여수토 게이트	SET	2	무동력/전도식	W1.0 * H0.9

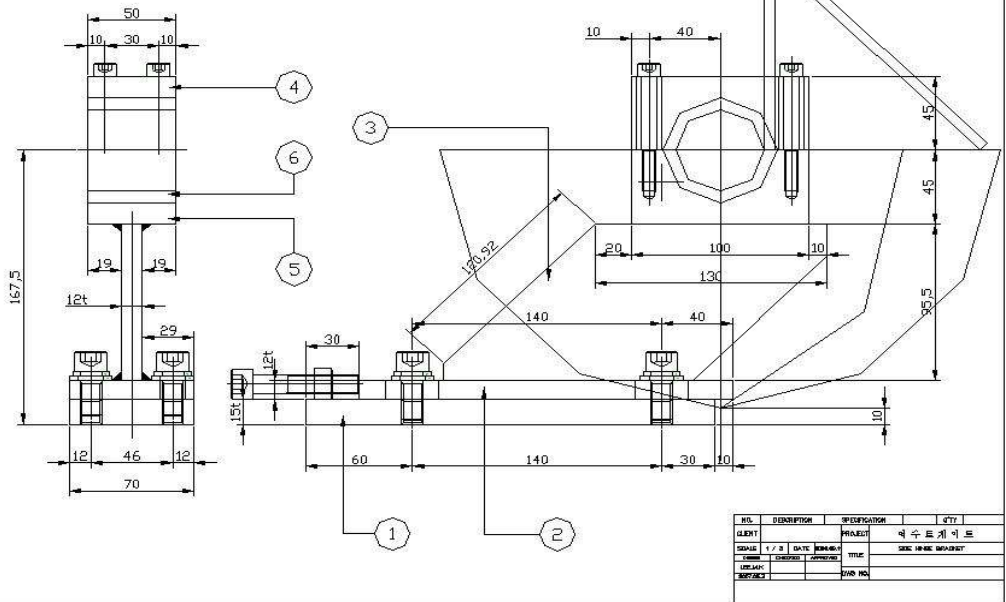
7.3. GATE LEAF 및 CANAL FRAME의 관리

- 검사 항목 :
 - 공구 및 계기류의 작동 상태 점검.
 - 시운전을 통한 구조물의 작동 상태 점검.
 - 점검을 통한 수정 결과, 조정 내용등의 기록.
- 유지 관리 항목 :
 - GATE 및 CANAL 의 청결상태 유지.
 - 부품의 교체 및 보수에 따른 내용등의 기록.
 - 기기의 도장 상태 점검 및 보수.
- 검사 기간 :
 - 수문 및 구조물을 정상 조건하에서 규칙적으로 점검하여 작동상의 효과를 배가 시키도록 한다.
- ※ 월간 검사 :
 - GATE LEAF를 상하 방향으로 2~3회 움직여 작동 상태를 점검한다.
 - PACKING 및 지수판의 마모 상태 점검.
 - 각 부분의 취부용 BOLT/NUT의 체결 상태 점검.

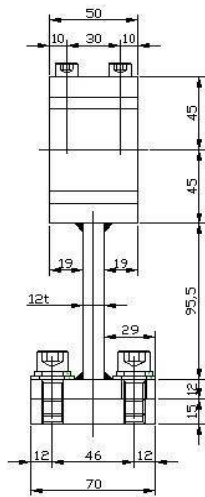




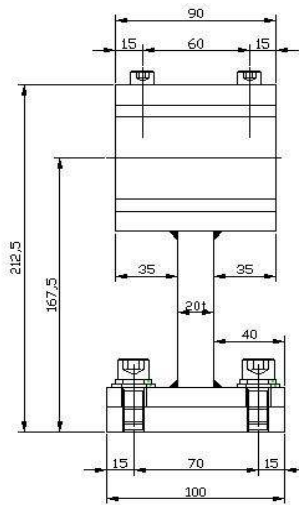
SIDE HINGE BRACKET 2EA



SIDE HINGE BRACKET 2EA

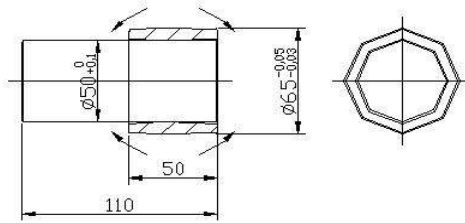


CENTER HINGE BRACKET 1EA



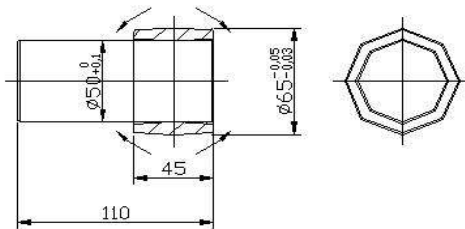
NO.	DESCRIPTION	SPECIFICATION	MATERIAL	QTY.	REMARKS
CLIENT	PROJECT	역수표게이트			
DATE 1 / 3	DATE	DATE			
DESIGNER	ENGINEER	DATE			
DATE	DATE	DATE			
DATE	DATE	DATE			
DATE	DATE	DATE			

⑥ MC NYLON $\phi 65 \times \phi 50 \times 50L$ 2 EA
SIDE BEARING



NO.	DESCRIPTION	PRODUCTION	QUANTITY	REMARKS
CLIENT		PROJECT	에스토프젝트	
SCALE	1/3	DATE	REVISED	
DESIGNER		DATE	FILE	
CHECKER		DATE	NO. NO.	
REVISION				

⑥ MC NYLON $\phi 65 \times \phi 50 \times 45L$ 2 EA
CENTER BEARING



NO.	DESCRIPTION	PRODUCTION	QUANTITY	REMARKS
CLIENT		PROJECT	에스토프젝트	
SCALE	1/3	DATE	REVISED	
DESIGNER		DATE	FILE	
CHECKER		DATE	NO. NO.	
REVISION				

3. 무동력 여수토게이트 홍보자료

2006 농업기술개발 지정과제(과제명 : 농업용 수확보 및 방재를 위한 저수지 여수토 게이트 개발)

농업용저수지 무동력 전도 게이트

참여기관 : 농어촌연구원 · 경상대학교 · 제이디아이테크(주)

○ 제품개발 목적

농업용수 확보인 인명, 재산, 농작물 등의 피해 방지를 위해 농업용 저수지에 이수 용량 확보인 홍수조절기능 부여를 동시에 충족할 수 있도록 여수토 승상 목적의

무동력 저수 게이트 개발



○ 기대효과

- ❖ 농업용 저수지 홍수조절 능력 부여에 따른 재해대비
- ❖ 저수지 운영 비용 최소화(무인 운용 가능)
- ❖ 이수용량 확보에 따른 수자원 보강개발
- ❖ 농업용 수리시설의 현대화에 기여

○ 활용방안

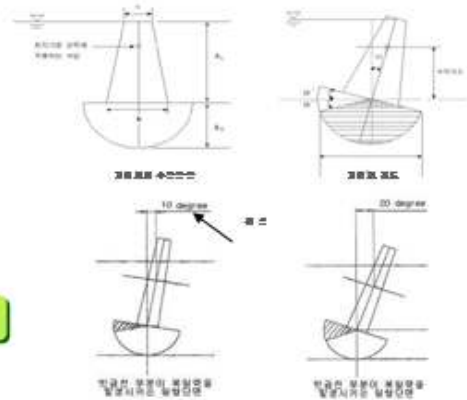
- ❖ 농업용 수리시설 개보수 사업에 활용
- ❖ 특어 획득 및 NEP를 통한 로열티 확보 및 기술이전
- ❖ 농업용 저수지 현장보급확대

농업용 저수지 무동력 전도 게이트

참여기관 : 농어촌연구원 · 경상대학교 · 제이디아이테크(주)

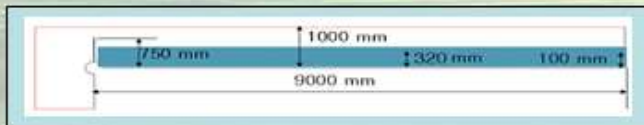
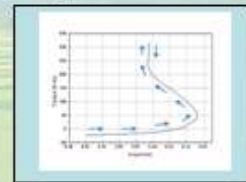
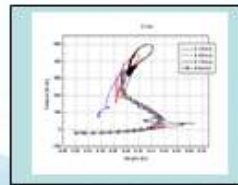
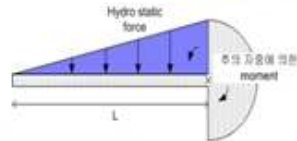
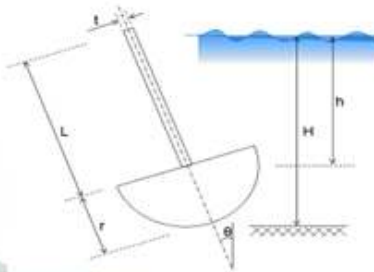
○ 제품 작동원리

- ◆ 전도시
 - ▶ 유량증가에 따른 수압증가
 - ▶ 설정수위 도달
 - ▶ 게이트 전도
- ◆ 복원시
 - ▶ 유량감소에 따른 수압감소
 - ▶ 설정수위유감소
 - ▶ 게이트 복원



○ 구조해석

- ◆ 일장수위조건형 전도게이트 구조해석
 - ▶ 무게중심 위치의 관성률 통한 복원력 해석
 - ▶ 전도력
 - ▶ 수위에 걸리는 수압계산
- ◆ 설정수위조건형 전도게이트 구조해석
 - ▶ 웨이더에 의해 작용하는 힘의 해석
 - ▶ 전도게이트에 의해 작용하는 힘의 해석
 - ▶ 웨이더와 전도게이트에 발생하는 힘의 상관관계

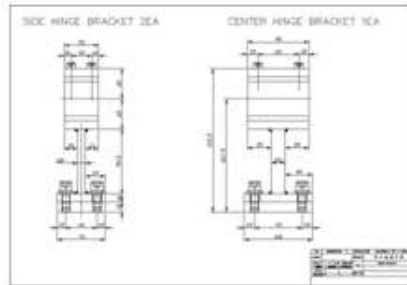
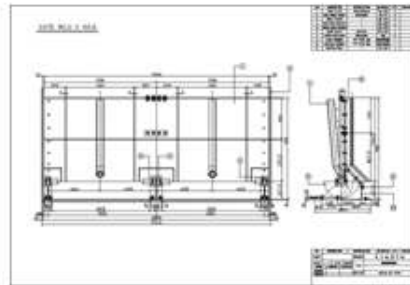
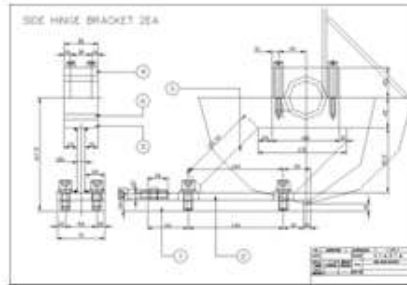


2006 농업기술개발 지정과제(과제명 : 농업용 수확보 및 방제를 위한 저수지 여수토 게이트 개발)

농업용 저수지 무동력 전도 게이트

참여기관 : 농어촌연구원 · 경상대학교 · 제이디아이테크(주)

○ 제품 제작



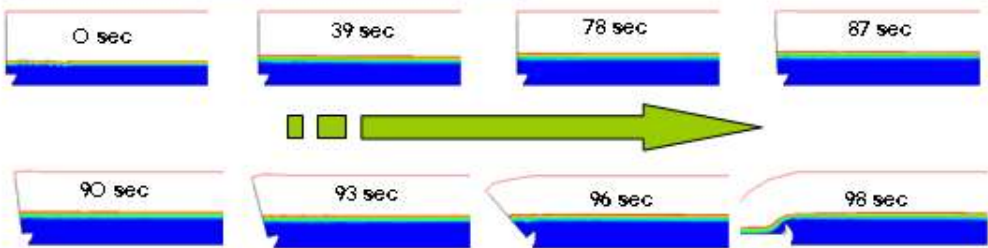
농업용 저수지 무동력 전도 게이트

참여기관 : 농어촌연구원 · 경상대학교 · 제이티아이테크(주)

3차원 CFD(Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션



시간에 따른 수위 및 게도 변화



모형실험 및 모니터링

