

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002410-01

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습물관리 기술개발(I)

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

2018. 12.



농림축산식품부



한국농어촌공사

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리
기술개발” 과제의 1차년도 보고서로 제출합니다.

2018년 12월

주관연구기관명 : 농어촌연구원

연구책임자 : 김해도

연구원 : 이준구
강석만
김영화
이재주
박미란
박구성
신안국
이상희
유선아
노미화

공동연구기관 : 충남대학교

서울대학교

연구책임자 : 안현욱

최원

연구원 : 고보성

최규훈

윤성수

박진선

이상익

이병준

위촉연구원 : 장명식

김기중

김상민

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습물관리 기술개발(I)

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

- 1편: ICT/IoT기반 자율학습 물관리 기술개발 -

2018. 12.



농림축산식품부



한국농어촌공사

< 요약 >

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

1. 서론

1.1 연구배경 및 필요성

- 농업용수를 최대한 아껴 사용할 수 있는 물자원 절약기술 필요
 - 농업용수 부족은 자연재해 차원을 넘어서 사회적 갈등의 요인이고, 가뭄시 농업용수 배분은 환경, 경제를 뛰어넘은 생존의 문제로 발전 가능성이 매우 큰 만큼 가뭄은 이미 국가적 차원의 극복과제임
 - ※생존의 문제해결을 위한 대규모 사업시행 (예: 아산호-삼교호-대호호 수계연결사업)
 - 용수부족의 근본적 해소방법 중 물자원 절약기술이 사회적으로 요구되는 기술이며 기후변화 및 농업환경변화로 인한 가뭄의 의사지원 및 탄력적 대응방안 마련이 필요
- 농업용수 관리수량 과다 발생
 - 대부분의 농업용수 공급시설은 수원공인 저수지로부터 급수지역까지 내리흐림식 관개를 하여 급수면적이 최대가 되도록 설치됨
 - 내리흐림식 농업용수 공급시설은 안정된 식량생산기반구축과 에너지 사용측면에는 경제적이지만 복잡한 용·배수로 체계와 수로분기방식으로 많은 수리시설을 관리와 필요수량 외의 관리수량이 발생
 - 내리흐림식관개는 중력식으로 에너지 소모가 최소인 반면 도수(송수)과정에서 용수 손실이 발생하고, 수원공에서 급수부 말단까지 전체 용수과정에서 중력식 구조가 적용되기 때문에 급수지역 중 일부가 토지이용 상황이 바뀌더라도 말단까지 공급을 위해서는 공급수량을 기존과 같이 유지할 수 밖에 없는 구조적 특징이 있음
- 농업·농촌 자산인 농업생산기반시설의 효율적 운영기술 필요
 - 농업용수의 수요자인 농민의 영농방식 변화(논→밭)에 맞추어 농업용수 공급시설 및 운영기술도 논 농업 용도에서 다목적 용도로의 효율적

물관리 운영기술이 필요

- 대부분의 수리시설물은 인력관리 위주의 시설물(개수로, 분수문)로 많은 인력이 요구되고 있으나 제한된 인력에 의해 관리되고 있어 수문 분수공 등을 적기에 개폐하지 못하여 관리수량 증가
- 현재 물관리 종사자의 관리부담이 가중되고 있는 상황에 대응한 농업 생산기반시설의 효율적 운영기술은 데이터를 기반으로 하는 지능형 물관리 방식임

※ 물관리자 1인당 시설관리 개소 및 연장 : 9개소(저수지, 양수장), 21km(수로, 수문)

구분	시설개소(개)	지사당 관리개소	시설연장(km)
수원공	13,894	172	-
평야부	38,148	471	34,000
합계	52,042	642	34,000

- 물과 작물의 모니터링 및 시설물 제어로 물절약 및 효율성 향상 실현
 - 계측(Sensing)과 모델링(Simulation), 스마트 수리시설(Smart Control)과 자율학습(Unsupervised Learning) 을 활용한 생산기반시설 운영 기술의 도입을 통해 물절약 및 효율성 향상 실현
 - 수로, 분수문 및 포장물꼬 등 수리시설의 기능개선+센서 및 적기·적량의 공급과 균등 배분을 위한 데이터 기반의 물관리 모형 도출

1.2 연구목적

- 공급/수요자 복합형 ICT/IoT 융·복합 자율학습 물관리 시스템 개발
 - 자율학습 물관리 요소기술 및 공정기술 도출
 - ICT/IoT 기술의 적용을 위한 공정기술 시험제작 및 적용성능 검증
 - 자율학습 물관리 시스템 TEST-BED 적용 및 사업화
- 세계적 수준의 노후 농업기반시설의 유지관리와 성능개선 기술 확보

2. 연구범위 및 내용

2.1 연구대상

- 농업용수 및 농업생산기반시설
 - 농업생산기반시설은 농업용수를 공급하기 위한 시설로 저수지, 양수장, 취입보, 지하관정 등이 용수원시설이고, 경작지까지 용수를 공급하기 위한 용수로, 제수문, 분수문 등이 평야부시설임

○ 기존의 계측시설

- (저수지) 공사저수지 중 유효저수량(2,640백만m³)의 98%(2,592백만m³)의 계측을 목표로 유효저수량 10만m³이상 저수지에 설치함
- (평야부) 공사관리 수혜면적(524천ha)의 88%(459천ha) 계측을 목표로 저수지(유효저수량 50만m³), 양수장, 취입보(수혜면적 70ha)의 용수로 시점부에 설치함

2.2 시간적 범위

- 미래형 물관리 체계의 전환을 위한 적용방법 분석 및 도입기술 도출
- ICT/IoT 및 자율학습기술은 현 물관리 방식에서 물질약 및 효율적 이용의 진일보한 기술로 기대하지만 실현하기 까지는 「취수→도수→급수」 체계에 대한 다양한 조건 분석뿐만 아니라 계측, 제어기술 및 데이터 기반 의사결정 기술까지 매우 광범위한 연구임
- 따라서 요소기술과 공정기술의 체계적인 구축과 기술의 현장 적용시 시행착오 최소화를 위해 전략계획(ISP)수준의 선행연구가 필요함
- 특히 현재 농업생산기반시설 운영사항의 개선과 자율물관리라는 목표점을 분명히 하기 위해서는 현장상황을 기반으로 하는 요소기술 도출이 필요하고, 또한 공정기술이 현장에 적용하기 전에 시험제작 과정을 거쳐 충분한 성능의 검토가 요구됨

2.3 공간적 범위

- 시험지구
 - 1차년도 연구에서는 경기도 안성시 서운면 청룡저수지, 충청남도 태안군 대야저수지 및 전라북도 군산시 금강지구를 대상으로 함
 - 청룡저수지는 당초 논농업 지역중 급수구역 일부가 밭으로 변경되고 농업기반시설에서 밭지역으로 공급하는 구역이 포함된 지역임
 - 충청남도 태안군 대야저수지는 안면도에 위치한 저수지로 과거 가뭄 피해가 자주 발생하는 지역으로 상시 저수율관리가 필요한 지역임
 - 금강지구는 농업생산기반시설(하구둑)에서 대규모로 농업용수를 공급하는 지역임

핵심기술	1단계 (2018-2020)	2단계 (2021)	3단계 (2022~2024)
목표	자율학습 기술의물관리 적용방법 분석 및 도입기술 도출	도입기술 시험제작 및 적용성능 검정	자율학습 물관리 기술 TEST-BED 및 사업적용
ICT/IoT 기반 자율학습물관리 시스템개발 및 TEST-BED 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 물관리구간(취수,도수,급수) 별 구조분석 • (H/W, S/W)자율학습 기술의 물관리적용방법 분석 • 현장기반 자율 물관리 시스템 구성도 작성 • TEST-BED 선정 • 단계별 기술개발 전략계획 수립(SW, HW) 	<ul style="list-style-type: none"> • 관개작물·관개방법을 고려 모의조작 시나리오 • 물 흐름 네트워크 적용시 용수절감 효과평가 • TEST-BED 공급과정 물 흐름 네트워크 체계 구축 - 수리시설 제어방안 도출 • 자율학습 물관리시스템 운영체계 구축 	<ul style="list-style-type: none"> • TEST-BED 1단계 구축 • 네트워크 해석체계 및 제어 지점/방안 평가방법 마련 • TEST-BED 운영 및 2단계 구축 (자율물관리 SW,HW 설치 및 운영결과 학습) • 자율 물관리시스템 단계별 적용계획 및 가이드라인
자율학습물관리 시스템SW HW 설계 및 구현	<ul style="list-style-type: none"> • (취수부, 도수부, 급수부) 자율학습 물관리 알고리즘 개발 • 필요자료 수집·구축 방법 도출(미계측 자료 포함) • 실시간 네트워크 모델링 제어기술 도출 (수원-수로-농경지) • 자율학습 물관리 시스템 요소기술 도출 및 기본설계 • 노후 농업기반시설물의 안전성능 평가 항목 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 지능형 물관리 플랫폼 설계 및 수리시설물 시제품 제작 - 물관리 데이터베이스 구축 - IoT 스마트 수리시설물 시제품 • 자율학습 물관리 시스템 개발 및 수리시설물 시험적용 - 물관리 통합시스템 개발 - IoT 스마트 수리시설물 제어 및 정보체계 구축 - 스마트 수리시설물 시험 적용 및 현장성능 도출 	<ul style="list-style-type: none"> • TEST-BED 자율물관리 적용성 평가(취수,도수,급수부) • 운영자료 DB화 및 실증검증 방법 설계 • 물관리 운영 패턴 도출 • 방류, 공급 예측량 검증 • 기존 농업구역 적용시 개선 사항 및 적용방법 도출 • 시설물 및 센서 유지관리 DB 구축
자율학습물관리 도입기술제작 및 현장적용	<ul style="list-style-type: none"> • (취수부, 도수부, 급수부) 자율학습 물관리 시스템 개발 전략계획 도출 • 유출 및 공급량 • 수로부 물 배분 • 담수심, 토양수분, 증발량 • 통합시스템 콘텐츠 도출 	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 물관리 운영정보(빅 데이터) 처리 방안 제시 - 기존 물관리 운영기술 분석 및 정보화 처리 • 기계학습 물관리 시나리오 생산기술 도출 - 빅데이터 활용 제어지점 별 기계학습 적용 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 기계학습 물관리 시나리오 운영 방안 도출 - 장·단기 물관리 운영기술 활용 - 시나리오 대비 현장상황 비교분석 • 기계학습 물관리 시나리오 적용결과 평가 • 자율학습 물관리 운영 및 적용성 평가(TEST-BED)

2.4 연차별 연구내용

구 분	연구목표	연구내용 및 범위
2018년 (1차년도)	자율학습 물관리 기술 현장 적용방법 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 농업용수 공급체계 조사 및 분류 <ul style="list-style-type: none"> - 물관리 구간(취수·도수·급수)별 구조적인 차이점 - 자율학습 물관리 기술 도입시 고려사항 도출 ○ 자율학습 물관리 기술 적용방법 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 시설물을 활용한 자율학습 물관리 기술 도입 방법 - 현장기반 자율학습 물관리 기술 도입 범위 ○ 현장기반 자율학습 물관리 시스템 구성도 작성
	자율학습 물관리 시스템 S/W 요소기술 도출	<ul style="list-style-type: none"> ○ (취수부) ICT기반 물관리 시스템 알고리즘 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 자율학습 물관리 시스템 알고리즘 기본설계 - 필요자료 수집 및 구축 방법 도출(미계측 자료 포함) <ul style="list-style-type: none"> ※ 계측자료구축 및 미계측자료 모델링 방안 ※ 방류량 및 저수율 예측 인공지능망 모델 ○ (도수부) ICT기반 물관리 시스템 알고리즘 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 자율학습 물관리 시스템 알고리즘 기본설계 - 필요자료 수집 및 구축 방법 도출(미계측 자료 포함) <ul style="list-style-type: none"> ※ 계측자료구축 및 미계측자료 모델링 방안 ※ 수로형태(개수로, 관수로) 및 저류지 모델링 기술 ○ (급수부) ICT기반 물관리 시스템 알고리즘 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 자율학습 물관리 시스템 알고리즘 기본설계 - 필요자료 수집 및 구축 방법 도출(미계측 자료 포함) <ul style="list-style-type: none"> ※ 급수부 수요량 모델링 기술
	자율학습 물관리 시스템 H/W 요소기술 도출	<ul style="list-style-type: none"> ○ (취수부) IoT기반 물관리 시스템 기술 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 기상자료, 수위자료, 모델링자료 수집·생산 방법 - 수원공 수위정보 연동 취수문(GATE) 제어기술 ○ (도수부) IoT기반 물관리 시스템 기술 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 기상자료, 수위자료, 모델링자료 수집·생산 방법 - 실시간 수로 네트워크 모델링 제어기술 ○ (급수부) IoT기반 물관리 시스템 기술 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 기상자료, 수위자료, 모델링자료 수집·생산 방법 - 실시간 농경지 네트워크 모델링 제어기술
2019년 (2차년도) ①	자율학습 물관리 기술 현장적용 시나리오 도출	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용수공급 네트워크 설계를 위한 시나리오 구축 ○ TEST-BED(저수지) 선정 및 네트워크 해석체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 시험지구별 현장 자료 조사 및 구축 ○ 수리구조물 모의조작에 따른 용수 절감 효과 평가 ○ 농업용수로 네트워크 해석 문제점 및 개선방안 도출 ○ 자율학습기반 농업용수 공급을 위한 필요요소 선정

구 분	연구목표	연구내용 및 범위
2019년 (2차년도) ②	자율학습 물관리 시스템 S/W 및 H/W 기본설계	<ul style="list-style-type: none"> ○ (취수부) ICT/IoT 기반 물관리 시스템 기본설계 <ul style="list-style-type: none"> - 기상, 유역자료 등 관련 자료 구축 및 연계 - ICT 기반 유역단위 물 순환 네트워크 - ICT 기반 방류량, 용수량 공급모듈 - IoT 기반 유출·저류·공급량 관리시스템 ○ (도수부) ICT/IoT 기반 물관리 시스템 기본설계 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 용수공급 패턴 분석 - 자율학습 기반 수로효율 예측 기술 - 용수로(관수로, 개수로) 재료에 따른 수로손실 분석 - ICT 기반 용수로(관수, 개수) 및 수리시설(수문, 잠관) 이송모듈 - IoT 기반 수로부 물배분 관리시스템 ○ (급수부) ICT/IoT 기반 물관리 시스템 기본설계 <ul style="list-style-type: none"> - 논물수지(필요수량, 유효수량, 삼투량) 산정 모듈 - IoT 기술활용 급수부 수요량(담수심, 토양수분) 관리시스템
	자율학습 물관리 시스템 콘텐츠 및 전략계획 도출	<ul style="list-style-type: none"> ○ (취수부) 자율학습 물관리 시스템 전략계획 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 유출 및 공급량 관리시스템 - 자율학습 기반 물관리 통합시스템 콘텐츠 ○ (도수부) 자율학습 물관리 시스템 전략계획 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 수로부 물배분 관리시스템 - 자율학습 기반 물관리 통합시스템 콘텐츠 ○ (급수부) 자율학습 물관리 시스템 전략계획 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 급수부 수요량 측정시스템 - 자율학습 기반 물관리 통합시스템 콘텐츠 ○ 단계별 기술개발 전략계획 수립(SW, HW)
2020년 (3차년도)	지능형 물관리 시스템 운영체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 데이터 기반 지능형 물관리 시스템 운영체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 농업용수로 네트워크해석 개선방안 반영 및 평가 - 데이터 기반의 수리구조물 모의조작 시나리오 - 네트워크 시뮬레이션에 따른 용수절감 효과평가
	지능형 물관리 플랫폼 설계 및 시작품 제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ (S/W) ICT 지능형 물관리 플랫폼 설계 및 정보체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> - S/W, H/W 운영을 위한 자율학습 플랫폼 설계 - 자율학습 물관리 기반 데이터베이스 설계 및 구축 ○ (H/W) IoT 적용 스마트 수리시설물 시작품 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 취수부 스마트 수리시설물 시작품제작(취수시설) - 도수부 스마트 수리시설물 시작품제작(저류, 분수시설) - 급수부 스마트 수리시설물 시작품제작(자동물꼬, 담수심)
	기존 물관리 운영정보 빅데이터 처리 방안 제시	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 물관리 운영기술(연속, 간단, 윤회, 환원관계) 분석 ○ 기존 물관리 운영정보 정보화(빅데이터 처리)

- 1차년도 : 자율학습 기술의 물관리 적용방법 도출
- 2차년도 : 자율학습 물관리 기술 기술개발 전략계획 수립
- 3차년도 : ICT/IoT 물관리 기술 시험제작 및 성능시험

3. 연구결과

3.1 농업용수 공급체계 분석

- 농업용수 관리수량 : 약 35% 추정
 - 수로손실 + 관리손실(도수, 급수)
 - 관리손실 원인 : 배분관리용수+일최대필요수량 단면 + 도수·급수과정
 - 대야수지 저수지 공급량(461) - 필요수량(176) = 285천m³(61.8%)

구분		관개기간	저수지 공급량 (천m ³)	저수율(%)	논에 공급된 용수량(천m ³)	수해면적 대비 공급된 논비율(%)	무효병류량(천m ³)	수문 조작 횟수
저수지 공급 유량(m ³ /s)	관개 방법							
0.6	관행적 관개	10	461	78	176	100	284	30

- 도수·급수 과정에서 물 절약과 효율적 이용 방안
 - 계측(Sensing)과 모델링(Simulation), 스마트 수리시설(Smart Control)과 자율학습(Unsupervised Learning)을 활용한 생산기반시설의 운영
 - 수로, 분수문 및 포장물꼬 등 수리시설의 기능개선+센서 및 적기·적량의 공급과 균등 배분을 위한 데이터 기반의 물관리 모형의 도입
 - 데이터 기반 물관리

-지능형 물관리: 『취수-도수-급수』 과정의 물관리 요소를 계측하여 현재 상황을 모델로 재현하고(IoT) 수요자, 공급자간의 인터넷 연결(ICT)을 통한 정보 공유

-자율학습 물관리: 지능형 물관리 시스템을 통해 구축되는 데이터와 기존 공급방법을 시나리오로 데이터화 하여 기계학습을 통해 최적의 공급시나리오를 생성

→ 지속적으로 수집되는 물공급 데이터는 빅데이터가 되고 나아가 자율형태의 물관리시스템으로 발전

3.2 물관리 구간별 용수공급시 구조적인 차이점 분석

- 기존 물관리 프로그램 현황 및 체계

<취수부>

- 취수부(저수지) 설계 위한 수리시설 모의조작프로그램 (HOMWRS)
- 저수지 물수지산정을 통한 공급량(조용수량) 산정방법이기 때문에 실제

물공급시 관리자 공급방법과 도수부 물 흐름 상황의 고려가 없어 실제 현장에서 공급되는 수량과 많은 차이가 발생함

<도수부>

- 수로상의 물 흐름을 수리학적으로 모의하는 지능형물관리시스템 도입
- 취수부 수리시설 모의조작과 급수부의 일률적인 영농방식의 적용으로 실제 물공급 상황을 모델로 재현하는데 한계점 발생함

<급수부>

- 이론적인 필지용수량(침투량, 증발산량), 유효수량(강우공급량) 및 영농 방식별 담수심(심수, 천수, 낙수) 상황을 물리적인 모델로 재현하기 위한 계측데이터 없음

3.3 기존 시설물을 활용한 자율학습 기술 도입 방법

○ 현재 물관리 상황을 정확히 파악 설계, 관리 방법 결정

- 미국, 호주의 경우 물 이용에 대한 의사결정방법으로 **모델 프로그램 활용**
 - 미국 **MODSIM**(모델링&시뮬레이션)과 **STELLA**(공영시각모형)
 - 호주 머레이달링 유역: 24개 수문학적 모델 통합시스템(**IRSMF**)

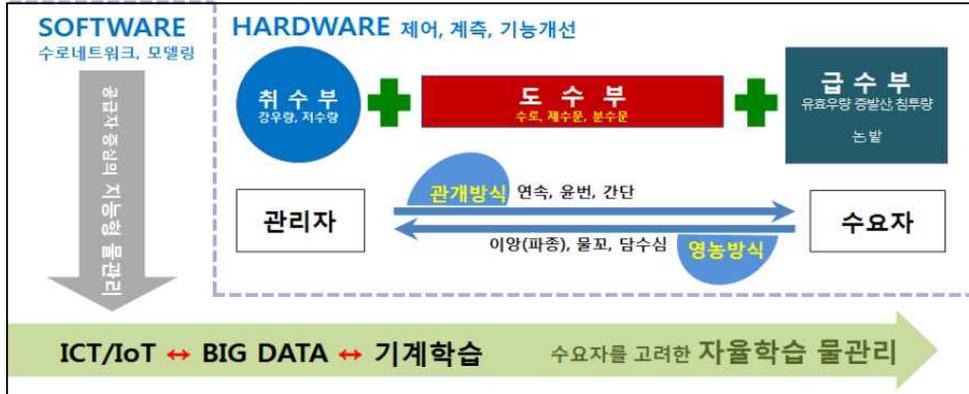
○ 기존의 우리나라 농업용수 모델

- 현재의 물관리 상황을 파악하기 위한 모델 및 프로그램으로는 수원공(저수지) 설계를 위한 수리시설모의조작(HOMWRS) 프로그램 개발과 수로상의 물 흐름을 수리학적으로 모의하는 지능형 관개/배수 관리 시스템 개발이 사용되고 있음
- 기존의 선행연구에서 산정한 공급량 모의(조용수량)는 수원공 설계를 목적으로 산정하기 때문에 실제 물공급 수량과 많은 차이가 발생되고, 수로상 물흐름을 수리학적으로 모의하는 과제에서도 취수부→도수부→급수부까지 연속된 모의과정에서 급수부의 일률적인 영농방식의 적용으로 실제 물공급 상황을 재현하는데 한계가 있음

- 미산식(가지야마), **DAWAST**모형(김태철), **DIROM** 모형: 무계측 지역에 적용하는 유출모형
- 수리시설 모의조작 시스템 (**HOMWRS**): 저수지 운영 모의조작(저수지 물수지 재현)
- 지능형 물관리 시스템: 용수로 물 흐름 상황 재현

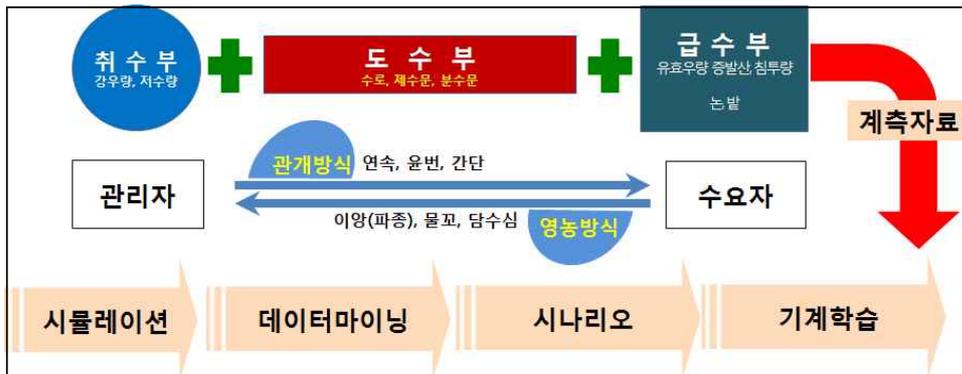
○ 데이터기반 물 관리 기술 도입 범위

- SOFTWARE : 수로네트워크, 모델링 → ICT/IOT ↔ BIGDATA ↔ 기계학습
- HARDWARE : 취수→도수→급수 과정에서 계측, 제어, 성능개선
- 시나리오 : 관리자 관개방식, 수요자 영농방식



○ 현장기반 자율학습 물관리 기술 도입 범위

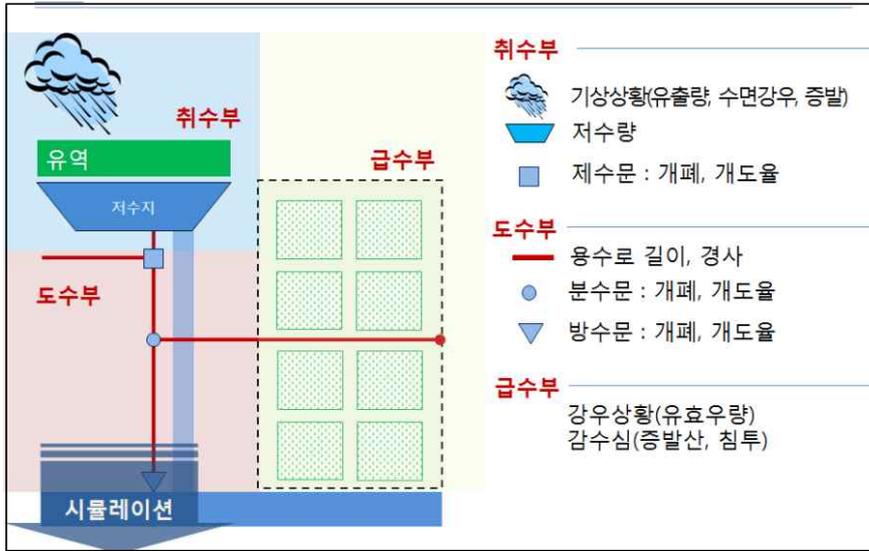
- 취수부 : 인공신경망 모델을 이용한 방류량 및 저수율 시물레이션
- 도수부 : 수리학적인 모델을 이용한 용수공급 시물레이션
- 급수부 : 담수심 및 감수심 모델을 이용한 용수배분 시물레이션
- 관리자, 수요자 : 관개방식, 영농방식의 데이터마이닝을 통해 용수공급 시나리오 생산



3.4 기존시설물 농업용수 공급시 변수도출

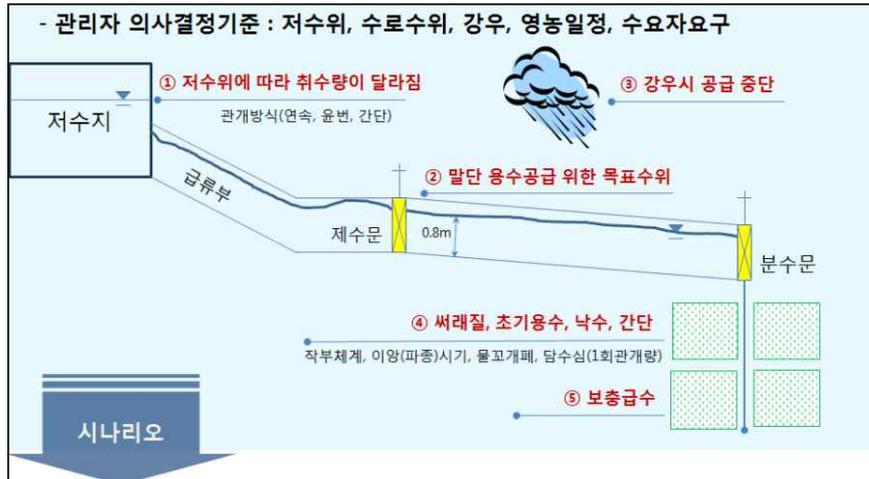
- 물관리구간별(취수, 도수, 급수) 농업용수 공급시 물리적인 제어점 도출
 - 취수부 : 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 제수문(개폐, 개도율)

- 도수부 : 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문
- 급수부 : 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량)



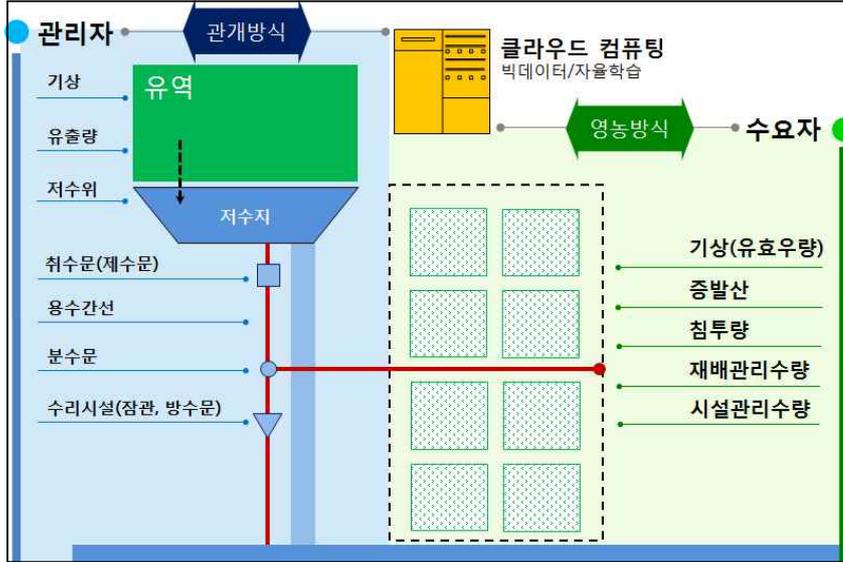
○ 물공급 시 관리자와 수요자 변수 도출

- 관리자 의사결정기준 : 저수위, 수로수위, 강우, 영농일정, 수요자요구
- 수요자 의사결정기준 : 작부체계, 이앙(파종)시기, 물꼬개폐, 담수심 (1회관개량)

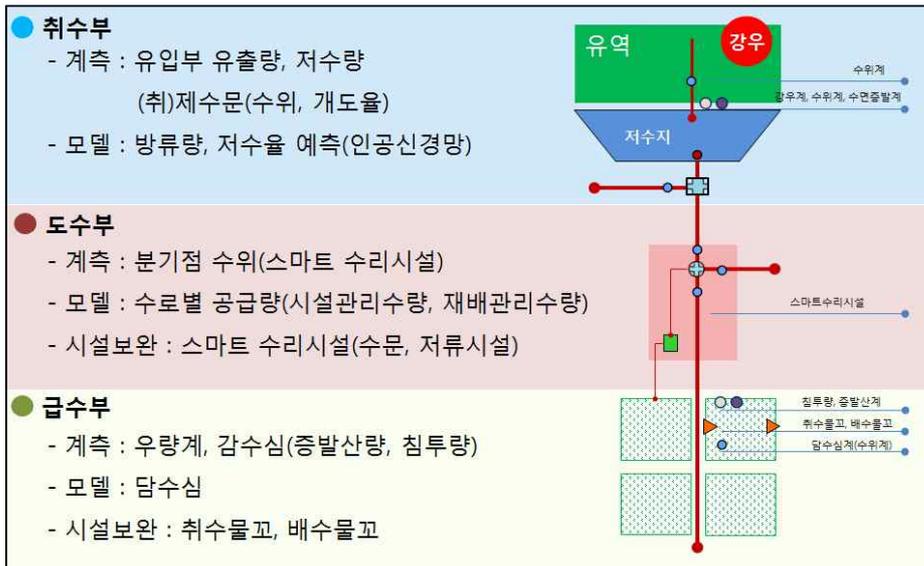


3.5 현장기반의 자율학습 물관리기술의 적용방법

- 물관리 구간별 자율학습기술 적용방법
 - 물관리구간의 물리적인 제어점의 시뮬레이션 정보체계로 구축
 - 관리자와 수요자 변수를 시나리오 정보체계로 구축



- 현장기반 자율학습 물관리 기술 적용방법
 - 물관리 구간별 제어, 모델 및 하드웨어(기존시설물 성능개선)로 구분해 자율학습기술 구현에 필요한 데이터기반의 물관리체계 구축방안 제시



4. 연구결과의 실용화 방안

4.1 기대효과

- 4차 산업혁명(사물인터넷(IoT), 자율학습(AI), 빅데이터 등의 기술)이 산업분야와 융합되어 경제·사회전반의 근본적 변화를 일으키는 혁명으로, 농업용수 관리 분야에 그간 관행 및 경험적으로 이루어지던 것을 효율화 하는데 활용
 - 자율학습기반 물관리는 농민과 농업을 위한 용수공급 서비스 개선을 위하여 적은 에너지와 최적의 노동력을 투입하면서 꼭 필요한 만큼 용수를 필요한 시기에 공급하는 개념으로 이를 위하여 물 관리자는 ICT기반 모니터링, 수로 네트워크 분석과 들녘단위의 관개계획 및 관개실적 분석을 통해 수리시설물을 제어하여 용수공급 과학화 달성
- 본 과제에서 개발하고자 하는 자율학습 물관리 기술은 다양한 현장 정보를 수집하여 자율학습 알고리즘을 통한 분석결과 도출로 농업용수의 효율적 관리를 위해 적절한 의사결정지원을 기대함
 - 기상예측과 수혜지역의 상황을 종합적으로 분석하여 최적의 물관리 패턴을 제공할 수 있기 때문에 다양한 기상조건에 대한 적응형 농업 수자원 관리가 가능함

4.2 실용화 방안

- 물 절약 확보 기술개발(10%) 및 물 관리 노동력 부족 대비
 - 관행관개 대비 용수절감 : (수문조절+연속관개) 165천m³ → 58% 절감
 - 관행관개 대비 노동력절감 : (수문조절+연속관개) 수문조작 횟수 24회 감소

구분		관개기간 (일)	저수지 공급량 (천m ³)	저수율 (%)	필요수량 (천m ³)	무효방류량 (천m ³)	수문조작 (횟수)
용수공급 (m ³ /s)	관개방법						
0.6	관행관개	10	461	78	176	284	30
0.6	수문조절+연속관개	6	296	86	176	119	6
0.4	수문조절+윤번관개	10	312	85	176	136	6

summary

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

2. **Research Period** : May, 2018 ~ December, 2018

3. Background & Objectives

3.1 Background

- Accumulation of reliable hydrologic data is very essential for development and efficient management of water resources
- Agricultural hydrologic data is basic for prevention of flood and drought can be occurred in the future
- It is needed to set up guideline of data quality control process for construction of database and application to several fields
- Leading countries have their own data quality control/assessment guidelines and practical methods for data management
- There are about 1,700 agricultural reservoirs and 1,600 water canal systems in charge of Korean Rural Community Corporation, and 375,548 water level data is being transmitted one day
- Therefore, it is recommended to have a automatic data quality assessment system because amount of the data is too large to managed within a day

3.2 Objectives

- Objectives of this study is to 1) develop the technique of data

quality control process that can be utilized in management system for agricultural hydrologic data

- to develop the technique of outlier detection of agricultural reservoir and water canal level gauge data
- to complement the method of calculating the water supply amount using time series water level data

4. Results of Study

- We mainly developed the technique of outlier detection for hydrologic data series, especially the agricultural reservoirs and water canal level data. We applied general outlier detection method first; 3-sigma thumb, moving average and followed Environmental Protection Agency(EPA) practical guidelines, however, it showed bad performance for detecting the outlier in time series dataset of water level. Therefore, we didn't apply the EPA method to the water level data but the level fluctuation data, the second product of level data and it worked properly
- Database management in KRC is not perfect to manage the agricultural hydrologic data because there not exist the settled guideline for data management. Therefore it is needed to enhance the system structure of data management system by attaching the module for meta data. Meta data is data of the data, which indicates the historical data of data. All of the data with meta data can be handled and organized properly
- Method of calculating water supply amount has a few of errors because of the irregular accumulation system and gauge errors. Errors cannot be classified by the type of gauge sensor. Especially in case of water canal, water level data is always measured

though the data during non-irrigation time is not necessary.

- Rating curve can be estimated by measuring the water flux in the canal. However the flow of water in the canal can be uniform or nonuniform. The amount of water supply which has same water level can be different because of the flow state. It is important to calculate the water supply amount separately according to flow state; uniform and nonuniform
- Smart water management system can be applied to conventional water management. The core of smart water management system is establishment of decision making process aided by simulation. Result of this study can be utilized as data production and quality control of the input data for smart water management system; water level data, water supply data etc.

5. Methods for Utilizing the Result

- Enhancement of database management system structure in the KRCC main system by application of suggested meta data hierarchy
- Results can be used for the development of study for agricultural hydrologic properties or prevention of the future flood and drought
- Results can be used to modify/complement the present calculation method for agricultural water supply which has some errors by dividing the water flow state in the agricultural water canal
- Results can be attached in the main system of KRCC as the data quality control module and water supply amount calculation module, and the modules can be modified reflecting the opinion of practitioners

< 목 차 >

제1장 서론	1
제1절 연구배경 및 목적	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적	4
제2절 연구 범위 및 내용	5
1. 연구대상	5
2. 연구의 범위	5
3. 연구내용	6
제3절 기대효과 및 활용방안	7
제2장 자율학습 기술의 물관리 적용방법 분석 및 도입기술 도출	8
제1절 자율학습 기술의 물관리 현장 적용방법 분석	8
1. 기존 농업용수 공급체계 및 물관리 운영방법 분석	8
2. 기존 4차 산업 기술의 특징 및 유사분야 적용사례 분석	37
3. 데이터 기반 물관리 시스템 도입범위 분석	66
4. 기존 시설물을 활용한 자율학습 기술 적용방법 도출	91
제2절 자율학습 물관리 시스템 S/W 요소기술 도출	99
1. 취수부 물관리 시스템 알고리즘	99
2. 도수부 물관리 시스템 알고리즘	114
3. 급수부 물관리 시스템 알고리즘	128
4. 인공지능 기계학습 알고리즘	129
5. 자율학습 알고리즘	141
6. 계측자료 구축 및 미계측자료 모델링 방안	149
제3절 자율학습 물관리 시스템 H/W 요소기술 도출	151
1. 취수부 물관리 시스템 H/W 기술	151
2. 도수부 물관리 시스템 H/W 기술	158
3. 급수부 물관리 시스템 H/W 기술	168

4. IoT 스마트 수리시설 인벤토리	171
제4절 TEST BED 기초자료 수집 및 자율학습 물관리 시스템 구성	177
1. TEST BED 선정 및 현장조사	177
2. 용수계통 물관리 Network Map	256
제3장 결 론	269
□ 참고문헌	272
□ 참여연구원	277

<표 차례>

표 2-1 수리시설별 수리답 면적	8
표 2-2 수리상태별 답면적	9
표 2-3 한발빈도별 관개 면적	10
표 2-4 유형별·경과연수별 수리시설 현황	11
표 2-5 농업용수로의 구조물화 현황	12
표 2-6 수리시설 연도별 설치 현황	13
표 2-7 공사 관리의 개보수 대상 농업수로 현황	14
표 2-8 수로손실 발생 경우 및 원인	15
표 2-9 연도별 1인당 관리면적 변화(조합/공사관할)	16
표 2-10 유효수량 적용 기준표	25
표 2-11 수로 손실량	26
표 2-12 산서지구 배수시설 현황	28
표 2-13 농촌용수공급체계재편계획 개발유형	34
표 2-14 4차 산업혁명 관련 테마(기술)	39
표 2-15 네덜란드 Smart Industry 액션플랜의 세부내용(이소정, 2017) · 44	
표 2-16 네델란드의 29개 필드랩(Field Lab)	45
표 2-17 제4차 산업혁명 관련 일본의 주요 정책 문건	48
표 2-18 일본이 주목하고 있는 13개 중요 정책과제	49
표 2-19 일본재흥전략 2016의 5대 핵심 시책과 주요 내용	50
표 2-20 4차 산업혁명의 국내외 적용 사례 종합	57
표 2-21 농림식품기계·시스템 분야 기술수준	58
표 2-22 농림식품 융복합 분야 기술수준	59
표 2-23 일반적인 수자원 시스템 모델	66
표 2-24 작물계수 정보	79
표 2-25 TM/TC 운영 시스템 주요기능	84
표 2-26 SWMM 모형의 특징	117
표 2-27 시범지구 계측장치 현황	150
표 2-28 취수부 수위측정 센서	151
표 2-29 도수부 수위계측 방식 비교	160

표 2-30	도수부 유량측정 방식 비교	161
표 2-31	수문방식 비교	167
표 2-32	국내 급수용 물꼬현황	171
표 2-33	수리시설별 H/W 요소 기술	172
표 2-34	저전력 장거리 네트워크	175
표 2-35	셀룰러 네트워크	176
표 2-36	유역평균 강우량	178
표 2-37	금강지구 기온	179
표 2-38	금강지구 월평균습도	180
표 2-39	금강지구 월평균 증발량	180
표 2-40	금강지구 월평균 일조시간	181
표 2-41	금강지구 월평균 풍속	181
표 2-42	지사별 시설물 현황	182
표 2-43	지사별 시설지구 일람표	183
표 2-44	지사별 시설물 현황 사업지구 내 행정구역	189
표 2-45	총 인구수	190
표 2-46	농업 인구수	190
표 2-47	생산가능 인구수(14~64세)	190
표 2-48	주요도로 현황	191
표 2-49	농가호수 및 인구현황	192
표 2-50	경지면적 현황	192
표 2-51	농기계 보유현황	192
표 2-52	가축사육 현황	193
표 2-53	서포양수장 수로계통 시설 및 공급능력 현황	195
표 2-54	임피간선 수로계통 시설 및 공급능력 현황	198
표 2-55	간선 용수로 현황	199
표 2-56	지선 용수로 현황	199
표 2-57	서산, 보령관측소의 연강수량(mm)	202
표 2-58	기온(℃)	203
표 2-59	월평균 습도(%)	203
표 2-60	월평균 증발량(mm)	204
표 2-61	월평균 일조시간(hr)	204

표 2-62 월평균 풍속(m/s)	204
표 2-63 행정구역 현황	205
표 2-64 경지면적 현황	205
표 2-65 저수지 현황	206
표 2-66 청룡저수지 현황	207
표 2-67 청룡천 하천자료	213
표 2-68 대상지역 간선 제원	216
표 2-69 제1호 용수지거 제원(2)	218
표 2-70 제1호 배수지선 제원(3)	219
표 2-71 제2호 용수지거 제원(4)	220
표 2-72 제4호 배수지거 제원(5)	221
표 2-73 제3호 용수지거 제원(6)	222
표 2-74 제5호 배수지거 제원(7)	223
표 2-75 제4호 용배수지거 제원(8)	224
표 2-76 제5호 용수지거 제원(9)	225
표 2-77 제2호 배수지선 제원(10)	226
표 2-78 제6호 용수지거 제원(11)	227
표 2-79 제7호 용수지거 제원(12)	228
표 2-80 제7호 배수지거 제원(13)	230
표 2-81 제8호 용수지거 제원(14)	231
표 2-82 제3호 배수지선 제원(15)	232
표 2-83 제9호 용수지거 제원(16)	233
표 2-84 제8호 배수지거 제원(17)	234
표 2-85 제9호 배수지거 제원(18)	235
표 2-86 제11호 용수지거 제원(19)	236
표 2-87 제4호 배수지선 제원(20)	237
표 2-88 제13호 용수지거 제원(22)	238
표 2-89 제11호 배수지거 제원(23)	239
표 2-90 제25호 용수지거 제원(34)	240
표 2-91 제26호 용수지거 제원(35)	241
표 2-92 제24호 배수지거 제원(33)	241
표 2-93 제27호 용수지거 제원(32)	241

표 2-94 제23호 배수지거 제원(36)	242
표 2-95 금강지구 계측장치 현황	255
표 2-96 취수부 용수계통 물관리 Network Map 구성	260
표 2-97 도수부 용수계통 물관리 Network Map 구성	261
표 2-98 급수부 용수계통 물관리 Network Map 구성	261
표 2-99 관행적 관개 대비 수문조절에 의한 관개의 효율성	268

〈그림 차례〉

그림 1-1 연구의 범위	6
그림 2-1 비탈면이 붕괴된 수로(좌), 수초가 자란 수로(우)	15
그림 2-2 농업용수 관리 방법(한국농어촌공사 2012)	19
그림 2-3 물관리 자동화시스템 구성	24
그림 2-4 단위 논에서의 생육단계별 물 관리	24
그림 2-5 산서지구 피해전경	29
그림 2-6 모령지구 피해전경	30
그림 2-7 농촌용수공급체계재편계획 검토흐름도	33
그림 2-8 제 4차 산업혁명 (이미지 출처: 과학기술정보통신부)	37
그림 2-9 순환수 Smart Water Grid 개념도	60
그림 2-10 원격 누수감지센서	62
그림 2-11 스마트 미러링	63
그림 2-12 초소형 멀티센서	63
그림 2-13 지하매설물관리를 위한 정보이용 체계도	64
그림 2-14 무인항공기 기반 수자원 및 하천 무인감시 및 관리 개념도 ·	65
그림 2-15 HEC-ResSim의 모델 예	68
그림 2-16 RiverWare 예 (Singh and Frevert 2006)	70
그림 2-17 GUI에 기반 MODSIM 적용 예 (Labadie 2006)	71
그림 2-18 HOMWRS 모형의 구조	74
그림 2-19 Schematic diagram of Tank model	76
그림 2-20 저수지에서의 물수지 구성	77
그림 2-21 이앙재배시 작물 재배 기간 (농림부, 1998)	80
그림 2-22 비관개기 운영	82
그림 2-23 관개기 운영	83
그림 2-24 TM/TC 운영 프로그램 시스템 구성도	84
그림 2-25 관개배수 시설의 네트워크 적용 예	88
그림 2-26 데이터기반의 물관리기술 도입범위	88
그림 2-27 자율학습 물관리 단계별 기능과 특징	89
그림 2-28 자율학습 물관리시스템 개념도	90
그림 2-29 자율학습 기술의 물관리 구간별 도입방법	90

그림 2-30 물관리 구간별 시설 및 수문의 상태	92
그림 2-31 물관리 구간별 물리적인 변수	95
그림 2-32 물관리 구간별 관리자 및 수요자 변수	96
그림 2-33 현장기반 자율학습 물관리 기술 도입범위	97
그림 2-34 데이터기반의 물관리체계 구축방안	98
그림 2-35 저수지 물수지 모형 개념도	99
그림 2-36 기상청 기상관측망	100
그림 2-37 2016년 대야저수지의 저수율과 서산 지점의 강우량	101
그림 2-38 3단 Tank모형 개념도 (전상민, 2014)	105
그림 2-39 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (김현영과 박승우, 1988)	106
그림 2-40 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (강민구, 2013)	107
그림 2-41 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2015)	107
그림 2-42 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2013)	108
그림 2-43 ONE 모형의 모식도	109
그림 2-44 자연하천에서의 수위-유량 관계곡선식 예시	111
그림 2-45 2017년 홍성 대사저수지 복통 용수로 관측 수위	112
그림 2-46 Hybrid형 인공지능 용수공급 모형 개념도	113
그림 2-47 SWMM 모듈과 도수부 수리 네트워크 모델링 관계도	115
그림 2-48 SWMM의 홍수유출 개념도	116
그림 2-49 SWMM모형의 전체 구성도	118
그림 2-50 Preissmann Slot기법의 개념도	119
그림 2-51 SWMM에서 사용가능한 단면형상	120
그림 2-52 수로 네트워크에서의 노드과 링크 연결 개념도	124
그림 2-53 오리피스스의 계산식 및 모식도	125
그림 2-54 위어의 계산식 및 모식도	125
그림 2-55 SWMM 모형의 입출력 구조 및 입력파일형식	126
그림 2-56 SWMM 모형의 화면구성 및 구축형식	127
그림 2-57 급수부 물수지 모형 개념도	128
그림 2-58 취·도·급수부 자료동화 기법의 적용	129
그림 2-59 인공지능의 발전방향	130
그림 2-60 기업들의 인공지능 기술 개발 동향	131
그림 2-61 인간의 뇌 신경망(위)와 인공신경망(아래)	133
그림 2-62 인공신경망의 구조	134

그림 2-63 순환신경망(RNN) 모형의 순환구조	136
그림 2-64 Vanila RNN	136
그림 2-65 LSTM 순환신경망 모형의 구조	137
그림 2-66 기계학습 라이브러리	139
그림 2-67 GitHub 기계학습 라이브러리 사용빈도	140
그림 2-68 자료동화 기법 모식도	141
그림 2-69 칼만 필터의 모식도	143
그림 2-70 확장형 칼만 필터의 모식도	143
그림 2-71 앙상블 칼만 필터의 모식도	144
그림 2-72 파티클 필터의 모식도	145
그림 2-73 파티클 필터를 이용한 하천 수위 예측 예시	146
그림 2-74 시나리오 기반 모의결과 기계학습 흐름도	147
그림 2-75 ICT기반 물관리 시스템 알고리즘 설계 흐름도	149
그림 2-76 대형증발팬에 장착 된 부력식 수위계	154
그림 2-77 자동급배수장치	155
그림 2-78 전원공급시스템과 우량계 설치	155
그림 2-79 강수량계 종류	157
그림 2-80 도수부 수로에서 발생하는 수위-유량 환산의 문제점	163
그림 2-81 레이다 유량측정 절차	163
그림 2-82 수문의 종류	164
그림 2-83 스펀들식 수문(좌)과 채키식 수문(우)	167
그림 2-84 담수심 측정기 (a. 압력식, b. 초음파식, c. 정전용량식)	169
그림 2-85 IoT 스마트 수리시설 인벤토리 구성	171
그림 2-86 용수시설통합운영관리시스템(TOMS) 강우량 연계 활용(ASOS+AWS)	173
그림 2-87 농촌용수종합정보시스템(RAWRIS) 저수율/수로 계측정보 활용	173
그림 2-88 용수시설통합운영관리시스템(TOMS) 수문정보 활용	174
그림 2-89 시범지구 서포양수장 수계의 임피간선 수로 현황	193
그림 2-90 서포양수장 수로계통 현황	194
그림 2-91 임피간선 수로위치 및 시설 현황	197
그림 2-92 임피간선 수로계통 현황	197
그림 2-93 금강지구 내 시범지구 용수계통 물관리 Network Map 구축 결과	200
그림 2-94 대야지구 위치도	201
그림 2-95 대야지구 용수계통 물관리 Network Map 구축 결과	207

그림 2-96 청룡저수지 전경	208
그림 2-97 청룡저수지 여수로	208
그림 2-98 대상지역 하천 흐름 현황	209
그림 2-99 청룡저수지 경지정리사업 정산도	210
그림 2-100 현장 측량 및 조사	210
그림 2-101 수치지형도	211
그림 2-102 항공지도	211
그림 2-103 현장조사용 도면 작성	212
그림 2-104 청룡천 모식도	213
그림 2-105 2번- 6번 지선	217
그림 2-106 제1호 용수지거(2)	217
그림 2-107 제1호 배수지선(3)	218
그림 2-108 제2호 용수지거(4)	219
그림 2-109 제4호 배수지거(5)	220
그림 2-110 제3호 용수지거(6)	221
그림 2-111 7번 - 12번 지선	222
그림 2-112 제5호 배수지거(7)	223
그림 2-113 제4호 용배수지거(8)	224
그림 2-114 제5호 용수지거(9)	225
그림 2-115 제2호 배수지선(10)	226
그림 2-116 제6호 용수지거(11)	227
그림 2-117 제7호 용수지거(12)	228
그림 2-118 13번 - 19번 지선	229
그림 2-119 제7호 배수지거(13)	230
그림 2-120 제8호 용수지거(14)	231
그림 2-121 제3호 배수지선(15)	232
그림 2-122 제9호 용수지거(16)	233
그림 2-123 제8호 배수지거(17)	234
그림 2-124 제9호 배수지거(18)	235
그림 2-125 제11호 용수지거(19)	236
그림 2-126 20번 - 23번 지선	237
그림 2-127 제13호 용수지거(22)	238
그림 2-128 32번 - 36번 지선	239

그림 2-129 제26호 용수지거(35)	240
그림 2-130 제23호 배수지거(36)	242
그림 2-131 청룡지구 현황	243
그림 2-132 청룡지구 용수계통 물관리 Network Map 구축 결과	243
그림 2-133 ASOS 티센망도	244
그림 2-134 AWS 티센망도	245
그림 2-135 2015년 대야지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교	246
그림 2-136 2015년 대야지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교	247
그림 2-137 2016년 대야지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교	247
그림 2-138 2016년 대야지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교	248
그림 2-139 2017년 대야지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교	248
그림 2-140 2017년 대야지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교	249
그림 2-141 2015년 청룡지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교	249
그림 2-142 2015년 청룡지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교	250
그림 2-143 2016년 청룡지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교	250
그림 2-144 2016년 청룡지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교	251
그림 2-145 2017년 청룡지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교	251
그림 2-146 2017년 청룡지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교	252
그림 2-147 2017년 금강지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교	252
그림 2-148 2017년 금강지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교	253
그림 2-149 대야지구(좌)와 청룡지구(우)의 관측소 위치 비교	253
그림 2-150 금강지구 계측장치 설치 위치	254
그림 2-151 대야지구 계측장치 설치 현황	255
그림 2-152 청룡지구 현장조사용 도면 작성	258
그림 2-153 DEM과 수로중심선 중첩에 의한 지반고 추출	259
그림 2-154 수로 바닥고 추정	260
그림 2-155 자율학습 물관리시스템 구성도	262
그림 2-156 자료수집 개념도	263
그림 2-157 자료분석 개념도	263
그림 2-158 자료모의 개념도	264
그림 2-159 시스템 및 S/W, H/W 제어 흐름도	266
그림 2-160 대야지구 수문 현황	267

제1장 서론

제1절 연구배경 및 목적

1. 연구배경

관개·배수란 물이 부족하거나 과다하여 농사를 지을 수 없는 땅에 강수·증발산·침투 등 자연의 물 순환을 보완하여 인공적으로 농경지의 물 환경을 조절하는 것을 의미하며, 물이 부족할 때 보급하는 것을 관개, 물이 과잉일 때 배제하는 것을 배수라고 한다(관개배수공학, 2009).

농업용수 물관리는 작물의 생산성을 최대화하기 위해 적절한 시기에 적절한 양의 물을 공급하거나 홍수 시 농경지의 과잉수를 신속히 배제하여 농경지 침수피해를 최소화하는 관개와 배수의 통합 관리이다.

우리나라 농업용 수리시설 약 69,000개소 중 30년 이상 경과된 노후 시설이 약 56%인 39,000개소에 이르고, 10년 한발빈도 수리안전담 비율은 2010년 현재 52.9%에 머무르고 있어서 가뭄, 홍수 등 재해에 취약한 실정이다. 또한 최근 우리나라 농업환경은 가뭄, 국지성 집중호우 등 기후변화로 인해 매년 한해와 수해 피해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이는 대부분 관개·배수 시설의 용량부족 등 구조적(H/W)인 문제와 더불어 일선현장에서 과거 경험에 의한 관행 물관리 등 비구조적(S/W)인 문제에 기인한다.

최적의 농업용수 물관리를 위해서는 관개·배수에 대한 최적의 시뮬레이션과 모니터링을 통하여 적정 관개량과 배수량을 과학적으로 결정하고, 관개시설과 배수시설을 적기에 체계적으로 운영할 수 있도록 관개 및 배수시설물의 조작 방법을 결정할 수 있는 의사결정 지원 체계가 필요하다. 따라서 우리나라 농업용수 이용현실을 감안하여 농업용수 물관리를 위한 구조적(H/W) 대책과 비구조적(S/W) 대책 중 경제적이고 현실가능성이 높은 비구조적 대책인 과학적이고 체계적인 관리시스템 개발이 요구되고 있다.

농업용수 관리는 주로 관개·배수 시설물 설치 위주로 추진되었으며, 일부 관개·배수 해석 프로그램이 개발되었으나 현장 여건과 맞지 않아서 대부분 경험에 의한 관행 물관리가 이루어지고 있으며, 이로 인한 용수손실과 농경지 침수피해가 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 시설물 설치 및

정비 위주의 구조적인 대책과 더불어 농업용수의 체계적이고 과학적인 물 관리로 관개시 용수손실을 최소화 하고, 홍수 시 농경지 침수피해를 최소화 할 수 있는 관개·배수 관리시스템 구축도 필요하다.

○ 농업용수 물 자원 절약기술 필요

가뭄은 국가적 차원의 극복과제로 근본적 해소방법은 물 자원의 절약이다. 용수부족의 근본적 해소방법 중 물 자원 절약기술이 사회적으로 요구되는 기술이다. 아산호-삼교호-대호호 수계연결사업 등 생존의 문제해결을 위한 대규모 사업이 진행중이고, 아산호-금광·마둔저수지 농촌용수이용체계재편사업에서도 그 목적으로 적기·적량의 용수공급으로 물 부족없는 양질의 농업용수 서비스 제공과 무효방류 손실을 최소화하는 선진 농업용수 운영·관리시스템 구축 등 농업용수 물 자원의 절약기술이 농촌지역 사회문제해결을 위한 기술개발임에는 틀림없다.

이에 반에 대부분의 농업용수를 공급하기위한 농업수리시설은 대부분이 내리흐림식관개방식으로 관개방식 구조상 농업용수 공급시 많은 관리용수가 소요되는 특징이 있다. 과거 농업용수 공급의 가장 경제적인 방법은 상류에 단일 저수지(수원공)를 만들고 인공의 개수로(open canal)를 이용해 중력을 이용한 내리흐림식관개를 하는 것이었다. 왜냐하면 내리흐림식관개가 에너지 사용 측면에서 가장 유리하였기 때문이다. 이에 따라 대부분의 논 농업 용수개발사업은 단일 수원공인 저수지를 가급적 크게 만들어 내리흐림식관개방식을 이용해 급수면적이 최대가 되도록 개발하였고, 밭농업을 위한 밭기반정비사업은 대부분 지하수를 이용한 용수공급방식으로 개발되었다. 하지만 농업용수개발 방식이 단위시설 또는 단위사업별 중심의 양적 확대개발 위주로 추진하였기 때문에 수리시설 간 수자원을 효율적으로 활용할 수 있는 용수공급체계가 미흡하였다(농림부, 2003). 그 결과 해당 수혜지역 외에는 상시 물 스트레스와 함께 국부적인 가뭄현상도 지속되는 문제점이 발생하고, 내리흐림식관개는 중력을 이용하기 때문에 공급시 많은 관리용수가 소요되고 있다.

○ 농업·농촌 자산인 농업생산기반시설의 효율적인 운영기술 필요

최근 농업용수 이용패턴의 가장 큰 변화를 가져온 계기는 기후변화에 따른 작부체계 등의 외부변화와 경제발전 등 국가의 현대화와 식량 수요

변화에 따른 사회와 농정의 패러다임의 변화 등에 있다.

1990년대 이후 쌀 생산의 중요도가 경제적 논리로 소외되면서 현상태유지 측면으로 정책이 지속되어 농업용수 및 기반시설에 대한 변화는 없었던 반면에 영농에 대한 패러다임은 지속적으로 변화 되었다. 가장 두드러진 변화는 농촌지역 삶의 질 향상 노력과 함께 논농업에서 밭·시설농업으로의 영농방식의 전환이었다. 논 농업 위주에서 밭·시설농업으로의 영농방식의 전환이 많아지면서 대부분의 논 농업 지역에서도 쉽게 범용화 밭·시설농업지역을 찾아볼 수 있게 되었다. 이로 인해 농업용수 물이용 소비 패턴과 양이 기존 관개기간인 5월에서 10월까지에서 4계절 전체로 변화하는 있는 사례를 쉽게 찾을 수 있다. 하지만 밭·시설농업은 4계절 용수가 필요하기 때문에 논 농업 구역이지만 지표수를 이용하지 못하고 지하수만을 이용하는 구조이다. 또한 최근 수막을 이용한 겨울철 시설농업 보온을 위해 상당량의 지하수를 이용하고 있어 농촌지역 물 환경 불균형이 심화되고 있다. 특히 농업용수 급수지역은 물 수요패턴이 바뀌고 있지만 농업생산기반시설은 그대로 있으므로 시설 효율화를 위해 영농방식의 변화에 맞추어 농업생산기반시설의 효율적 운영하기 위한 논 농업 용도에서 다목적 용도로의 농업생산기반시설의 효율적인 운영기술이 필요하다. 또한 물 관리자가 평균적으로 시설을 관리해야할 개소수는 저수지, 양수장, 배수장 같은 시설이 9개소, 수로와 수문 등 부속시설의 규모가 21km수준으로 제한된 인력관리와 함께 조작시설이 너무 많이 시설의 효율적 이용이 어려운 점도 농업생산기반시설의 운영 효율화가 필요한 이유이다.

○ 농업용수 도수 및 급수 과정에서 물 절약과 효율적 이용 방안

본 연구에서는 계측(Sensing)과 모델링(Simulation), 스마트 수리시설(Smart Control)과 자율학습(Unsupervised Learning) 기술을 이용하여 생산기반시설의 운영기술을 개발하고자 한다. 연구의 초점은 수원공에서 급수지역까지 농업용수를 공급하는 과정에서 수로, 분수문 및 포장물꼬 등 수리시설의 기능개선과 더불어 센서를 이용해 적기·적량의 공급과 균등 배분을 위한 데이터 기반의 물관리 모형을 도출하는 데 있다. 여기서의 데이터 기반 물관리는 지능형물관리 수준과 자율학습물관리 수준으로 구분하고 있다. 지능형 물관리란 『취수-도수-급수』 과정의 물관리 요소

를 계측하여 현재 상황을 모델로 재현하고(IoT) 수요자, 공급자간의 인터넷 연결(ICT)을 통한 정보 공유단계를 의미하고, 자율학습 물관리라 함은 지능형 물관리 시스템을 통해 구축되는 데이터와 기존 공급방법을 시나리오로 데이터화 하여 기계학습을 통해 최적의 공급시나리오를 생성하는 것을 의미한다. 지속적으로 수집되는 물 공급 데이터는 빅데이터가 되고 나아가 자율학습 기술 형태의 물관리시스템으로 발전시키는 것이다.

ICT/IoT 및 자율학습기술은 현재 물관리방법에서 부족한 물자원 절약과 효율적 물관리분야를 획기적으로 개선시킬 수 있을 것이다. 하지만 아직까지 경험하지 못한 분야로 요소기술의 개발뿐만 아니라 도입기술 도출 및 적용성 검토 등 많은 테스트와 실증화과정까지 추진해야할 필요성 있다. 특히 현재 농업생산기반시설 운영사항의 개선과 자율학습 물관리라는 목표점을 분명히 하기 위해서는 현장상황을 기반으로 하는 도입기술의 도출이 필요하고, 또한 공정기술이 현장에 적용하기 전에 시험제작 과정을 거쳐 충분한 성능의 검토가 요구된다.

2. 연구목적

본 연구과제는 저계측(Sensing)과 모델링(Simulation), 스마트 수리시설(Smart Control)과 자율학습(Unsupervised Learning)을 활용한 수요자 중심의 ICT/IoT 융·복합 자율학습 물관리 시스템 개발로서 세부 목표는 다음과 같다.

- 자율학습 물관리 요소기술 및 공정기술 도출
- ICT/IoT 기술의 적용을 위한 공정기술 시험제작 및 적용성능 검증
- 자율학습 물관리 시스템 TEST-BED 적용 및 사업화

제2절 연구 범위 및 내용

1. 연구대상

가. 농업용수 및 농업생산기반시설

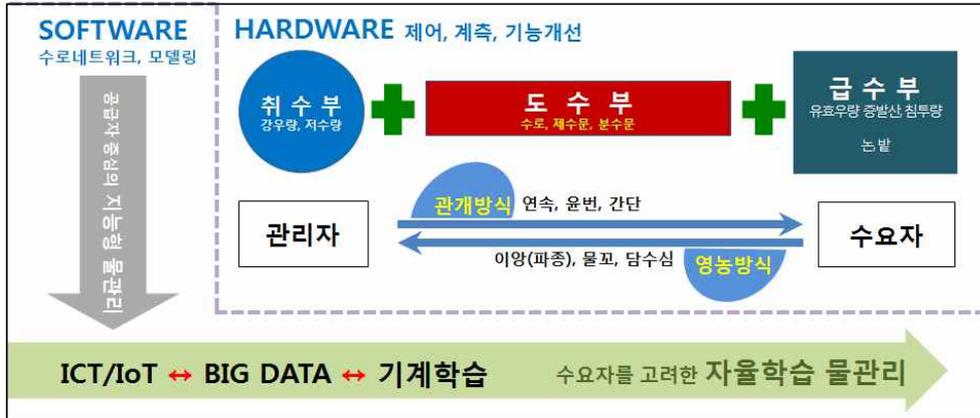
경작지에서 작물생육에 필요한 수분을 강우만으로는 보충할 수 없다. 정상적인 작물생육을 위해 생육기에 따라 필요수량을 인위적으로 적기에 공급하는 것을 관개라고 하고 관개에 소요되는 용수를 농업용수라고 한다. 농업생산기반시설 농업용수를 공급하기 위한 시설로 저수지, 양수장, 취입보, 지하관정 등이 용수원시설이고, 경작지까지 용수를 공급하기 위한 용수로, 제수문, 분수문 등이 평야부시설이다. 농업생산기반시설에는 배수 시설물도 포함되어 있는데 작물의 과잉수분 및 침수를 방지하기 위해 배수로, 배수문 및 배수펌프장이 해당되고, 용수원시설물인 저수지의 시설물로 저수지의 범람을 방지하기 위해 여수로도 배수시설이다.

나.물관리자 및 수요자

본 연구에서는 물리적으로 농업용수의 공급과정을 과학화하는 것뿐만 아니라 물 공급 과정에서 변수가 되는 관리자의 관개방식과 수요자의 영농방식까지를 연구대상으로 하여 개발된 물관리 시스템이 현장에 잘 적용될 수 있도록 하였다.

2. 연구의 범위

본 연구의 범위는 농업용수 공급과정을 계측과 모델로 현장에서의 물공급 과정을 시뮬레이션으로 재현함과 동시에 수리시설을 운영하는 물관리자의 관개방식과 수리시설로부터 물을 공급받는 수요자의 영농방식까지 시나리오로 재현하여 현장상태를 최대한 재현하는 것이 첫 번째 목표이므로 연구의 범위는 수로네트워크의 모델링을 담당하는 SOFTWARE 분야와 제어, 계측 및 수리시설의 기능개선을 담당하는 HARDWARE 분야뿐만 아니라 생산기반시설 운영의 최적의 물관리 운영방법을 찾기 위한 과정인 「ICT/IoT ↔ BIG DATA ↔ 기계학습」 과정도 연구의 범위로 포함되어 있다.



<그림 1-1> 연구의 범위

3. 연구내용

ICT/IoT, 자율학습기술은 현 물관리에서 부족한 물질약과 효율적인 물 공급에 획기적이지만 경험하지 못한 분야로 장기데이터, 도입기술 도출 및 현장적용성 검토가 필요한 점에 착안하여 연구의 1차년도는 자율학습 기술의 물관리 적용방법 분석 및 도입기술 도출의 주제로 연구를 수행하였다.

- 자율학습 물관리 기술 현장 적용방법 분석
 - 물관리 구간별 구조적인 차이점 및 농업용수 공급시 변수
 - 현장기반 자율학습 물관리 기술 도입범위
 - 기존시설물 활용한 자율학습 물관리 기술 도입 및 적용 방법
- 자율학습 물관리 시스템 S/W, H/W 요소기술 도출
 - 사업 완료지구 운영 및 활용도 분석
 - ICT기반 자율학습 물관리 시스템 알고리즘 설계서 작성
 - IoT 스마트 수리시설 인벤토리 작성
 - ICT S/W, IoT H/W 운영 및 제어방안(시스템 운영도)

제3절 기대효과 및 활용방안

1. 기대효과

4차 산업혁명은 사물인터넷(IoT), 자율학습(AI), 빅데이터 등의 기술이 산업분야와 융합되어 경제·사회전반의 근본적 변화를 일으키는 혁명으로, 농업용수 관리 분야에 그간 관행 및 경험적으로 이루어지던 것을 효율화 하는데 활용하고자 한다. 자율학습기반 물관리는 농민과 농업을 위한 용수공급 서비스 개선을 위하여 가장 적은 에너지와 최적의 노동력을 투입 하면서 꼭 필요한 만큼 용수를 필요한 시기에 공급하는 개념으로 이를 위하여 물 관리자는 ICT기반 모니터링, 수로 네트워크 분석과 들녘단위의 관개계획 및 관개실적 분석을 통해 수리시설물을 제어하여 용수공급의 과학화 달성이 기대된다. 본 과제에서 개발하고자 하는 자율학습 물관리 기술은 다양한 현장 정보를 수집하여 자율학습 알고리즘을 통한 분석결과 도출로 농업용수의 효율적 관리를 위해 적절한 의사결정지원을 기대하고 있다. 기상예측과 수혜지역의 상황을 종합적으로 분석하여 최적의 물관리 패턴을 제공할 수 있기 때문에 다양한 기상조건에 대한 적응형 농업수자원 관리가 가능하다. 또한 안정적이고 자동화된 관리 시스템을 제공함으로써 농업용수 수혜구역의 실시간적인 현황파악 및 시설물의 유지관리가 가능할 것이며, 확장성을 갖춘 시스템의 구축으로 기존 구축된 시스템과의 효율적인 연계관리가 가능할 것으로 기대하고 있다.

2. 실용화 방안

적기 적량의 용수를 공급하는 자율학습 기반 물관리는 한정적 자원인 농업용수를 모니터링, 자동제어기술, 자율학습에 의해 공급하는 경제적 물관리를 의미하며, 여기에 기후 변화, 벼 재배 면적 감소, 타작물 재배 확대, 농업용수의 이용과 활용의 지역적 편차 등 외부환경과 에너지 효율을 극대화 할 수 있는 방안이다. 농업이 노동집약적인 산업에서 기술집약적인 산업으로 변화할 수 있는 기본여건인 물관리를 효율화를 위해 자율학습 기반 물관리 기술을 활용하여 농업의 약점극복과 경쟁력 강화에 도움을 줄 것으로 판단된다.

제2장 자율학습 기술의 물관리 적용방법 분석 및 도입기술 도출

제1절 자율학습 기술의 물관리 현장 적용방법 분석

1. 기존 농업용수 공급체계 및 물관리 운영방법 분석

가. 농업기반시설 현황

1) 농업기반시설 및 수혜구역 현황

우리나라의 농업용수 공급을 위한 수리시설은 기본적으로 저수지 중심 관개체계로 구성되어 있다. 반면에 우리와 유사한 일본은 하천수 이용 중심으로 농업용수 공급원을 가지고 있다.

(표 2-1) 수리시설별 수리답 면적

(단위 : 개소, ha, %)

구분	저수지	양수장	양배수장	배수장	보	집수압거	관정	기타시설	계	
시군	수원공개수	13,883	3,579	19	258	13,847	2,340	24,206	-	58,132
	수리답면적	112,326	29,819	395	59	54,934	7,198	40,867	4,802	244,865 (28.3)
공사	수원공개수	3,407	3,596	106	822	4,155	307	1,454	-	13,847
	수리답면적	378,795	194,711	23,176	1,618	13,001	761	262	-	612,325 (70.8)
계	수원공개수	17,290	7,175	125	1,080	18,002	2,647	25,660	-	71,979
	수리답면적	485,584 (56.6)	224,531 (26.3)	23,572 (2.7)	1,677 (0.2)	67,935 (7.9)	7,959 (0.9)	41,129 (4.8)	4,802 (0.6)	857,190 (99.1)

(자료: 2018 농업생산기반정비통계연보; 농림축산식품부·한국농촌공사, 2017)

(표 2-1)에서 보는 바와 같이 우리나라 수리시설물에서 관개하는 논의 면적을 시설물별로 살펴보면 2017년말 현재 수리답 중 56.6%는 저수지,

26.3%는 양수장, 2.9%는 양배수장·배수장, 7.9%는 보, 4.8%는 관정을 통해 물 공급이 이루어지고 있다. 결국 하천(소하천 포함) 취수로 볼 수 있는 양수장, 양배수장, 배수장 그리고 취입보 관개를 합치면 하천 취수 비중은 전체 수리답의 약 37.1%를 차지한다. 또한 전체 농경지 중에서 농어촌공사 관할 구역을 대상으로 볼 경우에는 용수공급면적의 61.9%가 저수지에 의해 관개되고 있음을 알 수 있다.

농지면적 중 수리답 면적은 (표 2-2)에서 보는 바와 같이 2013년 778,362ha에서 2014년 777,280ha, 2017년 727,876ha로 줄었으나 전체 논 면적 또한 같은 기간 966,076ha에서 963,876ha, 895,739ha로 감소함으로써 수리답 비율은 80.6%에서 80.6%, 81.3%로 계속 증가하였다.

(표 2-2) 수리상태별 답면적

(단위: ha, %)

구분	총 답면적	수리답				수리불안전답	
		계	시군관할	공사관할	비율	면적	비율
2009	1,045,991	831,003	301,546	529,458	79.4	214,988	20.6
2010	1,010,287	806,475	285,680	520,795	79.8	203,812	20.2
2011	984,140	787,986	271,448	516,538	80.1	196,154	19.9
2012	959,914	772,108	254,733	517,375	80.4	187,806	19.6
2013	966,076	778,362	253,808	524,554	80.6	187,714	19.4
2014	963,876	777,280	250,589	526,691	80.6	186,596	19.4
2015	933,615	752,590	240,002	512,587	80.6	181,025	19.4
2016	908,191	734,060	231,437	502,624	80.8	174,131	19.2
2017	895,739	727,876	229,091	498,785	81.3	167,863	18.7

(자료: 2018 농업생산기반정비통계연보; 농림축산식품부·한국농촌공사, 2017)

수리답은 수리시설의 관리주체에 따라 한국농어촌공사 관할구역과 시군 관할구역으로 구분되는데, 농어촌공사 관할구역의 수리답 면적은 2009년 529,458ha에서 2011년 516,538ha로 감소추세를 나타내다가 2017년 498,785ha로 감소한 반면, 시·군 관할구역의 수리답 면적은 2017년까지 지속적인 감소추세를 보여주고 있다. 수리답 전체 면적에서 차지하는 농

어촌공사 관할 구역 수리답의 비중은 2009년 63.7%에서 2017년 68.5%로 증가하였다.

(표 2-3) 한밭빈도별 관개 면적

(단위: ha, (%))

구분	계	평년	3년	5년	7년	10년 이상
합계	857,189.9 (100.0)	130,835.8 (15.3)	48,866.9 (5.7)	24,040.8 (2.8)	12,474.0 (1.5)	640,972.4 (74.8)
저수지	485,584.4 (100.0)	69,620.9 (14.3)	26,321.7 (5.4)	8,943.7 (1.8)	4,926.9 (1.0)	375,771.2 (77.4)
양수장	224,530.7 (100.0)	15,446.4 (6.9)	3,957.0 (1.8)	1,755.6 (0.8)	3,078.0 (1.4)	200,293.7 (89.2)
양배수장	23,572.3 (100.0)	648.8 (2.8)	- (0.0)	89.6 (0.4)	813.5 (3.5)	22,020.4 (93.4)
배수장	1,676.8 (100.0)	1,149.0 (68.5)	- (0.0)	- (0.0)	- (0.0)	527.8 (31.5)
보	67,935.1 (100.0)	22,485.2 (33.1)	10,957.8 (16.1)	4,922.0 (7.2)	3,254.5 (4.8)	26,315.6 (38.7)
집수암거	7,959.1 (100.0)	2,915.9 (36.6)	1,965.8 (24.7)	279.1 (3.5)	104.6 (1.3)	2,693.7 (33.8)
관정	41,129.2 (100.0)	13,767.3 (33.5)	5,664.6 (13.8)	8,050.8 (19.6)	296.5 (0.7)	13,350.0 (32.5)
기타시설	4,802.3 (100.0)	4,802.3 (100.0)	- (0.0)	- (0.0)	- (0.0)	- (0.0)

(자료: 2018 농업생산기반정비통계연보; 농림축산식품부·한국농촌공사, 2017)

농업용수가 공급되는 수리답 면적은 한밭빈도 평년을 기준으로 한 것으로서 (표 2-3)에서 보는 바와 같이 10년 이상 빈도의 한밭에 견딜 수 있는 수리답은 2017년 640,972ha로 전체 수리답 면적 857,189ha의 74.8%를 차지하며, 평년 빈도의 수리답이 130,835ha로 15.3%, 3년 빈도 수리답 비중은 5.7%, 5년 빈도 수리답 비중은 2.8%, 7년 빈도 수리답 비중은 1.5%였다. 수리시설 유형별로 한밭빈도의 비중을 고찰하면 양배수장의 경우 10년 빈도의 한밭에 견디는 수리답 비중이 93.4%를 넘고, 저수지와 양수장은 그 비중이 77.4%, 89.2%를 차지하며, 보·집수암거·관정은 34~39%였다. 우리나라의 농업용수 관개시스템은 저수지 중심이다. 이러한 물 공급 시스템 구성은 주작물이 논벼의 물이용 패턴에 기인한다.

수리시설의 경과연수별 분포는 (표 2-4)에서 보는 바와 같이 저수지를 포함하여 총 71,979개의 수리시설 중 건립된 지 30년 미만이 29,053개소 (40.4%), 30~50년이 22,167개소(30.8%), 50년 이상이 20,759개소(28.9%)로 나타났다. 저수지는 총 17,290개소 중 75.7%인 13,079개소가 건립된 지 50년 이상 노후화된 시설인 반면, 양수장·배수장·양배수장·관정은 51~89%가 30년 미만이였다.

(표 2-4) 유형별·경과연수별 수리시설 현황

(단위: 개소)

계	계		72년 이상) '45이전		(50~72년) '46 ~'68		(30~50년) '68 ~'88		(30년 미만) '88이후	
	시설수	%	시설수	%	시설수	%	시설수	%	시설수	%
계	71,979	100	13,518	18.8	7,241	10.1	22,167	30.8	29,053	40.4
저수지	17,290	100	8,833	51.1	4,246	24.6	3,540	20.5	671	3.9
양수장	7,175	100	84	1.2	334	4.7	3,051	42.5	3,706	51.7
양배수장	125	100	6	4.8	8	6.4	31	24.8	80	64.0
배수장	1,080	100	3	0.3	14	1.3	103	9.5	960	88.9
취입보	18,002	100	4,486	24.9	2,486	13.8	8,906	49.5	2,124	11.8
집수암거	2,647	100	91	3.4	125	4.7	2,253	85.1	178	6.7
관정	25,660	100	15	0.1	28	0.1	4,283	16.7	21,334	83.1

(자료: 2018 농업생산기반정비통계연보; 농림축산식품부·한국농촌공사, 2017)

우리나라는 하천취수를 위주로 하는 일본과 달리 저수지에 의한 관개가 중심인데, 10년 빈도 수리안전담 비율이 낮고, 노후화된 농업용 수리시설의 비중이 높으며, 소규모 시설이 많을 뿐 아니라 토공 수로의 비중이 높다는 문제를 안고 있다. 결국 10년 빈도 수리안전담 비율이 낮다는 것은 그만큼 농업용수 공급이 충분하지 않다는 것을 의미한다. 농업용수의 공급 확대가 필요하나 농업용 수리시설을 신규로 확충하기는 현실적으로 쉽지 않은 실정이다. 따라서 공급관리 측면에서 기존 시설을 최대한 효율적으로 활용하고 수요관리 측면에서 농업용수의 수요량과 누수에 의한 손실량을 줄이는 물 절약 방안을 강구해야 한다. 또한 노후화된 농업용 수리시설이 많다는 것은 수리시설의 개보수 필요성이 크다는 것을 의미한다.

2) 평야부 수로의 구조 현황

우리나라에 기 설치된 용수로는 제형 토공수로, 제형 콘크리트라이닝수로, 직사각형 콘크리트개거, 원형 및 직사각형 콘크리트 관채수로, 마제형 터널수로, 원형 강관수로, 원형 PE관수로 등 그 재질과 형상이 다양하다. 신설수로 설치 시 또는 노후화된 수로의 개보수 과정에서 토공수로가 점차 구조물화 수로로 전환되고 있으며 농업용수로의 구조물화 비율은 용수간선이 64%, 용수지선이 57%, 용수지거가 47%로 평균 54%로서 여전히 토공 용수로는 50,353km(46%)가 남아있다.

(표 2-5) 농업용수로의 구조물화 현황

구 분		계		한국농어촌공사 관할		시·군 관할	
		연장(m)	비율(%)	연장(m)	비율(%)	연장(m)	비율(%)
계	계	110,072,406	100	56,196,064	100	53,876,342	100
	토공	50,353,186	45.7	21,174,397	37.7	29,178,789	54.2
	구조물	59,719,220	54.3	35,021,667	62.3	24,697,553	45.8
용수 간선	계	28,722,444	100	14,884,302	100	13,838,142	100
	토공	10,296,216	35.8	3,158,052	21.2	7,138,164	51.6
	구조물	18,426,228	64.2	11,726,250	78.8	6,699,978	48.4
용수 지선	계	33,654,096	100	14,888,327	100	18,765,769	100
	토공	14,541,291	43.2	4,367,405	29.3	10,173,886	54.2
	구조물	19,112,805	56.8	10,520,922	70.7	8,591,883	45.8
용수 지거	계	47,695,866	100	26,423,435	100	21,272,431	100
	토공	25,515,679	53.5	13,648,940	51.7	11,866,739	55.8
	구조물	22,180,187	46.5	12,774,495	48.3	9,405,692	44.2

(자료: 2018 농업생산기반정비통계연보; 농림축산식품부·한국농촌공사, 2017)

3) 수로의 노후화 현황

1945년 이전부터 현재까지의 우리나라 농업용수 수원공의 연도별 설치 현황에 의하면 설치 후 50년 이상 경과된 수원공시설이 평균 28.9%나 된다. 따라서 이들 수원공으로 부터 분기된 용수로의 설치년도가 수원공과 비슷하다고 볼 때 전체용수로의 약 50%가 노후화된 것으로 추정되며, 특히 주 수원공인 저수지의 경우 1988년 이전에 설치되어 30년 이상 경과된 시설은 59.7%나 되어 이에서 분기된 용수로는 거의 전부가 상당히 노후화된 것으로 판단된다.

한국농어촌공사가 관리하는 농업용수로에 대한 일제조사 결과를 보면 표에서 보는 바와 같이 용수간·지선 33,986km 중 41%인 14,096km가 노후화되어 개보수가 필요한 실정이다. 관리가 보다 열악한 시군 관리의 농업용수로는 그 노후도와 개보수의 필요성이 더욱 클 것으로 판단된다. 이들 노후화된 농업용수로는 매년 꾸준히 개보수 되고 있으나 매년 영농기 전에 반복적으로 준설과 수초제거를 하여야 영농급수가 가능하며 집중호우 또는 태풍 시 수로 제방 붕괴로 농경지 유실 매몰 등 재해발생의 주요 원인으로 작용하고 있다.

(표 2-6) 수리시설 연도별 설치 현황

계	계		'45이전		'46 ~'68		'68 ~'88		'88이후	
	시설수	%	시설수	%	시설수	%	시설수	%	시설수	%
계	71,979	100	13,518	18.8	7,241	10.1	22,167	30.8	29,053	40.4
저수지	17,290	100	8,833	51.1	4,246	24.6	3,540	20.5	671	3.9
양수장	7,175	100	84	1.2	334	4.7	3,051	42.5	3,706	51.7
양배수장	125	100	6	4.8	8	6.4	31	24.8	80	64.0
배수장	1,080	100	3	0.3	14	1.3	103	9.5	960	88.9
취입보	18,002	100	4,486	24.9	2,486	13.8	8,906	49.5	2,124	11.8
집수암거	2,647	100	91	3.4	125	4.7	2,253	85.1	178	6.7
관정	25,660	100	15	0.1	28	0.1	4,283	16.7	21,334	83.1

(자료: 2018 농업생산기반정비통계연보; 농림축산식품부·한국농촌공사, 2017)

(표 2-7) 공사 관리의 개보수 대상 농업수로 현황

구분	연장(km)		
	전체(A)	개보수대상(B)	비율(B/A x 100, %)
합계	33,986	14,096	41
용수간선	16,407	6,394	39
용수지선	17,579	7,702	44

(자료 : 수리시설 개보수사업 대상지 일제조사보고서; 농업기반공사, 2000)

농업용수의 공급방식은 과거와 현재 양적 질적으로 모두 크게 달라졌으며 물관리의 고도화가 요구되기 때문에 이에 대한 수로조직의 개선이 필요하다. 이러한 상황에서 한국농어촌공사에서는 관리지역 용수로의 효율적 관리와 물이용 경향의 변화 및 수요량의 증가에 대응하기 위하여 용수로 조직에 대한 관리실태, 시설물 현황 및 문제점을 파악하고자 경기도 일부지역의 저수지 6개소와 양수장 2개소 총 8개 지구의 수로조직을 GPS를 이용하여 용수로의 노선, 재질, 현 상태 및 수리시설물의 위치 및 문제점을 조사하였다. 조사항목은 관개효율과 수로손실에 영향을 미치는 토공 구조물구간, 수초구간, 토사매몰구간, 분수문과 제수문의 수와 위치, 인위적 또는 노후화 파손, 수로의 흐름을 방해하는 용수로 내 임의설치 장애물의 위치 및 내용 등이었는데, 이 조사를 통해 현장에서 파악된 수로의 실태를 보면 수초발생, 토사퇴적, 토사유입, 오물퇴적, 파손 및 외수유입 지점이 다수 산재해 있고, 지구별 차이 없이 토공수로에서는 거의 모든 구간에서 수초가 번성하고, 토사의 퇴적 및 수로의 파손은 지구의 개발 또는 이용에 따라 크게 영향을 받는 것으로 파악되었다.

용수간선의 주요 문제점은 강우 시 인접지역에서 발생하는 유출수가 용수로로 유입되는 경우와 지반침하 노후화 등의 문제로 인한 균열 등 파손, 수로 수위를 상승시키기 위해서 농민이 임의로 설치한 장애물, 수로에 방치된 쓰레기 오물 등이다. 특히 대부분의 용수로가 통수장애의 문제점을 가지고 있고 이로 인한 물 손실이 막대하게 발생하는 것으로 판단되므로 통수에 영향을 주는 수초, 토사 등의 퇴적, 각종 오물 등의 문제 해결을 위한 지속적인 수로의 유지관리가 요구되고 있다.

나. 평야부 수로 물 손실 현황

1) 농업용수로의 구조적 손실

농업용수의 물손실이 일어나는 직접적인 원인은 용수로 조직을 구성하는 수리시설물의 구조적 문제에 기인하며 그 원인은 다음의 여러 가지 복합적인 문제점에 의하여 발생하고 있다. 농업용수로의 구조적 손실에 의해 물 손실이 발생하는 주된 원인은 용수원에서 용수의 과다 취수, 흠수로 침투, 용수배분 불균형 등에 있으며 그 원인을 구체적으로 분류하면 다음과 같이 분류할 수 있다.

(표 2-8) 수로손실 발생 경우 및 원인

수로손실 발생 경우	원인
수로바닥이나 비탈면에서의 삼투	- 흠수로 삼투에 의한 물손실
토공과 수로시설물 접합부 누수	- 관공작용에 의한 침투 및 누수
수로시설물의 노후화에 의한 누수	- 콘크리트 노후화
수로시설물의 파손에 의한 누수	- 계수문 분수문 등이 파손
수로제방의 붕괴로 인한 월류	- 수로 굴곡부 토공부의 침식, 토공수로의 노후화 - 수로둑 침범에 따른 수로제방의 붕괴
시공 불량에 의한 공작물에서의 누수	- 시공불량으로 인한 이음부의 누수 및 문비 누수
통수저해에 의한 유속 감소	- 수로내의 잡초 번성, 토사 유입침전
잡초에 의한 증발산	- 수로내 잡초 증발산
수면증발	- 삼투손실의 5%정도
지하동물의 천공에 의한 누수	- 지하서식동물의 흠수로 천공
무효방류	- 무효방류



<그림 2-1> 비탈면이 붕괴된 수로(좌), 수초가 자란 수로(우)

2) 농업용수로의 비구조적 손실

2000년 농업용수 물 값 부과가 폐지된 이후 대부분의 수혜구역(논)에서는 물꼬를 지속적으로 개방하는 현상으로 인하여 수혜구역 말단부까지 물을 원활히 공급하기 위해서 필요이상의 용수를 공급하는 물 손실 요인이 발생하고 있다.

기본적인 관개방식에는 내리흐름식관개(담수관개), 간단관개 및 유회관개(순환관개)의 세가지가 있다. 내리흐름식관개는 관개기간 중 계속하여 물을 공급하는 방법이고, 간단관개는 1일간 관개하고 2일간 중지한다든지 또는 매일 오후에만 필요한 일정량의 물을 대주는 방법이며, 유회관개는 간단관개의 일종이나 관개구역을 몇 개의 구역으로 나누어 순차적으로 일정한 간격을 두고 돌아가며 물을 공급하는 방법인데 용수절약이나 증수를 위하여 실시하는데 가장 좋은 것으로 알려져 있는 관개방식이다. 하지만 유회관개 방법의 미숙, 농민의 인식 부족 등으로 이를 실행치 못하고 내리흐름식관개방식으로 처리하고 있어 과다한 물손실이 발생하고 있다.

한편 대부분의 수리시설물은 인력관리 위주의 시설물로 설치되어 있어 많은 인력이 요구되고 있으나 제한된 인력에 의해 관리되고 있어 수문 분수공 등을 적기에 개폐하지 못하여 물손실이 발생하고 있으며, 흐름의 방해 및 수초의 적기 제거 불충분으로 염면 증발산 등의 물손실이 발생하고 있다.

(표 2-9) 연도별 1인당 관리면적 변화(조합/공사관할)

연도	면적(ha)	관리인원(명)	1인당 관리면적(ha)
1990	523,312	4,172	125
1997	582,278	3,652	147
2003	525,201	2,830	186

(자료 : 농어촌과 환경 No.82, 2004, 농업기반공사 농어촌연구원)

효율적인 물관리를 위해서는 필요한 수의 물관리 요원이 필요하나 우리나라의 농업 및 농촌 여건상 이러한 인력의 공급은 갈수록 어려워지고 있다. 현재 우리나라의 논 중에서 농업기반공사 관할구역에 있는 논에 대한

모든 수리시설물 및 수로의 유지관리 및 물관리 등 운영은 농업기반공사의 직원에 의해 이루어지고 있는데 연도별 1인당 관리면적을 살펴보면 (표 2-9)에서와 같이 1990년도 1인당 관리면적이 125ha이던 것이 지속적으로 증가하여 2003년도에는 186ha에 달하고 있다. 이렇게 1인당 관리면적이 증가함으로써 관리인원 1인당 수원공 및 배수로 외에 용수로 21.2km 및 그에 따른 각종 수문 등을 관리하여야 하는 상황이다. 특히 농업 농촌 형편상 우수한 유지관리 요원의 다수 확보 곤란에 따른 수리시설물의 관리소홀로 물 손실을 유발하고 있다.

현재 손실율이 30~40%에 달한다는 부분적인 연구결과가 있으나 수로 손실, 급수 손실, 포장관리 손실 등 부분별 원인별 손실율에 대한 기초자료가 부족하고 용수간 · 지선 등의 공급수량에 대한 기록이 없거나 부실한 관계로 체계적 과학적인 물관리를 하지 못해 물 손실이 크게 발생하고 있다.

다. 농업용수 물관리 현황

1) 농업용수 관리방법 현황

우리나라 농업용수 공급 중 논에 대한 용수공급은 전체 논 면적 984천ha중 어느 정도의 가뭄(10년 내한빈도)에도 견딜 수 있는 수리안전담 520천ha(52.9%)를 달성하여 전체 논 면적 대비 절반은 안전한 용수를 공급하는 기반을 마련하였으나, 47.1%인 464천ha는 아직 가뭄에 취약하며 전체 논 면적 대비 19.9%인 196천ha는 아직도 자연강우에 의존하고 있다.

10년 한발빈도를 기준으로 수리안전담율은 1900년대 29.0%에서 2000에 36.6%로 증가하였고 2010년도에는 52.9% 지속적으로 증가하였으나 그 동안 안정적인 영농기반 구축을 위하여 농업기반시설을 지속적으로 정비하는 한편 기 확보된 수자원의 효율적인 관리를 위한 시설 현대화 및 물관리자동화 사업을 추진하였으나 질보다는 양적인 시설물 설치로 인하여 향후 유지관리비의 지속적 증가가 예상되고, 시설 확충(H/W) 위주의 지원으로 효율적 관리체계(S/W) 구축은 미흡한 것으로 분석되었다. 특히 최적 관개계획(Irrigation Scheduling) 수립에 따른 농업용수의 과학적·체계적 관리가 어려워 용수과잉사용 및 무효방류에 따른 용수손실이 과다하게 발생하고 있으나 이를 제어할 시스템적 수단은 현재 없는 상황이다. 또한

한정된 수자원을 합리적으로 관리하고 수계간 용수수급 불균형 해소를 위해 농업·농촌용수종합이용계획을 수립하고 농업용수구역 단위의 물관리 기법 및 다양한 분석 시스템을 개발하였으나 농업용수의 정확한 수요예측과 균등배분 및 체계적 공급을 위한 현장 물관리에 적용하기에는 한계가 있다. 왜냐하면 현재까지 농업용수의 공급체계는 한정된 유지관리직원에 의한 다수의 기반시설 관리가 이뤄지고 있기 때문에 수량위주의 과학적 기반보다는 관리지역 공급 수위를 기반으로 물관리를 수행하고 있기 때문이다. 농업용수 관리주체인 한국농어촌공사의 물관리의 개념과 추진절차는 다음과 같다.

<p>1. 물관리 기본 방향</p> <p>1. 고품질 농산물 생산 및 다수확을 위한 물관리 2. 용수절약 측면에서 물관리</p> <p>2. 물관리 개념과 목표</p> <p>(1) 개념 관개용수의 물 관리는 각종 수리시설을 이용하여 물을 확보하고 적량의 물을 적기에 효율적으로 공급하는 기술을 말한다.</p> <p>(2) 목표</p> <p>① 필요한 시기에 필요한 양의 물 공급 ② 효율적인 급수 ③ 관개 구역내 균등한 급수를 통하여 신뢰성의 극대화 ④ 안전한 급수 ⑤ 하천환경보전을 위한 하천유량의 최대화와 수질관리 안전성의 극대화 ⑥ 관개 기간후 최종 저수위의 최대화</p> <p>3. 농업용수 관리</p>	<p style="text-align: center;">농업용수 관리목적</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 적기에 적량의 용수를 농지에 공급하여 농업생산성 향상을 도모하고, 농업용수 오염방지와 깨끗한 물의 공급으로 안전한 농산물을 생산토록하며, ○ 효율적인 농업용수의 관리로 수해 및 가뭄 등의 재해를 사전 방지할 수 있도록 용수를 적정 관리하여야 하고, ○ 과다 또는 부족한 용수의 공급으로 수문 등의 임의 조작과 시설물 손괴 등이 발생하지 않도록 적기·적량의 용수 공급을 시행하여 선량한 시설물 관리가 이루어져야 하며, ○ 농업용수원을 양질의 수질상태로 유지할 수 있도록 하고, 오염될 우려가 있는 용수원을 지속적으로 관리하는데 있음
---	---

3.1 저수량 관리

지역별로 상이한 기상조건 및 시설여건을 감안하여 용수공급계획을 수립하고 모든 수량관련 자료를 관측 기록함으로써 향후 안정적인 용수공급을 위한 기초자료의 확보와 한정된 수자원을 효율적으로 이용하여 관개효율을 증대시키는데 있음

3.2 농촌용수 공급실적 조사

- 고객중심의 맞춤형 농촌용수 공급계획 수립으로 안정적인 용수공급을 위한 효율성 제고
- 농촌용수 수요증가 및 가뭄에 따른 물부족 대비 용수절약 대책 강구
- 농촌용수 공급실적 DB화로 물관리 과학화 실현

3.3 농업용수 공급

- 시설관리자는 공사관리지역의 영농에 필요한 시기별 용수상황을 파악하여 『쌀 품질 고급화』를 감안 농업인이 편리하게 이용할 수 있도록 용수공급을 개선하여 용수 공급기간을 탄력적으로 운영할 필요가 있음

3.4 급수예고제 실시

- 합리적이고 효율적인 물관리가 되도록 급수계획을 사전에 농업용수 이용자에게 주지 및 홍보하여 영농편익에 기여하고 급수로 인한 민원예방과 농업인에게 양질의 서비스를 제공하기 위해 사전 급수 예고제 실시
- 용수공급 시기를 농업인이 알 수 있도록 지역별 급수계획을 예고
 - 『농업기반시설관리시스템』 등록 공고 ⇒ 2007년부터 시행
- 수계별 급수계획을 이장, 자율관리구 등에 통보 및 급수전 사전 예고
- 간단관개에 따른 유익한 점 등 집중 홍보
- 급수와 낙수시기의 사전예고를 통한 용수절약 및 민원 예방

<그림 2-2> 농업용수 관리 방법(한국농어촌공사 2012)

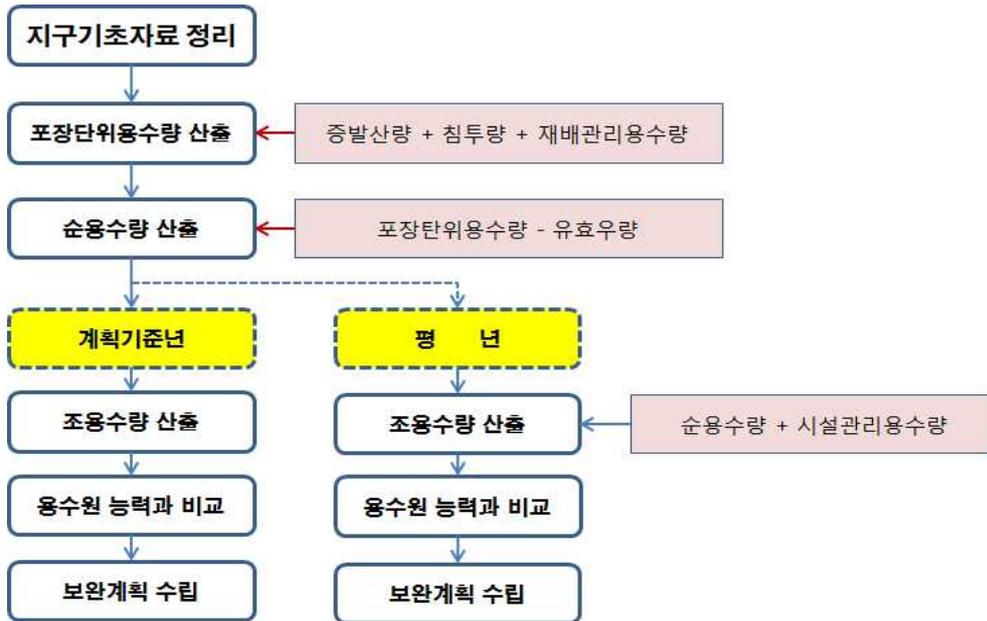
농업용수 공급을 위한 물관리 업무의 추진 절차는 준비단계, 실시단계 및 종합평가 단계로 구분하고 있으며 그 세부내용은 다음과 같다.

□ 준비단계 : 급수기 이전에 시행할 업무

- ① 기초자료 작성내용

구 분	작 성 내 용
수원공 관련자료	① 각 수원공별 제원 ② 시설 능력 ③ 용수 공급 실적
평야부 관련자료	① 구역별 평균 침투량 ② 용수조직 및 통수 능력 ③ 각 시설물 제원
기상자료	① 기온, 강수량, 증발량 등
현황판 작성	① 지구 및 급수 상황 파악이 용이하도록 제작 ② 1/1,200~1/50,000의 지형도에서 작성 ③ 주요 표시 내용(수원공 위치 및 제원, 용배수로 조직망, 현존 수원공 공급 능력 (지역별 급수 실정 및 급수량, 급수 애로 지구)
용수계통도 작성	① 용수로 조직과 수계별 면적 및 급수량을 도해로 표시 ② 용수 도달 시간의 표시 ③ 급수계획 수립 및 물 관리 운영에 편리하도록 작성 ④ 주 수원공을 중심으로 지역별 작성 ⑤ 대단위지구는 간지선까지 작성, 세부계통도는 관할구역별 작성

② 급수계획 수립



③ 재해대책 수립

- ㉠ 준비단계, 발생단계, 마무리단계로 구분하여 대책수립
- ㉡ 한해예측 시점의 용수공급 가능량 판단과 부족용수량 산출
- ㉢ 부족용수량 공급대책 수립
- ㉣ 직원 비상근무계획 수립

④ 영농대비 시설물 사전점검

시설별	주요 점검사항
저수지	① 계획저수량 확보 및 이상유무 점검, ② 수위표 설치 및 보수, ③ 방류수문 조작상태 점검
양배수장	① 시험가동 실시, ② 시설 이상유무 확인, ③ 흡입관 및 토출부 오물제거, ④ 운할유 주입 및 주변 청소
보	① 보 몸체 이상유무 점검, ② 취수문 이상유무 확인, ③ 취수문 조작시설 점검, ④ 하천 수위표 설치
용배수로	① 수초, 퇴적물 및 기타 장애물 확인 제거, ② 토사 퇴적구간 준설, ③ 급배수에 영향을 미치는 곳은 사전 점검 ④ 잠관 및 암거내의 토사 및 오물 제거, ⑤ 제방 이상유무 확인 및 정비, ⑥ 주요지점 수위표 설치
분수문 및 각종 수문	① 권양기 청소 및 주유실시, ② 문비 누수 여부 점검, ③ 권양기 작동상태 점검, ④ 전동화 수문 실험가동

□ 실시단계 : 급수 개시에서 종료까지의 업무

① 시설물관리(수원공)

시설별	관리요령
(공통사항)	① 급수계획에 의거하여 경작지에 필요수량만 공급, ② 적량공급을 위한 계측기 활용 ③ 용수원이 풍부하고 한발피해 우려가 없을 때에는 충분한 용수를 공급하여 이용자의 편의를 도모 ④ 수원공 일지작성, ⑤ 평야부의 급수실적에 따라 신속히 대처
저수지	① 한정된 용수원이므로 시기별로 안내하여 공급, ② 저수량 측정용 수위표를 설치하며 보통 수위표의 경우는 수위별 저수량 조건표 비치, ③ 유입수의 유입이 원활하게 되도록 조치 ④ 저수량 부족지구 물놀이 더뎡기, ⑤ 일별 유입량 및 유출량 조사 ⑥ 저수량 변동상황 및 공급가능 일수 판단
양수장	① 양수시간에 비례하여 관리비가 증가하므로 필요량만 공급되도록 조치, ③ 용수원 하천의 수위표 설치 및 활용 ③ 양수장 일지작성(공급량 및 가동시간, 하천의 수위변동, 수혜지 급수실적, 전력 사용량), ④ 양수기 기능 일일점검
보	① 취수구 주변에 하천수위 측정용 수위표 설치, ② 취수량 측정용 계측기 설치 ③ 취수일지 작성 (하천의 수위변동상황, 취수량 및 시간, 수혜지 및 급수실적) ④ 보 기능 점검, ③ 취입량 감소에 대한 대책보완(하천굴착 등)

② 시설물관리(평야부 시설)

시설별	관리요령
(공통사항)	① 각 노선별, 지역별로 균형분배가 되도록 관리, ② 용수로 및 분배구조를 기능유지 ③ 활작기 이후에는 수잉기를 제외하고 간단관개 실시 용수절약 및 벼의 건강한 생육촉진 ④ 급수 애로지구 파악 및 원인분석, ⑤ 흠수실적 등 관리의 제반사항을 상황실 보고 ⑥ 용수의 합리적 이용에 대한 농민홍보 강화
분수문 및 각종 수문	① 간지선 단위의 분수문은 직원이나 수로감시원이 조작, ② 지거 이하는 농민과 협조하여 관리 ③ 과잉 취수는 용수낭비의 주원인이므로 적량을 취수 하도록 조치 ④ 주요 분수문은 계측기 설치 활용, ⑤ 분수문별 관리 책임자 지정관리
용수로	① 흠수로의 수초 및 퇴사는 적절한 방법으로 제거, ② 계획통수량 이하경우 원인조사 및 대책 강구 ③ 수로의 종단기울기 및 횡단을 점검하고 수리시설을 답사하여 저해요인이 없는가 조사분석
경작지	① 급수불능이나 애로지역을 조사하여 원인분석 및 대책 강구, ② 간단관개 실시 ③ 보수일수, 공급량 및 급수실적을 대비 분석하여 개선책 강구

□ 종합평가 : 낙수 후에 물관리 평가 · 분석하여 개선방안 모색 업무

<p>6. 평가단계</p> <p>6.1 개요</p> <p>급수계획에 의하여 추진한 물 관리 실적을 자체적으로 평가하고 분석하여 관리상의 문제점, 적용계수의 착오 발견과 개선대책을 강구하여 차후 물 관리에 반영하기 위한 업무이다.</p> <p>6.2 방법</p> <p>1) 분석표 작성</p> <p>① 급수계획 용수량 ② 당해연도의 조건(강우량, 온도)으로 산출한 이론 소요수량 ③ 당해연도 실공급량 ④ 당해연도 실저수량</p> <p>2) 분석 및 평가</p> <p>해당항목을 상호 대비하여 다음사항을 분석 평가한다.</p> <p>① 공급량 과부족 판단(계획 대 실적) ② 계획 공급량 판단시 적용계수 과오발견 ③ 강우시 단수일수 및 유효강우 이용의 적정성 ④ 저수량의 시기별 과다 또는 적정배분 여부</p>
--

2) 물관리 자동화 시스템 현황

물관리 자동화는 수리시설과 용수를 감시 및 제어하여 필요한 물을 적시에 적은 손실로 안전하게 운반하여 급수하는 것을 목표로 하며 그 기대효과는 다음과 같다.

- 용수의 효율적 이용으로 생산성 제고 및 수요증가에 대비
- 용수의 균등배분과 용수부족지역의 추가 개발량 제시
- 가뭄과 홍수를 대비한 물관리로 자연재해 최소화
- 관리인력 절감 및 농민에게 필요한 물관리 정보제공
- 농어촌용수관리 DB구축, 정보화, 자동화로 물관리 기술의 선진화

자동화 시스템에서 요구되는 기본기능은 다음과 같다.

- 측정 : 강우량, 유입수량, 수위, 유량, 양수량, 전압, 전류, 전력량 등
- 감시 : 수위, 유량, 수문과 밸브 및 주요시설비의 동작상태
- 통신 : 유선 또는 무선통신, 중계소
- 입력 : 신호변환, 자료입력
- 처리 : 컴퓨터에 의한 자료의 처리
- 표시 : CRT표시, 현황판 표시, 영상화면표시
- 제어 : 수문 및 밸브, 전동기, 진공장치, 제수변 등에 명령을 보내거나 자동제어
- 기록 및 보존 : 저수위·저수량, 유입량, 방류량, 취수량, 수문개도, 강우량, 수위, 유량, 분수량, 양수량, 경보, 사고, 고장 등을 기록하고 보고서 작성 및 DB화
- 경보 : 시설의 고장, 용수의 과다 또는 부족, 방류 등

자동화 시스템의 기본구성은 중앙관리소 설비, 전원설비, 측정, 감시, 제어장치, 자료전송 및 처리장치, 통신설비, 감시조작설비, 경보설비, RTU 등으로 구성된다.

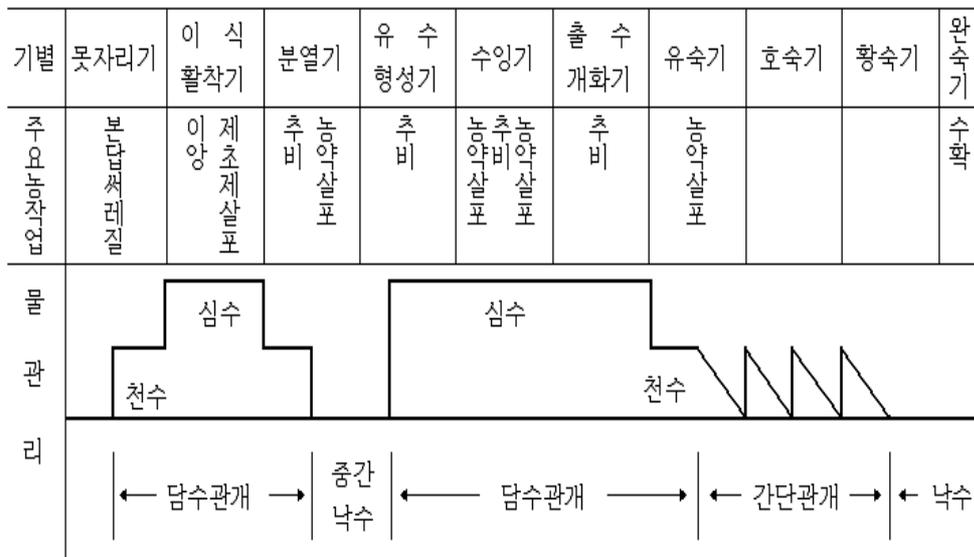


<그림 2-3> 물관리 자동화시스템 구성

3) 기존 평야부 물관리 의사결정 방법

가) 단위 논에서 생육단계별 물관리

단위 논에 물을 대고 빼는 것을 논 물 관리라고 한다. 이 물 관리의 방법은 지방, 기후, 재배품종 및 시비기준 등에 따라 다른데, 다음과 같은 생육단계에 따라 여러 가지 형태가 있다.



<그림 2-4> 단위 논에서의 생육단계별 물 관리

※ 천수 : 빗물, 심수 : 공급수량

나) 답에서 생육시기별 물관리

생육시기별로 적기·적량의 용수를 보다 합리적이고 체계적으로 공급하기 위하여 본부별, 지사별 물관리 계획 수립하고 물관리는 주수원공별 또는 수계별로 지역 실정에 맞게 실시하며 강우량 등 기상조건 변화에 따른 급수계획 수정 보완 및 급수실적 등을 조사하여 공급량을 조절하도록 하고 있다.

다) 용수공급 필요수량 결정

(1) 유효우량

유효우량은 일반적으로 용수가 부족한 지역에서는 크게 취하고, 수원이 풍부한 지역에서는 작게 이용한다. 강우량이 적을 때는 유효율이 높고, 강우량이 많을 때는 유효율을 낮게 적용하고, 생육시기별로 보면 묘대기 및 이앙기에는 우리나라 순별 평균 강우량이 100mm를 넘지 않으므로 80%를 적용하고, 유효분얼기에서부터 시작되는 본답급수 때에는 해당기간별 강우량에 따라 유효율을 적용하여 이용한다.

(표2-10) 유효우량 적용 기준표

(강수량단위: mm)

생육시기별	기 간	강우량 유효율 (%)							
		0~5	5~50	50~70	70~100	100~150	150~200	200~250	250이상
묘 대 기	4.11~5.10	0	100	90	80				
이 앙 기	5.11~6.10	0	100	90	80				
유효분얼기	6.11~6.25	0	100	90	80	70	60	50	40
무효분얼기	6.26~7.15	0	100	90	80	70	60	50	40
유수형성기 수 잉 기	7.16~8.10	0	100	90	80	70	60	50	40
출수등숙초기	8.11~8.31	0	100	90	80	70	60	50	40
등 숙 기	9.1~9.20	0	100	90	80	70	60	50	40

(자료 : 물관리편람, 농림수산부 농지개량조합연합회, 1988, p.44)

(표 2-11) 수로 손실량

구 분		용수간선 (%)	용수지선 (%)	용수지거 (%)	비 고
토 질	연 장				
점 토 질		15	10	5	흡수로 손실을 기준
양 토 (보통토사)	2km이하	16	11	6	
	2 ~ 3km	17	12	7	
	3 ~ 5km	18	13	8	
	5 ~ 10km	19	14	9	
	10 ~ 15km	20	15	10	
	15 ~ 20km	21	16	11	
	20 ~ 25km	22	17	12	
	25 ~ 30km	23	18	13	
	30km이상	24	19	14	
사 질 토		25	20	15	
콘크리트		5~10			

(자료 : 농촌용수계획설계편람, 농어촌진흥공사, p.435)

(2) 관리손실량

관리 손실율은 대체적으로 10 ~ 20(%)범위 내에서 적용한다.

(3) 증발산량

측후소별 · 온도별 · 순별 테이블 설정(1988. 물관리편람. 농조연, 농림부)

(4) 통수량 산정식

실공급량(필요수량-유효우량)/일수×1일급수시간(12시간×3,600초) = m³/sec

라. 농촌지역 평야부 배수 재해 분석

1) 침수피해 발생

최근 기상변화의 두드러진 특징 중의 하나는 도시, 농촌지역을 불문하고 심야시간대에 국지적·돌발적으로 집중호우가 빈발하는 것이다. 이로 인하여 지난 96년, 98년, 99년에는 경기·강원 북부지역 등지에서 도시전체가 침수되는 엄청난 피해를 겪었으며, 2011년에는 서울지역에 시간당 110

mm의 기록적인 집중호우가 새벽심야시간대에 기습적으로 내려 저지대주택 침수는 물론 주요 공공시설인 지하철이 침수되어 엄청난 교통 불편 등을 초래하였다. 이는 기온 상승으로 태풍, 집중호우의 발생이 증가하는 추세로 나타난 현상으로 이로 인한 경제적인 피해규모가 1960년대 1,000억 원에서 1990년대에는 6,000억원, 2000년 이후에는 2조 7,000억 원으로 매년 확대 되고 있다.

2010년 재해연보를 통해 최근 10년간 피해규모를 살펴봤을 때, 2002, 2003년을 정점으로 피해규모가 감소하다'08년을 시점으로 피해규모가 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 이상강우, 집중호우로 많은 피해가 발생하였던 '11년에 증가폭이 커질 것으로 추정된다. 또한 기상청의 최근 5년간('06~'10년) 자연재해 피해 현황에 따르면 태풍 및 집중호우 등 자연재해로 인한 4.1조원의 경제적 손실이 발생하였다. 2010년도 피해현황을 원인별로 살펴보면 호우로 인한 피해가 5,030억 원으로 가장 많고, 태풍 1,870억, 대설 260억원 순으로 나타났다. 기후변화에 따른 기상이변 현상으로 인한 피해의 특징은 집중호우이다. 연강수량은 크게 변동성이 없다고 하더라도 공간적, 시간적 분포에서 집중성이 나타난다면 침수피해는 피할 수 없게 된다. 기상청의 분석에 의하면 우리나라의 강수 강도는 최근 현저하게 강해져 집중호우의 빈도가 높아지는 추세이고 강수일수는 상대적으로 줄어들고 있다고 한다. 또한 이러한 추세는 당분간 지속될 것으로 전망하고 있다.

2) 농업용 배수 재해 사례

농업용 배수시설의 설계기준은 1980년대 1차 계획설계기준 개정, 2000년대 2차 개정 그리고 2003년 재해대비설계기준 정립 등에 따라 변천해왔다. 최근까지 다양하게 설계기준이 강화되어 왔지만, 지역별 특이성을 가진 강우와 이상호우에 대처할 수 있는 배수시설의 능력에는 한계가 있을 수밖에 없다. '11년 이상강우에 따른 배수개선 설계빈도(20년)를 초과한 사례를 살펴보면, 7월~8월 집중호우 시 설계강우량(최근30개년)인 20년 빈도를 초과하는 관측소가 10개소, 30년 빈도를 초과하는 관측소는 8개소에 해당된다.

3) 주요 배수시설의 재해원인 분석 및 개선 방안

가) 배수장 재해원인 분석 및 개선 방안(산서지구)

산서지구는 행정구역상 경상남도 함안군 가야읍 산서리, 묘사리 일원으로, 미맥 위주의 시설원에 농업을 하고 있으며 주요 농산물은 쌀,수박, 딸기 등을 재배하고 있는 전형적인 농경 지역임. 홍수발생 시 낙동강과 남강(국가하천) 수위 상승 영향을 받아 배수 본 천인 함안천(국가하천)의 수위 상승으로 이어져 자연배제가 어렵고 높은 외수위가 장시간 지속됨에 따라 지구내 홍수 배제가 원활하지 못하여 침수피해가 발생하였다.

지구 내 발생한 배수관행은 1개의 산서배수문(B×H×련=3.2×3.4×2련)을 통하여 평수기 및 갈수기에만 함안천으로 자연배제 되고 있으며, 지구 내에 발생한 홍수량은 지구 중앙의 도화 소하천을 경유하여 기설 산서배수장(Q=10.9m³/sec)을 통해 배수 본 천인 함안천으로 기계배제 되고 있다.

(표 2-12) 산서지구 배수시설 현황

시설명	시설규모	설치년도	관리자
산서배수장	Q=5.01m ³ /s 500HP×∅1100mm×2대	2000	함안지사
산서배수문	3.2m×3.4m×2련	1998	함안군

과거 상습침수 피해 조사에 따르면 본 지구는 5회 이상 침수피해가 발생되었으며, 집중호우 시 남강의 하천수위 상승으로 인하여 배수 본천인 함안천 외수위에 영향을 미쳐 지구 내 홍수 발생량이 자연배제 되지 못하여 침수피해가 발생하였으며, 특히 2010년 7월 9일~ 7월 10일(211mm) 집중호우 발생으로 약 150ha 침수피해가 발생하였다. 지역주민의 청문조사에 의하면 하천부근 저지대 농경지는 상습적인 침수 피해가 발생되고 있으며, 주원인으로는 외수위상승에 따른 자연배제의 어려움과 배수문 통수단면 부족 및 배수로 단면 부족 등으로 발생하였다.



<그림 2-5> 산서지구 피해전경

국가하천인 남강이 함안천(국가하천) 홍수위에 직접적인 영향을 주고 있으며, 홍수 시 배수 본 천인 함안천의 수위상승으로 인하여 지구 내 홍수유입량의 배제가 지연되어 저지대 농경지에 침수피해가 발생을 가중시켰다. 특히, 최근 발생 홍수량은 증가되고 있으며, 함안천의 외수위가 높아 호우 시 배수문이 차단되어 배제능력이 불가능하고, 토사 퇴적, 과도한 수초 등으로 지구 내 홍수량 배제 시간 지연 되고 있다. 또한 구간별 토공배수로의 통수단면 부족과 시설된 배수구조물의 불합리한 설치로 인하여 침수피해가 발생되고 있다. 최근 들어 설계빈도 이상의 계절성 집중호우가 빈발함에 따라 급회와 유사한 집중호우가 다시 발생한다면 동일한 침수상황이 예상되므로 설계기준 개선을 통한 근본적인 대책마련이 필요함 또한 현재의 배수장 설계기준은 20년 빈도 2일 연속 강우량을 적용하고 답작물(논벼) 기준 24시간 침수를 허용하고 있으나, 실제 논에서는 시설(하우스)작물 중심으로 영농패턴이 변하고 있어 시설(하우스) 작물의 침수방지를 위한 설계기준 정립이 요구되고 있다.

나) 배수로 재해원인 분석 및 개선 방안(모령지구)

모령지구는 행정구역상 전라남도 장흥군 안양면내에 위치하고 있으며, 동쪽으로는 18번국도가 지나가고 남쪽으로는 해창 방조제(남해)가 있는 간척지역으로 경사가 완만하다. 유역 내 유출량은 해창 방조제의 외조위의 영향을 받으며 남해로 자연 배제되고 있고, 지구 말단부에 배수갑문이

설치되어 있지만 조위의 상승 시 자연 배제가 지연되어 저지대 농경지에 침수피해가 발생되고 있는 실정이다. 또한, 간척지의 특성상 지구 내 농경지의 표고차가 거의 없어 침수심에 비하여 침수면적이 넓어지는 특징이 있다.

배수로 현황을 살펴보면 토공 배수로의 경우 홍수배제 단면이 부족한 배수로2조 1,707m (중앙배수로 1,160m 1호배수로 547m)로 구성되어 있다.

침수상황은 기설 토공 배수로의 갈대 식생 왕성 및 사면포락, 지반 토사퇴적 등 통수단면이 부족하여 지구 내 저지대의 경우 침수 발생시 홍수위가 2~3일간 빠지지 않는다는 청문 조사 내용에 대하여 침수분석 결과와 비교하여 최저담 기준 36시간의 허용 침수시간이 발생되고 있다.



<그림 2-6> 모령지구 피해전경

홍수피해 발생 원인을 분석한 결과 배수로 말단은 남해로 연결된 배수갑문이 위치하고 있어 해수 조위 영향에 따라 유역 내 유출이 지연되어 구조적인 어려움이 있다. 또한 배수로내의 갈대 식생이 왕성하여 홍수시 갈대로 인한 통수단면 부족으로 배수로를 통한 월류 및 자연배제 지체로 침수피해를 가중시키고 있다.

특히 간척지 내에 위치하고 있는 배수로의 경사가 완만하여 시간 경과에 따른 배수소통이 원활 하지 않아 농경지내로 월류, 침수피해가 발생이 지속되었다.

향후 개선방안은 우선 배수로 내에 식생을 억제할 방법은 개거 및 구조물 설치 방안이 있지만 환경적 측면과 사업성 측면에서 어려움이 있으므로

로 갈대 식생을 억제할 대안이 없는 실정이므로, 사업 시행 후 지속적인 관리가 필요한 지역으로 판단되며 외수위 상승 시 지구 내 홍수량이 배제되지 못하고 침수피해를 발생시키는 현 상태에서 배수장 설치를 통한 강제배제가 필요한 지역이다. 또한 현재의 배수장 설계기준은 20년 빈도 2일 연속 강우량을 적용하고 있으나, 최근 이상강우에 따른 침수피해가 빈번함으로 설계기준 강화를 통한 침수피해의 근본적인 대책이 요구되고 있다.

마. 농업용수 물관리 문제점 분석

농업용수가 포함된 농업수자원의 현안은 생활·공업용수와는 다른 이유이지만 현상은 비슷하다. 과거의 농업생산기반정비사업을 통해 개발된 수원공(저수지, 양수장 등)은 1960년 이후 수자원량의 양적증가를 목표로 급수면적 확대위주의 개발사업 추진하면서 수요자(농업용지) 중심보다는 공급자(수원공) 위주의 농지확대 개발방법으로 추진하였다. 따라서 수원공에 연결되어 있는 농경지는 가뭄기간에도 농업용수를 공급할 수 있는 100% 완전 수리답이지만 같은 지역에서도 수원공에 포함되어 있지 않은 농경지는 가뭄에 매우 취약할 수밖에 없으며 농업용수 분야에서도 용수의 부익부 빈익빈 현상이 지속적으로 발생하고 있다.

일반적인 농촌에서 농업용수의 사용유형은 크게 논농업과 밭농업으로 구분하여 논농업은 4월부터 9월 사이에 물소비량이 크고 10월에서 4월까지의 갈수기로 농업용수를 공급하지 않는 구조이다. 밭농업의 경우는 대부분 지하수를 농업용수로 이용하는 구조로 현재까지 이어져 오고 있다. 이러한 용수의 사용유형은 과거 오랜 기간 동안 하천변을 중심으로 부락이 형성되면서 시작되었고 1950년대 이후부터 1980년대까지 증산을 주목적으로 대대적인 농업용수개발을 통해 대규모 농업생산기반시설이 농촌 곳곳에 들어서면서 지금의 농업용수 사용유형이 고착화 되었다. 과거 농업용수 공급의 가장 경제적인 방법은 상류에 단일 저수지(수원공)를 만들고 개수로를 이용해 중력을 이용한 내리흐름식관개를 하는 것으로 대부분의 농업용수개발사업은 단일 수원공을 가급적 크게 만들어 내리흐름식관개방식을 이용해 급수면적이 최대가 되도록 개발되어 왔다. 반면에 밭농업을 위한 받기반 정비사업은 대부분 지하수를 이용한 용수공급방식으로

개발되어 왔다. 하지만 1990년대 이후 쌀 생산이 경제적 논리로 소외되면서 현상태유지 측면으로 정책이 지속되어 농업용수 및 기반시설에 대한 변화는 없었던 반면에 영농에 대한 패러다임은 지속적으로 변화 되고 있다.

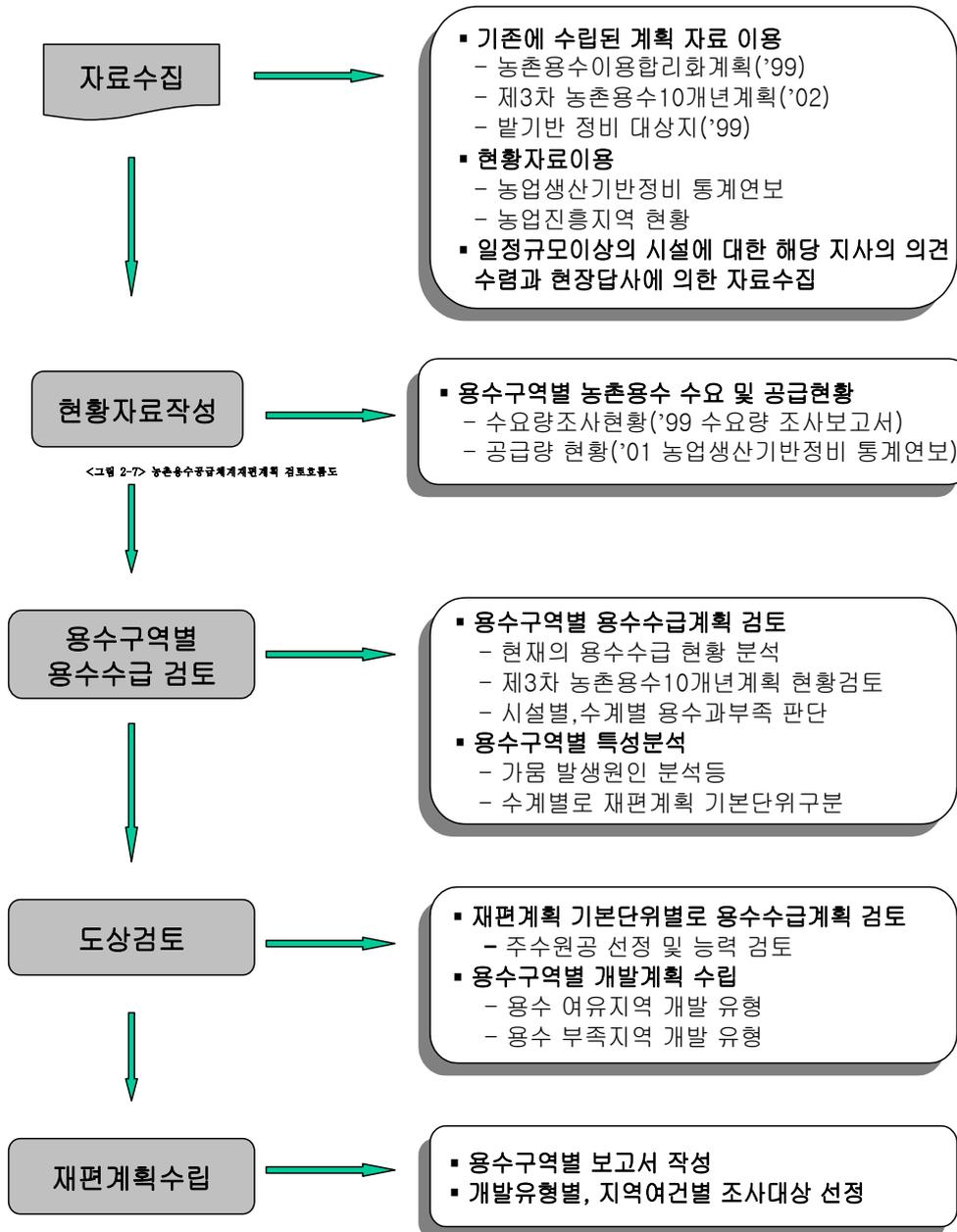
가장 두드러진 변화는 농촌지역 삶의 질 향상 노력과 함께 논농업에서 시설농업으로의 영농방식의 전환이다. 그 결과 대부분의 논농업 지역에서도 쉽게 시설농업지역을 찾아볼 수 있게 되었음에도 불구하고 관개기외에는 지하수만을 이용할 수밖에 없는 구조이며 최근 수막을 이용한 겨울철 시설농업 보온을 위해 상당량의 지하수를 이용하고 있어 농촌지역 물 환경 불균형이 심화되고 있다. 특히 지금까지의 농업용수개발은 단위시설 또는 단위사업별 중심의 양적 확대개발 위주로 추진하여 수리시설간 수자원을 효율적으로 활용할 수 있는 용수공급체계가 미흡했기 때문이다. 수혜지역 외에는 상시 물 스트레스와 함께 국부적인 가뭄현상도 지속되는 문제점도 발생하고 있다.

바. 농업용수 관련 계획 현황

근래의 대표적인 농촌용수 이용계획은 1999년도에 작성된 “농업·농촌용수 종합이용계획”과 2003년도에 작성된 “농촌용수공급체계재편계획”이다. 농림부·한국농촌공사는 “농업·농촌용수 종합이용계획”을 통해서 농촌용수의 합리적인 개발·보전·관리를 위해 464개 농촌용수구역을 설정하였고 농촌용수 수요량예측과 공급현황을 조사하여 농촌용수 공급시설 및 배분계획을 수립하였다. 종합이용계획의 주안점은 용수구역별 농촌용수 수요량 및 공급량 계획을 위한 조사와 농촌용수 시설별 사업비 산출기준의 통일이었다. 이 의미는 과거 행정구역 중심의 농촌용수개발계획수립에서 유역단위(용수구역)의 종합적인 농촌용수개발계획의 시작이었다는 것이다. 하지만 보고서는 기본계획을 중심으로 작성되었기 때문에 농촌지역 수질 오염 및 환경보전 또는 농촌용수의 다목적 이용을 목적으로 작성되었지만 이에 관한 구체적인 내용이나 대책은 없었다.

<그림 2-7>은 용수구역단위별로 재편계획수립을 위한 검토 흐름도이다. 2003년도에 농림부·한국농촌공사는 “농촌용수공급체계재편계획” 보고서를 작성하여 농촌지역의 다양한 용수수요 증대에 대처하고 지구별 단일목적의 용수개발체계에서 수계별 용수수급을 고려한 다목적 용수 종합개발을

추진하기 시작하였다.



재편계획의 주안점은 기 개발된 용수를 효율적으로 활용하기 위해 기존의 중·소규모 시설을 통합 재편하는 개발계획의 수립이 목적이었다. 이를 위해 앞에서 언급한 “농업·농촌용수 종합이용계획”에서 설정한 464개 용수구역(현재 517개 용수구역)별로 용수수급을 검토하여 용수 여유지역과 용수 부족지역을 선별하고 개발유형을 결정하여 재편계획을 수립하였다.

본 재편계획에서 설정한 재편방법은 「보강개발」, 「양수저류」, 「재개발」, 「수계연결」 등 4가지 유형의 개발방법을 기준으로 하여 구분하였고 검토 흐름도를 통해 각각의 용수구역별로 개발유형을 선정하고 각 유형별 개발방향은 다음 (표 2-13)과 같다.

(표 2-13) 농촌용수공급체계재편계획 개발유형

개발유형	내 용	비 고
보강개발	기존시설 중 추가용수 확보가 가능한 시설 확장	저수지 더쌓기, 양수장 규모 확장 등
양수저류	자체용수확보가 어려운 지역에서 시설 저수지 또는 신설저수지에 하천수, 유수지 등 이용개발	하천수 등의 유수를 양수하여 저수지에 저류하여 용수이용
재개발	용수부족지역에 소규모 수리시설 재편을 위한 수계별 주 수원시설 설치	저수지, 양수장, 취입보 등 신설 또는 기존시설 재개발
수계연결	풍부한 수계의 여유수자원을 부족한 수계에 도수로 등을 연결하여 개발	하천→ 하천, 하천 → 저수지, 저수지 → 저수지, 담수호 → 저수지 등

재편계획에서 추진하고 있는 개발유형은 용수구역단위의 수량조정계획으로 수원공재정비에 그 초점을 맞추고 있다. 결국 이와 같이 기존의 농촌용수 이용계획에는 관개용수조직의 구조를 리모델링하는 계획은 포함되어 있지 않기 때문에 농촌용수를 다목적으로 이용하고 관개용수의 균형적인 공급을 위해서는 이에 대한 구체적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

사. 문제점 도출 및 개발방향 정립

농업용수 관련 프로그램은 대부분 농업용수의 공급 및 배수의 계획을 수립하기 위한 산정프로그램이지 운영관리를 목적으로 만들어진 프로그램은 아니다. 다만 TM/TC 운영프로그램의 경우만이 농업용수 구역의 운영 및 관리를 목적으로 만들어지긴 하였지만 용수공급량의 산정방식은 계획수립을 위한 프로그램과 동일하다.

1) 공급량산정 방식

현재 농업용수 공급량 산정방식은 「단위용수량-필요수량」 산정을 통해 해당지역의 농업용수 수요량산정을 기초로 하여 관리수량을 더하는 방식으로 농업용수 공급량을 산정하고 있다.

이러한 수요량을 기준으로 하는 공급량 산정방식에서 정밀도에 가장 크게 영향을 주는 요인은 수로의 손실부분이다. 기존 프로그램의 경우 손실부분은 수요량산정 프로그램에는 산정방법이 없으며 운영프로그램의 경우도 대부분 사용자(유지관리자)가 입력을 하도록 구성하고 있는 문제점이 있다. 특히 손실량 추정에 있어서 가장 큰 손실이 발생하는 곳은 단위 논이다.

수요량 산정방식에 있어서는 작물이 필요로 하는 단위용수량을 기준으로 담수심을 결정하여 그 수량을 추정하도록 되어 있는데 실제 논에서는 대부분 적절하게 물꼬를 여닫지 않기 때문에 많은 수량이 손실되고 있지만 이를 반영하는 운영프로그램은 현재까지 없는 상황이다.

2) 물관리 운영방식

물관리 기관에서 현재 운영하는 물관리 방식은 수요자 주도형으로 즉, 수요자가 만족할 때 까지 공급하는 방식이다. 하지만 지금까지의 물관리 프로그램은 공급자주도형으로 실제 물관리방식과 차이가 많이 나고 있다. 수요자 주도형과 공급자 주도형의 가장 큰 차이점은 수요자 주도형의 경우 물관리의 기준을 공급 수로의 수위를 기준으로 연속관개의 경우는 해당기간동안 목표로 하는 수위가 유지되도록 공급하고 있으며 간단관개의 경우도 마찬가지로 목표로 하는 수위를 기준으로 공급하고 있다. 반면에 공급자 주도형의 물공급 프로그램의 경우는 목표수량을 바탕으로 관개계획을 수립하도록 설정되어 있기 때문에 실제 물관리에 적용하기가 어려운

상황에 있다.

물공급이 원활한 시기(평수기보다 수량이 많은 년도)에는 수요자 주도형 방식의 경험적 물관리방식이 유효하다. 하지만 물공급이 원활하지 못하는 가뭄년도에는 수요자 주도형 방식은 적합하지 않으며 또한 과학적 물관리 기반의 물공급을 정량적으로 하기 위해서는 공급자 주도형의 물관리가 맞기는 하지만 오랜 기간 동안의 물관리 관행을 한번에 바꾸기에는 사용자인 농민의 반발도 문제가 된다.

가장 이상적인 방법은 수요자 주도형의 경험적 물관리 방식을 프로그램 모델로 재연함으로써 현재의 공급량이 얼마가 되는지를 우선 파악해야 하고 가뭄 등의 물절약이 필요한 시기에 용수공급 계획을 수립할 수 있는 농업지역 평야부 물관리 프로그램이 필요하다. 따라서 농촌지역의 평야부 농업용수 관리를 목적으로 과학적이고 체계적인 프로그램을 제공하는 것이 현재의 상황 하에서 우선적으로 필요하다.

2. 기존 4차 산업 기술의 특징 및 유사분야 적용사례 분석

가. 농업 선진국의 현황 및 사례 조사, 필수 아이템 분석

제4차 산업혁명(Fourth Industrial Revolution)은 정보통신 기술(ICT)의 융합으로 이루어낸 혁명 시대를 말하며, 클라우스 슈바프(Klaus Schwab)가 의장으로 있는 2016년 세계 경제 포럼(World Economic Forum, WEF)에서 주장된 용어이다. 18세기 초기 산업 혁명 이후 네 번째로 중요한 산업 시대로 이 혁명의 핵심은 빅 데이터 분석, 인공지능, 로봇공학, 사물인터넷, 무인 운송 수단(무인 항공기, 무인 자동차), 3차원 인쇄, 나노 기술과 같은 6대 분야에서 새로운 기술 혁신이다 (Schwab, 2016).



<그림 2-8> 제 4차 산업혁명 (이미지 출처: 과학기술정보통신부)

한국정보통신기술협회에 따르면 4차 산업혁명은 “인공지능, 사물인터넷, 빅데이터, 모바일 등 첨단 정보통신기술이 경제·사회 전반에 융합되어 혁신적인 변화가 나타나는 차세대 산업혁명”(한국정보통신기술협회, IT 용어사전)으로 정의되고 있다. 기획재정부에서 발간한 시사경제용어사전에서는 4차 산업혁명은 “기존 산업 영역에 물리, 생명과학, 인공지능 등을 융합하여 생산에서 관리 그리고 경영에 이르기까지 전반적인 변화를 일으키는 차세대 혁명”(기획재정부, 시사경제용어사전)이라고 한다. 이 밖에도

4차 산업혁명의 정의에 관한 의견은 다양하나 공통적인 키워드를 보면, 신기술, 융합, 혁명으로 요약된다고 할 수 있다.

Schwab은 4차 산업 혁명을 이끄는 10개 선도 기술을 제시했는데, 물리학 기술로는 무인운송수단·3D프린팅·첨단 로봇공학·신소재 등 4개, 디지털 기술로는 사물 인터넷(Internet of Things, IoT)·블록체인(block chain)·공유경제 등 3개를, 생물학기술로는 유전공학·합성생물학·바이오프린팅(bioprinting) 등을 언급하였다. 이러한 기술을 기반으로 클라우드 컴퓨팅(clouding computing), 스마트 단말기, 빅데이터(big data), 딥러닝(deep learning), 드론(drone), 자율 주행차 등의 산업이 발전할 것으로 전망하고 있다(김정인, 2017).

제4차 산업 혁명은 물리적, 생물학적, 디지털적 세계를 빅 데이터에 입각해서 통합시키고 경제 및 산업 등 모든 분야에 영향을 미치는 다양한 신기술로 설명될 수 있다. 물리적인 세계와 디지털적인 세계의 통합은 O2O를 통해 수행되고, 생물학적 세계에서는 인체의 정보를 디지털 세계에 접목하는 기술인 스마트워치나 스마트 밴드를 이용하여 모바일 헬스케어 구현할 수 있다. 가상현실(VR)과 증강현실(AR)도 물리적 세계와 디지털 세계의 접목에 해당될 수 있다.

1) 4차 산업혁명 주요 테마 및 기술

4차 산업혁명과 관련된 첨단 기술은 학자에 따라 다양하게 나타나고 있으며, IT기술혁신, 생산기술 혁신 등 그 분야 또한 다양하다. 그러나 이러한 다양성 속에서도 신기술이라는 공통된 특징이 있다. 4차 산업혁명과 관련되는 주요 테마(기술)를 기존 연구에서 제시된 결과를 정리하여 다음의 (표 2.1)에 정리하였다. 다양한 주요 테마 중 중요도를 감안하고 산업 분류 포괄 범위 및 분석가능성을 고려하여 11개 테마를 선정하여 분석하였다(박승빈, 2017).

(표 2-14) 4차 산업혁명 관련 테마(기술)

테마(기술)	클라우드 슈밥	거쉬펠드 외 26인	차두원 외 14인	임일	최은정 외 4인	박승빈
자율주행차	○	○	○	○	○	○
로봇	○	○	○			○
인공지능	○		○	○		○
빅데이터	○	○		○	○	○
사물인터넷	○	○	○	○	○	○
모바일	○	○	○	○	○	○
가상현실			○	○	○	○
블록체인	○					○
핀테크		○	○	○		○
드론			○	○		○
3D 프린팅	○	○			○	○
디지털 헬스케어		○	○			○
바이오헬스	○		○			
신소재, 에너지	○					
공유경제	○		○	○	○	
스타트업			○		○	

가) 자율주행차

자율주행차란 자동차가 센서 등을 통해 주변 환경을 인식하고, 위험을 판단하며, 최적의 주행경로를 선택하여 운전자 조작을 최소화하고 스스로 안전운행이 가능한 자동차를 말한다. 자율주행차는 현재 우리나라에서 완제품을 제작·판매하는 사업체는 거의 없고 연구 단계에 있으며 관련 산업에는 기존 완성차 사업체 및 부품 사업체들이 주를 이루고 있다. 본 연구에서는 자율주행차가 거의 대부분 전기자동차임을 감안하여 전기자동차와 관련된 분류를 포함시켰다.

나) 로봇

위키백과에 따르면 로봇이란 ‘사람과 유사한 모습과 기능을 가진 기계, 또

는 무엇인가 스스로 작업하는 능력을 가진 기계'를 말한다. 광의적인 해석으로는 '인간을 모델로 하여 이를 인공적으로 구현하는 기술'이라 할 수 있다. 로봇은 제조업용 로봇과 지능형 로봇으로 나뉠 수 있는데, 제조업용 로봇은 스마트공장 등에서 미리 입력된 프로그램에 따라 작업을 수행하는 자동 기계이다. 반면 지능형 로봇은 스스로 작업하는 능력을 가진 기계로서 인공지능을 탑재하여 상황에 맞게 스스로 반응하여 움직이는 특징이 있다. 한국표준산업분류에서는 '산업용 로봇 제조업'으로 분류되어 있으며 제조업용 로봇이 주를 이룬다.

다) 인공지능(AI: Artificial Intelligence)

인공지능은 4차 산업혁명의 가장 핵심적인 소프트웨어로서 사전적 정의에 따르면 '사람이 보아 지적이라고 느끼는 인간의 행동(언어 이해, 학습, 문제해결)을 컴퓨터로 하여금 실행케 하는 연구'라고 한다. 인공지능은 실체가 있는 것이 아니라, 그 기술 및 기능이 탑재되어 산업용, 가정용 등으로 실체가 나타나게 된다.

라) 빅데이터(Big Data)

미국의 정보 기술 연구 및 자문 회사인 Gartner(2009)에 따르면 빅데이터란 '디지털 환경에서 생성되는 데이터로서 그 규모가 방대하고, 생성 주기가 짧으며, 형태도 수치 데이터뿐 아니라 문자와 영상 데이터를 포함하는 대규모 데이터'를 말한다. 4차 산업혁명 시대에는 이러한 빅데이터의 활용이 기업 및 국가의 미래를 좌우할 정도의 영향력을 발휘할 수 있다고도 한다.

마) 사물인터넷(IoT: Internet of Things)

사물인터넷이란 다양한 사물들, 컴퓨터 이외의 전자기기나 일반 사물까지도 서로 연결된 사물들의 인터넷이다. 이러한 모든 사물들이 연결되면 스마트폰 등을 이용하여 실시간 각종 서비스를 제공받을 수 있는 환경에 놓이게 된다.

바) 모바일

4차 산업혁명을 말하면서 빼놓을 수 없는 기술이 모바일 활용 기술이다. 모바일 기술은 사물인터넷뿐만 아니라, 핀테크, 자율주행차 등에서도 활용된다. 현재는 스마트폰 활용이 주를 이루고 있다.

사) 가상현실(VR: Virtual Reality)

위키백과에 따르면 ‘가상현실이란 컴퓨터 등을 사용한 인공적인 기술로 만들어낸 실제와 유사하지만 실제가 아닌 어떤 특정한 환경이나 상황 혹은 그 기술 자체를 의미’한다고 한다. 즉 이는 가상의 세계를 현실의 공간 처럼 느낄 수 있도록 하는 장비나 시스템을 활용한 기술이다. 넓은 의미에서는 증강현실(AR: Augmented Reality)과 혼합현실(MR: Mixed Reality)도 포함된다.

아) 블록체인(Blockchain)

블록체인이란 온라인 금융거래 정보를 블록으로 연결하여 P2P 네트워크 분산 환경에서 중앙관리 서버가 아닌 네트워크 내의 모든 참여자가 공동으로 거래 정보를 검증하고 기록 및 보관(분산 원장)하는 것으로서 공인된 제3자 없이 거래 기록의 무결성 및 신뢰성을 확보하는 기술을 말한다.

자) 핀테크(Fintech)

핀테크란 금융(Finance)과 기술(Technology)의 합성어로, 특히 ICT와 연결되어 기존 금융의 한계를 극복하거나 새롭게 제시되는 금융서비스를 말한다.

차) 드론(무인항공기)

위키백과에 의하면 드론이란 조종사가 비행체에 직접 탑승하지 않고 지상에서 원격조종(Remote piloted), 사전 프로그램된 경로에 따라 자동(auto-piloted) 또는 반자동(Semiauto-piloted) 형식으로 자율비행하거나 인공지능을 탑재하여 자체 환경판단에 따라 임무를 수행하는 비행체와 지상통제장비 및 통신장비, 지원장비 등의 전체 시스템을 통칭한다. 드론은 최근 들어 물류 배송과 촬영 등에서 혁신적인 성과를 나타낼 것으로 예측되고 있다.

타) 3D 프린팅

3D 프린팅이란 입체적으로 만들어진 3D 디지털 설계도나 모델에 원료를 층으로 쌓아 올려 물체를 만들어내는 기술을 말한다. 3D 프린팅은 모델링만 하면 빠른 시간 내 원하는 모형을 만들어 낼 수 있고, 수정도 순식간에 끝나기 때문에 의료, 건축, 항공 등 모든 분야에서 혁신적 성과를 낼 수 있다.

2) 네덜란드의 현황 및 사례 조사

4차 산업혁명을 선도하기 위한 국가간 경쟁이 치열하게 전개되고 있으며, 핀란드, 네덜란드, 스웨덴, 영국, 덴마크 등 상당수 EU 국가의 4차 산업혁명 경쟁력이 높은 것으로 조사되고 있다. 이들 국가는 민관이 모두 참여한 일관된 중장기 계획을 가지고 있으며, 지역별 대학 및 연구소를 거점으로 혁신 네트워크를 구축하고 있다. EU 차원에서 기업혁신의 장벽을 낮추기 위해 디지털 이노베이션 허브(Digital Innovation Hub)를 구축·확대하고 있다. 우리나라도 정부를 중심으로 4차 산업혁명에 대응하고 있으나, 보다 성공적으로 이를 선도하기 위해서는 민·관·학이 모두 참여하는 중장기 계획수립, 기반기술의 연구투자 강화와 지역별 혁신센터 구축, 기업-연구기관 간의 네트워크 확대를 통한 기업맞춤형 오픈이노베이션 환경조성이 필요하다(김정균, 2017).

네덜란드는 2014년 4월, 4차 산업혁명에 대응하기 위한 네덜란드의 스마트산업 국가로드맵으로 「Smart Industry - Dutch Industry Fit for the Future」를 발표하였다. 네덜란드 경제산업부와 하이테크 산업조합(FME), 응용과학연구기관인 TNO 등 산-관-연이 연계하여 수립된 프로그램으로, 제조공정의 고도화와 융합 촉진을 통한 경쟁력 강화를 위해 기업과 연구기관이 상호 연계된 경제생태계를 구축하는 것을 목표로 하였다. 2014년 11월 발표된 액션플랜은 3개의 Action Line과 14개의 Action Agenda로 구성되어 있으며(표 2.2) 스마트 산업과 관련한 산업계의 관심증대, 스마트 산업 관련 산학연계 강화, 기술 인력의 교육 및 육성에 초점을 두고 있다(김정균, 2017). Action Agenda의 주요 목표는 스마트산업 생태계 구축을 통해 기업들과 교육기관들이 정보를 공유할 수 있도록 만드는 것으로, 스마트산업의 핵심분야로는 자동화, 불량률 제로, 유연한 생산, 연계 협력, 고객과의 밀착 소통, 빅데이터 기술을 기반한 가치 창출, 3D 프린터와 같은 핵심 신규 사업 등이 있다(이소정, 2017).

Smart Industry 정책의 핵심으로 꼽히는 필드랩(Field Lab)은 기업과 관련 연구기관의 효율적인 협력을 통해 연구·교육·정책 분야의 종합센터 역할을 담당하고 있으며 학문적 시너지 효과를 내고 있다. 필드랩은 연구개발(R&D) 단계에서 컨소시엄을 구성해 실질적인 연구 프로젝트 수행으로 이어져 스마트 인더스트리 정책을 현실화하는 역할을 하고 있다(이소정, 2017). 네덜란드 경제산업부는 필드랩의 활동을 위해 14.55백만 유로

(약 190억원)를 책정하였고, 필드랩에 대한 지원금은 프로젝트 당 300만 유로(약 40억원) 한도 내에서 소요비용의 최대 60%까지를 인정하고 있다. 현재 29개의 필드랩(표1.3)이 개설되었으며 화학, 농업, 의료 서비스 등 다양한 산업에서 스마트 기술을 활용하여 부가가치를 창출할 수 있는 주제로 연구가 진행되고 있다(김정균, 2017).

네델란드에서는 농업분야에 대한 4차산업혁명의 적용도 활발하게 이루어지고 있다. 네델란드는 주요 국가 산업인 낙농업에 스마트팜과 스마트 팩토리 개념을 도입해 생산력을 비약적으로 늘렸다. 농장 내 젓소의 데이터를 실시간으로 수집하는 스마트 센서를 통해 데이터를 공유하고 분석하는 데이터 허브를 구축했다. 낙농 생산의 효율성과 안정성을 확보한 이후 네델란드는 자신들의 강점이 낙농업에서 보다 세계 시장에서 경쟁력을 갖추게 됐다(방제일, 2018).

(표 2-15) 네덜란드 Smart Industry 액션플랜의 세부내용(이소정, 2017)

구분	Action Agenda	세부 내용	
Action Line 1 (기술·지식 상업화)	네덜란드를 스마트 산업의 국가로	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 네덜란드 상공회의소주도의 산업정보를 각계 계층에 전파 ▷ 스마트산업 관련 토론회 및 대회를 개최하고, 기업성공 가능성을 예측해 주거나(Online) 캠페인을 통해 기업들을 지원함 	
	사업가 육성	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 정부는 기업들이 고객과의 관계 확대와 새로운 가치사슬을 적용해 혁신제품을 개발 ▷ 목표는 기업들의 스마트산업과의 연관율을 2014년 14%에서 2018년 40%까지 높이는 ▷ 정부는 스마트 산업관련 정보안내데스크를 개설, 포털과 앱을 통해 실시간 뉴스와 분석시스템 제공, 클라우드 환경구축, 오픈데이터 등을 제공 	
Action Line 2 (산업생태계 구축)	초기 필드랩 목표	▷ 2015년 첫 10개의 필드랩(Field Labs)을 개관했고 각 필드랩은 지역 기업(특히 중소기업) 필드랩별 지정된 산업목표를 달성하는 것을 목표로 함.	
	중기 필드랩 목표	▷ 2017년에 운영 중인 필드랩은 총 29개이며 2017년 5개 신규 필드랩이 개관할 예정이	
	지식 교류 모니터링	▷ 필드랩의 활동, 결과, 영향, 인지도 확산 등에 대한 정부의 평가를 진행하고 정책담당 케이션을 진행할 것임	
Action Line 3 (지식, 기술, 정보통신기반 강화)	지식	필드랩에 대한 R&D 강화	▷ 필드랩 간 R&D 협업을 촉진시키고, 그 외에도 국제사회와 네덜란드의 긴밀한 조율
		스마트산업 R&D 의제설정	▷ 다양한 분야의 필드랩 간 R&D교류, 연구프로그램에 대한 투자, 국제정보네트워크 ▷ R&D 의제 설정의 목표는 현재까지 뒤쳐진 스마트산업분야들을 개발시키는 것임. 해외 가져올 윤리적 사회적 문제점들에 대해 논의할 것임
	노동 (Skills)	기업내 인적자본 개발	▷ 정부는 기업의 공동노동협회의(CAO) 체결을 통해 직원들이 더 좋은 근무환경을 가지
		산학연계 위한 지역단위 노력	▷ 지역+산업+노동시장을 연계하기 위해서 지역중심지(필드랩) 형성은 필수적임 ▷ 필드랩에서 수집된 자료를 토대로 한 e-learning 프로그램을 제공해 MBO(기술학교) 인재를 유연하게 양성할 수 있도록 계획
		제약없는 학습	▷ 지속적으로 발전하는 신기술들의 교육을 위해 근로자들에게 평생학습을 제공함 - HBO(직업대학)에서 박사학위 교육프로그램 제공 및 교육활성화를 위한 실험환경
		Social Innovation	▷ 유망한 기술들을 관련 기업에 연계시켜 기업 간 효율적 협력을 유도해 Social Innov
	정보통신 기술 (ICT) 골조	빅데이터 Big trust	▷ 수집된 빅데이터 정보들의 신뢰도를 높이고, 정보 이용률을 높여 기업들의 최적 생산 ▷ 정보신뢰도를 높이기 위해 산업데이터안전소(Industrial data safe houses), 정보가공 개발을 촉진시킬 것임
		SW 개발계획	▷ 정보와 소프트웨어의 정확도를 높이기 위해 지식정보 교류 플랫폼(Hyper connectivity) 연구를 지원함
		사이버 보안	▷ 세계 정보통신분야에서 선도적인 위치를 유지하기 위해서 정부는 ① 보안구축 워크숍, 방지법과 대응방법을 교육할 것임

(표 2-16) 네델란드의 29개 필드랩(Field Lab)

필드랩(Field lab) 이름	정보
Designing Ultra Personalized Products and Services: UPPS	(제조) 데이터 이용을 통한 고객맞춤형 제품과 같은 개발노하우를 제조업체에 제공함
North and East Netherlands: Region of Smart Factories	(제조) 불량률 제로, 수요기반의 생산방안 연구
Smart Dairy Farming 3.0	(낙농) 생산체계와 실시간 데이터 시스템 구축을 통한 지속가능한 우유농가 관리시스템 개발
Smart Bending Factory	(철강) 25% 저렴하고 5% 더 빠른 제품 개발로 세계 철강산업에서 혁신모델이 되고 있음
The Garden	(IT) EPLM(Extended Product life cycle management) 제품수명주기관리의 사이버 보안방안 연구
Freshleq	(농업) 신선한 과일 및 채소의 완전한 자동생산 및 유통 시스템
Multi - material 3D printing	(3D프린팅) 데이터 관리를 접목한 3D프린팅기술
Secure Connected Systems Garden: safe exchange of data	(IT) 연쇄적인 생산(Supply Chain)을 위한 데이터의 안전한 정보처리상호운영환경(interoperability) 구축
Campione: 100 % predictable maintenance in the chemical sector	(화학) 효율적 비용으로 100% 통제 가능한 생산환경을 만드는 것을 목표로 함
Flexible manufacturing	(제조) 유연(flexible)하고 자동화된 로봇 생산
De digital factory: Smart networked high-tech supply chain	(제조) '네트워크화'된 디지털 공장 구축으로 협업을 통한 첨단기계 양산방안 연구
Centre for lightweight structures	(제조) 파일릿플랜트를 이용한 복잡한 제품의 자동화생산방안 연구
RAMLAB	(3D 프린팅) 3D 철 프린팅과 선박관련 제품 개발
3D Makers Zone	(3D 프린팅) 3D, IoT, 로봇, 빅데이터, 웨어러블 같은 기술을 어떻게 생산에 접목하는지에 대한 노하우 전수
Smart Welding Factory	(제조) 완전자동 용접로봇 개발
Praktijkcentrum voor Precisielandbouw	(농업) 정밀농업을 위한 데이터 수집 및 자료 활용방안에 대한 연구
De Duurzaamheidsfabriek	(로봇) 해양로봇의 자동화와 스마트 도량형학(Metrology) 연구
3D Medical	(의료) 3D 프린팅을 활용한 개인의료서비스 향상 방안 연구
Composieten onderhoud en reparatie	(항공) 항공기 수리를 완전자동화 연구 진행중
ThermoPlastic Composites Nederland(TPC NL)	(화학) 열가소성(thermoplastic) 분야의 기초 및 응용 연구
Fieldlab CAMINO	(IT) 산업 기반시설의 유지보수 정부의 데이터화로 완벽한 시설관리 실현
Fieldlab SMASH	(선박) 선박의 유지보수의 100% 예측 시스템 개발을 통해 사고나 불량 방지
Smart Base	(국방) 국방 관련 문제를 중소기업 및 연구기관들과 함께 해결하기 위해 네덜란드 국방부가 설립함
Fieldlab 5G	(통신) 5G Groningen사는 북호로닝언 지역을 5G 무선네트워크 연구를 위해 실험 중임. 5G의 주요 응용분야는 의료, 에너지, 교통&물류, 농업 및 환경임
Industrial robotics	(로봇) 로봇 프로그래밍 및 통제에 대한 전문적인 교육

	제공, 신기술을 접목하고 실험할 수 있는 인력양성 목표
Technologies Added	(제조) 첫 공유형 스마트 팩토리
Dutch Optics Centre(DOC)	(광전자) Optical 및 Opto 메카트로닉스를 이용한 신기술 개발
RoboHouse	(로봇) 로봇틱 분야의 최첨단 정밀기술 연구
High Tech Software Competence Center	(IT) 가상프로토타입 구현 및 디자인 모델 소프트웨어 서비스. 제품 개발 단계에서 효율적인 디자인 실현

네덜란드의 와게니젠대학(WUR : Wageningen University& Research)에서는 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능 및 농업로봇 등 디지털 농업분야에서 ‘산·학·연·관 혁신형 연구’를 활발하게 진행 중이다. 특히 와게니젠대학 농업로봇팀 (Agro Food Robotics)은 과거 해결이 불가능하다고 여겨졌던 로봇 인지(robot perception and recognition) 문제들을 최신 인공지능 기술과 가상환경 내 시뮬레이션을 통해 해결하면서 인공지능 파프리카 수확 로봇의 상용화를 눈앞에 두고 있다.

2018년 6월 네덜란드에서 시설 그린하우스내 작물재배의 전과정에 걸쳐 어느 팀의 인공지능이 더 우수한 생산 결과를 도출해내는지에 대한 대회를 개최하였다. 네덜란드 와게닝겐 대학과 중국의 인터넷기업 Tencent가 공동주최하는 자율그린하우스 (Autonomous Greenhouse) 인공지능 대회가 바로 그것이다. 전세계 30여개팀이 참여하여 5개팀이 본선 진출을 확정하였고, 10월 현재 실제 인공지능에 의해 완전 자율 운영되는 그린하우스 재배를 시험 중에 있다(민승규, 2018).

또한, 4차 산업혁명 기술을 활용하여 농산물 유통을 획기적으로 혁신해 보려는 도시규모의 대규모 프로젝트가 진행되고 있다. 프로젝트의 이름은 지능형 전력망을 의미하는 Smart Grid에서 착안한 “The Smart Food Grid”이다. The Smart Food Grid는 네덜란드의 수도인 암스테르담과 그 주변지역을 대상으로 농산물 생산자와 소비자 간의 불일치, 이른바 미싱링크를 없애고 생산과 소비정보를 실시간으로 연결하는 것이 핵심이다. 소비자의 스마트폰과 상품의 QR코드를 활용하여 생산자가 농산물 소비정보를 실시간으로 파악하고 빅데이터를 수집, 분석하여 자동주문과 수배송으로 연결하여 미싱링크를 없애는 것만으로도 기존 대비 30% 이상의 숨어있는 부가가치를 창출할 것으로 기대하고 있다.

3) 일본의 현황 및 사례 조사

일본은 정부 차원에서 “제4차 산업혁명”이라는 용어를 적극 수용해서 국가 전략에 반영한 국가로, 2016년 들어 일본은 일련의 정부 전략 문서에 “제4차 산업혁명”을 적극 사용할 뿐 아니라 일본이 당면한 문제와 강점을 분석해서 자국에 맞는 독특한 4차 산업혁명전략을 수립하려고 노력하고 있다. 다음의 (표 2.4)에서 보는 바와 같이 일본경제재생본부가 일본경제의 재활성화를 위한 종합 전략으로 매년 발표하는 일본재흥전략의 2016년판은 “제4차 산업혁명을 향하여”를 부제로 넣었고, 본문에도 관련 내용을 많이 반영하고 있다. 일본이 이렇게 적극적으로 “제4차 산업혁명”을 수용할 수 있었던 것은 2016년 1월에 내각부 산하 종합과학기술·이노베이션회의가 제5기 과학기술기본계획을 발표하면서 제시한 “초스마트사회(Society 5.0)”이 내용적으로는 제4차 산업혁명과 동일하기 때문인 것도 중요한 이유일 것으로 생각된다. 일본은 제4차 산업혁명의 여러 기술적 동인을 고려하되 “데이터의 확보와 활용”이라는 측면을 핵심으로 이해하고 이를 토대로 일관된 대응책을 강구하고, 특히 고령화, 자연재해 등 일본 사회가 지닌 문제와 기존 산업의 강점을 분석해서 자국에 맞는 독특한 대응 전략을 수립하려고 노력하고 있다. 일본이 직면한 문제를 해결하는 과정에서 새로운 산업을 창출하고 경제성장을 이루어 사회와 경제의 두 마리 토끼를 잡는다는 발상으로 독일의 Industrie 4.0 전략이 제조업 강국이라는 강점은 살리면서 IT가 약한 취약점을 보완하는 독일식의 전략이듯이 일본도 자국의 강점과 약점을 고려한 전략을 설계하고 있다(최해욱 등, 2017).

(표 2-17) 제4차 산업혁명 관련 일본의 주요 정책 문건

정책영역	발표 부처	정책 문건	발표시기	비고
경제정책	일본경제재생본부	일본 재흥전략 2016: 제4차 산업혁명을 향하여	2016.6.	“제4차 산업혁명” 용어를 명시적으로 사용
산업정책	경제산업성 (산업구조심의회)	신산업구조 비전: 제4차 산업혁명을 선도하는 일본의 전략	2016.4.	
	경제산업성 (제조산업국)	로봇신전략	2015.1.	일본의 전략적 초점을 보여주는 문건
과학기술정책	내각부 (종합과학기술·이노베이션회의)	제5기 과학기술기본계획	2016.1.	제4차 산업혁명과 내용적으로 같은 “Society 5.0” 개념 제시
	문부과학성	평성 28년판 과학기술백서	2016.5.	

일본의 제4차 산업혁명 관련 주요 정책의 문건을 분석하면 다음과 같다. 먼저 “제5기 과학기술기본계획”에서 최근의 기술적 변화가 촉발할 새로운 사회상을 초스마트사회(Society 5.0)라는 이름으로 제시하였으며, 초스마트사회는 “필요한 제품과 서비스를 필요한 사람에게 필요한 시간에, 필요한 만큼 제공하고 사회의 다양한 니즈에 세밀하게 대응하여 모든 사람이 질 높은 서비스를 받아 연령, 성별, 지역, 언어의 차이를 초월해 건강하고 쾌적하게 살 수 있는 사회라고 정의하였다. 일본의 “초스마트사회(Society 5.0)”는 세계경제포럼이 제시한 “제4차 산업혁명”과 용어는 다르지만 내용상으로는 동일하다. 초스마트사회(Society5.0)의 목표는 과학기술을 통한 생산성을 향상하고 사회문제를 해결하는 것으로, 초스마트사회는 산업을 포함한 경제사회전반에 대한 과학기술혁신을 다루고 있다는 점이 특징이다. 일본은 현재 에너지, 고령화, 지역경제 침체, 자연재해, 안보환경 변화, 지구적 문제 등 다양한 경제·사회적 과제에 직면하고 있으며 고령화, 재난재해 등은 세계에서 가장 먼저 또는 가장 심각하게 경험하고 있다. 이러한 사회적 문제를 ‘문제’가 아닌 ‘과제’로 인식하여 새로운 성장동력으로 삼으려 하고 있으며, 사회문제를 해결하는 서비스를 창출하

여 거대한 미래산업을 육성하고 시스템 패키지수출로 해외시장도 개척할 수 있다는 발상을 하고 있다(최해욱 등, 2017). 다음의 (표 2.5)는 일본이 주목하고 있는 13개 중요 정책과제를 보여주고 있다.

(표 2-18) 일본이 주목하고 있는 13개 중요 정책과제

분류	정책과제
지속적인 성장과 지역사회의 자율적 발전	<ul style="list-style-type: none"> · 에너지의 안정적 확보와 에너지 이용의 효율화 · 자원의 안정적 확보와 순환적인 이용 · 식료품의 안정적 확보 · 세계 최첨단 의료기술의 실현에 의한 건강장수 사회의 형성 · 지속가능한 도시 및 지역을 위한 사회기반 실현 · 효율적·효과적인 인프라 장(長)수명화 대책 · 제품 생산·서비스 생산의 경쟁력 향상
국가와 국민의 안전·안심 확보, 풍요롭고 질 높은 생활의 실현	<ul style="list-style-type: none"> · 자연재해 대응 · 식품안전, 생활환경, 노동위생 등의 확보 · 사이버 시큐리티의 확보 · 국가안전보장 상의 제반과제에 대응
지구 규모 문제에 대응, 세계 발전에 공헌	<ul style="list-style-type: none"> · 지구 규모의 기후변화 대응 · 생물다양성 대응

다음에 살펴볼 제4차 산업혁명 관련 주요 정책 문건은 “일본재흥전략 2016: 제4차 산업혁명을 향하여”이다. 이 문건은 아베노믹스로 일컬어지는 아베 내각의 3대 경제정책(금융, 재정, 성장) 중 성장정책을 담은 핵심 전략 문서이며 이후 매년 개정판을 발표하고 있다. 일본재흥전략 2016년 판은 부제를 “제4차 산업혁명을 향하여”로 붙이고 제4차 산업혁명관련 내용을 다수 반영해서 최근의 기술적 변화에 민감하게 대응하고 있다. 일본재흥전략 2016은 5개의 핵심 시책으로 구성되는데, 첫 시책인 “국민 전략 프로젝트 10”중 하나가 “제4차 산업혁명의 실현”이고, 다른 4개의 핵심 시책에도 제4차 산업혁명 관련 내용이 다수 반영되었다. (표 2.7)에서 4차 산업혁명과 관련되는 주요 내용은 굵은 글씨체로 표시하였다.

(표 2-19) 일본재흥전략 2016의 5대 핵심 시책과 주요 내용

5대 핵심 시책	주요 내용	
1. 600조 엔을 위한 “관민 전략 프로젝트 10”	① 제4차 산업혁명의 실현 (IoT, 빅데이터, AI, 로봇)	<ul style="list-style-type: none"> • 종합 사령탑 <제4차 산업혁명 민관회의> 개최 • <인공지능기술전략회의>에서 R&D·산업화 전략 구체화 • 규제 개선(목표역산 로드맵, 규제 개혁, 행정 절차 간소화/IT화), 기업/조직 간 데이터 활용 프로젝트 추진과 보안의 확보 • 제4차 산업혁명을 고려한 신진대사 촉진, 구조조정 촉진 • <제4차 산업혁명 인재육성 추진회의>의 인재 시책 구체화 • 중소기업에 대한 제4차 산업혁명의 파급
	② 세계 최첨단의 건강입국으로	<ul style="list-style-type: none"> • 빅 데이터 활용 진료 지원, 혁신적 의약품·의료 기기 개발 • IoT 등을 활용한 맞춤형건강서비스, 예방을 위한 비급여 서비스 확대 • 로봇 센서 등의 기술을 활용한 간병의 질과 생산성 향상
	③ 환경·에너지 제약의 극복과 투자 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 유통 서비스업과 중소기업 등의 에너지 절감 투자 촉진 • 재생 가능 에너지 도입 촉진, 새로운 에너지 시스템 구축 • 자원 안보 강화
	④ 스포츠의 성장 산업화	<ul style="list-style-type: none"> • 스포츠 시설의 매력·수익성 향상 • 스포츠 경영 인재의 육성·활용과 플랫폼의 구축 • 스포츠와 IT·건강·관광·패션 문화 예술 등의 융합 확대
	⑤ 기존주택 유통·리폼 시장의 활성화	<ul style="list-style-type: none"> • IoT 등 신기술을 활용한 차세대 주택 보급 • 주택이 자산으로 평가되는 기존 주택 유통 시장의 형성
	⑥ 서비스산업의 생산성 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 서비스 산업의 생산성 향상을 견인하는 선도 기업 창출 • 사업 분야별 생산성 향상 • 중소기업 지원 기관을 활용한 지역 단위 생산성 향상
	⑦ 중견·중소기업·소상공인 혁	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 시장을 목표로 한 지역 핵심 기업의 성장 지원

신	<ul style="list-style-type: none"> • TPP를 계기로 지역 중소기업 등의 해외 전개 • IT를 활용한 중소·중견기업, 소상공인의 생산성 향상 지원 • 담보와 개인 보증에 의존하지 않는 성장 자금의 공급 촉진, 금융기능의 강화와 사업 재생 및 사업 승계 가속화
⑧ 농림수산업의 공격적 전개와 수출 촉진	<ul style="list-style-type: none"> • 농지 중간 관리 기구의 기능 강화 • 생산자재 비용 저감, 생산자 친화적 유통·공공 구조 실현 • 인력 강화, 수출역량 강화 • 스마트 농업의 추진(원격 감시, 무인자동주행 등) • 농업계와 산업계의 연계 체제 구축
⑨ 관광입국의 실현	<ul style="list-style-type: none"> • 관광 자원의 매력 향상 • 관광 관련 규제·제도의 재검토 • 지역 관광 경영(DMO)의 추진 • 관광 인재 육성 • 방일 외국인 여행자 확대를 위한 지역의 수용환경 정비 • 휴가 취득 촉진·분산
⑩	관민 협력에 의한 소비마인드 환기

5대 핵심 시책	주요 내용
2. 생산성혁명을 실현하는 규제·제도 개혁	① 새로운 규제 개혁 메커니즘의 도입: 목표역산 로드맵, 행정 간소화/IT화 등 ② 국가 전략 특구의 활용 ③ 미래 투자를 위한 제도 개혁: 핀테크 추진, 빅데이터 활용 포함
3. 이노베이션 출·도전정신이 치는 인재창출	창 념 ① 혁신, 벤처 창출 역량 강화 ② 경제 성장을 개척하는 인재의 육성·확보 ③ 성장 제약 타파를 위한 고용 환경 정비 다양한 일꾼 참가
4. 해외 성장시장 공략	① 경제 협력 협상, 투자 협정·조세 조약의 체결·개정 추진 ② TPP를 계기로 중견·중소기업의 해외 진출 지원 ③ 인프라 시스템 수출 확대 ④ 대내 직접 투자 촉진
5. 개혁 모멘텀 활용	“개혁 2020” 프로젝트 추진: 자동 주행, 분산형 에너지, 첨단 로봇 등

다음에 살펴볼 제4차 산업혁명 관련 주요 정책 문건은 “신산업구조비전: 제4차 산업혁명을 선도하는 일본의 전략”이다. 이 문건은 일본 정부의 제4차 산업혁명 대응 핵심 문건으로 2015년 8월부터 ‘산업구조심의회’ 산하 ‘신산업구조부회’에서 관계부처와 공동으로 제4차 산업혁명 대응전략을 수립한 중간 결과물로 정부에서는 내각부, 공정거래위원회, 금융청, 총무성, 재무성, 문부과학성, 후생노동성, 농림수산업성, 국토교통성 등이 참여했고, 민간 전문가도 참여하였다. 제4차 산업혁명에 대한 일본 정부의 전략 문건 중 가장 핵심 문건이라고 할 수 있으며 제4차 산업혁명의 이해, 산업·고용구조 변화 전망, 대응 전략 등 모든 측면에서 우리에게 주는 시사점이 많은 문건이다.

이 문건에서 변화의 동인이 되는 핵심기술을 정의하는 한편 부가가치의 원천인 데이터와 이를 활용할 수 있게 하는 비즈니스 모델의 역할도 강조한다. 제4차 산업혁명의 핵심기술을 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 로봇으로 규정하고, 제4차산업혁명을 이 공통 기반기술들이 부문별 기술(금융, 의약, 생산 등) 및 데이터와 결합하여 새로운 제품과 서비스가 만들어지는 현상으로 이해하고 있다.

제4차 산업혁명에서는 데이터가 부가가치의 원천인데, 데이터를 가상 데이터와 현실 데이터로 구분할 때 일본이 경쟁력을 가질 수 있는 분야는 현실 데이터라고 판단하고 있다. 가상 데이터는 Web, SNS 등 온라인 공간에서 발생하는 데이터로 해외 IT 기업이 플랫폼을 지배(구글, 아마존, 애플 등)하고 있다고 보고 있으며, 현실 데이터는 건강정보, 주행 데이터, 공장설비 가동 데이터 등 개인과 기업이 생산해낸 데이터로 적절히 대응한다면 일본에서 플랫폼을 획득할 가능성 있다고 전망했다. 현실 데이터에는 각 기업의 기밀 데이터와 협력하여 빅데이터화 하는 것이 필요한 데이터가 존재하므로 “협력영역”과 “경쟁영역”을 구별하고, 사무소, 기업, 계열을 초월하여 데이터를 공유, 활용하는 “플랫폼” 구축이 중요한 열쇠라고 전망하였다. 또한, 기술 뿐 아니라 데이터 활용을 위한 전체 과정을 통합 제공하는 비즈니스 모델을 강조하며, 데이터 활용 과정을 취득 → 교환·공유 → 실용화(빅데이터화) → 분석 → 활용·산업화로 분석하였다.

마지막으로 이 문건에서는 데이터, 인재, 기술, 금융, 산업·취업구조 전환, 중소기업·지역경제, 경제사회 시스템부문에서 다음의 7대 전략을 제시하였다.

- ① 데이터 활용 촉진을 향한 환경정비 : 데이터 플랫폼 구축, 데이터 유통시장 조성 등
- ② 인재육성·확보 등 고용시스템의 유연성 향상 : 교육시스템 구축, 글로벌 인재 확보 등
- ③ 이노베이션·기술개발 가속화 : 오픈 이노베이션 시스템 구축, 지식 재산 관리, 표준화 등
- ④ 파이낸스 기능 강화 : 리스크 비용 지원, 무형자산 투자 활성화, 핀테크 고도화 등
- ⑤ 원활한 산업구조·취업구조 전환 : 제도·환경 정비, 노동시장·고용제도 유연성 향상 등
- ⑥ 제4차 산업혁명의 중소기업·지역경제로의 파급 : 중소기업·지역에 사물인터넷 도입 등
- ⑦ 제4차 산업혁명을 위한 경제사회 시스템의 고도화 : 규제 개혁, 사회인식 확산 등

이상에서 살펴본 일본의 4차 산업혁명과 관련된 전략의 특징을 살펴보면, ① 제4차 산업혁명에 대한 정부 차원의 발 빠른 대응, ② 제4차 산업혁명에 대한 간명하고도 입체적인 이해, ③ 자국 상황을 반영한 일본 특유의 전략 수립, ④ 정책과제 중 규제 개선을 특히 강조하고 이를 위해 다양한 수단을 강구하였다는 것이다.

일본은 다보스포럼에서 “제4차 산업혁명” 개념이 제시된 후 정부 차원에서 이 개념을 적극수용해서 정책에 반영한 첫번째 국가로 비슷한 시기에 유사한 개념인 “Society 5.0”을 자체적으로 주창한 것에서 볼 수 있듯이 “제4차 산업혁명”이 내포하는 기술적·사회적 변화를 이미 주시하고 있었고, 이러한 변화를 자국의 성장전략에 반영하려는 노력을 이미 진행 중이었기 때문에 “제4차 산업혁명” 개념을 적극 수용할 수 있었던 것으로 추정된다. 한편, 제4차 산업혁명의 핵심 동인을 “데이터”로 이해하고 전 산업에 걸친 일관된 대응 추구하고 있다. 일본은 제4차 산업혁명의 핵심 기술을 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 로봇으로 규정하고 제4차 산업혁명을 이 공통 기반 기술들이 부문별 기술(금융, 의약, 생산 등) 및 데이터와 결합하여 새로운 제품과 서비스가 만들어지는 현상으로 이해하고, 이러한 이해를 바탕으로 “데이터” 중심의 일관된 전략을 추구하고 있다. 또

한, 일본은 제4차 산업혁명을 국가의 제반 과제를 해결하는 기회로 활용한다는 목표를 가지고, 국가가 직면한 과제를 해결하는 과정에서 새로운 산업을 창출하고 경제성장을 이루어 국가적 과제를 세계에서 가장 먼저 경험한 ‘과제선진국’이라는 약점을 ‘과제해결선도국가’라는 강점으로 바꾼다는 긍정적인 비전을 제시하였다. 많은 전문가들이 제4차 산업혁명의 핵심기술로 판단하고 있는 인공지능, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 사물인터넷 등 ICT 기술 이외에 일본의 강점인 로봇을 제4차 산업혁명의 핵심기술로 추가하여 활용하는 전략을 추진하고 있다. 마지막으로, 제4차 산업혁명의 원활한 진전을 위해서는 규제 개선이 핵심 정책과제 중 하나라고 보고 목표역산 로드맵, 지역특구 등 다양한 수단을 강구하고 있다. 목표역산 로드맵은 정부가 언제 어떤 규제나 제도를 정비할 것인지에 대한 예측가능성을 높여서 민간의 투자를 촉진하고 있다(최해욱 등, 2017; 최해욱, 2017).

4) 4차 산업기술의 농업분야 도입

인공지능과 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술이 모든 산업을 변혁시키고 있다. 농업분야도 예외는 아니다. 인공지능과 빅데이터가 농업과 결합되면서 생산에서 소비에 이르는 농업의 모든 과정을 환골탈태 시키고 있다. 토지와 인력에 의존하던 전통적인 농업에 변화를 일으키고 있는 것이다(민승규, 2018).

4차 산업혁명은 미래의 농업부문에 다양한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 첫째는 최적화다. 농업은 투입과 산출이 불일치하는 측면이 크다. 세계 식량 생산량의 30~50%는 버려지고 있으며, 물 사용량의 80%가 농업에 쓰이지만 이 중 작물의 생장에 쓰이는 양은 20%에 불과하다. 나머지는 버려지는 것이다. 이전보다 많이 줄었지만 과도한 농약사용과 비료사용으로 환경과 토양이 피폐해지는 경우도 여전히 많다. 이러한 문제는 산출에 필요한 만큼만 정밀투입하는 최적화를 통해 획기적으로 개선될 수 있다. 또한 생산과 유통, 소비를 연결하여 최적화할 수 있다면 이전과는 전혀 다른 푸드시스템과 농업시스템을 구축할 수 있다.

둘째는 생산요소의 회귀이다. 4차 산업혁명시대에는 농업과 농촌을 떠났던 많은 자본, 인력, 기술자원이 농업농촌으로 돌아올 가능성이 높다. 도시공간과 서비스분야에서의 노동력과 일자리가 사라질수록 이들이 정

주하고 노동하고 휴식할 수 있는 대안으로 농업과 농촌이 가장 유력하기 때문이다.

셋째는 기술적 난제의 해결이다. 농업은 표준화가 어려운 만큼 사람의 경험과 지능, 지혜에 대한 의존도가 높다. 지금까지의 농업 난제들은 대부분 사람의 경험, 지능, 지혜로 해결이 어렵거나 너무 많은 비용이 들거나, 기존 기술로는 해결하지 못하는 기술적 한계상황인 경우이다. 만약 4차 산업혁명 기술이 농업분야에서 인간의 지능과 지혜, 경험을 능가하는 의사결정을 가능하게 해 준다면 농업의 많은 기술난제들은 해결될 수 있다. 이러한 측면에서 1차, 2차, 3차 산업혁명이 탈(脫) 농업적 혁명이었다면 4차 산업혁명은 친(親) 농업적 기술혁명이 될 것으로 기대된다(이주량, 2017).

이 외에도 사람의 도움 없이 농기계와 장비들이 자동으로 운용될 것이고, 작물 재배에 필요한 input(양분, 물 등)을 절약해 줄 농기계 및 장비의 자동화, 농축산물 질병 발생에 대한 조기탐지 및 예방을 위한 정확한 솔루션 제시, 농업시장의 변화 및 소비자의 기호와 행동 분석 등 4차 산업혁명의 농업분야 접목은 무한한 가능성을 가지고 있다. 스스로 생각하고 점검하여 효율적인 농업생산을 하는 데 있어서 인공지능과 빅데이터는 농민들에게 큰 조력자로서의 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다(민승규, 2018).

가) 4차 산업기술의 농업분야 도입에 따른 문제점

4차 산업혁명 기술이 농업의 각종 난제를 극복하고 농업발전에 큰 도움이 될 것이라는 점은 분명하지만 실제 농업현장에 적용되고 착근되는 데는 매우 많은 시간이 필요할 것이다. 이 과정에서 농업은 새로운 기술이 현장에 파급되고 확산되는 기본구조가 제조업과는 완전히 다르다는 점도 반드시 고려해야 한다. 왜냐하면, 제조업은 새로운 기술이 공장을 통해 일시적이고도 대규모로 적용되고 양산체제를 갖출 수 있는 반면에, 농업기술은 농민의 투자여력과 기술 감당수준, 그리고 원하는 기술구성이 매우 상이한 다양한 농민생산자를 통해 발현되어야 하기 때문이다.

지금까지 연구된 결과를 분석한 결과, 4차 산업혁명의 농업 분야 도입에 따른 문제는 크게 4가지로 정리할 수 있다. 첫째는 투자부족, 둘째는 4차 산업혁명 기술 인프라 부족, 셋째는 산업 생태계 형성 미흡, 넷째는 4

차 산업기술을 운영할 수 있는 인력 및 교육의 부족이다. 각각의 문제점과 현황에 대해 살펴보면 다음과 같다.

(1) 투자 부족

국가 전체 R&D 예산 대비 농업분야 R&D 예산 비율은 6% 수준이다. 민간부문의 경우 기반이 취약한데다 대기업 참여 등이 제한돼 있어 상대적으로 R&D 투자가 미흡한 실정이다. 또 농림수산물분야의 국가 연구 인력은 약 3만명에 달하지만, 이중 농림수산물학을 전공한 연구원은 1만명에도 미치지 못하는 등 전문 인력도 부족한 상황이다. 농업분야 R&D 투자 규모도 문제지만 그 성격에 따라 농업부문 R&D와 농산업부문 R&D, 그리고 농민을 위한 R&D와 비농민을 위한 R&D 등으로의 구분이 필요하다. 최근 들어 농업 R&D에서 공공과 민간의 비중은 미국이 70대 30, 네덜란드가 60대 30 정도이나 우리나라는 95대 5 비율로 공공 의존도가 높다. 이는 R&D를 수행할 수 있는 규모의 농산업 기업이 부족하기 때문이다. 농업연구의 특성상 대규모 토지와 인력 및 장기 투자가 필수적이어서 국가기관 중심의 연구가 진행됐다. 농축산물의 수요가 수량 중심에서 품질·안전성·기능성 등으로 바뀌는 데 대한 대응이 미흡한 경우가 있는 것도 사실이다. 다만 농업분야 R&D 성과는 개발부터 현장 확산까지 오랜 기간이 소요돼 투자 효율성이 낮은 것으로 보일 수 있다(현병환 외, 2012).

선진국의 경우, 프리바, 후지쓰, 존디어 등 민간업체들이 농업과 관련된 4차산업 혁명 기술을 지속적으로 개발해 왔으며 현장 실증이 완료되고 실용화 단계에 이르고 있다. 우리나라는 다분히 정책적 수요에 의해 관련 기술을 개발 중이며, 아직까지는 스마트팜 및 빅데이터 개발 등이 비교적 활성화된 수준이다. 따라서 정부주도형 R&D를 넘어 민간자본이 추가되는 산업구조가 필요하며, 이 과정에서 민간자본의 농업 진출에 대한 규제완화와 민·관·연 등이 협력할 수 있는 제도가 필요하다. 최근 통신사와대기업의 스마트팜 진출에 대한 의지가 높아지고 있는 상황이다. 따라서 선진국의 민간자본 지출 사례의 체계적인 분석을 통해 국내에서도 농업 분야의 민간기술 및 민간자본 투자방안을 적극적으로 모색할 필요가 있다(김연중 외, 2017).

(표 2-20) 4차 산업혁명의 국내의 적용 사례 종합

구분		시스템(국가)	핵심내용 및 성과
IoT	해외	<ul style="list-style-type: none"> 로봇팔 정원관리(미국) Sparled(네덜란드) PREMIVM(포르투갈) Akisai(일본) PigWise(이탈리아) SoundTalks(벨기에) 	<ul style="list-style-type: none"> 정원관리 표준화 구축 가축질병 조기예방 포도 경영 및 생산관리 농자재 최적배분, 수확량 20%~30% 증가 양돈개체관리, 동물복지 제고 양돈질병예방, 항생제 및 자돈 폐사율 감소
	국내	<ul style="list-style-type: none"> (주)엔셀 (주)퓨처텍 Clean 성주 참외팍 창조마을 	<ul style="list-style-type: none"> 화분플랜티 및 모바일 재배일지 App(인터넷연결) 센서모니터링, 원격딸기재배 우수재배정보, 생산농가 이력 DB화 도난방지
빅데이터	해외	<ul style="list-style-type: none"> FieldScripts(미국) Progressive Farmer(미국) SeedStar Mobile(미국) Climate Filedview Pro(미국) IoF2020(EU) 	<ul style="list-style-type: none"> 품종 및 파종량 선택 극대화 위생정보 이용 무인농기계 구축, 경영관리 농기계 첨단장비화, 생산량 극대화, 의사결정 기후예측모델, 에이커당 100달러 수익증가 농업 전 분야 데이터화, 비즈니스로 연결
	국내	<ul style="list-style-type: none"> KAHIS(국가동물방역시스템) 농림축산식품 공공데이터 포털 하림 빅데이터농장 	<ul style="list-style-type: none"> KT와 연계 조류인플루엔자(AI) 확산 예측 공공 및 민간 관련 데이터 통합 제공 육계 행동탐지, 무게분포의 정확한 예측
로봇·드론	해외	<ul style="list-style-type: none"> Airinov(프랑스) 자율주행 트랙터(미국) Harvest Automation(미국) 	<ul style="list-style-type: none"> 드론 광학센서 기반 적질 시비량 구축 GPS 및 데이터 기반 경로 및 작물의 자율선택 화분관리로봇, 1일 9시간 노동 가능
	국내	<ul style="list-style-type: none"> 정부보급사업 농촌진흥청 	<ul style="list-style-type: none"> 자율주행 농기계 개발 중 송아지 대용유의 급여량, 시기 결정, 복지실현
AI	해외	<ul style="list-style-type: none"> LettuceBot(미국) 작물질병판단 App(미국) GNSS(독일) 애그봇(호주) 	<ul style="list-style-type: none"> 농기계 자동 잡초 제거, 화학물질 사용 90% 절감 잘물 앞상태 딥러닝으로 질병과약 99% 정확도 위성측위시스템, 토양기반과 지질 분석 인공지능 탑재, 드론과 결합하여 시비 자체판단
	국내	-	-

우리나라 농림식품 기계·시스템 분야의 기술수준은 최고 기술보유국인 미국(100%) 대비 75.0%로 주요 9개 국가 중 8위이고, 중국이 66.2%로 우리보다 낮은 수준이다. 중분류별 기술수준은 68.0~78.0%로 추격그룹에 속하며 임업기계·시스템 분야의 기술수준은 상대적으로 높다. 농업기계·시스템은 최고기술국(미국) 대비 76.6%로 추격그룹에 속하는 가운데 농업 자동화·로봇화기술(77.2%)의 기술수준이 가장 높고, 농작업기계·시스템기술(75.1%)이 가장 낮은 편이다. 식품기계·시스템은 최고기술국(독일) 대비 68.0%로 추격그룹에 속하며 그중 식품 품질계측 기계·시스템기술(75.2%)의 기술수준이 가장 높고, 식품 포장 기계·시스템 기술(62.0%)은 가장 낮다. 임업기계·시스템은 최고기술국(미국) 대비 78.0%로 추격그룹에 속하며 임산가공 기계·시스템기술(85.5%)의 기술수준이 높고, 임산자원 품질계측 기계·시스템기술(73.2%)은 가장 낮다. 축산업기계·시스템은 최고기술국(네덜란드) 대비 76.5%로 추격그룹에 속한다. 축산업 시설·환경 기계·시스템기술(83.7%)의 기술수준이 가장 높고, 축산물 생산 기계·시스템(68.6%)은 가장 낮다(김연중 외, 2017).

(표 2-21) 농림식품기계·시스템 분야 기술수준

분야		한국	미국	일본	영국	프랑스	네덜란드	독일	호주	중국
중분류	농업기계·시스템	76.6	100.0	97.3	86.7	87.0	95.2	94.9	84.3	64.6
	식품기계·시스템	68.0	98.7	98.5	87.2	86.0	84.4	100.0	75.2	63.6
	임업기계·시스템	78.0	100.0	99.4	78.7	76.2	75.6	98.1	76.5	75.0
	축산업기계·시스템	76.5	99.5	96.6	92.3	92.9	100.0	97.4	85.1	64.8
전체		75.0	100.0	98.0	86.8	86.4	90.8	96.5	81.4	66.2

농림식품 융복합 기술수준이 최고인 미국을 100%로 할 때 우리는 73.0%로 추격그룹에 속하며 주요 9개 국가 중 8위 수준이다. 기초, 응용 분야 모두 미국이 최고기술보유국이며 우리나라는 기초(71.9%), 응용(74.1%) 연구 모두 추격그룹에 속한다. 농림식품 융복합 분야 중분류

별 기술수준은 68.2~74.6%로 추격그룹이며 농생명 신소재·시스템 분야의 기술수준이 상대적으로 높다. 농생명 신소재·시스템의 최고기술보유국(미국) 대비 74.6%로 추격그룹에 속하며, 농생명 에너지자원 기술은 최고기술보유국(독일) 대비 68.2%로 추격그룹에 속하고, 농생명정보 전자 기술은 최고기술보유국(미국) 대비 71.5%로 추격그룹에 속한다(김연중 외, 2017).

(표 2-22) 농림식품 융복합 분야 기술수준

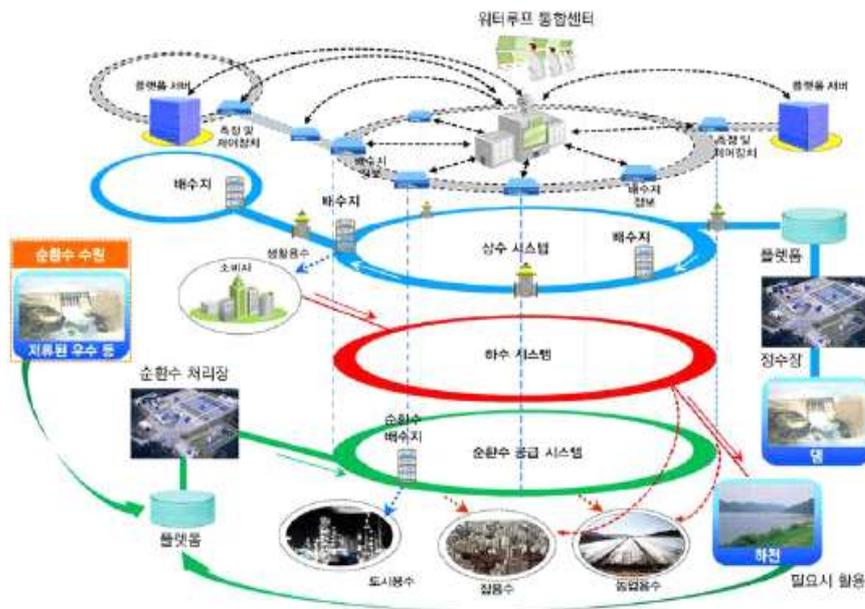
분야		한국	미국	일본	영국	프랑스	네덜란드	독일	호주	중국
중분류	농생명 신소재·시스템	74.6	100.0	93.3	85.6	84.3	83.4	89.1	79.1	70.8
	농생명 에너지 자원	68.2	97.4	92.9	85.4	84.7	94.1	100.0	85.3	66.3
	농생명 정보·전자	71.5	100.0	88.3	81.4	81.7	86.9	87.5	77.8	64.5
전체		73.0	100.0	92.5	85.0	84.2	86.7	91.2	80.0	68.8

스마트농업 관련 기술수준을 보면 다음과 같다. 스마트농업의 기술수준을 1세대, 2세대, 3세대로 나누었다. 1세대는 센서를 통한 환경변화 모니터링과 편리성 증진, 기능제어 등 제어시스템으로 구성된다. 한국은 1.5세대로서 일본의 2세대를 추격 중이다. 2세대 기술은 스마트농업의 최적화 단계이다. 일본이 현재 2세대에서 2.8세대인 미국을 추격하고 있는 단계로 스마트농업의 최적화 알고리즘 적용, 생산성 향상 및 농작물의 질병예방, 생육진단 서비스를 제공하고 있다. 3세대는 네덜란드로 가장 기술수준이 우위에 있다. 미국이 네덜란드를 추격하고 있으며, 시설 내 온습도 등을 자율적으로 조절할 수 있도록 기술을 개발하여 수출하는 단계이다(김연중 외, 2017).

5) 사물인터넷을 고려한 자율 물관리 시스템 적합 아이템 제안

가) 스마트 워터그리드

기존의 수자원 및 상하수도 시설은 물 수요량에 대한 실시간 관리가 불가능하여 수요와 공급의 불균형으로 인한 시설의 가동효율 저하 문제 발생하고, 생산한 물을 공급하고 발생한 하수를 수집하는 과정에서 누수 등으로 인한 손실 발생 및 주변 환경의 오염을 초래, 물의 생산과 수송에 많은 에너지 소요, 중앙집중 방식의 특성상 물의 사용용도와 관계없이 과다 처리함으로 인한 비용손실발생(예: 조경용수를 먹는물 수준으로 처리), 현재의 상하수도 시스템에서는 빗물이나 재이용수, 해수 등 다양한 종류의 수원 활용제한 등 그 한계성으로 인하여 비효율적으로 운영되고 있다. 이를 해결하고자 미국, 호주, 유럽 등의 선진국에서는 2009년부터 스마트 워터그리드(Smart Water Grid)를 제안하고 있다(안항기, 2014).



<그림 2-9> 순환수 Smart Water Grid 개념도

나. 스마트 워터그리드 도입사례

스마트 워터그리드는 수자원 및 상하수도 관리의 효율성 제고를 위하여

정보통신 기술(ICT: Information and Communication Technologies)을 도입하는 차세대물 관리 시스템으로 수자원의 관리, 물의 생산과 수송, 사용한 물의 처리 및 재이용 등 전 분야에서 정보화와 지능화를 구현하기 위한 기술이다. 그러나 아직까지 스마트 워터그리드의 구현방법에 대해서는 전세계적으로 다양한 연구와 논의가 진행되고 있는 실정이다. 2008년 7월에 발간된 UN의 보고서에 의하면 전 세계적으로 7억명이 물 부족으로 고통 받고 있지만 2025년이 되면 30억 명으로 늘어날 수도 있음을 경고하고, 미국 콜로라도주의 국립기후조사연구원이 1948년부터 2004년까지의 자료를 조사한 결과에 따르면 전 세계 주요 강 925개를 분석한 결과 태평양으로 유입되는 강물은 매년 6%씩 감소하고 기후변화로 인하여 수자원의 편중이 심화되는 등 이로 인한 물 확보의 어려움이 가중되고 있다. 이에 반해 물에 대한 수요는 전 세계적으로 폭발적으로 증가할 것으로 예측되고 있다. 따라서, 해수담수화와 하폐수의 재이용 등의 대체 수자원 활용이 향후 지속적으로 증가할 것으로 전망되고 물 부족 문제를 극복하고 대체수자원의 활용도를 높이기 위한 새로운 지능적 물 관리 체계(스마트워터그리드)가 절실하게 요구되고 있다(안항기, 2014).

호주는 2004년 ~ 2007년 Brisbane 지역 주위에서의 극심한 가뭄을 겪으며 장기적인 물 수급 개선을 위한 해결방안으로 South East Queensland Water Projects(SEQ Water Projects) 를 시작하였다. SEQ Water Projects에서 SEQ 지역의 주거시설과 산업시설이 사용하는 수자원을 공급하고 조율하는 SEQ Water Grid 시스템을 제안하였다. 이는 수자원이 풍부한 지역으로부터 수자원을 필요로 하는 지역으로 수자원을 이동시키는 양방향 네트워크를 의미한다. SEQ 워터 그리드의 주된 시스템 구조로는 재이용 프로젝트, 담수플랜트, 파이프 네트워크, 건설 및 보수 중인 댐으로 구성되어 있다. SEQ워터 그리드는 2009년~ 2010년 4개의 새로운 주 단위 Bulk Water 단체를 만드는 1단계를 마치고 2011년 의회 서비스에서 지역적 물사업으로의 서비스 권한을 변경하고 물배분과 물 사업을 위한 3개의 단체를 만들며 2단계를 마쳤다(김선영, 2015).

미국에서의 스마트 워터 그리드는 다양한 형태로 연구 및 개발되고 있는데 그 종류로는 국가적 수자원 공급 시스템인 National Smart Water Grid, 스마트 워터 그리드 실제 도입을 위한 파일럿 프로젝트인 Indianapolis Smart Water Grid, IBM을 중심으로 한 IT 기술부분에 특화된 스

마트 워터 그리드 등으로 다양하게 연구 개발되고 있다. 이중국가 단위로 수행되고 있는 National Smart Water Grid의 경우 수자원이 풍부한 지역의 물을 부족한 지역에 공급하기 위한 시스템으로 수자원을 분배한다. 이는 총 4단계의 파이프 라인으로 구성되어 있는데 첫 번째는 오하이오, 미시시피 유역에서 콜로라도 지역을 잇는 파이프, 두 번째로는 미시시피 유역에서 캔자스 지역을 잇는 파이프, 세 번째는 아칸소지역에서 뉴 멕시코 지역을 잇는 파이프, 마지막으로 미주리 유역에서 플레밍고 저수지를 잇는 파이프로 구성되어 있다(김선영, 2015).

나) Smart Water Management 적용기술

(1) 원격 누수감지센서

원격 누수감지센서는 야간최소유량(심야시간대수도관에 흐르는 수돗물으로써 물 사용량이 없을 것으로 간주하고 누수량을 판단하는 기준)이 없고 소음이 많은 산업단지와 같은 지역에 설치하는 IoT 센서이다. 수도미터나 수도관에 고정식 소리감지센서를 설치하여 10m 구간 내의 누수음을 감지하고 무선통신(RF 424MHz)으로 1일 1회 원격 전송한다. 원격 누수감지센서는 저 전력으로 4년 이상 배터리로 사용 가능하며, 수도미터 보호통 안에 설치되므로 내구성이 우수하다. 원격 누수감지센서는 고정식과 이상 구간에 한시적으로 설치하여 분석이 가능한 이동식도 있다.



<그림 2-10> 원격 누수감지센서

(2) 스마트 미터링(Smart Metering)

수돗물 사용량을 공급자는 실시간으로 원격에서 검침하여 이상 유량과 옥내 누수를 분석하고, 소비자는 모바일 앱(Application)을 통하여 사용량과 수도요금을 확인할 수 있는 원격검침 인프라의 일종이다. 상위의 서버

에서 양방향 무선통신 네트워크(기간통신망)를 통해 시간별 검침 데이터를 호출하고, 디지털 수도미터는 무선통신(RF 650mW)을 이용하여 전송한다. 디지털 계량기는 저 전력으로 8년 이상 배터리로 사용하며, 수도미터 보호통이나 옥외에 설치되므로 내구성이 우수하다.



<그림 2-11> 스마트 미터링

(3) 초소형 멀티센서

수도관의 수질과 압력을 계측하여 관 내부의 상태변화를 파악하고 예측하기 위하여 사용하는 멀티센서는 관로상의 주요지점에 설치하고, 수돗물의 잔류염소($0\sim 3\text{mg}/\ell$), 전기전도도($0\sim 2,000\mu\text{s}$), 수온($0\sim 100^\circ\text{C}$), 압력($0\sim 10\text{kg}/\text{cm}^2$)을 계측한다. 초소형으로 제작하여 설치지점을 수시로 변경할 수 있도록 이동식으로 개발하여 설치가 용이하며, 대용량 메모리와 배터리를 내장하여 1분 단위 데이터를 10일 이상 취득 가능하다(최영환 외, 2017).



<그림 2-12> 초소형 멀티센서

(4) IoT를 이용한 지하매설물관리용 지능형표지기(IMI)

과거 지리정보시스템 GIS(Geographic Information System)의 활용영역이 정부와 몇몇 공공분야에 국한돼 있었으나, 최근 모바일, CRM(Customer Relationship Management) 등 다른 영역과 결합하면서

시장이 다양해지고 있다. 21세기 GIS기술의 발전방향은 GIS응용시스템 개발 및 공간정보 서비스를 위한 제반 기술로서 웹 GIS, 3차원 GIS, 모바일 GIS, LBS 등을 들 수 있다(김태달, 2017).

지능형표지기(IMI)는 기존에 사용하고 있는 지하매설물 관련 표지못의 단순 위치파악 기능에서 탈피해서 새로운 개념의 표지못(지능형 저장 메모리장치를 내장한 표지못)을 개발해서, 현장에서 지하매설물관련 정보(설치일자, 매설 깊이, 배관두께, 배관 재질, 관리기관, 시공자, 연락처 등)를 입력하고 DB서버에 저장해서, 필요하면 적시, 적소에서 활용할 수 있게 한다. 무분별한 굴착기 공사 등으로 야기되는 각종 사고를 미리 방지하고, 최소화 할 수 있으며, 싱크홀관련 대책 수립을 위한 정보를 제공한다. 그리고 지하매설물 관리를 체계적이며 신뢰성 있는 정보 제공이 가능하도록 현장에서 편리하게 정보를 입력할 방안을 제시함으로써, 지하매설관로 사고를 절대적으로 감소시킬 수 있도록 하는 목적을 두고 연구 개발되었다(김태달, 2017).



<그림 2-13> 지하매설물관리를 위한 정보이용 체계도

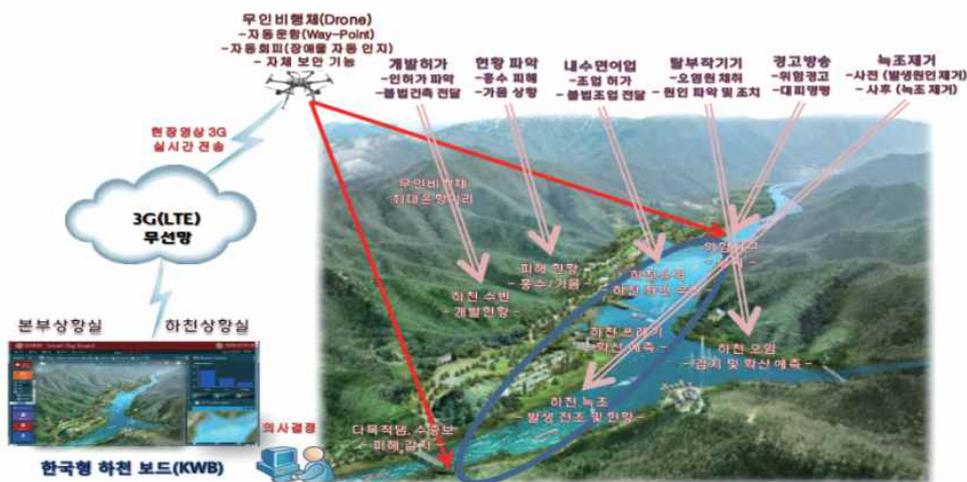
(5) 농기계화발전을 고려한 자율 물관리 시스템 적합 아이템 제안

(가)드론 기반 수자원 및 하천관리

제공시간 및 이륙중량 한계가 있지만 점차 개선되고 있는 회전익 무인항공기를 활용한 수자원 및 하천관리 측면을 다루기로 한다. 회전익 무인항공기를 이용하면 아래와 같은 무인 상시 모니터링 및 현장기반 의사결정 등 다양한 역할 수행이 가능하다(이주현 외, 2016).

- ① 다목적 댐 및 수중보 상시 모니터링(위험 감지 및 자동 전파 등)
- ② 녹조 상시 모니터링 및 전조 파악(오염, 녹조 감지 및 학산 예측 등)
- ③ 하천지형 모니터링 및 지도 생성(하천 감시 및 지도 자동 생성 등)
- ④ 하천 위험 및 금지구역 상시 감시(쓰레기, 내수면 어업, 낚시 등)
- ⑤ 수변 개발현장 모니터링(불법 건축 등)
- ⑥ 가뭄, 홍수 모니터링 및 피해 예측(홍수 피해, 가뭄 상황 등)

또한, 여기서 개발된 기술 등을 기반으로 회전익 무인항공기가 농업, 산림 등 다양한 분야에서 맞춤형 측정 장비를 개발하여 장착한다면 농업용 댐 및 저수지 무인 관리, 농약 자동살포, 멸종동물 상시 모니터링 및 관리 등 다양한 분야에서 활용이 가능하다고 생각한다(이주현 외, 2016).



<그림 2-14> 무인항공기 기반 수자원 및 하천 무인감시 및 관리 개념도

3. 데이터 기반 물관리 시스템 도입범위 분석

가. 국내·외 물관리 프로그램 현황 분석

물 이용 측면에서 물 절약과 효율적인 물이용을 위해서는 현장에서 발생하는 상황을 정확하게 파악해야 가장 효과적인 계획을 수립할 수 있다. 현장에서 발생하는 상황을 신속하고 정확하게 계측하는 방법이 가장 좋은 방법이지만 비경제적이고 기상 상황의 급변 등 기술적으로 정확하게 계측을 수행하는 것도 불가능에 가깝기 때문에 대부분의 설계와 운영프로그램은 현장상황을 재현할 수 있는 모델링 방식을 이용하고 있다.

1) 미국 수자원 운영 모델

미국에서 많이 활용되고 있는 수자원 모델은 SUPER, HEC-ResSim, RiverWare, MODSIM, WRAP, PowerSim, 그리고 STELLA 프로그램이다.

(표 2-23) 일반적인 수자원 시스템 모델

모델명	모델 개발 기관
SUPER (SWD Reservoir System Model)	USACE Southwestern Division http://www.swd.usace.army.mil/
HEC-ResSim (Reservoir System Simulation)	USACE Hydrologic Engineering Center http://www.hec.usace.army.mil/
RiverWare(River and Reservoir Operations)	개척국(Bureau of Reclamation), 테네시유역관리청 (TVA), CADSWES (Center for Advanced Decision Support for Water and Environmental Systems) http://animas.colorado.edu/riverware/
MODSIM(Generalized River Basin Network Flow Model)	Colorado State University http://modsim.engr.colostate.edu/modsim.html
WRAP(Water Rights Analysis Package)	Texas Commission on Environmental Quality, USACE, TWRI, http://ceprofs.tamu.edu/rwurbs/wrap.htm
PowerSim(PowerSim Studio)	Powersim Inc. http://www.powersim.com/
STELLA(Stella Modeling Environment)	ISEE systems http://www.iseesystems.com

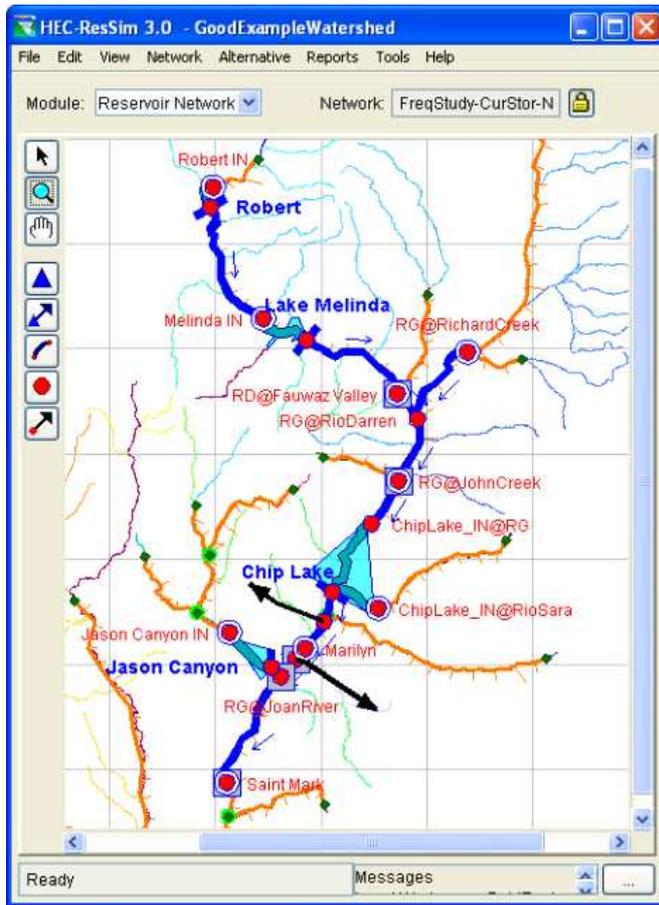
가) SUPER

SUPER는 미공병단의 남서 지구(Southwest district)에서 개발된 포트란기반 프로그램으로 30여 년간 다양한 컴퓨터 시스템으로 실행되어왔으며, 댈러스(Dallas), 포트워스(Fort Worth), 툄사(Tulsa), 리틀락(Little Rock) 지구에 적용되었다. SUPER는 수문학적 경제적 효과에 상응하는 다목적 저수지 운영의 연속적인 일별 규제를 모의하기 위해 만들어졌다(Hula 1981). 모의는 특성화된 규제 계획, 경제적 변수, 일 유량의 연속성과 순 저수지 증발량을 반영한다. 모의 결과는 각 저수지의 수위와 유량 수문곡선과 경제적 수익 함수와 통합되는 하천 제어 점을 포함한다. 수문학적 결과는 최대 최소 저수지 용량과 하천유량으로 월별과 년별 빈도 관계로 표시되며, 경제적 결과는 홍수 피해, 레크리에이션 수익, 전력 생산, 전력비용 구매, 준설비용, 그리고 운항 비용을 포함한다.

나) HEC-ResSim

저수지 시스템 모의 모델로 개발된 HEC-ResSim은 미공병단의 차세대 소프트웨어 개발 프로젝트로 1996년에 개발되었다. HEC-ResSim은 결과적으로 20 년간 광범위하게 적용되어 온 HEC-5 모델을 대체하는 모델로서 버전 1.0은 2001년에 공병단 안에서 테스트용으로 사용되었고, 버전 2.0이 공용으로 2003년에 배포되었다. 이후 주요한 향상이 계속 이루어졌으며 소프트웨어와 유저들을 위한 문서화 파일들은 [표 14]의 웹 주소에서 다운받을 수가 있다. ResSim 은 자바로 코딩되어 있으며 그래픽 유저 인터페이스는 지도 기반의 도식적인 개발 환경을 제공하고, 데이터는 인터페이스로 입력할 수 있으며, 설정된 확장자 파일로 저장된다. HECDSS (HEC 1995, 2003)은 시계열 입출력 데이터를 관리하기 위해 사용된다. HEC-ResSim은 그래픽 유저 인터페이스, 저수지 운영 모의를 위한 계산 프로그램, 자료 관리 능력, 그리고 그래픽을 이용한 결과 저장으로 이루어진다. 다목적 다수의 저수지 시스템은 이전의 수학적 프로그래밍 방법들보다 모델을 위한 특정한 ad hoc 알고리즘을 사용해서 모의 된다. 사용자는 여러 가지 시간 스텝을, 15분부터 하루, 선택할 수 있으며 여러 가지 추적 방법들이 제공되며 모델의 특성들은 자세한 저수지 시스템 운영 규칙의 유연성을 제공한다. 실시간 의사 결정을 위해서 USACE 저수지 제

어 직원이 필요하게 되는 문제는 HEC-ResSim의 주요 목적이었다.



<그림 2-15> HEC-ResSim의 모델 예

자료: 이상기후 및 가뭄대비 지속가능한 용수배분 시스템 개발

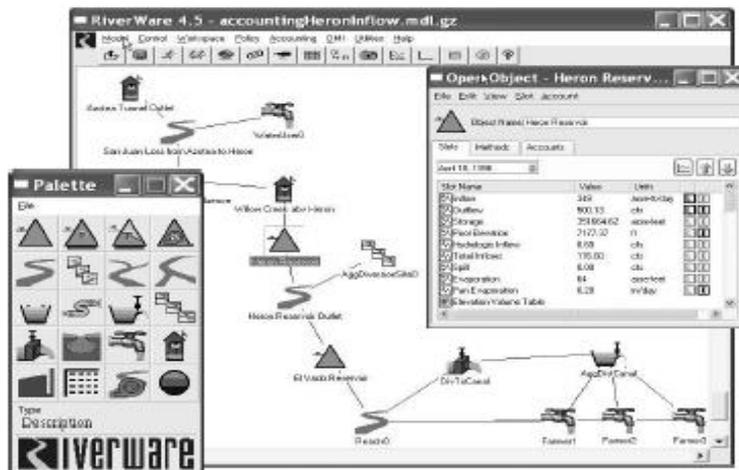
이 모델은 계획 연구에도 적용할 수 있고 다목적 저수지 운영의 모든 영역을 모의할 수 있다. 세부적인 모델 능력은 홍수 제어 운영을 목적으로 한다. ResSim은 크게 세 개의 모듈로 구성되어 있는데, 이 모듈은 유역 설정(watershed setup module), 저수지 네트워크(reservoir network module), 그리고 모의(simulation module)이다. 유역 설정 모듈의 목적은 유역 파일 생성을 위한 일반적인 틀과 다른 모델링 적용을 위한 정의를 제공하고 있고 여러 HEC 모델이 이 모듈을 공유하고 있다. 저수지 네트워크 모듈은 사용자가 하천 도식을 만들게 하고, 저수지 운영의 물리적이

고 운영적 요소들을 나타내게 하며, 분석해야 할 여러 대안들을 개발한다. 모의 모듈은 모의를 형성하고 실행하며, 결과를 보여준다. 그래픽 유저 인터페이스는 포인트-앤-클릭 방식과 아이콘의 연결로 저수지 하천 시스템을 만들 수 있다. 유역, 저수지 네트워크, 그리고 모의 결과 또한 관련데이터와 연결이 된 좌표에 시각적으로 표현 할 수 있다. 하천 정렬(stream alignment)이라 불리는 하천 시스템의 지류 네트워크의 형성은 유역설정 모듈에서 이루어지며 하천 정렬은 유역 설정 모듈에서 생성된 배치를 기반으로 한 저수지 네트워크 모듈에서 개발된 모의 계산을 위한 템플릿(template)이다. 그래픽 요소를 통해서 사용자는 데이터 수정과 저수지 네트워크 요소의 특정한 속성에 접근할 수 있다.

다) RiverWare

RiverWare는 미국개척국과 테네시 유역 관리청의 지원으로 콜로라도 대학의 CADSWES에서 개발한 모형이다. RiveWare는 하천/ 저수지 시스템의 유입량 추적과 관련된 기본적인 수문학적인 모의를 제공한다. 유역 유출은 적절한 하천 시스템 노드에서 유입량으로 계산되며, 저수지에서의 물수지, 하천에서의 수문학적 추적, 증발과 다른 손실들, 분할, 그리고 회귀유량의 주요 과정을 모델화했다. RiverWare는 크게 세 가지 모의 모드로 구성되어 있는데, 단순모의(pure simulation)와 규칙기반모의(rule-based model)는 먼저 개발되어 보완되어 왔으며, 목표 계획법(goal programming)을 이용한 최적화 모형(optimization)은 추가로 개발되어 물 관리시스템에 사용되고 있다. 단순모의는 독특하거나 완전히 특성화된 문제를 해결하는데, 각각의 목적함수들은 충분한 정보들을 가지고 있어야 하며 요구된 정보 이상은 필요하지 않다. 제공된 데이터에 따라서 적합하고 신속한 방법이 실행되고, 계산 해가 만들어진다. 계산된 해는 다른 목적함수들에 적합하게 전달되어, 다수의 링크를 통하여 반복 해에 사용되기도 한다. 독립적인 정보는 모의의 상태와 종료에서 에러를 만들 수도 있기 때문에 충분하지 않은 정보로 인해 일부 모의가 되지 않을 수도 있다. 규칙 기반 모의는 해를 가지는 목적에 관련된 충분한 정보가 없기 때문에 필요한 추가적인 정보는 사용자와 규칙 설정자로부터 해석된 규칙 우선순위에 의해서 결정된다. 목적들을 위한 값들은 이러한 규칙과 시스템의 상태에 기반을 두어 설정되는데 규칙은 RiverWare 규칙 언어중에서 모델 사용자에게 의해 만들어지고 그래픽 편집기를 통해 입력된다. 규칙 언

어는 저수지/하천 시스템 운영 규칙에서 유연성을 제공하기 위해 설계된다. 최적화는 세 번째 대체 접근 방법으로 선형 계획법(linear programming)은 선점 목표 계획법 (preemptive goal programming)과 결합되어 있다. RiverWare에서 최적화 제약 편집기와 표현 언어는 모델 사용자가 선형계획법에 익숙하지 않아도 필요한 입력 정보를 입력할 수 있도록 설계되어 있다. 목적함수와 제약조건들은 저수지 수위, 유량 혹은 방류 같은 물리적 변수와, 순 교대비용, 사용된 에너지의 미래가치, 방류 비용, 대체 전력 자원 비용 같은 경제적 변수를 이용하여 표현된다.



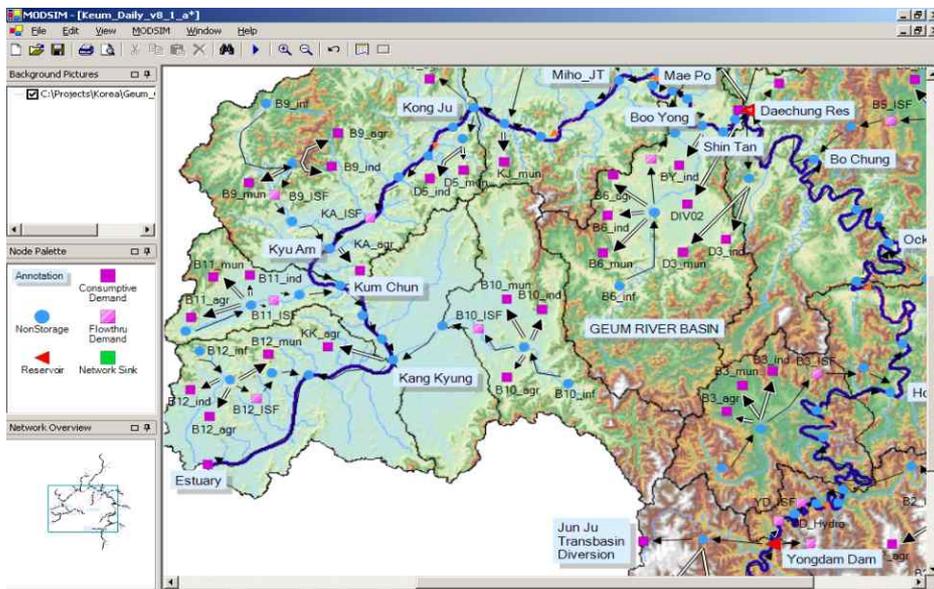
<그림 2-16> RiverWare 예 (Singh and Frevert 2006)

자료: 이상기후 및 가뭄대비 지속가능한 용수배분 시스템 개발

라) MODSIM

MODSIM은 포괄적인 저수지/하천 관리의사결정 모델로, 1978년부터 Colorado State University의 Dr. Labadie에 의해 개발되었으며 미 개척국과 다른 agency의 지원 하에 지속적으로 보완되고 있으며 네트워크 흐름을 근거로 한 물 배분 모형이다. 모델은 월별, 주별, 월별 모의를 지원할 수 있으며, 수자원은 사용자가 정한 우선순위에 의해서 배분된다. 사용자는 분수(diversion), 유입량, 수력발전, 목표 저수량뿐만 아니라 각각의 상한과 하한을 지정할 수 있다. 또한 MODSIM 8.0의 변형을 통해 금강유역에 사용자들의 물 부족과 배분 규칙을 고려하여 물 규칙과 기관들의 구성

체제를 모의할 수 있는 K-modsim이 개발되어 있다 (Labadie et al. 2000, 2006). MODSIM은 장시간 운영 계획, 일시적인 가뭄에 대한 계획, 수자원 권리 해석 그리고 도시, 농업, 환경적 측면 사이에서의 분쟁을 해소하기 위해 광범위한 수자원관리를 위해서 개발되었다. MODSIM은 그래픽 유저 인터페이스 (GUI)가 개발되어 있으며, 입력 파일과 규칙, 결과 파일들은 다른 모형들과 쉽게 결합할 수 있다. MODSIM의 GUI는 공간 데이터베이스 능력을 제공하고 있으며 사용자는 하천 유역 네트워크를 만들거나 연결시킬 수 있다. 지금까지 MODSIM은 지하수 모형인 MODFLOW와 연계했거나, 수질 모형인 QUAL2E-UNCAS나 QUAL-2E, 그리고 저수지 수질 모형인 HEC-5Q과 수중생물 모형인 SALMOD와 결합해서 통합적 수질, 수량, 생태 모의에 사용되어 왔다. MODSIM은 Muskingum-type 라우팅을 백라우팅 방법으로 사용하고 있으며 복잡한 수권의 우선순위를 결정함으로써 사용자가 수권을 저수지 운영에 적용할 수 있도록 설계되었다.



<그림 2-17> GUI에 기반 MODSIM 적용 예 (Labadie 2006)

자료: 이상기후 및 가뭄대비 지속가능한 용수배분 시스템 개발

MODSIM은 네트워크 유량 프로그래밍에 기초하여 복잡한 수자원 관리

와 분배 시스템을 모의하기 위해 설계되었는데 목적함수는 우선순위와 비용 계수에 의해 곱해진 각각의 연결에서의 유량을, 네트워크에 의한 모든 연결의 합으로 되어있다. 계수는 달러의 단위나 상대적인 운영 우선순위를 간단히 반영하는 것보다는 물리적인 중요성이 없는 일반적인 숫자로 되어있다. 제약은 각 네트워크의 노드 등에서 물 수지를 보존하는 방정식을 포함하며 최적화 알고리즘은 각 모의 시간 간격별로, 모든 제약을 만나는 목적함수들을 최소화한다.

마) WRAP

WRAP (Water Right Analysis Package)은 미 지질조사국(USGS)와 텍사스 수자원국 (Texas Water Resources Institute)의 감독아래 텍사스 A&M 대학에서 1980년대 중반에 개발되었다. 모델은 1997년부터 2002까지 텍사스 주 환경평가 위원회(Texas Commission on Environmental Quality, TCEQ)의 지원 아래 텍사스 수자원 가용성 모델링 시스템의 시행과 결합하여 확장되었으며, USACE 포트워스 지구 또한 모델을 2001년 이래로 향상시켜 왔다. WRAP은 우선순위에 근거한 물 배분 시스템에 의해 여러 유역지역 혹은 하천유역의 수자원 관리를 모의한다. 수많은 물 사용자와 분할하는 수자원 관리 시설들 사이의 광범위한 상호교환을 모의할 수 있다. 텍사스 WAM 시스템에서 시행했던 원래 모델은 수문학적이고 제도적인 물 가용성 평가와 상수도 분배, 필요한 환경 유량, 수력발전, 저수지 저수량의 신뢰도를 월별 단위로 모의하기 위해 설계되었다. 모의 모드는, 단일 장기 모의, 보장 공급량으로 끝나는 공급-신뢰도 표 개발을 위해 특정 목표로 수정되는 자동 반복 모의, 그리고 같은 초기 저장 조건으로 시작하여 많은 단기 모의를 통한 따른 조건부 신뢰도 모델링으로 구분된다.

WinWRAP은 MS windows에서 실행되는 인터페이스로서 데이터 파일과 WRAP 프로그램과 MS 프로그램을 연결해주는 편리한 사용자 환경을 제공한다. WinWRAP은 편집능력이나 그래픽 능력이 없지만 입력 파일은 일반적으로 MS excel이나 메모장 혹은 MS Word에서 편집된다. 모의결과는 HECDSSVue 또는 Excel로 그리거나 다룰 수가 있고 ArcGIS 또한 입력데이터와 모의 결과를 보여주기 위해 WRAP 에 적용되어 왔으나, 특별한 데이터 인터페이스 없이 데이터 파일과 연결된다.

바) PowerSim

Powersim Studio는 Powersim Software에서 개발한 객체지향적인 동적 모형(object-oriented system dynamic model)으로서, 일반적인 동적 모형 개발을 위해 개발되었다. 이 모형은 시간에 따라 달라지는 상태를 모의하거나 상호 연결되어 있는 입력 자료의 변화를 통한 동적 모의가 가능하다. 이는 매우 편리한 사용자 인터페이스를 가지고 있어서 모형을 처음 접하는 사용자라도 짧은 시간에 모형의 구조를 파악할 수 있다 또한 스프레드 프로그램, Visual C++, Visual Basic, 웹 프로그래밍 언어등과 연계가 가능하므로, 모형의 응용 확대가 용이하다. 객체지향적인 모형은 교육, 경영, 과학, 공학 등 여러 분야에 응용가능하며, VENSIM, STELLA 등 여러 비슷한 모형들이 개발되어 있다. 그러나 일반적인 동적모형이 개발을 위한 모형이므로, 사전에 제공되는 루틴이 없어서 모든 것이 처음부터 개발되어야 한다는 단점이 있다.

사) Stella

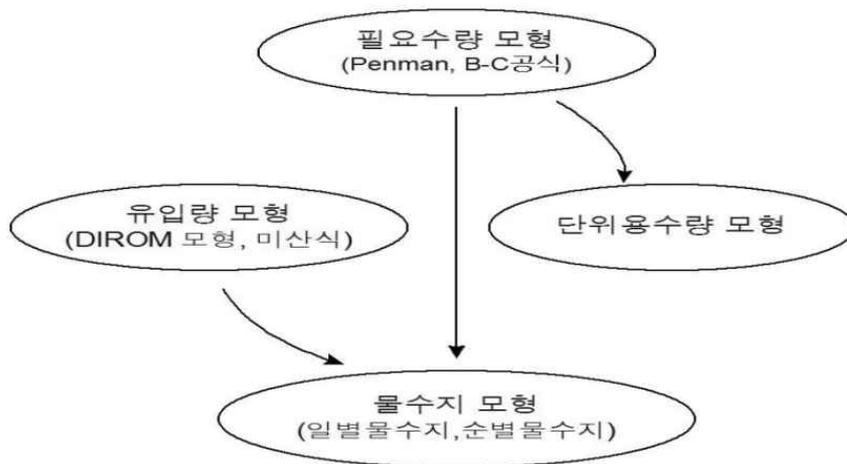
Stella 모형은 미국을 비롯한 다양한 국가에서 이용되어지고 있는 모델로써, 강력한 사용자와의 호환성(User Interface)으로 물관련 당사자들의 참여를 도모할 뿐 아니라 여러 가지 선택적 대안(Alternatives)을 제시함으로써 최적해법을 제시하게 된다. 특히 스텔라 모형은 수자원관리모형으로 미국 워싱턴주(Washington)를 비롯한, 오레건 (Oregon), 버지니아 (Virginia), 서버지니아(West Virginia), 캔사스(Kansas), 미주리 (Missouri), 그리고 메사추세츠(Massachusetts)주등에서 성공적으로 적용이 되어졌으며, 이 모형의 장점은 많은 사람들이 서로서로 의견을 교환하고 대책을 수립할 수 있는 동적상호의견교환(Interactive Communication)이 가능하다는데 큰 의의를 둔다 특히 정책적인 대안까지 제시할 수 있는 모형이다.

2) 국내 농업용수 운영 모델

국내에서 주로 사용되고 있는 모델은 농업용저수지의 설계를 목적으로 수리시설모의조작시스템(HOMWRS)이 현업에서 대부분 사용되고 있으며, 실제 수리시설의 운영과 관련해서는 농업용수자동화사업(TM/TC)의 운영을 위한 TM/TC 용수공급량 산정 프로그램과 독높임저수지에 대한 운영을 위해 독높임저수지 운영시스템(AROS)가 있다.

가) HOMWRS

농업용수관련한 설계목적으로 수리시설물 모의조작 시스템 (Hydrologic Operation Model for Water Resources System, HOMWRS)을 주로이용하고 있다. HOMWRS는 김현영 등 (1988)에 의해 개발된 모형(Daily Irrigation Reservoir Operation Model, DIROM) 을 기반으로 한국농어촌공사에서 개발한 모형으로, 농업용저수지에서의 농업용수 공급계획을 수립하기 위한 유역 유입량, 관개 필요수량, 물수지 분석 및 단위 용수량 산정이 일련의 통합된 시스템 내에서 구현하여 농업용저수지 설계에 필요한 수문정보를 제공하는 프로그램이다.



<그림 2-18> HOMWRS 모형의 구조

자료 : 수문자료 이용실무, 2003

HOMWRS는 유역유입량 모형, 필요수량 모형, 단위용수량 모형, 물수지 모형 등 4개의 세부모형으로 구성되어 있으며, HOMWRS 구조는 가지야마 공식 또는 Tank 모형을 이용하여 저수지 상류유역 유입량을 모의하며, 필요수량 산정모형을 통해 농업용수 공급량을 모의하여 저수지 물수지 분석을 수행하여 저수지 조작 운영이나 수리구조물 설계에 이용되어 왔다. HOMWRS는 단순한 모형을 적용함으로써 사용이 편리한 반면, 유역 및 호소에서의 수질에 대한 고려가 없고, 집중형 모형으로 공간적 분포 특성 고려에 미흡한 측면이 있으며, 일단위 또는 순단위 기반 모의만 가능하다.

○ 적용범위

- 다양한 영농방식을 고려한 관개계획수립에 활용
- 일별 필요수량 및 단위용수량 산정모형의 개발
- 관개계획을 위한 수리시설모의조작시스템의 개발(HOMWRS)

○ HOMWRS를 활용한 적용 모델

- 유역 유입량 산정 : DIROM모형 및 梶山(가지야마)식
- 관개 필요수량 : Penman식 및 B-C식(직파재배 고려)
- 발관개 필요수량 : Penman-Monteith식
- 물수지 : 일별(Penman식, DIROM모형) 및 순별(Blaney-Criddle식)
- 단위용수량 산정 : Penman식 및 B-C식
- 밭 최대증발산량 산정 : Penman-Monteith식

○ 주요기능

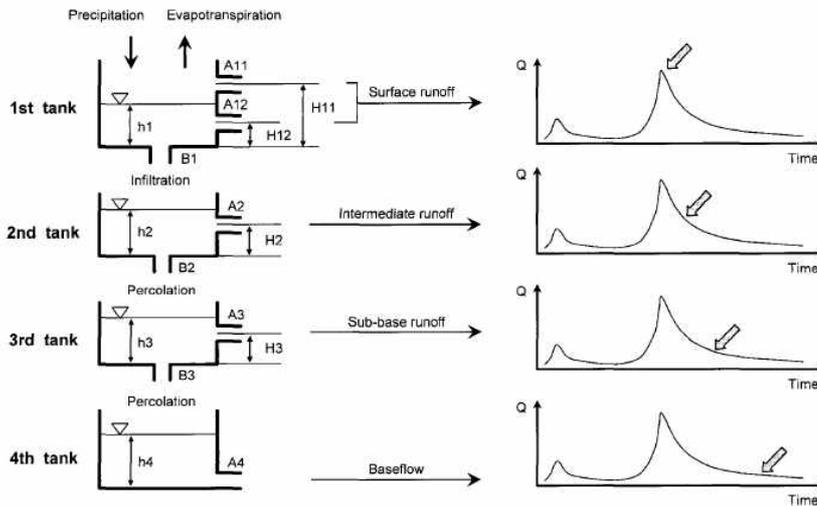
- 기상관측소 현황 및 강수량, 온도 등 6개 기상요소와 지역별 작물 계수를 DB화하여 관리
- 기후변화 모형에서 도출된 미래 기상자료 값을 DB자료로 활용하여 향후 변화추이 분석

(1) TANK모형

Tank 모형은 강수량, 증발산량, 유출량 자료만으로 유출분석이 가능하며, 저류탱크의 수에 따라 단기유출 뿐 아니라 장기유출분석도 가능하다. 일반적으로 일단위 장기유출분석에는 직렬 3단 Tank 모형이 적용되는데, Sugawara(1972)는 많은 일본의 유역들에 적용하여 4단 Tank 모형이 일 단위 유출분석에 적합하다고 제시하였다. 4단 Tank 모형에서 상단의 두 탱크는 빠른 강우-유출응답을 표현하며, 하단의 두 탱크는 느린 응답을 모의한다. Tank 모형에서 첫 번째 탱크는 강수에 의해 저류고가 증가하고, 측면 및 바닥 유출공을 통해 유출과 침투를 모의한다. 하부의 저류탱크들은 상류단 탱크의 바닥 유출공에서 유입되는 유입유량에 지배를 받는다. 4번째 탱크의 경우 세 번째 탱크로부터 유입량을 받으며, 매개변수가 단지 저류고와 유출공 계수 두 개뿐이다. 이 탱크의 저류고는 세 번째 탱크의 침투량에 의해 증가되고 측면 유출공계수와 저류고의 곱으로 계산되는 유출량에 의해서만 감소한다.

유역에서 일유출량은 식(2-1)~(2-4)에 의해 계산된다. 여기서 R은 각 탱크의 측면유출공으로부터의 유출고(mm/day)를 나타내며, I는 하부단 탱크로의 침투고(mm/day), P는 강수량(mm/day), E는 증발산량(mm/day),

Q는 하루 동안 모의유량(m^3/sec)을 뜻한다. n은 상부로부터의 탱크 개수, t는 유출계산 시작일로부터 현재까지의 계산 일수를 나타낸다. A(n,x)와 H(n,x)는 n번째 탱크의 x번째 측면유출공계수(1/day)와 유출공높이(mm)를 나타낸다. 첫 번째 탱크에서만 x=1, 2이고, 나머지 탱크에서는 x=1이다. B(n)는 하단탱크로의 침투 및 침투공 계수(1/day), h(n,t)는 각 단의 저류고(mm)를 의미하며, A는 5개, B 3개, H 4개, h 4개로 총 매개변수의 수는 16개이다. 각 단의 A, B 및 H는 유출계산시 변하지 않는 고정 매개변수이며, h는 시간에 따른 저류량의 변화를 나타내는 변수로서 계산 시작시점에만 지정하도록 되어 있다.



<그림 2-19> Schematic diagram of Tank model

$$R(n,t) = A(n,x)(h(n,t)-H(n,x))$$

for $h(n,t) > H(n)$

$$R(n,t) = 0$$

for $h(n,t) \leq H(n)$

$$I(n,t) = B(n)h(n,t)$$

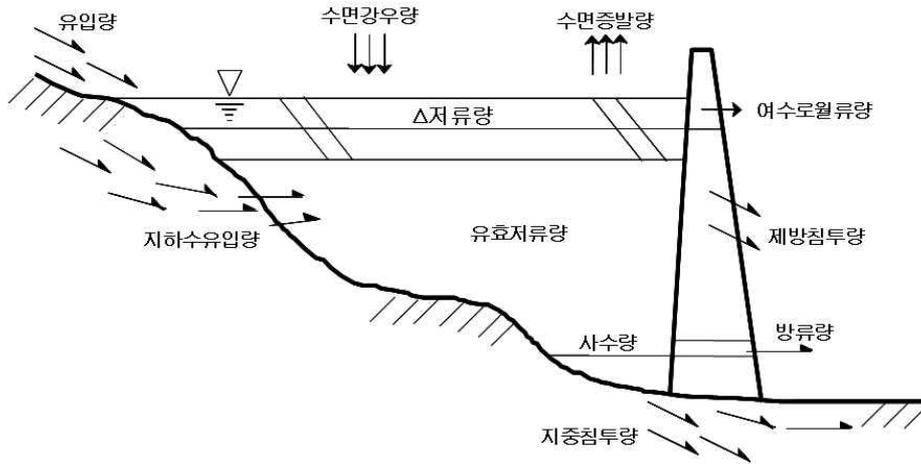
$$h(n,t+1) = h(n,t) - P(t+1) - E(t+1) - R(n,t) - I(t)$$

$$\text{for } n=1, \quad h(n,t+1) = h(n,t) - R(n,t) - I(n,t) + I(n-1,t)$$

for $n= 2,3, \text{ and } 4$

$$Q(t) = \frac{Aw}{86.4} \sum_{n=1}^4 R(n,t)$$

물수지 분석을 위해서는 매일 매일의 강우량에 따른 담수지 유역으로부터의 유입량 중 저수지로의 펌핑가능량을 분석해야 하며 이와 함께 소비수량도 일단 위로 산정하여 담수지 및 저수지의 용량을 결정해야 한다.



<그림 2-20> 저수지에서의 물수지 구성

저수지에서의 물수지 구성을 나타낸 것으로 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + P_t + U_t - (R_t + O_t + E_t + G_t + D_t)$$

여기서, S 는 저수량 (Storage), I 는 유입량 (Inflow), P 는 수면강수량 (Precipitation), U 는 지하수유입량 (Underground inflow), R 는 방류량 (Release), O 는 여수로월류량 (Overflow), E 는 수면증발량 (Evaporation), G 는 지중침투량 (Percolation), D 는 제방침투량 (Dam seepage) 및 t 는 일 (day)이다.

지하수유입량, 지중침투량 및 제방침투량은 실측이 거의 불가능한 요소들이다. 특히 지하수 유입은 수문 관측지점에서 지표수로 측정되거나 그 변화가 월단위 이상이기 때문에 일단위와 같이 매우 단기간의 물 수지에 있어서는 고려의 대상이 되지 않는다. 또한 지중침투량은 댐 계획시부터 누수를 방지할 목적으로 지수벽을 설치하므로 이로 인토 누수량은 매우

적거나 무시할 수 있다. 따라서 이러한 양은 매우 적거나 단기간의 물 수지에 영향을 미치지 않는다고(김현영 등, 1986). 그래서 HOMWRS의 물수지 분석은 현재 3단 TANK의 물수지 분석 구조이다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + P_t - (R_t + O_t)$$

(2) 필요수량

HOMWRS에서 필요수량을 산정하는 내용이다. 농업용수 수요량은 논용수 + 밭용수 + 축산용수로 구성된다. 이중 논용수는 수리답과 수리불안전답으로 구분된다.

- 수리답: 이앙재배, 담수직파, 건답직파
- 수리불안전답: 이앙재배

논에서 벼가 필요로 하는 수량은 다음 식과 같다. 단위면적당 필요수량은 증발산량과 삼투량을 합하고 논에서 이용되는 유효우량을 감하여 구하게 되며, 삼투량은 토양의 종류, 지하수위 등에 의해 영향을 받으며 증발산량은 작물의 종류 및 당일의 기상여건에 의해 변화하고 유효우량은 강우량의 유무 및 대소에 영향을 받게 된다.

$$\text{필요수량} = \frac{(\text{작물소비수량} + \text{삼투량} - \text{유효우량})}{(1 - \text{수로손실})}$$

기상자료로부터 작물 증발산량을 산정하는 방법에 대한 연구는 국내외에서 오래 전부터 수행되어오고 있으며 우리나라에서는 60년대 이후 Blaney-Criddle식이 주로 사용되어 왔으나 최근에는 Penman식도 많이 사용하고 있는 실정이다. Penman공식에 의한 증발산량의 산정은 다음 식과 같다.

$$ET_0 = C [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)]$$

여기서, ET_0 : 잠재증발산량(mm/day), W: 기온과 관련된 하중계수, R_n : 순일사량(mm/day), $f(u)$: 풍속과 관련된 함수, $e_a - e_d$: 평균기온에서

포화수증기압과 공기의 평균실제수증기압과의 차이, C: 주야의 기상조건에 따른 효과를 보정하기 위한 조정계수이다.

HOMWRS에서는 증발산량을 산정하기 위해 수정 Penman식 (Doorenbos & Pruitt, 1977, FAO-24)을 적용하도록 하였으며 순별증발산량을 산정하기 위해서는 Penman식과 Blaney-Criddle 식을 모두 적용할 수 있도록 하였다.

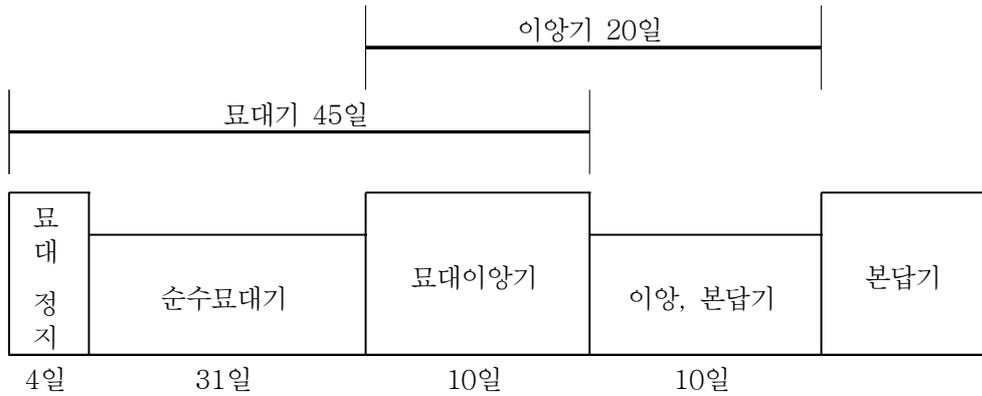
(표 2-24) 작물계수 정보

구 분		중부		남부	
		이양재배	건답직파	이양재배	건답직파
4월	상순	0.00	0.00	0.00	0.00
	중순	0.56	0.56	0.56	0.56
	하순	0.56	0.56	0.56	0.56
5월	상순	0.56	0.56	0.56	0.56
	중순	0.56	0.56	0.56	0.56
	하순	0.75	0.75	0.56	0.56
6월	상순	0.95	0.95	0.75	0.75
	중순	1.06	1.06	0.95	0.95
	하순	1.09	1.09	1.06	1.06
7월	상순	1.17	1.17	1.09	1.09
	중순	1.39	1.39	1.17	1.17
	하순	1.53	1.53	1.39	1.39
8월	상순	1.58	1.58	1.53	1.53
	중순	1.47	1.47	1.58	1.58
	하순	1.42	1.42	1.47	1.47
9월	상순	1.32	1.32	1.42	1.42
	중순	1.32	1.32	1.32	1.32
	하순	0.00	0.00	0.00	0.00

(3) 작부시기의 적용

HOMWRS에서의 작부시기는 재배방식별, 지역별로 입력된다. 작부시기는 각 재배양식의 값을 적용하며 이양재배의 경우 현장조사를 통해 작부시기를 적용한다. 작부시기는 묘대기정지, 묘대기, 이양기와 본답기로 구분된다. 이양재배는 작물의 생장에 따른 시기별로 용수수량이 달라지게 되며 이를 시기별로 살펴보면 묘대기, 이양기, 본답기 등이 있다. 묘대기

는 못자리에서 묘를 키우는 과정이며 이앙기는 못자리에서 본답으로 옮겨 심는 과정이고 이때 이앙일수는 벼의 재배체계, 씨레질 또는 이앙을 위한 작업의 능률 등에 따라 정하며 일반적으로 15~20일 정도이다.



<그림 2-21> 이앙재배시 작물 재배 기간 (농림부, 1998)

(4) 포장관리 자료

포장조건 및 수로조건에 대한 자료로는 삼투량(mm/day), 수로손실(%), 최대담수심(mm), 상시관리 담수심(mm) 등에 대한 자료가 필요하다. 삼투량은 작물 소비수량의 구성요소이며 최대담수심 및 최소담수심은 단일필지 논 물수지에 의한 유효수량 및 필요수량을 산정하기 위한 자료이다. 수로손실 자료는 관리용수량을 산정하여 수원공에서 총 필요수량을 결정하게 된다.

(5) 유효수량의 산정

유효수량은 논에 내린 강우가 관개기간 중에 논에 남아 이용되는 수량으로 강우량, 강우강도, 지세, 흙의 투수성, 비가 오기전의 토양의 함수량 등에 따라 달라지게 된다. 일반적으로 유효수량은 논에서의 일별 담수심의 변화를 고려하여 결정하며, 일별 담수심의 변화는 단일 필지에서의 물수지식을 이용하여 산정한다.

HOMWRS에서는 60mm 담수심법에 의해 유효수량을 산정하도록 하였다. 밭관개는 윤환블록(Rotation Block)에 따라 간단관개를 하기 때문에 유효수량, 관개수량의 계산은 원칙적으로 일계산을 하는 것이 보통이다. 유효수량의 산출방법은 다음과 같다.

- 강우량(R)에 0.80을 곱한다. $0.80 \times R$ ($R < 5\text{mm}$ 일 때 $R=0$),
- 유효우량의 상한치(RO)는 총신속유효수분량(TRAM)에서 강우 직전에 있어서 밭의 수분보유량(유효수분량)을 빼어서 산출한다.

$$RO = (TRAM - \text{강우 직전의 유효수분량})$$

- 유효우량 결정

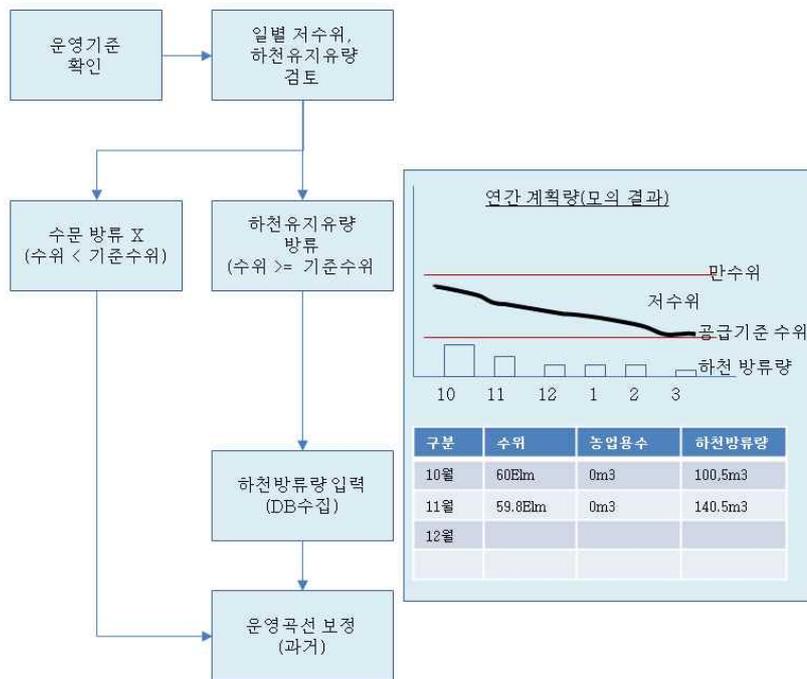
- ① $RO \geq 0.80R$ 일 때, 유효우량 = $0.80R$
- ② $RO < 0.80R$ 일 때, 유효우량 = RO

나) 저수지 운영관리 시스템(AROS)

농업용저수지의 운영·관리를 위하여 개발된 농업용저수지 운영관리프로그램(AROS)은 기존 HOMWRS 물수지 방식에 의한 수리시설모의조작기반으로 WEB 환경으로 개발되어 졌으며, 운영을 위한 예측 모형이 추가로 탑재되어 있다. 현실적인 저수지 운영관리를 위해 비관개기, 관개기, 홍수기의 운영 프로세스를 새로이 정의하였다. 또한 물수지분석 및 운영계획 모의를 통하여 일별, 월별 공급 계획량을 도출하며, 사업지구 운영담당자는 계획량을 토대로 물을 공급하게 된다.

(1) 저수지 운영관리 업무흐름도

저수지 운영관리 업무는 저수지 공사계획부터 저수지 공사, 사업 준공, 운영의 순으로 이루어지며, 운영은 종합상황실, 본부/지사, 사업지구 운영담당자의 업무가 구별되어진다. 종합상황실에서는 제한 수위 기준 및 저수지 운영 기준을 작성한다. 본부/지사에서는 물수지분석을 통하여 일별, 월별 공급 계획량을 도출하며, 사업지구 운영 담당자는 계획량을 토대로 물을 공급하게 되어있다. 총괄 업무흐름도는 아래와 같다.



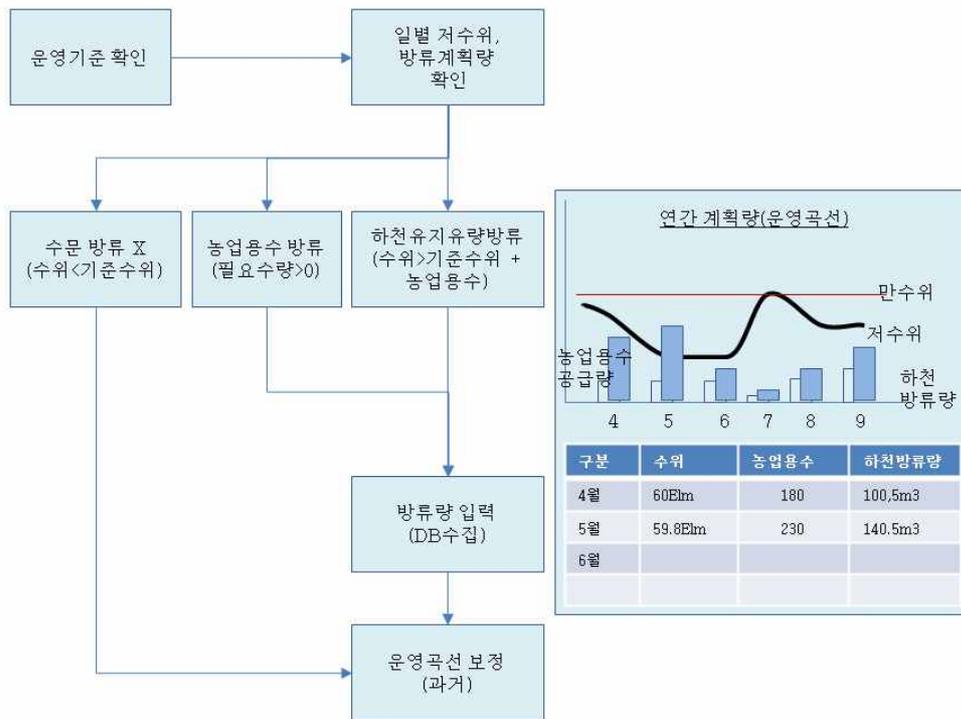
<그림 2-22> 비관개기 운영

(2) 비관개기 운영

비관개기 운영은 일별 저수위, 하천용수를 확인하여 공급여부를 결정한다. 저수위가 기존 기준수위 보다 높은 경우 하천유지유량을 공급하며 공급된 하천유지유량의 실측치(계측데이터)를 축적하여 향후 검증 및 가이드라인 제시를 위한 근거자료로 활용한다.

(3) 관개기 운영

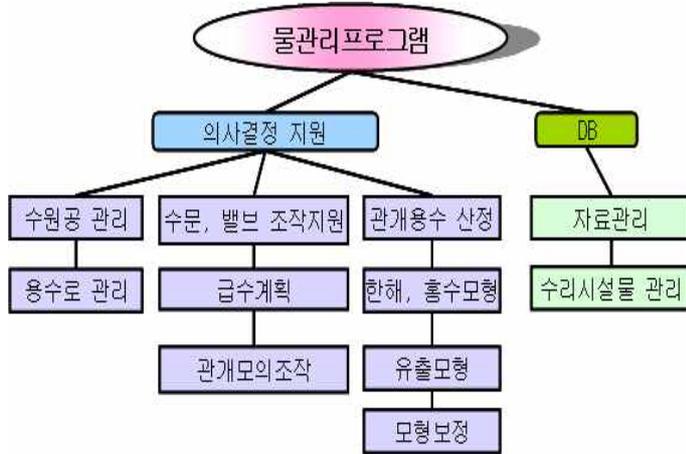
관개기 운영은 일별 저수위, 농업용수, 하천유지용수를 확인하여 공급여부를 결정한다. 저수위가 기준수위 보다 높은 경우, 농민의 요구에 의한 농업용수 공급, 저수위가 농업용수 필요수량을 충족하면서 기준수위보다 높은 경우에 대해 하천유지용수를 공급한다. 하천유지유량 및 농업용수 공급량의 실측치(계측데이터)를 축적하여 향후 검증 및 가이드라인 제시를 위한 근거자료로 활용한다.



<그림 2-23> 관개기 운영

다) TM/TC 운영프로그램

TM/TC 운영 프로그램은 저수지 등 수원공 및 배수시설과 평야부의수로 조직을 통하여 필요한 곳에 필요한 양의 용수공급 및 배제를 파악하고 조절하기 위한 의사결정지원 시스템이다. 프로그램의 목적은 물관리 자동화 지역의 효과적이고 경제적 운영을 위한 프로그램으로 현장에 설치된 원격소장치(RTU)를 통하여 용수공급상태에 대한 데이터를 수집하고, 수집된 데이터는 자체 데이터베이스에 저장하고, 데이터베이스에 저장된 데이터를 기반으로 효율적인 물 관리를 위하여 수원공에서 물을 공급하기 이전에 물에 대한 수용을 정확히 예측하는 연산을 수행하고 운영자에게 그 정보를 제공하는데 있다.



<그림 2-24> TM/TC 운영 프로그램 시스템 구성도

TM/TC 운영 프로그램 주요 기능은 다음과 같다.

(표 2-25) TM/TC 운영 시스템 주요기능

주요기능	세부내용
○ 용수로 기능	○ 용수로 시설제어를 위한 유량관리 ○ 용수로 수리계산 프로그램
○ 자료관리 기능	○ 측정, 제어, 계산 자료 수집, 저장 ○ 자료의 기간별 편집 및 출력
○ 관개용수산정 기능	○ 관개지역 필요수량 산정프로그램 ○ 용수계통의 물수지 해석
○ 급수계획 기능	○ 물 수급에 따른 급수계획 프로그램
○ 관개모의조작 기능	○ 관리자의 의사결정 지원
○ 수문, 밸브 조작지원기능	○ 기상 상황에 따른 수문, 밸브 조작
○ 유출모형	○ 장, 단기 유출량 산정
○ 수원공 관리 기능	○ 장, 단기 유출량 예측에 의한 물수지 산정
○ 한해 및 홍수유출 모형	○ 한해대책프로그램 ○ 홍수대책프로그램
○ 수리시설물관리시스템	○ 지사 수리시설물 관리 ○ 시설물운영 이력관리

TM/TC 운영프로그램의 주요 기능은 시설이 설치된 시설물 리스트와 해당지점의 관개상황을 파악할 수 있으며, 관개량 인자로 시설물별 관개 면적(논, 밭), 수로손실, 삼투량 등이 표시가 된다. 또한 수로손실(%), 삼투량(침투량 mm/day) 부분은 사용자가 수정가능하며, 전국티센망도에서 선택한 해당지구 관측소의 누적강우량을 표시하여 수위에 따른 실제 관개량을 산정하기 위해 Manning공식과 Rating Curve(수위-유량관계식)를 선택 가능하며, 관개량 산정 결과는 그래프로 표시하고 있다. 필요관개량은 실제 용수공급된 관개량이 아닌 이론식에 의한 추정 관개량에 대한 산정 결과를 나타내며, 추정된 필요수량은 실제공급량과 비교(공급시기/공급량)를 통해 수요대비 공급효율 및 공급계획을 수립한다.

나. 자율학습 기술의 물관리시스템 도입범위 분석

국내·외 물관리 프로그램 분석결과 현장에서 발생하는 상황을 정확하게 파악하기 위해 모든 프로그램은 각각의 모델을 개발하거나 과거의 이론을 사용한 프로그램을 개발하고 있다. 미국의 경우 물 이용에 대한 의사결정방법으로 모델 프로그램을 활용하는데 MODSIM(모델링&시뮬레이션)과 STELLA(공영시각모형)모형이 가장 많이 사용하고 있다. 또한 호주 머레이달링 유역의 물관리를 위해 24개 수문학적 모델 통합시스템(IRSMF)을 개발하여 이용하고 있는 등 현재 물관리 상황을 정확하게 파악하는 것이 설계 및 운영방법을 수행하는데 있어서 가장 중요한 사항임에는 틀림없다. 국내의 경우 현재 농업용수와 관련 프로그램은 대부분 농업용수의 공급 및 배수 계획을 수립하기 위한 산정프로그램이지 운영관리를 목적으로 만들어진 프로그램은 아니다. 저수지 운영관리 시스템(AROS), TM/TC 운영프로그램의 경우는 실제 수리시설의 운영을 목적으로 만들어졌지만 저수지 유입량 계산과 필요수량(조용수량) 계산방식은 설계목적의 HOMWRS에 사용된 방식과 동일하기 때문에 실제 현장에서 발생하는 상황을 모델로 구현하는데 한계점이 발생한다.

1) 공급량 산정방식

현재 농업용수 공급량 산정방식은 「단위용수량-필요수량」 산정을 통해 해당지역의 농업용수 수요량산정을 기초로 하여 관리수량을 더하는 방식으로 농업용수 공급량을 산정하고 있다. 이러한 수요량을 기준으로 하는 공급량 산정방식에서 정밀도에 가장 크게 영향을 주는 요인은 수로의 손

실부분이다. 기존 프로그램의 경우 손실부분은 수요량산정 프로그램에는 산정방법이 없으며 운영프로그램의 경우도 대부분 사용자(유지관리자)가 입력을 하도록 구성하고 있는 문제점이 있다. 특히 손실량 추정에 있어서 가장 큰 손실이 발생하는 곳은 단위 논이다. 수요량 산정방식에 있어서는 작물이 필요로 하는 단위용수량을 기준으로 담수심을 결정하여 그 수량을 추정하도록 되어 있는데 실제 논에서는 대부분 적절하게 물꼬를 여닫지 않기 때문에 많은 수량이 손실되고 있지만 이를 반영하는 운영프로그램은 현재까지 없는 상황이다.

2) 시설물 운영방식

물관리 기관에서 현재 운영하는 물관리 방식은 수요자 주도형으로 즉, 수요자가 만족할 때 까지 공급하는 방식이다. 하지만 지금까지의 물관리 프로그램은 공급자주도형으로 실제 물관리방식과 차이가 많이 나고 있다. 수요자 주도형과 공급자 주도형의 가장 큰 차이점은 수요자주도형의 경우 물관리의 기준을 공급수로의 수위를 기준으로 연속관개의 경우는 해당기간동안 목표로 하는 수위가 유지되도록 공급하고 있으며 간단관개의 경우도 마찬가지로 목표로 하는 수위를 기준으로 공급하고 있다. 반면에 공급자 주도형의 물공급 프로그램의 경우는 목표수량을 바탕으로 관개계획을 수립하도록 설정되어 있기 때문에 실제 물관리에 적용하기가 어려운 상황에 있다.

물공급이 원활한 시기(평수기보다 수량이 많은 년도)에는 수요자 주도형 방식의 경험적 물관리방식이 유효하다. 하지만 물공급이 원활하지 못하는 가뭄년도에는 수요자 주도형 방식은 적합하지 않으며 또한 과학적 물관리 기반의 물공급을 정량적으로 하기 위해서는 공급자 주도형의 물관리가 맞기는 하지만 오랜 기간 동안의 물관리 관행을 한번에 바꾸기에는 사용자인 농민의 반발도 문제가 된다.

가장 이상적인 방법은 수요자 주도형의 경험적 물관리 방식을 프로그램 모델로 재현함으로써 현재의 공급량이 얼마가 되는지를 우선 파악해야 하고 가뭄 등의 물절약이 필요한 시기에 용수공급 계획을 수립할 수 있는 농업지역 평야부 물관리 프로그램이 필요하다. 따라서 농촌지역의 평야부 농업용수 관리를 목적으로 과학적이고 체계적인 프로그램을 제공하는 것이 현재의 상황 하에서 우선적으로 필요하다.

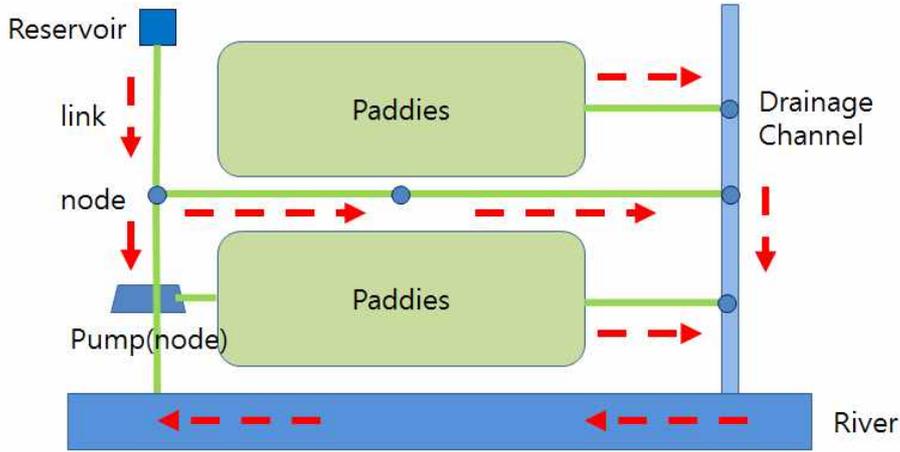
3) 데이터 기반 물관리시스템 도입범위 분석

수리시설모의조작 모델과 실제 용수로의 수문 운영방법(경험방식)에 따른 차이점 발생으로 운영자를 위한 관개방식의 기준정의를 필요하고 수문의 종류와 관개방식에 따른 개도율을 모델화하는 것이 필요하다. 기존 프로그램에서 미흡한 점과 함께 데이터기반의 물관리시스템이 갖춰야할 사항을 정리한 내용이다.

- 관개방식별 수문 운영방법
- 예측 모의(시뮬레이션)를 통한 공급가능량 산정방법
- 계측기 자동수집(RAWRIS 연계 데이터 활용)
- 담수심 목표높이별 공급량(수문개도율)
- 농민요구 요청수량(보충급수)에 대한 공급 방법

저수지 등 농업수리시설에서 공급된 관개용수는 용수간선, 용수지선, 용수지거를 통하여 포장으로 공급되고 포장에서의 잉여수는 배수지거, 배수지선, 배수간선을 통하여 하천으로 방류된다. 관개지구에서 용수의 적정분배를 달성을 목표로 용수의 무효방류 및 손실량을 최소화하고 관개공급량을 공급자 주도방식으로 산정하기 위해 용수분배의 동적계획을 모의할 수 있는 네트워크 모형이 필요하다. 네트워크 모형은 복잡한 유역과 용수공급 시스템을 노드와 링크로 구성되는 네트워크로 도식화하고 네트워크 알고리즘으로 최적화함으로써 농업관개구역에 필요한 공급량, 관개구간별 부족량 계산과 이를 이용하여 용수공급 우선순위 조정, 년 단위의 관개계획의 수립 등이 가능하다.

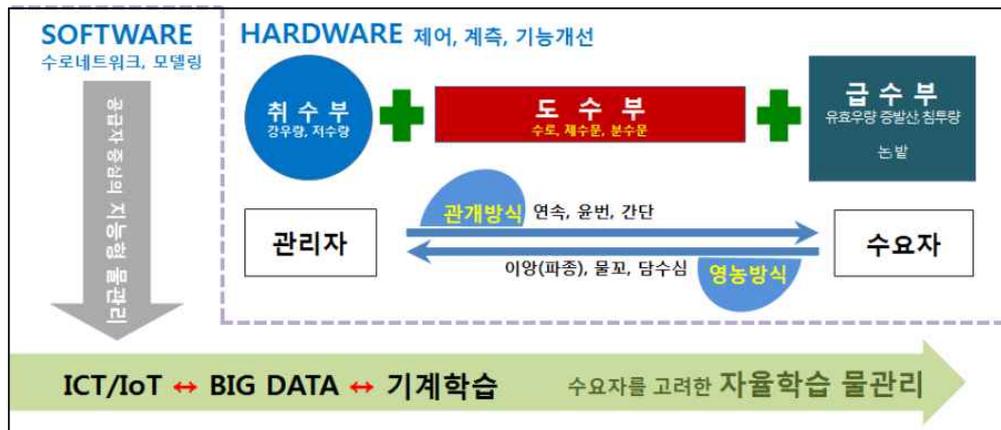
네트워크 모형은 복잡한 평야부 노선을 노드(node)와 링크(link)로 구성되는 네트워크 구축을 통해 한정된 용수를 해당 관개구역에 과학적이고 합리적으로 배분할 수 있으며, 일반적인 모의 모형에서 필수적으로 나타나는 시행착오 과정을 피할 수 있는 특징을 갖고 있다(김해도, 2015) 시스템의 물리적인 구성 요소 중 노드는 저수지, 양수장 등 수원공을 시작으로 노선이 분기되는 합류지점 및 관개구역의 단위필지 등 저류노드와 배수지점(하천 방류점), 중간 취수지점 같은 비저류노드로 구분되며, 링크는 노드와 노드를 연결해주는 간선수로, 지선수로 및 관로 등을 나타낸다.



<그림 2-25> 관개배수 시설의 네트워크 적용 예

자료 : 지능형 관개/배수 관리시스템 개발, 2015

본 연구에서 추구하는 데이터기반 물관리 기술의 도입범위는 수원공에서 급수지역까지의 물 흐름을 재현하는데 필요한 계측과 모델링 (Software), 그리고 물 공급에 대한 시설제어(Hardware)와 함께 관리자의 관개방식과 수요자의 영농방식도 데이터화 하여 물관리 운영시 반영해야 할 사항이다. 다음은 본 연구의 데이터기반 물관리 기술의 도입범위를 도식화 한 내용이다.



<그림 2-26> 데이터기반의 물관리기술 도입범위

4) 자율학습 기술의 물관리시스템 도입범위 분석

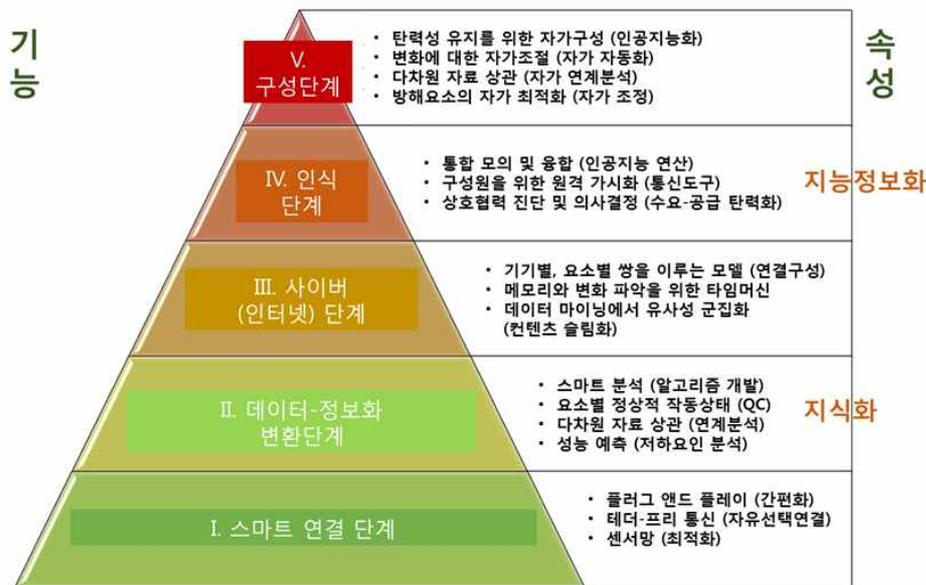
본 연구의 목적은 자율학습(Unsupervised Learning) 기술을 농업용수물관리시스템에 도입하기 위한 것으로 자율학습기술을 구현하기위한 우선적인 필수조건은 데이터기반의 지능형 물관리시스템의 구축이다. 자율학습 기술을 물관리시스템에 도입하기위해 단계별 도입범위를 정의하였다.

① 지능형 물관리

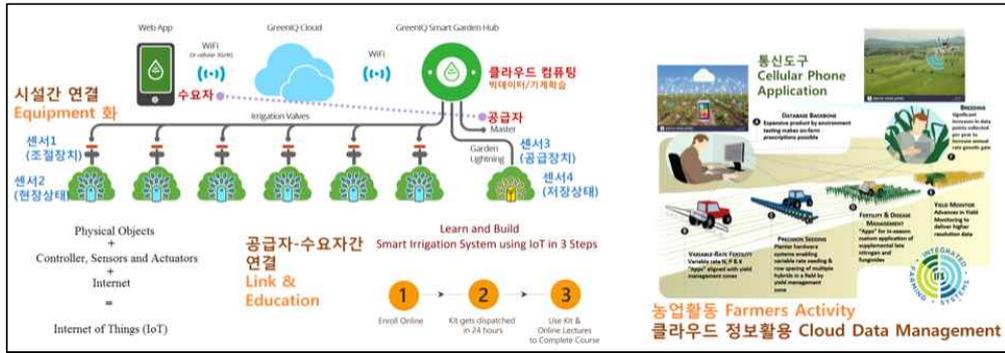
- 『취수-도수-급수』 과정 데이터화(GIS 네트워크 구성)
- 물관리 상황 재현(시물레이션) 모델 및 센서와 통신기능 구축
- 수요자, 공급자간의 인터넷 연결(ICT)을 통한 정보 공유체계 구축

② 자율학습 물관리

- 지능형 물관리 시스템을 통해 구축되는 시물레이션 데이터와 기존 공급방법의 시나리오를 데이터화 하여 기계학습을 통해 최적의 공급시나리오를 생성
- 지속적으로 수집되는 물 공급 데이터는 빅데이터가 되고 나아가 자율학습의 물관리시스템으로 발전



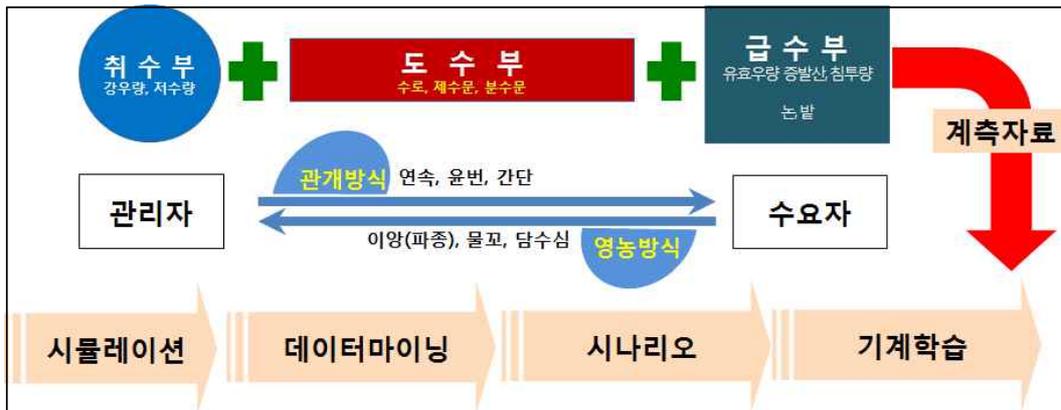
<그림 2-27> 자율학습 물관리 단계별 기능과 특징



<그림 2-28> 자율학습 물관리시스템 개념도

ICT/IoT 기술과 자율학습 기술의 농업용수 공급구조에 적용하는 방법은 공급과정을 「취수부→도수부→급수부」로 구분하여 각 단계별로 정의하였다.

- 취수부 : 인공신경망 모델을 이용한 방류량 및 저수율 시뮬레이션
- 도수부 : 수리학적인 모델을 이용한 용수공급 시뮬레이션
- 급수부 : 담수심 및 감수심 모델을 이용한 용수배분 시뮬레이션
- 관리자, 수요자 : 관개방식, 영농방식의 데이터마이닝을 통해 용수공급 시나리오 생산



<그림 2-29> 자율학습 기술의 물관리 구간별 도입방법

4. 기존 시설물을 활용한 자율학습 기술 적용방법 도출

가. 기존시설물 농업용수 공급시 변수

용수공급의 절차를 살펴보면 생육시기, 침투량, 손실율 등의 요소를 고려하여 용수공급을 위한 계획량을 산정하고, 평야부의 관개면적 및 용수공급량을 기초로 관개계획을 수립하게 된다. 이러한 관개계획을 기반으로 관개방식을 결정한다. 관개방식의 설정은 용수공급의 상황에 따라 지역별로 상이하다. 대부분의 지역은 관개수로 즉 용수간선을 기준으로 물을 공급하나 다른 지역에서는 하천에 용수를 공급하고 이를 취입보를 통하여 용수공급을 실시한다. 또한 관개의 방식 면에서는 연속관개, 간단관개, 운반관개의 방식으로 구분하여 설정하였다. 관개의 형태 또한 용수공급의 중요한 항목으로 관개의 형태에 따라 공급자 주도방식의 용수공급과 수요자 주도방식의 용수공급으로 나눌 수 있다. 현재 우리나라 농업용수의 사용에 있어 물관리 측면에서 과학적인 물관리 체계가 아닌 경험에 의한 관행적 물관리에 의해 용수의 과다 손실과 용수의 균등분배에 어려움이 발생한다. 따라서 기존의 관행적 물관리는 수요자 중심의 공급계획으로 볼 수 있으며, 공급자 주도의 용수공급은 저수지 수문조작을 영농시기 및 필요수량에 맞추어 공급하되 공급자의 공급량 산정에 기반을 둔다. 이는 수요자의 영농방식에 대한 고려가 부족하고 공급자 기준의 용수공급을 위해서는 수요자의 영농방식 및 물관리 관행에 대한 조사 및 고려가 필요하다. 수문의 조작은 전 구간 동시개문, 순차적 개문, 실시간 수문조작으로 분류할 수 있으며, 수문의 조작은 TC지구가 아닌 경우에는 일정한 수문 개방을 설정하여 두고 저수지의 취수량을 조절하는 것을 기본으로 하나 일부 수문의 경우에는 수위에 따른 조절을 수행하기도 한다. 하지만 현재의 관행적인 물관리는 저수지의 수문조작 인원이 1인인 지역이 대부분이므로 순차적 개문이나 실시간 수문조작은 추가적인 인력을 필요로 한다. 따라서 전 구간 동시개문이 현재로서는 적용할 수 있는 방법이다. 다만, 앞서 설명한 바와 같이 일부분의 중요 분기 구간의 수문인 경우에는 관개방식 및 관개량에 따라서 조절이 가능하다. 다음은 농업용저수지의 일반적인 수문을 나타낸 것이다. 일반적으로 수문은 항상 개방상태를 유지하고 있으며, 취수량의 조절을 통하여 관개방식을 결정한다.



<그림 2-30> 물관리 구간별 시설 및 수문의 상태

자료 : 지능형 관개배수 관리시스템 개발

관개방식의 측면에서 살펴보면 관개방식은 작물의 성장과 관계가 깊으며, 관개방식을 결정하는 요소로는 용수절약, 시설비 및 노력의 절감정도가 중요하다. 논에 관개하는 방식은 물이용의 측면에서의 관개방법은 다음과 같다.

1) 관개형태별 구분

가) 수요자 중심 관개

수요자 중심의 관개는 일반적으로 수요자의 요구에 따라 용수를 공급하는 방식이다. 따라서 농민이 작물에 물이 가장필요한 시기에 물을 사용할 수 있는 장점이 있으나 비용이 많이 들고 물관리에 있어 수요예측이 불확실한 단점이 있다. 따라서 시공과 유지관리에 높은 수준의 기술이 필요한 단점을 가지고 있는 반면, 운영상의 문제나 사회적인 문제를 감소시킬 수 있다. 주로 개수로 조직보다는 관수로 조직이 성공 가능성이 높다. 일반적으로 우리나라의 물관리는 공급자 중심의 개수로 조직에서 관행물관리를 기초로 한 수요자 중심의 물관리로 이루어지고 있으며, 물부족의 시기에

는 공급자 위주의 관개방식으로 전환된다.

나) 준 수요자 중심 관개

준 수요자 중심의 관개는 물이 필요한 시기 수일 전에 농민의 요구에 의해 해당 시기에 용수가 공급된다. 농민에게 공급되는 양은 관개면적에 의해 결정되어 지며, 이 방식에서는 정해진 양의 물을 공급하도록 되어 있다. 그렇지 않으면 공급자가 매 요구 시마다 공급에 필요한 시간과 양을 매번 계산해야하는 문제가 발생한다. 이 방식의 장점 중의 하나는 요구가 너무 많거나 가뭄인 경우에는 유회방식으로 물을 공급할 수 있다는 점이다. 그러나 소수의 수요자에 의해 물공급 요청이 있을 경우 배분 및 관리수량이 증가하여 비효율적 일 수 있다는 점이다.

다) 공급자 중심 관개방식

공급자 중심 관개는 수요자가 정해진 기간에 제한된 양의 물을 공급받는 형태로 일정 관개계획을 사전에 수립하고 이를 통하여 농업용수를 공급하는 경우이다. 이 경우 많은 지역의 급수구역을 한번의 관개로 용수를 공급할 수 있어 관개효율이 높은 장점이 있다. 공급자 중심의 관개는 다시 관개방식별로 유회방식과 연속방식으로 나눌 수 있으며, 이는 각 관개구역에 적합하도록 선택하면 된다. 선택의 기준은 수량이 풍부한 지역에서는 연속방식을 선택하고 수량이 부족한 지역에서는 유회방식을 주로 선택하게 된다. 연속방식은 전 관개 기간에 걸쳐 필요수량을 보충하기 위한 수량이 소량이지만 연속적으로 물을 공급하는 방식으로 방식이 간단하며, 물관리에 있어 많은 노동력을 필요로 하지 않는다. 그러나 관개효율이 낮다. 따라서 증발손실과 유출이 많이 발생할 수 있다. 또한 상/하류 간 용수에 대한 접근성의 차이로 인하여 물공급 형평성 문제를 발생 시킬 수 있다. 유회방식의 경우 운영의 측면에서는 아주 효율적이며, 운영은 용이하나 손실이 많이 발생 할 수 있다. 다만 정해진 순서에 의해 용수공급의 기간이 일정하고 따라서 용수공급기간에 수요자가 공급을 받지 못할 경우 추가적인 용수공급이 발생할 수 있어 공급자와 수요자간의 용수공급 규칙의 준수가 매우 중요하다.

2) 물이용 측면에서의 관개방법

가) 연속관개

연속관개는 관개기간 중에 물을 계속적으로 공급하는 방식으로 물을 충

분히 공급받을 수 있는 경우에 이용되며 누수가 많거나 수온조절이 필요한 시기 또는 산간지의 논에 내리 흘림식 관개를 하는 경우에 볼 수 있는 방식이다. 물관리가 용이한 반면 물의 낭비가 많고 비료성분의 용탈 및 유실이 큰 단점이 있다.

나) 간단관개

간단관개는 하루 또는 며칠 간격으로 관개를 하는 방식으로 한번 관개 한 후에는 수일간 담수, 수일간 낙수하는 방법이 쓰인다. 이는 관개용수를 절약하고 제한된 수량을 유효하게 이용하며, 작물의 건정한 성장을 기할 수 있는 장점이 있다. 이 방법은 주로 물절약이 필요한 지역에서 이용된다.

다) 윤번관개

윤번관개는 관개의 방식은 간단관개와 같으나 급수구역을 몇 개의 지역으로 나누고 순차적으로 관개하는 방식이다. 구분된 구역을 일정한 간격으로 물을 대주는 방법으로 용수원이 풍부하지 못한 지구에서 용수를 절약할 목적으로 오래전부터 실시하여 온 것이며, 이 방식을 채택하려면 먼저 경지정리가 되어 용수로 조적이 각 배미를 통할 수 있어야 효과적이다. 각 블록의 크기는 작물의 소비수량, 간단일수, 관개효율 또는 말단 포장유량에 의하여 결정된다.

라) 순환관개(환원관개)

순환관개는 논지대에서 배수로에 침투해 나온 물이나 재배 관리상 배수로에 버려진 물을 모두 받아서 다시 상류의 용수로 쪽으로 보내 이를 다시 관개하든가 취입보를 설치하여 하류부 용수로 보내서 다시 이용하는 관개방법으로 대부분은 관개후 하천으로 배수된 용수를 하류에 다시 취입보를 설치하여 재이용하는 방법이다. 이 방법은 용수, 배수가 분리된 지구의 경우 적합하다.

3) 수문조작의 방식별 구분

수문조작은 많은 노동력을 필요로 한다. 하지만 현재의 물관리방식은 대부분 관리자의 경험적인 물관리 방식으로 진행되고 있다. 따라서 관리자가 1인 정도인 점을 감안한다면 실시간 수문조작은 현실적으로 불가능하며, 대부분이 수문의 개방 정도를 고정한 후 취수량을 조정하는 형태로 물관리를 하며, 중요 수문에 대해서만 조절을 시행한다. 따라서 현실적인 여건을 감안한다면 현재 적용지역에서 수행되고 있는 물관리 경험방식을

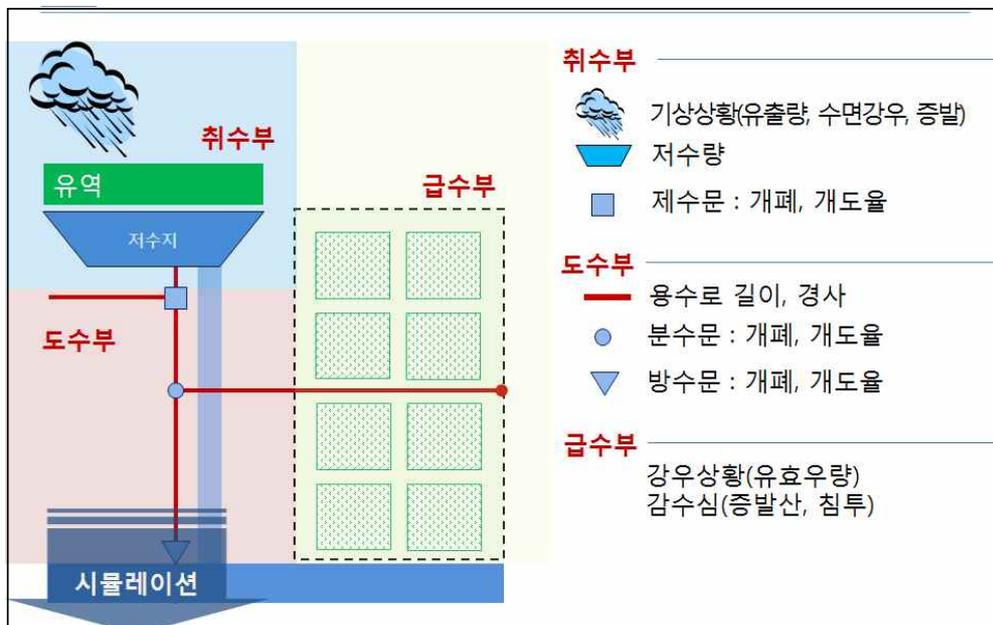
파악하는 것이 중요하다.

나. 물관리 구간별 자율학습기술 적용방법

1) 농업용수 공급시 물리적 변수도출

농업용수 공급 상황을 모델로 재현하기 위해서는 물관리구간별(취수, 도수, 급수)로 공급시 물의 수량과 도달시간이 바뀌게 되는 제어지점을 잘 파악해야한다. 본 연구에서는 물관리구별 물리적인 제어지점을 도출하였다. 물리적인 제어점은 물관리 구간에서 발생하는 물 흐름에 대한 변수를 의미한다.

- 취수부 : 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 제수문(개폐, 개도율)
- 도수부 : 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문
- 급수부 : 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량)



<그림 2-31> 물관리 구간별 물리적인 변수

지능형 물관리시스템 구축단계에서는 모델의 기초가 되는 GIS네트워크 설정과 노선상에 위치한 수리시설의 정확한 재원의 파악이 중요하다. 실제 평야부 용수로의 노선은 상당히 복잡한 구조이다. 용수로 중간에 도로,

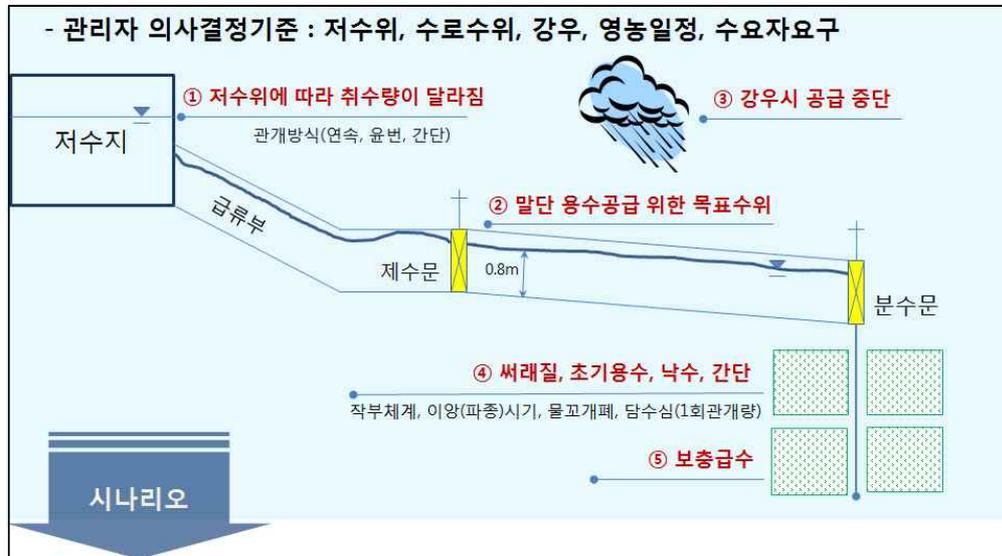
하천 등이 횡단하는 경우부터 중간 하천으로의 방수문 위치까지 가능한 상세한 수리시설의 재원의 입력이 중요한 사항이다.

시뮬레이션이 가능한 상태까지 수로 네트워크가 작성되면 취수부부터 도수부 그리고 급수부까지를 연속모의 하는데 물관리 구간별 물리적인 변수에 대해 다양한 조건을 부여하여 여러 시뮬레이션 결과를 데이터화하여 향후 시뮬레이션 결과자료를 기계학습의 자료로 사용하고자 한다.

2) 물공급 시 관리자와 수요자 변수 도출

우리나라의 관개형태, 물이용 측면의 관개방법 및 수문조작 상황 등을 종합하여 물 공급시 관리자와 수요자에 의한 변수를 도출하였다.

- 관리자 의사결정기준 : 저수위, 수로수위, 강우, 영농일정, 수요자요구
- 수요자 의사결정기준 : 작부체계, 이앙(파종)시기, 물꼬개폐, 담수심(1회관개량)

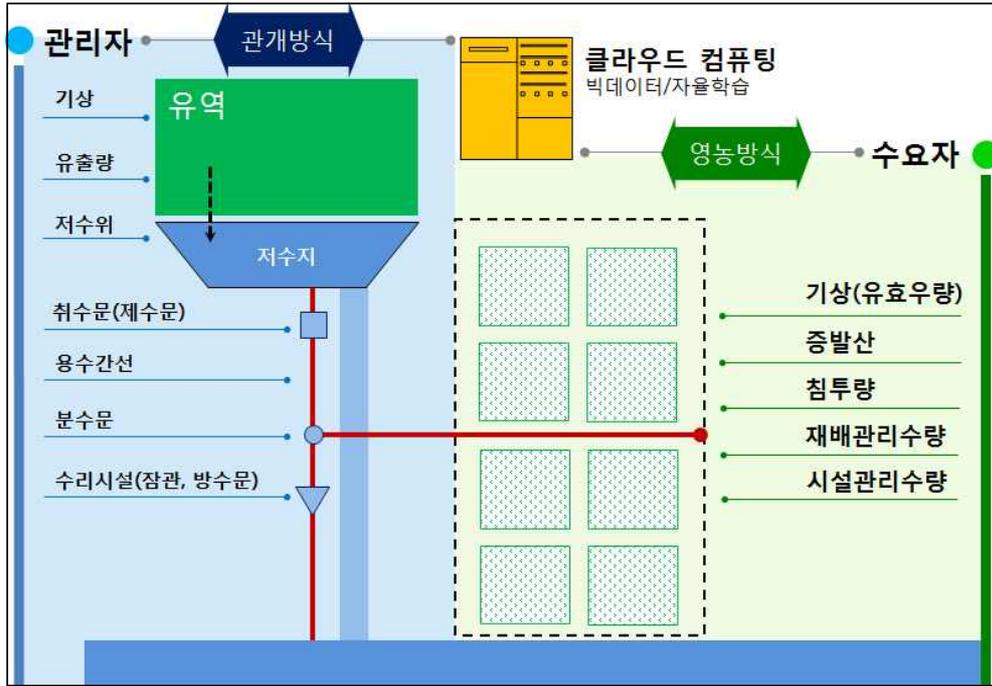


<그림 2-32> 물관리 구간별 관리자 및 수요자 변수

관리자 및 수요자 변수에 대해서는 시나리오 베이스로 데이터화하여 물리적인 변수의 시뮬레이션 자료구축과 함께 기계학습의 자료로 사용하고자 한다.

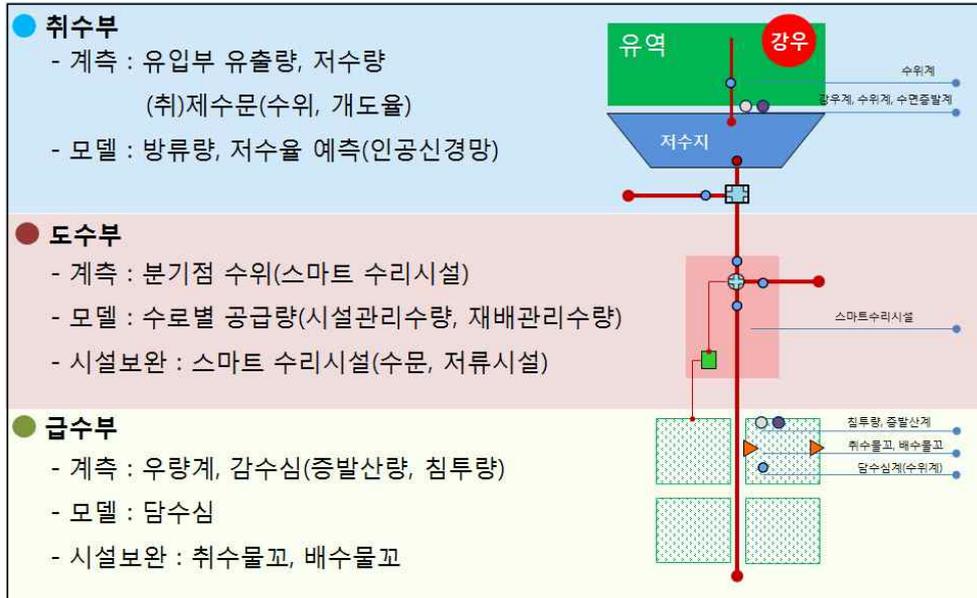
3) 현장기반 자율학습 물관리 기술 도입범위

물관리구간의 물리적인 제어점의 시뮬레이션 정보체계 구축과 관리자와 수요자 변수를 시나리오 정보체계로 구축하여 전체 농업용수 공급시스템에 적용하는 현장기반의 자율학습 물관리 기술의 도입범위는 다음과 같다.



<그림 2-33> 현장기반 자율학습 물관리 기술 도입범위

물관리 구간별로 제어, 모델 및 시설보완(기존시설물 성능개선)로 구분해 자율학습기술 구현에 필요한 데이터기반의 물관리체계 구축방안 제시하였다.



<그림 2-34> 데이터기반의 물관리체계 구축방안

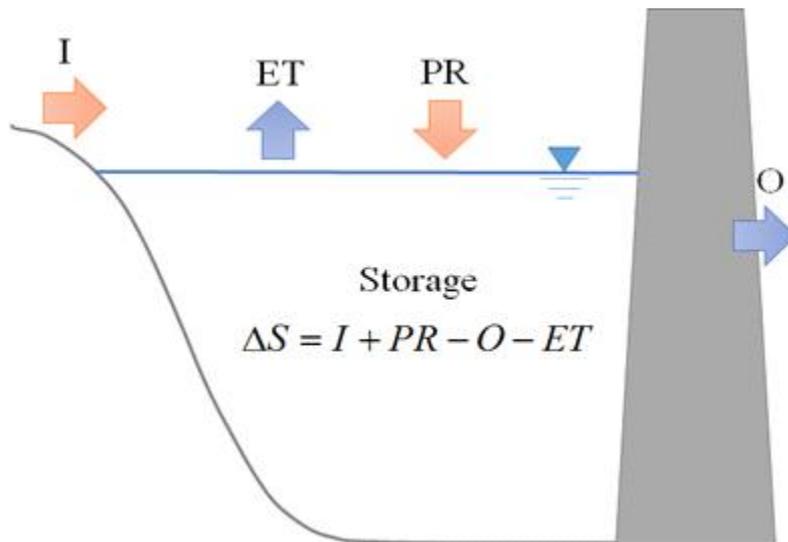
자율학습기술 구현에 필요한 데이터기반의 물관리체계 구축방안은 계측(Sensing)과 모델링(Simulation), 스마트 수리시설(Smart Control)과 자율학습(Unsupervised Learning)을 활용한 생산기반시설 운영 기술을 개발하기 위해 연구과정에서 자율학습기술이 물관리운영에 적용하기 위해 필요한 데이터의 구성을 의미한다. 본 구축방안이 실제 사업모델은 아니며 실제 현장에 적용하는 단계에서 사업화모델을 제시할 예정이다.

각 물관리 구간별 계측 및 모델의 구성과 시설보완에 관한 사항은 다음 장인 자율학습 물관리 시스템 S/W 및 H/W 요소기술 도출에서 자세하게 다루고 있다.

제2절 자율학습 물관리 시스템 S/W 요소기술 도출

1. 취수부 물관리 시스템 알고리즘

가. 저수지 물수지 모형



<그림 2-35> 저수지 물수지 모형 개념도

취수부의 가장 기초가 되는 저수지의 저류량은 물수지 모형으로 모의할 수 있다. 물수지 모형의 기초방정식은 다음과 같다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + PR_t - O_t - ET_t \quad (2.1)$$

여기서, S: 저류량, I: 저수지 유입량, PR: 강우량, O: 용수공급량(월류량 포함), ET: 증발량이다. 물수지 모형은 입력자료가 정확할 경우 비교적 정확하게 저류량의 변화를 모의하는 것이 가능하다. 따라서 취수부에서 관측할 수 있는 항목은 총 5종류로 저류량, 저수지 유입량, 강우량, 용수공급량, 증발산량이다. 이 중 저류량은 농어촌공사가 관리하는 대부분의 저수지에서 비교적 정확하게 측정되어 관리되고 있다.

나. 강우량 및 증발량 측정



<그림 2-36> 기상청 기상관측망

(출처: <http://www.kma.go.kr/aboutkma/biz/observation01.jsp>)

강우량은 기상청이 관리하고 있는 기상관측망의 자료를 활용하는 것이 일반적이다. 기상청 공식홈페이지(<http://www.kma.go.kr>)에 따르면 현재 기상관측망은 전국에 590개소(중관기상관측장비 ASOS 96개소, 방재기상관측장비 AWS 494개소)가 운영되고 있다. 일견 충분해 보일 수 있으나 기상관측망은 관측지점이 특정지점 인근(수도권, 광역시 등)에 집중적으로

분포되어 전국적으로 지방에 주로 분포되어 있는 농업용 저수지를 커버하기에는 부족하다 점이 종종 지적된다. 예를 들어 그림 2-3과 같이 2016년도의 대야저수지의 저수율과 인근의 서산지점과의 강우량 그래프를 살펴보면 강우량이 많은 시점에 저수율이 상승하지 않는다면, 강우가 오지 않았음에도 저수율이 상승하는 경우가 있는 것을 알 수 있다. 이는 대야저수지의 유역에 내린 실제 강우량과 서산지점에서 관측된 강우량 사이에는 차이가 있다는 것을 나타낸다. 현재 대부분의 농업용저수지에서는 직접적으로 강우량의 개별적인 관측이 이루어지지 않고 있으며, 따라서 본 연구에서는 실제 저수지에서 강우량을 관측하여 인근지점의 강우량과 비교·분석하여 강우량 자료의 측정 필요성을 검토할 필요가 있을 것으로 판단하였다.



<그림 2-37> 2016년 대야저수지의 저수율과 서산 지점의 강우량

증발량의 직접적인 관측은 국내에서 매우 한정적으로 이루어지고 있으며, 기상청의 기상관측망을 통하여 일사량, 풍속, 습도 등의 자료를 이용하여 Penman식 또는 Penman-Monteith식을 이용하여 산정하는 것이 일반적이다. 지역적 편차가 매우 큰 강우에 비하여 증발량은 비교적 지역적 편차가 크지 않은 것으로 알려져 있다. 또한 비교적 저렴한 강우측정기와 달리 증발량 측정기는 고가인 점을 고려하여 본 연구에서는 자료 검증

을 위한 엄밀한 자료취득을 목적으로, 한 지점에서 증발량을 측정하는 것이 바람직한 것으로 판단하였다.

다. 유입량 산정 모형

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; 이상운 등, 2008; 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), 침투투수계수(CP), 유역증발산계수 (CE)의 5개 매개변수를 조정하여 일 유출량을 모의
- 대청댐 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., 1998)
- 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

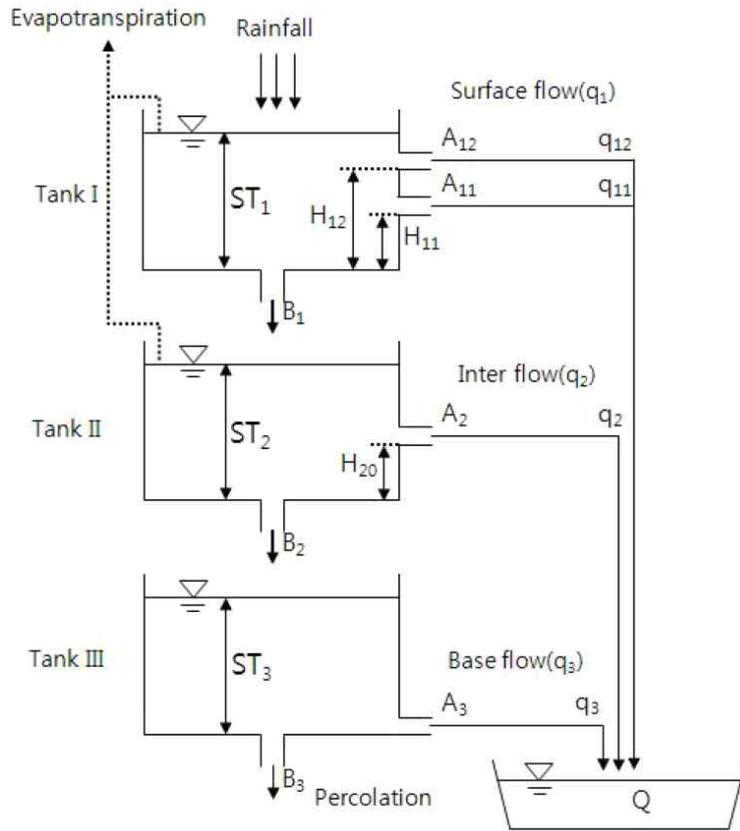
6) 가지야마 모형(공식)

- 중·대하천의 실측 유출량을 바탕으로 유도된 공식
- 월단위 유출량 산정

일반적으로 유출모형의 적용을 위해서는 관측자료를 이용한 매개변수의 동정(calibration)과정이 필수적이거나, 현재 국내 농업용 저수지 유입량 관측자료는 거의 대부분 입수하기 어려워 동정과정을 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. 본 연구에서는 이 두 모형의 성능을 계측자료의 입수가 가능한 지

역을 대상으로 비교·검토하여 최적의 모형을 선정하는 것이 바람직한 것으로 판단하였다. 보고서의 완결성을 위해서 이 두 모형의 내용을 다음과 같이 구체적으로 서술하였다.

Tank모형은 Sugawara(1961)에 의해 개발된 단일 탱크의 선형시스템 모형으로 임의의 집수유역을 여러 개의 류형 탱크로 가상하여 유역의 지표유출,간유출,기유출을 산정한다. Tank모형은 유역을 일련의 3-4단 류탱크 형태로 개념화시켜 강우-유출 과정을 모형화한 것으로,일반으로 상부 탱크에서 강우와 증발산 지표유출을 모의하고, 하부탱크에서 지하수유출 과정을 모의하며 상부와 하부 간탱크 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 1개 일 때보다 감소시키기 위한 것이다. 3단 탱크의 유출공 높이를 0으로 한 것은 강우가 없을 경우의 초기 기저유출량을 표현하기 위한 것이며, 또한 저류수심 ST가 항상 유출공의 높이 보다 커야하기 때문이다.



<그림 2-38> 3단 Tank모형 개념도 (전상민, 2014)

TANK 모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강우량으로부터 식 (2.2)에 의하여 계산된다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (2.2)$$

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 단위시간 t 에 따른 저류수심으로 식 (2.3)와 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - ET_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (2.3)$$

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 (2.4)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. 그 중 대표적인 매개변수 추정식들을 아래 그림(2-5~2-8)에 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 2-39> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (김현영과 박승우, 1988)

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

Area, Watershed area (km²); 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 2-40> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (강민구, 2013)

Parameters	Regression equation	R	R ²
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 ⁻⁵ Paddy + 0.028ln (Forest) + 0.0003ln (Slope) - 0.03	0.60	0.36
A3	- 0.0002Upland + 4.092 × 10 ⁻⁵ 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 ⁻⁶ Paddy + 7.754 × 10 ⁻⁵ 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 43.013	0.40	0.16
		-	-

<그림 2-41> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2015)

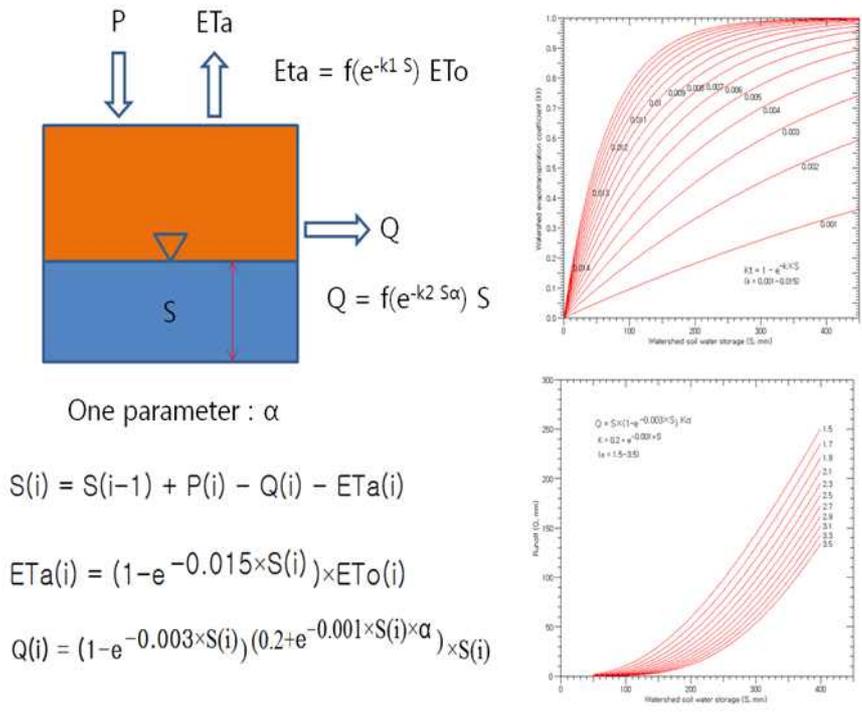
	Parameters	Regression equation
$S \leq 25.0\%$	A11	$0.006Slope - 0.026\ln(Upland) - 0.006\ln(Area) + 0.147$
	A12	$0.032Paddy + 0.024Forest + 0.669\ln(Slope) - 3.889$
	A2	$0.003Paddy + 0.173\ln(Forest) + 0.034\ln(Slope) - 0.792$
	A3	$-0.000209Upland + 0.005\ln(Area) - 0.007\ln(Length) + 0.008$
	B1	$0.005Slope + 0.064\ln(Upland) - 0.079$
	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
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
	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 2-42> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2013)

One(One parametric New Exponential hydrologic Model)모형은 토양

수분 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 산정할 수 있도록 하였으며, 동일한 유역에 소유역이 존재할 경우에는 결정된 매개변수를 각 소유역에 일괄적으로 적용하여 유출량이 산정될 수 있도록 하였다.



<그림 2-43> ONE 모형의 모식도

ONE 모형의 모식도는 그림 2-9와 같으며, 유역에서 토양 저류량은 연속방정식으로부터 식 (2.5)과 같이 강수량에 의해 증가되고 증발산량과 유

출량에 따라 감소된다. 증발산량은 잠재증발산량 또는 계기증발산량과 토양 저류상태에 따라 식 (2.6)에 의해 산정되며, 유출량 산정식은 토양 저류량과 매개변수 α 에 따른 지수함수 형식으로 식 (2.7)과 같이 표현된다. 이렇게 산정된 유출량과 증발산량은 기존 토양의 저류량을 변화시키며, 변화된 토양 저류상태가 적용되어 일단위로 유출량과 증발산량이 반복하여 계산되는 구조로 구성되어 있다.

또한 ONE 모형은 미계측 유역에서 매개변수 α 를 쉽게 결정할 수 있도록 일반화 공식을 제공하고 있다. 이 공식은 국내 16개 다목적댐의 연 강수량과 유입량 자료를 이용하여 유도한 공식으로 식 (2.8)과 같이 표현된다.

$$S(i) = S(i-1) + P(i) - ET_a(i) - Q(i) \quad (2.5)$$

$$ET_a(i) = (1 - e^{-0.015 \times S(i)}) \times ET_a(i) \quad (2.6)$$

$$Q(i) = (1 - e^{-0.003 \times S(i)})^{(0.2 + e^{-0.001 \times S(i) \times \alpha})} \times S(i) \quad (2.7)$$

$$Qr(i) = 25.22 + 0.0245 \times Pa \quad (2.8)$$

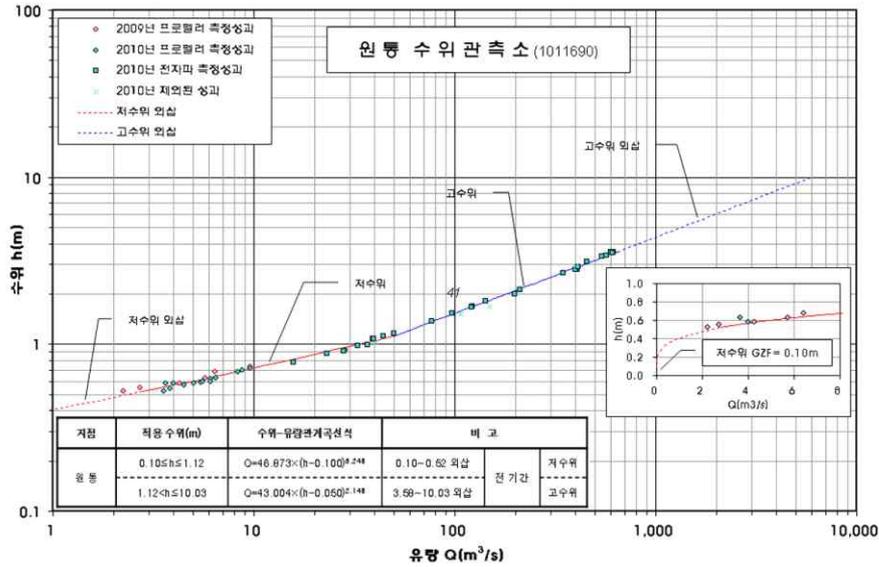
여기서 P 는 강수량, Q 는 유출량, S 는 유역의 토양 저류량, ET_a 는 잠재증발산량, ET_a 는 유역의 증발산량, α 는 매개변수, Qr 은 연유출률, Pa 는 연강수량, i 는 일단위를 나타내는 첨자이다.

라. 용수공급량 예측

취수부의 분석에서 용수공급량은 유입량 못지않게 중요한 요소이다. 현재까지 지능형 물관리 사업, 농업생산기반정비 사업 등에 의해 다수의 저수지에서 보통 용수로의 수위를 측정하고 있으며, 대부분의 관측지점에서 수위 이외에 유속측정은 하고 있지 않다. 보통 용수로의 수위를 측정하는 주요 목적은 용수공급량을 추정하기 위한 기초자료로 사용하기 위해서일 것이다. 그러나 일반적으로 수위는 유속이 없을 경우 유량으로 단순히 환산할 수 없으며, 수위를 유량으로 환산하기 위해서는 여러 가정을 기반으로 다음과 같은 Manning 공식을 사용하거나, 수위-유량 관계곡선식을 만들어 사용하게 된다.

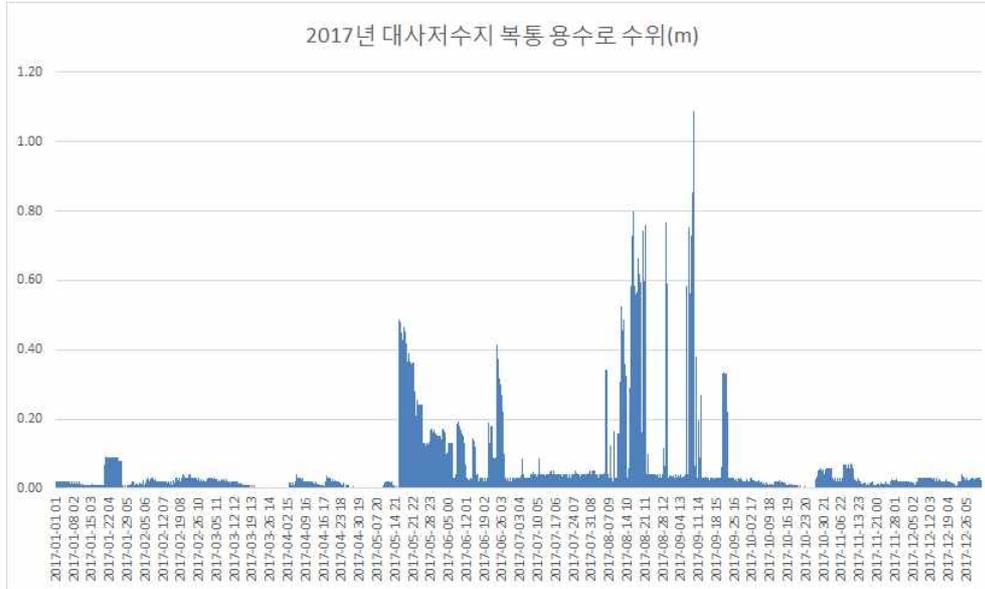
$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (2.9)$$

여기서, Q: 유량, A: 통수단면, n: Manning의 조도계수, R: 경심, I: 수로 경사이다.



<그림 2-44> 자연하천에서의 수위-유량 관계곡선식 예시

다음 그림은 보통 용수로 자료의 예시로서 2017년도 홍성 대사저수지 보통 용수로의 수위자료이다.



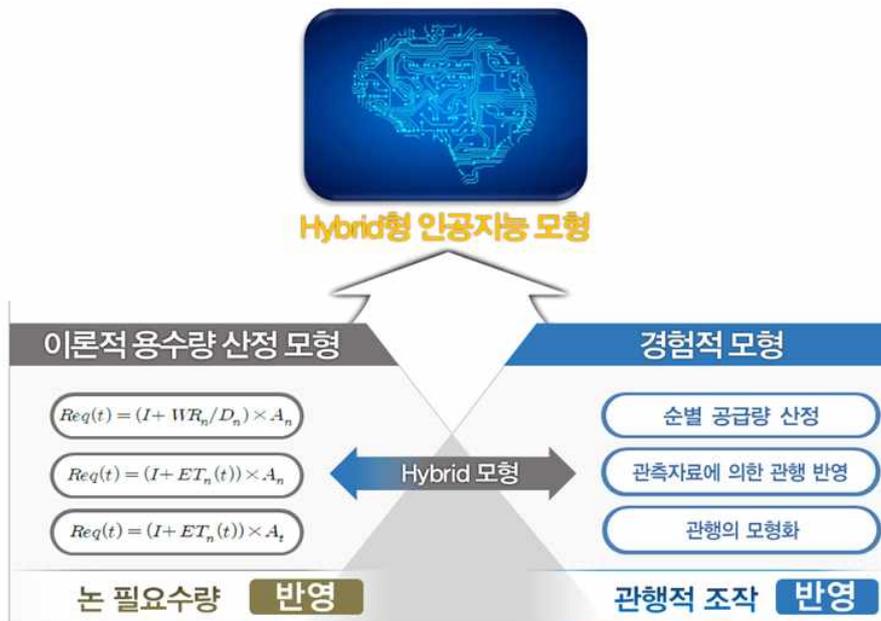
<그림 2-45> 2017년 홍성 대사저수지 복통 용수로 관측 수위

Manning의 공식 상 수위(수심)이 0 이상이면 유량이 발생하게 된다. 그러나 위 그림에서 알 수 있듯이 용수공급이 명백하게 없는 비 관개기에도 관측수위는 0이 아니며 이는 Manning공식으로는 현재 관측되고 있는 수위를 유량으로 환산할 수 없다는 것을 뜻한다. 이러한 현상이 발생하는 이유는 관행상 용수로에 물이 고여 있는 상태로 수문을 닫기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 복통 용수로 수위 자료의 특징적인 현상은 현재 거의 대부분의 농업용저수지 지점에서 관측된다.

앞서 서술하였듯이 용수로의 수위만으로는 저수지의 용수공급량을 산정하기 어려우며, 현재까지 설치되어 있는 많은 수의 복통 용수로 수위자료의 활용을 위해서는 연구를 통하여 수위자료를 유량자료로 환산할 수 있는 방법론의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 복통 용수로의 수위 관측 지점에 추가적으로 표면유속계를 설치하여 정량적인 수위-유량 데이터를 계측하여 이들 간의 관계를 명확히 분석 하고, 이를 바탕으로 수위를 유량으로 환산할 수 있는 방법론을 개발하는 것이 필요하다고 판단하였다. 향후 관측한 데이터를 기반으로 자연하천에서의 수위-유량 관계 곡선식을 작성하는 방법과 기계학습법을 적용하여 두 방법의 성능 및 한계점을 비교분석하고자 한다.

마. 용수공급량 산정 모형

공급량 자료의 정량적인 분석이 가능하게 되면 이를 바탕으로 연간 공급량 패턴 및 물공급 관행의 분석이 가능하다. 현재까지 농업용수의 공급량 및 공급패턴의 추정에는 필요수량을 바탕으로 이루어지고 있다. 필요수량에 손실수량을 더하여 물공급량을 산출하고 있으나 이러한 방법으로 산출한 용수공급량은 실제 물공급량과는 차이가 크다는 점이 지속적으로 지적되고 있다. 본 연구에서는 기계학습을 통하여 물공급 관행을 반영한 현실적인 용수공급 모형을 구축하고자 한다. 그러나 일반적으로 기계학습의 성능은 데이터의 양에 비례하므로 데이터의 양이 충분하지 않을 경우 물공급량의 추정에 대한 정확도가 떨어질 가능성이 있다. 따라서 이를 보완하기 위해서 데이터의 양 및 관측값과의 상황을 고려하여 이론적 필요수량 산정모형과 데이터 기반 기계학습 모형을 동시에 사용하는 Hybrid형 인공지능 용수공급 모형을 개발하고자 한다. 구체적인 인공지능 기계학습 모형의 내용은 후술하기로 한다.



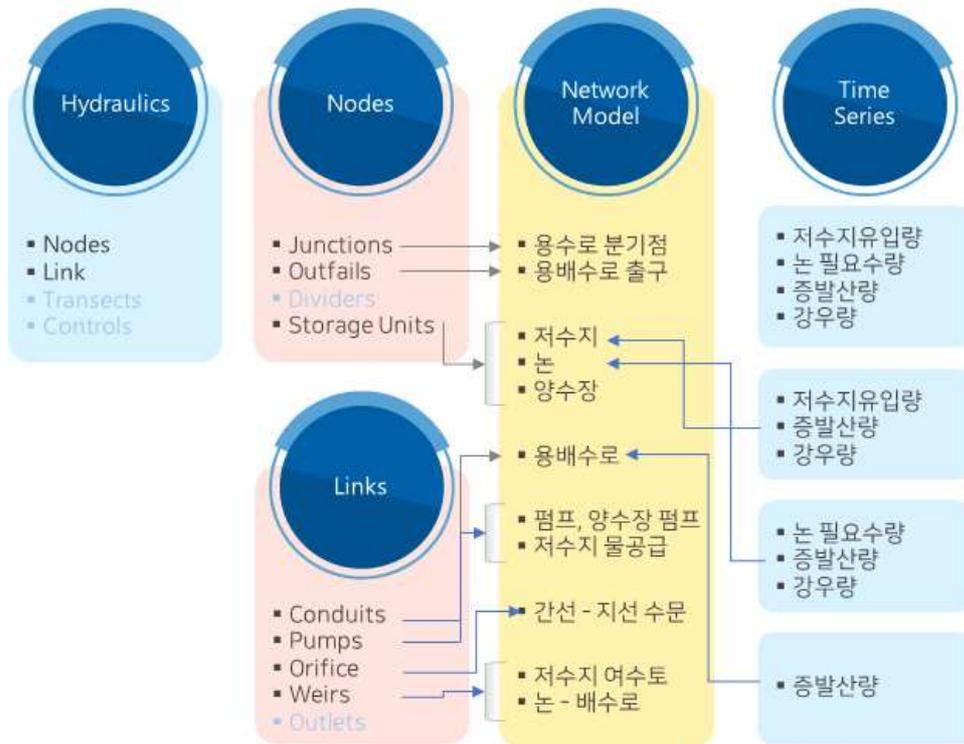
<그림 2-46> Hybrid형 인공지능 용수공급 모형 개념도

2. 도수부 물관리 시스템 알고리즘

가. 수리 네트워크 모델링

과거 도수부에서 수로를 통과하는데 손실되는 물의 양을 손실율로서 일정하게 고려되었으며, 수로의 분기와 형태에 따른 물분배에 대해서는 깊이 있는 연구가 되지 않았다. 그러나 수로의 경사가 비교적 급하고, 수로가 길게 뻗어 있는 곳이 많은 국내 관개수로의 특성 상 물이 말단부까지 도달하지 않는 경우가 많으며 이러한 현상을 물리적으로 모의하기 위해 근래에 수리 네트워크 모형에 기반한 도수부 모델링이 활용되고 있다. 현재로서는 도수부에서의 물분배과정을 물리적으로 모의할 수 있는 거의 유일한 알고리즘으로 본 연구에서도 동일한 모델링 방법으로 도수부를 모의하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 단, 모델링의 적용에 비해 데이터를 이용한 모의의 검증 및 매개변수의 동정(Calibration)과정에 대해서는 현재 충분한 연구가 이루어지지 않아, 본 연구에서는 용수로의 수위, 유량 및 분수문의 수문 개도율을 측정하여 이를 바탕으로 도수부 모형을 검증하고 매개변수의 최적화를 진행하고자 한다.

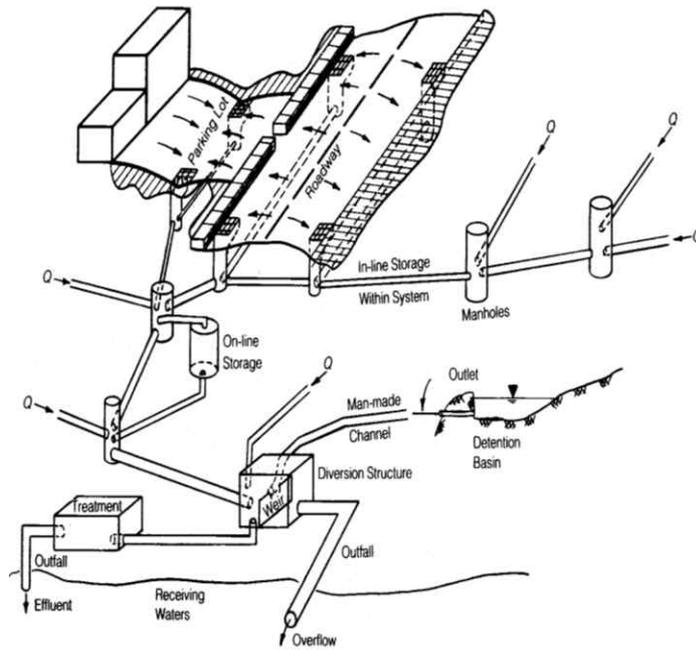
수리 네트워크를 모델링은 도시홍수를 모의하기 위하여 개발된 SWMM을 기반으로 한다. SWMM의 각 모듈 내에 컴포넌트들을 활용하여 관개수로의 각 요소들을 표현하고 용수의 움직임을 모의한다. 그림 2-13과 같이 현재의 모델링 방법으로 거의 대부분의 농업수리구조물을 물리적으로 고려하여 모의가 가능한 상태이다. 예를 들어 용수로 네트워크는 Junction과 Conduit 모듈로 표현이 가능하며, 수문의 Orifice 모듈로 모의할 수 있다. 펌프 및 양수장을 Pump 모듈로서 표현할 수 있으며 논과 배수로와의 연결은 Weir 모듈로 표현할 수 있다. SWMM의 상세사항 및 계산 방법은 아래에 소개하였다.



<그림 2-47> SWMM 모듈과 도수부 수리 네트워크 모델링 관계도

나. SWMM(Storm Water Management Model) 모형 소개

미국 환경청(EPA)은 도시유역에서 유출 및 하수관거의 수리해석 모형인 SWMM(Storm Water Management Model) 모형을 개발하여 공개하고 있다. SWMM 모형은 1971년 미국 EPA의 지원 하에 Metcalf & Eddy사에서 Florida 대학 및 Water Resource Engineer사와 공동연구를 하여 도시유역에서 강우·유출 전반의 과정을 모의할 수 있도록 개발하였으며, 1971년 발표된 이후 지속적인 개정을 거쳐 1981년에는 수공구조물로 인한 월류, 배수, 압력류 등의 수리학적 계산이 가능한 EXTRAN 블록이 추가되었다. 가장 최신 개정판은 SWMM5로 미국 환경청 홈페이지에 프로그램과 소스코드 및 사용자 지침서를 제공하는 Open Source 소프트웨어이다.



<그림 2-48> SWMM의 홍수유출 개념도

이와 같이 SWMM은 도시유역의 홍수유출을 해석하기 위하여 개발되어졌으나, 도시유역이 배수관망 네트워크를 모의하는 기능은 관개수로 네트워크를 모의하는 데에도 활용이 가능하다. SWMM 모형의 EXTRAN 블록은 자연하도, 개수로, 관로 등 수로구조물 뿐만 아니라 저류지, 펌프, 오리피스, 위어 등으로 구성된 관개 네트워크를 부정류 흐름으로 해석하는 수리해석 모듈이다. 따라서 EXTRAN 블록에 관개시스템 내의 수로구조물과 논에서의 물수지 해석모형 추가하여 지능형 물관리 시스템의 수리해석에 적용할 수 있다. 따라서 EXTRAN 블록에 관개시스템내의 수로구조물과 논에서의 물수지 해석모형 추가하여 현재 지능형 물관리 시스템에서 사용하고 있는 수리해석모형을 구성하고 있으며, 본 연구에서도 동일한 시스템을 사용하여 도수부 모델링을 할 예정이다.

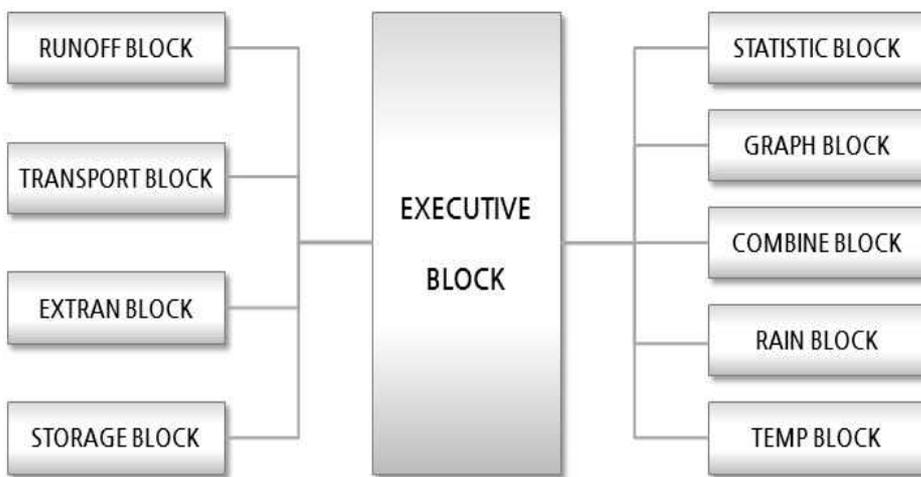
(표 2-26) SWMM 모형의 특징

구 분	특 성
적용대상유역	<ul style="list-style-type: none"> · 도시유역 · 인위적 배수계통을 갖는 소유역
시간적 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 단일, 연속강우에 의한 계산이 가능(강우간격은 임의 설정 가능) · 연산시간 간격은 강우사상에 대해 임의 조절이 가능
공간적 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 배수구역의 크기에 관계없이 적용이 가능하고, 각 배수유역은 합성, 분리가 가능 · 배수유역은 무한대 적용가능하나 최적규모는 200개 소유역, 수로/관로로 구성 가능 · 배수유역은 합성, 분리가 가능
물리적 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 유출은 강우와 용설로 발생 · 지표면유출은 비선형 저류방정식을 사용 · 침투량 산정에는 Horton, Green-Ampt, Curve-Number 식을 사용 · 수로/관로에 대해 <ol style="list-style-type: none"> ① RUNOFF - 비선형저류방정식 ② TRANSPORT - Kinematic 방정식 ③ EXTRAN - Dynamic 방정식, 연속방정식 · 저류추적방법은 수표면이 평행하다고 가정한 수정 Pulse방법을 사용
호환성	<ul style="list-style-type: none"> · WASP, DYNHYD, HEC, STORM, QUAL-II 등의 모형

SWMM 모형은 주로 도시유역, 인위적 배수계통을 갖는 소유역 등을 적용대상으로 하고 있다. 시간적 모의대상은 단일, 연속강우에 의한 계산이 가능하며, 강우시간간격은 임의로 설정할 수 있다. 연산시간 간격은 강우사상에 대해 임의조절이 가능하다. 공간적 특성으로는 작은 배수유역에서 큰 배수유역까지 적용이 가능하다. 물리적 특성으로 유출은 강우와 용설로 발생하고, 지표면유출은 비선형 저류방정식을 사용한다. 침투량은 Horton, Green-Ampt, Curve-Number 방법을 사용한다. 수로와 관로에 대해 RUNOFF 블록은 비선형저류방정식, TRANSPORT 블록은

Kinematic 방정식, EXTRAN 블록은 Dynamic 방정식과 연속방정식을, 저류추적방법은 수표면이 평행하다고 가정한 수정 Pulse 방법을 사용한다. SWMM모형은 도시유역내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망상에서의 유출량추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이며 세부적인 특징은 표 2-1과 같다.

SWMM 모형의 구성은 5개 실행블록(EXECUTIVE, RUNOFF, TRANSPORT, EXTRAN, STORAGE)과 5개의 보조블록(STATISTIC, GRAPH, COMBINE, RAIN, TEMP)으로 구성되어 있으며, 다수의 부프로그램들을 포함하고 있다. 그림 2-15는 모형의 전체 구성도이다.

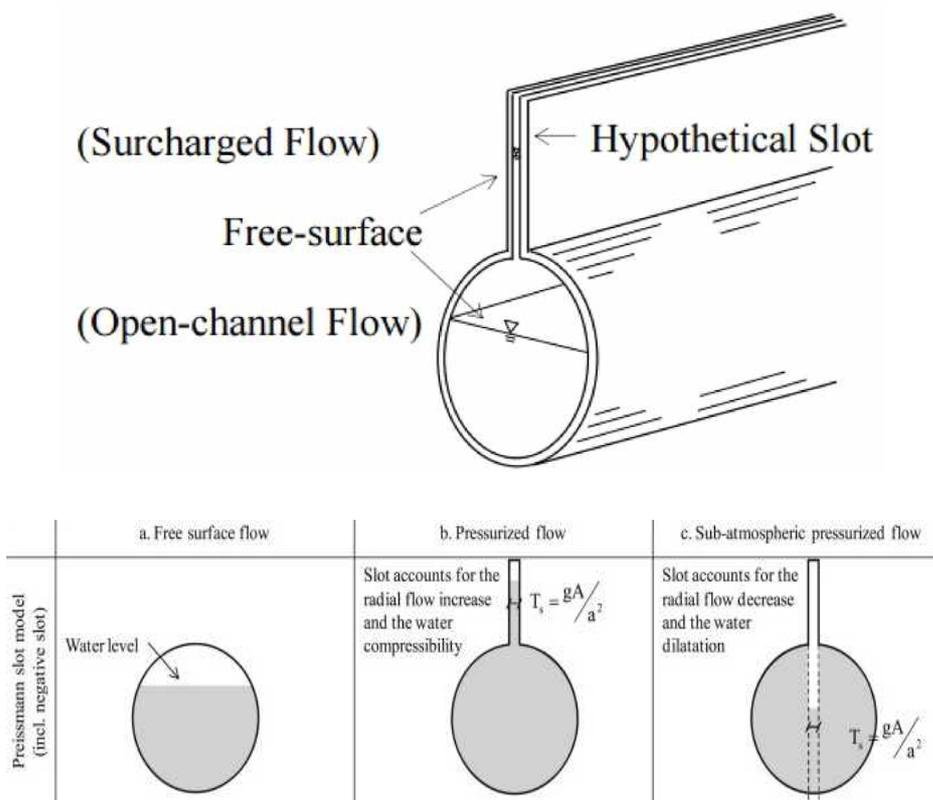


<그림 2-49> SWMM모형의 전체 구성도

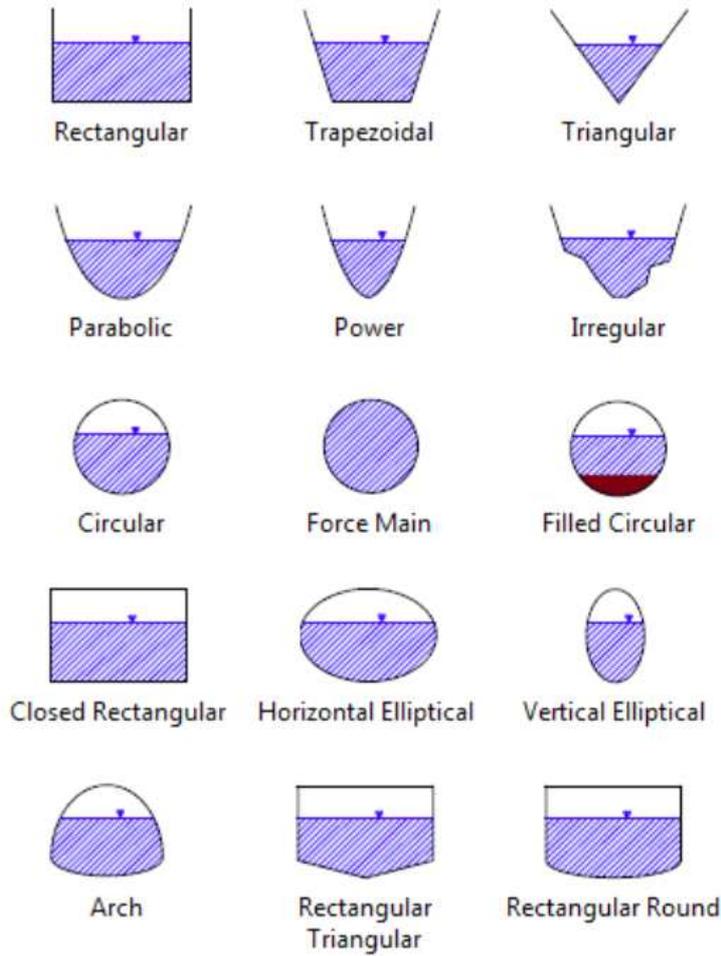
다. SWMM모형에서의 관수로 및 개수로 수리계산

수리 네트워크 모형에서 차용하고 있는 SWMM 모형의 수리해석 기능은 선술한 바와 같이 기본적으로 도시유역의 배수관망을 해석하기 위한 것이다. 따라서 관망의 해석기능을 개수로에 적용하는 것에 대한 위화감과 염려가 있을 수 있다. 그러나, SWMM에서는 관망에서 발생할 수 있는 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 표현하기 위하여, 개수로 흐름에 대한 지배방정식에 기반한 Preissmann Slot기법을 사용하여 관망을 해석하고 있다. 이 기법에서는 관로 상단에 얇은 Slot을 가정함으로써 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 개수로의 지배방정식으로 표현하고자 하는 기

법이다. 따라서 SWMM의 수리해석모형은 기본적으로 개수로를 계산하는 모형이라 할 수 있다.



<그림 2-50> Preissmann Slot기법의 개념도



<그림 2-51> SWMM에서 사용가능한 단면형상

용수로를 표현하는 SWMM의 Conduit요소에서 사용가능한 단면형상은 그림 2-17과 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 판단할 수 있다.

라. 모형의 지배방정식 및 수치계산

흐름에 대한 기본방정식은 개수로의 일차원 부정류 방정식으로 다음의 연속방정식과 운동량방정식을 사용한다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (2.11)$$

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 다음식으로 식을 변형시킨다.

$$\frac{Q^2}{A} = V^2 A \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial(V^2 A)}{\partial x} = 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (2.13)$$

식(2.12~2.13)을 식(2.11)에 대입하고 정리하면 종속변수 Q, A, V, H 등을 갖는 운동량방정식 식(2.14)를 얻게 된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (2.14)$$

위 식에 Q = AV 를 대입하고 정리하면,

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (2.15)$$

이 식에 V를 곱하고 정리하면 다음식을 얻을 수 있다.

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (2.16)$$

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (2.17)$$

SWMM모형에서는 운동량방정식의 해를 구하기 위해 유한차분법을 사용하며 이를 정리하면 다음과 같다. Manning식으로 마찰경사를 나타내면 다음식과 같다.

$$S_f = \frac{k}{gAR^{4/3}} Q |V| \quad (2.18)$$

여기서, k는 gn²이며, 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.

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t| Q_{t+\Delta t} + 2\bar{V} \left[\frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t \quad (2.19)$$

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

Qt+Δt에 대하여 위의 식을 정리한 다음과 같이 LINK에서의 기본방정식을 얻을 수 있다.

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V|} Q_t + 2\bar{V} \left[\frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t \quad (2.20)$$

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

식(2.20)에서 $\overline{V}, \overline{R}, \overline{A}$ 는 시간 t 동안, LINK 양단에서의 가중평균 값을 뜻한다. 식(2.20)에서 미지 값은 $Q_{t+\Delta t}$ 와 H_2, H_1 이며, 변수 $\overline{V}, \overline{R}, \overline{A}$ 는 Q와 H로 구성된다. 따라서, 이 방정식을 풀기 위해서는 Q와 H에 대한 방정식 추가로 필요하며, 여기서 NODE에서의 연속방정식을 사용할 수 있다. 노드에서는 링크들 간의 유속관계에서 연속방정식을 만족하여야 하며 이는 다음식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q_i \Delta t}{A_s} \quad (2.21)$$

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

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \frac{\sum Q \Delta t}{A_s} \quad (2.22)$$

식(2.22)에서 A_s 는 NODE에서의 연직단면적 또는 수표면적이다. 식(2.22)와 식(2.20)을 연립하여 계산함으로써 각 계산시간 간격 Δt 에서 NODE의 수심과 LINK의 유량을 계산할 수 있다.

위 방법은 St Venant 방정식을 수치적으로 풀이하는데 시간에 대하여 Explicit 방법을 사용하기 때문에 안정적인 계산을 위해서 CFL조건을 만족시켜야 하며 이는 다음과 같다.

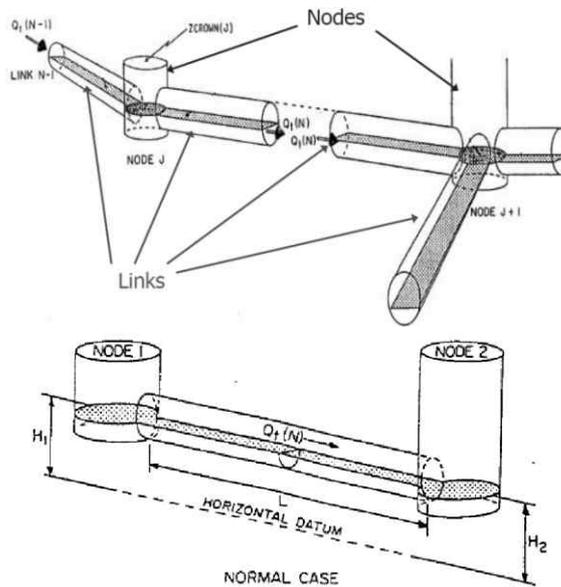
$$\text{Link:} \quad \Delta t \leq \frac{L}{(gD)^{1/2}} \quad (2.23)$$

$$\text{Node:} \quad \Delta t \leq C A_s \frac{\Delta H_{\max}}{\sum Q} \quad (2.24)$$

여기서, Δt : 연산시간구간(sec), L: 관망내 가장 짧은 관로길이(m), g: 중력가속도(m/sec²), D: 관로 최대깊이(m)이다. 식(2.24)에서, C'는 무차원 상수로 일반적으로 0.1의 값을 갖는다. ΔH_{\max} 는 Δt 구간에서 최대 수위

상승높이, A_s 는 Node 표면적, $\sum Q$ 는 Node로 유입되는 순 유입량이다. 계산시간간격 Δt 는 용수로 내에서 가장 짧은 수로 길이 L 에 대하여, 위의 두 안정조건을 만족하도록 결정된다.

저수지에서 공급된 유량은 수로네트워크를 따라 이송된다. 수로네트워크는 선술한 바와 같이 노드와 링크로 구성되며 둘의 연결관계는 다음 그림과 같다. 수로의 시작점, 분기점, 종점은 노드(Junctuion)로 표현되며 이들을 잇는 수로는 링크(Conduit) 요소로 표현된다.

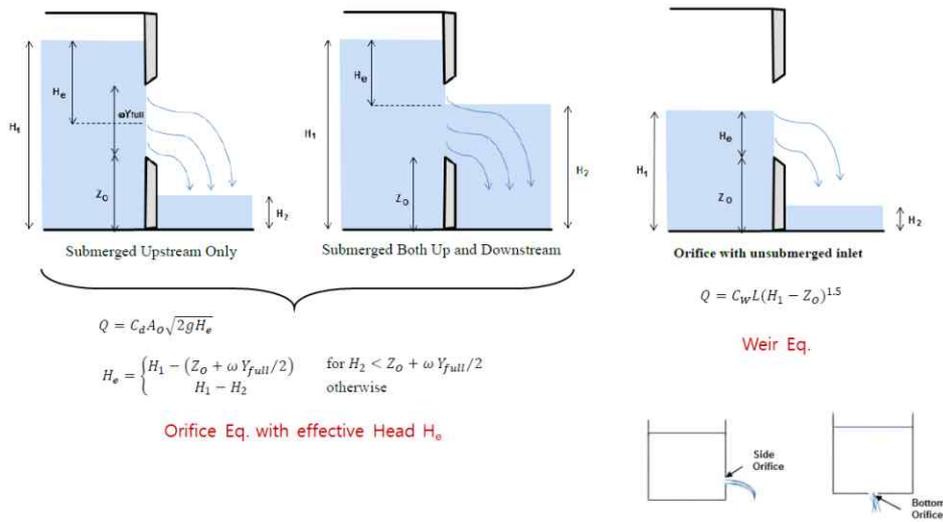


<그림 2-52> 수로 네트워크에서의 노드과 링크 연결 개념도

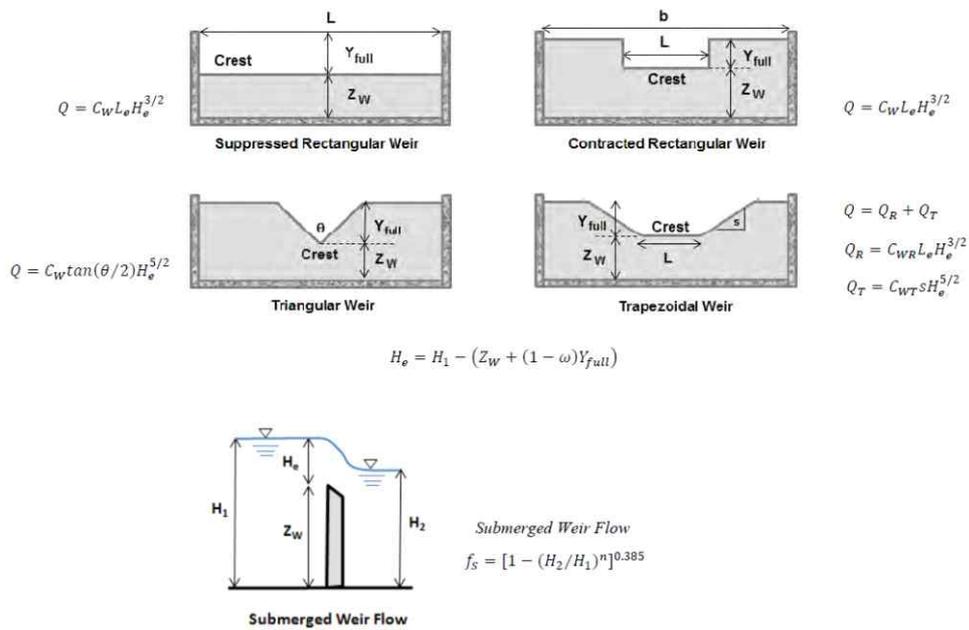
SWMM모형에서는 Junction으로의 유입량이 하류측 수로의 소통용량을 초과하는 경우 해당 Junction에서 flooding이 발생하며, 옵션에 따라 월류한 초과유량을 처리하게 된다. 하지만 본 연구에서의 모의하고자 하는 상황은 일반적인 농업용수 공급에 관한 모의로 유입량의 수로용량을 초과하여 flooding이 발생하는 상황은 배제하고 모의하여도 무리가 없을 것으로 판단된다.

도수로 네트워크 모델링에서 분수문 및 물꼬는 Orifice로, 배수물꼬는 Weir로 표현된다. 상하류 수위에 따른 오리피스 및 위어의 계산식을 그림

2-19와 2-20에 나타내었다.



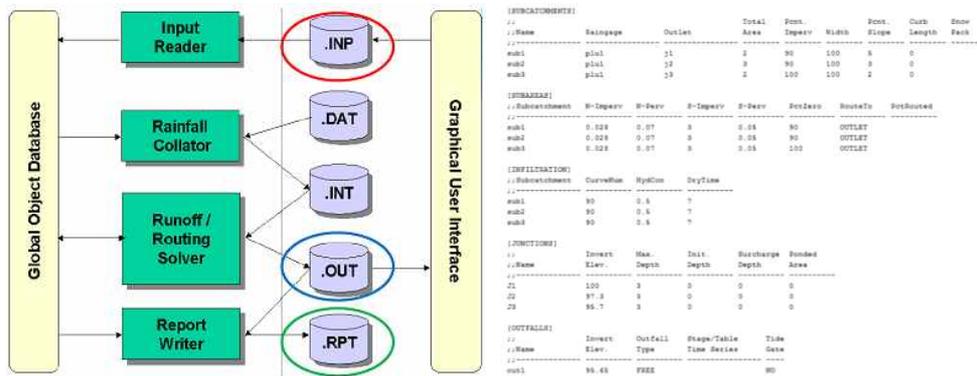
<그림 2-53> 오리피스 계산식 및 모식도



<그림 2-54> 위어의 계산식 및 모식도

마. 모형의 입출력

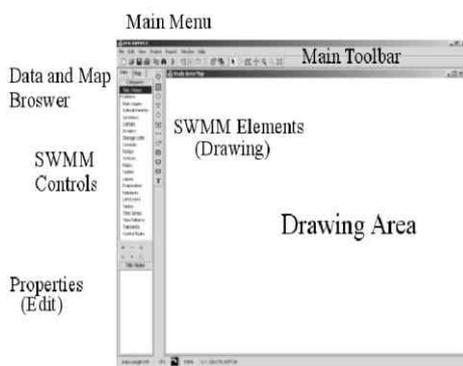
모형의 입출력구조에서 INP 파일은 모형의 전체를 구성하는 파일로서 여기에는 유역, 수로, 절점, 각종 구조물의 제원 및 매개변수, 기상, 입력, 출력, 모델분석방법, 공간적표현을 위한 좌표 등에 관련된 사항들이 포함되어 있는 메인파일이다. 부가적으로 강우 또는 기타사항들은 DAT, INT 파일에 기록하여 연계하며 결과는 OUT, RPT 파일에 기록하는 구조로 되어 있다. 연속형모의의 시계열자료들은 DAT 파일로 작성하여 입력할 수 있으며, RPT 파일은 전체적인 결과를 2진 파일형식으로 출력결과를 기록한다. INP 파일은 각 요소별로 구분하여 모형의 설정이나 매개변수, 제원, 좌표 값 등을 입력할 수 있도록 구성되어있으며, 구성의 규칙을 준수해야 한다.



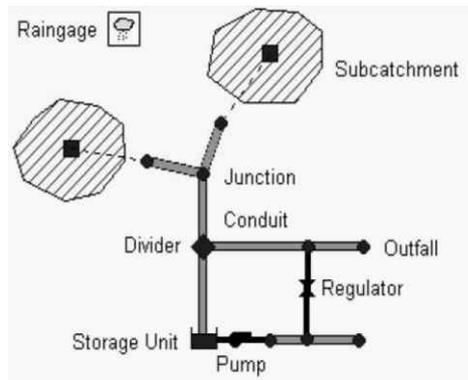
<입출력구조>

<입력파일형식>

<그림 2-55> SWMM 모형의 입출력 구조 및 입력파일형식



<화면(GUI)구성>



<구축형식>

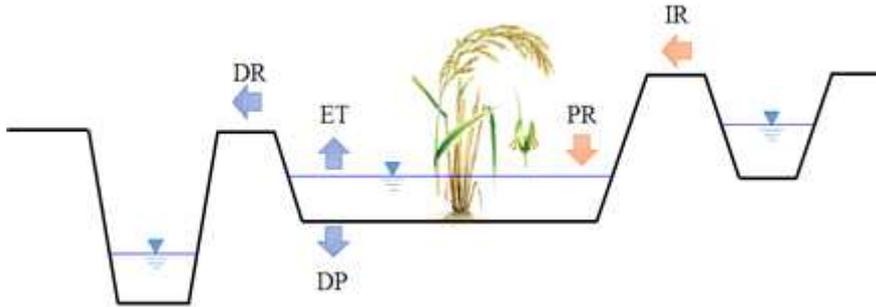
<그림 2-56> SWMM 모형의 화면구성 및 구축형식

모형의 화면은 상단에 메뉴 및 도구막대, 좌측상단에는 각각의 요소를 제어하거나 설정하기 위한 탐색기, 좌측하단에는 속성을 나타내는 창이 있다. 중앙에는 모형을 구성하는 요소들을 나타내는 영역이 있으며, 이 부분에 유역이나 수로 등 수리시설물을 표현하게 된다. 모형의 구축은 유역과 관로, 수리구조물을 점, 선, 면으로 나타내며, 때로는 수로와 구조물만을 입력하거나 유역만을 입력하여 모의할 수도 있다.

모형에서 드로잉 영역에 표시 가능한 가시적인 요소로는 유역 및 수로 시스템을 구성하는 것으로 유역, 절점, 수로, 분기점, 출구, 저류조, 웨어, 오리피스, 펌프 등이 있고, 가시화가 불가능한 요소로는 시계열자료와 각종 매개변수 및 모의옵션 등이다. 분석결과는 테이블이나 그래프로 표현하거나 수로와 절점, 유역의 중심점에 색상이나 도형의 크기로 표현이 가능하다.

3. 급수부 물관리 시스템 알고리즘

가. 급수부 물수지 모형



<그림 2-57> 급수부 물수지 모형 개념도

논, 밭을 포함한 급수부는 그림 2-23과 같이 물수지(water balance)모형으로 모의할 수 있다. 급수부에서의 물수지 식은 다음과 같다.

$$PD_t = PD_{t-1} + IR_t + PR_t + ET_t - DR_t - DP_t \quad (2.25)$$

여기서, PD: 담수심(토양수분), IR: 물공급량, PR: 강우량, ET: 증발산량, DR: 배수량, DP: 침투량이다. 일반적으로 급수부 물수지의 요소들 중 증발산량, 물공급량, 침투량, 배수량 등은 계측비용이 높으며, 물공급량 및 배수량 등은 특정 지점에서의 계측이 타 지점을 대표하기 어려운 특성이 있어 계측이 이루어지지 않고 있다. 이 중 증발산량 및 침투량 등은 공간 및 시간적 변동성이 적어 인근 지점의 자료들 또는 기존 연구결과 참고하는 것에 큰 문제는 없으나, 물공급량 및 배수량의 계측은 거의 이루어지지 않고 있어 급수부에서의 정량적 물관리는 매우 어려운 것이 현실이다. 급수부에서의 물관리를 정량적으로 분석하기 위해서는 담수심의 측정이 우선적으로 필요하며, 가능하다면 물공급량과 배수량을 관측하여 이를 바탕으로 물수지를 분석할 필요가 있다.

같은 관개지구 내에서도 물꼬관리 상황, 지형, 급수부 위치 등에 따라 개별 논(밭)의 용수상황은 천차만별인 것을 고려하면, 급수부의 상황을 모형으로 정확하게 모의하는 것은 현실적으로 매우 어려울 것이다. 이러한 모

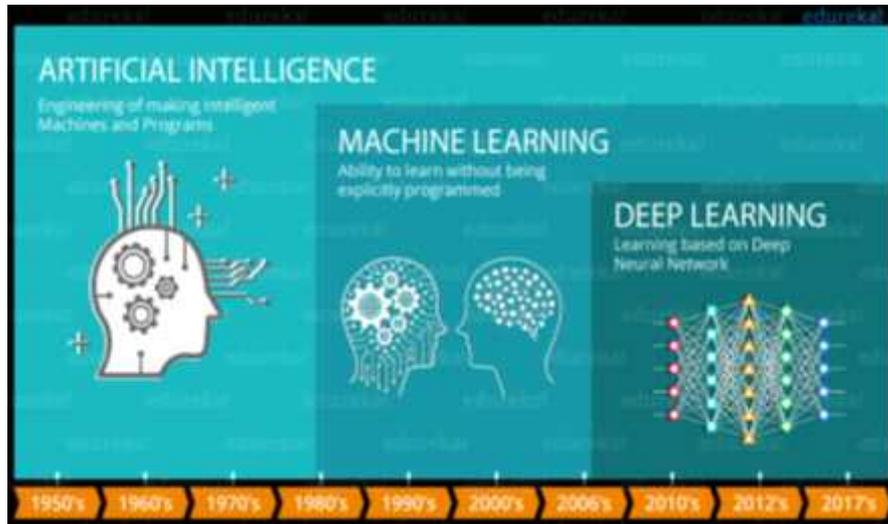
형의 결과와 현실(관측값)과의 차이를 최대한 보완하기 위해서 본 연구에서는 자료동화(Data Assimilation)기법을 도입하였다. 자료동화 기법의 상세한 사항은 2.5절에 서술하였다.



<그림 2-58> 취·도·급수부 자료동화 기법의 적용

4. 인공지능 기계학습 알고리즘

본 연구에서는 인공지능과 기계학습이 중요한 도구로서 사용되므로 본 절에서는 인공지능 기계학습 알고리즘에 대하여 서술하였다. 보고서의 완결성을 위해서 첫 부분은 인공지능, 기계학습, 인공신경망의 일반적인 내용에 서술하였으며, 뒷부분은 본 연구에 사용할 구체적인 순환신경망, LSTM 알고리즘과 TensorFlow에 대하여 서술하였다.



<그림 2-59> 인공지능의 발전방향

인공지능(Artificial Intelligence; AI)은 인간의 뇌와 똑 같은 지능을 가진 컴퓨터 또는 그것을 실현하기 위한 시스템이나 요소기술을 말한다. 즉, 글자나 말의 의미 인식, 학습, 얼굴 표정 인지 등 인간만이 할 수 있다고 생각했던 기능을 컴퓨터가 수행하게 하는 것을 목표로 하는 일단의 소프트웨어, 논리, 컴퓨팅, 철학을 나타낸다. AI 분야는 긴 역사를 가지고 있으며 지금은 일상적인 것으로 간주되는 광학 문자 인식을 포함하여 일찍이 여러 가지 혁신적 발전이 있다. AI는 경제적 측면에서 과거에는 인간이 필요했던 작업을 시스템이 수행할 수 있다는 점이 특히 매력적이다. 효과적인 AI 솔루션은 인간의 뇌보다 더 빨리 ‘사고’하고 더 많은 정보를 처리할 수 있다. 또한 AI는 의학과 같은 인간의 전문 지식이 유용하게 사용될 수 있는 우주 공간이나 오지 등 인간이 가기 어려운 장소까지 인간의 능력을 확장할 가능성이 있다.

최근 인공지능이 똑똑하게 성장한 이유로 두 가지를 들 수 있다. 첫 번째는 ‘빅데이터’로 학습을 전환했다는 점이다. 특정 사물의 특징을 명령어로 설명해 주고, 특정 사물의 사진을 수십 만장 보여줘 특정사물을 학습시켜야 하기 때문이다. 따라서 전문가들의 ‘이제는 인공지능 알고리즘(algorithm:어떤 문제를 해결하기 위해 정해진 일련의 절차와 방법) 개발보다 빅데이터 확보가 더 큰 문제’라는 발언과 같이 인공지능 기술의 활용에 있어서 데이터를 확보하는 것이 매우 중요하고 할 수 있다.

인공 지능에는 많은 분야들이 있는데 이중 기계학습은 인공지능의 한 분야로 컴퓨터가 학습할 수 있도록 하는 알고리즘과 기술을 개발하는 분야를 말한다. 기계학습의 핵심은 데이터를 평가하는 표현과 아직 알 수 없는 데이터를 처리하는 일반화에 있다. 머신러닝을 이용해 강우 예측 정보를 얻어내는 모델을 구축하여 모델의 예측 결과 기존의 강우 모니터링 AWS보다 더 세밀한 강우 정보를 얻어 낸 것으로 알려져 있다(Jeong et al, 2016). 기계학습 중 인공신경망(Artificial Neural Network) 알고리즘은 인간의 뇌가 패턴을 인식하는 방식을 모사한 알고리즘으로 시각, 청각 입력 데이터를 퍼셉트론이나 분류, 군집을 이용하여 해석하였다. 이렇게 해석한 결과 이용하면 이미지, 소리, 문자, 시계열 데이터에서 특정 패턴을 인식할 수 있고 인공신경망을 이용하면 각종 분류 및 군집화가 가능하다. 이런 인공신경망을 이용하여 금융, 경제 등 사회과학 및 과학 전반에 걸쳐 폭넓게 사용되고 있다(Roh et al, 2005).

기업	조직 및 서비스	주요 내용
구글	브레인팀, 딥마인드	검색, 이메일, 포털 번역 등 다양한 구글 서비스에 AI 기술 활용
페이스북	AI 리서치 연구소	시각장애인을 위한 이미지 묘사 서비스, 개인 비서(M) 등에 활용
IBM	왓슨 연구소	금융, 의료, 유통 등 분야별로 인지컴퓨팅을 기반으로 한 솔루션 개발 제공
마이크로소프트	AI 그룹	클라우드 서비스(애저) 기반의 머신러닝 솔루션을 다양한 분야에 개발 적용
애플	시리	음성 명령만으로 스마트폰 기능을 활용할 수 있는 시리 등 서비스 개발
아마존	아마존 머신러닝	부정 거래 탐지, 콘텐츠 추천, 개인 비서(에코) 등 서비스에 적용
제너럴모터스	크루즈 인수	자율주행 기술 조기 확보
도요타	제이브리지로보틱스 인수	인공지능 연구역량 강화

<그림 2-60> 기업들의 인공지능 기술 개발 동향

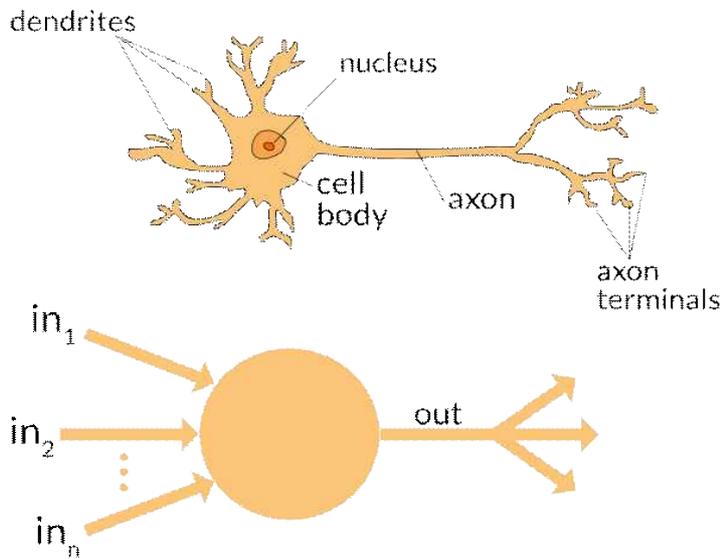
인공지능의 대표적인 사례로는 구글 딥마인드(Google DeepMind)가 개발한 바둑 프로그램 알파고와 암을 진단하는 IBM사의 닥터왓슨이 있다. IBM ‘왓슨’은 현재 가장 인공지능에 가까운 플랫폼 중 하나이다. 닥터 왓슨은 우리 지역 조선대학교병원에서도 도입하여 운영하고 있다. 인간과의

퀴즈, 번역 대결뿐만 아니라 암 진단까지 하는 다양하고 전문적인 인공지능이 전 세계인들을 놀라게 하고 있고, 하루가 다르게 다양한 산업군에서 인공지능이 개발되고 있는 상황이다.

키바(KIVA)는 아마존 글로벌 물류센터에 도입된 로봇으로 최대 1.4t까지 짐을 들어 옮길 수 있다. 오토드로우(AutoDraw)는 구글에서 개발한 로봇으로 그림 실력 없어도 사용자가 대충 그린 그림을 인식하여 디자이너와 일러스트들이 그린 데이터를 검색, 유사한 이미지를 추천하는 인공지능 서비스이다. 딥페이스(DeepFace)는 사용자 자신의 얼굴이 있는 단체 사진 한 장을 인식시키면, 그 사진에 포함된 페이스북 유저의 인적 네트워크를 분석하는 인공지능 서비스이다. 소프트뱅크의 페퍼(Pepper)는 일본의 세계최초 휴머노이드 로봇으로 사람의 감정과 주변상황을 파악하여 자율적인 판단이 가능한 로봇으로 다양한 기업의 고객접수, 도우미, 간병 역할을 하고 있다. 국내 LG유플러스, 우리은행, 교보문고, 가천대 길병원, 롯데백화점, 이마트 등 기업에 도입되어 손님들에게 이용안내, 예약서비스를 돕고 있다. 채팅하는 로봇으로는 챗봇(Chatbot) 이 있다. 이는 인터넷 메신저 서비스와 인공지능의 만남으로 별도의 앱을 실행하지 않고도 기업용 메신저에 채팅하듯 질문하면 인공지능이 마치 사람처럼 대화하며 대답하는 서비스이다. 과거 '심심이'가 사용자의 질문을 단순 자동응답 해주는 서비스가 있었지만 현재는 대화형 플랫폼으로 발전하면서 주목받고 있다. 페이스북, 위챗, 구글 등 글로벌 업체에서 챗봇을 이미 도입하고 있고, 국내 기업에서도 챗봇을 활용하여 24시간 고객의 질문에 응대하고 있다. 그 밖에도 다양한 분야에서 규모에 따라 인공지능을 통해 새로운 가치를 창출하고 있다.

가. 인공신경망 (ANN, Artificial neural networks)

인공지능의 한 분야인 인공신경망(ANN)은 생물학(통상 인간)의 뇌 구조(신경망)를 모방하여 모델링한 수학적 모델이다. 인간의 뇌 구조를 본딴 기계학습 알고리즘이다. 인공신경망이라는 이름에서 알 수 있듯이 이 알고리즘은 인간의 신경 세포 구조에 많은 영향을 받았다.

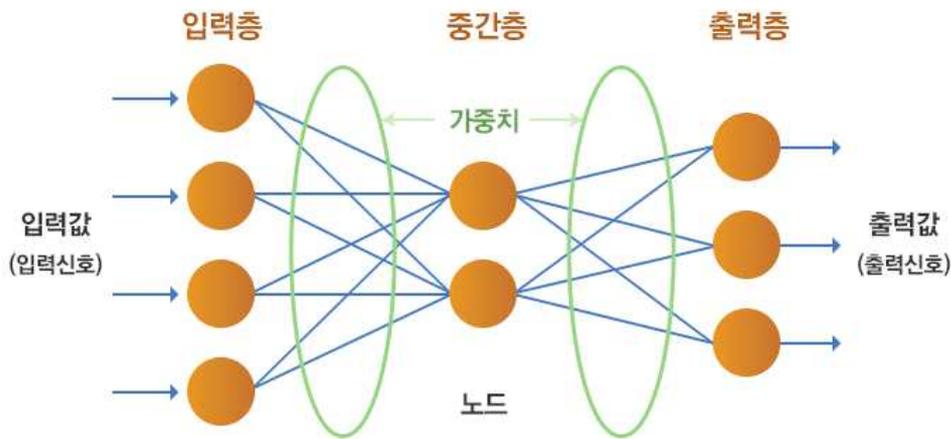


<그림 2-61> 인간의 뇌 신경망(위)와 인공신경망(아래)

즉, 인공신경망은 이러한 생물학적 신경세포의 정보처리 및 전달 과정을 모방하여 구현한 것이다. 인간의 뇌가 문제를 해결하는 방식과 유사하게 구현한 것으로서 신경망은 각 신경세포가 독립적으로 동작하기 때문에 병렬성이 뛰어나다. 또한 많은 연결선에 정보가 분산되어 있어서 몇몇 신경세포에 문제가 발생해도 전체에 큰 영향을 주지 않으므로 일정 수준의 오류에 강하고 주어진 환경에 대한 학습 능력을 갖고 있다. 생물학적 신경망을 모방하여 인공신경망을 모델링한 내용을 살펴보면 처리 단위(Processing unit) 측면에서는 생물적인 뉴런(neurons)이 노드(nodes)로, 연결성(Connections)은 시냅스(Synapse)가 가중치(weights)로 모델링되었다. 인간의 생물학적 신경세포가 하나가 아닌 다수가 연결되어 의미 있는 작업을 하듯, 인공신경망의 경우도 개별 뉴런들을 서로 시냅스를 통해 서로 연결시켜서 복수개의 계층(layer)이 서로 연결되어 각 층간의 연결강도는 가중치로 수정(update) 가능하다. 이와 같이 다층 구조와 연결강도로 학습과 인지를 위한 분야에 활용된다.

이러한 신경 세포의 특징을 반영한 모델이 인공신경망의 기초가 되는 퍼셉트론(perceptron)이다. 퍼셉트론은 기본적으로 입력을 받고 출력을 내보내는 함수와 같은 형태를 띠고 있다. 특징적인 것은 각 입력값을 받아

들일 때 입력값을 바로 출력하지 않고 일정한 가중치(weight)를 곱해 준다는 것이다. 이 과정을 피드포워드(feed-forward)라고 한다. 이렇게 가중치를 곱한 입력값의 결과가 출력이 되는데, 이를 실제 목표 출력치와 비교하여 다음 입력 때에는 출력치가 목표치에 근접할 수 있도록 가중치를 조절하는 과정을 거친다. 이 과정을 역전파(back-propagate)라고 한다. 이 피드포워드와 역전파 과정을 많은 데이터를 입력하면서 번갈아가며 진행하다 보면 가중치가 데이터에 일반적(general)으로 적용되게 되는데, 이를 인공지능망에서의 학습(learning)이라고 한다. 결국 인공지능망에서 ‘데이터를 학습한다’라는 것은 ‘주어진 데이터에 맞게끔 가중치를 조정한다’와 동치가 되며, 퍼셉트론이 깊게(deep) 쌓아 올려진 형태의 모델이 결국 딥러닝이다.



<그림 2-62> 인공지능망의 구조

각 노드들은 가중치가 있는 링크들로 연결되어 있고, 전체 모델은 가중치를 반복적으로 조정하면서 학습을 한다. 가중치는 장기 기억을 위한 기본 수단으로서 각 노드들의 중요도를 표현한다. 단순화 시켜서 이야기하자면 인공지능망은 이들 가중치를 초기하고 훈련시킬 데이터 셋으로 가중치를 갱신하여 조정하여 전체 모델을 훈련시키는 것이다. 훈련이 완료된 후에 새로운 입력값이 들어오면 적절한 출력값을 추론해 내게 된다. 인공지능망의 학습원리는 경험의 일반화로부터 지능이 형성되는 과정이라고 보면 되고 bottom-up 방식으로 이루어지게 된다. 위의 그림에서 중간

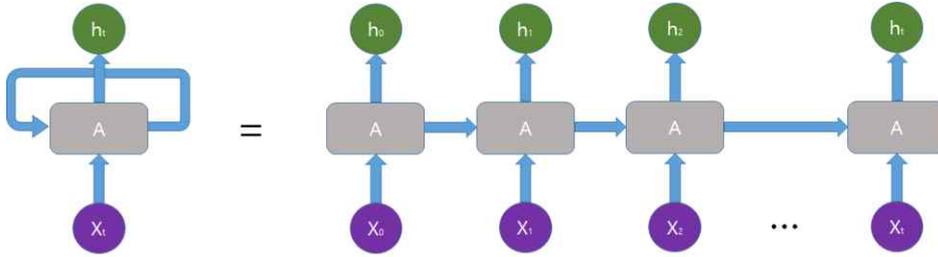
층이 2개 이상(즉 5~10개)일 경우를 층이 깊어진다고 보고 심층신경망(Deep Neural Netowkr)이라 하며, 이러한 심층신경망을 통해서 이루어진 학습과 추론 모델을 딥러닝이라고 지칭한다.

나. 딥러닝 (Deep learning)

딥 러닝은 사람처럼 스스로 지식을 계속 쌓아가면서 공부하는 인공지능 학습법이다. 인공지능이 보고 배운 것을 기억하고, 그것을 토대로 새로운 사실을 추론한다는 점에서 인간의 사고와 유사한 기술이라고 할 수 있다. 딥 러닝은 컴퓨터가 여러 데이터를 이용해 마치 사람처럼 스스로 학습할 수 있도록 하기 위해 인공신경망(artificial neural network)을 기반으로 한 기계학습(machine learning) 기술이며, 인간의 두뇌가 수많은 데이터 속에서 패턴을 발견한 뒤 사물을 구분하는 정보처리 방식을 모방해 컴퓨터가 사물을 분별하도록 기계를 학습시킨다. 여기에서는 강화학습(reinforcement learning)이 필요하다. 강화학습은 기계학습의 일종이지만 비지도학습에 포함된다. 굳이 일상의 학습에 비유하자면 ‘배우기보다 익숙해져라’, ‘체득해서 이해한다’라는 학습방법을 실천해야 한다. 딥 러닝 기술을 적용하면 사람이 모든 판단 기준을 정해 주지 않아도 컴퓨터가 스스로 인지하고 추론 및 판단할 수 있게 된다. 그리고 이 기술은 음성, 텍스트, 이미지 인식과 사진 분석 등 광범위하게 활용된다. 알파고(바둑 AI)는 기계학습을 통해 스스로 지식을 계속 쌓아가면서 진화하고 있었던 것이기에 인간과 비슷한 의사결정을 내릴 수 있게 된 것이다.

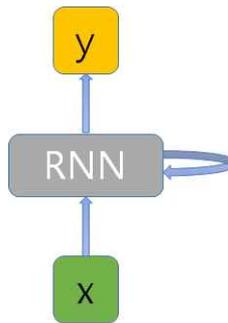
다. 순환신경망 (RNN)

순환신경망(Recurrent Neural Network; RNN) 모형은 심층인공신경망(Deep learning)의 하나인 sequence data 순서대로 데이터를 처리하는 모형으로, 과거의 데이터가 미래에 영향을 주는 루프 반복형 구조로 -1과 1 사이의 값으로 출력하는 활성화함수(tanh)의 구조로 이루어져 있다. 과거의 데이터를 이용하지 못하는 인공신경망에 비해 보다 복잡한 순환구조로 이루어져 있다.



<그림 2-63> 순환신경망(RNN) 모형의 순환구조

그림 2-29 와 같이 데이터 시퀀스 상의 특정 시점 t 에서 x_t 는 입력층 (Input Layer), h_t 는 은닉층(Hidden Layer), A_t 는 입력층과 은닉층 간의 가중치(Wight) 라고 하면 순환신경망에서는 신경망을 연결하는 과정에서 지난 시점($t-1, t-2, \dots$)의 은닉층을 현 시점의 은닉층에 누적시켜 계산하게 된다. 순환신경망은 이러한 특징으로 인해 이전의 계산 결과가 다음 계산에 영향을 미치기 때문에 데이터의 순서가 정해져 있는 Sequence date, 특히 시계열 데이터를 처리하는데 적합하다. 저수지 유입량 및 공급량 데이터는 일단위의 순차적인 데이터로 구성되어 있어 RNN의 적용이 적합할 것으로 판단하였다. 이하 RNN의 구체적인 알고리즘에 대하여 서술하였다.



<그림 2-64> Vanila RNN

순환신경망의 가장 기본적인 형태인 Vanilla RNN은 다음과 같은 기초식을 사용한다.

$$h_t = f_W(h_{t-1}, x_t) \quad (2.26)$$

여기서, f_w 는 활성화함수이다. 위 수식을 보면 현 시점의 은닉층 벡터 h_t 는 이전 시점의 은닉층 벡터 h_{t-1} 와 매 타임마다 적용되는 입력벡터 x_t 의 활성화함수로 표현된다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 Vanilla RNN은 활성화함수(Activation Function)으로 tanh함수를 사용하는데 이를 (1)식에 적용하면 다음과 같다.

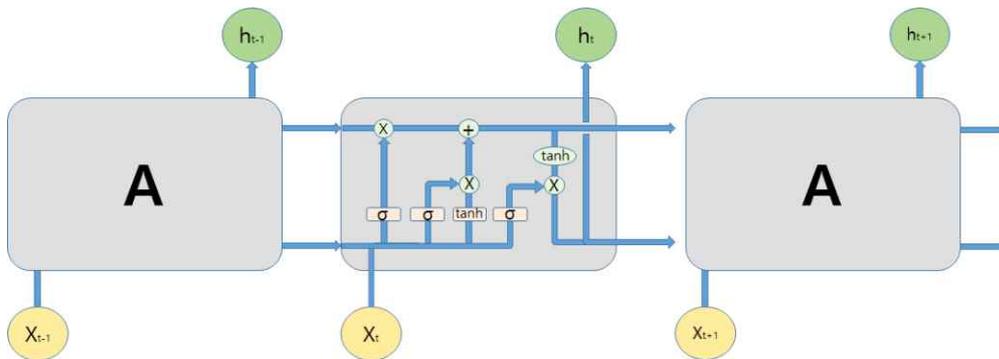
$$h_t = \tanh(W_{hh}h_{t-1} + W_{xh}x_t) \quad (2.27)$$

여기서, W_{hh} , W_{xh} 는 가중치행렬이다. (2)식을 통하여 산정된 은닉층 벡터의 값을 가중치를 통해 다음식과 같이 y_t 출력층으로 변환된다.

$$y_t = W_{hy}h_t \quad (2.28)$$

이하 본 보고서에서의 RNN은 Vanilla RNN을 뜻한다.

라. LSTM 순환신경망



<그림 2-65> LSTM 순환신경망 모형의 구조

순환신경망모형의 장점은 이전의 정보를 현재의 문제 해결에 활용할 수 있다는 점으로 시계열 데이터처리에 특화된 알고리즘으로 알려져 있다. 그러나 루프 반복형 구조로 인해 Sequence data의 순서가 멀어지면 가중

치가 작아져 소멸해버리는 가중치 소실(Vanishing Gradient)문제가 발생하게 된다. 이러한 Vanilla RNN의 단점을 극복하기 위해 Hochreiter & Schmidhuber(1997)은 장기 의존성을 학습할 수 있도록 순환신경망 모형을 수정한 LSTM(Long Short Term) 메모리 네트워크 기법을 제안하였다. 저수지 유입량은 장기간의 비선형적인 정보가 활용되기 때문에 LSTM 순환신경망 모형과 RNN 모형을 모두 테스트 해 볼 필요가 있을 것이다. 이하 LSTM 순환신경망 모형의 알고리즘에 대하여 서술하였다.

LSTM에서는 Fig.3와 같이 가중치 반영 및 활성화함수 변환을 통하여 입력값에서 출력값으로 변환하는 단계를 하나의 셀(Cell)로 보고 셀 내부의 상태량인 셀 스테이트(Cell State)를 입력, 망각, 출력게이트를 이용하여 총 4단계의 계산과정을 통해 가중치 소실문제가 발생하지 않도록 조절한다(Olah,, 2015). 첫 번째 단계에서는 특정 정보의 제거여부를 망각게이트(forget gate, f_t)를 통하여 다음 식과 같이 결정한다.

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2.29)$$

여기서, f_t 는 0 또는 1의 값을 가지는 망각게이트 값, W_f 는 망각게이트 가중치, b_f 는 망각게이트 편향값, σ 는 Sigmoid 활성화 함수이다. 두 번째 단계에서는 입력게이트(input gate, i_t)를 통하여 새로운 정보의 저장여부를 다음 식과 같이 결정한다.

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2.30)$$

여기서, i_t 는 0 또는 1의 값을 가지는 입력게이트 값, W_i 는 입력게이트 가중치, b_i 는 입력게이트 편향값이다. 세 번째 단계에서는 입력게이트와 출력게이트의 값을 이용하여 셀 스테이트를 다음 식과 같이 업데이트 한다.

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (2.31)$$

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_t \quad (2.32)$$

여기서, \tilde{C}_t 는 tanh로 구성되어있는 셀 스테이트 중간값이며, C_t 는 업데이트 된 시점 t에서의 셀 스테이트를 나타낸다. 마지막 단계는 출력게이트와 셀 스테이트를 이용하여 출력값을 다음 식과 같이 계산한다.

$$o_t = \sigma(W_o [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (2.33)$$

$$h_t = o_t \cdot \tanh(C_t) \quad (2.34)$$

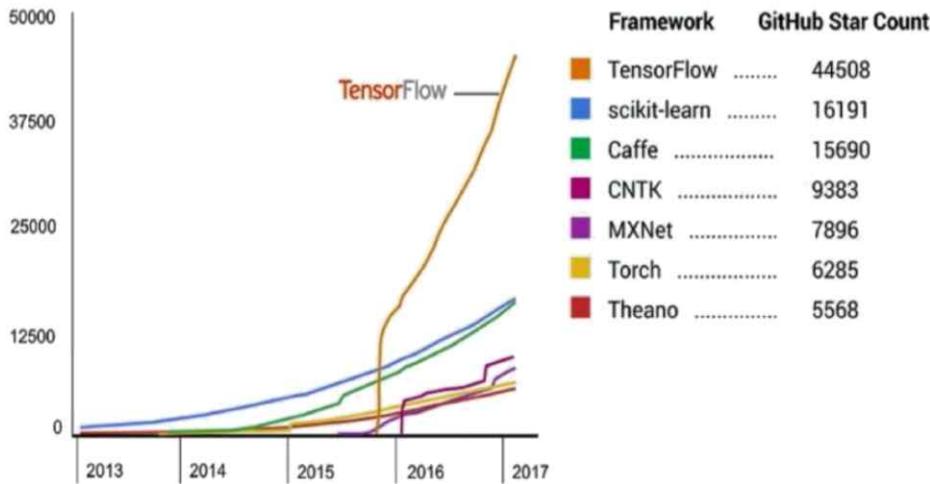
여기서, o_t 는 0 또는 1의 값을 가지는 출력게이트 값, W_o 는 출력게이트 가중치, b_o 는 출력게이트 편향값이다.

마. TensorFlow

Library	API	Platforms	Started by	Year
Caffe	Python, C++, Matlab	Linux, macOS, Windows	Y. Jia, UC Berkeley (BVLC)	2013
Deeplearning4j	Java, Scala, Clojure	Linux, macOS, Windows, Android	A. Gibson, J.Patterson	2014
H2O	Python, R	Linux, macOS, Windows	H2O.ai	2014
MXNet	Python, C++, others	Linux, macOS, Windows, iOS, Android	DMLC	2015
TensorFlow	Python, C++	Linux, macOS, Windows, iOS, Android	Google	2015
Theano	Python	Linux, macOS, iOS	University of Montreal	2010
Torch	C++, Lua	Linux, macOS, iOS, Android	R. Collobert, K. Kavukcuoglu, C. Farabet	2002

<그림 2-66> 기계학습 라이브러리

기계학습 알고리즘을 지원하는 라이브러리는 매우 다양하다(그림 2-23 참조). 각 라이브러리들은 각각의 장단점이 있으면 이들을 종합적으로 고려하여 본 연구에서는 TensorFlow를 활용하기로 하였다. TensorFlow는 현재 가장 범용적으로 사용되는 딥러닝 프레임워크이며(그림 2-24 참조), 애초에 산업용으로 만들어진 프레임워크이다. 또한 Google에서 공식 릴리즈 하였기 때문에 전문성이 보장(타 라이브러리들은 대학 연구실 기반 다수)되어 있으며 데이터 플로우 그래프를 통한 풍부한 표현력을 손쉽게 활용할 수 있다. 마지막으로 커뮤니티가 형성되어 활발하게 활동하고 있어 강좌 등 정보획득 용이한 장점이 있다. 이하에 보다 구체적으로 텐서플로우에 대하여 설명하였다.



<그림 2-67> GitHub 기계학습 라이브러리 사용빈도

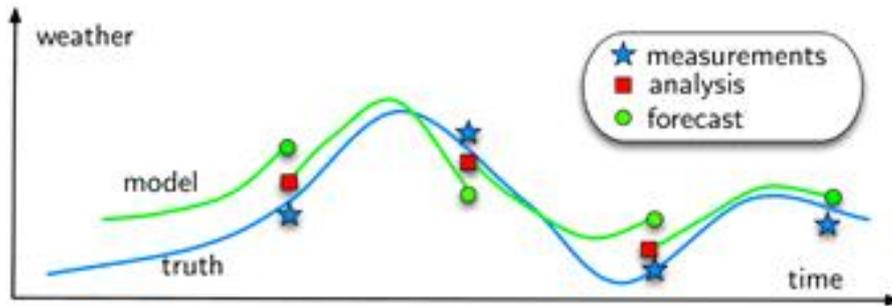
텐서플로우는 데이터 플로 그래프를 활용해 수치 계산을 하여 딥 러닝 (Deep Learning)과 머신 러닝(Machine Learning) 등에 활용하기 위해 개발된 오픈소스 소프트웨어이다. 2015년 11월 구글에서 공개된 딥 러닝과 머신 러닝 기술인 오픈소스 소프트웨어이다. 이는 2011년부터 구글에서 내부적으로 사용되던 1세대 머신 러닝 시스템인 '디스트빌리프'의 뒤를 이은 2세대 머신 러닝 시스템이다. 오픈소스 소프트웨어만큼 학생, 개발자 등 원하는 사람들은 누구나 사용할 수 있다. 구글은 텐서 플로우가 스마트폰에서도, 데이터 센터의 수천대 컴퓨터에서도 동작할 수도 있다고 발표하면서, 어떠한 제약도 받지 않고 유연하게 사용될 수 있는 기술이라고 강조했다. 구글에서 발표한 오픈소스 소프트웨어만큼 구글 검색, 구글 앱상의 음성인식, G메일에서 메일을 읽고 상황에 알맞은 예시 답장을 제공하는 '똑똑한 답장 서비스' 등에 적용되었다. 유연한 아키텍처를 채택하여 단일 API를 통해 데스크톱, 서버 또는 휴대기기에 장착된 하나 이상의 CPU 또는 GPU에 연산을 배포할 수 있다. TensorFlow는 최초로 Google의 기계지능 연구 조직에 속한 Google Brain팀에서 근무하는 연구자 및 엔지니어에 의해 기계 학습 및 심층신경망 연구용으로 개발되었지만, 기타 분야에도 광범위하게 적용할 수 있는 범용성을 갖춘 시스템이다.

5. 자율학습 알고리즘

가. 자료동화(Data Assimilation) 기법

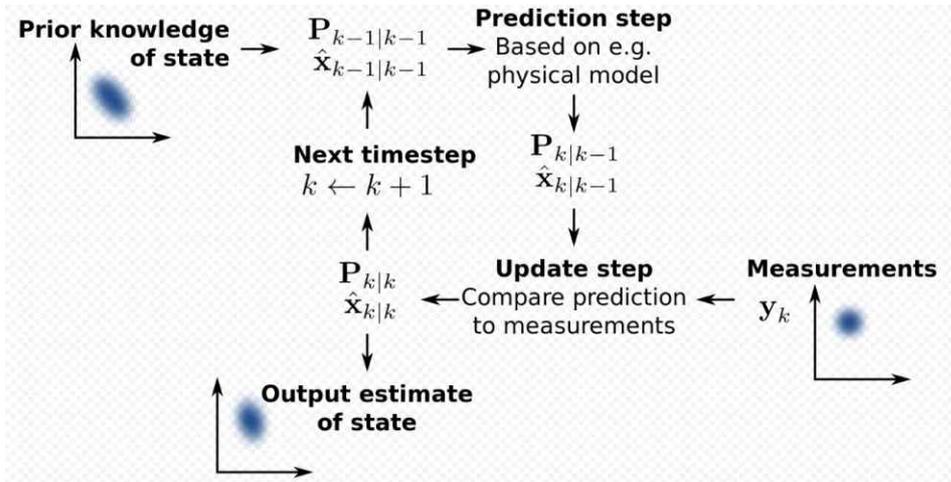
정량적인 용수관리를 위해서는 취·도·급수부의 용수상황에 대한 정량적인 분석과 이를 바탕으로 구축한 시나리오에 대한 관개기 용수상황에 대한 예측이 동시에 이루어져야 할 것이다. 용수상황에 대한 정량적인 분석은 관측 데이터를 통하여 이루어져야 하며, 시나리오를 기반으로 한 예측은 모형을 통하여 이루어진다. 모형은 현실을 충실히 재현할 수 있도록 구축되어야 할 것이나, 완벽한 재현은 현실적으로 불가능 하며, 관측 데이터와 모형을 통한 예측결과는 차이가 있는 것이 일반적이다. 이러한 모형과 현실간의 간극을 좁히기 위해 본 연구에서는 자료동화(Data Assimilation) 기법을 적용하고자 한다.

자료동화란 예보결과의 정확도 향상을 위해 수치예측모델 모의결과와 관측자료를 활용하여 최적의 모델 초기장을 생성하는 기법을 말한다. Downton and Bell(1988)과 Richardson(1998)은 두개의 서로 다른 수치모델을 비교하여 초기장의 오차가 모델의 오차보다 크다는 결론을 내렸다. 모형은 실제 현상을 수치적으로 단순화하여 표현한 것으로 현실적으로 실제 현상을 모두 알거나 고려할 수 없을 뿐만 아니라 모형을 통해 자연현상 및 사람의 판단을 모두 수식으로 정확하게 표현하는 것도 불가능하므로 모형의 불확실성은 항상 존재한다. 또한 모형으로 표현된 지배방정식들은 많은 매개변수를 가지고 있으며 이러한 매개변수는 대부분 동정(calibration)과정을 통해 조정되나 여전히 불확실성이 존재한다. 이러한 불확실성을 줄이기 위하여 자료동화 기법이 적용될 수 있으며, 관측자료와 모형을 기반으로 한 예측이 중요한 분야인 기상, 수문 분야에 널리 사용되어 지고 있다. 그림 2-34는 자료동화 기법의 개념을 모식도를 통하여 도시하고 있다. 모형은 실제 자연현상 또는 인위적 현상의 트렌드를 반영할 수 있으나 초기장, 매개변수, 모형구조의 한계 등으로 인해 관측값과는 차이가 나는 결과값을 보이고 있으며 이를 자료동화 기법을 통하여 초기장과 매개변수를 재조정하여 다음 관측값을 반영할 때 까지 모의를 수행하고 다시 자료동화 기법을 반복해서 적용하게 된다.

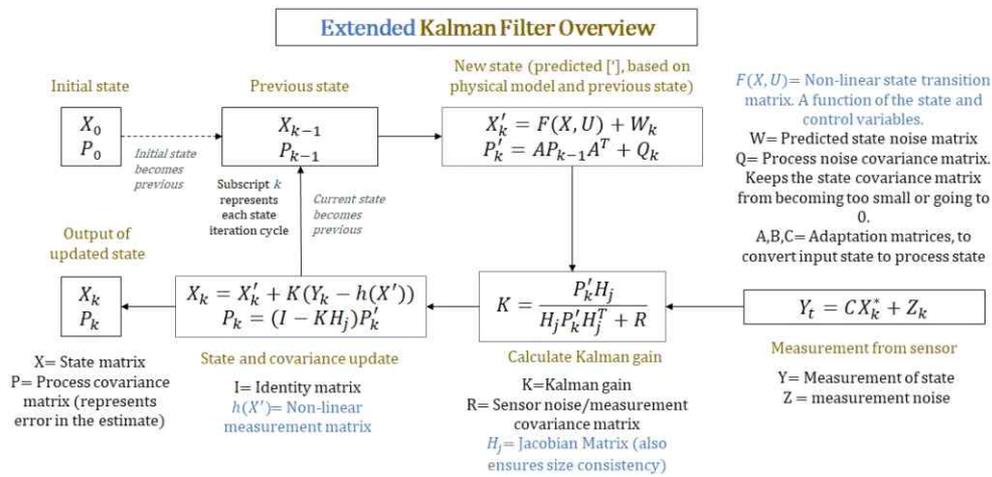


<그림 2-68> 자료동화 기법 모식도

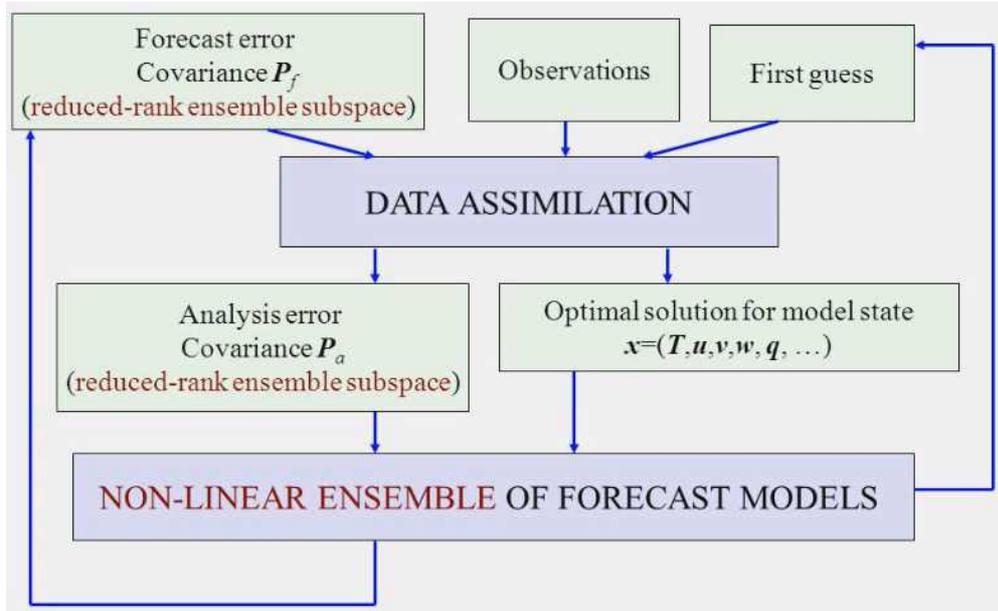
수문예측 분야에서 이용되는 자료동화 방법을 예를 들어 서술하였다. 자료동화 기법 중 가장 대표적인 방법으로는 Kalman(1960)이 제안한 칼만 필터 (Kalman Filter; KF) 기법을 들 수 있다. 이 기법은 관측자료를 이용한 실시간 초기장 생성 및 보정방법으로 많이 활용되고 있으며 선형 시스템에서 적용이 가능하고 자연 현상과 같은 비선형 시스템에서는 적용하기 어려운 것으로 알려져 있다. Maybeck (1979)은 비선형 시스템의 고차항 (high order)을 제거하여 근사적으로 시스템을 선형화한 후 KF 기법을 적용하는 방법인 확장형 칼만 필터(Extended Kalman Filter; EKF)를 제안하였다. 그러나 비선형성이 강한 시스템에서는 모형의 분산오차 (error variance)가 불안정해져 결과적으로 오차가 큰 결과가 나타났다 (Evensen, 1992). Evensen (1994)는 KF 및 EKF 기법의 약점을 극복하기 위해 Monte Carlo 모의기법을 이용한 앙상블 칼만 필터 (Ensemble Kalman Filter; EnKF) 기법을 제안하였다. 이 방법은 시스템의 선형화 과정을 생략하여 비선형 시스템에 적용이 가능하며 모형의 오차를 쉽게 추정할 수 있는 장점이 있다. 또한 근래 컴퓨터 성능이 향상됨에 따라 다양한 분야에서 널리 활용되고 있다 (Young, 2002; Liu and Oliver, 2005; Neal et al., 2007; Clark et al., 2008).



<그림 2-69> 칼만 필터의 모식도



<그림 2-70> 확장형 칼만 필터의 모식도



<그림 2-71> 앙상블 칼만 필터의 모식도

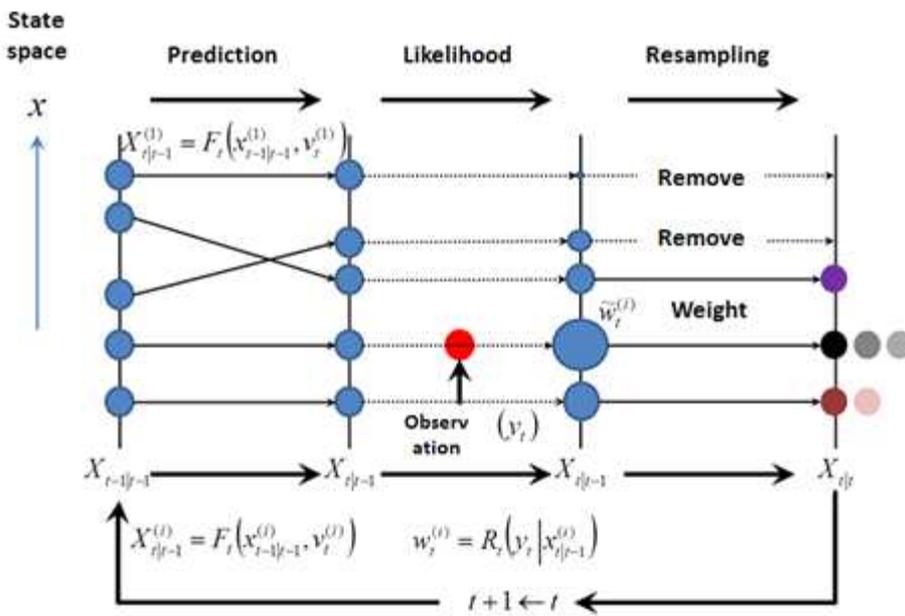
KF 기법과 연계한 실시간 수문예측 분야에 대한 국외 연구사례를 살펴 보면, Moradkhani et al. (2005)는 개념적 강우-유출모형인 HyMOD (Wagner et al., 2001)와 EnKF 기법을 연계하여 갱신 대상으로 모형의 상태변수인 유역 토양수분과 저류량 뿐만 아니라 모형 매개변수를 같이 갱신하는 dual state-parameter 기법을 적용하여 유출모의결과의 정확도가 향상되는 것을 확인하였다. Komma et al. (2008)은 분포형 연속형 강우-유출모형 (Reszler et al. 2006)에 EnKF 기법을 적용하여 홍수예측의 초기조건에 해당하는 유역토양수분을 관측유량을 근거로 갱신함으로써 유출모의결과의 정확도가 향상되는 것을 확인하였다.

국내에서는 배덕효와 정일문(2000)이 단일 유역 및 하도에 대해 저류함수모형을 구축하고 KF 기법을 적용하여 추계학적 상태-공간 형태의 모형으로 개선하여 정확도가 향상됨을 보였다. 한건연 등(2000)은 DAMBRK 모형과 KF기법을 연계하여 범람위험도 해석에서 자료동화로 인해 정확도가 향상되는 것을 보였으며, 안상진 등(2002)은 KF 기법과 신경망 BP(Back Propagation) 모형을 연계하여 적용성을 평가한 바 있다. 김상호(2003)는 수리학적 홍수해석모형에 KF 기법을 적용하여 모의결과가 향상된 것을 보여주었다. 이병주 등 (2009)은 연속형 저류함수모형과 앙상블

칼만필터링 기법을 연계하여 안동댐과 임하댐에 대하여 그 적용성을 평가하였다.

나. 파티클 필터(Particle Filter)

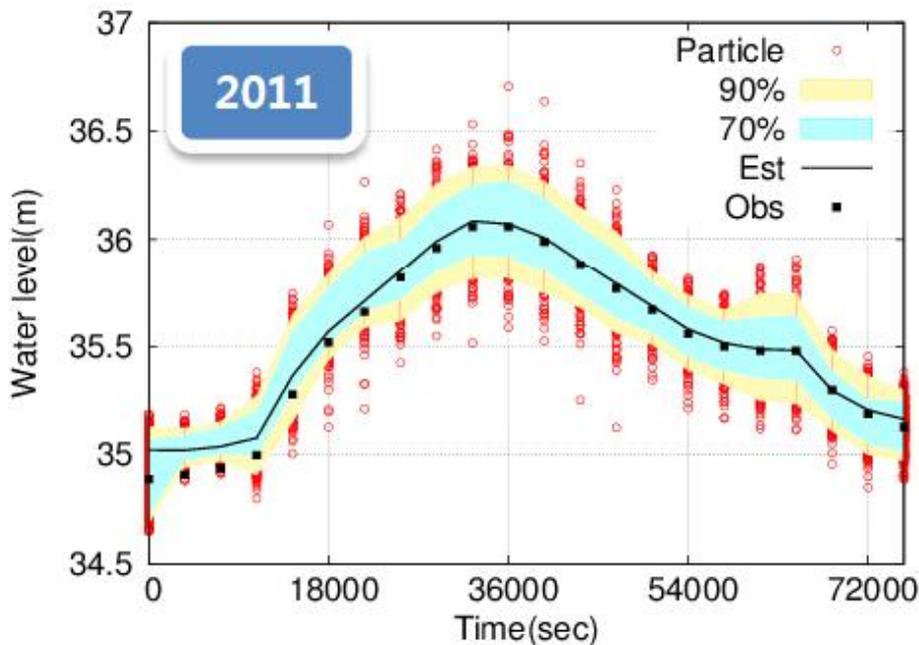
전술한 칼만 필터 계열의 자료동화 기법들은 모형의 선형구조 또는 모형의 가우시안 오차 분포 등을 가정하여 전체 시스템을 해석하여 자료동화 과정을 진행하게 된다. 그러나 취·도·급수부 시스템은 비선형성이 강하며 상태에 대한 분포를 가정하기 어려운 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 모형의 구조 및 오차분포에 대한 가정이 필요없는 파티클 필터(Particle Filter)를 자료동화 기법으로 선택하고자 한다. 파티클 필터는 칼만필터가 기반하는 해석적 방법을 사용하여 시스템을 고려하는 것이 아니라, trial and error에 기반하는 시뮬레이션을 통한 예측 기술의 하나로, SMC (Sequential Monte Carlo) 방법이라고도 불린다.



<그림 2-72> 파티클 필터의 모식도

위 그림은 파티클 필터의 모식도이다. 첫 단계에서 상태량 및 매개변수들을 난수들을 통하여 샘플링하게 된다. 이렇게 샘플링 된 상태량 및 매

개변수들의 한 집합을 하나의 파티클로 볼 수 있다. 다음 단계에서 개별 파티클을 입력자료로 하여 모형을 통한 모의를 수행하고 모의결과를 관측값과 비교하게 된다. 관측값과 모의결과와 비교를 통하여 개별 파티클에 대하여 우도(Likelihood)를 산정할 수 있으며 우도에 근거하여 파티클의 가중치(weight)를 산정한다. 산정된 가중치를 반영하여 파티클 들을 다시 샘플링(resampling)하여 첫 번째 과정을 반복해서 수행한다. 이러한 과정을 통하여 관측값을 잘 예측하는 파티클들이 살아남게 되며 이 과정에서 매개변수의 최적화 과정이 자연스럽게 진행된다.

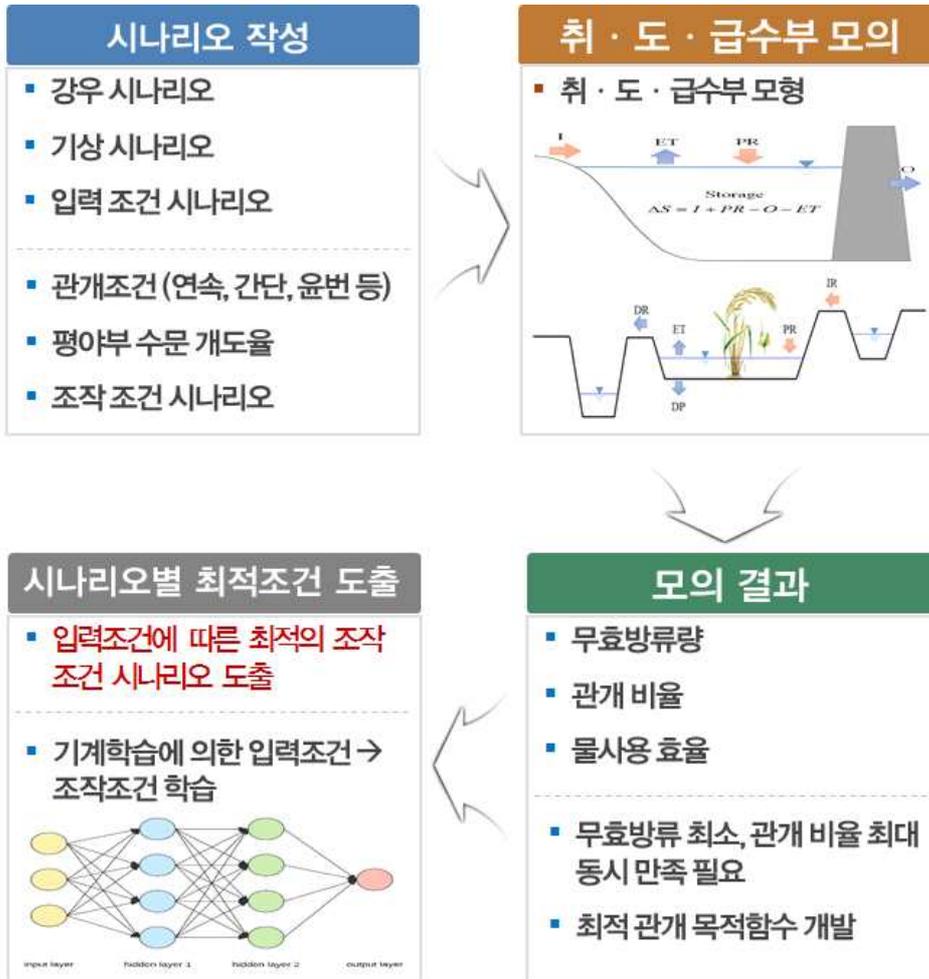


<그림 2-73> 파티클 필터를 이용한 하천 수위 예측 예시

다. 시나리오 기반 모의결과 기계학습

취·도·급수부를 대상으로 구축된 모형은 관측 데이터가 입수되면 자료 동화 기법을 통하여 자동적으로 상태량 및 매개변수가 향후 예측에 최적화되며 이 과정을 관측 데이터를 기반으로 한 모형의 자율학습 과정이라고 한다. 하지만 강우, 기상 등의 미래 상황의 불확실성이 크기 때문에, 이를 입력자료로 활용한 모형의 예측에는 불확실성이 여전히 존재한다. 이러한 불확실성은 본 연구에서는 제거하기 어려우며, 주로 기상청에 의

존하여 데이터를 얻는 방법이 현실적일 것이다.



<그림 2-74> 시나리오 기반 모의결과 기계학습 흐름도

본 연구에서는 이러한 미래정보에 대한 불확실성을 최소화하기 위하여 시나리오를 바탕으로 모의를 하고 모의결과를 재정리한다(그림 2-40 참고). 구체적으로는 모형의 입력자료 및 모의조건을 크게 두 종류(입력조건, 조작조건)으로 구분한다. 강우조건, 기상조건 등은 입력조건이며, 사람의 인위적인 조작이 필요한 관계조건(연속관계, 윤번관계, 간단관계 등), 평야부의 수문개도율 등은 조작조건으로 분류한다. 각각의 조건들에 대하여 시나리오를 작성하고 이를 조합하여 종합적인 시나리오를 작성하여,

작성된 시나리오에 대하여 모형을 통하여 모의결과로서 무효방류량, 물사용효율, 관개비율 등을 도출한다. 무효방류량을 최소화 하고, 관개비율을 최대화 하는 목적함수를 도입하여 목적함수를 최대로 하는 값의 시나리오 기반 모의 결과로서 도출한다. 결과로서 입력조건 시나리오에 따른 최적의 조작조건을 도출할 수 있다. 이 결과를 재정리 하여 입력조건을 Input으로 최적 조작조건을 Output으로 하여 기계학습모형을 동태 학습시킨다. 이 과정을 시나리오 데이터를 기반으로 한 기계학습 모형의 자율학습이라고 한다. 이와 같이 관측 데이터와 시나리오에 따라 두 차례의 자율학습을 통해 모형을 학습시켜 최종적으로 향후 미래상황의 불확실성을 고려한 정보(최적 관개조건, 최적 수문개도율 등)를 제공함으로써 최적의 용수사용제어를 위한 의사결정지원을 하는 것이 전체 자율학습 물관리 알고리즘의 목적이다.

라. ICT기반 물관리 시스템 알고리즘 설계서

전술한 내용을 종합하여 본 연구과제에서 도출한 ICT기반 물관리 시스템 알고리즘의 전체 설계서(흐름도)는 그림 2-41 와 같으며 이를 순서대로 서술하면 다음과 같다.

- 1) 취·도·급수부 관측망을 통한 계측 및 모니터링
- 2) 통신망을 통한 계측 데이터의 전송
- 3) 계측 데이터 기반의 Big Data 시스템 구축
- 4) 데이터를 기반으로 한 취·도·급수부 시뮬레이션
- 5) 자료동화 기법을 이용한 인공지능 모형 자율학습
- 6) 시나리오 기반의 취·도·급수부 예측자료 생성
 - 6-1) 데이터 마이닝 기술을 통한 경험 및 관행 데이터(물공급 시기, 방법, 물꼬 관리, 양수장 관리 등) 모형화 및 시나리오 반영
 - 6-2) 입력자료(강우, 기상 등)시나리오에 따른 최적 조작(관개방식, 수문개도율, 용수공급량 등) 도출
- 7) 시나리오 예측자료 기계학습
- 8) 인공지능 기반 용수공급(조작조건) 의사결정지원
- 9) 취·도·급수부 원격제어

9)항목의 원격제어는 최종적으로 도출된 8)항목의 의사결정지원 정보를 바탕으로 용수관리자가 판단하여야 하며, 장기간의 용수관리자의 판단 또

는 조작상황 또한 데이터가 되어 향후 보다 구체적인 상황판단에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다.



<그림 2-75> ICT기반 물관리 시스템 알고리즘 설계 흐름도

6. 계측자료 구축 및 미계측자료 모델링 방안

본 연구에서 선정한 시범지구는 총 3개 지구로 금강지구, 대야지구, 청룡지구이다. 시범지구의 선정 이유 및 상세현황은 4장에 후술하도록 한다. TM/TC 사업 및 타 사업들에 의해 시범지구들에 구축되어져 있는 계측기 현황을 정리하면 다음 표와 같다.

(표 2-27) 시범지구 계측장치 현황

위치	계측	금강	대야	청룡
취수부	저수지 수위	계측	계측	계측
	유입량	미계측	미계측	미계측
	공급량	수위·유량 계측	수위 계측	미계측
	강우량	미계측	미계측	미계측
	증발량	미계측	미계측	미계측
도수부	용수로 수위	수위 5지점, 유속 3지점	수위 6지점	미계측
	수문 개도율	미계측	미계측	미계측
	양수장 유량	계측	계측	미계측
급수부	담수심	미계측	미계측	미계측
	물꼬 깊이	미계측	미계측	미계측
	배수로 수심	미계측	미계측	미계측

금강, 대야 지구는 취수부와 도수부의 수위 및 유량을 계측하고 있는 지점이 있으나, 청룡지구는 저수지 수위이외에는 모두 미계측 상황이다. 계측기의 설치금액, 난이도, 중요도를 종합하여 계측기 설치 및 상황조사의 우선순위를 정하면 다음과 같다.

- 1) 수문 개도율 관리 상황 조사
- 2) 물꼬 관리 상황 조사
- 3) 세 지구의 강우량 관측
- 4) 대야 지구의 공급량 유량 관측
- 5) 청룡지구의 공급량 유량 관측
- 6) 세 지구의 담수심 관측
- 7) 대야 지구 증발량 관측
- 8) 세 지구 급수부 배수량 관측

차년도 이후 우선순위와 계측기 설치가능 예산을 종합적으로 고려하여 계측기를 설치할 계획이다.

제3절 자율학습 물관리 시스템 H/W 요소기술 도출

1. 취수부 물관리 시스템 H/W 기술

가. 저수지 수위의 계측

취수부 물관리를 위한 수위측정센서는 수압식(pressure type), 초음파식(ultrasonic type), 레이더식(Radar type), 음파식(sonic type) 등이 있으며 취수부 형태에 따라 적용 가능한 방식은 각각 다음과 같다.

(표 2-28) 취수부 수위측정 센서

방식	취수탑방식	사통식
외형		
적용방식	초음파, 레이더	압력식, 고정밀음파식

1) 압력식 수위계

비중, 대기압, 온도 등에 의한 오차 요인을 제거하여 측정오차를 최소화한 수위계로 측정유체와 센서가 비접촉으로 수명이 길며 설치 및 유지보수가 용이하고 비용이 저렴한 특징이 있다. 측정원리는 수주압 측정관에 압축기체(Air Compressor 또는 질소가스)를 이용하여 수심에 해당하는 수주압을 측정하여 수위로 확산하는 시스템으로 측정범위가 매우 크면서도 측정범위 전 구간에서 수위측정 오차를 최소화하였다. 용도 및 특징으로는 갈수기 수위 관측(댐, 저수지, 하천)이 가능하다. 이는 동절기에 수면 결빙으로 인해 수위측정이 어려운 지점에서 측정이 가능하다. 또한 토사유입이 심한 하천수위관측이나 지하수 수위관측이 가능하므로 지하수공의 깊이와 무관하게 측정이 가능하고 휴대용 지하수 수위 측정도 가능하다.

다. 온천 수위측정이나 온천수위 부존량 조사에 적합하고 유체와 센서가 비접촉식으로 수온(MAx 150℃)과 성분에 전혀 영향을 받지 않고 수위측정을 할 수 있다. 또한 각종 산업용 탱크 수위측정이 가능하며 유체의 종류로는 산성 , 고온, 혼탁한 유체도 가능하다. 또한 해안조위 측정에도 사용할 수 있다.

2) 초음파식 수위계

초음파 수위계는 검출기 표면으로부터 음파를 반사하여, 유체 표면에서 반사되어 되돌아오는 시간을 측정, 수위를 검출하는 것으로서, 비접촉식이므로 설치가 간편하고 유지보수가 용이하다. 또한 액체, 분체, 고체에 사용이 가능하며 최대 50M까지 측정 할 수 있다. 검출기는 초음파식의 측정방식을 채용하고 프랜지로 취부에 연결되어 있으며 몸체재질은 PVC로 되어 있다. 방사면의 재질은 PTFE, Polyurethane으로 되어 있고 적용온도는 -40 ~ +90℃까지 사용가능하다. 검출기의 측정범위는 0~6m, 0~10m, 0~15m, 0~50m등 4가지가 있으며 온도보상센서가 내장되어 있다. 또한 측정된 값을 변화시켜 송출시키는 변환기는 화면지시가 4 digit LCD이며 측정값은 수위와 거리를 대상으로 한다. 출력신호는 4-20mA로 보내며 , 5 SPDT Relay를 사용한다. 정밀도는 0.25% 이고, 변환기 분리형 및 일체형으로 제품생산이 되고 있다.

3) 레이더식 수위계

Reflex Radar 수위계는 2 wire Frequency Modulated Continuous Wave(FMCW) 시스템으로 최고 10GHz의 높은 주파수를 이용한 측정방식으로서 기존의 저주파 PULSE 타입의 타 레이더 수위계에 비하여 성능이 양호하다. 레이더 수위계는 비접촉 측정방식으로 온도 및 압력에 영향을 받지 않으며 측정유체로부터의 분위기 가스나 유체로부터 발생하는 거품 등에도 전혀 영향을 받지 않고 0.1~0.2% 이내의 고정밀도 측정이 가능하다. 또한 Reflex Radar 수위계는 액체뿐만 아니라 분체의 수위측정이 최고 24m까지 가능하며 2wire loop power 형식으로 취부가 간편하고 유지보수가 용이한 특징이 있다. 측정방식은 Microwave FMCW를 채용하고 있으며 측정용도는 Dist,Level, Volume이며 측정유체는 액체(Liquid), 고체(Solid)등이다. 측정범위는 0.15m-24m이며 프랜지 및

나사로서 취부에 연결되어 있다. 몸체재질은 SS316으로서 구성되어 있으며 측정주파수는 10GHz이다. 적용온도는 -50~600℃이며 적용압력은 최고 60 barg까지 이다. 전원은 24V DC의 wire loop power를 사용한다. 출력신호는 4~20mA이며 정밀도는 0.15~0.2%이다.

4) 고정밀 음파식

고정밀 음파수위계는 측정범위에 따라 여러 개의 수신센서를 설치하여, 온도, 풍향, 습도 등에 의한 오차 요인을 제거하였고, 하천, 수로, 댐(저수지), 해안조위, 정수장, 하수처리장 및 탱크 내 수위를 측정하는 용도로서 개발하였다. 측정원리는 음파수위계는 발신기와 수신기가 분리되어 있으며, 상단부의 기준점부터 액면까지의 거리를 음파를 이용하여 측정하는 시스템으로 여러 개의 수신센서를 설치하여 음속보상 구간의 한계, 공기 성분변화 등에 의한 보상이 완벽하며, 전구간에서 수위측정 오차를 최소화시켰다. 용도 및 특징은 장거리 측정(최대 150m)이 가능하고, 수직형 외에 경사형, 7자형(다굴절형) 설치가 가능하므로 설치비의 절감효과 및 설치장소 선정이 보다 자유롭다. 또한 수위측정 절대오차는 측정범위(또는 길이)에 관계없이 전역에서 동일하며 $\pm 1\text{mm}$ 에서 $\pm 10\text{mm}$ 까지 가능하다. 또한 온도, 습도, 기압, 유체의 종류에 관계없이 정밀도 유지할 수 있으며 수면의 파동이 심한 경우에도 정확한 수위측정 가능하다(진정관사용). 그 사용처로서는 댐, 저수지, 하천의 수위 측정과 해안조위, 하구 독수위 측정, 지하수 수위, 정수장, 하수처리장, 배수지 수위, 인공개수로의 수위 및 유량, 산업용탱크, 식음료, 정유, 화학 플랜트등에 쓰인다.

나. 수면증발량 측정

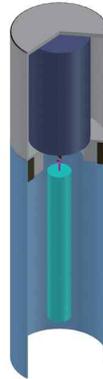
저수지에서의 물수지를 정밀하게 수행하기 위해서는 강수량, 유입량, 방류량뿐 만아니라 수면에서의 증발량 자료가 필요하지만, 수면에 폰툰을 안정적으로 계류하고, 수면에 설치된 대형증발계의 급·배수를 기준수위에 맞게 자동조절하며, 증발에 의한 수위변동을 시간당 0.1 mm 이하의 정확도로 관측할 수 있는 시스템 구축을 위한 기술이 요구된다. 저수지 수면증발량을 자동으로 관측하기 위해 필요한 요소 기술은 다음과 같다.

1) 정밀수위계

대형증발팬에 채워져 있는 물은 온도, 풍속, 상 대습도에 따라 증발과 응결을 반복한다. 증발과 응결에 따른 수위변동은 매우 미세하며 야외의 열 악한 환경에서 이러한 변화를 지속적으로 모니터 링하기 위해서는 정밀도와 내구성이 높은 수위계 가 요구된다.

2) 수면증발관측용 대형증발팬

지표면에서의 증발량 관측에는 일반적으로 대형증발팬과 소형증발팬으로 된 두 종류의 증발접시가 사용된다. 크기가 작은 소형증발팬은 설치 및 관리가 상대적으로 수월하나, 일반적으로 자료 신뢰도는 대형증발팬이 더 높은 것으로 평가되고 있다.



<그림 2-76> 대형증발팬에 장착 된 부력식 수위계

3) 자동급배수장치

대형증발팬에 채워져 있는 물의 양은 증발에 의 하여 감소하고 응결 및 강수에 의하여 증가한다. 1 일 최대증발량을 10 mm 로 가정할 경우 10일 동 안 약 10 cm의 수위변화를 예상할 수 있다. 그러므로 인위적인 물 채움과 비움이 가능하도록 팬 하부에 밸브를 설치하고 주기적인 전자제 어를 통해 개·폐를 반복함으로써 저수면과 동일 수위가 유지하는 것이 중요하다.



<그림 2-77> 자동급배수장치

4) 전원공급시스템

상전이 들어오지 않는 야외에서의 현장관측은 전원공급시스템 구축이 매우 중요하다. 효율적 이고 안정적인 전원 확보가 전제되어야 결측 없는 양질의 자료 생산이 가능하기 때문이다.

5) 우량계 설치

증발량관측 지점과 동일한 장소에서의 강수량 파악을 위해 1 mm 와 0.1 mm 분해능을 가진 전 도식 버킷(Tipping bucket) 우량계를 각각 1기씩 동일 장소에 설치하여, 홍수기와 평·갈 수기를 구분하여 강수량이 확연히 차이를 보이고 있는 시기별 강수량을 좀 더 정밀하게 측정한다.



<그림 2-78> 전원공급시스템과 우량계 설치

다. 강수량 측정

강수량이란 구름에서 떨어지거나 공중으로부터 지면에 침전된 액체 또는

고체의 수증기 응결체를 말한다. 즉, 지면에 떨어진 빗물이 땅속으로 스며 들지 않고 옆으로 흘러들어가지도 않고 그대로 고여 있다고 가정할때의 그 깊이이다.

강수량계는 크게 보통강수량계와 자기강수량계(Automatic rain recording gauge)로 나눌 수 있다. 보통강수량계는 직경 20 , 높이 60 원 통형 아연 도금철관안에 있는 깔대기 모양의 강수량 수수구를 통하여 집수된 강수량을 측정관에 부어 측정하는 방식으로, 강수량측정이 불연속적인 반면 정확도면에서는 우수하드로강수량 비교용 표준강수량계 등으로 이용된다. 자기강수량계는 부자형(Float type), 중량형(Weight measuringtype), 전도형(Tipping Bucket), 광투과형(Optical rainGauge) 등으로 나눌 수 있다

1) 전도형 강수량계

전도형 강수량계의 원리는 수수구에 모인 강수가 아래의 계량컵에 낙하여 계량컵에 소정의 빗물이 차게되면, 한 쪽으로 기울어지면서 자력식 스위치를 작동시켜 펄스 신호를 발생시키고 계량컵에 채워진 강수는 집수통으로 배출되는 것이다. 이와 같은 동작을 좌우에설치된 계량컵이 교대로 수행하면서 발생하는 펄스의수를 카운트하는 방식이다. 수수구의 크기는 200 mm, 447.2 mm가 주로 사용되고, 관측 분해능(Resolution)은 계량컵의 크기에 따라0.1 mm급, 0.2 mm급, 0.5 mm급으로 나뉜다[8]. 이러한 전도형 강수량계는 육안관측이 용이하고히팅장치를 가동하는 동절기를 제외하고는 별도의전원공급이 필요 없다는 장점이 있다. 그러나 높은 강우강도에서 계량컵의 전도 간격이 짧아져 강우 유실량이 증가하고, 어느 한계점 이상이 되면 관측 불능상태가 되는 구조적 한계를 지니고 있다. 또한 낮은 강우강도에서 부분 충전된 계량컵이 전도되지 않아 우량이 측정되지 않거나 차후에 내리는 강우에 의해 전도되어 펄스를 출력하기도 한다. 유지보수 측면에서는 기계적인 구동부에 먼지나 벌레 등이 협착되어 마찰을 발생시키므로 청소나 윤활 등의 정기점검을 필요로 한다.

강수량계는 기상관측 표준화법 및 하천법에 의거하여 3년마다 교정을 실시하게 되어있는데, 이때 증류수및 교정장비를 강수량계가 주로 설치된 산지로 운반해서 5시간 이상 교정해야 하는 어려움도 있다.

2) 중량형 강수량계

중량형 강수량계는 로드셀 등의 센서를 통해 중량의 변화에 따른 전기적인 저항 변화를 감지하여 이를 강수량으로 환산하는 원리를 이용하고 있다. 이는 기존의 전도형 강수량계에 비해 정밀도가 우수하다는 장점이 있으나, 바람의 영향으로 측정 오차가 발생하고 유지보수가 까다롭다는 단점이 있다. 그리고 강우측정의 원리상 집수통을 자동으로 비우는 시스템이 적용된 모델이라 할지라도 강제 배수에 소요되는 시간동안 강수량을 측정할 수 없기 때문에 연속적인 측정이 어렵고, 남아있는 물이나 내부의 결빙이 오차로 작용하는 단점이 존재한다. 또한 중량센서마다 온도 변화에 따른 특성 곡선이 상이하다는 점도 문제로 지적되고 있다

3) 초음파 강수량계

집중호우 등 급변하는 기후특성에 적합하도록 넓은 강우강도에서 연속적인 측정이 가능한 강수량계로, 초음파 진동자를 이용하여 유속을 측정하고, 유체가 지나가는 유로에서 통과 단면적과 유속으로부터 강수량을 계산하는 방식으로, 유지보수 측면에서는 종래의 강수량계에서 문제가 되었던 기계적 마찰로 인해 발생하는 오차와 고장을 최소화하였고, 비교측정에 소요되는 시간을 감소한다.



전도형 강수량계



중량형 강수량계



초음파 강수량계

<그림 2-79> 강수량계 종류

2. 도수부 물관리 시스템 H/W 기술

가. 수로 수위의 계측

일반적으로 도수부의 수위 관측은 수위-유량 관계 곡선을 수립할 수 있는 곳에 영구적이거나 반영구적으로 설치된다. 이를 통해 공급량을 관리하기 위해 수위정보를 바탕으로 수문을 조절하는 정보로 사용된다. 일반적인 도수부 수위측정방식은 부자식, 음파식, 압력식, 기포식, 압력식, 초음파식이 있다.

1) 부자식 수위계

부자식 수위계는 float가 오르내릴 때, 기어 내부가 작동하면서 전면 scale이 레벨의 값을 가리킨다. 이와 동시에, 기계식 기어와 맞물려있는 포텐서미터에 의해서 리모트 display와 signal output을 얻을 수 있다. 특징은 천정고가 낮은 곳에 설치가 용이하며 사용자가 정비에 대한 지식이 없어도 설치가 용이하다. 또한 Controller를 사용하면 리모트에서 디스플레이가 가능하고 펌프 및 밸브의 컨트롤이 가능하다. 재질은 플로트가 SIS 304, SUS 316이며 줄은 SUS 316이다. 적용온도는 $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$ 까지 가능하며 압력은 표준대기압에서 출력이 DC 4 ~ 20mA이다.

2) 음파식 수위계

측정원리는 취수부에 고려된 사항과 마찬가지로 발신기와 수신기가 분리되어 있으며, 상단부의 기준점부터 액면까지의 거리를 음파를 이용하여 측정하는 시스템으로 도수부 수로의 깊이에 따라 여러 개의 수신센서를 설치하여 수위측정 오차를 최소화하며 수직형 외에 경사형, T자형(다굴 절형) 설치가 가능하여 타 계측기기에 비해 다양한 수로에 설치가 가능하다.

3) 압력식 수위계

압력식 수위계의 검출기에는 투입압력식, 공기압식, 소형압력센서식이 있다.

① 투입압력식

수위의 변화를 수압의 변화로 검출하여 수위를 측정하는 방식의 수위계이다. 이 방식은 웨어 등의 상류측 수로내 또는 수위검출조에 압력 검출

기를 설치하고 수두에 따른 수압을 받아 신축하는 벨로우즈 및 코일, 스프링 등의 변화량을 전기 신호로 변환, 수위를 계산한다

② 공기압식

수위의 변화를 공기압의 변화로 변환하여 수위를 측정하는 방식의 수위계이다. 이 방식은 웨어 등의 상류측 수로내에 도압관을 삽입하고 최대 유량의 수두에 해당하는 공기압을 연속적으로 보내주면 수위변화에 대하여 그 수두와 같아지게 될 때까지 공기압이 변화하므로 도압관과 연결되어 있는 공기압을 기록계 등으로 기록하여 유량을 측정하는 원리이다.

③ 소형압력센서식

수위의 변화를 수압의 변화로 검출하여 수위를 측정하는 방식의 수위계이다. 이 방식은 소형 수압다이아프램에서 수압을 검출하고 이 압력변화를 수위로 변환하는 원리이다.

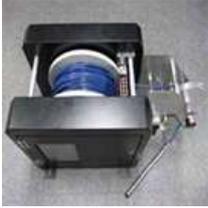
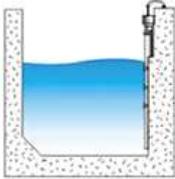
4) 기포식 수위계

기포식 수위계는 반도체 압전소자에 의해서 감지되어진 공기의 후방압력을 전기적 signal로 변환하여 레벨을 측정하는 원리이다. 특징은 찌꺼기가 많거나, 매우 끈끈한 액체 등의 수위측정을 위해서 사용될 수 있으며 측정물의 종류에 따라서 다양한 프로브를 선택하여 사용할 수 있다. 또한 의도된 수위에 도달했을 경우에 알람이 발생하도록 프로그램 할 수 있다. 재질은 센서부분이 SUS 304이며 경우에 따라서는 PVC로도 가능하다. 또한 적용온도는 0 ~ 60℃ 까지 이며 압력은 표준대기압 하에서 출력이 DC 4~20 mA까지 가능하다.

5) 초음파식 수위계

초음파가 공기중을 매초 약 340m의 속도로 전파하는 것을 이용하여 검출기에서 발사한 초음파 펄스가 측정대상에 반사되어 돌아오기까지의 시간을 측정하여 수위를 측정하는 방식의 수위계이다. 이 방식은 검출기와 변환기로 구성되고 검출기는 초음파를 발사하는 송신부와 반사파를 수신하는 수신부로 구성되어 있으며, 또 초음파의 전파속도가 온도에 따라 변화하기 때문에 이를 보상하기 위한 온도센서가 들어 있다. 검출기에는 가동부가 없고 유체에 비접촉으로 측정하기 때문에 오염된 물이나 부식성이 있는 액면의 수위 측정에도 사용 가능하다.

(표 2-29) 도수부 수위계측 방식 비교

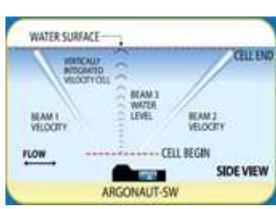
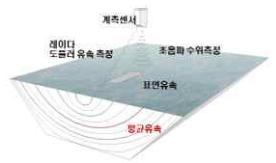
종 류	외형	특 징	적용
부자식 수위계		<ul style="list-style-type: none"> ○ 측정기구 단순, 고장시 수리 용이 ○ 안정적인 지점에 효과적임 ○ 관측정, 도수관 설치 필요 ○ 유입토사 처리 	
음파식 수위계		<ul style="list-style-type: none"> ○ 초음파 수위계와 동일한 원리 ○ 대상체 움직임의 영향을 덜 받음 ○ 대상체가 가까운 경우에 효과적임 ○ 관측정, 도수관 설치할 필요가 없음 ○ 설치비와 운영비가 적게 소요됨 	
압력식 수위계		<ul style="list-style-type: none"> ○ 수면이 결빙되었을 때 측정이 가능함 ○ 수압 변화를 전기적 신호로 변환 기록 	
기포식 수위계		<ul style="list-style-type: none"> ○ 경사 및 곡선으로 설치가 가능함 ○ 유지관리가 간단함 ○ 결빙시에도 측정이 가능함 	
초음파식 수위계		<ul style="list-style-type: none"> ○ 수면과 비접촉식 수위 변화 측정 ○ 설치가 간단 ○ 유지관리가 상대적으로 편리함 	○

나. 수로 유량 계측

수위를 유량으로 환산하기 위해서는 일반적으로 매닝공식, 수위-유량환산공식, 대체널 유량계 방식, 초음파 자동유량측정방식, 그리고 비접촉방

식으로 레이더 유량측정방식등이 있다.

(표 2-30) 도수부 유량측정 방식 비교

종 류	구 분	특 징	적 용
수위-유량 매닝공식		<ul style="list-style-type: none"> - 수위값을 매닝공식으로 유량 환산하는 방식 - 정체된 수위값에 따른 오차 - 현장별 환경변수(조도계수, 기울기등) 오차 발생 	○
수위 유량 환산 (유량곡선식)		<ul style="list-style-type: none"> - 수위별 유속측정을 통해 수위-유량관계식을 활용하여 유량 환산 - 현장별 조사와 검증이 요구 - 시기와 환경에 따른 변화를 반영하기 어려움 	
다채널 유량측정기 설치		<ul style="list-style-type: none"> - 수로측면에 송신,수신센서를 수심별로 설치하여 신호에 시간차에 따른 유속값으로부터 유량 환산 - 고가의 시스템으로 유지관리 어려움 	
초음파도플러 자동유량측정 (ADCP)		<ul style="list-style-type: none"> - 수로바닥, 측면에 설치하여 도플러효과를 이용한 유량 계측방식 - 수심별 평균유속 측정 등 정확한 유량 측정이 가능 - 수면아래 설치되어 토사영향, 유지관리 어려움 	
레이더 유량측정기		<ul style="list-style-type: none"> - 레이더 도플러 효과를 이용하여 표면유속을 측정하고 유량으로 환산 - 비접촉방식으로 유지관리 용이 	○

1) 유속계에 의한 방법

유속계는 특정지점의 유속을 측정하고 하천이나 인공수로의 각 지점유

속을 측정된 후 유속 면적 공식을 이용하여 지점유량을 계산한 후, 각 지점유량을 합하여 전체 단면의 유량을 결정한다. 결정된 전체 단면의 유량과 수위 측정 장치에서 측정된 수위를 이용하여 수위 유량 관계식을 수립한다.

2) 다채널 유량측정기

적용범위는 액체이며 형식은 Transit Time Type(시간차식 유량계)을 사용하였다. 작동원리를 보면 구성은 송신용 트랜스듀서, 수신용 트랜스듀서, 콘트롤러(transceiver)로 구성되어 있다. 다채널의 트랜스듀서는 도수부 수로 외부에 설치되고, 각각의 트랜스듀서 사이에서 초음파가 송수신되게 된다. 유속은 $Q=A.V$ 의 식을 사용하여 계산된 유량과 두 개의 트랜스듀서 사이의 시간 차이에 비례해서 나오게 된다.

3) 초음파 도플러 자동유량측정기

도플러란 달리고 있는 기관차가 정지하고 있는 관측자에게 접근할 경우 기관차가 내는 기적의 진동 주파수는 기관차가 관측자를 지나 멀어질 때에 비해 높게 되는 것과 같은 도플러 효과를 이용하여 유속이나 유량을 측정하는 원리이다.

측정 방법은 초음파를 수로내 흐르고 있는 유체중에 방사하면 방사된 초음파는 유체중의 부유물이나 기포로 부터 산란,반사된다. 이때 기포나 미소한 부유물은 유체와 함께 같은 속도로 이동하고 있는 것으로 볼 수 있으므로 송신과 주파수와 기포나 미소 부유물로 부터 산란,반사되어 들어온 수신과 주파수는 유체의 속도에 따라 변이가 발생되고, 이를 시간으로 환산하여 유속으로 계산한다.

초음파 도플러 유량계는 깨끗한 물에 대해서 사용할 수 없으며, 유체중에 어느 정도 크기의 부유물이 있어야 한다. 현재는 부유물의 입자크기가 약 30 μm 정도만 되면 사용이 가능하다.

4) 레이더 자동유량측정기

레이더 자동유량측정기는 초음파 도플러 자동유량측정기와 동일하게 도플러 원리를 이용한 유량측정기로 수면 위에서 레이더를 일정한 각도로 방사하여 되돌아온 신호를 분석, 표면유속으로 환산하는 측정방식이다.



수로구조물에 의한 오염



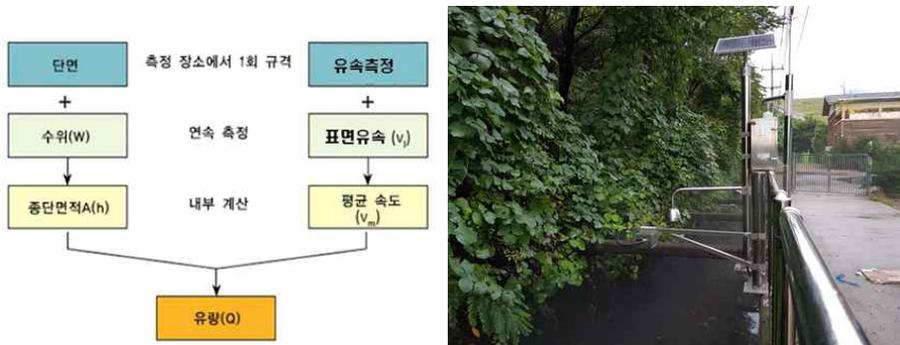
수로 장애물(수초등)에 의한 오염



영수위에 의한 유량환산 오류

<그림 2-80> 도수부 수로에서 발생하는 수위-유량 환산의 문제점

특히 레이더 자동유량측정기는 기존에 다채널유량측정기, 초음파도플러 자동유량측정 방식이 가지는 수면아래에서 측정되는 방식의 토사 영향, 수초영향 등 다양한 유지관리 요소로부터 비접촉방식으로서의 편리성과 관리의 용이성을 제공한다.



<그림 2-81> 레이더 유량측정 절차

다. 도수부 수문 계측 기술

급수부의 수문은 수로에서 물을 저장, 통수, 방수등의 행위를 제어하기 위하여 인공적으로 설치해놓은 구조물로서 그 기능과 역할, 그리고 구조적인 특징으로 다양한 종류로 나눌 수 있다. 급수부의 수문은 그 기능에 따라 수원공에서 공급된 물을 관리하기 위한 제수문, 분수문, 방수문, 배수갑문등으로 나눌 수 있으며 동력 사용 여부에 따라 수동식 수문과 전동식 수문으로 나눌 수 있으며 또한 작동방식 및 수압에 대한 영향에 따라서 롤러 게이트, 힌지 게이트, 슬라이드 게이트로도 나눌 수 있다.

1) 수문의 기능별 종류 및 특징

급수부의 수문은 농업용수를 최초로 공급받는 곳에서부터 최종적으로 다 사용하고 남은 물을 바다로 보내는 곳까지를 상정하여 각 기능별로 구분하여 나뉘며, 급수부는 제수문, 분수문, 방수문, 배수갑문 등으로 나눌 수 있다.



<그림 2-82> 수문의 종류

① 제수문

제수문은 Check gate라고도 하며 주로 수로가 분기되는 지점에 설치되는 수문이다. 제수문의 설치목적은 간선수로나 지선수로에서 흐르는 용수를 분기지점에서 분기시킬때 적정량을 일정한 수위하에서 보낼 수 있도록 물을 막는 역할을 수행한다.

② 분수문

분수문은 통상 제수문 앞에서 분기되는 지점에 설치되는 수문으로서 간선이나 지선에서 용수를 취수하여 지선이나 지거로 물을 보내는 역할을 담당한다. 각종 수로의 크기상 제수문보다는 작은 것이 특징이며 제수문과 연동하여 운영을 한다. 보통 분수문은 수동식 수문이 많고 이를 제어 감시인원이 용수사용시기에 수문의 개도를 적정히 정하여 운영하고 있다. 그러나 이 분수문의 경우 용수사용시기에 용수에 대한 농민의 불만으로 인하여 수문의 파괴한다든지 또는 수문개폐를 행하는 스핀들을 망가트려 놓는 다든지 하는 일이 발생하곤 하는 수문이다. 또한 가장 빈번하게 개폐동작을 해야함으로서 운영 및 유지관리에 가장 많은 시간과 노력을 요하는 수문이기도 하다. 가장 빈번하게 사용되고 유지관리에 가장 많은 노력이 필요한 분수문을 저비용으로 제작설치하여 관리운영하며 이를 전동화시켜 원격지에서도 감시·조작을 행할 수 있도록 하는 것 필요하다

③ 방수문

수문의 역할 중 물을 외부로 보내는 대표적인 수문이다. 수로 내의 송수량이 월류를 초래할 정도로 많을 때나 또는 집중강우와 같이 일시에 많은 물이 내려올 때 방수문하류에서 초과유량에 따른 수로범람, 논 침수, 수리시설물 파괴와 같은 피해를 방지하기 위하여 물을 배수로나 하천으로 방류시키는 역할을 주로 행한다. 이는 비상시에 대비한 시설로서의 의미가 가장 크며 수문의 조작도 그리 빈번하지 않기 때문에 운영과 유지관리를 위한 노력이 다른 종류의 수문보다는 크게 들어가지 않는 수문이다. 수로 및 설정 방류량의 다소에 따라 수문의 크기가 달라지기 때문에 수동식과 전동식이 경우에 따라 병행하여 사용되고 있다.

④ 배수갑문

배수갑문은 농업용 수문 중 가장 말단에 위치한 것으로서 목적은 최종적으로 사용하고 남은 물을 바다로 방류하는데 있다. 수문의 크기가 크고 대부분 전동식으로 운영된다.

2) 수문의 동력사용여부별 종류 및 특징

수문은 동력사용여부에 따라서 수동식 수문과 동력식 수문으로 나뉘고 수동식 수문의 경우에는 스프링식과 잭식으로 나뉜다. 또한 동력식 수문의 경우에는 일반 상용전원 동력식과 태양광 동력식으로 나뉠 수 있다.

① 수동식 수문

수문의 개폐를 인력으로 행하는 수문으로서 현재까지 통상적으로 농업용 수로 내에 제작·설치되어 있는 수문이다. 수문의 특성상 개폐를 하는데 많은 힘을 요하기 때문에 주로 작은 크기의 수문(지선급 이하의 수로에 설치되어 있는 수문)을 대상으로 활발히 보급하여 왔다. 수동식 수문의 경우에는 전동식 수문에 비해 초기 제작설치비가 싸며 운영과 관리에 있어서도 간편한 점이 장점이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 수문 개폐에 많은 노력과 시간이 들기 때문에 운영 및 유지관리인력이 부족한 현재에는 설치를 기피하는 경향이 있는 것도 사실이다.

<스핀들식 수문>

스핀들식 수문의 가장 큰 특징은 스핀들이라는 기어에 직접 수문개폐를 용이하게 할 수 있는 핸들을 달아서 핸들을 돌리는 동작에 의해 수문을 개폐하는 것이다. 기어에 직접 핸들을 달았기 때문에 핸들을 돌리는 힘이 직접 스핀들에 전달되고 이 스핀들의 상하운동에 따라 수문이 열리고 닫히는 구조이다. 이는 핸들을 돌릴 때 스핀들의 핏치(나사산과 나사산의 거리)에 의해서 1회 핸들회전시 수문이 움직이는 거리가 정해져 있으며 핏치의 거리가 멀면 멀수록 1회 회전시 움직이는 거리는 크나 그만큼 힘이 더 든다. 따라서 수문이 움직이는데 드는 힘은 수문비의 중량과 스핀들의 핸들까지의 거리가 모멘트로서 작용되며 이러한 힘이 조작하는 사람에게 직접 전달된다는 것이 이 스핀들 수문의 가장 큰 단점이기도 하다. 그러나 단순한 구조와 조작의 간편함이 본 수문을 널리 이용하게 한 원인이기도 하지만 관리인력의 부족 및 고령화에 따라 개폐시 한꺼번에 많은 힘과 시간을 요하는 스핀들 수문의 설치를 꺼리는 경향이 있다.

<재키식 수문>

재키식 수문은 손잡이를 누르면 그 힘이 유압식 재키에 전달되고 재키에서 체인기어를 움직여 그 힘을 기어에 전달하며 기어가 수문비를 상하로 움직이게 하는 작동메커니즘을 갖고 있다. 본 재키식 수문은 수동식 수문으로서는 대단히 복잡한 작동메커니즘을 갖고 있으나 단순히 손잡이만을 큰 힘들이지 않고 상하로 잡아당김으로서 수문을 움직일 수 있다는 장점을 갖고 있고 따라서 수동식 수문으로서는 큰 크기의 수문으로서는 사용할 수 있으며 또한 한 장소에 여러대를 병렬로서 연결시켜 놓아도 한 군데의 조작대에서 조작할 수 있다는 편리성을 갖추고 있다



<그림 2-83> 스펀들식 수문(좌)과 재키식 수문(우)

② 동력식 수문

동력식 수문은 수문의 개폐작동을 전기의 힘으로 하는 것으로서 일반적인 TM/TC 자동수문과 태양광 자동수문, 그리고 IoT 저전력 자동수문으로 나뉜다. 전력부분에서 구성은 전원(일반 및 태양열 이용 전기), 동력전달장치(기어, 감속기), 구동장치(모터부), 수문비, 수문플레이트, 제어조작부, 신호전달부등으로 되어 있다. IoT 저전력 자동수문은 태양광 자동수문에서 좀 더 발전된 기술로 기존 개폐방식을 개선하고 통신 전력을 최소화 하여 보다 적은 전원으로 수문운영이 가능하다

(표 2-31) 수문방식 비교

	TM/TC 자동수문	태양광 자동수문	IoT 저전력 자동수문
외형			
적용			○

<일반전기사용 동력식 수문>

일반전기사용 동력식 수문은 전기의 상에 따라 2가지로 나눈다. 그 2가지 형태가 단상(220N Volt)과 삼상(380 Volt)으로서 전기인입을 시키고 이를 계산된 모터의 용량에 따라 설치를 하여 사용한다. 단상과 삼상전기의 차이는 모터용량을 결정시키기 때문에 대형 수문의 경우는 삼상전기를 소형수문의 경우는 단상전기를 일반적으로 사용한다.

<태양광 사용 동력식 수문>

태양열을 이용하여 전기를 발생시키고 그 전기를 충전기를 통하여 밧데리에 축전을 시키며 수문 작동시에는 밧데리의 전기를 이용하여 개폐를 하는 태양열 수문은 직류전기를 사용하기 때문에 구동장치를 DC모터를 사용한다. 하지만 태양광의 한계와 배터리의 관리의 어려움과 기상환경에 성능 저하가 발생하여 현장 적용에 한계가 있다.

<IoT 저전력 자동 수문>

IoT 저전력 자동수문은 기존에 개폐방식을 개선하여 나사산 구조로 된 개폐축이 회전함에 따라 문비와 일체로 조합되어 있는 개폐축 하단의 너트케이스가 상·하로 이동하면서 문비를 개폐하도록 하고, 최신 IoT 통신 기술과 접목하여 저전력 기반의 컨트롤 박스, 개폐모터, 리미트 스위치, 밀폐형 배터리, 문틀, 문비, 개폐축으로 구성된다.

3. 급수부 물관리 시스템 H/W 기술

가. 담수심 수위의 계측

하천이나 저수지 등에서의 수위계측을 위해 초음파식, 부표식, 압력식, 기포식, 음파식, 전극식 수위계 등이 개발되어 사용되고 있지만, 논 담수심 측정을 위한 계측은 측정범위가 5~6cm에 불과하여 기존 수위계를 직접 사용하기는 어려우나 필요시 응용할 수 있는 기초기술은 개발되어 있으며 정전용량식, 압력식, 초음파식이 사용되었다. 담수위의 원격 정밀 계측의 목적은 개별 필지의 담수위 관리를 위한 목적과 관개지구 전체의 용수수요를 판단하기 위한 목적으로 구분된다.



<그림 2-84> 담수심 측정기 (a. 압력식, b. 초음파식, c. 정전용량식)

1) 압력식 수위계

담수심의 압력식 방식은 수위의 변화를 수압의 변화로 검출하여 수위를 측정하는 방식으로, 이 방식은 소형 수압다이아프램에서 수압을 검출하고 이 압력변화를 수위로 변환하는 원리이다.

2) 초음파식 수위계

취수부/도수부와 마찬가지로 초음파가 공기중을 매초 약 340m의 속도로 전파하는 것을 이용하여 검출기에서 발사한 초음파 펄스가 측정대상에 반사되어 돌아오기까지의 시간을 측정하여 수위를 측정하는 방식이며, 측정 환경에 따라 환경적 요인을 받기도 한다.

3) 정전용량식

담수심 측정용 정전용량식은 앞선 방식과 마찬가지로 막대기 모양의 프로브(+전극)와 파도가 있는 수면의 영향을 피하기 위한 방파관(-전극)을 설치하고 수위에 비례하는 전극 사이의 정전용량의 변화를 검출하여 수위를 측정하는 방식의 수위계이다. 이 방식은 프로브와 방파관의 전극 사이에 콘덴서가 형성되고 전극사이에 가득 찬 유체와 그 레벨에 비례하여 변

화하는 콘덴서의 정전용량을 검출하여 이 정전용량을 직류 전류로 변환시켜 전기신호로 검출하는 원리이기 때문에 초음파식에 비해 벼의 영향이나 담수심 측정에서 토사에 의한 오염등 영향이 상대적으로 적다

4) 라이다를 이용한 담수심 센서

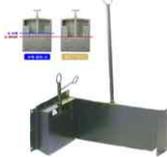
라이다 센서는 레이저를 목표물에 비춤으로써 사물까지의 거리, 방향, 속도, 온도, 물질 분포 및 농도 특성등을 감지할 수 있는 기술이다. 라이다 센서는 일반적으로 높은 에너지 밀도와 짧은 주기를 가지는 펄스 신호를 생성할 수 있는 레이저의 장점을 활용하여 보다 정밀한 대기 중의 물성 관측 및 거리 측정 등에 활용이 된다. 최근 자동차와 로봇분야의 성장으로 소형 라이다센서가 개발되고, 비교적 환경에 영향을 덜 받는 센서들이 등장함에 따라 담수심 측정을 위한 새로운 시도가 가능해 졌다. 라이다 센서는 레이저 송신부, 레이저 검출부, 신호 수집 및 처리와 데이터를 송수신하기 위한 부분으로 단순하게 구분되며, IoT 통신기술과 배터리 기술을 융합하여, 일4회 측정을 기준으로 7년 상용이 가능한 일체형 담수심 센서 개발이 요구된다.

나. 물꼬 제어 기술

현재 우리나라에서 사용되는 급수용 물꼬는 수로에서 논으로 PVC파이프 등을 연결한 급수관 형태로 되어 있으며 이를 농민이 천이나 비닐 등을 마개로 하여 막거나 열어서 사용 하고 있는 실정이다.

일부에서는 개량형 물꼬를 설계에 반영하고 있으나 이 제품들은 자동 작동이 아닌 수동식으로서 단지 개폐를 위한 마개를 부착시켜 편의성을 증진한 것으로 최근 개발중에 있거나 일부 경지정리지구에서 사용되는 개량형 급수물꼬로는 밸브형, 마개형 및 자동형 등이 있다. 밸브형과 마개형의 경우 급수 차단력이 기존 물꼬에 비해 우수하고 구조가 간단하며 가격이 저렴하다는 장점이 있으나 인력에 의해 작동되므로 농업용수나 노동력의 절감을 기할 수 없는 단점이 있다. 자동형의 경우 포장 담수심을 센서·부표 등으로 감지하여 급수를 자동으로 조절함으로써 농업용수 및 물꼬조작 노동력절감과 효율적인 포장급수를 실현할 수 있는 장점이 있다.

(표 2-32) 국내 급수용 물꼬현황

구분	사용수료	장·단점	적용
밸브식		○장점 : 급수조절/조작간단 ○단점 : 사용자 관리 요구, 고가	○
마개식		○장점 : 구조가 간단하고 조작 용이 ○단점 : 수두차가 큰 곳에서는 이용이 어렵다	
자동식		○장점 : 농업 용수 및 노동력 절감 ○단점 : 가격 고가, 이물질에 의한 막힘	○

4. IoT 스마트 수리시설 인벤토리

가. IoT 스마트 수리시설 인벤토리 구성

자율학습 물관리시스템 H/W 요소기술에서 취수부는 기상, 유입량, 저수량, 증발산량, 취수문조절로 구성되고, 도수부 H/W 요소기술은 기상, 수위, 공급량, 조절수문으로 구성되며, 급수부는 기상, 담수심, 물꼬로 구성된다.



<그림 2-85> IoT 스마트 수리시설 인벤토리 구성

(표 2-33) 수리시설별 H/W 요소 기술

	항목	계측방식	기존 운영시스템	기존 설치현황
공통	기상(강우) 10분	전도식, 부자식, 중량식, 초음파식	기상청(공사연계)	ASOS 95 AWS 711
취수부	저수량 10분	초음파, 압력식 레이다식	농촌용수종합정 보 시 스 템 (RAWRIS)	1,722 개소
	취입수문 -실시간-	횡형권양기+ TM/TC	KRC HMI + 용수시설통합관리 시스템(TOMS)	95 개소
	유입량 -10분-	간접계산(모델) 직접계측	농촌용수종합정 보 시 스 템 (RAWRIS)	-
도수부	수위 -10분-	초음파, 압력식 레이다식	농촌용수종합정 보 시 스 템 (RAWRIS)	1,184 개소
	공급량 -10분-	매닝공식, 수위 -유량공식, 도 플러유속계, 레 이다유속계	농촌용수종합정 보 시 스 템 (RAWRIS)	-
	평야부수문 -실시간-	권양기, 롤러, 게이 트, 판재, 일체식 + TM/TC	KRC HMI + 용수시설통합관리 시스템(TOMS)	350 개소
급수부	담수심 -일4회-	초음파, 압력식, 라이다식	농촌용수종합정 보 시 스 템 (RAWRIS)	-
	물꼬 -실시간-	밸브식, 마개식, 자동식	KRC HMI + 용수시설통합관리 시스템(TOMS)	-



<그림 2-86> 용수시설통합운영관리시스템(TOMS) 강수량 연계 활용(ASOS+AWS)



<그림 2-87> 농촌용수종합정보시스템(RAWRIS) 저수율/수로 계측정보 활용

No	지사	시설명	종류	내수위(m)	수문01	수문02	수문03	수문04	수문05	수문06	수문07	수문08	외수위(m)	용산상태	CCTV	측량일자	비고
1	경기 여주.여천	신시	방수문											정상		2018-11-21 00:53	
2	경기 여주.여천	농사용천	제분수문	0m										이상		2018-11-20 19:33	
3	경기 여주.여천	변도	방수문	0m										이상		2018-11-20 19:33	
4	경기 여주.여천	구양5호	방수문	0m										이상		2018-11-20 19:33	
5	경기 여주.여천	구양	방수문	0m										이상		2018-11-20 19:33	
6	경기 여주.여천	구양3호	방수문	0m										이상		2018-11-20 19:33	
7	경기 여주.여천	산근	방수문	0m										이상		2018-11-20 15:13	
8	경기 여주.여천	구양1호	방수문	0m										이상		2018-11-20 15:23	
9	경기 연천.포천	삼거	제분수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
10	경기 연천.포천	동한	제분수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
11	경기 연천.포천	무동계수문	제분수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
12	경기 연천.포천	전상	제분수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
13	경기 연천.포천	산정5	방수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
14	경기 연천.포천	산정.방수문	방수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
15	경기 연천.포천	산정1제분수문	제분수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
16	경기 연천.포천	산정.취입수문	취입수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
17	경기 연천.포천	고양포	제분수문	0m										이상		2018-11-20 15:13	
18	경기 연천.포천	산정3(양업)취입수문	취입수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
19	경기 연천.포천	산정3	방수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	
20	경기 연천.포천	원당방수문.본수문	본수문	0m										정상		2018-11-21 00:53	

<그림 2-88> 용수시설통합운영관리시스템(TOMS) 수문정보 활용

스마트수리시설로써 중간저류시설은 저수지와는 달리 유역을 갖고 있지 않고 용수로의 중간에 설치되어 용수수급의 차를 조절하기 위한 시설이다. 기존에 대규모의 저수지가 저류를 집중화하고 저수용량을 거대화하는 경향에 대하여 중간저류시설은 저류를 분산화하는 효과가 있다. 중간저류 시설에는 조절지와 팜폰드(farm pond)가 있으며, 조절지가 간선용수로의 중간에 설치되어 수일 정도의 용량(수십만 m³)을 갖는다. 팜폰드는 24시간의 송수와 변동하는 1일의 용수수급의 차를 조절하는 것(수천 m³)으로 간선(지선)과 지거용수로의 연결부에 설치되어 있다.

이와 같은 중간저류시설은 물의 무효방류를 줄일 수 있으며, 수요자에게 물절약의 심리적 효과가 기대할 수 있다. 물사용자에게는 먼 곳에 있는 저수지보다 가까운 곳에 있는 중간저류시설의 물이 친근감을 느끼게 한다. 물사용자의 물에 대한 이런 고유감은 지역적인 물관리를 수행하는 데 중요한 심리적 요인이 된다.

나. IoT 통신방식의 주요 요소 기술

자율학습물관리를 위해서 적용되는 무선통신 기술은 센서들과 다양한 디바이스들이 모두 연결되는 IoT(Internet of Things) 기술로의 발전되어 현장에 적용되고 있으며, 주요 네트워크 별 특징은 아래와 같다.

(표 2-34) 저전력 장거리 네트워크

종 류	LoRa	NB-IoT	SigFox
주파수 대역	비 면허 대역 (920MHz)	LTE 대역 내	비 면허 대역 (920MHz)
통신규격 표준화	LoRa Alliance 표준	3GPP LTE 표준화 진행 중 (Rel.13~16.2Q)	ETSI (유럽 표준)
셀커버리지	~10km	~10km	~10km
전송속도	~5.4kbps	~수백kbps	100~600bps
장점	<u>초기 인프라 구축 불필요</u> <u>IoT 계측 센서 데 이터 전송에 특화</u>	초기 인프라 구축 불필요 IoT 계측 센서 데 이터 전송에 특화	초기 인프라 구축 후 운영성 및 확장 성 확보 가능
단점	디바이스 별 통신 비용 지불 사용료 지불에 의 한 증장기 비용 발생	통신망 적용 디바 이스 검증 필요 사용료 지불에 의 한 증장기 비용 발생	국내 적용 사례 없음 초기 인프라 구축 필요
적용	○		

(표 2-35) 셀룰러 네트워크

종 류	LTE-M (Cat.1)	Wi-Fi
주파수 대역	LTE 대역 내	비 면허 대역 (920MHz)
통신규격 표준화	3GPP LTE 기존 LTE 통신 중 가장 속도 가 낮은 규격	IEEE802.11a/b/g/n/ac
셀커버리지	~5km	~ 수km
전송속도	10Mbps 이하	~ 10Mbps 이상
장점	초기 인프라 구축 불필요 계측 센서 데이터 및 영상 데 이터 등 다양한 데이터 전송 가능	<u>계측 센서 데이터 및 영상 데 이터 등 다양한 데이터 전송 가능</u> <u>사용자 시스템 이용환경 우수</u> <u>시스템 확장성 우수</u>
단점	디바이스 별 통신비용 지불 사용료 지불에 의한 중장기 비용 발생	초기 인프라 구축 비용 발생 유지보수 및 운영 관리 필요 사용자 비용 지불 없음
적용	○	

제4절 TEST BED 기초자료 수집 및 자율학습 물관리 시스템 구성

1. TEST BED 선정 및 현장조사

가. 금강지구

본 지구는 우리나라 남서해안 일대의 호남평야 지대로서 북위 $35^{\circ} - 45' \sim 36^{\circ} - 09'$, 동경 $126^{\circ} - 35' \sim 127^{\circ} - 11'$ 사이에 위치하고 있으며 행정 구역상으로는 충남 서천군과 전북 익산, 군산, 김제시, 완주군 등 2도 3시 2군 48개 읍면동이 해당된다. 중심지인 익산시는 서울에서 남쪽으로 약 280km에 위치하며 금강Ⅱ지구는 서천지역, 익산지역, 김제지역의 3개 지역으로 구분되어 있다.

우리나라 남서부에 위치한 지구로서 겨울의 대륙성 기후와 여름에는 해양성기후의 영향으로 춘하추동이 현저하게 계절적 변화를 나타내고 있다. 그러므로 6월부터 9월까지의 해양성 고기압권내에 들어가며 연강우량의 65%가 이 기간중에 내리고 기온이 높아 수도생육에 적합한 기상조건을 가지고 있다.

본 금강Ⅱ지구 유역 평균강우량은 1973년부터 2013년까지의 41개년을 5개 관측소의 강우를 중심으로 금강유역은 대전, 부여, 청주기상대, 만경강 유역은 군산, 전주기상대의 강우를 평균하여 계산하여 다음 표에 나타내었다. 금강, 만경강 2개강 유역내 5개 관측소의 자료를 집계 분석한 결과 다음 표와 같으며 군산 기상대의 월평균최고기온은 28.3°C 이며 월평균 최저기온은 -4.5°C 까지의 분포를 보이고 있다.

(표 2-36) 유역평균 강우량

(단위:mm)

지역별 연도	금강유역	만경강유역	비 고
1973	976	952	
1974	1,278	1,462	
1975	1,284	1,438	
1976	989	986	
1977	1,025	766	
1978	1,322	1,138	
1979	1,416	1,422	
1980	1,575	1,363	
1981	1,227	1,273	
1982	960	858	
1983	1,185	1,165	
1984	1,206	1,312	
1985	1,568	1,597	
1986	1,234	1,256	
1987	1,891	1,725	
1988	876	718	
1989	1,471	1,377	
1990	1,537	1,309	
1991	1,166	1,213	
1992	1,083	1,095	
1993	1,383	1,439	
1994	967	866	
1995	1,267	946	
1996	1,085	1,096	
1997	1,608	1,347	
1998	1,904	1,628	
1999	1,437	1,326	
2000	1,529	1,667	
2001	788	895	
2002	1,312	1,162	
2003	1,704	1,685	
2004	1,499	1,445	
2005	1,537	1,449	
2006	1,118	1,181	
2007	1,646	1,564	
2008	944	951	
2009	1,067	1,093	
2010	1,407	1,405	
2011	1,921	1,628	
2012	1,448	1,510	
2013	1,197	1,178	
평 균	1,318	1,265	

(표 2-37) 금강지구 기온

(단위:℃)

기상대	구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	비고
청주	월평균	-2.5	0.0	5.5	12.4	18.0	22.4	25.4	25.7	20.6	13.9	6.6	-0.1	1973 ~ 2013 (41개년)
	월평균 최고	0.7	4.3	8.1	16.0	19.9	24.6	29.1	28.0	22.9	17.3	11.2	2.5	
	월평균 최저	-8.5	-3.6	3.3	10.2	16.5	20.1	23.1	22.6	18.3	11.7	2.9	-4.0	
대전	평균	-1.8	0.6	5.8	12.5	17.9	22.2	25.2	25.6	20.7	14.1	7.1	0.7	1973 ~ 2013 (41개년)
	월평균 최고	1.7	4.2	8.6	15.7	19.8	24.0	29.2	27.9	22.6	17.1	11.2	3.1	
	월평균 최저	-6.2	-2.6	3.3	10.0	16.4	20.0	22.9	22.6	18.7	12.2	3.8	-3.0	
부여	평균	-2.1	0.2	5.1	11.6	17.2	21.8	25.1	25.5	20.3	13.5	6.6	0.3	1973 ~ 2013 (41개년)
	월평균 최고	1.1	3.3	7.0	15.1	19.0	23.1	28.2	27.2	22.6	16.4	10.5	2.3	
	월평균 최저	-7.6	-2.6	2.5	9.0	15.9	19.8	23.0	22.1	18.3	11.3	3.5	-4.0	
군산	평균	-0.5	1.1	5.3	11.2	16.7	21.3	24.9	25.8	21.3	15.2	8.5	2.1	1973 ~ 2013 (41개년)
	월평균 최고	2.8	3.9	7.4	14.0	18.2	22.4	28.3	27.5	23.1	17.8	11.4	4.4	
	월평균 최저	-4.5	-1.8	3.3	9.1	15.7	19.2	22.7	22.7	19.6	13.5	5.4	-2.3	
전주	평균	-0.6	1.3	6.1	12.7	18.1	22.4	25.9	26.3	21.4	15.0	8.2	1.9	1973 ~ 2013 (41개년)
	월평균 최고	3.1	4.8	8.2	16.3	19.7	23.9	29.4	28.5	23.6	18.1	12.2	4.1	
	월평균 최저	-4.9	-2.1	3.8	9.9	16.6	20.4	23.6	23.2	19.6	13.1	4.5	-1.6	

5개 기상대의 자료에 의하면 월평균 상대습도는 다음과 같으며 청주기상대의 4월평균이 58.1%로 가장 건조하며 군산측후소의 7월 월평균 상대습도가 84.8%로 가장 높음을 보여준다.

(표 2-38) 금강지구 월평균습도

(단위:%)

월별 기상대	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	비고
청주	68.0	64.1	61.1	58.1	62.0	68.6	76.9	76.5	74.7	71.1	70.1	70.0	
대전	67.0	63.4	60.7	59.1	64.1	71.2	79.6	78.9	76.5	72.5	71.0	70.2	
부여	73.1	69.3	67.3	66.1	69.5	74.6	81.6	80.1	77.8	75.4	74.7	75.7	
군산	71.1	70.6	70.9	71.6	74.8	79.9	84.8	82.4	78.5	73.6	71.7	72.7	
전주	69.1	66.9	64.2	61.4	65.3	71.8	77.8	76.7	74.4	71.0	70.0	70.1	
평균	69.7	66.9	64.9	63.3	67.1	73.2	80.1	78.9	76.4	72.7	71.5	71.8	

5개 기상대의 증발량자료에 의하면 연평균 증발량은 1,064mm이며 월별 평균 증발량은 다음과 같다.

(표 2-39) 금강지구 월평균 증발량

(단위:mm)

기상대	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	비고
청주	32.8	43.7	78.4	120.6	146.5	141.9	128.0	132.0	103.3	80.3	46.3	32.5	1086.4
대전	33.4	43.2	78.2	118.2	144.0	136.1	123.9	126.0	99.0	77.6	44.4	32.7	1056.7
부여	33.3	42.7	77.0	114.8	140.4	133.3	121.4	123.8	98.2	77.1	44.2	32.5	1038.7
군산	37.2	46.8	78.8	113.7	138.4	134.1	127.5	134.8	107.2	87.4	51.1	37.4	1094.4
전주	32.5	40.6	71.4	111.3	140.1	133.6	124.0	129.7	101.5	81.8	45.7	31.6	1043.8
평균	33.8	43.4	76.8	115.7	141.9	135.8	125.0	129.3	101.8	80.9	46.3	33.3	1064.0

월평균 일조시간은 5개 기상대 평균으로 최소 5.2시간에서 최대 7.6 시간까지 이며 세부내용은 다음과 같다.

(표 2-40) 금강지구 월평균 일조시간

(단위: hr)

기상대	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	비고
청주	5.2	6.0	6.5	7.3	7.6	6.5	5.0	5.7	5.9	6.4	5.2	5.0	6.0
대전	5.2	5.8	6.5	7.3	7.5	6.5	5.0	5.8	6.0	6.5	5.2	5.0	6.0
부여	6.0	6.8	7.5	8.3	8.6	7.9	6.6	7.4	7.2	7.3	5.8	5.6	7.1
군산	5.0	5.9	6.4	7.1	7.1	6.0	4.9	6.1	6.3	6.5	5.2	4.7	5.9
전주	4.9	5.5	6.2	7.1	7.2	5.8	4.5	5.4	5.7	6.4	5.1	4.6	5.7
평균	5.3	6.0	6.6	7.4	7.6	6.5	5.2	6.1	6.2	6.6	5.3	5.0	6.1

월평균 풍속은 영농시기인 4월 1.6~4.0 이며 10월 1.0~3.2으로 조사되었으며 자세한 내용은 다음과 같다.

(표 2-41) 금강지구 월평균 풍속

(단위: m/sec)

기상대	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	비고
청주	1.6	1.8	2.1	2.2	2.0	1.8	1.9	1.8	1.6	1.4	1.5	1.4	1.8
대전	1.5	1.7	2.1	2.3	2.1	1.9	1.9	1.8	1.6	1.3	1.4	1.3	1.7
부여	1.1	1.3	1.5	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0	1.2
군산	3.4	3.8	4.2	4.0	3.7	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.4	3.3	3.5
전주	1.3	1.5	1.7	1.8	1.7	1.6	1.7	1.5	1.3	1.2	1.3	1.3	1.5

본 지구는 서해안 지역에서 일반적으로 발견되는 노년기의 지질양상을 보이며 한쪽은 금강과 만경강이 사행으로 흐름으로써 넓은 퇴적층을 이루

고 한편 동쪽과 북서쪽은 높은 지세로 되어 있다. 이 지구는 대하천이 잘 발달되어 있어 우리나라 제일의 호남평야가 있으며 하구 부분의 해안선은 굴곡이 심한 편이다.

본 지구의 지질은 동쪽지역은 높은 산지와 급경사로서 굳은 변성암, 즉 너니석, 유화철, 규암 등으로 분포되어 있어 풍화와 마모에 저항성이 있다. 본 지구 중앙에는 흑운모 화강암, 편암질 화강암이 깊은 풍화대층으로 완경사로 얽은 구릉을 이루고 있다.

본 지역에는 충남의 서천지사와 전북의 익산, 군산, 동진, 전주·완주·임실지사의 5개 지사의 수혜구역이 포함되어 있으며 조사한 바에 따르면 5개 지사와 금강사업단의 저수지 및 주수원공의 수혜면적은 총 103,093ha에 이르고 있다.

<표 2-42> 지사별 시설물 현황

지사명		충청남도	전라북도				
		서천	금강사업단	군산	동진	전주완주 임실	익산
합계	개소수	22	2	33	59	322	104
	인가면적(ha)	-	-	4,959	51,580	50,980	11,172
	수혜면적(ha)	9,709	18,697	4,983	50,837	46,532	11,274
저수지	개소수	8	-	25	21	86	26
	유효저수량(천 ³ m)	64,145	-	24,289	279,547	123,889	6,496
	수혜면적(ha)	6,407	-	4,959	34,877	24,836	1,806
	만수면적(ha)	653	-	651	3,120	1,272	182
양(배)수장	개소수	1	2	-	-	-	2
	수혜면적(ha)	2,794	18,697	-	-	-	8,717
보	개소수	13	-	-	13	190	37
	수혜면적(ha)	508	-	-	15,742	21,395	582
	취입수량(m ³ /s)	1	-	-	39	24	4
집수압거	개소수	-	-	-	4	7	-
	수혜면적(ha)	-	-	-	155	174	-
	채수량(m ³ /s)	-	-	-	-	-	-
관정	개소수	-	-	8	21	39	39
	수혜면적(ha)	-	-	24	63	127	168
	채수량(m ³ /s)	-	-	-	-	-	-

5개 지사의 수원공 시설은 저수지와 양수장, 보, 집수압거, 관정이 있으나 수리시설이 노후화 되었을 뿐만 아니라 용수량이 부족하여 용수공급이 원활하지 못한 실정이므로 농업용수를 안정적으로 공급하기 위하여 농업생

산기반 정비, 영농환경 개선, 농업용수개발의 필요성이 요망되는 지역이다.

(표 2-43) 지사별 기설지구 일람표

지사명	저수지 및 양수장	유역면적 (ha)	수해면적 (ha)	만수면적 (ha)	비고
금강사업단	계	-	18,697	-	
	나포양수장	-	8,742	-	
	서포양수장	-	9,955	-	
서천	계	-	9,201	653	-
	덕용	1,580	1,071	86	저수지
	동부	2,834	2,477	244	저수지
	문산	960	261	37	저수지
	서부	3,039	1,627	130	저수지
	안치	110	53	4	저수지
	종천	1,160	385	37	저수지
	주항	367	163	32	저수지
	축동	752	370	82	저수지
화양	-	2,794	-	양수장	
군산	계	-	4,959	651	
	금굴	120	53	10	저수지
	냉정	20	7	1	저수지
	대동	75	68	7	저수지
	대위	100	230	29	저수지
	미룡	366	1,000	88	저수지
	백석	70	52	14	저수지
	부곡	141	66	6	저수지
	성덕	103	17	5	저수지
	수시	38	63	5	저수지
	옥곡	89	477	48	저수지
	옥구	322	2,260	322	저수지
	왕산	25	3	1	저수지
	원우	30	17	2	저수지
죽곡	24	18	2	저수지	

(표 2-43) 지사별 기설지구 일람표(계속)

지사명	저수지 및 양수장	유역면적 (ha)	수해면적 (ha)	만수면적 (ha)	비고
군산	중초산	60	29	1	저수지
	축산	150	114	8	저수지
	금산	37	16	2	저수지
	옥녀	85	392	85	저수지
	후곡	22	7	1	저수지
	훈제	62	19	4	저수지
	북초산	15	4	1	저수지
	요동	40	4	2	저수지
	총량	14	5	1	저수지
	신장	20	8	2	저수지
	강정	90	30	3	저수지
익산	계	-	10,524	182	-
	금성	15	13	3	저수지
	도촌	10	11	2	저수지
	부마	8	10	1	저수지
	송천	177	36	4	저수지
	고창	93	5	1	저수지
	고교	36	16	1	저수지
	죽촌	38	18	2	저수지
	진소	24	4	1	저수지
	도순(용화)	275	154	14	저수지
	신성	7	8	3	저수지
	어란	20	13	2	저수지
	원수	365	169	14	저수지
	초삼	27	10	1	저수지
	서산	8	8	1	저수지
	흥왕	24	7	1	저수지
	금마	452	229	25	저수지
	당하	23	80	4	저수지
	미륵(낭산)	626	297	25	저수지
	왕궁	866	541	48	저수지
오류	135	12	2	저수지	
옥금	235	86	15	저수지	
입북	30	2	1	저수지	

(표 2-43) 지사별 기설지구 일람표(계속)

지사명	저수지 및 양수장	유역면적 (ha)	수해면적 (ha)	만수면적 (ha)	비고
익산	학동	122	44	5	저수지
	백운	31	12	1	저수지
	소룡	64	16	1	저수지
	임남	103	6	5	저수지
	용두	897	897	-	양수장
	금강	7,820	7,820	-	양수장
동진	계	-	34,877	3,120	-
	동변	40	3	5	저수지
	상서	18	21	1	저수지
	옹	55	31	1	저수지
	학	32	25	10	저수지
	능	178	1,734	192	저수지
	방	8	15	1	저수지
	사가	50	31	4	저수지
	대화	1,840	808	56	저수지
	금평	2,571	1,000	60	저수지
	당월	238	138	13	저수지
	섬진	76,200	30,266	2,651	저수지
	선암	523	224	16	저수지
	부용	42	30	11	저수지
	신흥	150	20	7	저수지
	원연	25	14	3	저수지
	백산	160	415	69	저수지
	서변	49	30	8	저수지
	안하	5	7	1	저수지
	배달	35	50	11	저수지
운각	5	7	1	저수지	
하쌍	16	8	0	저수지	

(표 2-43) 지사별 기설지구 일람표(계속)

지사명	저수지 및 양수장	유역면적 (ha)	수해면적 (ha)	만수면적 (ha)	비고
전주완주 임실	계	-	24,836	1,272	-
	강대봉	68	7	1	저수지
	광곡	392	185	15	저수지
	금평	43	11	1	저수지
	금평	122	50	5	저수지
	대산	14	6	1	저수지
	두곡	220	69	7	저수지
	상강	115	12	1	저수지
	고덕	78	12	1	저수지
	광석	112	84	4	저수지
	구이	6,210	2,753	179	저수지
	군목	15	5	1	저수지
	금정	36	10	1	저수지
	기지	790	128	39	저수지
	남산	107	28	2	저수지
	능곡	100	15	1	저수지
	비봉	248	72	7	저수지
	빙등	49	28	7	저수지
	서창	30	10	3	저수지
	성남	1,016	242	13	저수지
	수천	90	19	3	저수지
	신묘	41	14	1	저수지
	용북	15	5	1	저수지
	용진	440	105	11	저수지
	용추	320	101	11	저수지
	운곡	50	95	3	저수지
	월산	38	19	2	저수지
	이문	67	34	5	저수지
	명동	92	20	1	저수지
	명석	75	17	1	저수지

(표 2-43) 지사별 기설지구 일람표(계속)

지사명	저수지 및 양수장	유역면적 (ha)	수해면적 (ha)	만수면적 (ha)	비고
전주완주 임실	배월	50	15	2	저수지
	삼길	140	41	6	저수지
	삼봉	265	44	6	저수지
	서당	15	5	1	저수지
	서당	21	13	0	저수지
	신전	740	76	9	저수지
	망우	121	116	5	저수지
	명금	80	6	2	저수지
	안덕	740	109	13	저수지
	안하	69	36	1	저수지
	어두	731	13	4	저수지
	연곡	45	10	1	저수지
	영천	89	8	1	저수지
	오궁	328	67	7	저수지
	신지암	12	4	1	저수지
	신평	50	10	1	저수지
	영등	89	3	3	저수지
	오리	25	5	1	저수지
	오산	178	67	3	저수지
	신봉	50	16	2	저수지
	동막	32	13	2	저수지
	동상	8,984	1,673	100	저수지
	송학	30	12	1	저수지
	왕석	28	14	2	저수지
	육골	10	4	0	저수지
	오봉	1,380	584	47	저수지
	청웅	555	178	10	저수지
	도인	136	40	5	저수지
소	14	5	1	저수지	
갈우	50	6	1	저수지	

(표 2-43) 지사별 기설지구 일람표(계속)

지사명	저수지 및 양수장	유역면적 (ha)	수해면적 (ha)	만수면적 (ha)	비고
전주완주 임실	은석	148	12	1	저수지
	암가	24	10	1	저수지
	암가	69	13	1	저수지
	옥골	10	4	0	저수지
	오봉	1,380	584	47	저수지
	청웅	555	178	10	저수지
	도인	136	40	5	저수지
	소	14	5	1	저수지
	갈우	50	6	1	저수지
	은석	148	12	1	저수지
	암가	24	10	1	저수지
	암가	69	13	1	저수지
	갈목	53	6	1	저수지
	전당	17	5	2	저수지
	지산	300	64	7	저수지
	하치	19	3	0	저수지
	학	49	18	1	저수지
	경천	9,765	7,738	319	저수지
	가목	45	16	1	저수지
	행촌	92	29	2	저수지
	화정	735	342	34	저수지
	대아	12,000	8,382	234	저수지
	초장	174	10	2	저수지
	인교	1,015	188	26	저수지
	조치	40	7	1	저수지
	지암	24	9	1	저수지
	해교	39	32	8	저수지
지사	25	23	2	저수지	
학정	157	53	7	저수지	
흑석	50	5	12	저수지	

(표 2-43) 지사별 기설지구 일람표(계속)

지사명	저수지 및 양수장	유역면적 (ha)	수해면적 (ha)	만수면적 (ha)	비고
전주완주 임실	월성	320	90	10	저수지
	목평	39	6	1	저수지
	도봉	84	33	5	저수지
	학동	27	14	1	저수지
	한수	15	7	1	저수지
	백석	10,625	374	32	저수지

본 지구는 금강과 만경강 연안을 중심으로 충청남도 서천, 전라북도 군산, 익산, 김제시와 완주군의 3시 2개군으로 2도 3시 2군 6읍 42면·동에 편입되어 있다.

(표 2-44) 지사별 시설물 현황 사업지구 내 행정구역

도	시·군	면	비 고
2 도	5 시·군	48개 읍·면·동	
충청남도	서천군	서천·장항읍, 양화·마서·기산·종천·문산·마산·한산·서포면	10개 읍·면
전라북도	군산시	옥구읍 서수·나포·임피·옥산·성산·회현·대야면, 개정동	9개 읍·면·동
"	익산시	금마·왕궁·산기·춘포·오산·황등·함라·능포·황산면	9개 면
"	김제시	만경읍 용지·금구·공덕·황산·봉남·백산·청하·성덕·진봉· 광활·죽산면, 백학동	13개 읍·면·동
"	완주군	봉동·상례읍 고산·화산·비봉·용진·이서면	7개 읍·면

2014년 금강지구내 총인구는 821,495명이며 그중 농가인구 125,238명 비 농가인구 696,257명으로 농가인구가 15.2%로 전국농가인구 6.4%보다 높은 분포를 보이고 있다. 농가인구중 14세 이상 64세까지의 노동가능인구 75,990명은 농가호당 1.61인으로 노동력이 매우 부족한 것을 보여준다.

(표 2-45) 총 인구수

구분	총인구수	남자	여자
서천	58,441	28,754	29,687
군산	278,319	141,436	136,883
익산	306,539	153,261	153,278
김제	91,218	45,207	46,011
완주	86,978	44,635	42,343
합계	821,495	413,293	408,202

(표 2-46) 농업 인구수

구분	농업인구	남	여
서천	17,255	8,461	8,794
군산	20,080	9,966	10,114
익산	33,134	16,487	16,647
김제	29,198	14,245	14,953
완주	25,571	12,742	12,829
합계	125,238	61,901	63,337

(표 2-47) 생산가능 인구수(14~64세)

구분	합계	남	여
서천	9,292	4,547	4,745
군산	12,761	6,460	6,301
익산	21,207	10,659	10,548
김제	16,961	8,448	8,513
완주	15,769	8,094	7,675
합계	75,990	38,208	37,782

본 지구는 서해안에 인접한 지구로 교통수단은 육로, 철도로 연결된다. 육로는 서울에서 대전을 경유하여 익산까지 4차선 고속도로가 연결되어 있고, 익산시를 중심으로 인접 도시지역과 포장된 국도 및 지방도로로 연결되어 있다. 철도 또한 서울에서 익산시까지 복선으로 설치되어 교통이

매우 양호하다. 금강하구둑의 완공으로 서천군과 군산시를 잇는 육로가 형성되었으며, 서울에서 목포로 이어지는 서해안 고속도로가 2001년에 완공되어 본 지구의 교통이 수월하게 되었다.

(표 2-48) 주요도로 현황

구 분	구 간	차 선	비 고
철 도	서울 - 익산	복 선	
고속도로	서울 - 대전	4차 ~ 8차선	경부고속도로
"	대전 - 익산	4차 ~ 6차선	호남고속도로
"	서울 - 김제	4차 ~ 6차선	서해안고속도로
일반국도	전주 - 익산 - 군산	-	

본 지구는 우리나라 제일의 곡창지대인 전라북도 김제, 만경평야와 충청남도 서천군 일부를 포함하고 있다. 본 지구는 대부분 해발 100m이하의 저지대이나 일부지역은 경사가 완만한 구릉지로 되어 있으며, 연평균 강우량은 1292mm이지만 지형적으로 수원이 부족하여 한발이 오면 심한 가뭄 피해를 받고 있다.

또한, 기 사업지구도 농업기반조성 시공년도가 오래되어 농로가 없거나 부족하고, 대부분의 수로도 급수 및 배수능력이 부족하다. 더구나 강우 시 감소하천의 영향으로 상습적인 침수 내지 배수불량의 원인이 되고 있다.

본 사업지구는 충청남도와 전라북도의 2도 3시 2군에 걸친 대규모 사업지구로서, 금강지구 경지재정리사업으로 개발된 수혜면적은 43,000ha이며, 사업구역내 행정구역별로 조사된 총가구수는 289,827이다. 농가호수는 전체가구의 15.2%에 해당하는 47,343호이다. 또한 총인구 821,495명중 농가인구는 125,238명으로 호당 평균 2.83인이다.

한편 14세 이상 65세 미만의 농업노동 가능인구는 호당 평균 1.61인으로 노동력이 부족한 실정이며 노령화, 부녀화되고 있어 농지기반의 정비와 기계화 사업의 추진이 필요하다.

(표 2-49) 농가호수 및 인구현황

구 분	가 구 수(호)			인 구(인)			
	계	농 가	비농가	계	농 가	비농가	호 당
사업지구 구성비율(%)	289,827 100	47,343 15.2	242,484 84.8	821,495 100	125,238 16.3	696,257 83.7	2.83 -

지구내 경지중 농가가 경작하고 있는 총면적은 92,918ha이다. 농가 호당평균 경지면적은 1.96ha로 전국평균 1.45ha보다 다소 높은 수준이나 경지보유 규모가 영세하고 벼농사 중심의 경작을 하고 있는 지역이다.

(표 2-50) 경지면적 현황

구 분	경 지			비 고
	계	답	전	
면 적(ha)	92,918	72,603	20,317	
비 율(%)	100.0	78.0	22.0	
호당평균(ha)	1.96	1.53	0.43	전국평균 : 1.45

지구내에 보급된 주요 농기계는 동력경운기가 주기종으로서 2.1호당 1대 트랙터의 보급은 3.7호당 1대, 콤바인은 9.8호당 1대 보급되었다.

(표 2-51) 농기계 보유현황

구 분	경운기	트랙터	콤바인	관리기	건조기	이앙기	분무기	저온 저장고
대 수	22,768	12,834	4,827	13,659	11,624	9,398	578	1,494
100호당	48.1	27.1	10.2	28.9	24.6	19.9	1.2	3.2
1대당 농가수	2.1	3.7	9.8	3.5	4.1	5.0	81.9	31.7

지구내 농가의 가축사육 현황은 한우는 101,544두로 호당 2.1두, 돼지는 449,104두로 호당 9.5두가 되어 농가소득원으로서 큰 역할을 하고 있다.

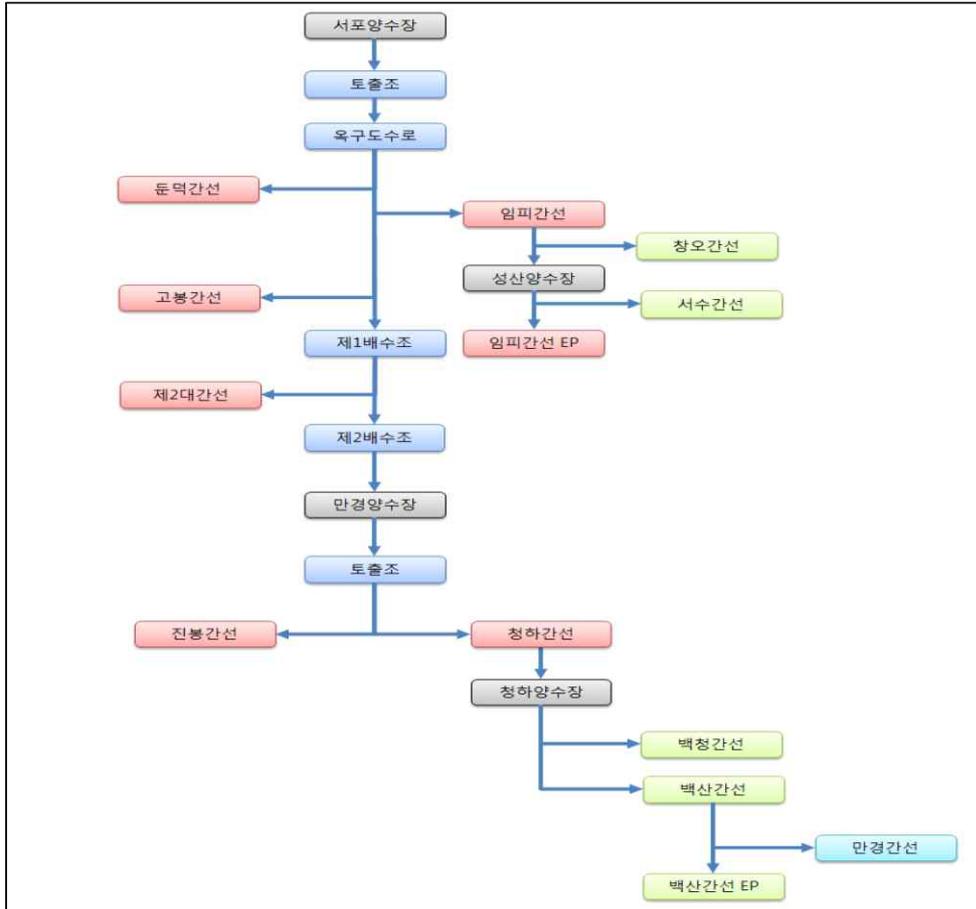
(표 2-52) 가축사육 현황

구 분	한우	육우	젖소	돼지	육계	산란계	오리
총두수(두)	101,544	7,012	9,257	449,104	5,933,058	3,047,996	179,498
100호당(두)	214	15	20	949	12,532	6,438	379



<그림 2-89> 시범지구 서포양수장 수계의 입피간선 수로 현황
 입피간선은 금강호를 수원공으로 하는 서포양수장에서 시작되는 옥구도

수로를 따라 진행하다 제1호 수문을 분기점으로 하여 우측으로 분기되는 용수로로서 임피1호간선, 성산양수장, 임피2호간선, 창오간선, 서수간선 등 4개의 간선수로와 6개 지선 등으로 구성되어 수혜면적 2,039ha에 용수를 공급하도록 설치되어 있다.



<그림 2-90> 서포양수장 수로계통 현황

금강하구둑에서 양수하여 지구내 농지에 용수를 공급하는 서포양수장의 수로계통은 다음 그림과 같이 서포양수장에서 옥구도수로를 따라 공급되는 둔덕간선, 임피간선, 고봉간선으로 분기되며 제1배수조와 제2배수조를 거쳐 용수가 공급되고 있다. 만경양수장에서 공급 수위를 올린후 진봉간선과 청하간선으로 분기되는데 청하간선에서는 청하양수장을 거쳐 백청간

선, 백산간선, 만경간선에 용수를 공급한 후 유말공으로 배수처리되도록 시설물이 설치되어 있다.

서포양수장은 수혜면적 9,955ha와 26.52m³/sec 유량의 공급능력으로 설치되어 있으며 임피간선에 2,039ha, 5.43m³/sec 용수를 공급하고 2대간선에 2,969ha, 0.53m³/sec 용수가 공급되고 있으며 진봉간선에 1,545ha, 3.38 m³/sec, 청하간선에 558ha, 1.48m³/sec 용수를 공급하고 있다. 다음의 표에서는 서포양수장에서 양수된 용수가 각 도수로와 간선에 용수를 배분하는 세부 내용을 보여주고 있다.

(표 2-53) 서포양수장 수로계통 시설 및 공급능력 현황

분기점 수원	용수로명		수혜면적 (ha)	유량 (m ³ /sec)
	제1분기	제2분기		
서포양수장	토출조			
서포양수장	1호분수관		1	0.00
서포양수장	2호분수관		1	0.00
서포양수장	3호분수관		1	0.00
서포양수장	둔덕간선		114	0.30
서포양수장	4호분수관		1	0.00
서포양수장	5호분수관		1	0.00
서포양수장	임피간선		2,039	5.43
임피간선		창오	500	1.33
임피간선		보덕	314	0.84
임피간선		서수	239	0.64
임피간선		옥곡	564	1.50
임피간선		슬산	195	0.52
임피간선		접산	198	0.53
서포양수장	고봉간선		310	0.83
고봉간선		1호분수관	249	0.66
서포양수장	제1호배수조			
서포양수장	2호이토변		200	0.53
서포양수장	제2대간선		2,969	0.53

<표 2-53> 서포양수장 수로계통 시설 및 공급능력 현황(계 속)

분기점 수원	용수로 명		수혜면적(ha)	유량(m ³ /sec)
	제1분기	제2분기		
제2대간선		대간선	1,612	
서포양수장	1호분수변		1,105	2.94
1호분수변		회현간선	250	
서포양수장	2호분수변		90	0.24
서포양수장	3호분수변		619	1.65
서포양수장	지경1호지선		95	0.25
서포양수장	지경2호지선		152	0.40
서포양수장	광고1분수문		65	0.17
서포양수장	광고2분수문		38	0.10
서포양수장	광고3분수문		51	0.14
서포양수장	제3호제수밸브			
서포양수장	제2호배수조			
만경양수장	진봉간선		1,545	3.38
만경양수장	청하간선		558	1.48
청하양수장	백청간선		199	0.45
청하양수장	백산간선		374	0.94
백산간선		김제간선	180	
백산간선		만경간선	82	0.246
백산간선		오자기선	80	0.282

임피간선은 금강호에 위치하는 서포양수장을 수원공으로하여 전라북도 군산시 임피면, 서수면, 나포면, 성산면, 대야면 일원에 설치된 임피1호간선, 임피2호간선, 창오간선, 서수간선을 통하여 수혜지역 2,039ha에 농업용수를 공급하고 있다.

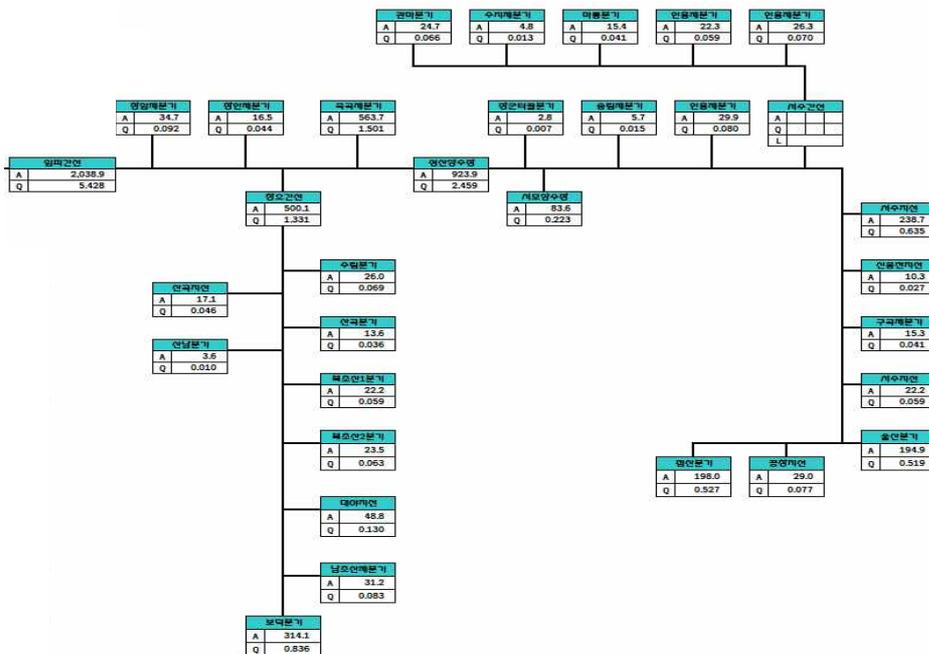
임피지역의 용수로를 통하여 공급되는 농업용수는 임피1간선은 개수로로 설치되어 있으며 창오간선도 개수로로 설계되고 준공되어 현재 농업용수를 공급하고 있다. 성산양수장에서 가압된 용수는 임피2간선 전체를 관리의 용이성과 농업용수 손실 최소화를 위하여 관수로(압력식 농업용수 공급방식)로 설계 및 설치하였다.

군산시 임피면, 서수면, 나포면, 성산면, 대야면에 산재된 수혜지역에 농업용수

공급을 위하여 25개 분기점을 설치하여 용수를 공급하고 있으며 관수로의 특성상 압력수두가 허용하는 범위 내에서 각 지역 수혜지역에 가장 근접하게 농업용수 공급시설을 갖추어 농업인의 영농에 도움을 주고 있다. 다음 그림은 임피간선에 설치된 분기점 현황을 계통도에 따라 표시한 내용이다.



<그림 2-91> 임피간선 수로위치 및 시설 현황



<그림 2-92> 임피간선 수로계통 현황

각 분기점은 해당 저수지 또는 포장에 알맞은 용수 공급이 가능하도록 설치되어 있어 10년 내한빈도에 해당하는 가뭄에 대하여도 영농이 가능하도록 하였으나 용수공급 수원공(서포양수장 또는 옥구도수로 수문 분기점)에서 거리가 멀어 용수공급이 완료된 후에 공급 밸브의 관리가 어려운 점이 있는 것으로 조사되었다.

(표 2-54) 임피간선 수로계통 시설 및 공급능력 현황

분기점 수원	용수로명			수해면적(ha)	유량(m ³ /sec)
	제1분기	제2분기	제3분기		
서포양수장	임피간선			2,038.9	5.428
		임피1호간선	창암제분기	35.0	0.092
			창안제분기	16.5	0.044
		창오간선		500.1	1.331
			수림분기	26.0	0.069
			산곡지선	17.1	0.046
			산곡분기	13.6	0.036
			산남분기	3.6	0.010
			북초산1분기	22.2	0.059
			북초산2분기	23.5	0.063
			대야지선	48.8	0.130
			남초산제분기	31.2	0.083
			보덕분기	314.1	0.836
		성산양수장		923.9	2.459
		임피2호간선	장군터골분기	2.8	0.007
			서호양수장	83.6	0.223
			송림제분기	5.7	0.015
			안흥제분기	29.9	0.080
		서수간선	마름분기	15.4	0.041
			수지제분기	4.8	0.013
			관마분기	24.7	0.066
		임피2호간선	서수지선	238.7	0.635
			신용전지선	10.3	0.027
			구곡제분기	15.3	0.041
			서수제지선	22.2	0.059
			술산분기	194.9	0.519
			공창지선	29.0	0.077
			접산분기	198.0	0.527

임피간선의 용수로의 구성은 간선 4조, 지선 6조 등 총 10조로 구성되

어 있다. 간선수로가 담당하는 수혜면적은 임피1호간선 615ha, 임피2호간선 830ha, 창오간선 500ha, 서수간선 94ha 이며 설치된 수로 연장은 각각 2.6km, 10.8km, 5.7km, 3.2km 등으로 임피1호간선과 창오간선은 개수로 형태이고 임피2호간선과 서수간선은 관수로 형태로 운영되고 있다.

(표 2-55) 간선 용수로 현황

수 로 명	수 혜 면 적 (ha)			소요수량 (m^3/sec)	연장(m)	필요수위 (EL.m)	계획수위 (EL.m)	비 고
	계	신규 개발	보충 급수					
임피1호간선	615	81	534	5.430	2,626	15.93	15.93	개수로
임피2호간선	830	104	726	2.462	10,842	30.08	31.50	관수로
창 오 간 선	500	111	389	1.333	5,747	13.96	13.96	개수로
서 수 간 선	94	45	49	0.250	3,167	26.15	26.15	관수로
계	2,039	341	1,698		22,382			

지선 용수로로는 총 6조가 설치되어 있으며 모두 관수로 형태로 운영되고 있다. 설치된 용수로 지선은 모두 2.8km로서 수혜지역 포장에 근접하게 설치하기 위한 방안으로 지선이 설치 운영되고 있다.

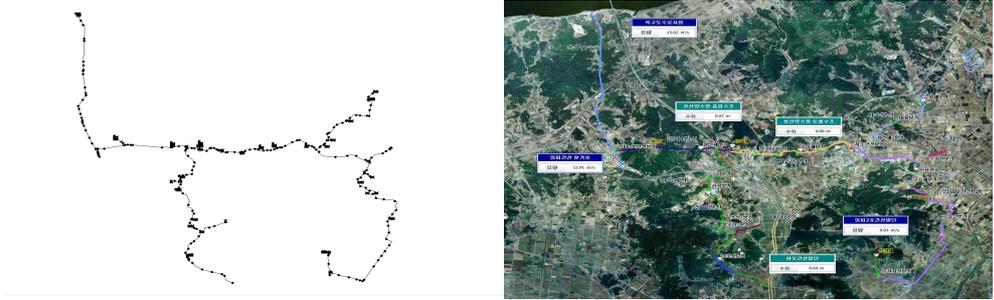
(표 2-56) 지선 용수로 현황

간선수로	측점	방향	지 선 수 로	연 장(m)	형 식
임피2호간선	No 97+24	좌	서 수 지 선	732	관수로(D=0.80m)
"	No103+36	좌	신 용 전 지 선	216	관수로(D=0.35m)
"	No130+00	좌	서 수 제 지 선	307	관수로(D=0.40m)
"	No216+43	우	공 창 지 선	609	관수로(D=0.50m)
창 오 간 선	No 32+46	우	산 곡 지 선	224	관수로(D=0.50m)
"	No 73+14	좌	대 야 지 선	756	관수로(D=0.45m)
			계	2,844	

□ 시범지구 용수계통물관리 Network Map 구축

수집자료 분석내용 및 현장조사 내용을 바탕으로 옥구2-1공구(임피1호 간선 연장 2,626m, 임피2호간선 연장 10,842m, 창오간선 연장 5,747m, 서

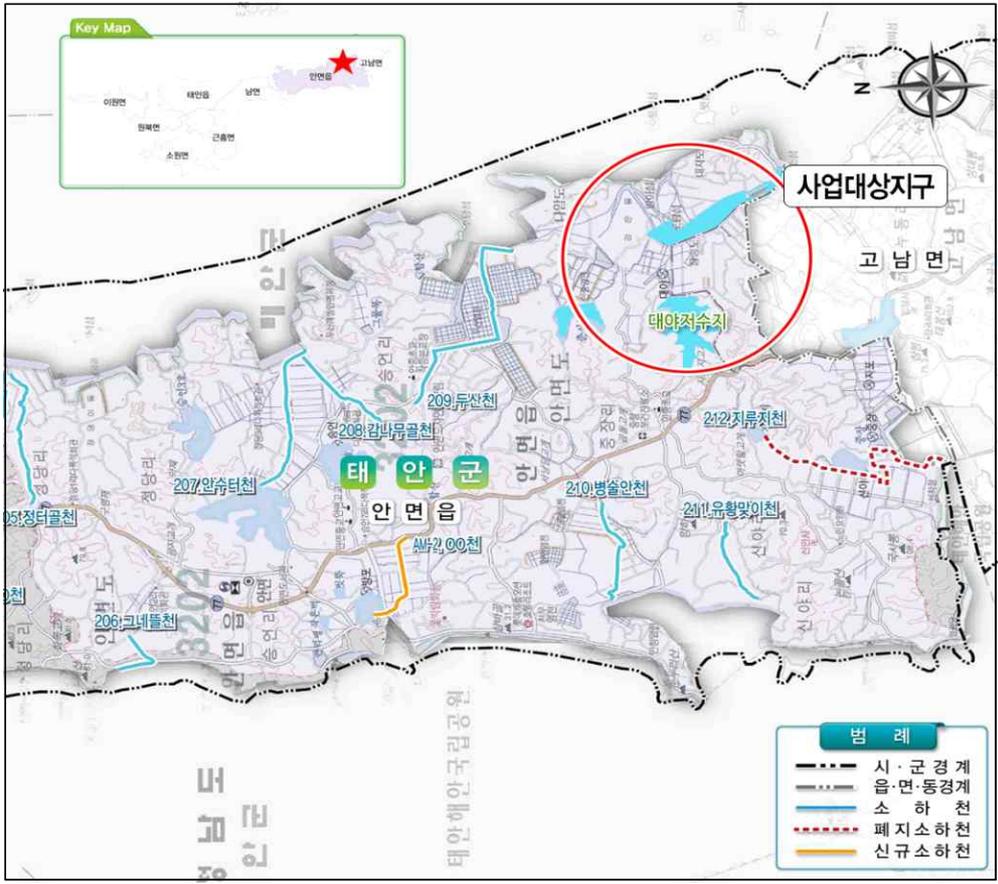
수간선 연장 3,167m)에 대해서 용수계통물관리 Network Map을 구축하였다.



<그림 2-93> 금강지구 내 시범지구 용수계통물관리 Network Map 구축 결과

나. 대야지구

간 대야지구는 우리나라 서해안의 안면도에 위치한 저수지로서 북위 36°23' ~ 35°58', 동경 126°25' ~ 126°26' 사이에 위치하고 있으며, 행정구역 상으로는 충청남도 태안군 안면읍에 해당된다. 태안군은 동쪽을 제외하고는 3면이 모두 바다로 둘러싸인 지역으로 해안선의 길이가 559.3km이며, 114개의 크고 작은 섬들이 분포되어 있다. 내륙은 저산성 구릉지로서 많은 산지가 개간지로 개발되어 논과 밭으로 이용되고 있고 리아시스식 해안은 만곡이 심하여 간척지가 잘 개발되어 있다. 본 사업의 중심지인 안면읍은 충청남도 도청이 위치한 홍성으로부터 서북쪽으로 약 48.32km 떨어진 곳에 위치하고 있으며, 수도권 서울로부터 약 141.89km 남서쪽에 위치하며 사업대상지구인 대야지구는 안면읍 중장리에 위치해 있다.



<그림 2-94> 대야지구 위치도

본 지구는 우리나라 남서부에 위치한 지구로서 겨울의 대륙성 기후와 여름에는 해양성기후의 영향으로 춘하추동이 현저하게 계절적 변화를 나타내고 있다. 그러므로 6월부터 9월까지는 해양성 고기압권내에 들어가며 연강우량의 65%가 이 기간 중에 내리고 기온이 높아 수도생육에 적합한 기상조건을 가지고 있다. 수문·기상현황과 관련하여, 대야지구와 인접한 서산, 보령 관측소의 자료를 조사하였으며, 대야 지구는 보령 관측소의 관측범위에 포함된다.

(표 2-57) 서산, 보령관측소의 연강수량(mm)

연도	기상관측소		연도	기상관측소	
	서산	보령		서산	보령
1973	947	733	1995	1,448	1,460
1974	1,378	1,472	1996	830	900
1975	881	1,240	1997	1,157	1,442
1976	975	875	1998	1,712	1,397
1977	979	808	1999	1,827	1,284
1978	1,216	1,008	2000	1,425	1,515
1979	1,272	1,550	2001	987	904
1980	1,469	1,331	2002	1,388	1,453
1981	1,234	1,217	2003	1,433	1,344
1982	984	800	2004	1,341	1,216
1983	1,272	1,364	2005	1,334	1,267
1984	1,376	1,288	2006	1,139	831
1985	1,360	1,557	2007	1,471	1,296
1986	1,094	1,345	2008	910	814
1987	1,528	1,898	2009	1,074	1,081
1988	686	725	2010	2,142	1,502
1989	1,198	1,299	2011	1,704	1,743
1990	1,788	1,451	2012	1,643	1,319
1991	1,089	1,117	2013	1,019	1,388
1992	1,018	1,132	2014	1,000	1,010
1993	1,094	1,162	2015	814	786
1994	1,235	1,269	평균	1,253	1,223

서산관측소의 월평균기온은 $-2.0\sim 25.0^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 나타내고 있으며, 보령관측소는 $-0.9\sim 25.4^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 나타내는 것으로 조사되었다. 조사기간 월평균 최고기온은 서산 28.0°C , 보령 28.6°C 로 조사되었으며, 월평균 최저

기온은 서산 -7.9℃, 보령 -7.1℃로 조사되었다.

(표 2-58) 기온(℃)

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	비고
서산	평균	-2.0	-0.3	4.3	10.8	16.3	21.0	24.3	25.0	20.3	13.9	7.1	0.8	1973 ~2015 (43개년)
	최고	4.2	6.4	10.5	16.8	21.1	24.1	27.5	28.0	24.5	18.9	13.9	7.9	
	최저	-7.9	-6.4	-1.5	5.0	11.6	17.0	20.9	21.2	15.5	7.7	0.0	-5.9	
보령	평균	-0.9	0.7	5.0	10.9	16.3	20.9	24.5	25.4	20.7	14.6	8.1	1.8	1973 ~2015 (43개년)
	최고	5.9	8.0	11.8	17.9	21.5	24.5	28.0	28.6	25.0	19.6	15.0	9.0	
	최저	-7.1	-5.6	-0.9	5.1	11.2	17.0	21.2	21.8	16.1	8.3	0.8	-5.2	

2개의 관측소의 자료에 의하면 월평균 상대습도는 <표 2-3>과 같으며, 서산 관측소의 4월 평균은 68.8%로 가장 건조하며, 7월평균이 84.6%로 가장 습한 것으로 조사되었다. 보령 관측소 역시 4월이 68.9%로 최소값을, 7월 83.8%로 최대값을 나타내었다.

(표 2-59) 월평균 습도(%)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
서산	72.5	70.7	69.3	68.8	72.1	77.2	84.6	82.9	79.4	75.5	74.9	74.0	75.2
보령	71.2	70.1	69.4	68.9	72.8	77.6	83.8	81.1	77.4	73.3	72.1	72.2	74.2
평균	71.9	70.4	69.4	68.9	72.5	77.4	84.2	82.0	78.4	74.4	73.5	73.1	74.7

2개 관측소의 증발량 자료에 의하면 연간증발량은 1,092.8mm이며 월별 평균 증발량은 다음과 같다.

(표 2-60) 월평균 증발량(mm)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
서산	37.9	46.5	80.9	109.9	140.9	133.0	116.2	128.1	102.2	83.4	47.2	36.1	1062.3
보령	41.1	49.4	83.8	116.6	142.6	136.0	126.2	136.8	107.0	89.2	53.9	40.7	1123.3
평균	39.5	48.0	82.4	113.3	141.8	134.5	121.2	132.5	104.6	86.3	50.6	38.4	1092.8

서산관측소의 일평균 일조시간은 4.6~7.6hr의 범위를 나타내는 것으로 조사되었으며, 보령관측소의 월평균 일조시간은 5.0~8.2hr의 범위를 나타내는 것으로 조사되었다. 연평균 일조시간은 서산 6.02hr, 보령 6.69hr이다.

(표 2-61) 월평균 일조시간(hr)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
서산	5.0	5.9	6.7	7.2	7.6	6.5	4.7	5.9	6.4	6.7	5.0	4.6	6.02
보령	5.3	6.2	7.1	7.8	8.2	7.5	6.1	7.1	7.3	7.2	5.5	5.0	6.69
평균	5.2	6.1	6.9	7.5	7.9	7.0	5.4	6.5	6.9	7.0	5.3	4.8	6.38

월평균 풍속은 서산관측소의 경우 1.9~2.9m/s로 조사되었으며, 보령관측소는 1.6~2.3m/s의 풍속을 나타내는 것으로 조사되었다. 연평균 풍속은 서산 2.36m/s, 보령 1.96m/s이다.

(표 2-62) 월평균 풍속(m/s)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
서산	2.2	2.5	2.8	2.9	2.7	2.2	2.6	2.2	1.9	1.9	2.2	2.2	2.36
보령	1.9	2.0	2.1	2.2	2.1	1.8	2.3	1.9	1.7	1.6	1.9	2.0	1.96
평균	2.1	2.3	2.5	2.6	2.4	2.0	2.5	2.1	1.8	1.8	2.1	2.1	2.19

본 지구는 천수만 연안을 중심으로 충청남도 태안군에 위치함으로써, 1

도 1군 2읍 6면으로 이루어져 있다.

(표 2-63) 행정구역 현황

도	시·군	읍·면	비고
충청남도	태안군	태안읍	
		안면읍	
		고남면	
		남면	
		근흥면	
		소원면	
		원북면	
		이원면	

사업지구 내 경지중 농가가 경작하고 있는 총면적은 18,045ha이다. 농가 호당평균 경지면적은 2.17ha로 전국평균 1.45ha보다 다소 높은 수준이나 경지보유 규모가 영세하고 벼농사 중심의 경작을 하고 있는 지역이다.

(표 2-64) 경지면적 현황

구분	경지			비고
	계	답	전	
면적(ha)	18,045	11,557	6,488	
비율(%)	100	74.9	39.3	
호당평균(ha)	2.17	1.39	0.78	전국평균: 1.45

대야지구가 포함된 안면읍은 태안반도에서 일반적으로 발견되는 북서계절풍의 영향으로 연중 일정하게 편서풍이 해안으로 불어오는 지역이다. 태안읍에서 형성된 백화산이 남면을 따라 안면읍으로 내려와 국사봉을 이룬다. 그 외의 지형은 대부분 구릉지로 이루어져 있으며, 해안선은 만곡이 심하여 간척지가 잘 개발되어 있다. 안면읍내 지질은 편암류, 화산암류, 규암 등이 분포해 있으며, 대부분은 편암(93.2%)류로 구성되어 있으며, 해안가 일부분은 규암과, 화산암류가 일부 분포하고 있다. 한편, 과거 안면

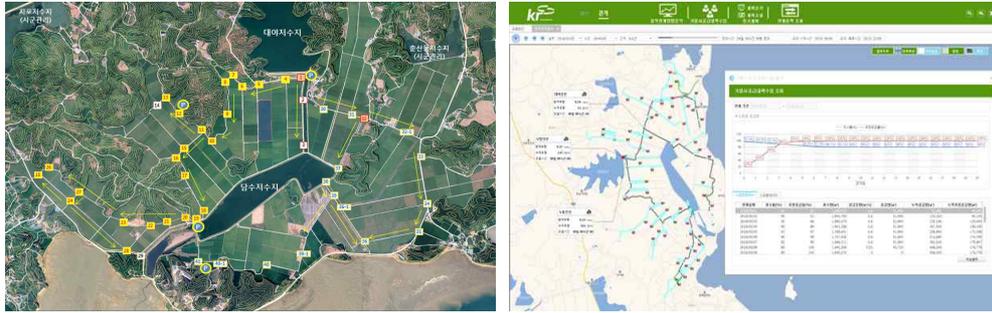
도 방포지역에서는 동해안과 같은 석호가 존재하였으나, 현재는 농경지로 개간되어 사라진 상황이다.

대야지구가 포함된 안면읍내에는 대야저수지를 포함 총 10개소의 저수지가 있다. 총 수혜면적은 1,002ha 이며, 유효저수량은 5,598천톤이다. 대상지구인 대야저수지는 유역내 저수지중 가장 큰 규모이며 총 유효저수량은 1,884천톤이다.

(표 2-65) 저수지 현황

명칭	수혜 면적 (ha)	유역 면적 (ha)	만수 면적 (ha)	유효 저수량 (천ton)	방조제		배수갑문		양수장			
					개소	연장 (m)	개소	연수	전동기(HP)		펌프(mm)	
									대수	규격	대수	규격
10개소	1,002	3,069	206	5,598	4	2,572	5	13	16		15	
승연1	42.2	176	21	244					1	15	1	200
승연2	97.9	283	52	618	1	630	1	4				
승연3	40.7	104	16	228								
창기	32.9	88	11	265	1	336	1	1				
지포	70.8	127	19	269					2	10	2	125
미포	166.5	590	21	947	1	506	1	3	2	125	2	400
신야	73.8	386	8	265					2	100	2	500
종장	78.3	16	9	513	1	1,100	2	5	2	100	2	450
									1	50	1	300
대야	339.2	1,025	40	1,884					2	75	2	350
장곡	60.0	274	9	365					2	75	2	350

수집자료 분석내용 및 현장조사 내용을 바탕으로 나암간선, 대야간선, 누동간선에 대하여 용수계통물관리 Network Map을 구축하였다.



<그림 2-95> 대야지구 용수계통 물관리 Network Map 구축 결과

다. 청룡지구

본 절은 자율학습 물관리 알고리즘 계획수립 및 물관리 도입기술 도출을 위한 기초 자료를 수집하는 것이 목적이다.

물과 작물의 원격 모니터링 및 시설물 제어로 물 절약 및 효율성을 향상시키고 기후변화·농업환경 변화에 잘 적응하는 자율학습 물관리와 미래형 물관리 체계의 전환을 위한 적용방법 분석 및 도입기술 도출을 위한 목적으로 작성되었으며, 기초자료 수집을 위한 대상지역은 경기도 안성시에 위치한 청룡저수지로 선정하였다. 대상지역인 청룡저수지 제원은 다음과 같다.

(표 2-66) 청룡저수지 현황

제 원	내 용	
위 치	경기도 안성시 서운면 청룡리	
준 공 년 도	1974년	
목 적	농업용수	
제 체	제 당 높 이	25.2m
	제 당 길 이	170m
유 효 저 수 량	1,594천 m ³	
만 수 면 적	19.8ha	
몽 리 면 적	31.7ha	
관 할 기 관	한국농어촌공사 안성지사	



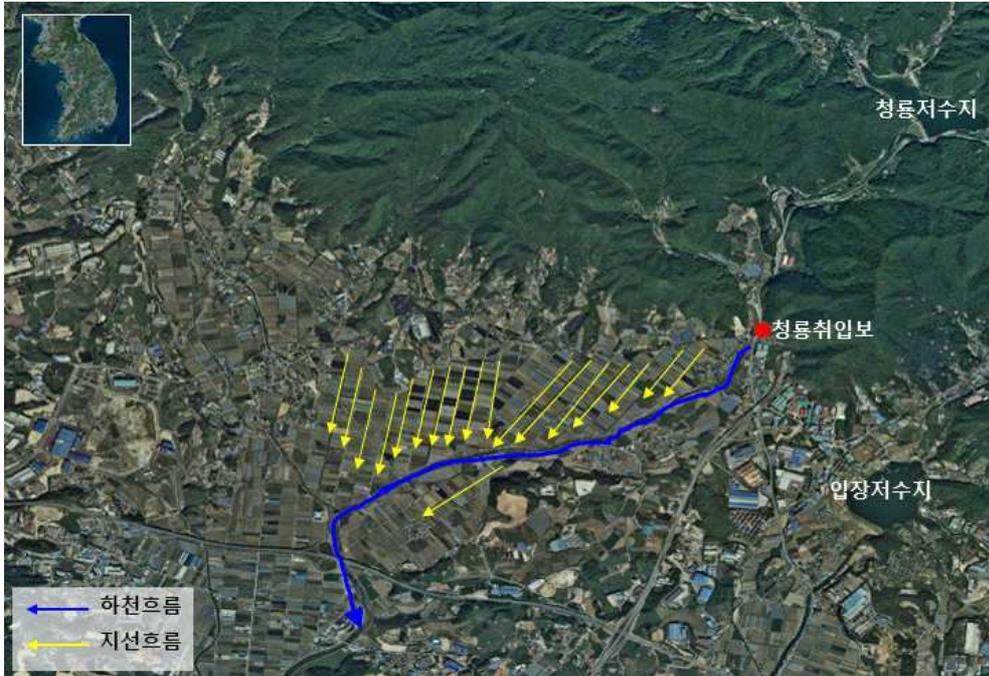
<그림 2-96> 청룡저수지 전경



<그림 2-97> 청룡저수지 여수로

용수계통 물관리 Network Map의 주요 자료는 수로(선), 분기/합류점(점), 필지(점), 유역 또는 필지 블록(면) 및 구조물(점 또는 선)로 구분할 수 있으며, 이 자료들을 공간자료로 구축한 후 시스템의 모의기능에 필요한 네트워크 데이터로 작성하여 반영하게 된다.

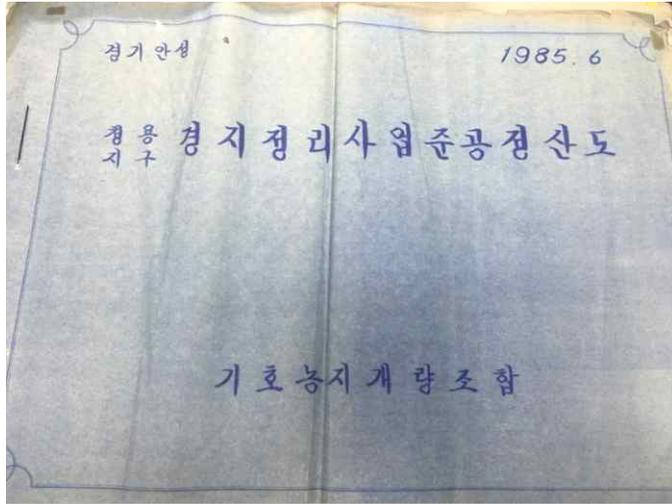
이와 같이 요구되는 공간자료를 구축하는 과정은 자료원에 따라 달라지며, 실증화 연구를 위한 자료구축은 청룡간선, 청룡지선, 구조물(분기) 등을 대상으로 하며 하천 흐름 현황은 다음과 같다.



<그림 2-98> 대상지역 하천 흐름 현황

청룡지구의 경우 수로 네트워크를 공간자료화 하는데 필요한 간선 및 지선의 평면적인 배치, 단면제원, 종단형태, 각종 시설물의 위치 및 제원 등의 현황을 파악할 수 있는 준공도면 등 설계도서의 확보가 어려움 상태이다. 또한, 현장의 실제 구조물과 관계기관 시설물 관리자료 및 청룡저수지 경지정리사업 정산도(1985) 등이 대부분 일치하지 않는 것으로 조사되었다.

따라서 청룡간선 및 주요대상 지선에 대한 현장조사를 통해 수로의 제원 및 주요시설에 대한 위치와 제원을 확인하였으며, 수로 경사의 경우 청룡저수지 경지정리사업과 수치지형도를 활용하여 추정하는 방법으로 자료를 구축하였다.



<그림 2-99> 청룡저수지 경지정리사업 정산도



<그림 2-100> 현장 측량 및 조사

청룡지구 구축 대상 수로(노선)에 대한 공간적인 정보가 없어 현장조사에 앞서 다음 그림과 같이 대상 간선, 지선 및 분기점 등을 파악하기 위해 수치지형도와 항공사진을 통해 현장조사용 도면을 작성하였다.



<그림 2-101> 수치지형도



<그림 2-102> 항공지도



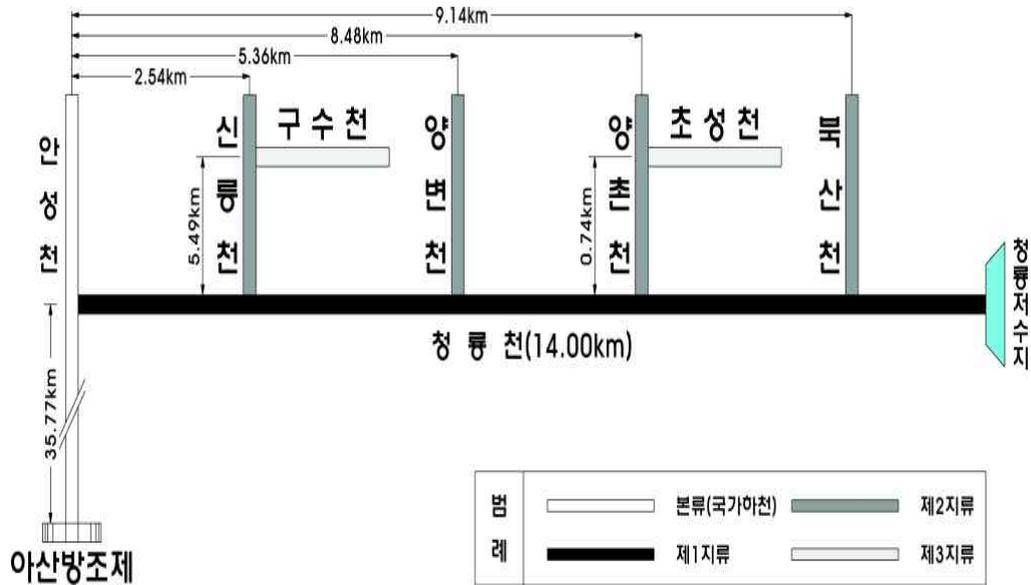
<그림 2-103> 현장조사용 도면 작성

청룡천은 동경 127°11' 17" - 127°18' 23", 북위 36°53' 07" - 36°59' 01" 사이에 위치하는 안성천의 제1지류로써 유역면적 59.25km², 유로 연장 17.60km로 유역의 형상은 남동에서 북서로 길게 뻗은 수지형상을 띄며 유역 형상계수는 0.191이다.

청룡천은 안성시 서운면 청룡리 서운산(EL.547.4m)에서 발원하여 청룡저수지를 지나 계곡과 소규모로 형성된 지류를 합류하여 북서쪽으로 유하하다 우안에서 북산천을 합류하고 양촌천을 합류 후 유로를 남서로 돌린 후 사행을 거듭하다 우안에서 양변천을 합류하고 다시 유로를 북쪽으로 바꾸며 신룡천을 합류 후 안성천 본류에 합류하는 하천으로 조사되었다.

토지이용현황을 살펴보면 임야가 26.34km² (44.46%), 경작지가 21.75km² (36.71%)로써 대부분 임야 및 농경지이며 하구에서 산평교 지점까지 경지정리사업이 완료되었으며 하상은 대부분 자갈 및 모래로 되어 있다.

청룡천 수계 하천정비기본계획(2006, 경기도)에 따르면 지표수질은 BOD 3.2mg/l, SS 21.3mg/l, T-N 5.160mg/l, T-P 0.280mg/l 등으로 조사되어 하천수질환경기준(BOD기준)적용시 하천수질등급 III등급을 나타내고 있다.



<그림 2-104> 청룡천 모식도

청룡저수지에서부터 대상지역인 청룡지구 하천 누가거리는 약 6,000m로 나타나며 5기의 취입보가 설치되어 있는 것으로 조사되었으며, 청룡지구 하천 네트워크 구축 내용은 다음과 같다.

(표 2-67) 청룡천 하천자료

측점	거리 (m)	누가거리 (m)	하천 상폭 (m)	하천 하폭 (m)	좌안제방고 (EL.m)	우안제방고 (EL.m)	비고
0	0	0	65	55.41	31.51	32.12	
0+56	56	56	86	55.41	31.57	32.78	송산1보
1	44	100	71	55.41	31.76	32.27	
2	100	200	41	19.46	31.99	32.55	
3	100	300	47	19.46	32.7	32.46	
4	100	400	44	19.46	33.53	33.7	
4+87	87	487	46	19.46	34.24	34.44	송정보
5	13	500	47	19.46	34.43	34.66	
5+64	64	564	46	19.16	35.61	35.59	
6	36	600	52	19.46	35.95	35.96	

<표 2-67> 청룡천 하천자료 (계 속)

측점	거리 (m)	누가거리 (m)	하천 상폭 (m)	하천 하폭 (m)	좌안제방고 (EL.m)	우안제방고 (EL.m)	비고
7	100	700	53	16.41	36.77	36.77	
8	100	800	57	16.41	37.68	37.21	
9	100	900	55	16.41	38.62	38.24	
10	100	1,000	42	16.41	39.60	39.04	
11	100	1,100	40	16.41	40.23	39.83	
12	100	1,200	38	14.80	40.47	40.68	
13	100	1,300	39	14.80	41.55	41.93	
14	100	1,400	22	14.80	42.74	43.06	사갑보
15	100	1,500	34	14.80	44.01	44.04	
16	100	1,600	37	14.80	44.77	45.1	
17	100	1,700	40	34.26	46.02	45.84	
17+78	78	1,778	36	34.26	47.73	47.75	신흥교
18	22	1,800	39	34.26	47.50	47.32	
19	100	1,900	35	34.26	48.18	47.91	
20	100	2,000	41	34.26	49.39	48.81	
21	100	2,100	46	34.26	50.24	49.67	
22	100	2,200	45	12.92	50.78	50.58	
23	100	2,300	37	12.92	52.88	51.67	
24	100	2,400	28	12.92	53.87	52.55	
25	100	2,500	30	12.92	55.20	54.12	
26	100	2,600	19	12.92	56.26	55.44	
26+62	62	2,662	20	28.24	57.80	56.64	산평1낙차공
27	38	2,700	27	28.24	57.34	56.93	
27+54	54	2,754	20	28.24	57.68	57.68	제1산평교
28	46	2,800	27	28.24	58.03	57.91	
29	100	2,900	28	28.24	59.11	58.69	
30	100	3,000	29	28.24	60.13	59.63	
30+65	65	3,065	29	28.24	60.69	61.35	산평보
31	35	3,100	29	28.24	62.53	62.41	
32	100	3,200	25	15.66	63.4	63.32	
32+67	67	3,267	23	15.66	65.59	65.57	제2산평교

<표 2-67> 청룡천 하천자료 (계 속)

측점	거리 (m)	누가거리 (m)	하천 상폭 (m)	하천 하폭 (m)	좌안제방고 (EL.m)	우안제방고 (EL.m)	비고
33	33	3,300	26	15.66	65.98	65.71	
34	100	3,400	31	15.66	67.45	65.03	
35	100	3,500	39	15.66	69.16	66.08	
35.39	39	3,539	53	15.66	69.81	67.79	청룡취입보
36	61	3,600	35	15.66	71.26	74.66	
37	100	3,700	20	14.58	71.36	68.78	
37+23	23	3,723	19	14.58	69.72	69.75	산평세월교
38	77	3,800	30	14.58	산	73.87	
38+46	46	3,846	10	14.58	72.91	72.72	
39	54	3,900	18	14.58	75.9	73.49	
40	100	4,000	44	14.58	77.87	77.65	
41	100	4,100	40	14.58	79.81	82.5	
42	100	4,200	46	9.93	82.94	79.96	
42+16	16	4,216	20	9.93	79.31	79.02	
43	84	4,300	29	9.93	산	81.29	
44	100	4,400	71	9.93	산	84.7	
45	100	4,500	45	9.93	86.16	산	
45+87	87	4,587	20	9.93	84.6	산	청룡세월2교
46	13	4,600	32	9.93	85.88	산	
47	100	4,700	18	10.28	87.68	88.89	
48	100	4,800	25	10.28	93.17	90.69	
49	100	4,900	42	10.28	95.01	96.72	
50	100	5,000	24	10.28	99.56	94.17	
51	100	5,100	25	10.28	99.57	94.78	
52	100	5,200	16	16.71	96.07	96.27	
53	100	5,300	24	16.71	103.42	99.24	
54	100	5,400	42	16.71	산	101.67	
55	100	5,500	20	16.71	산	103.14	
56	100	5,600	20	16.71	산	104.29	
57	100	5,700	40	7.15	산	산	
57+75	75	5,775	13	7.15	110.29	110.27	청룡1교

<표 2-67> 청룡천 하천자료 (계 속)

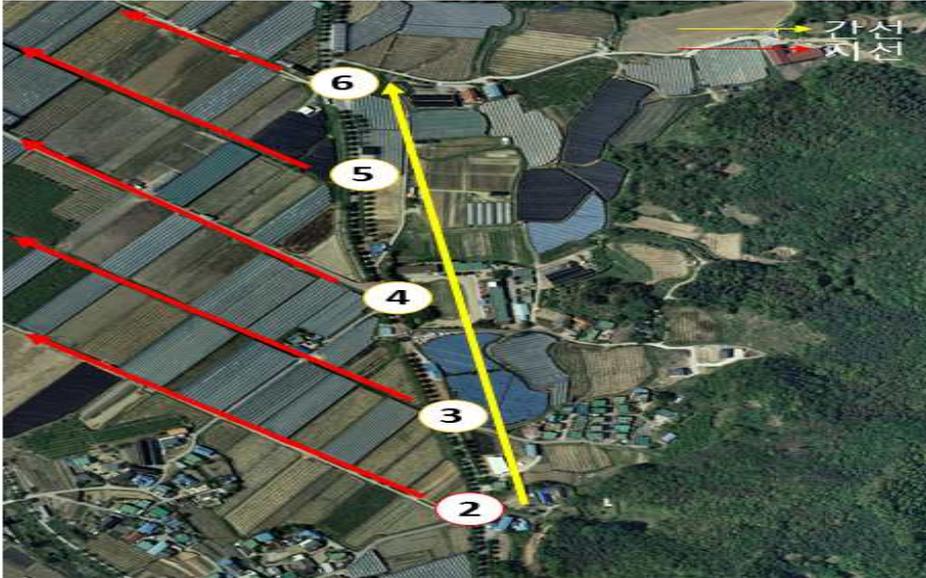
측점	거리 (m)	누가거리 (m)	하천 상폭 (m)	하천 하폭 (m)	좌안제방고 (EL.m)	우안제방고 (EL.m)	비고
58	25	5,800	14	7.15	산	110.43	
59	100	5,900	9	7.15	126.31	126.21	
59+32	32	5,932	10	7.15	138.01	138.00	
60	68	6,000	40	7.15	137.14	137.74	

청룡간선을 중심으로 2번 - 23번 지선은 용수지거와 배수지거(선)로 구분되어 있으며, 32번 - 36번 지선은 사갑보를 이용하여 용수가 공급되고 있다. 주요 간선, 지선 및 수문 정보는 다음과 같다.

(표 2-68) 대상지역 간선 제원

구 분 (지거(선) 번호)	간선거리(m)	간선제원	
		B(m)	H(m)
M01(청룡저수지~1)	2,400	1.2	1.0
M02(1~2)	1	1.2	1.0
M03(2~3)	180	1.2	1.0
M04(3~4)	150	1.2	1.0
M05(4~5)	165	0.7	1.0
M06(5~6)	150	0.7	1.0
M07(6~7)	150	0.7	1.0
M08(7~8)	141	0.7	1.0
M09(8~9)	105	0.7	1.0
M10(9~10)	90	0.7	1.0
M11(10~11)	120	0.7	1.0
M12(11~12)	180	0.7	1.0
M13(12~13)	120	0.7	1.0
M14(13~14)	105	0.7	1.0
M15(14~15)	120	0.7	1.0
M16(15~16)	150	0.7	1.0
M17(16~17)	210	0.7	1.0
M18(17~18)	270	0.7	1.0
M19(18~19)	180	0.7	1.0
M20(19~20)	135	0.4	0.4
M22(20~22)	240	0.4	0.4
M23(23~말단부)	630	0.4	0.4

제1호 용수지거(2)는 청룡저수지 여수로를 지나 청룡취입보를 거쳐 분기되는 첫 지점으로 수문 제원은 0.2m(D), 수로제원은 아래와 같이 1.2m(B) × 1.0m(H)로 조사되었다.



<그림 2-105> 2번- 6번 지선



<그림 2-106> 제1호 용수지거(2)

(표 2-69) 제1호 용수지거 제원(2)

수문제원 (G02)		제1호 용수지거 정보 (L02)		
B(m)	-	지선길이(m)	960	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	62.68	
D(m)	0.2	종점고도(EL.m)	48.14	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위폭(m)	1.74
			높이(m)	0.6

청룡간선은 청룡 취입보에서 취수되어 대부분 개수로를 통해 공급되는 것으로 나타나며 도로와 인접한 간선은 관수로 형태인 것으로 조사되었다. 간선에서 지선으로 분기시 용수 - 배수 - 용수 - 배수 등의 순서로 분기되는 것으로 나타나며, 용수공급 및 배수가 원활히 이루어질 수 있도록 설치된 것으로 판단된다.



<그림 2-107> 제1호 배수지선(3)

(표 2-70) 제1호 배수지선 제원(3)

수문제원 (G03)		제1호 배수지선 정보 (L03)		
B(m)	2.0	지선길이(m)	986	
H(m)	1.0	시점고도(EL.m)	60.42	
D(m)	-	종점고도(EL.m)	48.77	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위폭(m)	3.0
			높이(m)	0.9



<그림 2-108> 제2호 용수지거(4)

(표 2-71) 제2호 용수지거 제원(4)

수문제원 (G04)		제2호 용수지거 정보 (L04)		
B(m)	-	지선길이(m)	948	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	60.50	
D(m)	0.3	종점고도(EL.m)	44.56	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위폭(m)	1.74
			높이(m)	0.6



<그림 2-109> 제4호 배수지거(5)

(표 2-72) 제4호 배수지거 제원(5)

수문제원 (G05)		제4호 배수지거 정보 (L05)		
B(m)	-	지선길이(m)	978	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	59.89	
D(m)	0.8	중점고도(EL.m)	44.05	
		제원	아래폭(m)	0.8
			위폭(m)	4.4
			높이(m)	1.2



<그림 2-110> 제3호 용수지거(6)

제3호 용수지거(6) 수문 제원은 0.7m(B) × 0.7m(H)이고 지선길이 965m, 시점고도 60.4EL.m, 종점고도 45.18EL.m이며 세부내용은 다음과 같다.

(표 2-73) 제3호 용수지거 제원(6)

수문제원 (G06)		제3호 용수지거 정보 (L06)		
B(m)	0.7	지선길이(m)	965	
H(m)	0.7	시점고도(EL.m)	60.4	
D(m)	-	종점고도(EL.m)	45.18	
		제원	아래폭(m)	0.5
			위폭(m)	3.0
			높이(m)	0.8



<그림 2-111> 7번 - 12번 지선



<그림 2-112> 제5호 배수지거(7)

(표 2-74) 제5호 배수지거 제원(7)

수문제원 (G07)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.8

제5호 배수지거 정보 (L07)		
지선길이(m)		919
시점고도(EL.m)		58.10
종점고도(EL.m)		40.21
제원	아래폭(m)	1.5
	위폭(m)	5.7
	높이(m)	1.4



<그림 2-113> 제4호 용배수지거(8)

(표 2-75) 제4호 용배수지거 제원(8)

수문제원 (G08)		제4호 용배수지거 정보 (L08)		
B(m)	-	지선길이(m)	940	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	57.37	
D(m)	0.8	중점고도(EL.m)	39.41	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위폭(m)	3.0
			높이(m)	0.9



<그림 2-114> 제5호 용수지거(9)

(표 2-76) 제5호 용수지거 제원(9)

수문제원 (G09)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.8

제5호 용수지거 정보 (L09)		
지선길이(m)	754	
시점고도(EL.m)	57.41	
종점고도(EL.m)	41.42	
제원	아래폭(m)	0.3
	위폭(m)	1.74
	높이(m)	0.6



<그림 2-115> 제2호 배수지선(10)

(표 2-77) 제2호 배수지선 제원(10)

수문제원 (G10)		제2호 배수지선 정보 (L10)		
B(m)	-	지선길이(m)	909	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	52.56	
D(m)	0.6	종점고도(EL.m)	37.12	
		제원	아래폭(m)	2.0
			위 폭(m)	6.2
			높이(m)	1.4



<그림 2-116> 제6호 용수지거(11)

(표 2-78) 제6호 용수지거 제원(11)

수문제원 (G11)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.2

제6호 용수지거 정보 (L11)		
지선길이(m)		330
시점고도(EL.m)		54.14
종점고도(EL.m)		46.98
제원	아래폭(m)	0.3
	위폭(m)	1.74
	높이(m)	0.6

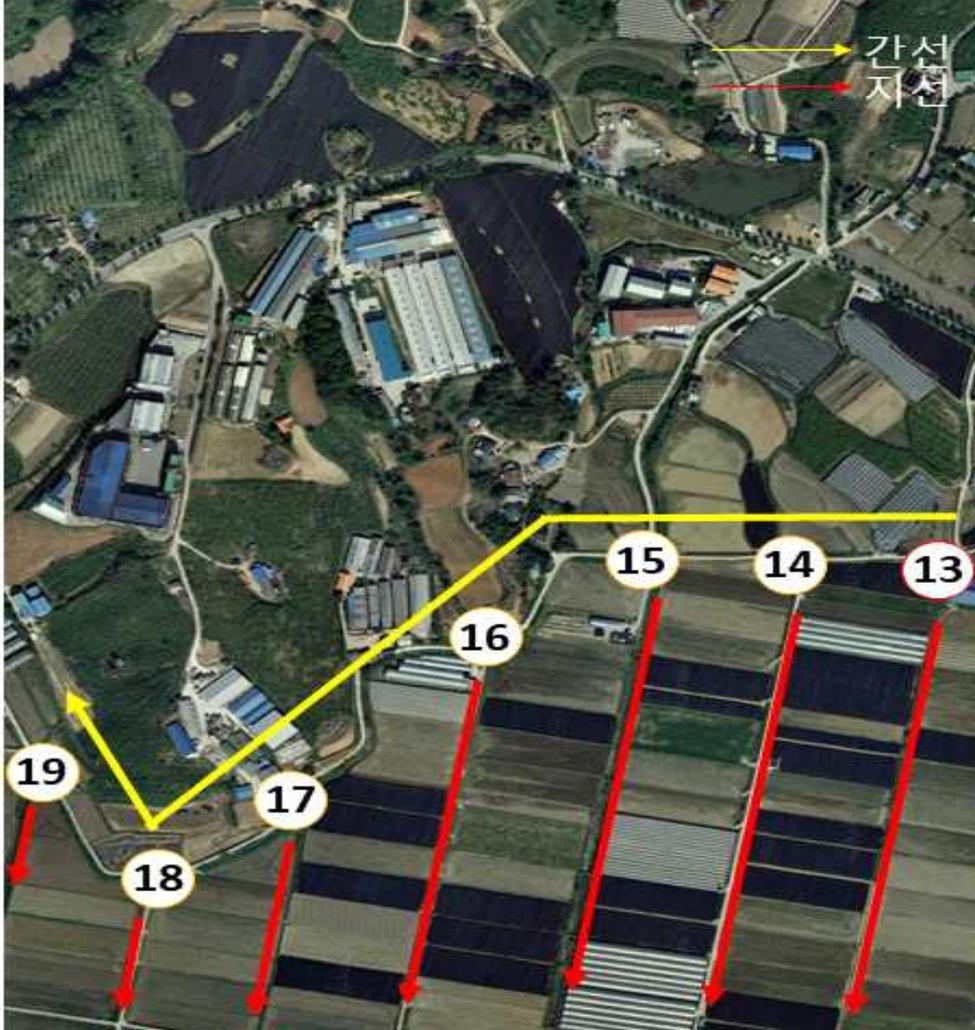


<그림 2-117> 제7호 용수지거(12)

(표 2-79) 제7호 용수지거 제원(12)

수문제원 (G12)		제7호 용수지거 정보 (L12)		
B(m)	-	지선길이(m)	783	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	54.70	
D(m)	0.2	중점고도(EL.m)	38.40	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위 폭(m)	1.74
			높이(m)	0.6

13번 - 19번 지선은 아래 그림과 같으며 제7호 배수지거(13) 수문제원은 0.6m(D)이고 지선길이 771m, 시점고도 51.86EL.m, 종점고도 37.74EL.m이며 세부내용은 다음과 같다.



<그림 2-118> 13번 - 19번 지선



<그림 2-119> 제7호 배수지거(13)

(표 2-80) 제7호 배수지거 제원(13)

수문제원 (G13)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.6

제7호 배수지거 정보 (L13)		
지선길이(m)		771
시정고도(EL.m)		51.86
중점고도(EL.m)		37.74
제원	아래폭(m)	0.3
	위폭(m)	3.0
	높이(m)	0.9



<그림 2-120> 제8호 용수지거(14)

(표 2-81) 제8호 용수지거 제원(14)

수문제원 (G14)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.2

제8호 배수지거 정보 (L14)		
지선길이(m)		821
시점고도(EL.m)		49.90
중점고도(EL.m)		35.93
제원	아래폭(m)	0.3
	위폭(m)	1.74
	높이(m)	0.6



<그림 2-121> 제3호 배수지선(15)

(표 2-82) 제3호 배수지선 제원(15)

수문제원 (G15)	
B(m)	1.4
H(m)	1.2
D(m)	-

제3호 배수지선 정보 (L15)		
지선길이(m)		832
시점고도(EL.m)		47.00
종점고도(EL.m)		34.10
제원	아래폭(m)	3.0
	위폭(m)	8.4
	높이(m)	1.8



<그림 2-122> 제9호 용수지거(16)

(표 2-83) 제9호 용수지거 제원(16)

수문제원 (G16)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.3

제9호 용수지거 정보 (L16)		
지선길이(m)	865	
시점고도(EL.m)	47.43	
종점고도(EL.m)	32.80	
제원	아래폭(m)	0.3
	위 폭(m)	1.74
	높이(m)	0.6



<그림 2-123> 제8호 배수지거(17)

(표 2-84) 제8호 배수지거 제원(17)

수문제원 (G17)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.6

제8호 배수지거 정보 (L17)		
지선길이(m)		954
시점고도(EL.m)		45.68
종점고도(EL.m)		32.00
제원	아래폭(m)	0.5
	위 폭(m)	3.2
	높이(m)	0.9



<그림 2-124> 제9호 배수지거(18)

(표 2-85) 제9호 배수지거 제원(18)

수문제원 (G18)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.5

제9호 배수지거 정보 (L18)		
지선길이(m)		1,181
시점고도(EL.m)		46.50
종점고도(EL.m)		30.49
제원	아래폭(m)	1.0
	위폭(m)	5.5
	높이(m)	1.5



<그림 2-125> 제11호 용수지거(19)

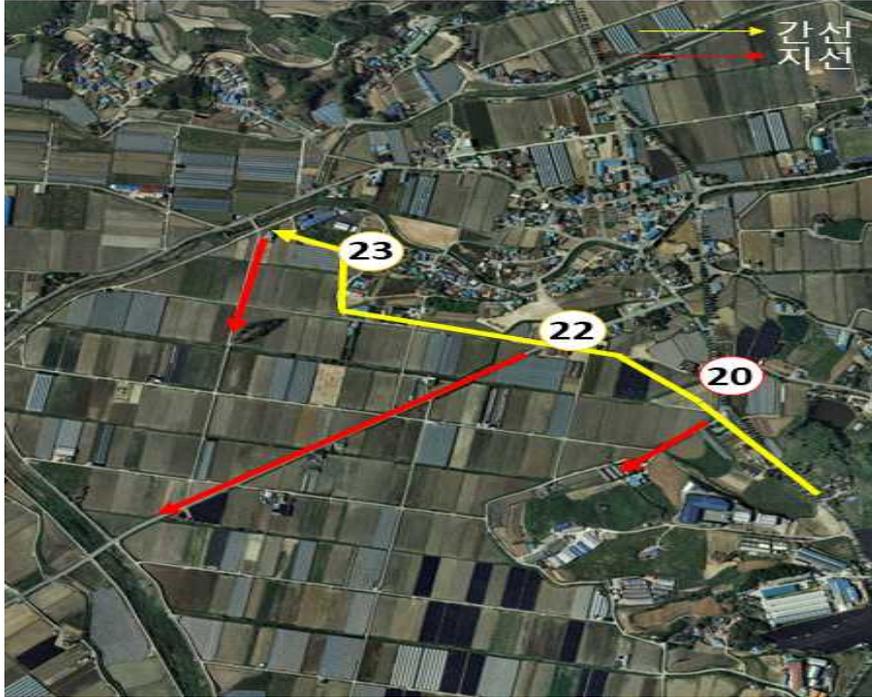
(표 2-86) 제11호 용수지거 제원(19)

수문제원 (G19)		제11호 용수지거 정보 (L19)		
B(m)	-	지선길이(m)	1,089	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	45.80	
D(m)	0.15	종점고도(EL.m)	30.11	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위폭(m)	1.74
			높이(m)	0.6

20번 - 23번 지선은 아래 그림과 같으며 제4호 배수지선(20) 수문제원은 0.15m(D)이고 지선길이 1,290m, 시점고도 46.28EL.m, 종점고도

30.90EL.m으로 조사되었다.

현장 여건상 제4호 배수지선(20)과 제11호 배수지거(23)은 촬영 및 조사가 불가능하여 기존자료를 활용하여 작성하였다.



<그림 2-126> 20번 - 23번 지선

(표 2-87) 제4호 배수지선 제원(20)

수문제원 (G20)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.15

제4호 배수지선 정보 (L20)		
지선길이(m)		1,290
시점고도(EL.m)		46.28
종점고도(EL.m)		30.90
제원	아래폭(m)	2.0
	위폭(m)	6.5
	높이(m)	1.5



<그림 2-127> 제13호 용수지거(22)

(표 2-88) 제13호 용수지거 제원(22)

수문제원 (G22)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.5

제 13호 용수지거 정보 (L22)		
지선길이(m)		1,247
시점고도(EL.m)		46.50
종점고도(EL.m)		31.99
제원	아래폭(m)	0.3
	위폭(m)	1.44
	높이(m)	0.6

(표 2-89) 제11호 배수지거 제원(23)

수문제원 (G23)		제11호 배수지거 정보 (L23)		
B(m)	-	지선길이(m)	571	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	37.69	
D(m)	0.7	종점고도(EL.m)	33.15	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위폭(m)	3.0
			높이(m)	0.9



<그림 2-128> 32번 - 36번 지선

청룡천에서 사갑보로 유입되어 취수하는 지선은 32번 - 36번 지선으로

세부내용은 다음과 같이 조사되었다.

(표 2-90) 제25호 용수지거 제원(34)

수문제원 (G34)		제25호 용수지거 정보 (L34)		
B(m)	-	지선길이(m)	1,967	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	38.90	
D(m)	0.3	종점고도(EL.m)	28.35	
		제원	아래폭(m)	0.4
			위폭(m)	1.84
			높이(m)	0.6

현장 여건상 제27호 용수지거(32), 제24호 배수지거(33), 제25호 용수지거(34)는 촬영이 불가능하여 기존자료를 활용하여 작성하였다.



<그림 2-129> 제26호 용수지거(35)

(표 2-91) 제26호 용수지거 제원(35)

수문제원 (G35)		제26호 용수지거 정보 (L35)		
B(m)	-	지선길이(m)	1,047	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	39.19	
D(m)	0.3	중점고도(EL.m)	27.66	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위폭(m)	1.74
			높이(m)	0.5

(표 2-92) 제24호 배수지거 제원(33)

수문제원 (G33)		제24호 배수지거 정보 (L33)		
B(m)	-	지선길이(m)	1,054	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	37.54	
D(m)	0.3	중점고도(EL.m)	28.62	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위폭(m)	3.0
			높이(m)	0.9

(표 2-93) 제27호 용수지거 제원(32)

수문제원 (G32)		제27호 배수지거 정보 (L32)		
B(m)	-	지선길이(m)	2,849	
H(m)	-	시점고도(EL.m)	38.29	
D(m)	0.3	중점고도(EL.m)	28.49	
		제원	아래폭(m)	0.3
			위폭(m)	1.74
			높이(m)	0.6



<그림 2-130> 제23호 배수지거(36)

(표 2-94) 제23호 배수지거 제원(36)

수문제원 (G32)	
B(m)	-
H(m)	-
D(m)	0.3

제27호 배수지거 정보 (L32)		
지선길이(m)		1,084
시점고도(EL.m)		38.29
종점고도(EL.m)		26.90
제원	아래폭(m)	0.3
	위폭(m)	3.0
	높이(m)	0.9

□ 청룡지구 용수계통 네트워크 구축

청룡지구의 용수계통 네트워크 구축을 위해 수치지형도와 항공사진을 활용하여 현장조사 도면을 작성하고 현장조사를 실시하였다.

청룡간선을 중심으로 수로의 제원, 분기현황을 조사하였으며, 주요 지점의 명칭 및 표기번호는 청룡저수지 경지정리사업을 참고 하였다. 청룡지구 용수계통 네트워크는 아래 그림과 같으며 용수지선 14조, 배수지선 12조 및 용배수지선 1조로 조사되었다.



<그림 2-131> 청룡지구 현황



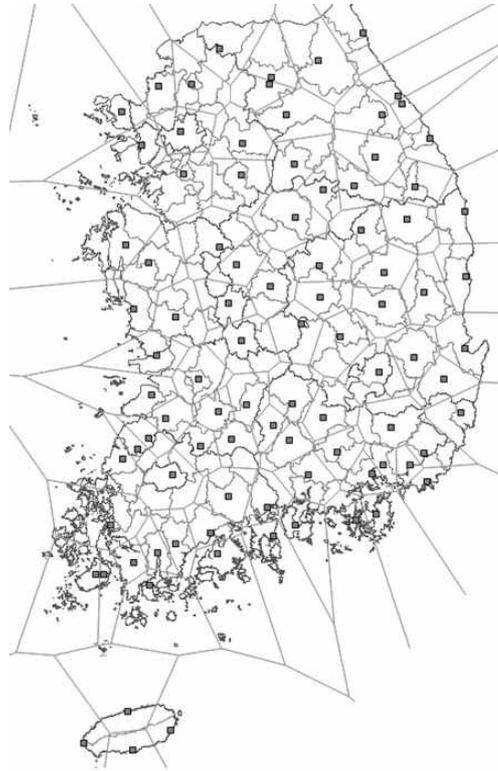
<그림 2-132> 청룡지구 용수계통 물관리 Network Map 구축 결과

라. 수문기상정보의 활용

자율학습 물관리 시스템에서는 취수부, 도수부, 급수부에 대한 수문기상 정보가 필요하다. 본 연구에서 제안한 수문기상 현장 수집정보는 취수부에서는 강수량, 저수위 등이 있고 도수부에서는 용수로 수위 및 유량, 급수부에서는 포장 담수심, 강수량, 증발량, 기온, 습도, 일조시간, 풍속 등이 있다.

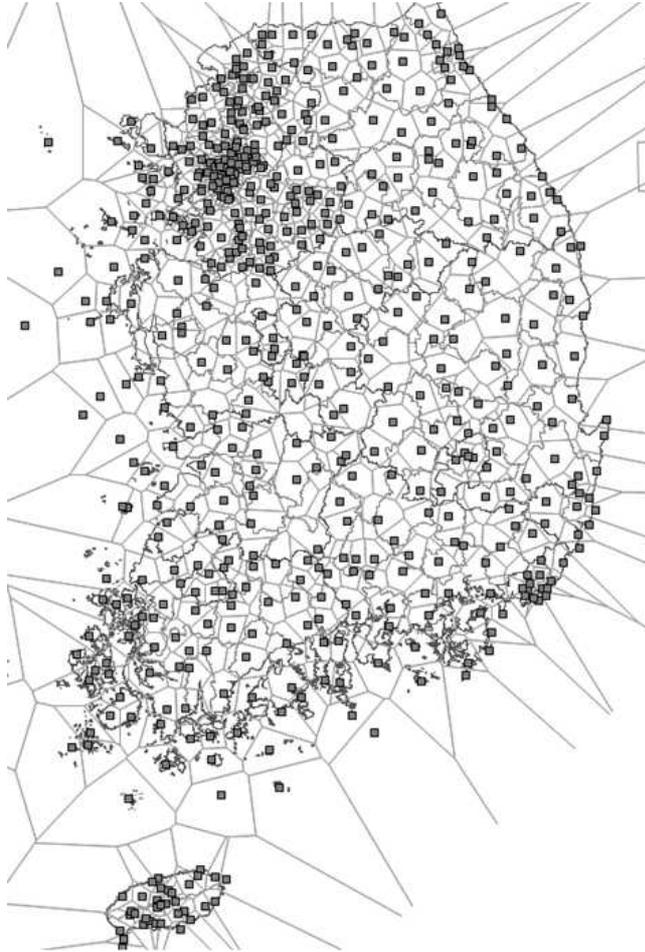
기상청은 기상관서의 자동기상관측장비(ASOS)와 무인으로 운영되는 자동기상관측장비(AWS)를 이용하여 지상기상관측업무를 수행하고 있다.

종관기상관측시스템(ASOS, Automated Synoptic Observing System)은 95개소가 설치되어 있으며 종관기상관측을 목적으로 전국 기상관서에 설치한 자동기상관측장비를 말한다. 강수량, 기온, 습도, 풍속, 일조, 증발, 기압, 풍향을 관측하여 제공한다.



<그림 2-133> ASOS 티센망도

자동기상관측시스템(AWS, Automatic Weather System)은 602개소가 설치되어 있으며 AWS에서 수집된 자료는 종합 자기기록의 실시간 영상 표출로 일변화 경향 감시 및 분석이 가능하며, 소규모 돌발성 악기상을 연속감시하여 방재기상지원 능력을 향상시키고, 국지적 상세예보모델의 개발·운용과 연구분야에서 필요로 하는 기초자료를 확보하는 목적이 있다. 강수량, 기온, 습도, 풍속을 관측하여 제공한다.



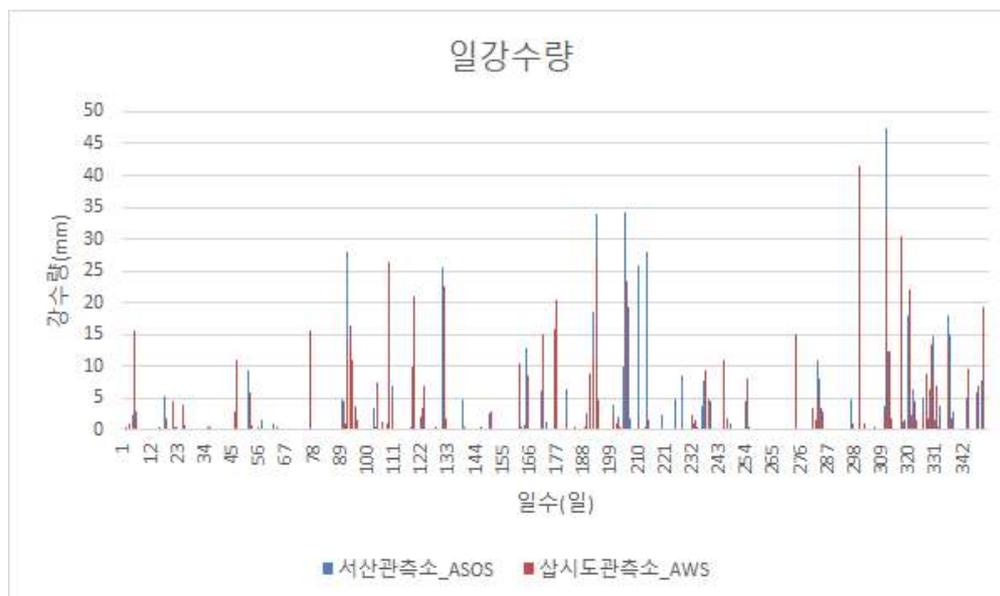
<그림 2-134> AWS 티센망도

중관기상관측장비(ASOS)는 주로 지방청과 기상대에 설치되어 기상상태를 관측하고 국제전문의 작성 및 통계표 작성과 같은 관측업무를 자동

으로 처리한다. 관측내용은 기압, 기온, 풍향, 풍속, 습도, 강수량(0.1mm, 0.5mm), 강우유무, 일사량, 일조시간, 지면온도, 초상온도 등 11개 요소를 자동관측하고, 5개요소(시정, 운량, 운형, 증발량, 지중온도)는 수동으로 관측하고 있다.

AWS는 ASOS와 유사한 장비로 습도대신에 이슬점온도를 관측하고, 강수량 센서로는 0.5mm 전도형 강수량계를 사용하고 일사를 관측하지 않는다는 점이 다르다. AWS는 기상관측소가 없는 곳에 설치되어 집중호우, 우박, 뇌우, 돌풍 등과 같은 국지적인 악기상 현상을 실시간으로 감시하고 있고, 특히 산악지역이나 섬처럼 사람이 관측하기 어려운 곳에 설치되어 집중 호우와 같은 돌발 악기상을 감시하며, 관측된 자료는 수치예보모델의 초기 입력 자료로 유용하게 사용된다. 관측내용은 풍향, 풍속, 기온, 강수량, 강수유무 등 5개 요소를 자동으로 관측한다.

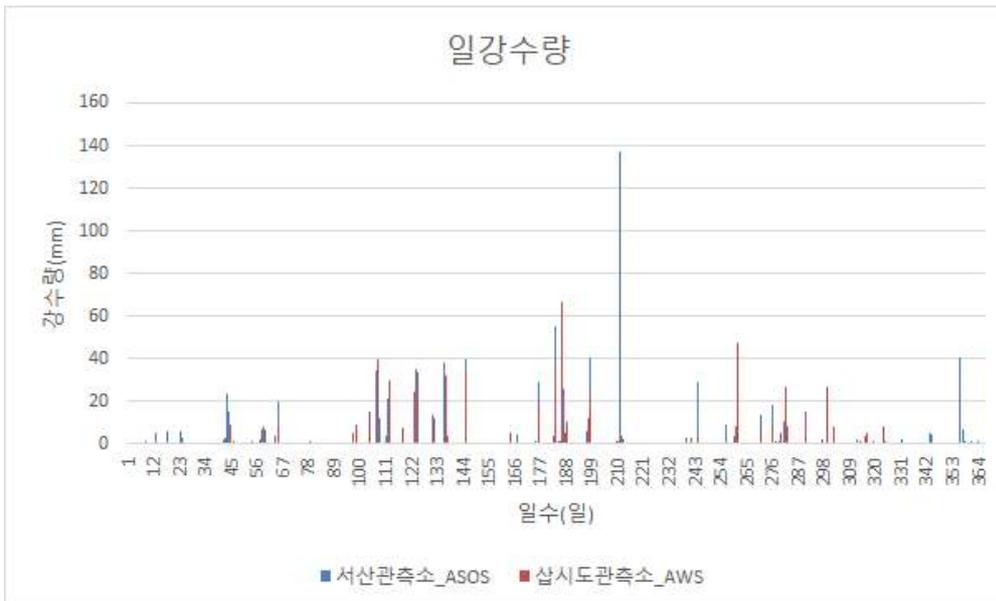
시범지구인 대야지구, 청룡지구, 금강지구의 ASOS와 AWS의 2015년부터 2017년까지 일강수량과 누적강수량을 비교하면 다음과 같다.



<그림 2-135> 2015년 대야지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교



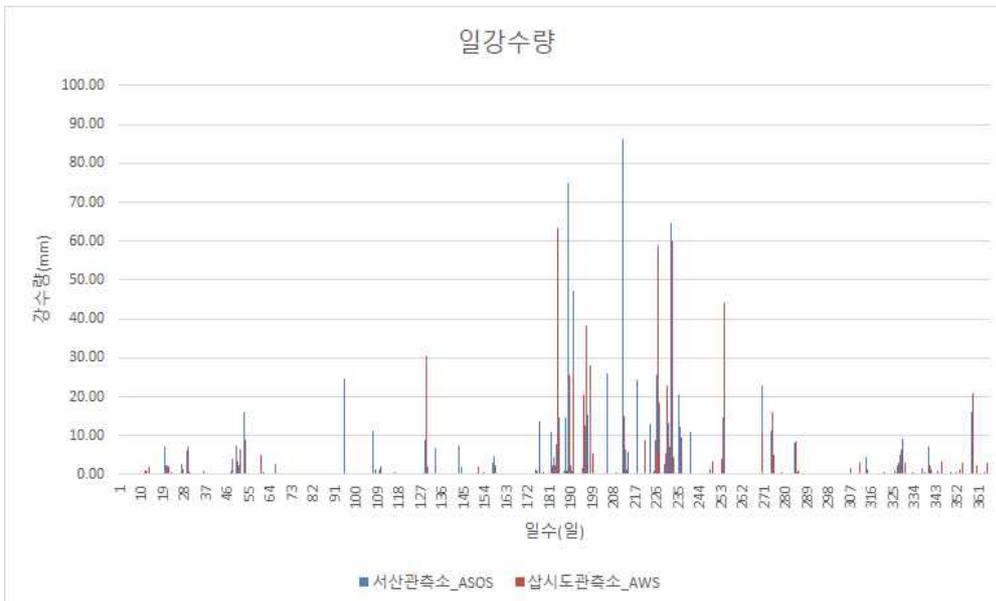
<그림 2-136> 2015년 대야지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교



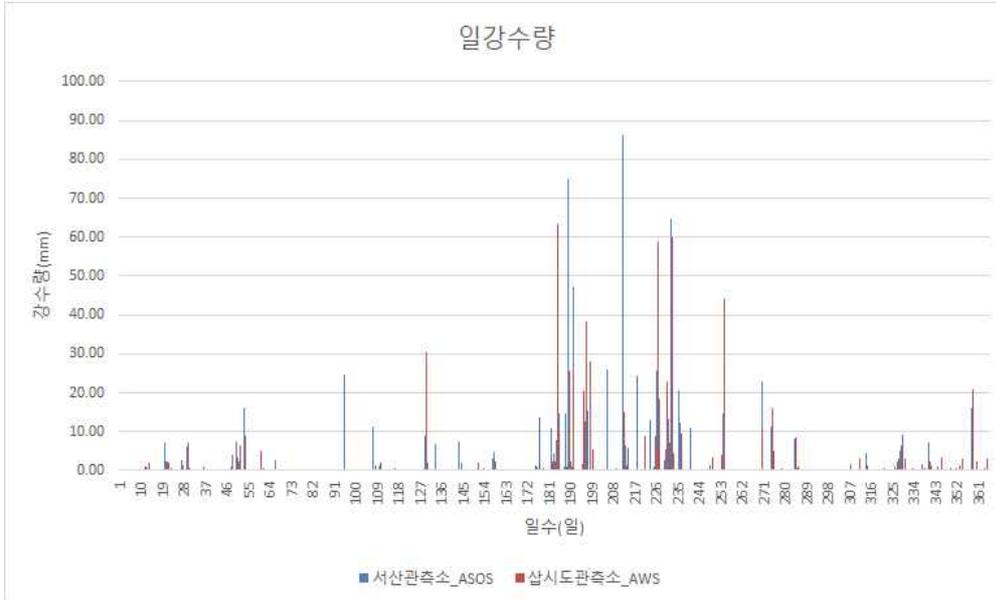
<그림 2-137> 2016년 대야지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교



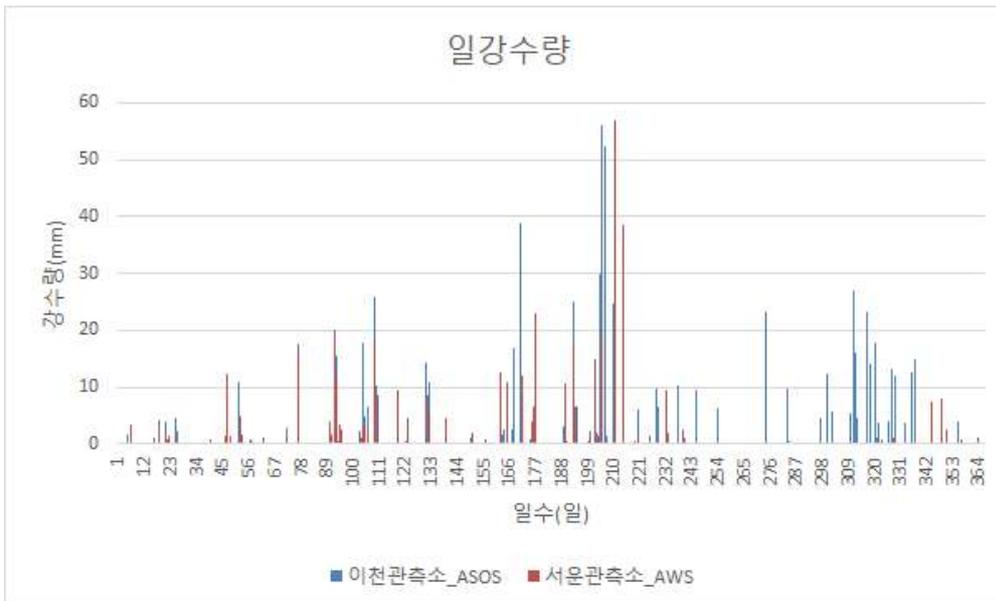
<그림 2-138> 2016년 대야지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교



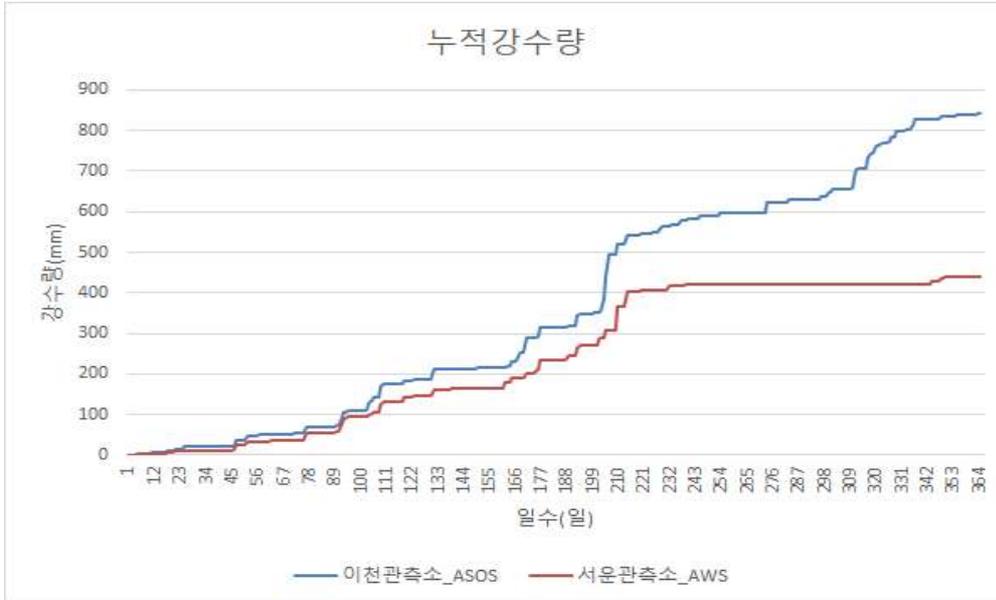
<그림 2-139> 2017년 대야지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교



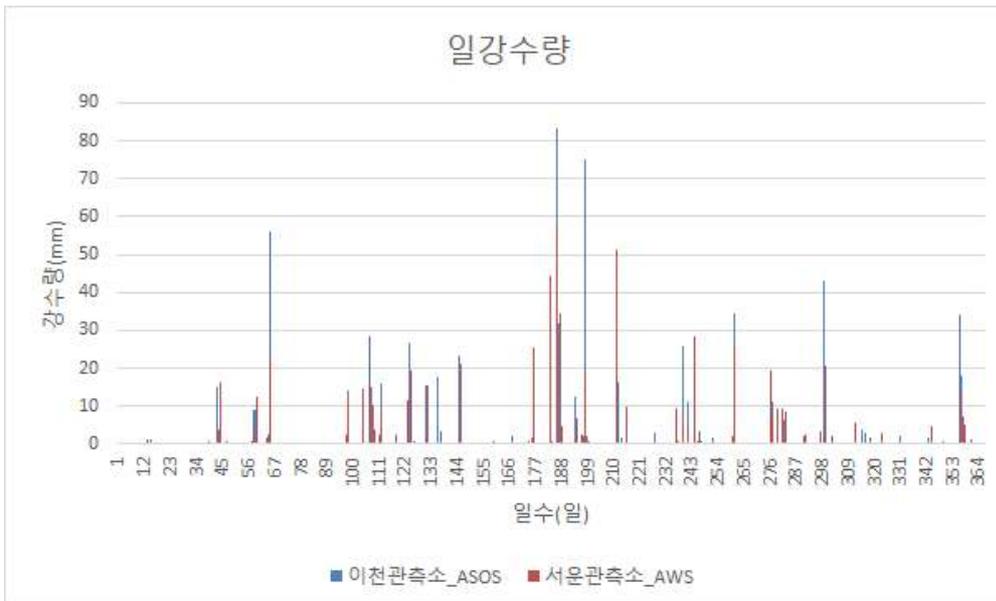
<그림 2-140> 2017년 대야지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교



<그림 2-141> 2015년 청룡지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교



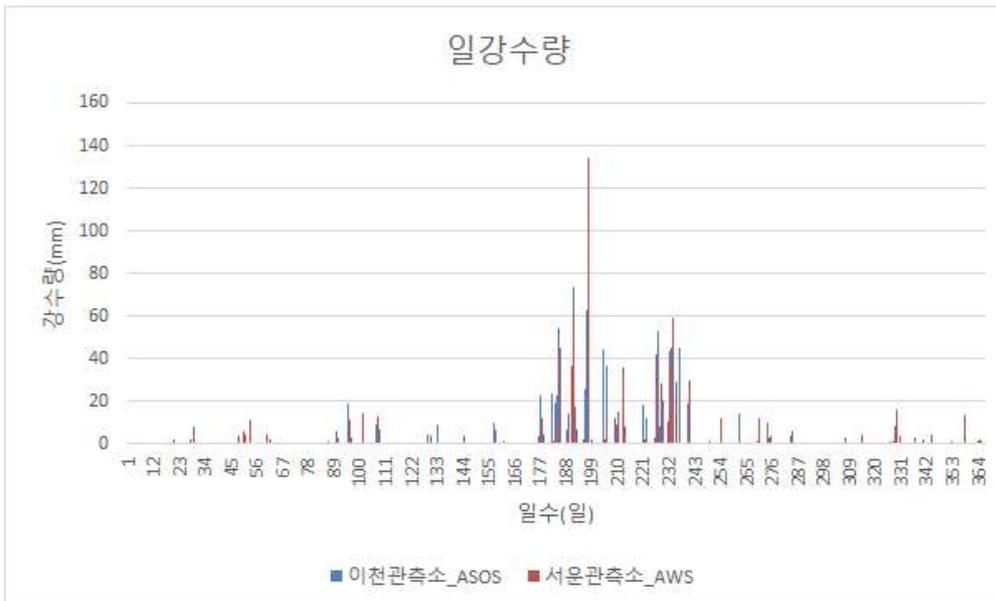
<그림 2-142> 2015년 청룡지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교



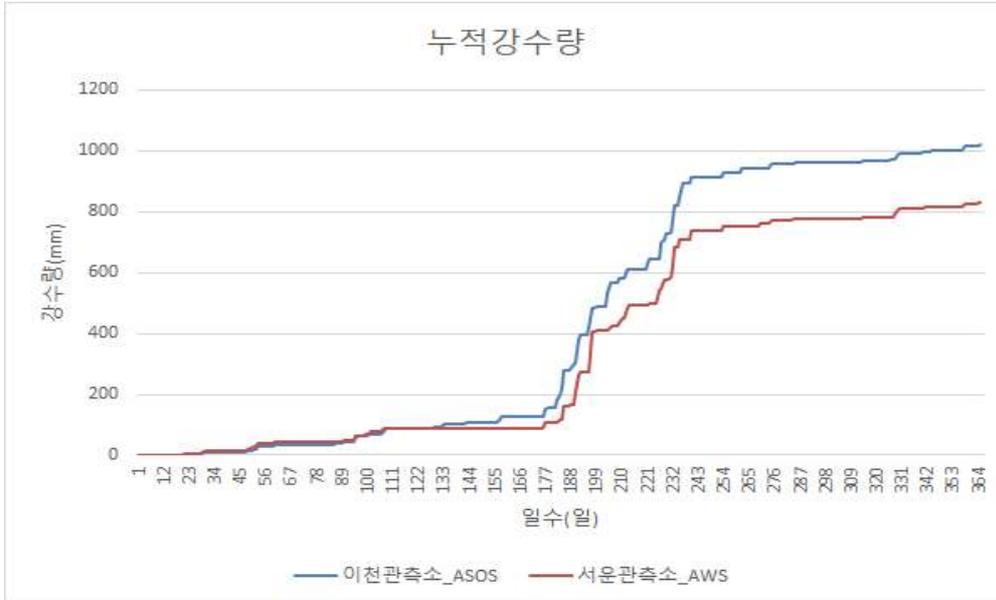
<그림 2-143> 2016년 청룡지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교



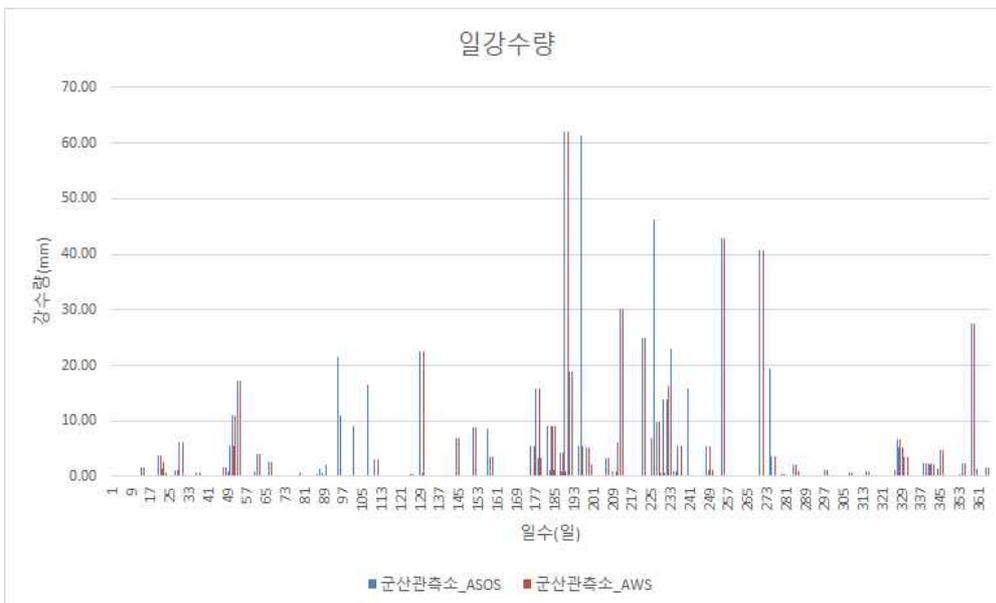
<그림 2-144> 2016년 청룡지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교



<그림 2-145> 2017년 청룡지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교



<그림 2-146> 2017년 청룡지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교

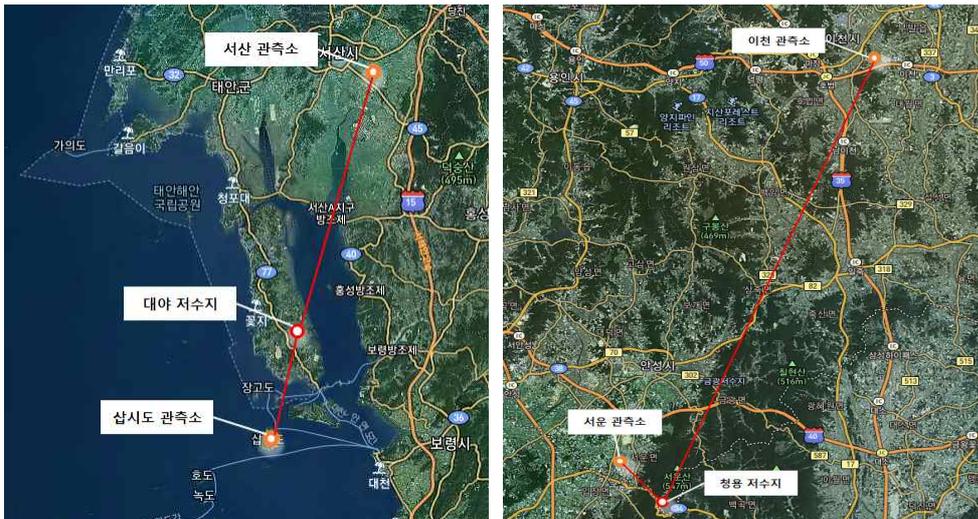


<그림 2-147> 2017년 금강지구 ASOS와 AWS 일강수량 비교



<그림 2-148> 2017년 금강지구 ASOS와 AWS 누적강수량 비교

대야지구의 경우 취수부인 대야저수지를 기준으로 ASOS 관측소인 서산 관측소는 34.31km이고 AWS 관측소인 삽시도 관측소는 15.34km이다. 청룡지구의 경우 취수부인 청룡저수지를 기준으로 ASOS 관측소인 이천 관측소는 42.1km이고 AWS 관측소인 서운 관측소는 4.1km이다.

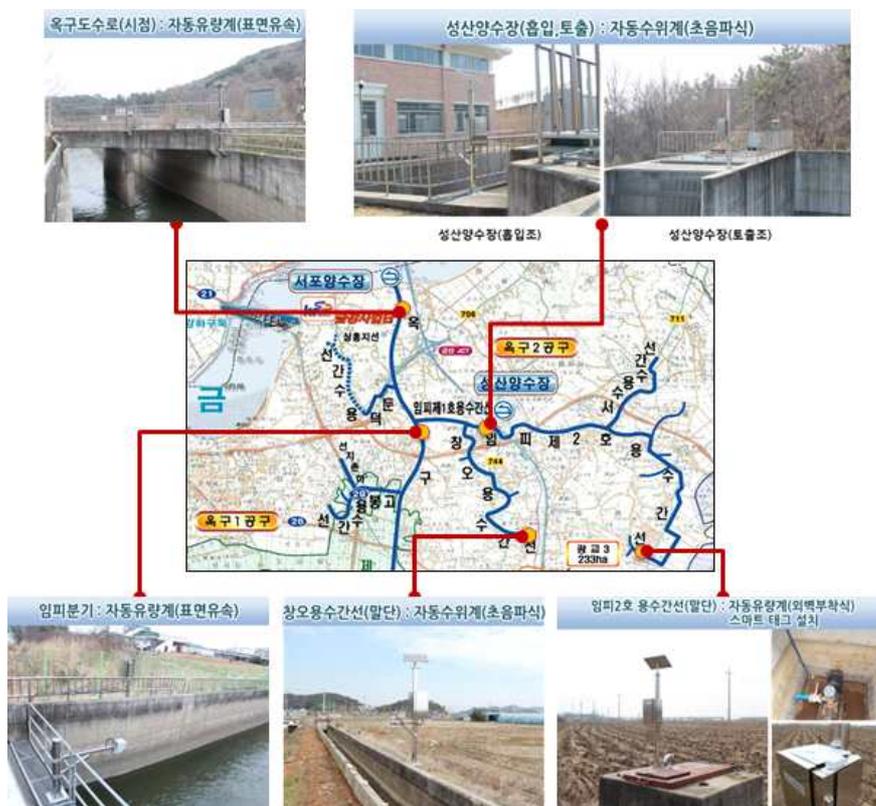


<그림 2-149> 대야지구(좌)와 청룡지구(우)의 관측소 위치 비교

최근의 기후는 국지적인 변화를 보이는 만큼 상대적으로 거리가 상당한 ASOS 관측소보다는 AWS 관측소의 기상자료를 활용함으로써 국지적 강우를 반영하는 것이 필요하다고 본다.

자율학습 물관리시스템에서 수문정보는 취수부에서는 저수지 수위, 유입량 정보(유역면적, 유역비율 등), 공급량 정보가 필요하며 도수부는 수로의 수위 및 유량이 급수부는 포장 담수심, 물꼬 유량 등의 정보가 필요하다.

금강지구에는 옥수도수로 시점부 유량, 임피간선 분기점 수위, 성산양수장 흡입부와 토출부 수위, 창오 용수간선 수위, 임피2호 용수간선 말단부 유량 계측정보를 활용하고 있다. 그리고 수원공인 서포양수장의 가동정보를 활용하고 있다.



<그림 2-150> 금강지구 계측장치 설치 위치

(표 2-95) 금강지구 계측장치 현황

구 분	측정 내용
옥구도수로 시점	자동유량계(표면유속방식)
임피분기 분수문 개거	자동유량계(표면유속방식)
성산양수장 흡입, 토출조	자동수위계(초음파식)
창오간선 말단	자동수위계(초음파식)
임피2호간선 말단	자동유량계(외벽부착식)

대야지구에는 수원공인 대야저수지 수위, 양수저류를 위한 담수저수지 수위, 나암간선 시점부 및 종점부 수위, 누동간선 시점부 및 종점부 수위, 대야간선 시점부 및 종점부 수위의 계측정보를 활용하고 있다.



<그림 2-151> 대야지구 계측장치 설치 현황

청룡지구는 수원공인 청룡저수지 수위 계측정보를 활용하고 있으며 본 연구에 적용하기 위해서는 추가적인 계측장치 설치가 필요할 것으로 본다.

2. 용수계통물관리 Network Map

가. 설계도서 유무에 따른 모델링 방안

본 연구의 용수계통물관리 Network Map 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 요구된다.

위에 제시한 필요자료들 중 본 연구에서 구축하고자 하는 용수계통물관리 Network Map에서 가장 중요한 자료는 용수로의 평면·종단·횡단 자료로서 용수로 및 수리적 특징을 구축하는데 반드시 필요한 자료이며, 전산도면을 이용하는 것이 가장 최적의 방법이라고 할 수 있다.

사업계획 또는 준공도면(평·종·횡단면도)을 확보할 수 있는 경우에 대하여 가장 기본적인 수로조직데이터를 구축하는 주요과정은 다음과 같다.

○ 도면확보, 검토 및 현장조사계획 수립

- 평면, 종단, 횡단면도가 포함된 사업계획 또는 준공도면을 확보하여 용수체계, 수로제원, 주요구조물의 위치를 파악하고 현장조사 동선, 주요조사 지점을 계획한다.

○ 현장조사

- 주요 용수로의 형태를 파악하여 확보된 도면이 현장상태를 반영하고 있는지 비교한다.
- 현장상태와 동일하다고 판단되는 경우 주요 동선을 따라 분기점, 합류점, 급수부, 급류공, 유말공 등의 형태를 기록한다.
- 도면에 표시된 수로의 제원과 현장의 상태가 일치하는지 일정한 간격을 두고 검사하고 상이할 경우 기록한다.
- 수로의 조도상태를 간접적으로 추정할 수 있도록 수로 내부의 상태를 조사한다.
- 수로의 바닥높이는 종횡단도를 이용하여 구할 수 있으므로 주요 구조물은 인접한 수로바닥으로부터의 높이차 등을 측정하는 방법으로 간접적으로 표고값을 확인한다.

- 도면에 표시되지 않은 구조물들을 도면에 표시하고 제원을 측정한다.

○ 도면의 좌표 및 좌표체계 확인

- 일부의 평면 도면의 경우 설계시 편의를 위하여 도면객체를 임의의 지점으로 이동시키거나 회전시켜 설계를 진행하는 경우가 있다. 모형에 적용되는 자료는 실제 좌표를 반영하고 있어야 하므로 수치지형도와 비교하여 도면에 그려진 객체의 위치가 다를 경우 실제 위치로 이동시키는 작업이 필수적이다.
- 최근에 작성되는 공간데이터는 GRS80 좌표계로 작성되어 있어야 하며, 본 연구에 적용될 모형도 GRS80 좌표체계를 가지도록 구축되어야 한다. 일부 도면의 경우 BESSEL 좌표계를 기준으로 작성된 경우가 있으므로 BESSEL 좌표계로 확인되면 좌표계를 변환하는 과정을 거쳐야 한다.

○ CAD을 이용한 용수계통물관리 Network Map 구축 및 주요사항 표기

- 각 용수로 노선(arc)의 중심선을 Polyline으로 작성한다. 제원변경이나 경사가 변경되는 지점 등 주요위치는 분리된 상태로 구축되어야 한다.
- 현장조사 및 중횡단도를 참고하여 수로제원 및 경사변경 지점, 각 수로의 시점과 종점부, 구조물 지점에 node를 입력한다.
- 현장조사 및 중횡단도를 참고하여 node 입력지점에 표고를 입력한다.
- 수로 및 구조물의 제원 및 코드화된 명칭을 node와 arc에 부여하여 용수계통물관리 Network Map 구축시 참고할 수 있도록 표시한다.
- 필지는 용수로와 배수로를 경계로 Polygon형태로 구역화 한다.

○ GIS자료 변환 및 속성자료 구축

- CAD로 구축된 네트워크 자료를 node와 arc로 분리하여 GIS 형식인 Shape파일로 변환한다.
- node의 속성으로 node코드와 바닥표고를 입력한다.
- arc의 속성으로 arc코드와 유입·유출 node의 코드, 유입 유출부의 invert elevation, arc의 길이를 입력한다.
- polygon 형태로 필지 면적을 산정하여 storage의 바닥면적으로 활용할 수 있도록 한다.

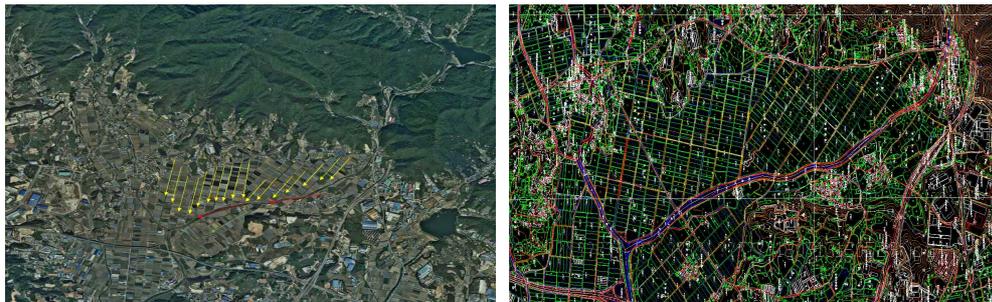
- 지구내 유입유역 등 기타사항, 구조물 속성 및 배경영상자료 구축
 - 그 외 모형구성에 필요한 유입유역, 구조물속성 자료를 구축한다.
 - 배경이 되는 항공사진자료를 획득하여 GRS80 좌표계로 구축한다.

상기의 과정을 통해 구축된 자료는 본 연구의 용수계통물관리 Network Map을 구축하는데 있어 요구되는 가장 기초적인 자료이며, DB 설계서의 내용에 따라 필요한 자료를 구축하는데 사용된다.

용수계통물관리 Network Map을 구축하는데 필요한 간선 및 지선의 평면적인 배치, 단면제원, 종단형태, 각종 시설물의 위치 및 제원 등의 현황을 파악할 수 있는 준공도면 등 설계도서의 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 구축하여야 한다. 현장조사 및 자료의 구축과정은 다음과 같다.

○ 현장조사

구축대상 수로의 노선에 대한 공간적인 정보가 없는바 현장조사에 앞서 대상 간선·지선수로, 분기점 및 용수블록을 좌표가 반영될 수 있도록 수치지형도 상에 작도하고, 부호 및 구역에 대한 표기, 항공사진 및 수치지형도 통합을 통해 현장조사용 도면을 작성한다.

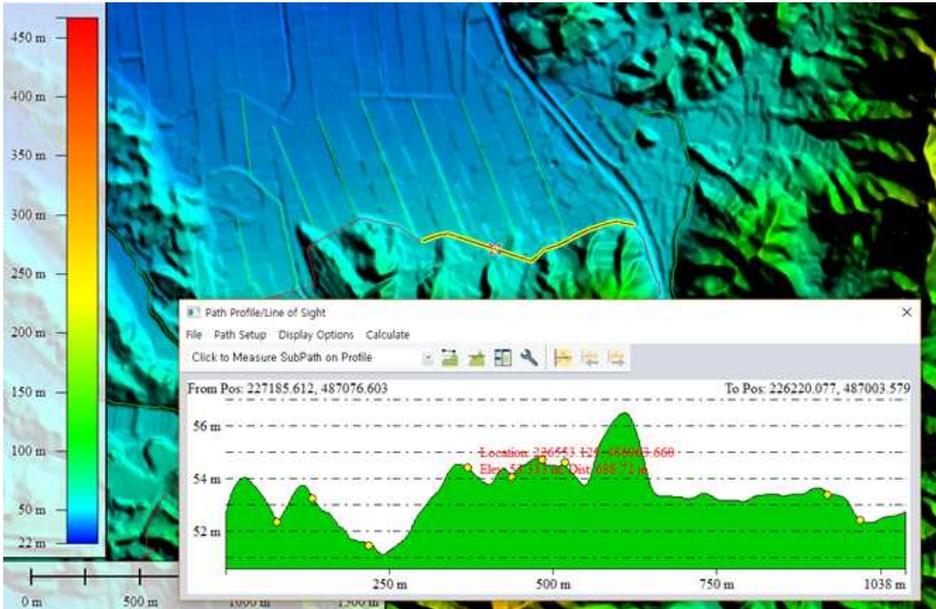


<그림 2-152> 청룡지구 현장조사용 도면 작성

○ 수로바닥고 추정

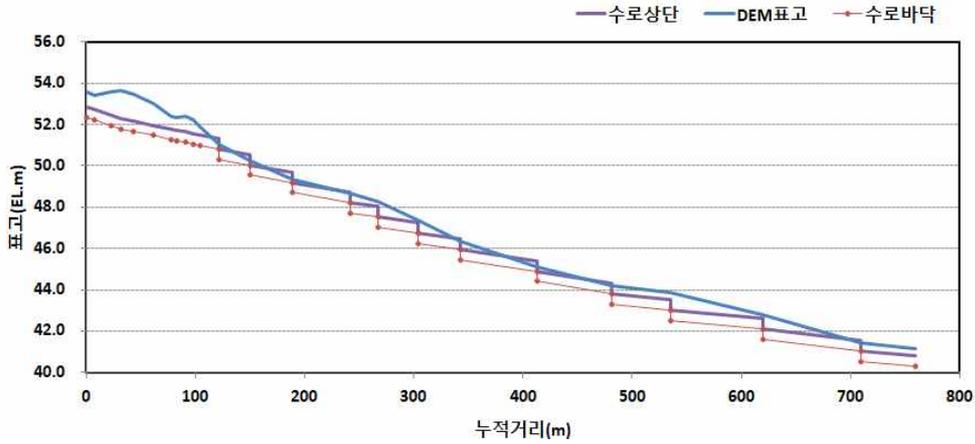
수리계산에 필요한 수로바닥의 표고를 반영하기 위해서는 설계도서의

중단도면이 요구되거나 설계도서의 확보가 어려운 경우 수치표고모델 (DEM)과 현장조사를 통해 확인된 수로의 중심선(현장조사전 도상작업 결과를 조사를 통해 보완한 자료)을 중첩하여 수로중심에 해당하는 현재의 지반고를 추출한 후 현장조사에서 확인된 경사의 변화 정도를 반영하여 수로의 바닥표고를 추정한다.



<그림 2-153> 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 반영하여야 한다.



<그림 2-154> 수로 바닥고 추정

○ 용수계통 물관리 Network Map 및 속성자료 구축

현장조사 및 DEM 표고추정결과를 반영하여 종단측점, 분기점, 수로의 바닥표고, 연장, 형식, 분수문 위치 및 크기, 용수블록의 면적, 낙차공 및 급류공의 위치 등 용수계통 물관리 Network Map 구축에 필요한 제반정보들을 입력한다.

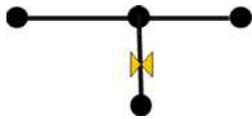
취수부는 저수지 유역, 저수지, 취수시설로 구분할 수 있다. 저수지 유역은 SWMM의 Subdatchment로 모델링을 수행하고 그 구성은 유역면적, 유역비율, 유역경사 등을 포함한다. 저수지는 SWMM의 Storage로 모델링을 수행하고 그 구성은 사수위, 만수위, 홍수위, 내용적 등을 포함한다. 취수시설은 SWMM의 Orifice로 모델링을 수행하고 그 구성은 오리피스 규모, 펌프 용량 등을 포함한다.

(표 2-96) 취수부 용수계통 물관리 Network Map 구성

구분	Model	SWMM	구성 내용
저수지 유역		Subdatchment	유역면적, 유역비율, 유역경사 등
저수지		Storage	사수위, 만수위, 홍수위, 내용적 등
취수 시설		Orifice	오리피스 규모, 펌프 용량

도수부는 수로, 수문으로 구분할 수 있다. 수로는 SWMM의 Node와 Link로 모델링을 수행하고 그 구성은 노드 깊이, 표고, 링크 연장, 조도계수 등을 포함한다. 수문은 SWMM의 Orifice와 Weir로 모델링을 수행하고 그 구성은 오리피스 규모, 웨어 규모 등을 포함한다.

(표 2-97) 도수부 용수계통 물관리 Network Map 구성

구분	Model	SWMM	구성 내용
수로		Node, Link	노드 깊이, 표고, 링크 연장, 조도계수
수문		Orifice, Weir	오리피스 규모, 웨어 규모

급수부는 포장, 물꼬로 구분할 수 있다. 수로는 SWMM의 Storage로 모델링을 수행하고 그 구성은 포장 블록 면적, 담수심 등을 포함한다. 수문은 SWMM의 Orifice와 Weir로 모델링을 수행하고 그 구성은 오리피스 규모, 웨어 규모 등을 포함한다.

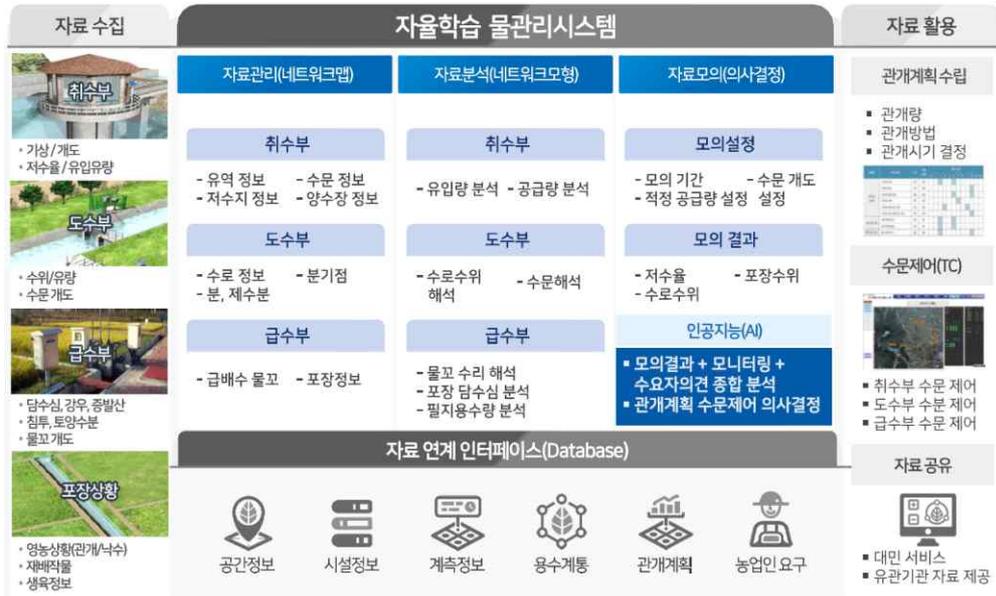
(표 2-98) 급수부 용수계통 물관리 Network Map 구성

구분	Model	SWMM	구성 내용
포장		Storage	포장 블록 면적, 담수심
물꼬		Orifice, Weir	오리피스 규모, 웨어 규모

3. 자율학습 물관리 시스템 구성

가. 자율학습 물관리시스템 구성도

자율학습 물관리시스템은 시스템 외적인 자료 수집 부분 및 자료 활용 부분, 시스템 내적인 자료관리, 자료분석, 자료모의, 자료연계 데이터베이스로 구성된다.



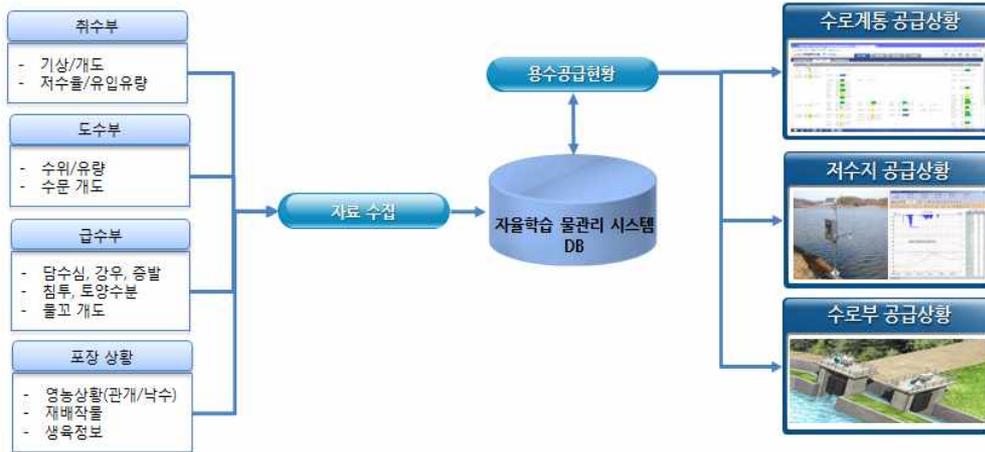
<그림 2-155> 자율학습 물관리시스템 구성도

자료 수집은 취수부에서는 기상정보, 취수문 개도율 정보, 저수위 및 이에 따른 저수율, 유입유량 정보를 연계하고 도수부에서는 수로의 수위 및 유량, 분수문 등의 수문 개도율 정보를 연계한다. 그리고 급수부에서는 포장 담수심, 강우량, 증발산량, 침투량, 토양수분, 물꼬의 개도 여부 등의 정보를 연계한다. 포장은 관개 및 낙수여부의 영농상황, 재배작물과 이에 따른 생육정보가 포함된다.

자료 활용은 시스템에서 분석된 결과를 바탕으로 관개량, 관개방법, 관개시기 결정 등의 관개계획을 수립하고 취수부, 도수부, 급수부의 수문을 제어한다. 또한 분석 결과는 유관기관에 제공되어 업무에 활용하며 대국민에게 서비스하여 영농정보를 제공한다.

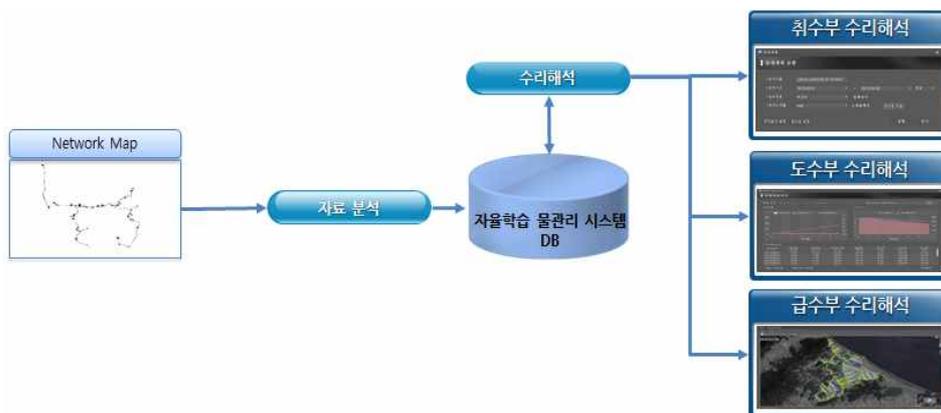
자율학습 물관리시스템은 자료관리, 자료분석, 자료모의로 구성된다. 자

료관리는 취수부→도수부→급수부에 이르는 용수계통 물관리 Network Map을 관리하며 그 내용은 취수부에서는 유역정보, 수문정보, 저수지 정보, 양수장 정보이며 도수부에서는 수로 정보, 분기점, 제수문, 분수문 등의 정보 그리고 급수부에서는 급배수 물꼬 정보, 포장정보 등을 관리한다.



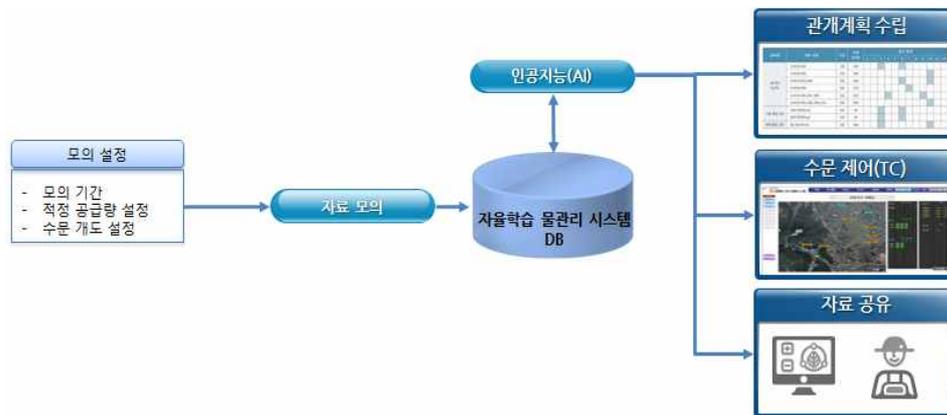
<그림 2-156> 자료수집 개념도

자료 분석은 자료관리 부분의 정보 등을 이용하여 수리학적 해석을 하는 것으로 취수부에서는 유입량 분석, 공급량 분석을 실시하며 도수부에서는 수로 수위 해석, 수문 해석을 실시한다. 그리고 급수부에서는 물꼬 수리해석, 포장 담수심 분석, 필지별 용수량 분석 등을 실시한다.



<그림 2-157> 자료분석 개념도

마지막으로 자료모의 부분은 시스템 사용자에게 농업용수 관리를 위한 의사결정지원 부분으로 용수공급 사전모의를 위한 모의설정과 이에 따른 모의결과로 구성된다. 모의설정은 농업용수 분석을 위한 입력자료로 모의기간, 수문 개도 설정, 적정 공급량 설정, 수문 개도 설정을 통한 시나리오에 따른 농업용수 분석이 가능하다. 분석된 결과는 저수율, 포장 수위, 수로 수위 및 유량 등의 다양한 정보를 제공하여 사용자의 의사결정을 지원한다. 자료모의 부분에서 자율학습 물관리시스템은 기계학습, 자율학습 알고리즘 등을 활용하여 인공지능적으로 사용자에게 정보를 제공한다.



<그림 2-158> 자료모의 개념도

시스템의 데이터베이스에는 용수계통 물관리 Network Map을 GIS 기반으로 표출하기 위한 공간정보, 시설물의 제원 및 현황 등의 시설정보, 저수지 수위, 수로 수위 및 유량, 포장 담수심 등의 계측정보, 수로 수리 해석을 위한 용수계통 기반의 취수부→도수부→급수부의 네트워크 정보, 자료모의를 통하여 분석된 결과를 바탕으로 한 관개계획 정보, 수요자 중심의 농업용수 공급을 위한 농업인 물공급 요구 정보 등이 있다.

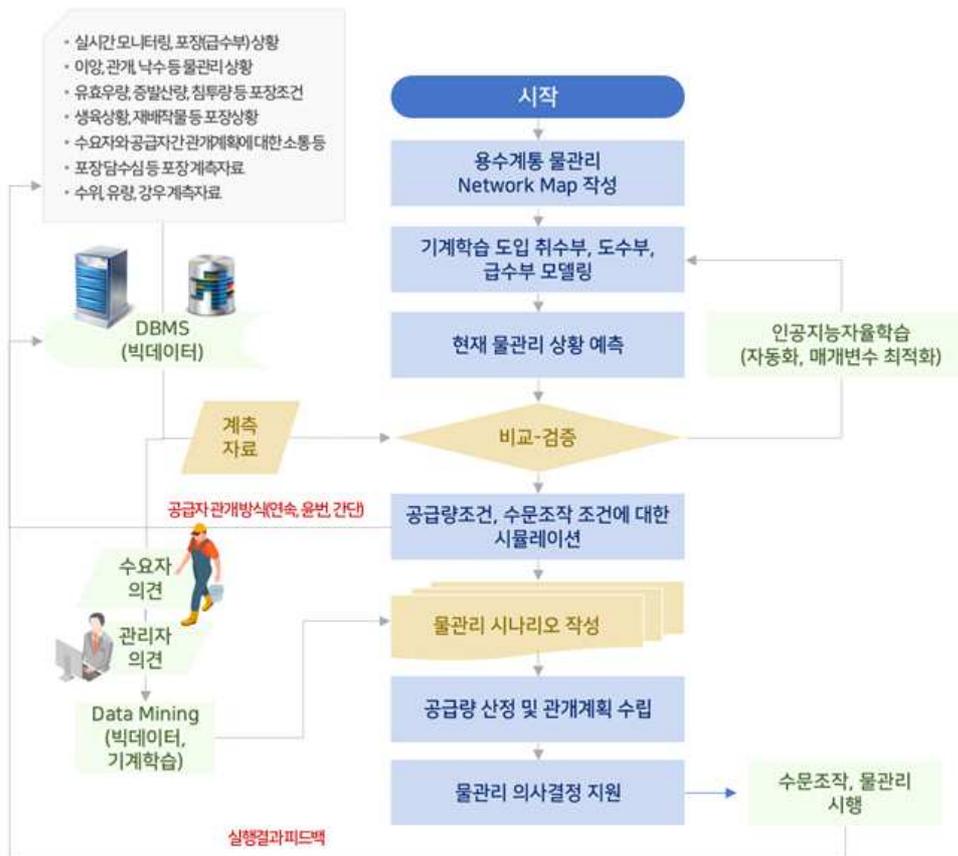
나. ICT기반 S/W 운영방안 및 IoT기반 H/W 제어방안 도출

아래의 그림은 자율학습 물관리 시스템의 운영 및 제어 흐름을 나타낸 것이다. 자율학습 물관리 시스템의 흐름은 용수계통 물관리 Network Map을 작성하고 기계학습을 도입한 취수부, 도수부, 급수부의 해석 모형

을 적용하여 현재의 물관리 상황을 재현한다. 데이터베이스의 실시간 모니터링, 포장(급수부) 상황, 이양, 관개, 낙수 등 물관리 상황, 유효우량, 증발산량, 침투량 등 포장조건, 생육상황, 재배작물 등 포장상황, 수요자와 공급자간 관개계획에 대한 소통, 포장담수심 등 급수부 계측자료, 수위, 유량, 강우 등의 계측 및 연계자료를 바탕으로 한 물관리 상황 모의와 계측자료의 비교·검증을 통한 검보정을 실시한다. 이 때 자율학습에 의한 매개변수 최적화를 진행한다.

공급량 조건, 수문조작 조건에 대한 시뮬레이션을 통하여 물관리 시나리오가 작성되며 이는 기계학습에 의해 공급량 산정 및 관개계획 수립으로 물관리 의사결정을 지원한다.

시스템에 의해 분석된 수문 개도, 공급량 조건에 의하여 현장에 설치된 수문을 제어하게 된다.



<그림 2-159> 시스템 및 S/W, H/W 제어 흐름도

대야지구의 경우 물관리 담당자에 의해 제어되는 가동수문은 총 3개소 이면 그 외에 고정수문은 수문의 노후와 인력 부족 등의 이유로 실제로 가동이 되지 않고 있는 현실이다. 가동수문은 취수부에서 도수부로 시작되는 분기점의 나암간선으로 용수공급을 제어하는 수문과 누동간선으로 용수공급을 제어하는 수문, 그리고 나암간선에서 대야간선으로 용수공급을 제어하는 수문이다. 고정수문은 나암간선, 누동간선, 대야간선에서 분기되는 용수지선의 용수공급을 제어하는 수문으로 관개기간 동안 거의 수문을 제어하지 않고 있다.



<그림 2-160> 대야지구 수문 현황

대야지구의 물관리 방식은 기계적으로 1일씩 각 간선으로 공급하며 즉, 1일째는 누동간선, 2일째는 나암간선, 3일째는 대야간선으로 1일씩 순환하여 공급하고 있다. 용수계통 물관리 Network Map에 의한 용수공급을 분석하면 다음과 같은 결과가 도출된다. 저수지 공급 유량은 $0.2\text{m}^3/\text{s}$, $0.4\text{m}^3/\text{s}$, $0.6\text{m}^3/\text{s}$, $0.8\text{m}^3/\text{s}$ 와 현재의 관행적 관개와 수문조절에 의한 연속관개, 수문조절에 의한 윤번관개를 비교하였다.

저수지 공급 유량 $0.6\text{m}^3/\text{s}$ 로 공급한 경우 관행적 관개에 비해 수문조절에 의한 연속관개가 용수 절감이 $165\text{천}\text{m}^3$ 발생하는 것으로 나타난다.

수문의 조절은 실재를 반영하여 고정수문과 가동수문으로 구분하고 고정수문은 최적의 개도율을 자율학습 알고리즘을 통하여 도출하고 가동수문은 개도율과 함께 관개방식을 고려하여 수문을 제어하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

(표 2-99) 관행적 관개 대비 수문조절에 의한 관개의 효율성

구 분		관개 기간 (일)	저수지 공급량 (천 m ³)	저수율 (%)	논에 공 급된용수 량(천 m ³)	수해면적 대비공 급된 논 비율(%)	무효 방류량 (천 m ³)	수문 조작 횟수
저수지 공급유량 (m ³ /s)	관개방법							
0.2	관행적 관개	18	298	85	176	100	125	34
	수문조절에 의한 연속관개	18	302	85	176	100	126	6
	수문조절에 의한 연속관개	17	280	86	176	100	105	6
0.4	관행적 관개	13	426	79	176	100	250	39
	수문조절에 의한 연속관개	9	299	85	176	100	122	6
	수문조절에 의한 연속관개	10	312	85	176	100	136	6
0.6	관행적 관개	10	461	78	176	100	284	30
	수문조절에 의한 연속관개	6	296	86	176	100	119	6
	수문조절에 의한 연속관개	9	387	81	176	100	210	6
0.8	관행적 관개	9	559	73	176	100	382	27
	수문조절에 의한 연속관개	5	321	84	176	100	145	6
	수문조절에 의한 연속관개	7	482	76	176	100	306	6

제3장 결 론

본 연구과제는 농업·농촌의 자산인 농업용수와 농업생산기반시설을 안전하고 효율적이며 농촌답게 관리하기 위한 기술개발과제 분야이다. 노동 집약적이고 종사인력의 고령화가 심각한 농업용수와 농업생산기반시설의 관리체계의 지속가능성을 확보하고 효율화를 위해 연구과제의 목적은 다음과 같다.

연구목적은 계측(Sensing)과 모델링(Simulation) 및 스마트 수리시설(Smart Control)을 활용한 데이터기반 물관리 기술개발과 관리자, 수요자 관개와 영농 방식을 기계학습으로 최적의 물 공급 시나리오를 구현하는 자율학습(Unsupervised Learning) 기술개발 등 ICT/IoT 융·복합 자율학습 물관리 시스템 개발이다.

본 연구 초점은 수원공에서 급수지역까지 농업용수를 공급하는 과정에서 수로, 분수문 및 포장물꼬 등 수리시설의 기능개선과 더불어 센서를 이용해 적기·적량의 공급과 균등 배분을 위한 데이터 기반의 물관리 모형을 도출하는 데 있다. 여기서의 데이터 기반 물관리는 『취수-도수-급수』 과정의 물관리 요소를 계측하여 현재 상황을 모델로 재현하고(IoT) 수요자, 공급자간의 인터넷 연결(ICT)을 통한 정보 공유단계를 의미하고, 자율학습 물관리라 함은 데이터기반 물관리 시스템을 통해 구축되는 데이터와 기존 공급방법을 시나리오로 데이터화 하여 기계학습을 통해 최적의 공급시나리오를 생성하는 것을 의미한다. 지속적으로 수집되는 물 공급 데이터는 빅데이터가 되고 나아가 자율학습 기술 형태의 물관리시스템으로 발전시키는 것이다.

ICT/IoT 및 자율학습기술은 현재 물관리방법에서 부족한 물자원 절약과 효율적 물관리분야를 획기적으로 개선시킬 수 있을 것이다. 하지만 아직까지 경험하지 못한 분야로 요소기술의 개발뿐만 아니라 도입기술 도출 및 적용성 검토 등 많은 테스트와 실증화과정까지 추진해야할 필요성 있다. 특히 현재 농업생산기반시설 운영사항의 개선과 자율학습 물관리라는 목표점을 분명히 하기 위해서는 현장상황을 기반으로 하는 도입기술의 도출이 필요하고, 또한 공정기술이 현장에 적용하기 전에 시험제작 과정을 거쳐 충분한 성능의 검토가 요구된다.

본 연구는 7년으로 계획되어 있으며 1차년도 연구결과는 다음과 같다.

- 농업용수 공급체계 분석
 - 농업용수 관리수량 : 약 35% 추정
 - 관리손실 원인 : 배분관리용수+일최대필요수량 단면 + 도수·급수과정

- 기존 물관리 프로그램 현황 및 체계
 - 취수부: 저수지 물수지산정을 통한 공급량(조용수량) 산정방법이기 때문에 실제 물공급시 관리자 공급방법과 도수부 물 흐름 상황의 고려가 없어 실제 현장에서 공급되는 수량과 많은 차이가 발생함
 - 도수부: 취수부 수리시설 모의조작과 급수부의 일률적인 영농방식의 적용으로 실제 물공급 상황을 모델로 재현하는데 한계점 발생함
 - 급수부: 이론적인 필지용수량(침투량, 증발산량), 유효수량(강우공급량) 및 영농방식별 담수심(심수, 천수, 낙수) 상황을 물리적인 모델로 재현하는 하기위한 계측데이터가 없음

- 기존 시설물을 활용한 자율학습 기술 도입 방법
 - SOFTWARE : 수로네트워크, 모델링 → ICT/IOT ↔ BIGDATA ↔ 기계학습
 - HWARDWARE : 취수→도수→급수
 - 시나리오 : 관리자 관개방식, 수요자 영농방식

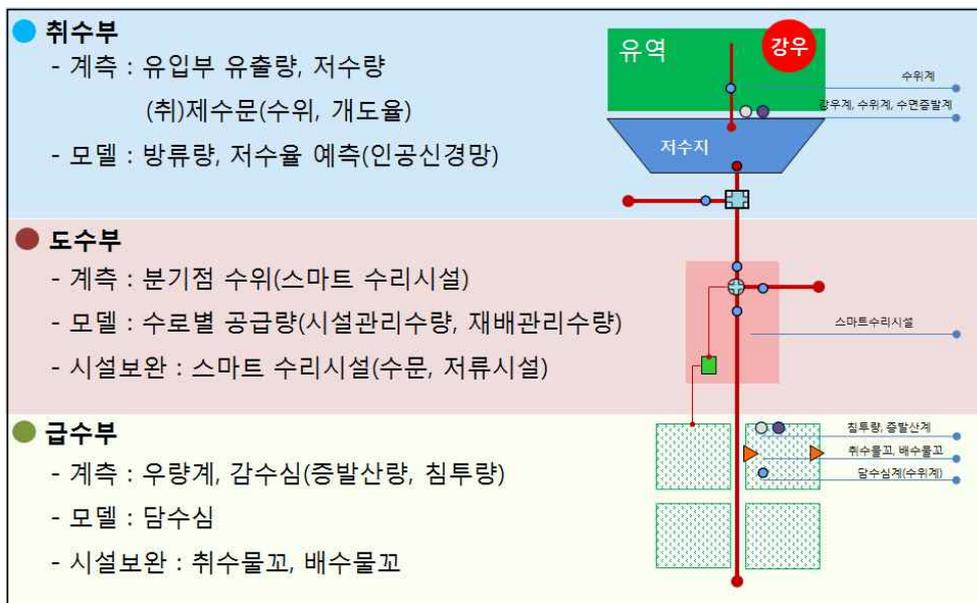
- 현장기반 자율학습 물관리 기술 도입 범위
 - 취수부 : 인공지능망 모델을 이용한 방류량 및 저수율 시뮬레이션
 - 도수부 : 수리학적인 모델을 이용한 용수공급 시뮬레이션
 - 급수부 : 담수심 및 감수심 모델을 이용한 용수배분 시뮬레이션
 - 관리자, 수요자 : 관개방식, 영농방식의 데이터마이닝을 통해 용수공급 시나리오 생산

- 기존시설물 농업용수 공급시 변수도출
 - 물관리구간별(취수, 도수, 급수) 농업용수 공급시 물리적인 제어점 도출
 - 취수부 : 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 제수문(개폐, 개도율)
 - 도수부 : 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문
 - 급수부 : 강우상황(유효수량 적용량), 감수심(증발산, 침투량)

- 물공급 시 관리자와 수요자 변수 도출
 - 관리자 의사결정기준 : 저수위, 수로수위, 강우, 영농일정, 수요자요구
 - 수요자 의사결정기준 : 작부체계, 이앙(파종)시기, 물꼬개폐, 담수심(1회관개량)

- 물관리 구간별 자율학습기술 적용방법
 - 물관리구간의 물리적인 제어점의 시뮬레이션 정보체계로 구축
 - 관리자와 수요자 변수를 시나리오 정보체계로 구축

- 현장기반 자율학습 물관리 기술 적용방법
 - 물관리 구간별 제어, 모델 및 하드웨어(기존시설물 성능개선)로 구분해 자율학습기술 구현에 필요한 데이터기반의 물관리체계 구축방안 제시



□ 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, 대아지 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 비

- 교, 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.
39. 강종원, 이영길, 2015. ICT 융합기반 스마트팜과 강원도, 정책메모.
40. 국회법제실, 2017. 4차 산업혁명 대응 입법과제.
41. 김선영, 2014. 스마트 워터 그리드 시스템 아키텍처 프레임워크, 포항공과대학교 엔지니어링대학원 석사학위논문.
42. 김연중, 박지연, 박영구, 2016. 스마트 팜 실태 및 성공요인 분석, 한국농촌경제연구원.
43. 김연중, 박지연, 박영구, 2017. 4차 산업혁명에 대응한 스마트농업 발전방안, 한국농촌경제연구원.
44. 김영민, 2018. “농식품 사회적기업 판로개척 협력” aT-사회적기업진흥원 업무협약, 한국농어민신문.
45. 김정균, 2017. EU 주요국의 4차 산업혁명 대응정책과 혁신 네트워크 구축 현황, Trade Brief(22), Institute for international trade.
46. 김정인, 2017. 4차 산업 혁명 사례와 물 산업의 응용, Journal of Water Policy and Economy 29: 55~64.

47. 김태달, 2017. IoT를 이용한 지하매설물관리용 지능형표지기(IMI) 기술개발에 관한 연구, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC) 17(3): 129~136.
48. 김형로, 2018. 전남 솔라시도 기업도시 개발 지구, 친환경 스마트 시티 조성 추진, 노컷뉴스.
49. 농림축산식품부, 2016. 센서기 단체표준 등록으로 스마트 팜 산업화 기반 공고화.
50. 민승규, 2018. 인공지능과 빅데이터가 바꾸는 농업의 미래, ifsPost.
51. 민재홍, 박주영, 2018. 스마트농업 기술 및 표준화 동향, ETRI.
52. 박승빈, 2017. 4차 산업혁명 주요 테마 분석 - 관련 산업을 중심으로, 통계개발원 2017년 하반기 연구보고서 제Ⅲ권, 통계개발원.
53. 방제일, 2018. 4차산업에 대응하는 네델란드의 액션 플랜, Smart Factory.
54. 배지원, 2018. 신설 농식품벤처펀드, 일자리창출에 방점, the bell.
55. 안항기, 2014. 가상화 기술을 이용한 스마트 워터그리드 시스템에 관한 연구, 한양대학교 공학대학원 석사학위논문.
56. 양천수, 2017. 제4차 산업혁명과 법, 박영사.
57. 이동광, 2011. 농기계 수출 우수업체를 찾아서 ⑧그린플러스, 한국농어민신문.
58. 이동광, 2018. 스마트팜 청년창업농에 최대 '30억' 지원, 한국농어민신문.
59. 이소정, 2017. 필드랩 중심으로 펼쳐지는 네델란드 4차 산업혁명, kotra 해외시장뉴스.
60. 이주량, 2017. 4차 산업혁명과 미래농업, 해외 농업·농정 포커스.
61. 이주현, 김태화, 김재원, 2016. 수자원 및 하천관리 분야의 드론(초경량무인비행장치) 활용방안, Korea Water Resources Association 49(3): 63~73.
62. 이현숙, 2018. 한국농수산대학, 4차 산업혁명시대를 선도할 융·복합형 인재 양성을 위해 군산대와 업무협약 체결, TV서울.
63. 정경규, 2017. 경상대, 스마트팜 연구센터 개소·10년간 160억원 투입, 뉴시스.
64. 정경숙, 2018. 전문가의 눈 스마트팜 표준 제정, 머뭇거릴 여유 없다,

농민신문.

65. 정기수, 채선욱, 이준우, 2016. 미래유망산업, 농업에 진출하는 기업 사례분석, (사)국민농업포럼.
66. 조용빈, 2018. “농산업 인재 모두 모여라”, 농촌진흥청.
67. 최영환, 김영렬, 2017. IoT 기술을 활용한 스마트 물관리 필요성에 관한 연구, Journal of the Korea Industrial Information Systems Society 22(4): 11~18.
68. 최해옥, 2017. 규제샌드박스 정책 동향 및 시사점, 과학기술정책연구원.
69. 최해옥, 2017. 일본의 과학기술혁신정책과 추진체계 특징, 과학기술정책 27(3): 44-49.
70. 최해옥, 최병삼, 김석관, 2017. 일본의 제4차 산업혁명 대응 정책과 시사점, 동향과 이슈(30), 과학기술정책연구원.
71. 최형순, 2018. aT, 말레이시아·대만에서 품목 다변화 피하다, 충청뉴스.
72. 현병환, 이주량, 이진모, 2012. R&D 투자에 달렸다(7)전문가 지상토론-분산된 정책·조정·통합체계 필요, 농민신문.
73. 홍석민, 장암, 2017. ICT기반의 물정보 통합관리시스템 개발 연구, Journal of Korean Society of Environmental Engineers 39(12): 723~732.
74. 황원영, KT, 일본 아소팜랜드와 스마트팜 테마단지 사업 개발, BizFact.
75. Schwab, Klaus (2016년 1월 11일). 《The Fourth Industrial Revolution》. World Economic Forum. ISBN 1944835008.
76. Schwab, Klaus. “The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond”. 《World Economic Forum》. (accessed 2018. 10. 16)

참 여 연 구 원

목 차	소 속	참 여 자
1장 서론	농어촌연구원	김해도
제1절 연구배경 및 목적	농어촌연구원	김해도
제2절 연구 범위 및 내용	농어촌연구원	김해도
제3절 기대효과 및 활용방안	농어촌연구원	강석만
2장 자율학습 기술의 물관리 적용방법 분석 및 도입기술 도출	농어촌연구원	김해도
제1절 자율학습 기술의 물관리 현장 적용방법 분석	농어촌연구원	김해도
- 기존 농업용수 공급체계 및 물관리 운영방법 분석	농어촌연구원	이재주
- 기존 4차 산업 기술의 특징 및 유사분야 적용사례 분석	농어촌연구원	신안국
- 데이터 기반 물관리 시스템 도입범위 분석	농어촌연구원	이재남
- 기존 시설물을 활용한 자율학습 기술 적용방법 도출	농어촌연구원	박지성
제2절 자율학습 물관리 시스템 S/W 요소기술 도출	충남대학교	안현욱
- 취수부 물관리 시스템 알고리즘	충남대학교	안현욱
- 도수부 물관리 시스템 알고리즘	충남대학교	강한솔
- 급수부 물관리 시스템 알고리즘	충남대학교	강한솔
- 인공지능 기계학습 알고리즘	충남대학교	정안철
- 자율학습 알고리즘	충남대학교	안현욱
- 계측자료 구축 및 미계측자료 모델링 방안	충남대학교	정안철
제3절 자율학습 물관리 시스템 H/W 요소기술 도출	아이에스텍	최규훈
- 취수부 물관리 시스템 H/W 기술	아이에스텍	최규훈
- 도수부 물관리 시스템 H/W 기술	아이에스텍	권영욱
- 급수부 물관리 시스템 H/W 기술	아이에스텍	권영욱
- IoT 스마트 수리시설 인벤토리	아이에스텍	최규훈
제4절 TEST BED 기초자료 수집 및 자율학습 물관리 시스템 구성	수리이엔씨	강재원
- TEST BED 선정 및 현장조사	수리이엔씨	한정호
- 용수계통 물관리 Network Map	수리이엔씨	고보성
- 자율학습 물관리 시스템 구성	수리이엔씨	강재원
3장 결론	농어촌연구원	김해도

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	2018. 12
발 행 인	장 중 석
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.

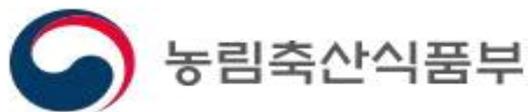
발 간 등 록 번 호

11-1543000-002410-01

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습물관리 기술개발

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

2018. 12.



제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

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

2018년 12월 31일

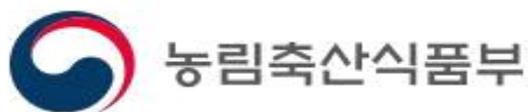
주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원
연구지도자 : 장중석, 장규상
연구책임자 : 이준구
연구원 : 김영화, 박미란, 주정민, 박구성
공동연구기관명 : 서울대학교 산학협력단
공동연구책임자 : 최 원
연구원 : 윤성수, 박진선, 이상익, 이병준
위촉연구원 : 장명식
위촉연구원 : 김기중

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습물관리 기술개발(I)

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

- 2편: 노후 농업기반시설 장수명화 기술개발 -

2018. 12.



요 약 문

1. 연구과제명 : 농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리
기술개발(1)(제2편 : 농업기반시설물 성능개선 기술)
2. 연구기간 : 2018. 5 ~ 2018. 12.
3. 연구의 목적
 - 저비용 고효율 농업기반시설 유지관리 지원 모듈 개발로 시설물 장수명화 달성
 - 건전성능 목표수준별 유지보수 의사결정 시뮬레이션 가능
 - 성능개선 기술 개발 및 기술적용 기준 마련
4. 연구내용 및 범위
 - 현장조사를 통한 농업기반시설물 성능저하 요인분석 및 개선방안 도출
 - 농업기반시설물의 성능저하 요인 현장조사
 - 조사자료를 통한 요인분석과 개선방안 도출
 - 노후 농업기반시설물의 성능 평가 항목 개발
 - 노후 농업기반시설물의 성능 평가
 - 노후 농업기반시설물의 성능 평가 항목 개발 및 평가 모델 구성
 - 농업기반시설의 유지관리 평가 요인 설정 및 유지관리 모델 구성
 - 기후변화 시나리오 고려 농업기반시설물 건전성능 예측변수 추정과 모델 구성
 - 농업기반시설물의 건전성능 예측 변수 추정
 - 시설물 종류별(양수장) 건전성능 추정 모델 구성
 - 기후변화 시나리오에 따른 지역별 하중 모델의 결정
 - 국내 수리시설운영관리 기초데이터 조사
 - 국내 수리시설물 운영관리 기초데이터 조사
 - 안전대비 수리시설 개·보수 비용자료 조사

5. 연구결과

5.1 시설물 현황조사

- 2016년 농업생산기반정비통계연보상 양·배수장 8,233(KRC 4,496, 시군 3,619)개소, 전력사용기준 公社 98.5%, 시군 1.5%, 30년 이상 경과 시설수 43%로 분석됨
- 최근 5년간 605개소 양수장 가동현황 분석결과 公社 지역본부, 사업단 평균 전기사용량은 328,425kw, 가동시간 1,763hr, 전기요금 8,635,207원으로 분석됨
- 公社 양·배수장 가동에 소요되는 인력은 감시원 7,387명, 직원 1,551명(전체의 30.3%)이며, 유지관리 예산은 최근 7개년 평균 3,405억원('18년기준 국고보조 약44%)이 투입되는 것을 집계
- 수자원 공사 등 타기관의 경우 주요시설의 점검은 외주 시행

5.2 성능저하 요인분석 및 대책

- 기후의 영향을 고려한 시설물의 성능평가 입력변수 추출을 위해 남한을 8개 기후대로 구분하여 총 30개소의 자료를 분석함
- 현장의 성능저하원인 파악을 위해 북부, 중부, 남부권역으로 구분하여 25개소를 조사함
- 부유쓰레기 문제, 지하기계실의 습환경 개선 Dry Area설치, 기계전기 장치의 조작 및 단순관리를 위한 표준화, 전기유입 책임분계점 개폐(C.O.S.) 공문 간편화 시스템, 장수명화 건축디자인과 내·외장재 선정가능 설계기준 마련 등 주기적인 설계기준의 갱신을 개선사항으로 제시함

5.3 성능평가 모델 개발

- 현행 안전점검, 정밀안전진단 사례 분석, 公社 RIMS DB분석, 기상

데이터 분석, 현장조사 자료분석을 통해 성능평가 모델 입력변수 결정

- 통계모델인 통합최소제곱법(POLS), 패널데이터 임의효과 모형(RE), 그리고 LASSO 회귀분석을 통한 통계분석을 수행
- 모형의 검정 결과, LASSO 회귀모형을 최종 평가 모형으로 선정
- 기후변화 RCP6.0 시나리오를 적용하여 기상하중에 따른 2020년까지의 성능평가 예측 모델을 제시하고, 이를 바탕으로 양·배수장 성능 저하의 하중지도 파일럿 작성

5.4 자산관리체계 도입 방향

- 미국, 캐나다, 호주, 일본의 시설물 유지관리 수행 현황, 자산관리체계 조사
- 호주의 국제시설물관리 매뉴얼(IIMM)을 참고하여 자산관리 개요 및 필요 요소기술 제시
- ISO 55000 시리즈 자산관리 구축 단계 검토, 시설물 안전법, 서울시 조례 분석

6. 기대효과 및 실용화 방안

- 농업기반시설물의 공용기간동안 목표성능의 효율적 달성
- 기후변화 및 재해에 대한 농업기반시설물의 안전성 증대 및 장수명화 달성
- 농업기반시설물의 최적관리, 최적운영 기술 개발 및 시스템 구축으로 안정된 유지관리를 통한 관리비용의 감소
- 농업기반시설물의 계획, 설계, 시공, 유지관리의 전주기 관리 및 분석을 통해 안정된 운영시스템 확보
- 농어민에게 서비스를 제공하는 국가자산으로서 시설물이 관리될 수 있는 토대 마련

Summary

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

2. Research Period : 2018. 5 ~ 2018. 11

3. Research Object

- Development of low cost, high efficiency agricultural infrastructure maintenance support module 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 by field survey
 - Field survey of Factors that deteriorate performance of agricultural infrastructure facilities
 - Factor analysis and improvement plan through investigation data
- 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

- Considering the climate change scenarios Estimation of the predictive parameters of the soundness performance of agricultural infrastructure and model construction
- Estimation of Predictable Variables of Agricultural Infrastructure Facilities
- Construction of soundness performance estimation model for each facility type (pumping station)
- Determination of regional load model based on climate change scenarios
- Domestic repair facility operation management basic data investigation
- Domestic repair facility operation management basic data investigation
- Investigation of repair and maintenance cost

5. Research Result

5.1 Facilities Status Survey

- In 2016, agricultural production base maintenance statistical yearly compensation amount was 8,233 (KRC 4,496, Local government 3,619), electricity use standard KRC 98.5%, Local government 1.5%, and 30 years or more facilities 43%
- As a result of analyzing the operation status of 605 pumping stations in the recent 5 years, the average electricity consumption of the KRC regional office and the project office is 328,425kw, the operation time is 1,763hr, and the electricity fee is 8,635,207 won
- Part time 7,387 employees and full time 1,551 employees (30.3% of the total) are in charge of the operation of the

corporation. The maintenance budget shows that the average amount of KRW 340.5billion (about 44% of the national budget support in 2018)

- In the case of other institutions such as K-water, inspection of major facilities is outsourced.

5.2 Analysis and countermeasures against performance degradation

- Performance evaluation of the facility considering the influence of the climate In order to extract the input variables, South Korea is divided into 8 climatic zones and data of 30 sites are analyzed.
- In order to identify the cause of performance degradation in the field, 25 sites were divided into North, Central and South regions.
- Floating waste problem, improvement of wet environment of underground machine room with 'Dry Area' construction, standardization of electric device for simple operation and management, simple official confirming system on web for opening of the account of electricity inflow (C.O.S.), And suggests the improvement of periodic design standards as improvements, preparation of design criteria for long-life architectural design and inner and outer materials selection, periodic regarding design criteria upgrade, and etc. were suggested as renovation items.

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, weather data analysis, and field

survey data analysis

- Statistical analysis is performed through statistical model, integrated least squares method (POLS), panel data random effect model (RE), and LASSO regression analysis.
- As a result of the model test, the LASSO regression model was selected as the final evaluation model
- Based on the climate change RCP 6.0 scenario, we propose a prediction model for the performance evaluation up to 2020 according to the meteorological load. Load map pilot of deteriorating performance was showed according to the LASSO model result at pumping and drainage station

5.4 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

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 >

요약문	i
Summary	v
제1장 서론	1
1.1 연구배경 및 필요성	1
1.1.1 연구배경	1
1.1.2 연구필요성	3
1.2 연구 내용	4
1.3 연구 동향	4
1.3.1 장수명화 연구	4
제2장 시설물 현황조사	9
2.1 운영 일반현황	9
2.1.1 양·배수장 운영현황	9
2.2 펌프 일반	12
2.2.1 펌프의 형식 분류	12
2.2.2 펌프용어	13
2.2.3 임펠라의 형태와 N_s	14
2.2.4 펌프형식의 주분류와 적용범위	15
2.2.5 펌프의 일반적인 구조	17
2.3 양·배수장 구성 요소	18
2.3.1 주요 기자재별 형식 및 용도	18
2.3.2 펌프 설치 방식별 장단점	22
2.3.3 설치 개념도	23
2.4 양배수장 운영 분석	29
2.4.1 양수장 운전 시기	29
2.4.2 운전 시간 및 전기요금	29
2.4.3 양수장 전력사용량, 가동시간 및 전기요금	31
2.4.4 운전방법	32
2.4.5 급수기와 비급수기 수리시설물 관리 패턴	33
2.5 수리시설유지관리사업 추진현황	34
2.5.1 유지관리사업의 정의	34

2.5.2	사업추진체계	34
2.5.3	사업비 투자 추이	35
2.5.4	2018년 사업비 현황	36
2.5.5	유지관리 일정별 추진현황	38
2.6	점검·정비 및 개보수	39
2.6.1	점검시기 및 방법	39
2.6.2	정비 방법	44
2.6.3	개보수 방법	44
2.6.4	개보수 이력조사	44
2.6.5	타기관의 점검·정비 방법	47
2.6.6	안전점검 결과로 본 양·배수장 등급	48
2.7	소결	49
제3장 성능저하 요인분석 및 대책		53
3.1	우리나라 기후대 별 기후 특성	53
3.1.1	우리나라 기후 구분	54
3.1.2	우리나라 기후대 구분	56
3.2	기후특성 규명 기상자료 분석	59
3.2.1	기후대에 따른 지역 구분	59
3.2.2	기상자료 분석결과	62
3.3	기후대 별 조사지점 선정	64
3.4	현장조사를 위한 조사표 작성	67
3.5	현장조사 계획수립 및 사전 조사	70
3.5.1	양·배수장 유지관리 비용 분석	70
3.5.2	기후대별 유지관리 비용 분석	71
3.6	현장조사 결과 분석	72
3.6.1	대상지구 일반현황	72
3.6.2	대상지구 운영인원 및 운영방법	73
3.6.3	연간가동일수 및 시간	74
3.6.4	유지관리 및 보수보강 현황	75
3.6.5	성능저하 요인 도출	77
3.7	성능저하 요인분석 및 대책	86
3.7.1	성능저하 요인	86
3.7.2	성능저하 요인에 대한 대책	91
3.8	소결	97

제4장 성능평가 모델	100
4.1 농업기반시설물의 현황 및 성능분류	100
4.2 사회기반시설물 성능평가 사례	102
4.2.1 국내 성능평가 사례	102
4.2.2 해외 성능평가 사례	112
4.3 농업생산기반시설물 성능평가 방법	119
4.3.1 농업생산기반시설물 안전진단 조사표 분석	119
4.3.2 양·배수장의 성능 분류 및 진단지표 분석	124
4.4 기상하중을 고려한 양·배수장 성능평가 모델	131
4.4.1 양·배수장 성능평가 항목 자료 구축	131
4.4.2 양·배수장 성능평가 모델 개발	133
4.4.3 모형 설정 및 검정	135
4.5 기후변화를 고려한 성능평가 모델 구축	142
4.5.1 기후변화 시나리오	142
4.5.2 기후변화 시나리오를 적용한 성능저하 예측	142
4.6 기후변화를 고려한 성능평가 지도	143
4.7 소결	151
제5장 자산관리 체계 도입 방향	155
5.1 국내 자산관리 선행기술 사례조사	155
5.1.1 자산관리 추진 현황	155
5.1.2 시설물 유지관리 현황	157
5.2 해외 자산관리 선행기술 사례조사	159
5.2.1 자산관리 도입 배경	159
5.2.2 해외 유지보수 예산	167
5.2.3 인프라 평가보고서	170
5.2.4 자산관리 조직	175
5.3 분석결과	177
5.4 자산관리 개요	180
5.4.1 자산관리의 개념	180
5.4.2 자산관리의 절차	182
5.5 자산관리를 위한 핵심 요소기술	183
5.5.1 서비스 수준 정의 및 측정	183
5.5.2 자산관리체계 구축	185
5.6 자산관리체계 도입의 의미	200
5.7 자산관리체계의 단계별 도입 방향	203

5.7.1 주요 요소기술 분류	203
5.7.2 자산관리체계 중장기 계획	207
5.8 소결	213
제6장 결 론	217
6.1 시설물 현황조사	217
6.2 성능저하 요인분석 및 대책	217
6.3 성능평가 모델	218
6.4 자산관리 체계 도입 방향	219
참고문헌	221
부 록	227
양배수장 현장조사 사진대지	227

<표 차례>

(표 1.1) 시설물 성능평가 주기	5
(표 2.1) 양·배수장 규모별 시설현황	10
(표 2.2) 공사관리 자료별 양·배수장 개소수 비교	11
(표 2.3) 펌프형식의 구분과 적용범위	16
(표 2.4) 자동제진기 종류 비교	22
(표 2.5) 횡축, 입축, 수중모터펌프의 비교	23
(표 2.6) 본부, 사업단별 전기사용량, 가동시간 및 전기요금	30
(표 2.7) 양수장 가동현황 추이 자료 (단위(kw,hr,원):1,000)	31
(표 2.8) 2018년 수리시설 감시원 위축 현황	32
(표 2.9) 유지관리사업의 구분	34
(표 2.11) 2018년 유비관리사업비 현황	36
(표 2.12) 2018년 유지관리사업비 세부내역 (금액단위 : 백만원)	36
(표 2.13) 시설물 유지관리 일정별 추진현황	38
(표 2.14) 안전점검 결과로 본 양·배수장 평균 등급	48
(표 3.1) 우리나라 기후 특성	54
(표 3.2) 우리나라 기후대 주요특징	58
(표 3.3) 기상자료 분석을 위한 변수선정	60
(표 3.4) 기후대 특성 분석을 위한 기상데이터 수집 지역	61
(표 3.5) 농업기반시설물 성능저하 요인분석 및 평가항목 개발을 위한 현장조사 대상지 ..	65
(표 3.6) 농업기반시설물 성능저하 요인분석 및 평가항목 개발을 위한 현장조사 대상지 (계속) ..	66
(표 3.7) 양·배수장 대분류	77
(표 3.8) 양·배수장 취약성 관련 대응변수 분류	78
(표 3.9) 양·배수장 취약성 관련 대응변수와 역할 관계	79
(표 3.10) 시설물 개요 예 (성연양수장)	80
(표 3.11) 정밀안전진단 및 안전점검 결과 예 (성연양수장)	80
(표 3.12) 성연양수장의 전력사용량, 가동시간, 요금(예)	81
(표 3.13) 양·배수장 성능평가모델과 관련된 변수	83
(표 3.14) 권역별 조사 대상 지구	86
(표 3.15) 권역별 성능저하 요인	90
(표 3.16) 성능저하 요인 분류	91
(표 4.1) 설계기준의 변화 비교 (농림축산식품부, 2017)	100

(표 4.2) 농업기반시설물 분류 규정	101
(표 4.3) 성능의 정의	103
(표 4.4) 교량 시설물의 안전성 평가 항목에 대한 조사방법론	105
(표 4.5) 시설물 내구성 평가대상 부재별 분류 (교량 예)	106
(표 4.6) 콘크리트 내구성 평가항목의 구분	106
(표 4.7) 부식속도 등급	107
(표 4.8) 대기환경에 따른 성능평가 점검방법	108
(표 4.9) 대기환경의 평가기준	108
(표 4.10) 강설횟수에 따른 평가기준	109
(표 4.11) 내구도에 대한 평가항목별 가중치	110
(표 4.12) 일반교량의 부재별 가중치	111
(표 4.13) 케이블 교량의 부재별 가중치	111
(표 4.14) 안전점검 및 정밀안전진단 과업수행절차의 흐름도	120
(표 4.15) 농업기반시설의 안전점검 실시시기	121
(표 4.16) 농업기반시설물의 정밀안전진단 실시시기	121
(표 4.17) 안전진단 항목	122
(표 4.18) 양·배수장의 성능분류	124
(표 4.19) 본 연구에서 양·배수장 표기 분류	125
(표 4.20) 성연양수장 상태평가표(건축)	126
(표 4.21) 성연양수장 안전성평가표(건축)	127
(표 4.22) 성연양수장 상태평가표(기계)	128
(표 4.23) 성연양수장 상태평가표(토목)	128
(표 4.24) 성연양수장 상태평가표(전기)	129
(표 4.25) 성연양수장 종합시설물 평가결과	130
(표 4.26) 성능평가모델과 관련된 입·출력 변수	132
(표 4.27) 통합최소제곱법에 의한 통계모델(POLS) 분석 결과	136
(표 4.28) 패널데이터 임의효과 통계모델(RE) 분석 결과	138
(표 4.29) LASSO 회귀모델 통계분석 결과	139
(표 4.30) 통계분석을 통한 성능평가모델의 검정 결과	141
(표 4.31) 기후변화를 고려한 성능저하 예측 모델	143
(표 5.1) 우리나라와 영/미 국가들의 정부 예산 집행의 차이	161
(표 5.2) 건설 후 경과년수 50년 이상 사회기반시설의 비중	165
(표 5.3) 사회인프라 시설의 미래 유지관리비용 추정	170
(표 5.4) ASCE 등급분류 체계 및 정의	172
(표 5.5) FHWA 기반시설관리국 부서별 주요 임무	176
(표 5.6) 일반 유지관리와 자산관리 비교	181

(표 5.7) 상태 등급시스템(예시)	187
(표 5.8) 수요관리조치(예시)	191
(표 5.9) 요소기술의 분류	211
(표 5.10) 자산관리체계 주요 요소기술 개발 로드맵	212

<그림 차례>

< 그림 1.1 > 농업기반시설의 설치시기 별 설치 개소수	2
< 그림 2.1> 양·배수장 관리주체별 개소수	9
< 그림 2.2 > 양배수장 규모별 시설현황	10
< 그림 2.3 > 본부, 사업단별 양배수장 현황	11
< 그림 2.4 > 공사관리 자료별 양배수장 개소수 비교	11
< 그림 2.5 > 펌프의 종류	12
< 그림 2.6 > 비속도에 따른 임펠러의 개략적인 단면형상	15
< 그림 2.7 > Ns와 펌프의 종류	15
< 그림 2.8 > 펌프의 일반적인 구조	17
< 그림 2.9 > 펌프의 종류별 이미지	18
< 그림 2.10 > 벨브류 및 유량계	19
< 그림 2.11 > 유동플랜지, 진공펌프, 역수방지변 이미지	19
< 그림 2.12 > 부대 펌프의 종류	20
< 그림 2.13 > 에어벤트, 압력계, 진공계 이미지	21
< 그림 2.14 > 천정주행기중기(Over head crane)	21
< 그림 2.15 > 양흡입와권펌프 단면도(1)	24
< 그림 2.16 > 양흡입와권펌프 평면도	24
< 그림 2.17 > 양흡입와권펌프 단면도(2)	25
< 그림 2.18 > 횡축사류, 횡축축류 펌프의 단면도	25
< 그림 2.19 > 입축사류, 입축축류 펌프의 단면도(1상식)	26
< 그림 2.20 > 입축사류, 입축축류 펌프의 평면도	26
< 그림 2.21 > 입축사류, 입축축류펌프의 단면도(2상식)	27
< 그림 2.22 > 수중모터펌프의 단면도(1)	27
< 그림 2.23 > 수중모터 펌프의 평면도	28
< 그림 2.24 > 수중모터 펌프의 단면도(2)	28
< 그림 2.25 > 본부, 사업단별 전기사용량, 가동시간	29
< 그림 2.26 > 2018년 수리시설 감시원 위축 현황	33
< 그림 2.27 > 유지보수사업 체계도	34
< 그림 2.33 > 사업비 연도별 투입 내역	35
< 그림 2.34 > 안전점검 결과로 본 등급 비율	48
< 그림 3.1 > 콤펜과 온량지수에 의한 기후구분법	56
< 그림 3.2 > 우리나라 기후대 구분지도 (1981-2010 한국기후표, 기상청)	57
< 그림 3.3 > 기후대별 강수량 자료 분석 결과	62

< 그림 3.4 > 기후대별 온도자료 분석 결과	63
< 그림 3.5 > 현장조사 대상지구 현황	64
< 그림 3.6 > 양·배수장 분야별 현장조사 내용	67
< 그림 3.7 > 양배수장 성능평가 현장조사를 위한 조사 시트	68
< 그림 3.8 > 양배수장 성능평가 현장조사를 위한 조사 시트 (계속)	69
< 그림 3.9 > 분야별 유지관리비 분석 결과(금액단위: 백만원)	70
< 그림 3.10 > 기후대별 유지관리 비용 분석	71
< 그림 3.11 > 대상시설물 일반현황 질의 결과	72
< 그림 3.12 > 대상시설물 운영인원 및 운영방법	73
< 그림 3.13 > 대상시설물 연간가동일수 및 시간	74
< 그림 3.14 > 대상시설물 유지관리 및 보수보강 현황	76
< 그림 3.19 > 성연양수장의 보수보강 및 유지보수 비용(예)	82
< 그림 3.20 > 현장조사 전경	87
< 그림 3.21 > 낙동강변 양수장 전경	88
< 그림 3.22 > 천정 및 외벽, 외장재 손상 전경	88
< 그림 3.23 > 금강변 1단 및 2단 양수장 현장조사 전경	89
< 그림 2.24 > 양·배수장 구성도	89
< 그림 3.25 > 수중펌프 배수장 단면도(예)	90
< 그림 3.26 > 양흡입 와권펌프 양수장 단면도(예)	90
< 그림 2.27 > 부유쓰레기 유입에 따른 흡입수두 저하, 와류 발생	92
< 그림 2.28 > 수조내부 수조 현황 사례	92
< 그림 2.29 > 펌프실과 수조구조물 사이 Dry Area	93
< 그림 2.30 > 조작 버튼 작동 순서 손글씨	94
< 그림 2.31 > 다양한 수배전반(Switchgear)의 표준화 필요	94
< 그림 2.32 > 양·배수장 본체 최상부 슬래브(지붕) 배수, 도장 상태	95
< 그림 2.33 > 경관고려 디자인의 사례	96
< 그림 2.34 > 장수명화 자재 사용 기준 필요 사례	97
< 그림 4.1 > 안전성 평가지표 도출 절차(터널 사례)	102
< 그림 4.2 > 사회기반시설물 성능중심 관라운영을 위한 한국형 성능등급 산정 보고서 및 매뉴얼	103
< 그림 4.3 > 워싱턴주 교량 붕괴	113
< 그림 4.5 > 미국 Report Card의 평가등급 기준	115
< 그림 4.7 > 일본 인프라 성능평가 지표	118
< 그림 4.10 > 정밀안전진단 흐름도	123
< 그림 4.11 > 기후변화를 고려한 성능평가 지도 파일럿 (2018년)	144
< 그림 4.12 > 기후변화를 고려한 성능평가 지도 파일럿 (2022년)	144
< 그림 4.13 > 기후변화를 고려한 성능평가 지도 (2027년)	145

< 그림 5.1 > 한국시설안전공단 자산관리 분석 프로그램	155
< 그림 5.2 > 한국도로공사 자산관리 업무지침서	156
< 그림 5.4 > 미국의 자산관리 발전 현황	159
< 그림 5.10 > 각국의 인프라 평가보고서(미국, 캐나다, 호주)	171
< 그림 5.11 > 호주 인프라 시설물군별 등급(1999~2010)	174
< 그림 5.12 > 유지관리의 발전 단계	178
< 그림 5.13 > 자산관리 절차 및 요소기술	182
< 그림 5.14 > 서비스 수준 목표 설정(예시)	183
< 그림 5.15 > 자산관리 절차에서 서비스 수준 설정 과정	184
< 그림 5.16 > 자산 분류체계 사례	186
< 그림 5.17 > 위험관리 절차	189
< 그림 5.18 > 감가대체원가 계산 프로세스	195
< 그림 5.19 > 정액 상각법	196
< 그림 5.20 > ISO-55000 시리즈 출판물	199
< 그림 5.22 > 시설물 유지관리 개념 비교	201
< 그림 5.24 > 자산관리 핵심 요소기술	210

제 1 장

서 론

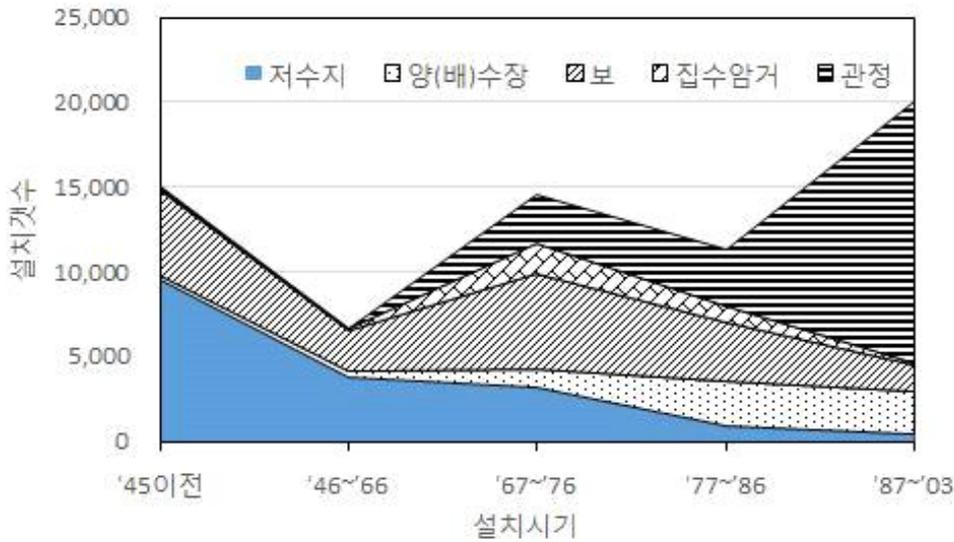
농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발

연구배경 및 필요성

1.1.1 연구배경

기술적 측면

- 농업기반시설물은 농업생산량의 안정적 확보를 위해 지금까지 축적한 농업 생산의 역사 증거물이며, 지금도 농업생산에 많은 기여를 하고 있음
- 1980년대 이후 급격한 구조물의 설계 및 시공, 관리 기술의 발달로 과거에 설계 제작된 농업기반시설물은 현재 및 미래 사회를 위한 지역사회간접자본으로서 역할을 수행하기에는 기술적 한계성을 가지고 있는 것도 사실임
 - 콘크리트를 재료로 사용하는 경우 설계 기준이 상당부분 기술적 변화가 있으며, 새로운 설계 개념들이 국가 기준으로 채택되고 있음
 - 교량의 경우 한계상태설계법(LSD)이 2012년 도입되어 설계되고 있으며, 신공법의 개발에 따라 설계방법이 변화하고 있으며, 이에 따른 유지관리 방법도 변화가 불가피함
- 저수지를 예를 들면 17,700여개소가 운영되고 있지만, 대부분 제작연도가 50년 이상이고, 그동안의 운영을 통해 재료적 노후화가 많이 진척된 상태이고, 전체적인 기술발달에 따라 사회적 노후화도 높은 상태이며, 많은 시설물을 건전하게 관리해야 하지만 인력과 기술적 방법에 한계가 있음
 - 농업용 저수지 중 1945년 이전에 준공된 시설이 9,154개로 등록된 저수지의 52%를 넘고 있으며, 이 시설들은 대부분 노후화된 상태로 운영되고 있어, 보수·보강이 시급한 실정임



< 그림 1.1 > 농업기반시설의 설치시기 별 설치 개소수

○ 또한 수도작 중심의 농업생산에 대한 국가 전체의 기여도가 지속적으로 낮아지고 있으며, 이에 따라 시설물의 신규 제작 보다는 기존 시설에 대한 유지관리가 더욱 중요해 지고 있음

경제산업적 측면

- 농산물의 안정적 생산은 농촌지역사회를 유지하기 위한 최소한의 필요조건이며, 이를 위한 적용 기술의 개발은 지역의 경제를 활성화시키고, 지역산업으로서 역할을 수행하게 함
- 농업기반시설물의 장수명화는 궁극적으로 시설물의 운영 연한을 시간적으로 길게 함으로서 총량적인 투자대비 편익을 크게 하기 위한 것이며, 이것은 시설물에 대한 사회적, 경제적 부담을 경감시키며, 농업 생산성을 개선함
 - 농업생산기반시설은 안전 및 유지관리수준에 따라서 노후화의 진행속도 가 달라지거나 시설의 수명이 증대될 수 있으므로 시설물의 안전관리와 보수, 보강 등의 유지관리체계 구축에 대한 연구 개발이 필요
- 따라서 농업기반시설의 장수명화에 대한 기술적 개발과 적용은 지역의 경제적 타당성을 제고하며, 안정된 생산량을 통해 산업적 수요를 만족하기 위해 반드시 필요함

사회·문화적 측면

- 농업기반시설물은 국가 및 지역의 사회, 문화, 인식 등의 영향을 받으며, 여러 기술 분야와 밀접한 관계를 가지고 있음. 이것은 농업기반시설이 여러 수혜자들이 함께 공용으로 이용하는 ①공공성을 가지고 있기 때문이며, 또한 해당 지역의 환경조건에 따라 규모, 용도, 형태, 유지관리 체계가 결정되는 ②지역성을 가지고 있으며, 농업기반시설물은 공사기간이 장기간이고, 제작된 다음 수십년 이상을 사용하게 되므로 지역 주민과 장기간에 걸쳐 교감되는 ③장기성을 가지고 있고, 구조물의 기능적 목적 외에도 다양한 용도로 지역주민에게 활용되므로 ④종합적인 성격을 가지고 있음
- 홍수량의 변화와 같은 자연환경의 변화 또는 하류 몽리구역 및 시설물에 대한 요구사항 변화와 같은 사회환경의 변화 등으로 인해 시설물 안전성에 변화가 발생하고 있어 현재를 기준으로 시설물의 안전성 재평가가 필요함

1.1.2 연구필요성

- 농업생산기반시설의 신규 설치는 점차 감소되어가는 추세이며, 기존 시설은 축조된 지 오래되어 적정 유지보수의 체계적 전략에 대한 점검이 필요한 시점이며,
- 농업용 저수지는 17,700여개소로 대부분 설치년도가 50년 이상이고, 재료적 노후화가 많이 진척된 상태이다.
- 양배수장은 4,500여개소로 매년 지속적으로 증가 추세이나, 지역과 지형상 개발여건의 악화로 관리에 난이도 높은 시설이 증가하고 있다.
- 기존시설은 노후화가 진행되고 있으나 적기 개보수 등이 잘 이루어지고 있지 않은 실정이다.
- 운영관리에 필요한 사회적 노후화도 높은 상태로 건전하게 관리해야 하지만 인력과 기술적 방법에 한계가 있다. 따라서 농업생산기반 분야 수자원 SOC에 대한 장수명화 전략에 대한 연구개발이 필요

연구 내용

- 현장조사를 통한 농업기반시설물 성능저하 요인분석 및 개선방안 도출
 - 농업기반시설물의 성능저하 요인 현장조사
 - 조사자료의 요인분석과 개선방안 도출
- 노후 농업기반시설물의 성능 평가 항목 개발

- 노후 농업기반시설물의 성능 평가
- 노후 농업기반시설물의 성능 평가 항목 개발 및 평가 모델 구성
- 농업기반시설의 유지관리 평가 요인 설정 및 유지관리 모델 구성
 - 기후변화 시나리오 고려 농업기반시설물 건전성능 예측변수 추정과 모델 구성
- 농업기반시설물의 건전성능 예측 변수 추정
- 시설물 종류별(양수장) 건전성능 추정 모델 구성
- 기후변화 시나리오에 따른 지역별 하중 모델의 결정
- 국내 수리시설운영관리 기초데이터 조사
 - 국내 수리시설물 운영관리 기초데이터 조사
 - 안전대비 수리시설 개·보수 비용자료 조사

연구 동향

1.1.3 장수명화 연구

시설물안전법

시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(약칭 : 시설물안전법)(시행 2018.01.18.)에 따르면 종래의 안전점검이나 정밀안전진단과 달리 주요 사회기반시설의 현재 상태 및 장래의 성능변화를 파악·예측하기 위하여 해당 시설의 관리주체가 성능평가를 실시하도록 하는 등의 내용으로 개정되었다. 시설물안전법 제40조제1항에 따르면 (표 1.1)(시행령 별표 3)과 같이 5년1회이상의 빈도로 실시하도록 규정하고 있다.

성능평가는 기본과업과 선택과업으로 구분하여 실시하며, 제1종 및 제2종 성능평가로 나뉜다. 먼저 제2종 성능평가를 실시하고 필요시 1종 성능평가를 실시한다. 성능평가는 객관적인 기준에 의해 정량적인 지표로 시설물의 현재의 상태를 평가하고 시설물의 성능목표 및 목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략을 제시한다.

- 제40조(시설물의 성능평가)** ① 도로, 철도, 항만, 댐 등 대통령령으로 정하는 시설물의 관리주체는 시설물의 성능을 유지하기 위하여 시설물에 대한 성능평가를 실시하여야 한다.
- ② 제1항에 따른 관리주체는 성능평가를 한국시설안전공단과 안전진단전문기관에게 대행하게 할 수 있다.
- ③ 성능평가를 실시한 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 그 결과보고서를 작성하고, 이를 관리주체에게 통보하여야 한다.
- ④ 관리주체는 제3항에 따른 성능평가 결과보고서를 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. 이 경우 제출 절차에 관하여는 제6조제4항부터 제7항까지를 준용한다.
- ⑤ 제3항에 따른 결과보고서의 작성에 관하여는 제17조제2항 및 제3항을 준용한다. 이 경우 "안전점검 및 정밀안전진단"은 "성능평가"로 본다.
- ⑥ 성능평가를 실시한 자는 실시결과에 따라 대통령령으로 정하는 기준에 적합하게 해당 시설물의 성능등급을 지정하여야 한다.
- ⑦ 제1항에 따른 성능평가의 실시시기, 실시자의 자격, 성능평가의 방법·절차 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

(표 1.1) 시설물 성능평가 주기

안전등급	정밀안전점검		정밀안전진단	성능평가
	건축물	그 외 시설물		
A등급	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	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	

장수명화 조례

서울시는 ‘노후기반시설 성능개선 및 장수명화 촉진 조례(2017.09.21., 일부개정)’를 제정하여 노후시설의 안전성과 효율성을 높이고자 하였다. 조례에 따르면 성능변화와 현황을 파악하고 성능개선 및 장수명화에 따른 미래가치 등을 5년마다 실태평가보고서로 작성하도록 규정하고 있다. 실태평가보고서를 작성하고 6개월이내에 시설관리 현황, 성능개선 및 장수명화 촉진 기본계획, 중장기 재원확보 방안을 위한 종합관리계획을 수립하도록 조례제6조에서 정하고 있다.

시의회 상임위 위원, 시 공무원, 각계 전문가로 구성된 '성능개선위원회'를 운영할 수 있도록 동 조례제7조에서 정하고 있다.

같은 해 11월 부산시에서도 '노후시설물 유지관리 및 성능개선 촉진 조례(시보 1800호,2017.11.1.)'를 제정하여 실태조사, 성능개선 기본계획수립, 실무협의회 구성 및 운영에 관한 사항을 규정하고 있다.

제 2 장

시설물 현황조사

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발

운영 일반현황

2.1.1 양·배수장 운영현황

농업생산기반시설의 관리는 한국농어촌공사와 시·군 지방자치단체로 이원화되어 있다. '2016년도 농업생산기반정비 통계연보'에 따르면 전국양·배수장이 8,233개소이다.

관리주체별로 보면 한국농어촌공사가 4,496개소, 지방자치단체가 3,760개소를 관리하고 있다.



< 그림 2.1 > 양·배수장 관리주체별 개소수

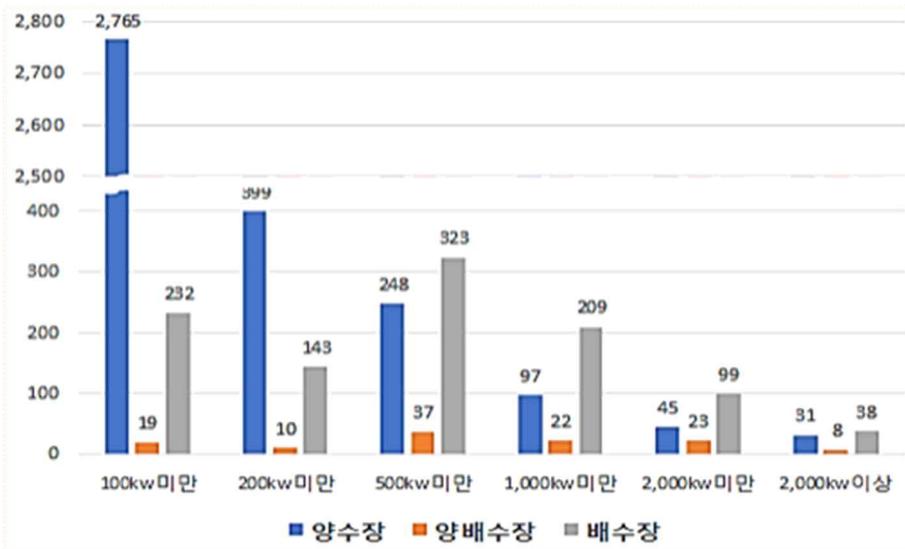
한국농어촌공사가 관리하고 있는 기전시설물은 종류와 형식은 다양하다. 즉 양수장, 양·배수장, 배수장, 관정, 배수갑문, 발전소로 분류된다. 가동시기도 1년 동안 지속적으로 운전하는 태양광발전소가 있는가 하면, 5월부터 9월까지 계절적으로 운전하는 양수장과 배수장이 있고, 관개기에만 상업운전하는 소수력발전소도 있다. 또한 담수호의 수위가 관리수위보다 높고, 바다측 조위가 내수위보다 낮으면 언제든지 방류하여 내수위를 조절하는 배수갑문도 있다.

본 연구에서는 양·배수장을 위주로 자료를 정리하였다.

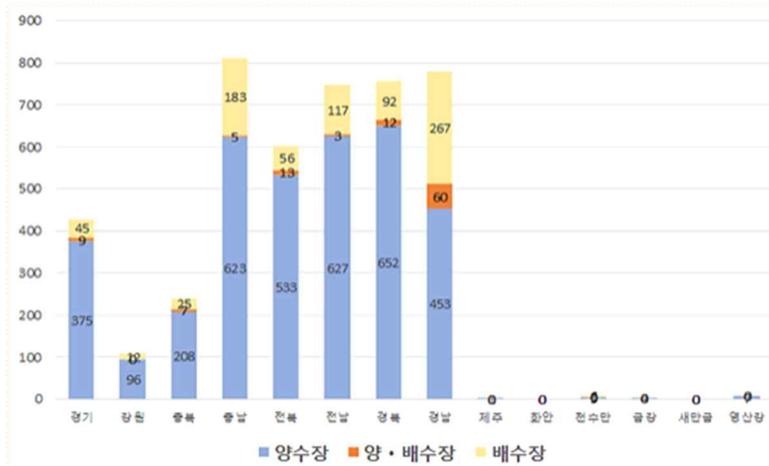
< 표 2.1 > 양·배수장 규모별 시설현황

구분	총동력 (kW)	개소 수	100kW 미만	200kW 미만	500kW 미만	1000kW 미만	2000kW 미만	2000kW 이상	
계	계	1,45,101	8,026	6,301	552	608	328	160	77
	양수장	529,899	6,870	2,765	399	248	97	45	31
	양배수장	85,292	119	19	10	37	22	23	8
	배수장	464,910	1,037	232	143	323	209	99	38
공사관리	계	969,706	4,266	2,793	419	534	300	147	73
	양수장	430,282	3,376	2,674	308	225	95	43	31
	양배수장	82,400	100	8	7	33	21	23	8
	배수장	457,024	790	111	104	276	184	81	34
지자체관리	계	175,395	3,760	3,508	133	74	28	13	4
	양수장	99,617	3,494	3,376	91	23	2	2	-
	양배수장	2,892	19	11	3	4	1	-	-
	배수장	7,886	247	121	39	47	25	11	4

주) “2016년 농업생산기반정비 통계연보”



< 그림 2.2 > 양배수장 규모별 시설현황



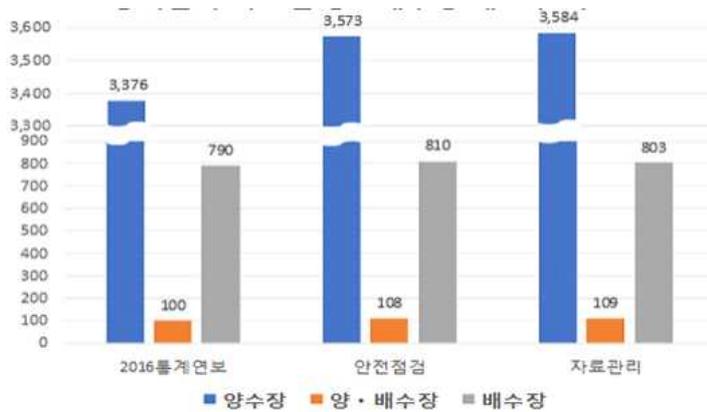
< 그림 2.3 > 본부, 사업단별 양배수장 현황

한편 한국농어촌공사의 양·배수장 개소수 현황은 관련 자료마다 약간의 차이가 있다.

(표 2.2) 공사관리 자료별 양·배수장 개소수 비교

구분	계	양수장	양·배수장	배수장	비고
2016 통계연보	4,266	3,376	100	790	
안전점검	4,491	3,573	108	810	RIMS
자료관리	4,496	3,584	109	803	첨단처 관리

주) 2018. 8. 24 현재

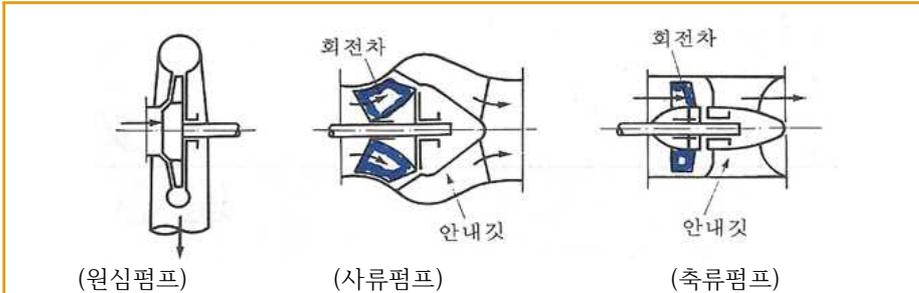


< 그림 2.4 > 공사관리 자료별 양배수장 개소수 비교

펌프 일반

2.1.2 펌프의 형식 분류

양·배수장을 이해하기 위하여 많은 기자재중 주시설인 펌프(Pump)에 대한 기초적인 사항을 정리하였다. 한국농어촌공사에서 운영중인 양·배수장의 펌프 종류는 기본적으로 원심식, 사류식 및 축류식이다.



< 그림 2.5 > 펌프의 종류

원심식은 액체가 회전차 입구에서 반지름방향 또는 경사방향에서 유입하고, 회전차 출구에서 반지름 방향으로 유출하는 구조이며, 회전차의 회전에 의한 원심력을 이용한다.

사류식은 액체가 회전차 입구, 출구에서 다같이 경사방향으로 유입하여 경사방향으로 유출하는 구조이며, 회전차의 회전에 의한 원심력과 양력을 이용한다.

축류식은 액체가 회전차 입구, 출구에서 다 같이 축방향으로 유입하여 유출하는 구조이며, 회전차의 회전에 의한 양력을 이용한다.

원심펌프는 고속회전이 가능하고, 경량·소형이며, 구조가 간단하고 취급이 용이하며, 효율이 높고 맥동현상이 적다는 이점이 있다.

사류펌프는 축류펌프보다 크기가 더 크다. 체질기동이나 수위 변동이 심할 경우 적당하다.

축류펌프는 동일유량을 내는 다른형의 펌프에 비하여 크기가 적다.

설치면적이 적고, 가격이 적게든다. 비속도가 크기 때문에 저양정에 대해서도 회전속도를 크게 할 수 있어 원동기와 직결이 가능하며, 양정의 변화에 대하여 유량의 변화가 적고, 효율저하도 적다.

또한 구조가 간단하고 유로가 짧고, 원심펌프에서와 같이 흐름의 굴곡이 작으며, 가동익으로 하면 양정의 넓은 범위에 걸쳐 높은 효율을 얻을 수 있다. 그러나 사용양정이 설계양정의 약130%이상이면 소음이 나고, 축동력이 급격히 증가한다.

2.1.3 펌프용어

토출량(Capacity, Discharge)

펌프가 단위시간에 토출하는 액체의 체적(m^3/min 또는 m^3/sec)

전양정(Total Head, Total Pump Head)

펌프 운전에 의해 발생하는 전양정은 아래 그림과 같고, 펌프가 운전되면 흡입관로, 토출관로, 관로 출구 등에 각종 손실이 발생된다. 토출액면과 흡입액면의 수두차인 실양정(H_a), 관로계의 손실수두(h_s+h_d)와 토출속도수두 $V_d^2/2g$ 를 더한 것이 전양정(H)이며, 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$H = H_a + h_s + h_d + V_d^2/2g$$

전양정과 실양정을 총칭하여 양정이라고 하고, 통상 m 을 이용한다.

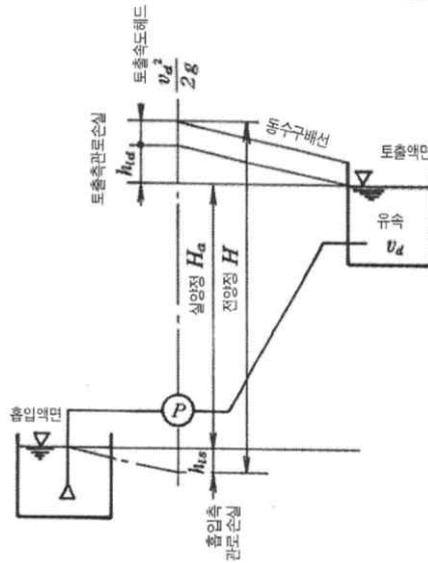
수동력(Liquid Power)

펌프에 의해 단위시간에 액체에 주어지는 유효에너지로서, 다음식으로 표시된다.

$$L_w = 0.163\gamma QH(kw)$$

여기서,

L_w : 수동력(kw), γ : 액체의 비중량 (밀도) (kg/ℓ), Q : 토출량(m^3/min), H : 전양정(m)



<펌프의 전양정>

펌프효율(Pump Efficiency)

수동력 L_w 와 원동기가 펌프축에 전달하는 축동력 L 과의 비를 펌프효율 η 라 하고, 다음식으로 표시된다.

$$\eta = (L_w/L) \times 100 = (0.163\gamma QH/L) \times 100\%$$

비속도(Specific Speed)

펌프의 수력학적 상사법칙으로부터 유도된 수치로서 다음식으로 표시된다.

$$N_s = NQ^{1/2}/H^{3/4}$$

여기서,

N_s : 비속도, N : 회전수(rpm), Q : 토출량(m^3/min) → 양흡입 임펠라일 때는 토출량의 반(1/2)을 반영한다.

H : 전양정(m) → 다단펌프일 때는 일단당의 전양정을 반영한다.

비속도는 최고 효율점의 성능 N , Q , H 에 대해 구해지고, 상사형의 펌프는 펌프의 크기와 회전수의 변화에 관계 없이 동일한 값을 가진다.

흡입비속도(Suction Specific Speed)

펌프의 캐비테이션에 대한 흡입성능의 양부를 나타내는 것으로서, 다음식으로 나타낸다.

$$S = NQ^{1/2}/H_{sv}^{3/4}$$

여기서,

S : 흡입비속도, N : 회전수(rpm), Q : 토출량(m^3/min) → 양흡입 임펠라일 때는 토출량의 반(1/2)을 반영한다.

H_{sv} : 필요유효흡입수두(m) S 의 값은 보통의 펌프는 최고효율점에서의 유량에서 1,200 - 1,500정도이다.

흡입성능을 높이기 위해서 특별히 설계된 펌프는 S 의 값이 1,900정도의 것도 있다.

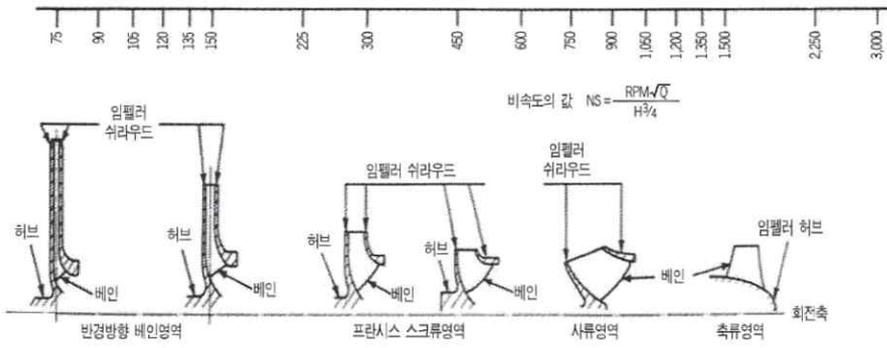
부분 유량영역에서, 이 값은 저하하고, 진동, 소음과 캐비테이션 침식의 위험성이 증대하기 때문에 주의를 요한다.

2.1.4 임펠라의 형태와 N_s

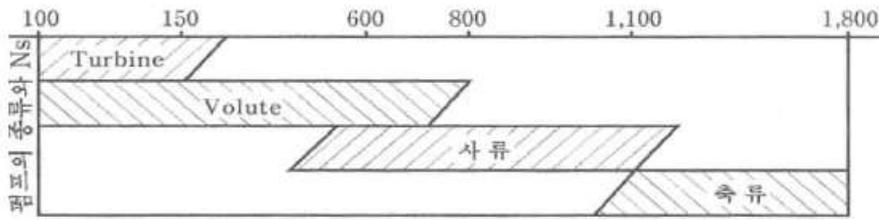
N_s 는 펌프 임펠러 설계에 통상 사용된다.

<그림 2.6>은 N_s 와 임펠러의 단면형상의 관계를 나타낸 것이다. 단, 임펠러의 형상은 N_s 만에 의해 간단하게 정해지는 것이 아니라, 펌프의 종류 및 용도에 의해 약간 다르다.

<그림 2.7>은 N_s 와 펌프의 종류의 관계를 정리한 것이다. 그림 중에 나타낸 범위는 대략적인 것이고, 엄밀하게는 정해져 있지 않다. 또한 동일한 N_s 도 다른 펌프의 예를 들면, $N_s=500$ 의 원심펌프와 사류펌프의 양쪽으로 설계하는 것이 가능하다.



< 그림 2.6 > 비속도에 따른 임펠러의 개략적인 단면형상



< 그림 2.7 > N_s와 펌프의 종류

2.1.5 펌프형식의 주분류와 적용범위

펌프의 형식에 따른 양정범위, 구경범위, 주용도를 (표 2.3)과 같이 정리할 수 있다.

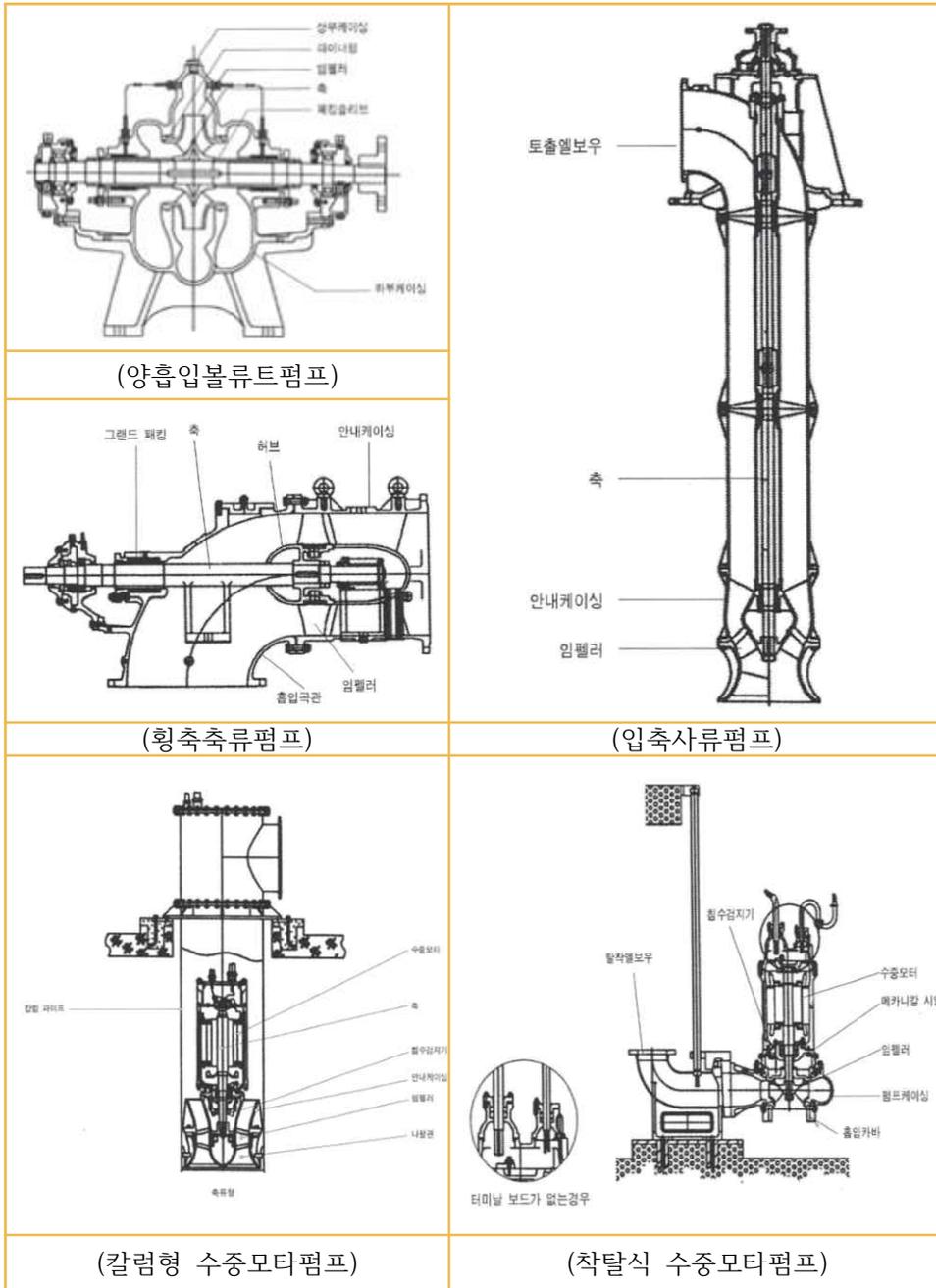
(표 2.3) 펌프형식의 구분과 적용범위

펌프 형식	케이싱 형식	임펠러 구조	양정범위	구경범위	주 용 도
원심 펌프	볼류트	고 정	10-800m	40-1,000mm	상수도용 취수·송배수펌프
	관개용 양수펌프				
					송유펌프
					일반산업용 펌프
					소형범용펌프
	디퓨저		50-400m	32-150mm (횡축의 경우)	일반산업용 고압펌프
					심정호용 펌프
					발전용보일러 피드 펌프
사류 펌프	디퓨저	고 정	2.5-100m	200-2,500mm	상수도용 취수펌프
					하수도용 우수·오수펌프
					하천배수펌프
					화력발전용 펌프
					농업용 배수펌프
					일반산업용 펌프
축류 펌프	디퓨저	고 정	1-6m	300-2,500mm (소형은 횡축 대형은 입축)	농업용 양수펌프
					농업용 배수펌프
					하천·항만 배수펌프
					공업용 순액펌프
		가 동	1-8m	800-2,500mm (소형은 횡축 대형은 입축)	농업·하천·항만용
					대형 배수펌프
					하수도용 우수펌프
스크류 펌프	반원통	고정	1-8m	65-500m	하수도용 우수펌프

주) 본표는 일반적인 사항으로서 설계자, 제작회사 상황에 따라 상이 할 수도 있음.

2.1.6 펌프의 일반적인 구조

펌프의 종류별 일반적인 구조는 <그림 2.8>과 같이 정리하였다.



< 그림 2.8 > 펌프의 일반적인 구조

양·배수장 구성 요소

2.1.7 주요 기자재별 형식 및 용도

펌프는 물을 낮은 곳에서 높은 곳으로 퍼 올리는 역할을 한다. 즉, 임펠러를 통해 물에 에너지를 가하여 위치에너지나 압력에너지로 전환되는 형식이다. 펌프의 형식별 이미지를 <그림 2.8>과 같이 정리하였다.



< 그림 2.9 > 펌프의 종류별 이미지

제수변(Valve)은 <그림 2.10>과 같이 펌프의 토출측에 설치되어 유량을 많게 또는 적게 흐르도록 조절하는 역할을 하며, 제수변과 접형변 및 볼밸브 등의 형식이 있다.

역지변(Check valve)은 <그림 2.10>과 같이 펌프 토출측에 설치되고, 물의 역류를 방지하고, 정전 시 워터햄머(Water hammer)로 인한 피해를 감소시키는 역할도 한다. 종류에는 직폐식, 완폐식 등이 있다.

근래 사용하는 유량계는 <그림 2.10>과 같이 대부분 초음파유량계이다. 펌프 토출측 관로 외면에 초음파 송·수파 소자를 한쌍 대향하여 부착하고, 흐름에 대하여 순방향과 역방향으로 초음파 펄스를 서로 발신하여 그 주파수 차를 이용하여 유량을 실시간으로 산출하고 기록한다.



(제수변(valve))

(역지변(check valve))

(유량계 개념)

< 그림 2.10 > 벨브류 및 유량계

유동플랜지(Loose flange)는 <그림 2.11>(a)와 같이 펌프와 벨브 사이 등 주요 기자재 중간에 설치되며, 펌프, 벨브류 등의 분해·조립을 용이하게 하는 역할을 한다. 또한 약간의 신축작용으로 열팽창으로부터 기자재를 보호하는 기능도 있다.

진공펌프(Vacuum pump)는 <그림 2.11>(b)와 같이 횡축펌프 기동전에 흡입관 및 펌프내에 물을 충만시키는 역할을 한다. 즉 진공펌프로 배관내에 공기를 빼내면서 대신 물로 채워지는 것이다.

역수방지변(Flap valve)는 <그림 2.11>(c)와 같이 송출관의 말단에 설치되어 토출수조내 물의 역류를 방지함과 동시에 관내에 이물질 유입을 방지하는 역할을 한다.



(a)유동플랜지

(b)진공펌프

(c) 역수방지변

< 그림 2.11 > 유동플랜지, 진공펌프, 역수방지변 이미지

배수펌프(Drain pump)는 <그림 2.12>(a)와 같이 양수장과 배수장에서 홍수위

가 높아서 장내로 유입되는 물이나, 장내의 펌프 등에서 흘러나온 물을 건물 밖으로 배수하는 역할을 한다.

봉수/냉각수펌프는 <그림 2.12>(b)와 같이 펌프의 축봉장치에 기밀 유지 및 냉각, 감속기의 오일을 냉각시키도록 냉각수를 공급하는 역할을 한다.

구리스 펌프(Grease pump)는 <그림 2.12>(c)와 같이 입축펌프와 횡축사류 및 횡축축류 펌프의 베어링에 윤활유인 구리스를 공급하는 역할을 한다.



< 그림 2.12 > 부대 펌프의 종류

에어벤트(Air vent)는 <그림 2.13>(a)와 같이 관로의 중간에 설치되어 양·배수시 관로내의 공기를 밖으로 배출하거나, 관로내 부압을 방지하기 위해 공기를 넣는 역할을 한다.

압력계(Pressure gauge)는 <그림 2.13>(b)와 같이 양·배수장 가동시 토출압력을 측정한다. 즉 현재 전 양정을 표시한다.

진공계(Vaccum gauge)는 <그림 2.13>(c)와 같이 횡축펌프에서 가동시 흡입압력을 측정한다. 즉 현재 흡수면에서 펌프중심선까지의 흡입양정을 표시한다.



< 그림 2.13 > 에어벤트, 압력계, 진공계 이미지

천정주행기중기(Over head crane)은 <그림 2.14>와 같이 펌프 등 기자재를 분해·조립할 때 중량물을 좌우상하로 이동하면서 점검·보수·보강·교체를 용이하게 하는 역할을 한다.



< 그림 2.14 > 천정주행기중기(Over head crane)

자동제진기는 양수 또는 배수시 양배수장에 유입되는 각종 부유물(짚, 잡초, 비닐, 스티로플, 공병 등)이 펌프에 유입되어 펌프 고장을 방지하고, 유입수로에서 펌프로 물 흐름을 좋게 하기 위하여 흡입수조 입구, 스크린에 걸린 부유물을 기계적(자동적)으로 제거하여 양배수를 원활히 하기 위하여 설치하는 기계장치이다. 자동제진기는 크게 (표 2.4)와 같이 로터리식과 유압식으로 구분하며 두 방식의 장단점은 표과 같다.

(표 2.4) 자동제진기 종류 비교

구분	로타리식	유압식
설치 형태		
설치 방법	<ul style="list-style-type: none"> • 매 수로에 설치 	<ul style="list-style-type: none"> • 1대의 제진기로 2~4개의 유입 수로의 부유물 처리
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 각 스크린에 설치되므로 다량의 이물질 제거가 가능하다. • 큰 부유물도 수거가 가능하다. • 내·외 수위차에 따라 자동운전이 가능하다. • 매수로에 설치되므로 1대가 고장이 생겨도 다른 수로로 양배수가 가능하다. • 고장발생 우려가 적다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 시설비용이 저렴하다. • 점검·보수가 용이하다. • 가동시 소음이 적다. • 유압으로 작동하므로 소요동력을 절감 할 수 있다. • 자동운전이 가능하다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 시설비가 고가이다. • 구동부에 회전체가 있어 안전장치가 필요하다. • 고장발생시 분해,조립이 어렵다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 순차적인 부유물 수거로 양이 많을 경우 곤란하다. • 센서가 많아 고장발생 및 오작동 우려가 많다. • 큰 부유물 수거에 애로가 많다.

2.1.8 펌프 설치 방식별 장단점

양·배수장에 주로 사용되는 펌프가 횡축, 입축, 수중모터로 구분되며, 장·단점을 (표 2.5)에 정리하였다.

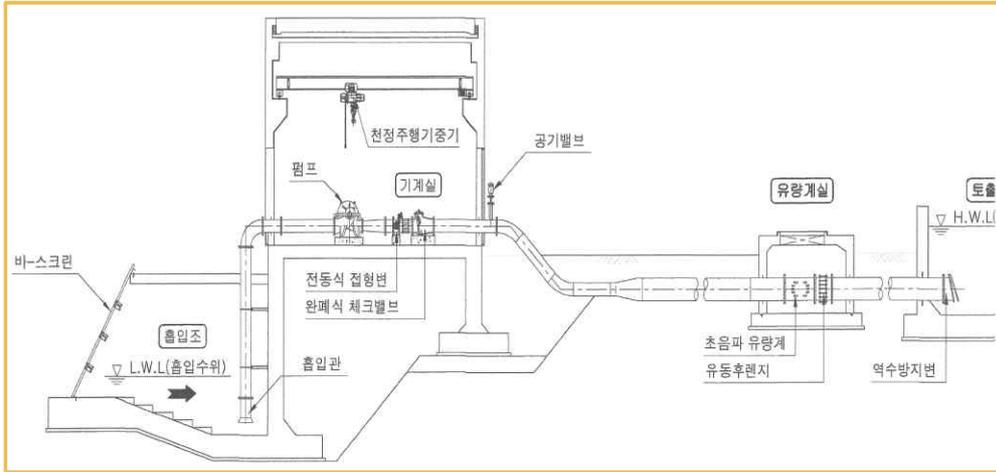
(표 2.5) 횡축, 입축, 수중모터펌프의 비교

구분	횡축펌프	입축펌프	수중모터펌프
설치 형태			
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 주요부가 육상에 있어 부식이 적고, 유지관리가 편리하다. • 건축물 높이가 낮다. • 보수, 분해, 조립이 용이 하다. • 펌프가격이 저렴하다. • 펌프효율이 다른 펌프에 비해 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 설치면적이 적다. • 진공이 불필요하므로 자동운전이 용이하다. • 임펠러가 수면하에 있어 공동현상이 발생할 우려가 없다. • 전동기 설치 위치가 홍수위보다 높아 침수 우려가 없다. • 횡축펌프에서 양수하기 불가능한 깊은 곳에서도 양수가 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 설치면적이 적고, 구조가 간단하다. • 진공이 불필요하므로 자동운전이 용이하다. • 임펠러가 수면하에 있어 공동현상 발생할 우려가 없다. • 전동기가 수중에 있으므로 소음이 적다. • 홍수위에 관계없이 설치가 가능하다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 설치면적이 넓다. • 공동현상 발생우려가 있어 흡입양정의 제한을 받는다. • 진공이 필요하므로 자동 운전이 복잡하다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 주요부가 수중에 있어 부식 촉진 및 보수·점검이 어렵다. • 건물 높이가 높다. • 횡축에 비해 가격이 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 전동기의 수명이 육상용에 비해 짧다. • 분해, 점검이 어렵다. • 고장발생시 수리기간이 길고, 비용이 고가이다. • 가격이 비싸다.

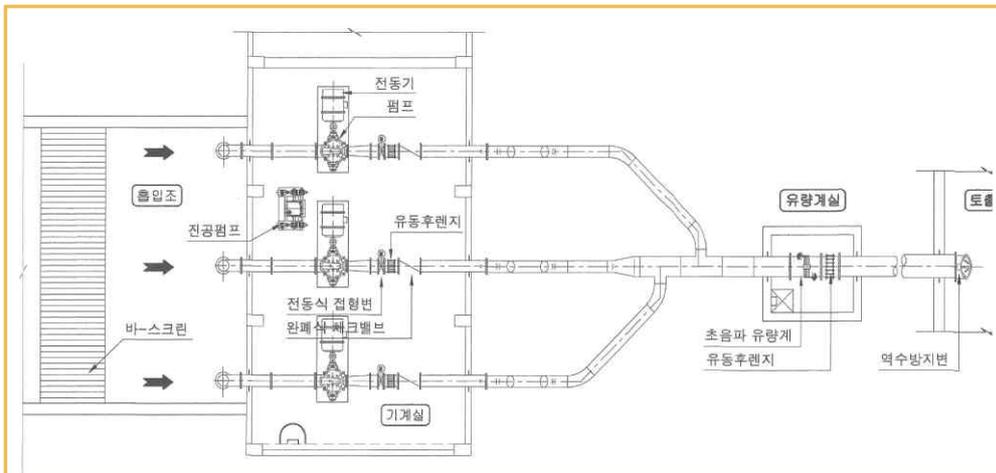
2.1.9 설치 개념도

양·배수장에서 주펌프의 형식 및 설치 방법이 수위, 지형여건, 토출유량, 전양정 및 기술의 발전에 따라 다양한 형태로 시설된다.

본 개념도는 근래 가장 많이 적용되는 사례를 중심으로 제시하였다.

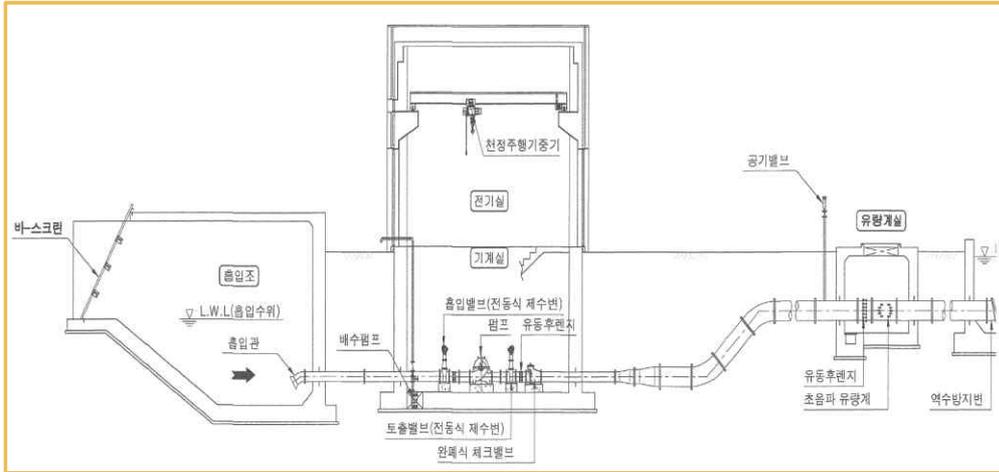


< 그림 2.15 > 양흡입와권펌프 단면도(1)



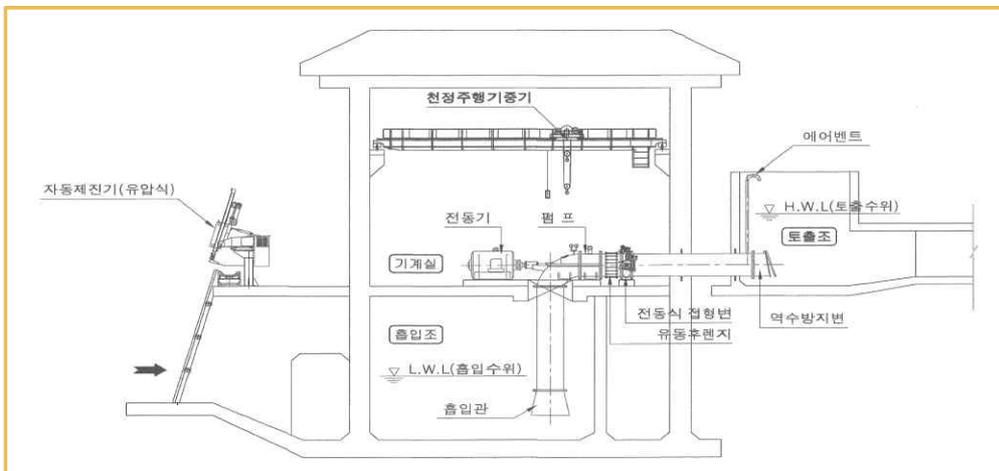
< 그림 2.16 > 양흡입와권펌프 평면도

<그림 2.17> 양흡입와권펌프 단면도(2)는 압입형으로 2010년이후 진공펌프 가동이 필요 없어 자동운전이 용이하므로, 양정이 높은 양수장에 적용한다.

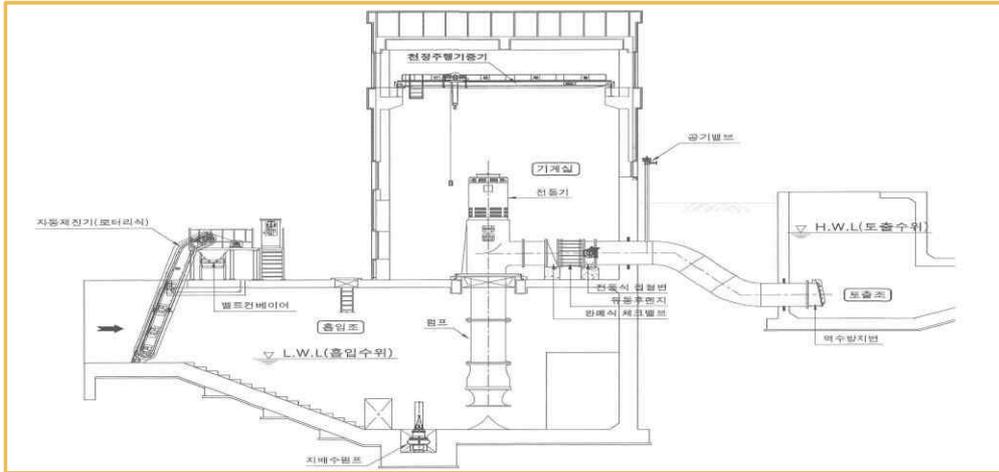


< 그림 2.17 > 양흡입와권펌프 단면도(2)

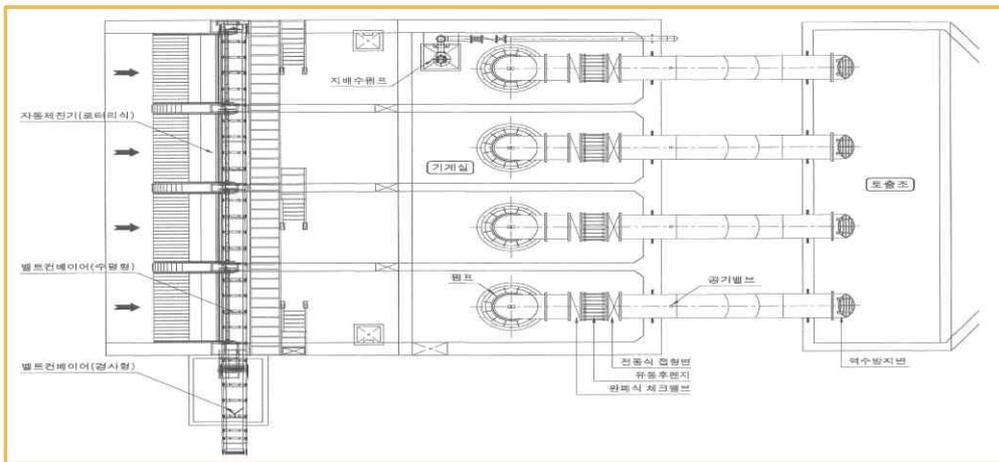
<그림 2.18>은 횡축사류, 횡축축류 펌프의 단면도를 나타내며, 2010년이전 내 홍수위가 높지 않은 배수장에 대부분 적용하였다.



< 그림 2.18 > 횡축사류, 횡축축류 펌프의 단면도

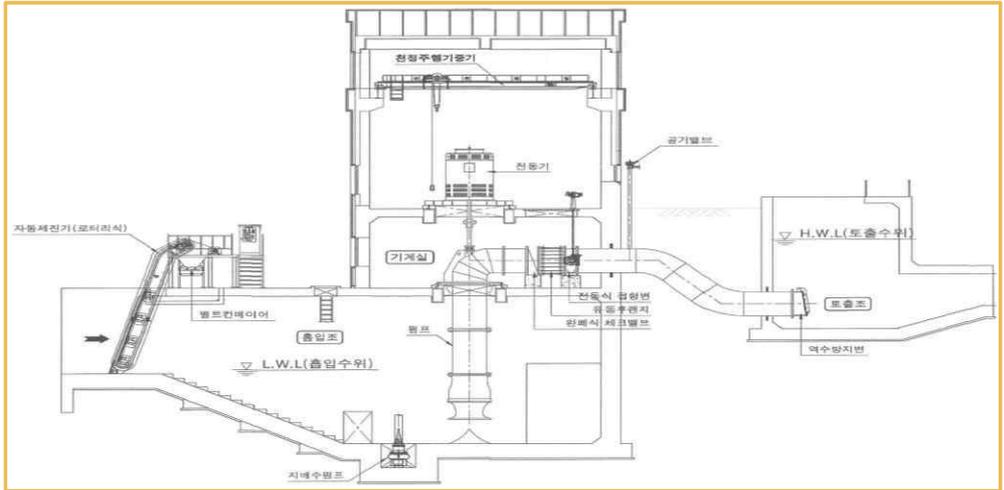


< 그림 2.19 > 입축사류, 입축축류 펌프의 단면도(1상식)



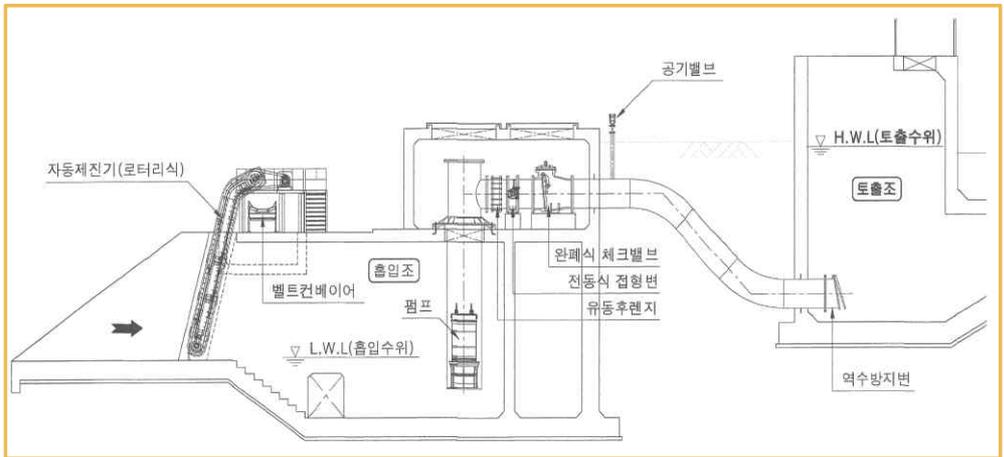
< 그림 2.20 > 입축사류, 입축축류 펌프의 평면도

<그림 2.21>은 입축사류, 입축축류펌프의 단면도(2상식)으로 2010년이전 배수장에 내홍수위가 매우 높은 지역에 많이 적용하였다.

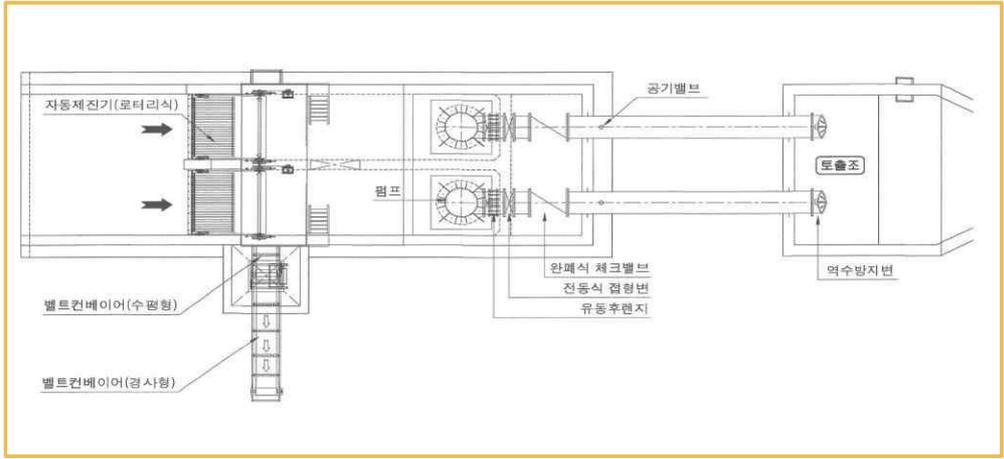


< 그림 2.21 > 입축사류, 입축축류펌프의 단면도(2상식)

<그림 2.22> 수중모터펌프의 단면도(1)은 2010년이후 자동운전과 관리의 편리로 배수장에 많이 적용하고 있으며, 일부 저양정 양수장에도 적용하고 있다.

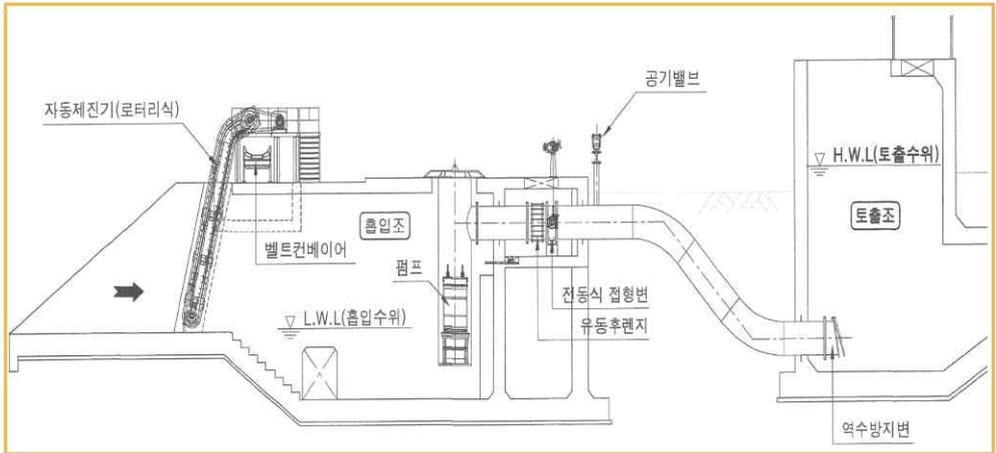


< 그림 2.22 > 수중모터펌프의 단면도(1)



< 그림 2.23 > 수중모터 펌프의 평면도

<그림 2.24>는 <그림 2.22>와 같이 2010년이후 자동운전과 관리의 편리로 배수장에 많이 적용하고 있으며, 일부 저양정 양수장에도 적용하고 있는 단면도의 또 하나의 예이다.



< 그림 2.24 > 수중모터 펌프의 단면도(2)

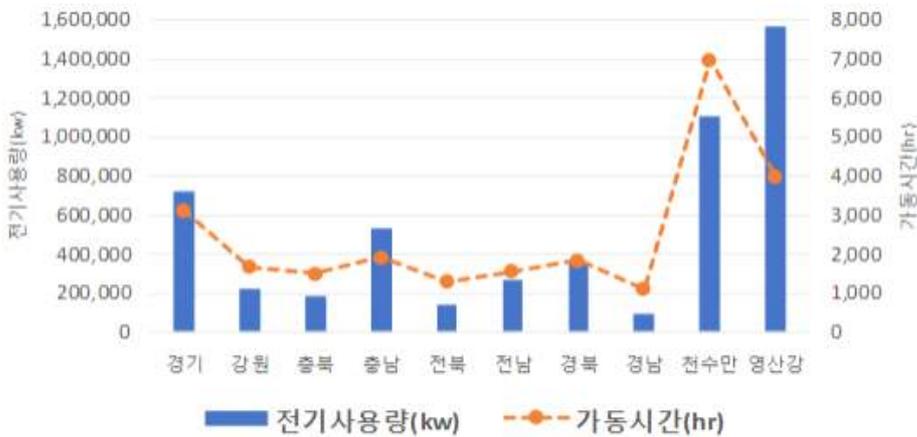
양배수장 운영 분석

2.1.10 양수장 운전 시기

양수장은 지역별로 가동기간이 상이하다. 북부지역은 4월중순부터 9월하순까지 하는가 하면, 충청 이남은 5월초부터 9월말까지 운전을 한다. 근래에는 원예작물을 수확한 후 온실내에 벼 재배를 하는 경우가 있어 급수기간이 10월까지도 하는 지역도 있다.

2.1.11 운전 시간 및 전기요금

양수장 운전 시간과 전력료는 바로 연동된다. 가동시간이 증가하면 전력료도 당연히 증가한다. 양수장 운전시간은 지역 및 기후여건에 따라 매년 차이가 많이 난다. 즉 비가 자주 많이 내리면 가동시간이 평년에 비해 감소하고, 가뭄이 지속될 경우는 가동시간이 급격히 증가할 수도 있다. 2012년부터 2017년도까지 한국농어촌공사 RIMS에 5년간 자료 입력이 충실하게 되어 있는 전국 양수장중 크고 작은 605개소를 무작위로 추출하여 평균값을 구했는데, 그에 따르면 개소당 연간 전력사용량은 328,425KW, 가동시간은 1,763시간, 전기요금은 8,600천원, 동력은 172kw정도였다.



< 그림 2.25 > 본부, 사업단별 전기사용량, 가동시간

(표 2.6) 본부, 사업단별 전기사용량, 가동시간 및 전기요금

부서별	개소수	펌 프 (대)	전기사용량 (kw)	가동 시간 (hr)	전기요금 (원)	동력 (kw)	기타
605개소 평균			328,425	1,763	8,635,207		
◦ 본부평균	75		315,376	1,750	8,219,107		
경기	60	2	718,694	3,120	17,952,158	353	
강원	26	2	224,265	1,672	5,807,037	100	
충북	56	2	185,927	1,497	5,068,461	110	
충남	85	3	536,257	1,924	13,746,390	278	
전북	81	2	141,357	1,294	4,006,666	100	
전남	131	2	265,485	1,552	7,007,566	112	
경북	89	2	359,675	1,844	9,672,938	174	
경남	70	2	91,347	1,097	2,494,637	98	
◦ 사업단평균	3.5		1,335,389	5,474	39,559,665		
천수만	4	5	1,104,686	6,971	28,505,613	716	
영산강	3	4	1,566,092	3,977	50,613,716	858	

주) 1. 1개소당 5년간 평균값임
 2. 전기사용량 및 가동시간 산출 자료 기준

2.1.12 양수장 전력사용량, 가동시간 및 전기요금

양수장 전력사용량, 가동시간 및 전기요금을 (표 2.7)에 나타내었으며, 표에서 보는 바와 같이 시설물이 증가한다고 전력사용량이 증가하는 것은 아니다. 가장 크게 영향을 미치는 것은 기후조건이고, 개발에 따른 급수면적의 증감이다.

자료중 전력사용량과 전력료는 한국전력에서 고지서가 있기 때문에 대체로 정확도가 높은 반면에 가동시간은 시설관리자가 매일 정확하게 입력하여야 하는데 그러지 못한 경우가 많아서 신뢰성 다소 떨어진다.

(표 2.7) 양수장 가동현황 추이 자료 (단위(kw,hr,원):1,000)

지사별 /년도별	개소수			전력사용량			가동시간			전기요금		
	A	B	증감	A	B	증감	A	B	증감	A	B	증감
□ 평택지사	70	70	-	323	323	-	3.28	3.28	-	8,295	8,295	-
2013	70	70	-	270	270	-	4.24	4.24	-	6,785	6,785	-
2014	70	70	-	325	325	-	2.86	2.86	-	8,193	8,193	-
2015	70	70	-	374	374	-	3.46	3.46	-	9,595	9,595	-
2016	70	70	-	367	367	-	3.31	3.31	-	9,617	9,617	-
2017	70	70	-	278	278	-	2.53	2.53	-	7,284	7,284	-
□ 부여지사	56	62.8		193	177		1.14	1.08		4,015	4,605	
2012	56	56	-	163	163	-	1.11	0.92	-0.19	4,073	4,074	
2013	56	64	-	158	143	-15	0.96	0.92	-0.04	4,119	3,739	-380
2014	56	64	-	167	151	-16	0.98	0.91	-0.07	4,474	4,049	-415
2015	56	65	-	235	209	-26	1.41	1.31	-0.10	6,146	5,468	-678
2016	56	65	-	242	215	-27	1.21	1.18	-0.03	6,281	5,597	-684
□ 영암지사	58	61.4		372	354		1.41	1.42		7,625	9,222	
2013	58	58	-	371	371	-	2.64	2.64	-	9,513	9,513	-
2014	58	58	-	344	344	-	0.97	0.97	-	8,944	8,944	-
2015	58	58	-	326	327	+1	0.91	0.95	+0.04	8,575	8,786	
2016	58	66	+8	397	354	-43	1.40	1.39	-0.01	10,373	9,237	-1136
2017	58	67	+9	421	369	-52	1.12	1.18	+0.06	10,912	9,572	-1340
□ 의성지사	74	76.4		201	196		0.96	0.97		5,177	5,059	
2013	74	74	-	157	157	-	0.80	0.80	-	3,996	3,996	-
2014	74	74	-	199	199	-	0.89	0.89	-	5,220	5,220	-
2015	74	74	-	217	217	-	1.03	1.03	-	5,393	5,395	-301
2016	74	80	+6	210	198	-12	1.08	1.13	+0.05	5,484	5,183	
2017	74	80	+6	219	206	-13	1.00	1.01	+0.01	5,793	5,459	-334

주) A : 2013 - 2017년 5년동안 -전체 자료가 성실히 입력된 것
 B : 2013 - 2017년 5년동안에 시설이 증가된 개소수를 포함한 것

2.1.13 운전방법

양-배수장을 관리하는 사업단과 지사에서는 사업단은 정규직과 시설관리직이 합

동으로 담당하고, 지사에서는 주로 시설관리직(계절직)이 담당한다. 2018년에 각종 시설물을 관리하는 감시원은 총 7,387명이며, 그중 양배수장에 33.7%인 2,489명이 근무하고 있다. 시설감시원에게 지급되는 연간 수수료는 245억원 정도된다.

한국농어촌공사 정규직 총정원 5,126명중 순수 유지관리에 투입되는 인력은 30.3%인 1,551명이 책정되어있다.

(표 2.8) 2018년 수리시설 감시원 위축 현황

구 분	시설물별 인원(인)							기타
	계	저수지	양배수장	보	배수문	평야부	평균연령	
합계	7,387	2,019	2,489	497	177	2,205	67.4	
경기	597	82	234	11	14	256	70	
강원	236	72	60	40	3	60	65	
충북	464	136	129	74	4	121	67	
충남	1,153	189	398	43	17	506	68	
전북	950	230	371	83	79	187	74	
전남	1,475	664	404	88	36	283	65	
경북	1,246	349	428	99	9	361	65	
경남	1,229	297	451	59	13	409	68	
제주								
계	7,349	2,019	2,475	497	175	2,183	67.8	
영산강	27		5			22	62	
금강	11		9		2		70	
계	38		14		2	22	66.0	



< 그림 2.26 > 2018년 수리시설 감시원 위축 현황

2.1.14 급수기와 비급수기 수리시설물 관리 패턴

양·배수장 가동은 급배수구역내 특용작물 재배 등에 따라 지역적으로 약간의 차이는 있지만 대부분 4월말부터 9월말까지 운전을 한다.

배수장의 경우는 10월의 태풍 등 영향으로 10월말까지 전기를 수전하고 있다.

관리는 가동시기인 5월부터 9월말까지 급배수에 몰입하고, 비급배수기인 10월 초부터 다음해 4월 중순까지는 급배수시 파악된 각 부품에 발생했던 결함 등을 보수·보강·교체하는 정비기간이다.

특히 비급배수기에는 중요부품의 부식, 파손 등 수명이 단축되지 않도록 도장과 기름을 도포하는 등 조치하고 있으며, 도난 등 보안에도 많은 신경을 쓰고 있다.

다음해는 연초부터는 가동을 준비하기 위하여 시설물 일제 점검을 다시 실시하여 필요한 분야에 대한 “닦고, 조이고, 기름을 치는” 예방 정비로 가동 준비에 철저를 기한다.

수리시설유지관리사업 추진현황

2.1.15 유지관리사업의 정의

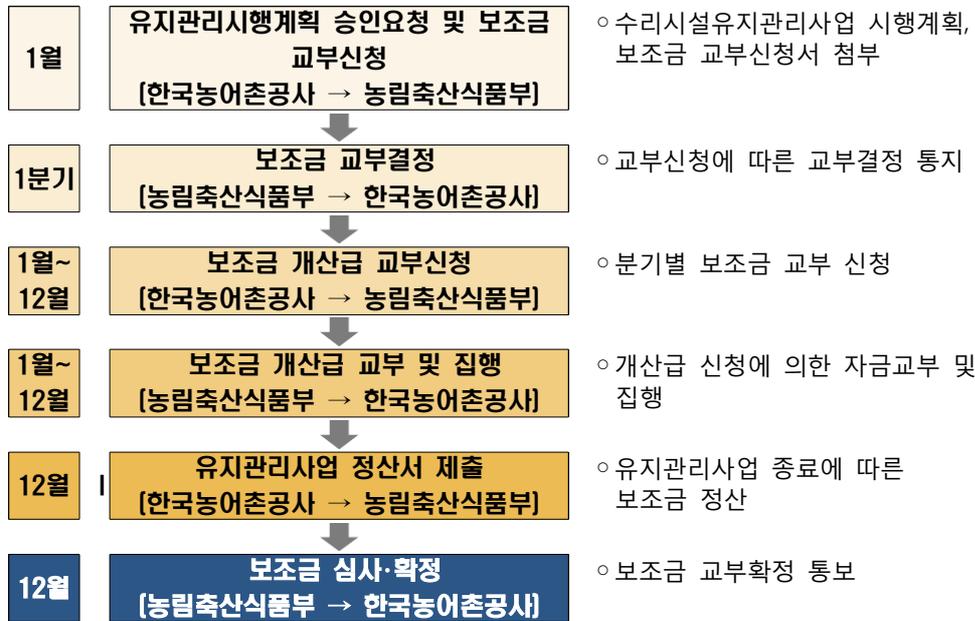
농업인의 안전영농 및 안정적 국민의 주곡 등 식량조달을 위하여 공사 관리지역의 농업기반시설을 활용하여 농촌용수관리, 재해관리, 시설관리 등 조성당시의 공익적 기능을 선량하게 유지하는 총괄적 관리 개념이다.

(표 2.9) 유지관리사업의 구분

구분	내용
농촌용수관리	<ul style="list-style-type: none"> 필요한 시기(적기)에 적량의 용수공급과 양질의 수질 보전 등의 활동 - 관개면적 503천ha, 수리시설물 14천개소, 용·배수로 10만km
재해관리	<ul style="list-style-type: none"> 재해 예방·대비·대응하고, 재해발생시 인적·물적 피해의 최소화 도모
시설관리	<ul style="list-style-type: none"> 농업생산기반시설의 기능을 보전하기 위하여 일상적 점검·정비와 응급복구 등의 보수활동

2.1.16 사업추진체계

농업생산기반시설물의 유지관리사업의 추진체계는 <그림 2.27>과 같다.



< 그림 2.27 > 유지보수사업 체계도

2.1.17 사업비 투자 추이

사업비 연도별 투입 내역

구 분		'00년	'05년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	평균
예산 수입	I. 비용계	2,140	2,846	3,438	3,339	3,337	3,522	3,391	3,405
	II. 자체충당계	1,496	1,363	2,668	2,096	1,772	1,912	1,738	2,037
	■ 부대운영수익	325	305	554	602	610	612	623	600
	◦ 급수수익	160	142	223	243	256	259	251	247
	◦ 임대수익	101	149	224	247	244	237	236	238
	◦ 준설수익	30	9	31	23	30	40	47	34
	◦ 기타	522	294	123	136	131	124	88	121
	■ 자산매각수익	683	769	2,066	1,447	1,111	1,251	1,115	1,398
	III. 국고보조계	643	1,483	770	1,243	1,565	1,610	1,630	1,364

<출처 : 2018년도 수리시설유지관리 시행계획(한국농어촌공사)>



< 그림 2.33 > 사업비 연도별 투입 내역

추진경위

1987년까지는 농지개량조합운영비 전액을 농업인에게 조합비를 부과하여 총당 (10a 당 벼 26kg 상당액)하였으며, 1988년부터 농업인 부담경감을 통한 농촌경제 활성화를 위하여 조합비를 대폭 인하(2000년 폐지)하고 수리시설유지관리비 부족액을 국고에서 매년 지원하였다.

조합비의 변화추이는 다음과 같다.

('87) 26kg/10a→('88) 10kg→('88이후) 5kg→('96) 6천원→(2000) 면제
 3개기관(농지개량조합, 농지개량조합연합회, 농어촌진흥공사) 통합과 관련 1999
 년 고위당정정책조정회의에서 농업기반시설로 부터 농업용수를 공급받는 농업
 인에게 이용료를 폐지하는 것으로 방침 결정하였다.
 2000년 농업기반공사로 출범하면서 농업인 부담경감을 위해 전면 폐지하고 국
 가시설물의 관리 대행기관의 안정적 경영을 위해 보조금 지원을 법제화하였다.

2.1.18 2018년 사업비 현황

재원(예산)현황

2018년 유지관리사업비는 (표 2.11)과 같이 국조보조금과 자체충당금으로 구성
 되며, (표 2.12)와 같이 2017년 대비 2018년 예산은 7.2%증가한 것으로 조사
 되었다.

(표 2.11) 2018년 유비관리사업비 현황

구분	내역	'18년도	비고
수입	계	365,042	(금액단위 : 백만원)
	국고보조금	162,232	
	자체충당금	202,810	- 부대사업수익 : 68,274 - 자산매각수익 : 134,536

(표 2.12) 2018년 유지관리사업비 세부내역 (금액단위 : 백만원)

구분	'17년도(A)	'18년도(B)	증감(B-A)	증감율(%)
계	340,599	365,042	24,443	7.2
• 국 고	154,700	162,232	7,532	4.9
• 자체충당금등	185,899	202,810	16,911	9.1
○ 유지관리부대운영	66,499	68,274	1,775	2.7
- 급수수익	26,722	27,548	826	3.1
- 임대수익	24,250	24,642	392	1.6
- 준설수익	2,480	2,480	-	-
- 기타(전력판매등)	13,047	13,604	557	4.3
○ 승계자산매각수익 (당년 매각수익)	119,400 (106,594)	134,536 (123,859)	15,136 (17,265)	12.7 (16.2)

예산 배정기준(총괄)

한국농어촌공사의 시설물유지관리 예산의 배정기준은 관리면적 및 시설물로서

관리 면적은 2017년 503천ha에서 2018년 499천ha로서 4천ha감소한 것으로 조사되었다. 관리 시설수는 2017년 13,823개소에서 2018년 13,911개소로 88개소 증가한 것으로 조사되었다. 증가 내역은 저수지 9개소, 양·배수장 69개소, 취입보 등 22개소가 증가했으며, 방조제는 12개소 감소한 것으로 조사되었다. 용·배수로는 2017년 99,715km에서 2018년 101,655km로 1,940km증가한 것으로 파악되었다.

시설물 유지관리 업무에 종사하는 인력은 총 종사인원 2,477명(직접종사 2,027명, 간접지원 450명)이며, 직접종사인력의 구성은 1~5급 870명, 6~7급 1,116명, 계약직 34명으로 집계되었다. 간접지원인력은 450명으로 사업공통지원인력 205명, 일반관리 인력 245명이다.

예산은 직접비, 인건비, 경비, 통계조사비로 구분하고 있는 것으로 조사되었다.

2.1.19 유지관리 일정별 추진현황

시설물유지관리 일정은 (표 2.13)과 같이 시설물 점검, 보수, 준설, 통수, 풀베기, 한해대책 수립, 재해응급복구 등 연중 이루어 지는 것으로 조사되었다.

(표 2.13) 시설물 유지관리 일정별 추진현황

구 분		추진내용
1	시설물 점검(10~12월)	○양·배수장 등 기전시설 전기 휴지 ○저수지, 양·배수장, 용수로 등 수리시설물 점검 등
2	시설물 보수 등(1~3월)	○양·배수장 등 기전시설 전기 부활 ○저수지, 양·배수장, 용수로 등 보수 시행
3	용·배수로 준설(2~3월) 및 수초 제거(5~8월)	○용·배수로 준설 및 수초 제거 ○계절직 인부 위촉
4	농업용수 수질조사(분기별) 및 환경정화 추진(월별)	○농업용수 수질조사 ○수질오염 및 녹조 방제훈련 ○환경정화행사 및 학생실천수기 공모전
5	통수식 및 농촌용수 공급(4~9월)	○통수식 ○양·배수장 시운전 ○급수예고 및 용수공급 시행
6	저수지 쓰레기 수거 및 제당 풀베기(4~9월)	○저수지 유입 쓰레기 수거 및 주변 청소 ○제당 풀베기
7	한해 및 수해 대책(2~10월)	○50%미만 저수지 용수확보 추진 ○재해대비 조직정비 및 비상가상 훈련 실시 ○우기대비 취약지구 수리시설물 특별 점검 ○수해 비상근무(배수장 가동 등)
8	재해관련 응급복구 및 소파보수(6~9월)	○저수지, 제방 용·배수로, 기전설비 등 소파보수

점검·정비 및 개보수

2.1.20 점검시기 및 방법

“농업생산기반시설 관리규정”과 “양·배수장 관리지침”에 따라 시설관리부서에서 실시하고 있다. 발췌한 주요내용은 아래와 같다.

〈농업생산기반시설 관리규정〉

개정 2014년 7월 25일 농림축산식품부 훈령 제142호

제6조(시설관리자의 임무) ① 시설관리자는 시설의 기능을 보전하고, 시설 이용자의

편의와 안전을 높이도록 일상적으로 시설을 점검·정비하여야 한다.

② 시설관리자는 제1항의 규정에 의하여 1종 시설, 2종 시설 및 3종 시설을 일상적으로 점검하고, 긴급 조치가 필요한 때에는 신속한 조치를 하고 각종 재해 및 사고 등을 예방하여야 한다.

③ 시설관리자는 제1항의 규정에 의하여 유지 및 안전관리를 할 경우에는 다음 각 호의 관리사항에 유의하여 관리하여야 한다.

2. 양수장·배수장

가. 양수장·배수장의 전동기, 펌프 등의 조작상태와 점검 정비 여부확인 및 조치

나. 양수장·배수장의 가동시간, 수량 및 수위변동과 점검정비일지 등 기록 유지

다. 상하류 하천의 변화, 시설물 설치, 수위변동과 침수우려 여부 등의 판단 및 조치

제14조의2(안전점검 실시 방법 및 내용 등) ① 정기점검은 시험가동, 육안검사 등을 통해 평상시 농업생산기반시설의 기능상태를 확인하고 판단한다.

② 긴급점검은 재해나 사고 등에 의해 필요하다고 판단할 때 사용제한 또는 사용금지의 필요 여부 등을 결정하기 위한 것으로, 필요시 정밀점검 또는 정밀안전진단 실시여부를 결정한다.

③ 정밀점검은 정기점검 및 긴급점검에서 발견할 수 없는 결함상태를 발견하기 위하여 면밀한 육안검사와 필요한 측정 및 시험을 실시하여 결함부위 등 주요부위에 대한 외관조사도 작성과 시설물 상태평가를 실시하고 결함에 대한 보수·보강 방법 등을 제시하는 것으로, 다음 각 호 외의 3종시설은 별지 제2-2호, 제2-4호 내지 제2-7호 서식을 토대로 해당 분야 기술가자 시험가동, 육안검사 및 간단한 시험·조사 등을 통해 실시할 수 있다.

1. 밑바닥(내측) 너비가 5미터 이상인 수로 구조물
2. 밑바닥(내측) 너비가 1.1미터 이상이고 높이가 1.1미터 이상인 수로교
3. 곡선직경(내측, 2R) 1.8미터 이상인 수로터널

제15조(안전점검시행 및 결과보고) ① 시설관리자는 제14조의 규정에 의한 안전점검을 해당분야 기술자로 하여금 실시하게 하여야 한다.

② 시설관리자는 제14조 규정에 의하여 별지 제2-1호 내지 제2-7호 서식에 의한 안전점검을 실시하여 그 결과표를 작성하여 보존·활용하고, 시설의 기능유지 및 안전상 재해위험 등이 있는 경우에는 즉시 필요한 응급조치를 하여야 하며, 정밀점검 또는 정밀안전진단이 요구되는 시설(단, 3종 시설중 제14조의2 제3항 제1호 내지 제3호 외의 시설은 제외한다.)에 대하여 별지 제1-1호, 제1-2호 서식에 의거 농림축산식품부장관에게 보고하여야 한다.

③ 시설관리자는 안전점검 실시결과 재해발생이 우려되어 긴급보수 또는 보강이 필요한 시설에 대하여는 우선적으로 응급조치하고 대책을 수립하여 그 내용을 시·도지사에게 별지 제1-3호 서식에 의거 즉시 보고하여야 한다.

④ 제2항의 안전점검 결과표는 전자매체(RIMS 또는 PDF파일 등)로 작성하여 관리할 수 있으며, 첨부되는 사진(칼라) 또는 동영상 등은 결함을 구체적으로 확인할 수 있도록 하여야 한다.

제20조(시설의 개보수) ① 시설관리자는 안전점검 또는 정밀안전진단을 실시한 결과 결함이 발견된 시설에 대해서는 손상된 부분을 원상복구하고 개보수 등의 조치를 하여야 하며, 시설의 개수·보수계획은 안전점검 또는 정밀안전진단결과를 토대로 수립하여야 한다.

② 제1항의 규정에 의한 시설의 개보수계획 수립을 위하여 조사 설계를 하여야 할 경우에는 1종 시설, 2종 시설 및 3종 시설에 대하여는 안전점검 또는 정밀안전진단 후에 실시한다.

③ 시설관리자가 시설의 개보수 사업을 시행하는 경우에는 농어촌정비법에 의한다.

④ 제3항의 규정에 의한 개보수 사업은 피해규모와 시급성을 고려하여 다음 각 호의 순위에 따라 시행한다.

1. 시설물의 안전 또는 기능상실이 긴박하여 재해발생시 막대한 인명피해 또는 재산피해가 예상되는 시설
2. 시설물의 안전 또는 기능상실이 예상되며 재해발생시 막대한 인명피해 또는 재산피해가 예상되는 시설
3. 시설물의 기능저하 또는 상실로 과다한 유지관리비가 예상되는 시설

〈양.배수장 관리지침〉

제2조(용어의 정의) 이 지침에 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

- ① “양수장”이란 강이나 하천 및 호소의 물을 이용하기 위해 양수하여 관개하는 시설을 말한다.
- ② “배수장”이란 배수가 불량하거나 홍수 시 물이 하천이나 강 및 호소로 빠지지 못하여 농경지 등이 침수되는 경우 기계장치를 이용하여 담수되어 있는 물을 배수하는 시설을 말한다.
- ③ “양배수장”이란 양수와 배수를 같이 할 수 있는 시설(양·배수 겸용시설)을 말한다.
- ④ “점검”이란 설비의 이상 현상, 고장의 유무발견, 기능의 양호 및 불량 판정을 위하여 실시하는 순시, 계측, 작동시험 및 이에 대한 처리방법의 판정과 그에 관한 기록을 말한다.
- ⑤ “정비”란 고장예방을 위하여 또는 점검에 의한 판정의 결과 유지 관리를 위해 실시하는 청소, 조정, 급유, 수리, 부품, 교환, 재도장 등의 처리 및 기록을 말한다.
- ⑥ “정기점검”이란 농업생산기반시설의 운전조작 및 정비, 장애물 제거 등을 위하여 분기별 1회 이상 실시하는 점검을 말한다.
- ⑦ “긴급점검”이란 시설관리자가 정기점검 외 재해나 사고 발생 등으로 시설물 안전에 이상 징후가 있을 때나 긴급히 시설의 보수 또는 보강이 필요한 때에 실시하는 점검을 말한다.
- ⑧ “정밀점검”이란 시설관리자가 정기점검 또는 긴급점검을 실시한 결과, 시설의 기능 유지 및 안전상 재해위험이 있어 시설물 보수가 필요할 때 실시하는 점검을 말한다. 필요시 1종·2종 시설은 정밀점검을 생략하고 정밀안전진단을 실시 할 수 있다.
- ⑨ “관개기점검”이란 관개기 전기수전 중 시설의 기능유지를 위하여 매월 1회 실시하는 점검(정기점검과 중복 시에는 미 실시)을 말한다.
- ⑩ “비관개기순시”이란 영농기 이후 다음 영농기 전 까지 전기 휴지 중에 매월 2회 실시하는 순시순찰을 말한다.
- ⑪ “가동점검”이란 농업생산기반시설의 기기의 운전과 관련된(가동 전, 가동 중) 기능상태를 확인할 수 있는 기본적인 점검을 말한다.
- ⑫ “양·배수장 관리자(이하 “관리사”라 한다)”란 양·배수장의 운전 및 관리를 목적으로 휴식 등을 취할 수 있는 시설을 말한다.
- ⑬ “양·배수장 시설관리자(이하 “시설관리자”라 한다)”란 공사 사장으로부터 위임받아 양·배수장의 시설을 총괄 관리하고 있는 지사장, 사업단장 등 해당 부서의 장을 말한다.
- ⑭ “양·배수장 시설관리담당자(이하 “시설관리담당자”라 한다)”란 양·배수장의 유지

관리 및 운전 등의 업무를 담당하는 자를 말한다.

⑮ “농업기반시설관리 시스템담당자(이하 “시스템담당자”라 한다)“라 함은 양·배수장 가동사항 및 재난발생시 비상근무자 입력 등 농업기반시설관리시스템(RIMS) 업무를 담당하는 자를 말한다.

⑯ “양·배수장 관리인(이하 “관리인”이라 한다)“이란 양·배수장의 원활한 운영 및

관리를 위해 공사로 부터 물관리 및 시설물의 감시·관리업무를 위촉받아 근로시간과 관계없이 단속적으로 위촉된 업무에 종사하는 자를 말한다.

제3조(양·배수장의 운영 및 관리) ① 양·배수장의 운영 및 관리는 시설관리자로 하며, 해당 양·배수장 마다 시설관리담당자를 지정하여 운영 및 관리하여야 한다. ② 시설관리자는 양·배수장의 시설 유지관리 및 운전 등 업무를 담당하는 시설관리담당자를 지정하여야 하며, 원활한 운영 및 관리를 위해 「수리시설감시원 운영지침」에 따라 관리인을 배치 할 수 있다. ③ 시설관리자는 양·배수장의 효율적인 시설관리를 위해 시스템담당자를 지정하여 관리하여야 한다.

제4조(시설관리자의 임무) ① 시설관리자는 양·배수장 시설의 기능을 보전하고 시설 이용자의 편의와 안전을 높일 수 있도록 시설관리담당자에게 시설을 점검·정비하게 하여야 한다. ② 시설관리자는 양·배수장 시설을 점검한 결과 긴급조치가 필요한 때에는 신속한 조치를 하여 각종 재해 및 사고 등을 예방하여야 한다.

제5조(시설관리담당자의 임무) 시설관리담당자는 시설관리자를 보조하여 다음 각 호의 업무를 수행하여야 한다.

1. 「각종 시설관리지침」의 준수 및 이행
2. 시설의 보전 및 집행에 관한 업무
3. 시설의 관리 및 기록 유지와 보고
4. 그 밖에 시설유지 및 안전관리에 필요한 사항

제 2 장 양·배수장의 운영

제6조(양·배수장 자료의 보존) 시설관리자는 다음 각 호의 자료를 농업기반시설관리 시스템(RIMS)에 등록하거나 별도 보관하여야 한다.

1. 양·배수장 시설현황
2. 양·배수장 준공도서
3. 유지관리지침서
4. 점검 및 보수기록
5. 기타 관리에 필요한 자료

제7조(양·배수장 근무) 시설관리담당자나 관리인 등 근무자는 양·배수장 운영 및 관리에 필요한 근무수칙을 반드시 지켜야 한다.

- ① 가동 전 수위조건을 확인한다.

- ② 가동 전 기기 및 전원점검을 실시한다.
- ③ 안전관리 및 보안을 생활화 한다.
- ④ 사명감을 가지고 성실한 자세로 임한다.
- ⑤ 기상예보에 관심을 가지고 항상 청취한다.
- ⑥ 양.배수장 가동 중에 음주 및 현장 이탈을 할 수 없다.
단, 양수장 운전자는 관리구역 이탈 시 시설관리자에게 보고한다.
- ⑦ 관계자 외 출입을 금한다.
- ⑧ 전기.유류를 절약하여 예산을 절감한다.
- ⑨ 낙뢰나 이상 시는 신속한 응급조치를 취한다.
- ⑩ 비상상황 발생 시는 비상연락체계를 통해 보고한다.

제8조(양수장의 가동) ① 시설관리자는 양수장 가동에 있어 계획양수를 원칙으로 하되 시설관리담당자 및 관리인 등 근무자와 용.배수로를 담당하는 직원 및 용.배수로 관리인과 세밀한 급수상황 파악으로 양수시간을 조절하여 예산을 절감하고 민원이 발생하지 않도록 하여야 한다. ② 시설관리담당자나 관리인 등 근무자는 펌프 등 양수설비의 보호를 위해 최저흡입수위 EL(+) **.** 이하에서 운전되지 않도록 한다. ③ 가동 전 기기의 이상 유무를 확인한 후 조작하여야 한다. ④ 시설관리담당자나 시스템관리자는 양수장 가동시작 및 가동종료 후에는 가동사항을 농업기반시설관리시스템(RIMS)에 입력하여야 한다.

제9조(배수장의 관리수위) ① 영농기 배수장의 상시관리 내수위는 상시 초기흡입수위 EL(+) **.** 이하로 한다. ② 시설관리자는 홍수 시 배수장 가동으로 배수 본 천 구역의 하천수위가 하천제방 붕괴 등 위험이 예측되는 수위에서는 배수장가동을 중지하도록 하여야 한다.(단, 수위는 하천관리청을 비롯한 상.하류측의 이해 관계인과 협의하여 정한다.)

제10조(배수장의 가동) 시설관리자는 시설관리담당자나 관리인 등 근무자가 배수장 가동에 있어 아래사항에 유의하여 구역 내 침수피해가 발생하지 않도록 하여야 한다.

- ① 강우 시 배수장에 상주하여 예찰활동을 강화하여야 한다.
- ② 예비기상특보 및 기상특보(호우주의보, 호우경보, 태풍주의보, 태풍경보 등)발령 시 시험가동하여 시설운전에 이상이 없는지 사전에 점검하고 결과를 시설관리자에게 보고한다.
- ③ 내·외수위 차에 의한 자연배제가 가능한 경우 강우유출량을 고려하여 자연배제를 하되 배수장 가동 시에는 상시용 펌프를 우선 가동하여 배수토록하고, 수위에 따라 홍수용 펌프를 가동하여 구역 내 침수피해가 발생되지 않도록 한다.
- ④ 배수장 가동시작 및 가동종료 후에는 즉시 시설관리자에게 보고하고 가동사항을 시스템 담당자에게 입력토록 통보하여야 한다.

제11조(전력 수전 및 휴지) ① 시설관리자는 양·배수장 가동을 위해 전력을 수전할 경우 한국전력공사에 수전신청을 하고, 한국전력공사 책임분계점의 COS투입을 요구하여야 한다. ② 영농 급·배수가 완료되어 전력을 휴지 시에는 반드시 한국전력공사에 전력휴지신청을 하고 한국전력공사 책임분계점의 COS개방 여부를 확인하도록 하여야 한다. ③ 양·배수장의 관리를 위한 보안장비, 자동화설비는 상시 운영이 가능하도록 필요한

전력을 별도 구성하여 관리하여야 한다.

제12조(동절기 관리) ① 시설관리담당자는 영농기 이후 시설의 동파방지를 위하여 펌프, 배관류 등의 잔류수를 완전히 배출하여야 한다. ② 비관개기에는 전원 차단 을 확인하고 잠금장치, 방범 및 방화시설 등 관리와 다음 해 시설물 기능발휘를 위한 점검,정비를 실시한다. ③ 비관개기 순시기록은 별지 제3호서식 일상순시 점검기록표를 활용하여 월 2회 점검 실시한다.

2.1.21 정비 방법

시설관리자가 예방정비와 사후정비를 실시하고 있다. 그런데 기계부문은 대부분 운전중 고장이 발생되어야 보수를 하는 경향이 있다. 가급적이면 급수기 운전 할 때 각 기자재의 이상여부를 파악한 후에 비급수기에 완전하게 정비하여, 다음 급수기를 대비한 것이 바람직한 정비이나 현실은 예산 형편 등 그렇지 못한 경우가 많다.

2.1.22 개보수 방법

수리시설개보수사업에 지구 단위로 토목, 기전 등과 일괄하여 추진한다. 몇 년 전에는 “양·배수장 리모델링 사업”으로 기전부문만 개보수를 실시한 경우가 있었다. 근래에는 기전부문의 중요성이 인식되어 노후된 시설에 대한 보수·보강·교체 등이 활발하게 진행되고 있다.

2.1.23 개보수 이력조사

한국농어촌공사에서 준공된지 18년에서부터 45년 정도된 양배수장에 대한 정밀 안전진단을 실시한 지구를 중심으로 개보수 이력을 확인하였다. 양수장은 가동 시간이 많아 주펌프를 비롯한 부속설비에 대한 보수, 교체 등을 시행한 경우가 많았으며, 배수장의 경우는 대체로 가동시간이 매우 적어 주펌프와 부속설비에 대한 보수, 교체는 적은 편이었다. 그러나 로타리식 자동제진기 설치 등 현대화는 지속적으로 추진되고 있다.

각양배수장별로 보수, 교체한 내용을 살펴보면,

- 1) 북천양수장 (하동군 북천면, 1997년 준공)
 - 2008 : 펌프 보수(슬리브 교체 및 축 육성 가공 등)
 - 2011 : 펌프 점검 보수
- 2) 서호양수장 (영암군 서호면, 1984년 준공)
 - 2003 : 펌프 임펠러 및 밸브류 전호기 교체 설치 등
- 3) 백운양수장 (영암군 영암읍, 1984년 준공)
 - 1996 : 전동호이스트 설치
 - 2000 : 펌프 임펠러 교체(2호기) 및 베어링 교체(1호기)
- 4) 봉정양수장 (부여군 석성면, 1973년 준공)
 - 2006 : 봉수펌프 설치
 - 2002 : 천정주행기중기 교체 설치
- 5) 송악양수장 (당진군 송악면, 1982년 준공)
 - 2000 : 주펌프, 전동식접형변, 역지변, 유동플랜지 교체, 합관부
이전 배관 교체, 진공펌프 교체
 - 2006 : 스틸플렉스 커플링에서 플렉시블 커플링으로 교체
 - 2007 : 전동식접형변의 액츄에이터 교체(TM/TC용)
 - 2012 : 주펌프 2호기 축 교체
- 6) 은산양수장 (평택시 진위면, 1976년 준공)
 - 2011 : 토출배관 및 역수방지변 교체(1 - 3호 라인)
 - 2010 : 주펌프 800m/m 2대(1,2호기) 교체, 역지변, 유동플랜지 교체
 - 2008 : 전동식 접형변 교체
 - 2003 : 기중기 권상 전동화
- 7) 청주양수장 (청주시 상당구 정화동, 2000년 준공)
 - 2015 : 전동식제수변 1,2호기를 전동식접형변으로 교체
 - 2009 : 전동식제수변 액츄에이터 교체
- 8) 석근양수장 (평택시 팽성읍 석근리, 1974년 준공)
 - 1993 : 스크린 설치

- 1994 : 역수방지변 교체
 - 1997 : 1호기 펌프 교체(전동기 제외)
 - 1998 : 2호기 펌프 교체(전동기 제외)
 - 2002 : 밸브 및 배관 보수
 - 2003 : 제수변 교체(1,2호기)
 - 2003 : 천정주행기중기 권양장치 교체
 - 2005 : 펌프1, 2호기 슬리브, 웨어링 링, 베어링 부쉬 교체
- 9) 임진양수장 (파주시 문산읍 장산리, 1975년 준공)
- 1995 : 펌프 1, 3호기 슬리브 교체
 - 1995 : 1, 2호기 익스펜션 조인트 교체
 - 1995 : 1 - 4호기 전동기 교체
 - 1996 : 2,3,4호기 슬리브 교체
 - 1997 : 1, 3호기 슬리브, 베어링 교체
 - 1998 : 진공라인 및 밸브 교체
 - 2001 : 2호기 임펠러 교체
 - 2003 : 진공펌프 교체
 - 2004 : 1,2,3호기 제수변 교체(5대)
 - 2004 : 1,2호기 역지변 교체
- 10) 지산배수장 (진도군 임회면 장산리, 1989년 준공)
- 2004 : 진공 및 봉수배관 교체
 - 2005 : 1,2호기 베어링 교체
 - 2006 : 3,4호기 베어링 교체, 진공밸브 교체(1 - 4호기), 감속기 보수
- 11) 소야배수장 (창녕군 대지면 창산리, 1999년 준공)
- 2005 : 스크린 간격 조정
 - 2015 : 로터리식 체진기 설치
- 12) 화산배수장 (대구광역시 달성군 구지면, 1988년 준공)
- 2003 : 전동식 접형변 수리, 진공펌프 교체, 그리스 펌프 교체(수

해 복구 공사)

13) 신리배수장 (당진군 합덕읍 신리, 1994년 준공)

- 2005 : 5호 진축관 누수부 수리, 2호 주펌프 분해 점검
- 2009 : 그리스 펌프 2대 교체
- 2013 : 그리스 펌프 2대 교체

14) 유등배수장 (창원시 의창구 유등리, 1990년 준공)

- 2010 : 자동로터리식 제진기 설치

2.1.24 타기관의 점검·정비 방법

한국농어촌공사와 유사한 시설을 관리하고 있는 한국수자원공사, 한국수력원자력 등 발전사는 운전은 직접 담당하고, 점검은 전문용역기관에 외주 시행한다. 용역사는 시설물을 정기적으로 점검하여 그 결과를 발주기관에 보고하고 있다. 발주기관에서는 점검 결과를 토대로 필요시 정비를 실시한다. 한편 정비할 때 소모품 등 일정금액 이하는 용역기관에서 부담하여 보수·교체 등을 실시하고, 일정금액 이상은 발주기관의 작업지시서에 의해 보수·보강하고 사후 정산처리한다.

규모가 크고 기술이 필요한 개보수공사는 전문시공사에 발주하여 시행하고 있다.

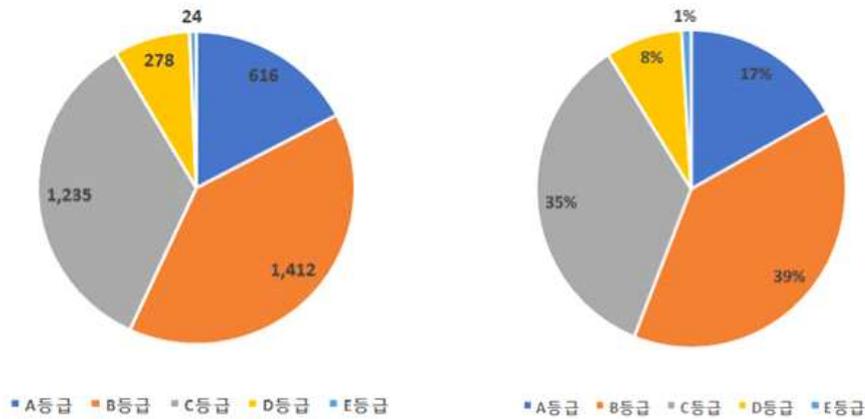
한국농어촌공사는 대부분 경미한 사항은 시설관리직과 직원들이 소모품을 구입하여 교체하지만, 손상되거나 파손되는 등 기술이 요하는 것은 대부분 협력사를 통해 보수·보강을 실시한다. 규모가 큰 개·보수공사는 설계를 하여 전문회사에 발주하고 있다.

2.1.25 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 이란 숫자를 대입하여 평균등급을 확인한바 4.7로 C와 D등급 사이로 도출되었다.

(표 2.14) 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	



< 그림 2.34 > 안전점검 결과로 본 등급 비율

소결

농업생산기반시설의 현황을 2016년 농업생산기반통계연보를 기준으로 분석하였으며, 양·배수장의 구성분야인 토목, 건축, 기계, 전기, 기타로 구분하여 분석하였다. 그 중 가장 비중을 크게 차지하고 있는 기계분야에 대해 좀 더 세부적으로 분석하였으며, 전동기와 펌프의 가동시간, 전기요금, 급수기와 비급수기의 관리 패턴 등을 분석하였다.

농업기반시설물의 유지관리에 소요되는 예산의 구성, 관리인력의 배치, 유지관

리 사업비의 집행흐름 등과 수리시설개보수사업에 의한 주요 부품의 교체, 보수의 이력에 대해 몇몇 양수장에 대해 조사하였다.
끝으로, 한국농어촌공사와 유사한 한국수자원공사, 한국수력원자력 등 발전사의 시설물 유지관리 방식에 대해 조사하였다.

제 3 장

성능저하 요인분석 및 대책

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발

3.1 우리나라 기후대 별 기후 특성

우리나라는 국토 면적이 좁은 것에 비하여 지역 간의 기후 차이가 크고 특성이 다양하다. 동서 방향에 비해 상대적으로 남북 방향으로 긴 국토와 북에서 남으로 발달한 산맥으로 인해 남·북 간의 기후 차이와 동·서 간의 기후 차이가 발생한다. 또한 국토 면적의 70%에 이르는 산지의 영향으로 고도에 따른 기후의 차이도 크다. 우리나라는 전 세계적으로 볼 때 중위도 대륙의 동안에 위치하여 대륙성 기후와 해양성 기후의 영향을 동시에 받아 사계절의 변화가 뚜렷하게 나타나고, 지역에 따라 계절별 기후 특성 또한 다르게 나타난다.

기후대 구분은 식생 분포한계, 작물 분포한계, 가옥 구조 분포, 산경표의 분수계에 표시된 지형 등을 지표로 이용한다. 기후대는 이와 같은 기준으로 구분하기 때문에 수계와 산맥을 중심으로 나뉘는 행정구역의 경계와 차이를 보인다.

농업기반시설물은 지역별 농업 특성과 지리적 특성에 따라 다양한 종류의 시설물이 집중된다. 남부 산간지역은 하천을 기반으로 운영되는 양·배수시설을 설치할 수 있는 조건에 맞지 않지만, 서남 해안 일대는 간척지 및 하천 하류부에 양·배수시설을 갖추기에 유리한 지형이다. 또한 남부 내륙지역은 넓은 평야를 품고 있어 수로, 분수공과 같은 평야부 시설이 주를 이루고 있다.

우리나라 기후 구분

우리나라는 지리적으로 중위도 온대성 기후대에 위치하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 뚜렷하게 나타난다. 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이며, 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날이 많다.

(표 3.1) 우리나라 기후 특성

분류	기후특성
기온	중부산간, 도서지방을 제외하면 연 평균기온은 10~15°C 가장 무더운 달은 8월이며 23~26°C 가장 추운 달인 1월은 -6~3°C
강수량	중부지방 1,200~1,500mm, 남부지방 1,000~1,800mm 경북지역 1,000~1,300mm, 경남해안 일부지역 1,800mm 제주지방은 1,500~1,900mm 계절적으로 연 강수량의 50~60%가 여름에 집중
바람	겨울에 북서풍, 여름에는 남서풍이 강하며, 계절에 따른 풍계가 뚜렷이 나타남 9월과 10월은 바람이 비교적 약함 해안지방에서는 해륙풍의 영향이 뚜렷함
습도	전국적으로 연중 60~75% 범위 7월과 8월은 70~85% 정도 3월과 4월은 50~70% 정도
장마	6월 중순 후반에 제주도 지방으로부터 시작하여 6월 하순 초반에 점차 중부지방에 이르게 되며, 장마기간은 30일 내·외
태풍	북태평양 서부에서 연중 26개 정도가 발생하며, 이 중 3개 내·외가 우리나라에 직·간접적 영향을 미침

<출처 : '건물에너지 평가 프로그램 신뢰성 확보를 위한 대한민국 주요지역 70개소의 표준기상 데이터 제작 및 글로벌화' 최종보고서에서 발췌 및 재구성>

우리나라의 기후구분은 여러 연구자에 의해 수행되었다. 기후구분은 목적에 따라 다양한 방법으로 시도되었다. 기후구분의 방법에 따라 경험적 구분과 대기순환 및 기단, 전선의 변화에 따른 구분을 들 수 있다. 경험적 구분은 쾨펜(Köppen)의 체계가 대표적이다. 이 방법은 식생과 작물의 분포 등을 기준으로 기후대를 구분하고 있어, 현실적인 자료로써 가치를 갖는다. 대기순환 등을 지표로 기후대를 구분하는 방법은 다양한 기후 요소를 종합적으로 고려하기 보다는 특정 기후요소를 사용하여 군집분석, 인자분석, 주성분분석과 같은 통계 기법을 적용한 사례가 많다.

쾨펜에 의한 기후구분

쾨펜(Köppen)은 식생이 기후를 잘 반영하고 있다는 점에 착안하여, 식생분포에 영향을 주는 기온과 강수량 등을 이용하여 기후구를 구분하였다. 최한월(1월) 평균기온 -3°C 등온선을 기준으로 북부의 냉대 기후와 남부의 온대 기후로 구분된다.

온량지수에 의한 기후구분

식물의 생장은 월 평균기온 5°C 이상에서만 가능하다는 점을 고려하여 온량지수에 의한 기후 구분이 시도되었다. 온량지수는 월 평균기온 5°C 이상인 달의 월평균 기온과 5°C 와의 차이를 연간 합산한 적산온도를 말한다. 습윤지역에서는 식물 분포를 결정하는 조건으로 강수량보다 기온의 영향이 더 크다. 따라서 우리나라는 습윤기후이므로 식물 성장에 영향을 주는 온량 지수에 의해 구분된 기후 지역은 식생 및 토양 분포와 대체로 일치한다. 그러나 기후는 기온과 강수량 등 여러 요소가 복합된 것인데 비해 이 구분 방법에서는 기온만 고려되었다는 한계를 가진다.



(a) 쾨펜에 의한 기후구분

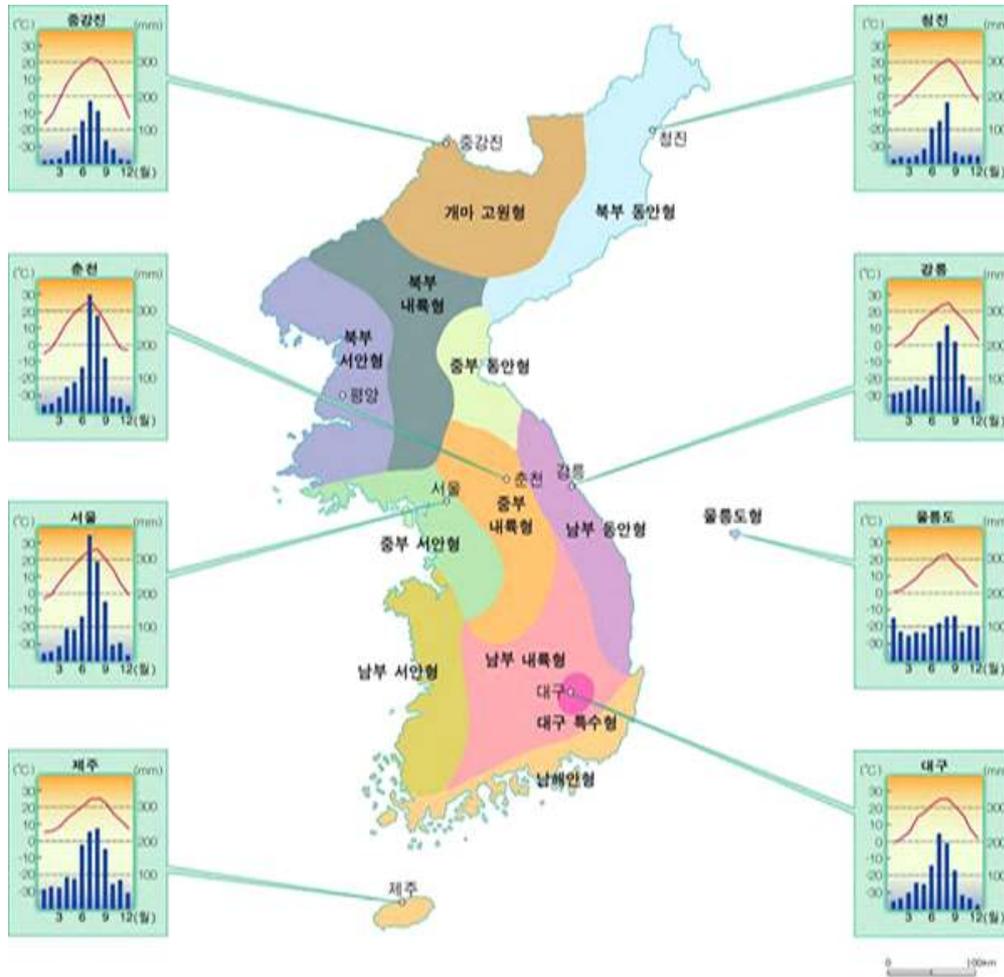


(b) 온량지수에 의한 기후구분

< 그림 3.1 > 쾨펜과 온량지수에 의한 기후구분법

우리나라 기후대 구분

쾨펜의 방법을 따라서 최한월 평균기온 -3°C 등온선으로 남부의 온대 기후와 북부의 냉대 기후로 나눌 수 있다. 온량지수에 의해서는 남북 간의 기온 차에 의하여 북부, 중부, 남부로 나눌 수 있으며, 태백산맥과 낭림산맥을 경계로 동해 지역이 구분되며, 넓은 황해 사면에서는 해안에서의 거리에 의하여 서안형과 내륙형을 구분할 수 있다. 대륙의 영향이 강한 북부의 고원 및 산악 지방은 개마고원형으로 구분하였고 이와는 대조적으로 해양의 영향을 많이 받는 남해안 지방은 남해안형으로 분류할 수 있다. 또한 울릉도형을 추가하고, 대구 지역을 특수형으로 분리하였다. 그래서 한반도의 총 기후대는 12개 기후대와 1개의 특수지역으로 구분된다.



< 그림 3.2 > 우리나라 기후대 구분지도 (1981-2010 한국기후표, 기상청)

(표 3.2) 우리나라 기후대 주요특징

기후대	주요특징	주요행정구역
중부서안형	해안을 중심으로 조수간만의 차가 크고 서풍의 영향을 많이 받음	파주, 인천, 과천, 화성, 수원, 용인, 의정부, 서울, 당진, 태안, 남양주, 의정부, 용인, 강화, 천안, 예산, 보령,
중부내륙형	해발고도가 높고 동절기 기온이 낮음	청주, 충주, 음성, 제천, 단양, 원주, 평창, 횡성, 가평, 춘천, 철원, 연천,
남부서안형	서풍의 영향을 많이 받고, 동절기 기온이 높음	군산, 서천, 김제, 정읍, 신안, 함평, 정읍, 담양, 나주, 논산, 전
남부동안형	해안이지만 상대적으로 염해가 적고, 고온건조한 바람이 불며 동절기 온도가 높음	속초, 강릉, 동해, 울진, 영
남부내륙형	해발고도가 높은 산악지형	보은, 문경, 영주, 봉화, 영동, 무주, 곡성, 함안, 상주, 예천, 김천, 영동, 합천, 함양, 안동, 의성, 청송, 영천, 칠곡, 달성, 성주, 청도, 군위,
대구특수형	분지지역으로 고온건조, 최근 기상변화가 큼	대구, 달성
남해안형	해안 중심으로 염분의 영향을 받고, 동절기 기온이 높음	부산, 진도, 해남, 완도, 고흥, 보성, 여수, 광양, 사천, 고성, 통영, 울산, 양산, 거제, 남해, 진주

3.2 기후특성 규명 기상자료 분석

농업생산기반시설물은 농지보전 및 농업생산에 필요한 시설물로 해안, 평야, 산간지역 등 전 국토에 분포하고 있다. 농업생산기반시설물은 염해, 동결염해와 같은 구조물의 노후화를 유발하는 환경에 놓여 있으며, 이 환경 조건은 지역별로 상이하다.

각 지역은 해안 인접성, 해발고도, 지형 등 여러 요인에 따라 기상 작용이 다르게 나타나고 있고, 우리나라는 북한과 제주 및 울릉도와 같은 도서지역을 제외하고 총 8개의 기후대가 존재하며, 각 기후대는 염해 및 동결염해를 일으키는 평균기온, 해안 인접성, 동절기 일수 등 여러 기상 요인이 상이하게 나타난다.

하지만, 농업생산기반시설물의 설계는 전 지역이 동일한 기준을 따르고 있고, 운영 및 유지관리 기법은 기후 노출과 같은 외적 요인을 고려하지 않고 행정구역 단위로 일괄적으로 이루어지고 있어 구조물의 성능을 결정하는 외적 요인인 기후, 사회적 환경 등의 고려가 미흡한 실정이다.

본 장에서는 기후대별 특성을 규명하기 위해 기상자료를 분석하여 기후특성이 농업생산기반시설에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

기후대에 따른 지역 구분

본 연구에서는 1992년부터 2017년까지 기상청에서 제공하는 기상 통계자료를 활용하여 기후대에 속한 지역의 기상 특성을 분석하였다. 기상변수는 기온, 강수량, 풍속과 같은 기본 변수와 구조물의 동결염해를 유발할 수 있는 0℃ 이하일수, 적설일수를 변수로 채택하였다. 기온, 강수량 자료는 표 3.3과 같이 각 항목을 세분하여 그 특성을 분석하였다.

(표 3.3) 기상자료 분석을 위한 변수선정

주요항목	변 수
기온	연평균기온, 평균최고기온, 최고기온극값, 평균최저기온, 최저기온극값, 관개기간 평균기온
결빙	0°C이하일수, 적설일수
바람	평균풍속, 최대풍속
강수량	연강수량총량, 관개기간강수량, 1일 최대 강우량, 3일 이상 지속 강우량, 1시간 최대 강우량

기상자료 조사는 기상대가 위치하고 있는 전국 55개 지역을 대상으로 하였으며, 남한지역 8개 기후대 구분에 따라 행정구역을 재구분하여 분석하였다.

중부서안형은 경기 서북부 파주, 인천부터 중부 해안지역인 서산, 당진, 태안 등을 포함한다. 바다와 면해 있지는 않지만 해양성 기후의 영향을 받는 수원, 용인 지역도 중부 서안형에 포함되며, 경기도 이천을 경계로 중부 내륙형과 구분된다.

중부내륙형은 경기 동북부, 충북 북부, 강원지역을 포함한다. 충북지역 또한 남북으로 긴 지형으로 청주를 경계로 체천, 단양, 청주는 중부 내륙형에 속하고 보은, 영동, 옥천은 남부 내륙형에 속한다. 또한 강원지역인 춘천, 철원, 홍천과 함께 영서지역은 중부 내륙형에, 속초, 강릉, 동해를 포함하는 영동지역은 중부 동안형으로 구분되어 동일한 행정구역 내에서도 여러 기후대로 구분될 수 있음을 보여주었다.

남부 내륙형은 충북, 전북, 경북 지역에 걸쳐 있고, 봉화 319.8m, 영주 210.8m, 보은 175.0m 등 상대적으로 해발고도가 높은 지역을 다수 포함하고 있으며, 우리나라 기후대 중 가장 넓고, 많은 지역을 포함하고 있다.

대구특수형은 대구지역 분지를 둘러싸고 있는 지역으로 경상북도와 경상남도 일대에 걸쳐 있고, 중부동해안의 인접한 지역을 제외하며, 우리나라 동쪽지역을 포함된다.

남해안형은 남부 서쪽 해안부터 남부 동쪽 끝인 포항까지 포함하는 기후대이다.

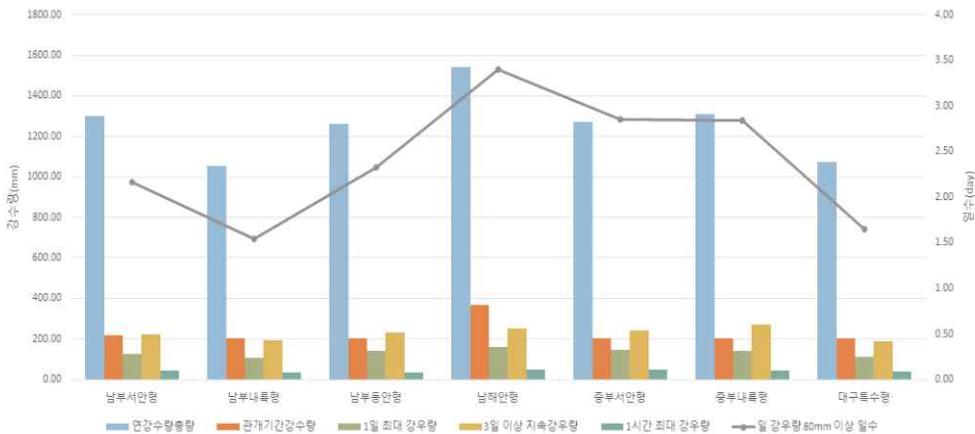
(표 3.4) 기후대 특성 분석을 위한 기상데이터 수집 지역

기후대	주요행정구역
중부서안형	파주, 인천, 수원, 용인, 이천, 서산, 당진, 태안, 강화, 천안,
중부내륙형	동두천, 청주, 제천, 원주, 영월, 정선, 춘천, 철원, 연천, 홍천
남부서안형	군산, 전주
남부동안형	속초, 강릉, 동해, 울진, 영덕,
남부내륙형	보은, 문경, 영주, 봉화, 장수, 상주, 남원, 합천
대구특수형	안동, 의성, 청송, 영천, 경주, 밀양, 구미
남해안형	부산, 해남, 완도, 고흥, 순천, 여수, 통영, 울산, 창원, 거제, 남해, 진주

기상자료 분석결과

강수자료 분석 결과 연강수 총량은 남해안형이 1,540mm가 내려 가장 많은 것으로 나타났고, 가장 적은 강수량 기록을 보인 대구형 보다 30% 이상 강수량이 더 많은 것으로 분석되었다. 남해안형에서 관개기간인 4월부터 6월까지 강수량은 369mm로 가장 많은 것으로 나타났으며, 대구형 및 중부서안형에 비해 100mm 이상 많은 값으로, 봄철 강수가 집중됨을 알 수 있다. 일 강수량 80mm 이상 일수는 남부내륙형과 대구특수형이 각각 1.54일, 1.65일로 가장 적을 일수를 보였다. 남부내륙형은 우리나라 기후대 중 경상북도와 경상남도에 걸쳐 가장 넓은 지역을 포함하고 있으며, 낙동강 유역도 포함하고 있다. 그러나 강수일수가 타 기후대에 비해 적고 강수량도 적어 낙동강 유역의 용수 활용이 매우 중요한 문제이다. 따라서 저수지, 양·배수 시설 등 농업용수공급을 위한 시설물이 남부내륙형에 주로 속하는 경상남도와 경상북도 지역에 주로 밀집해 있는 것을 알 수 있다.

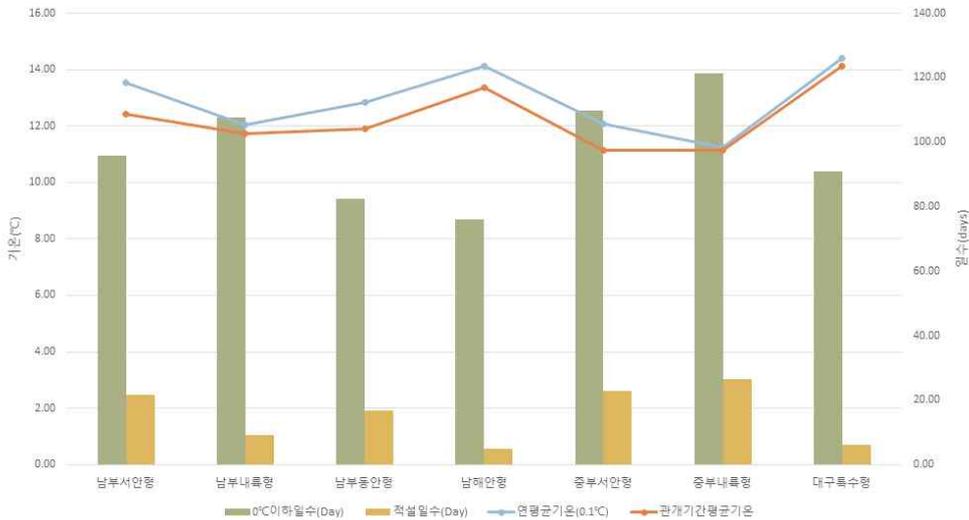
남해안형 지역은 강수량도 최다이고 특히 관개기간 강수량이 가장 많은 기후대이다. 1일 지속 강수량 또한 타 기후대 지역에 비해 많은 것으로 조사되었다. 이는 태풍의 영향이 가장 클 것으로 생각되고, 80mm 이상 일수 또한 3.40일로 가장 많은 것으로 나타났다.



< 그림 3.3 > 기후대별 강수량 자료 분석 결과

최고기온극값을 살펴보면 대구형 지역이 가장 높은 온도를 보이고, 최저기온극값은 남부 내륙형 지역인 것으로 분석되었다. 관개기간은 시기 상 이른 봄으로 남해안형 지역에서 가장 높은 온도 분포를 보이는 것으로 나타났다.

중부 내륙형 지역이 0°C 이하 일수가 121.18일로 가장 많은 것으로 분석되었고 중부 서안형이 109.73일로 나타났다. 상대적으로 남부 동안형과 남해안형은 중부 서안형과 동일하게 해안에 접해 있지만 82.27일과 75.96일로 30일 이상 차이가 나는 것으로 나타났다. 해발고도가 높은 남부 내륙형은 0°C 이하 일수가 107.72일로 중부 내륙형과 더불어 100일 이상 나타나는 것으로 조사되었다. 양·배수장 시설의 경우 펌프의 동파와 토목 구조물의 동결융해에 따른 성능저하를 발생시킬 수 있는 요인으로 생각되며, 이에 따른 기후대별 적절한 유지관리 전략 수립이 필요할 것으로 판단된다.



< 그림 3.4 > 기후대별 온도자료 분석 결과

습도는 대구형 지역이 가장 낮은 것으로 나타났고, 남부 서안형 및 중부 서안형이 약 70%로 가장 높은 값을 보였다. 이는 해안과 인접한 남부 동해안형 및 남해안형의 6~7% 정도 값을 보였다.

3.3 기후대 별 조사지점 선정

기후대별 양·배수장의 성능평가를 위한 현장조사를 시행하였다. 현장조사 대상지구는 통계처리에서 유의한 결과를 얻기 위해 30곳으로 선정하였고, 제주도와 울릉도를 제외한 8개 기후대에 대해 조사하였으며, 각 기후대별 3-4개소를 지정하였다. 세부 지역 및 시설 위치는 표 3.5, 표3.6과 같다.

총 30개 지구 중 양수장 27개 지구, 양·배수장 3개 지구가 포함되어 있으며, 그림 3.5와 같이 안전점검 등급 획득 결과 B등급이 18개 지구로 가장 많았고, D등급도 2개 지구를 포함한다.



< 그림 3.5 > 현장조사 대상지구 현황

전체 수혜면적은 1종시설인 파주 대단위 양수장이 4,513ha로 가장 넓은 면적에 용수를 공급하고 있었고, 울진 외선미1 양수장이 3ha로 가장 작은 영역을 담당하고 있는 것으로 나타났다. 유지보수를 시행한 이력이 있는 양수장으로 선정하였으며, 토목, 건축, 전기, 기계 분야를 전반적으로 분석하기 위해 각 분야의 설비들이 모두 갖춰진 지구를 선정하였다. 또한 기후대는 같지만 남부내륙형 시설과 같이 행정구역이 전북, 경남, 경북이 혼재되어 있는 형태를 보여, 행정구역에 따른 유지관리에서 기후대에 따른 관리로 전환이 필요함을 알 수 있다.

(표 3.5) 농업기반시설물 성능저하 요인분석 및 평가항목 개발을 위한 현장조사 대상지

기후대	지역	표준코드	시설구분	시설명	종별구분	수혜면적(ha)	착공일	준공일	유지보수	안전점검	등급	행정구역	행정구역	
2	중부서안형	홍성	4480020043	양수장	와룡1	3중	48	1975-01-01	1976-01-01	1998-12-01	2018-09-18	B	충청남도	홍성군
		서산	4421020036	양수장	성연	1중	831	1985-04-01	1989-10-30	2014-12-11	2018-06-20	B	충청남도	서산시
		서산	4421020034	양수장	대산	3중	1,105	1985-04-01	1987-10-30	2014-12-11	2018-09-27	B	충청남도	서산시
		파주	4151020032	양수장	대단위	1중	4,513	1976-01-01	1980-01-01	2008-12-09	2018-06-26	B	경기도	파주시
5	중부내륙형	홍천	4272020010	양수장	외삼포	3중	42	2001-01-03	2002-12-30	2009-06-10	2018-05-28	A	강원도	홍천군
		원주	4213020006	양수장	섬강	3중	194	1987-01-01	1987-12-21	2006-12-15	2018-09-03	B	강원도	원주시
		청주	4371030001	양배수장	서평	2중	55	1998-12-23	2003-12-20	1999-06-28	2018-09-18	B	충청북도	청주시
8	남부서안형	부안	4580020055	양수장	난산	3중	2,700	2006-09-15	2007-12-18	2015-07-24	2018-06-11	A	전라북도	부안군
		부안	4580020018	양수장	당상	3중	300	1998-01-01	1998-12-31	2015-08-13	2018-06-07	B	전라북도	부안군
		고창	4579020042	양수장	사창	3중	20	1977-01-01	1979-01-01	2013-07-26	2018-05-28	B	전라북도	고창군
		고창	4579020024	양수장	금평	3중	80	1998-02-25	1998-12-15	2012-08-22	2018-06-18	A	전라북도	고창군
12	남부동안형	강릉	4215020001	양수장	구정	3중	35	1985-01-04	1985-12-30	2005-06-14	2018-06-11	C	강원도	강릉시
		영덕	4777020034	양수장	부흥	3중	20			2008-07-22	2018-06-25	B	경상북도	영덕군
		울진	4793020041	양수장	외선미1	3중	3	2003-05-02	2005-12-31		2018-06-04	A	경상북도	울진군

(표 3.6) 농업기반시설물 성능저하 요인분석 및 평가항목 개발을 위한 현장조사 대상지 (계속)

기후 대	지역	표준코드	시설 구분	시설명	종별 구분	수해면 적(ha)	착공일	준공일	유지보수	안전점검	등급	행정구역	
남부 내륙형	1	완주 4571020005	양수 장	봉동	3종	287	1974-01-01	1974-12-30	2013-05-29	2018-09-10	C	전라북도	완주군
	1	완주 4571020001	양수 장	주교	3종	205	1990-04-01	1990-10-18	2018-09-05	2018-09-12	D	전라북도	완주군
	17	남원 4519020039	양수 장	용산	3종	59	1997-06-12	1998-05-07		2018-06-20	B	전라북도	남원시
	18	거창 1888020050	양수 장	석강1	3종	52	1987-01-01	1988-12-30	2002-12-20	2018-06-18	B	경상남도	거창군
	19	합천 4889020098	양수 장	신평	2종	180	2002-01-01	2007-12-31		2018-06-20	B	경상남도	합천군
	20	의성 4773020152	양수 장	양서	1종	2378	1966-01-01	1985-12-30	2014-02-17	2018-05-28	A	경상북도	의성군
	21	의성 4773020125	양수 장	낙정	3종	269	1984-01-01	1985-12-30	2004-07-09	2018-08-31	A	경상북도	의성군
	22	밀양 4827020001	양수 장	내이	2종	395	1996-01-01	1996-11-29	2014-04-17	2018-06-08	B	경상남도	밀양시
	23	밀양 4827020057	양수 장	반월	3종	75	1988-01-01	1989-01-01	2012-04-02	2018-06-11	C	경상남도	밀양시
	24	대구 2771020040	양수 장	현풍	2종	11	1979-11-08	1983-12-31	2008-10-22	2018-06-05	B	대구광역시	달성군
대구 형	25	대구 2777030004	양배 수장	지동	1종	96	1985-07-24	1990-12-31	2017-03-01	2018-06-08	D	대구광역시	달성군
	26	대구 2771020053	양수 장	대암	2종	308	1989-12-01	1994-12-31	2009-12-29	2018-06-05	B	대구광역시	달성군
	27	고흥 4677020024	양수 장	장암2	3종	68	1998-01-01	1998-03-31	2005-11-10	2018-09-11	C	전라남도	고흥군
남해 안형	28	고흥 4677020003	양수 장	봉암	3종	291	1983-01-01	1983-12-30	2010-12-15	2018-09-18	B	전라남도	고흥군
	29	김해 4825030013	양수 장	마찰	3종	570	1912-03-04	1916-03-20	2004-01-30	2018-09-13	B	경상남도	김해시
	30	김해 4825020002	양배 수장	생림	1종	294	2004-10-24	2011-12-30	2009-01-01	2018-06-12	B	경상남도	김해시

3.4 현장조사를 위한 조사표 작성

양·배수장 성능평가 분석을 위한 현장조사는 2018년 10월~11월 중 시행되었다. 현장조사는 토목, 기계, 건축, 전기, 부대시설에 따라 현재 운영 현황, 만족도, 문제점 등을 조사하였다.

현장 조사표는 토목 분야에서는 흡입수조 및 토출수조의 균열, 백태, 박리·박락 등을 정성평가 할 수 있도록 구성하였고, 진동 등으로 펌프 연결 부위의 콘크리트 부분에 발생할 수 있는 균열 등을 조사하였다.

기계 분야에서는 펌프를 비롯하여 제진기, 스크린, 크레인을 대상으로 조사를 수행하였다. 펌프 가동일수 및 작동시간, 관리주체 등을 조사하였고, 유지관리에 소요되는 비용, 유지관리 우선순위 등을 조사하였다.

건축 분야는 건축물의 외관, 형식 등을 조사하였다. 전기 분야는 배전판의 위치와 전력공급이 원활한지 조사하였다.



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 전기분야 : 배전판



(d) 건축 분야 : 건축물

< 그림 3.6 > 양·배수장 분야별 현장조사 내용

토목

	바닥판						벽체						펌프 연결부위			
	강도			누수	균열	부식	강도			누수	균열	부식	강도			누수
	1	2	3				1	2	3				1	2	3	
spot . 1																
spot . 2																
spot . 3																

	흡입수조						토출수조						기타 시설관리상태			
	도수로 관리	형상	연결부 위 누수	마모	백화	균열	하류부 환경									
관리상태																

< 그림 3.7 > 양배수장 성능평가 현장조사를 위한 조사 시트

기계

구분	펌프						제진설비						크레인		
	부식	누수	작동여부	마모	소음	진동	부식	작동여부	운영상태	이물질 제거방법	형식	청결정도	부식	작동여부	관리여부

건축

구분	형식	관리수준	향	온도	습도
관리상태					

< 그림 3.8 > 양배수장 성능평가 현장조사를 위한 조사 시트 (계속)

현장조사 계획수립 및 사전 조사

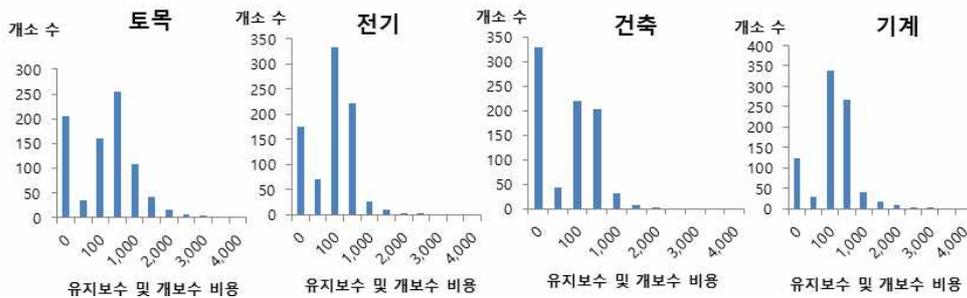
3.4.1 양·배수장 유지관리 비용 분석

한국농어촌공사에서 관리하고 있는 양·배수장은 양수장 7,052개소, 양·배수장 126개소이다. 한국농어촌공사는 이 시설들의 운영 및 관리, 보수보강 비용, 안전진단 결과 등을 데이터베이스화 하여 관리하고, 지속적으로 모니터링하고 있다.

본 연구에서는 이들 중 전국에 분포하고 있는 양수장 834개소의 유지관리 비용을 기술통계분석 하였고, 그 결과는 <그림3.9>와 같다.

양수장 유지관리는 토목, 기계, 전기, 건축 부분으로 구분할 수 있고, 각 항목에 대한 유지관리는 해당 시설의 운영에 필요한 우선순위에 따라 선택적으로 이루어진다.

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 많았다. 이를 토대로 양수장의 유지관리는 기계, 전기, 토목, 건축 부분의 순으로 이루어지는 것을 알 수 있었다. 모든 분야는 전체적으로 소액의 비용이 소요되는 상시적 유지관리뿐만 아니라 대규모 보수보강도 이루어지고 있으며, 토목분야는 상대적으로 다른 분야보다 높은 금액의 유지관리비용이 집계되어 토목분야의 유지보수비용이 다른 분야에 비해 더 많이 들고 있음을 분석하였다.

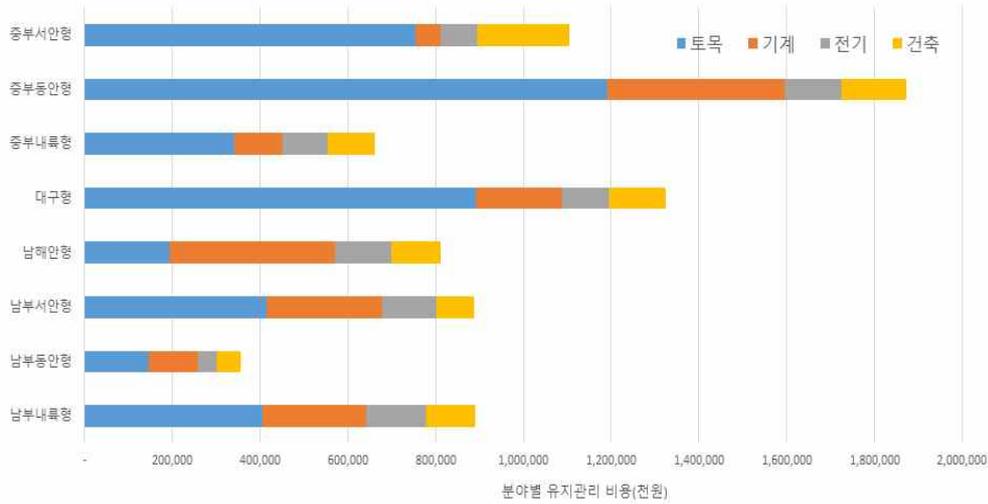


< 그림 3.9 > 분야별 유지관리비 분석 결과(금액단위: 백만원)

기후대별 유지관리 비용 분석

양·배수장을 대상으로 한 유지관리 비용은 강원도 및 경상북도 해안 지역을 대표로 하는 중부 동안형의 비용 소요가 가장 큰 것으로 나타났고, 대구형 지역과 중부 서안형 순으로 나타났다.

토목부분의 비용은 중부동안형이 가장 많은 비용을 소요하는 것으로 조사되었다.



< 그림 3.10 > 기후대별 유지관리 비용 분석

현장조사 결과 분석

3.4.2 대상지구 일반현황

대상지구 일반현황은 대상지구에서 운영하고 있는 펌프의 수를 비롯하여 사용 연수, 보수보강 사업 항목을 조사하였다.

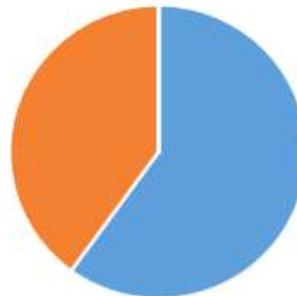
시설사용연수는 ① 10년 미만, ② 10년~15년, ③ 16년~20년, ④ 20년 이상으로 구분하였고, 보수보강 사업 항목은 ① 토목, ② 건축, ③ 기계, ④ 전기, ⑤ 부대시설 항목으로 조사하였다.

시설 운영기간은 총 10개 시설 중 20년 이상이 4곳으로 가장 많았고, 16~20년 3곳, 10~15년 1곳, 10년 미만 2곳으로 나타났다. 최근 보수보강 시기는 10년 미만이 6곳으로 나타났으며, 보수보강 사업 내용은 기계 분야가 가장 많은 곳으로 나타났다.



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

(a) 시설 사용연수



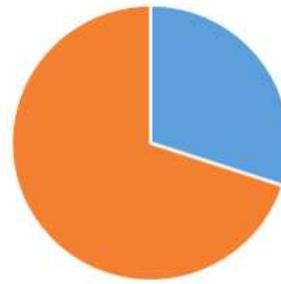
■ 10년 미만 ■ 10년-15년 ■ 16년-20년
■ 20년 이상 ■ 기타

(b) 최근 보수보강 시기



■ 토목 ■ 건축 ■ 기계 ■ 전기 ■ 부대시설

(c) 보수보강 사업 분야



■ 예 ■ 아니오

(d) CCTV 설치 여부

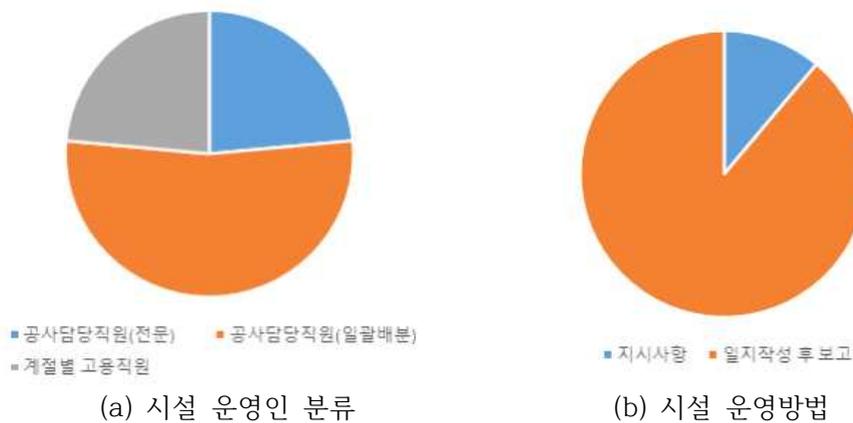
< 그림 3.11 > 대상시설물 일반현황 질의 결과

대상지구 운영인원 및 운영방법

대상지구 운영인원과 운영방법은 ‘시설물 운영 및 관리 인력’과 ‘운영 주체’에 대한 질의를 통해 양·배수 시설의 관리 방법을 알아보았다.

양·배수 시설은 공사에서 전담으로 맡아서 운영하는 직원이 4개소이고, 계절별 전문 고용인력이 운영하는 지구도 4개소로 조사되었다. 한편 공사직원이 관리지역 내 시설물을 일괄적으로 배분받아 운영하는 경우가 가장 많았다. 계절고용인력과 공사담당직원이 나누어 시설을 운영하는 지구가 있어 복수응답 하도록 하였다.

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 조사되었다.

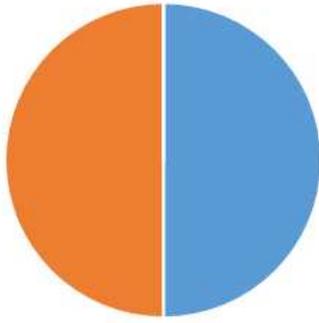


< 그림 3.12 > 대상시설물 운영인원 및 운영방법

연간가동일수 및 시간

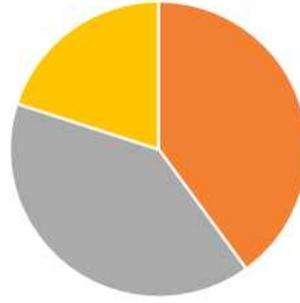
시설물의 연간가동일수 및 시간 자료는 연중 운영이 집중되는 시기, 1회 작동 시 연속으로 운영되는 시간, 주요 기능, 양수의 주요 목적 등으로 구분하였다.

그 결과 총 10개의 조사지역 중 시설물의 주요 기능은 양수라고 응답한 경우가 9개소로 가장 많았고, 배수를 주로 시행하는 곳도 1개소가 있었다. 또한 상시 양수를 시행하는 곳과 용수 급수기에 맞춰 시설 운영이 집중되는 지구가 각각 5개소로 나타났다. 시설 운영 시 10시간~15시간 운영과 16~24시간 운영하는 곳이 각각 4개소로 나타났고, 24시간 이상 운영하는 지구도 2개소가 있는 것으로 나타났다. 양수한 용수의 주요 이용처는 농업용수가 가장 많고 생활용수 공급에 이용하는 지구도 1개소 있는 것으로 나타났다.



■ 상시 ■ 급수기 ■ 흡수기 ■ 기타

(a) 시설 운영 집중시기



■ 10시간 미만 ■ 10시간-15시간 ■ 16시간-24시간 ■ 24시간 이상 ■ 기타

(b) 1회 작동시 운영시간



■ 양수 ■ 배수

(c) 주요 기능



■ 농업용수공급 ■ 생활용수공급 ■ 공업용수공급 ■ 기타

(d) 용수 목적

< 그림 3.13 > 대상시설물 연간가동일수 및 시간

유지관리 및 보수보강 현황

양·배수 시설물의 유지관리 및 보수보강 현황에 대한 내용을 조사하였다.

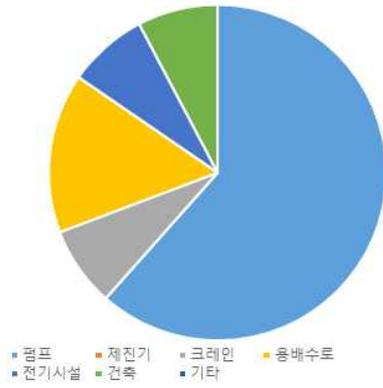
보수보강 분야에 대한 질의는 고장이 가장 빈번한 분야가 어느 부분인지 세부 사항으로 ① 펌프 ② 체진기 ③ 크레인 ④ 용·배수로 ⑤ 전기시설 ⑥ 건축시설로 질의하였고, 고장이 아니더라도 평상시 유지관리가 빈번한 분야에 대한 질의도 ① 펌프 ② 체진기 ③ 크레인 ④ 용·배수로 ⑤ 전기시설 ⑥ 건축의 항목으로 구분하였다.

보수보강 분야에 대한 질의는 시설의 유지관리 비용예산 중 가장 많이 소요되는 부분은 어느 분야인지 ① 펌프 ② 체진기 ③ 크레인 ④ 용·배수로 ⑤ 전기시설 ⑥ 건축의 동일 항목으로 질의하였고, 예산 재

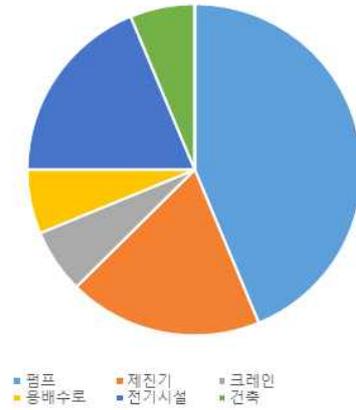
배분을 고려하는지에 대한 의견도 함께 조사하였다.

조사 결과 고장이 가장 많이 발생하는 분야는 펌프로 조사되었다. 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 나타났다. 또한 고장은 아니지만 평상시 유지관리를 항상 수행하는 분야도 펌프로 나타났고, 이는 운영이 많은 곳일수록 유지관리 횟수도 잦은 것으로 나타났다. 또한 제진기에 대한 유지관리도 상시 이루어지는 것으로 조사되었다.

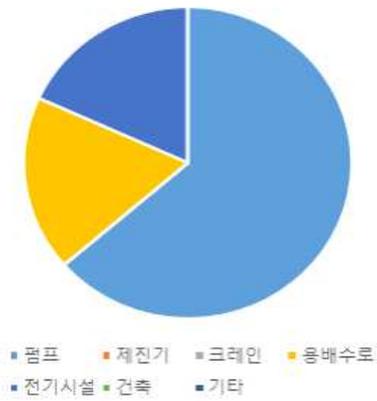
보수보강 비용 또한 펌프 비용이 가장 큰 것으로 조사되었고, 용배수로 유지관리에 소요되는 비용이 그 다음으로 나타났다.



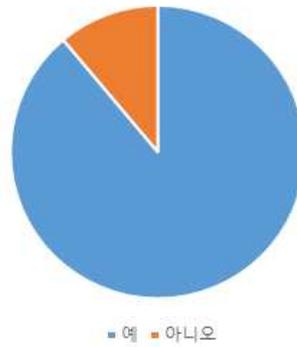
(a) 고장이 빈번한 분야



(b) 유지관리가 빈번한 분야



(c) 보수보강 비용의 주 분야



(d) 예산 재 배분 고려

< 그림 3.14 > 대상시설물 유지관리 및 보수보강 현황

성능저하 요인 도출

가. 성능저하 요인 체계 분류

안전점검 및 정밀안전진단을 포함한 안전진단의 경우 엔지니어의 주관적 잣대에 의해 평가가 이루어지고 있어 일괄적인 정량화가 어려운 실정이다. 본 연구에서 개발하고자 하는 평가 모델은 주관적 관점은 배제되며 충분히 객관적 자료만으로 구성할 필요가 있다고 판단하였다. 평가모델은 시계열 복합요인들로부터 미래의 상태를 평가함으로써 향후 농업기반시설물의 유지관리 및 개보수사업을 위한 예산 편성의 어려움을 지원할 수 있는 의사결정(Decision Support) 시스템의 일부로 쓰일 수 있도록 개발방향을 설정하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

평가모델을 위한 성능저하 요인들은 구조물의 구성요소별로 그 가중치가 다를 것으로 판단하였다. 성능저하 요인들로는 기후대, 기상인자, 양·배수장 유지관리방법 등이 언급될 수 있으며, 전체 항목들에 대하여 성능(이수/치수/통합) 및 대응변수별로 구분하였다. 양·배수장의 평가 과정을 분석한 결과 기계, 토목, 전기 등의 파트로 대분류가 가능하였다.

(표 3.7) 양·배수장 대분류

분류	성능/안전	평가 (점수화)
기계	이수	
기계	치수	
토목	안전	

성능저하 요인의 체계 분류를 위해서, 한국농어촌공사가 주관하는 ‘농어촌용수에 대한 기후변화 영향 실태조사 및 취약성 평가방안 고도화 연구’의 일환으로 수행되는 전문가 조사에서 분류한 항목을 채용하여 과제 별 상호 연관성을 높이고자 하였다. 대응변수는 기후노출, 민감도, 적응능력으로 구성된다. 전문가 AHP 중요도 평가는 대분류를

비롯하여 총 8개의 시트로 구성되어 있으며, 농어촌용수의 이용과 관리에 있어 기후변화에 대한 잠재적 취약성을 평가하기 위해, 다양한 관련인자의 중요도를 관련 분야 전문가의 식견과 직관적 판단을 바탕으로 조사하는데 목적이 있다.

(표 3.8) 양·배수장 취약성 관련 대응변수 분류

항 목	분석목록
기후노출	계절별 평균기온, 강우일수 등 기상관련 항목: 시스템이 기후와 관련된 자극에 노출되는 정도
민감도	증발산량, 필요수량, 가뭄·홍수 피해 등 기후에 영향을 받는 항목: 기후관련 자극에 의해 시스템이 영향을 받는 정도
적응능력	시설관리 인원수, 유지관리 비용 등 기후 영향에 대처할 수 있는 항목: 시스템이 기후변동, 극한상황을 포함한 기후변화를 조절하고 잠재적인 피해를 완화하여 주어진 기회를 활용하고 결과에 대처하는 정도

(표 3.9) 양·배수장 취약성 관련 대응변수와 역할 관계

분류	성능/안전	대응변수
전기	이/치수(양·배수장 성능)	기후노출
		민감도
		적응능력
기계	이수(양수장 성능)	기후노출
		민감도
		적응능력
기계	치수(배수장 성능)	기후노출
		민감도
		적응능력
토목	안전	기후노출
		민감도
		적응능력
전체	전체	기후노출
		민감도
		적응능력

나. 성능평가 모델을 위한 관련 변수

성능평가모델의 관련 변수 선정을 위해 시설물 개요와 현황자료는 한국농어촌공사 DB RIMS를 이용한 사전조사로부터 취득하였으며 시설제원, 가동월보, 개보수현황, 유지보수현황, 전기사용료 등 성능저하 요인에 반영되는 구체적 자료들을 분석하였다.

(표 3.10) 시설물 개요 예 (성연양수장)

시 설 명 : 성연양수장(농업생산기반 1종 시설) 위 치 : 충청남도 서산시 성연면 명천리 시설관리자 : 한국농어촌공사 서산·태안지사장 준공년도 : 1989년 수혜면적 : 831.1 ha 주요시설(1) 양 수 장 : 양수장 건물 1개동 ① 원 동 기 : 6대(634kw×6대) ② 펌 프 : 6대(Φ650mm×6대) (2) 용수로 : 42조 70.0km(구조물 : - %) (3) 배수로 : - 조 - m(구조물 : - %) (4) 진입도로 : 양수장까지 콘크리트 포장도로로 연결되어 있음 (5) 수리시설 보강·개보수 공사 시행 : 없음 시설물 관리직원 : 4급 안준영

(표 3.11) 정밀안전진단 및 안전점검 결과 예 (성연양수장)

구 분	진단(점검) 일자	평가 등급	진단 및 점검내용	비고
정밀 안전진단	2004.11.30	C	<ul style="list-style-type: none"> - 건물 기둥 및 벽체 하부 염분경화현상 - 건물 주변 퇴메움토사 함몰 우려 - 흡입수조 좌우 측벽 및 제수문 대형박락 및 철근부식 - 건축부분 옥상층 보, 슬래브 및 기둥 콘크리트 균열 - 펌프 진동 및 소음 발생, 주 변압기 외함부식 	
안전점검	2013.03. 20	D	토목 D, 건축 B, 기계 D, 전기 B	정기
	2012.11. 23	C	토목 B, 건축 B, 기계 D, 전기 B	일상

(표 3.12) 성연양수장의 전력사용량, 가동시간, 요금(예)

표준코드	사용년도	사용월	사용량	가동시간	전력요금
4421020036	2008	1			
4421020036	2008	2			
4421020036	2008	3			
4421020036	2008	4	0	0	47,960
4421020036	2008	5	296,748	66	7,610,760
4421020036	2008	6	1,013,832	226	24,405,350
4421020036	2008	7	535,068	119	13,195,680
4421020036	2008	8	146,196	33	4,087,440
4421020036	2008	9	632,628	141	15,480,750
4421020036	2008	10	283,752	63	7,312,980
4421020036	2008	11	0	0	698,420
4421020036	2008	12	540	0	675,860
4421020036	2009	1	324		119,740
4421020036	2009	2			
4421020036	2009	3			
4421020036	2009	4	0		60,010
4421020036	2009	5	203,364	54	5,289,540
4421020036	2009	6	1,021,140	268	24,680,250
4421020036	2009	7	758,232	199	18,523,630
4421020036	2009	8	327,384	86	8,424,930
4421020036	2009	9	446,292	117	11,210,020
4421020036	2009	10	432,288	114	10,755,630
4421020036	2009	11			
4421020036	2009	12	4,500		452,120

번호	표준코드	분부	지사	시설명	위치			공사기간		공사내역	사업비 (천원)	사업명	지구명	비고
					서군	읍면	동리	부터	까지					
1	4421020036	충남	서산 태안	성연양 수장	서산시	성연면	영천리	2005-11-08	2008-12-10	-	1,155,782	-	대호	운산양수장 부대토목 등, 성연, 운산양수장 펌 프교체, 수배전반, 전동 기, 변압기 교체, 운산양 수장 및 성연양수장 보 수
2	4421020036	충남	서산 태안	성연양 수장	서산시	성연면	영천리	2014-12-11	2017-12-10	-	2,800,000	-	셀매	흡입수조 보수 1식, 인입 수로 재설치 1식, 펌프 및 발브 : 634kw×650mm×6대, 유 입식변압기 및 수배전반 등 1식 (3,000kVA), 양수 장속 리모델링 1동
3	4421020036	충남	서산 태안	성연양 수장	서산시	성연면	영천리	2010-05-17	2010-05-31	-	15,900	성연양 수장 토 출반 보 수공사	대호	성연양수장토출관교체 (PEIII복강관 6M)
4	4421020036	충남	서산 태안	성연양 수장	서산시	성연면	영천리	2009-03-27	2009-04-28	-	600	양수장 기계설 비보수 공사	대호	바이패스관교체50mm*5 개

< 그림 3.19 > 성연양수장의 보수보강 및 유지보수 비용(예)

다. 성능저하 관련 요인 도출

연 단위로 구성된 시계열 자료로 객관적 수치를 제시할 수 있는 자
료들만으로 구성하였으며, 성능평가 항목과 관련하여 안전점검 및 정
밀안전진단에서 소요되는 비용과 시간이 높은 인자는 제거하였다.

(표 3.13) 양·배수장 성능평가모델과 관련된 변수

분류	성능 (이/치수)/ 안전	대응변수	항목	조사 방법	단위	비고
기계	이/치수	적응능력	시설기준구분	실내	1종/2종/3종	
기계	이/치수	적응능력	기계 누적 운영 시간	실내	hr/Year	
기계	이/치수	적응능력	펌프 운영 대수	실내	운영대수/총대수	
기계	이/치수	적응능력	총 펌프 용량	실내	L/hr	
기계	이수	적응능력	총 양수 가능량	실내	L	
전기	이/치수	적응능력	전기 사용량	실내	kWh/Year	
전기	이/치수	적응능력	변전설비 고장횟수	실내	고장횟수/Year	
전기	이/치수	적응능력	변전설비 개보수비	실내	₩/Year	
전체	통합	적응능력	설립연도	실내	Year	
전체	통합	적응능력	보수보강 사업비	실내	₩/Year	
전체	통합	적응능력	보수 보강 인력	실내	명/year	
기계	이/치수	민감도	펌프 연간 운영일수	실내	일	
전체	통합	적응능력	안전점검결과 - 전체	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	안전점검결과 - 토목	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	안전점검결과 - 토목_건물	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	안전점검결과 - 토목_흡입	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	안전점검결과 - 토목_토출	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	안전점검결과 - 건축	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	안전점검결과 - 기계	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	안전점검결과 - 전기	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	정밀안전진단결과 - 전체	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	정밀안전진단결과 - 토목	실내	A, B, C, D, E	

전체	통합	적응능력	정밀안전진단결과 - 토목_건물	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	정밀안전진단결과 - 토목_흡입	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	정밀안전진단결과 - 토목_토출	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	정밀안전진단결과 - 건축	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	정밀안전진단결과 - 기계	실내	A, B, C, D, E	
전체	통합	적응능력	정밀안전진단결과 - 전기	실내	A, B, C, D, E	
기계	이수	적응능력	제진기 유/무	현장	유/무	
토목	안전	적응능력	벽체 누수 유/무	현장	유/무	
토목	안전	적응능력	바닥판 누수 유/무	현장	유/무	
토목	안전	적응능력	펌프 주변 누수 유/무	현장	유/무	
토목	안전	적응능력	이 송수관 누수	현장	유/무	
토목	안전	적응능력	내·외부등침하정 도	현장	mm	외부침하 량측정
기계	이수	민감도	연평균 양수량	실내	L/Year	
전체	통합	민감도	태풍경보발생횟수	실내	횟수/Year	
전체	통합	민감도	지진발생횟수 및 그 규모	실내	횟수/Year	
전체	통합	민감도	연 1시간 최대 강우량	실내	mm/hr (max)	
전체	통합	민감도	2일 이상 최대강우량	실내	횟수(or mm)/Year	설계기준
전체	치수	민감도	일강우량 80mm이상 일수	실내	day/year	
전체	이/치수	민감도	수해면적	실내	ha	지역 의존도
토목	안전	기후노출	해안인접거리	실내	km	
토목	안전	기후노출	기후대 구분(7개)	실내		기후변화 시나리오
전체	통합	기후노출	연강우량	실내	mm	
전체	통합	기후노출	연 강설횟수	실내	mm(or횟수)/Year	
토목	안전	기후노출	동결융해 빈도 수	실내	횟수/Year	동결융해 빈도 수
전체	치수	기후노출	100년빈도 홍수량	실내	빈도/Year, m ³ /sec	합리식/ 크레이븐

전체	통합	기후노출	습도 일수	실내	day/Year	40~60% 사이 일수
전체	통합	기후노출	연평균 기온	실내	C°	
전체	이수	기후노출	관개기간 평균기온	실내	C°	관개기간 (5월~9월)
전체	통합	기후노출	연평균 강수량	실내	mm	
전체	이/치수	기후노출	관개기간 강수량	실내	mm	관개기간 (5월~9월)
전체	이수	기후노출	연평균 유효 강수 일수	실내	day/Year	
전체	이수	기후노출	연속 무강우 일수	실내	day/Year	
전체	이수	민감도	기준증발산량	실내	mm/day	$E_t = K_t(0.46t + 8.13)^p$
전체	통합	-	양·배수장 구분	실내		
기계	이수	민감도	연평균 유효우량	실내	mm/Year	

성능저하 요인분석 및 대책

3.4.3 성능저하 요인

기후변화가 시설물에 미치는 영향 등을 파악하기 위한 현장조사와 별도로 (표 3.14)와 같이 한국농어촌공사 관한 구역을 크게 3개 권역으로 구분하고 권역별 시설물 운영 실태를 조사하였다. 북부권역, 중부권역, 남부권역으로 구분하고 총 25개 지구를 답사하여 현장조사 및 운영관리자와 미팅을 통한 문제점과 개선의견을 청취하였다.

(표 3.14) 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

<그림 3.20>은 경기 평택지사와 충남 부여지사관할 양·배수장을 조사하는 과정의 일부사진을 나타내었으며, <그림 3.21>은 경북 의성·군위지사관할 낙동강변 양수장의 특이 사항을 나타낸 것이다. 평야부를 관통하여 흐르는 낙동강에는 모래의 퇴적이 많이 발생하여 양수장의 흡입수조 입구를 주기적으로 준설하여 흡입수로의 단면을 확보하고 모래의 흡입에 따른 펌프 임펠러 손상을 막고 있는 것으로 조사되었다.

<그림 3.22>는 여러 형태의 양·배수장 손상모습을 모은 사진으로 기계실 내부의 바닥을 임의의 형태로 보수하여 사용하고 있는 모습도 함께 수록하였다.

<그림 3.23>은 금강변 2단 양수장의 현장조사를 담은 사진으로 대단위 지구 양수장은 지사관할 양수장에 비해 원격 모니터링 시설 및 양수장 건물 내부의 환기 통풍창호의 정비가 잘 되어있었다. 지붕 슬래브 횡방향 거더의 단부를 변단면 처리하여 중앙부를 슬림하게 하는 등 세부적인 곳에 우수한 모습이 다수 발견되었다. 분명 기술적으로 해결될 수 있는 성능저하의 원인들이 많이 있을 것으로 판단되었다. 1단에서 용수를 받아 2단에서 다시 양수를 하는 양수장에서도 하천에서 원수를 취수하는 시설과 크게 다르지 않게 성능저하의 현상이 발

견되었다. 양배수장의 구성은 크게 토목구조물, 건축구조물, 기계설비, 전기설비, 부대설비로 나눌 수 있으며 세부적인 항목은 <그림 3.24>와 같이 나타낼 수 있었다. <그림 3.25>는 배수장의 일반적인 형태를 나타내는 단면도이며, <그림 3.26>은 양수장의 일반적인 형태인 양흡입 와권펌프 양수장의 단면도를 나타내었다.

여러 양수장의 현장조사와 탐문조사를 통해 (표3.15)와 같은 권역별 성능저하 요인을 도출하였다. (표 3.16)은 조사된 성능저하 요인을 기술적 측면, 제도적 측면, 사회적 측면(공급자), 사회적 측면(수혜자)으로 구분하여 정리한 것이다.



< 그림 3.20 > 현장조사 전경



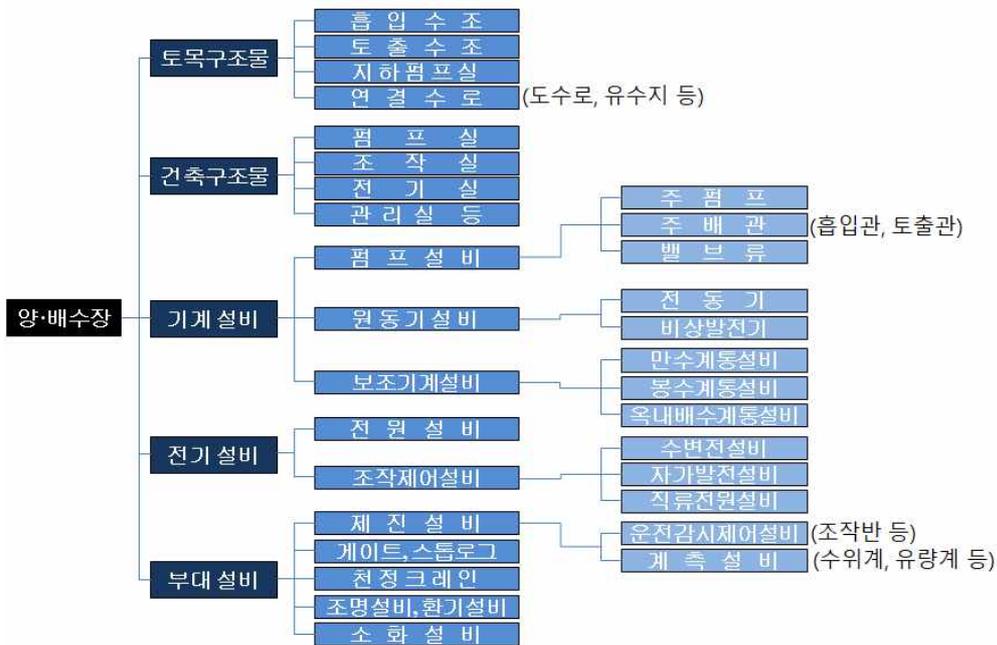
< 그림 3.21 > 낙동강변 양수장 전경



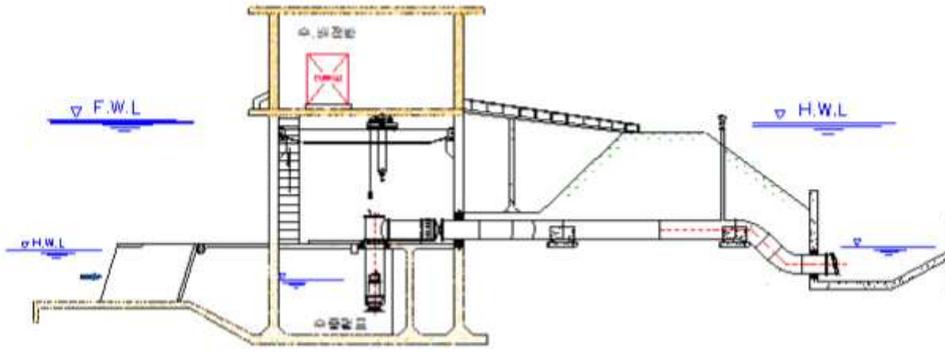
< 그림 3.22 > 천정 및 외벽, 외장재 손상 전경



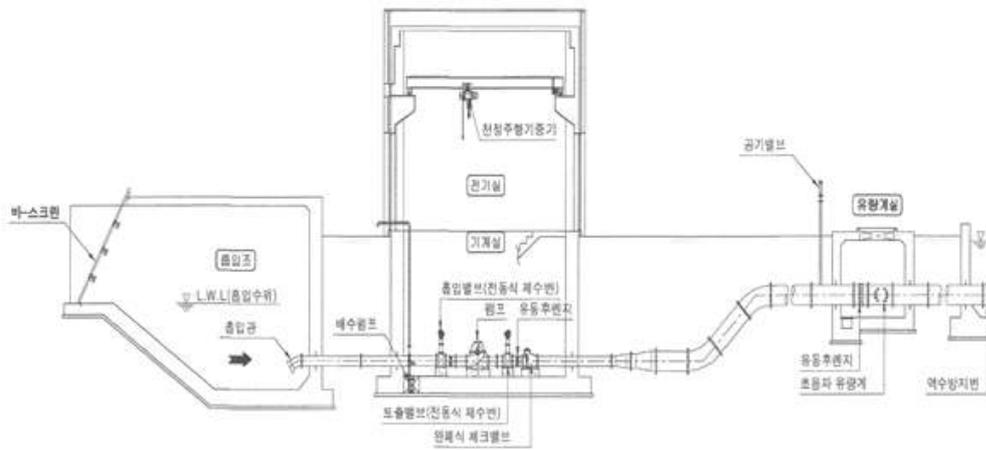
< 그림 3.23 > 금강변 1단 및 2단 양수장 현장조사 전경



< 그림 2.24 > 양·배수장 구성도



< 그림 3.25 > 수중펌프 배수장 단면도(예)



< 그림 3.26 > 양흡입 와권펌프 양수장 단면도(예)

(표 3.15) 권역별 성능저하 요인

수도권	낙동강변	금강변	내륙부
부유쓰레기 유입	모래 유입	퇴적토사 유입	높은 수두
· 잦은 기계 분해 조립 · 와류 발생 · 원활치 않는 유수 흐름	· 펌프 마모 · 유입수로 준설	· 유입수로 토사퇴적, 단면 감소	· 흡입수위 저하로 고양정 발생

(표 3.16) 성능저하 요인 분류

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

3.4.4 성능저하 요인에 대한 대책

부유쓰레기 문제

경기 평택 길음양수장의 경우 <그림 2.27>과 같이 아산호에서 떠내려오는 각종 플라스틱 부유쓰레기로 수중오리피스 형식의 유입구의 일부가 가려 내외 수위차가 1m가량 발생하고 있지만 급수중이며, 수중인 문제로 조치가 어려운 상황에서 영농기 급수를 계속하고 있는 것으로 조사되었다.

유압식 제진기 보다 로터리식 제진기를 선호하고 있는 것으로 나타났는데 이는 <그림 2.28>과 같이 길이가 긴 수조 서식 물풀 등을 유압식 제진기로 끌어올리는 경우 길이가 길어서 다시 내려가는 문제가 발생하며, 고장시 수리가 난해한 점 등을 이유로 들었다.

따라서 신규지구 및 개보수 지구 설계시 지구의 수원특성에 따라 부유물 유입방지 및 제거대책을 반드시 포함하여야 할 것으로 판단된다.

Dry Area 설치

건축물이 압입식인 경우 건물의 벽면만으로 흡입수조와 기계실을 나누거나 수조구조물과 건축물 사이를 토사로 메우는 경우는 누수의 발생 확률을 높이는 방식이다. 지하기계실 누수는 습윤한 환경을 만들어 기계부식, 벽체 철근부식, 콘크리트백태 발생, 내부 도장재의 들뜸발생 등 다양한 문제를 야기 하므로 흡입수조 콘크리트 구조물과 건축물사이에 <그림 2.29>와 같이 Dry Area를 두어

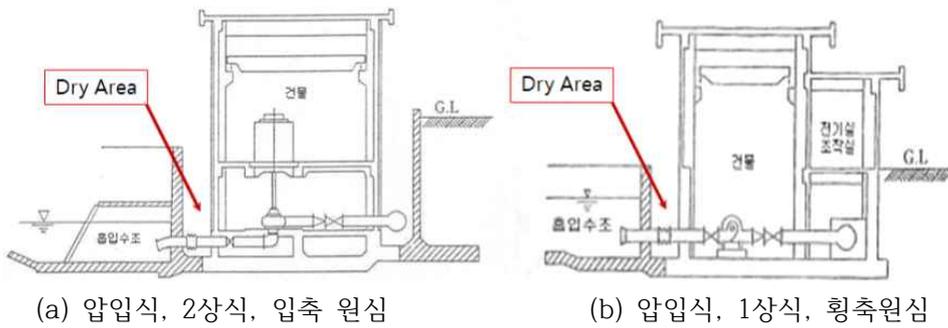
배수관리를 하는 것이 필요할 것으로 판단되었다. 농업생산기반정비사업 계획설 계기준 양배수장편에서도 제안하고 있는 사항이다.



< 그림 2.27 > 부유쓰레기 유입에 따른 흡입수두 저하, 와류 발생



< 그림 2.28 > 수조내부 수조 현황 사례



(a) 압입식, 2상식, 입축 원심 (b) 압입식, 1상식, 횡축원심
 < 그림 2.29 > 펌프실과 수조구조물 사이 Dry Area

전기판넬 표준화

펌프의 가동 순서의 숙지에 대한 부담이 전입은 직원에게는 크다. <그림 2.30> 과 같이 전기패널에 큰 글씨로 '2진공', '2봉수'라고 쓰여있다. 이미 아크릴 판넬에는 제작당시 작은 글씨로 버튼마다 부착되어있다. 하지만 관리인력의 일부를 차지하고 있는 감시원의 평균연령이 68세 달하는 것으로 보아 잘 보이지 않아 별도로 표기한 것으로 판단된다. 또하나의 사진에는 작동순서가 작은 매직 글씨로 쓰여있다. 이미 벽면에는 삽도까지 넣은 작동순서 패널이 걸려있지만 손쉽게 볼 수 있는 직접 쓴 바로 옆 순서가 필요했던 것으로 판단된다.

또한 전보가 잦은 기술자들은 부임받은 지역의 기장에 설치된 전기패널을 매번 숙지해야 한다. 단순스위치 고장시에도 설치업체의 방문이 필요하다. 수배전반 (Switchgear) 제작 표준화가 되어 있다면 설치업체의 유선지원이나 다른 구역의 기술자의 지원으로도 단순 부품교체는 가능할 수 있을 것이라는 게 현장 기술자들의 제언이었다.

이에 대해 한국농어촌공사의 본사 총괄부서 직원은 수배전반의 변경시에는 기술사의 승인이 필요하며 이미 산업통상자원부 제공 기본안이 있으며 이를 기준으로 전기분야 전문업체에서 디자인을 하고 있다고 설명한다.

정리하여 보면 운영관리 부서의 기술자는 공사내 모든 전기판넬의 구조를 표준화하자는 의미로 해석되며, 발주시 표준안을 지킬 것을 요구하자는 것이다. 반면 관리부서는 지구마다의 규모 등 특성과 업체의 전문기술 등을 반영하여 산자부 표준안을 지켜 안전에 문제가 되지 않는 선에서 자유롭게 제작하도록 하고 있다는 것이다.

따라서 이러한 부분에 대해서는 충분한 공개적 논의를 통해 합리적인 방안을 모색할 필요가 있어 보인다.



< 그림 2.30 > 조작 버튼 작동 순서 손글씨



< 그림 2.31 > 다양한 수배전반(Switchgear)의 표준화 필요

C.O.S. 간편결재 시스템

양·배수장의 가동전·후에는 한국전력공사의 책임분계점 C.O.S(Cut Out Switch) 개방과 차단에 공문을 시행하여 업무를 처리하고 있는 것으로 파악되었다. 2016년 농업생산기반정비통계연보에 따르면 국내 양·배수장은 8,233개소이며, 이중 4,496개소를 한국농어촌공사에서 관리하고 있다. 개소수로 보면 55%이지만 사용전력으로 보면 98.5%를 관리하고 있다.

업무의 효율화, 간소화를 위해서 한국전력공사와 한국농어촌공사간 협의를 통해 ‘간편결재 시스템’의 도입이 필요할 것으로 판단된다. 필요시 수시로 개폐를 할 수도 있으며, 개방현황도 한눈에 볼 수 있도록 시스템을 구성하면 편리할 것으로 판단된다. 유휴점검기 시험가동을 통한 기체점검도 가능할 것으로 사료된다. 특히, 최근 한국전력공사에서는 수동개폐에서 원격 자동개폐시스템으로 변경하고 있는 추세에 있으므로 업무의 부담을 덜 수 있을 것으로 판단된다.

주기적인 설계기준의 갱신

양·배수장의 건물 본체 지붕이 평지붕으로 물고임 발생 및 내부 천정 도장 박리현상이 발생되고 있는 것으로 조사되었다. 평지붕의 단점이 물고임, 낙엽 등 오물로 인한 배수구 막힘으로 동해, 방수층 파손으로 이어져 많은 성능저하를 야기시킨다. 뿐만 아니라 건축물 내부 천정에 결로가 발생되어 도장의 손상을 야기시킨다.

따라서 박공지붕이나 외쪽지붕으로 설계할 수 있도록 탄력적인 디자인 여건을 제정할 필요가 있다. 물론 높은 층고의 시공여건을 고려하여 안전한 시스템동바리 등을 반영하여 설계할 수 있도록 제반여건의 조성이 필요하다. 최근에는 경관과 환경을 고려하여 다양한 외관의 디자인을 도입하고 있지만 기존 시설물에서 발생했던 동일한 문제점이 야기 되지 않도록 설계기준의 주기적인 갱신이 필요할 것으로 판단된다.



< 그림 2.32 > 양·배수장 본체 최상부 슬래브(지붕) 배수, 도장 상태



(a) 배수장(1956년 준공), 금강변 양수장

(b) 리모델링 양수장(1982년)

(c) 덴마크 스키테른 양수장(150년 공용)

(d) 네덜란드 흐라버 양수장(1929년)

< 그림 2.33 > 경관고려 디자인의 사례

<그림 2.34>는 건축물 내장재를 옥외에 설치하여 손상이 가속되는 사례이며, 출입구 배수구배의 역구배로 외장재의 손상이 가속되는 사례이다. 이 또한 내·

외장재의 선택 범위의 확대가 필요하며 단기적인 공급관점에서 장기적인 경제성 관점에서 자재의 선택이 필요하다. 이 또한 설계기준의 문제로 귀결되는데 장수명화를 위한 내·외장재의 선택이 가능하도록 기준이 개정되어야 할 것으로 판단된다. 최근 공동주택 장수명화 방안 공청회를 통해 장수명화 주택은 일반 주택에 비해 생애주기 비용이 1/3로 절감되는 방안을 내놓은 바 있듯이 농업생산기반시설인 양·배수장도 경제적 관점에서 자재의 선택이 가능하도록 설계기준의 폭을 넓힐 필요가 있다.



(a) 내장재를 외장재로 사용



(b) 출입구 바닥경사 역구배 외장재 손상



(c) 내부 바닥재를 외장재로 사용



(d) 옥외 출입구에 내장재를 사용

< 그림 2.34 > 장수명화 자재 사용 기준 필요 사례

소결

기후가 시설물에 미치는 영향을 고려한 성능평가를 위해 기후대를 구분하는 방법을 검토하고 한반도의 총 기후대 12개와 1개의 특수지역 구분방식을 채택하여 남한만 7개 기후대로 구분하였다.

제주도와 울릉도를 제외한 8개 기후대별 시설물을 각 기후대별로 3~4개소씩 총

30개소를 선정하고 현장조사를 실시하였다.

성능평가 모델의 객관적 입력변수를 선별하기 위해 30개 지구의 현장조사 자료, 한국농어촌공사 시설물관리시스템인 RIMS DB, 기상청 자료를 분석하였다. 양배수장 성능평가모델과 관련된 변수를 기계, 전기, 토목, 전체로 구분하였다. 농업생산기반시설물의 장수명화 전략을 위한 첫단계로 시설물의 성능저하 요인 분석을 수행하였으며, 연구의 현단계에서 개략적인 대응방안을 제시하였다. 연구 1차년인 2018년 대상시설물을 양·배수장으로 정하였으므로 그 구성분야인 토목, 건축, 기계, 전기, 기타시설물에 대해 권역별 성능저하요인과 기술적, 제도적, 사회적 측면에서의 성능저하요인별 대책을 제시하였다. 부유쓰레기 문제, 지하기계실의 습환경 개선 Dry Area설치, 기계전기 장치의 조작 및 단순관리를 위한 표준화, 전기유입 책임분계점 개폐(C.O.S.) 공문 간편화 시스템, 장수명화 건축디자인과 내·외장재 선정가능 설계기준 마련 등 주기적인 설계기준의 갱신을 개선사항으로 들었다.

제 4 장

성능평가 모델 개발

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발

농업기반시설물의 현황 및 성능분류

2016년 기준으로 운영 양수장 및 배수장, 양·배수장은 전체 8,023개소 중 43%의 내구연한이 30년 이상 경과하였고, 운영 저수지의 경우는 전체 17,310개소 중 72%의 내구연한이 50년 이상 경과하였다.

필댐의 설계기준은 (표 4.1)과 같이 기후변화에 따른 강우패턴이 달라져 일정계기를 기준으로 개정되어오고 있으며, 콘크리트 구조물 역시 80년대 이전에는 허용응력설계법(ASD)으로 축조하였으나 80년대부터 강도설계법(USD)으로 축조하기 시작하여 2012년 이후 최근에는 교량의 경우 한계상태설계법(LSD)으로 시설물을 설계하고 있다.

대부분의 농업기반시설물은 축조당시 설계기준인 허용응력설계 관점에서 설치된 구조물로 시공 이후 지방서나 설계도서의 개정은 극히 일부만 반영된 상태이다. 따라서 시설물 축조 당시의 설계 기준과 현재 설계 기준이 상이함에 따라 설계 기준의 변화에 따른 유지관리 공법의 기본 개념도 변경이 필요하다.

(표 4.1) 설계기준의 변화 비교 (농림축산식품부, 2017)

구분	'60년대 및 축조 당시	'80년대	'02년 및 향후
설계	허용응력설계법 (ASD)-1972년	강도설계법(USD)	한계상태설계법 (LSD)-2012년, 교량
기준	<ul style="list-style-type: none"> • 100년빈도 확률강우량의 1.2배와 • 기왕최대 강우량이 100년빈도 확률강우량 보다 클 때는 기왕최대 강우량의 1.2배 	<ul style="list-style-type: none"> • 200년빈도 확률홍수량의 1.2배 	<ul style="list-style-type: none"> • 200년 확률홍수량, 기왕의 최대 홍수량, 지역최대 홍수량 중 큰 값을 설계홍수량으로 하고 필댐에서는 20% 가산 • 붕괴에 따른 인적, 물적 피해가 크게 예상되는 지구는 가능최대 홍수량

시설물안전법에서 “시설물”이라 함은 건설공사를 통하여 만들어진 구조물 및 그 부대시설로서 양·배수장은 “시설물”로서 공중의 이용편의와 안전을 도모하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있거나 구조상 유지관리에 있어 고도의 기술이 필요하다고 인정하는 시설물은 1종 시설

물로, 1종 시설물 외의 시설물로서 중요한 시설물은 2종 시설물로 구분 범위를 규정하고 있다. 농업기반시설물은 규정에 따라 1종, 2종, 3종 시설물은 다음과 같이 분류하고 있다.

(표 4.2) 농업기반시설물 분류 규정

구분	정의
1종 시설	<ul style="list-style-type: none"> • 총 저수용량 50 만톤 이상인 저수지 • 단위시설(1개소) 당 2,000 마력 이상인 양수장/배수장 • 「방조제관리법」에 따른 국가방조제 및 하구둑
2종 시설	<ul style="list-style-type: none"> • 총저수용량 50 만톤 미만인 저수지 • 단위시설(1개소) 당 1,000 마력 이상 2,000 마력 미만인 양수장/배수장 • 「방조제관리법」에 따른 지방자치단체관리방조제
3종 시설	<ul style="list-style-type: none"> • 1종 및 2종 시설 외의 시설 중 양수장, 배수장, 취입보, 지하수 이용시설 • 용수로, 배수로 및 그 부대시설

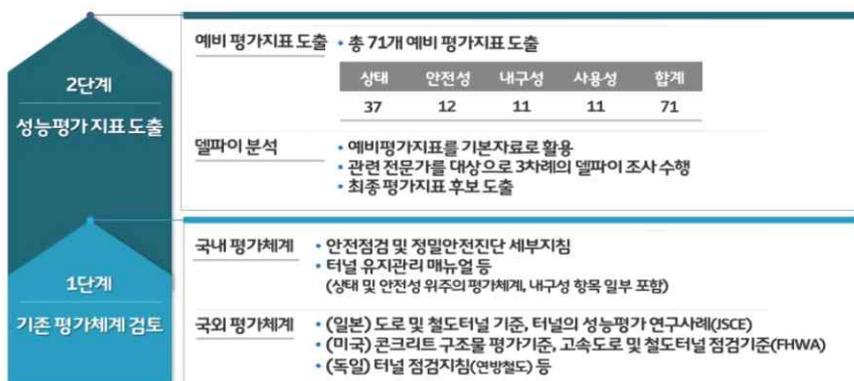
양·배수장은 농업기반시설물 전체비율 중 농업용수 개발에 있어 저수지 다음으로 큰 비중을 차지하는 수원공시설이다. 양수장, 배수장, 양배수장은 각각 다음과 같은 기능을 수행한다.

양수장은 농지의 용·배수 개량을 목적으로 하천수나 호수 등 수면이 관개지역보다 낮아서 자연관개를 할 수 없는 경우 인공펌프를 설치, 물을 퍼 올려 농업용수로 사용하기 위한 수원공 시설이며, 배수장은 농지에 넘치는 물을 배수로로 퍼내는 시설로써 홍수나 국지성 호우 등 긴급상황 시 신속한 배수작업이 이루어질 수 있도록 한다. 양배수장은 두 시설을 합쳐놓은 시설로써 이수 및 치수 기능을 모두 수행할 수 있다.

4.1 사회기반시설물 성능평가 사례

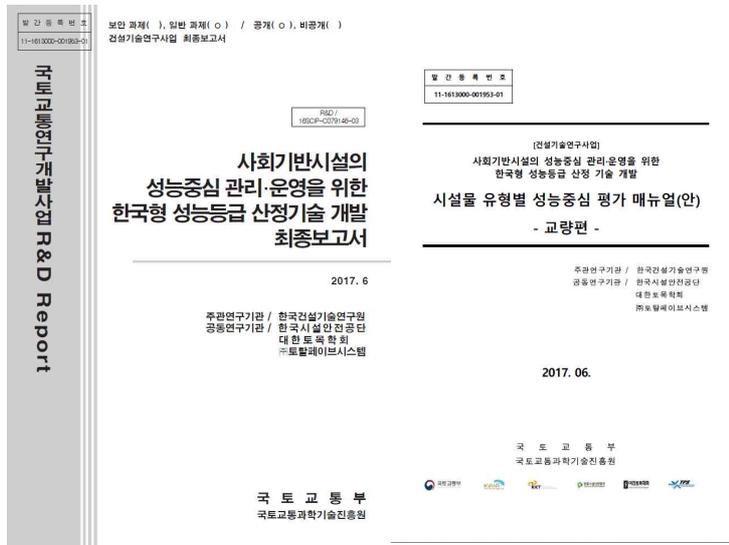
국내 성능평가 사례

국내 SOC 시설물은 고령화가 급속히 진행됨에 따라 시설물 유지관리비로 막대한 국가 재정이 소요될 것으로 예상되기 때문에, 시특법 개정안에 따라 성능평가 중심의 SOC 시설물 유지관리체계 개편을 진행하고 있다. 또한 사회적으로 높은 수준의 시설물 사용성능 요구에 따른 대응형 유지관리기술에서 선제적·예방적 유지관리기술로 전환하고자 하며, 공학적 유지관리기술에서 성능중심·경제학적 유지관리기술로 전환하는 움직임을 보이고 있다.



< 그림 4.1 > 안전성 평가지표 도출 절차(터널 사례)

2017년 6월 국토교통부에서 사회기반시설의 성능중심 관리 운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발 및 평가 매뉴얼을 연구하여 공개하였다. 시설물 유형별 성능중심 평가 매뉴얼(안)을 한국형 성능중심 관리 및 운영에 맞추어 출판할 계획 중에 있다.



< 그림 4.2 > 사회기반시설물 성능중심 관리·운영을 위한 한국형 성능등급 산정 보고서 및 매뉴얼

○ 성능의 정의

본 보고서에서는 시설물이 고유의 목적 및 기능 등에 따라 보유하여야 하는 성능으로서 안전성, 내구성 및 사용성(기능성 포함)을 대상으로 구분하였다.

(표 4.3) 성능의 정의

성능항목	내 용
1. 안전성	사용자 및 주변시설물 등의 안전을 보장하는 성능으로서 상대적 안전성과 구조적 안전성으로 나누어 평가
1.1 상대적 안전성	시설물의 외관을 조사하여 결함의 정도를 포함한 시설물에 대한 상태평가
1.2 구조적 안전성	현장조사를 통하여 수집된 자료를 기초로 하고 설계도서 및 기준 안전점검 및 정밀안전진단 실시결과를 참고하여 시설물의 구조·수리·수문해석 등을 통한 안전성
2. 내구성	시간경과에 따른 내구적 성능저하로부터 요구되는 수준을 지속시킬 수 있는 성능
3. 사용성	사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능

○ 성능지표

성능지표는 시설물의 다양한 성능항목(안전성, 내구성, 사용성)의 보유정도를 평가하기 위한 세부항목(균열, 누수, 포장상태 등)으로 구분된다(표 4.4).

- 안전성

안전성 항목별 평가지표는 표 4.4에 정리하였으며, 평가자의 판단하에 추가하중(중차량하중, 풍하중, 충돌하중 등)도 검토할 수 있다.

(표 4.4) 교량 시설물의 안전성 평가 항목에 대한 조사방법론

구분		평가항목		
안전성	상태적 안전성	공통	콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 구조 균열 (휨, 전단 등) 비구조 균열 (건조수축 등) 박리 (박락 포함) 열화 (백태, 철근부식 등) 재료분리 (철근노출 포함)
			강재 (앵커볼트포함)	<ul style="list-style-type: none"> 균열 (피로 등) 열화 (부식, 도장탈락 등) 변형 용접부 결함 볼트부 결함 도장 박리
				<ul style="list-style-type: none"> 체수/누수 시공불량 (설치결함 등)
		교면포장	<ul style="list-style-type: none"> 함몰 (포트홀) 단차, 요철 	
		배수시설	<ul style="list-style-type: none"> 막힘 파손 (배수관 or 뚜껑) 	
		보호시설	<ul style="list-style-type: none"> 난간, 연석, 방호 · 방음 · 방풍벽 관련 손상 	
		신축이음		<ul style="list-style-type: none"> 고무재 파손 (노화, 누수 포함) 유간 정도 (부족 or 과다) 이물질 퇴적 및 오염상태 후타재 손상 (마모, 단차 등) 본체 손상
				<ul style="list-style-type: none"> 가동장애 (이동량 부족 포함)
		받침		<ul style="list-style-type: none"> 편기 받침 손상 (고무판 포함) 용량 부족 받침콘크리트 손상
				<ul style="list-style-type: none"> 교대 변위 (침하, 뒷채움, 측방유동 등)
		교각		<ul style="list-style-type: none"> 침식, 세굴 변형 (기울음 등)
				<ul style="list-style-type: none"> 케이블손상 (단선 등) 정착구 손상 행어밴드, 새들 손상
		텐던		<ul style="list-style-type: none"> 강연선
		구조적 안전성	상부구조	<ul style="list-style-type: none"> 공용내하력 주행안전성 (주행안전성은 철도교량에적용) (고유 휨 진동수, 임계속도, 연직가속도, 연직처짐, 면틀림, 종방향 변위, 단차)
	하부구조		<ul style="list-style-type: none"> 세굴을 포함한 기초 안전성 	

- 내구성

시설물의 내구성평가는 크게 강재 내구성 평가 및 콘크리트 내구성 평가로 구성되며, 각 각의 평가분야에서 부재별 평가 및 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 최종 등급산정을 결정한다.

(표 4.5) 시설물 내구성 평가대상 부재별 분류 (교량 예)

구분	부재
상부구조	바닥판, 거더, 케이블
	2 차부재 (가로보 및 세로보)
하부구조	교대 및 교각, 주탑 및 보조주탑

○ 콘크리트 구조물

콘크리트 내구성에 대한 평가로는 열화진전평가와 열화환경평가로 구분하여 열화진전평가로 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질이었으며, 열화환경 평가는 제설제에 의한 염해 환경과 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해 반복에 의한 동해환경으로 구분하였다. 시설물의 내구성 종합등급에는 열화진전평가만을 활용하고, 열화환경평가는 등급에 영향을 미치지 않고, 유지관리 업무에만 활용한다.

(표 4.6) 콘크리트 내구성 평가항목의 구분

평가항목	시험방법
열화진전평가	탄산화 깊이
	염화물 침투량
	피복 (표면부) 콘크리트의 품질
열화환경평가	제설제에 의한 염해 환경
	비래염분에 의한 염해 환경
	동결융해 반복에 의한 동해 환경

○ 강 구조물

- 대기환경 평가기준

우리나라 해안인근의 이격거리에 따른 비래염분 분포, 이산화황 농도, 연간 젖음 시간인 3가지 대기조건에 따라 강재의 등급을 분류하는 것으로, 해안인근의 이격거리에 따라 강재의 부식에 주요한 영향을 미치는 비래염분량의 분포가 변화하게 되는 원리를 적용했으며, 이격거리별 염화물 부착속도를 근거로 분포를 분류하였다. 이산화황은 농도 및 부착속도를 근거로 분포를 분류했으며, 습도는 연간 젖음 시간을 10일 및 100일 기준으로 지역적 분류를 통해, 연간 젖음 시간이 10일 미만일 경우 다른 조건에 비해 부식속도가 상당히 감소하는 원리를 적용하였기 때문에, 비래염분 농도에 따라 a 또는 b 등급으로만 평가가 가능하다. 참고로 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 탄소강의 부식속도 등급에 근거를 두고 있다. 예를 들어 탄소강의 등급이 C1~C3의 경우 부식속도가 상대적으로 낮으며 이에 대해 a 등급을 적용하고 부식속도가 높음 및 매우 높은 경우 이에 대해 각각 b 등급 및 c 등급을 적용한다 (표 4.7).

(표 4.7) 부식속도 등급

KS D ISO 9223		환경조건에 의한 적용 등급
부식속도등급	부식성	
C ₁	매우 낮음	a
C ₂	낮음	
C ₃	중간	
C ₄	높음	b
C ₅	매우 높음	c

(표 4.8) 대기환경에 따른 성능평가 점검방법

분류	점검방법
해안으로부터의 거리	점검대상 교량의 위치를 파악 후 지도 및 인터넷 정보를 이용하여 해안까지의 직선거리를 측정
이산화황 농도	에어코리아에서 제공하는 지역별 10년 동안의 아황산가스 평균 농도를 사용
연간젖음시간(습도)	기상청 홈페이지의 기상연월보 자료에서 기상적요표의 습도 자료를 토대로 해당지역의 10년 동안 평균 젖음시간 관측일을 산정

(표 4.9) 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간*2 (일)	해안이격 거리(m), 비례염분 농도 (MDD)	동해안	서해안	남해안	동해안	서해안	남해안	동해안	서해안	남해안
		전지역	고창·태안 / 그외 지역	사천·거제 / 그외 지역	전지역	고창·태안 / 그외 지역	사천·거제 / 그외 지역	전지역	고창·태안 / 그외 지역	사천·거제 / 그외 지역
	이산화황 (ppm)	500 초과	1,000초과 300초과	100 초과, 20 초과	250<x <500	500<x <1000, 120<x <300	50<x <100, 10<x <20	250 이하	500 이하, 120 이하	50 이하, 10 이하
		MDD*1 < 1.5			1.5 < MDD < 2			2 < MDD		
100 초과	0.01 이하	a			b			c		
	0.01 초과 0.02 이하	b			b			c		
	0.02 초과	c			c			c		
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a			b			b		
	0.01 초과 0.02 이하	b			b			c		
	0.02 초과	b			c			c		
10 미만	0.01 이하									
	0.01 초과 0.02 이하	a			a			b		
	0.02 초과									

- 연간 젖음 시간 : 0도 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간을 의미
- 비례염분량(MDD) : 10cm×10cm의 면적에서 1일간 측정되는 염분량을 NaCl 양으로 나타낸 값 (mg/100cm²/day)
- 상세 지표 중 연간 젖음 시간 및 이산화황 농도를 평가하기 위해서 기상청 및 에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr/>)에서 제공하는 데이터를 활용하며, 시설물에서 가장 가까운 관측소의 자료를 이용

- 제설제에 의한 염해 환경 평가기준

강설에 따른 제설제 살포 빈도 또한 평가에 적용한다. 겨울철 도로상

에 살포되는 제설제에 의한 강재 부식 및 이에 의한 내구성 저하를 고려하기 위한 평가항목으로써 강설횟수를 성능지표로 활용한다. 최근 10년간의 최심신적설이 발생한 일수의 연간 평균값으로 강설일수를 산정하였으며, 강재부식은 제설제 살포량보다 살포빈도(일수)가 상관관계가 더 높고, 강설 시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하였다.

(표 4.10) 강설횟수에 따른 평가기준

강설 일수(X)	$x < 5$	$5 < x < 15$	$15 < x$
등급	a	b	c

○ 평가방법

안전성에 대한 평가는 대부분 정밀안전진단을 참고하여 평가함으로 농업기반시설 평가방법과 다르지 않아 여기에는 수록하지 않았다. 내구성에 대한 평가는 다음의 분류 기준을 따라 최종평가를 실시한다. 발청/박리/균열/부품/변색은 직접적인 열화현상이고, 도장두께 기준치 미달은 열화가 발생하기 쉬운 조건으로 이 두 가지를 내부요인으로 분류하고, 해안이격거리, 이산화황 농도, 습도와 같은 대기환경과 제설제 살포빈도는 열화를 유발시키는 환경적 요인으로 분류한다. 즉, 도장의 열화가 시작되는 단계인 변색부분에서부터 열화가 촉진되는 환경요인까지 각기 다른 가중치가 적용된다. 철도교의 경우는 제설제의 영향이 없기 때문에 (표 4.11)에서 괄호 안의 가중치들을 이용하여 평가한다.

(표 4.11) 내구도에 대한 평가항목별 가중치

구분	평가지표	가중치	
내부요인	발청 및 도장열화	발청 (33)	60 (66)
		박리 (13)	
		균열 (7)	
		부품 (10)	
		변색 (3)	
	도장두께	20 (22)	
외부 환경요인	대기 환경 (해안 이격거리, 이산화황농도, 습도)	10 (12)	
	강설 횟수 (제설제 살포 빈도)	10 (0)	

이와는 별도로 교량은 별도의 가중치 산정방법을 취한다. 교량을 구성하는 부재중 거더, 교각 등 중요도가 더 높은 부재에 대해서 비교적 더 높은 가중치를 부여하였고, 거더형식에서 강바닥판이 사용되지 않는 경우 바닥판에 부여된 가중치를 타부재에 비율에 맞게 배분하였다. 보조주탑이 없는 경우, 보조주탑에 부여된 가중치는 주탑의 가중치에 합산하였고, 하부구조가 콘크리트로 사용된 교량에 대해서는 가중치를 달리하여 적용하고 있다.

(표 4.12) 일반교량의 부재별 가중치

구분	평가부재	강거더교량						라멘교		
		강거더교			바닥판·거더 일체형	아치, 트러스		거더있음		
		일반	2차 부재 없음	바닥판 없음	강바닥판	콘크리트 바닥판	강바닥판	2차부재 있음	2차부재 없음	
강제	상부	바닥판	16 (27)	18 (24)	-	16 (27)	-	16 (27)	16 (27)	18 (24)
		거더	48 (55)	56 (76)	55 (77)	48 (55)	55 (77)	48 (55)	48 (55)	56 (76)
		2차 부재	14 (18)	-	16 (23)	14 (18)	16 (23)	14 (18)	14 (18)	-
	하부	교각/ 교대	22 (0)	26 (0)	29 (0)	22 (0)	29 (0)	22 (0)	22 (0)	26 (0)

(표 4.13) 케이블 교량의 부재별 가중치

구분	결함도 평가부재	아치교/트러스교		현수교			사장교			엑스트라도즈드교		
		바닥판	바닥판 없음	일반 거더형	보강형	PSC 거더형	일반 거더형	보강형	PSC 거더형	일반 거더형	PSC 거더형	
강제	상부	케이블	21 (27)	23 (31)	40 (53)	40 (53)	76 (100)	33 (50)	33 (50)	65 (100)	33 (50)	33 (50)
		바닥판	7 (9)	-	8 (10)	-	-	7 (11)	-	-	7 (11)	-
		거더	19 (25)	20 (27)	23 (30)	36 (47)		20 (31)	32 (50)		20 (31)	32 (50)
		아치 리브/ 트러스	26 (34)	28 (37)								
		2차 부재	(5)	4 (5)	5 (7)	-	-	5 (8)	-	-	5 (8)	-
	하부	주탑			18 (0)	18 (0)	18 (0)	15 (0)	15 (0)	15 (0)	15 (0)	15 (0)
		보조 주탑	-	-	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)
교각/ 교대		23 (0)	25 (0)				14 (0)	14 (0)	14 (0)	14 (0)	14 (0)	

현재 국내에서는 노후 도로시설(교량, 터널, 사면, 옹벽)의 내진성능관리 의사결정지원 기술이 연구되고 있다(서울대학교 건설환경종합연구소, 2018). SOC 시설물의 내진성능 예측모델을 만들고 성능평가 수립에 이용할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

4.1.1 해외 성능평가 사례

해외의 경우 예방적 유지관리를 위해 내구성 예측 및 평가방법을 도입하고 생애주기비용을 절감하는 유지관리 전략을 활용중이다. 또한 효율적인 시설물 유지관리 투자를 위해 유지관리 의사결정 지원 체계 고도화 연구를 지속적으로 진행 중이다. 일본, 호주, 미국 등은 예방적 자산관리체계를 도입하였고, 환경 및 기후영향에 대한 요소를 강화하는 방향으로 개선 중이다.

미국은 지금까지 대공황과 2차대전 뒤인 1950~60년대 SOC 시설물에 대대적인 투자를 하였다. 그러나 현재 종전 이후 건설된 인프라의 설계수명은 50년으로 7만 개에 이르는 전국의 교량 대부분이 이 시기에 만들어졌고, 시한을 넘겼거나 목전에 두고 있다. 교량 중 30%는 설계수명 50년을 넘겼고, 11%는 2012년 현재 구조적 결함이 있다는 평가를 받았다. 또한 25%는 기능의 한계점에 도달했다는 평가를 받았다.

2013년에는 실제로 미국 워싱턴주의 고속도로 교량이 붕괴되는 사고가 일어나기도 했다. 이 교량은 1955년에 건설된 교량인데, 교량 붕괴 사고에 노후화가 한 몫 한 것으로 보인다. 미국 연방도로청(FHWA) 자료에 따르면 사고가 발생한 다리는 최근 도로 양호도 조사에서 100점 만점에 57.4점을 받은 것으로 알려졌다.



< 그림 4.3 > 워싱턴주 교량 붕괴

미국 토목학회가 발표한 인프라 평가 보고서(ASCE, 2013)에 의하면, 2001년 당시 연간 필요 예산(종합평가등급 : D+)은 약 2,600억 달러였으나, 2013년 보고서(종합평가등급 : D+)에서는 173%나 증가된 약 4,500억 달러가 매년 투자되어야 한다고 밝혔다. 참고로 개별 평가요소는 별도의 가중치를 고려하지 않고 동일 비율로 반영하고 있다. 실제 평가는 20여명의 전문가로 구성된 평가위원회에서 각 항목에 관한 보고서 및 자료 분석에 근거하여 다섯 등급(A~F)으로 제시하고 있다.

구분	1988	1998	2001	2005	2009	2013
공항	B-	C-	D	D+	D	D
교량	-	C-	C	C	C	C
댐	-	D	D	D+	D	D
상수도	B-	D	D	D-	D-	D
에너지시설	-	-	D+	D	D+	D+
폐기물 처리시설	D	D-	D+	D	D	D
윤하	B-	-	D+	D-	D-	D-
제방	-	-	-	-	D-	D-
공원	-	-	-	C-	C-	C-
철도	-	-	-	C-	C-	C+
도로	C+	D-	D+	D	D-	D
학교	D	F	D-	D	D	D
고형 폐기물 처리시설	C-	C-	C+	C+	C+	B-
물류	C-	C-	C-	D+	D	D
하수도	C	D+	D	D-	D-	D
항만(Ports)*	-	-	-	-	-	C
전체 평균	C	D	D+	D	D	D

* 항만(Ports)은 2013년 신규 추가됨

출처 : 2013 Report Card For America's Infrastructure, ASCE, 2013

< 그림 4.4 > 미국 SOC 시설물 안전등급 추이

등급	평가	설명
A	특출 : 장래 기준 적절	<ul style="list-style-type: none"> 매우 좋은 상태로, 신설되었거나 최근 재시공된 시설에 해당함 극소수의 요소들은 성능저하되었을 수 있으나 기능적 기준들을 만족하고 대부분의 기상이변, 재난에도 회복력을 갖춘
B	양호 : 현재 기준 적절	<ul style="list-style-type: none"> 좋은 상태로 일부 요소들의 일반적 수준의 성능 저하가 있어 주의가 필요 극소수의 심각한 결함 요소가 있으며, 용량과 리스크에 관하여 안전하고 신뢰할 수 있음
C	보통 : 관심 필요	<ul style="list-style-type: none"> 비교적 양호한 상태로 성능저하가 일반적으로 관측되어 관심이 필요 리스크에 취약하며 일부 요소에 심각한 성능 저하
D	불량 : 위험성 있음	<ul style="list-style-type: none"> 대부분 기준 이하의 상태이며, 많은 요소들이 서비스 수명에 달함 심각한 성능저하가 상당수의 부문에서 나타남
F	위험 : 목적에 부적격	<ul style="list-style-type: none"> 전면적으로 성능 저하가 나타나 받아들일 수 없는 상태 많은 요소들이 실패(kaikure)에 직면

출처 : ASCE, Report Card for America's Infrastructure, 2013

< 그림 4.5 > 미국 Report Card의 평가등급 기준

또한 2012년 태풍 ‘샌디(Sandy)’로 인한 홍수 피해를 경험한 뉴욕주는 도시 인프라 시설물의 안전 여유도가 부족해 자연 재해에 취약하다고 결론짓고, 손상된 기반 시설물의 교체, 자연 재채로부터의 회복력 강화 등과 같은 다면적인 접근 방식을 도입해 인프라 시설물의 안전 여유도를 향상시키는 계획을 수립·시행하고 있다. 즉, 홍수에 대비한 댐과 제방을 보강하고, 지하철·도로 시설물 등과 같은 대중교통 시설이 침수되는 것을 방지하는 차원에서 시설물의 성능개선이 이루어졌다. 특히, 뉴욕주 주정부 보고서는 재해 등으로 인한 기반시설이 손상된 경우, 단순 시설의 복구에 그치지 않고 좀 더 나은 형태로 시설물을 재건하는 것(build back better)이 중요하다고 강조하고 있다.

따라서, 적기 예산 투자가 이루어지지 않아 안전한 인프라 시설물의 사용을 위한 소요 예산이 불어나는 상황을 막으면서, 인프라 관리 실패를 초래하지 않기 위하여 SOC 시설물 현대화관리를 위해 성능개선 및 성능관리 기반의 자산관리 개념이 도입되었다. 이를 위해, 국가/지자체 단위의 인프라 평가보고서를 4년마다 발행하며, 시설물의 성능평가 항목으로 용량, 구조상태, 재정조달, 미래수요, 관리, 안전, 회복력 등 8개 요소를 평가하고 있다. 실제로 성능(performance)을 중심으로 정책효과를 모니터링하고, 나아가 성능에 기반 하여 계획을 수립한다. 이를 통해 전략적 도로 안전계획(SHSP), 성능평가 기반 자산관리 계획

(MAP-21) 등 성능평가 기반의 인프라 자산관리 개념도 도입하였다.

구분		등급	필요금액 (A)	실제투자액 (B)	투자부족액 (A-B)	투자액/필요액 (B/A)
육상교통	도로	D	1,723	877	846	51%
	교량	C+				
	대중교통	D				
철도		C+	100	89	11	89%
항공		D	134	95	39	71%
해상교통	수로	D-	30	14	16	47%
	항구	C				
댐		D	21	6	15	29%
제방		D-	80	8	72	10%
에너지		D+	736	629	107	85%
상·하수도	식수	D	126	42	84	33%
	폐수	D				
폐기물	유해 폐기물	D	56	10	46	18%
	고형 폐기물	B-				
공원 및 여가시설		C-	238	134	104	56%
학교		D	391	120	271	31%
총비용		-	3,635	2,024	1,611	56%
연간비용		-	454	253	201	56%

※ 출처 : ASCE, 2013 Report Card for America's Infrastructure, 2013

< 그림 4.6 > 2013년 미국 인프라 평가보고서 결과 (단위: 십억 달러)

일본 정부는 2013년에 수립한 국토강인화기본계획의 '노후화 대책 분야' 시책과 연계한 국가차원의 인프라시설의 장수명화 기본계획을 수립하고 시설물 장수명화에 대한 개념을 도입·적용 중에 있다. 이는 시설물의 열화(劣化, deterioration)된 성능을 설계 단계에서 설정된 시설물의 목표 성능과 동등한 수준 혹은 그 이상으로 개선하는 개념을 인프라 시설물의 건설 및 운영에 도입한다는 의미이다.

일본의 SOC 시설물은 1964년 도쿄올림픽 개최 이후 경제 성장기인 1970년대에 집중적으로 건설되어, 준공 후 50년이 넘는 노후 인프라 시설물이 향후 10~20년 간 급증할 전망이다. 따라서 인프라장수명화 기본계획은 기존 지자체가

개별적으로 수립하여 관리해왔던 공공 시설물의 건설 및 운영 지침을 국가 차원에서 관리하도록 하고, 2014년부터 2020년까지 개별 시설별로 장수명화 계획을 수립하였다. 개별시설계획 중 도로 시설물에 적용할 새로운 법령과 기준 및 매뉴얼이 2014년에 개발·운용 되고 있다. 국토교통성은 이를 5년마다 개정하는 것을 목표로 삼고 있다.

인프라 관리 단계로의 정책전환을 일찍이 경험한 해외 선진국들은 관리 중심의 정책집행 성과 및 지속투자의 필요성을 알리기 위하여 전문적이고 객관적인 인프라 성능평가를 수행하고 있으며, 이는 인프라에 대한 투자 확대의 논거로 활용된다. 국내 도로의 경우는 연장, 수송실적, 교통사고 등으로 한정되어 있고 별도의 성능평가를 수행하지 않으나, 미국·호주·일본의 사례에서는 보다 다양한 요소들에 대하여 사회적 합의를 거쳐 성능을 주기적으로 평가하고 있다. 정책 기관, 시설물관리기관, 시설물이용자 및 일반국민이 모두 이해관계자이며, 각 이해관계자 관점에서 기대하는 요소들을 중심으로 성능의 체계를 정립하고 관련분야 전문가들의 의견을 모아 성능평가 체계를 만들어야 한다. 이를 위하여 국내 시설 관련 자료수집 여건 검토, 보다 심도 깊은 국외 실증사례 및 연구사례 검토와, 지표개발을 위한 연구개발 등의 노력이 필요하다.

정비목적		평가지표		
대분류	정책목표	관점	지표	정의
활력	광역 모빌리티 확보	광역을 잇는 간선도로의 정비	고규격도로 구축율	고속자동차국도 구축연장 / 계획연장
		도로 수송기능	고규격도로 이용율	자동차전용도로 주행거리(대·km) / 총 도로 주행거리(대·km)
	도시교통의 쾌적성·편리성 향상	도로이용 쾌적성	장애에 따른 지체 (인·hr/천대)	막히지 않을 경우 소요 시간과 실제 소요 시간의 차이
		사회기반의 충실도	도로개량율	전 도로에서의 도로개량이 이루어지고 있는 도로의 비율
안전	지진, 화재 피해의 경감	안전한 시가지 형성	방재 개선과제가 있는 시가지의 비율	인구 집중 시가지 중 도시기반이 취약하여, 재해 시 도로폐쇄 등에 의한 차량통행이 저해되고 긴급활동 등에 차질이 생길 위험이 높은 시가지 면적의 비율
	교통안전 확보	교통사고 저감	사상사고율 (건/억대)	전 도로의 단위교통량(억대km)당의 사상사고건수의 비율
			보도 설치율	전 도로연장에서 유료도로 구간을 제외한 연장에 대한 보도설치 연장 비율
통학로보도 설치율			PTA가 지정하는 통학로 중 보행로가 설치되는 비율	
생활환경	배리어 프리	쾌적한 도로환경	배리어 프리화율	하루당 평균 이용자수가 5,000명 이상의 여객시설 주변 등 주요 도로의 배리어 프리화 비율
	풍요로운 생활환경의 실현	시가지의 양호한 경관형성	시가지의 간선 도로 무전봇대화율	시가지의 간선도로 중, 전신주, 전선 없는 연장 비율
생활환경	쾌적한 사회의 실현	생활에 밀착하는 도로의 정비	일반도로의 정비율	일반도로의 실제연장에 대한 정비 후 연장 비율
	대기소음 등에 관련된 생활환경 개선	소음문제 해소지구 환경 문제의 대응	휘발유소비량 (㎥/인) 야간소음 요청한도 달성률	도도부현별 인구 당 휘발유소비량 환경기준 유형지정지역 또는 소음규제구역, 몇 개의 지정구역을 지나는 직할국도 중 야간소음 요청한도를 달성한 도로연장 비율

자료 : 土木学会会長提言特別委員会(도목학회회장제언특별위원회), 국가 인프라 현황 및 평가, 2008

< 그림 4.7 > 일본 인프라 성능평가 지표

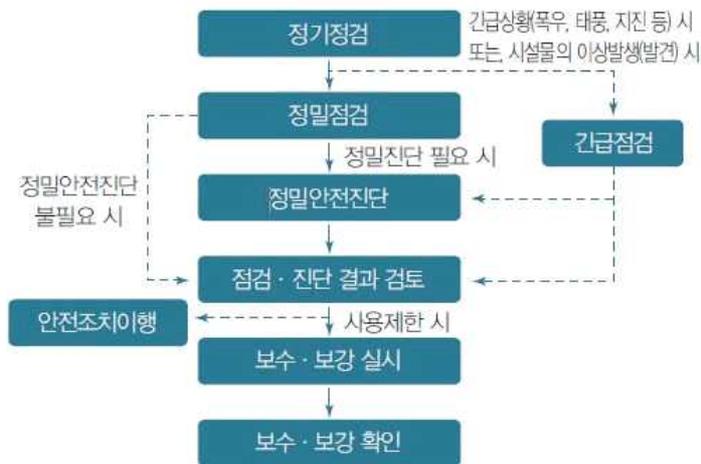
4.2 농업생산기반시설물 성능평가 방법

농업생산기반시설물 안전진단 조사표 분석

가. 농업기반시설물 성능평가 방법

1994년 농어촌정비법이 제정됨에 따라 농업기반시설물의 정기적인 안전점검 및 정밀안전진단이 수행되고 있다. “안전점검”이란 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구 등으로 검사하여 시설물에 내재되어 있는 위험요인을 조사하는 행위를 말하며 “정밀안전진단”이란 시설물의 물리적·기능적 결함을 발견하고 그에 대한 신속하고 적절한 조치를 하기 위하여 구조적 안전성과 결함의 원인 등을 조사·측정·평가하여 보수·보강 등의 방법을 제시하는 행위를 말한다. 안전점검 및 정밀안전진단 수행절차는 다음과 같다.

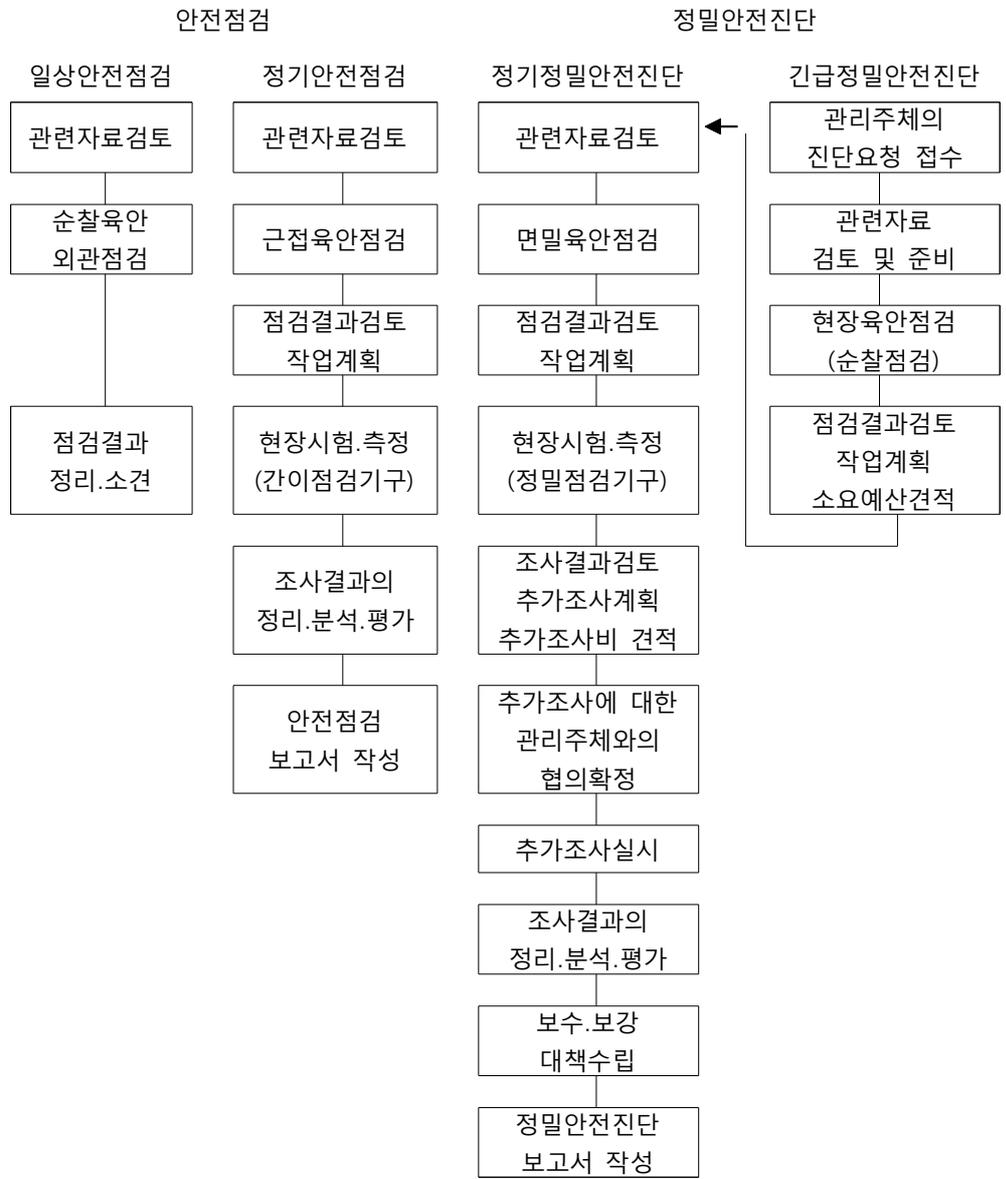
관리주체는 시설물의 기능 및 안전을 유지하기 위하여 안전점검 및 정밀안전진단 지침에 따라 소관시설물에 대한 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하도록 되어 있다. 안전점검은 점검의 목적 및 수준에 따라 정기점검, 정밀점검 및 긴급점검으로 구분하여 실시하고 안전점검을 실시한 결과 재해 및 재난 예방과 시설물의 안전성 확보 등을 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 정밀안전진단을 실시하도록 되어 있다.



※ 출처 : 국토교통부/한국시설안전공단(2017)

< 그림 4.8 > 시설물 유지관리 체계

(표 4.14) 안전점검 및 정밀안전진단 과업수행절차의 흐름도



농업생산기반시설 관리자는 안전관리계획에 따라 매년 안전관리 시행 계획을 세운다. 농어촌정비법에 따른 안전점검 및 정밀안전진단의 실시시기는 다음과 같다.

(표 4.15) 농업기반시설의 안전점검 실시시기

분 류	대상시설	실시시기
정기점검	1종·2종·3종	농업생산기반시설의 운전조작 및 정비, 재해 및 위험여부 확인, 장애물 제거 등을 위하여 분기별로 1회 이상 실시하되, 해당 분기에 영농기가 있을 때에는 그 영농기 전에 실시
긴급점검	1종·2종·3종	정기점검 외에 재해나 사고가 발생하거나 시설 안전에 이상 징후가 있을 때 실시
정밀점검	1종·2종·3종	정기점검 또는 긴급점검을 실시한 결과, 시설의 기능유지 및 안전상 재해 위험이 있어 시설물 보수가 필요할 때 실시하되, 필요 시 1종·2종 시설은 정밀점검을 생략하고 정밀안전진단을 실시

(표 4.16) 농업기반시설물의 정밀안전진단 실시시기

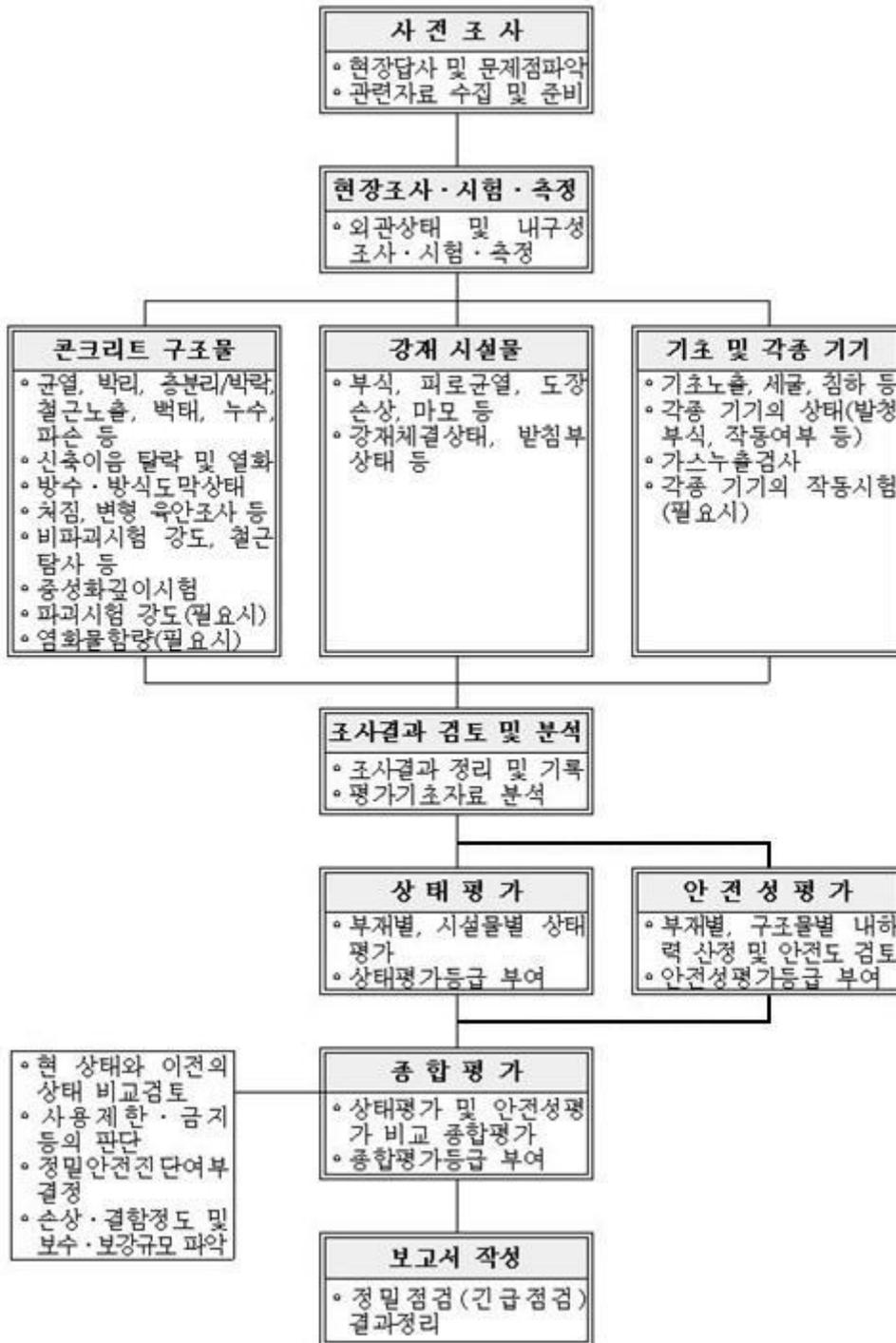
대상시설	실시시기
1종 시설	<ul style="list-style-type: none"> • 준공 후 10년 이상 지난 농업생산기반시설에 대하여 5년에 1회 이상 정기적으로 실시한다. 다만, 정밀안전진단 결과 안전상태가 양호한 시설과 개·보수하여 안전하다고 인정되는 시설은 다음 한 차례의 정밀안전진단을 실시하지 않을 수 있다. • 농업생산기반시설관리자가 정기점검 또는 긴급점검을 실시한 결과, 시설의 기능유지 및 안전상 재해 위험이 있는 경우 실시할 수 있다.
2종 시설	<ul style="list-style-type: none"> • 농업생산기반시설관리자가 안전점검 중 정기점검 또는 긴급점검을 실시한 결과, 시설의 기능유지 및 안전상 재해 위험이 있는 경우 실시할 수 있다.

현행 정밀안전진단 조사방법은 토목조사를 기본으로 시설여건에 따라 재료조사, 전기 비저항탐사, 토질조사 중 필요한 조사항목을 선정하여 병행 실시한다. 정밀안전진단 항목의 분류는 (표 4.17)에 따른다.

(표 4.17) 안전진단 항목

항목별	진단내용
• 외관조사	시설물 제원 조사, 지반 침하·활동·유실 등 변형 조사, 구조물 박리·박락·세굴·이탈 등 결함 조사, 균열 분포 조사 등
• 재료 조사	반발경도측정, 탄산화조사, 초음파탐상, 철근탐지 조사, 철근부식(성)조사, 코어채취 등
• 기능성 검토	홍수 배제능력 검토, 취수시설 검토, 수질 검토 등
• 안전성 검토	사면 안정 해석, 침투류 해석, 내진 해석, 구조 안전성 해석 등
• 보수·보강 방안 수립	항목별 진단 결과를 종합 분석하여 적정한 보수·보강 방안 제시

현행 정밀안전진단 흐름도는 <그림 4.10>을 따른다. 시설물의 사전 조사 실시 후 구조종별 진단항목을 검토 및 기존의 점검/진단 자료를 검토한 후 현장조사에서 외관조사 및 재료시험을 실시하고, 현장조사 결과를 검토 및 분석하여 상태평가와 안전성평가를 내린다. 이를 토대로 시설물의 종합평가 및 안전등급을 산정하고 보수보강 및 유지관리 방안을 제시하고 있다. 개별 파트별 종합평가는 최종 평가등급 산정에 이용된다.



< 그림 4.10 > 정밀안전진단 흐름도

양·배수장의 성능 분류 및 진단지표 분석

양·배수장은 이·치수 펌프, 동력장치, 제어장치, 흡입 및 배출 관로 및 이들을 포함한 콘크리트 건물 및 가설물 등을 포함한다. 이를 토목, 기계, 전기, 기타 시설로 구분하여 기능을 분류하고 있으며, 그 구성과 역할은 (표 4.18)과 같이 요약할 수 있다.

(표 4.18) 양·배수장의 성능분류

시 설	분 야	구 성	역 할
양수장 배수장 양·배수장	토목	건물 (구조물 / 토공)	양·배수장 기능보호
		흡입수로 (암거, 개거, 인수로 등)	물을 양수하기 위한 흡입관로
		흡입수조	흡입부 수조
		제수장치	물을 배제하는 장치
		토출수조	토출부 수조
		수문	물의 흐름 및 유량조절
	기계	양수기	이·치수용 펌프
	전기	변전소 및 옥내전기	교류 전력을 송전·배전하기 위한 전압으로 바꾸는 장치
	기타	염도측정기 스크린 및 제진기 유역 감시 장치 등	물의 염도측정을 위한 장치 물의 이물질 제거 장치 유역 감시 장치 등

또한, 본 연구에서는 양·배수장의 기능적인 측면을 고려하여 (표 4.19)와 같이 표기하도록 하였다.

(표 4.19) 본 연구에서 양·배수장 표기 분류

항 목	의 미	비 고
이수	양수장	-
치수	배수장	-
이·치수	양·배수장	양수장 배수장 동시에 존재
이·치수	양·배수장	양수장 배수장 구분 기호

양·배수장의 정밀안전진단은 토목, 기계, 전기, 건축에 대한 각각의 시설물 평가를 실시한다. 개별시설물의 종합평가는 상태평가 및 안전성평가 결과 중 작은 값을 종합평가 지수로 선정하며 만약 안전성평가를 실시하지 않는 경우에는 상태평가 결과를 종합평가 결과로 가름한다. 종합평가지수 산정식은 아래 식과 같다.

$$\text{종합평가지수 } E_t = \text{MIN}(E_C, E_S) \quad \text{<식 4.1>}$$

여기서, E_C = 상태평가지수
 E_S = 안전성평가지수

본 연구에서는 정밀안전진단 평가지표 방법을 이해하고자 성연양수장의 정밀안전진단 결과를 토대로 진단지표를 분석하였다. 예를 들어, 성연양수장의 각 파트별 토목, 기계, 전기, 건축에 대한 개별 상태평가(E_C) 및 안전성평가(E_S)는 다음과 같은 절차를 따른다.

건축파트는 상태평가 합계점수가 4.36점으로 C등급을 받았다. 그 지표를 살펴보면 보와 크레인 외관이 대체로 노후하여 보수가 필요하다는 것을 알 수 있다.

(표 4.20) 성연양수장 상태평가표(건축)

구분	평가항목	평점(A)	등급	항목 배점 비율 (B)	환산 (C=A*B)	부재 별 소계 (D)	부재 별 등급	항목 비율 (E)	부재 별 점수 (F= D*E)	합계 점수	등급
기 동	콘크리트 강도	3	B	0.300	0.90	2.80	B	2.00	0.72	4.36	C
	초음파 시험	3	B	0.300	0.90						
	철근 부식도	3	B	0.200	0.60						
	콘크리트 탄산화	1	A	0.100	0.10						
	철근탐지 조사	3	B	0.100	0.30						
보	콘크리트 강도	5	C	0.375	1.88	5.02	C	0.16	0.68		
	초음파 시험	5	C	0.375	1.88						
	콘크리트 탄산화	5	C	0.125	0.63						
	철근탐지 조사	5	C	0.125	0.63						
슬 래 브	콘크리트 강도	3	B	0.430	1.29	3.86	B	0.14	0.66		
	초음파 시험	5	C	0.430	2.15						
	철근탐지 조사	3	B	0.140	0.42						
크 래 인 빔	콘크리트 강도	3	B	0.400	1.20	5.00	C	0.10	0.58		
	초음파 시험	7	D	0.400	2.80						
	철근탐지 조사	5	C	0.200	1.00						
외 관 상 태	균열조사	5	C	0.400	2.00	5.40	C	0.40	1.72		
	표면 노후도	7	D	0.300	2.10						
	시설 노후화	5	C	0.250	1.25						
	주요부재 규격	1	A	0.050	0.05						

건축파트 안전성평가의 경우 전체평가결과점수 6.44점으로 D등급을 받았다. 그 세목을 살펴보면 부등침하와 기둥에 대한 내력이 부족하여 D등급을 받았음을 알 수 있다.

(표 4.21) 성연양수장 안전성평가표(건축)

항목		평가 결과	등급 구분	중요도	항목별 평가 결과	중요도	전체 평가 결과	평가 등급
기울기 변위 변형	기울기	5.0	C	0.9	5.0	0.7	6.44	D
	변위 변형	5.0	C	0.9				
부재 내력	기둥	7.0	D	0.9	6.6	0.9		
	보	3.0	B	0.7				
	슬래프	3.0	B	0.3				

최종적으로 건축파트는 상태평가점수와 안전성평가점수를 살펴보았을 때, <식 4.1>을 통해 안전성평가를 최종 종합평가로 산정하였다. 상태평가와 안전성평가 평가지표를 살펴보았을 때, 상태평가의 평가항목은 다양한 데 비하여 안전성평가의 항목은 소수의 전문분야로 구성되어 있다. 하지만 종합평가점수만을 볼 경우 상태평가에 대한 노후도는 전혀 고려하지 않고 있으며, 안전성평가의 평가지표만을 종합평가점수로 산정하였기 때문에 현재 시설물의 상태를 오인분석 할 수 있다.

기계파트의 종합평가결과는 안전성평가를 실시하지 않아 상태평가결과만을 종합평가결과로 반영하였다. 기계파트의 종합평가결과는 2.43점으로 D등급을 받았으며, 그 세목을 살펴보면 펌프와 밸브, 수문의 기능에 이상이 있고, 노후화되어 반드시 개·보수가 필요함을 알 수 있다. 특이한 점은 양·배수장 운영에 펌프의 역할이 매우 중요하기 때문에, 펌프에 가장 많은 중요도가 주어진 것을 알 수 있다. 반면 기중기의 경우 중요도가 펌프의 1/8가량으로 가장 낮다. 이를 통해 기중기의 기능이 부실하여도 펌프의 평가지수가 높다면 좋은 등급을 받을 수 있다. 이는 종합결과점수만을 볼 경우 현재의 시설물 상태에 대한 오인

분석을 할 수 있다.

(표 4.22) 성연양수장 상태평가표(기계)

복합부재명	평가등급	평가지수 E_C	중요도(%) S	계산값 $E_C * S$
펌프	D	2.16	40	86.40
밸브	D	2.00	25	50.00
배관	C	3.44	10	34.40
천정주행기중기	C	2.80	5	14.00
스크린	B	4.00	10	40.00
수문	D	1.77	10	17.70
합계			100	242.5
개별시설의 상태평가지수 $E_S = \sum(E_C \times S) / \sum S =$				2.43
개별시설의 상태평가 등급 =				D

토목파트는 상태평가로만 구성되어 있기 때문에, 상태평가 결과를 종합평가결과로 반영하였다. 토목파트는 기계실, 흡입수조, 토출수조에 대한 상태평가 지수를 산정하고 있다. 토목파트의 경우 총점 2.38점으로 D등급을 받았으며, 그 세목을 살펴보면 기계실과, 흡입수조의 개보수가 필요함을 알 수 있다.

(표 4.23) 성연양수장 상태평가표(토목)

개별시설명	평가결과	평가지수 (E_C)	조정계수 (A)	중요도 (W)	조정값 ($A * W$)	계산값 ($E_C * A * W$)
기계실	D	2.33	6	40	240	559
흡입수조	D	2.14	6	30	180	385
토출수조	C	3.00	3	30	90	270
합계				100	510	1214
복합시설 종합평가지수 $E_S = \sum(E_C \times A \times W) / \sum(A \times W) =$						2.38
복합시설 종합평가 등급 =						D

전기파트 상태평가에서는 수변전설비, 배전설비, 동력설비, 배관배선설비, 조명

설비에 대한 평가지수를 산정하고 산정 된 각 부재에 대해 중요도를 부여하고 각각의 안전성평가 결과를 종합한다. 전기파트는 상태평가로만 구성되었기에 상태평가 결과를 종합평가결과로 반영하였다. 전기파트의 종합평가결과는 2.17점으로 D등급을 받았으며, 그 세목을 살펴보면 수변전설비의 기능에 이상이 있고, 노후화되어 반드시 개보수가 필요함을 알 수 있다. 수변전설비의 조정계수 및 중요도 크기가 다른 설비보다 월등히 높아 결과적으로 D등급을 받게 되었음을 알 수 있다.

(표 4.24) 성연양수장 상태평가표(전기)

개별 시설	평가결과	평가지수 (E_C)	조정계수 (A)	중요도 (W)	조정값 (A*W)	계산값 (E_4*A*W)
수변전설비	D	1.63	6	32	192	312.96
배전설비	C	2.63	3	32	96	252.48
동력설비	C	2.60	3	20	60	156.00
배관배선 설비	C	2.63	3	8	24	63.12
조명설비	C	3.12	3	8	24	74.88
합계				100	396	859.44
복합시설 종합평가지수 $E_s = \sum(E_4 \times A \times W) / \sum(A \times W) =$						2.17
복합시설 종합평가 등급 =						D

양·배수장의 최종 종합평가는 각 파트별 종합점수를 통해 최종적으로 종합시설물 평가점수를 내리게 된다.

(표 4.25) 성연양수장 종합시설물 평가결과

복합 시설명	종합평가 등급	평가지수 E_s	조정계수 A	중요도(%) W	조정값 $P = A * W$	계산값 $E_s * P$
토목분야	D	2.38	6	20	120.0	285.6
건축분야	D	2.28	6	25	150.0	342.0
기계분야	D	2.43	6	30	180.0	437.4
전기분야	D	2.17	6	25	150.0	325.5
합계					600.0	1,390.5
통합시설 종합평가지수($E = \sum(E_s * A * W) / \sum(A * W) = 1390.5 / 600.0$)						2.32
통합시설 종합평가 결과						D

종합시설물 평가점수는 2.32점으로 D등급을 받았으며, 전체적으로 성능이 노후화되어 개보수가 필요한 시설임을 알 수 있다. 그러나 건축분야와 같이 시설물의 안전성 평가만을 고려하고 다른 평가를 제외하는 것은 문제가 있다고 판단되며, 이는 노후화의 과대해석으로 평가될 수 있다. 따라서 상태평가와 안전성평가 두 항목을 적절한 가중치로 비중을 두어 평가항목들이 모두 반영되어야 한다. 또한, 각각의 평가항목의 가중값이 각 파트를 대표하는 경우가 있어, 종합평가 결과만을 보았을 때, 현재 시설물의 상태에 대한 오인분석을 할 수 있다. 더불어, 현재의 성능평가 결과 값으로 시설물의 현재 상태는 평가가 가능하지만 향후 시설물의 성능 예측은 불가하다. 따라서 시설물의 효율적인 관리를 위해서는 성능예측이 가능한 상태평가 체계로 개발될 필요가 있다.

4.3 기상하중을 고려한 양·배수장 성능평가 모델

양·배수장 성능평가 항목 자료 구축

가. 성능저하 요인 분석

성능평가 모델 구축을 위한 모델 관련 변수는 성능저하 요인들로부터 입력 및 출력 변수로 분리되어 작성된다. 하중자료는 성능저하를 유발하는 요인들로서 성능평가 모델의 원인에 해당하며, 성능평가 자료는 결과에 해당한다.

성능저하와 관련 없음의 항목은 성능저하를 직접적으로 유발하지는 않으나, 성능저하 발생 시, 저하 정도에 간접적으로 영향을 미칠 수 있는 요인들로 모델 구성에서는 제외되는 변수이다.

성능평가 자료는 안전점검결과와 정밀안전진단결과로 구분된다. 안전점검결과는 연 4~6회 정기적으로 안전점검을 시행한 결과를 A~E 등급으로 평가한다. 정밀안전진단결과는 안전점검결과가 불량한 양·배수장에 한하여 검사를 시행하고, 항목별로 A~E등급으로 평가한다. 현재 정밀안전진단은 주로 1~2 등급 구조물을 대상으로 시행한다.

통계분석을 위해 성능저하 요인 중 한국농어촌공사 DB(RIMS)에서 획득할 수 있는 다음 항목들을 수집 및 정리하여 데이터베이스화 하였다. 하중자료 중 양·배수장의 제원과 관련된 항목은 '설립연도', '한발빈도', '홍수빈도', '제방표고', '단위용수량', '일일평균운전시간', '삼투량', '수로손실', '전동기 총마력', '전력 사용량', '전력 가동시간', '전력요금', '유지보수비', '수리시설개보수비', '해안과의 거리'이다. '설립연도'를 통해 각 시점까지의 '준공 후 경과기간'을 계산하여 분석에 포함하였다. 하중자료 중 기상자료는 다음 항목을 포함하였다. 먼저, 기온은 '연평균기온', '평균최고기온', '최고기온극값', '평균최저기온', '최저기온극값', '관개기간평균기온', '0°C 이하일수'를, 습도는 '평균상대습도'를, 풍속은 '평균풍속', '폭풍일수', '최대풍속'을, 강수량은 '연강수량총량', '관개기간 강수량', '1일최대강우량', '3일이상 지속강우량', '1시간최대강우량', '일강우량 80mm 이상 일수', '적설일수'를 포함하였다.

성능평가 자료는 '안전점검결과'와 '정밀안전진단결과'를 수집하였으나, 정밀안전진단결과가 모든 시설에 대하여 존재하지 않아 실제 통계분석에는 안전점검 결과만을 활용하였다.

(표 4.26) 성능평가모델과 관련된 입·출력 변수

성능 저하와 관련 없음	하중자료	성능평가 자료	가중치
시설기준구분	기계 누적 운영 시간	안전점검결과 - 전체	100
펌프 운영 대수	전기 사용량	안전점검결과 - 토목	20
총 펌프 용량	설립연도	안전점검결과 - 토목_건물	10
총 양수 가능량	보수 보강 인력	안전점검결과 - 토목_흡입	5
수해면적	펌프 연간 운영일수	안전점검결과 - 토목_토출	5
양/배수장 구분	연평균 양수량	안전점검결과 - 건축	25
	태풍경보발생횟수	안전점검결과 - 기계	30
	지진발생횟수 및 그 규모	안전점검결과 - 전기	25
	연 1시간 최대 강우량		
	2일 이상 최대강우량		가중치
	일강우량 80mm이상 일수	정밀안전진단결과 - 전체	100
	해안인접거리	정밀안전진단결과 - 토목	-
	기후대 구분(7개)	정밀안전진단결과 - 토목_건물	10
	연강우량	정밀안전진단결과 - 토목_흡입	5
	연 강설횟수	정밀안전진단결과 - 토목_토출	5
	동결융해 빈도 수	정밀안전진단결과 - 건축	25
	100년빈도 홍수량	정밀안전진단결과 - 기계	30
	습도 일수	정밀안전진단결과 - 전기	25
	연평균 기온		
	관개기간 평균기온	개별시설의 종합평가지수	
	연평균 강수량		
	관개기간 강수량		
	연평균 유효 강수 일수		
	연속 무강우 일수		
	기준증발산량		
연평균 유효우량			

나. 통계분석을 위한 자료의 변환 및 스케일링

성능평가모델 관련 입·출력 변수가 기상자료, 양·배수장 제원 관련 자료, A~E로 카테고리화된 안전점검결과 자료 등 다양한 형태로 구성되어 있다. 해당 자료를 이용하여 회귀식을 구성하기 위해 자료를 변환하고, 단위를 조절하였다.

안전점검결과는 연간 4~6회 평가자료에 대하여 A를 100, B를 80, C를 60, D를 40, E를 20으로 수치화한 뒤 이를 평균하여 해당 연도의 종합점수로 활용하였다.

양수장과 배수장을 구분하는 ‘양/배수장 구분’ 항목은 양수장을 0으로, 양·배수장을 1로 하는 더미변수로 변환하였다. ‘유지보수비’와 ‘수리시설개보수비’ 항목은 전년도에 유지보수비 혹은 수리시설개보수비가 존재할 경우 1을 부여하는 더미변수로 변환하여, 이전 년도에 유지보수 혹은 수리시설개보수가 시행되었는지 여부를 판단하는 지표로 활용하였다.

모든 자료의 단위는 한국농어촌공사 DB (RIMS)에서 제공받은 기본 단위를 사용하되, 전반적으로 너무 크거나 너무 작은 값을 가지는 항목의 경우 단위를 조절하였다. 이에 따라, 기온 관련 항목은 °C를, 강수량 관련 항목은 100mm를, 전력 사용량은 mW를, 전력 요금은 만원을 단위로 사용하였다.

양·배수장 성능평가 모델 개발

양·배수장 성능평가 모델 개발에 사용할 데이터는 총 30개의 시설과 각 시설별로 2007~2016년의 총 10개년 간 연별로 데이터가 존재하는 패널 데이터이다. 시설별/연도별 안전점검결과를 환산한 종합점수를 종속변수로 설정하고, 기타 요소를 독립변수로 설정하여 모형을 구성하였다. 통합최소제곱법 (Pooled Ordinary Least Squares, POLS), 패널 데이터 임의효과 모형 (Random Effects model, RE), LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) 회귀분석 모형을 설정하고, 각각의 모형에 대하여 검정을 실시하여 가장 적합한 모형을 도출하였다.

다. 통합최소제곱법 (POLS)

X_{it} 를 독립변수들의 벡터, y_{it} 를 종속변수, u_{it} 를 오차라 할 때, 다음과 같은 회귀식을 설정한다.

$$y_{it} = X_{it}\beta + u_{it}$$

위 모형에서 β 가 개체 및 시간에 관계없이 일정하고, 오차항과 독립변수가 독립이라고 가정하면 보통최소제곱 (OLS) 추정량을 도출할 수

있다. 패널데이터에서 여러 시점의 데이터를 통합하여 OLS에 의해 추정량을 도출하는 방법을 통합최소제곱법 (POLS)이라 한다. 각 시기에 따라 OLS 추정량 $\hat{\beta}_t$ 를 도출하였을 때, POLS 추정량 $\hat{\beta}$ 은 $\hat{\beta}_t$ 들의 가중평균으로 도출됨이 알려져 있다. 따라서 POLS는 시기별 횡단면 함수관계의 가중평균으로 이해할 수 있다.

라. 패널데이터 임의효과 모형 (RE)

오차항 u_{it} 에 시계열 상관이 존재할 경우, POLS 추정량은 효율적이지 않다. 이 경우, 오차항이 다음과 같이 두 성분으로 이루어졌다고 가정하면 더 효율적인 (분산이 작은) 추정량을 계산할 수 있다.

$$u_{it} = \mu_i + \epsilon_{it}$$

여기서, μ_i 는 시간에 걸쳐 변하지 않으며 개체의 특성에 의해 결정되는 개별효과 (individual effect)이고 ϵ_{it} 는 개체와 시간에 걸쳐 변화하는 고유오차 (idiosyncratic error)이다.

μ_i 와 ϵ_{it} 가 서로 비상관이고, μ_i 가 i 에 걸쳐 동일한 분산을 가지며, ϵ_{it} 가 i 와 t 에 걸쳐 비상관이며 동분산이라는 임의효과 가정을 만족한다면 총오차 u_{it} 의 분산과 공분산은 다음의 구조를 가진다.

$$E(u_{it}u_{js}) = \begin{cases} \sigma_{\mu}^2 + \sigma_{\epsilon}^2, & i = j, t = s \\ \sigma_{\mu}^2, & i = j, t \neq s \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

해당 오차항의 분산-공분산 행렬을 통해 일반화최소자승추정법 (Generalized Least Square)으로 추정량을 도출하는 것이 임의효과 추정법 (RE)이다. 임의효과 추정량은 임의효과 가정이 만족된다면 BLUE (Best Linear Unbiased Estimator)이며, 패널데이터의 집단내 효과 (Within Effect, 각 개체 내에서 시간에 걸쳐 일어나는 변화에 의한 효과)와 집단간 효과 (Between Effect, 각 시간 내에서 개체 간 효

과)를 모두 반영한다는 특징이 있다. 그러나 n (개체 수)와 t (기간 수)이 적을 경우 POLS에 비해 효율적인 추정량을 제공하지 않을 수도 있다.

마. LASSO 회귀분석

LASSO 회귀분석은 변수 선택과 정규화를 동시에 시행하여 모형의 설명력을 높이고 효율적인 추정량을 얻는 회귀분석 기법이다. 이는 기본적인 최소자승추정법에 독립변수의 기울기 계수에 관한 제약을 부과함으로써 독립변수 중 모형의 설명력과 관련 있는 부분집합만을 선별함으로써 이루어진다. LASSO 는 다음 식의 해를 통해 기울기 계수를 도출한다.

$$\arg \min_{\beta_0, \beta} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - x_i^T \beta)^2 \right\} \text{ s.t. } \sum_{j=1}^p |\beta_j| \leq t$$

여기서, t 는 회귀계수 값에 대하여 축소 정도를 조절하는 조절 모수이다. t 를 적당히 작게 설정할 경우, 모형 설명력 측면에서 중요하지 않은 변수의 값은 0이 되어 모형에서 제외된다. 이를 통하여 변수 선택이 이루어지며, 독립변수 간의 다중공선성을 해결할 수 있다. LASSO 추정량에는 편의(bias)가 존재하지만 OLS에 비해 효율적이고 모형의 설명력이 개선될 수 있다.

모형 설정 및 검정

세 회귀분석 기법을 통하여 양·배수장 성능 평가 모형을 설정하였다. 전체 표본에서 임의로 80%에 해당하는 240개 표본을 추출하여 모형을 설정한 뒤, 모형 설정에 사용되지 않은 나머지 20% (60개)의 표본을 통해 검정을 시행하여 모형의 적합도를 판단하였다.

여러 가지 통계자료가 존재할 때, 이를 모두 모형에 포함하면 다중공선성 문제가 발생하거나 모형의 설명력을 과대평가할 수 있다. 따라서, 복수의 통계자료 중 대표성을 가지며 결측치 혹은 오류로 의심되는 값이 적은 자료를 선정하여 기상요인 별로 하나 혹은 두가지 자료만을 반영하였다. 이에, 기온은 ‘연평균기온’을, 습도는 ‘평균상대습도’를, 풍속은 ‘평균

풍속'과 '폭풍일수'를, 강수량은 '연강수량총량'을 반영하였다.

LASSO 회귀분석 모형에서 선택된 변수만을 POLS와 RE 모형에서 변수로 포함하였다.

바. 통합최소제곱 (POLS) 모형

통합최소제곱법에 의해 추정된 기울기 계수와 p-value는 아래의 (표 4.27)와 같다.

(표 4.27) 통합최소제곱법에 의한 통계모델(POLS) 분석 결과

	Estimate	Pr(> t)
(Intercept)	-348.598	0.005***
연평균기온 (°C)	63.452	0.001***
연평균기온 ²	-2.398	0.001***
평균상대습도 (%)	0.028	0.889
평균 풍속 (m/s)	0.161	0.470
폭풍일수 (Day)	2.246	0.060*
연강수량총량(100mm)	-0.219	0.442
준공 후 경과기간 (year)	-0.469	0.000***
수해면적 (ha)	0.008	0.000***
한발빈도 (year)	1.348	0.000***
홍수빈도 (year)	-0.093	0.019**
제방표고 (m)	0.118	0.001***
최대양수량 (m ³ /sec)	-2.093	0.010***
일일평균운전시간 (hr)	-0.397	0.030**
삼투량 (mm)	-0.257	0.308
수로손실 (%)	0.572	0.003***
전동기 총마력 (HP)	0.000	0.941
전력 가동시간 (hr)	0.000	0.514
유지보수비 (Dummy)	-0.021	0.994
수리시설개보수비 (Dummy)	19.348	0.135
해안과의 거리 (km)	0.072	0.228

* 10% 유의수준에서 통계적으로 유의

** 5% 유의수준에서 통계적으로 유의

*** 1% 유의수준에서 통계적으로 유의

기상요인의 경우, 5% 유의수준에서는 ‘연평균기온’과 그 제곱만이 통계적으로 유의하였다. 이는 양·배수장의 노후화와 관련하여 최적의 기온이 존재하며, 해당 값에 도달하기 전까지는 기온 증가가 양·배수장 평가 종합점수에 긍정적 영향을 주는 반면 해당 값보다 기온이 증가할 경우 종합점수에 부정적인 영향을 줄 수 있음을 시사한다.

기상요인 외에 시설 제원과 관련된 독립변수들 중에는 ‘준공 후 경과 기간’, ‘수해면적’, ‘한발빈도’, ‘제방표고’, ‘최대양수량’, ‘전동기 총마력’ 등 다양한 요인이 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하였다. 그밖에 5% 유의수준에서 ‘홍수빈도’, ‘일일평균운전시간’ 등의 요인이 통계적으로 유의하였다.

따라서 평가점수는 기상요인보다는 시설 제원과 관련된 요소의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다.

사. 패널데이터 임의효과 모형 (RE)

패널데이터 임의효과 모형에 의해 추정된 기울기 계수와 p-value는 아래의 (표 4.28)과 같다.

(표 4.28) 패널데이터 임의효과 통계모델(RE) 분석 결과

	Estimate	Pr(> z)
(Intercept)	-57.295	0.664
연평균기온 (°C)	18.256	0.349
연평균기온 ²	-0.691	0.355
평균상대습도 (%)	-0.051	0.830
평균 풍속 (m/s)	0.372	0.075
폭풍일수 (Day)	1.643	0.088
연강수량총량(100mm)	-0.127	0.588
준공 후 경과기간 (year)	0.009	0.949
수해면적 (ha)	0.011	0.030**
한발빈도 (year)	1.277	0.016**
홍수빈도 (year)	-0.106	0.261
제방표고 (m)	0.155	0.053*
최대양수량 (m ³ /sec)	-3.402	0.090*
일일평균운전시간 (hr)	-0.443	0.331
삼투량 (mm)	-0.192	0.758
수로손실 (%)	0.352	0.474
전동기 총마력 (HP)	0.001	0.696
전력 가동시간 (hr)	-0.001	0.202
유지보수비 (Dummy)	3.060	0.174
수리시설개보수비 (Dummy)	18.828	0.016**
해안과의 거리 (km)	0.043	0.742

* 10% 유의수준에서 통계적으로 유의

** 5% 유의수준에서 통계적으로 유의

*** 1% 유의수준에서 통계적으로 유의

단순회귀분석 모형과 비교하여, 대부분의 기울기 계수가 통계적으로 유의하지 않아 모형 설정이 올바르게 되지 않았을 것으로 추정된다. 통계적으로 유의하지 않은 독립변수를 제거하는 등의 조치 하에서도 모형의 적합도가 크게 향상되지 않았는데, 이는 분석 대상 양·배수장의 수가 30개로 매우 적기 때문인 것으로 사료된다.

분석된 임의효과 모형의 집단내 R제곱 (within R-square)은 0.0598이며 집단간 R제곱 (between R-square)은 0.5872이었다. 이를 통해 양·배수장의 성능 (종합점수)은 시간에 따른 기상요인 차이보다는 시설 간 제원의 차이에 따라 결정되는 부분이 더 많음을 알 수 있다.

아. LASSO 회귀모형

LASSO 회귀모형에 의해 추정된 기울기 계수는 아래의 (표 4.29)와 같다.

(표 4.29) LASSO 회귀모델 통계분석 결과

	Estimate
(Intercept)	-252.840
연평균기온 (°C)	49.014
연평균기온 ²	-1.848
평균상대습도 (%)	0.030
평균 풍속 (m/s)	0.140
폭풍일수 (Day)	2.108
연강수량총량(100mm)	-0.258
준공 후 경과기간 (year)	-0.472
수해면적 (ha)	0.008
한발빈도 (year)	1.321
홍수빈도 (year)	-0.091
제방표고 (m)	0.116
최대양수량 (m ³ /sec)	-2.037
일일평균운전시간 (hr)	-0.387
삼투량 (mm)	-0.237
수로손실 (%)	0.545
전동기 총마력 (HP)	0.000
전력 가동시간 (hr)	0.000
유지보수비 (Dummy)	-0.047
수리시설개보수비 (Dummy)	19.077
해안과의 거리 (km)	0.066

POLS 모형에서는 기온 관련 기상인자만이 통계적으로 유의한 반면, LASSO 회귀 모형에서는 기온·습도·풍속·폭풍일수·강수량 등의 기상인자가 변수 선택 과정에서 제거되지 않았다. 그러나 기온과 폭풍일수를 제외한 기상인자의 기울기 계수가 0에 근접하므로, 그러한 요인이 양·배수장의 종합점수에 미치는 영향은 매우 낮을 것으로 추정된다.

연평균기온의 경우 그 변수의 1차 제곱항과 2차 제곱항이 변수로 선택되었으며 각

각의 가중치는 49.014, -1.848로 산정되었다. 이는 양·배수장의 성능평가가 연평균 기온의 2차 항으로 계산됨을 뜻하며, 해당 2차 항에서 최대의 성능평가 점수를 도출하는 연평균기온은 이차항의 극점인 13.261로 계산된다. 이는 연평균기온이 약 13°C일 때 최대의 성능평가 점수가 도출될 수 있으며, 이보다 기온이 낮거나 높을 경우는 성능저하가 발생함을 의미한다. 즉 성능을 위한 유지관리 측면에서 최적의 연평균기온은 13°C임을 확인할 수 있다.

자. 검정 및 회귀모형의 선택

통계적 유의성이 낮게 도출되어 모형의 설명력이 매우 낮은 패널데이터 임의효과 모형을 제외하고 POLS 모형과 LASSO 모형을 이용하여 모형 설정에 사용되지 않은 전체 데이터의 20%에 해당하는 60개 표본에 대한 종속변수의 추정치를 도출하였다. 이를 종속변수의 참값과 비교하는 검정과정을 진행하였으며, 평균제곱오차 (Mean Squared Error; MSE)가 작은 LASSO 회귀모형을 최종 평가 모델로 선정하였다. LASSO 모형을 이용한 성능평가 모델의 검정 결과 MSE는 161.85로 나타났으며, 이에 따른 평균 제곱근 오차 (Root Mean Square Error; RMSE)는 12.72로 나타났다.

해당 모델 구축에 사용된 데이터로 안전점검에 의한 결과값을 종속변수로 사용하였는데, 성능이 저하된 정도를 나타낼 수 있는 특정 연도와 그다음 연도와 안전점검 결과의 차이를 종속변수로 사용하는 경우에 대해서도 통계 모형 구축을 진행하였다. 그러나 이 경우 모든 종속변수들의 통계적 유의성이 매우 낮아 통계적 유의성이 없음을 확인하였다. 이는 성능이 저하된 정도를 나타내는 연도별 안전점검 결과의 차이가 대부분의 경우에서 0의 값을 가지고 있어 이에 따라 성능저하의 정도를 회귀식을 이용해 추정하는 것은 어려운 것으로 분석되었다. 따라서 해당 성능평가 모델을 이용한 성능의 예측을 위해서는 안전점검 결과의 연도별 차이가 아닌 기존과 같이 안전점검 결과를 종속변수로 사용하여 통계 모형을 구축하였다. 통계 모형을 이용한 성능평가 모델의 검정 결과는 아래의 표 4.5와 같다. 전체 300개의 표본의 20%에 해당하는 60개의 표본에 대해 과거 구축자료인 안전점검 결과를 참값으로, 성능평가 모델을 이용한 성능평가 결과의 추정치를 비교하였다.

(표 4.30) 통계분석을 통한 성능평가모델의 검정 결과

표본	참값	POLS 추정치	LASSO 추정치	표본	참값	POLS 추정치	LASSO 추정치
1	60.00	69.17	68.82	31	80.00	86.13	85.51
2	60.00	66.23	65.92	32	80.00	85.28	84.67
3	80.00	63.51	63.68	33	80.00	90.16	89.88
4	70.00	62.61	62.60	34	80.00	79.29	79.76
5	80.00	96.72	96.77	35	80.00	76.31	77.61
6	100.00	94.40	93.94	36	100.00	81.67	81.07
7	60.00	87.61	87.46	37	100.00	81.07	80.71
8	60.00	89.34	88.79	38	100.00	81.36	81.39
9	100.00	100.00	100.00	39	80.00	80.27	79.80
10	80.00	74.92	75.30	40	80.00	73.91	73.75
11	80.00	77.21	76.57	41	80.00	86.04	85.17
12	80.00	76.78	76.15	42	100.00	99.55	98.80
13	80.00	73.46	73.57	43	85.00	97.91	97.43
14	60.00	63.03	63.69	44	80.00	95.58	95.14
15	60.00	63.86	64.64	45	80.00	97.29	96.93
16	60.00	60.64	61.58	46	93.33	85.15	85.17
17	50.00	64.62	64.88	47	100.00	87.76	86.89
18	80.00	76.66	77.28	48	64.00	64.15	64.20
19	100.00	79.45	81.54	49	80.00	66.44	66.21
20	80.00	79.29	78.81	50	100.00	94.49	94.00
21	80.00	79.00	78.56	51	100.00	100.00	100.00
22	65.00	74.95	75.47	52	96.67	83.13	83.13
23	60.00	73.68	73.17	53	60.00	71.24	71.08
24	60.00	75.16	74.50	54	60.00	69.56	69.85
25	60.00	72.34	71.84	55	80.00	76.24	75.78
26	60.00	68.85	69.20	56	80.00	73.92	74.02
27	80.00	65.56	65.90	57	100.00	68.58	69.55
28	40.00	65.48	65.07	58	60.00	69.41	69.36
29	40.00	62.73	62.48	59	80.00	66.25	66.27
30	80.00	60.96	61.17	60	80.00	66.99	66.85
		M S E				185.84	161.82

기후변화를 고려한 성능평가 모델 구축

4.3.2 기후변화 시나리오

본 연구에서는 기후변화 시나리오 중 RCP (Representative Concentration Pathway) 시나리오 자료를 활용하였다.

IPCC 5차 평가 보고서에서는 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였다. 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회-경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 '대표(Representative)'라는 표현을 사용한다. 그리고 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 '경로(Pathways)'라는 의미를 포함한다.

RCP 시나리오는 RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5로 구분된다. 향후 기후변화 관련 대응정책의 성과에 따라 시나리오를 세분화하였다. 구체적으로, RCP8.5는 온실가스의 저감 없이 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우를 상정하였으며, RCP2.6은 인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우를 상정하였다. RCP4.5와 RCP6.0은 그 중간 단계의 온실가스 저감 정책 성과를 달성했을 경우를 상정했을 때의 시나리오이다.

4.3.3 기후변화 시나리오를 적용한 성능저하 예측

본 연구에서는 KMA(Korea Meteorological Administration)에서 제공하는 RCP 시나리오 중 RCP6.0 (온실가스 저감 정책이 어느정도 실현되는 경우)에 의한 기후 예상 자료를 활용하여 기후변화를 고려한 성능평가를 예측하였다. 4.4.3절 다에 제시된 LASSO 회귀모형과 RCP6.0에 의한 기상예측자료를 통해 향후 10년 간의 양-배수장의 종합점수 추정치를 산정하였다.

독립변수 중 기상요인의 경우 연평균기온과 그 제곱, 그리고 연강수량 총량은 RCP6.0에 의한 예측자료를 활용하였다. 기타 기상요인은 RCP 시나리오에서 제공되지 않아 2008~2017년 기상자료의 평균값을 적용하였다. 독립변수 중 시설 제원 관련 변수의 경우 준공 후 경과기간은 미래 연도별로 계산하여 적용하였으며, 유지보수비·수리시설개보수비, 더미변수 값은 0으로 설정하여 이전 기에 별도의 보수가 발생하지 않은 상황을 상정하였다. 기타 변수들은 시설 제원을 그대로 적용하였다. 성능이 저하된 정도를 나타내기 위해서는 통계 모형의 결과로 나타난 성능평가 결과 추정치의 차이를 이용하였다. A 연도에서 X의 성능평가 결과가 도출되고, 그다음 해인 A+1연도에서의 성능평가 결과가 Y로 도출될 경우, X-Y의 값을 A+1연도에서의 성능저하 정도로 이용하였다. 또한 안전점검 결과가 존재하는 가장 최근의 연도를 기준연도로 설

정하고, 해당 성능저하 정도를 시간에 따라 누적시켜 미래의 연도별 성능평가 점수를 예측하였다.

기후변화를 고려한 성능평가 지도

기후변화 시나리오를 적용한 성능평가 모델을 통해 향후 10년 간의 양·배수장 종합점수 추정치를 도출하였다. (표 4.31)과 <그림 4.11>, <그림 4.12>, <그림 4.13>은 그중 1년, 5년, 10년 후의 추정치를 각각 표와 지도로 나타낸 것이다. 또한 (표 4.32)는 성능평가 모델의 결과를 바탕으로, 성능저하 정도를 계산하여 최종적인 예측 성능평가 점수를 도출한 결과이다.

성능평가 모델의 기후변화 시나리오 적용에 따라 대상지구 양·배수장의 성능평가 결과가 감소하는 경우와 증가하는 경우가 나타났다. 혹은 시간이 지남에 따라 일정한 경향성을 나타내지 않고 증가하다가 감소, 감소하다가 증가하는 경우도 나타났다. 이는 기후변화 시나리오로 고려된 인자인 연평균기온과 연강수량 총량이 일정한 경향을 나타내기에 10년간의 기간이 짧았기 때문으로 분석된다. 적용된 2027년까지의 10년 기후변화 시나리오 자료를 살펴보면, 연평균기온과 연강수량 총량 모두 특별한 경향성이 나타나지는 않았다. 연도별로 전체 기상대에 전반적인 기온 하강 혹은 강수량의 증가가 나타나지는 했으며, 특히 2020년에는 대부분의 기상대에서 온도가 감소하였고, 2025년에는 대부분의 기상대에서 강수량이 증가하였는데 이에 따라 2020년과 2025년에는 대부분의 양·배수장에서 평가 점수가 하락하였다.

성능평가 모델의 결과 값이 시간의 경과에 따라 증가하는 경우도 나타난 것은, 해당 연도의 기온 및 강수량의 기상조건이 유지관리 측면에서 유리했음을 의미한다. 즉, 해당 연도의 기온이 기후변화 시나리오에서 제시하는 13°C에 가까웠거나, 혹은 강수량이 감소하는 경우 그 성능평가 결과가 높게 나타난다. 반면에 평가 결과가 낮게 나타난 연도는 해당 연도에서 기후변화 시나리오에 따른 기상조건이 유지관리 측면에서 불리하게 예측되었음을 나타낸다. 이는 짧은 기간의 기후변화 시나리오가 적용되어, 경향성을 보여주기보다 해마다의 변동성이 반영된 결과이다. 기후변화 시나리오 자체도 모델을 통해 예측된 자료이기에 이를 바탕으로 짧은 기간에 대한 정확한 예측은 어려울 것으로 분석되었다.

(표 4.32)의 성능이 저하된 정도를 나타낸 성능저하는 성능평가 모델의 결과에서 전년도 대비 그 값이 하락하였을 경우 그 차이를 성능저하로, 그리고 그 값이 변화가 없거나 증가하였을 경우 0의 값을 성능저하 값으로 설정하였다. 그리고 가장 최근의 안전점검 결과인 2017년을 기준으로 해당 연도의 안전점검 결과로부터 성능저하 값을 시간에 따라 누적하여 차감하여 미래의 성능평가 점수를 예측하였다. 가장 큰 성능저하 누적값이 나타난 곳은 외삼포양수장으로

30.5의 성능저하가 일어나 2017년 100점의 성능평가 점수가 2026년 69.5로 떨어질 것으로 예측하였다. 가장 적은 성능저하가 발생한 곳은 장암2양수장으로 5.4 값만큼의 성능저하가 일어나 2017년 60점의 성능평가 점수가 2026년 54.6으로 떨어질 것으로 예측되었다.

기간이 비교적 짧은 시나리오를 적용하여 미래의 성능평가 결과를 예측한 것은, 해당 평가 모델을 구축하는데 이용된 자료가 10년간의 비교적 짧은 기간이었다는 한계점 때문이었다. 그러나 성능저하와 관련된 요인들의 과거 빅데이터를 구축할 수 있다면 이러한 한계점도 충분히 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

(표 4.31) 기후변화를 고려한 성능평가 모델 결과

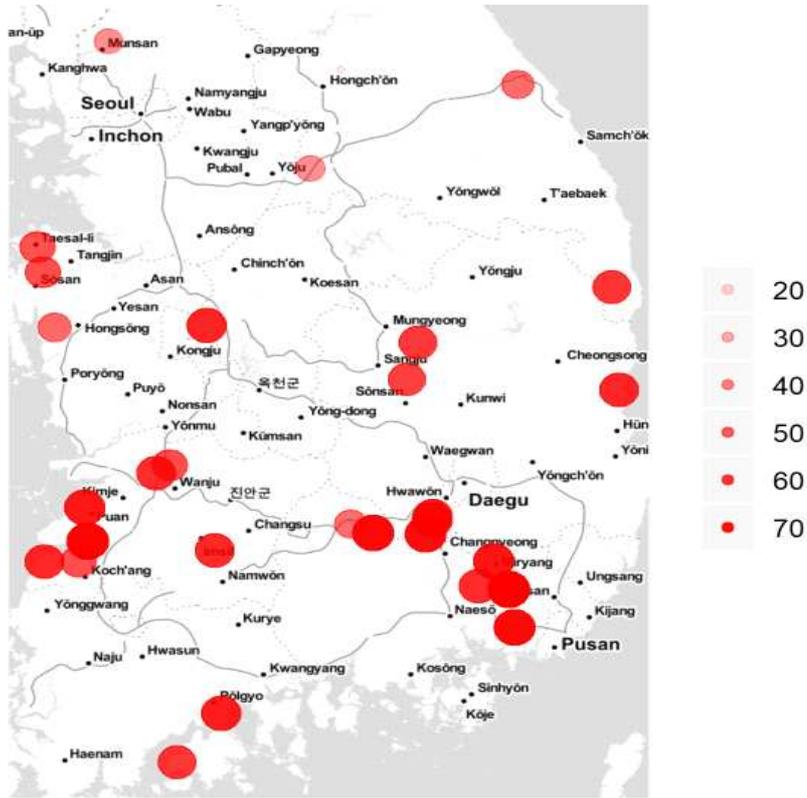
연도	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
구정	47.2	44.0	35.6	51.1	48.3	45.1	46.6	41.6	47.2	52.4
금평	63.8	65.2	62.5	65.4	64.7	64.6	63.7	62.9	62.8	61.9
낙정	58.5	57.7	52.5	61.7	59.4	60.4	58.0	55.9	58.2	59.9
난산	72.8	74.0	71.6	74.3	73.6	73.4	72.3	71.6	71.8	71.0
내이	68.3	67.3	66.6	67.6	66.5	66.8	65.9	65.4	64.4	63.9
당상	67.9	69.2	66.4	69.8	69.2	69.1	68.2	66.8	67.5	66.7
대단위	38.2	45.8	36.8	51.5	51.6	50.9	45.8	39.3	49.6	50.7
대산	53.7	59.3	54.8	61.1	62.0	61.5	60.4	54.6	60.3	60.2
대암	70.6	69.7	68.4	69.5	69.4	69.0	68.5	67.9	66.9	66.0
마찰	71.7	70.2	72.4	67.8	67.9	66.4	67.4	68.1	64.7	61.5
반월	63.3	62.3	61.4	63.0	61.9	62.1	61.2	60.7	59.5	59.3
봉동	54.9	55.4	52.9	57.5	56.7	56.4	54.4	53.2	55.1	54.3
봉암	60.0	58.3	59.1	57.2	56.5	54.5	54.5	56.0	53.7	50.1
부흥	64.3	63.4	54.2	67.5	63.9	65.8	64.8	61.2	63.6	66.6
사창	54.7	56.6	53.1	57.2	56.5	56.5	55.0	54.2	54.9	54.5
생림	73.9	73.1	71.7	73.4	71.9	72.4	71.3	70.8	69.6	69.4
서평	64.8	66.8	61.6	70.3	69.1	69.5	66.7	63.9	68.1	68.5
석강1	46.7	46.1	36.3	53.5	48.0	51.8	48.1	46.6	47.7	54.5
섬강	38.5	42.1	32.9	49.4	48.0	51.5	44.7	37.5	48.6	51.8
성연	54.5	59.6	54.1	61.4	62.5	62.3	59.6	55.0	61.0	61.3
신평	71.8	71.4	67.2	73.8	71.8	72.7	70.8	70.0	70.0	71.9
양서	59.8	59.0	53.7	63.8	61.4	62.1	59.5	56.4	60.2	61.6
와룡1	48.2	53.1	47.6	55.3	55.2	55.2	53.3	48.5	54.3	54.1
외삼포	16.1	19.6	5.3	27.1	28.1	32.6	23.6	16.4	30.0	35.5
외선미1	60.8	58.6	47.2	65.0	59.5	61.4	61.1	56.2	60.0	64.1
용산	63.7	64.4	60.8	67.8	66.3	67.5	63.9	63.2	65.5	66.8
장암2	66.5	66.0	65.7	65.5	64.9	64.1	63.8	63.8	62.5	61.0
주교	62.5	62.9	61.0	64.5	63.9	63.5	61.7	60.7	62.2	61.0
지동	67.9	67.0	66.5	65.9	66.4	65.7	65.4	65.0	63.8	62.3
현풍	64.4	63.5	63.0	62.4	62.9	62.2	61.9	61.5	60.3	58.8

(표 4.32) 성능평가 모델을 이용한 성능평가 점수 예측 결과

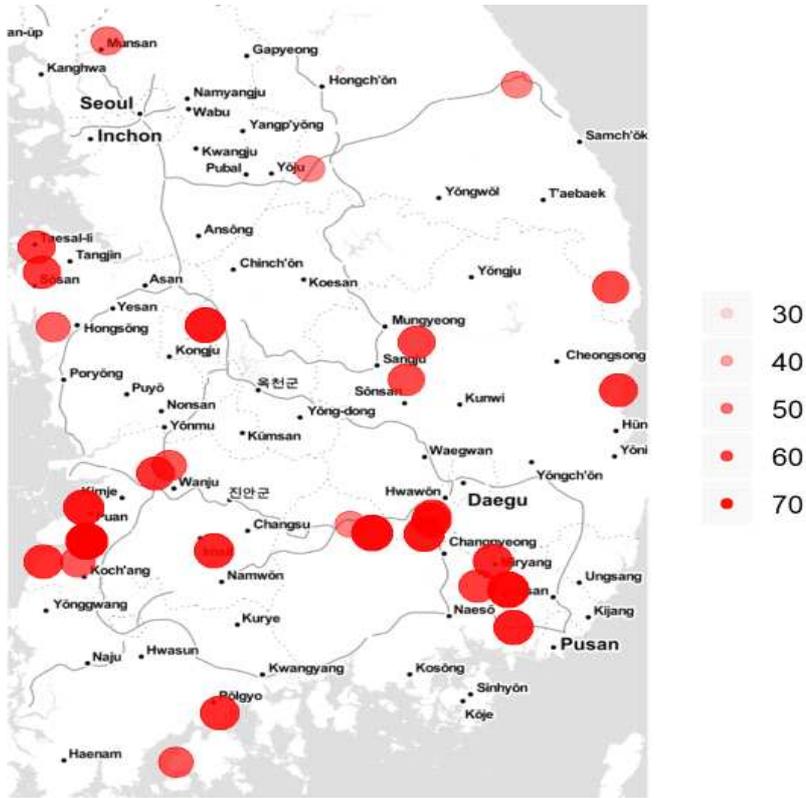
지역	2017년 (측정 데이터)	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년	2025년	2026년
	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수
구정	- 60	-3.256.8	-8.448.4	0.0 48.4	-2.845.7	-3.242.4	0.0 42.4	-5.037.4	0.0 37.4	0.0 37.4
금평	- 100	0.0 100	-2.797.3	0.0 97.3	-0.796.6	-0.296.4	-0.895.6	-0.994.8	0.0 94.7	-0.993.8
낙정	- 100	-0.899.2	-5.294.0	0.0 94.0	-2.491.6	0.0 91.6	-2.489.2	-2.287.0	0.0 87.0	0.0 87.0
난산	- 100	0.0 100	-2.497.6	0.0 97.6	-0.796.9	-0.296.7	-1.195.6	-0.894.9	0.0 94.9	-0.894.1
내이	- 80	-1.079.0	-0.778.3	0.0 78.3	-1.177.1	0.0 77.1	-0.876.3	-0.675.7	-1.074.7	-0.574.2
당상	- 80	0.0 80.0	-2.777.3	0.0 77.3	-0.676.7	-0.176.6	-0.975.7	-1.474.3	0.0 74.3	-0.873.5
대단위	- 80	0.0 80.0	-9.071.0	0.0 71.0	0.0 71.0	-0.770.3	-5.265.2	-6.558.7	0.0 58.7	0.0 58.7
대산	- 50	0.0 50.0	-4.545.5	0.0 45.5	0.0 45.5	-0.545.0	-1.143.9	-5.838.1	0.0 38.1	-0.138.1
대암	- 85	-0.984.1	-1.382.8	0.0 82.8	-0.182.7	-0.582.2	-0.581.7	-0.681.2	-1.080.2	-0.979.2
마찰	- 85	-1.583.5	0.0 83.5	-4.678.9	0.0 78.9	-1.477.5	0.0 77.5	0.0 77.5	-3.474.1	-3.370.8
반월	- 65	-1.064.0	-0.963.1	0.0 63.1	-1.162.0	0.0 62.0	-0.961.1	-0.560.5	-1.259.4	-0.259.2
봉동	- 60	0.0 60.0	-2.657.4	0.0 57.4	-0.756.7	-0.356.4	-2.054.4	-1.253.1	0.0 53.1	-0.852.4
봉암	- 80	-1.778.3	0.0 78.3	-2.076.3	-0.775.6	-1.973.7	-0.173.6	0.0 73.6	-2.371.2	-3.667.6
부흥	- 80	-0.979.1	-9.269.9	0.0 69.9	-3.666.2	0.0 66.2	-1.065.3	-3.661.7	0.0 61.7	0.0 61.7
사창	- 80	0.0 80.0	-3.576.5	0.0 76.5	-0.675.8	0.0 75.8	-1.574.3	-0.873.5	0.0 73.5	-0.473.1
생림	- 80	-0.879.2	-1.477.8	0.0 77.8	-1.576.3	0.0 76.3	-1.175.2	-0.574.7	-1.273.5	-0.173.4

(표 4.32) 성능평가 모델을 이용한 성능평가 점수 예측 결과(계속)

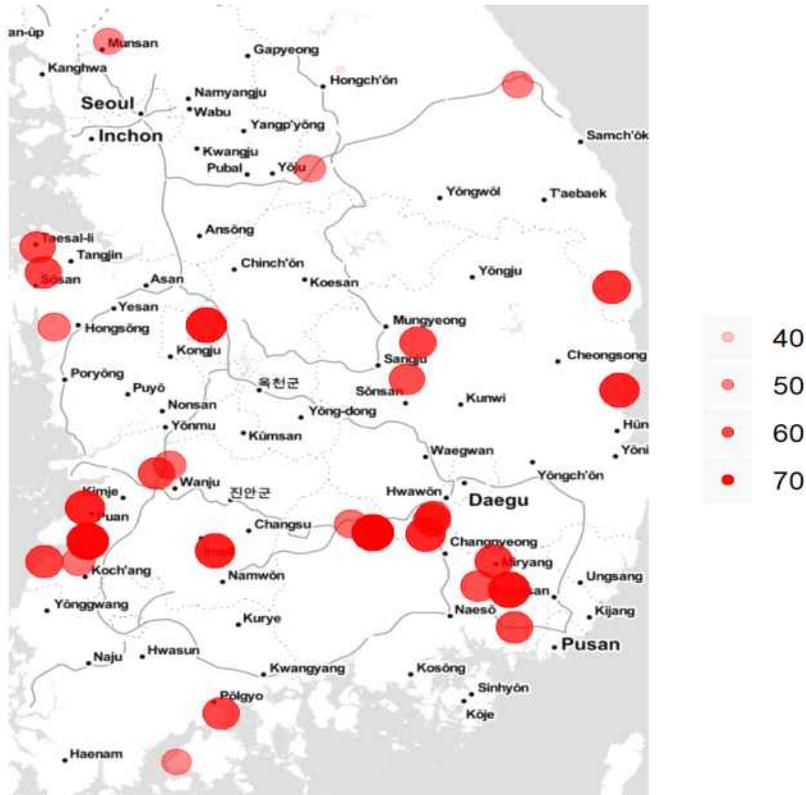
지역	2017년 (측정 데이터)	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년	2025년	2026년
	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수	성능 평가 저하 점수
서평	- 80	0.0 80.0	-5.2 74.8	0.0 74.8	-1.2 73.6	0.0 73.6	-2.9 70.7	-2.8 67.9	0.0 67.9	0.0 67.9
석강1	- 80	-0.6 79.4	-9.8 69.7	0.0 69.7	-5.5 64.2	0.0 64.2	-3.8 60.4	-1.5 58.9	0.0 58.9	0.0 58.9
섬강	- 80	0.0 80.0	-9.2 70.8	0.0 70.8	-1.5 69.3	0.0 69.3	-6.8 62.6	-7.3 55.3	0.0 55.3	0.0 55.3
성연	- 50	0.0 50.0	-5.5 44.5	0.0 44.5	0.0 44.5	-0.2 44.3	-2.7 41.6	-4.6 37.1	0.0 37.1	0.0 37.1
신평	- 80	-0.4 79.6	-4.3 75.4	0.0 75.4	-2.1 73.3	0.0 73.3	-1.9 71.4	-0.9 70.6	0.0 70.5	0.0 70.5
양서	- 100	-0.8 99.2	-5.4 93.8	0.0 93.8	-2.5 91.4	0.0 91.4	-2.6 88.8	-3.1 85.7	0.0 85.7	0.0 85.7
와룡1	- 80	0.0 80.0	-5.5 74.5	0.0 74.5	-0.1 74.4	0.0 74.3	-1.9 72.4	-4.8 67.7	0.0 67.7	-0.2 67.4
외삼포	- 100	0.0 100	-14 85.7	0.0 85.7	0.0 85.7	0.0 85.7	-9.0 76.7	-7.2 69.5	0.0 69.5	0.0 69.5
외선미 1	- 100	-2.2 97.8	-11 86.5	0.0 86.5	-5.5 81.0	0.0 81.0	-0.3 80.7	-4.9 75.8	0.0 75.8	0.0 75.8
용산	- 80	0.0 80.0	-3.6 76.4	0.0 76.4	-1.5 74.9	0.0 74.9	-3.6 71.2	-0.7 70.6	0.0 70.6	0.0 70.6
장암2	- 60	-0.5 59.5	-0.3 59.2	-0.2 59.0	-0.6 58.4	-0.8 57.6	-0.3 57.3	-0.1 57.3	-1.2 56.0	-1.5 54.6
주교	- 40	0.0 40.0	-1.9 38.1	0.0 38.1	-0.6 37.5	-0.4 37.0	-1.7 35.3	-1.1 34.2	0.0 34.2	-1.1 33.1
지동	- 40	-0.9 39.1	-0.5 38.6	-0.7 38.0	0.0 38.0	-0.7 37.3	-0.3 36.9	-0.4 36.5	-1.1 35.4	-1.5 33.9
현풍	- 80	-0.9 79.1	-0.5 78.6	-0.7 78.0	0.0 78.0	-0.7 77.3	-0.3 76.9	-0.4 76.5	-1.1 75.4	-1.5 73.9



< 그림 4.11 > 기후변화를 고려한 성능평가 지도 파일럿 (2018년)



< 그림 4.12 > 기후변화를 고려한 성능평가 지도 파일럿 (2022년)



< 그림 4.13 > 기후변화를 고려한 성능평가 지도 파일럿 (2027년)

위 성능평가 결과는 미래 기후변화에 따른 기상요인 변화가 양·배수장의 성능에 미치는 영향을 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 그러나 모형 구축 결과 기상요인 중 온도가 종합점수에 영향을 미치는 비중이 절대적이었고, 이 또한 각 시설에서 시설 간 제원의 차이에 비해서는 적었다는 점에서 미래 기후변화에 따른 양·배수장의 성능저하 원인 및 정도를 제한적으로 규명하였다고 사료된다. 뿐만 아니라 적용된 기후변화 시나리오의 경우 과거 실측데이터와 비교했을 때, 데이터의 불연속성이 존재하였다. 성능평가 모형을 구축하는데 이용된 2008년부터 2017년까지의 기상데이터와 2018년부터 2027년까지 적용된 기후변화 시나리오의 기상데이터를 연결해보았을 때, 2017년에서 2018년으로 변화할 때 큰 변화가 나타났다. 이는 기후변화 시나리오 자체가 예측모델로써 그 불확실성이 크기 때문이며, 이에 따라 오랜 기간 동안의 추세를 보여줄 수는 있지만 짧은 기간(1년~5년)의 예측 정확도는 떨어진 것으로 분석된다. 짧은 기간 동안의 성능저하 정도를 파악하기 위해서는 기후변화 시나리오가 아닌 실측 기상데이터를 사용해야 할 것으로 사료되며, 성능평가 모형을 이용해 다음 연도의 성능평가 점수를 예측하기 위해서는 전년도가 끝나는 시점에서 전년도에

대한 새로운 기상데이터를 추가 입력자료로 사용하여 성능저하 정도를 도출해 낼 필요가 있을 것으로 판단된다.

또한 향후 다른 기후변화 시나리오를 사용하거나, 시간이 지남에 따라 시설 제원이 달라지는 점 등을 추가로 가정할 경우 핵심적인 내용이 변화할 수 있으므로 이와 관련하여 다양한 후속 연구가 필요할 것으로 분석되며, 성능저하와 관련된 요인들의 추가적인 과거 빅데이터 구축으로 성능평가 모델의 정확도를 높일 수 있을 것으로 기대한다.

소결

현재 안전점검이나 정밀안전진단의 시행체계 및 사례를 분석한 결과 성능과 관련된 상태 평가와 안전성 평가로 이루어 지구 있었는데, 이 두 항목을 모두 고려할 수 있는 평가항목들의 개발이 필요한 것으로 분석되었다.

평가항목의 가중값을 통한 종합평가 결과만을 보았을 때, 현재 시설물의 상태에 대한 오판이 일어날 수 있을 것으로 판단되었으며, 자산관점의 시설물 운영을 위한 효율적인 유지관리와 예산분배를 위해서는 현재 상태에 대한 단순한 평가와 더불어 시설물의 성능을 예측하는 방법 개발이 필요할 것으로 분석되었다.

안전점검 및 정밀안전진단의 사례 분석과 현장조사를 통해 도출된 요인들을 입력변수로 하여 통계분석을 통해 양·배수장의 성능평가 모델을 구축하였다.

도출된 요인들에 대한 자료 구축과 변환을 통해 통합최소제곱법(POLS)과 패널데이터 임의효과 모형(RE), 그리고 LASSO 회귀분석을 통한 통계분석을 수행하였다.

각 요인들에 대한 통계분석의 기울기를 도출하고, 모형의 검정 결과, LASSO 회귀모형을 최종 평가 모형으로 선정하였다.

기후변화 RCP 시나리오를 적용하여 기상하중에 따른 2020년까지의 성능평가 예측 모델을 제시하고, 이를 바탕으로 양·배수장 성능저하의 하중지도 파일럿을 작성하였다.

개발된 평가 모델은 성능저하 요인들의 성능저하 정도를 반영하고 있는 것으로 결과가 나왔지만 보다 정확한 성능평가의 결과 도출을 위해서는 요인들 각각의 통계적 기울기에 대한 추가적인 원인 분석과 보

정을 수행할 수 있는 후속 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

향후 다른 기후변화 시나리오를 사용하거나 시간이 지남에 따라 변화하는 시설 제원 등을 추가로 고려하기 위한 다양한 후속 연구도 함께 추진 되었으면 한다.

농업기반시설물의 성능저하와 관련된 평가 사례와 요인에 대한 분석, 그리고 평가 모델 개발을 통해 농업기반시설물의 운영관리를 위한 수치적 의사결정 시스템을 도입하였으며 신뢰성 높은 시스템의 개발로 보다 객관적이고 효과적인 성능 평가를 통해 효율적인 운영관리 의사 결정을 지원할 수 있을 것으로 기대되었다.

제 5 장

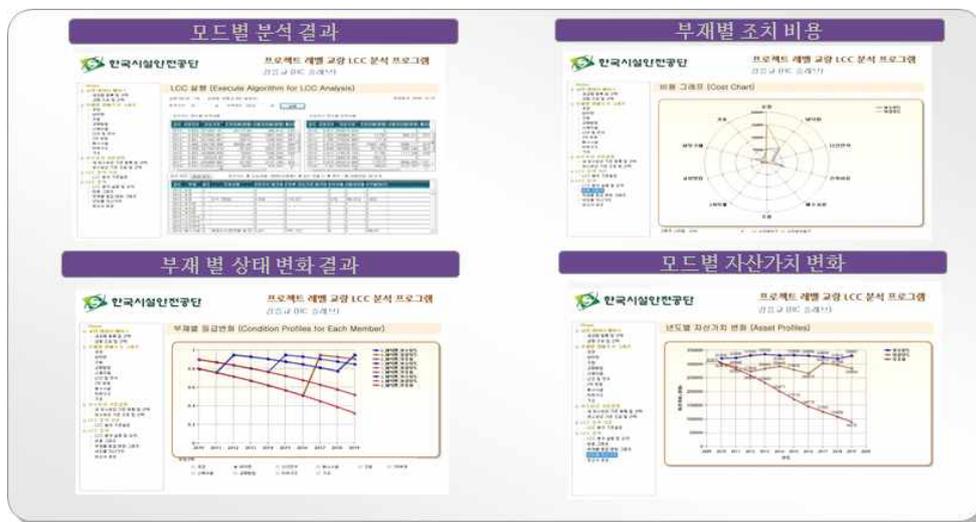
자산관리 체계 도입 방향

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발

국내 자산관리 선행기술 사례조사

5.1.1 자산관리 추진 현황

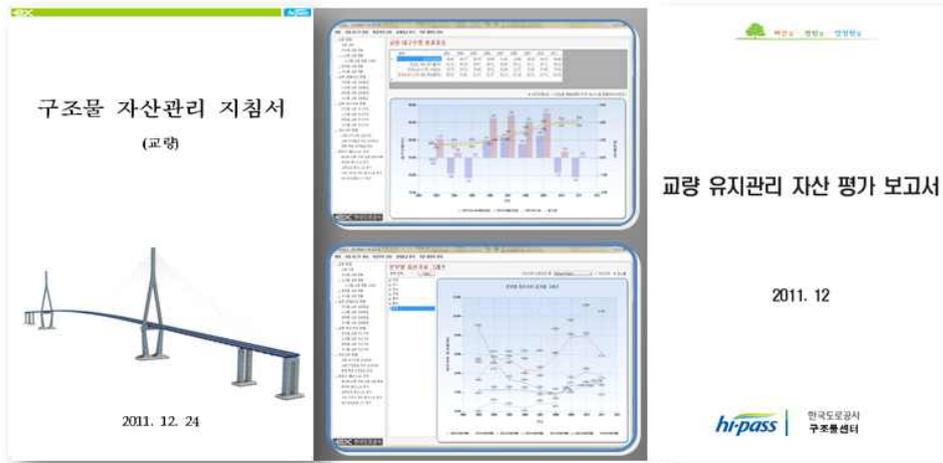
국내에서 인프라 시설물의 자산관리 분야에 대한 연구는 한국시설안전공단과 한국도로공사를 중심으로 이루어져 왔다. 한국시설안전공단에서는 2005년에 “생애주기비용에 기초한 시설물 최적 유지관리 시스템 개발” 연구에서 자산관리 개념을 시설물 유지관리에 도입하는 기초 연구를 수행하였다. 다음으로 2008년부터 2010년까지 “LCC 예측 모델을 활용한 도로시설물 유지관리 계획 수립 방안 연구”를 수행하였다. 이 두 가지 연구과제를 통하여 시설물의 자산가치평가 방법, 시설물의 부재별 수명 및 유지관리 비용 예측 방법, 자산관리 체계의 도입 및 운영 방안, 자산관리를 위한 기초적인 분석프로그램 개발 등의 성과를 도출하였다.



< 그림 5.1 > 한국시설안전공단 자산관리 분석 프로그램

한국도로공사에서는 2008년부터 2009년까지 “자산관리체계 Framework 개발 연구”와 2010년부터 2011년까지 “선진구조물 자산관리체계 적용 연구”를 통하여 고속도로 상의 교량에 대한 성능 중심의 유지관리 도입방안을 연구하였다. 두 가지 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 도출하였다.



< 그림 5.2 > 한국도로공사 자산관리 업무지침서

이와 같은 자산관리의 기본적인 개념과 도입방법을 검토하는 연구 이외에도 도로분야에서는 도로시설물의 유지관리 시스템을 개발 및 운영하는 연구가 수행되었다. 한국건설기술연구원은 1983년부터 국토교통부의 위탁을 받아 국도포장 유지관리시스템(국도PMS: Pavement Management System)을 개발하여 운영 중이다. 도로포장의 상태를 자동으로 조사할 수 있는 차량(ARAN)과 비파괴시험장비인 FWD, 미끄럼 조사장비 등을 통합 운영하여 도로포장의 상태를 지수(PCI: Pavement Condition Index)화하여 보수구간을 선정하는데 활용하고 있다. 한국도로공사는 1994년부터 서울시는 2002년부터 포장유지관리시스템을 각각 개발하고 조사장비를 운영하여 포장도로 보수구간 선정에 활용하고 있다. 한국도로공사와 한국건설기술연구원은 고속도로 및 국도의 교량들에 대한 교량 유지관리시스템(BMS: Bridge Management System)를 개발 및 운영하고 있다. 한국도로공사는 2000년에 HBMS를 완성하여 교량의 정밀안전진단 및 정기점검에서 얻어진 상태조사정보, 유지보수 시행 이력 등을 저장하여 교량의 유지관리 업무에 활용하고 있다. 한국건설기술연구원은 2010년부터 2012년까지 기존의 국도BMS를 개선하는 연구를 수행하여 상태 및 보수 이력정보 관리 수준에 머물던 국도BMS에 의사결정 논리와 자산관리의 개념을 도입하는 개발을 완료하였다.

한국도로공사는 고속도로의 포장 및 교량에 대한 상태 정보 및 유지관리 이력

정보를 사내 인트라넷인 “Hi-Portal”에 “Hi-유지관리”라는 영역을 만들어 모두 저장하고 있다. 국도의 경우에는 교량 BMS의 정보는 “건설CALS”에 저장되어 활용되고 있다.

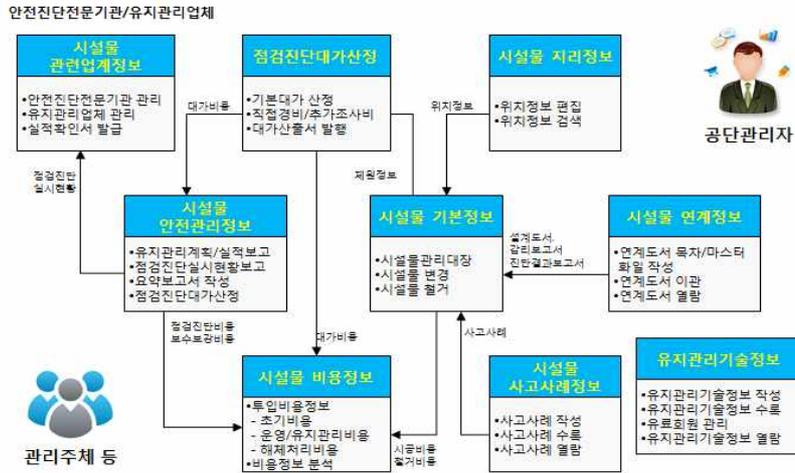
이외에도 한국공항공사와 인천공항공사는 활주로, 유도로, 계류장 등의 포장 상태를 조사 분석하는 공항PMS를 운영하고 있다. 이와 같은 유지관리 시스템들은 자산관리의 도입 과정에서 반드시 필요한 시설물의 성능(또는 상태)에 대한 정보를 획득하여 정량화하고 저장하는 역할을 하고 있는 부분으로 다양한 연구가 이루어진 상태이다. 유지관리 시스템 운영의 경험을 활용하여 자산관리를 여러 사회기반시설물의 영역으로 확장할 경우 다양한 시설물별 성능평가 방법론의 정립에 도움이 될 것으로 판단된다.

5.1.2 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 있다.

사회기반시설물의 유지관리체계는 중앙 정부조직을 중심으로 시설물의 특성에 맞게 유지관리업무를 분담하여 관련 산하기관들이 운영하고 있으며, 그밖에 광역시도 및 지방자치단체로 유지관리 업무 체계가 나뉘어있다. 대표적인 사회기반시설물이라고 할 수 있는 도로, 철도, 하천 등에 대해 국토해양부에서 시설물별로 역할을 분담하여 관리하고 도로 포장관리 및 절토사면 유지관리 시스템 운영, 도로통합관리시스템 운영, 국도유지관리 관련 업무 및 예산을 총괄하고 있다. 정부 산하기관인 한국시설안전공단, 한국도로공사, 한국수자원공사, 한국철도공사 등이 시설물의 특성에 따라 유지관리 업무에 관한 역할을 분담하고 있다.

각 유지관리 기관에 의해 사회기반시설물에 대한 시설물 통합관리가 시행되고 있으며, 이를 위해 온라인 및 전용 S/W를 기반으로 한 유지관리시스템이 구축되어 운영 중에 있다. 대표적인 시설물 정보관리 시스템으로는 한국시설안전공단의 ‘시설물 정보관리 종합 시스템(Facility Management System, FMS)이 있다. 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 시스템이다.



자료 : 한국시설안전공단 인프라성능 지속관리체계 시범사업 및 시스템 구축 기획 연구(2014)
 < 그림 5.3 > FMS 기능 구조도

현재 국내의 경우 자산관리의 핵심이라고 할 수 있는 예방적 유지관리의 기준 및 보수·보강 계획과 시행을 위한 매뉴얼 등의 관리 기준은 미흡한 상태이다. 국내에서도 시설물의 체계적이고 과학적 접근을 통한 유지관리를 위해 한국시설안전공단의 FMS나 한국도로공사의 PMS와 HBMS 등과 같은 유지관리 프로그램들이 활용되고 있으나, 자산관리체계 구현을 위해서는 추가적인 기능 및 운영의 개선이 필요한 실정이다.

해외 자산관리 선행기술 사례조사

5.1.3 자산관리 도입 배경

미국

미국의 경우 도로, 철도 등 사회기반시설이 상당수가 노후화되어 1980년대부터 고령화 시대에 진입하고, 유지관리비용도 비약적으로 증가하고 있다. 사회기반시설의 평균 내용연수가 50년이므로, 경제대공황 시절(1920~1930년) 건설된 많은 시설이 내용연수를 초과하여 고령화 되었고 중앙 정부와 달리 사회기반시설을 직접 관리하는 주 또는 지방정부의 유지관리예산은 비약적으로 증가하는 추세를 보이고 있다.

미국은 1990년대 이후 도로에 대한 신규 투자가 거의 없었고 도로 유지관리 비용이 주/지방정부 전체 예산의 약 10%(약 1400~1500억 달러)로 상승하였다. 지방정부는 재정적자로 채권 발행을 통하여 차입한 자금으로 유지관리 비용을 충당하면서 보다 정확하고 체계적인 접근법의 필요성이 대두되었다. 이에 따라 민간과 같이 유지보수 예산 집행에 대한 논리적 근거 제시 요구가 증가되었고 교량, 포장, 공공시설물 등을 시스템 통합 관점에서 접근 방법을 모색하였다.



< 그림 5.4 > 미국의 자산관리 발전 현황

ASCE(American Society of Civil Engineers)는 15개 유형의 사회기반시설 안전등급(A: 매우 양호 ~ E: 매우 불량)을 4년마다 발표하고 있다. 사회기반시설의 노후화에 대한 걱정 대처 실패로 안전등급은 불량한 상태를 나타내는 D로서, 자연재해 등 각종 위험에 노출되고 국민의 불안감이 증가하고 있으며, 이는 사회기반시설의 안전등급이 처음 발표된 2008년 이후 지금까지 여전히 개선되지 않고 있다. ASCE는 사회 안전망으로서 기반시설의 건설 및 성능개선을 위

하여 다음의 5가지의 사항이 반드시 필요하다고 권고하였다.

- 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 성능 개선 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 성능개선을 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 비준하였다. 이 법안은 미국의 고속도로 시스템의 부족해지는 유지관리 예산을 대비하여 고속도로에 적극적 예산 투입과 전략적인 유지관리를 의무화하는 내용을 담고 있다. 이 법안은 국가 교통 인프라 개발과 발전을 위한 투자 프레임워크와 정책 마일스톤을 제시하고 있으며, 기존의 고속도로 관리 프로그램을 전면적으로 개편하여 간소화하고, 성능중심으로 재조정하는 것을 주요 골자로 하고 있다. 그리고 이러한 변화를 지원하는 예산의 배정을 규정하고 있다.

MAP-21의 도입은 새로운 일자리 창출과 경기 부양이라는 정치적 수사를 포함하고 있지만 핵심내용은 부족한 유지관리 및 운영비용에 대한 대책으로서 발현된 것이다. 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 있다.

미국은 우리나라와는 예산의 요청과 배정이 다른 순서를 갖는데, 미국의 경우 지자체는 물론이고 정부부처별로 예산 운용이 독립적으로 운영되며 예산 운영 관리에 실패하면 파산도 할 수 있다. 부처나 지자체 재정의 파산은 정치적으로 치명적인 결과를 낳기 때문에 정부와 지자체는 건전한 예산 유지를 위한 충분한 동기가 부여가 된다.

국내의 경우 주어진 예산이외에는 추가적으로 사용할 수가 없기 때문에 근본적으로 파산이 불가능한 형태를 갖는다. 즉, 국내의 경우 부처 및 지자체는 예산의 확보가 중요하고 일단 확보된 예산은 최대한 소진을 하는 것이 일반적이다. 즉, 차년도 예산 확보에 연계되어 있기 때문에 예산 절약이라는 동기 부여가 충분하지 않은 반면, 독립적 예산을 계획하고 운영하는 미국의 예산 체계 방식은 예산 절약에 대한 이유가 매우 높다는 점이 국내 여건과 큰 차이점이다.

(표 5.1) 우리나라와 영/미 국가들의 정부 예산 집행의 차이

구분	우리나라	미국, 영국, 호주 등 영연방 국가
차이점	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 정부가 부처별 지자체별 예산 배정 -배정 받은 비용 이상 지출이 불가능함 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 지자체별, 부처별 독립적 예산 운영 -필요한 부분에 우선적으로 집행을 하고 Reimburse 하는 형태로 예산을 배정받음
특징	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 예산의 효율적, 신속 집행을 목표로 함 -예산 집행의 정당성, 투명성 유지가 중요 -미집행 예산은 과다하게 예산을 예측 배정 했던 것으로 차년도 예산 삭감의 원인이 됨 -따라서 예산의 절약보다는 예산의 완전한 집행이 목표임 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 선지출 후정산 형태로 운영 -예산 운영 주체는 항상 지급불능(파산)의 위험성을 갖고 있으며, 실제 파산이 가능함 -예산을 절약하고 적은 예산으로 높은 수준의 관리를 위한 조건이 마련되어 있음
시사점	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 지자체들의 독립적 예산 운영 범위가 넓어짐에 따라서 국내 지자체도 파산할 수 있는 가능성이 높아지고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 지자체 또는 부처의 파산은 정치적으로 매우 안 좋은 상황이기 때문에 예산의 효율적 운영은 관리 책임자의 중요한 의무 사항임

MAP-21은 인프라 자산관리의 단계를 따라가고 있으며, 교통자산관리 수행의 총괄 책임은 연방정부의 교통부장관이 갖게 된다. 연방정부는 주정부에 자산관리 수행의 방향을 설정하고 성능지표의 기준을 제공하며, 주정부는 성능지표를 통하여 성능 평가를 수행하고 성능 목표 수립 및 목표 달성 계획을 보고하도록 되어 있다. 주정부의 교통부는 연방정부 교통부에 다음 사항을 의무적으로 보고해야 한다.

- 자산의 목록과 상태 정보
- 자산관리 목표 설정과 수준 측정
- 성능 갱분석
- 생애주기비용과 리스크 관리분석

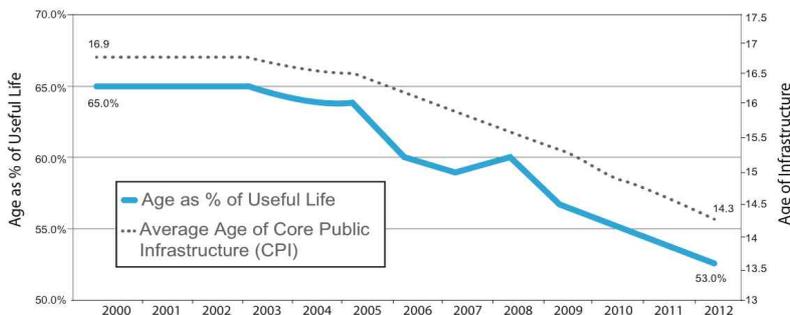
- 재무 계획
- 투자 전략

캐나다

캐나다의 경우 도로 분야 유지관리 문제의 대두로 인해 1980년대 후반부터 자산리가 도입되기 시작했으며 민간 주도의 자산관리 시스템을 구축하여 사용하고 있다. 2003년도에 발행된 TRM(Technology Road Map)에서는 캐나다 전체 인프라의 59%가 구축한지 40년이 넘었으며, 전체의 28%가 80년이 넘는 시설이라고 분석하였다. 또한 2003년 당시 캐나다 전체 인프라의 서비스 수명중 79%를 이미 사용했다고 발표했다. 이러한 인프라의 노후화 문제로 인해 캐나다 역시 재정적인 어려움을 겪고 있다. 인프라 유지관리 예산중 부족액은 1985년 당시 약 150억 달러에서 2007년 약 1,230억 달러로 증가하였다.

이에 캐나다는 인프라에 대하여 계획적인 투자를 시작하였다. 캐나다 정부는 도로 인프라의 지속적인 건설과 관리를 위하여 2007년부터 Building Canada Fund를 운영하고 있으며, 공공교통, 상수도, 하수도, 그린에너지 인프라 등을 지원하고 있다. 2014년 캐나다 재무부에서 발표한 2014~2015년 재무계획에는 인프라 시설 자산관리 관련 예산 계획이 수립되어 있다.

캐나다에서는 공공 인프라의 성능 수준을 연식 개념을 이용하여 평가하는데, 대수선이 있을 경우 성능 증대에 따라 연식을 조정하는 형태로 측정하는 방식을 사용하고 있다. 2000~2003년에 캐나다의 인프라의 평균 연식은 16.9년이었는데 2012년에 14.3년까지 낮추었다. 이러한 성능향상에는 연방정부의 적극적 투자 지원이 가장 주요하였다.

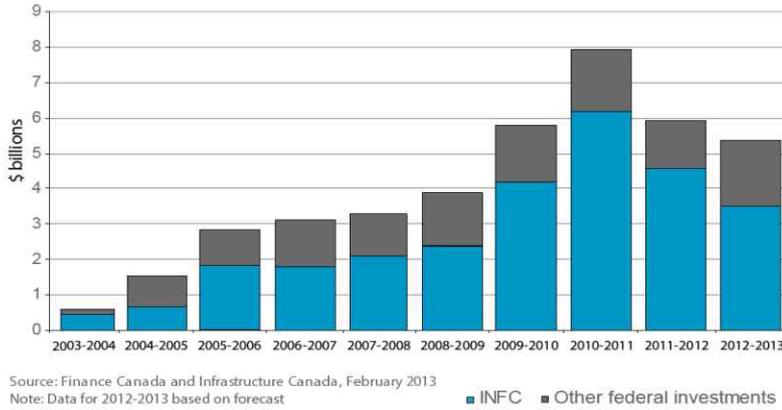


Source: Statistics Canada, National Economic Accounts Division
 Core Public Infrastructure (CPI) includes bridges, roads, water, wastewater, transit, plus cultural and recreational facilities
 Note: Data for 2012 based on forecast

자료 : Infrastructure Canada Departmental Performance Report 2012-2013

< 그림 5.5 > 캐나다의 인프라 시설 평균 연령

캐나다 공공인프라의 시설 수명은 예측 수명의 절반 이상을 넘고 있는데, 2000~2003년에 최고치에 미치고 있으며, 2008~2012년에 53% 수준으로 감소하고 있다. 이 의미는 12년간의 적극적인 투자를 통하여 신규 시설물이 공급되어 공공 인프라의 평균 수명이 크게 감소되었음을 의미한다. 즉 인프라에 대한 적극적인 신설 투자로 2011년 이후 공공 인프라의 평균 연식이 14.7년으로 낮아지게 되었다.



자료 : Finance Canada and Infrastructure Canada, 2013
 < 그림 5.6 > 연도별 연방정부의 지원 규모

호주

호주와 캐나다는 가장 인구밀도가 낮은 국가들이며 1인당 부담하는 인프라 시설의 부담이 매우 크다. 이러한 상황은 전략적인 인프라 자산관리가 가장 먼저 도입되는 계기가 되었다. 호주는 농산물, 지하자원, 공산품을 수출함으로써 경제가 유지되는 국가이다. 1950년대 급격한 경제 성장을 이루었으며, 1980년대에 대부분의 인프라가 건설되었다. 그러나 1980년대 후반, 세계 경제가 흔들리고 에너지 가격이 폭등하며, 금리가 폭등함에 따라 호주경제는 심각한 위기에 처하게 되었다. 이에 호주정부는 후진국으로의 추락 위험을 느끼고 전국적으로 경쟁력 향상 정책을 조성하게 되었다. 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 하나이다.

정부의 강력한 개혁 주도와 심각한 경제 위기 속에서 1986년 호주에서는 자산관리라는 신개념의 공공시설물 유지관리 개념이 등장하였다. 처음에는 도로분야로부터 시작하여 국가적 자산관리 협의회(National Asset Management Steering Group)가 구성되었으며, 자산관리 수행에 대한 노력을 집대성하여 1996년 자산관리 지침서(Asset Management Manual) 제1판을 출판하고, 2001년 호주와 뉴질랜드는 국제 공공시설물 관리지침서(International Infrastructure Management Manual)를 작성하기에 이르렀다. 이로 인하여 호주는 공공인프라의 전략적 자산관리의 원조 국가가 되었다. 이후 호주 정부는 2008년 'Infrastructure Australia'를 설립하고 정부, 투자자와 사회기반시설 소유자에게 아래와 같은 광범위한 주제에 대해 조력자의 역할을 수행하도록 하였다.

- 호주 사회기반시설의 현재와 미래에 대한 요구사항
- 사회기반시설 투자자금 조달 메커니즘
- 정책, 가격책정, 규정 그리고 투자 및 국가 사회기반시설 네트워크 운영 및 사용 효율성

호주는 IIMM(International Infrastructure Management Manual)이라는 자산관리의 표준이 되는 가이드라인(ISO 규격 채택)을 제공하고 있으며, 시설물별로 다양한 사례를 제시하였다.

일본

일본은 전후 고도 경제성장과 함께 집중 건설된 사회기반시설의 급속한 노후화 진행(시설물 고령화 시대)이라는 과제에 직면하였다. 현재에도 30~50년의 경과

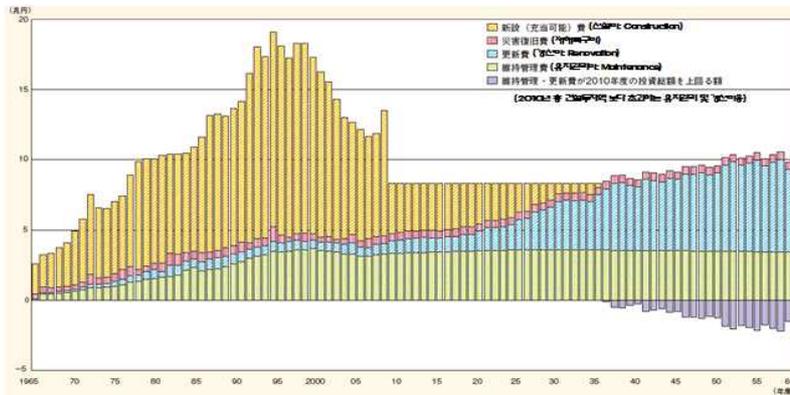
년수를 지닌 사회기반시설이 상당수 있으며, 2030년에는 고령화가 진척되어 다수를 차지할 것으로 예상되고 있는 실정이다. 국토교통성(2012년)에서 2010년을 기준으로 50년 이상 경과한 사회자본 비율을 전망하였다. 다음 (표 5.2)와 같이 2030년 시점에는 2010년과 비교하여 도로교량(8%→53%), 하천(23%→60%), 하수도관(2%→19%), 항만(5%→53%)의 노후화가 진척될 것으로 전망했다. 이는 노후화에 대한 문제가 심각함을 확인하는 지표이고 사회기반시설의 급속한 노후화로 인하여 향후 필요한 유지관리 및 개량비용도 비약적으로 증가할 것임을 알 수 있다.

(표 5.2) 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%

자료 : 일본 국토교통성, 국토교통백서(2012)

다음 <그림 5.7>은 일본의 인프라 시설 유지관리 및 개량비용 추정에 대한 그래프이다. 유지관리 및 개량비용이 지속적으로 증가하여 2037년에는 건설투자 총액(2010년 기준)을 상회할 것으로 예상되며, 이로 인하여 사회기반시설의 신규 건설과 기존 시설물 유지관리 및 개량에도 지장을 끼칠 것으로 우려된다. 국토교통성 소관의 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 예상된다.



자료: 일본 국토교통성 국토교통백서(2012)

< 그림 5.7 > 사회기반시설 유지관리 및 개량 비용의 추정

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 된다. 이러한 리스크는 고령화로 인해 복지비용이 증가하지만 사회기반시설의 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 있다. 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 있다. 또한, 중앙정부와 지자체 소관의 사회기반시설 운영 실태를 정확히 파악하여 ‘공공시설백서’를 작성하고 있다. 백서에는 시설명칭, 소관부서, 위치, 건설연도, 토지·시설물 면적 및 구조, 건설근거, 이용사항, 관리 및 운영 정보, 유지관리 및 개량실적 등에 대한 정보를 수록하였다.

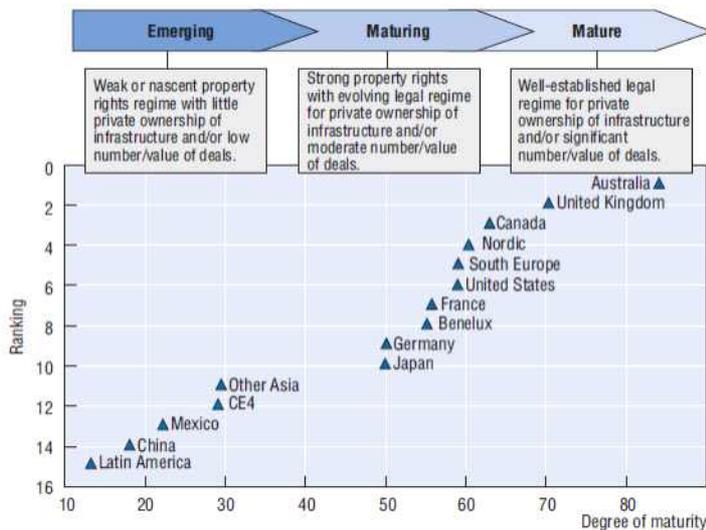
일본은 크고 작은 자연재해가 끊이지 않는 만큼, 대규모 지진, 태풍 등의 자연재해로 인한 국민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 ‘자연재해에 강한 차세대 사회기반시설 정비’에 주력하고 있다. 종래의 사회기반시설과 ICT(Information Communication Technology) 인프라를 연계하여 시설물 정보의 통합 관리 및 운용이 가능하도록 ‘차세대 인프라’를 정비하여 고효율·고기능화를 진행하고 있다.

5.1.4 해외 유지보수 예산

투자비 대비 유지보수 예산 수준

사회기반시설물의 유지보수 및 교체, 개축 등의 문제는 많은 공공예산을 필요로 한다. 그러나 공공예산의 지출은 분야별로 제한되어 있기 때문에 지속적으로 늘어나고 있는 사회기반시설물들의 유지관리 비용을 한정된 예산에서 지속적으로 지출할 수 없는 실정이다. OECD 관련 보고서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 세수의 다양화와 확장을 주요 전략으로 꼽는다.

<그림 5.8>은 세계 주요 국가들의 사회기반시설물 시장 성숙도변화를 분석한 그림이다. 주로 개발도상국가들인 아시아 및 남미 국가들은 사회기반시설물의 국가소유권 행사 등에 대한 인식이 낮기 때문에 상대적으로 유지관리분야에 대한 관심도가 낮다. 반면, 북미, 호주, 남유럽 등 사회발전이 안정화 단계에 접어든 선진국들에서는 사회기반시설물에 대한 국가의 관리권한의 인식이 높기 때문에 운영 및 유지관리 분야에 관심이 높다. 이와 같은 선진국들에서는 국가 예산 구성 시에 사회기반시설물들에 대한 유지관리 비용투입을 국가 예산차원에서 기본적으로 고려하고 있다.

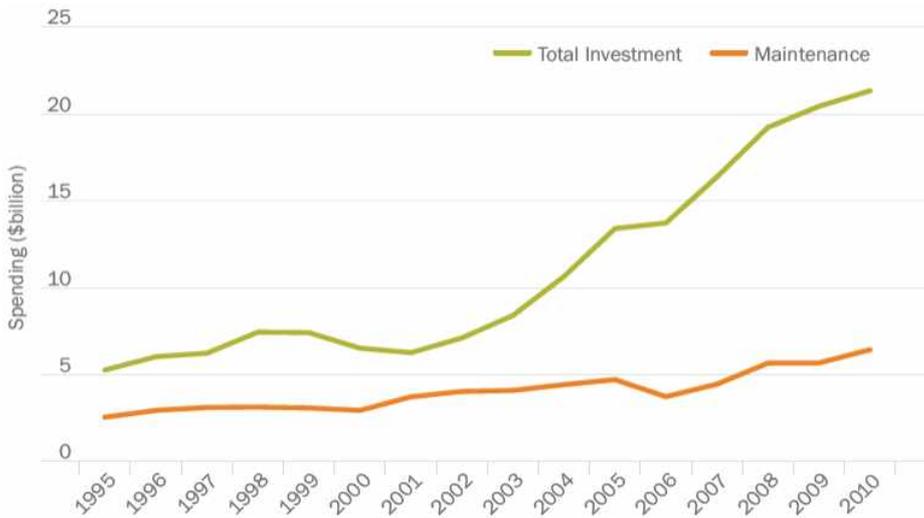


자료 : Infrastructure to 2030-Volume2, OECD(2007)

< 그림 5.8 > 세계 주요 국가들의 사회기반시설물 시장 성숙도의 변화

<그림 5.9>는 최근 15년간 호주의 사회기반시설물 투자비용 및 유지관리 비용 추이를 분석한 그래프이다. 총 투자비용은 2001년을 시점으로 급격히 증가한 것으로 나타났는데 이 당시 도시 규모의 확대에 기인하고 있다. 반면, 유지관리

비용의 경우, 총 투자비용의 급격한 증가와 더불어 상승하고 있으나 투자비용 변화가 작았던 2001년 전과 비교해볼 때 그 변화량은 미미한 증가를 나타내고 있다. 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 있다.



자료 :Trends-Infrastructure and Transport to 2030(2014)

< 그림 5.9 > 호주의 사회기반시설물 투자비용과 유지관리 비용 추이

유지관리 비용 추이에서 확인할 수 있듯이 시설물의 신규 투자대비 유지관리 비용의 증가폭은 둔감한 것으로 확인되었다. 적절한 시기에 유지관리 예산이 투입되지 못하는 경우 시설물의 노후화는 가속되게 될 것이고 성능저하가 예상된다. 따라서 시설 투자 예산과 일정 수준의 격차를 유지할 수 있는 유지보수 예산의 확보가 필요하게 된다. 과거 손상특성 분석 등 유지관리 데이터를 바탕으로 미래 유지관리 비용투입 규모의 합리적인 설정 방안을 고민할 필요가 있다.

시설 노후화에 따른 유지보수 예산 현황

미국과 일본의 경우 시설의 노후화에 대해 대처하지 못하고 유지관리에 적극적인 대응 부족으로 인하여 인프라 시설의 붕괴사고로 까지 이어진 사례도 있다. 이러한 붕괴사고는 인명의 피해는 물론 경제적 피해의 규모가 상당하여 유지관리의 필요성 인식과 시설 노후화에 대비하여 유지보수 투자 규모를 증가시키는

계기가 되었다.

중앙과 주 정부의 예산 및 인식부족으로 인하여 유지보수 투자가 지연되어 성능보완, 수명연장을 위한 경제적 부담도 점차 증가하였다. 사회기반시설의 급격한 노후화는 서비스 수준 저하를 유발하여 필요한 유지관리비용도 시간이 지날수록 점차 증가하는 추세를 보이고 있다.

○5년간 필요한 유지관리 예산 현황

- 2001년(1.3조\$) → 2005년(1.6조\$) → 2009년(2.2조\$) → 2013년(3.6조\$)

최근 미국의 인프라 투자는 구축비용보다 유지보수에 대한 투자 규모를 증가시키고 있는 추세이다. 그리고 향후 그 격차는 더 커질 전망이다. 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 있다. 교통 및 수자원 분야에서 2013~2014년까지의 시설물에 대한 공공지출 추이를 살펴보면 시설물에 대한 구축비용은 23% 감소한 반면, 유지보수 비용은 6% 증가하고 있고, 향후에도 지속적으로 유지보수에 대한 비용은 많이 소요될 것으로 판단된다.

일본의 경우 2012년 도쿄와 서부를 잇는 중앙고속도로의 사사코 터널에서 천장이 붕괴하여 9명이 사망하는 사고가 있었다. 이는 노후화된 인프라에 의한 붕괴 위험이 상존해 있다는 사실을 확인하는 사례로 인식되었다. 일본 수도권에는 1979년 이전에 건설된 노후화 교통물류시설이 다수 포함되어 있는 것으로 확인되었다. 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 것이다.

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 예상하였다. 이처럼 일본도 노후화 되어가는 인프라를 대비하여 막대한 예산을 소요하고 있고, 앞으로도 계속해서 증가 추세에 있을 것으로 판단된다.

(표 5.3) 사회인프라 시설의 미래 유지관리비용 추정

구분	2013년	2023년	2033년
사회인프라 시설의 유지관리비용	약 3.6조 엔	약 4.3~5.1조 엔	약 4.6~5.5조 엔

자료 : 한국시설안전공단, 인프라성능 지속관리체계 시범사업 및 시스템 구축 기획 연구(2014)

5.1.5 인프라 평가보고서

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 시작했다. 인프라에 대한 장기적인 발전전략 및 비전을 제시하고 이를 이행하기 위한 구체적인 방안의 제시를 위해 ‘인프라 평가보고서(Infrastructure Report Card)’를 발행하였다.



< 그림 5.10 > 각국의 인프라 평가보고서(미국, 캐나다, 호주)

인프라 평가보고서는 한 나라에서 관리하고 있는 모든 인프라에 대한 종합적인 평가문서로 도로, 철도, 댐, 상수도, 공항 등 사회기반시설의 현재 물리적 상태, 관리현황, 요구되는 조치, 자원 조달, 개선 방안 등의 내용을 담고 있다. 1988년 미국에서 최초의 인프라 평가보고서를 발행하였으며, 영국, 호주, 캐나다, 남아공 등의 국가에서 일정 주기별로 발행하고 있다.

미국의 인프라 평가보고서는 가장 긴 발행역사를 가지고 있으며, 현재 영미 국가들이 발행하고 있는 보고서의 근간이 되어왔다. 1987년 미국 연방정부에서는 합리적이고 효율적인 예산 분배를 위해 국가인프라개선위원회(National Council on Public Works Improvement, NCPWI)를 신설하고 인프라에 대한

평가보고서를 작성하도록 지시하였다. 이후 1998년 NCPWI가 폐지되고 미국토목학회(American Society of Civil Engineers, ASCE)가 이어받아 1998년, 2001년, 2003년, 2005년, 2009년, 2013년에 인프라 평가보고서를 발행하였다. ASCE는 시설물의 분류를 4개의 그룹, 16개의 세부 시설물군으로 세분화하여 평가를 수행하고 있다. 또한 평가 방법과 개선 방안을 보다 구체화하였고, 최근에는 시설물군별 모범사례를 소개하여 시설물 성능 개선 사례의 보급에도 주력하고 있다. 리포트 카드는 위에 소개된 시설물에 대하여 학교 성적표 형식의 등급을 산정하고 있으며, 시설물의 상태와 사용가능성에 따라 A에서 F로 분류하고 있다.

(표 5.4) ASCE 등급분류 체계 및 정의

등급	상태	사용가능성
A	우수함 (Exceptional)	향후 사용 가능
B	좋음 (Good)	현재 사용 가능
C	보통 (Mediocre)	주의를 요함
D	좋지 않음 (Poor)	위험 상태
F	결함/위험 (Failing/Critical)	부적합함

리포트 카드는 국가시설물이 처해 있는 위험성에 대해 일반인들에게 알리는 홍보도구로써, 그리고 입법 및 행정기획 관련 종사자들에게 합리적인 결정을 내리는데 필요한 자료로 사용하고 있으며, ASCE 리포트카드는 크게 국가적 차원의 리포트 카드와 주별 리포트 카드로 구분된다. 주별 리포트 카드는 국가적 차원의 리포트 카드와 동일 평가방식과 체계를 기본으로 하나, 주별로 대상 시설물의 종류를 달리하고 있다.

캐나다의 인프라 평가보고서는 2012년 캐나다 인프라 평가보고서 프로젝트 운영위원회(Canadian Infrastructure Report Card Project Steering Committee)에 의해 최초로 발행되었다. 인프라 평가보고서 추진을 위한 조직은 프로젝트 운영위원회가 프로젝트를 주도하고 행정지원 및 재정 조달을 담당하였으며, 캐나다 건설협회, 캐나다 공공사업협회, 캐나다 토목공학회, 캐나다 지자체 연합으로 구성되어 있다. 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 있다.

캐나다의 인프라 평가보고서에는 도로, 상수도, 하수도, 우수 시스템의 네가지

시설무군에 대하여 평가하고 있다. 캐나다의 인프라 평가보고서는 비단 인프라의 상태뿐만 아니라 인프라 관리 실태에 관한 설문 내용도 담고 있다. 이는 다른 국가에서 발행한 보고서에서 찾아볼 수 없는 것으로, 현재 인프라 상태의 평가 이전에 관리 상태 평가가 선행되어야 함을 강조하고 있다.

호주의 경우 엔지니어 전문가 집단인 호주엔지니어협회(The Institution of Engineers Australia)에 의해 발행되는 인프라 평가보고서(Infrastructure Report Card 2010 Australia)가 있다. 호주엔지니어협회는 엔지니어링 분야의 발전을 위해 조직된 비영리 단체 포럼이며, 각계 엔지니어들로 구성된 비영리 단체로 시설물군별 평가와 함께 보고서 발행에 소요되는 재정을 조달하고 있다. 호주 인프라 평가보고서는 지난 1999년, 2001년, 2005년, 2010년에 걸쳐 총 4회 발행되었으며, 2003년부터 2005년 사이에는 모든 주와 관할 지역 단위로 인프라 평가보고서가 발행되었다. 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 있다.

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 포함되어 있다. 대부분의 평가는 호주엔지니어협회가 주도하며, 각 분야의 전문가들이 모여 다양한 근거 자료를 수집하고 그 결과에 근거하여 평가 등급을 부여한다. 이와 함께 중앙 정부, 주정부 및 지자체에서 취해야 할 전략과 인프라 소유주체 또는 관리자 수준에서 취해야 할 전술 등을 제시하고 있다.

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 있다.

infrastructure report card 2010

Australia

Infrastructure Type	Australia 2010	Australia 2005	Australia 2001	Australia 1999	ACT 2010	NSW 2010	NT 2010	QLD 2010	SA 2010	TAS 2010	VIC 2010	WA 2010
Roads overall	C	C		C-	B	C-	C	C-	C-	C-	C+	C+
National roads	C+	C+		C		B-	B	C	C	C+	C+	B-
State/Territory roads	C	C	C	C		D+	C	C	C	C	C+	B-
Local roads	D+	C-	D	D		D+	D+	C	D	D	C-	C-
Rail	D+	C-	D-	D-	F	D-	C+	C-	C	F	D	C+
Ports	B-	C+	B			C	C+	B	B-	B-	C+	B-
Airports	B-	B	B		B-	B	B-	B-	B-	B	B	C+
Water overall	C+	C			C+	C+	C	C+	C+	C+	C	C+
Potable water	B-	B-	C	C-	B-	B-	C-	B-	B-	B	C	B-
Wastewater	B-	C+	C-	D-	C+	C+	C-	B-	B-	C	B-	B
Stormwater	C	C	D		C+	C	B-	C	D	C-	C-	C
Irrigation	C	C-	D-			C	C	C+	C+	B-	C-	C+
Electricity	C+	C+	B-		B+	C-	C-	C	B+	B-	C-	B-
Gas	B-	C+	C		A-	C	A-	C+	B+	C	C	C+
Telecommunications	C		B		B	C	C	B	C	C+	C	C
Overall	C+	C+	C	B	B-	C	C+	C+	C+	C	C	C+
Approx Gross State Product					2.1%	32.2%	1.3%	18.8%	6.6%	1.9%	24.3%	12.8%

< 그림 5.11 > 호주 인프라 시설물군별 등급(1999~2010)

영국은 인프라 평가 보고서는 영국토목공학회(Institution of Civil Engineers, ICE)에서 2003년부터 발행하기 시작하였다. 2010년까지 총 5회 발행되었다. 13개 지역의 권역에 대해 물, 교통, 폐수 및 자원관리, 저탄소 인프라, 역량 및 기술 등의 이슈에 대한 개별 보고서들이 평가보고서에 포함된다. 영국의 인프라 평가 보고서는 인프라에 대한 관련 정책 토론의 장을 마련하며 인프라의 개선과 관련 제공 서비스를 개선하기 위해 요구되는 조치에 대한 주의 환기 및 인식 제고를 목적으로 발간되고 있다.

5.1.6 자산관리 조직

국가 기간 시설의 유지관리 분야에 자산관리 개념을 다양하게 적용하고 있는 국가는 미국이다. 미국은 이미 1990년대 초반부터 자산관리에 대한 개념적인 연구를 시작하였고, 1994년에 미연방도로청(FHWA) 산하에 자산관리과(Department of Asset Management)를 만들어 업무의 전문화를 시도하였다. 이외에도 유럽과 뉴질랜드, 호주 등 다양한 선진국들이 자산관리의 개념을 국가 기간 시설의 유지관리에 적용하고 있다.

미국의 자산관리는 1990년대부터 시작되었는데, 각 주마다 상이한 예산 배정 기준과 자본 회계 계상 방식을 통합하는 과정에서 선진 유지관리를 위한 법규 및 부서를 신설하여 대응하게 되었다. 표준화된 절차에 의해 각 주별 시설물 자산가치를 평가하고 이를 중앙 정부에 보고하는 내용을 포함하는 업무 지침을 법규화 하였고, 미연방도로청에서 1991년부터 1999년까지 중장기 관점에서 단계적으로 추진함으로써 체계적인 시스템을 구축할 수 있었다. 현재 미국의 자산관리 개념을 도입한 영역은 교량 및 터널 시설물을 포함한 도로 및 철도, 지하철 및 경전철 같은 대중교통 시스템, 내륙 주운(운하 및 하천) 시스템 등이 있지만 시설물간의 관리 방법이 상이하고 상태평가 기준이 달라 아직까지는 개별적으로 자산관리를 수행한다.

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 중이다. 50개 주에서 개별적으로 개발하기보다는 FHWA에서 주관하여 50개 주의 교육과 기술지원을 수행하는 방향으로 자산관리시스템이 개발되고 있다.

FHWA의 기반시설관리국은 경제, 엔지니어링, 정책, 계획 및 기술 평가 등 다양한 분야의 전문가들로 구성되었으며, 건설/시스템 보전, 시스템관리/모니터링, 자산평가/경제적 투자분석 등 3개팀이 있다. 이들 3개 팀은 상호 관련이 있는 중복된 활동 영역에서 유지관리의 최적화를 위하여 다양한 공동 작업을 수행하고 있다.

(표 5.5) FHWA 기반시설관리국 부서별 주요 임무

구분	시스템관리/모니터링	건설/시스템 보전	자산평가/경제적 투자분석
주요 임무	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 자산관리 정책수립 ▶ PMS, BMS 등 유지관리시스템 운영 ▶ 교육 및 모니터링 ▶ 자산관리를 위한 이중시스템간의 데이터 통합 및 관리 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 건설 및 유지관리 정책 수립 ▶ 사용자 요구 분석 ▶ 품질개선 및 성능 측정 ▶ 자산관리 인력 확보 ▶ 유지관리 계약 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 경제성 기반 투자분석 및 계획수립 ▶ 자산관리 기술지원 ▶ LCC분석 도구 및 경제성 분석 도구 개발 ▶ 성과 측정

미국 AASHTO에서는 도로자산관리시스템을 적용하여 운영중에 있다. 도로자산관리시스템은 기존 기업에서의 프로젝트 의사결정시 적용되는 기본적인 절차를 도입한 것이며, 설정된 목표를 달성하기 위하여 예산 분배 및 집행결과에 대한 검증을 통하여 새로운 의사결정을 수립하는 순환구조를 가진다.

자산관리 조직은 자산관리 프로그램의 운영 주체가 되면 자산관리 프로그램에 의해 지방정부의 보수.보강, 교체의 비용 감소 효과, 주 정부 및 지방정부의 부채 비용 감소효과, 주 정부의 효과적 관리 및 감독으로 전체 정보관리와 보고 능력 강화 등의 효과를 얻어낼 수 있었다.

- 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

분석결과

국내에서도 현재 인프라 시설물의 자산관리 분야에 대한 연구는 한국시설안전공단과 한국도로공사를 중심으로 추진중에 있으며 유지관리 시스템을 활용 중에 있다. 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 판단된다.

국내의 경우에는 시설물의 관리는 중앙의 정부조직인 국토해양부를 중심으로 시설물관리에 관한 정책과 예산, 계획 등이 수립되며, 특정 시설물별로 전담하는 산하기관을 두어 실질적인 유지관리가 수행되고 있다. 그러나 시설물 관리를 위한 예산의 계획/시설물점검/보수.보강 등을 담당하는 조직이 서로 다르고, 시설물의 건설에서 철거에 이르는 생애주기 동안 시설물의 성능을 모니터링하고, 관리하는 전담조직은 거의 없다. 자산관리의 핵심이라고 할 수 있는 예방적 유지관리의 기준 및 보수.보강 계획과 시행을 위한 매뉴얼 등의 관리 기준은 개선이 필요한 실정이다. 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 실정이다.

해외의 자산관리 도입 배경은 다양한 사회기반시설에 대한 노후 시설물의 증가로 안전 및 성능 저하에 따른 예산 조달 문제가 주요한 원인이었음을 확인하였다. 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 있다. 기존의 관리 체계는 지역별 구분, 신규/유지관리 구분 등으로 단순 분류에서 성능향상이라는 목표를 지향하는 형태로의 전반적인 변화를 추구하고 있다. 미국의 경우 MAP-21(미국 유지관리개혁법안)이 2012년 7월에 비준될 때 갑자기 된 것이 아니라, 10년이 넘는 기간 동안 치밀한 준비 작업이 있어 왔다. 환경부(EPA), 교통부 및 고속도로 관리부(DOT, FHWA), 회계 기준 위원회(General Accounting Standard Board) 등이 개별적으로 자산관리의 필요성을 인식하고 준비해 왔다.

농어촌공사에서 선진 유지관리기법과 자산관리체계의 도입을 위해서는 충분한 기간 동안 각 부서를 통해 유지관리 방식의 개선 및 자산관리의 이해와 축적된 경험이 필요하다. 이후에 관리기준이 마련되어야 하고 여기서 생성된 관리기준

이 표준적인 업무수행의 가이드가 되는 것이 변화로 인한 충격과 혼란을 줄이는데 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 현재는 장기적인 예산절감을 위한 예방유지관리체제 개념의 도입 없이 거의 획일적으로 필요한 예산을 한정된 예산범위 내에서 유지보수를 수행하고 있다. 이러한 획일적 예산 산정은 시설물의 상태에 기반을 한 전략적인 유지관리가 아니라 현장의 실무자의 판단에 크게 의존하고 있다.

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 있다. 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 관리, B/C(비용편익) 분석과 최적화된 의사결정(ODM, Operational Decision Management))을 수행하여야 한다.



< 그림 5.12 > 유지관리의 발전 단계

네트워크 레벨의 유지관리는 시스템과 관리 조직과의 통합을 통한 프로세스 리엔지니어링이 바탕이 되어 예산 절감과 성능 향상의 효과가 나타나게 된다. 이러한 효과의 달성을 위해서는 조직과 비전의 변화를 함께 수행해야 함을 선진국의 사례로부터 알 수 있다. 장기적으로 선진기법을 활용한 농어촌공사의 적용 방향성은 다음과 같다.

- 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 방

안과 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

자산관리 개요

5.1.7 자산관리의 개념

지난 수십 년 동안 전 세계적으로 지역사회 시설물 네트워크의 재정적 지속가능성에 관한 우려가 커져왔다. 또한 많은 조직들이 장기적으로 지속 불가능한 투자, 유지관리, 대체시설의 건설과 관련해 단기적인 의사결정들을 하고 있다는 인식이 퍼지고 있다. 많은 분야에서, 자원조달 기반의 지속적인 감소, 부담가능성 저하, 시설물 노후화, 인구 감소라 등의 시설물 관리자들에게 커다란 과제를 안기고 있다.

자산관리는 일종의 사회기반시설에 대해 전 생애에 걸친 위험 요소를 파악하고 관리하며 최소의 비용으로 소비자가 필요로 하는 서비스 수준을 제공하기 위한 체계적인 시스템을 의미한다. 건설 중심의 투자에서 효율적 유지관리 중심으로 패러다임의 변화를 의미하고 단기적 측면이 아닌 장기적인 지속 가능성에 중점을 두고 관리하는 것이다. 즉, 자산관리의 목표는 자산관리의 수행으로 현재와 미래 사용자에게 가장 비용효과적인 방법으로 서비스 요구수준을 충족시키는 것이다.

자산관리를 위해서는 자산목록 구축 이후에 요구되는 서비스 수준과 시설에 대한 생애주기비용 분석을 필요로 하고 효율적인 유지관리 전략과 장기적인 예산 수립과 집행이 이루어져야 한다. 자산관리의 방법은 다양한 시설에 대응하기 위해 요구되는 서비스, 자산의 상태, 장기 자원조달의 규모 등에 의해 진화해 왔으며 다양한 시설에 확대하여 적용되고 있다. 자산관리체계의 도입 및 정착을 위해 다음과 같은 내용이 요구되고 있다.

- 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

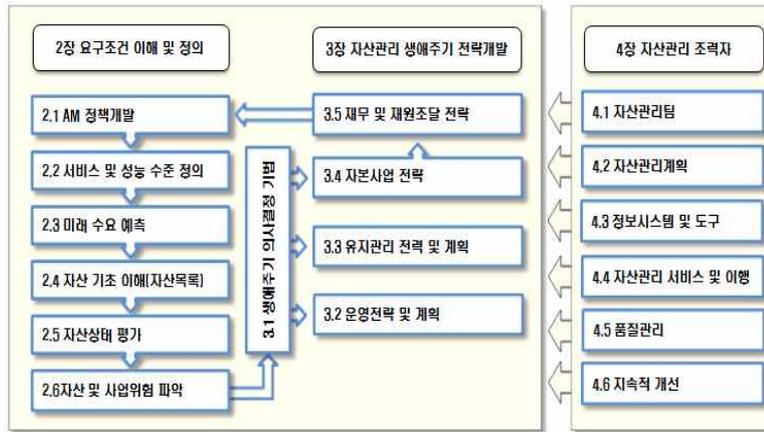
방향으로 자산관리체계를 확대 적용하고 있는 추세이다. 다음 (표 5.6)에 일반 유지관리와 자산관리의 차이점을 나타내었다. 기존의 일반 유지관리에서는 시설물의 점검, 개선계획 수립, 개선의 단순 형태로 진행되어 사후대응적이고 단기적인 관점에서 시설물을 관리하는 방식이다. 반면 자산관리에서는 사후대응이 아닌 사전예방적인 차원에서 시설물의 관리가 이루어지며 중장기적인 자산의 유지관리 전략을 수립하는 의사 결정 모형을 포함하고 있는 것이 큰 차이이다.

(표 5.6) 일반 유지관리와 자산관리 비교

구 분	일반 유지관리	자산관리
개요	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 시설물의 결함, 내구연수 도래에 대한 교체 및 보수·보강 등을 주어진 예산 범위 내에서 집행하는 관리 형태 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 요구되는 서비스 수준에 부합하는 시설물의 생애주기 비용 분석을 바탕으로 최적의 유지관리 계획을 수립 ▶ 장기적 예산 집행 및 자산가치 확보 계획을 전략적으로 수립하는 시설물 유지관리 형태
서비스 수준의 구성	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 관리자 관점에 따른 최소한의 기술적인 서비스 수준의 제공 입장만 고려 ▶ 사용자의 만족도를 고려한 사용자 가치 미포함 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 서비스 목표 달성과 성능 측정을 분명하게 제시 ▶ 각각의 성능 측정에 대한 목표치는 최소비용으로 최고의 가치를 실현시키기 위한 사용자 요구 반영
특징	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 고장 및 파손에 관한 대응형 관리로 장기적 계획 부재 ▶ 예상치 못한 시설물의 상태 변화에 따른 유연한 관리 전략 변화가 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 법적, 제도적 뒷받침 필요 ▶ 지속적인 자산관리 성과 분석 필요 ▶ 실질적이고 장기적인 예산 절감 효과 기대

5.1.8 자산관리의 절차

농어촌공사의 농업기반시설을 대상으로 자산관리체계 도입을 위하여 자산관리의 절차와 주요 요소기술에 대해 검토하였다. 전 세계의 많은 지자체들이 시설의 자산관리 지침으로 활용하고 있는 호주의 국제시설물 관리 매뉴얼(IIMM, International Infrastructure Management Manual, International Edition, 2011)을 주로 참고하였다. <그림 5.13>은 국제시설물 관리 매뉴얼(IIMM)의 요소기술의 개요와 자산관리의 주요 절차를 보여주고 있다.



< 그림 5.13 > 자산관리 절차 및 요소기술

자산관리 절차중 그 첫번째 단계가 보유하고 있는 자산의 상태를 파악하는 것이다. 이후 자산으로 인한 서비스 제공과 관련하여 서비스 수준에 대한 목표를 설정하게 되고 자산의 중요 투자순위의 파악으로 부터 투자를 위한 운영관리 및 자본투자 전략이 필요하게 된다. 장기적으로는 자산의 총체적인 재원과 관리를 결정짓는 장기 투자 전략이 필요하게 된다.

자산정책은 조직 전체에 걸친 자산관리 수행을 위한 원칙 및 요구조건들의 개요를 광범위하게 나타낸다. 자산관리 정책선언 및 관리목표의 예는 다음과 같다.

- 지속 가능한 자산관리 방법을 목표로 설정
- 요구되는 서비스 수준 유지와 생애주기비용 최소화

자산관리를 위한 핵심 요소기술

5.1.9 서비스 수준 정의 및 측정

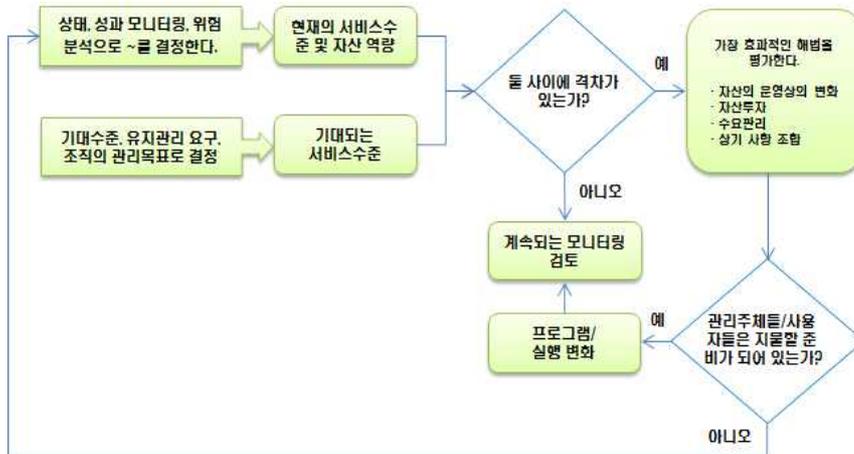
서비스 수준은 사용자가 조직으로부터 받는 성과이다. 조직이 도출하고자 하는 관리목표로 규정할 수 있어야 하고 품질, 신뢰도, 대응성, 지속가능성, 시의 적절성, 접근가능성, 비용 등과 같은 서비스 속성들과 일반적으로 연관된다. 또한 최종 사용자가 이해하고 공감할 수 있는 방식으로 정의되어야 한다. 성능지표는 서비스 수준을 유지하기 위하여 조직이 어떻게 하고 있는 지를 보여주는데 사용되는 구체적인 지표들로서, 다음과 같이 구별된다.

- 사용자 성능지표 : 사용자가 받는 서비스를 측정한다.
- 기술 성능지표 : 조직이 얼마나 효과적으로 서비스를 제공하는지 측정한다.

서비스 수준	신뢰도 높은 상수도 공급
사용자 성능지표	연간 공급처당 x회 미만의 단수
성능 목표	99.9% 이상의 사용자가 이상에서 조건 만족
기술 성능지표	파이프 100 km 당 연간 누수 횟수가 y회 미만
성능 목표	50 미만 조건에서 만족

< 그림 5.14 > 서비스 수준 목표 설정(예시)

서비스수준의 정의는 자산관리의 기초 구성 블록이다. 자산관리 관리목표를 달성하기 위해서는 사용자가 요구하는 서비스 수준 및 서비스 대가를 지불할 의사가 되어있는지를 이해하는 것이 중요하다. 그 다음, 이와 같은 요구조건을 충족시킬 자산성과 역량을 명확히 이해해야 한다. 다음 <그림 5.15>는 자산관리 절차에서 서비스 수준에 대한 설정 과정을 나타내었다.



< 그림 5.15 > 자산관리 절차에서 서비스 수준 설정 과정

서비스 수준은 전략적, 규범적, 사용자적 맥락의 분석을 거쳐 개발해야 한다. 서비스 수준은 조직의 관리목표와 명확하게 연계되고 사용자에게 중요한 서비스 속성을 반영하는 선언이어야 한다. 서비스 수준을 성능지표의 개발과 연계되며 다음의 SMARTER 규칙을 따라야 한다.

- Specific(구체화) : 서비스의 구체적 측면에 대해 달성될 결과를 정의한다.
- Measurable(측정 가능) : 절차를 결정하기 위한 수량, 비용, 품질 측정방법 정의
- Achievable(달성 가능) : 요구되는 성과에 대한 실제적 평가
- Relevant(관련성) : 조직의 관리목표를 지원하고, 관련된 서비스 수준이 구현되는지의 여부에 대해 명확한 모습 제공
- Timebound(시간 구속성) : 만료일자 또는 실행빈도 구체화
- Evaluation(평가) : 측정법 및 관리목표치의 적절성에 대한 지속적 평가
- Reassess(재평가) : 상기 사항에 비추어 성능지표 및 성능목표를 재검토하는 피드백

성능목표 설정은 법규 요구조건 및 사용자 수요에 기반한 현실적인 기대치이어야 한다. 성능목표의 설정은 모든 검토 과정에서 문제없이 통과할 수 있도록 관리목표치를 최대한 낮추거나 관리목표치를 최대한으로 높이기 위하여 결정해서는 안 된다. 자산관리 프로그램과 전략이 달성할 수 있는 것과 성능목표는

반드시 서로 연계되어야 한다.

사용자와 협의를 통해, 서비스 수준 문제들이 협의되어야 하는 곳과 서비스 수준 및 비용 선호도를 파악하는데 도움을 얻을 수 있다. 사용자와 협의는 모든 사용자군과 유형에 접근할 수 있도록 신중하게 설계되어야 한다. 공공의견 제출을 요청하거나 공공회의에 의존할 경우, 사용자의 관점을 충실하게 대표하는 견해를 얻지 못할 가능성이 있다. 협의 목적이 서비스 수준에 대한 의견을 구하는 것이라면, 모든 것을 당장에 시도하고 협의해서는 안 된다. 제대로 된 토론을 갖고, 한 번에 두세 가지 영역을 선택한다. 협의는 사용자에게 중요한 것들에 관한 것이어야 한다.

성과관리는 지속적인 과정으로, 성능지표는 적절한 빈도로 모니터링되고 보고되어야 한다. 예로 매우 중요한 성능영역들에 대한 실시간 모니터링에서부터 3년 단위의 사용자 조사를 수행하는 것이다. 각기 다른 독자들은 각기 다른 결과들을 보기를 원할 것이라는 것을 인식해야 한다. 이를 위해, 공개 연차보고서에 보고되는 성능, 내부 자산관리 계획 보고, 월간 유지관리 계약 등은 독자와 목적에 맞춰 구성될 필요가 있다.

5.1.10 자산관리체계 구축

자산목록 구축

자산목록은 보통 자산관련 데이터의 저장을 가능케 하는 스프레드시트, 데이터베이스, 소프트웨어 시스템을 가리킨다. 자산데이터는 대부분의 자산관리 기능을 가능케 하는 기초이다. 자산을 운영 및 유지관리하기 위해서는, 관리 직원들이 자산데이터의 소재를 파악하고 확인할 수 있어야 한다. 자산의 가치를 정확히 평가하기 위해서는 대체원가와 잔여 수명을 계산하는데 필요한 충분한 데이터가 필요하다. 더욱 발전된 자산관리 기능을 개발하는 조직들은 유지관리 이력, 생애주기 최적화 지원 비용, 위험관리를 위한 자산의 기능 상실 가능성 및 그 결과와 같은 데이터들의 양이 점차 증가할 것이다. 자산목록 구축을 위해서는 우선적으로 요구되는 정보요구사항을 파악하는 것이다.

자산 분류체계는 자산데이터를 특정 정보시스템에 구조화하여 저장할 적절한 프레임워크를 제공하고, 기초 자산을 적절하게 분류해 구분한다. 조직의 기초 자산 범위 및 복잡성과 자산 관리 및 보고를 위한 정보의 필요에 따라, 자산데이터 구조가 결정된다. <그림 5.16>은 자산 분류체계의 두 가지 예를 나타내고 있다. 첫째는 자산 구성요소에 기반하고 있으며, 두 번째는 기능적 절차에 기반하고 있다. 분류를 위해서는 자산별로 고유번호가 필요하고, 이 고유번호들은

조직 전체에 걸쳐 일관되게 사용되어야 한다. 자산식별시스템은 논리적이어야 하며, 일상적인 데이터수집 및 수집된 데이터의 자산관리 정보시스템 등록 시 오류의 위험을 최소화하기 위해 가능한 단순해야 한다.



< 그림 5.16 > 자산 분류체계 사례

데이터 획득 활동의 초기 단계부터, 반드시 자산데이터의 지속적인 관리 및 유지 방법이 고려되어야 한다. 핵심 고려 사항으로는 정보시스템의 요구조건 및 성능, 데이터 정확성에 대한 지속적 개선 기회, 신규 자산이 편입될 경우 정보 입력 기능 등이 있다. 데이터들은 일상적인 운영 및 유지관리 활동들의 일환으로 수집되고 정확도가 검증되는 것이 가장 저렴하게 데이터를 확보하는 방법이다.

자산상태 평가

자산상태는 자산의 물리적 상태를 측정된 것이며, 자산성능은 자산이 서비스 수준에 대한 요구조건을 충족하고 있는지의 여부를 나타낸다. 두 요인들은 종종 연계되지만, 항상 그렇지는 않다. 예를 들어, 주철관의 심각한 내부 녹(상태 악화)은 통수능력(성능)을 저하시킬 것이다. 그러나 상태 악화로 인한 수압강하 (pressure collapse)가 발생하는 시점에서 콘크리트관은 여전히 우수한 통수능력을 보일 수도 있다.

자산상태 평가는 자산을 점검하거나 시험하고 상태관련 데이터를 획득하는 절차이다. 상태 데이터는 등급시스템 형식(예 : 1=매우 양호, 5=불량)이거나 시험 결과 형식(예 : %로 나타낸 펌프의 효율)일 수 있다. 단순 1~5등급 상태 등급에 대한 예시를 다음 (표 5.7)에 나타내었다.

(표 5.7) 상태 등급시스템(예시)

등급	상태 설명
1	▶매우 양호 ▶정상적인 유지관리만 필요
2	▶작은 결함들만 있음 ▶소규모 유지관리 필요(5%)
3	▶받아들일 수 있는 서비스 수준으로 회복되기 위해 유지관리가 필요 ▶대규모 유지관리 필요(10-20%)
4	▶대체시설의 건설 필요 ▶대규모 대체시설의 건설 또는 업그레이드 필요(20-40%)
5	▶서비스를 제공할 수 없는 자산 ▶자산의 50% 이상이 대체되어야 함

자산상태 평가는 자산상태에 관한 정보, 유지관리, 재생, 대체시설의 건설 등 다양한 요구 조건들에 대한 예측을 가능하게 함으로서, 효과적이며 능동적인 자산관리 프로그램을 뒷받침한다. 자산상태는 자산이 물리적으로 기능을 상실할 가능성과 연계되기 때문에, 자산의 위험도 관리에도 필수적이다. 더구나, 자산상태는 자산의 수명 추정의 정확도를 향상시켜, 자산 가치평가와 감가상각 결과를 더욱 정확하게 만들 수 있다.

자산관리 프로그램을 개발할 때, 자산상태 평가를 위해 위에서 제시한 내용들을 유념할 필요가 있다. 그렇지 않을 경우, 자산관리 프로그램은 본연의 목적에 적절하게 사용될 수 없는 데이터를 산출할 수 있다. 데이터는 다음과 같은 추정을 가능하게 해야 한다.

- 자산의 기능 상실 가능성 : 데이터가 위험평가에 사용될 경우 필요
- 적절한 대응 : 계획 기간 중에 요구되는 유지관리, 대체시설의 건설 또는 재생 방법 및 시기
- 자산 공용연수 및 잔여 수명

자산상태 평가를 위한 적용 범위를 결정하여야 한다. 상태평가 프로그램에 대한 투자수준은 자산 네트워크의 유형, 범위, 중요성에 달려 있다. 일반적으로 기능상실 가능성이 높은 노후 자산과 실패할 경우, 심각한 결과를 초래하는 중요자산은 상태평가 빈도를 높여야 한다. 그러나 비용 또한 상태평가 프로그램에 대한 투자수준을 결정짓는 중요 요인이다.

지하구조물 자산과 같이 평가 비용이 많이 소요되는 자산을 갖춘 대규모 네트

워크의 경우, 전수조사보다는 제한적인 표본조사 접근법이 일반적이다. 소요 비용이 문제가 될 때 어떤 자산을 우선적으로 점검할지 결정하기 위해 위험도 기반 접근법들이 사용될 수 있다. 이 접근법에서는 해당 자산의 기능 상실 가능성 및 연관 지표들을 살펴보고 위험도가 더 높은 자산들을 우선 점검 대상으로 한다.

적절한 상태평가 방법은 간단한 육안점검에서 세부적인 기계, 화학, 전기사험에 이르기까지 범위가 넓다. 점검 방법들은 비파괴적 및 파괴적 방법이 모두 동원될 수 있다. 예를 들어 파이프의 유연도와 관벽 두께 측정 시험을 위해 파이프 표본을 제거하는 경우 용수 공급 서비스가 중단될 수도 있다. 선택된 상태평가 방법에서, 자산의 기능이 물리적으로 중단되는 경우로 이에 따라 대규모 예산 투입이 필요하다면 상태평가 방법 적용의 비용과 얻을 수 있는 효과를 고려해야 한다.

중요자산 및 사업 위험도 파악

자산의 중요성에 대한 이해는 자산관리자에게 매우 중요한 정보이다. 중요자산이란 기능을 상실했을 경우 파급효과가 큰 자산으로, 잠재적으로 조직의 관리 목표에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 중요자산에 대한 지식은 많은 자산관리 의사결정 분야에 반영될 수 있다. 예를 들어, 중요자산은 점검 빈도를 높이거나 조기에 대체시설을 건설하여 위험을 회피할 수 있다.

위험이란 특정 조직이 관리목표를 달성할 수 없도록 할 수 있는 사건들을 가리킨다. 위험은 다음과 관련될 수 있다.

- 자산의 기능 상실(예 : 시설물 붕괴)
- 사업 실패(예 : 목표 수입 달성 실패)
- 자연적 사건(예 : 지진, 태풍, 집중호우)
- 서비스 이행(예 : 도급업자의 사업 또는 성과 실패)
- 사람들(예 : 운영자 오류)

위험은 불확실성의 결과로 사건들이 언제, 어디서 발생할지 알 수 없으므로, 사건 발생 가능성을 추정할 필요가 있다. 실패 가능성 및 그 결과를 조합함으로써, 전체적인 운영 측면에서 위험도를 측정할 수 있다. 위험관리 절차는 해당 조직이 당면할 수 있는 고위험 요소들을 파악하고, 어떤 것이 받아들일 수 없을 정도로 높은 위험인지 결정하며, 그와 같은 위험들을 줄이기 위해 필요한 예방 조치들을 도출하는데 도움을 줄 수 있다. 위험관리 절차가 <그림 5.17>에 제시되어 있다.



< 그림 5.17 > 위험관리 절차

의사결정기법 개발

자산관리 생애주기의 의사결정 유형은 주관적 개인판단부터 공식기법까지, 의사결정에는 많은 접근법들이 존재한다. 공식기법은 다음과 같이 폭넓게 분류될 수 있다.

- 비용효과분석(BCA) : 분석기간 동안에 선택방법들이 미치는 재정적 영향과 관계된다. 어떤 방법이 비용 대비 가장 큰 금전적 가치를 유발하는지 평가하는 것을 목적으로 한다.
- 다기준분석(MCA) : 각 방법이나 프로젝트가 제공하는 장점을 대표하기 위해 몇 개의 기준을 선정한다. 각 기준들에 따라 점수를 평가하고 기준들마다 가중치를 부여하여, 그 결과를 이용해 좋은 방법을 결정한다. 의사결정이 복잡하고 비용효과가 재정적 관점에서 쉽게 정량화될 수 없을 경우, MCA를 통해 의사결정 절차의 명확성을 확보할 수 있다.
- 위험기반 관리체계 : 고위험노출 분야의 경우, 최소 비용으로 위험감소를 극대화하는데 의사결정기법의 초점을 맞춘다. 조직은 위험을 정량화하고, 대응조치를 파악해, 가장 비용효과적인 방법으로 위험을 감소시킨다.

의사결정기법은 조직의 비용지출 프로그램으로부터 얻을 수 있는 최대의 금전적 가치를 제공하는 것을 목표로 한다. 의사결정기법을 통해, 특정 프로젝트를 위한 최선책을 찾거나 프로그램 내에서 최저 비용으로 최대의 효과를 도출할 수 있는 최선의 프로젝트를 찾으려 한다. 그러나 의사결정기법은 단지 최고의 해법을 파악하는 특정 숫자에 도달하는 것으로 끝나지 않는다. 의사결정기법을

통해, 사용자들은 자신의 가치관을 명확히 밝히고, 가치관을 합리적이고 일관되게 문제에 적용할 수 있다.

의사결정을 위한 방법인 비용효과분석(BCA)의 첫 단계는 대안으로 고려되고 있는 방법 또는 프로젝트에 적합한 생애주기비용과 효과의 흐름을 개발하는 것이다. 같은 단위의 금액이라 하더라도 미래에는 가치가 줄어들 수 있으므로, 현지점에서 금액의 '시간가치(time value)'도 고려되어야 한다. 현재가치(PV, Present Values)에 맞춰 비용과 효과의 금액을 할인한 다음, 공통의 측정단위를 제공함으로써 금액의 '시간가치'를 고려한다. 다기준분석(MCA)의 경우, 프로젝트의 다양한 비용효과 영향을 나타내기 위해 많은 기준들과 지표들을 선택한 다음, 각각의 지표들에 대해 프로젝트 별로 점수를 산정한다.

운영전략 및 계획

자산은 장기간에 걸친 지역사회의 필요를 충족시키기 위해 효과적으로 활용되어야 한다. 여기에는 현재의 자산 활용수준 측정, 자산의 과소 또는 과대 활용 여부 평가, 모든 문제들에 대처하기 위한 자산관리 전략 검토가 포함된다. 자산이 잘 활용되기 위한 운영전략에는 다음이 포함된다.

- 자산용량과 수요 요구조건이 조화를 이룰 수 있도록, 신규 자산을 창출하기 전에 효과적인 수요예측을 실시한다.
- '공급측면'의 수요관리를 통해 자산 활용을 극대화한다. 예를 들어, 사용자 방문 일정관리나 누수탐지를 통해 낭비를 최소화한다.
- 과대 또는 과소 활용 자산에 대한 수요를 낮추거나 높이기 위해, 사용자 수요관리를 실시한다. 예를 들어, 가격책정, 규제, 교육, 장려책(인센티브)을 활용한다. 수요 관리에 대한 조치 방법의 예시에 대해 (표 5.8)에 나타내었다.

(표 5.8) 수요관리조치(예시)

자산 집단	공급측면 관리	사용자 수요측면 관리
물	▶ 누수 관리	▶ 물절약 캠페인
전기	▶ 손실 통제	▶ 비침투 시간대 사용을 장려하기 위해 요금 인하
오폐수	▶ 유입 및 침투수 관리 프로그램	▶ 우수관의 오폐수관 연결 불법 사례 조사 및 강제집행
우수	▶ 중요 유입구에 대한 능동적 관리	▶ 지역에서 유출되는 침투 유량을 줄이기 위해 현장 우수탱크 설치시 보조금 지급
교통	▶ 진입로 유입 통제 ▶ 지역 교통 관리	▶ 대중교통 이용을 장려하기 위해 대중교통연계 시설 설치
가스	▶ 누출 최소화	▶ 손실을 최소화하기 위해 사용자 내부의 가스 설비 기준 마련

유지관리 전략 및 계획

유지관리는 “재건이나 대체시설의 건설을 제외한, 가능하면 최대한 원래 상태로 자산을 유지하는 모든 조치”를 의미한다. 유지관리는 자산의 서비스 잠재력을 증대시키거나 원래 상태로 계속 유지시키지 않는다. 유지관리는 단지 자산의 상태악화를 둔화시키고 재건이나 대체 필요시기를 늦출 뿐이다. 유지관리는 자산이 계속해서 요구되는 서비스 수준을 이행할 수 있도록 보장하는 일종의 메커니즘이다.

계획된 유지관리의 유형과 빈도는 가장 단순한 수준에서 직원의 자산에 대한 이해에 근거하여 결정된다. 계획되지 않은 유지관리는 일반적으로 서비스 실패에 의해 유발되지만, 자산관리 시스템의 자산데이터를 입증할 기회로도 간주되어야 한다. 계획되지 않은 유지관리 행위의 발생은 대체시설의 건설 예측과 같은 자산의 분석 그리고 근본원인과 자산관리 시스템 차원의 실패를 파악하기 위한 적정성 분석을 지원하기 위해서 해당 자산의 정보에 반드시 기록되어야 한다. 계획되지 않은 유지관리 처리 절차는 일반적으로 다음과 같다.

- 결함 통보(사용자 보고서, 시스템 경고 등)
- 이동 및 현장 방문
- 서비스 복구
- 수리
- 결함 종료

자본투자 전략 및 계획

자본투자는 일반적으로 다음과 같이 세 가지로 투자흐름을 구분할 수 있다.

- 보통 수요증가나 요구되는 서비스 수준 변경문제에 대처하기 위한, 자산 업그레이드, 창출, 신규자산 구입
- 보통 기존 자산의 서비스 수준 달성 실패를 예방하기 위한, 기존 자산의 대체시설 건설
- 재정적 수익 제공 또는 미래의 기회가치 창출을 위한 투자 개념으로 조직이 자발적으로 투자하는 경우

신규 자산 생성 여부를 결정하는 것은 잠재적 비용과 서비스 수준에 영향을 줄 수 있는 가장 큰 기회가 도래하는 시기이다. 일단 자산이 이미 운영되고 있을 경우, 자산을 대체시설로 건설할 시기와 방법에 대한 결정이 다음으로 큰 기회라 할 수 있다. 우수한 시설물 기획은 의사결정을 내리는 최적의 시점을 결정 해주며 효과적이고 효율적인 방법으로 투자 활동을 계획할 수 있게 한다.

자본투자 프로그램 정리는 일반적으로 다음 단계를 포함한다.

- 잠재 프로젝트 파악 : 위험관리 절차, 유지관리 담당자의 의견, 용역 보고서 등 다양한 출처로부터 프로젝트에 대한 수요제기를 수집하고 분석해서 단일 목록에 저장한다. 목록은 스프레드시트, 데이터베이스, 다른 유형의 소프트웨어일 수 있다. 이를 통해 모든 잠재적 프로젝트들의 필요성을 비교하고, 자본사업 투입 계획에 포함하여 우선순위가 설정한다.
- 개별 프로젝트의 대안 설정 : 잠재적 자산 업그레이드나 신축 계획과 함께, 비자산적 방법과 운영적 방법들이 동시에 고려되어야 한다. 대체시설 건설 계획의 경우, 다양한 건설 시점도 대안으로 검토해야 한다.
- 대안 검토 및 프로젝트 우선순위 결정 : 의사결정 기법들을 활용하여 프로젝트별로 최적의 대안을 결정할 수 있다. 다양한 프로젝트들이 목록에 존재하여 소요 비용이 투입 가능한 예산을 초과할 경우, 어떤 프로젝트를 먼저 수행할 것인지 의사결정 기법을 활용하여 우선순위를 결정할 수 있다.
- 프로젝트 결정 : 연간 작업 계획에 따라서 자본을 투자할 프로젝트를

결정하기 위해, 프로젝트 결정 보고서가 작성되어야 한다. 프로젝트 결정 보고서에는 개별 프로젝트 별로 관리목표, 장점, 비용, 가정사항, 위험, 기간, 방법들의 개요가 제시되어야 한다. 소규모 프로젝트의 경우, 간단한 한 쪽짜리 보고서로 대체할 수 있지만, 대규모 프로젝트의 경우, 상세한 사업계획서가 될 수도 있다.

대체시설 건설 계획은 과거 비용지출을 기반으로 한 미래 비용 추정, 가용수명이 끝날 때의 자산 대체에 근거한 개괄적인 비용 추정, 다양한 복잡도에 대한 예측 모델링 등의 방법에 종합적으로 검토한 뒤에, 다양한 잠재 대체시설의 건설비용을 산정하는 것이 바람직하다.

재무 및 자원조달 전략

자산 집약적인 조직의 재무관리는 총 조직의 가치에 비해 자산가치가 높다는 특징이 있다. 자산과 재무관리에는 재무기획, 재무보고, 비용관리, 재무 및 조세 기능이 포함된다. 재무 및 자산관리는 활동들 사이의 ‘경계 설정 (demarcation)’ 이라기보다는 공생관계로 서로 보완한다. 자산관리 전략 및 활동들의 성과가 재무관리 절차로 통합되어야 하며, 그 반대 역시 마찬가지이다. 재무담당자들과 자산관리 담당자들이 협력해야 할 분야는 다음과 같다.

- 자산 분류 체계, 비용지출 분야, 자본화 규칙 합의
- 공유자산정보 수집 및 생성
- 자산 가치평가 절차에 대한 공동의 의견 개진
- 생애주기비용 계산 분석 및 서비스 수준 선택에 대한 비용 계산

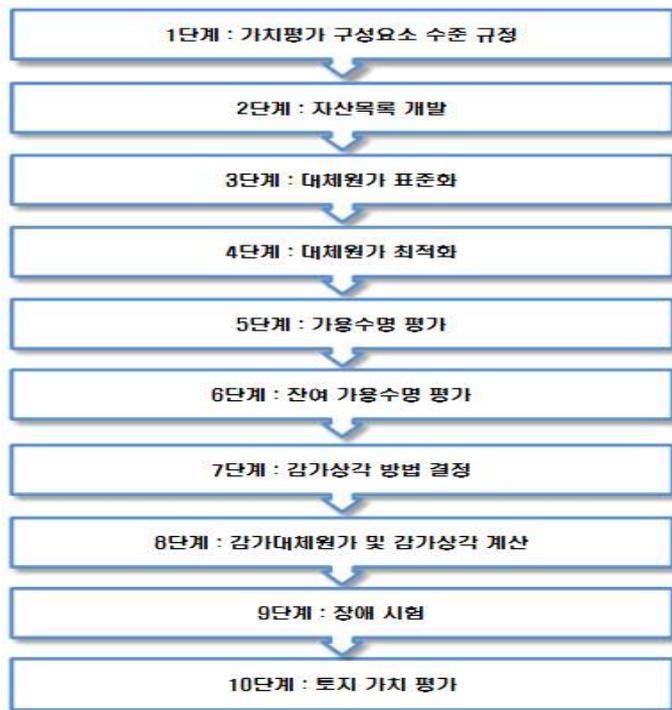
자산집약적 조직들은 높은 감가상각, 예측하기 어려운 장기 수명 등 특별한 재정적 도전에 직면한다. 재무관리가 부실할 경우, 장기간의 생애주기비용 과다 지출, 불공평한 요금 부과 및 재정적 충격으로 이어질 수 있다. 효과적으로 시설물의 재정을 관리하고 상기 문제들을 피하기 위한 원칙들은 다음과 같다.

- 자산의 감가상각에 대한 인지와 이에 따른 재정 지원
- 적절한 비용지출 분류(자본과 운영비용)
- 많은 자산관리 기능들에 대한 분석 지원을 위해 가능한 실질적으로 자산에 예산을 할당
- 요구되는 비용지출에 대비하고, 재원지원 수준이 장기적으로 지속가

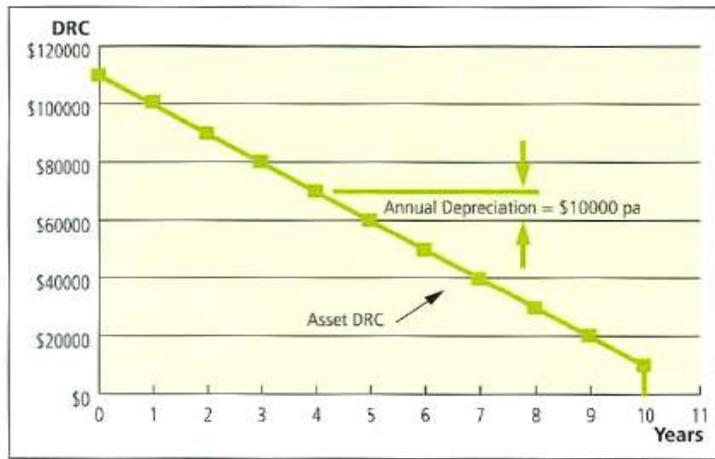
능 하도록 보장하기 위해 장기 예측 준비

- 비용효율적인 재정 지원
- 재무성과에 대한 효과적인 보고

자산관리자 및 재무관리자가 협력해서 생산해야 할 두 가지 핵심 재무성과로는 장기 재무예측과 자산 재평가가 있다. 자산 재평가는 자산을 정확하게 평가하는 것으로 그 이유는 많다. IFRS(International Financial Reporting Standards, 국제회계기준)에서는 자산을 ‘공정한 가치’로 평가할 것을 요구하고 있다. 또한, 자산관리자들과 재무관리자들은 공정하게 비용을 할당하고, 수입흐름을 설정하며, 자산 대체시설의 건설에 대비하기 위해서 가용수명에 걸쳐 자산이 감가상각되는 방법을 이해할 필요가 있다. DRC(Depreciated Replacement Cost, 감가대체원가)는 특수 시설물자산에 대한 가장 일반적인 가치평가 방법이다. 이에 대한 방법론이 <그림 5.18>에 제시되어 있다. 정액법에 따르면, 자산은 <그림 5.19>과 같이 가용수명에 걸쳐 감가상각된다.



< 그림 5.18 > 감가대체원가 계산 프로세스



< 그림 5.19 > 정액 상각법

자산의 공용연수, 잔여 가용수명, 대체원가에 대한 합리적 지식은 믿을 수 있는 자산 가치평가의 토대이다. 대체원가는 최근에 수행된 건설계약을 통해 용이하게 획득할 수 있다. 자산집단에 따라 비용 요인들의 차이가 심하게 발생할 수 있으므로, 표준 대체원가는 자산집단별로 구분하여 조정되어야 한다. 자산의 잔여수명은 단순 접근법에서 점점 복잡한 접근법으로 구성되고 다음과 같은 방법으로 측정할 수 있다.

- 담당자의 경험으로 검증한 업계 지침에서 제시된 수명을 이용해, 유사한 재료로 만들어진 자산에 표준 가용수명을 적용한다.
- 상태, 성능, 이에 따른 잔여수명 평가를 위한 물리적 조사
- 모든 자산에 대한 물리적 조사가 실질적이지 못하거나 비용을 감당할 수 없을 경우(보통 지하 자산), 다른 접근법을 활용할 수 있다. 광범위한 자산집단들을 (예를 들어 유사한 운영환경, 건설유형과 같이) 유사한 특성을 가진 소규모 하위 자산집단으로 분류한다. 경험이 많은 직원의 지식을 활용해, 수명에 영향을 미치는 요인들을 변경함으로써 하위 자산집단에 대한 기대수명을 연장하거나 단축시킬 수 있다.
- 기존의 상태와 성능을 알고 있는 경우에는 성능예측 모델을 적용하여 잔여수명을 예측한다. 성능예측 모델이 없는 경우에는 자산의 가용수명을 추측하기 위하여 기존 모델을 변형하여 사용한다.

장기간의 재정 예측은 자산관리와 재무관리로부터 산출되는 중요성과는 재정적 수요와 재정지원 요구조건들에 대한 장기 평가이다. 이와 같은 예측을 위해서는 자산관리 절차로부터 관련된 모든 데이터를 수집해야 한다. 재정 예측은 명확히 규정된 가정사항들과 신뢰 요소들에 기반하여 10년 이상의 기간에 대해 검토되어야 한다. 재정예측의 주요 요소들은 다음 요구조건들을 충족해야 한다.

- 운영, 관리, 대체시설의 건설, 개발 비용을 포함한다.
- 상당 기간 동안(10년 이상)을 예측한다.
- 자산관리 전략에서 도출된 재무 측면의 결과여야 한다.
- 입증 가능한 단위비용에 근거해야 한다.
- 매년 갱신되어야 한다.
- 기록된 핵심 가정사항 및 신뢰수준과 관련되어야 한다.
- 미래의 감가상각 및 서비스 잠재력 손실을 예측할 수 있어야 한다.

자산관리를 위한 관리방안 검토(ISO-55000)

현재 우리나라의 경우 개별 시설물을 대상으로 한 유지관리 분야에는 연구, 예산 편성 등을 집중하고 있는 실정으로 아직 자산관리체계 도입을 위한 준비단계에 머무르고 있는 실정이다. 선진 사례에서 제시하고 있는 바와 같이 사회기반시설 전체의 현황 자료 수집, 예산 추정, 서비스수준(LoS)의 결정 등을 총괄하는 조직의 구성 면에서는 미흡한 부분이 많은 실정이나 향후 장기적인 관점에서 자산관리체계의 도입 및 구축 방안을 마련되어야 한다. 자산관리체계의 도입 과정에서 자산관리 및 운영관리를 통해 자산의 경제성과 효율성 향상에 기여가 가능한 ISO-55000의 인증을 검토할 필요가 있다. 본 절에서는 ISO-55000의 관리 방안에 대해 검토하였다.

ISO-55000은 자산을 중심으로 한 자산의 생애주기 전반에 대해 계획적으로 관리하고 그 가치를 최대화하는 것을 목적으로 하는 국제표준이다. ISO-55000 시리즈는 영국표준협회(BSI)가 제정한 PAS-55(자산관리)를 기반으로 2014년 1월에 개발이 완료되었으며 도로, 상하수도, 철도, 전력 등 다양한 인프라시설의 자산관리를 위해 적용되는 국제기준이다. 이 중 ISO-55001에서는 시설물의 자산관리를 위해 조직 상황, 리더십, 계획, 지원, 운용, 퍼포먼스 평가, 개선으로 이루어지는 7단계의 관리방안을 제시하고 있다. 단계별 관리방안은 다음과 같다.

- 1단계 (조직) 조직 구성 및 중장기 계획수립
 - 유지관리를 담당하는 조직 간의 관계, 역할 정리

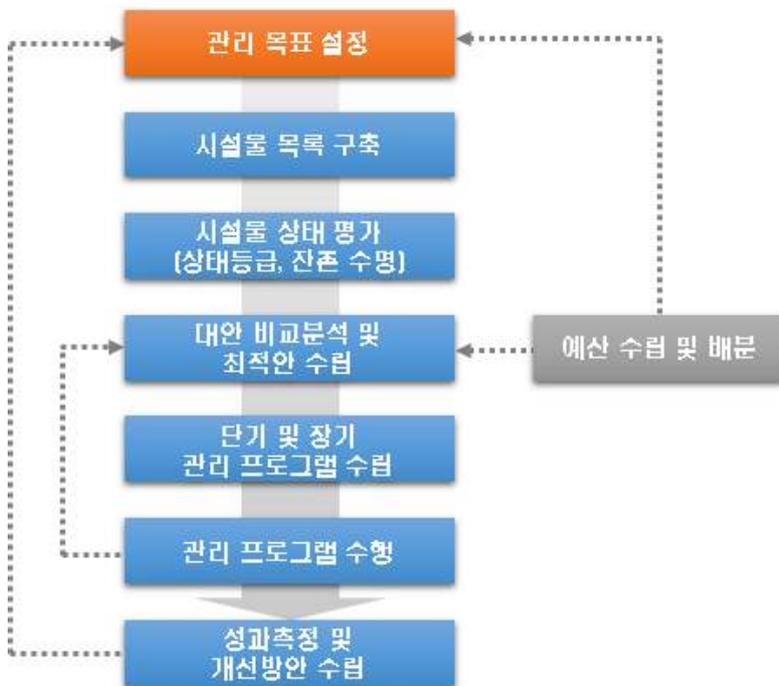
- 이해관계자와의 관계정리(예산처, 위탁업체, 사용자 등)
- 2단계 (리더십) 의사결정자에 의한 리더십
 - 리스크(예산, 인원 등)에의 대응
 - 의사결정자 참가에 의한 프로젝트 정기 모니터링 가능
 - 기술적 정보의 공유 활성화
- 3단계 (계획) 장·단기적인 목표설정과 평가지표의 설정
 - (장기적 지표 설정 예) 시설물 목표관리수준의 90%로 유지(시설물 정기조사와 모니터링 조사를 지속적으로 수행)
 - (단기적 지표 설정 예) 보수 사업에서의 예방적 유지보수 실시율과 그 비율
- 4단계 (지원) 자금, 인력, 장비의 확보 및 지원
 - (자금) 필요한 사업비의 확보, 예산요구 자료의 설명력 향상, 관계부처와의 소통 능력 향상
 - (인력) 필요한 인재의 확보, 조직 리스크 대응, 계층적 트레이닝에 의한 조직 강화, 인사담당부서와의 긴밀한 커뮤니케이션
 - (장비) 자산관리운용을 위해 필요한 장비의 운용 및 확보
- 5단계 (운용) 계획을 기반으로 한 보수공사의 실시, 이해관계자들을 위한 홍보 활동
 - LCC를 고려한 적절한 보수공법선정, 시민 요구를 고려한 대응, 시민을 위한 정보제공, 커뮤니케이션, 사용자 참가에 의한 유지관리
- 6단계 (평가) 정기적인 상태 평가 수행
- 7단계 (개선) 상태평가에 의한 개선사항 도출
 - 자산, 자산관리, 자산관리시스템의 개선
 - 유지관리 기술, 인력, 예산, 조직구성, 정보공유, 관리능력, 리스크 요인 등



< 그림 5.20 > ISO-55000 시리즈 출판물

자산관리체계 도입의 의미

최근 선진국의 시설물 유지관리 사례를 보면 통상적인 시설물 유지관리 개념에 경제학적, 경영학적 원리를 도입한 시설물 자산관리(Infrastructure Asset Management)의 개념이 도입되고 있다. 시설물 자산관리는 미국, 영국, 호주, 뉴질랜드 등에서는 이미 광범위하게 시행중인 유지관리 방법으로서 유지관리와 시설물의 성능을 연계하고, 시설물의 미래 성능을 예측하여 유지관리 의사결정을 시행하는 개념으로 본 연구에서 적용하는 기본 개념과 유사하다고 할 수 있다.



자료 : AASHTO, Transportation Asset Management(2004)

< 그림 5.21 > 자산관리의 절차(미국 사례)

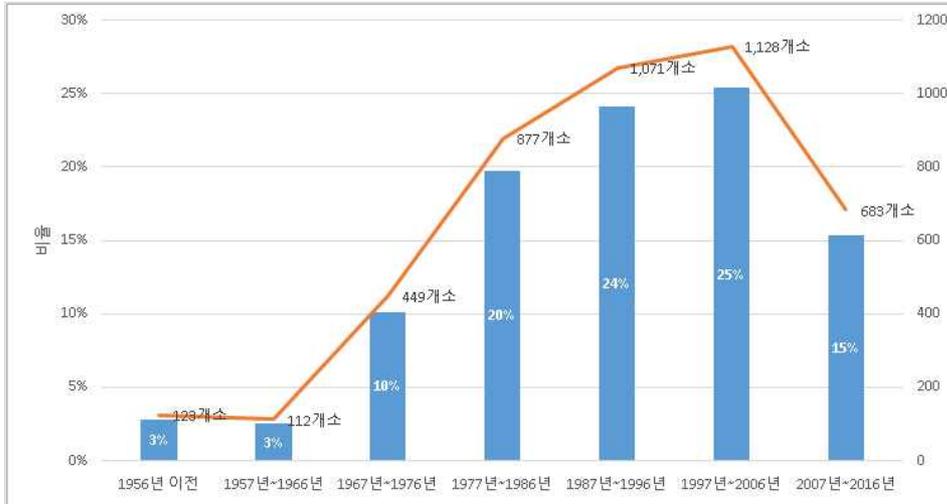
자산관리 개념에서는 현재까지 적용된 대응적 유지관리(시설물에 손상이 발생한 이후에 보수·보강 시행)에서 예방적 유지관리(시설물에 발생할 손상을 미리 예측하여 선제적인 보수·보강 시행)로의 패러다임 전환을 추구하고 있다. 시설물의 성능을 계획된 수준에서 일정하게 유지하며 장기적으로 지속가능하도록 유

지관리하여 소요 비용의 절감을 목적으로 하고 있다. 또한, 자산관리 개념의 시설물 유지관리는 기본적으로 예방적 유지관리에 해당하는 보수·보강을 시행하되 가장 비용/효과가 높은 부분에 예산을 우선적으로 배정하여 시설물 전체 네트워크의 가치를 높이는 방향으로 유지관리 예산을 운영하는 것을 의미한다.



< 그림 5.22 > 시설물 유지관리 개념 비교

2016년 기준 총 52,008개소의 농업기반시설을 한국농어촌공사가 종합관리하고 있으며 이 중 수원공시설은 13,870개소, 평야부 시설은 38,138개소이다. 시설별로는 양·배수장이 총 4,443개소로서 가장 많은 시설로 나타나며, 다음으로 취입보 4,154개소, 저수지가 3,396개소의 시설 현황을 나타내고 있다. 특히, 농업기반시설 중 양·배수장의 경우 규모가 크고, 양적으로 가장 많은 시설물이 전국적으로 분포하여 농업기반시설중 중요도 역시 크다고 할 수 있다. 또한 양·배수장은 30년 이상 경과된 시설(1986년 이전)이 1,561개소에 이르며 전체의 35.1%에 달하고, 2,632개소(59.2%)의 시설은 준공 이후 20년 이상 경과된 시설(1996년 이전)로 나타나 있다. 노후도가 심화되고 있는 실정으로 추가적인 노후화 진행 이전에 종합적이고 장기적인 시설물 관리에 대한 대책이 필요한 실정이다.



자료 : 한국농어촌공사, 농업기반시설에美了 디자인하다! 양배수장 경관디자인(2018)

< 그림 5.23 > 양·배수장 준공년도에 따른 시설 개소수

급속도로 증가한 시설물의 노후화 추세를 감안할 때 유지관리 문제가 점차 부각되고 있으나, 시설물의 상태 및 성능평가가 어렵고 한정된 예산으로 인해 적절한 유지관리가 이루어지지 않고 있다. 특히, 농업기반시설의 경우 현재의 서비스 수준을 유지하는 동시에 이설 및 교체를 수행하기에 많은 비용과 시간이 소요되므로 서비스 수준의 저하가 우려되는 경우 이에 대한 장기적인 대책이 필요하게 된다. 대상 시설물에 대하여 현 수준의 유지관리를 지속할 경우, 노후화에 따른 시설물의 유지보수비가 급증하여 막대한 재정이 소요될 뿐만 아니라, 시설의 작동 불능 등에 따른 사회적인 장애가 될 우려가 있으므로 구조적 안전, 지속적인 성능유지, 성능향상 및 장수명화 등을 고려한 개선된 유지관리 체계로의 전환이 필요하다. 이 시점에 농업기반시설에 자산관리체계 도입으로 현재 상태 및 성능을 객관적으로 평가하고 시설물 유지관리를 위한 예산 관리를 체계화할 수 있다. 향후 시설물의 안정적인 성능유지와 시설의 장수명화가 가능하도록 시설물 통합 관리시스템의 정착이 가능할 것으로 판단된다.

자산관리체계의 단계별 도입 방향

5.1.11 주요 요소기술 분류

농어촌공사 농촌기반시설에 자산관리를 도입하기 위하여 좀 더 구체적인 방안에 대해 검토하였다. 실제 자산관리체계 구축 단계에서는 현재 농어촌공사에서 수행하고 있는 농업기반시설에 대한 유지관리 방법과 실질적인 예산의 투입 및 장기적인 정책 방향에 부합하도록 검토할 필요가 있다. 자산관리체계의 주요 요소기술 개발 및 확보를 통해 이후 중장기적으로 자산관리체계의 구축 및 안정화가 가능하게 된다.

자산목록 구축

가장 우선적으로 추진되어야 하는 분야는 자산관리 목록의 구축이다. 자산관리의 첫 단계이기도 하고 관리 주체가 모든 시설에 대한 통합된 현황 파악과 일관적인 유지관리가 어려운 실정이지만 시설의 자산 목록을 계층화 하고 기록체계를 수립할 필요가 있다. 향후 자산 현황을 데이터베이스화하고 상시 관리가 가능한 자산관리시스템을 개발하여야 한다. 모든 관리부서는 자산관리시스템을 통해 정보의 공유가 이루어지도록 하여야 한다.

자산의 상태평가(자산 성능과 고장유형 평가)

자산이 보유하고 있는 성능은 어떠한지, 성능 확보가 가능하지 않는 경우의 고장유형은 어떠한지에 대한 상태를 평가하는 과정이 필요하다. 상태평가는 자산에 대한 통찰력을 제공하는 척도로 중요한 역할을 하게 된다. 또한 고장유형 평가를 통해 시설 노후화에 따른 고장의 원인이나 고장 또는 파손의 패턴을 평가할 수 있다. 이러한 고장 유형의 평가를 통해 시간의 경과에 따른 시설물의 노후화 예측 모델의 개발에 활용할 수 있고 생애주기비용의 예측도 가능하다. 현재 자산의 성능 및 고장의 상태를 판단하는 것, 즉 자산의 상태평가는 자산관리계획을 수립하기 위해 중요한 단계이다. 자산의 잔존수명의 예측과 자산의 위험도, 서비스 수준 등과 연계되어 데이터의 통합관리가 가능한 자산관리시스템의 기본 기준으로 적용되는 것이다.

시설 잔존수명 예측

농업기반시설의 자산의 현 단계의 가치가 어느 정도이고 향후 미래 가치는 어떻게 관리되어야 하는지 판단할 필요가 있다. 자산가치 분석을 위해서는 잔존

수명 예측을 위한 내용연수를 일괄적으로 20~30년으로 적용하고 있으나 이는 경제적 평가기준으로 기계적인 내용연수는 아니다. 운영 환경과 시설의 기능에 의해 잔존수명은 새롭게 설정될 필요가 있고 고장 유형에 따른 잔존수명의 결정이 필요한 상황이다. 단순 장부가치를 평가하는 기준이 아닌 서비스 수명을 판단 할 수 있는 적절한 내용연수 기준의 수립과 수명 기준에 따른 노후화 예측 모델의 개발이 필요한 것이다.

서비스 수준 설정

농업기반시설물 유지관리 목표설정을 위한 서비스 수준 설정이 필요하다. 농업기반시설의 사용자에 대한 단순한 만족도 조사를 실시하는 것이 아닌 시설물관리부서별 현황에 맞는 서비스 수준 목표를 설정하고 목표 설정을 위한 평가 지표의 선정 및 제도화가 필요하다. 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 한다.

투자 우선순위 결정

투자 우선순위 결정은 보유하고 자산중 어느 자산이 더욱 가치있고 어느 자산이 얼마나 중요한지를 판단하는 방법으로서 한정된 예산이 배정되는 경우 어느 자산에 어느 정도의 예산을 배분할 것인가에 대한 판단 기준으로 작용하게 된다.

투자우선순위 계획의 기초적인 방안은 사용가능한 기존의 정보와 적절한 가정을 활용하여 수립할 수 있다. 외부의 전문가를 활용할 경우에는 관리주체의 내부 정보나 상황 등에 대하여 잘 파악하고 있는 전문가를 활용하는 것이 바람직하다. 투자 우선순위 계획에 어떤 특정한 정형화된 구성은 없으며 관리주체의 요구수준이나 자산의 상태, 성능 등에 따라 여러 가지의 형태로 이루어질 수 있다. 하지만 어떠한 형태를 취하든 간에 관리주체의 경영계획에 부합하여야 하며, 결과물은 예산을 충족하여야 한다. 미래의 예산의 추정, 위험도 분석 등과 같은 항목을 보완하고 산출물의 신뢰도를 향상시키기 위해서 적절한 수준의 체계적이고 정량화된 자료 및 정보를 활용하여야 한다. 또한, 변화하는 요구수준과 서비스 수준에 대응하기 위하여 우선적으로 필요한 항목(보수 보강 등)을 투자우선순위를 결정함에 있어서 논리적인 흐름을 잘 나타내어야 한다.

투자우선순위 의사결정시 내부의 인원을 통하여 수행하는 경우와 외부의 전문가를 활용하는 경우가 있는데 만약 내부의 조직을 활용한다면 관리자와 전담부

서간의 요구 서비스 수준의 명확한 상호협약이 반드시 필요하다. 계획 수립 시 수행에 필요한 자료 또는 정보는 일반적인 경우 다음의 네 가지의 분류로부터 획득될 수 있다.

- 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 유지 관리 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

장기 예산 수립

현재 국내 대부분의 시설물 관리주체에서 중장기 유지관리비용을 추정할 수 있는 방법은 거의 전무한 실정이다. 단일 시설물에 대한 생애주기비용(LCC) 분석에 대한 연구는 지속적으로 이루어져 어느 정도 신뢰성을 확보하고 있다. 이를 통해 설계단계에서 단일 시설물의 시공방식을 결정할 경우, 효과적으로 적용할 수 있지만 분석과정이 복잡하고 고려하여야 할 변수가 많기 때문에 수십~수백 개 이상의 네트워크 레벨의 시설물 군에서 적용하기 현실적으로 어렵다. 따라서 농어촌공사의 농업기반시설 대상으로 중장기 비용을 예측하기 위한 실천과제와 이를 실행 할 수 있는 선진 유지관리체계 개선 방안은 다음과 같이 제시한다.

- 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

5.1.12 자산관리체계 중장기 계획

자산관리체계의 도입은 농어촌공사 농업기반시설물의 현재 상태는 최상으로 유지하고 잔존수명에 이르기까지 시설물의 건전성을 유지하기 위한 것이다. 또한 요구되는 성능의 확보를 위해 사전에 시설물 유지관리체계를 수립함과 동시에 서비스 수준에 대한 상시 평가체계를 마련하는 것이다. 이러한 자산관리 활동으로 계획된 시설물의 잔존수명을 연장 시킬 수 있고 자산의 가치 향상과 안정적인 서비스 수준을 확보가 가능하게 될 것이다. 다음은 자산관리체계 도입에 따른 직접적인 효과를 제시하고 있다.

- 수명관리에 경제성 개념이 포함된 자산관리를 도입하여 농업기반시설물에 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 네트워크 레벨에서의 장기적이고 계획적인 자산관리를 통해 한정된 예산의 효율적 분배 등 투자 우선순위를 정하는데 활용 가능

자산관리체계의 구축은 현재 시설물의 상태 파악부터 시작되어야 한다. 현재의 관리수준 검토와 그에 따른 문제점의 파악이 필요하고 자산관리 도입을 위한 개선방향을 설정하여야 한다. 다음은 자산관리체계 구축시 다음과 같은 사항에 대해서는 우선적으로 고려하여 검토할 필요가 있다.

- 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

농업기반시설물중 양·배수장 시설물에 자산관리체계를 도입하는 하는 것을 다년간의 연구와 투자가 필요로 하게 된다. 농업기반시설에 적합한 자산관리체계의 요소기술을 개발하여야 하고 지속 가능해야 한다. 농업기반시설의 사용수명 연장과 이에 따른 장기적 예산을 절감시키기 위해 사후 유지관리체계에서 선제적 대응을 이행할 수 있는 선진유지관리체계로 전환이 필요하다. 여기에는 시설물의 노후화, 서비스 요구 수준 증대 등 다양한 변화를 고려하여야 한다.

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 한다. 농업기반 시설의 자산관리체계의 구축을 위해 향후 추진 계획을 다음과 같이 제시하고자 한다. 설정 기간 및 우선순위의 결정은 농어촌공사의 내부적인 현황에 맞게 진행하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

- 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 다음 <그림 5.24>와 같이 시설물의 자산관리 요소기술 개발과 수명관리 요소기술 개발로 설정하였다.



< 그림 5.24 > 자산관리 핵심 요소기술

자산관리체계의 구축을 위한 표준절차와 각 시설물의 데이터를 획득하고 평가할 수 있는 요소기술이 개발되어야 한다. 향후 이러한 요소기술을 적용하여 초기에 구축된 시스템의 점검을 통해 시설물 관리에 직접 구현하는 절차 또한 필요하다. 시설물 유지관리 시스템을 정책적으로 안정화하기 위한 기술개발이 필수이며 정립된 절차를 통해 자산관리시스템의 본격적인 가동이 가능한 것이다. 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 한다.

자산관리체계 구축을 위한 요소기술의 분류는 다음 (표 5.9)에 나타내었다. 분석 및 평가기술과 시설물별 보수·보강 공법 및 제도에 대한 항목으로 구성하였다. 자산관리체계 주요 요소기술 개발에 대한 로드맵을 다음 (표 5.10)와 같이 나타내었다. 수명관리를 위한 요소기술과 제도적 기준의 보완 및 개선작업은 지속적으로 연구되어야 할 필요가 있다.

(표 5.9) 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	보수/보강	▶ 콘크리트 균열 자기치유 공법 ▶ Maintenance Free를 위한 시공품질 확보기법 ▶ 구조물 초기 손상 저감 기법
		예방진단/ 상태평가
제도	제도	▶ 전략 수립, 자산관리 기본계획, 중장기 계획 수립 ▶ 조직, 지침, 정책 수립

(표 5.10) 자산관리체계 주요 요소기술 개발 로드맵

구분	단기	중기	장기	비고
자산목록 구축				
자산가치 분석				
우선도 평가				
목표수명 정의				구조물별 서비스 수준별
예방진단/상태평가				구조물별
보수/보강				구조물별 지속적인 연구추진
미래 상태 예측				구조물별 지속적인 연구추진
비용분석				구조물별 지속적인 연구추진
장기 예산 수립				
제도				관련 제도 및 전담조직에 대한 지속적인 연구추진

기존의 시설물 유지관리 체계는 시설물의 상태 및 성능에 대한 고려 없이 대응적 유지관리가 이루어졌다면, 자산관리체계의 구축 이후에는 예방적인 유지관리의 개념을 포함한 유지관리 체계의 혁신이 이루어질 수 있다. 대상 시설물의 가치를 평가할 수 있는 기준을 마련하고 장기적인 유지관리 비용의 예측이 가능하다. 또한 필요한 유지관리 예산의 적정한 배분을 통하여 시설물의 적기 보수가 가능하고 궁극적으로 시설물의 장기 공용성과 사용안전성을 증대할 수 있다. 자산관리체계의 도입은 농어촌공사 전체 시설물의 유지관리를 통합하고 예산배정의 합리화를 추구할 수 있을 것으로 판단된다.

소결

자산관리체계를 도입하여 실행하고 있는 선진국의 사례를 검토하였으며 향후 농업기반시설의 자산관리체계 도입을 위한 기준이 될 수 있도록 자산관리 검토 항목을 제시하고 자산관리체계 구축을 위한 단계별 중장기계획을 제시하였다.

국내 자산관리 사례조사를 통해 자산관리체계 도입을 위한 연구내용과 시설물 유지관리 현황에 대해 검토하였다. 자산관리의 도입은 시설물별로 증가하는 추세에 있고 현재 운영중인 시설물 유지관리시스템의 의사결정 지원 기능의 개선이 요구되는 실정이다. 해외 자산관리 사례조사에서는 자산관리의 도입 배경과 유지보수 예산의 수준, 인프라 평가보고서 및 자산조직에 대해 검토하였다. 현재 시설물의 노후화가 심각한 미국을 중심으로 캐나다, 호주, 일본에서 유지관리 예산을 확대하여 적극적으로 시설물 유지관리를 수행하고 있으며 자산관리체계의 도입으로 자산가치를 높이고 자산의 활용 효율성을 높이려는 점을 확인하였다. 선진 사례 분석을 통해 농어촌공사의 자산관리체계 방안의 수립과 시설물 장수명화를 위한 방안 및 상시 점검 및 체계 구축에 활용 가능할 것으로 판단된다.

호주의 국제시설물 관리 매뉴얼(IIMM, International Infrastructure Management Manual)을 참고하여 자산관리의 개요 및 요소기술에 대해 살펴 보았다. 또한 ISO-55000시리즈의 자산관리 구축 단계를 검토하였다. 자산관리의 도입은 기존의 사후유지관리가 아닌 사전의 예방적 유지관리 차원에서 시설물 관리가 이루어지며 중장기적인 자산의 유지관리 전략을 수립하게 되는 것을 의미한다.

자산의 주요 요소기술에 대한 정의와 고려사항에 대해 검토하였으며 이러한 요소기술을 농업기반시설에 적용하여 자산관리체계 도입의 방향 설정에 활용하였다. 농업기반시설물중 양.배수장 시설물에 자산관리체계를 도입하는 하는 것을 다년간의 연구와 투자가 필요로 하게 된다. 농업기반시설에 적합한 자산관리체계의 요소기술을 개발하여야 하고 지속 가능해야 한다. 따라서 자산관리체계 도입을 위한 중장기계획의 핵심은 시설물 자산관리 요소기술 개발과 수명관리 요소기술 개발로 설정하였다. 자산관리체계의 도입으로 장기적인 유지관리 비용의 예측을 통하여 필요한 유지관리 예산의 확보가 가능하게 되고 시설물의 장기 공용성과 사용안전성을 증대할 수 있을 것이다. 자산관리체계 도입에 대한 노력은 전체의 시설물의 유지관리를 통합하고 예산배정의 합리화를 추구할 수 있을 것으로 판단된다.

선진 해외 사례에서와 같이 사회 인프라에 대한 예산을 관리하고 시설물의 유지관리 체계를 개선하는 과정은 단기간에 이루어진 것이 아니다. 미국도 과거

20년 이상의 시간을 투입하여 유지관리의 체계, 예산의 반영 및 서비스 수준의 향상을 도모하였으나 기존 노후화된 시설의 일시적인 개선 및 개량은 현실적으로 불가능한 수준에 있다. 농업생산기반시설 역시 유지관리 체계 개선에 필요한 데이터를 축적하고, 정확한 예측모델을 만드는 노력이 먼저 선행되어야 할 것이라 판단된다. 자산관리체계의 정립과 필요로 하는 요소기술이 확보된다면 수년 내에 농업기반시설의 자산가치와 성능은 현 수준에 비해 월등히 개선될 것으로 판단된다.

제 6 장

결 론

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발

시설물 현황조사

농업생산기반시설의 현황을 2016년 농업생산기반정비통계연보를 기준으로 분석하였으며, 양·배수장의 구성분야인 토목, 건축, 기계, 전기, 기타로 구분하여 분석하였다. 그 중 가장 비중을 크게 차지하고 있는 기계분야에 대해 좀 더 세부적으로 분석하였으며, 전동기와 펌프의 가동시간, 전기요금, 급수기와 비급수기의 관리 패턴 등을 분석하였다.

농업기반시설물의 유지관리에 소요되는 예산의 구성, 관리인력의 배치, 유지관리 사업비의 집행흐름 등과 수리시설개보수사업에 의한 주요 부품의 교체, 보수의 이력에 대해 몇몇 양수장에 대해 조사하였다.

끝으로, 한국농어촌공사와 유사한 한국수자원공사, 한국수력원자력 등 발전사의 시설물 유지관리 방식에 대해 조사하였다.

성능저하 요인분석 및 대책

기후가 시설물에 미치는 영향을 고려한 성능평가를 위해 기후대를 구분하는 방법을 검토하고 한반도의 총 기후대 12개와 1개의 특수지역 구분방식을 채택하여 남한만 7개 기후대로 구분하였다.

제주도와 울릉도를 제외한 8개 기후대별 시설물을 각 기후대별로 3~4개소씩 총 30개소를 선정하고 현장조사를 실시하였다.

성능평가 모델의 객관적 입력변수를 선별하기 위해 30개 지구의 현장조사 자료, 한국농어촌공사 시설물관리시스템인 RIMS DB, 기상청 자료를 분석하였다. 양배수장 성능평가모델과 관련된 변수를 기계, 전기, 토목, 전체로 구분하였다. 농업생산기반시설물의 장수명화 전략을 위한 첫단계로 시설물의 성능저하 요인 분석을 수행하였으며, 연구의 현단계에서 개략적인 대응방안을 제시하였다. 연구 1차년인 2018년 대상시설물을 양·배수장으로 정하였으므로 그 구성분야인 토목, 건축, 기계, 전기, 기타시설물에 대해 권역별 성능저하요인과 기술적, 제도적, 사회적 측면에서의 성능저하요인별 대책을 제시하였다. 부유쓰레기 문제, 지하기계실의 습환경 개선 Dry Area설치, 기계전기 장치의 조작 및 단순관리를 위한 표준화, 전기유입 책임분계점 개폐(C.O.S.) 공문 간편화 시스템, 장수명화 건축디자인과 내·외장재 선정가능 설계기준 마련 등 주기적인 설계기준의 갱신을 개선사항으로 들었다.

성능평가 모델

현재 안전점검이나 정밀안전진단의 시행체계 및 사례를 분석한 결과 성능과 관련된 상태 평가와 안전성 평가로 이루어 지구 있었는데, 이 두 항목을 모두 고려할 수 있는 평가항목들의 개발이 필요한 것으로 분석되었다.

평가항목의 가중값을 통한 종합평가 결과만을 보았을 때, 현재 시설물의 상태에 대한 오판이 일어날 수 있을 것으로 판단되었으며, 자산관점의 시설물 운영을 위한 효율적인 유지관리와 예산분배를 위해서는 현재 상태에 대한 단순한 평가와 더불어 시설물의 성능을 예측하는 방법 개발이 필요할 것으로 분석되었다.

안전점검 및 정밀안전진단의 사례 분석과 현장조사를 통해 도출된 요인들을 입력변수로 하여 통계분석을 통해 양·배수장의 성능평가 모델을 구축하였다.

도출된 요인들에 대한 자료 구축과 변환을 통해 통합최소제곱법(POLS)과 패널데이터 임의효과 모형(RE), 그리고 LASSO 회귀분석을 통한 통계분석을 수행하였다.

각 요인들에 대한 통계분석의 기울기를 도출하고, 모형의 검정 결과, LASSO 회귀모형을 최종 평가 모형으로 선정하였다.

기후변화 RCP6.0 시나리오를 적용하여 기상하중에 따른 2020년까지의 성능평가 예측 모델을 제시하고, 이를 바탕으로 양·배수장 성능저하의 하중지도 파일럿을 작성하였다.

개발된 평가 모델은 성능저하 요인들의 성능저하 정도를 반영하고 있는 것으로 결과가 나왔지만 보다 정확한 성능평가의 결과 도출을 위해서는 요인들 각각의 통계적 기울기에 대한 추가적인 원인 분석과 보정을 수행할 수 있는 후속 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

향후 다른 기후변화 시나리오를 사용하거나 시간이 지남에 따라 변화하는 시설 제원 등을 추가로 고려하기 위한 다양한 후속 연구도 함께 추진되었으면 한다.

농업기반시설물의 성능저하와 관련된 평가 사례와 요인에 대한 분석, 그리고 평가 모델 개발을 통해 농업기반시설물의 운영관리를 위한 수치적 의사결정 시스템을 도입하였으며 신뢰성 높은 시스템의 개발로

보다 객관적이고 효과적인 성능 평가를 통해 효율적인 운영관리 의사 결정을 지원할 수 있을 것으로 기대되었다.

자산관리 체계 도입 방향

자산관리체계를 도입하여 실행하고 있는 선진국의 사례를 검토하였으며 향후 농업기반시설의 자산관리체계 도입을 위한 기준이 될 수 있도록 자산관리 검토 항목을 제시하고 자산관리체계 구축을 위한 단계별 중장기계획을 제시하였다.

국내 자산관리 사례조사를 통해 자산관리체계 도입을 위한 연구내용과 시설물 유지관리 현황에 대해 검토하였다. 자산관리의 도입은 시설물별로 증가하는 추세에 있고 현재 운영중인 시설물 유지관리시스템의 의사결정 지원 기능의 개선이 요구되는 실정이다. 해외 자산관리 사례조사에서는 자산관리의 도입 배경과 유지보수 예산의 수준, 인프라 평가보고서 및 자산조직에 대해 검토하였다. 현재 시설물의 노후화가 심각한 미국을 중심으로 캐나다, 호주, 일본에서 유지관리 예산을 확대하여 적극적으로 시설물 유지관리를 수행하고 있으며 자산관리 체계의 도입으로 자산가치를 높이고 자산의 활용 효율성을 높이려는 점을 확인하였다. 선진 사례 분석을 통해 농어촌공사의 자산관리체계 방안의 수립과 시설물 장수명화를 위한 방안 및 상시 점검 및 체계 구축에 활용 가능할 것으로 판단된다.

호주의 국제시설물 관리 매뉴얼(IIMM, International Infrastructure Management Manual)을 참고하여 자산관리의 개요 및 요소기술에 대해 살펴 보았다. 또한 ISO-55000시리즈의 자산관리 구축 단계를 검토하였다. 자산관리의 도입은 기존의 사후유지관리가 아닌 사전의 예방적 유지관리 차원에서 시설물 관리가 이루어지며 중장기적인 자산의 유지관리 전략을 수립하게 되는 것을 의미한다.

자산의 주요 요소기술에 대한 정의와 고려사항에 대해 검토하였으며 이러한 요소기술을 농업기반시설에 적용하여 자산관리체계 도입의 방향 설정에 활용하였다. 농업기반시설물중 양.배수장 시설물에 자산관리체계를 도입하는 하는 것을 다년간의 연구와 투자가 필요로 하게 된다. 농업기반시설에 적합한 자산관리 체계의 요소기술을 개발하여야 하고 지속 가능해야 한다. 따라서 자산관리체계 도입을 위한 중장기계획의 핵심은 시설물 자산관리 요소기술 개발과 수명관리 요소기술 개발로 설정하였다. 자산관리체계의 도입으로 장기적인 유지관리 비용의 예측을 통하여 필요한 유지관리 예산의 확보가 가능하게 되고 시설물의 장기 공용성과 사용안전성을 증대할 수 있을 것이다. 자산관리체계 도입에 대한 노력은 전체의 시설물의 유지관리를 통합하고 예산배정의 합리화를 추구할 수

있을 것으로 판단된다.

선진 해외 사례에서와 같이 사회 인프라에 대한 예산을 관리하고 시설물의 유지관리 체계를 개선하는 과정은 단기간에 이루어진 것이 아니다. 미국도 과거 20년 이상의 시간을 투입하여 유지관리의 체계, 예산의 반영 및 서비스 수준의 향상을 도모하였으나 기존 노후화된 시설의 일시적인 개선 및 개량은 현실적으로 불가능한 수준에 있다. 농업생산기반시설 역시 유지관리 체계 개선에 필요한 데이터를 축적하고, 정확한 예측모델을 만드는 노력이 먼저 선행되어야 할 것이라 판단된다. 자산관리체계의 정립과 필요로 하는 요소기술이 확보된다면 수년 내에 농업기반시설의 자산가치와 성능은 현 수준에 비해 월등히 개선될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 고정웅, 백희정, 권원태, 박종열, 2006, 한반도의 기온 분포 특성과 지역 구분, 기후연구, 1권 1호, pp.3-14
2. 기상청, 한국기후표 1981-2010
3. 김성재, 김성민, 김상민, 2013, 주성분분석을 이용한 농업생산기반의 재해 취약성 평가에 관한 연구, 한국농공학회, 55권 1호 pp. 31-38
4. 김용석, 심교문, 정명표, 최인태, 강기경, 2016, 지형적 특성을 고려한 우리나라의 농업기후시대 구분, 한국기후변화학회지, 7권 4호, pp.507-512
5. 국토교통부 국토교통과학진흥원(2017), 시설물 유형별 성능중심 평가 매뉴얼, 교량편
6. 국토교통부 국토교통과학진흥원(2017), 사회기반시설의 성능중심 관리 운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발 최종보고서
7. 농어촌연구원 생산자원연구소(2007), 농업생산기반 시설물에 대한 설계 VE평가 실무지침 개발(2)
8. 도로정책연구센터 RPRC(2017), 도로시설 성능평가 해외사례
9. 명수정, 이동규, 2009, 우리나라 사회기반시설의 기후변화 취약성 평가, 환경영향평가, 18권 6호, pp 347-357
10. 박창용, 최영은, 문자연, 윤원태, 2009, 기온과 강수특성을 고려한 남한의 기후지역구분, 대한지리학회지 44권, 1호, pp. 1-16
11. 서울대학교 건설환경종합연구소(2016), 선진국의 인프라시설 관련 정책 동향 2016
12. 이승호, 허인혜, 이경미, 권원태, 2005, 우리나라 상세기후지역의 구분, 한국기상학회지, 41권 6호, pp.938-995
13. 한국농어촌공사 기술안전품질원(2017), 농업생산기반시설 안전진단사 및 안전진단 DB구축
14. 한국농어촌공사, 농어촌연구원, “농업기반시설에 美를 디자인하다! 양·배수장 경관디자인”, 2018
15. 한국시설안전기술공단(2005), 생애주기비용에 기초한 시설물 최적유지관리 시스템 개발
16. (사)한국패시브건축협회, 2017, 건물에너지 평가 프로그램 신뢰성 확보를 위한 대한민국 주요지역 70개소의 표준기상데이터 제작 및 글로벌화

- 최종보고서, 국토교통부
17. 한치록, 2017, 패널데이터강의, 서울, 박영사
 18. <https://www.alimi.or.kr/>
 19. KMA(Korea Meteorological Administration), 2018, RCP 기후변화 시나리오.
 20. MOT Consultant(2016), 미국의 인프라 노후화 및 대응 전략
 21. 한국농어촌공사, RIMS(Rural Infrastructure Management System), 2018
 22. 한국건설산업연구원, “도시인프라시설물의 노후화 실태 분석과 지속가능한 성능개선 및 장수명화를 위한 제언”, 2015
 23. 한국도로공사, “선진 구조물 자산관리체계 적용 연구”, 2011
 24. 한국시설안전공단, “지속가능한 미래를 위한 MRU”, 2012
 25. 한국시설안전공단, “인프라성능 지속관리체계 시범사업 및 시스템 구축 기획 연구”, 2014
 26. The Canadian Infrastructure Report Card, “Canadian Infrastructure Report Card Volume 1: 2012 Municipal Roads and Water Systems”, 2012
 27. Engineers Australia, “Australian Infrastructure Report Card 2010”, 2010
 28. Infrastructure Canada,
“<http://www.infrastructure.gc.ca/index-eng.html>”
 29. Infrastructure Australia,
“<http://www.infrastructureaustralia.gov.au/>”
 30. Institute of Public Works Engineering Australia(IPWEA),
"International Infrastructure Management Manual", 2011

부록

양배수장 현장조사 사진대지

농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발

부 I 록

양배수장 현장조사 사진대지

- 시설명 : 대암양수장
- 시설위치 : 대구광역시 달성군 구지면 대암리
- 수혜면적 : 308ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 1 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 지동양수장
- 시설위치 : 대구광역시 달성군 현풍면 원교리
- 수혜면적 : 96ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 2 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 현풍양수장
- 시설위치 : 대구광역시 달성군 현풍면 성하리
- 수혜면적 : 11ha



(b) 기계분야 : 펌프



(a) 토목분야 : 흡입수조



(d) 전기분야 : 배전판



(c) 기계분야 : 크레인



(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 수원
< 그림 3 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 석강1양수장
- 시설위치 : 경상남도 거창군 가조면 기리
- 수혜면적 : 52ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 수원

< 그림 4 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 신평양수장
- 시설위치 : 경상남도 합천군 합천읍 외곡리
- 수혜면적 : 180ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 5 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 용산양수장
- 시설위치 : 전라북도 남원시 덕과면 용산리
- 수혜면적 : 59ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 수원

< 그림 6 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 봉동양수장
- 시설위치 : 전라북도 완주군 봉동읍 용암리
- 수혜면적 : 287ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 7 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 주교양수장
- 시설위치 : 전라북도 완주군 삼례읍 후정리
- 수혜면적 : 205ha

지하매설



(a) 토목분야 : 흡입수조

(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 8 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 대단위양수장
- 시설위치 : 경기도 파주시 파평면 울곡리
- 수혜면적 : 4,513ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 9 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 대산양수장
- 시설위치 : 충청남도 서산시 대산읍 운산리
- 수혜면적 : 1,105ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 스크린

< 그림 10 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 성연양수장
- 시설위치 : 충청남도 성연면 명천리
- 수혜면적 : 831ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 전기설비



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 11 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 와룡1양수장
- 시설위치 : 충청남도 홍성군 갈산면 와리
- 수혜면적 : 48ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(d) 전기분야 : 배전판



(c) 기계분야 : 크레인

(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 수원

< 그림 12 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 외삼포양수장
- 시설위치 : 강원도 홍천군 화촌면 외삼포리
- 수혜면적 : 42ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 스크린

< 그림 13 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 섬강양수장
- 시설위치 : 강원도 원주시 문막읍 건등리
- 수혜면적 : 194ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 수원

< 그림 14 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 난산양수장
- 시설위치 : 전라북도 부안군 줄포면 난산리
- 수혜면적 : 2,700ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 스크린

< 그림 15 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시 설 명 : 마정양배수장
- 시설위치 : 충청남도 부여군 남면 마정리
- 수혜면적 : ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



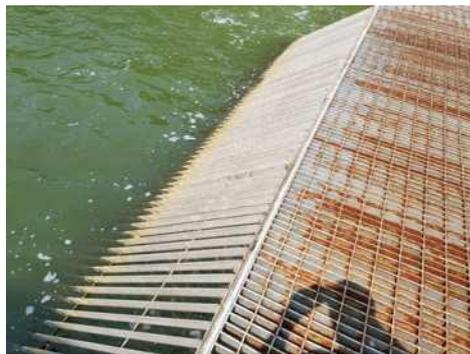
(c) 기계분야 : 크레인



(d) 건축 분야 : 건축물



(e) 수원



(f) 스크린

< 그림 16 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 당상양수장
- 시설위치 : 전라북도 부안군 동진면 당상리
- 수혜면적 : 300ha



(a) 기계분야 : 펌프



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 기계분야 : 펌프

(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 스크린

< 그림 17 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 사창양수장
- 시설위치 : 전라북도 고창군 부안면 사창리
- 수혜면적 : 20ha



(a) 토목분야 : 토출수조

(b) 기계분야 : 펌프



(d) 전기분야 : 배전판

(c) 기계분야 : 크레인



(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 스크린

< 그림 18 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 금평양수장
- 시설위치 : 전라북도 고창군 해리면 금평리
- 수혜면적 : 80ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 수원

< 그림 19 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 구정양수장
- 시설위치 : 강원도 강릉시 구정면 구정리
- 수혜면적 : 35ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 펌프



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 스크린

< 그림 20 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 부흥양수장
- 시설위치 : 경상북도 영덕군 남정면 부흥리
- 수혜면적 : 20ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(d) 전기분야 : 배전판



(c) 기계분야 : 크레인



(f) 수원

(e) 건축 분야 : 건축물

< 그림 21 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 외선미1양수장
- 시설위치 : 경상북도 울진군 온정면 외선미리
- 수혜면적 : 3ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 수원

< 그림 22 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 양서양수장
- 시설위치 : 경상북도 의성군 다인면 양서리
- 수혜면적 : 2,378ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 23 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 내이양수장
- 시설위치 : 경상남도 밀양시 내이동
- 수혜면적 : 395ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 스크린

< 그림 24 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 반월양수장
- 시설위치 : 경상남도 밀양시 초동면 반월리
- 수혜면적 : 75ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 25 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 장암2양수장
- 시설위치 : 전라남도 고흥군 동강면 죽암리
- 수혜면적 : 68ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 진공펌프



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물

(f) 수원

< 그림 26 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 봉암양수장
- 시설위치 : 전라남도 고흥군 도덕면 도덕리
- 수혜면적 : 291ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 27 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 군수2배수장
- 시설위치 : 충청남도 부여군 부여읍 중정리
- 수해면적 : 148ha



(b) 기계분야 : 펌프



(a) 토목분야 : 흡입수조

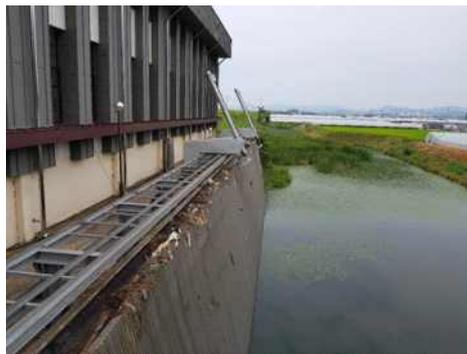
(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 28 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 호암양배수장
- 시설위치 : 충청남도 부여군 규암면 호암리
- 수혜면적 : 112ha



(a) 토목분야 : 토출수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 수원

< 그림 29 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 석우배수장
- 시설위치 : 충청남도 부여군 장암면 석동리
- 수혜면적 : 309ha



(b) 기계분야 : 펌프



(a) 토목분야 : 흡입수조

(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 30 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

- 시설명 : 지토양수장
- 시설위치 : 충청남도 부여군 임천면 두곡리
- 수혜면적 : 426ha



(a) 토목분야 : 흡입수조



(b) 기계분야 : 펌프



(c) 기계분야 : 크레인



(d) 전기분야 : 배전판



(e) 건축 분야 : 건축물



(f) 스크린

< 그림 31 > 양·배수장 분야별 현장조사 사진대지

참 여 연 구 원

목 차	소속	참여자
1장 서론	농어촌연구원	이준구
2장 시설물 현황조사	농어촌연구원, 한국농촌연구원	이준구, 장명식
3장 성능저하 원인분석 및 대책	농어촌연구원, 서울대학교	이준구, 최원
4장 성능평가 모델	서울대학교	최원
5장 자산관리 체계 도입 방향	농어촌연구원, (주)세니츠	이준구, 김기중
6장 결론	농어촌연구원	이준구
부록	서울대학교	최원

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 자율학습물관리 기술개발

발 행 일	2018. 12
발 행 인	장 중 석
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 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.