

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002937-01

# 농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발(II)

Development of Technique for Performance Improvement of  
Agricultural Infrastructure and Unsupervised Learning Water  
Management

2019. 12



농림축산식품부



한국농어촌공사

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발” 연구의 연차보고서로 제출합니다.

2019년 12월

주관연구기관명 : 한국농어촌공사  
농어촌연구원

연구책임자 : 이재주

연구원 : 양영진

조영권

강문성

김대의

이태호

신안국

허준

이재남

박종환

공동연구기관명 : 충남대학교  
(주)유니콘스

연구책임자 : 안현욱

조중연

연구원 : 장경호

김필식

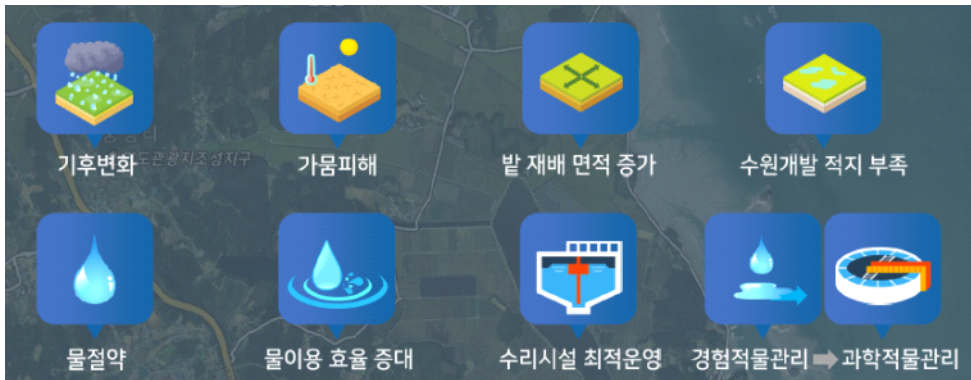


## < 요약 >

연구과제명 : 농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발  
(ICT/IoT기반 자율학습 물관리 기술개발)

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경 및 필요성



<그림 1> 연구배경

#### ○ 기후변화로 인한 농업가뭄 빈도 급증

- 기후변화에 의하여 최근의 가뭄은 발생주기가 빨라지고 지역별 강수 편차가 확대되는 추세
- 73년 기상관측 이후 5~7년 주기로 전국적 가뭄이 발생하였으나, 2000년이후 최근 매년 지역적 가뭄 발생
- 2017년도의 경우 6월까지 누적강수량 224mm로 평년대비 48% 수준이었으며, 이는 73년 기상관측 이래 6월까지 최저 강수량 수준으로 전국에 걸쳐 농업가뭄 다발

#### ○ 수량과 수질, 재해예방 등을 환경부에서 통합·관리 정책 추진

- 수질(환경부)과 수량(국토부)으로 나누어진 국가 물관리 운영체계를

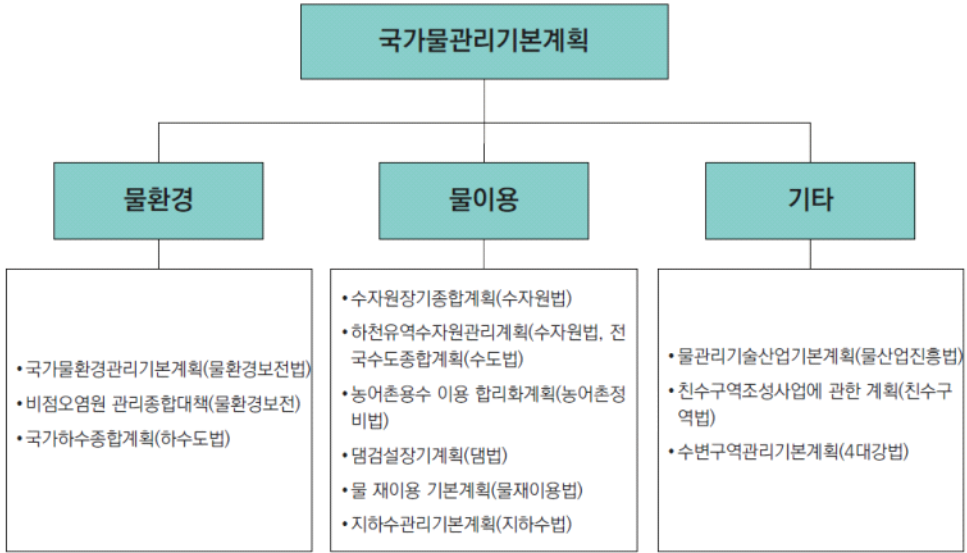


환경부로 일원화하여 통합관리

- 국토부 수자원정책국(지방청 하천국, 홍수통제소, 수공 포함)의 하천 수량관리, 광역상수도 관리 기능을 환경부로 이관
- 농어촌정비법을 포함한 물관련 계획은 수립 및 변경 시 국가물관리 계획과의 부합여부를 국가물관리위원회 심의, 필요한 경우 계획 변경 요구 가능
- 국가물관리기본계획의 기본원칙은 유역 통합물관리, 지속가능한 물 순환 등 7항목
- 시설원예, 친수공간, 생태하천 등 기존 농업용수를 다양하게 활용하려는 요구가 증대될 것으로 예상
- 국내의 사회정책적인 상황에 대응하기 위해서는 농업용수에 대한 정량적이고 과학적인 물관리가 요구

	환경부 이관	국토부 존치
소관 법률 (7개)	- 수자원법 - 지하수법 - 댐건설법 - 친수구역법 - 한국수자원공사법	- 하천법 - 하천편입토지보상법
기능	- 수문조사 - 광역상수도 - 댐운영관리 - 수자원산업육성 - 홍수통제(수량결정)	- 하천 점용허가 - 하천공사 및 유지보수 - 하천시설 관리
조직	- (본부)수자원 정책국 (3개과) - (소속)홍수통제소(4개) - (산하)수자원공사	- (본부)하천계획 존치 - (소속)지방국토청(5개)

<그림 2> 물관리 일원화 관련 정부조직 개정내용



〈그림 3〉 국가물관리기본계획과 물관련 계획(법안)



〈그림 4〉 국가물관리기본계획 7가지 원칙

(표 1) 국내 경지면적 추이

경지	2007	2012	2013	2014	2015	2016	2017
논(천ha)	1,070	964	934	896	908	896	865
밭(천ha)	712	764	748	757	771	748	756
합계	1,782	1,730	1,711	1,691	1,679	1,644	1,621

○ **논밭 경지면적 변화**

- 2007년에서 2017년까지 10년간 국내 논 면적은 1,070천ha에서 865천ha로 약 19% 감소하였으며, 밭 면적은 712천ha에서 756천ha로 약 6% 증가
- 이와 같은 논에서 밭으로의 용도변화는 앞으로도 지속적으로 발생할 것으로 예상됨
- 현재까지 농업용수관리는 논에 대한 용수공급으로만 이루어 졌으나, 논에서 밭으로의 영농방식 변화에 맞추어 다목적 용도로의 효율적 물관리 운영기술 필요

○ **사회환경 변화로 인한 농업용수 관리 인력 부족**

- 국내 농가인구는 1970년 14,422천명에서 2010년 3,063천명으로 78.8% 급감
- 농가인구의 경우 심각한 고령화로 인해 농가인구 중 65세 이상 인구는 2010년에 31.7%로 1970년 4.9%에 비해 26.8% 증가
- 농업노동력 공급 감소로 인하여 전체적인 농업 노임 상승
- 현재 농어촌공사의 물관리 종사자 1인당평균 관리 수원공 개소는 9개소이며 수로연장은 20km
- 현재의 사회환경과 시스템으로는 인력에 의한 농업용수의 관리는 한계가 존재

○ **4차 산업혁명으로 인한 첨단 스마트 농업시대 도래**

- ICT, IoT, 빅데이터 기술을 망라한 만물인터넷(IoE) 시대의 등장
- 사람과 사물, 프로세스, 빅데이터 등 세상 만물이 연결, 새로운 가치와 경험 창출

- 농업용수 관리에도 데이터를 활용한 수요자 중심의 지능형 물관리, 일정규모 이상 저수지 및 양수장 농업용수 공급량 측정 계측기 설치 추진 중
- 4차 산업혁명 시대에 대응할 농업용수 물관리 기술 개발 필요

#### ○ 물관리 일원화에 따른 통합 물관리 시대 도래

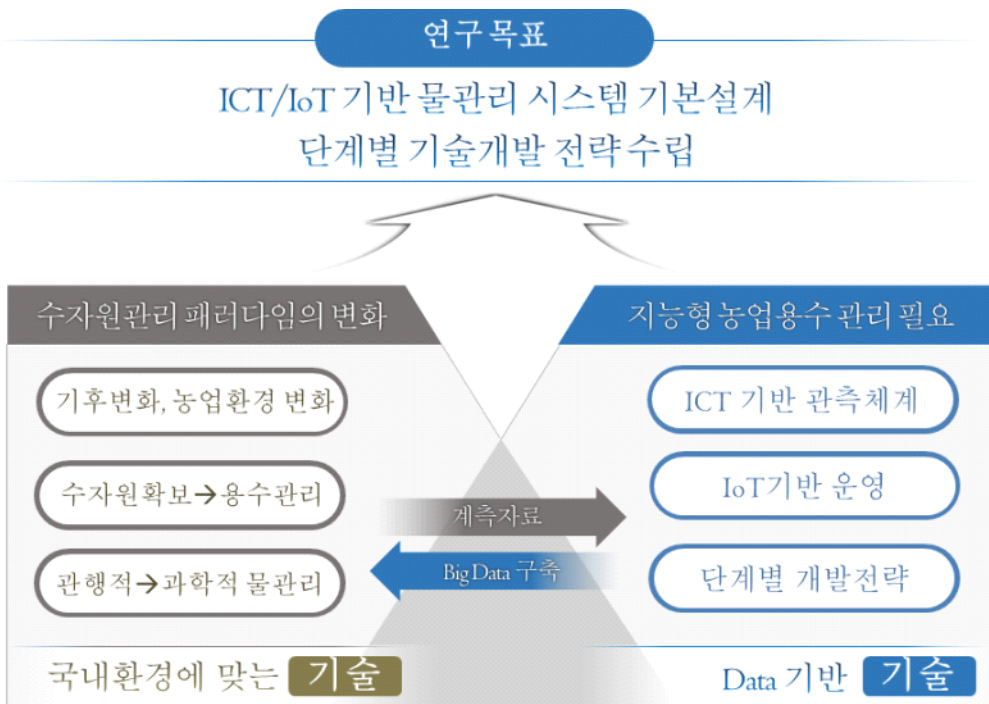
- 정부는 수량과 수질, 재해예방 등을 환경부에서 통합·관리하는 정책 시행 추진 및 다양한 용수 요구
- 수질(환경부)과 수량(국토부)으로 나누어진 국가 물관리 운영체계를 환경부로 일원화하여 통합관리 시
- 국토부 수자원정책국(지방청 하천국, 홍수통제소, 수공 포함)의 하천 수량관리, 광역상수도 관리 기능을 환경부로 이관 (농업용수, 소하천 제외)
- 시설원예, 친수공간, 생태하천 등 물 수요가 늘면서 기존 농업용수를 다양하게 활용하려는 사회적 요구 증가
- 농업용저수지에서 생활용수, 공업용수, 생태하천 유지용수 제공요구 증가
- 새로운 요구를 반영한 물관리 필요성 증가

#### ○ 미래형 물관리를 위한 새로운 물관리 적용방법 분석 및 도입기술 도출 필요성

- 4차 산업혁명 시대의 Big Data, ICT, IoT 등의 신기술을 농업용수 물관리에 효과적으로 도입할 수 있는 기술개발 필요
- ICT기반 센서 및 기반시설물 원격제어 기술을 이용하여 물관리 빅데이터(Big Data) 구축하고, 이를 효율적으로 이용하기 위한 자율물관리 인공지능(AI) 기술 개발 필요
- 인공지능 기반 물관리 기술은 현 물관리 방식에서 물질약, 새로운 용수공급요구 대응, 효율적 관리라는 측면에서 기존의 기술에 비해 한층 진일보한 기술이나 이를 실현하기 까지 취수→도수→급수 체계에 대한 다양한 조건 분석뿐만 아니라 계측, 제어기술 및 데이터기반 의사결정 기술까지 매우 광범위한 연구가 필요

## 1.2 연구목적

- 도입 예정 요소기술을 바탕으로 하는 자율학습 물관리 시스템의 기본설계
- 체계적인 시스템 구축과 기술의 현장 적용 시 시행착오 최소화를 위한 단계별 기술개발 전략계획 수립
- 물관리 시스템 개발을 위한 필요 데이터 및 분석 방법론 도출



## 1.3 연구범위

- 본 과제의 연구범위는 다음과 같이 네부분으로 나눌 수 있음
  - 1) ICT 기반 물관리 시스템 기본설계
  - 2) IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계
  - 3) 단계별 기술개발 전략계획 수립
  - 4) 수위 계측 데이터 분석 방법론 도출

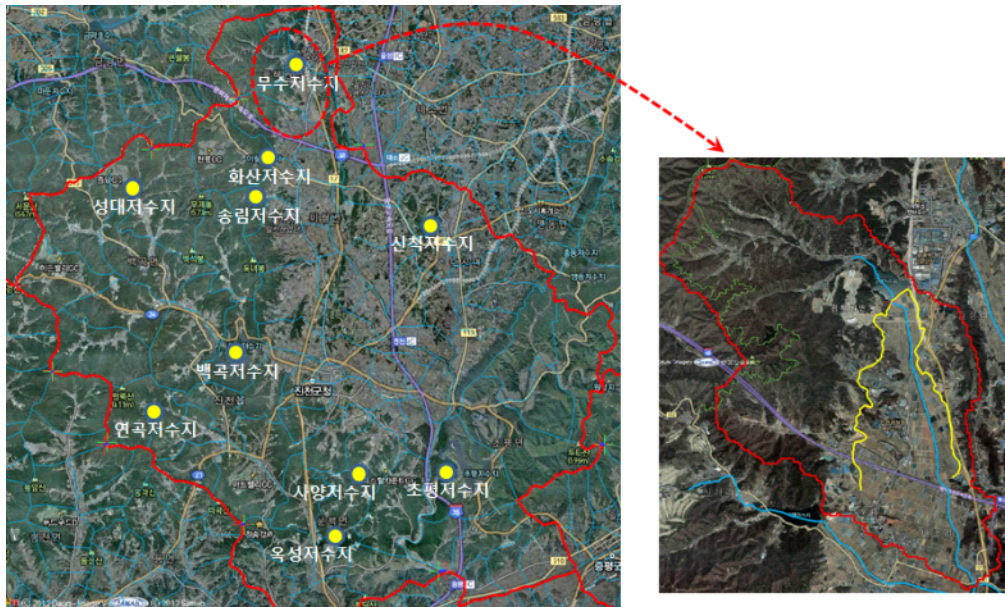
연구범위	내 용
ICT 기반 물관리 시스템 기본설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 인공지능 알고리즘을 활용한 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계</li> <li>◦ 논물수지를 반영한 용수공급 취약지역 분석 방안 마련</li> <li>◦ 최적의 수문제어 및 관개방식 도출을 위한 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘 기본설계</li> <li>◦ Test Bed 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증</li> </ul>
IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정</li> <li>◦ Test Bed내 수리시설물 설치 지역 선정 및 시범 계측장비 설치</li> <li>◦ 물관리 시스템 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영</li> <li>◦ 취수부, 도수부, 급수부의 스마트 수리시설물 통합 제어 시스템 설계</li> </ul>
단계별 기술개발 전략계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립</li> <li>◦ 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립</li> <li>◦ 물관리 구간별 요소기술 및 도입기술의 현장 적용 전략계획 수립</li> <li>◦ 물관리 시스템 플랫폼 개발 계획 수립</li> <li>◦ 기술개발 전략계획서 작성</li> </ul>
수위 계측 데이터 분석 방법론 도출	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 저수지 데이터의 형태와 품질 분석</li> <li>◦ 저수지 데이터의 통계적 특징 분석</li> <li>◦ 알고리즘 개발을 위한 필요 데이터 및 분석 방법론 제시</li> </ul>

## 2. 연구대상지역 및 현황

- 충청북도 진천군 내의 무수저수지(舊 구암저수지)와 그 관개지구인 금곡간선, 회죽간선을 대상지구로 선정

(표 2) 무수저수지 제원

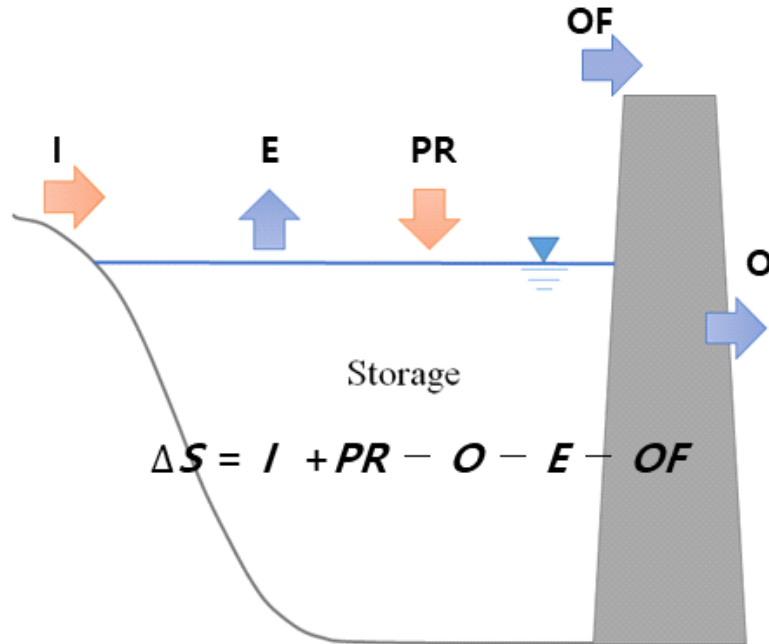
무수저수지		
면적 (ha)	유역 면적	857
	구역 면적	336
저수량 (천톤)	유효저수량	1320
수위 (m)	만수위	119
	홍수위	120
제방 (m)	수위	119
	길이	407
	물넘이 형식	측구식
기타	위치	충북 진천
	관리	진천지사



<그림 5> 대상지구(무수저수지) 위치

### 3. ICT 기반 물관리 시스템 기본설계

#### 3.1 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계



<그림 6> 저수지 물수지 모형

#### ○ 저수지 물수지 모형 기본설계

- 저수지 저류량은 저수지 물수지모형으로 모의 가능
- 입력자료가 정확하다면 정확하게 저류량 변화 모의 가능
- 물수지 모형의 입력자료: 강우(PR), 증발(ET), 유입량(I), 공급량(O)

#### ○ 저수지 유입량 예측 모형 기본설계

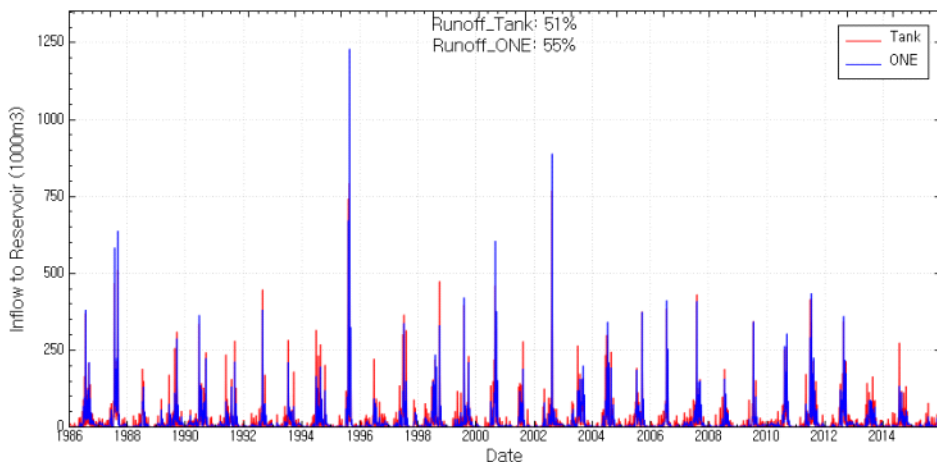
- 국내에서 사용되고 있는 대표적인 유입량 산정모형은 3단 Tank모형, DAWAST모형, SWAT모형, ONE-Parameter모형 등이 있음
- 일반적으로 유출모형의 적용을 위해서는 관측자료를 이용한 매개변수의 동정(calibration)과정이 필수적
- 현재 국내 농업용 저수지 유입량 관측자료는 거의 대부분 입수하기



- 어려워 현실적으로 매개변수의 동정과정을 원활히 수행하기 어려움
- 따라서 매개변수 조정에 대한 과정이 이미 분석되어 개략적으로라도 매개변수를 추정할 수 있는 모형이 농업용 저수지의 유입량 예측모형으로 적합한 것으로 판단
- 위 모형들 중 3단 Tank모형과 ONE모형이 이에 해당
- 본 연구에서는 이 두 모형의 성능을 계측자료의 입수가 가능한 지역을 대상으로 비교·검토하여 최적의 모형을 선정하는 것이 바람직한 것으로 판단

### ○ 대상지역 유입량 모의 결과 비교

- 3단 Tank, ONE 모형 이 두 모형을 사용하여 무수저수지의 유입량 분석을 실시
- 대체적으로 피크 시 유입량은 3단 Tank가 ONE모형에 비해 큰 것으로 산정되었고 지속적인 유량은 ONE모형이 크게 산정
- 본 연구과제에서는 국내에서 널리 활용되고 있는 3단 Tank 모형을 활용하여 연구를 진행
- 향후 저수지의 유입량 계측 또는 공급량 계측을 통한 물수지모형에서의 역산으로 관측자료를 구축하여 모형의 정확도를 비교할 필요가 있음



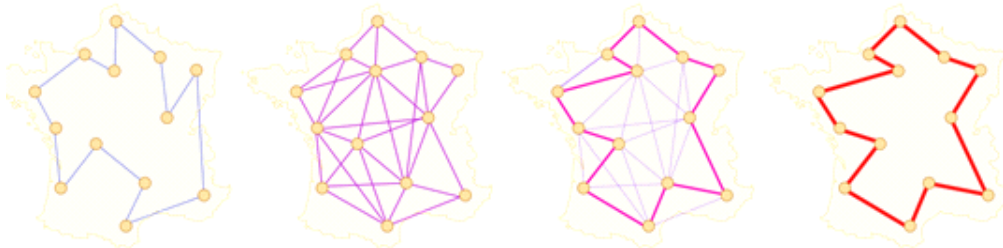
<그림 7> 무수저수지 유입량 모의결과 (3단 Tank, ONE)

## ○ 인공지능 용수공급량 예측 모형 기본설계

- 국내 농업용수공급량은 손실률 및 용수관리 배분율을 고려한 작물의 필요수량과 작부시기를 기준으로 추정하고 있음
- 논의 필요수량은 증발산량과 침투량을 합하고 논에서 이용되는 유효수량을 감하여 구할 수 있으며, 여기에 시설관리손실을 반영하여 관개용수량을 산정
- 용수공급량은 작부시기, 관리용수량, 모대면적 등에 의해 결정되나 이는 지역별 또는 연도별로 각기 다르게 나타남
- 물수지모형과 공급량모형에 의해 모의된 저수율이 실제 관측된 저수율과 잘 일치하도록 작부시기, 손실률 등을 최적화 알고리즘을 통하여 역추정
- 최적화의 목적함수는 모의한 저수율과 관측 저수율 데이터의  $R^2$  error와 NSE(Nash-Sutcliffe Efficiency)의 합으로 설정

## ○ 최적화 알고리즘

- ACO(Ant Colony Optimization) 알고리즘은 개미군집 알고리즘은 개미의 집단행동에서 아이디어를 가져온 최적화 알고리즘
- 개미가 변수  $x$ 에서  $y$ 로 이동할 확률은 Attractiveness(움직임의 바람직함)와 Trail(이전의 움직임이 얼마나 효율적이었는지 알려주는 값) 두가지 값의 조합으로 결정
- 개미군집 알고리즘은 최적의 경로를 찾는 문제에 주로 사용되나 일반적인 글로벌 최적화 알고리즘으로 타 문제에도 범용적으로 활용할 수 있음



<그림 8> 개미군집알고리즘 개념도

(표 3) 작부시기 및 관개관행 제약조건

작부시기 및 관개관행	제약조건
묘대기 기간	0 ~ 20 일
이앙기 기간	1 ~ 30 일
낙수기 기간	0 ~ 20 일
못자리 용수량	0 ~ 100 mm
이앙용수량	50~ 200 mm
손실수량	15 ~ 150 %
묘대면적비 (묘대면적/관개면적)	0 ~ 20 %

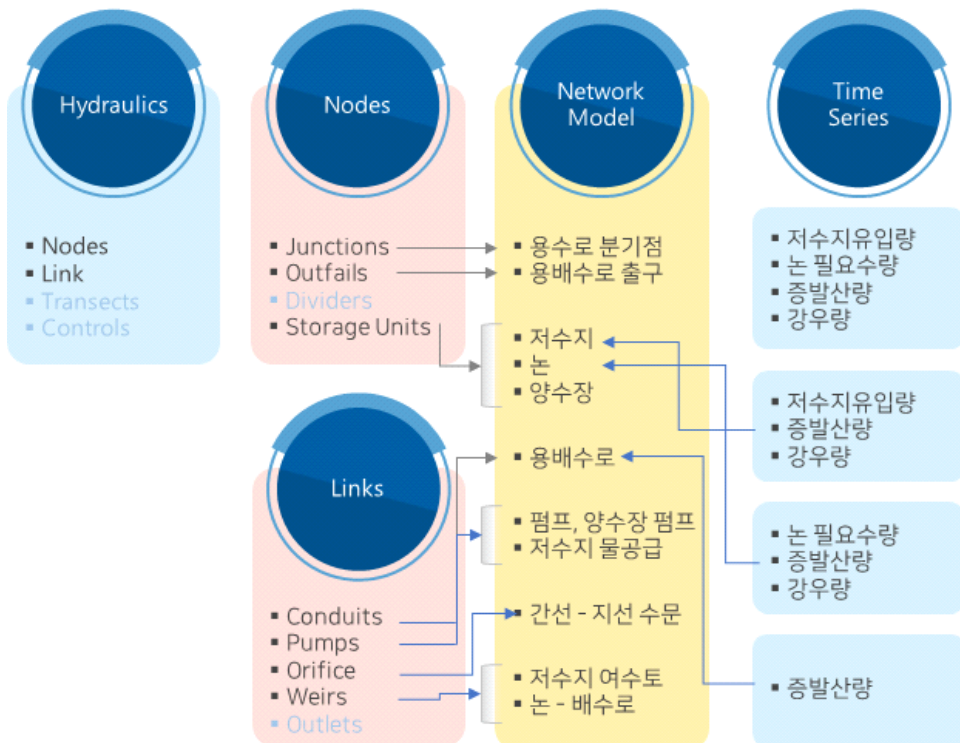
(표 4) 무수저수지 추정된 작부시기 및 관개관행

작부시기 및 관개관행	추정값
묘대기 기간	5/3 ~ 5/16 일
이앙기 기간	5/20 ~ 6/2 일
본답기 기간	6/3 ~ 9/16
낙수기 기간	7/1 ~ 7/15 일
못자리 용수량	4 mm
이앙용수량	196 mm
손실수량	33 %
묘대면적비 (묘대면적/관개면적)	1 %

### 3.2 논물수지를 반영한 용수공급 취약지역 분석 방안 마련

#### ○ 논물수지를 반영한 평야부 모델링

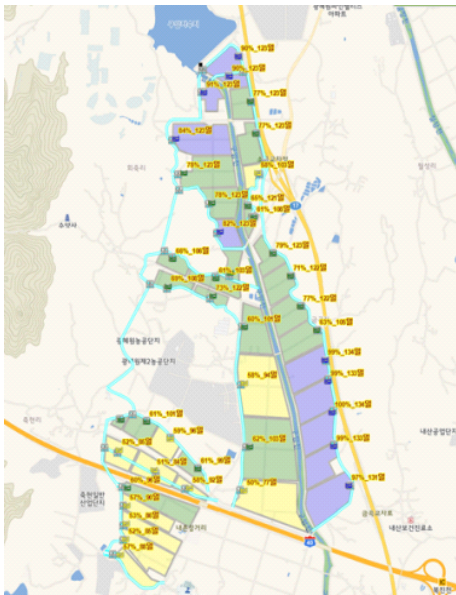
- 도수부에서 수로를 통과하는데 손실되는 물의 양은 손실율로서 일괄적으로 고려되며, 수로의 분기와 형태에 따른 정량적인 물분배의 방법론은 현재까지 찾아보기 어려움
- 대부분 농업용수로써는 개수로로 이루어져 있으며, 수로의 경사가 비교적 급하고, 수로가 길게 뻗어 있는 곳이 많은 국내 관개수로의 특성 상 관리(손실)수량은 평야부의 특성에 따라 달라지며, 또한 물이 말단부까지 도달하지 않는 경우가 많음
- 수리학적 모형에 기반한 분석방법을 활용하여 평야부를 모델링함



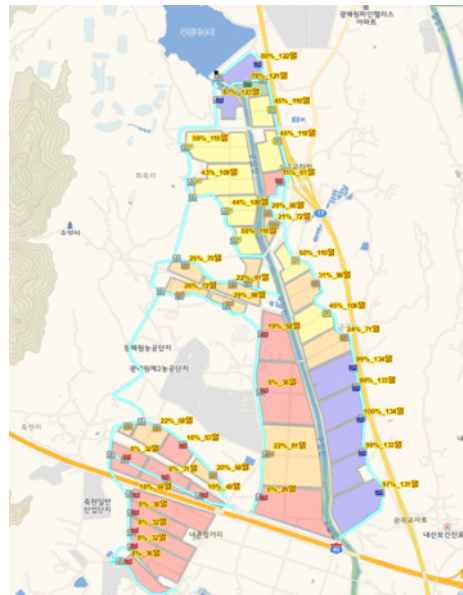
<그림 9> SWMM 모듈과 도수부 수리 네트워크 모델링 관계도

○ 용수공급 취약지역 분석 방안 마련

- 평야부 모델링을 활용하여 대상지역의 용수공급상황을 모의하였으며 모의기간은 관개기간(5/1~9/30)만을 대상, 평년과 가뭄년도로 2011년과 2015년을 모의
- 모의한 논의 용수공급 분석하기 위하여 관개만족도(Irrigation Satisfactory Index: ISI)를 담수심과 관개일수를 활용하여 정의한 결과는 다음과 같음



(a) 2011년도 관개만족도(ISI)



(b) 2015년도 관개만족도(ISI)

<그림 10> 무수저수지 관개만족도

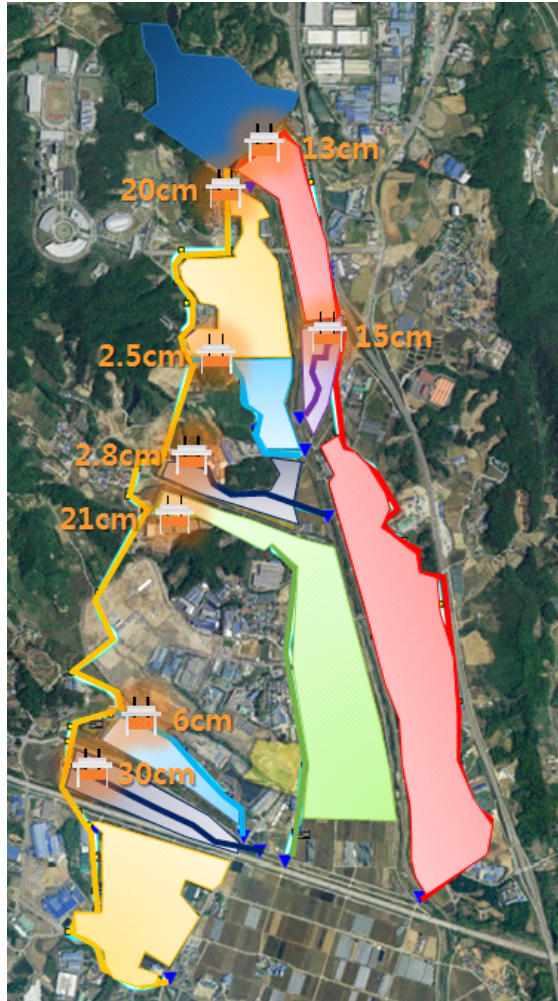
(표 5) 모의 관개만족도(2001년, 2015년)

목표담수심	2011년도 면적 (ha)	2015년도 면적
~ 20%	0	109.2
20 ~ 40 %	0	70.1
40 ~ 60 %	89.5	80.8
60 ~ 80 %	132.7	2.5
80 ~ %	76.4	55.9

### 3.3 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘 기본설계

#### ○ 최적 수문개도율 도출(수문 무조작 시)

- 최적의 수문제어 방법을 도출하기 위한 기초단계로서 고정되어 있는 수문의 최적개도율을 산정



<그림 11> 무조작 최적 간선수문개도 높이

- 간선수문(분수문 포함)만을 고려하였으며, 수로의 물배분은 공급하고자 하는 필지의 면적에 비례하는 것이 최적의 물 배분으로 가정

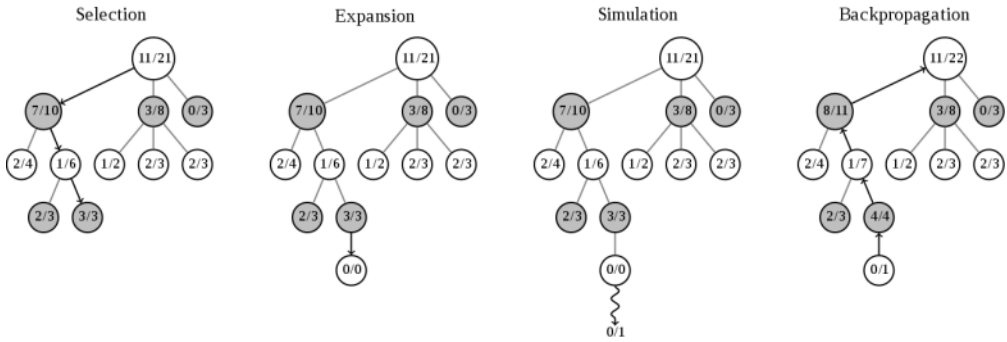
- Trial-Error 방법을 사용하여 각 지점별 수문개도율을 도출하여 최적의 물 배분을 시도하였음
- 현실 특성상 시기에 따라 수문을 조작하여(한동안 수문을 열어둔 후, 일정 시간 후 잠그는 방식) 용수공급을 할 것으로 추정

#### ○ 관개수로 모의 및 최적화 (수문조작 및 관개방식)

- 수문을 계속 고정시킬 시 위 방법이 최적에 가까운 수문개도 높이가 된다는 것은 수리학적으로 명확하지만 현실은 수문개도율을 필요에 따라 조절하고 있음.
- 최적의 수문조작 및 관개방식을 위해 관개만족도, 관개기 최저 저수율, 관개후(10/1) 저수율을 고려하여 목적함수를 정의

#### ○ 관개수로 조작 최적화 알고리즘

- Monte Carlo Tree Search(MCTS)는 주로 게임 AI에서 사용되는 알고리즘으로 가장 가능성이 높아 보이는 방향으로 행동을 결정하는 탐색 방법으로 어떻게 움직이는 것이 가장 유망한 것인가를 분석하면서 검색 공간에서 무작위 추출에 기초한 탐색 트리를 확장하는 데 중점을 두고 탐색하는 알고리즘임
- MCTS 알고리즘은 4단계 과정을 가지며 각각 선택→확장→시뮬레이션→역전파 순으로 진행
- 용수공급방법(관개방법) 및 수문조작 방법에 적용한 4단계는 다음과 같음
  - ① 선택: 현재 순에서 다음 순까지 특정 용수공급 및 수문조작방법을 선택
  - ② 확장: 다음 순에서의 상태를 예측모의
  - ③ 시뮬레이션: ②의 노드에서 관개기가 끝날 때까지 확률적으로 강우, 증발량 등을 적용하고 Random하게 용수공급 및 수문조작방법을 선택하여 모의 진행
  - ④ 역전파: ③의 결과를 종합하여 확장한 노드의 가치(모의된 목적함수)를 역전파하여 해당경로의 목적함수에 대한 기대값을 갱신



<그림 12> MCTC 알고리즘의 4단계 과정

### 3.4 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증

#### ○ 물관리 시스템 알고리즘 개선

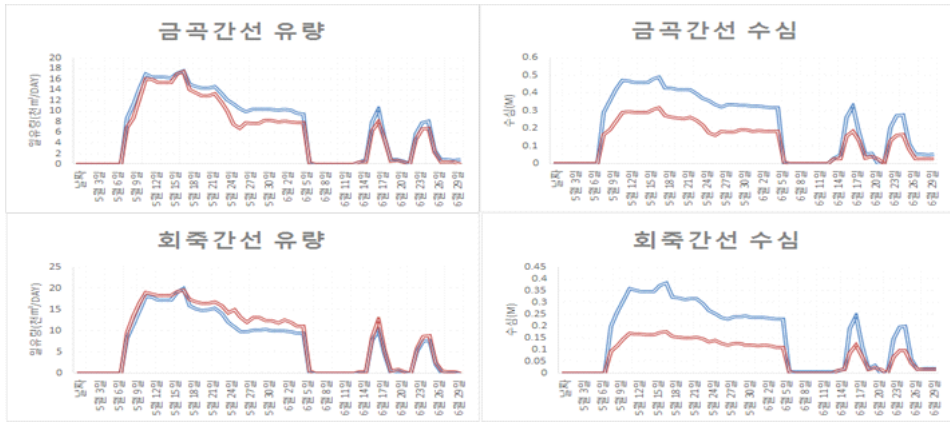
- 물관리 시스템 알고리즘의 검증을 위해, 수집이 필요한 데이터들을 정리하면 (표 6)과 같음

(표 6) 물관리 시스템 알고리즘 계측(수집) 데이터

위치	데이터	수집방법
취수부	저수지 유입량	물수지법
	저수지 공급량	간선 상류 계측
도수부	간선수로 유량	계측
	간선수로 수위	계측
	수문 개도율	현장조사 및 인터뷰
급수부	작부시기	현장조사 및 인터뷰
	강우량	계측
	침투량	계측

- 회죽간선과 금곡간선에서 측정한 과거(2010년 5~6월) 수위 및 유량자료를 활용하여 평야부 모형을 검증한 결과는 <그림 13>과 같음





<그림 13> 금곡간선 및 회죽간선 모의 유량 (2010년 5~6월)

## 4. IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계

### 4.1 IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정

- 본 절에서는 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계를 위해 농업용수의 효율적인 분배 및 제어를 위한 수문 도입/설계기술을 선정하였음
- IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정을 위해 스마트 물관리, TM/TC, 지능형 물관리 등 관련사업에서의 제어 수문 기술 현황을 분석하였으며 제어 수문 기술 중 한국농어촌공사에서 제시하고 있는 ‘수동식 수문-콘크리트 라이닝 개수로에 적용을 위한 농업용 수동식 수문 표준화’ 내용에 부합하는 수리시설물 설계기술을 개발하였음
- IoT 기반의 스마트 수리시설물(이하, 수문) 선정을 위해 국내/외의 수문 및 보(고정보, 가동보) 등과 같은 이/치수 목적이 가능한 수문을 검토가 필요하다. 이에, 국내/외에서 사용되고 있는 대표적인 수문기술 검토를 통해 IoT 기반의 스마트 수리시설물 설계기술을 개발하고자 함
- 국내·외 수문 설계 기술을 검토하여 본 연구에 적용 가능한 스마트 수리시설물로서, ① 농업용 수로에 적합한 IoT에 적용 가능한 수문, 기존 철제수문 대비 동력사용이 적은 수문, ② 소비동력이 적은수문, ③ 안전성이 우수한 수문 조건으로 설계를 수행하였음
- 이상과 같이 IoT 기반의 스마트 수리시설물 설계 기술 개발을 위해 국내/외의 대표적인 수문 형식, 작동방식 및 소재 등에 대해 분석/검토 하였으며 아래와 같은 항목에 적합한 IoT 기반의 스마트 농업용 수로 수문 3종 설계기술을 개발하였음
- LPL 게이트는 Low-Powered Lightweight Gate로 경량의 소재를 적용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문으로, 기존 수문과 달리 복잡한 상부구조물이 없는 전도식 수문 형식이며 경량의 수문재질 선정을 위해 외부는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱) 소재로, 내부는 Steel 소재를 사용한 하이브리드 패널을 적용한다. 경량의 하이브리드 패널 적용으로 게이트 기립 및

전도시 구동력이 적게 소요되어 단상전원이나 태양광을 이용하여 운영할 수 있도록 설계하였음

- SRS 게이트는 Smart Rubber & Steel Gate로 LPL 게이트에 적용한 하이브리드 패널과 고무 에어백을 사용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문으로, 기존 수문과 달리 복잡한 상부구조물이 없는 전도식 수문 형식이며 경량의 수문재질 선정을 위해 외부는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱)소재로, 내부는 Steel 소재를 사용해 하이브리드 패널을 적용하였으며 하부의 고무에어백이 패널을 기립 및 전도시키는 방식으로 구동력이 적게 소요되어 단상전원이나 태양광을 이용하여 운영할 수 있도록 설계하였음
- UHA 게이트는 Upper Hinge Automatic Gate로 상기 게이트에 적용한 하이브리드 패널을 사용하여 저전력으로 게이트를 상부 힌지방식으로 개폐하는 방식의 수문으로, 기존 수문과 달리 복잡한 상부구조물이 없는 상부 패쇄형 수문 형식이며 경량의 수문재질 선정을 위해 외부는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱)소재로, 내부는 Steel 소재를 사용해 하이브리드 패널을 적용하였으며 유압실린더를 적용하여 안정적 개폐가 가능하고 열림 고정장치 기술을 적용하여 안전성을 확보하였음

## 4.2 수리시설물 설치 지역 선정 및 시범 계측장비 설치

- 기존 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 스마트 물관리의 실현을 위하여 경제적 가치를 고려한 최적 수문계측망 구축 기법을 개발하고자한다. 이에 대상지역의 물관리 현황의 단점을 보완하며 물이용 불확실성을 해소하고자 유역부, 저수부 및 평야부에 걸쳐 수문 계측망을 구축 및 운영을 하였음
- 대상지구를 유역부, 저수부 및 평야부(관개부)로 나누어 기존 계측기에 의한 물관리 현황으로, 유역부는 무수저수지 내 유입부 계측 장비의

부재로 유입량 산정이 불가능 하며, 저수부는 회죽·금곡 간선 시점부 계측을 통해 용수 사용량을 파악 할 수 있으나 무효방류량은 정량화 하기에 어려움이 있는 것으로 나타났고, 평야부의 경우 금곡간선과 금곡 방수문에서 계측이 가능하지만 중간 분기점까지의 용수 사용량과 금곡간선 말단부의 방류량 파악은 불가능하며 회죽 간선 또한 중간 분기점까지 용수 사용량과 말단부의 방류량 파악이 불가능 한 것으로 나타남

- 기존 계측기를 통해 정량적인 물수지 분석이 불가능한 것은 아니지만 정확성 및 신뢰도가 매우 떨어져 Monitoring Network 구축이 필요한 것으로 판단되고, 구축된 Monitoring Network의 운영을 통하여 과거 자료를 이용한 저수지 유입량, 저수지 저수량, 조용수량 및 손실수량을 산정하였음

### 4.3 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영

- Monitoring Network 구축현황으로는 한국농어촌공사 진천지사에서 계측하는 취수탑(R-1), 금곡간선 방수문(K-1), 금곡배수문(K-3), 회죽 간선 방수문(H-1), 만티배수문(H-2) 등 5개소와 시범 계측장비인 저수지 유입부(W-1), 저수지 물넘이(R-2), 금곡간선 분기점(K-2), 회죽교(W-2), 금곡간선 말단부(K-4), 사산교(W-3), 회죽간선 말단부(H-3) 등 7개소이며, 본 연구를 통하여 금곡간선 분기점과 금곡간선 말단부에 설치된 계측기를 재설치 하였음
- 과거 운영자료를 이용하여 대상지구의 농업용수량을 산정하였고, 산정된 농업용수량을 이용하여 용수절감효과를 분석한 결과, 2011년도에는 23.4%, 2012년도에는 21.5%, 2013년도에는 23.3%의 용수절감율이 산정되었는데, 평균 공급량 7백44만톤 중 약 23%인 1백69만톤의 용수절감효과를 나타내고 있음
- 앞서 산정된 용수절감량의 경제적 가치를 평가하기 위하여, 농업용수의 공익적 가치를 평가하는 대표적인 방법인 대체비용법을 이용하여 경제적

가치를 평가하였음

- 계측기 설치 규모에 따라 유입부와 중간부에 설치하는 경우 (S-21, S-22)와 유입부, 중간부, 말단부에 모두 설치하는 경우 (S-3) 경제성 분석을 수행하였음
- S-21 시나리오에서 용수절감량을 생활용수로 전환할 경우 B/C 값이 0.71로서 50년 운영기간 동안 경제성이 확보되지 못하였으며 농업용수는 B/C 값이 1.50으로 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 15년으로 평가되었다. S-22 시나리오에서 생활용수는 B/C 값이 0.74로서 50년 운영기간 동안 경제성이 확보되지 못하였으며 농업용수는 B/C 값이 1.56으로 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 14년으로 평가되었음
- S-3 시나리오에서 생활용수는 B/C 값이 3.24로서 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 5년으로 평가되었고, 농업용수는 B/C 값이 6.79로 매우 우수한 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 3년으로 평가되었음
- 이상의 결과로 미루어 볼 때, 간선 수로의 유입부, 중간부, 말단부의 유량을 실측할 수 있는 규모의 Monitoring Network가 우수한 경제성을 확보할 수 있으며, 관개지역 내의 구간별 농업용수량의 산정이 필요하지 않는 지구에서는 간선수로별로 유입부, 중간부, 말단부에 각 1개소 즉, 간선 수로별 3개소 규모의 계측기를 구축함으로써 경제성을 확보할 수 있을 것으로 분석되었음

#### 4.4 스마트 수리시설물 통합 제어 시스템 설계

- 수리 네트워크 구축
  - 수리 네트워크 구성요소는 농업용수 분석에 필요한 시설물 및 지형요소를 농업용수 공급 및 배수 체계에 따라 수원공 → 용수로 → 포장 → 배수로 → 하천방류 등으로 구분
  - 농업용수 분석에서 수리 네트워크의 구성요소는 관개지구의 물순환을 기초로 하여 분류하면 크게 취수부, 도수부, 급수부 등으로 구분

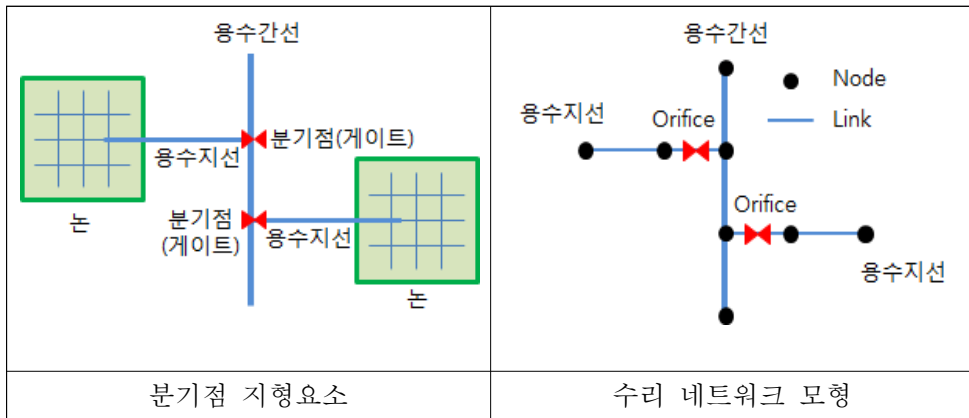
(표 7) 수리 네트워크의 구성요소 분석

구 분	공급시설	구성요소
취수부	저수지	저수지 제원, 취수탑, 사통, 복통, 여수토 등
	양수장	인입부, 토출부, 펌프, 저류지 등
도수부	용수로	개수로, 관수로, 암거, 잠관 등
	분기점	제수문, 분수문 등
급수부	논	포장, 물꼬 등

(표 8) 수리 네트워크 구성요소의 모델 적용 요소

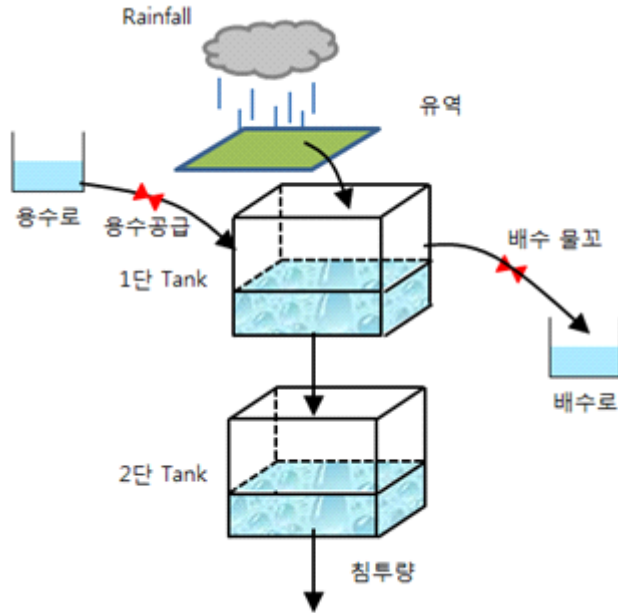
구 분	공급시설	구성요소	모델요소
취수부	저수지	저수지 제원	Storage Unit
		취수탑(취수문)	Orifice
		사통	Orifice
		복통	Orifice
		여수토	Weir
	양수장	인입부	Storage Unit
		토출부	Storage Unit
		펌프	Pump
저류지		Storage Unit	
도수부	용수로	개수로	Conduit
		관수로	Conduit
		암거	Conduit
		잠관	Conduit
	분기점	제수문	Weir, Orifice
		분수문	Weir, Orifice
급수부	논	포장	Storage Unit
		물꼬	Orifice
기타	강우자료	강우 실적 및 예측	Rain Gage
	유역	저수지 유역	Subcatchment
		논 유역	Subcatchment

- 수리 네트워크를 구성하는 요소의 모델링을 위하여 적용 가능한 모델 요소를 적용하여 보면 저수지의 경우 유역에서 유입되는 농업용수의 보관, 필요시 농업용수를 공급하는 시설로의 연계, 저류량의 파악 등의 역할을 할 수 있는 Storage Units를 사용
- 수로의 수위 유지와 공급되는 용수를 제어하기 위한 수문의 경우에는 해당 기능이나 분석을 수행할 수 있는 Weirs 또는 Orifices 등을 사용
- 분수문/제수문은 Orifice 모델을 이용하거나 수위에 따라 Weir를 이용하여 모델링을 구축하며 수리 네트워크에서는 Orifice의 개폐를 통하여 용수의 흐름을 제어



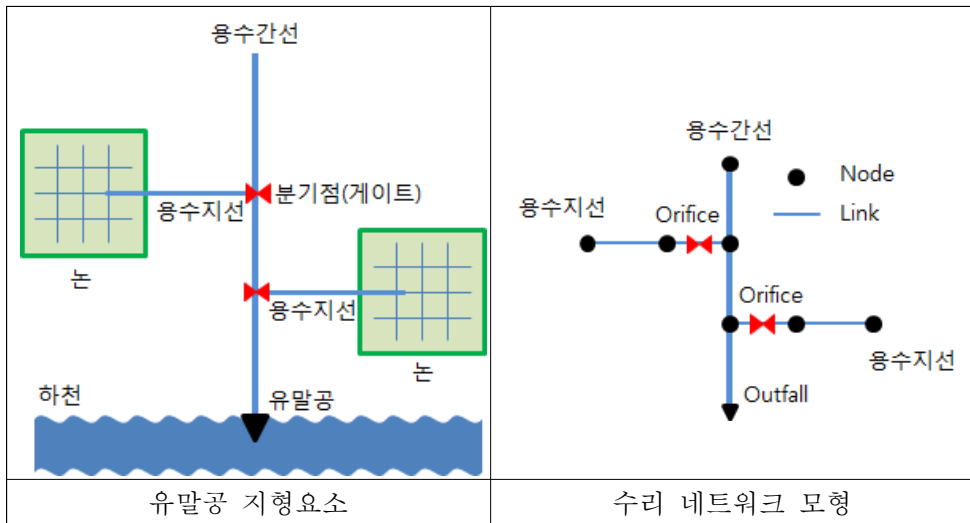
**<그림 14> 분기점의 네트워크 모델링**

- 포장(논)은 지선 또는 지거를 통하여 용수가 공급 되는 논 집합으로 수리 네트워크에서는 Storage로 처리
- 관개 시에는 용수로에서 공급되는 용수가 논으로 흐르도록 구성
- 필지별로 물꼬가 있을 경우 이는 Orifice를 이용하여 모델링
- 포장(논)에서의 물수지는 용수로로부터 논으로 공급되는 유량, 강우에 의해 논에 공급되는 유효유량, 증발산량, 침투량, 배수 물꼬에 의해 배수되는 유량으로 구성



<그림 15> 포장(논) 물수지 개념

- 유말공은 관개 시 포장에 공급되고 남은 용수를 하천으로 퇴수 처리하며, 수리 네트워크에서는 Outfall 모델을 이용하여 네트워크에 반영



<그림 16> 유말공의 네트워크 모델링



- 수리 네트워크 구성요소에서 각 구성요소의 속성값은 분석하려는 대상지역의 문헌조사 및 현장조사를 통하여 취득할 수 있으며 조사된 자료를 이용하여 모델링을 완성
- 저수지 구성요소의 속성값은 모델요소로 Storage Unit를 사용하며 모델요소의 속성값으로는 유역에서의 유입량, 저수지 초기수위, 수위변동, 저수지 내용적, 총 저류량, 취수시설 종류 등의 속성값이 분석에 사용
- 논외 경우에는 모델요소로 Storage Unit를 사용하며 물꼬를 통하여 공급되는 농업용수 유입량, 논외 제원, 내용적, 증발산량, 토양침투량, 초기수위, 유출량, 표고, 강우자료 등의 값이 필요하며 분석 전 모델링을 통하여 제공하거나 분석 중 분석된 값을 제공
- 수리 네트워크 구축을 위해서는 용수로의 평면·종단·횡단도면, 구조물위치, 수리구조물의 현장파악에 유리한 고해상도 항공사진이나 위성사진, 유역의 매개변수 구축을 위한 토양도, 토지피복도, 수치표고(수치지형도를 이용하여 구축), 공간좌표 보정을 위한 수치지형도 등이 요구
- 수리 네트워크 구축에 필요한 간선 및 지선의 평면적인 배치, 단면 제원, 종단형태, 각종 시설물의 위치 및 제원 등의 현황을 파악할 수 있는 준공도면 등 설계도서가 필요하나 확보가 어려운 경우 간선 및 주요 대상 지선에 대한 현장조사를 통해 수로의 제원 및 주요 시설에 대한 위치와 제원을 확인하고 수로 경사의 경우 부득이하게 수치표고모델(DEM)과 수치지형도를 활용하여 추정하는 방법으로 자료를 구축
- 수리 네트워크는 취수부, 도수부, 급수부로 구분하여 구축



<그림 17> 무수저수지 수리 네트워크 구축 결과

○ 스마트 수리시설물 파일럿 분석시스템 개발

- 파일럿 시스템에서는 관리하여야 하는 데이터를 수로 네트워크 부분, 분석 관련 부분 그리고 시스템 분석 시 필요한 공통데이터 부분으로 구분하여 엔터티를 분석 정리
- 분석된 각 엔터티는 DBMS를 이용한 정보 관리를 위하여 관계 설정을 하게 되고 이를 바탕으로 엔터티에 대한 자료 정의를 통하여 테이블 명세를 작성하는 데이터베이스를 설계
- 시스템의 메인화면은 <그림 19>와 같이 분석 관련 기능, 지도 종류 선택, 지도 조작으로 구성되어 있으며 분석은 수리 네트워크로 단기, 중장기 분석과 저장된 분석 결과 조회, 분석 결과의 범례 설정으로 구성
- 시스템은 설정된 조건에 따라 중장기 분석을 실행하게 되면 분석기간 내 포장블록별 담수율과 담수일 등을 조회



## 5. 수위 계측 데이터 분석 방법론 도출

### 5.1 분석 데이터

- 연구를 위하여 수집된 데이터 셋은 저수량 데이터, 공급량 데이터, 강우량 데이터로 시간 범위는 2008년 8월부터 2018년 7월까지임

(표 9) 수집 데이터의 범위

구분	시간범위	주요변수	값
저수량 데이터	2011년 1월 ~ 2018년 6월	저수위, 저수량 등	2,153,100개
공급량 데이터	2014년 2월 ~ 2018년 6월	수로수위, 공급량 등	1,616,712개
강우량 데이터	2008년 8월 ~ 2018년 7월	강우량 등	4,218개

- 연구 범위는 공급량 데이터가 존재하는 2014년 2월부터 2018년 6월까지로 정하여 아래와 같이 메타 데이터 셋을 생성하여 진행

(표 10) 분석 데이터의 범위

구분	시간범위	주요변수	값
메타 데이터셋	2014년 2월 ~ 2018년 6월 (520일)	저수량, 공급량, 강우량 등	5,820개

### 5.2 데이터 분석 내용

- 분석 데이터(저수지 데이터) 형태와 품질
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강우량)의 품질 및 형태
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강우량) 전처리 방법론
  - 분석용 메타 데이터 결합 방법론

- 분석 데이터(저수지 데이터) 통계적 특성
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강우량) 통계적 특징 및 상관관계 분석
- 예측 필요한 추가 데이터 및 분석방법론
  - 저수량 예측에 필요한 데이터 및 분석 방법론
  - 공급량 예측에 필요한 데이터 및 분석 방법론

### 5.3 데이터 분석 결과

#### (1) 분석 데이터 품질 분석 및 처리 방법론

- 데이터 자료형이 자료형에 특징에 적합하게 되어 있지 않아 이에 대한 변경 저장 필요
- 보정 대상 데이터는 저수량, 공급량 데이터이고 이전 값 대체(fill method) 방식으로 전처리를 진행

#### (2) 분석 데이터의 통계적 특성

(표 11) 일별 저수율 기술 통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	582	25%	957,151,808.56
평균(mean)	1,622,391,104.57	50%	1,621,986,595.59
표준편차(std)	833,609,651.74	75%	2,136,519,114.75
최소값(min)	7,825,185.09	max	3,369,848,836.97

(표 12) 관개기(4월~9월) 일별 공급량 통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	142	25%	12,9347.91
평균(mean)	196,463.88	50%	195,257.88
표준편차(std)	92,223.32	75%	259,178.22
최소값(min)	20,421.65	max	411,614.95

(표 13) 일별 강수량 통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	582	25%	0.1
평균(mean)	7.83	50%	1.3
표준편차(std)	16.60	75%	6.88
최소값(min)	0	max	130.80

(표 14) 상관관계 분석표

구분	강수량	공급량	저수량
강수량	1.00	-0.15	-0.24
공급량	-0.15	1.00	0.14
저수량	-0.24	0.14	1.00

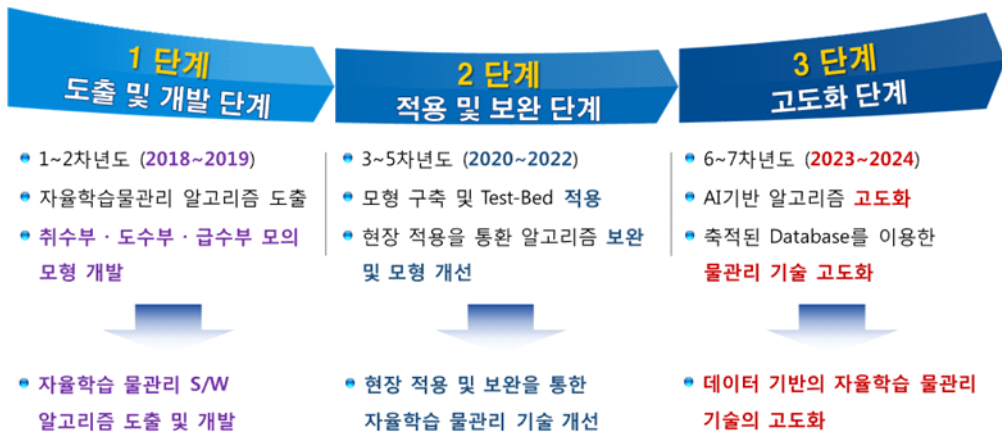
### (3) 예측에 필요한 추가 데이터 및 방법론

- 예측에 필요한 추가 데이터는 취수부에서 획득할 수 있는 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 제수문(개폐, 개도율), 도수부에서 획득할 수 있는 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문, 급수부에서 획득할 수 있는 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량) 등이 있음
- 분석에 적용할 수 있는 알고리즘은 뉴로 퍼지 방법, ANN(Artificial neural Network)방법, ARMAX(Autoregressive-moving-average model), ANFIS 및 GEP(Gene Expression Programming) 및 SVM(Support Vector Machine)등이 있고 알고리즘에 적용할 변수들의 특성을 고려하여 선택 활용해야 함

## 6. 단계별 기술개발 전략계획 수립

### 6.1 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획 수립

- 1단계는 취수부, 도수부, 급수부의 알고리즘을 도출하고, 알고리즘에 따라 모형들을 설계하고 개발하는 단계임
- 2단계는 적용 및 보완하는 단계로서 계측 된 공급량 데이터를 활용하여 공급량 추정 모형을 검증하고, 이를 저수지 유입량으로 환산하여 유입량 모형을 검증함
- 3단계는 고도화 단계로서 AI에 기반하여 물관리가 이루어질 수 있도록, 알고리즘을 고도화함. 최종적으로 용수공급과 수문제어의 자동화 또는 의사결정 지원을 목표로 알고리즘을 고도화 하는 단계임.



<그림 20> 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획

### 6.2 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립

- 1단계는 스마트 수리시설물의 개발 및 시범운영 단계로서, 자율학습 물관리에 적합한 수리시설물 도입기술을 선정하고 설계기술을 개발함과 동시에 단계적인 개발 전략을 수립하였음
- 2단계는 운영 및 보완 단계로서 1단계에서의 도입기술 및 설계기술에

대한 프로토타입을 제작하고 실험실 운영 및 현장 적용을 통하여 스마트 수리시설물을 보완하는 단계임

- 3단계는 고도화 단계로서 스마트 수리시설물의 확대 적용이 가능하도록 고도화를 실현하고 지속적인 운영을 통하여 자율학습 물관리 시스템의 검증 및 범용화를 완료하는 단계임



<그림 21> 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획

### 6.3 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립

- 물관리 시스템 기술개발 전략 계획은 개발단계, 적용단계, 고도화 단계의 3단계로 구성
- 1단계 개발단계에서는 자율학습 물관리 파일럿 시스템을 개발하여 수로 네트워크 분석이 가능하도록 하였으며 이에 더불어 추가적인 알고리즘을 시스템에 적용하는 단계
- 2단계 적용단계는 물관리 현장에서 적용 가능한 물관리 시스템의 플랫폼을 개발과 다양한 계측자료 및 분석자료에 대한 데이터베이스 설계 및 구축하고 이를 빅데이터 분석이 가능한 기반을 마련
- 3단계 고도화 단계는 2단계를 통하여 구축될 빅데이터를 분석할 수 있는 통합 DB를 구축하고 물관리 시스템 플랫폼에 AI기반 알고리즘을 적용

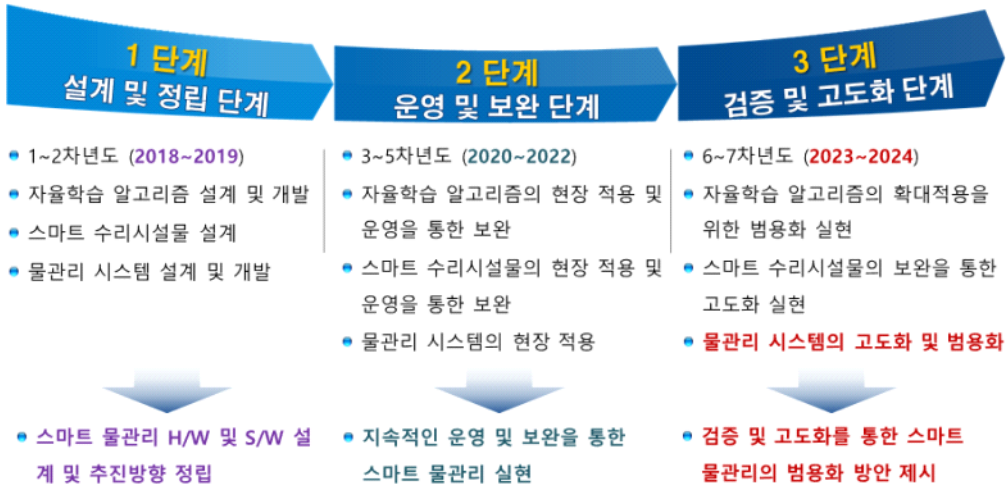




<그림 22> 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획

## 6.4 도입기술의 현장 적용 전략계획 수립

- 1단계에서는 각각의 도입기술의 설계 및 개발방향 정립 단계로서, 시범지구에 대하여 자율학습 알고리즘 및 스마트 수리시설물, 물관리 시스템의 설계를 완료하고 고도화를 위한 개발 방향을 수립하였음
- 2단계에서는 각각의 도입기술을 현장 적용을 통하여 운영 및 보완을 지속적으로 수행하여 시범지구의 스마트 물관리를 실현하는 단계임
- 3단계에서는 도입기술의 검증 및 고도화, 범용화를 실현하는 단계로서 시범지구에서 검증된 스마트 물관리 시스템을 전국적으로 확대 적용할 수 있는 범용화 방안을 제시하고 시범지구 이외에 대표성을 확보하고 있는 대표 지구에 대하여 적용하여 범용화를 실현하고자 함



<그림 23> 단계별 도입기술의 현장 적용 전략계획



# Summary

**1. Title :** Development of Technique for Performance Improvement of Agricultural Infrastructure and Unsupervised Learning Water Management

**2. Research Period :** March, 2019 ~ December, 2019

**3. Background & Objectives**

## 3.1 Background

- Frequency of droughts and regional variations in precipitation is increasing due to the climate change.
- Paddy field area is continuously decreasing while land area is increasing in domestic
- Water management personnel are responsible for a large area and there is a limitation of agricultural water management by manpower
- The use of advanced smart agricultural technology is increasing due to the 4th industrial revolution
- Integrated water management policies are being implemented by the government, and additional demand for environmental water is increasing accordingly
- It is necessary to develop algorithms that can effectively apply new technologies such as Big Data, ICT, and IoT to agricultural water management

### 3.2 Objectives

- Objectives of this research are 1) to design a basic form of ICT based agricultural water management system based on AI technology and 2) to establish strategic plan of technology development step by step to minimize trial and error.
- The scope of this research project can be divided into four parts:
  - 1) Development of ICT based agricultural water management system
  - 2) Development of IoT based smart hydraulic structure for irrigation system in Korea
  - 3) Establishment of strategic plan for technology development
  - 4) Installation of prototype IoT measurement equipment

### 4. Results of Study

- Basic version of ICT based water management algorithm for irrigation system is developed
- Irrigation supply from agricultural reservoir is estimated based on reservoir storage rate and water balance
- Irrigation period was estimated using ant colony optimization algorithm based on reservoir storage rate
- Irrigation satisfactory index(ISI) is derived based on hydraulic modeling of irrigation system
- A design of IoT based smart gate for irrigation system is developed

- Measuring equipments for gauging water supply and depth were installed in study irrigation site
- Pilot system of irrigation water management is established for study area
- Step by step strategy of research is established for further research

## **5. Conclusion**

- Based on the above results, we are going to install the instrument on the test-bed areas considering the priority in the next year
- The final goal of this study is to present the quantitative guidelines of irrigation water supply and water gate control in irrigation system



## < 목 차 >

제1장 서론 .....	1
제1절 연구배경 및 목적 .....	1
1. 연구배경 .....	1
2. 연구목적 .....	6
제2절 연구범위 .....	7
제2장 연구대상지역 및 현황 .....	10
제3장 ICT 기반 물관리 시스템 기본설계 .....	14
제1절 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계 .....	16
1. 저수지 물수지 모형 기본설계 .....	16
2. 저수지 유입량 예측 모형 기본설계 .....	17
3. 인공지능 용수공급량 예측 모형 기본설계 .....	30
제2절 논물수지를 반영한 용수공급 취약지역 분석 방안 마련 .....	42
1. 논물수지를 반영한 평야부 모델링 .....	42
2. 용수공급 취약지역 분석방안 마련 .....	51
제3절 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘 기본설계 .....	54
1. 최적 수문개도율 도출(수문 무조작 시) .....	54
2. 관개수로 모의 및 최적화(수문조작 및 관개방식) .....	58
제4절 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증 .....	61
제4장 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계 .....	63
제1절 IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정 .....	63
1. IoT 기반의 스마트 수리시설물 선정을 위한 수문 검토 .....	65
2. 관련 설계기준 검토 및 수문 설치 현황 분석 .....	71
3. 수문 검토에 따른 수리시설물 설계기준 개발 .....	74



제2절 수리시설물 설치 지역 선정 및 시범 계측장비 설치	81
1. 대상지역 선정 및 현황분석	81
2. 공사관리 계측장비 현황	89
3. 시범 계측장비 설치 현황	94
4. 계측 네트워크를 활용한 농업용수 이용현황 분석	98
제3절 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영	121
1. 계측장비 시범 운영	121
2. 계측자료를 이용한 용수절감효과 분석	122
3. 경제성 분석을 통한 최적 계측 네트워크 구축 방안	131
제4절 스마트 수리시설물 통합 제어 시스템 설계	153
1. 수리 네트워크 구축	153
2. 스마트 수리시설물 분석시스템 개발	171
제5장 수위 계측 데이터 분석 방법론 도출	201
제1절 연구범위 및 내용	201
1. 연구대상	201
2. 연구범위	201
3. 연구내용	202
제2절 저수지 데이터 품질 및 처리 방법	203
1. 저수지 데이터의 품질 및 특성	203
2. 저수지 데이터 전처리 방법론	206
3. 분석용 메타 데이터 결합 방법론	206
제3절 분석 데이터 통계적 특성	207
1. 저수지 데이터의 통계적 특성	207
제4절 저수지 데이터 상관관계 분석	213
1. 관개기간 내 각 변수의 패턴 분석	213
2. 관개기간 내 각 변수의 상관 분석	215
제5절 저수량 예측에 필요한 데이터 및 방법론	216

제6장 단계별 기술개발 전략계획 수립 .....	218
제1절 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획 수립 .....	218
제2절 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립 .....	219
제3절 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립 .....	220
제4절 도입기술의 현장 적용 전략계획 수립 .....	221
 제7장 결 론 .....	 222
 □ 참고문헌 .....	 225
□ 참여연구원 .....	228

## 〈표 차례〉

(표 1-1) 국내 경지면적 추이 .....	4
(표 2-1) 무수저수지 제원 .....	11
(표 3-1) 작부시기 및 관개관행 제약조건 .....	37
(표 3-2) 무수저수지 추정된 작부시기 및 관개관행 .....	33
(표 3-3) 모의 관개만족도(2001년, 2015년) .....	51
(표 3-4) 물관리 시스템 알고리즘 계층(수집) 데이터 .....	61
(표 4-1) 수문의 구분 .....	66
(표 4-2) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토투(LPL 게이트) .....	76
(표 4-3) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토투(SRS 게이트) .....	78
(표 4-4) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토투(UHA 게이트) .....	80
(표 4-5) IoT 기반의 스마트 수리시설물 비교표 .....	81
(표 4-6) 무수저수지 현황 .....	83
(표 4-7) 작부시기 대비표 .....	86
(표 4-8) 계측기 선정 및 설치 .....	97
(표 4-9) 월별 유입량 비교 (천톤) .....	101
(표 4-10) 년도별 유입량 비교 (천톤) .....	102
(표 4-11) 월별 공급량 비교 (천톤) .....	107
(표 4-12) 월별 무효방류량 비교 (천톤) .....	108
(표 4-13) 년도별 공급량 비교 (천톤) .....	109
(표 4-14) 년도별 무효방류량 비교 (천톤) .....	109
(표 4-15) 월별 저수량 비교 (천톤) .....	111
(표 4-16) 년도별 저수량 비교 (4 ~ 9월) (천톤) .....	112
(표 4-17) 수해구역별 조용수량 산정(천톤) .....	115
(표 4-18) 수해구역별 손실수량 산정 .....	116
(표 4-19) 년도별 조용수량 및 손실수량(천톤) .....	117
(표 4-20) 회귀수량 산정(천톤) .....	120
(표 4-21) Monitoring Network 운영을 통한 농업용수 산정 .....	123
(표 4-22) 월별 용수절감효과(천톤) .....	130
(표 4-23) 년도별 용수절감량(천톤) .....	131
(표 4-24) 상수도 사용 업종별 효율표(진천군 상하수도 사업소, 2018) .....	132
(표 4-25) 용수절감효과의 경제적 가치(천원) .....	133
(표 4-26) 년도별 용수절감효과의 경제적 가치(천원) .....	135

(표 4-27) 실측 무효방류량의 발전사용수량 및 발전시설용량 산정 .....	136
(표 4-28) 경제성 분석 결과 .....	137
(표 4-29) Monitoring Network 규모별 용수절감효과 분석 시나리오 .....	141
(표 4-30) Monitoring Network 규모별 용수절감효과 분석(천톤) .....	143
(표 4-31) 시나리오별 용수절감효과 분석 (천톤) .....	145
(표 4-32) 경제성 분석을 위한 사용 인자 .....	147
(표 4-33) 경제성 분석을 위한 비용 및 편익 관련 인자 .....	147
(표 4-34) 시나리오별 초기투자비용 및 편익 산정(천원) .....	148
(표 4-35) S-21 시나리오 경제성 분석 결과(천원) .....	148
(표 4-36) 수리 네트워크의 구성요소 .....	155
(표 4-37) 수리 네트워크의 구성요소 분석 .....	156
(표 4-38) 수리 네트워크 구성요소의 모델 적용 요소 .....	158
(표 4-39) 수리 네트워크 구성요소의 속성값 .....	165
(표 4-40) 무수저수지 내용적 조건표 .....	167
(표 4-41) 수리 네트워크 관련 엔터티 분석 .....	172
(표 4-42) 분석 관련 엔터티 .....	173
(표 4-43) 공통정보 관련 엔터티 .....	174
(표 5-1) 분석대상 데이터 .....	201
(표 5-2) 분석대상 메타데이터 .....	202
(표 5-3) K-Data 데이터 품질 평가 기준표 .....	203
(표 5-4) 데이터 품질 평가 결과표 .....	204
(표 5-5) 저수량 데이터 형태표 .....	204
(표 5-6) 공급량 데이터 형태표 .....	205
(표 5-7) 강수량 데이터 형태표 .....	205
(표 5-8) 메타 데이터 형태표 .....	206
(표 5-9) 월별 저수량 기술통계량 .....	207
(표 5-10) 일별 저수량 기술통계량 .....	208
(표 5-11) 월별 공급량 기술통계량 .....	209
(표 5-12) 관개기 일별 공급량 기술통계량 .....	210
(표 5-13) 월별 강수량 기술통계량 .....	211
(표 5-14) 일별 강수량 기술통계량 .....	212
(표 5-15) 관개기 주요 변수 상관 계수표 .....	215

## 〈그림 차례〉

<그림 1-1>물관리 일원화 관련 정부조직 개정내용 .....	1
<그림 1-2> 국가물관리기본계획과 물관련 계획(법안) .....	2
<그림 1-3> 국가물관리기본계획 7가지 원칙 .....	2
<그림 1-4> 17년도 평년대비 강수량(좌) 및 저수율(우) ('17.6.30) .....	3
<그림 1-5> 연구목적 개념도 .....	6
<그림 2-1> 대상지(무수저수지) 위치 .....	10
<그림 2-2> 무수저수지(전경 및 물넘이) .....	11
<그림 2-3> 무수저수지 관개지구 .....	12
<그림 3-1> 1차년도(2018) 도출 자율학습물관리 요소기술 .....	14
<그림 3-2> 본 연구과제의 목표 및 요소기술 .....	15
<그림 3-3> 저수지 물수지 모형 .....	16
<그림 3-4> 3단 Tank모형 개념도 (전상민, 2014) .....	20
<그림 3-5> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (김현영과 박승우, 1988) .....	22
<그림 3-6> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (강민구 등, 2013) .....	22
<그림 3-7> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2015) .....	22
<그림 3-8> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2013) .....	23
<그림 3-9> ONE 모형의 모식도 .....	24
<그림 3-10> 천안기상관측소 일강우량 .....	26
<그림 3-11> 무수저수지 유입량 모의결과 (3단 Tank, ONE) .....	26
<그림 3-12> 무수저수지 유입량 연도별 모의결과 (3단 Tank, ONE) .....	27
<그림 3-13> 무수저수지 저수율 (2001~2015년) .....	31
<그림 3-14> 무수저수지 순별 공급량 추정값(2001~2008) .....	32
<그림 3-15> 무수저수지 순별 공급량 추정값(2009~2015) .....	33
<그림 3-16> 무수저수지 순별 공급량 .....	34
<그림 3-17> HOMWRS와 ARWS의 작부시기 .....	35
<그림 3-18> 개미군집알고리즘 개념도 .....	37
<그림 3-19> 무수저수지 저수율 추적 .....	39
<그림 3-20> 무수저수지 저수율 개별년도 추적결과 (2001~2008) .....	40
<그림 3-21> 무수저수지 저수율 개별년도 추적결과 (2000~2015) .....	41
<그림 3-22> SWMM 모듈과 도수부 수리 네트워크 모델링 관계도 .....	42
<그림 3-23> Preissmann Slot기법의 개념도 .....	43
<그림 3-24> 적용가능한 수로단면형상 .....	44

<그림 3-25> 관개수로망 모형 상에서의 노드과 링크 연결 .....	45
<그림 3-26> 오리피스의 계산식 및 모식도 .....	49
<그림 3-27> 위어의 계산식 및 모식도 .....	50
<그림 3-28> 급수부 물수지 모형 개념도 .....	50
<그림 3-29> 2011년도 관개만족도(ISI) .....	52
<그림 3-30> 2015년도 관개만족도(ISI) .....	53
<그림 3-31> 무수저수지의 필지면적과 간선수문(분수문포함) .....	55
<그림 3-32> 무수저수지의 최적용수분배 개략도 .....	56
<그림 3-33> 무조작 최적 간선수문개도 높이 .....	57
<그림 3-34> MCTC 알고리즘의 4단계 과정 .....	59
<그림 3-35> 금곡간선 및 회죽간선 모의 유량 (2010년 5~6월) .....	62
<그림 4-1> 국내에 적용되고 있는 수문 종류 .....	64
<그림 4-2> 국외에 적용되고 있는 수문 종류 .....	65
<그림 4-3> 유압식 전도게이트 형상 .....	67
<그림 4-4> 다단전도식 게이트 형상 .....	68
<그림 4-5> 고무보 형상 .....	69
<그림 4-6> 고정보 형상 .....	69
<그림 4-7> 하단배출식 게이트 형상 .....	70
<그림 4-8> 무동력 자동 게이트 .....	71
<그림 4-9> IoT 기반 스마트 수리시설물 설계기술 개발 .....	74
<그림 4-10> LPL 게이트 형상 .....	75
<그림 4-11> LPL 게이트 대표 설계도 .....	76
<그림 4-12> SRS 게이트 형상 .....	77
<그림 4-13> SRS 게이트 대표 설계도 .....	78
<그림 4-14> UHA 게이트 형상 .....	79
<그림 4-15> UHA 게이트 대표 설계도 .....	80
<그림 4-16> 대상지구 위치도 .....	82
<그림 4-17> 무수저수지(전경 및 물넘이) .....	83
<그림 4-18> 무수저수지 관개지구 .....	84
<그림 4-19> 작부시기 .....	86
<그림 4-20> 대상지구 기존 계측기 설치 현황 .....	87
<그림 4-21> 대상지구 물관리 현황의 문제점 .....	88
<그림 4-22> 대상지구 기존 계측망 .....	90
<그림 4-23> 저수지 취수탑 .....	91
<그림 4-24> 취수탑 방수문(회죽간선, 금곡간선 방수문) .....	92

<그림 4-25> 금곡간선 금곡방수문 .....	93
<그림 4-26> 회죽간선 만피방수문 .....	93
<그림 4-27> Monitoring Network 구축 .....	94
<그림 4-28> Monitoring Network 상세도 .....	96
<그림 4-29> 모의 및 실측 유입량 비교 .....	100
<그림 4-30> 월별 모의 및 실측 공급량 비교 .....	105
<그림 4-31> 년도별 모의 및 실측 공급량 비교 .....	105
<그림 4-32> 월별 모의 및 실측 무효방류량 비교 .....	106
<그림 4-33> 년도별 모의 및 실측 무효방류량 비교 .....	106
<그림 4-34> 월별 모의 및 실측 저수량 비교 .....	110
<그림 4-35> 년도별 모의 및 계측 저수량 비교 (4월~9월) .....	110
<그림 4-36> Monitoring Network 구축 모식도 .....	113
<그림 4-37> 월별 조용수량 및 손실수량 .....	117
<그림 4-38> 년도별 조용수량 및 손실수량 .....	117
<그림 4-39> 회귀수량 산정모식도 .....	119
<그림 4-40> 계측장비 재설치 .....	121
<그림 4-41> 수위 계측 현황 .....	122
<그림 4-42> 농업용수량 산정 .....	124
<그림 4-43> 용수절감효과(2011년) .....	128
<그림 4-44> 용수절감효과(2012년) .....	128
<그림 4-45> 용수절감효과(2013년) .....	129
<그림 4-46> 용수절감량 .....	129
<그림 4-47> 월별 용수절감효과의 경제적 가치 .....	134
<그림 4-48> 년도별 용수절감효과의 경제적 가치 .....	134
<그림 4-49> Weir-HydroGen 모형의 경제성 분석 모듈 .....	137
<그림 4-50> 투자비용 회수기간 .....	138
<그림 4-51> 평야부 Monitoring Network 구축 현황 .....	140
<그림 4-52> 월별 용수절감량 .....	144
<그림 4-53> 시나리오별 용수절감량 .....	144
<그림 4-54> S-21 시나리오 경제성 분석 결과 .....	150
<그림 4-55> S-22 시나리오 경제성 분석 결과 .....	151
<그림 4-56> S-3 시나리오 경제성 분석 결과 .....	152
<그림 4-57> 농업용수 공급 및 배수 네트워크 체계 개념도 .....	154
<그림 4-58> 수리 네트워크 구성 모델링 .....	157
<그림 4-59> Orifice 유출의 자유유출(좌)과 수중유출(우) .....	159

<그림 4-60> 분기점의 네트워크 모델링 .....	160
<그림 4-61> 포장(논)에서의 물수지 .....	161
<그림 4-62> 포장(논) 물수지 개념 .....	162
<그림 4-63> 포장(논)의 네트워크 모델링 .....	163
<그림 4-64> 유말공의 네트워크 모델링 .....	163
<그림 4-65> 무수저수지 내용적 수리 네트워크 적용 결과 .....	168
<그림 4-66> 수리 네트워크 구축을 위한 현장조사용 도면 .....	168
<그림 4-67> DEM과 수로중심선 중첩에 의한 지반고 추출 .....	169
<그림 4-68> 수로 바닥고 추정 .....	170
<그림 4-69> 측정지점 간 수로 바닥고 추정 .....	170
<그림 4-70> 무수저수지 수리 네트워크 구축 결과 .....	171
<그림 4-71> 논리적 구성 ERD .....	175
<그림 4-72> 물리적 구성 ERD .....	176
<그림 4-73> 시스템 메인화면 구성 .....	197
<그림 4-74> 수로 네트워크 단기분석 설정 화면 .....	197
<그림 4-75> 단기분석 결과 화면 .....	198
<그림 4-76> 단기분석 지점별 데이터 조회 화면 .....	199
<그림 4-77> 중장기분석 설정 화면 .....	200
<그림 4-78> 중장기 분석 결과 화면 .....	200
<그림 5-1> 월별 저수량 변화 추이 그래프 .....	207
<그림 5-2> 일별 저수량 히스토그램 .....	208
<그림 5-3> 월별 공급량 변화 추이 그래프 .....	209
<그림 5-4> 관개기 공급량 히스토그램 .....	210
<그림 5-5> 월별 강수량 변화 추이 그래프 .....	211
<그림 5-6> 일별 강수량 히스토그램 .....	212
<그림 5-7> 관개기 저수량 Box Plot .....	213
<그림 5-8> 관개기 공급량 Box Plot .....	214
<그림 5-9> 관개기 강수량 Box Plot .....	214
<그림 5-10> 관개기 주요 변수 상관관계 그래프 .....	215
<그림 6-1> 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획 .....	218
<그림 6-2> 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 .....	219
<그림 6-3> 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 .....	220
<그림 6-4> 단계별 도입기술의 현장 적용 전략계획 .....	221





# 제1장 서론

## 제1절 연구배경 및 목적

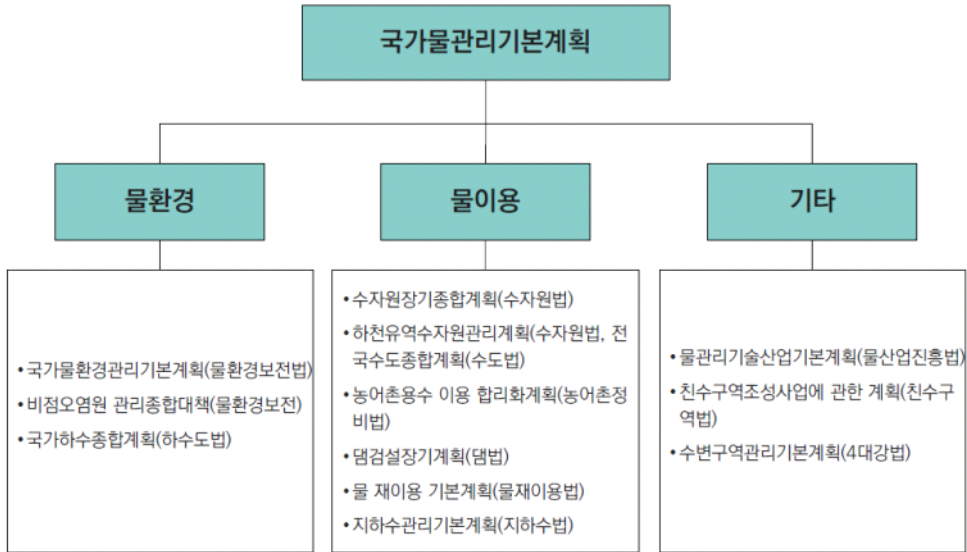
### 1. 연구배경

현재 정부에서는 수량과 수질, 재해예방 등을 환경부에서 통합·관리하는 정책이 이미 추진되어 현재 실행되고 있으며 이에 따라 새롭게 다양한 용수에 관한 요구가 발생하고 있다. 2018년 5월 28일 「물관리기본법안」, 「정부조직법 일부개정법률안」, 「물관리기술 발전 및 물산업 진흥에 관한 법률안」이 의결됨에 따라, 예전 수질(환경부)과 수량(국토부)으로 나누어진 국가 물관리 운영체계를 환경부로 일원화하여 통합관리하게 되었으며, 국토부 수자원정책국(지방청 하천국, 홍수통제소, 수공 포함)의 하천 수량 관리, 광역상수도 관리 기능을 환경부로 이관하였다(그림 1-1).

	환경부 이관	국토부 존치
소관 법률 (7개)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수자원법 - 지하수법</li> <li>- 댐건설법 - 친수구역법</li> <li>- 한국수자원공사법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하천법</li> <li>- 하천편입토지보상법</li> </ul>
기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수문조사 - 광역상수도</li> <li>- 댐운영관리</li> <li>- 수자원산업육성</li> <li>- 홍수통제(수량결정)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하천 점용허가</li> <li>- 하천공사 및 유지보수</li> <li>- 하천시설 관리</li> </ul>
조직	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (본부)수자원 정책국 (3개과)</li> <li>- (소속)홍수통제소(4개)</li> <li>- (산하)수자원공사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (본부)하천계획 존치</li> <li>- (소속)지방국토청(5개)</li> </ul>

<그림 1-1> 물관리 일원화 관련 정부조직 개정내용

이에 따라 농업용수를 관리하는 농어촌정비법을 포함한 물관련 계획은 수립 및 변경 시 국가물관리계획과의 부합여부를 국가물관리위원회 심의를 받아야 하며, 필요한 경우 계획 변경 요구 가능하도록 되어있다.



<그림 1-2> 국가물관리기본계획과 물관련 계획(법안)

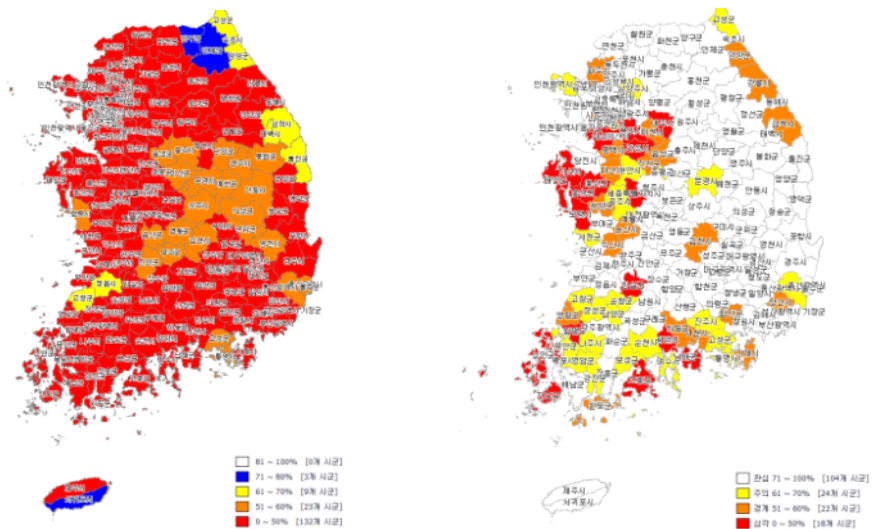
국가물관리기본계획의 기본원칙은 7항목으로 다음그림과 같다.



<그림 1-3> 국가물관리기본계획 7가지 원칙

위와 같은 기본원칙을 바탕으로 향후 물관련 정책이 수립되고 집행될 예정으로, 이에 따라 시설원예, 친수공간, 생태하천 등 기존 농업용수를 다양하게 활용하려는 요구가 증대될 것으로 예상된다. 이러한 국내의 사회정책적인 상황에 대응하기 위해서는 농업용수에 대한 정량적이고 과학적인 물관리가 요구된다.

최근 기상이변에 의하여 국내 농업가뭄의 발생주기가 빨라지고 지역별 강수편차가 확대되는 추세이다. 실례로 2017년도 6월까지의 누적강수량은 224mm로 평년대비 48% 수준이었으나, 장마 이후 8월말일 기준 773mm로 평년대비 75% 수준을 보였다. 또한 1973년 기상관측 이래 2017년도 6월까지의 강수량은 역대 최저 수준으로 경기 남부, 충남 서북부, 전남 남부지역 등 넓은 범위에 걸쳐 가뭄이 발생하였다(그림 1.2 참조). 1973년 기상관측 이후에 일반적으로 5~7년 주기로 전국적 가뭄이 반복되었으나 최근에는 지역적 가뭄 발생 빈도가 점차 심화되면서 매년 국소적인 가뭄이 지역별로 번갈아 발생하고 있는 실정이다.



<그림 1-4> 17년도 평년대비 강수량(좌) 및 저수율(우) ('17.6.30)

2007년에서 2017년까지 10년간 국내 논 면적은 1,070천ha에서 865천ha로 약 19% 감소하였으며, 밭 면적은 712천ha에서 756천ha로 약 6% 증가

하였다(표 1 참고). 이와 같은 논에서 밭으로의 농지변화는 앞으로도 지속적으로 발생할 것으로 예상되며, 이에 따른 대처가 요구되는 상황이다. 현재까지 농업용수관리는 논에 대한 용수공급만 이루어 졌으나, 논에서 밭으로의 영농방식 변화에 맞추어 다목적 용도로의 효율적 물관리 운영기술 필요한 실정이다.

(표 1-1) 국내 경지면적 추이

경지	2007	2012	2013	2014	2015	2016	2017
논(천ha)	1,070	964	934	896	908	896	865
밭(천ha)	712	764	748	757	771	748	756
합계	1,782	1,730	1,711	1,691	1,679	1,644	1,621

국내 농가인구는 1970년 14,422천명에서 2010년 3,063천명으로 78.8% 급감했으며, 심각한 고령화로 인해 농가인구 중 65세 이상 인구는 2010년에 31.7%로 1970년 4.9%에 비해 26.8% 증가하였다. 농촌지역의 노임음 농업노동력 공급 감소로 인하여 전체적인 농업 노임 상승하였으며, 현재 농어촌공사의 물관리 종사자 1인당평균 관리 수원공 개소는 9개소이며 수로연장은 20km에 달한다. 따라서 현재의 사회환경과 시스템으로는 인력에 의한 농업용수의 관리는 한계가 존재하며, ICT 및 IoT기술을 적극 도입하여 물이용의 효율을 증대할 필요가 있다.

현재 4차 산업혁명이 산업 전 분야에 걸쳐 일어나고 있으며 농업분야에도 ICT, IoT, 빅데이터 기술이 도입되어 새로운 가치를 창출하고 있다. 농업용수 관리 분야에 있어서는 데이터를 활용한 수요자 중심의 지능형 물관리 사업이 추진되고 있으며, 일정규모 이상 저수지 및 양수장 농업용수 공급량 측정 계측기의 설치가 추진 중에 있다. 그러나 현재까지 이러한 설치된 계측장치들의 활용방안에 대해서는 뚜렷한 결과가 도출된 바 없으며, 현재 많은 예산과 인력이 투입되어 설치·운영되고 있는 계측장치들의 활용방안에 대해서 깊이 있는 연구가 필요한 실정이다.

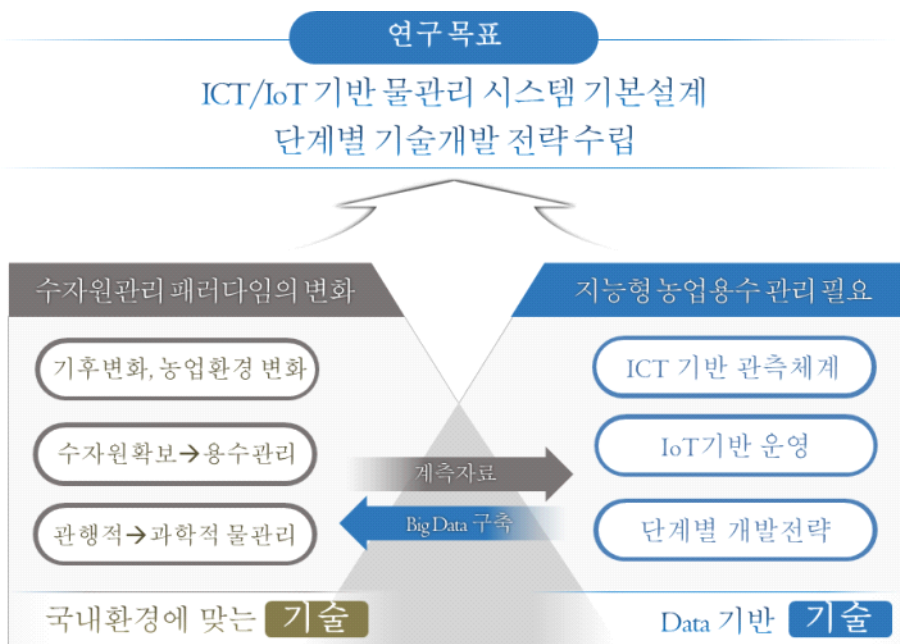
위와 같은 정책적, 자연적, 사회적 환경변화를 바탕으로 미래형 물관리를 위한 새로운 물관리 적용방법의 분석 및 도입기술의 도출이 필요하며

이를 정리하면 1) 물절약, 2) 새로운 용수공급요구에의 대응, 3) 농업용수의 효율적 관리라는 목표를 달성하기 위해 현재 설치되고 있는 다양한 계측장비들을 통하여 계측된 또는 계측될 자료들을 활용하여 취수→도수→급수 체계에 대한 다양한 조건을 분석하고, 이를 통한 데이터 기반의 의사결정 과정까지 이르는 일련에 기술들을 도출할 필요가 있다. 보다 구체적으로는 Big Data, ICT, IoT 등의 신기술을 농업용수 물관리에 효과적으로 도입할 수 있는 기술개발이 필요하며, ICT기반 센서 및 기반시설물 원격제어 기술을 이용하여 물관리 빅데이터(Big Data)를 구축하고, 이를 효율적으로 이용하기 위한 인공지능(AI)기반의 자율학습 물관리 기술의 개발이 필요하다.

## 2. 연구목적

위와 같은 연구배경을 바탕으로 도출한 본 연구과제의 목적은 다음과 같다.

- 도입 예정 요소기술을 바탕으로 하는 자율학습 물관리 시스템의 기본설계
- 체계적인 시스템 구축과 기술의 현장 적용 시 시행착오 최소화를 위한 단계별 기술개발 전략계획 수립



<그림 1-5> 연구목적 개념도

## 제2절 연구범위

본 연구과제의 연구범위는 다음과 같다.

구 분	내 용
ICT 기반 물관리 시스템 기본설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>ICT 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증</li> </ul>
IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>IoT 기반 스마트 수리시설물 제어 시스템 설계</li> </ul>
단계별 기술개발 전략계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>단계별 물관리 시스템 및 수리시설물 기술개발 전략계획 수립</li> <li>기술개발 전략계획서 작성</li> </ul>

보다 구체적인 연구의 주요내용은 다음과 같다.

### (1) ICT 기반 물관리 시스템 기본설계

- 인공지능 알고리즘을 활용한 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계
  - 저수지 물수지 모형 기본설계
  - 저수지 유입량 예측 모형 기본설계
  - 인공지능 용수공급량 예측 모형 기본설계
- 논물수지를 반영한 용수공급 취약지역 분석 방안 마련
  - 논물수지를 고려한 수리 네트워크 모형 구축
  - 수리 네트워크 모형 분석에 의한 용수공급 취약지역 분석
- 최적의 수문제어 및 관개방식 도출을 위한 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘 기본설계
  - 최적관개 목적함수 개발



- 최적관개 도출을 위한 조건 시나리오 개발
- 자동운영 및 사람에 의한 운영을 위한 최적조건 도출 알고리즘 제안
- Test Bed 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증
  - Test Bed 선정 및 Test Bed 수리 네트워크 구축
  - Test Bed 내 기설치된 계측자료 연계 및 신규 계측자료 수집
  - 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 검증 및 개선

(2) IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계

- IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정
  - 국내·외 IoT 기반의 스마트 수리시설물 관련 기술 현황 분석
  - 국내 물관리 실정에 적합한 IoT 기반의 스마트 수리시설물 선정 기술 개발
- Test Bed내 수리시설물 설치 지역 선정 및 시범 계측장비 설치
  - IoT 기반의 스마트 수리시설물 운영을 위한 Test Bed 선정
  - IoT 기반의 스마트 수리시설물 네트워크 설계 및 시범 계측장비 설치
- 물관리 시스템 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영
  - 농업용수 계측장비 시범운영 및 보완사항 도출
  - 자율학습 알고리즘 개발을 위한 계측 자료 분석 및 계측 네트워크 보완
- 취수부, 도수부, 급수부의 스마트 수리시설물 통합 제어 시스템 설계
  - 취수부, 도수부, 급수부의 수리시설물 제어시스템 설계
  - 수리시설물 제어 방안 도출

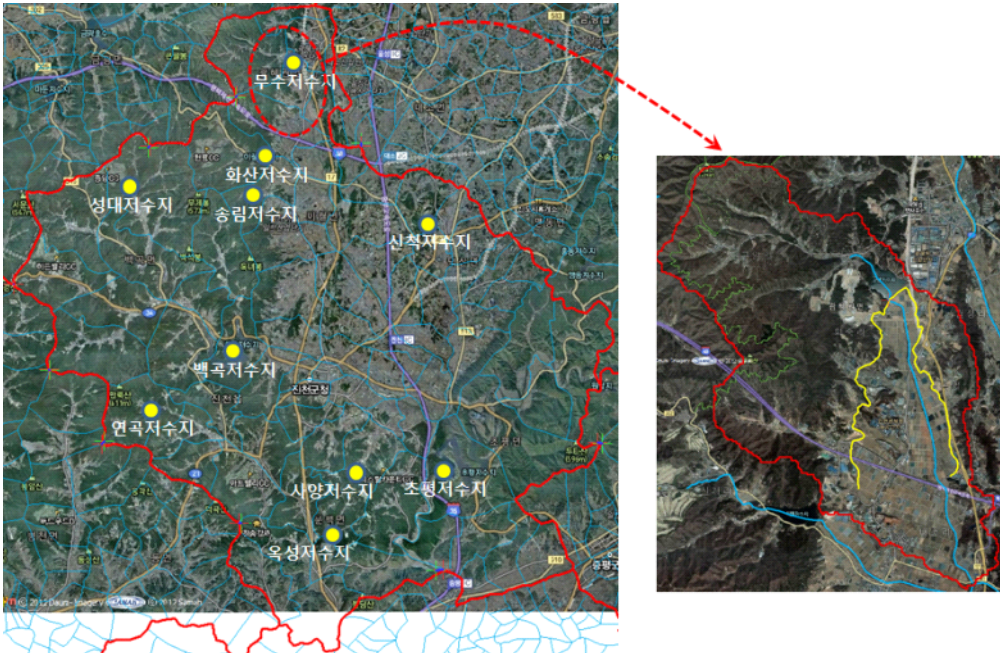
(3) 단계별 기술개발 전략계획 수립

- 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립
  - 단계별 자율학습 알고리즘 기술개발 전략계획 수립
  - 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립
- 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립

- 경제적인 농업용수 스마트 계측 기술의 단계별 계획 수립
- 농업용수 계측 기술과 연동이 가능한 스마트 수리시설물의 단계별 개발 계획 수립
- ▣ 물관리 구간별 요소기술 및 도입기술의 현장 적용 전략계획 수립
  - 취수부 요소기술 현장 적용 전략계획 수립
  - 도수부 요소기술 현장 적용 전략계획 수립
  - 급수부 요소기술 현장 적용 전략계획 수립
  - ICT/IoT 기반의 물관리를 위한 스마트 수리시설물 구축 계획 수립
  - ICT/IoT 기반의 물관리를 위한 농업용수 스마트 계측 네트워크 확대 계획 수립
- ▣ 물관리 시스템 플랫폼 개발 계획 수립
  - 물관리 시스템의 구성 방안 도출
  - ICT/IoT 기반의 물관리 시스템 플랫폼 개발 계획 수립
- ▣ 기술개발 전략계획서 작성

## 제2장 연구대상지역 및 현황

본 연구의 연구대상지역으로 농업용 저수지를 수원으로 하며 수문 계측망이 기 설치되어 있고 추가적인 수문 계측망을 구축하기 용이한 충청북도 진천군 내의 무수저수지(舊 구암저수지)와 그 관개지구인 금곡간선, 회죽간선을 대상지구로 선정 하였다(그림 2-1). 무수저수지는 충청북도 진천군 광혜원면 구암리에 있는 농업 관개용 저수지로 서부는 고도의 구릉성 산지이며 남부는 진천군 이월면과 연속된 진천평야의 일부이다.



<그림 2-1> 대상지구(무수저수지) 위치

무수저수지 제당 형식은 중심점토형이다. 제언의 높이는 16.5m, 길이는 407m이고, 홍수량은  $78.8\text{m}^3/\text{s}$ , 일류 수심은 1.1m이다. 물넘이 형식은 측구식으로 길이는 65m, 언체 높이는 3.5m이다. 취수 시설 형식은 박스형으로 단면 1.2m, 연장 60m이다. 취수 시설 형식은 취수탑으로 취수량  $0.60\text{m}^3/\text{s}$ , 연장 32.9m이다. 유역 면적은 857ha, 만수 면적은 23.2ha, 홍수 면적은

24.1ha, 수혜 면적은 219ha이다. 신규 개발 면적은 239ha, 순 관개 면적은 239ha, 관개 면적은 336ha, 구역 면적은 336ha, 인가 면적은 290ha, 준공 면적은 336ha, 수리안전담 면적은 284ha이다. 총저수량은 137만 m<sup>3</sup>, 유효저수량은 132만 m<sup>3</sup>이다. 만수위는 119m이고 홍수위는 120m이다. 무수 저수지 관리는 한국농어촌공사 진천지사에서 관리하고 있으며 무수 저수지의 제원은 표 2.1과 같다.

(표 2-1) 무수저수지 제원

무수저수지		
면적 (ha)	유역 면적	857
	구역 면적	336
저수량 (천톤)	유효저수량	1320
수위 (m)	만수위	119
	홍수위	120
제방 (m)	수위	119
	길이	407
	물넘이 형식	측구식
기타	위치	충북 진천
	관리	진천지사



<그림 2-2> 무수저수지(전경 및 물넘이)

무수저수지 관개지역은 금곡간선과 회죽간선 평야부 두 간선으로 나누어져 있다. 회죽간선 관개지구는 약 236ha, 금곡간선 관개지구는 약 100ha(금곡간선 관개지구1 + 금곡간선 관개지구2)로 무수저수지 총 관개면적은 336ha이다. 관개지역별 용수이용율 현황으로는 회죽간선 관개지역 평균이 약 70%, 금곡간선 관개지역 평균 약 75%로 나타났다. 간선별 수로길이는 회죽 용수간선 3.05km, 금곡 용수간선 4.05km이며, 하천길이는 3.5km이다(그림 2-3).



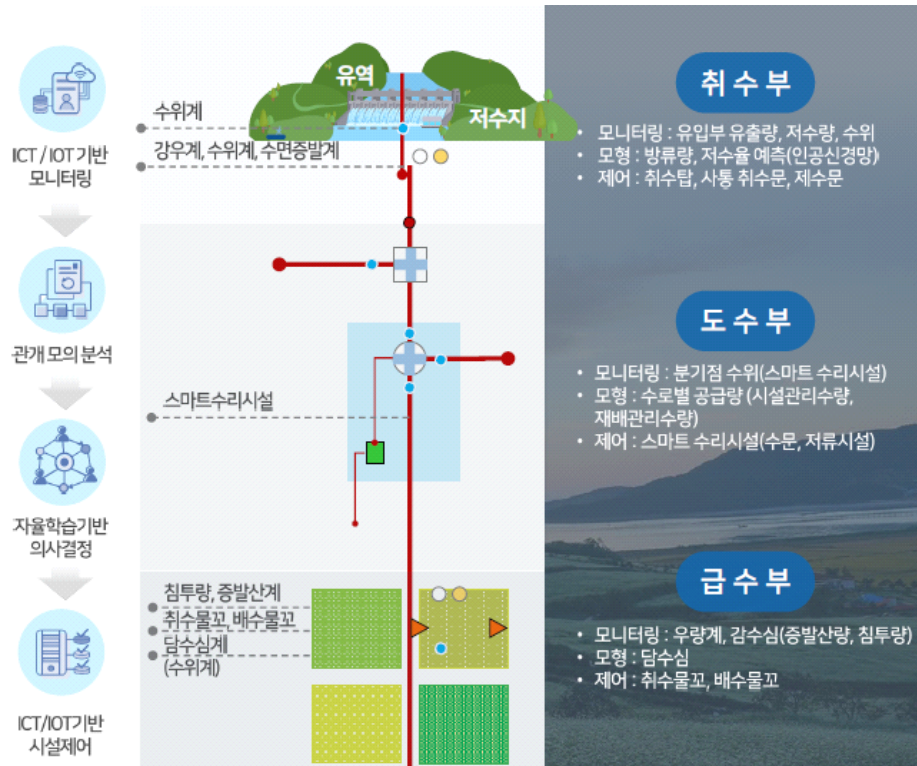
<그림 2-3> 무수저수지 관개지구

구암천 유역내 최근 3개년 최고 기온은 38.3℃이고 최저 기온은 -26.5℃이며, 연평균 기온은 11.3℃로 전국 연평균 기온 12.5℃에 비하면 낮은 것으로 나타난다. 연평균 상대습도는 59.7%~79.3%로 나타났으며 최소상대습도를 비교했을 때 건조기인 1~4월 사이에는 상대습도가 13.9%~ 21.6%를 나타낸 반면 다습기인 6~9월에는 25.3%~38.5%로 조사되어 여름철에 고온다습하고 겨울철에 한랭건조한 우리나라의 기상특성이 본 유역에서도 잘 나타나고 있음을 알 수 있다. 연평균 풍속은 1.1㎧이고 최대풍속은 15.4㎧이다.



## 제3장 ICT 기반 물관리 시스템 기본설계

1차년도(2018) 연구에서 자율학습 물관리 알고리즘의 요소기술들을 도출하였으며 이는 다음과 같다.

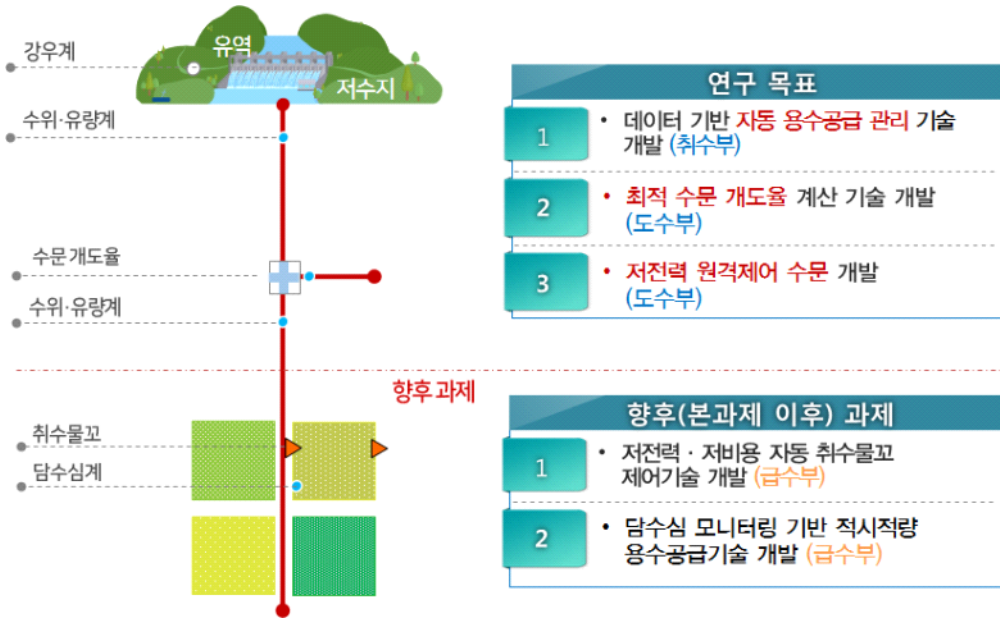


<그림 3-1> 1차년도(2018) 도출 자율학습물관리 요소기술

1차년도에서 도출한 자율학습 물관리 알고리즘의 요소기술 중 수년이내에 실현가능한 요소기술들을 선정하여 본 연구과제의 목표를 다음과 같이 재설정하였다.

- (1) 데이터 기반 자동 용수공급 관리 기술 개발 (취수부)
- (2) 최적 수문 개도율 계산 기술 개발 (도수부)
- (3) 저전력 원격제어 수문 개발(도수부)

연구기간 및 예산을 고려하여 취수부의 증발량 예측, 도수부의 스마트 수리시설물, 급수부의 취수물꼬 제어, 담수심 예측 등의 요소기술은 향후 과제로 설정하여 본 과제에서는 다루지 않기로 하였다.

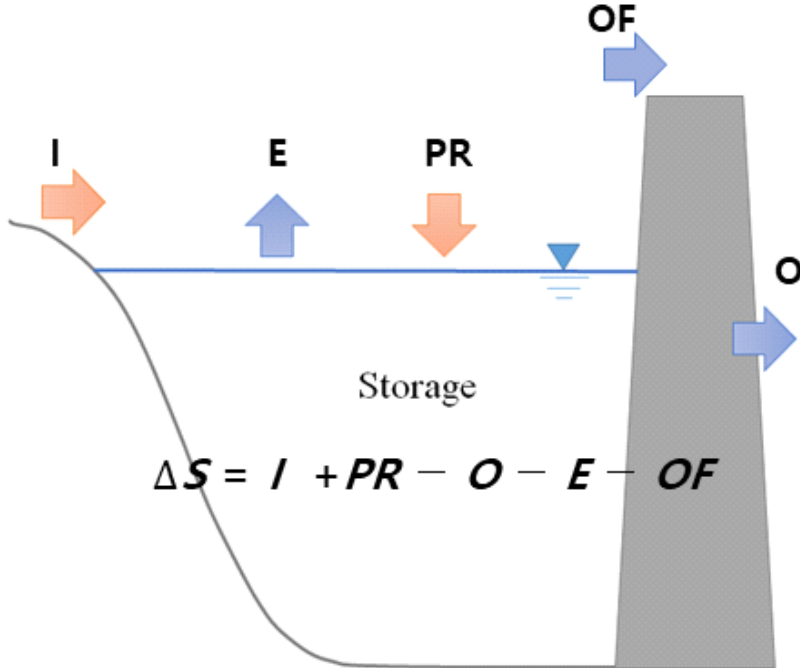


<그림 3-2> 본 연구과제의 목표 및 요소기술



## 제1절 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계

### 1. 저수지 물수지 모형 기본설계



<그림 3-3> 저수지 물수지 모형

취수부의 물수지 모형은 일반적으로 널리 사용되는 지하 또는 제방으로의 침투를 무시한 간략화된 물수지 모형을 사용하였다. 모형의 기초방정식은 다음과 같다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + PR_t - O_t - OF_t - ET_t \quad (3.1)$$

여기서,  $S$ : 저류량,  $I$ : 저수지 유입량,  $PR$ : 강우량,  $O$ : 용수공급량(월류량 포함),  $ET$ : 증발량,  $OF$ : 월류량이다. 유입량  $I$ 는 저수지 유입량 예측 모형으로부터 얻을 수 있는 값이며, 월류량  $OF$ 는 만수 이상의 유입량을 물넘이 월류량으로 결정하였으며, 직접 저수지 유입량인  $PR$ 과 저수지 표

면 증발량  $E$  그리고 저수율  $S$ 는 기상관측과 농어촌고사 계측자료로부터 얻은 값을 활용해 산정할 수 있다. 아래첨자  $t$ 는 시간단위이며 일반적으로는 일단위가 사용된다. 하지만 본 연구에서는 계측자료가 아닌 유입량의 불확실성과 오차를 줄이기 위하여 순단위(10일)을 적용하여 물수지 모형을 사용하였다.

## 2. 저수지 유입량 예측 모형 기본설계

유입량의 산정은 저수지 물수지 분석에서 매우 중요한 요소이다. 저수지의 유입량을 직접적으로 관측하는 경우는 거의 없으며, 일단위 유출수문모형을 통하여 강우량으로부터 유입량은 산정하는 것이 일반적이다. 현재까지 국내에서 사용되고 있는 모형을 정리하면 다음과 같다.

### 1) 3단 Tank모형 (김현영 등, 1998)

- 4단 Tank모형을 3단 Tank모형으로 단순화 (김현영 등, 1998)
- 주요매개변수를 유역의 토지이용특성에 따른 회귀식으로 산정
- 12개의 유역을 대상으로 4개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도 (김현영 등, 1988)
- 6개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도 (허유만 등, 1993)
- 26개의 하천유역을 대상으로 7개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도 (Kim et al., 2000)
- 국내 다목적댐 상류유역 및 하천 수위관측소유역을 30개를 대상으로 유역면적, 논밭산림비율, 유로연장, 유역평균경사와 같은 4개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도 (안지현 등, 2015)
- 다수의 국내연구에 현재까지 활용 (김현준 등, 2012; 이상윤 등, 2009; 이용직 등, 2006; 이태호 등, 2011; 최진규 등, 2012)
- 현재 농어촌공사의 저수지 설계모형인 HOMWRS에 도입

### 2) DAWAST(DAILY WAtershed STreamflow) 모형

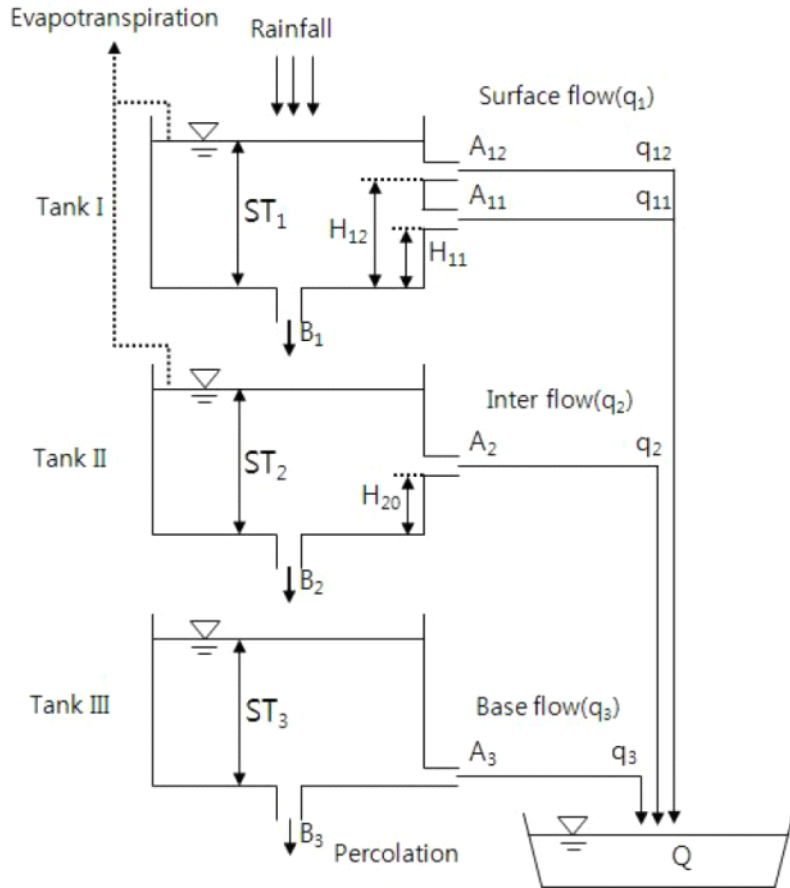
- 개념적 집중형 일 유출 모형
- 토양층을 불포화층과 포화층으로 구분하고 물수지 관계에 의해 토양수분 저류능을 일별로 계산 (노재경, 2011)
- 불포화층의 높이(UMAX), 포화층의 높이(LMAX), 포장용수량 높이

- (FC), 심층투수계수(CP), 유역증발산계수 (CE)의 5개 매개변수를 조정하여 일 유출량을 모의
- 대형댐 유역 (노재경, 2003), 맹동저수지(노재경, 2011), 대아저수지 (노재경과 이재남, 2008) 등에 적용
  - 변형 모형으로 TPHM(Two-Parametric Hyperbolic Model for daily streamflow simulation) 모형 (김현준, 2001)과 ONE(One parametric New Exponential hydrologic Model)모형 (노재경, 2013) 이 있음
- 3) SSARR 모형
- 미국 공병단에서 1956년 개발
  - 대유역의 실시간 일예보 등의 목적으로 사용
  - 발안 및 기천저수지(강민구, 2004), 동향 유역(맹승진 등, 2007), 금호강 유역(정지혜, 2014) 등에 적용
- 4) SLURP 모형
- SSARR 모형의 대안으로 사용하기 위하여 1975년 개발(Kite et al., 1994)
  - 초기 집중형 모형 SLURP(Simple Lumped Reservoir Parametric)에서 현재 준분포모형인 SLURP(Semi-distributed Land Use based Runoff Processes)으로 변환
  - 댐이나 저수지의 저류 효과에 대한 분석이 가능
  - 안성천에 적용 (김보경 등, 2009)
- 5) SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형
- 미국 농무성 농업연구소에 의해 개발된 장기 강우-유출모형
  - 다양한 토양속성과 토지이용에 따른 유출 영향을 예측하기 위하여 개발(Neitsch et al., 2002)
  - 고삼 및 금광저수지 (이용준 등, 2008), 충주댐 (정현교 등, 2008) 등에 적용
- 6) 가지야마 모형(공식)
- 중·대하천의 실측 유출량을 바탕으로 유도된 공식
  - 월단위 유출량 산정

일반적으로 유출모형의 적용을 위해서는 관측자료를 이용한 매개변수의

보정(calibration)과정이 필수적이거나, 현재 국내 농업용 저수지 유입량 관측자료는 거의 대부분 관측되지 않아 보정과정을 원활히 수행하기 어렵다. 따라서 이러한 매개변수 조정에 대한 과정이 이미 분석되어 개략적으로라도 매개변수를 추정할 수 있는 모형이 농업용 저수지의 유입량 예측 모형으로 적합하며, 위 모형들 중 3단 Tank모형과 ONE모형이 이에 해당한다.

Tank모형은 Sugawara(1961)에 의해 개발된 단일 탱크의 선형시스템 모형으로 임의의 집수유역을 여러 개의 류형 탱크로 가상하여 유역의 지표유출, 중간유출, 기저유출을 산정한다. Tank모형은 유역을 일련의 3-4단 류탱크 형태로 개념화시켜 강우-유출 과정을 모형화한 것으로, 일반적으로 상부탱크에서 강우와 증발산 지표유출을 모의하고, 하부탱크에서 지하수유출과정을 모의하며 상부와 하부간 탱크 사이의 물 이동을 통해 침투 간유출 과정을 개념으로 모의하는 방법을 사용한다. Tank 모형은 일반적으로 분포형 모형에 비해 모형의 구조가 간단하고, 유출 해석에 필요한 입력자료 매개변수의 수가 기 때문에, 계측자료가 충분하지 않거나 미계측유역과 같이 기상 토양, 토지이용 등 유역의 물리 특성에 한 자료 수집이 곤란한 경우는 컴퓨터 성능이 고사양이 아니더라도 충분히 실용으로 용할 수 있는 장이 있다. 김현영 등은 우리나라 유역에 적합하도록 모형을 더욱 단순화하여 수정 3단 TANK 모형을 제시하였다. 그림 2-4는 수정 3단 Tank 모형의 개념도를 나타내고 있다. 1단 탱크는 유출성분 중 지표유출을 개념화한 것이고, 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다. 1단 탱크의 유출공수를 2개로 한 것은 홍수유출시 오차를 1개월 때보다 감소시키기 위한 것이다. 3단 탱크의 유출공 높이를 0으로 한 것은 강우가 없을 경우의 초기 기저유출량을 표현하기 위한 것이며, 또한 저류수심  $ST$ 가 항상 유출공의 높이 보다 커야하기 때문이다.



<그림 3-4> 3단 Tank모형 개념도 (전상민, 2014)

TANK 모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강우량으로부터 터 식 (3.2)에 의하여 계산된다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (3.2)$$

여기서,  $Q_{ij}$ 는  $t$ 일의 총유출량 (mm),  $i$ 는 TANK의 수,  $j$ 는 TANK의 유출공수,  $ST_i$ 는  $i$ 번째 TANK의 저류수심 (mm),  $H_{ij}$ 는  $i$ 번째 TANK의  $j$ 번째 유출공의 높이 (mm),  $A_{ij}$ 는 유출 공의 계수 (무차원),  $ST$ 는 단위시

간  $t$ 에 따른 저류수심으로 식 (3.3)와 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - ET_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (3.3)$$

여기서,  $ST_{i,t-1}$ 은  $t-1$ 일의  $i$ 번째 TANK의 수심 (mm),  $R_t$ 는  $t$ 일의 강우량 (mm),  $ET_t$ 는 증발산량 (mm),  $Q_{i,t-1}$ 은  $i$ 번째 TANK의  $t-1$ 일의 유출량,  $I_{i,t}$ 는 침투량 (mm)으로 식 (3.4)와과 같이 계산한다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (2.4)$$

여기서,  $B_i$ 는  $i$ 번째 TANK의 침투계수 (무차원)이다. 수정 3단 TANK 모형은 많은 선행연구에 의해 국내 유역에 적용이 용이한 것으로 나타났다.

Tank모형은 유역을 3-4단의 탱크 구조로 가정하고 관련된 매개변수의 최적화를 통해 유출 현상을 개념적으로 접근하여 해석하는 모델링 기법이기 때문에, 유역의 특성이 크게 변하지 않는다는 가정 하에 최적 매개변수가 추정된 해당 유역에서의 유출량은 비교적 정확하게 모의하고 시간적으로 확장할 수 있다. 하지만 도시화에 따른 토지이용·식생 및 토양 특성의 변화, 기후 변화 등과 같은 유역 내 수문환경의 변화에 따른 유출 변화 해석이 곤란하다는 단점이 있으며 매개변수가 추정되지 않은 타 유역에 대한 유출 해석의 신뢰성 또한 장담할 수 없는 문제가 있다.

이러한 단점을 극복하고 Tank 모형의 미계측의 국내 유역에 대한 적용성을 높이기 위해 모형의 매개변수에 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그중 대표적인 매개변수 추정식들을 아래 그림 2-5~8에 소개하였다.

Regression equations	Correlation	F-values	Remarks
H12 = 16.68(ln A) + 24.20	0.9998	34408.0	F1, 10 = 10.04
B1 = -0.070(ln A) + 0.470	-0.969	138.37	(1%)
B3 = -0.00618(ln A) + 0.0351	-0.931	58.89	F1, 10 = 4.96
ST3 = 43.686(ln A) + 37.159	0.9998	29674.0	(5%)
A12 = -0.00175F + 0.333	-0.996	1312.5	

Regression equations	Correlation a	F-values	Remark
A11 = -0.00414P + 0.169	0.996	1302.1	F1, 10 = 10.04 (1%)
B2 = 0.00998P + 0.111	0.998	4177.5	
A2 = 0.00657U + 0.163	0.985	303.2	F1, 10 = 4.96 (5%)
A3 = -0.000267U + 0.00912	-0.972	155.7	
*lnH2 = -0.0934U + 2.0904	-0.688	8.1	

<그림 3-5> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (김현영과 박승우, 1988)

Parameters	Regional parameter estimation equations	R <sup>2</sup>	p-value
a <sub>11</sub>	0.080 + 0.031 × log (Area) - 0.002 × (Length)	0.59	0.045*
a <sub>12</sub>	-0.192 + 0.007 × (Forest) - 0.001 × (Length)	0.76	0.007**
a <sub>2</sub>	0.089 + 0.004 × log (Area) - 0.002 × (Cropland)	0.86	0.001**
a <sub>3</sub>	0.005 + 0.00026 × (Length)	0.74	0.001**
b <sub>1</sub>	0.616 - 0.042 × log (Area) - 0.002 × (Forest)	0.95	0.000***
b <sub>2</sub>	0.067		
b <sub>3</sub>	0.000		
h <sub>11</sub>	5.495 + 0.564 × log (Area)	0.52	0.019**
h <sub>12</sub>	40.38 + 1.177 × (Forest) + 43.933 × log (Area) - 85.219 × log (Length)	0.93	0.001**
h <sub>2</sub>	-2.060 + 5.882 × log (Area) - 0.369 × (Length)	0.73	0.010**
h <sub>3</sub>	0.000		

Area, Watershed area (km<sup>2</sup>); Length, Length of main stream(km); Paddy, Percentage of paddy field(%); Cropland, Percentage of dry cropland field (%); and Forest, Percentage of forest(%).

\*: p < 0.05; \*\*: p < 0.01; \*\*\*: p < 0.001.

<그림 3-6> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (강민구 등, 2013)

Parameters	Regression equation	R	R <sup>2</sup>
A11	-0.0003Slope - 0.017ln(Area) - 0.067ln(Upland) + 0.398	0.60	0.36
A12	-0.004Paddy + 0.001Forest + 0.163ln(Slope) - 0.27	0.56	0.31
A2	9.897 × 10 <sup>-5</sup> Paddy + 0.028ln(Forest) + 0.0003ln(Slope) - 0.03	0.60	0.36
A3	-0.0002Upland + 4.092 × 10 <sup>-5</sup> ln(Area) + 0.001ln(Length) + 0.006	0.58	0.34
B1	0.003Slope - 0.101ln(Upland) + 0.262	0.59	0.35
B2	-0.01ln(Area) + 0.1	0.64	0.41
B3	7.086 × 10 <sup>-6</sup> Paddy + 7.754 × 10 <sup>-5</sup> Forest + 0.001	0.55	0.31
H11	0.318Forest - 0.543Slope + 22.018	0.79	0.63
H12	-0.004Area + 0.333Slope + 44.939	0.69	0.48
H2	0.421Forest + 15.412ln(Upland) - 22.099	0.65	0.42
ST3	1.147Forest - 49.086	0.40	0.16
	43.013	-	-

<그림 3-7> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2015)

	Parameters	Regression equation	
$S \leq 25.0\%$	A11	$0.006Slope - 0.026\ln(Upland) - 0.006\ln(Area) + 0.147$	
	A12	$0.032Paddy + 0.024Forest + 0.669\ln(Slope) - 3.889$	
	A2	$0.003Paddy + 0.173\ln(Forest) + 0.034\ln(Slope) - 0.792$	
	A3	$-0.000209Upland + 0.005\ln(Area) - 0.007\ln(Length) + 0.008$	
	B1	$0.005Slope + 0.064\ln(Upland) - 0.079$	
	B2	$-0.004\ln(Area) + 0.049$	
	B3	$-0.000106Paddy - 0.00006Forest + 0.013$	
	H11	$-0.173Forest + 0.648Slope + 30.316$	
	H12	$-0.001Area + 1.169Slope + 32.089$	
	H2	$0.606Forest + 27.512\ln(Upland) - 60.507$	
	St3	$-0.718Forest + 100.552$	
	$25.0\% < S < 31.4\%$	A11	$-0.009Slope - 0.025\ln(Upland) - 0.016\ln(Area) + 0.554$
		A12	$-0.01Paddy + 0.013Forest - 0.426\ln(Slope) + 0.819$
A2		$-0.00003Paddy + 0.000335\ln(Forest) + 0.025\ln(Slope) + 0.008$	
A3		$-0.000077Upland + 0.00024\ln(Area) + 0.00046\ln(Length) + 0.004$	
B1		$-0.003Slope - 0.133\ln(Upland) + 0.475$	
B2		$-0.008\ln(Area) + 0.095$	
B3		$-0.000025Paddy + 0.000247Forest - 0.012$	
H11		$1.317Forest - 2.091Slope - 12.784$	
H12		$-0.004Area + 0.587Slope + 44.273$	
H2		$0.592Forest + 1.201\ln(Upland) - 8.915$	
St3		$1.118Forest - 43.578$	
$S \geq 31.4\%$		A11	$-0.034Slope + 0.065\ln(Upland) - 0.035\ln(Area) + 1.694$
		A12	$0.011Paddy + 0.003Forest + 1.109\ln(Slope) - 3.963$
	A2	$0.001Paddy + 0.081\ln(Forest) + 0.027\ln(Slope) - 0.369$	
	A3	$-0.000294Upland - 0.002\ln(Area) + 0.004\ln(Length) + 0.005$	
	B1	$-0.006Slope - 0.086\ln(Upland) + 0.506$	
	B2	$-0.013\ln(Area) + 0.112$	
	B3	$0.000323Paddy + 0.000103Forest - 0.004$	
	H11	$0.924Forest - 0.374Slope - 31.299$	
	H12	$0.001Area + 0.115Slope + 53.262$	
	H2	$-1.533Forest + 2.135\ln(Upland) + 153.058$	
	St3	$0.076Forest + 49.761$	

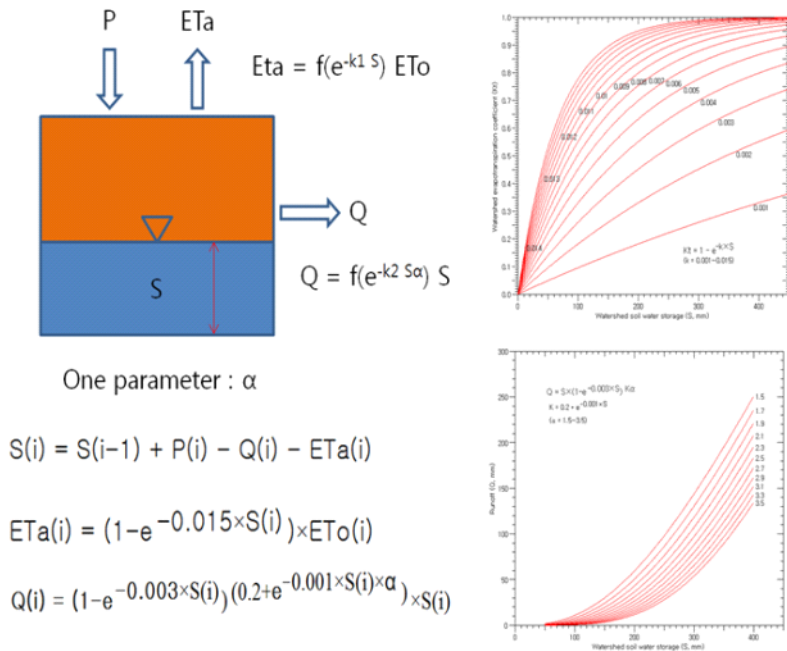
<그림 3-8> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2013)



위 회귀식들 중 본 연구에서는 매개변수의 추정이 간편하여 널리 사용되고 있는 김현영과 박승우 (1988)의 회귀식을 사용하였다.

One(One parametric New Exponential hydrologic Model)모형은 토양수분 저류량에 따라 하나의 매개변수로 유출량이 비선형으로 변화하는 관계를 구현한 장기유출모형이다. 이 모형은 DAWAST 모형과 TPHM모형의 비교연구를 통하여 두 모형의 개선사항을 찾아내고 이를 바탕으로 개발된 모형이다.

또한 관측 유량자료가 없을 경우에는 매개변수의 결정을 위해 이론적 배경의 ONE 모형 선정 부분에서 언급한 일반화 공식을 적용할 수 있도록 구성하였고, 매개변수 조정을 통해 산정된 모의 유출율과 일반화 공식에 의한 유출율을 서로 비교하여 매개변수를 결정할 수 있도록 하는 모델이다. 또한 본 모듈에서는 유출량 산정을 위해 초기 토양저류량을 수정하여 유출량을 산정 할 수 있도록 하였으며, 동일한 유역에 소유역이 존재할 경우에는 결정된 매개변수를 각 소유역에 일괄적으로 적용하여 유출량이 산정될 수 있도록 하였다.



<그림 3-9> ONE 모형의 모식도

ONE 모형의 모식도는 그림 3-9와 같으며, 유역에서 토양 저류량은 연속방정식으로부터 식 (3.5)과 같이 강수량에 의해 증가되고 증발산량과 유출량에 따라 감소된다. 증발산량은 잠재증발산량 또는 계기증발산량과 토양 저류상태에 따라 식 (3.6)에 의해 산정되며, 유출량 산정식은 토양 저류량과 매개변수  $\alpha$ 에 따른 지수함수 형식으로 식 (3.7)과 같이 표현된다. 이렇게 산정된 유출량과 증발산량은 기존 토양의 저류량을 변화시키며, 변화된 토양 저류상태가 적용되어 일단위로 유출량과 증발산량이 반복하여 계산되는 구조로 구성되어 있다.

$$S(i) = S(i-1) + P(i) - ET_a(i) - Q(i-1) \quad (3.5)$$

$$ET_a(i) = (1 - e^{-0.015 \times S(i)}) \times ET_a(i) \quad (3.6)$$

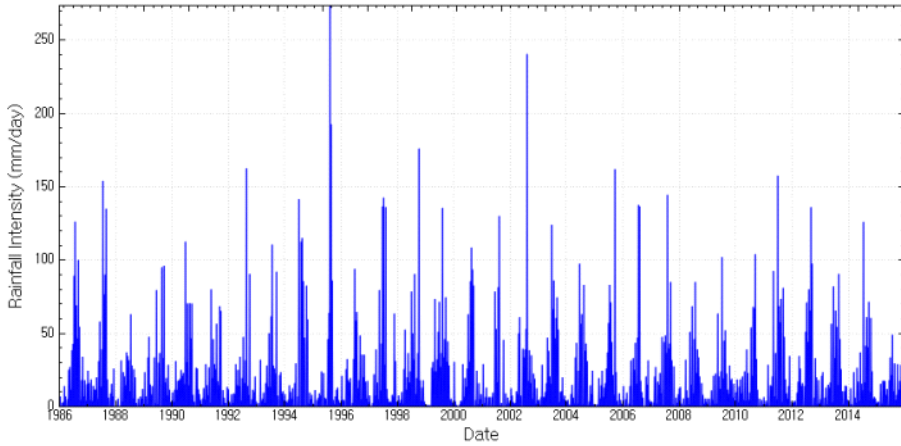
$$Q(i) = (1 - e^{-0.003 \times S(i)})^{(0.2 + e^{-0.001 \times S(i) \times \alpha})} \times S(i) \quad (3.7)$$

여기서  $P$ 는 강수량,  $Q$ 는 유출량,  $S$ 는 유역의 토양 저류량,  $ET_0$ 는 잠재증발산량,  $ET_a$ 는 유역의 증발산량,  $a$ 는 매개변수,  $i$ 는 일단위를 나타내는 첨자이다. ONE 모형은 미계측 유역에서 매개변수  $\alpha$ 를 결정할 수 있도록 일반화 공식을 제공하고 있다. 이 공식은 국내 16개 다목적댐의 연 강수량과 유입량 자료를 이용하여 유도한 공식으로 식 (3.8)과 같이 표현된다.

$$Qr(i) = 25.22 + 0.0245 \times Pa \quad (3.8)$$

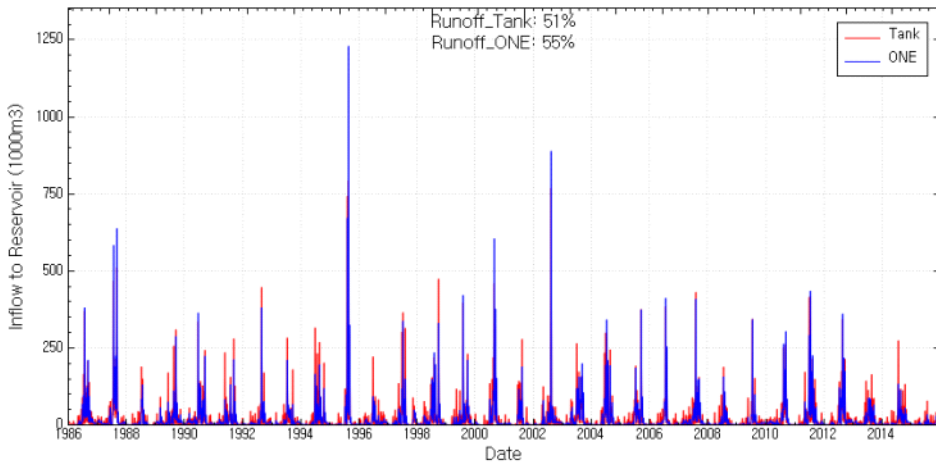
여기서,  $Qr$ 은 연유출률,  $Pa$ 는연강수량이다.

위 두 모형을 사용하여 무수저수지의 유입량 분석을 실시하였다. 강우 자료는 인근의 천안기상관측소의 일강우자료를 활용하였으며 1986년~2015년 총 30년의 기간을 대상으로 하였다. 활용한 강우량은 다음 그림과 같다.



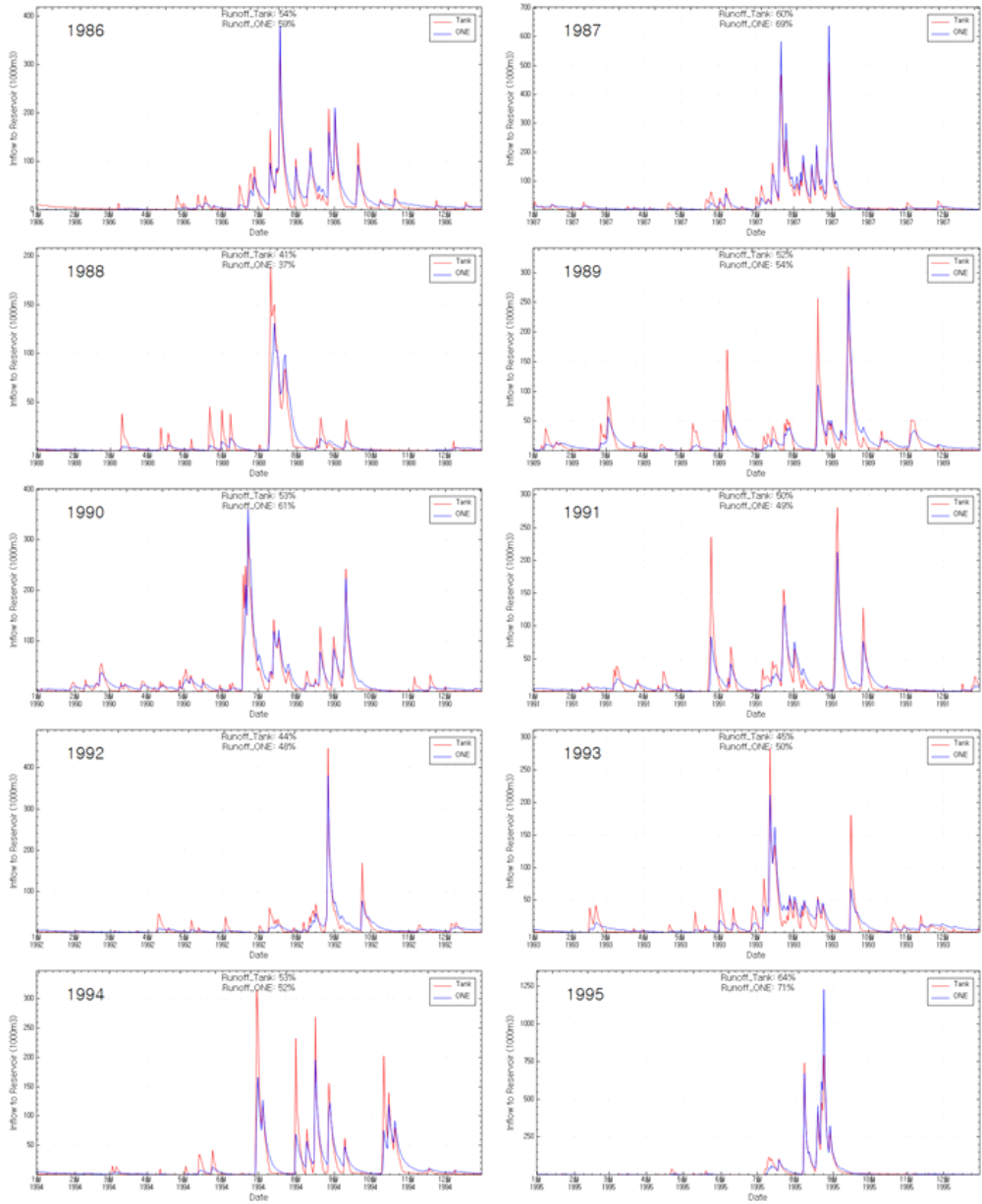
<그림 3-10> 천안기상관측소 일강우량

3단 Tank모형과 ONE모형으로 모의한 유출량은 다음 그림과 같다.

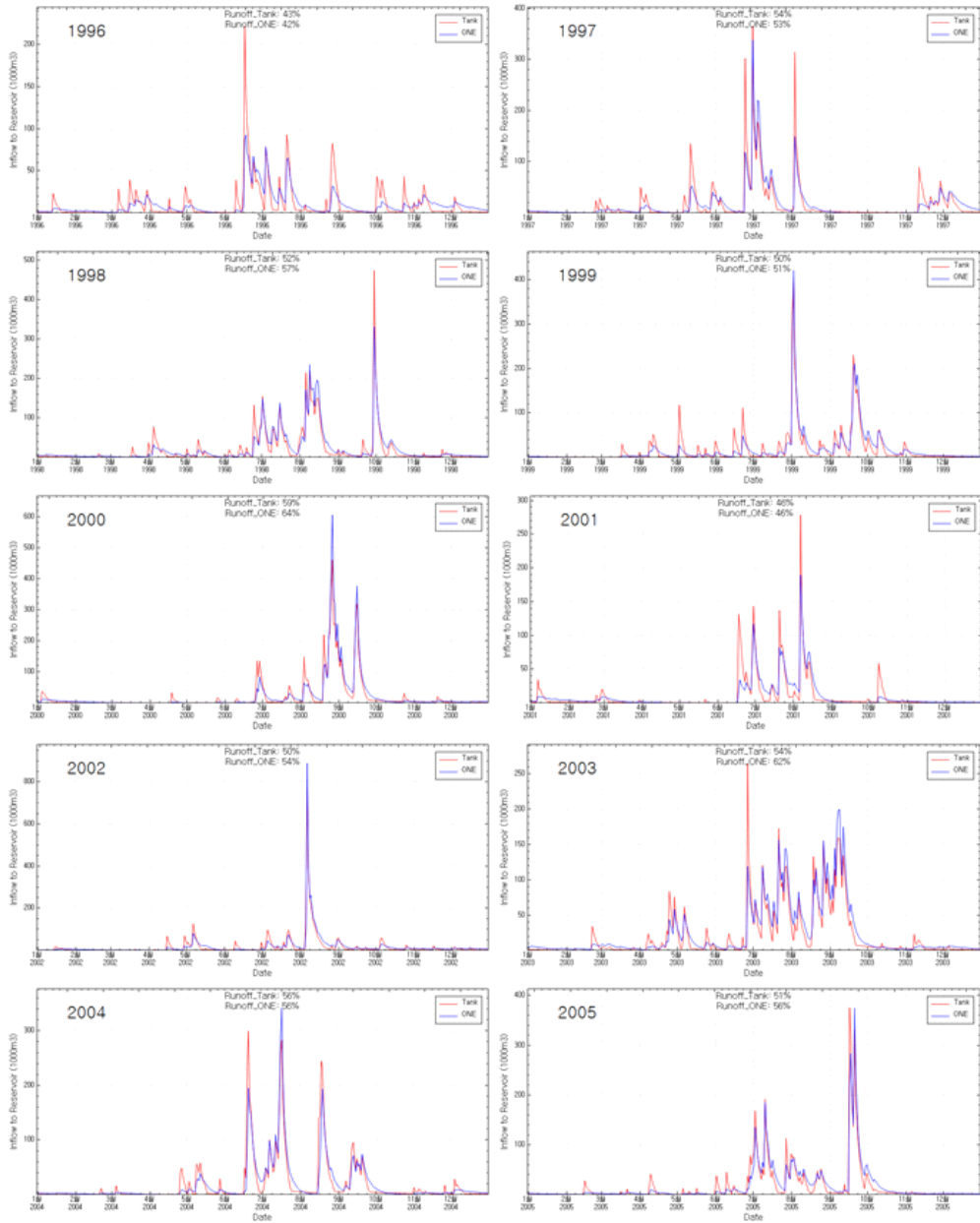


<그림 3-11> 무수저수지 유입량 모의결과 (3단 Tank, ONE)

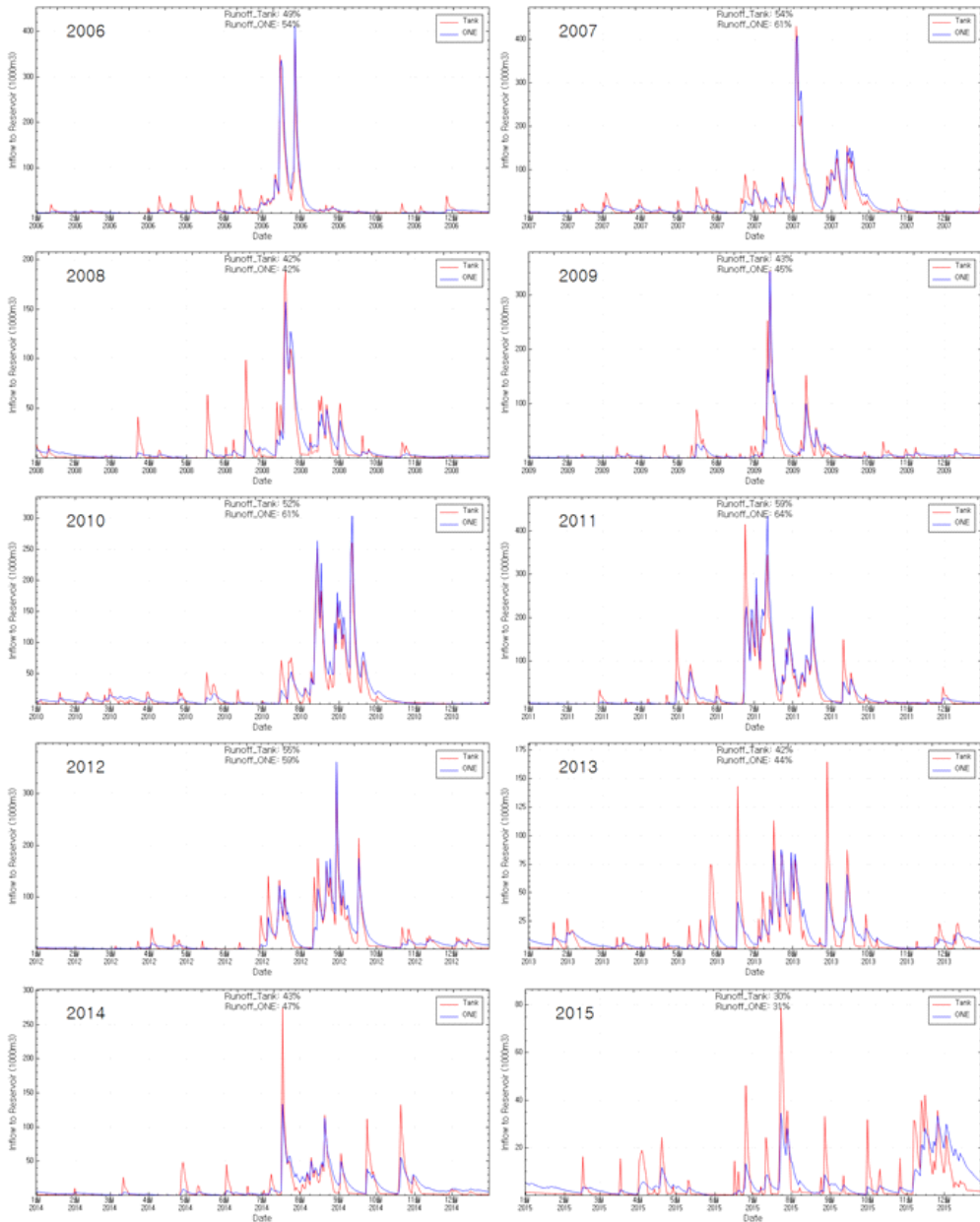
3단 Tank모형의 유출율은 51%, ONE모형의 유출율은 55%로 나타났다. 관측자료가 없어 모형의 정확도에 대한 비교는 해당 유역에 대해서는 수행할 수 없었다. 각 년도별 저수지 유입량은 다음과 같다.



<그림 3-12> 무수저수지 유입량 연도별 모의결과 (3단 Tank, ONE)



<그림 3-12> 무수저수지 유입량 연도별 모의결과 (3단 Tank, ONE) (계속)



<그림 3-12> 무수저수지 유입량 연도별 모의결과 (3단 Tank, ONE) (계속)

연도별 모의결과를 보면 대체적으로 피크 시 유입량은 3단 Tank가 ONE모형에 비해 큰 것으로 산정되었고 지속적인 유량은 ONE모형이 크게 산정되고 있다. 현 시점에서 두 모형의 정확도 비교는 의미가 없으며

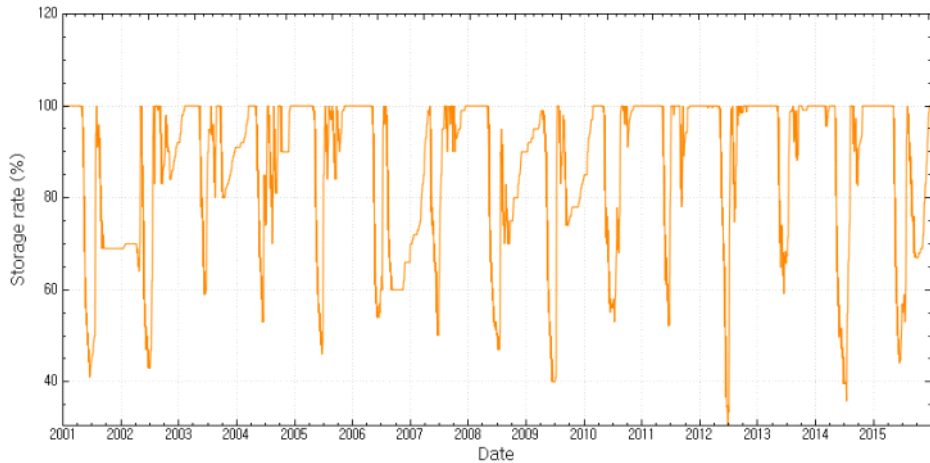
로, 본 연구과제에서는 국내에서 널리 활용되고 있는 3단 Tank 모형을 활용하여 연구를 진행하였다. 향후 저수지의 유입량 예측 또는 공급량 예측을 통한 물수지모형에서의 역산으로 관측자료를 구축하여 모형의 정확도를 비교할 필요가 있다.

### 3. 인공지능 용수공급량 예측 모형 기본설계

국내 대부분의 농업용저수지에서는 예측 및 유지관리의 어려움으로 인해 용수공급량을 예측하지 않고 있다. 따라서 대부분의 농업용수공급량은 손실률 및 용수관리 배분율을 고려한 작물의 필요수량과 작부시기를 기준으로 추정하고 있다. 필요수량과 작부시기를 고려한 공급량 연구에는 용수 수요량과 관계효율을 고려하여 연 단위 관계 지구 용수 공급량 모의에 대한 연구나(Song et al., 2015), 수정 DIROM 모형을 이용하여 관계 지구의 관행 물 관리를 고려한 저수지 용수 공급량 추정 연구를 진행한 바 있다(Kang et al., 2014). 또한 Jun et al.(2014) 이 개발한 ARWS(Agricultural Reservoir Water supply simulation System)는 시기별 필요수량에 기반하여, 손실률을 고려한 공급량을 사용하는 것으로 용수 공급량을 추정하였다(Jun et al., 2014). 농업용 저수지 공급량 평가 연구에서도 필요수량 방식을 기반으로 관계효율을 고려한 공급량을 이용하여 평가하였다(Ryu et al., 2018). 하지만 실제 현장에서의 농업용 저수지 공급은 기상학적·지형학적 특성에 따라 단일 저수지별 공급량 및 수요량 값이 상이하며, 기상·수문 현상의 불확실(uncertainty)으로 인해 관행적 경험에 의존하여 수행되고 있으며(Nam et al., 2012), 이론적 방법에 의한 공급량 산정은 실제 예측자료와 많은 차이를 보이고 있다(Shim et al., 2012). 물 관리자는 경험과 관행에 따라 관리수량을 결정하고 있으며 경우에 따라 포장 순용수량의 2~3배까지 물이 사용되기에 실제와 모형 간의 차이가 발생하게 된다(Shim et al., 2012). 본 연구에서는 저수지 물수지 모형 (3.1)식을 변형한 다음과 같은 식을 사용하여 용수공급량을 추정하였다.

$$O_t = I_t - (S_t - S_{t-1}) + PR_t - OF_t - ET_t \quad (3.9)$$

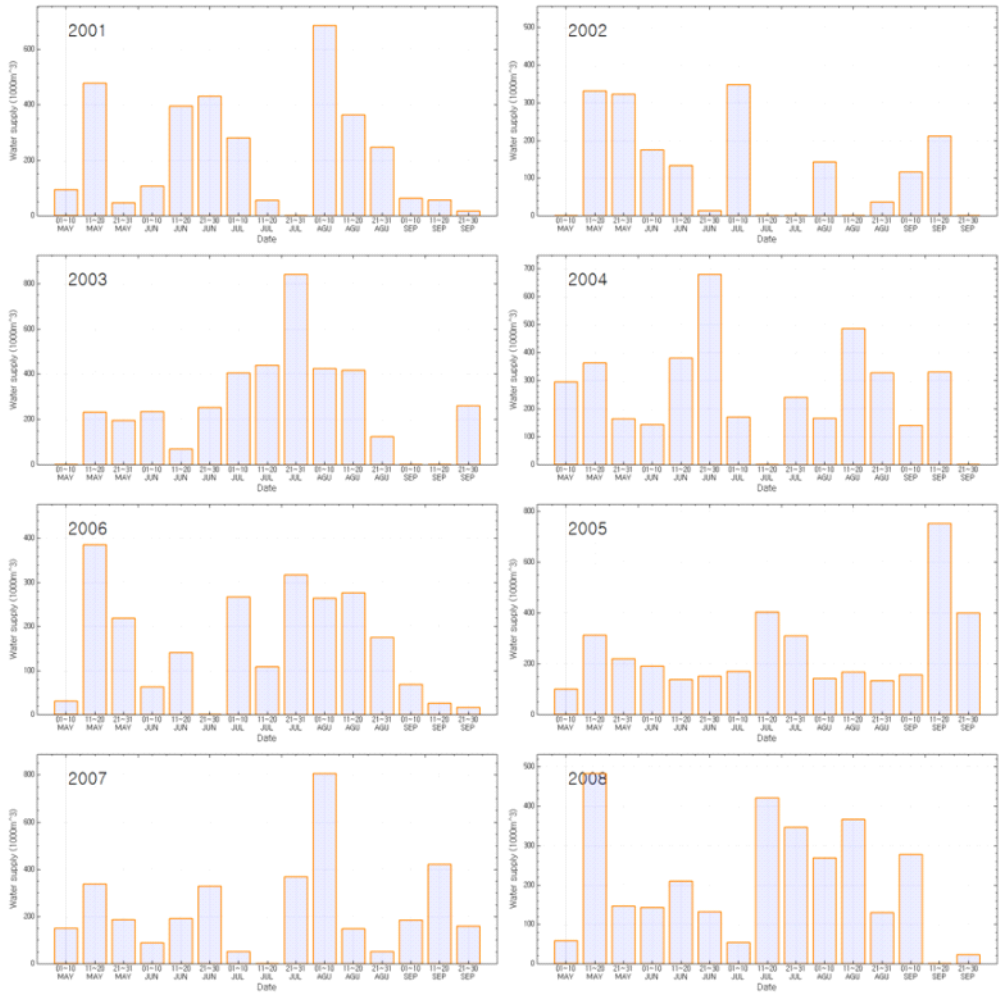
여기서, 아래첨자  $t$  는 해당 순을 뜻한다. 저수지 유입량은 저수지 유입량 모형(3단 Tank)를 사용하여 추정하였으며, 모형사용으로 인한 추정의 불확실성을 줄이기 위하여 일단위 계산의 결과를 순단위로 환산하여 물수지 모형에 적용하였다. 무수저수지의 2001년~2015년 15년간의 저수율은 다음 그림과 같다.



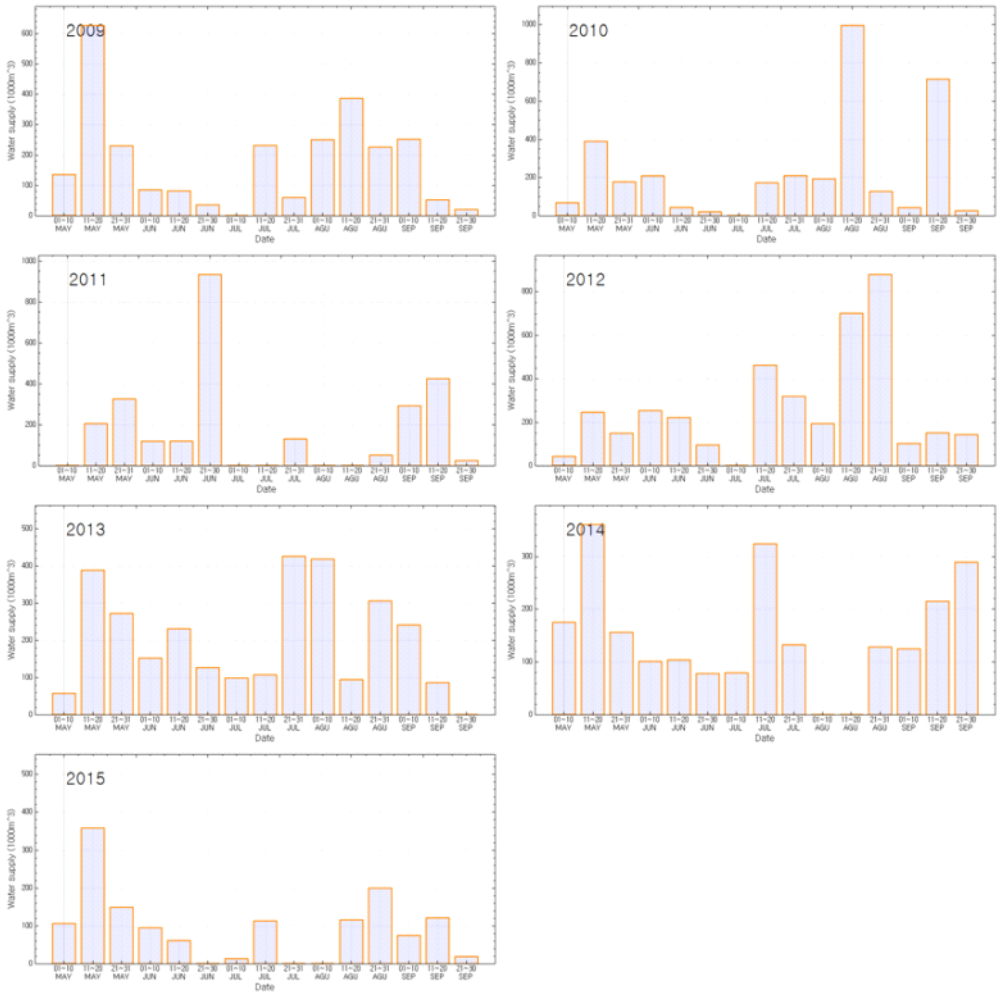
<그림 3-13> 무수저수지 저수율 (2001~2015년)

(3.9)식을 기반으로 2001년~2015년 15년간의 데이터를 사용하여 추정한 무수저수지의 순별 공급량을 그림 3-14, 3-15에 나타내었다.



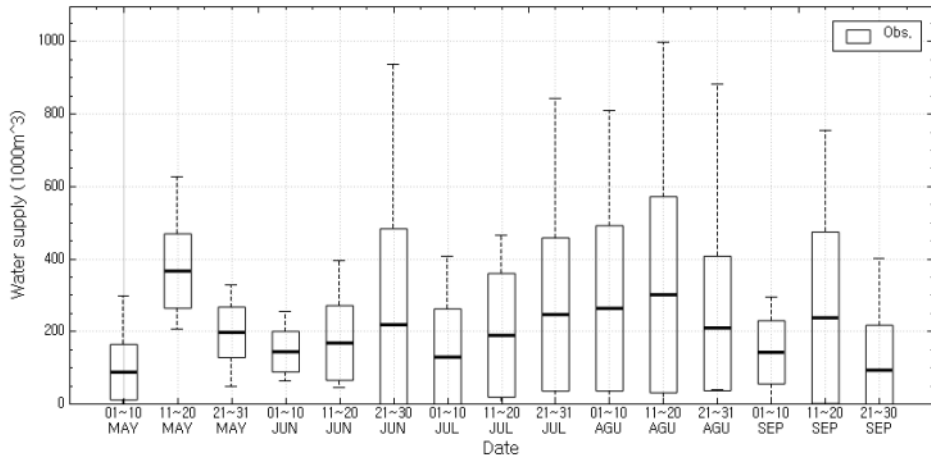


<그림 3-14> 무수저수지 순별 공급량 추정값(2001~2008)



<그림 3-15> 무수저수지 순별 공급량 추정값(2009~2015)

연도별로 용수공급량과 분포가 다르게 관리되고 있는 것을 알 수 있다. 추정한 공급량 분포를 보다 알기 쉽게 다음 그림과 같이 Box plot으로 나타내었다. 박스 중앙의 선은 15년간의 평균이며, 박스의 상하는 평균에 표준편차를 더하고 뺀 값이다. 상하 막대는 최대 및 최소값을 뜻한다. 따라서 긴 박스는 연도별로 공급량의 편차가 크다는 것을 의미한다.



<그림 3-16> 무수저수지 순별 공급량

그림 3-16을 보면 5월은 비교적 용수공급의 편차가 크지 않고 이양기에는 일관적인 물공급이 되고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 본답기, 중간낙수기 등이 있는 6~8월은 해에 따라 물공급이 달라 편차가 큰 것을 알 수 있다. 특히 6월 21~30일, 8월 11~20일, 9월 11~20일 등은 해마다 매우 다르게 물공급이 되고 있는 것을 알 수 있다. 용수공급량의 편차가 크다는 것이 반드시 물관리가 잘못되었다는 의미는 아니다. 연도별로 강우와 저수율의 상황에 맞게 공급량이 크게 조절되었다는 의미도 포함되어 있다. 하지만 장기적으로 보면 순별로 표준적인 값을 중심으로 크게 편차 없이 용수공급을 하는 것이 안정적인 용수관리에 도움이 될 것으로 판단된다. 이를 위해서는 해당 저수지의 표준적인 작부시기 및 관행 등을 조사하여 반영할 필요가 있으나, 이는 해마다 달라질 수 있으며 기록이 상세하게 남아있는 관개지구는 많지 않은 관계로 조사에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 저수율을 기반으로 하여 관개지구별로 표준적인 작부시기 및 관행을 추정하는 방법론을 개발하였다. 이 과정을 설명하기 위하여 필요수량 기반 공급량 추정방법에 대해서 간략히 서술하였다.

논의 필요수량은 증발산량과 침투량을 합하고 논에서 이용되는 유효수량을 감하여 구할 수 있으며, 여기에 시설관리손실을 반영하여 관개용수량을 산정하게 된다. 필요수량은 생육기별로 모대정지기,모대기,모대이양혼합기,이양기,본답기로 구분하여 산정한다.

묘대정지기에는 침투량 및 못자리 정지용수가 필요하며 필요수량은 식 (3.10)와 같이 산정한다.

$$Req_t = (I + WR_n / D_n) \times A_n \quad (3.10)$$

여기서,  $I$ 는 일 침투량(mm/day),  $WR_n$ 은 못자리 정지용수량(mm),  $D_n$ 은 못자리 정지일수,  $A_n$ 은 묘대면적이다. 묘대기는 묘가 자라는 기간으로 침투량 및 증발산량이 필요하며, 이때 필요수량은 다음과 같이 산정한다.

$$Req_t = (I_t + ET_t) \times A_n \quad (3.11)$$

여기서,  $ET_t$ 는 기간별 증발산량이다. 본답기 용수량은 다음과 같이 침투량과 증발산량의 합으로 나타낸다.

$$Req_t = (I_t + ET_t) \times A_t \quad (3.11)$$

여기서,  $A_t$ 는 관개면적이다.

Period	HOMWRS	ARWS
Period of nursery	4/17 - 5/31	4/17 - 5/20
Period of transplant	5/27 - 6/10	5/15 - 5/24
Period of rice planting water	6/11 - 9/11	5/25 - 9/11
Period of mid-summer drainage	-	6/25 - 7/15
Period of restricted water level	-	6/21 - 9/20

<그림 3-17> HOMWRS와 ARWS의 작부시기

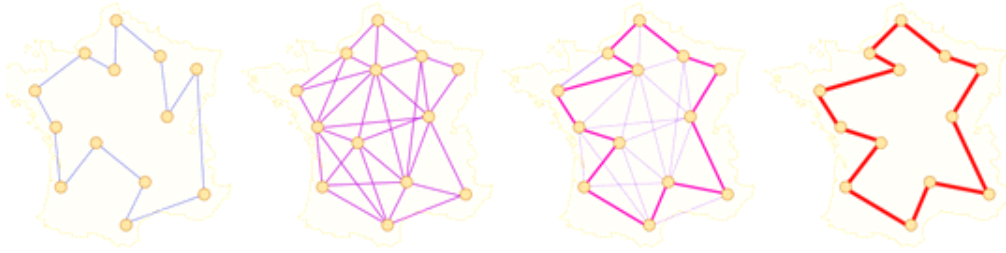
용수공급량은 위와 같이 산정한 필요수량에 관리용수량을 더하여 산정

하게 된다. 따라서 용수공급량은 작부시기, 관리용수량, 묘대면적 등에 의해 결정되게 되나, 이는 지역별로 또는 연도별로 바뀌게 된다. HOMWRS와 ARWS에서 표준으로 사용하고 있는 작부시기는 그림 3-17과 같다.

위와 같이 산정한 공급량을 (3.1)식에 대입하여 저수지의 저수율을 모의로 추적할 수 있으며, 이를 저수율 관측데이터와 비교하여 공급량 추정의 정확도를 산정할 수 있다. 이 때 작부시기를 일정한 것으로 보고 작부시기를 현장조사하여 시설관리손실율을 매개변수로 보정할 수도 있고, 작부시기를 조정하여 저수율 모의가 잘 되도록 보정할 수도 있다. 실제로 불확실성은 작부시기, 손실율, 묘대면적 등에 모두 존재한다.

본 연구에서는 물수지모형과 공급량모형에 의해 모의된 저수율이 실제 관측된 저수율과 잘 일치하도록 작부시기, 손실율 등을 최적화 알고리즘을 통하여 역추정하였다. 최적화 알고리즘으로는 개미군집 알고리즘(ACO, Ant Colony Optimization)을 사용하였다.

개미군집 알고리즘은 개미의 집단행동에서 아이디어를 가져온 최적화 알고리즘이다. 개미가 개미집에서 먹이로의 경로를 찾을 때, 먹이를 발견한 첫 개미가 페로몬을 남기며 집으로 돌아오게 되며, 다음 개미는 역시 페로몬을 뿌리면서 앞선 개미의 페로몬을 따라 먹이를 찾게 된다. 이 때 개미는 앞서간 개미를 그대로 따라가는 것이 아니라 중간중간 희미한 페로몬으로 인해 경로가 조금씩 바뀌기도 하면서 여러 가지 경로를 찾게 된다. 오래된 페로몬은 시간이 지나면서 없어지고 결국 최적의 경로에만 페로몬이 남게 되는 원리이다. 개미 알고리즘에서 개미는 간단한 계산 Agent가 되고, 개미는 돌아다니며 솔루션을 찾는다. 각각의 개미는 현재 상태에서 실행가능한 목적함수의 값  $F(x)$ 를 계산한 다음, 그것들 중 한 길로 확률에 따라 이동한다. 개미가 변수  $x$ 에서  $y$ 로 이동할 확률은 Attractiveness(움직임의 바람직함)와 Trail(이전의 움직임이 얼마나 효율적이었는지 알려주는 값) 두가지 값의 조합으로 결정되게 된다. Trail은 해당 움직임이 얼마나 바람직한지를 알려주는 값이며, 개미가 자신의 솔루션을 찾았을 때 업데이트되고, 그 솔루션이 얼마나 좋았는지에 따라 값이 증가하고 감소하게 된다. 개미군집 알고리즘은 최적의 경로를 찾는 문제에 주로 사용되나 일반적인 글로벌 최적화 알고리즘으로 타 문제에도 범용적으로 활용할 수 있다.



<그림 3-18> 개미군집알고리즘 개념도

최적화의 목적함수는 모의한 저수율과 관측 저수율 데이터의  $R^2$  error 와 NSE(Nash-Sutcliffe Efficiency)의 합으로 하였으며, 최적화 대상은 작부시기 및 못자리용수량, 이앙용수량, 손실수량, 묘대면적비(=묘대면적/관개면적), 일침투량으로 하였다. 작부시기 및 관개관행의 제약조건은 다음 표와 같이 설정하였다.

(표 3-1) 작부시기 및 관개관행 제약조건

작부시기 및 관개관행	제약조건
묘대기 기간	0 ~ 20 일
이앙기 기간	1 ~ 30 일
낙수기 기간	0 ~ 20 일
못자리 용수량	0 ~ 100 mm
이앙용수량	50~ 200 mm
손실수량	15 ~ 150 %
묘대면적비 (묘대면적/관개면적)	0 ~ 20 %

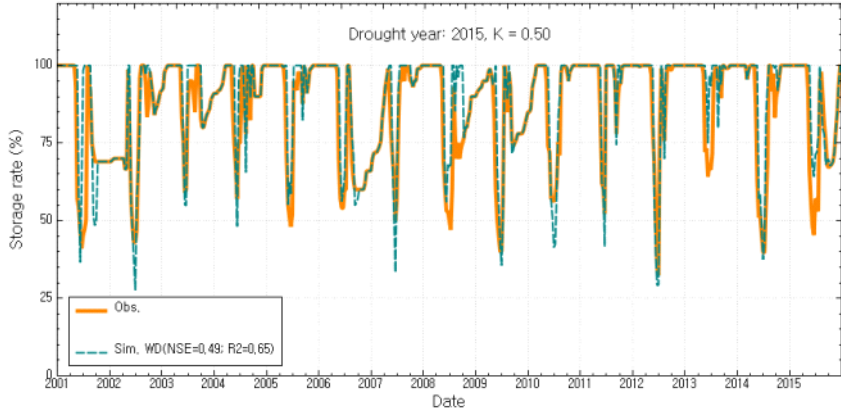
최적화 알고리즘으로 추정된 무수저수지의 작부시기 및 관개관행은 다음과 같다.

(표 3-2) 무수저수지 추정된 작부시기 및 관개관행

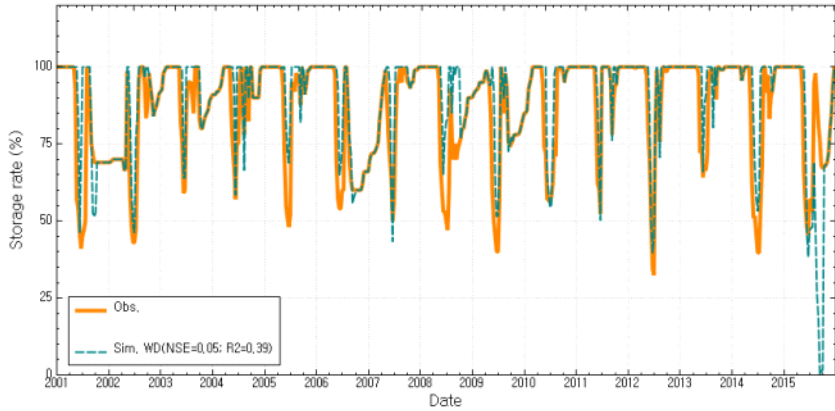
작부시기 및 관개관행	추정값
묘대기 기간	5/3 ~ 5/16 일
이앙기 기간	5/20 ~ 6/2 일
본답기 기간	6/3 ~ 9/16
낙수기 기간	7/1 ~ 7/15 일
못자리 용수량	4 mm
이앙용수량	196 mm
손실수량	33 %
묘대면적비 (묘대면적/관개면적)	1 %

위 관개관행은 저수지의 저수율을 재현할 수 있도록 추정한 값으로 실제 관개관행과 일치하는 지 여부에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 무수저수지 관개지구 뿐만 아니라 타 관개지구에 대해서 적용하고 검증하는 과정이 필요할 것으로 보인다. 이러한 연구는 차년도 이후 수행될 예정이다.

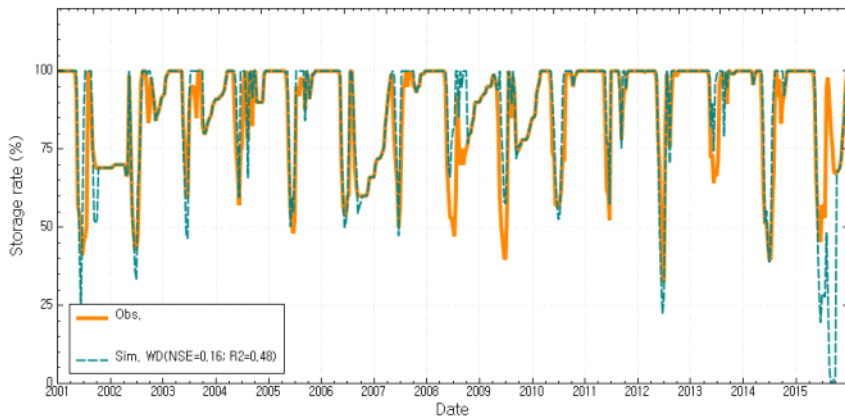
추적한 저수지 저수율은 다음 그림과 같으며, 비교를 위해 그림 3-7의 HOMWRS와 ARWS에서 제시하고 있는 작부시기를 사용한 저수지 저수율 추적결과도 함께 제시하였다.



(a) 최적화 알고리즘을 이용하여 추적한 저수율 추적결과



(b) HOMWRS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과

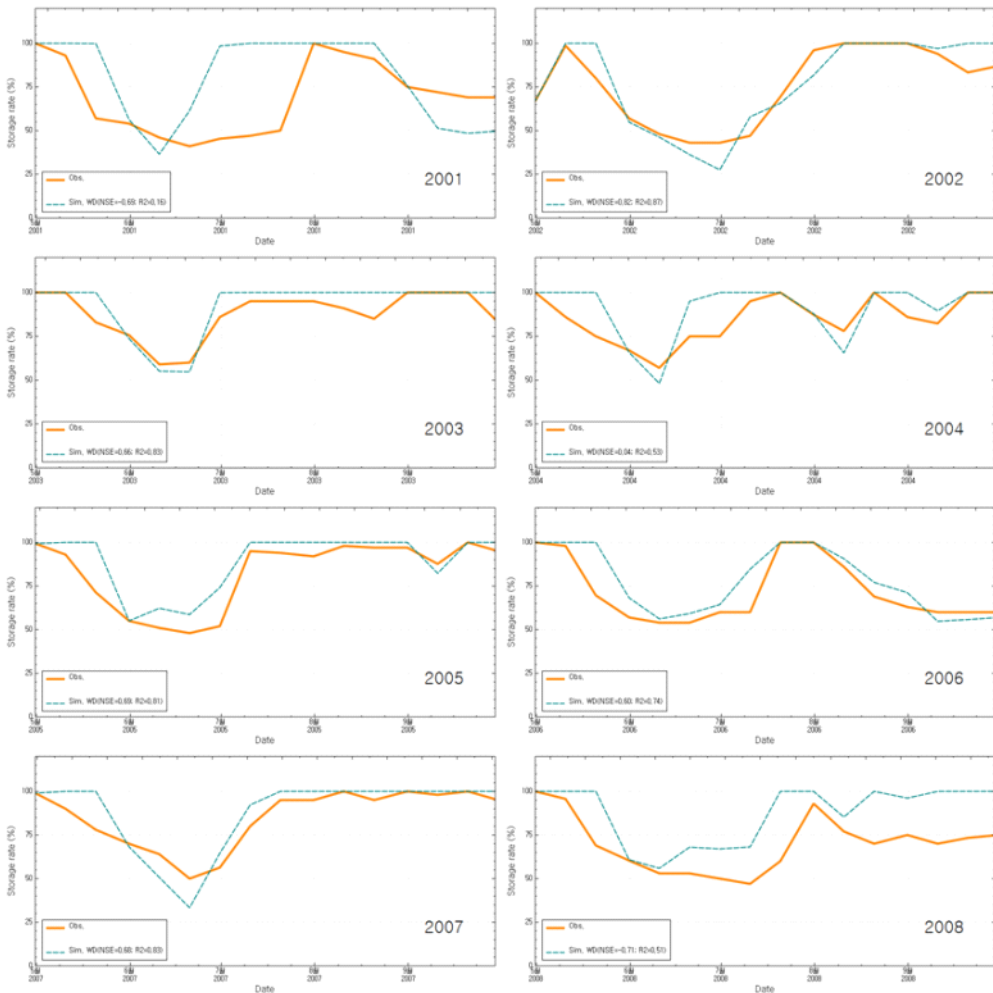


(c) ARWS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과

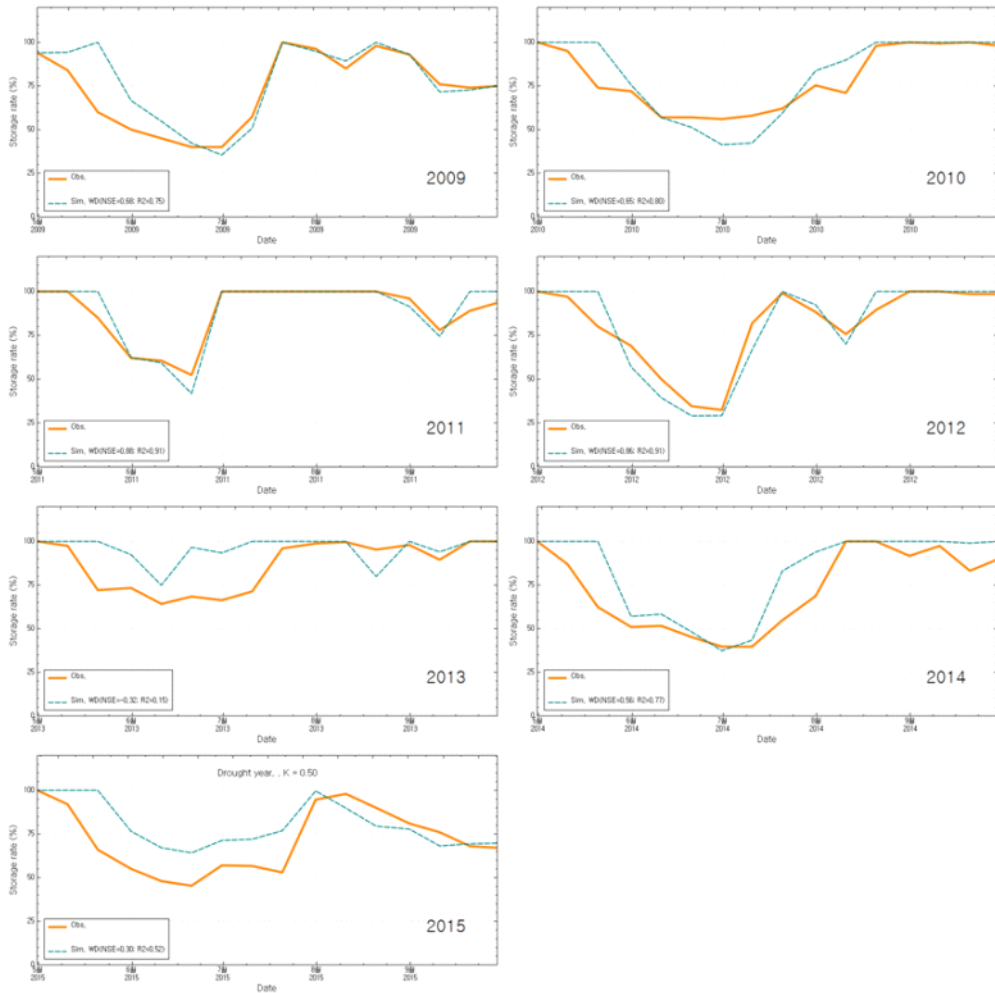
<그림 3-19> 무수저수지 저수율 추적



$R^2$  는 각각 0.65, 0.39, 0.48이며, NSE는 0.49, 0.05, 0.16으로 최적화, ARWS, HOMWRS 순으로 좋은 결과를 보였다. 이로 미루어 본 연구에서 도출한 방법으로 추정된 작부시기가 기존에 제시된 고정된 작부시기에 비해 각 지구의 관행조건을 어느 정도 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 보다 상세한 분석을 위해 개별년도에 대한 저수율 추적결과를 다음 그림에 제시하였다.



<그림 3-20> 무수저수지 저수율 개별년도 추적결과 (2001~2008)



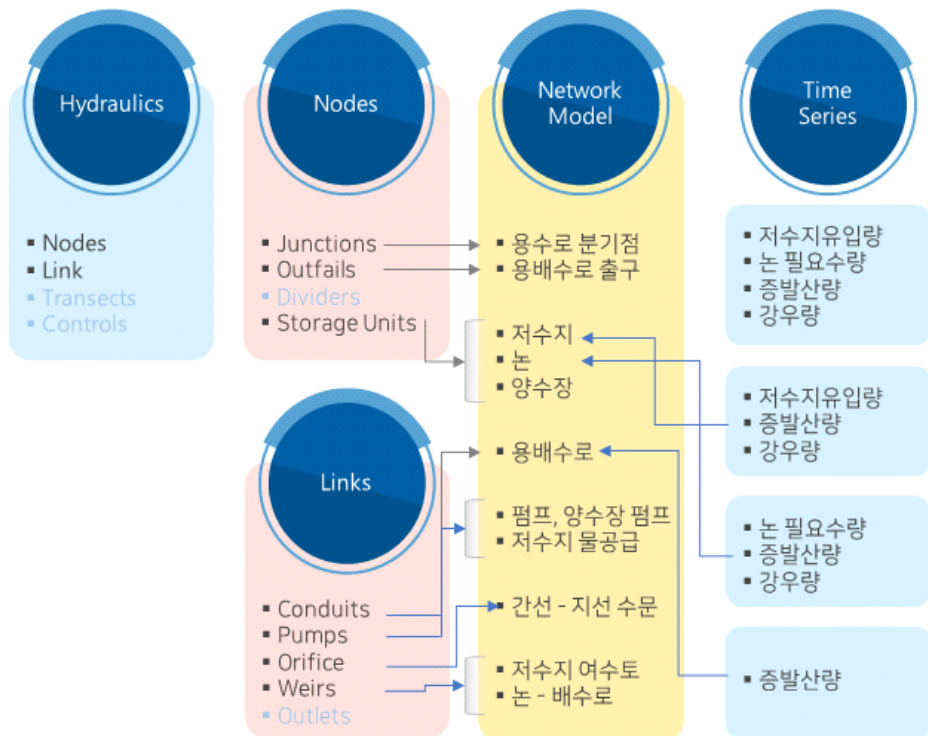
〈그림 3-21〉 무수저수지 저수율 개별년도 추적결과 (2000~2015)

개별년도의 추적결과를 보면 2009년, 2011년, 2012년과 같이 추정된 저수율과 실제 저수율이 잘 일치하는 년도도 있지만 2001년, 2015년과 같이 저수율이 잘 일치하지 않는 해도 있는 것을 알 수 있다. 이유는 크게 1) 관행에 근거한 연도별로 다른 공급량, 2) 강우량 측정자료의 불확실성, 3) 유출모형을 불확실성 때문인 것으로 판단된다. 특히 가뭄 시 용수의 공급 패턴은 평년과는 다른 것으로 보이며, 가뭄년도의 기준 및 이에 대한 관행적 대응은 향후 추가적인 연구가 필요할 것이다.

## 제2절 논물수지를 반영한 용수공급 취약지역 분석 방안 마련

### 1. 논물수지를 반영한 평야부 모델링

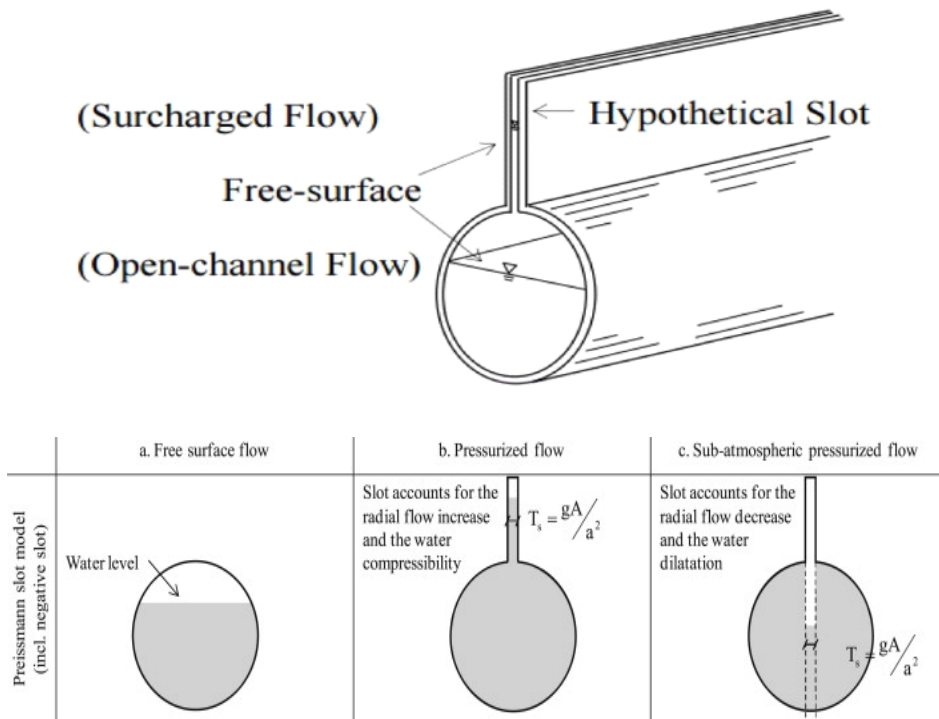
종래에 도수부에서 수로를 통과하는데 손실되는 물의 양은 손실율로서 일괄적으로 고려되었으며, 수로의 분기와 형태에 따른 정량적인 물분배의 방법론은 현재까지 찾아보기 어렵다. 그러나 대부분 개수로로 이루어져 있으며, 수로의 경사가 비교적 급하고, 수로가 길게 뻗어 있는 곳이 많은 국내 관개수로의 특성 상 관리(손실)수량은 평야부의 특성에 따라 달라지며, 또한 물이 말단부까지 도달하지 않는 경우가 많다. 이러한 현상을 정량적으로 분석하기 위해 근래에 수리학적 모형에 기반한 분석방법이 활용되고 있으며, 본 연구에서도 이러한 방법으로 평야부를 모델링하였다.



<그림 3-22> SWMM 모듈과 도수부 수리 네트워크 모델링 관계도

본 연구에서 사용한 평야부의 수리 모델링은 도시홍수를 모의하기 위하여 개발된 SWMM을 기반으로 코드를 수정하였다. SWMM의 각 모듈 내

에 컴포넌트들을 활용하여 관개수로의 각 요소들을 표현하고 용수의 움직임을 모의하였다(그림 3-22). 대표적으로 용수로 네트워크는 Junction과 Conduit 모듈로 모형화 하며, 수문은 Orifice 모듈로 모형화 하였으며, 물꼬는 Weir 모듈로 모형화하였다. 펌프 및 양수장은 Pump 모듈로서 모형화 하였으며, 논은 Storage 모듈로 모형화 하여 저수지와 같이 표현하였다. 논에서의 증발산, 침투량, 강우량 등은 물수지에 의하여 고려되게 된다. SWMM의 상세사항 및 계산 방법을 아래에 소개하였다.

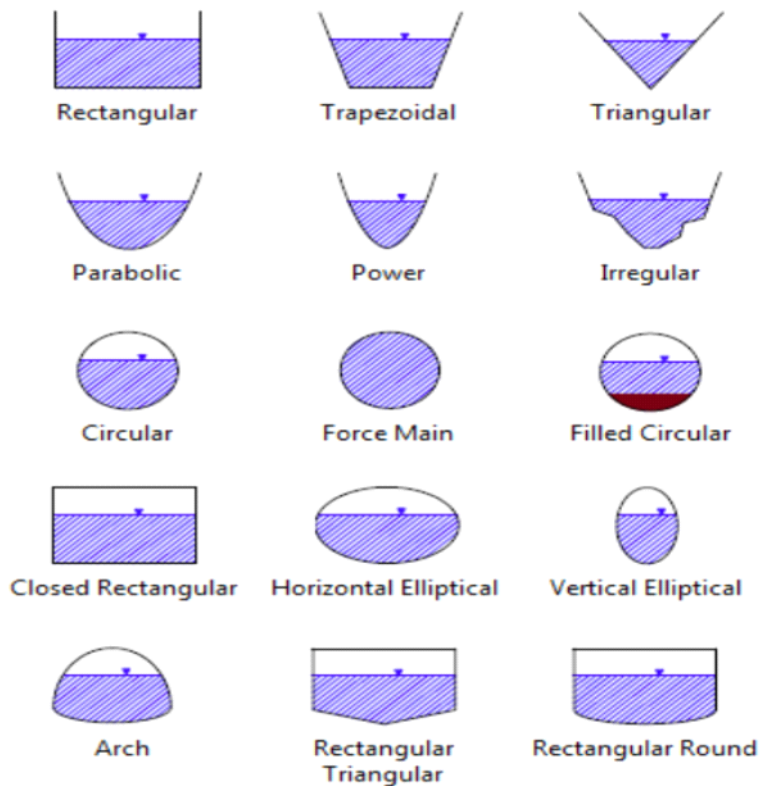


<그림 3-23> Preissmann Slot기법의 개념도

수리 네트워크 모형에서 차용하고 있는 SWMM 모형의 수리해석 기능은 기본적으로 도시구역의 배수관망을 해석하기 위한 것이다. 따라서 관망의 해석기능을 개수로에 적용하는 것에 대한 타당성이 종종 지적된다. 그러나, SWMM에서는 관망에서 발생할 수 있는 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 표현하기 위하여, 개수로 흐름에 대한 지배방정식에 기반한 Preissmann Slot

기법을 사용하여 관망을 해석하고 있다. 이 기법에서는 관로 상단에 얇은 Slot을 가정함으로써 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 개수로의 지배방정식으로 표현하고자 하는 기법이다. 따라서 SWMM의 수리해석모형은 기본적으로 개수로를 계산하는 모형이라 할 수 있다.

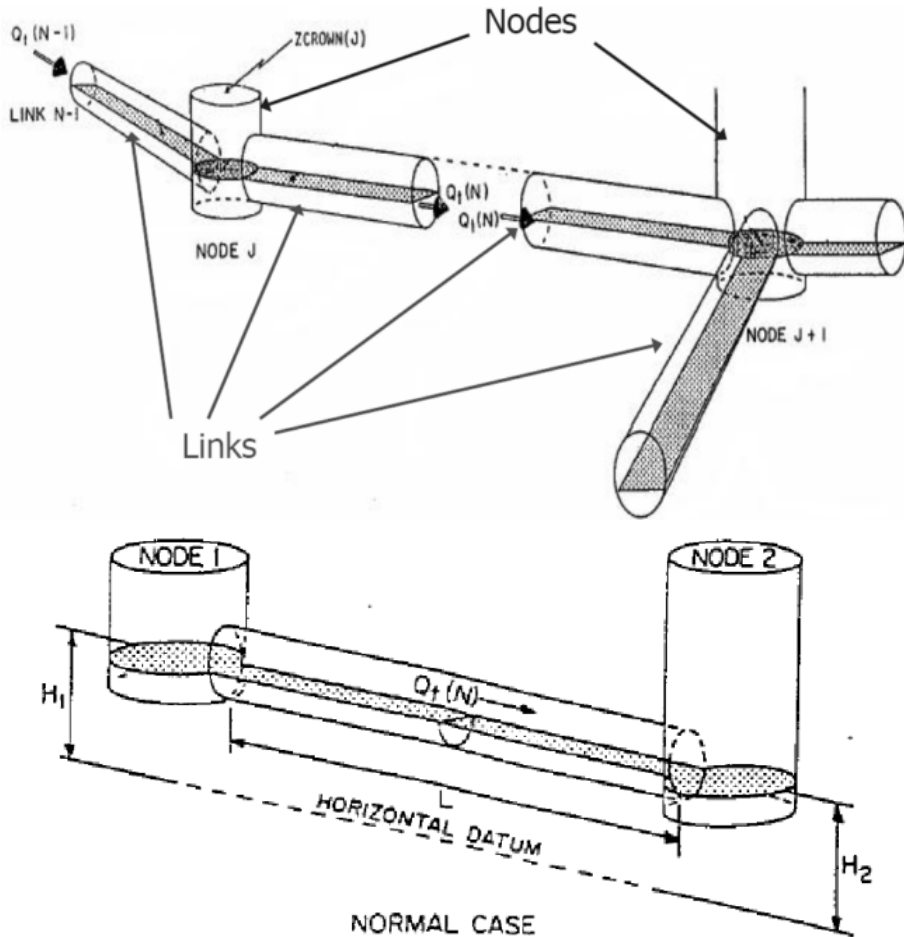
용수로를 표현하는 Conduit 모듈에서 사용가능한 단면형상은 그림 3-24와 같다. 다양한 형태의 관수로형상 뿐 아니라, 직사각형, 사다리꼴, 삼각형, 포물선 형태의 개수로 단면형상을 고려할 수 있는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 활용하고자 하는 SWMM의 수리학적 기능을 이용한 관개수로 네트워크의 계산은 방법론상으로 문제가 없는 것으로 판단된다.



<그림 3-24> 적용가능한 수로단면형상

저수지에서 공급된 유량은 관개수로망(개수로 및 관수로)을 따라 이송된

다. 모형상 관개수로망은 노드와 링크 요소로 구성되며, 둘의 연결관계는 다음 그림과 같다. 개념도 상에서는 관수로로 표현되어 있지만, 개수로에서도 같은 개념이 적용된다. 수로의 시작점, 분기점, 종점은 노드(Junction)로 표현되며 이들을 잇는 수로는 링크(Conduit) 요소로 표현된다.



<그림 3-25> 관개수로망 모형 상에서의 노드과 링크 연결

계산 상 Junction으로의 유입량이 하류측 수로의 소통용량을 초과하는 경우 해당 Junction에서 flooding이 발생하며, 옵션에 따라 월류한 초과유량을 처리하게 된다. 하지만 본 연구에서의 모의하고자 하는 상황은 일반적인 농

업용수 공급에 관한 모의로 유입량의 수로용량을 초과하여 flooding이 발생하는 상황은 배제하고 모의하여도 무리가 없을 것으로 판단된다.

평야부 수로흐름에 대한 기본방정식은 개수로의 일차원 부정류 방정식으로 다음의 연속방정식과 운동량방정식을 사용한다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (3.13)$$

LINK요소에서는 운동량방정식을, NODE요소에서는 연속방정식을 사용하여 흐름을 해석한다. 수심이 얇은 흐름에 있어서 이송항은 운동량방정식 계산시 생략하게 된다. 이송항은 운동량방정식의 여러항들 중에서 영향력이 비교적 작은 동시에 수치계산 시 불안정한 요인이 되기 때문이다(Yen, 1981). 따라서, 간편하고, 안정된 해를 구하기 위해 위 식으로부터 다음 식으로 식을 변형시킨다.

$$\frac{Q^2}{A} = V^2 A \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial(V^2 A)}{\partial x} = 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (3.15)$$

식(3.14~3.15)을 식(3.13)에 대입하고 정리하면 종속변수  $Q, A, V, H$  등을 갖는 운동량방정식 식(3.16)를 얻게 된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (3.16)$$

위 식에  $Q = AV$ 를 대입하고 정리하면,

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (3.17)$$

이 식에  $V$ 를 곱하고 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (3.18)$$

위 식을 식(2.14)에 대입하고 정리하면 다음의 방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (3.19)$$

SWMM모형에서는 운동량방정식의 해를 구하기 위해 유한차분법을 사용하며, Manning식으로 마찰경사를 나타내면 다음식과 같다.

$$S_f = \frac{k}{gAR^{4/3}} Q|V| \quad (3.20)$$

여기서,  $k$ 는  $gn^2$ 이며, 속도의 절대값을 사용한 것은 마찰경사를 흐름방향으로 설정하여 마찰력이 항상 흐름방향과 반대가 되도록 설정하기 위함이다. 식(2.18)을 식(2.17)에 대입하고 유한차분법으로 이산화 하면 다음식을 얻을 수 있다.

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t| Q_{t+\Delta t} + 2\bar{V} \left[ \frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t + \frac{A_2 - A_1}{V^2} \Delta t - gA \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \quad (3.21)$$

$Q_{t+\Delta t}$ 에 대하여 위의 식을 정리한 다음과 같이 LINK에서의 기본방정식을 얻을 수 있다.



$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V|} Q_t + 2\bar{V} \left[ \frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t \quad (3.22)$$

$$+ \frac{\bar{V}^2}{V^2} \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - g\bar{A} \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t$$

식(3.22)에서  $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$  는 시간 t 동안, LINK 양단에서의 가중평균 값을 뜻한다. 식(3.22)에서 미지 값은  $Q_{t+\Delta t}$ 와  $H_2, H_1$ 이며, 변수  $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$  는  $Q$ 와  $H$ 로 구성된다. 따라서, 이 방정식을 풀기 위해서는  $Q$ 와  $H$ 에 대한 방정식 추가로 필요하며, 여기서 NODE에서의 연속방정식을 사용할 수 있다. 노드에서는 링크들 간의 유속관계에서 연속방정식을 만족하여야 하며 이는 다음식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q_t \Delta t}{A_s} \quad (3.23)$$

위 식을 수심에 대하여 유한차분법을 적용하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \frac{\sum Q \Delta t}{A_s} \quad (3.24)$$

식(3.24)에서  $A_s$ 는 NODE에서의 연직단면적 또는 수표면적이다. 식(3.24)와 식(3.22)을 연립하여 계산함으로써 각 계산시간 간격  $\Delta t$ 에서 NODE의 수심과 LINK의 유량을 계산할 수 있다.

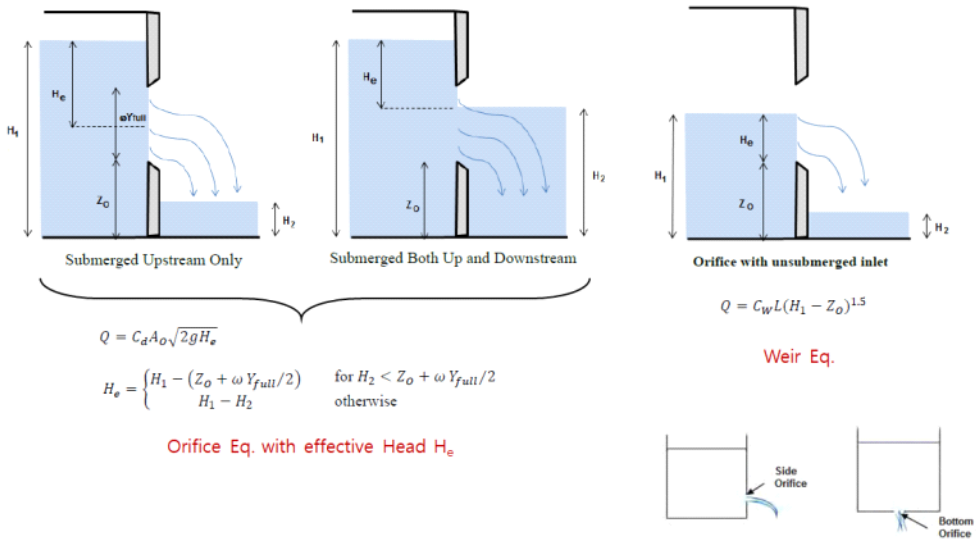
위 방법은 St. Venant방정식을 수치적으로 풀이하는데 시간에 대하여 Explicit방법을 사용하기 때문에 안정적인 계산을 위해서 CFL조건을 만족시켜야 하며 이는 다음과 같다.

$$\text{Link: } \Delta t \leq \frac{L}{(gD)^{1/2}} \quad (3.25)$$

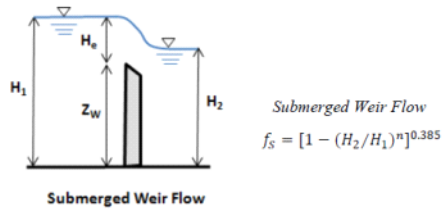
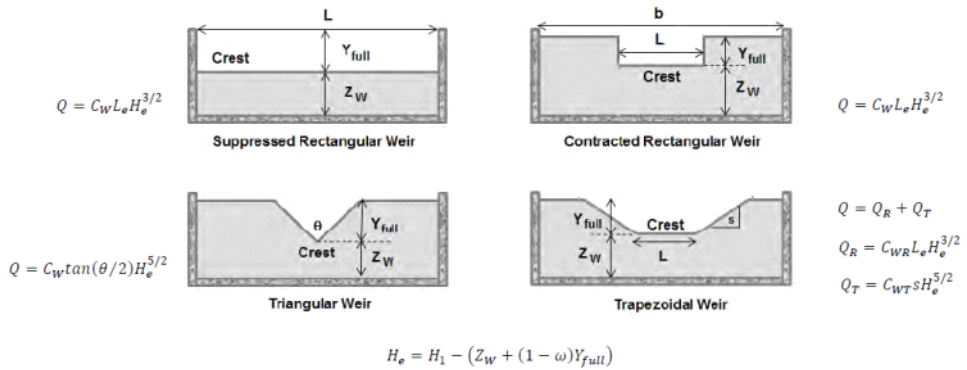
$$\text{Node: } \Delta t \leq C A_s \frac{\Delta H_{\max}}{\Sigma Q} \quad (3.26)$$

여기서,  $\Delta t$  : 연산시간구간(sec),  $L$ : 관망내 가장 짧은 관로길이(m),  $g$ : 중력 가속도( $\text{m/sec}^2$ ),  $D$ : 관로 최대깊이(m)이다. 식(3.26)에서,  $C$ 는 무차원 상수로 일반적으로 0.1의 값을 갖는다.  $\Delta H_{\max}$ 는  $\Delta t$ 구간에서 최대 수위 상승높이,  $A_s$ 는 Node 표면적,  $\Sigma Q$ 는 Node로 유입되는 순 유입량이다. 계산시간간격  $\Delta t$ 는 용수로 내에서 가장 짧은 수로 길이  $L$ 에 대하여, 위의 두 안정조건을 만족하도록 결정된다.

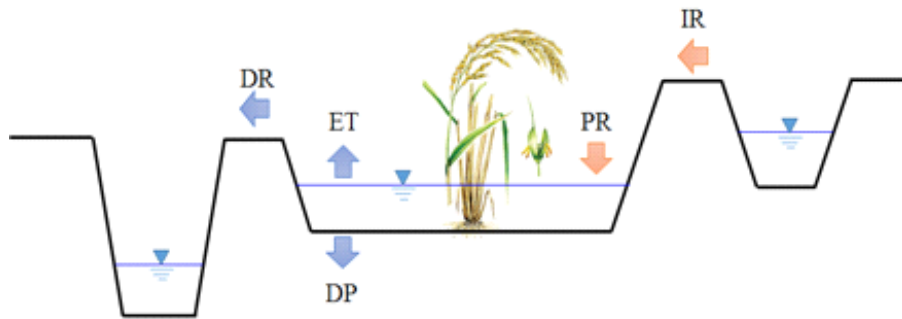
평야부 모델링에서 분수문 및 물꼬는 Orifice로, 배수물꼬는 Weir로 표현된다. 상하류 수위에 따른 오리피스 및 위어의 계산식을 그림 3-26와 3-27에 나타내었다.



<그림 3-26> 오리피스의 계산식 및 모식도



<그림 3-27> 위어의 계산식 및 모식도



<그림 3-28> 급수부 물수지 모형 개념도

평야부에서 논은 그림 2-28과 같이 물수지(water balance)모형으로 모의된다. 급수부에서의 물수지 식은 다음과 같다.

$$PD_t = PD_{t-1} + IR_t + PR_t + ET_t - DR_t - DP_t \quad (3.27)$$

여기서,  $PD$ : 담수심(토양수분),  $IR$ : 물공급량,  $PR$ : 강우량,  $ET$ : 증발산

량, *DR*: 배수량, *DP*: 침투량이다. 본 연구에서 침투량은 전 절에서 서술하였듯이 일정한 것으로 가정하여 계산하였으며, 강우량, 증발산량은 인근 관측지점의 데이터를 이용하였다. 물공급량, 배수량 등은 모형의 물꼬에 의해 조절된다.

## 2. 용수공급 취약지역 분석방안 마련

평야부 모델링을 활용하여 무수저수지 관개지구에 대해 용수공급상황을 모의하였다. 모의기간은 관개기간(5/1~9/30)만을 대상으로 하였으며, 평년과 가뭄년도로 각각 2011년과 2015년을 모의하였다. 강우량 및 증발산량은 기상 관측소의 해당년도 자료를 사용하였으며, 용수공급량은 1절에서 서술한 방법론으로 추정된 용수공급량을 사용하였다.

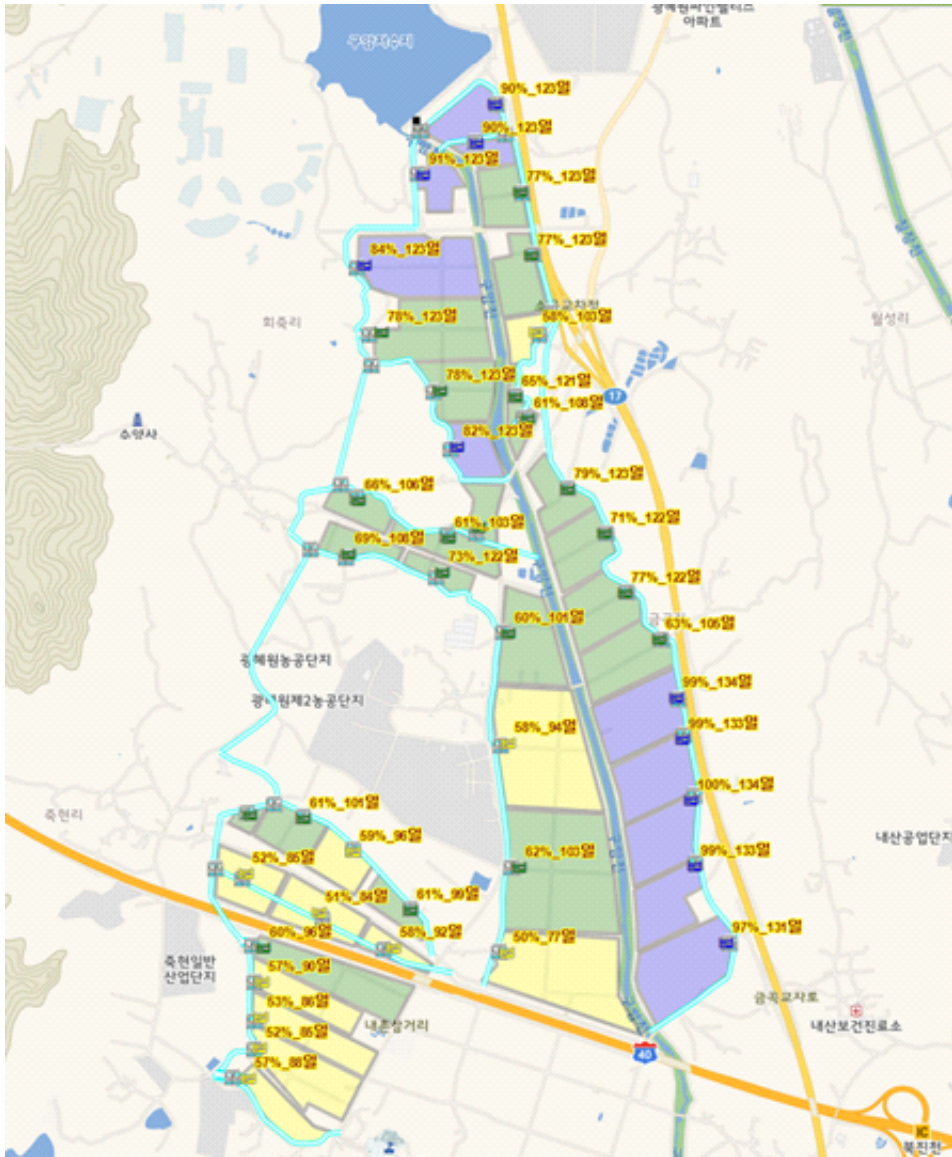
모의한 논외 용수공급 분석하기 위하여 관개만족도(Irrigation Satisfactory Index; ISI)를 다음과 같이 정의하였다.

$$ISI = \frac{\sum_i (h_i/d_i)}{N} \times 100 (\%) \quad (3.28)$$

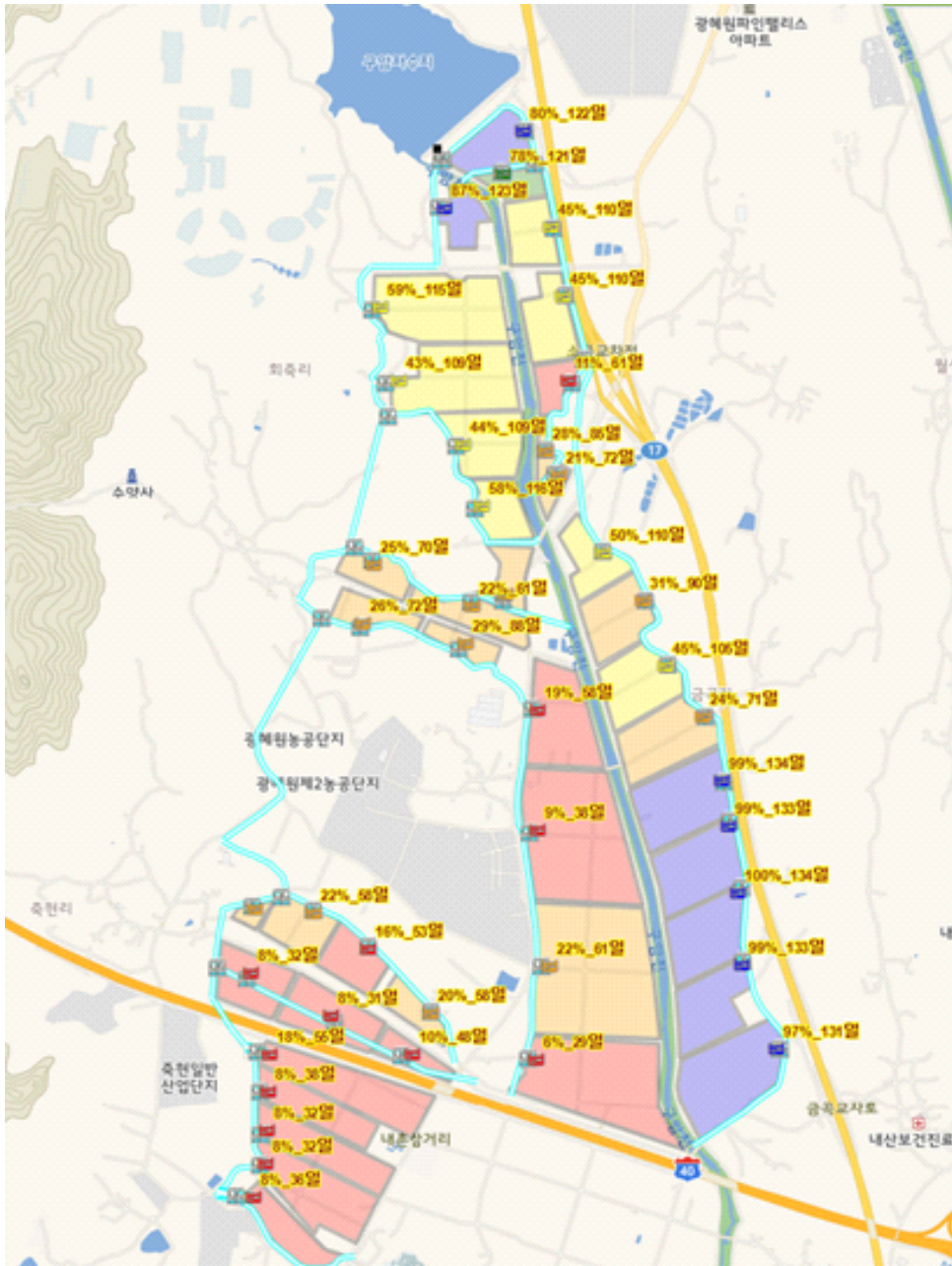
여기서, *h*는 논에서 해당일의 담수심, *d*는 해당일의 목표담수심, *N*은 총관개일수(5/1~9/30)이다. 2011년과 2015년의 모의결과는 표-3-2, 그림 3-29, 3-30과 같다.

(표 3-3) 모의 관개만족도(2001년, 2015년)

목표담수심	2011년도 면적 (ha)	2015년도 면적
~ 20%	0	109.2
20 ~ 40 %	0	70.1
40 ~ 60 %	89.5	80.8
60 ~ 80 %	132.7	2.5
80 ~ %	76.4	55.9



<그림 3-29> 2011년도 관개만족도(ISI)



<그림 3-30> 2015년도 관개만족도(ISI)

위 표와 그림에서 알 수 있듯이 평년인 2011년도와 가뭄년이었던 2015년도의 관개만족도 분포는 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다. 특히 관개 만족도가 40%이하인 관개면적이 2011년도에는 없는 것이 비하여, 2015년도에는 179.3 ha로 전체 관개면적의 56%나 차지하고 있다. 주의해야 할 점은 관개만족도는 총 관개기간에 걸쳐 목표담수심을 얼마나 만족시키고 있는냐에 관한 지표로서 반드시 100%가 되지 않아도 벼의 생육에는 문제가 없는 경우가 존재한다. 2011년도의 모의결과로 미루어, 관개만족도가 약 40~50% 이상이면 벼의 생육에는 크게 문제가 없는 것으로 보인다. 향후 관개만족도와 벼의 생육에 관한 추가적인 고찰이 필요할 것으로 판단된다. 또한 관개용수가 많이 필요한 이양기 등을 고려하여 시기별 또는 월별 관개만족도를 산정하고 분석할 필요가 있을 것으로 보인다.

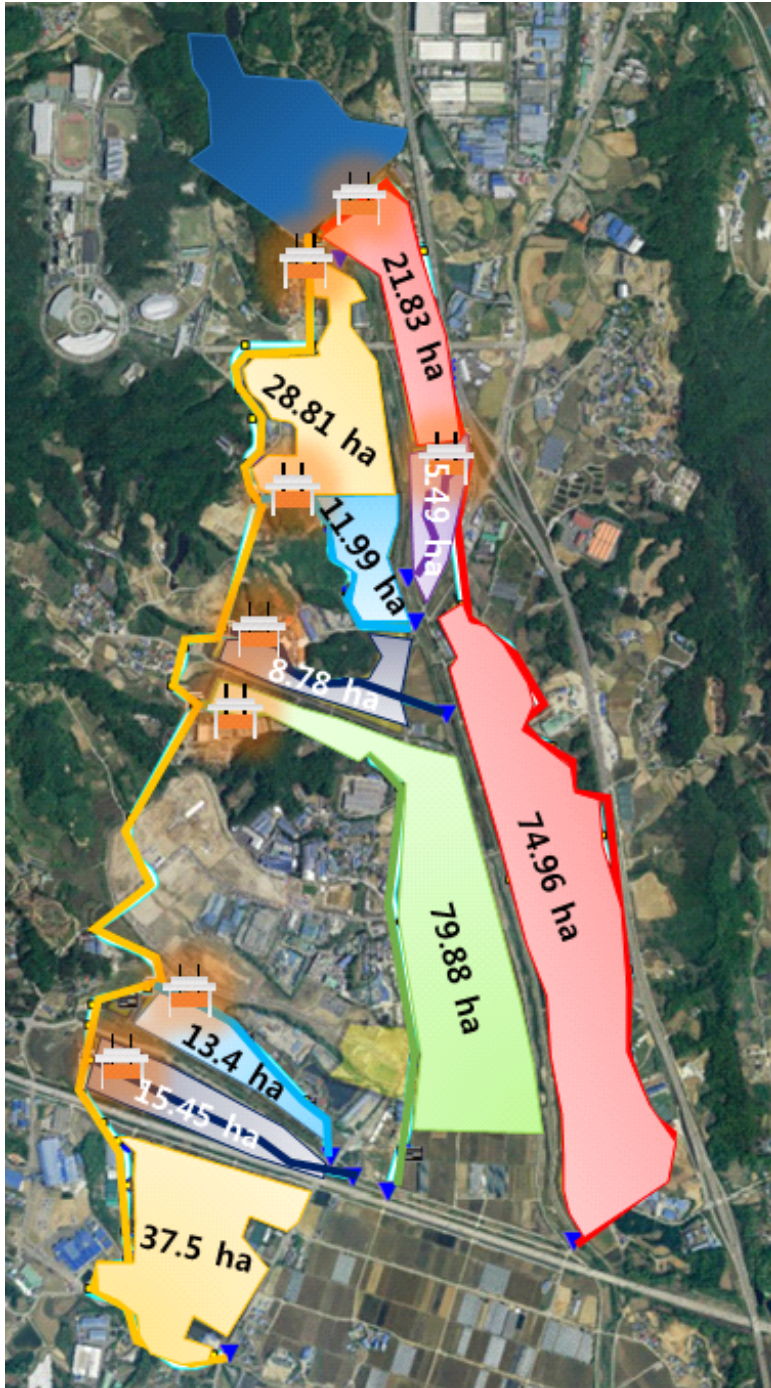
### 제3절 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘 기본설계

본 절에서는 최적의 수문제어 및 관개방식 도출을 위해서 최적화 알고리즘의 기본설계(안)을 제시하기로 한다. 일반적으로 관개수로의 수문은 관행에 의해서 제어되고 간선수로의 수문은 자주 조작되지 않고 대부분 고정된 상태로 운영된다. 통수기 또는 가뭄기 등에는 수문이 전체적으로 조작되는 경향이 있으나 이에 대한 매뉴얼은 없으며, 세부적인 사항은 경험에 의존하고 있는 경우가 대부분이다.

#### 1. 최적 수문개도율 도출(수문 무조작 시)

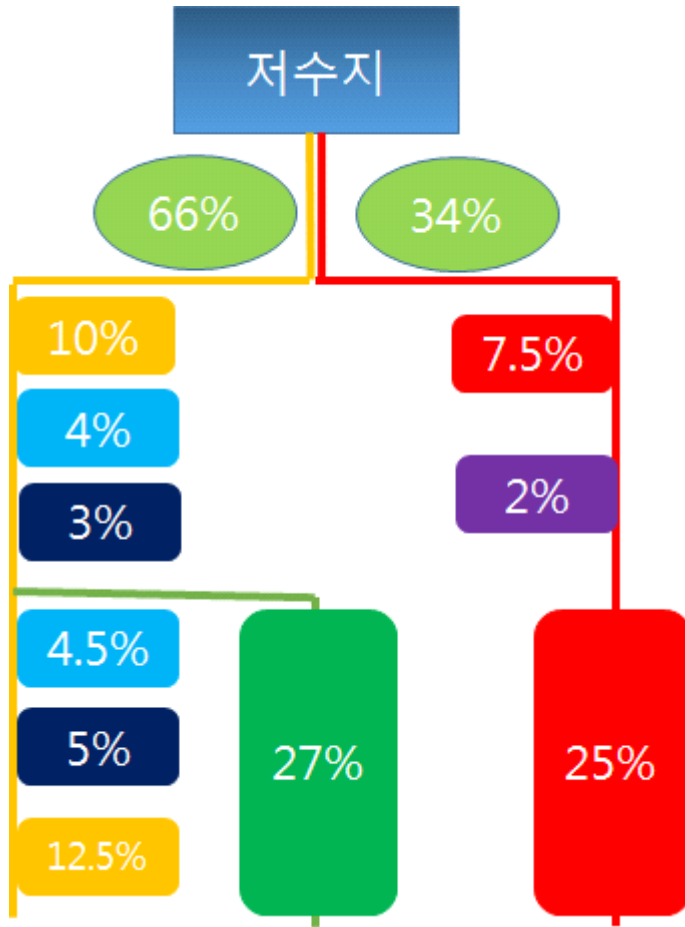
최적의 수문제어 방법을 도출하기 위한 기초단계로서 고정되어 있는 수문의 최적개도율을 산정하였다. 간선수문(분수문 포함)만을 고려하였으며, 수로의 물배분은 공급하고자 하는 필지의 면적에 비례하는 것이 최적의 물 배분으로 가정하였다. 무수저수지에서 제어대상인 간선수문과 간선수문에 해당하는 필지의 면적은 그림 3-31과 같으며, 이에 따른 최적 용수분배의 개략도를 그림 3-32에 제시하였다.





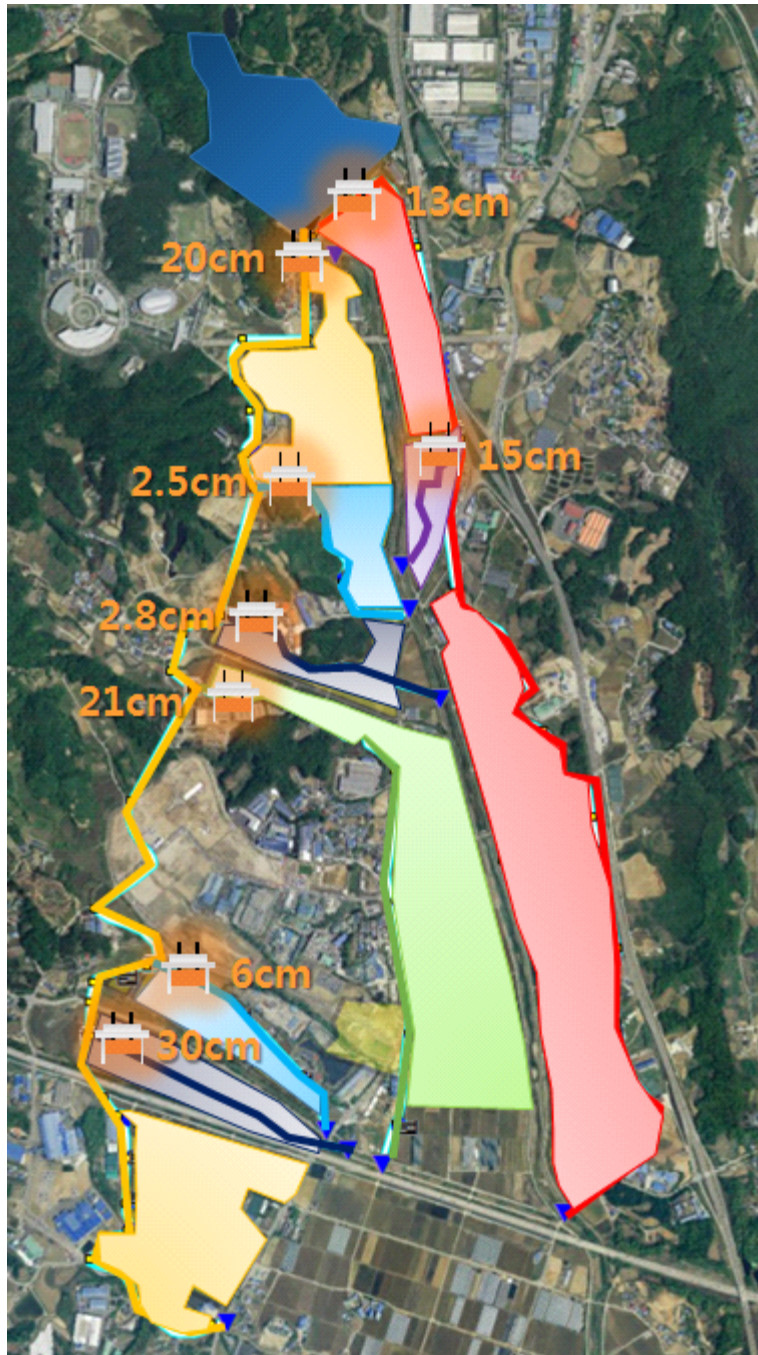
<그림 3-31> 무수저수지의 필지면적과 간선수문(분수문포함)





<그림 3-32> 무수저수지의 최적용수분배 개략도

위 그림은 수문을 조작하지 않는 이상적인 정상상태(Steady State)에서의 최적용수분배라는 점을 유의하기 바란다. 1절에서의 공급량 분석에 근거하여 용수공급량은 일정하게 0.3 CMS로 가정하고 2절에서와 같은 평야부 모의 방법을 사용하여 그림 3-32와 같은 물분배가 되도록 Trial-Error 방법을 사용하여 각 지점별 수문개도율을 도출하였다. 도출한 수문개도 높이는 다음 그림과 같다.



<그림 3-33> 무조건 최적 간선수문개도 높이

산정한 수문개도 높이는 현실적인 범위 내(5 ~ 30cm)에 있으나 2.5 cm, 2.8 cm와 같은 비현실적인(조작하기 어려운) 값도 존재한다. 이는 현실 상 시기에 따라 수문을 조작하여(한동안 수문을 열어둔 후, 일정 시간 후 잠그는 방식) 용수공급을 할 것으로 추정된다. 향후 현장 모니터링과 인터뷰를 통하여 위 값들에 대한 검증을 수행할 예정이다.

## 2. 관개수로 모의 및 최적화 (수문조작 및 관개방식)

수문을 계속 고정시켜 둔다면 위 방법이 최적에 가까운 수문개도 높이가 된다는 것은 수학적으로 명확하다. 하지만 현실은 수문개도율을 필요에 따라 조절하고 있으며, 따라서 위 값은 동적인(dynamic) 방법으로 최적의 수문조작 시 기초값(base value)으로 사용될 수 있을 것이다.

최적의 수문조작 및 관개방식을 찾기 위해서는, 최적화의 대상이 되는 목적함수를 명확하게 정의할 필요가 있다. 목적함수에 고려해야 될 항목들은 매우 여러 가지가 있을 수 있으나, 본 연구에서는 관개만족도, 관개기 최저저수율, 관개후(10/1) 저수율을 고려하여 목적함수를 다음과 같이 정의하였다.

$$F(\vec{x}) = w_1 ISI - w_2 S_{\min} + w_3 S_{\text{after}} \quad (3.29)$$

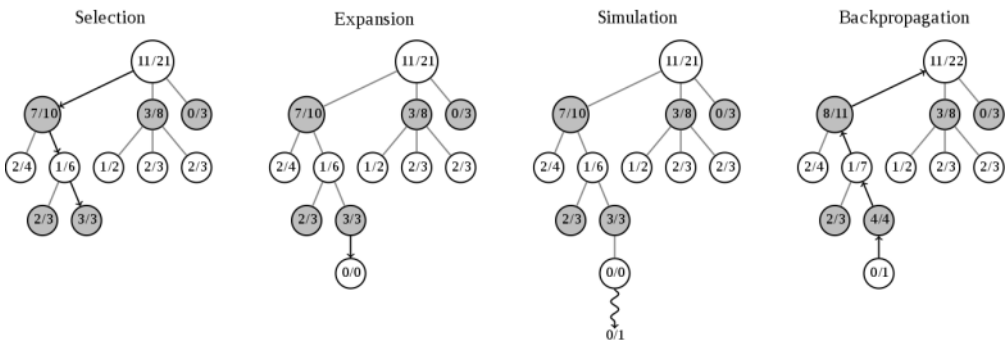
여기서,  $S_{\min}$ 는 관개기 최저저수율,  $S_{\text{after}}$ 는 관개후 저수율,  $w_1, w_2, w_3$ 는 각각의 항목에 대한 가중치(weight)이다. 가중치의 값은 본년도 연구에서는 미정이며 향후 전문가와 현장의 자문을 반영하여 정의할 필요가 있다.

(3.29)식에서의 변수값을 구하기 위해서는 2절에서의 평야부 모의가 필요하다. 평야부 모의의 입력값은 강우, 증발산, 용수공급량, 수문조작 등이 있다. 전술하였듯이 본 연구에서의 용수공급량의 단위는 순이며, 따라서 조작 단위도 순으로 설정하였다. 실제 용수공급을 결정함에 있어서도 일별 조작보다 순별 조작이 바람직할 것으로 판단된다.

강우 및 증발산 등은 조건은 확률적으로 변화하며, 용수공급량 및 수문조

작은 최적화 대상이다. 수문조작 및 용수공급을 순단위로 한다면 관개기 동안 15번의 순에 대하여 각각의 조건을 조합하여 하나의 시나리오가 만들어지고, 이 시나리오에 대하여 하나의 목적함수의 값이 산정된다. 이러한 모든 경우의 수를 탐색하여 최적의 조건을 산정하는 것은 계산시간 상 어려우며, 최적의 해를 찾기 위해서는 최적화 알고리즘이 필요하다.

본 연구에서는 Monte Carlo Tree Search(MCTS)를 사용하여 수문조작 및 관개방식을 최적화 하고자 한다. MCTS는 주로 게임 AI에서 사용되는 알고리즘으로 최근에 알파고에 사용되었다. MCTS 알고리즘은 바둑, 체스, 오셀로 등의 모든 보드 게임 알고리즘에서 사용되고 있다. MCTS 알고리즘에서는 모든 트리 노드를 대상으로 하는 대신 게임 시뮬레이션을 통해 가장 가능성이 높아 보이는 방향으로 행동을 결정하는 탐색 방법으로, 어떻게 움직이는 것이 가장 유망한 것인가를 분석하면서 검색 공간에서 무작위 추출에 기초한 탐색 트리를 확장하는 데 중점을 두고 탐색을 한다. MCTS 알고리즘의 4단계는 각각 선택-확장-시뮬레이션-역전파이다(그림 3-34).



<그림 3-34> MCTS 알고리즘의 4단계 과정

예를 들어, 바둑에 적용된 MCTS 알고리즘의 4단계 과정은 다음과 같다.

- ① 선택: 현재 바둑판 상태에서 특정 경로로 수읽기를 진행
- ② 확장: 일정 수 이상 수읽기가 진행되면 그 지점에서 한 단계 더 착수 지점을 예측(게임 트리의 확장)

- ③ 시뮬레이션: ②에서 선택한 노드에서 바둑이 종료될 때까지 무작위 (random) 방법으로 진행. 속도가 빠르기 때문에 여러 번 수행할 수 있으나 착수의 적정성은 떨어짐
- ④ 역전파: ③의 결과를 종합하여 확장한 노드의 가치(②에서 한 단계 더 착수한 것의 승산)를 역전파하여 해당경로의 승산 가능성을 갱신

몬테카를로 트리 탐색 핵심요소는 정책과 가치이다. 정책은 트리의 폭을 제한하는 역할을 하며, MCTS의 두 번째 단계인 확장에서 주로 사용되는 것으로, 특정 시점에서 가능한 모든 수 중 가장 승률이 높은 것을 예측하는 것을 뜻한다. 바둑에서 정책은 전문가의 전략이 될 수도 있고, 과거 기본 데이터에서 많은 프로 기사들이 선호한 패턴이 될 수도 있다. 가치는 트리의 깊이를 제한하는 역할을 하며, 현재 대국상황의 승산을 나타낸 것으로, 승산이 정확할수록 많은 가치를 나타낸다. 가치는 바둑 국면의 형세판단을 근사하여 수치화한 것으로 볼 수 있다. 정확한 가치값은 모든 경우의 수를 계산하여 게임 종료 시점까지 가봐야 하기 때문에 현실적으로 계산이 어렵다. Alphago는 정책과 가치를 딥러닝 알고리즘인 Convolutional Neural Networks 알고리즘과 강화학습으로 학습하였다.

이러한 MCTC를 용수공급방법(관개방법) 및 수문조작 방법에 적용하는 단계는 다음과 같다.

- ① 선택: 현재 순에서 다음 순까지 특정 용수공급 및 수문조작방법을 선택
- ② 확장: 다음 순에서의 상태를 예측모의
- ③ 시뮬레이션: ②의 노드에서 관개기가 끝날 때까지 확률적으로 강우, 증발량 등을 적용하고 Random하게 용수공급 및 수문조작방법을 선택하여 모의 진행
- ④ 역전파: ③의 결과를 종합하여 확장한 노드의 가치(모의된 목적함수)를 역전파하여 해당경로의 목적함수에 대한 기대값을 갱신

여기서 제안한 탐색기법이 정확하고 효율적이기 위해서는 시뮬레이션 단계에서 효율적이고 합리적인 탐색방법에 대한 연구가 필요하다. 본년도 연구에서 제안한 방법론은 향후연구를 위한 기초설계 단계로 상세사항은 차후 보완할 필요가 있을 것이다.

#### 제4절 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증

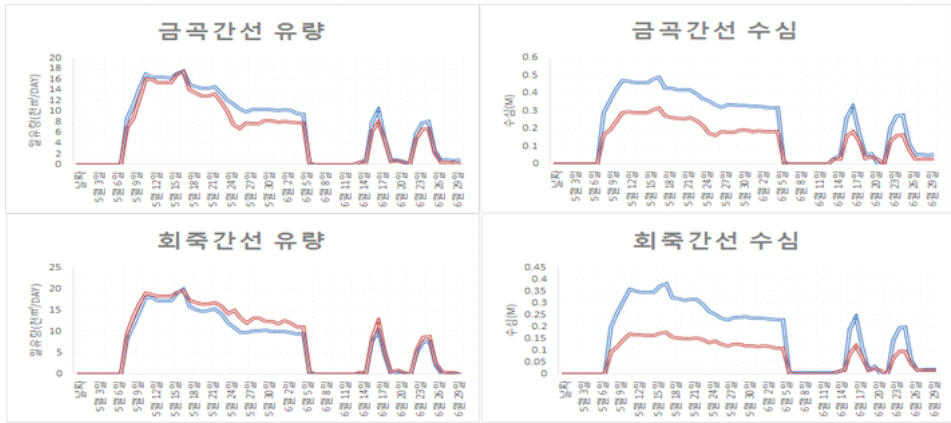
1~3절에서의 물관리 시스템 알고리즘의 검증을 위해, 수집이 필요한 데이터들을 정리하면 다음 표와 같다.

(표 3-4) 물관리 시스템 알고리즘 계측(수집) 데이터

위치	데이터	수집방법
취수부	저수지 유입량	물수지법
	저수지 공급량	간선 상류 계측
도수부	간선수로 유량	계측
	간선수로 수위	계측
	수문 개도율	현장조사 및 인터뷰
급수부	작부시기	현장조사 및 인터뷰
	강우량	계측
	침투량	계측

간선수로의 일부와 강우량은 당해연도부터 계측을 시작하였으나, 그 외는 차년도부터 계측 및 현장조사를 실시할 예정이다.

이 외에 과거 2010년 5~6월 회죽간선과 금곡간선에서 측정한 수위 및 유량 자료가 있어, 이를 이용하여 평야부 모형을 검증하였다. 모의된 유량은 다음 그림과 같다.



<그림 3-35> 금곡간선 및 회죽간선 모의 유량 (2010년 5~6월)

유량분배는 관측자료와 잘 일치하는 경향이 있으나 수심이 약 20cm 정도의 차이가 있다. 과거의 자료로 정확한 계측지점과 모형 상 수심을 취득한 지점의 차이가 있을 것으로 판단된다. 향후 당해년도부터 측정된 자료를 활용하여 추가적인 검증이 필요할 것이다.

## 제4장 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계

본 장에서는 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계를 위해 국내/외의 수문 기술 현황을 분석하여 스마트 수리시설물 도입기술을 선정하였으며, 대상지구를 선저하여 시범 계측 장비를 설치 및 모니터링을 실시하였다. IoT 기반 스마트 수리시설물 계측장비 시범운영을 통해 알고리즘 적용 및 검증을 실시하였으며 통합 제어 시스템을 설계하였다. 이에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

### 제1절 IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정

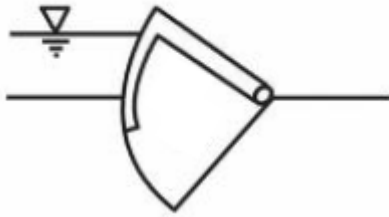
본 절에서는 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계를 위해 농업용수의 효율적인 분배 및 제어를 위한 수문 도입/설계기술을 선정하였다. IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정을 위해 스마트 물관리, TM/TC, 지능형 물관리 등 관련사업에서의 제어 수문 기술 현황을 분석하였으며 제어 수문 기술 중 한국농어촌공사에서 제시하고 있는 ‘수동식 수문-콘크리트 라이닝 개수로에 적용을 위한 농업용 수동식 수문 표준화’ 내용에 부합하는 수리시설물 설계기술을 개발하였다.

수리시설물 중 수문에 대한 정의는 다음과 같다. 수문은 조석의 역류방지, 내수의 배제, 각종용수(농업용수, 공업용수, 관개용수, 하천유지용수 등)의 취수 등을 위해 하천흐름을 횡단하여 설치하는 수공구조물이다. 수문의 설치 방향은 제방법선에 직각으로 하며 최대한 간단한 구조가 되게 설치한다.

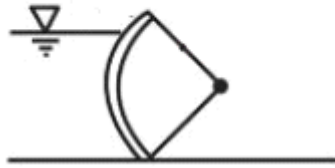
국내에서 수문은 목적, 형식, 구조, 형상에 따라 분류 한다. 목적에 따른 분류로는 제내의 배수를 목적으로 설치하는 배수문, 각종용수를 취수하기 위하여 제방에 설치하는 용수취수문, 그리고 분류의 역류 및 범람을 방지하기 위한 역수문, 염수피해를 방지하기 위한 역조수문, 주운을 위해 설치하는 통선수문, 하천의 유량을 조절하기 위한 유량조절 수문 등이 있다. 형식에 의해 단경간 수문, 다경간 수문 등으로 분류할 수 있고, 구조물에 따라 , 드럼 게이트(Drum Gate), 테인터 게이트(Tainter Gate), 슬루스 게이트(Sluice Gate), 롤링 게이트(Rolling Gate) 등으로 분류할 수 있다.



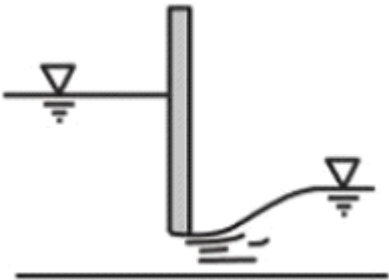
국내/외에 적용되고 있는 수문 형상 및 종류는 아래 그림과 같으며, 본 연구의 목적인 IoT 기반의 스마트 물관리에 적용할 수 있는 원격 개폐 제어가 가능한 자동화 수문 형식 검토 및 설계기술 개발 내용은 다음과 같다.



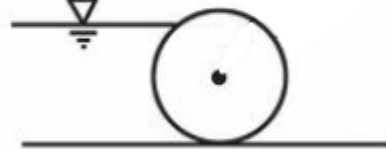
드럼 게이트



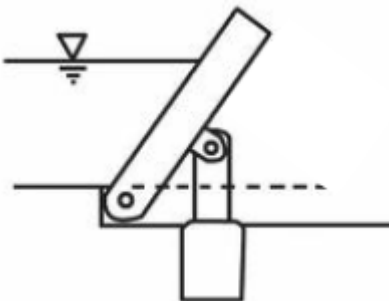
테인터 게이트



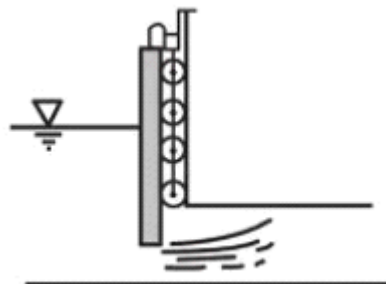
슬루스 게이트



롤링 게이트



전도 게이트



스토니 게이트

<그림 4-1> 국내에 적용되고 있는 수문 종류



<그림 4-2> 국외에 적용되고 있는 수문 종류

### 1. IoT 기반의 스마트 수리시설물 선정을 위한 수문 검토

국내의 농업용 수로 인근에는 철제 수문의 권양 혹은 인양을 위한 삼상 전력을 사용할 수 있는 여건이 마련되어 있지 못한 실정이다. 철제 수문 적용시 삼상 전기 인입을 위한 설비 구축이 필요하여 이에따른 비용을 고려하면 IoT 기반 수문의 보급확대에 경제성이 결여 될 것으로 나타난다.

IoT 기반의 스마트 물관리를 위해서는 수문 중량을 감소시켜 제어를 위한 소비 동력이 적게 소요되는 수문장치 개발 및 적용이 필수적이다. IoT 기반의 스마트 수리시설물(이하, 수문) 선정을 위해 국내/외의 수문 및 보(고정보, 가동보) 등과 같은 이/치수 목적이 가능한 수문을 검토가 필요하다. 이에, 국내/외에서 사용되고 있는 대표적인 수문기술 검토를 통해 IoT 기반의 스마트 수리시설물 설계기술을 개발하고자 한다.

## 가. 수문

수문은 평상시에는 개방하여 유수소통을 원활하게 하고 홍수시에는 유수 차단을 위해 폐문하는 수리구조물이다. 수문은 상하 연직으로 이동하는 롤러게이트가 대부분이나, 최근에 들어와 미관과 유지관리 편의성이 고려되어 유압수문, 육갑문등을 사용하기도 한다.

(표 4-1) 수문의 구분

구분	형상	내용
롤러게이트		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상하연직으로 수문 이동</li> <li>- 상부시설이 있어 경관성 불리</li> </ul>
유압수문		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상하연직으로 수문이동</li> <li>- 상부시설이 없어 롤러게이트 대비 경관성 향상</li> </ul>
육갑문(플랩게이트)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상하연직으로 수문이도</li> <li>- 격벽이 추가 필요해 경관성 보통</li> </ul>

## 나. 유압식 전도게이트

유압식 전도게이트는 과거 저수지 여수토 게이트용으로 설치가 주로 되어왔으나, 최근에 들어와 하천 및 농업용 수로에 다수 적용되고 있다. 유압 작동 방식으로 과거에는 누유로 인한 오작동 및 환경오염 등의 문제점이 발생하였지만 내구성이 우수하고 오염발생이 없는 유압유 적용으로 이러한 단점은 해결 된 것으로 나타난다.

전도게이트 기립시 유압발생장치로 인해 삼각대 모양을 갖추어 수압에 대한 압력에 대비가 되어 큰 치수에 수문을 제작 설치가 용이다. 그러나 수문 전체를 1련으로 제작 설치하였을 경우 일시에 전도되어 방류가 될 경우 하류 피해가 예상되며 고장시 보수에 대한 대책이 필요하다. 설계시 2련 이상으로 계획하는 것이 좋을 것으로 조사되었으며 유압발생장치 조작을 위한 관리자의 철저한 교육이 필요하다. 그러나 유압장치를 구체에 설치하여 작동을 할 경우 상당 부분 유압유로 인해 발생할 수 있는 문제를 사전에 예방 할 수 있는 것으로 조사되었다.



<그림 4-3> 유압식 전도게이트 형상

## 다. 다단전도식(와이어로프) 게이트

다단전도식 게이트는 수문 크기가 커질수록 수문 Plate(플레이트) 부분

과 와이어로프(Wire Rope) 인장력에 문제 발생 우려가 있어 제한적으로 사용되고 있다. 또한 중간구조물 내에 와이어로프를 이용하므로 일정크기(1.5m)의 콘크리트 구체가 필요한 것으로 조사되었다. 다단전도식 게이트는 기계식으로 작동에 대한 고장이 적고 다단으로 작동하여 일시 방류로 인한 하류측 피해를 최소화 할 수 있는 장점이 있다.



<그림 4-4> 다단전도식 게이트 형상

#### 라. 고무보

고무보는 조작실에서 설정한 수위를 수위계가 감지하여 공기 공급 및 배출을 통해 고무보의 팽창과 수축을 시킴으로 기립과 도복이 자동으로 조절되는 원리이다. 고무보는 하천에 국내/외로 다수 설치되고 있으며 설치 및 유지관리가 용이해 저수지 증고나 대규모 수로 등에도 사용되고 있다. 고무보는 미세한 수위조절이 불가능한 단점이 있으나 방수문과 같은 수리구조물과 병행 사용시 운영에 문제가 없는 것으로 나타났다.

농업용 수로에 고무보 적용시 토사 등의 퇴적에 대한 문제점을 해소할 수 있는 것으로 나타나며 통합원격제어와 같은 IoT 기반의 스마트 소규모 수리시설물에 적용이 용이하다.



<그림 4-5> 고무보 형상

#### 마. 고정보

고정보는 콘크리트 재질로 주로 하천을 횡단하여 설치되며 유수흐름은 고정보 상부로 월류하는 방식이다. 수문 중 가장 경제성이 우수하나 홍수 시 수위상승에 원인이 되기도하며 주기적인 준설이 필요해 유지관리에 어려움이 있다. 1990년대 까지 대다수 설치되어 왔으나 2000년도에 들어와 저류수 배출 수질 악화등의 문제점으로 철거하는 사례가 다수 발생하고 있다.



<그림 4-6> 고정보 형상



## 바. 하단배출식 게이트

하단배출식 게이트는 유압을 실린더에 전달하여 수문을 개폐하는 방식으로 작동한다. 게이트의 하단부를 통해 유입수가 배출되며 비교적 규모가 큰 하천을 횡단하여 설치하는 경우 유수흐름에 지장이 있어 주로 소규모 하천이나 농업용 수로에 주로 사용된다. 농업용 수로에 하단배출식 게이트 적용시 토사 등의 퇴적에 대한 문제점을 해소할 수 있는 것으로 나타나며 통합원격제어와 같은 IoT 기반의 스마트 소규모 수리시설물에 적용이 용이하다.



<그림 4-7> 하단배출식 게이트 형상

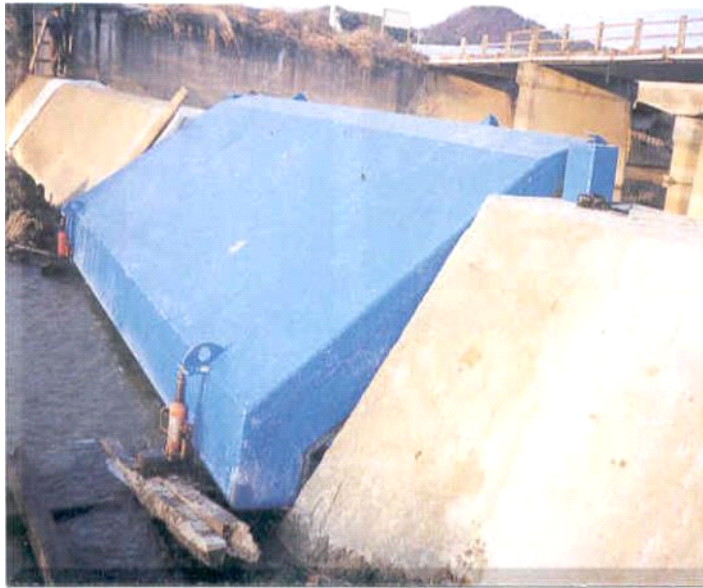
## 사. 무동력 자동 게이트

무동력 자동 게이트는 수압과 유속에 따른 양력등을 고려하여 수문의 하단부가 개방되는 원리이며, 수위 조절은 수문 내부에 주철 또는 물을 채워 수문 자중을 통해 조절하게 된다.

무동력 자동 게이트는 폭이 좁고 유량이 많은 지역에서 하단으로 퇴적물을 배출시켜 농업용 수로와 하폭이 좁은 하천에 적용시 토사 퇴적현상

을 예방 할 수 있다.

무동력 자동 게이트는 인위적인 수위조절이 불가능하여 홍수나 긴급상황 발생시 대처에 어려움이 있고 수문의 자중을 이용한 작동으로 완전개방이 어려워 통수단면이 축소되는 단점이 있다.



<그림 4-8> 무동력 자동 게이트

## 2. 관련 설계기준 검토 및 수문 설치 현황 분석

수문조작의 어려움과 피해사례가 발생한 뒤 농업용저수지 관리기관인 한국농촌공사에서는 농업용저수지의 운영 및 수문조작이 포함된 “농업용저수지(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 방류 방식(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 판단된다.

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 “설치 위치”, “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 ① ②가 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 문

비 형식은 인양식(스루스), 기복전도형이며 인양방식으로는 핀잭(스핀들)형, 와이어로프형 및 유압형을 주로 사용하고 있다.

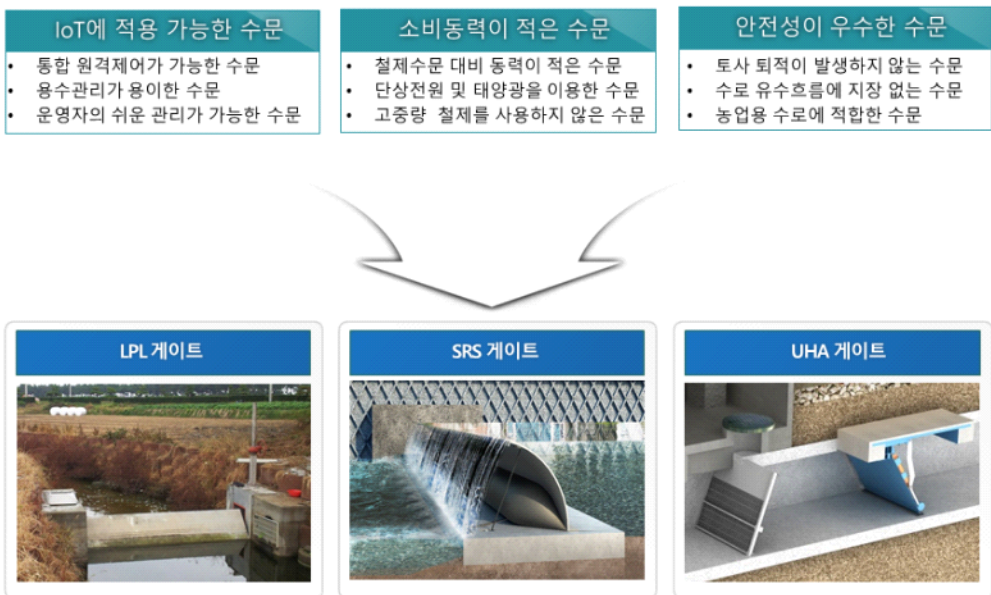
게이트 문비형식은 레디알, 슬라이드, 전도 및 기타 방식으로 레디알방식은 전체중 30개소로 17%정도이지만 규모가 큰 저수지는 대부분이 레디알 방식을 채택하고 있으나 최근에는 중규모 저수지의 경우는 설치비 및 유지관리가 편리한 전도방식을 채택하고 있다. 슬라이드 방식의 경우 84개소로서 전체 약 50%를 차지하였는데 설치가 다른 방식에 비교적 간단하면서 방류효과가 크기 때문에 대부분 부분게이트 방식에 이용되었다. 하지만 2002년 태풍루사 내습시 슬라이드 방식의 부분게이트에 나무가 끼어 작동이 안 된 사례가 있었으며 그 동안 하천 취입보에 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.

게이트의 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.

### 3. 수문 검토에 따른 수리시설물 설계기술 개발

IoT기반 스마트 수리시설물(수문) 개발을 위해 다음과 같은 조건에 부합하도록 설계를 실시하여야 한다. 통합 원격제어가 가능하고 용수관리가 용이하며 운영자의 쉬운 관리가 가능한 ① 농업용 수로에 적합한 IoT에 적용 가능한 수문, 기존 철제수문 대비 동력사용이 적은 수문이어야 하며 단상전원 및 태양광을 이용이 가능한 ② 소비동력이 적은수문, 수문 운영시 토사퇴적이 발생하지 않으며 수로 유수흐름에 지장이 없는 ③ 안전성이 우수한 수문이어야 한다.

이상과 같이 IoT 기반의 스마트 수리시설물 설계 기술 개발을 위해 국내/외의 대표적인 수문 형식, 작동방식 및 소재 등에 대해 분석/검토 하였으며 아래와 같은 항목에 적합한 IoT 기반의 스마트 농업용 수로 수문 3종 설계기술을 개발 하였다.



<그림 4-9> IoT 기반 스마트 수리시설물 설계기술 개발

## 가. LPL 게이트

LPL 게이트는 Low-Powered Lightweight Gate로 경량의 소재를 적용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문이다.

LPL 게이트는 통합 원격 제어가 가능해 IoT 기반의 스마트 수리시설물에 적합한 것으로 나타나 운영이 용이하다.

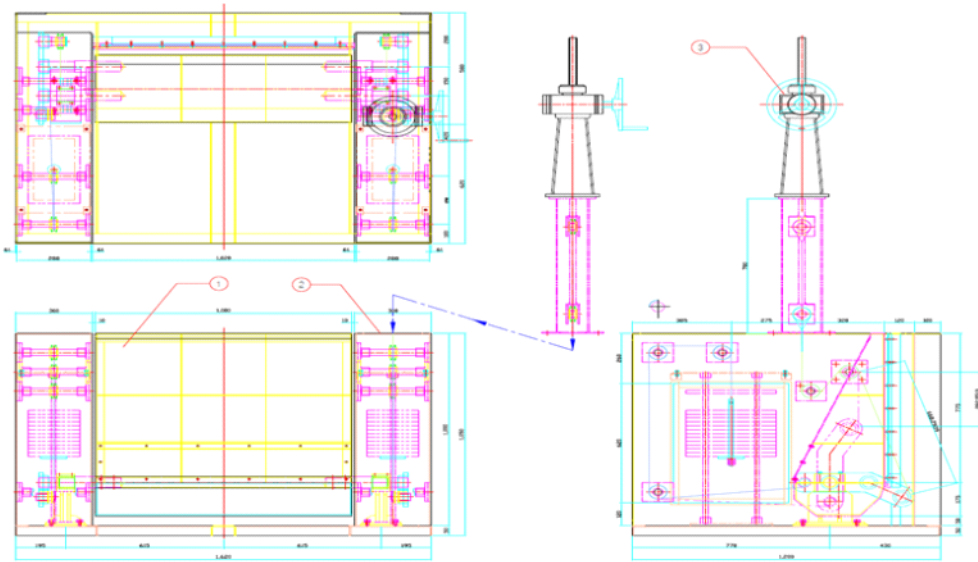
기존 수문과 달리 복잡한 상부구조물이 없는 전도식 수문 형식이며 경량의 수문재질 선정을 위해 외부는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱) 소재로, 내부는 Steel 소재를 사용한 하이브리드 패널을 적용한다. 경량의 하이브리드 패널 적용으로 게이트 기립 및 전도시 구동력이 적게 소요되어 단상전원이나 태양광을 이용하여 운영할 수 있도록 설계하였다.

LPL 게이트는 농업용 수로에 적합한 설계로 판단되나 전도시 이물질 끼임이나 토사퇴적등의 부유물에 의해 작동에 어려움이 발생할 것으로 나타나 게이트 운영시 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 보여진다.

LPL 게이트의 형상과 대표 설계도 및 IoT 기반의 스마트 수리시설물 조건표에 대한 검토 내용은 아래와 같다.



<그림 4-10> LPL 게이트 형상



<그림 4-11> LPL 게이트 대표 설계도

(표 4-2) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토(LPL 게이트)

구분		검토내용
IoT에 적용 가능한 수문	통합 원격제어가 가능한 수문	통합 원격제어 가능
	용수관리가 용이한 수문	용수관리 용이
	운영자의 쉬운 관리가 가능한 수문	쉬운 관리
소비동력이 적은 수문	철제수문 대비 동력이 적은 수문	적은 동력 소요
	단상전원 및 태양광을 이용한 수문	단상전원 및 태양광 사용 가능
	고중량 철제를 사용하지 않는 수문	경량 하이브리드 패널 적용 가능
안전성이 우수한 수문	토사퇴적이 발생하지 않는 수문	전도식으로 하부에 이물질 끼임
	수로 유수흐름에 지장이 없는 수문	이물질 끼임시 유수흐름 불량
	농업용 수로에 적합한 수문	농업용 수로에 적합

## 나. SRS 게이트

SRS 게이트는 Smart Rubber & Steel Gate로 LPL 게이트에 적용한 하이브리드 패널과 고무 에어백을 사용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문이다.

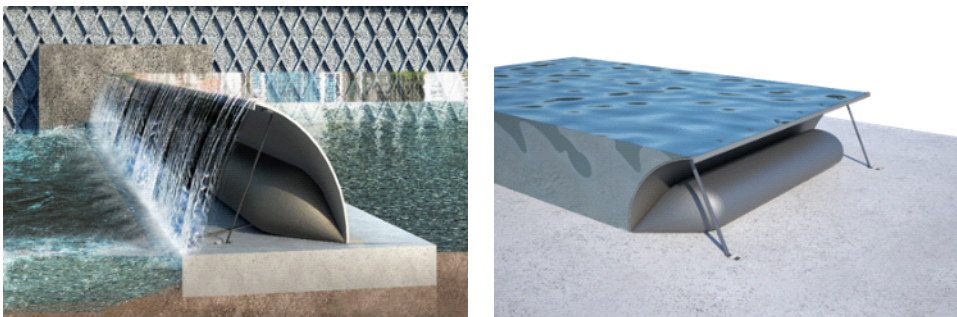
SRS 게이트는 통합 원격 제거가 가능하고 타 게이트 대비 미세한 수위 조절이 가능해 IoT 기반의 스마트 수리시설물에 가장 적합한 수문이다.

기존 수문과 달리 복잡한 상부구조물이 없는 전도식 수문 형식이며 경량의 수문재질 선정을 위해 외부는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱)소재로, 내부는 Steel 소재를 사용해 하이브리드 패널을 적용하였으며 하부의 고무에어백이 패널을 기립 및 전도시키는 방식으로 구동력이 적게 소요되어 단상전원이나 태양광을 이용하여 운영할 수 있도록 설계하였다.

SRS 게이트와 유사한 기존 게이트는 주로 수로폭이 넓거나 하천 등에 주로 사용되어 농업용 수로에 적합하진 않으나 소형화 제작이 가능해 설치에 문제는 없을 것으로 나타난다.

SRS 게이트는 수로바닥과 일체형 패널 체결 구조로 설치되 유사 게이트 대비 이물질 끼임 및 퇴적 현상은 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

SRS 게이트의 형상과 대표 설계도 및 IoT 기반의 스마트 수리시설물 조건표에 대한 검토 내용은 아래와 같다.



<그림 4-12> SRS 게이트 형상



## 다. UHA 게이트

UHA 게이트는 Upper Hinge Automatic Gate로 상부 게이트에 적용한 하이브리드 패널을 사용하여 저전력으로 게이트를 상부 힌지방식으로 개폐하는 방식의 수문이다.

UHA 게이트는 통합 원격 제어가 가능해 IoT 기반의 스마트 수리시설물에 적합한 수문이다.

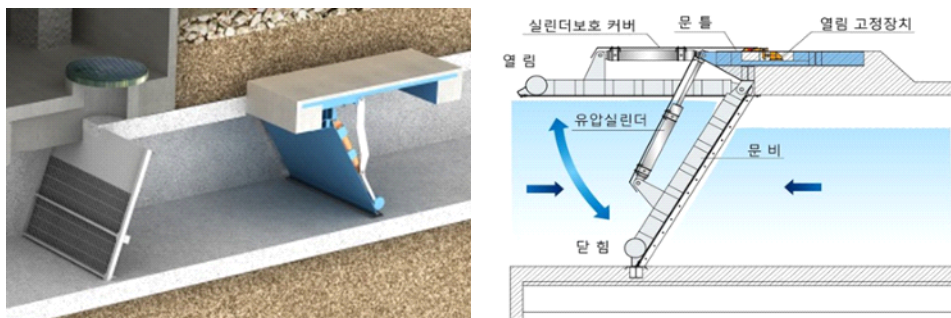
기존 수문과 달리 복잡한 상부구조물이 없는 상부 패쇄형 수문 형식이며 경량의 수문재질 선정을 위해 외부는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱)소재로, 내부는 Steel 소재를 사용해 하이브리드 패널을 적용하였으며 유압실린더를 적용하여 안정적 개폐가 가능하고 열림 고정장치 기술을 적용하여 안전성을 확보하였다.

UHA 게이트는 유압실린더 작동에 의한 개폐 방식으로 구동력이 적게 소요되어 단상전원이나 태양광을 이용하여 운영할 수 있도록 설계하였다.

UHA 게이트는 유압실린더를 사용해 작동유 누수에 우려가 있으나 오염 발생이 없어 환경성에 문제 없는 것으로 나타났다.

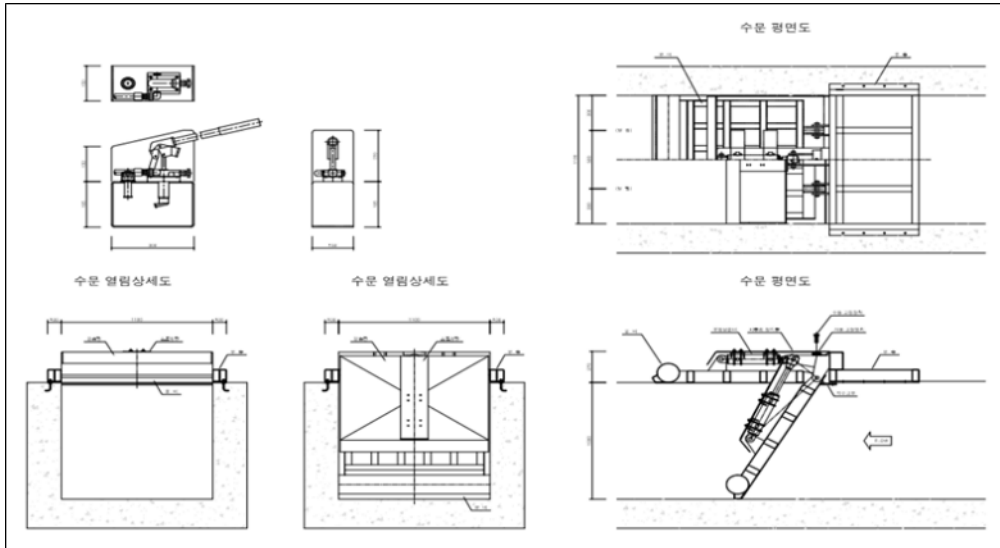
상부 힌지 형식으로 이물질 끼임 및 퇴적 현상이 발생하지 않으며, 개발하고자 하는 IoT 기반의 농업용 수로 수문에 적합한 규모로 제작 및 설치가 가능해 보급성이 우수한 것으로 판단된다.

UHA 게이트의 형상과 대표 설계도 및 IoT 기반의 스마트 수리시설물 조건표에 대한 검토 내용은 아래와 같다.



<그림 4-14> UHA 게이트 형상






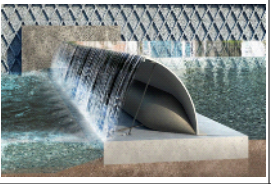

<그림 4-15> UHA 게이트 대표 설계도

(표 4-4) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토(UHA 게이트)

구분		검토내용
IoT에 적용 가능한 수문	통합 원격제어가 가능한 수문	통합 원격제어에 적합
	용수관리가 용이한 수문	용수관리 용이
	운영자의 쉬운 관리가 가능한 수문	쉬운 관리
소비동력이 적은 수문	철제수문 대비 동력이 적은 수문	적은 동력 소요
	단상전원 및 태양광을 이용한 수문	단상전원 및 태양광 사용 가능
	고중량 철제를 사용하지 않는 수문	하이브리드 패널 적용으로 철제대비 경량
안전성이 우수한 수문	토사퇴적이 발생하지 않는 수문	상부 힌지형 방식으로 토사퇴적 우려 없음
	수로 유수흐름에 지장이 없는 수문	완전 전도식으로 유수흐름에 지장 없음
	농업용 수로에 적합한 수문	농업용 수로에 가장 적합

이상과 같이 IoT기반의 스마트 수리시설물(수문) 3종을 개발 및 검토하였으며 농업용 수로에 적합한 스마트 수문은 다음과 같이 선정하였다.

(표 4-5) IoT 기반의 스마트 수리시설물 비교표

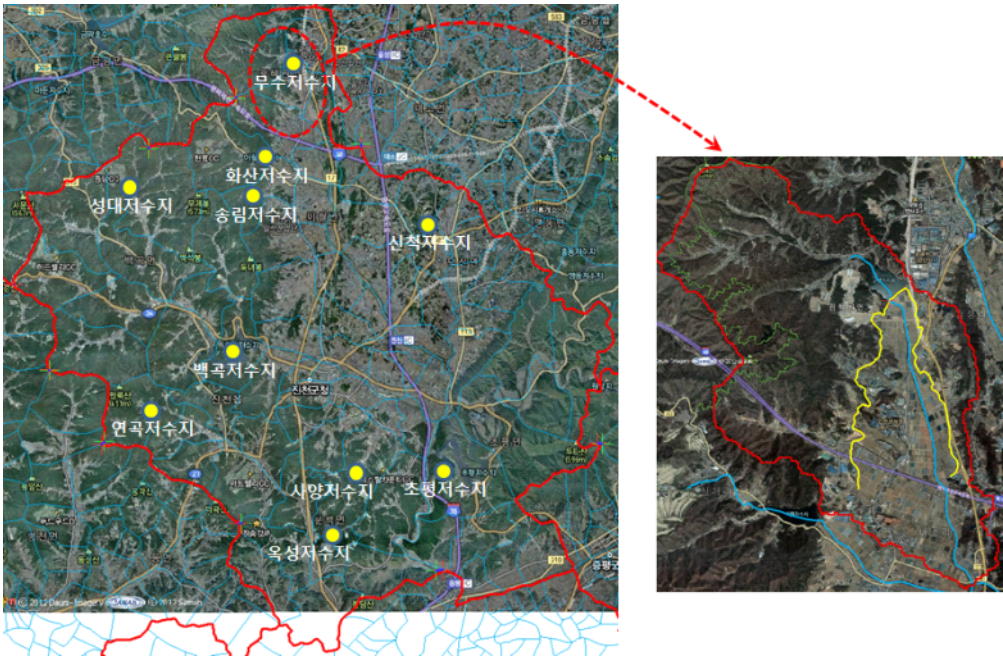
구분	LPL 게이트	SRS 게이트	UHA 게이트
구상도			
작동방식	기계식	공압식	유압식
기립/전도 형식	하부 힌지식	전도식	상부 힌지식
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원격제어 가능</li> <li>- 하이브리드 패널 적용으로 경량화</li> <li>- 적은 구동력으로 작동 가능</li> <li>- 농업용 수로에 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원격제어 가능</li> <li>- 미세한 수위조절 가능</li> <li>- 하이브리드 패널 적용으로 경량화</li> <li>- 적은 구동력으로 작동 가능</li> <li>- 이물질 끼임 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원격제어 가능</li> <li>- 하이브리드 패널 적용으로 경량화</li> <li>- 적은 구동력으로 작동 가능</li> <li>- 농업용 수로에 적합</li> <li>- 보급성 우수</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하단 배출식으로 이물질 끼임 우려</li> <li>- 지속적인 유지관리 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하단 배출식으로 이물질 끼임 우려</li> <li>- 타 형식에 비해 제작 및 설치 단가 고가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작동유 누수 우려</li> </ul>

## 제2절 수리시설물 설치 지역 선정 및 시범 계측장비 설치

### 1. 대상지역 선정 및 현황분석

#### 가. 유역 및 수문 현황

본 절에서는 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 수요/공급량 정량화 및 최적 수문 계측망 구축기법을 개발하고자, 농업용 저수지를 수원으로 하며 수문 계측망이 기 설치되어 있고 추가적인 수문 계측망을 구축한 충청북도 진천군 내의 무수저수지(舊 구암저수지)와 그 관개지구인 금곡간선, 회죽간선을 대상지구로 선정 하였다.



<그림 4-16> 대상지구 위치도

무수저수지는 충청북도 진천군 광혜원면 구암리에 있는 농업 관개용 저수지로 서부는 고도의 구릉성 산지이며 남부는 진천군 이월면과 연속된 진천평야의 일부이다. 고도 200 - 400m 이하 평지가 구암천 유역에 발달되어 있으며 구암천 상류에 무수저수지가 위치해 있어 수리에 용이하다.

무수저수지 제당 형식은 중심점토형으로 제언의 높이는 16.5m, 길이는 407m이고, 홍수량은 78.8m<sup>3</sup>/s, 일류 수심은 1.1m이다. 물넘이 형식은 측구식으로 길이는 65m, 언체 높이는 3.5m이고, 취수 시설 형식은 박스형으로 단면 1.2m, 연장 60m이다. 취수 시설 형식은 취수탑으로 취수량 0.60m<sup>3</sup>/s, 연장 32.9m이다. 유역 면적은 857ha, 만수 면적은 23.2ha, 홍수 면적은

24.1ha, 수혜 면적은 219ha이다. 신규 개발 면적은 239ha, 순 관개 면적은 239ha, 관개 면적은 336ha, 구역 면적은 336ha, 인가 면적은 290ha, 준공 면적은 336ha, 수리안전담 면적은 284ha이다. 총저수량은 137만 m<sup>3</sup>, 유효저수량은 132만 m<sup>3</sup>이다. 만수위는 119m이고 홍수위는 120m이다. 무수 저수지 관리는 한국농어촌공사 진천지사에서 관리하고 있으며 무수 저수지의 상세한 제원은 다음과 같다.

(표 4-6) 무수저수지 현황

무수저수지		
면적 (ha)	구역 면적	857
	구역 면적	336
저수량 (천톤)	유효저수량	1320
수위 (m)	만수위	119
	홍수위	120
제방 (m)	수위	119
	길이	407
	물넘이 형식	측구식
기타	위치	충북 진천
	관리	진천지사



<그림 4-17> 무수저수지(전경 및 물넘이)



<그림 4-18> 무수저수지 관개지구

무수저수지 관개부는 금곡간선과 회죽간선 평야부 두 간선으로 나누어져 있다. 회죽간선 관개지구는 약 236ha, 금곡간선 관개지구는 약 100ha (금곡간선 관개지구1 + 금곡간선 관개지구2)로 무수저수지 총 관개면적은 336ha이며 단위면적당 용수이용량은 회죽간선 관개지역 1.98ton/ha-year 이고 금곡간선 1 17.73ton/ha-year이다. 관개지역별 용수이용율 현황으로는 회죽간선 관개지역 평균이 약 70%, 금곡간선 관개지역 1 평균 약 75%로 나타났다. 간선별 수로길이는 회죽 용수간선 3.05km, 금곡 용수간선 4.05km이며 하천길이는 3.5km이다.

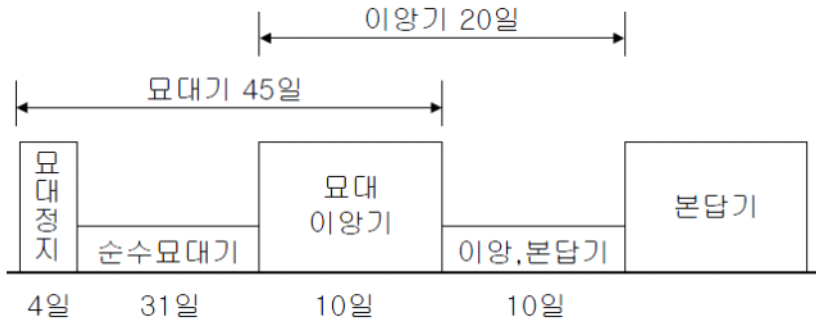
구암천 유역내 최근 3개년 최고 기온은 38.3℃ 이고 최저 기온은 -26.5°이며, 연평균 기온은 11.3℃로 전국 연평균 기온 12.5℃에 비하면 낮은 것으로 나타난다. 연평균 상대습도는 59.7% - 79.3%로 나타났으며 최소 상대습도를 비교했을 때 건조기인 1 - 4월 사이에는 상대습도가 13.9% - 21.6%mf 나타낸 반면 다습기인 6 - 9월에는 25.3% - 38.5%로 조사되어 여름철에 고온다습하고 겨울철에 한랭건조한 우리나라의 기상특성이 본 유역에서도 잘 나타나고 있음을 알 수 있다. 연평균 풍속은 1.1m/s이고 최대풍속은 15.4m/s로 나타났다.

## 나. 물관리 현황

영농방식이 과거와는 많은 차이를 보이고 있다. 이상기후로 인한 연평균기온의 상승과 기계화 보급율의 증가, 재배품종의 개량으로 인한 단위면적당 수확량의 증가, 농촌 노동인력의 노령화와 부녀화 심화 등의 많은 부분에서 변화하고 있다. 이러한 변화는 영농방식에 변화를 가져오게 하고 있으며 이로 인하여 농업용수의 사용시기와 양에 변화를 가져오고 있다.

벼 이앙재배 작부시기는 크게 묘대기, 이앙기, 그리고 본답기로 나눌 수 있는데 이러한 시기는 농업용수의 수요와 공급에 기준이 된다. 작부시기를 현행 설계기준과 조사 설계처에서 조사한 자료와 대상 지구에서 조사한 자료를 비교해 보면 아래 표와 같다.

전반적으로 현행 설계기준에 비하여 현장조사 결과를 보면 묘대기와 이앙기의 경우 기간이 단축되거나 시기가 앞당겨지고 본답기가 길어지는 것을 알 수 있다.



<그림 4-19> 작부시기

(표 4-7) 작부시기 대비표

구 분		묘대기	이양기	본답기	담수파종기	건답파종기
제 1 부	현행 (설계기준)	04/17 -05/31 45일간	05/21 -06/10 21일간	06/11 -09/11 93일간	05/01 -05/31 31일간	04/20 -05/20 30일간
	조사 설계처 조사 (농촌용수 체계재편)	04/17 -05/17 31일간	05/13 -05/27 15일간	05/28 -09/11 107일간	05/01 -05/31 31일간	04/20 -05/20 30일간
	대상지구 (진천)	04/23 -05/12 20일간	05/11 -05/25 15일간	05/26 -09/11 109일간	-	-
제 2 부	현행 (설계기준)	04/27 -06/10 45일간	06/01 -06/25 15일간	06/21 -09/21 93일간	05/10 -06/10 31일간	05/01 -05/31 30일간
	조사 설계처 조사 (농촌용수 체계재편)	04/27 -05/27 31일간	05/18 -06/06 20일간	06/07 -09/21 107일간	05/10 -06/10 31일간	05/01 -05/31 30일간



무수저수지는 중·소규모 저수지로서 지류하천이 많지 않고 용수로가 교적 단순한 형태로 되어 있다. 대상지구의 농업용수 물관리 관측항목은 강우량, 하천수위, 저수지 수위와 관개지구의 용·배수로 수위이며 이들 관측항목에 대해 각각의 관측기기들이 금곡, 회죽간선 현장에 설치되어 있다. 대상지구의 강우 관측계는 무수저수지 지점 취수탑에 설치되어 있으며 강우관측지점의 우량계 형태는 데이터로거(data logger) 자체 내장된 전도형 자기우량계로써 관측지점의 지점강우량을 측정하도록 되어 있다.

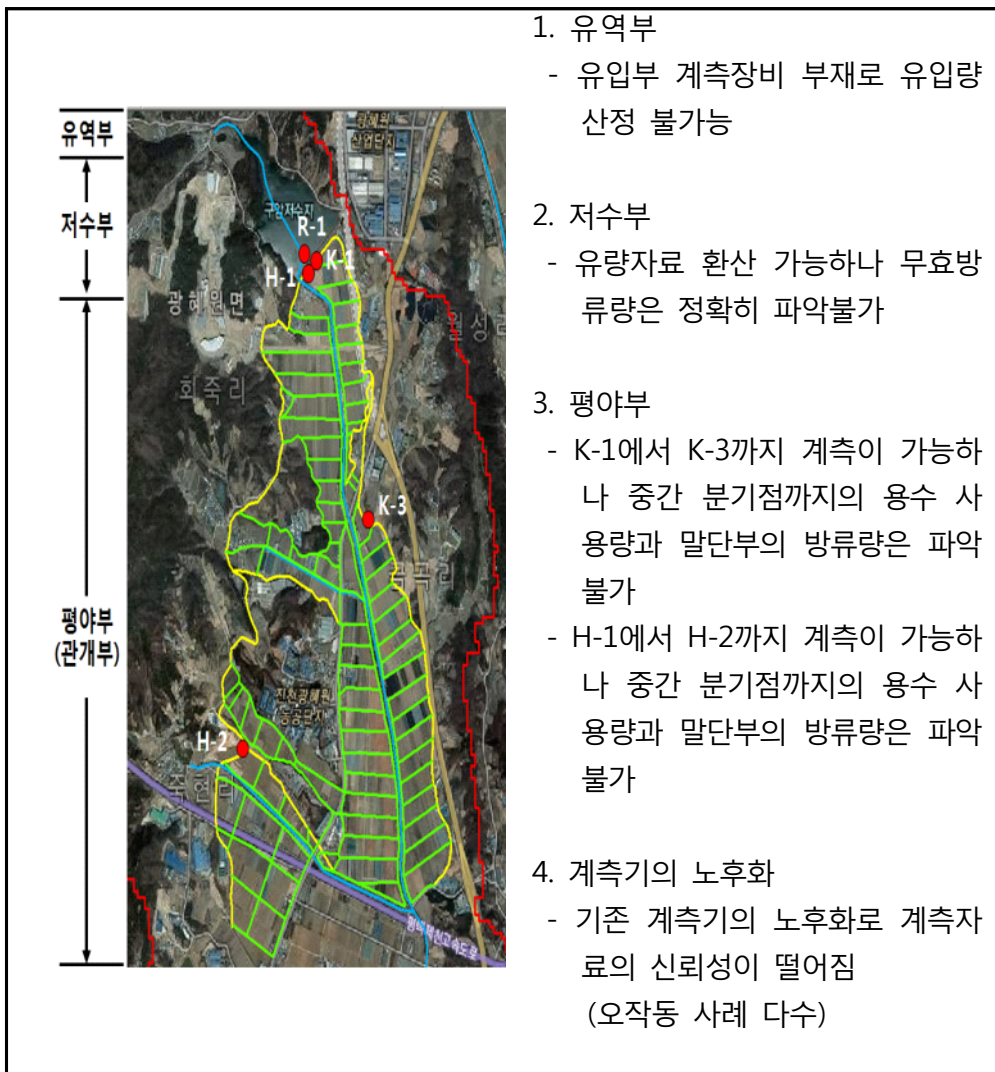
금곡간선은 용수로 1개, 용·배수로 30개, 하천 배수 지점 14개, 용수로 분기점 1개로 유역이 이루어져 있으며 회죽간선은 용수로 1개, 용·배수로 41개, 하천 배수 지점 6개, 용수로 분기점 2개로 되어 있다.



<그림 4-20> 대상지구 기존 계측기 설치 현황



기존 수위 계측기 설치 현황은 저수지 취수탑, 회죽·금곡 간선 시점부, 금곡방수문, 만티방수문 등 총 5개의 초음파식 수위계가 설치된 것으로 나타났다. 회죽간선 방수문(H-1), 금곡간선 방수문(K-1)의 저수위관측은 무수저수지 취수탑(R-1) 방수문에 설치된 수위계를 통해 자료가 수집되고 있으며, 금곡간선 금곡방수문(K-3)과 회죽간선 만티방수문(H-2)의 수위계를 통해 간선말단 수위를 계측하고 있다.



1. 유역부
  - 유입부 계측장비 부재로 유입량 산정 불가능
2. 저수부
  - 유량자료 환산 가능하나 무효방류량은 정확히 파악불가
3. 평야부
  - K-1에서 K-3까지 계측이 가능하나 중간 분기점까지의 용수 사용량과 말단부의 방류량은 파악 불가
  - H-1에서 H-2까지 계측이 가능하나 중간 분기점까지의 용수 사용량과 말단부의 방류량은 파악 불가
4. 계측기의 노후화
  - 기존 계측기의 노후화로 계측자료의 신뢰성이 떨어짐 (오작동 사례 다수)

<그림 4-21> 대상지구 물관리 현황의 문제점

대상지구를 유역부, 저수부 및 평야부(관개부)로 나누어 물관리 현황을 나타내 보면 유역부는 무수저수지 내 유입부 계측 장비의 부재로 유입량 산정이 불가능 하며, 저수부는 회죽·금곡 간선 시점부 계측을 통해 용수 사용량을 파악 할 수 있으나 무효방류량은 정량화 하기에 어려움이 있는 것으로 나타난다. 평야부의 경우 금곡간선 방수문(K-1)과 금곡간선 금곡 방수문(K-2)에서 계측이 가능하지만 중간 분기점까지의 용수 사용량과 금곡 말단부의 방류량은 파악이 불가능하며 회죽 간선 또한 중간 분기점까지의 용수 사용량과 말단부의 방류량 파악이 불가능 한 것으로 나타난다. 또한 기존 계측기의 노후화로 오작동 및 미계측 자료가 다수 존재해 물관리에 어려움이 있는 것으로 판단된다.

## 2. 공사관리 계측장비 현황

무수저수지 유역의 기존 계측망은 저수지 취수탑(R-1), 취수탑 방수문에 위치한 회죽간선 방수문(H-1)과 금곡간선 방수문(K-1), 금곡간선 금곡 방수문(K-3) 및 회죽간선 만디방수문(H-2)에 설치되어 있다.

대상지구 수문자료 구축은 용수계통도, 준설 카드 도면, 2007년부터 현재까지 실시한 무수저수지 운영일보(저수위, 회죽간선 방수문, 금곡간선 방수문), 2007년부터 현재까지 기타간선 운영일보(금곡방수문, 만디방수문 수위)등을 이용하였다. 강우 및 기상자료는 대상지구와 인접한 이천관측소(약 25km)의 일별자료를 이용하여 기온, 상대습도, 일사량, 풍속, 최고·저 온도 등을 이용하고 Penaman-Monteith 방정식을 통하여 증발산량을 산정 하였다.



<그림 4-22> 대상지구 기존 계획망

### 가. 저수지 취수탑

무수저수지는 높이 16.5m, 길이 407m, 홍수량은 78.8m<sup>3</sup>/s이고 유효저수량 1,320천톤이다.



<그림 4-23> 저수지 취수탑

### 나. 저수탑 방수문(회죽간선 방수문, 금곡간선 방수문)

금곡간선 방수문(K-1)은 무수 저수지에서 금곡간선으로 방류하는 지점이고 회죽간선 방수문(H-1)은 무수 저수지에서 회죽간선으로 방류하는 지점이다.



취수탑 방수문



금곡간선 방수문 수위계(K-1)



회죽간선 방수문 수위계(H-1)

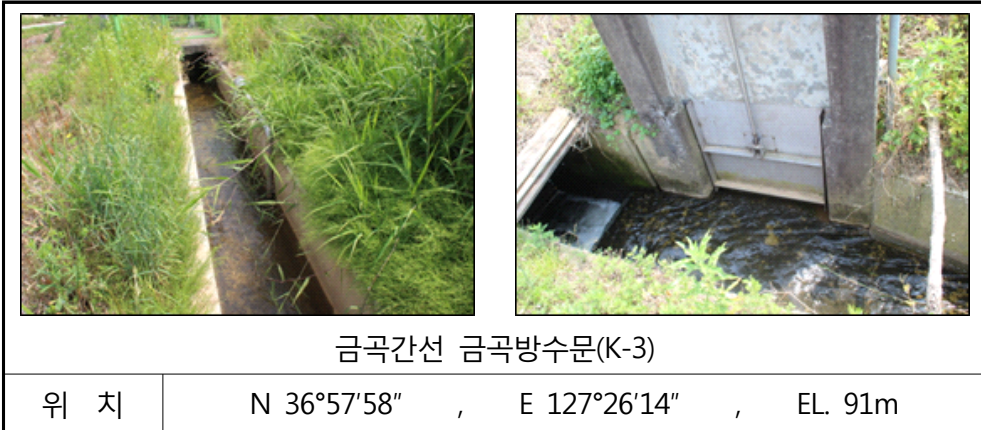
위 치	N 36°58'39" , E 127°25'53" , EL. 114m
-----	---------------------------------------

<그림 4-24> 취수탑 방수문(회죽간선, 금곡간선 방수문)



#### 다. 금곡간선 금곡방수문

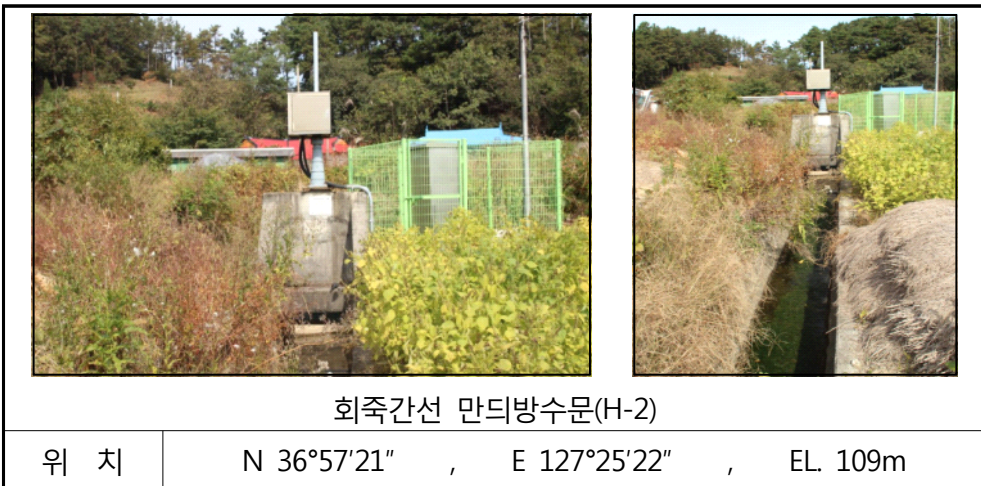
금곡간선 방수문을 지나 용수로를 통해 금곡방수문으로 흐르는 지점으로 형상 및 위치는 아래와 같다.



<그림 4-25> 금곡간선 금곡방수문

#### 라. 회죽간선 만덕방수문

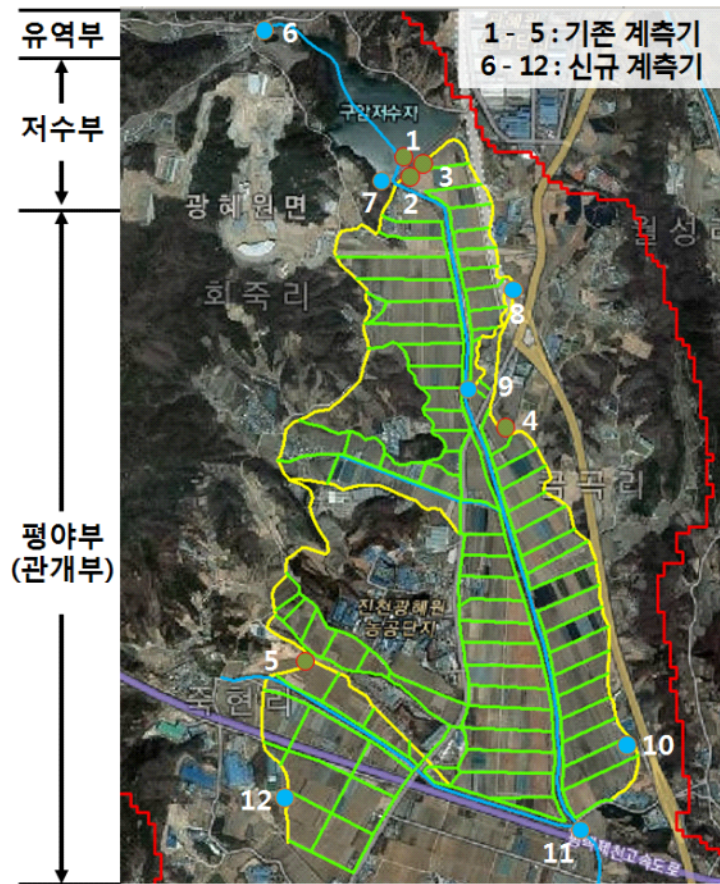
회죽간선 방수문을 지나 용수로를 통해 만덕방수문으로 흐르는 구간으로 형상 및 위치는 다음과 같다.



<그림 4-26> 회죽간선 만덕방수문

### 3. 시범 계측장비 설치 현황

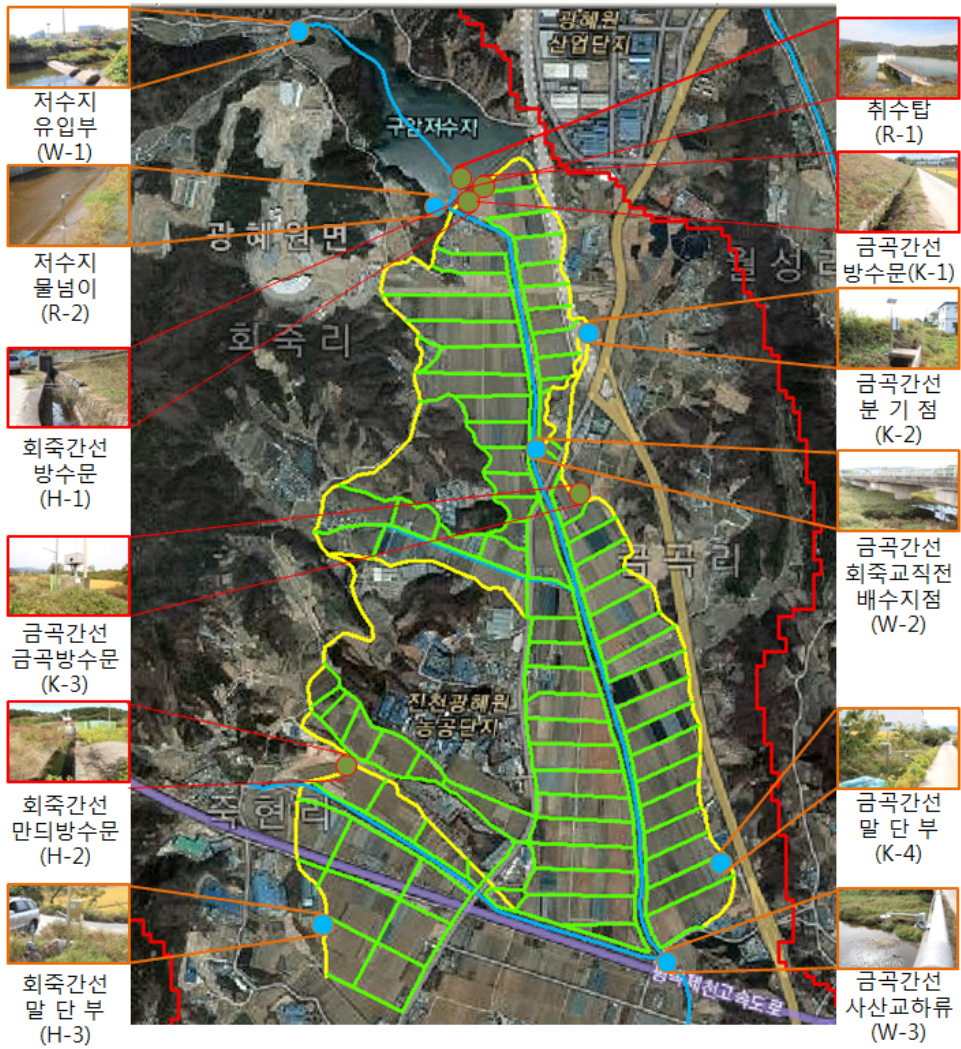
본 연구는 기존 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 수요/공급량의 정량화를 위하여 경제적 가치를 고려한 최적 수문계측망 구축기법을 개발하고자한다. 이에 대상지역의 물관리 현황의 단점을 보완하며 물이용 불확실성을 해소하고자 유역부, 저수부 및 평야부에 걸쳐 수문 계측망을 구축 및 운영을 하였다.



<그림 4-27> Monitoring Network 구축

대상지구를 유역부, 저수부 및 평야부(관개부)로 나누어 기존 계측기에 의한 물관리 현황은 다음과 같다. 유역부는 무수저수지 내 유입부 계측 장비의 부재로 유입량 산정이 불가능 하며, 저수부는 회죽·금곡 간선 시점부 계측을 통해 용수 사용량을 파악 할 수 있으나 무효방류량은 정량화 하기에 어려움이 있는 것으로 나타난다. 평야부의 경우 금곡간선과 금곡 방수문에서 계측이 가능하지만 중간 분기점까지의 용수 사용량과 금곡간선 말단부의 방류량 파악은 불가능하며 회죽 간선 또한 중간 분기점까지 용수 사용량과 말단부의 방류량 파악이 불가능 한 것으로 나타난다. 기존 계측기를 통해 정량적인 물수지 분석이 불가능한 것은 아니지만 정확성 및 신뢰도가 매우 떨어져 다음 그림과 같이 계측기를 추가하여 Monitoring Network 구축이 필요한 것으로 판단된다. 신규 계측기 선정 및 설치에 대한 내용을 유역부, 저수부, 평야부 순으로 구분하여 나타내면 다음 그림과 같다.





<그림 4-28> Monitoring Network 상세도

(표 4-8) 계측기 선정 및 설치

구분	지점	선 정	계측기 No.
유역부	저 수 지 유 입 부	- 저수지로 유입되는 유량 측정 - 저수지 중간 유입부가 존재하나 소규모로 측정이 무의미함	W-1 (신규)
저수부	취 수 탑	- 기설치	R-1 (기존)
	저 수 지 물 넘 이	- 무효방류량 측정 - 자유식 물넘이가 존재하므로 물넘이 상· 하부차를 고려하여 계측	R-2 (신규)
	회죽간선 방 수 문	- 기설치	H-1 (기존)
	금곡간선 방 수 문	- 기설치	K-1 (기존)
평야부	회죽간선 만디방수문	- 기설치	H-2 (기존)
	회죽간선 말 단 부	- 회죽간선 말단부 최종 유출 계측	H-3 (신규)
	금곡간선 분 기 점	- 금곡간선 관개지구1로 유입후 분기되어 금 곡간선 관개지구2 유입되는 지점 - 금곡간선 관개지구2로의 유입 계측	K-2 (신규)
	금곡간선 금곡방수문	- 기설치	K-3 (기존)
	금곡간선 말 단 부	- 금곡간선 용수로 말단부 계측	K-4 (신규)
	금곡간선 회죽교 직전 배수지점	- 금곡간선 관개지역에서 하천으로 배수되는 지점 - 회귀수량 산정을 위해 계측	W-2 (신규)
	사 산 교 류 하	- 금곡간선 말단부 최종 유출 계측	W-3 (신규)

#### 4. 계측 네트워크를 활용한 농업용수 이용현황 분석

대상지구에 설치되어 있는 계측 네트워크는 본 연구 이전에 설치 및 운영되었던 시설물로서 계측 네트워크를 활용한 농업용수 이용현황 분석은 과거의 계측 자료를 이용하여 저수지 유입량, 저수지 저수량, 조용수량 및 손실수량에 대한 현황을 분석하였다.

##### 가. 저수지 유입량 분석

HOMWRS에 의한 모의 유입량과 Monitoring Network 운영에 의한 계측 실측값을 비교·분석함으로써 기존 유입량 산정 방법의 불확실성을 고찰하고 Monitoring Network 구축의 필요성을 제시하고자 한다. 또한, 저수지 유입량 예측을 위한 기존의 연구를 분석함으로써 예측의 불확실성과 정확한 유입량 계측의 필요성을 고찰하고자 한다.

농업용 저수지는 관개시기에는 수혜구역 관개를 위하여 필요수량 이상의 저수량 확보가 필수적이며 홍수기에는 예비 방류를 통하여 홍수조절 기능을 수행한다. 저수지의 홍수조절용량 확보를 위한 방법으로는 현 저수지의 증고나 예비방류를 통한 추가적인 홍수조절 용량의 확보를 들 수 있다. 그러나, 저수지를 증고할 경우 보상비나 공사비가 소요되며, 담수되는 주변 환경의 파괴 등으로 환경단체의 반발 또한 예상된다. 따라서, 예비방류를 통해 추가적인 홍수조절용량확보가 가능하다면 환경 및 경제적 손실이 없는 유역의 홍수방어대안으로 효과적이다 (장 등, 2005).

그러나, 예비방류를 적절히 시행하면 비용적의 소요 없이 홍수조절용량을 추가로 확보할 수 있음에도 불구하고 실제로 예비방류를 시행하지 못하는 이유는 불확실한 강우예측에 근거하여 예비방류를 시행할 경우 이수용량의 손실이 발생할 위험 때문이다. 즉, 강우초기에 예비방류를 시행하여 홍수조절용량을 확보하였으나, 강우가 예측한 만큼 발생하지 않을 경우 유입량 부족으로 만수위를 확보하지 못할지 모른다는 부담 때문이다. 아울러, 예비방류 시행을 위해서는 예측강우를 이용한 저수지 유입량 예측이 필수적이지만 선행 토양함수 조건에 따라 저수지로 유입되는 홍수량은 상당한 차이가 있으며, 강우가 진행되면서 점차적으로 토양의 함수 조건과 홍수의 도달시간은 매시간 달라 질 수 있다. 따라서, 근본적인 불확

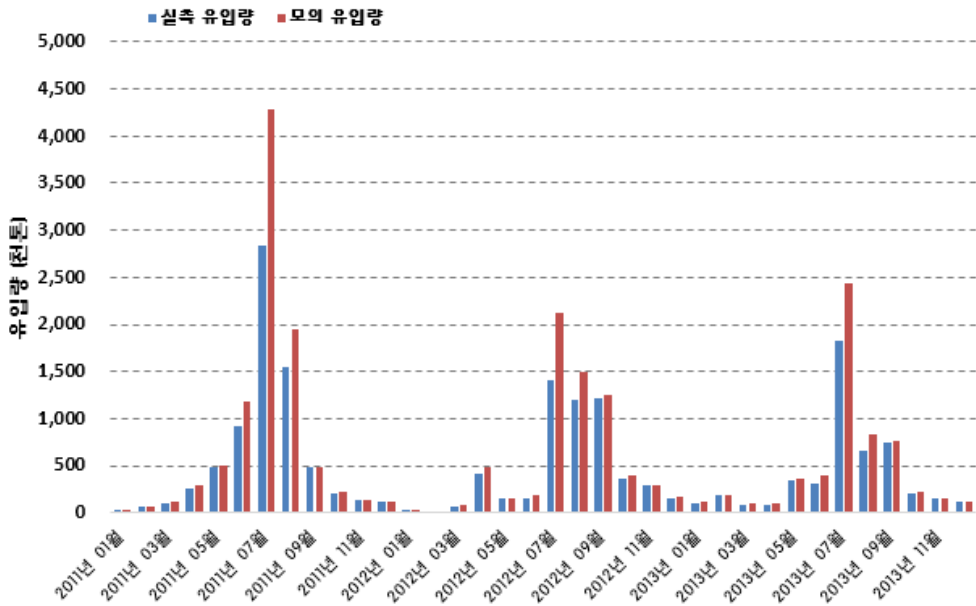
실성은 예측강우에 있겠지만, 추가적으로 유입홍수량예측 또한 불확실성이 내재하고 있어 예비방류량의 결정이 어려운 게 현실이다.

장 등 (2005)은 홍수조절용 저수지의 예비방류 시행을 충분히 효과적으로 시행하고 강우 강우종료 후에도 충분한 이수용량이 확보되도록 실시간 강우자료를 이용한 저수지 유입량 예측모형을 개발하였다. 사전예보(기상청 등)에 의한 총 예상 강우량과 선행강우량, 현재 저수지 수위를 입력자료로 저수지 유입 총량과 수위변화량을 계산하여 홍수조절용 저수지의 초기수위저하 및 하류 하도의 홍수방어를 사전에 대비할 수 있는 자료를 제시하였다. 홍수 유입량 예측모형을 해당저수지에 적용한 결과, 1995년부터 1999년까지의 집중호우에 대하여 예측 정확도는 실측값과 비교하여 신뢰 수준에 있어 홍수 조절을 위한 예비 방류량을 결정하는데 매우 유용하게 사용이 가능하다. 하지만, 개발된 예측모형은 홍수유입량을 예측하는데 국한되어 있어 평상시 유입량 예측에는 사용이 불가능하다.

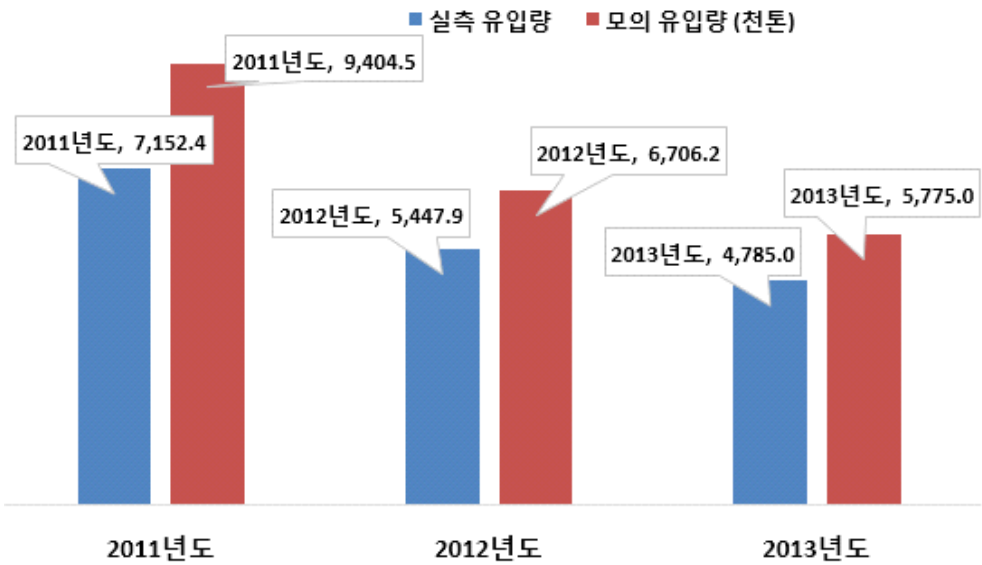
김 등 (2002)은 저수지 유입량 예측을 위한 신경망 모형의 특성 연구에서 신경망 모형을 이용하여 시간별 유입량을 예측하고 신경망 모형의 적정 구조를 제시하였다. 신경망 모형에서 학습자료의 침투유량 규모보다 더 큰 유량이 예측된 경우에는 과소평가의 가능성이 있으므로 학습자료의 침투유량보다 클 경우에는 과소평가를 고려해야만 한다. 또한, 학습 자료의 개수가 작을 경우에는 예측의 정확도가 현저하게 저하되는 우려가 있어 방대한 양의 자료 수집을 필요로 하는 문제점이 야기된다.

저수지 유입량 예측을 위한 선행 연구를 살펴본 결과, 예측 모형의 매개변수의 불확실성 혹은 확률 분석에 의한 불확실성 등이 내재되어 있으며 국한된 지역에서 개발되어 범용적인 적용의 한계점 등이 나타나고 있는 바, 저수지 운영을 위한 필수 자료인 저수지 유입량 계측을 위한 사업이 시급한 실정이다.

저수지 유입량 산정은 탱크 모형을 기반으로 모의하고 있는데, 농업용 저수지 설계에 적용하기 위해 소유역에 적합하도록 매개변수가 보정되어 있다. 따라서, 1만 ha 이상의 유역인 경우에는 소유역으로 분할하여 각각의 유입량을 산정하여야 하며 소유역 분할 개수는 3개로 제한되어 있다. 모의 유입량과 Monitoring Network 운영에 의한 계측 유입량과 비교함으로써 모의 유입량의 불확실성을 고찰하고 유입량 정량화를 위한 계측의 필요성을 제시하고자 한다.



(a) 월별 유입량



(b) 년도별 유입량

<그림 4-29> 모의 및 실측 유입량 비교

(표 4-9) 월별 유입량 비교 (천톤)

월	실측 유입량 ①	모의 유입량 ②	유입량 편차 ① - ②	비율 (%) $(①-②)/① \times 100$
2011년 01월	26.8	29.8	-3.0	-11.1
2011년 02월	66.2	69.7	-3.5	-5.3
2011년 03월	92.7	115.9	-23.2	-25.0
2011년 04월	257.0	298.8	-41.8	-16.3
2011년 05월	477.1	502.2	-25.1	-5.3
2011년 06월	923.7	1,184.2	-260.5	-28.2
2011년 07월	2,830.1	4,288.1	-1,458.0	-51.5
2011년 08월	1,555.3	1,944.1	-388.8	-25.0
2011년 09월	476.7	491.4	-14.7	-3.1
2011년 10월	198.7	220.8	-22.1	-11.1
2011년 11월	133.7	136.4	-2.7	-2.0
2011년 12월	114.5	123.1	-8.6	-7.5
2012년 01월	29.3	32.5	-3.3	-11.1
2012년 02월	13.0	13.7	-0.7	-5.3
2012년 03월	71.4	89.2	-17.8	-25.0
2012년 04월	412.4	479.5	-67.1	-16.3
2012년 05월	145.5	153.2	-7.7	-5.3
2012년 06월	152.3	195.3	-43.0	-28.2
2012년 07월	1,404.9	2,128.7	-723.8	-51.5
2012년 08월	1,197.0	1,496.3	-299.3	-25.0
2012년 09월	1,215.3	1,252.9	-37.6	-3.1
2012년 10월	363.9	404.3	-40.4	-11.1
2012년 11월	283.8	289.6	-5.8	-2.0
2012년 12월	159.0	171.0	-12.0	-7.5
2013년 01월	100.8	112.0	-11.2	-11.1
2013년 02월	180.5	190.0	-9.5	-5.3
2013년 03월	79.6	99.5	-19.9	-25.0
2013년 04월	87.5	101.7	-14.2	-16.3
2013년 05월	335.7	353.4	-17.7	-5.3
2013년 06월	304.7	390.7	-86.0	-28.2
2013년 07월	1,827.4	2,436.5	-609.1	-33.3
2013년 08월	660.7	825.9	-165.2	-25.0
2013년 09월	747.0	770.1	-23.1	-3.1
2013년 10월	203.2	225.8	-22.6	-11.1
2013년 11월	144.0	146.9	-2.9	-2.0
2013년 12월	113.9	122.5	-8.6	-7.5

(표 4-10) 년도별 유입량 비교 (천톤)

년 도	실측 유입량 ①	모의 유입량 ②	유입량 편차 ① - ②	비 율 (%) (①-②)/①×100
2011년도	7,152.4	9,404.5	-2,252.1	-31.5
2012년도	5,447.9	6,706.2	-1,258.3	-23.1
2013년도	4,785.0	5,775.0	-990.0	-20.7
합 계	17,385.4	21,885.7	-4,500.3	-25.9

모의 및 실측 유입량을 비교한 결과, 모의 유입량이 2011년도에는 약 32%, 2012년도에는 약 23%, 2013년도에는 약 21%로 실측 유입량보다 과다 산정되었으며, 전체 모의 기간에 걸쳐 평균 26% 가량 많이 산정되어 있다.

실측치에 비하여 모의치가 과다 산정되는 원인은 HOMWRS에서 유입량 산정에 사용되는 DIROM 모형의 매개변수가 우리나라 농업용 저수지 소유역에 범용적으로 적용할 수 있도록 보정되어 있어, 특정 지역의 지형 및 수문 특성을 고려하지 못하는 것으로 사료된다. 즉, 3단 탱크 모형에서 각 탱크의 물꼬 높이, 침투 계수 등의 매개변수가 소유역의 토지피복 비율 즉, 유역내의 논, 밭, 산림 등의 면적 비율에 의해 자동으로 보정되므로 지형의 경사, 토양 특성, 강우 발생 형태 등 지역적인 특성을 고려하지 못하기 때문이다.

이와 같이 전형적인 유입량 산정방법에서는 모형의 매개변수 불확실성으로 인하여 모의에 의한 유입량이 실측치에 비하여 과다 산정되고 있으며, 특히 10월부터 다음해 3월까지의 비관개시기 보다는 4월부터 9월까지의 관개시기에 큰 차이를 보이고 있어 필요수량에 적합한 관개용수량을 산정하고 효율적인 저수지 운영을 위해서는 유입량 실측을 위한 Monitoring Network 구축의 필요성이 시급한 실정이다.

## 나. 저수지 저수량

Monitoring Network 운영에 의한 저수지 저수량의 정량화를 고찰하기 위하여 물수지 분석을 위한 계측자료 없이 HOMWRS 모형을 이용한 대상지구의 기존 저수량 추정값과 계측 유입량, 공급량, 무효방류량을 이용하여 물수지 분석에 의하여 산정된 저수량 값과 비교함으로써 저수지 저수량의 정량화 효과에 대한 Monitoring Network 운영의 효율성을 분석하고자 한다. 또한, 기존의 저수량 추정 연구를 분석함으로써 정량적인 계측 없이 저수량을 추정하는 방법에 대한 불확실성을 고찰하고자 한다.

장 등 (2011)은 저수지 저수량 추정을 위하여 위성 SAR 자료의 활용성을 연구하였는데, 광범위한 지역을 촬영한 위성영상을 이용하여 저수면적으로 추출하고 저수량을 추정하는 기술이 있다면 현장 실측을 대체하거나 적어도 보완할 수 있는 대안이 될 것이다. 또한 저수위별 수표면적 자료를 축적함으로써 저수지별 수위-내용적 관계를 갱신할 수 있는 기회를 만들 수도 있다. 그러나 기상과 이수에 따라 변화하는 저수량에 대응하는 위성영상을 광학영상에만 의존하여 확보하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 전천후 센서인 SAR 위성영상을 이용하여 정기적인 저수지 모니터링을 함으로써 저수지 운영의 시급성도 만족하고 장기적으로 저수지 내용적의 변화를 현장실측이 없이도 어느 정도 추정할 수 있을 것이다.

RADARSAT-1 SAR 영상을 충남지역의 예당저수지와 궁평저수지에 시험 적용하여 시기별 저수면적과 저수량의 변화를 추정하고 관측자료와 비교함으로써 저수지 관측을 위한 SAR 영상 활용성을 검토한 결과, SAR 위성영상으로 추정한 저수율과 관측 저수율과 비교적 높은 상관관계를 나타내었지만 저수지 운영에 적용하기 위해서는 실시간 자료의 획득이 어려우며 신뢰성 있는 저수위-내용적 곡선이 확보되어야 한다는 단점을 내포하고 있다.

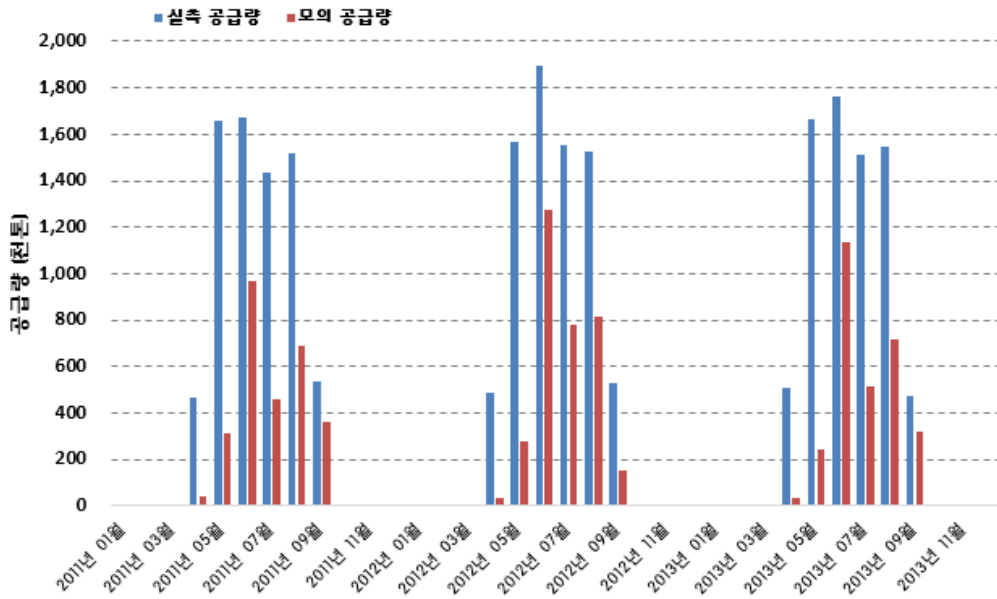
안 등 (2007)은 기상인자가 농업용 저수지 저수량에 미치는 영향을 연구하였는데, 안성천 유역내 금광 및 고삼저수지를 대상으로 기상자료를 이용하여 상관분석을 실시하고 상관성이 있는 기상인자를 추출하였다. 기상인자 중 강수 인자가 가장 큰 영향을 미치고 있으며 관개기에 46~56%로 높은 기여율을 나타내었고, 비관개시기에는 21~38%로 저수율의 변화를 잘 설명하지 못하였다. 이는 관개기에 강수량에 의한 유입량 변화가



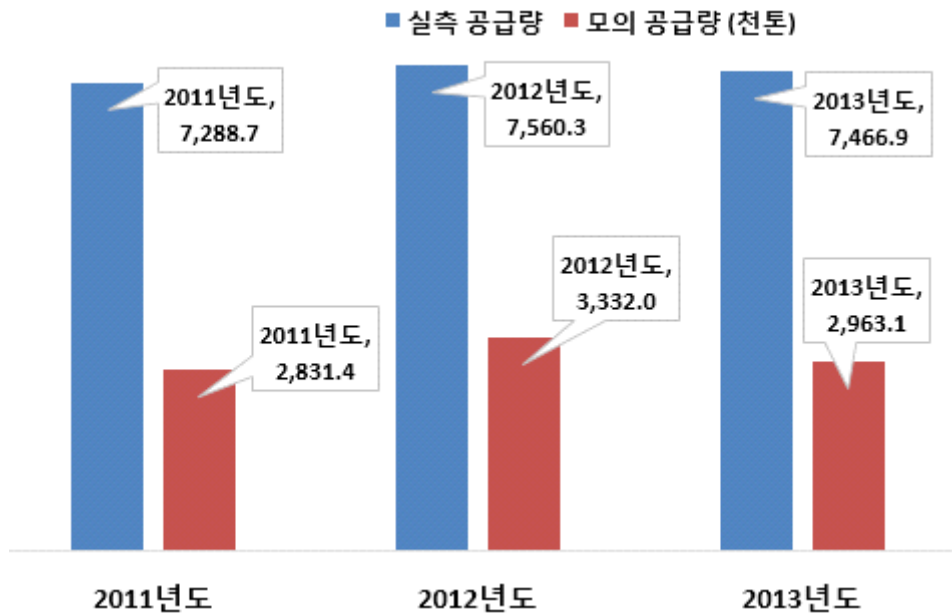
저수량에 영향을 미치고 있으며, 이 연구에 의하여 관개기에 정확한 유입량의 계측이 저수량 추정에 중요함을 역설할 수 있다.

안 등 (2004)은 기존 농업용 저수지에서의 유효저수량을 평가하였는데, 농업용 저수지의 유효저수량은 물수지 분석을 근거로 한 저수지 모의 운영을 통하여 결정되고 있는 바, 유역은 유출량에 관하여 고유한 특성을 가지고 있으므로 저수지에서 유효저수량의 결정은 유역으로부터의 유출량을 근거로 하는 것이 타당하다고 제안하였다. 따라서, 유역의 유출량을 근거로 한 추계학적 선형계획모형을 정립하고 저수지의 유효저수량을 분석하였다. 농업용 저수지의 유효저수량 결정시 본 연구에서 제시된 선형계획모형을 적용하여, 우선 유역으로부터의 유출량 및 최소방류량에 의한 적정한 유효저수량을 결정하고, 저수지 모의운영을 통하여 결정된 유효저수량의 성능을 평가하는 것이 타당하다고 언급하였다. 또한, 유역의 유출량은 직접관측을 통한 검정이 이루어 질 때, 보다 더 타당한 저수지의 유효저수량을 설정할 수 있다고 제안하고 있다. 이러한 연구로 미루어 볼 때, 유역으로부터의 유입량 계측이 매우 중요하며 Monitoring Network 구축의 필요성을 역설하고 있다.

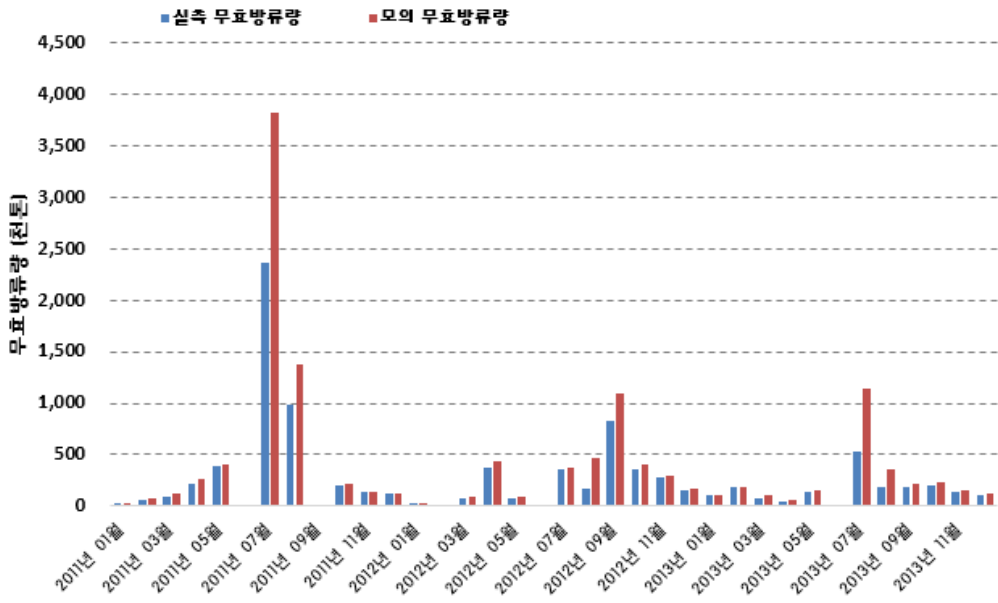
이러한 연구에서 알 수 있듯이 농업용 저수지의 정확한 저수량 추정은 저수지 운영에 매우 중요한 요소이며, 정확한 저수량을 산정하기 위해서는 저수지 유입량, 관개를 위한 공급량, 무효방류량의 계측이 필요함을 언급하고 있다. 모의에 의한 저수량과 실측 유입량, 공급량, 무효방류량을 이용하여 산정된 저수량을 비교·분석하여 Monitoring Network 구축의 필요성을 고찰하고자 한다.



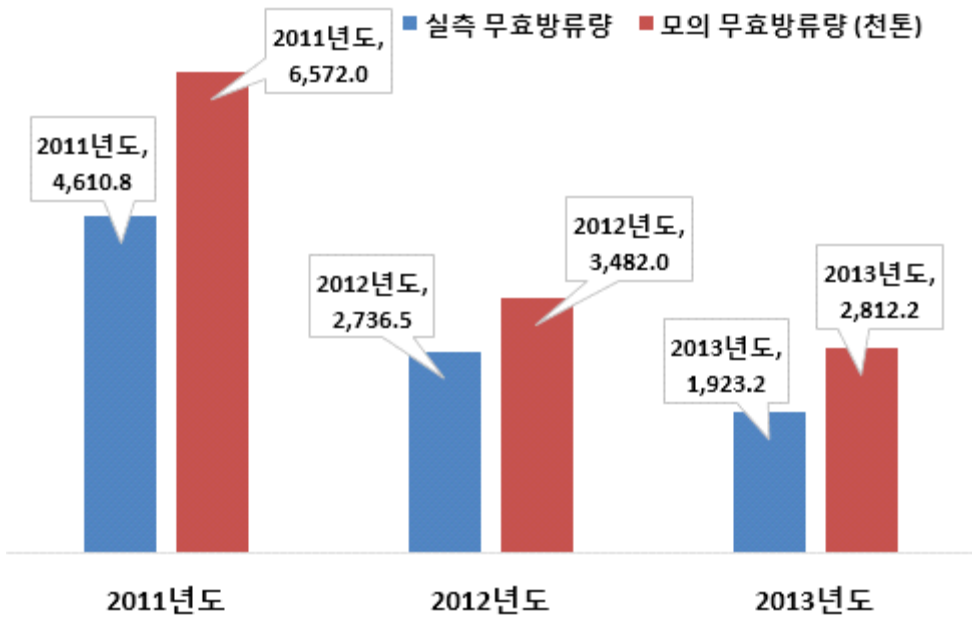
<그림 4-30> 월별 모의 및 실측 공급량 비교



<그림 4-31> 년도별 모의 및 실측 공급량 비교



<그림 4-32> 월별 모의 및 실측 무효방류량 비교



<그림 4-33> 년도별 모의 및 실측 무효방류량 비교

(표 4-11) 월별 공급량 비교 (천톤)

월	실측 공급량 ①	모의 공급량 ②	공급량 편차 ① - ②	비율 ① / ②
2011년 01월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 02월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 03월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 04월	467.8	38.1	429.7	12.3
2011년 05월	1,658.0	312.6	1,345.4	5.3
2011년 06월	1,674.0	968.5	705.5	1.7
2011년 07월	1,434.4	460.6	973.8	3.1
2011년 08월	1,516.7	692.0	824.7	2.2
2011년 09월	537.9	359.6	178.3	1.5
2011년 10월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 11월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 12월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 01월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 02월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 03월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 04월	486.7	36.7	450.0	13.3
2012년 05월	1,567.9	275.4	1,292.5	5.7
2012년 06월	1,898.3	1,272.1	626.2	1.5
2012년 07월	1,552.9	780.0	772.9	2.0
2012년 08월	1,522.6	813.7	708.9	1.9
2012년 09월	531.8	154.1	377.7	3.5
2012년 10월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 11월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 12월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 01월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 02월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 03월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 04월	507.5	36.7	470.8	13.8
2013년 05월	1,665.3	245.2	1,420.1	6.8
2013년 06월	1,763.0	1,134.0	629.0	1.6
2013년 07월	1,512.4	514.3	998.1	2.9
2013년 08월	1,546.8	714.3	832.5	2.2
2013년 09월	471.9	318.6	153.3	1.5
2013년 10월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 11월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 12월	0.0	0.0	0.0	-

(표 4-12) 월별 무효방류량 비교 (천톤)

월	실측 무효방류량 ①	모의 무효방류량 ②	무효방류량 편차 ① - ②	비율 (%) (①-②)/②×100
2011년 01월	26.8	29.8	-3.0	-10.0
2011년 02월	65.5	69.0	-3.5	-5.1
2011년 03월	92.7	115.9	-23.2	-20.0
2011년 04월	218.9	260.7	-41.8	-16.0
2011년 05월	383.7	408.8	-25.1	-6.1
2011년 06월	14.0	0.0	14.0	-
2011년 07월	2,365.7	3,823.7	-1,458.0	-38.1
2011년 08월	989.6	1,378.4	-388.8	-28.2
2011년 09월	7.0	5.4	1.6	29.6
2011년 10월	198.7	220.8	-22.1	-10.0
2011년 11월	133.7	136.4	-2.7	-2.0
2011년 12월	114.5	123.1	-8.6	-7.0
2012년 01월	29.3	32.5	-3.3	-10.0
2012년 02월	13.0	13.7	-0.7	-5.0
2012년 03월	71.3	89.1	-17.8	-20.0
2012년 04월	375.9	443.0	-67.1	-15.2
2012년 05월	77.7	85.4	-7.7	-9.0
2012년 06월	3.0	0.0	3.0	-
2012년 07월	350.0	380.7	-30.7	-8.1
2012년 08월	174.6	473.9	-299.3	-63.1
2012년 09월	835.0	1,098.8	-263.8	-24.0
2012년 10월	363.9	404.3	-40.4	-10.0
2012년 11월	283.8	289.6	-5.8	-2.0
2012년 12월	159.0	171.0	-12.0	-7.0
2013년 01월	100.8	112.0	-11.2	-10.0
2013년 02월	180.5	190.0	-9.5	-5.0
2013년 03월	79.6	99.5	-19.9	-20.0
2013년 04월	51.0	65.2	-14.2	-21.8
2013년 05월	130.8	148.5	-17.7	-11.9
2013년 06월	15.0	0.0	15.0	-
2013년 07월	529.3	1,138.4	-609.1	-53.5
2013년 08월	188.0	353.2	-165.2	-46.8
2013년 09월	187.1	210.2	-23.1	-11.0
2013년 10월	203.2	225.8	-22.6	-10.0
2013년 11월	144.0	146.9	-2.9	-2.0
2013년 12월	113.9	122.5	-8.6	-7.0

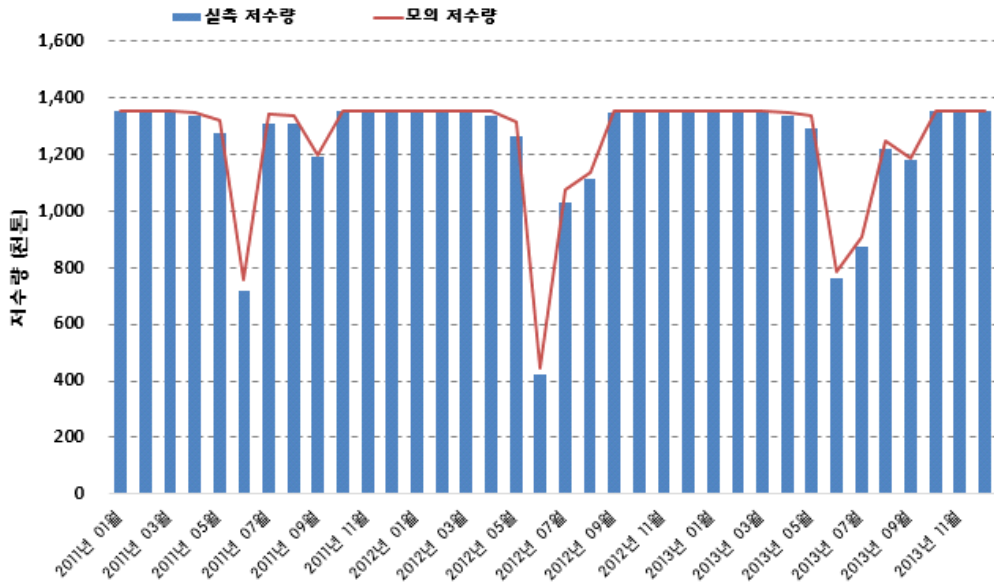
(표 4-13) 년도별 공급량 비교 (천톤)

년 도	실측 공급량 ①	모의 공급량 ②	공급량 편차 ① - ②	비 율 (%) ① / ②
2011년도	7,288.7	2,831.4	4,457.3	2.6
2012년도	7,560.3	3,332.0	4,228.3	2.3
2013년도	7,466.9	2,963.1	4,503.8	2.5
합 계	22,316.0	9,126.5	13,189.5	2.4

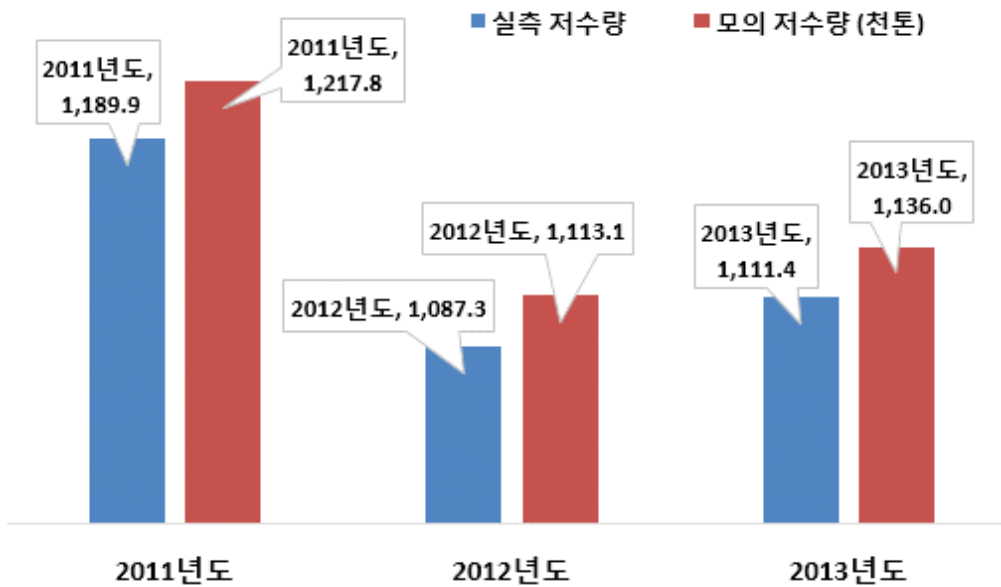
(표 4-14) 년도별 무효방류량 비교 (천톤)

년 도	실측 무효방류량 ①	모의 무효방류량 ②	무효방류량 편차 ① - ②	비 율 (%) (①-②)/②×100
2011년도	4,610.8	6,572.0	-1,961.2	-29.8
2012년도	2,736.5	3,482.0	-745.5	-21.4
2013년도	1,923.2	2,812.2	-889.0	-31.6
합 계	9,270.5	12,866.2	-3,595.7	-27.9

전체 모의기간 동안 모의 공급량은 실측 공급량에 비하여 과소 산정되고, 모의 무효방류량은 실측 무효방류량에 비하여 다소 많이 산정되는 경향을 나타내고 있다. 실측 공급량이 모의 공급량보다 평균 2.4배 많게 실측되었는데, 이는 정확한 실측 없이 총 관리손실 및 하천 유지유량을 고려한 관행적인 물공급 형태가 과잉공급의 원인으로 사료된다. 실측 무효방류량은 모의 무효방류량 보다 평균 28% 가량 적게 실측되었는데, 이는 관행적인 과잉 물공급 형태가 저수량의 감소를 초래한 것으로 판단된다.



<그림 4-34> 월별 모의 및 실측 저수량 비교



<그림 4-35> 년도별 모의 및 계측 저수량 비교 (4월 ~ 9월)

(표 4-15) 월별 저수량 비교 (천톤)

월	실측 저수량 ①	모의 저수량 ②	저수량 편차 ① - ②	비율 (%) (①-②)/②×100
2011년 01월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2011년 02월	1,351.4	1,354.1	-2.7	-0.2
2011년 03월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2011년 04월	1,336.6	1,351.5	-15.0	-1.1
2011년 05월	1,278.2	1,320.1	-41.8	-3.2
2011년 06월	716.9	757.0	-40.1	-5.3
2011년 07월	1,307.8	1,344.2	-36.4	-2.7
2011년 08월	1,307.2	1,334.9	-27.7	-2.1
2011년 09월	1,192.7	1,198.9	-6.3	-0.5
2011년 10월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2011년 11월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2011년 12월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 01월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 02월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 03월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 04월	1,337.6	1,353.2	-15.7	-1.2
2012년 05월	1,267.2	1,313.5	-46.3	-3.5
2012년 06월	424.2	442.1	-17.9	-4.0
2012년 07월	1,030.1	1,077.6	-47.5	-4.4
2012년 08월	1,113.5	1,137.9	-24.4	-2.1
2012년 09월	1,351.0	1,354.1	-3.1	-0.2
2012년 10월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 11월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 12월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 01월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 02월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 03월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 04월	1,336.8	1,351.2	-14.4	-1.1
2013년 05월	1,291.9	1,339.0	-47.1	-3.5
2013년 06월	764.8	786.1	-21.4	-2.7
2013년 07월	875.2	905.8	-30.7	-3.4
2013년 08월	1,220.2	1,247.0	-26.7	-2.1
2013년 09월	1,179.8	1,187.1	-7.3	-0.6
2013년 10월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 11월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 12월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2



(표 4-16) 년도별 저수량 비교 (4 ~ 9월) (천톤)

년 도	실측 저수량 ①	모의 저수량 ②	저수량 편차 ① - ②	비 율 (%) $(①-②)/② \times 100$
2011년도	1,189.9	1,217.8	-27.9	-2.3
2012년도	1,087.3	1,113.1	-25.8	-2.3
2013년도	1,111.4	1,136.0	-24.6	-2.2
평 균	1,129.5	1,155.6	-26.1	-2.3

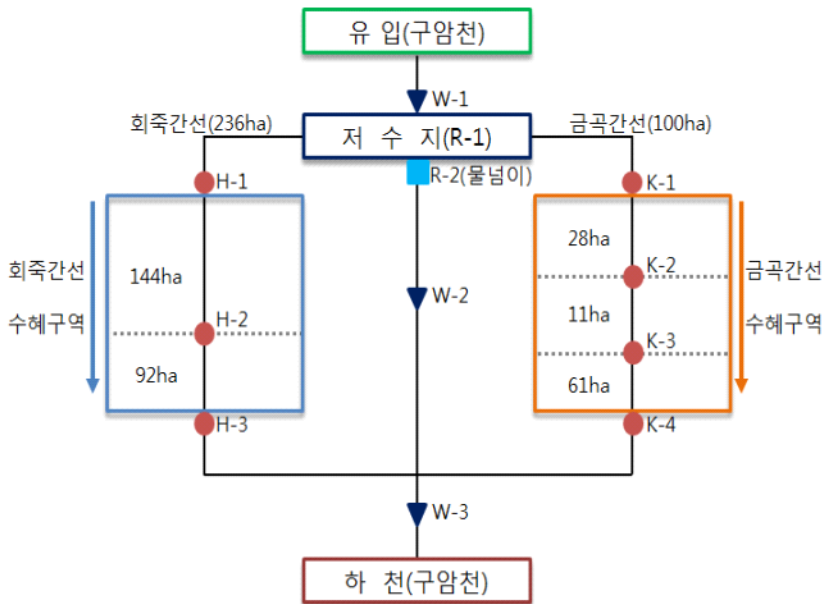
전체 모의기간에 걸쳐 비관개기에는 실측 저수량과 모의 저수량의 편차가 1% 이하로 미세한 차이를 보이고 있으며 4월부터 9월까지의 관개기에서는 실측 저수량이 모의 저수량보다 평균 2.3% 적게 실측되어 약 4만톤 이상의 차이를 보이고 있다.

모의 저수량이 실측값을 이용하여 산정된 저수량보다 다소 많게 추정되는 원인은, 저수지 물수지 분석의 가장 중요한 요소인 저수지 유입량, 관개용수량, 무효방류량의 추정 값이 실측값과 상이하게 모의되기 때문이다. 즉, 유역으로부터의 유입량이 Monitoring Network 운영으로 계측된 유입량보다 과다 산정되고, 관개용수량은 수혜지역의 필요수량과 동일한 값으로 산정되기 때문에 실제 관개용수량보다 과소 산정되기 때문에 모의 저수량이 과다 산정되고 있다. 특히, 비관개시기 보다 관개시기에 더욱 과다 산정되는 경향을 보이고 있어 효율적인 저수지 운영을 위해서는 Monitoring Network의 구축의 시급함을 확인하였다.

#### 다. 조용수량 및 손실수량 산정

대상지구의 Monitoring Network 운영에 의한 용수절감효과 분석을 위하여 관개지구 내의 실제 용수이용량인 조용수량 및 손실수량을 산정하였다. Monitoring Network 운영 이전에는 전형적인 물공급 이외에 관개지구 내에서의 용수이용량이나 하천으로 회귀되는 수량의 파악이 불가능하였다. 본 연구에서는 Monitoring Network 운영을 통하여 관개지구 내에서의 조용수량 및 손실수량을 산정하고, 이를 이용하여 용수절감효과를 분석하고자 한다.

HOMWRS 모형에 의한 대상지구의 전형적인 관개용수량 산정은 실제 물공급 형태를 고려하지 못하여 신뢰성 있는 관개용수량 산정이 불가능하였다. 하지만, Monitoring Network를 운영함으로써 유역으로부터 저수지로의 유입량, 공급량, 관개수로 유입부 및 중간부, 말단부의 유량을 측정함으로써 조용수량 및 손실수량의 산정이 가능하다. 다음 그림은 대상지구의 Monitoring Network 구축 모식도 이다.



<그림 4-36> Monitoring Network 구축 모식도

관개지구 내에서 실제로 소비되는 조용수량은 작물의 소비수량인 순용수량과 손실수량의 합을 의미하는데, 각 간선의 유입부 공급량에서 말단부 유량을 감하여 산정이 가능하고, 손실수량은 산정된 조용수량에서 순용수량을 감하여 산정할 수 있다. 여기서 작물이 소비하는 순용수량은 현실적으로 실측이 불가능하므로 모의에 의한 필요수량을 순용수량으로 사용하였다. 다음 표는 Monitoring Network 실측값을 이용한 수혜구역별 조용수량을 산정한 것이며 표 4-18는 조용수량에서 순용수량을 감한 손실수량을 산정한 것이다.

(표 4-17) 수해구역별 조용수량 산정(천톤)

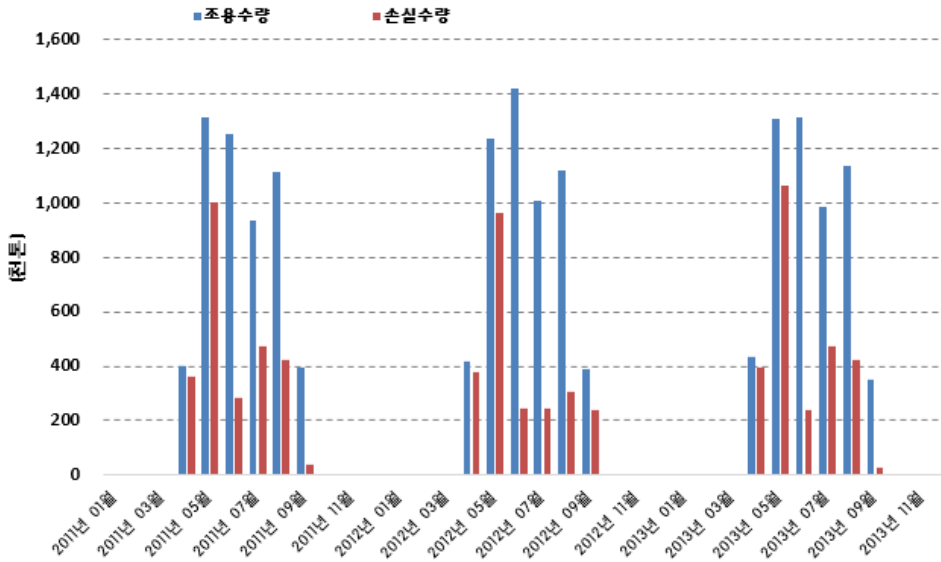
월	금곡 간선			회죽 간선		
	유입부 (K1)	말단부 (K4)	조용수량 (K1-K4)	유입부 (H1)	말단부 (H3)	조용수량 (H1-H3)
2011년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 04월	145.0	25.6	119.4	338.3	59.2	279.2
2011년 05월	547.4	167.1	380.3	1,169.2	231.6	937.7
2011년 06월	528.4	140.7	387.7	1,202.1	336.4	865.7
2011년 07월	444.6	161.5	283.1	1,037.4	385.5	651.8
2011년 08월	479.2	134.2	345.0	1,088.7	320.3	768.5
2011년 09월	219.1	64.1	155.0	342.2	101.0	241.2
2011년 10월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 11월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 12월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 04월	148.1	26.1	121.9	354.4	61.9	292.5
2012년 05월	528.1	170.7	357.4	1,096.3	216.5	879.8
2012년 06월	573.1	152.2	420.9	1,386.6	387.3	999.2
2012년 07월	475.3	172.7	302.5	1,128.5	421.0	707.5
2012년 08월	489.4	136.7	352.7	1,085.6	319.6	766.0
2012년 09월	217.9	63.8	154.0	337.3	99.4	237.8
2012년 10월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 11월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 12월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 04월	147.8	26.2	121.6	375.5	65.9	309.7
2013년 05월	559.1	180.7	378.4	1,166.0	236.4	929.6
2013년 06월	548.1	146.3	401.7	1,273.6	357.9	915.7
2013년 07월	468.1	170.1	298.0	1,094.3	407.4	686.9
2013년 08월	489.5	136.8	352.7	1,109.7	325.7	784.0
2013년 09월	193.2	56.4	136.8	299.3	88.2	211.1
2013년 10월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 11월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 12월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(표 4-18) 수혜구역별 손실수량 산정

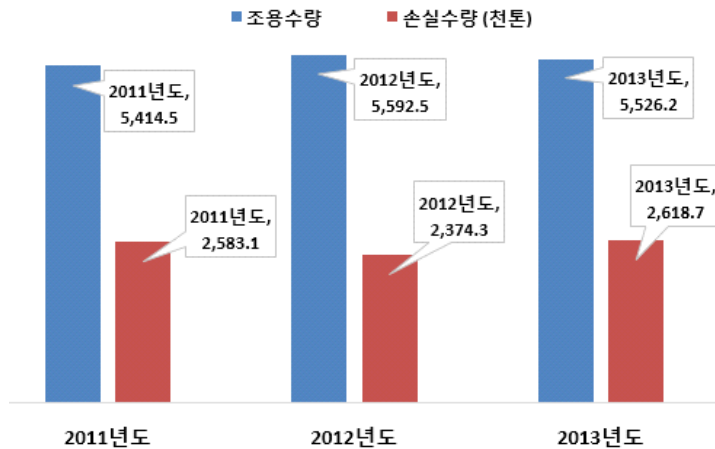
월	금곡 간선			회죽 간선		
	조용수량	손실수량	손실율 (%)	조용수량	손실수량	손실율 (%)
2011년 01월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 02월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 03월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 04월	119.4	104.2	87.2	279.2	256.3	91.8
2011년 05월	380.3	255.2	67.1	937.7	750.1	80.0
2011년 06월	387.7	0.3	0.1	865.7	284.6	32.9
2011년 07월	283.1	98.8	34.9	651.8	375.5	57.6
2011년 08월	345.0	68.2	19.8	768.5	353.3	46.0
2011년 09월	155.0	11.1	7.2	241.2	25.4	10.5
2011년 10월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 11월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 12월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 01월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 02월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 03월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 04월	121.9	107.3	88.0	292.5	270.5	92.5
2012년 05월	357.4	247.3	69.2	879.8	714.6	81.2
2012년 06월	420.9	10.9	2.6	999.2	236.0	23.6
2012년 07월	302.5	5.5	1.8	707.5	239.5	33.8
2012년 08월	352.7	27.2	7.7	766.0	277.8	36.3
2012년 09월	154.0	92.4	60.0	237.8	145.4	61.1
2012년 10월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 11월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 12월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 01월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 02월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 03월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 04월	121.6	106.9	87.9	309.7	287.6	92.9
2013년 05월	378.4	280.3	74.1	929.6	782.5	84.2
2013년 06월	401.7	3.7	0.9	915.7	235.3	25.7
2013년 07월	298.0	92.3	31.0	686.9	378.3	55.1
2013년 08월	352.7	67.0	19.0	784.0	355.4	45.3
2013년 09월	136.8	9.4	6.8	211.1	19.9	9.5
2013년 10월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 11월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 12월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-

(표 4-19) 년도별 조용수량 및 손실수량(천톤)

년 도	조용수량	손실수량	손실율 (%)
2011년도	5,414.5	2,583.1	47.7
2012년도	5,592.5	2,374.3	42.5
2013년도	5,526.2	2,618.7	47.4
평 균	5,511.1	2,525.4	45.8



<그림 4-37> 월별 조용수량 및 손실수량



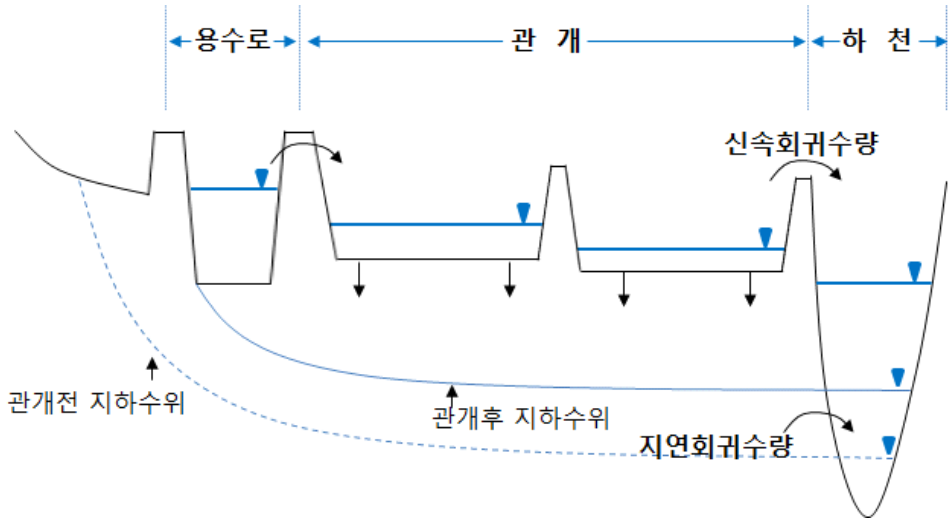
<그림 4-38> 년도별 조용수량 및 손실수량

Monitoring Network 운영을 통하여 실측된 공급량, 관개수로 유입부 및 말단부 유량을 이용하여 대상지구의 조용수량 및 손실수량을 산정한 결과, 조용수량은 공급량의 약 73%로 산정되었고 손실율은 평균 46%로 나타났다. 2011년도에는 조용수량 5백41만톤, 손실수량 2백58만톤으로 산정되었고, 2012년도에는 조용수량 5백59만톤, 손실수량 2백37만톤, 2013년도에는 조용수량 5백53만톤, 손실수량 2백62만톤으로 평균 조용수량은 5백51만톤, 손실수량은 2백53만톤으로 산정되었다.

농업생산기반설계기준 (농림부, 2002)에 의하면 관개수로의 손실을 약 15%, 관리손실율을 약 11%로 적용하여 용수손실율을 26% 정도로 추정하고 있는데, 대상지구의 손실율은 46%로 설계 기준보다 20% 이상 높게 산정되었다. 이러한 이유는 대상지구의 각 간선 중간부에 하천으로 방류하기 위한 방수문이 있는데, 과잉 공급이 될 경우 공급량을 조절하지 않고 방수문을 개방하여 하천으로 방류하고 있어 관리손실율이 설계기준보다 높은 것으로 판단된다.

## 나. 회귀수량 산정

회귀수량은 강우가 없고 물관리가 안정된 시기의 지표배수량만을 혹은 지표배수량과 심층침투량의 합 등으로 정의할 수 있으나, 본 연구에서는 지표배수량과 심층 침투량의 합으로 정의하기로 한다. 지표배수량은 다음 그림과 같이 비교적 빨리 하천으로 회귀하는 양으로 논두렁을 통하여 비교적 빨리 유출하는 논두렁 침투량을 포함하고 있으며, 신속회귀수량에 해당한다. 심층침투량은 논 아래로 심층 침투하여 오랜 시간을 걸쳐 하천으로 회귀하는 수량으로, 지연회귀수량에 해당한다. 즉, 회귀수량은 신속회귀수량과 지연회귀수량의 합으로 용수량 중 관개지구 내에서 증발산으로 소비되는 수량을 제외한 양이다.



<그림 4-39> 회귀수량 산정모식도

농업용수의 회귀율은 강우가 없고 물관리가 안정된 시기에 주수원공에서 공급된 관개용수량에 대한 지표배수나 침층침투를 통하여 하천으로 회귀되는 수량의 비율을 나타낸다. 회귀율  $R_f$  는 신속회귀율  $R_1$  과 지연회귀율  $R_2$  로 구성되는데 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$R_F = R_1 + R_2 = \frac{D_{out}}{D_{in}} + \frac{P}{D_{in}} \quad (1)$$

여기서,  $R_F$ 는 회귀율,  $R_1$ 는 신속회귀율,  $R_2$ 는 지연회귀율,  $D_{in}$ 은 관개용수량,  $D_{out}$ 은 지표배수량,  $P$ 는 침층침투량이다.

신속회귀율은 Monitoring Network 운영을 통하여 관개수로 유입부의 공급량과 말단부의 유량을 측정함으로써 산정이 가능하였다. 지연회귀율의 산정을 위해서는 대상지구의 토성, 감수심, 침투량, 증발산량 등 다양한 인자들이 필요한데 이러한 인자들은 현실적으로 실측이 어려운 실정이므로 모의에 의한 추정 및 문헌 조사에 의하여 산정하였다.



(표 4-20) 회귀수량 산정(천톤)

구분	공급량			배수량			침투량	회귀율 (%)			회귀수량
	K-1	H-1	계	K-4	H-3	계		신속회귀율	지연회귀율	계	
4월	146.9	356.1	503.0	26.0	62.3	88.3	87	17.5	17.3	34.8	175.3
5월	544.9	1143.8	1688.7	172.8	228.2	401.0	358	23.7	21.2	44.9	759.0
6월	549.8	1287.4	1837.3	146.4	360.5	507.0	492	27.6	26.8	54.4	999.0
7월	462.7	1086.7	1549.4	168.1	404.7	572.8	426	37.0	27.5	64.5	998.8
8월	486.0	1094.7	1580.7	135.9	321.9	457.8	419	29.0	26.5	55.5	876.8
9월	210.1	326.3	536.3	61.5	96.2	157.7	85	29.4	15.8	45.2	242.7
합계	2400.4	5295.1	7695.5	710.7	1473.8	2184.4	1867.0	28.4	24.3	52.6	4051.4

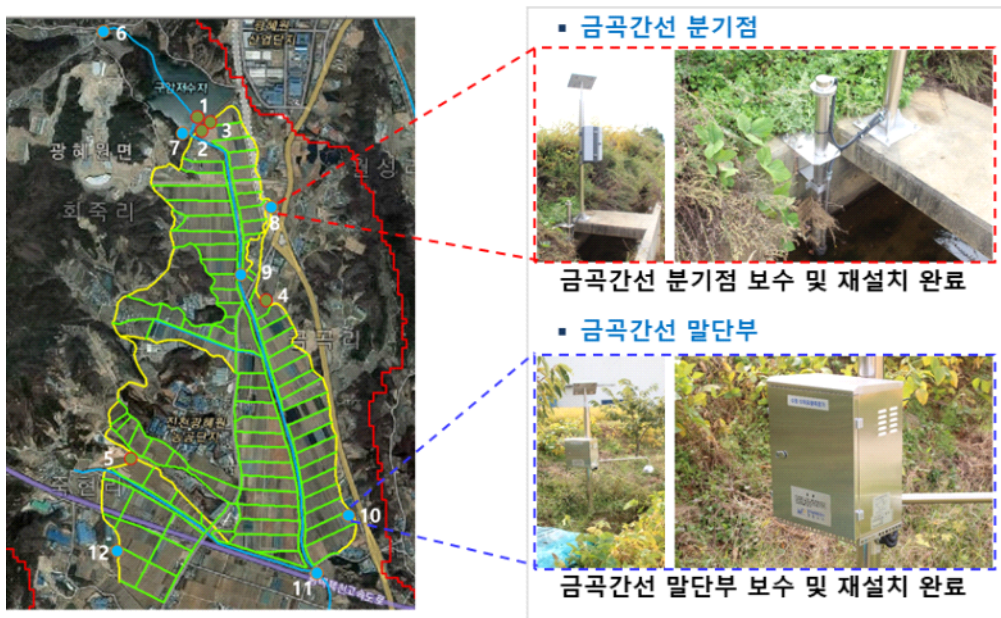
### 제3절 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영

#### 1. 계측장비 시범 운영

본 연구는 기존 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 수요/공급량 정량화를 위해 대상 지역인 무수저수지에 Monitoring Network를 구축하였다.

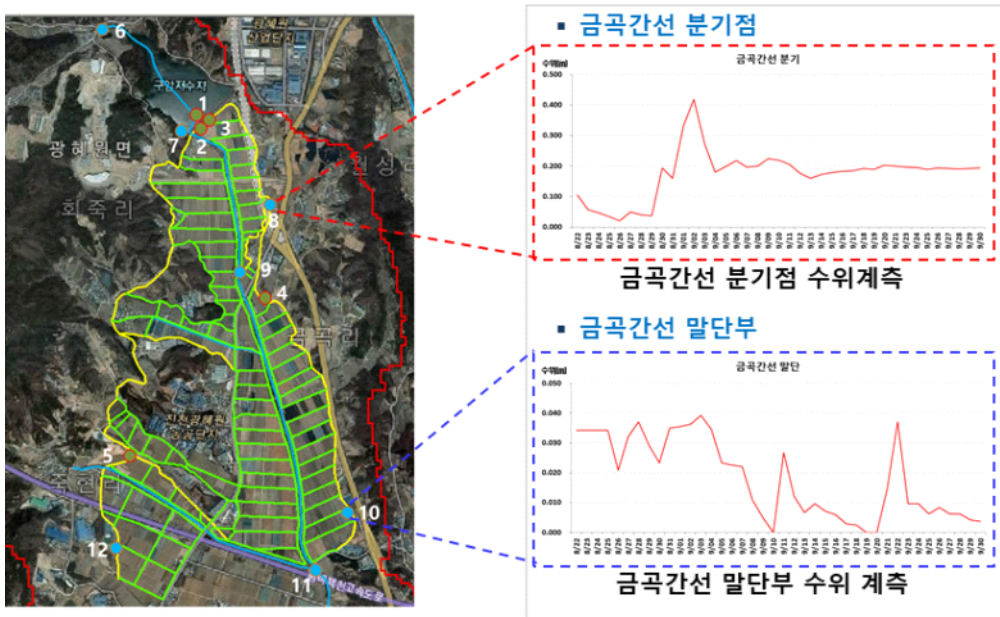
Monitoring Network 구축현황으로는 한국농어촌공사 진천지사에서 계획하는 취수탑(R-1), 금곡간선 방수문(K-1), 금곡배수문(K-3), 회죽간선 방수문(H-1), 만티배수문(H-2) 등 5개소와 시범 계측장비인 저수지 유입부(W-1), 저수지 물넘이(R-2), 금곡간선 분기점(K-2), 회죽교(W-2), 금곡간선 말단부(K-4), 사산교(W-3), 회죽간선 말단부(H-3) 등 7개소이다.

Monitoring Network 계측기 중 금곡간선 분기점과 금곡간선 말단부에 설치된 계측기의 부분보수가 필요하여 2019년 08월에 재설치를 완료하였다.



<그림 4-40> 계측장비 재설치

금곡간선 분기점과 말단부 수위는 2019년 08월 22일부터 현재까지 지속적으로 계측되고 있으며 2019년 9월 까지 계측 현황은 다음과 같다.



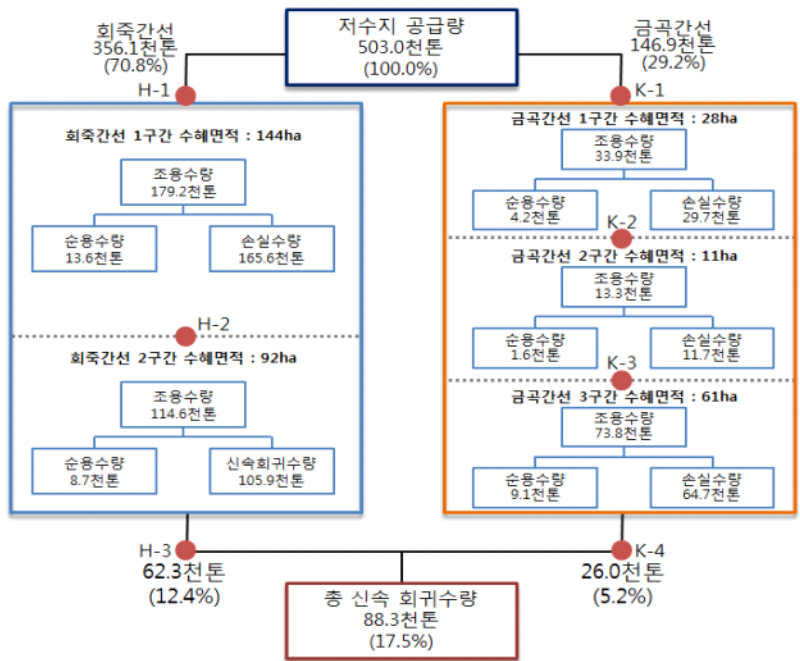
<그림 4-41> 수위 계측 현황

## 2. 계측자료를 이용한 용수절감효과 분석

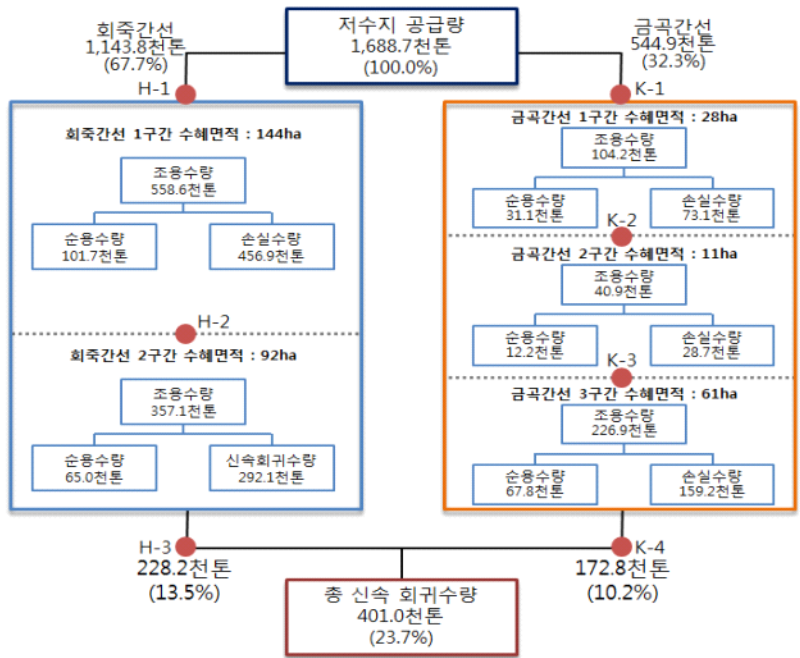
무수저수지 Monitoring Network의 구축·운영을 통하여 대상지구의 농업용수량을 산정하였고, 산정된 농업용수량을 이용하여 용수절감효과를 분석하고자 한다. 다음 표는 대상지구의 월별 농업용수량을 산정한 결과이며, 월별 농업용수량을 도식적으로 표현한 것이다.

(표 4-21) Monitoring Network 운영을 통한 농업용수 산정

항 목	연평균 농업용수 (천톤)					
	4월	5월	6월	7월	8월	9월
유입량	252.3	319.5	460.3	2,020.8	1,137.7	813.0
저수량	1,337.0	1,279.1	635.3	1,071.0	1,213.7	1,241.1
무효방류량	215.2	197.4	10.7	1,081.7	450.7	343.0
공급량	487.3	1,630.4	1,778.4	1,499.9	1,528.7	513.9
조용수량	414.8	1,287.7	1,330.3	976.6	1,123.0	378.7
순용수량	37.2	277.7	1,073.4	580.0	740.0	277.4
손실수량	377.6	1,010.0	256.9	396.6	383.0	101.2
회귀수량	175.3	759.0	999.0	998.8	876.8	242.7

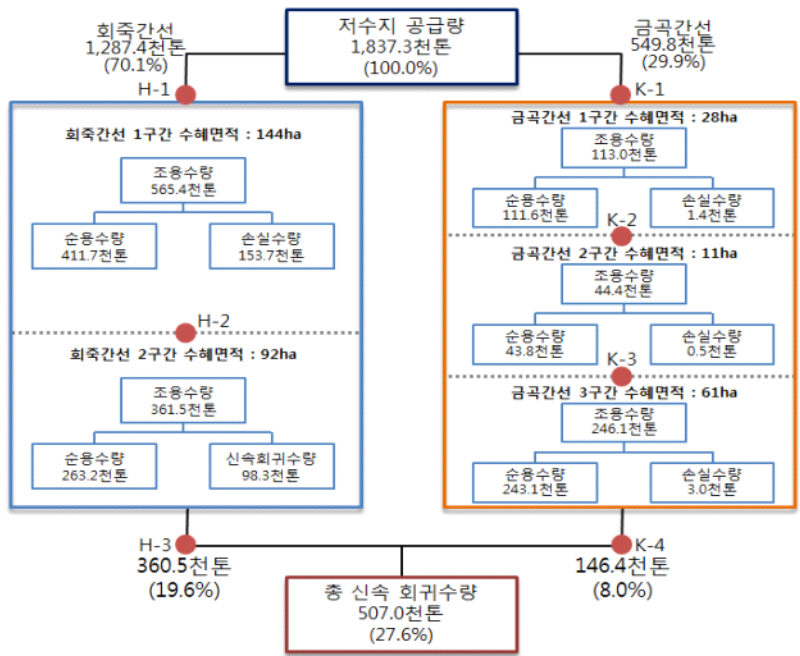


(a) 4월

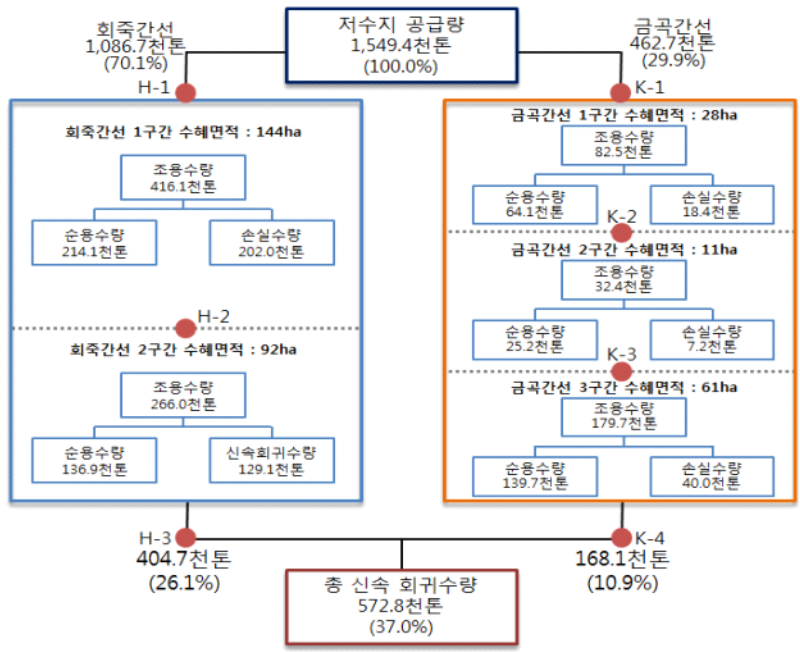


(b) 5월

<그림 4-42> 농업용수량 산정 (계속)

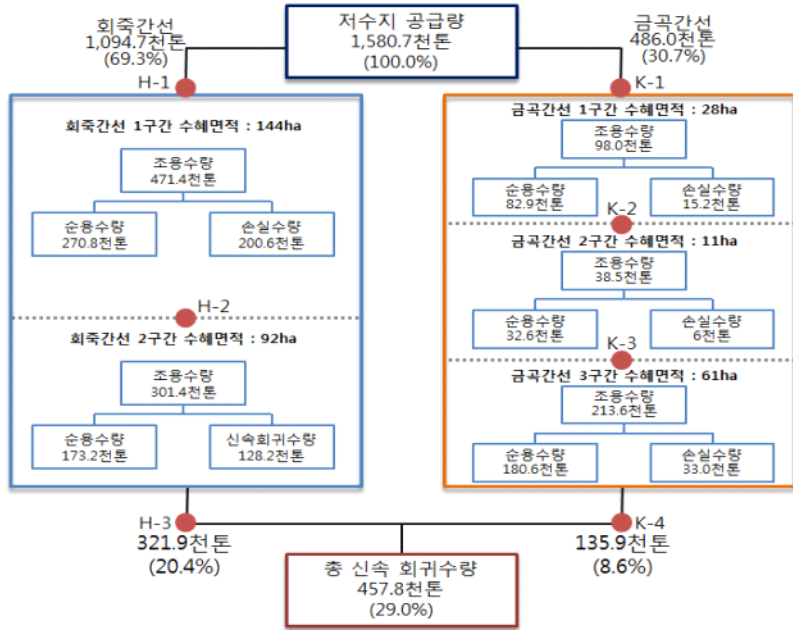


(c) 6월

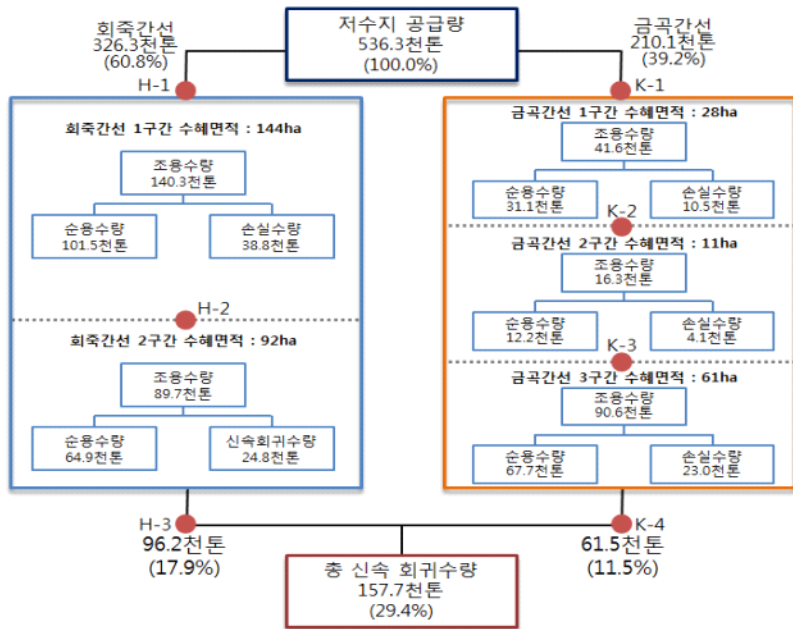


(d) 7월

<그림 4-42> 농업용수량 산정 (계속)



(e) 8월



(f) 9월

<그림 4-42> 농업용수량 산정

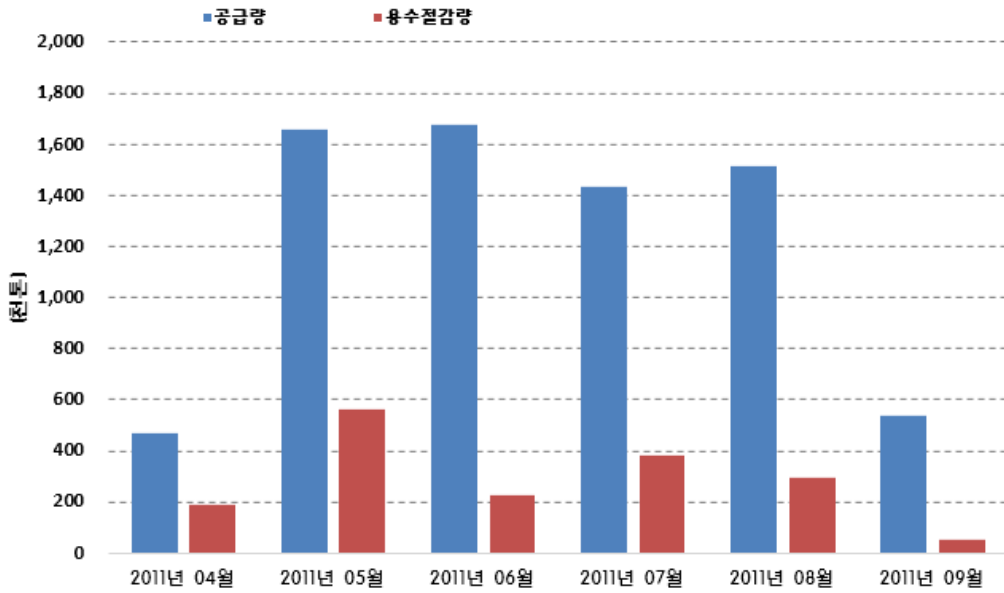
무수저수지 관개지역의 농업용수량 중 순용수량은 실제로 작물이 소비하는 수량이므로 순용수량을 절감하지 못하며 용수절감이 가능한 용수량은 손실수량과 회귀수량이다. 월별 산정된 농업용수량을 살펴보면, 손실율의 경우 10%부터 90%까지 월별로 다양한 손실율을 나타내고 있는데 이는 수로의 노후화로 인한 침투손실이나 송수손실 등이 아니라 대부분 관리 손실임을 알 수 있다. 즉, 대상지구의 간선수로 중간부에 공급량 조절을 위한 방수문이 설치되어 있으며 과잉 공급이 발생할 경우 초기 공급량을 조절하지 않고 방수문을 통하여 하천으로 방류하고 있는 실정이다.

회귀수량의 경우, 농업생산기반설계기준(농림부, 2002)에 의하면 농업용저수지는 대상하천의 갈수량을 기준으로 하천유지용수를 공급하도록 명시하고 있는데, 구암천의 갈수량과 무수저수지의 공급량 및 무효방류량을 고려할 때 10%를 초과하는 회귀수량은 용수절감이 가능하다. 이와 같이 손실수량과 회귀수량의 절감을 통하여 용수절감량을 산정할 수 있으며 본 연구에서는 월별 손실수량의 50%를 절감하고 회귀수량은 농업생산기반설계기준 회귀율보다 이상일 경우 그 차이만큼 절감하였다. 다음과 같은 식을 통하여 용수절감량의 계산이 가능하다.

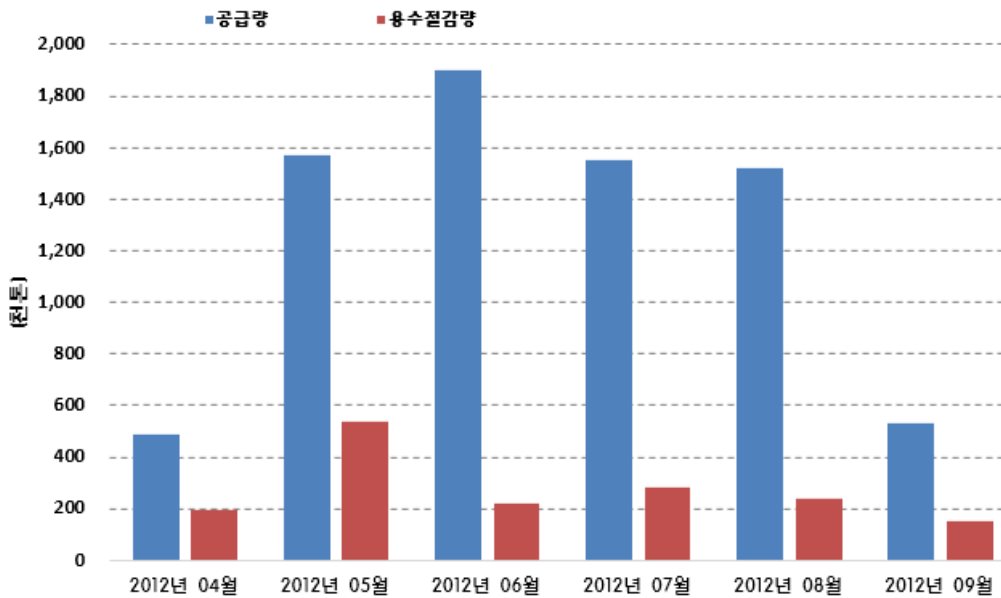
$$\begin{aligned}
 SW_y &= \sum SW_m & R R_m &> 10\% \\
 & & SW_m &= (L W_m \times 0.5) + (R W_m \times (R R_m - 10\%)) \\
 & & R R_m &< 10\% \\
 & & SW_m &= L W_m \times 0.5
 \end{aligned}$$

여기서,  $SW_y$ 는 해당 연도의 용수절감량,  $SW_m$ 는 해당 월의 용수절감량,  $LW_m$ 는 해당 월의 용수손실량,  $RW_m$ 는 해당 월의 회귀수량,  $RR_m$ 는 해당 월의 회귀율이다.

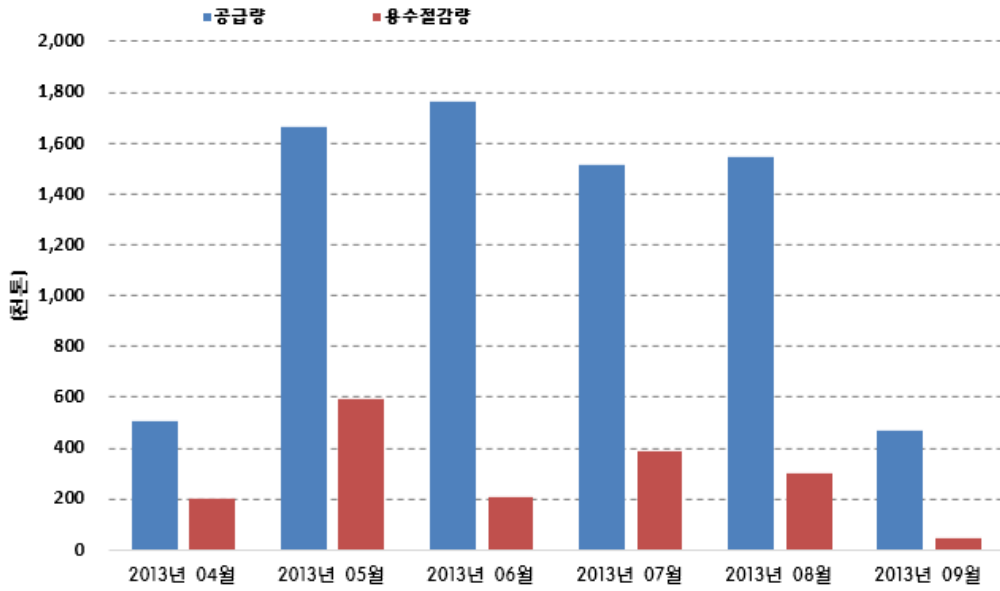




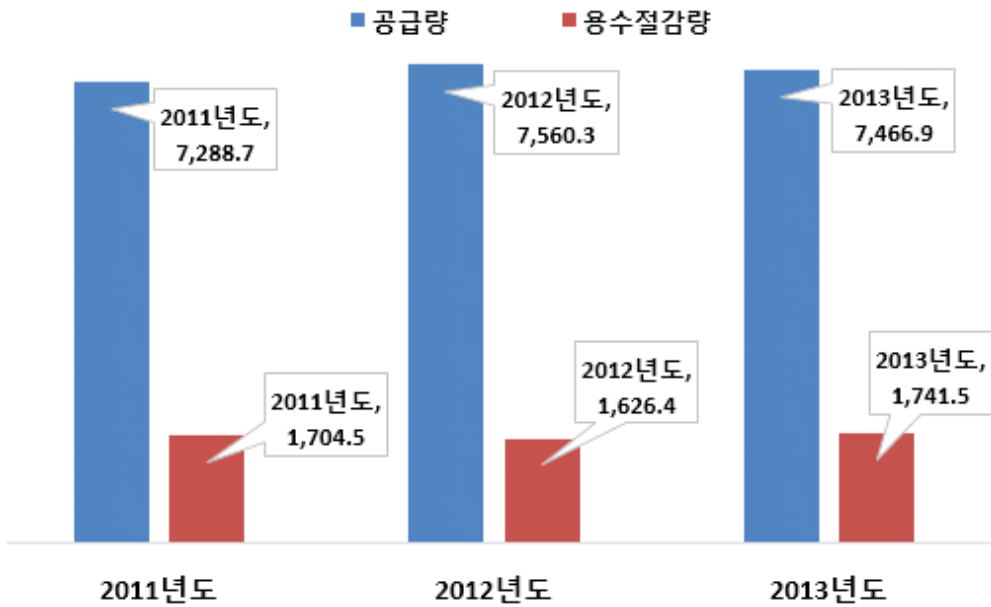
<그림 4-43> 용수절감효과(2011년)



<그림 4-44> 용수절감효과(2012년)



<그림 4-45> 용수절감효과(2013년)



<그림 4-46> 용수절감량

(표 4-22) 월별 용수절감효과(천톤)

월	공급량	용수절감량	용수절감율 (%)
2011년 01월	0.0	0.0	-
2011년 02월	0.0	0.0	-
2011년 03월	0.0	0.0	-
2011년 04월	467.8	186.6	39.9
2011년 05월	1,658.0	559.7	33.8
2011년 06월	1,674.0	226.3	13.5
2011년 07월	1,434.4	384.4	26.8
2011년 08월	1,516.7	297.1	19.6
2011년 09월	537.9	50.3	9.4
2011년 10월	0.0	0.0	-
2011년 11월	0.0	0.0	-
2011년 12월	0.0	0.0	-
2012년 01월	0.0	0.0	-
2012년 02월	0.0	0.0	-
2012년 03월	0.0	0.0	-
2012년 04월	486.7	195.5	40.2
2012년 05월	1,567.9	540.1	34.4
2012년 06월	1,898.3	218.1	11.5
2012년 07월	1,552.9	283.0	18.2
2012년 08월	1,522.6	239.1	15.7
2012년 09월	531.8	150.6	28.3
2012년 10월	0.0	0.0	-
2012년 11월	0.0	0.0	-
2012년 12월	0.0	0.0	-
2013년 01월	0.0	0.0	-
2013년 02월	0.0	0.0	-
2013년 03월	0.0	0.0	-
2013년 04월	507.5	204.3	40.3
2013년 05월	1,665.3	596.0	35.8
2013년 06월	1,763.0	208.7	11.8
2013년 07월	1,512.4	391.1	25.9
2013년 08월	1,546.8	298.8	19.3
2013년 09월	471.9	42.7	9.0
2013년 10월	0.0	0.0	-
2013년 11월	0.0	0.0	-
2013년 12월	0.0	0.0	-

(표 4-23) 년도별 용수절감량(천톤)

년 도	공급량	용수절감량	용수절감율 (%)
2011년도	7,288.7	1,704.5	23.4
2012년도	7,560.3	1,626.4	21.5
2013년도	7,466.9	1,741.5	23.3
평 균	7,438.7	1,690.8	22.7

위 그림은 월별 용수절감효과와 년도별 용수절감량 산정 결과를 나타낸 것이다.

손실수량과 회귀수량의 용수절감효과를 통하여 용수절감량을 분석한 결과, 2011년도에는 23.4%, 2012년도에는 21.5%, 2013년도에는 23.3%의 용수절감율이 산정되었는데, 평균 공급량 7백44만톤 중 약 23%인 1백69만톤의 용수절감효과를 나타내고 있다. 용수절감율은 4월에 약 40%로서 가장 큰 절감율이 산정되었고 9월에 약 10% 정도로 가장 작은 절감율이 산정되었다. 용수절감량은 공급량이 상대적으로 많은 5월부터 8월까지 약 1백50만톤 내외로 증가하고 있으며 4월 및 9월에는 약 50만톤 내외의 절감량을 나타내고 있다.

### 3. 경제성 분석을 통한 최적 계측 네트워크 구축 방안

#### 가. 용수절감량의 경제적 가치 평가

앞서 산정된 용수절감량의 경제적 가치를 평가하기 위하여, 농업용수의 공익적 가치를 평가하는 대표적인 방법인 대체비용법을 이용하여 경제적 가치를 평가하였다. 대체비용법은 평가대상 기능과 동등한 기능을 가진 다른 시장재에 의해 대체될 경우에 소요되는 비용에 따라서 평가하는 방법이다. 즉, 평가 대상이 시장에서 거래되는 대체 가능한 가격을 가지고 있는 모든 항목에 대하여 적용이 가능하며, Monitoring Network 운영을 통하여 산정된 용수절감량을 생활용수 및 농업용수로 대체할 경우 발생하는 경제적 가치에 대하여 대체비용법으로 평가하고자 한다.

상하수도 요금은 당해연도 물가를 고려하여 지자체별로 요율을 다르게 적용하고 있는데, 대상지구는 충청북도 진천군에 위치하고 있어 진천군 상하수도 요율을 적용하였다. 용수절감효과에 대한 경제적 가치를 평가하기 위하여 생활요금은 가정용 1단계 즉, 500원/톤을 적용하였고 공업용수는 일반 1단계 즉, 1,050원/톤을 적용하였는데 이는 용수절감효과의 경제적 가치가 과대평가 되는 것을 방지하기 위하여 가장 낮은 요율을 적용한 것이다. 다음 표는 현재 진천군에서 적용하고 있는 상수도 사용 요율표를 나타낸 것이다.

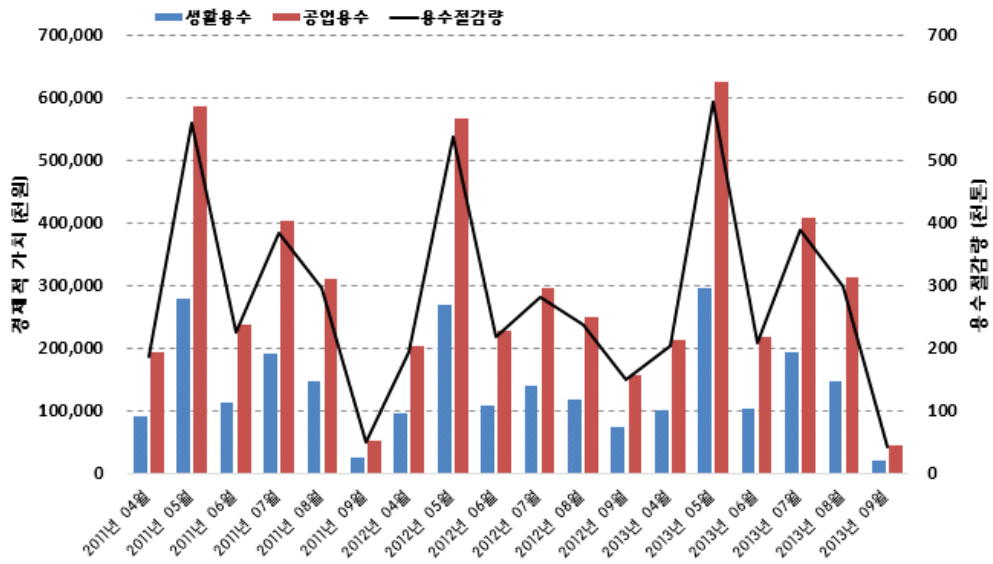
(표 4-24) 상수도 사용 업종별 요율표(진천군 상하수도 사업소, 2018)

업종		단계	사용량 (톤)	요금 (원/톤)
가정용		1단계	1 ~ 20	500
		2단계	21 ~ 30	780
		3단계	31 이상	1,190
일반용		1단계	1 ~ 30	810
		2단계	31 ~ 50	1,230
		3단계	51 ~ 100	1,620
		4단계	101 이상	2,080
육탕용		1단계	1 ~ 200	650
		2단계	210 ~ 300	1,040
		3단계	301 ~ 500	1,360
		4단계	501 이상	1,730
공업용	전용	1단계	1 ~ 200	380
		2단계	201 이상	640
	일반	1단계	1 ~ 200	1,050
		2단계	201 ~ 500	1,340
		3단계	501 이상	1,690

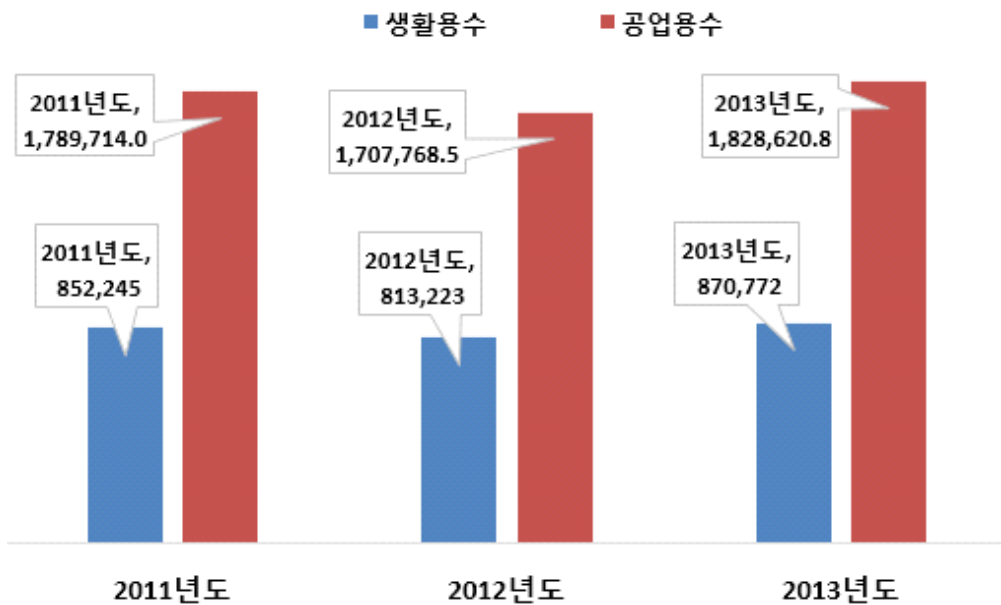
다음 표는 용수절감량을 생활용수로서 대체할 경우 톤당 500원으로 적용하여 경제적 가치를 평가한 것이며, 공업용수로 대체할 경우 톤당 1,050원으로 적용한 것이다.

(표 4-25) 용수절감효과의 경제적 가치(천원)

월		용수절감량 (천톤)	경제적 가치 (생활용수)	경제적 가치 (공업용수)
2011 년도	2011년 04월	186.6	93,311	195,954
	2011년 05월	559.7	279,839	587,663
	2011년 06월	226.3	113,171	237,660
	2011년 07월	384.4	192,202	403,625
	2011년 08월	297.1	148,546	311,947
	2011년 09월	50.3	25,175	52,867
	합 계	1,704.5	852,245	1,789,714
2012 년도	2012년 04월	195.5	97,753	205,282
	2012년 05월	540.1	270,067	567,141
	2012년 06월	218.1	109,049	229,002
	2012년 07월	283.0	141,489	297,126
	2012년 08월	239.1	119,574	251,106
	2012년 09월	150.6	75,292	158,112
	합 계	1,626.4	813,223	1,707,768
2013 년도	2013년 04월	204.3	102,132	214,476
	2013년 05월	596.0	298,012	625,825
	2013년 06월	208.7	104,370	219,178
	2013년 07월	391.1	195,529	410,611
	2013년 08월	298.8	149,392	313,723
	2013년 09월	42.7	21,338	44,809
	합 계	1,741.5	870,772	1,828,621



<그림 4-47> 월별 용수절감효과의 경제적 가치



<그림 4-48> 년도별 용수절감효과의 경제적 가치

(표 4-26) 년도별 용수절감효과의 경제적 가치(천원)

년 도	용수절감량 (천톤)	생활용수	공업용수
2011년도	1,704.5	852,245	1,789,714
2012년도	1,626.4	813,223	1,707,768
2013년도	1,741.5	870,772	1,828,621
평 균	1,690.8	845,413	1,775,368

Monitoring Network 운영에 따른 용수절감효과에 대한 경제적 가치를 평가하기 위하여 농업용수의 용수절감량을 생활용수 및 공업용수로 전환할 경우 발생하는 경제적인 가치를 대체비용법으로 산정하였다. 연평균 용수절감량인 1백69만톤을 생활용수로 전환할 경우 약 8억4천5백만원/년의 경제적 가치를 가지고 있으며, 공업용수로 전환할 경우 약 17억7천5백만원/년의 경제적 가치를 가지고 있는 것으로 평가되었다.

매년 5월의 용수절감량이 가장 많이 발생되었으며 이에 따라 경제적 가치가 가장 높게 평가되었다. 2011년 5월에는 생활용수로의 경제적 가치가 약 2억8천만원, 공업용수로의 경제적 가치는 5억8천8백만원으로 평가되었고, 2012년 5월에는 생활용수 2억7천만원, 공업용수 5억6천7백만원, 2013년 5월에는 생활용수 약 3억원, 공업용수 6억2천6백원으로 가장 높은 경제적 가치가 평가되었다.

#### 나. 무효방류량의 경제적 가치 평가

무효방류량은 저수위가 일정 수위 이상이 되면 물넘이를 통하여 자연적으로 배출되는 양으로서, 공급량이나 필요수량 등과 같은 수량과 달리 사용되지 못하는 수량으로 인식되어 일반적인 농업용 저수지에서는 무효방류량을 실측하지 않는 실정이다.

본 연구에서는 Monitoring Network 구축을 통하여 무효방류량을 실측하였고, 실측된 무효방류량의 소수력 발전 부존 가치를 평가하고자 한다. 이재혁(2013)은 가동보에서의 소수력 발전 부존량을 평가하기 위하여 가동보와 연계한 소수력 발전 설계모형인 Weir-HydroGen을 개발하였는데, 본 연구에서는 이 모형을 이용하여 소수력 발전 부존가치를 평가하였다.



무효방류량은 저수지 운영에 의하여 그 양이 결정되지만 기본적으로 하천의 유입량이 증가하면 무효방류량도 증가하고 하천의 유입량이 감소하면 무효방류량 역시 감소하여 하천 유량과 비슷한 거동을 보이고 있다. 따라서 무효방류량의 유황곡선 분석에 의하여 소수력 발전에 사용되는 발전사용수량을 산정할 수 있다. 산정된 발전사용수량과, 유효낙차, 총 효율을 이용하여 발전시설용량을 산정하였다. 유효낙차는 여수로의 낙차 높이인 2m를 적용하였고 총 효율은 일반적인 소수력 발전 설계에서 사용하는 0.8을 사용하였다.

(표 4-27) 실측 무효방류량의 발전사용수량 및 발전시설용량 산정

대상 지구	유효낙차 (m)	발전사용수량 (CMS)		발전시설용량 (kW)
		평균량	1.82	
무수저수지	2.0	갈수량의 3배	0.30	9.4
		유황곡선의 26%	4.23	132.7

발전사용수량은 일반적으로 유황곡선에서의 평균량, 갈수량의 3배, 유황곡선의 26% 값을 사용하는데, 본 연구에서는 무효방류량의 경제적 가치의 과다 산정을 방지하기 위하여 가장 작은 값인 0.3CMS를 사용하였고, 그때의 발전시설용량은 9.4KW로 산정되었다. Weir-HydroGen 모형을 이용하여 경제성 분석을 실시하였는데, 본 모형은 가동보와 연계한 소수력 발전 설계 모형이므로 가동보의 건설비용은 입력하지 않았으며 소수력 발전을 위한 관련 설비비용을 초기 투자비용으로 산정하였다. 또한, 수자원 관련 시설물에서 가장 일반적으로 사용하는 B/C(비용-편익) 방법으로 경제성을 평가하였다.

Economic Analysis Module

Select Project Option

For Existing Project - Economic analysis for existing hydro-power generation facility

For Plan Project - Economic analysis for future plan to construct facility project

Economic Analysis Method

BC (Benefit Cost Ratio)  NPV (Net Present Value)  IRR (Internal Rate of Return)

Dam or Weir Construction Cost (Cd)

Existing :  won Plan : Dam height  m  
 Dam length  m

Turbine Facility Cost (Cm)

Existing :  won Plan : Facility capacity  kW  
 Designed head  m

Power Facility Cost (Ctr)

Existing :  won Plan : Facility capacity  kW

Power Line Cost (Ci)

Existing :  won Plan : Power line length  km

Initial Investment Cost (Ci)

Existing :  won Plan :  $((Cd + Cm + Ctr + Ci) * 1.1) * 1.2$

Total Investment Cost after N years (Cc)

Existing :  won Plan : Maintenance rate  %  
 Interest rate  %  
 Operating years  years

Total Grosses after N years (Cg)

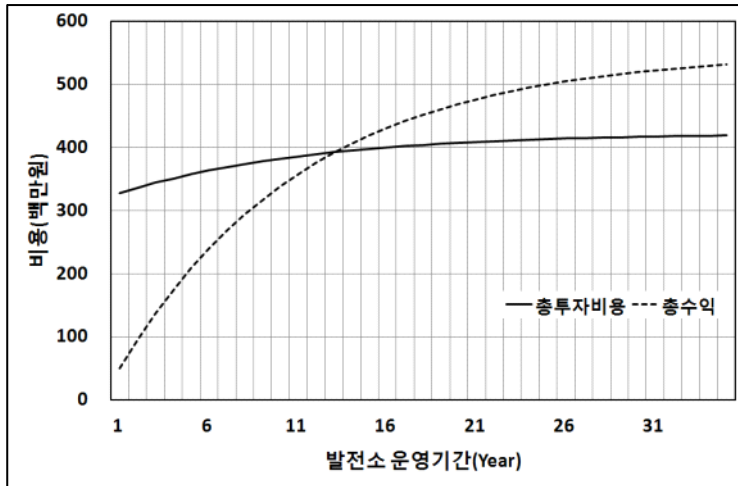
Existing :  won Plan : Generation per year  kWh  
 Price per kWh  won

**Economic Analysis** **Cancel**

<그림 4-49> Weir-HydroGen 모형의 경제성 분석 모듈

(표 4-28) 경제성 분석 결과

구 분	비 용 (천원)
수차발전 설비비용	135,356
변전설비비	41,180
송전선로 공사비	27,000
초기투자비	289,098
총투자비용	419,216
총수익	531,408
회수기간 (년)	14
B/C	1.27



<그림 4-50> 투자비용 회수기간

Weir-HydroGen 모형을 이용하여 무효방류량의 소수력 발전에 대한 경제적 가치를 평가한 결과, 총 투자비용은 약 4억2천만원으로 추정되었고 평가기간 35년 동안 총 수익은 약 5억3천만원으로 편익-비용 지표인 B/C 값이 1.27로 산정되었고 투자비용 회수기간은 14년으로 분석되어 무효방류량의 소수력 발전에 대한 경제적 가치가 확보된 것으로 평가되었다.

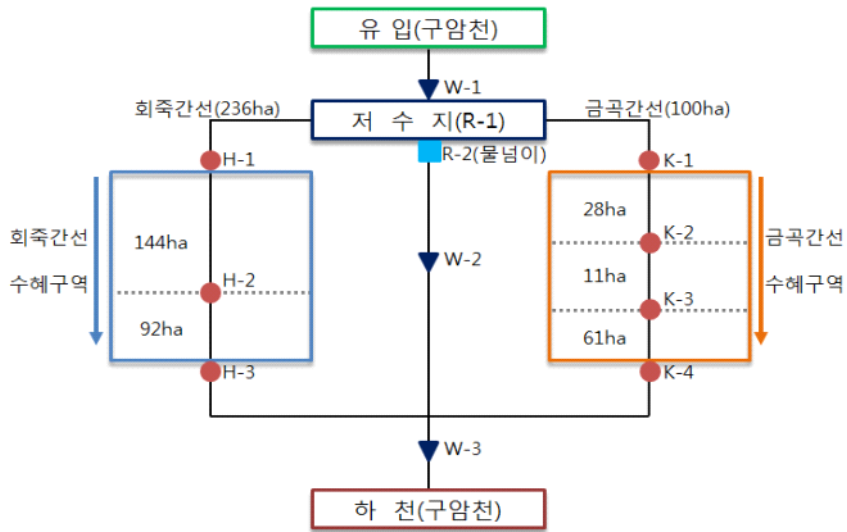
## 다. Monitoring Network 최적 규모결정 기법 개발

### 1) Monitoring Network 규모별 용수절감 효과 분석

Monitoring Network의 최적 설계 및 규모에 따라 용수절감량의 산정 가능 범위가 달라진다. 즉, 간선 수로 유입부에만 수위계를 설치할 경우 취수탑에서 취수되어 간선수도로 공급되는 공급량의 파악은 가능하지만 공급된 수량이 관개지구 내에서 이용되는 양이나 손실되는 양, 하천으로의 배출되는 수량 등의 파악은 불가능하다. 즉 농업용수 인자 중에서 공급량만 파악이 가능하고 조용수량, 순용수량, 손실수량, 회귀수량의 파악은 불가능하다.

또한, 간선 수로의 유입부와 관개지역 내에만 수위계를 설치할 경우 간선 수로로 공급되는 공급량과 관개지역 내에 설치된 수위계 설치 위치까지의 농업용수량의 파악이 가능하지만 수위계 설치지점 이후의 농업용수량과 회귀수량의 파악은 불가능하다. 이렇게 관개지역과 간선 수로의 수위계 설치 개수에 따라서 산정할 수 있는 농업용수량의 정보가 달라지며 용수절감효과 역시 달라진다.

본 대상지구의 수혜지역에는 유량계측을 위한 총 7개의 수위계가 설치되어 있는데 금곡간선에 4개, 회죽간선에 3개의 수위계가 설치되어 있다. 각 간선별로 유입부, 중간부, 말단부에 수위계를 설치함으로써 수위계 설치 구간별 조용수량, 순용수량, 손실수량의 산정이 가능하며 과잉 공급되는 관개용수량을 파악하여 용수절감효과의 분석이 가능하였다. 대상지구 에 설치된 수위계 개수를 변화시켜 Monitoring Network 규모별 용수절감 효과를 분석하고 규모별 경제성 분석을 통하여 최적 규모결정 기법을 개발하고자 한다.



<그림 4-51> 평야부 Monitoring Network 구축 현황

위 그림의 모식도에서 볼 수 있듯이 금곡간선에는 유입부 (K-1), 중간부 (K-2, K-3), 말단부 (K-4)에 수위계가 설치되어 있으며, 회죽간선에는 유입부 (H-1), 중간부 (H-2), 말단부 (H-3)에 수위계가 설치되는 등 관개지구 내에 총 7개소를 설치하여 Monitoring Network를 구축하였다.

Monitoring Network를 운영함으로써 관개지구의 농업용수량을 산정하고 하천으로 배출되는 회귀수량 및 손실되는 수량에 대한 용수절감량을 산정할 수 있었다. 경제성 분석을 통한 Monitoring Network 최적 규모를 결정하기 위하여 Monitoring Network 규모에 따른 용수절감효과를 분석하였고, 이를 위하여 7개의 측정지점 개수를 임의로 줄여 설치지점 개수별 용수절감효과를 분석하고자 한다. 아래 표는 설치지점 개수에 따른 용수절감효과 분석 시나리오를 나타낸 것이다.

(표 4-29) Monitoring Network 규모별 용수절감효과 분석 시나리오

시나리오 (수위계 설치지점 개수)		Monitoring Network 설계			용수절감효과 분석 가능 범위
		구분	회죽	금곡	
S-1	유입부	○	○	유입부에만 설치 중간부 및 말단부 미설치 공급량만 파악 가능 용수절감효과 분석 불가능	
	중간부	×	×		
	말단부	×	×		
S-2	S-21	유입부	○	○	유입부 및 중간부 설치 말단부 미설치 손실수량 파악 가능 회귀수량 파악 불가능
		중간부	○	○	
		말단부	×	×	
	S-22	유입부	○	○	유입부 및 중간부 설치 말단부 미설치 손실수량 파악 가능 회귀수량 파악 불가능
		중간부	○	○	
		말단부	×	×	
S-3	유입부	○	○	유입부, 중간부, 말단부 설치 손실수량 파악 가능 회귀수량 파악 가능	
	중간부	○	○		
	말단부	○	○		
<p>○ : 수위계 설치                      × : 수위계 미설치                      S-1 : 각 간선수로의 유입부에만 Monitoring Network를 구축한 경우                      S-2 : 각 간선수로의 유입부 및 중간부에 Monitoring Network를 구축한 경우                      S-3 : 각 간선수로의 유입부, 중간부, 말단부에 Monitoring Network를 구축한 경우</p>					

S-1 (시나리오 1)은 각 간선 수로의 유입부에만 Monitoring Network를 구축한 경우로서 각 간선 수로로 유입되는 유입량 즉, 공급량만 파악이 가능하고 관개지구 내에서의 물소비량과 회귀수량의 파악이 불가능하여 용수절감효과를 분석할 수 없다.

S-2 (시나리오 2)는 각 간선 수로의 유입부 및 중간부에 구축한 경우로서 각 간선 수로로 유입되는 공급량뿐만 아니라 중간부에 설치된 수위계 설치지점까지의 물소비량을 산정할 수 있다. 즉, 수위계 설치지점까지의 구간별 손실수량의 파악이 가능하여 용수절감효과를 분석할 수 있다. 하지만 회귀수량의 파악이 불가능하여 회귀수량에 대한 용수절감효과는 분석이 불가능하다.

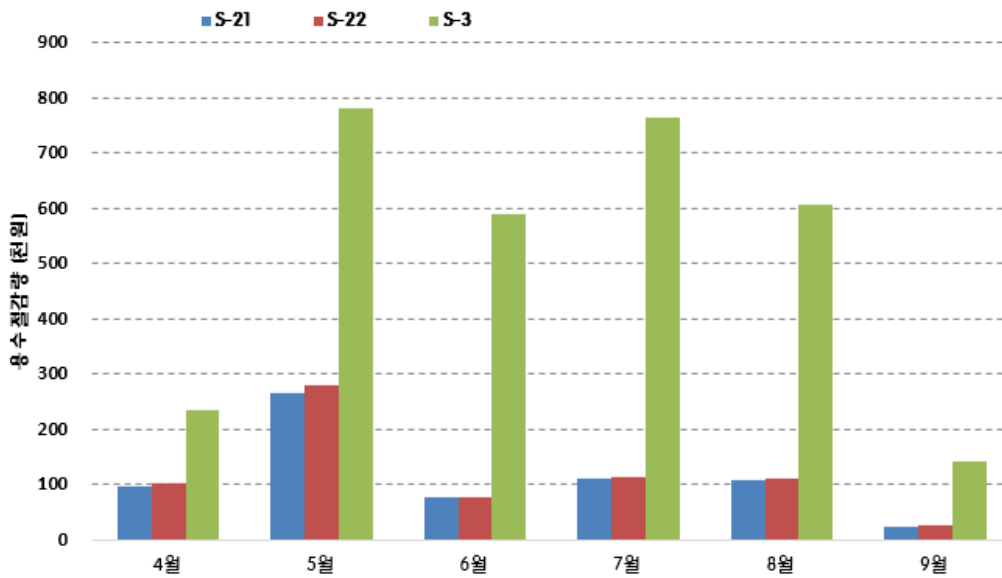
S-3 (시나리오 3)은 각 간선 수로의 유입부, 중간부, 말단부 모두에 구축한 경우로서 각 간선 수로로의 공급량, 구간별 손실수량, 말단부의 회귀수량 모두 파악이 가능하여 손실수량 및 회귀수량에 대한 용수절감효과를 분석할 수 있다.

이와 같이 설정된 Monitoring Network 규모별 시나리오에 대한 용수절감효과를 분석하고, 각 시나리오별 용수절감효과 분석 결과를 토대로 경제성 분석을 실시하여 Monitoring Network 규모를 결정하고자 한다. 다음 표는 관개시기인 4월부터 9월까지 연평균 자료를 이용하여 Monitoring Network 규모별 시나리오에 의하여 산정된 손실수량 및 회귀수량에 대한 용수절감효과를 분석한 것이며, 각 시나리오별로 4월부터 9월까지의 총합을 표시하여 시나리오별 용수절감효과를 나타낸 것이다.

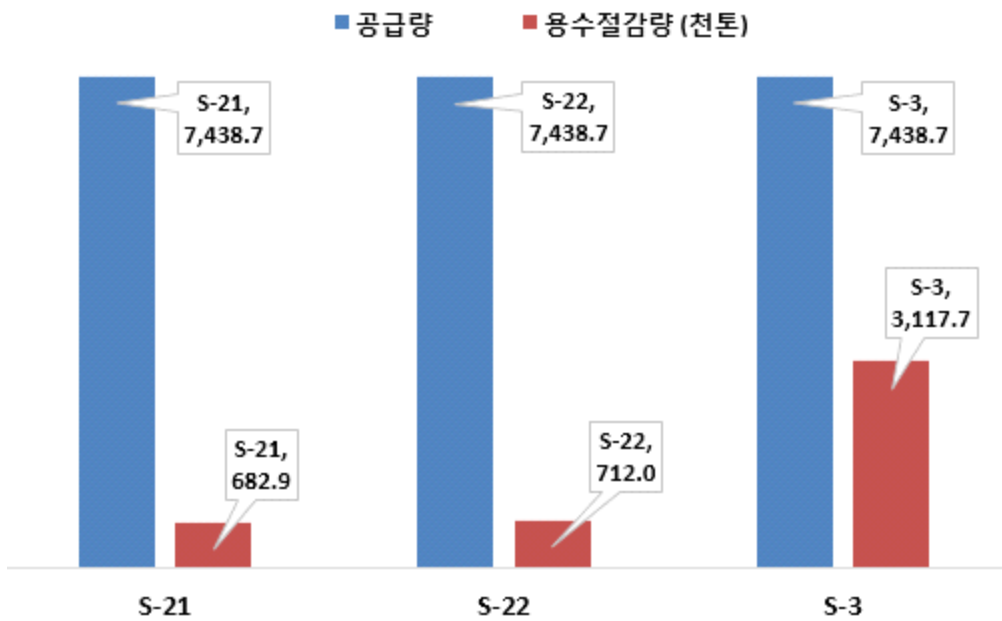
(표 4-30) Monitoring Network 규모별 용수절감효과 분석(천톤)

시나리오	월	공급량	손실량	회귀 수량	용수 절감량	용수절감율 (%)	
S-1	4	487.3	-	-	-	-	
	5	1,630.4	-	-	-	-	
	6	1,778.4	-	-	-	-	
	7	1,499.9	-	-	-	-	
	8	1,528.7	-	-	-	-	
	9	513.9	-	-	-	-	
S-2	S-21	4	487.3	195.3	-	97.7	20.0
		5	1,630.4	530.0	-	265.0	16.3
		6	1,778.4	155.1	-	77.5	4.4
		7	1,499.9	220.3	-	110.2	7.3
		8	1,528.7	215.7	-	107.9	7.1
		9	513.9	49.3	-	24.7	4.8
	S-22	4	487.3	207.0	-	103.5	21.2
		5	1,630.4	558.7	-	279.3	17.1
		6	1,778.4	155.6	-	77.8	4.4
		7	1,499.9	227.5	-	113.8	7.6
		8	1,528.7	221.7	-	110.9	7.3
		9	513.9	53.5	-	26.7	5.2
S-3	4	487.3	377.6	175.3	234.3	48.1	
	5	1,630.4	1,010.0	759.0	782.4	48.0	
	6	1,778.4	256.9	999.0	589.7	33.2	
	7	1,499.9	396.6	998.8	763.6	50.9	
	8	1,528.7	383.0	876.8	606.7	39.7	
	9	513.9	101.2	242.7	141.0	27.4	





<그림 4-52> 월별 용수결감량



<그림 4-53> 시나리오별 용수결감량

(표 4-31) 시나리오별 용수절감효과 분석 (천톤)

시나리오	공급량	손실량	회귀수량	용수절감량	용수절감율 (%)	
S-1	7,438.7	-	-	-	-	
S-2	S-21	7,438.7	1,365.8	-	682.9	9.2
	S-22	7,438.7	1,424.0	-	712.0	9.6
S-3	7,438.7	2,525.4	4,051.6	3,117.7	41.9	

S-1은 각 간선 수로의 유입부에만 수위계를 설치하므로 간선으로의 공급량만의 산정이 가능하여 용수절감효과를 분석할 수 없다. S-21은 간선 수로의 유입부 및 회죽간선의 중간부, 금곡간선의 중간부에 설치한 것으로 각 간선의 수위계 설치지점까지의 손실량을 산정할 수 있고 손실량에 대한 용수절감효과를 분석한 결과 총 공급량 7백44만톤 중 용수절감량은 68만톤으로 산정되어 9.2%의 용수절감효과를 나타내었다.

S-22는 S-21 시나리오에서 금곡간선 중간부에 1개소를 추가한 것으로 회죽간선의 손실수량에 대한 용수절감량은 동일하고 금곡간선 중간부에 1개소 추가한 구간에서의 손실수량에 대한 용수절감량이 추가되었다. 그 결과 총 공급량 7백44만톤 중 용수절감량은 71만톤으로 산정되어 9.6%의 용수절감효과를 나타내어 S-21 시나리오에 비해 0.4% 증가하였다.

S-3은 대상지구에 구축되어 있는 Monitoring Network와 동일한 시나리오로서 공급량 및 관개지구의 소비량, 손실수량, 회귀수량의 산정이 가능하여 손실수량 및 회귀수량에 대한 용수절감효과를 분석하였다. 그 결과 총 공급량 7백44만톤 중 용수절감량은 3백12만톤으로 산정되어 약 42%의 용수절감효과를 나타내어 본 대상 지구는 관개지구에서 소비하고 남은 회귀수량이 많은 지역으로 공급량이 과잉 공급되고 있음을 확인할 수 있다.

## 2) 경제성 분석에 의한 Monitoring Network 규모 결정

신규 대상지역에 Monitoring Network를 구축할 경우 그 규모를 결정하기 위하여 경제성 분석을 통하여 즉, Monitoring Network 규모와 규모에 따른 용수절감효과의 경제적 가치를 고려하여 규모를 결정하고자 한다. 경제성 분석은 사업기간에 따른 할인율이 적용된 총 비용과 운영기간에 따른 총 편익을 산정하여 총 비용 대비 총 편익의 발생량을 평가하여 사업의 경제적인 타당성을 분석하기 위하여 사용된다.

농업분야에서 수행되었던 경제성 분석 연구는 물관리자동화 사업에 따른 경제성 분석 (농어촌연구원, 2006), 농업용수의 공익적 효과에 따른 경제성 분석 (농림부, 2007), 대체비용법을 이용한 댐 증고 사업에 따른 수질개선 경제성 분석 (조은희, 2012), 논 농업용수의 외부효과에 따른 경제성 분석 (김 등, 2010) 등이 수행되었는데, Monitoring Network 구축 및 운영에 따른 경제성 분석 연구는 전무한 실정이다.

경제성 분석에서 주로 사용되는 분석방법으로는 사업기간에 따른 할인율이 적용된 총비용과 총편익의 차인 순현재가치 (NPV, Net Present Value), 할인된 총편익과 총비용의 비율인 비용편익비 (B/C, Benefit/Cost ratio), 할인된 총비용과 총편익이 같아지는 내부수익율 (IRR, Internal Rate of Return) 등이 사용된다. 이 이외에 평균수익률 (ARR, Average Rate of Return)이나 반환기간 산정법 (PB, Pay Back period) 등이 있다.

본 연구의 경제성 분석 방법으로, 공공사업에 적용이 가능하고 편익의 발생으로 인한 사업의 손익분기점을 제시할 수 있는 비용-편익 (B/C, Benefit-Cost) 방법을 사용하였고, 분석 대상지구인 관수로 지구의 유지관리비용 자료의 부재로 인하여 유지관리비율을 적용된 비용-편익 방법을 사용하였다 (이재혁, 2013).

경제성 분석을 위한 총 편익은 앞서 분석되었던 용수절감효과에 대한 경제적 가치로서 산정하였고, 총 사업비는 Monitoring Network 구축에 필요한 사업비로 산정하였으며, 유지관리비율과 이자율은 농업분야의 경제성 분석에서 주로 사용하는 3% 및 5%를 사용하였다. 표 6.16은 경제성 분석을 위한 사용 인자들을 나타내고 있다.

(표 4-32) 경제성 분석을 위한 사용 인자

사용 인자	분석 방법 및 사용 값	비 고
$B_t$	용수절감효과에의 경제적 가치	생활용수: 500원/톤 공업용수: 1,050원/톤
$C_t$	수위계 개수에 따른 설치 사업비	초음파 수위계 사용
$O_m$	3%	유지관리비율
$i_r$	5%	이자율
$N$	50년	운영기간

경제성 분석을 위한 편익을 산정하기 위하여, 용수절감효과 분석에 사용되었던 시나리오와 동일하게 적용하여 각 시나리오별 용수절감효과에 대한 경제적 가치 즉, 생활용수 및 공업용수로 전환할 경우에 발생하는 편익으로 산정하였다. 총 사업비 산정을 위하여, 시나리오별 Monitoring Network 구축에 필요한 사업비를 산정하였으며 수위계 설치 지점 1개소 당 실제 설치비인 15,000천원을 적용하였고, 생활용수 및 공업용수 공급을 위한 관로 설치사업으로 1 km당 180,000천원 (충청북도, 2018, 농어촌 지방상수도 사업)을 적용하였다. 위의 표는 시나리오별 경제성 분석에 사용되는 총 비용 및 총 편익 관련 인자들을 나타낸 것이며, 아래 표는 시나리오별 편익 및 비용을 산정한 것이다.

(표 4-33) 경제성 분석을 위한 비용 및 편익 관련 인자

시나리오		초기 투자비용	편 익
S-2	S-21	수위계 설치 개수: 4개 상수도 관로 매설: 30km	용수절감: 683천톤 생활용수 및 공업용수 전환 편익
	S-22	수위계 설치 개수: 5개 상수도 관로 매설: 30km	용수절감: 712천톤 생활용수 및 공업용수 전환 편익
S-3		수위계 설치 개수: 7개 상수도 관로 매설: 30km	용수절감: 3,118천톤 생활용수 및 공업용수 전환 편익

(표 4-34) 시나리오별 초기투자비용 및 편익 산정(천원)

시나리오		초기 투자비용	편익	
			생활용수	공업용수
S-2	S-21	5,460,000	341,449	717,042
	S-22	5,475,000	356,006	747,612
S-3		5,505,000	1,558,862	3,273,610

시나리오별로 산정된 초기 투자비용과 총 편익을 산정한 결과 초기 투자비용은 54억6천만원에서 55억5백만원으로 산정되었고 편익은 생활용수의 경우 약 3억4천에서 15억6천만원, 공업용수는 7억2천만원에서 32억7천만원으로 산정되었다. 산정된 초기 투자비용 및 편익을 50년 운영기간으로 경제성 분석을 실시하였다.

(표 4-35) S-21 시나리오 경제성 분석 결과(천원)

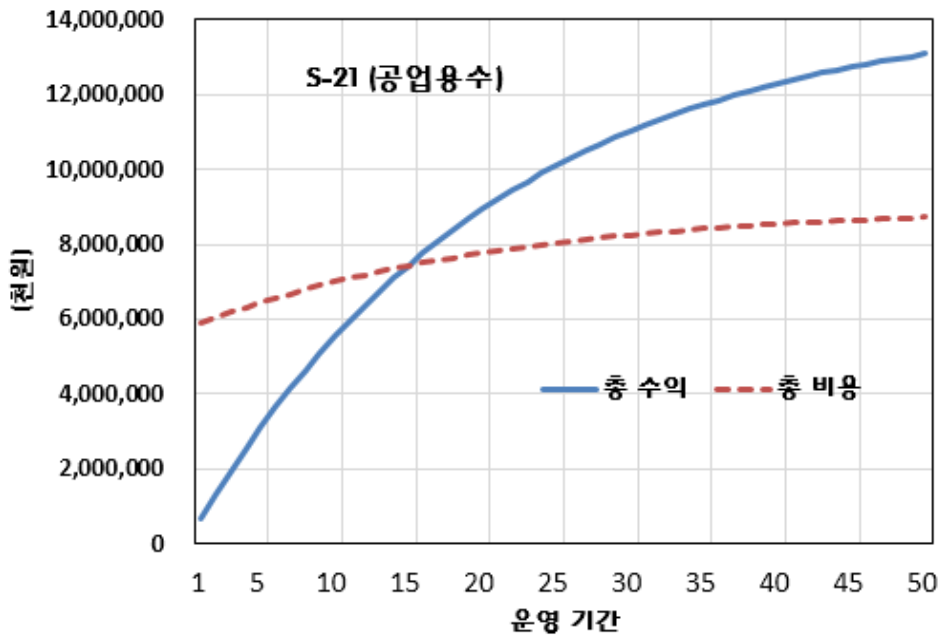
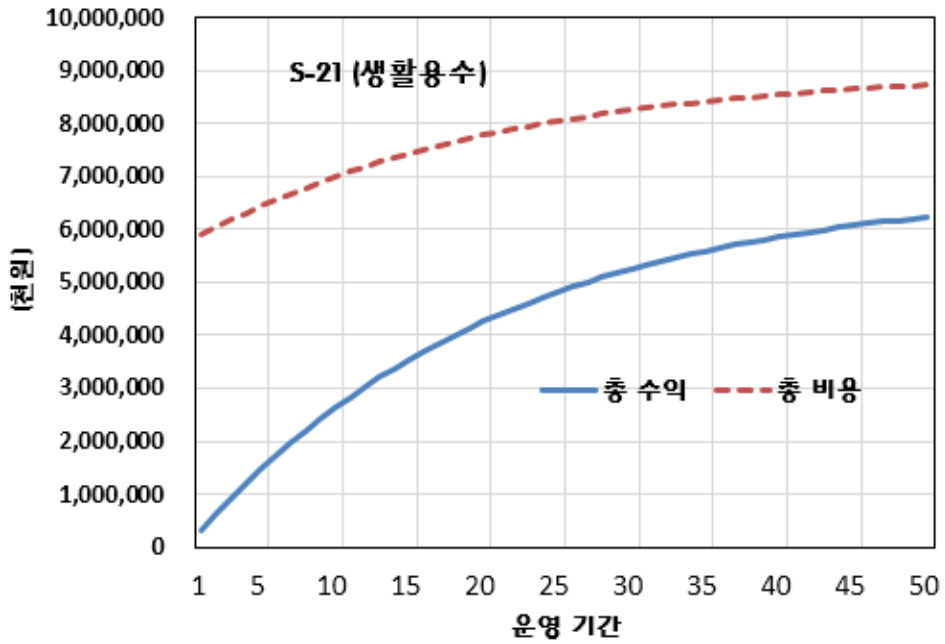
운영기간	생활용수		공업용수	
	비용	편익	비용	편익
10년	2,636,575	6,997,820	5,536,808	6,997,820
20년	4,255,203	7,774,310	8,935,927	7,774,310
30년	5,248,901	8,251,007	11,022,692	8,251,007
40년	5,858,945	8,543,658	12,303,784	8,543,658
50년	6,233,459	8,723,321	13,090,264	8,723,321
B/C	0.71		1.50	
투자비용 회수기간	-		15년	

(표 4-36) S-22 시나리오 경제성 분석 결과(천원)

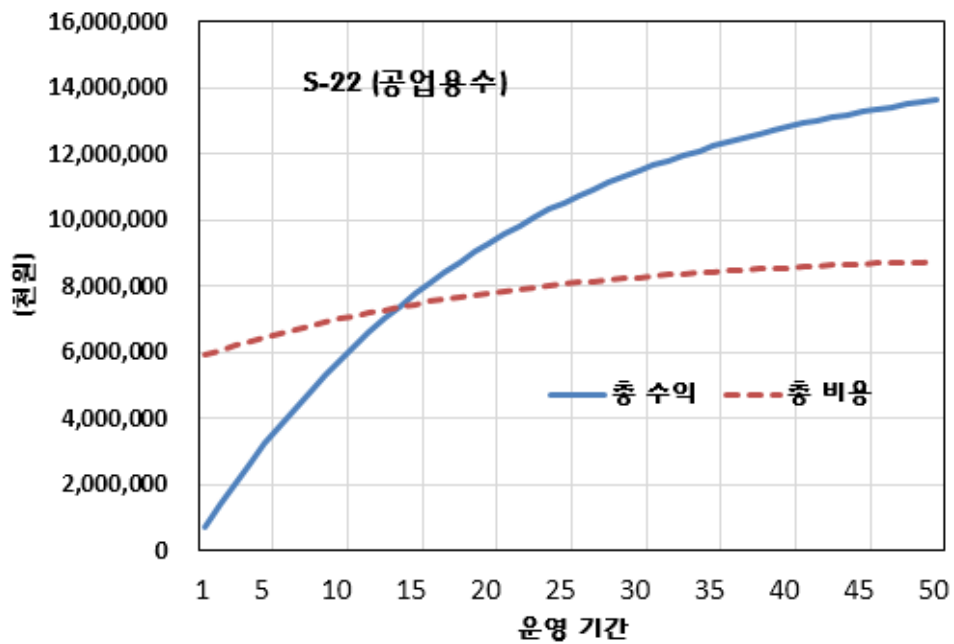
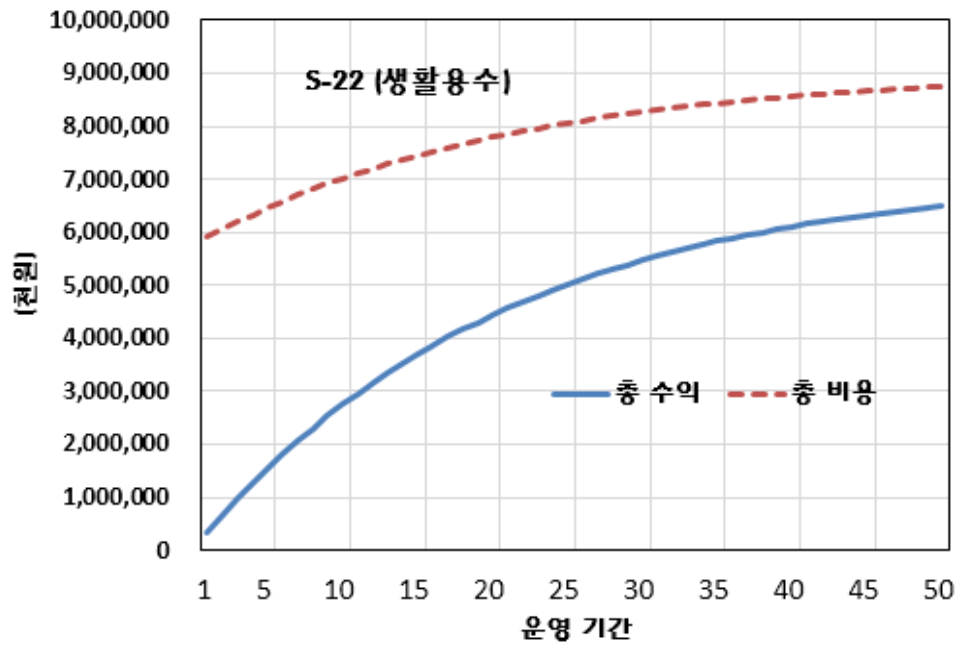
운영기간	생활용수		공업용수	
	비 용	편 익	비 용	편 익
10년	2,748,981	7,017,045	5,772,860	7,017,045
20년	4,436,617	7,795,668	9,316,896	7,795,668
30년	5,472,679	8,273,675	11,492,626	8,273,675
40년	6,108,731	8,567,130	12,828,336	8,567,130
50년	6,499,212	8,747,286	13,648,345	8,747,286
B/C	0.74		1.56	
투자비용 회수기간	-		14년	

(표 4-37) S-3 시나리오 경제성 분석 결과(천원)

운영기간	생활용수		공업용수	
	비 용	편 익	비 용	편 익
10년	2,748,981	7,017,045	5,772,860	7,017,045
20년	4,436,617	7,795,668	9,316,896	7,795,668
30년	5,472,679	8,273,675	11,492,626	8,273,675
40년	6,108,731	8,567,130	12,828,336	8,567,130
50년	6,499,212	8,747,286	13,648,345	8,747,286
B/C	3.24		6.79	
투자비용 회수기간	5년		3년	

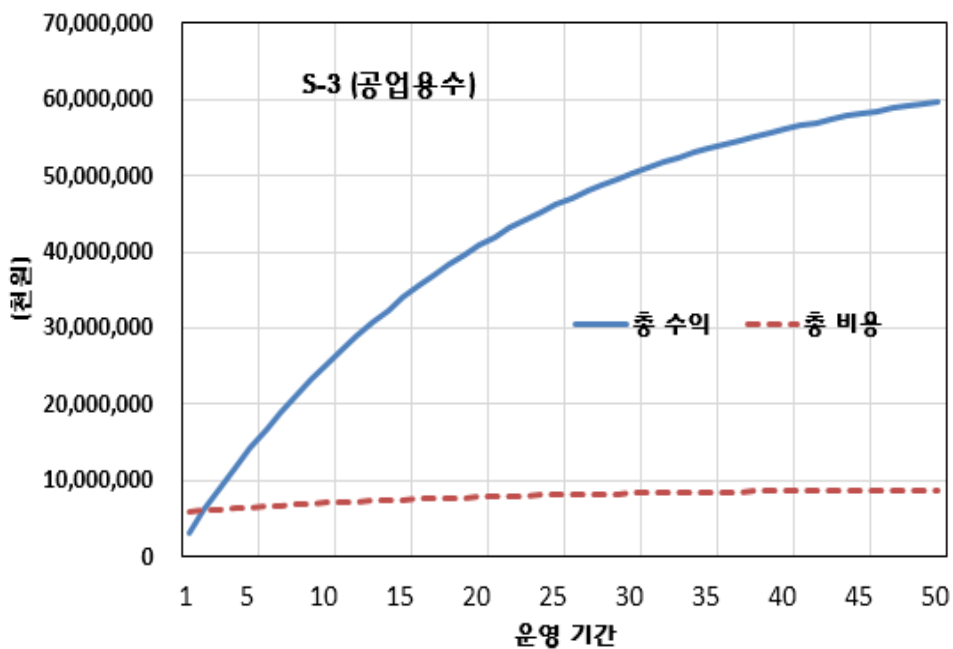
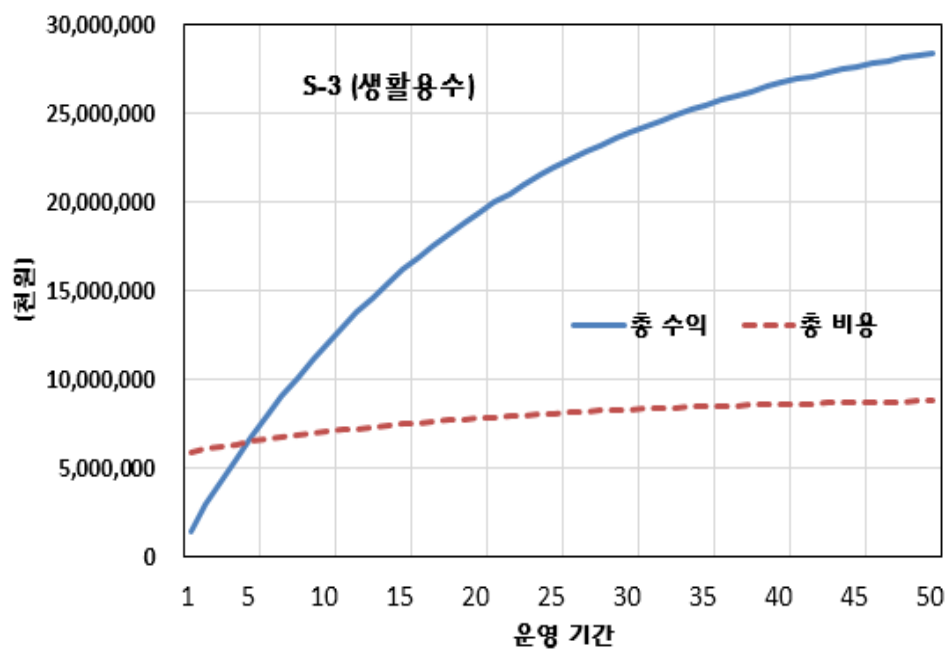


<그림 4-54> S-21 시나리오 경제성 분석 결과



<그림 4-55> S-22 시나리오 경제성 분석 결과





<그림 4-56> S-3 시나리오 경제성 분석 결과

시나리오별 경제성 분석결과 S-21 시나리오에서 용수절감량을 생활용수로 전환할 경우 B/C 값이 0.71로서 50년 운영기간 동안 경제성이 확보되지 못하였으며 농업용수는 B/C 값이 1.50으로 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 15년으로 평가되었다. S-22 시나리오에서 생활용수는 B/C 값이 0.74로서 50년 운영기간 동안 경제성이 확보되지 못하였으며 농업용수는 B/C 값이 1.56으로 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 14년으로 평가되었다.

S-3 시나리오에서 생활용수는 B/C 값이 3.24로서 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 5년으로 평가되었고, 농업용수는 B/C 값이 6.79로 매우 우수한 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 3년으로 평가되었다. 이와 같이 시나리오별 정량적으로 산정할 수 있는 용수절감량이 달라지고 그에 따라 경제성 분석의 결과가 상이하게 나타났다. 즉, 간선 수로의 유입부, 중간부, 말단부에 모두 Monitoring Network가 구축되는 S-3 시나리오에서 경제성이 가장 우수하게 확보되었고, 유입부와 중간부에 구축되는 경우에는 생활용수에서는 경제성이 결여되고 상대적으로 단가가 비싼 농업용수에서는 경제성이 미소하게 확보되었다.

이상의 결과로 미루어 볼 때, 간선 수로의 유입부, 중간부, 말단부의 유량을 실측할 수 있는 규모의 Monitoring Network가 우수한 경제성을 확보할 수 있으며, 관개지역 내의 구간별 농업용수량의 산정이 필요하지 않는 지구에서는 간선수로별로 유입부, 중간부, 말단부에 각 1개소 즉, 간선수로별 3개소 규모의 유량 실측 Monitoring Network를 구축함으로써 경제성을 확보할 수 있다.

## 제4절 스마트 수리시설물 통합 제어 시스템 설계

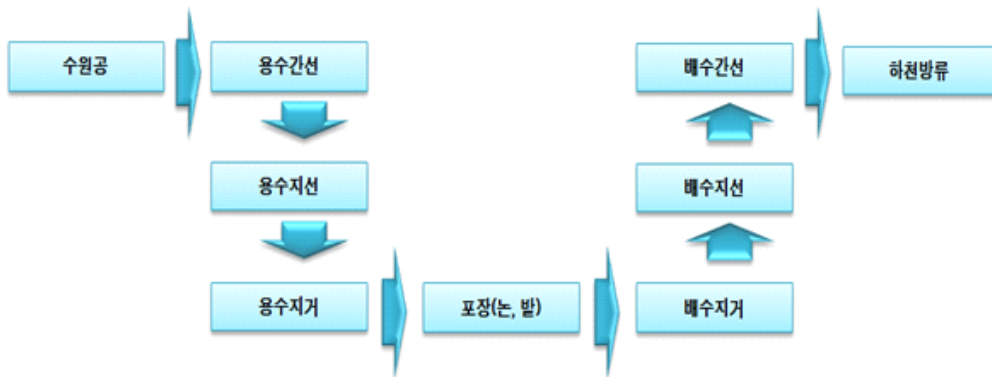
### 1. 수리 네트워크 구축

#### 1) 수리 네트워크 구성요소

농촌지역의 농업용수를 저장하거나 공급하는 시설과 경지의 구성(수리 네트워크)은 저수지에서 공급되는 농업용수가 수로를 통하여 운송되며 포장(논)에 농업용수가 공급되는 구조를 갖고 있다. 우리나라 일반적인 농촌에서

의 농업용수 공급 형태는 수원공만 저수지, 양수장, 취입보, 관정 및 집수정 등 다양한 방법으로 용수를 공급하기 위한 시설을 갖추고 있지만 수원공에서 공급되는 용수는 용수계통을 이용하여 공급되는 구조를 갖고 있다.

다음의 그림은 농촌지역의 농업용수 공급을 위한 이러한 네트워크 구조를 개념도로 단순화 시켜 작성한 개념도이다.



<그림 4-57> 농업용수 공급 및 배수 네트워크 체계 개념도

상기 개념도에서 제시된 네트워크 체계는 수원공 → 용수로 → 포장 → 배수로 → 하천 등의 용수의 순환을 보여주고 있으며 본 연구에서는 이러한 네트워크 바탕에서 모델링을 구축하고 분석하였다.

수원공에서 용수공급을 위한 취수시설, 용수로 운송을 위한 수로 분기 및 제수, 논에 용수 공급을 위한 시설(물꼬)와 배수 등 각 시설과 시설 별 설치 목적을 달성하기 위하여 부가적으로 설치된 각종 수문(Gate) 또한 모델링 대상이 되며 이러한 시설과 부속 구조물 등으로 이루어진 네트워크 구축을 수행하였다.

수리 네트워크 구성요소는 농업용수 분석에 필요한 시설물 및 지형요소를 농업용수 공급 및 배수 체계에 따라 수원공 → 용수로 → 포장 → 배수로 → 하천방류 등으로 구분할 수 있다. 관계 용수공급 시 고려되는 네트워크의 구성요소는 다음과 같다.

(표 4-36) 수리 네트워크의 구성요소

구 분		내 용
취수부	수원공	저수지, 양수장, 취입보, 관정, 집수정 등 농업용수를 공급하기 위하여 유역에 존재하는 수자원을 가두어 농업용수로 저장하는 농업용 시설
도수부	용수로	수원공에서 공급되는 농업용수를 논, 밭 등의 포장으로 공급하기 위하여 설치된 농업용 수리시설로서 용수간선, 용수지선 그리고 포장에 직접 연결되는 용수지거 등으로 구성
급수부	포장	작물의 증산, 증발 그리고 토양침투 등의 방법으로 공급된 용수를 소비하는 곳으로 필요한 용수량을 계산하여 수원공으로부터 농업용수를 제공 받는 시설, 배수 물꼬를 통하여 적정 담수심을 유지할 수 있으며 홍수 시 침수된 포장을 빠른 시간에 배수 할 수 있는 시설이 함께 갖추어져 있음

상기에 서술한 바와 같이 농업용수 분석에서 수리 네트워크의 구성요소는 관개지구의 물순환을 기초로 하여 분류하면 크게 취수부, 도수부, 급수부 등으로 구분할 수 있다. 3가지 분류에서 각 농업용 수리시설물은 용수공급을 위한 요소로 구성되며 각 요소는 모델링을 위한 모델 요소로 고려할 수 있다.

농업용 수리시설물과 각 시설물을 구성하는 모델 요소를 살펴보면 다음과 같다.

(표 4-37) 수리 네트워크의 구성요소 분석

구 분	공급시설	구성요소
취수부	저수지	저수지 제원, 취수탑, 사통, 복통, 여수토 등
	양수장	인입부, 토출부, 펌프, 저류지 등
도수부	용수로	개수로, 관수로, 암거, 잠관 등
	분기점	제수문, 분수문 등
급수부	논	포장, 물꼬 등

각 시설물의 구성요소는 용수 흐름을 분석하고 용수량, 유속, 통과시간 등을 수리학적으로 분석하기 위하여 분석에 필요한 속성값을 갖도록 구축하였으며 사용자가 모델링 결과를 이용하여 용수흐름을 분석할 수 있다.

수리 및 수문분석은 전술한 바와 같이 미국 환경청에서 개발 제공하고 있는 SWMM을 네트워크 분석의 엔진으로 사용하였으며 SWMM에서 제공하는 모델요소를 이용하여 본 연구의 모델링을 지원할 수 있도록 분석시스템 구축을 연구하였다.

네트워크 구성을 위한 모델링 구성요소는 SWMM에서 제공하는 모델요소를 이용하여 적용할 수 있다. SWMM에서 제공하는 모델요소는 수문학 모델 요소, 수리학 모델 요소 그리고 각 모델에 필요한 각종 시계열 데이터를 관리하는 요소로 구성된다.

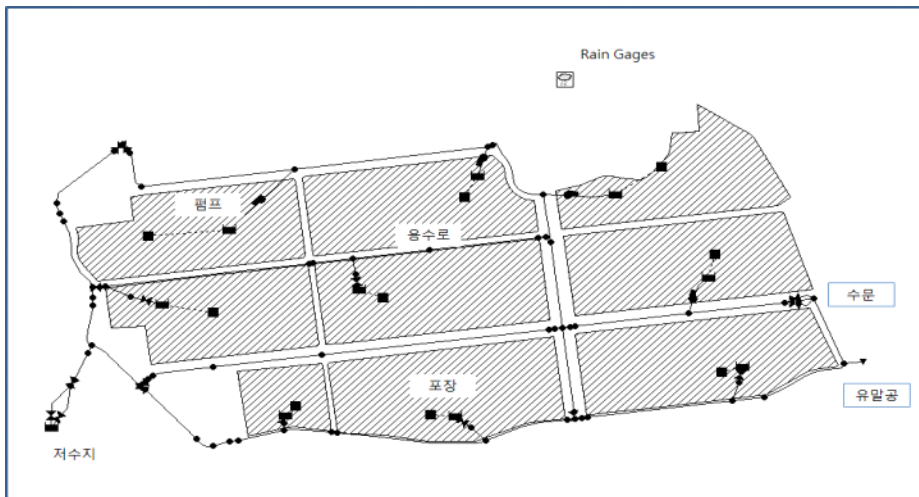
수리 네트워크 모델링 중 수문학적 요소를 이용할 경우 사용가능한 모델 들로는 강우자료를 관리하는 요소(Rain Gages)와 유역과 관련된 자료를 관리하여 엔진에 전달하는 요소(Subcatchments)로 구성되어 있다.

수리학적 모델요소는 네트워크 중 수로계통을 구성하는 용수로, 분수문, 제수문, 물꼬 등을 모델링 하기 위한 요소로서 지점을 모델링 하기 위한 Nodes와 노드와 노드를 연결하는 Links 요소로 구성되어 있다.

Nodes는 Junctions, Outfalls, Dividers, Storage Units으로 Links는 Conduits, Pumps, Orifices, Weirs, Outlets로 구성되어 있다.

시계열자료 모델요소는 분석을 위하여 필요한 수문자료, 기상자료, 제원자료 등 관련곡선 또는 시계열 자료를 이용한 분석에 활용할 수 있는 요소로 구성되어 있다. Curves는 Pump Curves, Storage Curves이며 Time Series는 기상자료, 수위자료가 그것이다.

네트워크를 구성하는 요소를 SWMM 엔진을 이용하여 분석하기 위해서는 각 요소를 SWMM에서 제공하는 모델요소로 표현하여 네트워크 모델링을 수행하고 여기에 수문 및 수리학적 요소를 추가하여 분석을 진행하여야 한다.



<그림 4-58> 수리 네트워크 구성 모델링

수리 네트워크를 구성하는 요소의 모델링을 위하여 적용 가능한 모델요소를 적용하여 보면 저수지의 경우 유역에서 유입되는 농업용수의 보관, 필요시 농업용수를 공급하는 시설로의 연계, 저류량의 파악 등의 역할을 할 수 있는 Storage Units를 사용할 수 있다.

또한 수로의 수위 유지와 공급되는 용수를 제어하기 위한 수문의 경우에는 해당 기능이나 분석을 수행할 수 있는 Weirs 또는 Orifices 등을 사용할 수 있다.

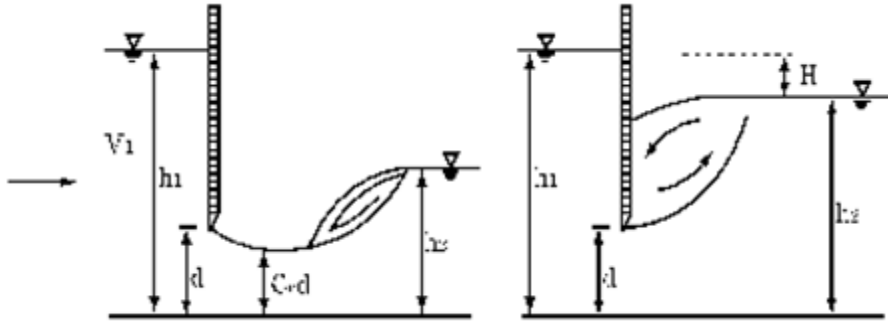
(표 4-38) 수리 네트워크 구성요소의 모델 적용 요소

구 분	공급시설	구성요소	모델요소
취수부	저수지	저수지 제원	Storage Unit
		취수탑(취수문)	Orifice
		사통	Orifice
		복통	Orifice
		여수토	Weir
	양수장	인입부	Storage Unit
		토출부	Storage Unit
		펌프	Pump
		저류지	Storage Unit
도수부	용수로	개수로	Conduit
		관수로	Conduit
		암거	Conduit
		잠관	Conduit
	분기점	제수문	Weir, Orifice
		분수문	Weir, Orifice
급수부	논	포장	Storage Unit
		물꼬	Orifice
기타	강우자료	강우 실적 및 예측	Rain Gage
	유역	저수지 유역	Subcatchment
		논 유역	Subcatchment

분기점은 용수간선에서 용수간선 또는 지선으로 분기하거나 용수의 흐름을 제어하기 위한 수문을 설치하여 용수를 관리한다. 분수문 또는 제수문을 통하여 유량의 흐름을 제어한다.

수리 네트워크의 Orifice(분수문과 제수문)유출의 경우 유량계수는 수문의 종류에 따라 큰 차이가 있으며 수문으로 부터의 유출형태에 따라서 자유유출(수문으로부터의 유출수맥이 사류로서, 하류의 흐름이 도수 발생 후 연결)

과 수중유출(유출수맥이 하류수면 아래로 침입)로 구분된다.



<그림 4-59> Orifice 유출의 자유유출(좌)과 수중유출(우)

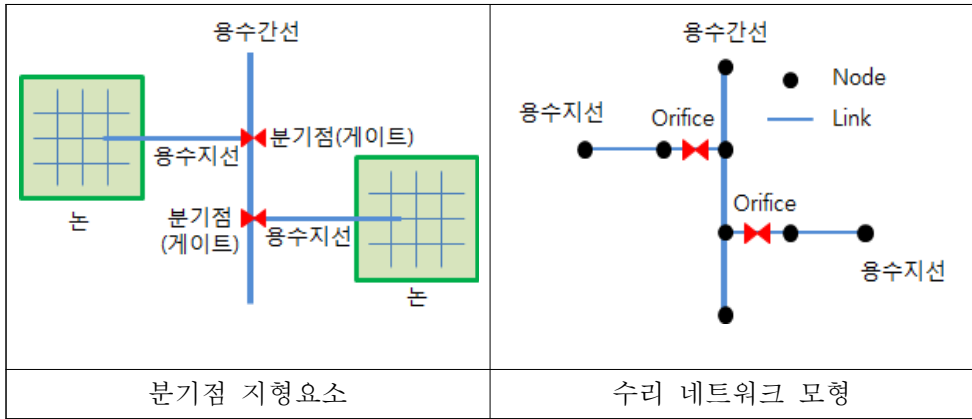
수문유출의 유량공식은 농업생산기반정비사업계획설계기준(수로편)에서 제안한 아래 식을 이용하여 수리 네트워크에 적용하였다.

$$Q = C_a \times b \times d \sqrt{2gh_1}$$

여기서 Q= 분수량(m<sup>3</sup>/s), C<sub>a</sub>= 수축계수, b, d = 게이트의 내부공간 폭(m), 게도높이(m), h<sub>1</sub>= 게이트 상류수심(m), h<sub>2</sub> = 게이트 하류수심에 해당한다.

분수문/제수문은 Orifice 모델을 이용하거나 수위에 따라 Weir를 이용하여 모델링을 구축한다. 수리 네트워크에서는 Orifice의 개폐를 통하여 용수의 흐름을 제어할 수 있다.

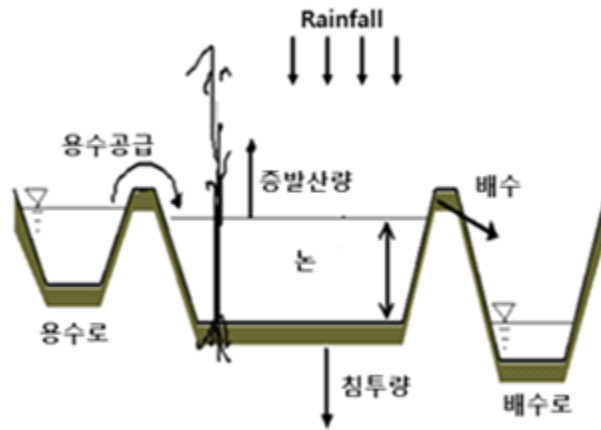




〈그림 4-60〉 분기점의 네트워크 모델링

포장(논)은 지선 또는 지거를 통하여 용수가 공급 되는 논 의 집합으로 수리 네트워크에서는 Storage로 처리하였다. 관개 시에는 용수로에서 공급되는 용수가 논으로 흐르도록 구성된다. 논에서 필지별로 물꼬가 있을 경우 이는 Orifice를 이용하여 모델링하였다.

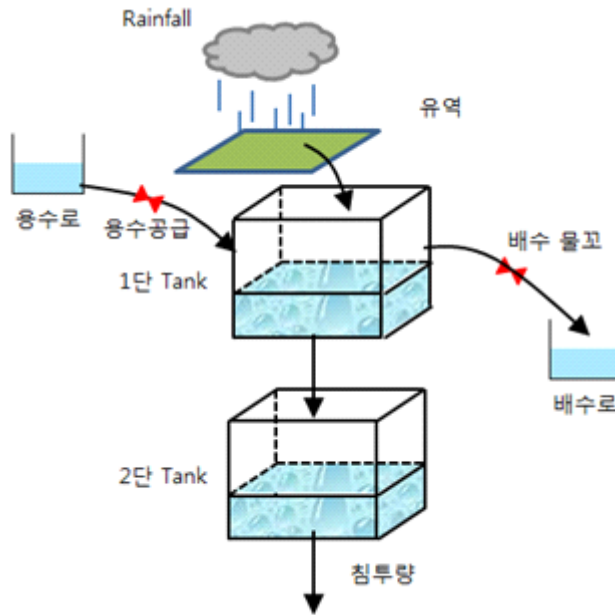
포장(논)에서의 물수지는 용수로로부터 논으로 공급되는 유량, 강우에 의해 논에 공급되는 유효우량, 증발산량, 침투량, 배수 물꼬에 의해 배수되는 유량으로 구성된다.



<그림 4-61> 포장(논)에서의 물수지

포장(논)에서의 담수심 변화를 분석하기 위해서는 포장에서의 물수지 분석이 필요하며, 다음의 그림은 포장에서의 물수지 분석을 위한 구성요소의 개념이다.

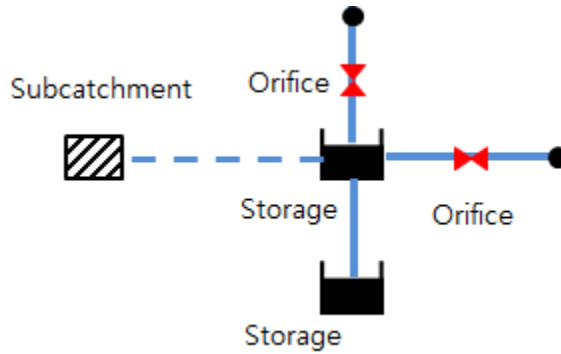
여기서 포장(논)을 Tank로 구성하였으며 1단 Tank 외에 2단 Tank는 이양기에 포장 담수심 60mm 이상과 추가적으로 공급되어야 하는 공급량(포장 담수심 80mm)을 반영하기 위해서 구성된 요소이다.



<그림 4-62> 포장(논) 물수지 개념

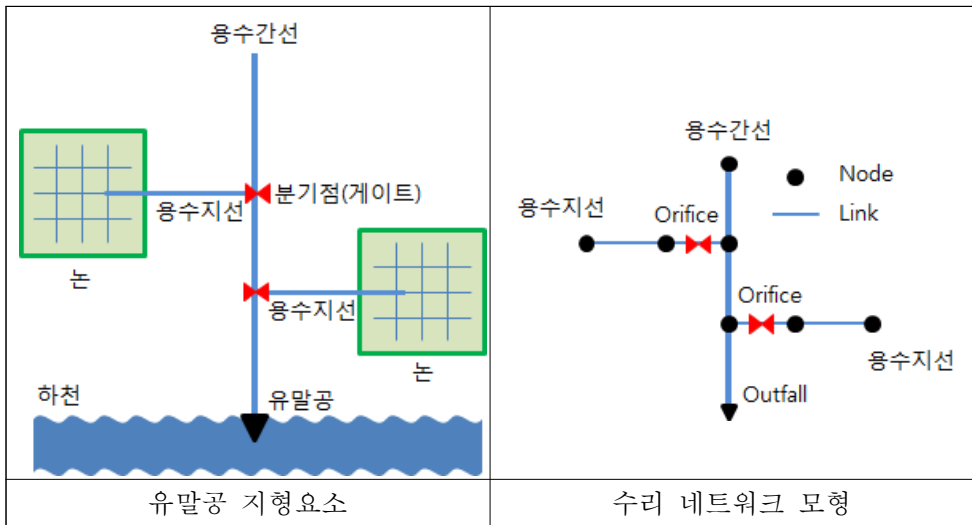
포장(논)에서의 물수지 분석은 ‘유입량 - 유출량 = 담수심 증감량’으로 정의할 수 있다. 여기서 유입량은 강우에 의한 유효강우량, 용수로에서 공급되는 공급량으로 구성되고, 유출량은 증발산량, 침투량, 포장에서 배수되는 유출량으로 구성된다.

이를 수리 네트워크에서는 다음과 같이 모델링 하였으며 유역(Subcatchment)은 관개시 강우에 의행 포장에 공급되는 유효우량을 반영하기 위한 것이다.



<그림 4-63> 포장(논)의 네트워크 모델링

유말공은 관개 시 포장에 공급되고 남은 용수를 하천으로 퇴수 처리하며, 수리 네트워크에서는 Outfall 모델을 이용하여 네트워크에 반영하였다.



<그림 4-64> 유말공의 네트워크 모델링

수리 네트워크 구성요소에서 각 구성요소의 속성값은 분석하려는 대상지역의 문헌조사 및 현장조사를 통하여 취득할 수 있으며 조사된 자료를 이용하여 모델링을 완성할 수 있다.

모델링에 반영된 속성값은 지형자료 성격을 갖는 값의 경우 현장 상황이 변화되기 전까지 1번의 입력으로 완료할 수 있으나 물관리 상황과 같은 성격의 속성값(예: 수로의 수위, 포장의 수위 등)은 물관리 상황에 따라 계속적으로 변화되며 분석시점의 값을 모델링에 반영하여야 한다.

저수지 구성요소의 속성값은 모델요소로 Storage Unit를 사용하며 모델요소의 속성값으로는 유역에서의 유입량, 저수지 초기수위, 수위 변동, 저수지 내용적, 총 저류량, 취수시설 종류 등의 속성값이 분석에 사용된다.

논의 경우에는 모델요소로 Storage Unit를 사용하며 물꼬를 통하여 공급되는 농업용수 유입량, 논이 제원, 내용적, 증발산량, 토양침투량, 초기수위, 유출량, 표고, 강우자료 등의 값이 필요하며 분석 전 모델링을 통하여 제공하거나 분석 중 분석된 값을 제공하여야 한다.

(표 4-39) 수리 네트워크 구성요소의 속성값

구 분		구성요소	모델요소	속성값
취수부	저수지	저수지 제원	Storage Unit	유입량, 저수지 수위, 총 저류량, 관리수위, 취수시설 종류, 내용적
		취수탑 (취수문)	Orifice	표고, 수문 개수, 각 수문의 표고, 수문 넓이, 수문 높이, 수문 형상, 수문의 개도
		사통	Orifice	표고, 수문 개수, 각 수문의 표고, 수문 넓이, 수문 높이, 수문 형상, 수문의 개도
		복통	Conduit	시점 표고, 중점 표고, 관 형상, 제원, 조도계수, 길이
		여수토	Weir	표고, 길이, 수문 개수, 각 수문의 표고, 수문 제원, 접근수로 제원, 표고, 수문의 개도
	양수장	인입부	Storage Unit	표고, 제원, 내용적, 초기 수위
		토출부	Storage Unit	표고, 제원, 내용적, 초기 수위
		펌프	Pump	대수, 각 펌프의 성능, 시작 수위, 중지 수위, 표고
저류지		Storage Unit	표고, 제원, 내용적, 초기 수위	
도수부	용수로	개수로	Conduit	시점 표고, 중점 표고, 관 형상, 제원, 조도계수, 길이, 손실량
		관수로	Conduit	시점 표고, 중점 표고, 관 형상, 제원, 조도계수, 길이, 손실량
		암거	Conduit	시점 표고, 중점 표고, 관 형상, 제원, 조도계수, 길이, 손실량
		잠관	Conduit	시점 표고, 중점 표고, 관 형상, 제원, 조도계수, 길이, 손실량
	분기점	제수문	Weir, Orifice	표고, 개수, 각 수문의 제원, 개도, 형상
		분수문	Weir, Orifice	표고, 개수, 각 수문의 제원, 개도, 형상
급수부	논	포장	Storage Unit	제원, 내용적, 증발산량, 토양침투량, 초기 수위, 표고, 연결 강우자료
		물꼬	Orifice	표고, 개수, 제원, 개도, 형상
기타	강우자료	강우 실적 및 예측	Rain Gage	강우량 시계열 자료
	유역	저수지 유역	Subcatchm ent	면적, 논, 밭, 산림 비율, 연결 강우자료
		논 유역	Subcatchm ent	면적, 논, 밭, 산림 비율, 연결 강우자료

## 2) 수리 네트워크 구축

본 연구의 수리 네트워크 구축을 위해서는 용수로의 평면·종단·횡단도면, 구조물위치, 수리구조물의 현장과악에 유리한 고해상도 항공사진이나 위성사진, 유역의 매개변수 구축을 위한 토양도, 토지피복도, 수치표고(수치지형도를 이용하여 구축), 공간좌표 보정을 위한 수치지형도 등이 요구된다.

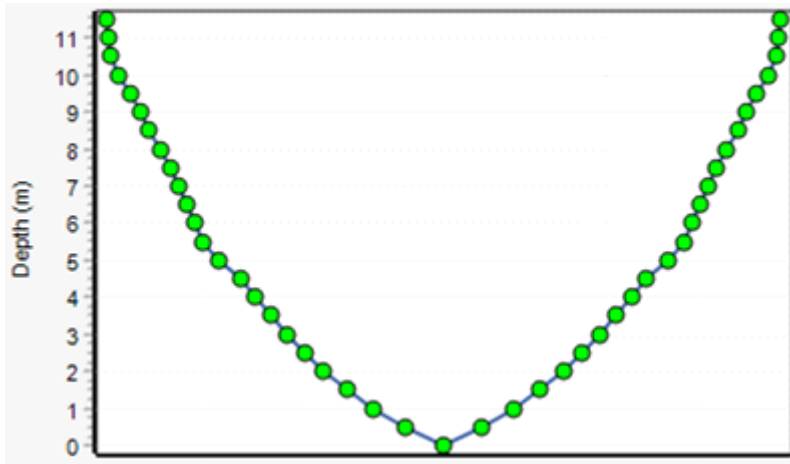
또한 수리 네트워크 구축에 필요한 간선 및 지선의 평면적인 배치, 단면제원, 종단형태, 각종 시설물의 위치 및 제원 등의 현황을 파악할 수 있는 준공도면 등 설계도서가 필요하나 확보가 어려운 경우 간선 및 주요 대상 지선에 대한 현장조사를 통해 수로의 제원 및 주요 시설에 대한 위치와 제원을 확인하고 수로 경사의 경우 부득이하게 수치표고모델(DEM)과 수치지형도를 활용하여 추정하는 방법으로 자료를 구축하였다.

수리 네트워크는 취수부, 도수부, 급수부로 구분하여 구축하였으며 취수부인 무수저수지의 내용적 자료는 다음과 같으며 이를 바탕으로 수리 네트워크 모형에 적용하였다.

(표 4-40) 무수저수지 내용적 조건표

구분	표고 (EL.m)	고차(m)	면적(m <sup>2</sup> )		내용적(m <sup>3</sup> )		비 고
			표고별	평균	구간별	누가	
1	107.50	0.00	8	4	0	-	바닥고
2	108.00	0.50	5,911	2,960	1,480	1,480	
3	108.50	0.50	13,635	9,773	4,887	6,366	
4	109.00	0.50	24,351	18,993	9,497	15,863	
5	109.50	0.50	34,134	29,243	14,621	30,484	
6	110.00	0.50	43,923	39,029	19,514	49,998	사수위
7	110.50	0.50	55,780	49,852	24,926	74,924	
8	111.00	0.50	65,287	60,534	30,267	105,191	
9	111.50	0.50	78,349	71,818	35,909	141,100	
10	112.00	0.50	88,319	83,334	41,667	182,767	
11	112.50	0.50	114,048	101,184	50,592	233,359	
12	113.00	0.50	118,279	116,164	58,082	291,440	
13	113.50	0.50	131,380	124,830	62,415	353,855	
14	114.00	0.50	135,301	133,341	66,670	420,525	
15	114.50	0.50	148,229	141,765	70,883	491,408	
16	115.00	0.50	153,237	150,733	75,367	566,774	
17	115.50	0.50	167,943	160,590	80,295	647,069	
18	116.00	0.50	180,032	173,988	86,994	734,063	
19	116.50	0.50	188,648	184,340	92,170	826,233	
20	117.00	0.50	206,332	197,490	98,745	924,978	
21	117.50	0.50	220,324	213,328	106,664	1,031,642	
22	118.00	0.50	224,267	222,296	111,148	1,142,790	
23	118.50	0.50	227,275	225,771	112,886	1,255,675	
24	119.00	0.50	230,000	228,638	114,319	1,369,994	만수위, 평수위
25	120.00	1.00	235,434	232,717	232,717	1,602,711	홍수위





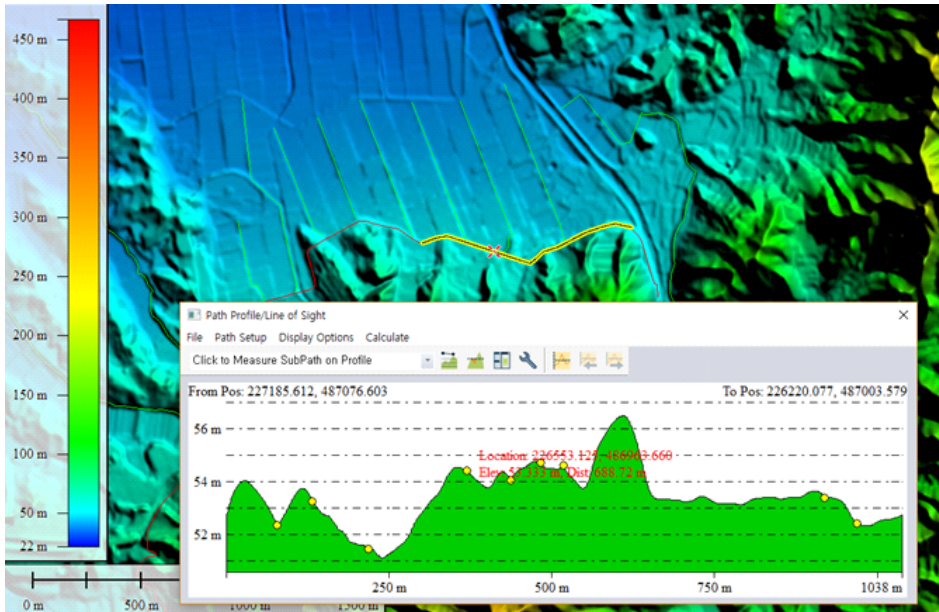
<그림 4-65> 무수저수지 내용적 수리 네트워크 적용 결과

도수부는 구축대상 수로의 노선에 대한 공간적인 정보가 없는바 현장조사에 앞서 농업기반시설관리시스템(RIMS) 자료를 바탕으로 현장조사용 도면을 작성하였다.



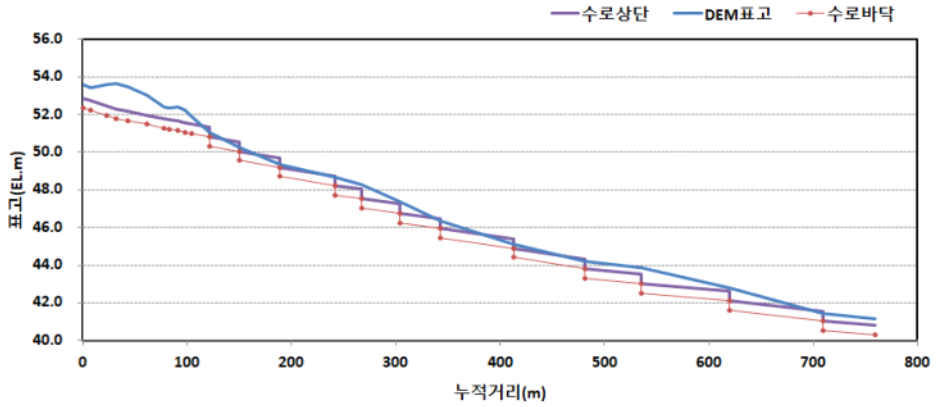
<그림 4-66> 수리 네트워크 구축을 위한 현장조사용 도면

수리계산에 필요한 수로바닥의 표고를 반영하기 위해서는 설계도서의 종단도면이 요구되나 설계도서가 확보되지 않아 수치표고모델(DEM)과 현장조사를 통해 확인된 수로의 중심선(현장조사된 도상작업 결과를 조사해 보완한 자료)을 중첩하여 수로중심에 해당하는 현재의 지반고를 추출한 후 현장조사에서 확인된 경사의 변화 정도를 반영하여 수로의 바닥표고를 추정한다.



<그림 4-67> DEM과 수로중심선 중첩에 의한 지반고 추출

각 지선 및 용수블록으로 분기되는 수로의 경우 수치표고상 시점과 종점의 표고차이가 크게 나타나거나 현장상황을 조사한 결과에서도 수로 내 다수의 급류공, 낙차공이 배치되어 있는 경우 지선수로에 경사변경 지점을 모두 반영하게 되면 수로의 간격이 짧아지고 다수의 제어명령이 요구될 뿐만 아니라 수치계산이 복잡하게 되므로 이를 단순화하여 반영하였다.



<그림 4-68> 수로 바닥고 추정

또한 GPS 측량장비를 사용하여 주요지점에 대한 표고를 측정한 후 측정지점과 측정지점 사이의 지점은 길이에 비례하여 수로 바닥고를 추정하는 방법을 병행하였다.



<그림 4-69> 측정지점 간 수로 바닥고 추정

현장조사 및 DEM 표고추정결과를 반영하여 종단측점, 분기점, 수로의 바닥표고, 연장, 형식, 분수문 위치 및 크기, 용수블록의 면적, 낙차공 및 급류

공의 위치 등 수리 네트워크 구축에 필요한 제반정보들을 입력한다.



<그림 4-70> 무수저수지 수리 네트워크 구축 결과

## 2. 스마트 수리시설물 파일럿 분석시스템 개발

### 1) 시스템 데이터베이스

시스템을 이용하여 관개지구의 단기 및 장기분석의 타당성 및 효율성 등을 검토하기 위한 사전 모의를 수행하기 위해서는 모델링 자료, 용수 흐름 조절용 시설 등의 설정 자료 등을 저장 관리하여야 하며 분석 결과를 제공하기 위한 분석자료 또한 관리하여야 한다.

본 연구를 통하여 개발된 파일럿 시스템에서는 관리하여야 하는 데이터를 수로 네트워크 부분, 분석 관련 부분 그리고 시스템 분석 시 필요한 공통데이터 부분으로 구분하여 엔터티를 분석 정리하였다. 분석된 각 엔터티는 DBMS를 이용한 정보 관리를 위하여 관계 설정을 하게 되고 이를 바탕으로 엔터티에 대한 자료 정의를 통하여 테이블 명세를 작성하는 데이터베이스 설계를 추진하였다.

시스템의 데이터베이스 중 모델링 정보를 관리하는 엔터티를 분석한 결과로서 유역정보, 수로계통 정보, 포장 정보, 양수장 정보 등 시설물과 시설물의 세부 제원정보 그리고 모델링이나 시스템 운영 시 활용하기 위한 각종 세부정보를 관리하는 엔터티를 14개로 구분하여 다음 표와 같이 정리하였다.

(표 4-41) 수리 네트워크 관련 엔터티 분석

Seq	분류	Type	Entity Name	내 용
1	수로망	테이블	네트워크 정보	분석을 위한 네트워크 전체정보 테이블
2	수로망	테이블	저수지유역정보	저수지 유역에 대한 유입량 분석에 필요한 유역정보 관리
3	수로망	테이블	저수지정보	저수지 명칭, 수해면적, 총저수량, 수위 등 정보 관리
4	수로망	테이블	저수지수로정보	저수지의 간선, 지선에 대한 수로 일반정보
5	수로망	테이블	양수장정보	양수지류 지구, 양수장 지구 등의 양수장 정보 관리
6	수로망	테이블	양수장 상세 정보	모델링 대상지구의 양수장 상세 정보 관리
7	수로망	테이블	저수지_내용적정보	저수지 유효저수량을 위한 내용적 정보를 관리
8	수로망	테이블	수로정보	모델링에 포함된 수로의 폭, 넓이, 경사도등 상세정보
9	수로망	테이블	수문정보	모델링에 포함된 수문의 이름, 규격 등의 정보 관리
10	수로망	테이블	포장정보	수해대상 농경지의 이름, 면적, 현황 등의 정보
11	수로망	테이블	저수지_내용적표	저수지 내용적 정보를 관리
12	수로망	테이블	저수지 공간정보	저수지의 좌표정보를 관리
13	수로망	테이블	수로 공간정보	수로의 좌표정보를 관리
14	수로망	테이블	포장 공간정보	포장의 좌표정보를 관리

단기 및 장기 분석을 위한 사전 분석을 실행하는 시스템에서 활용되거나 분석결과를 저장 관리하기 위한 엔티티를 아래의 표와 같이 9개로 구분하여 정리하였다. 분석결과를 저장하여 사용자에게 제공하기 위한 결과의 관리, 사용자가 정립한 관개스케줄의 관리, 물흐름을 조절하기 위한 수문의 관리 정보, 강우정보 그리고 실시간 분석에 사용되는 계측자료와 용수의 공급상태를 보여주기 위한 시계열 계측자료를 관리하기 위한 엔티티 등을 분석하여 데이터베이스를 설계, 개발하였다.

(표 4-42) 분석 관련 엔티티

Seq	분류	Type	Entity Name	내 용
1	분석	테이블	관개 스케줄	관개 계획을 수립하기 위한 스케줄 정보 관리
2	분석	테이블	모의별 수문 개도정보	관개 모델링의 수문 개도 정보 관리
3	분석	테이블	모의별 포장 담수심	대상지구 포장의 날짜별 담수심 정보 관리
4	분석	테이블	모의별 수문개도 계획	대상지구 모의시 날짜별 수문개도 정보 관리
5	분석	테이블	생육기별 담수심	지역별 논농사의 생육기별 적정 담수심 정보
6	분석	테이블	저수지공급량정보	대상지구 저수지 날짜별 공급량 정보 관리
7	분석	테이블	관측소 강우정보	분석모형에 적용하기 위한 관측소 강우 및 파우일수 정보
8	분석	테이블	계측기정보	지구내에 설치된 계측기 위치, 종류, 설치수로 정보 관리
9	분석	테이블	계측기_측정데이터	계측기에서 취득된 시계열 계측자료 관리
10	분석	테이블	전체모의결과	관개 모델링을 분석한 전체 결과 정보 관리
11	분석	테이블	전체모의수로결과	관개 모델링을 분석한 수로 결과 정보 관리
12	분석	테이블	전체모의포장결과	관개 모델링을 분석한 포장 결과 정보 관리

분석에 사용되는 정보는 시스템 운영에 필요한 한국농어촌공사 조직관련 정보, 시스템을 사용하는 사용자의 정보와 권한 부여 정보, 시스템에 적용된 작물 경작과 관련된 정보, 국가 물관리표준화 적용을 위한 대권역, 중권역, 용수구역 정보 등 16개 엔티티를 정리하여 데이터베이스로 관리할 수 있도록 시스템을 개발하였다.

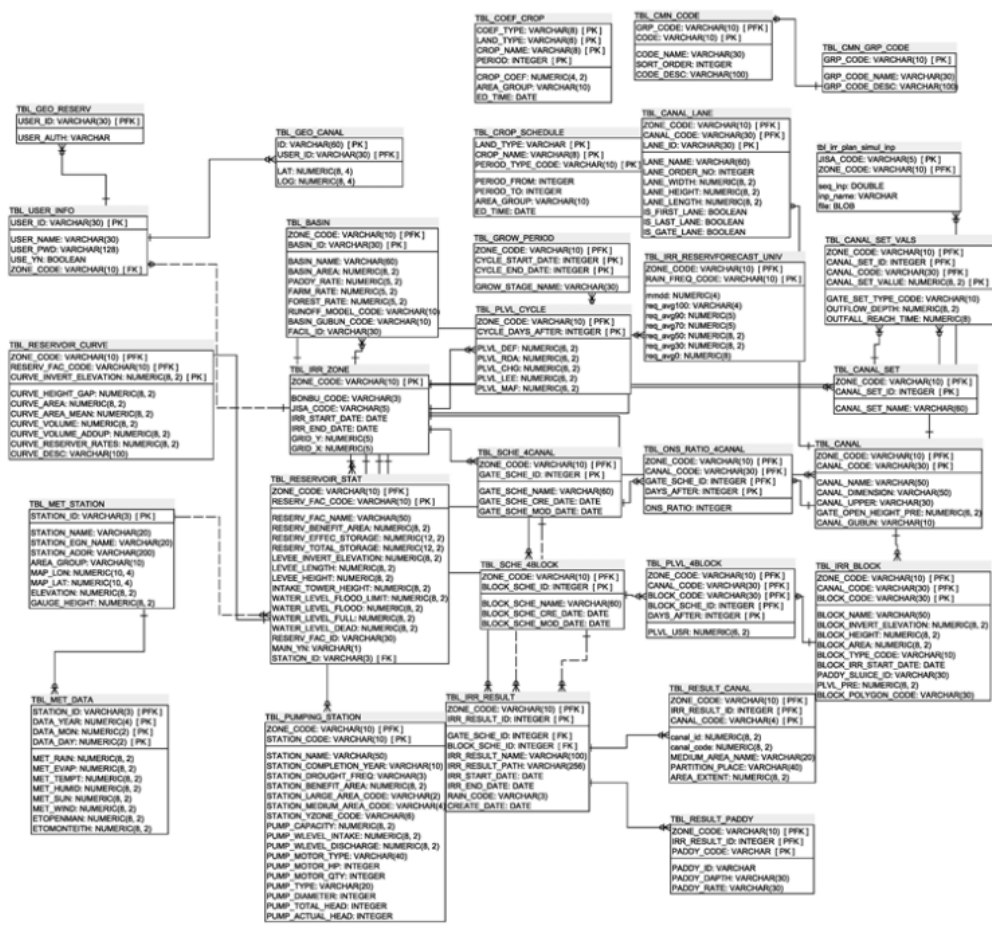
(표 4-43) 공통정보 관련 엔티티

Seq	분류	Type	Entity Name	내 용
1	공통정보	테이블	지역본부	한국농어촌공사 조직 중 지역본부 정보 정의
2	공통정보	테이블	공통코드	시스템 운영 시 필요한 공통코드 정의
3	공통정보	테이블	공통그룹코드	공통코드 중 그룹으로 정의된 코드의 정의
4	공통정보	테이블	작물계수	작물의 필요수량 산정에 필요한 작물의 계수 관리
5	공통정보	테이블	작부시기	지역별 영농시기의 정의
6	공통정보	테이블	생육기 정보	지역별로 정의된 작물의 생육기간 정보 정의
7	공통정보	테이블	분석지구	시스템 분석이나 모델링 그리고 운영의 중심 테이블
8	공통정보	테이블	기상데이터	기상관측소에서 관측 발표한 기상 데이터 관리
9	공통정보	테이블	기상관측소	기상청 산하 기상관측소 정보 관리
10	공통정보	테이블	강우빈도	기상정보를 지역별 강우빈도 정보 관리

데이터베이스를 설계하기 위한 수로계통 모델링 관련 엔티티와 분석 관련 엔티티 그리고 시스템 운영 및 공통코드 관리를 위한 엔티티를 이용하여 정보 관리 효율성, 정확성을 위하여 ERD를 작성하였다.







<그림 4-72> 물리적 구성 ERD

데이터베이스 ERD는 시스템에서 분석하려는 대상지구 엔티티를 기반으로 분석을 실행하기 위한 각종 정보를 연계하고 있다. 즉 관계 대상지구는 수원 공으로 저수지 또는 양수장을 포함하고 있으며 공급통로로 용수로를 포함하며 공급대상으로 포장을 갖고 있다. 또한 포장에 용수를 공급하기 위한 계획을 관리하도록 해야 하며 분석 조건에 따른 수문의 조작, 해당 영농기의 담수심 정보, 계측자료 등 모델링에 필요한 정보로서 대상지구와 함께 관리되어야 한다.

모델링 된 정보를 계획의 사전 모의에 의하여 분석결과를 데이터베이스에서 관리하여야 하고 이에 따른 관련 데이터도 관계지구와 분석계획 그리고

모의시간 등의 조건에 따라 관리되도록 데이터베이스를 설계하여 운영할 수 있도록 시스템을 개발하였다.

각 엔터티들은 ERD에 의하여 서로의 관계를 최적의 상태로 연계되도록 하였으며 각 엔터티가 관리하여야 하는 속성들에 대하여 정의한 후 DBMS에 설정하여 데이터베이스 설계를 진행하였다.

□ 네트워크 정보 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_basin		유역	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	inp_seq	seq	C	30	PK				
3	inp_name	파일명	C	60					
4	file	파일	B						

□ 저수지 유역 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_basin		유역	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	basin_id	유역 ID	C	30	PK				
3	basin_name	유역이름	C	60					
4	basin_area	유역면적(ha)	N	8,2				ha	
5	paddy_rate	논비율(%)	N	5,2				%	
6	farm_rate	밭비율(%)	N	5,2				%	
7	forest_rate	산림비율(%)	N	5,2					
8	runoff_model_code	유출모형코드	C	10					
9	basin_gubun_code	유역유출점구분코드	C	10		Y			
10	facil_id	시설물_ID(양수장,하천)	C	30		Y			

□ 저수지 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_reservoir_stat		저수지 현황	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	reserv_fac_code	저수지 표준코드	C	10	PK				
3	reserv_fac_name	저수지 시설이름	C	50					
4	reserv_benefit_area	저수지 수혜면적	N	8,2					
5	reserv_effec_storage	저수지 유효저류량	N	12,2					
6	reserv_total_storage	저수지 총저류량	N	12,2					
7	levee_invert_elevation	제당 표고	N	8,2					
8	levee_length	제당 길이	N	8,2				m	
9	levee_height	제당 높이	N	8,2				m	
10	intake_tower_height	취수탑 높이	N	8,2				m	
11	water_level_flood_limit	수위 홍수제한수위	N	8,2					
12	water_level_flood	홍수위	N	8,2					
13	water_level_full	만수위	N	8,2					
14	water_level_dead	사수위	N	8,2					
15	reserv_fac_id	저수지 모델 ID	C	30		Y			
16	main_yn	저수지 메인여부	C	1		Y			
17	station_id	관측소 ID	C	4		Y			

□ 저수지 수로정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_canal		수로정보	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	canal_code	수로코드	C	30	PK				
3	canal_name	수로이름	C	50					
4	canal_dimension	수로제원	C	50					
5	canal_upper	상위 수로	C	30					
6	open_height_pre	수문개폐높이	N	6,2			0	m	
7	canal_gubun	수로구분	C	10		Y			0:기본 1:하천 2:양수
8	fac_id	시설물 ID	C	30		Y			저수지, 양수장
9	gate_height	수문높이	N	6,2		Y		m	

□ 양수장정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_pump		양수장	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	station_code	양수장표준코드	C	10	PK				
3	pump_code	펌프코드	I		PK				
4	pump_name	펌프이름	C	10		Y			
5	pump_capacity	펌프용량	N	8,2				CMS	
6	reserv_level	저수지수위	N	8,2				El.m	
7	storage_level	저류지수위	N	8,2		Y		El.m	
8	reserv_id	저수지모델 ID	C	60					
9	storage_id	저류지모델 ID	C	60					
10	pump_id	펌프모델 ID	C	60					

□ 양수장 상세 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_pumping_station		양수장	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	station_code	양수장 표준코드	C	10	PK				
3	station_name	양수장명	C	50					
4	station_completion_year	준공년도	C	10		Y			
5	station_drought_freq	한발빈도	C	3				년	
6	station_benefit_area	수혜면적	N	8,2				ha	
7	station_large_area_code	대권역코드	C	2					
8	station_medium_area_code	중권역코드	C	4					
9	station_yzone_code	용수구역	C	6					
10	pump_capacity	양수기 양수량	N	8,2				m <sup>3</sup> /s	
11	pump_wlevel_intake	양수기 수위흡입	N	8,2					
12	pump_wlevel_discharge	양수기 수위토출	N	8,2					
13	pump_motor_type	양수기 전동기형식	C	40					
14	pump_motor_hp	양수기 전동기 마력	I						
15	pump_motor_qty	양수기 전동기 대수	I						
16	pump_type	양수기 펌프종류	C	20					
17	pump_diameter	양수기 펌프 구경	I					mm	
18	pump_total_head	양수기 펌프 전양정	I					m	
19	pump_actual_head	양수기 펌프 실양정	I					m	
20	station_id	양수장 아이디	C	30		Y			

□ 저수지 내용적표 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_reservoir_curve		저수지 내용적표	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	reserv_fac_code	저수지 표준코드	C	10	PK				
3	curve_invert_elevation	표고	N	8,2	PK			El.m	
4	curve_height_gap	고차	N	8,2				m	
5	curve_area	면적	N	8,2				ha	
6	curve_area_mean	평균면적	N	8,2				ha	
7	curve_volume	내용적	N	8,2				천m³	
8	curve_volumne_addup	누가내용적	N	8,2				천m³	
9	curve_reserver_rates	저수율	N	8,2				%	
10	curve_desc	비고	C	100		Y			

□ 수로 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_canal_lane		수로레인	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	canal_code	수로코드	C	30	PK				
3	lane_id	레인 ID	C	30	PK				
4	lane_name	레인이름	C	60					
5	lane_order_no	레인순번	I						
6	lane_width	수로넓이	N	8,2				m	
7	lane_height	수로높이	N	8,2				m	
8	lane_length	수로길이	N	8,2				m	
9	is_first_lane	첫간선여부	B						
10	is_last_lane	마지막간선여부	B						
11	is_gate_lane	수문여부	B						
12	is_label_lane	그룹라벨위치유무	B						

□ 수문 속성정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_reservoir_gate		수문 내용적표	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	reserv_fac_code	저수지 표준코드	C	10	PK				
3	gate_id	수문 ID	I		PK				
4	gate_name	수문명	C	100					
5	gate_invert_elevation	표고	N	8,2				El.m	
6	gate_height	높이	N	8,2				m	
7	gate_width	너비	N	8,2				m	
8	gate_open_height	개도높이	N	8,2				m	
9	gate_count	련수	I						
10	gate_type	수문유형	C	100		Y			
11	gate_desc	비고	C	100		Y			

□ 포장정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_block		포장	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	canal_code	수로코드	C	30	PK				
3	block_code	포장 ID	C	30	PK				
4	block_name	포장이름	C	50				m	
5	block_invert_elevation	포장표고	N	8,2				m	
6	block_height	포장 특높이	N	8,2				m	
7	block_area	포장면적	N	8,2				ha	
8	block_type_code	포장종류	C	10					
9	block_irr_start	포장 관개시작일	D						생육기 담수심 정보
10	paddy_sluice_id	논물꼬 ID	C	30					
11	plvl_pre	담수심 현재값	N	6,2			0	m	
12	block_polygon_code	포장 폴리곤코드	C	30		Y			
13	block_infiltration	침투량	N	8,2		Y		mm/d	

□ 저수지 공간정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_geo_reserv		모델좌표	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	id	모델 오브젝트 ID	C	60	PK				
3	geom	geometry	G						



□ 수로 공간정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_geo_reserv		모델좌표	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	id	모델 오브젝트 ID	C	60	PK				
3	geom	geometry	G						

□ 포장 공간정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_geo_reserv		모델좌표	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	id	모델 오브젝트 ID	C	60	PK				
3	geom	geometry	G						

□ 관개스케줄 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irR_schedule		관개스케줄	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	irr_sche_id	관개스케줄 ID	I		PK				
3	irr_sche_name	관개스케줄명	C	60					
4	irr_sche_cre_date	스케줄생성일자	D				now		
5	irr_sche_mod_date	스케줄수정일자	D				now		

□ 분석별 수문개도율 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_ons_ratio_4canal		수문개폐율	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	canal_code	수로코드	C	30	PK				
3	rate	개도정보	I					%	

□ 분석별 수문개도 계획 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_ons_ratio_4canal		수문개폐율	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	canal_code	수로코드	C	30	PK				
3	gate_sche_id	스케줄 ID	I		PK				
4	days_after	기준일	I		PK				
5	ons_ratio	개도율	I					%	

□ 포장 담수심 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_plvl_4block		포장담수심	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	canal_code	수로코드	C	30	PK				
3	block_code	포장 ID	C	30	PK				
4	irr_sche_id	관개스케줄 ID	I		PK				
5	days_after	담수심 기준일	I		PK				
6	plvl_usr	사용자정의담수심	N	6,2					
7	ons_ratio	개폐율	I			Y			
8	ons_check	수로개폐유무	B			Y			

□ 저수율 정보 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_plvl_4reserv		저수지담수심	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	reserv_fac_id	저수지코드	C	30	PK				
3	irR_sche_id	관개스케줄 ID	I		PK				
4	days_after	기준일	I		PK				
5	supplyflow	저수지공급유량	N	6,2					

□ 생육기별 담수심 기준 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_plvl_cycle		생육기별담수심	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	cycle_days_after	생육기담수심 기준일	I		PK				
3	plvl_def	기본 담수심	N	6,2					
4	plvl_rda	농촌진흥청 기준 담수심	N	6,2					
5	plvl_chg	Chung 기준담수심	N	6,2					
6	plvl_lee	Lee 기준 담수심	N	6,2					
7	plvl_maf	농림부 기준 담수심	N	6,2					

□ 관측소 강우정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_rain_freq		관측소 강우정보	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	rain_freq_code	강우빈도코드	C	10	PK				
3	target_year	유사년도	N	4,0					
4	station_id	관측소아이디	C	4					
5	start_month	시작일	N	5,0					
6	end_month	기준일	N	5,0					
7	base_no_rain	무강우 기준	N	8,2					
8	base_max_rain	누적 기준 강우	N	8,2					
9	no_rain_days	과우일수	N	8,0					
10	no_rain_days_avf	과우일수 평균	N	8,2					
11	no_rain_days_std	과우일수 표준편차	N	8,2					

□ 계측기 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_sensor_info		계측기정보	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	sensor_id	센서 ID	I		PK				
3	sensor_no	계측기번호	C	20					
4	sensor_name	계측기명	C	100					
5	sensor_type_code	계측기종류	C	10					
6	sensor_coord_lon	경도	N	8,4					
7	sensor_coord_lat	위도	N	8,4					
8	sensor_coord_x	지도좌표 TM_X	N	10,2					
9	sensor_coord_y	지도좌표 TM_Y	N	10,2					
10	sensor_canal_h	수로단면적 높이	N	6,2					
11	sensor_canal_b	수로단면적 면길이	N	6,2					

□ 계측기 측정데이터 정보 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_sensor_measure		계측기 측정데이터	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	sensor_id	센서 ID	I		PK				
3	meas_datetime	측정일시	T		PK				
4	meas_value	측정값	N	10,2					

□ 분석결과 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_result		분석결과	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	irr_sche_id	관개스케줄 ID	I		PK				
3	irr_result_id	분석결과 ID	I		PK				
4	irr_result_path	분석 결과 파일경로	C	256					
5	irr_start_date	분석 시작일	D						
6	irr_end_date	분석 종료일	D						
7	create_date	등록일	D						
8	rain_code	강우설정코드	C	3					
9	irr_result_name	분석결과명	C	100					

□ 분석 수로결과 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_result_canal		분석 수로결과	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	irr_sche_id	관개스케줄 ID	I		PK				
3	canal_id	수로ID	C	10	PK				
4	canal_code	수로코드	C	10					
5	avg_velocity	평균유속	N	10.2					
6	canal_supply	수로공급량	N	10.2					
7	req_supply	필요수량	N	10.2					

□ 분석 포장결과 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_result_paddy		분석 포장결과	테이블		모의				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	irr_sche_id	관개스케줄 ID	I		PK				
3	paddy_id	포장ID	C	10	PK				
4	paddy_code	포장코드	C	10					
5	paddy_depth	포장담수심	N	10.2					
6	paddy_target_rate	포장목표담수심	N	10.2					

□ 공통코드 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_cmn_code		공통코드	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	grp_code	그룹코드	C	10	PK				
2	code	공통코드	C	10	PK				
3	code_name	공통코드명	C	30					
4	sort_order	정렬순서	I						
5	code_desc	비고	C	100		Y			

□ 공통코드 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_cmn_grp_code		공통코드-그룹	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	grp_code	그룹코드	C	10	PK				
2	grp_code_name	그룹코드명	C	30					
3	grp_code_desc	비고	C	100		Y			

□ 작물계수 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_coef_crop		작물계수	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	coef_type	계수유형	C	8	PK				
2	land_type	재배유형	C	6	PK				
3	crop_name	작물	C	8	PK				
4	period	순	I		PK				
5	crop_coef	작물계수	N	4,2			0		
6	ed_time	편집일자	D						
7	area_group	지역구분	C	10		Y			



□ 작부시기 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_coef_schedule		작부시기	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	land_type	재배유형	C	6	PK				
2	crop_name	작물	C	8	PK				
3	period_type	시기유형	C	8	PK				
4	period_fr	시작시기	I						
5	period_to	종료시기	I				now		
6	ed_time	편집일자	T						
7	area_group	지역구분	C	10		Y			

□ 생육기 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_grow_period		생육기정보	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	cycle_start_date	생육기단계의 시작일	I		PK				
3	cycle_end_date	생육기단계의 종료일	I		PK				
4	grow_state_name	생육 단계명	C	30					

□ 분석지구 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_zone		분석지구	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	bonbu_code	지역본부코드	C	3					
3	jisa_code	지사코드	C	5					
4	irr_start_date	관개시작일	D						
5	irr_end_date	관개종료일	D						
6	grid_x	기상청 Grid X	N	5,0		Y			
7	grid_y	기상청 Grid Y	N	5,0		Y			
8	nursery_start_date	이양재배 묘대기 시작일	C	10		Y			
9	nursery_end_date	이양재배 묘대기 종료일	C	10		Y			
10	transplant_start_date	이양재배 이양기 시작일	C	10		Y			
11	transplant_end_date	이양재배 이양기 종료일	C	10		Y			
12	paddy_start_date	이양재배 본답기 시작일	C	10		Y			
13	paddy_end_date	이양재배 본답기 종료일	C	10		Y			

□ 한국농어촌공사 지사 정보관리 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_jisa		지사	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	jisa_code	지사코드	C	5	PK				
2	jisa_name	지사명	C	100					

□ 기상데이터 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_met_data		기상데이터	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	station_id	관측소 ID	C		PK				
2	data_year	관측년도	N	4,0	PK				
3	data_mon	관측월	N	2,0	PK				
4	data_day	관측일	N	2,0	PK				
5	met_rain	강우	N	8,2				mm	
6	met_evap	증발	N	8,2				mm	
7	met_tempt	온도	N	8,2				C	
8	met_humid	습도	N	8,2				%	
9	met_sun	일조	N	8,2				h	
10	met_wind	풍속	N	8,2				m/s	
11	etopenman	잠재증발산량	N	8,2				mm	PENMAN
12	etomonteith	잠재증발산량	N	8,2				mm	MONTEITH

□ 기상관측소 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_met_station		기상관측소	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	station_id	관측소 ID	C		PK				
2	station_name	관측소 이름	C	20					
3	station_egn_name	관측소 영문이름	C	20					
4	station_addr	주소	C	200					
5	area_group	지역구분	C	10					
6	map_lon	지도좌표 경도	N	10,4					
7	map_lat	지도좌표 위도	N	10,4					
8	elevation	표고	N	8,2				m	
9	gauge_height	높이	N	8,2				m	

□ 하천 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_river		하천	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	river_id	하천 코드	C		PK				
2	river_name	하천명	C						
3	inflow_pt_id	유입점 ID	C	30					
4	outflow_pt_id	유출점 ID	C	30					

□ 강우빈도 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_reservforec ast_univ		강우빈도	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	mmdd	날짜	N	10					
3	req_avg100	평년	N	8,2					
4	req_avg90	평년90	N	8,2					
5	req_avg70	평년70	N	8,2					
6	req_avg50	평년50	N	8,2					
7	req_avg30	평년30	N	8,2					
8	req_avg0	무강우	N	8,2					

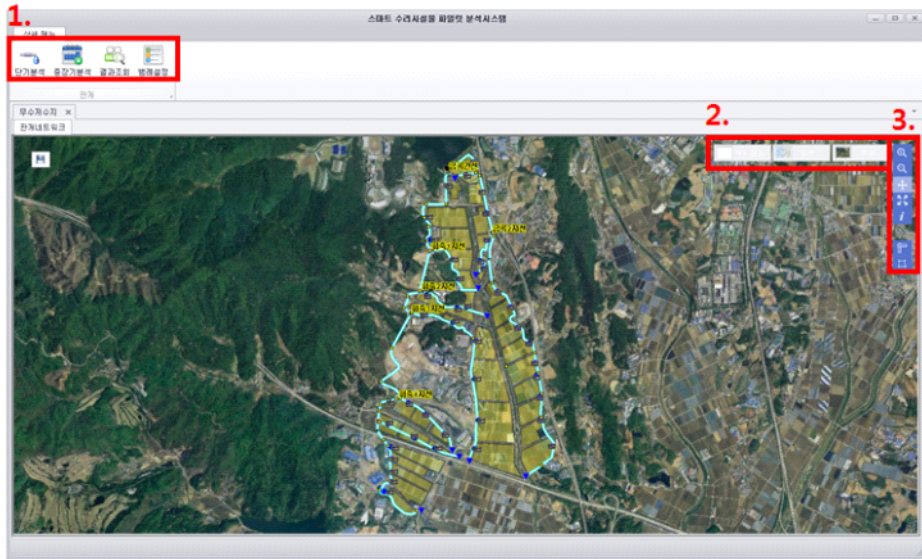
□ 용수구역 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_yzone		용수구역	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	yzone_code	용수구역코드	C	6	PK				
2	yzone_name	용수구역명	C	20					
3	yzone_extent	용수구역면적	N	8,2					
4	paddy_area	경지면적	N	8,2					

2) 시스템 화면의 구성

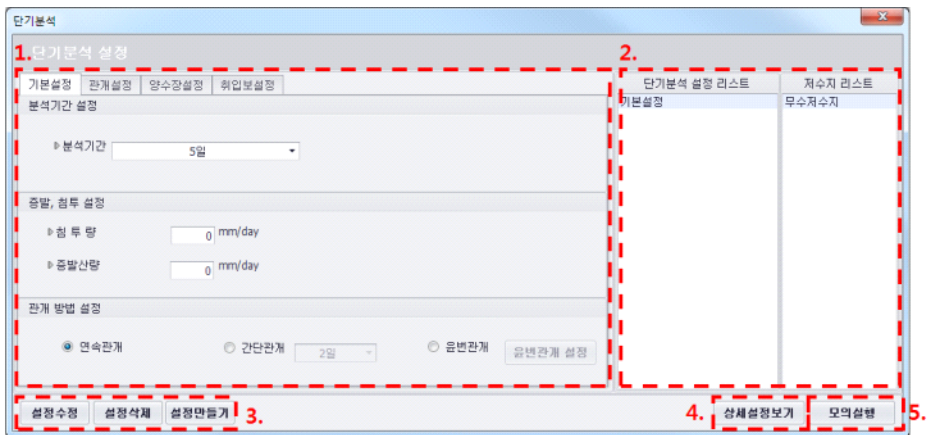
메인화면은 분석 관련 기능, 지도 종류 선택, 지도 조작으로 구성되어 있으며 분석은 수리 네트워크로 단기, 중장기 분석과 저장된 분석 결과 조회, 분석 결과의 범례 설정으로 이루어져 있다.

지도의 종류는 지도가 없는 화면, 지형도를 바탕으로 한 화면, 위성지도(항공지도)를 바탕으로 한 화면으로 구성되어 있다. 또한 지도조작을 통하여 지도의 확대·축소·이동, 노드와 링크에 대한 정보 조회, 거리재기 및 면적보기를 제공한다.



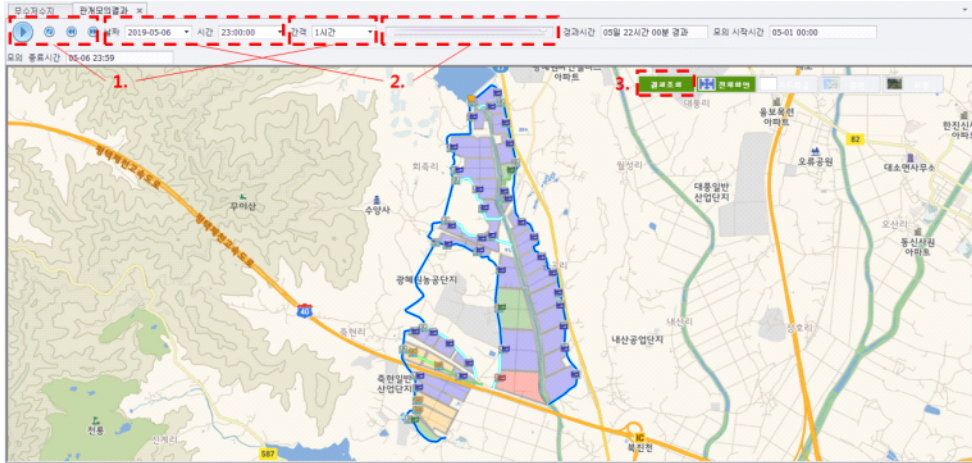
<그림 4-73> 시스템 메인화면 구성

수리 네트워크 분석은 단기분석과 중장기분석으로 구성되어 있으며 단기분석은 설정 조건, 저장된 단기분석 리스트, 설정 조건을 수정·삭제·만들기, 수문 제어를 위한 상세설정, 설정된 조건에 따른 분석 실행을 제공한다.



<그림 4-74> 수로 네트워크 단기분석 설정 화면

이와 같이 설정된 조건에 따라 분석을 실행하게 되면 다음과 같은 결과 화면이 제공된다. 1과 2는 분석된 결과를 시뮬레이션으로 시간에 따라 수로 및 포장에 공급되는 용수의 변화를 볼 수 있다.



<그림 4-75> 단기분석 결과 화면

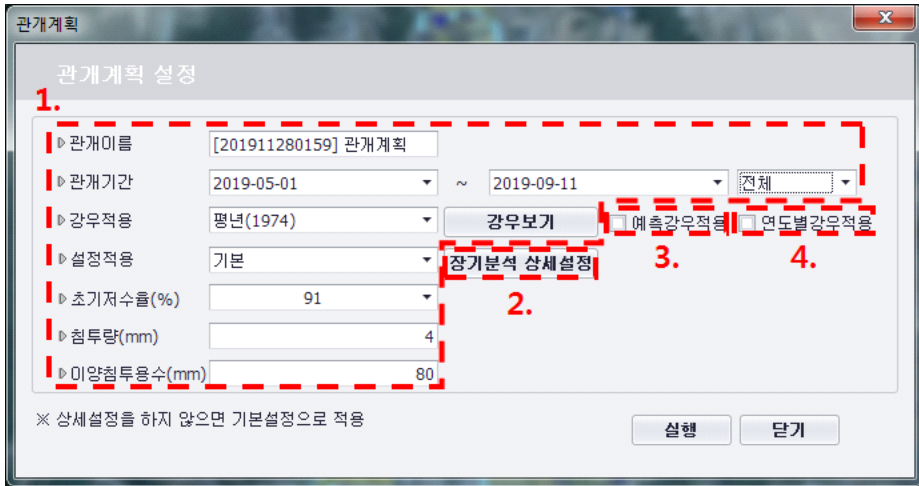
결과 화면에서 수로를 선택하게 되면 수로의 시간대별 유량, 수위, 유속 등을 조회할 수 있다.



<그림 4-76> 단기분석 지점별 데이터 조회 화면

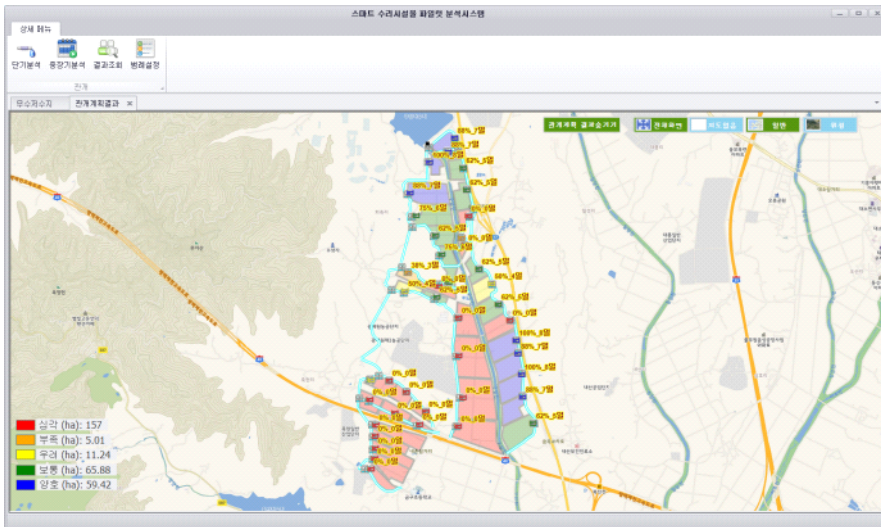
중장기 분석은 20일 이상 또는 관개기간 전체에 대하여 수로 네트워크 분석을 하는 기능으로 관개명, 관개기간, 강우, 관개방법, 초기저수율, 침투량, 이양용수량 등을 설정한다.





<그림 4-77> 중장기분석 설정 화면

위와 같이 설정된 조건에 따라 중장기 분석을 실행하게 되면 분석기간 내 포장블록별 담수율과 담수일 등을 조회할 수 있다. 이는 범례에 따라 중장기 분석 결과를 직관화하여 표출할 수 있다.



<그림 4-78> 중장기 분석 결과 화면

# 제5장 수위 계측 데이터 분석 방법론 도출

## 제1절 연구 범위 및 내용

### 1. 연구대상

본 과제의 연구 대상은 경인도 용인시에 위치한 이동저수지에서 수집된 저수지 저수량 데이터, 공급량 데이터 및 강우량 데이터이다. 시간적 범위는 2008년 8월부터 2018년 7월 이고, 데이터 용량은 저수량 데이터는 6개의 변수 컬럼과 358,850개의 시간 행으로 구성되어 있어 총 2,153,100값이고, 공급량 데이터는 8개의 변수와 202,089개의 시간 행으로 구성되어 있어 총 1,616,712 값이고, 강우량 데이터는 3개의 변수와 1,406개 시간 행으로 구성되어 있어 총 4,218개의 값으로 구성되어 있다. 이를 표로 정리하면 아래와 같다

(표 5-1) 분석대상 데이터

구분	시간범위	주요변수	값
저수량 데이터	2011년 1월 ~ 2018년 6월	저수위, 저수량 등	2,153,100개
공급량 데이터	2014년 2월 ~ 2018년 6월	수로수위, 공급량 등	1,616,712개
강우량 데이터	2008년 8월 ~ 2018년 7월	강우량 등	4,218개

### 2. 연구의 범위

본 연구는 강우량, 공급량, 저수량의 데이터 특성 및 데이터 간의 통계적 상관성 분석 등을 주요 목적으로 하기 때문에 시간의 교집합이 이루어져야 하여 시간의 범위를 2014년 2월부터 2018년 6월까지를 정한 후 데이터를 병합, 전처리 과정을 거친 메타 데이터 셋을 연구의 범위로 한다.

(표 5-2) 분석대상 메타데이터

구분	시간범위	주요변수	값
메타 데이터셋	2014년 2월 ~ 2018년 6월 (520일)	저수량, 공급량, 강수량 등	5,820개

### 3. 연구내용

농어촌 연구원에서 진행하고 있는 ‘농업기반시설물 성능 개선 및 자율 학습 물관리 기술 개발’은 자율학습 알고리즘을 활용하여 농업 용수의 공급의 혁신을 도모하기 위함이고, 성공적인 알고리즘 개발을 위해서는 알고리즘에 적용될 데이터에 대한 정의, 특성 및 저장 상태에 대한 정확한 파악이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 농어촌 연구원이 알고리즘 개발에 활용하고 있는 데이터의 형태, 품질, 통계적 특징 등을 분석 한 후 저수지 저수량 예측 및 공급량 예측에 필요한 추가 데이터 및 알고리즘을 제시하고자 하며 자세한 연구 내용은 아래와 같다.

- 분석 데이터(저수지 데이터) 형태와 품질
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강수량)의 품질 및 형태
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강수량) 전처리 방법론
  - 분석용 메타 데이터 결합 방법론
- 분석 데이터(저수지 데이터) 통계적 특성
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강수량) 통계적 특징
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강수량) 상관관계 분석
- 알고리즘 개발에 필요한 추가 데이터 및 분석방법론
  - 저수량 예측에 필요한 데이터 및 분석 방법론
  - 공급량 예측에 필요한 데이터 및 분석 방법론

## 제2절 저수지 데이터 품질 및 처리 방법

### 1. 저수지 데이터의 품질 및 특성

#### 가. 데이터 품질 분석

AI알고리즘을 개발하기 위해서 가장 먼저 해야 할 일이 양질의 데이터 셋을 구축하는 일이다. 이를 위해서는 데이터의 수집, 가공, 제공, 활용 단계를 지속적으로 모니터링 하며 품질을 관리하여야 한다.

품질을 관리하기 위해서는 품질 기준에 대한 표준 정의가 필요하다. 많이 활용되는 기준은 한국데이터진흥원(K-DATA)에서 가이드 한 아래의 데이터 품질 기준 정의이다.

(표 5-3) K-Data 데이터 품질 평가 기준표

품질 기준	정 의	세부 품질기준
완전성 (Completeness)	필수항목 누락이 없어야함	개별완전성, 조건완전성
유일성 (Uniqueness)	데이터 항목은 유일해야 하며 중복 되어서는 안 된다	범위 유효성, 날짜유효성, 형식 유효성
유효성 (Validity)	데이터 항목은 정해진 데이터 유효범위 및 도메인을 충족해야 한다.	선후관계 정확성, 계산/집계 정확성, 최신성, 업무 규칙 정확성
일관성 (Consistency)	데이터가 지켜야 할 구조, 값, 표현되는 형태가 일관되게 정의되고, 서로 일치해야 한다.	단독 유일성, 조건 유일성
정확성 (Accuracy)	실세계에 존재하는 객체의 표현 값이 정확히 반영이 되어야 한다.	기준코드 일관성, 참조 무결성, 데이터 흐름 일관성, 컬럼 일관성

K-DATA의 데이터 품질 기준 정의 중 본 연구에서 적용할 수 항목은 완전성(Completeness)이고 이를 적용해 보면 아래 표와 같은 결과를 얻을 수 있다.<sup>1)</sup>

(표 5-4) 데이터 품질 평가 결과표

품질 기준	저수량데이터	공급량데이터	강우량 데이터
완전성 (Completeness)	저수량 값 대신 문자 '-' 값 대량 존재	공급량 값 대신 문자 '-' 값 및 NA값도 다수 존재	NA 없음

분석 데이터의 핵심 값인 저수량, 공급량 데이터 중 다수의 데이터가 '-'형태로 기록이 되어 있어 데이터 완전성 확보를 위해 이에 대한 개선이 필요하다.

#### 나. 데이터 특성 분석

##### 1) 저수량 데이터

(표 5-5) 저수량 데이터 형태표

구분	데이터 형태	적정 데이터 형태
데이터 크기	358,850 * 6	N/A
장비번호	float type	object type
장비명	object type	object type
측정시간	object type	datetime
Raw Data	object type	float type
보정값	object type	float type
저수량	object type	float type

저수량 데이터는 358,850개의 행과 6개의 변수 컬럼으로 구성되어 있고 10분 단위로 데이터가 생성되어 있음. 6개의 변수 중 1개의 변수를 제외하고 5개의 변수의 데이터 형태가 데이터 내용과 맞지 않아 변경 관리가 필요함

1) 데이터의 유일성(Uniqueness), 유효성(Validity), 일관성(Consistency), 정확성(Accuracy)를 분석하기 위해서는 논리적, 물리적 DB설계 자료 분석이 필요하며, DB 설계 자료 분석은 추후 별도의 연구를 통해 확인 필요

## 2) 공급량 데이터

(표 5-6) 공급량 데이터 형태표

구분	데이터 형태	적정 데이터 형태
데이터 크기	202,089 * 8	N/A
장비번호	float type	object type
장비명	object type	object type
측정시간	object type	datetime
Raw Data	object type	float type
보정값	object type	float type
공급량	float type	float type
누적공급량	float type	float type
공급시작, 종료일	object	date time

공급량 데이터는 202,089개의 행과 8개의 변수 컬럼으로 구성되어 있고 10분 단위로 데이터가 생성되어 있음. 8개의 변수 중 5개의 변수의 데이터 형태가 데이터 내용과 맞지 않아 변경 관리가 필요함

## 3) 강수량 데이터

(표 5-7) 강수량 데이터 형태표

구분	데이터 형태	적정 데이터 형태
데이터 크기	1406 * 3	N/A
지점	float type	object type
일시	datetime type	datetime type
일 강수량	float type	float type

공급량 데이터는 1,406개의 행과 3개의 변수 컬럼으로 구성되어 있고 일 단위 데이터가 생성되어 있음. 3개의 변수 중 1개의 변수의 데이터 형태가 데이터 내용과 맞지 않아 변경 관리가 필요함

## 2. 저수지 데이터 전처리 방법론

AI알고리즘에 최적화된 데이터 셋을 만들기 위해서는 전처리가 필수적인 과정이다. 전처리 방법은 데이터의 특징에 따라 선형보간법, 최소값 적용, 중앙값 적용, 평균 값 적용, 회귀 값 적용, 이전(ffill method) 또는 이후 값(bfill method) 등을 적용 할 수 있다.

본 연구에서 활용할 데이터 셋은 다수의 결측치가 있어 이를 보정해야 할 필요가 있었다. 보정 대상 데이터는 저수량, 공급량 데이터이고 이전 값 대체(ffill method) 방식으로 전처리를 진행하였다.

## 3. 분석용 메타 데이터 결합 방법론

본 연구에서 활용한 분석 대상 데이터는 저수지의 저수량 데이터, 공급량 데이터, 강우량 데이터 3종이고, 저수량 예측과 공급 필요량(수요량) 예측을 위해서는 동일 기간의 3종 데이터의 기록이 필요하다. 하지만 각 데이터는 기록 기간이 상이하여 공통 기간을 축으로 한 메타 데이터 셋 생성이 필요하였다. 이를 위하여 관개수로에 물 공급량이 기록된 2014년 2월부터 2018년 6월을 기준으로 아래 표와 같이 메타 데이터 셋을 생성하였다.

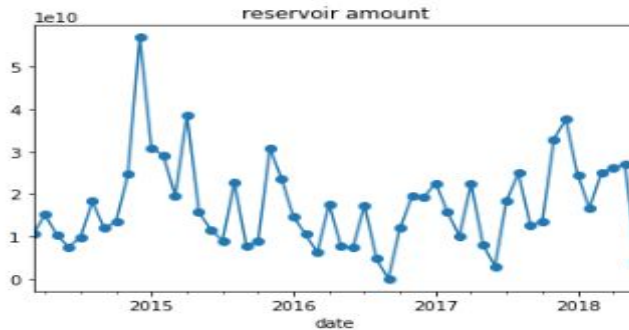
(표 5-8) 메타 데이터 형태표

구분	데이터 형태	구분	데이터 형태
데이터 크기	582 *13, 582일	누적공급량	float
날짜	datetime	저수량원시데이터	float
장소	object	저수량보정데이터	float
강우량	float	저수량	float
수로원시데이터	float	해당년도	object
수로보정데이터	float	해당월	object
공급량	float	해당요일	objct

### 제3절 분석 데이터 통계적 특성

#### 1. 저수지 데이터의 통계적 특징

##### 가. 저수량 데이터의 통계적 특징



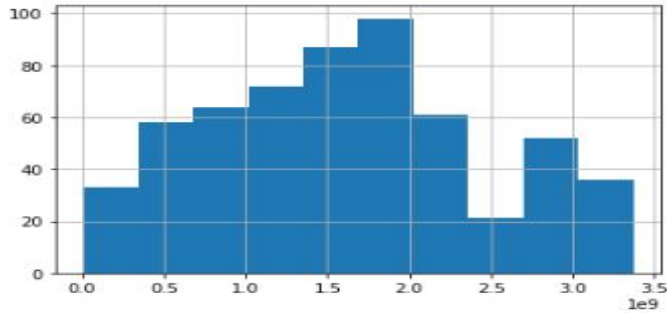
<그림 5-1> 월별 저수량 변화 추이 그래프

(표 5-9) 월별 저수량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	52	25%	10,046,287,814.30
평균(mean)	18,158,300,439.59	50%	16,206,499,407.71
표준편차(std)	10,344,700,294.54	75%	24,641,137,187.85
최소값(min)	2,983,158,443.42	max	56,943,615,646.72

저수지 저수량 데이터의 월별 그래프는 상기 그림과 같이 나타나고 저수량이 가장 적었던 달은 2017년 6월이고 가장 많았던 달은 2014년 12월로 나타났고 월 평균 저수량 18,158,300,439.59m<sup>3</sup>, 표준 편차는 10,344,700,294.54m<sup>3</sup>으로 나타남





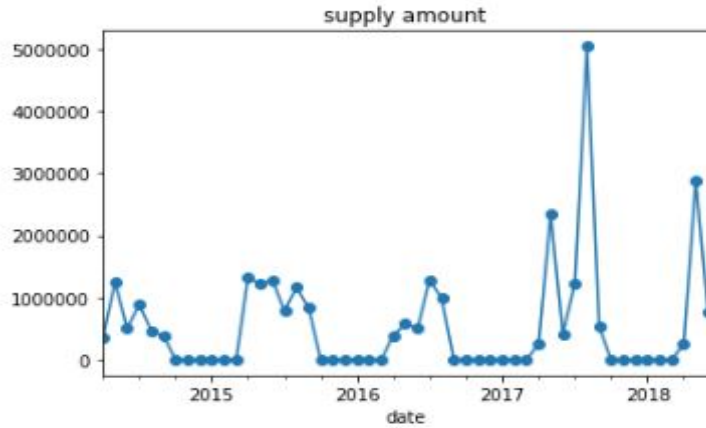
<그림 5-2> 일별 저수량 히스토그램

(표 5-10) 일별 저수량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	582	25%	957,151,808.56
평균(mean)	1,622,391,104.57	50%	1,621,986,595.59
표준편차(std)	833,609,651.74	75%	2,136,519,114.75
최소값(min)	7,825,185.09	max	3,369,848,836.97

저수지 저수량 데이터의 일별 히스토그램 상기 그림과 같이 나타나고 저수량이 가장 적었던 날은 2015년 7월 25일이고 가장 많았던 날은 2015년 4월 7일로 나타났고 일 평균 저수량은 1,622,391,104.57m<sup>3</sup>, 표준 편차는 833,609,651.74m<sup>3</sup> 으로 나타남

나. 공급량 데이터의 통계적 특징

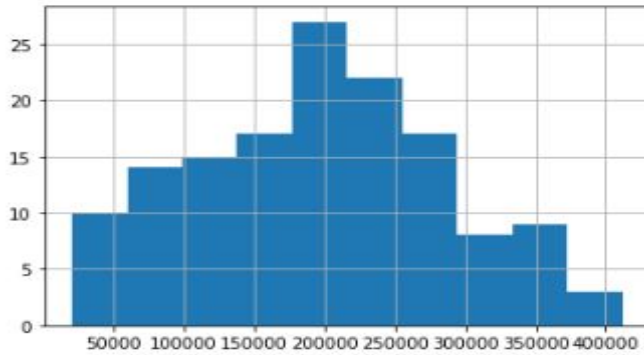


<그림 5-3> 월별 공급량 변화 추이 그래프

(표 5-11) 월별 공급량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	52	25%	N/A
평균(mean)	547,017.09	50%	244,891.55
표준편차(std)	902,686.42	75%	809,828.78
최소값(min)	244,891.56	max	5,047,491.07

월별 공급량 추이 그래프는 상기 그림과 같이 나타나고 공급량이 가장 적었던 달은 2018년 4월이고, 가장 많았던 달은 2017년 8월로 나타났고 일 평균 저수량은 1,622,391,104.57m<sup>3</sup>, 표준 편차는 833,609,651.74m<sup>3</sup> 으로 나타남



<그림 5-4> 관개기 공급량 히스토그램

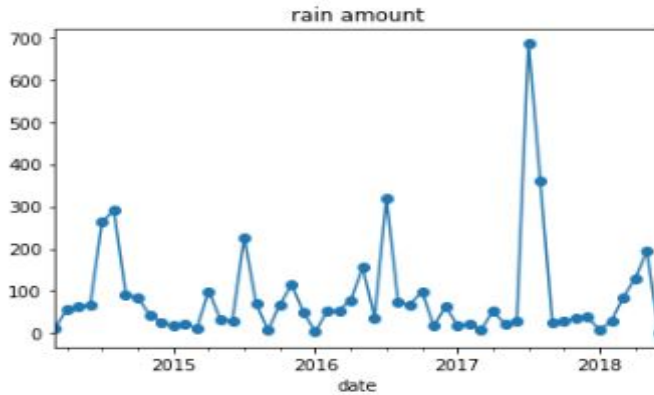
(표 5-12) 관개기 일별 공급량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	142	25%	12,9347.91
평균(mean)	196,463.88	50%	195,257.88
표준편차(std)	92,223.32	75%	259,178.22
최소값(min)	20,421.65	max	411,614.95

저수지 공급량 데이터는 관개기 총 305일 중 물 공급이 있었던 142일을 대상으로 분석하였음

일별 히스토그램 상기 그림과 같이 나타나고 공급량이 가장 적었던 날은 2015년 4월 2일이고 가장 많았던 날은 2017년 7월 27일로 나타났고 일 평균 저수량은 1,622,391,104.57m³, 표준 편차는 833,609,651.74m³ 으로 나타남

다. 강수량 데이터의 통계적 특징

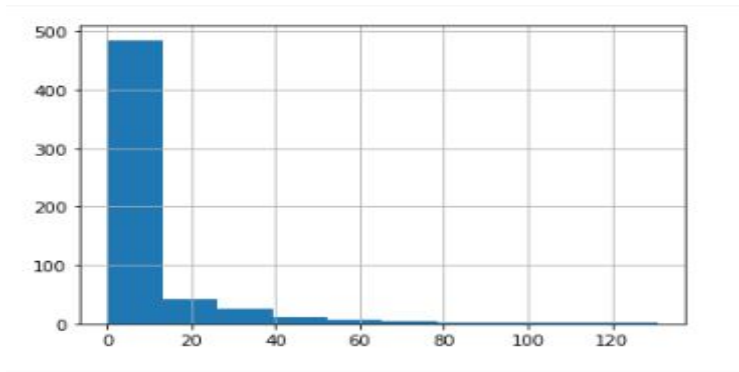


<그림 5-5> 월별 강수량 변화 추이 그래프

(표 5-13) 월별 강수량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	52	25%	25.25
평균(mean)	87.61	50%	52.55
표준편차(std)	117.87	75%	87.5
최소값(min)	1.8	max	684.5

월별 강수량 추이 그래프는 상기 그림과 같이 나타나고 강수량이 가장 적었던 달은 2018년 6월이고, 가장 많았던 달은 2017년 7월로 나타났고 월 평균 강수량은 87.61mm, 표준 편차는 117.87mm 으로 나타남  
강수량의 변화에 반복적인 패턴 또는 주기성이 파악되지는 않음



<그림 5-6> 일별 강수량 히스토그램

(표 5-14) 일별 강수량 기술통계량

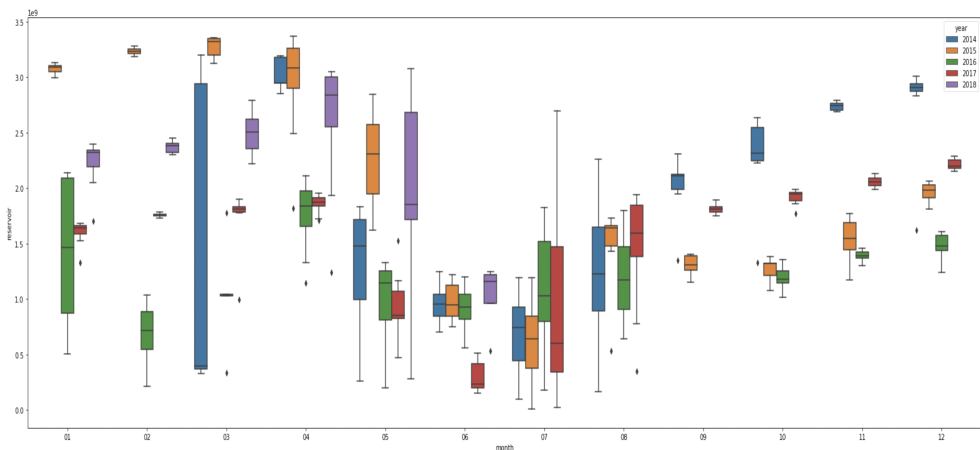
구분	값	구분	값
횟수(count)	582	25%	0.1
평균(mean)	7.83	50%	1.3
표준편차(std)	16.60	75%	6.88
최소값(min)	0	max	130.80

저수지 부근 강수량 데이터의 일별 히스토그램 상기 그림과 같이 나타나고 강수량이 가장 적었던 날은 2014년 3월 14일 외 다수의 강수량 0인 날이 존재하고 강수량이 가장 많았던 날은 2017년 8월 20일로 나타났고 일 평균 강수량은 7.83mm, 표준 편차는 16mm 으로 나타남

## 제4절 저수지 데이터의 상관 분석

저수지 데이터의 저수량과 공급 수요량을 예측하기 위해서는 저수지 수량에 영향을 미치는 변수들 간의 상관 관계를 이해 할 필요가 있다. 특히 효율적인 물관리가 필요한 관개기간(4월부터 9월)에 강수량, 공급량, 저수량의 변화가 어떤 상관 관계를 가지고 있는지 파악하여 유입될 물의 양과 공급할 물의 양을 예측하는 모델의 변수 선택의 판단 근거로 삼아야 한다. 이를 위해 본 절에서는 관개 기간 내 저수량, 공급량, 강수량의 패턴을 년도별로 파악해 보고 이들 간의 상관 관계를 분석해 보고자 한다.

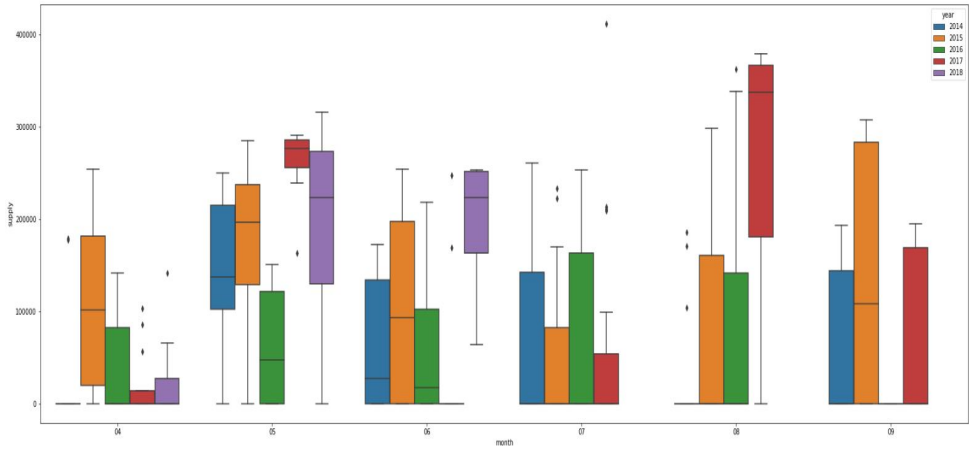
### 1. 관개 기간 내 각 변수의 패턴 분석



<그림 5-7> 관개기 저수량 Box Plot (단위: m³)

2014년부터 2018년까지 효율적인 물관리가 필요한 관개기간 내 저수량 데이터를 월별로 분석해 본 결과 평균 저수량이 가장 높았던 시기는 2015년 4월이고 가장 낮았던 시기는 2017년 6월로 파악됨.

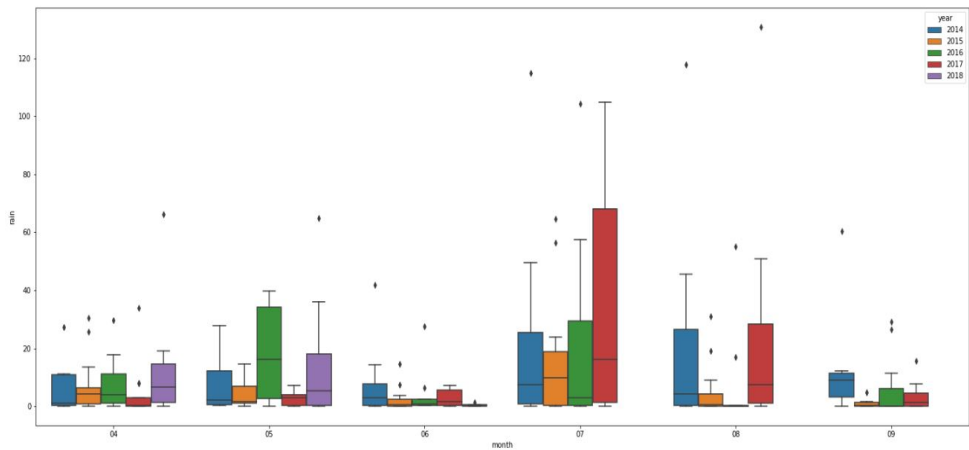
저수량의 변화에 반복적인 패턴 또는 주기성이 파악되지는 않음



<그림 5-8> 관개기 공급량 Box Plot (단위: m³)

2014년부터 2018년까지 효율적인 물관리가 필요한 관개기간 내 공급량 데이터를 월별로 분석해 본 결과 평균 공급량이 가장 높았던 시기는 2017년 8월이고, 가장 낮았던 시기는 2017년 4월로 나타남.

각 월별 공급량에 주기성이 나타나지 않고, 강수량이 높았던 2017년 8월에 공급량도 높게 나타나 강수량과 공급량과의 반비례 관계도 성립하지 않을 수 있음.



<그림 5-9> 관개기 강수량 Box Plot (단위: mm)

2014년부터 2018년까지 효율적인 물관리가 필요한 관개기간 내 강수량 데이터를 월별로 분석해 본 결과 평균 강수량이 가장 높았던 시기는 2017년 7월이고 가장 낮았던 시기는 2018년 6월로 파악됨.

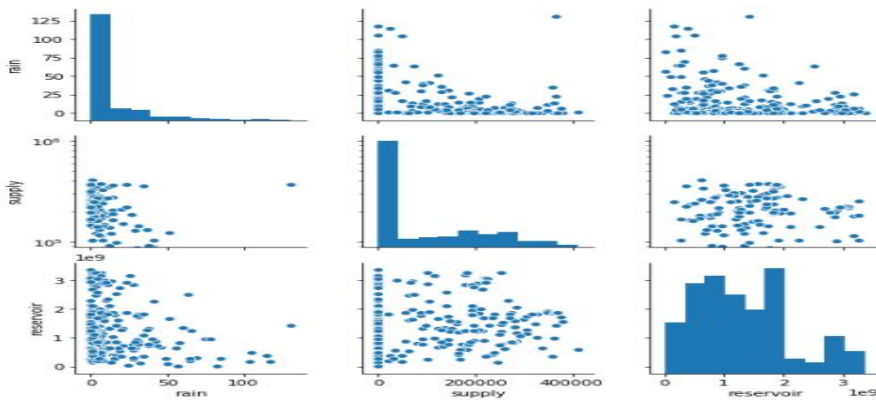
강수량의 변화에 반복적인 패턴 또는 주기성이 파악되지는 않고 년도별 월별 편차가 매우 크다는 것을 파악할 수 있음

## 2. 관개 기간 내 각 변수의 상관 분석

관개 기간 내의 저수량, 공급량, 강수량의 상관 관계 분석은 피어슨상관계수(Pearson Correlation Coefficient)를 활용하여 진행하였고, 아래와 같은 결과가 도출됐다.

(표 5-15) 관개기 주요 변수 상관 계수표

구분	강수량	공급량	저수량
강수량	1.00	-0.15	-0.24
공급량	-0.15	1.00	0.14
저수량	-0.24	0.14	1.00



<그림 5-10> 관개기 주요변수 상관 관계 그래프



강수량과 공급량간의 상관 계수는  $-0.15$ 이고 p-value는  $0.01$ 로 관계기 강수량과 공급량은 통계적으로 약한 음의 상관성을 나타냈다. 이는 강수량이 증가하면 공급량이 줄어들 가능성이 약하게 있다고 이해할 수 있다.

강수량과 저수량간의 상관계수는  $-0.24$ 이고 p-value는  $0.00002$ 로 강수량과 저수량은 통계적으로 약한 음의 상관성을 나타냈다. 이는 강수량이 증가면 저수량이 줄어들 가능성이 약하게 있다고 이해할 수 있다. 다만 이 결과는 강수량이 늘면 저수량이 증가한다는 이해되는 상식에 적합하지 않아 보다 심도 있는 검증이 필요하다.

저수량과 공급량 간의 상관계수는  $0.14$ 이고 p-value는  $0.013$ 으로 저수량과 공급량은 약한 양의 상관성을 나타냈다. 이는 저수량이 증가하면 공급량도 증가할 가능성이 약하게 있다고 이해할 수 있다.

## 제5절 저수량 예측에 필요한 데이터 및 방법론

신뢰성 있는 저수지 저수량 및 공급량 예측은 물 사용자들의 수요에 대응하여 효과적인 물 공급을 해야 하는 수자원 계획과 관리 측면에서 필수적인 요소이다. 특히 우리나라의 경우 본 보고서에서 분석한 것처럼 계절별 강수량의 차이나 유출량의 변화가 매우 커서 저수량 및 공급량 예측에 많은 어려움이 있는 것이 현실이다. 이러한 현실에서 예측의 정확성을 확보할 수 있는 방법은 다양한 예측 인자를 발굴하여 모델에 적용하는 것이다.

예를 들어, 강재원은 “다중 선형회귀분석에 의한 계절별 저수지 유입량 예측”<sup>2)</sup>을 위한 자료로 남방진동지수(Southern Oscillation Index, SOI), 해수면 온도(Sea Surface Temperature, SST), 500hPa 지위고도(Geopotential Height, GPH) 등을 선택하여, 이 자료에서 예측 인자를 발굴하여 다중선형회귀분석 모델을 활용하여 안동댐 계절별 유입량 예측을 수행하였다. 그 결과 안동댐 계절별 유입량과 남방진동지수와는 유의한 상관관계가 발견되지 않았고, 해수면 온도와 지위고도자료는 안동댐 계절별 유입량과 유의한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 예측 인자들을 활용하여 계절 카테고리 설정하고 다중회귀분석 모델로 안동댐의 계절별 유입량을

---

2) 강재원, 2013, ‘다중선형회귀분석에 의한 계절별 저수지 유입량 예측’, 충남대학교 국제수자원 연구소, The Korean Environmental Science Society.

예측한 결과 기준 예측에 비해서 23% ~37% 정도 향상된 것으로 나타났다.

상기의 예처럼 저수지 저수량과 공급량 수요 예측을 위해서 저수량, 공급량, 강수량과 이에 대한 가공 데이터 이외의 영향 변수들을 발굴하여 모델에 적용시키면 예측의 정확도를 높일 수 있을 것이다.

예를 들면 취수부에서 획득할 수 있는 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 제수문(개폐, 개도율), 도수부에서 획득할 수 있는 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문, 급수부에서 획득할 수 있는 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량) 등의 데이터를 확보하여 활용할 수 있을 것이다.

서영민 외 2인이 연구한 ‘기계학습 모델을 이용한 저수지 수위 예측’<sup>3)</sup>을 보면 수위 예측에 적용할 수 있는 다양한 방법론이 제시되어 있다. 예를 들어 홍수기간동안 예측 시간 1~3시간에 대한 저수지 수위 예측을 하기 위해 뉴로 퍼지 방법이 적용되었고, 터키의 경우 Van호의 수위 변화를 모델링하기 위해 ANN(Artificial neural Network)방법을 적용하였다.

또한 시계열 통계 분석 방법 중 하나인 ARMAX (Autoregressive-moving-average model)를 활용하여 ANN 모델의 성능을 비교하였다. 또한 Kisi et al(2012)는 저수지 일수위 예측을 위하여 ANN, ANFIS 및 GEP(Gene Expression Programming)을 적용하였고 Hipniet et al(2013) 저수지 일수위 예측을 위하여 SVM(Support Vector Machine)을 적용하여, 그 결과를 ANFIS와 비교하였다.

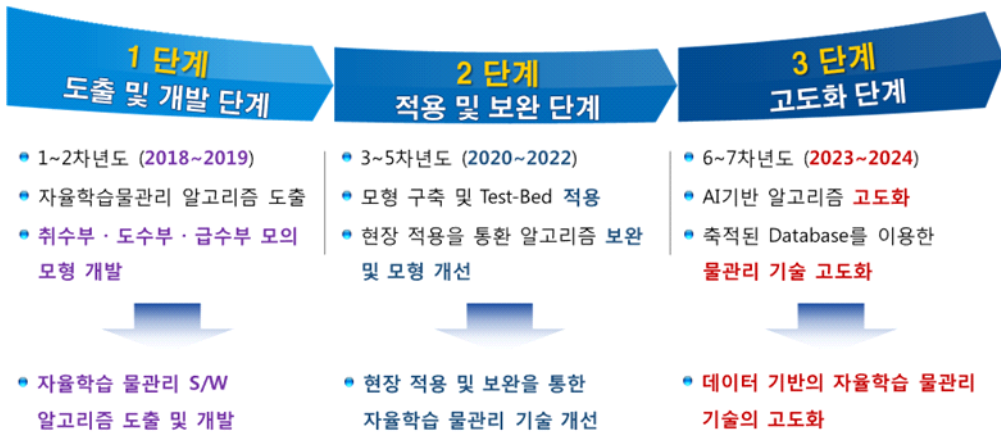
이처럼 저수량 또는 공급량을 예측하는 방법론은 전통적인 통계 방법론, 머신러닝 방법론 그리고 딥러닝 방법론까지 다양하게 활용되고 있고, 알고리즘의 선택은 예측에 활용될 변수의 특성과 분석 환경에 따라 최적화된 알고리즘을 선택할 필요가 있다.

---

3) 서영민외 2인, 2017, ‘기계학습모델을 이용한 저수지 수위 예측’, 경북대학교, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers

## 제6장 단계별 기술개발 전략계획 수립

### 제1절 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획 수립



<그림 6-1> 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획

본 연구의 단계별 알고리즘 기술개발 전략을 그림 5-1에 제시하였다. 당해 연도는 연구과제의 2차년도로서 1단계(도출 및 개발)이다. 1단계에서는 취수부, 도수부, 급수부의 알고리즘을 도출하고, 알고리즘에 따라 모형들을 설계하고 개발하였다. AI기반의 물관리 의사결정 모형들은 기초적인 설계를 하였으며 향후 2~3단계에서 개발과 고도화 할 예정이다. 2단계(적용 및 보완)에서는 데이터 계측과 현장조사가 본격적으로 시작되며, 수집한 데이터들을 활용하여 개발한 알고리즘 및 모형의 검증작업을 수행하고 모형을 보완하게 된다. 계측된 공급량 데이터를 활용하여 공급량 추정 모형을 검증하고, 이를 저수지 유입량으로 환산하여 유입량 모형을 검증한다. 간선수로의 유량 및 수위 데이터를 이용하여 평야부 모형을 검증하게 된다. 검증과정에서 발생하는 오류 혹은 수정사항을 반영하여 각 모형들을 보완하고 개선한다. 마지막 3단계(고도화)에서는 AI에 기반하여 물관리가 이루어질 수 있도록, 알고리즘을 고도화한다. 최종적으로 용수공급과 수문제어의 자동화 또는 의사결정 지원을 목표로 알고리즘을 고도화 하게 된다.

## 제2절 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립



<그림 6-2> 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획

본 연구의 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략을 그림 5-2에 제시하였다. 당해연도는 연구과제의 2차년도로서 1단계를 진행하고 있다. 1단계는 스마트 수리시설물의 개발 및 시범운영 단계로서, 자율학습 물관리에 적합한 수리시설물 도입기술을 선정하고 설계기술을 개발함과 동시에 단계적인 개발 전략을 수립하였다. 2단계는 운영 및 보완 단계로서 1단계에서의 도입 기술 및 설계기술에 대한 프로토타입을 제작하고 실험실 운영 및 현장 적용을 통하여 스마트 수리시설물을 보완하는 단계이다. 3단계는 고도화 단계로서 스마트 수리시설물의 확대 적용이 가능하도록 고도화를 실현하고 지속적인 운영을 통하여 자율학습 물관리 시스템의 검증 및 범용화를 완료하는 단계이다.

### 제3절 단계별물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립

물관리 시스템 기술개발 전략 계획은 3단계로 구성하였으며 개발단계, 적용단계, 고도화 단계이다. 1단계 개발단계에서는 자율학습 물관리 파일럿 시스템을 개발하여 수로 네트워크 분석이 가능하도록 하였으며 이에 더불어 추가적인 알고리즘을 시스템에 적용하는 단계이다. 이를 통하여 최종적으로는 자율학습 물관리 시스템 베타 버전을 개발하는 것이다.

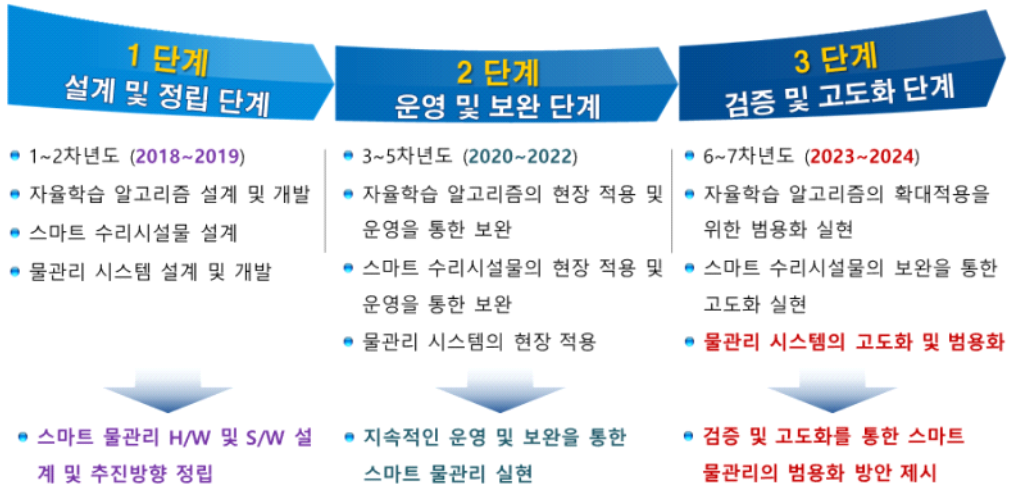
2단계 적용단계는 1단계에서 개발된 시스템을 다양한 시범지구에 적용하여 그 적용성을 검토하고 시스템에 대한 추가적인 기능 또는 보완사항에 대하여 개발한다. 이를 기반으로 물관리 현장에서 적용 가능한 물관리 시스템의 플랫폼을 개발하는 것이다. 이를 위하여 다양한 계측자료 및 분석자료에 대한 데이터베이스 설계 및 구축하고 이를 빅데이터 분석이 가능한 기반을 마련하는 것이다. 데이터 측면에서 현재 물관리에서 확보 가능한 데이터와 향후 확보해야 할 데이터를 구분하여 구축하고 향후 확보 방안에 대한 연구도 필요할 것이다.

3단계 고도화 단계는 2단계를 통하여 구축될 빅데이터를 분석할 수 있는 통합 DB를 구축하고 물관리 시스템 플랫폼에 AI기반 알고리즘을 적용하여 물관리 현장에서 적용이 가능한 물관리 시스템을 최종적으로 개발하는 것이다.



<그림 6-3> 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획

## 제4절 도입기술의 현장 적용 전략계획 수립



<그림 6-4> 단계별 도입기술의 현장 적용 전략계획

본 연구는 크게 스마트 물관리를 위한 자율학습 알고리즘 개발, 스마트 수리시설물 개발, 스마트 물관리 시스템 플랫폼 개발로 나누어져 있다. 1단계에서는 각각의 도입기술의 설계 및 개발방향 정립 단계로서, 시범지구에 대하여 자율학습 알고리즘 및 스마트 수리시설물, 물관리 시스템의 설계를 완료하고 고도화를 위한 개발 방향을 수립하였다. 2단계에서는 각각의 도입기술을 현장 적용을 통하여 운영 및 보완을 지속적으로 수행하여 시범지구의 스마트 물관리를 실현하는 단계이다. 3단계에서는 도입기술의 검증 및 고도화, 범용화를 실현하는 단계로서 시범지구에서 검증된 스마트 물관리 시스템을 전국적으로 확대 적용할 수 있는 범용화 방안을 제시하고 시범지구 이외에 대표성을 확보하고 있는 대표 지구에 대하여 적용하여 범용화를 실현하고자 한다.

## 제7장 결 론

기후변화, 밭 재배면적 증가, 수원개발 적지 부족, 수리구조물 관리인력 부족, 통합물관리 정책 시행 등 다양한 자연적·사회적·정책적 요구에 대응하기 위해 ICT·IoT기반의 정량적·과학적 물관리가 필요한 시점에서 본 연구과제에서는 데이터 기반의 물관리 개념을 도입하여 이러한 요구에 대응하고자 하였다. 본 연구과제는 다년도의 연구과제 중 2년차에 해당하는 연구로 연구의 최종적인 목표를 재설정하여 1차년도에 도출한 요소기술들을 선별하고, 이를 유기적으로 조합하여 물관리 시스템의 기본설계를 하였다. 또한 시범지구를 선정하여 시범지구에 계측기를 설치하였다.

본 연구과제의 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

- 일반적으로 널리 사용되는 지하 또는 제방으로의 침투를 무시한 간략화된 물수지 모형을 사용하여 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계를 진행하였음
- 저수지 저수율 모의예측 모형에 매우 중요한 요소인 유입량은 매개변수 조정에 대한 과정이 이미 분석되어 개략적으로라도 추정할 수 있는 3단 Tank 모형을 사용함
- 모형사용으로 인한 추정의 불확실성을 줄이기 위하여 일단위 계산의 결과를 순단위로 환산하여 물수지 모형에 적용함
- 인공지능 용수공급량 예측 모형은 물수지모형과 공급량모형에 의해 모의된 저수율이 실제 관측된 저수율과 잘 일치하도록 작부시기, 손실율 등을 최적화 알고리즘(ACO, Ant Colony Algorithm)을 통하여 역추정하였음
- 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘의 기본설계는 필지의 면적에 비례하는 것이 최적의 물 배분으로 가정하고 이를 위해 분수문의 최적개도율을 산정함
- 고정된 수문은 실제 현장에서의 수문 조작 방식과는 다른 방법이므로 수로 조작에 최적화 알고리즘(MCTC, Monte Carlo Tree Search)을 적용하여 제시할 예정임

- 물관리 시스템 알고리즘의 검증위해 데이터를 수집하고 추가적인 현장 검증 등이 필요함
- 국내/외의 대표적인 수문 형식, 작동방식 및 소재 등에 대해 분석/검토 하였으며, IoT 기반의 스마트 농업용 수로 수문 3종 설계기술 LPL게이트, SRS게이트, UHA게이트를 개발하였음
- LPL(Low-Powered Lightweight Gate) 게이트는 경량의 소재를 적용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문 형식
- SRS(Smart Rubber & Steel Gate) 게이트는 하이브리드 패널과 고무 에어백을 사용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문 형식
- UHA(Upper Hinge Automatic Gate) 게이트 하이브리드 패널을 사용하여 저전력으로 게이트를 상부 힌지방식으로 개폐하는 방식의 수문 형식임
- 물이용 불확실성을 해소하고자 유역부, 저수부 및 평야부에 걸쳐 수문 계획망을 구축 및 운영을 하였음
- 관개지역 내의 구간별 농업용수량의 산정이 필요하지 않는 지구에서는 간선수로별로 유입부, 중간부, 말단부에 각 1개소 즉, 간선 수로별 3개소 규모의 계획기를 구축함으로써 경제성을 확보할 수 있을 것으로 분석 되었음
- 수리 네트워크의 구성요소는 관개지구의 물순환을 기초로 하여 분류하면 크게 취수부, 도수부, 급수부 등으로 구분
- 스마트 수리시설물 파일럿 분석시스템 개발
- 데이터의 통계적 특성 분석결과 관개기 용수 공급 여부가 강수량과는 상관없이 계획에 의해 공급 되거나 농민의 추가 요청에 의해 공급되는 업무 특성이 반영된 것이라고 추정할 수 있고, 모델에 적용할 데이터 셋 생성 시 이 부분을 고려해야 할 것임
- 저수율 예측에 필요한 추가 데이터는 취수부에서 획득할 수 있는 기상 상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 제수문(개폐, 개도율), 도수부에서 획득할 수 있는 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문, 급수부에서 획득할 수 있는 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량) 등임



- 분석에 적용할 수 있는 알고리즘은 뉴로 퍼지 방법, ANN(Artificial neural Network)방법, ARMAX(Autoregressive-moving-average model), ANFIS 및 GEP(Gene Expression Programming) 및 SVM(Support Vector Machine)등이 있고 알고리즘에 적용할 변수들의 특성을 고려하여 선택 활용해야함
- 단계별 알고리즘, 스마트 수리시설물,물관리 시스템의 기술개발 전략 계획과 도입기술의 현장 적용을 위한 전략계획 수립

위와 같은 도출 내용을 바탕으로 차년도 이후로 시범지구에 대하여 설계한 물관리 시스템을 적용하고, 설치한 계측기에게 계측된 자료를 바탕으로 이를 검증하고자 한다. 본 연구에서는 데이터 기반의 자동용수공급 기술 및 수문 조작 기술 개발을 연구의 최종목표로 설정하였으며, 이를 위하여 요소기술들을 개발하고, 개발을 위한 전략을 세우고 있다.

아직 데이터 기반의 물관리라는 개념이 명확하지 않은 상황에서, 본 연구는 그 시작점으로서 최대한 구체화할 수 있는 부분을 구체화 하고자 하였으며, 특히 정량적인 용수관리의 개념이 없는 현 시점에서 용수공급 및 수문조작을 정량적인 지표에 의해 관리될 수 있도록 목표하여 다양한 기술들을 적용하고자 하고 있다. 아직 데이터의 부족으로 기술 및 알고리즘의 검증이 부족한 부분들이 있으나 차년도 이후 실제 데이터를 활용하여 요소기술들을 검증하고 적용하고자 한다.

## □ 참고문헌

1. 강민구, 박승우, 임상준, 1999, 관개용 저수지의 일별 사용량 조사 분석, 1999년 한국농공학회 학술발표회 논문집, 1, pp. 111-116
2. 강민구, 오승태, 김진택, 2014, 관개지구의 관행 물관리를 고려한 저수지 용수공급량 추정, 한국농공학회논문집, 56, pp. 1 - 9
3. 강민구, 이주현, 박기욱, 2013, 미계측 유역 유출 모의를 위한 Tank 모형의 매개변수 지역화, 46, pp. 519 - 530
4. 김보경, 김병식, 권현한, 2009, 준분포형 모형을 이용한 농업용 저수지가 안성천 유역의 유출모의에 미치는 영향 평가, 대한토목학회논문집, 29, pp. 11 - 22
5. 김진택, 이용직, 2002, 농업용수 시험지구의 관측 및 물관리 특성, 2002년 한국농공학회 학술발표회 자료집, 12, pp. 13 - 16
6. 김현영, 1998, 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생(I), 한국농공학회지, 30, pp. 50 - 62
7. 김현영, 1998, 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생(II), 한국농공학회지, 30, pp. 95 - 104
8. 김현영, 1998, 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생(III), 한국농공학회지, 30, pp. 95 - 105
9. 김현준, 2001, 2매개변수 쌍곡선형 일유출모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문
10. 김현준, 장철희, 노성진, 2012, 도시화에 따른 물순환 영향 평가 모형의 개발 및 적용, 한국수자원학회논문집, 45, pp. 203 - 215
11. 노재경, 2003, 용수 수요를 고려한 DAWAST 모형의 적용성 평가, 한국수자원학회논문집, 36, pp. 1097 - 1107
12. 노재경, 2013, 용수수급 조절을 고려한 비구조적 하천수량 확보 기술 개발 (II), K-water 연구원.
13. 노재경, 이재남, 2008, 대야지 승상을 위한 수문학적 가능성 평가, 농업과학연구, 35, pp. 225 - 235
14. 노재경, 이재남, 2011, 도시 하천유지유량 공급의 저수지 운영 방법, 농업과학연구, 38, pp. 163 - 172

15. 노재경, 이재남, 2011, 저수지 운영을 위한 한국 하천 유출 모형의 비교, 농업과학연구, 38, pp. 513 - 524
16. 농림부, 1998, 농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편)
17. 농림부, 1999, 농업용수 관리 자동화 시스템 기술 개발
18. 농업기반공사 농어촌연구원, 2005, 영농환경 변화를 고려한 농업용수 적정 공급방안 연구
19. 맹승진, 황만하, 이현규, 2007, 연속유출모형에 의한 동향유역의 유출 분석, 한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집 5(1), pp. 1-4.
20. 박승우, 2001, 농업용수의 관개효율제고 방안, 농어촌과 환경, 70, pp.3-12
21. 안지현, 송정현, 강문성, 송인홍, 전상민, 박지훈, 2015, TANK 모형 매개변수 추정을 위한 회귀식 개발, 한국농공학회논문집, 57, pp. 121 - 133
22. 이성용, 김태곤, 이제명, 이은정, 강문성, 박승우, 이정재, 2009, 단일변 이 탐색법과 유전 알고리즘에 의한 탱크모형 매개변수 결정 비교 연구, 한국농공학회논문집, 51, pp. 1 - 8
23. 이용준, 박민지, 박기욱, 김성준, 2008, 농업용 저수지 운영을 고려한 SWAT 모형의 수문학적 거동 분석, 한국지리정보학회지, 11, pp. 20 - 30
24. 이용직, 김선주, 김필식, 주옥중, 양용석, 2006, 합리적 관개용수량 산 정에 관한 연구, 한국농공학회논문집, 48, pp. 11 - 20
25. 이재남, 2016, 기후변화를 고려한 다수 농업용 저수지의 하천유지유량 모의시스템 개발 및 적용, 충남대학교 박사학위논문.
26. 이재남, 노재경, 2015, RCP 8.5 기후변화 시나리오를 고려한 농업용 저수지군 운영에 따른 미래 하천유량 평가, 한국농공학회논문집, 57, pp. 113 - 122
27. 이태호, 2011, 수리시설물 모의조작 시스템 (HOMWRS)소개, 물과 미래 : 한국수자원학회지, 44, pp. 88 - 91
28. 전상민, 2014, 농업용 저수지 용수공급 모의 시스템의 개발, 서울대학교 석사학위논문.
29. 정지혜, 2014, SSARR 모형에 의한 금호강 수계 표준유역별 유출특성 분석, 충북대학교 석사학위논문.

30. 최진규, 손재권, 김영주, 2012, 동진강 유역의 농업용수 급수체계 분석, 한국농공학회논문집, 54, pp. 11 - 18
31. 한국농어촌공사 금강사업단, 2017, 금강권역 지능형 물정보시스템 구축 연구용역
32. 한국농어촌공사 농어촌연구원 2015, 지능형 관개/배수 관리시스템 개발
33. 한국농어촌공사, 2016, 대야저수지 지능형 물관리시스템 구축 계획
34. 허유만, 1993, 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망모형의 개발(I)
35. 허유만, 1993, 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망모형의 개발(II)
36. 허유만, 1993, 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망모형의 개발(III)
37. Kite G.W, A. Dalton & K. Dion, 1994: Simulation of streamflow in macro-scale watersheds using GCM data. Water Resources Research, 30(5), pp.1547-1559.
38. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, and K.W. King, 2002. Assessment tool theoretical documentation : version 2000.

## 참 여 연 구 원

목 차	소 속	참 여 자
1장 서론 - 연구배경 및 목적 - 연구범위	농어촌연구원 농어촌연구원 농어촌연구원	이재주 이재주 강문성
2장 연구대상지역 및 현황	충남대학교	안현욱
3장 ICT 기반 물관리 시스템 기본설계 - 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계 - 논물수지를 반영한 용수공급 취약지역 분석 방안 마련 - 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘 기본설계 - 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증	충남대학교 충남대학교 충남대학교 충남대학교 충남대학교	안현욱 강한솔 안현욱 안현욱 박종현
4장 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계 - IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정 - 수리시설물 설치 지역 선정 및 시범 계측장비 설치 - 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영 - 스마트 수리시설물 통합 제어 시스템 설계	아이에스텍 아이에스텍 아이에스텍 아이에스텍 수리이엔씨	정석제 윤도섭 임정현 정석제 박현준
5장 수위 계측 데이터 분석 방법론 도출 - 연구범위 및 내용 - 저수지 데이터 품질 및 처리 방법 - 분석 데이터 통계적 특성 - 저수지 데이터 상관관계 분석 - 저수량 예측에 필요한 데이터 및 방법론	농어촌연구원 농어촌연구원 농어촌연구원 농어촌연구원 농어촌연구원 농어촌연구원	이재주 신안국 김대의 강문성 이재남 이재남
6장 단계별 기술개발 전략계획 수립 - 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획 수립 - 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립 - 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립 - 도입기술의 현장 적용 전략계획 수립수립	수리이엔씨 수리이엔씨 아이에스텍 수리이엔씨 아이에스텍	김필식 권형중 정석제 권형중 윤도섭
7장 결론	농어촌연구원	이재주

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

### ■ 발 행 처

연구과제명 : 농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발

발 행 일	2019. 12
발 행 인	유 전 용
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 해안로 870 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055

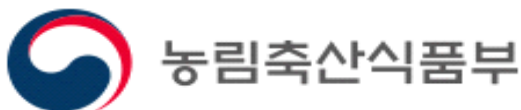
- 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.  
단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.

# 농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발(II)

(제2편 : 농업생산기반시설 성능개선 기술개발)

Development of Technique for Performance Improvement of  
Agricultural Infrastructure and Unsupervised Learning Water  
Management

2019. 12







# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발 (제2편 : 농업생산기반시설 성능개선 기술개발)”연구의 연차보고서로 제출합니다.

2019년 12월

주관연구기관명 : 한국농어촌공사  
농어촌연구원

연구지도 : 유전용  
윤석환

연구책임자 : 양영진

연구원 : 조영권  
이태호  
허준

공동연구기관명 : (주)유니콘스,  
중앙대학교 산학협력단

연구책임자 : 조중연

연구원 : 장경호  
엄태환



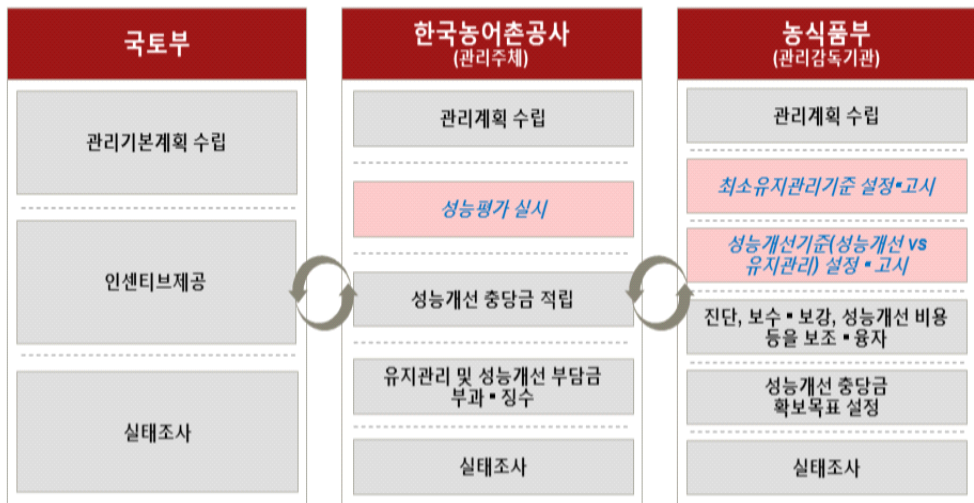
## 요 약 문

1. 연구과제명 : 농업생산기반시설 성능개선 및 자유훈습 물관리 기술 개발 (제2편 : 농업생산기반시설 성능개선 기술개발)

2. 연구기간 : 2018. 5 ~ 2019. 12

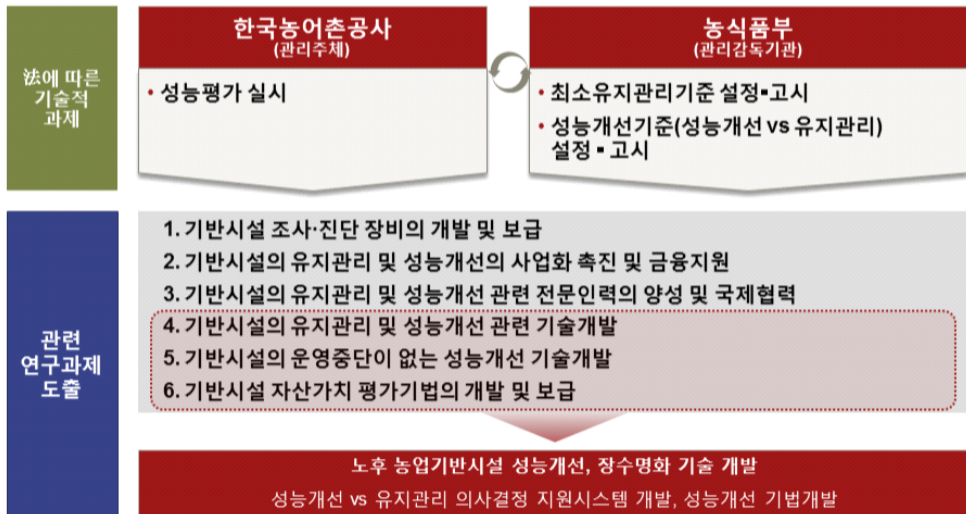
### 3. 연구의 목적

- 압축성장기에 건설된 국가 주요 기반시설의 노후화가 진전되면서 안전문제와 관리비용 증가 등의 사회적 문제가 발생함
- 이에 따라 정부는 ‘기반시설의 생애주기비용 최소화’와 ‘새로운 일자리 창출’을 목적으로 “지속가능한 기반시설 관리 기본법”을 ‘18년 제정
  - “기반시설 관리 기본법”에 따라 ‘20년부터 국토부, 관리감독기관, 관리 주체의 각 주체별 역할에 따라 업무를 수행해야 함



< “지속가능한 기반시설 관리 기본법”에 따른 각 주체별 역할 부여 >

- 기반시설 중 특히, 농업생산기반시설은 재해대비 역량 강화요구가 증대되고 있으나, 농촌의 재해취약성에 따라 유지관리 어려움은 가중됨
- 기술개발이 필요한 농식품부 산하의 과제는 저수지의 '성능평가', '최소유지관리기준', '성능개선기준' 개발로 요약할 수 있음



< “기반시설 관리 기본법” 이행을 위한 기술개발 연구과제 도출 >

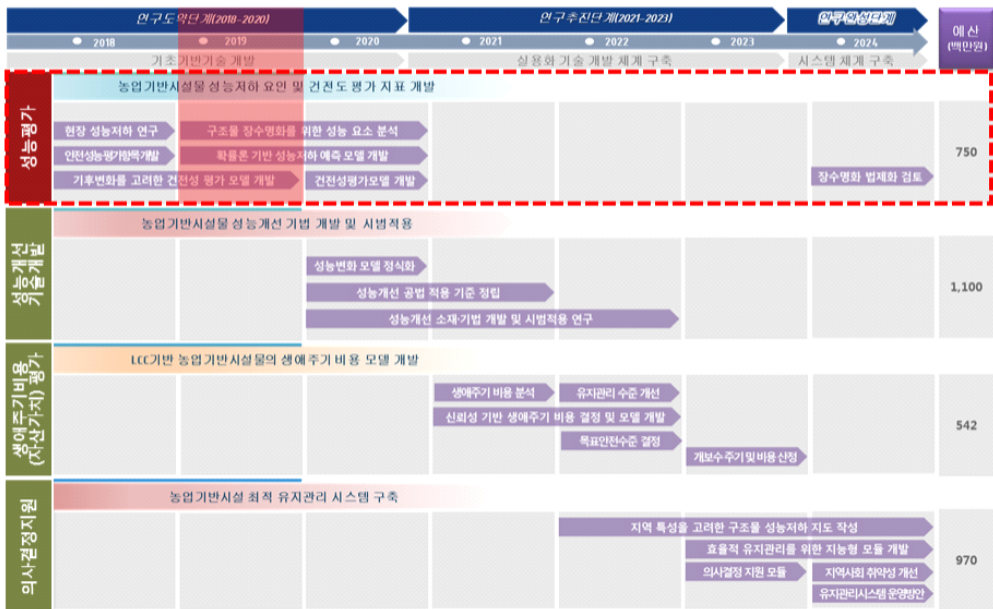
- 사회적 문제의 저감을 위해 선제적 시설물 유지관리와 체계적인 보수·보상 이행력 제고 방안에 대한 연구가 필요



< 농업생산기반시설 성능개선 기술개발 연구 추진의 필요성 >

#### 4. 연구내용 및 범위

- 본 연구는 전체 7개년 연구추진 계획이 수립되어 있으며, 농업기반시설의 성능평가를 위한 구체적인 성능평가 모델을 개발하고자 함
  - 농업기반시설의 성능개선을 목표로 하는 대상 구조물별 건전성 파악과 모델링 요소에 대한 규명
  - 현장 상태가 고려된 농업기반시설물의 성능저하 요인 모델 및 개선방향 수립과 농업기반시설물의 성능저하 요인별 실증
- 공공시설 장수명화 관련 정부정책에 따른 농업기반시설의 선제적 유지관리 전략 수립
  - 노후 농업생산기반시설에 대한 맞춤형 장수명화 방안수립과 인벤토리 구축방안 수립
  - 시설물 안전관리와 보수, 보강 등 유지관리체계 구축에 대한 기술개발



< 7개년 연구추진 로드맵 >

□ '19년 연구 내용과 범위는 다음과 같음

- 시설물 현황조사
  - 저수지 시설관리 현황
  - 양배수장 시설관리 현황
- 성능저하 요인분석
  - 통계·확률에 의한 저수지 및 양·배수장의 성능 영향요인 도출
  - 현황조사에 의한 성능저하 요인분석
- 성능평가 모델개발
  - 저수지 및 양·배수장의 확률론적 성능평가모델 개발
- 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출
  - 저수지 및 양·배수장의 기대수명 평가
  - 저수지 및 양·배수장의 조치시기 결정
- 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향
  - 주요 국가별 기반시설 관리 정책 동향
  - 자산관리체계의 단계별 도입방향
- 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출
  - 성능평가 매뉴얼(안) 개발
  - 치수측면 및 이수측면의 성능평가 방법론 개발
- 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출
  - 저수지 최소유지관리 기준(안) 개발
  - 저수지 성능개선기준(안) 개발

## 5. 연구결과

- 본 연구에서는 농업생산기반시설물의 성능평가 기법과 장수명화 기술 개발을 목적으로 하였음
- 이에 따라 성능평가, 최소유지관리, 성능개선에 대한 기술과 적용 방안을 마련함

구분	연구내용
① 성능평가 모델 개발	시설물 기능저하 수준과 상태를 평가할 수 있는 모델 개발 - 통계·확률에 의한 열화(劣化)모델 개발
② 성능평가 매뉴얼 개발	안전성, 내구성, 사용성을 복합 고려한 성능평가 매뉴얼 개발 - 기존 안전진단 매뉴얼의 부족한 부분을 개선·보완 (사용성 등)
③ 法 관련 기준마련	성능평가 기술과 기준 개발을 통한 성능평가 근거 제공 - 최소유지관리기준, 성능개선기준 정립

- 본 연구의 결과를 종합하면 다음과 같음

### ① 시설물 현황조사

- 저수지와 양배수장의 시설관리 현황과 문제점을 조사하였으며, 이에 대한 개선방안과 향후계획을 유지관리 및 성능개선 근거 법령에 근거하여 제시함

### ② 성능저하 요인분석

- 저수지와 양배수장의 성능저하 요인을 안전진단과 개보수결과를 통한 연관성 네트워크 분석과 현황조사를 통해 도출함
- 저수지 461개소와 양배수장 106개소의 진단결과는 세부정보를 DB화함
- 저수지 제체의 손상 중 식생이 가장 많이 발생하였으며, 부재 등급에 상관없이 발생하는 손상과 낮은 등급에서 발생하는 가중치를 조정하여 부재별 안전성능 평가결과의 조정이 필요하다는 결과를 도출함

### ③ 성능평가 모델개발

- 점검진단정보와 보수보강공사정보를 이용하여 수명모델과 비용 모델을 개발함
- 저수지제체의 미조치 기대수명은 36년이 도출되었으며, 현행 유지관리에 의한 기대수명은 135년으로 분석됨
- 저수지 여수로의 미조치 기대수명은 36년, 취수시설은 29년으로 분석됨
- 취수시설은 개보수가 아닌, 기계와 전기시설의 교체가 주요 보수공사로 비용모델의 형태가 E등급에서 급격히 증가함
- 양배수장의 미조치모델은 토목, 건축, 전기, 기계가 각각 42년, 51년, 27년, 35년으로 분석되었으며, 기계시설이 양배수장의 수명을 결정함
- 저수지나 양배수장의 토목구조물은 현행 D 등급에서 개보수를 시행하는 것이 타당하며, 기계나 전기 등 타 시설은 E 등급에서 교체하는 것이 생애주기 비용상 적절한 것으로 분석되었음

### ④ 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출

- 성능모델을 이용하여 N회의 조치 후에도 성능저하가 급격히 발생될 경우 성능개선이 적절함
- 저수지 제체는 지속적인 조치에 따른 수명증대 효과가 크기 때문에 안전성능에 의한 성능개선은 어려우며, 사용성능에 의해 결정하는 것이 타당함

### ⑤ 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향 제시

- 국내 자산관리 선행기술과 해외 선진기술을 조사하고, 농업생산 기반시설의 단계별 도입 방향과 중장기 계획을 수립함

### ⑥ 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출

- 시설물의 성능을 안전성능, 내구성능, 사용성능으로 평가할 수 있는 매뉴얼(안)을 제시함



- 각 성능별 가중치에 따른 성능평가 시뮬레이션을 수행한 결과를 제시함으로써 향후 기준정립과 상정을 위한 의사결정을 지원하였음
- 이수와 치수측면의 성능평가를 위한 식을 개발함으로써 상세분석 우선순위 결정을 위한 방법론을 제시함

⑦ 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출

- 기반시설관리법 공통기준안을 분석하고, 법에 적용되는 저수지의 최소유지관리기준과 성능개선기준안을 정립함

## 6. 기대효과 및 실용화 방안

- 본 연구를 통해 현재 정부의 요구사항인 농업생산기반시설의 성능개선 및 장수명화를 위한 법령 및 각종 계획에 대한 이해와 준비, 그리고 공학적 근거마련을 통하여 명확하고 효율적인 성과를 도출하였으며 향후 기대효과와 실용화 방안은 다음과 같음
  - 농업생산기반시설의 효율적인 관리계획 수립 지원
    - 1) 기본계획을 따르는 관리계획 수립을 위한 대응전략 수립
    - 2) 성능평가에 따른 관리계획 수립
  - 농업생산기반시설의 최소유지관리기준 및 성능개선기준 상정
    - 1) 관리감독기관에서 정의 가능한 기반시설물에 따른 기준 정립
    - 2) 관리주체가 즉시 활용할 수 있는 유지관리기법 및 성능평가 연계방안 마련



# Summary

**1. Subject** : Development of Technique for Performance Improvement of Agricultural Infrastructure and Unsupervised Learning Water Management (Part 1 Performance Improvement)

**2. Research Period** : 2019. 3 ~ 2019. 12

### **3. Research Object**

- Development of low cost, high efficiency agricultural infrastructure maintenance support model to achieve long service life
  - Simulation of maintenance decision by target level
- Development of performance improvement technology and standard of technology application

### **4. Research Contents and Range**

- Analysis of the factors of performance deterioration of agricultural infrastructure facilities and the improvement plan
- Development of performance evaluation items for deteriorated agriculture infrastructure facilities
  - Performance Evaluation of Aging Infrastructure Facilities
  - Development and constitution of evaluation model of performance evaluation items of used agriculture infrastructure
  - Establishment of maintenance evaluation factor and maintenance model of agricultural infrastructure
- Estimation of the predictive parameters of the soundness performance of agricultural infrastructure and model construction

## **5. Research Result**

### **5.1 Facilities Status Survey**

- The present condition and problem of facility management of reservoir and pumping station were investigated
- As a result, improvement plans and future plans were presented

### **5.2 Performance degradation analysis**

- Degradation factors were derived through correlation network analysis and field survey through safety diagnosis and renovation results
- DB of the survey results of 461 reservoirs and 106 pumping stations were constructed

### **5.3 Development of performance evaluation model**

- Determination of input variables of performance evaluation model through current safety inspection, precision safety diagnosis case analysis, RIMS DB analysis and field survey data analysis
- The life expectancy of the reservoir by the current maintenance system was analyzed to be 135 years

### **5.4 Determining unfavorable measures of performance improvement and maintenance**

- Reservoir has a long life expectancy due to continuous renovation, so performance improvement should be decided by usability performance

### **5.5 Introduction of asset management system**

- Facility maintenance management status of USA, Canada, Australia, Japan, asset management system survey
- Refer to Australia's International Facilities Management Manual

(IIMM) for an overview of asset management and a description of the necessary elements

- Review of ISO 55000 series asset management construction stage, Facility Security Law, Seoul City ordinance analysis

#### **5.6 Derivation of infrastructure management act application plan**

- Common guidelines were analyzed and minimum reservoir maintenance standards and performance improvement standards were established

### **6. Expectation effect and practical application plan**

- Efficient achievement of target performance during the public period of agricultural infrastructure
- Achieving increased safety and longevity of agricultural infrastructures for climate change and disasters
- Reduction of management cost through stable maintenance by optimal management of agricultural infrastructures, development of optimum operation technology and system construction
- Secure stable operation system through management and analysis of planning, design, construction and maintenance of agricultural infrastructure facilities
- To prepare basement to manage agricultural facilities as a national asset that provides services to farmers and fishermen



# 목 차

I . 서론 .....	3
1.1 연구배경 및 필요성 .....	3
1.1.1 연구배경 .....	3
1.1.2 연구 필요성 .....	4
1.2 연구내용 .....	5
II . 시설물 현황조사 .....	9
2.1 저수지 시설관리 현황 .....	9
2.1.1 저수지 시설 현황 .....	9
2.1.2 저수지 시설관리 현황 .....	11
2.1.3 저수지 시설관리 문제점 .....	14
2.1.4 개선방안 및 향후계획 [‘19년 농림축산식품부(안)] .....	14
2.2 저수지 유지관리 및 성능개선 근거법령 .....	15
2.2.1 시설물안전법 .....	15
2.2.2 농어촌정비법 .....	15
2.3 양·배수장 시설관리 현황 .....	16
2.3.1 운영 일반현황 .....	16
2.3.2 양·배수장 운영 분석 .....	17
2.3.3 안전점검 결과로 본 양·배수장 등급 .....	18
III . 성능저하 요인분석 .....	21
3.1 성능저하 요인의 연관성 네트워크 .....	21
3.1.1 연관성 네트워크의 개념 .....	21
3.1.2 연관성 네트워크 작성절차 .....	22
3.1.3 저수지의 연관성 네트워크 .....	23

3.1.4 양·배수장의 연관성 네트워크 .....	36
<b>3.2 현황조사에 의한 성능저하 요인 도출 .....</b>	<b>52</b>
3.2.1 현장조사 계획수립 및 사전 조사 .....	52
3.2.2 현장조사 결과 .....	53
3.2.3 성능저하 요인 도출 .....	57
<b>IV. 성능평가 모델 개발 .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1 시설별 성능평가 모델 개발 .....</b>	<b>61</b>
4.1.1 열화모델과 비용모델 개요 .....	61
4.1.2 저수지 제체 열화모델의 개발 .....	62
4.1.3 저수지 제체 비용모델의 개발 .....	64
4.1.4 저수지 여수로와 취수시설의 성능평가 모델 .....	67
4.1.5 양·배수장의 성능평가 모델 .....	69
<b>V. 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출 .....</b>	<b>75</b>
5.1 저수지 및 양·배수장의 기대수명 평가 .....	75
5.2 저수지 및 양·배수장의 조치시기 결정 .....	76
<b>VI. 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향 .....</b>	<b>81</b>
<b>6.1 국내 자산관리 선행기술 사례조사 .....</b>	<b>81</b>
6.1.1 자산관리 추진 현황 .....	81
6.1.2 시설물 유지관리 현황 .....	83
<b>6.2 해외 자산관리 선행기술 사례조사 .....</b>	<b>84</b>
6.2.1 자산관리 도입 배경 .....	84
6.2.2 해외 유지보수 예산 .....	93
6.2.3 인프라 평가보고서 .....	96
6.2.4 자산관리 조직 .....	99
<b>6.3 분석결과 .....</b>	<b>101</b>



6.4 자산관리 개요 .....	104
6.4.1 자산관리의 개념 .....	104
6.4.2 자산관리의 절차 .....	106
6.5 자산관리체계의 단계별 도입 방향 .....	107
6.5.1 주요 요소기술 분류 .....	107
6.5.2 자산관리체계 중장기 계획 .....	111
<b>VII. 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출 .....</b>	<b>119</b>
7.1 성능평가 매뉴얼 작성 [부록 2 참고] .....	119
7.1.1 지속가능한 기반시설 관리기본법 시행 .....	119
7.2 치수측면 및 이수측면의 성능평가 방법론 개발 .....	124
7.2.1 치수측면 - 저수지 규모와 침투 붕괴 유출량의 관계식 개발 .....	124
7.2.2 이수측면 - 유역배율과 단위저수량의 관계식 개발 .....	128
<b>VIII. 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출 .....</b>	<b>135</b>
8.1 저수지 최소유지관리 기준(안) .....	135
8.1.1 최소유지관리 공통기준 개요 .....	135
8.1.2 최소유지관리 공통기준(안) 주요내용 .....	136
8.1.3 저수지 최소유지관리기준(안) 요구사항 .....	138
8.1.4 저수지 최소유지관리기준(안) 구성 [부록 1 참고] .....	139
8.2 저수지 성능개선기준(안) .....	140
8.2.1 성능개선 공통기준 개요 .....	140
8.2.2 저수지 성능평가 및 성능개선기준(안) 구성 [부록 2 참고] .....	141
<b>IX. 결론 .....</b>	<b>145</b>
<b>부    록 .....</b>	<b>149</b>

## 표 목차

Table 2.1 농업생산기반 1종, 2종, 3종 시설의 정의 .....	9
Table 2.2 기반시설(15종)의 경과년수 현황 .....	10
Table 2.3 공용연수별 저수지 개소수 .....	12
Table 2.4 공용연수 30년 경과 저수지 시설 현황 .....	13
Table 2.5 공용연수 60년 경과 저수지 시설 현황 .....	13
Table 2.6 시설물안전법에 따른 유지관리 시기 .....	15
Table 2.7 농어촌정비법에 따른 유지관리 시기 .....	15
Table 2.8 안전점검 결과로 본 양·배수장 평균 등급 .....	18
Table 3.1 저수지의 손상정리(제체) .....	23
Table 3.2 저수지 제체의 연관성 네트워크(B등급) .....	24
Table 3.3 저수지 제체의 연관성 네트워크(C등급) .....	25
Table 3.4 저수지 제체의 연관성 네트워크(D등급) .....	26
Table 3.5 저수지의 손상정리(여수로) .....	27
Table 3.6 저수지 여수로의 연관성 네트워크(B등급) .....	28
Table 3.7 저수지 여수로의 연관성 네트워크(C등급) .....	29
Table 3.8 저수지 여수로의 연관성 네트워크(D등급) .....	30
Table 3.9 저수지 제체의 성능저하 요인의 가중치 .....	31
Table 3.10 저수지의 손상정리(취수시설) .....	32
Table 3.11 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(B등급) .....	33
Table 3.12 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(C등급) .....	34
Table 3.13 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(D등급) .....	35
Table 3.14 양·배수장 손상정리(토목구조물) .....	36
Table 3.15 양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(B등급) .....	37
Table 3.16 양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(C등급) .....	38
Table 3.17 양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(D등급) .....	39
Table 3.18 양·배수장 손상정리(건축구조물) .....	40
Table 3.19 양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(B등급) .....	41
Table 3.20 양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(C등급) .....	42

Table 3.21 양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(D등급)	43
Table 3.22 양·배수장 손상정리(기계설비)	44
Table 3.23 양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(B등급)	45
Table 3.24 양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(C등급)	46
Table 3.25 양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(D등급)	47
Table 3.26 양·배수장 손상정리(전기설비)	48
Table 3.27 양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(B등급)	49
Table 3.28 양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(C등급)	50
Table 3.29 양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(D등급)	51
Table 3.30 권역별 조사 대상 지구	57
Table 3.31 권역별 성능저하 요인	57
Table 3.32 성능저하 요인 분류	57
Table 4.1 제체의 세부부재별 손상과 대표보수공법 정의	65
Table 5.1 농업기반시설의 기대수명평가	75
Table 5.2 조치시기 등급별 비용(저수지 제체)	77
Table 5.3 조치시기 등급별 비용(저수지)	77
Table 5.4 조치시기 등급별 비용(양·배수장)	77
Table 6.1 우리나라와 영/미 국가들의 정부 예산 집행의 차이	87
Table 6.2 건설 후 경과년수 50년 이상 사회기반시설의 비중	91
Table 6.3 FHWA 기반시설관리국 부서별 주요 임무	100
Table 6.4 일반 유지관리와 자산관리 비교	105
Table 6.5 요소기술의 분류	115
Table 7.1 평가항목별 기준 및 점수	122
Table 7.2 Yang (2019) 회귀식과 기존 경험식의 비교	125
Table 7.3 회귀식 개발을 위한 대상저수지 220개소 목록	126
Table 7.4 한발빈도에 따른 단위저수량 제시	128
Table 8.1 100~0 점수 구간의 성능평가체계 例	137
Table 8.2 저수지 최소유지관리기준(안) 구성	139
Table 8.3 저수지 성능평가 및 성능개선기준(안) 구성	141

## 그림 목차

Fig. 1.1 농업생산기반시설 성능개선 기술개발 연구 추진의 필요성	4
Fig. 2.1 양배수장 관리주체별 개소수	16
Fig. 2.2 양배수장 규모별 시설현황	16
Fig. 2.3 본부, 사업단별 전기사용량, 가동시간	17
Fig. 2.4 안전점검 결과로 본 등급 비율	18
Fig. 3.1 연관성 네트워크의 개념	21
Fig. 3.2 기준에 의한 네트워크	21
Fig. 3.3 성능 영향요인 도출 절차	22
Fig. 3.4 분야별 유지관리비 분석 결과(금액단위: 백만원)	52
Fig. 3.5 대상시설물 일반현황 질의 결과	53
Fig. 3.6 대상시설물 운영인원 및 운영방법	54
Fig. 3.7 대상시설물 연간가동일수 및 시간	55
Fig. 3.8 대상시설물 유지관리 및 보수보강 현황	56
Fig. 4.1 열화모델	61
Fig. 4.2 비용모델	61
Fig. 4.3 저수지 제체의 보수보강공사 수행횟수	62
Fig. 4.4 제체의 1회 보수보강공사 데이터의 선별	62
Fig. 4.5 동일한 등급의 데이터	63
Fig. 4.6 정규분포화한 데이터	63
Fig. 4.7 저수지 제체의 미조치모델과 조치모델	63
Fig. 4.8 저수지 제체의 비용모델 I	64
Fig. 4.9 저수지 제체의 비용모델 II	64
Fig. 4.10 조치시기로 변환한 제체의 비용모델 I	66
Fig. 4.11 조치시기로 변환한 제체의 비용모델 II	66
Fig. 4.12 여수로의 열화모델	67
Fig. 4.13 취수시설의 열화모델	67

Fig. 4.14	여수로의 비용모델 II	68
Fig. 4.15	취수시설의 비용모델 II	68
Fig. 4.16	토목구조물의 열화모델	69
Fig. 4.17	건축구조물의 열화모델	69
Fig. 4.18	기계시설의 열화모델	69
Fig. 4.19	전기시설의 열화모델	70
Fig. 4.20	토목구조물의 비용모델 II	70
Fig. 4.21	건축구조물의 비용모델 II	71
Fig. 4.22	기계설비의 비용모델 II	71
Fig. 4.23	전기설비의 비용모델 II	71
Fig. 5.1	열화모델과 비용모델을 이용한 조치시기 예측	76
Fig. 5.2	체체의 등급별 기대수명 평가 및 조치시기 결정	76
Fig. 6.1	미국의 자산관리 발전 현황	84
Fig. 6.6	자산관리 절차 및 요소기술	106
Fig. 6.7	자산관리 핵심 요소기술	114
Fig. 7.1	기반시설관리기본법 시행에 따른 유지관리 체계 변화	119
Fig. 7.2	성능평가 절차	120
Fig. 7.3	성능평가항목 구성(안)	122
Fig. 7.4	성능평가 매뉴얼 목차(안)	123
Fig. 7.5	Yang (2019) 식과 기존 연구와의 댐 붕괴 침투유출량 비교	124
Fig. 7.6	주요 관측소별 단위저수량-유역배율 관계곡선	131
Fig. 7.7	단위저수량-유역배율 관계곡선의 해석	131
Fig. 8.1	기반시설 성능개선 공통기준 고시(안)	140



# 제 1 장

## 서 론

농업생산기반시설 성능개선 기술개발





# I. 서론

## 1.1 연구배경 및 필요성

### 1.1.1 연구배경

- 최근 우리나라의 이상 기후변화에 의한 가뭄, 호우, 태풍 등의 자연재난으로 인한 피해가 점차 늘어남
- 자연재난의 발생 빈도수가 증가함에 따라 농업기반시설은 농업생산지원이라는 본연의 역할 이외에도 자연재해 예방은 물론 인적·물적 자산의 피해 예방 등 역할 강화가 많은 부분에서 요구됨
  - 저수지 및 양·배수장과 같은 농업기반시설물은 노후화가 많이 진전된 상태이며, 치수, 이수, 시설용량 부족 등의 성능을 만족하지 못하는 시설물이 증가하는 추세임
- 최근 정부에서는 기반시설의 체계적인 유지관리와 성능개선을 통하여 국민이 보다 안전하고 편리하게 기반시설을 활용할 수 있도록 하기 위해 지속가능한 기반시설 관리기본법을 제정함
  - 이에 따라 기반시설은 최소유지관리 기준을 설정하고, 성능평가를 실시하며, 성능평가의 경우 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부 지침에 따라 시설물별 성능평가 방법이 제시됨
  - 하지만 농업생산기반시설은 성능평가를 위한 방법 및 기준 등이 제시되어 있지 않은 상태임
- 따라서, 저수지 및 양·배수장에 대한 성능평가 방안 및 최소유지관리 기준 수립 등에 대한 연구가 필요
  - 이에 농업기반시설별 성능저하 요인 분석에 의한 성능평가모델 개발과 구조물의 목표관리 수준을 도입하고, 성능저하 요인 분석에 의한 성능평가모델 개발과 구조물의 목표관리 수준을 도입하고자함

### 1.1.2 연구 필요성

- 공공시설 장수명화 관련 정부정책에 따른 농업기반시설의 선제적 유지관리 전략 수립
  - 농업생산기반시설은 국가, 지역사회, 문화인식의 영향을 받고 여러 분야와 밀접한 관계를 형성하고 있음
  - 노후 농업생산기반시설에 대한 맞춤형 장수명화 방안수립과 인벤토리 구축방안에 대한 연구 필요
  - 시설물 안전관리와 보수, 보강 등 유지관리체계 구축에 대한 기술 개발 필요
- 농업기반시설의 성능평가를 위한 구체적인 성능평가 모델구축
  - 농업기반시설의 성능개선을 위해서는 대상 구조물별로, 건전성을 유지하기 위한 모델링 요소에 대한 규명이 필요
  - 현장 상태가 고려된 농업기반시설물의 성능저하 요인 모델 및 개선 방향에 대한 연구와 더불어 농업기반시설물의 성능저하 요인별 실증 연구 필요
  - 확률적, 신뢰론적, 시스템공학적 모델의 개발 필요

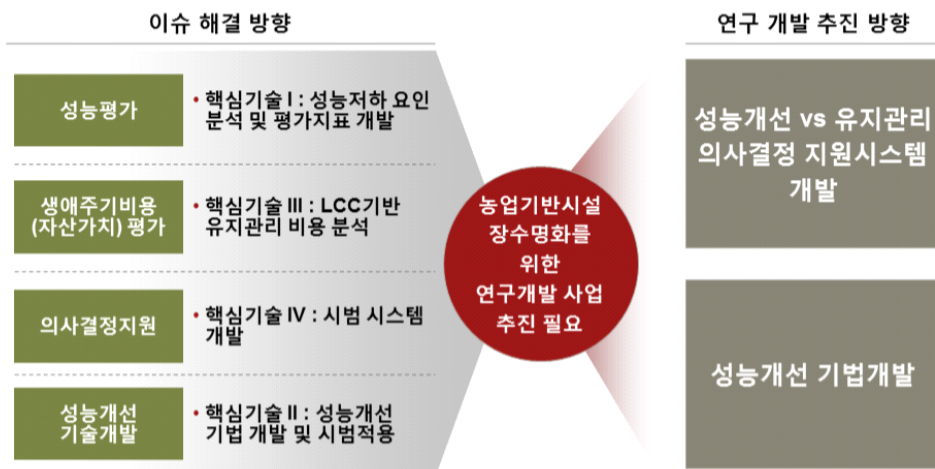


Fig. 1.1 농업생산기반시설 성능개선 기술개발 연구 추진의 필요성

## 1.2 연구내용

- 시설물 현황조사
  - 저수지 시설관리 현황
  - 양배수장 시설관리 현황
- 성능저하 요인분석
  - 통계·확률에 의한 저수지 및 양·배수장의 성능 영향요인 도출
  - 현황조사에 의한 성능저하 요인분석
- 성능평가 모델개발
  - 저수지 및 양·배수장의 확률론적 성능평가모델 개발
- 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출
  - 저수지 및 양·배수장의 기대수명 평가
  - 저수지 및 양·배수장의 조치시기 결정
- 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향
  - 주요 국가별 기반시설 관리 정책 동향
  - 자산관리체계의 단계별 도입방향
- 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출
  - 성능평가 매뉴얼(안) 개발
  - 치수측면 및 이수측면의 성능평가 방법론 개발
- 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출
  - 저수지 최소유지관리 기준(안) 개발
  - 저수지 성능개선기준(안) 개발



# 제 2 장

## 시설물 현황조사

농업생산기반시설 성능개선 기술개발



## II. 시설물 현황조사

### 2.1 저수지 시설관리 현황

#### 2.1.1 저수지 시설 현황

- 2019년 현재 전국의 농업용 저수지는 총 17,289개소로 한국농어촌공사와 지자체가 각각 관리하고 있으며, 한국농어촌공사는 3,406개소, 지자체는 13,883개소를 관리하고 있음
- 시설물안전법 적용대상 저수지는 총 535개소로 1종시설은 32개소, 2종시설은 503개소임
- “농어촌정비법” 제2조 제6호의 규정에 따른 농업생산기반 시설은 “농업생산기반시설 관리규정”에 따라 1종, 2종, 3종으로 구분하고 있음

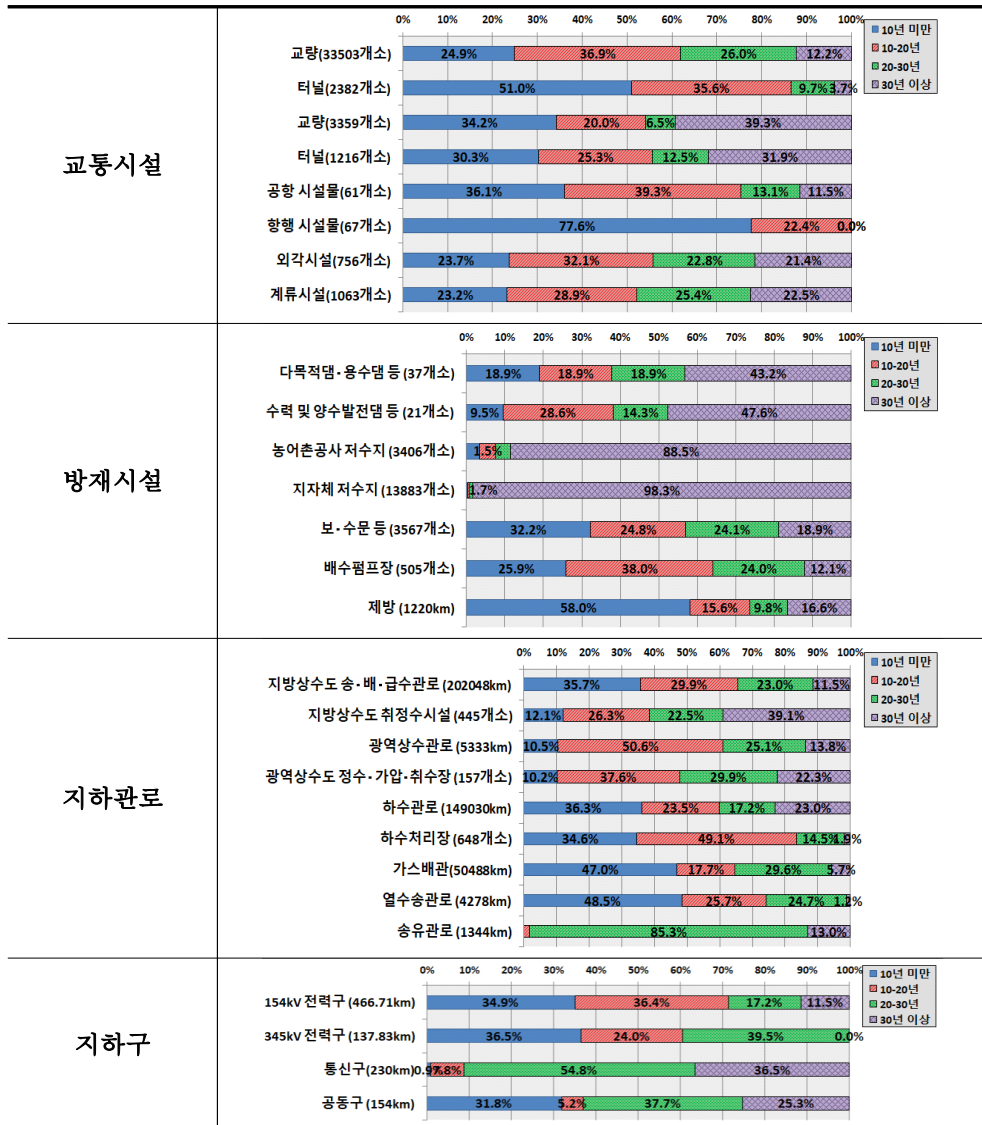
Table 2.1 농업생산기반 1종, 2종, 3종 시설의 정의

종별 구분	시설 구분	내용
농업생산기반 1종 시설	저수지	총저수용량 30만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> 이상인 시설
	양수장·배수장	단위시설(1개소)당 2,000마력 이상인 시설
	방조제	방조제관리법 제3조의 규정에 따라 결정된 국가관리 방조제
	하구둑	-
농업생산기반 2종 시설	저수지	총저수용량 30만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> 미만인 시설
	양수장·배수장	단위시설(1개소)당 1,000마력 이상 2,000마력 미만인 시설
	방조제	방조제관리법 제3조의2의 규정에 따라 결정된 지방자치단체 관리 방조제
농업생산기반 3종 시설	-	1종 시설 및 2종 시설 이외의 양수장, 배수장, 취입보, 지하수이용시설, 용수로, 배수로 및 그 부대시설

□ 1960년대 이후 우리나라 압축성장기에 집중적으로 건설된 농업기반 시설은 노후화가 급속히 진행 중이며, 농업용 저수지 총 17,289개소 중 콘크리트의 내용연수인 30년 이상 경과된 시설은 약 96%(16,658개소)임

➔ 저수지 노후화율 96%는 댐(45%), 철도(37%), 항만(23%) 등의 노후화율과 비교하여 2배 이상의 높은 수준임

Table 2.2 기반시설(15종)의 경과연수 현황





## 2.1.2 저수지 시설관리 현황

- 산간·계곡에 설치된 2만톤 미만의 소규모 저수지가 64%차지
- 30만톤 미만이 93%이며, 개소당 저수량 평균은 농어촌공사 86.3만톤, 시·군 2.3만톤임
- 공용연수는 오래되었으나, 시설물 정기점검과 정밀안전진단에 근거한 재해위험시설 보수·보강을 통해 안전성을 확보하고 있음
  - 농어촌공사 시설 : 전액 국고를 지원하여 보수·보강 추진
    - 최근 5년간('14~'18년) 보수·보강 2조 8,880억원(연평균 5,776억원) 투입
    - 저수지 개·보수 시행 1,527개소 중 633개소 완료
  - 지자체 시설 : 시·군 수리시설 개보수(균특회계, 국고 80%) 및 행안부의 재해위험저수지 정비사업(일반, 국고 50%)으로 보수·보강
    - 최근 5년간('14~'18년) 국고 2,999억원(연평균 600억원) 투입
- 시설물 정밀안전진단 결과 안전등급 D등급 이하 시설은 우선 보수·보강 추진
  - 최근 10년간('09~'18년) 정밀안전진단 저수지 2,850개소 중 387개소가 D등급이며, 보수·보강 완료 또는 시행 중으로 D등급 시설은 점차 감소 추세
    - 정밀안전진단 시설 중 D등급 시설수 :  
( '09 ) 69개/444개(15.5%) → ( '12 ) 34/277 → ( '14 ) 72/277 → ( '16 ) 16/270 → ( '17 ) 9/283 → ( '18 ) 20/217(9.2%)
    - '19년 저수지 개보수 중 시설 수 및 예산 : 262개소, 1,084억원

Table 2.3 공용연수별 저수지 개소수

구분	공용연수					합계
	10년 미만	10-20년	20-30년	30-50년	50년 이상	
합계	163	206	262	2,599	14,059	17,289
한국농어촌공사	119	142	132	543	2,470	3,406
지자체	44	64	130	2,056	11,589	13,883
가. 1,000만 <sup>3</sup> m 이상*	-	3	4	12	13	32
한국농어촌공사	-	3	4	12	13	32
지자체	-	-	-	-	-	-
나. 100만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> -1,000 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> 미만**	68	62	56	134	183	503
한국농어촌공사	68	62	56	133	182	501
지자체	-	-	-	1	1	2
다. 50만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> -100만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> 미만	26	46	40	108	181	401
한국농어촌공사	24	45	39	106	175	389
지자체	2	1	1	2	6	12
라. 30만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> -50만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> 미만***	14	34	21	97	168	334
한국농어촌공사	9	24	14	79	149	275
지자체	5	10	7	18	19	59
마. 30만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> 미만****	55	61	141	2,248	13,514	16,019
한국농어촌공사	18	8	19	213	1,951	2,209
지자체	37	53	122	2,035	11,563	13,828

\* 시설물안전법 기준 1종 저수지 : 총저수용량 1,000만<sup>3</sup>m<sup>3</sup> 이상 (가)

\*\* 시설물안전법 기준 2종 저수지 : 총저수용량 100만<sup>3</sup>m<sup>3</sup> ~ 1,000만<sup>3</sup>m<sup>3</sup> 미만 (나)

\*\*\* 농어촌정비법 기준 1종 저수지 : 총저수용량 30만<sup>3</sup>m<sup>3</sup> 이상 (가, 나, 다, 라)

\*\*\*\* 농어촌정비법 기준 2종 저수지 : 총저수용량 30만<sup>3</sup>m<sup>3</sup> 미만 (마)

Table 2.4 공용연수 30년 경과 저수지 시설 현황

(단위 : 개소)

구분	저수지(시설물안전법 기준)			저수지(농어촌정비법 기준)		
	소계	30년 미만	30년 이상	소계	30년 미만	30년 이상
합계	17,289/100%*	631/4%	16,658/96%	17,289/100%	631/4%	16,658/96%
1종**	32/100%	7/22%	25/78%	1,270/100%	374/29%	896/71%
2종***	503/100%	186/37%	317/63%	16,019/100%	257/2%	15,762/98%
종외	16,754/100%	438/3%	16,316/97%	-	-	-

Table 2.5 공용연수 60년 경과 저수지 시설 현황

(단위 : 개소)

구분	저수지(시설물안전법 기준)			저수지(농어촌정비법 기준)		
	소계	60년**** 미만	60년 이상	소계	60년 미만	60년 이상
합계	17,289/100%	6,640/38%	10,649/62%	17,289/100%	6,640/38%	10,649/62%
1종	32/100%	28/88%	4/12%	1,270/100%	919/72%	351/28%
2종	503/100%	397/79%	106/21%	16,019/100%	5,721/36%	10,298/64%
종외	16,754/100%	6,215/37%	10,539/63%	-	-	-

\* 비율은 규모별 시설물 현황의 개소수 대비 노후화 시설물 개소수로 산정

\*\* 1종 : 시설물안전법 기준(총저수용량 1,000만<sup>m</sup> 이상), 정비법 기준(총저수용량 30만<sup>m</sup> 이상)

\*\*\* 2종 : 시설물안전법 기준(총저수용량 100만<sup>m</sup> ~ 1,000만<sup>m</sup> 미만), 정비법 기준(총저수용량 30만<sup>m</sup> 미만)

\*\*\*\* 저수지(흙댐) 내구 연한(60년) : 농업토목핸드북(1982, 농수산부, 농어촌진흥공사)

### 2.1.3 저수지 시설관리 문제점

- 30만톤 이상의 저수지는 5년마다 정밀안전진단을 하지만, 그 미만의 소규모 시설은 기능유지 및 안전상 재해 위험이 있는 경우에 한해 예산 범위 내 선택적 실시하고 있어 재해위험성 상존
  - 현재 안전진단 미실시 시설은 기능유지 등 보수 수준으로 유지 관리하고 있으나, 안전관리의 사각지대임

### 2.1.4 개선방안 및 향후계획 [‘19년 농림축산식품부(안)]

- 개선방안
  - 소규모 시설도 안전진단·정밀점검 실시 후 ‘23년까지 보수·보강 추진, 안전등급 C(보통) 이상으로 관리
    - 30만톤 미만의 소규모 저수지(2,209개소)에 대해 과거 진단실적이 없었던 시설(994개소) 중 1만톤 미만 등 재해위험성이 낮은 시설(634개소)을 제외한 360개소 진단 실시, 그 결과에 따라 필요시 보수·보강 추진
  - ➡ A·B등급 및 개보수 중인 시설, 1만톤 미만의 소규모시설은 제외
- 향후계획
  - ‘20년 이후 수리시설개보수사업 단년도 예산 편성시 정밀안전진단 및 보수·보강 소요액 반영
    - ‘20~‘23년간 수리시설 안전진단 예산 증액(연 300→320억)
    - ‘19년 추경을 편성할 경우 500억원을 계속지구에 추가 지원하여 사업기간을 단축(지구당 평균 4.2→3.5년)

## 2.2 저수지 유지관리 및 성능개선 근거법령

### 2.2.1 시설물안전법

- 제11조, 제12조, 제13조에 따라 안전점검, 정밀안전진단, 긴급안전점검 실시
- 제39조에 따라 시설물 유지관리

➔ 저수지는 용수전용댐으로서 성능평가 대상시설물이 아님

Table 2.6 시설물안전법에 따른 유지관리 시기

안전등급	정기안전점검	정밀안전점검		정밀안전진단	성능평가
		건축물	건축물 외 시설물		
A등급	반기에 1회 이상	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상	5년에 1회 이상
B,C등급		3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상	
D,E등급	1년에 3회이상	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	

주) 시설물안전법 시행령 별표3

### 2.2.2 농어촌정비법

- 제18조에 따라 농업생산기반시설관리자는 농업생산기반시설의 안전관리계획을 수립 후 안전점검과 정밀안전진단 실시

Table 2.7 농어촌정비법에 따른 유지관리 시기

대상시설	검사방법		검사시기	
농어촌 정비법 기준 1종, 2종, 3종 시설	안전 점검	정기점검	분기별로 1회 이상 (영농기 전 반드시 실시)	
		긴급점검	재해, 사고발생시, 안전 이상 징후시 실시	
		정밀점검	정기점검, 긴급점검 결과 시설의 기능 유지 및 안전상 재해위험이 있어 시설물 보수가 필요한 때	
	정밀안전진단	1종	준공 10년이상 지난 시설 5년에 1회 이상	
		2종	정기점검 또는 긴급점검결과, 재해 위험이 있는 경우 실시	

## 2.3 양·배수장 시설관리 현황

### 2.3.1 운영 일반현황

- 양·배수장의 관리는 한국농어촌공사와 시·군 지방자치단체로 이원화 되어 있으며, '2016년도 농업생산기반정비 통계연보'에 따르면 전국 양·배수장이 8,233개소임
- 관리주체별로 보면 한국농어촌공사가 4,496개소, 지방자치단체가 3,760개소를 관리하고 있음

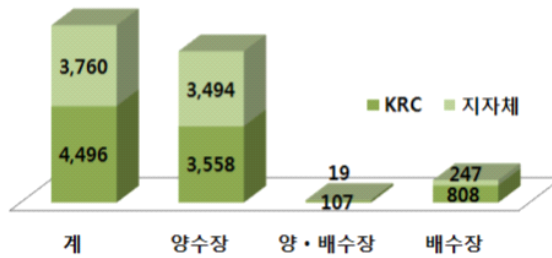


Fig. 2.1 양배수장 관리주체별 개소수

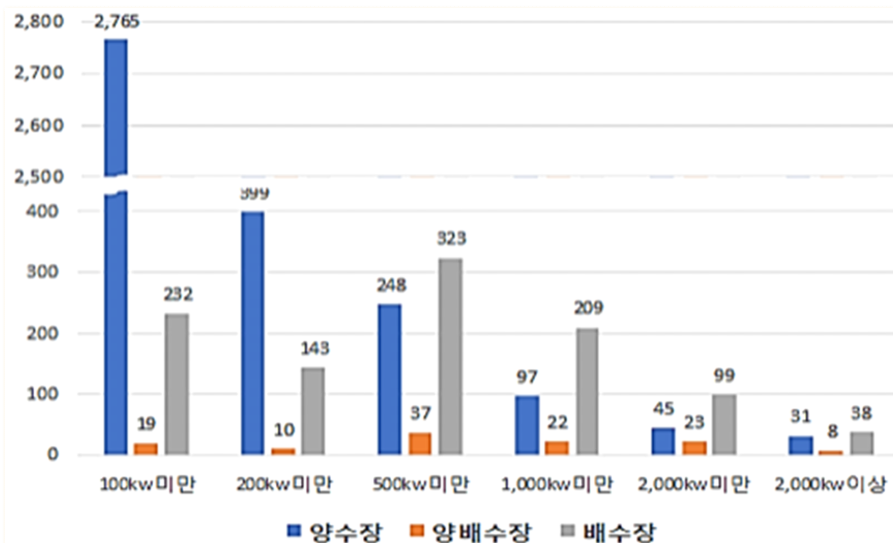


Fig. 2.2 양배수장 규모별 시설현황

## 2.3.2 양·배수장 운영 분석

### 1) 양수장 운전 시기

- 양수장은 지역별로 가동기간이 상이함
  - 북부지역은 4월중순부터 9월하순까지 운행
  - 충청이남은 5월초부터 9월말까지 운행
  - 근래에는 원예작물을 수확한 후 온실내에 벼 재배를 하는 경우가 있어 급수기간이 10월까지도 하는 지역도 있음

### 2) 운전 시간 및 전기요금

- 양수장 운전 시간과 전력료는 바로 연동되며, 가동시간이 증가하면 전력료도 증가함
  - 전국 양수장 중 605개소의 무작위 평균값을 산정함
  - 개소당 연간 전력사용량은 328,425KW, 가동시간은 1,763시간, 전기요금은 8,600천원, 동력은 172kw정도였음

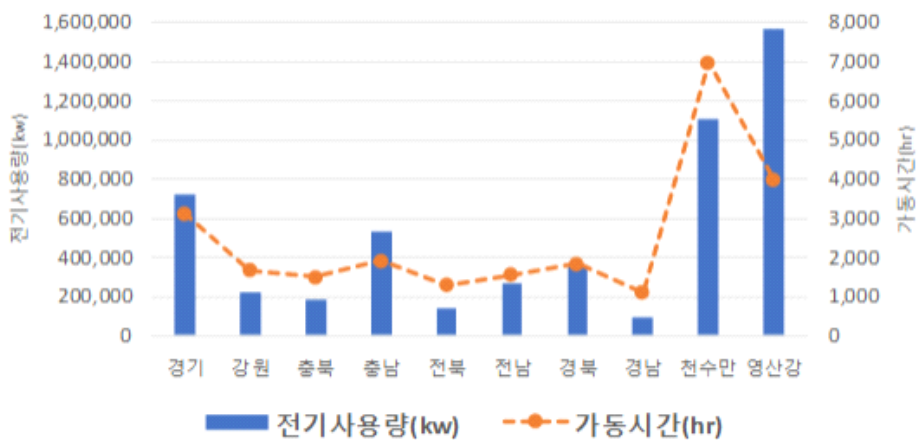


Fig. 2.3 본부, 사업단별 전기사용량, 가동시간

### 2.3.3 안전점검 결과로 본 양·배수장 등급

□ 농업기반시설관리시스템(RIMS)상의 안전점검 항목에 등록된 전국 3,573개소의 양수장중 미평가된 8개소를 제외한 3,565개소 기계부문에 대하여 A등급 : 2, B등급 : 4, C등급 : 6, D등급 : 8, E등급 : 10 을 대입하여 평균등급을 확인한바 4.7로 C와 D등급 사이로 도출되었음

Table 2.8 안전점검 결과로 본 양·배수장 평균 등급

구 분	대입숫자	개소수	비율(%)	평균등급
계		3,565	100	C↔D (4.7)
A등급	2	616	17	
B등급	4	1,412	39	
C등급	6	1,235	35	
D등급	8	278	8	
E등급	10	24	1	

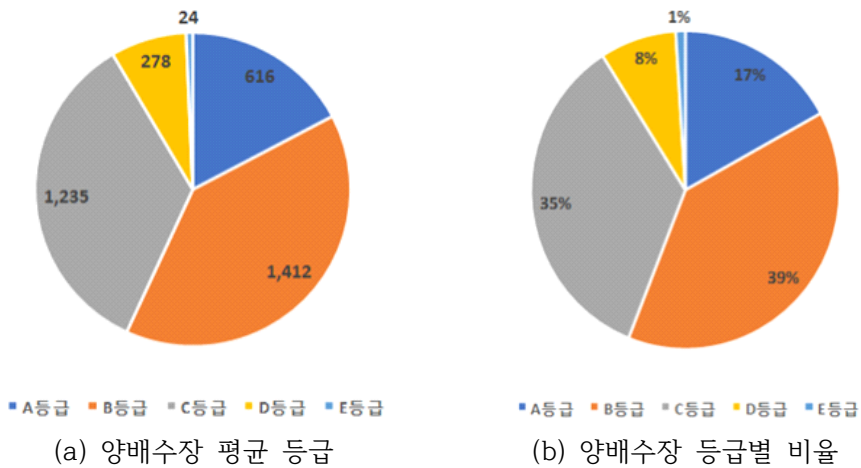


Fig. 2.4 안전점검 결과로 본 등급 비율



# 제 3 장

## 성능저하 요인분석

농업생산기반시설 성능개선 기술개발



### Ⅲ. 성능저하 요인분석

#### 3.1 성능저하 요인의 연관성 네트워크

##### 3.1.1 연관성 네트워크의 개념

- 시설의 상태평가 기준에 의해 손상이 발생하는 등급을 정의하고 실제 진단시 손상의 발생빈도를 분석하여 손상을 분류함
  - 부재등급과 상관없이 부재에 자주 발생하는 손상과 부재등급이 낮을 경우에 발생하는 손상을 분류하여 시설의 성능저하에 영향을 미치는 손상을 정의

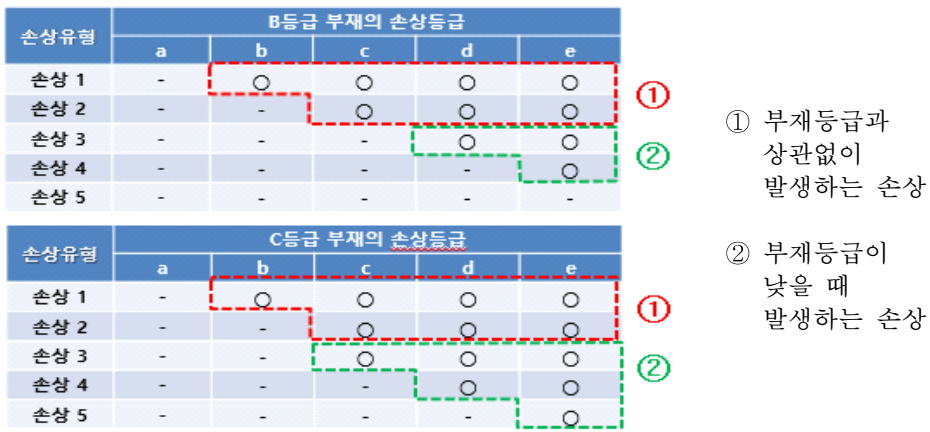


Fig. 3.1 연관성 네트워크의 개념

손상유형	손상등급				
	a	b	c	d	e
손상 1	-	○	○	○	○
손상 2	-	-	○	○	○
손상 3	-	○	○	○	○
손상 4	-	○	○	○	○
손상 5	-	-	-	○	○

Fig. 3.2 기준에 의한 네트워크

### 3.1.2 연관성 네트워크 작성절차

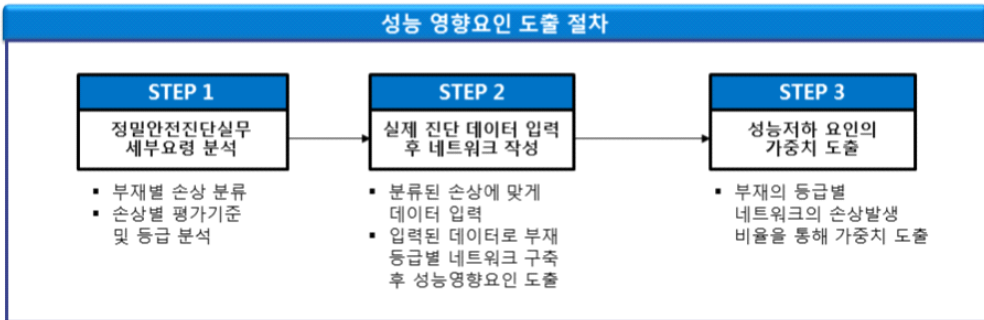


Fig. 3.3 성능 영향요인 도출 절차

- 기준 분석 및 실제 진단데이터를 활용하여 통계분석을 통한 가중치 도출
  - 농업기반시설 정밀안전진단실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석을 통해 손상평가방법에 따른 손상 평가등급을 정리하여 연관성 네트워크 작성
  - 실제 진단데이터를 활용하여 네트워크를 작성하고 손상의 발생 비율에 따른 가중치 산정
- 성능저하 요인 연관성 네트워크 작성
  - 저수지 정밀안전진단실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
  - 저수지를 3개 부재로 구분 : 제체, 여수로, 취수시설
- 데이터 입력 및 성능저하 요인 연관성 네트워크 작성
  - 저수지 정밀안전진단 결과를 입력하여 네트워크 분석
  - 저수지 461개소 진단 결과를 DB화한 후 손상의 발생빈도 분석
  - 제체의 손상 중 식생이 가장 많이 발생
- 성능저하 요인의 가중치 도출
  - 제체의 등급별 손상 발생 비율을 산술평균하여 성능저하 요인의 가중치 산정

### 3.1.3 저수지의 연관성 네트워크

- 저수지 연관성 네트워크 작성을 위해 450개 저수지의 점검진단 DB를 근거로 제체, 여수로, 취수시설로 부재를 분류하고 각 부재별 발생 손상 정의

#### 1) 제체

- 저수지 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 제체 손상유형 및 손상등급 산정

Table 3.1 저수지의 손상정리(제체)

기준에 의한 부재 및 손상			손상등급					
부재	세부부재	손상유형	a	b	c	d	e	
제체	댐마루	균열 (댐마루 )		○	○	○	○	
		침하		○	○	○	○	
		수평변위				○	○	○
		제체유실			○	○	○	○
		사면불안정 (댐마루 )			○	○	○	○
	상류 사면	누수 (상류 )			○	○	○	○
		침하 및 변형 (상류 )			○	○	○	○
		차수벽 노후화				○	○	○
		사면불안정 및 사면보호			○	○	○	○
		사면침식 (상류 )			○	○	○	○
	하류 사면	누수 (하류 )			○	○	○	○
		사면불안정 (하류 )				○	○	○
		사면보호 상태			○	○	○	○
		침하 및 변형 (하류 )			○	○	○	○
		사면침식 (하류 )				○	○	○
		식생			○	○	○	○
		동물의굴			○	○	○	○
	기초 및 양안부	부등침하				○	○	○
		기초 불안정				○	○	○
		침식 및 침투				○	○	○

□ B등급 제체의 주요 손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 균열(댐마루) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 사면침식(하류) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 사면침식(하류) 등이 다수 발생

Table 3.2 저수지 제체의 연관성 네트워크(B등급)

손상유형	a	b	c	d	e
식생	-	434	1204	320	-
사면불안정 및 사면보호	-	236	367	21	-
균열(댐마루)	-	56	58	9	-
침식 및 침투	-	55	30	6	-
사면침식(하류)	-	47	184	10	-
침하 및 변형(상류)	-	47	101	4	-
침하 및 변형(하류)	-	44	73	0	-
사면보호 상태	-	40	0	1	-
사면불안정(하류)	-	32	102	7	-
사면불안정(댐마루)	-	18	46	1	-
침하	-	7	36	2	-
제체유실	-	7	4	0	-
사면침식(상류)	-	6	51	0	-
누수(하류)	-	4	16	1	-
동물의굴	-	1	2	0	-
차수벽 노후화	-	0	0	0	-
수평변위	-	0	0	0	-

□ C등급 제체의 주요 손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 침하 및 변형(상류) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 침하 및 변형(상류) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 사면침식(상류) 등이 다수 발생

Table 3.3 저수지 제체의 연관성 네트워크(C등급)

손상유형	a	b	c	d	e
식생	-	675	3468	1721	-
사면불안정 및 사면보호	-	310	2356	443	-
침하 및 변형(상류)	-	213	1551	61	-
침하 및 변형(하류)	-	154	830	82	-
사면침식(하류)	-	102	821	159	-
사면침식(상류)	-	167	569	163	-
사면불안정(하류)	-	40	494	140	-
사면불안정(댐마루)	-	87	459	95	-
균열(댐마루)	-	32	158	45	-
침하	-	17	123	0	-
침식 및 침투	-	6	120	10	-
누수(하류)	-	10	107	86	-
동물의굴	-	6	28	13	-
제체유실	-	30	16	1	-
누수(상류)	-	3	15	0	-
차수벽 노후화	-	0	6	1	-
부등침하	-	0	1	3	-

□ D등급 제체의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 식생, 균열(댐마루), 사면불안정 및 사면보호 등이 다수 발생
- c등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 침하 및 변형(상류) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 사면불안정(하류) 등이 다수 발생

Table 3.4 저수지 제체의 연관성 네트워크(D등급)

손상유형	a	b	c	d	e
식생	-	38	250	125	-
균열(댐마루)	-	18	39	4	-
사면불안정 및 사면보호	-	15	160	186	-
누수(하류)	-	10	29	38	-
사면불안정(하류)	-	5	129	69	-
사면침식(상류)	-	9	62	57	-
침하 및 변형(상류)	-	5	275	44	-
사면침식(하류)	-	0	49	37	-
침하 및 변형(하류)	-	0	64	30	-
사면불안정(댐마루)	-	0	34	15	-
침식 및 침투	-	8	21	4	-
제체유실	-	3	15	3	-
침하	-	0	11	3	-
사면보호 상태	-	0	4	0	-
동물의굴	-	0	2	0	-
차수벽 노후화	-	0	0	0	-
수평변위	-	0	0	0	-



## 2) 여수로

- 저수지 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 저수지의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 여수로 손상유형 및 손상등급 산정

Table 3.5 저수지의 손상정리(여수로)

기준에 의한 부재 및 손상			손상등급					
부재	세부부재	손상유형	a	b	c	d	e	
여 수 로	접근수로	콘크리트 라이닝 손상			○	○	○	
		불안정한 측벽 또는 라이닝			○	○	○	
		접근수로 상부의 자연사면 불안정			○	○	○	
		접근수로내 식생 및 잡물			○	○	○	
	조절부	에이프런 구조물의 손상 및 노후화				○	○	○
		피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화		○	○	○	○	
		월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화		○	○	○	○	
		수문가이드, 각각가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상				○	○	○
	급경사로	바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차				○	○	○
		바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상				○	○	○
		벽체의 손상 및 노후화				○	○	○
		횡방향 이음부의 손상				○	○	○
	감세공	플립버켓의 세굴				○	○	○
		플립버켓의 하류 또는 기초의 침식				○	○	○
		플립버켓의 이음부 손상				○	○	○
		정수지 바닥 및 측벽의 세굴				○	○	○

□ B등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 라이닝 손상(접근수로) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생

Table 3.6 저수지 여수로의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부)	-	329	403	32	-
벽체 손상 및 노후화(급경사로)	-	313	708	41	-
라이닝 손상(접근수로)	-	213	204	6	-
월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부)	-	134	225	19	-
불안정한 측벽 또는 라이닝(접근수로)	-	84	106	13	-
정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공)	-	77	104	3	-
식생 및 잡물(급경사로)	-	16	40	7	-
식생 및 잡물(접근수로)	-	13	27	4	-
식생 및 잡물(조절부)	-	10	12	-	-
에이프런 손상 및 노후화(조절부)	-	9	-	-	-
슬래브 부등침하, 들뜸, 단차(급경사로)	-	5	1	1	-
철근노출(조절부)	-	3	8	2	-
횡방향 이음부 손상(급경사로)	-	2	42	-	-
플립버켓 세굴(감세공)	-	2	-	-	-
공동화(조절부)	-	-	-	3	-
슬래브 콘크리트 균열 및 손상	-	-	-	-	-
플립버켓 하류 또는 기초 침식(감세공)	-	-	-	-	-
플립버켓 이음부 손상	-	-	-	-	-
상부 자연사면 불안정(접근수로)	-	-	-	-	-

□ C등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생

Table 3.7 저수지 여수로의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
벽체 손상 및 노후화(급경사로)	-	383	1794	482	-
피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부)	-	269	1011	264	-
월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부)	-	128	565	170	-
불안정한 측벽 또는 라이닝(접근수로)	-	108	341	106	-
정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공)	-	70	473	132	-
라이닝 손상(접근수로)	-	54	332	95	-
식생 및 잡물(급경사로)	-	40	115	29	-
식생 및 잡물(접근수로)	-	20	95	53	-
식생 및 잡물(조절부)	-	18	65	13	-
철근노출(조절부)	-	8	39	12	-
에이프런 손상 및 노후화(조절부)	-	7	4	3	-
슬래브 부등침하, 들뜸, 단차(급경사로)	-	-	23	13	-
횡방향 이음부 손상(급경사로)	-	-	22	14	-
상부 자연사면 불안정(접근수로)	-	-	11	1	-
플립버켓 세굴(감세공)	-	-	9	12	-
공동화(조절부)	-	-	3	5	-
슬래브 콘크리트 균열 및 손상	-	-	-	-	-
플립버켓 하류 또는 기초 침식(감세공)	-	-	-	-	-
플립버켓 이음부 손상	-	-	-	-	-

□ D등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 불안정한 측벽 또는 라이닝(접근수로), 정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공) 등이 다수 발생

Table 3.8 저수지 여수로의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
벽체 손상 및 노후화(급경사로)	-	71	250	235	-
정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공)	-	36	75	76	-
피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부)	-	18	141	109	-
월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부)	-	16	58	56	-
불안정한 측벽 또는 라이닝(접근수로)	-	7	58	79	-
식생 및 잡물(접근수로)	-	6	24	35	-
식생 및 잡물(급경사로)	-	4	18	13	-
라이닝 손상(접근수로)	-	-	56	57	-
횡방향 이음부 손상(급경사로)	-	-	19	10	-
철근노출(조절부)	-	-	14	2	-
식생 및 잡물(조절부)	-	-	9	7	-
슬래브 부등침하, 들뜸, 단차(급경사로)	-	-	3	1	-
플립버켓 하류 또는 기초 침식(감세공)	-	-	2	1	-
상부 자연사면 불안정(접근수로)	-	-	-	-	-
에이프런 손상 및 노후화(조절부)	-	-	-	-	-
공동화(조절부)	-	-	-	-	-
슬래브 콘크리트 균열 및 손상	-	-	-	-	-
플립버켓 세굴(감세공)	-	-	-	-	-
플립버켓 이음부 손상	-	-	-	-	-

□ 성능저하 요인에 따른 분야별 가중치 도출

- 제체의 등급별 손상의 발생 비율을 산술평균하여 성능저하 요인의 가중치 산정

Table 3.9 저수지 제체의 성능저하 요인의 가중치

부재 등급	식생	사면 불안정 및 사면보호	침하 및 변형 (상류)	사면 불안정 (하류)	사면 침식 (하류)	침하 및 변형 (하류)	사면 침식 (상류)	사면 불안정 (댐마루)
B	53.1%	16.9%	4.1%	3.8%	6.5%	3.2%	1.5%	1.8%
C	36.7%	19.4%	11.4%	4.2%	6.8%	6.7%	5.6%	4.0%
D	22.1%	19.3%	17.3%	10.9%	4.6%	5.0%	6.8%	2.6%
가중치	37.3%	18.6%	11.0%	6.3%	6.0%	5.0%	4.7%	2.8%
부재 등급	균열 (댐마루)	누수 (하류)	침식 및 침투	침하	제체유실	사면보호 상태	동물의굴	누수 (상류)
B	3.3%	0.6%	2.5%	1.2%	0.3%	1.1%	0.1%	0.0%
C	1.5%	1.3%	0.9%	0.9%	0.3%	0.0%	0.3%	0.1%
D	3.3%	4.1%	1.8%	0.7%	1.1%	0.2%	0.1%	0.0%
가중치	2.7%	2.0%	1.7%	0.9%	0.6%	0.4%	0.2%	0.0%

가중치합계 100%

### 3) 취수시설

- 저수지 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 저수지의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 취수시설 손상유형 및 손상등급 산정

Table 3.10 저수지의 손상정리(취수시설)

기준에 의한 부재 및 손상		손상등급					
부재	세부부재	손상유형	a	b	c	d	e
취수 시설	취수시설 및 방수로	취수탑 파손 및 변위 발생			○	○	○
		취수량 감소 및 취수 곤란			○	○	○
		제진 격자망의 부식 및 변형 손상			○	○	○
		둑과 사면의 침식			○	○	○
	권양기	작동 상태(수문 및 권양기)			○	○	○
		와이어 로프 손상			○	○	○
		마찰부 손상 (시브, 감속기, 커플링)			○	○	○
	수문 및 문틀	문비(강재) 부식		○	○	○	○
		문비변형			○	○	○
		누수			○	○	○
		마찰부 손상(롤러 힌지)			○	○	○

□ B등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(조작실) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(조작실) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(스핀들) 등이 다수 발생

Table 3.11 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
취수탑 파손 및 변위	-	342	548	80	-
취수탑 파손 및 변위(폐통부)	-	13	88	9	-
취수탑 파손 및 변위(조작실)	-	6	9	-	-
격자망부식 및 변형	-	6	7	1	-
취수탑 파손 및 변위(권양기)	-	6	3	-	-
취수탑 파손 및 변위(스핀들)	-	5	6	4	-
취수량 감소 및 취수 곤란	-	2	20	1	-
취수탑 파손 및 변위(문비)	-	1	3	3	-
취수탑 파손 및 변위(통관)	-	-	3	2	-
취수탑 파손 및 변위(수문)	-	-	1	-	-
취수탑 파손 및 변위(사통)	-	-	-	-	-
독과 사면 침식	-	-	-	-	-
식생	-	-	-	-	-

□ C등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(조작실) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(통관) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(통관) 등이 다수 발생

Table 3.12 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
취수탑 파손 및 변위	-	421	1559	507	-
취수탑 파손 및 변위(폐통부)	-	26	226	157	-
취수탑 파손 및 변위(조작실)	-	12	41	21	-
취수탑 파손 및 변위(권양기)	-	7	39	19	-
취수탑 파손 및 변위(스핀들)	-	2	40	26	-
취수량 감소 및 취수 곤란	-	2	34	11	-
취수탑 파손 및 변위(문비)	-	2	8	4	-
둑과 사면 침식	-	1	-	-	-
취수탑 파손 및 변위(통관)	-	-	49	27	-
취수탑 파손 및 변위(수문)	-	-	5	3	-
식생	-	-	3	-	-
취수탑 파손 및 변위(사통)	-	-	-	-	-
격자망부식 및 변형	-	-	-	-	-



□ D등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위, 취수량 감소 및 취수 곤란 등이 다수 발생
- c등급 손상은 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(스핀들) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(스핀들) 등이 다수 발생

Table 3.13 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
취수탑 파손 및 변위(폐통부)	-	11	47	124	-
취수탑 파손 및 변위	-	5	119	119	-
취수량 감소 및 취수 곤란	-	1	-	11	-
취수탑 파손 및 변위(스핀들)	-	-	19	19	-
취수탑 파손 및 변위(권양기)	-	-	12	9	-
취수탑 파손 및 변위(통관)	-	-	2	-	-
취수탑 파손 및 변위(문비)	-	-	1	3	-
취수탑 파손 및 변위(조작실)	-	-	1	1	-
취수탑 파손 및 변위(사통)	-	-	-	-	-
취수탑 파손 및 변위(수문)	-	-	-	-	-
격자망부식 및 변형	-	-	-	-	-
둑과 사면 침식	-	-	-	-	-
식생	-	-	-	-	-

### 3.1.4 양·배수장의 연관성 네트워크

- 양·배수장은 점검진단 100개소의 실제 DB를 활용하여 토목구조물, 건축구조물, 기계시설, 전기시설로 부재를 분류하여 네트워크 작성

#### 1) 토목구조물

- 양·배수장 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 양·배수장의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 토목구조물의 손상 유형 및 손상등급 산정

Table 3.14 양·배수장 손상정리(토목구조물)

기준에 의한 부재 및 손상		손상등급				
부재	손상유형	a	b	c	d	e
토목 구조물	침하 및 부상			○	○	○
	경사			○	○	○
	활동			○	○	○
	수처리 구조물 콘크리트 균열			○	○	○
	콘크리트 박리			○	○	○
	콘크리트 박락 및 층분리			○	○	○
	철근노출			○	○	○
	누수			○	○	○
	백태			○	○	○
	콘크리트 파손			○	○	○
신축이음 탈락 및 열화			○	○	○	

□ B등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 백태(건물기초(기계실)), 콘크리트 박리(건물기초(기계실)) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(토출수조), 누수(건물기초(기계실)) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 철근노출(토출수조), 콘크리트 균열(토출수조) 등이 다수 발생

Table 3.15 양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
콘크리트 균열(건물기초(기계실))	-	193	78	21	-
백태(건물기초(기계실))	-	61	13	-	-
콘크리트 박리(건물기초(기계실))	-	35	3	1	-
철근노출(건물기초(기계실))	-	24	10	2	-
백태(흡입수조)	-	19	2	2	-
콘크리트 균열(토출수조)	-	19	26	4	-
콘크리트 파손(건물기초(기계실))	-	15	13	4	-
콘크리트 박락 및 층분리(건물기초(기계실))	-	14	5	3	-
누수(흡입수조)	-	13	2	-	-
백태(토출수조)	-	13	14	2	-
콘크리트 균열(흡입수조)	-	12	12	1	-
누수(토출수조)	-	11	22	1	-
누수(건물기초(기계실))	-	9	29	3	-
콘크리트 파손(흡입수조)	-	8	9	-	-
콘크리트 박리(토출수조)	-	7	-	-	-
콘크리트 박락 및 층분리(흡입수조)	-	3	2	1	-
철근노출(흡입수조)	-	3	3	-	-
기초세굴(건물기초(기계실))	-	2	1	-	-
신축이음 탈락 및 열화(건물기초(기계실))	-	2	-	-	-
콘크리트 박락 및 층분리(토출수조)	-	2	7	2	-
콘크리트 파손(토출수조)	-	2	4	-	-
신축이음 탈락 및 열화(토출수조)	-	2	3	-	-
콘크리트 박리(흡입수조)	-	1	4	-	-
철근노출(토출수조)	-	1	6	5	-
신축이음 탈락 및 열화(흡입수조)	-	-	16	-	-
기초세굴(토출수조)	-	-	12	-	-
기초세굴(흡입수조)	-	-	11	-	-
활동(건물기초(기계실))	-	-	6	-	-
침하 및 부상(흡입수조)	-	-	6	-	-
침하 및 부상(건물기초(기계실))	-	-	2	-	-
경사(건물기초(기계실))	-	-	-	-	-
경사(흡입수조)	-	-	-	-	-
활동(흡입수조)	-	-	-	-	-
침하 및 부상(토출수조)	-	-	-	-	-
경사(토출수조)	-	-	-	-	-
활동(토출수조)	-	-	-	-	-

□ C등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(토출수조), 콘크리트 파손(토출수조) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(토출수조), 누수(건물기초(기계실)) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(토출수조), 기초세굴(흡입수조) 등이 다수 발생

Table 3.16 양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
콘크리트 균열(건물기초(기계실))	-	229	360	139	-
콘크리트 균열(토출수조)	-	67	105	94	-
콘크리트 파손(토출수조)	-	53	29	4	-
콘크리트 균열(흡입수조)	-	50	91	51	-
콘크리트 파손(건물기초(기계실))	-	43	45	32	-
백태(흡입수조)	-	39	54	28	-
백태(토출수조)	-	35	34	22	-
백태(건물기초(기계실))	-	33	49	29	-
콘크리트 파손(흡입수조)	-	21	37	10	-
콘크리트 박리(건물기초(기계실))	-	20	49	31	-
신축이음 탈락 및 열화(건물기초(기계실))	-	14	12	42	-
기초세굴(토출수조)	-	13	24	35	-
콘크리트 박락 및 층분리(건물기초(기계실))	-	12	65	54	-
누수(건물기초(기계실))	-	9	86	45	-
철근노출(건물기초(기계실))	-	6	27	44	-
콘크리트 박리(흡입수조)	-	5	34	9	-
콘크리트 박락 및 층분리(흡입수조)	-	5	38	38	-
철근노출(흡입수조)	-	5	54	41	-
신축이음 탈락 및 열화(흡입수조)	-	5	20	11	-
기초세굴(건물기초(기계실))	-	4	17	18	-
누수(흡입수조)	-	4	44	21	-
콘크리트 박락 및 층분리(토출수조)	-	3	28	24	-
철근노출(토출수조)	-	3	19	32	-
누수(토출수조)	-	3	51	46	-
신축이음 탈락 및 열화(토출수조)	-	2	16	16	-
침하 및 부상(건물기초(기계실))	-	1	16	9	-
기초세굴(흡입수조)	-	1	61	69	-
콘크리트 박리(토출수조)	-	1	29	22	-
경사(건물기초(기계실))	-	-	-	-	-
침하 및 부상(토출수조)	-	-	41	8	-
침하 및 부상(흡입수조)	-	-	14	7	-
활동(건물기초(기계실))	-	-	-	1	-
경사(흡입수조)	-	-	-	-	-
활동(흡입수조)	-	-	-	-	-
경사(토출수조)	-	-	-	-	-
활동(토출수조)	-	-	-	-	-

□ D등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(흡입수조), 콘크리트 박리(흡입수조) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(흡입수조), 백태(토출수조) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 콘크리트 균열(흡입수조), 신축이음 탈락 및 열화(건물기초(기계실)), 철근노출(건물기초(기계실)) 등이 다수 발생

Table 3.17 양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
콘크리트 균열(건물기초(기계실))	-	9	10	6	-
콘크리트 균열(흡입수조)	-	3	15	7	-
콘크리트 박리(흡입수조)	-	2	-	7	-
콘크리트 파손(건물기초(기계실))	-	1	-	1	-
철근노출(흡입수조)	-	1	2	3	-
누수(흡입수조)	-	1	2	3	-
백태(흡입수조)	-	1	4	2	-
콘크리트 파손(흡입수조)	-	1	-	-	-
백태(토출수조)	-	-	7	3	-
기초세굴(토출수조)	-	-	5	-	-
콘크리트 균열(토출수조)	-	-	5	4	-
기초세굴(흡입수조)	-	-	4	-	-
신축이음 탈락 및 열화(건물기초(기계실))	-	-	2	8	-
침하 및 부상(흡입수조)	-	-	2	-	-
콘크리트 파손(토출수조)	-	-	2	-	-
철근노출(건물기초(기계실))	-	-	1	8	-
콘크리트 박락 및 층분리(건물기초(기계실))	-	-	1	3	-
침하 및 부상(건물기초(기계실))	-	-	1	3	-
콘크리트 박락 및 층분리(흡입수조)	-	-	1	1	-
신축이음 탈락 및 열화(흡입수조)	-	-	1	1	-
콘크리트 박리(건물기초(기계실))	-	-	1	-	-
백태(건물기초(기계실))	-	-	1	-	-
기초세굴(건물기초(기계실))	-	-	-	5	-
누수(토출수조)	-	-	-	3	-
경사(건물기초(기계실))	-	-	-	2	-
누수(건물기초(기계실))	-	-	-	2	-
철근노출(토출수조)	-	-	-	1	-
경사(흡입수조)	-	-	-	-	-
활동(흡입수조)	-	-	-	-	-
침하 및 부상(토출수조)	-	-	-	-	-
경사(토출수조)	-	-	-	-	-
활동(토출수조)	-	-	-	-	-
활동(건물기초(기계실))	-	-	-	-	-
콘크리트 박리(토출수조)	-	-	-	-	-
콘크리트 박락 및 층분리(토출수조)	-	-	-	-	-
신축이음 탈락 및 열화(토출수조)	-	-	-	-	-

## 2) 건축구조물

- 양·배수장 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 양·배수장의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 건축구조물의 손상 유형 및 손상등급 산정

Table 3.18 양·배수장 손상정리(건축구조물)

기준에 의한 부재 및 손상		손상등급				
부재	손상유형	a	b	c	d	e
건축 구조물	콘크리트 강도			○	○	○
	콘크리트 균열			○	○	○
	철근배근상태			○	○	○
	콘크리트 누수 및 백태			○	○	○
	주요 부재 단면 규격			○	○	○
	강재 용접부결함			○	○	○
	강재 접합볼트 누락, 풀림 및 이완상태			○	○	○
	강재부식			○	○	○
	강재 용접접합부 부식			○	○	○
	볼트접합부 부식			○	○	○
강재 내화피복			○	○	○	

□ B등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 없음
- c등급 손상은 없음
- d등급 손상은 없음

Table 3.19 양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
균열(내력벽)	-	-	-	-	-
철근부식(내력벽)	-	-	-	-	-
철근탐지(내력벽)	-	-	-	-	-
시설노후(내력벽)	-	-	-	-	-
표면노후(내력벽)	-	-	-	-	-
접합상태(내력벽)	-	-	-	-	-
강재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
내화피복(내력벽)	-	-	-	-	-
변위변형(내력벽)	-	-	-	-	-
균열(기둥)	-	-	-	-	-
철근부식(기둥)	-	-	-	-	-
철근탐지(기둥)	-	-	-	-	-
시설노후(기둥)	-	-	-	-	-
표면노후(기둥)	-	-	-	-	-
접합상태(기둥)	-	-	-	-	-
강재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
접합재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
내화피복(기둥)	-	-	-	-	-
변위변형(기둥)	-	-	-	-	-
균열(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근부식(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근탐지(보(지붕))	-	-	-	-	-
시설노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
표면노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합상태(보(지붕))	-	-	-	-	-
강재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
내화피복(보(지붕))	-	-	-	-	-
변위변형(보(지붕))	-	-	-	-	-
균열(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근부식(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근탐지(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
시설노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
표면노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합상태(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
강재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
내화피복(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
변위변형(내·외부마감재)	-	-	-	-	-

□ C등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 표면노후(내력벽) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 시설노후(내력벽), 시설노후(기둥) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 시설노후(내력벽), 균열(내력벽), 시설노후(보(지붕)) 등이 다수 발생

Table 3.20 양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
표면노후(내력벽)	-	2	-	1	-
시설노후(내력벽)	-	-	1	2	-
시설노후(기둥)	-	-	1	-	-
균열(내력벽)	-	-	-	4	-
시설노후(보(지붕))	-	-	-	2	-
철근부식(내력벽)	-	-	-	-	-
철근탐지(내력벽)	-	-	-	-	-
접합상태(내력벽)	-	-	-	-	-
강재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
내화피복(내력벽)	-	-	-	-	-
변위변형(내력벽)	-	-	-	-	-
균열(기둥)	-	-	-	-	-
철근부식(기둥)	-	-	-	-	-
철근탐지(기둥)	-	-	-	-	-
표면노후(기둥)	-	-	-	-	-
접합상태(기둥)	-	-	-	-	-
강재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
접합재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
내화피복(기둥)	-	-	-	-	-
변위변형(기둥)	-	-	-	-	-
균열(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근부식(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근탐지(보(지붕))	-	-	-	-	-
표면노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합상태(보(지붕))	-	-	-	-	-
강재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
내화피복(보(지붕))	-	-	-	-	-
변위변형(보(지붕))	-	-	-	-	-
균열(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근부식(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근탐지(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
시설노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
표면노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합상태(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
강재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
내화피복(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
변위변형(내·외부마감재)	-	-	-	-	-



□ D등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 없음
- c등급 손상은 없음
- d등급 손상은 없음

Table 3.21 양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
균열(내력벽)	-	-	-	-	-
철근부식(내력벽)	-	-	-	-	-
철근탐지(내력벽)	-	-	-	-	-
시설노후(내력벽)	-	-	-	-	-
표면노후(내력벽)	-	-	-	-	-
접합상태(내력벽)	-	-	-	-	-
강재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
내화피복(내력벽)	-	-	-	-	-
변위변형(내력벽)	-	-	-	-	-
균열(기둥)	-	-	-	-	-
철근부식(기둥)	-	-	-	-	-
철근탐지(기둥)	-	-	-	-	-
시설노후(기둥)	-	-	-	-	-
표면노후(기둥)	-	-	-	-	-
접합상태(기둥)	-	-	-	-	-
강재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
접합재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
내화피복(기둥)	-	-	-	-	-
변위변형(기둥)	-	-	-	-	-
균열(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근부식(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근탐지(보(지붕))	-	-	-	-	-
시설노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
표면노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합상태(보(지붕))	-	-	-	-	-
강재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
내화피복(보(지붕))	-	-	-	-	-
변위변형(보(지붕))	-	-	-	-	-
균열(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근부식(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근탐지(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
시설노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
표면노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합상태(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
강재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
내화피복(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
변위변형(내·외부마감재)	-	-	-	-	-

### 3) 기계설비

- 양·배수장 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 양·배수장의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 기계설비의 손상유형 및 손상등급 산정

Table 3.22 양·배수장 손상정리(기계설비)

기준에 의한 부재 및 손상		손상등급				
부재	손상유형	a	b	c	d	e
기계설비	기계설비의 외관상태			○	○	○
	펌프의 균열 및 파손			○	○	○
	펌프베드 기초부			○	○	○
	벨브의 균열 및 파손			○	○	○
	배관의 누수상태			○	○	○
	배관의 관두께			○	○	○
	배관 변형			○	○	○
	배관 도장 및 부식			○	○	○
	와이어로프 상태			○	○	○
	수문의 부식			○	○	○
	수문의 변형			○	○	○
수문의 와이어로프 및 랙바			○	○	○	

□ B등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 변형상태(배관), 누수발생여부(배관), 도장 및 부식(배관) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 누수발생여부(배관), 누수발생여부(밸브) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 도막두께측정(배관) 등이 다수 발생

Table 3.23 양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
변형상태(배관)	-	5	-	-	-
누수발생여부(배관)	-	3	2	-	-
도장 및 부식(배관)	-	3	-	-	-
작동상태(펌프)	-	2	-	-	-
균열 및 파손(펌프)	-	2	-	-	-
도막두께측정(배관)	-	1	-	1	-
도장 및 부식(펌프)	-	1	-	-	-
작동상태(밸브)	-	1	-	-	-
균열 및 파손(밸브)	-	1	-	-	-
누수발생여부(밸브)	-	-	1	-	-
베드상태(펌프)	-	-	-	-	-
도장 및 부식(밸브)	-	-	-	-	-
철판두께측정(배관)	-	-	-	-	-
작동상태(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
와이어로프 상태(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
도장 및 부식(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
작동상태(제진기(스크린))	-	-	-	-	-
설치상태(변형여부)(제진기(스크린))	-	-	-	-	-
도장 및 부식(제진기(스크린))	-	-	-	-	-
부식상태(수문)	-	-	-	-	-
변형 및 누수(수문)	-	-	-	-	-
마찰부 손상상태(수문)	-	-	-	-	-
작동상태(수문)	-	-	-	-	-
와이어로프(랙바) 상태(수문)	-	-	-	-	-

□ C등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 도장 및 부식(배관), 변형상태(배관), 도장 및 부식(펌프) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 도장 및 부식(배관), 도장 및 부식(펌프), 부식상태(수문) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 도장 및 부식(배관), 도장 및 부식(제진기(스크린)), 누수 발생여부(배관) 등이 다수 발생

Table 3.24 양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
도장 및 부식(배관)	-	28	16	9	-
변형상태(배관)	-	23	8	1	-
도장 및 부식(펌프)	-	10	13	1	-
도장 및 부식(밸브)	-	10	8	2	-
작동상태(펌프)	-	6	3	-	-
도장 및 부식(천정주행기중기)	-	5	3	-	-
설치상태(변형여부)(제진기(스크린))	-	4	-	-	-
누수발생여부(배관)	-	3	6	4	-
철관두께측정(배관)	-	3	-	-	-
변형 및 누수(수문)	-	3	3	1	-
베드상태(펌프)	-	2	5	-	-
누수발생여부(밸브)	-	2	4	4	-
마찰부 손상상태(수문)	-	2	3	-	-
작동상태(밸브)	-	1	7	2	-
균열 및 파손(펌프)	-	1	5	-	-
도장 및 부식(제진기(스크린))	-	1	-	5	-
작동상태(천정주행기중기)	-	1	-	-	-
부식상태(수문)	-	-	10	1	-
작동상태(수문)	-	-	4	-	-
작동상태(제진기(스크린))	-	-	1	-	-
균열 및 파손(밸브)	-	-	-	2	-
도막두께측정(배관)	-	-	-	-	-
와이어로프 상태(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
와이어로프(랙마) 상태(수문)	-	-	-	-	-

□ D등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 변형상태(배관), 도장 및 부식(배관), 작동상태(펌프) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 도장 및 부식(펌프), 베드상태(펌프), 작동상태(밸브) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 도장 및 부식(배관), 도장 및 부식(펌프), 도장 및 부식(밸브) 등이 다수 발생

Table 3.25 양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
변형상태(배관)	-	21	6	2	-
도장 및 부식(배관)	-	15	13	13	-
작동상태(펌프)	-	4	10	4	-
도장 및 부식(펌프)	-	4	16	10	-
도장 및 부식(밸브)	-	4	7	10	-
설치상태(변형여부)(제진기(스크린))	-	3	-	-	-
도막두께측정(배관)	-	2	-	1	-
도장 및 부식(천정주행기중기)	-	2	3	1	-
변형 및 누수(수문)	-	1	1	1	-
베드상태(펌프)	-	-	15	9	-
작동상태(밸브)	-	-	15	9	-
균열 및 파손(펌프)	-	-	13	1	-
균열 및 파손(밸브)	-	-	12	4	-
누수발생여부(밸브)	-	-	9	8	-
누수발생여부(배관)	-	-	8	3	-
작동상태(수문)	-	-	4	3	-
작동상태(천정주행기중기)	-	-	3	1	-
부식상태(수문)	-	-	1	2	-
도장 및 부식(제진기(스크린))	-	-	-	5	-
마찰부 손상상태(수문)	-	-	-	2	-
철관두께측정(배관)	-	-	-	-	-
와이어로프 상태(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
작동상태(제진기(스크린))	-	-	-	-	-
와이어로프(랙바) 상태(수문)	-	-	-	-	-

#### 4) 전기설비

- 양·배수장 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 양·배수장의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 전기설비에 손상 유형 및 손상등급 산정

Table 3.26 양·배수장 손상정리(전기설비)

기준에 의한 부재 및 손상		손상등급				
부재	손상유형	a	b	c	d	e
전기설비	수변전설비의 외관상태			○	○	○
	배전설비의 외관상태			○	○	○
	동력설비의 외관상태			○	○	○
	배관배전설비의 외관상태			○	○	○
	조명설비의 외관상태			○	○	○
	조명설비의 조도			○	○	○

□ B등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 없음
- c등급 손상은 없음
- d등급 손상은 없음

Table 3.27 양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
작동상태(수변전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(수변전설비)	-	-	-	-	-
작동상태(배전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배전설비)	-	-	-	-	-
작동상태(동력설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(동력설비)	-	-	-	-	-
작동상태(배관배선설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배관배선설비)	-	-	-	-	-
작동상태(조명설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(조명설비)	-	-	-	-	-

□ C등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 작동상태(수변전설비), 작동상태(배전설비), 작동상태(동력설비) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 작동상태(수변전설비), 작동상태(배전설비), 작동상태(조명설비) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 작동상태(수변전설비), 작동상태(수변전설비) 등이 다수 발생

Table 3.28 양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
작동상태(수변전설비)	-	4	2	1	-
작동상태(배전설비)	-	2	4	-	-
작동상태(동력설비)	-	2	-	-	-
작동상태(수변전설비)	-	-	1	1	-
손상 및 파손(수변전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(동력설비)	-	-	-	-	-
작동상태(배관배선설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배관배선설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(조명설비)	-	-	-	-	-



□ D등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 없음
- c등급 손상은 손상 및 파손(수변전설비), 작동상태(동력설비), 작동상태(조명설비) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 작동상태(동력설비), 작동상태(수변전설비), 작동상태(조명설비) 등이 다수 발생

Table 3.29 양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
손상 및 파손(수변전설비)	-	-	4	-	-
작동상태(동력설비)	-	-	3	3	-
작동상태(조명설비)	-	-	2	1	-
작동상태(수변전설비)	-	-	1	8	-
손상 및 파손(조명설비)	-	-	1	-	-
작동상태(배관배선설비)	-	-	-	2	-
작동상태(배전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(동력설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배관배선설비)	-	-	-	-	-

### 3.2 현황조사에 의한 성능저하 요인 도출

#### 3.2.1 현장조사 계획수립 및 사전 조사

##### 1) 양·배수장 유지관리 비용 분석

- 본 연구에서는 전국에 분포하고 있는 양수장 834개소의 유지관리 비용을 기술 통계 분석함
- 양수장 유지관리는 토목, 기계, 전기, 건축 부분으로 구분할 수 있고, 각 항목에 대한 유지관리는 해당 시설의 운영에 필요한 우선순위에 따라 선택적으로 이루어짐
  - 총 834개소의 양수장의 데이터를 이용하여 각 분야별 유지관리 비용 자료를 히스토그램을 작성하여 살펴 본 결과 유지관리 비용이 없는 구간의 분야 수는 건축, 토목, 전기, 기계 순으로 많았음
  - 이를 토대로 양수장의 유지관리는 기계, 전기, 토목, 건축 부분의 순으로 이루어지는 것을 알 수 있었음
  - 모든 분야는 전체적으로 소액의 비용이 소요되는 상시적 유지관리 뿐만 아니라 대규모 보수보강도 이루어지고 있음
  - 토목분야는 상대적으로 다른 분야보다 높은 금액의 유지관리비용이 집계되어 토목분야의 유지보수비용이 다른 분야에 비해 더 많이 들고 있었음

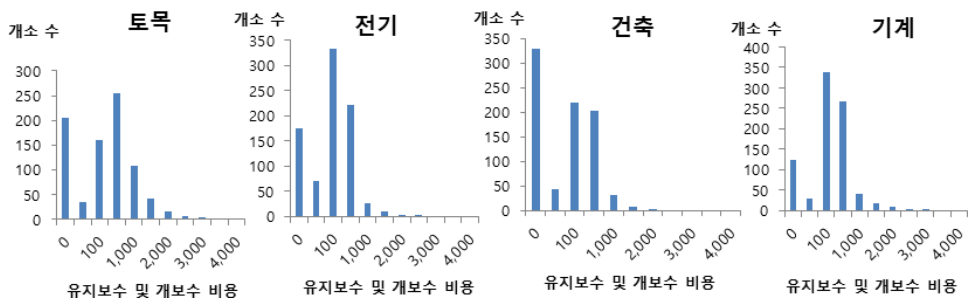
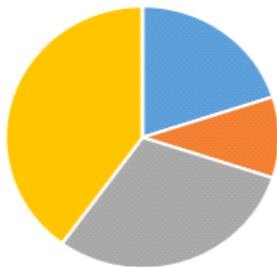


Fig. 3.4 분야별 유지관리비 분석 결과(금액단위: 백만원)

### 3.2.2 현장조사 결과

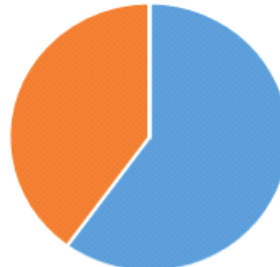
#### 1) 대상지구 일반현황

- 대상지구 일반현황은 대상지구에서 운영하고 있는 펌프의 수, 사용 연수, 보수보강 사업 항목을 조사함
  - 시설사용연수는 ① 10년 미만, ② 10년~15년, ③ 16년~20년, ④ 20년 이상으로 구분하였고, 보수보강 사업 항목은 ① 토목, ② 건축, ③ 기계, ④ 전기, ⑤ 부대시설 항목으로 조사함
  - 시설 운영기간은 총 10개 시설 중 20년 이상이 4곳으로 가장 많았고, 16~20년 3곳, 10~15년 1곳, 10년 미만 2곳으로 분석됨
  - 최근 보수보강 시기는 10년 미만이 6곳으로 나타났으며, 보수보강 사업 내용은 기계 분야가 가장 많은 곳으로 나타났음



■ 10년 미만 ■ 10년-15년 ■ 16년-20년  
■ 20년 이상 ■ 기타

(a) 시설 사용연수



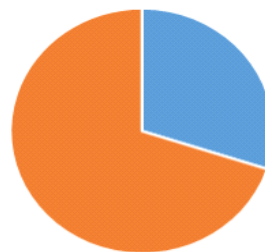
■ 10년 미만 ■ 10년-15년 ■ 16년-20년  
■ 20년 이상 ■ 기타

(b) 최근 보수보강 시기



■ 토목 ■ 건축 ■ 기계 ■ 전기 ■ 부대시설

(c) 보수보강 사업 분야



■ 예 ■ 아니오

(d) CCTV 설치 여부

Fig. 3.5 대상시설물 일반현황 질의 결과

## 2) 대상지구 운영인원 및 운영방법

- 대상지구 운영인원과 운영방법은 '시설물 운영 및 관리 인력'과 '운영 주체'에 대한 질의를 통해 양·배수 시설의 관리 방법을 알아보았음
  - 양·배수 시설은 공사에서 전담으로 맡아서 운영하는 직원이 4개소이고, 계절별 전문 고용인력이 운영하는 지구도 4개소로 조사됨
  - 공사직원이 관리지역 내 시설물을 일괄적으로 배분받아 운영하는 경우가 가장 많았음
  - 계절고용인력과 공사담당직원이 나누어 시설을 운영하는 지구가 있어 복수응답 하도록 하였음
  - 시설물 가동 시 공사에서 결정한 사항을 지시 받아 시설물 작동을 수행하는 곳이 1개소이고, 기상 현황 등 정보를 제공받아 담당자가 직접 의사 결정하여 시설물을 작동하고 일지 기록 내용을 보고하는 곳이 9개소로 조사되었음

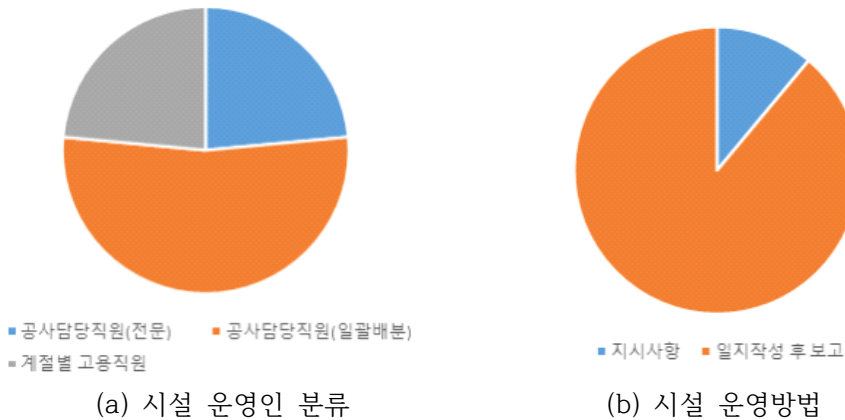


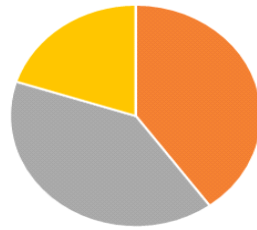
Fig. 3.6 대상시설물 운영인원 및 운영방법

### 3) 연간가동일수 및 시간

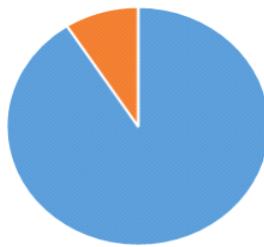
- 시설물의 연간가동일수 및 시간 자료는 연중 운영이 집중되는 시기, 1회 작동 시 연속으로 운영되는 시간, 주요 기능, 양수의 주요 목적 등으로 구분하였음
- 그 결과 총 10개의 조사지역 중 시설물의 주요 기능은 양수라고 응답한 경우가 9개소로 가장 많았고, 배수를 주로 시행하는 곳도 1개소가 있었음
- 상시 양수를 시행하는 곳과 용수 급수기에 맞춰 시설 운영이 집중되는 지구가 각 각 5개소로 나타났음
- 시설 운영 시 10시간~15시간 운영과 16~24시간 운영하는 곳이 각 각 4개소로 나타났고, 24시간 이상 운영하는 지구도 2개소가 있는 것으로 나타났음
- 양수한 용수의 주요 이용처는 농업용수가 가장 많고 생활용수 공급에 이용하는 지구도 1개소 있는 것으로 분석됨



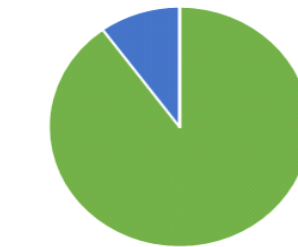
(a) 시설 운영 집중시기



(b) 1회 작동시 운영시간



(c) 주요 기능

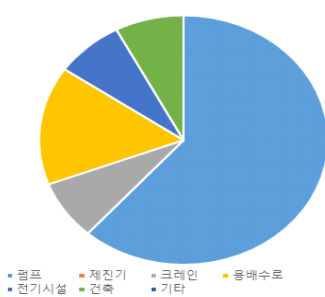


(d) 용수 목적

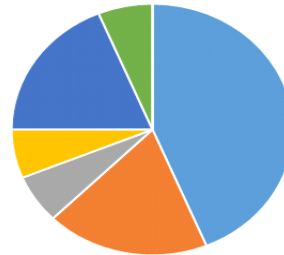
Fig. 3.7 대상시설물 연간가동일수 및 시간

#### 4) 유지관리 및 보수보강 현황

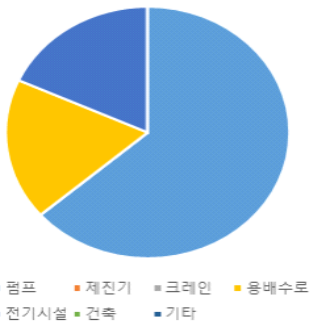
- 양·배수 시설물의 유지관리 및 보수보강 현황에 대한 내용을 조사
- 조사 결과 고장이 가장 많이 발생하는 분야는 펌프로 조사되었음
  - 펌프에 이물질 등이 들어가는 경우 고장이 자주 발생할 수 있는데, 본 설문에서 조사된 결과 이물질 침투로 인한 고장보다 시설 노후화로 인한 고장이 더욱 빈번한 것으로 나타났음
  - 또한 고장은 아니지만 평상 시 유지관리를 항상 수행하는 분야도 펌프로 나타났고, 이는 운영이 많은 곳일수록 유지관리 횟수도 잦은 것으로 나타났음
  - 제진기에 대한 유지관리도 상시 이루어지는 것으로 조사되었음
- 보수보강 비용 또한 펌프 비용이 가장 큰 것으로 조사되었고, 용배수로 유지관리에 소요되는 비용이 그 다음으로 나타났음



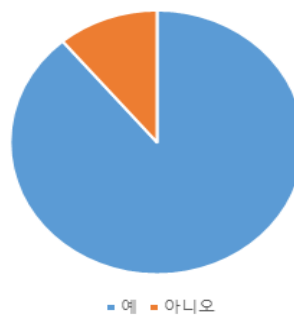
(a) 고장이 빈번한 분야



(b) 유지관리가 빈번한 분야



(c) 보수보강 비용의 주 분야



(d) 예산 재 배분 고려

Fig. 3.8 대상시설물 유지관리 및 보수보강 현황

### 3.2.3 성능저하 요인 도출

- 기후변화가 시설물에 미치는 영향 등을 파악하기 위한 현장조사와 별도로 한국농어촌공사 관할 구역을 크게 3개 권역으로 구분하고 권역별 시설물 운영 실태를 조사하였음
  - 북부권역, 중부권역, 남부권역으로 구분하고 총 25개 지구 현장조사 및 운영관리자와 미팅을 통한 문제점과 개선의견을 청취하였음
  - 양수장 현장조사와 탐문조사를 통해 권역별 성능저하 요인을 도출

Table 3.30 권역별 조사 대상 지구

구분	북부권역	중부권역		남부권역			계
	평택지사	부여지사	금산·논산지사	의성·군위지사	군산지사	금강사업단	
1종	길음양수장	탑정양수장	군수2배수장	양서양수장	-	나포양수장 서포양수장	6
2종	좌교배수장 울북배수장	봉화양수장 원남양수장	마정양배수장 지토양수장 석우2배수장	-	성산양수장	-	8
3종	울북양수장 해창양수장	가야곡양수장 우기양수장	호암양수장	천동배수장 안계1양수장 비안1양수장 낙정양수장	구암양수장	동암양수장	11

Table 3.31 권역별 성능저하 요인

수도권	낙동강변	금강변	내륙부
<b>부유쓰레기 유입</b>	<b>모래 유입</b>	<b>퇴적토사 유입</b>	<b>높은 수두</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 잦은 기계 분해 조립</li> <li>· 와류 발생</li> <li>· 원활치 않는 유수 흐름</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 펌프 마모</li> <li>· 유입수로 준설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유입수로 토사퇴적, 단면 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 흡입수위 저하로 고양정 발생</li> </ul>

Table 3.32 성능저하 요인 분류

<b>기술적 측면</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 적정 설계기준의 주기적 갱신 미비</li> <li>· 표준화된 매뉴얼 부족</li> </ul>
<b>제도적 측면</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 근무여건 열악(소음, 철야, 외지, 민원), 시설관리 및 운영인력 감축, 낮은 보수</li> <li>· 부품단위 적기 교체 애로, 사후 보수 제도</li> </ul>
<b>사회적 측면 [공급자]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 잦은 인사 이동 : 수혜구역 급 · 배수 실정(체계)파악에 오랜 경험과 기간 필요</li> <li>· 전문기술자 손퇴 : 고압전기, 대형펌프 운전 기술 보유자 양성 어려움</li> </ul>
<b>사회적 측면 [수혜자]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 농어업인의 고령화, 영농패턴의 변화, 용수절약마인드 결여</li> <li>· 농어업인의 낮은 수리관행 답습, 풀려대기 등 영농방식의 변화</li> </ul>





# 제 4 장

## 성능평가 모델 개발

농업생산기반시설 성능개선 기술개발



## IV. 성능평가 모델 개발

### 4.1 시설별 성능평가 모델 개발

#### 4.1.1 열화모델과 비용모델 개요

##### 1) 열화모델

- 시설의 열화모델은 준공 이후 공용기간이 증가함에 따라 지속적인 성능 저하에 의해 수명이 종료되는 시기를 예측하는 모델
- 보수보강공사가 이루어지지 않은 시설의 데이터를 이용하여 시설에 보수보강이 이루어지지 않을 시 자연적으로 종료되는 수명을 예측하는 미조치 모델 개발
- 현행 유지보수체계에 의해 연장되는 수명을 예측할 수 있는 조치 모델 개발
- 보수보강 공사 수행 후 조치효과가 감소되는 열화모델 개발

##### 2) 비용모델

- 시설의 비용모델은 부재의 성능(등급)에 따른 보수보강공사비용을 예측하는 모델
- 기존에 사용한 보수보강공사비용을 통해 비용모델 개발(비용모델 I)
- 진단결과 나타난 시설의 손상물량과 손상별 대표공법에 기준단가를 사용하여 비용모델 개발(비용모델 II)

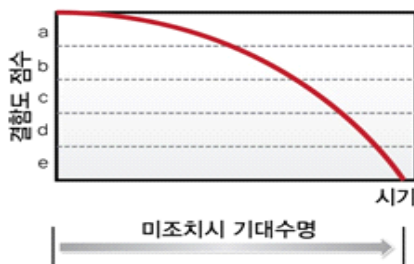


Fig. 4.1 열화모델

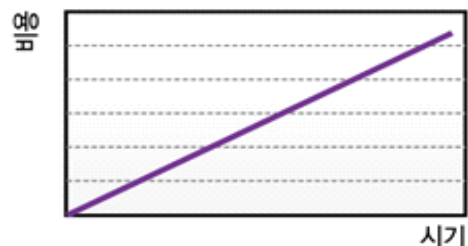


Fig. 4.2 비용모델

## 4.1.2 저수지 제체 열화모델의 개발

- 보수보강공사 수행 횟수 분석을 통한 데이터 분류
  - 부재별 미조치시 열화모델을 만들기 위해 시설의 경과년수별 보수보강 횟수를 분석하여 모델 개발을 위한 데이터 분류
  - 저수지 제체의 분석결과 주기적인 보수보강공사가 이뤄지지 않아 시설의 최초 조치시기를 파악하기 어려움
- ➡ **최초 조치시기를 파악하기 위해 1회 보수보강공사를 수행한 시설의 데이터를 선별하여 데이터의 분포를 분석한 후 최종 데이터 분류**

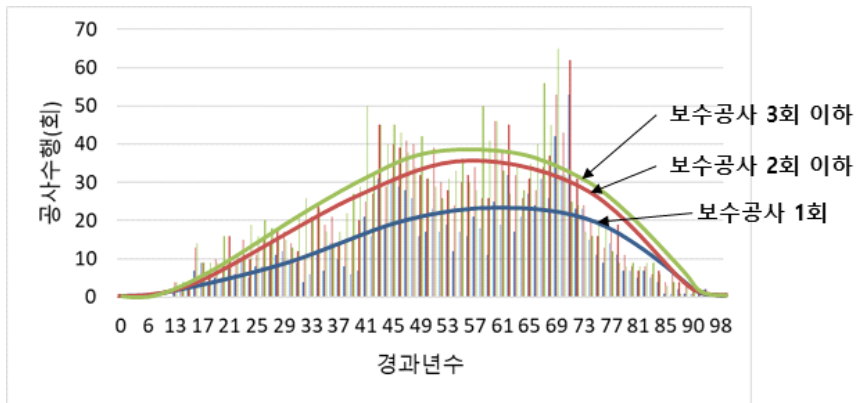


Fig. 4.3 저수지 제체의 보수보강공사 수행횟수

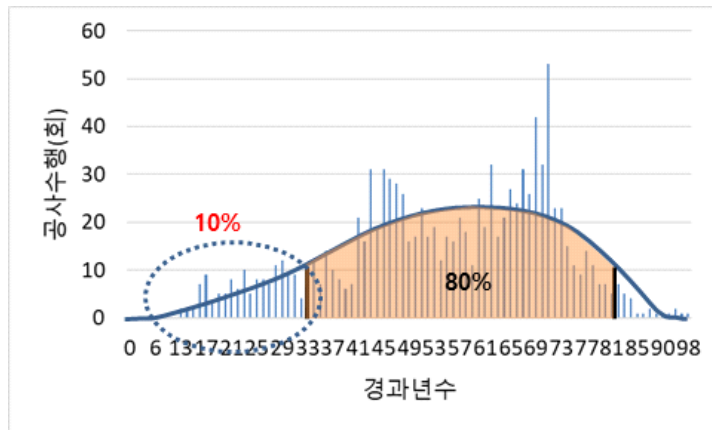


Fig. 4.4 제체의 1회 보수보강공사 데이터의 선별

□ 분류된 데이터의 정규분포화 및 열화모델 개발

- 점검진단 최종결과는 부재의 등급으로 나타나기 때문에 다음과 같이 일정하게 나타나므로 등급의 결함도 점수를 이용해 정규 분포화하여 데이터를 가공
- 데이터를 분포 추세를 분석하여 미조치시 열화모델과 현행 유지관리 체계에서 지속적인 보수보강이 이루어진 조치모델을 개발

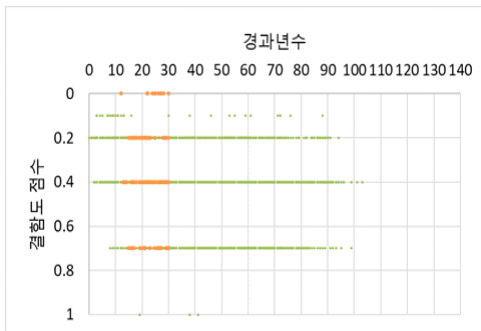


Fig. 4.5 동일한 등급의 데이터

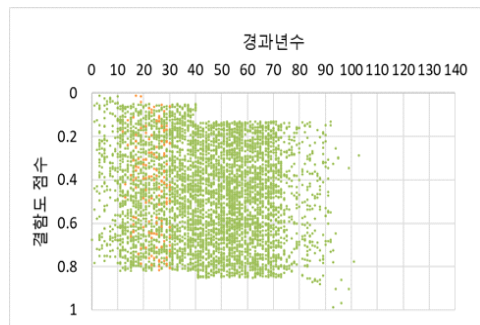


Fig. 4.6 정규분포화한 데이터

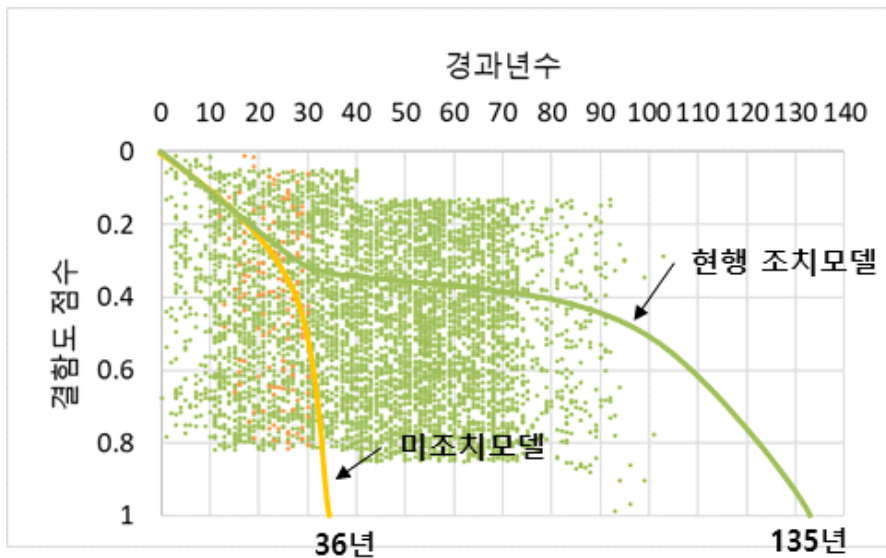


Fig. 4.7 저수지 제체의 미조치모델과 조치모델

### 4.1.3 저수지 제체 비용모델의 개발

- 기본에 사용된 보수보강공사의 비용을 이용하여 등급별 조치시기에 따른 비용모델 개발 - 비용모델 I
  - 공사 비용이 100억 이상인 공사는 보수보강공사에서 제외

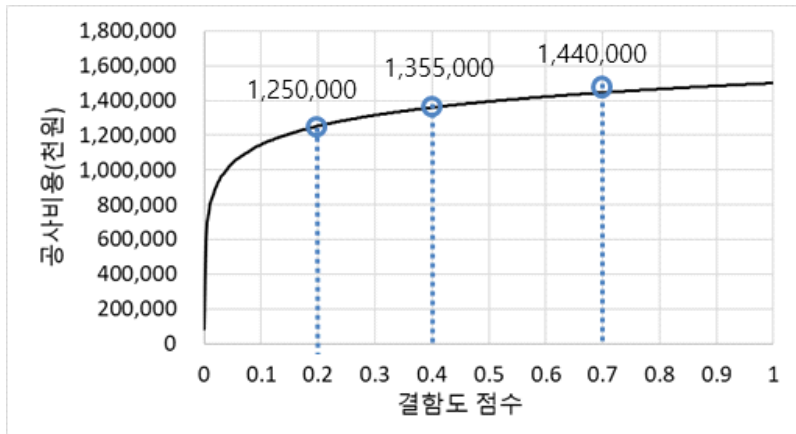


Fig. 4.8 저수지 제체의 비용모델 I

- 점검진단의 손상정보와 보수공사공법의 단가를 이용하여 비용모델 개발 - 비용모델 II
  - 점검진단정보 중 부재의 전체 물량, 손상물량, 손상등급 등의 정보화 각 손상에 대한 대표보수공사의 비용을 이용

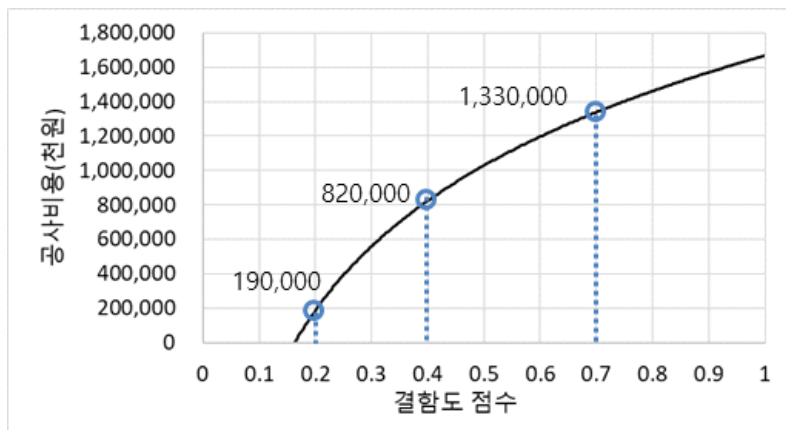


Fig. 4.9 저수지 제체의 비용모델 II

Table 4.1 제체의 세부부재별 손상과 대표보수공법 정의

부재	세부부재	손상유형	대표 보수공법
제체	댐마루	균열	그라우팅
		침하	댐마루增高
		수평변위	단면보수
		제체유실	성토다짐
		사면불안정	성토다짐
	상류사면	누수	그라우팅
		침하 및 변형	성토다짐
		차수벽 노후화	단면보수
		사면불안정 및 사면보호	단면보수
		사면침식	사석 재설치
제체	하류사면	누수	그라우팅
		사면불안정	단면보수
		사면보호 상태	성토다짐
		침하 및 변형	성토다짐
		사면침식	사석 재설치
		식생	식생제거
		동물의 굴	동굴제거
	기초 및 양안부	부등침하	그라우팅
		기초 불안정	단면보수
		침식 및 침투	그라우팅

□ 비용모델의 변환

- 열화모델과 비용모델을 통해 조치시기를 예측하기 위해서는 비용 모델의 변환이 필요. 비용모델의 조치등급(결함도 점수)을 열화모델을 통해 조치시기로 변환

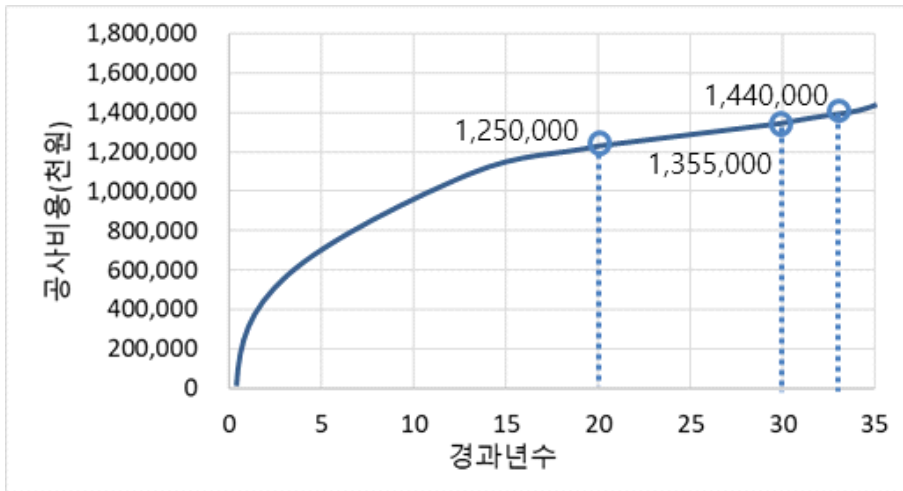


Fig. 4.10 조치시기로 변환한 제체의 비용모델 I

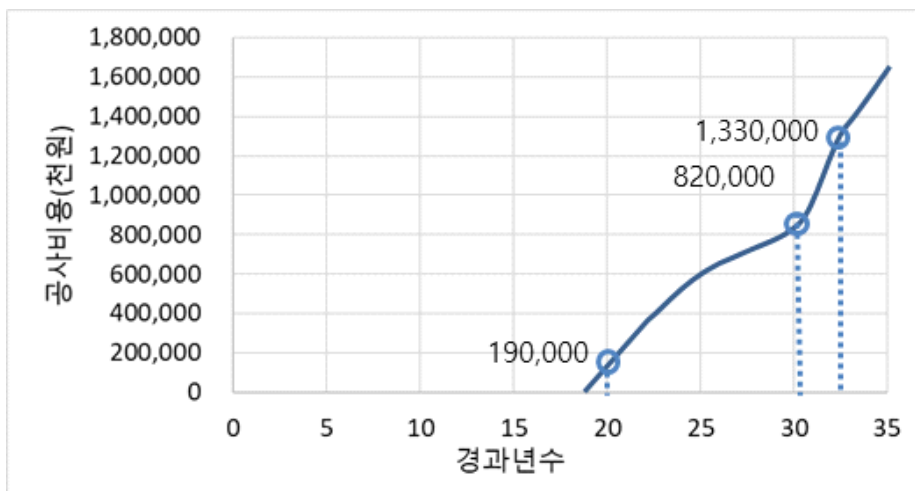


Fig. 4.11 조치시기로 변환한 제체의 비용모델 II



#### 4.1.4 저수지 여수로와 취수시설의 성능평가 모델

□ 제체와 동일한 방법으로 점검진단정보를 이용하여 열화모델 개발



Fig. 4.12 여수로의 열화모델

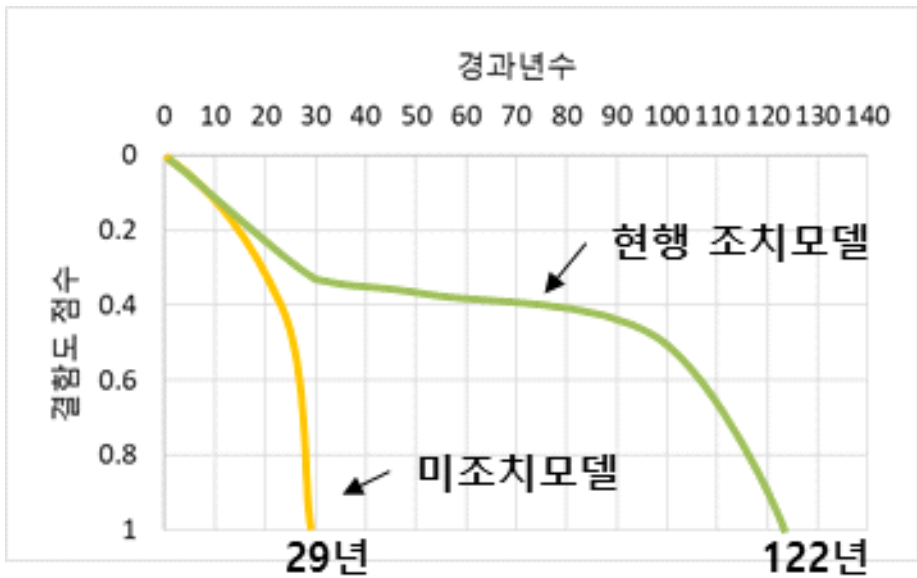


Fig. 4.13 취수시설의 열화모델

□ 여수로와 취수시설의 비용모델 개발

- 현재 보수보강공사정보가 부재별로 세분화되어 있지 않아 비용모델 I은 제체와 동일
- 취수시설은 대부분의 손상에 의한 보수가 기계, 전기설비의 교체로 나타남

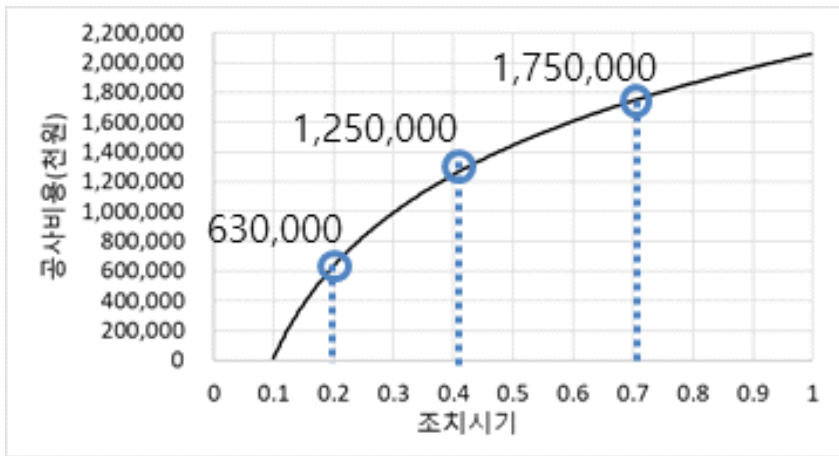


Fig. 4.14 여수로의 비용모델 II

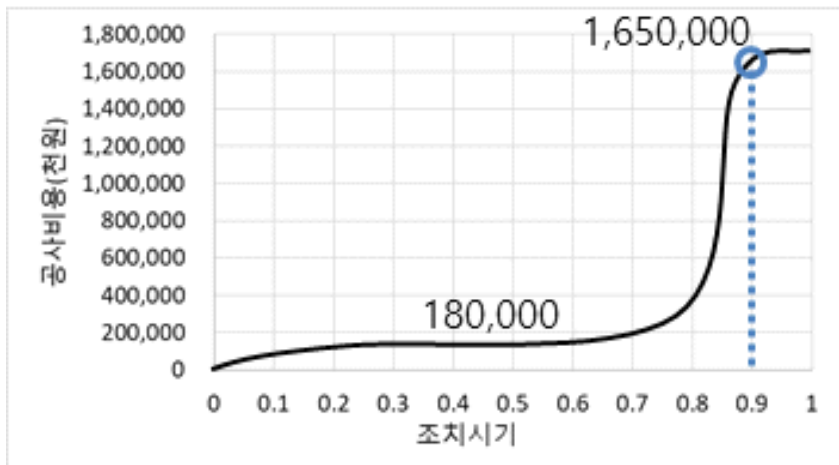


Fig. 4.15 취수시설의 비용모델 II

#### 4.1.5 양·배수장의 성능평가 모델

□ 토목구조물, 건축구조물, 기계시설, 전기시설의 열화모델 개발

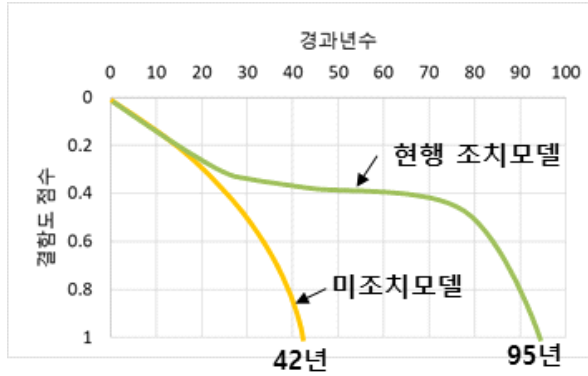


Fig. 4.16 토목구조물의 열화모델

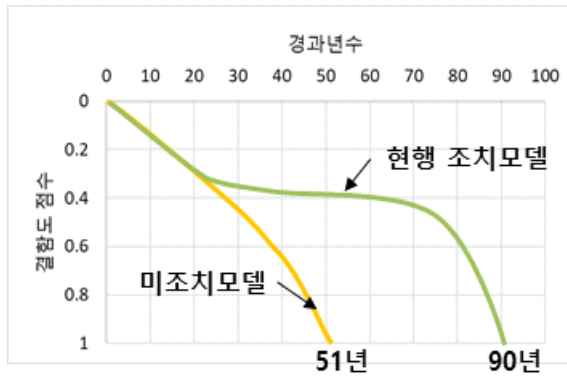


Fig. 4.17 건축구조물의 열화모델

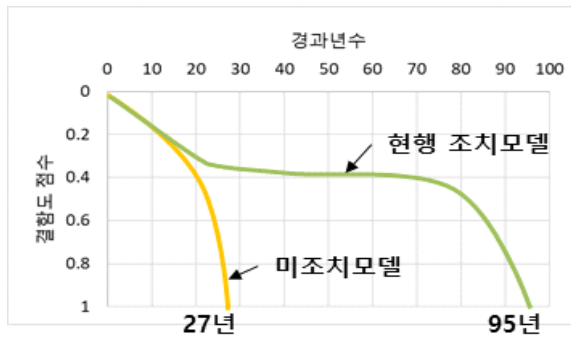


Fig. 4.18 기계시설의 열화모델

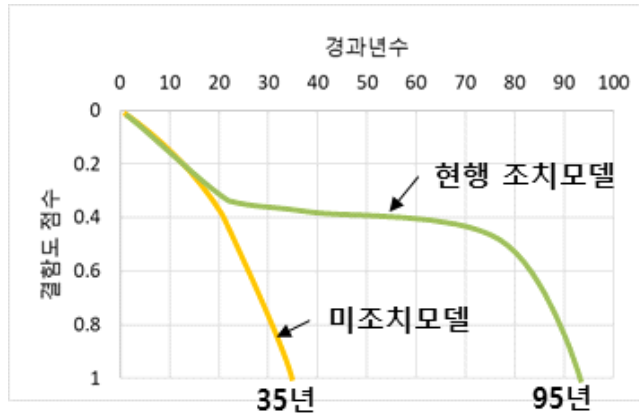


Fig. 4.19 전기시설의 열화모델

□ 토목구조물, 건축구조물, 기계시설, 전기시설의 비용모델 개발

- 현재 보수보강공사정보가 부재별로 세분화되어 있지 않아 비용모델 I은 개발 불가
- 점검진단 손상정보의 대부분은 토목구조물이며, 건축구조물, 기계시설, 전기시설은 주요 설비의 교체비용을 이용하여 비용모델 II 개발

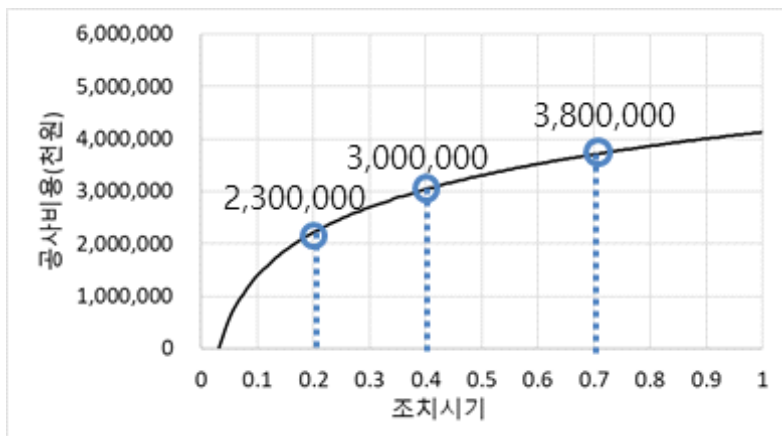


Fig. 4.20 토목구조물의 비용모델 II

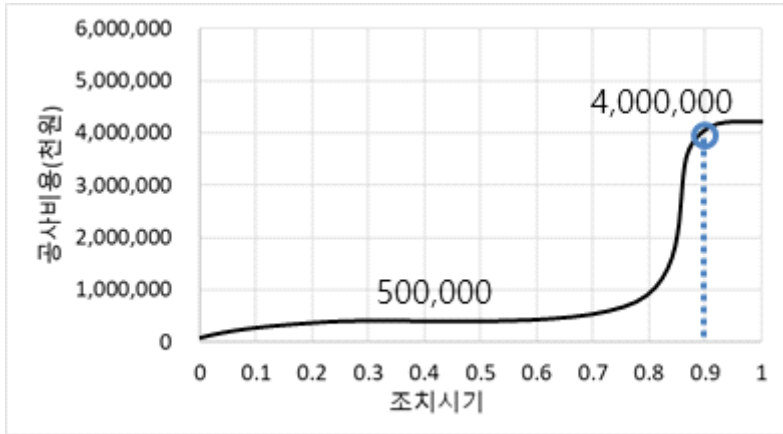


Fig. 4.21 건축구조물의 비용모델 II

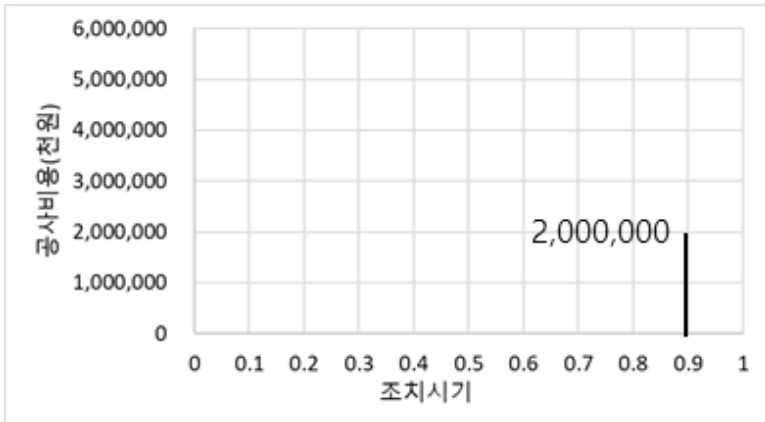


Fig. 4.22 기계설비의 비용모델 II

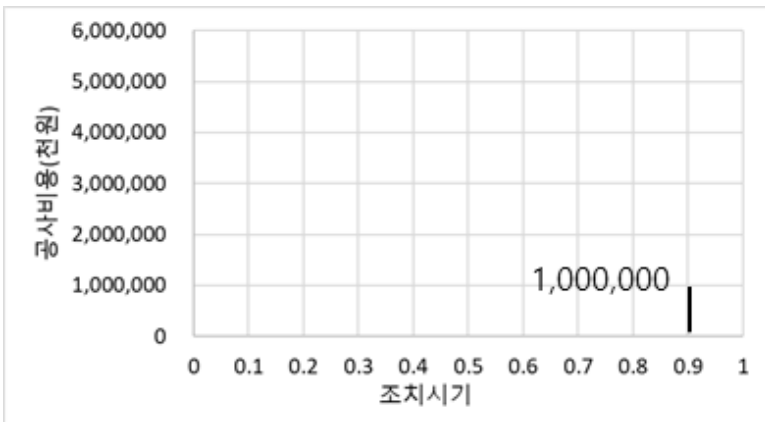


Fig. 4.23 전기설비의 비용모델 II



# 제 5 장

## 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출

농업생산기반시설 성능개선 기술개발





## V. 성능개선과 유지관리의 유블리 판단방안 도출

### 5.1 저수지 및 양·배수장의 기대수명 평가

- 시설의 기대수명은 시설을 구성하는 부재의 수명에 의해 결정
  - 시설의 수명을 결정하는 주요부재 정의
  - 개발된 시설별 부재의 열화모델을 통해 저수지 및 양·배수장의 기대수명을 평가함

Table 5.1 농업기반시설의 기대수명평가

시설	부재	미조치 모델의 수명(년)	기대수명(년)
저수지	제체	36	135
	여수로	36	125
	취수시설	29	122
양배수장	토목구조물	42	95
	건축구조물	51	90
	기계설비	27	95
	전기설비	35	95

## 5.2 저수지 및 양·배수장의 조치시기 결정

- 시설의 보수보강 조치시기는 열화모델과 비용모델을 통해 예측하고 예측 구간에 대해서 기대효과를 분석하여 조치시기 결정
  - 열화모델과 비용모델I의 형태로부터 B~C등급에서 조치 적절하게 나타났으며, 열화모델과 비용모델II의 형태로부터는 C~D등급에서 조치가 적절할 것으로 예측되어 기대효과는 B, C, D등급에서 검토

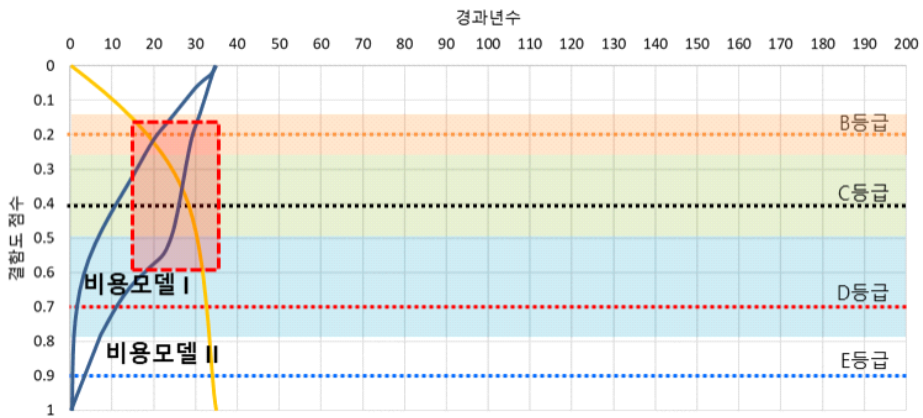


Fig. 5.1 열화모델과 비용모델을 이용한 조치시기 예측

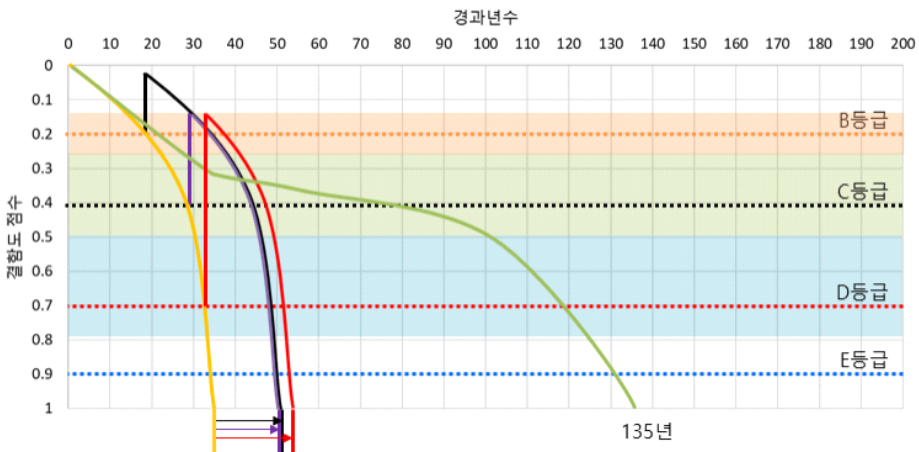


Fig. 5.2 체체의 등급별 기대수명 평가 및 조치시기 결정

Table 5.2 조치시기 등급별 비용(저수지 제체)

조치시기	증가수명 (년)	비용모델I 조치비용 (천원)	기대효과 (천원/년)	비용모델II 조치비용 (천원)	기대효과 (천원/년)
B	15	1,250,000	83,000	190,000	13,000
C	15	1,355,000	90,000	820,000	55,000
D	20	1,440,000	72,000	1,330,000	66,500

Table 5.3 조치시기 등급별 비용(저수지)

부재	조치 시기	증가 수명 (년)	비용모델I 조치비용 (천원)	기대효과 (천원/년)	비용모델II 조치비용 (천원)	기대효과 (천원/년)
제체	D	15	1,440,000	72,000		
	C	15			820,000	55,000
여수로	C	16	1,440,000	90,000	1,750,000	110,000
취수시설	E	14			1,650,000	120,000

Table 5.4 조치시기 등급별 비용(양·배수장)

부재	조치 시기	증가수명 (년)	비용모델II 조치비용(천원)	기대효과 (천원/년)
토목구조물	D	22	3,800,000	170,000
건축구조물	C	35	4,000,000	115,000
기계설비	C	14	1,330,000	143,000
전기설비	E	21	1,000,000	48,000



# 제 6 장

## 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향

농업생산기반시설 성능개선 기술개발



## Ⅵ. 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향

### 6.1 국내 자산관리 선행기술 사례조사

#### 6.1.1 자산관리 추진 현황

- 국내에서 인프라 시설물의 자산관리 분야에 대한 연구는 한국시설안전공단과 한국도로공사를 중심으로 이루어져 왔음
- 한국시설안전공단에서는 2005년에 “생애주기비용에 기초한 시설물 최적 유지관리 시스템 개발” 연구에서 자산관리 개념을 시설물 유지관리에 도입하는 기초 연구를 수행함
  - 다음으로 2008년부터 2010년까지 “LCC 예측 모델을 활용한 도로 시설물 유지관리 계획 수립 방안 연구”를 수행함
  - 연구과제를 통하여 시설물의 자산가치평가 방법, 시설물의 부재별 수명 및 유지관리 비용 예측 방법, 자산관리 체계의 도입 및 운영 방안, 자산관리를 위한 기초적인 분석프로그램 개발 등의 성과를 도출하였음
- 한국도로공사에서는 2008년부터 2009년까지 “자산관리체계 Framework 개발 연구”와 2010년부터 2011년까지 “선진구조물 자산관리체계 적용 연구”를 통하여 고속도로 상의 교량에 대한 성능 중심의 유지관리 도입방안을 연구하였음
  - 연구를 통하여 고속도로 상의 교량 유지보수 업무에 선진적인 자산관리 개념을 접목하기 위한 방법론을 도출하였고,
  - 고속도로 교량의 부재별 수명 및 유지관리 비용 예측 방법, 예산 배정 방법, 관리목표 수립 방법, 중장기 유지보수 예산 분석 방법 등의 다양한 성과를 도출
- 이와 같은 자산관리의 기본적인 개념과 도입방법을 검토하는 연구 이외에도 도로분야에서는 도로시설물의 유지관리 시스템을 개발 및 운영하는 연구가 수행되었음

- 한국건설기술연구원은 1983년부터 국토교통부의 위탁을 받아 국도 포장유지관리시스템(국도PMS: Pavement Management System)을 개발하여 운영 중임
  - 도로포장의 상태를 자동으로 조사할 수 있는 차량(ARAN)과 비파괴 시험장비인 FWD, 미끄럼 조사장비 등을 통합 운영하여 도로포장의 상태를 지수(PCI: Pavement Condition Index)화하여 보수구간을 선정하는데 활용하고 있음
- 한국도로공사는 1994년부터 서울시는 2002년부터 포장유지관리시스템을 각각 개발하고 조사장비를 운영하여 포장도로 보수구간 선정에 활용하고 있음
- 한국도로공사와 한국건설기술연구원은 고속도로 및 국도의 교량들에 대한 교량유지관리시스템(BMS: Bridge Management System)를 개발 및 운영하고 있음
  - 한국도로공사는 2000년에 HBMS를 완성하여 교량의 정밀안전진단 및 정기점검에서 얻어진 상태조사정보, 유지보수 시행 이력 등을 저장하여 교량의 유지관리 업무에 활용하고 있음
  - 한국건설기술연구원은 2010년부터 2012년까지 기존의 국도BMS를 개선하는 연구를 수행하여 상태 및 보수 이력정보 관리 수준에 머물던 국도BMS에 의사결정 논리와 자산관리의 개념을 도입하는 개발을 완료함
- 한국도로공사는 고속도로의 포장 및 교량에 대한 상태 정보 및 유지관리 이력정보를 사내 인트라넷인 “Hi-Portal”에 “Hi-유지관리”라는 영역을 만들어 모두 저장하고 있다. 국도의 경우에는 교량 BMS의 정보는 “건설CALS”에 저장되어 활용되고 있음
- 유지관리 시스템들은 자산관리의 도입 과정에서 반드시 필요한 시설물의 성능(또는 상태)에 대한 정보를 획득하여 정량화하고 저장하는 역할을 하고 있는 부분으로 다양한 연구가 이루어진 상태임
- 유지관리 시스템 운영의 경험을 활용하여 자산관리를 여러 사회기반시설물의 영역으로 확장할 경우 다양한 시설물별 성능평가 방법론의 정립에 도움이 될 것으로 판단됨



## 6.1.2 시설물 유지관리 현황

- 국내에서는 “시설물의안전관리에관한특별법”(이하, 시특법)이 마련되어 도로시설물, 철도시설물, 항만시설물, 댐, 건축물, 하천시설물, 상하수도, 폐기물, 옹벽, 절토사면 등 주요 사회기반시설물을 대상으로 시설물의 유지관리를 수행하고 있음
  - 사회기반시설물의 유지관리체계는 중앙 정부조직을 중심으로 시설물의 특성에 맞게 유지관리업무를 분담하여 관련 산하기관들이 운영하고 있음
  - 그밖에 광역시도 및 지방자치단체로 유지관리 업무 체계 구분
  - 대표적인 사회기반시설물이라고 할 수 있는 도로, 철도, 하천 등에 대해 국토해양부에서 시설물별로 역할을 분담하여 관리하고 도로포장관리 및 절토사면 유지관리 시스템 운영, 도로통합관리시스템 운영, 국도유지관리 관련 업무 및 예산을 총괄
  - 정부 산하기관인 한국시설안전공단, 한국도로공사, 한국수자원공사, 한국철도공사 등이 시설물의 특성에 따라 유지관리 업무에 관한 역할을 분담하고 있음
- 각 유지관리 기관에 의해 사회기반시설물에 대한 시설물 통합관리가 시행되고 있으며, 이를 위해 온라인 및 전용 S/W를 기반으로 한 유지관리시스템이 구축되어 운영 중에 있음
  - 대표적인 시설물 정보관리 시스템으로는 한국시설안전공단의 ‘시설물 정보관리 종합 시스템(Facility Management System, FMS)’이 있음
  - 시설물의 안전 확보와 효율적이고 과학적인 유지관리 및 유관기관과의 정보공유를 위해 개발되었으며 시설물의 설계, 시공, 감리 및 유지관리 등의 시설물 생애주기(Life-Cycle)에 대한 정보를 통합 관리할 수 있는 시스템임
- 현재 국내의 경우 자산관리의 핵심이라고 할 수 있는 예방적 유지관리의 기준 및 보수·보강 계획과 시행을 위한 매뉴얼 등의 관리 기준은 미흡한 상태임

## 6.2 해외 자산관리 선행기술 사례조사

### 6.2.1 자산관리 도입 배경

#### 1) 미국

- 미국의 경우 도로, 철도 등 사회기반시설이 상당수가 노후화되어 1980년대부터 고령화 시대에 진입하고, 유지관리비용도 비약적으로 증가하고 있음
  - 사회기반시설의 평균 내용연수가 50년이므로, 경제대공황 시절 (1920~1930년) 건설된 많은 시설이 내용연수를 초과하여 고령화
  - 중앙 정부와 달리 사회기반시설을 직접 관리하는 주 또는 지방정부의 유지관리예산은 비약적으로 증가하는 추세
- 미국은 1990년대 이후 도로에 대한 신규 투자가 거의 없었고, 도로 유지관리 비용이 주/지방정부 전체 예산의 약 10%(약 1400~1500억 달러)로 상승
  - 지방정부는 재정적자로 채권 발행을 통하여 차입한 자금으로 유지관리 비용을 충당하면서 보다 정확하고 체계적인 접근법의 필요성이 대두
  - 유지보수 예산 집행에 대한 논리적 근거 제시 요구가 증가되었고 교량, 포장, 공공시설물 등을 시스템 통합 관점에서 접근 방법을 모색

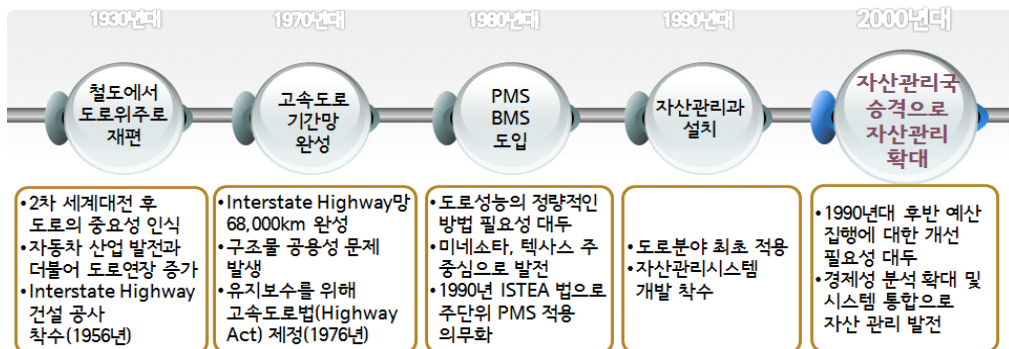


Fig. 6.1 미국의 자산관리 발전 현황

- ASCE(American Society of Civil Engineers)는 15개 유형의 사회기반 시설 안전등급(A: 매우 양호 ~ E: 매우 불량)을 4년마다 발표
  - 사회기반시설의 노후화에 대한 걱정 대처 실패로 안전등급은 불량한 상태를 나타내는 D로서, 자연재해 등 각종 위협에 노출되고 국민의 불안감 증가
  - 사회기반시설의 안전등급이 처음 발표된 2008년 이후 지금까지 여전히 개선되지 않고 있음
  - ASCE는 사회 안전망으로서 기반시설의 건설 및 성능개선을 위하여 다음의 5가지의 사항이 반드시 필요하다고 권고
    - 사회기반시설에 관한 비전 수립 및 성능 개선 프로그램 수행 등의 연방정부 리더쉽 강화
    - 자연환경을 보호하고 후속세대가 효율적으로 활용할 수 있도록 '지속 가능한 개발'과 '복원성'에 근거한 사회기반시설의 건설 또는 성능개선 증진
    - 연방정부, 주 정부, 지방자치단체로 구분된 위계적이고 체계적인 사회기반시설의 건설 또는 성능 개선 계획 수립
    - 사회기반시설이 현재 및 미래의 사용자의 요구에 부합될 수 있도록 생애주기 비용분석 및 사용성능 지표를 통한 유지보수의 지속적 실시
    - 연방정부, 주 정부, 지방정부는 사회기반시설의 건설 또는 성능 개선을 위한 예산을 증대하고, 관리주체 및 사용자도 시설의 활용과 안전 확보를 위하여 적극적인 소요비용 부담
- 2012년 7월 6일에 미국은 P.L. 112-141호(Moving Ahead for Progress in 21st Century Act, MAP-21)를 대통령이 비준
  - 이 법안은 미국의 고속도로 시스템의 부족해지는 유지관리 예산을 대비하여 고속도로에 적극적 예산 투입과 전략적인 유지관리를 의무화하는 내용을 담고 있음
  - 국가 교통 인프라 개발과 발전을 위한 투자 프레임워크와 정책 마일스톤을 제시하고 있음
  - 기존의 고속도로 관리 프로그램을 전면적으로 개편하여 간소화하고, 성능중심으로 재조정하는 것 주요 골자
  - 이러한 변화를 지원하는 예산의 배정을 규정하고 있음

- MAP-21의 도입은 새로운 일자리 창출과 경기 부양이라는 정치적 수사를 포함하고 있지만 핵심내용은 부족한 유지관리 및 운영비용에 대한 대책으로서 발현된 것임
  - 단순한 예산 절약/절감 대책이 아니라 기존의 유지관리 업무를 전반적으로 수정 보완하고 전략적 절차 개선을 추구한다는 점에서 호주 및 뉴질랜드의 Infrastructure Asset Management(IIMM)의 전략과 유사한 전략을 취하고 있음
- 미국은 우리나라와는 예산의 요청과 배정이 다른 순서를 갖는데, 미국의 경우 지자체는 물론이고 정부부처별로 예산 운용이 독립적으로 운영되며 예산 운영 관리에 실패하면 파산도 할 수 있음
  - 부처나 지자체 재정의 파산은 정치적으로 치명적인 결과를 낳기 때문에 정부와 지자체는 건전한 예산 유지를 위한 충분한 동기가 부여가 됨
- 국내의 경우 주어진 예산이외에는 추가적으로 사용할 수가 없기 때문에 근본적으로 파산이 불가능한 형태
  - 국내의 경우 부처 및 지자체는 예산의 확보가 중요하고 일단 확보된 예산은 최대한 소진을 하는 것이 일반적
  - 차년도 예산 확보에 연계되어 있기 때문에 예산 절약이라는 동기 부여가 충분하지 않음
    - ➔ 독립적 예산을 계획하고 운영하는 미국의 예산 체계 방식은 예산 절약에 대한 이유가 매우 높다는 점이 국내 여건과 큰 차이점임
- MAP-21은 인프라 자산관리의 단계를 따라가고 있으며, 교통자산관리 수행의 총괄 책임은 연방정부의 교통부장관이 갖게 됨
  - 연방정부는 주정부에 자산관리 수행의 방향을 설정하고 성능지표의 기준을 제공
  - 주정부는 성능지표를 통하여 성능 평가를 수행하고 성능 목표 수립 및 목표 달성 계획을 보고하도록 되어 있음

□ 주정부의 교통부는 연방정부 교통부에 다음 사항을 의무적으로 보고해야 함

- 자산의 목록과 상태 정보
- 자산관리 목표 설정과 수준 측정
- 생애주기비용과 리스크 관리분석
- 재무 계획
- 투자 전략

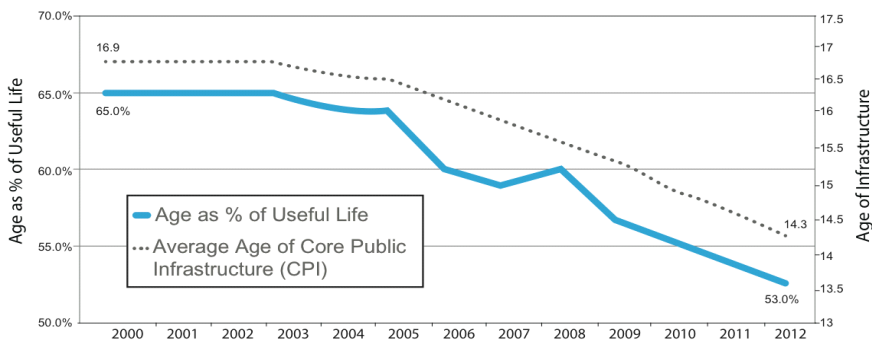
Table 6.1 우리나라와 영/미 국가들의 정부 예산 집행의 차이

구분	우리나라	미국, 영국, 호주 등 영연방 국가
차이점	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 정부가 부처별 지자체별 예산 배정</li> <li>-배정 받은 비용 이상 지출이 불가능함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 지자체별, 부처별 독립적 예산 운영</li> <li>-필요한 부분에 우선적으로 집행을 하고 Reimburse 하는 형태로 예산을 배정받음</li> </ul>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 예산의 효율적, 신속 집행을 목표로 함</li> <li>-예산 집행의 정당성, 투명성 유지가 중요</li> <li>-미집행 예산은 과다하게 예산을 예측 배정 했던 것으로 차년도 예산 삭감의 원인이 됨</li> <li>-따라서 예산의 절약보다는 예산의 완전한 집행이 목표임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 선지출 후정산 형태로 운영</li> <li>-예산 운영 주체는 항상 지급불능(파산)의 위험성을 갖고 있으며, 실제 파산이 가능함</li> <li>-예산을 절약하고 적은 예산으로 높은 수준의 관리를 위한 조건이 마련되어 있음</li> </ul>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 지자체들의 독립적 예산 운영 범위가 넓어짐에 따라서 국내 지자체도 파산할 수 있는 가능성이 높아지고 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 지자체 또는 부처의 파산은 정치적으로 매우 안 좋은 상황이기 때문에 예산의 효율적 운영은 관리 책임자의 중요한 의무 사항임</li> </ul>

## 2) 캐나다

- 캐나다의 경우 도로 분야 유지관리 문제의 대두로 인해 1980년대 후반부터 자산리가 도입되기 시작했으며 민간 주도의 자산관리 시스템을 구축하여 사용
  - 2003년도에 발행된 TRM(Technology Road Map)에서는 캐나다 전체 인프라의 59%가 구축한지 40년이 넘었으며, 전체의 28%가 80년이 넘은 시설이라고 분석
  - 2003년 당시 캐나다 전체 인프라의 서비스 수명중 79%를 이미 사용했다고 발표
- 인프라의 노후화 문제로 인해 캐나다 역시 재정적인 어려움을 겪고 있음
  - 인프라 유지관리 예산중 부족액은 1985년 당시 약 150억 달러에서 2007년 약 1,230억 달러로 증가
- 캐나다는 인프라에 대하여 계획적인 투자를 시작하였음
  - 캐나다 정부는 도로 인프라의 지속적인 건설과 관리를 위하여 2007년부터 Building Canada Fund를 운영
  - 공공교통, 상수도, 하수도, 그린에너지 인프라 등을 지원하고 있음
  - 2014년 캐나다 재무부에서 발표한 2014~2015년 재무계획에는 인프라 시설 자산관리 관련 예산 계획이 수립되어 있음
- 캐나다에서는 공공 인프라의 성능 수준을 연식 개념을 이용하여 평가하는데, 대수선이 있을 경우 성능 증대에 따라 연식을 조정하는 형태로 측정하는 방식을 사용하고 있음
  - 2000~2003년에 캐나다의 인프라의 평균 연식은 16.9년 이었는데 2012년에 14.3년까지 낮추었음
    - ➔ 이러한 성능향상에는 연방정부의 적극적 투자 지원이 가장 주요하였음

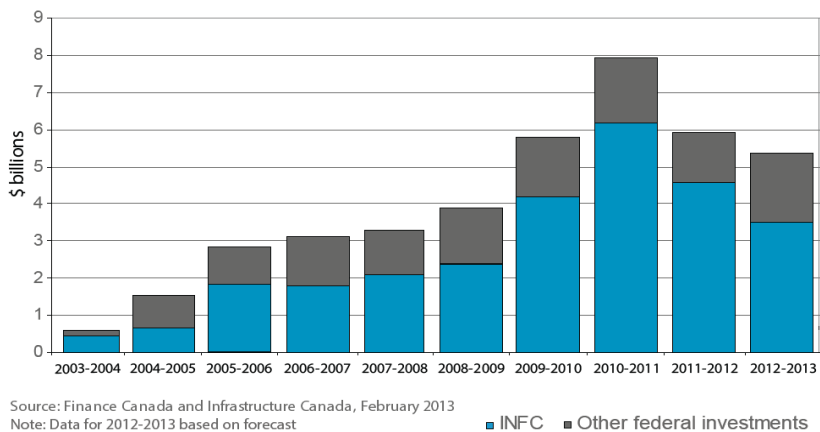
- 캐나다 공공인프라의 시설 수명은 예측 수명의 절반 이상을 넘고 있는데, 2000~2003년에 최고치에 미치고 있으며, 2008~2012년에 53% 수준으로 감소하고 있음
- 이 의미는 12년간의 적극적인 투자를 통하여 신규 시설물이 공급되어 공공 인프라의 평균 수명이 크게 감소되었음을 의미함
  - ➔ 즉 인프라에 대한 적극적인 신설 투자로 2011년 이후 공공 인프라의 평균 연식이 14.7년으로 낮아지게 되었음



Source: Statistics Canada, National Economic Accounts Division  
 Core Public Infrastructure (CPI) includes bridges, roads, water, wastewater, transit, plus cultural and recreational facilities  
 Note: Data for 2012 based on forecast

자료 : Infrastructure Canada Departmental Performance Report 2012-2013

Fig. 6.2 캐나다의 인프라 시설 평균 연령



Source: Finance Canada and Infrastructure Canada, February 2013  
 Note: Data for 2012-2013 based on forecast

자료 : Finance Canada and Infrastructure Canada, 2013

Fig. 6.3 연도별 연방정부의 지원 규모

### 3) 호주

- 호주는 인구밀도가 매우 낮으며, 1인당 부담하는 인프라 시설의 부담이 큼
  - ➔ 이러한 상황은 전략적인 인프라 자산관리가 가장 먼저 도입되는 계기가 되었음
- 호주정부는 1980년대 후진국으로의 추락 위험을 느끼고 전국적으로 경쟁력 향상 정책을 수립함
  - 호주는 1950년대 급격한 경제 성장을 이루었으며, 1980년대에 대부분의 인프라가 건설되었음
  - 1980년대 후반, 세계 경제가 흔들리고 에너지 가격이 폭등하며, 금리가 폭등함에 따라 호주경제는 심각한 위기에 처하게 됨
    - ➔ 이에 당시 경제 상황이 비슷했던 남미의 여러 국가들은 이때의 경제 위기를 넘기지 못하고 후진국으로 추락해 있다는 점과 비교할 때 자산관리는 호주 정부를 살린 핵심 요소 중의 하나임
- 정부의 강력한 개혁 주도과 심각한 경제 위기 속에서 1986년 호주에서는 자산관리라는 신개념의 공공시설물 유지관리 개념이 등장
  - 도로분야로부터 시작하여 국가적 자산관리 협의회(National Asset Management Steering Group)를 구성
  - 자산관리 수행에 대한 노력을 집대성하여 1996년 자산관리 지침서(Asset Management Manual) 제1판을 출판하고, 2001년 호주와 뉴질랜드는 국제 공공시설물 관리지침서(International Infrastructure Management Manual)를 작성
    - ➔ 이로 인하여 호주는 공공인프라의 전략적 자산관리의 원조 국가가 되었음
  - 이후 호주 정부는 2008년 'Infrastructure Australia'를 설립하고 정부, 투자자와 사회기반시설 소유자에게 아래와 같은 광범위한 주제에 대해 조력자의 역할을 수행하도록 함



#### 4) 일본

- 일본은 전후 고도 경제성장과 함께 집중 건설된 사회기반시설의 급속한 노후화 진행(시설물 고령화 시대)이라는 과제에 직면
  - 현재 30~50년의 경과년수를 지닌 사회기반시설이 상당수 있으며, 2030년에는 고령화가 진척되어 다수를 차지할 것으로 예상
  - 국토교통성(2012년)에서 2010년을 기준으로 50년 이상 경과한 사회자본 비율을 전망하였음
    - 2030년 시점에는 2010년과 비교하여 도로교량(8%→53%), 하천(23%→60%), 하수도관(2%→19%), 항만(5%→53%)의 노후화가 진척될 것
  - ➔ 이는 노후화에 대한 문제가 심각함을 확인하는 지표이고, 사회기반시설의 급속한 노후화로 인하여 향후 필요한 유지관리 및 개량비용도 비약적으로 증가할 것임
- 유지관리 및 개량비용이 지속적으로 증가하여 2037년에는 건설투자 총액(2010년 기준)을 상회할 것으로 예상되며, 이로 인하여 사회기반시설의 신규 건설과 기존 시설물 유지관리 및 개량에도 지장
  - 사회기반시설(도로, 항만, 공항, 공공 임대주택, 하수도, 도시공원, 치수, 해안)의 과거 투자실적을 기반으로 2010년 건설투자 총액을 최대값으로 가정하고 추정한 결과,
    - ➔ 2060년(향후 50년간)까지 필요한 유지관리 및 개량비용(약 190조 엔) 중 약 16%(30조 엔)가 건설투자 총액보다 상회하여 유지관리 및 개량이 이루어지지 못할 것으로 예상

Table 6.2 건설 후 경과년수 50년 이상 사회기반시설의 비중

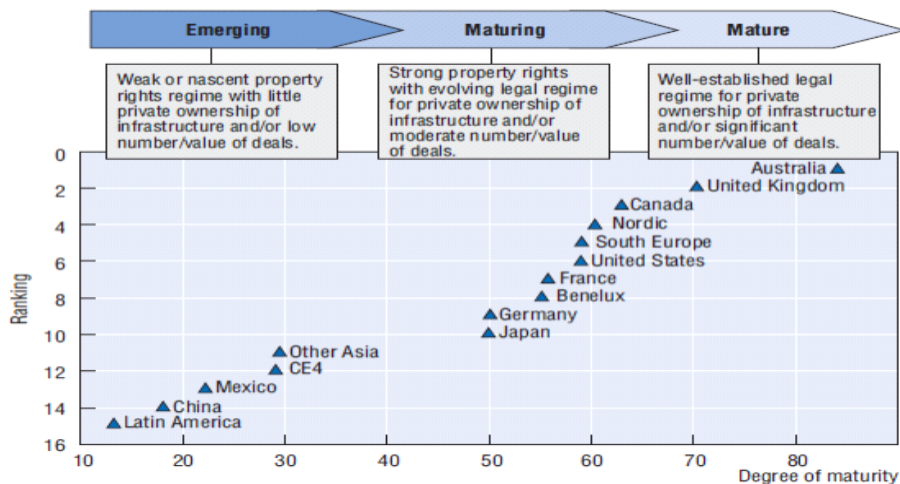
시설유형	2010년(평성 22년도)	2020년(평성 32년도)	2030년(평성 42년)
도로교량	8%	26%	53%
하 천	23%	37%	60%
하수도관	2%	7%	19%
항 만	5%	25%	53%

- 사회기반시설 노후화로 인한 유지관리 및 개량비용의 비약적 증가가 예상되는 반면 지자체 등 정부 세입 감소로 적기 유지관리 및 개량이 힘들고 이는 중대한 사고나 치명적인 손상 등의 리스크 발생 우려를 높이게 됨
  - 이러한 리스크는 고령화로 인해 복지비용이 증가하지만 사회기반 시설의 신규건설, 유지관리 및 개량비용이 포함된 토목 관련 비용이 지속적으로 감소하는 이유로 더욱 확대될 전망이다
- 이를 위해 사회기반시설의 효율적 관리방안으로 예방 보전적 관리를 적극 추진하여 생애주기비용의 최소화를 모색하고 있음
  - 사회기반시설 보수·보강대책의 내용, 점검 시기 등을 기재한 장기 수명화 계획 수립과 실시, 사회기반시설의 이용, 점검/진단/보수와 관련된 전문 인력을 확보 및 육성하고 기술개발 등을 진행하고 있음
  - 중앙정부와 지자체 소관의 사회기반시설 운영 실태를 정확히 파악하여 '공공시설백서'를 작성하고 있음
  - 백서에는 시설명칭, 소관부서, 위치, 건설연도, 토지·시설물 면적 및 구조, 건설근거, 이용사항, 관리 및 운영정보, 유지관리 및 개량 실적 등에 대한 정보를 수록하였음
- 일본은 크고 작은 자연재해가 끊이지 않는 만큼, 대규모 지진, 태풍 등의 자연재해로 인한 국민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 '자연재해에 강한 차세대 사회기반시설 정비'에 주력
  - 종래의 사회기반시설과 ICT(Information Communication Technology) 인프라를 연계하여 시설물 정보의 통합 관리 및 운용이 가능하도록 '차세대 인프라'를 정비하여 고효율·고기능화를 진행하고 있음

## 6.2.2 해외 유지보수 예산

### 1) 투자비 대비 유지보수 예산 수준

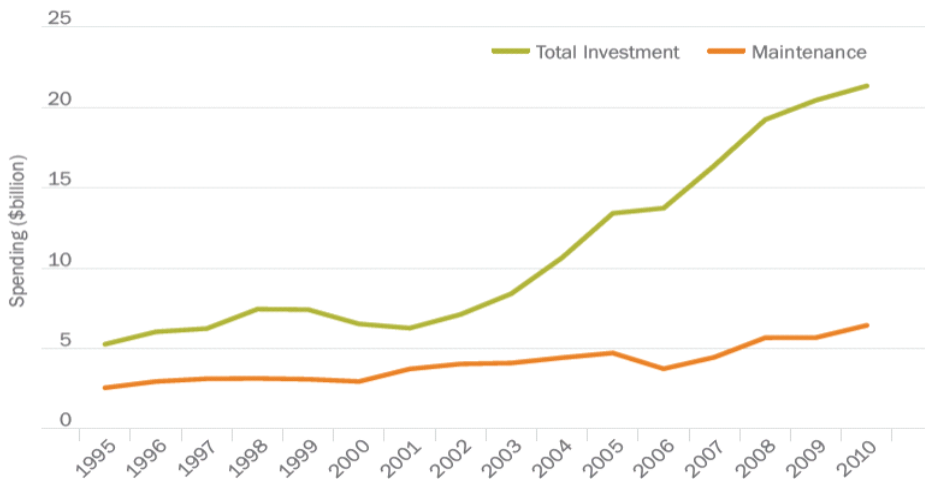
- 사회기반시설물의 유지보수 및 교체, 개축 등의 문제는 많은 공공 예산을 필요로 함
  - 그러나 공공예산의 지출은 분야별로 제한되어 있기 때문에 지속적으로 늘어나고 있는 사회기반시설물들의 유지관리 비용을 한정된 예산에서 지속적으로 지출할 수 없는 실정
  - OECD 관련 보고서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 세수 다양화와 확장을 주요 전략으로 선정
  - 일반적으로 개발도상국가들인 아시아 및 남미 국가들은 사회기반시설물의 국가소유권 행사 등에 대한 인식이 낮기 때문에 상대적으로 유지관리분야에 대한 관심도가 낮음
  - 반면, 북미, 호주, 남유럽 등 사회발전이 안정화 단계에 접어든 선진국들에서는 사회기반시설물에 대한 국가의 관리권한의 인식이 높기 때문에 운영 및 유지관리 분야에 관심이 높음
  - 선진국들에서는 국가 예산 구성 시에 사회기반시설물들에 대한 유지관리 비용투입을 국가 예산차원에서 기본적으로 고려하고 있음



자료 : Infrastructure to 2030-Volume2, OECD(2007)

Fig. 6.4 세계 주요 국가들의 사회기반시설물 시장 성숙도의 변화

- 최근 15년간 호주의 사회기반시설물 총 투자비용은 2001년을 시점으로 급격히 증가하였는데 이 당시 도시 규모의 확대에 기인함
- 반면, 유지관리 비용의 경우, 총 투자비용의 급격한 증가와 더불어 상승하고 있으나 투자비용 변화가 작았던 2001년 전과 비교해볼 때 그 변화량은 미미한 증가를 나타내고 있음
- 일반적으로 사회기반시설물에 대한 총 투자비용의 증가와 함께 유지관리 비용이 동시대에서 증가하지는 않으며, 시설물의 사용수명이 증가하고 그 시설물의 수가 다수로 누적되는 전후 시점에서 유지관리 비용의 증가가 나타날 수 있음
  - ➔ 유지관리 비용 추이에서 확인할 수 있듯이 시설물의 신규 투자대비 유지관리 비용의 증가폭은 둔감한 것으로 확인됨
- 적절한 시기에 유지관리 예산이 투입되지 못하는 경우 시설물의 노후화는 가속되게 될 것이고 성능저하가 예상됨
  - ➔ 시설 투자 예산과 일정 수준의 격차를 유지할 수 있는 유지보수 예산의 확보 필요
  - ➔ 과거 손상특성 분석 등 유지관리 데이터를 바탕으로 미래 유지관리 비용투입 규모의 합리적인 설정 방안 필요



자료 :Trends-Infrastructure and Transport to 2030(2014)

Fig. 6.5 호주의 사회기반시설물 투자비용과 유지관리 비용 추이

## 2) 시설 노후화에 따른 유지보수 예산 현황

- 미국과 일본은 시설 노후화에 대한 대처미흡이 인프라 시설의 붕괴 사고로 까지 이어지며, 유지관리 필요성 인식과 유지보수 투자규모 증가의 계기가 됨
- 중앙과 주 정부의 예산 및 인식부족으로 인하여 유지보수 투자가 지연되어 성능보완, 수명연장을 위한 경제적 부담도 점차 증가함
- 사회기반시설의 급격한 노후화는 서비스 수준 저하를 유발하여 필요한 유지관리비용도 시간이 지날수록 점차 증가하는 추세임
- 최근 미국의 인프라 투자는 구축비용보다 유지보수에 대한 투자 규모를 증가시키고 있는 추세임
  - 미국의 도로와 터널 등의 도로시설물, 대중교통, 지하철 및 철도, 항구, 댐, 제방, 저수지, 상하수도 인프라 등의 모든 사회기반시설에 대한 총 투자비용은 4,160억 달러이며, 유지보수가 차지하는 비용이 56.6%에 달하고 있음
  - 교통 및 수자원 분야에서 2013~2014년까지의 시설물에 대한 공공 지출 추이를 살펴보면 시설물에 대한 구축비용은 23% 감소한 반면, 유지보수 비용은 6% 증가하고 있고, 향후에도 지속적으로 유지보수에 대한 비용은 많이 소요될 것으로 판단
- 일본 수도권에는 1979년 이전에 건설된 노후화 교통물류시설이 다수 포함되어 있는 것으로 확인됨
  - 이러한 시설은 향후 약 20년 뒤에는 고도성장기 이후 구축된 도로 교량, 터널, 하천, 하수도, 항만 시설 등 50년이 경과한 시설 비중이 급속하게 증가할 것으로 예상되어 2033년에 이르면 50% 이상의 시설에서 노후화(50년 경과)가 가속될 것임
- 일본의 국토교통성에서 사회인프라 시설의 과거 유지관리, 보수보강 및 개량 실적을 고려하여 유지관리비용을 추정한 결과에 의하면 일본의 사회인프라 시설의 유지관리비용은 2013년 약 3.6조 엔 규모에서 2023년에는 4.3~5.1조 엔으로 증가하고 2033년에는 4.6~5.5조 엔으로 증가할 것으로 예상하였음

### 6.2.3 인프라 평가보고서

- 미국 등 유지관리 선진 국가는 인프라에 대한 장기적인 발전전략 및 비전을 제시하고 이를 이행하기 위한 구체적 방안의 제시를 위해 ‘인프라 평가보고서(Infrastructure Report Card)’를 발행
  - 인프라 분야에 대한 체계적 유지관리의 필요성이 절실하게 요구되고 있는 시점에서 미국 등 선진 국가는 인프라 관리가 체계적으로 이루어지지 않음으로 인하여 국가 경제활동의 기반이 취약해지고 있다는 사실을 자각하기 시작
  - 인프라 평가보고서는 한 나라에서 관리하고 있는 모든 인프라에 대한 종합적인 평가문서로 도로, 철도, 댐, 상수도, 공항 등 사회기반 시설의 현재 물리적 상태, 관리현황, 요구되는 조치, 재원 조달, 개선 방안 등의 내용을 담고 있음
  - 1988년 미국에서 최초의 인프라 평가보고서를 발행하였으며, 영국, 호주, 캐나다, 남아공 등의 국가에서 일정 주기별로 발행하고 있음
- 미국의 인프라 평가보고서는 가장 긴 발행역사를 가지고 있으며, 현재 영미 국가들이 발행하고 있는 보고서의 근간이 되어왔음
  - 1987년 미국 연방정부에서는 합리적이고 효율적인 예산 분배를 위해 국가인프라개선위원회(National Council on Public Works Improvement, NCPWI)를 신설하고 인프라에 대한 평가보고서를 작성하도록 지시함
  - 이후 1998년 NCPWI가 폐지되고 미국토목학회(American Society of Civil Engineers, ASCE)가 이어받아 1998년, 2001년, 2003년, 2005년, 2009년, 2013년에 인프라 평가보고서를 발행
  - ASCE는 시설물의 분류를 4개의 그룹, 16개의 세부 시설물군으로 세분화하여 평가를 수행하고 있음
  - 평가 방법과 개선 방안을 보다 구체화하였고, 최근에는 시설물군별 모범사례를 소개하여 시설물 성능 개선 사례의 보급에도 주력하고 있음

- 리포트 카드는 학교 성적표 형식의 등급을 산정하고 있으며, 시설물의 상태와 사용가능성에 따라 A에서 F로 분류하고 있음
  - 리포트 카드는 국가시설물이 처해 있는 위험성에 대해 일반인들에게 알리는 홍보도구로서 활용
  - 입법 및 행정기획 관련 종사자들에게 합리적인 결정을 내리는데 필요한 자료로 사용
  - ASCE 리포트카드는 크게 국가적 차원의 리포트 카드와 주별 리포트 카드로 구분되며, 주별 리포트 카드는 국가적 차원의 리포트 카드와 동일 평가방식과 체계를 기본으로 하나, 주별로 대상 시설물의 종류를 달리하고 있음
  
- 캐나다의 인프라 평가보고서는 2012년 캐나다 인프라 평가보고서 프로젝트 운영위원회(Canadian Infrastructure Report Card Project Steering Committee)에 의해 최초로 발행되었음
  - 인프라 평가보고서 추진을 위한 조직은 프로젝트 운영위원회가 프로젝트를 주도하고 행정지원 및 재정 조달을 담당하였으며, 캐나다 건설협회, 캐나다 공공사업협회, 캐나다 토목공학회, 캐나다 지자체 연합으로 구성되어 있음
  - 이 중에서 평가보고서 자문위원단(Report Card Advisory Board)은 프로젝트 수행참여는 물론 데이터 분석과 결과에 대한 피드백을 제공하는데, 산·학·연·관이 모두 참여되어 있어 보고서의 신뢰도 및 중립성을 확보하고 있음
  
- 캐나다의 인프라 평가보고서에는 도로, 상수도, 하수도, 우수 시스템의 네가지 시설군에 대하여 평가하고 있음
  - 캐나다의 인프라 평가보고서는 비단 인프라의 상태뿐만 아니라 인프라 관리 실태에 관한 설문 내용도 담고 있음
  - 이는 다른 국가에서 발행한 보고서에서 찾아볼 수 없는 것으로, 현재 인프라 상태의 평가 이전에 관리 상태 평가가 선행되어야 함을 강조하고 있음

- 호주의 경우 엔지니어 전문가 집단인 호주엔지니어협회(The Institution of Engineers Australia)에 의해 발행되는 인프라 평가보고서(Infrastructure Report Card 2010 Australia)가 있음
  - 호주엔지니어협회는 엔지니어링 분야의 발전을 위해 조직된 비영리 단체 포럼이며, 각계 엔지니어들로 구성된 비영리 단체로 시설물군 별 평가와 함께 보고서 발행에 소요되는 재정을 조달하고 있음
  - 호주 인프라 평가보고서는 지난 1999년, 2001년, 2005년, 2010년에 걸쳐 총 4회 발행되었으며, 2003년부터 2005년 사이에는 모든 주와 관할 지역 단위로 인프라 평가보고서가 발행됨
  - 가장 최근에 발행된 2010년 보고서에서는 호주 인프라의 종합 등급을 C+로 평가하였으며, 효과적인 인프라 관리를 위해 정부 및 시설물 오너 및 관리자가 수행해야 할 사항들을 제안하고 있음
  - 호주 인프라 평가보고서에서 다루어지는 시설물군은 총 11개(도로, 철도, 공항, 항만, 상수시설, 하수시설, 우수시설, 관개시설, 전기, 가스, 통신)이며, 호주엔지니어협회에서 보고서를 발행하는 만큼 전기, 가스, 통신과 같은 넓은 범위의 인프라 시설물이 포함
  - 대부분의 평가는 호주엔지니어협회가 주도하며, 각 분야의 전문가들이 모여 다양한 근거 자료를 수집하고 그 결과에 근거하여 평가 등급을 부여함
  - 이와 함께 중앙 정부, 주정부 및 지자체에서 취해야 할 전략과 인프라 소유주체 또는 관리자 수준에서 취해야 할 전술 등을 제시
    - ➡ **호주 인프라 평가보고서는 다른 국가들의 인프라 평가보고서와 달리 사회 전반의 인프라를 진단 및 처방하고 거시적인 차원에서 국가의 경제와 사회 문제의 해결 방향성을 제시하는 지침서로서의 역할도 함께 수행하고 있음**
- 영국 인프라 평가 보고서는 영국토목공학회(Institution of Civil Engineers, ICE)에서 2003년부터 발행하기 시작
  - 2010년까지 총 5회 발행되었다. 13개 지역의 권역에 대해 물, 교통, 폐수 및 자원관리, 저탄소 인프라, 역량 및 기술 등의 이슈에 대한 개별 보고서들이 평가보고서에 포함됨



## 6.2.4 자산관리 조직

- 국가 기간 시설의 유지관리 분야에 자산관리 개념을 다양하게 적용하고 있는 국가는 미국임
  - 미국은 이미 1990년대 초반부터 자산관리에 대한 개념적인 연구를 시작하였고, 1994년에 미연방도로청(FHWA) 산하에 자산관리과(Department of Asset Management)를 만들어 업무의 전문화를 시도
  - 이외에도 유럽과 뉴질랜드, 호주 등 다양한 선진국들이 자산관리의 개념을 국가 기간 시설의 유지관리에 적용하고 있음
- 미국의 자산관리는 1990년대부터 시작되었는데, 각 주마다 상이한 예산 배정 기준과 자본 회계 계상 방식을 통합하는 과정에서 선진 유지관리를 위한 법규 및 부서를 신설하여 대응하게 되었음
  - 표준화된 절차에 의해 각 주별 시설물 자산가치를 평가하고 이를 중앙 정부에 보고하는 내용을 포함하는 업무 지침을 법규화하였고, 미연방도로청에서 1991년부터 1999년까지 중장기 관점에서 단계적으로 추진함으로써 체계적인 시스템을 구축할 수 있었음
  - 현재 미국의 자산관리 개념을 도입한 영역은 교량 및 터널 시설물을 포함한 도로 및 철도, 지하철 및 경전철 같은 대중교통 시스템, 내륙주운(운하 및 하천) 시스템 등이 있지만 시설물간의 관리 방법이 상이하고 상태평가 기준이 달라 아직까지는 개별적으로 자산관리를 수행
- FHWA에서는 1999년에 자산관리과를 '기반시설관리국(Office of Infrastructure)'으로 확대 개편하고 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)와 협력하여 완전히 통합된 포괄적 자산관리 프로그램을 개발하기 위한 연구를 진행 중
  - 50개 주에서 개별적으로 개발하기보다는 FHWA에서 주관하여 50개 주의 교육과 기술지원을 수행하는 방향으로 자산관리시스템이 개발되고 있음
  - FHWA의 기반시설관리국은 경제, 엔지니어링, 정책, 계획 및 기술 평가 등 각 분야의 전문가들로 구성되었으며, 건설/시스템 보전, 시스템관리/모니터링, 자산평가/경제적 투자분석 등 3개팀이 있음

Table 6.3 FHWA 기반시설관리국 부서별 주요 임무

구분	시스템관리/모니터링	건설/시스템 보전	자산평가/경제적 투자분석
주요 임무	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 자산관리 정책수립</li> <li>▶ PMS, BMS 등 유지관리시스템 운영</li> <li>▶ 교육 및 모니터링</li> <li>▶ 자산관리를 위한 이종시스템간의 데이터 통합 및 관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 건설 및 유지관리 정책 수립</li> <li>▶ 사용자 요구 분석</li> <li>▶ 품질개선 및 성능 측정</li> <li>▶ 자산관리 인력 확보</li> <li>▶ 유지관리 계약</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 경제성 기반 투자분석 및 계획수립</li> <li>▶ 자산관리 기술지원</li> <li>▶ LCC분석 도구 및 경제성 분석 도구 개발</li> <li>▶ 성과 측정</li> </ul>

- 미국 AASHTO에서는 도로자산관리시스템을 적용하여 운영 중
  - 도로자산관리시스템은 기존 기업에서의 프로젝트 의사결정시 적용되는 기본적인 절차를 도입한 것임
  - 설정된 목표를 달성하기 위하여 예산 분배 및 집행결과에 대한 검증을 통하여 새로운 의사결정을 수립하는 순환구조를 가짐
- 자산관리 조직은 자산관리 프로그램의 운영 주체가 되면 자산관리 프로그램에 의해 지방정부의 보수·보강, 교체의 비용 감소 효과, 주 정부 및 지방정부의 부채비용 감소효과, 주 정부의 효과적 관리 및 감독으로 전체 정보관리와 보고 능력 강화 등의 효과를 얻어 낼 수 있었음
  - 편익/비용 분석기법을 활용한 경제성 분석
  - 표준화된 엔지니어링 기법에 근거한 수요량 예측
  - 예산배분 문제를 시설물의 관리 상태(또는 관리 목표)에 따라 결정할 수 있도록 하는 분석 기능 제공
  - 다른 관리자와의 의사소통할 수 있는 객관적인 플랫폼 제공
  - 주기적인 기반시설의 자산 상태평가 실시 및 결과 관리
  - 시설물이 목표 수준 이상으로 성능을 유지하기 위한 연간 유지관리 비용 추정
  - 유지관리에 대한 예산 계획을 수립
  - 자원 배분 및 의사결정 정보 입수

### 6.3 분석결과

- 국내에서도 현재 인프라 시설물의 자산관리 분야에 대한 연구는 한국시설안전공단과 한국도로공사를 중심으로 추진중에 있으며 유지관리 시스템을 활용 중에 있음
- 유지관리시스템의 확대 적용으로 자산관리의 도입 과정에서 반드시 필요한 시설물의 성능(또는 상태)에 대한 정보를 획득하여 정량화하고 저장하는 역할을 하고 있고, 유지관리 시스템 운영의 경험을 활용하여 자산관리를 사회기반시설물의 영역으로 확장할 경우 다양한 시설물별 성능평가 방법론의 정립에 도움이 될 것으로 판단됨
- 국내의 경우에는 시설물의 관리는 중앙의 정부조직인 국토부를 중심으로 시설물관리에 관한 정책과 예산, 계획 등이 수립되며, 특정 시설물별로 전담하는 산하기관을 두어 실질적인 유지관리가 수행
  - 그러나 시설물 관리를 위한 예산의 계획/시설물점검/보수·보강 등을 담당하는 조직이 서로 다르고, 시설물의 건설에서 철거에 이르는 생애주기 동안 시설물의 성능을 모니터링하고, 관리하는 전담 조직은 거의 없음
  - 자산관리의 핵심이라고 할 수 있는 예방적 유지관리의 기준 및 보수·보강 계획과 시행을 위한 매뉴얼 등의 관리 기준은 개선이 필요한 실정임
  - 시설물의 체계적이고 과학적 접근을 통한 유지관리를 위해 한국시설안전공단의 FMS나 한국도로공사의 PMS와 HBMS 등과 같은 유지관리 프로그램들이 활용되고 있으나 유지관리 공법 및 시기 결정 등 주요 의사결정 지원 기능의 개선은 필요한 실정임
- 해외의 자산관리 도입 배경은 다양한 사회기반시설에 대한 노후 시설물의 증가로 안전 및 성능 저하에 따른 예산 조달 문제가 주요한 원인이었음을 확인하였음
  - 해외에서는 정부 예산의 관점에서 자산관리에 대한 투자 규모를 늘리는 것이 유지관리의 가장 큰 핵심이며, 단순한 예산 투자 규모 증대가 아니라 전략의 변화로서 성능평가, 성능목표에 대한 결과

지향성 등을 통해 변화를 추구하고 있음

- 기존의 관리 체계는 지역별 구분, 신규/유지관리 구분 등으로 단순 분류에서 성능향상이라는 목표를 지향하는 형태로의 전반적인 변화를 추구하고 있음
- 미국의 경우 MAP-21(미국 유지관리개혁법안)이 2012년 7월에 비준될 때 갑자기 된 것이 아니라, 10년이 넘는 기간 동안 치밀한 준비 작업이 있어 왔음
- 환경부(EPA), 교통부 및 고속도로 관리부(DOT, FHWA), 회계 기준 위원회(General Accounting Standard Board) 등이 개별적으로 자산관리의 필요성을 인식하고 준비해 왔음
- 선진 유지관리기법과 자산관리체계의 도입을 위해서는 충분한 기간 동안 각 부서를 통해 유지관리 방식의 개선 및 자산관리의 이해와 축적된 경험이 필요함
- 이후에 관리기준이 마련되어야 하고 여기서 생성된 관리기준이 표준적인 업무수행의 가이드가 되는 것이 변화로 인한 충격과 혼란을 줄이는데 큰 도움이 될 것으로 판단됨
- 현재는 장기적인 예산절감을 위한 예방유지관리체제 개념의 도입 없이 거의 획일적으로 필요한 예산을 한정된 예산범위 내에서 유지보수를 수행하고 있음
- 이러한 획일적 예산 산정은 시설물의 상태에 기반을 한 전략적인 유지관리가 아니라 현장의 실무자의 판단에 크게 의존하고 있음
- 미국을 필두로 한 선진국의 경우 전문단체가 인프라 유지관리만을 위한 역할을 수행한다는 점이 우리나라와 가장 큰 차이점이며, 적합한 예산을 배정받기 위해 인프라 시설물에 대한 정량적인 평가와 지표를 개발하여 이를 기반으로 하여 과학적 관리 체계를 구축하고 있음
- 관리체계는 기존의 시설물 관리에서 얻어진 데이터를 전략적으로 분석하고 최소한의 비용으로 최대의 관리 효과를 얻을 수 있는 방식으로 기존의 LCC, 상태평가 및 상태 예측을 포함하고 리스크 관

리, B/C(비용편익) 분석과 최적화된 의사결정(ODM, Operational Decision Management))을 수행하여야 함

- 네트워크 레벨의 유지관리는 시스템과 관리 조직과의 통합을 통한 프로세스 리엔지니어링이 바탕이 되어 예산 절감과 성능 향상의 효과가 나타나게 됨
- 이러한 효과의 달성을 위해서는 조직과 비전의 변화를 함께 수행해야 함을 선진국의 사례로부터 알 수 있으며, 장기적으로 선진기법을 활용한 농어촌공사의 적용 방향성은 다음과 같음
  - 선제적 중장기 미래 유지관리 비용 예측을 위한 선진 자산관리체계 도입
    - 선진국에서 도입하고 있는 자산관리체계의 요소기술을 농어촌공사에 적합하게 보완하여 반영
    - 예측모델을 활용한 비용 추정, 시설물에 대한 관리목표 및 성과지표의 적용과 이를 정착하기 위한 총괄 전략 로드맵의 구축이 필요
  - 성능 및 예방적 유지관리체계 도입 및 투자우선순위 의사결정
    - 시설물에 대한 예방적 유지관리 기법의 도입과 시설물 장수명화 방안과 관리기법 등을 검토하여 시설물의 예방적 유지관리에 따른 효과의 검증 수행
    - 상태, 성능 등 다양한 평가지표에 의한 예산배분 수행
    - 기존 평가지표 외 시설물 성능을 평가할 수 있는 방안에 대한 벤치마킹 수행
  - 상시적 평가체계 및 자산관리시스템 구축
    - 상시 점검체계를 구축하여 시설물의 성능수준에 따른 효율적인 관리 방안을 수립하고 관리체계 개선, 자산관리시스템 개발을 위한 기존 관리시스템의 개선 필요
    - 전체 시설물 평가 방법 및 평가 체계 계획 등의 실태평가 보고서 발간 필요

## 6.4 자산관리 개요

### 6.4.1 자산관리의 개념

- 지난 수십 년 동안 전 세계적으로 지역사회 시설물 네트워크의 재정적 지속가능성에 관한 우려가 커져왔음
  - 많은 조직들이 장기적으로 지속 불가능한 투자, 유지관리, 대체시설의 건설과 관련해 단기적인 의사결정들을 하고 있다는 인식이 퍼지고 있음
  - 많은 분야에서, 재원조달 기반의 지속적인 감소, 부담가능성 저하, 시설물 노후화, 인구 감소라 등의 시설물 관리자들에게 커다란 과제를 안기고 있음
- 자산관리는 일종의 사회기반시설에 대해 전 생애에 걸친 위험 요소를 파악하고 관리하며 최소의 비용으로 소비자가 필요로 하는 서비스 수준을 제공하기 위한 체계적인 시스템을 의미함
  - 건설 중심의 투자에서 효율적 유지관리 중심으로 패러다임의 변화를 의미하고 단기적 측면이 아닌 장기적인 지속 가능성에 중점을 두고 관리하는 것임
  - 즉, 자산관리의 목표는 자산관리의 수행으로 현재와 미래 사용자에게 가장 비용효과적인 방법으로 서비스 요구수준을 충족시키는 것임
- 자산관리를 위해서는 자산목록 구축 이후에 요구되는 서비스 수준과 시설에 대한 생애주기비용 분석을 필요로 하고 효율적인 유지관리 전략과 장기적인 예산 수립과 집행이 이루어져야 함
- 자산관리의 방법은 다양한 시설에 대응하기 위해 요구되는 서비스, 자산의 상태, 장기 재원조달의 규모 등에 의해 진화해 왔으며 다양한 시설에 확대하여 적용되고 있으며, 자산관리체계의 도입 및 정착을 위해 다음과 같은 내용이 요구되고 있음
  - 최저 생애주기비용 유지관리 및 대체시설의 건설 결정을 파악할 수 있는 의사결정기법 채택
  - 비용효율성 개선과 비용 절감
  - 사용자 희망사항 및 비용과 서비스 수준과의 조화를 제고함으로써

사용자 만족도 향상

- 의사결정, 관리 및 책임성 강화에 있어 투명성 증진
  - 세대가 지나도 공정하게 재정이 지원되는 서비스 제공
  - 장기 계획의 유지에 따른 지속가능성 강화
- 현재까지는 일반적으로 시설물 유지관리에 적용하고 있는 방법론을 개선하는 방향으로 자산관리체계를 확대 적용하고 있는 추세임
- 기존의 일반 유지관리와 자산관리에는 차이가 있음
- 기존의 일반 유지관리에서는 시설물의 점검, 개선계획 수립, 개선의 단순 형태로 진행되어 사후대응적이고 단기적인 관점에서 시설물을 관리하는 방식임
  - 반면 자산관리에서는 사후대응이 아닌 사전예방적인 차원에서 시설물의 관리가 이루어지며 중장기적인 자산의 유지관리 전략을 수립하는 의사 결정 모형을 포함하고 있는 것이 큰 차이임

Table 6.4 일반 유지관리와 자산관리 비교

구 분	일반 유지관리	자산관리
개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 시설물의 결함, 내구연수 도래에 대한 교체 및 보수·보강 등을 주어진 예산 범위 내에서 집행하는 관리 형태</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 요구되는 서비스 수준에 부합하는 시설물의 생애주기 비용 분석을 바탕으로 최적의 유지관리 계획을 수립</li> <li>▶ 장기적 예산 집행 및 자산가치 확보 계획을 전략적으로 수립하는 시설물 유지관리 형태</li> </ul>
서비스 수준의 구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 관리자 관점에 따른 최소한의 기술적인 서비스 수준의 제공 입장만 고려</li> <li>▶ 사용자의 만족도를 고려한 사용자 가치 미포함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 서비스 목표 달성과 성능 측정을 분명하게 제시</li> <li>▶ 각각의 성능 측정에 대한 목표치는 최소비용으로 최고의 가치를 실현시키기 위한 사용자 요구 반영</li> </ul>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 고장 및 파손에 관한 대응형 관리로 장기적 계획 부재</li> <li>▶ 예상치 못한 시설물의 상태 변화에 따른 유연한 관리 전략 변화가 어려움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 법적, 제도적 뒷받침 필요</li> <li>▶ 지속적인 자산관리 성과 분석 필요</li> <li>▶ 실질적이고 장기적인 예산 절감 효과 기대</li> </ul>

## 6.4.2 자산관리의 절차

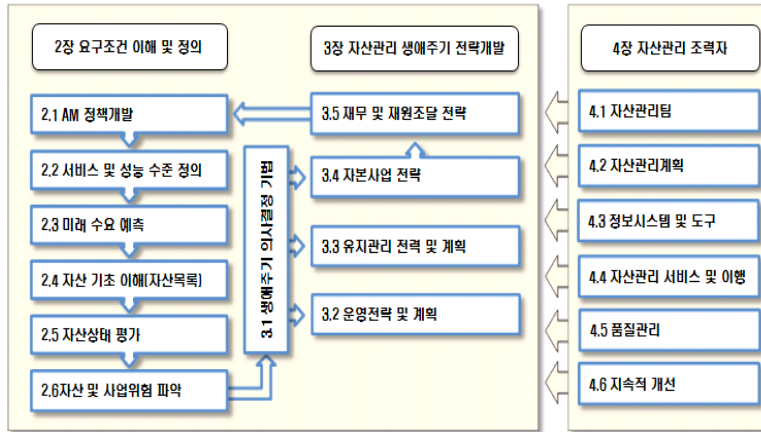


Fig. 6.6 자산관리 절차 및 요소기술

- 농업기반시설을 대상으로 자산관리체계 도입을 위하여 자산관리의 절차와 주요 요소기술에 대해 검토함
  - 전 세계의 많은 지자체들이 시설의 자산관리 지침으로 활용하고 있는 호주의 국제시설물 관리 매뉴얼(IIMM, International Infrastructure Management Manual, International Edition, 2011)을 참고
- 자산관리 절차 중 그 첫 번째 단계가 보유하고 있는 자산의 상태를 파악하는 것임
  - 이후 자산으로 인한 서비스 제공과 관련하여 서비스 수준에 대한 목표를 설정하게 되고 자산의 중요 투자순위의 파악으로 부터 투자를 위한 운영관리 및 자본투자 전략이 필요하게 됨
  - 장기적으로는 자산의 총체적인 자원과 관리를 결정짓는 장기 투자 전략이 필요하게 됨
- 자산정책은 조직 전체에 걸친 자산관리 수행을 위한 원칙 및 요구 조건들의 개요를 광범위하게 나타내며, 자산관리 정책선언 및 관리 목표의 예는 다음과 같음
  - 지속 가능한 자산관리 방법을 목표로 설정
  - 요구되는 서비스 수준 유지와 생애주기비용 최소화



## 6.5 자산관리체계의 단계별 도입 방향

### 6.5.1 주요 요소기술 분류

- 농촌기반시설에 자산관리를 도입하기 위한 구체적인 방안에 대해 검토하였음
  - 실제 자산관리체계 구축 단계에서는 현재 수행하고 있는 농업기반 시설에 대한 유지관리 방법과 실질적인 예산의 투입 및 장기적인 정책 방향에 부합하도록 검토할 필요가 있음
  - 자산관리체계의 주요 요소기술 개발 및 확보를 통해 이후 중장기적으로 자산관리체계의 구축 및 안정화가 가능하게 됨

#### 1) 자산목록 구축

- 가장 우선적으로 추진되어야 하는 분야는 자산관리 목록의 구축임
  - 자산관리의 첫 단계이기도 하고 관리 주체가 모든 시설에 대한 통합된 현황 파악과 일관적인 유지관리가 어려운 실정이지만 시설의 자산 목록을 계층화 하고 기록 체계를 수립할 필요가 있음
  - 향후 자산 현황을 데이터베이스화하고 상시 관리가 가능한 자산관리시스템을 개발하여야 함
  - 모든 관리부서는 자산관리시스템을 통해 정보의 공유가 이루어지도록 하여야 함

#### 2) 자산의 상태평가(자산 성과와 고장유형 평가)

- 자산이 보유하고 있는 성능은 어떠한지, 성능 확보가 가능하지 않는 경우의 고장유형은 어떠한지에 대한 상태를 평가하는 과정이 필요
  - 상태평가는 자산에 대한 통찰력을 제공하는 척도로 중요한 역할을 하게 되며, 고장유형 평가를 통해 시설 노후화에 따른 고장의 원인이나 고장 또는 파손의 패턴을 평가할 수 있음
  - 이러한 고장 유형의 평가를 통해 시간의 경과에 따른 시설물의 노후화 예측 모델의 개발에 활용할 수 있고 생애주기비용의 예측도 가능함

- 현재 자산의 성능 및 고장의 상태를 판단하는 것, 즉 자산의 상태 평가는 자산관리계획을 수립하기 위해 중요한 단계임
  - 자산의 잔존수명의 예측과 자산의 위험도, 서비스 수준 등과 연계되어 데이터의 통합관리가 가능한 자산관리시스템의 기본 기준으로 적용되는 것임

### 3) 시설 잔존수명 예측

- 농업기반시설의 자산의 현 단계의 가치가 어느 정도이고 향후 미래 가치는 어떻게 관리되어야 하는지 판단할 필요가 있음
  - 자산가치 분석을 위해서는 잔존수명 예측을 위한 내용연수를 일괄적으로 20~30년으로 적용하고 있으나 이는 경제적 평가기준으로 기계적인 내용연수는 아님
  - 운영 환경과 시설의 기능에 의해 잔존수명은 새롭게 설정될 필요가 있고 고장 유형에 따른 잔존수명의 결정이 필요한 상황임
  - 단순 장부가치를 평가하는 기준이 아닌 서비스 수명을 판단 할 수 있는 적정한 내용연수 기준의 수립과 수명 기준에 따른 노후화 예측 모델의 개발이 필요

### 4) 서비스 수준 설정

- 농업기반시설물 유지관리 목표설정을 위한 서비스 수준 설정필요
  - 농업기반시설의 사용자에게 대한 단순한 만족도 조사를 실시하는 것이 아닌 시설물 관리부서별 현황에 맞는 서비스 수준 목표를 설정하고 목표 설정을 위한 평가지표의 선정 및 제도화가 필요
  - 사용자의 가치 및 농어촌공사의 조직 비전 등을 종합적으로 고려한 서비스 수준의 정의가 우선 확정되어야 하고 농업기반시설의 서비스 수준에 대한 공급자와 수요자의 인식 개선을 위한 교육과 홍보가 병행되어야 함

### 5) 투자 우선순위 결정

- 투자 우선순위 결정은 보유하고 자산 중 어느 자산이 더욱 가치 있고, 어느 자산이 얼마나 중요한지를 판단하는 방법으로서 한정된 예산이 배정되는 경우 어느 자산에 어느 정도의 예산을 배분할 것인가에 대한 판단 기준으로 작용하게 됨
- 투자우선순위 계획의 기초적인 방안은 사용가능한 기존의 정보와 적절한 가정을 활용하여 수립할 수 있음
  - 외부의 전문가를 활용할 경우에는 관리주체의 내부 정보나 상황 등에 대하여 잘 파악하고 있는 전문가를 활용하는 것이 바람직함
  - 투자 우선순위 계획에 어떤 특정한 정형화된 구성은 없으며 관리주체의 요구수준이나 자산의 상태, 성능 등에 따라 여러 가지의 형태로 이루어질 수 있음
  - 하지만 어떠한 형태를 취하든 간에 관리주체의 경영계획에 부합하여야 하며, 결과물은 예산을 충족하여야 함
  - 미래의 예산의 추정, 위험도 분석 등과 같은 항목을 보완하고 산출물의 신뢰도를 향상시키기 위해서 적절한 수준의 체계적이고 정량화된 자료 및 정보를 활용하여야 함
  - 또한, 변화하는 요구수준과 서비스 수준에 대응하기 위하여 우선적으로 필요한 항목(보수 보강 등)을 투자우선순위를 결정함에 있어서 논리적인 흐름을 잘 나타내어야 함
- 투자우선순위 의사결정시 내부의 인원을 통하여 수행하는 경우와 외부의 전문가를 활용하는 경우가 있는데 만약 내부의 조직을 활용한다면 관리자와 전담부서간의 요구 서비스 수준의 명확한 상호협약이 반드시 필요함
- 계획 수립 시 수행에 필요한 자료 또는 정보는 일반적인 경우 다음의 네 가지의 분류로부터 획득될 수 있음
  - 자료의 수집부서 또는 수행전문가 : 방대한 자산의 자료에 대한 효과 및 상태를 점검하기 위한 자료의 수집을 전담하는 인원
  - 서비스의 수행 부서 또는 수행전문가 : 일반적으로 자산의 일상적인 유지관리 및 건설을 수행하는 인원이며, 이는 이 자산관리를 위한 자료의 수집에 가장 적합할 것으로 판단되는 집단

- 외부전문가 : 자산관리를 수행하는데 필요한 전문적인 지식을 갖춘 외부전문가
- 내부 전문가 : 관리주체에서 발생하는 자료 및 정보자체

## 6) 장기 예산 수립

- 현재 국내 대부분의 시설물 관리주체에서 중장기 유지관리비용을 추정할 수 있는 방법은 거의 전무한 실정
- 단일 시설물에 대한 생애주기비용(LCC) 분석에 대한 연구는 지속적으로 이루어져 어느 정도 신뢰성을 확보하고 있음
- 이를 통해 설계단계에서 단일 시설물의 시공방식을 결정할 경우, 효과적으로 적용할 수 있지만 분석과정이 복잡하고 고려하여야 할 변수가 많기 때문에 수십~수백개 이상의 네트워크 레벨의 시설물군에서 적용하기 현실적으로 어려움
- 따라서 농업기반시설 대상으로 중장기 비용을 예측하기 위한 실천 과제와 이를 실행 할 수 있는 선진 유지관리체계 개선 방안은 다음과 같이 제시함
  - 중장기 미래 유지관리비용 예측 방법론 개발
    - 시설물별 감가상각에 대한 자산가치 평가
    - 시설물별 상태 및 비용 예측 모델 구축
    - 시나리오 분석에 의한 예산 투자 대비 성능 예측 모델
    - 시설물별 위험도 분석 모델 구축
  - 유지관리체계 개선
    - 효율적 시설물 점검 방안 수립
    - 장수명을 위한 유지보수 평가항목 선정
    - 유지관리 업무 개선 방안
  - 중장기 예측 비용 분석 결과 검토위원회 신설
    - 시설물별 노후화 정도 및 미래 노후화 예측 결과 검토
    - 시설물별 유지관리 예측 비용 분석 및 검토

## 6.5.2 자산관리체계 중장기 계획

- 자산관리체계의 도입은 농업기반시설물의 현재 상태는 최상으로 유지하고 잔존수명에 이르기까지 시설물의 건전성을 유지하기 위한 것임
- 또한 요구되는 성능의 확보를 위해 사전에 시설물 유지관리체계를 수립함과 동시에 서비스 수준에 대한 상시 평가체계를 마련하는 것임
- 이러한 자산관리 활동으로 계획된 시설물의 잔존수명을 연장 시킬 수 있고 자산의 가치 향상과 안정적인 서비스 수준을 확보가 가능하게 될 것임
- 자산관리체계 도입에 따른 직접적인 효과를 제시함
  - 수명관리에 경제성 개념이 포함된 자산관리를 도입하여 농업기반 시설물에 대한 유지보수, 교체 등 생애주기 동안 발생하는 모든 관리활동을 장기적인 관점에서 계획적으로 수행
  - 농업기반시설물의 노후화에 따라 유지보수 비용 및 중요성이 증대되고, 대규모 교체시기가 도래할 경우 효율적 예산의 사용 가능
  - 한정된 예산에 대한 효율적 사용으로 기본목표(지속적이고 안정적인 서비스 수준 유지) 수행이 가능하고 노후 시설물의 계획적 교체를 원활히 수행 가능
  - 개별 시설물(건축물, 펌프, 전기설비, 기계설비 등)에서의 수명관리/예방진단과 같은 지속적인 유지관리 뿐만 아니라 상위 단계인 네트워크레벨에서의 장기적이고 계획적인 자산관리를 통해 한정된 예산의 효율적 분배 등 투자 우선순위를 정하는데 활용 가능
- 자산관리체계의 구축은 현재 시설물의 상태 파악부터 시작되어야 함
- 현재의 관리수준 검토와 그에 따른 문제점의 파악이 필요하고 자산관리 도입을 위한 개선방향을 설정하여야 함
- 다음은 자산관리체계 구축시 다음과 같은 사항에 대해서는 우선적으로 고려하여 검토할 필요가 있음

- 농업기반시설 관리의 문제 인식 필요
  - 인프라 시설물의 급격한 노후화
  - 수동적인 사후 대응형 유지관리
  - 시설물의 서비스 수준 상실
  - 관행적인 예산 투입 및 집행
- 개선방안
  - 새로운 시설물 관리방안 도입
  - 예방적인 사전 유지관리체계 도입
  - 지속적인 서비스 수준 유지
  - 효율적인 예산 투입 및 집행
- 추진 방향
  - 선진국 중심의 자산관리체계 도입
  - 새로운 통합 유지관리시스템 개발
  - 시설물별 서비스 수준 평가항목 개발
  - 자산관리 도입을 위한 전략 수립
- 기대 효과
  - 관리주체별 자산에 대한 명확한 인식
  - 능동적인 유지관리체계 수립
  - 시설물의 서비스 수준 유지 및 개선
  - 관리주체별 효율적인 예산 분배

- 농업기반시설물에 자산관리체계를 도입하는 하는 것을 다년간의 연구와 투자가 필요로 하게 됨
  - 농업기반시설에 적합한 자산관리체계의 요소기술을 개발하여야 하고 지속 가능해야 함
  - 농업기반시설의 사용수명 연장과 이에 따른 장기적 예산을 절감시키기 위해 사후 유지관리체계에서 선제적 대응을 이행할 수 있는 선진유지관리체계로 전환이 필요
  - 여기에는 시설물의 노후화, 서비스 요구 수준 증대 등 다양한 변화를 고려하여야 함
- 시설물 관리 주체는 기존의 획일적이고 수동적인 관리 형태에서 조직적이고 적극적인 형태의 관리가 가능하도록 전문 인력 육성 및 교육을 진행하고 제도 지원과 각 실천 과제에 대한 지침 및 매뉴얼 개발을 병행하여야 함
- 농업기반시설의 자산관리체계의 구축을 위해 향후 추진 계획을 다음과 같이 제시하고자 함
  - 단기 : 2년 이내
    - 시설물 요구정보 현황 및 확보방안 검토
    - 시설물 자산관리 계획 수립을 위한 데이터베이스 수집 항목 검토
    - 시설물별 데이터베이스 자료 확보 방안 수립
    - 자산관리 목록 구축을 위한 데이터 변환 및 통합
    - 중장기 미래 유지관리 비용 예측 체계 도입 방안 설정
    - 유지관리 관점의 잔존수명 평가 기법과 예측 모델 개발 계획 수립
    - 자산가치 평가 방법론 및 시설물 성능예측 모델 개발
    - 투자우선순위 산정 기준 개선, 의사결정 모델 도입(중요 시설물)
    - 의사결정 로직 및 위험도 분석 모델 개발
    - 시설물 대표등급 산출 및 실태평가 보고서 발간

- 유지관리 예산확보 방안 수립
  - 중기 : 4년 이내
    - 중장기 미래 유지관리 비용 예측 체계 확대
    - 투자우선순위 산정 기준의 개선 및 의사결정 모델 확대
    - 상시평가 종합관리계획 수립 및 시설 유형별 정보 공유 정례화
    - 선제적 유지관리 예산의 산정 및 효과 분석
  - 장기 : 5년 이후
    - 중장기 미래 유지관리 비용 예측 체계 안정화
    - 투자우선순위 산정 기준의 개선 및 의사결정 모델 확대(기타시설물)
    - 상시평가시스템 안정화 및 효과 분석
    - 평가보고서 발간
- 자산관리체계 도입을 위한 중장기 계획의 핵심은 시설물의 자산관리 요소기술 개발과 수명관리 요소기술 개발임



Fig. 6.7 자산관리 핵심 요소기술



- 자산관리체계의 구축을 위한 표준절차와 각 시설물의 데이터를 획득하고 평가할 수 있는 요소기술이 개발되어야 함
  - 향후 이러한 요소기술을 적용하여 초기에 구축된 시스템의 점검을 통해 시설물 관리에 직접 구현하는 절차 또한 필요
  - 시설물 유지관리 시스템을 정책적으로 안정화하기 위한 기술개발이 필수이며 정립된 절차를 통해 자산관리시스템의 본격적인 가동이 가능한 것임
  - 자산관리체계가 구축되면 시범사업을 수행하여 전체적인 절차의 지속적인 피드백과 조율과정을 거칠 필요가 있으며, 개발된 시스템의 최종적인 활용을 위한 교육 및 홍보를 위한 별도의 계획도 병행하여 개발되어야 함

Table 6.5 요소기술의 분류

결과물	활용분야 및 관련 기법	
분석 및 평가 기술	자산목록 구축	▶ 자산목록별 이력관리를 위한 Big Data 분석 기법 ▶ 자산관리 통합 시스템 개발
	자산가치 분석	▶ 자산가치 평가 기법
	미래상태 예측	▶ 열화요인별 잔존수명 예측기법 및 모델개발 ▶ 열화요인별 열화상태 예측기법 및 모델개발 ▶ 보수/보강 후 미래상태 예측기법 및 모델개발
	비용분석	▶ 생애주기 비용요소별 원단위 비용 산정기법 ▶ 중장기 유지관리비 예측 기법 ▶ 비용데이터 수집 및 관리기법
	우선도 평가/장기예산 수립	▶ 상태, 잔존수명 및 비용 등을 고려한 우선도 평가기법 ▶ 네트워크 기반 우선도 평가기법 ▶ 장기 예산할당 기법
	목표수명 설정기술	▶ 서비스 수준 등을 고려한 목표수명 설정기법
공법 기술	예방진단/상태평가	▶ IT를 활용한 진단 기법 ▶ 객관적 손상평가 기법 ▶ 수명위해 요소를 고려한 상태평가 기법
	보수/보강	▶ Maintenance Free를 위한 시공품질 확보기법 ▶ 구조물 초기 손상 저감 기법
제도	제도	▶ 전략 수립, 자산관리 기본계획, 중장기 계획 수립 ▶ 조직, 지침, 정책 수립



# 제 7 장

## 저수지 및 양배수장의 성능평가 방안 도출

농업생산기반시설 성능개선 기술개발



## Ⅶ. 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출

### 7.1 성능평가 매뉴얼 작성 [부록 2 참고]

#### 7.1.1 지속가능한 기반시설 관리기본법 시행

- 법 제12조(성능평가)에 의해 관리주체는 소관 기반시설에 대해 성능평가를 실시하고 결과를 관리감독기관의 장에게 제출하며, 결과를 관리계획 수립 시 반영해야 함
  - 관리주체 : 관계 법령에 따라 기반시설의 관리책임을 지는 자  
(국가 지방자치단체, 공공기관, 지방공기업)
  - 성능평가 : 기반시설의 기능을 유지하기 위해 요구되는 시설물의 구조적 안전성, 내구성, 사용성 등의 성능을 종합적으로 평가하는 것
  - 관리감독기관
    1. 관리주체가 중앙행정기관의 소속기관이거나 감독을 받는 기관인 경우 : 소속 중앙행정기관
    2. 그외의 관리주체인 경우 : 해당 기반시설이 소재한 특별시, 광역시, 특별자치시, 도, 특별자치도
  - 기반시설 관리계획 : 관리감독기관의 장은 기본계획에 따라 소관 기반시설에 대한 관리계획을 5년 단위로 수립 및 시행

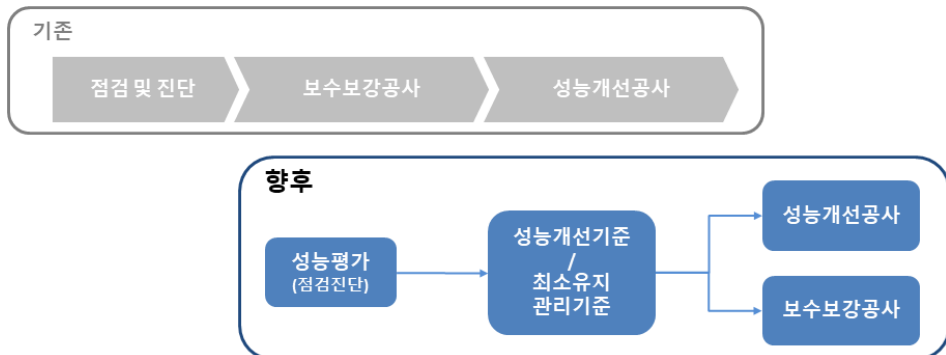


Fig. 7.1 기반시설관리기본법 시행에 따른 유지관리 체계 변화

□ 법 시행에 따른 성능평가 실시

- 관리주체는 최소유지관리기준과 성능개선기준을 설정하여 기반 시설을 관리
- 기존 유지관리체계는 점검진단 결과에 따라 보수보강공사를 실시  
성능개선공사는 노후화된 시설 위주로 진행
- 향후 유지관리는 성능평가 후 각 기준에 의해 유지관리 의사 결정
  - ※ 최소유지관리기준 : 소관 기반시설에 대한 최소한의 유지관리 수준에 관한 지표
  - ※ 성능개선기준 : 소관 기반시설에 대해 유지관리보다는 성능개선이 더 유리한지에 대해 판단할 수 있는 기준

□ 성능평가 수행 계획

- 현장조사 및 각종 시험에 의해 농업기반시설의 노후도, 기준의 변화, 사용성의 변화 등 시설의 성능을 종합적으로 평가
- 기존의 안전점검 및 정밀안전진단을 포함하여 실시하거나 성능평가 착수일을 기준으로 3년 이내에 완료된 점검·진단 결과를 활용 가능
- 성능평가 수행을 위한 수집자료

- 농업기반시설의 설계도서 및 시공 관련 자료
- 농업기반시설의 정기점검, 긴급점검 및 정밀진단 결과
- 농업기반시설의 보수·보강·증축·개량 및 교체공사 관련 자료
- 농업기반시설의 성능평가 결과

- 시설의 객관적인 현재의 상태와 미래의 성능 변화를 파악·예측하고 이를 통해 관리자가 보수·보강 또는 성능개선 등의 최적 시기 결정 등 합리적 유지관리 전략 마련



Fig. 7.2 성능평가 절차

□ 성능평가 항목 결정

- 기존 저수지 정밀안전진단의 상태평가, 안전성평가를 안전성능평가, 내구성능평가로 재분류하고 사용성능평가 항목을 추가
- 안전성능 평가

- 농업기반시설의 외관상 결함 및 가해지는 하중에 의해 발생하는 손상에 저항하는 성능을 평가하는 것
- 물리적 상태평가 : 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 물리적 상태(결함 및 손상)를 평가
- 시설물별로 물리적 상태평가 이외에 안전성능(제체 여유고, 사면 활동 등)을 평가

- 내구성능 평가
  - 농업기반시설의 사용수명 동안 요구되는 기능을 유지시키기 위한 시설의 성능을 평가하는 것
- 사용성능 평가
  - 농업기반시설의 사용과 수요 측면에서 적절한 편의와 기능을 제공하는 성능을 평가하는 것

□ 평가항목 구성 및 기준

- 기존 농업기반시설의 정밀안전진단 평가항목을 유지하여 기존 점검 체계와 연계 유지
- 상태평가의 손상점검과 안전성평가를 성능평가의 안전성능평가로 구성
- 상태평가의 내구성 평가를 성능평가의 내구성능평가 항목으로 별도 구성
- 시설의 수요량, 사용환경변화 등의 사용성능평가 항목 신규 추가

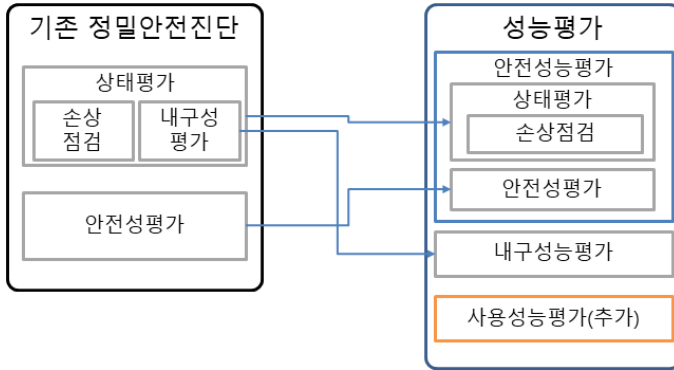


Fig. 7.3 성능평가항목 구성(안)

Table 7.1 평가항목별 기준 및 점수

평가성능	평가항목	평가기준	점수	기존 평가항목
안전성능	상태평가	a~e	1~5	상태평가 (내구성평가 제외)
	안전성평가	a~e	1~5	안전성 평가
내구성능	콘크리트 압축강도	추정 압축강도와 설계기준 강도 검토	1~5	내구성평가
	탄산화 잔여깊이	0~30mm까지 구분	1~5	
사용성능	항목별 평가	사용특성에 맞게 개별항목 평가	1~5	-

□ 평가항목 가중치 산정(안)

- 성능별 가중치를 특정한 값으로 정하지 않고 범위로 제시하여 관리자가 시설에 맞게 가중치를 조절할 수 있도록 함
- 시설물안전법 댐 성능평가 가중치를 기준으로 범위 조정
  - ※ 안전성능 : 내구성능 : 사용성능 = 74 : 17 : 9
- 추가되는 사용성능평가 결과가 종합평가 결과에 유의미한 비중을 갖도록 범위 최대치 산정



□ 성능평가 매뉴얼 목차(안)

- 성능평가 시실에 관한 제반사항을 고시하고 세부 평가방법을 매뉴얼 형태로 작성

목 차
제1장 총칙
제1조(목적)
제2조(정의)
제2장 성능평가의 실시
제3조(성능평가 일반)
제4조(안전점검 및 정밀안전진단과 성능평가의 관계)
제5조(자료의 수집 등)
제6조(성능평가 대상)
제7조(성능평가 절차)
제8조(성능평가실시자의 자격)
제9조(성능평가 실시계획의 수립)
제10조(성능평가의 방법)
제11조(성능평가 결과의 정리)
제12조(성능평가 결과의 보고)
제13조(성능평가 결과의 조치)
제14조(자체 위원회)
제3장 보 칙
제15조(재검토기한)

Fig. 7.4 성능평가 매뉴얼 목차(안)

## 7.2 치수측면 및 이수측면의 성능평가 방법론 개발

### 7.2.1 치수측면 - 저수지 규모와 침투 붕괴 유출량의 관계식 개발

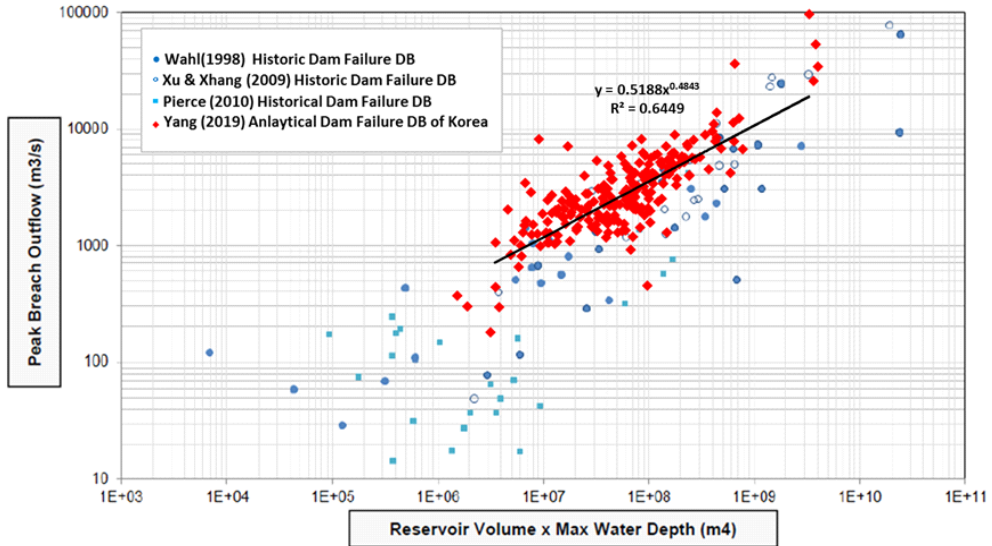


Fig. 7.5 Yang (2019) 식과 기존 연구와의 댐 붕괴 침투유출량 비교

- 본 연구에서는 ‘국내 저수지의 댐붕괴’ 모의 결과를 기반으로 저수지 규모에 따른 침투유출량 회귀식인 Yang (2019)를 개발하였음
  - 저수지의 성능 중 치수능력 검토를 위한 가장 극단적인 시나리오는 댐 붕괴임
  - 일반적으로 댐 붕괴로 인한 홍수과의 특성을 예측하기 위해서는 Saint-Venant 방정식을 통해 수리학적 홍수추적을 수행하고, 이후 분석결과를 경험식과 비교하여 붕괴 수문곡선의 타당성을 확보함
- 댐 붕괴 홍수과의 해석을 위한 수리학적 홍수추적은 부정류의 연속 방정식과 운동방정식의 해를 찾는 과정이며, 이는 현재 DAMBRK 등의 모형을 통해 간단히 수행할 수 있음
- 그러나 이후 경험식과의 비교에서 한계점이 발생함
  - 현재 실무에서 통용되는 Froehlich (1995) 등의 경험식은 모두 외국 DB 기반임

- 대부분이 실제 댐 붕괴사례를 기반으로 만든 회귀식이라는 것에 충분한 의미가 있지만, 국내 저수지 사례를 포함하지 않았기 때문에 국내 저수지 성능평가를 위해서는 식의 사용에 한계가 있음
- Yang (2019) 식의 형식은 지수함수로서 과거의 식들과 유사한 형태를 가지며, Hagen (1982, 1983) 식과는 매우 비슷한 값을 나타내고 있음
- Yang (2019) 식은 국내 저수지 총 220개의 붕괴 시뮬레이션을 통해 개발하였으며, 총 저수량 30만톤 이상의 한국농어촌공사 관리 저수지를 대상으로 하였음
- 15개의 시나리오에 따른 저수지별 붕괴모의를 통해 각 저수지의 침투 유출량을 산정하고, 수리해석은 수리학적 홍수추적을 통해 수행하였음
- ➔ 본 연구를 통해 개발된 Yang (2019) 식을 통해 국내 저수지 치수능력에 대한 상세 성능평가 대상의 우선순위 결정과 댐 하류부 피해의 개략 검토 가능

Table 7.2 Yang (2019) 회귀식과 기존 경험식의 비교

구분	제안식
Kirkpatrick (1977)	$Q_{peak} = 1.268 (h_w + 0.3)^{2.5}$
미국 토양보전국 (1981)	$Q_{peak} = 16.6 h_w^{1.85}$
미국 개척국(1982)	$Q_{peak} = 19.1 h_w^{1.85}$
Hagen & 댐안전도검사위원회(1982, 1983)	$Q_{peak} = 0.54 (h_d \times S)^{0.5}$
Macdonald & langridge (1984)	$Q_{peak} = 1.154 (V_w \times h_w)^{0.412}$
	$Q_{peak} = 3.850 (V_w \times h_w)^{0.411}$
Singh & Snorrason (1984)	$Q_{peak} = 13.4 h_d^{1.87}$
	$Q_{peak} = 1.776 S^{0.47}$
Froehlich (1995)	$Q_{peak} = 0.607 V_w^{0.295} h_w^{1.24}$
Victor (1988)	$Q_{peak} = 10.5 h_d^{1.87}$
	$Q_{peak} = 961 S^{0.48}$
	$Q_{peak} = 325 (h_d \times S)^{0.42}$
<b>Yang (2019)</b>	$Q_{peak} = 0.5188 (h_d \times S)^{0.4843}$

주)  $Q_{peak}$  : 침투유출량( $m^3/s$ ),  $h_w$  : 붕괴부 저류 월류수심(m),  $S$  : 저수용량( $m^3$ ),  $h_d$  : 댐높이(m),  $V_w$  : 최종 댐붕괴 저부의 상부 저수용량( $m^3$ )

Table 7.3 회귀식 개발을 위한 대상저수지 220개소 목록

지역	저수지명	지역	저수지명	지역	저수지명	지역	저수지명
강원	동막	경남	남산	전남	불갑	전북	금풍
강원	오봉	경남	길곡	전남	장치	전북	대아
강원	장현	경남	국전	전남	만봉	전북	죽계
강원	경포	경남	감물	전남	추동	전북	용산
강원	원창	경남	요고	전남	임천	전북	장남
강원	반계	경남	명곡	전남	유당	전북	용림
강원	잠곡	경남	신촌	전남	금전	전북	노촌
강원	산명호	경북	도곡	전남	백용	전북	대가
강원	좌운	경북	창평	전남	운주	전북	중암
강원	개운	경북	순흥	전남	군곡	전북	동마
강원	궁촌	경북	운암	전남	입석	전북	강천
강원	거진(송강)	경북	은천	전남	울치	전북	원당
강원	현남	경북	만운	전남	대동	제주	성읍
강원	도원	경북	옥성	전남	길용	제주	귀엄
강원	창봉	경북	동면	전남	광주호	제주	용수
강원	우천	경북	단산	전남	담양호	충남	계룡
강원	지내	경북	금계	전남	외동	충남	복심
강원	생곡	경북	지평	전남	나주호	충남	도림
강원	추동	경북	오태	전남	구성	충남	용연
강원	정산	경북	송림	전남	효곡	충남	영천(한천)
강원	신매	경북	갈평	전남	문수	충남	중흥
강원	상오안	경북	고현	전남	수양	충남	정안
강원	오원	경북	매화	전남	장성호	충남	신동
강원	대안	경북	수비	전남	남산	충남	덕용
강원	초당	경북	청기	전남	상오	충남	중천
강원	대룡	경북	금봉	전남	봉산	충남	신대(운곡)

지역	저수지명	지역	저수지명	지역	저수지명	지역	저수지명
경기	기흥(신갈)	경북	임고	전남	화산	충남	봉림
경기	용덕	경북	가음	전남	대룡	충남	탑정
경기	광혜	경북	금봉	전남	행정	충남	칠갑
경기	금사(장흥)	경북	기사	전남	영산	충남	예당(대흥)
경기	대평	경북	덕곡	전남	도갑	충남	진죽
경기	원당	경북	봉학	전남	평산	충남	광천
경기	봉암	경북	청하	전남	대아	충남	보강(대리)
경기	마둔	경북	유계	전남	정석	충남	상가
경기	마지	경북	문경	전남	감동	충남	경천(양화)
경기	삼인동	경북	백석	전남	내연	충남	윌티
경기	두창	경북	사곡	전남	대도	충남	성연
경기	애룡	경북	모화	전북	구이	충남	신창
경기	이동	경북	괘릉	전북	경천	충남	수철
경남	가산	경북	개곡	전북	인교	충북	한계
경남	가월	경북	대곡	전북	금평	충북	추풍령
경남	주남	경북	인덕	전북	백산	충북	용곡
경남	평암	경북	하늘	전북	신림	충북	보청
경남	가북	경북	옥관	전북	홍덕	충북	장찬
경남	서상	경북	광덕	전북	내장	충북	맹동
경남	죽전	경북	개운	전북	입암	충북	소수
경남	진례	광주	왕동	전북	천천(외룡)	충북	송면
경남	가천	대구	옥연	전북	황금	충북	삼기
경남	옹양	대전	방동	전북	고수	충북	용당
경남	옥계	세종	용암	전북	수청	충북	추평
경남	손항	울산	갈전	전북	괴목	충북	궁
경남	울현	인천	하점	전북	지소(양악)	충북	비룡
경남	봉성	인천	고려	전북	대곡(오동)	충북	백곡
경남	갈곡	인천	양오	전북	신반월	충북	도기
경남	옥중	인천	길정	전북	수송	충북	연제

## 7.2.2 이수측면 - 유역배율과 단위저수량의 관계식 개발

### 1) 유역배율과 단위저수량

- 농수산부 등(1984)은 한발빈도에 따른 내한능력을 단위저수량을 기준으로 제시하였음
  - 지역별 기상자료가 충분하지 않은 저수지의 개략적인 설계를 위해 설계목표 한발빈도에 부합하는 단위저수량을 제시함
- 관개용 저수지를 설계할 때 유역배율<sup>2)</sup>이 3이상<sup>3)</sup>은 되어야 용수공급의 신뢰도가 90%에 이르는 것으로 판단하고 있음
  - 단위저수량<sup>4)</sup>은 약 600mm~800mm가 되어야 함 (노재경, 2011)
- 그러나 유역배율 3~4도 과거 일본의 기준이며, 일본 강우량은 대략 한국 강우량의 1.3배이므로, 유역배율에 대한 기준도 5정도로 증가시켜야 함
  - 유역배율이 작은 저수지는 용수사용율이 매우 높으며, 부분적으로 간접유역을 사용하기도 함
  - 즉, 유역배율이 작은 저수지는 물이 저수지에 머무를 시간이 없으며 타당한 분석에 근거한 건설계획이 필요함

Table 7.4 한발빈도에 따른 단위저수량 제시

한발빈도	단위저수량(mm)	내용
10년빈도	520	본담 급수에 지장 없음
7년빈도	480	10년빈도 한발시 수도 이양 후 16일 정도 본담 급수 가능
5년빈도	440	10년빈도 한발시 수도 이양 후 10일 정도 본담 급수 가능
3년빈도	380	10년빈도 한발시 수도 이양에 지장 없으나, 6일 정도 본담 급수 가능
평년빈도 (2.33년)	330	10년빈도 한발시 수도 이양만은 가능하고, 본담 급수는 곤란

주) 농수산부, 농업진흥공사, 1984. 수리시설내한능력조사 종합보고서

2) 유역배율 = 유역면적 / 수해면적

3) 노재경, 2011. 유역배율이 작은 저수지의 이수관리방법, 한국관개배수논문집 제18권 제1호, pp.68-80

4) 단위저수량 = 유효저수량 / 수해면적

'60년대 : 300~400mm, '70년대 : 600~800mm

## 2) 이수측면 물수지분석(Water Budget)의 필요성

- 물수지분석은 계획유역에 안정된 용수공급을 위해 유역내의 장래 용수수요와 공급기준년의 자연유량을 공급시기별로 비교함으로써, 유역내 본류 및 지류에서의 물부족 여부를 판단하는 것임
- 물수지분석은 공급기준년의 물부족량을 공급하기 위한 댐의 개발 규모, 시기 및 위치 등을 결정하는 수단으로 사용되며, 수자원개발 계획을 수립함에 있어 선행되어야 할 기본요소임
- 저수지의 성능평가와 유역 용수수급계획 수립을 위해서는 하천유역에서의 물수지 분석을 주기적으로 실시할 필요가 있으며, 분석의 신뢰도를 높이기 위해서는 유역을 일관한 물수지 분석이 필요함

## 3) 10년빈도 연최대 필요저수량

- 농업생산기반설계기준에 따르면, 농업용 저수지는 10년빈도 갈수년에도 농업용수를 공급할 수 있어야 함
- 장기유출모형을 이용한 저수지 모의조작을 수행하여, 30년 이상의 연최대필요수량을 구한 후 10년빈도에 해당하는 값을 설계값으로 선정하고 있음
  - 그러나, 현행 Carry-Over방법으로 물수지 분석을 시행하면, 연말과 연초가 연결되어 자기상관성을 갖고, 각 연별 연최대필요수량 사상이 독립적인 시행이 아니므로 그것을 대상으로 빈도분석을 하는 것은 이론적으로 타당하지 않은 한계가 있음
  - 이는 설계 안전도 측면이나, 기후변화에 따른 가뭄대비 이수안전도 확보에 역행하는 결과를 양산할 수도 있음

## 4) 이수안전도

- 이수안전도는 용수공급신뢰도와 동일한 의미로 사용되며, 일반적으로 90%를 사용하며, 이는 10년빈도 갈수년을 고려할 경우 비초과확

률이 90%이기 때문임

- 공용중이거나 계획된 저수지 규모하에서 저수지 모의조작결과의 분석을 통해 물부족 비초과확률을 구함으로써 이수안전도를 산정해 낼 수 있음
- 이수안전도는 연간단위, 기간단위, 공급량단위 기준으로 구할 수 있으나, 우리나라에서는 연간단위의 신뢰도를 주로 채택하고 있음
- 이수안전도는 저수지 모의조작을 통해 분석된 필요저수량 중 일정 안전도를 확보할 수 있는 유효저수량을 찾는데 이용할 수도 있음

#### 5) 유역배율과 단위저수량간의 관계곡선에 따른 이수안전도 개략 평가 방법 개발

- 본 연구에서는 저수지 모의조작을 통해 이수안전도 90%를 기준으로 주요관측소별 유역배율과 단위저수량간의 관계곡선을 개발하였음
  - 저수지 사용성능 중 치수능력과 함께 이수능력을 평가하기 위한 개략적 방법론의 제시에 의미가 있음
  - 세부 성능평가지 이수능력 평가를 위해 모든 저수지의 물수지를 수행하는 것은 건별 비용이 발생
- 저수지의 개략적인 이수평가지 단위저수량과 유역배율은 상호보완적인 관계를 가지고 있으나, 두 변수간의 보완성에 관한 기존 연구는 없음
- 이에 전국의 대표관측소 8개를 대상으로 임의의 저수지에 대해 각 규모별 물수지 분석을 수행하여 단위저수량과 유역배율과의 관계곡선을 개발하였으며, 분석조건은 다음과 같음
  - 장기유출모형 : DIROM, 이수안전도 : 90%
  - 발관개 없음
  - 수로손실 : 15%, 삼투량 4mm, 최대담수심 : 80mm, 최소담수심 : 20mm



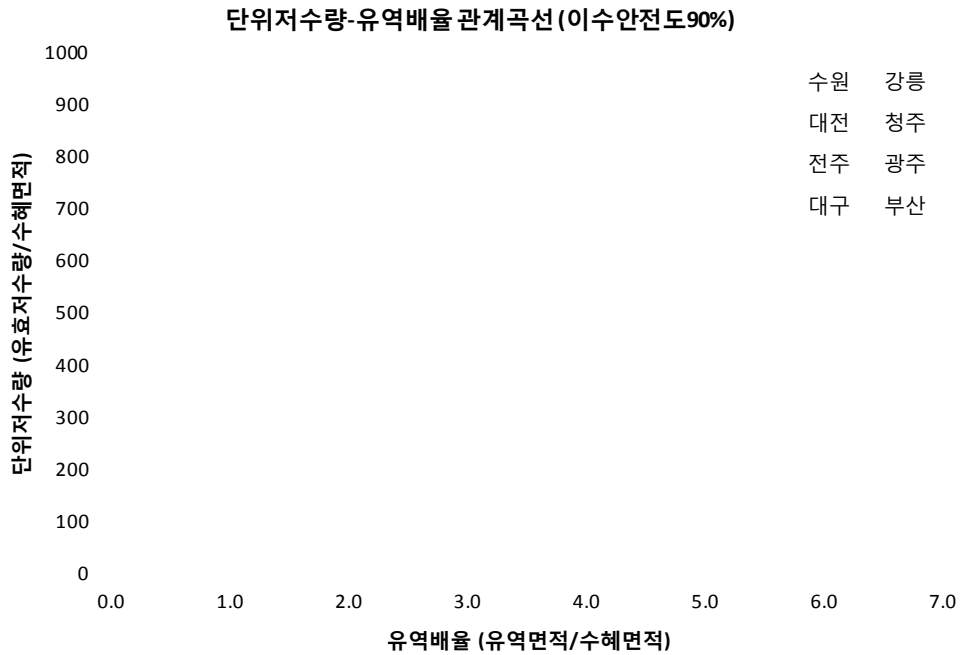


Fig. 7.6 주요 관측소별 단위저수량-유역배율 관계곡선

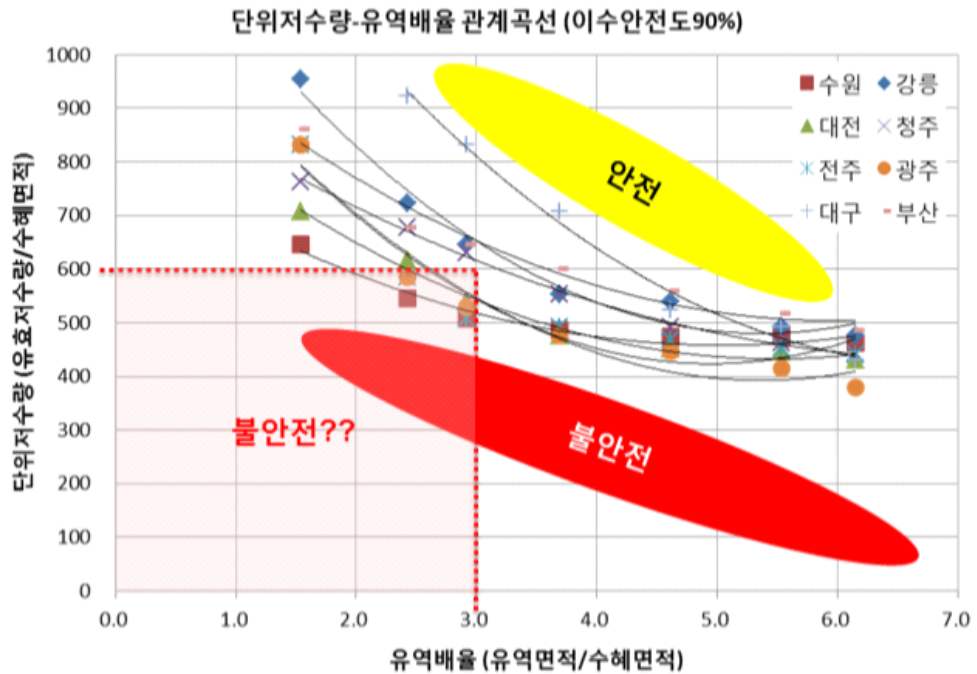


Fig. 7.7 단위저수량-유역배율 관계곡선의 해석



# 제 8 장

## 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출

농업생산기반시설 성능개선 기술개발



## Ⅷ. 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출

### 8.1 저수지 최소유지관리 기준(안)

#### 8.1.1 최소유지관리 공통기준 개요

- 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(’18.12.31 제정, ’20.1.1 시행)
  - 국토교통부장관은 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(이하 “법”이라 한다) 제11조제2항에 따라 최소유지관리기준에 공통적으로 적용될 수 있는 공통기준을 설정·고시할 수 있음
- 법 상 관련 내용 (발췌)

**제10조(유지관리)** ① 관리주체는 소관 기반시설을 제11조에 따른 **최소유지관리기준 이상으로 유지관리**하여야 한다.

**제11조(최소유지관리기준의 설정)** ① 관리감독기관의 장은 소관 기반시설의 **유형별로 최소한의 유지관리수준에 관한 지표**(이하 “최소유지관리기준”이라 한다)를 설정·고시하여야 한다.

② 국토교통부장관은 **최소유지관리기준에 공통적으로 적용될 수 있는 공통기준**(이하 “최소유지관리 공통기준”이라 한다)을 설정·고시할 수 있다.

**제12조(성능평가)** ① 관리주체는 소관 기반시설에 대하여 **관계 법령으로 정하는 성능평가를 실시**하여야 한다.

**제13조(성능개선기준의 설정)** ① 관리감독기관의 장은 소관 기반시설의 유형별로 관리주체가 **유지관리보다는 성능개선이 더 유리한 지에 대해 판단**할 수 있도록 기준(이하 “성능개선기준”이라 한다)을 설정·고시하여야 한다.

종합적·선제적 유지관리 계획 체계 마련

- (최소관리기준 설정) 각 시설별 상이한 유지관리 수준을 상향 조정하도록 최소유지관리 공통기준 마련 <국토부>
  - '19.12까지 기준안 마련, 기반시설관리법 시행('20.1) 직후 확정·고시 추진

## 8.1.2 최소유지관리 공통기준(안) 주요내용

### 1) 기반시설의 관리체계 확립

기반시설의 특성을 고려한 관리체계 설정

- 관리감독기관의 장은 기반시설의 유형별 운영 및 기능 특성과 국민 안전에 미치는 영향 등\*을 고려하여 **3단계 이상의 관리체계\*\***(이하 “관리체계”라 한다)로 구분하여 체계적인 관리 유도
  - \* 시설물의 규모, 중요도, 공용연수 또는 노후도, 수요 또는 용량 등
  - \*\* 관계법령에 의한 별도의 관리체계가 있는 경우 해당 등급 준용 가능

(예시)

- 3단계 구분(O) : 시설물안전법 제1,2,3종시설물(규모, 중요도, 재난 위험 등 고려)
- 2단계 구분(X) : 농어촌정비법 제1,2종시설물(규모(총저수량 30만톤 기준) 고려)

기반시설의 성능평가 수준의 결정

- 관리감독기관의 장은 시설물 유형별 관리체계에 따른 **성능평가 수준\***을 구분하여 관리주체가 성능평가를 실시 할 수 있도록 제시
  - \* 상태변화 외관조사(육안조사), 상태평가(안전성 평가, 간단한 측정과 시험장비 활용), 상태평가와 안전성 평가(측정과 시험장비 활용), 성능평가(안전성, 내구성, 사용성) 등으로 성능조사 단계를 구분

기반시설의 성능평가에 따른 등급의 설정

- 기반시설의 성능 수준을 판단할 수 있도록 **최소 3등급 이상의 평가 등급** 또는 100(안전)~0(불안전) 구간에서의 임의 구분

Table 8.1 100~0 점수 구간의 성능평가체계 例

평가등급	E등급 (20) : 5	5	10	15	20	25
	D등급 (40) : 4	4	8	12	16	20
	C등급 (60) : 3	3	6	9	12	15
	B등급 (80) : 2	2	4	6	8	10
	A등급 (100) : 1	1	2	3	4	5
	구분	영향없음 (1)	경미한 피해(2)	일반 피해(3)	상당한 피해(4)	중대한 피해(5)
심각도*						

사용중지 즉각조치	긴급 보수보강	보수보강	관찰 일부보수	관찰
--------------	------------	------	------------	----

\* 심각도 : 기반시설의 안전문제 발생에 따라 사회에 미치는 영향  
(3단계 이상, 단계의 구분은 관리감독기관의 장이 결정)

## 2) (최소)목표등급의 설정 및 유지관리 대책 수립

- 선제적 유지관리 실현을 위한 기반시설 유형별 목표등급 설정
  - 평가 등급에 따라 관찰 및 감시, 보수보강, 성능개선 등을 검토할 수 있도록 사전 검토체계\* 마련
    - \* 보수보강 필요 단계 이상의 위험도로 판정되는 기반시설에 대해서는 3단계(정밀안전진단) 이상의 성능평가를 시행하여 단기, 중기, 장기 유지관리 대책과 성능개선대책을 수립하도록 유도

## 3) 기반시설 유지관리 기록 및 이력관리 규정

- 관리감독기관의 장과 관리주체는 전산화된 이력관리 수행
  - 관리등급체계, 성능평가, 목표등급, 유지관리대책(보수보강, 성능개선) 등 기반시설 유지관리에 관한 모든 정보를 전산으로 관리

### 8.1.3 저수지 최소유지관리기준(안) 요구사항

#### □ 저수지 관리체계 수립 필요

- 저수지의 규모, 중요도, 공용연수 또는 노후도, 수요 또는 용량 등을 종합적으로 고려하여 세 단계 이상으로 구분하여 수립 필요

예) 시설물안전법의 종별 구분

- 관리체계에 따른 성능평가의 수준을 구분

예) 1. 순찰·상시 점검 수준의 성능평가(이하 “상시 성능평가”)

2. 육안점검 위주의 외관조사에 따른 성능평가(이하 “정기 성능평가”)

3. 면밀한 외관조사와 간단한 측정·시험장비를 이용하여 기반 시설의 성능변화를 확인할 수 있는 수준의 성능평가(이하 “정밀 성능평가”)

4. 정밀한 외관조사와 각종 측정·시험장비를 이용한 조사·분석 및 해석, 기반시설의 성능저하 추이와 환경 및 수요 등의 조사·분석 결과를 종합적으로 고려한 수준의 성능평가(이하 “종합 성능평가”)

#### □ 저수지 관리체계별 성능평가 실시주기 수립 필요

- 관리체계별 성능평가 실시주기 설정
- 사고가 우려되는 중점관리 대상의 지정 및 이때의 성능평가 실시주기 설정
- 해빙기, 우기, 동절기 등의 성능유지 취약한 시기 고려

#### □ 관리수준을 판단하는 세 단계 이상의 성능등급 체계 정의 필요

- 관리체계에 따라 저수지의 관리수준을 나타내는 성능등급 체계 수립

#### □ 저수지의 최소유지관리 목표를 설정하기 위한 목표등급의 지정

- 저수지의 성능등급을 목표등급 이상으로 유지하기 위한 달성시기 및 방법을 고려하여 보수보강 실행 계획 수립



## 8.1.4 저수지 최소유지관리기준(안) 구성 [부록 1 참고]

Table 8.2 저수지 최소유지관리기준(안) 구성

<b>1장 총칙</b>
제1조(목적)
제2조(용어의 정의)
제3조(적용범위)
제4조(최소유지관리기준 수립 원칙 등)
<b>제2장 최소유지관리기준의 설정 등</b>
제1절 일반사항
제5조(최소유지관리기준의 설정)
제2절 최소유지관리기준의 설정 절차
제6조(저수지 관리체계의 구분 등)
제7조(성능평가 실시자의 자격)
제8조(성능평가의 실시주기)
제9조(성능평가의 수준)
제10조(성능평가의 실시)
제11조(성능등급의 설정 등)
제12조(목표등급의 설정)
제13조(성능평가 실시결과의 제출)
제14조(유지관리 등 대책 수립)
<b>제3장 최소유지관리기준의 고시 및 이력관리</b>
제15조(최소유지관리기준의 설정·고시)
제16조(최소유지관리기준의 이력 관리)
<b>제4장 보칙</b>
제17조(재검토기한)
<b>부칙</b>
제18조(시행일)

## 8.2 저수지 성능개선기준(안)

### 8.2.1 성능개선 공통기준 개요

- 기반시설관리법 제13조에 따라 관리감독기관의 장은 소관 기반시설 유형별5)로 관리주체가 “유지관리보다는 성능개선이 더 유리한지에 대해 판단”할 수 있도록 성능개선 기준을 설정·고시
  - 특히, ‘성능개선기준’은 성능개선의 대상 선정, 소요재원 마련 및 투자 의사결정을 위한 절차 및 기준으로 정의
  - 기반시설은 각 부처, 지자체 등에서 개별 관리하고 있으나 중장기 계획 마련을 위해 소시설물에 적용(가이드라인) 가능한 공통기준(안) 마련
- 성능개선의 적정성 판단을 유도하는 경제성 및 정책성 항목과, 시설 유형 및 사업별 특성을 포괄할 수 있는 공통기준(안) 제안

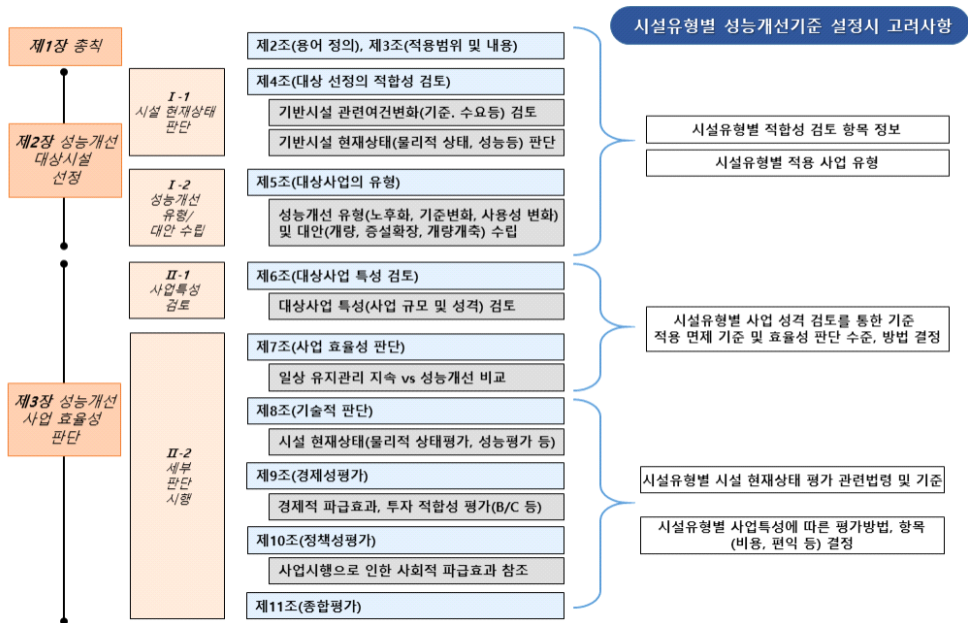


Fig. 8.1 기반시설 성능개선 공통기준 고시(안)

- 5) 기반시설 소관부처 및 유관기관별 15종(도로, 철도, 항만, 공항, 하천, 저수지, 댐, 수도 공급설비, 전기공급설비, 가스공급설비, 열공급설비, 방송통신설비, 공동구, 유류저장용 유설비, 하수도)

## 8.2.2 저수지 성능평가 및 성능개선기준(안) 구성 [부록 2 참고]

Table 8.3 저수지 성능평가 및 성능개선기준(안) 구성

<b>제1장 총 칙</b> 제1조(목적) 제2조(용어의 정의)
<b>제2장 성능평가의 실시</b> 제3조(성능평가 일반) 제4조(안전점검 및 정밀안전진단과 성능평가의 관계) 제5조(자료의 수집 등) 제6조(성능평가 대상) 제7조(성능평가 절차) 제8조(성능평가실시자의 자격) 제9조(성능평가 실시계획의 수립) 제10조(성능평가의 방법) 제11조(성능평가 결과의 정리) 제12조(성능평가 결과의 보고) 제13조(성능평가 결과의 조치) 제14조(자체 위원회)
<b>제3장 성능개선기준</b> 제15조(적용범위 및 내용) 제16조(대상 선정의 적합성 검토) 제17조(대상사업의 유형) 제18조(대상사업 특성 검토) 제19조(사업 효율성 판단) 제20조(기술적판단) 제21조(경제성평가) 제22조(정책성평가) 제23조(종합평가)
<b>제4장 보 칙</b> 제24조(재검토기한)
<b>부 칙</b>



# 제 9 장

## 결 론

농업생산기반시설 성능개선 기술개발



## IX. 결론

- 본 연구에서는 농업생산기반시설물의 성능평가 기법과 장수명화 기술 개발을 목적으로 하였음
- 이에 따라 성능평가, 최소유지관리, 성능개선에 대한 기술과 적용 방안을 마련함

구분	연구내용
① 성능평가 모델 개발	시설물 기능저하 수준과 상태를 평가할 수 있는 모델 개발 - 통계·확률에 의한 열화(劣化)모델 개발
② 성능평가 매뉴얼 개발	안전성, 내구성, 사용성을 복합 고려한 성능평가 매뉴얼 개발 - 기존 안전진단 매뉴얼의 부족한 부분을 개선·보완 (사용성 등)
③ 法 관련 기준마련	성능평가 기술과 기준 개발을 통한 성능평가 근거 제공 - 최소유지관리기준, 성능개선기준 정립

- 본 연구의 결과를 종합하면 다음과 같음

### ① 시설물 현황조사

- 저수지와 양배수장의 시설관리 현황과 문제점을 조사하였으며, 이에 대한 개선방안과 향후계획을 유지관리 및 성능개선 근거 법령에 근거하여 제시함

### ② 성능저하 요인분석

- 저수지와 양배수장의 성능저하 요인을 안전진단과 개보수결과를 통한 연관성 네트워크 분석과 현황조사를 통해 도출함
- 저수지 461개소와 양배수장 106개소의 진단결과는 세부정보를 DB화함
- 저수지 제체의 손상 중 식생이 가장 많이 발생하였으며, 부재 등급에 상관없이 발생하는 손상과 낮은 등급에서 발생하는 가중치를 조정하여 부재별 안전성능 평가결과의 조정이 필요하다는 결과를 도출함

### ③ 성능평가 모델개발

- 점검진단정보와 보수보강공사정보를 이용하여 수명모델과 비용 모델을 개발함
- 저수지제체의 미조치 기대수명은 36년이 도출되었으며, 현행 유지관리에 의한 기대수명은 135년으로 분석됨
- 저수지 여수로의 미조치 기대수명은 36년, 취수시설은 29년으로 분석됨
- 취수시설은 개보수가 아닌, 기계와 전기시설의 교체가 주요 보수 공사로 비용모델의 형태가 E등급에서 급격히 증가함
- 양배수장의 미조치모델은 토목, 건축, 전기, 기계가 각각 42년, 51년, 27년, 35년으로 분석되었으며, 기계시설이 양배수장의 수명을 결정함
- 저수지나 양배수장의 토목구조물은 현행 D 등급에서 개보수를 시행하는 것이 타당하며, 기계나 전기 등 타 시설은 E 등급에서 교체하는 것이 생애주기 비용상 적절한 것으로 분석되었음

### ④ 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출

- 성능모델을 이용하여 N회의 조치 후에도 성능저하가 급격히 발생될 경우 성능개선이 적절함
- 저수지 제체는 지속적인 조치에 따른 수명증대 효과가 크기 때문에 안전성능에 의한 성능개선은 어려우며, 사용성능에 의해 결정하는 것이 타당함

### ⑤ 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향 제시

- 국내 자산관리 선행기술과 해외 선진기술을 조사하고, 농업생산 기반시설의 단계별 도입 방향과 중장기 계획을 수립함

### ⑥ 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출

- 시설물의 성능을 안전성능, 내구성능, 사용성능으로 평가할 수 있는 매뉴얼(안)을 제시함
- 각 성능별 가중치에 따른 성능평가 시뮬레이션을 수행한 결과를



제시함으로써 향후 기준정립과 상정을 위한 의사결정을 지원하였음

- 이수와 치수측면의 성능평가를 위한 식을 개발함으로써 상세분석 우선순위 결정을 위한 방법론을 제시함

⑦ 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출

- 기반시설관리법 공통기준안을 분석하고, 법에 적용되는 저수지의 최소유지관리기준과 성능개선기준안을 정립함

□ 이상 본 연구를 통해 현재 정부의 요구사항인 농업생산기반시설의 성능개선 및 장수명화를 위한 법령 및 각종 계획에 대한 이해와 준비, 그리고 공학적 근거마련을 통하여 명확하고 효율적인 성과를 도출하였으며 향후 기대효과는 다음과 같음

○ 농업생산기반시설의 효율적인 관리계획 수립 지원

- 1) 기본계획을 따르는 관리계획 수립을 위한 대응전략 수립
- 2) 성능평가에 따른 관리계획 수립

○ 농업생산기반시설의 최소유지관리기준 및 성능개선기준 상정

- 1) 관리감독기관에서 정의 가능한 기반시설물에 따른 기준 정립
- 2) 관리주체가 즉시 활용할 수 있는 유지관리기법 및 성능평가 연계방안 마련



---

# 부 록

부록1. 저수지 최소유지관리기준 지침(안)

부록2. 저수지 성능평가 및 성능개선기준에 관한 지침(안)

---

농업생산기반시설 성능개선 기술개발



## 저수지 최소유지관리기준 지침(안)



「지속가능한 기반시설 관리 기본법」 제11조제1항의 규정에 따라 “저수지 최소유지관리기준”을 다음과 같이 제정하여 고시합니다.

0000년 00월 00일  
농림축산식품부장관

## 최소유지관리기준

### 제1장 총칙

제00조(목적) 이 기준은 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(이하 “법”이라 한다) 제11조에 따라 저수지의 최소유지관리기준을 설정하여 최소유지관리공통기준에 부합하는 저수지의 유지관리 수행함을 목적으로 한다.

#### 제00조(용어의 정의)

1. "저수지"는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조 제6호에 따른 기반시설을 말한다.
2. “관리감독기관의 장”은 법 제6조에 의한 중앙행정기관의 장 및 특별시·광역시·특별자치시·도·특별자치도를 말한다.
3. “관리주체”는 법 제2조6호에 따른 기반시설의 관리책임을 지는 자를 말한다.

4. “최소유지관리 공통기준”은 기반시설의 유형별 최소한의 유지관리수준에 관한 지표를 공통적으로 적용하는 기준이다.

5. "관리체계"는 저수지의 운영 및 기능 특성과 국민 안전에 미치는 영향 등을 고려하여 저수지를 구분하여 관리하는 체계를 말한다.

6. "성능등급"은 저수지의 성능 수준을 판단할 수 있는 등급을 말한다.

7. "목표등급"은 저수지의 선제적 유지관리를 통해 지속적으로 유지하고자 하는 성능등급을 말한다.

**제00조(적용범위)** ① 이 기준은 법 제4조를 따른 저수지에 대한 관리감독기관의 장이 소관 저수지를 유지관리하는데 적용한다.

② 이 기준에서 정하지 않은 최소유지관리기준의 방법 및 절차 등에 관하여 필요한 경우 법 제11조제3항에 따라 관리감독기관의 장이 국토교통부 장관 또는 관계 중앙행정기관의 장에게 협의를 요청할 수 있다.

③ 제2항에 해당하는 경우 국토교통부장관, 관리감독기관의 장 또는 관계 중앙행정기관의 장은 영 제6조제2항에 따른 기관의 의견을 들을 수 있다.

**제00조(최소유지관리기준 수립 원칙 등)** 최소유지관리기준은 다음 각 호의 사항을 고려하여 수립한다.

1. 저수지 관리에 대한 계획을 수립한다.
2. 저수지의 상태를 체계적·주기적으로 확인한다.
3. 저수지의 손상을 조기에 발견하고 예방한다.



4. 저수지의 안전을 확보하고 본래 기능을 유지한다.
5. 저수지의 관리정보 및 이력을 지속적으로 기록하여 관리한다.
6. 저수지의 유지관리 수준에 대한 평가를 시행한다.

## 제2장 최소유지관리기준의 설정 등

### 제1절 일반사항

제00조(최소유지관리기준의 설정) 최소유지관리기준은 다음 각 호를 포함하여 작성하여야 한다.

1. 저수지의 유형 및 현황
2. 저수지 유형별 관리체계 구분 및 기준
3. 관리체계별 성능평가 실시 수준 및 주기
4. 목표등급의 설정 및 성능평가 결과에 따라 부여된 성능등급
5. 생애주기를 고려한 최적 유지관리 대책의 설정

### 제2절 최소유지관리기준의 설정 절차

제00조(저수지 관리체계의 구분 등) ① 저수지에 적합한 성능평가 및 유지관리 등을 실시하기 위하여 저수지의 관리체계는 **별표 1**을 따른다.

제00조(성능평가 실시자의 자격) ① 설정한 관리체계에 따라 소관 저수지의 **00단계 이상의 성능평가**를 실시하는 경

우 전문성을 갖춘 기관 또는 자에게 의뢰하여야 한다.

② 제1항의 경우 성능평가를 실시하는 책임기술자 및 참여기술자는 성능평가 전반에 대한 설계 및 평가, 성능회복과 유지관리를 포함한 공학적 및 기술적인 면에서 전반적인 지식을 갖춘 자로서, 관계 법령에서 정하는 바에 따른 기술자격, 경력 및 교육 등의 자격요건을 갖추어야 한다.

③ 관리감독기관의 장은 기반시설 관리계획 수립 시 제2항에 따른 성능평가 실시자의 자격을 포함하여야 한다.

**제00조(성능평가의 실시주기)** 성능평가의 실시주기는 구분된 관리체계별로 **별표 2**를 따르고 법 제9조에 따른 기반시설 관리계획 수립 시 이 실시주기에 따른 성능평가 실시계획을 수립한다.

**제00조(성능평가의 수준)** ① 성능평가의 수준은 구분된 관리체계별로 **별표 3**을 따른다.

**제00조(성능평가의 실시)** ① 관리주체는 소관 저수지에 대하여 관계 법령으로 정하는 바에 따라 구조적 안전성, 내구성, 사용성 등을 종합적으로 평가하는 성능평가를 실시하여야 한다.

② 제1항에 따라 성능평가를 실시하는 경우 제00조에 의해 구분된 관리체계와 제00조에 의해 설정된 실시주기를 고려하여야 한다.

③ 제1항 및 제2항의 경우 관리주체는 관계법령에서 정하는 성능평가와 관리체계에 관하여 별지00호의 서식에 따

른 사항을 작성하여 관리감독기관의 장에게 제출하여야 한다. 이 경우 관리감독기관의 장은 법 제9조에 따른 기반 시설 관리계획 수립 시 이를 포함하여야 한다.

**제00조(성능등급의 설정 등)** ① 저수지 유형별 성능등급 기준은 **별표 4**를 따른다.

③ 제00조에 따라 성능평가를 실시하는 자는 제1항에 따라 설정된 성능등급 기준에 적합하게 성능등급을 지정하여야 한다.

**제00조(목표등급의 설정)** ① 저수지의 목표등급은 유형별 특성과 사회적 파급효과 등을 고려하여 최소유지관리 목표는 “**B등급**”으로 설정한다.

② 관리주체는 제2항의 목표등급의 수준 및 달성시기와 달성방법 등을 고려하여 보수보강 및 성능개선 등에 관한 구체적 실행계획을 수립하고 이를 관리감독기관의 장에게 제출하여야 한다.

⑦ 관리감독기관의 장은 제2항에 따른 사항을 기반시설 관리계획 수립 시 반영하여야 한다.

**제00조(성능평가 실시결과의 제출)** 관리주체는 성능평가를 실시한 경우 그 결과를 별지00호의 서식에 따라 작성하여 관리감독기관의 장에게 제출하여야 하며, 관리감독기관의 장은 그 결과를 기반시설 관리계획 수립 시 반영하여야 한다.

**제00조(유지관리 등 대책 수립)** ① 관리주체는 소관 저수

지를 최소유지관리기준 이상으로 유지관리하여야 한다.

② 관리주체는 설정한 최소유지관리기준 및 생애주기비용 등을 고려하여 소관 기반시설의 효율적인 유지관리를 위한 단기계획 및 중장기계획을 수립한다.

③ 제2항의 경우 구조적 안전성, 내구성, 사용성 등의 성능을 종합적으로 고려하고, 중요도, 위험도 등을 반영하여 유지관리의 우선순위를 선정하여야 한다.

④ 제2항 및 제3항에도 불구하고 관리감독기관의 장 및 관리주체는 다음 각 호에 해당하는 경우 우선적으로 보수·보강 등의 유지관리를 실시할 수 있다.

1. 제00조에 따라 성능평가 실시 결과 안전성에 저하가 우려되어 보수·보강이 시급한 경우

2. 기반시설의 붕괴·전도 등이 발생할 위험이 있거나 위험도가 높은 관로 및 노후화가 진전되어 땅꺼짐 사고 예방 등을 위해 긴급보수가 필요한 경우

3. 그 밖에 국토교통부장관, 관리감독기관의 장 및 관계 중앙행정기관의 장이 기반시설의 구조상 공중의 안전한 이용에 중대한 영향을 미칠 우려가 있다고 판단하는 경우

⑤ 관리주체는 제2항부터 제4항까지의 유지관리 우선순위 선정이 포함된 계획수립 및 유지관리 실시결과를 관리감독기관의 장에게 제출하여야 한다.

⑥ 관리주체는 제1항부터 제4항까지에 따라 소관 기반시설의 유지관리를 실시하는 경우 법 제13조제1항에 따라 지속적인 유지관리에 비해 성능개선이 더 유리한지의 여부에 대해 판단해야 한다. 이 경우 그 방법 및 절차는 「성능개선기준」을 따른다.

### 제3장 최소유지관리기준의 고시 및 이력관리

제00조(최소유지관리기준의 설정·고시) 최소유지관리기준은 법 제11조제3항에 따라 국토교통부장관 및 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여야 설정·고시한다. 고시된 기준을 변경(영 제7조에 따른 경미한 사항을 변경하는 경우는 제외한다)하려는 경우에도 또한 같다.

제00조(최소유지관리기준의 이력 관리) 관리감독기관의 장은 소관 저수지 유형별 최소유지관리기준의 수립, 변경 이력 및 그 사유 등에 대하여 농업기반시설관리시스템을 이용하여 추적관리하여야 한다.

### 제4장 보칙

제00조(재검토기한) 농림축산식품부장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」(대통령 훈령 334호)에 따라 이 고시에 대하여 2020년 00월 00일 기준으로 매 3년이 되는 시점마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

### 부칙

제00조(시행일) 이 고시는 법 시행일(2020년 1월 1일) 이후 법 제18조에 따른 기반시설관리위원회의 심의를 거쳐 ~~하는 날로부터 시행한다.



저수지 성능평가 및 성능개선기준 지침(안)  
[성능평가 매뉴얼 포함]





「지속가능한 기반시설 관리 기본법」 제13조의 규정에 따라 “저수지 성능평가 및 성능개선기준에 관한 지침”을 다음과 같이 제정하여 고시합니다.

0000년 00월 00일  
농림축산식품부장관

## 저수지 성능평가 및 성능개선기준에 관한 지침

### 제1장 총 칙

**제1조(목적)** 이 지침은 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(이하 “법”이라 한다) 제12와 제13조 따라 저수지 성능평가 및 성능개선기준에 대한 방법·절차 등에 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.

**제2조(용어의 정의)** 이 지침에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. “저수지”란 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조제6호에 따른 기반시설을 말한다.
2. “성능개선”이란 저수지의 주요구조부나 외부 형태를 수선·변경하여 저수지의 가치를 증가시키고 수명을 연장시키는 활동으로 개량(대수선 포함), 증설확장, 개량개축을 말한다.
3. “유지관리”란 완공된 저수지의 기능을 보전하고, 이

용자의 편의와 안전을 높이기 위하여 저수지를 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하며 경과 시간에 따라 요구되는 저수지의 보수(소수선 포함)·보강(소규모) 등에 필요한 활동을 하는 것을 말한다.

4. “성능개선기준”이란 저수지의 관리주체가 유지관리 보다는 성능개선이 더 유리한지에 대해 판단할 수 있는 항목 및 방법과 관련된 기준을 말한다.

5. “성능평가”란 저수지의 기능을 유지하기 위하여 요구되는 구조적 안전성능, 내구성능, 사용성능 등의 성능을 종합적으로 평가하는 것을 말한다.

6. “안전성능”이란 농업기반시설의 외관상 결함 및 가해지는 하중에 의해 발생하는 손상에 저항하는 성능을 말한다.

7. “내구성능”이란 농업기반시설의 사용수명 동안 요구되는 기능을 유지시키기 위한 시설의 성능을 말한다.

8. “사용성능”이란 농업기반시설의 사용과 수요 측면에서 적절한 편의와 기능을 제공하는 성능을 말한다.

9. “성능목표”란 저수지의 사용 가능한 연수 동안 본연의 성능 및 기능을 유지·확보할 수 있는 효율적인 시설물의 유지관리 수준을 말한다.

10. “관리주체”란 관계 법령에 따라 기반시설의 관리책임을 지는 다음 각 목의 자를 말한다.

가. 국가·지방자치단체

나. 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관(이하 "공공기관"이라 한다)

다. 「지방공기업법」에 따른 지방공기업

11. “관리감독기관”이라 함은 다음 각 목의 자를 말한다.
- 가. 관리주체가 중앙행정기관의 소속 기관이거나 감독을 받는 기관인 경우: 소속 중앙행정기관
  - 나. 가목 외의 관리주체인 경우: 해당 기반시설이 소재한 특별시·광역시·특별자치시·도·특별자치도

## 제2장 성능평가의 실시

**제3조(성능평가 일반)** ① 성능평가의 목적은 현장조사 및 각종 시험에 의해 저수지의 노후도, 기준의 변화, 사용성의 변화 등 시설의 성능을 종합적으로 평가하여 객관적인 현재의 상태와 미래의 성능 변화를 파악·예측하고 이를 통해 관리주체가 보수·보강 또는 성능개선 등의 최적 시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는데 있다.

② 관리주체는 소관 저수지에 대하여 시행계획에 따라 체계적이고 일관성 있는 성능평가를 실시해야 한다.

### **제4조(안전점검 및 정밀안전진단과 성능평가의 관계)**

① 관리주체는 소관 저수지에 대한 성능평가를 놓어준 정비법 제18조에 따른 안전점검 및 정밀안전진단을 포함하여 실시하거나 성능평가 착수일을 기준으로 3년 이내에 완료된 최근의 정기점검·정밀진단 또는 다른 법령에 따른 점검·진단·검사 등의 결과를 활용할 수 있다.

② 관리주체는 제1항에 따라 안전점검 및 정밀안전진단 결과를 활용하는 데 있어 그 자료가 부족한 때에는 관련된 과업을 추가하여 실시할 수 있다.

**제5조(자료의 수집 등)** 관리주체는는 성능평가를 시행하기 위하여 다음 각 호의 자료를 수집·분석하여야 한다.

1. 저수지의 설계도서 및 시공 관련 자료
2. 저수지의 정기점검, 긴급점검 및 정밀진단 결과
3. 저수지의 보수·보강·증축·개량 및 교체공사 관련 자료
4. 저수지의 성능평가 결과

**제6조(성능평가 대상)** ① 성능평가 대상 저수지는 다음 각 호와 같이 구분한다.

1. 저수지 : 제체, 여수로, 취수시설
- ② 저수지의 성능평가를 체계적으로 수행하고, 성능평가 결과를 효율적으로 관리하기 위하여 저수지를 **별표 1**에 따른 분류체계 및 분류코드로 구분한다.
- ③ 관리주체는 소관 저수지의 특성을 고려하여 제2항에 따른 성능평가 대상 저수지를 추가·수정·삭제할 수 있다.
- ④ 성능평가는 전수조사를 원칙으로 한다. 다만, 표본조사를 통하여 저수지 전체 성능을 확인할 수 있는 경우에는 표본조사를 실시할 수 있다.
- ⑤ 관리주체는 제4항 단서에 따라 표본조사를 실시하는 경우에는 해당 저수지의 성능을 대표할 수 있도록 시설·전기·통계 등 관련 분야 전문가 의견을 반영하여 객관적이고 과학적인 기준에 따라 표본의 수량을 정하여야 하며, 성능평가 결과보고서에 전수조사가 불가능한 사유 및 표본의 수량 산출 근거를 명시하여야 한다.

**제7조(성능평가 절차)** 성능평가 시행을 위한 세부적인 절차는 **별표 2**를 따른다.

**제8조(성능평가실시자의 자격)** ① 성능평가를 실시하는 경

우 전문성을 갖춘 기관 또는 자에게 의뢰하여야 한다.

② 제1항의 경우 성능평가를 실시하는 책임기술자 및 참여기술자는 성능평가 전반에 대한 설계 및 평가, 성능회복과 유지관리를 포함한 공학적 및 기술적인 면에서 전반적인 지식을 갖춘 자로서, 관계 법령에서 정하는 바에 따른 기술자격, 경력 및 교육 등의 자격요건을 갖추어야 한다.

③ 관리감독기관의 장은 기반시설 관리계획의 수립 시 제2항에 따른 성능평가 실시자의 자격을 포함하여야 한다.

**제9조(성능평가 실시계획의 수립)** ① 관리주체는 소관 저수지에 대한 성능평가를 착수하기 전에 성능평가 실시계획을 수립하여야 한다.

② 제1항에 따른 성능평가 실시계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 저수지 성능평가 대상
2. 저수지 성능평가 실시자 및 세부일정
3. 저수지 성능평가 기준 및 평가방법
4. 저수지에 대한 성능목표 및 관리지표
5. 저수지의 성능목표 달성 방법에 관한 사항
6. 결과보고서 작성 등 후속조치에 관한 사항

**제10조(성능평가의 방법)** ① 저수지에 대한 성능평가는 안전성능, 내구성능 및 사용성능으로 구분하여 평가한다.

② 관리주체는 **별표 3**에 따른 평가항목·기준·방법에 따라 성능평가를 실시하여야 한다. 다만, 관련 자료가 부족하거나 평가방법 변경 등이 필요한 경우에는 관리주체가 별도의 평가기준·항목·방법을 정하여 성능평가를

실시할 수 있다.

③ 관리주체는 제2항 단서에 따라 별도의 평가기준·항목·방법을 정하는 경우에는 그 내용을 제12조에 따른 성능평가 결과보고서에 따른 시행계획에 그 사유를 명시하여야 한다.

④ 관리주체는 일관되고 효율적인 성능평가를 위해 이 지침의 내용을 반영하여 세부적인 성능평가 계획을 수립하여야 한다.

**제11조(성능평가 결과의 정리)** ① 관리주체는 해당 저수지에 대한 성능평가 결과를 **별표 4**에 제시된 종합평가 방법에 따라 성능평가지수와 성능평가등급으로 제시하여야 한다.

② 관리주체는 개별 저수지에 대한 성능평가 결과를 지역별, 유역별, 세부부재로 구분하여 분석하고, 그 결과를 제시하여야 한다.

③ 관리주체는 성능평가 결과를 활용하여 보수·보강의 우선순위와 방법 등을 검토·분석하여 저수지의 성능목표를 달성할 수 있는 합리적인 유지관리 전략을 제안하여야 한다.

**제12조(성능평가 결과의 보고)** ① 관리주체는 **별표 5**의 표준목차에 따라 소관 저수지에 대한 성능평가 결과보고서를 작성하고, 이를 관리감독기관의 장에게 제출하여야 한다.

② 관리주체는 소관 저수지에 대한 성능변화 추이를 분석하여 체계적이고 과학적인 유지관리 계획을 수립·시행할 수 있도록 제1항에 따른 성능평가 결과보고서를

보존하고 관리하여야 한다.

**제13조(성능평가 결과의 조치)** ① 관리주체는 소관 저수지의 성능평가등급이 목표등급 이하인 경우 해당 저수지의 성능을 향상하기 위한 보수·보강 등 유지관리 계획을 수립·시행하여야 한다.

② 관리주체는 제1항에도 불구하고 소관 저수지의 안전성능, 내구성능, 사용성능 중 어느 하나 이상이 목표등급 이하인 경우에는 해당 저수지의 해당 성능을 향상하기 위한 보수·보강 등 유지관리 계획을 수립·시행하여야 한다.

**제14조(자체 위원회)** ① 관리주체는 분야별 전문가를 포함한 자체 위원회를 구성하여 성능평가 방법, 대상, 결과의 적정성 등을 심의해야 한다.

② 자체 위원회에서 심의하는 사항은 다음 각 호와 같다.

1. 제4조제1항에 따른 안전점검·정밀안전진단 결과활용의 적정성에 관한 사항
2. 제6조제3항에 따른 성능평가 대상 저수지의 적정성에 관한 사항
3. 제6조제4항에 따른 표본조사의 적정성에 관한 사항
4. 제9조에 따른 성능평가 실시계획의 적정성에 관한 사항
5. 제10조에 따른 성능평가 방법의 적정성에 관한 사항
6. 제11조에 따른 성능평가지수와 성능평가등급의 적정성에 관한 사항
7. 제13조에 따른 유지관리 계획의 적정성에 관한 사항
8. 그 밖에 성능평가 시행에 관한 사항으로 관리주체가

필요하다고 인정하는 사항

### 제3장 성능개선기준

**제15조(적용범위 및 내용)** ① 이 기준은 법 제4조에 따른 저수지의 성능개선에 대해 적용하며, 관리감독기관에서 시설유형별로 성능개선(사업) 추진 여부를 검토하여 관리계획을 수립할 때 활용할 항목과 평가방법 등과 관련한 구체적인 내용은 다음 각 호와 같이 구분하여 제시한다.

1. 대상 선정 적합성 검토를 통한 성능개선 대상 저수지 선정

가. 저수지 관련여건변화(기준, 수요등) 검토

나. 저수지 현재상태(물리적 상태, 성능등) 판단

다. 성능개선 유형 및 대안 수립

2. 선정된 대상 저수지별 성능개선 사업 효율성 판단

가. 대상사업 특성(사업 규모 및 성격) 검토

나. 사업 효율성 판단(기술적 판단, 경제성평가, 정책성평가) 시행

다. 종합평가 및 성능개선 사업여부 최종 결정

② 이 기준에서 정하지 않은 성능개선기준의 방법, 절차 등에 관해서는 개별 법률에서 정하는 바에 따르되, 다른 법률을 제정하거나 개정하는 경우에는 이 법의 목적과 기본원칙에 맞도록 하여야 한다.

**제16조(대상 선정의 적합성 검토)** ① 법 제9조에 따른 공용중인 저수지 성능개선 관리계획, 법 제14조에 따른



실태조사 내용 및 **별표6**의 시설현황조사표 등을 통해 저수지 부위 분류(국토교통부 「건설정보분류체계」 등 기준) 범위를 선정한다.

② 제1항의 내용을 기초자료로 하여 다음 각호와 같은 저수지 관련 여건변화 파악 및 현재상태 판단을 통해 적용대상 저수지 중에서 성능개선 대상시설을 1차적으로 선정한다.

1. 성능평가 외에 시간 경과 및 환경 변화에 따른 설계·시공 기술수준의 변화, 시설물 사용수요, 서비스 수준 등 증가 등을 고려하는 '여건변화'

2. 시설유형별 개별기준에 따른 성능평가 결과 등을 기준으로 대상 시설(부위 또는 부재)을 선정하는 '시설 현재상태 판단(성능평가 등)'

③ 제2항제2호의 경우 다음 각호를 고려하여 현재상태 판단 기준으로 활용할 수 있다.

1. 저수지의 안전성과 장기적인 유지관리 효율성을 확보하기 위해 시설이 만족해야 할 성능목표 설정

2. 기준 등급 이하 저수지에 대해 성능개선 분석대상 여부 확정

3. 저수지의 시설유형별 성능평가 기준이 없는 경우 관계 법령에 따른 상태평가 또는 안전성평가 등 기준 활용방안 검토

④ 성능개선 비대상 시설은 법 제10조 및 제11조에 따른 유지관리를 지속하는 것을 원칙으로 한다.

**제17조(대상사업의 유형)** ① 저수지의 유지관리 중 성능 개선을 추진할 수 있는 기본검토사항은 다음 각 호의

사항을 포함한다.

1. 시간경과에 따라 시설의 노후화 또는 수요의 증가 등으로 서비스 수준(효과)이 낮아져 효용(편익)이 저감된 경우

2. 시설의 효용은 발휘되고 있으나 시설의 노후화로 유지관리비가 많이 소요되지만 신설투자가 어려운 경우

3. 내구연한(잔존수명)이 남아 있으나, 시설의 효용을 증대시켜 서비스의 획기적 향상이 기대되는 경우

4. 소규모 투자로 신설 당시의 서비스의 회복이 가능한 경우

② 성능개선 사업은 제1항에 따른 기본검토에 따른 사업의 목적, 필요성에 따라 다음 각 호의 유형 특성을 고려하여 설정한다.

1. '노후화 성능개선' 은 저수지 전체 또는 일부 부재 기능이 파손 또는 노후화되어 기존 시설물 일부를 해체·폐기하고 교체·신설하는 경우

2. '기준변화 성능개선' 은 기후·환경변화, 기술수준 변화 등으로 인해 저수지의 현시점에서 요구되는 설계 기준 또는 성능이 설계당시 기준보다 상향됨으로써 성능개선이 필요한 경우

3. '사용성변화 성능개선' 은 시설 설계당시보다 사용성 변화(수요 증가, 요구 서비스수준 증가 등)로 서비스 수준 및 용량 변경·확대가 불가피함으로써 성능개선이 필요한 경우

③ 제2항에 따른 각 유형별 세부 실행대안은 개량, 증설확장, 개량개축으로 구분하여 구체적으로 실시할 수

있으며, 사업유형에 대한 예시는 **별표7**을 참고한다.

**제18조(대상사업 특성 검토)** ① 제4조 및 제5조에 따라 1차적으로 성능개선 대상사업으로 선정된 대안별 사업규모를 산정하여 다음 각 호에 해당하는 사업은 성능개선 기준 적용대상에서 제외한다.

1. 국가재정법 제38조 제5항의 규정에 따른 '예비타당성조사' 대상사업으로 총사업비가 500억원 이상이면서 국가의 재정지원 규모가 300억원 이상인 건설사업

2. 건설공사 타당성 조사 지침 제3조에 따른 '건설공사 타당성 조사' 대상사업으로 총공사비가 500억원 이상인 건설공사

② 국가재정법 제38조 제2항에 따라 다음 각 호에 해당하는 사업은 성능개선기준 적용대상에서 제외(면제)한다.

1. 「재난 및 안전관리기본법」 제3조제1호에 따른 재난(이하 "재난"이라 한다)복구 지원, 시설 안전성 확보, 보건·식품 안전 문제 등으로 시급한 추진이 필요한 사업

2. 재난예방을 위하여 시급한 추진이 필요한 사업

3. 지역균형발전, 긴급한 경제·사회적 상황 대응 등을 위하여 국가 정책적으로 추진이 필요한 사업으로서 다음 각 목의 요건을 모두 갖춘 사업

가. 사업목적 및 규모, 추진방안 등 구체적인 사업계획이 수립된 사업

나. 국가 정책적으로 추진이 필요하여 국무회의를 거쳐 확정된 사업

**제19조(사업 효율성 판단)** ① 사업 효율성 판단의 준거

사업은 법 제10조 및 제11조에 따른 기존 유지관리를 지속하는 것(성능개선 미시행)이 되며, 이와 성능개선 대안과의 비교를 통해 성능개선 유·불리 여부를 판단한다.

② 제4조 및 제5조에 따라 1차적으로 성능개선 대상사업으로 선정된 대안별 다음 각 호의 내용을 포함하여 사업 효율성 판단을 실시한다.

1. '기술적판단'은 시설 현재상태(관계 법령에 의한 물리적 상태평가, 성능평가 등) 고려

2. '경제성평가'는 수요, 비용, 편익 등 고려

3. '정책성평가'는 사업추진여건, 정책효과, 재원조달 가능성 등 고려

③ 성능개선기준 운용을 위한 기초수집자료는 다음 각 호의 사항을 고려하여 활용한다.

1. 성능평가 등 시설 현재상태 평가 결과

2. 경과년수

3. 서비스 제공 수준(시설물 성능 요구 수준), 시설 수요

4. 유지관리비(현재와 미래)

5. 성능개선 소요 비용

6. 시설유형과 위치

④ 시설유형별 성능개선 사업특성상 제2항의 모든 평가요소를 활용한 평가에 실익이 없는 사업은 평가요소 포함여부를 조정할 수 있다.

⑤ 성능개선기준 항목 예시는 [별표8](#)을 참고한다.

**제20조(기술적판단)** ① 기술적판단은 손상, 노후, 낮은 서비스 수준 등 성능저하가 큰 저수지의 성능개선을 우선적으로 추진하기 위한 시설 현재상태를 평가하는 것으로

로서 법 제11조 및 제12조에 의한 관리주체별 최소유지 관리기준 및 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에 따른 시설상태 및 성능에 관한 평가 등 다른 관계 법령에 따른 결과를 활용한다.

**제21조(경제성평가)** ① 경제성평가는 대상사업의 국민 안전과 편리관점에서 장기적인 사회·경제적 파급효과와 투자 적합성을 평가하는 것으로서 비용-편익분석(Cost-Benefit), 순현재가치(NPV, Net Present Value) 분석을 기본적인 방법론으로 활용하되, 시설유형 및 성능개선사업 대안 특성에 따라 경제성분석 수준 및 방법의 변경이 필요한 다음 각호의 경우 대안을 고려할 수 있다.

1. 관련 법령에 따라 추진되는 사업 등 경제성 여부에 관계없이 반드시 추진되어야 하는 사업으로 평가의 실익이 없는 사업의 경우 경제성평가 불필요

2. 수요·편익 등을 산출하기 위한 기초자료가 부족하거나 편익을 산출하기 위한 지침 등이 부족한 경우 경제성평가 한계

② 일반적으로 경제성평가는 다음 각 항의 요소를 고려하여 세부항목을 설정하여 수행한다.

1. 해당 지역 저수지 수혜대상자(사용자) 사용량 등 '수요'

2. 개량투자비(조사, 설계, 공사), 보상비(필요시), 부대비, 운영비(운영관리비, 유지관리비) 등 '비용'

3. 시설 서비스의 양(수요)과 질(수준) 등 '편익'

③ 경제성평가의 편익 산정을 위한 세부 항목은 저수지 특성을 고려하여 반영한다.

④ 경제성평가의 비용과 편익 산정시 성능개선 사업미시행(유지관리)을 기준으로 하여 시행시 기존 시설부분을 제외한 비용과 편익의 증분( $\Delta$ )을 산정하는 것을 원칙으로 하되 증분의 산정이 어려운 경우 기존 시설부분을 고려하는 것을 검토할 수 있다.

⑤ 경제성평가지 모든 비용과 편익은 동일 시점(기준연도)을 기준으로 할인하고 분석기간은 일반적으로 시설내구연한을 감안하여 설정한다.

⑥ 총 편익을 투입된 총비용으로 나눈 비인 B/C 값을 기준으로 기존 유지관리대비 성능개선 대안 투자의 효율성을 상대적으로 판단할 수 있다.

**제22조(정책성평가)** ① 정책성 평가는 사업시행으로 인한 사회적 편익 또는 비용중에서 계량화하여 비용-편익으로 산출하기는 곤란하나 사업 추진 여부를 판단하는데 고려해야 할 평가요소를 고려하는 것으로 다음 각 호와 같다.

1. 관련정책 및 계획과의 일치성, 지역주민 사업수용성 등 사업추진여건

2. 일자리 효과, 생활여건 영향, 환경성, 안전성 등 정책효과

3. 재원조달 가능성 등 특수평가항목

② 정책성평가항목은 관리감독기관 및 관리주체의 저수지 관리목표 및 방향을 고려하여 설정한다.

**제23조(종합평가)** ① 종합평가는 성능개선 추진 여부 판단을 위해 기술적판단, 경제성평가, 정책성평가를 실시하여 이를 종합하여 최종적으로 평가한다.

② 평가방법은 계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process) 또는 평가항목 배점방식을 적용하여 계량화된 수치로 도출한다.

## 제4장 보 칙

**제24조(재검토기한)** 농림축산식품부장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 이 고시에 대하여 20xx년 x월 xx일을 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 x월 xx일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

## 부 칙

이 고시는 발령한 날부터 시행한다.





[별표 1] 농업기반시설 분류체계 및 시설분류코드

(1) 농업기반시설 분류코드

- 성능평가를 위한 데이터 관리용도로 지역, 유역, 시설물, 중분류, 소분류, 그리고 개별시설별 고유순번으로 구분하여 다음과 같이 부여한다.

지역 (4자리)	유역 (3자리)	시설물 (1자리)	중분류 (3자리)	소분류 (2자리)	순번 (3자리)
1010	001	0	A11	00	000

(2) 농업기반시설 코드번호(전체)

가. 저수지(7개 중분류, 19개 시설) : A

시설물	중분류	소분류	코드번호
저수지	제체 및 양안부	댐마루	
		상류사면	
		하류사면	
		기초 및 양안부	
	여수로	접근수로	
		조절부	
		급경사로	
		감세공	
	취수시설 및 방수로	취수탑	
		제진 격자망	
		독과 사면	
	기계설비	권양기	
		수문 및 문틀	
	전기설비	현장제어반 및 조작반	
		구동모터 및 브레이크	
	일반적인 콘크리트 구조물	일반 구조물	
		수처리 구조물	
	건축물	조작실	
		권양기실	

나. 양·배수장(20개 중분류, 41개 시설) : B

대분류	중분류	소분류	코드번호
토목구조물	흡입수로	옹벽	
		슬라브	
	내부	기계설치대	
	토출수로	토류벽	
옹벽			
건축구조물	기둥	-	
	보, 벽체	-	
	슬래브	-	
	도장	-	
	옥상	-	
	침하	-	
	크레인레일	-	
기계설비	펌프	-	
	밸브	-	
	배관	-	
	스크린	-	
	수문	-	
	기중기	-	
전기설비	수변전시설	특고압인입개폐기	
		특고압계기용변성기	
		주차단기	
		조작전원용변압기	
		저압동력용변압기	
		주변압기	
		보호외함, 울타리	
		피뢰기, 피뢰도선	
	특고케이블, 전선		
	배전설비	고압개폐기	
		고압차단기	
		고압접촉기	
		고압리액터	
		고압콘덴서	
		고압변성기류	
		보호계전기류	
		보호외함	
	동력설비	주전동기류	
		저압전동기류	
	기타설비	배관매선설비	
		조명기기	
		접지설비	
		피뢰설비	

[별표 2] 농업기반시설 성능평가 절차

절차	주요 내용						
<b>성능평가 대상선정</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업기반시설 분류체계(대→중→소)에 따라 평가대상 시설을 선정</li> <li>전수 평가를 원칙으로 하되, 필요시 표본조사 가능</li> <li>효율적인 평가를 위해 지역별, 시설별로 구분하여 시행 가능</li> </ul>						
<b>자료분석</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>평가대상 시설에 대한 도면, 계산서 등 관련 자료를 수집·분석</li> <li>- 설계도서·준공도서, 보수·보강·증축·개량공사 관련 자료 과거 안전점검·긴급점검·정밀안전진단·성능평가 자료 등</li> </ul>						
<b>성능목표 설정</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>평가대상 농업기반시설의 안전성과 장기적인 유지관리 효율성을 확보하기 위해 농업기반시설이 만족해야 할 성능목표를 설정</li> <li>영 제9조에 따른 실시계획에서 농업기반시설의 종합적인 성능, 안전관리 목표, 예산여건 등을 고려하여 결정</li> </ul>						
<b>성능평가 시행</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>(개별시설 평가)</b> 개별시설에 대한 성능평가지수, 성능평가등급 산정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소분류 개별시설에 대해 평가항목별로 시험·검사·평가 시행</li> <li>- 항목별 평가점수를 바탕으로 안전성·내구성·사용성 성능 및 개별시설에 대한 성능평가지수와 성능평가등급 산정</li> </ul> </li> <li><b>(결과분석)</b> 지역별·시설별 성능평가지수·등급 산정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개별시설 평가결과를 소·중·대분류별 중요도(가중치)를 고려하여 대분류별, 노선별, 구간별 농업기반시설 성능평가지수·등급을 산정</li> </ul> </li> <li><b>(종합평가)</b> 전체 시설에 대한 성능평가지수·등급을 산정하고, 성능평가지수가 낮은 지역·시설을 제시하고 그 사유를 분석</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #d9ead3;">개별시설 평가</th> <th style="background-color: #d9ead3;">결과분석</th> <th style="background-color: #d9ead3;">종합평가</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="font-size: small;">                             ▪ 개별시설 안전성·내구성·사용성 평가                              ▪ 개별시설 성능평가 지수·등급 산정                              예) 저수지 = 2.9(C등급)                         </td> <td style="font-size: small;">                             ▪ 지역별·시설별·성능평가 지수·등급 산정                              예) 저수지 = 3.7(B등급)                              경기도 = 2.8(C등급)                         </td> <td style="font-size: small;">                             ▪ 전체시설 성능평가 지수·등급 산정                              ▪ 성능평가지수가 낮은 지역·시설 제시                              예) 경기도 저수지 = 3.3(C등급)                         </td> </tr> </tbody> </table>	개별시설 평가	결과분석	종합평가	▪ 개별시설 안전성·내구성·사용성 평가 ▪ 개별시설 성능평가 지수·등급 산정 예) 저수지 = 2.9(C등급)	▪ 지역별·시설별·성능평가 지수·등급 산정 예) 저수지 = 3.7(B등급) 경기도 = 2.8(C등급)	▪ 전체시설 성능평가 지수·등급 산정 ▪ 성능평가지수가 낮은 지역·시설 제시 예) 경기도 저수지 = 3.3(C등급)
개별시설 평가	결과분석	종합평가					
▪ 개별시설 안전성·내구성·사용성 평가 ▪ 개별시설 성능평가 지수·등급 산정 예) 저수지 = 2.9(C등급)	▪ 지역별·시설별·성능평가 지수·등급 산정 예) 저수지 = 3.7(B등급) 경기도 = 2.8(C등급)	▪ 전체시설 성능평가 지수·등급 산정 ▪ 성능평가지수가 낮은 지역·시설 제시 예) 경기도 저수지 = 3.3(C등급)					
<b>유지관리 전략제안</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>관리등급 이하 시설에 대한 보수·보강 방법 제시</li> <li>지역별·시설별 보수·보강 우선순위를 검토</li> <li>농업기반시설 성능목표를 달성을 위한 합리적인 유지관리 전략 제시</li> </ul>						
<b>종합결론</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>성능평가 결과, 유지관리 시행방안(연차별 계획, 예산확보 등)</li> </ul>						

※ 최초 성능평가 시, 성능목표 및 관리지표를 설정하여 성능평가를 실시하고, 성능평가 결과를 토대로 전문가집단의 자문을 반영하여 성능목표 및 관리지표를 조정할 수 있음.

[별표 3] 저수지 성능평가 기준

(1) 공통사항

평가부문	평가항목	평가기준	점수	중요도
안전성능	상태평가 결과	a	5	
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
	안전성평가 결과	a	5	
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
내구성능	콘크리트 압축강도	추정 압축강도가 설계기준강도 이상인 경우	5	
		추정 압축강도가 설계기준강도의 100%이상이고 경미한 손상이 있는 경우	4	
		추정 압축강도가 설계기준강도의 85%이상이고 100% 미만인 경우	3	
		추정 압축강도가 설계기준강도의 70%이상이고 85% 미만인 경우	2	
		추정 압축강도가 설계기준강도 70% 미만인 경우	1	
	탄산화 잔여깊이	30mm 이상	5	
		10mm 이상 ~ 30mm 미만	4	
		0mm 이상 ~ 10mm 미만	3	
		0mm 미만	2	
			1	
사용성능	부재별 평가	사용 특성에 맞게 개별항목 평가	1~5	

1) 안전성능평가

가. 상태평가

- 저수지의 상태평가 결과는 안전점검 및 정밀안전진단 결과에 따른 상태등급이 있는 경우에는 안전등급을 활용한다. 안전등급을 별도로 평가하지 않는 구조물의 경우에는 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 상태(결함 및 손상)를 토대로 평가할 수 있다.

등급			상태평가 결과	
평가점수	평가등급	상태	안전등급	물리적 상태
5	a	우수	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 A	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 B	보조부재에 경미한 결함, 손상, 변위가 발생하였으나, 안전성과 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
3	c	보통	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 C	주요부재에 경미한 결함, 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 사용성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강(교체 포함)이 필요한 상태
2	d	미흡	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 D	주요부재에 결함, 손상, 변위가 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
1	e	불량	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 E	주요부재에 발생한 심각한 결함, 손상, 변위로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개량, 또는 개축을 하여야 하는 상태

나. 안전성평가

- 저수지의 안전성평가 결과는 정밀안전진단 결과에 따른 안전등급이 있는 경우에는 안전등급을 활용한다. 안전등급을 별도로 평가하지 않는 구조물의 경우에는 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 상태(결함 및 손상)를 토대로 평가할 수 있다.

등급			상태평가 결과	
평가 점수	평가 등급	상태	안전등급	물리적 상태
5	a	우수	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 A	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 B	보조부재에 경미한 결함, 손상, 변위가 발생하였으나, 안전성과 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
3	c	보통	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 C	주요부재에 경미한 결함, 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 사용성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강(교체 포함)이 필요한 상태
2	d	미흡	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 D	주요부재에 결함, 손상, 변위가 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
1	e	불량	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 E	주요부재에 발생한 심각한 결함, 손상, 변위로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개량, 또는 개축을 하여야 하는 상태

2) 내구성능 평가

- 저수지의 내구성능은 콘크리트의 압축강도와 탄산화 잔여깊이를 기준으로 평가한다.

3) 사용성능

- 저수지의 사용성능은 부재별 사용성 기준에 의해 평가한다.

(2) 상태평가

1) 제체 및 양안부

- 댐마루는 균열, 침하, 수평변위, 제체 유실, 사면 안정여부를 다음 기준에 의해 평가한다.

[댐마루]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
중·횡 방향 균열	중요 결함	1.0	5	a	우수	-중·횡방향 균열이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-중·횡방향 균열길이 0~1m, 제정의 10% 이하인 상태
			3	c	보통	-중·횡방향 균열길이 1~5m, 제정의 10~50% 이하인 상태
			2	d	미흡	-중·횡방향 균열길이 5m이상, 제정의 50% 이상 -난간이 기울어진 상태
			1	e	불량	-중·횡방향 균열길이 5m이상, 제정의 50% 이상 -중방향 균열깊이가 저수위 이하이고, 횡방향 균열이 깊고 저수위 이하까지 진행되었을 경우
침하	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-침하 및 부등침하량이 10cm 이하로 경미한 상태
			3	c	보통	-과다한 침하 및 부등침하량이 10~50cm인 상태
			2	d	미흡	-과다한 침하 및 부등침하량이 10~50cm인 상태 -댐마루 도로의 경사와 사면이 함몰된 상태
			1	e	불량	-과다한 침하 및 부등침하량이 50cm 이상 -상시만수위 0.6m까지 진행된 매우 위험한 상태
수평 변위	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-과도한 수평변위가 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-과도한 수평변위의 징후가 존재하나 경미한 상태 (용기 0~50cm, 축방이동 0~30cm 변위 발생시)
			2	d	미흡	-과도한 수평변위로 댐마루 도로의 변형이 심각한 상태 (용기 50cm 이상, 축방이동 30cm 이상 변위 발생시)
			1	e	불량	-과도한 수평변위로 댐마루 도로의 변형이 매우 위험한 상태 (용기 50cm 이상, 축방이동 30cm 이상 변위 발생시)
제체 유실	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-댐마루 제체의 유실면적이 5㎡ 이하인 상태
			3	c	보통	-댐마루 제체의 유실면적이 5~15㎡ 인 상태
			2	d	미흡	-댐마루 제체의 유실면적이 15㎡ 이상 심각한 상태 (침하량과 누수량이 서서히 증가, 함몰, 누수의 변색 등의 징후가 나타남)
			1	e	불량	-댐마루 제체의 유실면적이 15㎡ 이상 매우 위험한 상태 (침하량과 누수량이 급격히 증가, 함몰, 누수의 변색 등의 징후가 나타남)
사면 불안정	중요 결함	1.0	5	a	우수	-최상의 건전한 상태
			4	b	양호	-댐체에 슬라이딩 길이가 1m 이하의 손상이 있는 상태
			3	c	보통	-댐체에 슬라이딩 길이가 1~2m 이하의 손상이 있는 상태
			2	d	미흡	-댐체에 슬라이딩 길이가 2m 이상의 손상이 있는 상태
			1	e	불량	-댐체에 슬라이딩 길이가 2m 이상 매우 위험한 상태

- 상류사면은 누수, 침하 및 변형, 차수벽의 노후화, 사면의 불안정 및 노후화, 사면 침식에 대해서 다음 기준에 의해 평가한다.

[상류사면]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
누수	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-댐체를 통한 누수가 일정한 양호한 상태
			3	c	보통	-댐체를 통한 누수가 크게 증가하지 않는 보통의 상태
			2	d	미흡	-댐체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상이 시작되는 심각한 상태
			1	e	불량	-댐체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상, 저수지 수위의 저하, 함몰 등의 현상이 매우 심각한 상태
침하 및 변형	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-침하깊이 0~10cm, 제체의 변형 0~10%인 상태
			3	c	보통	-침하깊이 10~50cm, 제체의 변형 10~50%인 상태
			2	d	미흡	-침하깊이 50cm 이상, 제체의 변형 50% 이상인 상태
			1	e	불량	-침하깊이 50cm 이상, 제체의 변형 50% 이상 위험한 상태
차수벽 노후화	중요 결함	1.0	5	a	우수	-차수벽의 노후화가 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-차수벽의 노후화가 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-차수벽의 노후화가 경미한 상태 (슬래브 균열폭<0.1mm, 조인트 열림<2.0mm, 철근부식확률 50%일 때)
			2	d	미흡	-차수벽의 노후화가 심각한 상태 (슬래브 균열폭>0.1mm, 조인트 열림>2.0mm, 철근부식확률 90% 이상일 때)
			1	e	불량	-차수벽의 노후화가 매우 심각한 상태 (슬래브 균열, 조인트의 분리, 조인트 열림>2.5mm, 철근부식확률 100% 일 때)
사면 불안정 및 사면 보호	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-사면 전체의 0~10%가 유실된 상태
			3	c	보통	-사면 전체의 10~50%가 유실된 상태
			2	d	미흡	-사면 전체의 50% 이상 유실된 심각한 상태
			1	e	불량	-사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 위험한 상태
사면 침식	국부 결함	1.0	5	a	우수	-사면침식이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-사면침식고가 0~0.5 이하인 상태
		1.2	3	c	보통	-사면침식고가 0.5~2m 이하이며, 사석의 유실이 일부 존재하는 상태
		1.4	2	d	미흡	-사면침식고가 2m 이상이며, 소협곡이 이루어지는 초기상태
		2.0	1	e	불량	-사면침식고가 2m 이상이며, 소협곡이 이루어진 매우 위험한 상태



- 하류사면은 누수, 사면불안정, 사면보호상태, 침하 및 변형, 사면침식, 식생, 동물의 굴에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[하류사면]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
누수	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-담체를 통한 누수가 일정한 양호한 상태
			3	c	보통	-담체를 통한 누수가 크게 증가하지 않는 보통의 상태
			2	d	미흡	-담체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상이 시작되는 심각한 상태
			1	e	불량	-담체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상, 저수지 수위의 저하, 함몰 등의 현상이 매우 심각한 상태
사면 불안정	중요 결함	1.0	5	a	우수	-사면불안정이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-사면불안정이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-얕은 균열 및 활동, 용기 및 함몰, 습윤지 등이 부분적으로 나타나 사면불안정이 경미한 상태
			2	d	미흡	-깊은 균열 및 활동, 용기 및 함몰, 습윤지 등이 나타나 사면불안정이 시작되는 상태
			1	e	불량	-깊은 균열 및 활동, 용기 및 함몰, 습윤지 등이 하류사면 지단과 접하게 되어 사면불안정이 매우 심각한 상태
사면 보호 상태	중요 결함	1.0	5	a	우수	-사면불안정의 징후가 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-사면 전체의 0~10%가 유실된 상태
			3	c	보통	-사면 전체의 10~50%가 유실된 상태
			2	d	미흡	-사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 심각한 상태
			1	e	불량	-사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 위험한 상태
침하 및 변형	중요 결함	1.0	※ 상류사면과 동일 평가			
사면 침식	일반 손상	1.0	5	a	우수	-사면침식이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-사면침식이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-사면침식이 일부 나타난 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-사면침식에 의하여 도랑이 형성되기 시작하는 상태
		3.0	1	e	불량	-사면침식에 의하여 도랑이 형성된 매우 심각한 상태
식생	일반 손상	1.0	5	a	우수	-사면에 식생이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-사면에 일년생 식물이 있는 상태
		1.3	3	c	보통	-사면에 다년생 식물이 있는 상태
		1.7	2	d	미흡	-사면에 관목류가 있는 상태
		3.0	1	e	불량	-사면에 다년생 식물 및 관목류가 있는 상태
동물의 굴	일반 손상	1.0	5	a	우수	-사면에 동물의 서식 흔적이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-사면에 동물의 굴 직경이 0~1cm, 개수 0~1개
		1.3	3	c	보통	-사면에 동물의 굴 직경이 1~5cm, 개수 2~4개
		1.7	2	d	미흡	-사면에 동물의 굴 직경이 5cm 이상, 개수 5개 이상
		3.0	1	e	불량	-사면에 동물의 굴 직경이 5cm 이상이 수없이 존재

- 기초 및 양안부는 부등침하, 기초의 불안정, 기초의 침식 및 침투에 대해서 다음 기준에 의해 평가한다.

[기초 및 양안부]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
부등 침하	중요 결함	1.0	5	a	우수	-과도한 침하, 부등침하가 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-과도한 침하, 부등침하가 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-과도한 침하, 부등침하가 경미한 상태
			2	d	미흡	-과다한 침하 및 부등침하로 댐마루 도로의 경사와 사면이 함몰되고 기초가 불안정한 상태
			1	e	불량	-과다한 침하 및 부등침하가 상시만수위 0.6m 까지 진행되고, 기초가 불안정한 매우 심각한 상태
기초의 불안정	중요 결함	1.0	5	a	우수	-기초의 불안정이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-기초의 불안정이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-기초의 불안정이 경미한 상태
			2	d	미흡	-과다한 침하 및 부등침하로 기초가 불안정한 상태
			1	e	불량	-과다한 침하 및 부등침하로 기초가 불안정한 매우 심각한 상태
기초의 침식 및 침투	중요 결함	1.0	5	a	우수	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투가 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투가 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투가 일부 나타나는 경미한 상태
			2	d	미흡	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투로 도랑이 형성되고, 탁류 발생, 평소 누수량보다 증가하여 심각한 상태
			1	e	불량	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투로 도랑이 형성되고, 누수의 온도 변화가 심하고, 비강우시 누수량이 평소 누수량의 배 이상 증가하여 매우 심각한 상태

2) 여수로

- 접근수로는 콘크리트 라이닝의 손상, 측벽 또는 라이닝의 불안정, 접근수로 상부의 자연사면 불안정, 접근수로 내 식생 및 잡물에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[접근수로]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
콘크리트 라이닝 손상	일반 손상	1.0	5	a	우수	-콘크리트 라이닝 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-콘크리트 라이닝 손상이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-콘크리트 라이닝 손상이 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-콘크리트 라이닝에 균열 또는 슬래브의 변형이 심각한 상태
		3.0	1	e	불량	-콘크리트 라이닝에 균열 또는 슬래브의 변형이 매우 심각한 상태
불안정한 측벽 또는 라이닝	일반 손상	1.0	5	a	우수	-불안정한 측벽 또는 라이닝 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-불안정한 측벽 또는 라이닝 손상이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-불안정한 측벽 및 라이닝에 균열 누수 등 손상이 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-불안정한 측벽의 배수불량, 배면토압 증가에 의한 균열과 라이닝면의 균열 또는 히빙현상 등 손상이 심각한 상태
		3.0	1	e	불량	-불안정한 측벽의 배수불량, 배면토압 증가와 라이닝면의 균열 또는 히빙현상 등 손상이 매우 심각한 상태
접근수로 상부의 자연사면 불안정	일반 손상	1.0	5	a	우수	-접근수로 상부의 자연사면 불안정이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-접근수로 상부의 자연사면 불안정이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-접근수로 상부의 자연사면이 일부 낙석이 있는 상태
		1.7	2	d	미흡	-접근수로 상부의 자연사면이 이부 사면붕괴 및 균열로 여수로가 손상받을 위험이 존재하는 상태
		3.0	1	e	불량	-접근수로 상부의 자연사면이 국부적인 사면붕괴 및 균열로 여수로가 붕쇄되거나 손상받을 위험이 존재하는 상태
접근수로내 식생 및 잡물	일반 손상	1.0	5	a	우수	-접근수로내의 식생 및 잡물이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-접근수로내의 식생 및 잡물이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-접근수로내의 식생 및 잡물이 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-접근수로내의 식생 및 잡물이 수문조작을 방해하는 상태
		3.0	1	e	불량	-접근수로내의 식생 및 잡물이 산사태 등으로 여수로를 봉쇄할 위험이 있는 상태

- 조절부는 에이프런 구조물의 손상 및 노후화, 피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화, 월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화, 수문가이드, 각각가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[조절부]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
에이프런 구조물의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	5	a	우수	-에이프런 구조물의 손상 및 노후화가 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-에이프런 구조물의 손상 및 노후화가 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-에이프런 구조물의 손상 및 균열, 박락, 철근노출 등 노후화가 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-에이프런 구조물의 손상 및 이음부 균열을 통한 침투, 부등침하 < 5mm 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-에이프런 구조물의 손상 및 이음부 균열을 통한 침투, 부등침하 > 5mm 등 노후화가 매우 심각한 상태
피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	5	a	우수	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화가 없는 최상의 건전한 상태
		1.1	4	b	양호	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누트, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 경미한 상태
		1.2	3	c	보통	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누트, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 진행되어 성능회복을 위한 보수를 필요로 하는 상태
		1.4	2	d	미흡	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 철근노출, 시공이음부 단차 > 2mm 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 철근노출, 시공이음부 단차 > 5mm 등 노후화가 매우 심각한 상태
월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	5	a	우수	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화가 없는 최상의 건전한 상태
		1.1	4	b	양호	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누수, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 경미한 상태
		1.2	3	c	보통	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누수, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 진행되어 성능회복을 위한 보수를 필요로 하는 상태
		1.4	2	d	미흡	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 철근노출, 시공이음부 단차 > 2mm, 시공이음부 누수 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 박락, 철근노출, 이음부의 균열을 통한 누수, 시공이음부 단차 > 5mm, 노후화가 매우 심각한 상태
수문가이드, 각각가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-수문가이드, 각각 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-수문가이드, 각각 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-수문가이드, 각각 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-수문가이드, 각각 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-수문가이드, 각각 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 매우 심각한 상태

- 급경사로는 바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차, 콘크리트 균열 및 손상, 벽체의 손상 및 노후화, 횡방향 이음부의 손상에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[급경사로]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
바닥 슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차	중요 결함	1.0	5	a	우수	-바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차가 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차가 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차 < 2mm 상태
			2	d	미흡	-바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차 > 2mm 상태
			1	e	불량	-바닥슬래브의 부등침하로 인한 슬래브판의 변형, 들뜸, 단차 > 5mm 매우 심각한 상태
바닥 슬래브의 콘크리트 균열 및 손상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 폭 >1.0mm, 깊이>15cm로 손상이 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 폭 >5.0mm, 깊이>30cm, 철근노출 등 손상이 매우 심각한 상태
벽체의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	5	a	우수	-벽체의 손상 및 노후화가 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-벽체의 손상 및 노후화가 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-벽체의 손상 및 노후화가 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-벽체의 손상이 시공이음부 단차 > 2mm, 균열 및 누수 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-벽체의 손상이 시공이음부 단차 > 5mm, 균열 및 누수, 박락, 철근노출 등 노후화가 매우 심각한 상태
횡방향 이음부의 손상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-횡방향 이음부의 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-횡방향 이음부의 손상이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-횡방향 이음부의 누수 < 4ℓ/min 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-횡방향 이음부의 누수 > 75ℓ/min 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-횡방향 이음부의 공동현상, 콘크리트 탈락, 누수가 이음부위당 > 370ℓ/min 매우 심각한 상태

- 감세공은 플립버킷의 세굴, 하류 또는 기초의 침식, 이음부 손상, 정수지 바닥 및 측벽의 세굴에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[감세공]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
플립버킷의 세굴	중요 결함	1.0	5	a	우수	-플립버킷의 세굴이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-플립버킷의 세굴이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-플립버킷의 세굴구멍의 지름과 깊이 < 0.15m 상태
			2	d	미흡	-플립버킷의 세굴구멍의 지름과 깊이 > 0.30m 상태
			1	e	불량	-플립버킷의 세굴이 기초에 도달한 매우 심각한 상태
플립버킷의 하류 또는 기초의 침식	중요 결함	1.0	5	a	우수	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 경미한 상태
			2	d	미흡	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 경미한 상태 (이음부 균열 폭 > 5mm)
			1	e	불량	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 매우 심각한 상태 (이음부 균열 폭 > 12mm, 측벽기울기 > 10°)
플립버킷의 이음부 손상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-플립버킷의 이음부 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-플립버킷의 이음부 손상이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-플립버킷의 이음부에 침식, 균열 등 손상이 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-플립버킷의 이음부에 침식, 균열 등 손상이 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-플립버킷의 이음부에 침식, 균열 등 손상이 매우 심각한 상태
정수지 바닥 및 측벽의 세굴	국부 결함	1.0	5	a	우수	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴 > 0.15m 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 슬래브 전체 두께 침식 또는 파괴로 매우 심각한 상태 (균열 폭 > 12mm, 측벽기울기 > 10°)

3) 취수시설 및 방수로

- 취수시설 및 방수로는 취수탑의 파손 및 변위 발생, 취수량 감소 및 취수곤란, 제진 격자망의 부식 및 변형 손상, 독과 사면의 침식에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
취수탑 파손 및 변위 발생	중요 결함	1.0	5	a	우수	-취수탑의 파손 및 변위 발생이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-취수탑의 파손 및 변위 발생이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-취수탑의 파손 및 변위 발생이 경미한 상태
			2	d	미흡	-취수탑의 수문 파손 및 변위 발생(기울기 > 5°)이 심각한 상태
			1	e	불량	-취수탑의 수문 파손으로 작동 불능 및 변위 발생(기울기 > 10°)이 매우 심각한 상태
취수량 감소 및 취수 곤란	국부 결함	1.0	5	a	우수	-취수량 감소 및 취수 곤란이 없는 최상의 상태
		1.1				
		1.2	4	b	양호	-취수량 감소 및 취수 곤란이 없는 양호한 상태
		1.4				
		2.0	3	c	보통	-취수량 감소 및 취수 곤란이 경미한 상태
			2	d	미흡	-취수량 감소 및 취수 곤란이 심각한 상태
1	e		불량	-취수량 감소 및 취수 곤란이 매우 심각한 상태 (수문 작동 불능)		
제진 격자망의 부식 및 변형 손상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 없는 최상의 상태
		1.1				
		1.2	4	b	양호	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 없는 양호한 상태
		1.4				
		2.0	3	c	보통	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 경미한 상태
			2	d	미흡	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 심각한 상태
1	e		불량	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 매우 심각한 상태 (수문 작동 불능)		
독과 사면의 침식	국부 결함	1.0	5	a	우수	-독과 사면의 침식이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-독과 사면의 침식이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-독과 사면의 침식이 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-독과 사면의 침식이 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-독과 사면의 침식이 매우 심각한 상태

4) 기계설비

- 권양기는 작동상태, 와이어로프 손상, 마찰부 선상에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[권양기]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
작동 상태 (수문 및 권양기)	중요 결함	1.0	5	a	우수	-상승 및 하강에 이상이 없는 양호한 상태
			4	b	양호	-작동시 이음발생이 없으며 상승 및 하강에 이상이 없는 정상 상태
			3	c	보통	-상승 및 하강이 가능하나 이음발생 등이 있으며, 상하한 자동 정지가 불량하나, 약간의 조정으로 원상복구가 가능한 상태
			2	d	미흡	-상승 및 하강이 정상 작동되지 않고, 비상점검 등의 임시조치 후에 제한 작동 가능한 상태
			1	e	불량	-전혀 작동되지 않는 상태
와이어 로프 손상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-와이어 로프의 손상이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-와이어 로프의 손상이 없는 건전한 상태
		1.2	3	c	보통	-와이어 로프 표면의 그리스 도포가 불량한 상태
		1.4	2	d	미흡	-와이어 로프 표면에 산화부식 진행상태 -약간의 꺾임이 발생한 상태
		2.0	1	e	불량	-와이어 로프의 직경감소가 7%이상 -하나의 꼬임에서 소선 절단이 10% 이상 -심산 키크가 있는 경우
마찰부 손상 (시브, 감속기, 커플링)	일반 손상	1.0	5	a	우수	-손상이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-손상이 없는 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-약간의 이음 이상진동이 있으나 사용가능한 상태 -그리스 도포가 불량한 상태
		1.7	2	d	미흡	-부식고착으로 이음 이상진동이 과다한 상태 -그리스가 건조되거나 이물질이 다량 함유된 상태
		3.0	1	e	불량	-손상 등이 발생하여 보수가 필요한 상태 -정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한적 작동이 되는 상태



- 수문 및 문틀은 문비 부식, 변형, 누수, 마찰부 손상에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[수문 및 문틀]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
문비 (강재) 부식	중요 결함	1.0	5	a	우수	-부식이 없음
			4	b	양호	-전면부식이 조금 발견되거나, 건전부 모재두께의 50%미만의 점부식이 관찰되는 상태
			3	c	보통	-가벼운 전면부식이 전단면에 발생되거나, 건전부 모재두께의 5~10% 점부식이 관찰되는 상태
			2	d	미흡	-심화된 전면부식이 전단면에 발생되어 있거나, 건전부 모재두께의 10~30%의 점부식이 관찰되는 상태로 보수를 하지 않으면 안되는 상태
			1	e	불량	-전면부식과 건전부 모재두께의 30% 이상의 점부식으로 인하여 당장 보강을 하지 않으면 안되는 상태
문비 변형	국부 결함	1.0	5	a	우수	-문짝에 변형이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-문짝의 변형을 육안으로 판별이 어려운 상태
		1.2	3	c	보통	-외부충격에 의한 국부적인 변형이 발생한 상태이나 기능에 이상이 없는 상태
		1.4	2	d	미흡	-변형이 경간의 1/800 이상 발생한 상태
		2.0	1	e	불량	-변형으로 작동이 원활하지 못한 상태로 작동시 접촉, 끼임 발생과 부분적인 두께 감소가 1/2 이상인 경우
누수	일반 손상	1.0	5	a	우수	-누수가 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-누수 가능성이 없는 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-미세한 누수 가능성이 있는 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-지수고무의 훼손 및 밀착불량 등으로 부분적인 누수가 발생하는 상태
		3.0	1	e	불량	-문짝의 변형으로 누수가 다량으로 발생하여 별도 부대설비(모래주머니)를 설치하여야 누수가 가능한 상태
마찰부 손상 (롤러 힌지)	일반 손상	1.0	5	a	우수	-부식고착이 없고 회전이 원활한 건전한 상태
		1.1	4	b	양호	-부식고착이 있으나, 회전이 원활한 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-고착으로 회전 및 작동이 불량하나, 수문의 작동에는 이상이 없는 상태
		1.7	2	d	미흡	-고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 수문작동이 불량한 상태
		3.0	1	e	불량	-고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 작동이 불가능한 상태

5) 전기설비

- 전기 설비는 작동상태, 현장제어반 및 조작반 불량, 구동모터 및 브레이크 장치 불량에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
작동 상태	중요 결함	1.0	5	a	우수	-전기적인 수문작동 상에 이상이 없는 양호한 상태
			4	b	양호	-전기적인 수문작동 상에 이상이 없는 건전한 상태
			3	c	보통	-전기적인 수문작동 상에 이상이 경미한 상태 (현장제어반 및 조작반, 구동모터, 브레이크 등의 결함이 경미하여 현장에서 즉시 조치가 가능한 상태)
			2	d	미흡	-전기적으로 수문작동이 불량한 상태 (정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한 작동 가능한 상태)
			1	e	불량	-전기적으로 수문작동이 전혀 되지 않는 상태
현장 제어반 및 조작반 불량	일반 손상	1.0	5	a	우수	-현장 제어반의 불량이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-현장 제어반의 불량이 없는 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-현장 제어반의 불량이 경미한 보통인 상태 (불량이 경미하여 전기설비의 기동 및 운전에 영향이 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태)
		1.7	2	d	미흡	-현장 제어반 상태가 불량인 상태 (불량이 심각하여 전기설비의 기동 및 운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치~1MΩ 이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
		3.0	1	e	불량	-현장 제어반의 불량이 매우 위험한 상태 (불량 상태가 위험하여 전기설비의 기동 및 운전이 불가능한 상태, 절연: 0MΩ 이하, 접지: 규정치의 +30% 초과 ~ ∞)
구동모터 및 브레이크 장치 불량	일반 손상	1.0	5	a	우수	-구동모터 · 브레이크장치의 불량이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-구동모터 · 브레이크장치의 불량이 없는 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-구동모터 · 브레이크장치의 불량이 경미한 보통인 상태 (불량이 경미하여 설비운전에 영향이 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태)
		1.7	2	d	미흡	-구동모터 · 브레이크장치의 불량한 상태 (불량이 심각하여 설비운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 절연: 규정치~1MΩ 이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
		3.0	1	e	불량	-구동모터 · 브레이크장치의 불량이 매우 위험한 상태 (불량 상태가 위험하여 설비운전이 불가능한 상태, 절연: 0MΩ 이하, 접지: 규정치의 +30% 초과 ~ ∞)

6) 일반적인 콘크리트 구조물

- 일반 콘크리트 구조물은 일반구조물의 균열, 수처리 구조물 균열, 박리, 박락 및 층 분리, 누수, 파손 및 손상, 백태에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용	
			평가 점수	평가 등급	상태		
일반 구조물 균열	국부 결함	1.0	5	a	우수	면적율 5% 이하	0.1mm 미만
		1.0	5	a	우수		0.1mm~0.2mm 미만
		1.0	5	a	우수		0.2mm~0.3mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.3mm~0.5mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.5mm 이상
		1.0	5	a	우수	면적율 20% 이하	0.1mm 미만
		1.0	5	a	우수		0.1mm~0.2mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.2mm~0.3mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.3mm~0.5mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.5mm 이상
		1.0	5	a	우수	면적율 20% 이상	0.1mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.1mm~0.2mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.2mm~0.3mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.3mm~0.5mm 미만
2.0	1	e	불량	0.5mm 이상			
수처리 구조물 균열	국부 결함	1.0	5	a	우수	면적율 5% 이하	0.1mm 미만
		1.0	5	a	우수		0.1mm~0.2mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.2mm~0.3mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.3mm~0.5mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.5mm 이상
		1.0	5	a	우수	면적율 20% 이하	0.1mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.1mm~0.2mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.2mm~0.3mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.3mm~0.5mm 미만
		2.0	1	e	불량		0.5mm 이상
		1.1	4	b	양호	면적율 20% 이상	0.1mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.1mm~0.2mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.2mm~0.3mm 미만
		2.0	1	e	불량		0.3mm~0.5mm 미만
2.0	1	e	불량	0.5mm 이상			
박리	국부 결함	1.0	5	a	우수	-박리발생이 없음	
		1.1	4	b	양호	-박리깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적율 10% 미만	
		1.2	3	c	보통	-박리깊이 0.5~1.0mm 미만이면서 박리면적율 10% 미만 -박리깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상	
		1.4	2	d	미흡	-박리깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적율 10% 미만 -박리깊이 0.5mm~10mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상	
		2.0	1	e	불량	-박리깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상 -박리깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실	

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
박락 및 층 분리	국부 결함	1.0	5	a	우수	-박락/층분리의 발생이 없음
		1.1	4	b	양호	-박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적율 10% 미만
		1.2	3	c	보통	-박리/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적율 10% 미만 -박리/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적율 10% 이상
		1.4	2	d	미흡	-박리/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적율 10% 미만 -박리/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적율 10% 이상
		2.0	1	e	불량	-박리/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적율 10% 이상 -박리/층분리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실
누수	국부 결함	1.0	5	a	우수	-누수가 없음
		1.1	4	b	양호	-현저한 흔적(누수부위가 습윤된 상태)
		1.2	3	c	보통	-누수의 진행이 관찰가능 상태(방울방울 떨어짐)
		1.4	2	d	미흡	-누수의 진행이 관찰가능 상태(소량이 분출)
		2.0	1	e	불량	-누수의 진행이 확인한 상태(많은 양의 분출)
파손 및 손상	일반 손상	1.0	5	a	우수	-파손/손상 없음
		1.1	4	b	양호	-파손/손상깊이 20mm 미만이면서 면적율 10% 미만
		1.3	3	c	보통	-파손/손상깊이 20~50mm 미만이면서 면적율 10% 미만 -파손/손상깊이 20mm 미만이면서 면적율 10% 이상
		1.7	2	d	미흡	-파손/손상깊이 50~80mm 미만이면서 면적율 10% 미만 -파손/손상깊이 50mm 미만이면서 면적율 10% 이상
		3.0	1	e	불량	-파손/손상깊이 80mm 이상이면서 면적율 10% 미만 -파손/손상깊이 50mm 이상이면서 면적율 10% 이상
백태	일반 손상	1.0	5	a	우수	-백태가 없음
		1.1	4	b	양호	-백태 발생 면적율이 5% 미만
		1.3	3	c	보통	-백태 발생 면적율이 5~10% 미만
		1.7	2	d	미흡	-백태 발생 면적율이 10~20% 미만
		3.0	1	e	불량	-백태 발생 면적율이 20% 이상

7) 건축물(조작실, 권양기실 등)

건축물의 상태평가 기준은 [별표4] 양(배)수장 성능평가 기준을 따른다.

### (3) 안전성 평가

안전성평가는 저수지 정밀안전진단실무 세부요령(2011.12)의 기준에 준하여 시행한다.

#### 1) 제체 여유고

- 필댐의 여유고 평가기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편 (댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』 결과에 따라 정립되었으며, 필댐의 여유고는 어떠한 악조건에서도 홍수가 댐마루를 넘지 않도록 충분히 크게 잡아야 한다.(건설교통부, 2001). 댐설계기준(건교부, 2001)에서 제시하는 필댐 여유고 기준에 의거하여 평가기준을 결정하였다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	검토 여유고 높이가 필댐 여유고를 만족하는 경우
4	b	양호	검토 여유고 높이가 필댐 여유고를 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우 (하류부 피해정도가 경미)
3	c	보통	검토 여유고 높이가 필댐 여유고를 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우 (하류부 피해정도가 중대)
2	d	미흡	댐월류가 발생하는 경우(하류부 피해정도가 경미)
1	e	불량	댐월류가 발생하는 경우(하류부 피해정도가 중대)

2) 사석 여유고

- 사석 여유고 평가 기준은 기술본부 기술검토회의 결과에 따라 정립되었으며, 정립 근거는 『댐 설계실무(1989.12. 농업진흥공사, 조사설계처)』이며, 기준사석고는 홍수위 +1.0m이다.

평가 점수	등급		상 태
	평가 등급	상태	
5	a	우수	사석고가 기준 사석고(홍수위 +1.0m) 이상인 경우
4	b	양호	사석고가 홍수위 이상 기준사석고 미만인 경우
3	c	보통	사석고가 만수위 이상 홍수위 미만인 경우
2	d	미흡	사석고가 만수위 미만으로 사면부에 일부 손상이 있거나, 미설치되어 있는 경우
1	e	불량	사석이 미설치되어 사면부에 50% 이상의 손상이 있어 댐체 안정에 영향을 미치는 경우

3) 계측 데이터의 검토

- 계측 데이터에 대한 평가기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능 평가편(댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』 결과에 따라 정립되었으며, 계측치와 허용 기준치를 비교·검토하는 방법, 계측데이터의 변화추이를 분석하는 방법이 있다.

평가 점수	등급		상 태
	평가 등급	상태	
5	a	우수	계측치가 허용기준치 이내이며, 경시변화 경향에 증감이 없는 경우
4	b	양호	계측치가 허용기준치 이내이며, 경시변화 경향에 미세한 증감이 있는 경우
3	c	보통	계측치가 허용기준치를 벗어나는 경우도 있으며, 경시변화 경향에 약간의 증감이 있는 경우
2	d	미흡	계측치가 허용기준치를 벗어나는 경우도 있으며, 경시변화 경향이 확연하게 증감하는 경우
1	e	불량	계측치가 허용기준치를 벗어나는 경우도 있으며, 경시변화 경향이 급하게 증감하는 경우

4) 침투수의 파이핑

- 침투수에 대한 평가기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편 (댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 정립되었으며, 여러 유출동수구배 산정방법은 각 방법에 대한 타당성이 인정된다면 사용할 수 있다. 분사현상에 대한 저항력은 소성지수가 큰 재료일수록 큰 경향이 있으며 점착력이 없는 세립자의 ic는 0.5~0.8로 본다. 침투류 해석에 의하여 산출한 동수경사가 한계동수경사의 1/2 이하(안전율 2.0)가 되도록 해야 한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	한계치의 100% 미만인 경우
4	b	양호	-
3	c	보통	한계치의 100% 이상 100% 미만인 경우
2	d	미흡	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
1	e	불량	한계치의 130% 이상인 경우

5) 침투수의 허용누수량

- 침투누수량에 대한 평가기준은 기술본부 기술검토회의 결과에 따라 정립되었으며, 정립근거는 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편, 2002)이며, 허용누수량은 저수량의 0.05%/일 이하이다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	한계치의 100% 미만인 경우
4	b	양호	-
3	c	보통	한계치의 100% 이상 100% 미만인 경우
2	d	미흡	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
1	e	불량	한계치의 130% 이상인 경우

6) 사면활동

사면활동에 대한 평가 기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편 (댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 정립되었으며, 사면활동에 대한 안전성은 최소안전율 기준에 의해 산출된 안전율의 비로 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상이거나 단면손실이 없는 경우
4	b	양호	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상이거나 같으며, 단면손실이 있는 경우
3	c	보통	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 90% 이상, 100% 미만인 경우
2	d	미흡	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 75% 이상, 90% 미만인 경우
1	e	불량	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 75% 미만인 경우

7) 사면기울기

- 사면기울기에 대한 평가기준은 기술본부 기술검토회의 결과에 따라 정립되었으며, 농업생산기반정비사업계획설계기준(필답편, 2002)의 활중(10%)이 적용된 사면경사 기준이다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 100% 이상인 경우
4	b	양호	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 90% 이상이거나 같으며 단면손실이 있는 경우
3	c	보통	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 65% 이상 90% 미만인 경우
2	d	미흡	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 50% 이상 65% 미만인 경우
1	e	불량	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 50% 미만인 경우



8) 응력-변형 해석으로 응력상태에 따른 안전성

- 응력-변형 해석으로 응력상태에 대한 평가기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편(댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 정립되었으며, 대규모 필댐에 있어서는 댐체 및 기초에 대하여 응력-변형 해석을 실시하여야 하고, 재료특성, 성토속도, 저수지 수위, 댐체 단면, 강도특성 등의 입력조건을반영한 해석을 수행하여 변형량, 국부파괴, 수압할렬 등을 분석, 지반거동에 따른안전성을 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	한계치의 100% 미만인 경우
4	b	양호	-
3	c	보통	한계치의 100% 이상 110% 미만인 경우
2	d	미흡	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
1	e	불량	한계치의 130% 이상인 경우

9) 여수로 축벽고

- 여수로 옹벽에 대한 평가 기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편(댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 정립되었으며, 댐 본체나 여수로의 안전에 지장을 주는 월류를 일으키게 해서는 안된다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	축벽고가 필댐 여유고 이상인 경우
4	b	양호	축벽고가 필댐 여유고를 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우
3	c	보통	방류시 월류가 발생하여 양안부에 경미한 손상이 예상되는 경우
2	d	미흡	방류시 월류가 발생하여 양안부에 심각한 손상이 예상되는 경우
1	e	불량	방류시 월류가 발생하여 제체 파괴 및 축벽 안전에 중대한 영향을 미치는 경우

10) 급류부 측벽고

- 급경사수로 옹벽에 대한 안전성 평가는 급경사수로 옹벽에 많은 여유고를 주어 구조물의 안전을 도모한다는 기준에 의하여 다음 표로 평가 한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	검토 여유고가 기준 여유고 이상인 경우
4	b	양호	월류는 발생하지 않으나 검토 여유고가 일부 구간 부족한 경우
3	c	보통	월류는 발생하지 않으나 검토 여유고가 전 구간 부족한 경우
2	d	미흡	방류시 월류가 발생하여 제체에 손상이 예상되는 경우
1	e	불량	방류시 월류가 발생하여 제체 안전에 중대한 영향을 미치는 경우

11) 감세공 측벽고

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	검토 여유고가 기준 여유고 이상인 경우
4	b	양호	월류는 발생하지 않으나 검토 여유고가 기준 여유고 이하인 경우
3	c	보통	방류시 월류가 발생하여 양안부에 경미한 손상이 예상되는 경우
2	d	미흡	방류시 월류가 발생하여 양안부에 심각한 손상이 예상되는 경우
1	e	불량	방류시 월류가 발생하여 제체 파괴 및 측벽 안전에 중대한 영향을 미치는 경우

12) 취수탑

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	SF(안전율)이 1.0 이상이고 주부재에 손상이 없는 경우
4	b	양호	SF(안전율)이 1.0 이상이고 주부재에 손상(중요결함)이 있는 경우
3	c	보통	SF(안전율)이 0.9 이상이고 1.0 미만인 경우
2	d	미흡	SF(안전율)이 0.75 이상이고 0.9 미만인 경우
1	e	불량	SF(안전율)이 0.75 미만인 경우

13) 기계설비(수문)

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	산출된 응력비가 1.5 이상인 경우
4	b	양호	산출된 응력비가 1.5 미만 1.1 이상인 경우
3	c	보통	산출된 응력비가 1.1 미만 1.0 이상인 경우
2	d	미흡	산출된 응력비가 1.0 미만 0.9 이상인 경우
1	e	불량	산출된 응력비가 0.9 미만인 경우나, 부식으로 단면손실이 있는 경우

14) 수문학적 안전성

수문학적 안전성 평가는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편 (댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 다음과 같이 I~III단계로 제시되어 있다.

- I 단계 : 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가
- II 단계 : 가능최대홍수량(PMFP)에 대한 구조적 안전성 평가
- III 단계 : 하류부의 위험도에 따른 평가

제 I 단계 : 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가

단계	등급			댐의 형식	댐의 상태	평가기준	비고
	평가 점수	평가 등급	상태				
I	5	a	우수	①,②	모든 등급	검토 여유고 높이가 여유고 기준을 만족하는 경우	I 단계 평가만 수행
	4	b	양호	①,②	A~C	검토 여유고 높이가 여유고 기준을 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우	
	3	c	보통	①,②	D, E	검토 여유고 높이가 여유고 기준을 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우	
	2	d	미흡	①,②	D, E	댐 월류가 발생하나 비구조적 대책에 의해 월류가 방지될 수 있는 경우	-①의 경우 II,III 단계 평가 -②의 경우 III 단계 평가
	1	e	불량	①,②	모든 등급	댐 월류가 발생하며 비구조적 대책에 의해 월류방지가 불가능한 경우	"

- 주) 1. 댐의 형식 : ① 콘크리트댐, ② 필댐, 복합댐 및 CFRD  
 2. 댐의 상태 : 댐 토목시설물의 상태평가기준(A~E)

제 II 단계 : 가능최대 홍수량(PMF)에 대한 구조적 안전성 평가

단계	등급			평가기준
	평가 점수	평가 등급	상태	
II	5	a	우수	PMF 유입 시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)의 구조적 안전성이 확보되는 경우
	4	b	양호	PMF 유입 시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)는 구조적 안전성이 확보되나 수문의 구조적 안전성이 확보되지 않는 경우
	3	c	보통	PMF 유입 시 비월류부 콘크리트 댐체의 안전성은 확보되나 월류부 콘크리트 댐체와 수문의 안전성이 확보되지 않는 경우
	2	d	미흡	PMF 유입시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)가 모두 구조적 안전성을 확보하지 못하면서 댐마루 월류수심이 $h_c \leq 0.52H_d^{0.45} - 0.3$ 의 조건인 경우
	1	e	불량	PMF 유입시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)가 모두 구조적 안전성을 확보하지 못하면서 댐마루 월류수심이 $h_c > 0.52H_d^{0.45} - 0.3$ 의 조건인 경우

- 주) 1. 구조적 안전성 평가항목 : 활동, 전도, 지지력 및 구조물의 응력비  
 (안전성 확보여부는 국토해양부에서 고시하는 세부지침(댐)의 평가기준을 따른다.)  
 2.  $h_c \equiv$  댐마루 월류수심(m),  $h_d \equiv$  댐 높이(m)

PMF 유입시 하류부의 위험도에 따른 평가

단계	등급			평가기준	
	평가 점수	평가 등급	상태		
III	5	a	우수	-댐의 붕괴 시 하류부의 인명 및 경제적 손실이 거의 없는 경우	
	4	b	양호	-댐의 붕괴 시 하류부의 범람정도가 붕괴되지 않은 상태와 큰 차이가 없을 것으로 판단되는 경우	상·하류 수위차가 예상되는 경우
	3	c	보통	-댐의 붕괴가 댐 구조물 자체의 경제적 손실 이상의 피해는 거의 발생하지 않고 하류부에 주택 및 산업시설 등이 적어 인명피해의 가능성이 낮을 것으로 예상되는 경우 -총 저수용량 100만 <sup>m</sup> 미만인 경우	
	2	d	미흡	-댐의 붕괴가 광범위한 경제적 손실을 초래하며 하류부에 주택 및 산업시설 등이 산재하여 인명피해의 가능성이 상당할 것으로 예상되는 경우 -총 저수용량 100만 <sup>m</sup> 이상 1,000만 <sup>m</sup> 미만인 경우	총 저수용량 규모는 EAP가 미수립된 댐에 대해 적용
	1	e	불량	-댐의 붕괴가 대규모 경제적 손실을 초래하며 하류부에 주택 및 산업시설 등이 밀집되어 인명피해의 가능성이 높을 것으로 예상되는 경우 -총 저수용량 1,000만 <sup>m</sup> 이상인 경우	

(4) 내구성능 평가

1) 콘크리트 압축강도

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
콘크리트 압축강도	국부 결함	1.0	5	a	우수	-추정 압축강도가 설계기준강도 이상인 경우
		1.1	4	b	양호	-추정 압축강도가 설계기준강도의 100% 이상이고 경미한 손상이 있는 경우
		1.2	3	c	보통	-추정 압축강도가 설계기준강도의 85% 이상 100% 미만인 경우
		1.4	2	d	미흡	-추정 압축강도가 설계기준강도의 70% 이상 85% 미만인 경우
		2.0	1	e	불량	-추정 압축강도가 설계기준강도의 70% 미만인 경우

2) 탄산화 잔여깊이

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용	
			평가 점수	평가 등급	상태		
탄산화 잔여깊이	국부 결함	1.0	5	a	우수	-30mm 이상	탄산화에 의한 부식이 발생할 우려 없음
		1.1	4	b	양호	-10mm 이상~30mm 미만	향후 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
		1.2	3	c	보통	-0mm 이상~10mm 미만	경우에 따라서 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
		1.4	2	d	미흡	-0mm 미만	철근 부식 발생
		2.0	1	e	불량	-	-

(5) 사용성능 평가

구분		조사항목
사용 성능	운영성	강제수문 및 권양기 작동 유무(기계)
		현장제어반 및 조작반
		구동모터 및 브레이크
		강제수문 및 권양기 작동 유무(전기)
		계측기
	유지관리성	점검시설
	수요 및 용량	수질
		수요량
		사용환경 변화
		편의시설 활용

1) 권양기

각 기기의 정상적인 작동여부, 아음발생 여부 등의 작동상태와 작동시간 등에 대하여 시험을 시행하고 이때 커플링의 정열상태, 베어링 이상발열여부, 드럼와이어 클램프의 체결상태 등을 정지상태 및 작동 도중에 상세외관조사를 시행하고, 전반적인 상태를 파악하여 등급을 평가한다

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	상승 및 하강에 이상이 없는 양호한 상태
4	b	양호	작동시 이음발생이 없으며 상승 및 하강에 이상이 없는 정상의 상태
3	c	보통	상승 및 하강이 가능하나 이음발생 등이 있으며, 상하한 자동정지가 불량하나, 약간의 조정으로 원상복구가 가능한 상태
2	d	미흡	상승 및 하강이 정상 작동되지 않고, 비상점검 등의 임시조치 후에 제한 작동 가능한 상태
1	e	불량	전혀 작동되지 않는 상태

2) 현장제어반 및 조작반

현장제어반 및 조작반의 작동시험은 시험 전 상세육안조사와 측정·시험기기를 사용한 절연저항측정, 접지저항측정, 운전상태(공급전압 및 운전전류) 측정을 실시하며, 설비의 특성 및 상황 등을 고려하여 책임기술자가 점검개소 및 실시여부를 정한다.

절연저항측정(절연열화 판정) 방법은 다음과 같다.

- 절연열화 판정은 절연저항계에 의한 측정이 가장 많이 이용. 보통 250~500V,

1,000V의 메거를 사용하며, 간선용 혹은 분기용으로 개폐기, 과전류차단기 등으로 구분 지을 수 있는 설로별로 측정한다.

- 저압 전로의 전선 상호간의 절연저항은 사용설비의 전로를 포함하지 않는 상태로 측정하므로 개폐기는 열어두어야 한다.
- 전선과 대지(접지)간의 절연저항은 사용설비 전로를 포함한 사용 상태에서 측정하므로 개폐기는 닫아두어야 한다.

### 접지저항측정 방법

- 일반적으로 접지저항 측정에는 접지저항계(어스테스터)가 널리 사용되고 있으며, 저항계의 형식에 따라 접지저항 순서가 다소 상이하므로 메이커의 취급설명서에 따라 측정

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	현장 제어반의 불량인 양호한 상태(신규로 3년 이내 설치 여부)
4	b	양호	현장 제어반의 불량인 양호한 상태
3	c	보통	불량이 경미하여 전기설비의 기동 및 운전이 영향을 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태
2	d	미흡	현장 제어반 상태가 불량인 상태(불량이 심각하여 전기설비의 기동 및 운전이 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치~1MΩ이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
1	e	불량	현장 제어반의 불량이 매우 위험한 상태(불량 상태가 위험하여 전기설비의 기동 및 운전이 불가능한 상태, 절연:0MΩ이하, 접지: 규정치의 +30% 초과~∞)

### 3) 구동모터 및 브레이크

외관상태의 변형, 파손, 부식 등의 유무 확인, 접지유무 및 설치상태, 이상진동·소음·발열여부 등의 전기적 동작상태, 배선상태 및 배관의 파손유무 등을 점검한다

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	구동모터·브레이크장치의 불량이 없는 양호한 상태
4	b	양호	구동모터·브레이크장치의 불량이 없는 양호한 상태
3	c	보통	불량이 경미하여 설비운전에 영향을 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태
2	d	미흡	구동모터·브레이크장치의 상태가 불량인 상태(불량이 심각하여 설비운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치~1MΩ이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
1	e	불량	구동모터·브레이크장치의 불량이 매우 위험한 상태(불량 상태가 위험하여 설비운전이 불가능한 상태, 절연:0MΩ이하, 접지: 규정치의 +30% 초과~∞)



4) 전기설비

- 전기설비에 포함되는 세부장치들은 제작사 기준값을 준용하여 평가한다.

평가 점수	등급		상 태
	평가 등급	상태	
5	a	우수	기준값 이내 및 하자기간 내 설비
4	b	양호	기능, 성능 동작 양호한 상태
3	c	보통	동작 이상 없으나 기능, 성능 저하된 상태
2	d	미흡	동작 이상 없으나 기능, 성능 저하 우려되는 상태
1	e	불량	동작 이상이 있고 기능, 성능 저하 심각한 상태

- 제작사 기준값의 확인이 어려울 경우에는 내용연수(사용횟수) 또는 고장·장애횟수를 확인하여 간접적으로 평가한다. 단, 하자기간 장애와, 천재지변은 제외한다

[내용연수 평가]

평가 점수	등급		상 태
	평가 등급	상태	
5	a	우수	내용연수 또는 사용횟수 75%이상 여유
4	b	양호	내용연수 또는 사용횟수 50~75% 미만
3	c	보통	내용연수 또는 사용횟수 25~50% 미만
2	d	미흡	내용연수 또는 사용횟수 0~25% 미만
1	e	불량	내용연수 또는 사용횟수 초과

[고장 및 장애 발생횟수 평가]

평가 점수	등급		상 태
	평가 등급	상태	
5	a	우수	고장 및 장애 발생이 없음
4	b	양호	고장 및 장애 발생횟수가 직전년도 1회
3	c	보통	고장 및 장애 발생횟수가 직전년도 2회
2	d	미흡	고장 및 장애 발생횟수가 직전년도 3회
1	e	불량	고장 및 장애 발생횟수가 직전년도 4회 이상

- 수리 또는 교체할 수 있는 제품의 생산 여부로서 부품 또는 설비의 생산 중단으로 고장 발생 시에 대체, 교체가 불가능 지에 대하여 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	다수 제조사가 생산하는 제품
3	c	양호	단일 제조사가 생산하는 제품
1	e	보통	정품/대체품이 단종된 제품

- 또한 설비의 수선, 부품·부속설비의 교체로 인한 노후정도 및 개량 필요성을 직전년도의 유지보수 횟수로 간접적으로 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	직전년도 유지보수 횟수가 1회 이하
4	b	양호	직전년도 유지보수 횟수가 2회~4회 미만
3	c	보통	직전년도 유지보수 횟수가 4회~6회 미만
2	d	미흡	직전년도 유지보수 횟수가 6회~8회 미만
1	e	불량	직전년도 유지보수 횟수가 8회 이상

- 전기적인 영향으로 수문 작동에 이상 여부를 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	전기적인 수문작동 상에 이상이 없는 양호한 상태
4	b	양호	전기적인 수문작동 상에 이상이 없는 양호한 상태
3	c	보통	전기적인 수문작동 상에 이상이 경미한 상태 (현장제어반 및 조작반, 구동모터, 브레이크 등의 결함이 경미하여 현장에서 즉시 조치가 가능한 상태)
2	d	미흡	전기적으로 수문작동이 불량한 상태 (정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한작동 가능한 상태)
1	e	불량	전기적으로 수문작동이 전혀 되지 않는 상태

5) 계측기

- 관리주체 소유의 휴대용 측정기를 이용한 수동측정 : 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및 기존 측정값 범위와 비교
- digital multimeter를 이용한 개별 센서의 저항값 측정 : 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및(적-흑)(적-녹) 저항치의 합계와 (황-흑)저항치와 비슷한지 비교(carlson type 센서의 점검방법)
- 컴퓨터를 이용한 자동계측 : 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및 지진 가속도계의 임의의 외부진동에 대한 반응여부 확인

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	계측기 작동율이 90% 이상인 상태
4	b	양호	계측기 작동율이 80~90% 미만인 상태
3	c	보통	계측기 작동율이 70~80% 미만인 상태
2	d	미흡	계측기 작동율이 50~70% 미만인 상태
1	e	불량	계측기 작동율이 50 이하인 상태

6) 점검시설

- 점검시설의 설치여부 및 상태로 평가한다

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 구비되어 있음(신설)
4	b	양호	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 양호한 상태임
3	c	보통	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 결함(볼트, 나사풀림, 녹 등)이 있어 수리가 필요한 상태
2	d	미흡	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 사용시 심각한 안전상의 문제가 있어 교체가 필요한 상태
1	e	불량	시설물의 조사에 필요한 점검로가 없어 새로 설치를 요하는 상태

7) 수질

- 수자원공사시스템의 물정보관에서 제공하는 수질등급 기준을 활용하여 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	수질등급기준 Ia,Ib
4	b	양호	수질등급기준 II
3	c	보통	수질등급기준 III
2	d	미흡	수질등급기준 IV
1	e	불량	수질등급기준 V, VI

8) 수요량

- 저수지가 확보하는 용수량이 현재의 요구량을 만족하는지 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	용수량이 충분한 상태
1	e	불량	용수량이 부족한 상태

9) 사용환경 변화

- 저수지 준공 이후 설계기준, 주변여건 등 사용환경의 변화를 현재 만족하는지 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	사용환경 변화를 충분히 만족하여 지속사용이 가능한 상태
1	e	불량	사용환경 변화를 만족하지 못하여 성능개선이 필요한 상태

10) 편의시설 활용

- 저수지 주변의 편의시설(수변공원, 낚시터 등)의 활용상태를 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	편의시설의 사용자가 매우 많아 지속적인 활용이 필요한 상태
3	c	보통	편의시설의 사용자가 적절하여 활용이 필요한 상태
1	e	불량	편의시설의 사용자가 매우 부족하여 활용이 불필요한 상태

[별표 4] 양(배)수장 성능평가 기준

(1) 공통사항

평가부문	평가항목	평가기준	점수	중요도
안전성능	상태평가 결과	a	5	
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
	안전성평가 결과	a	5	
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
내구성능	부재별 평가	사용 특성에 맞게 개별항목 평가	1~5	
사용성능	부재별 평가	사용 특성에 맞게 개별항목 평가	1~5	

1) 안전성능평가

가. 상태평가

- 양(배)수장의 상태평가 결과는 안전점검 및 정밀안전진단 결과에 따른 안전 등급이 있는 경우에는 안전등급을 활용한다. 안전등급을 별도로 평가하지 않는 구조물의 경우에는 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 상태(결함 및 손상)를 토대로 평가할 수 있다.

등급			상태평가 결과	
평가 점수	평가 등급	상태	안전등급	물리적 상태
5	a	우수	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 A	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 B	보조부재에 경미한 결함, 손상, 변위가 발생하였으나, 안전성과 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
3	c	보통	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 C	주요부재에 경미한 결함, 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 사용성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강(교체 포함)이 필요한 상태
2	d	미흡	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 D	주요부재에 결함, 손상, 변위가 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
1	e	불량	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 E	주요부재에 발생한 심각한 결함, 손상, 변위로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개량, 또는 개축을 하여야 하는 상태

나. 안전성평가

- 양(배)수장의 안전성평가 결과는 정밀안전진단 결과에 따른 안전등급이 있는 경우에는 안전등급을 활용한다. 안전등급을 별도로 평가하지 않는 구조물의 경우에는 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 상태(결함 및 손상)를 토대로 평가할 수 있다.

등급			상태평가 결과	
평가 점수	평가 등급	상태	안전등급	물리적 상태
5	a	우수	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 A	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 B	보조부재에 경미한 결함, 손상, 변위가 발생하였으나, 안전성과 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
3	c	보통	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 C	주요부재에 경미한 결함, 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 사용성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강(교체 포함)이 필요한 상태
2	d	미흡	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 D	주요부재에 결함, 손상, 변위가 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
1	e	불량	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 E	주요부재에 발생한 심각한 결함, 손상, 변위로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개량, 또는 개축을 하여야 하는 상태

2) 내구성

- 양(배)수장의 사용성은 부재별 내구성 기준에 의해 평가한다.

3) 사용성

- 양(배)수장의 사용성은 부재별 사용성 기준에 의해 평가한다.



(2) 상태평가

1) 토목구조물

[침하/부상]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	침하/부상이 발생되지 않은 상태
4	b	양호	부분적으로 경미한 침하/부상이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
3	c	보통	침하/부상의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
2	d	미흡	침하/부상의 정도가 심각하여 구조적인 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
1	e	불량	침하/부상의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안전을 위협 받고 있는 상태

[경사]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경사가 발생되지 않은 상태
4	b	양호	부분적으로 경미한 경사가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않는 상태
3	c	보통	경사의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
2	d	미흡	경사의 정도가 심각하여 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
1	e	불량	경사의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정이 위협받고 있는 위험한 상태

[활동]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	활동이 발생되지 않은 상태
4	b	양호	부분적으로 경미한 활동이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
3	c	보통	활동의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
2	d	미흡	활동의 정도가 심각하여 구조적인 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
1	e	불량	활동의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안전이 위협받고 있는 위험한 상태

[수처리 구조물 콘크리트 균열]

등급			상 태			
평가 점수	평가 등급	상태	최대 균열폭	면적율 5% 이하	면적율 20% 이 하	면적율 20% 이 상
5	a	우수	0.1mm 미만	a	a	b
4	b	양호	0.1mm~0.2mm 미만	a	b	c
3	c	보통	0.2mm~0.3mm 미만	b	c	d
2	d	미흡	0.3mm~0.5mm 미만	c	d	e
1	e	불량	0.5mm 이상	d	e	e

[콘크리트 박리]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	박리 발생이 없음
4	b	양호	박리 깊이 0.5mm 미만이면서 박리 면적율 10% 미만
3	c	보통	박리 깊이 0.5~1.0mm미만이면서 박리면적율 10% 미만 박리 깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상
2	d	미흡	박리 깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적율 10% 미만 박리 깊이 0.5~10mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상
1	e	불량	박리 깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상 박리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실

[콘크리트 박락 및 층분리]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	박락/층분리의 발생이 없음
4	b	양호	박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적율 10% 미만
3	c	보통	박락/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적율 10% 미만 박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적율 10% 이상
2	d	미흡	박락/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적율 10% 미만 박락/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적율 10% 이상
1	e	불량	박락/층분리 깊이 20~25mm미만이면서 면적율 10% 이상 박락/층분리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실

[철근노출]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	철근노출 없음
4	b	양호	철근노출 면적율이 1% 미만
3	c	보통	철근노출 면적율이 1~3% 미만
2	d	미흡	철근노출 면적율이 3~5% 미만
1	e	불량	철근노출 면적율이 5% 이상

[누수]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	콘크리트 부재	신축이음부위
5	a	우수	누수가 없음	누수가 없음
4	b	양호	경미한 흔적 (누수부위가 건조한 상태)	누수 흔적이거나 토사 등의 오염
3	c	보통	현저한 흔적 (누수부위가 습윤한 상태)	파손에 의한 누수발생
2	d	미흡	누수의 진행이 관찰가능 상태	누수로 인한 신축이음 하부구조물의 부식발생
1	e	불량	누수의 진행이 확연한 상태	누수로 인한 신축이음 하부구조물의 부식심하

[백태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	백태가 없음
4	b	양호	백태 발생 면적율이 5% 미만
3	c	보통	백태 발생 면적율이 5~10% 미만
2	d	미흡	백태 발생 면적율이 10~20% 미만
1	e	불량	백태 발생 면적율이 20% 이상

[콘크리트 파손]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	파손이 없음
4	b	양호	파손깊이 20mm 미만인면서 파손면적율 10% 미만,
3	c	보통	파손깊이 20~50mm 미만인면서 파손면적율 10% 미만 파손깊이 20mm 미만인면서 파손면적율 10% 이상
2	d	미흡	파손깊이 50~80mm 미만인면서 파손면적율 10% 미만 파손깊이 20~50mm 미만인면서 파손면적율 10% 이상
1	e	불량	파손깊이 80mm 이상인면서 파손면적율 10% 미만, 파손깊이 50mm 이상인면서 파손면적율 10% 이상

[신축이음 탈락 및 열화]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	부재의 탈락정도	부재의 열화정도
5	a	우수	없음	없음
4	b	양호	없음	고무판 마모, 강재의 부식(녹) 발생 등의 경미한 열화
3	c	보통	고정 장치의 이완으로 신축이음 본체 유동	고무판 마모, 강재의 부식(녹) 발생 등의 열화 심화
2	d	미흡	고정 장치의 파손으로 신축이음 본체 일부 탈락 및 손상	
1	e	불량	신축이음 본체 파손	

2) 건축구조물

[콘크리트 강도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$ac \geq 100\%$
4	b	양호	$ac \geq 100\%$ (경미한 손상 있음)
3	c	보통	$85\% \leq ac < 100\%$
2	d	미흡	$70\% \leq ac < 85\%$
1	e	불량	$ac < 70\%$

[콘크리트 균열]

등급			상 태		
평가 점수	평가 등급	상태	최대 균열폭	면적율 20% 이 하	면적율 20% 이 상
5	a	우수	0.1mm 미만	a	a
4	b	양호	0.1mm~0.2mm 미만	b	b
3	c	보통	0.2mm~0.3mm 미만	c	c
2	d	미흡	0.3mm~0.5mm 미만	d	d
1	e	불량	0.5mm 이상	e	e

[철근배근상태]

등급			상 태				
평가 점수	평가 등급	상태	평가내용	기둥	보	슬래브	크레인 범
5	a	우수	철근배근, 피복두께기준 문제점이 없는 최 상의 상태				
4	b	양호	철근배근, 피복두께기준 비교적 양호한 상 태				
3	c	보통	철근배근, 피복두께기준 경미한 손상이 있 는 보통의 상태				
2	d	미흡	철근배근, 피복두께기준 구조물의 안전성 확보가 곤란하고 불량한 상태 (부재내력 검 토)				
1	e	불량	철근배근, 피복두께기준 구조물의 내력이 현저히 부족하여 붕괴가 우려되는 심각한 상태 (부재내력 검토)				

[콘크리트 누수 및 백태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	누수 및 백태 발생 없음
4	b	양호	누수부위가 건조한 상태의 경미한 누수흔적이 있거나, 백태발생 면적을 5% 미만
3	c	보통	누수부위가 습윤한 상태의 현저한 누수흔적이 있거나, 백태발생 면적을 5% ~ 10% 미만
2	d	미흡	누수의 진행이 관찰가능 하거나, 백태발생 면적을 10% ~ 20% 미만
1	e	불량	누수의 진행이 확연하거나, 백태발생 면적을 20% 이상

[주요 부재 단면 규격]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$s \geq 100\%$
4	b	양호	$95\% \leq s < 100\%$
3	c	보통	$90\% \leq s < 95\%$
2	d	미흡	$75\% \leq s < 90\%$
1	e	불량	$s < 75\%$

※  $s = (\text{측정 단면적} + \text{설계 단면적}) \times 100\%$



[강재 용접부결함]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	결함이 없는 최상의 상태
4	b	양호	국부적인 미세결함이 있는 양호한 상태
3	c	보통	부분적으로 결함이 있는 보통의 상태
2	d	미흡	광범위하게 결함이 발생되어 내력저하의 우려가 있는 불량한 상태
1	e	불량	내력저하가 심각히 우려되는 매우 불량한 상태

[강재 접합볼트 누락, 풀림 및 이완상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	결함이 없는 최상의 상태
4	b	양호	$T_\ell < 5\%$
3	c	보통	$5\% \leq T_\ell < 10\%$
2	d	미흡	$10\% \leq T_\ell < 30\%$
1	e	불량	$30\% \leq T_\ell < 75\%$

$T_\ell$  : 토트치 부족율(%) = 부족토크치/설계토크치×100

또는 접합 볼트너트 결함률(%) = 볼트너트누락또는풀림갯수/설계상볼트너트수×100

[강재부식]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	도장하였을 때	도장하지 않았을 때
5	a	우수	부식이 전혀 없던가 또는 평활면의 도막은 다소 울퉁불퉁함을 일으키고 부풀어 있는 상태	안정화된, 얇고 치밀한 검은색의 녹이 피막을 형성한 상태
4	b	양호	도막의 울퉁불퉁함이나 부풀은 것이 모서리에 연속적인 부식이 심하게 발생했거나 평활면에 부식이 발생한 정도	부식이 상당히 진전되었지만 두께 허용치를 만족할 때
3	c	보통	판두께의 감소가 평균하여 10%미만	
2	d	미흡	판두께의 감소가 평균하여 10%이상 15%미만	
1	e	불량	판두께의 감소가 평균하여 15%이상	

[강재 용접접합부 부식]

등급			상 태		강재 부식환경	
평가 점수	평가 등급	상태	부식 정도	상태계수(a)	부식환경조건	부식환경계수(β)
5	a	우수	부식이 전혀 없던가 또는 용접재의 도막은 다소 울퉁불퉁함을 일으키고 부풀어 있는 상태	1	건조환경	1.0
4	b	양호	도막의 울퉁불퉁함이나 부풀은 것이 모서리에 연속적인 부식이 심하게 발생했든가 용접재에 부식이 발생한 정도	3	습윤환경	1.1
3	c	보통	용접재 두께의 평균 감소율 5%미만	5	부식성환경	1.2
2	d	미흡	용접재 두께의 평균 감소율 5%이상 10%미만	7	고부식성환경	1.3
1	e	불량	용접재 두께의 평균 감소율 10%이상	9		

※ 용접부식의 대표값 =  $a \times \beta$

[볼트접합부 부식]

등급			상 태	강제 부식환경		
평가 점수	평가 등급	상태	부식 정도	상태계 수(α)	부식환경조건	부식환경 계수(β)
5	a	우수	부식이 전혀 없거나 얇고 치밀한 검은색의 녹이 피막을 형성한 상태	1	건조환경	1.0
4	b	양호	볼트 또는 접합판재에 부분적으로 들뜬 녹이 발생한 상태	3	습윤환경	1.1
3	c	보통	볼트 또는 접합판재 두께의 평균 감소율 5%미만	5	부식성환경	1.2
2	d	미흡	볼트 또는 접합판재 두께의 평균 감소율 5%이상 10%미만	7	고부식성환경	1.3
1	e	불량	볼트 또는 접합판재 두께의 평균 감소율 10%이상	9		

※ 볼트접합 부식의 대표값 =  $\alpha \times \beta$

[강제 내화피복]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$cf \geq 100\%$
4	b	양호	$cf \geq 100\%$ (경미한 손상 있음)
3	c	보통	$85\% \leq cf < 100\%$
2	d	미흡	$70\% \leq cf < 85\%$
1	e	불량	$cf < 70\%$

※  $cf = (\text{측정 두께} + \text{설계기준 두께}) \times 100\%$  또는  $(\text{부재손상면적} + \text{부재전체면적}) \times 100\%$  중 최저등급

### 3) 기계설비

#### [기계설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	도장결함 및 부식이 전혀 없는 상태
4	b	양호	도장면이 전반적으로 깨끗하고 국부적(10%미만)으로 도장의 변색, 부풀림, 탈락등이 발생하였거나, 부식이 국부적(전체면적의 5%미만)으로 발생한 상태
3	c	보통	도장면이 비교적 깨끗하고 도장의 변색, 부풀림, 탈락 등이 부분적(10~25%미만)으로 발생하였거나, 부식이 다소(전체면적의 5~15%미만) 발생한 상태
2	d	미흡	도장면이 불량하고 도장의 변색, 부풀림, 탈락 등이 크게(전체면적의 25~50%미만)발생하였거나, 전반적(전체면적의 15~30%미만)으로 발생한 상태
1	e	불량	도장면이 매우불량(전체면적의 50%이상)하고, 부식 발생의 심화(전체면적의 30%이상)된 상태

#### [펌프의 균열 및 파손]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	균열 및 파손이 전혀 없는 양호한 상태
4	b	양호	균열 및 파손이 없는 건전한 상태
3	c	보통	균열 및 파손이 없으나 균열 및 파손의 우려가 있는 상태
2	d	미흡	미세한 균열 및 파손이 있으나 기능 및 성능에 문제가 없는 상태
1	e	불량	균열 및 파손이 발생하여 시급한 조치가 필요한 상태

[펌프베드 기초부]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	베드의 기초에 균열이 전혀 없는 최상의 상태
4	b	양호	베드의 기초에 균열이 없는 양호한 상태
3	c	보통	베드의 기초에 미세균열이 부분적으로 발생한 보통의 상태
2	d	미흡	베드의 기초의 볼트주위에 균열이 발생한 상태
1	e	불량	펌프 고정이 불가능한 정도로 베드의 기초에 균열이 발생하여 보강 또는 교체 등이 필요한 상태

[벨브의 균열 및 파손]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	균열 및 파손이 전혀 없는 양호한 상태
4	b	양호	균열 및 파손이 없는 건전한 상태
3	c	보통	균열 및 파손이 없으나 균열 및 파손의 우려가 있는 상태
2	d	미흡	미세한 균열 및 파손이 있으나 기능 및 성능에 문제가 없는 상태
1	e	불량	균열 및 파손이 발생하여 시급한 조치가 필요한 상태

[배관의 누수상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	누수가 전혀 없음
4	b	양호	누수가 없음
3	c	보통	누수는 없으나 누수의 우려가 보임
2	d	미흡	누수의 진행이 관찰
1	e	불량	누수의 진행이 확연함 (분출)

[배관의 관두께]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	수도용도복장 강관(y)	주철관(t)
5	a	우수	y 30 이상	t 1.0 이상
4	b	양호	10~30 미만	0.8~1.0 미만
3	c	보통	5~10 미만	0.6~0.8 미만
2	d	미흡	2~5 미만	0.4~0.6 미만
1	e	불량	2 미만	t 0.4 미만

[배관 변형]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	관체 변형율(%)	비고
5	a	우수	없음	-수도용도복장강관에 적용하며 주철관은 해당 없음 -관체 변형률은 내측 내경에 의해, 평균내경과 최대 또는 최소내경의 비율에 의해 구한 값임.
4	b	양호	3% 미만	
3	c	보통	3 ~ 15% 미만	
2	d	미흡	15 ~ 30% 미만	
1	e	불량	30% 이상	

[배관 도장 및 부식]

등급			상 태		비고
평가 점수	평가 등급	상태			
5	a	우수	도장결함 및 부식이 전혀 없는 상태		-수도용도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용
4	b	양호	도장면이 전반적으로 깨끗하고 국부적(10%미만)으로 도장의 변색, 부풀림, 탈락등이 발생하였거나, 경미한 전면부식이 조금 발생되거나 건전부 모재두께의 10%미만의 점부식이 관찰되는 상태		
3	c	보통	도장면이 비교적 깨끗하고 도장의 변색, 부풀림, 탈락등이 부분적(10~25%미만)으로 발생하였거나, 가벼운 전면부식이 전단면에 발생되었거나 건전부 모재두께의 10~30% 미만의 점부식이 관찰되는 상태		
2	d	미흡	도장면이 불량하고 도장의 변색, 부풀림, 탈락 등이 크게(전체면적의 25~50%미만)발생하였거나, 심화된 전면부식이 전단면에 발생되었거나 건전부 모재두께의 30~50% 미만의 점부식이 관찰되는 상태		
1	e	불량	도장면이 매우불량(전체면적의 50%이상)하고, 전면부식과 건전부 모재두께의 50%이상의 점부식이 관찰되는 상태		

[와이어로프 상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	와이어로프의 손상이 없는 양호한 상태
4	b	양호	와이어로프의 손상이 없는 건전한 상태
3	c	보통	와이어로프 표면에 그리스 도포가 불량한 상태
2	d	미흡	와이어로프 표면에 산화부식이 진행상태이거나, 약간의 꺾임 등이 발생한 상태
1	e	불량	와이어로프의 직경감소가 7%이상이거나, 하나의 꼬임에서 소선절단이 10% 이상발생하였거나, 심한 킁크가 있는 상태

[수문의 부식]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	부식 발생 면적비율이 0~0.03%이하
4	b	양호	부식 발생 면적비율이 0.03~2.0%이하, 건전부 모재두께의 5% 미만의 점부식이 관찰되는 상태
3	c	보통	부식 발생 면적비율이 2.0~5.0%이하이거나, 건전부 모재두께의 5~10%의 점부식이 관찰되는 상태
2	d	미흡	부식 발생 면적비율이 5.0~10.0%이하이거나, 건전부 모재두께의 10~30%의 점부식이 관찰되는 상태로 보수가 필요한 상태
1	e	불량	부식 발생 면적비율이 11.0%이상이거나, 건전부 모재두께의 30% 이상의 점부식으로 인하여 시급히 보강이 필요한 상태



[수문의 변형]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	변형이 없는 양호한 상태
4	b	양호	변형이 없는 건전한 상태
3	c	보통	부분변형이 있으나 문틀에 밀착되는 상태
2	d	미흡	변형으로 문틀에 밀착하지 못하여 별도의 장치를 이용하여 문틀에 밀착되는 상태
1	e	불량	변형으로 작동이 원활하지 못한 상태로 작동시 접촉, 끼임 발생과 부분적인 두께감소가 1/2 이상인 경우

[수문의 와이어로프 및 랙바]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	와이어로프의 손상이 없는 양호한 상태 랙바에 손상이 없는 양호한 상태
4	b	양호	와이어로프의 손상이 없는 건전한 상태 랙바에 손상이 없는 건전한 상태
3	c	보통	와이어로프 표면에 그리스 도포가 불량한 상태 랙바의 마모가 허용범위 이내의 정상적이거나 그리스 도포가 불량하거나 부식이 발생한 상태
2	d	미흡	와이어로프 표면에 산화부식이 진행상태이거나, 약간의 꺾임 등이 발생한 상태 랙바의 직경감소가 10%이내이나 편마모가 발생한 경우
1	e	불량	와이어로프의 직경감소가 7%이상이거나, 하나의 꼬임에서 소선절단이 10% 이상 발생하였거나, 심한 키크가 있는 상태 랙바의 최대 직경감소가 10%이상 발생한 경우

4) 전기설비

[수변전설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[배전설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[동력설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[배관배선설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[조명설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[조명설비의 조도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$lx \geq 300$
4	b	양호	$300 > lx \geq 200$
3	c	보통	$200 > lx \geq 150$
2	d	미흡	$150 > lx \geq 100$
1	e	불량	$lx < 100$

(3) 안전성평가

1) 건물기초

평가기준 검토항목	구분	a	b	c	d	e
지지력	평상시	1.2이상	1.2이상	1.2미만 ~1.0이상	1.0미만 ~0.75이상	0.75 미만
	지진시	1.0이상	1.0이상	1.0미만 ~0.9이상	0.9미만 ~0.75이상	0.75 미만

2) 옹벽

[내적안정성]

구분	평가기준 검토항목	a	b	c	d	e	비고	
	콘크리트 옹벽	전단력 검토 휨모멘트 검토	1.0이상	1.0이상 (허용안 전율 이상이 며 손상이 있는 경우)	1.0미만 ~ 0.9이하	0.9미만 ~ 0.75이하		0.75미만
보강토 옹벽	인발파괴에 대한 안정 보강재 파단에 대한 안정	1.0미만 ~ 0.9이하			0.9미만 ~ 0.75이하	0.75미만	보강재적용길/ 보강재소요길 이	
석축	벽체의 평균폭	1.0미만 ~ 0.9이하			0.9미만 ~ 0.75이하	0.75미만	실제평균폭/평 균폭산정값	

[콘크리트 옹벽, 석축의 외적안정성]

평가기준 검토항목	구분	a	b	c	d	e
활동	평상시	1.5이상	1.5이상*	1.5미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.1이상	1.1이상*	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
전도	<del>평상시</del>	2.0이상	2.0이상*	2.0미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
지지력	평상시	1.2이상	1.2이상*	1.2미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.0이상	1.0이상*	1.0미만~0.9이상	0.9미만~0.75이상	0.75미만
침하	<del>평상시</del>	1.2이상		1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만

(주) 1. \* : 허용안전율은 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우

2. 지지력은 (지반의 허용지지력/작용응력)의 비로 평가

3. 침하는 (보호시설의 허용침하량/침하발생량)의 비로 평가

4. 활동은 수평활동과 원호활동을 구분하여 실시

[보강토 옹벽, 개비온옹벽의 외적안정성]

평가기준 검토항목	구분	a	b	c	d	e
저면활동	평상시	1.5이상	1.5이상*	1.5미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.1이상	1.1이상*	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
원호활동	평상시	1.3이상	1.3이상*	1.3미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
		1.1이상	1.1이상*	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
전도		1.5이상	1.5이상*	1.5미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
지지력	평상시	1.2이상	1.2이상*	1.2미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.0이상	1.0이상*	1.0미만~0.9이상	0.9미만~0.75이상	0.75미만
침하		1.2이상	1.2미만~ 1.1이상	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만

- (주) 1. \* : 허용안전율은 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우  
 2. 지지력은 (지반의 허용지지력/작용응력)의 비로 평가  
 3. 침하는 (보호시설의 허용침하량/침하발생량)의 비로 평가  
 4. Rigid Box 위에 축조된 보강토 옹벽의 해석은 Box와 옹벽을 일체로 해석

### 3) 건축물

[건축물 기울기]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	기울기(각변위)	내용
5	a	우수	1/750 이내	예민한 기계기초의 위험 침하 한계
4	b	양호	1/500 이내	구조물의 균열발생 한계
3	c	보통	1/250 이내	구조물의 경사도 감지
2	d	미흡	1/150 이내	구조물의 구조적 손상이 예상되는 한계
1	e	불량	1/150 초과	구조물이 위험할 정도

[부재의 변위 및 변형]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	보 및 슬래브의 처짐	내용
5	a	우수	경간길이/480 이하	일상적인 유지관리
4	b	양호	경간길이/480 이하 (경미한 손상)	지속적인 주의관찰 필요시 간단한 보수
3	c	보통	경간길이/240 이하	지속적인 감시, 부분적인 보수·보강
2	d	미흡	경간길이/150 이하	대규모 보수·보강 필요, 사용제한 여부 판단
1	e	불량	경간길이/150 초과	긴급보강 및 사용금지, 철거 또는 재건축

[건축물 부재내력]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	분석치	내용
5	a	우수	SF 이상	SF ≥ 100%
4	b	양호		SF ≥ 100% (경미한 손상있음)
3	c	보통	90 ≤ SF < 100	90% ≤ SF < 100%
2	d	미흡	SF < 90	75% ≤ SF < 90%
1	e	불량		SF < 75%

4) 전기설비

[수변전설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
절연유 상태	5	a	우수	절연파괴 : 30[kV] 이상 산가 : 0.2[mgKOH/g] 이하
	4	b	양호	절연파괴 : 30[kV] 미만 산가 : 0.2[mgKOH/g] 이하
	3	c	보통	절연파괴 : 30[kV] 이상 산가 : 0.2[mgKOH/g] 초과
	2	d	미흡	절연파괴 : 30[kV] 미만 산가 : 0.2[mgKOH/g] 초과
	1	e	불량	절연파괴 : 20[kV] 미만 산가 : 0.2[mgKOH/g] 초과
접지 저항	5	a	우수	1종[Ω] < 2 3종[Ω] < 2
	4	b	양호	2 < 1종[Ω] ≤ 5 2 < 3종[Ω] ≤ 50
	3	c	보통	5 < 1종[Ω] ≤ 10 50 < 3종[Ω] ≤ 100
	2	d	미흡	10 < 1종[Ω] ≤ 12 100 < 3종[Ω] ≤ 120
	1	e	불량	12 < 1종[Ω] 120 < 3종[Ω]
절연 내력	5	a	우수	규정치에서 견디고, 누설전류 완만한 하락곡선
	4	b	양호	규정치에서 견디나, 누설전류 스윙발생
	3	c	보통	규정치에서 견디나, 누설전류 간헐적 킁발생
	2	d	미흡	규정치에서 견디나, 누설전류 지속적 킁 발생
	1	e	불량	실시 전 절연저항값 부족
차단기 진공도 측정	5	a	우수	누설전류 2mA 이하
	4	b	양호	누설전류 4mA 이하
	3	c	보통	누설전류 8mA 이하
	2	d	미흡	누설전류 16mA 이하
	1	e	불량	누설전류 12mA 초과



[배전설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
접지 저항	5	a	우수	1종[Ω] < 2 3종[Ω] < 2
	4	b	양호	2 < 1종[Ω] ≤ 5 2 < 3종[Ω] ≤ 50
	3	c	보통	5 < 1종[Ω] ≤ 10 50 < 3종[Ω] ≤ 100
	2	d	미흡	10 < 1종[Ω] ≤ 12 100 < 3종[Ω] ≤ 120
	1	e	불량	12 < 1종[Ω] 120 < 3종[Ω]
절연 내력	5	a	우수	규정치에서 견디고, 누설전류 완만한 하락곡선
	4	b	양호	규정치에서 견디나, 누설전류 스윙발생
	3	c	보통	규정치에서 견디나, 누설전류 간헐적 킥발생
	2	d	미흡	규정치에서 견디나, 누설전류 지속적 킥 발생
	1	e	불량	실시 전 절연저항값 부족
진공도 측정	5	a	우수	누설전류 1.25mA 이하
	4	b	양호	누설전류 2.5mA 이하
	3	c	보통	누설전류 5mA 이하
	2	d	미흡	누설전류 7.5mA 이하
	1	e	불량	누설전류 7.5mA 초과
계전기 성능	5	a	우수	최소동작전류 ±3%이내 한시특성시간 ±9%이내 시퀀스동작 정상
	4	b	양호	최소동작전류 ±5%이내 한시특성시간 ±12%이내 시퀀스동작 정상
	3	c	보통	최소동작전류 ±5%초과 한시특성시간 ±12%이내 시퀀스동작 정상
	2	d	미흡	최소동작전류 ±5%초과 한시특성시간 ±12%초과 시퀀스동작 정상
	1	e	불량	최소동작전류 ±5%초과 한시특성시간±12%초과 시퀀스동작 불량

[동력설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
절연 저항	5	a	우수	(3.3 kV) $22.5 \leq$ 측정값[MΩ] (6.6 kV) $45 \leq$ 측정값[MΩ]
	4	b	양호	(3.3 kV) : $15 \leq$ 측정값[MΩ] < 22.5 (6.6 kV) : $30 \leq$ 측정값[MΩ] < 45
	3	c	보통	(3.3 kV) : $7.5 \leq$ 측정값[MΩ] < 15 (6.6 kV) : $15 \leq$ 측정값[MΩ] < 30
	2	d	미흡	(3.3 kV) : $3 \leq$ 측정값[MΩ] < 7.5 (6.6 kV) : $6 \leq$ 측정값[MΩ] < 15
	1	e	불량	(3.3 kV) : 측정값[MΩ] < 3 (6.6 kV) :: 측정값[MΩ] < 6
접지 저항	5	a	우수	1종[Ω] < 2 3종[Ω] < 2
	4	b	양호	$2 < 1종[Ω] \leq 5$ $2 < 3종[Ω] \leq 50$
	3	c	보통	$5 < 1종[Ω] \leq 10$ $50 < 3종[Ω] \leq 100$
	2	d	미흡	$10 < 1종[Ω] \leq 12$ $100 < 3종[Ω] \leq 120$
	1	e	불량	$12 < 1종[Ω]$ $120 < 3종[Ω]$
절연 내력	5	a	우수	규정치에서 견디고, 누설전류 완만한 하락곡선
	4	b	양호	규정치에서 견디나, 누설전류 스윙발생
	3	c	보통	규정치에서 견디나, 누설전류 간헐적 킥발생
	2	d	미흡	규정치에서 견디나, 누설전류 지속적 킥 발생
	1	e	불량	실시 전 절연저항값 부족
성극비	5	a	우수	$2.0 \leq$ 측정값
	4	b	양호	$1.25 \leq$ 측정값 < 2.0
	3	c	보통	$1.1 \leq$ 측정값 < 1.25
	2	d	미흡	$1.0 \leq$ 측정값 < 1.1
	1	e	불량	측정값 < 1.0
고조파	5	a	우수	3% 이하
	4	b	양호	5% 이하
	3	c	보통	10% 이하
	2	d	미흡	20% 이하
	1	e	불량	40% 이하

[배관배선설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
절연 저항 5000V	5	a	우수	$7500 \leq \text{측정값[M}\Omega]$
	4	b	양호	$5000 \leq \text{측정값[M}\Omega] < 7500$
	3	c	보통	$2500 \leq \text{측정값[M}\Omega] < 5000$
	2	d	미흡	$500 \leq \text{측정값[M}\Omega] < 2500$
	1	e	불량	$\text{측정값[M}\Omega] < 500$
접지 저항	5	a	우수	$1\text{종}[\Omega] < 2$ $3\text{종}[\Omega] < 2$
	4	b	양호	$2 < 1\text{종}[\Omega] \leq 5$ $2 < 3\text{종}[\Omega] \leq 50$
	3	c	보통	$5 < 1\text{종}[\Omega] \leq 10$ $50 < 3\text{종}[\Omega] \leq 100$
	2	d	미흡	$10 < 1\text{종}[\Omega] \leq 12$ $100 < 3\text{종}[\Omega] \leq 120$
	1	e	불량	$12 < 1\text{종}[\Omega]$ $120 < 3\text{종}[\Omega]$
절연 내력	5	a	우수	규정치에서 견디고, 누설전류 완만한 하락곡선
	4	b	양호	규정치에서 견디나, 누설전류 스윙발생
	3	c	보통	규정치에서 견디나, 누설전류 간헐적 킥발생
	2	d	미흡	규정치에서 견디나, 누설전류 지속적 킥 발생
	1	e	불량	실시 전 절연저항값 부족
성극비	5	a	우수	$1.5 \leq \text{측정값}$
	4	b	양호	$1.0 \leq \text{측정값} < 1.5$
	3	c	보통	$0.75 \leq \text{측정값} < 1.0$
	2	d	미흡	$0.5 \leq \text{측정값} < 0.75$
	1	e	불량	$\text{측정값} < 0.5$

[조명설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
절연 저항	5	a	우수	$5 \leq \text{측정값[M}\Omega\text{]}$
	4	b	양호	$1 \leq \text{측정값[M}\Omega\text{]} < 5$
	3	c	보통	$0.2 \leq \text{측정값[M}\Omega\text{]} < 1.0$
	2	d	미흡	$0.1 \leq \text{측정값[M}\Omega\text{]} < 0.2$
	1	e	불량	$\text{측정값[M}\Omega\text{]} < 0.1$
접지 저항	5	a	우수	$1\text{종}[\Omega] < 2$ $3\text{종}[\Omega] < 2$
	4	b	양호	$2 < 1\text{종}[\Omega] \leq 5$ $2 < 3\text{종}[\Omega] \leq 50$
	3	c	보통	$5 < 1\text{종}[\Omega] \leq 10$ $50 < 3\text{종}[\Omega] \leq 100$
	2	d	미흡	$10 < 1\text{종}[\Omega] \leq 12$ $100 < 3\text{종}[\Omega] \leq 120$
	1	e	불량	$12 < 1\text{종}[\Omega]$ $120 < 3\text{종}[\Omega]$

(4) 내구성평가

1) 토목구조물

[탄산화 잔여 깊이]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
5	a	우수	30mm 이상	탄산화에 의한 부식이 발생할 우려 없음
4	b	양호	10mm 이상 ~ 30mm 미만	향후 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
3	c	보통	0mm 이상 ~ 10mm 미만	경우에 따라서 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
2	d	미흡	0mm 미만	철근부식 발생
1	e	불량	-	

[전염화물 이온량]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	전염화물 이온량	철근부식의 가능성
5	a	우수	염화물 $\leq 0.3\text{kgf/m}^3$	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
4	b	양호	$0.3\text{kgf/m}^3 < \text{염화물} < 1.2\text{kgf/m}^3$	콘크리트 중의 염화물 이온농도가 높으나, 부식이 발생할 가능성이 적음
3	c	보통	$1.2\text{kgf/m}^3 < \text{염화물} < 2.5\text{kgf/m}^3$	향후 염화물에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
2	d	미흡	염화물 $\geq 2.5\text{kgf/m}^3$	철근부식 발생
1	e	불량	-	

[시설물 노후도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	시설마감에 손상이나 노후화 흔적이 없는 최상의 상태
4	b	양호	시설마감이 손상되었거나 간단한 보수로 처리가 가능한 비교적 양호한 상태
3	c	보통	시설마감이 손상되고 노후화가 진행되어 부분적인 보수·교체가 요구되는 상태
2	d	미흡	시설마감의 손상과 노후화가 상당히 진전되어 성능이 감소됨으로써 긴급한 보수·교체가 요구되는 상태
1	e	불량	시설마감의 노후화가 심각하고 성능의 급격한 감소로 마감이 대폭적으로 교체되어야 하거나 보수 또는 교체 자체가 불가능한 상태

2) 건축구조물

[콘크리트 탄산화]

등급			상 태				
평가 점수	평가 등급	상태	평가내용 (m/sec)	기둥	보	슬래브	크레인빔
5	a	우수	$C_t \leq 0.25D$				
4	b	양호	$0.25D < C_t \leq 0.5D$				
3	c	보통	$0.5D < C_t \leq 0.75D$				
2	d	미흡	$0.75D < C_t \leq D$				
1	e	불량	$C_t > D$				

※  $C_t$  : 콘크리트 탄산화 깊이(cm), D : 측정된 철근의 피복두께(cm)

[초음파속도]

등급			상 태				
평가 점수	평가 등급	상태	평가내용 (m/sec)	기동	보	슬래브	크레인빔
5	a	우수	4500 이상				
4	b	양호	3500~4500				
3	c	보통	3000~3500				
2	d	미흡	2000~3000				
1	e	불량	2000 미만				

3) 기계설비

[기계설비 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	5년 미만
4	b	양호	5년 미만 ~ 10년 미만
3	c	보통	10년 이상 ~ 20년 미만
2	d	미흡	20년 이상 ~ 40년 미만
1	e	불량	40년 이상

4) 전기설비

[수변전설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	$5 \leq$ 경과년도 < 10
3	c	보통	$10 \leq$ 경과년도 < 15
2	d	미흡	$15 \leq$ 경과년도 < 20
1	e	불량	$20 \leq$ 경과년도

[배전설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	$5 \leq$ 경과년도 < 10
3	c	보통	$10 \leq$ 경과년도 < 15
2	d	미흡	$15 \leq$ 경과년도 < 20
1	e	불량	$20 \leq$ 경과년도



[동력설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	5 ≤ 경과년도 < 10
3	c	보통	10 ≤ 경과년도 < 20
2	d	미흡	20 ≤ 경과년도 < 30
1	e	불량	30 ≤ 경과년도

[배관배선설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	5 ≤ 경과년도 < 10
3	c	보통	10 ≤ 경과년도 < 15
2	d	미흡	15 ≤ 경과년도 < 20
1	e	불량	20 ≤ 경과년도

[조명설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	$5 \leq$ 경과년도 < 10
3	c	보통	$10 \leq$ 경과년도 < 15
2	d	미흡	$15 \leq$ 경과년도 < 20
1	e	불량	$20 \leq$ 경과년도

(5) 사용성능평가

구분			조사항목
사용 성능	수요 및 용량		용량 사용환경 변화
	건축구조물	설계기준	강재강도
	기계설비	펌프	진동크기, 성능, 소음크기
		밸브류	작동상태, 누수상태
		천정주행기	작동상태
		천정주행기중기	작동상태
		제진기, 스크린	작동상태, 설치상태
		수문	작동상태, 누수, 마찰부 손상
	전기설비	수변전설비	운전 및 조작 상태
		배전설비	운전 및 조작 상태
		동력설비	운전 및 조작 상태

가. 용량

- 양(배)수장이 단위시설당 용량이 용수량이 현재의 요구량을 만족하는지 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	용량이 충분한 상태
1	e	불량	용량이 부족한 상태

나. 사용환경 변화

- 양(배)수장 준공 이후 설계기준, 주변여건 등 사용환경의 변화를 현재 만족하는지 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	사용환경 변화를 충분히 만족하여 지속사용이 가능한 상태
1	e	불량	사용환경 변화를 만족하지 못하여 성능개선이 필요한 상태

2) 건축구조물

[강재 강도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$a_s \geq 100\%$
4	b	양호	$95\% \leq a_s < 100\%$
3	c	보통	$90\% \leq a_s < 95\%$
2	d	미흡	$75\% \leq a_s < 90\%$
1	e	불량	$a_s < 75\%$

$$a_s = (\text{측정강도} + \text{설계기준강도}) \times 100\%$$

### 3) 기계설비

[펌프 진동크기]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	진동한계(RMS, mm/s) < 1.4
4	b	양호	진동한계(RMS, mm/s) < 2.8
3	c	보통	진동한계(RMS, mm/s) < 4.5
2	d	미흡	진동한계(RMS, mm/s) < 7.1
1	e	불량	진동한계(RMS, mm/s) ≥ 7.1

※ 진동한계값은 ISO 10816-3 기준에 근거하여 시설물 종류 및 현장여건에 따라 변경가능

[펌프 성능]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	펌프작동이 원활하고 손상이 전혀 없음
4	b	양호	원동기과부하, 압력, 유량에 이상이 없고 베어링발열이나 이상음이 경미하게 발생
3	c	보통	원동기과부하, 압력, 유량에 이상이 없고 베어링발열이나 이상음이 발생하나 즉각적인 조치가 필요없음
2	d	미흡	원동기과부하, 압력, 유량에 이상이 있으나 작동이 가능
1	e	불량	원동기과부하, 압력, 유량에 이상이 확인하여 작동이 불가능함

[펌프 소음크기]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	펌프1m에서 평균소음의 크기가 80dB 이하
4	b	양호	펌프1m에서 평균소음의 크기가 80dB 초과, 90dB 이하
3	c	보통	펌프1m에서 평균소음의 크기가 90dB 초과, 100dB 이하
2	d	미흡	펌프1m에서 평균소음의 크기가 100dB 초과, 120dB 이하
1	e	불량	펌프1m에서 평균소음의 크기가 120dB 초과

[밸브류의 작동상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	밸브의 작동이 원활한 양호한 상태
4	b	양호	밸브의 작동이 원활한 건전한 상태
3	c	보통	밸브의 작동에는 문제가 없고 경미한 손상이 있는 상태
2	d	미흡	밸브의 작동은 가능한 고장으로 수리가 필요한 상태
1	e	불량	밸브의 작동이 불가능한 상태

[밸브류의 누수정도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	밸브의 축봉부위 등에서 누수가 전혀 없는 양호한 상태
4	b	양호	밸브의 축봉부위 등에서 누수가 없는 건전한 상태
3	c	보통	밸브의 축봉부위 등에서 누수가 없으나 누수의 우려가 있는 상태
2	d	미흡	밸브의 축봉부위 등에서 누수가 관찰되는 상태
1	e	불량	밸브의 축봉부위 등에서 누수의 진행이 확인한 상태

[천정주행기중기의 작동상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	작동이 원활한 양호한 상태
4	b	양호	작동이 원활한 건전한 상태
3	c	보통	이상소음이나 진동 등의 발생이 있으나 작동에는 이상이 없는 상태
2	d	미흡	이상소음이 과다하게 발생하고 고착으로 회전이 불량한 상태
1	e	불량	진동이 과다하게 발생하여 작동이 불가능한 상태

[제진기 작동]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	작동이 원활한 양호한 상태
4	b	양호	작동이 원활한 건전한 상태
3	c	보통	이상소음이나 진동 등의 발생이 있으나 작동에는 이상이 없는 상태
2	d	미흡	이상진동으로 소음이 과다하게 발생하고 고착으로 회전이 불량한 상태
1	e	불량	진동이 과다하게 발생하여 작동이 불가능한 상태

[제진기 및 스크린의 설치]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	손상이 전혀 없는 상태
4	b	양호	힘 및 좌굴이 있으나 스크린 간격 이내임
3	c	보통	힘 및 좌굴이 스크린간격과 유사한 상태
2	d	미흡	힘 및 좌굴이 스크린간격 보다 커 이물질이 들어갈 수 있는 상태
1	e	불량	스크린의 기능이 상실된 상태



[수문의 작동상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	전동 및 수동 상승, 하강에 이상이 없는 양호한 상태이며, 상하한 자동정지도 양호한 상태
4	b	양호	작동시 이상소음이 없으며, 상승 및 하강에 이상이 없는 건전한 상태
3	c	보통	작동시 구동부에 다소의 이상진동 및 소음발생 등이 있으나 상승, 하강은 원활한 상태
2	d	미흡	전동작동이 원활하지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한작동이 가능한 상태
1	e	불량	전혀 작동되지 않는 상태

[수문의 누수]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	누수가 없는 양호한 상태
4	b	양호	누수 가능성이 없는 건전한 상태
3	c	보통	미세한 누수가 있는 경미한 상태
2	d	미흡	지수고무의 훼손 및 변형 등으로 밀착불량에 따른 부분적인 누수가 발생하는 상태
1	e	불량	문비의 변형 등으로 누수가 다량으로 발생하여 별도 부대설비(모래주머니 등)를 설치하여야 지수가 가능한 상태

[수문의 마찰부손상]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	부식 및 고착이 없고 회전이 원활한 양호한 상태
4	b	양호	부식 및 고착이 있으나 회전이 원활한 건전한 상태
3	c	보통	부식 및 고착으로 회전 및 작동이 불량하나 문비의 작동에는 이상이 없는 상태
2	d	미흡	고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 문비작동이 불량한 상태
1	e	불량	부식 및 고착으로 회전이 불량하여 작동이 불가능한 상태

4) 전기설비

[수변전설비의 조작 및 운전]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	경미한 결함이 있으나 연계동작이 양호한 상태
3	c	보통	보조부재의 결함이 있으나 조작 및 운전엔 지장이 없는 상태
2	d	미흡	오동작이 발생하여 운전엔 지장을 초래하는 상태
1	e	불량	심각한 파손으로 조작 및 운전이 불가능한 상태

[배전설비의 조작 및 운전]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	경미한 결함이 있으나 연계동작이 양호한 상태
3	c	보통	보조부재의 결함이 있으나 조작 및 운전에는 지장이 없는 상태
2	d	미흡	오동작이 발생하여 운전에는 지장을 초래하는 상태
1	e	불량	심각한 파손으로 조작 및 운전이 불가능한 상태

[동력설비의 조작 및 운전]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	경미한 결함이 있으나 연계동작이 양호한 상태
3	c	보통	보조부재의 결함이 있으나 조작 및 운전에는 지장이 없는 상태
2	d	미흡	오동작이 발생하여 운전에는 지장을 초래하는 상태
1	e	불량	심각한 파손으로 조작 및 운전이 불가능한 상태

[별표 5] 농업기반시설 종합 성능평가 방법

(5) 종합 성능평가

가. 농업기반시설의 종합 성능평가는 안전성능, 내구성능 및 사용성능으로 평가부문을 구분하여 평가결과를 기록하고, 중요도를 반영하여 성능평가지수와 성능평가등급을 부여한다.

시설 개요	시설물명	시설명	* 시설명, 시설고유번호 등 기재			
	부재명					
	시설분류코드					
평가결과						
평가항목	세부지표	평가기준	점수	평가 결과(M)	중요도 (F)	평가지수 (M×F)
안전성능	물리적 상태평가 결과	불량	1			
		미흡	2			
		보통	3			
		양호	4			
		우수	5			
	안전성평가	불량	1			
		미흡	2			
		보통	3			
		양호	4			
		우수	5			
내구성능	콘크리트 압축강도	불량	1			
		미흡	2			
		보통	3			
		양호	4			
		우수	5			
	탄산화 잔여 깊이	불량	1			
		미흡	2			
		보통	3			
		양호	4			
		우수	5			
사용성능						
종합평가결과 :						
부문	평가지수 합계	부문중요도	성능평 가지수	성능평 가등급	종합성능평가 지수	종합성능평가 등급
안전성능(SF)						
내구성능(D)						
사용성능(S)						
평가의견 및 기타사항 :						

나. 성능평가의 성능간의 가중치 범위는 다음과 같이 산정하였다. 관리주체는 관리 시설의 성격에 맞게 성능간의 가중치를 범위내에서 조절하여 평가한다. 가중치는 다음과 같이 안전성능, 내구성능, 사용성능의 합이 100이 되도록 도출하여야 한다.

성능	가중치(%)
안전성능	50~65
내구성능	15~30
사용성능	5~35
합계	100

<평가항목별, 평가부문간 중요도 도출방법>

평가부문	평가항목 a	평가지준	가중치(%)
안전성능 (60%)	평가지표 b		70
	평가지표 c		10
	평가지표 d	각 성능항목별 가중치 합=100	20
내구성능 (20%)	평가지표 e		30
	평가지표 f		50
	평가지표 g		20
사용성능 (20%)	평가지표 h		100

**안전성능+내구성능+사용성능=100**

다. 성능평가지 활용되는 중요도는 시설물의 서비스 제공에 영향을 미치는 정도를 말하며, 객관성을 확보하고 있는 전문가 10인 이상이 참여하는 계층화 분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 사용하여 결정한다. 개별시설 내에서 활용하는 중요도는 시설관리자 중에서 선정한 전문가들을 활용하여 AHP 분석방법으로 결정한다. 다만, AHP 분석이 적절치 않을 경우 전문가의 협의와 시설관리자의 참여하에 가중치를 결정할 수 있다.

라. 전기설비의 경우에는 평가항목의 중복을 고려하여 다음과 같이 평가항목을 평가한다. 평가항목이 평가부문에 중복일 경우 주요소에서만 평가하고 보조요소에서는 따로 평가하지 않는다.

< 전기설비의 평가부문별, 평가부문간 중요도 >

평가부문	평가항목	평가기준	중요도(예시)
안전성 능 (50%)	평가항목 a		65%
	평가항목 b (주요소)		20%
	평가지표 c (보조요소)	평가항목 c (주요소) 참조	5%
	평가항목 d (보조요소)	평가항목 d (주요소) 참조	5%
	평가항목 e (보조요소)	평가항목 e (주요소) 참조	5%
내구성 능 (30%)	평가항목 c (주요소)		65%
	평가항목 d (주요소)		20%
	평가항목 e (보조요소)	평가항목 e (주요소) 참조	5%
	평가항목 g		5%
	평가항목 h (보조요소)	평가항목 h (주요소) 참조	5%
사용성 능 (20%)	평가항목 e (주요소)		10%
	평가항목 h (주요소)		10%
	평가항목 i		30%
	평가항목 j		25%
	평가항목 b (보조요소)	평가항목 b (주요소) 참조	25%

마. 농업기반시설의 종합평가는 시설별로 성능평가지수와 성능평가등급을 평가한다. 종합 성능평가 지수에 따른 종합성능평가 등급부여 기준은 다음과 같다.

성능평가지수(E)	성능평가등급	성능 수준 및 유지관리 필요성
$4.5 \leq E \leq 5.0$	A (우수)	결함·손상이 없고 내구성능 저하 가능성 낮음
$3.5 \leq E < 4.5$	B (양호)	경미한 결함이 있는 상태로 진행여부를 지속 관찰
$2.5 \leq E < 3.5$	C (보통)	안전에는 지장이 없으나, 간단한 보수·보강 필요
$1.5 \leq E < 2.5$	D (미흡)	성능이 기준이 미치지 못해 긴급한 보수·보강 필요
$1.0 \leq E < 1.5$	E (불량)	심각한 결함이 있어 즉각 사용중단하고 보강·개축 필요

- 목 차 -

가. 서두

나. 성능평가 개요

다. 자료수집 및 분석

라. 성능목표 및 관리지표의 선정

마. 농업기반시설의 평가부문별(안전성능, 내구성능, 사용성능) 평가

바. 성능평가 결과의 시설별, 지역별 분석

사. 농업기반시설의 종합평가 결과

아. 농업기반시설 유지관리 전략 제안

자. 종합결론

차. 부록





## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

### ■ 발 행 처

#### 농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습물관리 기술개발

발 행 일	2019. 12
발 행 인	유 전 용
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 870 전 화 031 - 400 - 1730 FAX 031 - 409 - 6055

- 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.