

발간등록번호

11-1543000-001261-01

농촌용수의 효율적 이용을 위한 Smart Pipeline System 개발

Development of Smart Pipeline System for  
Efficient Use of Rural Water

한국농어촌공사 농어촌연구원

농림축산식품부



# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농촌용수의 효율적 이용을 위한 Smart Pipeline System 개발” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2016년 1월 31일

주관연구기관명 : 농어촌연구원  
주관연구책임자 : 김 영 화  
세부연구책임자 : 김 영 화  
연 구 원 : 남 호 성, 조 재 용, 조 길 순  
협동연구기관명 : (재)한국계면공학연구소  
협동연구책임자 : 우 달 식  
협동연구기관명 : 건국대학교  
협동연구책임자 : 김 선 주  
연 구 원 : 강 승 목, 김 남 도, 박 민 우  
협동연구기관명 : 이메트릭스(주)  
협동연구책임자 : 윤 준 재  
연 구 원 : 우 정 엽, 장 종 경  
정 진 철, 마 진 혁  
이 충 섭, 이 진 희, 이 기 연  
위탁연구기관명 : (주)유일기연  
위탁연구책임자 : 권 형 중  
위탁연구기관명 : (주)레오테크  
위탁연구책임자 : 최 석 준  
연 구 원 : 심 병 섭, 이 지 형  
위탁연구기관명 : (주)셈웨어  
위탁연구책임자 : 김 광 진  
연 구 원 : 신 성 원





# 요 약 문

## I. 제 목

농촌용수의 효율적 이용을 위한 Smart Pipeline System 개발

## II. 연구성과 목표 대비 실적

- ICT와 농업용 관수로의 기술융합을 통해 저류형, 저압형의 관수로 시스템과 관로 유지관리 효율을 증대시키기 위해 IT 기술을 이용한 관파손 감지시스템, ICT 기반 관수로 운영관리시스템, IoT 기반 양수장 운영관리시스템 등을 개발하여 한국형의 첨단 농촌용수 스마트 관수로시스템을 개발하였다.
- 농업용 관수로의 안정성을 향상시키고 유지관리 효율을 증대시키기 위해 IT 기술을 관파손 감지 시스템과 관종선정 매뉴얼과 유지관리 매뉴얼을 작성하여 제시하였다.
- 관수로 용수절감 효과 분석, 농촌용수 관수로 시스템 경제성 분석, 농촌용수 수요/공급량 산정 알고리즘을 개발하였다.
- 실시간으로 관수로의 모니터링 및 수량관리, 누수관리, 관망해석, GIS 기반 시설관리가 가능한 ICT 기반 관수로 운영관리시스템을 개발하였다.
- 관수로 계측정보 전송을 위한 AMI 시스템과 운영관리하기 위한 소프트웨어 플랫폼을 개발하여 파일럿 플랜트를 활용하여 실용성을 검증하였다.

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

- 농업용수는 수자원 중에서 사용량이 가장 많은 비중을 차지하고 있어, 물공급 효율성 및 안정적 제고를 위한 기술개발이 요구되고 있어, 첨단 ICT 기술 기반의 AMI 시스템 및 실시간 관망관리시스템 등 농업용 관수로 운영관리의 첨단화가 필요함
- 최근, 비약적으로 발전하고 있는 정보통신기술(ICT)을 농업용수 관수로 운영관리 시스템에 접목할 경우 농촌용수 개발 및 운영관리 분야의 물산업 시장에 진출할 수 있음
- 특히 물 부족 지역의 효율적 물공급을 위한 고효율, 저비용, 고신뢰성의 관수로 운영관리 시스템 개발을 위해서는 관수로 설계 및 관망 시뮬레이션 기법과 ICT 기반으로 관수로를 감시, 제어 및 운영할 수 있는 AMI 기반 스마트 운영관리 시스템 개발이 필요함

- 본 연구는 저류시설을 이용한 광역단위 농업용 스마트 관수로시스템 개발/ 용수 에너지를 효율적으로 이용하기 위한 ICT 기술 융합 스마트 농업용 관수로 시스템 및 운영관리 요소기술 개발을 통해 저에너지/ 고효율의 농업용 스마트 관수로 시스템을 개발하는 것을 목표로 함

#### IV. 연구개발 내용 및 범위

- 본 연구의 주요 연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다. 농촌용수와 ICT 융합에 의한 스마트 관수로 시스템 구축을 위하여 1) 고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발, 2) 농업용 관수로의 안전성 및 내구성 확보를 위한 대책기술 개발, 3) 농업용 관수로의 경제성 분석 및 수요공급시스템 개발, 4) 농촌용수의 파이프라인 운영관리 시스템을 개발하는 데 있다.
- 또한, 저류시설이 포함된 논, 밭 관개시스템, 저압형 관수로, 신재생에너지 활용 밭관개 시스템 등 ICT 기반 농업용 스마트 파이프라인 시스템 개발하여 파이프라인 플랫폼을 통하여 기술을 검증하고 Test-Bed를 선정하여 현장을 대상으로 스마트 운영관리 시스템을 구상하여 실용화 기초자료를 작성한다.
- 농업용 관수로의 안전성 및 내구성 확보를 위한 대책기술을 개발하기 위하여 관수로의 부식, 침하, 지진에 강한 관중선정 및 설 기술과 관파손 감지시스템 개발, 관수로 유지보수 매뉴얼을 작성 한다.
- 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석, 농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급량 산정 알고리즘 개발, 농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급 운영방안은 마련한다.
- 관수로 운영관리 요소기술을 개발하여 ICT 기반 지능형 관수로 운영관리 시스템 구축 및 검증, 농촌용수 AMI 시스템 및 S/W 플랫폼 구축에 의한 농촌용수 관수로 시스템의 실시간 운영관리방안을 구축한다.

#### V. 연구개발결과

##### 1. 고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발

###### 가. 논 용수 및 밭 용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발

###### 1) 저류지 이용 관수로 시스템 설계기술 개발

- 관망내 저류시설의 용량을 관망시물레이션 기법으로 결정할 수 있는 강제수주이론 활용 관망해석 프로그램을 개발하여 관망 시물레이션 기법으로 저류용량을 검토할 수 있는 시물레이션 설계기술을 개발하여 제시하였다.

## 2) 저압 논관개 시스템 설계기술 개발

- 평야부 관수로에서 관수로를 이용하여 논관개 시스템을 구축할 경우 높은 수압을 필요로 하지 않으므로 저압형으로 설치하는 것이 경제성 측면에서 유리하므로 조정지 및 분수공을 간지선부에 분산배치하여 관망내의 수압을 일정하게 유지하여 균등급수가 가능한 저압 관망시스템을 제시하였다.

## 3) 신재생에너지 활용 발관개 시스템 설계기술 개발

- 발관개 시스템의 전기인입 시설을 대체하는 신재생에너지 활용 발관개시스템을 제시하고, 토양수분계와 전동밸브로 관개가 가능한 발관개 자동화 시스템의 모형을 제시하였다.
- 관로내의 소수력을 활용하기 위하여 관로내의 흐르는 물을 이용하여 발전하는 관로형 소형(마이크로) 수력 발전장치 모형을 제시하고 관로내 마이크로 발전장치 도입방향을 제시하였다.

## 나. 강체수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발

### 1) 파이프라인 서징해석 프로그램 개발

- 관망 비정상 해석을 위하여 EPANET의 절점수두법에 의한 관망해석 엔진을 강체수주이론에 의한 관망해석엔진이 탑재된, EPANET 기반 “강체 관망 서징해석 프로그램(Rigid PipeNet Surging Analysis Program, 이하 약칭 RPSAP)을 개발하였다. 이 프로그램은 관망 설계 및 저류시설 용량결정 및 관망 운영관리 등에 활용할 수 있다.

### 2) 파이프라인 서징 시뮬레이션 기법 개발

- 관망의 서징해석을 위하여 수요량 변화에 대한 펌프 및 밸브 제어, 저류시설 펌프 연계 운영 방법을 강체수주이론 기반의 RPSAP 프로그램으로 시뮬레이션 할 수 있는 관망 서징해석 시뮬레이션기법을 정립하였다.
- 강체수주이론에 의한 관망해석 프로그램은 이론상으로만 알려진 관망해석 기법으로 강체수주이론 해석엔진을 EPANET에 포함하여 개발된 사례는 없다. 이 프로그램은 향후 저류시설이 포함된 관망설계시 저류용량 결정 및 관망 운영관리 프로그램 등으로 활용이 가능하다.

## 다. 스마트 파이프라인 시스템 Test-Bed 선정

### 1) 파일럿 플랜트 기본구상 및 설계

- 농업용 스마트 파이프라인 시스템의 기술개발 및 검증을 위하여 파일럿 플랜트를 설치하여 요소기술을 검증하고, 사례지구 Test-Bed를 선정하여 실용화 제안을 할 수 있도록 기초설계를 하였다.
- 파일럿 플랜트를 계획하여 관수로 시스템을 스마트화 하는데 필요한 요소기술을 현장과 유사한 조건으로 설치하여 스마트 감지 시스템, 스마트 AMI시스템 및 관망운영관리 프로

그램 등의 성능 테스트 및 검증에 활용하였다.

## 2) 테스트 베드지구를 선정 및 설계

- 스마트 관수로시스템 모형을 실용화하기 위하여 영산강 4지구를 대상으로 하여 스마트 운영관리 시스템 구상하여 제시하였다.

## 라. 농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용

### 1) 양수시설 최적 운영관리 기법 검토

- 관망시스템에서 사용되고 있는 펌프의 소비전력 절감을 위해서는 펌프의 운전효율 향상 및 운전제어 기법 개발이 필요하므로 현행 운전제어 기법과 모니터링 기법을 분석하여 IoT기반 양수장 펌프운전시스템 프로토 타입을 개발하였다.

### 2) 국내외 파이프라인 최적설계 기술 분석

- 관망 최적 설계기법으로 이진정수법 및 화음탐색법을 활용한 최적 관망 설계 등 국내 관거 최적설계 기술과 국외 관거 최적 설계기술을 조사하였다.

### 3) 파이프라인 시스템/팜폰드/양수시설 최적화 알고리즘 개발

- 관로 설계 및 운영을 위한 블록기반의 관망 모델링 및 관망해석이 가능한 통합 HMI 시뮬레이터(이하 PDCS)를 개발하였다. 이 시뮬레이터는 가지형의 관수로 시스템의 시뮬레이션에 활용할 수 있다.

### 4) 진화알고리즘을 이용한 최적설계 기법 개발

- 관수로 시스템 설계시 환경은 경제성과 수리현상에 영향을 미치는 중요한 요소로 환경을 최적으로 결정할 수 있다면 사업비 절감과 운영관리 효율을 높일 수 있다. 연구에서는 유전자 알고리즘 모형을 이용한 환경산정 기법을 제시하여 설계에 활용할 수 있도록 하였다.

## 마. 한국형 스마트 관수로 시스템 모형 및 설계기술 개발

- 농촌용수 공급시스템의 한계를 극복하기 위하여 수자원의 분산저장 및 순환이용이 가능한 저류형 관망시스템에 센서기반 AMI 계측시스템, 실시간 관망운영프로그램, 관로누수사고예방시스템, IOT 이용 양수장 운영관리시스템, 관수로 스마트서비스 시스템 등 스마트 관망운영 요소기술을 융합한 한국형 농촌용수 스마트 관수로 시스템을 구축하였다.

## 바. 농업용 관수로의 안전성 및 내구성 확보를 위한 대책기술 개발

### 1) 관파손 감지 시스템의 개발

- 관파손 감지 시스템은 IT기술을 활용하여 지하매설물을 실시간으로 감시하는 기술로, 관수로의 파손 및 누수를 감지하기 위한 감지 시트, 감지 테이프, 누수감지 센서, 실시간 감시장치 등을 개발하였으며, 인증기관의 성능평가를 받았다. 관파손 감지시스템의 성능평

가를 통한 사업화의 기초를 마련하고자, 파일럿 플랜트 운영을 통해 현장과 유사한 조건에서의 시스템의 운영 성능 평가를 수행하였으며, 설치 및 운영 매뉴얼을 작성하고, 경제성을 분석하여 경제적 타당성을 분석하였다.

## 2) 농업용 관수로 관중선정 및 유지관리 매뉴얼 개발

- 농업용 관수로는 크게 금속관과 비금속관으로 구분되며, 금속관의 주된 문제인 부식현상에 대한 문헌 고찰 및 실험을 수행하였다. 또한, 비금속관의 주된 문제에 대하여 문헌 고찰을 수행하였다. 현장에서의 농업용 관수로의 설치 및 운영에 대한 문제를 파악하고 매뉴얼에 반영하기 위하여 현장 실태조사를 수행하였으며, 현장 실무운영자와의 면담조사를 통해 현장 상황을 파악하여 농업용 관수로의 관중선정 및 유지관리 매뉴얼을 개발하였다.

## 사. 요소기술 도출 및 농촌용수 운영관리 시스템 프로토타입 개발

- 관수로 운영관리에 필요한 요소기술을 검토하여 관망해석, 지리정보기술, 모바일 정보 활용, 조절지 운영, 사용량 분석 등의 요소기술을 도출하고 프로토타입을 개발하였다.

### 아. 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 시작품 제작

- 본 연구에서 프로그램의 구성체계를 수립하였으며, 농업용수 관리에 적합하다 판단되는 기능 및 사용자 편의성을 고려한 화면을 설계하여 목표 시스템을 개발하였다. 더 나아가, 개발된 시스템의 활용에 대한 연구를 진행하였으며, 적용대상으로서 지하수 관정통합시스템에 대해 분석하고 수요예측 및 공급우선순위를 결정하는 로직을 개발하였다.

### 자. ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 테스트 및 검증 및 고도화

- 개발된 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템을 파일럿플랜트 상에 적용하여 시스템 테스트를 수행하였다. 시스템 테스트 및 운영결과를 토대로 추가되거나 보완이 필요한 공급관리 기능에 대한 고도화 작업이 진행되었으며, 실제 관수로 공급체계의 현장인 영산강 및 제주도를 대상으로 시스템 표준화 및 시스템 적용방안을 수립하였다.

## 차. AMI 유무선 네트워크 및 검증 프로토타입 개발 및 AMI 운영 소프트웨어 개발

- 농촌용수 관수로에 설치되는 다양한 계측기(유량, 수압, 수질, 수위 등) 및 농작물 재배를 위해 부가적으로 설치되는 센서(토양수분센서, 온도센서, 습도센서등) 측정을 위한 AMI 디바이스의 개발 및 측정된 데이터의 수집을 위한 RF 통신 네트워크를 구축하고, 이를 CDMA 이동통신을 이용하여 원격지에 각종 측정되고, 계측된 데이터를 전송하는 기술을 개발하였다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

### 가. 고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발

- 본 연구에서 개발한 한국형 농촌용수 스마트 관수로 시스템은 관망에 ICT 기반 스마트 운영관리 요소기술을 융합한 시스템으로 국내는 물론이고 해외에 수출이 가능한 첨단 관수로 물관리 시스템으로, 향후 농촌용수 사업지구의 실용화를 위한 시범사업 및 정책 제안을 통하여 보급하고자 한다.

### 나. 관파손 감지시스템

- 본 연구에서 개발한 관파손 감지시스템은 농업용 관수로에 대한 누수 감시 및 유지관리 등에 활용이 가능하며, 농업용 관수로의 신규지구 및 노후화 및 파손에 의한 갱생 및 정비시에 적용하여 보급시킬 계획이다.

### 다. 농업용 관수로 관중 선정 및 유지관리 매뉴얼

- 본 연구를 통해 마련한 관중 선정 및 유지관리 매뉴얼은 실제 현장에서 농업용 관수로의 설계와 유지관리대책 수립 시에 활용할 수 있다. 구체적으로 농업용 관수로에서의 누수율 저감, 누수량 저감을 위한 유지관리 대책 수립, 지역별 특성에 따른 관망 설계 등에 활용이 가능하다. 또한, 국내의 토양 및 수질 환경 검토를 통한 관중 설계 및 부식방지 대책과 유지관리 방안을 수립하여 관수로의 효율적인 운영에 활용할 수 있다. 매뉴얼은 향후 농어촌공사의 추가적인 검토를 통해 국내 실정에 맞는 관중선정 및 유지관리 기술로서 활용될 수 있을 것이다.

### 라. 농촌용수 관수로 운영관리 시스템 프로토타입 개발

- 관수로 운영관리 시스템에서 필요한 요소기술에 대한 검토를 통해 관망해석, 지리정보기술, 모바일 정보 활용, 조절지 운영, 사용량 분석 등의 요소기술을 도출하고 프로토타입을 개발하였다.

### 마. 운영관리 시스템 지능화 요소기술 개발 및 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 시작품 제작

- 본 연구에서 프로그램의 구성 체계를 수립하였으며, 농업용수 관리에 적합하다 판단되는 기능 및 사용자 편의성을 고려한 화면을 설계하여 목표로 하는 시스템을 개발하였다. 더 나아가, 개발된 시스템의 활용에 대한 연구를 진행하였으며, 적용대상으로서 지하수관정 통합시스템에 대해 분석하고 수요예측 및 공급우선순위를 결정하는 로직을 개발하였다.

### 바. ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 테스트 및 검증 및 고도화

- 개발된 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템을 파일럿플랜트 상에 적용하여 시스템 테스트를 수행하였다. 시스템 테스트 및 운영결과를 토대로 추가되거나 보완이 필요한 공급관리 기능에 대한 고도화 작업이 진행되었으며, 실제 관수로 공급체계의 현장인 영산강 및 제주도를 대상으로 시스템 표준화 및 시스템 적용방안을 수립하였다.

## 사. AMI 유무선 네트워크 및 검증 프로토타입 개발 및 AMI 운영 소프트웨어 개발

- 농촌용수 관수로에 설치되는 다양한 계측기(유량, 수압, 수질, 수위 등) 및 농작물 재배를 위해 부가적으로 설치되는 센서(토양수분센서, 온도센서, 습도센서등) 측정을 위한 AMI 디바이스의 개발 및 측정된 데이터의 수집을 위한 RF 통신 네트워크를 구축하고, 이를 CDMA 이동통신을 이용하여 원격지에 각종 측정되고, 계측된 데이터를 전송하는 기술을 개발하였다.





# SUMMARY

## (영문요약문)

### I .Title

Development of Smart Pipeline System for Efficient Use of Rural Water

### II. Achievement against Study Objective

- The objective of this Study was to enhance the efficiency of reservoir and low-pressure pipeline systems through the convergence of ICT technology into agricultural pipelines. Against this backdrop, this Study developed a Korean model of cutting-edge smart pipeline system for rural water. This smart pipeline system included an under-navi system to detect any pipeline damage; an ICT-based pipeline operation/management system; and IoT-based pumping station operation/management system; etc.
- In order to enhance the stability of agricultural pipelines and the efficiency of maintenance, this Study developed and suggested the under-navi system and manuals for selecting pipeline types, and maintenance by incorporating IT technologies.
- Under this Study, algorithms for analyzing the effects of pipeline water reduction and the economic effects of rural water pipeline systems, and for calculating the supply and demand of rural water were developed.
- An ICT-based pipeline operation/management system was also developed to monitor pipeline conditions and leakage in real time, and to support pipeline networks and GIS-based facility management
- This Study also developed an AMI system to transmit measured data of pipelines and a software platform to operate and manage the system, and demonstrated their practicability by utilizing a pilot plant.

### III. Study Objectives & Necessity

- As rural water accounts for the largest part of water consumption among other water sources, the demand for technologies to improve the efficiency and stability of water supply has been growing. To this end, it is required to advance operation/management systems of rural water pipelines including AMI systems based on cutting-edge ICT technologies and real time pipeline management systems.
- It becomes more viable to enter the water industry market for rural water development and management by incorporating rapidly evolving ICT technologies into such operation/management systems for rural water pipelines.

- To develop highly-efficient, low-cost and highly-reliable operation/management systems to efficiently supply water, it is particularly necessary to develop element technologies for ICT-converged smart rural water pipeline systems, and in turn to develop low-energy and highly-efficient rural water smart pipeline systems.
- This Study aims to develop an ICT-converged smart rural water pipeline system and its element technologies so as to use it for developing regional systems with reservoir facilities, and to use rural water more efficiently. With this, it will develop a low-energy, highly-efficient smart rural water pipeline system.

#### IV. Development Content & Scope

- The key development content and scope for this Study are as follows: To develop a smart pipeline system converging ICT technologies into rural water management, this Study aims 1) to develop highly-efficient rural water smart pipeline system; 2) to develop technologies to secure the safety and durability of rural water pipelines; 3) to analyze economic effects of rural water pipelines and develop a supply and demand system; and 4) to develop the operation/management system for rural water pipelines.
- In addition, this Study aims to develop an ICT-based rural water smart pipeline system including irrigation systems for rice paddy and field; low-pressure pipelines; and field irrigation systems utilizing renewable energy sources. Technologies of the developed system will be demonstrated through a pilot plant, and a test-bed site will be designated. Targeting the site, the smart operation and management system will be designed and basic materials for commercialization will be prepared.
- In order to develop technologies to secure the safety and durability of rural water pipelines, it is also required to select pipeline types that are resistant to corrosion, subsidence and earthquake, to develop installation technology and under-navi system, and to prepare a manual for pipeline maintenance.
- This Study will also analyze the economic effects of the rural water pipeline system, develop an algorithm to calculate the supply and demand of the system, and prepare measures to handle the supply and demand of the system.
- By developing element technologies for pipeline operation/management, this Study will also establish and demonstrate the ICT-based intelligent pipeline operation and management system, and establish an real-time operation/management measures for the rural water pipeline system with an AMI system for rural water and software platform.

## V. Study Results

### 1. Highly-efficient Smart Pipeline System for Rural Water

#### A. Development of Korean Model & Design Technology for Rice Paddy & Field Rural Water

##### 1) Development of Pipeline Design Technology Using Reservoirs

- A pipeline network analysis program was developed using the rigid water column theory that can determine the capacity of reservoirs within pipelines through a simulation method. With the simulation method, this Study, in turn, developed and suggested simulation design technology to review the capacity of storage.

##### 2) Development of Design Technology of Low-pressure Rice Paddy Irrigation System

- In establishing a rice paddy irrigation system with pipelines on plain land areas, it is more economically feasible to install a low-pressure system because it does not require high pressure to supply water to rice paddies. Thus, a low-pressure system is suggested to distribute balancing reservoirs and waterspouts in branches to keep a certain water pressure level and supply an equal amount of water to pipelines.

##### 3) Development of Design Technology of Field Irrigation System Using Renewable Energy

- This Study suggested a field irrigation system using renewable energy to replace conventional electricity supply facilities, and an automated field irrigation system model that enables field irrigation with tensiometers and motor-operated valves.
- It also suggested a micro hydro power generation model utilizing small hydro power with water flow within pipelines, and directions for introducing the model.

#### B. Development of Pipeline Simulation Method Using Rigid Water Column Theory

##### 1) Development of Pipeline Surging Analysis Program

- This Study developed the Rigid PipeNet Surging Analysis Program (RPSAP) based on EPANET. The RPSAP is equipped with a pipeline network analysis engine that is developed on the basis of the rigid water column theory as well as the nodal head method of EPANET for abnormal operating analysis. This can be utilized in designing pipeline networks, determining the capacity of reservoir facilities and operating pipeline networks.

##### 2) Development of Pipeline Surging Simulation Method

- To support surging analysis, this Study established a surging analysis simulation method for pipeline networks that enables simulating the method for controlling pumps and valves against changes in supply and demand and for integrating pumps in reservoir facilities with the RPSAP of the rigid water column theory.

- The pipeline network analysis program of the rigid water column theory has been only theoretically known, thus, no case incorporating the rigid water column theory analysis engine into the EPANET. This program suggested herein will be utilized in determining the storage capacity for designing a pipeline network with reservoir facilities, and be used as a operation/management program for pipeline networks.

### **C. Selection of Test-Bed for Smart Pipeline System**

#### **1) Basic Planning & Designing of Pilot Plant**

- A pilot plant was installed herein to develop and demonstrate technologies of the smart pipeline system for rural water, and element technologies were demonstrated through the plant. A test-bed for a case study was also selected and the basic design for the test-bed was developed for proposing commercialization plans.
- In the pilot plant, element technologies required to build smart pipeline networks were installed under the similar conditions to the real site. The pilot plant was used to test and demonstrate smart sensor system, smart AMI system and pipeline network operation/management program.

#### **2) Selection & Design of Test-Bed Site**

- In order to commercialize the smart pipeline system model, four areas near Yeongsan River were selected to suggest the smart operation/management system.

### **D. Development and Application of Optimal Design Algorithm for Rural Water Pipelines**

#### **1) Review of Optimal Operation Method for Pumping Stations**

- It is required to enhance the efficiency of pump operation and develop controlling methods to reduce the power consumption of pumps used in pipeline networks. To do so, current operating and monitoring methods were analyzed herein and a prototype of an IoT-based pump operation system for pumping stations was developed.

#### **2) Analysis of Optimal Pipeline Design Technology in Korea and Abroad**

- Optimal pipeline design technologies in Korea and abroad were researched herein including binary integer and harmony search algorithms.

#### **3) Development of Optimal Algorithm for Pipeline Systems/Farm Ponds/Pumping Stations**

- This Study developed an integrated HMI simulator (PDCS) that enables block-based pipeline network modelling and analysis for designing and operating pipelines. The simulator can be used to simulate pipeline systems with multiple branches.

#### 4) Development of Optimal Design Method Using Evolutionary Algorithm

- Pipe diameter is an important factor in designing pipelines that affects economic effects and hydraulic phenomenon. If it is possible to determine the most optimal pipe diameter, the construction costs and operating efficiency will be greatly improved. By using a genetic algorithm model, a pipe diameter determining method was suggested herein to be used in designing pipeline networks.

#### **E. Development of Korea Model of Smart Pipeline System & Design Technology**

- To overcome limits of current rural water supply systems, this Study established a Korean model of the smart pipeline system by converging with element technologies for the smart pipeline network operation including reservoir pipeline network system allowing distributed storage and circulation; sensor-based AMI measurement system; real-time pipeline network operation program; pipeline leakage prevention system; IoT-based pumping station operation system; and pipeline smart service system.

#### **F. Development of Technology for Securing Safety & Durability of Rural Water Pipelines**

##### 1) Development of the Under-Navi System

- The under-navi system is to monitor underground structures in real time by utilizing IT technologies. The system was developed herein to detect damage or leakage of pipelines and included detection seat and tape, leakage detection sensor, real-time detection device, etc. and its performance was certified by official certification organizations. In order to secure the foundation for commercialization of the under-navi system through demonstrating its performance, this Study demonstrated the system with a pilot plant built under the similar conditions to the real site, prepared manuals for installation and operation, and analyzed its economic feasibility.

##### 2) Manuals for Selection of Pipeline Type for Rural Water & Maintenance

- Pipeline types are comprised of metallic and non-metallic pipes. For metallic pipes, this Study researched literature on their corrosion effects and conducted a series of experiment, and for non-metallic pipes, related literature was reviewed. On-site investigation was conducted to review the current status of installed pipelines and to collect related issues. Also interviews with people in charge of operation were also arranged. Data collected from the investigation and interviews were utilized in selecting suitable pipeline types and reflected in a manual for maintenance.

#### **G. Selection of Element Technologies & Development of Prototype of Operation System for Rural Water**

- Relevant technologies for pipeline operation/management were reviewed and element technologies were selected including pipeline network analysis, geographic information, mobile information utilization, regulating reservoir operation, consumption analysis, etc. Based on the technologies, a prototype of the system was developed.

## **H. Production of Pilot System for Intelligent Pipeline Operation & Management**

- Program structure was established herein and a screen was designed considering required functions and user convenience. With this, a target system was developed, and follow-up studies for the utilization of the developed system were also conducted. An underground well integration system was also analyzed and logic for forecasting demand and setting supply priority was developed herein.

## **I. Demonstration & Advancement of ICT-based Intelligent Pipeline Operation System**

- This Study tested the system by applying the developed pipeline operation/management system for rural water to the pilot plant. Based on the results of the test and operation, other management functions to be added and supplemented were advanced. The system was demonstrated targeting Yeongsan River and Jeju areas to establish plans for system standardization and application.

## **J. Development of AMI Wired/Wireless Network, Prototype & AMI Operation Software**

- On rural water pipelines, various meters (flow rate and water pressure, quality and level) and sensors (soil moisture, temperature, humidity, etc.) are mounted for growing crops. AMI devices for these meters and sensors were developed herein and a RF communication network was also established to collect data. This Study also developed technologies to remotely measure data using CDMA mobile communications and transmit collected data to a server.

# **VI. Study Results and Plans for Utilizing Achievements**

## **A. Development of Highly-efficient Smart Pipeline System For Rural Water**

- The Korean model of the smart pipeline system for rural water developed herein is a system converging element technologies for ICT-based smart operation into pipelines for rural water, and this is a cutting-edge pipeline management system that can be used in Korea and exported to overseas markets as well. This will be distributed for pilot projects for commercialization and also through policy proposals.

## **B. Under-navi System**

- The Under-navi system developed herein can be utilized for monitoring leakage and maintaining rural water pipelines. It is also planned to use the system for building new rural water pipelines as well as for repairing damaged pipelines.

## **C. Manuals for Selection of Rural Water Pipeline Type & Maintenance**

- The manuals for selecting rural water pipeline types and for maintaining pipelines can

be used in designing rural water pipelines and establishing measures for maintenance in the real field. In detail, they can be utilized to reduce leakage rates of rural water pipelines, develop measures to properly maintain pipelines for leakage reduction, and design pipelines based on regional characteristics. In addition, they can contribute to the efficient operation of pipelines by designing pipeline types, developing measures to prevent corrosion and coming up with measures for proper maintenance on the basis of the analysis of the domestic soil and water environment. After passing through additional reviews by the Korea Rural Community Corporation, the manuals can be utilized as reference technologies going forward for selecting pipeline types and maintaining pipelines based on the Korean rural area conditions.

#### **D. Development of Prototype for Operation & management system of Rural Water Pipelines**

- Through the review of relevant element technologies required for the pipeline operation/management system, this Study developed element technologies and a prototype including pipeline network analysis, geographic information, mobile information utilization, regulating reservoir operation, consumption analysis, etc.

#### **E. Development of Intelligent Element Technologies for Operation & Management System & Production of Pilot System for Intelligent Pipeline Operation & Management**

- Program structure was established herein and a screen was designed considering functions suitable for rural water and user convenience. With this, a target system was developed, and follow-up studies for the utilization of the developed system were also conducted. An underground well integration system was also analyzed and logic for forecasting demand and setting supply priority was developed herein.

#### **F. Demonstration & Advancement of ICT-based Intelligent Pipeline Operation System**

- This Study tested the system by applying the developed pipeline operation and management system for rural water to the pilot plant. Based on the results of the system test and operation, other management functions to be added and supplemented were developed. The system was demonstrated targeting Yeoungsan River and Jeju areas where pipelines are supplied currently to establish plans for system standardization and application.

#### **G. Development of AMI Wired/Wireless Network, Prototype & AMI Operation Software**

- On rural water pipelines, various meters (flow rate and water pressure, quality and water level, etc.) and sensors (soil moisture, temperature, humidity, etc.) are mounted for growing crops. AMI devices for these meters and sensors were developed herein and a RF communication network was also established to collect data. This Study also developed technologies to remotely measure data using CDMA mobile communications and transmit collected data to a server.





# 목 차

<b>제 1 장 연구 과제 개요</b> .....	<b>1</b>
제 1 절 연구의 배경 및 필요성 .....	1
1. 기술적 측면 .....	1
2. 사회, 경제적 측면 .....	5
제 2 절 연구 개발의 목적 및 내용 .....	10
1. 연구의 목적 .....	10
2. 연차별 연구개발 목표 및 내용 .....	11
제 3 절 연구 추진방법 및 체계 .....	14
1. 연구 추진방법 .....	14
2. 연구수행체계 .....	15
3. 기관별 과제 추진체계 .....	16
<b>제 2 장 국내외 기술개발 동향</b> .....	<b>20</b>
제 1 절 국내외 관수로 기술 개발 현황 .....	20
1. 수자원 정보 및 운영관리 기술 .....	20
2. 관수로 운영관리 기술 .....	21
3. 해외 관수로 서비스 기법 .....	24
4. 농업용수 관리의 스마트화 .....	25
5. 관수로 갱생 기술 .....	27
6. 국내외 관망탐사 기술 .....	31
제 2 절 농업 ICT 기술 개발 동향 .....	32
1. 농업 ICT .....	32
2. 농식품 ICT 융복합 확산대책 .....	34
제 3 절 센서네트워크 전송기술 표준화 동향 .....	35
<b>제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과</b> .....	<b>37</b>
제 1 절 고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발 .....	37
1. 서론 .....	37
2. 논용수 및 밭용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발 .....	38
3. 강체수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발 .....	80
4. 스마트 파이프라인 시스템 Test-Bed .....	94
5. 스마트 파이프라인시스템 Test-Bed 선정 .....	99
6. 농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용 .....	109
7. 한국형 스마트 파이프라인 시스템 모델 개발 .....	140

8. 요약 및 결론 .....	168
제 2 절 농업용 관수로의 안정성 및 내구성 확보를 위한 대책기술 개발 .....	172
1. 서론 .....	172
2. Test Bed 현장 적용성 평가를 통한 최적 농업용 관중 선정 및 설계기술 개발 .....	173
3. 부식, 침하, 지진에 강한 관수로용 관중 선정 가이드라인 마련 .....	197
4. 관파손 감지시스템의 현장 성능평가 및 경제성 분석 .....	230
5. 관수로 유지보수 방법 고찰 .....	241
6. 요약 및 결론 .....	267
제 3 절 농업용 관수로의 경제성 분석 및 수요공급 시스템 개발 .....	269
농업용 관수로의 경제성 분석 및 수요공급 시스템 개발 .....	269
1. 서론 .....	269
2. 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석 .....	270
3. 농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급량 산정 알고리즘 개발 .....	327
4. 농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급 운영방안 및 최적 관리방안 개발 .....	386
5. 요약 및 결론 .....	423
제 4 절 농촌용수의 파이프라인 운영관리 시스템 개발 .....	424
1. 서론 .....	424
2. 농촌용수 파이프라인 운영관리시스템 요소기술 도출 및 적용 .....	425
3. 지능형 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템 개발 .....	467
4. ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리시스템 테스트 및 검증 .....	488
5. ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리시스템 고도화 .....	521
6. AMI 시스템의 네트워크 토폴로지 .....	557
7. AMI 시스템 개발 .....	565
8. AMI 운용 소프트웨어 개발 .....	580
9. AMI 시스템의 파일럿 플랜트 운영 및 테스트 .....	588
10. 요약 및 결론 .....	596
<b>제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....</b>	<b>598</b>
제 1 절 연구목표 및 평가 착안점 .....	598
1. 연구목표 .....	598
2. 평가 착안점 .....	598
제 2 절 연구개발 목표 달성도 .....	599
1. 1차년도(2012.12.18.~2013.12.17.) .....	599
2. 2차년도(2013.12.18.~2014.12.17.) .....	600
3. 3차년도(2014.12.18.~2015.12.17.) .....	601
제 3 절 관련 분야에의 기여도 .....	602
1. 기술적 측면 .....	602
2. 경제·산업적 측면 .....	603

3. 사회·문화적 측면 .....	604
<b>제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획 .....</b>	<b>605</b>
제 1 절 연구개발 성과 .....	605
1. 연구성과 요약 .....	605
2. 정량적 성과 .....	605
3. 핵심성과 상품화 내역 .....	608
4. 핵심성과 실용화 방안 .....	610
제 2 절 연구성과 활용계획 .....	611
1. 연구성과 활용실적 .....	611
2. 연구성과 활용을 위한 노력 .....	611
3. 연구성과 활용 실적 및 계획 .....	612
<b>제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....</b>	<b>614</b>
제 1 절 첨단 농업 기술 사례 .....	614
1. 이스라엘 농업 기술 사례 .....	614
제 2 절 일본의 관수로 .....	616
제 3 절 관चे 노후도 평가 시스템 및 관망 진단 시스템 .....	620
1. 관चे 노후도 평가 시스템 .....	620
2. 관망 진단 시스템 .....	620
제 4 절 비굴착 보수·보강 공법 .....	622
<b>제 7 장 연구시설·장비 현황 .....</b>	<b>623</b>
제 1 절 Pilot plant 구축 및 관리 현황 .....	623
<b>제 8 장 연구실 안전관리 이행 실적 .....</b>	<b>624</b>
<b>제 9 장 참고문헌 .....</b>	<b>625</b>



# Table of Contents

<b>Chapter 1 Overview of Research Project</b> .....	<b>1</b>
Paragraph 1 Research Background and Necessity .....	1
1. Technical Aspects .....	1
2. Social and Economical Aspects .....	5
Paragraph 2 Objective and Contents of R&D .....	10
1. Objective of R&D .....	10
2. Annual Target and Contents of R&D .....	11
Paragraph 3 Research Promotion Method and System .....	14
1. Research Promotion Method .....	14
2. Research Promotion System .....	15
3. Project Promotion System of Each Institute .....	16
<b>Chapter 2 Domestic and Overseas Technology Development Trends</b> .....	<b>20</b>
Paragraph 1 Current Status of Domestic and Overseas Pipeline Technology Developments	20
1. Information of Water Resources and Operation and Management Technology .....	20
2. Pipeline Operation and Management Technology .....	21
3. Overseas Pipeline Service Methods .....	24
4. Smart Rural Water Management .....	25
5. Pipeline Rehabilitation Technology .....	27
6. Domestic and Overseas Pipeline Network Exploration Technologies .....	31
Paragraph 2 Agricultural ICT Technology Development Trends .....	32
1. Agricultural ICT .....	32
2. Agricultural Food ICT Convergence Propagation Measures .....	34
Paragraph 3 Trends of Sensor Network Transmission Technology Standardization .....	35
<b>Chapter 3 R&amp;D Execution Contents and Results</b> .....	<b>37</b>
Paragraph 1 Development of Highly Efficient Smart Pipeline System for Rural Water .....	37
1. Introduction .....	37
2. Development of Proper Korean Model and Design Technology for Rural Water of Rice and Vegetable Fields .....	38
3. Development of Pipeline Simulation Technique Utilizing the Rigid Water Column Theory .....	80
4. Test-Bed for Smart Pipeline System .....	94
5. Selection of Test-Bed for Smart Pipeline System .....	99
6. Development and Application of Optimal Agricultural Pipeline Design Algorithm .....	109
7. Development of Korean Smart Pipeline System Model .....	140
8. Summary and Conclusion .....	168

Paragraph 2 Development of Countermeasure Technology for Securing Stability and Durability of Agricultural Pipeline .....	172
1. Introduction .....	172
2. Development of Optimal Agricultural Pipe Type Selection and Design Technology through the Evaluation of Field Applicability of Test Bed .....	173
3. Preparation of Strong Pipe Type Selection Guideline for Pipeline Against Corrosion, Subsidence and Earthquake .....	197
4. Field Performance Evaluation and Economic Analysis of Pipe Damage Detection System .....	230
5. Consideration of Pipeline Maintenance Methods .....	241
6. Summary and Conclusion .....	267
Paragraph 3 Economic Analysis of Pipeline System for Rural Water and Development of Demand and Supply System .....	269
1. Introduction .....	269
2. Economic Analysis of Pipeline System for Rural Water .....	270
3. Development of Demand and Supply Quantity Calculation Algorithm for Pipeline System for Rural Water .....	327
4. Development of Demand/Supply Operation Measures and Optimal Management Measures of Pipeline System for Rural Water .....	386
5. Summary and Conclusion .....	423
Paragraph 4 Development of Pipeline Operating and Management System for Rural Water .....	424
1. Introduction .....	424
2. Deduction and Application of Component Technology of Pipeline Operating and Management System for Rural Water .....	425
3. Development of Intelligent Pipeline Operating and Management System for Rural Water .....	467
4. Test and Validation of ICT-based Intelligent Pipeline Operating and Management System .....	488
5. Upgrading of ICT-based Intelligent Pipeline Operating and Management System .....	521
6. Network Topology of AMI System .....	557
7. Development of AMI System .....	565
8. Development of AMI Operation Software .....	580
9. Operation and Test of Pilot Plant for AMI System .....	588
10. Summary and Conclusion .....	596
<b>Chapter 4 Target Achievement and Contribution to Relevant Fields .....</b>	<b>598</b>
Paragraph 1 Research Target and Key points for Evaluation .....	598
1. Research Target .....	598
2. Key points for Evaluation .....	598
Paragraph 2 Achievement of Objective of R&D .....	599
1. 1 <sup>st</sup> year (Dec. 18, 2012 ~ Dec. 17, 2013) .....	599
2. 2 <sup>nd</sup> year (Dec. 18, 2013 ~ Dec. 17, 2014.) .....	600

3. 3 <sup>rd</sup> year (Dec. 18, 2014 ~ Dec. 17, 2015) .....	601
Paragraph 3 Contribution to Relevant Fields .....	602
1. Technical Aspects .....	602
2. Economical and Industrial Aspects .....	603
3. Social and Cultural Aspects .....	604
<b>Chapter 5 Research Results and Result Utilization Plan .....</b>	<b>605</b>
Paragraph 1 Research Results .....	605
1. Summary of Research Results .....	605
2. Quantitative Results .....	605
Paragraph 2 Research Result Utilization Plan .....	611
1. Research Result Utilization Record .....	611
2. Efforts for Research Result Utilization .....	611
3. Research Result Utilization Plan .....	612
<b>Chapter 6 Overseas Scientific Technology Information Collected through R&amp;D Process .....</b>	<b>614</b>
Paragraph 1 Cases of Advanced Agricultural Technology .....	614
1. Cases of Agricultural Technology in Israel .....	614
Paragraph 2 Pipeline in Japan .....	615
Paragraph 3 Deterioration Evaluation System for Pipe Network and Defect Diagnosis System .....	620
1. Deterioration Evaluation System for Pipe Network .....	620
2. Defect Diagnosis System .....	620
Paragraph 4 Trenchless Repair and Reinforcement Method .....	622
<b>Chapter 7 Status of Research Facilities and Equipment .....</b>	<b>623</b>
Paragraph 1 Establishment and Management Status of Pilot Plant .....	623
<b>Chapter 8 Safety Management Performance Results of Laboratory .....</b>	<b>624</b>
<b>Chapter 9 References .....</b>	<b>625</b>





## < 표 목차 >

[표 1-1-1-1]	농업용수로 설치 및 구조물화 현황(한국농어촌공사, 2013)	1
[표 1-1-1-2]	농업용수로 연도별 구조물화 비율(한국농어촌공사, 2013)	1
[표 1-1-1-3]	평야부 용수로 노선별 시설상태 평가결과(한국농어촌공사, 2013)	2
[표 1-1-1-4]	관수로용 관의 종류와 특성	2
[표 1-1-1-5]	농업용 개수로 및 관수로의 장단점	3
[표 1-1-1-6]	전국 농업용 용·배수로 현황(RAWRIS 농촌용수 종합정보시스템)(단위: km)	3
[표 1-1-2-1]	수자원 관련 법률	8
[표 1-1-2-2]	분야별 수자원 이용 현황(억m <sup>3</sup> /년)	8
[표 1-1-2-3]	농어촌 용수 수요량 및 시설 공급량 현황	9
[표 1-2-1-1]	연구목표 및 연구내용	10
[표 2-1-1-1]	IBM사가 제공하는 수자원 관리 관련 서비스	20
[표 2-1-2-1]	국외 관망 해석 및 최적운영관리 S/W 현황 및 프로그램 별 기능	22
[표 2-1-5-1]	미국의 상용화 라이닝 공법들	29
[표 2-1-5-2]	국내 개발된 갱생 공법들	30
[표 2-1-6-1]	국내 이용 중인 관망 탐사 기술	31
[표 2-2-1-1]	농업분야별 IT 적용 기술	33
[표 3-1-2-1]	저류형 관망모형 및 개념도	41
[표 3-1-2-2]	관망구성 비교	44
[표 3-1-2-3]	관수로 수리해석 기준	45
[표 3-1-2-4]	관경별 비용 자료	47
[표 3-1-2-5]	대상관망의 결정변수 및 가능해 수	47
[표 3-1-2-6]	대상관망 적용 매개변수	49
[표 3-1-2-7]	1~3안 원안 비용	49
[표 3-1-2-8]	1~3안 수리해석 결과(절점수도, 관로 유속 통계치)	51
[표 3-1-2-9]	관망제원	54
[표 3-1-2-10]	저류용량 검토 Case별 서징해석 결과	55
[표 3-1-2-11]	저압형 관망모형 및 개념도	57
[표 3-1-2-12]	농업용수 전용관 규격표	67
[표 3-1-2-13]	관로 수차발전 시스템 구성도	72
[표 3-1-2-14]	하이브리드 발전시스템 블레이드 설계 규격	73
[표 3-1-2-15]	소수력 발전시스템	74
[표 3-1-2-16]	소수력 발전의 분류	75
[표 3-1-2-17]	낙차 및 유속에 따른 소수력 발전의 특징	75
[표 3-1-2-18]	관로 마이크로 발전 시스템 적용 가능 터빈	76
[표 3-1-2-19]	Lucid Pipe 전력 생산 특성	77
[표 3-1-2-20]	발전기 사양 및 컨트롤러 시스템	79
[표 3-1-4-1]	적정수압 기준	94
[표 3-1-4-2]	Pilot Plant 주요공정 설계내역	96
[표 3-1-4-3]	하이브리드 발전시스템 블레이드 설계규격	98
[표 3-1-4-4]	분수정 설계 개요	98
[표 3-1-5-1]	영산강IV 지구 현황	100

[표 3-1-5-2] 영산강IV 지구 관수로 시공현황	101
[표 3-1-5-3] 구축계획	102
[표 3-1-5-4] 제주도 농업용수 현황	102
[표 3-1-5-5] 시스템 구성	104
[표 3-1-5-6] 수요예측 소프트웨어	106
[표 3-1-5-7] 시스템 구성 내용	107
[표 3-1-6-1] 목표별 펌프 제어방식의 예	112
[표 3-1-6-2] 펌프제어방식의 비교	113
[표 3-1-6-3] 목적함수	132
[표 3-1-6-4] 관경별 비용	132
[표 3-1-6-5] 관경별 설계유속 및 압력제한조건	132
[표 3-1-6-6] 절점과 파이프의 제원	135
[표 3-1-6-7] H 관망에 대한 비용데이터	135
[표 3-1-6-8] 기존연구의 비교를 위한 H 관망의 비용데이터	135
[표 3-1-6-9] H 관망에 대한 최적관경 및 최소비용의 해	135
[표 3-1-7-1] 기존 농촌용수 공급시스템과 차이점	141
[표 3-1-7-2] 21세기형 광역농촌용수 공급시스템은 개발 방향	143
[표 3-1-7-3] 센서 모니터링 및 제어 목록	145
[표 3-1-7-4] 프로그램 주요 기능	147
[표 3-1-7-5] 농촌용수 스마트 AMI 시스템 기술내용	148
[표 3-1-7-6] 펌프 운전 스케줄 Case	152
[표 3-1-7-7] 펌프 가동시간 및 사용전력	153
[표 3-1-7-8] 기존 기술과의 비교	153
[표 3-1-7-9] 광대역 통신망 비교	156
[표 3-1-7-10] 스마트 관수로 앱 기능 설명	158
[표 3-1-7-11] 추가 테이블 목록	159
[표 3-1-7-12] 펌프제어 테이블 정의	159
[표 3-1-7-13] 관리자 정보 테이블 정의	160
[표 3-1-7-14] 펌프가동 이력 테이블 정의	160
[표 3-1-7-15] MySQL 데이터베이스 접속 정보	165
[표 3-1-7-16] 도입 하드웨어 목록 및 사양	166
[표 3-2-2-1] 관의 부식평가 기법	173
[표 3-2-2-2] 부식도 계산을 위한 상수 K 값	174
[표 3-2-2-3] 국내·외에서 이용 중인 부식성 지수	176
[표 3-2-2-4] 한강수계 수원의 부식성 평가 결과	179
[표 3-2-2-5] 낙동강 수계 수원의 부식성 평가 결과	180
[표 3-2-2-6] 부식평가에 사용된 다양한 농업용수	180
[표 3-2-2-7] 부식평가에 사용된 다양한 농업용수	181
[표 3-2-2-8] 부식평가에 사용된 탄소강 시편	181
[표 3-2-2-9] 시간경과에 따른 탄소강 시편의 표면 부식정도	182
[표 3-2-2-10] 부식평가에 사용된 다양한 농업용수	183
[표 3-2-2-11] 비금속관의 연결 방식	186
[표 3-2-2-12] 관파손 감지 시스템의 동작순서	187

[표 3-2-2-13] 관파손 감지 시스템의 동작순서	188
[표 3-2-2-14] 관파손 감지 시스템 현장 적용 사례	189
[표 3-2-2-15] 관파손 감지 시스템의 구성	191
[표 3-2-2-16] 시스템 점검구 설치도	192
[표 3-2-3-1] 현장 조사지 개요	197
[표 3-2-3-2] 영산강 사업단 3지구 관수로 현황	198
[표 3-2-3-3] 석문간척지구 용수 급수시설 현황	201
[표 3-2-3-4] 확장지구 용수 급수시설 현황	204
[표 3-2-3-5] 강서지구 용수 급수시설 현황	207
[표 3-2-3-6] 생림지구 용수 급수시설 현황	210
[표 3-2-3-7] 이음의 수밀성 또는 내수압 강도에 의한 사용 관종의 개략결정 표준 (단위: N/cm <sup>2</sup> )	215
[표 3-2-3-8] 관체의 내수압 강도에 의한 사용 관종의 개략결정 표준 (단위: N/cm <sup>2</sup> )	215
[표 3-2-3-9] 매설관의 방식방법 선정	216
[표 3-2-3-10] ANSI 법을 이용한 토양 부식성 평가법(ANSI A21.5, 1972)	217
[표 3-2-3-11] 수도용 강관의 내면 도복장 종류	218
[표 3-2-3-12] 부식억제제 규격 및 특징	222
[표 3-2-3-13] 수돗물 부식성 관련 지수	223
[표 3-2-3-14] LSI와 부식성과의 관계	224
[표 3-2-3-15] DVGW법을 이용한 토양 부식성 평가법	228
[표 3-2-3-16] 부식성 지수와 부식성과의 관계	229
[표 3-2-4-1] 주요공정 시설 설비 및 계측기 사양	232
[표 3-2-4-2] 관파손 감지시스템의 주요 구성요소 및 기능	233
[표 3-2-4-3] 원격감지장치 사양	234
[표 3-2-4-4] Pilot plant에 구축된 관파손 감지시스템	235
[표 3-2-4-5] 관파손 감지시스템의 현장 성능평가 방법	236
[표 3-2-4-6] 감지시트 파손 감지 실험 결과	236
[표 3-2-4-7] 누수위치 감지 실험 결과(압력: 0.4kgf/cm <sup>2</sup> )	237
[표 3-2-4-8] 관 파손감지 시스템의 도입 비용 추정 결과(단위: 천원/km)	238
[표 3-2-4-9] 전국 단위 농업용수로 유지관리 비용(단위: 천원/km)	239
[표 3-2-4-10] 관 파손 조기감지를 통한 누수 저감비용(단위: 천원/km)	239
[표 3-2-4-11] 관파손 감지 시스템 도입에 대한 편익분석 결과(단위: 천원)	240
[표 3-2-5-1] 농업용 관수로 유지관리를 위한 자료 및 작성 방법	241
[표 3-2-5-2] 농업 생산기반시설의 안전 점검 및 실시시기	242
[표 3-2-5-3] 사고 및 누수 등의 대처를 위한 조치 사항	243
[표 3-2-5-4] 농업용수 및 시설물 관리	243
[표 3-2-5-5] 유지관리사업 연도별 집행내역(단위: 백만원)	244
[표 3-2-5-6] 용수관리 단계별 업무 추진 내용	245
[표 3-2-5-7] 용배수로 유지관리 세부 업무 내용	247
[표 3-2-5-8] 유지관리 업무 확인을 위한 Check List 예시	249
[표 3-2-5-9] 유지관리 현황	250
[표 3-2-5-10] 유지관리계획 수립	252
[표 3-2-5-11] 수집자료의 분류	253
[표 3-2-5-12] 관체의 물리·화학적 분석항목	253

[표 3-2-5-13] 관체 내·외면의 육안분석 항목 .....	254
[표 3-2-5-14] 상수도 관로의 노후도 평가 항목과 내용 .....	254
[표 3-2-5-15] 지표값의 계산방법 및 점수 .....	255
[표 3-2-5-16] 관체의 노후도 평가 기준 .....	256
[표 3-2-5-17] 하수관망 유지관리 목적 .....	258
[표 3-2-5-18] 하수관망 손상의 원인 .....	261
[표 3-2-5-19] 하수관망 손상의 원인 .....	262
[표 3-2-5-20] 보수공사의 종류 .....	262
[표 3-2-5-21] 보수공법별 개요 및 적용 범위 .....	263
[표 3-2-5-22] 부식 대책의 종류 및 기술 .....	265
[표 3-3-2-1] 농업생산기반시설 현황 조사 항목 및 내용 .....	271
[표 3-3-2-2] 수리시설별 제원 현황 .....	276
[표 3-3-2-3] 관수로 시스템 구축 사업 지구 .....	281
[표 3-3-2-4] 국외 관수로 시스템 구축 사업 지구 .....	283
[표 3-3-2-5] 관수로 시스템의 장·단점 및 보완 대책 .....	285
[표 3-3-2-6] 외국의 관수로 시스템 도입으로 인한 개선 효과 .....	285
[표 3-3-2-7] 농업생산기반정비사업 계획설계기준 (관개편) 손실율 .....	286
[표 3-3-2-8] 신고 농업수리학 손실율 .....	286
[표 3-3-2-9] 농촌용수 계획설계편람 손실율 .....	287
[표 3-3-2-10] 국외의 통수량 대비 수로손실율 .....	287
[표 3-3-2-11] 콘크리트 수로의 계측 손실율 .....	288
[표 3-3-2-12] 토공수로의 계측 손실율 .....	288
[표 3-3-2-13] 구간별 계측 유량값을 이용한 고흥지구 수로손실량 산정 (2010년 7월, 천톤) .....	290
[표 3-3-2-14] 분석 대상지구 (개수로 지구) .....	298
[표 3-3-2-15] 용수절감 효과 분석을 위한 기초자료 .....	302
[표 3-3-2-16] 용수절감 효과 분석을 위한 연평균 월별 공급량 (천톤) .....	303
[표 3-3-2-17] 대상지구별 필요수량 (천톤) .....	303
[표 3-3-2-18] 관수로 지구의 단위면적당 공급량 (톤) .....	304
[표 3-3-2-19] 개수로 지구의 단위면적당 공급량 (톤) .....	305
[표 3-3-2-20] 관개형태별 단위면적당 공급량 비교 (톤) .....	306
[표 3-3-2-21] 관수로 지구의 필요수량 대비 공급량 (천톤) .....	308
[표 3-3-2-22] 개수로 지구의 필요수량 대비 공급량 (천톤) .....	308
[표 3-3-2-23] 용수절감 효과 확대 적용을 위한 대상지구 용수량(mm) .....	310
[표 3-3-2-24] 확대 적용 대상지구의 단위면적당 공급량 (톤) .....	311
[표 3-3-2-25] 확대 적용 대상지구의 필요수량 대비 공급량 (천톤) .....	311
[표 3-3-2-26] 감가상각율 .....	315
[표 3-3-2-27] 하천개수 사업의 경우 편익 종류 및 내용 .....	315
[표 3-3-2-28] 경제성 분석 기법별 장·단점 .....	316
[표 3-3-2-29] 경제성 분석 기법별 장·단점 .....	316
[표 3-3-2-30] 경제성 분석을 위한 대상지구 현황 .....	316
[표 3-3-2-31] 관수로 시스템 구축 총 사업비 예시 (덕곡 지구) .....	317
[표 3-3-2-32] 연도별 1인당 관리면적 변화 (농어촌공사) .....	318
[표 3-3-2-33] 개수로 지구의 1인당 관리면적 (농어촌공사, 2006) .....	318

[표 3-3-2-34] 관수로 지구의 1인당 관리면적	318
[표 3-3-2-35] 지구별 용수절감 효과 편익	319
[표 3-3-2-36] 지구별 부지활용 효과 편익	320
[표 3-3-2-37] 수질오염방지 효과 편익	321
[표 3-3-2-38] 경제성 분석을 위한 비용 및 편익 산출 자료 (천원/year)	322
[표 3-3-2-39] 관수로 지구의 경제성 분석 결과 (유지관리비율: 3%, 할인율: 4%) (백만원)	322
[표 3-3-2-40] 관수로 지구의 경제성 분석 결과 (유지관리비율: 1%, 할인율: 2%) (백만원)	324
[표 3-3-2-41] 관수로 지구의 경제성 분석 결과 (유지관리비율: 5%, 할인율: 6%) (백만원)	324
[표 3-3-3-1] 수정 Penman 법의 작물계수	331
[표 3-3-3-2] 생육단계별 작물계수	332
[표 3-3-3-3] Penman-Monteith 식에서의 작물계수	332
[표 3-3-3-4] 평균 잠재증발산량 산정결과 비교	335
[표 3-3-3-5] P-M법 대비 기타선정법 비교	336
[표 3-3-3-6] 월 평균 Pan 계수	337
[표 3-3-3-7] 금강유역 pan 계수 비교	337
[표 3-3-3-8] 구간별 계측 유량값을 이용한 고흥지구 수로손실량 산정 (2010년 7월, 천톤)	355
[표 3-3-3-9] 관수로 지구의 필요수량 산정 (천톤)	356
[표 3-3-3-10] 관수로 지구의 공급량 산정 (천톤)	356
[표 3-3-3-11] 관수로 지구의 실제공급량 (천톤)	356
[표 3-3-3-12] 무수저수지 현황	359
[표 3-3-3-13] 유입량 정량화 분석	361
[표 3-3-3-14] 월별 강수량 및 모의 유입량	364
[표 3-3-3-15] 월별 강수량 및 실측 유입량	365
[표 3-3-3-16] 월별 모의 공급량, 무효방류량, 저수량	367
[표 3-3-3-17] 월별 실측 공급량	370
[표 3-3-3-18] 월별 실측 무효 방류량	370
[표 3-3-3-19] 연도별 유입량 비교 (천톤)	372
[표 3-3-3-20] 월별 유입량 비교 (천톤)	373
[표 3-3-3-21] 월별 공급량 비교 (천톤)	375
[표 3-3-3-22] 월별 무효방류량 비교 (천톤)	376
[표 3-3-3-23] 연도별 공급량 비교 (천톤)	377
[표 3-3-3-24] 연도별 무효방류량 비교 (천톤)	377
[표 3-3-3-25] 월별 저수량 비교 (천톤)	378
[표 3-3-3-26] 연도별 저수량 비교 (4 ~ 9월) (천톤)	378
[표 3-3-3-27] 수해구역별 조용수량 산정 (천톤)	380
[표 3-3-3-28] 수해구역별 손실수량 산정	381
[표 3-3-3-29] 연도별 조용수량 및 손실수량 (천톤)	381
[표 3-3-4-1] 파일럿 플랜트 적용을 위한 관개 시나리오	391
[표 3-3-4-2] 파일럿 플랜트 관개 시나리오별 관개 시간 및 공급량 산정	391
[표 3-3-4-3] 해남지구 월별 습도 (1990~2010) (단위: mm)	393
[표 3-3-4-4] 해남지구 월별 기온 (1990~2010) (단위: °C)	393
[표 3-3-4-5] 해남지구 월별 평균 강수량 (1990~2000) (단위: mm)	393
[표 3-3-4-6] 해남호 저수현황	394

[표 3-3-4-7] 해남지구 3공구 양수장 제원 .....	394
[표 3-3-4-8] 해남 1호 용수간선 .....	398
[표 3-3-4-9] 해남 2호 용수간선 .....	398
[표 3-3-4-10] 해남 3호 용수간선 .....	398
[표 3-3-4-11] 해남 4호 용수간선 .....	399
[표 3-3-4-12] 해남 6호 용수간선 .....	399
[표 3-3-4-13] 해남 1호 용수지선 .....	399
[표 3-3-4-14] 해남 2호 용수지선 .....	399
[표 3-3-4-15] 해남 3호 용수지선 .....	400
[표 3-3-4-16] 해남 4호, 6호 용수지선 .....	400
[표 3-3-4-17] 해남지구 3공구 지선별 지배면적 및 공급 가능량 .....	401
[표 3-3-4-18] 해남지구 3공구 지선별 수요량 및 공급 가능량 비교 .....	403
[표 3-3-4-19] 해남지구 관개형식에 따른 관개용수 공급 시나리오 .....	404
[표 3-3-4-20] 해남지구 관개형식에 따른 관개용수 공급 시나리오 .....	405
[표 3-3-4-21] 해남지구 관개 시나리오별 관개 시간 및 공급량 산정 .....	405
[표 3-3-4-22] 1간선 · 지선별 용수로 유속분석 결과 .....	407
[표 3-3-4-23] 2간선 · 지선별 용수로 유속분석 결과 .....	407
[표 3-3-4-24] 3간선 · 지선별 용수로 유속분석 결과 .....	408
[표 3-3-4-25] 4 · 6간선 · 지선별 용수로 유속분석 결과 .....	408
[표 3-3-4-26] 1간선용수로 지선별 공급량 및 필요수량 대비 결과 (m <sup>3</sup> ) .....	415
[표 3-3-4-27] 2간선용수로 지선별 공급량 및 필요수량 대비 결과 (m <sup>3</sup> ) .....	417
[표 3-3-4-28] 3간선용수로 지선별 공급량 및 필요수량 대비 결과 (m <sup>3</sup> ) .....	420
[표 3-3-4-29] 4간선용수로 지선별 공급량 및 필요수량 대비 결과 (m <sup>3</sup> ) .....	422
[표 3-4-2-1] 사업추진현황 (단위: 백만원) .....	425
[표 3-4-2-2] 지구별 추진현황 .....	426
[표 3-4-2-3] '15년 농업용수관리자동화 사업현황 (단위: 백만원) .....	428
[표 3-4-2-4] 서천지구 자동화시설 주요내용 .....	429
[표 3-4-2-5] 서천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)시설 설치계획 .....	430
[표 3-4-2-6] 예천지구 자동화시설 주요내용 .....	431
[표 3-4-2-7] 예천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)시설 설치계획 .....	432
[표 3-4-2-8] 오마지구 자동화시설 주요내용 .....	433
[표 3-4-2-9] 오마지구 농업용수관리자동화(TM/TC)시설 설치계획 .....	434
[표 3-4-2-10] 기존 계측자료 현황 .....	435
[표 3-4-2-11] 시스템 필요 계측자료 .....	435
[표 3-4-2-12] 시스템 요소기술 검토 .....	436
[표 3-4-2-13] 모니터링 및 감시제어 인자 .....	436
[표 3-4-2-14] 시설/지역정보 인자 및 활용방법 .....	437
[표 3-4-2-15] 관망해석 프로그램 현황 .....	445
[표 3-4-2-16] 관망해석 프로그램별 기능 .....	446
[표 3-4-3-1] 시스템 기능정의 .....	468
[표 3-4-3-2] 기본 프레임워크 기능 .....	484
[표 3-4-3-3] 관망해석 프레임워크 기능 .....	485
[표 3-4-3-4] ArcGIS 프레임워크 기능 .....	486

[표 3-4-4-1] 세부사양 .....	489
[표 3-4-4-2] 성능 테스트 시나리오 .....	489
[표 3-4-4-3] 성능 테스트 측정항목 .....	490
[표 3-4-4-4] 파일럿플랜트 주요시설 .....	494
[표 3-4-4-5] 관망해석(고정상태) 결과 .....	499
[표 3-4-4-6] 사용패턴에 따른 압력해석 결과 .....	502
[표 3-4-4-7] 고정상태 및 시간변화 해석의 압력 비교 .....	503
[표 3-4-4-8] 사용패턴 및 수위변화에 따른 압력해석 결과 .....	504
[표 3-4-4-9] 펌프(P1)제어에 따른 압력해석 비교결과 .....	507
[표 3-4-4-10] 펌프제어에 따른 시간단위의 압력해석 결과 .....	510
[표 3-4-4-11] 파일럿플랜트 계측정보 .....	512
[표 3-4-4-12] 시스템 커스트마이징 항목 .....	517
[표 3-4-5-1] 대표적인 신경망 모형 .....	528
[표 3-4-5-2] 모형 검정 기준(Validation Measures) .....	534
[표 3-4-5-3] 모형 내 적용함수의 변경현황 .....	536
[표 3-4-5-4] 은닉층 노드개수에 따른 오차함수별 모의결과 .....	538
[표 3-4-5-5] 서버용량 검토 .....	544
[표 3-4-5-6] 통합계획검토 .....	550
[표 3-4-5-7] 농업용수 통합 광역급수체계 운영관리 시스템 기능 .....	552
[표 3-4-6-1] 국내 AMR 현황 .....	560
[표 3-4-7-1] 스마트 코디네이터 제원 .....	571
[표 3-4-7-2] 스마트 매니저 제원 .....	573
[표 3-4-7-3] 스마트 검침기 제원 .....	575
[표 3-4-7-4] 무변조시 송신 중심 주파수 (출력세기: 10dBm) .....	576
[표 3-4-7-5] 거리에 따른 PER Test 결과 .....	579
[표 3-4-8-1] Client Type별 서비스 환경 변경 내용 .....	581
[표 3-4-8-2] 시스템 모듈 항목 목록 .....	581
[표 3-4-9-1] 계측기 구성 목록 및 수량 .....	589
[표 3-4-9-2] 각 디바이스 소비전류 측정 결과 .....	590
[표 3-4-9-3] 스마트 코디네이터 <---> 스마트 매니저 거리테스트 결과 .....	592
[표 3-4-9-4] 스마트 매니저 <---> 스마트 검침기 거리테스트 결과 .....	592
[표 3-4-9-5] 채널 별 스마트 코디네이터 RF 측정 결과 .....	592
[표 3-4-9-6] 채널 별 스마트 매니저 RF 측정 결과 .....	593
[표 3-4-9-7] 채널 별 스마트 검침기 RF 측정 결과 .....	593
[표 3-4-9-8] AMI 시스템 테스트 결과에 따른 설치 및 운영 방안 .....	594
[표 3-4-10-1] 운영관리 시스템 주요기능 요약 .....	597
[표 6-2-1-1] 일본 토지갱생사업계획 설계기준 “파이프라인” 변천 .....	618
[표 6-2-1-2] 일본 농업용 파이프라인 관종의 주요용도·특징 및 변장 .....	619

## <그림 목차>

[그림 1-1-1-1] 토지이용 다각화 개념도 .....	4
[그림 1-1-2-1] 국내 수자원 이용 현황 .....	6
[그림 1-1-2-2] 스마트 워터그리드 개념도[출처 : 2011 IWA Workshop, GIST] .....	7
[그림 1-3-1-1] 연구 목표 달성을 위한 연구 추진 전략 .....	14
[그림 1-3-3-1] 연차별 추진체계 - 농어촌연구원 .....	16
[그림 1-3-3-2] 연차별 추진체계 - (재)한국계면공학연구소 .....	17
[그림 1-3-3-3] 연차별 추진체계 - 건국대학교 .....	18
[그림 1-3-3-4] 연차별 추진체계 - 이메트릭스(주) .....	19
[그림 2-1-1-1] Hitachi의 Intelligent Water Systems .....	21
[그림 2-1-2-1] 관수로 수치해석 모형(H2ONET(좌), WaterGEMS(우)) .....	22
[그림 2-1-3-1] IBM 스마트워터그리드 .....	24
[그림 2-1-3-2] 호주 스마트워터그리드 .....	25
[그림 2-1-4-1] Filenet 통합제어 시스템 화면 .....	26
[그림 2-1-4-2] Fieldnet 앱 화면 .....	26
[그림 2-1-4-3] Dimplex사의 열펌프 모니터링 앱 화면 .....	27
[그림 3-1-2-1] 광역단위 범용관개시스템(평야부 관개시스템) .....	39
[그림 3-1-2-2] 저류형, 저압형 농촌용수 관망 모형 .....	40
[그림 3-1-2-3] 수지상식 배수관망 형태 .....	43
[그림 3-1-2-4] 격자식형 배수관망 형태 .....	43
[그림 3-1-2-5] 공구 현황도 .....	45
[그림 3-1-2-6] 배수지 이용 관망조직 .....	46
[그림 3-1-2-7] 저용량 개념도 및 시뮬레이션 순서 .....	53
[그림 3-1-2-8] 예제 관망 .....	54
[그림 3-1-2-9] 각 절점의 관망해석 결과 .....	55
[그림 3-1-2-10] 각 링크의 관망해석 결과 .....	56
[그림 3-1-2-11] 저압형 논관개 시스템 구성도(간지선부) .....	58
[그림 3-1-2-12] 저압형 논관개 시스템 분수시설 .....	58
[그림 3-1-2-13] 범용급수장치 .....	59
[그림 3-1-2-14] 저압형 논관개 조직개념도 .....	60
[그림 3-1-2-15] 급수장치 개념도 .....	60
[그림 3-1-2-16] 배수장치 개념도 .....	61
[그림 3-1-2-17] 급배수겸용 관개시스템 개념도 .....	61
[그림 3-1-2-18] 급배수겸용 시스템 .....	61
[그림 3-1-2-19] 급배수겸용장치 구조 .....	62
[그림 3-1-2-20] 관수로 형식의 지거 배수로 도입에 의한 대구획화 .....	63
[그림 3-1-2-21] 설계조건 .....	64
[그림 3-1-2-22] 계획순서 .....	65
[그림 3-1-2-23] 동수구배선과 유속분포 .....	65
[그림 3-1-2-24] 농업용수 전용관 .....	67
[그림 3-1-2-25] 농업용수 전용관 구분 적용 예 .....	68
[그림 3-1-2-26] 충격파동 중첩의 원리 .....	69



[그림 3-1-2-27]	발관개 관수로 시스템 개념도	70
[그림 3-1-2-28]	신재생에너지를 이용한 발관개 시스템 구상도	71
[그림 3-1-2-29]	상수도 시설의 소수력 발전 개념도	71
[그림 3-1-2-30]	풍력발전을 이용한 발관개 시스템 적용사례(미야코섬)	72
[그림 3-1-2-31]	Pilot plant 발관개 자동화 시스템 구성 및 현장 사진	73
[그림 3-1-2-32]	관로내 발전 시스템의 원리 및 구조	74
[그림 3-1-2-33]	발전 방식에 따른 소수력 발전의 구분	75
[그림 3-1-2-34]	관로 마이크로 발전 시스템 구성도	76
[그림 3-1-2-35]	상수도 소수력 발전 사례	77
[그림 3-1-2-36]	Lucid Pipe 설치 전경	77
[그림 3-1-2-37]	터빈의 형상 모델링	78
[그림 3-1-2-38]	모델링 및 시뮬레이션	78
[그림 3-1-2-39]	컨트롤러 및 배터리 구성 개념	79
[그림 3-1-2-40]	발전 시스템 시제품 설치	79
[그림 3-1-3-1]	관로의 분기점과 합류점	80
[그림 3-1-3-2]	관로계	81
[그림 3-1-3-3]	관로계 시스템 그래프	81
[그림 3-1-3-4]	각 관로 시스템	83
[그림 3-1-3-5]	수조관로 시스템	86
[그림 3-1-3-6]	관로 시스템	86
[그림 3-1-3-7]	강제수주이론 기본방정식 프로그램화 알고리즘	89
[그림 3-1-3-8]	EPANET을 활용한 관망해석 프로그램 화면	90
[그림 3-1-3-9]	관망 서징해석 순서 및 해석자료 입출력 방법	91
[그림 3-1-3-10]	시간단위 설정 및 시간별 공급량 변화패턴 작성	92
[그림 3-1-3-11]	펌프의 제어 및 시간별 펌프 토출량 변화	93
[그림 3-1-3-12]	시간에 따른 수위변화 그래프	93
[그림 3-1-4-1]	관망해석 수압분포도	95
[그림 3-1-4-2]	파일럿 플랜트 구성도	96
[그림 3-1-4-3]	Pilot Plant 설치 전경	96
[그림 3-1-4-4]	이물질 배출장치 설치 위치 및 외형	97
[그림 3-1-4-5]	하이브리드 발전시스템 설치 위치 및 외형	97
[그림 3-1-4-6]	분수정 평면도 및 단면도	98
[그림 3-1-4-7]	발관개 시스템 설치 위치 및 현장사진	99
[그림 3-1-5-1]	영산강 4공구 광역 공급체계	101
[그림 3-1-5-2]	영산강IV 지구 평면도	101
[그림 3-1-5-3]	광역급수체계 사업지구 위치도	102
[그림 3-1-5-4]	제주도 농업용수 개발지구	103
[그림 3-1-5-5]	테스트베드 구상 개념도	104
[그림 3-1-5-6]	운영관리 시스템 구성	105
[그림 3-1-5-7]	시스템 구성 및 흐름도	105
[그림 3-1-5-8]	통합관리시스템 구성	106
[그림 3-1-5-9]	관정시스템 구성안	107
[그림 3-1-6-1]	펄프 특성곡선의 예	109

[그림 3-1-6-2] Tapping 설치방법 예시 .....	111
[그림 3-1-6-3] 시뮬레이션 S/W 구성도 .....	119
[그림 3-1-6-4] PDCS의 그래픽 유저 인터페이스 .....	120
[그림 3-1-6-5] PDCS v1.0 프로젝트의 모델 파트용 그래픽 인터페이스 .....	121
[그림 3-1-6-6] PDCS v1.0의 그래픽 인터페이스 .....	121
[그림 3-1-6-7] 메타 휴리스틱 .....	122
[그림 3-1-6-8] 유전자 알고리즘의 구조 .....	124
[그림 3-1-6-9] 단순 유전자 알고리즘의 구조 .....	126
[그림 3-1-6-10] 무작위법에 의한 초기 집단의 생성 .....	127
[그림 3-1-6-11] 균등 분할하여 얻어진 초기화 점 .....	127
[그림 3-1-6-12] 룰렛휠 선택에 기초한 재생산 연산 .....	129
[그림 3-1-6-13] 일점교배 연산 .....	130
[그림 3-1-6-14] 프로그램화면 구성 .....	138
[그림 3-1-6-15] 프로그램 운영 매개변수 및 제약조건 설정 .....	138
[그림 3-1-6-16] 프로그램 결과 출력 화면 .....	139
[그림 3-1-7-1] 21세기형 스마트 파이프라인 시스템 개념도 .....	141
[그림 3-1-7-2] 스마트 파이프라인 시스템의 비전/목표 .....	142
[그림 3-1-7-3] 스마트 파이프라인 시스템 개발 방향 .....	142
[그림 3-1-7-4] 스마트 파이프라인 시스템 개발 목표 및 방향 .....	143
[그림 3-1-7-5] 한국형 농촌용수 스마트 관수로 시스템 모형 .....	144
[그림 3-1-7-6] 관망운영관리 시스템 구성 및 HMI .....	145
[그림 3-1-7-7] 스마트 관망운전제어시스템 구성도 .....	146
[그림 3-1-7-8] 메뉴화면 및 화면 예시 .....	146
[그림 3-1-7-9] 시스템 구성 체계 및 구성도 .....	147
[그림 3-1-7-10] 관망 실시간 모니터링 .....	148
[그림 3-1-7-11] 900MHz 기반 AMI 시스템 구성 .....	149
[그림 3-1-7-12] Smart Underground Navition System 설치 개념도 .....	150
[그림 3-1-7-13] 양수펌프장 운전 완전자동화 .....	150
[그림 3-1-7-14] 펌프제어 개념도 .....	151
[그림 3-1-7-15] 말단압력 일정제어의 에너지 절약 .....	152
[그림 3-1-7-16] 기술 개념도 .....	153
[그림 3-1-7-17] 관수로 스마트 서비스 프로토 타입 구성도 .....	155
[그림 3-1-7-18] 관수로 스마트 서비스 소프트웨어/네트워크 구성도 .....	155
[그림 3-1-7-19] 관수로 스마트 서비스 구성도 .....	156
[그림 3-1-7-20] 통신망 구성 및 IP확인 절차 구성도 .....	157
[그림 3-1-7-21] 스마트 관수로 앱 기능 항목 .....	157
[그림 3-1-7-22] 3D 개체 및 2.5D 화면 구성(안) .....	160
[그림 3-1-7-23] 개발환경 구성 .....	161
[그림 3-1-7-24] 시설물 3D개체 제작 .....	162
[그림 3-1-7-25] 시설물 관망 구성 .....	162
[그림 3-1-7-26] 시설물 구성 및 시설물 명칭 .....	163
[그림 3-1-7-27] Wibro egg 단말기 .....	164
[그림 3-1-7-28] egg 단말기 설정 조회 화면 .....	164

[그림 3-2-2-1] 탄소강 시편을 이용한 부식평가 실험 장치	181
[그림 3-2-2-2] 탄소강의 부식실험 결과(좌: 부식도, 우: 부착도)	183
[그림 3-2-2-3] 관 파손 감지 시스템의 개념도	187
[그림 3-2-2-4] 관 파손 감지 시스템 현장 설치 사진(삼패하수처리장)	189
[그림 3-2-2-5] 관 파손 감지 시스템 현장 설치 사진(기아공장 폐수처리장)	190
[그림 3-2-2-6] 관 파손 감지 시스템 현장 설치 사진(서산시 재이용수 이송배관)	190
[그림 3-2-2-7] 관 파손 감지 시스템의 설치도	192
[그림 3-2-2-8] 원격감시장치의 설치도	193
[그림 3-2-2-9] 받침대 도면(정면도 및 평면도)	193
[그림 3-2-2-10] 받침대 도면(좌측면도 및 우측면도)	194
[그림 3-2-2-11] 콘크리트형 기초 받침대 터파기 도면	194
[그림 3-2-2-12] 감지선의 연결 및 확인	195
[그림 3-2-2-13] 접지봉의 설치 및 연결	195
[그림 3-2-2-14] 원격감시장치의 전원 연결	196
[그림 3-2-2-15] 원격감시장치의 패널 규격	196
[그림 3-2-3-1] 영산강 사업단 평면도 및 위성사진	198
[그림 3-2-3-2] 영산강사업단 3지구 관수로 설치 위성사진	199
[그림 3-2-3-3] 영산강사업단 관수로 운영현황 현장답사	200
[그림 3-2-3-4] 석문간척지구 평면도 및 위성사진	201
[그림 3-2-3-5] 석문간척지구 관수로 설치 위성사진	202
[그림 3-2-3-6] 석문간척지구 관수로 운영현황 현장답사	203
[그림 3-2-3-7] 확장지구 평면도 및 위성사진	204
[그림 3-2-3-8] 확장지구 관수로 설치 위성사진	205
[그림 3-2-3-9] 확장지구 관수로 운영현황 현장답사	206
[그림 3-2-3-10] 강서지구 평면도 및 위성사진	207
[그림 3-2-3-11] 강서지구 관수로 설치 위성사진	208
[그림 3-2-3-12] 강서지구 관수로 운영현황 현장답사	209
[그림 3-2-3-13] 생림지구 평면도 및 위성사진	210
[그림 3-2-3-14] 생림지구 관수로 설치 위성사진	210
[그림 3-2-3-15] 생림지구 관수로 운영현황 현장답사	212
[그림 3-2-3-16] 농업용 관수로의 관중 선정 순서	213
[그림 3-2-3-17] 미국 정수장의 부식억제제 주입 공정도	223
[그림 3-2-3-18] 관거시설의 염화수에 의한 부식대책	226
[그림 3-2-4-1] Pilot plant 설치장소	230
[그림 3-2-4-2] Pilot plant 설치 전경 및 설치도	230
[그림 3-2-4-3] 파일럿 플랜트 흐름도	231
[그림 3-2-4-4] 관파손 감지시스템의 운영절차	235
[그림 3-2-4-5] 감지시트 파손 실험	237
[그림 3-2-4-6] 누수감지 센서 작동 및 커버 수밀 실험 장치	237
[그림 3-2-5-1] 수도정비 기본 계획 및 하부계획의 구성	248
[그림 3-2-5-2] 유지관리 방안의 단계별 진행내용	249
[그림 3-2-5-3] 관거시설의 유지관리 흐름도	257
[그림 3-2-5-4] 하수관망의 계획적 유지관리의 흐름	259

[그림 3-2-5-5] 보수공법 선정의 일반적인 흐름도 .....	263
[그림 3-3-2-1] 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석을 위한 연구 내용 .....	270
[그림 3-3-2-2] 수리답면적 및 수리답율 .....	272
[그림 3-3-2-3] 연도별 수리답면적 및 수원공 개소수 .....	272
[그림 3-3-2-4] 수원공별 개소수 현황 .....	273
[그림 3-3-2-5] 수원공별 공급 수혜면적 .....	273
[그림 3-3-2-6] 농업용저수지의 사용 경과년도 .....	273
[그림 3-3-2-7] 관개규모별 수리시설 개소수 .....	274
[그림 3-3-2-8] 관개규모별 면적 .....	274
[그림 3-3-2-9] 관개규모별 수원공 현황 .....	275
[그림 3-3-2-10] 준공연도별 수리시설물 현황 .....	275
[그림 3-3-2-11] 농업생산기반정비 사업별 누계 개발면적 .....	277
[그림 3-3-2-12] 농업생산기반정비사업 연도별 집행실적 .....	277
[그림 3-3-2-13] 연도별 용배수로 현황 .....	278
[그림 3-3-2-14] 농업용수개발사업 연도별 준공현황 .....	278
[그림 3-3-2-15] 농업생산기반조성사업 연도별 준공현황 .....	279
[그림 3-3-2-16] 수로손실량 산정을 위한 고흥지구 용수계통도 .....	289
[그림 3-3-2-17] 해남지구 사업계획 평면도 .....	291
[그림 3-3-2-18] 해남지구 물관리 제어시스템 .....	291
[그림 3-3-2-19] 해남지구 취수·용수 공급시설 .....	292
[그림 3-3-2-20] 고흥지구 사업계획 평면도 .....	293
[그림 3-3-2-21] 고흥지구 물관리 제어시스템 .....	294
[그림 3-3-2-22] 고흥지구 취수·용수 공급시설 .....	294
[그림 3-3-2-23] 덕곡지구 사업계획 및 용수공급 평면도 .....	295
[그림 3-3-2-24] 덕곡지구 수원공·취수시설 .....	296
[그림 3-3-2-25] 덕곡지구 계측·용수 공급시설 .....	296
[그림 3-3-2-26] 덕곡지구 배수시설 .....	297
[그림 3-3-2-27] 용수절감효과 분석 흐름도 .....	299
[그림 3-3-2-28] 단위면적당 공급량 분석 흐름도 .....	300
[그림 3-3-2-29] 필요수량 대비 공급량 분석 흐름도 .....	301
[그림 3-3-2-30] 단위면적당 공급량 (관수로 지구) .....	305
[그림 3-3-2-31] 단위면적당 공급량 (개수로 지구) .....	305
[그림 3-3-2-32] 관개형태별/월별 단위면적당 공급량 비교 .....	306
[그림 3-3-2-33] 필요수량 대비 과잉 공급율 (%) .....	309
[그림 3-3-2-34] 평균 과잉 공급율 (%) .....	309
[그림 3-3-2-35] 관수로 지구의 투자비용 회수기간 .....	323
[그림 3-3-2-36] 할인율의 민감도 분석 (유지관리비율 3% 고정) .....	325
[그림 3-3-2-37] 유지관리비율의 민감도 분석 (할인율 4% 고정) .....	326
[그림 3-3-3-1] 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석을 위한 연구 내용 .....	328
[그림 3-3-3-2] 잠재증발산량 비교 .....	335
[그림 3-3-3-3] Penman-Monteith 증발산량과 계기증발량의 관계 (16년치 평균) .....	336
[그림 3-3-3-4] Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘 순서도 .....	347
[그림 3-3-3-5] 증발산량 산정 결과 및 비교 .....	348

[그림 3-3-3-6] 농업용수 공급을 위한 운영곡선 개발 과정 .....	352
[그림 3-3-3-7] 수로손실량 산정을 위한 고흥지구 용수계통도 .....	354
[그림 3-3-3-8] 수요량 정량화를 위한 대상지구 개요 .....	358
[그림 3-3-3-9] 자료계측 현황 .....	359
[그림 3-3-3-10] 수문관측망 적용 이전의 자료계측 현황 .....	360
[그림 3-3-3-11] 수문계측망 구축 .....	360
[그림 3-3-3-12] 신설 수문계측 지점 현황 .....	361
[그림 3-3-3-13] 유입량 정량화를 통한 물수지 분석 .....	362
[그림 3-3-3-14] 저수지 유입량 정량화 분석 흐름도 .....	364
[그림 3-3-3-15] 저수지 저수량 정량화 분석 흐름도 .....	366
[그림 3-3-3-16] 무효방류량 계측을 위한 물넘이 수위계 설치 .....	369
[그림 3-3-3-17] 공급량 계측을 위한 수위계 설치 .....	369
[그림 3-3-3-18] 월별 모의 및 실측 (저수량) .....	377
[그림 3-3-3-19] 연도별 모의 및 계측 (저수량) .....	377
[그림 3-3-3-20] 월별 조용수량 및 손실수량 .....	382
[그림 3-3-3-21] 연도별 조용수량 및 손실수량 .....	382
[그림 3-3-3-22] SWSS 개념도 .....	383
[그림 3-3-3-23] 고무보를 활용한 SWSS 설치 구상도 .....	383
[그림 3-3-3-24] SWSS 적용 대상지구 .....	384
[그림 3-3-3-25] 다남지역의 기후 특성 .....	384
[그림 3-3-3-26] SWSS를 활용한 추가 용수확보량 및 전력 생산량 .....	385
[그림 3-3-4-1] 3차년도 연구 내용 .....	386
[그림 3-3-4-2] 증발산량 산정 자동화 알고리즘 (계속) .....	387
[그림 3-3-4-3] 증발산량 산정 자동화 알고리즘 .....	388
[그림 3-3-4-4] 파일럿 플랜트 설치 현황 .....	389
[그림 3-3-4-5] 파일럿 플랜트의 관수로 관개지구 현황 .....	390
[그림 3-3-4-6] 해남지구 위치도 .....	392
[그림 3-3-4-7] 연곡양수장 전경 .....	395
[그림 3-3-4-8] 해남지구 용수계통도 .....	396
[그림 3-3-4-9] EPANET 입력자료 구축절차 .....	397
[그림 3-3-4-10] 해남지구 3공구 용수관망 구축결과 .....	400
[그림 3-3-4-11] 해남지구 3공구 지선별 수요량 대비 공급가능량 결과 .....	402
[그림 3-3-4-12] 1지선용수로 수요량 대비 공급가능량 결과 .....	402
[그림 3-3-4-13] 2지선용수로 수요량 대비 공급가능량 결과 .....	402
[그림 3-3-4-14] 3지선용수로 수요량 대비 공급가능량 결과 .....	403
[그림 3-3-4-15] 4지선과 6지선용수로 수요량 대비 공급가능량 결과 .....	403
[그림 3-3-4-16] 1간선용수로 지선별 압력수두 .....	409
[그림 3-3-4-17] 2간선용수로 지선별 압력수두 .....	409
[그림 3-3-4-18] 3간선용수로 지선별 압력수두 .....	409
[그림 3-3-4-19] 4·6간선용수로 지선별 압력수두 .....	409
[그림 3-3-4-20] 1간선용수로 지선별 동수경사선 산정 결과 .....	410
[그림 3-3-4-21] 2간선용수로 지선별 동수경사선 산정 결과 .....	410
[그림 3-3-4-22] 3간선용수로 지선별 동수경사선 산정 결과 .....	410

[그림 3-3-4-23] 4·6간선용수로 지선별 동수경사선 산정 결과	411
[그림 3-3-4-24] 1간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과	412
[그림 3-3-4-25] 2간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과	413
[그림 3-3-4-26] 3간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과	414
[그림 3-3-4-27] 4간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과	414
[그림 3-3-4-28] 6간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과	414
[그림 3-4-2-1] 농업용수관리자동화사업 개요	426
[그림 3-4-2-2] 서천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)사업 계획도	428
[그림 3-4-2-3] 예천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)사업 계획도	431
[그림 3-4-2-4] 오마지구 농업용수관리자동화(TM/TC)사업 계획도	433
[그림 3-4-2-5] 단계별 적용방안(1~3단계)	438
[그림 3-4-2-6] 단계별 적용방안(4~5단계)	438
[그림 3-4-2-7] 1차원에서 Newton-Raphson 기법	442
[그림 3-4-2-8] EPANET 2.0 프로그램 화면	448
[그림 3-4-2-9] 관망의 물리적 구성요소	449
[그림 3-4-2-10] Yoo et al.(2014)이 제안한 최적누수감지 모델의 흐름도	451
[그림 3-4-2-11] 누수감지 모니터링 시스템 개요(Koo et al.(2007))	452
[그림 3-4-2-12] 관망해석 모델구축 흐름도	454
[그림 3-4-2-13] GIS로 구축된 지하수넷 화면	455
[그림 3-4-2-14] 논용수(좌) 및 밭용수(우) 수요량 추정	456
[그림 3-4-2-15] 기존 관정시스템(좌) 및 본 연구내용의 관정 통합시스템(우)	462
[그림 3-4-2-16] 운영관리 시스템의 운영 흐름도	462
[그림 3-4-2-17] 데이터 계층분석을 통한 수요예측의 모식도	464
[그림 3-4-2-18] 공급처 우선순위 선정 흐름도	465
[그림 3-4-3-1] 데이터베이스 구축(좌) 및 시스템 운영(우) 프로세스	471
[그림 3-4-3-2] 화면 레이아웃 설계 예시	476
[그림 3-4-3-3] 실시간모니터링 화면설계	477
[그림 3-4-3-4] 동수구배선 화면설계	477
[그림 3-4-3-5] 구간별 패턴분석 화면설계	478
[그림 3-4-3-6] 펌프가동률분석 화면설계	478
[그림 3-4-3-7] 관망해석 결과조회 화면설계	479
[그림 3-4-3-8] Case별 운영모의해석 화면설계	479
[그림 3-4-3-9] 운영모의계통도 화면설계	480
[그림 3-4-3-10] 펌프최적조합분석 화면설계	480
[그림 3-4-3-11] 수요예측결과조회 화면설계	481
[그림 3-4-3-12] 수요예측관리 화면설계	481
[그림 3-4-3-13] 시스템 관리 ERD	482
[그림 3-4-3-14] 관망관리 ERD	482
[그림 3-4-3-15] 운영모의 ERD	483
[그림 3-4-3-16] 수요예측 ERD	483
[그림 3-4-3-17] Emapper 클래스의 Method(좌) 및 코딩화면(우)	484
[그림 3-4-3-18] EPANETMethodDefinition 클래스의 Method(좌) 및 코딩화면(우)	486
[그림 3-4-3-19] ArcManager 클래스의 Method(좌) 및 코딩화면(우)	487

[그림 3-4-3-20] Simulation_MRM 클래스의 Method(좌) 및 코딩화면(우)	487
[그림 3-4-4-1] 테스트 환경 구성도	488
[그림 3-4-4-2] 관망해석 수행 시 CPU 사용률	490
[그림 3-4-4-3] Case별 운영모의 실행 시 CPU 사용률	491
[그림 3-4-4-4] 데이터 조회 시 CPU 사용률	491
[그림 3-4-4-5] 관망해석 수행 시 메모리 사용량	492
[그림 3-4-4-6] Case별 운영모의 실행 시 메모리 사용량	492
[그림 3-4-4-7] 데이터조회 시 메모리 사용량	493
[그림 3-4-4-8] 파일럿플랜트 현장	494
[그림 3-4-4-9] 파일럿플랜트의 EPANET 화면(Project Summary)	495
[그림 3-4-4-10] 고정해석에 반영된 저수지 수위 및 사용량 패턴	498
[그림 3-4-4-11] 각 관개시스템 말단의 압력해석 결과 그래프	499
[그림 3-4-4-12] Times Options 화면	500
[그림 3-4-4-13] 각 관개시스템의 사용패턴(상: 논, 중: 밭, 하: 간척지)	501
[그림 3-4-4-14] 사용패턴에 따른 관개시스템 말단의 압력해석 결과 그래프	502
[그림 3-4-4-15] 사용량에 따른 저수조(Tank)의 수위변화(좌) 및 펌프유량(우)	505
[그림 3-4-4-16] 펌프(P1) 설정 화면	506
[그림 3-4-4-17] 펌프(P1)제어에 따른 저수조의 수위변화(좌) 및 펌프유량(우)	506
[그림 3-4-4-18] 펌프(P2) 설정 화면	508
[그림 3-4-4-19] 펌프(P3) 설정 화면	508
[그림 3-4-4-20] 펌프(P4) 설정 화면	509
[그림 3-4-4-21] Rule-Based Controls Editor 화면	509
[그림 3-4-4-22] 펌프제어에 따른 관개시스템 말단의 압력해석 결과	510
[그림 3-4-4-23] GIS 및 관망해석모델 적용결과	511
[그림 3-4-4-24] 파일럿플랜트 계측정보 위치도	512
[그림 3-4-4-25] 레이어 및 계통 정의 예시	513
[그림 3-4-4-26] AMI 시스템 데이터 활용	519
[그림 3-4-4-27] AMI Database 연계가 필요한 데이터 정보	520
[그림 3-4-5-1] 잠재증발산량 산정	523
[그림 3-4-5-2] 잠재증발산량 설정(상 : FAO24, 하 : FAO56)	523
[그림 3-4-5-3] 인공적 신경단위의 처리 구조	525
[그림 3-4-5-4] 신경단위의 수리 모형화(McCulloch & Pitts, 1954)	525
[그림 3-4-5-5] 다층전방향신경망의 구조	525
[그림 3-4-5-6] 입력형태와 학습방법에 따른 지능형 신경망의 분류	528
[그림 3-4-5-7] 일반적인 모형화 및 인공신경망 모형화 절차	530
[그림 3-4-5-8] 지능형 용수수요예측 신경망 모형	532
[그림 3-4-5-9] 신경망 모형 개발 과정	533
[그림 3-4-5-10] 매개변수 최적화 절차	535
[그림 3-4-5-11] 신경망모형의 적용절차	536
[그림 3-4-5-12] 은닉층 노드(5개) 시 모의결과	537
[그림 3-4-5-13] 은닉층 노드(10개) 시 모의결과	537
[그림 3-4-5-14] 은닉층 노드(15개) 시 모의결과	537
[그림 3-4-5-15] 은닉층 노드(20개) 시 모의결과	538

[그림 3-4-5-16] 최적화결과 파일 및 실측값과 예측값의 비교 .....	539
[그림 3-4-5-17] 최적화 및 예측 절차의 적용방안 .....	540
[그림 3-4-5-18] 영산강 IV지구 사업계획 평면도 .....	541
[그림 3-4-5-19] 시스템 구성체계 .....	543
[그림 3-4-5-20] 시스템 구성도 .....	544
[그림 3-4-5-21] 하드웨어 및 소프트웨어 구성 .....	545
[그림 3-4-5-22] 운영관리 시스템 메뉴 구성 .....	546
[그림 3-4-5-23] 기대효과 .....	546
[그림 3-4-5-24] 동부권역 농업용수 광역화 시범사업 위치도 .....	547
[그림 3-4-5-25] 시스템의 필요성 .....	548
[그림 3-4-5-26] 광역시스템 구성체계 .....	551
[그림 3-4-5-27] 광역시스템 구성체계 .....	551
[그림 3-4-5-28] 시스템 활용 개요 .....	553
[그림 3-4-5-29] 평상시 시스템 활용 .....	554
[그림 3-4-5-30] 가뭄시 시스템 활용 .....	555
[그림 3-4-5-31] 장마시 시스템 활용 .....	556
[그림 3-4-5-32] 관정 시스템 적용 기대효과 .....	557
[그림 3-4-6-1] 방사형과 동등 계층 토폴로지 .....	558
[그림 3-4-6-2] 클러스터 트리 네트워크 .....	559
[그림 3-4-6-3] 도시형 및 농촌형 네트워크 구성 방식 .....	560
[그림 3-4-6-4] 데이터 수집도 - 수집 요청 .....	563
[그림 3-4-6-5] 데이터 수집도 - 자료 보고 .....	563
[그림 3-4-6-6] Preamble Receiver State Diagram .....	564
[그림 3-4-6-7] Trigger Node State Diagram .....	565
[그림 3-4-7-1] AMI 시스템 구조 .....	567
[그림 3-4-7-2] Periodic Preamble Sensing .....	568
[그림 3-4-7-3] Periodic Preamble Sensing .....	568
[그림 3-4-7-4] 간섭 회피 기능 .....	569
[그림 3-4-7-5] 스마트 코디네이터 구성도 .....	570
[그림 3-4-7-6] 스마트 코디네이터 회로 설계 .....	570
[그림 3-4-7-7] 스마트 코디네이터 PCB 설계 .....	570
[그림 3-4-7-8] 스마트 코디네이터 시제품 제작 .....	571
[그림 3-4-7-9] 스마트 매니저 구성도 .....	572
[그림 3-4-7-10] 스마트 매니저 회로 설계 .....	572
[그림 3-4-7-11] 스마트 매니저 PCB 설계 .....	572
[그림 3-4-7-12] 스마트 매니저 시제품 제작 .....	573
[그림 3-4-7-13] 스마트 검침기 구성도 .....	574
[그림 3-4-7-14] 스마트 검침기 회로 설계 .....	574
[그림 3-4-7-15] 스마트 검침기 PCB 설계 .....	574
[그림 3-4-7-16] 스마트 검침기 시제품 제작 .....	575
[그림 3-4-7-17] RF 성능 시험 테스트 보드 .....	575
[그림 3-4-8-1] 서버/클라이언트 구조의 시스템 전체 로직 .....	580
[그림 3-4-8-2] 시스템 구성 .....	582



[그림 3-4-8-3] 로직 모듈 구성 .....	583
[그림 3-4-8-4] DB설계 구조변경 .....	583
[그림 3-4-8-5] 연관계층 분석 .....	584
[그림 3-4-8-6] 분단위 상세 데이터 조회 .....	584
[그림 3-4-8-7] 개별 상세뷰어 창 .....	585
[그림 3-4-8-8] 통합조회 .....	585
[그림 3-4-8-9] 일간보고서 조회 .....	586
[그림 3-4-8-10] 검침내역 - 통합조회 화면 .....	586
[그림 3-4-8-11] 검침내역 - 일/월보조회 화면 .....	587
[그림 3-4-8-12] 검침내역 - 알람조회 화면 .....	587
[그림 3-4-8-13] 검침분석 - 수신율 화면 .....	588
[그림 3-4-9-1] 시스템 구성도 .....	588
[그림 3-4-9-2] AMI 계측기 및 통신 장비 현장 설치 사진 .....	589
[그림 3-4-9-3] 스마트 코디네이터의 배터리 수명분석 .....	590
[그림 3-4-9-4] 스마트 매니저의 배터리 수명분석 .....	591
[그림 3-4-9-5] 스마트 검침기의 배터리 수명분석 .....	591
[그림 3-4-9-6] 스마트 검침기 출력 특성 .....	593
[그림 3-4-9-7] 스마트 매니저 출력 특성 .....	594
[그림 3-4-9-8] 스마트 코디네이터 출력 특성 .....	594
[그림 3-4-9-9] 검침내역 - 통합조회 화면 .....	595
[그림 3-4-9-10] 검침내역- 일/월보조회 화면 .....	595
[그림 3-4-9-11] 시간대별 검침 및 사용량 보기 화면 .....	596
[그림 5-2-3-1] Smart Pipeline System 홍보 리플렛 .....	612
[그림 6-1-1-1] 하제라 생산 다양한 토마토 품종 .....	615
[그림 6-2-1-1] 일본 관수로의 부식사례 .....	616
[그림 6-2-1-2] 농업용 관중 비굴차 보수공법 개요도 .....	617
[그림 6-2-1-3] 농업용 관중 비굴착 개보수 공법(일본) .....	617
[그림 6-3-2-1] 수행 기준과 수행 척도의 관계(미국) .....	620



# 제 1 장 연구 과제 개요

## 제 1 절 연구의 배경 및 필요성

### 1. 기술적 측면

#### 가. 국내 농업용수로 현황

- 국내 저수지와 농업용수로는 70년대부터 외국의 차관 및 선진화된 농업토목 도입으로 현대적 대규모의 농업용수로가 설치되어 왔다.
- [표 1-1-1-1]과 같이 2013년 현재 저수지, 보, 양수장, 집수암거, 관정 등의 각종 수원공으로부터 분기되어 설치된 용수로 총 길이는 117,017km로 설치된 용수로의 구조물화 비율은 51.3%이며, 이 중 간선 63.0%로 가장 높고, 지선 53.6%, 지거 42.4%로 가장 낮게 조사되었다(한국농어촌공사, 2013).

[표 1-1-1-1] 농업용수로 설치 및 구조물화 현황(한국농어촌공사, 2013)

구분	계(km)	토공(km)	구조물(km)	구조물화비율(%)
용수로 계	117,017	56,953	60,064	51.3
간선	30,714	11,379	19,335	63.0
지선	36,941	17,147	19,793	53.6
지거	49,363	28,427	20,936	42.4

- 현재 농업용수로는 지자체와 한국농어촌공사가 분할하여 관리하고 있으며, 지자체측에서 관리하는 농업용수로 총 길이는 53,572km이고, 한국농어촌공사측에서 관리하는 농업용수로의 총 길이는 63,445km이다.
- 지자체 관리 농업용수로의 구조물화비율은 43.1%이며, 이 중 간선 45.5%, 지선 42.7%, 지거 41.9% 이고, 한국농어촌공사에서 관리하는 농업용수로의 구조물화 비율은 58.3%이며, 간선 77.2%, 지선 64.7%, 지거 42.8%로 조사되어 구조화비율은 점차적으로 늘어나고 있는 추세이다([표 1-1-1-2] 참조).

[표 1-1-1-2] 농업용수로 연도별 구조물화 비율(한국농어촌공사, 2013)

연도	1998	2000	2003	2013
구조물화비율(%)	32.6	36.5	40.5	51.3

- 하지만, 수리시설 개보수사업 대상지 일제조사 결과 보고서에 따르면 한국농어촌공사에서 관리하는 용수간·지선의 노선별 시설상태는 [표 1-1-1-3]과 같이 양호한 상태 48%, 보통 상태 30%, 불량한 상태 22%로 부분적 또는 전면 개보수가 필요한 보통이하의 시설상태는 52%인 것으로 분석되었다(한국농어촌공사, 2014).

[표 1-1-1-3] 평야부 용수로 노선별 시설상태 평가결과(한국농어촌공사, 2013)

평점구분	합계		용수간선		용수지선		비고
	노선	비율(%)	노선	비율(%)	노선	비율(%)	
합계	15,093	100	4,243	100	10,850	100	
A	1,742	11.6	394	9.3	1,348	12.4	매우 양호
B	5,478	36.3	1,542	36.4	3,936	36.2	양호
C	4,531	30.0	1,355	31.9	3,176	29.4	보통
D	3,342	22.1	952	22.4	2,390	22.0	불량
E	-	-	-	-	-	-	매우 불량

- 국내에 설치된 용수로는 제형 토공수로, 제형 콘크리트라이닝수로, 직사각형 콘크리트개거, 원형 및 직사각형 콘크리트 관수로, 마제형 터널수로, 원형 강관수로, 원형 PE관수로 등 그 재질과 형상이 매우 다양하다. 현재 관수로에 이용되고 있는 관의 종류와 특성은 [표 1-1-1-4]와 같다(농림수산식품부, 2009).

[표 1-1-1-4] 관수로용 관의 종류와 특성

관종		규격	관경(mm)	특징	
강성관	콘크리트관	KS F 4403 KS F 4405	150~2,000	-내식성과 강도가 큼 -중량이 무겁음 -이음매의 신뢰도가 낮음	
	덕타일주철관	KS D 4311	80~1,200	-강도, 내구성, 내식성이 우수함.	
연성관	강관	상수도용 도복장 강관 일반용수용	KS D 3565 KS D 3589 KS D 3607 KS D 3626	80~3,000	-강도, 내구성, 인성, 연성이 좋음 -내충격성이 우수함 -이음의 수밀성이 높고 내진성이 우수함. -부식에 약함.
	염화비닐관(PVC)	고강도폴리염화비닐관(HIVP-GOLD)	KS M 3401	16~300	-경량이며 내식성, 내전식성임. -관경의 다양성이 부족함.
	폴리에틸렌관(PE)	수도용 폴리에틸렌관(HDPE)	KS M 3408	16~300 350~600	-가볍고 시공성이 우수함. -내충격성, 내약성, 내식성, 내전식성이 우수함.
	강화 플라스틱 복합관(FRPM)		KS M 3333	200~3,000	-가볍고 운반시공이 용이함. -내충격성, 내식성, 내전식성, 내마모성 우수함.

## 나. 국내 농업용 관수로 현황

- 농업용 관수로는 농업용수를 수원공 시설에서 말단 포장까지 압력관로로 송·배수하기 위한 수로 조직을 말하며, 관로와 부대시설로 구성된다. 관수로는 수리적으로는 자유 수면이 없는 만관형태의 수로를 의미하며, 농업용 관수로는 개수로에 비해 아래 [표 1-1-1-5]와 같은 장단점이 있다.

[표 1-1-1-5] 농업용 개수로 및 관수로의 장단점

구분	개수로	관수로
장점	-대용량 도수가 가능함. -용배수 겸용이 가능함. -시공 및 보수가 용이함. -공사비가 저렴함.	-관개수로의 용지 비용이 절감됨. -농기계의 통행이 용이함. -용수 오염이 방지됨. -지형의 제한이나 영향이 적음.
단점	-침투, 증발 등의 손실이 많음. -수질오염의 우려가 큼. -지형적 제약이 있음.	-초기 시설비가 높음. -가압시설이 필요함. -설계용량 이상 통수가 불가능함.

- 하지만, 유지관리성과 초기투자비용 등 막대한 예산 투자소지로 위 관수로의 채택은 매우 낮은 상태이다. 그러나 관수로는 개수로에 비해 손실수량이 적고, 유지관리가 용이하기 때문에 농업용수 관리를 위해서는 반드시 확대 적용이 필요하며 최근 가뭄으로 인한 수자원 확보 곤란으로 점차적으로 늘어나고 있는 추세이다.
- 한국농어촌공사에서 관리되고 있는 저수지는 1개 소당 평균저수량이 736천m<sup>3</sup>에 불과한 소규모 시설이 대부분이며, 연평균 저수율 30%이하 발생빈도가 1.6회로 단기간의 무강우 시 가뭄에 노출되는 등 지역적 소규모 저수지 개발에 따른 급수능력의 한계를 근본적으로 가지고 있다.
- 특히, 준공 후 30년 이상 경과된 노후시설이 7,200여개소로 전체의 55%(저수지의 경우 87%)에 달하고, [표 1-1-1-6]과 같이 용·배수로 중 관수로 42.2%, 토공이 57.8%로 흙수로의 비율이 상대적으로 높아 농업용수 관리 효율성이 저하되고 있는 실정이다.

[표 1-1-1-6] 전국 농업용 용·배수로 현황(RAWRIS 농촌용수 종합정보시스템) (단위: km)

구분	전국(km)	용수로(km)	배수로(km)
계	185,452	116,904	68,548
토공	107,158	57,838	49,320
구조물	78,294	59,066	19,228

- 또한 [그림 1-1-1-1]과 같이 최근 토지이용의 다각화에 따라 토지를 시설농업단지, 채종단지, 친환경축산, 농 식품가공 및 물류지원, 관광농업 등 8개 용도로 구분하여 다목적으로 이용하기 시작하였다.



[그림 1-1-1-1] 토지이용 다각화 개념도

- 농업용수의 효율적인 이용을 위한 수로형태의 변화는 개수로 중심에서 관수로 중심으로 진화하고 있는 상황으로, 안정성과 내구성을 갖춘 농업용 관중선정이 유지관리 비용 측면에서 중요한 설계인자이다.

#### 다. 지능적 운영관리 시스템의 필요성

- 농업용수는 수자원 중에서 사용량이 가장 많은 비중을 차지하고 있기 때문에 농업용수의 효율적 관리는 수자원의 효율적 관리와도 직결되므로, 농촌용수를 절약할 수 있는 과학적인 용수관리기법 도입이 필요하며, 농업 수리시설의 효율적이고, 현대화된 관리를 위해서는 시설관리의 자동화·전산화가 필수적이다.
- 지구온난화 및 이상기후에 의한 수문학적인 변동은 국가 수자원 관리체계에 대해 지속적으로 위협을 가하고 있는 실정으로, 국가성장동력으로 신재생 에너지 등의 대체에너지 개발뿐만 아니라 수자원 에너지의 확보 및 관리 기술에 대한 기술개발이 적극적으로 추진되고 있다.
- 특히 물 부족 발생지역과 잉여수자원 확보 지역에 대한 효율적인 용수배분 및 공급 시스템을 제공할 수 있는 스마트 워터그리드의 개념을 도입한 새로운 형태의 농촌용수 배분 및 공급 시스템 개발이 필요하다.
- 농촌용수 공급 시스템의 수요예측, 취수량제어, 누수관리, 수질관리, 시설물관리 등에 대한 통합관리 및 연계운영에 대한 연구가 부족한 상황이다. 따라서 시설물을 실시간 감시, 제어 및 통합 운영할 수 있는 지능형 플랫폼 기술 개발이 절실한 상황이다.
- 농업용 수자원의 확보, 안정적인 용수의 배분과 공급, 농촌용수 AMI 구축 등 농촌용수 파이프라인의 정보화와 지능화를 구현하기 위하여 첨단 정보통신기술(ICT) 도입 필요하며, 관수로 시스템의 구축을 통해, 고효율, 저비용, 고신뢰성의 농촌용수공급 시스템의 도입이 요구된다.
- 전국 농촌용수 관리 자동화 도입에 따라 농업용수의 효율적 이용, 용수의 합리적 균등배분, 농업용수의 다목적 이용, 수리시설 관리원 및 전력요금 등 물 관리 비용 절감, 시설보전과 재해의 예방 및 경감, 물 관리 기술의 선진화 등의 기대효과를 달성할 것으로 전망하고 있다.

- 우리나라에 특히 비약적인 발전을 이루고 있는 ICT기술, 모니터링 기법을 관수로 시스템에 접목함으로써 융합기술을 개발하고 이를 선진국 수준으로 끌어올려 해외시장 진출의 발판을 삼도록 한다.

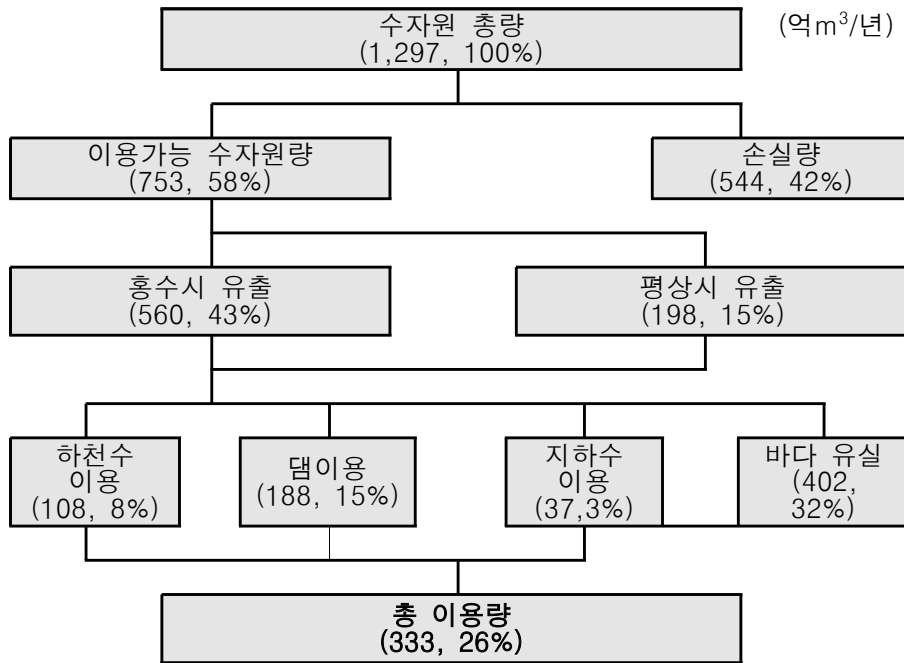
## 라. 관수로 유지관리 기술의 필요성

- 일반적으로 농업용 관수로의 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 관리운영에 만전을 기할 필요가 있다. 이를 위해서는 부식을 고려한 관중선정 및 지능적 운영관리 체계를 구축하여 스마트한 유지관리가 이루어 질 수 있도록 하여야한다.
- 특히, 농촌에 산재되어 매설된 농업용 배관은 지역이나 용도에 따른 차이가 있지만, 년중 6개월간만 사용되는 관계로 상수도와는 달리 관이 파손되거나 파손에 의한 누수가 발생되더라도 운영자나 사용자가 관의 이상 유무를 판단하기 매우 어려운 상황이다. 따라서 관의 파손 및 용수의 누수를 보다 쉽게 파악할 수 있는 운영관리 시스템이 필요한 실정이다.
- 한편, 농업용 관수로의 설계 시에 용수 수질이나 토질, 주변 환경 등을 고려하여 적절한 재질의 관이 선정되어야 외부 요인에 의한 파손 등에 안정성과 내구성을 확보할 수 있다. 그러나, 아직까지 관중 선정에 대한 세부적인 가이드라인이 설정되어 있지 않아 이에 대한 제시가 필요한 상황이다.

## 2. 사회, 경제적 측면

### 가. 국내 수자원 이용현황

- 우리나라 수자원 총량은 연간 1,297억m<sup>3</sup>으로 세계평균의 1.6배에 달하지만, 1인당/년 강수량은 세계평균의 1/6 수준에 불과하다.
- 또한, 해에 따라 강수량의 변화폭이 커서 가뭄과 홍수피해가 잦으며 연간 강수에서 얻어지는 수자원 이용량 역시 총량의 약 80%가 증발, 침투, 홍수 등으로 소실되고 나머지 333억m<sup>3</sup>(수자원총량의 26%)만이 농업용수 48%(159억m<sup>3</sup>), 생활용수 23%(75억m<sup>3</sup>), 공업용수 6%(21억m<sup>3</sup>), 유지용수 23%(78억m<sup>3</sup>) 등으로 이용되고 있는 실정이다(국토교통부, 2011).
- 수자원 부존량에 비해 이용수량이 26%에 불과한 것은 하천의 갈수량이 적다는 것을 의미하며, 가뭄이 들면 중소하천이 거의 고갈상태가 되어 심한 용수부족 현상을 빚는 결과를 초래할 수 있음을 의미한다.
- 수자원 관리차원에서 용수시설은 5대 하천을 중심으로 다목적댐과 하구언을 비롯한 중소하천유역에 생활용수, 공·농업용수 확보를 위한 중소규모의 댐, 저수지를 축조하였으며, 하천 연안을 따라 양수시설이나 보 등을 설치·운영하고 있다.



[그림 1-1-2-1] 국내 수자원 이용 현황

## 나. 물부족 현상의 심화 및 향후 전망

- 물 부족 현상은 심각한 사회문제 중의 하나가 되고 있으며 물 부족 문제를 극복하는 방법으로서 공급 확대와 수요 절감 등이 있으나, 새로운 댐의 건설을 통한 공급 증대는 댐 적지 부족, 환경보전 욕구 증대와 같은 문제로 점점 더 어려워지고 있어 수요 절감 방법들이 강하게 요구되고 있다.
- 농업용수는 우리나라 수자원 중에서 가장 높은 비중을 차지하기 때문에 농업용수의 효율적 관리는 수자원의 효율적 관리와도 직결되며, 이에 따라 농촌지역에서 관개용수를 절약할 수 있는 과학적인 농업용수 관리기법 도입이 필요하다.
- 이스라엘은 1인당 최대 물 공급가능량이 연간 300t으로 한국(1200t)의 4분의 1의 수준에 불과한 물 기근 국가로 분류되나, 식량자급율은 한국의 식량자급율 22%에 비해 월등히 높은 70%에 달하고 있다. 이는 국가 차원의 철저한 수자원 관리와 물의 재이용 사업 등에 힘입은 바가 크며, 우선 농업용수를 대부분 파이프라인으로 공급해 누수는 물론 사막의 따가운 햇볕으로 인한 증발을 막고 있다.
- 또한, 전체 생활하수(7억m<sup>3</sup>)의 38%(2억7000만m<sup>3</sup>)를 처리해 농업용수로 재활용하고 있다. 이는 전체 농업용수(9억m<sup>3</sup>)의 3분의 1이나 되는 많은 양으로 파이프라인을 이용해 물을 공급하는 관수로를 적용하여 기존 흙수로의 물 손실을 막는 한편 논이 필요한 만큼만의 물을 공급할 수 있다. 특히 최소의 물로 최대의 수확을 올리는 경작농법의 보급 확대를 통하여 농업용수 관리 기술을 더욱 발전시키고 있다.
- 국내 농업용수는 전체 수자원의 절반가량을 논·밭 경작에 활용하는 식량수로 사용하고 있으며, 문제는 이 중 80% 정도를 논농사에 사용하고 있고, 논농사는 물 속에서 벼를 재배하는 담수관개형으로 물을 방울 단위로 공급하는 이스라엘에 비해 물 낭비가 클 수밖에 없는 실정이다.



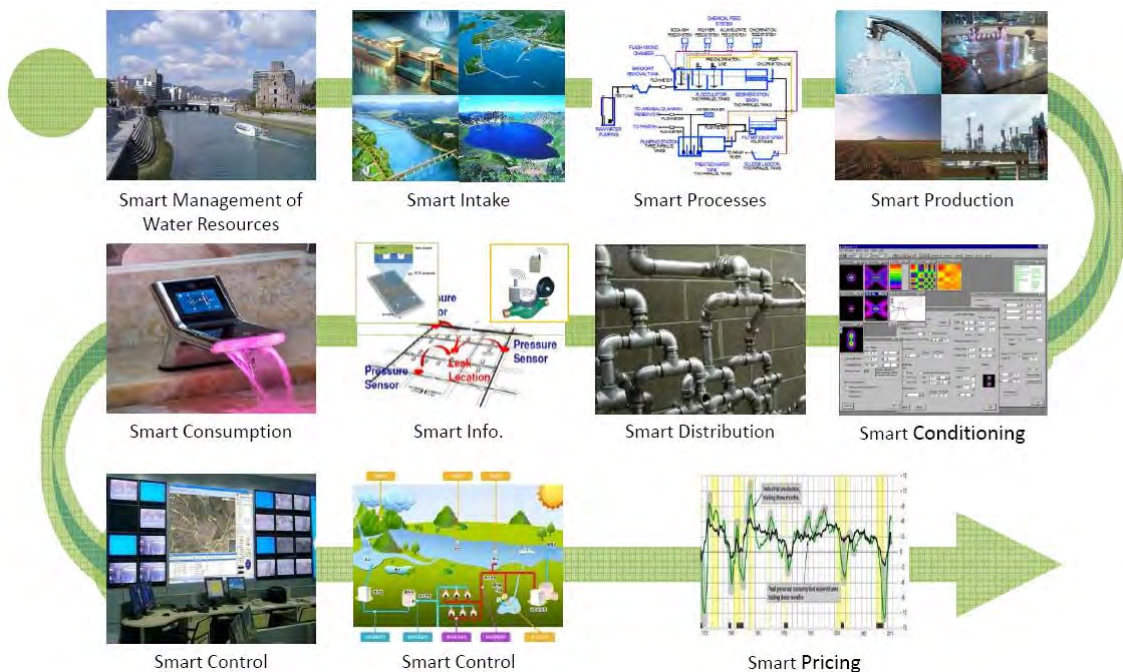
## 다. 수자원 패러다임 및 정책 변화

### ○ 수자원 패러다임의 변화

- 기존에는 물 부족을 해결하기 위하여 직접적으로 부족한 물을 확보하는 것에 중점을 두었으며, 이에 따라 기존 수원 및 용수 관리, 대체수자원 확보, 양적 확보, 시설 확장 등에 치중하여 상대적으로 운영관리는 미흡하다.
- 수자원의 효율적인 분배를 위하여 다양한 물 정보를 수집, 축적하여 관리할 수 있는 자료수집 체계의 구축이 필요하며, 급속하게 발전하고 있는 최신 정보통신(Information Technology) 기술을 통하여 물 정보 관리를 용이하게 할 수 있다.
- 수자원 관리는 기존의 중앙 집중형에서 분산형으로 물 공급 및 관리 체계가 변화하고 있으며, 물 부족 문제 해결, 수자원 자립도 향상, 효율적인 용수 배분 및 공급 등을 달성하기 위한 정책적 지원이 활발하다.

### ○ 국가적 차원의 물 산업 육성

- 중앙정부 주도하에 범부처적으로 지능형 운영관리 기술, SWG(Smart Water Grid) 기술 등 Blue Gold의 물 산업 시장을 주도할 수 있는 원천기술을 확보에 주력하고 있음
- 또한, 개발 기술을 적극적으로 상용화할 수 있도록 실증공간을 확보하여 적극 활용할 수 있도록 지원하고 있으며, 이를 통해 해외진출의 기반을 조성
- 물 산업 육성은 향후 정부와 민간의 적극적인 협력이 기대되고 있으며, 생활용수, 공업용수뿐만 아니라 농업용수 분야에도 적극 활용할 수 있을 것으로 기대



[그림 1-1-2-2] 스마트 워터그리드 개념도[출처 : 2011 IWA Workshop, GIST]

### ○ 국가 물 산업 정책 추진 현황

- 정부의 물 산업 지원정책과 관련된 법률 현황은 다음과 같으며, 농촌용수 물 관리 정보화사업은 국무총리실 ‘물관리종합대책 기본계획’, 국무총리실 ‘물관리정보화 기본계획’, 건설교통부 ‘물관리정보표준화 기본전략’, 하천법 제19조(수자원자료의 정보화),

농어촌정비법 제18조 2항 및 시행령 제21조 제2항에 근거하여 추진되고 있다.

[표 1-1-2-1] 수자원 관련 법률

구분	관련 법률	주요 내용	비고
수량 관리	하천법	- 하천 사용의 이익을 증진하고 하천을 자연친화적으로 정비·보전하며 적정수량 관리를 통한 피해 예방	국토해양부
	댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률	- 댐의 건설·관리 및 건설비용의 활용, 댐건설에 따른 환경대책, 지역주민에 대한 지원 등에 관하여 규정	
	지하수법	- 지하수의 적절한 개발·이용과 효율적인 보전·관리에 관한 사항을 정함으로써 적정 지하수개발 및 이용	
	농어촌정비법	- 농업용수 개발 등의 농업생산기반, 농어촌 생활환경, 농어촌 관광휴양 자원 및 한계농지 등을 종합적·체계적으로 정비·개발	농림수산식품부
	수도법	- 수도에 관한 종합적인 계획을 수립하고 수도를 적정하고 합리적으로 설치·관리	환경부
수질 관리	수질 및 수생태계 보전에 관한 법률	- 수질오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위하여를 예방 및 하천·호소 등 공공수역의 수질 및 수생태계를 적정 관리·보전	환경부
	4대강 특별법	- 4대강 수계의 상수원을 적절하게 관리하고 상수원 상류 지역의 수질개선 및 주민지원 사업을 효율적으로 추진	
	하수도법	- 하수도의 설치 및 관리의 기준 등을 정함으로써 하수와 분뇨를 적정하게 처리	
	먹는물관리법	- 먹는물의 수질과 위생을 합리적으로 관리	

## 라. 농업용수 이용현황

- 농업용수는 사용 면적이 크기 때문에 필요수량이 많고, 계절적 변동으로 인한 작물재배기간(관개기간)에 대용량의 용수가 집중적으로 사용되어 부족량 확보 및 수로관리가 매우 중요하다.
- 국내 농업용수 구역 내의 용수 수요량은 국내 총 물수요량 255억m<sup>3</sup>(2007년 기준) 중 농업용수는 약 62%에 해당하는 159억m<sup>3</sup>으로 가용 수자원 중에서 차지하는 비중이 가장 크며, 이는 2020년에도 크게 줄어들지 않을 것으로 예측되고 있다([표 1-1-2-2] 참조).

[표 1-1-2-2] 분야별 수자원 이용 현황

(억m<sup>3</sup>/년)

구분	1980	1990	1998	2003	2007	2020
물 수요량	128 (100%)	213 (100%)	260 (100%)	262 (100%)	255 (100%)	264 (100%)
생활 용수	19 (15%)	42 (20%)	73 (28%)	76 (29%)	75 (29%)	78 (30%)
공업 용수	7 (5%)	24 (11%)	29 (11%)	26 (10%)	21 (8%)	32 (12%)
농업 용수	102 (80%)	147 (69%)	158 (61%)	160 (61%)	159 (62%)	159 (58%)

- 한편, 용수구역 내(시·군 관리면적 포함) 수원공 시설을 이용한 농어촌용수 공급량은 '06년 기준 103억m<sup>3</sup>으로 시설물 공급률의 59.9%에 해당되지만, 농경지 내의 용·배수로

분리, 밭관개 증가, 영농방식의 변화(이앙재배 → 직파재배), 온실재배에 의한 4계절 용수 공급 등 농업환경이 변화하고 있어 논관개 경지면적이 감소함에도 불구하고 작부체계의 변경으로 농업용수의 수요량은 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다.(농림부, 2002).

- 이에 따라 한국농어촌공사 및 지자체는 수로의 구조변화,물관리자동화시스템(TM/TC) 등 다양한 사업을 추진하고 도입시켜 수요량을 절감시키고자 하는 노력이 이루어지고 있다.(한국농어촌공사, 2013).
- 하지만, 수자원 확보를 위한 추가적인 개발에 있어 환경문제에 따른 환경보전 욕구 증대, 민원으로 인한 댐 적지 부족 문제 등 정부의 용수 공급확대 추진이 점점 더 어려워지고 있는 상황임을 고려할 때 용수활용에 대한 수요절감 대책방안은 더욱 강하게 요구되고 있는 상황이다.
- 아래 [표 1-1-2-3]는 농어촌용수 수요량 및 시설 공급량 현황을 정리한 표이다.

[표 1-1-2-3] 농어촌 용수 수요량 및 시설 공급량 현황

구분		1999년 이전	2001년	2006년	2011년	2011년 이후	비고
농어촌용수 수요량		17,306	17,452	17,645	17,988	18,796	
수 요 량	농업용수량	15,578	15,941	15,742	15,949	16,339	수자원장기 종합계획 적용
	- 논용수	13,006	13,272	13,040	13,250	13,633	
	- 밭용수	2,572	2,669	2,702	2,699	2,705	
	축산용수	231	241	235	253	268	수자원장기 종합계획 적용
	기타용수량	1,497	1,577	1,677	1,777	1,777	농업 농촌용수 종합이용계획 적용
	- 생활용수	787	838	901	965	965	
	- 공업용수	141	170	207	243	243	
	- 하천유지용수	569	569	569	569	569	
수요절감량	-	-307	-9	+9	+413	수자원장기 종합계획 적용	
시설물공급량		9,149	9,435	10,336	11,087	13,200	
공 급 량	대중규모용수	3,930	4,040	4,534	4,825	5,087	
	소규모용수	2,218	2,218	2,219	2,230	2,334	
	지표수보강	80	89	140	185	433	
	대단위농업	1,856	1,910	2,104	2,268	2,584	
	서남해안간척	215	215	310	410	664	
	양수저류지	-	-	5	22	48	
	농촌용수수계연결	-	-	11	39	382	
	지하수개발	728	804	812	815	968	
	생산기반종합정비	-	-	23	109	109	
	유휴지개발	-	-	2	8	12	
	밭기반정리	122	159	176	176	561	
시설물 공급률(%)	52.9	54.7	59.9	63.3	74.7		

## 제 2 절 연구 개발의 목적 및 내용

### 1. 연구의 목적

- 본 연구는 저류시설을 이용한 광역단위 관수로시스템 개발/ IT 기술 융합 스마트 관수로 운영관리 플랫폼을 구축하여 저에너지/ 고효율의 농업용 스마트 관수로 시스템을 개발함으로써 선진형 첨단 농업생산기반을 구축하여 농업의 생산성 향상에 기여하는 것을 목표로 함.
- ICT 와 농업용 관수로 기술 융합을 통해 저에너지/ 고효율의 농업용 스마트 관수로 시스템을 개발하여 물공급 효율성 제고, 운영관리 비용 절감, 펌프 에너지 절감 등 달성
- 관수로의 안정성 및 내구성 확보를 위하여 부식, 침하, 지진에 강한 관중선정 가이드라인 및 관파손 감지 시스템 개발로 관수로 유지보수 방안 마련, 관파손 감지시스템의 현장성능 평가 및 경제성 분석을 통한 개발시스템의 상용화 기반 마련
- 개수로 시스템 대비 관수로 시스템의 공익적 효과를 검증하기 위한 경제성 분석 기법을 개발하고, 농업용 관수로 시스템에 적합한 수요/공급 알고리즘 및 운영/관리 방안 개발
- AMI 기반의 농업용 관수로 운영관리 시스템으로 사용량 기반의 고효율의 관망운영관리 체계를 구축하여 물 절약 및 운영관리 비용을 절감하는 것을 목표로 함

[표 1-2-1-1] 연구목표 및 연구내용

구분	연구목표	연구내용
제1세부 한국농어촌 공사 농어촌 연구원	고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 논용수 및 밭용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발</li> <li>• 강체수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발</li> <li>• 스마트 파이프라인 시스템 Test-Bed</li> <li>• 농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용</li> </ul>
제1협동 (재)한국 계면공학 연구소	농업용 관수로의 안전성 및 내구성 확보를 위한 대책기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Test-bed 현장 적용성 평가를 통한 최적 농업용 관중 선정 및 설계기술 개발</li> <li>• 부식, 침하, 지진에 강한 관중 선정 가이드라인 마련</li> <li>• 관파손 감지 시스템의 현장성능평가 및 경제성 분석</li> <li>• 관수로 유지보수 방법 고찰</li> </ul>
제2협동 건국대학교	농업용 관수로의 경제성 분석 및 수요공급시스템개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 규모별 농촌용수 공급량 산정 알고리즘 개발</li> <li>• 농촌용수 수요/공급량 산정 알고리즘 개발</li> </ul>
제3협동 이메트릭스 (주)	농촌용수의 파이프라인 운영관 리 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템 핵심 요소기술 도출 및 농촌용수 운영관리 시스템 프로토타입 개발</li> <li>• 운영관리 시스템 지능화 요소기술 개발 및 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 시제품 제작</li> <li>• ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 테스트 및 검증 및 고도화</li> <li>• AMI 유무선 네트워크 및 검증 프로트 타입 개발 및 AMI 운영 소프트웨어 개발</li> </ul>

## 2. 연차별 연구개발 목표 및 내용

[제 1 세부] 한국농어촌공사 농어촌연구원

구분	연도	연구개발 목표	연구개발 내용
1 차 년 도	2013	논용수 및 발용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발	- 저류지 이용 관수로 시스템 조직 모델 개발 - 저압형 논관개 시스템 조직 모델 개발 - 신재생에너지 활용 발관개 시스템 조직 모델 개발
		강체수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발	- 강체수주이론 검토 및 이론 적용 후보지 조사 - 파이프라인 제어시설(펌프, 밸브, 팜폰드) 기능 분석 - 파이프라인 제어시설 알고리즘 개발 - 강체수주 이론 적용 파이프라인 시뮬레이션 알고리즘 개발
		스마트 파이프라인 시스템 Test-Bed	- 스마트 파이프라인 시스템 파일럿 플랜트 기본구상 - 스마트 파이프라인시스템 Test-Bed 선정 운영
		농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용	- 농업용 관수로와 상, 하수 관망 시스템의 유사점 및 차이점 분석 - 농업용수 양수시설 현황 및 특성 분석 - 농업용 관수로 최적화 알고리즘 선정 - 국내외 양수시설 최적운영기술 조사 - 국내외 관거 최적 설계/기술 조사
2 차 년 도	2014	논용수 및 발용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발	- 저류지 이용 관수로 시스템 설계기술 개발 - 저압형 논관개 시스템 설계기술 개발 - 신재생에너지 활용 발관개 시스템 설계기술 개발
		강체수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발	- 강체수주 이론 적용 및 서징해석 프로그램 개발 - 파이프라인 서징해석 시뮬레이션 프로그램 개발
		스마트 파이프라인 시스템 Test-bed	- 스마트 파이프라인 시스템 파일럿 플랜트 기본구상 - 스마트 파이프라인 시스템 Test-bed 선정
		농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용	- 농업용 양수시설 최적화 기법 검토 - 국내외 파이프라인 최적설계 기술 분석 - 파이프라인 시스템/팜폰드/양수시설 최적화 알고리즘 개발 - 진화알고리즘을 이용한 최적설계 기법 개발
3 차 년 도	2015	논용수 및 발용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발	- 저류지 이용 관수로 시스템 설계기술 개발 - 저압형 논관개 시스템 설계기술 개발 - 신재생에너지 활용 발관개 시스템 설계기술 개발
		강체수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발	- 강체수주 이론 적용 및 서징해석 프로그램 개발 - 파이프라인 서징해석 시뮬레이션 프로그램 개발
		스마트 파이프라인 시스템 Test-Bed	- 스마트 파이프라인 시스템 파일럿 플랜트 기본구상 - 스마트 파이프라인시스템 Test-Bed 선정
		농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용	- 농업용 양수시설 최적화 기법 검토 - 국내외 파이프라인 최적설계 기술 분석 - 파이프라인 시스템/팜폰드/양수시설 최적화 알고리즘 개발 - 진화알고리즘을 이용한 최적설계 기법 개발

[제 1 협동] (재)한국계면공학연구소

구분	연도	연구개발 목표	연구개발 내용
1 차 년 도	2013	농업용 관중 선정을 위한 기초자료 조사 분석	- 국내 관수로 현황 조사 및 현장답사 - 농업용 관중 특징 분류 조사 - 농업용 관수로에 사용가능한 관중 분류
		관 재료의 부식 영향인자 고찰	- 부식현상에 대한 이론적 고찰 - 농업용수별 관 재질에 따른 부식실험 및 부식영향 인자 고찰
		농업용 관수로에 적합한 관중의 내구성 평가 연구	- 농업용 관중 선정을 위한 기초자료 조사 - 관중별 물성 특성 및 내구성 평가 방법 고찰
		농업용 관수로에 적합한 관중류에 따른 설계인자 고찰	- 농업용 관중 선정에 대한 설계기준 검토 및 고찰
		농업용 관수로 안전성 확보를 위한 관 파손 감지 시스템 개발	- 관 파손시스템 구성 및 시작품 제작
		농업용 관수로의 관내 압력의 과도현상 (워터해머) 방지기술 연구	- 관내 압력 과도현상에 대한 이론적 고찰 및 한국농어촌공사 영산강사업단 공기변 개산사례 조사
2 차 년 도	2014	농업용수별 lab unit 실험(연속식)을 통한 관 재질별 부식 특성 연구	- 부식현상에 대한 이론적 고찰 - 관중의 농업용수별 부식실험(연속식) 및 부식영향 인자 고찰
		관부식, 침하, 지진에 강한 관수로용 관중 선정을 위한 진단 및 설계기준 최적화	- 노후관 진단기법 및 관 재질별 특성 조사 연구 - 관중 선정 설계기준 최적화 검토 연구
		관 파손감지시스템의 성능평가 연구	- 관 파손감지 시스템 원리 및 구성 - 관 파손감지 시스템 성능 평가 연구
3 차 년 도	2015	Test-bed 현장 적용성 평가를 통한 최적 농업용 관중 선정 및 설계기술 개발	- Test-bed 현장 조건 파악(농업용수 원수 특성 등) - 국내 관수로 현장 적용에 따른 최적 관수로 선정 및 적용 - 관파손 시스템 적용 평가 및 운영 가이드라인 제시
		부식, 침하, 지진에 강한 관중 선정 가이드라인 마련	- 국내 농업용 관수로 사용지역 현장 답사 및 실태분석 (지역/권역별 특성분석, 원수 사용에 따른 관 부식 및 누수여부 등 상태분석) - 원수특성에 맞는 최적 관중 선정 가이드라인 마련
		관파손 감지시스템의 현장성능평가 및 경제성 분석	- 시스템 현장적용 및 현장 성능평가 (파손위치 정확도 평가, 감시장치 성능 평가, 누수감지 성능 평가) - 기존 기술대비 초기 설치비/운영유지비 등 경제성 분석 (VE/LCC)
		관수로 유지보수 방법 고찰	- 국내외 학술자료 분석을 통한 최적 운영 유지방법 도출 - 국내외 관수로 유지방안 관련 보고서 분석/도출 (국내외 논문, 보고서 등 검토)

[제 2 협동] 건국대학교

구분	연도	연구개발 목표	연구개발 내용
1 차년도	2013	국내·외 관개수로 현황 및 변동추세 조사	- 국내·외 농업생산 기반시설 현황 및 변천과정 특성 파악
		관수로 적용에 의한 용수절감 효과 분석	- 관수로 적용에 의한 용수절감 효과 분석
		농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석	- 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석
2 차년도	2014	농촌용수 수요/공급량 산정 알고리즘 개발	- 기존 수요량 산정 방법의 장·단점을 분석하여 개선된 수요량 산정 알고리즘 개발
			- 기존 공급량 산정 방법의 장·단점을 분석하여 관수로 시스템에 적합한 공급량 산정 알고리즘 개발
			- 개발된 수요량 및 공급량 산정 알고리즘의 현장 적용을 통한 적용성 검토
3 차년도	2015	규모별 농촌용수 수요량 산정 알고리즘 개발	- 국내·외에서 필요수량 산정방법 분석 및 문제점 개선 - 지역적 물이용 특성을 고려한 수요량 산정 알고리즘 개발
		규모별 농촌용수 공급량 산정 알고리즘 개발	- 기존 개수로/관수로 관개지구 공급량 산정방법 분석 및 문제점 개선 - 관수로 시스템에 적합한 공급량 산정 알고리즘 개발. - 용수공급 범위를 대, 중, 소규모로 구분하여 규모별/관개시기별 최적 알고리즘을 개발
		농촌용수 수요/공급량 산정 알고리즘 개발	- 개선된 수요/공급량 산정 알고리즘을 이용하여 현장 계측 및 모의를 통한 관수로 시스템의 수요/공급량 산정 알고리즘 개발

[제 3 협동] 이메트릭스(주)

구분	연도	연구개발 목표	연구개발 내용
1 차년도	2013	농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템 핵심 요소기술 도출	- 농촌용수 운영관리 시스템 국내외 기술현황 및 적용사례 조사 - 농촌용수 계측자료 조사 및 요소기술 개발을 위한 분석 - 농촌용수 파이프라인 운영인자 도출 및 적용방안 수립
		농촌용수 운영관리 시스템 프로토타입 개발	- 운영관리 시스템 기능 요구사항 도출 및 시스템 구성방안 수립 - 운영관리 프로그램 프로토타입 개발
		유무선 AMI 네트워크 요구사항 분석 및 지능형 노드 개발	- AMI 시스템의 네트워크 토폴로지 연구 - 유량계, 수압계, 토양수분센서 데이터 수집을 위한 지능형 노드 개발
2 차년도	2014	운영관리 시스템 지능화 요소기술 개발	- 시스템 기능 적용을 위한 요소기술 적용 및 로직 작성(조정지 운영/누수 모니터링/관망해석/공급량 대비 사용량 분석 등)
		지능형 파이프라인 운영관리 시스템 시제품 제작	- 시스템 업무 흐름 및 기능 정의 - 시스템 프로세스 정의 및 분석 - 시스템 화면 설계 - 시스템 데이터베이스 설계 - 운영관리 시스템 시제품 제작
		AMI 시스템 프로토타입 및 운영 소프트웨어 개발	- AMI 시스템을 위한 무선 네트워크 기술 개발 - AMI 네트워킹 모듈 검증 프로토타입 및 운영 소프트웨어 개발
3 차년도	2015	ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 테스트 및 검증	- 시스템 테스트 및 프로그램 기능 검증 - AMI 시스템 연계 구축 및 기능 구현
		ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 고도화	- 테스트 결과를 반영한 시스템 기능 고도화 - 시스템 표준화 방안 수립 - 시스템 매뉴얼 및 운영관리 지침 제시
		농촌용수 AMI 시스템 현장 적용	- 농촌용수 전용 AMI 시스템의 현장적용 및 운영

### 제 3 절 연구 추진방법 및 체계

#### 1. 연구 추진방법

##### 가. 다학제적 융복합 기술개발 및 과제별 연계성 확보

- 다학제적 융복합 기술개발을 통해 사업화 기반 마련
- 기술의 통합화를 통해 유관기술과의 연계성을 극대화
- 산·학·연·관 분야별 전문가 협력체계 네트워크 구축
- 각 분야별 전문가 집단 자문위원회 구축 및 활용

##### 나. 연구개발 목표달성을 위한 기술정보 수집

- 관수로, IT 분야를 망라한 체계적 기술정보수집
- 개발기술 조기활용 및 실용화를 위한 테스트베드 구축방안
- 현장성 및 기술간 신용복합을 고려한 최적 표준설계안 도출
- 핵심 원천/상용화 기술을 개발
- 핵심 원천/상용화 기술을 개발하고, 개발 기술의 상용화 달성하여 해외 수출
- ICT 기술 활용 세계 최고 수준의 농업용 스마트 파이프라인 상용화 시스템 구축



[그림 1-3-1-1] 연구 목표 달성을 위한 연구 추진 전략



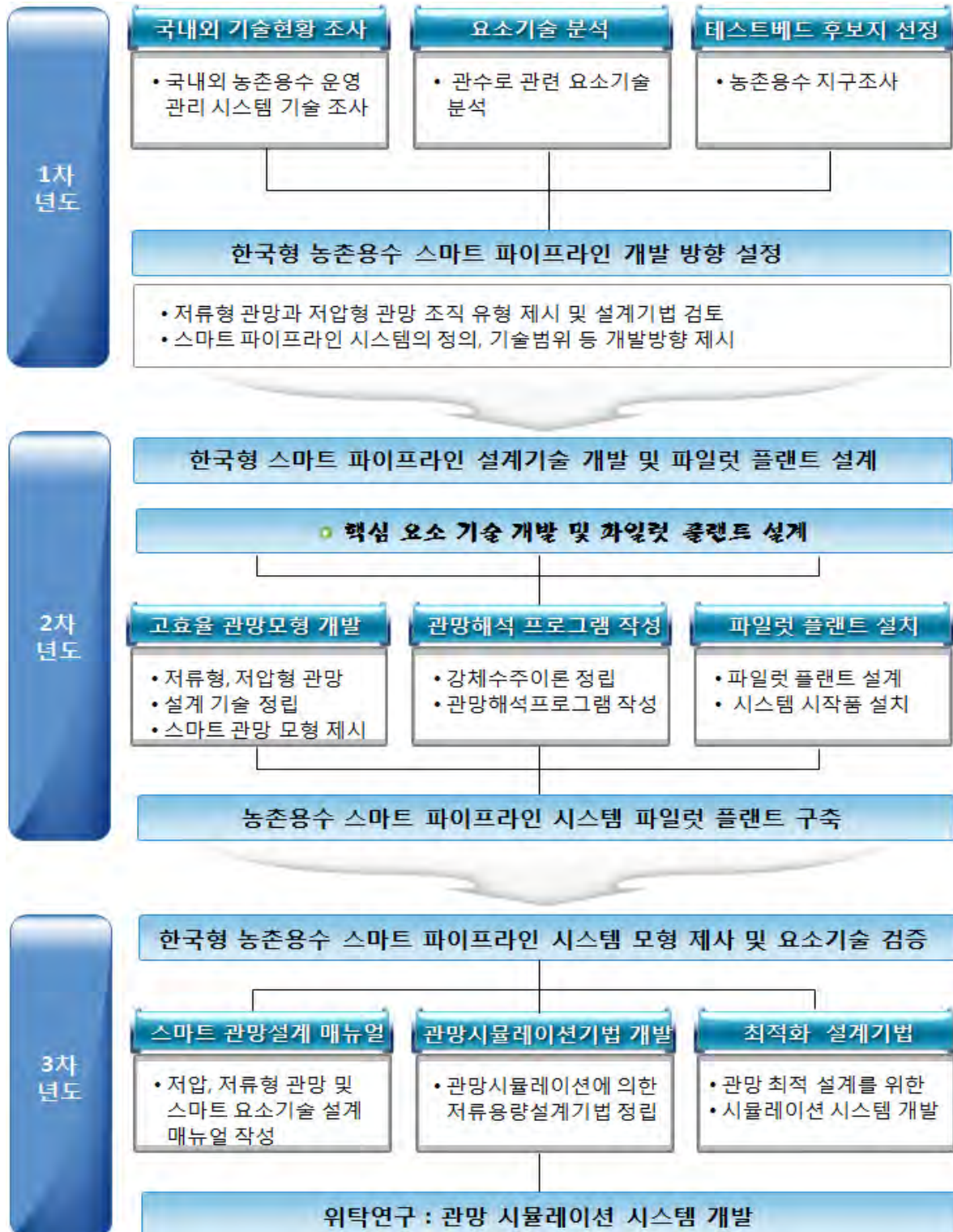
## 2. 연구수행체계

- 본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원(주관기관), (재)한국계면공학연구소, 건국대학교, 이메트릭스(주) 등 협동기관과 3개 위탁기관 및 참여기업의 공동연구로 추진하였다.



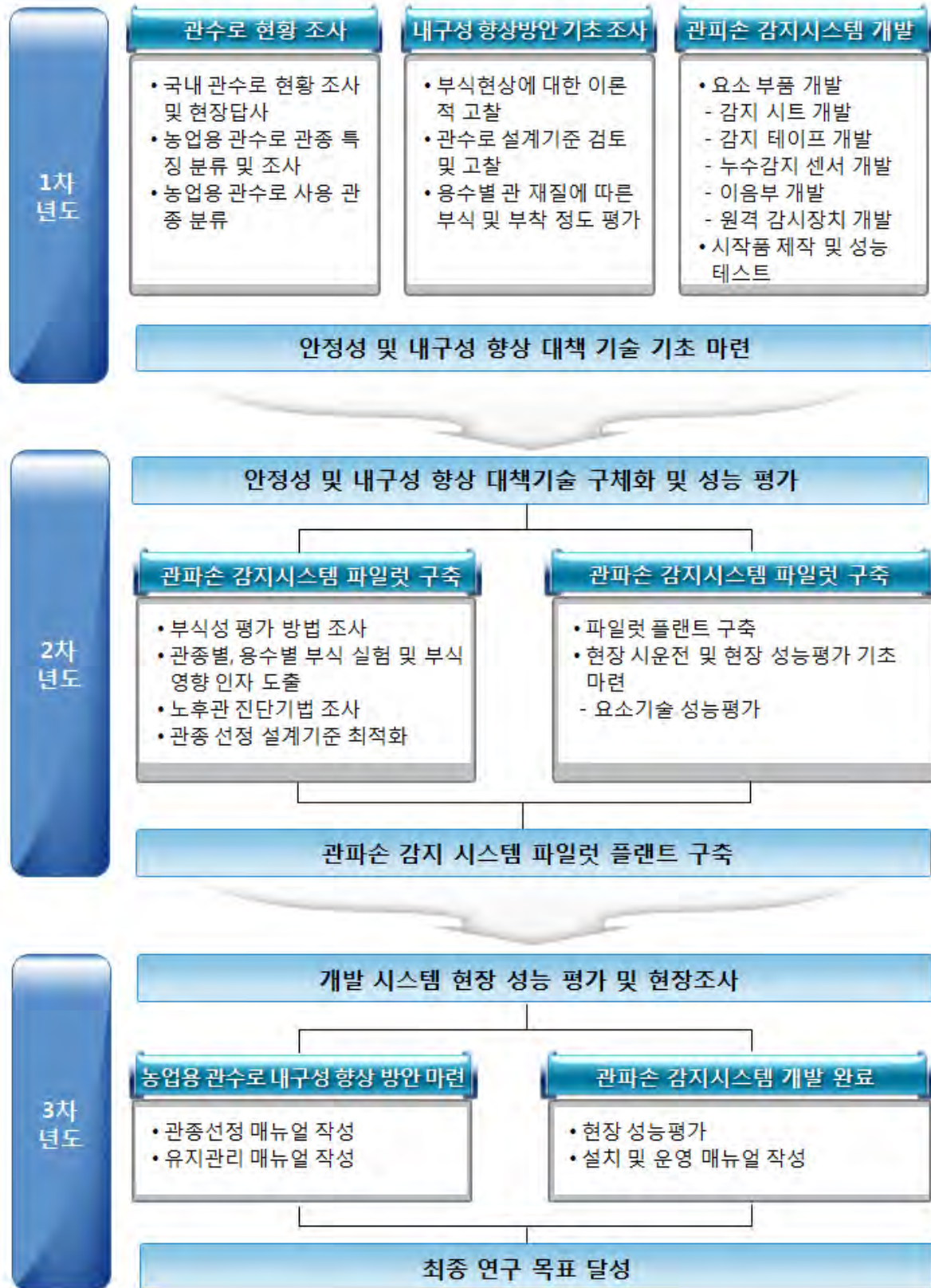
### 3. 기관별 과제 추진체계

#### 가. 한국농어촌공사 농어촌연구원



[그림 1-3-3-1] 연차별 추진체계 - 농어촌연구원

나. (재)한국계면공학연구소



[그림 1-3-3-2] 연차별 추진체계 - (재)한국계면공학연구소



다. 건국대학교



[그림 1-3-3-3] 연차별 추진체계 - 건국대

라. 이메트릭스(주)



[그림 1-3-3-4] 연차별 추진체계 - 이메트릭스(주)

## 제 2 장 국내외 기술개발 동향

### 제 1 절 국내외 관수로 기술 개발 현황

#### 1. 수자원 정보 및 운영관리 기술

○ 주요 수자원 정보 분석 및 제공 체계

- 물관리 미국 지질조사국(USGS): 실시간 물정보, 재해관련 정보, 수질관련 정보 등 다양한 수자원 관련 정보를 GIS기반으로 제공하고 있으며, 기초 수문자료부터 관련 연구를 위한 기장자료까지 지원하고 있음.
- 미국 내무성 개척국(USBR): 홈페이지를 통해 개척 프로젝트 단위별로 저수지를 포함한 댐, 그와 관련된 제원 및 수치정보를 제고하고 있음.
- 영국 환경청: 홈페이지를 통해 대기, 토양, 홍수, 수질 등 환경과 관련한 여러 정보, 호수 위험지도를 제고하며, 실시간 홍수관련 정보가 상세히 제공되며 타 분야는 보고서 형식의 자료 또는 설명 자료로 제공하고 다양한 분야의 정보를 주제도 형식으로 제공하고 있음.

○ IBM의 수자원 관리 서비스 [미국]

- IBM은 IT기술을 활용하여 수자원 관리 관련 다양한 서비스를 제공하고 있음.

[표 2-1-1-1] IBM사가 제공하는 수자원 관리 관련 서비스

서비스명	세부 내용
Water Infrastructure	수자원을 측정하기 위한 센싱 시스템 제공
Water Metering	수자원 활용 상황에 대한 실시간 정보를 제공하여 수자원 관리 측면의 개성 도모
Water Utilities	수자원 관리를 위한 통합, 분석 및 시각화 등 제공
Natural Water Resources	비즈니스 로직, 운영 효율적인 접근을 통해 물 오염에 대응하기 위한 의사결정에 도움을 주는 서비스
Green Sigma for Water	수자원 관련 비즈니스 컨설팅 서비스

○ National Smart Water Grid TM [미국]

- 중부지역의 하천으로부터 콜로라도 강과 서부지역으로 물을 이송하는 새로운 형태의 수자원 관리방안을 제시하고 있으며, 관로를 통한 국가차원의 수자원 이송계획을 수립하였음.

○ Mekort(Israel National Water Company) [이스라엘]

- 이스라엘 정부에서 Mekort를 포함한 물 관련 산·학·연을 “Waterfronts“라는 이름의 협력추진 조직을 만들어 물 관련 기술을 개발하고 있음.
- 사막에 적용되는 Drip irrigation을 이용하여 작물을 재배하는 기술, 하수 재이용, 세계에 서 가장 규모가 큰 담수화 설비 제작 기술 개발을 진행하고 있음.

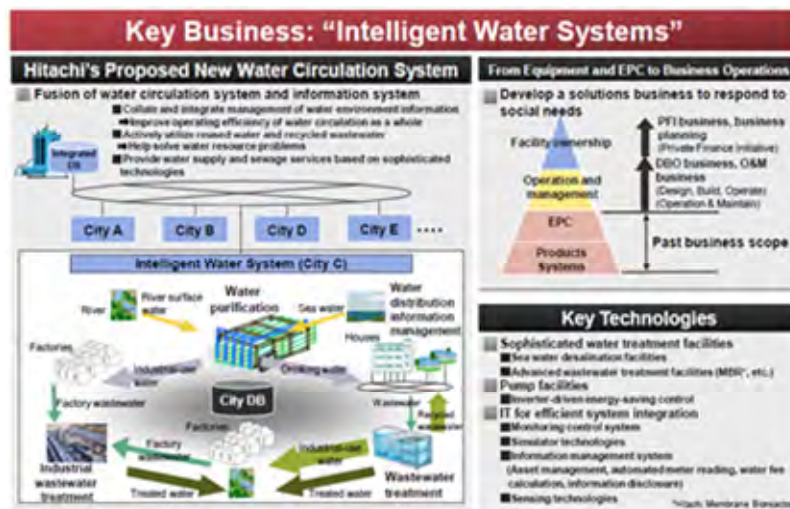


○ Fukuoka District Waterworks Agency(FDWA) [일본]

- 자사의 서비스영역에서 마실 수 있는 물의 양을 증가시켜 자사의 230만 고객에게 충분한 물 공급을 목표로하여 개발 중에 있음.
- IBM의 소프트웨어를 적용하여 담수플랜트에서 생산되는 물이 식용으로 가능하도록 추진할 계획임.

○ Hitachi의 “Intelligent Water Systems“ [일본 ]

- Hitachi는 물산업분야 새로운 성장전략의 일환으로 자사의 지능형 물관리시스템(Intelligent Water Systems)를 제안하고 있음.
- 기존의 장비산업중심의 물 산업에서 비즈니스솔루션을 제공하는 물 산업으로 이동하기 위한 수단으로 활용하고 있음.
- 운영효율을 높이기 위해 물리적인 물 순환시스템과 물 정보시스템을 통합하는 구조(Water Circulation System)를 제안 하고 있음.
- 핵심기술로 고도수처리기술, 해수담수화설비, 효율적 시스템 통합을 위한 IT기술(모니터링, 시뮬레이션, 정보관리, 센싱)을 선정하고 있음.



[그림 2-1-1-1] Hitachi의 Intelligent Water Systems  
 (출처: Hitachi, Social Infrastructure & Industrial Systems Business Strategy, 2010)

○ 남수복조사업 [중국]

- 중국은 양쯔강의 물을 물 부족이 심각한 북부지역으로 공급하기 위한 남수복조사업을 2014년까지 완료 목표로 추진 중에 있음

2. 관수로 운영관리 기술

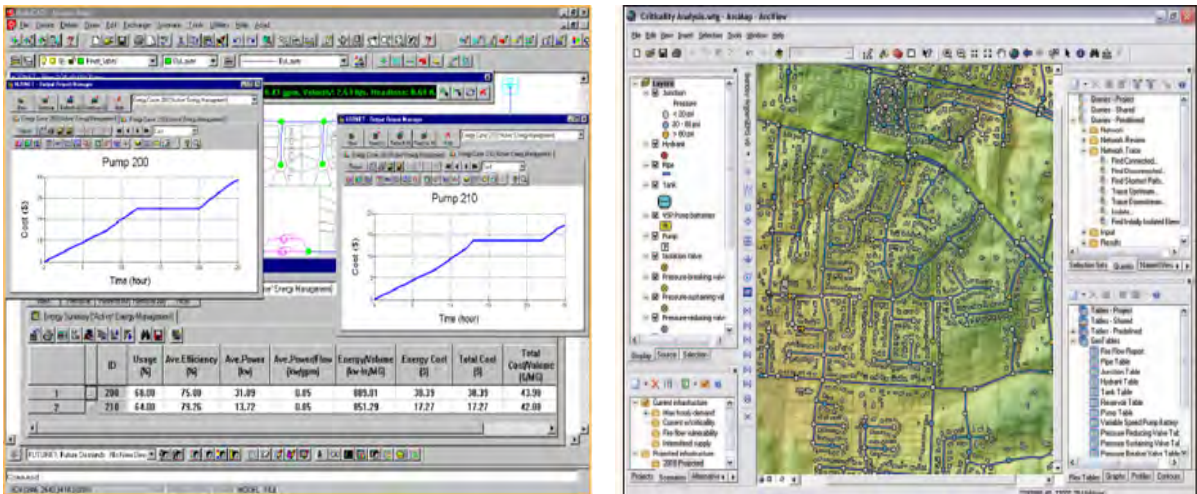
○ 관수로 수리해석 모형

- WaterGemS & WaterCAD - 미국 Bentley사의 관망해석 및 운영관리 프로그램으로 Darwin Calibrator, Darwin Designer, Skelebrator, LoadBuilder, TRex, ModelBuilder, WaterSafe의 7개 내부모듈을 포함하고 있으며, 실시간 해석을 위한 SCADAConnect 외부모

들과 HAMMER(수충격 해석), Bentley Water(자산관리), Projet Wise(DB 관리)의 3개 프로그램과 연계가능토록 개발되어있으며 북미와 남미의 많은 국가에서 관망해석 및 운영관리에 활용되고 있음. 또한, 영국 Exeter 대학의 Dr. Savic의 연구팀은 GA를 바탕으로 관망설계프로그램을 개발하여 Weston INC등과 컨설팅을 하였으며, MWH Soft Inc. 에서 GA를 기반으로 한 펌프 운영의 최적화를 위한 모듈인 H2ONET Scheduler를 출시한 바 있음.

[표 2-1-2-1] 국외 관망 해석 및 최적운영관리 S/W 현황 및 프로그램 별 기능

구 분	AQUIS	Water GemS	InfoWater	MIKE URBAN	Derceto	SynerGEE
관망모형 구축	○	○	○	○	○	○
실시간해석	○	○	○	○	○	○
수량관리	○	○	○	×	○	○
수압관리	○	○	○	○	○	×
수질관리	○	○	○	○	○	○
시설관리	○	○	○	×	×	×
에너지관리	○	○	○	○	○	○
위기관리	○	△	△	×	○	○



[그림 2-1-2-1] 관수로 수치해석 모형(H<sub>2</sub>ONET(좌), WaterGEMS(우))

- 관로시스템의 최적설계에 관한 최근 연구동향은, 불확실성을 가진 변수를 샘플링 기법을 이용하여 관수로를 최적설계 하는 연구가 활발히 진행되고 있음. Babayan et al.(2005)은 Monte Carlo (MC) 방법에 의한 샘플링으로 수요량의 불확실성을 고려하고, 유전자 알고리즘으로 관거 및 펌프비용을 최소화하는 방법을 제안한 바 있음.
- Ostfeld(2008)는 관수로 설계에 있어 펌프운영을 고려한 최소비용설계를 수행. 펌프운영비용과 관거 설계비용을 최소화하는 결과를 얻기 위해서 Ant Colony Optimization을 적용하였음.
- AbdelMeguid(2010) 등은 물공급을 위한 관수로 운영에 있어서 펌프운영을 통한 최적의 에너지 비용절감을 위해서 펌프운영 룰을 제시하는 연구를 수행. 제안된 방법은 펌프운영을 저수지 수위 및 펌프 속도에 의해 조절하는 방법으로 실제 시스템을 대상으로 과거 운영방식과 비교한 결과 우수한 결과를 얻음.
- Pasha(2010) 등은 관수로를 통한 물공급에 있어 수리학적 조건을 충분히 유지하면서 최



소비용의 펌프운영을 결정하는 최적화 알고리즘을 제시. 제시된 알고리즘은 Support Vector Machine를 사용하여 구성되었으며, 최단시간에 최적 해에 가까운 결과를 획득한 바 있음.

#### ○ Pressure Driven Analysis (PDA)

- 비정상상태의 상수관망 해석 시에 DDA (Demand Driven Analysis)를 기본으로 하는 모형들이 갖고 있는 단점들은 PDA를 통해 해결할 수 있지만(Mays, 2003), PDA에서는 절점수두-용수공급량 관계에 의해 절점에서의 공급량이 계속 변하므로 선형화기법(KYPIPE), Gradient Method(EPANET) 등과 같이 기존의 모형에서 사용된 해석방법으로는 해의 탐색이 어려우며, 반복계산방법과 NLP(Non- Linear Programming)을 이용하는 기존의 PDA 모형들은 대규모상수관망의 해석에 많은 시간을 필요로 하며 해를 찾지 못하는 경우도 발생.
- 이와 같은 PDA모형의 단점을 보완하기 위해 Bentley사(2006)는 EPANET에서 수리모의를 위해 사용된 Gradient Method를 수정한 Modified Gradient Method를 이용하여 모의시간을 획기적으로 단축시킨 PDA모듈을 WaterGEMS(V8, XM Edition)모형의 추가모듈로 개발한 바 있음.

#### ○ 관망 최적화 시스템 개발

- 선진 시스템의 경우 여러 시스템의 경우에 다목적 기준에 따른 최적화 기법의 기술 등이 활발히 연구되고 적용되는 추세임.
- 양수시설 운영을 위한 최적화 방식을 관거 해석모형과 직접 연결하여 실제 운영되고 있는 관로시스템의 정보를 최적화 스케줄 솔루션을 찾을 경우, 동시에 연계하여 활용하고 있는 것이 특징임.
- 유량에 대한 펌프 선택시 에너지 최적화를 고려한 최적화 방식에 따라 최적펌프조합을 선택하는 방식을 실제 운영하고 있음.

#### ○ 지능형 플랫폼 분야의 기술 현황

- ICT기반의 지능형 플랫폼 분야 해외 선진 사례로는 미국 Bentley사에서 개발한 GIS 기반의 WaterGEMS 솔루션과 덴마크 7-Technology사에서 개발한 AQUIS솔루션이 있음.
- WaterGEMS의 특징은 SCADA시스템의 실시간 혹은 장기이력데이터와 On-Line으로 연동됨으로써 관로통합DB와 자유롭게 인터페이스 될 수 있도록 하고 있다. 따라서 관수로 해석이나 자산관리와 같은 단위기능들을 통일된 GIS 기반에서 SCADA나 DB와 같은 공통 인프라를 활용할 수 있도록 구성된 지능형 플랫폼을 제공하고 있음.
- AQUIS는 기본적인 관수로해석 기능 이외에도 누수관리, 수질관리, 압력최적화 등을 위해 각각의 모듈인프라를 활용하여 SCADA데이터를 On-Line으로 적용할 수 있도록 플랫폼을 제공하고 있음.

### 3. 해외 관수로 서비스 기법

#### ○ 농업 선진국의 농업 체계

- 해외의 농업 선진국의 농업체계는 대단위 농장을 기반으로 하는 규모이다. 이러한 농업 형태의 용수를 공급하기 위해 관개 시스템이 발달하였다. 한국의 경우 소규모 농지가 대부분이며 지형적 특성상 농업용 저수지에서 공급되는 용수와 하천에서 공급하는 용수를 사용한다.
- 현대의 농업에서의 관개는 지속가능한 에너지소비, 물 사용, 시장의 조건, 관개 어플리케이션의 최적 설계를 위한 경험과 지식들 간의 복잡한 상호작용이다. 과거의 사례나 현재의 물, 에너지 문제, 펌프기술의 발전 현황을 이해하는 것은 빠르게 변화하고 있는 농업적 요구에 대응하기 위해 필요한 사항이다. 농업시장은 빠르게 변화하고 농민들은 과거의 사례나 기술에 의존할 수 없다. 생산성을 높게 유지하고 경쟁력을 유지하기 위해서는 에너지 최적화와 수자원의 활용도를 포함하여 수익성에 초점을 맞출 필요가 있다.

#### ○ 토탈 관개 솔루션의 적용

- 펌프 시스템은 에너지와 물사용에 최적화된 솔루션을 제공하는 중요한 역할을 한다. 오늘의 관개 시스템은 단순히 펌프만의 문제는 아니다. 가변속도 운전, 지능형 제어 및 원격 관리는 모든 관개 시스템의 구성요소의 통합을 필요로 한다. 현대의 농업은 에너지 비용을 절감하고 수자원을 보호하고 최성을 생산성을 위해 최적화된 관개 솔루션을 필요로 한다. 농업 시장의 변화는 지식, 경험, 및 모든 구성 요소를 통합하는 토탈 관개 솔루션의 적용에 초점을 맞출 필요가 있다.

#### ○ 스마트 기술 구축

- 각국은 다양한 용도의 수자원 이용의 수요가 증가하고 기후변화 등의 따라 수자원 확보의 불확실성이 증가함에 따라서 스마트워터 그리드(SWG; Smart Water Grid) 구축을 통해 수자원의 확보와 수자원 격차를 해소하고자 노력 중이다. 스마트워터그리드는 중/대규모의 크기로서 ICT를 통해 수동적 수자원 확보에서 능동적 수자원 확보로 이동하고 있는 실정이다.

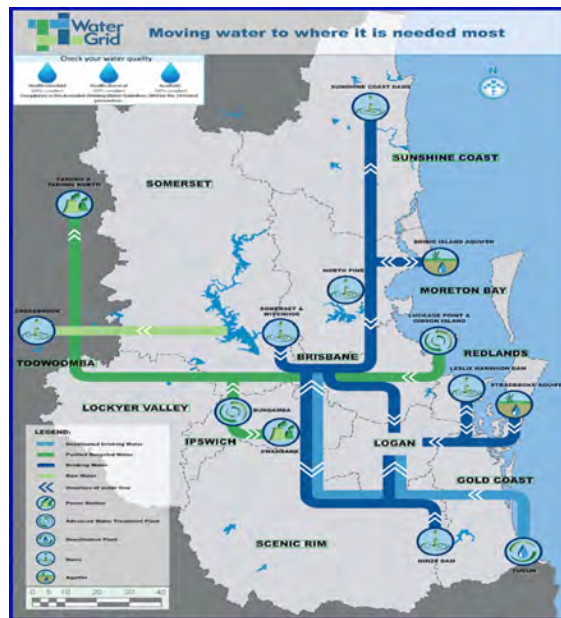
#### ○ IBM사의 스마트워터그리드

- IBM사는 스마트워터그리드의 개념을 바탕으로 수자원간의 그리고 수요처간의 수자원그리드 기술을 개발 중에 있으며, 주요한 구성요소는 Smart Meter를 통해 수요, 공급을 파악하고 관수로를 통해 배분 공급의 최적화를 구현하는 것을 목표로 한다.



[그림 2-1-3-1] IBM 스마트워터그리드

- GE사의 스마트워터그리드
  - 현재 주요 관수로 운영관리기술은 주로 상수관망 운영관리에 초점이 맞추어져 있으며, GE사는 자사의 GIS(Geographic Information System; 지리정보시스템) 소프트웨어인 ‘Small World’ 를 기반으로 상수관망 관리 프로그램을 개발하였다.
- Bentley사의 관망관리
  - Bentley사에서는 상수관망운영 관리 프로그램인 ‘WaterGEN & WaterCAD’ 를 통해 북미와 남미의 많은 국가에서 상수관망 통합관리에 활용 중이다.
- 호주의 스마트워터그리드
  - 호주는 지역간 물 부족 문제 해결을 위해 워터그리드 개념을 도입하여 물이 부족한 퀸즈랜드 주로 안정적인 공급을 목표로 관수로 네트워크(535km)를 구축하여 운영 중이다. 물이 부족한 지역이 발생하고 상황이 심각해지면 하수처리장 재처리수나 해수 담수화시설로부터의 공급량을 확대 시켜 부족한 지역으로 공급한다.



[그림 2-1-3-2] 호주 스마트워터그리드

#### 4. 농업용수 관리의 스마트화

- 개요
  - 대규모 스케일에서의 수자원관리 및 그에 관한 시스템은 스마트워터그리드를 통해 이루어지며 농업용수 관리는 농장 단위 및 소지역 단위로 이루어진다. 해외의 농업용수 관수로 시스템은 대규모의 농장단위를 기준으로 구성되어 있다.
- LINDSAY사의 농업용수 관리
  - 농지의 관개를 위해 펌프 시스템과 연계하여 상업화된 제품으로서 미국 네브라스카 주에 위치한 LINDSAY사는 대규모 농장에 용수 관개를 위해서 FieldNET이라는 시스템을 개발

하였다. FieldNET은 원격으로 모니터링하고 편의성과 비용 절감을 위한 펌프를 제어할 수 있는 웹기반 서비스 이다. FieldNET 통합제어 시스템은 수자원과, 에너지, 노동 비용을 절감한다.



[그림 2-1-4-1] Fieldnet 통합제어 시스템 화면

- iOS와 안드로이드 기반의 스마트폰과 태블릿에서 운영이 가능하며 네트워크를 통하여 어디서나 관개시설을 실시간으로 모니터링하고 제어할 수 있다.
- FieldNET 모바일은 주요 스마트폰과 태블릿의 앱 기반으로 실시간 정보를 제공한다. 원격지에서 모니터링 하고 펌프를 제어할 수 있도록 구현하였다.



[그림 2-1-4-2] Fieldnet 앱 화면

- 사용자가 전체 관개 현황을 볼 수 있도록 지도 위에 동작 상태를 표시한다 다른 사람에 대한 액세스는 관리자가 사용자이름과 암호를 제공하여 액세스 할 수 있도록 하고, 읽기 전용 권한을 허용하여 제어를 제한 한다. 스마트폰 내의 GPS를 이용하여 자신의 위치를 찾을 수 있다.
- 작동상태, 관개시작 위치, 현재 위치필드, 관개정지 위치, 압력, 유량, 및 런타임 상태를 모니터링하고 시작, 중지, 방향, 관개 속도를 조정, 온/오프 제어, 자동정지 위치 설정을 제어 한다.
- 펌프의 상대와 제어 펌프 보기, 펌프의 압력, 흐름, 입구 압력, 수위, 전력사용량을 모니터링 한다.

○ 펌프 효율성 향상 프로그램

- 미국 캘리포니아 주립 대학은 펌프 효율성 향상 프로그램(APEP; Advanced Pumping Efficiency Program)을 운영한다. 이 프로그램은 캘리포니아 주의 에너지 적약을 장려하기 위해 교육 및 인센티브를 제공하는 프로그램이다. 이 프로그램은 신청자를 대상으로 펌프운영에 대한 교육을 수행하거나, 유상으로 펌프운영 테스트를 수행한다(www.pumpefficiency.org).
- 이 프로그램은 관개 기술 센터의 노력으로 지속되고 있으며, 캘리포니아주의 다음과 같은 중요한 자원관리 문제를 해결하는데 목표를 두고 있다. 관개 시스템, 물 배분시스템을 포함하는 고효율의 하드웨어를 개발하는 것이고 이 하드웨어가 제대로 관리되고 있는지 지속적으로 확인 하는 것이다.

○ DIMPLEX사의 펌프제어

- 독일의 DIMPLEX사는 주택내의 열펌프를 모니터링하고 제어하는 앱을 제공하고 있다. 히트펌프의 상태를 모니터링 하고, 과거 운영 되었던 기록을 조회, 온도설정 등을 통해 가정내의 에너지 효율성을 향상시키고 난방비에 대한 절감할 수 있도록 한다(<http://www.glendimplex.de>)



[그림 2-1-4-3] Dimplex사의 열펌프 모니터링 앱 화면

## 5. 관수로 갱생 기술

- 국내의 노후관로 갱생기술은 관로세정이나 에폭시수지라이닝, 시멘트 몰탈 라이닝 등의 공법이 주로 사용되고 있다.
- 최근 10여년동안 노후관 갱생과 관련된 소수의 연구가 수행되어 왔으며 노후도 평가 및 관로 진단 모델의 개발, 최적관로 갱생 계획, 누수방지 및 저감 기술 등의 개발이 주로 수행되어 왔으며, 관로 갱생 기술에 대한 개발이 꾸준히 이루어지고 있다. 국내에서 개발되어 상용화된 라이닝 공법들로는 PPR공법, A-HLS공법, ERS 공법 등이 있다.

- 세계적으로 적수나 결절생성 등의 문제 해소를 위해 대부분 에폭시 수지 라이닝 또는 시멘트 몰탈 라이닝 기술을 이용하고 있다.
  - ISO TR 11295 보고서에 따르면 상수도과 같은 내압관에서는 관교체, 연속관 혹은 개별관에서는 라이닝이 가능하고, 현장 경화관 및 관삽입에 의한 라이닝 공법이 적용가능하다고 기술되어 있다.
  - 비굴착 공법은 영국을 중심으로 상수도분야에 적용할 수 있는 다양한 공법이 개발되고 있다.
- 영국의 경우 비굴착 협회에서 제시하고 있는 갱생공법은 시멘트 몰탈라이닝, 에폭시수지라이닝, 현장 경화관을 이용한 라이닝, PE관을 이용한 slip lining, swage & die draw lining, rolldown-close fit thermoplastic pipe lining 그리고 상수도 배수관에 주로 이용하는 deformed pipe lining 등을 제시하고 있다.
- 미국의 경우 배수관로의 갱생에는 jet cleaning, 에폭시 라이닝, 호스라이닝, 시멘트 몰탈 라이닝, HDPE를 이용한 slip lining 등이 이용되고 있으며, 사용 재질로는 weld steel을 포함해, PVC, HDPE, MDPE, 열경화성 수지 등이 검토되고 있고 cross-linked polyethylene(PEX)가 음용수 시장에 많이 적용되고 있다.
- AWWARF 과제로 수행된 연구에서는 에폭시라이닝, HDPE를 이용한 slip lining, paltem woven hose lining 등의 개별 갱생기술에 대한 검토가 이루어 졌다.
- 또한, 체계적으로 관로 상태에 따라 Nonstructural lining system(Class I), Semi-structural lining system(Class II/III), Structural renovation system(Class IV)로 분류하여 적용 가능한 갱생공법 구분하고 있다.
  - Class I의 경우는 구조적 보강없이 내면부식 방지 목적으로 시멘트 몰탈 라이닝, 에폭시 수지 라이닝이 광범위하게 단기적인 대책으로 이용한다.
  - 관로상태에 따라 적용가능하다고 분류한 미국 내에서 상용화된 라이닝 공법을 다음 [표 2-1-5-1]에 정리하였다.

[표 2-1-5-1] 미국의 상용화 라이닝 공법들

Contents	Nonstructural	Semi-structural		Fully structural
	Class I	Class II	Class III	Class IV
internal corrosion barrier	yes	yes	yes	yes
bridges holes/gaps at MAOP*	no	yes	yes	yes
inherent ring stiffness	no(depends on adhesion)	no(depends on adhesion)o	yes self supports	yes self supports
100psi or more long term independent pressure rating	no	no	no	yes
survives "burst" failure of host pipe	no	no	no	yes (demo by test)
current commercial examples	cement and epoxy spray	woven hose liner	CIP-PPL** thin PE liner	PRP*** thick PE liner
* MAOP : Maximum Allowable Operating Pressure ** Cured in Place Pressure Pipe Liner *** Polyester Reinforced Polyethylene				

- 일본의 경우에도 이와 유사한 상황으로 상수도분야에 가능한 비굴착 공법이 현재 활발하게 개발되고 있는 상황이다.
- 관로갱생공법의 개발을 위한 선진외국의 연구동향을 살펴보면, 합리적이고 효율적인 갱생 계획과 수행을 위한 관로갱생 표준화 연구, 관로갱생 기준의 정립 및 관로갱생 공법 개발, 이형관부의 갱생 공법, 분기관에 대한 시공 기술 개발 등이 이루어지고 있다.
- 해외 상수도관은 PVC관이 38.8%로 가장 많이 차지하고 있어 세관공법에 주력하고 있다.
- 한편, 앞서 언급한 국내에서 개발된 갱생 공법들은 아래 [표 2-1-5-2]와 같다.



[표 2-1-5-2] 국내 개발된 갱생 공법들



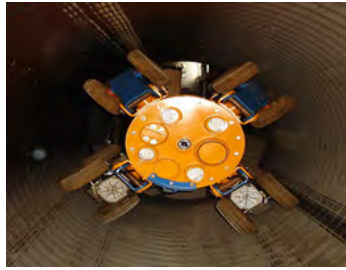
공정	PPR공법 이동식 PE관 라이닝	A-HLS공법 분리형 반전장치를 이용한 공기압 반전 관로 보수 공법	ERS공법 체크튜브형 반전장치와 액상에폭시 수지를 이용한 상하수도 관로 비굴착 공법
개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관내부를 기존관과 동일한 규격의 PE 관을 접합 단면형으로 변형하여 관내에 강제 삽입 후 고온, 고압으로 원형복구 및 확관하여 기존관 내면에 밀착</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관내부 열경화성 수지 라이너를 압축공기를 이용하여 반전,삽입 밀착시킨 후, 증기보일러에 의해 증기역을 투입하여 라이너를 경화시켜 새로운 관을 형성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-액상에폭시 수지를 함침한 라이너를 체크튜브형 반전 장치와 공기압 또는 수압을 이용하여 상·하수관 내부에 반전 후 보일러의 고온수를 투입하여 경화시켜 관을 형성</li> </ul>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 확실한 누수 및 녹물 방지</li> <li>- 이음매 없는 긴 파이프가 형성되어 유속이 증가</li> <li>- 모든 관에 적용 가능</li> <li>- 침전물의 부착, 스테일 형성이 없어 적수 요인 해결</li> <li>- 지반의 부등침하에 의한 관의 균열 등 노후관의 쇠약부분을 보강</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 반전기와 압축공기를 이용하여 반전삽입</li> <li>- 반전유도 튜브를 이용한 분리형 반전장치의 개발로 시공성 향상 및 자재 절약</li> <li>- 장비의 출입이 어려운 시공구간에서도 작업이 용이</li> <li>- 전 시공구간에 이음부 없는 일체의 관을 형성하므로 수밀성 우수</li> <li>- 내부 조도계수 감소로 유량 및 유속 20~30%증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수지 함침 튜브가 관내부에 강하게 정착되므로 연결부 및 분기관 작업시 라이너의 이탈이 없어 누수와 관 부식 방지</li> <li>- 모든관에 적용 가능</li> <li>- 기존관의 강도 보강 및 수명을 연장</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 내진성, 내충격성이 양호</li> <li>- 작업시간 단축(약 20분), 접속시간 단축(약 1시간)</li> <li>- 특수 분수전을 사용하여 기존관과 라이너를 압착 밀폐시키므로 분수전에서의 누수 근절</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시공이 용이</li> <li>- liner는 내약품성, 내마모성으로 반영구적인 수명보장</li> <li>- 잔토, 폐자재, 교통혼잡, 분진, 소음, 진동 등 유해환경요소의 배출이 현저히 감소</li> <li>- 지하매설물에 범용적으로 적용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상수도관의 적용에 안정성 확인</li> <li>- 분기관 시공에서 기밀이 유지되어 지하수 오염 및 유입 방지</li> <li>- 잔토, 폐자재, 교통혼잡, 분진, 소음, 진동 등</li> <li>- 유해환경요소의 배출이 현저히 감소</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장 작업장 관 배열 구간 약 20m 소요</li> <li>- 구경 400mm 이상에서는 적용이 불가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 라이너 내부의 설계압력 유지에 주의가 필요</li> <li>- 하수관로 보수공법으로 개발되어 아직 상수도 갱생에 대한 적용사례가 부족</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-액상에폭시 수지 가격이 HDPE 관에 비해 다소 고가임</li> <li>-액상 에폭시 수지를 함침한 라이너의 일정한 저온 유지 필요</li> </ul>



## 6. 국내외 관망탐사 기술

- 국내에서 이용 중인 관망 탐사 기술에는 청음식 누수탐사 기술, 내부 탐사 내시경, 내부 탐사용 로봇([표 2-1-6-1] 참조) 등이 있다. 청음식 누수 탐사 기술은 국내 중소기업들에서 자체 개발품이 생산되고 있는 실정이지만, 내시경과 로봇 기술은 아직 해외기술 수준을 따라가지 못하고 있다. 국내 연구진에 의해서 관망 내부 탐사용 로봇이 개발되었으나, 기술의 수요처의 특성상 상용화는 이루어지지 않았다.

[표 2-1-6-1] 국내 이용 중인 관망 탐사 기술

구분	청음식 누수탐사 기술	내부 탐사 내시경	내부 탐사용 로봇
사진			
기술 개요	- 관 파손으로 인한 누수파열음을 증폭, 청음을 통해 누수 위치를 파악하는 기술	- 비교적 관경이 작은 상수관 내부에 고화질 내시경 장비를 투입하여 관 내면 상태를 단수조치하지 않고 문제 위치 및 상황을 정확하게 파악하는 기술	- 비교적관경이 큰 상하수도관 내부에 CCTV및 단순 수리 기능을 탑재한 로봇을 투입하여 관 내부 상황을 파악하고 간단한 조치를 수행할 수 있는 기술
장점	- 단수 없이 문제 위치 파악이 용이함. - 위치파악 속도가 비교적 빠름.	- 단수 없이 문제 위치와 문제 상황을 정확히 파악	- 정확한 문제 위치 파악이 가능하며, 로봇을 이용한 간단한 개보수 가능
단점	- 사용자의 숙련도에 따라서 누수 위치 파악의 정확도가 다름.	- 대구경에 적용 불가 - 관 내부 상황에 따라 적용 가능	- 기기의 단가가 높음. - 관 내부 상황에 따라 적용 가능

- 국외의 관망 탐사 기술로는 앞서 제시한 청음식 누수 탐사기술, 내부 탐사 내시경, 내부 탐사 로봇 등이 있으며, 주로 기술 선진국인 유럽과 미국 등에 의해 기술 개발이 선도되고 있다.

## 제 2 절 농업 ICT 기술 개발 동향

### 1. 농업 ICT

- 오늘날 농업은 농축산물의 생산, 가공 판매, 유통, 그리고 이를 위한 다양한 기계, 농약, 종묘 등을 위해 BT, NT, IT 등의 다양한 산업분야에 까지 영향이 미치는 거대한 산업으로 인식되어가고 있다.
- 2000년대 이후 곡물의 재고율 하락이 장기화 되고 인구증가 및 생활여건 개선으로 심각한 식량 부족상태가 예측되고 있다. 국내의 경우에도 채소류(배추, 무 등) 작황 불균형으로 사회문제가 발생하고 있으며, 일본 원전사태로 안전한 작물의 연중재배 및 효율적인작황관리가 가능한 시설재배 및 미래형 식물공장의 필요성이 대두되고 있다.
  - 식량부족 및 식품안전성 등 다양한 문제점에 대한 대안으로 농업 IT융합기술을 주목
- 2020년까지 식량안보 차원에서 확보해야 할 최소 농지 160만ha를 지키기는 사실상 어려운 것으로 예측되며, 향후 도시개발 등에 따른 농지전용 등의 영향으로 농지면적은 지속적으로 감소, 2020년에는 158만 8,000ha 수준이 될 것으로 예측되고 있다.
- 농업 IT융합기술은 기존의 1차산업 중심 농업기술에 자동제어/센서/광원/Rfid/USN/유무선 통신 등의 부품 및 기반 기술, 생육제어/지식 미들웨어/유통/이력/인증 등의 소프트웨어 기술, 신재생 에너지/스마트 그리드/탄소교환 등의 에너지 자원 기술, 관광/교육/유통/레저 등의 서비스 기술 등 다양한 IT 기술을 융합시켜 농업의 생산·유통·소비 전 과정에 걸쳐 생산성과 효율성 향상, 품질향상 등과 같은 고부가가치 창출을 추구하고자 하는 기술을 의미한다.
- 이러한 기술의 융합뿐만 아니라 정부의 각 부처 간 협력을 통해 지구 온난화 등으로 발생하는 재난·재해극복, FTA 등으로 인한 수입 농산물 극복, 일본, 유럽 등의 선진국 중심의 실용화 기술에 대한 대처 등 농업을 주체로 하는 다양한 산업에서 국제 경쟁력 확보를 위한 노력이 지속되어야 할 분야이다.
- 현재 국내 농업은 많은 발전을 이루었으나, 농업 선진국에 비해 낮은 수준에 머물러 있다. 특히 농업분야 선진국인 네덜란드와 우리나라 농가의 생산량 차이는 재배작황 및 성장환경관리 기술의 미흡으로 생산비의 투입이 많아 소득률이 19%~27%에 그치고 있다.
  - 국내의 농업관련 기술 최고 수준을 100으로 했을 때 국내 수준은 약 69%로 선진국과 개발도상국 중간에 위치하는 수준이다.
- 농업 기술 분야별로 농업 선진국과 기술격차의 기간을 비교해 보면 국민식량의 안정생산 기술을 제외한 모든 기술 분야에서 미국, EU, 일본에 비하여 2~13년 뒤떨어져 있는 것으로 평가된다. 특히 농업 생명공학기술, 친환경안전농축산물 생산기술, 기계화 기술 및 농생물 자원이용기술은 기술격차가 선진국에 비하여 5년 이상 차이가 있다고 분석된다.

- 또한 현재 국내의 농가인구의 연령은 60세 이상의 고 연령층이 41.8%로 절반 가까이 차지하며 이러한 현상은 장기적 측면에서 고 연령층의 빈자리보다 청장년층의 비율이 낮기 때문에 결론적으로 농촌의 노동력 결손을 피할 수 없을 것으로 보인다. 결국 농가인구가 줄어들어 인력부족으로 농사에 어려움을 겪고 있는 현실이며, 이러한 상황을 극복하기 위해서 농업과 IT기술을 융합하는 것이 시급하게 요구된다.
- 농업 IT융합 기술을 활용하여 자동화, 로봇화, 무인화 등 생력기술 보급으로 농업인력 수요를 감소하고 정밀 농업에 의한 농업 생산성 향상이 기대되며, 이러한 기술 진보는 지속적인 영농규모 확대의 요인으로 작용할 것으로 예상된다.
- 현재 국내 IT기술은 세계 최고 수준이나 IT융합 분야 중 농업분야에서는 다른 산업에 비해 유비쿼터스 컴퓨팅을 통한 삶의 질 향상이라는 면에서 혜택을 받지 못하고 있는 실정이다. 스마트폰, 소셜 네트워크 같은 IT기술 패러다임의 변화, 도시의 농업생산자, 유통업자·소비자와 같은 이해관계자 사이의 간편하고 혁신적인 유통네트워크 생성 등에 따른 IT 농업으로의 환경 변화가 요구되고 있다.
- 스마트폰의 보급 확대와 함께 생겨나기 시작한 스마트 농업의 개념은 IT 융합기술을 농업에 활용한다는 측면에서 농업 분야 정보화사업인 u-Farm과 유사한 성격을 가진다.
  - u-Farm은 농가소득 및 소비자 만족도를 높이기 위해 농업의 생산, 가공, 유통 분야에 u-IT (RFID, USN, 기타 전자 통신) 기술 등을 적용한 사업을 지칭한다.
- 우리나라 농업 분야의 IT융합기술 개발은 시설원예, 식물공장, 융합서비스 등을 중심으로 이루어지고 있으며, 경영 분야/생산 분야/유통 분야 등에 걸쳐서 폭넓게 진화되고 있다.
- 그러나 타 산업분야에 비해 농업분야는 IT융합 원천기술 개발부터 검증 확산까지 총괄하는 기획 및 조정기능이 미흡하여 아직 초기단계 수준에 머물고 있다. 관련 인프라와 연계된 기술은 이미 개발되고 있으나, 이를 체계적으로 확산하고 사업화 할 수 있는 품질보증 및 체계화, 관리 및 운영능력, 콘텐츠 등이 부족하다.
  - 따라서 농업 분야의 IT 융합 신기술의 활용과 확산을 위한 기술개발 및 성공모델의 발굴 확대가 시급하다.

[표 2-2-1-1] 농업분야별 IT 적용 기술

구 분	적용 기술
생산/경영관리	- USN, RFID, CCTV, 센싱, 제어(기상관련 알람서비스, 시기알림, 실내환경센서, 시설제어, 에너지제어, 리모트센싱), 농업경영관리시스템(ERP)
유통/물류관리	- GPS, RFID, GIS, QR코드
마케팅, 판매, 소비	- QR코드, DW, 모바일 웹, SNS, 소셜커머스
시스템 통합	- 시스템 연계 표준화(웹서비스, 표준화프로토콜 정의, 연계 API), 지식 DB, 표준 프로토콜(센서: 온도, 습도, 강우 등), 오픈 API, RS485/USN/CAN
교육/기타	- 스마트그리드, IPTV

## 2. 농식품 ICT 융복합 확산대책

- 농림축산식품부는 농업인들이 ICT 기술을 활용하여 과학적 영농을 할 수 있도록 하는 등 생산·유통·소비 등의 분야에 ICT를 활용하는 「농식품 ICT 융복합 확산대책」을 마련하였다.
  - 생산·유통·소비 등 농식품의 가치사슬(value-chain)에 정보통신기술(ICT)을 융복합하여 새로운 부가가치를 창출
  
- 이 대책은 다른 주요 산업 분야에서 ICT를 활용하여 새로운 부가가치를 창출하고 산업의 경쟁력을 높이고 있는 것처럼 농식품 산업이 미래 성장산업으로 성장하기 위한 기반을 마련하고, 이를 위한 생태계를 조성한다는데 그 의의가 있다. 이번 대책은 관련 기술 개발이 이루어지고 파급효과가 큰 분야를 중심으로 ○ICT 융복합 보급 확산, ○ICT 산업 생태계 조성, ○기초 인프라 확충 등 3대 분야의 과제들로 구성되어 있다.
  
- 기술개발과 사업화가 용이한 시설원예·과수, 축산을 중심으로 성공모델을 확산시키고, 농산물 전자직거래 및 농축산물 이력정보 제공 등 유통 및 소비분야 등까지 다양한 모델을 개발하여 보급할 계획이다.
  - 2017년까지 농가 7,000호(시설원예 5,000, 과수 1,500, 축산 500), 유통경영체 등 100개소, 6차산업화 공동체 50개 마을을 육성
  
- 또한 다양한 ICT 기술이 농식품 분야에 접목될 수 있도록 산업 생태계를 조성하는데 중점을 두었다.
  - 우수한 성과모델의 현장 확산을 통해 정부가 조기 시장조성을 위한 마중물 역할을 담당
  - 전문 인력을 양성하고 수요기관과 IT기업 간 기술협력 네트워크를 구축할 (가칭)ICT 융복합 지원센터 설치·운영
  - 제어기, 센서, 경영관리 프로그램 등 HW/SW 국제 표준을 마련하여 초기 국내 내수시장을 활성화하고 향후 해외시장 진출이 가능토록 체계를 마련
  
- 농가를 대상으로 교육 등 현장 밀착형 지원체계를 마련하였다. 실습형 ICT 교육농장을 구축하여 성공사례 교육과 홍보를 강화하고 (가칭)「농업·농촌 정보화 촉진에 관한 법률」제정으로 농식품 ICT 융복합 촉진을 보다 체계적으로 추진할 예정이다.
  - 전국의 농업기술센터 등과 협력한 현장지원 체계를 구축
  
- 농식품 ICT 융복합 모델 발굴 및 확산에 필요한 재원은 2017년까지 총 2,249억원을 투자할 계획이며, 기존의 R&D 및 정보화 예산을 활용하고, 농업·농촌 현장 확산에 필요한 예산은 시설현대화사업(시설원예, 축산 등)과 연계하여 추진해 나갈 계획에 있다.

### 제 3 절 센서네트워크 전송기술 표준화 동향

- 최근 들어 무선 센서네트워크는 온/습도 관리와 같은 단순한 기능의 저전력 모니터링서비스에서 시의성과 무선 전송의 신뢰성을 요구하는 산업 자동화 서비스와 같이 통신 거리를 확장한 옥외 서비스를 위한 기술로 서비스 영역을 넓혀가고 있다.
- 무선 센서네트워크 기술은 자원의 제약에 기인한 고유의 특성을 가진다. 특히 전송 계층 기술은 이러한 제약 사항을 고려하여 설계되어야 하며, 상위 계층 기술의 성능은 전송기술에 대한 성능적 의존성을 가질 수 밖에 없기 때문에 최근 무선센서 네트워크 서비스 확대를 위한 시장의 요구사항을 반영하여 표준화가 진행되고 있는 시의성/신뢰성 향상을 위한 IEEE 802 WG15의 TG4e MAC(Media Access Control) 기술과 스마트 유틸리티 네트워크를 위한 TG4g SUN(Smart Utility Network) 센서 장치들을 무선으로 연결하여 네트워크를 형성하는 무선 센서네트워크(Wireless Sensor Network:WSN) 기술은 사람을 중심으로 하던 정보 운용 형태를 확장하여 사람과 사물뿐만 아니라 사물간의 정보 공유를 언제 어디서든 가능하게 하는 유비쿼터스 환경으로의 패러다임 구현에 초석을 마련해 나가고 있다.
- 현재 WSN 관련 표준기술은 무선 근거리 개인 통신망 전송 규격을 위한 IEEE 802.15 표준규격과 이를 기반으로 상위 계층 규격을 정하여 관련산업에 적용하려는 ZigBee 규격이 있으며, IP(Internet Protocol) 기술을 센서네트워크에 접목하기 위해 IETF(Internet Engineering Task Force)의 6LoWPAN(IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network), RoLL(Routing Over Low power and Lossy networks), CoRE(Constrained RESTful Environments) WG(Working Group) 등에서 표준화가 진행 중에 있다.
- 또한, HART(Highway Addressable Remote Transducer)와 ISA(International Society of Automation)는 WirelessHART와 ISA-100.11a 등의 표준 작업을 마치고 공정 모니터링 및 산업 자동화에 적용을 위한 노력을 기울이고 있다. ISO(International Organization for Standardization)와 IEC(International Electrotechnical Commission)도 IEC 62591과 ISO/IEC 18000-7 등 WSN 관련 표준규격을 승인하거나 현재 표준화가 진행 중이다.
- 이러한 표준 기술은 대상이 되는 통신계층 혹은 서비스 목적에 따라 표준 규격 작업이 진행되고 있으며, 각 단체가 목적으로 하는 서비스영역을 기반으로 시장에서의 기술 선점을 위해 표준작업을 진행해 나가고 있다.
- 이들 표준 기술 중 전송기술 측면에서 주목할 만한 규격은 IEEE 802.15.4이며, 그 이유는 Zig-Bee, IETF 6LoWPAN, ISA-100.11a 등 현재 가장 널리 사용되는 표준 기술 대부분이 IEEE 802.15.4규격에 기반을 두었기 때문에 그 파급 효과가 가장 크기 때문이다.
- 또한, 이들 표준 기술은 IEEE 802.15.42.4GHz ISM 대역 PHY 규격을 채택하기 때문에 별도의 주파수 사용허가를 필요로 하지 않는다는 장점을 가지고 있으며, 특히 IEEE 802.15.4는 작은 패킷 사이즈를 갖는 온/습도, 검침 데이터를 수집하기 위한 단순 모니터

링 서비스와 같이 저속의 저전력 WPAN(Wireless Personal Area Network) 구성을 위한 전송 규격이며, ZigBee에서는 이러한 용도의 응용에 부합하는 네트워크 계층 규격과 여러 애플리케이션 프로파일을 정의하여 시장에 관련 제품 등을 선보이고 있다.

- 그러나, IEEE 802.15.4 MAC 기술은 네트워크 트래픽의 증가에 따라 발생하는 빈번한 패킷 재전송에 의한 심각한 성능 저하와 시의성을 갖는 센싱 정보 전달의 요구 품질을 만족하기 힘들다는 제약 사항을 가지고 있다. 또한, 동종 혹은 이종의 무선 간섭에 의한 수신 신호 품질 저하는 WPAN으로서의 제 기능을 발휘할 수 없다는 문제점을 가져 관련 시장의 활성화에 한계를 보이고 있으며, 특히, 최근 들어 Wi-Fi를 이용하는 스마트 폰 시장이 활성화됨에 따라 이를 지원하는 WAP(Wireless Access Point) 또한 증가할 것으로 기대된다.
- 현재 국내의 몇몇 업체에서는 간단한 메터링 데이터를 무선 전송하기 위해 기존의 ZigBee 기술을 이용하거나 자체적으로 비표준 무선 전송 기술을 개발하여 AMR/AMI 서비스를 시행하고 있다.
- 특히 스마트 그리드 제주 실증단지 시범사업을 통해 ZigBee를 이용한 Metering 서비스를 추진하고 있으나, ZigBee의 성능 한계로 새로운 무선전송 기술의 필요성이 제기되고 있으며, TTA(Telecommunications Technology Association) PG304 WPAN(Wireless Personal Area Network) 표준그룹에서는 그린 WPAN실무반을 구성하여 IEEE 802.15.4g SUN 표준 완성에 대비하여 국내 SUN 표준 제정을 추진중에 있으며, SUN 무선 전송기술 및 ZigBee 에너지 프로파일에 대한 국내 표준을 ETRI 주도로 제정 추진 중이다.
- IEEE802.15.4g/4e에서는 미국의 유틸리티 서비스 사업자를 중심으로 SUN PHY -Layer 표준이 진행되고 있으며, 추진 중인 스마트 유틸리티 무선 전송기술을 미국 정부에서 추진 중인 Smart Grid Vision 2030 Project에 표준 기술로 제안하기 위해 IEEE 표준 제정을 서두르고 있다.
- IEEE802.15.4g에서는 FSK(Frequency-shift keying), DSSS(Direct-Sequence Spread Spectrum), OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 전송기술을 기반으로 멀티패스 영향에 강인하고 40~1,000Kbps 정도의 Scalable한 전송속도와 열악한 환경에서도 Mesh Routing이 보장되는 높은 링크 마진을 갖는 저가격/저전력 무선 전송기술에 대한 PHY 표준 추진 중에 있다. IEEE802.15.4 MAC을 기반으로 새로운 SUN PHY를 수용하기 위한 고신뢰성, 저전력성, 저지연성을 목표로 하는 SUN MAC 기술에 대한 표준화 움직임이 IEEE802.15.4g와의 긴밀한 협조로 IEEE802.15.4e에서 추진하고 있다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발

연구 목표	연구 내용	수행기관
1세부	<b>고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발</b>	
농용수 및 발용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발	- 저류지 이용 관수로 시스템 설계기술 개발 - 저압형 논관개 시스템 설계기술 개발 - 신재생에너지 활용 발관개 시스템 설계기술 개발	한국 농어촌 공사  농어촌 연구원
강제수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발	- 강제수주 이론 적용 및 서징해석 프로그램 개발 - 파이프라인 서징해석 시뮬레이션 프로그램 개발	
스마트 파이프라인 시스템 Test-Bed	- 스마트 파이프라인 시스템 파일럿 플랜트 기본구상 - 스마트 파이프라인시스템 Test-Bed 선정	
농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용	- 농업용 양수시설 최적화 기법 검토 - 국내외 파이프라인 최적설계 기술 분석 - 파이프라인 시스템/펌프/양수시설 최적화 알고리즘 개발 - 진화알고리즘을 이용한 최적설계 기법 개발	

#### 1. 서론

- 최근 쌀 재배면적 감소에 의한 논·밭 이용 증가, 기후변화에 의한 가뭄 발생 빈도 증가 등 농촌용수 수요처인 논, 밭, 축산, 친수, 환경유지용수 등 다원적 기능 용수를 새로운 용수 수요를 반영하여 물을 관역적으로 공급할 필요성이 높아지고 있다.
- 기후변화, 농지면적 감소 등 농업여건이 변화하는 상황에서 현재의 논 용수공급 중심의 물 공급 체계로는 농촌지역의 수요량을 충분하게 공급할 수 없으므로, 농촌용수 공급 체계를 광역화 하여 다목적 용수공급체로 재편할 필요가 있다. 다시 말하면, 논, 밭의 용수 공급 체계를 통합하고, 경관, 환경용수, 희석용수 등 다양한 용도의 다기능 용수를 효과적으로 공급할 수 있는 용수공급시스템이 필요하다.
- 이와 같은, 다기능 용수를 효율적으로 공급하기 위해서는 광역단위 농촌용수 공급 체계를 구축할 필요가 있으며, 이에 합당한 물공급시스템이 저류형 관망과 저압형 관망 조직이며, 이와 같은 관망조직을 효율적으로 설계하기 위해서는 관망 설계, 관망해석 기법 등을 도입하여 최적의 경제적인 관망으로 설계할 수 있는 설계기술 개발이 필요하다.
- 농촌지역에서 필요한 다양한 용수를 효율적으로 공급하기 위해서는 광역 농촌용수 공급 체계가 필요하며, 이에 합당한 물공급시스템이 저류시설을 이용한 저류형 관망이다.

- 논 관개의 경우 말단 급수전이 수압을 필요로 하지 않으므로, 관망조직도 이에 적합한 수압이 필요치 않은 관망으로 조직을 구성해야한다. 이를 위하여 저압으로 관망을 설계할 수 있는 분수공을 포함한 관망조직 모형이 필요하다,
- 이와 같은 저류형 및 저압형의 관망조직을 설계하기 위해서는 최적 관경설계, 관망해석 등의 기법을 도입하여야 한다, 그리고, 관수로 시스템은 관망조직에 따라 물관리 효율과 경제성이 달라지므로 관망조직 구성과 관망을 경제적으로 설계할 수 있는 기법 개발이 필요하다.
- 관망은 펌프, 저류시설, 밸브 등 다양한 부대시설을 가지고 있으며, 설계시는 수요량에 대하여 관조직과 최적의 관경 산정이 중요하며, 저류시설이 있는 관망은 저류용량은 설계기준으로 결정하고, 운영을 위해서는 설계용량을 확정하기 전에 저류 용량규모를 관망 시뮬레이션을 통하여 검토하여 최종적으로 결정할 필요가 있다.
- 강제수주이론은 관망설계시 사용량을 고려하여 시간단위로 관망을 해석하는 비정상 해석 기법으로 시간변화 수요량에 대한 시간변화 관망해석 및 운영 시뮬레이션이 가능하여 관망설계 및 운영관리에 활용할 수 있다.
- 최근 ICT 기술이 발달함에 따라 시스템의 운영관리 효율을 높이기 위해 각종 인프라와 ICT 융합이 활발하게 진행하고 있다. 농업용 관수로의 운영관리 효율을 높이기 위해서는 관망에 ICT 기반의 스마트 운영기술 접목하여 효율적인 관망을 운영 할 수 있는 지능적 관망운영관리 기술 개발이 필요하다.
- 다양한 스마트 기술을 융합한 스마트 관수로 시스템을 구축하기 위해서는 요소기술의 사전 검증이 필요하다, 이를 위해 파일럿 플랜 스마트 기술의 현장접목 전에 사전에 실험장치를 통한 검증이 필요하므로 사전 기술검증을 파일럿 플랜트를 통하여 실시하여 현장에 설치하여 운영할 필요가 있다.
- 본 연구에서는 관수로 시스템에 스마트 요소기술을 융합하여 ICT 기반 한국형 스마트 관수로 시스템의 모형을 제시하고, 요소기술을 검증하고 실 스케일로 운영하기 위하여 스마트 관수로 시스템 파일럿 플랜트를 설치하여 운영하여 한국형의 농촌용수 스마트 관수로 시스템을 개발할 계획이다.

## 2. 논용수 및 밭용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발

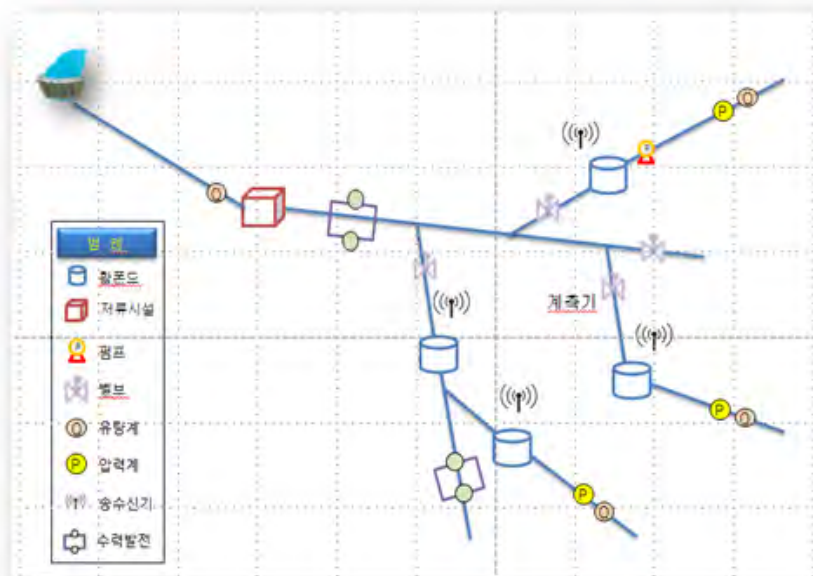
### 가. 저류지 이용 관수로 시스템 설계기술 개발

#### (1) 저류형 관개시스템의 구분

- 평야부 시스템은 [그림 3-1-2-1]과 같이 취수원에서 간선 용수로와 조정지 및 팜폰드 등 용수로 중간에 조정지를 두고, 수혜구역 인근에 팜폰드를 두어 물공급이 원활하게 이루



- 어지도록 설계된 관개시스템을 의미한다.
- 우리나라에는 아직 그림과 같은 대목적의 대규모 용수공급시스템이 갖추어져 있지 않다. 이 시스템의 특징은 관수로 간선부에 조정지가 설치되어 있는 것과 말단 수요처 인근에 팜폰드가 설치되어 있다는 것이다.
  - 조정지는 간선 용수로 중간에 설치되어 취수시설 고장, 용수로 파손사고 등의 원인에 의하여 취수원의 물공급이 곤란하더라도 말단에서 물사용에 지장이 없도록 물을 저류하는 기능이 있으며, 이는 사고 등에 활용이 가능한 비상용수 공급기능이 포함되어 있다.
  - 조정지 용량은 사고시 대처가 가능한 시간을 고려한 최소 1 ~ 7일의 용량으로 설계할 수 있다.
  - 팜폰드는 수혜지역 인근에 설치되어 수요량의 일부를 저류하여 공급하는 조정기능이 있으며, 팜폰드 용량은 수혜지역의 사용량의 6~8시간 용량이 적합하다.

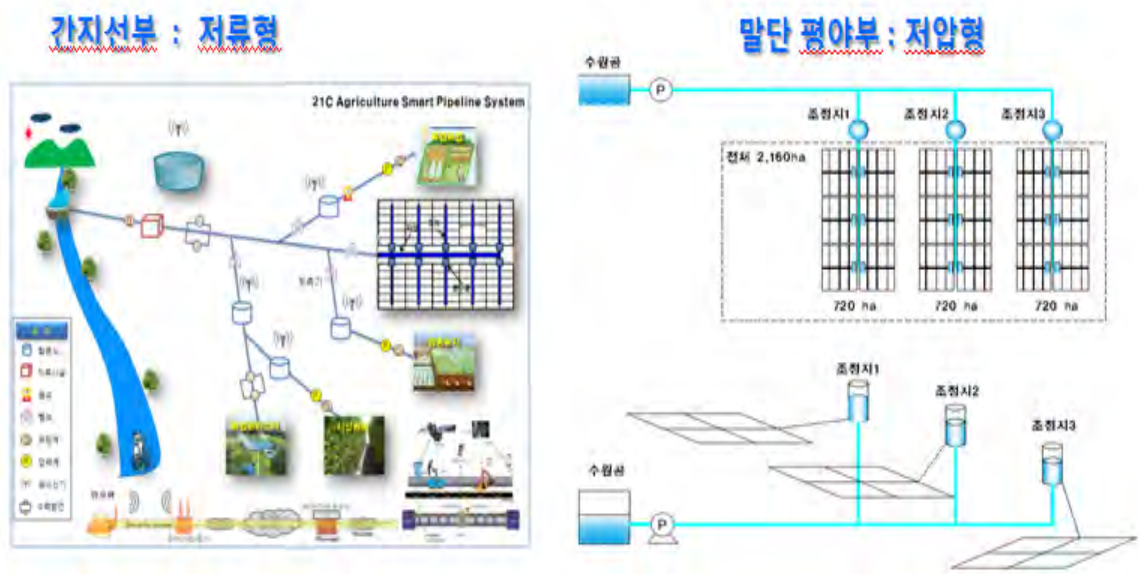


[그림 3-1-2-1] 광역단위 범용관개시스템(평야부 관개시스템)

- 간척지 시스템은 관수로가 보급되는 '90년대 초에는 담수호에서 양수하여 개거를 통하여 급수하는 방식을 일반적으로 취하였다. 이때 간선수로인 개거에서 지거인 관수로로 공급하는 경우가 많았으나, 지거의 유입부 수위가 충분하게 확보되지 않는 물관리상의 문제점이 노출되어, 담수호에서 고지대의 배수지에 양수하여 배수지에서 말단포장에 관개하는 방식을 도입하였다. 이 시스템은 말단포장에서 수압부족으로 물이 충분하게 나오지 않는 말단부 수압부족 현상이 발생하여 물관리에 어려움이 발생하였다.
- 이와 같은 간척지의 관수로 조직의 문제점은 광대한 면적의 평탄한 간척지 특성을 고려하지 않고 수로조직을 설계하는데 문제가 있다고 할 수 있다.
- 이와 같은 관수로의 수로조직 설계상의 문제점을 해소하기 위하여 저압 관수로 시스템 설계기술을 검토하게 되었다.

(2) 저류형 관망 모형

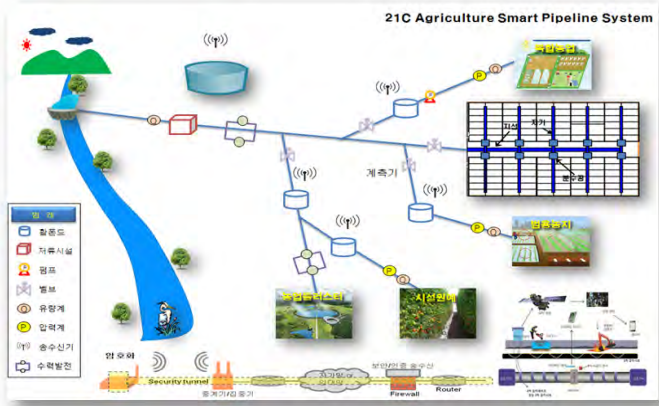
- 21세기형 농촌용수 공급시스템은 다양한 수요처의 요구에 대하여 다양한 수원공으로 부터 공급이 가능한 분산 저류형 관망시스템의 간선부에 저류시설이 위치하고 수요처 인근의 유입부에 환폰드가 위치하여, 수요처의 물 사용량을 수원공에서 즉시 공급하지 않아도 자체 보유 저류용량에서 우선 공급이 가능하여 수요 피크를 흡수할 수 있는 물관리가 용이한 용수공급 시스템으로 구축할 필요가 있다.
- 수요처의 수요량을 관망내의 저류량 만으로 공급할 수 있어 양수장 지구의 수원공의 취수 에너지를 절감할 수 있는 물관리가 용이한 시스템으로 수개의 팜폰드가 존재하는 저류형 관망조직에 스마트 요소기술이 융합되어 있다.
- 팜폰드 등 저류시설이 분산 배치되는 분산저류형 관망조직은 광역으로 산재되어 있는 다양한 수요처의 용수공급에 유리한 수로조직으로 논, 밭, 축산, 등 물사용 용도가 다양하게 존재하며 사용 패턴 또한 다른 경우의 물 공급에 유리하다. 이 용수공급 조직은 논, 밭 작물 재배를 위한 범용용수공급 체계, 지역 간 물 수급 불균형 및 사용처의 물 사용용도 별 수요변동 및 물사용 피크를 흡수하여 피크커드가 가능한 저류형 용수공급 체계로 활용이 가능하다.
- [그림 3-1-2-2]는 분산저류형 관망조직으로 간지선부 모형과 말단 평야부의 저압형 관망조직 모형의 표준적인 형태를 나타내고 있다. 간지선부 저류형 모형은 전술한 바와 같으며, 말단부 평야부 저압형 모형은 수원이 하천이나 담수호인 경우에 지선부에 조정지, 지거부에 분수공이 위치한 형태이며, 말단의 지거 유입부의 수압을 균등하게 유지해주는 수압 균등형 물공급 조직이다.



[그림 3-1-2-2] 저류형, 저압형 농촌용수 관망 모형

- 저류형 농촌용수 관망유형의 조직 특성의 수로조직, 물관리 유형, 적합지역, 면적규모, 관경설계, 조절시설 용량설계 등 설계인자를 구분하여 설명하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

[표 3-1-2-1] 저류형 관망모형 및 개념도

유 형	설 계 인 자
저류형 관망 모형	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 팜폰드, 조정지를 분산 배치하여 말단부 수요량의 피크를 흡수하여 말단부의 물 수요에 대응이 용이한 수요주도형 물관리가 가능한 용수공급 조직</li> <li>&lt; 수로조직 : 저류시설 이용 관망조직 &gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간선부 : 조정지, 함폰드 배치</li> <li>- 말단부 : 팜폰드 및 고압관로 배치</li> </ul> </li> <li>&lt; 물관리 유형 : 수요주도형 &gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조정지 및 함폰드 배치하여 수요주도형 물관리 실현</li> </ul> </li> <li>&lt; 적합지역 &gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구릉지 및 산간지</li> </ul> </li> <li>&lt; 면적규모 &gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광역단위 농촌용수 공급 유리 (수백 ha ~ 수천 ha)</li> </ul> </li> <li>&lt; 관경 설계 &gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간선부 관경 : 규모를 줄일 수 있음                   <ul style="list-style-type: none"> <li>. 간선부                       <ul style="list-style-type: none"> <li>저수지의 경우 24시간 연속 관개</li> <li>양수장 경우 20시간 작동</li> </ul> </li> <li>. 지선, 지거부                       <ul style="list-style-type: none"> <li>팜폰드 이후 : 16~18시간 관개 규모로 설계</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> <li>&lt; 조절시설 용량 규모 &gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조정지 용량 : 7일 이내 (사고 보수 가능 시간)</li> <li>- 팜폰드 용량 : 8~6시간</li> </ul> </li> </ul>
개념도	 <p>The diagram illustrates the '21C Agriculture Smart Pipeline System'. It shows a central water source (reservoir) on the left, connected to a network of pipes. Key components include:       <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Control Room (제어실):</b> A central hub for monitoring and controlling the system.</li> <li><b>Flow Meters (유량계):</b> Devices for measuring water flow at various points.</li> <li><b>Valves (밸브):</b> Used for regulating water flow and pressure.</li> <li><b>Smart Meters (스마트미터):</b> Advanced devices for data collection and communication.</li> <li><b>Network Infrastructure:</b> Includes routers, firewalls, and communication lines connecting the physical system to a smart control system.</li> <li><b>Field Components:</b> Shows water being distributed to various agricultural fields, with some fields equipped with sensors for soil moisture and crop health.</li> </ul> </p>

### (3) 저류지 이용 관수로 조직 구상 및 설계

#### (가) 개요

- 다음은 간척지를 대상으로 저류지형 관로 조직을 구상하여 검토한 수리설계사례를 검토한 결과이다.
- 수로조직을 양수배수지형(담수호 → 양수장 → 배수지(고지대) → 관망)과 양수저류지형(담수호 → 양수장 → 팜폰드(저지대) → 관망)으로 구성하여 비교한다.

#### (나) 관수로 조직 구상

##### ○ 기본 방향

- 양수장에서 취수된 농업용수를 사용자가 받아 사용하기까지는 관망(토출조(배수지)-배수본관-배수지관)이라는 용수 수송체계를 거쳐야만함. 그중에서도 특히 관망을 구성하는 시설로는 토출조(배수지), 가압장, 그리고 배수본관, 배수지관, 급수관과 같은 시설 등이 존재함.
- 용수 수송체계의 중추기능을 가진 관망은 급수의 안정을 위해서는 수량적으로 충분히 공급되어야 하고, 수압에 있어서는 최소잔류수압을 유지하여야 하며 수자원의 효율적인 이용과 단수 사고의 예방측면에서는 누수를 최소화할 수 있어야 함.
- 이러한 관수로는 인위적으로 설치되는 시설물로서 내구년수가 영구적이지 못할 뿐만 아니라 대부분 지하에 부설되므로 시각적으로 염폐되어 유지관리가 어렵고, 관내부에는 항상 수압이 작용하여 관로사고 위험이 상존하며, 시간대별 물사용의 변화로 관말 급수전에서는 수압변동이 크게 일어나며, 또한 관수로는 자정작용 능력이 없어 수질의 2차적인 오염도 있을 수 있으므로 계획적인 관리가 필수적임.

##### ○ 배수방식

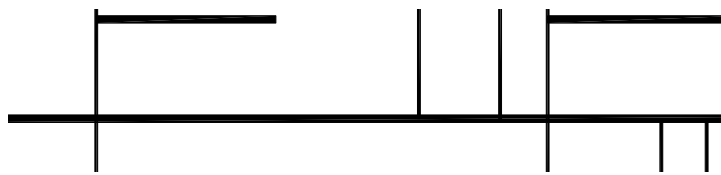
- 배수방식에는 “자연유하식”과 “펌프가압식” 또는 “병용식”이 있음. 급수구역 내에 가까운 곳에 적당히 높은 곳이 있으면 자연유하식이 적절하며, 적당히 높은 곳이 없을 경우에는 펌프가압식으로 하여야 함.
- 지형적으로 자연유하식에 충분한 높이가 아니더라도 높이에 따라 일부 자연유하식으로 하고, 수압이 부족한 부분을 보충하기 위해 가압펌프를 설치하여 가압급수구역을 설정하기도 함. 새만금 간척지 6공구 지역은 농지로 이용할 계획이고 평지로 이루어져 자연유하를 기본으로 계획되었음.

##### ○ 배수관망의 형태

- 배수관망은 넓은 구역내의 각 수요지점에 적정수압유지, 안정된 수량확보, 수질의 안전성 등을 목적으로 정수를 분배하는 시설로서 정수의 원활한 운송과 배분기능, 등압성, 응급성, 개량의 편의를 도모할 수 있어야 함.
- 배수관망의 형태는 크게 분류해서 수지상식(Branch Type)과 격자식(Loop Type)의 2종류가 있음. 이와 같은 관계들을 관망(Network)이라 함.
- 수지상식(Branch Type)관망은 수용가가 불규칙적이고 원거리인 지역의 지형상 부득이한 경우에는 사용되는 관망의 초보 형태로서 관이 서로 연락되어 있지 않고, 나뭇가지 상으

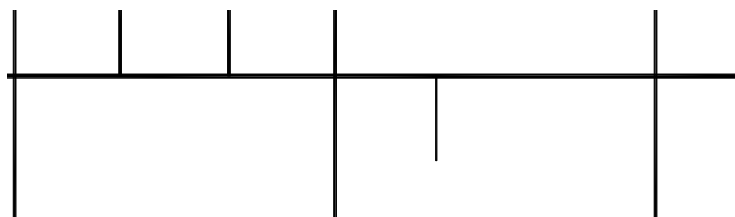
로 각각 갈라져서 말단으로 갈수록 관이 좁게 구성되는 형태로 배수본관과 배수지관의 구분이 어려우며, 소규모 수도시설 지역이나 수요밀도가 낮은 지역에 있어서의 배수관망 형태임.

- 관망 구성의 특징은 관망 상호간에 수압을 서로 보완할 수가 없어 수압의 저하가 뚜렷하며 결국 큰 관경을 필요로 하기 때문에 경제성 측면이 떨어지게 됨.
- 뿐만 아니라 상류 측 관로의 사고나 유지관리 시에는 하류 측 전체가 단수되는 단점이 있어 용수공급의 안정성 측면에서도 아주 불리한 형태라 할 수 있음.
- 수질적 측면으로는 관 말단 부분은 물이 정체하여 수질에 악영향을 미치고, 적수 등의 원인이 되므로 때때로 유말공을 열어서 방수(Flushing)할 필요가 있음. 그러나 수리계산은 간단하여 정확히 되고 단수 시 운영하는 밸브가 적은 유리한 점도 있음.



[그림 3-1-2-3] 수지상식 배수관망 형태

- 격자식(Loop Type)은 “망목식” 이라고도 하며, 그물눈과 같이 관이 서로 연락하고 있으므로 물이 정체하지 않고 수압도 유지하기 쉬워 비상시에도 충분한 용수를 공급할 수 있음으로 인해 대처가 특히 유리한 반면에 관망의 수리계산은 매우 복잡한 단점이 있음.
- 격자식(Loop Type)을 세분하면 단식격자형 배수관망과 복식격자형 배수관망으로 구분할 수 있으며 단식격자형 배수관망은 대부분 현재 배수관망 시설의 전형적인 형태로서 상수도관망에 대부분 이러한 관망의 구성을 보이고 있음.

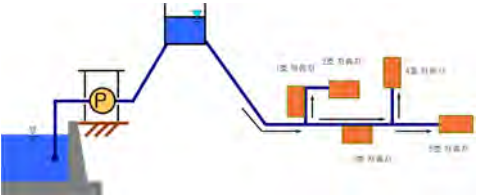
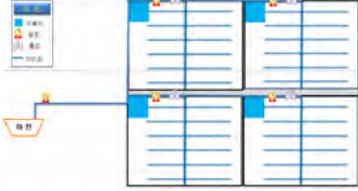


[그림 3-1-2-4] 격자식형 배수관망 형태

#### (다) 관망구성 비교

- 설계기준에 적합한 시설과 시공성, 경제성, 유지관리성을 고려한 관망구성 비교는 3가지 안으로 검토하였음.

[표 3-1-2-2] 관망구성 비교

구분	제1안	제2안	제3안
개요	- 사업구역내 간선관로를 통해 수지상지거로 계획하여 경제적으로 용수를 공급하는 안	- 완전한 격자형은 아니나 1안의 수압불균형구간을 순환관망을 구성하여 비상시 단수를 최소화 하고 수압의 편차를 줄여 1안의 단점을 보완한 방안	- 1,2안의 단일 배수지를 통한 수지상식 용수공급이 아닌 4개의 급수구역으로 나눠 소비수지를 통한 용수공급 방안
장점	- 관망구성이 비교적 단순 - 관로연장이 짧아 공사비 저렴 - 관로연장 짧아 유지관리 용이	- 수압 균등화로 양수장 양정감소로 전력비 최소화 - 사고시 단수구역 최소화 - 지선관로 관경축소 가능	- 급수구역 분할로 수압이 균등 - 양수장 양정감소 - 송수관로 관경축소로 관로공사비 감소
단점	- 관망 구성이 수지상식으로 사고시 대처 곤란 - 손실수두 증가로 관말 수압 저하, - 양수장 전력비 증가	- 관로연장이 길어 공사비 증가 - 격자형 관망 구축으로 관부설비 증가 - 관로 및 비상밸브 추가로 유지관리 불편	- 시설물 증가(배수지 4개, 가압장 4개)로 공사비 증가 - 가압장의 전력비 추가
시공성	- 관로구성이 비교적 단순하여 시공성 양호	- 관로 연결지점이 많아 비교적 불리	- 시설물 증가로 시공 불리
경제성	- 관로연장이 짧아 공사비는 적으나 유지관리비 고려시 경제적이지 못함.	- 관로연장이 길어 공사비는 많으나 유지관리비 고려시 경제적임.	- 관로공사비는 적으나 시설물 공사비 및 유지관리비 불리
수압편차	- 토출조 L.W.L 35m 기준 - 잔류두수 : 10.5~31.7m	- 토출조 L.W.L 35m 기준 - 잔류두수 : 17.7~31.7m - 1안보다 양수장 양정 7m 감소 가능	- 가압장 L.W.L 37m 기준 - 잔류두수 : 18.9~30.7m - 1안 보다 양수장 양정 15m 감소 가능하나 가압장 추가
사업비	- 관 로: 16,207백만원 - 양수장: 7,820백만원 - 토출조: 2,898백만원(체류시간 2시간) - 계: 26,925백만원	- 관 로: 17,208백만원 - 양수장: 7,820백만원 - 토출조: 2,898백만원(체류시간 2시간) - 계: 27,926백만원	- 관 로: 15,686백만원 - 양수장: 7,477백만원 - 토출조: 3,521백만원(체류시간 2시간, - 가압장: 9,804백만원 - 계: 36,488백만원
전력비	- 811백만원/년	- 685백만원/년 (양수장 양정 7m 감소시)	- 1,034백만원/년 (양수장 양정 20m 감소, 가압장 4개소 신설)
40년현가	- 41,594백만원(100.0%)	- 40,587백만원(97.6%)	- 56,584백만원(136.0%)
관망조직	 <p>배수지 이용 관망조직</p>		 <p>저류지 이용 관망조직</p>



(라) 관망해석

○ 관수로 설계 및 관망해석 기준은 [표 3-1-2-3]와 같음.

[표 3-1-2-3] 관수로 수리해석 기준

구 분	설 계 기 준
수리공식	<ul style="list-style-type: none"> <li>관수로 hazen-williams공식 적용</li> <li>- Roughness 계수 : D700이하 100적용, D800이상 110적용</li> </ul>
관경결정	<ul style="list-style-type: none"> <li>경제성 고려 최적 관경 제시</li> <li>- 관부설비, 전력비, 유지관리비 등 고려</li> </ul>
수요량결정	<ul style="list-style-type: none"> <li>격점별 면적에 따른 ha당 단위용수량 적용</li> </ul>
수리계산	<ul style="list-style-type: none"> <li>관내 적정유속 유지(0.3m/s 이상)</li> <li>지선관로 관말지점 적정수두 유지(1~3kgf/cm<sup>2</sup> 이상)</li> </ul>



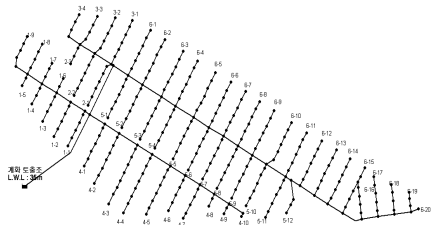
[그림 3-1-2-5] 공구 현황도

(4) 저류지 이용 관개시스템 검증

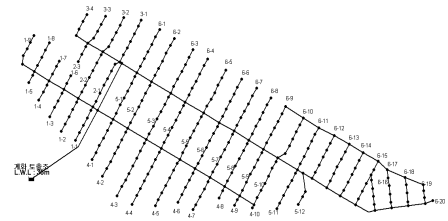
(가) 대상 관망

- A지구를 대상으로 배수지형과 저류지형의 관망을 설계하여 저류지형 관개시스템의 효율성을 검토 하였음. A 지구 검토 관망은 1안의 경우 335개의 관로로 구성되어 있으며 분기형 관망이며, 2안의 경우는 356개의 관로로 구성되어 있으며 회로형 관망으로 구성되어 있음.
- 3안의 경우는 345개의 관로로 구성되어 있으며, A공구를 다시 4개의 구획으로 구분하여 저류지에 저장하여 펌프를 통하여 관개하는 시스템임.
- 본 연구에서 이용한 관경에 대한 관 길이당 비용데이터는 [표 3-1-2-4]과 같음. 관로에 대한 유지관리비의 경우 기존 문헌에 제시되어 있는 바가 없어 적절히 가정하였음. 최적

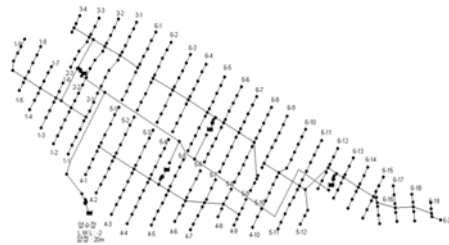
화를 위한 상업용 관경의 개수는 18개를 고려하였다. 관경에 대한 공사비와 재료비 자료는 한국수자원공사 (2010)의 『수도시설 개략공사비 산정서』 보고서의 관경별 강관 개략공사비자료를 사용하였으며 80mm 관경의 경우 자료가 없어 적절히 가정하였음. 향후 정확한 공사비가 마련될 경우 사용자는 입력파일로서 공사비, 재료비, 유지관리비를 수정이 가능하도록 하였음.



[1안]



[2안]



[3안]

[그림 3-1-2-6] 배수지 이용 관망조직



[표 3-1-2-4] 관경별 비용 자료

관경 (mm)		비용(원/m)		
		공사비	재료비	유지관리비
1	80 (가정)	65,000	15,000	6,500
2	100	65,999	27,583	6,600
3	150	76,410	40,686	7,641
4	200	86,028	58,716	8,603
5	250	96,135	81,160	9,614
6	300	105,325	103,231	10,533
7	350	113,818	125,107	11,382
8	400	126,797	148,836	12,680
9	450	136,250	155,522	13,625
10	500	147,792	181,823	14,779
11	600	171,991	211,396	17,199
12	700	211,413	273,528	21,141
13	800	307,640	339,740	30,764
14	900	359,048	384,619	35,905
15	1000	415,702	451,932	41,570
16	1100	482,074	547,224	48,207
17	1200	576,736	606,962	57,674
18	1350	687,390	716,075	68,739

주) 한국수자원공사 개략공사비 산정서 (2010)

[표 3-1-2-5] 대상관망의 결정변수 및 가능해 수

대상관망	원안 관망 결정변수 (개)	총 관로 길이	가능해 수
1안	335	37,875m	$18^{335} \approx \infty$
2안	356	40,440m	$18^{356} \approx \infty$
3안	345	41,390m	$18^{345} \approx \infty$
200	86,028	58,716	8,603

- 대상관망의 관로의 수가 1안의 경우 335개, 2안의 경우 356개, 3안의 경우 345개 이므로, 최적화를 통하여 결정해야 할 결정변수의 수는 각각 335개, 356개, 345개가 됨. 또한 대상관망에 적용 될 수 있는 관경의 수는 [표 3-1-2-4]과 같이 총 18개 이므로 설계 시 고려 될 수 있는 가능해 수는 [표 3-1-2-5]에 제시된 바와 같이 무한대가 됨.
- 이와 같이 결정변수가 많을 경우 기본적인 유전알고리즘으로 최적해를 찾을 경우 수렴속도가 오래 걸리게 되며, 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 최신의 Hybrid 알고리즘 등에 대한 연구가 최근에 이루어지고 있으며 이를 적용하게 되면 최적해 산정의 수렴속도가 향상되고 규모의 크기에 따라 더 좋은 최적해를 산정하게 됨.

(나) 유전알고리즘 적용

① 목적함수 및 벌칙함수

- 관수로시스템을 설계함에 있어서 목적함수는 설계비용을 최소화하는데 있음. 본 과업의 개발 알고리즘에는 최적화를 위한 설계비용으로 환경에 따른 공사비, 재료비, 유지관리비를 모두 적용하였음. 따라서 목적함수의 식은 다음과 같음.

$$\text{Min. Cost} = \sum_{i=1}^N (C_c(D_i) + C_M(D_i) + C_P(D_i))L_i$$

여기서,

$C_c(D_i)$  : 환경별 단위길이(m)당 비용함수 (시공비)

$C_M(D_i)$  : 환경별 단위길이(m)당 비용함수 (유지관리비)

$C_P(D_i)$  : 환경별 단위길이(m)당 비용함수 (재료비)

$L_i$  : 관로길이 (m)

$D_i$  : 환경 (mm)

$N$  : 관로의 총 개수

- 유전알고리즘은 원래 제약조건이 없는 최적화 문제를 해결하기 위해서 고안된 알고리즘임. 하지만 관망의 최적화 문제에서는 수리학적 제약조건식들이 있음. 따라서 제약조건이 있는 최적화문제를 제약조건이 없는 최적화 문제로 바꾸기 위하여 벌칙함수법을 도입함. 벌칙함수를 적용한 최종 목적함수는 다음과 같이 정의됨.

$$\text{Min. Cost} = \sum_{i=1}^N (C_c(D_i) + C_M(D_i) + C_P(D_i))L_i + \sum_{j=1}^M P_j |h_j - h_{\min \text{ or } \max}| + \sum_{i=1}^N P_i |v_i - v_{\min \text{ or } \max}|$$

여기서,

$h_j$  : 각 절점의 압력수두 (m)

$h_{\min}$  : 최소압력수두 (m)

$h_{\max}$  : 최대압력수두 (m)

$v_i$  : 각 관로의 속도 (m/sec)

$v_{\min}$  : 최소유속 (m/sec)

$v_{\max}$  : 최대유속 (m/sec)

$P_j, P_i$  : 압력과 유속에 대한 벌칙함수 (penalty function)

- 여기서, 벌칙함수는 각 절점의 압력과, 관로의 유속이 최소값과 최대값의 범위를 벗어나는 경우에만 적용되며 아래의 식은 본 모형에서 적용한 벌칙함수식을 나타냄. 적용된 대상 관망의 경우 절점의 최소압력수두를 10m, 최대압력수두를 35m, 최소유속을 0.01m/sec, 최대유속을 2.5m/sec로 설정하였음.

$$P_j = \alpha(|h_j - h_{\min} \text{ or } h_{\max} - h_j|) + \beta$$

$$P_i = \alpha(|v_i - v_{\min} \text{ or } v_{\max} - v_j|) + \beta$$

여기서,

$\alpha, \beta$  : 벌칙상수

- 최적화 모형을 실행하였을 때에 각 절점의 압력수두와 관로의 유속이 설계조건인 최소값과 최대값을 만족하지 못하면 벌칙상수인  $\alpha$ 에 상당히 큰 값을 주어 벌칙비용을 크게함으로써 최소비용에 선택되지 않게 하며 압력수두와 유속이 설계조건에 근접하게 미달할 경우에 대비하여  $\beta$ 값을 크게 줌으로써 전체적으로 모든 설계조건을 만족하는 모형을 구현하였음.
- 여기서, 본 과제의 대상지역인 새만금지구의 경우  $\alpha$ 값과  $\beta$ 값에 대하여 시행착오분석을 한 결과  $\alpha=10,000,000$ ,  $\beta=100,000,000$ 의 값인 경우에 효율적인 최적설계를 할 수 있었음.

② 유전연산자 및 매개변수 설정

- 대상 관망에 대하여 본 프로그램에서 적용한 유전연산자 및 매개변수는 [표 3-1-2-6]과 같음. 집단의 크기는 20, 교배확률은 0.95, 돌연변이 확률은 0.001로 설정하였음. 이 매개변수 값은 최적의 결과를 나타내었을 때의 매개변수로 매개변수의 조정에 따라서 최적해의 수렴시간, 수렴효율 등이 다르게 나타남.

[표 3-1-2-6] 대상관망 적용 매개변수

제어 매개변수	설정 값
집단크기 (M)	20
교배확률 (Pc)	0.95
돌연변이확률(Pm)	0.001
제약조건 (압력, h)	10 < h < 35

③ 대안 평가 결과

[표 3-1-2-7] 1~3안 원안 비용

대상관망	원안 관망 결정변수(개)	총 관로길이	비용(원)
1안	335	37,875m	10,484,719,750
2안	356	40,440m	11,200,114,720
3안	345	41,390m	11,503,515,255

- 1~3안의 절점 수두를 살펴보면, 1~2안의 경우 최소 수두가 10m 이상으로 전반적으로 안정적으로 나타나고, 3안의 경우도 B4 절점의 수두를 제외한 모든 절점의 수두가 10m 이상으로 나타남.

- 3안의 B4 절점은 수두가 0.5m로 나타나 해당절점이 실제로 수요 절점인 경우에는 공급성이 떨어질 가능성이 있으나, 수요 절점이 아닌 경우이므로 Pump 3의 펌프 양정을 통하여 다른 수요절점의 수두를 충분히 높여 공급할 수 있음.
- [표 3-1-2-7]은 1~3안의 수리해석 결과 중 절점 수두와 관로 유속 값을 이용하여 통계 값을 산정한 결과를 나타낸다. 일반적으로 관수로시스템의 수리적 안정성을 평가하는 인자로는 절점 수두의 균등화와 관로의 관경별 경제적 유속을 사용함.
- 절점 수두의 균등성을 살펴보면, 1안이 상대적으로 다른 안들에 비하여 수두의 편차와 분산이 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 2안이 1안에 비하여 평균 압력이 높고 편차, 분산 등이 낮게 나타나 수리학적으로 보다 안정적인 결과를 나타냄.
- 3안의 경우는 2안에 비하여 최소와 최대 절점 수두의 차이가 크게 나타나지만 분산이 2안보다 낮게 나타남. 이는 3안에서 나타나는 최소 수두 절점 이외는 전반적으로 수두의 편차가 상당히 작게 나타난다는 것을 의미함.
- 따라서 3안의 최소 수두 절점은 실제적인 수요절점이 아니므로 3안 역시 상대적으로 수리학적으로 안정적인 결과를 나타낸다고 볼 수 있음.
- 이와 같이 절점 수두의 수리학적 상태가 1안에 비하여 2, 3안이 더 안정적으로 나타난 이유는 관수로시스템의 구성에서 기인함. 2안은 분기형 시스템인 1안에서 추가적인 관로의 설치를 통하여 망형 관수로시스템을 구현한 경우임.
- 이 경우 수요절점까지의 공급경로가 1안의 경우 한 가지로 결정되는 상황이지만, 2안의 경우에는 공급경로가 다양한 상황에서 손실수두가 적게 나타나고 수리적으로 만족되는 공급경로로 물 공급이 가능하게 되므로 1안에 비하여 수리학적으로 안정된 시스템이 구현될 수 있음.
- 이와 같이 망형관수로 시스템은 공급가능 경로가 다양하기 때문에 관수로 파괴, 차폐 등의 비정상상황시의 공급성이 분기형 시스템보다 좋다는 장점을 지님.
- 3안의 경우는 2안과는 다르게 극히 일부분에 망형관로시스템이 존재함. 그럼에도 1안에 비하여 안정적인 수리학적 결과가 나타난 이유는 각 구획별 펌프양정을 통하여 1, 2안과는 다르게 대상 관로시스템을 또 다시 수리학적으로 독립된 네 개의 구획으로 구분하여 설계하였기 때문임.
- 3안의 경우 수리학적으로 독립된 구역을 세분화 시켜 보다 합리적이고 효율적으로 지역별로 변동되는 수량에 대처할 수 있고 향후의 관로 정비 및 증설계획에 대응할 수 있는 장점이 있지만, 펌프의 증가로 인하여 유지관리의 어려움과 유지관리비의 증가가 예상된다는 단점이 혼재함.

- 관로 유속의 통계치는 1~3안 모두 일부 관로에서의 유속이 다소 낮게 나타나지만 전체적인 허용 유속과 평균 유속이 경제적 유속을 만족함을 알 수 있음.

[표 3-1-2-8] 1~3안 수리해석 결과(절점수두, 관로 유속 통계치)

대상관망	절점 수두 (m)				관로 유속 (m/s)			
	최소	최대	평균	분산	최소	최대	평균	분산
1안	10.45	31.66	21.24	23.55	0.09	2.22	1.11	0.09
2안	17.65	31.66	23.04	13.95	0.01	1.92	0.97	0.16
3안	0.5	30.79	25.17	10.63	0.07	1.89	0.95	0.06

(5) 저류지 이용 관수로 시스템 설계기술 개발

(가) 저류용량 설계기법 개발

- 저류지 포함 관수로를 설계하는 경우는 저류용량 설계가 필요하며 설계기준에 의거 수요량 기준으로 하여 저류용량을 설계하고 있다. 현행의 저류지 용량 설계기법은 시간에 따른 수요변화를 고려하지 않는 설계기법으로 운영을 고려한 설계기법이 아니다. 따라서, 현행의 저류지 설계용량의 적정성은 설계기준 용량 이외에 판단할 수 있는 방법이 없다.
- 이와 같은 설계상의 문제점을 해소하게 위하여 관망내 저류지 용량의 적정 설계를 위한 수요량의 시간 변화를 고려한 관망 저류지 용량결정 시뮬레이션 기법을 제시하였다. 이 기법을 도입하면 저류시설을 포함한 관망 저류시설 용량설계시 관망시뮬레이션으로 사용량을 시간변화를 고려한 용량을 결정할 수 있다.

(나) 관망 저류지 용량결정 시뮬레이션 기법

① 개요

- 관망모델링을 위하여 관망설계에 가장 많이 사용하고 있는 EPANET 프로그램을 준비한다. 사업대상지의 관망노선, 관경, 관중, 연장 등 관망 개략설계 자료를 활용하여 시뮬레이션을 위한 관망모델링 및 입력 파일을 작성한다. 관망 모델링은 EPANET 모델링 방법을 이용하고, 배수지는 용량은 설계기준 용량을 초기 용량으로 활용한다.
- 이때, 양수장 지구는 펌프를 모델링하고, 사용량 제어를 위하여 밸브를 모델링 한다. 이때 가장 중요한 것은 말단의 물사용 패턴이며 물사용 패턴은 논의 경우는 일반적인 급수패턴을 이용하고, 밭의 경우는 밭의 물사용 패턴을 이용한다. 물 사용패턴은 실제 사용에 의한 패턴이나 사업 시행 전에는 지구에서 조사한 물사용 패턴을 사용하거나, 인근지역 물사용 패턴으로 설계해도 된다.
- 물사용 패턴은 전체 사용량에 대한 시간, 일별, 주간, 월, 연간 사용패턴이며, 기본적으로 기간을 자유롭게 설정이 가능하다. 물 사용량은 단위용수량을 일 혹은 시간 단위 사용량으로 환산하여 시간패턴을 곱하여 활용하도록 한다.

② 사용패턴 계산 방법

○ 다음은 물 사용량으로부터 사용패턴 계산하는 방법을 제시하였다.

- 시간 패턴 : 구역 내 시간당 사용량 합계를 24시간으로 나누어 시간당 평균치를 산정한 후 시간당 사용량을 시간당 평균치로 나누어 시간 패턴을 산정한다. 시간 패턴은 시간에 따른 양의 변화를 승수(乘數, multiplier)를 이용하여 적용하는 것이다.

< 계산 예 >

○ 말단 구역에서 평균 사용량이 100m<sup>3</sup>/일이고 다음과 같이 4시간을 단위로 사용량 패턴이 변한다고 가정하는 경우 다음과 같이 설정하면 된다.

◇ 시간 패턴 산정 방법

기간	1	2	3	4	5	6
승수	0.5	0.8	1.0	1.2	0.9	0.7

- 말단 구역에서의 실제 사용량은 다음과 같다.

시 간	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
사용량(m <sup>3</sup> /일)	50	80	100	120	90	70

- 일 패턴 : 구역 내 일 단위 기간 중의 사용량 합계를 일 단위 기간으로 나누어 일 단위 평균치를 산정한 후 일 단위 기간으로 나누어 일 패턴을 산정한다. 주간, 월 단위 패턴도 동일한 방법으로 산정한다.

③ 수요량 산정

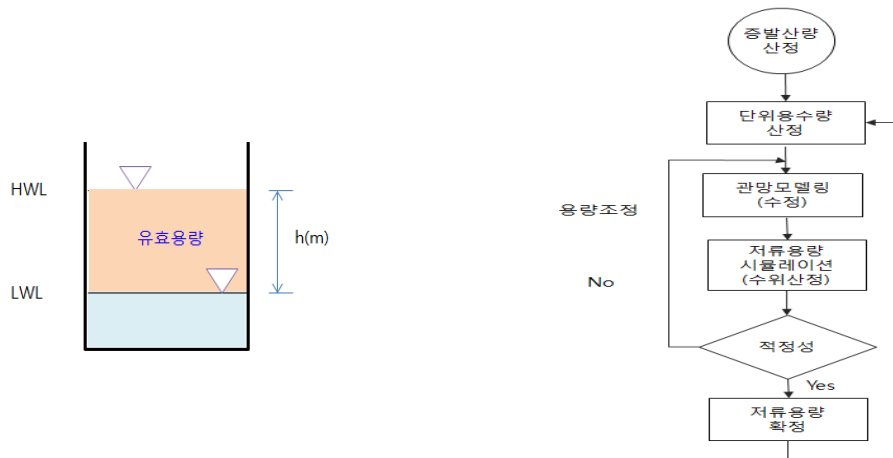
○ 관망해석에 수요량 정보를 입력하기 위하여 먼저 증발산량과 단위용수량을 산정한 후 농지의 수해면적을 곱하여 구역별 수요량을 산정한다.

○ 관망 설계 시 단위용수량 단위는 보통 초 단위 (m<sup>3</sup>/s)로 산정하나 필요시 시간(m<sup>3</sup>/h), 일 (m<sup>3</sup>/d) 단위로 환산한다,

④ 관망 저류지 용량결정 시뮬레이션 기법

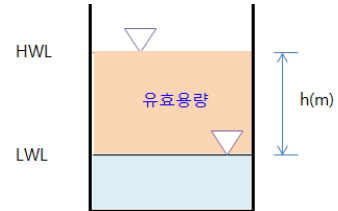
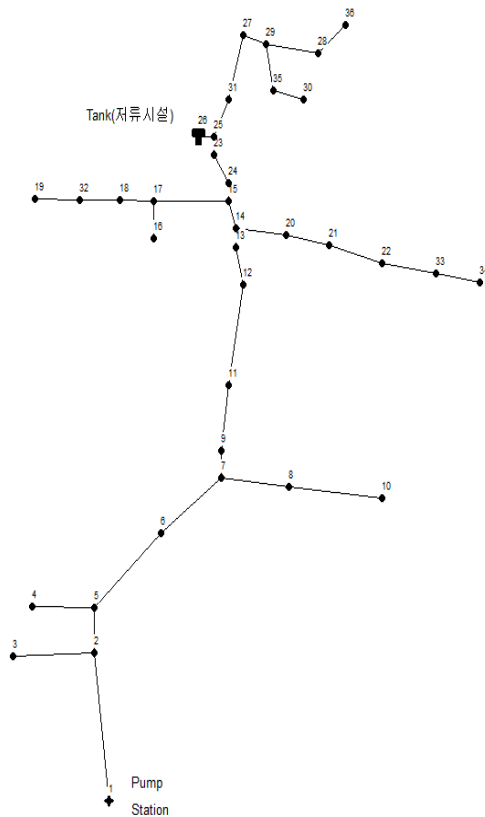
○ 저류용량의 적정성을 시뮬레이션으로 검토하기 위해서는 관망모델링이 필요하며, 관망모델링을 한 후, 펌프 운전조건, 수위 설정조건을 적용하여 저류지 수위를 시뮬레이션 한다.

○ 그 후 시뮬레이션을 결과인 수위 변화, 펌프 공급량 변화 등을 정밀하게 검토한 후 저류 시설 수위가 넘치거나 수위변동이 너무 적으면 저류용량을 프로그램에서 변경하여 다시 시뮬레이션을 검토한다. 검토결과 수위가 설정수위 범위 내에서 적정하게 변화하면 저류용량을 개략적으로 결정한다.



[그림 3-1-2-7] 저류용량 개념도 및 시뮬레이션 순서

- 저류용량의 적정성 판단은 저류시설의 유효용량 즉 고수위(HWL), 저수위(LWL)의 사이의 용량을 기준으로 검토하고, 이용량 내에서 수위가 변동하면 저류지 용량은 적정하다고 할 수 있다.
  - 따라서, 저류지 적정용량은 수위변화가 고수위(HWL), 저수위(LWL)의 사이의 수위범위에서 결정하는 것이 가장 합리적이다. 그리고 저류지의 수위가 고수위(HWL)를 넘거나 저수위(LWL)를 벗어나면 수위변화가 심한 것으로 보고 저류지 용량을 키우거나 줄여서 가시 시뮬레이션을 하여 적정용량을 찾는다.
  - 만약, 양수장 지구의 저류지(배수지, 토출조) 용량을 검토하는 경우는 양수 펌프와 관련이 있으므로 저류 용량 결정문제는 양수장 가동문제로 연결되어 펌프 운영비용 문제로 확대된다. 그리고 저류시설 용량이 너무 크면 설치비가 많이 들어가는 단점이 있으나 운영비를 줄일 수 있는 장점이 있어 적당한 용량으로 설계하는 것이 중요하다.
  - 본 장에서는 이와 같이 관망 내에 저류시설의 용량결정에 도움이 될 수 있는 관망 저류지 용량결정 시뮬레이션 기법에 대하여 제시하고자 한다.
- ⑤ 관망 저류용량 시뮬레이션 결과
- 관망 모델 적용
    - 저류시설 용량 검토를 위하여 저류시설이 있는 분기형 관망을 예제 관망으로 하여 저류용량 시뮬레이션 기법을 검토하는 방법을 제시하겠다.



배수지 제원  
 HWL : 70m  
 LWL : 50m  
 직경 : 50m  
 표고 : 235m

[그림 3-1-2-8] 예제 관망

[표 3-1-2-9] 관망제원

LinkID	Length m	Dia mm	Rough	Flow CMD	Velocity
					m/s
Pipe1	2400	300	0.015	666.62	1.89
Pipe2	800	300	0.015	638.9	1.81
Pipe3	1300	200	0.015	17.64	0.11
Pipe5	1000	300	0.015	-10.08	0.03
Pipe6	1200	300	0.015	618.74	1.76
Pipe7	2700	300	0.015	612.44	1.74
Pipe8	1200	300	0.015	17.64	0.05
Pipe9	400	300	0.015	589.76	1.67
~	~	~	~	~	~
Pipe38	500	200	0.015	3.78	0.02
Pipe39	1000	200	0.015	3.78	0.02
Pipe41	300	200	0.015	1.26	0.01

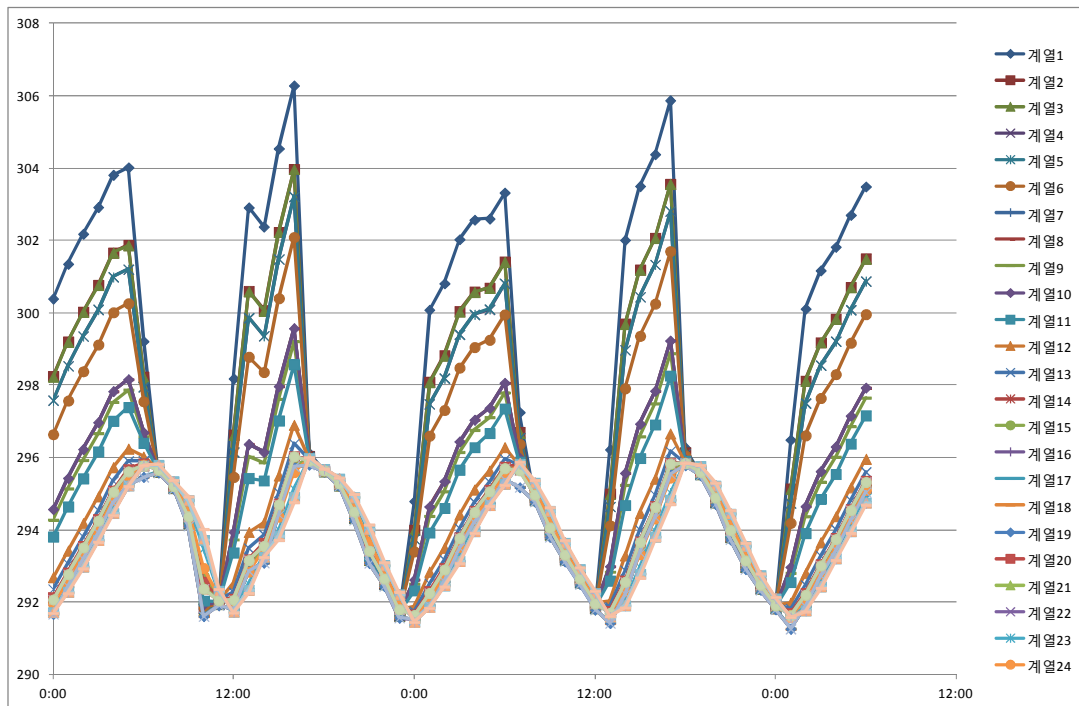


○ 강제이론에 의한 저류용량 시뮬레이션 결과

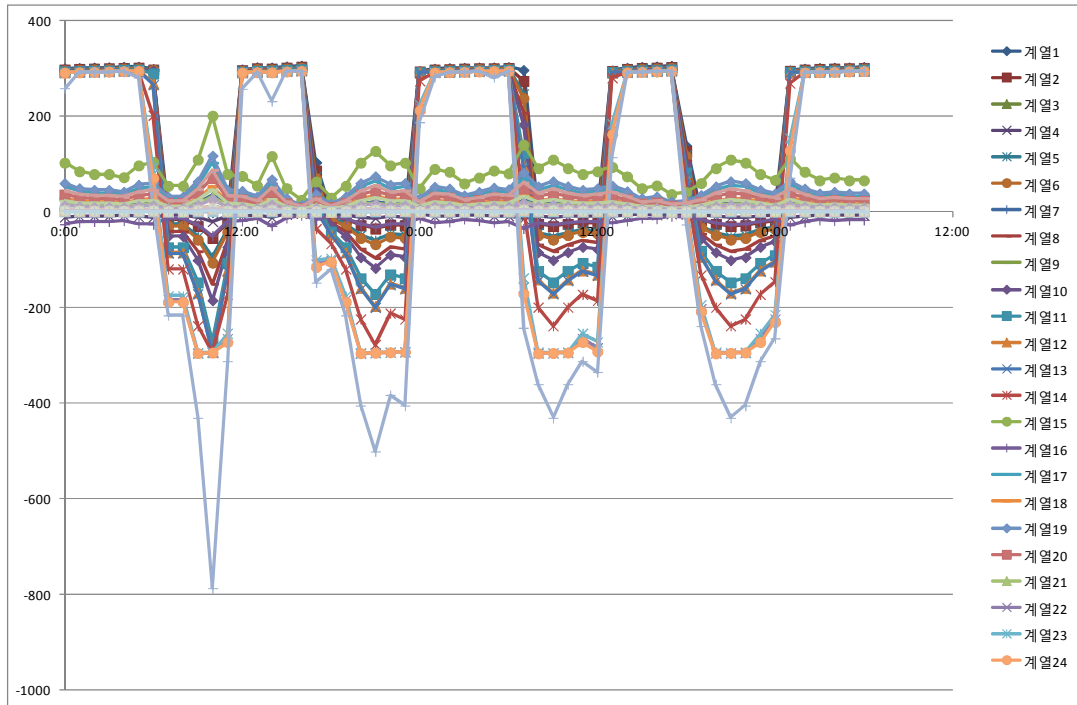
- 저류시설 용량 검토를 위하여 저류시설의 용량을 직경으로 조정하여 검토 Case를 설정한 후 저류시설의 수위변동을 분석하여 목표로 하는 수위변동 변동 폭 내에 있으면 용량이 적절한 것으로 판단할 수 있다. 이와 같은 방법으로 관망의 저류지 용량을 case를 다양하게 하여 검토하면 수요량을 고려한 적정 저류지 용량을 찾을 수 있다.

[표 3-1-2-10] 저류용량 검토 Case별 서징해석 결과

Case	배수지 직경(m)	수위변화	서징해석 결과
			그래프
Case 1	50	292~300m (8m)	
Case 2	70	291.5~296 (5.5m)	



[그림 3-1-2-9] 각 절점의 관망해석 결과



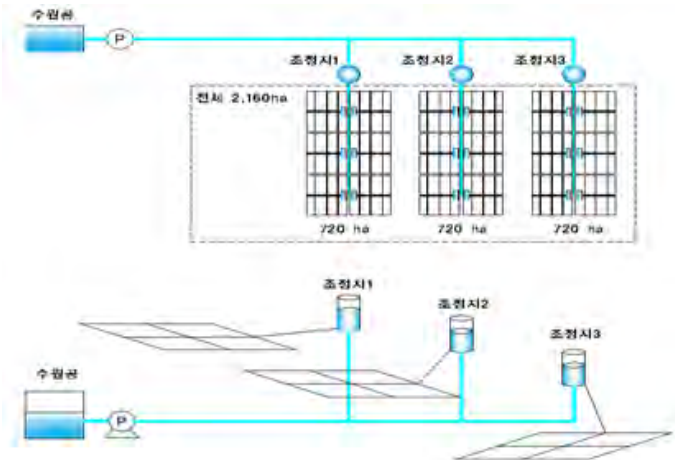
[그림 3-1-2-10] 각 링크의 관망해석 결과

## 나. 저압형 논관개 시스템 설계기술 개발

### (1) 관망조직 구성

- 관수로를 이용하여 논관개 시스템을 구축할 경우 논은 수압을 필요로 하지 않으므로 저압형으로 설치하는 것이 유리함. [그림 3-1-2-11]은 펌프를 이용하여 공급하는 경우의 저압형 관망시스템의 간선부를 나타내고 있음.

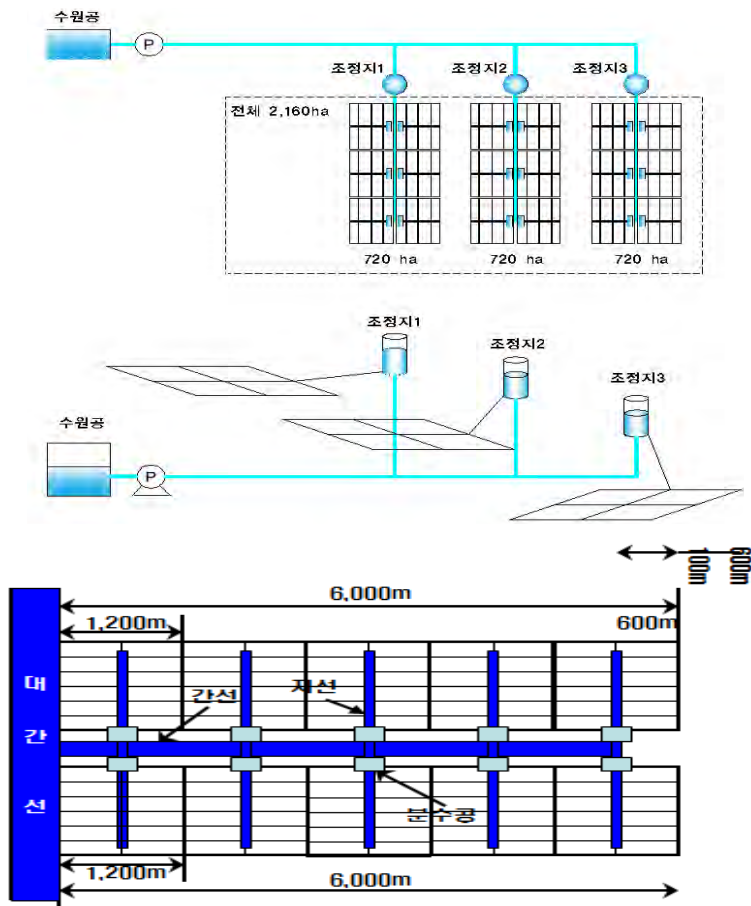
[표 3-1-2-11] 저압형 관망모형 및 개념도

유형	설계인자
저압형 관망 모형	<p>조정지 및 분수공을 간지선부에 분산 배치하여 관망내의 수압을 일정하게 유지하여 균등하게 급수가 가능한 수요주도형 물관리 용수공급 조직으로 관망을 저압으로 설계할 수 있는 관망 유형</p> <p>&lt; 수로조직 : 저압형 관망조직 &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간선부 : 조정지</li> <li>- 말단부 : 분수공 및 저압관로</li> </ul> <p>&lt; 물관리 유형 : 수요주도형 &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조정지 및 분수공 배치하여 수요주도형 물관리 실현</li> </ul> <p>&lt; 적합지역 &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평야지 및 간척지</li> </ul> <p>&lt; 면적규모 &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지구단위 농촌용수 공급에 유리 (수십 ha ~ 수백 ha)</li> </ul> <p>&lt; 관경 설계 &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간선부 관경 : 규모를 줄일 수 있음               <ul style="list-style-type: none"> <li>. 간선부                   <ul style="list-style-type: none"> <li>저수지의 경우 24시간 연속 관개</li> <li>양수장 경우 20시간 작동</li> </ul> </li> <li>. 지선, 지거부                   <ul style="list-style-type: none"> <li>조정지 이후 : 16~18시간 관개 규모로 설계</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p>&lt; 조절시설 용량 규모 &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조정지 용량 : 6~8시간</li> <li>- 분수공 용량 : 5분</li> </ul>
개념도	

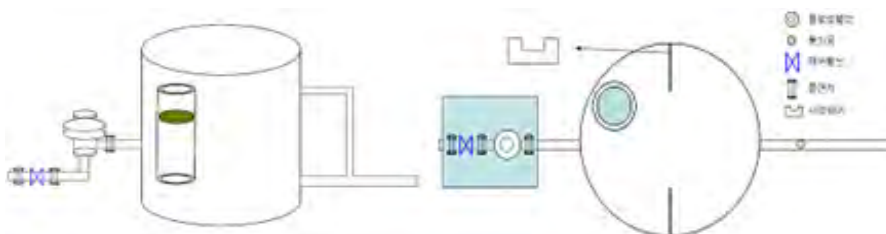
(2) 저압형 관망조직 설계

(가) 간선부

- 다음은 펌프를 이용하여 농업용수를 공급하는 저압형 관망시스템의 수로조직의 구성례를 나타냄
- 수원공의 물은 펌프를 이용하여 조정지로 보내지며 조정지 물은 관개블럭별로 설치된 분수공을 통하여 말단에 공급하는 형태로 구성되어 있음. 이 시스템은 수조조직의 조정지와 분수공 수위만 일정하게 유지하면 말단의 수압부족 현상을 방지할 수 있어 저압으로 물 공급이 가능함.



[그림 3-1-2-11] 저압형 논관개 시스템 구성도(간지선부)

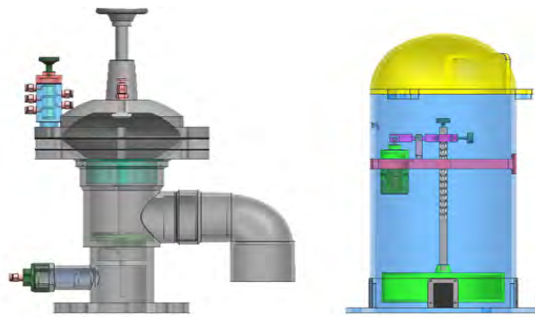


[그림 3-1-2-12] 저압형 논관개 시스템 분수시설

(나) 말단부

① 범용급수장치

- 범용급수장치 부착 급수조직은 말단포장에 설치하여 논관개와 밭관개에 이용이 가능함. 논에 설치하여 용수로와 포장의 수두차를 이용하여 자연압으로 관개할 수 있으며, 논 관개시는 수위를 자동관리를 할 수 있고, 밭관개시는 스프링클러 등 관개장치와 연결하여 사용할 수 있음.
- 범용급수장치 부착 급수조직은 용배수 관로 및 말단포장에 설치할 수 있으며, 설비는 다음과 같은 장비로 구성됨.
- 각 필지에서 급수를 관리하는 설비로서 용수관로 측면에 설치하여 사용한다. 논 관개시는 [그림3-1-2-12]와 같은 장비를 이용하며, 밭 이용시는 수위조절장치는 사용하지 않음.



[그림 3-1-2-13] 범용급수장치

(3) 용배수관로 설계 요령

(가) 용수관로

- 용수관로는 간선용수로에서 취수공(분수공)을 기점으로 각 필지에 가장 합리적으로 급수할 수 있는 노선으로 한다. 매설위치는 관리의 편의성, 급배수장치의 설치위치 등의 조건에 따라 도로 및 또는 도로를 인접한 논에 설치

(나) 배수(排水)관로

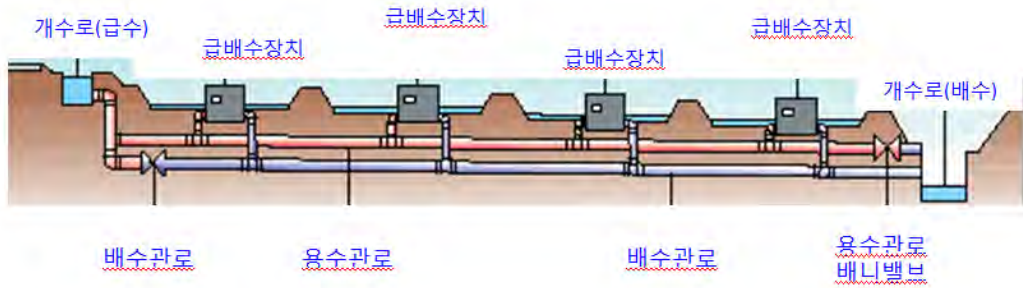
- 배수관로는 최상류측의 포장에 설치한 급배수장치를 기점으로 하여 각 필지의 배수를 받아 안전하게 하류측 배수로에 방류(합류) 할 수 있는 노선을 선정하여 용수관로와 병렬로 배관하여 설치하면 되며, 매설구조 등은 용수관로와 동일함.

○ 관중 및 관경

- 관중은 경제성, 시공성이 뛰어난 관중을 선택한다. 관구경은 수리계산에 의하여 결정하며, 최소 관경은 용수관로는 75mm 이상, 배수관로는 200mm 이상을 원칙으로 설계함

○ 배관구배

- 배관구배는 지역구배, 도로구배에 따라는 것이 원칙이며, 역구배로는 설치하지 않음.



[그림 3-1-2-14] 저압형 논관개 조직 개념도

(다) 급배수장치 설계

○ 급수능력

- 급배수장치의 급수능력에 대해서는 취수관 관구경의 적용 및 수리계산의 유효수두 확보에 의하여 면적 0.5ha에 썩레질 용수를 충분히 공급할 수 있는 능력으로 설계

○ 배수능력

- 용배수장치의 배수능력은 최대 0.02m<sup>3</sup>/s 정도로 설계

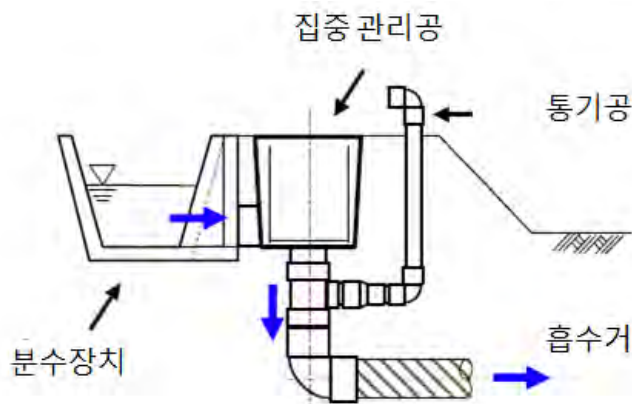
○ 설치기준

- 설치대수는 0.5ha에 1대 기준으로 1ha에 2대를 설치하면 된다. 단, 포장 면적, 장단변의 길이, 경지의 구배, 지표배수 등에 대한 검토가 필요함.

(라) 급배수겸용장치 부착형

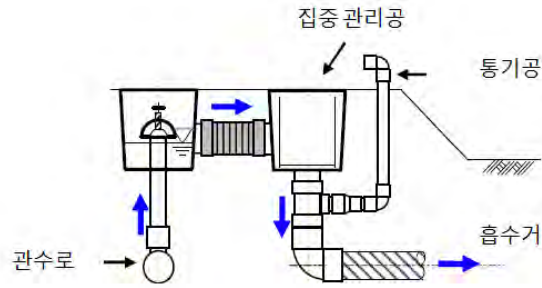
- 급배수겸용 관개시스템은 용수로와 암거배수관을 연결하여 지하관개가 가능한 시스템으로 관개용수를 암거배수관 세정수로 주입할 수 있도록 설치하여 암거배수관의 퇴적토사를 배출하여 막히지 않게 한 범용관개배수시스템임.

○ 급배수 겸용 관개시스템 구성도



[그림 3-1-2-15] 급수장치 개념도





[그림 3-1-2-16] 배수장치 개념도



[그림 3-1-2-17] 급배수겸용 관개시스템 개념도

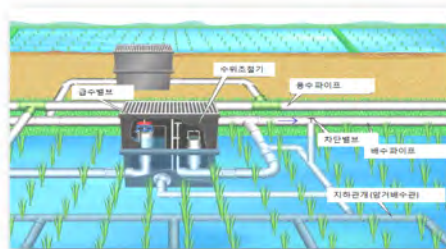
- 지하관개는 급수장치와 암거배수 상류를 연결하고 관개용수를 취수하여 배수 파이프를 통해 지하수위를 상승시켜 작토 층에 수분을 공급하는 방식이다. [그림 3-1-2-17]과 같이, 공급된 용수는 배수관에서 소수성 재료를 통과하여 보조배수관과 토양균열 등 물이 이동하기 쉬운 부분을 유하하여 포장전체에 공급된다. 작토층의 수분공급은 모세관 작용에 의하여 수분상승으로 공급됨

(4) 말단부 범용급수장치 일본 사례

- 말단 포장내의 범용관개장치 형태는 지표관개방식과 지하관개방식으로 구분된다. 지표관개방식은 현행방식이며, 지하관개 방식은 국내에는 아직 도입되지 않은 새로운 형태의 관개방식이다. 일본에서는 논을 밭으로 이용하는 범용농지에서 암거배수 방식을 발전시킨 지하관개장치를 사용하고 있다. 일본의 지하관개장치는 SPIDI와 FOEAS 등이 있으며, 논 및 간척지 등을 밭으로 이용하는 범용농지에 사용하고 있음

(가) 급배수겸용시스템

- 급배수겸용시스템은 말단포장에 설치하며, 급배수장치가 용수와 배수기능을 겸하고 있음



[그림 3-1-2-18] 급배수겸용 시스템

○ 급배수장치

- 각 필지에서 급수배수를 관리하는 설비로 용수 배수관로에 설치함

○ 용수관로시설

- 간선용수로에서 물을 취수하여 급배수장치에 배수하는 시설

○ 배수관로시설

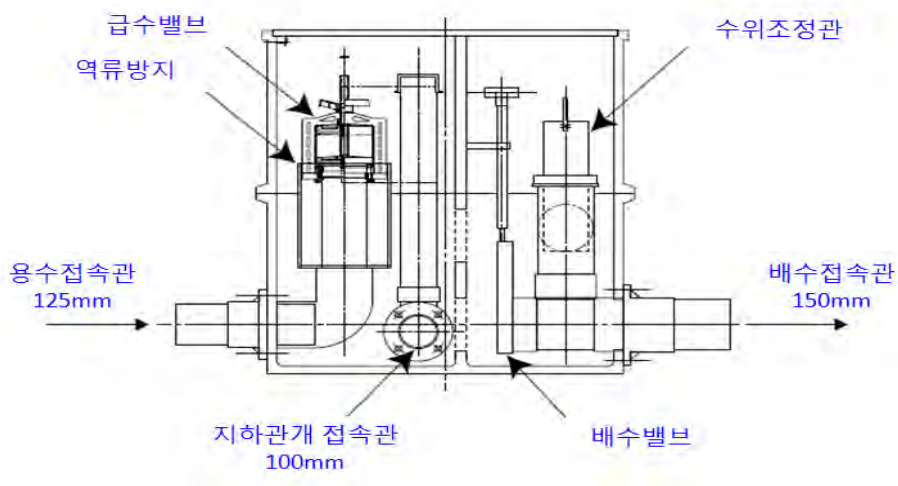
- 급수장치에서 유입 유공관을 통과한 배수를 집수하여 하류에 안전하게 유하시키는 시설

○ 부대시설

- 취수공(분수시설) : 간선 용수로에서 용수관로에 물을 취수하여 인입하는(분수)시설
- 방류공 : 배수관로에 집수된 배수를 하류측 배수로에 방류(합류)시키는 시설
- 반복이용시설 : 반복이용을 필요로 하는 지구에서 상류측 포장의 배수를 하류측 포장에 용수로서 이용하기 위한 시설
- 관로부대시설 : 관로의 기능을 유지하기 위하여 설치하는 시설로서 점검관리공, 통기스텐드 등

○ 급배수겸용장치 구조

- 급배수장치는 용수와 배수기능을 겸하고 있으며 기존의 급배수 장치와는 다른 경지구조를 가진 포장에서 사용이 가능하다. 급수장치가 있는 장소에서 급수와 배수가 동시에 이루어지기 때문에 경지구배가 기존의 경지와는 다른 형태로 역구배로 정지할 필요가 있음.
- 급수밸브는 포장에 물을 공급하는 역할을 하며, 배수밸브는 장치내의 물과 퇴적토 등을 배출하며, 수위조정관은 포장내의 물의 수위조정과 배수 기능을 하며, 역류방지관은 용수관로에의 역류를 방지하는 역할을 한다. 지하관개접속관은 암거배수를 이용하여 지하수위 제어가 가능한 구조를 하고 있음



[그림 3-1-2-19] 급배수겸용장치 구조



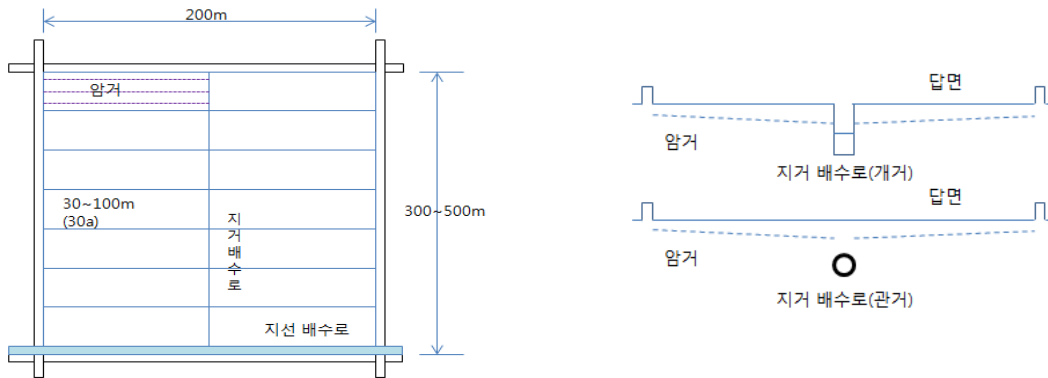
(5) 관 배수로 설계 요령

(가) 배수로의 관로화 필요성

- 대구획, 범용 논외 배수개선의 필요성은 대형 농기계의 작업조건을 확보하기 위한 지내력 강화, 건답직파 등 새로운 재배법에 적합한 농지조건 조성, 논외 밭 이용을 위한 밭작물 재배 농지 조건 조성 등을 들 수 있다.

(나) 경지조건과 배수시설 배치 요령

- 대구획, 범용 농지 정비를 위해서는 지표배수와 함께 지하배수를 강화하기 위해 암거시공과 함께 지거 배수로를 깊게 하고 지하수위를 저하시키는 공법을 도입할 필요가 있다.
- 이때, 지거 배수로에 의한 배수로 사면의 제초 면적이 증가하는 등의 유지관리 업무가 늘어나는 경우가 있기 때문에 필요에 따라 지거 배수로를 농도 등의 지하에 매설하는 관 배수로 형식을 검토할 필요가 있다([그림 3-2-2-20] 참조).



[그림 3-1-2-20] 관수로 형식의 지거 배수로 도입에 의한 대구획화

- 경지에서 암거(흡수거)을 약 10 m 간격으로 시공하고 농도 아래에 매설된 지거 배수관에 연결하여 지선 배수로(개수로)에 배제하는 방법도 있다. 이 경우 지거 배수관에 배니시설을 설치하여 유입 토사를 씻어내고 지하관개 및 토양수분 조절시설로 사용할 수 있다.

(다) 평탄지의 관수로 형식 지거 배수로 설계 요령

- 관수로 형식의 지거 배수로 설계를 위해서는 계획·설계기술의 체계화가 필요하다. 관배수로 설계시 관내의 토사퇴적을 방지 할 수 있는 최소 허용유속은 0.6m/s 정도이며, 관 기울기는 적어도 1/300 ~ 1/500(지형경사는 1/100 ~ 1/300)가 필요하다.
- 이 제약 조건이 평탄지에서의 암거화가 어려운 부분이다. 그러나 매설경사가 작은 평지에서도 지거 배수관내의 흐름이 만류상태가 되면 동수구배에 지배되어 유속이 더 커지는 현상을 이용하여 지거 배수로의 관로화를 계획한 사례를 제시하였다.

(라) 수리조건

- 지하배수 조직에 의한 토양 중의 과잉수가 제거가 가능하도록 (지거배수 관내의 압력수두

가 지하배수에 영향을 주지 않도록) 답 표면에서 적어도 0.5 m 아래에 관의 동수경사선이 형성되도록 관의 종단구배를 설정하는 것이 필요하며, 종단구배와 허용최소유속 0.6 m/s의 2 가지 조건을 동시에 충족시킬 수 있도록 수리설계 인자로 한다.

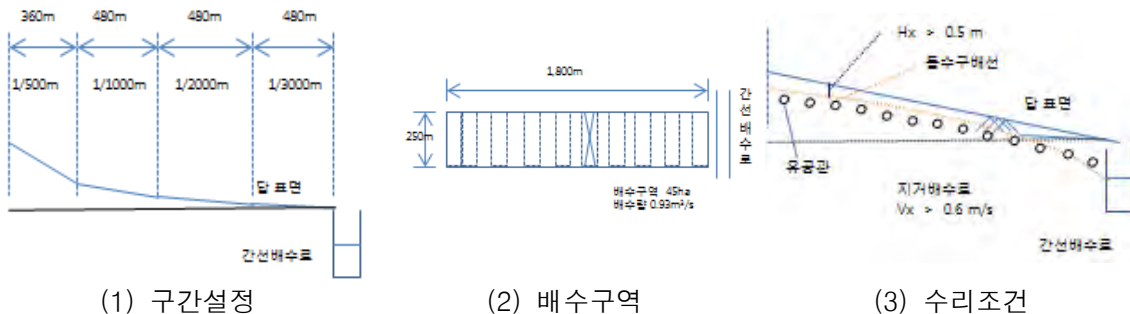
- 또한 지선 배수로 계획 배수위가 높아진 경우 수리조건을 재검토하고, 간지선 배수로의 계획 고수위를 저하시킨다.

(마) 배수로의 관수로화 일본 사례

- 전체 면적 약 1,000ha 지형구배 1/500 ~ 1/3,000의 사례 지역의 지거 배수로 관로화 예이다. 배수시설은 구획 125×120m의 경지에서 지거 배수로에 배수시켜 간선 배수로에 유입시켜 하류단으로 기계 배수되는 사례이다.

○ 배수 구역·구간 설정

- 1개의 지거 배수관 배수구역은 길이 1,800m, 폭 250m, 면적 45ha를 지형경사에 의해 4개 구간으로 분할되어 있다([그림 3-1-2-21] 참조).



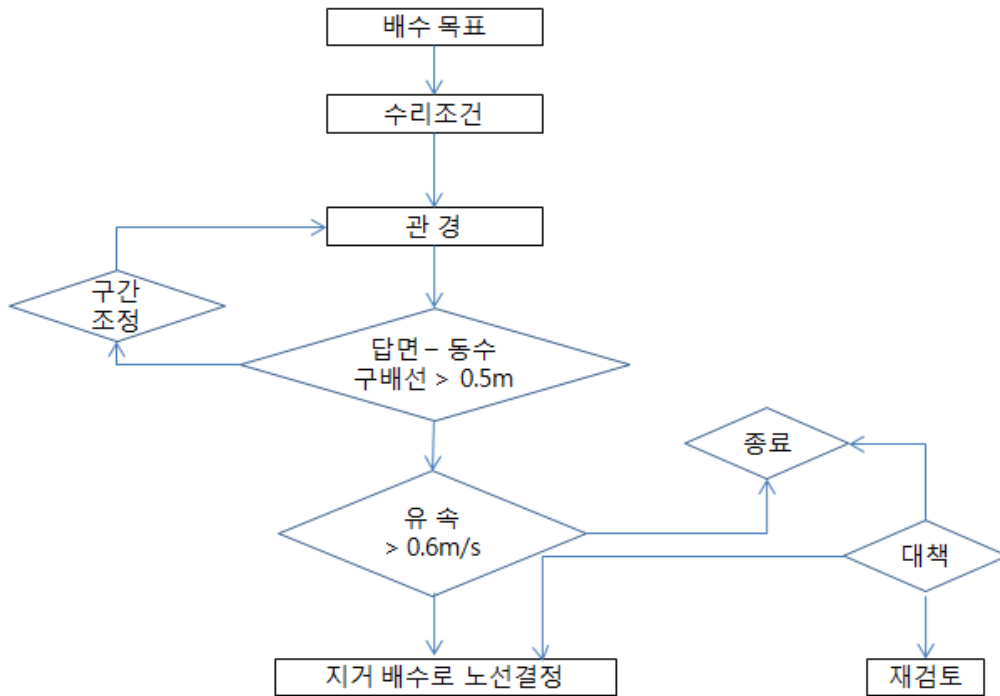
[그림 3-1-2-21] 설계조건

○ 계획 배수량

- 계획 배수량은 범용화 논을 대상으로 사례 지역의 10년빈도, 4시간 강우량 (75.2mm/4hr)에 유출율을 0.35를 곱한 6.6mm/hr로 한다.

○ 계획단계

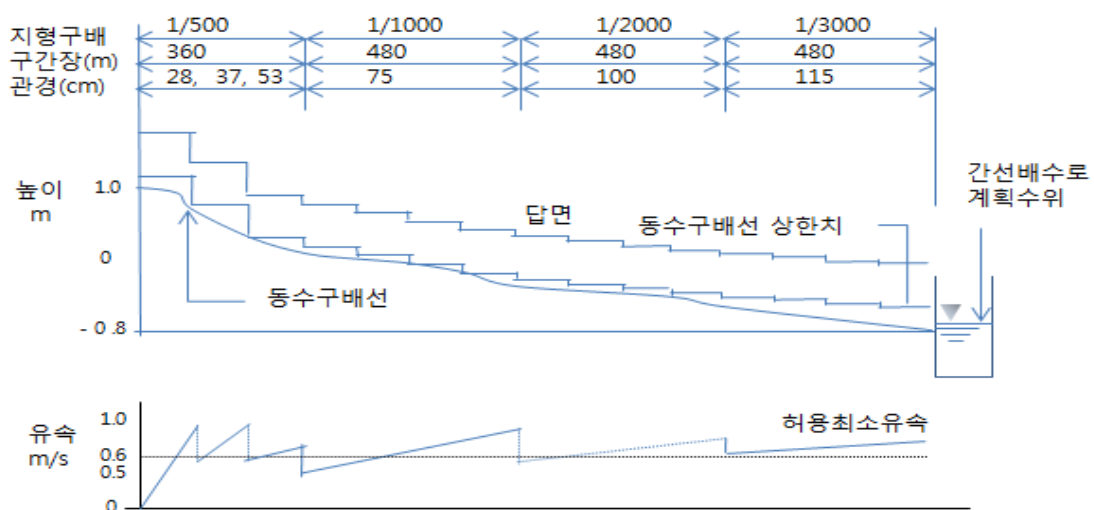
- 분할된 구간마다 관경을 주고 관의 각 지점의 압력수두와 유량을 부등류 계산한다. 압력수두가 전자의 조건을 충족하고 유속이 기준 유속을 넘도록 관경을 바꾸어 계산을 반복한다. 그래도 두 가지 조건이 동시에 충족되지 않을 때는 구간을 나누어 재계산한다.



[그림 3-1-2-22] 계획순서

(바) 검토 결과 및 대책

- 압력수두선 및 유속 분포 계산결과를 [그림 3-1-2-23]에 나타낸다. 각 구간의 각각 상류측에서 기준 유량을 밀도는 부분이 생긴다. 여기에는 퇴사대책으로 관경의 변화점에 맨홀을 설치하여 해결할 수 있다. 이와 같은 평지에서도 지거 배수로의 관로화가 가능하다. 또한, [그림 3-1-2-23]에서 알 수 있듯이 각 구간의 각각의 상류측에서 유속이 작아지므로 맨홀의 설치는 전 구간 간격이 아니라 관의 구경 변화점 직후 (각 구간의 상류측)를 조밀하게 하는 것이 합리적이다.



[그림 3-1-2-23] 동수구배선과 유속분포

(사) 유의 사항

- 관수로의 기획 할 때 예상을 뛰어 넘는 호우로 넘치는 경우 등 주변에 미치는 영향을 충분히 검토하는 것이 필요하며, 관수로를 채용하는 경우의 유의 사항은 다음과 같다.
  - 개구부 (관 입구부)에 관계자 이외는 접근 않는 구조로 한다.
  - 관내 토사 등의 퇴적상황을 정기적으로 점검하고 필요에 따라 세척한다.
  - 매설구배를 확보 할 수 없는 지역 및 토사 등의 유입이 많은 지역에서는 점검 및 토사 등의 철거를 위한 관리구를 설치하는 것이 바람직하다.

(아) 관수로 형식의 지거 배수로의 장점

- 배수로 제초·준설비용·노동의 절감
  - 배수로 제초, 준설은 모내기 전에 (또는 낙수기 또는 수확후)에 하는 작업이지만 유지관리에 어려움이 있으므로 배수로를 관으로 설계하면 제초 준설 등 유지관리 노력과 비용이 줄어든다.
- 농기계 작업 장애물 제거
  - 트랙터 등의 농기계 작업에 장애가 되는 지표 배수로 등의 장애물을 줄일 수 있다.
- 수로 상부의 효율적 이용
  - 배수로의 지하화에 의해 상부를 농지 또는 도로로 이용할 수 있어 경지정리에 의하여 활용 면적이 증가한다.
- 지하관개 이용
  - 대규모 경영의 경우 직파재배 도입이 관건으로 알려져 있다. 특히 건답직파는 파종후의 물 공급은 지하급수에 의한 것이 바람직하므로 암거배수 조직 연계하여 지하관개 급수에 이용할 수 있다.

(6) 저압용 농업용수 전용관 개발

(가) 개발의 필요성

- 일반적으로 수도관 및 하수관을 이용하여 농업용수로 사용하지만 농업용수 용도로 개발된 관은 없음
- 농업용수로는 지형의 기복이 크므로 지형에 따라 압력이 다른 관중 선정이 필요함
  - 특히, 관수로의 경우, 노선, 관경과 구배, 계획고 등에 따라 공사비 차이가 크므로 해당 지형의 노선 압에 적합한 관중 선정이 필요함
- 개수로의 경우, 해당 농경지의 일부에 작물 재배가 불가능하여 해당 농경지의 농작물 재배면적 손실이 있으며 관개방법의 선택폭이 작고, 이에 반해 관수로의 경우 용수조절이 용이하고, 안정한 도수를 가능하게 하며, 관개방법의 선택의 폭이 넓어, 농경지의 재배면적에 손실이 없이 효율적인 이용이 가능.

- 기존의 용수간선 및 지선은 개수로, 용수지거를 관수로로 채택한 혼합 용수로는 수압이 낮으므로 저압 관이 필요함.

(나) 제품의 개요

- 제품명칭 : 『고강도 내충격성을 향상시킨 친환경 삼중구조 농업용수 전용관 』



농업용수전용관

VA 편수관

VA 직관

[그림 3-1-2-24] 농업용수 전용관

○ 특징

- 기존의 강관의 녹 발생과 기타 재질 관종의 파손으로 인한 누수문제와 환경문제를 동시에 해결한 농업전용 관수로로 PVC 소재의 3층관 (충격파동 중첩원리)구조(신기술)
- 인장강도와 충격강도 등의 내구성 향상과 중심층과 내·외층에 다양한 소재 및 조개껍질을 사용하여 항균 능력을 발휘하는 배관 기술
- CO2발생량을 감소하고 항균능력 및 수질정화 능력을 첨가하여 장기내구수명 향상(50년 사용)시킨 제품

(다) 기술개발 내용

○ 농업용수 전용관 규격화

- 고압관, 외압관, 무압관(저압) 으로 세분화 하여 사용압력에 따라 관의 종류 구분
- 일본에서 실제 적용하고 있는 “경질염화비닐관 농업용 파이프라인 설계기준” 을 적용하여 개발

[표 3-1-2-12] 농업용수 전용관 규격표

종 류	기 호(명 칭)	용 도	호칭지름 범위(mm)
농업용수 전용관 VA (경질폴리염화비닐관)	VA 1	압력 수송관	100~630
	VA 2	농로 전용관	100~500
	VA 3	배수 전용관	100~700

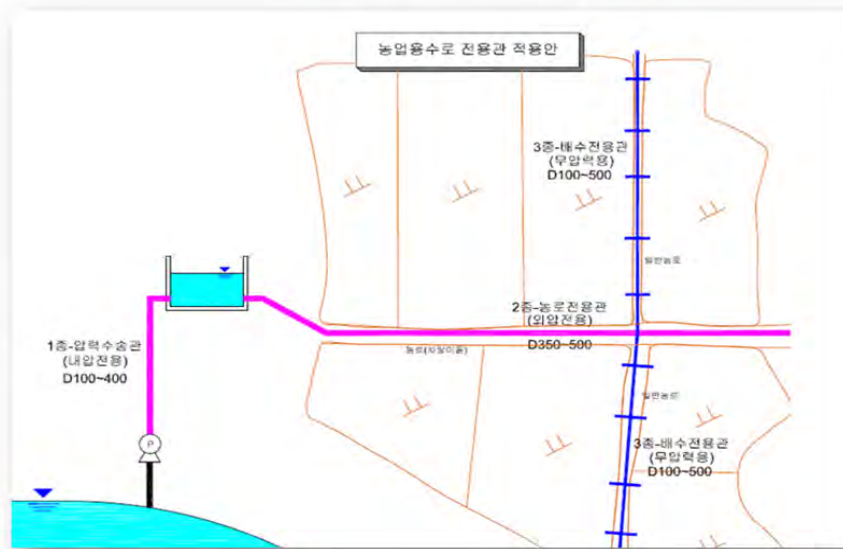
※ 비교: 관을 압력수송관로에 이용하는 경우의 설계압력은 유체를 물로 하여 관의 종류(기호) 별로 VP 및 HIVP에서는 0~1.0MPa, VM에서는 0~0.8MPa, VU에서는 0~0.6MPa 포함.

○ 농업용수 매설 조건을 고려 개발

- 본 개발제품의 사용은 관리 수두에 따라 1종 고압관로, 2종 외압관로, 3종 저압관로로 구

분하여 개발

- 저압관로는 관로망의 전 구간 혹은 일부에서 개수로 상태의 흐름이 존재하거나 수두가 낮은 경우로 주로 용수지거의 경우에 해당.
- 외압관로는 고압관로 및 저압관로의 중간위치의 구간에 설치하며, 농로 및 차도의 외압을 받는 위치에 주로 사용.
- 고압관로는 폐수로 상태의 흐름을 갖는 관로로서 용수조직 전체를 대상으로 하는 관로망이며, 주로 수원에서 배수조직에 이르는 구간에 사용.



[그림 3-1-2-25] 농업용수 전용관 구분 적용 예

(라) 세부 호칭

- 전용관 용도별 세부 호칭은 KS M 3401, 3404, JIS K 6741, 6742의 규격을 적용.
- ISO 4065에 따른 NADAY식으로 두께 산출

$$t = \frac{1}{2\frac{\sigma}{P} + 1} \times D = \frac{P \times D}{2\sigma + P}$$

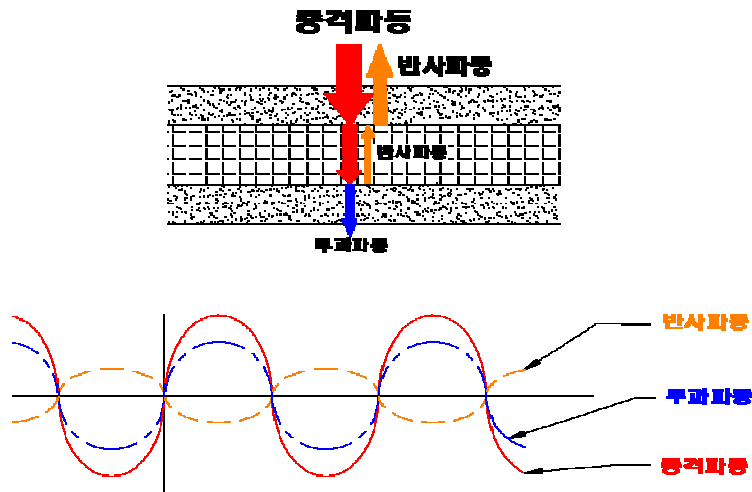
- t : 관의 두께
- D : 관의 바깥지름
- P : 내부압력
- $\sigma$  : 관의 설계응력

(마) 개발제품의 특징

- 제품의 기술원리 및 특징
  - 본 기술의 원리는 3중 구조 관으로 내층/중층/외층의 3중 구조로 제작되어진 관으로서 충격과동 중첩의 원리에 의해 내충격 강도가 특히 우수함.
  - 충격과동 중첩의 원리란 외부의 충격에 의해 발생하는 충격과동이 관을 통과할 때 관의 중심에 밀도가 높은 고인장 층을 통과하도록 하여 반사과동을 보다 크게 발생케 함으로서 투과과동이 반사과동과 서로 중첩되어 원(原)충격을 감소시켜 충격과동이 작아지기 때

문에 내충격성을 향상시키는 원리임.

- 이는 경질의 PVC관이 외부 충격에 쉽게 파손되어 누수 되는 문제를 해결할 수 있는 획기적인 기술임.



[그림 3-1-2-26] 충격파동 중첩의 원리

○ 주요핵심 기술 개발

- 충격이 뛰어난 3층관 제조에 사용된 핵심기술
- 코엑스 장치 및 금형의 유로 기술
- 탄화 방지 및 생산성 향상 가공 기술
- 조개껍질 및 기능성 소재를 활용한 강도 및 항균성 향상 기술

○ 파급효과

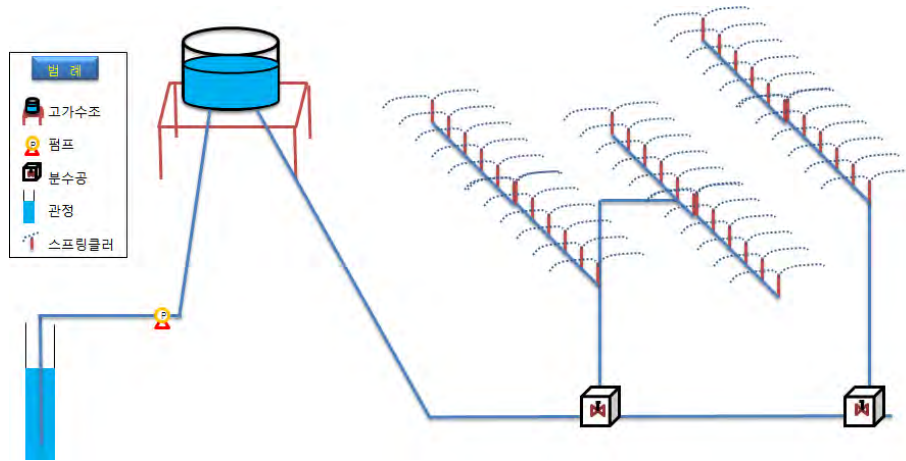
- 이번 개발제품인 “친환경 농업용수 전용관 VA”는 기존에 제품의 물리적 성능이나 가격에 치중하여 개발이 진행되어왔던 틀에서 벗어나 제품의 장기내구성능이나 수명주기비용, 제품의 물성향상, 항균성, 수질정화능력 등 기술적이고 친환경적인 측면으로 개발을 유도할 것으로 예측됨.
- 또한, 국가적으로는 농업용수의 유지관리 비용의 절감과 더불어 반영구적 수명제품으로 인해 관로의 노후화, 누수 등으로 낭비되는 재정을 크게 절감할 수 있음

**다. 신재생에너지 활용 발관개 시스템 설계기술 개발**

(1) 발 관개 관수로시스템 현황 분석

(가) 현행 발관개 시스템 구조

- 현재, 발기반 정비사업으로 지역에 설치된 발관개시스템은 수원공이 관정이고 평수조나 고가수조를 설치하여 운영하면서 지표수는 거의 사용하지 않음. 따라서 국가적으로 보았을 때 발지대에 지표수를 활용할 수 있도록 용수공급 시설을 확충할 필요가 있음.



[그림 3-1-2-27] 발관개 관수로 시스템 개념도

(나) 현행 발관개시스템의 문제점

- 발관개를 위해서 관정을 사용하고 있으나 이 경우 필연적으로 수중모터 펌프 가동을 위하여 전기를 사용하고 있음. 일반적으로, 발기반 정비사업은 1개 사업지구 수혜면적이 평균 30ha이며 관정은 평균 10ha에 1공이 설치되어 있고, 1공당 150 ~ 200m<sup>3</sup>/일 정도의 취수 능력이 있음.
- 발은 보통 구릉지나 산간지에 위치하고 있어 전기를 사용하기 위한 한전 전기인입 비용이 소요되는 상황이나, 지역에 따라서 저수지를 수원으로 사용하는 경우가 있음. 즉 발관개시스템으로 구성된 지역은 크게 저수지를 수원으로 이용하는 지역으로 자연유하에 의한 용수공급이 가능한 지역과 양수하여 관개하는 지역으로 구분할 수 있음. 따라서 용수원을 관정을 사용할 경우 관개를 위해 전기를 사용해야하는 단점을 가지고 있음.

(다) 발 관개시스템 개선방향

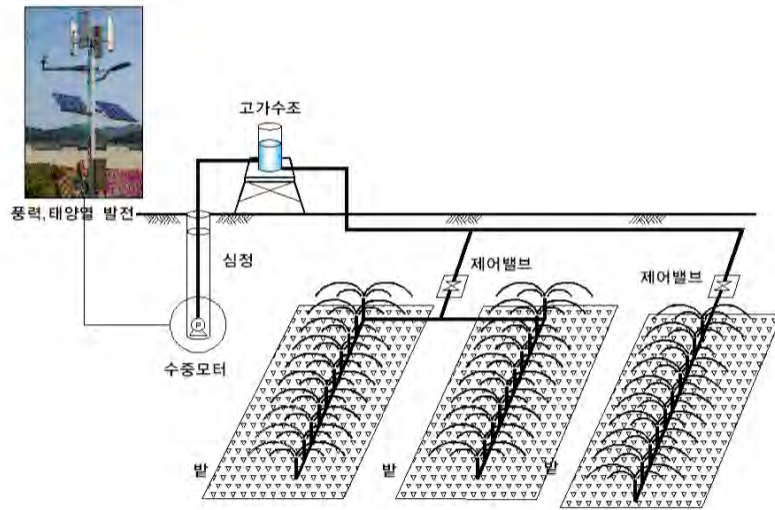
- 발기반 정비사업지구의 수원공에서 사용하는 전기를 풍력, 태양열과 같은 신재생에너지로 대체 할 수 있다면 국가차원의 전력부족난을 어느 정도 해소하는데 도움이 될 것으로 판단됨. 이를 위해서는 저수지, 관정 등의 양수시설에 태양광, 풍력 등의 신재생에너지를 적용하여 관개할 필요가 있음.
- 따라서 본 연구에서는 발기반 정비사업지구의 양수시설에 신재생에너지 적용에 대한 가능성을 타진해 보기 위하여 신재생 에너지를 활용한 발관개 시스템의 경제성을 검토할 계획임.

(2) 신재생에너지 활용 발관개시스템 개발

- 기존의 발관개시스템은 공급처가 높은 산지 등에 분포되어 있어 수원공이 대부분 관정이며 이후 고가수조 및 평수조를 이용한 용수공급을 수행하고 지표수를 이용하는 일은 거의 없는 실정이다. 따라서 발관개시스템에도 광역농업용수시스템을 적용하여 지표수의 활용이 가능하도록 시설확충이 필요한 시점에 있음.



- 또한 발관개시스템의 가장 큰 문제점은 대부분의 관정이 산지에 위치해 있고 수중모터를 가동하기 위한 전기인입시설비가 많이 소요되는 것으로서 발관개시스템을 개별적으로 운영하기 위해서는 전기사용부분을 친환경에너지를 활용할 수 있도록 함으로서 시설의 설치 비용이 낮고 에너지 관리가 가능하도록 해야함.
- 따라서, 발관개시스템 개선방향은 수원공에 필요한 소요전기를 풍력과 태양열을 이용한 신재생에너지 설비로 대체하여 유지관리가 편리성을 높이고 지급이 가능한 하이브리드형 친환경 발관개시스템이 되도록 구성할 필요가 있음. [그림 3-1-2-28]은 풍력에너지를 이용한 발관개 시스템의 구상도를 나타낸 것임.



[그림 3-1-2-28] 신재생에너지를 이용한 발관개 시스템 구상도

- 또한, 관수로의 수압을 이용하여 발전이 가능한 마이크로 수력 발전 시스템을 적용한 사례가 있으며, 현재 상수도분야에 보급되어 있고 가까운 일본에서는 농업용 수로에 적용하여 상당부분 에너지 절감효과가 있다고 보고하고 있음.
- 우리나라는 최근 성남정수장 및 각 중 건물 등에 도입하여 적극적으로 활용 중인 소수력 발전설비를 관망시스템에 도입하여 에너지절감 및 원격시스템의 전력으로 활용하는 방안을 수립하고자 하였음.



[그림 3-1-2-29] 상수도 시설의 소수력 발전 개념도

- 농촌용수의 관망시스템 관련된 소수력발전으로는 관망용 수차발전과 여유수두를 활용한 낙차시스템을 활용하는 방법을 고려할 수 있음. 이중 관로의 수류흐름을 이용한 발전시스템이 바이패스관로를 통해 기존 수리흐름에 영향을 주지 않는 범위에서 발전이 가능하므로 광역관로시스템에 경제성과 운영면에서 적합한 것으로 판단됨.

[표 3-1-2-13] 관로 수차발전 시스템 구성도

구분	관로 수차발전 시스템	관로 수차발전 시스템
구성도		
내용	기존관로에 손실수두 영향이 없도록 바이패스로 분기된 관로의 통과 수류를 통해 발전하는 방법	저수지 유출부 또는 토출부 말단의 수류낙차를 이용하여 발전하는 방법

(3) 신재생에너지 활용 사례

- 일본의 경우 미야코섬을 대상으로 [그림 3-1-2-30]과 같이 풍력발전을 이용한 발판개 시스템을 적용하고 6개의 파폰드를 설치하여 원활한 용수이용이 가능하도록 운영하고 있음.

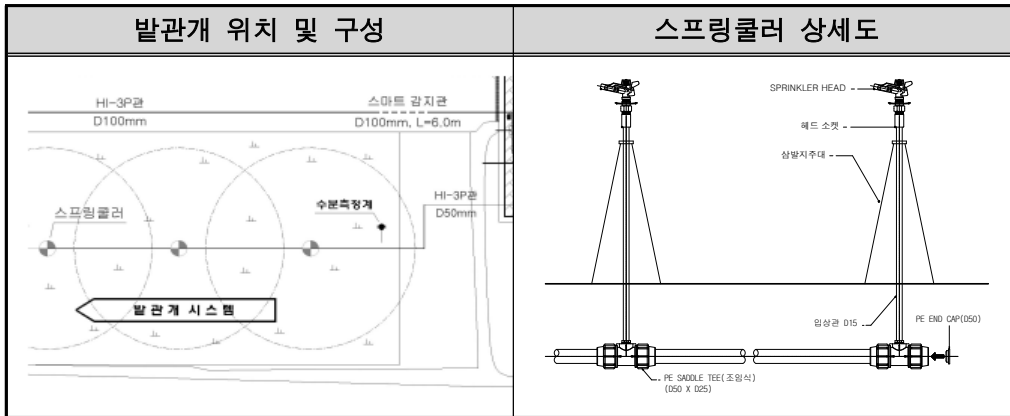


[그림 3-1-2-30] 풍력발전을 이용한 발판개 시스템 적용사례 (미야코섬)

(4) 신재생에너지 활용 발판개 자동화

○ 발판개 자동화 개념

- 발판개시스템 은 수분계와 전동볼밸브에 의해 자동제어가 가능함.



[그림 3-1-2-31] Pilot plant 발판개 자동화 시스템 구성 및 현장 사진

○ 하이브리드 발전시스템 활용

- 하이브리드 발전시스템은 전기 및 계측제어실 옥외에 위치하고 있으며, 풍력과 태양광 에너지를 동시 발전시킬 수 있는 청정발전 시스템

[표 3-1-2-14] 하이브리드 발전시스템 블레이드 설계 규격

구 분	규 격	하이브리드 발전시스템
Type	H형 수직형 날개	
재질	알루미늄 합금 (5052)	
회전직경	1.2m	
Dimension	1500(H) × 250(W) × 45(T)	
회전개시풍속	1m/s	
충전개시풍속	2m/s	

(5) 관로내 발전시스템 개발 및 활용

○ 개요

- 소수력발전은 높이로 인한 수력을 이용해 전기에너지로 전환하는 발전 방식으로 시설용량 10,000kW이하의 수력 발전을 말하며 강 상류나 다목적 댐의 높이차가 이용된다. 이중 1000kW 미만의 소수력발전은 극소수력 발전이라고 부름.
- 국내 소수력발전은 '82년 이후 정부 및 에너지관리공단의 지원으로 2007년 6월말 기준 53개소에 65MW 용량의 소수력발전소가 가동되고 있음.
- 소수력 발전은 전력생산 외에 농업용 저수지, 농업용 보, 하수처리장, 정수장, 다목적댐의 용수로 등에도 적용할 수 있는 점을 감안할 때 국내의 개발 잠재량은 풍부하며 청정자원으로서 개발할 가치가 큰 부존자원으로 평가받고 있음.

○ 원리 및 구조



[그림 3-1-2-32] 관로내 발전 시스템의 원리 및 구조

- 취수구 수로: 물이 유입되는 곳
- 수차날개: 수력에 의해 회전되어 수력에너지를 기계적인 에너지로 변환시켜주는 장치
- 동력전달장치: 날개에서 발생한 회전력이 중심 전축을 통해서 변속기어에 전달 요구되는 회전수로 높여서 발전기를 회전시켜 줌
- 발전기: 날개에서 발생한 기계적인 에너지를 전기 에너지로 변환하는 장치
- 변압기: 발전기에서 발생된 전원을 수용가에서 사용할 수 있는 전력으로 변환시켜주는 장치
- 한전계통선: 발생된 전력을 한전으로 보내는 것

○ 소수력 발전시스템 구성도

- 소수력의 가장 중요한 설비는 수차(Turbine)이며, 설비별 특징은 다음과 같음.

[표 3-1-2-15] 소수력 발전시스템

수차의 종류		특징	
충동 수차	펠톤(Pelton)수차	- 수차가 물에 완전히 잠기지 않는다. 물은 수차의 일부 방향에서만 공급되며, 운동에너지만을 전환한다.	
	튜르고(Turgo)수차		
	오스버그(Ossberger)수차		
반동 수차	프란시스(Francis)수차	- 수차가 물에 완전히 잠긴다.	
	프로펠러 수차	카플란(Kaplan)수차	- 수차의 원주방향에서 물이 공급된다. - 동압(dynamic pressure) 및 정압(static pressure)이 전환된다.
		튜브라(Tubular)수차	
		벌브(Bulb)수차	
림(Rim)수차			

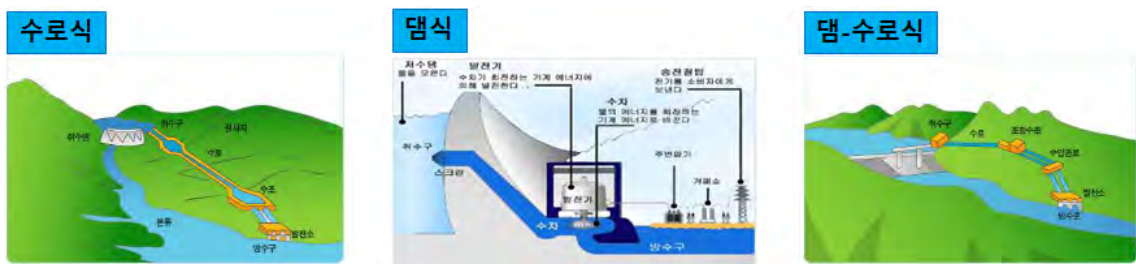
○ 소수력 발전의 분류

- 소수력 발전은 하천이나 저수지의 물을 낙차에 의한 위치에너지를 이용하여 수차의 회전력을 발생시키고, 수차와 직결되어 있는 발전기에 의해서 전기에너지를 생산하는 방식으로 설비용량, 낙차 및 발전방식에 따라 다음과 같이 분류할 수 있음.

[표 3-1-2-16] 소수력 발전의 분류

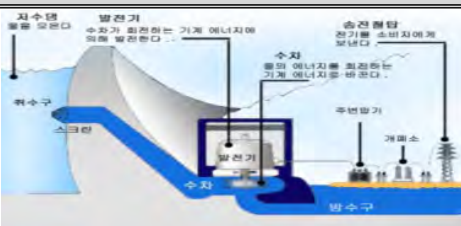
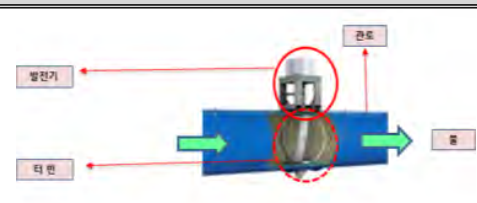
분류		비고
설비용량	Micro hydropower	100kW 미만
	Mini hydropower	100~1,000kW
	Small hydropower	1,000~10,000kW
낙차	저낙차(Low head)	2~20m
	중낙차(Medium head)	20~150m
	고낙차(High head)	150m 이상
발전방식	수로식(run-of-river type)	하천경사가 급한 중·상류지역
	댐식(Storage type)	하천경사가 작고 유량이 큰 지점
	터널식(Tunnel type)	하천의 형태가 오메가(Ω)인 지점

국내의 경우 소수력발전은 저낙차, 터널식 및 댐식으로 이용 (예: 방우리, 금강 등)



[그림 3-1-2-33] 발전 방식에 따른 소수력 발전의 구분

[표 3-1-2-17] 낙차 및 유속에 따른 소수력 발전의 특징

구분	낙차이용 소수력 발전	유속 이용 소수력 발전
구성		
에너지원	낙차를 이용한 위치에너지 $P = 9.8QH$	유속을 이용한 운동 에너지 $P = 1/2mV^2$
설비	수차: 수중 발전기, Gear box: 지상	수차: 수중/지상 발전기, Gear box: 지상
활용가능 수자원	댐, 하천, 저수지 등 고낙차, 고수량 지역 (설치 장소 및 입지 조건의 제약)	물이 흐르는 모든 곳(강, 하천, 농수로, 물재생센터, 공장, 양식장 등)
설치운영	토목건설 공사 고가, 고비용	기존시설 변경없이 부유식 발전설비 설치 유지보수 및 작업 용이 저가
다중 설치	불가	수로 환경에 따라 연속설치 가능

(6) 관로내 마이크로 발전 시스템 개발

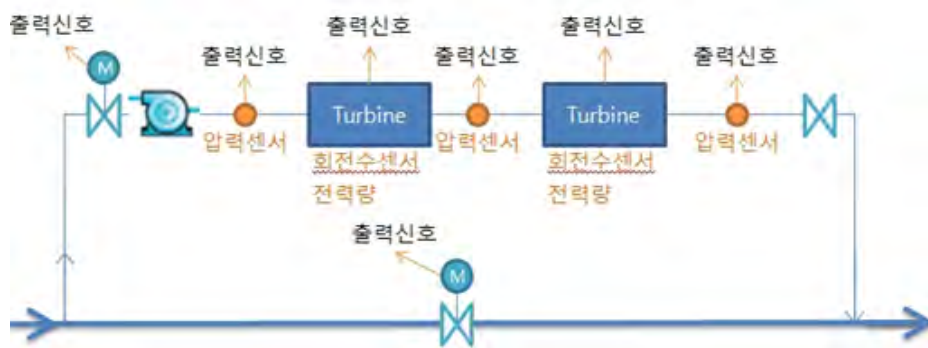
- 농업용 관수로 시스템은 위치에 따라 유속이 1~2m/s의 유속으로 송수하고 있어 이의 활용이 필요하다. 관로내 발전 방식은 저수지의 낙차를 이용하는 방식과는 달리 관로의 흐름을 이용하는 방식으로 말단의 낙차를 이용하는 방법과 관로내의 흐름을 이용하는 방식



이 있다. 최근 관로내 발전이 개발되어 활용되고 있으나 농업용 관수로에서는 아직 활용되고 있지 않다. 본 연구에서는 농업용 관로에서 적용이 가능한 마이크로 발전시스템의 모형을 검토하여 시제품을 제작하였다.

(가) 관로내 마이크로 발전 도입 방향

- 마이크로 발전 설비를 농업용 관망에 도입하여 에너지절감 및 원격제어 센서 및 제어장치 전력으로 활용
- 농업용 관망시스템의 마이크로 발전은 관망용 수차발전과 여유수두를 활용한 낙차시스템을 활용
- 기존 관로 흐름에 영향을 주지 않도록 바이패스 관로, 직렬 및 병렬 관로를 이용하여 [그림 3-1-2-34]와 같이 바이패스로 분기된 관로의 통과 수류를 통해 발전시스템을 구축할 수 있음.



[그림 3-1-2-34] 관로 마이크로 발전 시스템 구성도

(나) 관로형 소형(마이크로) 발전장치 개발

- 개요 및 특징
  - 상하수관, 농수관로 등에 설치하여 에너지 생산
  - 생산된 전력은 on-grid 혹은 독립 전원용으로 활용

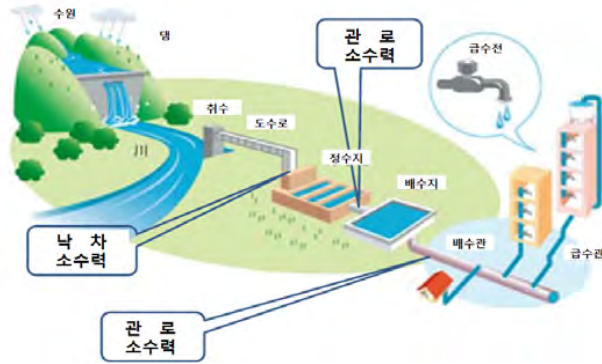
[표 3-1-2-18] 관로 마이크로 발전 시스템 적용 가능 터빈

터빈 종류			
			
Darrieus 형	Cross Flow 형	Savonius 형	

(다) 관로내 발전 국내의 사례

○ 국내

- 관수로의 흐름을 이용하여 발전하는 마이크로 수력발전 시스템은 우리나라에서는 상수도 분야에 사용되고 있음.



[그림 3-1-2-35] 상수도 소수력 발전 사례

○ 미국 Lucid Energy 관로내 발전 시스템

- 미국 Lucid Energy 사에서는 관로내 발전시스템을 Lucid Pipe라는 브랜드로 모듈 단위 제품 판매 중이며 산업용, 농업용, 상하수도용 양수배관에 광범위하게 적용하기 시작하고 있으며 친환경 신재생 에너지로 활용성이 부각되고 있다.
- 24~96' 직경의 배관 라인에 적용 가능
- 터빈은 수직축의 다리우스 형
- 유속 3ft/s 이상에서 발전, 발전량은 개별 운전시 20kW ~ 100kWh
- 복수 발전 시스템의 연속 설치 가능

[표 3-1-2-19] Lucid Pipe 전력 생산 특성

Diameter (Inch)	Rated Power (kW)	Minimum Pressure (psi)	Head Extraction (Rated, psi)	Head Extraion (Stopped, Psi)	Operational Headloss Coefficient (Running/Stopped)
24	14	45	5.2	1.6	6.7~8.4/2.0
42	50	49	5.9	1.3	7.7~10/2.3
60	100	38	5.0	1.5	7.7~10.1/2.3



[그림 3-1-2-36] Lucid Pipe 설치 전경

(7) 관로내 발전모형 시제품 제작

(가) 개요

- 배관
  - 직경 100mm, 길이 235mm STS 배관
- 발전기
  - 15Wh 급 제너레이터 제작
- 터빈
  - 다리우스 형, 크로스플로우 형, 사보니우스 형 등 3개 모델의 터빈을 제작하여 최적 솔루션 검증
- 컨트롤러 및 배터리

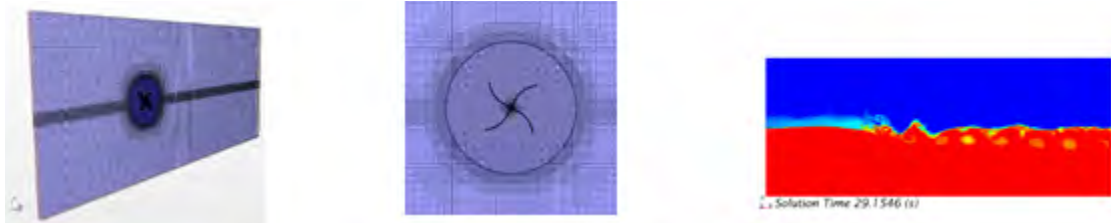
(나) 터빈의 설계(시뮬레이션 데이터 참고)

- 터빈 설계 형상을 바탕으로 모델링 (3D CATIA), (예) 크로스플로우 형



[그림 3-1-2-37] 터빈의 형상 모델링

- 시뮬레이션 (CFD 유동 해석 등), (예) 크로스플로우 형



[그림 3-1-2-38] 모델링 및 시뮬레이션

(다) 제작 기준

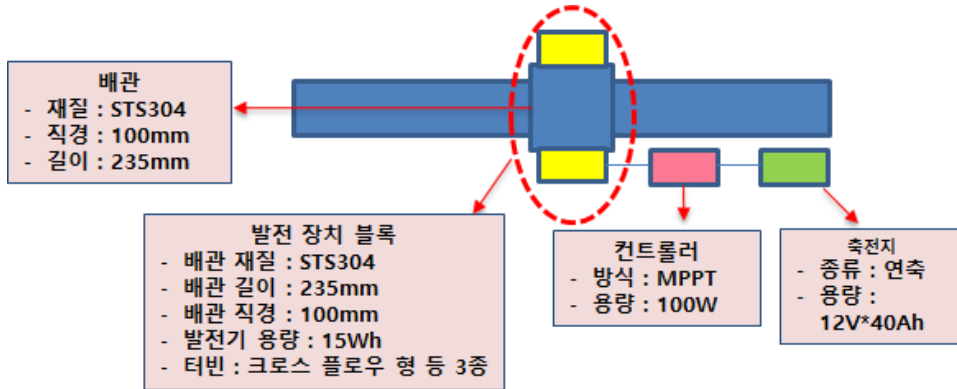
- 동일 조건(배관 및 발전기, 컨트롤러)에서 3종 터빈의 발전량 상대 평가
- 제한된 연구 예산으로 시제품 테스트를 위한 충분한 조건 충족이 어려움, 즉 구성 가능한 배관의 직경이 협소하여 절대적 발전량 미미.
- 제안된 연구 예산으로 시제품 설계 기준 시뮬레이션 생략하고, 부유식 수력 발전 시스템의 시뮬레이션 데이터 참고함.

(라) 시제품 구성

- 배관
  - 직경 100mm, 길이 235mm STS 배관
- 발전기



- 15Wh 급 제너레이터 제작
- 터빈
  - 다리우스 형, 크로스플로우 형, 사보니우스 형 등 3개 모델 터빈 제작
- 컨트롤러 및 배터리



[그림 3-1-2-39] 컨트롤러 및 배터리 구성 개념

(마) Data 취득

- TSR-Cp, RPM-Torque 변화, RPM-Power 등 Data 도출
- 발전 시스템 시제품 제작
  - 발전기와 터빈이 결합된 발전 블록을 설계된 배관 라인에 설치
  - 3종 터빈의 발전량을 확인하기 위하여 병렬 설치
  - 관로내 발전 시스템에 적합한 최적의 터빈 형상 선택



[그림 3-1-2-40] 발전 시스템 시제품 설치

[표 3-1-2-20] 발전기 사양 및 컨트롤러 시스템

구분	발전기	컨트롤러 시스템
사진 및 구성도		
내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정격 출력 15W</li> <li>- 최대 출력 18W</li> <li>- 단상 교류 발전기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AC → DC 변환기</li> <li>- 장수명 축전지</li> <li>- 컨트롤러가 내장된 컨트롤시스템 설치</li> <li>- 과충전, 과방전, 역전류 방지 기능</li> </ul>

(바) 결과 검토

- 배관 크기 및 터빈 면적이 극히 협소하여 발전량 측정이 용이하지 않음
- 제한된 시간 내에서의 3종 터빈의 발전량 차이는 미미함
- 단, 폐쇄적 공간인 관로 내에서의 지속 운영이라는 조건을 고려한다면 터빈에 가해지는 수압으로 인한 스트레스는 크로스플로우 형 및 사보니우스 형 터빈이 다리우스 형에 비해 훨씬 큼
- 선행조사 및 시제품 테스트 결과, 관로내 발전시스템을 위한 최적의 터빈은 다리우스 형임

### 3. 강제수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발

#### 가. 강제수주이론의 기본 개념

(1) 개요

- 강제수주이론(Rigid Column Theory)은 파이프의 벽에 흐르는 유체를 비압축성, 비탄성으로 가정하여 관망의 비정상상태의 수리현상을 해석하는 이론으로 강제수주이론은 파이프의 설계, 건설, 운영에 필요한 관망의 수리현상을 시간에 따라서 시뮬레이션이 가능하여 배수지와 팜폰드의 수위변동을 포함한 파이프라인 시스템의 비정상류 해석 및 시뮬레이션에는 이용되고 있으며, 송배수시스템을 상미분방정식의 상태방정식으로 기술되므로 시스템 제어이론을 응용하기에 용이함

(2) 관로계의 시스템 그래프

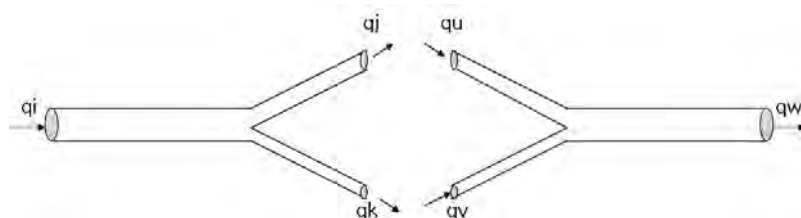
- 물을 비압축성이 유체로 가정하고 또한 관체도 강체로서 변형하지 않는다고 생각한다면 [그림 3-1-3-1(a)]와 같은 관로의 분기점에 있어서 유량연속조건은 유입량을  $q_i$ , 유출량을  $q_j$ 와  $q_k$ 로 해서 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$- q_i + q_j + q_k = 0 \tag{3-1}$$

- 이 식에 있어서도 유입량을 (-)의 항으로 하고 유출량을 (+)의 항으로서 나타내고 있는 것에 주의해야 함, [그림 3-1-3-1(b)]와 같은 관로의 합류점에 있어서 유량연속조건도 동등하게 하여 다음 식으로 나타낼 수 있음

$$- q_u + q_v + q_w = 0 \tag{3-2}$$

- 단, 유입량을  $q_u$ 와  $q_v$ 로 하고 유출량을  $q_w$ 로 한다.
- 4개 이상의 관로가 한점에서 연결되는 경우도 유입량을 (-)의 항으로 하고, 유출량을 (+)의 항으로 한다면 동등한 식이 성립함



(a) 관로의 분기점

(b) 관로의 합류점

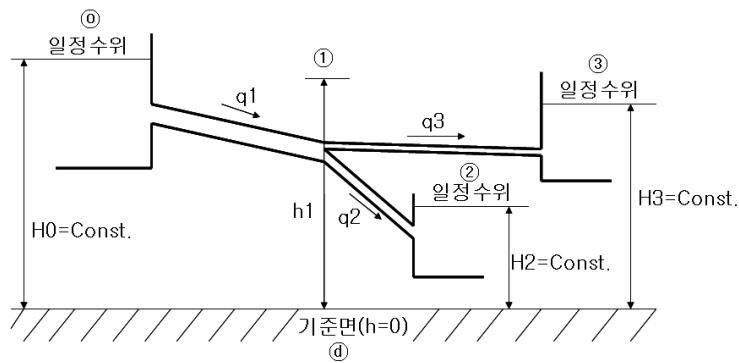
[그림 3-1-3-1] 관로의 분기점과 합류점

(3) 관로계의 유량연속조건과 시스템 그래프

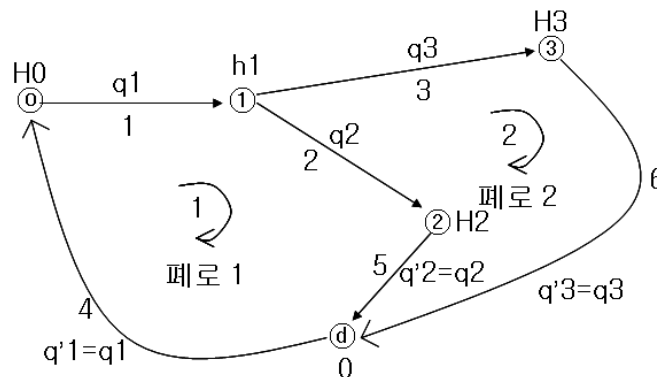
- [그림 3-1-3-2]와 같은 관로로서 구성되어 있는 시스템을 관로계라고 함, 상류와 하류는 각각 일정수위의 저수지로 함, 일반적인 관로계는 복잡한 관망을 구성하고 있지만 여기서는 설명을 간단하게 하기 위하여 이 단순한 분기관로계에 관하여 하면, 수조계의 경우와 같이 각 저수지와 기준면에 [그림 3-1-3-3]과 같은 절점을 대응시킴, 또한 분기점에도 하나의 절점을 대응시켜 이 절점에는 기준면으로부터 측정한 분기점의 전수두  $h_1$ 을 줌
- 각 절점에 대응하는 유량연속조건은 다음과 같이 됨

$$\begin{aligned}
 \textcircled{0} \text{ (저수지 0)} & \quad -q'_1 + q_1 = 0 \\
 \textcircled{1} \text{ (분기점 1)} & \quad -q_1 + q_2 + q_3 = 0 \\
 \textcircled{2} \text{ (저수지 2)} & \quad -q_2 + q'_3 = 0 \\
 \textcircled{3} \text{ (저수지 3)} & \quad -q_3 + q'_3 = 0 \\
 \textcircled{4} \text{ (기준면)} & \quad q'_1 - q'_2 - q'_3 = 0
 \end{aligned}
 \tag{3-3}$$

- 단,  $q'_1, q'_2, q'_3$ 은 수위가 일정한 각 조수지에서의 가상적인 유입량 또는 유출량임
- 이 식(3-3)로부터 [그림 3-1-3-3]과 같은 시스템 그래프가 결정됨, 이 시스템 그래프도 각 유량이 일정값의 경우는 물론 시간적으로 변동하는 경우에 관해서도 모든 유량연속조건을 정확하게 표시하고 있음



[그림 3-1-3-2] 관로계



[그림 3-1-3-3] 관로계 시스템 그래프

(4) 관로계의 상태 방정식

- [그림 3-1-3-4]에서와 같이 관로 시스템에 있어서 각 관로 유량이 시간과 함께 변화하는 것을 생각할 때 각 관로의 운동방정식을 표현하면 다음과 같음.

$$\begin{aligned} L_1 q'_1 &= (H_0 - h_1) - K_1 | q_1 | q_1 \\ L_2 q'_2 &= (h_1 - H_2) - K_2 | q_2 | q_2 \\ L_3 q'_3 &= (h_1 - H_3) - K_3 | q_3 | q_3 \end{aligned} \quad (3-4)$$

- 식(3-4)에서 우변에 포함된 분기점에 전수로  $h_1$ 을 제거하기 위하여 제1식과 제2식의 합을 구하고 제1식과 제3식의 합을 구하면 다음과 같은 두 개의 식으로 됨.

$$\begin{aligned} L_1 q'_1 + L_2 q'_2 &= (H_0 - H_2) - K_1 | q_1 | q_1 - K_2 | q_2 | q_2 \\ L_1 q'_1 + L_3 q'_3 &= (H_0 - H_3) - K_1 | q_1 | q_1 - K_3 | q_3 | q_3 \end{aligned} \quad (3-5)$$

- 한편, 분기점1의 유량연속조건은 다음과 같이 표현할 수 있음.

$$q_1 = q_2 + q_3 \quad (3-6)$$

- 또한, 각 유량의 시간적 변화에 대해서도 다음과 같은 식이 성립됨.

$$q'_1 = q'_2 + q'_3 \quad (3-7)$$

- (3-6)과 (3-7)를 (3-5)에 대입하면  $q_1$ 과  $q'_1$ 을 제거할 수 있어 다음과 같이 두 개의 식이 성립됨.

$$\begin{aligned} L_1 q'_3 + (L_1 + L_2) q'_2 &= (H_0 - H_2) - K_1 | q_1 + q_3 | (q_2 + q_3) - K_2 | q_2 | q_2 \\ L_1 q'_2 + (L_1 + L_3) q'_3 &= (H_0 - H_3) - K_1 | q_2 + q_3 | (q_2 + q_3) - K_3 | q_3 | q_3 \end{aligned} \quad (3-8)$$

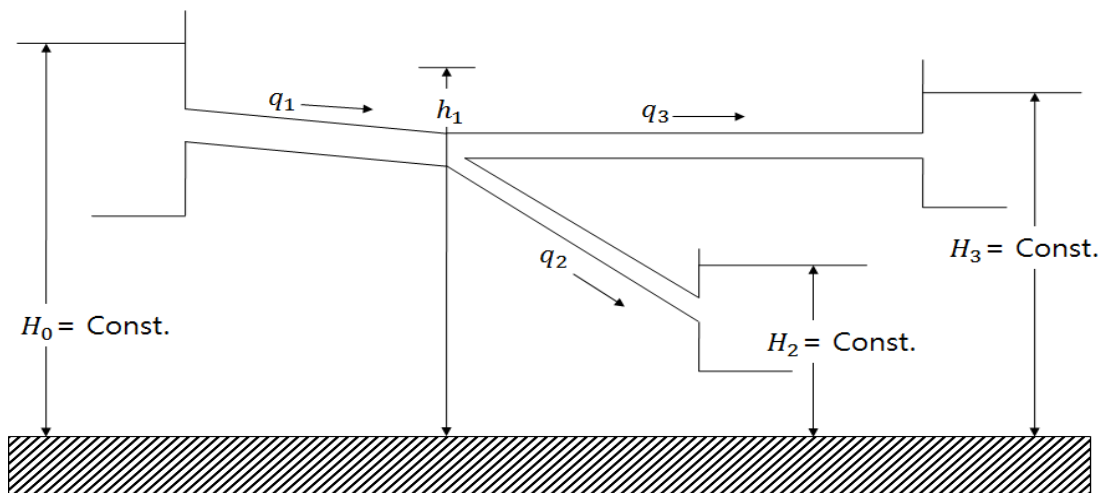
- 이들 두 개의 식을  $q'_2$ 와  $q'_3$ 에 관한 연립방정식으로 보고 풀면 약간 복잡하나 다음과 같은 결과가 도출됨. 즉, 편의적으로 4개의 정수  $b_{11}$ ,  $b_{12}$ ,  $b_{21}$ ,  $b_{22}$ 를 다음과 같이 정함.

$$\begin{aligned}
b_{11} &= \frac{L_1 + L_3}{L_1L_2 + L_2L_3 + L_3L_1} \\
b_{12} &= \frac{-L_1}{L_1L_2 + L_2L_3 + L_3L_1} \\
b_{21} &= \frac{-L_1}{L_1L_2 + L_2L_3 + L_3L_1} \\
b_{22} &= \frac{L_1 + L_2}{L_1L_2 + L_2L_3 + L_3L_1}
\end{aligned} \tag{3-9}$$

- 이들을 사용하여 관로시스템의 상태방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있음.

$$\begin{aligned}
q'_2 &= (b_{11} + b_{12})H_0 - b_{11}H_2 - b_{12}H_3 \\
&\quad - (b_{11} + b_{12})K_1 | q_2 + q_3 | (q_2 + q_3) \\
&\quad - b_{11}K_2 | q_2 | q_2 - b_{12}K_3 | q_3 | q_3 \\
q'_3 &= (b_{21} + b_{22})H_0 - b_{21}H_2 - b_{22}H_3 \\
&\quad - (b_{21} + b_{22})K_1 | q_2 + q_3 | (q_2 + q_3) \\
&\quad - b_{21}K_2 | q_2 | q_2 - b_{22}K_3 | q_3 | q_3
\end{aligned} \tag{3-10}$$

- 이와 같이 분기관로시스템의 상태방정식은 말단의 두 개의 유량  $q_2$ 와  $q_3$ 에 관한 연립상태방정식이 되며 [그림 3-1-3-4]의 수조의 상태 변수는  $q_2$ 와  $q_3$ 이며 최초의 시각( $t=0$ )의  $q_2$ 와  $q_3$ 의 초기치를 부여하여 (3-10)에 대입하면 시간적인 변동을 알 수 있으며  $q_1$ 은  $q_2$ 와  $q_3$ 의 합으로서 결정됨.
- 그리고 분기점 1의 전수두  $h=1$ 의 변수는 (3-10)에 의하여 임의의 시간  $q_2$ 와  $q_3$ 와  $q'_2$ 와  $q'_3$ 가 결정되기 때문에 이들 값을 (3-4)에 제2식, 제3식에 대입하여 구할 수 있음. (3-10) 제2의 우변을 동시에 0이되는 특별한 유량을  $q_{2s}$ 와  $q_{3s}$ 로 하면 이들이 정상상태가 되며, 관로1은 정상유량  $q_{1s}$ 는 이들의 합이 성립됨.



[그림 3-1-3-4] 각 관로 시스템

(5) 펌프를 포함하는 수조·관로시스템의 상태 방정식

○ 상태방정식과 정상 상태

- [그림 3-1-3-5]의 수조관로 시스템에 대하여 각 수위 및 유량을 시간적인 변화를 생각하면 상태방정식은 다음과 같이 되며, 각 수조의 수위에 대해서는 수조 후 유량연속조건에서 다음 식을 얻을 수 있음.

$$\begin{aligned} A_1 h_1 &= q_1 - q_2 = q_1 - q_3 - q_4 \\ A_3 h_3 &= q_3 - q_5 \\ A_4 h_4 &= q_4 - q_6 \end{aligned} \quad (3-11)$$

- (3-11) 우변은 분기점 후 유량 연속조건( $q_2 = q_3 + q_4$ )을 이용하여  $q_2$ 를 삭제할 수 있으며, 관로1에 대해서는 운동방정식으로부터 다음식이 성립됨.

$$L_1 \dot{q}'_1 = (H_p - h_1) - K_1 |q_1| q_1 \quad (3-12)$$

- 이 식의 우변에 포함된 펌프 후 토출부 전수두 특성을 고려하여야 하며 펌프는 와전 펌프로 하여 일정 후 회전수로 운전한다고 하면 그 특성은 토출유량을  $q_p$ 로서 근사적으로 다음과 같이 나타낼 수 있지만  $h_p$ 와  $C_p$ 는 정의값임. 단  $q_p$ 는 정의값이 되나 관로 후 유량 저항과 일치하도록  $q_p$ 에 절대치 기호를 붙여야 함.

$$h_p = H_p - C_p |q_p| q_p \quad (3-13)$$

- 이것은 일반적으로 우측하향 특성으로 토출유량이 증가하면 토출부  $h_p$ 는 저하되며 이와 같은 특성은 일반적으로 정상적인 운전 상태에서 성립함. 그러나 [그림 3-1-3-5]의 수조 수면적이 크면 수위의 변동은 적음. 펌프의 유량  $q_p$ 는 연속조건에 따라서 관로 $q_1$ 과 같아 (3-14)와 같이 성립됨.

$$h_p = H_p - C_p |q_1| q_1 \quad (3-14)$$

- 이식을 (3-12)에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있음.

$$L_1 \dot{q}'_1 = (H_p - h_1) - (C_p + K_1) |q_1| q_1 \quad (3-15)$$

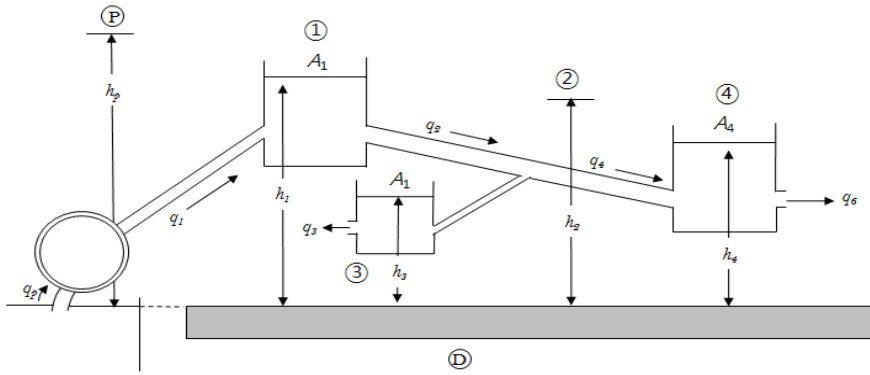
- 한편 관로2, 관로3, 관로4에 대해서는 (3-10)을 참조하면 관로2의  $q_2$ ,  $q'_2$ 가 분기점 2의  $h_2$ 를 삭제하면 아래의 식을 얻을 수 있음.

$$\begin{aligned}
q'_3 &= (b_{11} + b_{12})H_1 - b_{11}H_3 - b_{12}H_4 \\
&- (b_{11} + b_{12})K_2 | q_3 + q_4 | (q_3 + q_4) \\
&- b_{11}K_3 | q_3 | q_3 - b_{12}K_4 | q_4 | q_4 \\
q'_4 &= (b_{21} + b_{22})H_1 - b_{21}H_3 - b_{22}H_4 \\
&- (b_{21} + b_{22})K_2 | q_3 + q_4 | (q_3 + q_4) \\
&- b_{21}K_3 | q_3 | q_3 - b_{22}K_4 | q_4 | q_4
\end{aligned} \tag{3-16}$$

- $b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}$ 는 식 (3-9)과 동일하게 함.
- 지금까지의 결과를 정리하여 우변의 각 수위와 유량의 시간적 변화율이 나타나도록 하면 상태방정식은 다음과 같이 나타내며 이들은 6개의 식으로 되는 연립상미분 방정식임

$$\begin{aligned}
h'_1 &= \frac{1}{A_1} q_1 - \frac{1}{A_1} q_3 - \frac{1}{A_1} q_4 \\
h'_3 &= \frac{1}{A_3} q_3 - \frac{1}{A_3} q_5 \\
h'_4 &= \frac{1}{A_4} q_4 - \frac{1}{A_4} q_6 \\
q'_1 &= \frac{1}{L_1} (H_p - h_1) - \frac{C_p + K_1}{L_1} | q_1 | q_1 \\
q'_3 &= (b_{11} + b_{12})h_1 - b_{11}h_3 - b_{12}h_4 \\
&- (b_{11} + b_{12})K_2 | q_3 + q_4 | (q_3 + q_4) \\
&- b_{11}K_3 | q_3 | q_3 - b_{12}K_4 | q_4 | q_4 \\
q'_4 &= (b_{21} + b_{22})h_1 - b_{21}h_3 - b_{22}h_4 \\
&- (b_{21} + b_{22})K_2 | q_3 + q_4 | (q_3 + q_4) \\
&- b_{21}K_3 | q_3 | q_3 - b_{22}K_4 | q_4 | q_4
\end{aligned} \tag{3-17}$$

- 이 식에 포함된 상태 변수는 수조, 수위,  $h_1, h_3, h_4$ 와 관로의 유량  $q_1, q_3, q_4$ 을 합하여 6개이며, 식2와 식3의 우변을 보면 수조3에서의 유출량  $q_5$ , 수조4에서의 유출량  $q_6$ 가 포함되어 있음. 이들은 각각의 외부에 물 수요에 의하여 결정되는 임의의 시간함수로 생각할 수 있음. 각 변수의 초기치를 주고  $q_5, q_6$ 의 적당한 시간의 함수로 하면 상기의 상태방정식 (3-17)을 시간에 대하여 적분하여 각 수위, 유량의 시간적인 변화를 알 수 있음.
- 그리고 분기점2의 전수두  $h_2$  및 관로유량의  $q_2$  변수도 유량 연속조건과 상태방정식으로 부터 결정할 수 있으며, 이 수조 관로 시스템은 수조3으로부터 유출량  $q_5$ 와 수조4로부터 유출량  $q_6$ 가 시간적으로 변화하지 않고 각각 일정치일 경우에 정상상태가 됨. 일반적으로 외부의 물 수요는 20시간 후 기본주기로 변동하기 때문에 이와 같은 수조관로 시스템의 상태가 엄밀한 의미에서 정상상태가 되는 것은 생각할 수 없으나, 설계상의 필요로부터 엄밀한 정상상태를 구하기 위해서는 수조3의 유출량  $q_5$ 와 수조4의 유출량  $q_6$ 를 각각 적당한 일정치로 하여 상태방정식 (3-17)의 우변을 0이 되도록 특별한 6개의 값  $h_{1s}, h_{3s}, h_{4s}, q_{1s}, q_{3s}, q_{4s}$ 를 계산할 필요가 있음.



[그림 3-1-3-5] 수조관로 시스템

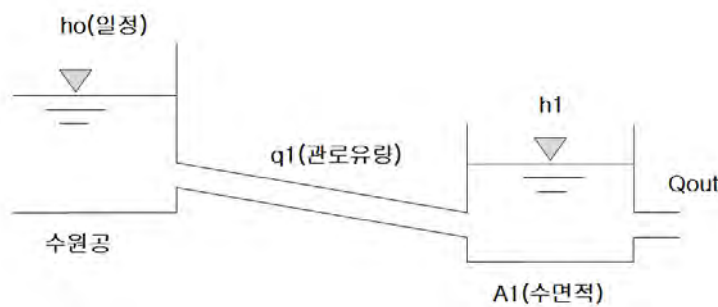
## 나. 강제수주이론 활용 관망해석

### (1) 송배수 관로의 서징현상

- 현재 농업용 파이프라인시스템인 관수로는 아직까지 시스템의 장대함과 널리 보급되는 추세에 비하여 시스템의 운영에 있어서 발생하는 현상을 해석하는데 어려움이 많음, 특히 파이프라인 내의 이상 압력 현상은 완만하면서도 시간적으로 느린 이상압력을 발생시키는 서징(Surging)이 발생하며 관수로의 수원, 수조, 파이프라인, 밸브, 펌프 등의 제원 특성에 의해서 발생하는 경향이 많음, 서징현상이 일어나면 수조에서의 월류, 관로내의 역류 현상이 등으로 각종 피해를 발생시킬 수 있음

### (2) 송배수관로 상태방정식

- 관수로 시스템의 과도현상인 네트워크 관망의 서징해석은 강제수주이론에 의한 비선형 상태 방정식에 의하여 해석함, 상태방정식은 각 수조에서의 유량 연속방정식과 비선형항을 갖는 관로의 운동방정식으로부터 구성됨



[그림 3-1-3-6] 관로 시스템

- 관로 유량  $q_1$ 의 운동방정식은 다음과 같음.

$$L_1 \dot{q}_1 = h_o - h_1 - K_1 |q_1| q_1$$



$$L_1 = \frac{l_1}{a_1 g} \quad K_1 = \frac{f l_1}{2g d_1 a_1^2}$$

$l_1$  : 관로연장,  $d_1$  : 관경,  $a_1$  : 관로 단면적,  $g$  : 중력가속도,  $f$  : 마찰손실계수

$L_1$  : 관성계수,  $K_1$  : 유량저항계수  $\dot{q}_1$  : 유량의 시간미분  $\frac{dQ}{dt}$

-  $A_1$  관단면적,  $q_1$  관유입량,  $Q_{out}$  말단의 취수량(사용량)으로 정의하면 질량은 영원이 보존된다는 질량보존의 법칙에 의해서 정상류의 모든 단면을 지나는 질량인 유량은 항상 일정함, 따라서 유체의 연속성을 표현하는 유량의 연속방정식을 식으로 표현하면 다음과 같음.

-  $Q_{in} = Q_{out}$  : 유입량 = 유출량

$$A_1 \dot{h}_1 = q_1 - Q_{out}$$

$A_1 \dot{h}_1$  시간대별 저류되는 유량  $\dot{h}_1$  시간 미분 방정식

- 위 식을 행렬식형태의 연립방정식으로 표기하면

$$\begin{bmatrix} L_1 & 0 \\ 0 & A_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{h}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -K_1' & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ h_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_o \\ Q_{out} \end{bmatrix}$$

$$K_1' = K_1 |q_1|$$

- 따라서,  $\dot{q}_1$   $\dot{h}_1$  에 대해서 정리하면 다음과 같음.

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{h}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 & 0 \\ 0 & A_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -K_1' & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ h_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_1 & 0 \\ 0 & A_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_o \\ Q_{out} \end{bmatrix}$$

### (3) 상태방정식의 수치해석 방법

- 강제수주이론은 관수로를 비선형 상미분방정식으로 기술하기 때문에 수치해석에 정도가 좋은 수치적분법을 사용하여 동적거동을 해석해야 하며, 룽게-쿠타법(Runge-Kutta Method)을 사용한다.

## 다. 파이프라인 서징해석 시뮬레이션 프로그램 개발

### (1) 강제수주 이론 적용 및 서징해석 프로그램 개발

- 강제수주이론으로 관망의 비정상류 해석을 위한 관망 시뮬레이션 프로그램을 EPANET 프로그램을 활용하여 개발하였다. EPANET은 압력관망의 수리 및 수질특성을 연장시간모사(Extended Period Simulation)할 수 있는 관망해석 프로그램으로 미환경청에서 개발한 프로그램이다.
- 관망 모델링 및 관망해석이 용이한 EPANET 프로그램의 관망 모델링, 관망 인자 입출력 부분 등의 기본적인 GUI는 그대로 활용하여 개발 노력을 줄였다.
- 비정상 해석을 위하여 EPANET의 절점수두법에 의한 관망해석 엔진을 강제수주이론 관망해석엔진이 탑재된 EPANET 기반 “강제 관망 서징해석 프로그램(Rigid PipeNet Surging Analysis Program, 이하 약칭 RPSAP)을 개발하였다.

#### < 특징 >

1. RPSAP 프로그램은 EPANET 고유의 관망 모델링 기법을 그대로 활용하고 관망해석 엔진만 강제수주이론으로 교체한 프로그램으로 정상류해석(Stead State Analysis)을 수행하고, 유사시간해석을 하는 EPANET 고유의 관망해석 방법과는 완전히 다르게 해석하는 비정상상태(Unsteady State) 관망해석엔진이 탑재된 프로그램임
2. EPANET 고유의 관망 모델링 및 관망해석 기법은 그대로 활용이 가능함

### (2) 관망 서징해석 프로그램(RPSAP) 개발

#### ① 강제수주이론 적용 관망방정식 작성

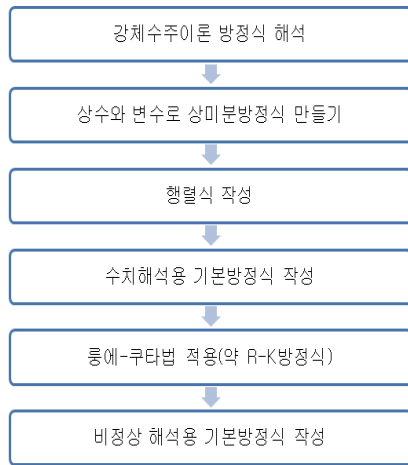
- 강제수주이론 적용 관망해석 핵심엔진 프로그램을 개발하기 위하여 강제수주이론 분석하여 그래프 이론에 근거한 관망 네트워크 상미분방정식을 작성하여 프로그램화 하였다.

#### ② 관망해석을 위한 수치해석 기법 선정 및 적용

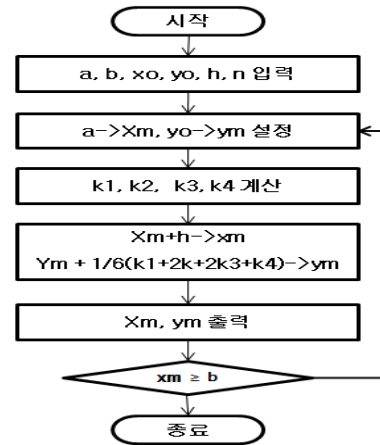
- 그 후 관망 네트워크 상미분 방정식을 수치해석하기 위하여 수치해석 기법인 룽에-쿠타 알고리즘을 선정하여 프로그램을 작성하여 비정상해석이 가능한 강제 관망 서징해석 프로그램(RPSAP)을 완성하였다.

#### ③ 강제수주이론 기본방정식 프로그램화

- 강제수주이론 기본방정식 작성순서 및 룽에-쿠타 알고리즘 처리 알고리즘은 다음과 같다.



기본방정식 프로그램화 순서



룬게쿠타 알고리즘 처리 순서

[그림 3-1-3-7] 강체수주이론 기본방정식 프로그램화 알고리즘

④ 관망해석 방법의 차이점

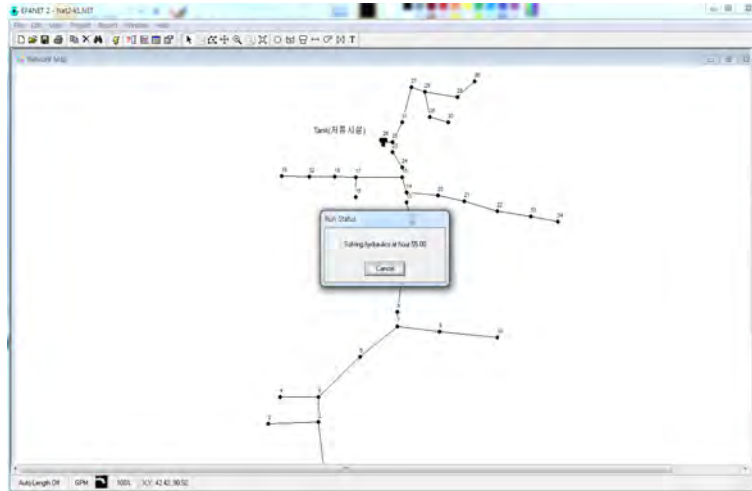
- 강체수주이론 : 비정상류 해석 (RPSAP, 서징해석)
- 절점수두법 : 정상류 해석 (EPANET)

⑤ 관망 구성요소 및 모델링 방법 : EPANET 그대로 활용

- 물리적 구성요소 : 관로, 펌프, 밸브, 저수지, 탱크, 절점 등
- 입출력기능 : EPANET의 표, 그래프 기능 그대로 활용하고  
- EXCEL 활용 그래프 작성 기능 추가하여 개발

⑥ 관망 서징해석 프로그램 개발 결과

- RPSAP는 EPANET 기반으로 개발되었으나, 관망해석 방법은 EPANET의 해석방법과는 전혀 다르다. RPSAP의 핵심 관망해석 엔진은 강체수주이론인 상미분 방정식을 사용하고 수치해석 기법인 룬에-쿠타를 사용하여 해석하는 방식으로 절점수두법인 EPANET 해석 방식과는 전혀 다른 방식이다.
- RPSAP는 EPANET의 시간해석을 정상류 해석을 기반으로 하여 시간단위로 연속적으로 해석하는 연장시간모사(Extended Period Simulation) 방법과도 전혀 다른 수치해석에 의한 비정상 해석을 수행하는 프로그램으로 강체수주 이론을 활용하여 작성한 프로그램으로 그 활용성이 다양할 것으로 예상된다.



[그림 3-1-3-8] EPANET을 활용한 관망해석 프로그램 화면

### (3) 파이프라인 서징해석 시뮬레이션 기법 개발

#### ① 관망 서징해석 시뮬레이션의 정의

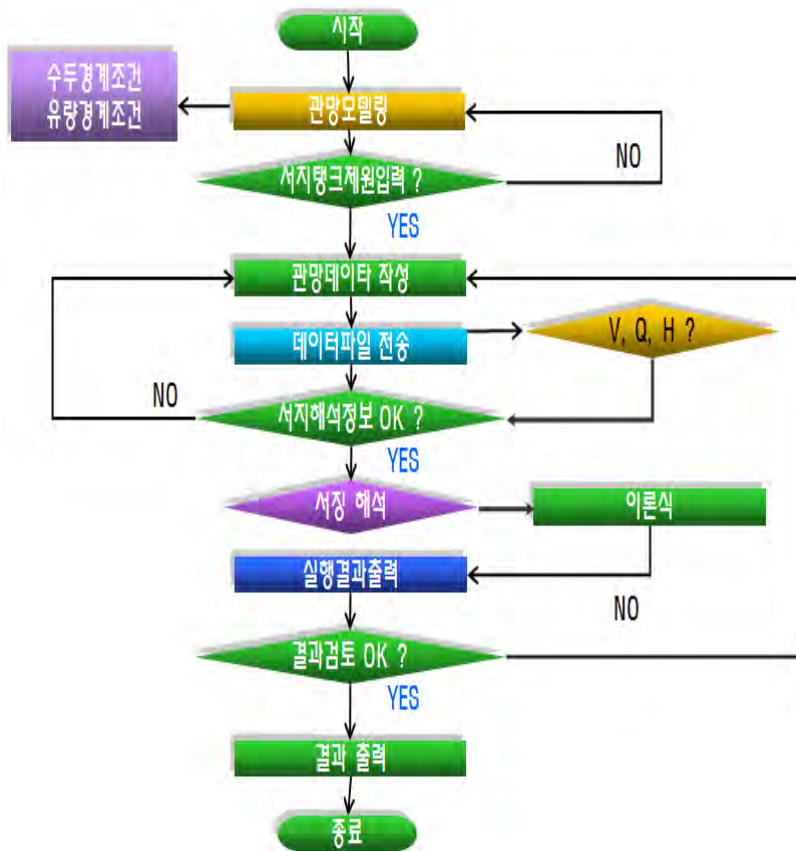
- 관로내 유체를 강제로 보고 해석하는 강제수주이론으로 시간 변화를 고려하여 관망의 비정상 상태의 수리현상을 해석하는 방법을 서징해석이라 하며, 배수지 수위, 관내 유량, 수압 등의 시간변화 및 밸브, 펌프 등의 제어대상 시설을 제어하며 관망 및 부대시설의 수리현상을 다양한 운영 시나리오에 의하여 해석방법을 시뮬레이션이라 한다.
- 따라서, 관망 서징해석 시뮬레이션이란 사용처의 수요량과 배수지 수위 등의 시간변화에 대한 펌프 및 밸브 제어, 배수지-펌프 연계 운영 등 제어방법을 입력하여 관망 수리현상을 해석하는 방법으로 방법이다.

#### ② RPSAP 활용 서징해석 시뮬레이션 절차

- 관로, 펌프, 밸브, 수용가 사용유량 등의 기초자료를 수집, 정리하여 관망도 및 관련 DB를 작성한 후에 다음의 절차에 따라 EPANET 프로그램을 이용하여 서징해석을 수행한다.
  - 그리기 도구(Map Toolbar)를 이용하여 관망도 작성
  - 관로, 절점 등 관망구성 자료 입력
  - 가동상황 설정(펌프곡선, 시간별 사용량 변화, 제어규칙 등)
  - 해석옵션 선택 ( D-W 선택=강제수주이론 해석 엔진 )
    - 수리/수질해석
    - 해석결과 조회

#### ③ RPSAP에 의한 관망 서징해석 방법

- 관망 서징해석 순서 및 관망자료 입력 및 서징해석 결과 확인방법은 다음과 같다.



**관망자료 입력 (INPUT)**

- EPANET의 입력조건 활용

**서지해석 결과 확인 (OUTPUT)**

- 탱크의 시간별 수위 (수두) 변화 ( 표, 그래프 확인 )
- 탱크선택 -> REPORT -> GRAPH -> 시계열 선택 -> 매개변수를 수두선택 -> 확인
- > 시간별 수위그래프 출력
- 시간별 사용량 분석 ( 표, 그래프 )
- 시간모의해석 결과 (비정상류 해석 결과)

관망 서지해석 순서

해석자료 입출력 방법

[그림 3-1-3-9] 관망 서지해석 순서 및 해석자료 입출력 방법

(4) RPSAP 활용 관망 서지해석 검증

① 관망

- 아래의 예제 관망에 대한 관로 및 절점 자료에서 연결요소(link) 9의 펌프는 45.7m의 정격양정에서 3,300m<sup>3</sup>/일의 유량을 송수한다. 또한 탱크(tank) 8의 직경은 18.0m, 초기수위는 바닥(EL. 252.98m)으로부터 1.0m 이며 최대수위는 6.0m이다.
- Computer 입력 전에 관망 설계 기초자료 준비가 필요하다.

② 관망도 작성 및 입출력 자료 작성

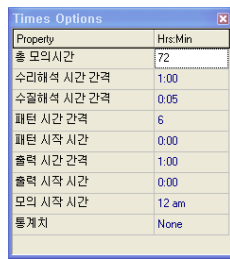
- 마우스로 관망도를 그리기 위한 도구상자(Toolbar)로 관망도를 작성한다. (EPANET 메뉴얼 참조)

③ 관망해석

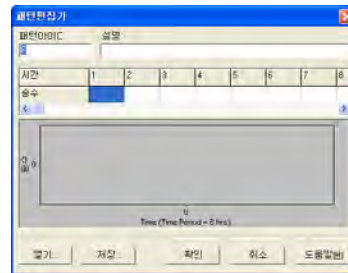
- 단일기간(순간) 해석 (Single Period Analysis)
  - 단일기간 해석 또는 고정상태 해석(Steady-State Analysis)은 시간에 따른 사용량, 수위변동을 고려하지 않고 주어진 한 개의 자료만을 해석하는 방법으로 순간해석(Snapshot Analysis)이라고도 한다.

○ 시간변화 해석(Extended Period) Analysis

- 시간변화 해석은 계통내의 가동조건을 고려한 해석이다. 여기에서는 시간에 따른 각 절점(Junction)에서의 공급량 변화를 해석해 보도록 하자. 공급량의 변화가 6시간마다 있다고 가정하면 하루 동안 4번의 변화가 있게 된다. (통상 24시간 동안 1시간 변화를 고려하는 것이 보통이나, 여기에서는 예제를 간략화하기 위하여 6시간 변화를 사례로 한 것이다).
- 먼저, [그림 3-1-3-10]과 같이 관망도 탐색기(Map Browser) - 화면설정 - Times을 선택하여 총 계산시간을 72시간, 시간간격(패턴 시간 간격)을 6시간으로 설정한다.




시간단위 설정



시간별 공급량 변화패턴 작성

[그림 3-1-3-10] 시간단위 설정 및 시간별 공급량 변화패턴 작성

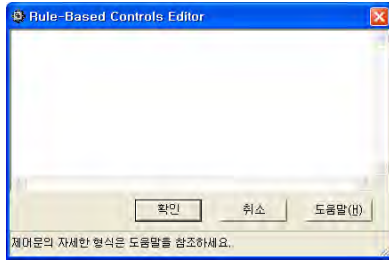
- 시간별 변화 패턴을 설정하기 위하여, 관망도 탐색기(Map Browser) - Pattern을 선택하고 아래의 '추가(Add)  버튼을 누르면, 패턴 편집기(Pattern Editor)가 생긴다. 이 편집기에 0.5, 1.3, 1.0, 1.2를 입력해보도록 하자. 이 숫자의 의미는 모든 절점(Junction)의 기저(基底) 공급량(Base Demand)에 해당 시간별로 이들 숫자를 곱한 값으로 공급량이 변하게 하고, 이 값을 대상으로 계산하게 됨을 의미한다.

④ 펌프운전 제어(Control)

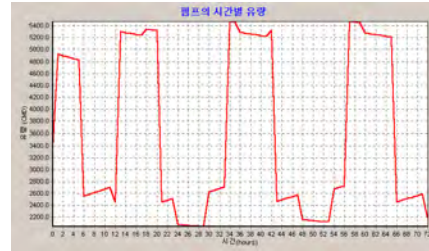
- 펌프의 가동은 일반적으로 탱크 수위나 계통내 유량의 변동에 따라 펌프의 운전대수를 제어하거나 변속펌프에 의한 회전속도 제어를 하게 된다. 여기에서의 사례에서는 규칙기초제어(Rule-Based Controls) 기법을 이용하여 펌프의 가동을 제어해 보기로 한다.

○ 입력 및 해석방법

- EPANET 관망도 탐색기(Map Browser)의 아래쪽에 있는 제어(Controls)을 선택한다.
- Rule-Based를 Double click하거나 아래쪽의 편집을 누른다.
- Rule-Based 제어(Controls) 편집기(편집or)가 활성화되면 이곳에 입력한다.



펌프의 제어



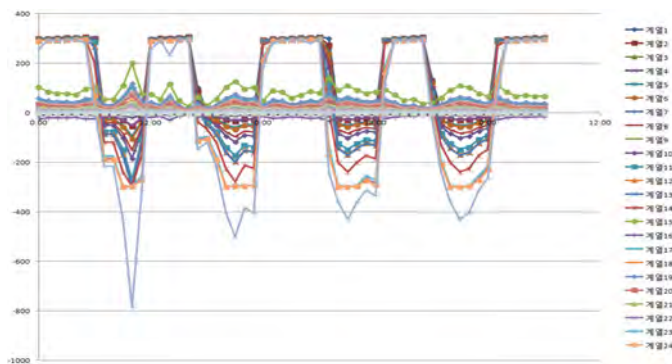
시간별 펌프 토출량 변화

[그림 3-1-3-11] 펌프의 제어 및 시간별 펌프 토출량 변화

- 편집기 아래쪽의 확인(OK)을 누르고 다시 해석(Analysis)한다.
- 해석을 실시한 후, 시간별 펌프의 유량 변동을 그래프로 그려보면 아래와 같다.

⑤ 관망해석 결과 보기

- 해석결과는 크게 ①전체 해석결과의 파일(문자(Text) 형태의 파일), ②도표(표), ③그래프 형태로 표시할 수 있다.



[그림 3-1-3-12] 시간에 따른 수위변화 그래프

⑥ 결과

- 강제수주이론을 활용하여 시간에 따라 룩에콧타 수치해석 기법으로 비정상 관망해석 프로그램을 개발하였다. 강제수주이론에 의한 관망해석을 프로그램으로만 이용되어 왔으나, EPANET과 연동하여 소프트웨어로 개발된 사례는 없었다. 이 프로그램은 향후 저류시설 설계시 저류용량 결정 및 관망 운영관리 등에 활용이 가능하다. 그리고, 이 프로그램은 오픈 소스인 EPANET의 관망 모델링 및 결과 표시 표, 그래프 등 기본 기능을 그대로 활용할 수 있는 장점이 있다. 이본에는 가지형의 관수로에서만 적용성이 확인되었으며, 네트워크형에서는 해석의 검증은 추가적인 연구를 통하여 검증할 필요가 있다.

## 4. 스마트 파이프라인 시스템 Test-Bed

### 가. 파일럿 플랜트 관망 설계

- 관망의 수리적 거동분석은 현 관망의 물흐름 및 수압 등의 분석을 통해 문제점 등을 파악하여 효율적인 운영관리, 수압관리, 수량관리에 대한 기본 방향을 제시하고, 장래 용수 수요에 대한 관망의 거동을 예측하여 합리적인 용수공급체계 방안을 수립하는데 활용하기 위한 것임.
- 이를 위해서는 기 구축된 관망자료 및 운영관리자료를 이용하여 관망모델을 구축하여야 함. 여기서, 관망모델(Hydraulic Model)이란 수원에서 관개지역까지 전체 관망시스템의 수리학적 거동분석을 위한 모형으로 여기에는 관로현황 및 가동자료에 대한 데이터베이스(DB)와 소프트웨어 분석으로 구성되며, 이것을 통상적으로 관망해석이라고 함. 본 설계는 저류조에서 관개지역까지 관망모델을 구축함.
- 과거에는 관망해석을 관로설계를 위한 도구로서만 이용하였으나, 근래에는 이와 함께 유수율 분석 및 시설물의 효율적 가동을 분석하는데 이용되고 있음. 이를 위해서는 관로자료와 펌프설비와 같은 각종 가동자료, 실제 관로시스템의 수압, 배수지 수위, 수용가 사용수량을 통하여 현장 상황과 모델과의 보정(Calibration) 과정을 거쳐 운영관리를 위한 관망모델을 구축하여야 함.
- 관망해석의 활용
  - 유수율 향상에 관한 전략수립을 위한 각종 모의실험 수행
  - 최적 관망관리를 위한 의사결정 도구
  - 수압 및 유속 관리
  - 누수관리를 위한 블록구축
  - 펌프의 최적운전
  - 조정지 등 저장시설의 적정 운영
  - 새로운 관로의 관경 결정
- 적정수압에 대한 기준은 「상수도 시설기준(2010, 한국상하수도협회)」, 일본의 수도시설 설계지침·해석 등 설계기준을 종합적으로 비교 검토하여 본 설계에서는 적정수압 기준을 [표 3-1-4-1]과 같이 선정하였음.

[표 3-1-4-1] 적정수압 기준

항목	단위	기준
등수압	kgf/cm <sup>2</sup>	1.5~4.5

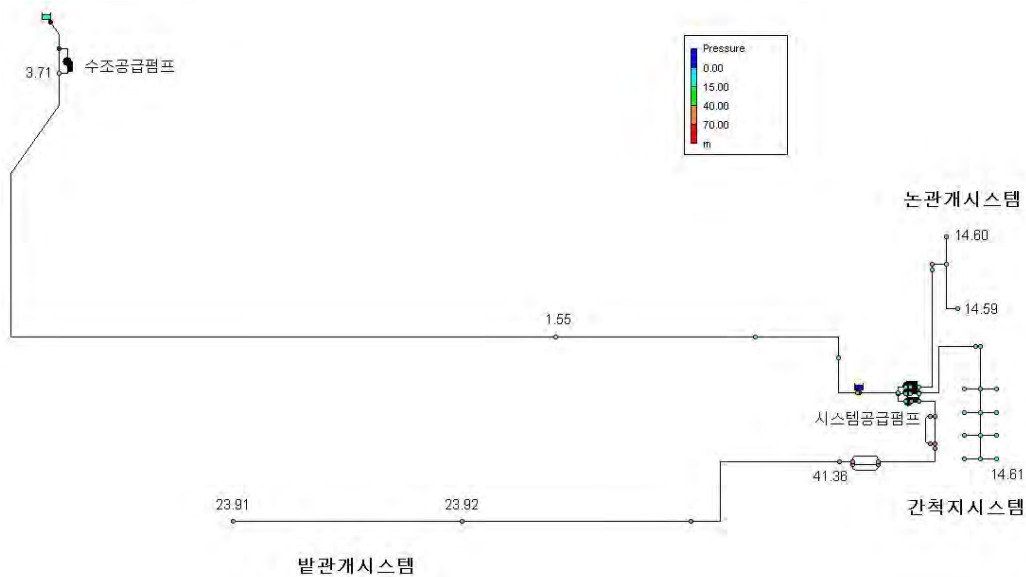
- 본 설계의 관망해석을 위해 EPANET2를 사용하였으며 이 프로그램은 미국 환경청(US Environmental Protection Agency)에서 개발하여 무료로 제공하고 있는 관망해석 프로그램임. EPANET2은 배수시스템내의 음용수 구성물질의 이동이나 운영에 대해 이해가 깊어



지기 위한 연구 혹은 벌크 흐름과 관벽면의 물질 이동과 같은 현상을 모델화할 수 있으며, 시간변화 모의(EPS, Extended Period Simulation)를 바탕으로 수리 및 수질해석, 개별 펌프모터 및 전력 원단위 추정 등의 다양한 해석이 가능한 프로그램으로 Windows 프로그램 내에서 편리한 관망도 작성, 해석 결과의 그래프, 표, 관망내 색 구분에 의한 표현 등 다양한 기능을 제공함.

○ EPANET2은 아래와 같은 특징을 갖고 있음.

- 복수 수원 시스템에서의 이용 수원의 변경
- 펌프 운전과 저류탱크의 충전/배출 스케줄의 변경
- 저수 탱크에서의 재소독과 같은 새틀라이트 처리의 사용
- 목표로 하는 관의 세정과 교환



[그림 3-1-4-1] 관망해석 수압분포도

○ 관망해석결과 각각의 시스템 말단 수압분포는 1.46~2.39kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타나 적정수압기준인 1.50~4.50kgf/cm<sup>2</sup>에 만족하는 것으로 나타났음.

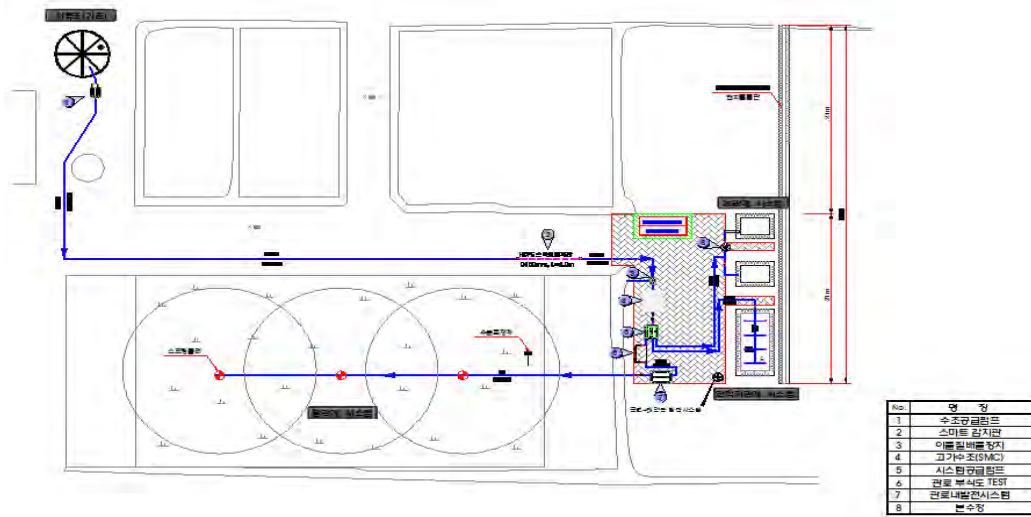
## 나. 파일럿 플랜트 설치 및 운영

### (1) 목적

- 농업용 관수로 시스템을 스마트화 하는 데 필요한 주요 요소기술을 반영한 스마트 관수로 시스템 파일럿 플랜트를 설치하여 스마트 파이프라인 운영관리 기술 등 개발기술을 시험 검증하여 실증 데이터를 확보하고,
- 개발기술과 관련 요소기술을 설치하여 현장과 유사한 조건에서 스마트 파이프라인 시스템을 운영하며 요소기술을 검증하는데 목적이 있음

(2) Pilot Plant 개요

○ 위치 : 농어촌연구원 부지 물관리시험포 (2,544 m<sup>2</sup> 중 384 m<sup>2</sup> 사용)



[그림 3-1-4-2] 파일럿 플랜트 구성도

[표 3-1-4-2] Pilot Plant 주요공정 설계내역

구분	시설개요	비고	
용수공급시설	수조공급 펌프	자흡식펌프 0.5 m <sup>3</sup> /min × 10 mH	1대 예비
	노관개 펌프	입형펌프 0.12 m <sup>3</sup> /min × 10 mH	
	간척지관개 펌프	입형펌프 0.12 m <sup>3</sup> /min × 10 mH	
	발관개 펌프	입형펌프 0.24 m <sup>3</sup> /min × 40 mH	인버터 제어
	발관개 밸브	전동볼밸브 50 A × 10.0 kg/cm <sup>2</sup>	
	고가수조	10TON, 2 mW×2.5mL×2mH	
	누수파손감지시스템	감지테이프, 센서, 보호커버	
	이물질 배출장치	100 mm, 1조	
논	개수로 시스템 조	3,000 mm × 4,000 mm × 200 mm	
	관수로 시스템 조	3,000 mm × 4,000 mm × 200 mm	
	분수정	560 mm∅ × 500 mmH × 1조	
밭	스프링클러	42.2m×23.1m, 스프링클러: 15D×3EA	기존부지
발전	풍력+태양광	풍력발전, 태양광발전	



파일럿 플랜트 전경 1



파일럿 플랜트 전경 2



파일럿 플랜트 전경 3

[그림 3-1-4-3] Pilot Plant 설치 전경

(3) Pilot Plant 부대시설

(가) 이물질 배출장치

- 이물질 배출장치는 파이프 플랜트 부지 진입 후 고가수조 바로 전에 설치되어 관로 내부에 침적 및 고착되는 이물질을 관로 밖으로 배출하도록 함.
- 이러한 물질과 혼탁수는 비중이 물보다 무거워 관 바닥을 따라 서서히 흐르므로 송·배수관의 적정지점마다 이물질 배출장치 설치 시에 이물질을 포집하여 하수구로 배출하고 피그세척 및 플러싱 등의 작업도 할 수 있는 특수 고안된 배관장치임.
- 관로의 체적변화에 의한 유속치를 이용하여 관 내부의 이물질(토사, 금속철, 실코팅탈리, 토사물, 각종 유해물질)을 외류방지관 및 정류벽에 의해 포집하는 배출장치임.

위치	이물질 배출장치 외형

[그림 3-1-4-4] 이물질 배출장치 설치 위치 및 외형

(나) 하이브리드(풍력+태양광) 발전시스템

- 하이브리드 발전시스템은 전기 및 계측제어실 옥외에 위치하고 있으며, 풍력과 태양광 에너지를 발전시킬 수 있는 청정발전 시스템임.

위치	하이브리드 발전시스템 외형

[그림 3-1-4-5] 하이브리드 발전시스템 설치 위치 및 외형

[표 3-1-4-3] 하이브리드 발전시스템 블레이드 설계규격

구분	규격	비고
Type	H형 수직형 날개	
재질	알루미늄 합금(5052)	
회전직경	1.2m	
Dimension	1500(H) × 250(W) × 45(T)	
회전개시 풍속	1m/s	
충전개시 풍속	2m/s	

- 내부식성 알루미늄 합금 (5052)
- 저소음, 저진동
- 간단한 구조, 운반과 시공성이 뛰어남
- 풍향에 관계없이 어느 방향에서 바람이 불어도 회전 가능함

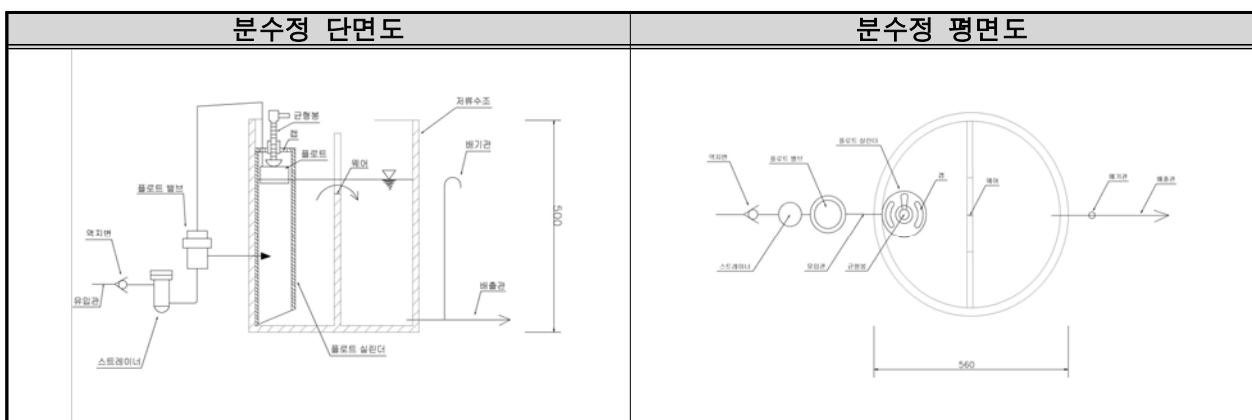
#### (4) 관개시스템

##### (가) 논관개 시스템

- 개수로 모형은 논관개시스템 공급펌프로부터 분수정을 통하여 용수를 공급받게 되고, 관수로 모형은 논관개시스템 공급펌프로부터 직접 용수를 공급받는 시스템이임.
- 논관개시스템의 용수공급에 사용되는 분수정은 무동력 균등분수장치로서 용량은 0.25톤(1조)이고 규격은  $\varnothing 560\text{mm} \times H500\text{mm}$  임.
- 무동력 균등분수장치는 자동수위유지 장치를 이용하여 분수지점의 수위를 일정하게 유지시킬 수 있는 원리를 기초로 함.
- 관수로에서 개수로로 분수되는 지점이나 관수로 조직의 분수지점(지선, 지거)에 적용될 수 있음.

[표 3-1-4-4] 분수정 설계 개요

구분	내용	비고
용량	0.25톤	1조
규격	$\varnothing 560 \times H500$	

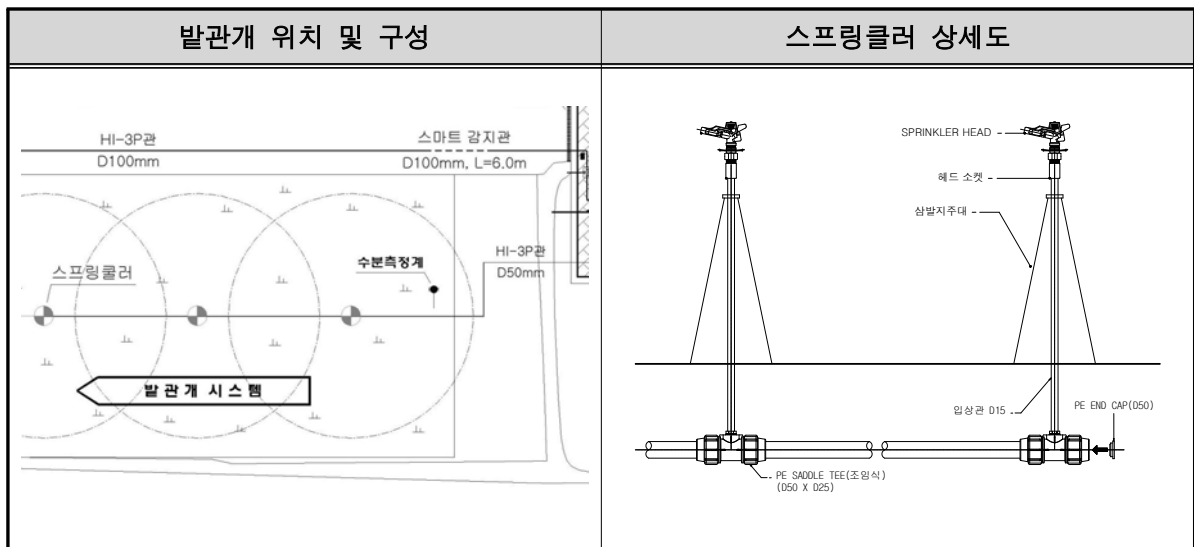


[그림 3-1-4-6] 분수정 평면도 및 단면도

- 논관개 모형은 총 2가지로 개수로type과 관수로type이 있음. 개수로 모형은 벤치블룸관 (300mm×200mm)을 이용하여 오픈된 개수로를 구현하고 이를 통해서 용수가 시스템으로 유입되도록 하였고, 관수로 모형은 용수가 관로를 통해 직접 시스템으로 유입되도록 계획 하였음.

(나) 발관개 시스템

- 발관개시스템 공급펌프로부터 관로부식도 TEST구간과 관로내 발전시스템구간을 거쳐 스프링클러로 용수를 공급하게 되는 시스템임. 발관개 시스템 부지에는 수분계가 설치되어 전동볼밸브에 의해 자동제어가 가능하도록 설계하였음.
- 발관개시스템은 논관개 및 간척지와는 달리 현재 밭으로 구성되어 있는 부지를 사용하는 것으로 결정하였음.



[그림 3-1-4-7] 발관개 시스템 설치 위치 및 현장사진

(5) 파일럿 플랜트 활용

- 스마트 파이프라인 파일럿 플랜트는 각각의 연구 성과물을 검증하는데 활용하였으며, 이 결과는 각자의 연구성과물에서 확인이 가능함

5. 스마트 파이프라인시스템 Test-Bed 선정

가. 테스트 베드 선정

(1) 개요

- 본 연구개발의 성과물인 농촌용수의 효율적 이용을 위한 스마트 파이프라인 시스템의 실증을 통해 농촌용수 공급 및 관리를 실현하고, 농촌용수 시스템의 해외시장 진출을 위한 기반기술 구축을 비전으로 세계 최고수준의 농촌용수 공급 시스템의 기술을 확보하기 위한 현장 적용 테스트베드 후보지 및 실증 기술의 검토임.

- Test-Bed지로는 관수로시스템 구축이 잘 형성되어 있는 한국농어촌공사 영산강사업단 4지구와 가뭄피해로 용수확보방안에 대한 계획이 수립되어 있는 제주도를 대상으로 선정하였음.

(2) 주요 설계검토사항

- 관수로 스마트기능과 관련한 다음과 같은 항목을 검토하였음.
  - 기능 1 : 펌프최적운전
  - 기능 2 : 실시간 관망 모니터링 및 운영관리
  - 기능 3 : 관수로 이용발전계획

(3) 설계방향

- 기능 1 : 펌프최적운전
  - 수원공 양수장의 펌프자동운전계획
  - 각 저류지별 양수장의 펌프자동운전계획
  - 스마트 양수장 운영관리 시스템 계획(관리인용 웹 프로그램계획)
- 기능 2 : 실시간 관망모니터링 및 운영관리
  - 관망모니터링시스템 계획(수원공 수위, 관로압력/유량 등)
  - 관망 최적운영관리시스템 계획
  - 관망해석 시스템 및 관망유지관리 시스템 계획
- 기능 3 : 관망이용 발전계획
  - 관망이용 발전계획(저수지 및 관망형태의 소수력 발전계획 수립, 발전계획 타당성 검토 및 매전단가 활용 경제성 분석)
  - 관망에너지 운영관리 시스템 계획(펌프 및 계측기 소비전력 모니터링)

(4) 검토 대상지

① 영산강Ⅳ지구

[표 3-1-5-1] 영산강Ⅳ 지구 현황

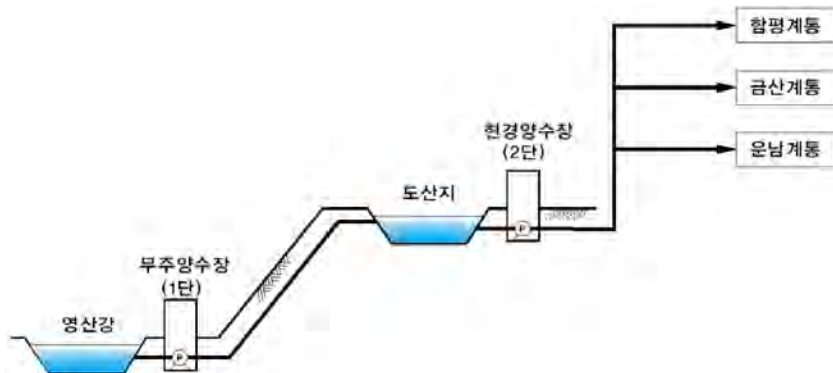
사업명	영산강Ⅳ단계 농업종합개발사업
사업구역	전남 무안·함평·신안·영광군 일원(1도 4군 14면)
개발면적	16,730ha(논 : 10,040, 밭 : 6,690 )
주요시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>•양수장 : 10개소   •조절지 : 7개소(1개소 신설)   •도수로 : 2조 11km</li> <li>•용수로 : 412조 476km(간선 : 11조 115km, 지선 : 401조 361km)</li> <li>•배수장 : 13개소   •배수문 : 14개소   •배수로 : 24조 19km</li> </ul>

[표 3-1-5-2] 영산강IV 지구 관수로 시공현황

지구명	공구명	관종별연장(m)				2013.10 현재
		강관	GRP	PE	소계	
IV	1-1	12,010	-	-	12,010	준공
	1-2	5,020	-	-	5,020	준공
	2-1	7,042	-	250	7,292	
	2-2	5,290	-	21	5,311	
	5-1	3,517	-	-	3,517	
합계		32,879	-	271	33,150	

○ 영산강 4공구 광역공급 체계 현황

- 영산강 4공구의 주요 광역공급체계는 다음 모식도와 같이 무안 양수장으로부터 도수관로를 통하여 도산저류지와 창포저류지로 각각 1단 공급되어진 후 현경양수장으로 부터 함평, 운남, 금산계통 저류지로 2단 가압되어 송수되도록 구성되어 있음.



[그림 3-1-5-1] 영산강 4공구 광역 공급체계



[그림 3-1-5-2] 영산강IV 지구 평면도



② 제주도 농업용수 광역 급수체계

○ 개요

[표 3-1-5-3] 구축계획

구분	내용
사업구역	- 제주도 (성읍, 옹포, 함덕, 서림지구)
사업내용	- 관정별 소규모 급수체계에서 리단위 통합 급수체계로 전환 - 장기 무강우에 대비한 안정적인 농업용수원 추가확보 추진 - 지하수, 지표수, 용천수 등 다양한 수원을 연계한 전천후 공급시스템 구축
개발면적	- 성읍, 옹포, 함덕지구(일일 10,800m <sup>3</sup> , 1,800ha) - 서림지구(일일 15,000m <sup>3</sup> , 1,521ha)
사업현황	- 급수관망도 조사(행정시별 조사 기 시행중) 및 광역 급수체계 구축 기본계획 수립실시(2012~2014) - 광역 급수체계 구축 시범사업 실시(2014~2015) - 광역 급수체계 구축 본 사업 실시(리단위 통합) (2015~2020) - 읍면단위급수체계 통합 및 읍면동지역별 12개 권역으로 통합급수(2021~2022)
사업기간	- 2012 ~ 2022(10년)

○ 제주도의 현재 확보된 농업용수원은 888개소, 1일 697,400m<sup>3</sup>임.

[표 3-1-5-4] 제주도 농업용수 현황

구분	개소수	개발량(m <sup>3</sup> /일)	비고
계	888	697,400	
농업용 공공관정	제주도	872	667,400
	한국농어촌공사	12	15,700
지표수	3	9,300	광령, 수산, 용수
하수처리장 재처리수	1	5,000	판포지구

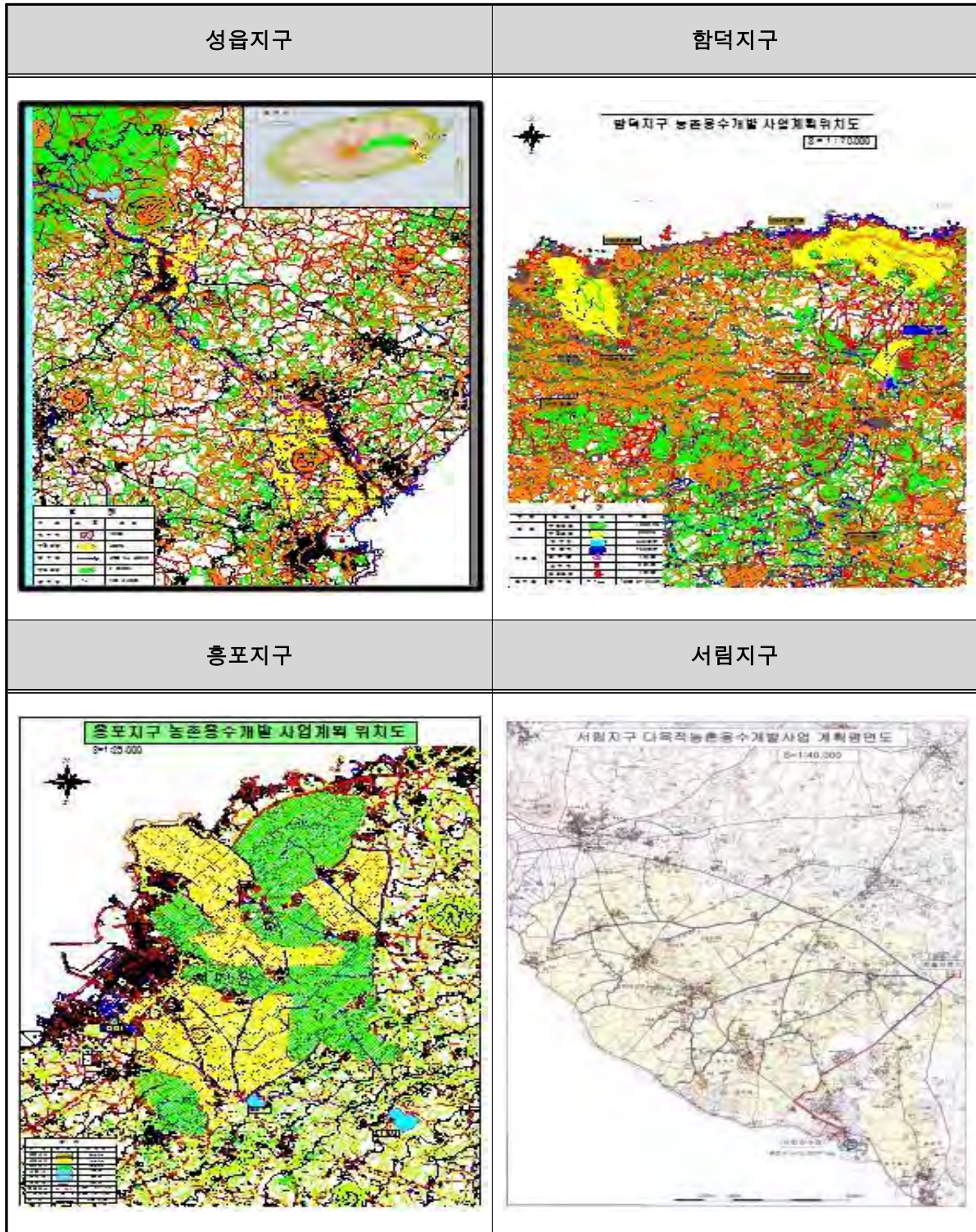
○ 제주도 농업용수 광역 급수체계 사업지구 위치



[그림 3-1-5-3] 광역급수체계 사업지구 위치도



○ 제주도 농업용수 개발 사업계획 위치



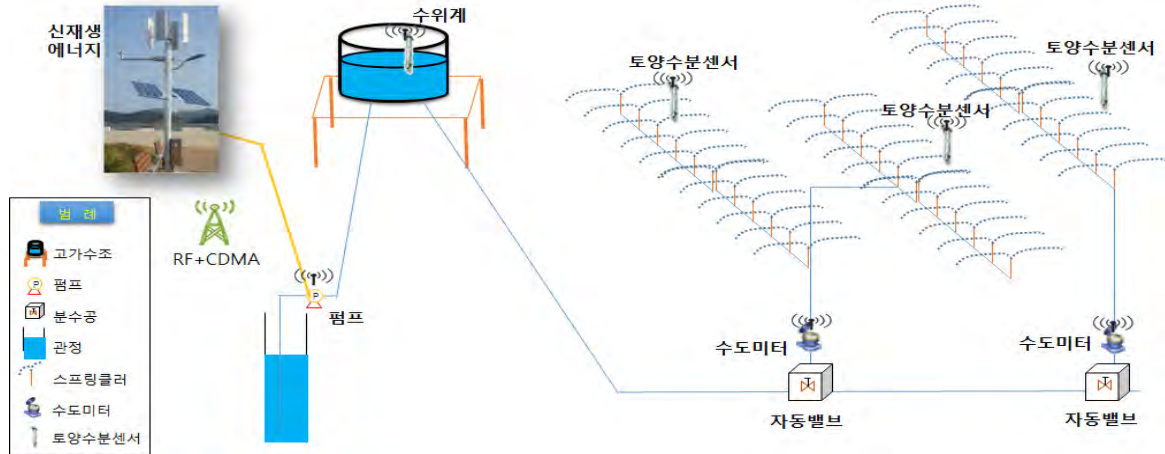
[그림 3-1-5-4] 제주도 농업용수 개발지구

③ 테스트 베드 기본 구상(안)

○ 신재생 에너지 이용 발관개 시스템 구상

- 발관개 시스템은 지하수 관정을 기반으로 용수공급 계획 수립
- 지하수 심정 운영을 위한 에너지원으로 신재생 에너지(태양열, 풍력) 이용 적극 검토

- 용수공급 지역의 토양상태 및 시설 작물의 생육 특성에 따른 최적 용수 공급 체계 마련
- 효율적 용수 공급 제어를 위한 토양수분센서, 온도 데이터의 수집과 사용량 계측, 밸브 급수 제어를 위한 AMI 네트워크 구축 검토



[그림 3-1-5-5] 테스트베드 구상 개념도

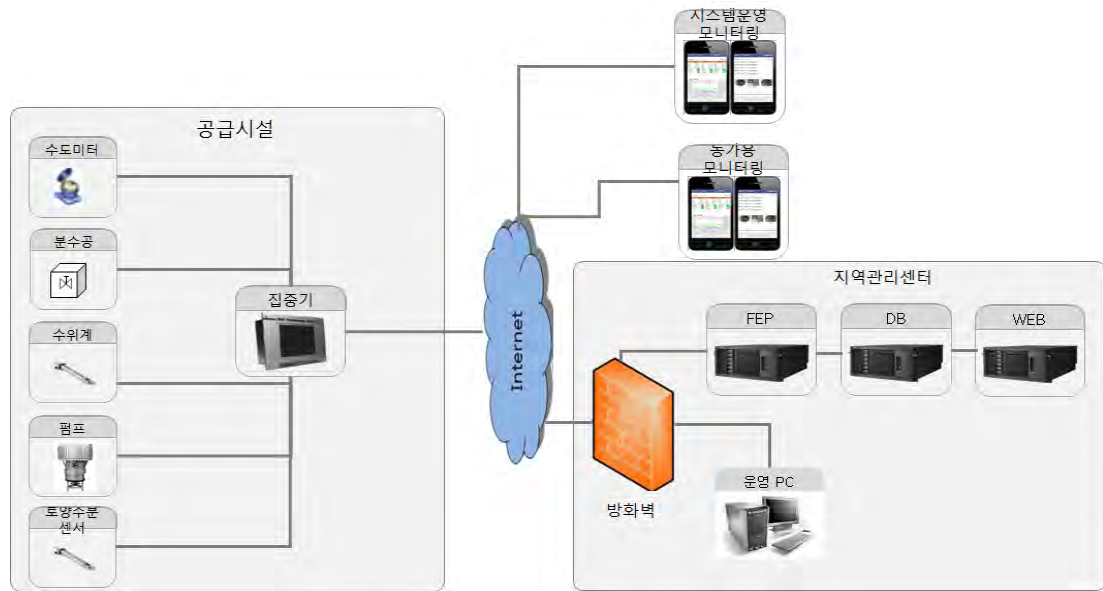
○ 운영관리시스템 구성 내용

[표 3-1-5-5] 시스템 구성

내역	용도	비고
수도미터	용수 공급량 측정	분수공 설치
수위계	수위 측정	고가수조 설치
펌프	펌프	
분수공	농업용수 분배 역할	밸브 포함
토양수분센서	토양의 수분 측정	
중계기/집중기	각종 장비 제어 및 데이터 서버 전송	
FEP Server	RTU의 데이터를 처리	
DB Server	전송된 데이터 저장	
WEB Server	운영PC 및 스마트기기의 정보 제공	

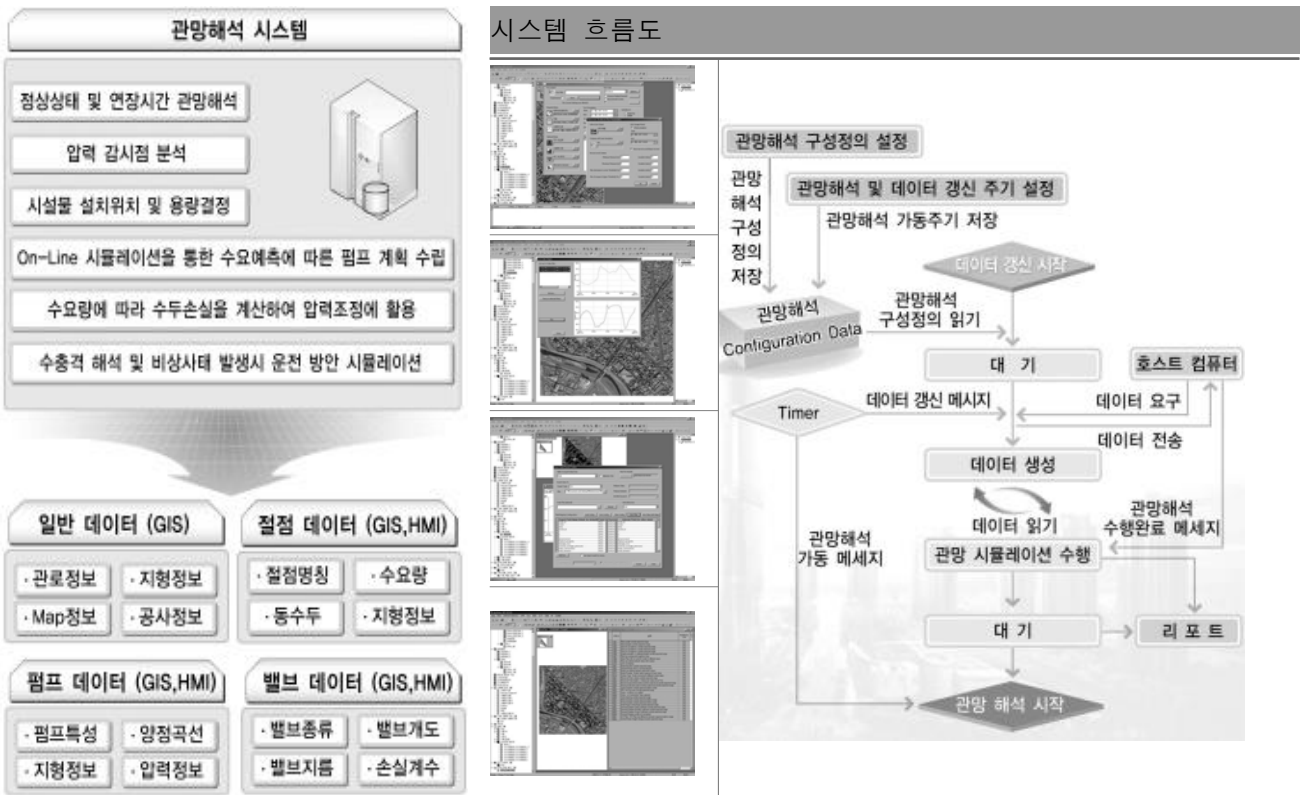


○ 운영관리 시스템 구성



[그림 3-1-5-6] 운영관리 시스템 구성

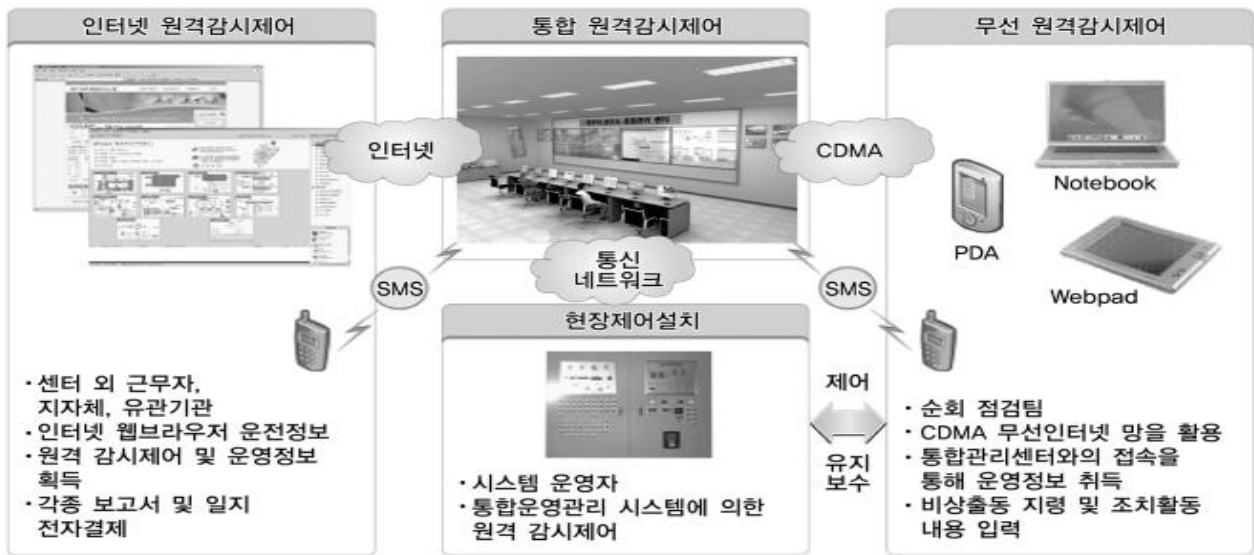
- 실시간 관망해석 S/W 구성안으로 실시간 관망해석시스템은 설치된 양수장, 저류지, 조정지 등 펌프 및 관로와 모든 시설현황을 프로그램화 하여 입력한 후 실시간 계측을 통한 시설현황 감시 및 온라인 시뮬레이션을 통한 수요예측, 각 종 실시간 운영데이터 축적을 통한 경제적인 관망유지관리가 가능하도록 하기 위한 시스템으로서 다음과 같은 구성과 흐름을 갖도록 함.



[그림 3-1-5-7] 시스템 구성 및 흐름도

○ 관망유지관리 시스템 구축안

- Web HMI 도입을 통한 최첨단 Internet 기술과 Server 기술을 접목
- 개별처리시설 무인자동화 계획에 따라 현장순회점검에 적합한 시스템 구축
- 통신 소프트웨어 탑재로 인한 기존의 전용회선(TM)방식 한계성 극복



[그림 3-1-5-8] 통합관리시스템 구성

○ 소프트웨어 시스템 구축안

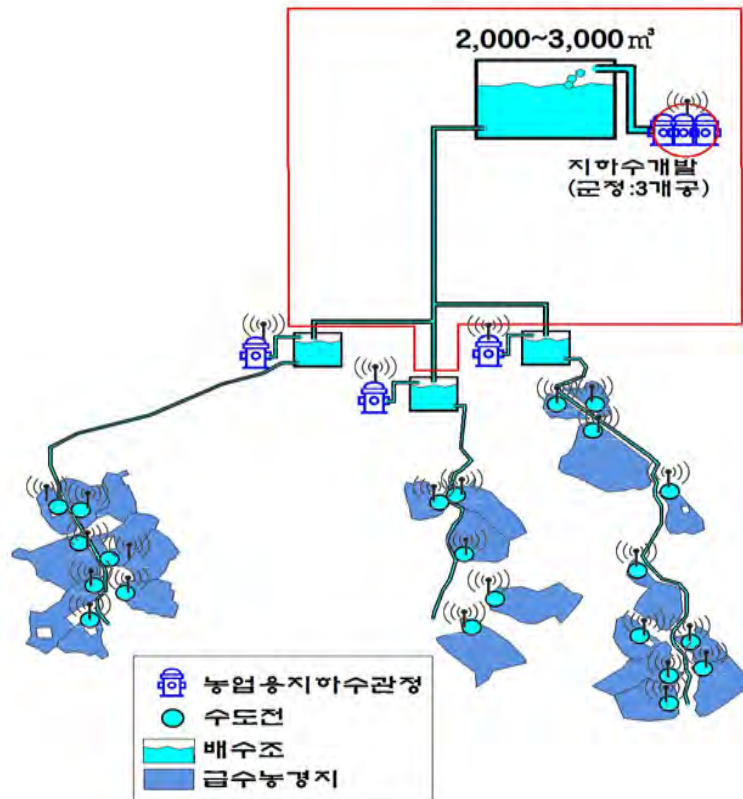
[표 3-1-5-6] 수요예측 소프트웨어

항 목	주요 예측 내용
장단기 수요예측	- 일량, 시간별, 월단위 공급량을 장기적인 예측을 통하여 적절한 물수요량 산출
효과적인 수량배분	- 유출량 계획을 기초로 한 1,2단계 양수 및 분배량 산출
배수패턴시뮬레이션	- 시간계수 및 기후계수를 기초로하여 공급패턴을 분석
효율적인 펌프운영	- 계절별, 일별 수요량과 펌프운전대수 및 운전조건을 고려하여 펌프운영계획 결정
검증 및 보정	- 예측치와 실측치와의 오차를 검증하고 보정

○ 통합 배수지 이용 농촌용수 공급 시스템

- 기존 난개발 되었던 지하수 개발의 폐해를 방지
- 각 배수지의 수위 관리 및 각 농업용 수도전의 AMI 네트워크 구축
- 농업용 수도전 사용가의 효율적인 물 공급 및 용수 사용량에 따른 유지관리 비용 분담

○ 테스트 베드 구성안



[그림 3-1-5-9] 관정시스템 구성안

- 지하수 개발로 인한 용수를 상위의 배수조에 위치시킨후, 하위의 배수조로 물 공급을 하여 각각의 배수조에서는 농업용지하수관정을 통해서 수도전으로 공급후 급수농경지에 물을 공급하는 시스템임.

○ 운영관리 시스템 구성 내용

[표 3-1-5-7] 시스템 구성 내용

내역	용도	비고
유량계	유량 측정용	배수조, 수도전
압력계	압력 측정용	배수조
수위계	수위 측정용	배수조
펌프	펌프	
중계기/집중기	각종 장비 제어 및 데이터 서버 전송	
FEP Server	RTU의 데이터를 처리	
DB Server	전송된 데이터 저장	
WEB Server	운영PC 및 스마트기기의 정보 제공	

#### ④ 향후 계획

- 테스트베드에 적용하기 위한 농촌용수 스마트 파이프 라인 시스템 요소기술 성능평가 기준 마련 하고, 현장 적용성을 고려한 요소기술 성능평가 기준을 수립하고자 함.
- 테스트베드 내 농촌용수의 안정적 모니터링/네트워크/제어 고도화 기술 개발을 적용할 계획임.
- 확보된 농촌용수의 효율적 분배 및 수요 맞춤형 공급기반 확보로 가동율 최적화, 설비운영 최적화, 에너지 이용 효율화를 달성할 수 있는 스마트 파이프라인 운영관리 시스템 적용하고자 함.

## 6. 농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용

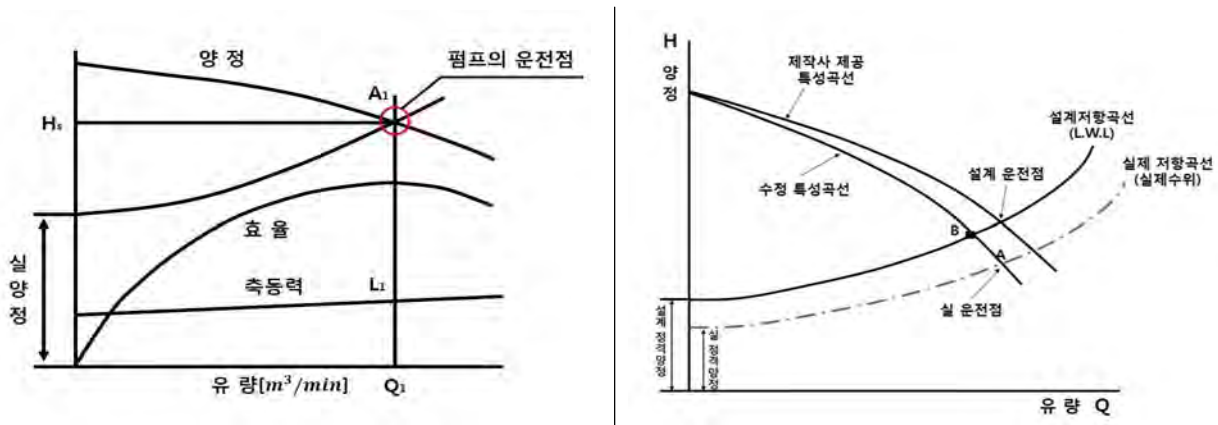
### 가. 농업용 양수시설 최적화 기법 검토

#### (1) 개요

- 농업용수 공급시스템은 개수로 방식이 주로 사용되어 왔으나, 최근 지형의 영향을 덜 받으면서 안정적으로 용수공급이 가능한 관수로 시스템으로의 전환이 늘어나는 추세임. 특히, 대단위 농업단지 조성이 늘어나면서 경제적인 수리시설의 설치와 유지관리에 대한 관심이 증대되고 있으며 막대한 예산이 투입된 사업의 효율성을 높이기 최적설계기법이 요구된다. 이를 위해 농업용 관수로 시스템의 필요성과 단점이 공존하는 상황에서 시스템의 효율적인 설계를 위한 연구가 필요한 시점임.

#### (2) 양수시설(펌프) 운영방법

- 펌프는 정수장, 배수지 등 송수원에 위치하거나 (시스템 전체에 영향을 미침), 시스템 내 가압이 필요한 일부지역의 요구수압을 만족시키기 위해 시스템 중간에 설치하는 경우도 있음. 펌프를 통한 수두의 증가는 펌프 토출량의 함수이며 제작자들의 실험에 의해 결정됨. 그래프 형태로 표현되는 이 정보를 펌프의 특성곡선이라 하는데 이 곡선에는 변화하는 토출량에 따른 소요동력과 펌프효율도 포함되어 있음. 펌프 특성곡선의 일반적인 예를 [그림 3-1-6-1]에 나타내었음.



[그림 3-1-6-1] 펌프 특성곡선의 예

- 일반적으로 펌프의 성능곡선은 [그림 3-1-6-1]과 같이 횡축에 유량, 종축에 양정(m), 효율(%), 동력(kW)을 표시하는데 펌프의 양정은 유량이 증가함에 따라 조금씩 감소하는 곡선이 됨. 여기서, R은 송수관로의 마찰저항 등의 관로손실(혹은 관로저항) 곡선이며 저항곡선 R은 펌프의 실양정(actual head, 즉 펌프장 위치수두와 송수하고자 하는 수요지점의 수위 차)과 수요지점까지 물을 공급하는데 필요한 손실의 합인 송수관로의 관로저항을 더한 것임.
- 이 저항곡선과 펌프의 양정곡선과의 교차점(A)에서의 유량(Q) 및 양정 (H)에서 펌프가 운전되며, 이 교차점(A)을 펌프의 운전점이라 함함. 또한 이 때 필요한 펌프의 소요동력은 A점으로부터의 수직선과 축동력 곡선과의 교차점(P)이며, 펌프의 운전효율은 효율곡선과

의 교차점인 E임. 펌프의 소요동력(P, 단위: kW, kilowatt)은 토출량(Q, 단위: m<sup>3</sup>/sec), 총양정(H, 단위: m), 그리고 펌프의 운전효율( $\eta$ )의 함수로 나타낼 수 있으며, 아래와 같은 식으로 표현됨.

$$P = 9.8 \times Q \times H / \eta$$

- 펌프의 운전점은 앞에서 언급한 바와 같이 펌프의 특성곡선과 실양정 및 관로 손실곡선과의 교차점이 되나, 펌프제작업체에서 제공하는 펌프특성곡선은 계통의 유량 및 손실특성에 따라 달라지게 되며, 관로 저항곡선은 통상 펌프 설계시 정격유량조건 및 최적수위조건 등 한 점을 기준으로 설계하게 되므로 실제 운전조건과는 다르게 됨. 펌프특성 및 취수장의 수위 등에 따라 운전점 A, B 등으로 다양하게 변할 수 있으므로 펌프특성곡선을 관망해석에 적용할 경우에는 펌프특성곡선 뿐만 아니라, 공급량, 수위 등을 다각적으로 조사하여 작성하여야 함.
- 용수의 수요량은 주간과 야간 등 시간에 따라 변할 뿐만 아니라, 계절에 따라 시시각각 변화하고, 시스템개발 초기와 연도별로 크게 변화함. 이 경우 대용량의 펌프 1대를 이용하여 밸브에 의한 유량제어나 가변속 전동기에 의한 회전속도를 제어한다면, 펌프의 최고 효율점을 벗어난 지점에서 펌프가 작동하게 되어 효율이 떨어지고 불필요한 에너지의 낭비가 초래하게 됨. 따라서 펌프를 여러 대로 분할하여 병렬운전하면 시시각각 변화하는 수요량에 능동적으로 대처하며 높은 효율영역에서의 운전이 가능하게 됨.
- 상수관망시스템에서 사용되고 있는 펌프의 소비전력은 상당히 크므로 전력 절감을 위해서는 이들 펌프 및 시스템의 운전 효율 향상이 무엇보다 중요함. 펌프시설의 최적운영 알고리즘을 개발하여 적용하는 것과 더불어 주기적으로 펌프의 성능을 감시하여 노후되어 적정 운전범위를 벗어난 펌프는 과감히 교체하는 것이 운영비의 비율이 높은 펌프시설의 에너지 절감에 바람직함.

### (3) 양수장 펌프 자동운전 제어 기법

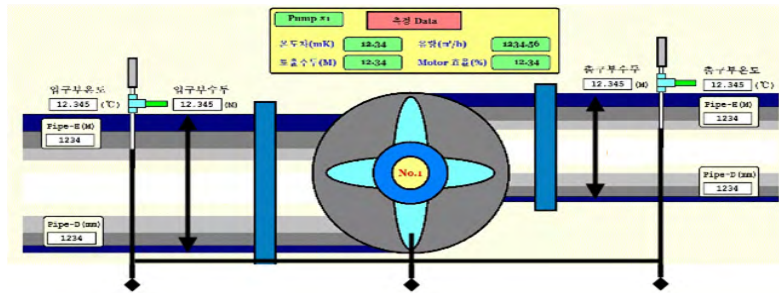
- 제어 목적 : 수원공 양수장 및 저류지별 양수장 펌프의 최적운전기능은 적정수요량에 맞는 펌프운전제어를 통해 적정수량의 원활한 공급과 전력손실을 최소화하고 수원공과 저류지간의 펌프운전을 효율적으로 연동되도록 함으로서 효율적인 광역용수공급체계가 구성되도록 하는데 있음
- 펌프 자동운전을 위한 기본적인 제어 방법 : 펌프제어의 목적은 수요량의 변동에 따라 압력과 수량을 확보하는 것이며 제어목표별로는 압력제어, 수위제어 및 유량제어 등이 있으나 어떠한 방법이든 유량을 제어하는 것으로 귀착된다. 일반적으로 펌프제어방식에는 대수제어, 밸브개도제어 및 회전속도제어가 있으며 이들 중에 어느 한 가지 방법을 사용하거나 또는 이들을 병용함으로써 펌프제어가 이루어진다. 제어방식을 결정 할 때는 펌프의 크기, 관로특성 및 펌프성능을 고려하고 제어의 안정성, 확실성, 운전효율이 높고 보수의 용이도 등을 충분히 고려하여 선정한다. 펌프제어방식에 대한 적용목표와 각각의 특징을 [표 3-1-6-1], [표 3-1-6-2]에 나타난 검토내용에서 볼 수 있듯이 일반적으로 1) 배수지(저



류지 또는 조절조) 등이 있는 계통에는 펌프대수제어 2) 유량의 변동범위가 작은 계통에는 밸브개도제어 3) 유량의 변동범위가 큰 경우에는 회전속도제어가 사용되는 예가 많음

#### (4) 펌프 모니터링 기술

- 펌프를 열역학적 측정 장비를 국제규격 IEC 60041 코드의 표준에 준하여 활용할 필요가 있음, 센서 설치를 위한 Tapping은 배관라인과 수평방향으로 무단수 천공방법을 사용하고 Tapping의 위치는 장애물로부터 반경 방향으로 최소 1m 이상의 간격을 확보하여 설치하여 모니터링을 하여 효율을 측정하는 기술을 도입할 필요가 있음



[그림 3-1-6-2] Tapping 설치방법 예시

[표 3-1-6-1] 목표별 펌프 제어방식의 예

구분	적용예	제어내용	제어예	
			회전속도제어	대수제어+밸브개도제어
압력제어	<b>토출압일정제어</b> •저수조까지의 관로손실이 비교적 작은 경우 •저수조에서의 압력변동이 문제로 되지 않는 경우 •수요수량이 작고, 변동도 적은 경우	$H_0 - H = 0$ $H_0 = \text{설정치}$ $H = \text{측정치}$ $H_0$ 와 $H$ 를 비교하고 그 차가 0이 되도록 제어대상을 조절한다.		
	<b>말단압일정제어</b> •관로손실이 큰 경우 •수요수량의 변동이 큰 경우	$H_0 = aQ^n + b$ $a = \text{계수}$ $Q = \text{수량}$ $b = \text{말단희망압}$ 유량에 의한 관로손실을 연산하고 목표말단압과 펌프토출압으로 제어대상을 조절한다.		
수위제어	<b>수위일정제어</b> •저수량이 큰 배수지가 있는 경우	$L_0 - L = 0$ $L_0 = \text{설정치}$ $L = \text{측정치}$ $L_0$ 과 $L$ 을 비교하고 그 차가 0이 되도록 제어대상을 조절한다.		
	<b>배수유량캐스케이드제어 + 토출수조수위일정제어</b> •배수지 등의 용량이 크고, 수위의 변동폭을 작게 하고 싶은 경우	배수지 등의 수위와 배수량 또는 수위변동률에 의하여 제어대상을 조절한다.		
유량제어	<b>토출유량일정제어</b> •수요수량의 변동이 작은 경우 •수요수량에 대하여 큰 용량의 배수지가 있는 경우	$Q_0 - Q = 0$ $Q_0 = \text{설정치}$ $Q = \text{측정치}$ $Q_0$ 와 $Q$ 를 비교하고 그 차가 0이 되도록 제어대상을 조절한다.		

[표 3-1-6-2] 펌프제어방식의 비교

제어방식	그림	설명	적용계	장점	단점
대수제어		<ul style="list-style-type: none"> <li>유량에 따라 대수를 제어  <math>Q &lt; Q_1 \dots 1대</math>  <math>Q_1 &lt; Q &lt; Q_2 \dots 2대</math>  <math>Q &gt; Q_2 \dots 3대</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>토출압력의 변동비율이 크게 허용되는 계</li> <li>실양정에 비하여 관로손실이 적고 배수지가 있는 관로계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제어가 비교적 간단하다.</li> <li>대수분할에 의하여 위험을 분산할수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>압력의 변화폭이 크다 (사선부분이 압력변동).</li> <li>단계적인 특성변경에 한정.</li> </ul>
밸브개도 제어		<ul style="list-style-type: none"> <li>압력과 유량을 검출하여 밸브개도에 의하여 제어</li> <li>사선부분은 밸브에서 손실을 나타낸다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>실양정에 비교하여 관로손실이 적은 계</li> <li>일반적으로 소형·중형토출량의 펌프제어방법이다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제어가 간단하다.</li> <li>설비비가 작다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>효율이 나쁘다.</li> <li>운전비용 고가이다.</li> <li>소음이 생긴다.</li> <li>밸브하류측의 압력이 낮은 경우에는 캐비테이션이 우려된다.</li> </ul>
회전속도 제어		<ul style="list-style-type: none"> <li>유량이 <math>Q_1 \rightarrow Q_2</math>의 변화에 대하여 회전속도를 <math>N_1 \rightarrow N_2</math>로 하면 압력일정 제어로 된다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>실양정에 비하여 관로손실이 큰 계에 적용한다.</li> <li>유량변동이 큰 연속운전인 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세제어를 용이하게 할 수 있다.</li> <li>효율이 좋고 운전비용 저렴(단, 반환전력이 있는 경우)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>설비비가 비싸다.</li> <li>유지관리에 고도의 기술을 요한다.</li> </ul>

## 나. 국내외 파이프라인 최적설계 기술 분석

### (1) 국내 관거 최적 설계 기술 조사

#### (가) 이진정수법을 활용한 최적 설계

- 정건희 등(2012)은 농업용수사업에서 관수로는 대규모의 농지에 효율적이고 안정적으로 농업용수를 공급하기 위한 농업수리시설 중 하나임, 농업수리시설은 농업생산성을 높여 생산자 개인의 이익을 도모하는 동시에 사회. 경제적 자본이라는 점에서 경제적으로 설계되고 관리되어야 함, 농업의 지속가능성 확보를 위한 용수공급을 효과적이고 경제적으로 공급하기 위해 분기형 관수로의 최적관경산정을 위한 이진정수법을 개발하여 농업단지의 구획형태에 따른 용수사용량별, 시점의 수두별, 동수구배별, 최적 관경을 산정하여 표준화를 제시하였음, 이진정수법은 관망해석 시 필연적으로 야기되는 비선형성을 고려하면서도 기 선택된 관경의 관이 건설될 것인가의 여부를 표시하는 이진변수를 결정변수로 최적 관경을 구하므로 기존의 선형화된 모형에서 발생하였던 다양한 관경이 하나의 관에 결정되는 단점을 피할 수 있다는 장점이 있음, 농업용 관수로의 구획형태와 용수사용량이 정해지면 가능한 최적관경을 프로그램을 실행하지 않고 손쉽게 찾을 수가 있으며, 이는 경제적인 시공이 강조되고 있는 현재 농업분야에서 설계에 활용한다면 매우 유용한 자료가 될 것임.

#### (나) 화음탐색법을 활용한 최적 설계

- 황일환 등(2010)은 최적화기법의 종류 중 화음탐색법을 이용하여 관망 최적설계를 하였음, 화음탐색법은 많은 매개변수를 가지는 다양한 비선형 문제를 해결할 수 있는 기법이며, 2000년에 처음 제안되었음, 기존의 최적화기법에 비해 최적해 탐색에 있어 우수한 결과를 나타내는 것으로 알려져 있으며, 몇 가지 인자들을 사용하는데 HM(Harmony Memory), HMCR(Harmony Memory Considering Rate), PAR(Pitch Adjust Rate)등이 있음, HMCR이란 새로운 화음을 만들어 낼 때 HM에 있는 화음을 바탕으로 만들어 낼 것인지의 확률임, HM중 새로운 화음을 추가할 때 발생시킨 난수가 HMCR값보다 크면 전체 정의영역에서 무작위로 새로운 화음을 발생시키고, HMCR보다 작으면 기존 HM에 있는 화음을 바탕으로 새로운 화음을 구성하게 된다. 관수로최적화 단계는 첫 번째 HM의 구성, 두 번째 수리학적 타당성 검토, 세 번째 HMCR, PAR적용의 반복적 수행으로 최적화를 도출함, 농업용 관수로 설계에서 관로의 수가 많아질수록 보다 효율적인 최적화 기법이 필요하며 향후 설계업무에 많은 도움이 될 것으로 기대됨.

#### (다) Hydraulic-Connectivity를 활용한 최적 설계

- 상수도 관망 시스템의 최적화 기법은 비용을 최소화하고 신뢰성을 최대화하는 2가지 기본목표를 만족하는 상수 시스템을 계획하고 설계하기 위한 알고리즘을 수십 년간 걸쳐 개발되어져 왔음, 신현곤 (2000)은 Hydraulic-Connectivity를 신뢰성의 척도로서 도입하였으며, 이는 모든 node가 충분한 유량과 적정압력으로서 최소한 1개 Source에 연결될 가능성을 말하는 것임, 긴급상황에 대비한 신뢰성의 증가는 Hydraulic-Connectivity를 최대화하는 것이 가장 좋은 방법이 될 것임, 다목적 함수의 최적화 문제는 하나의 해가 아닌 다수의 최적해 집합으로 나타내게 됨, Hydraulic connectivity를 신뢰성의 척도로 하고, 생명체의 자연 유전 법칙에 근거한 최적화 방법인, 유전자 연산을 이용하여 상수 관망의 신뢰

성 최대화와 비용 최소화라는 다목적 신뢰 최적 설계법을 개발 하였음, 이러한 목적을 위하여 적용할 유전자 연산의 선정, 유전자 연산을 이용한 관망의 단일목적 최적화모델의 개발, 실제적인 신뢰성의 척도 개발, 관망의 신뢰성과 비용에 근거한 다목적 신뢰 최적모델의 개발 등 모든 목적함수를 고려한 기존 모델보다 상위의 모델개발 등을 염두에 두고 다른 알고리즘을 이용한 최적값의 결과와 비교, 검토 하였음, 세부적인 비상사태를 대비한 신뢰성의 척도로서 이용될 수 있으며, 주어진 신뢰도 요구에 따라 관망을 설계할 수 있을 것임.

## (2) 국외 관거 최적 설계 / 기술 조사

### (가) Initial population을 활용한 최적 설계

- 상수관망 시스템의 주된 목적은 필요한 수량을 적절한 압력과 좋은 수질을 동반하여 지속적으로 공급하는데 있음, 기존 유전자 알고리즘은 비선형문제를 해결하는데 유용한 기법으로 각광받고 있으나, 결정 변수가 매우 많은 문제에 있어서는 계산효율이 떨어지고 전역해를 찾을 확률도 낮아지는 경향이 있음, 특히, 유전자 알고리즘은 초기해를 무작위로 선정하여 반복계산을 수행하기 때문에 계산효율이 저하되는 단점이 있음, Kang(2012)은 상수 관망 시스템의 최적화를 위해 초기전략해의 활용 가능성을 제시한 바 있으며, 그에 따른 최소비용설계를 목적으로 알고리즘을 개선하여 보다 논리적이고 효율적인 방법으로 초기전략해를 생성하는 방법을 제안하였음.

### (나) 농업용 관수로 시스템 최적 배치에 관한 연구

- 농업용 관수로망의 배치는 개수로와는 달리 지형적인 제약이 없거나 작으므로, 대상지구의 관개단위별로 급수가 가능하면서도, 가급적 관로망의 길이가 짧고, 관경이 크지 않도록 하여 경제적인 관로조직을 계획하는 것이 유리함, Labye(1988) 등은 일반적으로 관로망의 배치는 급수전(Hydrant)를 우선 배치하고, 각각의 관로를 배치하며, 최적 관로망의 배치는 아래의 3가지 단계로 이루어 짐.

## (3) 국내외 관거 최적 설계 연구 조사

- 관망시스템은 산업사회의 가장 큰 사회기반시설 중의 하나로 수원으로부터 물수요지까지 효율적인 공급을 목표로 하는 구조물로 압력을 받고 있는 폐합회로 관망의 수리학적 거동을 모의하는 것은 비선형 방정식을 풀어야 하는 복잡한 작업으로 에너지 보존의 법칙과 연속방정식 그리고 수두손실에 관한 충분한 고려를 필요로 함(Wood와 Funk; 1993).
- 지난 수십년 동안 정상류 상태의 관망 수리 거동을 해석하기 위한 수많은 방법들이 발전되어 왔음, 지난 30년 동안의 성능 좋은 컴퓨터의 발전은 과거에는 생각할 수 없었던 큰 관망시스템의 수리거동도 해석이 가능하도록 만들었고(Wood; 1980, Rossman; 1993). 이러한 모형의 발달은 관망모형의 설계와 운영에서 중요한 역할을 하게 되었음
- 관망시스템의 운영비용(유지비, 수리비 등)은 실질적인 비용의 문제이며 관망 시공비용이 가장 큰 비용중의 하나이므로 이를 해소하기 위하여 최근 몇 년 동안 많은 최적화 기법

들이 최소비용의 관망설계 수단으로 이용되어 왔음

- 최적의 관망시스템과 관경을 얻기 위한 과정이 중요시 되는 이유는 이렇게 얻어진 관망이 운영비용을 결정하기 때문임, 그러나 이 문제는 극도로 복잡하며 도로의 위치나 문제를 규정하는 방법 그리고 선택한 해석법에 따라서 제한받으며 대부분 시공비용의 최소화 정도만이 시험적으로 적용되고 있음(Alperovits와 Sharmir; 1977, Quindry 등; 1981, Ormsbee와 Wood; 1986, Fujiwara와 Khang; 1990, Murphy 등; 1993 그리고 Eiger 등; 1994).
- 위와 같이 볼 때 관망의 설계는 관경을 변수로 하여 비용을 최소로 하는 최적화 과정으로만 보여 질 수 있음, 여기에서 관망의 형태, 연결점 그리고 최소수두 조건 등은 주어진 것으로 가정하고 신뢰도, 여유수량, 수질 등의 문제를 목적함수로 하는 다른 최적화 과정이 존재할 수 있음을 주시해야 함(Alperovits 와 Sharmir; 1977).
- 주어진 최적설계과정에서 이러한 목적을 만족시켜야 하는 문제들은 연구자들로 하여금 단순히 최소비용을 목적으로 함(Goulter; 1987). 제한된 문제의 정식화는 실질적으로 그 문제를 해결하기가 어렵다는 사실을 의미하고 이런 방식의 적용이 가장 단순한 조건의 분기형 관망에만 적용되어 왔다는 사실에 주목함(Quindry 등; 1981, Goulter와 Morgan; 1985)
- Shamir(1964)는 경사법(gradient method)에 의한 관망을 최적설계하였으며 결정변수인 관경을 모든 관의 흐름에 따른 에너지 손실을 고려하여 설계하였음
- Alperovits와 Sharmir(1977)는 선형경사법(linear programming gradient; LPG)이라고 불리워지는 방법을 처음으로 제시하였고, 이 방법은 해를 계층적 분해(decomposition)에 의해서 얻고, 주요변수는 유량으로 하고 각각의 유량에 대하여 선형계획법(linear programming; LP)을 이용하여 변수들의 최적해를 구하는 방법을 쓰고 있음
  - Morgan과 Goulter(1985)은 도시구역 관망의 최적설계에 관해 발표하였음, 여기에서는 발견적(heuristic) 선형계획법을 이용하였음, 이 방법은 전역해(Global optimum solution)를 보장해 주는 것이 아니라 실용적으로 타당성 있는 최적해를 구해주는 것으로 알려져 있음
  - Goulter와 Lussier 그리고 Morgan(1986)은 선형경사법을 사용하여 최소비용의 관망을 설계할 때 적합한 수압을 유지하기 위해 변화하는 경로의 영향을 분석하고, 경로의 선택은 초기유량이 어떻게 변화하느냐에 따라 다르게 나타난다고 하였음
  - Fujiwara와 Jenchaimahakoon 그리고 Edirisinghe(1987)는 수정(modification) 선형경사법을 제안하였다. Alperovits와 Sharmir(1977)의 선형경사법의 탐색방향과 계산단계의 수에서 개선되었으며 최급강하법을 사용하는 대신 뉴턴의 방법을 사용하였고 계산단계의 수도 고정적이었던 선형경사법과는 달리 경우에 따라 가변적으로 바뀌었음, 이러한 개선으로 원래의 선형경사법보다 만족스러운 결과를 주는 수정선형경사법이 다양하게 적용되었음
  - Kessler와 Sharmir(1989)는 목적함수를 제약조건식의 표면에 투영시켜서 최적화 과정을

- 향상시킬 수 있는 방법을 도입하였음
- Fujiwara와 Khang(1990)은 폐합회로형 관망시스템의 최적 설계를 위하여 2단계 분해법을 제안하였음, 이 방법의 특징은 향상된 지역해(local optimum solution)를 발생시킨다는 것임, 구체적으로 상술하면 1단계에서는 유량과 수두를 결정변수로 Alperovits와 Sharmir가 제안한 선형경사법을 발전시킨 경사접근법(gradient approach method)을 사용하였으며 반복적으로 지역해를 발생시키며 2단계에서는 수두손실과 지역해를 고정시키고 1단계를 다시 반복하기 위한 초기치를 계산함, 이와 같은 반복은 더 이상의 향상된 지역해를 돌려주지 않는 단계까지 계속됨
  - 일반적인 최적화 과정은 Kessler와 Sharmir(1991)에서 다음과 같은 네가지 부류로 나누어짐, 1) 최적수두와 최적 유량을 동시에 결정하는 최적화 2) 수두가 고정된 가운데 유량을 결정하는 최적화 3) 유량이 주어진 가운데 수두를 결정하는 최적화 3) 유량이 주어진 가운데 수두를 결정하는 최적화 4) 유량과 수두 변수를 대안적으로 해석하는 것에 의한 유량과 수두의 최적화 방법 등임.
  - Frey(1997)는 유전알고리즘을 이용하여 실제로 미국의 코비지역의 관개용수로에 적용하여 좋은 결과를 제시하였으며 여러 가지 다양한 대안도 함께 제시하였으며 기존관로의 확장에도 적용하였음, 뉴욕시의 경우 그간 많은 최적화 해법의 결과보다도 많게는 2배까지 유전알고리즘이 최적의 비용을 도출하는 결과를 보였음
  - Halhal과 Walters 등 (1997)은 유전알고리즘 중에도 여러개의 목적함수를 고려해주는 다목적 해법인 SMGA(Structured Messy Genetic Algorithm)를 사용하여 관망의 보수와 확장 문제에 대하여 연구하였음, 이 연구에서는 노후관로의 개량은 매설년수가 경과함에 따라 수질악화와 누수문제를 해결하기 위하여 가장 저렴한 비용으로 최대의 효과를 거두어야 하는 문제를 관개생, 관교체, 관삽입, 관라이닝 등의 방법 중 가장 좋은 방법을 가장 적절한 시기에 사용할 수 있도록 최적화 기법으로 방법과 시기를 결정하였음, 실제로 모로코의 한 도시에 적용한 결과 최소비용설계를 할 수 있었음
  - Savic과 Walters(1997)는 관망의 최소비용설계에 유전알고리즘을 적용하여 GANET 모형을 개발하였음, 이 모형은 관경을 결정변수로하여 최적설계를 하였으며 다른 연구자들의 최적설계와 비교하여 보다 효율적이고 경제적인 관망 최적설계를 할 수 있음을 증명하였음
  - 여기서 유전알고리즘은 비선형 최적화 문제에서 효과적인 탐색방법으로 알려져 있음, 편미분과 수치해석의 안정조건에 필요한 선형가정을 요구하지 않는 Monte Carlo 기법에 의한 최적화 방법의 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라, 거의 지역해가 아닌 전역해를 구해주는 것으로 알려져 있음, 이 같은 이유는 유전알고리즘이 전 구간에 걸쳐 초기치를 가정하고 다음 단계로 넘어가기 전 사용될 초기치를 향상시킬 방법을 발전시켜 나가므로 일반적인 최적화 방법이 빠져들기 쉬운 지역해 문제를 쉽게 극복할 수 있기 때문임
  - 우리나라에서 최적화기법으로 관망해석을 한 사례를 살펴보면 전환돈 등(1994)은 선형계획법을 이용한 분기형 관망시스템에서 최적의 상업용 규격관경과 최적의 양정고를 동시에 구한바 있음
  - 김정환 등(1994)은 비선형 계획법을 상수도 관망설계에 적용하여 모든 수리학적 제약조건들을 만족하는 범위내에서 최적관경을 계산하였음
  - 안태진 등(1995)은 관수로시스템의 전체비용은 폐합회로유량에 따라 영향을 받으며 관망

- 상 배관의 최적설계를 위한 수학적 모형을 추계학적 최적화방법에 적용하기 위하여 폐합 회로유량의 섭동으로 전체비용이 변하게 하는 방법으로 기존관수로시스템의 병렬관로 확장에 적용하여 기존연구자들의 비용보다 저렴한 비용으로 설계할 수 있었음
- 김중훈 등(1996)은 선형계획법을 분기형 관로에 적용하여 최적관경과 펌핑시설의 최적개수와 위치를 구하였음
  - 박영수, 김중훈 등(1999)은 유전알고리즘 최적화 기법을 이용하여 설계기준에 합당한 제약조건을 고려한 최소경비의 관망시스템의 설계를 목적으로 수리모의프로그램(KYPIPE)과 유전알고리즘을 연계하여 비교적 간단한 관망시스템에 적용하여 그 적용성을 검증하였음
  - 이승철과 이상일 (2001)은 유전알고리즘과 관망해석시뮬레이션을 연계하여 최소비용의 배수관망을 설계하는 방법론을 실제 배수관로에 적용하여 수리학적 제약조건을 만족시키면서 사업비를 최대 5.37% 절감할 수 있음을 보였음
  - 이와 같이 현재까지 국내외적으로 유전알고리즘을 이용한 다양한 방법의 상수관망 및 관수로 최적설계에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있음
  - 관로시스템의 설계에 있어서 최적화 이론의 적용은 그 동안 많은 연구가 있어 왔으며 실무에서도 성공적으로 적용되리라 예상되어 왔으나 실제로는 국내에서는 물론 외국에서도 실무에 널리 사용되지 않고 있는 실정임
  - 그 첫 번째 이유로는 기존의 관로시스템해석 모형과 숙련된 경험에 의한 결정에 비해 더 나은 결과를 주지 못한다는 것임, 즉, 최적화모형들과 기존의 방법들 중 어느 것이 효율적인 결과를 제공하는지에 대해서는 광범위하고 철저한 비교연구가 되지 않은 실정이라 할 수 있음, 그러나 각 분야별로 최적화 모형에 대한 수식화 과정이 정립되어 있다면 비슷한 결과를 더 짧은 시간에 더 적은 비용으로 얻을 수 있다는 점에서 최적화 모형이 그 가치를 평가받을 수 있을 뿐만 아니라 그 나름대로의 가치가 있다고 할 수 있음
  - 두 번째 이유는 최적화 기법의 적용이 너무 어려움, 실제로 상당수의 최적화 기법을 이용한 모형은 사용하기가 쉽지 않은데, 그 원인은 복잡하다기 보다는 입출력을 위한 자료의 연계가 어렵기 때문일 경우가 많음

## 다. 파이프라인 시스템/팜폰드/양수시설 최적화 알고리즘 개발

- 파이프라인 시스템의 팜폰드, 양수기 등 부대시설을 시뮬레이션 할 수 있는 관망 알고리즘을 검토하여 관수로 해석을 할 수 있는 Pipeline Design & Control Simulator를 개발하였다. 이 시뮬레이터는 가지형 관로는 활용이 가능하나, 망형에는 활용할 수 없음

### (1) Pipeline Design & Control Simulator 개발

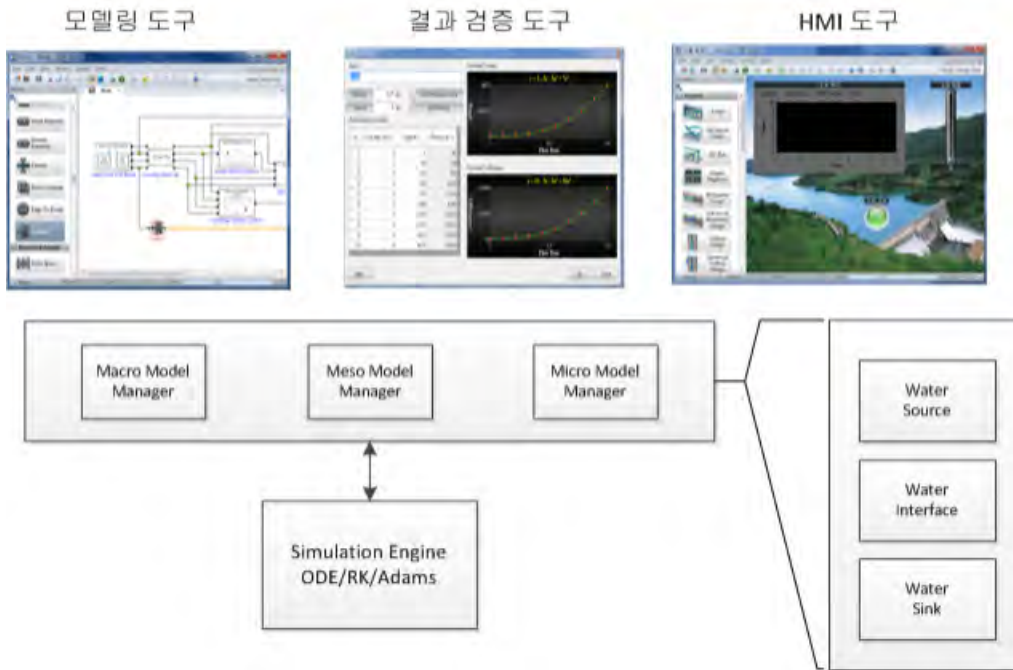
- 관로설계 및 운영을 위한 블록 기반의 모델링 및 실시간 수치 확인 및 제어 가능한 설계 및 제어용 통합 HMI 시뮬레이터 개발하였다. 이 시뮬레이터는 관로시스템을 미리 시뮬레이션 해볼 수 있기 때문에 관로설계 및 제어에 활용 할 수 있게 됨
- 농업용 관수로를 설계할 때 시공 이전 단계에서 신규 설계나 기존 시설물의 운영 효율을 예측 검증하기 위한 수치해석 시스템이 필요하고, 신뢰성 높은 수리시설 해석 전문 공정모사 기술을 통해 설계의 효율성을 증대할 수 있음



- 실제 시스템에 대한 다양한 운영 시나리오를 모사하여 미리 관망을 시뮬레이션 해 봄으로서 운영 및 관리·진단을 고려한 설계 의사결정이 가능함
- 실제 시스템에 적용하기 위해서는 다양한 환경조건, 실험구성 모델, 수요패턴을 만족시킬 수 있는 공정설계 능력이 필요함. 따라서 비용 및 시간을 절감하고 시행착오를 줄이기 위하여 적정 공정을 선택할 수 있는 의사결정 지원 프로그램 개발이 필요함  
⇒ 모델링/시뮬레이션 기반 최적 의사결정 시스템 개발

(2) 시뮬레이션 S/W 구성

- PC 환경에서 다양한 컴포넌트를 모델링하는 것이 가능하고 모델링된 컴포넌트들의 조합을 통해 다양한 환경을 시뮬레이션 할 수 있고, 편리한 GUI 및 UX 환경 제공하여 다양한 운영 시나리오에 대하여 시뮬레이션이 가능하도록 구성



[그림 3-1-6-3] 시뮬레이션 S/W 구성도

(3) S/W 기능 및 내용

- PDCS S/W를 활용한 관로시스템 시뮬레이션이 가능하며 블록 기반의 시뮬레이터로 모델 윈도우와 모니터 윈도우로 구성되어 있다. 모델 윈도우에서는 사용자가 원하는 형태로 관로요소에 해당하는 블록들을 조합하여 관로 시스템을 구축할 수 있음
- 모니터 윈도우에서는 다양한 디스플레이 블록들을 통하여 실시간으로 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있을 뿐만 아니라 스위치나 버튼 블록들을 활용하여 시뮬레이션을 제어하는 것도 가능함

#### (4) Pipeline Design & Control Simulator User Interface

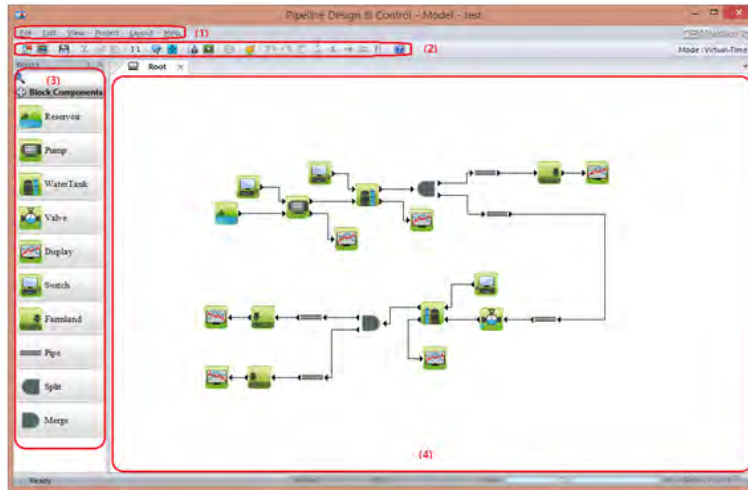
- PDCS의 그래픽 유저 인터페이스는 3개의 프레임으로 구성되어 있다.
- 첫 번째로는 PDCS 를 실행 시 처음으로 등장하는 메인윈도우이다. 메인윈도우 내에 프로젝트뷰는 현재 어플리케이션에 불러와진 프로젝트의 계층적 구조를 보여준다.
- 두 번째로는 모델 윈도우이다. 모델윈도우는 프로젝트의 모델파트들을 표시하고 다양한 시각적인 방법을 통하여 모델들을 수정하고 편집할 수 있는 환경을 제공한다.
- 세 번째로는 모니터 윈도우이다. 모니터 윈도우는 활성화된 프로젝트의 모니터 파트를 시각화시키는 역할을 수행한다.



[그림 3-1-6-4] PDCS의 그래픽 유저 인터페이스

(5) 관망 모델링 윈도우

- PDCS v1.0 프로젝트의 모델 파트용 그래픽 인터페이스는 [그림 3-1-6-5]와 같습니다.

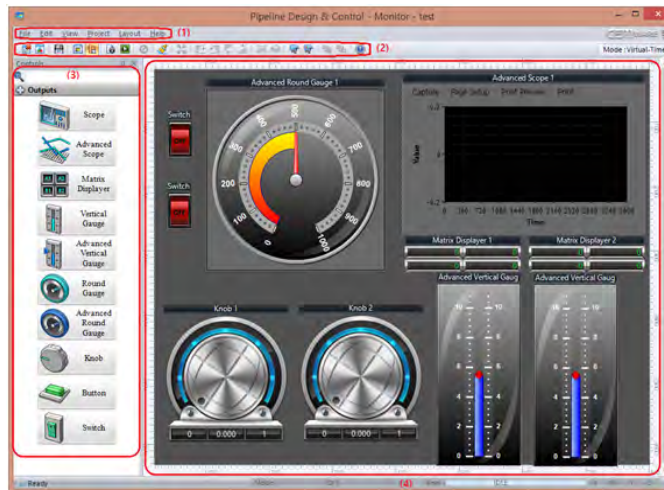


[그림 3-1-6-5] PDCS v1.0 프로젝트의 모델 파트용 그래픽 인터페이스

- Menu Bar는 모델링과 관련된 명령어들이 있다. “Save” 는 모든 프로젝트의 상태를 저장하고, 이 명령어는 메인 윈도우의 “Save” 와 같은 기능을 한다.

(6) 모니터링 윈도우

- 모델의 결과를 모니터링 하기 위한 PDCS v1.0의 그래픽 인터페이스이다.



[그림 3-1-6-6] PDCS v1.0의 그래픽 인터페이스

- 모니터와 관련된 주명령어는 메뉴 바에 표시되어 있다. “Save” 라는 명령어는 모든 프로젝트의 상태를 저장하는 것이다. 메인 윈도우의 “Save” 와 같은 기능을 한다.

## 라. 진화알고리즘을 이용한 최적설계 기법 개발

### (1) 최적화 이론 개요

- 최적화 이론은 모든 가능한 대안에 대해 일일이 계산하고 평가해 보지 않고도 최선의 대안을 찾아내기 위한 수치계산방법이라 할 수 있음, 전통적으로 공학자의 사명은 기존의 시스템을 보다 효과적으로 운영할 수 있도록 계획을 해야 할 뿐 만 아니라 보다 경제적이고도 나은 새로운 시스템을 디자인해야 함에 있으므로 최적화과정은 공학과 그 뿌리를 같이 한다고 해도 과언이 아닐 것임.
- 모든 경우를 테스트해보지 않고도 최적의 경우를 결정하는 최적화 기법의 진정한 매력은 아주 높은 수준의 수학적 요구되지 않는다는 점과 명확한 논리과정이나 알고리즘을 사용하여 반복적인 수치계산을 컴퓨터로 수행한다는데 있음.



[그림 3-1-6-7] 메타 휴리스틱

- 최적화 기법은 과학적인 기법 등을 시스템운용에 관한 문제에 적용하여 의사결정에 대한 계량적 기초 즉, 최적해를 제공하는 과학적 방법인 Operations Research (OR)이 제2차 세계대전 초기의 군사 활동으로부터 유래된 이래 최적화 기법에 대한 연구는 다양한 공학적 문제에 지속적으로 적용되어 왔음, 특히, 대부분의 실무적인 최적화 문제는 문제의 복잡성이 상당히 커 최적해를 구할 수 없음.
- 이럴 경우 최적해를 구하기보다는 최적해에 가까운 실행가능한 해를 찾는 방법인 휴리스틱(Heuristic) 방법에 대한 연구가 최근 10년간 국내외적으로 활발히 지속되고 있음, 휴리스틱 방법은 실행가능한 해를 반복적으로 수행하여 최적해에 가까운 해를 찾는 반복적인 알고리즘으로 컴퓨터 성능의 획기적인 발전으로 인하여 현실의 복잡한 문제에서도 효율적으로 해를 찾는다는 장점이 있지만 다양한 응용문제에 적용할 수 있는 것이 아니라 특



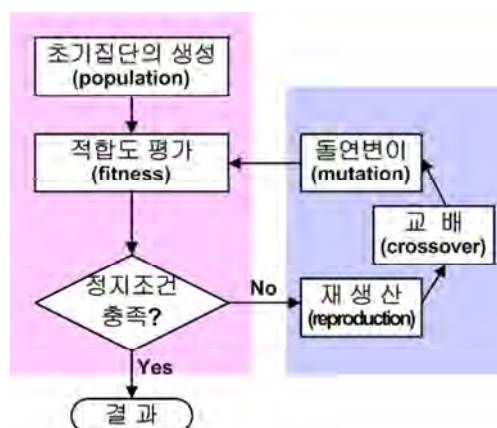
정 문제에 맞추어 설계하는 임기응변적 성격을 지님.

- 휴리스틱 방법에 비해 상위수준의 발견적 기법인 메타휴리스틱(Meta Heuristic) 기법은 특정문제에 맞추는 휴리스틱 방법을 설계하는 전략적 가이드라인과 일반적인 구조를 제공해주는 일반적인 해법으로 특정문제가 갖는 정보에 크게 구속되지 않고 다양한 문제에 적용 가능한 기법임.
- 메타휴리스틱 기법에는 Genetic Algorithm (GA), Ant Colony Optimization (ACO), Particle Swarm Optimization (PSO), Simulated Annealing (SA), TABU Search, Harmony Search (HS) 등이 있으며, 메타휴리스틱 기법을 이용한 최적화 문제의 해결에 대한 연구는 많은 공학 기반 문제 및 인문사회분야에까지 걸쳐 응용 연구되고 있음.

## (2) 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)의 구조

- 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm : GA)은 유전학과 자연진화를 흉내낸 적용 탐색법으로서 1975년 Holland에 의해 개발됨, 복잡한 최적화 문제를 해결하기 위해서 GA는 집단을 사용하고 여기에 모의진화를 일으켜 이를 점진적으로 개선해 나가게 됨.
- 집단은 다수의 염색체로 형성되고 염색체는 문제 공간 상의 한 점(잠정적인 해)을 대표하게 됨. 집단을 유지함으로써 여러 방향으로 탐색을 추구하게 됨. 흔히 염색체들은 유전자의 역할을 반영하도록 비트 스트링 형태로 표현됨. 유전자알고리즘이 탄생되기 훨씬 이전부터 몇몇 생물학자들은 단세포 유기체 시스템을 디지털 컴퓨터상에서 구현하려는 노력을 해왔음(Barriclli, 1957).
- 이들의 연구는 자연현상을 이해하는 것이 근본 목적이 있었기 때문에 현대의 유전알고리즘 개념과는 약간의 차이가 있었음, 1950년대 후반 Holland는 진화 생물학자인 Fisher의 저서 “The Genetic Theory Natural Selection”를 접하면서 진화이론의 응용에 관심을 갖게 되었고 생물학을 정복하기 위해 물리학 도구를 이용하는 첫 시도를 행하였음.
- 그 결과 학습과 같이 진화도 환경에 적응해가는 한 형태이지만, 차이점은 단일 세대기간에서만 동작하기 보다는 세대를 통해 동작하다는 사실을 깨닫게 되었음. 그는 “진화가 유기체에서 잘 동작한다면 컴퓨터 프로그램상에서 구현하는 것은 왜 안될까” 하는 의구심을 갖게 되었고, 그 결과 유전자 같은 도구를 적용문제에 적용하는 연구를 수행하게 되었음(Holland 1962a, Holland 1962b, Holland 1962c).
- 이 시기에 Holland가 수행한 연구는 적용 시스템과 함께 그 환경을 다루게 되었음, 그의 궁극적인 목적은 임의 환경에 적응하는 무제한적인 능력을 가진 프로그램을 만드는 데 필요한 이론과 장치를 개발하는 것이었음, 그는 최적자의 “인위적인 적자생존”과 같은 비자연적인 선택의 근본적인 역할을 인식하게 되었고 또한 탐색하기 위하여 단일-구조 대 단일-구조 접근법 보다는 집단 접근법을 사용하게 되었음.

- 1965년이 돼서야 그는 교배, 돌연변이 또 다른 재조합 유전 연산자들의 중요성에 대해 인식하게 되었음, 이러한 일련의 연구 결과 1975년 “Adaptation in Natural and Artificial Systems(ANAS)”(Holland, 1975)를 발표하게 되었고 이것이 유전자 알고리즘의 표준모델을 제공하게 된 계기가 되었음.
- 유전자 알고리즘의 실질적인 응용에 관한 관심을 유발시킨 하나의 계기는 De Jong의 연구(De Jong, 1975)라 할 수 있음, 그는 탐색전략(search strategy)과 제어 파라미터(control parameter) 변화에 대한 유전자 알고리즘의 성능을 분석하고 다른 탐색법과 비교하는 연구를 수행하였음.
- 사려 깊게 선택된 테스트 환경하에서 광범위한 모의실험을 실시한 결과 탐색전략과 제어 파라미터 선택에 대한 가이드라인을 제시할 수 있었음. 이후 유전자 알고리즘은 더욱 개량 발전되어 심지어 다른 알고리즘들이 해결할 수 없었던 복잡한 문제들도 해결할 수 있음을 보였음(Goldberg, 1989). 유전자 알고리즘을 순회판매원 문제와 같이 전통적인 조합 최적화(combinatorial optimization) 문제에 적용하면서 초기에 사용하였던 이진표현이 한계성을 알게 되었고 이를 개선하기 위한 표현법의 다양화, 이들을 다룰 수 있는 특수연산자(Davis 1985, Goldberg 1985, Grefenstette 1985), 부적합한 해를 복구해주는 복구 알고리즘 등(Michalewicz 1991)에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔음.
- 최근 해의 정밀도 개선과 구속조건을 쉽게 다룰 수 있도록 실수코딩 염색체를 사용방법이 제안되고(Goldberg 1991), 이와 함께 연산자의 개선, 별점함수 사용, 복구전략 등의 연구가 진행되고 있음. 또한 집단의 가변(Arabas 1994), 병렬 유전자 알고리즘(Tanese 1989), 다른 탐색 알고리즘과의 결합 등(Booker 1987, Kido 1993)에 대해서도 연구되고 있음.
- [그림 3-1-6-8]은 유전자 알고리즘의 기본 구조를 보여주고 있음, 유전 탐색 프로세스는 크게 초기화, 적합도 평가와 재생산, 교배, 돌연변이 4단계로 구분됨. 초기화 단계에서는 주어진 문제의 해가 될 가능성이 있는 개체들의 집합이 형성됨.



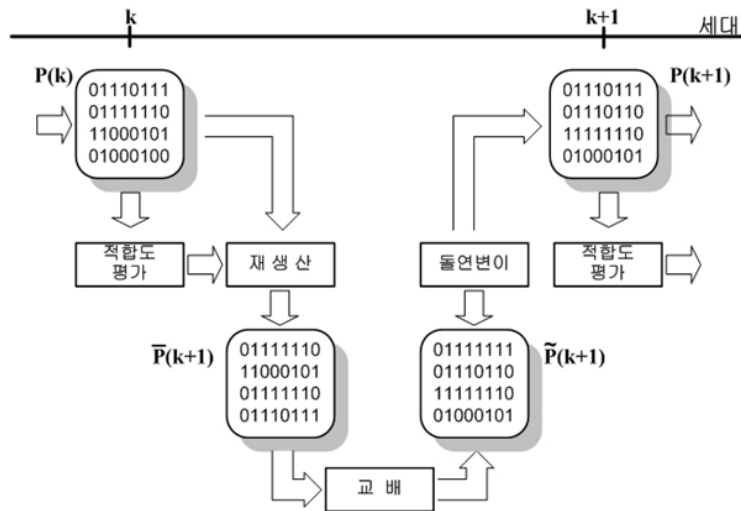
[그림 3-1-6-8] 유전자 알고리즘의 구조

- 초기점들은 해공간 내에 무작위로 분포되도록 선택되거나 아니면 경험적인 방법으로 선택됨, 다음단계에서는 개체들의 강점과 약점이 적합도 항목으로 평가됨. 여기서 각 개체는 복호화되어 목적함수를 제공하고 이로부터 적합도가 계산된다. 적합도는 자연계에서 환경의 역할을 수행함.
- 그들의 상대적인 적합도값에 따라 현재 집단 내의 개체들이 재생산을 위해 선택됨. 성능이 좋은 개체들은 더 많이 선택되어 복제되고 반면에 성능이 나쁜 개체들은 집단으로부터 소멸되게 됨.
- 선택된 개체들은 교배를 통해 재결합되는데 서로 간에 유전정보를 교환함으로써 집단에 새로운 개체를 도입하게 됨. 교배는 일반적으로 현 집단 내에 존재하는 정보만을 이용하여 변화를 시도하게 됨. 만약 이전 세대의 선택과정에서 특정 정보를 잃게 되면 교배는 이러한 정보를 보유하는 새로운 개체들을 생산할 수 없음.
- 돌연변이는 선택된 개체의 하나 이상의 유전정보를 임의로 변경하여 집단에 새로운 정보를 도입하는 수단을 제공하나 이러한 변화는 매우 낮은 확률을 가지고 이행됨. 돌연변이를 이용한다는 것은 탐색공간상의 어떤 점에 도달할 수 있는 확률이 결코 0이 아니라는 사실을 말해줌.
- 이렇게 해서 새롭게 형성된 집단은 다시 평가되고 최적의 해가 발견될 때 까지 앞서 수행한 일련의 연산과정은 반복됨, 짐작할 수 있듯이 알고리즘 상에서 구현되는 인위진화는 자연 진화에 비해 매우 빠른 속도로 진행됨.

### (3) 기본 유전 연산자

- 유전자 알고리즘의 핵심은 무엇보다도 자연의 진화원리를 알고리즘 형태로 흉내 내려는 (자연진화와 유전학에서 일어나는 메커니즘의 개념을 모방할 뿐, 그 과정을 정확하게 반영하지는 못함) 유전 연산자(genetic operator)라고 해도 과언이 아닌 것임.
- 만약 어떤 알고리즘이 유전자 알고리즘이라 하면 각자 필수적이라고 생각하는 다수의 연산자들을 사용하게 됨(Beasley, 1993). 이들 중 어떤 것은 한 알고리즘에는 포함되지만 다른 알고리즘에서 생략되고, 같은 이름일 지라도 문제의 성격과 사용자의 입장에 따라 그 구조와 연산이 다른 경우도 있음.
- 비록 서로간에 차이점이 있다 해도 대부분의 유전자 알고리즘들은 재생산, 교배, 돌연변이를 포함시키고 있음, 본 연구에서는 SGA(Simple Genetic Algorithm)의 기본 유전 연산자를 중심으로 그 원리를 살펴봄(Goldberg, 1989). [그림 3-1-6-9]는 SGA의 구조를 보여주고 있음.
- [그림 3-1-6-9]는 현 세대의 집단  $P(k)$ 가 연산자를 통해 다음 세대의 집단  $P(k+1)$ 로 진화

해가는 과정을 도식적으로 보여주고 있음. 이 과정에서 두 임시집단이 생성된다. 본 연구에서는 이들을 구분하기 위하여  $\bar{P}(k+1)$ 와  $\tilde{P}(k+1)$ 로 표시하기로 함(구현방법에 따라서는 불필요한 경우도 있음). 특히 전자를 교배급원(mating pool) 또는 집단급원(population pool)이라 부른다. 이후로  $\bar{P}$ 내의 염색체를  $\bar{s}$ 로,  $\tilde{P}$ 내의 염색체를  $\tilde{s}$ 로 표기하기로 함.



[그림 3-1-6-9] 단순 유전자 알고리즘의 구조

○ 초기 집단의 생성

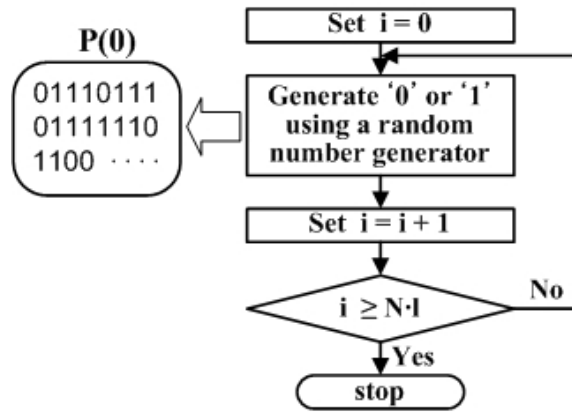
- 탐색 공간상의 점들을 표현하는 방법이 결정되면 다음은 유전 연산자를 통해 모의진화가 수행될 초기 개체집단을 생성하는 절차가 요구됨. 개체들이 진화해 가는 도중에 집단은 총체적 기억장소(integral memory)로서의 역할을 담당하게 되고, 많은 세대를 거치는 동안에 좋은 해(우성)의 유전자를 보유하게 됨.  $k$ 세대( $k$ 번째 반복횟수)에서의 집단  $P(k)$ 는 염색체로 특정 지워지는  $N$ 개 개체들의 집합으로 정의됨.

$$P(k) = \{ S1(k), S2(k), \dots, Si(k), \dots, SN(k) \}$$

- 여기서,  $Si(k)$  :  $i$  번째 염색체로서 탐색공간상의 한 점,  $N(>1)$ 은 집단크기
- 계절의 변화와 세대에 따라 집단의 크기를 달리하는 자연계의 일부 곤충들과 같이 가변 집단을 채택하고 있는 유전자 알고리즘도 있지만 대부분의 경우 집단크기는 세대 변화와는 무관하게 항상 고정된 것으로 간주됨.
- 또한 일반성을 유지하면서 집단 내의 염색체들의 길이는 서로 같고 세대변화와는 상관없이 일정한 것으로 간주됨. 초기 집단  $P(0)$ 는 연구용 유전자 알고리즘이냐 아니면 응용을 위한 유전알고리즘이냐에 따라 그 생성 방법이 판이하게 다름.
- 자주 이용되는 방법으로는 두 가지가 있음, 하나는 무작위 초기화(random initialization)법이고 다른 하나는 사전지식 또는 경험을 기반으로 하는 유도된 초기화(directed initialization)법임. 전자는 단순히 난수발생기에서 생성되는  $N$ ,  $l$ (=집단크기×염색체 길이)개의 이진 정수로 염색체를 초기화하게 되는데, [그림 3-1-6-10]은 이를 보여주고 있음,



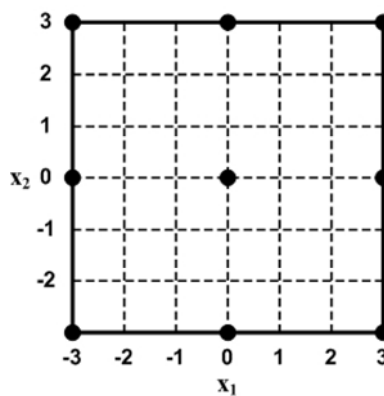
이 방법은 해에 대한 사전지식이 결여되거나 임의로 발생된 집단(즉 가혹한 초기 환경)으로부터 전역해를 탐색해가는 유전자 알고리즘의 성능을 평가 할 때 주로 이용됨.



$N \cdot l = (\text{집단크기} \cdot \text{염색체길이})$

[그림 3-1-6-10] 무작위법에 의한 초기 집단의 생성

- 후자는 다른 간단한 알고리즘을 돌려 얻게 되는 근사 결과치를 이용할거 아니면 직관과 경험을 기초로 함. 해에 대한 사전지식이 있을 경우에는 이 방법을 이용하는 것이 더 바람직함. 예를 들어 어떤 알고리즘을 사용한 결과 2차원 최적화 문제의 해가 구간  $-3 \leq x_1, x_2 \leq 3$  사이에 존재함을 알았다고 하자. 이 정보로부터 크기가 9인 초기 집단을 생성한다며, 먼저 각 구간을 균등하게 분할하여 그림 [3-1-6-11]과 같이 9개의 초기화 점을 선택함, 주어진 문제에서 각 변수가 6 비트 길이의 이진 스트링으로 표현된다면 다음과 같은 초기 집단을 생성할 수 있음, 초기화 점과 변환된 염색체 사이의 관계는 다음에서 보여주고 있음.



[그림 3-1-6-11] 균등 분할하여 얻어진 초기화 점

- $x1(0) = [-3, -3]$
- $x2(0) = [ 0, -3]$
- .
- .
- .
- $x9(0) = [ 3, 3]$

- 유전자 알고리즘을 실세계 문제에 응용할 때는 해에 대한 사전지식이 있다면 전자보다는 후자의 방법을 택하는 것이 유리함. 그 이유는 후자의 방법이 전역해로의 수렴속도가 따라 계산시간을 상당히 줄일 수가 있기 때문임. 그러나 이 때 초기 집단이 유전적 다양성을 유지하도록 세심하게 배려할 필요가 있다. 그렇지 않으면 탐색은 어느 한쪽으로 치우칠 수 있고 전역해를 찾기가 어렵게 됨.

○ 재생산(Reproduction)

- 자연에서 환경은 더 높은 생존 시회를 갖도록 이들의 생존을 조절하는 기능을 가진다. 이런 환경을 통하여 생물들은 생존경쟁에 이기면 살아남고 지면 도태하게, 재생산은 적자생존(survival of the fittest)또는 자연도태(natural selection) 현상을 모방하려는 인위적인 메커니즘임.
- 이를 알고리즘으로 구현한 재생산 연산자(reproduction operator)는 적합도값을 기반으로 집단 P(k) 내의 개체들을 선택하고 교배급원  $\bar{P}(k+1)$ 을 형성해준다. 이러한 선택은 전체 집단을 강하게 해주는 특징을 가짐, 다시 말하면 약한 개체들을 집단에서 몰아내고 강한 개체를 선택함으로써 이들의 유전자들이 이후 세대의 집단에서 넓게 퍼지도록 해줌.
- 재생산을 알고리즘으로 구현한 방법으로는 여러가지가 있음, 룰렛휠선택(roulette wheel selection), 순위에 기초한 선택(ranking based selection), 토너먼트선택(tournament selection) 등이 여기에 해당됨, 이 중에서 사용자에게 폭 넓게 인정되고 있는 방법이 SGA에서 채용하고 있는 룰렛휠 선택임.

- 단계 1 : 개체들의 적합도 합을 계산

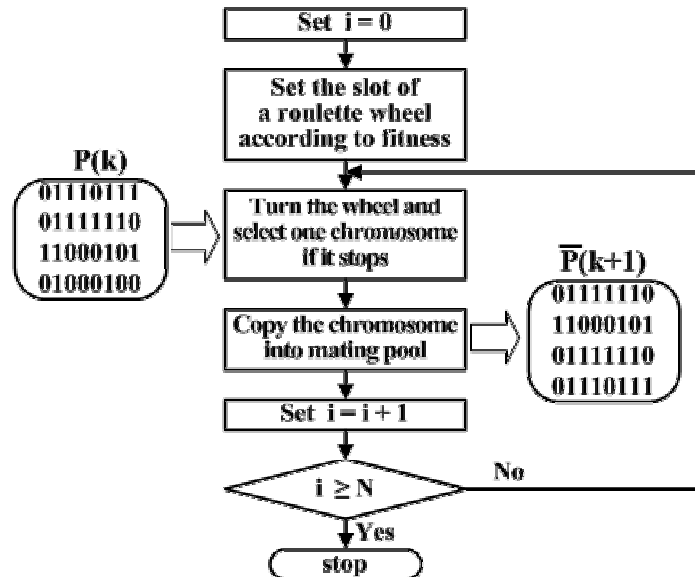
$$f_{\Sigma}(k) = \sum_{i=1}^N f_i(k)$$

단,  $f_i(k) = f(s_i(k))$ 는 i번째 개체의 적합도

- 단계 2 : 각 개체의 선택확률을 계산

$$P_s(s_i(k)) = \frac{s_i(k) \text{의 적합도}}{\text{개체들의 적합도 합}} = f_i(k) / f_{\Sigma}(k) \quad (1 \leq i \leq N)$$

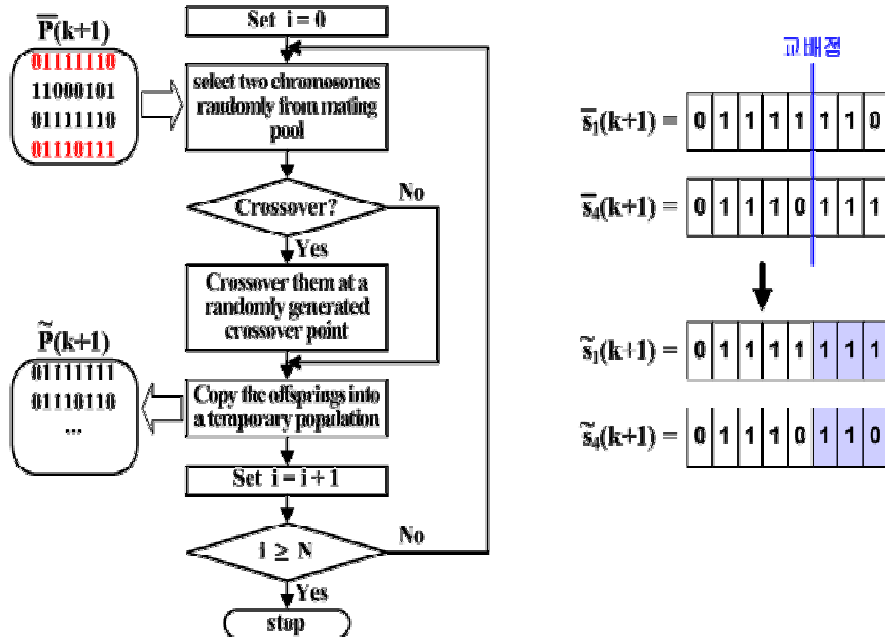
- 단계 3 : 선택확률의 백분율에 따라 룰렛휠의 슬롯면적을 할당



[그림 3-1-6-12] 룰렛휠 선택에 기초한 재생산 연산

○ 교배(Crossover)

- 자연계의 생물들은 그들의 유전자를 서로 섞는 유성생식(sexual mating)을 통하여 자손을 생산하게 되고, 이런 성적 재생산을 알고리즘 형태로 흉내낸 것이 인위계에서의 교배임. 교배는 탐색공간 상의 가능한 새로운 점을 찾기 위하여 교배급원으로부터 부모염색체 쌍을 임의로 선택하고, 교배점 이후의 비트들을 서로 교환 결합함으로써 자손을 생성함. 유전자를 절단하는 교배점은 염색체 내에서 임의로 선택된다. 이러한 연산은 교배된 자손의 수가 아버지 집단의 크기와 같을 때까지 반복됨.
- 자연계의 선적교배를 알고리즘 형태로 구현한 것으로는 일점교배(one-point crossover)(Holland, 1975), 다점교배(multi-point crossover)(Eshelman, 1989), 순환교배(cycle crossover)(Oliver, 1987), 균등교배(uniform crossover)(Syswerda, 1989) 등이 있음. 어떤 교배를 선택할 것인지는 전적으로 주어진 문제와 사용자에 의해 결정될 문제이지만 가장 간단하면서도 자주 이용되는 방법은 일점교배(단순교배), 일점교배는 흔히 표준교배로도 불림, 일점교배는 SGA의 기본 연산자로서 한 사이클 동안의 연산은 크게 3단계로 구분됨.
  - 단계 1 : 교배급원으로부터 부모염색체 쌍을 임의로 선정
  - 단계 2 : 교배확률(crossover rate)  $P_c$ 를 토대로 교부유무를 결정
  - 단계 3 : 생성된 자손을 임시집단  $\tilde{P}(k+1)$ 에 복제

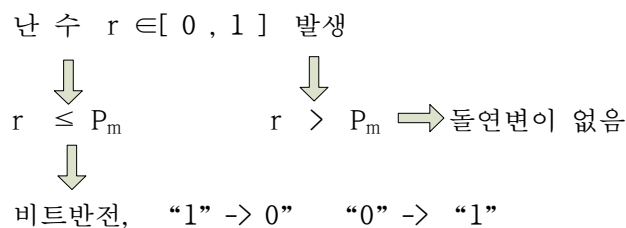


[그림 3-1-6-13] 일점교배 연산

○ 돌연변이(Mutation)

- 모의진화가 계속되는 동안 재생산과 교배 연산자는 집단을 더욱 강하게 해주고 이로 인하여 염색체들은 서로 닮아가게 됨, 이러한 현상은 세대말기에는 바람직하지만 세대 초기에 발생하게 되면 유전자의 다양성 결핍으로 준 최적해(suboptimal solution)나 사전(dead corner)에 빠지게 되는 요인이 됨, 재생산과 교배 연산자는 지역해나 사점으로부터 벗어나게 하는 메커니즘을 가지고 있지 않음.
- 다시 말하면 집단 내 염색체들의 특정위치 비트가 모두 같게 되면 재생산과 교배 연산자는 이를 변경할 수 없게 됨, 이러한 원치 않는 해로부터 벗어나기 위한 한 메커니즘이 돌연변이임, 이는 자연계의 돌연변이를 모방한 것으로 염색체 내의 비트가 고정되는 것을 방지해주고 또한 탐색영역을 확대해주기도 함.
- 돌연변이를 구현하는 방법으로는 여러 가지가 있음, 널리 이용되고 있는 방법 중 하나가 SGA에서 채용하고 있는 단순돌연변이임, 단순돌연변이 연산은 크게 3단계로 구분됨.

- 단계 1 : 순차적으로 집단  $\tilde{P}(k+1)$ 내의 염색체에서 비트 하나를 취함
- 단계 2 : 돌연변이확률(mutation rate)  $P_m$ 에 근거하여 선택된 비트의 돌연변이 유무를 결정



- 단계 3 : 선택된 비트를 집단  $P(k+1)$ 에 복제

○ 적합도 평가

- 자연계에서 생물들은 생존경쟁을 통해 끊임없이 투쟁하며 환경에 적응해 가는데 한 생물의 생존능력은 그 환경에 대한 적합도(fitness)를 반영함. 환경에 대한 생물의 적응능력은 유전자 알고리즘에서는 개체의 적합도를 평가하는 과정을 통해 반영됨.
- 세 연산을 거쳐 새로운 집단이 완성 될 때마다 개체들의 적합도가 평가되는데 이는 대개 목적함수로부터 계산됨. 환경에 대한 생물의 적합도는 장점을 의미하고 크면 클수록 더 많은 보상을 받듯이, 유전자 알고리즘에서도 적합도가 큰 개체가 더 많은 보상을 받을 수 있도록 배려되어야 함. 이 때문에 적합도 함수를 얻기 위해서는 목적함수의 적절한 사상이 요구되는 경우가 발생함.

○ 연산 정지 조건

- 앞 절에서는 SGA의 세 유전 연산자와 이드의 원리에 대해서 살펴보았음. k 세대의 집단이 형성되면 염색체들의 적합도가 평가되고, 재생산 연산자는 적합도의 크기에 따라 개체들을 선택하고 집단급원을 형성하게 됨. 이 임시집단은 계속해서 교배와 돌연변이 연산자에 의해 변경되고 k+1 세대의 집단이 완성된다. 이러한 해를 찾을 때까지 반복됨.
- 집단이 모의 진화를 거듭하면서 해쪽으로 수렴해갈 때 언제 정지할 것인지를 결정하는 것은 대단히 중요함. 두 가지 방법이 자주 이용됨. 하나는 현재의 세대 또는 반복횟수가 미리 지정한 값에 도달하면 정지하는 것임. 개체군이 해 가까이로 수렴해가면 개체들의 대부분은 한 세대에서 다음 세대로 아무런 변경 없이 생존해감.
- 이 경우에는 모든 개체들의 적합도를 평가할 필요가 없게 되고, 지정한 세대에 도달하면 종료한다. 그러나 이 방법은 사용자가 탐색공간의 특성을 사전에 잘 알고 있다는 가정 하에서 성립됨. 탐색공간의 특성은 탐색의 길이에 영향을 주기 때문에 최대 세대수를 인위적으로 정하기보다는 주어진 문제에서 시행착오적으로 설정하는 것이 바람직하다. 다시 말하면 유전자 알고리즘을 반복행해가면서 더 이상 상당한 개선이 일어날 가능성이 매우 적다는 판단될 때의 세대를 종료 조건으로 선택하는 것임.
- 다른 하나는 다시 개체의 유전자형에 기초한 것과 표현형에 기초한 것으로 나눌 수 있음, 전자는 매 세대마다 염색체들의 유전자 수를 조사하여 수렴성을 판단하는 것으로서, 수렴된 유전자의 수가 총 유전자 수의 일정비율을 넘게 되면 탐색을 종료함, 후자는 매 세대마다 얻어지는 잠정적인 해로부터 수렴성을 조사하는 것인데 정지조건으로는 다음 식들이 이용될 수 있음.

$$\begin{aligned} ||x(k+1) - x(k)|| < \epsilon \\ ||x(k+1) - x(k)|| / ||x(k+1)|| < \epsilon \end{aligned}$$

- 여기서, k세대의 x(k)는 관례적으로 “지금까지의 최적해”가 이용되고, || ||는 임의의 벡터 노름(norm)이고,  $\epsilon$ 는 해의 정밀도를 결정짓는 작은 양의 상수임.

(나) 최적 관경산정 기법 적용

○ 최적화기법을 이용한 망형(looped type) 관수로 시스템의 경제적 관경산정 알고리즘 및 프로그램을 개발하여 Sample 지구 적용하여 검증하였음.

○ 유전자 함수

- 유전알고리즘을 이용한 관수로시스템의 관경 선정을 위해서는 전체 관중 중에서 선택 관중을 임의로 결정하고, 이를 후보 관중으로 사용하여, 관망해석과 동시에 최적관경선정 알고리즘을 적용하여 유량, 관내유속, 절점압력의 부압, 최소관경 등의 제약조건을 만족시키는 최적의 경제적 관수로 관경을 설정하는 알고리즘이 필요, 경제적인 최적관수로 관경을 결정하기 위해서 다양한 목적함수 및 제약조건이 고려되어야 함.

[표 3-1-6-3] 목적함수

목적함수	비고
$f_1(D) = \min \sum_{i=1}^n 1.1 \times D_i^{1.24} \times L_i$	Quindry et al.(1981), 경험식
$f_1(D) = \min \sum_{i=1}^n C(D_i) \times L_i$	관경별 공사비용
$\min \sum \sum (c_1 + c_2 + c_3) L_i D_{ij}^{aij} x_{ij}$	현 관수로 설계시스템 적용식 (공사비, 유지관리비, 보수비)

[표 3-1-6-4] 관경별 비용

관경 (mm)	재료비 (원/m)	설치비 (원/m)	총비용 (원/m)
200	9,080	6,680	15,760
250	12,830	7,460	20,290
300	16,560	8,230	24,790
350	26,810	9,020	35,830
400	34,710	9,810	44,520

[표 3-1-6-5] 관경별 설계유속 및 압력제한조건

관 경(mm)	설계유속(m/s)
75~150	0.7~1.0
200~400	0.9~1.6
450~800	1.2~1.8
900~1,500	1.3~2.0
1,600~3,000	1.4~2.5

압력제한조건(관수로시설기준, 논문 등 활용) 전환돈, 김중훈등 (1994) = 2m
---

- 전형적인 최소비용 설계의 목적함수는 지수승의 형태로 관경(D)과 길이(L)를 독립변수로 가짐, 본 연구에서는 Quindry et al.(1981)이 제시한 관망 건설 재료 비용최소화를 위한 목적함수 식을 사용하며, 사용성에 대한 절점의 압력제한 조건을 상하수도시설기준(2004)에 제시된 1.53 (수두:17.6m)을 기준으로 함.

$$f(D) = \min \sum_i^n 1.1 \times D_i^{1.24} \times L_i \quad H_j \geq 17.6, j = 1, \dots, n$$

- 여기서  $i$ 는 관이며 ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $n$ 는 절점 ( $j = 1, 2, \dots, m$ ),  $D_i$ 는  $i$ 의 관경 (in),  $L_i$ 는 관  $i$ 의 길이 (ft),  $H_j$ 는 절점  $j$ 에서의 수두(m)임.
- 관망시스템을 설계함에 있어서 목적함수는 설계비용을 최소화하는데 있음. 알고리즘의 최적화를 위한 설계 비용인 관 시설비는 관경과 관 길이의 비용함수식으로 나타낼 수 있음, 그리고 유전자 알고리즘은 원래 제약조건이 없는 최적화 문제를 해결하기 위해서 고안된 수리학적 제약조건들이 있음. 따라서 제약조건이 있는 최적화 문제를 제약조건이 없는 최적화 문제로 최적화 문제의 목적함수식을 아래와 같이 정의 함.

$$f_1(D) = \min \sum_{i=1}^N C_1(D_i) \cdot L_i$$

- 여기서,  $C_1$  = 관경별 단위길이(m)당 비용상수,  $L_i$  = 관로길이(m),  $D_i$  = 관경(mm) 으로 나타냄.
- 제안된 농업용수공급을 네트워크  $G=(I, J)$ 로 나타낼 때,  $I$ 는 전체 네트워크를 구성하는 아크, 즉 관로를 나타내며,  $J$ 는 각 관로에 건설된 관의 관경을 나타낸다. 농업용수공급모형은 대부분 기존의 하천으로 방류되어 유실되는 유량을 재이용하는 것을 목적으로 하므로, 기존의 관로 시스템이 존재하지 않는 것으로 가정하였음.
- 건설 가능한 상업용 관의 직경을 미리 가능한 해의 집합으로 설정한 후, 해당 관경을 가지는 관이 관로에 건설될 것인지 아닌지를 나타내는 이진변수를 결정변수로 지정하였음. 건설 가능한 관경이 해당 관로에 건설 되었을 때의 에너지 손실은 Hazen-Williams 공식을 이용하여 계산하였음, 제안된 농업용수공급모형의 목적함수는 총 공사비의 최소화이며 이때 사용사들 즉 농지의 수요량은 알고 있다고 가정함.

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} cL_i D_{ij}^{1.1} x_{ij} \\ & \text{s.t. } \sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad \forall i \\ & \sum_{i: i \in \text{UP}_i} \sum_{j \in J} S_{ij} L_i x_{ij} \leq \sum_{i: i \in \text{UP}_i} z_i + RL - H, \quad \forall i \\ & V_l \sum_{j \in J} \pi D_{ij} x_{ij} \leq 4q_i \leq V_h \sum_{j \in J} \pi D_{ij} x_{ij}, \quad \forall i \\ & x_{ij} = \{0, 1\}, \quad \forall i, \quad \forall j \end{aligned}$$

- 관로의 집합인  $I$ 는 특정관로의 흐름 방향을 고려할 때 상류에 위치하는 관로들의 집합인  $\text{UP}_i$ 를 하위 집합으로 가지며, 네트워크의 개별 관로  $i$ 를 요소로 가짐, 관 직경을 나타내는 집합인  $J$ 는 건설가능한 관 직경  $j$ 를 요소로 가진다. 결정변수는 관경  $j$ 를 가지는 관을 관로  $i$ 에 설치할 것인가를 결정하는 이진변수임.
- 이는 관로  $i$ 에 관경  $j$ 를 가지는 관이 건설될 경우 1을, 건설되지 않을 경우 0을 가짐, 시스템의 목적함수는 공사비를 최소화(식 2-9a)하는 것으로 Boulos 등 (2006)을 참고하여 선

정하였으나, 차후 실제 공사비로 수정이 가능함, 공사비의 계산을 위한 계수는 c로 나타내고, 각 관로의 길이  $L_i$ , 건설된 관로의 직경  $D_{ij}$ 를 이용하여 공사비를 계산함.

- 관로  $i$ 에 건설되는 관경은 한가지여야 한다는 제약조건이며, 식의 모든 절점에서의 압력은 최소요구압력 (H)보다 커야한다는 제약조건임. 좌변은 수원의 총 에너지 (RL)에서 물이 흘러온 경로를 통하여 관로  $i$ 의 끝 노드까지의 Hazen-Williams 공식을 이용한 마찰손실을 나타내며, 이때 관로  $i$ 의 끝 노드의 표고는  $z_i$ 이다. 여기서  $n$ 은 관로  $i$ 에 관경  $j$ 가 건설되었을 경우에 발생하는 단위길이 당 마찰손실을 Hazen-Williams 공식으로 계산한 값으로 다음과 같이 계산됨.

$$S_{ij} = \frac{10.66q_i^{1.852}}{C_{HW}^{1.852} D_{ij}^{4.871}}$$

- 여기서 CHW는 Hazen-Williams 마찰계수이며,  $q_i$ 는 관로  $i$ 에 흐르는 유량이다. 농업용수 공급모형을 건설하는 시점에서는 모든 지점에서의 수요량을 알고 있으며, 수요량을 모두 공급한다는 가정을 하였음, 식 2-9d는 관내 유속이 최소유속 ( $V_l$ )과 최대유속 ( $V_h$ ) 사이에서 유지되어야 함, 이는 관내 침전 및 부식 방지를 위한 제약조건임, 식 2-9e는 결정변수  $x_{ij}$ 가 이진변수임을 나타냄.

○ 본 연구에서는 개발된 기법을 Sample 지구에 적용하여 테스트하기 위해 Hanoi 관망 자료를 활용 관경산정 프로그램을 실행해 보았음. 대상관망은 1개의 저수지와 32개의 절점, 34개의 파이프로 구성되어 있으며, 각 절점과 파이프의 제원은 [표 3-1-6-6]에 나타나 있음. [표 3-1-6-7]은 관경에 대한 관 길이 당 비용데이터를 나타내었음.

[표 3-1-6-6] 절점과 파이프의 제원

Node ID	Elevation(m)	Base Demand(CMH)	Link ID	Start Node	End Node	Length(m)
1	100	0	1	1	2	100
2	0	890	2	2	3	1350
3	0	850	3	3	4	900
4	0	130	4	4	5	1150
5	0	725	5	5	6	1450
6	0	1005	6	6	7	450
7	0	1350	7	7	8	850
8	0	550	8	8	9	850
9	0	525	9	9	10	800
10	0	525	10	10	11	950
11	0	500	11	11	12	1200
12	0	560	12	12	13	3500
13	0	940	13	10	14	800
14	0	615	14	14	15	500
15	0	280	15	15	16	550
16	0	310	16	17	16	2730
17	0	865	17	18	17	1750
18	0	1345	18	19	18	800
19	0	60	19	3	19	400



20	0	1275	20	3	20	2200
21	0	930	21	20	21	1500
22	0	485	22	21	22	500
23	0	1045	23	20	23	2650
24	0	820	24	23	24	1230
25	0	170	25	24	25	1300
26	0	900	26	26	25	850
27	0	370	27	27	26	300
28	0	290	28	16	27	750
29	0	360	29	23	28	1500
30	0	360	30	28	29	2000
31	0	105	31	29	30	1600
32	0	805	32	30	31	150
			33	32	31	860
			34	25	32	950

[표 3-1-6-7] H 관망에 대한 비용데이터

관경 (mm)	비용 (units)
850	500,000
900	600,000
950	700,000
1000	800,000
1050	900,000
1100	1,000,000
1150	1,100,000
1200	1,200,000

○ H 관망 적용 결과

[표 3-1-6-8] 기존연구의 비교를 위한 H 관망의 비용데이터

관경 (in)	비용 (units)
1	200
2	200
12	45.7
16	70.7
20	98.4
24	129.3
30	180.7
40	278.3

[표 3-1-6-9] H 관망에 대한 최적관경 및 최소비용의 해

Pipe (1)	Fujiwara & Khang(1990) continuous (2)		Fujiwara & Khang(1990) split-pipe (3)		Savic & Walters(1997) (4)	본 모형 (5)
	L(m)	D(in)	L(m)	D(in)	D(in)	D(in)
1	100	40	100	40	40	40
2	1350	40	1350	40	40	40
3	900	38.8	850	40	40	40
			50	30		

4	1150	38.7	1090	40	40	40
			60	30		
5	1450	37.8	1300	40	40	40
			150	30		
6	450	36.3	360	40	40	40
			90	30		
7	850	33.8	500	40	40	30
			350	30		
8	850	32.8	390	40	40	30
			460	30		
9	800	31.5	230	40	30	30
			570	30		
10	950	25	260	30	30	24
			690	24		
11	1200	23	1010	24	30	24
			190	20		
12	3500	20.2	210	24	24	12
			3290	20		
13	800	19	630	20	16	12
			110	16		
14	500	14.5	400	16	16	24
			100	12		
15	550	12	550	12	12	24
16	2730	19.9	2700	20	16	20
			30	16		
17	1750	23.1	1490	24	20	20
			260	20		
18	800	26.6	470	30	24	24
			330	24		
19	400	28.8	250	30	24	40
			150	24		
20	2200	35.2	1580	40	40	20
			620	30		
21	1500	16.4	240	20	20	40
			1260	16		
22	500	12	500	12	12	20
23	2650	29.5	2540	30	40	40
			110	24		
24	1230	19.3	1120	20	30	30
			110	16		
25	1300	16.4	230	20	30	24
			1070	16		
26	850	12	850	12	20	20
27	300	20	60	24	12	12
			240	20		
28	750	22	540	2420	12	12
			210	20		
29	1500	18.9	1250	16	16	20
			250	20		
30	2000	17.1	840	16	16	20
			1160	16		
31	1600	14.6	1300	12	12	20
			300	12		
32	150	12	150	12	12	12

33	860	12	860	12	16	12
34	950	19.5	890	20	20	16
			60	16		
비용(\$)	5,354,000		5,562,000		6,195,000	6,217,900

## 마. 진화알고리즘을 이용한 최적설계 기법 개발

### (1) 개요

- 본 장에서의 최적관망 설계기법은 김 등이 2011년도에 개발한 유전자 알고리즘 모형을 이용하여 최적관경을 산정하는 기법을 사례를 들어 제시하였다.
- 본 장은 진화알고리즘을 개발하는 것이 아닌 진화알고리즘 모형을 이용하여 최적설계 기법을 제시하는 데 목적이 있음

### (2) 최적관경산정 모형의 개념

- 관수로 시스템의 최적 설계는 수요량을 만족시켜 줄 관로시스템을 설계함에 있어서 소요 비용을 최소로 하여 설계하는 것이다. 유전알고리즘을 이용하여 최적 관경을 모형을 활용하여 최적 관경산정 기법을 제시하겠다.
- 최적관경산정 목적함수는 설계비용을 최소화하기 위한 관경 공사비, 재료비, 유지관리비를 포함한 함수로 구성되어 있다.

$$Min. Cost = \sum_{i=1}^N (C_c(D_i) + C_M(D_i) + C_P(D_i))L_i$$

여기서,  $C_c(D_i)$  : 관경별 단위길이(m)당 비용함수 (시공비)

$C_M(D_i)$  : 관경별 단위길이(m)당 비용함수 (유지관리비)

$C_P(D_i)$  : 관경별 단위길이(m)당 비용함수 (재료비)

$L_i$  : 관로길이 (m),  $D_i$  : 관경 (mm),  $N$  : 관로의 총 개수

### (3) 최적 관경산정 프로그램 구성

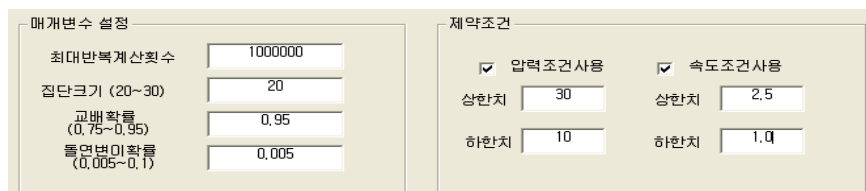
- 유전자알고리즘 이용 최적 관경산정 프로그램은 메인 화면과 매개변수 및 제약조건 설정 화면, 최적관경 결정 결과 출력 화면으로 구성되어 있다.



[그림 3-1-6-14] 프로그램화면 구성

#### (4) 매개변수 및 제약조건 설정화면

- 사용자의 편의를 위해 [그림 3-1-6-15]의 ‘매개변수 설정’ 과 ‘제약조건’ 의 변수를 임의로 지정하여 프로그램을 실행할 수 있게 되어있다.
- 매개변수 설정에서는 유전자 알고리즘의 산정을 위해 최대반복계산횟수, 집단의 크기, 교배확률, 돌연변이 확률의 변수를 입력 할 수 있다. 또한 적용하는 대상관망의 제약조건으로 압력조건과 속도조건의 상한치와 하한치의 기준을 적용 할 수 있으며, [그림 3-1-6-15]과 같다.



[그림 3-1-6-15] 프로그램 운영 매개변수 및 제약조건 설정

#### (5) 최적환경 결정 결과 출력 화면

- 이 프로그램의 GUI상에서 유전자 알고리즘을 수행하고 나면, 그 결과를 [그림 3-1-6-16]과 같이 나타낸다. 최적환경 산정결과와 최적환경에 따른 수리해석 결과 (절점의 압력, 관로의 유속)를 화면에 출력하며, 최적환경에 따른 목적함수 결과 값을 제시하게 된다.

LinkID	1	2	4	5	6	7	8	9	10
최적관경	1000	150	1200	1350	1000	300	350	450	400

NodeID	노드압력	LinkID	관로유속	관로유량
2	20.613	1	3.034015	205885.5
3	-8.13640	2	2.200875	3360.36
5	20.5995	4	0.4100876	40072.56
6	20.5808	5	0.2714996	33577.21
7	20.5655	6	0.2014746	13671.88
8	17.8460	7	1.549296	9462.04
9	17.3451	8	0.6848093	5692.64
10	17.3336	9	0.1167212	1603.92
11	-8.16392	10	0.3904213	4238.981
12	20.4458	11	2.219485	-1506.122
13	20.4431	12	0.0841703	6911.18
18	19.6314	19	3.137093	13305.02
19	7.20524	20	0.3947703	6697.187
20	7.05366	21	3.603204	29952.49
21	-3.79121	22	3.690839	5635.281

최적목적함수(원)
6.205466E+10

[그림 3-1-6-16] 프로그램 결과 출력 화면

- 이 프로그램을 활용하기 위해서는 관망을 EPANET을 이용하여 모델링한 후 프로그램을 실행하여 최적관경을 산정하면 된다.

(6) 결론

- 본 연구에서는 관망시스템의 설계에 있어서 GA최적화 기법을 도입한 방법에 관하여 연구 하였음. 지금까지 실무에서 가용하고 있는 방법에서는 주어진 관망의 수리계산을 실시하고 관경을 조정하여 만족스러운 결과를 얻을 때까지 반복하여야 함. 이와 같은 시산법과는 달리 본 모형은 GA와 수리모의프로그램인 EPANET2.0을 연계하여 자동으로 수리학적 조건을 충족하는 결과를 얻을 수 있으므로 비교적 해석이 간단하며 효율적이라 할 수 있음, 이 방법은 관망해석 시 필연적으로 야기되는 비선형성을 Hazen-Williams 공식을 이용하여 고려하면서도 최적화의 결정변수를 관의 길이로 선형화하여 계산시간을 줄여 최적화를 수행할 수 있다는 장점이 있음. 제안된 모형은 베트남의 Hanoi에 적용하여 최적공사비와 관경을 계산하였음, 향후 보다 적용성이 뛰어난 네트워크 등 다수의 시스템에 적용하여 모형의 효과를 입증한다면 망형 관망 설계에 매우 유용한 방법이 될 것으로 판단됨.

## 7. 한국형 스마트 파이프라인 시스템 모델 개발

### 가. 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템

#### (1) 개요

- 최근 우리가 자주 접하는 단어로 스마트(smart)란 단어를 들 수 있음. 스마트를 활용한 제품으로는 스마트 폰, 스마트 TV, 스마트 그리드, 스마트 키, 스마트 조선 등 다양한 분야에서 사용되고 있음을 알 수 있음. 본 연구에서도 농촌용수 공급시스템의 스마트화 차원에서 연구에 착수하였음.
- 농촌용수 스마트 파이프라인은 ICT Network를 이용한 차세대의 고효율/저에너지 농촌용수 관수로시스템으로 유량계, 수위계, 수압계 등 계측기와 관수로 및 인프라, 운영관리 소프트웨어를 이용하여 공급자인 물 관리자와 사용자인 농어민에서 실시간으로 물 사용 데이터를 제공하며, 다양한 수원의 활용을 저류시설 및 분배망의 광역화를 통해 지능적인 물관리가 가능한 시스템임.

#### (2) 스마트 관수로 시스템의 정의

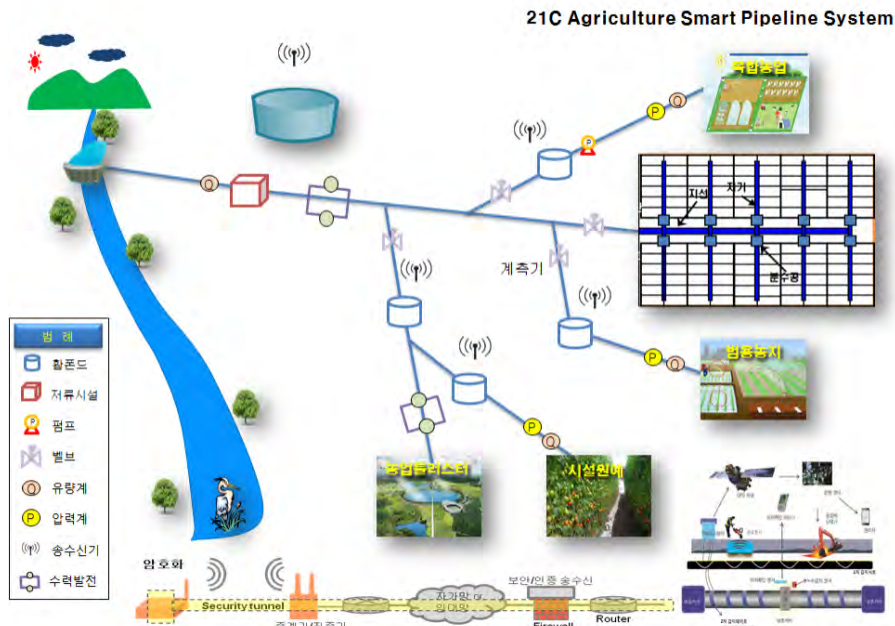
- 농업용 스마트 관수로시스템이란 기존 농업용수 공급시스템의 한계를 극복하기 위하여 파이프라인과 첨단 정보통신기술, 최적설계기술, 지능적 관망운영 기술, 첨단계측관리 장비를 융합한 차세대 농촌용수 공급시스템으로 정의할 수 있음.
- 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템은 물을 적기에 정량을 안정적으로 공급하며, ICT 기술로 수량 및 수위, 압력 등의 계측관리가 가능한 농업용 용수공급시스템임. 기존 용수공급 시스템과의 차이점은 하나의 용수공급 체계에서 다양한 수자원을 이용할 수 있도록 시스템을 구성하고, 용수공급시스템간 연계가 가능하며 물관리에 필요한 정보를 양방향으로 제공하는 시스템이라 할 수 있음.
- 스마트 파이프라인 시스템은 기존의 댐, 하천 등의 단일수원 위주의 공급망과 달리 지역 내의 다양한 수자원을 연계하여 이용 할 수 있도록 용수공급시스템을 구성하며, 논, 밭, 축산, 마을 등 다양한 수요처에 공급이 가능한 맞춤형 용수공급 시스템으로 구성할 수 있음. 지역 내의 다양한 소규모 수자원을 이용하기 위해서는 수자원을 취수하여 저류하는 통합 배수지와 다양한 수자원을 수요처에 공급하는 공급관망이 필요함.

#### (3) 스마트 파이프라인 시스템 차별성

- 기존 농촌용수 공급시스템은 단일수원(저수지, 하천)에서 취수하여 개수로, 혹은 관수로로 공급하여 각 필지에 공급하는 단일 용수공급시스템으로 구성되어 있었으나, 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템은 지역 내 다양한 수자원을 이용하기 위하여 다양한 형태의 소규모 수자원을 저류지에 저류하여 이용할 수 있도록 하고 있음.
- 저류된 수자원은 통합 저류지와 같은 다양한 수자원을 집수하는 집수지를 설치하는 것이 다르며, 통합 저류지에 저류된 용수는 다시 다양한 수요처에 고가수조, 팜폰드 등 저류시

설을 통하여 사용처에 공급할 수 있는 특징을 가지고 있음.

- [그림 3-1-7-1]은 다양한 수자원을 집수하는 저류시설인 통합 저류지에 수자원을 모아 용수공급 관망을 통하여 분배하는 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템을 나타내고 있음.
- 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템은 용수공급망 구축방법에 따라 다중수원을 한곳에 모으는 집중형 용수공급망과 수해지의 필요에 따라 팜폰드, 저류지 등 다양한 형태의 분산된 저류시설을 설치하여 공급하는 분산형 용수공급망으로 구분 할 수 있음.
- 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템은 지역의 수자원을 활용할 수 있는 시스템으로 기존의 원거리 송수에 따른 관망 건설비를 줄여 수자원을 소규모 저비용으로 공급할 수 있어, 향후, 지역 내의 부족한 수자원을 효과적으로 이용할 수 있는 방식이라 할 수 있음.



[그림 3-1-7-1] 21세기형 스마트 파이프라인 시스템 개념도

[표 3-1-7-1] 기존 농촌용수 공급시스템과 차이점

구분	기존 농촌용수 관수로 시스템	농촌용수 스마트 관수로 시스템
취수	- 단일수원 이용체계 [저수지, 하천, 담수호, 관정]	- 다중수원 이용체계 [지하수, 하수처리수, 강변여과수, 계곡수 등]
저류시설	- 단일용수 저류이용 - 수압확보 - 저류용량 적음	- 다양한 지역용수 저류이용 목적 - 수압확보 - 저류용량 충분
공급망	- 단일수원 용수 공급체계 [취수 → 송수관로 → 팜폰드 → 사용처] - 집수지 없음	- 다중수원 용수공급 체계 [취수 → 저류시설 → 송수관로 → 팜폰드 → 사용처] - 집수지 및 공급관망 설치
재이용수	- 하수재이용 안함	- 하수재이용 가능
스마트화 (ICT)	- 개체별 TM/TC - 일방향 정보	- 통합제어 ICT 플랫폼 기반 - 양방향 교류

## 나. 스마트 파이프라인 시스템 기술범위 및 개발 방향

### (1) 스마트 파이프라인 시스템 기술범위

- 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템은 취수기술, 통합 배수지 설계기술, 지능적 물 관리 기술, 수요량 예측기술(smart water mining), 스마트미터·센서기술(smart meter & sensor), 에너지 절감기술(smart energy harvesting), 자산관리기술 (smart water mapping), 스마트 관개((smart irrigation), 스마트 농장(smart farm) 등 다양한 사용처에 대한 요소기술이 포함됨.



[그림 3-1-7-2] 스마트 파이프라인 시스템의 비전/목표

### (2) 스마트 파이프라인 시스템 개발 목표 및 방향

#### (가) 개발목표



[그림 3-1-7-3] 스마트 파이프라인 시스템 개발 방향



(나) 개발방향

[표 3-1-7-2] 21세기형 광역농촌용수 공급시스템은 개발 방향

개발방향	개발내용
저류시설이용 광역단위 파이프라인 공급망 및 설계 기술	- 저류지 이용 광역단위 고효율 공급망 개발 - 통합 배수지 이용 농촌용수 공급망 모형 - 집중형/분산형 농촌용수 공급망 모형 - 신재생 에너지 이용 농촌용수 공급망 모형
최적화 기법 이용 관망설계기술	- 최적화 기법이용 관망 관경설계 기법
저류시설 포함 관망시뮬레이션 기술 개발	- 강제수주이론 활용 관망시뮬레이션 기법 검토 - 강제수주이론 활용 저류시설 포함 관망 시뮬레이션 프로그램 개발
ICT 이용 광역단위 관망관리 플랫폼 개발	- ICT 이용 관망관리시스템 개발 - 최적화 기법이용 관망설계 기법 개발 - ICT 융합 지능형 관망운영관리시스템 개발

(다) 세부 개발전략

개발전략	세부내용
ICT 이용 관망 플랫폼 구축	- 관망 플랫폼 (Pipeline Platform) 개념 확립 - 저류시설 이용 차세대 광역농촌용수공급망 구축 - ICT 플랫폼( ICT Platform) 개념 확립 - ICT 및 센서 이용 양방향 소통 기술
통합 배수지 등 저류시설 도입 지역용수 집수 활용	- 지역 수자원을 확보/이용 기술 - 통합배수지 등 저류시설 이용 집중형, 분산형 용수공급시스템 구축 기술
최적화 기법 이용 설계 및 운영관리	- 최적화 기법 이용 고효율 용수공급망 설계 기술 - 최적화 기법 이용 지능형 관망관리 기술
리스크 대비 인성적 용수공급 시스템 구축	- 리스크 : 가뭄, 침수, 사고 - 가뭄대비 안정적 용수공급망 구축 기술 - 유역간, 배수지간, 관개구역간 연계 광역관망 구축 - 반복이용 시스템 구축 - 홍수조절지, 비상용 저류지 구축 - 사고대비 관망관리 기술 - 관망사고/누수관리 : ICT기반 파손/누수 대책 기술
LCC 개념도입 관망관리시스템 구축	- LCC/LCA 도입 관망관리시스템 구축
관망에너지 활용기술 개발	- 최적 취수 펌프, 배수펌프 에너지 관리 효율화 - 관망내 수력발전을 통한 에너지 생산/활용 기술

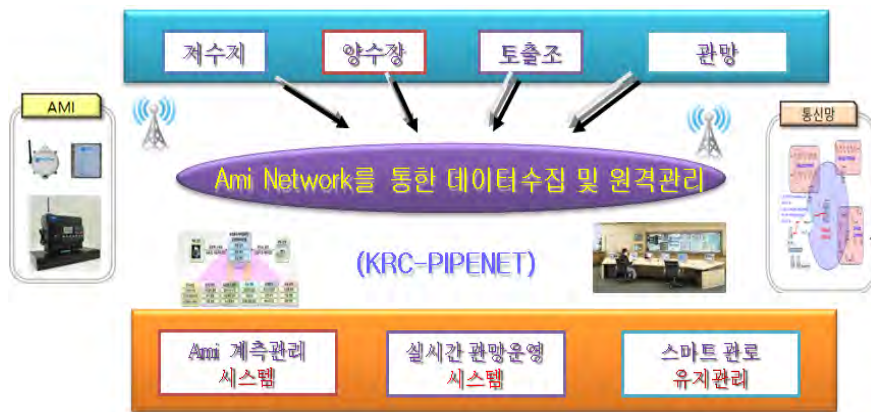
[그림 3-1-7-4] 스마트 파이프라인 시스템 개발 목표 및 방향

## 다. ICT 융합에 의한 농촌용수 스마트 관수로 시스템 개발

### (1) 스마트 농촌용수 관수로 시스템 모형 구축

#### (가) 정의

- 농촌용수 공급시스템의 한계를 극복하기 위하여 수자원의 분산저장 및 순환이용이 가능한 저류형 관망시스템에 센서기반 AMI 계측시스템, 실시간 관망운영프로그램, 관로누수사고예방시스템, IOT 이용 양수장 운영관리시스템 등 스마트 관망 요소기술을 융합한 한국형 농촌용수 스마트 관수로 시스템 모형을 구축하였다.



[그림 3-1-7-5] 한국형 농촌용수 스마트 관수로 시스템 모형

#### (나) 스마트 관수로 운영관리 요소시스템의 주요 기술

- ① IOT 기반 관망운전제어 HMI : Agro-Smart Pipe HMI
- ② 스마트 관망운영관리 App : Agro-Smart Pipe APP
- ③ 농촌용수 관수로 운영관리 프로그램 : Agro-Smart PipeNet
- ④ AMI 관망계측시스템 : Agro-Smart AMI
- ⑤ 농업용 관로관리시스템 : Agro-Under NAVI

### (2) 농촌용수 스마트 관수로시스템 운영관리 기술 개요

#### (가) IOT 기반 관망운전제어 HMI (Agro-Smart Pipe HMI)

##### ○ 기술내용

- 농업용 관수로의 효율적 운영관리를 위해 AMI 계측시스템과 관망 유량, 수압 등 모니터링을 연계하고, 펌프, 배수지, 논 수위, 밭 토양수분을 센싱하여 펌프 자동운전이 가능한 IOT 기반 농업용 관수로 자동관개시스템을 개발하였다.

##### ○ 시스템 설계 및 구성

- IoT 기반의 센서 데이터를 분석하여 저류조-고가수조-농경지(논, 밭)로의 물 공급을 위한 일반펌프 및 인버터 펌프의 제어가 가능한 시스템 구성
- AMI 계측시스템과 연계하여 관망 유량, 수압 등 모니터링 가능
- 배수지 수위, 논 수위, 밭 토양과 연계하여 펌프 자동운전 가능



[그림 3-1-7-6] 관망운영관리 시스템 구성 및 HMI

[표 3-1-7-3] 센서 모니터링 및 제어 목록

목록	모니터링 및 제어방법
1) 일반펌프	ON/OFF 제어
2) 인버터펌프	유량조절
3) 수위계	3EA - 아날로그 신호 무선 모니터링 > 1EA - Digital, > 2EA - 레벨스위치 접점신호
4) 유량계	4EA - 아날로그 신호 무선 모니터링
5) 압력계	1EA
6) 유량조절밸브	1EA
7) 토양수분센서	1EA

- 펌프제어방법
  - 토양수분센서 : 센서 값으로 펌프 제어
  - 유량계 : 유량조절밸브 제어
  - 압력계 : 압력수치에 따라 펌프 RPM 제어 / 유량계 변화 확인 필요

○ 기술의 차별성

- AMI 연계 센서기반 수요관리를 통한 관수로 관개자동화 시스템

○ 기대효과

- AMI 융합 첨단 물관리 기술 활용으로 과학적 물관리 및 절수관개
- 기존 SCADA 대체로 자동화 설치비 및 유지관리비 절감
- ICT기반으로 스마트 관수로 운영관리시스템 상품화 및 해외사업화

(나) 스마트 관망운전제어시스템 App (Agro-Smart Pipe APP)

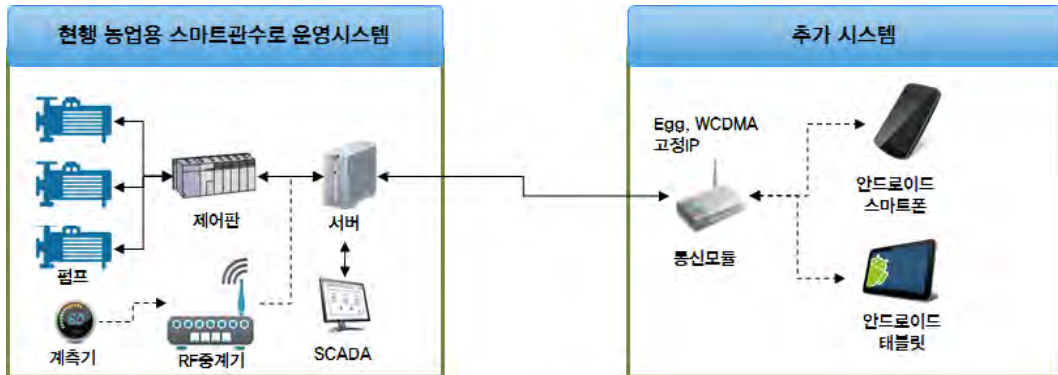
○ 기술내용

- IOT 기반 HMI 시스템과 연동하여 스마트폰 등 다매체 기반으로 관망을 모니터링하고 펌프, 밸브 제어가 가능한 관망운영관리 프로그램임

○ 시스템 구성

- 현행 운영되고 있는 시스템에 다중매체 스마트 서비스를 구축하기 위해서 원격지 통신을 위한 통신모듈 도입하였다. 통신모듈은 Wibro, WCDMA, LTE등 기간통신사를 통한 서비

스가 모두 유효하며 다만 고정IP할당이 되어야 하며, 고정IP를 통해 스마트폰이나, 태블릿에서 서버에 접속하여 계측데이터를 조회하고 제어명령을 수행할 수 있다.

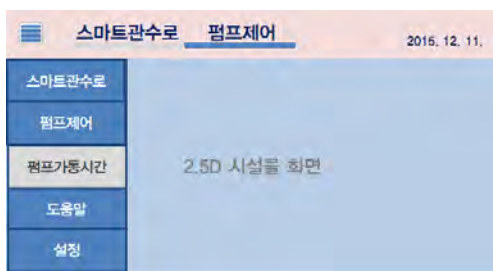


[그림 3-1-7-7] 스마트 관망운전제어시스템 구성도

- 다중매체를 통한 관망 모니터링과 제어를 수행하기 위해서 스마트 기기에 설치할 앱과 서버간의 통신을 수행할 앱 서버를 개발하였다.
- 계측되는 데이터는 데이터베이스에 저장되고 웹서버를 통해 사용자의 스마트기기로 전송된다. 관수로 시설제어를 위해서는 사용자 스마트 기기에서 제어 기능을 수행하면 네트워크를 통해 앱서버로 전달되고 앱서버는 제어명령을 데이터베이스에 입력한다. SCADA 시스템은 데이터베이스의 제어명령을 확인하여 제어명령이 On 되었을 시 펌프를 작동한다.

○ 프로토타입 개발

- 스마트 관수로 앱 프로토타입 프로그램은 ‘스마트 관수로 앱 서버프로그램’, ‘스마트 관수로 앱’으로 구분하여 개발하였다. 스마트 관수로 앱의 경우 스마트 기기의 화면 크기와 해상도의 차이점 등으로 인하여 스마트폰용과 태블릿용으로 구분하였다.



[그림 3-1-7-8] 메뉴화면 및 화면 예시

[표 3-1-7-4] 프로그램 주요 기능

프로그램명	주요기능
스마트관수로 앱 서버 프로그램	앱에서 수신되는 요청을 통해 데이터베이스를 조회하여 조회 정보를 앱으로 송신 앱에서 수신되는 펌프 제어정보를 데이터베이스에 입력
스마트관수로 앱 (스마트폰 용)	계측기, 펌프의 상태 모니터링, 펌프제어, 환경설정
스마트관수로 앱 (태블릿 용)	계측기, 펌프의 상태 모니터링, 펌프제어, 환경설정

○ 기술의 차별성

- 스마트 폰으로 관망의 모니터링과 펌프, 밸브 등 제어가 가능함

○ 기대효과

- IoT 기반 관수로 시스템은 관리업무 효율성과 물관리 효율 증진
- 관망 및 펌프 운영 효율성을 확보하여 에너지 등 유지관리비 절감

(다) 스마트 농촌용수 관망운영관리시스템 (Agro-Smart PipeNet)

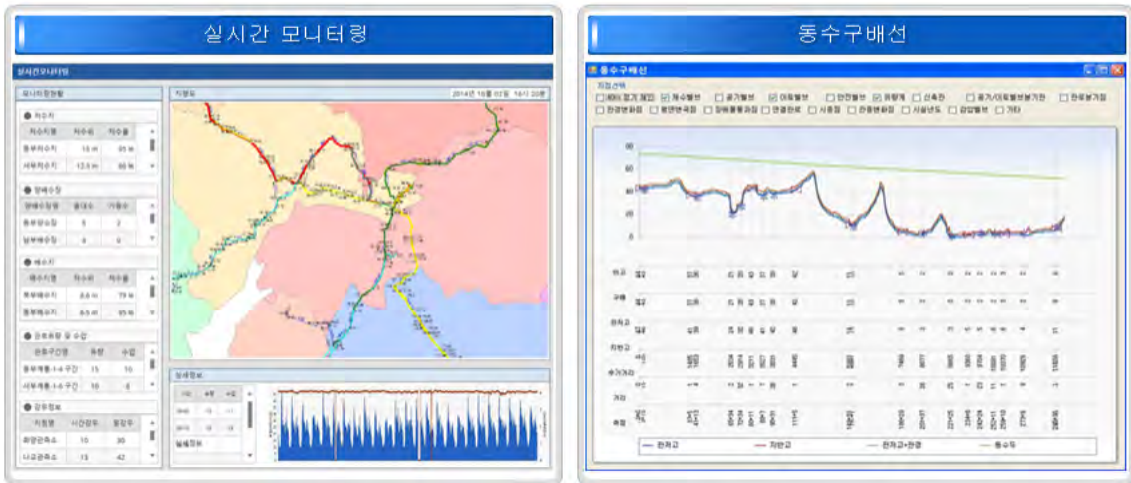
○ 기술내용

- AMI, 관망해석 기반 관수로 운영관리 소프트웨어 개발, AMI 계측시스템 도입으로 데이터 계량화 운영 및 관망 시뮬레이션 및 GIS 연계 관망시설 관리

○ 시스템 구성



[그림 3-1-7-9] 시스템 구성 체계 및 구성도



[그림 3-1-7-10] 관망 실시간 모니터링

- 기술의 차별성
  - AMI, 관망해석, 수요관리를 통한 실시간 운영관리
- 기대효과
  - AMI 융합 관망운영관리로 첨단 물관리 기술 활용 가능

(라) 농촌용수 스마트 AMI시스템(Agro-SmartAMI)

- 기술개요
  - 스마트 AMI시스템은 900MHz 기반 AMI 무선 네트워크 기술, 통합 RTU 시스템, AMI Network Management System (SW)을 이용하여 유량계, 수압계 등의 실시간 데이터 수집 및 분석을 통하여 관망 운영자료를 취득하는 기술

[표 3-1-7-5] 농촌용수 스마트 AMI 시스템 기술내용

구분	기술내용
900MHz 기반 AMI시스템	900MHz 기반 AMI 무선 네트워크 기술을 이용하여 농촌 용수 공급 안정성을 확보 할 수 있는 기술임
통합 RTU 시스템	통합 RTU 시스템은 실시간 다항목 RTU 지능형 제어감시기로 관망에 설치되는 계측기기(유량계, 수압계 등)의 실시간 데이터 수집 및 분석을 통하여 관망 운영자료를 취득하는 기술
AMI Network Management System (SW)	사업 규모에 따라 서비스 서버 모듈을 시스템 고도화 및 서비스 규모 확대 가능한 표준화된 I/F 모듈로 시스템의 호환성 및 안정성을 확보하기 위한 기술임

- 시스템 구성
  - 900MHz 기반 AMI 시스템 + 통합 RTU 시스템 + AMI Network Management System (SW)





900MHz 기반 AMI 시스템

통합 RTU 시스템

AMI Network Management System (SW)

[그림 3-1-7-11] 900MHz 기반 AMI 시스템 구성

○ 기술의 차별성

- 900MHz 기반 AMI 시스템, 다양한 계측기 통합관리가 가능한 통합 RTU 프로토콜 탑재, AMI Network Management System (SW): 유량/수압/수질/원격검침 등을 하나의 SW에서 관리하는 All-in-One 시스템

○ 기대효과

- 집중기 1대당 최대 1000수용가 운용
- 무선시공으로 인한 공사비 절감

(마) 농업용 관수로사고예방시스템 (Smart-Under Navi System)

○ 기술개요

- 지하에 매설된 상, 하수도관이 굴착공사로 파손되는 것을 예방하여 수명을 연장시키고, 누수발생시 실시간 복구하여 싱크홀 등 안전사고를 예방하는 기술

○ 기술내용

- 관로의 노선 위치를 표시하므로 관로 관리가 용이하며, 관로 파손 또는 누수사고 발생시 실시간으로 정확한 위치를 관리자에게 알려줌
- 굴착공사 중 관상단에 설치된 스마트 예방시트가 손상될 때 중장비기사에게 경고하여 파손사고를 예방할 수 있고, 농업용 관수로 파손/누수발생시 실시간으로 관계자에 알려 줌

○ 시스템 구성 : Smart Underground Navition System

- 센싱부 : 스마트 테이프, 스마트 시트, 누수감지센서, 보호커버
- 운영관리장치 : 서버 및 원격감시장치



[그림 3-1-7-12] Smart Underground Navition System 설치 개념도

○ 기술의 차별성

- 지하매설관 파손 예방 : 스마트 시트로 손상 실시간 파악
- 보호커버 경량화 : 기존 보다 무게 25% 수준

○ 기대효과

- 지하매설관 실시간 모니터링하여 파손/누수 위치 파악
- 관 수명을 연장시켜 관 교체공사 주기가 늘어남(파손예방)
- 유지관리비 절감(년 54원/m)

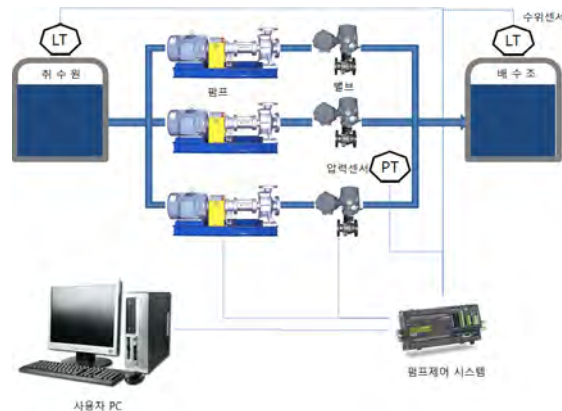
라. IoT기반 양수장 펌프운전시스템 프로토타입 개발

(1) 개발 개요

○ 목적 : 양수 펌프장 운영효율 개선 및 양수장 운전 자동화

○ 기술개발 목표

- 양수펌프장 완전 자동화 및 에너지 절감
- 양수펌프장 운영관리 편의성 증대 및 신기술 도입
- 기존의 펌프장 운영 방법에서 신기술 도입으로 인한 효율 증대

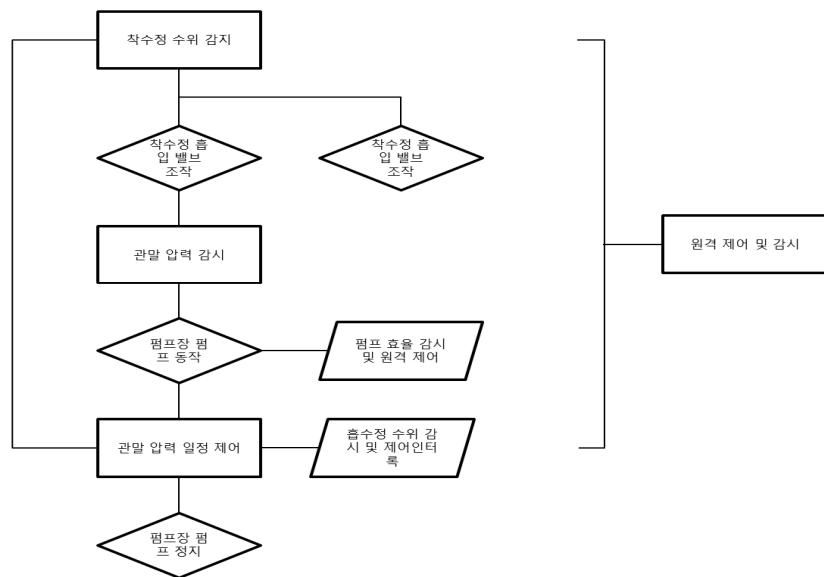


[그림 3-1-7-13] 양수펌프장 운전 완전자동화



(2) 양수장 펌프운영 자동화 콘트롤러 제작

- 펌프기동은 인버터로 하여 RPM조정을 하여 부하를 조정하도록 구성하고, 펌프의 RPM는 관말의 압력센서로 센싱하며, 관말의 압력이 0.5bar로 유지되도록 RPM을 조정하였음
- 해당 관로의 공급유량을 가정하여 배수지 유입밸브를 조작하면 관말의 압력이 하락하게 되고, 그에 따라 유량공급이 늘어나면서 관말의 압력은 일정해지고, 필요한 만큼의 전력을 사용하여 동일 유량공급대비 에너지 효율을 높여 운전이 가능하게 되도록 구성하였음
- 양수장 취수원 수위에 수위계측 장치를 부착하여 수위가 너무 낮을 때에는 송수를 중지하도록 구성
- 관말압력 제어를 위해 배수조 흡입측에 압력센서를 설치하여 흡입압력을 가지고 대수제어 구성
- LS산전 PLC(범용 콘트롤러)사용하여 로직을 구성 하고 구성 로직을 사용자가 수정 및 유지보수가 편리하게끔 설계
- 원격제어를 위해 PLC에 DG Box를 부착하여 일반 PC에서 사용이 가능하도록 제작
- 추후 모바일 개발도 용이하도록 제작하였으며, 웹기반으로 동작하여 일반 웹 편집처럼 UI를 수정할 수 있도록 제작



[그림 3-1-7-14] 펌프제어 개념도

- 양수펌프장 운영 프로그램 설계 : 최적 스케줄로 펌프를 운영할 수 있도록 로직을 변경하여, 이를 임의의 로직으로 배치하여 상황에 맞추어 운영자들이 선택하여 스케줄을 배치할 수 있도록 프로그램을 구성하였다. 단, 이 실험은 테스트 설비이므로 위 실험은 추후 실제 양수장에 설치하여 그 효과를 입증할 수 있도록 구성하였다.

- 온도센서 부착 : 펌프의 상시 효율 감시를 통한 모터 및 펌프의 유지보수 시기를 결정할 수 있도록 펌프의 전 후단에는 온도센서를 부착하여 펌프에서 일어나는 마찰손실을 감시하여 효율을 감시할 수 있도록 구성하고 상시로 효율을 감시하여 사용자에게 펌프 및 모터의 개보수시기를 알려주도록 구성하였다. 이를 통하여 설비의 LCC(Life Cycle Cost)를 감소시킬 수 있다.

(3) 펌프운전 시험 case 설정

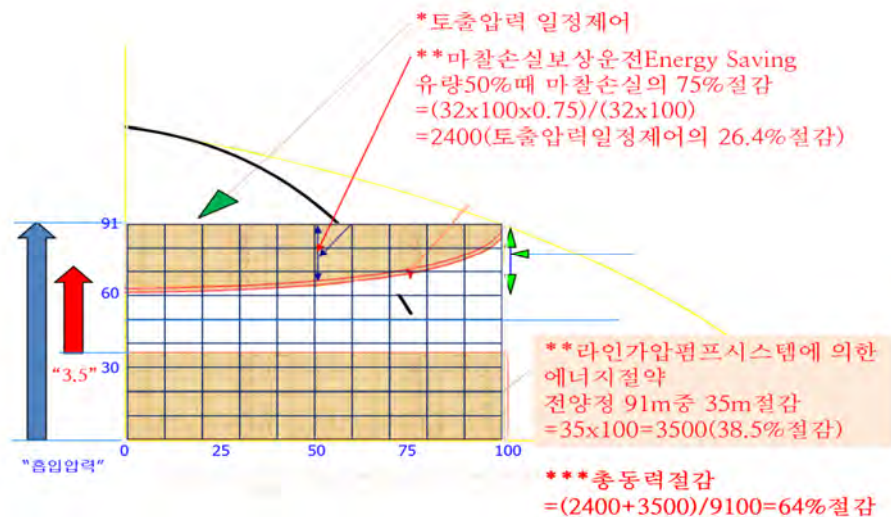
- [표 3-1-7-6]은 해당 스케줄 예시이며, 상황에 따라 얼마든지 다양한 케이스를 만들어 스케줄 운전을 할 수 있다.

[표 3-1-7-6] 펌프 운전 스케줄 Case

구분	제어방법 (일 평균 기동정지회수 =착수정 용량 / 일간 사용량)	운전 개념	효율 개선 기대 효과
Case 1	일평균 기동 정지가 20회를 넘어 가는 현장에서의 제어개념	RPM 조작을 통한 운전회수 감소	상
Case 2	일평균 기동 정지가 5회 이하인 경우의 제어 개념	스케줄 조작으로 기동 정지 회수 1회 이상 감소	중
Case 3	일평균 기동 정지가 2회 이상인 경우의 제어 개념	RPM+스케줄 조정	하

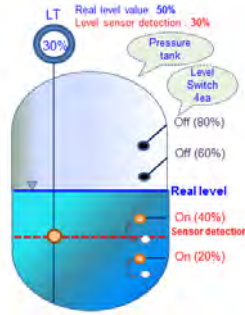
(4) 펌프운영 시험 결과

- 펌프 스케줄 운전은 해당 현장에 따라 그 운전방법이 다르나 펌프의 기동과 정지를 최소화 하여 효율이 낮지 않은 55Hz이상의 RPM으로 펌프가 기동하는 시간이 길어질수록 전체 사용 전력량의 효율이 개선되었다.



[그림 3-1-7-15] 말단압력 일정제어의 에너지 절약

- 양수장 펌프는 무인시설 특성상 부득이한 계기 고장이나 사고에 따른 대처가 매우 중요하므로 이를 개선하기 위하여, 특히 기술인 복수개의 센서를 통한 수위감시 기술을 도입하여 수위센서 오류에 따른 문제위험을 대폭 감소시켰다.



[그림 3-1-7-16] 기술 개념도

(5) 기대효과

- 동력 및 수전용량이 크기 때문에 비용적인 부분에서 큰 절감이 이루어질 것으로 예상되며 사용자 편의성 또한 확대되어, 적은 인력으로도 다수의 양수펌프장을 운영할 수 있을 것으로 예상된다.

(6) 결론

- 시험결과 전력효율이 3% 개선되었으며 이는 펌프가 커질수록 LCC전체에서 차지하는 비중이 전력이 높은 95%인 점을 감안하면 10년 동안의 LCC비용의 3%를 절감하는 효과는 장비 용량에 따라서 수억 원의 비용절감 효과가 기대된다.

[표 3-1-7-7] 펌프 가동시간 및 사용전력

구분	공급유량 (m³)	펌프가동 시간(hr)	사용전력 (kW)	비고
기존 수위에 따른 펌프 정속 운전	50	12	10	
관말 압력에 따른 RPM조절 운전	50	12.5	9.7	3%효율 개선

[표 3-1-7-8] 기존 기술과의 비교

구분	기존 펌프장(공사)	연구성과 도입 펌프장
100%무인운영	불가능	가능
원격모니터링 및 운전	불가능	가능
펌프 효율 감시	불가능	가능
전력 사용비	1	0.97
스케줄 운전	불가능	가능
센서고장에 따른 운영정지 기간	장기(센서 교체 시까지)	없음(복수센서로 유지보수와 별개로 자동운영 가능)
관말 압력 제어기능	불가능	가능
개발 확장성 (모바일 연동, UI개선 등)	없음	지속 확장 가능

## 마. 관수로 스마트 서비스 시스템 개발

### (1) 배경 및 목적

- 현재 농업용 관수로에 SCADA(Supervisory Control And Data Aquisition;감시제어 및 데이터 취득) 시스템 도입이 추진되고 있다. 일반적으로 SCADA시스템은 공정제어에 사용되고 있는 시스템으로서 전체 공정에 대한 감시가 필요한 업무에 사용된다.
- 농업용 양수장은 관리자가 상주하지 않은 곳이 많기 때문에 SCADA 시스템을 활용한 관리가 필요하나, 기존의 양수장은 대부분 운전제어를 수동으로 하고 있어 운영관리에 노력이 많이 드는 단점을 안고 있다.
- 본 장에서는 SCADA 방식의 관망운영관리 시스템을 개선하기 위하여 IOT 기반 HMI 시스템과 연동하여 스마트폰 등 다매체 기반으로 관망을 모니터링하고 펌프, 밸브 제어가 가능한 관수로 스마트 관망운영관리 서비스 APP 시스템 프로토타입(Prototype)을 개발하였다.

### (2) 스마트 관망운영관리 서비스 APP 개발

#### (가) 기본방향

- 농업용 관수로 스마트 서비스 기법은 기존 시스템과 추가적으로 구축될 시스템의 구성을 설계하고 서비스 구조를 설계하여 다중매체(스마트 기기)에서 사용가능한 프로토타입 앱을 개발한다.

#### (나) 서비스 APP 구현 대상

- 농어촌 연구원의 파일럿 플랜트 운영서버에 설치된 관망과 운영서버에 설치된 SCADA 시스템을 연계하여 스마트폰으로 운영관리 할 수 있도록 개발한다, SCADA 시스템은 계측기로부터 수신되는 데이터를 모니터링 하고 제어할 수 있도록 AMI 센서 기반으로 관망 및 펌프, 밸브를 자동제어 할 수 있도록 구축되어 있어 서비스 APP 과 연동시켜 관망 및 펌프 등을 제어 할 수 있다.

#### (다) 데이터 베이스 구성 상태

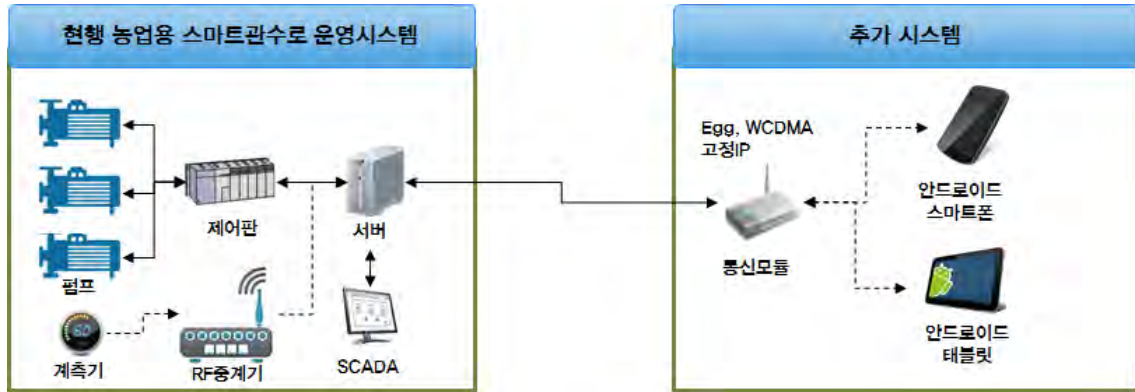
- 계측되는 데이터 저장 및 SCADA시스템 운영에 필요한 데이터베이스는 SQLite로 구성되어 있다. SQLite는 서버가 아닌 응용프로그램에 넣어 사용하는 비교적 가벼운 데이터베이스로서 대규모 작업이 아닌 중소규모의 작업에 적용이 가능한 데이터베이스로 하나의 파일을 사용하기 때문에 관리가 편리한 장점이 있다.

### (3) 농업용 관수로 스마트 서비스 프로토타입 개발

#### (가) 시스템 구성 설계

- 현행 운영되고 있는 운영시스템에 다중매체 스마트 서비스를 구축하기 위해서 원격지 통신을 위한 통신모듈을 도입한다. 통신모듈은 Wibro, WCDMA, LTE등 기간통신사를 통한

서비스가 모두 유효하나 고정IP가 할당되어야 한다. 현재 기간 통신망에서 제공하고 있는 무선통신의 경우 고정 IP정책이 없다.



[그림 3-1-7-17] 관수로 스마트 서비스 프로토타입 구성도

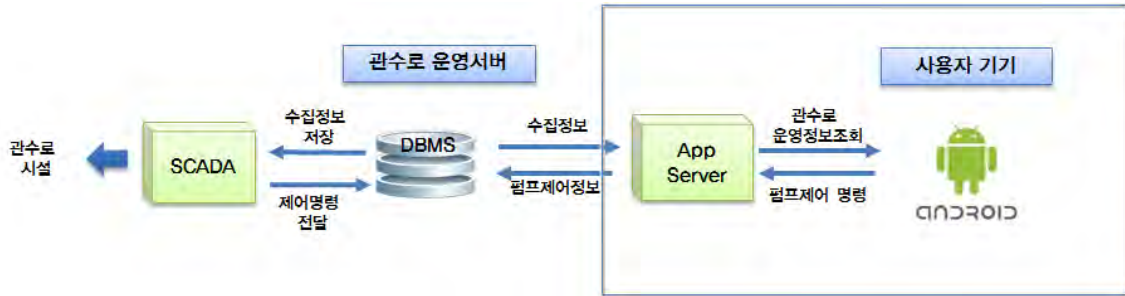
- 스마트기기는 국내에서 많은 사용자를 보유하고 있는 안드로이드 OS를 기반으로 하는 기기를 적용한다. 안드로이드 OS를 지원하는 스마트폰과 태블릿을 대상으로 스마트관수로 프로토타입 앱을 개발한다.



[그림 3-1-7-18] 관수로 스마트 서비스 소프트웨어/네트워크 구성도

(나 서비스 구성 설계

- 현행 시스템은 데이터베이스에 저장되는 계측되는 데이터를 SCADA시스템에서 모니터링과 제어를 모두 수행한다. 다중매체를 통한 모니터링과 제어를 수행하기 위해서는 스마트기기에 설치할 앱을 개발하고, 앱과 서버간의 통신을 수행할 앱 서버를 개발한다.
- 계측되는 데이터는 데이터베이스에 저장되고 앱서버를 통해 사용자의 스마트기기로 전송된다. 관수로 시설을 제어를 위해서는 사용자의 스마트기기에 제어기능을 수행하면 네트워크를 통해 앱서버로 전달되고 앱서버는 제어명령을 데이터베이스에 입력한다. SCADA시스템은 데이터베이스의 제어명령을 확인하여 제어명령이 On 되었을시 펌프를 작동한다.



[그림 3-1-7-19] 관수로 스마트 서비스 구성도

(다) 네트워크 설계

- 관수로 시스템이 설치되어 있는 위치는 농어촌연구원 내에 위치하고 있으며, 건물 외부에 있어 직접적인 네트워크 접근이 불가능 하다. 과업의 목적상 운영서버는 반드시 네트워크와 연결되어 있어야 하며 공인IP를 통해 농어촌연구원 내부뿐만 아니라 원격지(외부)에서도 연결되어야 한다.
- 기간 통신사 망을 통해 사용 가능한 무선 통신 방식은 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access), Wibro(Wireless Broadband), LTE(Long Term Evolution), LTE-A(Long Term Evolution Advanced)의 방식이 있다. LTE나 LTE-A방식의 경우 국내 통신 3사에서 스마트폰 서비스를 위해 적용하는 방식이다. WCDMA는 3G기반의 통신 방식으로서 M2M(Machine to Machine)기반의 서비스에 주로 사용되어 왔다. Wibro망은 한국의 기술로 독자적으로 개발한 4G기반의 무선 광대역 인터넷 기술이다.
- 현행 시스템은 SCADA가 설치된 운영서버가 서버의 역할을 수행하여 계측기에서 모니터링 되는 데이터를 저장하고 원격 서비스를 수행해야 하며, 스마트기기에서 제어 명령을 수신하여야 한다. 때문에 운영서버는 공인IP를 통해 접속해야만 한다.
- WCDMA, Wibro, LTE망 단말기에 공인 IP를 할당하는 정책이 없다. 공인IP를 사용할 수 없게 되면 통신이 연결되고, 끊기는 것에 따라서 통신망에서 할당되는 IP주소가 변경될 수 있다. 원격 사용자는 한 명이 아니라 여러 명이 될 수 있으며 이를 위해서 동시 다중 접속이 되어야 한다. [표 3-1-7-9]와 같이 각 무선통신 서비스 방식에 따라 특성을 비교해 보면 Wibro방식이 현행 시스템에 적용하기에 적합한 구조로 되어 있다. 따라서 본 과업에서는 KT통신사의 Wibro서비스인 에그 단말기를 사용하여 네트워크를 구성한다.

[표 3-1-7-9] 광대역 통신망 비교

	공인IP	다중접속	양방향성	커버리지	비고
Wibro	×	○	○	시단위	
WCDAM	×	×	×	전국	
LTE	×	×	×	전국	

○ Wibro방식도 공인IP 정책이 없기 때문에 상황에 따라 할당된 공인IP주소가 변경될 가능성이 있다. 이를 위해서 별도의 IP확인 절차를 구성하여 스마트 관수로 앱 서비스를 수행한다.

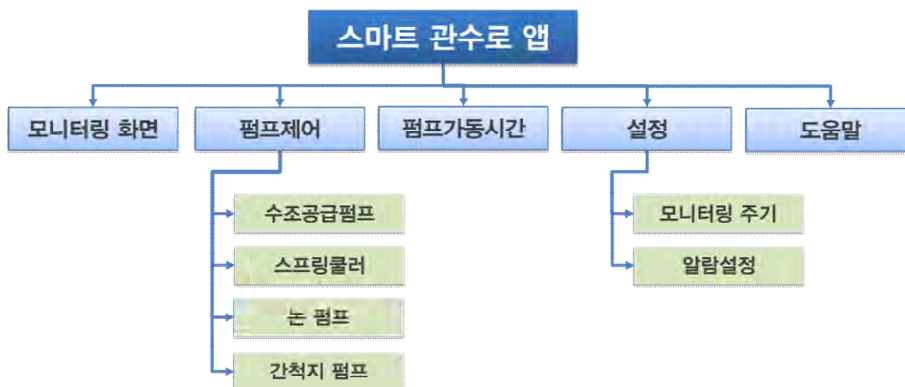
- ① Wibro단말이 통신망에 할당되면 할당된 공인IP정보를 공인IP확인 서버로 전송하여 저장한다.
- ② 스마트기기에서 앱을 실행하면 공인IP확인 서버에 접속하여 Wibro단말의 공인IP를 확인한다.
- ③ 확인된 공인IP를 통해 Wibro단말에 접속한다.
- ④ Wibro단말과 운영서버간의 통신을 통해 스마트 관수로 앱에서 계측값을 조회한다.
- ⑤ 스마트 관수로 앱에서 제어 명령을 실행하면 운영서버로 전달한다.
- ⑥ 운영서버는 제어명령을 수신하여 SCADA로 전달한다.



[그림 3-1-7-20] 통신망 구성 및 IP확인 절차 구성도

(라) 기능 설계

○ 현행 관수로 시스템의 제어를 위해서 금번 프로토타입은 [그림 3-1-7-21]과 같은 기능으로 구성한다. 본 과업에서는 관수로 스마트 서비스 기능(안)에서 제시된 기능에서 관수로 운영에 관한 핵심 기능을 프로토타입으로 개발한다.



[그림 3-1-7-21] 스마트 관수로 앱 기능 항목



[표 3-1-7-10] 스마트 관수로 앱 기능 설명

Level1	Level2	내용
모니터링화면		2.5D 형식으로 현행 관수로 시설물을 구성 모니터링 화면에 계측값 및 펌프가동상태 표시
펌프제어	수조공급펌프	수조공급펌프의 가동을 On/Off시킨다. 기능 사용시 관리자 번호를 입력하여 인증절차를 수행. 수조공급펌프의 제원을 표시
	인버터펌프	인버터펌프의 가동을 On/Off시킨다. 인버터 펌프는 출력을 조절하도록 한다. 기능 사용시 관리자 번호를 입력하여 인증절차를 수행 인버터펌프의 제원을 표시
	논 펌프	논펌프의 가동을 On/Off시킨다. 기능 사용시 관리자 번호를 입력하여 인증절차를 수행. 수조공급펌프의 제원을 표시
	간척지 펌프	간척지 펌프의 가동을 On/Off시킨다. 기능 사용시 관리자 번호를 입력하여 인증절차를 수행. 수조공급펌프의 제원을 표시
밸브	유량조절밸브	유량조절 밸브를 On/Off시킨다. 밸브의 개도율을 조 절하도록한다. 기능 사용시 관리자 번호를 입력하여 인증절차를 수행 인버터펌프의 제원을 표시
펌프가동시간	펌프가동시간	펌프의 가동 시간을 조회
환경설정	모니터링 주기	계측값 및 펌프 상태의 모니터링 주기를 설정
	알람설정	이상 상황 발생시 진동/소리 알람방법 설정

(마) 화면설계

- 스마트 기기의 특성상 화면의 크기가 작다 특히 스마트폰의 경우 화면의 크기가 작아서 하나의 화면에 표출될 수 있는 한계점을 고려하여 설계하였다. 또한 일반 컴퓨터와 다르게 마우스에 의한 제어가 아닌 손가락의 터치에 의한 제어를 고려해야 한다. 중요한 점은 스마트기기의 운영 특성을 고려하여 그에 맞게 기능의 제어를 구성하도록 하였다.

(바) 데이터베이스 설계

- 현행 관수로 시스템은 SQLite를 사용하여 단일파일로 로그를 저장한다. SQLite는데이터베이스 관리 시스템은 아니지만 응용프로그램에서 하는 가벼운 데이터베이스로서 대규모 작업에는 적합하지 않지만, 중소규모에서는 문제가 없다. 그러나 본 과업에서는 SCADA시스템과 앱 관련 시스템이 동시에 접속하여 데이터에 대한 조회나 관리가 필요하기 때문에 단일 파일 체계의 DB는 접근성의 문제가 발생할 소지가 있다. 때문에 본 과업에서는



다중접속에 문제가 없는 관계형데이터베이스 관리 시스템(RDBMS; Relational Database Management System)을 적용할 필요가 있다.

- 일반적인 RDBMS는 사용자의 수나 DBMS 운영서버의 CPU 코어 수로 라이선스 비용을 지불해야 한다. Open소스 RDBMS인 MySQL은 많은 분야에서 사용 중이며, 별도의 추가 비용이 발생하기 않기 때문에 본 과업에 적용하여 DBMS를 구성하였다.
- 현행 운영 데이터베이스 테이블 이외에 원격지 제어를 위한 테이블을 추가 구성하였다.



- 펌프제어 테이블은 관리자 권한이 확인된 이후에 가동/중지 여부를 ‘Y, N’ 로 테이블에 기록한다. ‘Y’ 로 설정되면 SCADA 시스템이 이를 확인하여 펌프를 가동한다. ‘N’ 로 설정될 경우는 펌프 가동을 중단한다.
- 관리자정보테이블은 펌프 제어를 위한 권한을 관리한다. 사용자 아이디와 비밀번호를 입력하는 체계를 보다 쉽게 하기 위해서 관리자번호를 비밀번호로 사용할 수 있도록 한다.
- 펌프가동이력 테이블은 권한을 가진 사용자들이 펌프를 가동/중지 시킨 시간을 기록하여 펌프가동시간에 대한 이력을 조회할 수 있도록 한다.

① 테이블 목록

[표 3-1-7-11] 추가 테이블 목록

번호	테이블명(한글)	테이블명(영어)	길이	설명
1	펌프제어	TB_Control		펌프 가동/중지 명령을 기록
2	관리자정보	TB_MNGR		펌프제어 권한 인증 암호 저장
3	펌프가동이력	TB_CPLOG		펌프 가동/중지 이력 저장

② 펌프제어 테이블 설계

[표 3-1-7-12] 펌프제어 테이블 정의

테이블명		펌프제어		테이블ID		TB_CONTROL
번호	컬럼명	컬럼영문명	Key	Data Type	Null	정의
1	펌프ID	PumpID		VARCHAR(8)		펌프ID
2	펌프가동	PStatus		CHAR(1)		펌프가동여부
3	가동비율	Pvalue		INTEGER		펌프가동비율

③ 관리자 정보 테이블 설계

[표 3-1-7-13] 관리자 정보 테이블 정의

테이블명		관리자		테이블ID		TB_MNGR
번호	컬럼명	컬럼영문명	Key	Data Type	Null	정의
1	관리자번호	UID		VARCHAR(25)		관리자번호
2	등록번호	REG_ID		VARCHAR(100)		단말등록번호

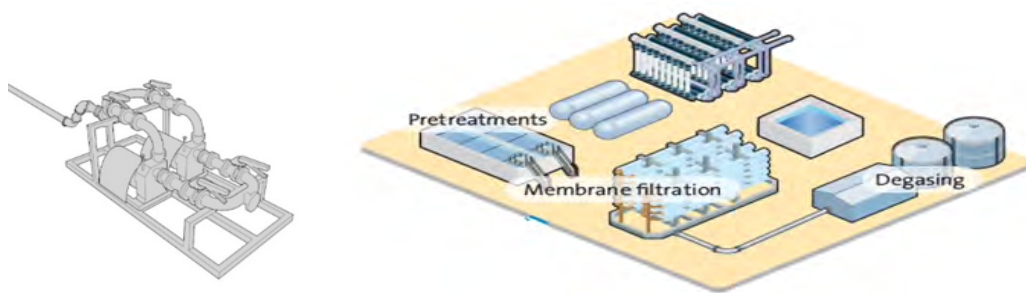
④ 펌프가동이력 테이블 설계

[표 3-1-7-14] 펌프가동 이력 테이블 정의

테이블명		펌프가동이력		테이블ID		TB_CPLOG
번호	컬럼명	컬럼영문명	Key	Data Type	Null	정의
1	펌프ID	PumpID		VARHCAR(8)		펌프ID
2	관리자번호	UID		VARCHAR(25)		관리자 번호
3	제어시간	CDate		VARCHAR(25)		제어시간
4	펌프가동상태	CStatus		CAHR(1)		펌프가동상태
5	펌프가동비율	Cvalue		INTEGER		펌프가동비율

(사) 화면 설계

- 현행 SCADA시스템은 일반적인 SCADA화면과 유사하게 모식도 형태로 구성되어 있다. 본 과업에서는 각 시설물의 위치와 형태를 쉽게 파악할 수 있도록 2.5D 형태의 화면으로 구성하도록 한다. 2.5D는 평면의 형태가 아니며, 3D개체를 시점 각도에 맞추어 표현한 이미지 기반의 모식도이다. 현행 시스템의
- 스마트 기기의 특성상 일반 컴퓨터 보다 화면이 작고 특히 스마트폰의 경우 복잡한 메뉴의 구성은 지양하고 가급적 메뉴의 이동이 적도록 설계하였다.



[그림 3-1-7-22] 3D 개체 및 2.5D 화면 구성(안)

(아) 개발환경 구성

- 스마트 관수로 서비스 프로토타입을 개발하기 위해 개발환경을 구성하고 개발을 진행 하였다. 개발용 서버는 소스코드, 관련문서, 공인IP확인서버로 활용하고, 앱서버개발, 앱 개발 장비는 개발자의 장비로서 앱 서버는 C#언어로 개발하고, 앱은 JAVA언어로 개발하였다. 개발한 앱을 테스트하기 위해서 가개통 상태의 스마트폰과 Wi-Fi전용 태블릿으로 테스트를 진행 하였다.



[그림 3-1-7-23] 개발환경 구성

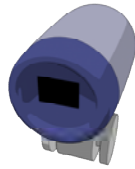
(자) 관수로 스마트 서비스 프로토타입 개발 및 결과

① 시설물 모델 제작

- 2.5D로 모식도 화면을 구성하기 위해서는 먼저 각 시설물에 대한 3D개체를 제작하였다. 제작된 3D모델로 현행 설치된 장비의 관수로 배치를 하여 이를 2.5D의 이미지로 제작하였다. 2.5D 이미지를 모식도의 배경으로 하여 스마트기기용 앱을 개발하였다.



유량조절밸브



압력계



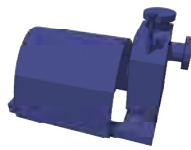
유량계



수분계 측센서



이물질 제거장치

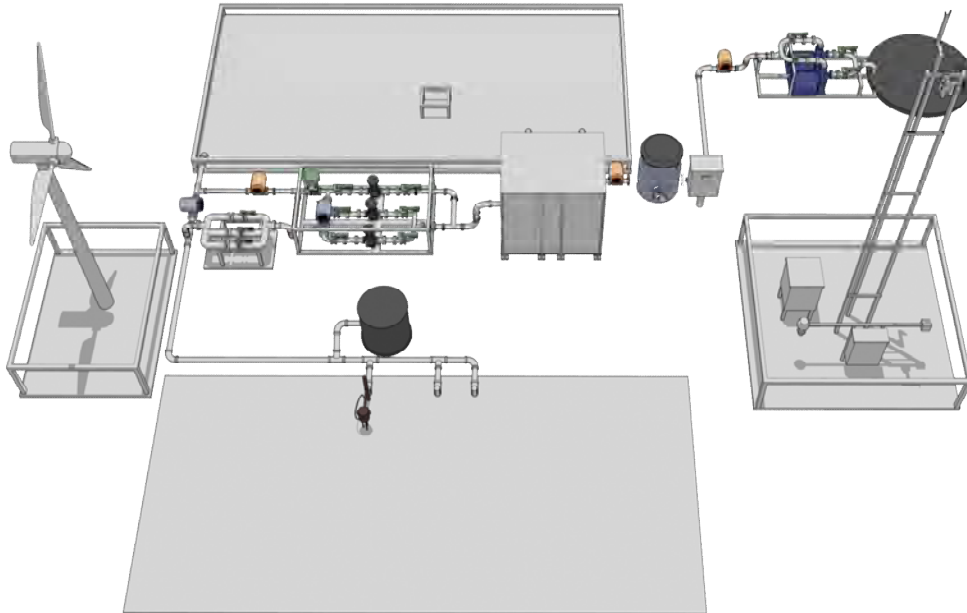


수조공급펌프



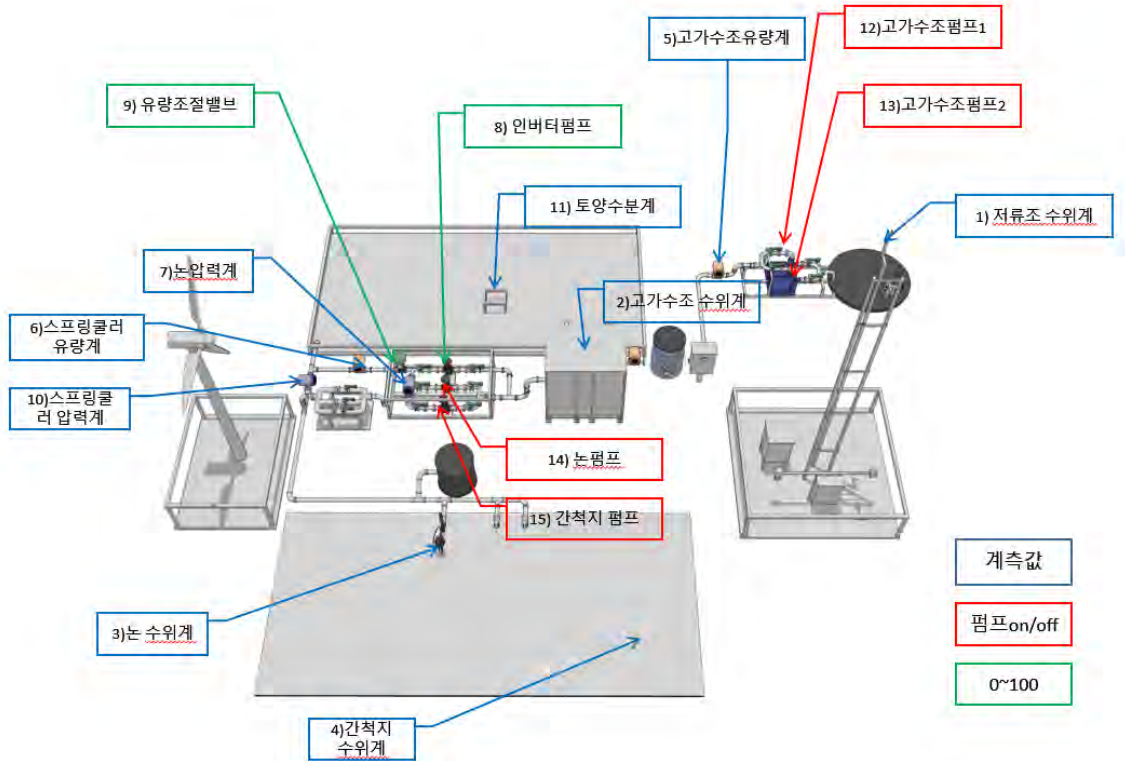
논/간척지/밭 펌프

[그림 3-1-7-24] 시설물 3D개체 제작



[그림 3-1-7-25] 시설물 관망 구성

○ 구축된 화면에 각 시설물의 명칭과 계측값 및 제어상태를 표시한다.



[그림 3-1-7-26] 시설물 구성 및 시설물 명칭

## ② 네트워크 구축

○ Wibro 서비스는 KT에서만 가능하고, 일반 서비스를 위해 egg단말기를 통해 Wibro 서비스를 연결한다. 도입한 egg단말기는 KWD-C2000 모델로서 2개의 LAN 포트가 있다. 최근의 egg단말기는 Wibro의 특성상 이동형/충전형/Wi-Fi 연결형으로 되어 있어 본 과업의 특성상 한계가 있어 본 모델을 선택하였다. egg단말기와 운영서버간은 LAN을 통해 연결하였다.

○ egg를 통해 네트워크를 연결하고 네트워크의 설정정보를 확인 할 수 있다. 일반적인 네트워크 공유기처럼 웹 브라우저를 통해 접속한다. egg로 구성된 네트워크에서 192.168.1.1로 접속하면 사용자 ID와 패스워드 입력을 통해 로그인한다.

○ ID : user

○ PW: psg101

○ 사용자 ID와 암호는 로그인 후에 변경이 가능하다.



[그림 3-1-7-27] Wibro egg 단말기

제작사	MODACOM
모델명	KWD-C2000
WiBro 특징	IEEE802.16e 2.3/2.5/3.5 GHz 95dBm
Wi-Fi 특징	유선 LAN 2port 동시접속 12대 Wi-Fi 802.11n 내부안테나 25dBm



[그림 3-1-7-28] egg 단말기 설정 조회 화면

③ 데이터베이스 구축

- 현행 운영 시스템에 데이터베이스를 설치하였다. 운영서버에 MySQL을 설치하고 설계된 테이블을 구성하였다. 현재 제공되고 있는 MySQL 최신버전은 5.7.9버전으로서 <http://dev.mysql.com/downloads/windows/installer/5.7.html> 페이지에서 mysql-installer-community-5.7.9.1.msi 파일을 다운로드 받아 설치하였다.

[표 3-1-7-15] MySQL 데이터베이스 접속 정보

항목	내용
user	psglobal
password	psg@102
host	localhost
database	smartirrigation

④ 기능개발

① 모니터링 기능개발

- 모니터링 기능은 계측기기의 계측값 및 펌프의 가동 상태를 화면에 표시한다. 2.5D로 구성된 화면위에서 각 시설물의 명칭과 계측값을 표시한다.

② 펌프제어 기능 개발

- 펌프의 가동을 제어하기 위해서 모니터링 화면에서 제어하고자 하는 펌프를 터치하고 있으면 서브 메뉴가 나타난다. 서브메뉴를 통해 시설물의 제원과 가동시간을 확인할 수 있다. 서브메뉴가 나타나면 제어버튼을 터치한다.

- 펌프의 제어는 등록된 사용자만 제어해야 하므로 펌프제어를 위한 관리자 비밀번호를 입력하도록 한다. 관리자 번호 입력 후 확인 버튼을 터치하여 관리자 인증을 수행한다.

- 관리자 인증이 완료되면 펌프를 제어하는 On/Off버튼이 나타나고 사용자가 터치하여 On/Off상태를 변경한다.

③ 밸브 개폐 조절

- 유량조절 밸브는 개도율을 조정하여 밸브를 조절하도록 한다. 밸브의 개폐율은 %로 설정하여 터치를 통해 좌우로 움직여 값을 설정하도록 한다. 설정이 완료되면 닫기 아이콘을 터치하여 화면을 닫는다. 인버터 펌프의 경우에도 펌프의 출력을 조정 할 수 있도록 기능을 개발하였다.

④ 제원 정보

- 서브메뉴에서 제원 버튼을 터치하면 선택된 시설물에 대한 제원정보창이 열리고 해당 시



설물의 사진과 제원을 표시한다. 닫기 버튼을 터치하여 제원정보창을 닫는다.

㉔ 펌프가동 시간 조회

- 선택된 펌프의 가동 시간을 조회하기 위해서 펌프를 길게 터치하고 표시되는 서브메뉴에서 가동시간을 터치한다. 기간을 설정하고 조회를 터치하면 해당 기간동안 가동된 이력을 표시한다.

㉕ 하드웨어 도입

- 개발된 앱을 테스트 하고 시범운영 하기 위해 스마트기기인 스마트폰과 태블릿을 각각 1대 씩 도입하였다. 스마트폰은 갤럭시 s6, 태블릿은 갤럭시탭s 10.5로 도입하였다. 스마트폰은 가개통 상태로 구매하여 추후 사용자의 USIM을 장착하여 사용할 수 있도록 하였다. 태블릿은 Wi-Fi를 지원하는 장비로 도입하여 Wi-Fi가 연결되는 지점에서 사용이 가능하도록 하였다.

[표 3-1-7-16] 도입 하드웨어 목록 및 사양

제품명	주요 사양	사진
갤럭시s6	엑시노트 Octa-core	
	2.1GHz + 1.5GHz	
	5.1인치	
	2560×1440 (QHD)	
	3GB RAM	
	32GB ROM	
	GPS/Bluetooth/Wi-Fi	
	2550mAh(내장형 배터리)	
	143.4×70.5×6.8mm/148g	
	안드로이드 롤리팝 5.0.2	
갤럭시탭S 10.5	엑시노트5 Octa-core	
	1.9GHz+1.3GHz	
	10.5인치	
	2560×1600(WQXGA)	
	3GB RAM	
	32GB ROM	
	GPS/Bluetooth/Wi-Fi	
	7900mAh 배터리	
	177.3×247.3×6.6mm/465g	
	안드로이드 킷캣 4.4	
egg단말기 KWD-C2000	IEEE802.16e	
	2.3/2.5/3.5 GHz	
	95dBm	
	유선 LAN 2port	
	동시접속 12대	
	Wi-Fi 802.11n	
	내부안테나	
	25dBm	



#### (4) 결과 및 요약

- 농업용 관수로 운영의 해외 사례를 조사 분석하여 다매체 기반의 운영관리가 가능한 농업용 관수로 스마트 서비스 기능(안)과 서비스 기법(안)을 제시하고 프로토타입을 개발하였다.
- 관수로의 구성 시설물인 관로, 계측기기, 펌프의 운영, 유지관리 비용 뿐만아니라 시스템으로 구현하기 위한 시스템 및 시스템 유지관리 비용에 대해서도 최소화 하는 방향을 서비스 기법을 제시한다.
- 관수로 스마트 서비스 앱의 모니터일 화면은 각 시설물을 3D개체로 제작하여 전체 관망을 구성하고 2.5D형태로 모니터링 화면을 구성 하였다. 현행 시스템을 원격지에서 모니터링 및 제어하기 위해서 기본적으로 광대역 네트워크 망에 연결되어야 하며, 이를 위해서 Wibro 방식의 서비스를 적용하였다. Wibro 방식은 국내에서 개발한 4G 통신방식으로 현재 KT 통신사를 통해 egg 단말기를 이용하여 서비스를 구성하였다.

## 8. 요약 및 결론

### 가. 논 용수 및 밭 용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발

#### (1) 한국형 스마트 관수로 시스템 모델 및 설계기술 개발

- 농촌용수 공급시스템의 한계를 극복하기 위하여 수자원의 분산저장 및 순환이용이 가능한 저류형 관망시스템에 ICT 기반 스마트 운영관리 요소기술을 융합한 한국형 스마트 관수로 시스템 모델을 제시하였다.

#### (2) ICT 융합에 의한 농촌용수 스마트 관수로 시스템 개발

- 농촌용수 관망에 ICT를 융합한 스마트 농촌용수 관수로 시스템 구축에 필요한 요소기술 5가지를 제시하였다.

- IOT 기반 관망운전제어 HMI (Agro-Smart Pipe HMI)

- 농업용 관수로 운영관리를 위해 AMI 계측시스템과 관망 유량, 수압 등 모니터링을 연계 호고, 펌프, 배수지, 논 수위, 밭 토양수분을 센싱하여 펌프 자동 운전이 가능한 IOT 기반 관망운전제어시스템을 제시하였다.

- 스마트 관망운전제어 App (Agro-Smart Pipe APP)

- 농업용 관수로 운영관리를 HMI와 연동하여 스마트폰 등 다매체 기반으로 관망을 모니터링하고 펌프, 밸브 등 제어가 가능한 스마트 관망운전제어 App을 개발하였다.

- 스마트 농촌용수 관망운영관리시스템 (Agro-Smart PipeNet)

- GIS를 적용한 관망도로 관망을 감시하고, 관망해석 결과에 따른 관수로 구간별 동수두 감시, 패턴관리, 유량과 수압 비교 등 관망 모니터링 및 해석 기능과, 펌프운영가동, 사용 시간, 가동률 비교가 가능한 운영관리시스템을 개발하였다.

- 농업용 관수로사고예방시스템 (Smart-Under Navi System)

- 지하매설 관의 노선을 GIS상에 표시하여 관 노선 관리가 용이하고, 스마트 센서로 누수 상황을 실시간으로 알려주며, 굴착공사로 인한 파손 등을 예방할 수 있는 실시간 관로사고예방 시스템을 접목하였다. 이 기술은 참여기업 기술로 스마트 파이프라인 시스템 구축에 필요한 융합기술이다.

- 농촌용수 스마트 AMI시스템(Agro-SmartAMI)

- 스마트 AMI시스템은 900MHz 기반 AMI 무선 네트워크 기술, 통합 RTU 시스템, AMI Network Management System (SW)을 이용하여 유량, 수압 등의 관망데이터를 실시간으로 취득하는 AMI 계측시스템이다. 농업용 관수로 파일럿 플랜트에 설치하여 실증시험하여 현장 적응성을 검증한 기술이다.

### (3) 저류지 이용 관수로 시스템 설계기술 개발

- 저류지 용량은 설계기준에 의거 수요량 기준으로 하여 용량을 결정하고 있으나, 이 경우 수요량 및 운영관리를 고려한 설계를 할 수 없다, 이를 개선하기 위한 관망해석 기법 이용 저류지 용량결정 시뮬레이션 기법을 제시하였다. 이는 향후 저류지 용량 설계시 활용이 가능하다.

### (4) 저압형 논관개 시스템 설계기술 개발

#### (가) 저압형 농업용수 전용관 개발

- 농지의 용수간선 및 지선이 개수로이고 용수지거가 관수로인 혼합 용수로 지구는 지거관로 수압이 낮으므로 고압관을 사용할 필요가 없다. 이를 개선하기 위하여 저압에도 사용이 가능한 친환경 농업용수 전용관 VA를 개발하였다.
- 이 관은 PVC 소재의 3층관 구조로 인장강도와 충격강도 등의 내구성 향상과 친환경 소재를 사용한 것이 특징으로 기존 PE 관에 비하여 판매 코스트를 18% 다운시킨 경제성을 확보하였다.

#### (나) 관배수로 설계기법

- 대구확화에 의한 대규모 농지조성 및 기계화 영농에 대비하고, 배수로 제초관리 등 유지관리 업무를 줄이기 위해서는 배수로를 지하에 매설하는 관배수로 형식이 필요하다. 관수로 형식의 지거 배수로 도입에 의한 대구확화 방법을 제시하고 관배수로 설계방법 및 사례를 제시하였다.

### (5) 신재생에너지 활용 발관개 시스템 설계기술 개발

#### (가) 발관개 시스템 개선방향 제시

- 발관개시스템의 전기 인입 시설을 대체하는 신재생에너지 활용 발관개 시스템을 제시하고, 토양수분계와 전동밸브로 관개가 가능한 발관개자동화 시스템의 모형을 제시하였다.

#### (나) 관로 내 마이크로 발전시스템 개발

- 관로 내 흐르는 물을 이용하여 발전하는 관로형 소형(마이크로) 발전장치 모형을 제시하고 발전시스템 모형을 제작하여 가능성을 타진하고, 관로내 마이크로 발전 도입방향을 제시하였다.

## 나. 강제수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발

### (1) 파이프라인 서징해석 프로그램 개발

- 비정상 해석을 위하여 EPANET의 절점수두법에 의한 관망해석 엔진을 강제수주이론 관망해석엔진이 탑재된 EPANET 기반 “강제 관망 서징해석 프로그램(Rigid PipeNet Surging Analysis Program, 이하 약칭 RPSAP)을 개발하였다. 이 프로그램은 저류지 용량 결정 및 관망 운영관리 및 관망해석에 활용할 수 있다.

## (2) 파이프라인 서징 시뮬레이션 기법 개발

- 수요량 변화에 대한 펌프 및 밸브 제어, 배수지-펌프 연계운영 방법을 강체수주이론 기반의 RPSAP 프로그램으로 관망운영관리 방법을 입력하여 관망의 비정상 상태를 해석할 수 있는 관망 서징해석 시뮬레이션 기법을 개발하였다.
- 강체수주이론에 의한 관망해석 프로그램은 이론으로만 알려진 관망해석 기법으로 EPANET와 같은 사용이 편리한 소프트웨어로 개발된 사례는 없었다. 이 프로그램은 향후 저류시설이 포함도니 관망설계시 저류용량 결정 및 관망 운영관리 프로그램 등으로 활용이 가능한 기법이다.

## 다. 스마트 파이프라인 시스템 Test-Bed 선정

### (1) 파일럿 플랜트 기본구상 및 설계

- 농업용 스마트 파이프라인 시스템의 기술개발 및 검증을 위하여 파일럿플랜트를 설치하여 요소기술을 검증하고, 테스트 베드지구를 선정하여 사례지구 Test-Bed를 선정하여 실용화 제안을 할 수 있는 기초설계를 실시하였다.
- 파일럿 플랜트는 관수로 시스템을 스마트화 하는데 필요한 요소기술을 반영하여 설치하여 현장과 유사한 조건에서 스마트 파이프라인 운영관리 요소기술을 검증하는 스마트 관수로 시스템 실제 모형을 구축하였다.
- 스마트 관수로 시스템 운영에 필요한 요소기술 시험은 스마트 감지 시스템, 스마트 AMI 시스템 및 관망운영관리 프로그램 등의 성능테스트에 활용하였다.

### (2) 테스트 베드지구를 선정 및 설계

- 스마트 관수로시스템 모형을 실용화하기 위하여 차년도에 선정한 영산강 4지구를 대상으로 하여 스마트 운영관리 시스템 구상하여 제시하였다.
- 단, 스마트 파이프라인 시스템 전체 요소기술 중 펌프 최적운전제어시스템, 실시간 관망 운영관리시스템, 관수로 이용 소수력 발전시스템만 제시하였다. 나머지 기술은 향후 사업단과 협의하여 실용화를 추진할 계획이다.

## 라. 농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용

### (1) 양수시설 최적 운영관리 기법 검토

- 관망시스템에서 사용되고 있는 펌프의 소비전력 절감을 위해서는 펌프의 운전효율 향상 및 운전제어 기법 개발이 필요하므로 현행 운전제어 기법과 모니터링 기법을 분석하여 IoT기반 양수장 펌프운전시스템 프로토타입을 개발하여 시험 검증하였다.
- 시험결과 전력효율이 3% 개선되었으며 이는 펌프가 커질수록 LCC전체에서 차지하는 비중이 전력이 높은 95%인 점을 감안하면 10년 동안의 LCC비용의 3%를 절감하는 효과는

장비 용량에 따라서 수억 원의 비용절감 효과가 기대된다.

(2) 국내외 파이프라인 최적설계 기술 분석

- 이진정수법을 활용한 최적 설계, 화음탐색법을 활용한 최적 설계 등 국내 관거 최적설계 기술과 국외 관거 최적 설계기술을 조사하였다.

(3) 파이프라인 시스템/펌프/양수시설 최적화 알고리즘 개발

- 관로 설계 및 운영을 위한 블록기반의 관망 모델링 및 관망해석이 가능한 통합 HMI 시뮬레이터(이하 PDCS)를 개발하였다.
- 이 시뮬레이터는 관로시스템을 미리 시뮬레이션 해 볼 수 있어 향후 설계 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 진화알고리즘을 이용한 최적설계 기법 개발

- 관수로의 최적 설계 중 가장 중요한 최적관경 산정을 위하여 유전자 알고리즘 모형을 제시하였다.

## 제 2 절 농업용 관수로의 안정성 및 내구성 확보를 위한 대책기술 개발

1협동

농업용 관수로의 안정성 및 내구성 확보를 위한 대책기술 개발

연구 목표	연구 내용	수행기관
부식/스케일, 침하, 지진에 강한 관중 선정 및 설계기술 최적화 연구	- Test Bed 현장 적용성 평가를 통한 최적 농업용 관중 선정 및 설계기술 개발	(재)한국계면공학연구소
	- 부식, 침하, 지진에 강한 관수로용 관중 선정 가이드라인 마련	
	- 관 파손감지시스템의 현장 성능평가 및 경제성 분석	
	- 관수로 유지보수 방법 고찰	

### 1. 서론

- 본 연구의 최종목표는 농업용 관수로의 안정성 및 내구성 확보를 위한 대책기술의 개발로 Smart Pipeline System의 기본 구성품인 관수로의 안정성 및 내구성 향상을 위한 대책기술을 개발하고자 한다. 안정성 및 내구성 향상을 위한 대책으로는 설계 수준에서의 부식, 침하, 지진에 강한 관중을 선정 방안 및 관파손 감지 시스템과 운영 수준에서의 유지보수 방안 등이 있다. 따라서, 본 연구에서는 설계시의 관중을 선정할 수 있는 가이드라인을 마련하고, 기존의 관수로 유지보수 방법을 검토하여 농업용 관수로의 유지보수 방안을 마련하고자 한다.
- 관파손 감지 시스템은 IT기술을 활용하여 지하매설물을 실시간으로 감시하는 기술로, 과년도에 관수로의 파손 및 누수를 감지하기 위한 감지 시트, 감지 테이프, 누수감지 센서, 실시간 감시장치 등을 개발하였으며, 인증기관의 성능평가를 받았다. 따라서 해당 연도에는 관파손 감지시스템의 현장성능 평가를 통한 사업화의 기초를 마련하고자 하였다. 구체적으로 파일럿 플랜트 운영을 통해 현장에서의 시스템의 운영 성능 평가를 수행하였으며, 설치 및 운영 매뉴얼을 작성하고, 경제성 분석을 실시하여 시스템 도입의 경제적 타당성을 평가하였다.
- 농업용 관수는 크게 금속관과 비금속관으로 구분되며, 금속관의 주된 문제인 부식현상에 대한 문헌 고찰 및 실험을 수행하였다. 또한, 비금속관의 주된 문제에 대하여 문헌 고찰을 수행하였다. 현장에서의 농업용 관수로의 설치 및 운영에 대한 문제를 파악하고 매뉴얼에 반영하기 위하여 현장 실태조사를 수행하였으며, 현장 실무운영자와의 면담조사를 통해 현장 상황을 파악하였다. 또한 타 분야의 문헌자료를 고찰하여 농업용 관수로에 맞는 관중 선정 및 유지관리 매뉴얼을 개발하고자 하였다.

## 2. Test Bed 현장 적용성 평가를 통한 최적 농업용 관중 선정 및 설계기술 개발

### 가. 국내 농업용수 원수 특성 파악

#### (1) 배관의 부식 평가 방법

- 관 내부의 부식을 예측하기 위하여 수질에 대한 관의 부식을 정량적으로 평가할 수 있는 기법이 꾸준히 개발되었다. 아래 [표 3-2-2-1]에 관의 부식 정도를 평가하기 위해 개발된 다양한 분석 방법들을 정리하였다. 이러한 부식 평가 기법은 관체 평가의 직·간접 여부에 따라, 부식에 의한 관 표면의 손상 정도와 표면의 부식 생성물(Corrosion product)을 다양한 측정 장비를 이용하여 분석하고 그 수명을 예측하는 직접평가 기법과 부식에 의해 오염된 수돗물을 채취하여 수질의 변화 정도를 평가하는 간접평가 기법으로 구분된다.

[표 3-2-2-1] 관의 부식평가 기법

구 분	내 용
직접평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 물리적 조사</li> <li>• 부식을 측정</li> <li>• 박편 무게 감소 측정법</li> <li>• 루프시스템 무게 감소 측정법</li> <li>• 전기화학적 부식속도 측정법</li> <li>• 실험실 침지시험</li> <li>• 화학적인 분석</li> <li>• 현미경 분석</li> </ul>
간접평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수돗물 불만 사항 조사</li> <li>• 부식성 지수               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탄산칼슘 포화에 의한 지수</li> <li>- Langelier Saturation Index</li> <li>- Ryznar Saturation Index</li> <li>- 기타 부식성 지수</li> </ul> </li> </ul>

#### (가) 직접평가 방법

##### ① 물리적 조사

- 물리적 조사 방법은 육안조사, 현미경 조사 등을 통해 관내부와 외부의 부식 진행도와 부식의 유형을 평가하는 방법이다. 육안조사는 관내부 및 외부 부식 손상 부위에 대한 육안 조사를 통해 이루어지는데, 부식생성물의 두께, 결절, 흠의 발생 정도 및 재료의 파손 등을 확인하고 평가하는 방법이다. 이 방법은 빠르고 쉬운 방법으로 부식을 확인할 수 있다는 장점이 있으나, 조사 결과의 정량화가 어렵다는 단점이 있다. 현미경 조사는 다양한 현미경을 사용하여 전처리과정을 거친 시편의 표면을 측정 장비를 이용하여 관찰하는 방법이다. 현미경 조사 방법은 시편의 전처리를 위해 시간이 많이 소요되는 단점이 있으나, 육안조사 방법에 비해 미세한 관찰이 가능한 장점이 있다.

##### ② 무게감량법(Weight loss method)

- 무게감량법은 금속에서 균일부식이 일어난다는 가정하에, 부식으로 인한 무게의 손실량을 측정하여 금속의 부식속도를 예측하는 방법으로 통상 침지시험(Immersion test)이라 칭하

기도 한다. 이 방법은 부식시험용 시편을 일정기간동안 부식 분위기에 노출시켜 부식을 통한 질량 감소량을 측정하며, 이를 통해 평균적인 시편의 부식속도를 유추해 내는 시험 분석 기법이다. 때문에 물리적 조사에 비해서 부식으로 인한 재료 수명 예측이 유리하고, 시험법이 간단하므로 부식을 조사하고 확인하는데 자주 사용된다.

- 배관 부식에 대한 무게감량법은, 분석 대상이 되는 금속의 표면을 화학적, 물리적으로 세척하여 이물질을 제거한 이후, 이를 수돗물에 침지시켜 부식의 진행을 유도한다. 일정 시간동안 수돗물에 재료를 노출시킨 후 꺼내어 무게감량을 측정하는데, 무게감량법을 통해 얻고자하는 부식속도는 아래의 식을 통해 환산된다(ASTM G1).

$$\text{부식도(Corrosion Rate)} = \frac{K \times \text{무게손실량(g)}}{\text{표면적(cm}^2\text{)} \times \text{밀도(g/cm}^3\text{)} \times \text{침지시간(hr)}}$$

[표 3-2-2-2] 부식도 계산을 위한 상수 K 값

부식도	부식도에 따른 상수 K 값
mils per year(mpy)	$3.45 \times 10^6$
inches per year(ipy)	$3.45 \times 10^3$
inches per month(ipm)	$2.87 \times 10^2$
millimeters per year(mm/y)	$8.76 \times 10^4$
micrometers per year( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	$8.76 \times 10^7$
picometers per second(pm/s)	$2.78 \times 10^6$
grams per square meter per hour( $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )	$1.00 \times 10^4 \times \text{밀도(g/cm}^3\text{)}$
milligrams per square decimeter per day(mdd)	$2.40 \times 10^6 \times \text{밀도(g/cm}^3\text{)}$
micrograms per square meter per second( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )	$2.78 \times 10^6 \times \text{밀도(g/cm}^3\text{)}$

### ③ 전기화학적 부식속도 측정방법

- 전기화학적 측정방법은 재료의 전기화학적 특성을 조사하는 방법이다. 해당 방법은 상대적으로 비용과 기술이 많이 들어 소규모 시설에서 사용하기에는 적합하지 않다. 배관을 조성하는 재료를 시험함으로써 배관의 전기화학적인 수명을 예측하거나 기부식된 관체를 절단한 후 분석하여 관내부의 부식 진행정도를 파악하기 위하여 사용되는 방법이다. 전기화학적 부식속도 측정방법에는 Tafel 외삽법, 전기화학적 임피던스분광법, 갈바닉 전류를 이용한 방법 등이 있다. 전기화학적 방법에서는 자연 전위(부식전위라고도 함) 근처에서 전위와 전류사이의 선형적인 관계가 존재한다는 분극특성을 이용하여 분극량을 조정하여 전류의 크기를 측정하며, 이를 이용하여 부식속도의 측정이 가능하다.

### (나) 간접평가 방법(부식성 지수를 이용한 간접 평가)

- 부식성 지수를 이용한 부식의 평가방법은 부식의 발생여부를 예측하고 부식성수질 조절에 대한 정보를 제공하는데 이용되지만, 관체의 부식에 대한 정보는 제공되지 않는다. 부식성지수를 이용하여 물의 부식성 여부를 간단히 평가할 수 있으며, 부식성 지수는 탄산



칼슘침전의 원리에 기초를 둔 지수와 다른 수질 화학인자들에 관계되는 부식에 기초를 둔 지수로 분류된다.

- 탄산칼슘 침전원리에 근거한 지수들 가장 대표적인 방법이 Langelier Saturation Index(LSI)이며, Ryznar Index(RI), Aggressiveness Index(AI), Momentary Excess(ME)와 Calcium Carbonate Precipitation Potential(CCPP) 등이 있다. 그리고 기타 화학종이나 경험식에 의한 평가방법으로 Larson Ratio(LR), Riddick Corrosion Index(RCI), Corrosion Rate(CR), Buffer Intensity(BI), Casil Index(CI), Fiengenbaum Index(FI) 등이 있다.
- 부식성 지수를 이용하여 부식성을 평가하는 경우, 각 방법에 따라서 상이한 결과가 나올 수 있다. 즉 어떤 지수에 의해 부식성(Corrosive)으로 평가된다고 할지라도 다른 지수에 의해서는 비부식성(noncorrosive, stable)으로 평가될 수 있다. 그리고 수질부식성의 예측 결과와 모의배수관망이나 현장실험결과가 서로 다르게 도출되는 경우도 존재하며, 아래 [표 3-2-2-3]에 대표적인 부식성지수들에 대하여 정리하였다.

[표 3-2-2-3] 국내 · 외에서 이용 중인 부식성 지수

부식성지수	계산식	부식성 평가
Langelier Saturation Index (LSI)	$LSI = pH_a - pH_s$	LSI > 0 : non corrosive LSI = 0 : equilibrium LSI < 0 : corrosive
Aggressiveness Index (AI)	$AI = pH + \log(Ca)(Alk)$	AI > 12.0 : non corrosive AI 10.0 ~ 11.9 : corrosive AI < 10.0 : high corrosive
Calcium Carbonate Precipitation Potential (CCPP)	$CCPP = [-b + (b^2 - 4ac)^{0.5}] / 2a$	CCPP > 0 : calcium carbonate precipitation CCPP < 0 : non precipitation a = 2 b = $-2[Ca^{2+}] - Alk$ c = $(Alk[Ca^{2+}] - K_{so}/2) - [Ca^{2+}]$
Saturation Index(SI)	$SI = \log[IAP_x/K_x]$	SI > 0 : non corrosive SI = 0 : equilibrium SI < 0 : corrosive
Ryznar Stability Index (RSI)	$RSI = 2pH_s - pH$	RSI < 5.5 : high scale formed 5.5 < RSI < 6.2 : scale formed 6.2 < RSI < 6.8 : low scale formed 6.8 < RSI < 8.5 : corrosive 8.5 < RSI : high corrosive
Larson's Ratio (LR)	$LR = \frac{[Cl^-] + 2[SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]}$	LR > 0.4 : corrosive LR < 0.4 : non corrosive
Riddick Corrosion Index(RCI)	$RCI = (75/Alk) \times [(CO_2 + 0.5(Hard - Alk) + Cl^- + 2NO_3^-) \times [10/SiO_2] \times [(DO_2^+)/DO_{sa}^+]$	0 < RCI < 5 : scale formed 6 < RCI < 25 : non corrosive 26 < RCI < 50 : mild corrosive 51 < RCI < 75 : moderate corrosive 76 < RCI < 100 : high corrosive 101 < RCI : heavy corrosive
Buffer Intensity (BI)	$BI = \frac{\Delta Alk}{\Delta pH}$	BI > 0.5 : good corrosivity
Driving Force Index (DFI)	$DFI = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]}{K_{so} * 10^{10}}$	DFI < 0 : corrosive
Fiagenbaum Index (FI)	$FI = AH + B[Cl^- + SO_4^{2-}] \exp(-1/AH) + C$	FI > 500 : mild corrosive FI 200 to 500 : moderate corrosive FI < 200 : high corrosive A = 0.00035, B = 0.34, C = 19.0, H = hardness, Cl <sup>-</sup> & SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)

① LSI(Langelier Saturation Index)

- LSI는 수중 탄산칼슘 침전 경향을 판단하는 지표로서 Langelier가 1936년 개발하였다. LSI는 물의 pH와 알칼리도 및 포화 pH(pH<sub>s</sub>)의 관계로부터 관 표면에 탄산칼슘이 얇은 막으로 침전되어 스케일을 형성할 것인지 여부를 예측할 수 있는 지수이다. 만약 탄산칼슘 피막이 상수도관 내벽에 형성되면, 수돗물에 의한 관 표면의 부식이 억제된다.
- 아래 식에서 pH<sub>s</sub>는 칼슘이온농도나 혹은 알칼리도 값에서 탄산칼슘으로 포화되었을 경우 물의 pH이며, pH<sub>a</sub>는 실제 물에서 측정된 pH이다. 일반적으로 LSI 계산에 필요한 정보는 총 알칼리도, 칼슘농도, 이온세기 또는 TDS를 이온세기로 환산한 값, pH, 온도 그리고 pH<sub>s</sub>이다.

$$LSI = pH_a - pH_s$$

$$pH = \text{측정된 물의 pH}$$

$$pH_s = \text{포화상태의 물의 pH} = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$A = (\text{Log}_{10} [\text{TDS}] - 1)/10$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (^\circ\text{C} + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log}_{10} [\text{Ca}^{2+} \text{ as CaCO}_3] - 0.4$$

$$D = \text{Log}_{10} [\text{alkalinity as CaCO}_3]$$

- 위 수질항목을 통해 예측한 LSI로 아래의 수식과 같이 물의 부식성을 평가한다. LSI > 0 이면 물이 탄산칼슘으로 과포화되어 있는 상태인데, 이는 탄산칼슘 스케일이 생성될 가능성이 크다는 것을 나타내어 관내부 부식이 억제될 수 있음을 의미한다. LSI = 0 이면 물이 탄산칼슘으로 포화되어 있다는 것을 알 수 있다. 또한 LSI < 0 이면 물이 불포화되어 있고 고체 탄산칼슘이 용해된다는 것을 의미한다.

LSI = pH<sub>a</sub> - pH<sub>s</sub> > 0 : 탄산칼슘의 과포화 (스케일 생성경향)

LSI = pH<sub>a</sub> - pH<sub>s</sub> < 0 : 탄산칼슘의 불포화 (스케일 생성하지 않음)

- 또한 LSI < 0에 대해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

-2.0 ≤ LSI ≤ -1.0 : 약한 부식성

LSI ≤ -2.0 : 심한 부식성

## ② AI(Aggressiveness Index)

- AI는 이 지수는 아스베스토스로 코팅된 시멘트 파이프에서 수온이 4~27°C(40~90°F)의 범위에 대하여 부식성을 평가하기 위해 개발되었다. 아래의 수식을 이용하여 계산하며, Rossum and Murrill(1983)은 AI는 LI와 다음과 같은 관계가 성립하는 것을 증명하였다.

$$AI = pH + \text{Log}_{10} [Ca^{2+}][Alk]$$

$$pH - pH_s = LI = AI - 12$$

- AI가 10이하는 높은 부식성을, 10과 12사이는 보통 부식성을, 12이상은 부식성이 없다는 것을 나타낸다.

## ③ RSI(Ryznar Saturation Index)

- RSI는 Ryznar가 1944년 개발한 탄산칼슘지수의 함수로, 해당 지수를 이용하여 강관에서 부식속도와 막형성에 대한 예측이 가능하다. 이 지수는 수학적·화학적인 판단에 의해 정의된 것으로 이론적인 정당성은 없다. 물의 pH가 pH<sub>s</sub>를 초과하면 탄산칼슘이 침전될 가능성이 있어 높은 경도와 알칼리도 경향을 나타낸다. 일반적으로 RSI 값을 변화시키기 위해서는 물의 pH<sub>s</sub>를 조정해야 한다. 탄산칼슘 포화상태와 침전가능성을 계산하는 여러 다른 방법들에는 적용하기 어려우며, 다음의 식을 통해 계산된다.

$$RSI = 2 pH_s - pH$$

$$pH = \text{측정된 물의 pH}$$

$$pH_s = \text{포화상태의 물의 pH} = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$A = (\text{Log}_{10} [\text{TDS}] - 1)/10$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (^\circ\text{C} + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log}_{10} [Ca^{2+} \text{ as } CaCO_3] - 0.4$$

$$D = \text{Log}_{10} [\text{alkalinity as } CaCO_3]$$

- RSI 지수는 값에 따라 다음의 부식 현상을 의미한다.

RSI < 5.5 : 스케일이 많이 형성됨.

5.5 < RSI < 6.2 : 스케일이 생성될 가능성이 있음.

6.2 < RSI < 6.8 : 적당함.

6.8 < RSI < 8.5 : 물의 부식성이 있음.

8.5 < RSI : 물의 부식성이 매우 큼.

④ LR(Larson' s Ratio)

- 염소이온과 황산이온과 같은 반응성 있는 음이온들은 금속을 부식시키는 양극에서 강산을 형성하며, 반면 중탄염과 같은 이온은 약산을 형성하고 보호스케일을 형성한다. LR은 관내부 부식을 가속화시키는 염소이온과 황산이온의 농도와 상수도관 내벽에 스케일을 형성시켜 부식억제에 기여하는 중탄염의 농도를 비교하여 부식성 수질 여부를 판단하도록 개발되었으며, 아래와 같은 식을 이용하여 계산한다.

$$LR = \frac{[Cl^-] + [SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

- LR > 0.4 : 강 부식성
- LR < 0.4 : 약 부식성

(2) 국내 수원의 수질에 따른 부식성 평가

- 앞서 정리된 부식지수들을 이용하여 한강 수계와 낙동강 수계의 계절별 수원의 수질에 따른 부식성을 평가하였다.

(가) 한강 수계 수원의 부식성 평가

- 한강수계의 부식지수를 산정하여 그 결과를 [표 3-2-2-4]에 나타내었다. LI는 사계절 모두 음의 값으로 산정되어 부식성 수질로 판단되며, AI는 계산 결과 대부분 10이하로서 부식성이 있는 수질로 판단되었으며, 이는 LI의 산정결과와 일치하였다.
- RI는 8.5이상이면 부식성이 매우 크다는 것을 나타내는데, 사계절 모두 부식성이 큰 것으로 조사되었고, LR도 역시 0.4이상이 계산되어 부식성이 심한 것으로 판단되었다.

[표 3-2-2-4] 한강수계 수원의 부식성 평가 결과

부식성 지수	계절		
	겨울	봄/가을	여름
LSI	-2.2 ~ -1.0	-1.8 ~ -1.4	-1.9 ~ -1.4
AI	9.7 ~ 9.8	10.0 ~ 10.4	9.8 ~ 13.0
RSI	9.64 ~ 11.26	9.8 ~ 10.4	9.8 ~ 10.8
LR	0.9 ~ 1.0	0.8 ~ 0.9	0.7 ~ 0.9

(나) 낙동강 수계 수원의 부식성 평가

- 낙동강수계의 부식지수를 산정하여 그 결과를 [표 3-2-2-5]에 나타내었다. 낙동강수계의 경우 한강수계보다 경도와 알칼리도가 약 30%이상 높았지만, 부식성 수질을 나타내고 있었다. LSI는 사계절 모두 음의 값이 측정되면서 부식성 수질로, AI는 10.0 ~ 11.9의 범위로 산정되어 부식성 수질로 판단되었다. RSI는 8.5이상이 되어 부식성이 심한 것으로 조사되었고, LR도 역시 0.4이상이 계산되어 부식성이 심한 것으로 판단되었다.

[표 3-2-2-5] 낙동강 수계 수원의 부식성 평가 결과

부식성 지수	계절		
	겨울	봄/가을	여름
LSI	-1.6 ~ -1.2	-0.9 ~ -1.6	-0.8 ~ -1.8
AI	10.4 ~ 10.8	10.2 ~ 10.9	10.0 ~ 10.8
RSI	9.6 ~ 10.2	9.2 ~ 10.2	8.9 ~ 10.6
LR	0.7 ~ 1.5	0.9 ~ 1.2	0.9 ~ 1.1

## 나. 국내 실정에 맞는 최적 관수로 선정

- 관수로는 크게 금속관과 비금속관으로 구분될 수 있으며, 농업용 관수로에 사용하는 금속관으로는 주철관, 덕타일 주철관, 강관 등이 있으며, 비금속관으로는 PE관, HDPE관, PVC관 등이 있다. 본 연구에서는 금속관과 비금속관의 주요한 문제점들에 대해서 고찰하고, 이를 해결할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.
- 금속관의 주된 문제점인 부식영향을 평가하기 위하여 다양한 농업용수에 대한 금속의 부식을 평가하였으며, 비금속관의 문제점을 파악하기 위하여 현장조사를 수행하였다. 연구 결과는 아래와 같다.

### (1) 농업용수 수질에 따른 금속관의 부식

#### (가) 실험 방법 및 재료

- 농업용수에 이용되는 수원으로는 지표수로서 하천수와 저수지수, 기수가 있으며, 지하수 또한 경우에 따라서 농업용수로 사용되고 있다. 용수의 수질은 주변 토양 성분과 해수와 의 접촉여부에 따라서 다양하게 변화한다. 따라서 아래 [표 3-2-2-6]과 같은 다양한 원수를 취수하여 금속의 부식에 대한 평가를 수행하였다.

[표 3-2-2-6] 부식평가에 사용된 다양한 농업용수

지하수(천안시 L농가)	하천수(미호천)	저수지수(오창저수지)	금호호(영산강사업단)
			

- 원수의 성상을 파악하기 위하여 pH, 탁도, 알칼리도, 칼슘경도, 부유물질, 전기전도도, 염


소이온, 황산이온, 철, 6가 크롬을 분석하였으며, 금속의 부식정도를 평가하기 위하여 ASTM G1의 방법을 따라 시편의 무게감량을 측정하여 부식도와 부착도를 산출하였다([표 3-2-2-7 참조]).

[표 3-2-2-7] 부식평가에 사용된 다양한 농업용수

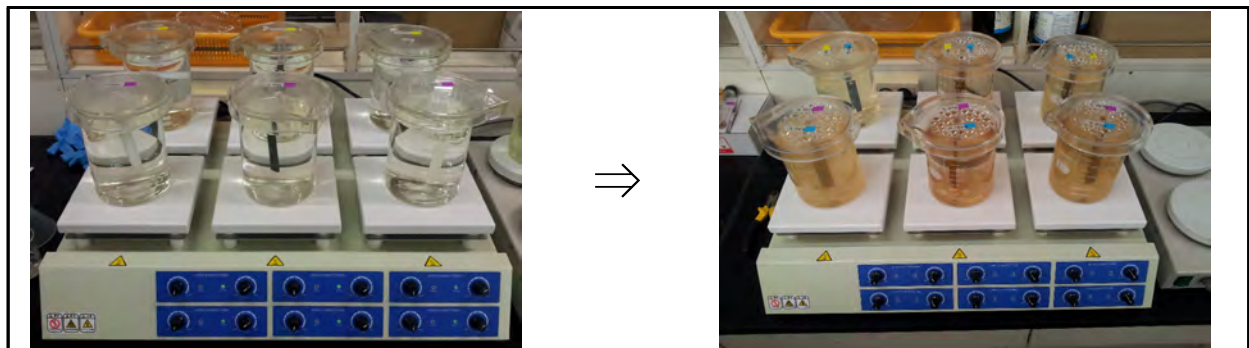
항 목	분 석 방 법
pH	Metrohm, 827
전기전도도	HANNA
탁도	HACK, 2100P
알칼리도	수질오염공정시험방법
칼슘경도	수질오염공정시험방법
SS	수질오염공정시험방법
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cr <sup>6+</sup> , Fe, Cl <sup>-</sup>	C-MAC, Qvis3000

- 부식실험에 이용한 시편은 아래 [표 3-2-2-8]과 같다. 아래의 부식시편의 표면처리를 위해 120grit 사포를 이용하여 광택이 나도록 표면을 갈아낸 이후에, 아세톤으로 표면에 부착되어 있을 수 있는 유기물을 세척하였다. 이후, 증류수로 세척하여 80℃ 건조기에서 건조하여 무게를 측정하였다.

[표 3-2-2-8] 부식평가에 사용된 탄소강 시편

규 격	시편 사진
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1.2cm × 7.5cm × 0.2cm 크기로 제작하여 상부에 0.5cm의 지름의 고정용 홀 타공</li> <li>- 단면적/부피 : 19.36cm<sup>2</sup>/2.64cm<sup>3</sup></li> </ul>	

- 이후 아래 [그림 3-2-2-1]과 같이 1L 용량의 비커에 지하수, 하천수, 저수지수, 담수의 시료를 각각 1L씩 채운 후, 150rpm으로 교반을 수행하였다. 시간 경과에 따른, 부식도와 부착도를 측정하였다.



[그림 3-2-2-1] 탄소강 시편을 이용한 부식평가 실험 장치

- 실험장치의 운영 이후 5일, 15일차 시편의 무게변화와 수질항목을 분석하였으며, 시편의 부식도와 부착도는 아래의 식들을 이용하여 측정하였다.

$$\text{부식도(mdd)} = \frac{\text{무게손실량(mg)}}{\text{표면적(dm}^2\text{)} \times \text{침지시간(day)}}$$

$$\text{부착도(mcm)} = \frac{\text{무게손실량(mg)} \times 1,000}{\text{표면적(cm}^2\text{)} \times \text{침지시간(month)}}$$

(나) 실험 결과

- 농업용수에 따른 탄소강 시편의 부식실험 결과, 시간 경과에 따라 부식이 상당히 진행되는 것으로 나타났다. 물론 농업용수별로 부식되는 정도의 차이가 있었으며, 시간 경과에 따른 시편의 표면 상태는 아래 [표 3-2-2-9]와 같다.

[표 3-2-2-9] 시간경과에 따른 탄소강 시편의 표면 부식정도

구분	5일	15일	30일
지하수			
하천수			
저수지수			
담수			

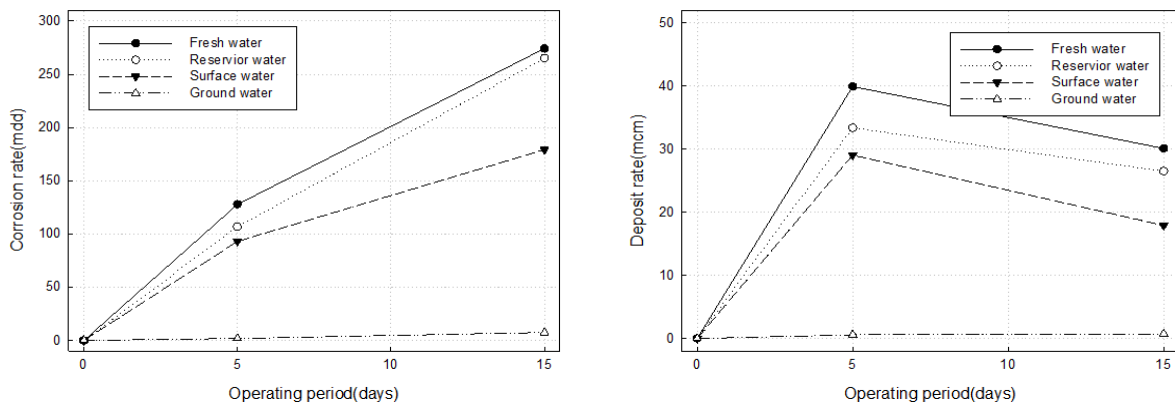


- 시편 부식에 따른 수질변화를 파악하기 위하여 수질을 분석한 결과, 대다수의 항목에는 큰 변화가 없었으나, 철 용출로 인한 철 농도 증가와 녹 생성에 의한 탁도 증가가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 수질 분석 결과는 아래 [표 3-2-2-10]과 같다.

[표 3-2-2-10] 부식평가에 사용된 다양한 농업용수

구 분	측 정 결 과										
	pH	탁도 (NTU)	알칼리도 (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	칼슘경도 (mg/L)	부유물질 (mg/L)	전기 전도도 (μS/cm)	염소 이온 (mg/L)	황산 이온 (mg/L)	철 (mg/L)	6가크롬 (mg/L)	
지하수	원수	7.9	0.1	80	76	0	225	0.03	5.00	0.00	0.00
	5일	8.2	2.2	76	64	0	222	0.02	5.00	0.18	0.00
	15일	8.3	14.8	72	60	4	227	0.20	7.00	0.24	0.01
하천수	원수	7.8	1.0	64	52	4	246	0.07	13	0.07	0.01
	5일	8.1	36.6	64	44	8	213	0.12	13	2.93	0.01
	15일	8.2	46.0	46	34	14	158	0.14	13	3.04	0.01
저수지수	원수	7.8	32.8	72	36	16	170	0.05	8	0.07	0.01
	5일	7.9	60.8	72	32	40	158	0.13	7	2.44	0.06
	15일	8.1	72.7	50	28	52	147	0.15	9	2.93	0.05
담수	원수	7.7	21.7	64	62	36	376	0.16	19	0.32	0.03
	5일	8.2	57.7	52	40	60	348	0.44	21	2.5	0.04
	15일	8.4	78.2	44	26	68	312	0.62	23	3.12	0.05

- 농업용수에 따른 부식 실험 결과는 아래 [그림 3-2-2-2]와 같다. 시편 무게감량법을 이용하여 부식도와 부착도를 측정된 결과, 부식도와 부식도는 담수가 가장 높았고 저수지수, 하천수, 지하수 순으로 측정되었다.



[그림 3-2-2-2] 탄소강의 부식실험 결과(좌: 부식도, 우: 부착도)

(Fresh water: 담수, Reservoir water: 저수지수, Surface water: 하천수, Ground water: 지하수)

- 따라서, 농업용수별로 부식정도의 차이가 있는 것을 확인하였으며, 금속관을 이용하는 경우에 용수별 부식성을 판단하여 부식에 대한 대책을 마련하는 것이 필요할 것으로 판단

하였다.

## (2) 비금속관의 농업용 관수로 적용 시의 문제점

- 비금속재질(PE, PP, PVC)의 관수로는 내부식성 및 내염해성이 우수하고 운반의 용이하다는 장점들을 가지고 있어 농업용 관수로로 활용되고 있다. 그러나 금속관에 비해 강도가 약하고 대구경에는 적용할 수 없다는 단점이 있어 적용의 한계가 있다.
- 특히, 비금속관은 금속관이나 콘크리트 관에 비해 내화학성이 높기 때문에 하수관거에 적용된 사례가 많으며, 꾸준히 적용 사례가 증대되고 있다. 그러나 하수관거에서 발생하는 문제에 대한 환경부의 조사에 따르면, 하수관거 이음부위 이상이 56.5%, 관 침하가 3.2%, Infiltration/Inflow가 3.4% 등으로 관의 이음부에서 발생하는 문제와 이로 인한 누수 문제가 전체 문제의 60%에 달하는 것으로 나타난다(계형산, 2012). 즉, 비금속관은 연결부위가 취약하여 이로 인한 다양한 문제가 발생할 수 있음을 의미한다.
- 따라서 농업용 관수로에 비금속관을 적용한 현장 운영 사례의 조사 및 검토를 통해 비금속관의 농업용 관수로 적용시의 문제에 대한 대응 방안을 제시하고자 하였다. 현장조사에 대한 전체 내용은 본 보고서의 다음 챕터에서 확인이 가능하며, 본 절에서는 비금속관의 적용 사례에 대해서만 언급하였다.

### (가) 현장 실태조사

- 현장조사 지역 중, 비금속관을 사용하고 있는 지역은 석문간척지구, 확장지구, 강서지구이었다. 석문간척지구는 간선에 콘크리트 개거(22%)를, 지선과 지거에 PE 이중벽관(78%)을 사용하고 있었다. 확장지구는 간선에 PE 피복강관(22%), 지선과 지거에 PE관(78%)을 사용하고 있었으며, 강서지구는 간선과 지선에 도복장강관(34%), 지거에 PE관(66%)을 사용하고 있었다.
- 강서지구는 하우스 화훼 작물을 재배하는 지역으로 낙동강 본류에서 용수를 취수하여 모래여과를 거친 이후에 공급하고 있었다. 따라서 관 내부의 협잡물 등에 의한 폐색 문제가 없었으며, 하우스 운영의 특성상 24시간 4계절 용수를 공급하고 있기 때문에 관 내부의 확인이 불가능한 상황이었다. 현장 담당자와의 면담조사 결과, PE관 사용으로 인한 문제점은 특별히 없는 것으로 확인되었다. 다만, 관경의 한계로 인해 전단의 농지에 용수를 공급할 경우에 후단에 용수 공급이 제대로 되지 않는 문제가 발생하고 있었다.
- 확장지구는 용수 공급시스템 전체에 관수로가 적용된 지역으로, 2013년부터 운영을 시작하여 관수로 시스템이 2년 넘게 운영되고 있다. 간선에는 PE 피복강관을 사용하고 있으며, 지선과 지거에는 PE관을 사용하고 있다. 유말공이 설치되지 않아서 지거 말단부가 토사나 협잡물 등에 의해 폐색되는 문제가 발생하고 있었으며, 특히 급수 개폐기의 보호조치가 취해지지 않아 농기계 등으로 인한 파손이 있었다. PE 재질의 급수 개폐기의 파손은 연결된 PE관의 파손으로 이어져, 빈번한 누수가 발생하였다. 또한, 급수 개폐기가 사

용 내압을 견디지 못해 터지는 문제가 발생한 사례가 있었으며, 이로 인한 농민들의 민원이 발생하고 있었다. 한편, 매설된 PE관이 농기계로 인해 파손되는 경우도 있었으나, 운영인력의 부족으로 이의 신속한 발견이나 조치가 어려운 실정이었다.

- 석문간척지구는 용수공급을 위해 간선에는 콘크리트 개거를, 간선과 지선에는 PE 이중벽관을 이용하고 있었다. 확장지구와 마찬가지로 토사나 협잡물로 인한 관 폐색 문제가 발생하고 있었으며, 관 파손시의 위치 파악이 어려운 상황이었다.
- PE 이중벽관은 일반적으로 하수관거에 이용되는 내부 압력이 낮은 경우에 사용되는 관종이다. PE 이중벽관은 버트용착 방법을 통해 연결하며, 석문간척지구에서는 내압에 취약한 이음부가 파손되는 문제가 빈번하게 발생하고 있었다.
- 비금속관을 농업용 관수로에 이용하는 경우에 있어 재질의 강도가 낮아 파손이 금속관에 비해 빈번하게 발생하는 것으로 나타났으며, 특히 이음부가 취약한 단점이 있었다. 또한 관수로의 특성상 유입되는 토사나 협잡물 등으로 인해 말단부가 폐색되는 문제가 빈번히 발생하고 있었으나, 이는 비금속관의 문제가 아닌 설계시의 유말공 설치나 여과시스템의 미비로 인한 것으로 나타났다.
- 결론적으로, 관수로 선정에 있어서 금속관이나 비금속관 둘 중 어떤 관종을 선정하는 것이 유리하다고 결정하기에는 무리가 있다. 다만, 금속관은 부식문제에 대한 대책이 필수적이며, 비금속관은 농기계 운영으로 인한 파손이나 이음부가 취약한 문제가 있어 이에 대한 대책이 마련되어야 한다.

## 다. 관수로의 현장 적용 기술 및 운영 가이드라인 제시

- 앞서 관수로에 이용되는 금속관과 비금속관의 주된 문제점을 파악하였으며, 이를 보완하기 위한 현장 적용 기술 및 운영 가이드라인을 제시하고자 하였다. 비금속관의 현장 적용에 따른 이음부 문제에 대한 대책 기술을 제시하였으며, 특히, 비금속관의 현장 적용 문제점을 보완하기 위하여 본 연구를 통해 개발한 관파손 감지시스템의 현장 적용 사례와 운영 가이드라인을 제시하였다. 금속관의 현장 적용에 따른 부식 문제를 저감하기 위한 방안에 대해서는 다음 챕터의 관종 선정 가이드라인에서 제시하였다.

### (1) 관수로의 현장 적용 기술

#### (가) 비금속관의 이음부 접합 기술

- 국내에서 이용되고 있는 비금속관은 재질에 따라 HDPE, PE, PP, PVC으로 분류되며, 관의 단면 형태에 따라 일반벽관과 구조형벽관으로 나누어진다. 이 중 지중에 매설되는 관의 특성상 토압과 운압 등의 하중을 견뎌야하기 때문에 구조형 벽관이 관수로에 주로 이용되고 있다. 또한, 구조형벽관은 재질에 따라 강도가 다르기 때문에 내·외면의 형태가 다양하게 제조되고 있으며, 제조사에 따라 같은 재질이라 하여도 성분의 차이가 있다.

- 때문에 제품의 사용과 시공 시에 제조업체별 외경 및 수축률의 차이로 인한 관의 치수 불일치 등의 문제가 발생하며, 현장에서의 이음 시공 시 수밀성 문제가 발생하고 있다. 이로 인해, 시공 이후 운영 시에 이음부가 약화되어 이음부에서의 누수, 부등 침하 등의 문제가 발생하고 있다. 따라서 관련된 제품의 규격화와 이음 기술에 대한 개발 요구가 증가하고 있는 실정이다. 비금속관을 연결하는 기존의 이음 방식은 크게 기계식 이음방식과 용착방식으로 나누어지며, 각각의 장단점은 아래 [표 3-2-2-11]과 같다.

[표 3-2-2-11] 비금속관의 연결 방식

구분		원리	장·단점
기계식 이음	플랜지 방식 소켓방식 STS 밴드 방식	고무링에 의한 누수차단	- 시공이 용이함. - 고가이며, 고무 노화에 의한 누수 발생
용착 이음	맞대기 용착 열수축 슬리브 압착 전기시트 용착	이음부의 용융 및 부착 (용착포 이용)	- 현장 시공이 어려움 (시공시 전문가 필요). - 빈번한 누수 발생

- 농업생산기반정비사업계획설계기준에 명시된 것과 같이 용착이음방식으로 관을 연결하는 경우에 내수압 강도의 검토가 필요하며, 필요에 따라 이음부를 보강하기 위한 기술의 적용이 필요한 것으로 판단된다. 또한, 기계식 이음방식의 경우에, 이음부 누수를 감시하기 위한 기술의 도입 시, 보다 효율적인 운영관리가 가능할 것으로 판단된다.

## (2) 관파손 감지 시스템의 현장 적용 사례 및 운영 가이드라인 제시

### (가) 관파손 감지 시스템의 개발 및 현장 적용 사례

#### ① 관파손 감지 시스템의 개요

- 본 연구를 통해 개발한 관파손 감지 시스템은 매설관의 효율적인 운영관리를 위한 기술로, 원격감시 장치를 활용하여 운영자 및 관리자에게 관 파손 및 누수 발생에 대한 정확한 위치와 감시 정보를 송신해 손상된 관을 신속하게 보수하여 용수 손실 및 2차 사고를 예방할 수 있는 기술이다.
- 구체적으로 관 상부에 매설된 1차 감지시트의 손상을 실시간으로 관리자에게 경고함으로써 관의 손상을 예방하고, 관에 부착된 2차 감지시트의 손상여부의 파악을 통해 관 외면의 노후 상태 등을 객관적으로 파악 할 수 있는 기술이다. 또한, 관의 이음부에 누수센서와 수밀커버를 설치하여 부등 침하 및 부식에 의한 파손으로 발생하는 누수를 감시할 수 있는 기술이다. 아래 [그림 3-2-2-3]에 개발된 관 파손 감지시스템의 개념도를 나타내었다.



[그림 3-2-2-3] 관 파손 감지 시스템의 개념도

○ 관 파손 감지 시스템의 동작 순서는 아래 [표 3-2-2-12]와 같다.

[표 3-2-2-12] 관파손 감지 시스템의 동작순서

순서	세부 설명
1. 이벤트 발생	- 관파손 감지 시스템이 도입되어있는 현장에서 공사를 수행하다가, 시공되어 있는 “제1차 감지시트” 또는 시설물에 부착되어 있는 제2차 감지시트나 감지테이프의 감지선이 파손되어 끊어지거나, 연결부 누수발생시, 이벤트가 발생함.
2. 이벤트 감지	- 원격감지장치는 연결되어 있는 감지선에서의 이벤트 발생여부를 실시간으로 감시하여, 이벤트 발생 시에 지점까지 감지선의 길이를 산출하고 해당 정보를 서버로 전송함.
3. 위치 표시	- 수신된 이벤트 정보를 분석하여 전자지도 위에 위치를 지도상에 표시함.
4. 관리자 알람	- 이후, 서버에서 관리자와 중장비 기사의 단말기로 이벤트 발생 사실을 알려, 작업을 중단하고 관리자가 출동할 수 있도록 함.
5. 현장 복구	- 위치 및 이벤트 정보의 확인 후, 조치에 필요한 정보를 사전에 파악하여 현장 복구를 신속히 수행할 수 있도록 함. 복구 완료 이후에는 복구 이력 정보를 기록하여 관리할 수 있도록 함.

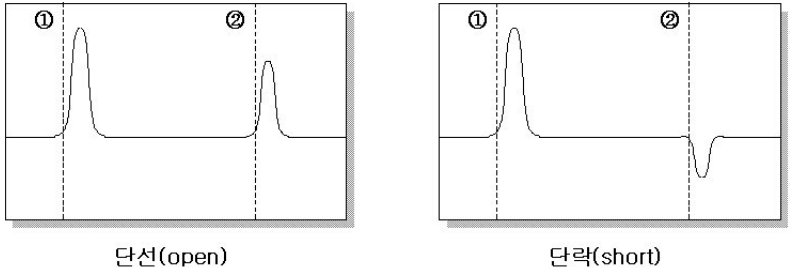
② 관파손 감지 시스템의 운영 원리

○ 관 파손이나 누수 위치를 찾아내는 중요한 역할을 수행하는 원격감시장치는 자동 거리 측정 장비로 그 작동 원리는 다음 [표 3-2-2-13]과 같다. 특히, 매설되는 관의 연장이 늘어날수록 펄스 신호의 정확성이 떨어지기 때문에, 200m마다 점검구를 설치하여 시공 시에 보정계수를 산정함으로써 파손 위치 추적 정확도를 향상 시킬 수 있다.

[표 3-2-2-13] 관파손 감지 시스템의 동작순서

순서	세부 설명
파손누수 확인	- 원격감시장치에 내장된 계측기기에 관 외면에 감겨진 스마트시트(테이프) 및 파이프와 이격되어 설치된 스마트 경고시트의 삽입된 감지관과 연결시킨 후 펄스파를 송출해 감지선이 단선되거나, 연결부 감지센서에 쇼트가 발생되면 이 사실을 메인서버로 알림.
거리 측정	- 우선 원격감시장치에 내장된 계측기기가 감지선에 연결되어 감지선에 펄스파를 송출하고 결점(단선-open, 단락-short)에 도달한 펄스파는 다시 반향파가 생성되어 계측기로 돌아오게 됨. 이 반향파를 수신한 계측기는 송출에서 수신까지의 걸린 시간을 계산하고 도선의 전송속도를 곱하여 결점까지의 감지선 길이를 산출함.  거리(파손 누수 위치) = 도선의 전송속도 x 반향파 도달시간
파손-단선(Open)/누수-단락(Short)의 판단	- 원격감시장치는 수신된 반향파를 분석하여 단선인지 단락인지 결점의 원인을 찾음. 결점분석유형은 아래의 그림처럼 단선 또는 단락인 두 경우로 구분됨. - 단선은 관 외면에 부착된 스마트시트나 스마트경고시트에 삽입된 감지선이 끊어진 경우 발생하고, 단락은 누수로 감지센서에 쇼트가 생긴 경우 발생함. - 즉, 감지선이 끊어졌는지 연결부에 누수가 발생되었는지 이러한 유형 변화에 따라 판단함.

[표 3-2-2-13] 관파손 감지 시스템의 동작순서 (계속)

순서	세부 설명
파손-단선(Open)/누수-단락(Short)의 판단	- 단선과 단락시의 펄스 신호는 아래 그림과 같이 나타남.  
GIS 기반 위치 확인	- 누수(파손) 탐지 GIS의 지형 데이터베이스는 실 지역 지도의 레이어를 바탕으로 새로운 레이어를 추가하여 누수탐지 파이프 레이어를 만든 후 누수(파손) 탐지 GIS를 위한 감지관 관경, 감지관 길이, 감지관 도선길이, 원격 감시 제어기 위치 등의 속성을 데이터베이스화 함. - 파손거리 계산 및 보정 모듈은 레이어 추출 모듈에서 저장한 레코드 셋과 펄스 신호기에서 전송된 누수정보를 바탕으로 누수위치를 산출 후, 레이어 추출 모듈에서 저장한 모든 레코드 셋을 다 가져오지 않고 시스템 성능 향상을 위해 검색 대상이 되는 누수 감지관 데이터베이스의 레코드 셋만 가져오는 것이 더 효율적임. 누수위치를 계산하기 위해서는 먼저 감지관 내의 도선 길이를 구해야하는데 공식은 아래의 식과 같음.  $\text{도선길이} = \text{감은 수} \times \text{피치 경사도}^*$ * 피치 경사도 : 피치와 관경의 삼각 비율
누수/파손위치의 계산	- 스마트 예방시트나 관 외면에 부착되는 스마트 시트(또는 테이프)는 관경, 관중, 매설 깊이 등이 일률적이지 않음. 따라서, 스마트 예방시트나 스마트시트에 내장된 감지선 길이는 시공 시에 감지선 보정길이(보정계수)를 측정하여 정확한 누수/파손위치의 계산에 이용함. 누수/파손위치를 계산하기 위한 공식은 아래와 같음.  $\text{누수(파손)위치} = \text{감지관 길이} \times (D + \text{보정계수}) / \text{감지관에 삽입된 도선길이}$ $D = \text{감지관 도선길이}$ - 산출된 누수(파손) 위치는 GIS 정보와 연계되며, 관제센터에서 현장에 나가지 않더라도 정확한 누수(파손)위치를 파악할 수 있음.



③ 관파손 감지 시스템의 현장 적용 사례

- 본 연구를 통해 개발된 관파손 감지 시스템의 현장 성능을 확인하기 파악하기 위하여 참여업체에서 기존에 현장에 적용한 사례를 소개하고자 한다. 개발 기술은 아직 농업 분야에는 적용된 사례가 없으며, 하수처리장, 폐수처리장 등에 활용되고 있다. 본 기술의 현장 적용 사례는 아래 [표 3-2-2-14]와 같다.

[표 3-2-2-14] 관파손 감지 시스템 현장 적용 사례

시공일	설치위치	개요
2013.06	- 남양주시 삼패하수처리장	- 하수차집관거(PE, 700mm)
2013.10	- 광주광역시 기아공장 폐수처리장	- 배수관거(PE, 주철, 100mm)
2015.05	- 서산시	- 재이용수 이송관(GRP, 500mm)

- 남양주 삼패하수처리장에 도입된 관파손 감지 시스템은 하수차집관거의 보호 및 유지관리를 목적으로 하고 있다. 하수의 특성상, 협잡물이 많이 존재하기 때문에 PE관이 이용되고 있었으며, 시스템을 설치한 총연장은 1.8km이다. 아래 [그림 3-2-2-4]는 남양주 삼패하수처리장에 관 파손 감지 시스템을 설치하는 사진이다.



[그림 3-2-2-4] 관 파손 감지 시스템 현장 설치 사진(삼패하수처리장)

- 삼패하수처리장의 차집관거에는 관파손 예방 시트와 관파손 감지 테이프가 도입되어 외부 영향인자로 인한 차집관거의 파손을 예방할 수 있으며, 관의 파손을 직접적으로 감시할 수 있도록 시스템이 도입되었다.
- 광주 기아공장 폐수처리장에 도입된 관파손 감지 시스템은 산성 폐액 배수관거의 보호 및 유지관리를 목적으로 하고 있다. 산성 폐액의 경우, 관 파손에 의해 외부로 누출되면 심각한 환경영향을 초래하기 때문에 이를 미연에 방지하기 위한 관파손 감지 테이프와 보호커버 및 누수감지 센서가 도입되었다. 아래 [그림 3-2-2-5]는 기아공장 폐수처리장에 관 파손 감지 시스템을 설치하는 사진이다.



[그림 3-2-2-5] 관 파손 감지 시스템 현장 설치 사진(기아공장 폐수처리장)

- 기아공장 폐수처리장에 매설되어 있는 관은 PE관과 주철관으로, 총연장은 3.3km이다. 공장 내부 부지에 관이 매설되어 있기 때문에 외부 공사로 인해 관이 파손되는 경우를 배제하여 관파손 예방 시트는 설치되지 않았다. 다만 부등침하 등으로 인한 이음부 파손이 우려되어 보호 커버와 누수감지 센서가 도입되었다.
- 서산시는 물부족으로 인해 하수처리수를 재이용하기 위한 여러 가지 노력을 수행하고 있으며, 이를 이용하기 위한 재이용수 이송 배관을 보호 및 유지관리하기 위해 본 기술을 도입하였다. 아래 [그림 3-2-2-6]는 서산시 재이용수 이송배관에 관 파손 감지 시스템을 설치하는 사진이다.



[그림 3-2-2-6] 관 파손 감지 시스템 현장 설치 사진(서산시 재이용수 이송배관)

- 관파손 감지 시스템이 도입된 재이용수 배관은 GRP배관으로 총연장은 960m이다. GRP관의 특성상 이음부가 취약하기 때문에 보호커버 및 누수감지 센서를 도입하여 이음부를 강화하고 발생할 수 있는 문제를 실시간으로 감시하고자 하였다. 또한 관파손 예방 시트와 관파손 감지 테이프를 도입하여 관의 파손을 예방하고, 파손을 실시간으로 감시하고자 한다.



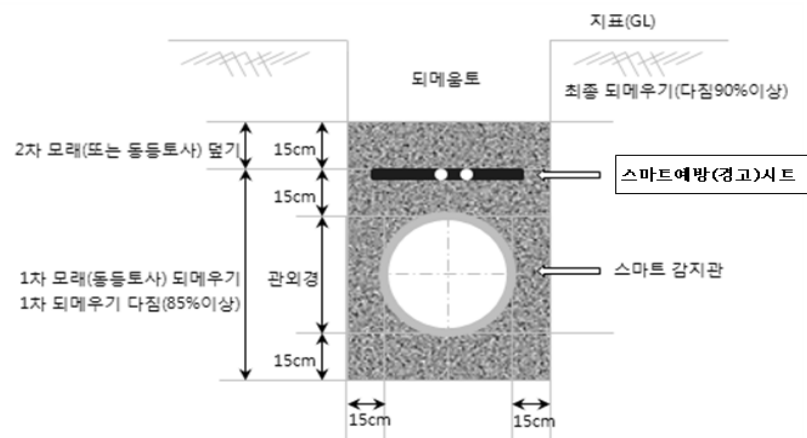
(나) 관파손 감지 시스템의 현장 설치 및 운영 가이드라인

- 본 연구를 통해 농업용 관수로의 보호 및 유지관리를 위한 관파손 감지 시스템을 개발하였으며, 이의 설치 및 운영을 위한 가이드라인을 마련하였다. 구체적으로 관파손 감지 시스템을 설치하는 구체적인 방안과 시스템의 운영에서의 주의사항들에 대하여 수록하였다.
- 본 시스템은 농업용 관수로가 타 공사중 중장비에 의해 파손되는 것을 예방하는 시스템으로 시공 중 감지선이 손상되지 않도록 하는 것이 매우 중요하다. 따라서 시공자는 파이프를 접합 시공 후 파이프 상단으로부터 약 15cm에 모래를 부설하고, 그 위에 스마트예방(경고)시트를 설치한 다음 자갈 기타 날카로운 돌에 감지선이 손상되지 않도록 상단에 10cm의 고운 모래를 부설하여 마감한다. 그리고 약 200m마다 점검구를 설치하고, 약 4km마다 원격감시장치를 설치한다(다만, 필요할 경우 파이프 시공 전에 스마트시트를 미리 부착할 수 있다).
- 본 시스템은 스마트 예방 시트와 점검구, 원격감시장치로 구성되며, 각각의 구체적인 설명은 아래 [표 3-2-2-15]와 같다.

[표 3-2-2-15] 관파손 감지 시스템의 구성

구성품	내용
관파손 예방/감지 시트	- 파이프 상단 약 15cm에 설치하여 굴착공사 중 파손될 때 중장비 기사 및 관리자에게 경고를 알릴 수 있도록 일정간격 지그재그 형태로 제작된 제품
점검구	- 시공중 감지선 파손여부와 거리보정을 위해 약 200m마다 설치
원격감시장치	- 측정기기로서 스마트시트, 스마트예방시트에 삽입된 감지선의 절단여부와 누수 감지센서의 작동여부를 확인하는 장치

- 관파손 예방/감지 시트의 경우, 농업용 관수로를 매설하고 관 상단 15cm까지 모래를 부설한 후 스마트예방시트를 관로 상단을 따라 부설한다. 스마트예방시트를 연결할 때는 시트에 내장된 감지선을 인출한 후 전용 연결재를 사용하여 결선하고 연결재에 물이 들어가지 않도록 연결재 보호테이프로 마감한 후 약 10cm 폭 이상의 부틸시트로 상, 하부를 붙여 마감처리 한다. 다만, 시공 중 감지선이 절단된 경우에는 감지선을 절단한 다음 전용 연결재를 이용하여 연결하고 그 부위를 부틸이 부착된 연결재 보호테이프로 부착하여 마무리 한다. 본 시스템의 개략적인 설치도는 아래 [그림 3-2-2-7]과 같다.



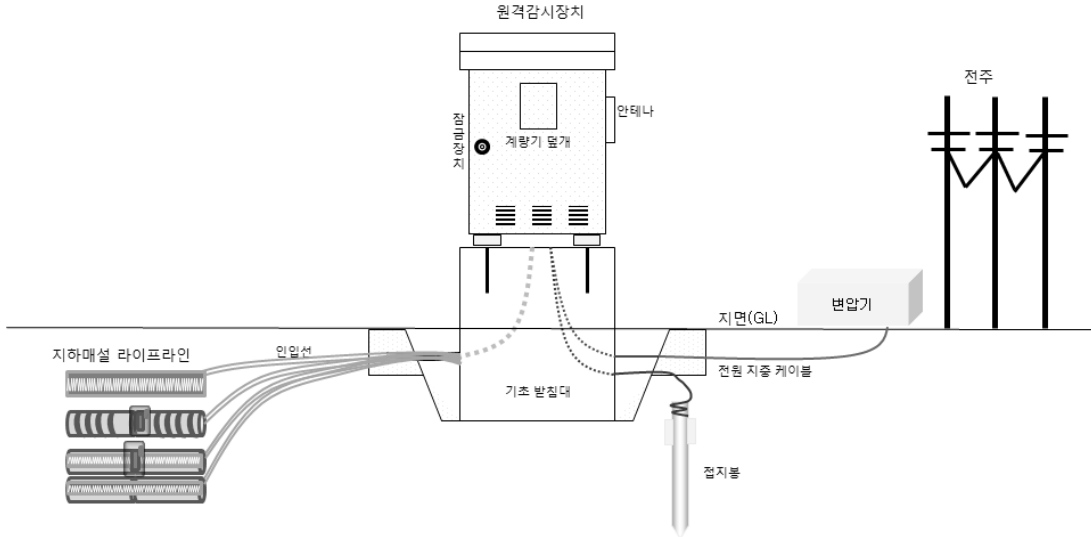
[그림 3-2-2-7] 관 파손 감지 시스템의 설치도

- 시스템 점검구는 시공 중 또는 운영 중에 현장에서 시스템에 대한 파손 및 누수를 점검하고 파이프의 위치를 찾는 데 사용된다. 소형철괴를 사용하며 포장지면과 동등한 레벨로 마무리 하며, 아래 [표 3-2-2-16]과 같이 현장에서 뚜껑을 열고 그 속에 있는 감지선에 TDR를 연결하여 검측할 수 있도록 설치한다. 설치는 약 200m에 한 개소 설치를 원칙으로 하며, 가능한 등 간격으로 설치한다. 기존 맨홀 등의 시설물이 있을 경우에는 이를 활용할 수 있다.

[표 3-2-2-16] 시스템 점검구 설치도

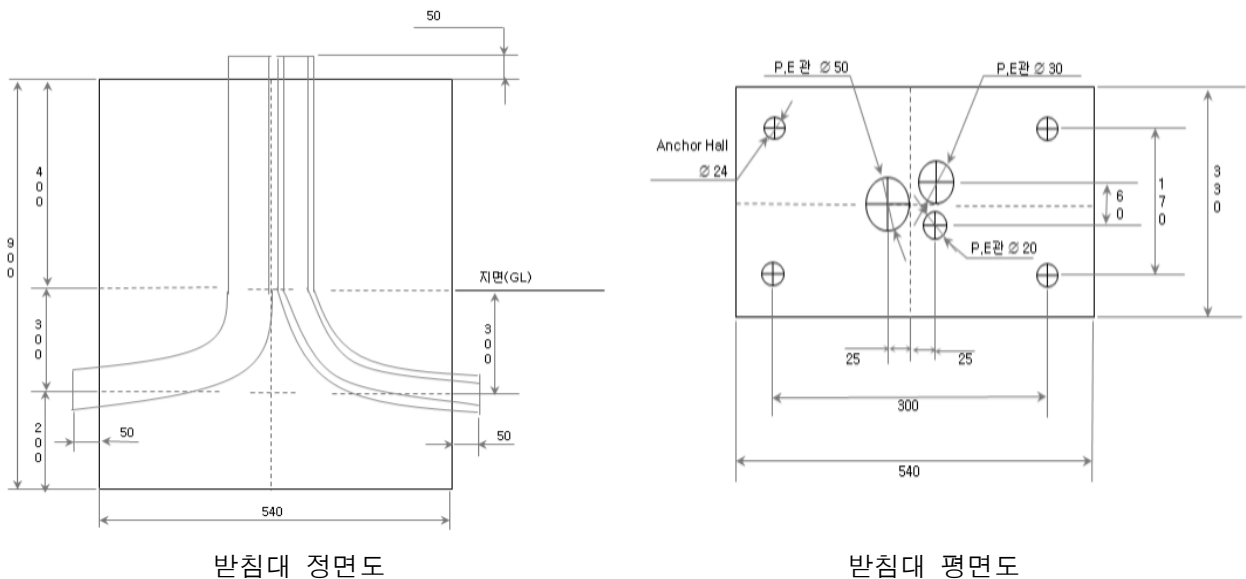
번호	도면(또는 사진)	시공설명
Type 1		- 제수변보호용 변실을 이용할 경우 시공방법은 좌측도면에 따라 시공
Type 2		- 맨홀형 점검구가 있을 경우 시공방법은 좌측도면에 따라서 시공
Type 3		- 신규 소형 철괴형 점검구를 이용할 경우 시공방법은 좌측도면에 따라서 시공
Type 4		- 신규 맨홀형 점검구를 이용할 경우 시공방법은 좌측도면에 따라 시공

- 원격 감시장치를 농업용 관수로 시공현장에 설치 할 경우에 아래 [그림 3-2-2-8]과 같이 시공한다. 시공은 외함작업, 전기인입 작업, 받침대 작업 부분으로 나누어져 있으며, 각 부분의 시공은 아래와 같은 방법으로 시공한다.



[그림 3-2-2-8] 원격감시장치의 설치도

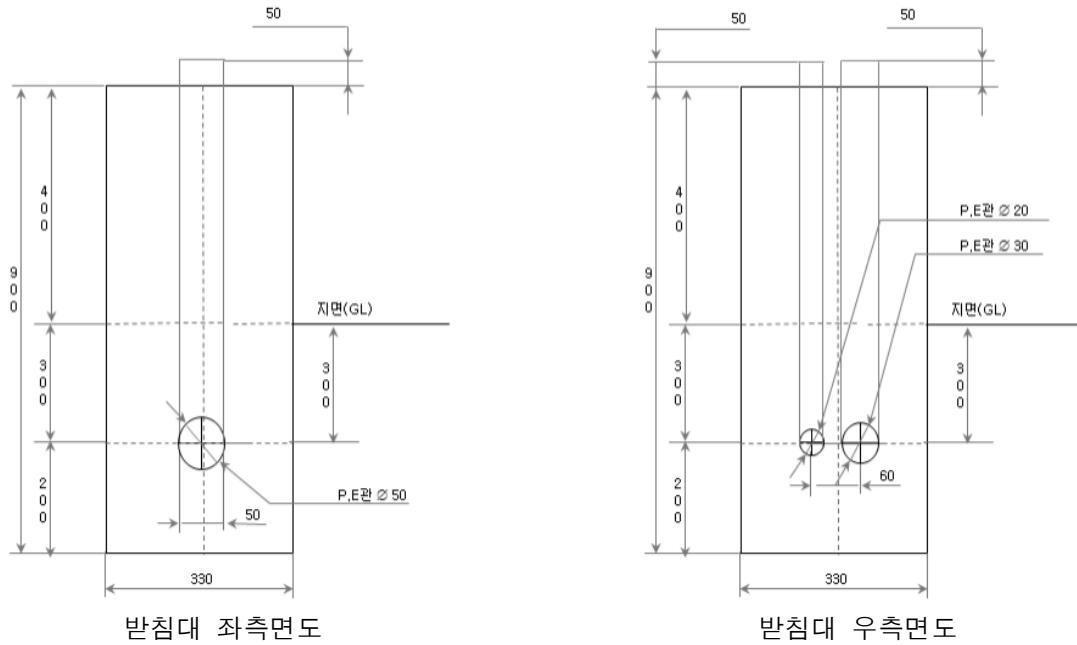
- 시공절차는 기초 받침대 제작 및 터파기 - 지중 케이블 결선 및 매설 - 원격감시제어장치 판넬 설치 - 프로그램 설정 및 운영 가동의 순으로 진행된다.
- 원격감시장치의 설치를 위해서는 기초 받침 구조물이 필요하며, 해당 구조물을 제작할 때 아래의 [그림 3-2-2-9], [그림 3-2-2-10]을 바탕으로 거푸집을 짜고 콘크리트를 타설하여 제작한다.



받침대 정면도

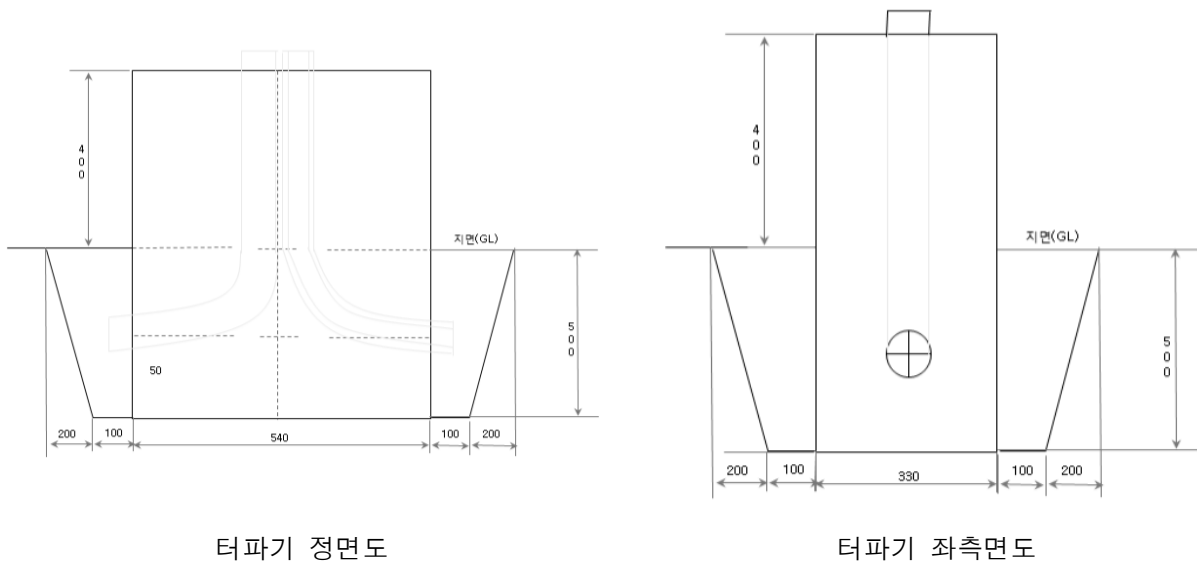
받침대 평면도

[그림 3-2-2-9] 받침대 도면(정면도 및 평면도)



[그림 3-2-2-10] 받침대 도면(좌측면도 및 우측면도)

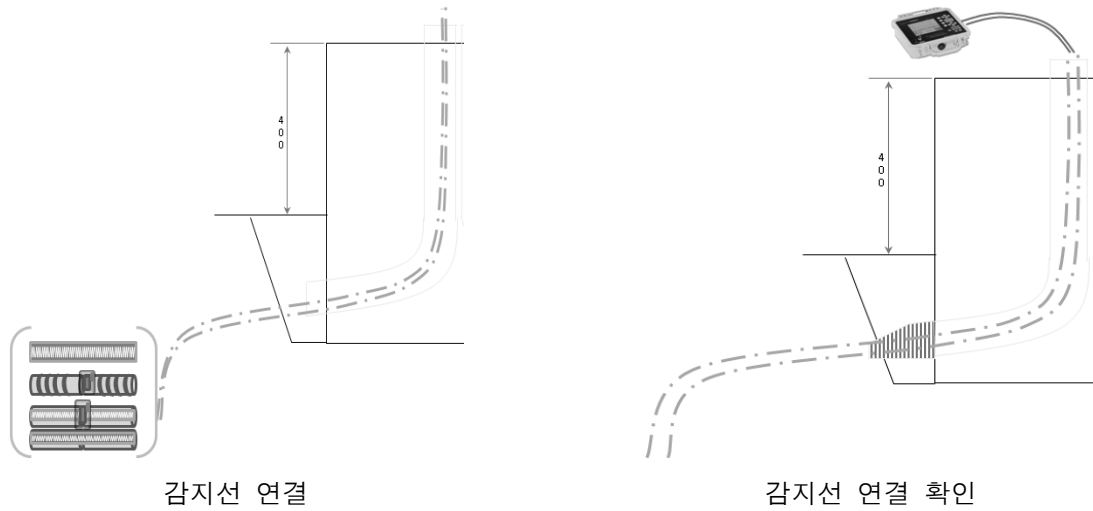
- 기초 받침대 제작이 완료되면, 설치 장소에 터파기를 진행하며, 터파기의 크기는 아래의 [그림 3-2-2-11]을 참고한다. 터파기 후에 기초 받침대를 설치하고 수평이 유지되도록 한다.



[그림 3-2-2-11] 콘크리트형 기초 받침대 터파기 도면

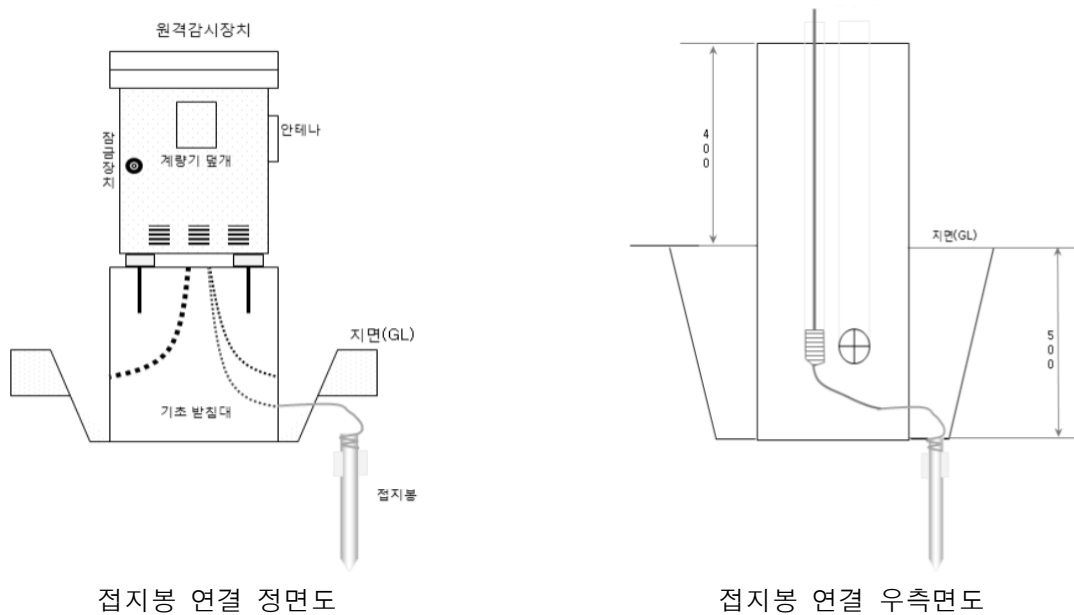
- 감지선은 스마트시트 또는 스마트예방(경고)시트와 원격감시장치를 연결하기 위한 케이블로, 아래 [그림 3-2-2-12]에 점선으로 표시된 부분이 원격감시장치와 연결하기 위한 케이블로서 현장에 맞게 재단하여 사용한다. 스마트시트 및 스마트예방시트와 기초 받침대 사이의 거리를 감안하여 감지선 보호관을 계산하여 감지선 보호관(XL 또는 ERP 파이프

15mm 또는 20mm 구경 사용)을 설치한다. 이후, 감지관 외부에 부착된 스마트시트(스마트 테이프 포함) 그리고 스마트예방(경고)시트에 있는 감지선과 연결한다. 마지막으로 TDR을 감지선에 연결하여 결선이 제대로 시공되었는지를 확인한다. 이 때, 수밀성이 유지되도록 마감하는 것이 매우 중요하다.



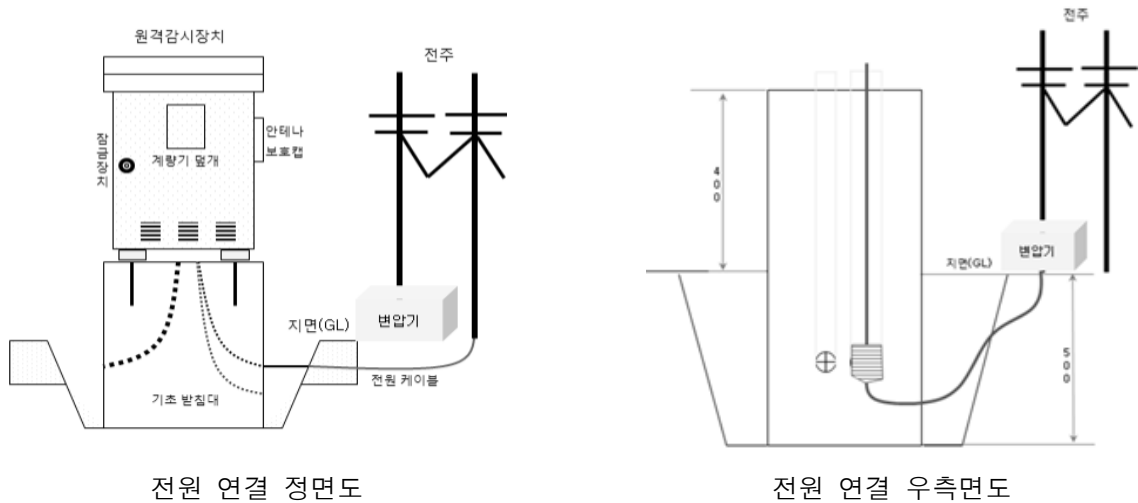
[그림 3-2-2-12] 감지선의 연결 및 확인

- 원격감시장치를 낙뢰로부터 보호하기 위한 조치는 필수적이며, 지중에 접지봉을 매설하여 지중으로 전류의 방전을 유도한다. 접지봉은 500mm를 사용하며, 아래 [그림 3-2-2-13]과 같이 설치한다.



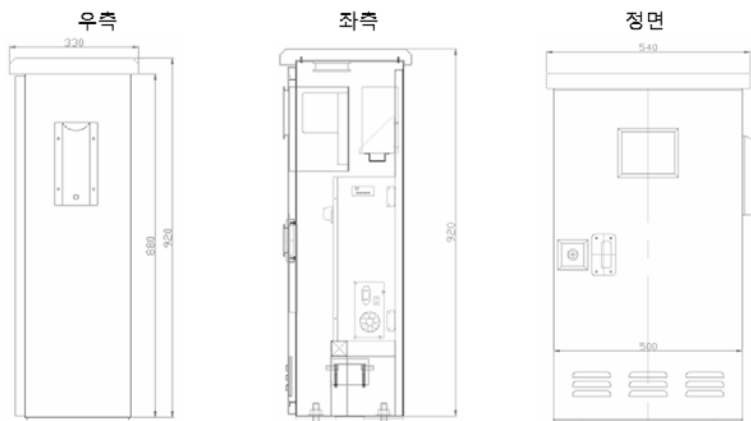
[그림 3-2-2-13] 접지봉의 설치 및 연결

- 마지막으로 원격감시장치의 전원을 연결하여야 한다. 원격감시장치는 220V, 300W로 단상 2선식을 이용하며, 가까운 전주 또는 TR(변압기) 박스로부터 전원을 공급받을 수 있다. 전원 케이블은 아래 [그림 3-2-2-14]와 같이 지중에 매설하는 것을 원칙으로 하며, 지중 매설 시에는 반드시 전선 보호관을 사용하여 전원 케이블을 보호할 수 있어야 한다.



[그림 3-2-2-14] 원격감시장치의 전원 연결

- 받침대의 설치와 감지선, 전원선의 연결이 마무리 되면, 받침대 상부에 원격 감시장치 판넬을 설치한다. 판넬의 규격은 아래 [그림 3-2-2-15]와 같으며, 판넬의 설치 이후, 감지선과 전원선의 내부결선을 하면 원격감시장치의 설치가 완료된다.



[그림 3-2-2-15] 원격감시장치의 판넬 규격

- 스마트 예방시트 및 감지 시트(또는 테이프)가 단선되는 경우, 양쪽의 감지선 끝단을 탈피하여 결선한 이후, 수밀성을 유지할 수 있도록 마감처리한다. 또한, 부틸 시트를 추가로 부착하여 물이 유입되지 않도록 해야 한다.
- 원격감시장치의 경우, 매설되어 있는 감지선이나 전원선이 설치류에 의해 파손될 수 있으므로, 이의 관리가 필요하다. 또한, 내부의 기기는 충격에 약하므로 농기계 등에 의해 파손되지 않도록 관리해야 한다.

### 3. 부식, 침하, 지진에 강한 관수로용 관중 선정 가이드라인 마련

#### 가. 관중에 따른 관수로의 현장 운영성 조사

##### (1) 현장 조사 개요

- 내구성이 강한 관수로용 관중 선정 가이드라인의 마련을 위해서 현장에서 운영되고 있는 관수로의 운영 현황을 파악하고자 현장 조사를 수행하였다. 현장 조사를 통해 관중 선정 을 위한 가이드라인뿐만 아니라 관수로 운영 전반에 걸친 문제점을 파악하고 개선방안을 마련하고자 하였다.
- 현장 농어촌 공사 담당자와의 면담 조사를 통해, 관수로 운영의 문제점을 파악하고, 현장 답사를 통해 문제 사항을 직접 확인하였다. 아래 [표 3-2-3-1]은 현장 조사 대상지역에 대한 요약 정보이다.

[표 3-2-3-1] 현장 조사지 개요

조사 지구	지역	총연장 (m)	수리면적 (ha)	관중비율(%)				비고
				강관	GRP	PE	콘크리트	
영산강3	전남 목포	189,450	21,000	73	4	23	-	논
석문간척	충남 당진	76,707	2,828	-	-	78	22	밭
확장	경남 밀양	28,441	370,	22	-	78	-	논/밭
강서	경남 김해	43,463	275	34	-	66	-	화훼/밭
생림	경남 김해	-	294	-	-	-	-	논

##### (2) 영산강 3지구

##### (가) 현장 조사지 개요

1993년도 완공된 영암방조제(영암호) 및 1996년도 완공된 금호방조제(금호호)를 중심으로 용수개발, 간척, 경지정리 등 농업생산기반을 종합적으로 정비한 한국농어촌공사 영산강사업단 3지구

- 사업구역: 1도 3개군(전남 영암, 해남, 강진군)
- 사업내용: 영암·금호방조제 축조(378백만톤 수자원 확보)
- 개발면적: 21,000ha(간척지: 12,500ha, 배후지: 8,500ha)
- 사업현황
  - 방조제: 영암 '93. 12, 금호 ' 96. 11완공
  - 간척개답 15개공구 12,500ha(준공 8, 공사중 3, 미착공 4)
  - 배후지개발 4개공구 8,500ha(공사중 3, 미착공 1)
  - 사업기간: 1985 ~ 2015(31개년)

○ 영산강사업단 추진경위

- '87. 6. 19: 3-1지구 사업시행인가(' 88년 영암방조제 착공 → '93년 준공)
- '89. 10. 25: 3-2지구 사업시행인가(' 89년 금호방조제 착공 → '96년 준공)
- '95. 11. 25: 3-1지구 평야부 착공(준공 6, 공사중 2, 미착공 3)
- '97. 11. 27: 3-2지구 평야부 착공(준공 4, 공사중 3, 미착공 1)
- '01. 08: 4지구 사업시행계획 승인 및 공사 착공(준공 2, 공사중 3, 미착공 7)



[그림 3-2-3-1] 영산강 사업단 평면도 및 위성사진

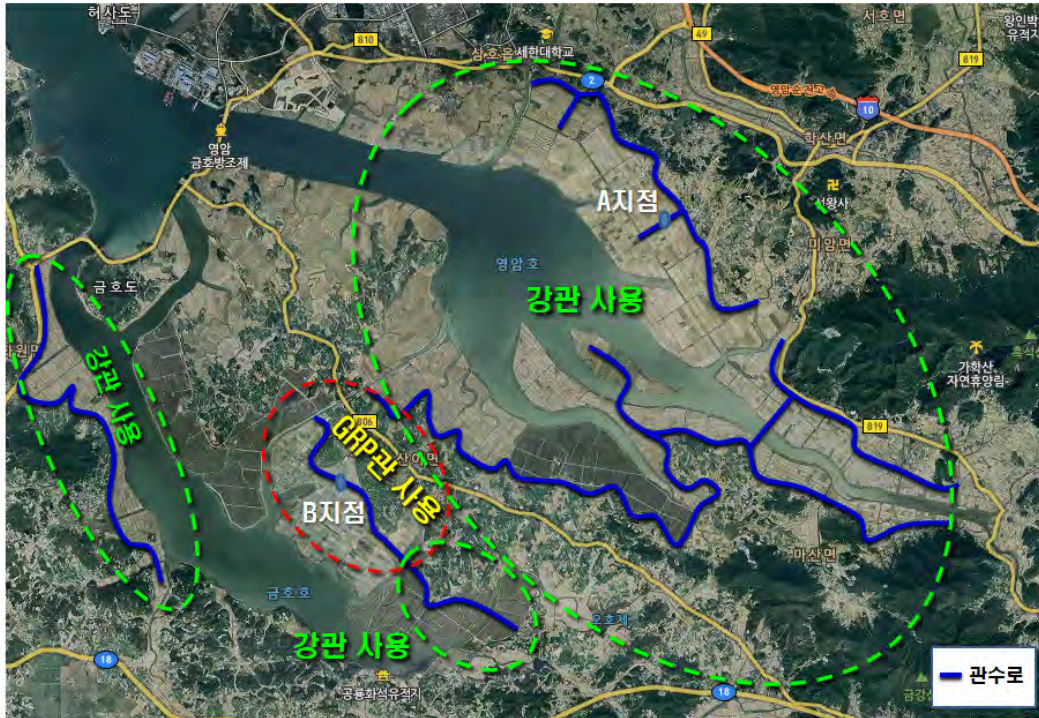
(나) 관수로 현황

- 한국농어촌공사 영산강사업단 3지구에 적용된 관수로 길이는 [표 3-2-3-2]와 같다.
- 관수로에 적용된 관종은 강관과 유리섬유복합관을 사용하고 있었으며, 그 중 금호 1-1공구를 제외한 모든 곳에 강관을 사용하고 있다.

[표 3-2-3-2] 영산강 사업단 3지구 관수로 현황

구분		합 계(km)	흙수로(km)	관수로(km)
영암호	합 계	1,107,600	612,800	494,800
	용수로	898,200	477,000	421,200
	배수로	209,400	135,800	73,600
금호호	합 계	692,000	399,400	292,600
	용수로	347,100	130,500	216,600
	배수로	344,900	268,900	76,000





[그림 3-2-3-2] 영산강사업단 3지구 관수로 설치 위성사진

(다) 영산강 사업단 관수로의 문제점 고찰

- 영산강사업단 3지구의 수원은 염분을 포함하고 있는 담수호로 영암호와 금호호로 나누어져 있으며, 원활한 용수공급을 위해 호수간 연결 수로를 만들어 운영하고 있다.
- 본 지구에 사용되고 있는 관수로의 관종은 도복강관과 유리섬유복합관으로 대부분 도복강관을 사용하고 있다. 금호호 1-1공구지역만 유리복합성유관을 시범적으로 적용 운영하고 있다. 강관을 사용하고 있는 관수로는 9년이 경과된 곳이고, 유리복합성유관을 사용하고 있는 관수로는 4년이 경과된 수로이다.
- 담수호의 특성은 수중에 바다의 염분 성분이 500ppm 이내로 용존되어 있기 때문에 금속 재질에 대한 부식성이 높다는 단점을 가지고 있다. 이에 도복강관을 사용하고 있는 지점(A지점)과 유리섬유복합관을 사용하고 있는 지점(B지점)을 한곳이 선택하여 관 내부를 관찰하였다.
- 그 결과 영암호의 관수로 A지점에 설치된 도복강관에서는 [그림 3-2-3-3]과 같이 용접부위, 볼트, 밸브, 표면 돌출부위에서 상당한 부식이 진행되고 있었으며, 금호호 관수로 B지점에 설치된 유리섬유복합관에서는 부식에 대한 문제는 없었으나, 미생물이 관 표면에 상당부분 붙어 기생하고 있었다.



[그림 3-2-3-3] 영산강사업단 관수로 운영현황 현장답사

- 결국 도복강관의 경우 일반적으로 내구수명을 30년으로 측정하고 있는데 반해 본 강관은 설치 후 9년이 경과된 관으로써 특정부위에서 이미 틈부식이 진행되고 있었다. 특히, 피복하지 않은 뚜껑의 경우 육안으로도 심하게 부식이 진행된 것으로 보아 향후 지속적인 부식현상이 발생될 것으로 사료되며, 향후 열화 및 부식에 의한 크랙현상으로 누수문제를 야기할 수 있는 소지가 다분한 것으로 판단하였다.
- 반면 부식에 대한 영향이 없는 유리섬유복합관의 경우 내부에 상당량의 알 수 없는 미생물들이 존재하고 있었으며, 이로 인한 슬러지 문제로 통수에 방해요인으로 작용할 소지가 있을 것으로 판단된다. 또한, 간척지 특성상 지반이 약하여 부등침하에 의한 연결부위 파손문제를 야기할 수 있을 것으로 판단되며, 이에 대한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

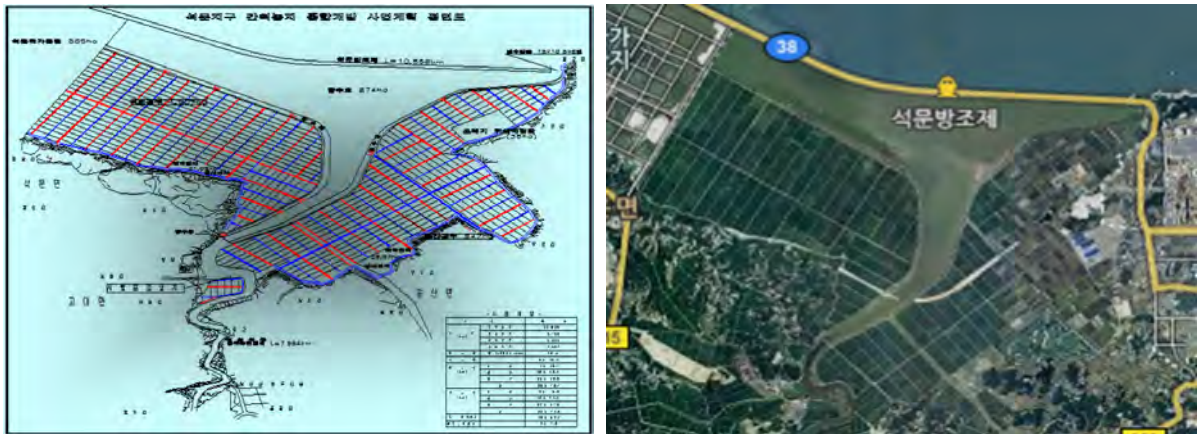


(3) 석문간척지구

(가) 현장 조사지 개요

충청남도 당진군 당진읍의 석문, 고대, 송산면 일원으로 국토의 확장 및 우량 농지 확대 국토종합개발 및 균형발전 촉진 농업, 공업용수 공급을 위한 수자원 개발 사업으로 인해 조성된 간척지구

- 사업구역: 1군 3개면(충청남도 당진군 석문, 고대, 송산면)
- 사업내용: 석문 간척지 조성 및 관수로 설치
- 개발면적: 2,828ha(농지: 1,594ha, 담수호: 874ha, 용배수로: 182ha)
- 사업현황
  - 외곽공사: 방조제, 배수갑문, 담수호, 염전취수문, 선착장, 진입도로 및 공사용 도로
  - 평야부: 양수장, 방수제, 용수로, 배수로, 도로, 공유수면 정비
  - 사업기간: 1987 ~ 2005(18개년)



[그림 3-2-3-4] 석문간척지구 평면도 및 위성사진

(나) 관수로 현황

- 석문간척지구에 적용된 관수로 길이는 [표 3-2-3-3]과 같다.
- 관수로에 적용된 관종은 지선과 지거에 PE이중벽관을 사용하고 있었으며, 간선은 콘크리트 개거를 이용하고 있다.

[표 3-2-3-3] 석문간척지구 용수 급수시설 현황

구분		구성	내용	비고
양수장		1개소	430HP x 2 260HP x 2	$Q_{max} = 263.58m^3/s$
용수로	합 계	69조	76,707m	-
	간 선	4조	16,720m	콘크리트개거
	지 선	10조	16,720m	PE-이중벽관
	지 거	55조	46,901m	PE-이중벽관



[그림 3-2-3-5] 석문간척지구 관수로 설치 위성사진

(다) 석문간척지구 관수로의 문제점 고찰

- 석문 간척지구의 수원은 지표수이나 지하를 통해 해수의 침투가 있는 것으로 판단된다. 따라서, 대부분의 작물은 사료용 발작물이 재배되고 있다. 강관의 경우, 염분에 의한 부식이 촉진되는 현상이 있을 것이 우려되어 PE 재질의 관을 설계시 선정하여 사용하여, 부식에 의한 문제는 없는 것으로 판단된다.
- 그러나, 석문간척지구에 사용된 PE-이중벽관은 일반적으로 압력이 없는 하수관거에 사용되는 관종으로, 관수로 운영시의 버트 용착 이음부가 수압에 의해 터지는 사고가 꾸준히 발생하고 있었다. 또한, 버트용착을 통한 이음부 연결에는 전문 시공업체가 필요하여 이음부 파손시의 보수기간이 길어지는 문제가 발생하고 있었으며, 이음부가 파손되어 누수가 발생했을 시에 정확한 파손 위치의 파악이 불가하여, 보수기간이 길어지는 결과를 초래하고 있었다.
- 한편, 지선부에는 통수에 관련된 문제가 발생하지 않으나, 지거의 경우에는 관경이 작기 때문에 농업용수 중에 포함되어 있는 협잡물들이 관 말단에 쌓여 통수가 되지 않는 문제가 발생하고 있었다.
- 그리고 물사용이 집중되는 농번기에 이와 같은 사고가 집중되기 때문에, 유지관리를 위한 인력 부족 문제가 매우 심각한 상태였으며, 해당 지역의 현장 유지관리 인력은 평균 3명 정도밖에 되지 않기 때문에, 동시다발적으로 발생하는 사고에 대처가 불가능한 상황이었다.



[그림 3-2-3-6] 석문간척지구 관수로 운영현황 현장답사

- 마지막으로, 용수의 사용과 관련하여 농민들의 과도한 물사용 문제가 심각한 상황였다. 필요한 만큼의 용수를 사용한 이후에도 급수 밸브를 제어하지 않고, 용수가 배수되도록 사용하고 있어 물 낭비가 매우 심각한 상황이었다. 이는 물낭비뿐만 아니라, 용수를 하천에서 취수하기 위한 펌프의 운영 시간이 길어지게 되며, 이는 전력 낭비로 이어지고 있었으며, 관수로 관경의 한계로 인하여 전단의 농지에서 물을 많이 사용하는 경우, 말단까지 용수가 공급되지 못하는 현상이 발생하고 있어 민원을 초래하고 있었다.

#### (4) 확장지구

##### (가) 현장 조사지 개요

4대강 사업의 일환으로 농경지 리모델링 사업을 통해 수리시설을 전면 교체하여 재해예방, 물 손실 최소화 및 영농편의기반 구축(저수지, 양·배수장 및 용·배수로 보수·보강, 저수지 준설, 안전진단 등) 농업생산성을 향상시켜 농가의 소득증대를 이룩하고 안전영농을 도모하고자 조성된 농경지구

- 사업구역: 1면 2개리(경상남도 밀양시 상남면 동산리, 외산리)
- 사업내용: 농경지 리모델링 사업
- 개발면적: 370ha
- 사업현황
  - 준설토 성토를 통한 농경지 리모델링



- 평야부: 양수장, 방수제, 용수로, 배수로, 도로 등 정비
- 사업기간: 2010 ~ 2012(2개년)



[그림 3-2-3-7] 확장지구 평면도 및 위성사진

(나) 관수로 현황

- 확장지구에 적용된 관수로 길이는 [표 3-2-3-4]와 같다.
- 관수로에 적용된 관종은 지선과 지거에 PE관을 사용하고 있었으며, 간선은 PE 피복 강관을 이용하고 있다.

[표 3-2-3-4] 확장지구 용수 급수시설 현황

구분	구성	내용	비고	
양수장	1개소	200HP x 2 75HP x 2	$Q_{max} = 60m^3/min$	
용수로	합 계	40조	22,441m	-
	간 선	2조	5,000m	PE피복강관
	지 선	6조	5,540m	PE관
	지 거	32조	11,901m	PE관



[그림 3-2-3-8] 확장지구 관수로 설치 위성사진

(다) 확장지구 관수로의 문제점 고찰

- 확장지구의 수원은 지표수로 인근 밀양강에서 취수하여 사용하고 있다. 또한, 지선과 지거로 사용하는 관종이 PE관이기 때문에 부식에 의한 문제는 없는 것으로 조사되었다. 단, 간선은 PE 피복강관을 사용하기 때문에, PE 피복이 손상되면 이후 강관의 부식 현상이 일어날 수 있다. 그러나, 현장에서 관 내부를 확인하기 위한 점검구나 맨홀이 존재하지 않기 때문에 확인이 가능하지 않았다.
- 한편, 농지에 노출된 급수 개폐기 또한 PE재질을 기초로 제작되어 있었으며, 급수 개폐기의 보호를 위한 조치가 취해지지 않았다. 따라서, 농민들이 농기구를 이용하여 농사를 수행하는 중에 잦은 파손이 일어나는 결과를 초래하였다. 급수 개폐기의 파손은 급수 개폐기의 파손뿐만 아니라 급수 개폐기와 연결되어 매설되어 있는 PE관에도 충격을 주어 매설관이 파손되는 사례도 있었다.
- 특히, 지거의 말단에 유말공이 설치되지 않아 농업용수 중에 포함되어 있는 협잡물들에 의해 관 말단이 폐색되는 현상이 발생하고 있었다. 이로 인해 말단부의 농경지에는 용수 공급이 불가능한 상황이었으며, 관경의 한계로 인하여 앞단의 농지에서 물을 사용하는 경우, 후단에서는 급수가 되지 않는 상황이 발생하고 있었다.
- 확장지구는 농경지 리모델링 사업에 의해서 농경지 전체가 인근 하천의 준설토를 이용하여 농지가 침수되지 않도록 성토한 농지이다. 그러나, 공사기간이 짧고 이로 인한 다짐기간이 짧아 지반이 약한 특성을 보이고 있었다. 때문에 토사의 유출이 다른 지역에 비해서 많은 편이었으며, 유출된 토사로 인해 배수로의 준설을 주기적으로 시행하고 있었다.



[그림 3-2-3-9] 확장지구 관수로 운영현황 현장답사

- 용수의 사용과 관련하여서는 농민들의 과도한 물사용 문제는 공통적으로 발생하고 있었다. 물 낭비가 매우 심각한 상황이었으며, 이는 취수 펌프의 가동시간을 증대시켜 전력낭비로 이어지고 있었다. 또한, 취수 펌프장을 운영하는 인력이 부족하여 주변 노인들의 도움을 통해 펌프장이 운영되고 있었으나, 펌프장의 시설이 노령의 인력이 관리하기에는 적합하지 않는 사다리 등의 구조물로 되어있어, 안전문제에 주의가 필요하다고 판단되었다.
- 마지막으로, 농경지 리모델링 사업에 의해 구축된 농경지에 대한 보존이 제대로 이루어지지 않고 있었다. 비상시를 위한 여분의 토지는 구획된 농경범위를 벗어남에도 농민들에 의해서 농사가 진행되고 있었다. 또한, 제수밸브 등의 중요한 시설물이 매설되어 있는 곳에도 농민의 편의를 위해 임의로 콘크리트 포장을 실시하여 주요 시설물의 위치 파악이 어려운 상황이었다.



(5) 강서지구

(가) 현장 조사지 개요

정수 처리된 양질의 용수를 공급함으로써 고품질 농산물 생산에 기여하고, 시설채소 단지 내 안정적 용수 공급으로 영농편의를 제공하고 영농민의 소득증대를 도모하기 위해 구축된 시설작물 재배 단지

- 조성구역: 1구 1개동(부산광역시 강서구 강동동)
- 개발면적: 275ha
- 조성현황
  - 침전여과시설: 착수정, 침사침전조, 여과지, 배수지, 역세침전조
  - 평야부: 양수장, 용수로, 배수로, 도로 등



[그림 3-2-3-10] 강서지구 평면도 및 위성사진

(나) 관수로 현황

- 강서지구에 적용된 관수로 길이는 [표 3-2-3-5]와 같다.
- 관수로에 적용된 관종은 간선과 지선에 도복장강관을 사용하고 있었으며, 지거는 PE관을 이용하고 있다.

[표 3-2-3-5] 강서지구 용수 급수시설 현황

구분		구성	내용	비고
양수장		2개소	90kW x 2 7.5kW x 30	$Q_{\max} = 28\text{m}^3/\text{min}$
용수로	합 계	85조	43,463m	-
	간 선	1조	7,090m	도복장강관
	지 선	3조	7,520m	도복장강관
	지 거	82조	28,853m	PE관



[그림 3-2-3-11] 강서지구 관수로 설치 위성사진

(다) 강서지구 관수로 운영 현황 고찰

- 강서지구의 수원은 지표수로 보다 좋은 물을 공급하기 위하여 인근 서낙동강이 아닌, 낙동강 본류에서 취수하여 모래여과 처리를 거쳐 관수로로 농업용수를 공급하고 있다. 간선과 지선은 도복장강관을 사용하고 있으며, 지거에는 PE관을 사용하고 있다. 간선과 지선의 경우에 내부 부식 문제가 의심되지만, 화훼단지 특성상 4계절 24시간 용수를 공급하고 있어 부식현황을 파악할 수 없었다. 또한, 부식 확인을 위한 점검구나 맨홀 등이 설치되지 않아서 내부 상태의 파악이 불가능하였다.
- 강서지구의 경우, 연속 운영을 하며, 수중 협잡물을 모래여과 처리하여 송수하기 때문에 다른 관수로 운영지역에 비해서는 문제점이 적은 편이었다. 현장 운영 담당자와의 면담을 수행하였음에도 특이한 문제 사항은 없는 것으로 나타났다. 다만, 봄철부터 가을까지 낙동강에 조류가 발생하여 여과지 폐색이 자주 일어나는 문제가 있었으나, 이는 관수로 운영상의 문제는 아닌 것으로 판단된다.
- 농민들의 과도한 용수 사용 문제는 강서지구에서도 공통적으로 나타났다. 또한, 관경의 한계로 인해 앞 농지에서 용수를 사용하는 경우에 후단의 농지에서 용수가 급수되지 않는 문제도 공통적으로 발생하고 있었다. 따라서 이의 해결을 위한 적절한 설계 기준의 검토가 필요한 것으로 판단된다.



[그림 3-2-3-12] 강서지구 관수로 운영현황 현장답사

(6) 생림지구

(가) 현장 조사지 개요

낙동강 수위로 인한 배수 불능을 정비하기 위해서 양배수장의 수중펌프를 정비하고, 수문을 정비하여 농경지 배수를 원활하게 하기 위한 사업 및 관수로 수두 손실 개선을 위한 양수장 추가 설치 사업을 수행하여 영농민의 편의를 제공

- 사업구역: 1시 1개면(경살남도 김해시 생림면)
- 사업내용: 생림지구 경지정리사업 및 배수개선사업
- 개발면적: 294ha
- 사업현황
  - 생림지구 양배수장: 수중펌프 1~6호
  - 생림2단 지구 양수장: 수중펌프 1호





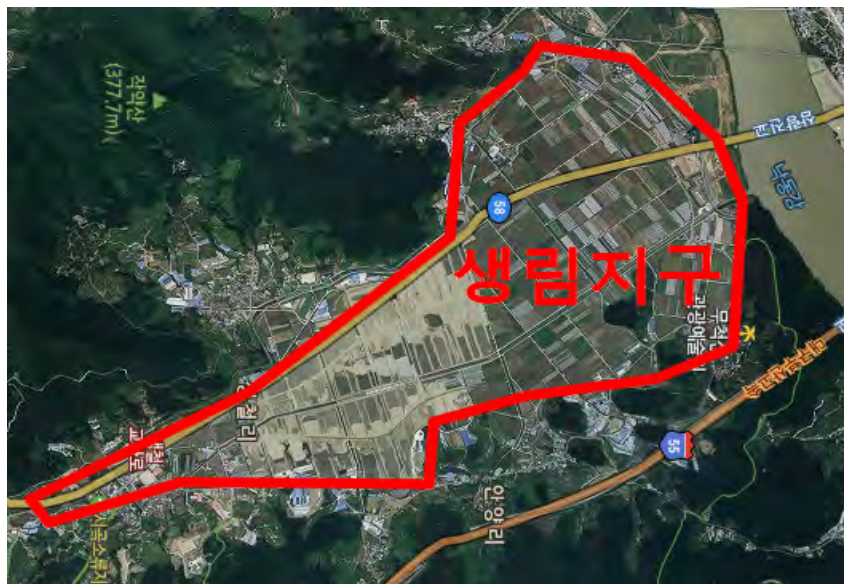
[그림 3-2-3-13] 생림지구 평면도 및 위성사진

(나) 관수로 현황

- 생림지구에 적용된 관수로 길이는 [표 3-2-3-6]과 같다.
- 관수로에 적용된 관종은 간선과 지선에 도복장강관을 사용하고 있었으며, 지거는 콘크리트개거를 이용하고 있다.

[표 3-2-3-6] 생림지구 용수 급수시설 현황

구분		구성	내용	비고
양수장		2개소	200kW x 10P 700kW x 20P	$Q_{max} = 84m^3/min$
용수로	간 선	2조	7,341m	도복장강관
	지 선	-	-	현장 보관 자료 미비
	지 거	-	-	현장 보관 자료 미비



[그림 3-2-3-14] 생림지구 관수로 설치 위성사진

(다) 생림지구 관수로 운영 현황 고찰

- 생림지구의 수원은 지표수로 인근 낙동강 본류에서 취수하여 농업용수를 공급하고, 이후 배수로를 거쳐 모인 배수를 낙동강으로 배수하고 있다. 간선과 지선은 도복장강관을 사용하고 있으며, 지거에는 콘크리트 개거를 사용하고 있다. 간선과 지선의 경우에 내부 부식이 발생하고 있었으나, 정확한 상태 확인을 위한 점검구 등이 설치되지 않아서 내부 상태의 파악이 불가능하였다. 다만 생림2단 지구의 유말공의 상태를 파악한 결과, 내부 표면에 부식이 진행되고 있음을 확인하였다. 또한, 양수장 인근에 설치되어 있던 맨홀 상부를 콘크리트로 포장하여 내부 확인이 불가능하였다.
- 생림지구의 경우, 지거로 콘크리트 개거를 사용하고 있어 배수 불능 등의 문제는 발생하고 있지 않았다. 또한, 양배수시설에 협잡물 처리기가 포함되어 운영됨으로 인해서 공급되는 용수와 낙동강으로 배수되는 배수 중의 협잡물을 제거하고 있었다. 특히, 지선 말단부에 유말공이 설치되어 있어, 관 내부의 협잡물이 퇴적이 없이 비교적 양호한 상태를 유지하고 있었다.
- 또한, 지거로 공급되는 용수를 조절하기 위한 밸브마다 밸브를 보호하기 위한 콘크리트 구조물이 설치되어 있었으며, 밸브의 조절을 위한 손잡이를 제거하여 농민들이 임의로 밸브를 조절할 수 없도록 하여 용수의 공급을 조절하고 있었다. 이를 통해 밸브 자체의 보호는 물론 용수의 사용을 절감하고 있었다.



[그림 3-2-3-15] 생림지구 관수로 운영현황 현장답사

- 특이점으로는, 기존의 콘크리트 개거를 이용한 용수 공급 시스템을 관수로 시스템으로 변경하면서 기존의 콘크리트 개거 내부에 도복장 강관을 설치함으로써 관수로의 침하 및 파손을 예방하고 있었다. 다만, 부식에 대한 조치가 따로 수행되고 있지 않아 용접부위나 밸브 연결부위에서의 부식현상이 발견되었다.
- 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 판단되나, 내면 부식에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 내부의 상태를 파악하기 위한 점검구 등의 설치를 통해 유지관리를 수행하면 보다 관수로의 관리에 용이할 것으로 판단된다.

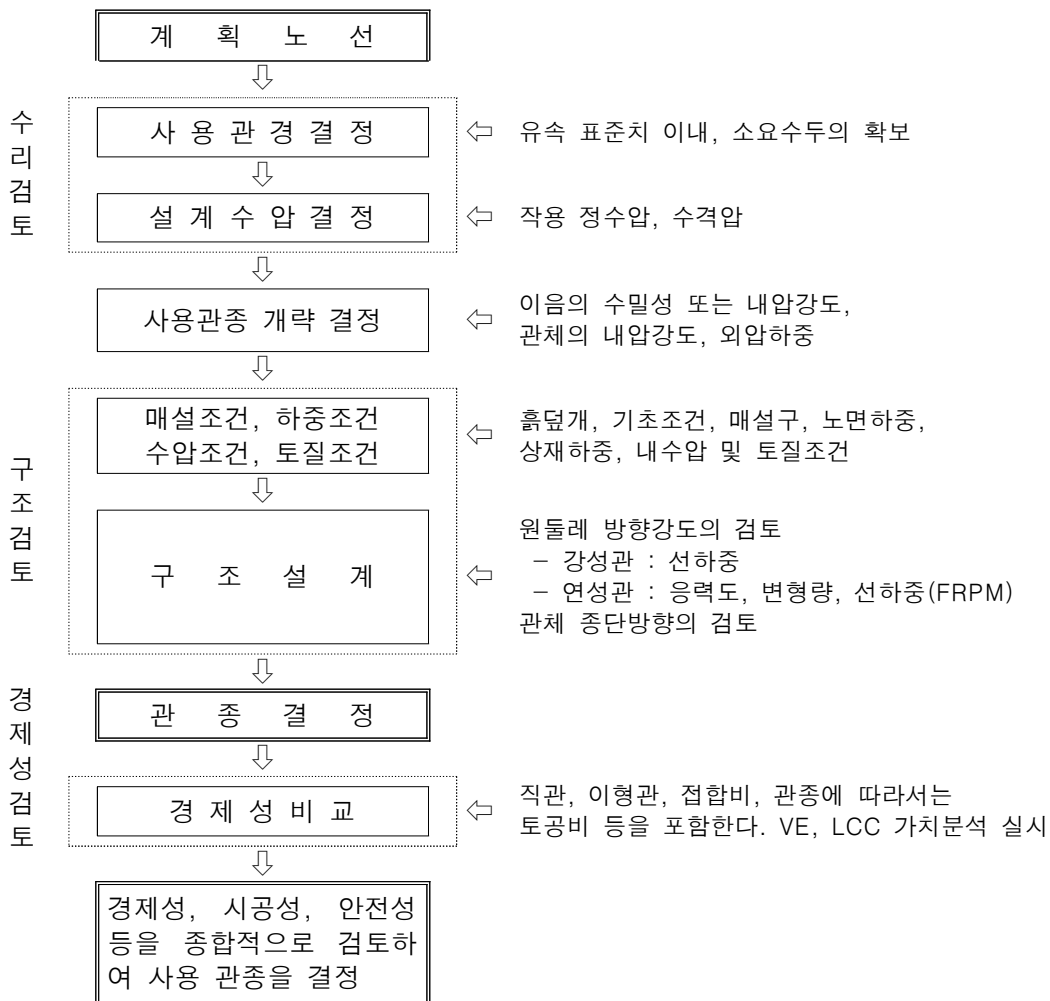
## 나. 농업용 관중 선정 가이드라인 마련

### (1) 기존 농업용 관중 선정 방안 검토

- 지하에 매설되는 관수로의 특성상, 유지관리가 매우 어려우며, 보수나 교체 등에 비용이 상당하게 소요되기 때문에 장기적으로 예산의 낭비를 막기 위해 적절한 관중을 선정하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구를 통해 기존 농업용 관수로의 관중 선정 방법을 검토하고, 관수로를 사용하는 상·하수도 분야의 관중 선정 방법을 검토하여, 보다 안정적인 농업용 관수로 사용을 위한 관중 선정 가이드라인을 제시하고자 한다.

### (가) 농업용 관수로의 관중 선정 방법

- 농업생산기반정비사업계획설계기준에는 농업용 관수로의 관중 선정 방법이 명시되어 있으며, 이는 아래 [그림 3-2-3-16]과 같다.



[그림 3-2-3-16] 농업용 관수로의 관중 선정 순서

- 구체적으로 관수로의 관중은 설치가 필요한 노선과 이에 따른 수리검토를 수행한 이후에 물리적인 특성을 고려하여 사용 관중을 개략적으로 결정한다. 이때 고려되는 사항으로는 이음의 수밀성, 내압강도, 외압하중 등이 있다. 이후 매설조건, 하중조건, 수압조건, 토질

조건 등을 고려하여 구조적인 설계를 시행한다. 마지막으로 관종이 결정되면, 경제성 및 시공성, 안정성 등을 종합적으로 검토하여 관종을 최종적으로 결정한다.

- 관수로에 사용하는 관종은 관체에 작용하는 내수압과 횡단방향 및 종단방향의 외압하중에 대해서 충분한 강도를 갖고 있어야 하며, 이음에 있어서도 작용 내외압에 대해 충분한 강도와 수밀성을 가져야 한다. 따라서 관종 선정시 이음의 수밀성과 수압강도를 검토해야 하는 경우와 관체의 수압강도를 검토해야 하는 경우로 구분하여 아래와 같은 사항에 대해 검토를 수행하였다.

① 이음의 수밀성을 검토해야 하는 경우

- 고무링, 고무패킹 등을 이용하는 기계식 이음방식을 사용하는 경우에는 이음부의 수밀성의 검토가 필요하다. 일반적으로 원심력 철근콘크리트관(RC관), 코어식 프리스트레스트 콘크리트관(PC관), 덕타일주철관(DCIP관), 경질염화비닐관(고무링접합)(PVC관), 강화플라스틱복합관(FRPM관) 같은 관종을 연결하는 경우에 기계식 이음방식을 채택한다.
- 이음의 수밀성은 사용 내압을 받는 조건에서 이음이 최대휨강도까지 휘어졌을 때의 수밀성이 보장되는 수압을 의미한다. 일반적으로 관이음의 수밀성은 그 이음의 내압강도보다 작으며, 아래의 식을 통해 결정한다.

$$H_{sc} \geq S \cdot H$$

$$H_{sc} = \text{관이음의 수밀성(N/cm}^2\text{)}$$

$$H = \text{설계 내수압(정수압 + 수격압)(N/cm}^2\text{)}$$

$$S = \text{안전율(일반적으로 2.0 이상)}$$

② 이음의 내수압 강도를 검토해야 하는 경우

- 접착, 용착 등의 접합방식으로 이음하는 관종은 내수압강도에 대해서 검토가 필요하다. 일반적으로 비금속관에 속하는 경질염화비닐관(접착접합)이나 폴리에틸렌관(용착접합 등) 같은 관종이 이에 포함된다.

③ 이음의 수밀성 및 내수압 강도의 검토가 필요하지 않은 경우

- 용접접합방식으로 이음한 관종은 이음의 수밀성 및 내수압강도에 대해 검토할 필요가 없으며, 강관이 이에 해당한다. 아래 [표 3-2-3-7]은 이음의 수밀성 또는 내수압강도로부터 관의 사용수압을 개략적으로 판단할 수 있는 자료이며, 사용 관종의 개략적인 선정이 가능하다.



[표 3-2-3-7] 이음의 수밀성 또는 내수압 강도에 의한 사용 관종의 개략결정 표준 (단위: N/cm<sup>2</sup>)

관종		관수로형식	정수압	설계수압	비고
원심력철근콘크리트관		개방식	19.6	23.5	KS F 4403의 이음에 적용
코어식프리스트레스트콘크리트관(1종)	표준형	개방식, 폐쇄 및 반폐쇄식, 펌프압력수조식	39.2	58.8	KS F 4405의 이음에 적용
	PC형		58.8	88.2	
	DS형		98.0	117.6	
강관(PEP)	용접식	상동	149.9	199.9	KS D 3578의 (F15 F20)이음에 적용
	링조인트식	상동	149.9	199.9	
폴리염화비닐관	VP(IWVP)	상동	74.5	98.0	KS M 3402의 KS D 4308(HIKP식)이음에 적용
	HIVP-G	상동	98.0	147.0	
폴리에틸렌관	LDPE	상동	74.5	98.0	KS M 3408의 열융착공법 이음에 적용
	HDPE	상동	98.0	147.0	
강화플라스틱복합관(I, II 류)		개방식, 폐쇄 및 반폐쇄식, 펌프압력수조식	109.8	132.3	FRPM K 111, JIS A 5350의 이음에 적용

④ 관체의 수압강도를 검토해야 하는 경우

- 관종에 따라서는 이음의 수밀성 또는 내수압강도보다 관체의 내수압강도가 작은 경우가 있다. [표 3-2-3-8]은 관체의 내수압 강도로부터 사용수압을 개략적으로 판단할 수 있는 자료이며, 제시된 값은 외압하중이 작용하지 않은 상태의 관체의 내수압 강도이다.

[표 3-2-3-8] 관체의 내수압 강도에 의한 사용 관종의 개략결정 표준 (단위: N/cm<sup>2</sup>)

관종		관수로형식	정수압	설계수압	비고
원심력철근콘크리트관(RC)	2K	개방식	9.8	12.7	φ 150-φ 2,000mm
	4K		20.6	25.5	φ 150-φ 2,000mm
	6K		32.3	39.2	φ 150-φ 800mm
코어식프리스트레스트콘크리트관(PC)	1종	개방식, 폐쇄식 및 반폐쇄식 펌프압력수조식	107.8	130.3	φ 500-φ 1,500mm
	2종		86.2	103.8	φ 500-φ 1,800mm
	3종		64.7	78.4	φ 500-φ 2,000mm
	4종		43.1	51.9	φ 500-φ 2,000mm
	5종		32.3	39.2	φ 500-φ 2,000mm
강관(PEP)	용접식	상동	199.9	249.9	φ 80-φ 3000mm
			149.9	199.9	φ 80-φ 3000mm
	링조인트		199.9	249.9	φ 80-φ 1650mm
			149.9	199.9	φ 80-φ 1650mm
폴리염화비닐관	VP (IWVP)	상동	74.5	98.0	φ 16-φ 300mm
	HIVP-G		98.0	147.0	φ 16-φ 300mm
폴리에틸렌관	LDPE	상동	74.5	198.0	φ 16-φ 1600mm
	HDPE		98.0	147.0	
강화플라스틱복합관(I류 및 II류) (FRPM)	1종	개방식, 폐쇄식 및 반폐쇄식 펌프압력 수조식	109.8	132.3	φ 200-φ 300mm: I 류 φ 500-φ 2,000mm: II 류
	2종		85.3	102.9	
	3종		56.8	68.6	
	4종		40.8	49.0	
	5종		19.6	24.5	

(나) 농업용 관수로의 방식방법 선정

- 농업용 관수로의 부식은 토양, 물의 전해질의 존재하의 강 표면의 양극과 음극반응에 의하여 발생한다. 방식은 해당 반응이 발생하지 않도록 하는 것으로, 표면을 코팅하여 토양 및 물과의 접촉을 막는 방법, 양극과 음극을 차단하는 방법, 양극반응을 억제하는 방법으로 구분된다. 구체적으로 매설관을 방식방법으로는 도장이나 도복장 그리고 전기방식 방법이 있으며 아래 [표 3-2-3-9]를 참고하여 선정한다.

[표 3-2-3-9] 매설관의 방식방법 선정

조사	대책종류		방식대책	
			강관	덕타일주철관
①관로의 중요성 ②관로포설상황 확인 ·콘크리트구조물 ·이중금속재 ·신축관유무 ·기타 ③주위환경 ·토질 ·지하수위 ·수질 ·기타 ④근접배관의 위치 ⑤근접 전기방식 시설의 유무와 위치 ⑥전기철도와의 위치관계	A	일반관로(B, C 제외)	도복장 실시	합성수지도료
	B	①미주전류지역 통과노선 ②부분적으로 유지 관리를 할 수 없는 개소 ·추진공법개소 ·하천횡단개소 ·기타 ③콘크리트/토양 매크로셀 부식 예상개소 ④기타 특수환경	도복장 + 부분적 전기방식 병용 검토 ①전기방식 병용 부분은 다음의 도복장을 선정 ·콜타르에나멜, 폴리에틸렌, 폴리우레탄, 폴리우레아 ②전기방식은 다음과 같이 선정 ·관의 대지전위를 -600mV ( $C_u/C_uSO_4$ , 전극기준)이하로 하는 것을 목표로 한다. ·매크로셀 부식을 개선할 목적으로 하는 경우는 자연 전위를 200~300mV를 목표로 한다.	도장 + 폴리에틸렌 슬리브 병용 또는 폴리에틸렌 코팅검토
	C	①유지관리를 할 수 없고 또는 송수 공급정지로 중대한 장애가 예상되는 노선 ②해저에 매설하는 관	도복장 + 전기방식 병용 검토 ①도복장은 다음에서 선정 ·콜탈에나멜, 폴리에틸렌, 폴리우레탄, 폴리우레아 ②전기방식 ·관의 대지전위를 850mV ( $C_u/C_uSO_4$ , 전극기준)이하로 하는 것을 목표로 한다.	

- 특히, 주철관의 경우에는 미국의 주철관 연구협회에서 제시한 주철관 부설시의 토양부식성 평가기준으로 아래 [표 3-2-3-10]에서의 합계점수가 10점 이상이 되면 특수방식방법을 채용하여야 한다고 권고하고 있으므로 이를 참고한다.

[표 3-2-3-10] ANSI 법을 이용한 토양 부식성 평가법(ANSI A21.5, 1972)

분석항목	측정치 범위	부여 값
토양 저항율 (Soil resistance) (관의 매설심도에 따라 토양봉에 의한 측정치, 또는 Soil Box에 의한 수포화토양에서의 측정치)	<700Ω-cm	10
	700 ~ 1,000	8
	1,000 ~ 1,200	5
	1,200 ~ 1,500	2
	1,500 ~ 2,000	1
	>2,000Ω-cm	0
pH	0 ~ 2	5
	2 ~ 4	3
	4 ~ 6.5	0
	6.5 ~ 7.5	0
	7.5 ~ 8.5	0
	>8.5	3
산화환원 전위 (Redox potential)	>100mV	0
	50 ~ 100mV	3.5
	0 ~ 50mV	4
	<0	5
수분(Moisture)	배수가 나쁘고 습윤	2
	배수가 약간 양호, 일반적으로 젖은 상태	1
	배수 양호, 일반적으로 건조	0
산성 화합물(Acid compounds)	검출(+)	3.5
	흔적(Trace)	2
	불검출(-)	0

- 1) 유화물이 존재하고, Redox 전위가 낮을 때는 3점을 더할 것.
- 2) 합계점이 10점 이상의 경우는 주철관에 대해 부식성이 있으므로 방식방법을 고려할 것.

○ 농업용 매설 관수로의 방식방법 중 표면 코팅을 통한 토양 및 차단 방법의 대표적인 예로는 도장이나 도복장 방법이 있으며, 현재 국내에서 적용 중인 수도용 강관의 내면 도복장 방법은 아래 [표 3-2-3-11]과 같다. 도복장 방법은 크게 공장 도복장 방법과 현장도복장 방법으로 구분되며, 공장도복장은 콜타르 에나멜, 아스팔트, 타르에폭시수지도료, 액상 에폭시수지도료, 폴리에틸렌 도복장 방법 등이 있으며, 현장도복장은 테이프 도복장, 조인트코트 도복장 방법 등이 있다.

[표 3-2-3-11] 수도용 강관의 내면 도복장 종류

구분	규격번호	규격명칭	사용도료 및 복장재	유사해외규격
공장 도복장	KS D 3589 KS D 3607	폴리에틸렌피복(압출) 폴리에틸렌피복(분말)	- 에폭시 접착제 폴리에틸렌(MDPE)내면 에폭시	DIN306710-1 CAN/CSAN245
	KS D 8307	수도용 강관 콜타르 에나멜 도복장 방법	- 콜타르 프라이머 - 콜타르 에나멜 - 글라스클로스 (또는 헤시언 클로스) - 글라스매트, 글라스화이버매트	AWWA C203 JIS G3492
	KS D 8306	수도용 강관 아스팔트 도복장 방법	- 아스팔트 프라이머 - 아스팔트 - 내열용 비닐론 클로스 - 글라스클로스 (또는 글라스매트)	JIS G3491
	KS D8501	수도용 타르에폭시 수지도료 및 도장방법	- 타르 에폭시 수지도료	JWWA K115 AWWA C210
	KS D8502	수도용 액상에폭시 수지도료 및 도장방법	- 액상 에폭시 수지도료	JWWA K135 AWWA C210
현장 도복장	현장에서의 접합부 도복장은 지정된 도복장재료의 공장 도복장 요령에 준하며, 별도 사양을 지정한 경우는 그에 따름			
	기타	강관용접부 외면 테이프 도복장 방법	- 프라이머 - 실링재 - 테이프(플라스틱계)	AWWA C209
	수도용 도복장강관 조인트 코트	- 플라스틱계 테이프 - 고무계 시이트 - 열수축계 튜브 - 열수축계 시이트	WSP 012	

- 결론적으로, 현재의 농업용 관중 선정 방법에 있어서, 주요한 고려사항은 원활한 용수 공급을 위한 통수량과 구조적인 안정성, 주변 토양 환경 등인 것으로 나타났다. 즉, 내부 수질에 대한 고려는 이루어지지 않고 있는 것으로 판단된다.
- 따라서, 상수도 분야의 관중 선정 방안을 검토하여 농업용 관수로 선정 방법에서의 보완할 사항에 대해서 논의하고자 한다.

(2) 상·하수도 관중 선정 방안 검토

(가) 상·하수도 관중 선정 방법

① 상수도 관중 선정 방법

- 상수도관의 관중은 관 재질에 의해 내부 수질의 변화가 없어야 하며, 구조적으로 안전해야 하며, 매설 조건과 환경에 적합해야 한다. 이를 기본으로 아래와 같은 사항들에 대해 고려하여 상수도 관중을 선정한다.
- 상수도관으로는 덕타일주철관, 강관, 스테인리스강관, 수도용경질폴리염화비닐관 및 수도

용폴리에틸렌관 등의 관종을 사용한다. 해당 관들은 각각 재료, 제조방법, 규격치수, 강도 및 내외면 도장 등이 다르기 때문에 위생성, 호환성, 내구성, 유지관리의 용이성 등을 고려하여 최적의 관종을 선정한다. 실제로는 한국산업표준(KS) 또는 한국상하수도협회규격(KWWA) 등의 규격이 있으므로 규격에 맞는 관종 및 관두께의 제품을 사용한다.

- 도수관로의 경우, 자연유하식으로 수압이 낮고 수압변동도 적으며 또한 지반이 견고하고 부등침하 등도 없으며 또 지진시의 지반변동에 의한 관체 및 접합부에서의 영향이 없는 경우에는 프리스트레스트 콘크리트관 및 원심력철근 콘크리트관 등을 사용할 수도 있다.
- 상수도용 관종은 관 재질로 인하여 물이 오염될 우려가 없는 것으로 안전성이 확인된 것을 선정하여 사용한다. 수도용 자재는 「수도법시행령」 제30조(수도용 자재 및 제품의 기준)에 따라야 하며, 환경부령으로 정하는 위생안전기준에 적합하여야 한다.
- 상수도관은 내압 및 외압 모두에 견딜 수 있는 강도를 지녀야 하며, 내압은 실제로 사용하는 관로의 최대정수압과 수격압을 고려해야 한다. 또한 외압은 토압, 노면하중 및 지진력 등을 감안해야 한다. 관종을 선정할 때에는 강관이나 덕타일주철관 등의 관두께는 실제로 작용하는 내압, 외압, 부등침하, 지진하중 등을 고려하여 관종별로 규격에 맞는 압력관을 사용해야 하며, 어떠한 경우라도 최소 관두께 이상이어야 한다.
- 관종은 매설장소의 제반조건인 토질상태, 지하수의 상황, 기타 지하매설물의 유무 및 노면하중 등을 고려하여 최적의 관종을 선정한다. 특히 부식성이 강한 토질이나 지역적으로 지하수가 예상되는 경우에는 부식에 강한 관종을 선정한다. 유기용제의 영향 등이 있는 장소에서는 수도용 경질 폴리염화비닐관이나 수도용폴리에틸렌관 등을 사용하는 것은 피해야 한다.
- 상수도관의 접합부 구조는 관종에 따라 다르며, 시공의 난이도를 지배하는 큰 요소가 되므로 다른 지하매설물이 많이 매설되어 있는 경우나 조기에 되메우기가 요구되는 경우에는, 그 접합부의 구조에 대한 시공성도 고려하여 관종을 선정해야 한다. 또한 매설환경에 따라서는 휨성, 이탈에 대한저항성, 신축성 등 유연성이 있는 신축이음을 고려해야 한다.

## ② 하수도 관종 선정 방법

- 하수도에 사용하는 관은 철근콘크리트관, 제품화된 철근콘크리트 직사각형거(정사각형거 포함), 도관, 경질염화비닐관, 현장타설철근콘크리트관, 유리섬유 강화 플라스틱관, 폴리에틸렌(PE)관, 덕타일(ductile)주철관, 파형강관, 폴리에스테르수지콘크리트관 등이 있다. 또한, 최근 하수관거의 수요증가에 따른 관종 개발이 활발하게 이루어져 위에서 언급한 관종 이외에도 신규로 KS를 취득한 제품이나, 신제품(NEP)에 대한 충분한 고려와 검토가 필요하다.
- 특히, 압력관 등을 제외하고는 내압에 대하여 고려할 필요는 없지만 외압에 대하여 충분히 견딜 수 있는 구조 및 재질을 사용하며, 앞에 제시한 것 외에 다른 관종을 사용하고자

할 때에는 내구성 및 내식성 등에 있어 KS제품과 동등한 성능 이상의 재료를 사용하여야 한다. 또한 동일 관종에서도 심도에 따른 구조적 안정성 검토를 반드시 시행하여 두께, 강도, 지하수 수위변화에 따른 수밀성 확보(탄력적 시험 수두 기준) 가능한 자재를 선정하여야 한다.

- 한편 관종 선정시에는 유량, 수질, 매설장소의 상황, 외압, 접합방법, 강도, 형상, 공사비 및 장래 유지관리 등을 충분히 고려하여 합리적으로 선정한다. 또한 하수도법에서 규정하고 있는 하수도용 자재기준을 고려하되, 국가에서 인정한 공인된 단체나 협회 등에서 제시한 제품기준도 참고하여 결정한다.
- 원심력철근콘크리트관은 발명자의 이름을 따서 흠(Hume)관이라고도하며, 재질은 철근콘크리트관과 유사하며 원심력에 의해 굳혀 강도가 뛰어나므로 하수관거용으로 가장 많이 사용되고 있다. 흠관의 규격은 KS에서 그 사용 조건에 따라 보통관과 압력관으로 구별하고 있으며, 접합형상에 따라 A형, B형, C형, NC형으로 분류된다. 또한, 이형관은 사용형태에 따라 T자관, Y자관, 곡관(U,V형)으로 구분되어 있으며, 적합한 규격 및 형태는 매설장소의 하중조건 등에 따라 신중하게 결정해야 한다.
- 코아식프리스트레스트콘크리트관(PC관)은 콘크리트로 된 코아관(core pipe)주위에 PC강선을 인장시켜 줌으로써 원주방향 및 축방향으로 압축응력을 작용하게 하여 내외압에 의해 발생하는 인장응력을 소멸시켜 상당히 큰 압력에서도 견딜 수 있게 만든 관을 통칭한다. 따라서 안전성은 매우 우수하지만 가격이 원심력철근콘크리트관 보다 비싸 내외압이 크게 걸리는 장소에서 주로 사용되고 있다. 현재 KS상에서는 1~5종으로 관종을 나누고 있으며, 제작방법에 따라 원심력방식과 축전압방식이 규정되어 있고 접합은 소켓으로 한다.
- 진동 및 전압철근콘크리트관(VR관)은 롤러(roller, 원형단면의 회전봉)를 사용하여 콘크리트 표면을 접합하여 단단히 굳혀서 만든 철근콘크리트관으로, 규격은 KS에서 용도에 따라 보통관과 압력관으로 구별하고 있으며, 모양에 따라 A형, B형, C형으로 구분된다.
- 철근콘크리트관은 거푸집에 조립철근과 콘크리트를 넣은 후 진동기 또는 이것과 동등한 효과를 얻을 수 있는 방법으로 다져서 제작한 철근콘크리트관을 말하며 KS에는 외압 강도에 따라서 1종관, 2종관으로 구분되어 있다.
- 도관은 내산 및 내알칼리성이 뛰어나고, 마모에 강하며 이형관을 제조하기 쉽다는 장점이 있으나, 충격에 대해서 다소 약하기 때문에 취급 및 시공에 주의해야 한다. 접합방법으로는 공장에서 제작되는 압축조인트접합과 현장시멘트모르타르접합이 있는데 수밀성을 확보하기 위해서 압축조인트접합을 사용하는 것이 바람직하다. KS에는 보통관, 두꺼운 관이 규격화되어 있으나, 오수관으로는 두꺼운 관이 적합하며, 여러 가지 각도의 곡관이나 가지관도 KS에 규격화되어 있다. 한편, 국내에서는 도관의 사용실적이 많지 않으나 외국의 경우는 수질변화가 심하여 부식의 염려가 많은 400mm이하의 소형 오수관거용으로 많이 이용되고 있다.

- 배수 및 하수용 비압력 매설용 구조형 폴리염화비닐(PVC)관은 원형의 통파이프를 외부관과 내부관으로 생산하여 외부관을 캐터필러식의 금형이 연속적으로 O링 형상을 성형하여 제조한 관으로 매끄러운 안쪽 벽면과 주름진 바깥쪽면으로 구성되어 있다. 큰 하중을 요하는 곳에 사용가능하며 경량으로 시공성, 내화학성이 우수하고 KS규격에서는 이중벽관과 리브관으로 분류되어 있다. 설계시 장기허용변형율은 내경의 5% 이내로 한다.
- 내충격용 하수도용 폴리경질염화비닐관은 경질염화비닐관의 재료에 충격 보강제를 추가 혼합한 관이며 경량으로 운반이 용이하다. 1종(HI-VG1, 고강성용), 2종(HI-VG2, 저장성용)이 있으며, 설계시 장기허용변형율은 내경의 5% 이내로 한다.
- 유리섬유 강화 플라스틱관은 유리섬유, 불포화폴리에스테르, 골재를 주원료로 하며, 내외면은 유리섬유강화층이고, 중간층은 수지 몰타르로 구성되며, 규격은 공칭지름, 공칭압력 및 공칭강성에 따라 분류한다. 고강도로 내식성 및 시공성이 우수하며, 설계시 장기허용변형율은 내경의 5% 이내로 한다.
- 폴리에틸렌관은 폴리에틸렌 중합체를 주체로 한 고밀도 폴리에틸렌을 사용하여 압출 등의 방법에 의하여 성형하며, 가볍고 취급이 용이하여 시공성이 좋다. 또한 내산·내알칼리성이 우수한 장점이 있지만, 특히 부력에 대한 대응과 되메우기 시 다짐 등에 주의가 필요하다. 설계시 장기허용변형율은 내경의 5% 이내로 한다.
- 덕타일 주철관은 내압성 및 내식성에 우수하여 일반적으로 압력관, 처리장내의 연결관, 압송배관, 하천 및 도로횡단관, 및 송풍용관, 차집관거 등 다양한 용도에 쓰이고 있다.
- 파형강관은 용융아연도금된 강관을 스파이럴형으로 제작한 강관으로서 하수관거 중 아연도금을 한 파형강관은 우수관거용으로 사용되고 있다. 설계시 장기허용변형율은 내경의 5% 이내로 한다.
- 폴리에스테르수지콘크리트관은 레진(수지)과 모래, 자갈 등의 골재 및 충전(진)재, 보강재로 이루어진 관이며, 내산성이 우수하고 관의 노화가 적은 관재이다. 관종은 이음 형상에 따라서 A형 및 B형으로 구분됨. A형은 유연성을 갖는 컬러를 접속하는 이음구조이며, B형은 철근콘크리트관의 B형과 유사한 수구와 삽구를 갖는 이음 구조가 된다.

#### (나) 상하수도의 방식방법 선정

##### ① 상수도 부식성 개선 방법

- 수돗물의 부식성이 강한 경우에는 수도관의 부식을 촉진시켜 수돗물 공급과정 중 녹물발생 가능성이 높다. 정수장에서 고품질의 수돗물을 생산하여도 공급과정에서 녹물이 발생하면 수돗물 안전성에 대한 고객의 신뢰도가 저하되기 때문에 정수장에서는 수돗물의 부식성을 개선함으로써 공급과정에서 수돗물의 품질저하를 예방할 수 있다. 정수장이나 배-

급수계통에서 적용 가능한 수돗물 부식성 개선 방법으로는 부식억제제 주입, 알칼리제 주입 등의 방법이 있다.

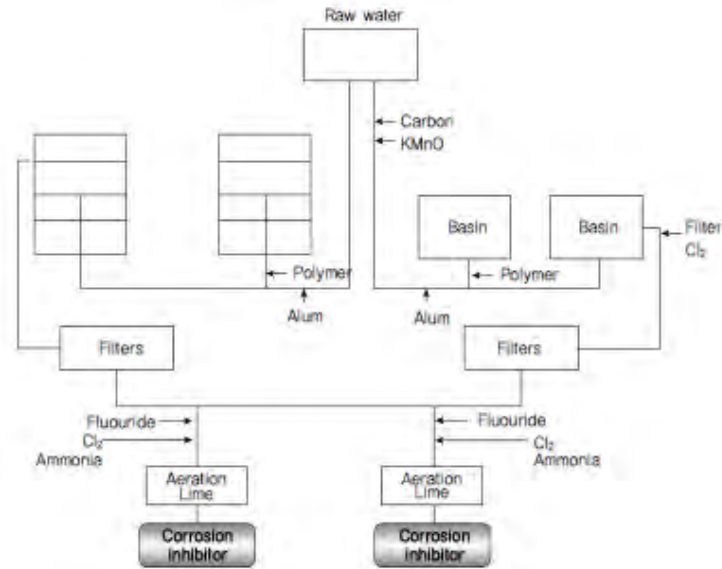
- 부식억제제는 수도관의 부식을 억제하여 수돗물에 녹물이 발생하는 것을 방지할 목적으로 첨가하는 물질로, 정수장에서 주입하거나, 배·급수계통의 배수지 및 수돗물 공급과정의 마지막 단계인 아파트 및 빌딩의 저수조 전후에 주입하기도 한다. 미국과 유럽에서는 상수도관의 재질, 수질특성에 따라 차이가 있기는 하지만 녹물의 저감에 긍정적인 효과가 인정되어 부식억제제를 일부 정수장에서 투입하고 있으며, 특히 미국의 경우는 1991년 납동 규제법(Lead & Copper Rule) 제정 후 그 사용량이 증가하고 있다.
- 정수장에서 부식억제제를 주입할 경우 위생적인 측면에서 매우 안전하게 관리되어야 하며, 환경부의 고시에서 정하는 기준과 규격에 맞게 사용하여야 한다. 부식억제제는 인산염과 규산염이 주원료로 사용되며, 주요 특징은 [표 3-2-3-12]와 같다.

[표 3-2-3-12] 부식억제제 규격 및 특징

구분	인산염계 부식억제제			규산염계 부식억제제		
	구분	화학식	특징	구분	화학식	특징
종류	정인산염	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	칼슘이온이 많은 경우 효과적으로 보호피막 형성	규산염	Na <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> Na <sub>2</sub> SiO <sub>7</sub>	(mSiO <sub>2</sub> , nSiO <sub>3</sub> ) <sup>2n-</sup> 와 같은 콜로이드 음이온으로 작용  pH가 낮고 용존산소가 높은 수질에서 처리하기 적당
	다중인산염	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	Polyphosphate → Orthophosphate 일 때, 부식억제			
	혼합인산염	Ortho phosphate, Poly phosphate	Orthophosphate: 부식억제 효과, Polyphosphate: 봉쇄제 효과			
사용기준	- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 기준으로 국내 5 mg/L 이하 - 프랑스, EU 일본 5 mg/L 이하			- SiO <sub>2</sub> 기준으로 국내 10 mg/L이하 - 프랑스, EU 10 mg/L 이하 - 일본 5 mg/L 이하		
효과	- 부식속도 감소 및 중금속 용출 제어			- 고노도 주입시 부식속도 감소 - 동관, 아연도강관에서의 효과 미미		

- 일반적으로 정수장에서는 부식억제제를 소독공정 후단에 주입하고 있으며, [그림 3-2-3-17]은 정수장에서 부식억제제 주입공정도이다.





[그림 3-2-3-17] 미국 정수장의 부식억제제 주입 공정도

- 한편, 수돗물의 부식성을 직접적으로 측정하는 지표는 현재까지 알려져 있지 않으며, 간접적으로 부식성을 측정하는 대표적인 지표는 아래 [표 3-2-3-13]과 같다. 실제 부식현상의 발생은 주변환경, 관재질 등에 따라 상이하나, 일반적으로 수돗물의 부식성이 높을수록 녹물발생 등 공급과정중에 수돗물 품질이 저하될 가능성이 높다.

[표 3-2-3-13] 수돗물 부식성 관련 지수

지수	계산식	내용
LSI (Langelier Saturation Index)	$LSI = pH - pH_s$	$LSI > 0$ 비부식성
		$LSI = 0$ 평형
		$LSI < 0$ 부식성
AI (Aggressive Index)	$AI = pH + \log[\text{총경도} \times \text{칼슘경도}]$	$AI < 10$ 강부식성
		$AI = 10-12$ 약부식성
		$AI > 12$ 비부식성
RSI (Ryanar Stability Index)	$RSI = 2pH_s - pH$	$RSI > 7.0$ 부식성
		$6.5 < RSI < 7.0$ 평형
		$RSI < 6.5$ 비부식성

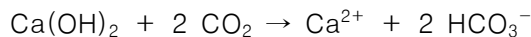
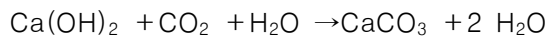
- [표 3-2-3-13]의 지표 중 랑게리아지수(Langelier Saturation Index, LI)를 가장 보편적으로 사용하고 있으며, 랑게리아지수란 물의 실제 pH와 이론적 pH( $pH_s$ : 수중의 탄산칼슘이 용해되거나 석출되지 않는 평형상태로 있을 때의 pH)와의 차를 말하며, 탄산칼슘의 피막형성을 목적으로 하고 있다.
- 지수가 양(+)의 값으로 절대치가 클수록 탄산칼슘의 석출이 일어나기 쉽고, 0이면 평형관계에 있고, 음(-)의 값에서는 탄산칼슘피막은 형성되지 않고 그 절대치가 커질수록 물의 부식성은 강한 것을 의미한다. 이러한 물은 콘크리트구조물, 모르타르라이닝관, 석면시멘

트관 등을 열화시키며 아연도금강관, 동관, 납관에 대해서는 아연, 동, 납을 용출시키거나 철관으로부터는 철을 녹여서 녹물발생의 원인이 되는 등 수도시설에 대하여 여러 가지 장애를 일으킨다. 그 대책으로서 랑게리아지수를 개선하게 되면, 수도시설이나 급배수관 등의 부식성 개선 외에 랑게리아지수가 음(-)이더라도 값이 0에 가까우면 관 내면에 탄산칼슘피막이 형성되어, 부식을 방지할 수 있는 것으로 알려져 있다. [표 3-2-3-14]에 랑게리아지수와 부식성과의 관계를 나타내었다.

[표 3-2-3-14] LSI와 부식성과의 관계

LSI	부식특성
+0.5 ~ +1.0	보통 - 다량의 스케일형성
+0.2 ~ +0.3	가벼운 스케일 형성
0	평형상태
-0.2 ~ -0.3	가벼운 부식
-0.5 ~ -1.0	보통 - 다량의 부식

- 랑게리아지수는 pH, 칼슘경도, 알칼리도를 증가시킴으로써 개선할 수 있으며 소석회 및 이산화탄소의 병용법과 알칼리제(수산화나트륨, 소다회, 소석회)를 단독으로 주입하는 방법이 있다. 개선방법은 원수수질과 목표로 하는 랑게리아지수 등을 고려하여 선택한다.
- 소석회 및 이산화탄소의 병용법은 처리수에 소석회와 이산화탄소를 주입하여 pH, 칼슘경도, 알칼리도를 동시에 증가시키는 방법으로, 그 반응식은 다음과 같다. 소석회와 이산화탄소의 병용법은 칼슘경도, 유리탄산, 알칼리도가 낮은 원수의 랑게리아지수 개선에 알맞은 방법이고, 랑게리아지수를 거의 0에 가깝게 하고 싶은 경우에 효과적이다.

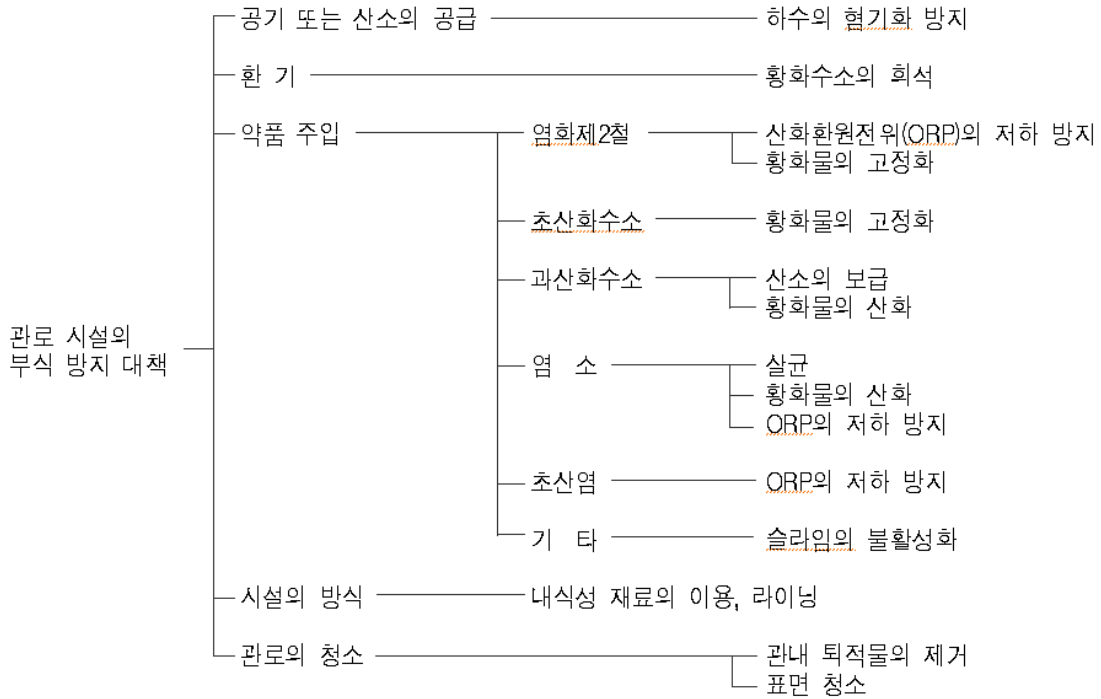


## ② 하수도 부식성 개선 방법

- 관거의 내면이 마모 및 부식 등에 따른 손상의 위험이 있을 때에 내마모성, 내부식성 등에 우수한 재질의 관거를 사용하거나 관거의 내면을 적당한 방법에 의해 라이닝(lining) 또는 코팅(coating)이 필요하다.
- 특히, 관거의 경사가 급한 부분에서는 마모가 심하며, 압력관거의 토출구 등에서는 황화수소가 발생하기 쉽고 부식할 우려가 있다. 관거 내가 혐기성 상태가 될 때 혐기성균이 하수에 포함된 황을 환원시켜 황화수소를 발생시키고 이 황화수소가 관거의 천정부근에서 또 다른 종류의 균에 의해 산화되어 황산이 되면서 관거를 부식시키는 관정부식(crown corrosion)이 일어난다. 따라서 관거의 내면이 마모 및 부식 등에 의해 손상될 위험이 있을 때에는 내마모성, 내식성 및 내약품성이 우수한 관을 사용하거나 합성수지나

모르터 등으로 라이닝하여 관내면을 보호할 필요가 있다. 부식에 대한 보호재료에는 모르타르, 역청재(瀝青材), 합성수지 등이 있다.

- 강관 및 덕타일주철관을 전기철도나 변전설비의 주변에 매설하는 경우에는 미주전류(stray current)의 영향을 받아 전식(electrolyte corrosion)이 일어날 수 있으므로 절연문제를 고려해야 하며, 상황에 따라서는 전기분해 방식을 고려해야 한다.
- 부식으로 인해 관거에 치명적 손상이 발생하며, 부유물질 양이 증가함에 따라 환경문제나 추가적인 비용이 발생하기도 한다. 관거교차부, 낙하부, 침전물 변화부 등에 있어 부식이 특히 영향을 미치므로 물의 흐름을 변화시키는 암거, 관거 등의 설계 시에는 부식방지를 위한 조치를 필수적으로 마련해야 하며, 부식이 일어나기 쉬운 지점을 정기적인 조사를 통해 유지관리 하여야 한다.
- 조사는 점검에 의해 발견된 이상 장소를 육안조사 및 각종 조사에 의하여 파악하는 것이며, 이상 장소에 대한 문제의 정도를 관측하여 개·보수 계획을 수립하여 유지관리하는 것이 목적이다.
- 구체적으로 관거의 내부 조사(변형, 손상 및 토사 등의 퇴적물), 침입수 조사(오접합, 수량 및 수밀성), 부식 및 노후도 조사, 부설환경상태 조사(지하수위 및 공동) 등을 수행해야 하며, 관거 내부에서 발생한 이상상태의 대부분은 조사원이 관거 내부로 들어가거나 CCTV 등의 시각조사를 통해 확인할 수 있다. 관거의 수밀성은 지하수위가 높을 경우 관거 내부로의 침입수나 유입수를 육안 또는 CCTV조사로 관측할 수 있으나 육안으로 조사할 수 없는 경우에는 합리적인 조사 및 시험을 통해 확인하여야 한다.
- 하수관거의 부식은 황화수소에 의한 부식이 주를 이루며, 이에 대한 대책을 수립하고 유지관리 하는 것이 하수관거의 부식을 제어할 수 있는 방법이다. 관거 시설의 부식 대책은 콘크리트 부식의 메커니즘을 끊는 것이 중요하므로 관거가 매설되어 있는 환경에 적합한 방법을 선정하여야 한다. 관거 시설의 황화수소 부식 대책은 다음 [그림 3-2-3-18]과 같다.



[그림 3-2-3-18] 관거시설의 염화수에 의한 부식대책

- 구체적으로 황화수소의 생성을 방지하기 위하여 공기, 산소, 과산화수소, 초산염 등의 약품 주입에 의해 하수의 혐기화를 억제, 황화수소의 발생을 방지할 수 있으며, 관거를 청소하고 미생물의 생식 장소를 제거하여 황화수소 발생의 원인이 되는 관내 퇴적물을 제거함으로써 황산염 환원 세균, 유황산화세균의 생식 장소를 제거한다. 또한, 황화수소가스가 저농도인 경우, 유황산화 세균의 증식이 억제되기 때문에 환기를 통해 관내 황화수소를 회석하여 부식을 억제할 수 있다.
- 또 다른 방법으로는 산화제를 첨가하여 황화물의 산화, 금속염의 첨가에 의한 황화수소의 고정화 등을 통해 황화수소의 대기 중으로의 확산을 방지하는 방법이 있으며, 황산염 환원 세균에 선택적으로 작용하는 약제를 주입하여 세균 활동을 억제할 수 있다.
- 마지막으로 관중의 선정에 있어 유황산화 세균에 선택적으로 작용하는 약제를 혼입한 콘크리트(방균, 항균 콘크리트)를 이용하여, 세균의 증식을 억제하는 방법과 방식 재료를 사용하여 부식이 일어나는 관의 표면을 보호하는 방법이 있다.

### (3) 농업용 관수로 관중 선정 가이드라인 마련

- 앞서 농업용 관수로 선정 방법과 상·하수도 관중 선정 방법에 대해 검토를 수행하였다. 각각의 선정 방법들은 해당 분야에서의 경험이 축적되어 마련된 방법으로, 각 분야의 관중 선정 방법을 대표하고 있다. 그러나, 농업용 관수로의 내구성을 향상시키기 위한 방안에 대한 연구의 수행을 통해 농업용 관수로 선정 방법을 보완하고자 하였으며, 농업용 관수로 선정 시에 비교적 상세하게 고려되고 있지 않는 수질에 대한 보완 방법에 대해서 제안하고자 한다.

(가) 토양 부식성 특성 평가에 대한 제안

- 매설관의 지중에서의 부식 속도는 토질 및 지하수의 수질 등에 따라 현저하게 차이가 난다. 즉, 지하수에 염분을 다량 함유한 해안지방에서는 염류의 국부전지 작용에 의해서, 산성의 공장폐수가 지하에 침투하는 곳에서는 화학작용에 의해서, 또는 매립지나 하구부근에서의 혐기성박테리아 등에 의해 조기에 부식이 빠르게 진행된다.
- 토양의 부식성을 유발시키는 인자로서는 비저항, pH, 산화환원전위, 유기물, 함수율, 통기성 등이 있으며 이중 토질의 비저항에 의한 영향이 제일 큰 것으로 알려져 있다. 그리고 유기물의 농도는 황산염박테리아에 의한 피해를 일으키는 요인이 된다. 이러한 요인을 검토하면 일반적으로 부식성 강한 토양으로서는 점토, 실트질, 부식토, 이탄, 소택지 토양, 해수를 함유한 토양 등이다. 이러한 토질에 금속관을 매설하는 경우에는 방식대책의 필요성 여부를 재검토하여 충분히 대비하여야 한다.
- 토양 부식성을 평가하는 방법으로는 주철관을 대상한 토양 부식성 평가법인 미국국가규격(ANSI)과 강관의 부식방지를 위한 토양부식성 평가법인 독일가스수도기술자협회(DVGW)법이 있다. ANSI 평가법의 측정항목은 토양저항율, pH, 산화·환원전위, 수분, 산화물 등 5개이며, 부식성 평가방법은 10점 이상인 경우 부식성이 있는 것으로 평가하고 있다. 이 평가법의 사용목적은 주철관종의 폴리에틸렌슬리브 이용여부를 결정하기 위하여 사용하며, 이는 농업용 관수로 선정 방법에서 이미 고려하고 있는 사항이다.
- 또한, DVGW 평가법의 측정항목은 토질, 함수율, 토양저항율, pH, 총산도, 총알카리도, 산화·환원전위, 이산화황 및 황화합물, 염소이온, 황산이온 등 10개이다. 부식성 평가 점수는 -10점 이하인 경우 부식성이 있는 것으로 판단하며, 일본의 경우 ANSI 평가법보다 DVGW 평가법이 실제상황과 관련성이 높다고 판단하여 널리 사용하는 평가법이다. DVGW법을 이용한 토양 부식성 평가법은 [표 3-2-3-15]와 같다.
- 토양 부식성을 평가함에 있어 강관의 경우에는 아래의 DVGW법을 이용하여 평가하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

[표 3-2-3-15] DVGW법을 이용한 토양 부식성 평가법

구분	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4
토양조성	C CM SM S		S SL LM SA		A AM H		T LS SA
매설위치에서의 지하수위			X		O		
토양의 조건			SN S1		Sr	S2	
비저항( $\Omega$ -cm)			>10,000	10,000~ 5,000	5,000~ 2,300	2,300~ 1,000	<1,000
함수율(%)			<20	>20			
pH			>6		<6		
Total acidity(pH7)(mg/kg)			<2.5	>2.5~5	>5		
Redox potential(pH7)(mV)	>400VS		200~400 VM		0~200 VW		<0 VN
Total alkalinity(pH4.8)(mg/kg)	>1,000	200~1,000	<200				
황화물 및 황화수소 (S <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/kg)			X		<0.5		>0.5
석회분, 코크스 (Cinders, Cokes)			X				O
염소이온(mg/kg)			<100	>100			
황산이온(mg/kg)			<200	200~500	500~ 1,000	>1,000	
Estimated value	> 0		0 ~ -4		-5 ~ -10		< -10
Corrosivity	Very weak		Weak		Middle		Strong

C : 석회질      LM : 이회흙      SA : 소척지토양      T : Peat  
 CM : 이회상석화암      SA : 모래점토(실트함유 75%이하)      SN : 재래토      VN : Not ventilation  
 A : 점토      SM : 모래상이회사(석회실트)      Sr : 매립토양      VM : Middle ventilation  
 S : 모래      H : 부식토      S1 : 굴삭토와 동일한 토양      VS : Strong ventilation  
 S : 흙      T : 이회      S2 : 굴삭토와 다른 토양      AM : Humus  
 LS : 중질흙      SL : 모래질 흙(흙함유 75%이하)      VW : Weak ventilation

(나) 수질 부식성 특성 평가에 대한 제안

- 농업용 관수로의 부식의 측면에서 보면, 국내의 수원은 경도가 및 알카리도가 낮은 연수로 관체내면의 보호피막을 형성시키지 못하는 특성이 있다. 따라서, 관로의 부식이 촉진될 수 있는 잠재성을 내포하고 있다.
- 관로의 부식성을 조절하는 방법은 pH, 알카리도 및 칼슘경도의 조절과 부식억제제를 주입하는 방법이 있다. 부식성 수질제어에 의한 방법은 관로의 부식을 저감하는 가장 경제적인 방법임에도 불구하고 현재 국내에서는 부식성 수질제어를 위한 공정을 도입하고 있지 않다. 이는 pH 상승, 탁도 유발, 경도 및 증발잔류물의 증가시키는 결과를 초래함으로써 상수도 분야에서는 적극적인 적용을 검토하지 못하고 있다.

- 수질 부식성은 부식성지수를 이용하여 간단히 평가할 수 있으며, 부식성 지수는 탄산칼슘 침전의 원리에 기초를 둔 지수와 다른 수질 화학인자들에 관계되는 부식에 기초를 둔 지수로 분류된다. 부식성 지수를 이용한 부식의 평가방법은 부식의 발생여부를 예측하고 부식성수질 조절에 대한 정보를 제공하는데 이용되며 관체의 부식에 대한 정보는 제공되지 않는다.
- 탄산칼슘 침전원리에 근거한 지수들 가장 대표적인 방법이 Langelier Saturation Index(LSI)이며 Ryznar Index(RI), Aggressiveness Index(AI)와 Calcium Carbonate Precipitation Potential(CCPP) 등이 있다. 그리고 기타 화학종이나 경험식에 의한 평가방법으로 Larson Ratio(LR), Riddick Corrosion Index(RCI), Corrosion Rate(CR), Buffer Intensity(BI), Casil Index(CI), Fiengenbaum Index(FI) 등이 있다([표 3-1-3 참조]).
- 부식성 지수에 의해 수질의 부식성을 평가함에 있어 각 방법에 따라서 상이한 결과가 나올 수 있다. 즉 어떤 지수에 의해 부식성(Corrosive)으로 평가된다고 할지라도 다른 지수에 의해서는 비부식성(noncorrosive, stable)으로 평가될 수 있으며, 수질부식성의 예측결과와 모의배수관망이나 현장실험결과가 서로 다르게 도출될 가능성도 배제할 수 없다.
- 따라서, 다양한 부식성 지수의 평가를 통해 수질의 부식성을 미리 평가하여 관종의 선정시에 고려하는 것이 바람직하다. 아래 [표 3-2-3-16]은 각 부식성 지수에 따른 수질의 부식성 평가 결과이다.

[표 3-2-3-16] 부식성 지수와 부식성과의 관계

부식성 지수		부식특성
LSI	> 0	비부식성
	= 0	평형
	< 0	부식성
AI	> 12	비부식성
	10 ~ 12	평형
	< 10	부식성
RSI	< 6.2	비부식성
	6.2 ~ 6.8	평형
	> 6.8	부식성
LR	> 0.4	강부식성
	< 0.4	약부식성

#### 4. 관파손 감지시스템의 현장 성능평가 및 경제성 분석

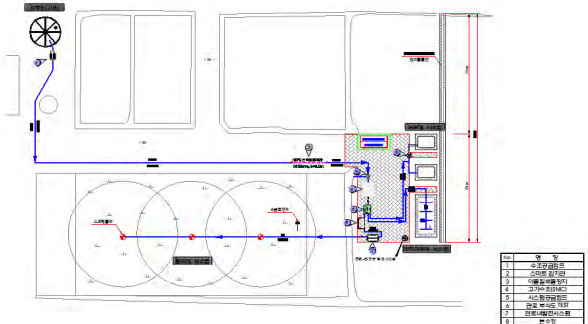
##### 가. 관파손 감지 시스템의 현장 성능평가

##### (1) Pilot plant 구축

- 관파손 감지 시스템을 포함한 농업용 스마트 파이프라인 시스템의 운영관리기술 및 요소 기술을 검증하고 실증 데이터를 확보하기 위하여 pilot plant를 아래 [그림 3-2-4-1], [그림 3-2-4-2]와 같이 구축하였다.



[그림 3-2-4-1] Pilot plant 설치장소



[그림 3-2-4-2] Pilot plant 설치 전경 및 설치도



- Pilot plant는 스마트 파이프라인 시스템의 개념과 일치하도록 구성하였으며, 구체적인 운영 흐름은 아래 [그림 3-2-4-3]과 같다.



[그림 3-2-4-3] 파일럿 플랜트 흐름도

- 유입펌프는 스마트 파이프 파일럿 플랜트로 농업용수를 공급한다. 농업용수가 공급되면 시스템은 파일럿 플랜트 배관에서 관파손, 누수에 대한 테스트를 수행한다.
- 관파손 시스템을 통한 모니터링 결과 데이터는 중앙시스템으로 전송 및 저장되며, 이상 유무는 관리자에게 알람을 통해 전송된다.
- 유입원수가 농업용수라는 특성상 모래나 흙과 같은 입자성 물질을 포함하고 있기 때문에 이의 처리를 위한 장치가 필요하며, 이에 이물질 배출장치를 설치한다. 이물질 배출장치는 배관의 유체의 흐름을 원활하게 해주며, 펌프 및 배관 내면의 마모를 줄여주는 역할을 한다. 전처리 된 농업용수는 고가수조에 일정량 저장되며, 수위 센서를 이용하여 저장량을 조절한다.
- 고가수조에 저장된 물은 발관개 시스템, 논관개 시스템 및 간척지로 공급되며, 각각의 센서 신호에 따라서 용수가 필요한 부지에 필요한 물을 공급한다.
- 논관개 시스템의 경우에는 논에 설치된 수위계를 이용하여 논 수위를 항상 모니터링하며, 일정량의 수위가 확보되지 않으면 논에 자동으로 물을 공급한다. 한편, 발관개 시스템은 밭에 설치된 토양 수분 측정 센서의 측정값을 이용하여 일정 수준의 수분이 유지될 수 있도록 자동으로 물을 공급한다.
- 한편, 고가수조에서 발관개 시스템 및 논관개 시스템으로 가는 배관에 관내 발전 시스템이 설치되어, 농업용수가 배관을 통해 논이나 밭에 공급되는 동안 전력이 생산된다.
- 마지막으로 배관을 병렬방식으로 구성하여, 배관자재에 따라서 부식도를 측정할 수 있는 장치를 설치하여 관중에 따른 부식정도 평가를 할 수 있도록 한다.

○ 구축된 pilot plant의 주요공정 시설 설비 및 계측기는 아래 [표 3-2-4-1]과 같다.

[표 3-2-4-1] 주요공정 시설 설비 및 계측기 사양

구 분		시 설 개 요	비 고
용수공급시설	수조공급펌프	자흡식펌프 0.5m <sup>3</sup> /min × 10mH	1대 예비
	논관개시스템 공급펌프	입형펌프 0.12m <sup>3</sup> /min × 10mH	
	간척지관개시스템 공급펌프	입형펌프 0.12m <sup>3</sup> /min × 10mH	
	밭관개시스템 공급펌프	입형펌프 0.24m <sup>3</sup> /min × 40mH	인버터 제어
	밭관개시스템 공급밸브	전동볼밸브(일상식, 제어반부착형) 50A × 10.0kg/cm <sup>2</sup>	
	고가수조	10TON, 1조 (2mW × 2.5mL × 2mH)	
	스마트 감지관	스마트 감지관 1본(6.0m), 감지테이프, 누수감지센서, 보호커버, 원격감시장치	
	이물질 배출장치	100mm, 1조	
논관개 시스템	개수로 시스템 조	3,000mm × 4,000mm × 200mm 유입관: 벤치플룸관(300mm × 200mm)	
	관수로 시스템 조	3,000mm × 4,000mm × 200mm 유입관: HI-3P관(50 mm)	
	분수정 (무동력 균등분수장치)	560mm $\varnothing$ × 500mmH × 1조	
밭관개 시스템	시스템 부지	42.2m × 23.1m	기존부지 이용
	스프링클러	스프링클러 헤드: 15D × 3EA	
	관로 부식도 TEST	SPP관, 0.5m × 2EA	
	관로내 발전시스템	터빈: Darrieus형, Cross Flow형, Savonius형	
발전시스템	하이브리드 (풍력+태양광)	풍력: H형 수직형 날개 (1,500mm × 250mm × 45mm) 태양력: 태양전지판 (1,050mm × 660mm × 35mm)	
간척지 시스템	시스템 조	4,000mm × 8,000mm × 200mm 유입관 : HI-3P관(50 mm)	
전자유량계	공급수 유량계	100A, 0.282-367,5m <sup>3</sup> /hr, 정확도: ±0.25%	(주)윈텍
	공정용 유량계	50A, 0.07-91.9m <sup>3</sup> /hr, 정확도: ±0.25%	(주)윈텍
디지털압력계	공정 압력계	0-6Bar, 정확도: ±0.25%	울파기술(주)
수위계	공급수 저장조 수위계	전극봉, 0-2.5m	
측정기	토양 수분 측정기	압력식, 0-100%, 0~(-100)kPa, 직선성: ±0.5% 이하	Daiki

(2) 관파손 감지시스템

- 관파손 감지시스템은 상, 하수도관 등 지하에 매설된 여러 가지 매설물 외면에 전파송신선이 삽입된 스마트시트(또는 테이프)를 부착하고, 연결부마다 감지센서를 부착하여 지진, 부등침하로 누수사고 등을 실시간으로 감지할 수 있는 시스템이다. 이를 통해 관파손 등을 신속하게 복구할 수 있으며, 2차 대형사고를 예방할 수 있다.
- 또한 지하시설물이 타 공사로 파손되는 것을 막도록 스마트 예방시트를 시설물과 이격 설치하여 중장비기사와 관리자에게 경고를 주어 파손을 예방할 수 있다.
- 관파손 감지 시스템은 기존의 기술과 달리, 모든 지하매설관에 적용이 가능한 기술이며, 관이 파손되기 이전에 감지시트의 파손을 감지함으로써 관의 파손을 예방할 수 있다. 또한, 파손되기 쉬운 이음부를 고정함으로써 부등침하를 방지하는 기능을 포함하고 있다.
- 관파손 감지시스템의 주요 구성 요소 및 기능은 아래 [표 3-2-4-2]와 같다. Pilot plant에는 감지테이프가 파일럿 플랜트 부지 진입 직전의 송수관로에 약 30m(6.0m × 1본)가 설치되었으며, 각 이음부에 누수감지센서가 설치되어 관로의 누수유무를 판단할 수 있다. 또한, 신호의 수신 및 분석을 위해 원격감시장치가 1대 설치되었다.

[표 3-2-4-2] 관파손 감지시스템의 주요 구성요소 및 기능

연번	구성요소		기능 및 역할
1	감지테이프		본관의 파손 발생 시 이를 감지할 수 있도록 감지선 1쌍을 나선형으로 10~30cm 간격을 유지하면서 본관 외면에 감기 위해서 사용되는 테이프
2	누수감지센서		본관 연결부 누수발생 시 이를 실시간 확인 할 수 있도록 일정한 압력이 작용될 때 작동되도록 만들어진 센서
3	보호커버		누수 감지센서가 토압이나 기타 외력에 의하여 파손되는 것을 방지하기 위해 관 연결부에 씌우는 자재이며, 필요한 경우 내부에 우레탄 또는 시멘트 몰탈을 주입하여 연결부를 보강할 수 있도록 제작된 커버
4	원격감시장치		제1차 감지시트나 제2차 감지시트 또는 연결부 누수 등이 발생하는지를 실시간 모니터링을 하다가, 파손 및 누수가 확인되면 실시간으로 그 위치를 파악하여 서버 컴퓨터로 전송하도록 하는 장치

- Pilot plant에 설치된 원격감지 장치의 사양은 아래 [표 3-2-4-3]과 같으며, 관파손 감지시스템의 설치 전경은 [표 3-2-4-4]와 같다.

[표 3-2-4-3] 원격감지장치 사양

구 분	규 격	비고
크기	- 폭(540mm) x 깊이(330mm) x 높이(920mm)	
케이블 측정범위	- 3.2m ~ 15,000m 선의 상태에 따라서 차이가 날 수 있음.	
최소표시해상도	- 1cm ~ 50cm 가변	
정확도	- Coax $\pm$ 0.01% 판독오차	
출력펄스전압	- 2volt peak to peak into open circuit	
펄스폭	- 5, 15, 45, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000ns	
LCD화면크기	- 320mm x 240mm backlight 지원	
커넥터	- BNC female	
채널 인터페이스 수	- 4~8	
전원	- 220V, 300W, 단상 2선	
모뎀 스피드	- 115,200bps(CDMA 1x)	
하드디스크	- 40GB	
화면표시	- LCD Display 지원	
APM	- 자동전원장치관리 기능 지원	
시리얼포트	- 1 포트	
전송프로토콜	- TCP/IP/SMS	
랜 포트	- 10/100MB bps 1개	
UPS	- APC 300W	
운영체제	- Windows Embedded XP	
운영온도	- -15°C(+5°F) ~ +55°C(131°F)	
보관온도	- -20°C(-4°F) ~ +70°C(158°F)	
운용습도	- 95% 이하	

[표 3-2-4-4] Pilot plant에 구축된 관파손 감지시스템

설치 및 운영사진			
설치사진		운영사진	
			
			

(3) 관파손 감지시스템의 현장 성능평가 방법

- 관파손 감지 시스템의 운영 절차는 아래 [그림 3-2-4-4]와 같으며, 구체적인 설명은 아래와 같다.



[그림 3-2-4-4] 관파손 감지시스템의 운영절차

- 관파손 감지 시스템이 구축되어 있는 현장에서 공사를 수행하다가, 시공되어 있는 “제1차 감지시트” 또는 시설물에 부착되어 있는 제2차 감지시트나 감지테이프의 감지선이 파손되어 끊어지거나, 연결부 누수발생시 이를 이벤트로 처리한다.
- 원격감지장치는 연결되어 있는 감지선에서 이벤트가 발생하고 있는지를 실시간으로 감시하며, 이벤트가 발생하면 이벤트 발생지점까지의 감지선 길이를 계산하여 해당 정보를 서버 소프트웨어로 전송한다.
- 원격감시장치에서 수신한 이벤트 정보를 분석하여 전자지도 위에 위치를 표시하기 위하여 거리를 감지시트의 길이로 환산한 다음, 지도상에 이벤트 발생 위치를 표시한다.

- 또한, 서버 소프트웨어는 관파손 정보를 관리자 및 중장비 기사의 단말기로 송신한다. 이를 통하여 현재 작업자가 어디서 작업을 하고 있으며, 어떤 종류의 이벤트가 발생하였는지를 확인할 수 있으며, 또한 그 위치를 파악하여 현장 출동을 지원한다.
- 이벤트 발생 위치를 확인한 이후, 관리자는 현장에 가기 전에 시공 정보를 검색확인하여 복구에 필요한 사전 정보를 시스템에서 확인할 수 있다. 이를 통해 빠르게 복구를 진행할 수 있으며, 복구 완료 이후에는 이력정보를 시스템에 입력하여 관리할 수 있다.
- 관파손 감지시스템의 현장 성능평가 방법은 아래 [표 3-2-4-5]와 같다.

[표 3-2-4-5] 관파손 감지시스템의 현장 성능평가 방법

구 분	규 격	비고
감지시트 파손감지	- 스마트시트를 임의로 파손시켜 실시간으로 감지장치에서 인식하여 관리자에게 경고메세지가 전송되어 지는지 확인하는 실험	
누수센서 작동	- 이음부를 임의로 파손한 관의 양측 밸브를 차단한 이후 관 내부 압력 증가를 통해 보호커버 내의 수압을 증가시켜 0.4kgf/m <sup>2</sup> 에서 누수감지센서가 작동하는 확인하는 실험	
커버 수밀	- 누수센서 작동 실험에서의 누수 여부 판단	

(4) 관파손 감지시스템의 현장 성능평가 결과

- 관파손 감지 시스템의 현장 성능평가를 위하여 감지시트 파손감지에 대한 실험을 현장에서 진행하였으며([그림 3-2-4-5] 참조), 그 결과는 아래 [표 3-2-4-6]과 같다. 평가 결과 측정 오차는 0.44m로 시트 파손 위치에 대한 정확성이 높은 것으로 판단된다.

[표 3-2-4-6] 감지시트 파손 감지 실험 결과

실험내용		단선위치(m)	추적위치(m)	오차(m)
감지시트 파손	1	6.0	6.52	+0.52
	2	12.0	12.42	+0.42
	3	30.0	30.38	+0.38
	평균			+0.44

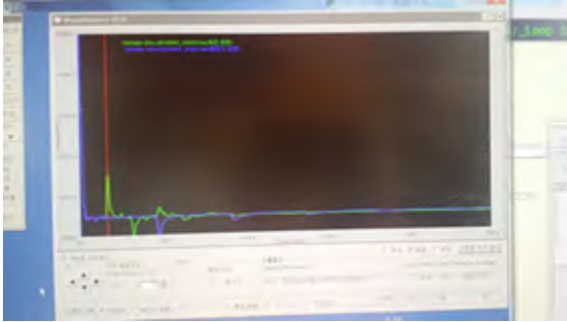




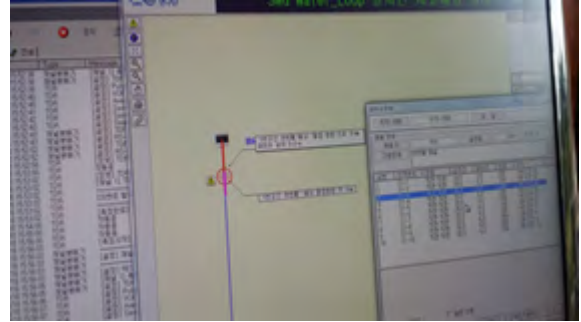
[관파손 감지 시스템 설치 전경]



[감지시트 임의 파손]



[감지 시트 파손에 따른 단선 신호]



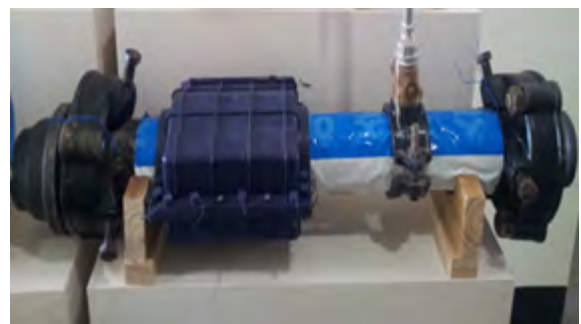
[감지 시트 파손에 따른 위치 알람]

[그림 3-2-4-5] 감지시트 파손 실험

○ 누수센서의 작동 여부와 커버 수밀의 현장 평가를 위하여 제작한 장치를 현장으로 이송하여 누수센서의 작동여부와 커버의 수밀성을 평가한 결과는 [표 3-2-4-7]과 같다. 실험 결과 커버부분에서 누수가 발생하지 않았으며, 압력이 증가하여도 누수센서가 정상적으로 작동하는 것을 확인하였다.

[표 3-2-4-7] 누수위치 감지 실험 결과(압력: 0.4kgf/cm<sup>2</sup>)

실험내용		설정위치(m)	추적위치(m)	오차(m)
누수센서 작동	1	6.0	6.32	+0.32
	2	6.0	6.32	+0.32
	3	6.0	6.32	+0.32
	평균			+0.32



[그림 3-2-4-6] 누수감지 센서 작동 및 커버 수밀 실험 장치

## 나. 관파손 감지 시스템의 경제성 분석

### (1) 경제성 분석방법

#### (가) 경제성 분석 개요

- 경제성 분석은 신규 개발기술에 대한 투자 및 자금조달에 대한 의사결정을 지원하기 위한 것이지만 프로젝트를 보는 이해관계자에 따라 그 분석기준 및 체계가 달라진다. 기술 개발주체의 입장에서는 신규 기술의 경제적 파급효과를 미리 판단하여 사업추진 여부를 결정하기 위한 것이므로 충분한 현금수지가 내부적으로 생성되는지 여부가 주요 분석기준이 된다.
- 기술 적용에 대한 경제성 분석은 개발기술의 실제 적용에 대한 수익성 분석에 중점을 둘 필요가 있으며, 추정된 수익률과 필요 수익률을 비교 검토하여 추진여부를 판단할 필요가 있다.

#### (나) 경제성 분석 방법

- 본 연구에서는 생애주기비용(Life Cycle Cost, 이하 LCC) 분석의 일부 방법인 비용편익분석(Benefit-Cost Analysis) 방법을 활용하여 경제성 분석을 수행한다.
- 농업용 관수로 유지보수 비용은 지역과 관중에 따라 편차가 심하기 때문에 간척지와 같은 비교적 관수로 시스템이 구축되어 있는 곳을 대상으로 경제성 분석을 수행하였다.
- 관파손 감지시스템 도입에 따른 경제성을 평가하기 위하여 2014년 농업생산기반정비통계 자료 등을 기초로 하여 현재의 유지보수비용 등을 산출하고, 관파손 감지 시스템의 구축 비용을 비교하였다.

### (2) 경제성 평가 비용

#### (가) 관 파손 감지 시스템 설치비용

- 본 평가에서는 농업용수로에서 가장 많이 활용되고 있는 600mm 이하의 관경에 대한 관 파손 예방과 관로 파손 및 이음부 누수에 대한 감지 기능 설치비용을 산정하였다. 관파손 감지 시스템의 도입 비용 및 운영비용은 아래 [표 3-2-4-8]과 같다.

[표 3-2-4-8] 관 파손감지 시스템의 도입 비용 추정 결과

(단위: 천원/km)

항 목	관경 600mm
1. 스마트시트	17,600
2. 스마트 예방(경고)시트	18,700
3. 보호커버(6m기준)	19,316
4. 센서(6m기준)	1,333
5. 원격감시장치	33,928
6. 현장 시공품	13,080
합계	103,945



(나) 유지관리 비용

- 농어촌공사의 농업용 용배수로 유지관리 비용은 연 150억원 규모로 책정되어 있다. 또한, 전체 용배수로(98,864km, 2013 기준) 중 용수로의 길이는 63,446km로 산정된다. 이에 본 연구에서는 수로 길이를 기준으로 연간 유지관리 비용을 산정한다. 전국 단위 농업용수로 유지관리 비용은 아래 [표 3-2-4-9]와 같다.

[표 3-2-4-9] 전국 단위 농업용수로 유지관리 비용 (단위: 천원/km)

항 목	거리(km)	비용(천원)
농업용수로	63,446	9,620,000

(다) 관 파손 조기 감지를 통한 누수 저감 비용 산정

- 현재 전국단위 농업용수 총 이용량은 159억<sup>3</sup>m/년에 이르고 있으며, 농업용 용·배수관로의 누수율은 농촌지역 상수도 누수율인 30%를 적용하여 산정한다.
- 관 파손 조기감지를 통해 누수율을 30%에서 20%로 저감하는 것을 가정할 때 누수율 저감을 통한 누수 저감 비용은 다음 [표 3-2-4-10]과 같다.

[표 3-2-4-10] 관 파손 조기감지를 통한 누수 저감비용 (단위: 천원/km)

항 목	수량(천 <sup>3</sup> m)	비용(천원)
농업용수 비용	10	925
연간 농업용수량	15,900,000	1,470,750,000
누수량(30%)	4,770,000	441,225,000
설치 후 누수량(20%)	1,590,000	147,073,529

\* 누수량의 경우 농어촌 상수도를 기준으로 하여 30%로 산정함.

(라) 누수 저감을 통한 펌프 운영비용 절감

- 취수시설에서 연간 50,000천<sup>3</sup>m 규모의 물을 이송하는데 소요되는 비용은 9억원 규모로 추산되고 있다. 또한, 1,590,000천<sup>3</sup>m 규모의 물을 이송하는데 소요되는 비용은 약 286억원 규모로 추산된다.

(3) 경제성 평가 결과

○ 위의 조건들을 활용하여 관수로 유지관리 비용을 50년 단위로 추정한 결과는 다음의 [표 3-2-4-11]과 같다. 이를 통해 관 파손감지 시스템을 설치 후 50년간 운영할 경우, 예상되는 순 편익은 8,625억원으로 산정되었다.

[표 3-2-4-11] 관파손 감지 시스템 도입에 대한 편익분석 결과

(단위: 천원)

항목					
	0~10년	10~20년	20~30년	30~40년	40~50년
1. 편익(A)					
- 누수 저감비용*	1,470,735,290	1,470,735,290	1,470,735,290	1,470,735,290	1,470,735,290
- 전력 절감비용**	286,000,000	286,000,000	286,000,000	286,000,000	286,000,000
2. 비용(B)***					
- 유지관리 비용	110,282,519	148,210,484	199,182,497	267,684,620	359,745,745
- 관 파손감지 시스템	6,594,894,470	-	-	-	-
3. 순편익(A-B)	-5,189,536,499	1,608,524,806	1,557,552,793	1,489,050,670	1,396,989,545
합계	862,581,315				

\*누수 저감비용의 경우, 국내 물 시장 특성상 할인율 미 부여

\*\*전력 비용의 경우, 국내 전력시장 특성상 할인율 미 부여

\*\*\*기본 할인율의 경우, 5% 부여

## 5. 관수로 유지보수 방법 고찰

### 가. 농업용 관수로의 유지관리 방법 고찰

- 본 절에서는 관수로의 내구성을 유지하기 위한 적절한 관수로 유지보수 방법을 제안하고자 한다. 이를 위하여 기존의 농업용 관수로 유지관리 방안을 검토하고, 보다 연구와 사업이 활발하게 이루어지고 있는 상하수도 분야의 관수로 유지관리 방안을 검토하였다. 이 중 농업용 관수로 분야에 적용될 수 있는 체계나 방안을 제안하여 농업용 관수로의 유지관리 효율의 향상에 기여하고자 한다.

#### (1) 농업용 관수로 설계기준 상 유지관리 방안

- 농업용 관수로 설계기준에서의 유지관리는 크게 세 단계로 이루어진다. 유지관리용 자료를 비치하여 관리하고, 이를 기반으로 사고 예방 대책을 수립하여 수행하는 것이다. 또한, 주기적으로 관로를 점검하여 관 파손, 배수 불량 등의 사고에 대비하여 용수 공급에 차질이 없도록 하는 것이 유지관리의 주된 목적이다.

#### (가) 유지관리용 자료의 비치

- 송·급수관로는 연장이 길고 복잡하게 분기되어 있으므로 관리대장 및 배관도 등을 비치하여 효율적으로 관리할 수 있도록 해야 한다. 관로의 유지관리를 위하여 비치하여야 하는 자료 및 작성 방법은 아래 [표 3-2-5-1]과 같다.

[표 3-2-5-1] 농업용 관수로 유지관리를 위한 자료 및 작성 방법

자 료	작성 방법	비고
배관도	-설계시의 용수계통도를 근거로 하여 작성	
송·급수관 정보	-관종, 관경 및 제반 밸브의 위치를 기록	
관 유지보수 기록	-보수, 신설, 증설 및 철거 등의 내용과 일자를 기록, 시공장명 등 사진 기록 보관	
지상구조물	-부근에 설치된 지상구조물을 기록	
기타 매설물	-수도관, 가스관 등의 매설물을 기록	
확대도면	-배관이 복잡한 개소에 대해 부분 확대도면 첨부	
시설물 상세도	-분기관, 분수공 등의 시설물 상세도 첨부	
물사용량	-유량계 부착 관수로에 대해 사용량 기록	

#### (나) 사고 예방대책

- 송·급수관로에 사고가 발생하여 급수가 불가능하게 되면 농작물에 피해를 초래하게 되므로 주의해야 한다. 주요 사고원인은 중차량 통과, 관로주변에서의 타 공사, 관이음 불량이나 관체의 부식 또는 동결 등이 있다.
- 관로의 사고예방과 조기발견을 위하여 관로순찰을 실시하고, 지상누수, 관로의 함몰, 관로 용지의 불법점거, 각종 밸브류 등을 점검하고, 만약 이상이 발견되면 즉시 적절한 조치를

취해야하며, 타 공사가 관로에 주는 영향을 감시하여 사고를 사전에 방지해야 한다.

- 관로가 매설된 지반위로 중차량이 통과하면 관체에 과대한 토압이 작용하여 관체 및 이음부 등을 손상하여 누수 등 사고를 유발하므로 중차량의 통행을 방지해야 한다. 또한, 관로가 매설된 장소에서 다른 공사가 시행되면 관체가 노출되어 사고를 유발할 수 있으므로 시공자와 사전에 협의하여 관체가 안전한 방법으로 시공되도록 해야 한다. 관체가 지반의 동결심도 상부에 매설되어 있는 경우 지반의 동결로 관체가 동파될 염려가 있으므로, 겨울에는 관로 말단의 배수밸브를 열어 미리 배수함으로써 관로의 동결을 예방해야 한다.

(다) 관로의 점검

① 노선 점검

- 송·급수관로는 노선이 길고 부대구조물도 다양하며, 직접 눈으로 확인할 수 없는 부분이 많기 때문에 유지관리가 어렵다. 따라서 관로의 효율적 관리를 위해 각종 도면, 관련서류 및 기록 등이 포함된 관리대장을 기반으로 관로 부대시설의 위치와 구조를 점검하여 사고발생시 신속하게 대처할 수 있도록 해야 한다. 이를 위한 농업 생산기반 시설의 안전 점검 시기는 아래 [표 3-2-5-2]와 같으며, 농업용 관수로는 3종 시설에 해당한다.

[표 3-2-5-2] 농업 생산기반시설의 안전 점검 및 실시시기

구분	대상시설	실시시기
일상점검	1, 2, 3종 시설	- 시설의 운전조작 및 정비, 재해 및 위험 여부 확인, 장애물 제거 등을 위하여 분기별로 1회 이상 실시
정기점검	1, 2, 3종 시설	- 시설의 기능 보전과 재해 예방을 위하여 매년 영농기 전에 정기적으로 실시
긴급점검	1, 2, 3종 시설	- 시설의 노후·파손 등으로 이용자에게 위해를 끼칠 우려가 있거나, 긴급히 시설물을 보수 또는 보강할 필요가 있을 때에 실시

② 계기류 점검

- 송·급수관로의 파열이나 누수 등 이상이 발생하면, 수압계의 수압이 저하되고 유량계의 유량이 증가되며 수위계의 수위가 저하되므로 관로에 부착된 계기들을 잘 관찰하여 이상이 있을 때는 펌프를 정지하고 제수밸브를 닫고 적절히 보수하여야 한다.

③ 보수 기자재 및 재료 준비

- 사고 발생시 조기복구를 위하여 보수재료 및 공구 등을 준비하여 보관하고 비상연락망을 만들어 사고 발생시 신속히 대처할 수 있도록 하며, 사고 및 누수에 대처하기 위하여 다음 [표 3-2-5-3]과 같은 조치를 취해야 한다.

[표 3-2-5-3] 사고 및 누수 등의 대처를 위한 조치 사항

<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관수로 보수시, 관로 전후로 약 50m정도의 노선배치도를 작성하여 사고위치 표시</li> <li>- 사고발생시의 토양상태와 관로상태를 조사 및 기록</li> <li>- 관종, 관경, 제작년도 및 사용년도 등 기록</li> <li>- 관로 보수시 보수하는 관의 전후로 관연결부의 이음간격 측정 및 기록</li> <li>- 누수부위 및 그 주변상황을 사진으로 촬영 및 보관</li> <li>- 전문업체가 시공할 경우에는 업체명 기록 및 보관</li> </ul>
--

(2) 농업생산기반시설 관리 규정상 용·배수로 유지관리 규정 고찰

- 농업생산기반시설 관리규정 제2조 제5항에 의하면 “유지관리”란 완공된 농업수리시설의 기능을 보전하고, 시설 이용자의 편의와 안전을 도모하기 위하여 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상 복구하는 등 시설의 기능유지 보전에 필요한 활동을 의미한다.
- 농업생산기반정비사업으로 설치되거나 기타 농지의 보전이나 농업생산에 이용되는 저수지, 양수장, 관정 등 지하수 이용시설, 배수장, 취입보, 용배수로, 도로, 방조제, 제방 등의 시설물 및 그 부대시설 등이 농업수리시설에 속한다.
- 즉, 유지관리는 시설물의 현재 상태를 파악하고 이상징후 및 손상유무를 조기에 발견하여 보수·보강 등 적절한 조치를 취함으로써 이용자의 편의와 안전을 도모하는 행위로 정의된다. 유지관리업무의 주된 내용은 다음 [표 3-2-5-4]와 같이 농업용수관리와 시설물관리로 구분된다.

[표 3-2-5-4] 농업용수 및 시설물 관리

구분		주요내용
농업 용수 관리	수량 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 용수관리 기초자료 정비 및 급수계획 수립</li> <li>- 수원공 수량을 파악하고 기상정보에 유의하여 대처</li> <li>- 영농대비 실태점검 및 농업용수 확보대책 수립</li> <li>- 가뭄 시에는 절수대책을 수립하여 용수공급</li> <li>- 홍수 시에는 시설물의 피해를 대비하여 사전방류 등 재해예방</li> <li>- 수원공에는 적기에 적량을 취수</li> <li>- 각 수로별로 적량 배분</li> <li>- 과잉수분은 적기에 배수하여 농작물 및 시설물 보호</li> <li>- 통수 및 용수관리 장애물 제거(수초제거, 준설 등)</li> </ul>
	수질 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수질보전을 위한 조사·개선·관리계획 수립 및 시행</li> <li>- 농업용수 수질현황 및 오염파악을 위한 수질조사 실시</li> <li>- 오염물질 불법 배출시설 및 행위에 대한 신고 및 고발 강화</li> <li>- 수질오염 방지 및 개선대책 수립, 시행</li> <li>- 수질보전관리 활동 전개 및 기술지원</li> </ul>
시설물 관리	점검 정비	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시설물의 안전 및 유지관리계획 수립</li> <li>- 시설물 점검(정기, 긴급, 정밀점검, 정밀안전진단)</li> <li>- 각종 점검, 진단에 의거 시설의 정비 및 개·보수 시행</li> <li>- 시설물 보호관리에 필요한 조치</li> <li>- 시설물 안전과 재해예방, 복구, 경보체계 구축</li> <li>- 시설물 안전진단(별도로 분리)</li> </ul>

(3) 농업수리시설 유지관리 실태 분석

(가) 유지관리 연도별 집행실적

- 최근 5년간의 농업수리시설 유지관리 사업의 연도별 집행 내역은 아래 [표 3-2-5-5]와 같다. 2013년도 집행내역을 기준으로 살펴보면 총 유지관리비용 중 직접비가 차지하는 비중이 43.36%, 인건비가 40.99%, 경비가 15.65%를 각각 차지하였는데, 인건비 비중이 큰 이유는 유지관리사업이 주로 인력에 의해 관리되는 사업이기 때문이다.

[표 3-2-5-5] 유지관리사업 연도별 집행내역

(단위: 백만원)

구분	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
총 유지관리비용	367,136	317,342	334,739	343,505	333,563
1) 직접비	169,426	123,437	135,648	141,753	144,641
- 시설물관리비	52,193	51,660	55,617	53,856	54,044
- 외주용역비	89,112	57,689	65,798	73,032	74,392
- 기타직접비	28,121	14,088	14,233	14,865	16,205
2) 인건비	147,045	138,931	141,786	142,500	136,708
3) 경비	50,665	54,947	57,305	59,252	52,214

(나) 유지관리 분야별 업무추진 내용

- 농업수리시설 유지관리 사업에는 크게 용수관리, 시설관리, 환경관리, 재해관리 등으로 구분할 수 있는데, 이 중 관수로의 운영 및 유지관리와 직접적으로 관련이 있는 용수관리분야의 특성 및 내용을 확인하였다. 또한, 시설관리 중 유지관리 업무에 대한 내용을 확인하였다.

① 용수관리

- 용수관리는 각종 수리시설을 이용하여 물을 확보하고 적량의 물을 적기에 효율적으로 공급하는 것을 의미한다. 수원공 용수관리는 용수원을 확보하고 이용가능 수량에 따라 관개 시간과 관개량을 적정하게 유지하는 것이며, 평야부 용수관리는 수로를 통하여 용수를 전달하고 분배하는 과정을 관리하는 것이다.
- 용수관리는 크게 준비-실시-평가의 단계로 구분되어 업무가 추진되는데, 용수관리의 단계별 업무추진 내용은 다음 [표 3-2-5-6]과 같다.

[표 3-2-5-6] 용수관리 단계별 업무 추진 내용

단계별	내용	세부추진내용
준비 단계	기초자료 정비	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수원공별 제원, 공급능력 용배수로 조직 등</li> <li>- 기온, 강수량, 증발산량 등</li> </ul>
	용수관리 구역도 정비 (공사관리구역 위주)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 공사관리지역을 수원공별 수계별로 작성</li> <li>- 행정구역, 위치, 거리, 지형, 계통 및 조직, 통수 및 단수 등 물관리 일반사항 등</li> </ul>
준비 단계	용수 계통도 정비 (주수원공 위주)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수원공별 수계별로 작성</li> <li>- 소요수량 판단과 용수로 조직체계, 관할면적, 침투량 등</li> </ul>
	물관리계획 수립 (필요수량 산정)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시기별, 수계별, 필요수량 산출표시</li> <li>- 용수공급 능력 분석 후 부족 시 대책 강구</li> </ul>
	용배수로 퇴적물 준설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대상지조사, 설계, 발주, 시공, 준공검사, 공사비 지출 등</li> <li>- 담당지역별로 계획, 추진실적 등으로 관리</li> </ul>
	저수량 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유효저수량 확정, 기준저수량 결정</li> <li>- 저수율 입력관리 등</li> </ul>
	물관리취약지 조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가뭄 대비 물관리 취약지 조사 및 지속 관리</li> <li>- 취약지 대책 수립 등</li> </ul>
	영농대비 용수확보 대책 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기상자료 조사, 물수지 분석</li> <li>- 용수확보대책 수립, 용수확보대책 시행시기 결정 등</li> </ul>
	통수식	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 통수식 행사계획 수립, 행사추진 결과보고 등</li> <li>- 농업인 참여 유도, 지역문화축제로 정착화 등</li> </ul>

[표 3-2-5-6] 용수관리 단계별 업무 추진 내용 (계속)

단계별	내용	세부추진내용
준비 단계	계절적 운영관리	- 계절적 운영계획 수립 - 위촉, 재해보장 가입, 교육실시, 운영, 수당지급 등
	운영대의원회	- 운영대의원 운영계획 수립 - 위촉, 운영, 회의결과 안건에 대한 처리내용 회신 등
	자율관리구	- 자율관리구 대상지구 선정, 양정 체결, 운영 및 관리 - 자율관리구장 재해보험 가입, 운영비 지출 등
실시 단계	수원공별 용수관리	- 저수지, 양수장, 취입보 등 - 각 수원공별 용수관리 요령 등
	저수지의 저수관리	- 유효급수 촉진, 기준저수량 곡선 수립 - 급수 제한을 등
	하천수 취수관리	- 양수장, 취입보, 관정 등 - 하처능 취입 시 고려사항 등
	지하수 취수관리	- 관정, 집수암거 등 - 지하수 부존량, 공급속도, 토양수분상황 등
	용배수로 관리	- 수초 및 퇴적물 제거 등 통수장애 요인 제거 - 통수능력 확보, 퇴수 활동
	분수문 등 각종 수문관리	- 분수문, 방수문 등 - 분수, 조절 등
	경작지 등 기타 평야부 관리	- 급배수 조작, 적기 및 적량 - 간단관개, 운항 관개 등 용수 절약 등
	송수	- 유량변화 도달시간 등 - 공급 주도형 용수관리 등
	분수	- 수익자 상호간 이해관계 고려 - 정비 분수, 정량 분수, 유량조절 분수 등
실시 단계	시기별 용수관리	- 못자리기, 씨레질기, 보통기 등 - 각 시기별 용수관리 요령 등
	생육단계별 용수관리	- 생육시기별 용수관리 - 못자리, 씨레 및 이앙기, 본답기
	용수공급 필요수량 산정	- 물관리요령 등
	통수	- 용수관리 계획에 따라 통수 - 저수지, 양수장, 취입보, 관정 등
	기상관리	- 강수량, 강우일수, 기온 등 - 전년, 평년, 금년자료와 비교
	급수 예고	- 최소 3일전 급수예고로 계획영농 실현 - 물절약, 고객만족
	공급량 조사	- 용수관리 계획에 따라 공급량 산정 - RIMS 시스템에 입력관리
	수초제거	- 일제조사, 대상지선정, 설계, 발주, 준공검사 등 - 통수량 확보, 적기 실시
평가 단계	물관리 평가	- 준비단계, 실시단계의 추진실적 평가 - 전년자료와 비교분석 및 발전방향 모색 - 물관리 종합평가에 반영



## ② 시설 유지관리

- 시설 유지관리의 기본업무는 ①농지 및 시설방재 세부계획 수립 및 집행, ②시설관리규정의 준수 및 이행, ③시설의 일상관리 및 기록유지와 보고, ④수질오염 등 공해의 확인 및 보고, ⑤타 시설유지 및 안전관리에 필요한 사항으로 설명할 수 있다. 이 중 용·배수로와 관련된 구체적 업무내용은 다음 [표 3-2-5-7]과 같다.

[표 3-2-5-7] 용배수로 유지관리 세부 업무 내용

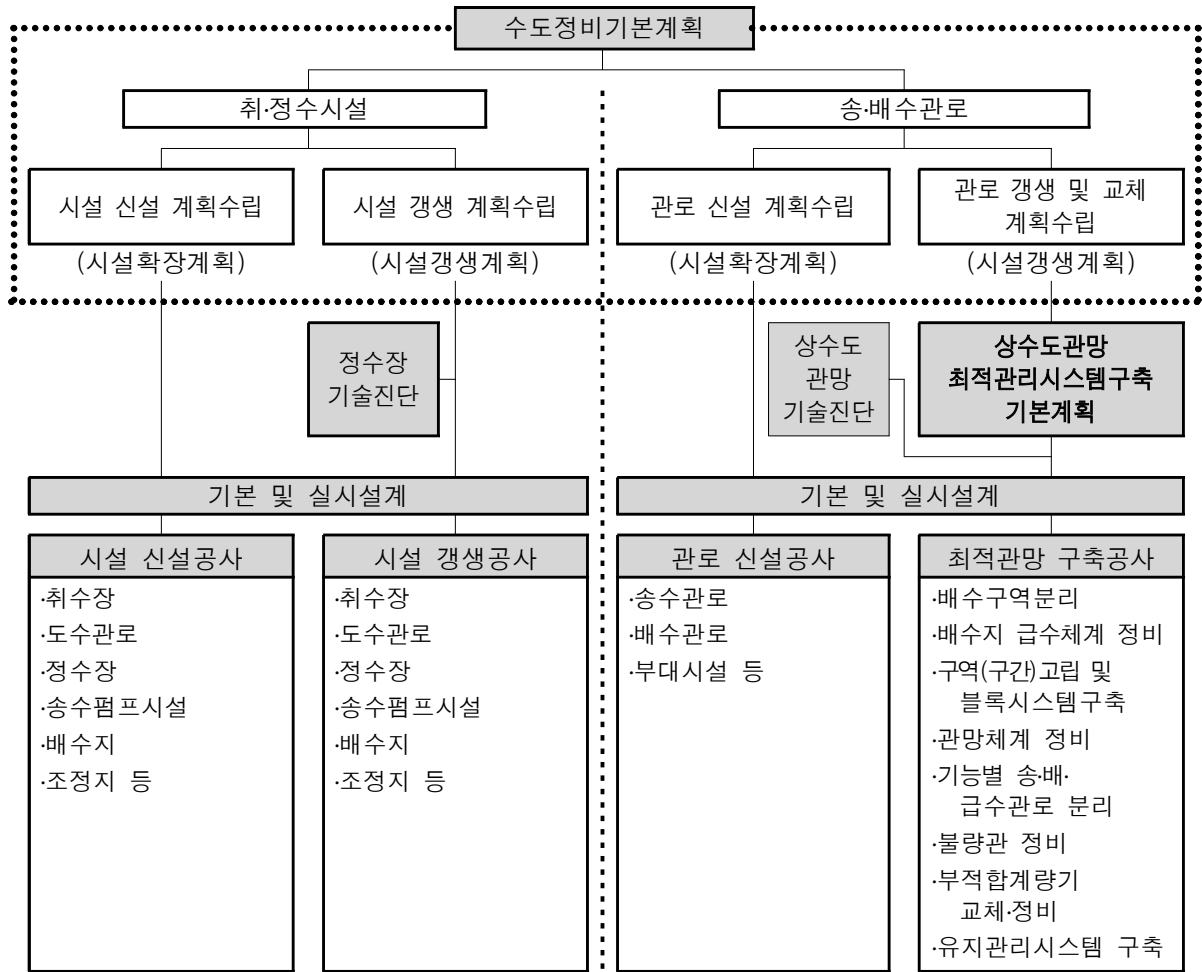
구분	세부 업무 내용
용·배수로	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오물(퇴적토, 수초 포함) 제거로 통수장애 요인 제거</li> <li>- 누수와 월류의 위험 우려 구간 조사와 조치</li> <li>- 하수 등 오폐수 유입으로 수질악화의 우려 여부 조사 및 조치</li> <li>- 안전사고 발생 우려 구간 조사와 방책 및 위험 표지판 설치 등</li> </ul>

- 농업용 관수로와 관련된 설계기준과 관리 규정상에 명시되어 있는 유지관리 방안 및 세부 업무 내용을 검토한 결과, 현재까지 농업용 관수로의 역할인 송·배수의 기능 유지에 초점이 맞추어져있는 것으로 나타났다. 즉, 세부 업무에 관수로의 기능을 유지하기 위한 자체 시설의 유지관리에 대한 방안이 추가되어야 할 것으로 판단된다. 따라서, 상·하수도 분야의 유지관리 기준이나 방안을 검토하여 농업용 관수로 분야에 적용할 수 있는 유지관리 방안을 제시하고자 한다.

## 나. 상하수도 분야 관망 유지관리 방안 검토

### (1) 상수관망 유지관리 방안 검토

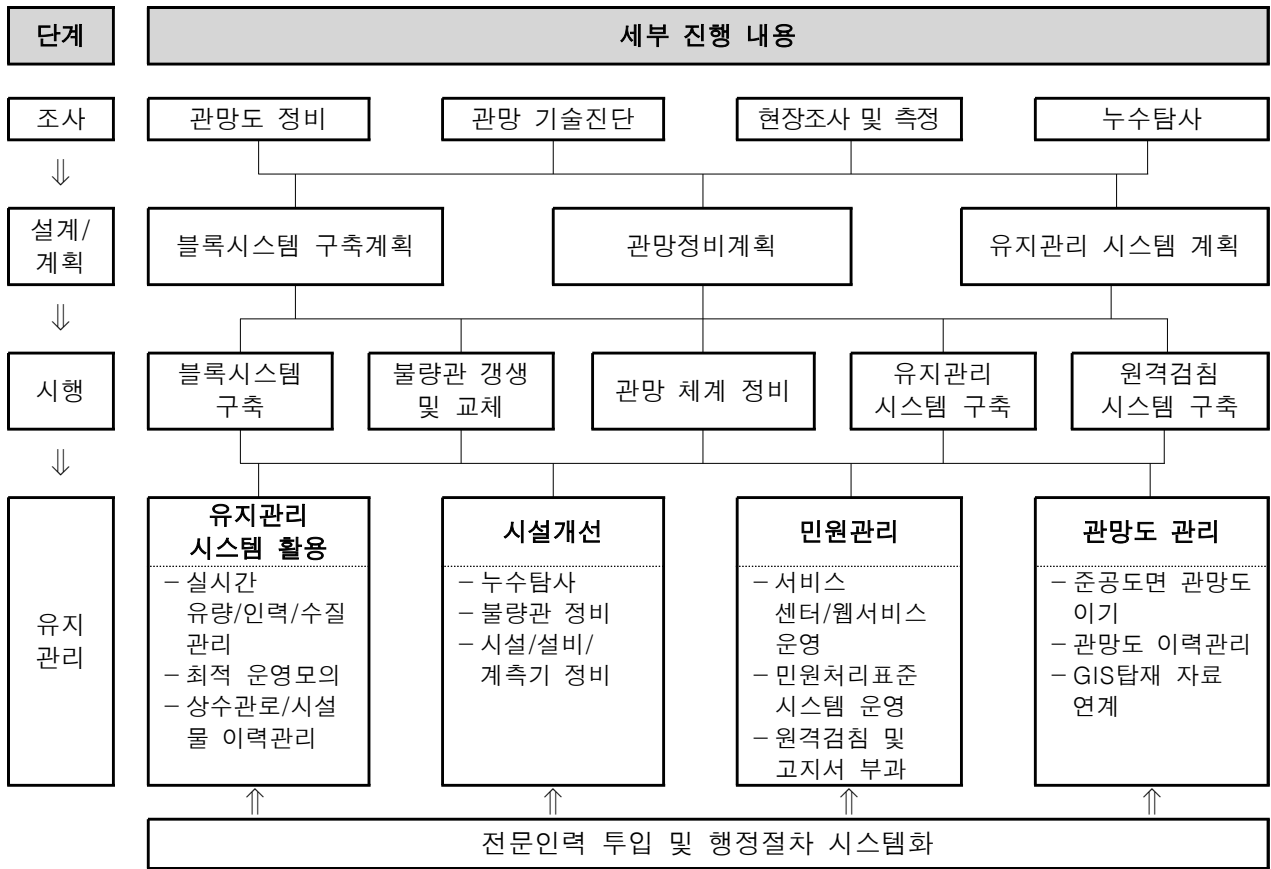
- 상수관망의 유지관리는 아래 [그림 3-2-5-1]과 같이 수도정비기본계획의 하부 계획인 상수도관망 최적관리 시스템 구축 기본 계획을 기본으로 하여 수행되고 있다. 특히, 누수나 부식 문제에 따른 경제적 손실 및 수자원과 에너지가 낭비 문제가 대두되고 있다. 이에 상수관망은 단순 처리된 정수의 공급을 위한 수로의 개념에서 적극적인 투자를 통해 기능을 유지해야 하는 시설로 인식이 변화되었다.
- 이에 따라, 수돗물 생산·공급비용 저감을 통해 수도경영의 효율성을 향상시키고, 유수율 제고를 통해 수자원 및 에너지를 절감하고, 누수 및 수질 오염 예방을 통해 수돗물 신뢰도를 향상시키기 위한 관망 최적 관리계획을 수립하여 시행 중에 있다.



※ 상수도관망 기술진단에서 구조물 안전진단은 제외한다.

[그림 3-2-5-1] 수도정비 기본 계획 및 하부계획의 구성

- 상수도 관망 최적관리를 위해서는 기본 계획에 따라 조사-설계/계획-시행-유지관리 단계를 통해서 이루어지며, 각각의 단계에서 진행되는 세부 내용은 [그림 3-2-5-2]와 같다. 시행 기본 계획부터 유지관리에 대한 내용을 숙지하고 있기 때문에, 그 이전 단계인 조사-설계/계획-시행 단계에서부터 향후 유지관리 업무에 대해 예상을 하고 각 단계를 시행할 수 있다.



[그림 3-2-5-2] 유지관리 방안의 단계별 진행내용

- 또한, 상수관망의 상태와 유지관리 현황에 대한 성과측정지표를 도입하여 유지관리 사업 성과의 주기적인 확인을 통해 사업의 효과를 분석하고, 사업의 효과가 지속될 수 있도록 관리를 수행하고 있다. 한편, 아래 [표 3-2-5-8]과 같은 체크리스트를 통해 유지관리 업무가 계획대로 진행 될 수 있도록 하고 있다.

[표 3-2-5-8] 유지관리 업무 확인을 위한 Check List 예시

항목	Check List	비고
지자체의 우수율은 세부적으로(읍,면,동,블록별 등) 분석이 되는가?		
우수율제고를 위한 우선 사업 대상지역은 선정하였는가?		
계량기의 사용연한에 준수하여 교체를 실시하고 있는가?		
누수탐사의 성과를 검증하기 위한 시설(유량계, 수압계 등)은 구축이 되어 있는가?		
누수지점 보수시 도출된 관로정보를 관망도에 보완하였는가?		
누수지점 보수후 누수원인 분석을 하였는가?		
누수지점 보수후 성과를 검증(유량, 수압 등)하였는가?		

## (2) 상수관망 유지관리 세부내용

- 유지관리 세부내용은 크게 운영관리와 보전관리의 두 가지로 나누어지며, 세부적인 관리 영역은 아래 [표 3-2-5-9]와 같다. 또한, 구체적인 유지관리 세부 내용은 아래와 같다.

[표 3-2-5-9] 유지관리 현황

구분	주요 유지관리 영역
운영관리	- 관망운영 및 자료, 통계관리 - 상수도관로 및 시설물 이력관리 - 관망도 관리 - 민원관리 - 운영모의
보전관리	- 유입량-부과량 분석 및 수량·수압·수질 분석 - 정비우선순위 선정 및 정비방향 결정 - 누수탐사 및 누수지점 보수 - 수압 조정 및 복원누수 저감 - 부적합계량기 교체·정비 - 시설/설비/계측기 정비 및 불량관 갱생·대체

(가) 유지관리 현황

- 관망도 및 GIS 구축 현황을 조사하고, 관로공사 후에 반영실태 등 관리현황을 조사
- 누수사고 발생 및 처리현황, 단수현황, 기타 민원현황을 조사·분석
- 상수도관망 유지관리 조직체계 및 유지관리 업무내용, 행정 처리절차를 조사 분석

(나) 현장조사 및 측정

- 관로조사, 밸브류 조사, 수용가조사, 급수전조사를 실시하여 관망도 정비에 사용
- 주요지점에 대한 수압 및 유량 측정을 실시하여 블록시스템 구축계획, 관망수리계산 보정, 관망수리 거동분석, 이상구간 원인분석, 수압관리 방안검토에 사용
- 배수지 및 수용가 계량기의 비교유량을 측정하여 배수지 유량계 검증 및 수용가 계량기 불감수량 산정에 사용하여 실제유수율 및 물수지를 분석
- 현장조사 자료를 대장 및 조서로 작성하고 기존 관리현황과 비교하여 분석결과를 제시

(다) 누수탐사에 따른 누수지점 확인

- 누수탐사시 누수가 확인된 지점은 즉각 보수하는 것을 원칙으로 한다. 다만 지자체 예산, 공사규모 등을 고려하여 주요지점만 우선 보수하고 상수도관망 최적관리시스템 구축사업 시행단계에서 잔여지점을 보수할 수 있다.
- 누수탐사 결과는 구축사업 물량산정 및 누수다발 원인분석·대책수립에 활용

(라) 관망정비계획

- 블록시스템 구축계획, 관망기술진단, 누수탐사, 현장조사 결과 등을 반영하여 관망정비계획을 수립한다. 다만 블록시스템구축 및 유지관리시스템 관련 계획은 해당계획에서 별도 수립한다.
- 송·배수관로 및 부대시설 정비계획에 ① 배수구역 분리 및 송·배·급수체계 정비(수압조정지 포함), ② 관망체계 정비 및 기능별 송·배·급수관로 분리, ③ 불량관 갱생·교체(누수관, 다발관, 잔존관, 재질노후관, 통수능부족관, 수질이상관 등), ④ 블록외 관로 및 배수

지의 밸브류 및 계측기 등 부속설비 정비, ⑤ 부적합계량기 교체·정비, ⑥ 공공수량 계량기 설치, ⑦ 기타 상수도관망 최적관리시스템 구축을 위해 필요한 송수펌프시설 정비 및 관세척시설 등의 설치의 내용을 포함한다.

- 관망정비계획은 사업효과, 사업비, 사업의 시급성, 공사난이도 등을 고려하여 시간적, 공간적으로 단계를 구분하여, 아래와 같은 사항에 대한 구체적인 계획을 수립하여야 한다.
  - ① 블록별 수압관리 방안
  - ② 누수탐사 실시 및 누수관리방안
  - ③ 계량기 불감수량, 공공수량 계측 등 무수수량 저감방안
  - ④ 기타 유수율제고 방안을 포함한 유수율 제고 방안

(마) 유지관리시스템 구축계획

- 유지관리시 상수도관망 최적관리를 위해 배수지 및 블록별 계측, 모니터링, 분석, 제어기능을 수행할 수 있도록 유지관리시스템을 구축
- 상수도관망 및 시설물의 상시 감시와 경보를 통해 효과적인 비상대응과 유지보수를 지원
- 유지관리시스템을 설치하고 운영하기 위한 공간 확보 계획을 수립하되 필요한 경우에는 별도의 운영센터를 운영할 수 있다.

(바) 유지관리계획

- 상수도관망 최적관리시스템 구축 사업성과를 지속적으로 유지, 향상시킬 수 있도록 운영관리 및 보전관리 계획을 수립하여야 한다([표 3-2-5-10] 참조).
- 유지관리대상 시설규모에 따라 유지관리 전담기구 또는 인력계획을 수립하여야 한다.
- 또한, 구축사업 완료 후에는 유지관리에 따른 운영관리 및 보전관리를 지속적으로 추진하여야 한다.

[표 3-2-5-10] 유지관리계획 수립

구분		주요 유지계획 내용
운영 관리	관망운영 및 자료·통계관리	- 유지관리시스템을 이용하여 최적관망상태가 유지되도록 운영 - 공급/사용수량에 대한 체계적인 관리 및 수압, 수질, 손실량 관리를 위해 블록별 유량, 수질, 수압 측정자료를 수집·축적하고 통계자료를 생성·관리
	관로 및 시설물 이력관리	- 상수도 관로 및 시설물 이력관리를 통해 기초정보를 수집·축적·갱신
	관망도 관리	- 전산화, GIS화된 관망도를 지속적으로 수정, 보완하여 운영관리 및 보전관리의 기본제공 기능을 유지
	민원관리	- 수질, 출수불량(수압, 수량)단수, 누수 관련 민원을 관리하고 분석하여 문제점을 개선함으로써 주민 만족도와 서비스의 품질을 개선
	운영모의	- 관망의 구조적 안정성, 수용가에 대한 안정적 용수공급 및 경제적인 설비운영에 대한 모의를 수행하여 수리적 거동을 예측하고 최적운영을 위한 기초자료로 활용
보전 관리	유입량-부과량 분석 및 수량·수압·수질 분석	- 블록유입량 및 검침부과량 자료를 수집하여 블록의 고립여부 확인, 블록별 유수율 및 누수를 분석, 물사용 패턴 분석, 야간 최소유량 산정 등을 수행하여 문제 원인을 예상 - 수량·수압·수질 측정자료를 분석하여 문제원인을 예상
	정비우선순위 선정 및 정비사업방향 결정	- 블록별 원단위 분석, 유수율 및 누수율 현황, 배수지 유출량, 및 예산을 감안하여 취약블록에 대해 연차별 유지관리 우선순위를 선정 - 문제원인에 따라 누수지점 보수, 수압조정, 부적합계량기 교체·정비, 시설/설비/계측기 정비, 불량관 갱생 및 대체 등의 사업방향을 결정
	누수탐사 및 누수지점 보수	- 누수탐사 우선순위를 선정하고 누수탐사계획을 수립 - 사업대상지역에 대한 누수탐사를 실시하고 확인된 누수지점을 보수 - 누수지점 보수 전후에 따른 성과분석을 실시 - 누수원인을 분석하여 목표유수율 유지하기 위한 근본적인 대책을 제시
	수압 조정 및 복원누수 저감	- 블록의 유량변화에 따른 블록내 주요 지점에서의 수압조사를 실시하여 수압변화를 분석하여 관경부적정, 감압범위 부적정, 가압양정 과다 등 문제점을 파악하여 관경조정, 가압, 감압 등 수압관리계획을 수립 - 소블록 일부에서 고수압으로 인한 누수 및 복원누수가 발생하는 경우에는 관리블록 또는 단위구역으로 감압을 실시 - 수압의 변화를 지속적으로 관리하여, 누수지점 보수후 수압상승으로 인한 복원누수의 발생여부를 판단 - 복원누수가 지속적으로 발생할 경우 관내 압력조절 대책 및 관망정비계획을 수립
	부적합계량기 교체·정비	- 용가 조사 및 계량기 비교유량 측정을 실시하며 부적합계량기에 대한 대책을 수립 - 사용량에 기준한 적정구경 계량기 설치를 유도 - 대수용가 및 대구경 계량기 유지관리 방안을 마련
	시설/설비/계측기 정비 및 불량관 갱생·대체	- 시설/설비/계측기 정비하여 최적관망 관리가 가능하도록 유지관리 - 블록별 유수율 분석 및 누수확인조사, 불량관 확인 결과 분석을 통해 블록별 불량관 갱생사업 우선순위를 선정하고 정비를 실시

(3) 상수관망 노후도 평가

- 상수도 분야에서는 관망의 노후도 평가를 통해서 관로 갱생의 우선순위를 설정하거나 의사결정수행하며, 관로 정보를 수집, 대상구간을 설정하여 노후도 평가결과를 기반으로 관로를 갱생하고 있다. 국내의 경우 관련 연구가 꾸준히 진행되고 있으며, 노후도 평가 방법에 대한 연구를 통해 이의 보완을 수행하고 있다.
- 관망의 노후도를 평가하기 위해서는 여러 가지 인자들의 조사가 필요하며, 이의 다각적인 분석을 통해 해당 관망의 노후도를 평가한다. 아래 [표 3-2-5-11]은 노후도 평가를 위해서 조사해야 하는 자료이다.

[표 3-2-5-11] 수집자료의 분류

분류	조사항목
토양분석	- 함수량, pH, 산화물, 염화물, 토양 비저항, 알칼리도, 산도, 산화환원 전위
관체분석	- 관종, 관체의 물리적 특성, 화학적 조성 분석, 관체 내·외면 육안분석자료, 관체 두께(상, 하, 좌, 우), 라이닝 두께(상, 하, 좌, 우), 중성화 시험 결과
수질/수압분석	- LSI, LR, 수온, pH, 알칼리도, 경도, 칼슘, 황산이온, 염소이온, 잔류염소, 중금속, 최저압/최고압
기타	- 관로정보(매설년도, 관종, 관경, 위치 등), 누수상태, 사고율, 중요도

- 토양 분석은 토양특성 분석자료를 토대로 미국국가규격(ANSI)와 독일가스수도기술자협회(DVGW) 평가법을 기반으로 부식성을 평가한다. 관체분석은 관종별로 물리적 특성 및 화학적 조성을 분석하여 KS 규격적합여부를 판정하고, 관체 내·외면 육안분석과 관체두께, 라이닝 두께 및 중성화시험 등을 수행한다. 구체적인 분석항목은 아래 [표 3-2-5-12]와 같다.

[표 3-2-5-12] 관체의 물리·화학적 분석항목

관종	항목	항목
DCIP/CIP	물리/기계적 특성	- 인장강도, 연신율, 경도
	화학조성	- C, Si, Mn, S, P, Mg
강관	물리/기계적 특성	- 인장강도, 연신율
	화학조성	- S, P
플라스틱관	물리/기계적 특성	- 비중, 경도, 흡수율, 인장강도, 연신율, 탄성율, 압축강도 등
	열 및 전기적 특성	- 선팽창계수, 비열, 열전도율, 체적고유저항, 절연파괴강도 등

- 또한, 육안분석을 통해 아래 [표 3-2-5-13]과 같은 항목들에 대해서도 분석을 수행하여, 노후도 평가에 활용하여야 한다.

[표 3-2-5-13] 관체 내·외면의 육안분석 항목

분류		항목
강관	내면	- 도복장재 유무/파손, 부식생성물 축적 여부, 결절 크기, 통수단면적 감소율
	외면	- 도복장재 유무/파손, 횡축/종축 균열, 구멍 유무
	기타	- 분기관 유무, 관체 두께(상, 하, 좌, 우, 균일 여부)
DCIP/CIP	DCIP내면	- CML중성화 및 손상, 실코트 유무
	CIP내면	- 부식생성물 축적여부, 결절크기, 통수단면적 감소율
	DCIP/CIP외면	- 부식생성물 축적여부, 횡축/종축 균열, 구멍 여부
	기타	- 분기관 유무, 관체 두께(상, 하, 좌, 우, 균일 여부)
플라스틱관	외관	- 균열, 파손여부, 분해, 기포, 백화, 틈, 분리 여부
	형상치수	- 외경, 두께, 길이, 곧은 정도의 불균일 여부

- 상수도관망의 노후도는 관체가 매설된 주변환경과 관체 자체의 물리/화학적 특성, 부식정도와 수질특성 및 수리적 인자와 직접적인 영향이 있으며, 이중 가장 중요한 내용은 관체의 안전성과 관련된 물리적 성질과 구조 부분이다. 구체적인 노후도 평가 항목과 내용은 아래 [표 3-2-5-14]와 같다.

[표 3-2-5-14] 상수도 관로의 노후도 평가 항목과 내용

항목	내용	세부내용	비고
토양	토양부식성	ANSI, DVGW	토양시료 분석
관체	구조적 안정성	물리·화학적 특성, 내·외면 부식, 관체 두께변화, 피복제 손상, 파손	관체시료 분석
수압/수질	수압	압력변동	수압측정
	수질	부식성수질	수질분석

- 수집자료에 대해 지표값을 산출하여야 하며, 지표값을 산출하는 방법과 산출된 지표값에 대한 점수표는 아래 [표 3-2-5-15]와 같다.



[표 3-2-5-15] 지표값의 계산방법 및 점수

평가항목		평가지표	지표값의 범위	점수
토양	토양부식성	ANSI, DVGW	비부식성	3
			부식성	1
관체	물성	관체 물성의 적합성	모두 적합	3
			1항목 이상 부적합	1
	화학조성	조성 성분의 적합성	5항목 이상 적합	3
			2항목 이상 부적합	1
	내·외면 부식	통수단면적 감소율	10% 이하	3
			10% 이상	1
		CML 중성화율	10%이하	3
			11% ~ 30%	2
			30% 초과	1
			외면 부식상태	10%이하
	11% ~ 30%	2		
	30% 초과	1		
	구조	두께 최저 잔존율	91% ~ 100%	3
			61% ~ 90%	2
			60% 미만	1
		피복제 손상 여부	손상 없음	3
			손상 있음	1
		파손(구멍) 여부	손상 없음	3
손상 있음	1			
수압/수질	수압	최고 압력에 대한 압력 변동율	40% 미만	3
			41% ~ 70 %	2
			71% ~ 100%	1
	수질	LI	LI > 0	3
			LI < 0	1
		KWI	KWI > 1	3
			KWI < 1	1
		LR	LR > 0.7	3
			LR < 0.7	1

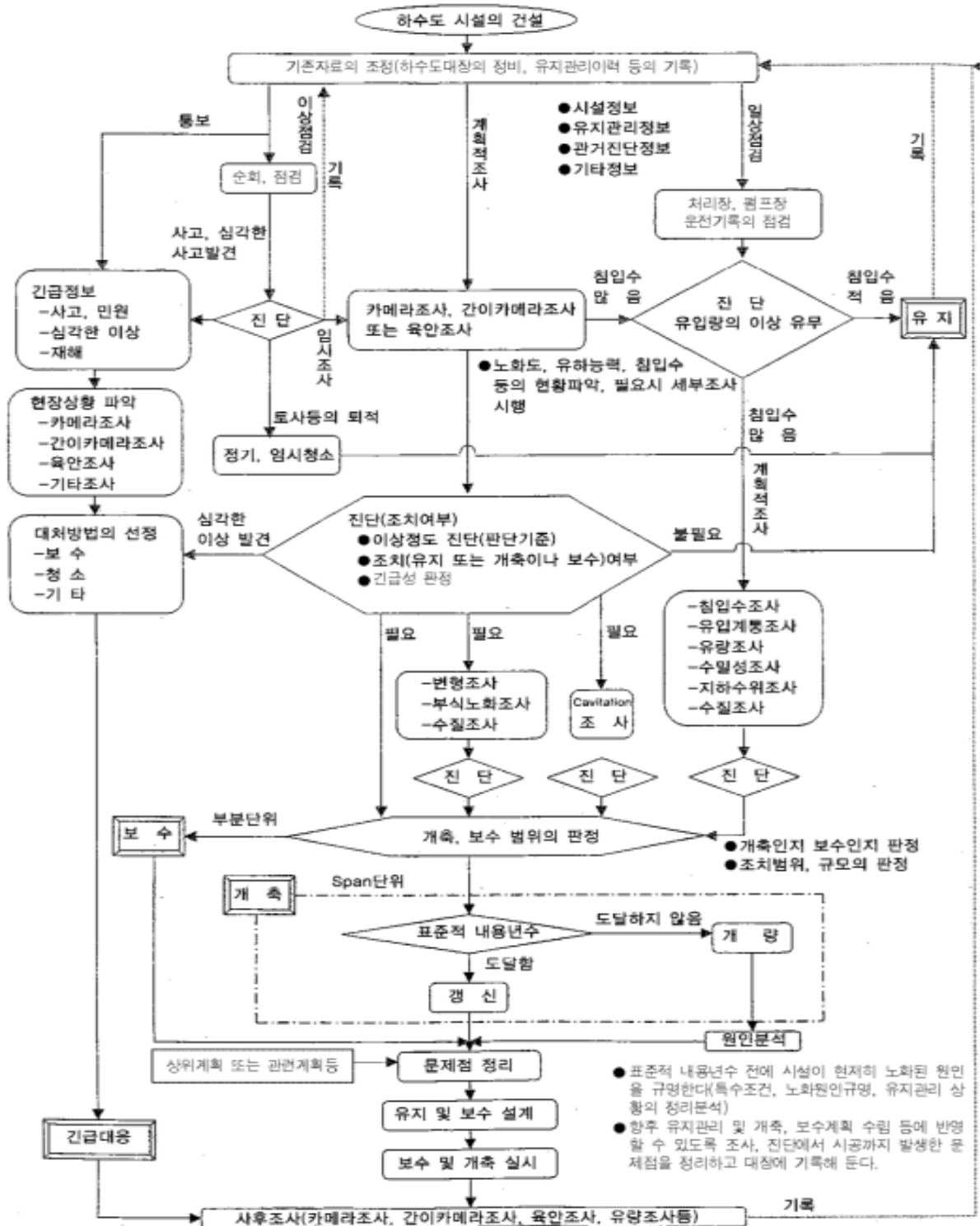
- 위의 점수표에 따라 관체 노후도를 평가하고, 아래 [표 3-2-5-16]을 기준으로 관망의 노후도에 따라서 갱생 또는 교체에 대한 관리 계획을 수립할 수 있다.

[표 3-2-5-16] 관체의 노후도 평가 기준

구분	관체	토양	수질/수압	평가
1	1	1 ~ 3	1 ~ 3	교체
2	1 ~ 2	1 ~ 3	1 ~ 3	교체/갱생
3	2 ~ 2.5	1 ~ 3	1 ~ 3	갱생고려(수압/수질 모니터링 필요)
4	2.5 ~ 3	1 ~ 2	1 ~ 3	주의(유량/수압 모니터링 필요)
5	3	3	1 ~ 2	건전(수질 모니터링 필요)
6	3	3	3	건전(주기적 모니터링 필요)

(4) 하수관망 유지관리 방안 검토

- 하수관거 시설의 유지관리를 위한 전체 업무 흐름은 아래 [그림 3-2-5-3]과 같다. 전체 업무는 조사-진단-개보수-사후조사의 단계로 이루어지며, 각 업무의 결과가 유지관리 이력으로 기록되어 차후 유지관리 업무에 이용된다.



[그림 3-2-5-3] 관거시설의 유지관리 흐름도

(가) 하수관망 유지관리의 목적

- 하수관망시설을 유지관리하는 이유는 관거시설의 상태를 충분히 파악하여 ① 관거시설의 기능 유지, ② 관거시설의 사용기간 연장, ③ 타시설과의 상호 악영향 방지 및 타 공사로 인한 하수관거의 손상 방지를 목적을 달성하기 위함이며, 구체적인 내용은 아래 [표 3-2-5-17]과 같다.

[표 3-2-5-17] 하수관망 유지관리 목적

구분	세부 내용
관거시설의 기능유지	- 토압, 수압, 진동 등에 충분한 강도 - 지하수나 하수에 충분한 수밀성 - 유하시키는 하수량에 충분한 단면을 유지
관거시설의 사용기간 연장(LCC의 감소)	- 하수도시설의 건설이나 유지관리에 합리적인 비용 투자 필요 - 계획적이며 체계적인 유지관리를 통한 시설의 사용기간 연장 및 LCC 감소
타시설과의 상호 악영향 방지 및 타 공사로 인한 하수관거의 손상 방지	- 손상된 관거의 방치는 시설 기능을 저하시키며 다른 시설에 영향을 미쳐 도로 함몰이나 하수의 월류사고 발생시킴 - 도로하부에 매설되는 다른 시설설치나 공사에 따라 손상 가능 - 관거의 이상상태 파악을 통해 사고예방의 차원

(나) 하수관망의 계획적인 유지관리

① 계획적인 유지관리의 필요성

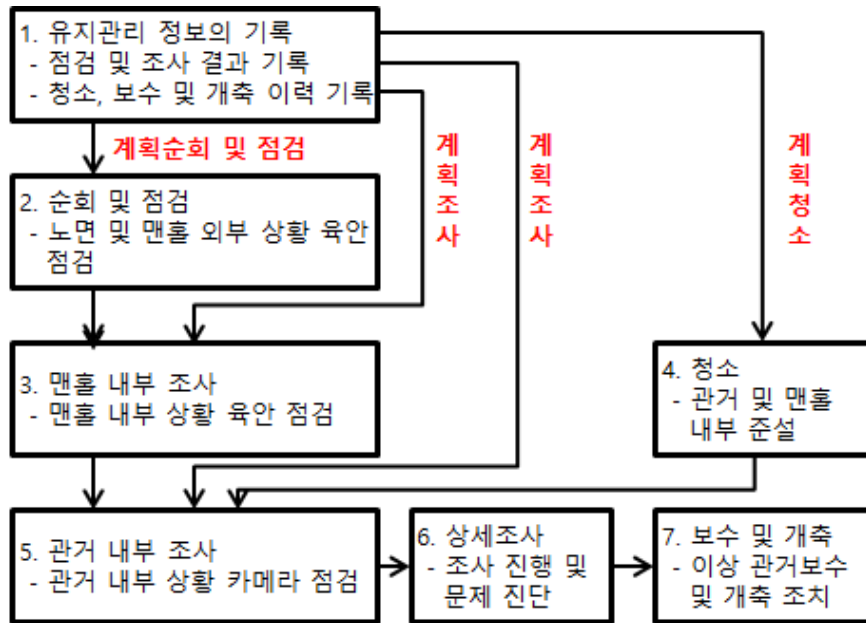
- 최근 수도, 전기, 가스, 통신 등과 함께 하수도시설의 도시기반시설로서의 중요성이 증대되고 있다. 관거시설은 대부분 공공도로 아래 매설되어 있으므로, 유지관리를 위해 특수한 점검과 조사방법이 필요하며, 하수도시설 전체의 여러 상태를 실시간으로 감시하여야 하므로 기술적, 경제적으로 매우 어렵다.
- 따라서 일상 점검과 정기조사를 통해 정확한 현황파악이 필요하며, 장애 발생 가능한 문제들을 합리적으로 예측할 필요성이 있다. 이를 바탕으로 유지관리 계획을 수립하여 발생 가능한 문제 유형별로 조치시기 및 방법들에 대한 사전대책을 검토하여, 하수도시설이 충분한 기능을 발휘할 수 있도록 효율적인 조치를 취하여야 한다.

② 유지관리 계획의 수립

- 관거의 유지관리계획은 [그림 3-2-5-4]에 나타난 표준내용년수 동안에 수행되는 관거의 유지관리 흐름도를 참고하여 수립한다. 유지관리계획 수립시 아래와 같은 사항을 고려하여야 한다.
  - 1) 대상 구역 면적은 1년 단위로 처리할 수 있는 크기로 분할
  - 2) 일상점검과 계획적인 조사와 같은 진단 업무의 반복적 수행
  - 3) 진단 결과 침입수가 많은 경우 상세조사 계획 수립
  - 4) 순시 및 점검은 가능한 구역전체를 1년 단위로 몇 개의 블록 단위로 실시
  - 5) 육안조사 및 카메라 조사는 1년 단위 시행구역을 1블록씩 계획적, 순차적으로 실시
  - 6) 조사결과와 진단에 기초하여 보수, 개축의 대응 우선순위를 정하고 블록마다 연차적인

실시계획을 수립

- 7) 평소에 수행한 조사, 청소 및 보수, 개축 등과 같은 유지관리 자료에 대한 상세한 정리는 물론 자료의 분석을 면밀하게 실시
- 8) 비굴착공법은 1년 또는 수년을 주기로 정기적으로 재확인하고 비굴착공법을 평가



[그림 3-2-5-4] 하수관망의 계획적 유지관리의 흐름

③ 유지관리비의 저감 효과

- 관거의 계획적인 유지관리는 도로 함몰사고를 감소시키고, 유하 장애물을 조기에 발견함으로써 하수의 월류나 악취발생을 방지하고, 지하수 등의 침입수 방지 및 하수의 누수 방지에 큰 효과를 기대할 수 있다. 사용개시 이후 적극적인 유지관리는 비용 편익을 높이며, 계획적으로 유지관리를 수행한 경우 유지관리비를 저감할 수 있다.

④ 자료 및 정보의 수집과 정리, 활용

- 유지관리를 계획적으로 수행하기 위해 관련 자료나 정보를 계획적으로 수집하고, 이를 체계적으로 정리함으로써 유효하게 활용 할 수 있도록 하여야 한다.
- 유지관리에 관한 정보는 준공검사자료(준공도면 등)는 물론 점검 및 조사, 청소, 보수 등에 대한 결과보고서와 이들의 해결조치에 대한 보고서, 하수 월류나 도로함몰 등과 같은 관련사고에 대한 보고서 등 매우 다양한 자료가 있다. 이들 정보는 현장 대응을 위하여 기록으로 정리하여 남기고, 기록된 정보를 분석하여 유효하게 활용할 수 있도록 하여야 한다.
- 점검 및 조사에서 얻어진 이상정보를 기록하고 정리, 분석함으로써 점검, 조사, 청소 실시 계획의 범위나 시기를 결정하고, 보수나 개축이 필요한 장소의 설정 및 공법 선정과 비용 자료의 작성이 용이해진다.

## (다) 하수관망의 조사

### ① 관거의 내부조사

- 관거 개·보수를 위해서는 다음과 같은 관거 내부의 이상(변형, 손상 및 토사 등의 퇴적물)에 대한 조사를 수행하여야 한다. 관거 내부 이상항목에 대한 시각조사는 조사원의 육안 또는 CCTV를 이용하며 조사하여야할 주요이상 항목은 다음과 같다.
  - 1) 부식, 마모, 파손, 균열, 변형, 이음부 이탈, 연결 및 접합부의 패킹 어긋남
  - 2) 침입수, 누수
  - 3) 유지부착, 모르타르부착, 나무뿌리 침입, 이물질 혼입, 토사퇴적
  - 4) 역경사, 종단구배 휨, 사행, 연결관 돌출
  - 5) 오접합
  - 6) 단면부족, 구조불량, 불필요한 연결관
  - 7) 발디딤쇠 부식, 맨홀뚜껑의 마모/요철/불일치/차이, 맨홀의 매몰
  
- 일반적으로 하수관거는 자연유하식으로 설계되나, 부등침하, 토압, 하중 등의 외력으로 인하여 경사나 관 형상이 변형하게 되며 이에 대한 조사가 필요하다. 관의 단면변형은 연성관에서 발생하는 현상으로 관거의 유효단면이 감소하기 때문에 유하능력이 저하될 뿐만 아니라, 접합 및 연결 부위를 변형시켜 침입수의 유입을 초래하고, 구조상의 내력도 현저히 저하된다. 단면 변형은 관거재료의 물리화학적 특성과 기초 및 다짐방법에 현저히 차이가 있으므로 상세한 조사와 원인 규명 및 대책수립이 필요하다.
  
- 조사방법은 맨홀부나 대구경관거와 같이 조사원이 들어갈 수 있는 경우에는 실측조사하며, 사람이 들어갈 수 없는 중소구경 관거내의 상태는 변형량을 측정하는 전용기기를 사용하거나, CCTV 촬영 동영상 및 정지화면으로 수직/수평 형상변경 및 변형량을 추정하고 일정이상 변형이 예상되는 부분을 전용기기로 측정하는 방법을 사용할 수 있다.
  
- 또한, 관 내부의 손상여부에 대한 조사가 필요하며, 주요 손상원인은 지반의 부등침하, 노후화나 부식 등과 같은 내부적인 원인과 타 공사의 영향 또는 배수구역내 공장에서 발생하는 악성하수 등과 같은 외적인 요인이 있다. 또한, 하수관거의 폐쇄나 도로함몰의 현상은 연결관의 손상에 기인한 경우가 많으므로 연결관의 건전성 여부를 고려하여야 하며 타 매설물에 대한 영향을 판단하기 위하여 지하매설물의 종류와 형상 및 위치를 조사하여 평가하여야 한다.
  
- 토사 등의 퇴적량이 많아지면 통수능력이 저하되어 침수의 원인이 되거나 악취 발생의 원인이 되므로 관거 개·보수 계획 수립을 위한 기초자료로 활용할 수 있도록 퇴적깊이 등의 측정이 필요하다.

### ② 침입수 조사

- 관거로 유입하는 침입수는 관거 및 처리시설의 유지관리에 다양한 악영향을 미치며, 관거의 통수능력 저하, 월류사고 발생, 처리수질의 악화나 비용 증대 등이 대표적인 현상이다.

또한 침입수 유입시 관거의 기초재나 다짐재를 관거 내로 유입시킴으로써 관거 주변의 지반을 공동화시켜 도로함몰의 원인이 되기도 하며 관거내에 토사 퇴적을 가중시킨다. 관거내 침입수는 오점조사, 유량조사, 수밀성조사 등을 조합하여 유입량과 침입경로를 명확하게 추적하여 관거시설의 개·보수를 위한 기초 자료를 작성한다.

- 오점조사는 분류식 하수도의 우수, 우수 계통이 확실하게 분리되는지 여부를 확인하는 조사이며, 하수도 본관에서부터 가옥내 배수설비까지 조사를 수행한다. 맨홀 및 관거 내의 점검조사 시 침입수의 발생량과 그 위치를 판별하기 어렵기 때문에 침입수의 유입량과 경로를 추적하기 위해서는 아래와 [표 3-2-5-18]과 같은 3가지 시험방법을 사용한다.

[표 3-2-5-18] 하수관망 손상의 원인

구분	세부 내용
연기시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오점이 예측되는 분류식 하수관거에 연기 발생 통을 사용하여 우수받이나 빗물받이에서의 연기발생 유무에 따라 오점 여부를 판단</li> <li>- 시험을 통하여 빗물받이나 물받이 등의 우수배제시설이 직접 우수관거나 우수받이로 접속되는 장소의 확인이 가능</li> <li>- 또한, 지표나 측구 등과 같이 지중으로부터 유입하는 우수(지하수)가 우수관거나 우수받이로 침투하는 장소의 판별 가능</li> </ul>
음향시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가옥 내의 배수관 계통이나 하수본관 경로와 연결관 경로를 파악하는 효과적인 방법으로 망치 등에 의한 타격음 및 음파(발신기 및 수신기)를 이용하는 방법</li> </ul>
염료시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하수본관이나 연결관, 배수설비 등에 무해한 형광염료 희석수를 상류에 투입시켜서 유하경로와 누출경로 및 도달 시간을 조사하는 방법</li> <li>- 특히, 저류조 및 펌프정 등에서 우수 유출에 의한 악취가 발생할 경우, 그 유출경로의 신속한 확인이 가능</li> <li>- 또한 관내의 유하상황, 유속 측정에도 이용 가능</li> </ul>

## (라) 하수관망 보수공사 및 방법

### ① 하수관망 손상 원인 및 대책

- 하수도시설은 파손이 발생하여도 즉시 감지되지 않고, 시간이 경과함에 따라 발생하는 막힘이나 도로함몰 등에 의하여 발견되는 경우가 많다. 관거의 파손 원인은 경과년수에 의한 열화, 노후화 등과 같은 자연적인 원인과 중차량에 의한 파손 및 타공사의 영향에 기인하는 외적인 요인이 존재한다([표 3-2-5-19] 참조).
- 하수도시설의 재료는 대부분이 콘크리트 또는 철근콘크리트로 일반적으로 콘크리트는 산·염·유기물 등의 화학작용에 의해 침식이 발생하므로 유지관리시 문제가 발생된다. 관거시설의 부식을 방지하기 위해서는 부식의 진행상태를 조사함은 물론 황화수소 가스 등을 조사하여 상황에 따라 적절한 조치를 강구할 필요가 있다. 또한 악성폐수(고농도 하폐수)를 배출하는 공장을 지도 단속하여 개선조치를 취하는 것이 중요하다.

[표 3-2-5-19] 하수관망 손상의 원인

구분	세부 내용
파손	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자연적 원인에 의한 파손(열화 및 노후화에 의한 파손, 부등침하에 의한 파손 및 이음 부분 손상, 나무뿌리 침입에 의한 파손 등)</li> <li>- 외적인 요인에 의한 파손(타시설의 굴착공사 영향, 불충분한 되메우기에 의한 침하로 인한 파손 및 이음부의 손상, 굴삭기나 보링기 등에 의한 파손, 악성하수에 기인하는 부식에 의한 파손, 타시설공사시 관거시설에 대한 미비한 방호로 인한 파손, 대형차량의 중량 및 진동에 의한 파손 등)</li> </ul>
부식	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 황화수소 가스 발생에 의한 부식</li> <li>- 산·알칼리성 폐수에 의한 부식</li> <li>- 시안·크롬 폐수에 의한 부식</li> <li>- 전류가 누전되어 발생하는 전기분해작용에 의한 전식</li> <li>- 토양 자체 부식성에 의한 관거 부식</li> </ul>

② 보수공사의 종류

- 보수공사는 시설의 손상 상태 등에 따라서 긴급하게 대응해야 하는 공사와 시간적인 여유가 있어서 계획적으로 대응하는 공사로 분류되며, 구체적인 내용은 아래 [표 3-2-5-20]과 같다.

[표 3-2-5-20] 보수공사의 종류

구분	세부 내용
긴급보수공사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 교통(관거시설의 손상에 기인하는 도로 함몰 등) 및 공중위생상 긴급을 요하는 보수공사</li> <li>- 주민의 생명과 재산에 막대한 영향이 예상되는 경우 시급하게 시행하는 보수공사</li> <li>- 부담금이 있는 보수공사</li> </ul>
계획적 보수공사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관거의 노후화, 기능저하, 이상 현상 등의 발생에 따라 보수계획을 수립하여 시행</li> <li>- 점검결과나 보수장소에 따른 공사 우선순위 결정</li> </ul>

③ 보수공법의 선정

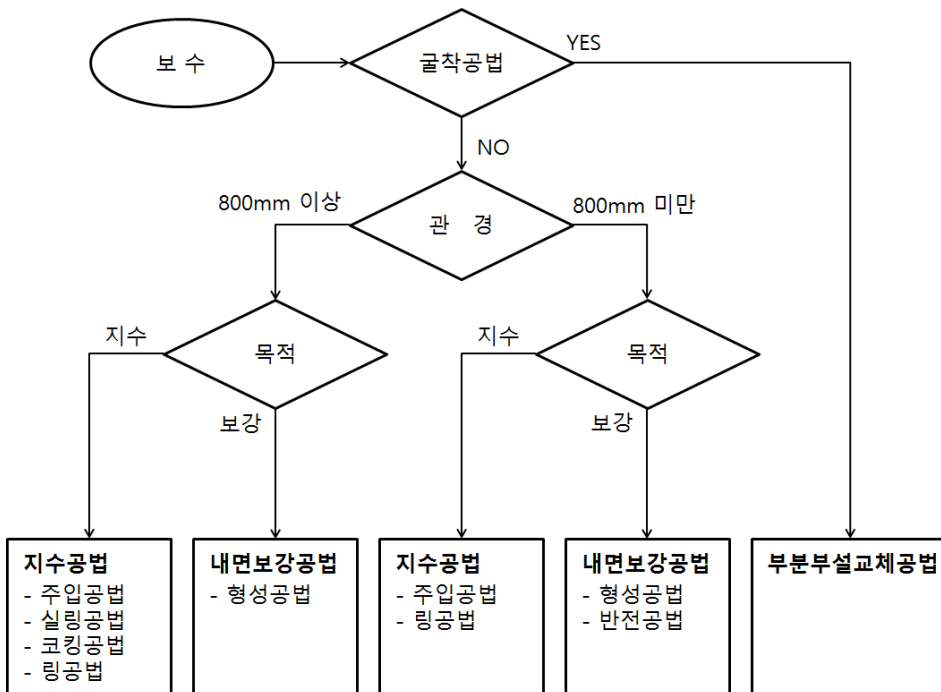
- 보수는 현실적으로 하수가 유하하는 조건에서 시공하여야 하므로 여러 가지 제약을 가진다. 따라서 관련 상황을 정확하게 파악하여 보수의 목적, 긴급도, 시공조건 등을 충분히 검토한 후 가장 적합한 공법에 의하여 시공하는 것이 중요하며, 보수 공법별 특징은 아래 [표 3-2-5-21]과 같다.



[표 3-2-5-21] 보수공법별 개요 및 적용 범위

항목	지수 공법				내면보강공법		라이닝 공법	레벨수정 공법	부분부설 교체공법
	주입공법	실링공법	코킹공법	링공법	형성공법	반전공법			
개요	관거의 균열이나 이음 불량 장소에 보강재를 주입하여 보수하는 것	침입수가 발생하는 균열이나 이음 불량 장소를 깎아내고, 점착성 실링재로 보수하는 공법	전용 건으로 보수 장소에 보수재를 직접 충전하고 보수하는 공법, 이음 및 균열 장소 등에 적용 가능	원 형상의 제품을 관거 내에 반입하고 관거 내부에 조립하고 가압해서 결함 장소를 덮어서 보수하는 공법	관거내에 경화성 수지 등을 말아 붙인 보수기를 삽입하고 불량 장소에 경화성 보수재 등을 붙여서 열이나 빛 등으로 경화시키는 공법	경화성 수지를 함침시킨 재료를 관거 내에 수압 또는 공기압 등으로 반전 가압시키면서 삽입하고 열이나 빛으로 경화시키는 공법	관거 내면에 피복재를 바르고 노화된 장소를 보수하는 공법, 부식으로 인한 노화에 대응 가능	관거 주변에 약액을 주입하여 액압에 의해 관측 변위를 수정하는 공법	보수장소를 부분적으로 신관으로 교체하는 공법
목적	지수	지수	지수	지수	지수 및 강도 회복	지수 및 강도 회복	지수	레벨수정	지수 및 강도 회복 등
대상 관거	본관	본관	본관	본관	본관 및 연결관	연결관 및 본관 연결부	본관	본관 및 연결관	본관
적용 관종	상관없음	흡관 및 암거	흡관 및 암거	상관없음	상관없음	상관없음	상관없음	상관없음	상관없음
적용 관경	φ150이상	φ800이상	φ800이상	φ200이상	φ100이상	φ100이상	φ800이상	φ150이상	상관없음

○ 또한 공법별로 관종이나 관경에 따른 제약이 있기 때문에 적절한 공법이 선정되어야 하며, [그림 3-2-5-5]에 보수공법 선정의 일반적인 흐름을 도시하였다.



[그림 3-2-5-5] 보수공법 선정의 일반적인 흐름도

#### ④ 보수공법의 시공

- 보수공사를 실시할 때는 ① 시행조건의 검토, ② 도로사정, 지하매설물, 하수 유량, 상하류관 상황 등의 조건을 파악하고 시공방법, 시기의 충분한 검토, ③ 관련관리자 간의 조정, ④ 도로관리자, 관할경찰서 및 관련되는 지하매설물 또는 시설 관리자와 연락 및 협의, ⑤ 펌프장, 처리장 등과의 조정, ⑥ 하류의 펌프장, 처리장 또는 광역하수도에 일시적으로 이상부하 변동 등을 줄 우려가 있을 때에는 관계 직원 또는 관계기관과 사전에 충분한 연락과 협의의 시행하여 대책을 강구하여야 한다.

#### (마) 하수관망의 보호

##### ① 부식으로부터의 보호

###### ○ 하수관거의 부식

- 하수도시설의 재료는 대부분이 콘크리트 또는 철근콘크리트로, 산·염·유기물 등의 화학작용에 의해 침식이 발생하므로 유지관리시 문제가 발생한다. 관거시설의 부식을 방지하기 위해서는 부식의 진행상태를 조사함은 물론 황화수소 가스 등을 조사하여 상황에 따라 적절한 조치를 강구해야 한다. 또한 악성폐수(고농도 하·폐수)를 배출하는 공장을 지도 단속하여 개선조치를 취하는 것이 중요하다.

###### ○ 하수관거 부식의 원인

- 하수관거의 부식은 아래와 같은 이유들로 인해서 발생하며, 부식으로 인해 불명수가 침투하고, 하수가 누출되며, 관의 강도 약화로 인한 붕괴 등의 사고로 이어질 수 있기 때문에 대책이 필요하다. [표 3-2-5-22]에 부식의 원인에 따른 방지 대책에 대해 정리하였다.

###### ○ 황화수소 가스

- 고농도의 BOD, SS를 함유하는 오수가 관거 내에 체류 또는 침전할 경우, 황화수소 및 메탄, 탄산가스 등을 발생시킨다. 그 중에서도 황화수소는 관벽체에서 산화하여 황산이 됨으로써 관거를 부식시킨다.

###### ○ 산·알칼리 폐수

- 강산성 또는 강알칼리성 오폐수가 하수도에 배출될 경우 관거 및 금속물질을 부식시킨다. 또한, pH의 변화가 클 경우에 하수 중 다양한 물질이 반응하여 유독물질을 발생시킨다.

###### ○ 시안, 크롬 폐수

- 시안이나 크롬을 포함하는 도금폐수 등은 BOD나 SS의 값은 낮지만, 강산성 또는 강알칼리성인 경우가 많다. 또한, 이와 같은 물질이 방류되면 관거시설이 침식될 뿐 아니라, 후단의 처리시설에 치명적인 문제를 초래한다.

[표 3-2-5-22] 부식 대책의 종류 및 기술

부식 대책의 분류	대책의 핵심	원리 및 대책
발생원 대책	하수중의 황산이온농도 저감	- 황화수소 생성 가능성 감소(공장 배수 및 온천 배수 등의 규제, 해수 침입의 방지)
	하수 또는 퇴적물 중의 황화물 생성 억제 및 고정	- 혐기성화 방지(압송관으로의 공기 주입, 산소주입, 질산염 주입 등) - 역사이편 구조 변경 - 자연유하관거의 재포기, 침전 방지, 콘크리트 표면의 세정, 관내 세척 - 액상 중의 황화물의 산화 및 고정화(염화제2철 주입, 폴리 황산제2철주입 등)
부식 억제	황화수소의 기상 중으로의 방산 방지	- 황화수소의 방산을 억제하는 구조(합류부 교란 방지, 단차, 낙차 해소 등)
	황산화 세균의 활동 억제	- 기상 중의 황화수소의 희석 및 제거(환기 및 탈취) - 콘크리트 표면의 건조(환기) - 황산화세균의 대사 억제(콘크리트로의 방균제, 항균제 혼입)
방식	내황산성 재료	- 내황산성 재료(FRPM, PVC, 세라믹 등) - 레진콘크리트 제품 - PVC계 소형 맨홀
	콘크리트의 내황산성 향상 및 표면 피복	- 내황산성 향상(내황산성 콘크리트) - 표면의 피복(도포형 수지 라이닝 공법, 시트 라이닝 공법, 매설형틀 공법 등)

② 물리적 파손으로부터의 보호

○ 근접공사의 파악

- 하수관거 부근에서 하수도 이외 공사가 진행되면 지반 압밀침하, 공사용 중기계 등의 하중이나 흙막이공 부실로 인하여 관거시설이 부등 침하되거나 손상을 입는다. 또한 공사시 부주의한 배수로 인해 시멘트 몰탈 등의 건설자재가 유입되어 관거가 막히는 등 관거 시설에 지장을 초래하는 경우가 발생한다. 한편 관거시설 손상에 따른 도로함몰 등의 사고로 진행되는 경우도 존재. 이러한 영향은 굴착공사(말뚝박기 및 널말뚝박기를 포함한다)나 공사 중 일시 배수를 수반하는 공사시 사고가 발생할 가능성이 높다.
- 관거부근에서 진행되는 타공사에 대해서는 시공계획(조회)을 포함한 “하수관 근접지 시공 신청서”를 제출하여야 한다. 필요에 따라서는 그 공사로 인한 관거시설의 구조 및 기능 보전에 대한 지장과 영향 유무를 판정하여 시설의 보호를 강구하도록 조치하여야 하며, 공사 착공부터 완성에 이르기까지 입회 및 감시를 통해 관거시설에 대한 영향 유무를 확인하고 손상이 발생한 경우에는 복구시키도록 조치하여야 한다.

○ 무허가 공사에 대한 대처

- 관거시설 부근에서 실시되는 타공사 중에 사전 시공통지(조회)가 없는 소위 무허가공사를 점검 순회 중에 발견한 경우에는 즉시 신고하도록 한다. 무허가공사 경우는 보전 조치에 대한 지도가 불가능하기 때문에 관거시설 손상사고로 이어지는 경우가 많으며 도로함몰,

배수불량, 침수 등의 이상 발견은 연수가 경과해서 발견되는 경우가 많으므로 원인자의 확인이 곤란한 등의 문제가 많다.

- 가능한 한 조기에 무허가 공사를 파악하기 위해서는 점검 순회를 주의 깊게 실시하여야 하며, 도로사용, 건축 및 배수설비 등의 허가신청 창구에서 타공사 시공자에 대해서 팸플릿 등으로 계도하는 등 기회가 있을 때마다 지도하는 것이 중요하다. 발견시에 이미 관거시설에 피해가 발생했을 경우에는 정해진 수속에 따라 즉시 손상 복구조치를 요구해야 한다.

#### ○ 하수관망의 방호

- 근접 타공사에 의한 굴착공사 등이 기설치 되어 있는 관거시설 구조 및 기능 보전에 지장이 발생하는 경우에는 여러 가지 사항에 대하여 사전에 충분한 협의를 하여야 한다. 이후 타공사 시공사 또는 하수도 관리자가 취해야 하는 시설의 방호조치를 명확하게 하고 입회, 측량, 현장사진 등의 요구가 필요하다. 또한 타공사 시공사에게 공사 전후에 대한 관내 조사(CCTV조사 등)를 실시하도록 하여 손상 유무를 확인하여야 한다.

### 다. 농업용 관수로의 유지관리 방법 제언

- 본 절에서는 관수로의 내구성을 유지하기 위한 적절한 관수로 유지보수 방법을 제안하고자 기존의 농업용 관수로 유지관리 방안을 검토하고, 보다 연구와 사업이 활발하게 이루어지고 있는 상하수도 분야의 관수로 유지관리 방안을 검토하였다.
- 농업분야에서의 관수로 유지관리는 유지관리용 자료를 비치하여 관리하고, 이를 기반으로 사고 예방 대책을 수립하여 수행하며, 주기적으로 관로를 점검하여 관 파손, 배수 불량 등의 사고에 대비하여 용수 공급에 차질이 없도록 하는 3단계로 이루어져 있다. 또한, 주된 목적은 농업용수의 원활한 공급을 위한 수리시설로써의 기능을 유지하는 것으로 관의 파손이나 폐색에 대한 것을 주로 조사하고 관리하는 것이다.
- 타 분야와 비교하여 농업분야의 관수로 유지관리 방안을 검토한 결과, 아래와 같은 사항에 대해 더 구체적인 유지관리 방안을 세우는 것이 바람직하다고 판단된다. 우선 관수로의 유지관리 방안은 관수로의 설계가 완료되는 시점에서 기본적인 계획이 수립되어야 한다. 관수로 설계에 따른 관수로 자체의 특성 및 운영 특성에 맞도록 유지관리 계획이 수립되어야 한다. 특성에 맞도록 조사 계획이 수립되어야 하며, 조사를 기반으로 유지관리가 수행되어야 한다. 예를 들어, 금속관의 경우에는 부식에 대한 조사가 비금속관에 비해 보다 상세하게 이루어져야 하며, 부식의 진행 정도가 주기적으로 조사되고, 조사 결과에 따라 갱생이나 교체가 이루어져야 한다. 이를 통해, 보다 효율적인 예산의 분배와 사용이 가능해 질 것으로 판단된다.
- 한편, 조사에 있어서 필요한 조사 항목들에 대한 체크리스트를 마련함으로써 유지관리가 제대로 이루어지고 있는지에 대한 평가가 수반되어야 하며, 성과지표의 개발을 통해 유지관리 사업의 유지관리의 효과를 분석하고, 이의 타당성을 마련하여야 한다.

- 또한, 본 연구를 통해 제안하는 관로 노후도 평가 시스템을 농업용 관수로에 맞도록 수정·보완하여 유지관리 업무에 활용할 필요성이 있다. 개발되는 관로의 노후도 평가 시스템은 향후 농업용 관수로의 노후 예측 모델의 기초자료로 활용될 수 있으며, 노후 예측 모델이 개발되면 GIS 시스템과의 연계를 통해 보다 효율적인 유지관리 업무를 수행할 수 있을 것으로 기대된다.
- 마지막으로 신규로 구축되는 농업용 관수로나 이미 구축되어 있는 관수로의 GIS 구축이 필요하다. GIS 구축에는 상당한 예산이 소요되지만, 통합관리 시스템이나 여러 가지 모델과의 연계를 통해 다양한 업무에 활용될 수 있다. 따라서 장기적인 측면에서 GIS의 구축은 필수적이며, 이는 유지관리 업무에 GIS 구축의 추가를 통해 단계적으로 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

## 6. 요약 및 결론

- 본 연구를 통하여 농업용 관수로의 안정성 및 내구성 향상을 위한 대책 기술로 관파손 감지 시스템과 농업용 관수로 관중선정 및 유지관리 매뉴얼을 개발하였다.
- 관파손 감지 시스템은 IT기술을 활용하여 지하매설물을 실시간으로 감시하는 기술로, 과년도에 관수로의 파손 및 누수를 감지하기 위한 감지 시트, 감지 테이프, 누수감지 센서, 실시간 감시장치 등을 개발하였으며, 인증기관의 성능평가를 받았다. 따라서 해당 연도에는 관파손 감지시스템의 현장성능 평가를 통한 사업화의 기초를 마련하고자 하였다. 구체적으로 파일럿 플랜트 운영을 통해 현장에서의 시스템의 운영 성능 평가를 수행하였으며, 설치 및 운영 매뉴얼을 작성하고, 경제성 분석을 실시하여 시스템 도입의 경제적 타당성을 평가하였다.
- 개발된 농업용 관수로에 대한 누수 감시 및 유지관리 등에 활용이 가능하며, 농업용 관수로 분야뿐 아니라 상수도, 하수도 및 가스관, 송유관, 지역난방관로시설 등 누수 및 파손에 대한 실시간 감시가 필요한 분야에 적용이 가능하며, 지하매설물의 상태정보 파악에 혁신적인 유지관리 모델을 구축할 수 있을 것으로 기대된다. 새로이 구축되는 지하매설물에 적용이 용이하며, 관의 노후화 및 파손에 의한 갱생 및 정비 시에 적용하여 보다 장기적인 관리계획을 수립할 수 있을 것이다. 또한, 향후 후속사업의 추진을 통해 개발된 기술의 우수성을 입증하여 국내·외 사업화에 주력하고자 한다.
- 농업용 관수로 관중선정 및 유지관리 매뉴얼을 개발하기 위하여 현재 농업용 관수로로 이용되는 관중의 문제점 들에 대한 문헌 고찰을 수행하였다. 또한 현장에서의 농업용 관수로의 설치 및 운영에 대한 문제를 파악하고 매뉴얼에 반영하기 위하여 현장 실태조사를 수행하였으며, 현장 실무운영자와의 면담조사를 통해 현장 상황을 파악하였다. 또한 타 분야의 문헌자료를 고찰하여 농업용 관수로에 맞는 관중 선정 및 유지관리 매뉴얼을 개발하고자 하였다.
- 본 연구를 통해 마련한 관중 선정 및 유지관리 매뉴얼은 실제 현장에서 농업용 관수로의 설계와 유지관리대책 수립 시에 크게 활용될 수 있다. 구체적으로 농업용 관수로에서의

누수율 저감, 누수량 저감을 위한 유지관리 대책 수립, 지역별 특성에 따른 관망 설계 등에 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 국내의 토양 및 수질 환경에 대한 충분한 사전 검토를 통해 합리적으로 관종을 설계하고 부식방지 대책과 유지관리 방안을 수립함으로써, 관수로의 효율적인 운영분야에 활용될 것으로 판단된다. 이를 통해 궁극적으로 관수로의 유지보수에 경제성과 신뢰성을 확보하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것이다. 마지막으로 본 연구를 통해 마련한 매뉴얼을 기초로 향후 농어촌공사 전문인력의 추가적인 검토를 통해 국내 실정에 맞는 관종 선정 방법과 유지관리 방안을 확립할 수 있을 것으로 기대한다.

### 제 3 절 농업용 관수로의 경제성 분석 및 수요공급 시스템 개발

2협동

농업용 관수로의 경제성 분석 및 수요공급 시스템 개발

연구 목표	연구 내용	수행기관
농업용 관수로의 경제성 분석 및 수요공급 시스템 개발	농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석	건국대학교 산학협력단
	농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급량 산정 알고리즘 개발	
	농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급 운영방안 및 최적 관리방안 개발	

#### 1. 서론

- 기존의 농업용수로로 사용되고 있는 개수로는 수로손실 크고, 지형적인 제약, 오염물질의 유입 등 단점이 있어, 우리나라에서는 1980년대부터 효율적인 용수공급을 위하여 관수로화 사업이 시행되고 있음
- 하지만 우리나라의 농업용수로는 총 117,000km 중 관수로화 용수조직은 약 500km로서 우리나라의 관수로화 비율은 매우 낮은 실정이며, 농업선진화를 위한 농업용 관수로시스템의 관한 최적설계기법, 경제성 분석 등의 연구가 지속적으로 이루어지고 있지만, 유지관리나 시설물 운영계획에 관한 연구는 미진한 실정임.
- 최근 극심한 가뭄으로 우리나라의 최대 다목적댐인 소양강댐의 저수위가 1978년 이후 최저수위를 기록하고, 충주댐에 용수 공급 하한선까지 저수위가 하락하는 등 우리나라의 수자원이 위협받고 있는 실정이며, 이러한 상황에서 제한된 수자원을 지속적으로 이용할 수 있도록 수자원의 효율적인 배분·이용을 위한 끊임없는 노력이 필요한 상황임.
- 농업용수량은 우리나라 총 수자원 이용수량의 약 48%로 가장 큰 비중을 차지하고 있지만 농업용수의 무분별한 사용과 운영관리방안의 부재로 인해 많은 양의 농업용수가 낭비되고 있어 농업용수 이용에 대한 효율적 운영의 필요성이 대두되고 있음.
- 우리나라는 전통적으로 농업용수 관개를 개수로 방식으로 사용되어 왔으나, 기존 농업용수로조직의 노후화와 과도한 수로손실 등으로 용수의 효율적 이용이 이루어지지 못하고 있으며 이로 인하여 가뭄피해가 발생하고 가뭄 극복을 위한 보조 수원공을 설치하는 등 여러 가지 문제가 발생되고 있음.
- 기존 개수로에 비하여 관수로의 경우 통수량이 증가되어 관개에 소요되는 시간은 단축되었으나, 급수소요시간의 변화에 따른 적절한 적용을 하지 못하여 지나치게 많은 양이 공급되고 있어 수자원의 낭비를 막기 위해 농업용 관수로의 운영기준이 필요하지만, 현재 농업용 관수로 운영기준은 사실상 없는 실정임. (박 등, 1997)

- 이에 본 연구에서는 농업용 관수로 시스템의 경제성 분석을 통하여 관수로 시스템의 용수절감효과를 도출하고, 관수로 시스템에 사용 가능한 수요/공급량 산정 알고리즘을 개발하고, 이를 바탕으로 관수로 시스템에 적합한 관리 및 운영 방안을 개발하고자 함.

## 2. 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석

- 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석은 1차년도 세부 목표로서, ① 국내 · 외 농촌용수 관개수로의 현황 및 변동추세를 조사하고, ② 관수로 관개에 의한 용수절감 효과를 분석하고, ③ 농촌용수 관수로 시스템의 경제성을 분석하는 내용을 포함하고 있음.
- ① 국내 · 외 농촌용수 관개수로의 현황 및 변동추세 조사는 국내 · 외의 농업생산기반 시설의 현황 및 변천과정의 특성을 파악하고, 특히 용수공급을 위한 관개수로 정비 사업에 있어 개수로와 관수로의 설치 현황을 조사하고, 개수로 및 관수로에서의 수로 손실율을 분석하였음.
- ② 관수로 관개에 의한 용수절감 효과 분석은 개수로 및 관수로에 의한 용수공급 대표지역을 선정하여 문헌조사 및 현장조사를 통하여 계측자료를 확보하고, 물수지 분석을 통하여 관수로 시스템의 용수절감 효과를 도출하여 관수로 시스템의 구축 타당성을 제시하였음.
- ③ 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석은 관수로 관개지구에서의 용수절감 효과에 따른 사회 · 경제적 파급효과를 도출하고, 시설비, 유지관리비, 운영비 등을 고려하여 개수로 대비 관수로 시스템의 경제성을 분석하였음.



[그림 3-3-2-1] 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석을 위한 연구 내용

### 가. 농업생산 기반시설 현황 및 변천과정 특성 파악

#### (1) 생산기반시설 현황 조사 및 변동추세 분석



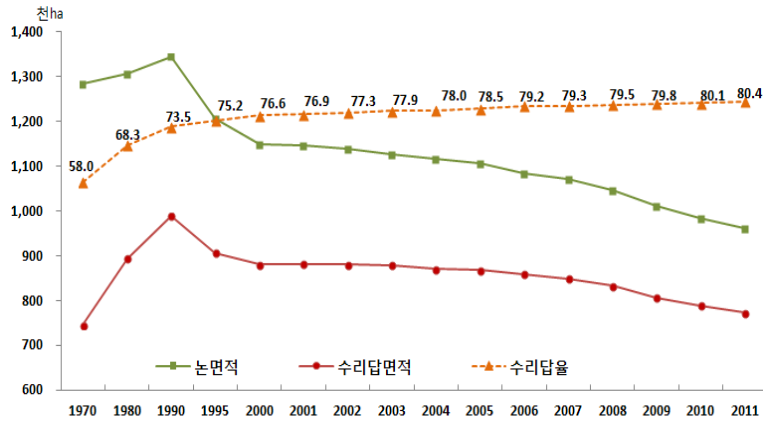
- 농작물의 생산성 향상을 위하여 지속적으로 수리시설개보수사업이 진행되고 있는바, 기존 사업은 수리시설 개보수 수준, 사업추진방향, 유지관리사업과의 차별화에 대한 문제점, 사업추진 체계 및 시행상의 문제점, 설계 및 시공 등의 문제점, 유지관리상의 문제점 등이 발생하고 있음. (농어촌공사, 2005)
- 한국농어촌공사에서 1955년부터 발간하기 시작한 농업생산기반정비사업 통계연보는 사업의 실적을 기록·보전하여 농업생산기반시설물의 효율적인 유지관리와 정책수립 자료로 활용하고 있으며, 통계연보에서는 전국의 농업생산기반시설의 전수조사를 실시하여 매년 통계자료를 산출하고 있고 2004년도에는 통계연보 전산시스템 개발하여 Web 기반 구축을 완료하였음.
- 본 조사에서는 현재까지의 생산기반시설 현황을 조사함으로써 제시된 문제점을 해결하기 위한 기초자료를 제공하고 생산기반시설 현황에 대한 조사 항목으로서 수리시설별 담면적, 관개규모별 수리시설 현황, 준공년도별 현황 및 제원, 정비사업의 개발실적 및 집행실적, 용배수로 현황 등을 조사하여 [표 3-3-2-1]에 조사 항목 및 내용을 나타내었음.

[표 3-3-2-1] 농업생산기반시설 현황 조사 항목 및 내용

순 번	조사 항목	세부 항목	세부 내용
1	담면적 현황	- 수리상태별 담면적 - 수리시설별 담면적	- 전국의 수리담울과 수리시설물별 수리담 면적, 수리상태별 담면적
2	관개규모별 수리시설 현황	- 수원공별 관개면적 - 시설규모별 관개면적	- 주수원공별로 공급하고 있는 관개 면적과 면적별 수리시설 개소수
3	준공년도별 수리시설 현황	- 연대별 준공현황 - 수원공별 준공현황	- 연대별 주수원공의 준공현황과 경과 년도별 수리시설물 현황
4	수리시설별 제원 현황	- 수원공별 제원 - 지역별 수리시설 현황	- 수리시설물의 총 인가면적 및 수해 면적과 수원공별 제원 및 수해면적
5	농업생산기반 정비사업 현황	- 농업생산기반조성사업 - 농업용수 개발사업	- 농업생산기반정비사업의 사업별 및 수원공별 개발면적 및 집행실적
6	용배수로 현황	- 용수로 현황 - 배수로 현황	- 용수/배수로의 간선, 지선, 지거의 토공 및 공작물 연장
7	농업용수개발사업 준공현황	- 수원공별 준공현황 - 수원공별 사업비 현황	- 농업용수개발사업에서의 수원공별 준공면적 및 사업비
8	농업생산기반조성사업 준공현황	- 사업별 준공현황 - 지사별 준공현황	- 경지정리, 배수개선, 개간, 간척 사업별 준공면적 및 사업비

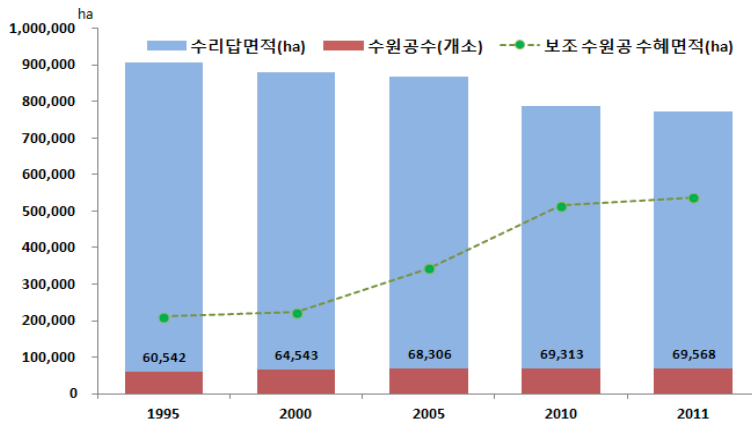
○ 수리답 면적 현황 조사결과

- 수리답 (수리안전답)은 용수를 자연에 의지하는 천수답과 달리 저수지, 양수장, 취입보, 집수암거, 관정 등 수리시설물에 의하여 인위적으로 관개함으로서 안정적이고 지속적인 생산이 가능한 농지를 의미함. [그림 3-3-2-2]와 같이 1970년에는 총 128만 ha의 논면적 중 약 72만 ha가 수리답으로서 58%의 수리답율을 나타내고 있으며, 2000년대에는 논면적이 약 28만 ha가 감소하지만 수리답율은 80%로 증가한 경향을 나타내었음.



[그림 3-3-2-2] 수리답면적 및 수리답율

- 또한, [그림 3-3-2-3]에서와 같이 1995년 수리답 면적이 약 90만 ha에서 2011년 약 10만 ha 줄어든 80만 ha로 감소하였으며, 수원공 개소수는 1995년 약 6만개소에서 2011년 약 7만개소로 늘어나 수원공 한 개소당 수혜면적이 줄어들고 있음을 확인할 수 있었음. 이는 주 수원공에 비해 보조 수원공의 수혜면적이 늘어났기 때문으로 추정됨.

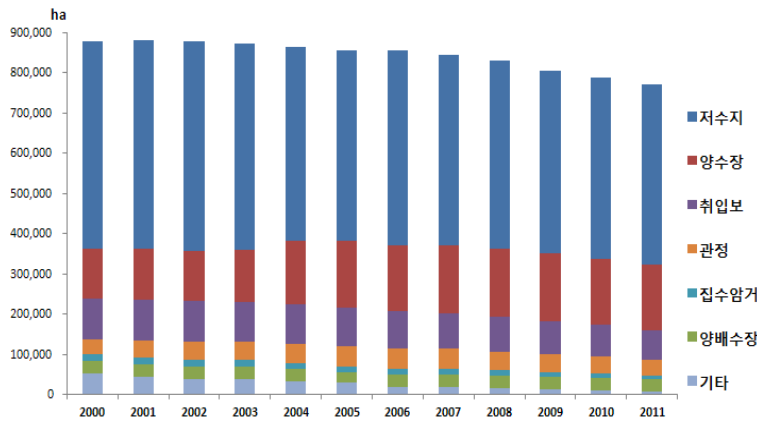


[그림 3-3-2-3] 연도별 수리답면적 및 수원공 개소수

- 이에 수원공별 개소수를 조사한 결과, [그림 3-3-2-4]와 같이 농업용저수지가 가장 많이 차지하고 있었으며 양배수장, 취입보, 관정, 집수암거 순으로 나타내고 있었음. 농업용저수지는 1990년대 531개소로 가장 많았으며 2011년에는 32개소 줄어든 449개소를 나타내고 있고, 집수암거의 경우 1970년대 62개소에서 2011년도에는 11개소로 감소한 결과를 나타내었음. 또한 [그림 3-3-2-5]와 같이 농업용저수지의 수혜면적이 전체 논면적의 약 65% 이상을 차지하고 있으며, 양수장, 취입보, 관정, 집수암거 순으로 주수원공을 사용하고 있었음.

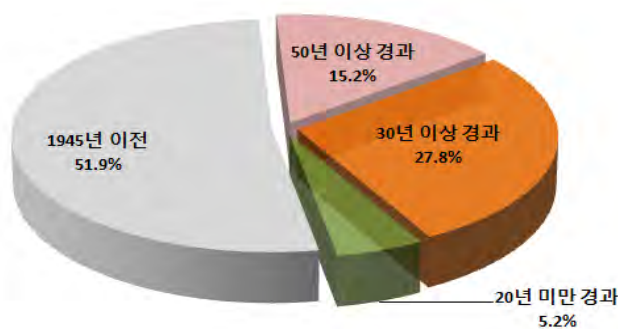


[그림 3-3-2-4] 수원공별 개소수 현황



[그림 3-3-2-5] 수원공별 공급 수혜면적

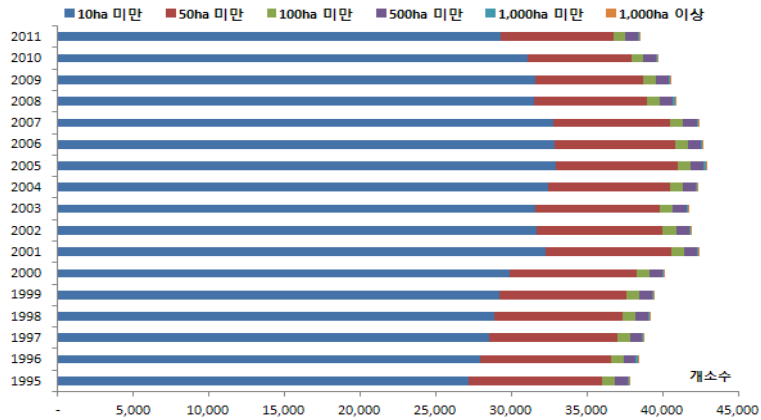
- 우리나라 농업용저수지는 약 18,000개소로 [그림 3-3-2-6]과 같이 절반 이상이 1945년 이전에 준공되었으며 50년 이상 경과된 저수지는 약 15%, 30년 이상은 약 28%, 20년 이하로 사용한 저수지는 약 5%에 불과해 전국적으로 농업용저수지의 노후화가 상당부분 진행되었을 것으로 판단됨.



[그림 3-3-2-6] 농업용저수지의 사용 경과년도

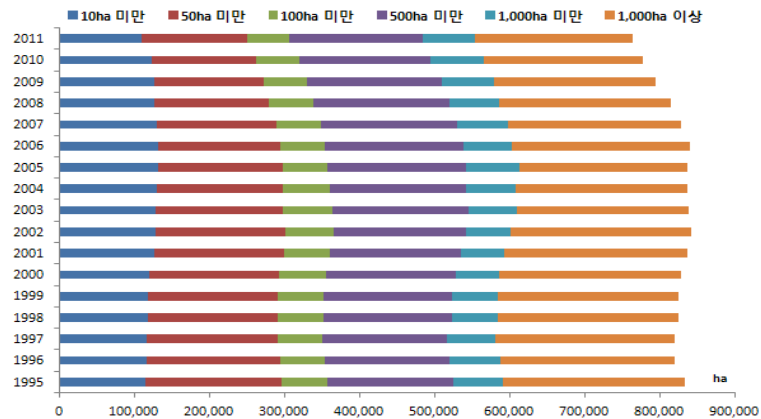
○ 관개규모별 수리시설 현황 조사결과

- 10 ha 미만부터 1,000 ha 이상의 관개면적에 용수를 공급하는 수리시설물 개소수를 조사한 결과, [그림 3-3-2-7]과 같이 10 ha 미만의 관개면적을 가지고 있는 수리시설물이 연평균 약 3만개소로 가장 많았으며, 1,000 ha 이상은 약 70여개소로 가장 적게 분포하고 있었음.



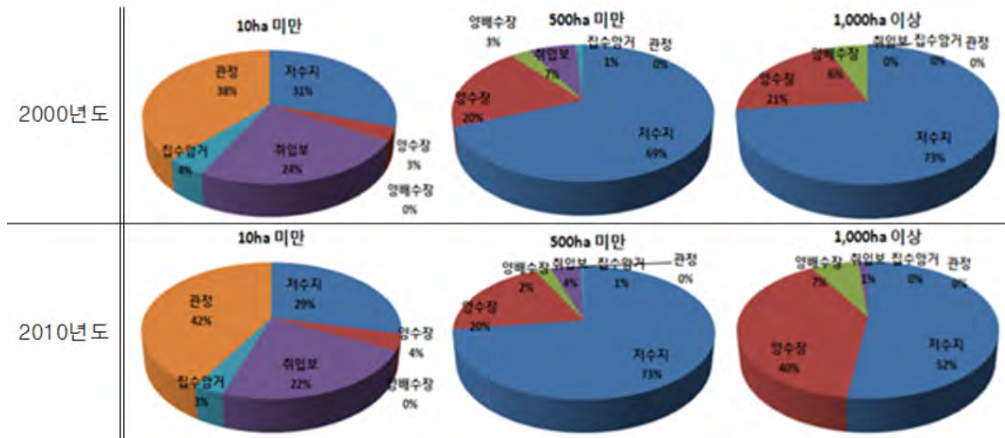
[그림 3-3-2-7] 관개규모별 수리시설 개소수

- 또한, 10 ha 미만부터 1,000 ha 이상의 관개규모별 면적 분포를 조사한 결과, [그림 3-3-2-8]과 같이 1980년대부터 활발하게 시행된 대구획 경지정리사업으로 인하여 1,000 ha 이상 규모의 면적이 가장 많았으며, 500 ha 미만, 50 ha 미만 면적순으로 분포하고 있었음.



[그림 3-3-2-8] 관개규모별 면적

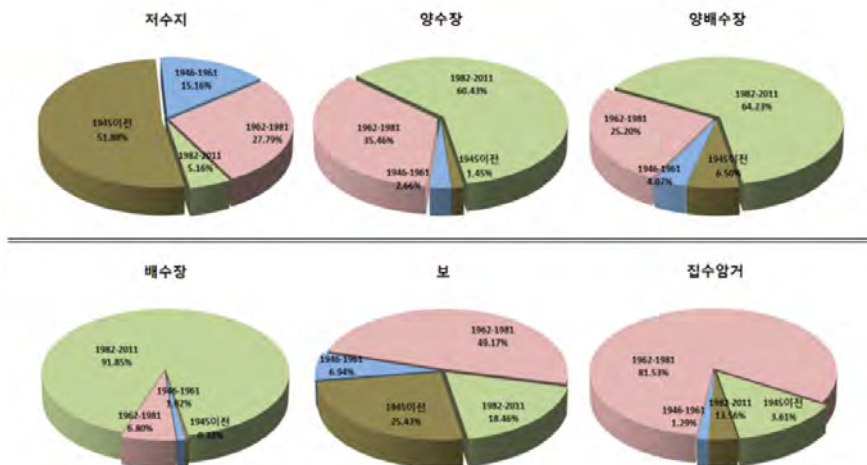
- 관개규모별 수원공 현황을 살펴본 결과, 10 ha 미만의 관개규모에서는 관정 시설이 약 40%를 차지하는 주수원공으로 조사되었고, 500 ha 이상에서는 저수지가 주수원공으로 사용되고 있음.
- 또한, 500 ha 미만의 관개규모에서는 연도별로 유사한 비율의 경향을 나타내고 있으나, [그림 3-3-2-9]와 같이 1,000 ha 이상의 관개규모에서는 2010년도에 들어 양수장의 비율이 약 20% 증가한 40%를 차지하고 있으며 저수지의 비율이 약 20% 감소한 52%를 차지하고 있음



[그림 3-3-2-9] 관개규모별 수원공 현황

○ 준공연도별 수리시설 현황

- 준공연도별 수리시설물 현황을 조사한 결과, [그림 3-3-2-10]과 같이 농업용저수지는 1945년 이전에 절반 이상이 준공되어 시설의 노후화가 진행된 현황을 확인할 수 있었으며, 양수장, 양배수장, 배수장의 경우, 1980년대 이후부터 약 60% 이상이 준공되었으며 1960년대부터 1970년대에 약 6%부터 35%까지 준공되었음.
- 취입보의 경우, 1960년대부터 1970년대에 50%가 준공되었으며 1945년 이전에 25%, 1980년대 이후에 약 18%가 준공되었으며, 집수암거의 경우, 1960년대부터 1970년대에 80% 이상이 준공되었고, 1945년 이전에는 약 4%, 1980년대 이후에는 약 14%가 준공되었음.



[그림 3-3-2-10] 준공연도별 수리시설물 현황

○ 수리시설별 제원 현황

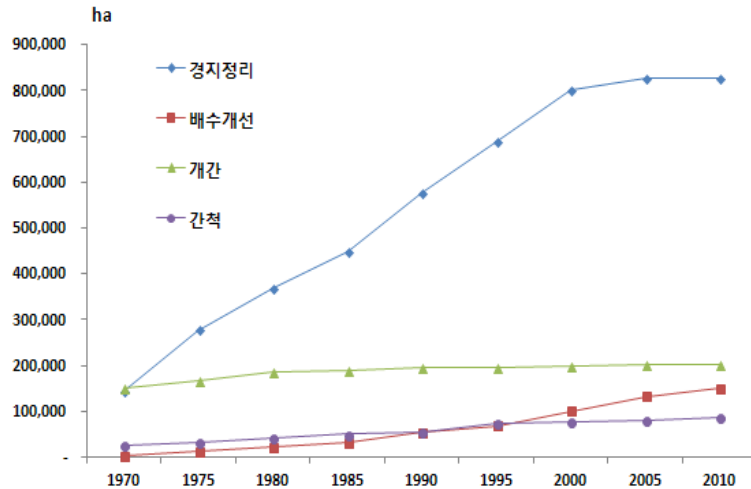
- 우리나라 수리시설별 제원 현황을 살펴본 결과 [표 3-3-2-2]와 같이 농업용저수지의 경우, 약 1만8천개소를 유지하고 있었으나 2000년대에는 점점 감소하여 현재는 약 1만7천 500개소로 용수공급능력 즉, 유효저수량은 약 500만톤 증가하였음. 또한, 취입보의 경우 점점 감소하는 추세를 보이다 최근 4대강 사업을 통하여 수자원 확보용 취입보가 다수 설치되어 현재는 약 1만8천개소를 유지하고 있음.

[표 3-3-2-2] 수리시설별 제원 현황



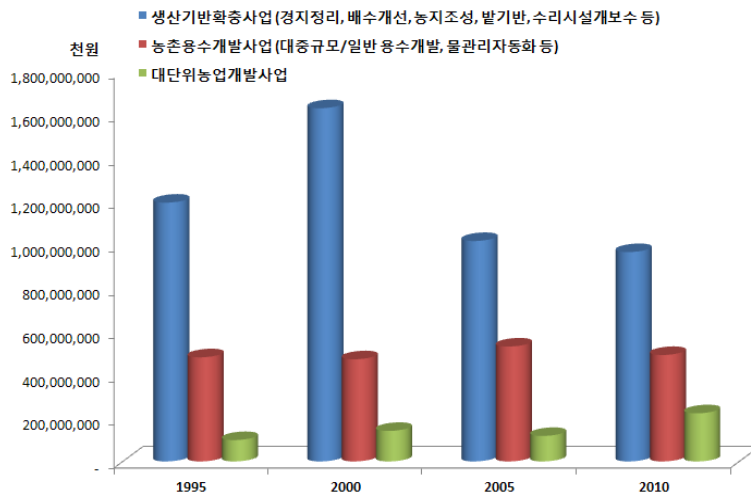
○ 농업생산기반정비사업 현황

- 농업생산기반정비 사업별 농지 개발면적을 조사한 결과, [그림 3-3-2-11]과 같이 경지정리 사업은 1970년대부터 꾸준히 시행되어 2010년에 누계면적이 약 80만 ha에 이르고 있으며, 배수개선 및 간척 사업은 약 5만 ha, 개간사업은 약 1만 5천 ha 개발되었음.



[그림 3-3-2-11] 농업생산기반정비 사업별 누계 개발면적

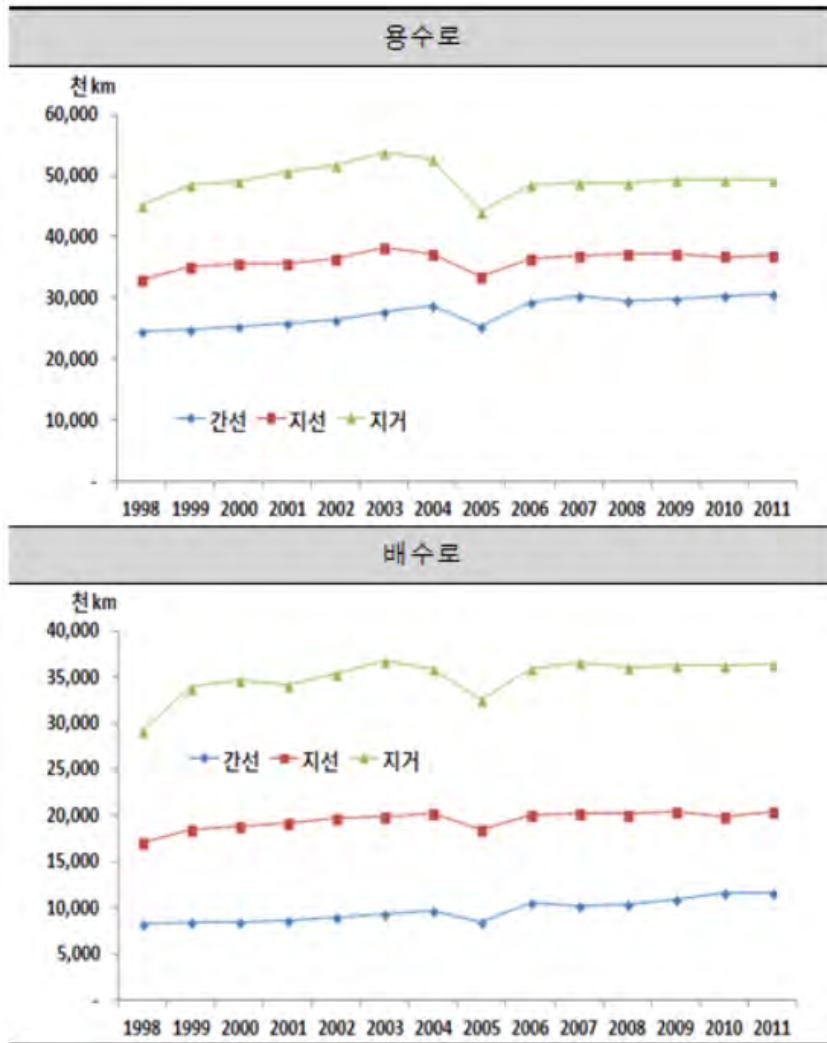
- 또한, 사업별 집행실적을 조사한 결과, [그림 3-3-2-12]와 같이 생산기반확충사업은 다른 년도에 비하여 2000년도에 가장 많은 집행 실적을 보이고 있으며, 농촌용수개발사업과 대단위사업은 매년 비슷한 집행실적을 나타내고 있음.



[그림 3-3-2-12] 농업생산기반정비사업 연도별 집행실적

○ 용배수로 현황

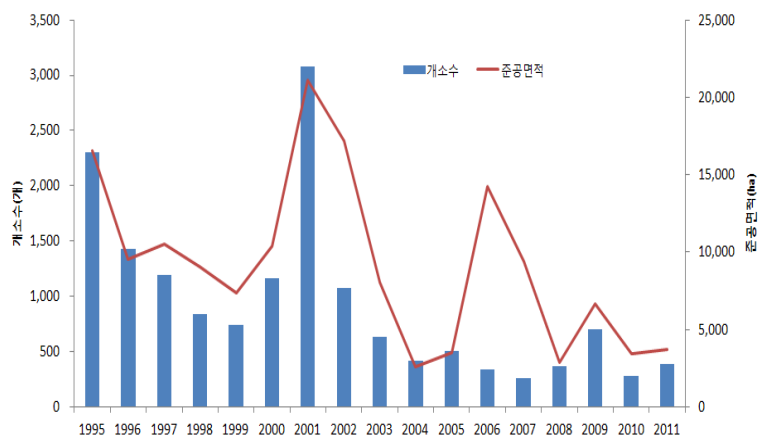
- 연도별 용배수로 현황을 조사한 결과, [그림 3-3-2-13]과 같이 용배수로 모두 지거의 총 길이가 가장 길었으며 간선의 길이가 가장 작은 것으로 나타났음. 또한, 용수로의 경우, 간선은 1998년에 비해 약 5천 km 증가하였고 지선은 1천5백 km, 지거는 5천5백 km 증가하였으며, 배수로의 경우, 간선은 1998년에 비해 약 5천 km 증가하였고 지선은 3천 km, 지거는 7천 km 증가하였음.



[그림 3-3-2-13] 연도별 용배수로 현황

○ 농업용수개발사업 준공현황

- 농업용수개발사업의 연도별 준공현황을 조사한 결과, [그림 3-3-2-14]와 같이 2001년에 가장 많은 사업이 시행되어 약 3,000개소가 준공되었고, 2000년 이후에는 약 650개소가 준공되었음.

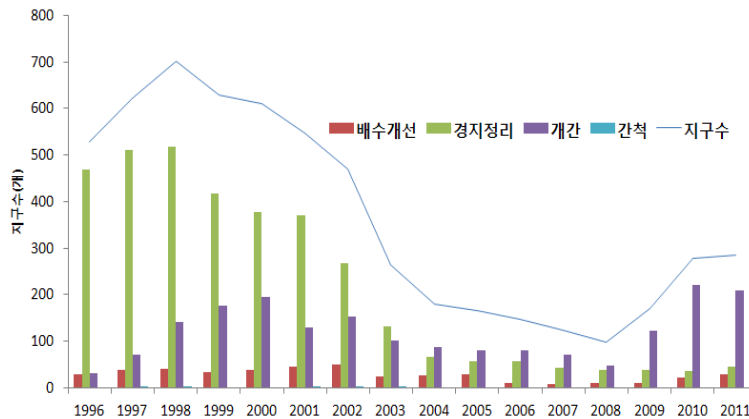


[그림 3-3-2-14] 농업용수개발사업 연도별 준공현황



○ 농업생산기반조성사업 준공현황

- 농업생산기반조성사업의 연도별 준공현황을 조사한 결과, [그림 3-3-2-15]와 같이 2003년 이전에는 경지정리 사업이 주로 시행되었으며, 2004년부터는 개간사업이 주로 시행되고 있음



[그림 3-3-2-15] 농업생산기반조성사업 연도별 준공현황

(2) 관수로 설치 현황 및 분석

○ 국내 현황

- 농업용 관수로는 농어촌 용수를 수원공 시설에서 말단 포장까지 필요한 수량을 필요한 시기에 필요한 지점까지 필요한 압력으로 안전하고 확실하게 공급할 수 있는 압력관로의 수로조직을 말하며, 크게 관로와 부대시설로 구성됨.(농림부, 2009, 농업생산기반정비사업 계획설계기준)
- 우리나라는 농촌의 고령화 및 과소화로 인하여 농업 여건이 점차적으로 부실하게 되고 개방화에 따른 농업의 패러다임 변화 등 생산을 위한 기반시설인 농업용수 공급 및 관리 시스템의 현대화가 절실한 시점임.(농림부, 2009)
- 기존의 개수로 관개는 수로에서의 증발 및 침투손실로 인하여 필요수량 이상으로 공급해야 하며, 수로 내 퇴적으로 인한 통수량 감소로 매년 유지관리의 필요성을 내포하고 있음.
- 이러한 개수로의 문제점을 해결하기 위하여 상·하수도에서 주로 사용하는 관수로 시스템을 농업용수에 적용하기 위한 다각적인 연구가 이루어지고 있음. 하여 당시 농림부는 1988년에 “농업생산기반정비사업 계획설계기준 수로편”에서 농업용 관수로의 설계기준을 제시하였으나 기술 수준의 미흡으로 현장 적용 및 유지관리의 어려움이 있음.
- 따라서, 당시 농림부는 농업용 관수로의 올바른 설계기준을 마련하기 위하여 “농업용 관수로 계획설계지침, 1989”, “농업용 관수로 설계·시공·유지관리지침, 2001”, “농업생산기반정비사업 계획설계기준 수로편, 2004”, 일본의 “토지개량사업 계획설계기준

파이프라인, 2004” 등을 근간으로 2009년에 “농업생산기반정비사업 계획설계기준 관수로편”을 발간하였음.

- 또한, 2005년 당시 농림부는 수리시설 개보수 사업에서 용수로의 개보수는 콘크리트 구조물화 (개거)를 현행 기준으로 정하고 있어, 공급자 주도형의 물관리로 용수소비 및 손실이 과다하고 이물질의 중간 유입으로 통수능에 악영향을 미치며 물관리 자동화가 어려운 문제점을 개선하기 위하여 용수로의 관수로화를 재정립(안)으로 제시하였음.(농림부, 2005, 농업여건 변화에 따른 수리시설개보수 사업의 효율적인 추진방안에 관한 연구)
- 이를 바탕으로 1998년 한국농어촌공사는 관수로 시스템의 계획·설계, 수리해석, 구조 설계, 관망해석 프로그램 등을 개발하여 관수로 설계를 위한 기초자료를 마련하였음.(한국농어촌공사, 1998, 관수로 시스템 설계기술 개발 연구)
- 이후 당시 농림부는 2005년 전세계적으로 심화되고 있는 물부족 현상에 대하여 농업용수의 절약을 위한 농업용수 수로관리 기술을 개발하고 관수로 설계 및 물관리 지침을 제시하였고[농림부, 2005, 물부족 시대에 대비한 절약형 농업수로 관리기법 연구], 1997년 농업용수 관수로망의 최적 계획 프로그램을 개발하고 현장적용을 통하여 관수로 시스템의 물관리 및 다목적 고도 이용방안을 제시하였음.[농림부, 1997, 농업용수로의 관수로 시스템 계획과 물의 이용 및 관리에 관한 연구]
- 또한, 2001년 농업용 관수로의 물관리 효율 증대를 위하여 관수로 자동급수장치를 개발하여 논관개 시스템을 개선하였고, 관수로의 효율적인 용수배분을 위하여 분수량 관리 지원시스템을 개발하는 [농림부, 2001, 논관개용 관수로의 분수량 관리시스템과 자동급수장치 개발에 관한 연구] 한편, 2008년 농업 용수구역 단위의 적정 농업용수의 확보, 공급, 관리기술의 개발과 실용화 방안을 제시하기 위하여 영농형태 및 농업용수 이용 변화 예측기술을 개발하였음.[농림부, 2008, 농촌지역 작부체계에 따른 용수구역 단위 물관리 기술 개발]
- 이와 같이 농업용수 관수로의 설계 기술, 시공 기술, 유지관리 지침 등을 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 바, 1980년대에 경지정리, 농촌용수, 대단위간척사업 등을 통하여 논관개 관수로가 도입되었으며, 1990년대에 발기반 정비사업 등을 통하여 발관개 관수로가 도입되었음.
- 특히, 대단위간척사업으로 조성된 농경지의 경우 연약지반의 개간으로 인하여 콘크리트 구조물의 침하가 발생할 수 있으므로 용수공급을 위한 관수로 시스템의 도입이 필수적인 사항이 되었음. [표 3-3-2-3은 현재까지 사업별로 진행된 관수로 시스템 구축 사업을 조사하여 관수로 시스템에 의한 관개용수를 공급하는 지구를 조사하였음.

[표 3-3-2-3] 관수로 시스템 구축 사업 지구

연 도	지구명	위 치	시행처	사업명	비 고
1988	삼인동 지구	경기 용인	이천 농조	경지정리사업	
1989	원부 지구	경기 여주	이천 농조	농연연구사업	
1990	송선 지구	경북 경주	경주 농조	농연개보수 사업	
1991	용풍 지구	경기 이천	이천 농조	농연연구사업	
1991	해남 지구	전남 해남	해남 농조	대단위간척지 개발사업	
1992	구천 지구	경북 의성	의성 농조	농연연구사업	
1992	오사 지구	경북 상주	상주 농조	농연종합정비 사업	
1992	왕암 지구	충남 논산	논산 농조	농연조립식구조물 시범사업	
1993	모흥 지구	경북 의성	의성 농조	농연연구사업	
1996	덕곡 지구	경남 합천	합천 농조	대구획 경지정리 사업	
1997	우성 지구	충남 공주	공주 농조	대구획 경지정리 사업	
1997	신촌 지구	강원 춘천	춘천 농조	밭작물 관개사업	
1998	성주 지구	경북 성주	경북 본부	농업용수개발 사업	
2003	고흥 지구	전남 고흥	고흥군	대단위간척지 개발사업	

○ 국외 현황

- 일본의 경우 농업생산기반정비의 발전을 시대별로 살펴보면, 1900년대 이전은 경지정리 이전 단계, 1950년대까지는 경지정리 단계, 1970년대부터 현재까지 포장정비 단계로 나누어지는데, 1970년대 이후 포장정비사업 즉, 구획정리, 용배수로 구조물화, 농로 포장 등의 사업을 통하여 경지이용의 범용화 및 고도화를 추진하면서 관수로 설치 사업이 본격적으로 진행되었음.
- 미국의 경우에는 북서부 지역의 대부분 농경지는 광역 관개 송배수망으로 관개되며 각각의 관개 시스템 성분을 고려한 연 운영비를 최소로 하는 최적 관개시스템 계획을 적용하고 있는바, 최근 관로 계획에서는 컴퓨팅 프로그래밍을 이용한 선형계획법이나 동적계획법 혹은 혼합법 등을 적용하고 있음.
- 일본의 농업용 관수로 설계시공지침에 따르면 관수로의 설계는 ① 관수로의 개략적인 수로조직 설계, ② 관로와 부대시설에 대한 수리 및 구조적 검토, ③ 경제적인 실시설계 순으로 설계하도록 명시되어 있음.
- 각 단계별 주요 내용을 살펴보면 ① 개략적인 수로조직 설계 단계에서는 현지조사를 통한 지형, 지질 등을 조사, 노선 선정 및 관로 형식 등의 기본계획 수립, 용수 이용과 관리계획 검토 등이 이루어지며, ② 수리 및 구조적 검토 단계에서는 관로에 대한 수리해석, 관로 조작에 따른 비정상류와 비상시 대책 수립, 수리계산 결과를 바탕으로 관로의 하중 검토 등이 수행되고, ③ 경제적인 실시설계 단계에서는 부대시설 계획, 기능, 안전성, 경제성 검토, 이상의 과정을 반복적으로 수행하면서 최적시설계획을 마련함
- 일본의 대규모 관개 사례는 일본최대규모의 가스미가우라 용수개발사업이 있는데, 이바라기현 남부의 하치시 외 21개 시정촌에 19천 ha의 농지에 최대 18 CMS의 농업용수를 공급하는 사업이며, 이 지역은 연평균 강수량이 전국 평균의 약 65%에 불과하여 한발피

해가 잦은 지역임.

- 이 사업은 가수미가우라 양수장으로부터 쓰꾸바 산을 터널로 관통하여 기누가와까지 간선용수로를 시공하고, 그로부터 히가시야마다 조정지까지 간선 17 km를 건설하는 등 총 연장 203 km의 관수로, 조정지 6개소, 양수장 9개소, 팜폰드 51개소 등을 신설 및 개보수하는 사업임.
- 말단의 배수시설은 현영 또는 단체영 사업으로 시행되었으며 농업용수사업은 현영 포장정비사업, 현영 밭지대종합토지개량사업 등 관련되는 사업과 일체적으로 실시하여 지역민의 요청에 따른 다목적 토지이용, 기계력의 도입 등이 가능하게 되어 농업경영의 근대화 및 안정화에 기여하였음.
- 일본의 다른 하나의 대표적인 관수로 설치사업으로 나가하마 현영관개배수사업이 있는데, 이 지역은 사탕수수가 주작물인 밭관개 지역으로 총강수량은 비교적 풍부하나 강우분포가 계절적으로 불균형이며 토양은 보수력이 약하여 한해가 잦은 지역임.
- 이 사업은 일본의 북부지역을 유하하는 나가하마 하천에 댐을 신설하여 농업용수를 확보하고 280 ha의 밭지역에 관개하는 사업으로 포장에서의 송수시설과 양수장, 조정지, 용수로 등을 정비하며 포장내의 취수시설은 별도의 토지개량사업으로 정비하는 사업임.
- 나가하마 지역은 1호당 경지면적이 적고 생산성이 낮은 포장형태를 이루고 있어 본 사업으로 인하여 용수의 유효이용에 의하여 노동생산성이 높은 현대적 농업경영에 전개를 위하여 사탕수수, 야채 및 축산 등 복합적인 경영이 실현되었음.
- 이와 같이, 일본의 관수로 관개 기술은 1960년대부터 본격화되어 현재까지 약 50년의 기술을 축적하고 있으며, 소수경부터 지름 약 3m의 대구경 관수로까지 설치하고 있으며, 1965년에는 히와테현 중앙토지개량구에서 사가현의 개수로 시스템을, 1966년에는 기후현, 아이치현에 개수로 시스템을 관수로 시스템으로 전환하여 말단부까지 물관리 생력화를 가능하게 하였음.
- 1970년에는 니카타현의 현영포장정비사업에서 관수로에 의한 용수배분시설을 시공하였는데, 설계에서 급수전의 관리상황에 따라 펌프를 조작하여 용수를 절감하여 유지관리 측면에서 경비를 절감하고 효율적인 물관리를 통하여 농가경영의 근대화를 실현하였음.
- 1980년에는 야마카타현의 182 ha의 농경지에 관수로 시스템을 설치하였는데, 경제적인 운영을 위하여 관수로 관개에 의한 수혜면적은 30~50 ha로 설계하였으며, 총 논면적에 대한 관수로 관개를 위해서는 조정지 및 팜폰드의 필요성을 제시하였음 (아사쿠라, 1983; 미사와, 1987).
- 1999년에는 메이치현에 약 3,500 ha의 수혜면적에 총 299 km의 용수로 중 193 km의 관수로를 설치하고 나머지는 개수로로 설치하였는데, 개수로 관개 지역에서는 취수변화율

이 평균 4%인데 반하여 자연압 관수로 관개 지역에서는 평균 31%를 나타내어, 관수로 시스템에서는 시간별 취수량의 조절이 가능하였음.

[표 3-3-2-4] 국외 관수로 시스템 구축 사업 지구

연 도	위 치	면 적 (ha)	연 장 (km)	유 량 (mm)	사업명
1964	North Dakota, US	178	4.64	152 ~ 304	-
1966	기후현 아이치현	폐쇄형(Closed type)의 논관개로 도입			농업생산정비사업
1970	니이카타현	-	-	-	현영포장정비사업
1985	아바라키현 남서부 시정촌	20	가압관수로와 수위의 차에 의하여 흐르는 자연압 관수로		
1998	토야마 12지구 니이카타현	198	-	200	토야마현 경지정리사업
1999	메이치현	3.8	193	34 CMS	메이치용수사업
2000	나가사키현	816	20.8	250	아사하야만 간척지 영농계획
2010	Aurora, Colorado. US	755	54.4	12,500 천ton/year	The prairie waters project
2010	Kralkizi in Turkey	200	10.7	shipon.1 : 92 shipon.2 : 52	Kralkizi in pipeline project
2011	Western Nevada, US	1.0	19.04	300	Banner Casacde pipeline project
2012	Carnarvon, Western Aus	1.2	31	300	Western Australia irrigation project

○ 관수로 시스템의 필요성 및 변화 원인 고찰

- 우리나라의 농업은 농어민의 고령화, 농어촌의 과소화로 인한 농촌 일손 부족등 농업 여건은 물론이고 경제, 과학기술의 획기적 발전, 개방화에 따른 농업의 패러다임 변화 등 농업의 주변 환경이 급변, 이와 같은 농업을 둘러싼 사회, 경제, 과학기술 등 주변여건에 부응하여 국민의 먹거리를 생산하는 기간 시설인 농촌용수의 공급 및 관리시스템의 현대화가 절실한 시점임.
- 농업용 관수로는 수압에 의하여 송수하므로 지형의 제약을 받지 않고 용수 공급이 가능하고, 수로 중간의 오염수 유입을 차단하므로 청정수를 원수의 수질을 유지하면서 말단 부까지 공급이 가능하고, 지하로 매설하여 용수로 설치 부지의 매입비용의 절감 등 다양한 장점을 가지고 있음.
- 이와 같은 이유로, 10,000ha 이상의 대규모관개 지구에 3,000mm 대구경 관수로를 사용 등 관개지구의 광역화와 농업용관수로의 대형화가 진행되고 있으며, 또한 농업용관수로에 물관리자동화 시설을 설치하면 원격으로 물관리가 가능하게 되어 인력 및 비용의 획기적인 절감이 가능함.

- 관수로가 농업의 경쟁력제고, 친환경시설, 수자원절약, 농지범용화기여, 농지잠식방지, 수리시설개보수와 조건 불리지역의 개발에 적합한 시스템, 사업효과의 조기거양 및 농촌공간의 자연환경보전 등 수많은 효과를 감안할 때 미래의 농업발전을 위해서 관수로의 용수체계구축이 필요한 시점임.
- WTO체제하의 무한경쟁의 농산물교역에서 우리나라 농업이 경쟁력을 갖추기 위해서는 작목의 다양화와 고품질농업생산이 필요하며, 이를 뒷받침하기위하여 수질오염을 방지할 수 있고, 4계절 용수공급이 가능한 관수로에 의한 용수공급체제가 절실함.
- OECD에서는 농촌용수사용료를 징수할 것과 농가포장단위의 물 관리시설비에 대한 보조를 삭감할 것을 정책으로 건의하고 있으며, 향후 농업보조에 대한 압력이 강화될 것이며, 우리나라의 주요 농업용·배수시설관리는 국가관리 형태이므로 유지관리비 절감대책이 주요과제가 될 것으로 예측되는바, 유지관리비 절감공법으로서 관수로시설이 필요함.
- 우리나라 물 사용량의 50%이상을 점유하는 농촌용수의 이용 비중을 더 이상 높여서는 안 된다는 반론이 제기되는 추세이고, 이러한 관점에서 농촌용수의 절약 또한 중요과제로 부각되고 있으며, 흙 수로의 물 손실뿐만 아니라 개수로의 용수공급 특성에서 야기되는 무효방류를 최소화할 수 있는 방안이 필요한 시점임.
- 농촌용수 수질오염은 농작물오염에 직접영향을 줄 뿐만 아니라 토양오염의 주요 원인이 되기 때문에 수질오염문제는 환경농업의 주요한 요소임. 농촌용수 수질은 저수지나 하천 등 수원공 시설에서의 오염도 많으나 용수로 주변의 축산폐수, 생활하수, 중소규모 공장폐수 등이 개수로체계의 용수로에 유입되는 오염물질도 심각한 오염원이기 때문에 용수로의 관수로화가 시행되면 오염원의 차단 등 농촌용수의 수질보전에 기여할 수 있음.
- 한편, 용수로주변에서의 수변생태환경조성은 용수로를 통한 연 중 용수공급기간이 100일 정도로 제한되므로 실효성이 없고 용수로에서 보다는 연 중 물이 있고 수생생물이 상대적으로 많은 배수로에서 다양한 친수환경조성공법의 개발이 필요함.
- WTO, DDA, FTA 등 국내 외 여건의 변화와 채소류나 과채류 등의 소비가 증가하고 쌀 소비량은 급격히 감소하는 등 국민식생활 패턴이 크게 변하고 있음. 따라서, 논에서 밭작물의 영농이 급격히 증가하고 있고, 비닐하우스 등 시설영농의 증가 등으로 겨울철에도 농촌용수공급의 수요가 증가하고 있어 4계절 관개용수공급이 가능한 관수로시설이 불가피함.
- 용수의 수급을 적정 관리하여 용수의 낭비와 손실을 최소화하고 안정공급으로 농민의 신뢰 및 협조분위기를 조성한다. 용수의 절약효과를 논관개의 경우를 예로 설명하면 관개효율을 측정한 자료가 충분하지 않아 정확한 수치를 제시할 수는 없으나, 현재의 관개효율을 도수효율 80%(76%, 1984 금광, 안택지구), 분배효율 90%, 급수효율 90%로 추정하면 사업지구 관개효율은 81%로 되어 현재보다 16%가 높아질 것으로 예상됨.

- 외국에서도 관수로에 의한 물공급 자동화에 따른 관개개선 효과도 10 ~ 30%로 나타나고 있는바, 이러한 직접적인 관개효율의 증가에 의한 용수절감 이외에 논의 담수심을 낮게 유지하여 유효수량(연간 평균 약 550mm)을 증가시킬 수 있어 간접적인 용수절감 효과도 기대됨.
- 한국농어촌공사에서 관수로 시스템으로의 전화에 따른 추정 연간 용수절감 효과는 514백 만톤으로 대체 개발효과로 추산할 때 그 효과는 2조 5,700억원에 달하는 것으로 추정하고 있음.

[표 3-3-2-5] 관수로 시스템의 장·단점 및 보완 대책

관수로 시스템의 장점	관수로 시스템의 문제점		관수로 시스템 보완 대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 용지매수 어려움 해소</li> <li>- 농기계 작업에 용이</li> <li>- 송수손실 최소화</li> <li>- 지형적인 제약 최소화</li> <li>- 물관리자동화 도입 용이</li> <li>- 효율적인 유지관리 용이</li> <li>- 오페수의 중간유입 차단</li> <li>- 수로부지의 다목적 활용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대용량 도수 곤란</li> <li>- 가압시설 필요</li> <li>- 수격작용 및 써어징 발생</li> <li>- 토사 유입시 통수 장애</li> <li>- 냉해 우려</li> <li>- 파손 지점의 파악 곤란</li> <li>- 부식 우려</li> </ul>	⇒	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저류조 및 파폰드 설치</li> <li>- 저류조의 자연수압 이용</li> <li>- 수압조절시설 설치</li> <li>- 이토변 설치</li> <li>- 지선의 개수로화</li> <li>- 파손 감지 센서 활용</li> <li>- FRP와 같은 신소재 활용</li> </ul>

[표 3-3-2-6] 외국의 관수로 시스템 도입으로 인한 개선 효과

국 가	추진내용 및 운용	개 선 효 과	비 고
미 국	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1960년대 관수로화 시작</li> <li>- 1990년부터 자동화 운영 보편화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경제성 개선 효과 (인력절감 30%)</li> </ul>	
일 본	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1970년대 관수로의 본격적인 도입</li> <li>- 국가시행 관개사업지구 75%이상 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관개용수 절감 효과 (용수절약 5~15%)</li> </ul>	
대 만	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1980년대 관수로 및 TM/TC 도입</li> <li>- 주로 간선수로 설치에 이용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관개효율 개선 효과 (10~20%)</li> </ul>	
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1960년대 이후 지속적인 적용</li> <li>- 1988년 가뭄 이후 적극적인 도입</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수자원 이용 효율 개선 (20% 향상)</li> </ul>	
호 주	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관수로 및 TM/TC 도입수준 차등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관개효율 개선 효과 (10~30%)</li> </ul>	
멕시코	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 절약 용수량으로 관개면적 확대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관개용수 절감 효과 (10~20%)</li> </ul>	

### (3) 수로손실 분석

#### ○ 개수로 시스템의 수로손실 분석

- 논·밭 관개에서의 필요수량을 산정하기 위해서는 작물이 소비하는 수량인 순용수량에 손실수량을 합한 조용수량을 산정하는데, 개수로 시스템의 경우 손실수량은 필요수량 산정에 매우 중요한 인자이며 정확한 손실수량의 산정을 위해서는 관개 수로에서의 수위 및 유량 계측이 필수적으로 선행되어야 함.

- 따라서, 개수로 시스템의 수로손실을 분석하기 위하여 비교적 양질의 시계열 자료가 확보되어 있고 농어촌공사의 종합시험지구인 이동지구를 대상으로 수로손실을 분석하고자 함.
- 현재까지 수로손실 수량을 추정하기 위하여 지속적인 연구가 이루어지고 있지만, 계측자료의 부재로 인하여 정량적으로 추정하기에는 어려운 실정이며, 현재 설계기준으로는 수로의 손실을 약 15%, 관리손실율을 약 11%로 적용하여 용수손실율을 26% 정도로 추정하고 있을 뿐 관련 자료가 미비한 실정임.

[표 3-3-2-7] 농업생산기반정비사업 계획설계기준 (관개편) 손실율

수로 형식	조사면적 (ha)	용수량			비 고
		취수량	감수심 또는 계획 취수량	손실율(%)	
개수로	106~168	35~36mm/d	20.0mm/d	42.9~44.4	
개수로	37.7	0.220m <sup>3</sup> /s	0.140m <sup>3</sup> /s	36.4	말단에서 무효방류량 측정
개수로	42.1	0.041 m <sup>3</sup> /s	0.022m <sup>3</sup> /s	46.4	흡수로 말단에서 무효방류량 측정
개수로	22.38	20.0mm/d	14~18mm/d	10~30	이양시
관수로	22.38	26.0mm/d	17~24mm/d	7.7~34.6	건답직파시
관수로	15.16	11.5mm/d	9~11mm/d	4.4~21.7	
개·관수로	4,367.8	(80.14~100.26) ×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y	67.97×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y	15.2~32.2	유효우량을 무시한 경우
개·관수로	4,367.8	(80.14~100.26) ×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y	(51.91~61.65) ×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y	38.5~35.2	유효우량을 고려한 경우

[표 3-3-2-8] 신고 농업수리학 손실율

(단위 : %)

구 분	등 급		
	간 선	지 선	지 거
토공수로	20	15	-
콘크리트라이닝	5	-	-



[표 3-3-2-9] 농촌용수 계획설계편람 손실율

(단위 : %)

구 분		용수간선	용수지선	평균
토 질	연 장			
점토질		15	10	13
양토 (보통토사)	2km 이하	16	11	14
	2~3km	17	12	15
	3~5km	18	13	16
	5~10km	19	14	17
	10~15km	20	15	18
	15~20km	21	16	19
	20~25km	22	17	20
	25~30km	23	18	21
	30km 이상	24	19	22
사질토		25	20	23

[표 3-3-2-10] 국외의 통수량 대비 수로손실율

(단위 : %)

통수량	수로연장 1km당 손실량	
	미국의 예	인도의 예
2.8m³/sec 이상	0.59	0.16
1.4~2.8m³/sec	1.60	0.31
0.7~1.4m³/sec	2.62	0.62
0.7m³/sec 이하	7.00	2.48

- 농림부 (2002)는 “용수수급 안정성 제고 연구 및 종합시험비구 운영” 연구에서 농업용수 수로관리 손실량에 대한 조사 및 분석을 통하여 수로 송수손실 및 관리손실의 유형별 손실량을 추정하고 수로관리 손실에 대한 저감방안 제시하였음.
- 수로손실량을 추정하기 위하여 간선, 지선, 지거별로 유량측정을 실시하였는데 수로의 연속적인 수위자료를 계측하고 계측 지점별 수위-유량 곡선식으로서 유량자료를 확보하였으며 수로 손실율을 다음과 같은 식으로 추정하였음.

$$\text{수로손실율}(\%) = \frac{Q_L}{Q_1} \times 100$$

$$\text{여기서, } Q_L(\text{수로손실량}) = Q_1 - (Q_n + \sum_{i=1}^n Q_{si})$$

- 수로손실율을 추정하기 위한 대상지구로서 이동지구, 고덕지구, 고삼지구, 금광지구를 선정하였으며 콘크리트 수로로서 진위간선, 방아지선, 남사지선을, 토공수로로서 안택간선, 금광간선, 진위간선, 방아지선, 고덕간선을 선정하였음.

- 수로의 유량계측 자료를 분석한 수로손실율을 추정한 결과, 콘크리트 수로에서는 약 3~13%를 나타내어 설계기준에서 제시한 5%와 유사한 값으로 추정되었으며, 토공수로의 경우 약 2~45%의 범위를 나타내어 큰 편차를 보이고 있음.

[표 3-3-2-11] 콘크리트 수로의 계측 손실율

(단위 : %)

구분	수로명	설치년도	5월	8월	9월	평균
간선	진위간선	2001	3.37	12.99	5.57	7.31
지선	방아지선	2001	-	3.9	2.8	3.35
	남사지선	1982	4.14	5.95	4.42	4.84

[표 3-3-2-12] 토공수로의 계측 손실율

(단위 : %)

구분	수로명	5월	7월	8월	9월초	9월중	평균
간선	진위간선	2.54	2.85	3.94	3.85	3.74	3.38
	고덕간선			6.50	7.18		6.84
	안택간선			16.88			16.88
	금광간선			19.65			19.65
지선	진위5호	13.83	16.70	18.78	19.27		17.15
	방아지선	26.46	42.90	40.89	27.26	44.80	36.46
	고덕2호			19.26	14.65		16.96
	안택3호			15.19			15.19
	금광7호			15.31			15.31

- 수로 손실율의 저감을 위해서 다음과 같은 저감대책을 제시할 수 있는데, ① 침투손실의 경우 토공수로에서 주로 발생 하여 관수로 시스템과 같은 수로의 구조물화가 필요하며, ② 증발손실의 경우 전체 손실에 비해서는 매우 미미한 양이지만 그 손실을 줄이기 위해서는 증발 손실이 발생하지 않는 관수로 시스템의 도입이 필요하며, ③ 초기 및 말단 손실의 경우 1회 공급시 최대한 장시간 급수하여 급수 횟수를 줄이는 등 관개 방식의 효율을 제고하는 방안이 필요함.
- 이상의 개수로 시스템에서의 수로손실을 분석한 결과, 구조물의 파손에 의한 손실을 제외하고 대부분의 손실은 증발 손실 및 관리 손실로 분류할 수 있는데, 이는 관수로 시스템을 도입함으로써 증발 손실을 억제하고 용수관리를 효율적으로 운영함으로써 관리 손실을 저감할 수 있음.

○ 관수로 시스템의 수로손실 분석

- 관수로 시스템의 수로손실은 TM/TC를 운영하고 있는 고흥지구에 대하여 분석하였으며, 물관리 자동화 시스템 운영으로 인하여 각 간선 및 지선의 분수공에서의 유량 측정 자료가 확보되어 있어 측정 자료로부터 수로손실을 분석하였음.
- 관수로 시스템의 수로손실 분석은 각 분기점에서 측정된 유량값과 분기점 사이의 사용량과의 합을 양수장에서 최초 공급된 총 공급량과 비교함으로써 손실수량을 추정하였으며 다음과 같은 식으로 수로손실량을 산정하였음.

$$Q_L(\text{수로손실량}) = Q_i - (Q_{i-1} + \sum(Q_n - Q_{n-1}))$$

여기서,  $Q_i$ 는 초기공급량,  $Q_{i-1}$ 은 초기공급량 이후 다음 측정에서의 통과량,  
 $Q_n - Q_{n-1}$ 은 측정지점 사이에서의 용수사용량

- 위의 식으로 고흥지구의 2010년 7월의 수로손실량을 산정하였으며, 손실량의 정확한 계산을 위하여 초기공급량은 제1-4용수지선의 측정량으로, 초기공급량 이후 다음 측정에서의 통과량은 제1-5용수지선의 통과량을 사용하였음.



[그림 3-3-2-16] 수로손실량 산정을 위한 고흥지구 용수계통도

- 고흥지구 용수계통도에 의하여 제3용수간선말단의 계측량과 제3용수지선에서 제3용수간선말단 계측량을 감한 값을 더하고, 순차적으로 초기공급량인 제1-4용수지선까지 사용량을 산정하여 수로손실량을 산정하였음.

[표 3-3-2-13] 구간별 계측 유량값을 이용한 고흥지구 수로손실량 산정 (2010년 7월, 천톤)

구 간	계측 유량	구간별 사용량	총 사용량	수로 손실량 (손실율)
제1-4용수지선	1,784.0 (A)			$(A) - \{(B) + (C)\}$ $= 1,784 - 1,763.8$ $= 20.2 (1.13\%)$
제1-5,6용수지선	1,468.0 (B)	316.0	295.8 (C)	
제2,3호용수간선	811.5	-87.6		
제2-1용수지선	744.1	-151.5		
제3-1,2용수지선	218.9	2.8		
제3-3,4용수지선	216.1	50.2		
제3용수간선말단	165.9	165.9		

- 고흥지구 관수로 시스템의 수로손실량을 산정한 결과, 약 2만톤으로 산정되었으며 초기 공급량인 총 1백7십만톤의 1.13%에 해당하는 값으로 개수로 지구의 평균 수로손실인 5% 보다 월등하게 낮은 비율로 추정되었음.
- 관수로 관개에서는 관로의 파손으로 인한 누수가 발생하지 않을 경우 수로손실량은 0값이어야 하지만 계측 자료의 오차와 초기공급으로부터 말단부까지의 도달율을 감안할 때 약 2천톤의 손실량이 산정된 것으로 사료됨.
- 이상의 결과로 미루어 볼 때, 종합시험유역인 개수로 지구에서 계측값으로 추정된 수로손실율보다 관수로 지구에서의 수로손실율이 약 4~20% 낮게 추정되어 관수로 시스템에서의 수로손실율이 적은 것으로 나타나 관수로 관개에 따른 용수절감 효과를 확인하였음.

## 나. 관수로 시스템의 용수절감 효과 분석

### (1) 분석 대상지역 선정

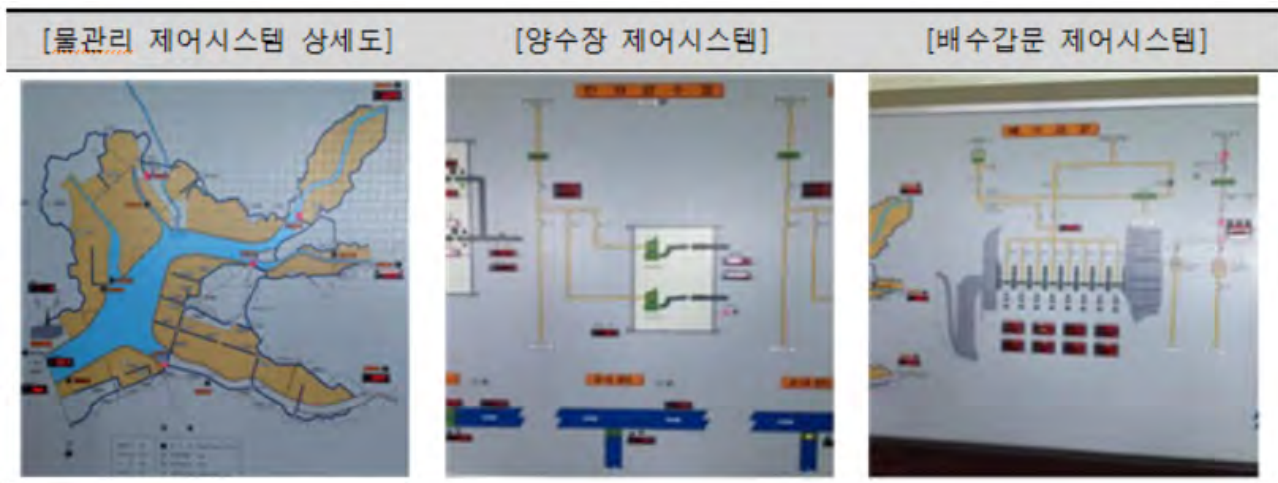
- 개수로 지구에 비하여 관수로 지구에서의 농업용수 절감효과를 분석하기 위하여 양질의 측정 자료가 확보된 대표적인 지구를 선정하였음.
- 분석 대상지역으로 관수로 관개 대표지구인 해남지구, 고흥지구, 덕곡지구를 선정하였고, 비교·분석을 위한 개수로 지구로서 이동지구, 미산지구, 용덕지구, 무수지구 등 9개 지구를 선정하였음.

▣ 해남지구 (관수로 지구)

위 치	전남 해남군 해남읍 외 4개면 (황산면, 화산면, 삼산면, 마산면)
개발면적	3,711 ha (간척지, 담수호, 배후지, 기타)
수혜면적	1,801 ha
용 수 로	182.5 km
배 수 로	162.4 km



[그림 3-3-2-17] 해남지구 사업계획 평면도



[그림 3-3-2-18] 해남지구 물관리 제어시스템





[그림 3-3-2-19] 해남지구 취수·용수 공급시설

- 해남지구는 1985년 2월에 착공하여 2004년 12월에 준공된 간척 매립지로서 간척농지개발 사업의 일환으로 농경지 조성 및 식량증산, 수자원 확보, 농가소득 증대, 수질개선 등의 목적으로 조성되었음.(총사업비: 204,561 백만원)
- 해남지구의 용수 공급을 위한 수원공은 간척사업으로 조성된 담수호로서, 담수호의 면적은 약 800 ha이며 약 1,700 만톤의 저수량을 보유하고 있음.
- 관개용수 취수를 위한 양수장은 총 9개소 (주수원공: 교동, 연곡양수장)가 설치되어 있으며, 담수호로부터 저류조로 취수하고 저류조로부터 관수로를 이용하여 평야부에 공급하고 있음.
- 관개용수는 4월부터 9월까지 공급되고 있으며, 상시 관리인원 2명이 배치되어 있고 관개 시기에는 계절직 관리인 9명이 배치되어 운영하고 있음.
- 해남지구는 간척지를 개답하여 농경지를 조성하였으므로 연약지반과 같은 지형적인 조건으로 인하여 개수로 관개시스템을 지향하여 관수로 시스템으로 시공되었음.

- 각 간선별 통수량 및 관경은 관수로의 허용유속을 감안하여 제1, 2호 용수간선의 전 손실 수두는 각각 10.16m, 10.10m이며 양수장의 토출수위는 13.80m로 설계되었음.
- 관수로의 노선은 가급적 직선거리가 되고 도로 및 하천 등을 횡단할 때는 직각교차가 되며 유지관리의 편의를 고려하여 도로 및 경지의 경계에 설치되었음.

■ 고흥 지구 (관수로 지구)

위 치	전남 고흥군 두원면 풍류리 ~ 도덕면 용동리
개발면적	1,921 ha (담수호: 745 ha)
수혜면적	1,581 ha
용 수 로	104.7 km
배 수 로	93.6 km



[그림 3-3-2-20] 고흥지구 사업계획 평면도





[그림 3-3-2-21] 고흥지구 물관리 제어시스템



[그림 3-3-2-22] 고흥지구 취수·용수 공급시설

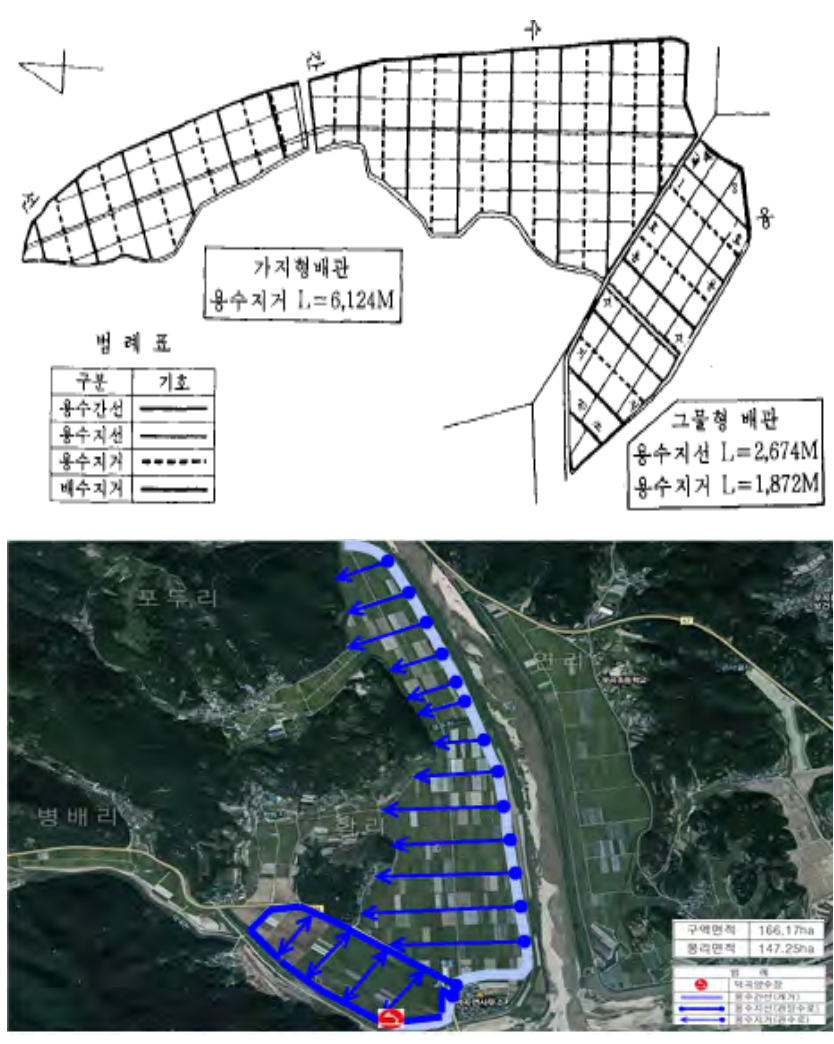
- 고흥지구는 간척농지 기반조성, 농가 소득증대, 수자원 확보 등의 목적으로 1984년에 기본조사 및 기본계획을 수립하고 1991년 10월에 외곽시설인 방조제 공사를 시작으로 1996년 12월에 내부개답공사를 착공하여 경지가 조성되고 2003년 8월에 준공을 완료하였음. (총사업비: 306,449 백만원)
- 고흥지구의 용수 공급을 위한 수원공은 간척사업으로 조성된 담수호로서, 담수호의 면적은 745 ha이며 1,752 만톤의 유효저수량을 보유하고 있음.



- 고흥지구는 담수호를 기준으로 좌·우로 농경지가 형성되어 있는데 좌안 농경지는 개수로 관개, 우안 농경지는 관수로 관개시스템이며, 관수로 관개를 위한 주 수원공은 고흥만 양수장으로 약 570 마력 5대의 양수기를 운영하고 있음.
- 관개용수는 4월부터 9월까지 공급되고 있으며, TM/TC 시스템이 구축되어 있어 중앙관리소에서 양수장 및 관수로 등의 시설을 제어하고 있음.
- 중앙관리소에서는 배수갑문, 양수장, 배수장, 어도, 배수문 4개소 및 형야부 15개소에 설치된 RTU (원격소장치)를 통하여 물량의 원격측정 및 시설물 제어를 수행하고 있음

■ 덕곡 지구 (관수로 지구)

위 치	경남 합천국 덕곡면 외 4개리 (을지리, 병배리, 학리, 포두리)
개발면적	166 ha
수혜면적	147 ha
용 수 로	10.7 km



[그림 3-3-2-23] 덕곡지구 사업계획 및 용수공급 평면도



[그림 3-3-2-24] 덕곡지구 수원공 · 취수시설



[그림 3-3-2-25] 덕곡지구 계측 · 용수 공급시설



[그림 3-3-2-26] 덕곡지구 배수시설

- 덕곡지구는 과거 합천농지개발조항 관할구역으로 1965년도에 경지정리된 지구로서 낙동강과 회천이 합류되는 지역에 위치하고 있음.
- 덕곡지구의 용수원은 덕곡양수장 (취입수량: 0.56 CMS)으로서 낙동강의 물을 취수하기 때문에 용수량은 비교적 풍부한 지구임.
- 덕곡지구의 대구획 경지정리사업은 1995년 11월에 착공되었으며, 총 사업비는 3,951 백만원이고 용수로는 콘크리트 개수로인 용수간선을 제외하고 전 노선을 모두 관수로화하여 가지형 6.1 km, 그물형 4.6 km로 구성하여 2000년 2월에 완공되었음.
- 총 구역면적 166 ha 중에서 129 ha는 간선에서 지거로 분기하여 말단까지 폐관로로 공급하는 가지형 배관으로 계획되었고, 나머지 37 ha는 수두차를 이용한 자연압력식으로 지선과 지거를 폐합하여 물사용 순서에 상관없이 관개가 가능한 그물형 배관으로 설치되었음.
- 덕곡지구는 2모작 지역으로서 논 관개가 시작되기 전에 양파 재배가 이루어지므로 논 관개가 시작되는 시점은 다른 지역에 비해 비교적 늦은 6월 중순경에 시작되고 있음.
- ▣ 개수로 지구
  - 관수로 시스템의 용수절감 효과 분석을 위하여 비교 대상지구로서 다음과 같이 9개의 개수로 지구를 선정하였음.
  - 분석 대상 관수로 지구는 해남, 고흥, 덕곡지구로서 해남 및 고흥지구는 전남 지역에 위치하고 있고 간척지 개발사업으로 조성된 담수호를 수원공으로 사용하고 있으며, 덕곡지구는 경남지역에 위치하고 있고 낙동강을 수원공으로 사용하고 있음.
  - 따라서, 객관적인 비교·분석을 위하여 다양한 지역 및 수원공을 사용하는 개수로 지구를 선정하여 관수로 지구와의 용수 공급량을 비교함으로써 용수절감 효과를 분석하고자 함.



- 개수로 대상지구를 선정하기 위해서는 관개를 위한 공급량 계측 자료가 확보된 지구로 선정하여야 하며, 이는 관수로 지구의 용수절감 효과를 비교·분석하기 위하여 필수적인 사항임.
- 이동지구는 농어촌공사에서 2006년부터 2011년까지 총 6개년에 걸쳐 물관리 기초자료를 확보하기 위하여 용수수급 종합시험지구로 운영하였음.
- 이동지구의 관측망을 운영함으로써 관측자료를 수집·분석하고 이를 인터넷 환경에서 제공하여 양질의 계측자료의 확보가 가능한 지구임.
- 이동저수지의 유역은 9,300ha로서 상류유역 내에 용덕저수지(유역면적 1,250ha)와 미산저수지(유역면적 442ha) 등 2개 저수지가 있으며 3개의 하천을 통해 유역에서의 유출량이 유입되고 있음.
- 이동지구의 관개는 저수지 3개소와 양수장 3개소를 통해 이루어지며 용덕저수지가 261 ha, 미산저수지는 199 ha이고 이동저수지의 경우는 2,063 ha를 공급하고 있음.
- 용수간선인 진위간선으로부터 관개되며 일부는 원암양수장(관개면적 47 ha)과 은산양수장(관개면적 1,192 ha)에서 2단 양수되어 관개되고 있음.
- 미산저수지와 미산 관개지구는 농업기반공사 안성지사에서 관리하고 그 이외의 지역은 평택지사에서 관리하고 있음.
- 무수지구는 농어촌공사 진천지사에서 관리하고 있는 지역으로서 금곡간선, 회죽간선 2개의 관개지구에 용수를 공급하고 있으며 간선 및 지선에 계측기가 설치되어 현장 계측 자료의 확보가 용이한 지구임. (수혜면적 336 ha)
- 증평지구는 전북 진안군에 위치하고 1960년 12월에 준공된 증평저수지를 수원공으로 사용하고 있으며 통관 출구지점 수위를 30분 간격으로 계측함으로써 저수지로부터 취수하여 공급되는 관개수량의 확보가 용이한 지구임. (수혜면적은 50.4 ha)

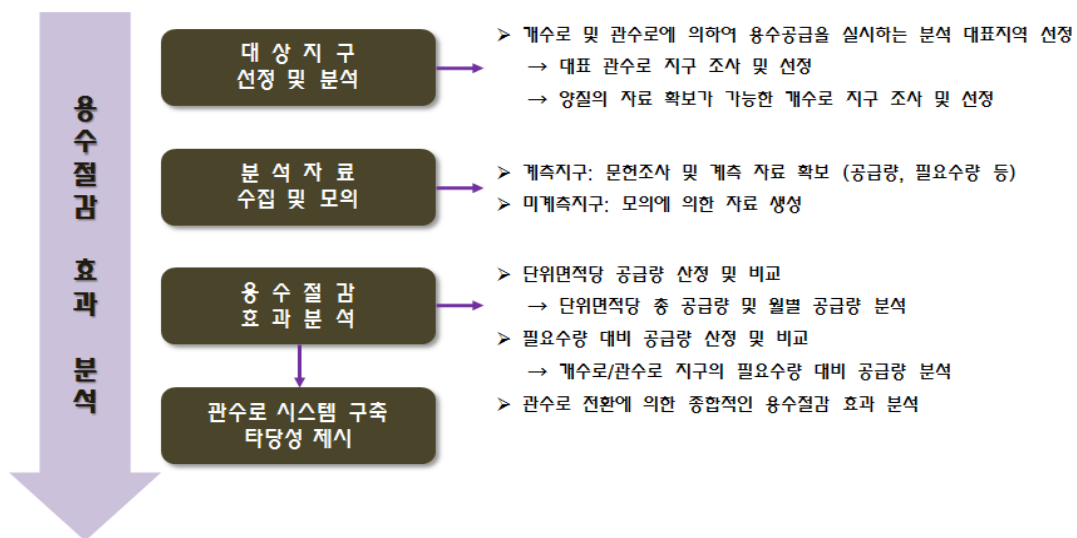
[표 3-3-2-14] 분석 대상지구 (개수로 지구)

지구명	위 치	수혜면적	관리처
이동지구	경기 용인	2,063 ha	평택 지사
용덕지구	경기 안성	261 ha	평택 지사
미산지구	경기 안성	199 ha	안성 지사
무수지구	충북 진천	336 ha	진천 지사
증평지구	전북 진안	50.4 ha	괴산 지사

## (2) 분석방법 및 자료수집

### ○ 용수절감효과 분석방법

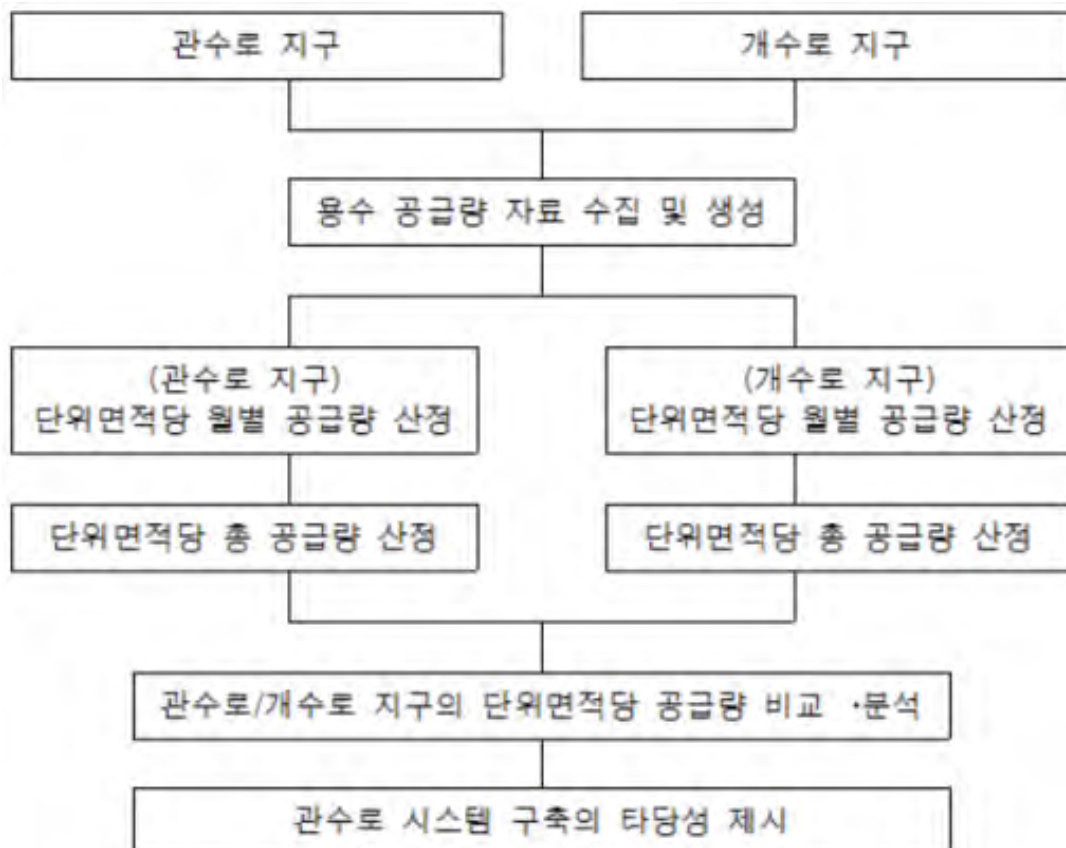
- 농업용수 관수로 관개에 의한 용수절감 효과를 분석하기 위하여 선정된 관수로 및 개수로 대상지구의 필요수량 대비 공급량과 단위면적당 공급량을 비교·분석함으로써 관수로 관개에 따른 용수절감 효과를 분석하고자 함.
- 필요수량은 토양에서 발생하는 증발 및 삼투량과 작물에서 소비하는 증산량의 합으로 산정이 가능하며 이는 논관개에서는 감수심을 뜻하며 밭관개에서는 유효토층 내에서 소비되는 소비수량을 의미함.
- 논관개에 사용되는 필요수량의 정확한 산정을 위해서는 논에서의 증발산량과 삼투량을 각 관개지구에서의 현장계측 자료가 필수적이지만, 계측 자료의 확보가 불가능할 경우 문헌자료를 인용하거나 모형을 이용하여 산정할 수 있음.
- 필요수량 대비 공급량을 분석하기 위해서는 각 대상지구 수혜지역에서의 필요수량 자료를 확보하거나 모형에 의한 모의를 통하여 산정하여, 필요수량과 공급량을 비교·분석하고자 함.
- 단위면적당 공급량을 분석하기 위해서는 관개시기에 수원공으로부터 공급된 총 공급량 및 월별 공급량을 관개지역 면적으로 나누어 단위면적당 공급량을 산정하고자 함.
- 공급량 자료의 수집은 TM/TC 시스템을 운영하는 지구의 경우 수원공으로부터 공급되는 간선 수로의 계측 자료를 사용하였고, 공급량 계측 자료가 없는 경우에는 가용한 자료를 이용하여 분석 혹은 모의를 이용하여 공급량 자료를 산정하고자 함.



[그림 3-3-2-27] 용수절감효과 분석 흐름도

○ 단위면적당 공급량 분석방법

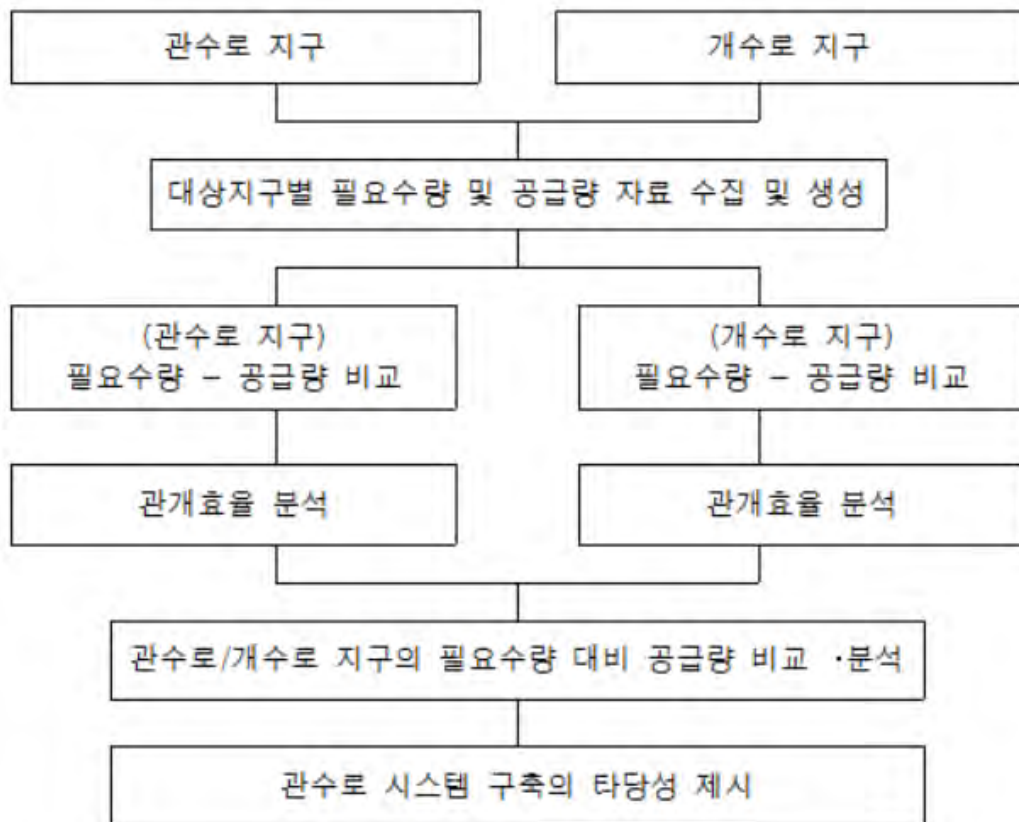
- 관수로 관개의 용수절감 효과를 분석하기 위하여, 관수로 및 개수로 지구의 수혜지구 단위면적당 공급량을 분석하고자 함.
- 관수로 관개지구의 용수절감 효과의 정확한 분석을 위해서는 기존 개수로 관개지구에서 관수로 관개지구로 변환된 지구를 대상으로 분석할 필요가 있음. (동일한 지역, 지형특성, 관개특성, 수원공 등의 조건에서의 비교·분석)
- 하지만, 기존 개수로 지구에서 관수로 지구로 변경된 대상지구가 없어, 다양한 관수로 및 개수로 지구에 대한 단위면적당 공급량을 분석함으로써 관수로 관개의 용수절감 효과를 분석하고자 함.
- 관수로 및 개수로 지구의 계측 공급량 자료를 수집하고, 계측된 자료가 없을 경우 물수지 분석 혹은 양수장 운영 일지 등을 바탕으로 공급량 자료를 생성하고자 함.
- 지구별로 수집 및 생성된 월별 공급량 자료를 이용하여 지구별 수혜면적으로 나누어 단위면적당 월별 공급량 산정하고자 함.
- 월별 공급량 자료를 이용하여 관개기간 동안 총 공급량을 산정하고 수혜면적으로 나누어 단위면적당 연평균 공급량을 산정하고자 함.
- 관수로 및 개수로 지구의 단위면적당 월별 공급량 및 연평균 공급량을 비교·분석함으로써 관수로 관개에 의한 용수절감 효과를 분석하고 이를 바탕으로 관수로 시스템 구축의 타당성을 제시하고자 함.



[그림 3-3-2-28] 단위면적당 공급량 분석 흐름도

○ 필요수량 대비 공급량 분석

- 관수로 관개의 용수절감 효과를 분석하기 위한 방법으로 관수로 및 개수로 지구의 필요수량 대비 공급량을 분석하고자 함.
- 필요수량은 작물이 소비하는 수량과 삼투량의 합으로서 정확한 분석을 위해서는 실측값을 사용해야 하지만 증발산량과 삼투량의 정확한 실측이 어려운 실정이므로 문헌조사 및 모의에 의하여 산정하고자 함.
- 필요수량 산정을 위한 모의 방법으로서 농어촌공사에서 사용하고 있는 수시리설물 모의 조작 시스템인 HOMWRS를 이용하여 산정하고자 함.
- HOMWRS에서는 증발산량을 산정하기 위해 Penman 식을 적용하고 있으며, 순별 증발산량을 산정하기 위해서는 Penman 식과 Blaney&Criddle 식을 선택하여 산정하고 있음.
- 관개기간 중 강우가 발생할 경우 생육에 이용되는 유효우량을 산정하게 되는데, 유효우량은 논에서의 일별 담수심의 변화에 따라 결정되며 일별 담수심의 변화는 단일 필지에서의 물수지 식을 이용하고 HOMWRS에서는 60mm 담수심법에 의해 유효우량을 산정하고 있음.
- 증발산량을 산정하기 위한 작물계수는 농어촌공사 (1997)의 작물 소비수량 시험연구인 “영농방식변화에 따른 필요수량 변화연구Ⅲ” 에서 제시한 작물계수 값을 사용하고 있음.
- 필요수량 산정에 필요한 작부시기는 재배방식과 지역에 따라 다르게 적용되는데, 일반적으로 “농업용수개발 필요수량 산정기준, 1980, 농어촌공사 “에서 제시한 지방별 작부시기를 적용할 수 있으며 대상지구별 현장 조사에 의한 작부시기를 적용하였음.



[그림 3-3-2-29] 필요수량 대비 공급량 분석 흐름도

○ 분석자료 수집 및 생성

□ 기초자료

- 관수로 관개에 의한 용수절감 효과 분석을 위한 기초자료로서 대상 지구별 수혜면적, 작물 종류, 수원공, 수리시설 현황, 작부시기 등의 기초자료를 수집하였음.
- 수혜면적 자료는 현장조사 및 문헌조사를 통하여 수집하였으며, 관수로 지구에서는 해남 지구가 약 1,800 ha로 가장 크며 덕곡지구가 147 ha로 가장 작은 수혜면적을 가지고 있음.
- 개수로 지구의 수혜면적은 모두 문헌조사를 통하여 수집하였으며, 이동지구가 2,063 ha로 가장 크며 증평지구가 50 ha로 가장 작은 수혜면적을 가지고 있음.
- 관수로 관개 지구는 대부분 대단위 간척사업으로 조성된 지구이므로 간척사업으로 확보된 담수호를 수원공으로 사용하고 있으며 덕곡지구는 인접한 낙동강을 수원공으로 사용하고 있음.
- 개수로 관개 지구는 대부분 농업용저수지를 수원공으로 사용하고 있고 취입보, 관정 등이 있는데 본 분석 대상지구는 모두 농업용저수지를 수원공으로 사용하고 있음.
- 작부시기는 필요수량을 산정하기 위한 중요 인자로서, 농촌진흥청 (2002)에서는 “고품질 쌀 생산과 품질관리”를 통해 지대별 이상시기 기준과 최적이앙시기를 제시하고 있음.
- 이에 따르면, 전국을 11개 지대로 나누어 제시하고 있는데 대상지구인 중북부 내륙지대의 경우 5월 중순부터 6월 초순으로 제시하고 있고, 해남 및 고흥지구가 포함된 호남 남부지대는 5월 하순부터 6월 중순으로, 덕곡지구가 포함된 영남 남부지대는 5월 하순부터 6월 중순으로 최적 이앙시기를 제시하고 있음.
- 농어촌공사에서는 전국의 지사별 관할구역에 대한 정지 및 이앙실적으로 조사하여 도별로 집계하였는데, 경기지역이 가장 먼저 이앙을 시작하며 경남지역의 이앙이 가장 늦게 시작하는 것으로 조사되었음.
- 분석 대상지구의 현장조사 및 문헌조사를 통하여 이앙시기를 조사한 결과, 농어촌공사에서 제시하고 있는 도별 이앙시기와 대부분 일치하고 있었고, 덕곡지구의 경우 논재배 이전에 양파 재배를 하는 2모작을 실시하고 있어 논재배를 위한 이앙을 6월 하순에 시작하는 것으로 조사되었음

[표 3-3-2-15] 용수절감 효과 분석을 위한 기초자료

관개 형식	지구명	수혜 면적	수원공	이앙 시기	비 고
관수로 관 개	해남 지구	1,801 ha	담수호	5월 초순	
	고흥 지구	1,581 ha	담수호	5월 초순	
	덕곡 지구	147 ha	하천수	6월 하순	2모작 재배
개수로 관 개	이동 지구	2,063 ha	저수지	5월 중순	
	용덕 지구	261 ha	저수지	5월 중순	
	미산 지구	199 ha	저수지	5월 중순	
	무수 지구	336 ha	저수지	5월 중순	
	증평 지구	50 ha	저수지	5월 중순	



□ 공급량 자료

- 관수로/개수로의 단위면적당 공급량 분석 및 필요수량 대비 공급량 분석을 위하여 각 지구별 공급량 자료를 수집 및 생성하였음.
- 공급량 자료는 대부분 TM/TC 자료 및 수위 계측에 의한 실측자료를 사용하였으며, 계측 자료가 확보되지 않는 지구에서는 물수지 분석 및 양수실적 등을 이용하여 생성하였음

[표 3-3-2-16] 용수절감 효과 분석을 위한 연평균 월별 공급량 (천톤)

지구명		4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
관수로 관 개	해남 지구	1,350	7,492	7,841	3,009	4,150	716	24,558
	고흥 지구	334	5,503	6,721	2,579	4,011	0	19,148
	덕곡 지구	9	514	594	296	196	85	1,694
개수로 관 개	이동 지구	4,422	9,112	6,015	2,496	5,549	859	28,451
	용덕 지구	310	1,318	696	554	930	145	3,952
	미산 지구	31	584	455	281	216	63	1,629
	무수 지구	450	1,750	1,056	871	1,350	365	5,842
	증평 지구	51	110	121	84	206	321	892

□ 필요수량 자료

- 관수로/개수로의 필요수량 대비 공급량 분석을 위하여 각 지구별 필요수량 자료를 문헌 자료를 통하여 수집 및 수리시설 모의조작 시스템(HOMWRS)을 이용하여 산정하였음

[표 3-3-2-17] 대상지구별 필요수량 (천톤)

지구명		4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
관수로 관 개	해남 지구	136	3,544	6,627	2,575	4,346	2,560	19,789
	고흥 지구	105	2,914	4,516	1,461	3,070	1,286	13,352
	덕곡 지구	0	20	127	176	294	255	872
개수로 관 개	이동 지구	185	1,580	6,365	2,143	4,592	818	15,681
	용덕 지구	25	216	891	366	655	112	2,264
	미산 지구	17	144	575	192	413	74	1,414
	무수 지구	20	175	750	341	556	98	1,940
	증평 지구	9	76	86	57	74	40	341

(3) 용수절감 효과 분석

- 관수로 관개에 의한 용수절감 효과를 분석하기 위하여 수혜지역 단위면적당 공급량과 필요수량 대비 공급량을 비교·분석하고자 함.
- 관수로 지구는 현재 운영 중이며 비교적 양질의 계측 자료가 확보된 해남, 고흥, 덕곡지구를 분석 대상지구로 선정하였고, 개수로 지구는 농어촌공사에서 종합시험유역 운영지구인 이동, 용덕, 미산지구와 최근 스마트 모니터링 네트워크 구축 연구가 진행되었던 무수지구, 관개기간중 물수지 분석 연구가 수행되었던 증평지구를 선정하였음.
- 본 연구에서 도출된 관수로의 용수절감 효과에 대하여 전국의 개수로 관개 지구에 적용함으로써 개수로 관개에서 관수로 관개로의 전환시 절감할 수 있는 용수량을 추정하고자 함.

□ 단위면적당 공급량 분석

- 수혜지구의 단위면적당 공급량을 다음과 같은 식으로 산정하였음.

$$\text{월별 단위면적당 공급량} : q_i = \frac{Q_i}{A}$$

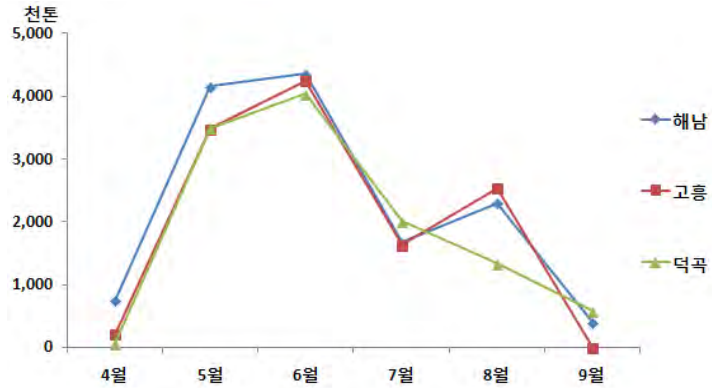
$$\text{단위면적당 총 공급량} : q = \frac{\sum Q_i}{A}$$

- 여기서, qi는 월별 단위면적당 공급량(ton/ha/month), q는 단위면적당 총 공급량(ton/ha/year), Q는 수원공으로부터의 공급량(ton), i는 월, A는 수혜면적 (ha)을 나타냄.
- 관수로 지구의 단위면적당 공급량을 산정한 결과 다음과 같음

[표 3-3-2-18] 관수로 지구의 단위면적당 공급량 (톤)

지구명	4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
해남 지구	750	4,160	4,354	1,671	2,304	398	13,636
고흥 지구	211	3,481	4,251	1,631	2,537	0	12,111
덕곡 지구	61	3,497	4,041	2,014	1,333	578	11,524
평균	341	3,713	4,215	1,772	2,058	325	12,424

- 관수로 지구의 단위면적당 공급량을 산정한 결과, 해남지구가 약 13천톤/ha로 가장 많이 공급하고 있으며 덕곡지구가 약 11.5천톤/ha로 가장 적은 공급량을 나타내고 있음.
- 월별로 살펴본 결과, 해남지구에서 6월에 약 4천3백톤/ha를 공급하여 가장 많은 양을 공급하였으며 덕곡지구에서 4월에 약 61톤/ha를 공급하여 가장 적은 공급량을 나타내고 있음.
- 3개 분석대상지구의 평균 공급량을 살펴본 결과, 6월에 약 4천톤/ha를 공급하여 가장 많은 양을 공급하고 있고 4월에 165톤/ha를 공급하여 가장 적은 양을 나타내고 있으며, 약 12천톤/ha의 총 공급량을 보이고 있음.



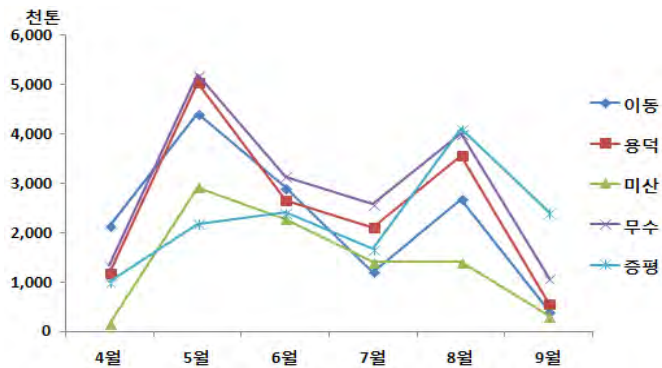
[그림 3-3-2-30] 단위면적당 공급량 (관수로 지구)

- 관수로 지구의 단위면적당 공급량과의 비교를 위하여 개수로 지구의 단위면적당 공급량을 산정하였으며 그 결과 다음과 같음.

[표 3-3-2-19] 개수로 지구의 단위면적당 공급량 (톤)

지구명	4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
이동 지구	2,143	4,417	2,915	1,210	2,690	416	13,791
용덕 지구	1,188	5,048	2,665	2,123	3,563	556	15,142
미산 지구	156	2,932	2,286	1,412	1,805	314	8,186
무수 지구	1,339	5,208	3,143	2,592	4,018	1,086	17,387
증평 지구	1,021	2,193	2,421	1,680	4,116	2,420	13,851
평균	1,169	3,960	2,686	1,803	3,160	958	13,671

- 개수로 지구의 단위면적당 공급량을 산정한 결과, 무수지구가 약 17천톤/ha로 가장 많이 공급하고 있으며 미산지구가 약 8천톤/ha로 가장 적은 공급량을 나타내고 있음.
- 월별로 살펴본 결과, 이동지구에서 5월에 약 4천4백톤/ha를 공급하여 가장 많은 양을 공급하였으며 미산지구에서 4월에 약 150톤/ha를 공급하여 가장 적은 공급량을 나타내고 있음.
- 5개 분석대상지구의 평균 공급량을 살펴본 결과, 5월에 약 4천톤/ha를 공급하여 가장 많은 양을 공급하고 있고 9월에 약 950톤/ha를 공급하여 가장 적은 양을 나타내고 있으며, 약 13천7백톤/ha의 총 공급량을 보이고 있음.

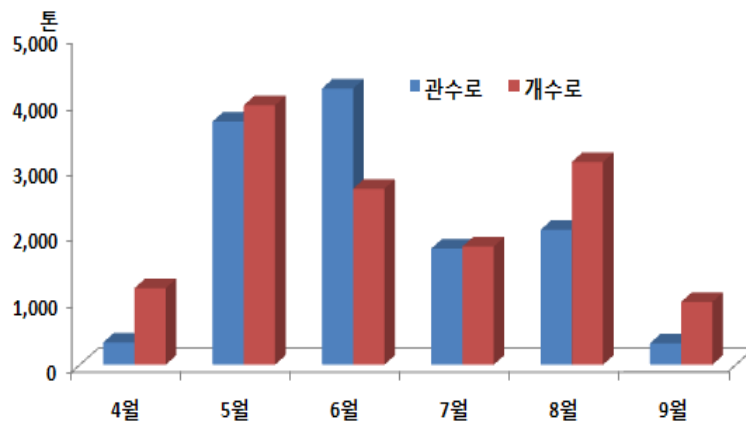


[그림 3-3-2-31] 단위면적당 공급량 (개수로 지구)

- 관수로 지구와 개수로 지구에서 산정된 단위면적당 공급량을 비교·분석하여 관수로 관개에 따른 용수절감 효과를 분석하였음

[표 3-3-2-20] 관개형태별 단위면적당 공급량 비교 (톤)

관개 형태	4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
관수로 관개 (A)	341	3,713	4,215	1,772	2,058	325	12,424
개수로 관개 (B)	1,169	3,960	2,686	1,803	3,160	958	13,671
(A) - (B)	-829	-247	+1,529	-31	-1,036	-633	-1,248
절감율	71%	6%	-57%	2%	33%	66%	9%



[그림 3-3-2-32] 관개형태별/월별 단위면적당 공급량 비교

- 관수로 및 개수로 지구의 단위면적당 공급량을 분석하여 관수로 관개의 용수절감 효과를 분석한 결과, 4월의 경우 약 70%가 절감되어 가장 많은 절감율을 나타내고 있고 7월의 경우 2%의 절감율을 보이고 있음.
- 4월부터 9월까지 대부분의 관개기간에서 관수로 관개에 의한 용수 절감을 나타내고 있지만, 6월의 경우에는 관수로 관개 공급량이 많은 것으로 나타나는데, 이는 관수로 대상지구는 모두 남부지방인 것을 감안할 때 이양 시기가 늦은 지역적인 특성이 반영된 것으로 판단됨.

□ 필요수량 대비 공급량 분석

- 관수로 관개에 의한 용수절감 효과를 분석하기 위하여, 각 대상 지구별 필요수량과 공급량을 비교함으로써 필요수량 대비 과잉 공급량을 분석하고자 함.
- 단위면적당 공급량 분석은 지역적인 강우특성, 작부시기 및 그 외적인 물관리 특성 등이 반영되어 월별 공급량의 편차가 큰 것으로 분석됨.
- 따라서, 관개 지구별로 월별 필요수량에 따른 공급량을 비교함으로써 개수로 지구와 관수로 지구의 과잉 공급율을 분석함으로써 용수절감 효과를 도출하고자 함.
- 대상지구별 필요수량은 기존의 문헌조사를 토대로 조사하였으며, 필요수량이 산정되지 않은 지구에 대해서는 수리시설 모의조작 시스템인 HOMWRS를 이용하여 산정하였음.

- 개수로 대상 지구는 농어촌공사의 종합시험구역 및 물수지 분석이 수행되었던 지구이므로 문헌 조사에 의한 필요수량을 확보하였고, 관수로 대상 지구는 필요수량 산정 값이 확보되지 않아 현장 조사를 통하여 작부시기 및 물꼬 높이 등의 자료를 수집하여 HOMWRS를 이용하여 필요수량을 산정하였음.
- 필요수량 산정을 위하여 사용된 HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System)은 관개지구의 설계 및 물관리에 이용하고 있으며 관개지구의 필요수량 뿐만 아니라 유역으로부터의 유입량, 단위용수량, 물수지 분석 등과 같은 모의가 가능함.
- HOMWRS에서는 증발산량을 산정하기 위해 Penman식을 적용하도록 하였으며 순별 증발산량을 산정하기 위해서는 Penman식과 Blaney & Criddle식을 모두 적용할 수 있음.
- 유효수량은 논에서의 일별 담수심의 변화를 고려하여 결정하며, 일별 담수심의 변화는 단일 필지에서 물수지식을 이용하여 산정하는데, HOMWRS에서는 60mm 담수심법에 의해 유효수량을 산정함.
- 우리나라 대부분의 논재배는 모두 이양재배 형식으로, 이양재배의 생육기별 필요수량은 묘대정지기, 묘대기, 묘대·이양혼합기, 이양·본답기로 나누어 산정하고 있으며 각 생육기별 필요수량은 다음과 같음.

① 묘대정지기

$$Req(t) = ( I + WR_n / D_n ) \times A_n$$

여기서, I = 일 삼투량(mm/day), WR<sub>n</sub> = 못자리 정지용수량(mm), D<sub>n</sub> = 못자리 정지일수, A<sub>n</sub> = 묘대면적 (ha)

② 순수묘대기

$$Req(t) = ( I + ET_n(t) ) \times A_n$$

여기서, ET<sub>n</sub>(t) = 기간별 증발산량

③ 묘대·이양기

$$Req(t) = [ ( I + ET_n(t) ) \times A_n + ( WR_t / D_t / 2 ) \times A_t ]$$

여기서, WR<sub>t</sub> = 이양용수량, A<sub>t</sub> = 이양재배 면적, D<sub>t</sub> = 이양일수

④ 이양본답기

$$Req(t) = [ I + ET_n(t) + ( WR_t / D_t / 2 ) ] \times A_t$$

- 작물계수는 중부지방에 대해 Penman 식을 사용하는 경우 기본값으로 “영농방식변화에 따른 필요수량 변화연구(Ⅲ), 1997, 농어촌공사”에서 제시하는 작물계수 값을 사용하고 있으며, B-C 식의 경우에는 6월 중순 이후에는 기존 설계에 적용했던 작물계수를 그대로 적용하고 있음.
- 작부시기는 재배방식별, 지역별로 입력되는데 중·남부별로 각 재배양식의 값을 적용하며 이양재배의 경우는 농업용수개발 필요수량 산정기준(농어촌진흥공사, 1980)에 나타난 지방별 지방시기를 적용할 수 있으며 현장 조사에 의한 작부시기를 적용하였음.
- 이상의 과정을 통하여 각 대상 지구별 필요수량을 산정하였고, 앞서 수집 및 생성된 공급량 자료와 비교하여 필요수량 대비 과잉 공급량을 분석하고 관수로 관개에 따른 용수 절감 효과를 도출하고자 함.

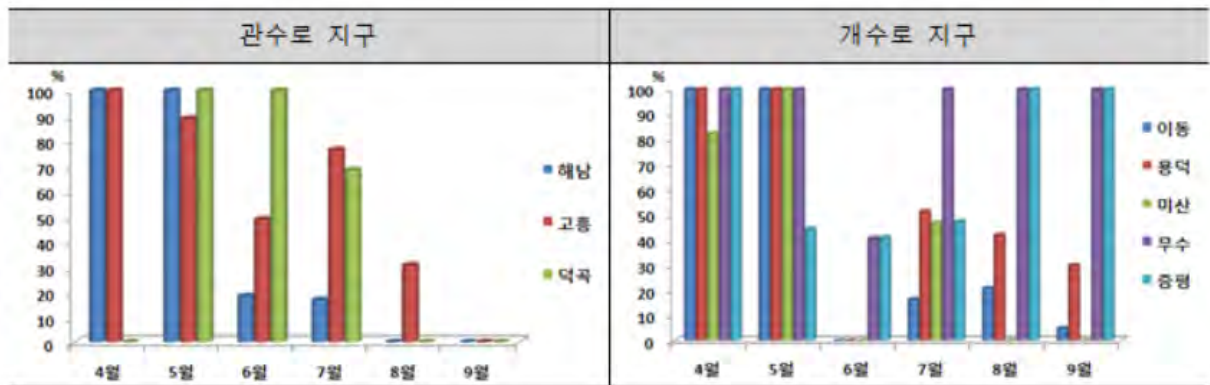
[표 3-3-2-21] 관수로 지구의 필요수량 대비 공급량 (천톤)

지구명		4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
해 남 지 구	공급량 (A)	1,350	7,492	7,841	3,009	4,150	716	24,558
	필요수량 (B)	136	3,544	6,627	2,575	4,346	2,560	19,789
	(A) - (B)	1,214	3,948	1,214	434	-196	-1,844	4,769
	과잉 공급율 (%)	890	111	18	17	-5	-72	24
고 흥 지 구	공급량 (A)	334	5,503	6,721	2,579	4,011	0	19,148
	필요수량 (B)	105	2,914	4,516	1,461	3,070	1,286	13,352
	(A) - (B)	229	2,589	2,205	1,118	941	-1,286	5,796
	과잉 공급율 (%)	219	89	49	77	31	-100	43
덕 곡 지 구	공급량 (A)	9	514	594	296	196	85	1,694
	필요수량 (B)	0	20	127	176	294	255	872
	(A) - (B)	9	494	467	120	-98	-170	822
	과잉 공급율 (%)	-	2,450	368	68	-33	-67	94
평 균	공급량 (A)	564	4,503	5,052	1,961	2,786	267	15,133
	필요수량 (B)	80	2,159	3,757	1,404	2,570	1,367	11,337
	(A) - (B)	484	2,344	1,295	557	216	-1,100	3,796
	과잉 공급율 (%)	602	109	34	40	8	-80	33

[표 3-3-2-22] 개수로 지구의 필요수량 대비 공급량 (천톤)

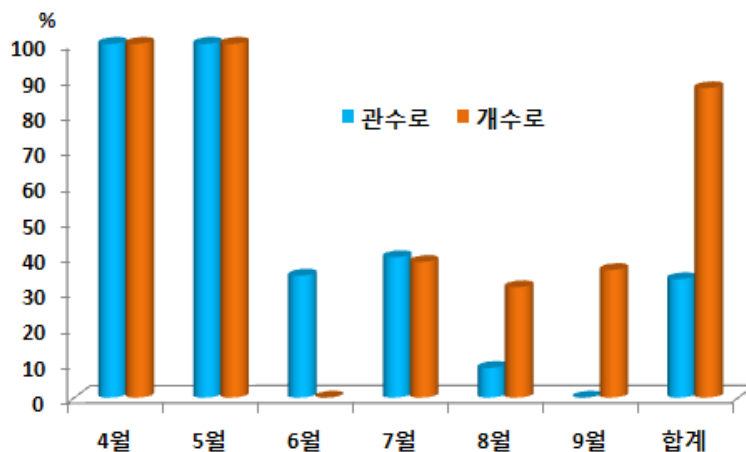
지구명		4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
이 동 지 구	공급량 (A)	4,422	9,112	6,015	2,496	5,549	859	28,451
	필요수량 (B)	185	1,580	6,365	2,143	4,592	818	15,681
	(A) - (B)	4,237	7,532	-350	354	957	41	12,770
	과잉 공급율 (%)	2,296	477	-5	16	21	5	81
용 덕 지 구	공급량 (A)	310	1,318	696	554	930	145	3,952
	필요수량 (B)	25	216	891	366	655	112	2,264
	(A) - (B)	285	1,102	-196	188	276	34	1,689
	과잉 공급율 (%)	1,140	511	-22	51	42	30	75
미 산 지 구	공급량 (A)	31	584	455	281	216	63	1,629
	필요수량 (B)	17	144	575	192	413	74	1,414
	(A) - (B)	14	440	-120	90	-197	-11	216
	과잉 공급율 (%)	82	305	-21	47	-48	-15	15
무 수 지 구	공급량 (A)	450	1,750	1,056	871	1,350	365	5,842
	필요수량 (B)	20	175	750	341	556	98	1,940
	(A) - (B)	430	1,575	306	530	794	267	3,902
	과잉 공급율 (%)	2,150	900	41	155	143	272	201
증 평 지 구	공급량 (A)	51	110	121	84	206	121	693
	필요수량 (B)	9	76	86	57	74	40	341
	(A) - (B)	42	34	35	27	132	81	351
	과잉 공급율 (%)	452	44	41	47	180	206	103
평 균	공급량 (A)	1,053	2,574	1,668	857	1,650	310	8,113
	필요수량 (B)	51	438	1,733	620	1,258	228	4,328
	(A) - (B)	1,002	2,136	-65	238	392	82	3,785
	과잉 공급율 (%)	1,958	488	-4	38	31	36	87

- 대상 지구의 필요수량 대비 공급량을 분석한 결과, 관수로 지구에서는 덕곡지구에서 94%의 과잉 공급율을 나타내어 가장 큰 과잉 공급율을 보이고, 개수로 지구에서는 증평지구에서 103%로 가장 큰 과잉 공급율을 보이고 있음
- 관수로 지구와 개수로 지구의 평균 공급량과 필요수량으로 분석한 결과, 관수로 지구에서는 평균 33%의 과잉 공급율을 나타내고 개수로 지구에서는 평균 87%를 나타내어 관수로 지구에서의 용수절감 효과를 나타내고 있음



[그림 3-3-2-33] 필요수량 대비 과잉 공급율 (%)

- 필요수량 대비 과잉 공급율을 지구별로 살펴본 결과, 관수로 지구에서는 4월 및 5월에서 대부분 100%를 초과하는 과잉 공급율을 보이고 있고, 6월에는 덕곡지구가 100%를 초과하였고 7월부터 9월까지의 100%를 초과하지 않고 있음.
- 개수로 지구의 경우, 이동지구는 6월을 제외하고 모두 100%를 초과하는 공급율을 나타내고 있고 용덕지구는 4월, 5월에서 100%를 초과하였고 미산지구는 5월을 제외하고 모두 100%를 초과하지 않고 있음.
- 무수지구의 경우, 6월을 제외하고 모두 100%를 초과하는 과잉 공급율을 나타내고 있으며 증평지구는 4월, 8월, 9월에서 100%를 초과하고 있음.



[그림 3-3-2-34] 평균 과잉 공급율 (%)

- 관수로 및 개수로 지구의 필요수량 대비 평균 과잉 공급율을 살펴본 결과, 4월과 5월에서는 모두 100%를 초과하는 공급율을 나타내고 있고 6월과 7월에는 관수로 지구에서 비

교적 많은 공급율을 보이며 8월과 9월에는 개수로 지구에서 많은 공급율을 나타내고 있음.

- 관개기간에서의 총 필요수량 대비 총 공급량을 분석한 결과, 관수로 지구에서는 총 33%의 초과 공급율을 보이고 개수로 지구에서는 총 87%의 초과 공급율을 보이고 있어, 관수로 지구에서의 용수절감 효과를 나타내고 있음.

○ 관수로 시스템 구축 타당성 고찰

- 관수로 시스템 구축의 타당성을 고찰하기 위하여 용수절감 효과를 분석한 결과, 단위면적당 공급량 분석에 의하면 연평균 약 9% 용수절감 효과를 나타내었고, 필요수량 대비 공급량 분석에 의하면 개수로 지구는 87%의 초과공급에 비하여 관수로 지구는 33%의 초과공급을 나타내어 약 50%의 용수절감 효과를 나타내었음.
- 이상의 분석 결과를 토대로 필요수량 및 공급량 자료가 확보된 개수로 지구에 확대 적용하여 기존 개수로 시스템에서 관수로 시스템으로 전환할 경우 발생하는 용수절감 효과를 분석하고 월별 및 연평균 총 절감 용수량을 제시하고자 함.
- 용수절감 효과의 확대 적용을 위한 대상지구로는 농어촌공사에서 관리하는 양수장 지구로서, 취수탑으로 용수를 공급하는 농업용저수지 지구에 비해 양수장 가동기록 및 시설용량을 이용하여 공급량 산정이 용이한 지구로 선정하였음

[표 3-3-2-23] 용수절감 효과 확대 적용을 위한 대상지구 용수량(mm)

용수 구분	면적 (ha)		개소	4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
	범 위	평 균								
실제 공급량 (mm)	100 ha 미만	59	32	73	347	301	201	215	127	1,265
	100~300 ha	181	17	78	380	322	205	253	159	1,397
	300 ha 이상	1,031	8	117	336	261	144	220	131	1,209
	평균			81	355	302	194	227	137	1,296
필요수량 산정값 (mm)	100 ha 미만	59	32	13	64	326	174	211	70	858
	100~300 ha	181	17	12	63	316	166	209	68	834
	300 ha 이상	1,031	8	13	56	312	168	249	75	873
	평균			13	63	321	171	216	70	853

- 단위면적당 공급량 분석 결과를 양수장을 수원공으로 사용하는 57개 개수로 지구에 확대 적용하기 위하여 적용 대상지구의 단위면적당 공급량을 산정하였고, 관수로 지구의 단위면적당 공급량과 대상지구의 단위면적당 공급량을 비교·분석한 후, 단위면적당 9%의 용수절감 효과를 적용하여 관수로 시스템으로 전환할 경우 절감되는 용수량을 제시하고자 함.



[표 3-3-2-24] 확대 적용 대상지구의 단위면적당 공급량 (톤)

용수 구분	면적 (ha)		개 소	4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
	범 위	평 균								
실제 공급량 (ton)	100 ha 미만	59	32	396	1,882	1,633	1,090	1,166	689	6,861
	100~300 ha	181	17	225	1,095	928	591	729	458	4,025
	300 ha 이상	1,031	8	159	456	354	195	298	178	1,639
	평균			260	1,144	971	625	731	442	4,175
용수절감 효과가 적용된 공급량 (ton)				236	1,041	884	569	665	402	3,799
단위면적당 절감 용수량 (ton)				23	103	87	56	66	40	376

- 단위면적당 공급량 분석 결과를 확대 적용한 결과, 23 ton/ha ~ 103 ton/ha의 공급량을 절감할 수 있는 것으로 나타났으며 연간 총 376 ton/ha의 절감 효과를 보이고 있는데, 57개소 양수장 지구의 총 면적 13천 ha에 적용될 경우 연간 약 5백만톤의 용수절감 효과를 나타내고 있음.
- 필요수량 대비 공급량 분석 결과를 확대 적용하기 위하여 대상지구의 공급량과 필요수량을 비교·분석하여 필요수량 대비 과잉 공급량을 산정한 후, 용수절감 효과를 적용하여 관수로 시스템으로 전환할 경우 절감되는 용수량을 제시하고자 함.

[표 3-3-2-25] 확대 적용 대상지구의 필요수량 대비 공급량 (천톤)

대상 지구		4월	5월	6월	7월	8월	9월	합 계
100 ha 미만	공급량 (A)	1,378	6,551	5,683	3,795	4,059	2,398	23,883
	필요수량 (B)	245	1,208	6,155	3,285	3,984	1,322	16,199
	(A) - (B)	1,133	5,343	-472	510	76	1,076	7,684
	과잉 공급율 (%)	462	442	-8	16	2	81	47
100 ~ 300 ha	공급량 (A)	2,400	11,693	9,908	6,308	7,785	4,892	42,986
	필요수량 (B)	369	1,939	9,723	5,108	6,431	2,092	25,662
	(A) - (B)	2,031	9,754	185	1,200	1,354	2,800	17,324
	과잉 공급율 (%)	550	503	2	23	21	134	68
300 ha 이상	공급량 (A)	9,650	27,713	21,527	11,877	18,146	10,805	99,718
	필요수량 (B)	1,072	4,619	25,734	13,857	20,538	6,186	72,005
	(A) - (B)	8,578	23,094	-4,206	-1,980	-2,392	4,619	27,713
	과잉 공급율 (%)	800	500	-16	-14	-12	75	38
평 균	공급량 (A)	4,476	15,319	12,373	7,327	9,997	6,032	55,529
	필요수량 (B)	562	2,589	13,871	7,417	10,317	3,200	37,955
	(A) - (B)	3,914	12,731	-1,498	-90	-321	2,832	17,574
	과잉 공급율 (%)	696	492	-11	-1	-3	88	46

- 필요수량 대비 공급량 분석 결과를 확대 적용한 결과, 100 ha 미만인 지역에서는 약 47%의 초과 공급을 하고 있고 100~300 ha 지역은 68%, 300 ha 이상은 38%의 초과 공급을 나타내고 있으며 57개소 평균 46%의 초과 공급을 보이고 있음.
- 관수로 지구의 경우 약 33%의 초과 공급을 나타내는 것으로 분석되었는바, 확대 적용 대상지구의 46%에 비하여 13%의 절감율을 보이고 있어, 이를 57개소의 총 면적에 적용할 경우 약 2백만톤의 용수절감 효과가 있는 것으로 분석되었음.

## 다. 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석

### (1) 경제성 분석 이론 고찰

- 경제성 분석은 사업기간에 따른 할인율이 적용된 총 비용과 운영기간에 따른 총 편익을 조사 및 산정하여 총 비용 대비 총 편익의 발생량을 평가하여 사업의 경제적인 타당성을 분석하기 위하여 사용되는 방법임.
- 지금까지 농업분야의 사업에서 수행되었던 경제성 분석 연구는 물관리자동화 사업에 따른 경제성 분석 (농어촌연구원, 2006), 농업용수의 공익적 효과에 따른 경제성 분석 (농림부, 2007), 대체비용법을 이용한 댐 증고 사업에 따른 수질개선 경제성 분석 (조은희, 2012), 논 농업용수의 외부효과에 따른 경제성 분석 (김 등, 2010) 등이 수행되었으며, 관수로 시스템의 구축 및 운영에 따른 경제성 분석 연구는 전무한 실정임.
- 관수로 시스템의 경제성 분석을 위하여 수자원 분야 및 농업 분야의 시설물 경제성 분석에서 주로 사용하고 있는 기존의 평가 방법을 조사하고, 비용이 발생하지 않는 농업용수 소비 및 절감에 따른 비용 및 편익 산정 방법을 고찰하여 대상지구에 적용하고자 함.
- 주로 사용되는 분석방법으로는 사업기간에 따른 할인율이 적용된 총비용과 총편익의 차인 순현재가치(NPV, Net Present Value), 할인된 총편익과 총비용의 비율인 비용편익비(B/C, Benefit/Cost ratio), 할인된 총비용과 총편익이 같아지는 내부수익율(IRR, Internal Rate of Return) 등이 사용된다. 이 이외에 평균수익률(ARR, Average Rate of Return)이나 반환기간 산정법(PB, Pay Back period) 등이 있음.
- 순현재가치 분석 방법
  - NPV 방법은 대상사업이 정해진 기간 내에 가져다주는 편익과 비용의 차이에 관심을 두는 기법으로, 투자 사업으로부터 장래에 발생할 편익과 비용의 차인 순편익을 현재 가치화하여 합산한 것으로서 다음과 같이 산정됨.

$$NPV = \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} = \sum_{k=1}^n \frac{NB_k}{(1+r)^k}$$

- 여기서,  $B_k$ 는  $k$ 년차에 발생하는 편익,  $C_k$ 는  $k$ 년차에 발생하는 비용,  $NB_k$ 는  $k$ 년차에 발생하는 순편익(=  $B_k - C_k$ ),  $n$ 은 분석기간,  $r$ 은 할인율을 나타냄.
- 순현재가치는 상대적인 기준이 아니기 때문에 경합되는 사업간의 우선순위를 결정할 때 혼란을 초래할 우려가 있으나 순편익은 규모가 비슷한 시설물을 서로 비교할 때 편리하

- 며, 수자원 개발사업과 같이 자원개발의 여지가 제한된 경우에 유용하게 사용될 수 있음.
- 이 방법은 시장이자율이 안정되어 사회적 할인율에 대한 신뢰도가 높고, 초기투자비에 대한 조달능력이 충분한 상황에서 유용하게 이용되는 분석기법이며, 일반적으로 순현재가가 0보다 작거나 같으면 사업안을 기각하는 것이 원칙임.
- 대형 투자자본이 정부와 같은 공익기관에 의해 보증되고, 그 이자율도 사업초기에 확정금리로 정해지는 공공사업의 투자평가에 가장 적합한 방법으로서 선진국에서도 일반적으로 활용될 정도로 신뢰성이 높음

○ 비용편익비 분석 방법

- B/C는 NPV와 비슷한 단일계산 분석으로서 정해진 기간 내에 분석대상사업에 투입된 비용대비 편익의 비율에 관심을 두는 기법으로 투자사업으로 인하여 발생하는 편익의 연평균 현재가치를 비용의 연평균 현재가치로 나눈 것을 말하며, 이 비율이 클수록 투자효과가 큰 것을 의미함

$$\frac{B}{C} = \sum_{k=1}^n \frac{B_k}{(1+r)^k} / \sum_{k=1}^n \frac{C_k}{(1+r)^k}$$

- 이 기법은 단순히 편익과 비용의 절대규모에 관심을 두기 때문에 투자규모가 큰 사업이 유리하게 나타나는 NPV의 문제점을 피하고 여러 가지 사업을 객관적인 입장에서 비교할 수 있다는 장점을 가지고 있음.
- 즉, 사업에 투자한 자본의 규모를 고려한 상태에서 편익의 크기를 확인할 수 있다. 예를 들어, 두 개의 사업이 NPV가 같은 경우라도 두 사업의 투자규모가 다르다면 규모가 작은 사업이 규모가 큰 사업에 비해 B/C가 크게 산정되기 때문에 두 사업에 대한 투자우선순위를 판단할 수 있음.
- B/C는 초기투자비에 대한 부담이 있는 상태에서 여러 가지 투자대안이 있을 경우 각각에 대한 우선순위를 평가할 때 사용하는 기법으로서 단일한 투자대안에 대한 평가결과는 항상 NPV와 같지만, 비용과 편익의 항목선정에 따라 그 값이 변할 수 있기 때문에 사업의 성격이 다른 대안들을 비교할 경우 그 결과가 자의적으로 변화할 수 있다는 문제가 있음.

○ 내부수익율 분석 방법

- IRR은 비용편익비가 1이 되는 할인율을 의미하며, 순현재가로 평가할 때는 순현재가가 0이 되도록 하는 할인율을 말하며 다음 식으로 나타낼 수 있음.

$$\frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_k - C_k}{(1+r)^k} = \sum_{k=1}^n \frac{NB_k}{(1+r)^k} = 0$$

- 이는 대상 사업이 정해진 기간 내에 가져다주는 수익률과 시장 이자율과의 비교평가를 위해 사용되는 기법으로, 사업으로 인하여 발생하는 편익의 연평균 현재가치와 비용의 연평균 현재가치가 같아지는 할인율로서 허용최소 수익률을 초과할 경우 사업의 타당성이 있는 것으로 판단하고, 할인율이 최소투자수익률과 같을 경우 비용편익비가 1보다 작으면 사업계획을 기각함.
- 이 방법은 순현재가나 비용편익비를 구하는데 어떤 할인율을 적용해야 할지 불분명하거나

어려운 점이 많을 때 적용하는데, 사업규모에 대한 정보가 반영되지 못하기 때문에 IRR 만으로는 투자우선순위를 결정할 수 없음.

- 이 방법은 경우에 따라 한 개 이상의 값이 도출될 수도 있기 때문에 세 가지 방법 중 가장 신뢰성이 떨어지므로 NPV나 B/C를 통해 타당성이 검증된 사업에 대해 보완적으로 평가하는데 사용하는 것이 적절하며, 국제금융기관에서 차관공여를 위한 평가지표로 널리 이용됨.

#### ○ 이자율 및 할인율

- 전술한 분석방법들에 의해 사업의 타당성을 판단하기 위해서는 산정된 편익과 비용을 비교해야 하지만 대부분의 공공투자사업은 편익과 비용이 동시에 발생하지 않음. 즉, 비용은 사업초기에, 편익은 사업 종료 후 장기간에 걸쳐 발생되며 이러한 시간 변화에 따른 문제점을 해결하기 위해서는 미래의 비용과 편익을 하나의 적절한 이자율로 할인하여야 함.
- 이자율이란 어떤 특정기간 동안의 투자에서 발생하는 수익과 투자액과의 비이며 즉, 자금의 시간적 가치를 측정하는 수단으로서 자본의 기회비용이라 할 수 있음. 투자사업의 타당성을 평가할 때에는 이러한 이자율의 개념이 미래의 편익과 비용을 현재가치로 환산하는 할인율이라는 개념으로 적용할 수 있음.
- 공공투자의 경우 투자효과는 사업 종료 후 장기간에 걸쳐 나타나기 때문에 각 기간마다 비용과 편익의 가치가 다르기 때문에 비용과 편익을 동일한 관점에서 비교하기 위해서는 이들을 모두 현재가치로 환산할 필요가 있으며 미래에 발생하는 편익과 비용을 현재의 가치로 환산하는 수단으로 할인율을 사용함.
- 이때 어떤 할인율을 적용하느냐에 따라 투자사업의 타당성이 평가되기 때문에 적절한 할인율을 결정하는 것은 매우 중요함. 특히, 공공사업과 같이 비용은 사업초기에 투입되고, 편익은 사업 종료후 장기간에 걸쳐 지속적으로 발생하는 경우 할인율에 따라 사업의 경제성이 달라짐.
- 할인율은 나라마다 다르게 적용되는데 개발도상국은 8~10%, 선진국은 6% 내외이며, 우리나라의 경우 댐시설 기준에서는 8~10%, 다목적댐 타당성 조사에서는 8~12%, 예비타당성조사에서는 7.5%를 각각 제시하고 있어 명확하게 정립되어 있지 않은 실정임. 현재 할인율은 중앙은행의 장기대출 이자율을 참고하여 관계당국과 협의하여 결정하며, 관례적으로 8~10%를 적용하도록 하고 있는데 농업용수와 관련한 할인율은 현 시장의 할인율을 고려한 4%를 적용하는 것이 적절함.

#### ○ 내구연한 및 잔존가치

- 사업의 경제성을 평가할 때에는 사업 효과의 지속기간을 판단해야 하며, 사업의 효과는 구조물이 제 기능을 다하는가의 여부로 판단하는데 이는 구조물의 수명을 기준으로 함. 구조물의 수명은 물리적 수명과 경제적 수명으로 구분되는데, 물리적 수명이란 시설물이 노후하여 원래의 기능을 수행하지 못하게 될 때까지의 기간을 말하며, 경제적 수명(또는 내구연한)은 시설물의 경제적 가치가 낮아져 쓸모없게 될 때까지의 기간을 의미함.

[표 3-3-2-26] 감가상각율

용도별	감가상각율(%)	내구연한	잔존가치(%)
발전	2.00	45	10.0
생공용수	2.00	45	10.0
농업용수	1.82	55	0.0
홍수조절	1.25	80	0.0

- 공공투자의 경제성 분석에서는 시설물의 내구연한을 기준으로 사업 분석기간을 결정해야 하며, 물리적 수명이 남은 시설물은 잔존가치로 평가하여 편익으로 고려해야 함. 내구연한이 다른 여러 가지 설비와 시설물이 복합되어 있는 경우에는 분석기간 중에 수명이 끝나는 설비와 시설물에 대해서는 대체투자비를 계산해야 함.

○ 편익 산정

- 일반적으로 편익은 계량편익(tangible benefits)과 비계량편익(intangible benefits) 또는 직접편익(direct benefits)과 간접편익(indirect benefits)으로 구분할 수 있는데, 계량편익은 그 가치를 금전적으로 나타낼 수 있는 유형의 편익을 말하며, 농산물의 증산이나 농경지나 건물의 홍수피해 방지액 등이고, 비계량편익은 금전적으로 평가하기 어려운 무형의 편익 즉, 홍수로 인한 인명피해나 주변환경의 개선효과 등이며 비계량편익은 대부분 시장가격이 없기 때문에 정확한 금전적 평가가 어려우나 최근 여러 가지 계량화 기법들이 개발되고 있음.
- 직접편익은 사업의 효과를 바로 나타낸 것이며, 간접편익은 직접편익으로 인하여 발생하는 2차 편익을 의미하는데, 하천개수 사업의 경우 직접편익은 개수사업의 효과가 미치는 지역에서 개수사업으로 인해 절감되는 홍수 피해액을 의미함.
- 간접편익은 개수사업으로 인해 증대되는 자산이용 고도화와 같은 경제·사회적 활동의 이익을 말하며, 준설비용의 감소액이나 지가상승액, 각종 구조물의 피해복구비 등이고, 사업의 목적에 따라 상대적인 비중이 다르기 때문에 직접편익과 간접편익을 명확하게 구분하기 어려우나 하천개수 사업으로 인해 발생하는 편익들을 직접편익과 간접편익으로 구분할 수 있음.

[표 3-3-2-27] 하천개수 사업의 경우 편익 종류 및 내용

구분	편익의 종류 및 내용
직접 편익	인명, 농작물, 가옥, 농경지, 공공시설물, 기타 시설물, 하천시설물의 복구 등
간접 편익	자산이용 고도화, 지가 상승, 홍수관리 비용 절감, 토지이용 증가, 준설비용 감소, 비상계획비용 감소 등

○ 분석 방법별 장·단점

- 일반적인 경제성 평가방법으로는 비용편익비와 순현재가 분석방법이 사용되지만 실제비용과 편익의 크기를 알 수 없기 때문에 비용편익비 하나만으로는 분석이 충분하지 못하며,

비용편익비와 순현재가치는 사업규모가 증가하면 어느 정도 증가될 수 있음.

- 내부수익율은 비용편익비나 순현재가를 산정하는데 있어 어떤 할인율을 적용해야 할지 불분명한 경우에 적용하는데 이 방법은 사업 규모에 대한 정보가 반영되지 않기 때문에 내부수익율 만으로 투자우선순위를 평가할 수 없다는 것이 단점임.
- 대부분의 공공사업들은 사회복지를 향상시키기 위해 계획되지만 편익을 계량화하고 평가하기 어려운 경우가 대부분이며 편익과 비용의 상황에 따른 경제성 분석 지표들의 목표는 다음과 같이 요약·정리할 수 있음.

[표 3-3-2-28] 경제성 분석 기법별 장·단점

상황 및 목표	순현재가	내부할인율	비용편익비
편익고정·비용최소화	최대 편익	최대 내부할인율	최대 비용편익비
비용고정·편익최대화	최소비용	최대 내부할인율	최대 비용편익비
편익 및 비용 가변적	최대(편익-비용)	최대 내부할인율	최대 비용편익비
예산한정·대안의 등급	자본 수지법(Capital Budgeting Method)		

[표 3-3-2-29] 경제성 분석 기법별 장·단점

구분	특징 및 장점	단점
NPV	- 적용이 용이 - 유사한 규모의 대안 평가 시 이용 - 방법별 경제성 분석결과가 다를 경우 NPV를 우선적용	- 사업규모가 클수록 NPV가 크게 나타남 - 자본 투자의 효율성을 모름
B/C	- 적용이 용이 - 유사한 규모의 대안 평가 시 이용	- 사업규모의 상대적 비교곤란 - 편익이 늦게 발생하는 사업은 B/C가 작게 나타남
IRR	- 사업의 예상수익을 판단가능 - NPV나 B/C 산정시 할인율이 불분명할 경우 적용	- 사업기간이 짧으면 수익성이 과장됨 - 편익이 늦게 발생하는 사업은 불리한 결과 발생

(2) 대상지구 선정 및 입력자료 구축

- 경제성 분석을 위한 대상지구로서 관수로 지구는 용수절감 효과 분석 대상지구인 해남 지구, 고흥 지구, 덕곡 지구로 선정하였으며, 각 지구별로 총 사업비를 조사하고 관수로 관개에 의한 편익을 산정하여 경제성 분석을 수행하고자 함.
- 관수로 지구의 경제성 분석 결과를 문헌조사에 의한 기존 개수로 지구의 분석 결과와 비교·분석함으로써 관수로 시스템 구축 및 운영의 타당성을 제시하고자 함.

[표 3-3-2-30] 경제성 분석을 위한 대상지구 현황

대상 지구	수혜 면적	수원공	사업 기간	총 사업비
해남 지구	1,801 ha	담수호	1985. 02 ~ 2004. 12	204,561백만원
고흥 지구	1,581 ha	담수호	1991. 10 ~ 2003. 08	306,449백만원
덕곡 지구	147 ha	하천수	1995. 11 ~ 1996. 05	3,423백만원

○ 비용 및 편익 자료를 조사하거나 산정하는데 있어, 확보가 가능한 자료 즉, 사업에 소요된 비용 및 유지관리비 등을 제외한 자료는 평가하는 주체의 주관적인 의견이 가미될 수 있으며 어느 정도의 분석 한계가 있으므로 다음과 같은 전제 조건을 바탕으로 조사 및 산정하고자 함.

- 관수로 시스템의 내구연한은 수리시설물의 내구연한을 10년으로 설계하므로 10년으로 정하였고, 개보수 투입을 통한 시설물 정비를 고려하여 15년을 추가하여 분석함.
- 총 비용에는 관수로 시스템 설치비를 포함한 유지관리비 (인건비, 수리/보수비, 전력사용비, 기타비용)가 포함됨.
- 설치비는 실제 사업기간에 투입된 총 금액 자료를 근거한 여타 비용과 편익은 준공 이후 내구연한인 10년과 15년 동안 발생하는 것으로 산정함.
- 관수로 시스템의 편익은 객관적인 수치로 계량 가능한 인력절감효과, 용수절감효과, 부지활용효과, 수질오염방지효과가 포함됨.
- 관수로 시스템의 간접 효과로 인한 편익의 산정은 현재 가치 중 최소값을 기준으로 산정함.

○ 비용 자료의 수집 및 산정

- 지구별 설치비는 각 지구의 관리주체인 농어촌공사 지사 및 지자체를 방문하여 사업비 총괄표를 수집하였으며, 유지관리비는 매년 유지관리에 소요되는 비용 자료가 확보되어 있지 않으므로 유지관리 비율과 할인율을 이용하여 유지관리비를 산정하고 유지관리 비율과 할인율의 변화에 따른 민감도 분석을 수행하고자 함.

[표 3-3-2-31] 관수로 시스템 구축 총 사업비 예시 (덕곡 지구)

구분	정지	용수로			배수로		도로	부대공사	사급자재	골재	소계	지급자재	합계
		간선	지선	지거	지선	지거							
재료비	74	139	4	18	12	18	8	17	729	64	1,083	213	1,296
직접노무비	182	354	37	157	70	161	42	36	0	0	1,039	0	1,039
간접노무비	26	51	5	23	10	232	6	5	0	0	149	0	149
소계	208	405	42	181	80	184	48	41	0	0	1,188	0	1,188
경비	165	15	3	14	14	26	16	18	0	0	270	0	270
산재보험료	6	11	1	5	2	5	1	1	0	0	33	0	33
안전관리비	2	4	0	2	1	2	0	0	4	1	17	0	17
기타경비	13	26	2	9	4	10	3	3	0	0	70	0	70
소계	187	57	7	30	21	42	20	22	4	1	390	0	390
계	468	600	53	229	113	244	76	82	732	64	2,661	213	2,874
일반관리비	25	31	3	12	6	13	4	4	0	0	96	0	96
계	492	631	56	240	119	256	80	86	732	64	2,758	213	2,971
이윤	60	68	7	31	15	33	10	9	0	0	233	0	233
계	552	698	63	271	134	290	90	95	732	64	2,991	213	3,204
부가가치세	55	70	6	27	13	29	9	10	0	0	219	0	219
합계	607	768	70	298	147	319	99	105	732	64	3,210	213	3,423

○ 인력절감 효과 편익 산정

- 우리나라는 논외 대부분을 농어촌공사의 직원에 의하여 관리되고 있는데 1인당 관리면적은 1990년도에는 125 ha 이었으나 점차적인 인력 감소로 인하여 2011년도에는 221 ha로 증가하고 있는 추세임.

[표 3-3-2-32] 연도별 1인당 관리면적 변화 (농어촌공사)

년 도	면 적 (ha)	관 리 인 원 (명)	1인당 관리면적 (ha)
1990	523,312	4,172	125
1997	582,278	3,952	147
2007	532,296	2,916	183
2011	520,795	2,348	221

- 개수로 지구의 경우 농어촌공사 (2006)의 “농업용수관리자동화사업 효과분석 및 평가지침수립 연구”에서 조사한 충주, 성주, 파주 지구의 수혜면적과 관리인원 자료에 따르면 충주 지구의 경우 1인당 관리면적이 314 ha, 성주 지구는 181 ha, 파주 지구는 273 ha로 평균 1인당 관리면적이 245 ha로 나타나고 있음.

[표 3-3-2-33] 개수로 지구의 1인당 관리면적 (농어촌공사, 2006)

지 구 명	수혜면적 (ha)	연평균 관리인원 (명)			1인당 관리면적 (ha)
		정규직	임시직	합 계	
충주 지구	2,514	5	3	8	314
성주 지구	3,624	4	16	20	181
파주 지구	7,105	9	17	26	273
평균	4,414	6	12	18	245

- 경제성 분석 대상지구인 해남, 고흥, 덕곡 지구의 관리인원을 현장방문 조사한 결과, 해남 지구는 정규직 2명과 계절적 임시직 3명으로 구성되어 있었고, 고흥 지구는 정규직 2명과 임시직 2명, 덕곡 지구는 정규직 1명이 관리하고 있는 것으로 파악되었음.

[표 3-3-2-34] 관수로 지구의 1인당 관리면적

지 구 명	수혜면적 (ha)	연평균 관리인원 (명)			1인당 관리면적 (ha)
		정규직	임시직	합 계	
해남 지구	1,801	2	1	3	600
고흥 지구	1,581	2	1	3	527
덕곡 지구	147	1	-	1	147

- 개수로 지구와 관수로 지구의 1인당 관리면적을 비교해보면, 개수로 지구는 평균 245 ha를 관리하고 있는 반면, 해남 지구의 경우는 450 ha, 고흥 지구는 527 ha를 관리하고 있어 관수로 시스템의 도입으로 인한 관리인원의 절감효과가 나타나고 있음.



- 덕곡 지구의 경우에는 1인당 관리면적이 147 ha로 관수로 시스템으로 인한 인력절감 효과는 없으나, 이는 수혜면적이 총 147 ha에 불과하기 때문에 1명의 관리인원이 배치되었음.
- 이상의 결과로 볼 때, 우리나라의 1인당 평균 관리면적이 221 ha이고 해남 및 고흥 지구의 1인당 평균 관리면적은 564 ha이므로 관수로 시스템의 인력절감을 확인하였으며, 인력절감 효과 편익 계산을 위하여 해남 지구는 정규직 2명, 임시직 2명, 고흥 지구는 정규직 1명, 임시직 2명의 절감으로, 덕곡 지구는 임시직 1명의 절감으로 산정하였음.
- 인력절감 효과의 편익 산정을 위해서는 절감된 인력을 비용으로 환산해야 하는데, 각 지구별 준공 년도의 평균 임금을 이용하여 편익을 산정하였음.

○ 용수절감 효과 편익 산정

- 용수절감 효과 편익은 앞서 분석된 단위면적당 공급량 분석 결과를 바탕으로, 단위 면적당 1,248 ton/ha/year의 용수 절감 효과에 각 지구별 준공년도의 물값 즉, 한국수자원 공사의 댐용수 요금 단가인 30.35원/ton (1996년), 35.12원/ton (2003년), 41.70원/ton (2004년)을 적용하였음.

[표 3-3-2-35] 지구별 용수절감 효과 편익

지 구 명	수혜 면적 (ha)	용수 절감 효과 (천ton/year)	적용 단가 (원/ton)	용수 절감 편익 (천원/year)
해남 지구	1,801	2,248	30.35	68,216
고흥 지구	1,581	1,973	35.12	69,295
덕곡 지구	147	183	41.70	7,650

- 관수로 지구별 용수절감 효과 편익을 산정한 결과, 해남 지구의 경우 2004년 준공 년도로부터 매년 약 68백만원의 편익이 발생하였고, 고흥 지구의 경우 2003년도 준공 년도로부터 약 69백만원, 덕곡 지구는 7백6십만원의 편익이 발생하는 것으로 산정되었음.

○ 부지활용 효과 편익 산정

- 부지활용 효과 편익은 용수로를 기존의 개수로가 아닌 관수로를 이용하여 지하에 매설할 경우 개수로 관개에서 사용되었던 수로 용지를 재배지역으로 활용할 수 있으므로, 관수로 시스템 구축으로 인한 재배면적의 증가에 따른 쌀 생산량 제고 편익으로 산정하였음.
- 재배면적의 증가는 관수로 매설 길이에 개수로의 폭을 곱하여 산정하였는데, 우리나라의 개수로 폭은 지거의 경우 작게는 약 30 cm에서 간선의 경우 크게는 약 3 m 이상의 폭을 가지고 있으나 평균 개수로 폭에 대한 통계자료가 없고 부지활용 효과 편익의 과다 산정을 방지하기 위하여 1.5 m로 적용하였음.
- 재배면적 증가에 따른 편익을 산출하기 위하여 관수로의 지하 매설에 의하여 증가된 재배면적에 우리나라 평균 쌀 생산량인 5 ton/ha/year (통계청, 국가통계포털 자료)를 적용하고, 각 지구별 준공 년도의 쌀 구매 가격인 136,713원/80kg (1996년), 161,996원/80kg (2003년), 166,163원/80kg (2004년)을 적용하여 편익을 산정하였음.

[표 3-3-2-36] 지구별 부지활용 효과 편익

지구명	관수로 길이 (m)	재배 면적 (ha)	쌀 생산량 (ton)	적용 단가 (원/80kg)	부지 활용 편익 (천원/year)
해남 지구	182,500	27.38	45.63	166,163	284,295
고흥 지구	104,700	15.71	26.18	161,996	159,009
덕곡 지구	10,700	1.61	2.68	136,713	13,714

- 관수로 지구별 부지활용 효과 편익을 산정한 결과, 해남 지구의 경우에는 관수로 매설에 의한 재배 면적이 약 9 ha가 늘어남에 따라 쌀 생산량이 약 45 ton이 증가하여 그에 따른 편익은 매년 약 94백만원으로 산정되었고, 고흥 지구의 경우에는 약 53백만원, 덕곡 지구는 약 4백5십만원으로 부지활용 편익이 산정되었음.

○ 수질오염방지 효과 편익 산정

- 농업용수의 다양한 외부효과 및 간접효과에 대한 연구에 의하면 농업용수 공급에 의한 수질정화 효과에 대하여 분석하고 있는데, 농업과학기술원 (2002)은 우리나라 농업 중 가장 비중이 큰 논 농업에 대한 환경보전기능 평가에서 논 농업의 수질정화 효과를 21,900 억원으로 평가하였음 (농림부, 2007, 농촌용수의 공익적 기능에 관한 연구).
- 김 등 (2010)은 농업용수 공급에 따른 수질정화 기능의 편익 계산을 농경지로의 유입수와 유출수의 농도 차이를 기반으로 농경지 내의 양분수지 계산을 통해 산출하였는데, 수질 지표는 질소로 하여 논에서의 유입수와 유출수 및 지하수에 대한 수질을 측정하여 질소 양분수지를 분석하였음.
- NASA (2008)의 연구 결과에 의하면, 지표수 수질 정화량과 지하수 수질 정화량을 합하여 11.2 kg/ha/year의 수질 정화량을 결정할 수 있는데, 김 등 (2003)은 이러한 수질정화 기능을 모수적 방법과 비모수적 분석 방법에 의하여 화학비료와 농업용수를 대체하는 연구에 의해 질소비료 비용을 질소흡수 기능으로 대체할 수 있음.
- 이러한 연구의 기본 전제는 농업용저수지, 양수장, 하천 등의 수원공으로부터 농업용수로 공급되는 원수의 수질이 오염되지 않은 상태에서 논으로 유입되는 것을 전제로 하고 있으며, 이는 논으로 유입되기 이전에 수질오염의 원인물질이 유입되면 농업용수의 수질정화 기능이 저하된다는 것을 의미함.
- 개수로 관개에서는 농경지 주변에 산재되어 있는 축산농가로부터 배출되는 비점원 오염 부하가 수로에 유입될 우려가 있으며, 축산폐수의 주성분인 질소와 인이 유입된 농업용수가 공급될 경우 농업용수의 수질정화 기능이 저하될 뿐만 아니라 토양 오염 및 하천수 오염의 요인이 될 수 있음 (농림부, 2007, 농촌용수의 공익적 기능에 관한 연구).
- 관수로 시스템의 경우, 수원공으로부터 유입된 원수의 수질을 유지하고 오염 원인물질의 중간 유입 없이 관개지역 말단부까지 공급할 수 있는 장점이 있으며 (농림부, 2009, 농업생산기반정비사업 계획설계기준 관수로편), 관수로 관개에 따른 수질오염방지 효과에 대한 편익을 산정하였음.
- 앞서 언급한 NASA (2008)의 연구결과와 김 등 (2003)의 연구결과에 의하여 농업용수의 수질정화 효과에 대한 편익은  $11.2 \text{ kg/ha/year} \times 9,950 \text{ 원/4.2kg(질소)} = 26,733 \text{ 원/ha/year}$ 로 산정되고, 각 관수로 지구의 수혜면적에 적용함으로써 편익을 산정하였음.

[표 3-3-2-37] 수질오염방지 효과 편익

지 구 명	수혜 면적 (ha)	적용 단가 (원/ha/year)	수질오염방지 편익 (천원/year)
해남 지구	1,801	26,733	48,146
고흥 지구	1,581		42,265
덕곡 지구	147		3,930

○ 유지관리비용 및 할인율

- 경제성 분석에서 미래의 비용 및 편익을 현재가치로 변환하기 위하여 할인율을 적용하고 있는데, 이는 미래의 총 비용과 총 편익이 명확하게 산정이 산정되었을 경우 할인율을 적용하여 현재가치로 산정하고 있음.
- 경제성 분석을 위한 총 비용 산정시 유지관리비용 자료가 확보되지 못하였을 경우 일반적으로 총 사업비의 0.5% ~ 5%를 관행적으로 사용하고 있지만, 본 연구에서는 유지관리비용의 일률적인 적용에 의한 총 비용 산정의 부정확성을 방지하기 위하여 유지관리비용을 적용하였음. (이재혁, 2013, 가동보와 소수력발전 연계시스템의 규모 결정을 위한 최적화 모형 연구)

(3) 경제성 분석을 통한 관수로 시스템 구축 타당성 고찰

- 관수로 관개 지구의 사업비와 유지관리비용을 포함한 총 비용과 인력절감, 용수절감, 부지활용, 수질오염방지 효과를 포함한 총 편익을 사용하여 관수로 지구의 경제성 분석을 수행하고, 그 결과를 바탕으로 관수로 시스템 구축의 타당성을 고찰하고자 함.
- 경제성 분석 방법으로, 공공사업에 적용이 가능하고 편익의 발생으로 인한 사업의 손익분기점을 제시할 수 있는 비용-편익 (B/C, Benefit-Cost) 방법을 사용하였고, 분석 대상지구인 관수로 지구의 유지관리비용 자료의 부재로 인하여 유지관리비용을 적용된 비용-편익 방법을 사용하였음 (이재혁, 2013).

$$B/C = B_{total} / C_{total}$$

$$B_{total} = \sum_{N=1}^N \frac{B_t}{(1+i_r)^N}$$

$$C_{total} = C_t (1+i_r) + C_t \sum_{N=1}^N \frac{O_m}{(1+i_r)^N}$$

- 여기서,  $B_t$ ,  $C_t$ ,  $O_m$ ,  $i_r$ ,  $N$ 은 각각 총 편익, 총 사업비, 유지관리비용, 이자율 및 관수로 시스템 운영기간을 의미함.

[표 3-3-2-38] 경제성 분석을 위한 비용 및 편익 산출 자료 (천원/year)

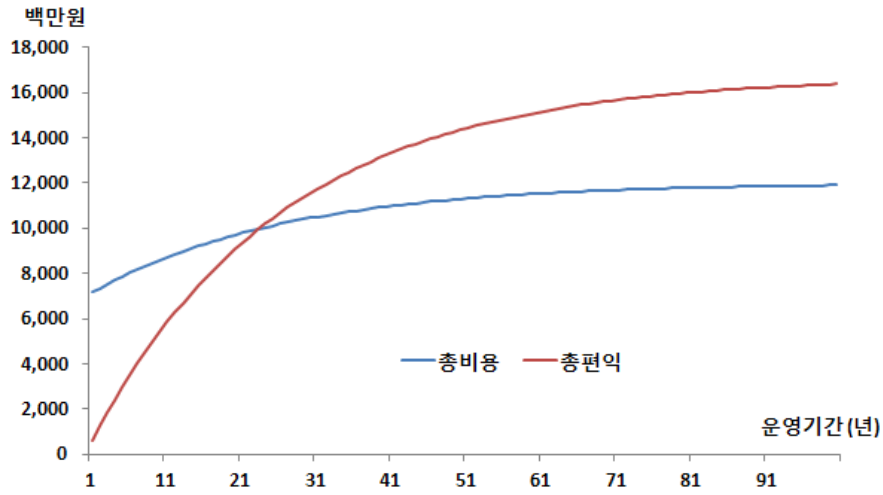
항 목	세부 항목	경제성 분석 대상 지구			비 고
		해남 지구	고흥 지구	덕곡 지구	
비 용	사 업 비	6,705,488	4,935,928	349,606	사업비 조사
	유지관리비	1 ~ 10 %	1 ~ 10 %	1 ~ 10 %	민감도 분석
편 익	인력 절감	105,925	105,925	-	관수로 시스템의 간접효과 및 공익적 효과
	용수 절감	68,216	69,295	7,650	
	부지 활용	284,295	159,009	13,714	
	수질오염방지	48,146	42,264	3,930	
	총 편익	506,582	376,493	25,293	
할 인 율		3 ~ 8 %	3 ~ 8 %	3 ~ 8 %	민감도 분석

- 경제성 분석을 위한 운영 기간은 지속적인 유지보수를 가정하고 수리시설물 내구연한인 30년을 사용하지만, 1945년 이전에 준공된 관개 지구가 현재까지 운영되는 것을 감안할 때, 장기적인 운영기간을 분석하여 관수로 시스템의 손익분기점을 파악하고자 함.
- 운영기간을 10년 단위로 분석한 결과, 해남 지구 및 고흥지구에서는 30년 경과 후 B/C 지표가 1을 초과하여 경제성이 확보되는 것으로 평가되었고, 덕곡지구의 경우에는 10년 미만에서 경제성이 확보되는 것으로 평가되었음.

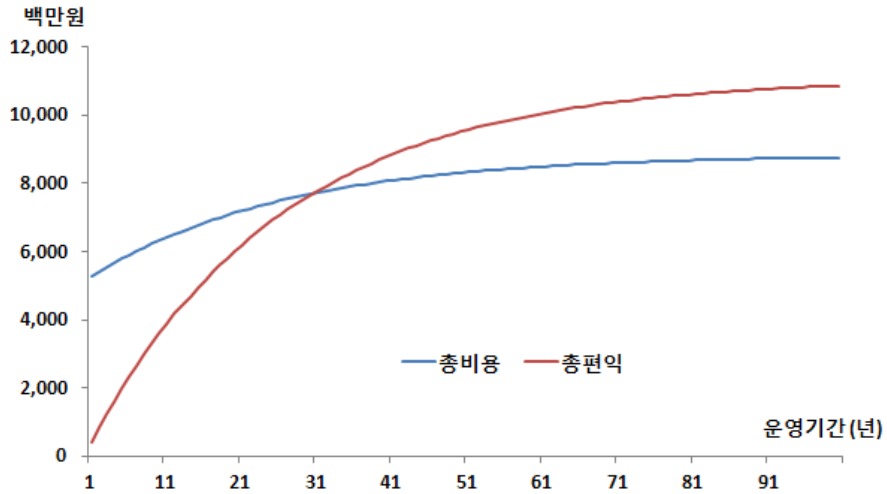
[표 3-3-2-39] 관수로 지구의 경제성 분석 결과 (유지관리비율: 3%, 할인율: 4%) (백만원)

운영 기간	해남 지구			고흥 지구			덕곡 지구		
	총비용	총편익	B/C	총비용	총편익	B/C	총비용	총편익	B/C
10년	8,605	5,420	0.63	6,334	3,596	0.57	449	522	1.16
20년	9,708	9,082	0.94	7,146	6,026	0.84	506	874	1.73
30년	10,452	11,556	1.11	7,694	7,667	1.00	545	1,112	2.04
40년	10,955	13,227	1.21	8,064	8,776	1.09	571	1,273	2.23
50년	11,295	14,356	1.27	8,314	9,525	1.15	589	1,382	2.35
60년	11,525	15,118	1.31	8,483	10,031	1.18	601	1,455	2.42
70년	11,680	15,634	1.34	8,598	10,373	1.21	609	1,505	2.47
80년	11,785	15,982	1.36	8,675	10,604	1.22	614	1,538	2.50
90년	11,855	16,217	1.37	8,727	10,760	1.23	618	1,561	2.53
100년	11,903	16,376	1.38	8,762	10,865	1.24	621	1,576	2.54

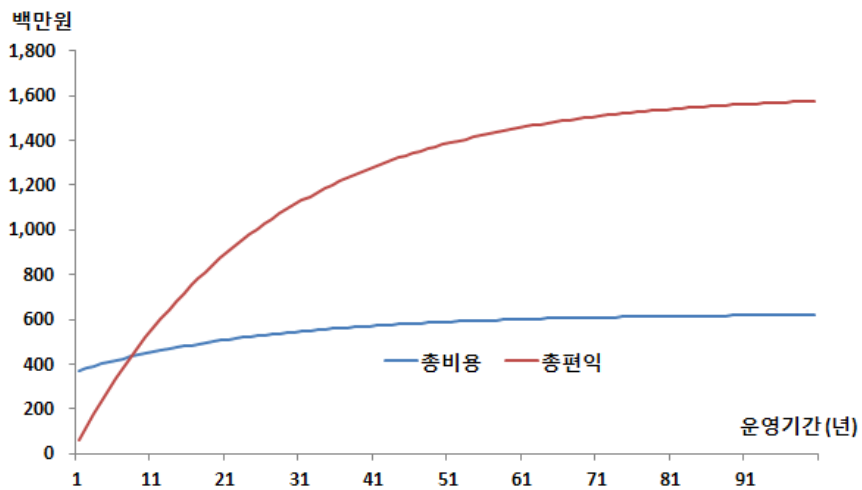
○ 비용-편익 분석 방법은 초기투자 비용의 회수기간의 산정이 가능한데, 관수로 지구의 총 비용 대비 총편익이 초과되는 투자회수 기간을 분석한 결과 해남지구는 23년, 고흥지구는 30년, 덕곡지구는 8년으로 산정되었음.



(a) 해남 지구



(b) 고흥 지구



(c) 덕곡 지구

[그림 3-3-2-35] 관수로 지구의 투자비용 회수기간

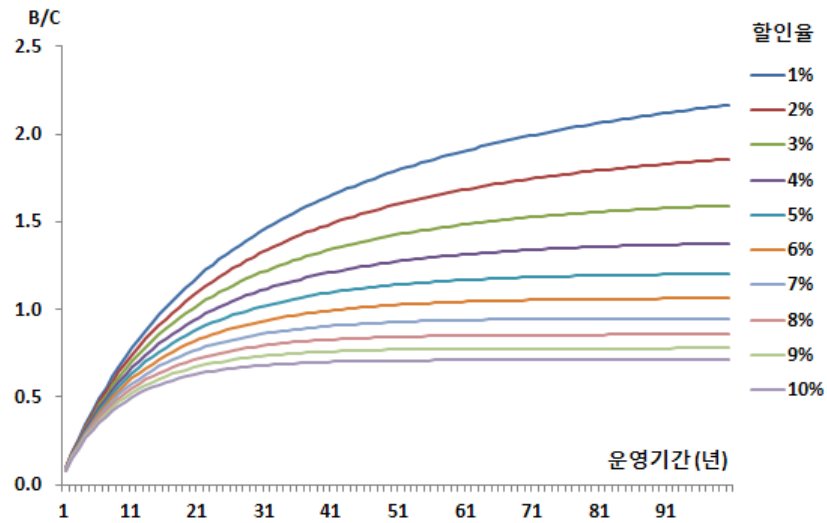
- 유지관리비율과 할인율은 농업분야에서 일반적으로 3%와 4%를 사용하는 것으로 알려져 있지만, 적절한 값을 제시하는 연구는 수행되지 않았으며, 본 연구에서는 유지관리비율과 할인율에 대한 민감도 분석을 수행하여 경제성 분석 결과에 미치는 영향을 분석하고자 함.

[표 3-3-2-40] 관수로 지구의 경제성 분석 결과 (유지관리비율: 1%, 할인율: 2%) (백만원)

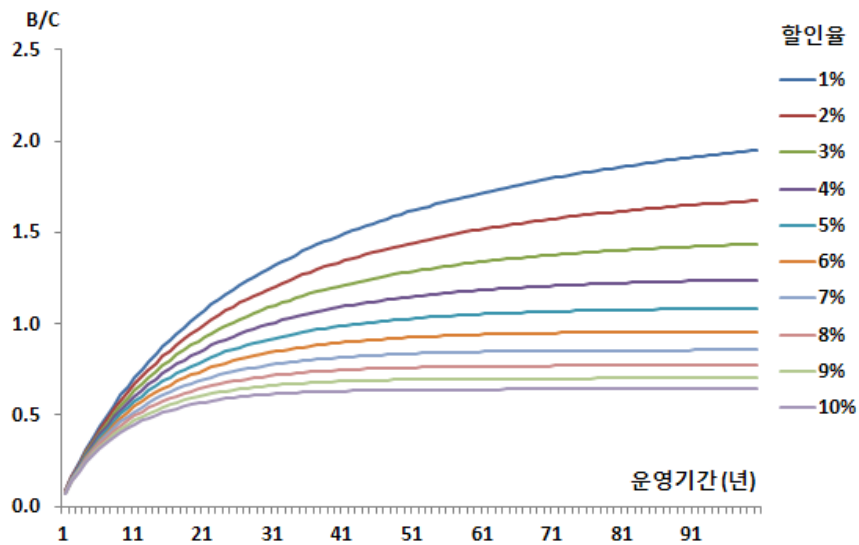
운영 기간	해남 지구			고흥 지구			덕곡 지구		
	총비용	총편익	B/C	총비용	총편익	B/C	총비용	총편익	B/C
10년	7,442	6,003	0.81	5,478	3,983	0.73	388	578	1.49
20년	7,936	10,927	1.38	5,842	7,250	1.24	414	1,052	2.54
30년	8,341	14,967	1.79	6,140	9,930	1.62	435	1,441	3.31
40년	8,674	18,280	2.11	6,385	12,129	1.90	452	1,759	3.89
50년	8,947	20,999	2.35	6,586	13,933	2.12	466	2,021	4.33
60년	9,170	23,229	2.53	6,750	15,413	2.28	478	2,236	4.68
70년	9,354	25,059	2.68	6,886	16,627	2.41	488	2,412	4.95
80년	9,505	26,560	2.79	6,996	17,622	2.52	496	2,556	5.16
90년	9,628	27,791	2.89	7,087	18,439	2.60	502	2,675	5.33
100년	9,730	28,801	2.96	7,162	19,110	2.67	507	2,772	5.46

[표 3-3-2-41] 관수로 지구의 경제성 분석 결과 (유지관리비율: 5%, 할인율: 6%) (백만원)

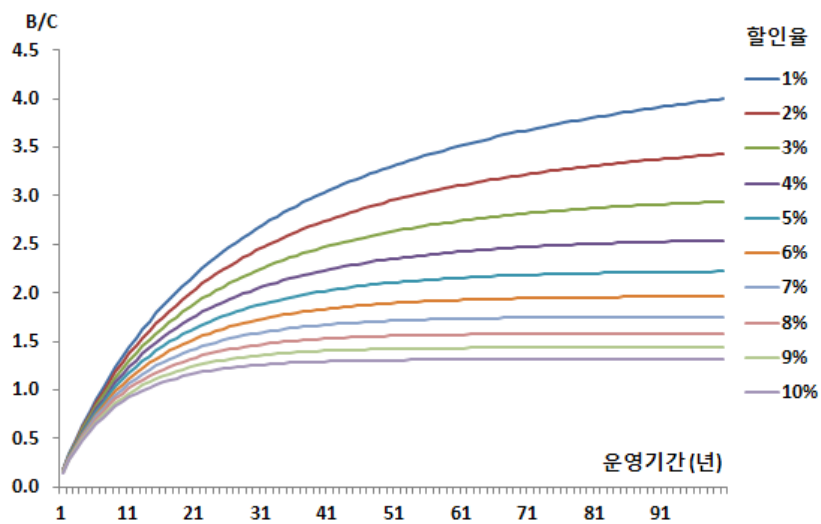
운영 기간	해남 지구			고흥 지구			덕곡 지구		
	총비용	총편익	B/C	총비용	총편익	B/C	총비용	총편익	B/C
10년	9,575	4,918	0.51	7,049	3,263	0.46	499	473	0.95
20년	10,953	7,665	0.70	8,063	5,086	0.63	571	738	1.29
30년	11,723	9,198	0.78	8,629	6,103	0.71	611	885	1.45
40년	12,152	10,055	0.83	8,945	6,671	0.75	634	968	1.53
50년	12,392	10,533	0.85	9,122	6,989	0.77	646	1,014	1.57
60년	12,526	10,800	0.86	9,221	7,166	0.78	653	1,039	1.59
70년	12,601	10,949	0.87	9,276	7,265	0.78	657	1,054	1.60
80년	12,643	11,032	0.87	9,306	7,320	0.79	659	1,062	1.61
90년	12,666	11,079	0.87	9,324	7,351	0.79	660	1,066	1.61
100년	12,679	11,105	0.88	9,333	7,368	0.79	661	1,069	1.62



(a) 해남 지구

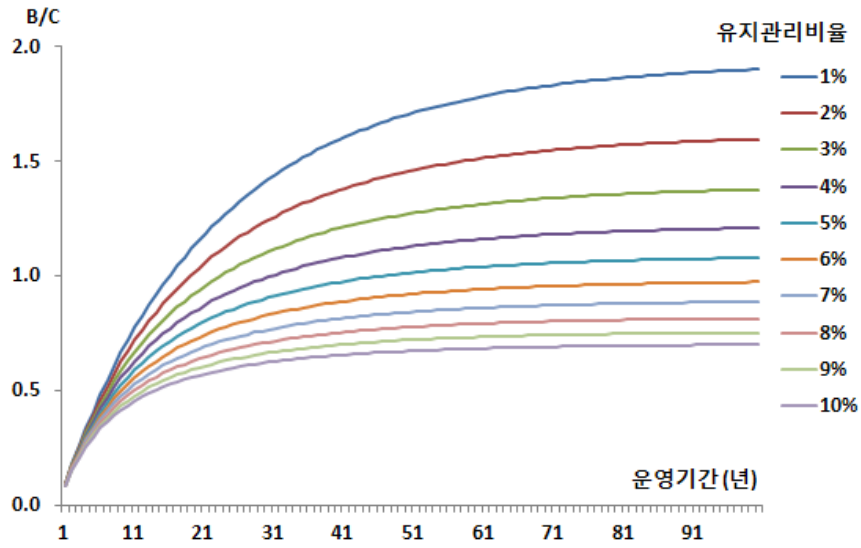


(b) 고흥 지구

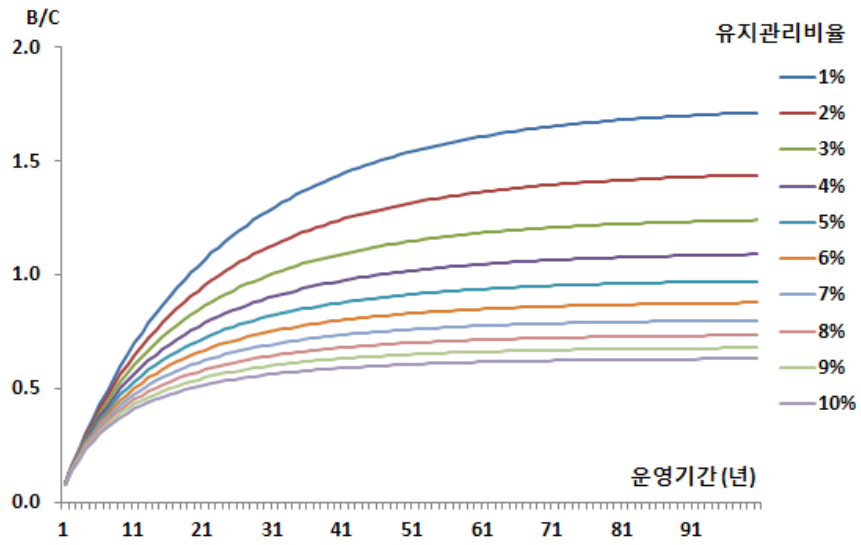


(c) 덕곡 지구

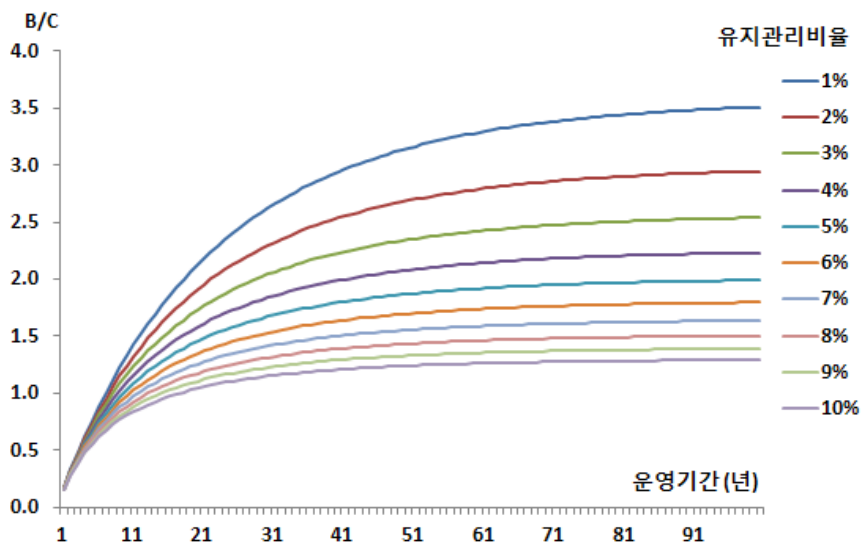
[그림 3-3-2-36] 할인율의 민감도 분석 (유지관리비율 3% 고정)



(a) 해남 지구



(b) 고흥 지구



(c) 덕곡 지구

[그림 3-3-2-37] 유지관리비율의 민감도 분석 (할인을 4% 고정)



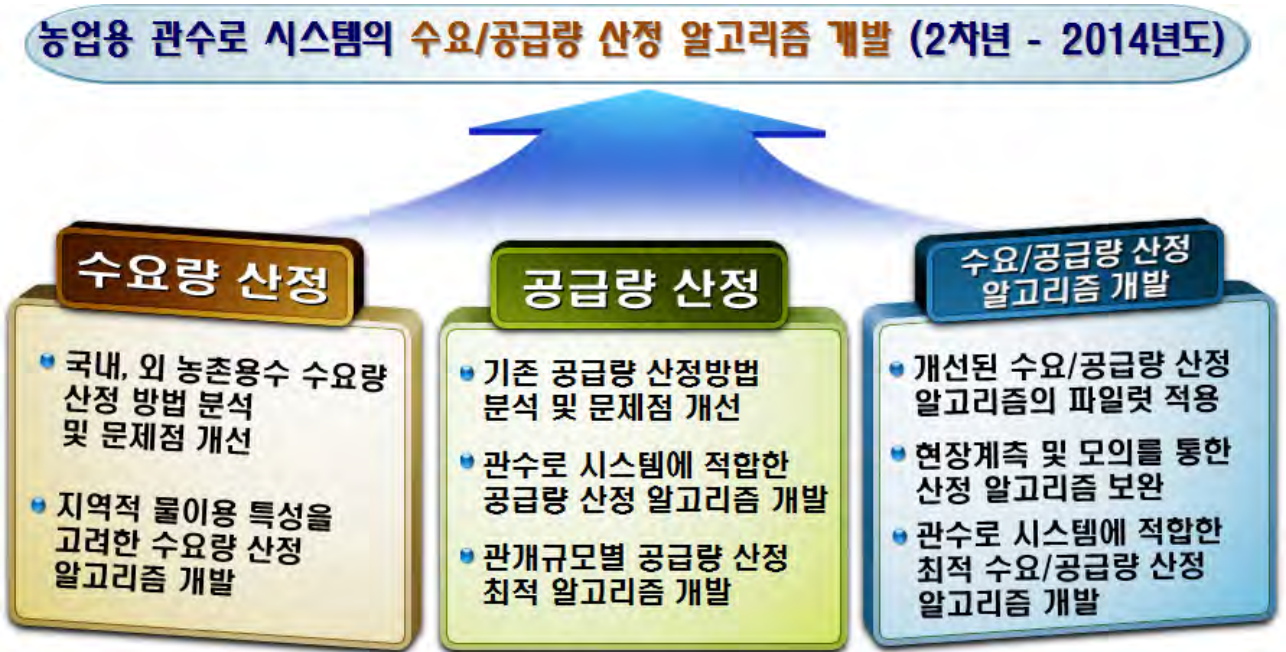
- 농업용수 경제성 분석에서 주로 사용하는 유지관리비율(3%)과 할인율(4%)을 적용하여 분석한 결과, 운영기간 30년에서 3개 지구 모두 B/C 값이 1을 초과하여 경제성이 확보되는 것으로 평가되어 관수로 시스템의 구축에 대한 간접 편익 효과가 우수한 것으로 판단됨.
- 유지관리비율과 할인율의 변화에 따라 B/C 지표의 거동 분석을 위하여 민감도 분석을 수행한 결과, 덕곡 지구 에서는 운영기간 100년 동안 모든 할인율과 유지관리비율에서 1이 초과되어 비교적 우수한 경제성을 확보하고 있는 것으로 평가되었음.
- 유지관리비율을 3%로 고정하고 할인율의 민감도 분석을 수행한 결과, 해남 지구에서는 할인율 7% 이하에서 B/C 값이 1을 초과하였으며 고흥 지구에서는 할인율 6% 이하에서 1을 초과하여, 농업분야에서 사용하는 할인율인 4%의 범위내에서 경제성이 확보되었음.
- 할인율을 4%고 고정하고 유지관리비율의 민감도 분석을 수행한 결과, 해남 지구에서는 유지관리비율 5% 이하에서 B/C 값이 1을 초과하였으며 고흥 지구에서는 4% 이하에서 1을 초과하여, 농업분야에서 사용하는 유지관리비율인 3%의 범위내에서 경제성이 확보되었음.
- 유지관리비율과 할인율이 1%에서 10%의 범위내에서 경제성의 확보 여부가 달라지는 것을 확인할 수 있었으며, 향후 농업분야에서 사용 가능한 유지관리비율과 할인율의 적절한 범위를 제시할 수 있는 연구가 필요할 것으로 판단됨.
- 본 경제성 분석은 수해지역 전반에 대한 농업용수의 경제성 분석이 아니라 관수로 시스템으로 구축하였을 경우의 편익만을 적용하였으므로, 일반적인 개수로 지구에서의 공익적 효과가 가미될 경우 경제성이 제고될 것으로 사료됨.
- 이상의 결과로 미루어 볼 때, 기존 개수로 관개 운영지구를 관수로 관개 시스템으로 전환할 경우 수로 손실량이 줄어들고 관개효율이 높아질 수 있으며, 이에 따라 용수절감 효과와 더불어 우수한 경제성을 확보할 수 있어 관수로 시스템 구축 사업의 타당성을 확인할 수 있음.

### 3. 농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급량 산정 알고리즘 개발

- 농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급량 산정 알고리즘 개발은 2차년도 세부 목표로서, ① 농촌용수 수요량 산정 알고리즘 개발, ② 관수로 시스템에 의한 농촌용수 공급량 산정 알고리즘 개발, ③ 농촌용수 수요/공급량 산정 알고리즘을 개발하는 내용을 포함하고 있음.
- ① 농촌용수 수요량 산정 알고리즘 개발은 국내 · 외에서 사용하는 필요수량 산정방법을 분석하여 필요수량의 과다/과소 산정되는 문제점을 개선하고 지역적 물이용 특성을 고려한 수요량 산정 알고리즘을 개발하였음.
- ② 관수로 시스템에 의한 농촌용수 공급량 산정 알고리즘 개발은 기존의 개수로 및 관수로 관개지

구 공급량 산정방법을 분석하여 공급량의 과다/과소 산정되는 문제점을 개선하고 관수로 시스템에 적합한 공급량 산정 알고리즘을 개발하였음.

- ③ 농촌용수 수요/공급량 산정 알고리즘 개발은 개선된 수요/공급량 산정 알고리즘을 이용하여 현장 계측 및 모의를 통한 관수로 시스템에 적용 가능한 수요/공급량 산정 알고리즘을 개발하였음.



[그림 3-3-3-1] 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석을 위한 연구 내용

### 가. 농촌용수 수요량 산정 알고리즘 개발

#### (1) 기존의 수요량 산정방법 조사 및 분석

- 소비수량(consumptive use)은 작물의 생장에 필요한 수량으로 [증발산량]+[작물생체수량]으로 산정되나, 후자는 거의 무시할 수 있는 수량이므로, 일반적으로 소비수량은 증발산량과 같이 취급함.
- 농촌용수 수요량은 작물의 필요수량과 동일한 의미를 가지게 되는데, 필요수량은 작물의 정상적인 생육하에서 논과 밭의 토층에서 소비되는 수량이며 논관개에서의 필요수량은 감수심 즉 [증발산량]+[침투량]으로 계산됨.
- 침투량은 증발산량과 함께 논에서 필요수량의 기본적인 구성요소임에도 불구하고 증발산량과는 달리 토양의 조건 및 지하수위의 수리조건에 의해 크게 차이되며 용수 계획상 확정 곤란한 수량으로 인지되고 있음. 따라서, 본 연구에서의 필요수량 산정방법의 개발에서 침투량은 기존 문헌조사에 의한 값을 사용하고자 하며 증발산량 산정방법을 조사 및 분석하고자 함.
- 증발산량(evapotranspiration: ET)은 증발산을 일으키는 기상상태와 물을 소비하는 작물과

포장상태에 따라 결정되는데 논에서의 증발산량은 단위 구획의 논에서 순수히 소비되는 기본적인 양으로 식물체가 체표면으로부터 방출하는 수분량인 증산량과 경지(혹은 담수)면으로부터 증발하는 수분량인 증발량으로 구성됨.

- 증발산량은 벼가 성장함에 따라 점점 증가하여 생육단계가 다르더라도 7월 하순~8월 상순에 최대값을 보이고 생육단계의 차이보다는 기상조건에 의해 크게 영향을 받는데 관개기간의 총 증발산량은 관개기간을 100일로 한 경우 440~550mm 정도이며 1일 평균량은 4~5mm, 1일 최대량은 약 8.5mm로 알려져 있음.(정하우 등, 2007, 관개배수공학)
- 밭에서의 증발산량은 작물에 의한 증산량과 토양면으로부터의 증발량으로 구성되는데 밭에서는 개략적으로 논에서의 증발산량보다 작으며 과수와 채소의 평균값은 3~4mm/d임. 작물의 종류나 생육단계, 기상조건, 토양조건, 피복상태, 지하수위 등의 영향으로 복잡한 변화를 나타냄.
- 잠재 증발산량(潛在蒸發散量, portential evapotranspiration: PET)은 증발산위(蒸發散位)라고도 하며 초장(草丈)이 짧은 식물로 완전히 덮은 지표면에 물의 공급이 충분한 경우에 손실되는 증발산량을 의미하며 주어진 기상, 지형의 조건 하에서의 증발산량의 최대값을 의미함.
- 또한 기준작물증발산량(reference evapotranspiration : ETr)은 충분한 물의 공급이 있을 경우에 기준작물(알팔파나 잔디)에 의하여 손실되는 증발산량을 말하며, 일반적으로 잠재 증발산량을 대신하여 사용됨.
- 작물의 실제증발산량(ET)과 잠재 증발산량(PET) 및 기준작물증발산량(ETr) 사이에는 다음 식과 같이 표현될 수 있음.

$$ET = K_c \times (PET \text{ or } ETr)$$

- 여기서  $K_c$ 는 주어진 작물의 작물계수(crop coefficient)라고 하며, 잠재 증발산량에 대한 실제증발산량의 비를 나타냄. 작물계수는 작물의 생장단계에 따라 변하여 초기에는 작으나 중기에 증가했다가 말기에 감소하는 경향이 있고 또한, 작물계수는 일반적으로 기온이 높거나 건조하고 바람이 있는 기후에서는 높고, 기온이 낮거나 습윤한 기후에서는 낮은 경향을 나타냄.
- 증발산량을 산정하는 방법에는 라이시미터법 (lysimeter method), 증발계법, 기상자료를 이용하는 Blaney-Criddle법, 수정 Penman법, Penman-Monteith법 등이 있는데 각 방법의 증발산량 산정 방법을 살펴보고자 함.

① 라이시미터법

- 라이시미터법은 많은 종류가 있는데, 증발산량 측정법으로서는 정확도가 높은 방법임. 측

정 지역 내에 토양 탱크를 매설하고, 작물을 심어 탱크 내의 물수지를 측정함으로써 직접 증발산량을 측정하는 방법임.

- 탱크는 작물의 크기나 식재 방법에 맞는 면적이나 형태를 갖는 것을 선택하고 작물의 생육이 가능한 주위와 같게 토양의 수분관리를 할 필요가 있으며 부유(floating)식과 저울(weighing)식이 있음.

② 증발계법 (증발산비법)

- 이방법은 잠재 증발산량이 증발계 증발량에 비례한다는 사실에 근거하여 증발산비(蒸發散比, pan coefficient)를 이용하여 증발산량을 산정하는 방법임.

$$PET = K_p E_p$$

여기서 PET : 잠재 증발산량(mm/d),  $K_p$ : 증발산비(팬계수),  $E_p$  : 증발계증발량(mm/d)

- 증발계로서는 소형증발계(지름 20cm, 깊이 10cm)와 대형증발계(지름 121cm, 깊이 25cm)가 이용되고. 조사지역의 증발계증발량의 자료가 입수되면 이것에 증발산비를 곱해서 기준 증발산량을 구할 수 있음.

③ Blaney-Criddle법

- 이 방법은 기온, 주간시간(daytime hour) 및 작물계수로부터 잠재 증발산량을 산정하는 것으로 다음과 같이 표현됨.

$$PET = kp(0.46t + 8.13)$$

여기서 PET : 잠재 증발산량(mm/d), k : 작물계수, p : 연 주간시간에 대한 월 주간시간의 백분율(%), t : 생육기별 평균기온(°C)

④ 수정 Penman법

- Penman법은 Penman이 열수지법과 공기역학적 방법인 Dalton법을 조합하여 제시한 것으로 습윤지대에서 기온, 습도, 일조시간, 증기압 및 풍속 등의 기상요소를 데이터로 이용하여 잠재 증발산량을 구하는 데 적합함.
- Penman식은 일평균 기상 데이터를 사용하는 것이지만, 주간과 야간의 기상상태가 매우 다른 지역에서는 그 차를 계산상 고려할 필요가 있으며 FAO의 보고서에서는 주간과 야간의 기상상태의 차이를 고려한 조정계수를 도입한 수정Penman식이 이용되고 있음.

$$PET = c \left[ \frac{\Delta}{\Delta + r} R_n + \frac{r}{\Delta + r} f(u_2)(e_{3a} - e_a) \right]$$

$$R_n + R_{ns} - R_{nl}$$

$$f(u_2) = 0.27 \left(1 + \frac{u_2}{100}\right)$$

여기서 PET : 잠재 증발산량(mm/d), c : 조정계수,  $\Delta$  : 온도~포화 증기압곡선의 기울기(mb/°C), r : 건습계정수(기온 15°C에서 0.66mb/°C),  $R_n$  : 순복사량(mm/d),  $f(u_2)$  : 풍속에 관계하는 함수,  $e_{sa}$  : 포화 수증기압(mb),  $e_a$  : 공기 중의 수증기압(mb),  $R_{ns}$  : 순단파 복사량(mm/d),  $R_{nl}$  : 순장파 복사량(mm/d),  $u_2$  : 지상 2m에서의 일평균풍속(km/d)

[표 3-3-3-1] 수정 Penman 법의 작물계수

시기	4월			5월			6월			7월			8월			9월
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상		
작물 계수	0.56	0.56	0.56	0.75	0.95	1.06	1.09	1.17	1.39	1.53	1.58	1.47	1.42	1.32		

⑤ Penman-Monteith법

- Penman-Monteith 식은 Penman 식에 공기역학적 저항(aerodynamic resistance)과 기공저항(氣孔抵抗, stomatal resistance) 혹은 군락저항(群落抵抗, canopy resistance)의 개념을 도입한 것으로 Penman 식과는 달리 다양한 식생 및 수분이 적은 곳에서도 적용할 수 있음.
- UN 국제식량농업기구(FAO)는 기존에 사용되던 20여 개의 증발산량 공식을 검증한 후, 가장 합리적이고 세계적으로 사용할 수 있는 공식으로 FAO Penman-Monteith 식을 제시하였음.

$$PET = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \frac{890rU_2(e_a - e_d)}{T + 273}}{\Delta + r(1 + 0.339U_2)}$$

여기서 PET : 잠재 증발산량(mm/d),  $\Delta$  : 포화 수증기압곡선 경사(kPa/°C), G : 토양열 유속밀도(soil heat flux density, MJ/m<sup>2</sup>/d),  $e_a$  : 포화 증기압(kPa),  $e_d$  : 식체증기압(kPa),  $e_a - e_d$  : 포화 증기압 결손량(kPa), T : 2m 높이에서의 일평균기온(°C)

- 작물계수  $K_C$ 는 대부분 작물의 종류 및 생육단계에 따라 다르고, 같은 작물의 경우에는 일반적으로 기후조건이나 위치에 대해서는 같으며 기준작물 알팔파에 대하여 일반적으로 0.2~1.2의 범위를 나타냄.
- Penman-Monteith 식을 이용하는 경우, 알팔파에 대한  $K_C$ 를 나타내는데, 이 값은 물 공급이 충분한 조건 하에서 주로 미국 캘리포니아주에서 재배된 작물로부터 산정된 값임.

[표 3-3-3-2] 생육단계별 작물계수

$K_C$ 값	생육단계	개요
$(K_C)_1$	초기(A-B)	평균값은 식재기로부터 10% 지표피복까지
$(K_C)_1$ 에서 $(K_C)_2$ 까지	생 장 기 (B-C)	10% 지표피복으로부터 70% 지표피복 혹은 최대의 물이용시까지. 과수의 경우에는 잎이 나오기 시작할 때부터 완전히 덮을 때까지
$(K_C)_2$	중기(C-D)	성장기 끝으로부터 작물노화로 인해 물이용이 줄어들 때까지
$(K_C)_2$ 에서 $(K_C)_3$ 까지	후기(D-E)	$K_C$ 가 줄어들기 시작하여 수확기 혹은 물이용이 중지될 때까지
$(K_C)_3$	수확기(E)	수확기 혹은 물이용이 중지될 때의 평균값

[표 3-3-3-3] Penman-Monteith 식에서의 작물계수

작물의 종류	$(K_C)_1$	$(K_C)_2$	$(K_C)_3$
알팔파	0.40~0.50	1.00~1.40	0.95~1.35
보 리	0.25~0.30	1.00~1.00	0.10~0.20
당 근	0.45~0.50	1.05	0.75
양배추	0.30~0.50	0.95~1.10	0.80~0.95
벼	1.10~1.15	1.10~1.30	0.20~0.25
밀	0.20~0.40	1.05~1.25	0.20~0.30

○ 이상의 증발산량 산정 방법들은 전통적으로 사용되는 방법들을 조사한 것이며, 이러한 방법들은 토대로 산정 인자의 변형 혹은 국내 실정에 맞게 개선, 산정 방법의 혼용, 위성자료를 이용한 증발산량 산정 등 다양한 연구가 수행되고 있음. 따라서 본 연구에서는 증발산량 산정에 관한 최근 연구동향을 조사하여 수요량 산정 알고리즘 개발의 기초자료로 사용하고자 함.

○ Thornthwaite 법

- 월평균기온을 이용하여 산정한 잠재증발산량을 구하고, 이를 해당 월의 일조시간을 이용하여 보정한 후 해당월의 보정된 잠재증발산량을 구하는 방법으로 한해의 월평균 기온을  $t_n$  °C (n=1~12월)라고 하고 월열지표 (Monthly heat index)를 j라고 함.

$$j = \left(\frac{t_n}{5}\right)^{1.514}$$

- 월평균 기온이  $t_n$  °C 인 임의의 월의 잠재증발산량 ( $PE_x$ )은 다음과 같다.

$$PE_x = Ct_n^a$$

$PE_x$  : 식물의 소비수량 혹은 잠재증발산량

$t_n$  : 월평균 기온

C : 위도에 따라 정해지는 상수(지역계수)

a : 연열지표를 사용하여 계산

$$a = (675 \times 10^{-9})J^3 - (771 \times 10^{-7})J^2 + (179 \times 10^{-4})J + 0.49239$$

-  $PE_x$ 는 1개월을 30일, 일조시간을 12시간으로 했을 때,  $PE_x = 1.62 \left(\frac{10t_n}{J}\right)^a \text{ cm/일}$

- 이때  $PE_x$ 는 월간 잠재증발산량의 이론치이므로 평균기온이  $t^\circ\text{C}$ 인 특정월에 대한 보정된 잠재증발산량(APE)을 다음과 같이 보정한다.

$$APE = PE_x \frac{D \cdot T}{30 \times 12}$$

D : 해당월의 일수

T : 해당월의 평균 일조시간

○ FAO Penman-Monteith 법 (ASCE, 2005)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d U_2)}$$

표준증발산량 ( $ET_0$ 의 단위) :  $\text{mmh}^{-1}$ ;

순 일사량  $R_n$ 과 토양 열 유동밀도  $G$  : 의 단위  $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$

$u_2$  : 2m 높이에서의 시간당 풍속 ( $\text{ms}^{-1}$ )

T : 높이 2m에서의 일 평균 대기온도( $^\circ\text{C}$ )

$e_s$  (포화증기압 (kPa))와  $e_a$  (실제증기압(kPa))

r : 건습두(습도계) 상수 ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ )

$\Delta$  : 증기압 곡선 기울기 ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ )

$C_n$  : 900=short crop surface, 1600=tall crop surface

$C_d$  : 0.34=short crop surface, 0.38=tall crop surface

○ Hargreaves 법 (1982)

$$ET = 0.0135(T+17.78)R_s$$

ET : 일 잠재증발산량(mm)

T : 평균온도 ( $^\circ\text{C}$ )

$R_s$  : 태양일사량(mm/일)

○ Malmstrom 법 (1969)

$$ET = 0.409 \times e_{sat}(T_a)$$

$$e_{sat}(T_a) = 6.11 \exp\left(\frac{17.3 T_a}{T_a + 237.3}\right)$$

$e_{sat}(T_a)$  : 포화증기압(mb)

ET : 월 잠재증발산량(mm)

$T_a$  : 평균온도( $^\circ\text{C}$ )

○ Irmak 법(2003)

$$ET = -0.611 + 0.149R_s + 0.079T_{mean}$$

ET : 일 잠재증발산량(mm)

$T_{mean}$  : 평균온도(°C)

$R_s$  : 태양입사량(mm/일)

○ Romanenko 법(1961)

$$ET = 0.0018(25 + T_a)^2(100 - Rh)$$

ET : 일 잠재증발산량(mm)

$T_{mean}$  : 평균온도

$R_s$  : 태양입사량

Rh : 상대습도(%)

○ Papadakis 법 (Winter & others, 1995)

$$ET = 5.625 * (e_s \max - (e_s \min - 2))$$

$$e_s(T) = 6.11 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)$$

ET : 잠재증발산량 (mm/일)

T : 온도(°C)

$e_s$  : 포화증기압(mbar)

○ Thornthwaite법은 온도만을 이용한 방법이지만 예비조사 등에 실제 활용이 가능하고 때로 Peman법에 의한 결과를 검증할 경우에 사용되기도 함. 그러나 이 방법은 본래 미국 동부의 기후조건에서 적용이 된 관계로 일부 기후조건에서는 적용에 주의를 할 필요가 있고 또한 온도만의 함수로 잠재증발산량을 산정하기에 수평류 효과(advection effect)로 인해 기온과 습도가 급변하는 조건에서는 적용상의 문제가 있다는 취약점이 있음.

○ 전세계적으로 공인된 Penman-Monteith법 역시 주로 식생이 활성화된 지역(active vegetation area)에 적용하기에 공절기 눈과 동결된 토양조건에서는 신뢰도가 다소 감소할 수 있음.

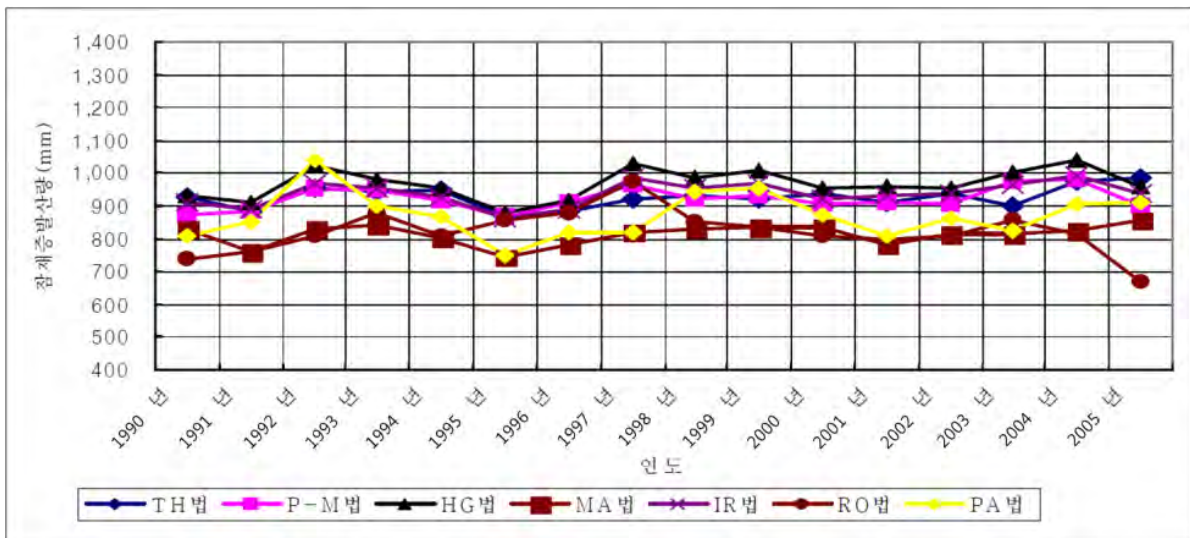
○ 그 외 Hargreaves법등 온도자료외에 태양의 에너지(일사량)자료, 상대습도등의 추가자료가 필요하나 태양의 일사량 자료등은 기존 연구자들에 의해 작성된 위도별, 지역별 데이터 테이블을 활용할 수 있으므로 개략적인 수문조사등에 활용이 가능하다고 판단됨.



[표 3-3-3-4] 평균 잠재증발산량 산정결과 비교

연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
TH	0.6	3.8	34.3	78.6	122.4	150.1	170.1	137.9	116.1	76.5	33.5	3.1	926.9
P-M	21.8	31.5	62.1	97.7	127.9	127.5	123.2	122.7	89.8	62.7	33.9	21.4	921.9
HG	22.3	22.3	59.7	94.8	129.9	134.1	1318	133.2	98.9	70.6	36.5	24.2	967.1
MA	19.9	236	35.5	57.3	82.4	109.3	1307	132.8	95.9	62.9	38.4	24.2	812.9
IR	15.0	305	64.3	96.1	123.4	125.0	1256	126.5	99.9	75.1	37.5	17.8	936.7
RO	24.4	320	54.4	90.0	112.2	110.2	901	93.3	79.1	65.7	43.2	27.0	871.6
PA	39.3	47.4	58.9	80.9	87.5	82.8	104.6	86.2	89.4	79.9	66.3	50.2	870.5

주) TH: Thornthwaite, P-M: Penman-Monteith, HG: Hargreaves  
 MA: Malmstrom, IR: Irmak, RO: Romanenko, PA: Papadakis



[그림 3-3-3-2] 잠재증발산량 비교

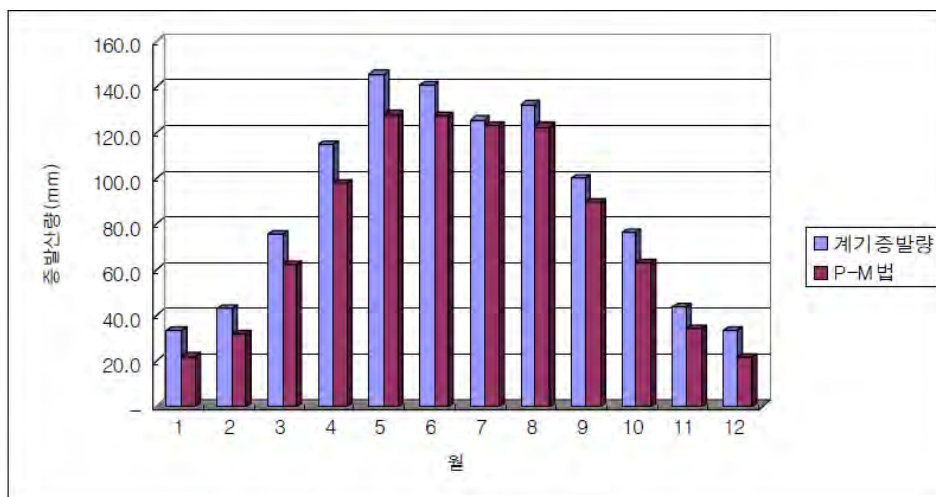
- Romanenko법에 의한 잠재증발산량(1984년 이후)을 제외하면 모두 거의 유사한 잠재증발산량의 값과 양상을 보여주고 있음.
- Penman-Monteith법은 FAO가 정한 유일한 표준방법이므로 방법에 의한 잠재증발산량을 기준으로 이를 제외한 다른 산정법에 의한 잠재증발산량 값을 비교해 보고자 함.

[표 3-3-3-5] P-M법 대비 기타선정법 비교

연도	TH법	P-M법	HG법	MA법	IR법	RO법	PA법
1990	928.4	874.6	930.3	932.2	908.8	738.1	809.4
1991	884.6	882.0	910.7	761.0	889.3	758.6	849.5
1992	952.6	956.2	1021.9	828.5	972.4	806.5	1038.4
1993	942.2	950.0	979.6	840.2	952.6	878.4	900.2
1994	945.7	913.9	953.0	804.5	927.5	807.0	867.3
1995	866.1	869.1	876.8	744.5	863.3	856.2	748.9
1996	886.5	911.0	916.6	782.6	887.0	878.3	818.7
1997	921.6	966.4	1027.6	818.5	987.2	975.3	816.8
1998	932.8	922.8	987.2	830.3	951.6	852.3	941.2
1999	320.3	933.0	1005.8	833.1	970.0	838.0	951.8
2000	940.1	903.1	954.9	836.9	923.2	808.4	875.2
2001	909.2	911.5	957.2	793.3	930.0	798.4	807.2
2002	935.2	903.6	953.4	812.2	936.0	807.4	864.8
2003	902.6	974.0	999.7	814.3	962.2	858.4	824.8
2004	977.9	979.2	1037.6	827.1	992.9	815.7	904.2
2005	983.8	900.7	961.8	857.3	935.8	667.9	909.9
16년 평균	926.9	921.9	967.1	812.9	936.7	821.6	870.5
대비율	1.005	1.000	1.049	088.2	1.016	0.891	0.944

※ 대비율 =  $\frac{\text{타산정법결과(평균)}}{\text{P-M법결과(평균)}}$

- 위의 결과를 보면 TH법에 의한 결과(평균)가 가장 P-M법에 의한 결과와 가장 유사하며 그 다음은 IR법, HG법, PA법, RO법, MA법의 순으로 유사한 것으로 나타났음.
- 이 중 TH법과 IR법 그리고 HG법은 P-M법 보다 다소 상회하는 결과를 보였고, 나머지는 다소 작은 값을 보여주고 있음.



[그림 3-3-3-3] Penman-Monteith 증발산량과 계기증발량의 관계 (16년치 평균)

[표 3-3-3-6] 월 평균 Pan 계수

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
계기증발량	33.3	42.8	75.3	115.2	145.7	141.2	125.7	132.3	100.1	76.1	43.5	33.4
P-M법	21.8	31.5	62.1	97.7	127.9	127.5	123.2	122.7	89.8	62.7	33.9	21.4
pan계수	0.65	0.74	0.82	0.85	0.88	0.90	0.98	0.93	0.90	0.82	0.78	0.64

[표 3-3-3-7] 금강유역 pan 계수 비교

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
$k_1$	0.67	0.67	0.75	0.75	1	0.71	0.89	0.89	0.83	0.80	0.80	0.75
$k_2$	0.60	0.70	0.75	0.90	0.90	0.90	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.60
$k_3$	0.68	0.74	0.82	0.85	0.88	0.90	0.98	0.93	0.90	0.82	0.78	0.64

※  $k_1$  : 고영배(1989),  $k_2$  : 김태철, 안병기(1981),  $k_3$  : 금회 청주기상대 자료

- 이는 청주기상대 기상자료를 이용한 결과에 국한되지만 다른 기상대 자료 역시 장기간의 자료를 분석해 보면 일정한 양상의 대비가 이루어 질 수 있을 것으로 판단되며 이러한 관계식을 이용하면 Penman-Monteith법을 대안으로 활용이 가능할 것으로 사료됨.
- 제한된 기상자료로 인해 Penman-Monteith법의 적용이 어려울 경우 전술한 몇가지 경험식이나 계기증발량을 이용하여 잠재증발산량 산정이 가능하리라 판단되며, 경험식의 한계인 절밀도와 산정 결과가 조사유역 특성적이라는 단점은 장기간의 많은 자료를 활용한 결과의 산정과 검증된 많은 잠재증발산량 산정법들과의 비교가 필수적임.

## (2) 수요량 산정 알고리즘 개발

- 앞서 언급하였듯이 작물의 소비수량은 증발산량을 의미하여 농촌용수의 관리 및 계획에 가장 큰 영향을 미치는 인자임.
- 기존의 증발산량 산정 방법을 조사 및 비교하고 최근 연구 동향을 분석한 결과, FAO에서 기준으로 마련한 Penman-Monteith Equation (FAO 56)을 이용하여 증발산량 산정 알고리즘을 개발하고자 함.
- Penman-Monteith Equation (FAO 56)은 다양한 기상인자를 입력값으로 사용하게 되는데 우리나라의 실정에 맞게 즉, 기상청에서 제공하는 기상인자를 적절하게 가공 및 사용하고 자 함.
- 또한, 작물의 생육시기별 작물계수에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔지만 우리나라 실정에 적합한 작물계수에 대한 연구는 미비한 실정이며, 과거에 산정되었던 작물계수 값을 그대로 사용하고 있는 실정임.
- 작물의 생육시기별로 증발산량이 크게 차이를 나타내는 것은 자명한 사실이므로, 옆면적

지수 (LAI: Leaf Area Index)를 활용하여 생육시기에 따른 작물의 활력도를 고려할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 함.

○ Penman-Monteith Equation (FAO 56)의 일단위 잠재증발산량의 산정식과 자세한 산정 과정은 다음과 같음.

○ Penman-Monteith Equation (FAO 56) 산정식

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + r \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34u_2)}$$

- $ET_0$  reference evapotranspiration [ $mm\ day^{-1}$ ],
- $R_n$  net radiation at the crop surface [ $MJm^{-2}day^{-1}$ ],
- G soil heat flux density [ $MJm^{-2}day^{-1}$ ],
- T air temperature at 2 m height [ $^{\circ}C$ ],
- $u_2$  wind speed at 2 m height [ $ms^{-1}$ ],
- $e_s$  saturation vapour pressure [ $kPa$ ],
- $e_a$  actual vapour pressure [ $kPa$ ],
- $e_s - e_a$  saturation vapour pressure deficit [ $kPa$ ],
- $\Delta$  slope vapour pressure curve [ $kPa^{\circ}C^{-1}$ ],
- $\gamma$  psychrometric constant [ $kPa^{\circ}C^{-1}$ ],

① Parameters

○ Conversion of wind speed

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$$

- $u_2$  wind speed at 2 m above ground surface [ $ms^{-1}$ ],
- $u_z$  measured wind speed at z m above ground surface [ $ms^{-1}$ ],
- z height of measurement above ground surface [ $m$ ].

uz 에는 zm에서 측정된 풍속 대입  
계산된 u2는 2m높이에서 측정된 것으로 환산된 풍속(m/sec)

○ Atmospheric pressure(P)

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26}$$

- P atmospheric pressure [ $kPa$ ],
- z elavation above sea level [ $m$ ],

기상월보상의 평균해면기압은 hPa 이므로 0.1을 곱하여 kPa로 바꾸어 사용

○ Air temperature

$$T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

○ Slope of saturation vapour pressure curve ( $\Delta$ )

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right) \right]}{(T+237.3)^2}$$

$\Delta$  slope of saturation vapour pressure curve at air temperature T [ $kPa^{\circ}C^{-1}$ ],  
 T air temperature [ $^{\circ}C$ ],  
 exp[.] 2.7183(base of natural logarithm)raised to the power[.].

○ Psychrometric constant ( $\gamma$ )

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} P$$

$\gamma$  psychrometric constant [ $kPa^{\circ}C^{-1}$ ],  
 P atmospheric pressure [ $kPa$ ],  
 $\lambda$  latent heat of vaporization, 2.45 [ $MJkg^{-1}$ ],  
 $c_p$  specific heat at constant pressure,  $1.013 \times 10^{-3}$  [ $MJkg^{-1}^{\circ}C^{-1}$ ],  
 $\epsilon$  ratio molecular weight of water vapour/dry air=0.622.

P : 기상월보의 평균해면기압을 사용

- 지금까지 계산된 매개변수를 대입하기 위하여 다음을 계산할 수 있음.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

$$A = \Delta / (\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2))$$

$$B = \gamma / (\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2))$$

$$C = 900 / (T_{mean} + 273) u_2$$

$$ET_o = 4.08 A (R_n - G) + B \cdot C (e_s - e_a)$$

② Vapour pressure deficit

○ mean saturation vapour pressure(  $e_s$  )

$$e^{\circ}(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27T}{T+237.3}\right]$$

$e^{\circ}(T)$           saturation vapour pressure at the air temperature T [kPa],  
 T                  air temperature [°C],  
 exp[.]          2.7183(base of natural logarithm) raised to the power[.].

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2}$$

○ Actual vapour pressure(  $e_a$  ) derived from relative humidity data

- RHmax, RHmin 자료가 있는 경우

$$e_a = \frac{e^{\circ}(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e^{\circ}(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2}$$

$e_a$                   actual vapour pressure[kPa],  
 $e^{\circ}(T_{\min})$         saturation vapour pressure at daily minimum temperature[kPa],  
 $e^{\circ}(T_{\max})$         saturation vapour pressure at daily maximum temperature[kPa],  
 $RH_{\max}$             maximum relative humidity[%],  
 $RH_{\min}$             maximum relative humidity[%].

- RHmax 자료만 있는 경우

$$e_a = e^{\circ}(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100}$$

- RHmean 자료만 있는 경우

$$e_a = \frac{RH_{\text{mean}}}{100} \left[ \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2} \right]$$

- 기상월보에는 평균상대습도, 최소상대습도 자료가 있으므로 식19를 적용

○ Vapour pressure deficit (  $e_s - e_a$  )

$$D = e_s - e_a$$

$$ET_o = 4.08 A ( R_n - G ) + B \cdot C \cdot D$$

③ Radiation

○ Extraterrestrial radiation for daily periods(  $R_a$  )

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{SC} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)]$$

- $R_a$  extraterrestrial radiation [ $\text{MJ } m^{-2} \text{day}^{-1}$ ],
- $G_{SC}$  solar constant =  $0.0820 \text{ MJ } m^{-2} \text{min}^{-1}$ ,
- $d_r$  inverse relative distance Earth-Sun (Equation 23),
- $\omega_s$  sunset hour angle) Equation 25 or 26) [rad],
- $\varphi$  latitude [red] (Equation 22),
- $\delta$  solar declination (Equation 24) [red].

- $\phi$  latitude [rad]는 식22와 같이 계산하며 남반부의 latitude는 음(-)의 값이고, 위도가 dms로 되어 있으면 decimal degree로 변환하여 대입

$$[Radians] = \frac{\pi}{180} [decimal \text{ degrees}]$$

- The inverse relative distance Earth-Sun (  $d_r$  ), and the solar declination (  $\delta$  )

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right)$$

- 여기서 J는 당해연도의 1월1일부터의 날짜수가 된다. J를 계산하는 방법은 다음과 같음.

2월까지의 다음식으로 계산

$$J = \text{INTEGER}(275M/9 - 30 + D) - 2 + 2 = \text{INTEGER}(275M/9 - 30 + D)$$

3월 부터는

$$\text{윤년일 아닐 경우 } J = \text{INTEGER}(275M/9 - 30 + D) - 2$$

$$\text{윤년일 경우 } J = \text{INTEGER}(275M/9 - 30 + D) - 2 + 1 = \text{INTEGER}(275M/9 - 30 + D) - 1$$

- The sunset hour angle (  $\omega_s$  )

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)]$$

- 만일 프로그래밍 툴이 arccos를 계산하지 못한다면 식26, 식27을 적용

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan \left[ \frac{-\tan(\varphi)\tan(\delta)}{X^{0.5}} \right]$$

$$X = 1 - [\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2$$

and  $X = 0.00001$  if  $X \leq 0$

○ Solar radiation (  $R_s$  )

- 기상월보의 수평면일사량에 해당한다. 만일 측정값이 없으면 Angstrom 공식을 사용

$$R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$$

$R_s$  solar or shortwave radiation [ $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ],

$n$  actual duration of sunshine [hour],

$N$  maximum possible duration of sunshine or daylight hours [hour],

$n/N$  relative sunshine duration [-]

$R_a$  extraterrestrial radiation [ $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ],

$a_s$  regression constant, expressing the fraction of extraterrestrial radiation reaching the earth on overcast days ( $n=0$ ),

$a_s + b_s$  fraction of extraterrestrial radiation reaching the earth on clear days ( $n=N$ ).

- 여기서 Angstrom value인  $a_s, b_s$ 는  $a_s = 0.25$ ,  $b_s = 0.5$  를 추천함

-  $N$ 은 Daylight hour(최대가능 일조시간)로 식34에 의해 산정

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

○ Clear-sky solar radiation (  $R_{so}$  )

- when calibrated values for  $a_s$  and  $b_s$  are not available

$$R_{so} = (0.75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a$$

$z$  station elevation above sea level [m].

○ Net solar or net shortwave radiation(  $R_{ns}$  )

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$$

$R_{ns}$  net solar or shortwave radiation [ $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ],

$\alpha$  albedo or canopy reflection coefficient, which is 0.23 for the hypothetical grass reference crop [dimensionless],

$R_s$  the incoming solar radiation [ $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ].



○ Net longwave radiation (  $R_{nl}$  )

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left( 1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right)$$

$R_{nl}$  net outgoing longwave radiation [ $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ],

$\sigma$  Stefan-Boltzmann constant [ $4.903 \cdot 10^{-9} \text{MJ K}^{-4} \text{m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ],

$T_{\max,K}$  maximum absolute temperature during the 24-hour period [ $\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.16$ ],

$T_{\min,K}$  minimum absolute temperature during the 24-hour period [ $\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.16$ ],

$e_a$  actual vapour pressure [kPa],

$R_s/R_{so}$  relative shortwave radiation (limited to  $\leq 1.0$ ),

$R_s$  measured or calculated (Equation 35) solar radiation [ $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ],

$R_{so}$  calculated (Equation 36 or 37) clear-sky radiation [ $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ].

○ Net radiation (  $R_n$  )

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

○ Soil heat Flux (  $G$  )

$$G = c_s \frac{T_i + T_{i-1}}{\Delta t} \Delta z$$

$G$  soil heat flux [ $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ],

$c_s$  soil heat capacity [ $\text{MJ m}^{-3}\text{C}^{-1}$ ],

$T_i$  air temperature at time  $i$  [ $^\circ\text{C}$ ],

$T_{i-1}$  air temperature at time  $i-1$  [ $^\circ\text{C}$ ],

$\Delta t$  length of time interval [day],

$\Delta z$  effective soil depth [m].

- day and ten-day periodes ;

$$G_{\text{day}} \approx 0$$

○ 위 계산결과를 이용하여  $0.408 \times (R_n - G)$  를 계산

$$E = 0.408 \times (R_n - G)$$

○ E를 이용하여 증발산량 산정

$$ET_o = A \cdot E + B \cdot C \cdot D$$

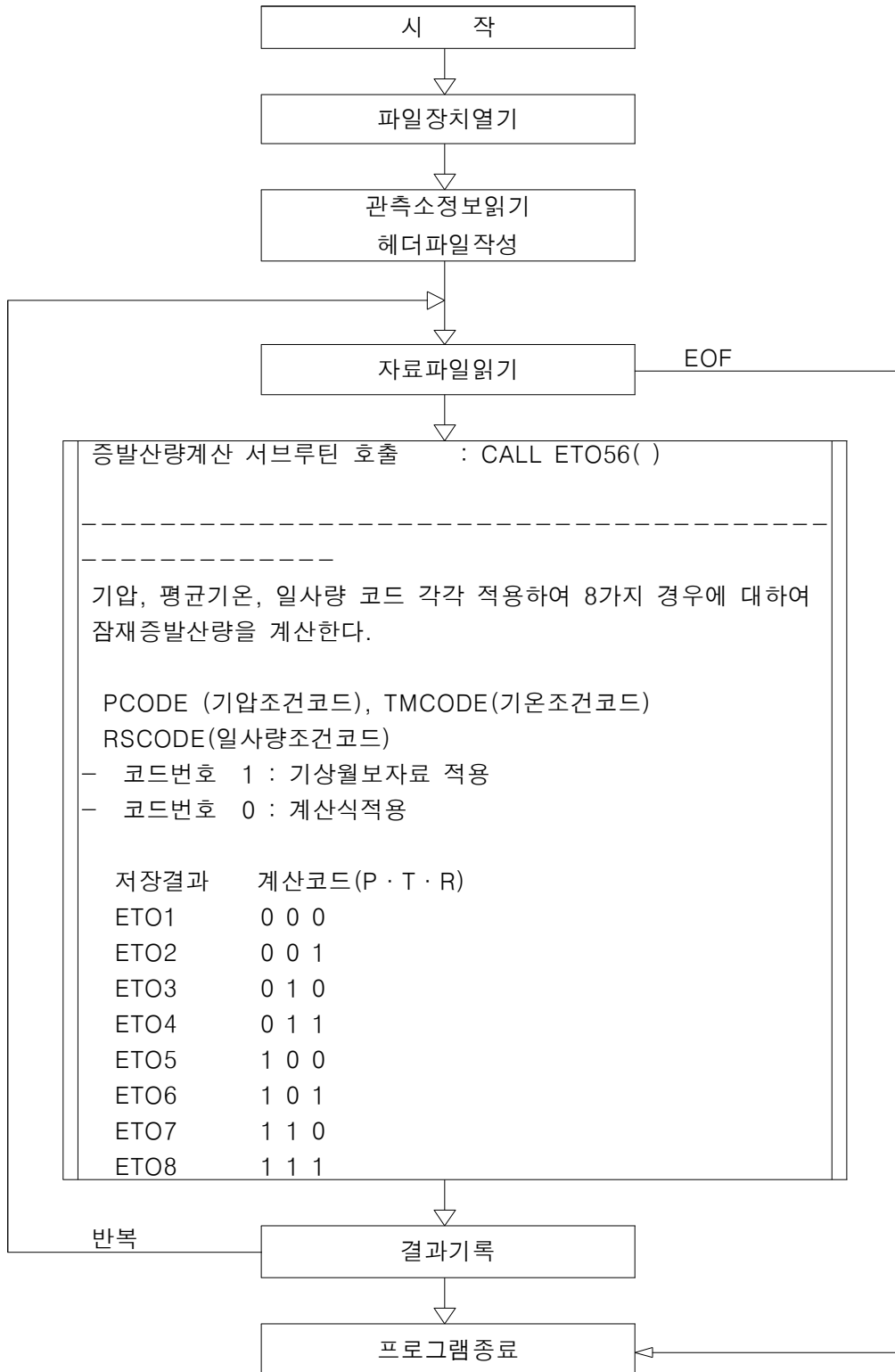
- Penman-Monteith Equation (FAO 56)을 이용하여 증발산량을 산정하는 과정과 기상청에서 제공하는 기상자료를 이용하는 방법에 대하여 살펴보았고, 전문 지식이 없는 사용자도 복잡한 계산 과정을 손쉽게 처리할 수 있도록 엑셀 프로그램으로 계산 과정을 나열하였음.

○ FAO 56 Penman-Monteith Method (Daily time step)

기상월보 데이터파일로부터 읽어올 수 있는 자료				계 산 과 정	E열
날짜	YYYY	1999		1999	E6
	MM	06		06	E7
	DD	10		10	E8
평균해면기압	P	1012.0	hPa	1012.0	E9
평균기온	T_mean	22.9	℃	22.9	E10
최고기온	T_max	28.4	℃	28.4	E11
최저기온	T_min	18.5	℃	18.5	E12
평균상대습도	RH_mean	69	%	69	E13
평균풍속	u_mean	1.8	m/sec	1.8	E14
일조시간	n	10.8	hr	10.8	E15
수평면일사량	Rs	22.97	MJ/m <sup>2</sup> ·day	22.97	E16
					E17
변수 초기값이 정의되어야 하는 변수					E18
관측소의 위치(위도)	lat	37.27	Dec. Deg.	37+16/60	E19
풍속계의 지상높이	z1	14.7	m	14.7	E20
기압계의 해발높이	z2	34.8	m	34.8	E21
관측소노장의 해발높이	z3	33.6	m	33.6	E22
					E23
계산에의한 값들					E24
<b>1. Parameters</b>					E25
① Conversion of wind speed	u2	1.270627	m/sec	$E14 * (4.87 / (\ln(67.8 * E20 - 5.42)))$	E26
② Atmospheric pressure					E27
계산식 :	P1	100.8893	kPa	$101.3 * ((293 - 0.0065 * E21) / 293)^{5.26}$	E28
기상월보 :	P2	101.2	kPa	E9/10	E29
③ Air temperature					E30
계산식 :	TM1	23.45	℃	$(E11 + E12) / 2$	E31
기상월보 :	TM2	22.9	℃	E10	E32
④ Slope of saturation vapor pressure curve					E33
나누어계산하기 1 :	a	260.75		$E31 + 237.3$	E34
나누어계산하기 2 :	b	4.726292		$\text{EXP}((17.27 * E31) / E34)$	E35
	Δ	0.173997	kPa/℃	$(4098 * 0.6108 * E35) / E34^2$	E36
⑤ Psychrometric constant ( r )					E37
잠재증발열 :	λ	2.45	MJ/kg	2.45	E38
일정압력에서의 비열 :	cp	0.001013	MJ/kg·℃	$1.013 * 10^{-3}$	E39
수증기와 건조공기의 분자량 비율 :	ε	0.622		0.622	E40
	r	0.067065	kPa/℃	$(E39 * E28) / (E40 * E38)$	E41
※ 요약	A	0.644349		$E36 / (E36 + E41 * (1 + 0.34 * E26))$	E42
	B	0.248357		$E41 / (E36 + E41 * (1 + 0.34 * E26))$	E43
	C	3.857528		$900 * E26 / (E31 + 273)$	E44
					E45

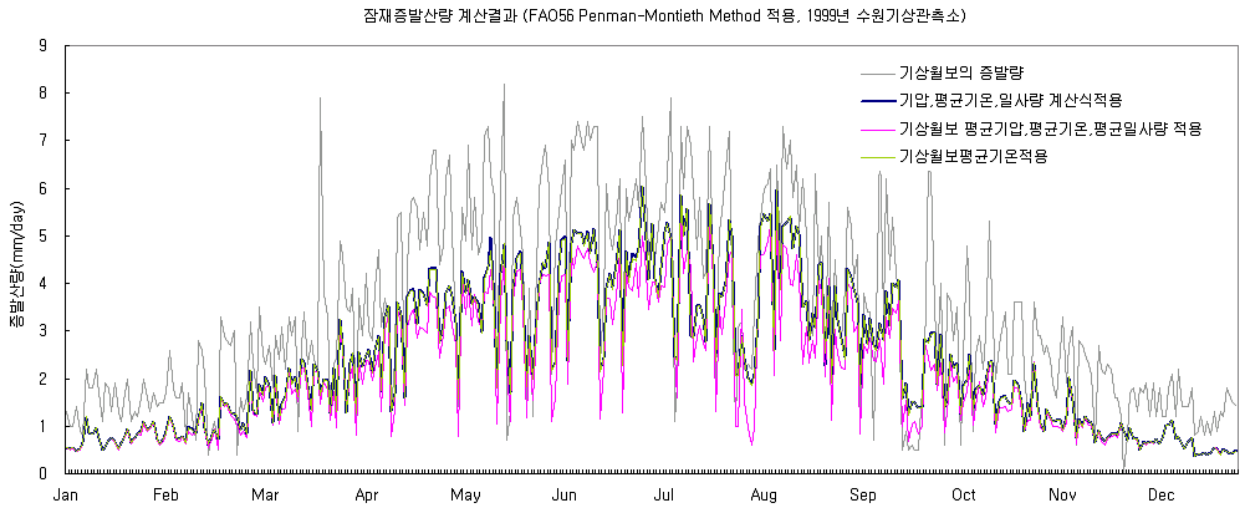
<b>2. Vapour pressure deficit</b>					E46
① mean saturation vapour pressure (es)					E47
	e <sup>0</sup> _max	3.868864	kPa	0.6108*EXP((17.27*E11)/(E11+237.3))	E48
	e <sup>0</sup> _min	2.129777	kPa	0.6108*EXP((17.27*E12)/(E12+237.3))	E49
	es	2.999321	kPa	(E48+E49)/2	E50
② Actual vapour pressure (ea)					E51
for RH_mean	ea	2.069531	kPa	E50*E13/100	E52
* Vapour pressure deficit (es-ea)	<b>D</b>	0.929789	kPa	E50-E52	E53
					E54
<b>3. Radiation</b>					E55
① Extraterrestrial radiation (Ra)					E56
radians :	rad	0.650426		PI()/180*E19	E57
number of day in the year :	J	161		INT(275*E7/9-30+E8)-2	E58
inverse relative distance Earth-Sun :	dr	0.969234		1+0.033*COS(2*PI()*E58/365)	E59
solar declination :	δ	0.401693		0.409*SIN(2*PI()*E58/365-1.39)	E60
sunset hour angle :	ωs	1.899919		ACOS(-TAN(E57)*TAN(E60))	E61
solar constant :	Gsc	0.082	MJ/m <sup>2</sup> ·min	0.082	E62
나누어계산하기 :	Ra_t	1.142963		E61*SIN(E57)+SIN(E60)+COS(E57)*COS(E60)*SIN(E61)	E63
	Ra	41.63777	MJ/m <sup>2</sup> ·day	(24*60)/PI()*E63	E64
② Solar radiation (Rs)					E65
기상월보 :	Rs1	22.97	MJ/m <sup>2</sup> ·day	E16	E66
계산식 :					E67
Daylight hours :	N	14.51431	hr	24/PI()*E61	E68
actual duration of sunshine (기상월보) :	n	10.8	hr	E15	E69
Angstrom value :	as	0.25		0.25	E70
Angstrom value :	bs	0.50		0.50	E71
	Rs2	25.90063	MJ/m <sup>2</sup> ·day	(E70+E71)*(E69/E68)*E64	E72
③ Clear-sky solar radiation (Rso)	Rso	31.25631	MJ/m <sup>2</sup> ·day	(0.75+0.00002*E22)*E64	E73
④ Net solar or net shortwave radiation(Rns)					E74
Albedo :	α	0.23		0.23	E75
	Rns	19.94349	MJ/m <sup>2</sup> ·day	(1-E75)*E72	E76
⑤ Net longwave radiation(Rnl)					E77
Stefan-Boltzmann constant :	σ	4.903E-09	MJ/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> ·day	4.903*10 <sup>-9</sup>	E78
T_max K :	tmk	301.56		E11+273.16	E79
T_min K :	tmk	291.66		E12+273.16	E80
Rs/Rso :	rrs	0.82865		E72/E73	E81
나누어계산하기 1 :	a	38.01283		E78*((E79 <sup>4</sup> +E80 <sup>4</sup> )/2)	E82
나누어계산하기 2 :	b	0.13860		(0.34-0.14*SQRT(E52))	E83
나누어계산하기 3 :	c	0.76868		(1.35*E81-0.35)	E84
	Rnl	4.04980	MJ/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> ·day	E82*E83*E84	E85
⑥ Net radiation (Rn)	Rn	15.89369	MJ/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> ·day	E76-E85	E86
⑦ Soil heat Flux (G)	G	0		0	E87
					E88
* 0.408(Rn - G)	<b>E</b>	6.48463		0.408*(E86-E87)	E89
					E90
<b>잠재증발산량</b>	<b>ETo</b>	<b>5.06914</b>	<b>mm/day</b>	<b>E42*E89+E43*E44*E53</b>	<b>E91</b>

- Penman-Monteith Equation (FAO 56)의 계산과정을 Fortran 90 프로그램을 이용하여 자동화 알고리즘을 구축하였음. 다음은 알고리즘 구축을 위한 프로그램 순서도를 나타내고 있음.

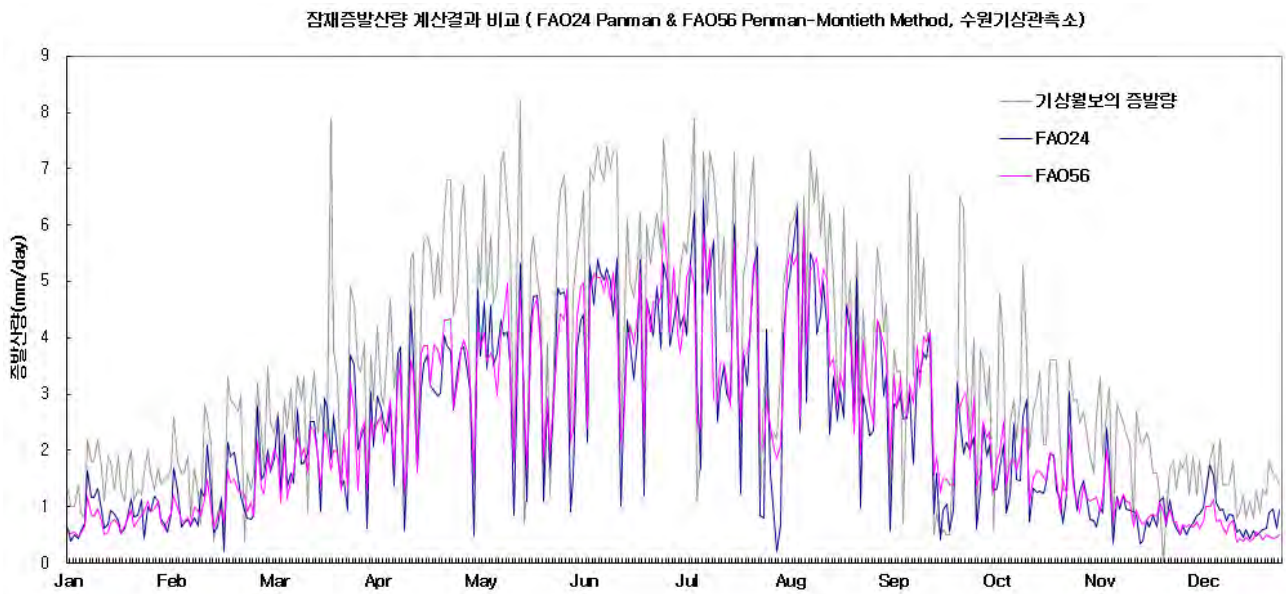


[그림 3-3-3-4] Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘 순서도

- 개발된 Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘을 이용하여 수원기상관측소의 기상자료로서 증발산량을 산정하였고, FAO 24 방법과 기상월보의 증발량과 비교하였음.



(a) 입력 조건에 따른 증발산량



(b) 증발산량 비교

[그림 3-3-3-5] 증발산량 산정 결과 및 비교

## 나. 농촌용수 공급량 산정 알고리즘 개발

### (1) 기존의 공급량 산정방법 조사 및 분석

- 공급량은 작물이 소비하는 증발산량 즉 순용수량과 손실수량의 합인 조용수량을 의미하는데 정확한 공급량을 산정하기 위해서는 작부시기 및 손실수량의 산정이 우선되어야 함.

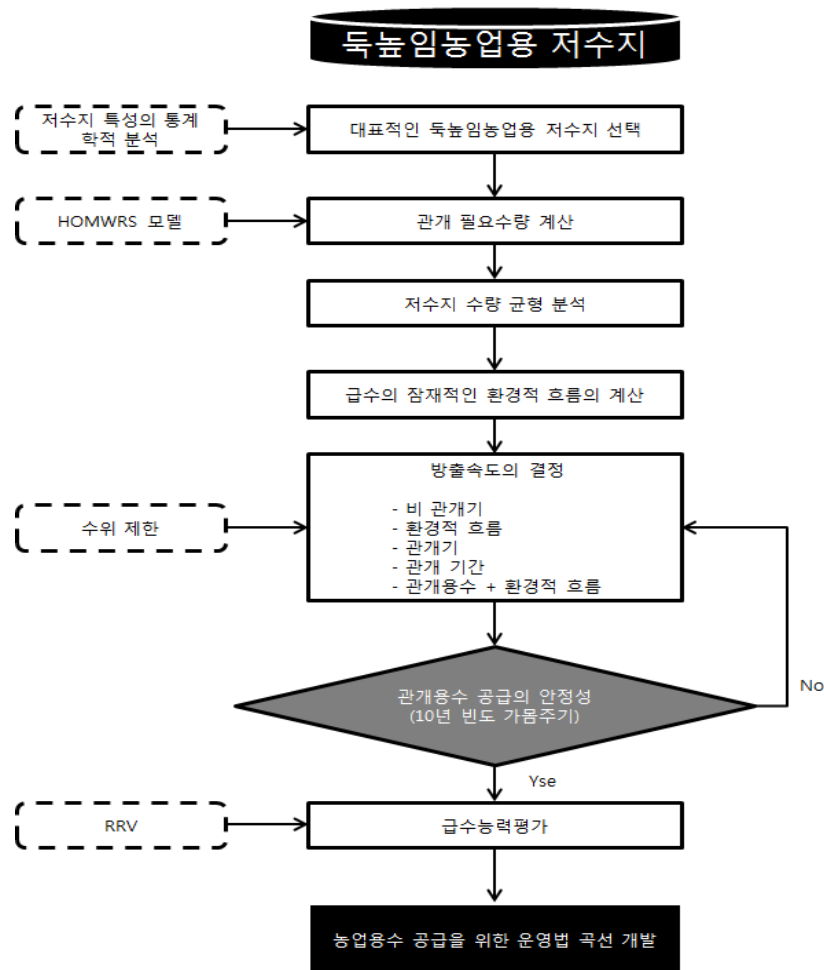
- 우리나라는 5,000년 전부터 벼 재배를 해오고 있으며 사회적, 기술적인 요인에 의하여 재배기술이 변화해 왔는데, 1970년 이전에는 농촌의 풍부한 노동력에 의하여 대부분 손이앙 재배를 실시하였으나, 사회가 도시화, 상업화되면서 기계에 의한 이앙이 확대되었고 최근에는 다양한 직파재배기술이 개발되어 차츰 그 재배면적을 늘려가고 있는 추세임.
- 이러한 영농환경의 변화는 벼의 작부시기에 많은 영향을 주었는데 이앙시기는 앞당겨졌으며 이앙기간은 짧아지고 있는 추세임.(호남농업시험장, 2001)
- 농업용수개발 필요수량 산정기준에 의하면 이앙재배의 경우 작부시기를 묘대기, 이앙기, 본답기로 나누어 지방별로 적용시기를 정하였는데 중부지방의 경우 묘대기 4월 17일 ~ 5월 31일, 이앙기 5월 21일 ~ 6월 10일, 본답기 6월 11일 ~ 9월 11일로 정하였음.(농업진흥공사, 1980)
- 김과 김(1984)은 논벼의 최대용수시기와 순단위용수량의 결정 연구를 통해 87ha이하면 6 ~ 8일, 87 ~ 136ha이면 8 ~ 10일, 136 ~ 656ha이면 10일, 656 ~ 870ha이면 10 ~ 12일, 870ha이상이면 12 ~ 14일인 것으로 조사되었음.
- 농업생산기반정비사업계획설계기준 관계편(농림부, 1998)에 의하면 관개면적 크기를 기준으로 50ha 이하이면 5일, 50ha ~ 100ha이면 10일, 100ha 이상이면 15일을 취하도록 제시하고 있음.
- 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구(농림부, 농어촌진흥공사, 1997)에서는 직파재배의 경우 작부시기를 파종기와 본답기로 나누었는데 중부지방 담수직파의 경우 파종기는 5월 1일 ~ 5월 31일, 건답직파의 경우 파종기는 4월 20일 ~ 5월 20일로 정하였음.
- 농촌용수수요량조사 종합보고서(농림부, 농어촌진흥공사, 1999)에 의하면 이앙일수는 벼의 재배체계, 씨레질 또는 이앙을 위한 작업의 능력 등에 따라 정하며 일반적으로 15 ~ 20일 정도인 것으로 발표한 바 있음.
- 호남지역 벼 재배요령(호남농업시험장, 2001)과 농업기술센터의 새해영농설계교육교재 등에는 각 지역별, 품종별 벼 기계모내기의 적기를 추천하고 있는데 적정 모내기 기간은 중만생종의 경우 중부(수원)는 5월 10일 ~ 5월 25일, 중남부(대전)는 5월 10일 ~ 5월 25일, 남부(익산, 대구)는 5월 5일 ~ 5월 30일, 극남부(광주, 진주)는 5월 1일 ~ 6월 5일임.
- 고품질 쌀생산과 품질관리(농촌진흥청, 2002)에서는 전국을 11개의 권역으로 나누어 각 권역별 이앙적기 및 품종별 최적 이앙시기를 제시하고 있음.
- 농촌용수공급체계재편계획종합보고서(농림부, 농업기반공사, 2003)에서는 농업기반공사 관할 관개지구에서 조사한 최근 3년간의 이앙기간자료를 이용하여 우리나라를 중부와 남부로 나누어 이앙시기를 재조정하여 제시하고 있음.

- 농업용수는 일반적으로 관개용수로 통하여 포장에 공급되게 되며 이 과정에서 용수의 일부분은 수로내의 송수손실과 수문조작이나 물꼬관리 등에 의한 배분관리손실이 발생함.
- 2002년말 현재 농업용수로의 구조물화 비율은 39.1%로 아직 흙수로가 대부분을 차지하고 있으며 , 이러한 시설관리손실량은 전체 용수공급량에서 차지하는 비율이 많을 것으로 추정되고 있으나 정량적으로측정한 자료가 부족한 실정임.
- 따라서 우리나라에서는 외국의 자료에 근거하여 제시된 시설관리손실률로 약 15 ~ 20%를 적용하고 있는 실정임.(농림부, 1998)
- 국외의 경우 Hopson(1913)은 저수지와 수로에서의 손실에 대한 조사를 통해 시설관리손실이 40 ~ 50%가 된다고 보고하였으며 Parshall(1929)은 수면에서의 증발손실에 대한 내용을 발표하였음.
- Vedernikov(1937)는 직선단면 수로에서 침투에 대하여 해석을 시도하였고 Hendricks(1954)는 서남부 Louisiana지역을 대상으로 조사한결과 수로손실률이 35%에 이른다고 발표하였음.
- Robinson 등(1957)과 Teele(1957)는 수로손실률이 각각 40, 30%에 해당된다고 조사한 결과를 발표하였고, Bouwer(1959), Morel(1964), Verma 등(1971), Hunt(1972) 등은 수로 침투손실 및 이에 관한 이론을 발표하였음.
- Abiodun(1973)은 수로내에서 비탈면이 급할수록 단위수로폭당 침투량이 증가한다고 발표하였으며 Subramanya 등(1973)은 수로저폭과 수심의 비가 9:1 정도의 얇은 수로는 바닥라이닝이 50%의 침투량을 감소시켰으나 수심이 깊어질수록 비탈면라이닝이 더욱 효과적으로 침투를 방지한다고 발표하였음.
- 국내의 경우 김 등(1972)은 수원근교의 왕송저수지지구에서 웨어, 플룸 등 구조물에 의하여 측정된 결과 간선수로 9.6%, 지선수로 15.6%, 지거 12.3%의 송수손실이 발생한다고 조사되었으며 정 등(1973)은 흙수로 내에서 발생하는 송수손실을 실험실에서 모형단면과 모형수로를 사용하여 실험을 실시한 바 있음.
- 농업진흥공사(1978 ~ 1979)는 농조수리구조물 조사사업을 통해 전국 17개 농조 26개 지구의 43개 수로에 대하여 유입유출량법과 저류법에 의하여 수로내의 손실과 침투에 의한 수로손실을 측정하였음.
- 유입 유출량법에 의한 수로손실량은 전국 평균  $1.938 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ 이었고, 저류법에 의한 침투손실량은 전국 평균  $1.680 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ 이었고 이에 의해 구한 관리손실량은  $1.770 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ 로 산출되었음.



- 이 자료에 의하면 수로내 침투로 인한 손실은 7.5%에 해당되며 전체손실은 관리손실에 의해 대부분 발생하는 것으로 조사되었음.
- 박(1981)은 1979년 9월부터 1980년 9월 사이 전국 77개소의 농지개량조합 구역의 흙수로에서 토질별 침투량 변화를 저류법에 의한 침투량 측정방법으로 조사 분석한 바 있음.
- 구 등(1982)은 전북의 경지정리지구(공사지구, 성덕지구)에 있어서 수로손실률을 조사한 결과 공사 지구의 경우 간선 8.5%, 지선 37.3%, 지거 9.8%이었으며 성덕지구의 경우 간선 15.1%, 지선 32.7%, 지거 13.8%로 측정되었음.
- 주(1985)는 경기도 남부일원에서 간선수로 21.3% , 지선수로 31.2%, 지거수로 7.0%의 수로 손실이 발생하는 것으로 조사하였으며 토공수로의 수초상태와 조도계수를 조사하여 그 결과를 비교 분석하고 이들이 통수에 미치는 영향을 고찰한 바 있음.
- Kim 등(2005)은 충북 소로 대구획 경지정리 지구를 대상으로 물관리가 안정된 시기에 용수지거의 시점과 종점에서의 수량 측정을 통하여 배분관리손실율을 추정하였는데, 이는 평균 34 ~ 36%로서 가뭄이 심한 해에는 11%로 감소된 반면 다른 해에는 42%에 달하는 것으로 분석하였음.
- 농업용 독높임저수지의 다중 용수공급을 위한 이수운영기준곡선 개발 (박종윤 등, 2013, 대한토목학회논문집)
  - 본 연구에서는 농업용 독높임저수지의 다중용수공급능력(관개 및 하천유지용수) 평가에 따른 이수운영기준곡선을 개발하였는데, 20개 독높이기 사업지구를 대상으로 특성분석에 따른 4개(용야, 궁촌, 용암, 운암)의 대표 저수지를 선정하였고, 이수운영모형을 이용한 물수지 분석을 통해 하천유지용수공급 가능 수위를 설정하고 신뢰도, 회복도 및 취약도 지수를 이용하여 각 독 높임저수지 특성별 물공급 능력을 평가하였음.
  - 독높임저수지의 물수지 분석은 HOMWRS모형을 이용하였는데, 본 모형은 농업용저수지에서 농업용수 공급계획을 수립하기 위한 유역 유입량, 관개필요수량, 물수지 분석 및 단위용수량 산정이 일련의 통합된 시스템 내에서 구현되도록 한 프로그램으로 유역유입량, 필요수량, 단위 용수량 및 물수지 산정을 위한 4개의 세부 모형으로 구성되어 있음. (이태호, 2011)
  - 독높임저수지의 이수운영을 위한 물수지 분석은 각 대상지구별 기상관측소의 일별 강수량 및 제반 기상자료 등 이용가능한 일별 기상자료를 이용하여 유역에서의 유입량과 필요수량을 산정에 따른 일단위 물수지 분석을 수행하였고, 물수지 분석에서의 일별 유출량 산정은 4단 TANK모형(Sugawara, 1984)을 이용하였으며, 필요수량 계산시 관개용수의 작물소비수량은 Penman식(Doorenbos and Pruitt, 1977)으로 추정하였음.
  - 농업용수 수요량은 논용수, 밭용수, 축산용수로 구분되는데, 이중 논용수는 수리답과 수리불안전답으로 구분되며, 재배형태에 따라 이앙재배, 답수직파, 건답직파 형태로 구분되고, 이앙재배는 묘대정지기, 순수묘대기, 묘대이앙기, 이앙·본답기 및 본답기로 작부시기를 구분할 수 있으며, 각 생육기간별 소비수량을 계산함.

- 본 연구에서 적용한 이수운영모형은 담 관개에 대한 농업용수 수요량만을 고려한 것으로, 순전히 경작지 안에서 소모되는 (1)의 순 용수량(Net Duty of Water)으로부터 물을 끌어오는 동안 손실되는 수량인 수로 및 조작 손실량을 고려한 조용수량(Gross Duty of Water)에 의해 계산됨.
- 일반적으로 농업용저수지의 규모결정은 10년 한발빈도를 기준으로 필요저수량을 결정하므로, 이수운영곡선 또한 이에 맞추어 적정한 용수공급량을 산정해야 하고, 이러한 적정 용수공급량의 산정은 장기 이수운영모의를 통해 저수지의 물 공급 능력을 정량적으로 평가할 필요가 있음.



[그림 3-3-3-6] 농업용수 공급을 위한 운영곡선 개발 과정

- 본 연구는 농업용저수지의 다중용수공급에 따른 운영률 및 가이드라인 설정을 위해 관개 용수의 안정적인 공급을 위한 이수운영기준곡선을 도출한 것으로 향후, 예상되는 기상조건에서의 주단위, 월단위 용수공급계획수립이 가능할 것으로 기대되며, 실제 저수지 운영을 위해서는 지속적인 모니터링으로부터 계측자료와의 비교를 통한 이수운영 기준 곡선의 보정이 이루어져야 할 것으로 제언하고 있음.

○ 실시간 관개수로 수위 모니터링을 활용한 논 관개용수 공급 적정성 평가 (홍은미 등, 2014, 한국농공학회논문집)

- 본 연구에서는 관개수로의 공급량에 대한 정량적인 해석을 위하여 동진강 유역 김제 간선에 구축되어 있는 자동수위계측시스템의 수로 수위자료를 이용하여 공급량 분석, 이론에 의한 필요수량 분석, 계측과 이론에 의한 물배분의 적정성 및 효율성을 분석하였음.
- 김제간선의 강류지선인 화호, 대평, 감곡, 신용, 용성 지선의 수위 모니터링 결과로부터 수위-유량 곡선을 적용하여 실제 공급량을 산정하였고, 수위자료를 기초로 산정된 지선별 실제공급량과 지선별 관개면적의 필요수량으로부터 시기별/ 지선별 농업용수의 공급 적정성을 평가하였음.
- 기존 논물수지분석 모형(Lee and Kim, 2001; MAF, 2003)은 연속관개를 가정하기 때문에 간단급수 형태의 용수공급을 모의하는데 어려움이 있었는데, 동진지구의 간단급수 용수공급을 모의하기 위하여 기존 논 물수지 분석 모형에 급수일 인자를 추가하여, 적정 용수공급량을 산정하고 실제 공급량을 평가할 수 있는 모형을 개발하였음.
- 논 증발산량 ( $ER_a(t)$ )은 FAO Penman-Monteith식 (Allen et al., 1998)을 이용하여 계산하였으며, 물꼬높이  $H$ 는 60mm로 가정하였으며(MAF, 1998) 6월 하순의 중간낙수 기간에는 담수심을 0으로 설정하였고 유효우량 ( $ER(t)$ )은 강우량에서 초장에 직접 저류되는 양으로서, 포장의 물꼬 높이 ( $H$ )와 강 전 담수심 조건에 다음 같이 산정하였음.

$$IR(t) + PP(t) = ET_a(t) + DP(t) + SFO(t) + \Delta D(t) \quad (1)$$

$$\Delta D(t) = \Delta D(t) - \Delta D(t-1) \quad (2)$$

$$D(t) = D(t-1) - ET_a(t) - DP(t) - SFO(t) + IR(t) + PP(t) \quad (3)$$

$$REQ(t) = ET_a(t) + DP(t) + SFO(t) - PP(t) - D(t-1) \\ = ET_a(t) + DP(t) - ER(t) - D(t-1) \quad (4)$$

$$ER(t) = PP(t) - SFO(t-1) \quad (5)$$

$$REQ(t) = H - D(t-1) + ET_a(t) + DP(t) \quad (6)$$

$$\text{if } REQ(t) \leq PP(t), ER(t) = REQ(t) \\ \text{if } REQ(t) > PP(t), ER(t) = PP(t)$$

여기서,  $IR(t)$ 는  $t$ 일의 관개량 (mm/day),  $PP(t)$ 는  $t$ 일의 강우량,  $ET(t)$ 는  $t$ 일의 작물증발산량(mm),  $DP(t)$ 는  $t$ 일의강하침투량,  $SFO(t)$ 는 지표유출량(mm/day)  $\Delta D(t)$ 는  $t$ 일의 담수심과  $(t-1)$ 일의 담수심의 차

- 농업용수 공급량 및 간단관개 모형으로부터 산정된 농업용수 필요수량을 활용한 공급적정성 지표 산정 결과, 2012년은 0.71(대평지선)-0.83(용성지선)으로, 용성지선은 농업용수 공급이 적정하였으나 나머지 지선의 농업용수 공급 배분이 적정하지 못하였으며, 최대 관개면적인 대평지선의 공급적정성이 제일 낮았음.
- 본 연구에서 사용된 공급정정성 지표는 관개시스템의 용수공급 계획량과 실제 용수배분량을 이용하여, 시기별 대상지구의 전 지선의 대한 배분 상태를 지표로서 평가할 수 있으며, 이는 실시간 수위/유량 데이터와 비교하여 지선별 용수공급의 불균형 및 분배를 효율적으로 평가할 수 있을 것으로 판단되고, 용수공급의 정정성 평가 경과는 향후 농업용수 필요수량 산정 및 이수대책에 활용하여 농촌지역 효율적인 물 배분 및 관리에 활용될 수 있을 것으로 제언하고 있음.

(2) 공급량 산정 알고리즘 개발

- 공급량을 산정하기 위해서는 작물이 소비하는 증발산량과 용수를 공급하는 과정에서 발생하는 손실수량의 산정이 우선되어야 함.
- 증발산량은 수요량 산정 알고리즘 개발에서 구축된 Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘으로 산정이 가능하고, 손실수량은 관수로에서의 손실수량을 추정하고자 함.
- 관수로 시스템의 수로손실은 TM/TC를 운영하고 있는 고흥지구에 대하여 분석하였으며, 물관리 자동화 시스템 운영으로 인하여 각 간선 및 지선의 분수공에서의 유량 계측 자료가 확보되어 있어 계측 자료로부터 수로손실을 분석하였음 (1차년도 분석 결과).
- 관수로 시스템의 수로손실 분석은 각 분기점에서 계측된 유량값과 분기점 사이에서의 사용량과의 합을 양수장에서 최초 공급된 총 공급량과 비교함으로써 손실수량을 추정하였으며 다음과 같은 식으로 수로손실량을 산정하였음.

$$Q_L(\text{수로손실량}) = Q_i - (Q_{i-1} + \sum(Q_n - Q_{n-1}))$$

여기서,  $Q_i$ 는 초기공급량,  $Q_{i-1}$ 은 초기공급량 이후 다음 측정에서의 통과량,  
 $Q_n - Q_{n-1}$ 은 계측지점 사이에서의 용수사용량

- 위의 식으로 고흥지구의 2010년 7월의 수로손실량을 산정하였으며, 손실량의 정확한 계산을 위하여 초기공급량은 제1-4용수지선의 계측량으로, 초기공급량 이후 다음 측정에서의 통과량은 제1-5용수지선의 통과량을 사용하였음.



[그림 3-3-3-7] 수로손실량 산정을 위한 고흥지구 용수계통도

- 고흥지구 용수계통도에 의하여 제3용수간선말단의 계측량과 제3용수지선에서 제3용수간선말단 계측량을 감한 값을 더하고, 순차적으로 초기공급량인 제1-4용수지선까지 사용량을 산정하여 수로손실량을 산정하였음.

[표 3-3-3-8] 구간별 계측 유량값을 이용한 고흥지구 수로손실량 산정 (2010년 7월, 천톤)

구 간	계측 유량	구간별 사용량	총 사용량	수로 손실량 (손실율)
제1-4용수지선	1,784.0 (A)			$(A) - \{(B) + (C)\}$ $= 1,784 - 1,763.8$ $= 20.2 (1.13\%)$
제1-5,6용수지선	1,468.0 (B)	316.0	295.8 (C)	
제2,3호용수간선	811.5	-87.6		
제2-1용수지선	744.1	-151.5		
제3-1,2용수지선	218.9	2.8		
제3-3,4용수지선	216.1	50.2		
제3용수간선말단	165.9	165.9		

- 고흥지구 관수로 시스템의 수로손실량을 산정한 결과, 약 2만톤으로 산정되었으며 초기공급량인 총 1백7십만톤의 1.13%에 해당하는 값으로 개수로 지구의 평균 수로손실인 5%보다 월등하게 낮은 비율로 추정되었음.
- 관수로 관개에서는 관로의 파손으로 인한 누수가 발생하지 않을 경우 수로손실량은 0값이어야 하지만 계측 자료의 오차와 초기공급으로부터 말단부까지의 도달율을 감안할 때 약 2천톤의 손실량이 산정된 것으로 사료됨.
- 이상의 결과로 미루어 볼 때, 종합시험유역인 개수로 지구에서 계측값으로 추정된 수로손실율보다 관수로 지구에서의 수로손실율이 약 4~20% 낮게 추정되어 관수로 시스템에서의 수로손실율이 적은 것으로 나타나 관수로 관개에 따른 용수절감 효과를 확인하였음.
- 고흥지구에서 추정된 수로 손실율은 1.13%를 바탕으로, Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘을 이용하여 산정되는 작물의 필요수량에 수로 손실율을 고려하여 공급량의 산정이 가능함.
- 관수로에서의 순수한 공급량은 필요수량에 수로 손실량을 더하여 산정하지만, 본 연구에서 제안하는 공급량은 송수 손실 및 관리 손실 등과 같은 기타 손실량을 고려하고자 하며, 수로 손실율과 기타 손실율의 합을 필요수량의 5%로 결정하고자 함.
- 이상의 과정으로 산정된 공급량을 실제 관수로 관개지구인 해남, 고흥, 덕곡지구에 적용하여 기존의 공급량과 비교하고자 함. 다음은 관수로 대상지구의 개요를 나타내고 있음.

- 해남, 고흥, 덕곡 관수로 지구의 공급량을 산정하기 위하여 Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘을 이용하여 필요수량을 산정하였음.
- 산정된 필요수량에서 수로 손실율과 기타 관리 손실율을 필요수량의 5%로 산정하고 이를 더하여 최종 공급량을 산정하였음.
- 해당 월의 공급량은 다음과 같은 식으로 산정이 가능함.

$$Q_{st} = Q_n + Q_l$$

$Q_{st}$  : 해당 월의 총 공급량 (ton)

$Q_n$  : 해당 월의 필요수량 (Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘을 이용)

$Q_l$  : 해당 월의 손실수량 (=  $Q_n \times 5\%$ ) (수로 손실수량 및 기타 관리수량)

[표 3-3-3-9] 관수로 지구의 필요수량 산정 (천톤)

지구명	필요수량						합계
	4월	5월	6월	7월	8월	9월	
해남지구	136	3,544	6,627	2,575	4,346	2,560	19,789
고흥지구	105	2,914	4,516	1,461	3,070	1,286	13,352
덕곡지구	0	20	127	176	294	255	872

[표 3-3-3-10] 관수로 지구의 공급량 산정 (천톤)

지구명	공급량						합계
	4월	5월	6월	7월	8월	9월	
해남지구	143	3,721	6,958	2,704	4,563	2,688	20,778
고흥지구	110	3,060	4,742	1,534	3,224	1,351	14,020
덕곡지구	0	21	133	185	309	268	915

[표 3-3-3-11] 관수로 지구의 실제공급량 (천톤)

지구명	실제공급량						합계
	4월	5월	6월	7월	8월	9월	
해남지구	1,350	7,492	7,841	3,009	4,150	716	24,558
고흥지구	334	5,503	6,721	2,579	4,011	0	19,148
덕곡지구	9	514	594	296	196	85	1,694

- Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘을 이용하여 필요수량을 산정한 결과, 해남지구는 관개기간 동안 약 19백만 8십만톤, 고흥지구는 13백만 4십만톤, 덕곡지구는 87만톤으로 산정되었음.

- 산정된 필요수량에 수로 손실수량 및 기타 관리수량을 고려하여 공급량을 산정하였으며 해남지구는 약 20백만 8십만톤, 고흥지구는 14백만톤, 덕곡지구는 92만톤으로 산정되었음.
- 대상지구의 실제 공급량을 조사한 결과, 해남 지구는 약 24백만 6천톤, 고흥지구는 19백만 십만톤, 덕곡지구는 1백 7십만톤으로 조사되어, 실제 공급량이 산정된 공급량에 비해 모두 초과되어 과잉 공급되는 것을 확인할 수 있음.

## 다. 농촌용수 수요/공급량 산정 알고리즘 개발 및 사례분석

### (1) 수요/공급량 산정 알고리즘 개발 요약

- 농촌용수 수요량 산정 알고리즘을 개발하기 위하여 작물이 실제 소비하는 증발산량 산정 알고리즘을 개발하였음.
- 기존의 증발산량 산정 방법을 조사하고, 최근의 관련 연구동향을 분석하여 가장 일반적이고 우리나라 실정에 적합한 증발산량 산정 방법을 선택하여 기상청에서 제공하는 기상자료를 이용할 수 있는 증발산량 산정 알고리즘을 개발하였음.
- 기존의 증발산량 산정 방법을 조사 및 분석한 결과, FAO에서 정한 표준방법인 Penman-Monteith 방법을 기준 방법으로 선정하여 Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘을 개발하였고, 작물의 생육시기별 활력도를 고려할 수 있도록 옆면적 지수를 추가하여 증발산량을 산정할 수 있는 서브루틴을 개발하였음.
- 또한, 비전문가도 손쉽게 증발산량을 산정 과정을 이해하고 기상 자료를 이용하여 증발산량을 산정할 수 있도록 엑셀 프로그램을 이용하여 증발산량을 산정하는 알고리즘을 개발하였음.
- FAO56 Penman-Monteith 방법의 프로그램은 잠재증발산량 계산에서 3가지 사항 (기압, 평균기온, 일사량)을 선택하여 전체 8가지 경우의 계산이 가능함. 즉, 기압, 평균기온, 일사량을 계산식에 적용, 기상월보를 적용, 기상월보의 평균기온을 적용하고 기압, 일사량을 계산식에 적용이 가능함.
- 기상월보의 평균기온만을 적용하였을 때, 기압, 평균기온, 일사량을 계산식으로 계산한 결과와 많은 차이가 나타나지 않았으나, 기상월보의 기압, 평균기온, 일사량을 모두 적용한 경우에는 증발산량의 편차가 크게 나타나고 있음.
- FAO24 Penman방법과 FAO56 Penman-Monteith방법을 비교한 결과, 전반적으로 Penman-Monteith방법이 기복차가 완만하게 나타났으며 FAO24 Penman방법은 기복이 심하게 나타나는 것을 확인하였음.
- 농촌용수 공급량 산정 알고리즘을 개발하기 위하여 기존의 공급량 산정 방법을 조사하고 최근 연구동향을 분석하였음.

- 공급량 산정 알고리즘은 산정된 필요수량에 수로 손실수량 및 기타 관리수량을 합하여 산정하도록 개발하였으며, 이를 위하여 관수로 지구의 수로 손실량을 추정하였음.
- 현재 설계기준에서는 개수로의 수로 손실율을 약 15%로 추정하고 있으며 관리 손실율을 약 11%로 적용하여 용수 손실율을 26% 정도로 추정하고 있는데, 고흥 지구의 관수로 수로 손실율을 분석한 결과 1.13%로 산정되었음.
- 산정된 수로 손실율에 기타 관리 손실율을 합하여 용수 손실율을 5%로 정하여 필요수량의 5%를 더하여 공급량으로 산정하였음.
- 농촌용수 수요/공급량 산정 알고리즘을 관수로 대상지구에 적용하여 필요수량을 산정한 결과, 해남지구는 관개기간 동안 약 19백만 8십만톤, 고흥지구는 13백만 4십만톤, 덕곡지구는 87만톤으로 산정되었음.
- 산정된 필요수량에 수로 손실수량 및 기타 관리수량을 고려하여 공급량을 산정하였으며 해남지구는 약 20백만 8십만톤, 고흥지구는 14백만톤, 덕곡지구는 92만톤으로 산정되었음.

(2) 수요량 정량화를 위한 사례 분석 및 제언

- 농촌용수 수요량 및 공급량의 정확한 산정을 위해서는 작물이 소비하는 필요수량 산정하고 용수 손실량을 정확하게 추정해야 하는데, 이론식에 의한 추정은 입력자료의 불확실성이 내포되어 있고 추정이 현실적으로 불가능한 인자들이 사용되고 있어 정확한 산정이 어려운 실정임.
- 따라서, 본 연구에서는 충북 진천군에 위치한 무수저수지 관개지구에서 농촌용수량의 정량화를 위한 연구 사례를 분석하였으며, 실측에 의한 수요량 산정의 필요성을 언급하고자 함.
- 대상지구 : 충북 진천군 내 무수저수지



[그림 3-3-3-8] 수요량 정량화를 위한 대상지구 개요



[표 3-3-3-12] 무수저수지 현황

구분	회죽간선		금곡간선		계
	수해면적 공급량	236ha 69.0%	수해면적 공급량	100ha 31.0%	
무수저수지					336ha 100.0%

- 금곡간선은 용수로 1개, 용·배수로 30개, 하천배수지점 14개, 용수로 분기점 1개로 유역이 이루어져 있다, 회죽간선은 용수로 1개, 용·배수로 41개, 하천배수지점 6개, 용수로 분기점 2개
- 증발산량은 국가수자원관리 종합정보시스템인 WAMIS기상자료(이천관측소(약25km)를 일별자료를 이용하여 기온, 상대습도, 일사량, 풍속, 최고·저 온도등을 통하여 이용하여 Penaman-Monteith 방정식을 통하여 증발산량을 산정
- 시험지구는 곡간선 유역과 회죽간선 두 간선으로 나누어져 있으며, 농업용수 현장 관측항목은 강우량, 하천수위, 저수지 수위와 관개지구의 용·배수로 수위이며 이들 관측항목에 대해 각각의 관측기들이 현장에 설치되어 있음.
- 하천 수위 관측지점의 수위계 형태는 초음파식 수위계이며 하천 주 흐름부의 상부 교량 교각부에 설치, 각각 하천과 보 물넘이와 용수로에 12개의 수위계가 설치되어 있음.



[그림 3-3-3-9] 자료계측 현황



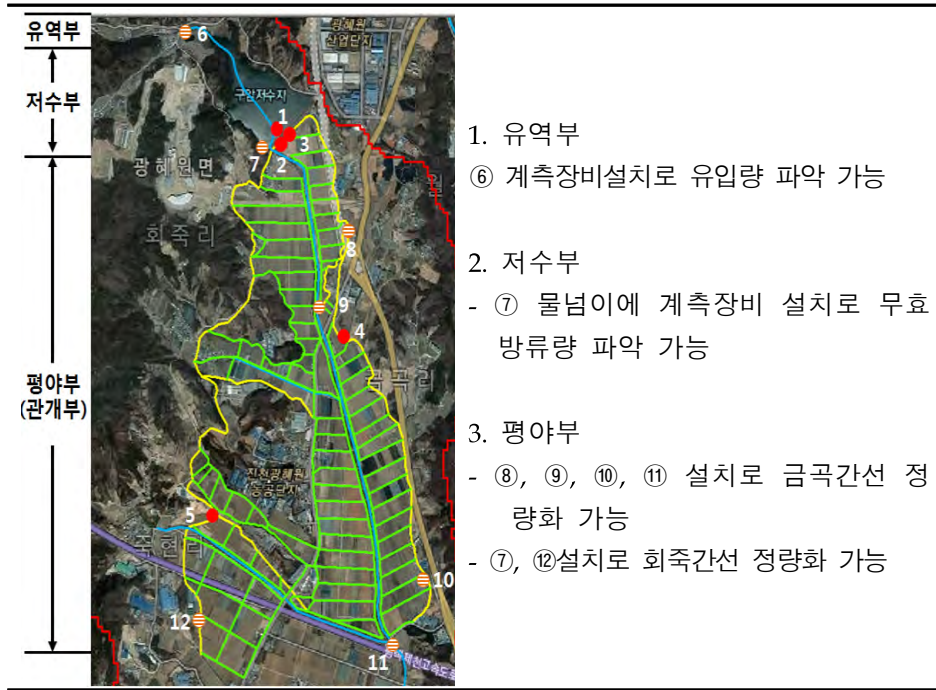
1. 유역부
  - 유입부 계측장비 부재로 유입량 산정 불가능
2. 저수부
  - 유량자료 환산 가능하나 무효방류량은 정확히 파악 불가
3. 평야부
  - ③에서 ④까지 계측이 가능하나 중간 분기점까지의 용수 사용량과 말단부의 방류량은 파악 불가
  - ②에서 ⑤까지 계측이 가능하나 중간 분기점까지의 용수 사용량과 말단부의 방류량은 파악 불가
4. 계측기의 노후화
  - 기존 계측기의 노후화로 계측자료의 신뢰성이 떨어짐(오작동 사례 다수)

[그림 3-3-3-10] 수문관측망 적용 이전의 자료계측 현황

○ 계측장비의 부재와 기존 계측기의 노후화로 인해 계측 자료의 신뢰성이 저하되어 물수지 분석의 어려움을 겪고 있고, 신규 계측장비가 필요하다고 판단되어 신규 계측기를 7곳에 설치하였음.



[그림 3-3-3-11] 수문계측망 구축



1. 유역부
  - ⑥ 계측장비설치로 유입량 파악 가능
2. 저수부
  - ⑦ 물넘이에 계측장비 설치로 무효 방류량 파악 가능
3. 평야부
  - ⑧, ⑨, ⑩, ⑪ 설치로 금곡간선 정량화 가능
  - ⑫설치로 회죽간선 정량화 가능

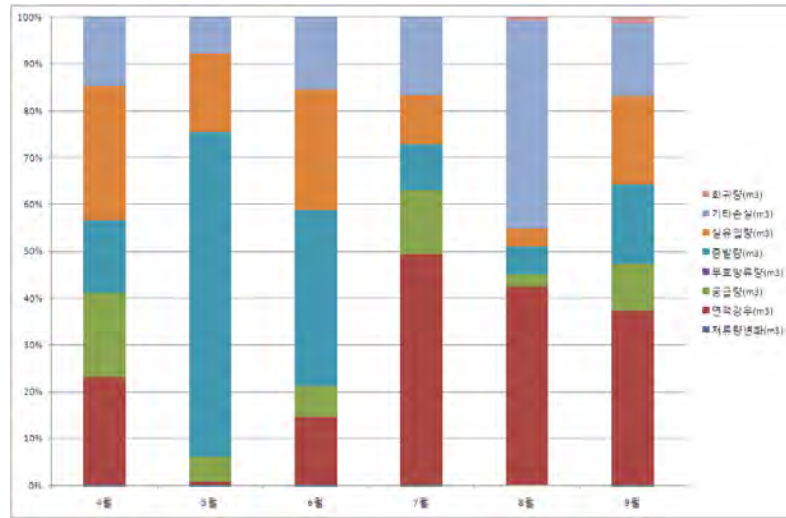
[그림 3-3-3-12] 신설 수문계측 지점 현황

- 관개기간인 4~9월간의 유역의 말단부 통해 유출되는 유량을 고려하지 않은 기타손실률은 4월 14.77%, 5월 7.64%, 6월 15.41%, 7월 16.64%, 8월 44.81%, 9월 15.68%이며 유역의 말단부 통해 유출되는 유량을 고려한 기타손실률은 4월 14.771%, 5월 7.64%, 6월 15.41%, 7월 16.64%, 8월 44.52%, 9월 15.46%로 나타났다.
- 8월과 9월은 유역의 말단부를 통해 유출되는 양이 15836.7m<sup>3</sup>이 나타나 기타손실률이 줄어드는 것을 볼 수 있음.
- 현재 설치된 지점들 사이에 더 많은 계측지점을 설치해 어디에서 손실되는 것인지를 찾아서 수자원 사용량 계측 시설의 시스템화가 절실히 필요함.

[표 3-3-3-13] 유입량 정량화 분석

	저류량변화 (m <sup>3</sup> )	면적강우 (m <sup>3</sup> )	공급량 (m <sup>3</sup> )	무효방류량 (m <sup>3</sup> )	증발량 (m <sup>3</sup> )	실유입량 (m <sup>3</sup> )	기타손실
4월	-656.66	149045	115887	0	99839	184666	95109
5월	-458.78	7628	56080	0	717820	175813	79206
6월	-187.91	90090	41602	0	232596	160408	95564
7월	-263.42	492518	136195	0	98628	104391	166015
8월	214.00	531237	32258	0	74643	48031	557248
9월	-368.06	207598	56149	0	94074	105390	86080
총합계	-1720.83	1478119	438173	0	1317602	778701	773332





[그림 3-3-3-13] 유입량 정량화를 통한 물수지 분석

- 무수저수지부 물수지 분석을 위해 진천강우관측소에서 강우자료와 청주기상관측소에 기상자료를 수집하였음.
- 농어촌공사 진천지사로부터 일별저수량 및 내용적곡선을 수집하였으며, 시험구역의 저수지 운영자료를 이용하여 일별 물수지를 분석하였음.
- 계측이 불가능한 일별 유입량 및 일별 수문증발량은 HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System, 수리시설물모의조작시스템) (Lee, 2011)를 이용하여 산정.
- 무효방류량 측정이 이루어지지 않은 기존 계측망에서는 만수위이상의 유량을 무효방류량으로 추정하였으며, 물넘이에 수위계측을 실시하고 있는 모니터링 네트워크에서는 다음의 물넘이 웨어 공식을 이용하여 수위를 유량으로 환산하였으며 유량계수  $C$ 는 이시하라이다 공식을 사용.
- 웨어 공식의 좌항은 저수지 수위변화에 따른 체적변화량을, 우항은 각 계측값 및 계산값에 의한 저수지의 체적변화 예측량을 나타냄.
- 우항의 무효방류량이 계산에 의한 추정치일 때와 실제 계측치일 때를 좌항의 값과 비교하여 그 차이를 산정.

- 이를 통해 추가 계측된 실제 무효방류량 값이 물수지 계산에 미치는 효과를 보고자 함.

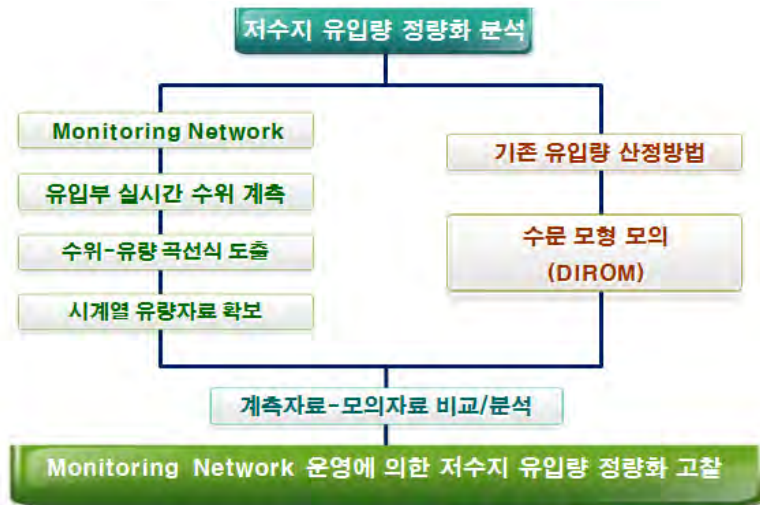
$$Q = CBh^{\frac{3}{2}}$$

$$C = 1.785 + \left(\frac{0.00295}{h}\right) + 0.237 \frac{h}{H}(1 + \epsilon)$$

$$H \leq 1 \text{ 일 때, } \epsilon = 0$$

$$H > 1 \text{ 일 때, } \epsilon = 0.55(H - 1)$$

- 일반적인 평야부 작물의 관개기(4월-9월)의 저수지부 물수지 분석결과 물넘이 방류량의 신규 계측값을 활용하여 물수지를 계산하였을 때 오차가 줄어드는 것으로 나타남.
- 기존에는 저수지의 만수위를 넘는 수위가 모두 물넘이로 방류된다는 가정하에 계산을 하였지만, 물넘이를 넘어가는 유량을 신규 계측을 통해 실시간으로 파악하였기 때문에 물수지 오차가 줄어들게 됨.
- 2009년부터 2012년 7월까지의 관개기 평균 오차량은 약 136,876㎥ 이며, 신규계측이 시작된 2012년 8월부터 9월까지의 평균 오차량은 약 1,002㎥으로 나타남.
- 이때 계산된 오차량은 절대값으로 환산하였으며, 저수지 침투량 및 기타 물순환 기작을 고려한다면 절대값 수치는 달라질 수 있음.
- 저수지 물수지 분석결과를 보면 물수지분석란에 음수(-)값을 나타내는 것은 그 기간 동안 월별로 계산된 실측 저수용량 체적변화량을 기준으로 물수지 계산이 균형이 맞기 위한 저수지에서 손실되어 없어져야 되는 물의양을 나타내며 양수(+)값은 물수지 계산이 균형이 맞기 위한 저수지로 들어와야 되는 물의 양을 의미.
- 신규관측과 기존관측결과를 비교하기 위해 신규관측을 실시한(8월-12월)의 물수지 분석총합은 -2,758.9(천m3)으로 기존 관측에 의해 분석된 기존관측(8월-12월) 물수지분석총합의 평균은 +286,858.9(천m3)으로 기준대비 신규관측에 오차가 100.9% 줄어듬을 알 수 있음.
- 무수저수지는 중·소규모 저수지로서 지류하천이 많지 않고 용수호가 비교적 단순한 형태로 되어 있다. 기존의 계측기 설치 현황으로 보면 수위계가 5개(저수지 수위, 회죽·금곡 간선 시점부, 금곡방수문, 만덕방수문)이 설치.
- 대상지구의 신설 수위계측 지점 운영에 의한 저수지 유입량 정량화 효과를 분석하기 위해 신설 수위계측 지점 운영 이전의 전형적인 유입량 산정방법에 의한 유입량 자료와 신설 수위계측 지점 운영에 의한 계측 자료와의 비교를 통하여 저수지 유입량의 정량화 효과를 고찰하였음.



[그림 3-3-3-14] 저수지 유입량 정량화 분석 흐름도

- 대상지구의 유입량 산정을 위한 기존의 방법은 유입 부분의 실측 없이 HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System, 수리시설물 모의조작 시스템)를 이용하여 TANK 모형을 기반으로 한 DIROM 모형으로 산정하고 있음.

[표 3-3-3-14] 월별 강수량 및 모의 유입량

월	강수량 (mm)	모의유입량 (천톤)	월	강수량 (mm)	모의유입량 (천톤)
11년 01월	3.0	29.8	12년 07월	457.0	2,128.7
11년 02월	51.0	69.7	12년 08월	404.0	1,496.3
11년 03월	30.0	115.9	12년 09월	223.0	1,252.9
11년 04월	158.0	298.8	12년 10월	78.0	404.3
11년 05월	88.0	502.2	12년 11월	73.0	289.6
11년 06월	365.0	1,184.2	12년 12월	34.0	171.0
11년 07월	903.0	4,288.1	13년 01월	30.0	112.0
11년 08월	318.0	1,944.1	13년 02월	53.0	190.0
11년 09월	68.0	491.4	13년 03월	40.0	99.5
11년 10월	29.0	220.8	13년 04월	60.0	101.7
11년 11월	53.0	136.4	13년 05월	145.0	353.4
11년 12월	9.0	123.1	13년 06월	112.0	390.7
12년 01월	6.0	32.5	13년 07월	609.0	2,436.5
12년 02월	1.0	13.7	13년 08월	155.0	825.9
12년 03월	67.0	89.2	13년 09월	175.0	770.1
12년 04월	160.0	479.5	13년 10월	14.0	225.8
12년 05월	31.0	153.2	13년 11월	57.0	146.9
12년 06월	98.0	195.3	13년 12월	25.0	122.5

- 저수지 유입량 모의 결과, 2011년도에는 2,075 mm의 가장 많은 강수량으로 인하여 약 9백4십만톤의 유입량이 모의되었고 2012년도에는 강수량 1,643 mm, 유입량 약 6백7십만톤, 2013년도에는 강수량 1,475 mm, 유입량 약 5백8십만톤으로 모의되었음.

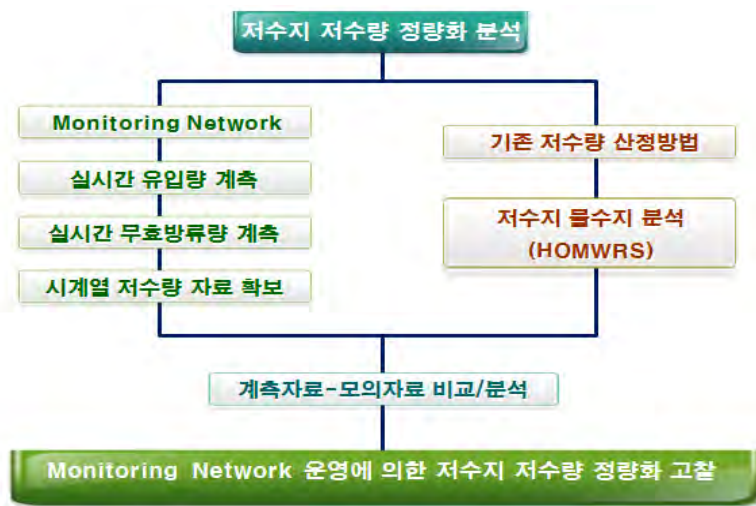
- 월별 유입량을 살펴보면 2011년도 7월에 약 4백3십만톤으로 가장 많은 유입량이 모의되었고, 2012년 2월에 약 14천톤으로 가장 적은 유입량이 모의되었음.
- 일반적으로 강수량이 많은 여름철에 유입량이 증가하는데 모는 년도에서 7월에 가장 많은 유입량이 모의되었음.
- 대상지구에 신설 수위계측 지점을 운영함으로써 무수저수지 유입 하천에 실시간 수위 계측이 가능하며, 현장조사에 의하여 도출된 수위-유량 곡선식을 이용하여 시계열 저수지 유입량 자료를 확보하였음.
- 저수지 유입 하천은 구암천으로서 수위계 설치지점의 하폭은 약 20m 이며, 하천 저수량 확보를 위해 좌·우안에 옹벽이 설치되어 있고 하천을 횡단하는 고정보가 설치되어 있음.
- 홍수기를 제외한 시기에는 고정보 유출구로 하천 유량이 배출되므로 유량 계측이 용이하며 유출 단면이 일정하여 계측 자료의 정확성이 제고될 수 있음.

[표 3-3-3-15] 월별 강수량 및 실측 유입량

월	강수량 (mm)	실측유입량 (천톤)	월	강수량 (mm)	실측유입량 (천톤)
11년 01월	3.0	26.8	12년 07월	457.0	1,404.9
11년 02월	51.0	66.2	12년 08월	404.0	1,197.0
11년 03월	30.0	92.7	12년 09월	223.0	1,215.3
11년 04월	158.0	257.0	12년 10월	78.0	363.9
11년 05월	88.0	477.1	12년 11월	73.0	283.8
11년 06월	365.0	923.7	12년 12월	34.0	159.0
11년 07월	903.0	2,830.1	13년 01월	30.0	100.8
11년 08월	318.0	1,555.3	13년 02월	53.0	180.5
11년 09월	68.0	476.7	13년 03월	40.0	79.6
11년 10월	29.0	198.7	13년 04월	60.0	87.5
11년 11월	53.0	133.7	13년 05월	145.0	335.7
11년 12월	9.0	114.5	13년 06월	112.0	304.7
12년 01월	6.0	29.3	13년 07월	609.0	1,827.4
12년 02월	1.0	13.0	13년 08월	155.0	660.7
12년 03월	67.0	71.4	13년 09월	175.0	747.0
12년 04월	160.0	412.4	13년 10월	14.0	203.2
12년 05월	31.0	145.5	13년 11월	57.0	144.0
12년 06월	98.0	152.3	13년 12월	25.0	113.9

- 신설 수위계측 지점 운영에 의한 저수지 유입량 실측 결과, 모의 유입량에 비해 비교적 적게 실측되었음.
- 2011년도에는 2,075 mm의 가장 많은 강수량으로 인하여 약 7백15십만톤의 유입량이 실측되었음.

- 2012년도에는 강수량 1,643 mm, 유입량 약 5백45십만톤, 2013년도에는 강수량 1,475 mm, 유입량 약 4백79십만톤으로 실측되었음.
- 월별 유입량을 살펴보면 2011년도 7월에 약 2백83십만톤으로 가장 많은 유입량이 실측되었고, 2012년 2월에 약 13천톤으로 가장 적은 유입량이 모의되었음.
- 일반적으로 강수량이 많은 여름철에 유입량이 증가하는데 모의 결과와 마찬가지로 모는년도에서 7월에 가장 많은 유입량이 실측되었음.
- 대상지구의 신설 수위계측 지점 운영에 의한 저수지 유입량 정량화 효과를 분석하기 위하여 신설 수위계측 지점 운영 이전의 전형적인 저수량 산정방법에 의한 저수량 자료와 신설 수위계측 지점 운영에 의한 계측 자료와의 비교를 통하여 저수지 저수량의 정량화 효과를 고찰하였음.([그림 3-3-3-15], 참조)
- 기존에는 HOMWRS 모형을 이용하여 저수지 물수지 분석을 수행함으로써 저수량을 산정하였으나 신설 수위계측 지점을 운영함으로써 저수지 유입량과 무효방류량을 계측하여 저수지의 정확한 저수량을 산정할 수 있음.
- 기존의 모의자료와 계측자료를 비교함으로써 신설 수위계측 지점 운영의 필요성을 제시하고자 함.



[그림 3-3-3-15] 저수지 저수량 정량화 분석 흐름도

- 대상지구의 저수량 산정을 위한 기존의 방법은 유입 부분의 실측 및 여수로 물넘이로 무효방류량 실측 없이 HOMWRS를 이용하여 저수지 물수지 분석에 의하여 저수량을 추정하고 있음.
- 계측된 저수위 자료와 저수위-내용적 곡선을 이용하여 추정하는 방법이 있으나 토사 퇴적 및 준설의 반복으로 인하여 저수위-내용적 곡선의 신뢰도가 저하되고 있는 실정임.



- 유입량은 앞에서 언급한 바와 같으며 방류량은 논에서의 필요수량과 농어촌생활용수, 소수력 발전용수 등이 포함되어 있고, 저수지의 통관 방류량은 아니지만 저수량이 여유가 있고 관개구역이 지구외에 있을 경우에는 양수장 설치에 의한 펌핑량도 고려해야 함.
- 기타 손실량은 지하수 유입량  $U_t$ , 지중침투량  $G_t$  및 제방침투량  $D_t$  등 실측이 거의 불가능한 요소 및 실측은 불가능하지만 정량화가 가능한 요소로 구분할 수 있으며, 지하수 유입량은 수문 관측지점에서 지표수로 측정되거나 그 변화가 월단위 이상이기 때문에 보통 순 단위 또는 일 단위의 물수지 계산에 있어서는 고려하지 않음.
- 지중침투량 및 제방침투량은 누수를 방지하기 위하여 지수벽을 설치하는 등의 방법으로 차단 효과를 거둘 수 있고 실제 그 양이 매우 적거나 단기간의 물수지에 영향을 미치는 정도가 적으므로 HOMWRS에서는 고려하지 않음.

[표 3-3-3-16] 월별 모의 공급량, 무효방류량, 저수량

월	공급량 (천톤)	무효방류량 (천톤)	저수량 (천톤)	월	공급량 (천톤)	무효방류량 (천톤)	저수량 (천톤)
11년 01월	-	29.8	1,354.2	12년 07월	780.0	380.7	1,077.6
11년 02월	-	69.0	1,354.1	12년 08월	813.7	473.9	1,137.9
11년 03월	-	115.9	1,354.2	12년 09월	154.1	1,098.8	1,354.1
11년 04월	-	260.7	1,351.5	12년 10월	-	404.3	1,354.2
11년 05월	312.6	408.8	1,320.1	12년 11월	-	289.6	1,354.2
11년 06월	968.5	0.0	757.0	12년 12월	-	171.0	1,354.2
11년 07월	460.6	3,823.7	1,344.2	13년 01월	-	112.0	1,354.2
11년 08월	692.0	1,378.4	1,334.9	13년 02월	-	190.0	1,354.2
11년 09월	359.6	5.4	1,198.9	13년 03월	-	99.5	1,354.2
11년 10월	-	220.8	1,354.2	13년 04월	36.7	65.2	1,351.2
11년 11월	-	136.4	1,354.2	13년 05월	245.2	148.5	1,339.0
11년 12월	-	123.1	1,354.2	13년 06월	1,134.0	0.0	786.1
12년 01월	-	32.5	1,354.2	13년 07월	514.3	1,138.4	905.8
12년 02월	-	13.7	1,354.2	13년 08월	714.3	353.2	1,247.0
12년 03월	-	89.1	1,354.2	13년 09월	318.6	210.2	1,187.1
12년 04월	36.7	443.0	1,353.2	13년 10월	-	225.8	1,354.2
12년 05월	275.4	85.4	1,313.5	13년 11월	-	146.9	1,354.2
12년 06월	1,272.1	0.0	442.1	13년 12월	-	122.5	1,354.2

- HOMWRS 모형에 의하여 공급량, 무효방류량, 저수량을 모의한 결과, 무수저수지는 우리나라의 일반적인 논관개 시기와 동일하게 4월부터 9월까지 관개용수량을 공급하고 있음.
- 2011년도에는 총 2백83만톤을 공급하였고 2012년도에는 3백33만톤으로 가장 많이 공급하였고, 2013년도에는 2백96만톤의 공급량이 모의되었음.
- 무효방류량은 여수로 제방 이상으로 저수위가 상승되었을 경우 발생하게 되는데, 강수량 및 유입량이 가장 많이 발생된 2011년도에 6백57만톤으로 가장 많은 무효방류량을 나타냄. 2012년도에는 3백45만톤, 2013년도에는 2백81만톤의 무효방류량이 모의됨.

- 2012년도에는 공급량이 다른 년도에 비하여 상대적으로 감소한 9월에 무효방류량이 가장 많이 모의되었음.
- 매년 6월에는 유입량에 비하여 공급량이 많이 발생하여 무효방류량이 없는 것으로 모의되었음 .
- 저수량은 비관개기에는 1백35만톤을 유지하고 있으며 관개가 시작되는 4월부터 저수량이 감소하고 관개가 끝나는 10월부터 다시 1백35만톤을 유지하고 있음.
- 관개기인 4월부터 9월의 평균 저수량을 살펴보면, 강수량 및 유입량이 가장 많이 발생된 2011년도에 1백22만톤으로 가장 많은 저수량을 나타내었고, 2012년도에는 1백11만톤, 2013년도에는 1백14만톤의 저수량이 모의되었음.
- 매년 가장 많은 공급량이 모의된 6월에 저수량이 가장 많이 감소하는데 2011년 6월에는 75만톤, 2012년 6월에는 44만톤, 2013년 6월에는 77만톤으로 유입량이 다른 년도에 비해 상대적으로 적고 공급량이 많은 2012년도에 6월에 가장 적은 저수량이 모의됨.
- 저수지 저수량을 추정하기 위한 가장 기본적이면서 용이한 방법은 저수위-내용적 곡선을 이용하는 방법임.
- 저수위는 취수탑 지점에서 계측하는데 저수지 상류로부터 하류까지 혹은 좌안으로부터 우안까지 수위가 일정하지 않으므로 취수탑의 설치 위치에 따라 저수량의 산정이 상이하게 됨.
- 유역으로부터 유하되는 퇴적사에 의하여 내용적이 변화되어 기존에 계측된 저수위-내용적 곡선을 적용할 경우 저수량이 과대 산정되는 문제점이 있음.
- 저수지 저수량을 추정하는 가장 합리적인 방법은 저수지로의 유입 및 관개지역으로의 유출량을 산정하고 저수지 물수지 분석에 의하여 추정하고 있음.
- 저수지 물수지 분석으로 저수량을 추정하기 위해서는 유역으로부터 저수지로 유입되는 유입량, 강우시 저수지에 저류되는 강우량, 저수지 하부면에서 발생하는 침투량, 저수지 수표면에서 발생하는 증발량, 관개시 공급되는 관개용수량, 물넘이로 월류되는 무효방류량 등의 정량화가 필수적임.
- 필수적인 요소들 중에 지하수 함양량이나 침투량 등은 정량적인 계측이 매우 어려운 반면, 유입량이나 관개용수량, 무효방류량 등은 정량적인 계측이 가능한 요소들임.
- 기존 저수지에서의 전형적인 물수지 분석 방법에서는 정량적인 계측 없이 추정값을 사용하고 있어 정확한 저수량 산정이 이루어지지 못하는 실정임.

- 본 연구에서는 신설 수위계측 지점 운영에 의한 저수지 유입량, 관개용수량, 무효방류량을 계측하여 저수량 추정을 위한 물수지 분석의 정확도를 제고하고자 함.
- 관개용수량 계측을 위해서 취수탑으로부터 취수된 용수량이 분기되는 두 개의 간선 초입부에 수위계를 설치하였음.



수위계 설치 지점



설치지점 하류부

[그림 3-3-3-16] 무효방류량 계측을 위한 물넘이 수위계 설치



회죽 간선 유입부



금곡 간선 유입부

[그림 3-3-3-17] 공급량 계측을 위한 수위계 설치

[표 3-3-3-17] 월별 실적 공급량

월	총공급 량 (천톤)	금곡 간선		회죽 간선		월	총공 급량 (천톤)	금곡 간선		회죽 간선	
		공급량 (천톤)	비율 (%)	공급량 (천톤)	비율 (%)			공급량 (천톤)	비율 (%)		
11년 01월	0.0	0.0	-	0.0	-	12년07월	1,552.9	475.3	30.6	1,128.5	72.7
11년 02월	0.0	0.0	-	0.0	-	12년08월	1,522.6	489.4	32.1	1,085.6	71.3
11년 03월	0.0	0.0	-	0.0	-	12년09월	531.8	217.9	41.0	337.3	63.4
11년 04월	467.8	145.0	31.0	338.3	72.3	12년10월	0.0	0.0	-	0.0	-
11년 05월	1,658.0	547.4	33.0	1,169.2	70.5	12년11월	0.0	0.0	-	0.0	-
11년 06월	1,674.0	528.4	31.6	1,202.1	71.8	12년12월	0.0	0.0	--	0.0	-
11년 07월	1,434.4	444.6	31.0	1,037.4	72.3	13년01월	0.0	0.0	-	0.0	-
11년 08월	1,516.7	479.2	31.6	1,088.7	71.8	13년02월	0.0	0.0	-	0.0	-
11년 09월	537.9	219.1	40.7	342.2	63.6	13년03월	0.0	0.0	-	0.0	-
11년 10월	0.0	0.0	-	0.0	-	13년04월	507.5	147.8	29.1	375.5	74.0
11년 11월	0.0	0.0	-	0.0	-	13년05월	1,665.3	559.1	33.6	1,166.0	70.0
11년 12월	0.0	0.0	-	0.0	-	13년06월	1,763.0	548.1	31.1	1,273.6	72.2
12년 01월	0.0	0.0	-	0.0	-	13년07월	1,512.4	468.1	31.0	1,094.3	72.4
12년 02월	0.0	0.0	-	0.0	-	13년08월	1,546.8	489.5	31.6	1,109.7	71.7
12년 03월	0.0	0.0	-	0.0	-	13년09월	471.9	193.2	41.0	299.3	63.4
12년 04월	486.7	148.1	30.4	354.4	72.8	13년10월	0.0	0.0	-	0.0	-
12년 05월	1,567.9	528.1	33.7	1,096.3	69.9	13년11월	0.0	0.0	-	0.0	-
12년 06월	1,898.3	573.1	30.2	1,386.6	73.0	13년12월	0.0	0.0	-	0.0	-

[표 3-3-3-18] 월별 실적 무효 방류량

월	무효방류량 (천톤)	월	무효방류량 (천톤)
2011년 01월	26.8	2012년 07월	350.0
2011년 02월	65.5	2012년 08월	174.6
2011년 03월	92.7	2012년 09월	835.0
2011년 04월	218.9	2012년 10월	363.9
2011년 05월	383.7	2012년 11월	283.8
2011년 06월	14.0	2012년 12월	159.0
2011년 07월	2,365.7	2013년 01월	100.8
2011년 08월	989.6	2013년 02월	180.5
2011년 09월	7.0	2013년 03월	79.6
2011년 10월	198.7	2013년 04월	51.0
2011년 11월	133.7	2013년 05월	130.8
2011년 12월	114.5	2013년 06월	15.0
2012년 01월	29.3	2013년 07월	529.3
2012년 02월	13.0	2013년 08월	188.0
2012년 03월	71.3	2013년 09월	187.1
2012년 04월	375.9	2013년 10월	203.2
2012년 05월	77.7	2013년 11월	144.0
2012년 06월	3.0	2013년 12월	113.9

- 본 대상지구는 저수지로부터 수혜지역 가운데로 유하되는 하천을 중심으로 좌측은 회죽간선, 우측은 금곡간선으로 나뉘어 관개용수량을 공급하고 있음.
- 회죽간선의 수혜면적은 236 ha이고 금곡간선의 수혜면적은 약 100 ha로 연도별로 공급량의 약 31%가 금곡간선으로 공급되고 약 69%가 회죽간선으로 공급됨.
- 2011년도에는 총 공급량 7백29만톤 중 2백36만톤이 금곡간선으로 공급되었고 5백18만톤이 회죽간선으로 공급되었고, 2012년도에는 총 공급량 7백56만톤, 금곡간선 2백43만톤, 회죽간선 5백39만톤이 공급되었으며, 2013년도에는 총 공급량 7백47만톤, 금곡간선 2백41만톤, 회죽간선 5백32만톤이 공급되었음.
- 연도별 공급량이 7백29만톤에서 7백56만톤으로 비슷한 공급량을 나타내고 있는데 이는 대상 저수지의 전형적인 운영형태를 매년 유지하고 있기 때문임.
- 무효방류량은 2011년도에 4백61만톤이 방류되었고, 2012년도에는 2백74만톤, 2013년도에는 1백92만톤이 방류되어 강수량 및 유입량이 가장 많이 발생되었던 2011년도에 가장 많은 무효방류량이 실측되었음.
- 월별 무효방류량을 살펴보면, 2011년에는 7월에 900 mm 이상의 강수량으로 인하여 유입량이 증가하여 2백37만톤의 가장 많은 무효방류량이 발생하였음.
- 2012년에는 7월의 강수량과 유입량이 가장 많이 발생하였음에도 불구하고 9월에 83만톤으로 가장 많은 무효방류량이 발생하였는데, 이는 7월에 비하여 상대적으로 적은 양을 공급하여 무효방류량이 더 많이 발생한 것으로 분석되었음.
- 2013년도에는 609 mm의 가장 많은 강수량이 발생한 7월에 53만톤으로 가장 많은 무효방류량이 실측되었음.
- HOMWRS에 의한 모의 유입량과 신설 수위계측 지점 운영에 의한 계측 실측값을 비교·분석함으로써 기존 유입량 산정 방법의 불확실성을 고찰하고 신설 수위계측 지점 구축의 필요성을 제시하고자 함.
- 저수지 유입량 예측을 위한 기존의 연구를 분석함으로써 예측의 불확실성과 정확한 유입량 계측의 필요성을 고찰하고자 함.
- 저수지를 증고할 경우 보상비나 공사비가 소요되며, 담수되는 주변 환경의 파괴 등으로 환경단체의 반발 또한 예상됨.
- 홍수 유입량 예측모형을 예당저수지에 적용한 결과, 1995년부터 1999년까지의 집중호우에 대하여 예측 정확도는 실측값과 비교하여 신뢰 수준에 있어 홍수 조절을 위한 예비 방류

량을 결정하는데 매우 유용하게 사용이 가능함.

- 국내 약 18,000개소의 저수지의 관리를 위하여 저수지 수위 및 관개수로의 수위 계측을 위한 사업이 진행되고 있는 바, 저수지 운영을 위한 필수 자료인 저수지 유입량 계측을 위한 사업이 시급한 실정임.
- HOMWRS에서의 저수지 유입량 산정은 탱크 모형을 기반으로 모의하고 있는데, 농업용 저수지 설계에 적용하기 위해 소유역에 적합하도록 매개변수가 보정되어 있음.
- HOMWRS에 의한 모의 유입량과 신설 수위계측 지점 운영에 의한 계측 유입량과 비교함으로써 모의 유입량의 불확실성을 고찰하고 유입량 정량화를 위한 계측의 필요성을 제시하고자 함.

[표 3-3-3-19] 연도별 유입량 비교 (천톤)

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

[표 3-3-3-20] 월별 유입량 비교 (천톤)

월	실측 유입량 ①	모의 유입량 ②	유입량 편차 ① - ②	비율 (%) (①-②)/①×100
11년 01월	26.8	29.8	-3.0	-11.1
11년 02월	66.2	69.7	-3.5	-5.3
11년 03월	92.7	115.9	-23.2	-25.0
11년 04월	257.0	298.8	-41.8	-16.3
11년 05월	477.1	502.2	-25.1	-5.3
11년 06월	923.7	1,184.2	-260.5	-28.2
11년 07월	2,830.1	4,288.1	-1,458.0	-51.5
11년 08월	1,555.3	1,944.1	-388.8	-25.0
11년 09월	476.7	491.4	-14.7	-3.1
11년 10월	198.7	220.8	-22.1	-11.1
11년 11월	133.7	136.4	-2.7	-2.0
11년 12월	114.5	123.1	-8.6	-7.5
12년 01월	29.3	32.5	-3.3	-11.1
12년 02월	13.0	13.7	-0.7	-5.3
12년 03월	71.4	89.2	-17.8	-25.0
12년 04월	412.4	479.5	-67.1	-16.3
12년 05월	145.5	153.2	-7.7	-5.3
12년 06월	152.3	195.3	-43.0	-28.2
12년 07월	1,404.9	2,128.7	-723.8	-51.5
12년 08월	1,197.0	1,496.3	-299.3	-25.0
12년 09월	1,215.3	1,252.9	-37.6	-3.1
12년 10월	363.9	404.3	-40.4	-11.1
12년 11월	283.8	289.6	-5.8	-2.0
12년 12월	159.0	171.0	-12.0	-7.5
13년 01월	100.8	112.0	-11.2	-11.1
13년 02월	180.5	190.0	-9.5	-5.3
13년 03월	79.6	99.5	-19.9	-25.0
13년 04월	87.5	101.7	-14.2	-16.3
13년 05월	335.7	353.4	-17.7	-5.3
13년 06월	304.7	390.7	-86.0	-28.2
13년 07월	1,827.4	2,436.5	-609.1	-33.3
13년 08월	660.7	825.9	-165.2	-25.0
13년 09월	747.0	770.1	-23.1	-3.1
13년 10월	203.2	225.8	-22.6	-11.1
13년 11월	144.0	146.9	-2.9	-2.0
13년 12월	113.9	122.5	-8.6	-7.5

- 모의 및 실측 유입량을 비교한 결과, 모의 유입량이 2011년도에는 약 32%, 2012년도에는 약 23%, 2013년도에는 약 21%로 실측 유입량보다 과다 산정되었으며, 전체 모의 기간에 걸쳐 평균 26% 가량 많이 산정되어 있음.
- 실측치에 비하여 모의치가 과다 산정되는 원인은 HOMWRS에서 유입량 산정에 사용되는 DIROM 모형의 매개변수가 우리나라 농업용 저수지 소유역에 범용적으로 적용할 수 있도록 보정되어 있어, 특정 지역의 지형 및 수문 특성을 고려하지 못하는 것으로 사료됨.
- 즉, 3단 탱크 모형에서 각 탱크의 물꼬 높이, 침투 계수 등의 매개변수가 소유역의 토지 피복 비율 즉, 유역내의 논, 밭, 산림 등의 면적 비율에 의해 자동으로 보정되므로 지형의 경사, 토양 특성, 강우 발생 형태 등 지역적인 특성을 고려하지 못하기 때문임.
- 전형적인 유입량 산정방법에서는 모형의 매개변수 불확실성으로 인하여 모의에 의한 유입량이 실측치에 비하여 과다 산정되고 있음.
- 10월부터 다음해 3월까지의 비관개시기 보다는 4월부터 9월까지의 관개시기에 큰 차이를 보이고 있어 필요수량에 적합한 관개용수량을 산정하고 효율적인 저수지 운영을 위해서는 유입량 실측을 위한 신설 수위계측 지점 구축의 필요성이 시급한 실정임.
- 신설 수위계측 지점 운영에 의한 저수지 저수량의 정량화를 고찰하기 위하여 물수지 분석을 위한 계측자료 없이 HOMWRS 모형을 이용한 대상지구의 기존 저수량 추정값과 계측 유입량, 공급량, 무효방류량을 이용하여 물수지 분석에 의하여 산정된 저수량 값과 비교함으로써 저수지 저수량의 정량화 효과에 대한 신설 수위계측 지점 운영의 효율성을 분석하고자 함.
- 기상인자 중 강수 인자가 가장 큰 영향을 미치고 있으며 관개기에 46~56%로 높은 기여율을 나타내었음.
- 농업용 저수지의 유효저수량은 물수지 분석을 근거로 한 저수지 모의 운영을 통하여 결정되고 있음.
- 유역은 유출량에 관하여 고유한 특성을 가지고 있으므로 저수지에서 유효저수량의 결정은 유역으로부터의 유출량을 근거로 하는 것이 타당하다고 제안하였음.
- 유역의 유출량을 근거로 한 추계학적 선형계획모형을 정립하고 저수지의 유효저수량을 분석하였음.



[표 3-3-3-21] 월별 공급량 비교 (천톤)

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

[표 3-3-3-22] 월별 무효방류량 비교 (천톤)

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

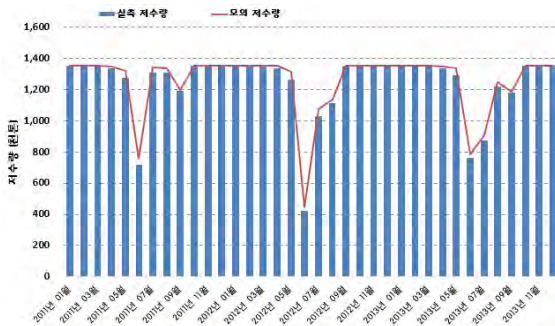
[표 3-3-3-23] 연도별 공급량 비교 (천톤)

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

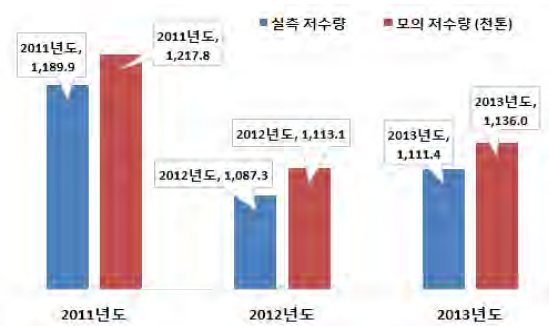
[표 3-3-3-24] 연도별 무효방류량 비교 (천톤)

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

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



[그림 3-3-3-18] 월별 모의 및 실측 (저수량)



[그림 3-3-3-19] 연도별 모의 및 실측 (저수량)

[표 3-3-3-25] 월별 저수량 비교 (천톤)

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

[표 3-3-3-26] 연도별 저수량 비교 (4 ~ 9월) (천톤)

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

○ 전체 모의기간에 걸쳐 비관개기에는 실측 저수량과 모의 저수량의 편차가 1% 이하로 미세한 차이를 보이고 있으며 4월부터 9월까지의 관개기에서는 실측 저수량이 모의 저수량

보다 평균 2.3% 적게 실측되어 약 4만톤 이상의 차이를 보이고 있음.

- 모의 저수량이 실측값을 이용하여 산정된 저수량보다 다소 많게 추정되는 원인은, 저수지 물수지 분석의 가장 중요한 요소인 저수지 유입량, 관개용수량, 무효방류량의 추정 값이 실측값과 상이하게 모의되기 때문임.
- 즉, 유역으로부터의 유입량이 신설 수위계측 지점 운영으로 계측된 유입량보다 과다 산정되고, 관개용수량은 수혜지역의 필요수량과 동일한 값으로 산정되기 때문에 실제 관개용수량보다 과소 산정되기 때문에 모의 저수량이 과다 산정되고 있음.
- 비관개시기 보다 관개시기에 더욱 과다 산정되는 경향을 보이고 있어 효율적인 저수지 운영을 위해서는 수위계측 시급함을 확인하였음.
- 대상지구의 수위계측 지점 운영에 의한 용수절감효과 분석을 위하여 관개지구 내의 실제 용수이용량인 조용수량 및 손실수량을 산정하였음.
- 수위계측 지점 운영 이전에는 전형적인 물공급 이외에 관개지구 내에서의 용수이용량이 나 하천으로 회귀되는 수량의 파악이 불가능 하였음.
- 본 연구에서는 수위계측 지점 운영을 통하여 관개지구 내에서의 조용수량 및 손실수량을 산정하고, 이를 이용하여 용수절감효과를 분석하고자 함.
- HOMWRS 모형에 의한 대상지구의 전형적인 관개용수량 산정은 실제 물공급 형태를 고려하지 못하여 신뢰성 있는 관개용수량 산정이 불가능 하였음.
- 수위계측 지점 운영함으로써 유역으로부터 저수지로의 유입량, 공급량, 관개수로 유입부 및 중간부, 말단부의 유량을 측정함으로써 조용수량 및 손실수량의 산정이 가능함.
- 관개지구 내에서 실제로 소비되는 조용수량은 작물의 소비수량인 순용수량과 손실수량의 합을 의미하는데, 각 간선의 유입부 공급량에서 말단부 유량을 감하여 산정이 가능하고, 손실수량은 산정된 조용수량에서 순용수량을 감하여 산정할 수 있음.
- 여기서 작물이 소비하는 순용수량은 현실적으로 실측이 불가능하므로 모의에 의한 필요수량을 순용수량으로 사용하였음.

[표 3-3-3-27] 수해구역별 조용수량 산정 (천톤)

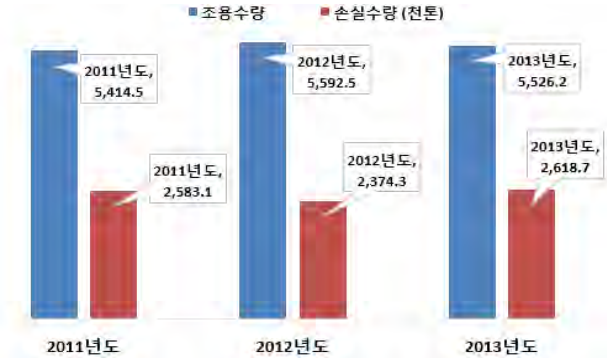
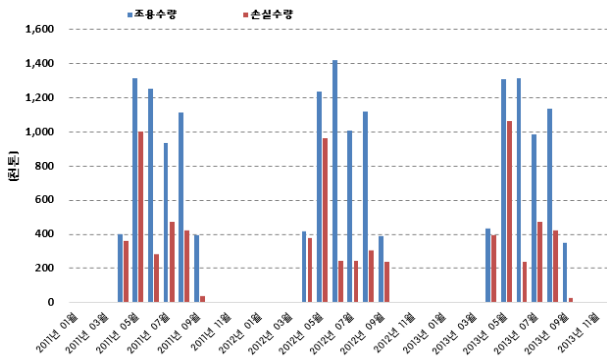
월	금곡 간선			회죽 간선		
	유입부 (K1)	말단부 (K4)	조용수량 (K1-K4)	유입부 (H1)	말단부 (H3)	조용수량 (H1-H3)
2011년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 04월	145.0	25.6	119.4	338.3	59.2	279.2
2011년 05월	547.4	167.1	380.3	1,169.2	231.6	937.7
2011년 06월	528.4	140.7	387.7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

[표 3-3-3-28] 수해구역별 손실수량 산정

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

[표 3-3-3-29] 연도별 조용수량 및 손실수량 (천톤)

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



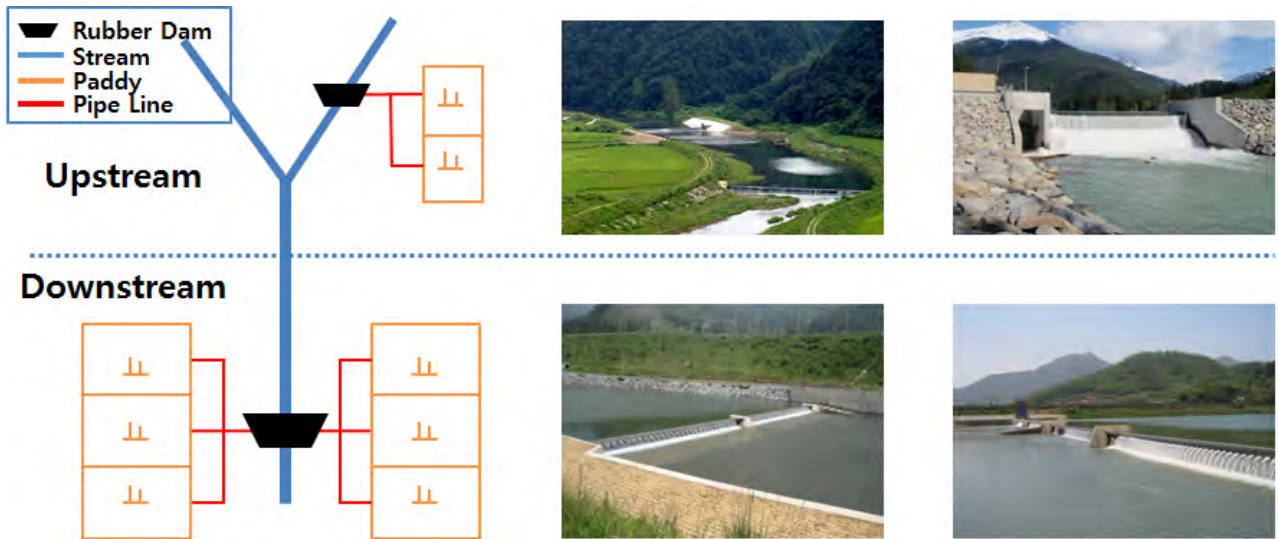
[그림 3-3-3-20] 월별 조용수량 및 손실수량 [그림 3-3-3-21] 연도별 조용수량 및 손실수량

- 수위계측 지점 운영을 통하여 실측된 공급량, 관개수로 유입부 및 말단부 유량을 이용하여 대상지구의 조용수량 및 손실수량을 산정한 결과, 조용수량은 공급량의 약 73%로 산정되었고 손실율은 평균 46%로 나타났다.
- 2011년도에는 조용수량 5백41만톤, 손실수량 2백58만톤으로 산정되었고, 2012년도에는 조용수량 5백59만톤, 손실수량 2백37만톤, 2013년도에는 조용수량 5백53만톤, 손실수량 2백62만톤으로 평균 조용수량은 5백51만톤, 손실수량은 2백53만톤으로 산정되었음.
- 농업생산기반설계기준 (농림부, 2002)에 의하면 관개수로의 손실을 약 15%, 관리손실율을 약 11%로 적용하여 용수손실율을 26% 정도로 추정하고 있는데, 대상지구의 손실율은 46%로 설계 기준보다 20% 이상 높게 산정되었음.
- 이러한 이유는 대상지구의 각 간선 중간부에 하천으로 방류하기 위한 방수문이 있는데, 과잉 공급이 될 경우 공급량을 조절하지 않고 방수문을 개방하여 하천으로 방류하고 있어 관리손실율이 설계기준보다 높은 것으로 판단됨.

(3) 공급량 확보를 위한 사례 분석 및 제언

- 논 관개를 위한 수원공으로서 우리나라는 주로 농업용 저수지를 이용하고 있는데 약 만8천개소가 구축되어 있으며, 간척지의 경우에는 담수호를 수원공으로 사용하고 있음.
- 우리나라는 거의 매년 봄 가뭄으로 인하여 피해를 입고 있는 상황이며, 현실적으로 추가 수원공의 개발이 어려운 실정임.
- 따라서 본 연구에서는 추가 용수를 확보하고 지속가능한 하천 관리를 위한 SWSS (Sustainable Water Securing System) 적용 사례를 분석하여 추가 공급량 확보를 위한 제언을 하고자 함.

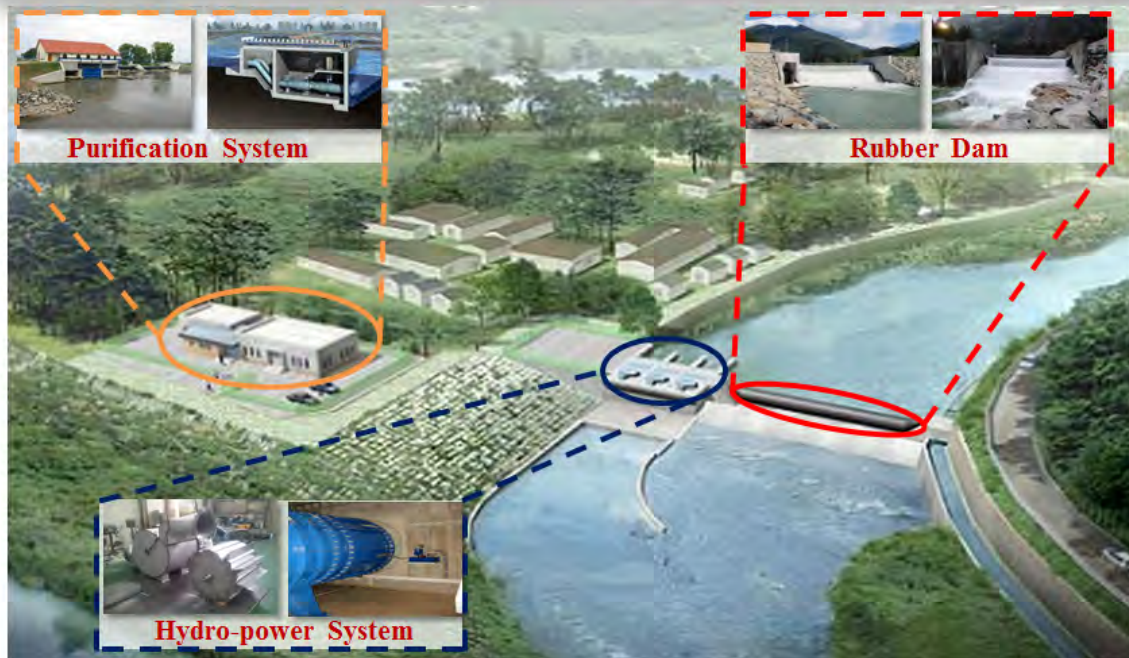




[그림 3-3-3-22] SWSS 개념도

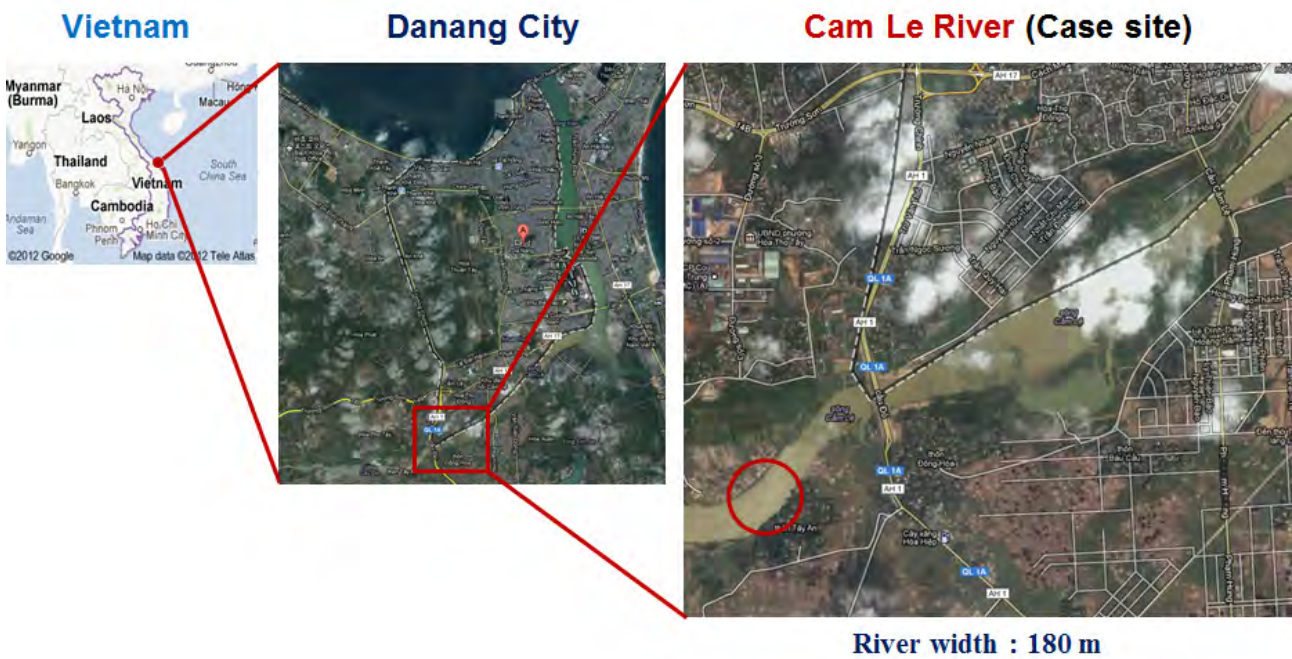
- 하천의 상류지역 즉 산지 유역의 경우에는 관개용수 공급을 위한 저수지 개발이 어려울 뿐만 아니라 하천 유출량이 미비하여 용수 확보가 어려운 실정임.
- SWSS는 가동보 형식인 고무보를 활용하여 산지 유역의 관개지역에 용수 공급을 할 수 있도록 충분한 수자원을 확보하고자 함.
- 또한, 산지의 경우에는 전력의 공급이 원활하지 않기 때문에 고무보를 설치한 지점에서 소수력 발전을 통하여 고무보를 운영함과 동시에 인근 지역에 전력의 공급이 가능함.

### Irrigation + Small Hydro-power Generation + Water Purification



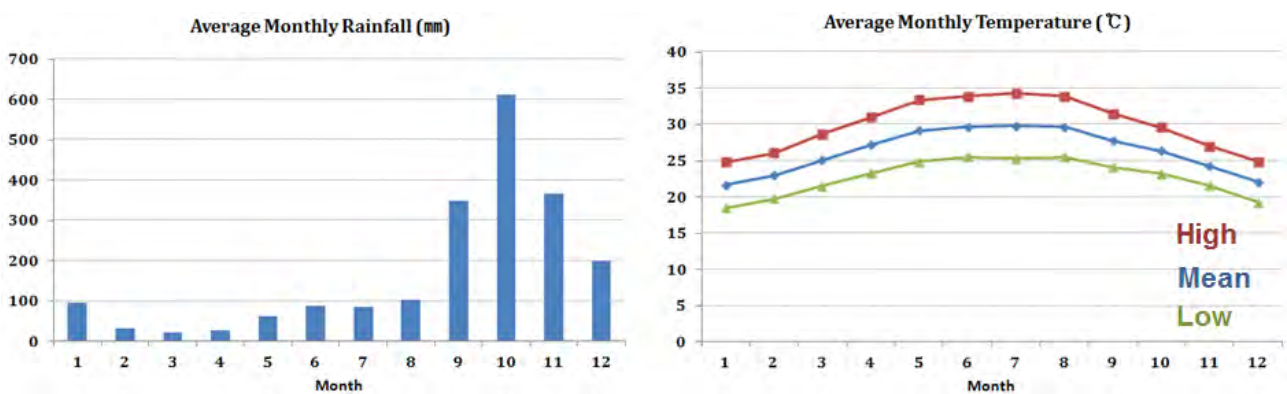
[그림 3-3-3-23] 고무보를 활용한 SWSS 설치 구상도

- SWSS 적용 대상지구로서 베트남의 다낭시에 위치한 CamLe 강에 적용하여 추가 용수 확보량 및 전력 생산량을 추정하였음.



[그림 3-3-3-24] SWSS 적용 대상지구

- 다낭 지역은 전형적인 몬순 기후를 가지고 있어 9월부터 3월까지의 우기, 4월부터 8월까지의 건기의 기후특성을 가지고 있음.
- 연평균 기온은 약 26도이고 연평균 습도는 약 80%이며 연강수량은 약 2,500mm로서 10월부터 12월까지 약 2,000mm의 강우가 발생하고 있음.




[그림 3-3-3-25] 다낭지역의 기후 특성

- CamLe 강에 3m 높이의 고무보를 약 180m로 설치할 경우로 가정하여 홍수기, 평수기, 저수기, 갈수기의 추가 용수 확보량 및 전력 생산량을 추정하였음.



### Securing Irrigation Water Resources

Flow Duration Conditions	Additional water resources (ton)	Suggested Rubber Dam dimension (3.0 mH x 180.0 mL)
Flood period (95 days)	Rubber Dam Deflated	
Normal period (185 days)	960,000	
Low-flow period (275 days)	650,000	
Drought period (355 days)	400,000	

### Generation Capacity / Installation Cost

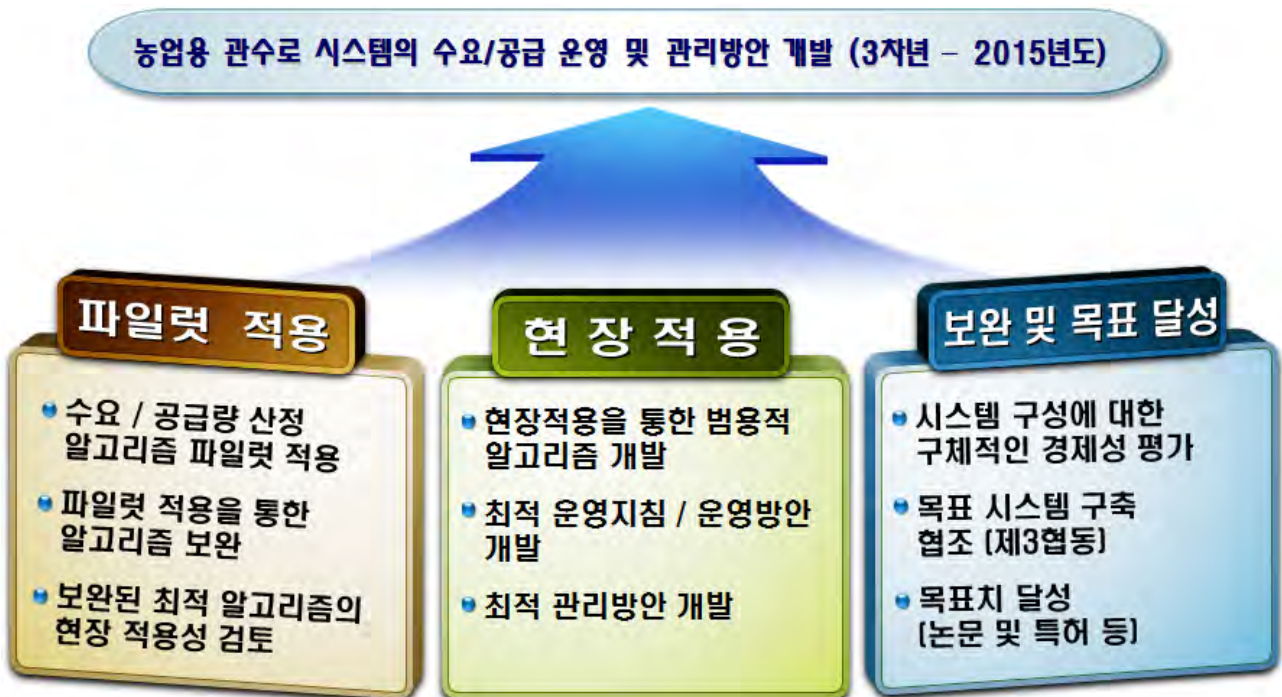
Flow Duration Conditions	Head (m)	Flow to turbine (CMS)	Capacity (KW)	Monthly Capacity (MWH)	Cost (USD)
Flood period (95 days)	2.0	16.96	66.5	47.9	2,650,000
Normal period (185 days)	1.6	13.57	112.4	80.9	
Low-flow period (275 days)	1.3	11.02	170.2	122.5	
Drought period (355 days)	1.0	8.48	265.9	191.5	

[그림 3-3-3-26] SWSS를 활용한 추가 용수 확보량 및 전력 생산량

- 홍수기에는 치수를 위하여 고무보를 도복하고, 평수기에는 이수를 위하여 고무보를 기립하여 약 96만톤의 추가 용수 확보가 가능하였고 저수기에는 65만톤, 갈수기에는 40만톤의 용수가 확보될 수 있음.
- 또한, 고무보를 활용한 소수력 발전으로 홍수기에는 약 50MW, 평수기에는 약 80MW, 저수기에는 약 122MW, 갈수기에는 약 190MW/월의 전력이 생산되는 것으로 추정되었음.
- SWSS는 지속가능한 하천 관리를 위하여 다목적으로 사용이 가능하여 추가 용수 확보뿐만 아니라 소수력 발전에 의한 전력 생산, 홍수 조절, 친환경 수변공간 조성 등으로 활용이 가능함.
- 따라서, 물부족 국가로 분류되고 용수 확보를 위한 추가 개발이 어려운 실정인 우리나라에서 관개용수뿐만 아니라 수자원의 확보를 위하여 SWSS의 활용성을 검토할 필요성이 있음.

#### 4. 농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급 운영방안 및 최적 관리방안 개발

- 농촌용수 관수로 시스템의 수요/공급 운영 및 관리방안 개발은 3차년도 세부 목표로서,
  - ① 수요/공급량 산정 알고리즘의 파일럿 적용 및 보완, ② 관수로 시스템의 수요/공급 최적 운영방안 개발, ③ 관수로 시스템의 수요/공급 최적 관리방안을 개발하는 내용을 포함하고 있음.
- ① 수요/공급량 산정 알고리즘의 파일럿 적용 및 보완은 2차년도에 개발된 수요/공급량 산정 알고리즘을 관수로 시스템 파일럿 플랜트에 시범적용 하여 현장 적용을 위한 기초 자료를 구축하였음.
- ② 수로 시스템의 수요/공급 최적 운영방안 개발은 파일럿 적용 결과를 현장에 적용하여 기존 관수로 시스템의 공급능력을 평가하고 과잉 공급 혹은 비효율적인 공급 형태를 개선하고자 운영 지침을 개발하였음.
- ③ 관수로 시스템의 수요/공급 최적 관리방안 개발은 관수로 시스템에 적합한 수요/공급량 산정 알고리즘의 파일럿 적용 및 현장적용 결과를 토대로 관수로 시스템의 시기별 관리 방안을 개발하였음.



[그림 3-3-4-1] 3차년도 연구 내용

### 가. 수요/공급량 산정 알고리즘의 파일럿 적용 및 분석

- 2차년도에 개발되었던 관수로 시스템에 적합한 수요/공급량 산정 알고리즘을 파일럿 플랜트에 적용하고 운영함으로서 수요/공급량 산정 알고리즘을 보완하고자 함.

기상월보 데이터파일로부터 읽어올 수 있는 자료				계	산	과	정	E열
날짜	YYYY	1999					1999	E6
	MM	06					06	E7
	DD	10					10	E8
평균해면기압	P	1012.0	hPa				1012.0	E9
평균기온	T_mean	22.9	℃				22.9	E10
최고기온	T_max	28.4	℃				28.4	E11
최저기온	T_min	18.5	℃				18.5	E12
평균상대습도	RH_mean	69	%				69	E13
평균풍속	u_mean	1.8	m/sec				1.8	E14
일조시간	n	10.8	hr				10.8	E15
수평면일사량	Rs	22.97	MJ/m <sup>2</sup> ·day				22.97	E16
								E17
변수 초기값이 정의되어야 하는 변수								E18
관측소의 위치(위도)	lat	37.27	Dec. Deg.				37+16/60	E19
풍속계의 지상높이	z1	14.7	m				14.7	E20
기압계의 해발높이	z2	34.8	m				34.8	E21
관측소노장의 해발높이	z3	33.6	m				33.6	E22
								E23
계산에의한 값들								E24
<b>1. Parameters</b>								E25
① Conversion of wind speed	u2	1.270627	m/sec				$E14 * (4.87 / (\ln(67.8 * E20 - 5.42)))$	E26
② Atmospheric pressure								E27
계산식 :	P1	100.8893	kPa				$101.3 * ((293 - 0.0065 * E21) / 293)^{5.26}$	E28
기상월보 :	P2	101.2	kPa				E9/10	E29
③ Air temperature								E30
계산식 :	TM1	23.45	℃				$(E11 + E12) / 2$	E31
기상월보 :	TM2	22.9	℃				E10	E32
④ Slope of saturation vapor pressure curve								E33
나누어계산하기 1 :	a	260.75					$E31 + 237.3$	E34
나누어계산하기 2 :	b	4.726292					$\text{EXP}((17.27 * E31) / E34)$	E35
	Δ	0.173997	kPa/℃				$(4098 * 0.6108 * E35) / E34^2$	E36
⑤ Psychrometric constant ( r )								E37
잠재증발열 :	λ	2.45	MJ/kg				2.45	E38
일정압력에서의 비열 :	cp	0.001013	MJ/kg·℃				$1.013 * 10^{-3}$	E39
수증기와 건조공기의 분자량 비율 :	ε	0.622					0.622	E40
	r	0.067065	kPa/℃				$(E39 * E28) / (E40 * E38)$	E41
<b>* 요약</b>	<b>A</b>	0.644349					$E36 / (E36 + E41 * (1 + 0.34 * E26))$	E42
	<b>B</b>	0.248357					$E41 / (E36 + E41 * (1 + 0.34 * E26))$	E43
	<b>C</b>	3.857528					$900 * E26 / (E31 + 273)$	E44
								E45

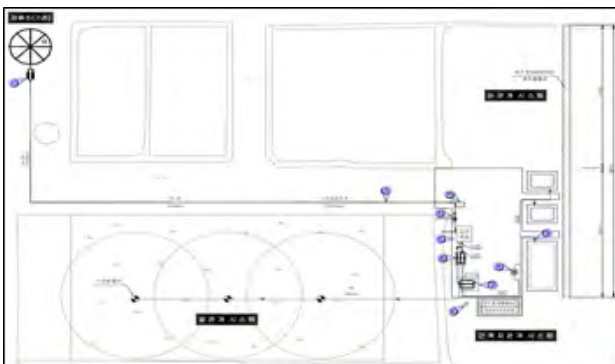
[그림 3-3-4-2] 증발산량 산정 자동화 알고리즘 (계속)

<b>2. Vapour pressure deficit</b>					E46
① mean saturation vapour pressure (es)					E47
	e <sup>0</sup> _max	3.868864	kPa	$0.6108 \cdot \text{EXP}((17.27 \cdot \text{E11}) / (\text{E11} + 237.3))$	E48
	e <sup>0</sup> _min	2.129777	kPa	$0.6108 \cdot \text{EXP}((17.27 \cdot \text{E12}) / (\text{E12} + 237.3))$	E49
	es	2.999321	kPa	$(\text{E48} + \text{E49}) / 2$	E50
② Actual vapour pressure (ea)					E51
for RH_mean	ea	2.069531	kPa	$\text{E50} \cdot \text{E13} / 100$	E52
* Vapour pressure deficit (es-ea)	<b>D</b>	0.929789	kPa	$\text{E50} - \text{E52}$	E53
					E54
<b>3. Radiation</b>					E55
① Extraterrestrial radiation (Ra)					E56
radians :	rad	0.650426		$\text{PI}() / 180 \cdot \text{E19}$	E57
number of day in the year :	J	161		$\text{INT}(275 \cdot \text{E7} / 9 - 30 + \text{E8}) - 2$	E58
inverse relative distance Earth-Sun :	dr	0.969234		$1 + 0.033 \cdot \text{COS}(2 \cdot \text{PI}() \cdot \text{E58} / 365)$	E59
solar declination :	δ	0.401693		$0.409 \cdot \text{SIN}(2 \cdot \text{PI}() \cdot \text{E58} / 365 - 1.39)$	E60
sunset hour angle :	ωs	1.899919		$\text{ACOS}(-\text{TAN}(\text{E57}) \cdot \text{TAN}(\text{E60}))$	E61
solar constant :	Gsc	0.082	MJ/m <sup>2</sup> · min	0.082	E62
나누어계산하기 :	Ra_t	1.142963		$\text{E61} \cdot \text{SIN}(\text{E57}) \cdot \text{SIN}(\text{E60}) + \text{COS}(\text{E57}) \cdot \text{COS}(\text{E60}) \cdot \text{SIN}(\text{E61})$	E63
	Ra	41.63777	MJ/m <sup>2</sup> · day	$(24 \cdot 60) / \text{PI}() \cdot (\text{E62} \cdot \text{E59} \cdot \text{E63})$	E64
② Solar radiation (Rs)					E65
기상월보 :	Rs1	22.97	MJ/m <sup>2</sup> · day	E16	E66
계산식 :					E67
Daylight hours :	N	14.51431	hr	$24 / \text{PI}() \cdot \text{E61}$	E68
actual duration of sunshine (기상월보) :	n	10.8	hr	E15	E69
Angstrom value :	as	0.25		0.25	E70
Angstrom value :	bs	0.50		0.50	E71
	Rs2	25.90063	MJ/m <sup>2</sup> · day	$(\text{E70} + \text{E71}) \cdot (\text{E69} / \text{E68}) \cdot \text{E64}$	E72
③ Clear-sky solar radiation (Rso)	Rso	31.25631	MJ/m <sup>2</sup> · day	$(0.75 + 0.00002 \cdot \text{E22}) \cdot \text{E64}$	E73
④ Net solar or net shortwave radiation(Rns)					E74
Albedo :	α	0.23		0.23	E75
	Rns	19.94349	MJ/m <sup>2</sup> · day	$(1 - \text{E75}) \cdot \text{E72}$	E76
⑤ Net longwave radiation(Rnl)					E77
Stefan-Boltzmann constant :	σ	4.903E-09	MJ/m <sup>2</sup> · K <sup>4</sup> · day	$4.903 \cdot 10^{-9}$	E78
T_max K :	tmk	301.56		$\text{E11} + 273.16$	E79
T_min K :	tmk	291.66		$\text{E12} + 273.16$	E80
Rs/Rso :	rrs	0.82865		$\text{E72} / \text{E73}$	E81
나누어계산하기 1 :	a	38.01283		$\text{E78} \cdot ((\text{E79}^4 + \text{E80}^4) / 2)$	E82
나누어계산하기 2 :	b	0.13860		$(0.34 - 0.14 \cdot \text{SQRT}(\text{E52}))$	E83
나누어계산하기 3 :	c	0.76868		$(1.35 \cdot \text{E81} - 0.35)$	E84
	Rnl	4.04980	MJ/m <sup>2</sup> · K <sup>4</sup> · day	$\text{E82} \cdot \text{E83} \cdot \text{E84}$	E85
⑥ Net radiation (Rn)	Rn	15.89369	MJ/m <sup>2</sup> · K <sup>4</sup> · day	$\text{E76} - \text{E85}$	E86
⑦ Soil heat Flux (G)	G	0		0	E87
					E88
* 0.408(Rn - G)	<b>E</b>	6.48463		$0.408 \cdot (\text{E86} - \text{E87})$	E89
					E90
잠재증발산량	<b>ETo</b>	5.06914	mm/day	$\text{E42} \cdot \text{E89} + \text{E43} \cdot \text{E44} \cdot \text{E53}$	E91

[그림 3-3-4-3] 증발산량 산정 자동화 알고리즘



- 기존의 증발산량 산정 프로그램은 해외에서 개발된 것이 대부분으로, 국내에서 관측되는 기상인자 이외에 매개변수에 대해서는 가정값을 사용하는 등 증발산량 산정에 어려운 실정임.
- 이었으나, 본 연구에서 개발된 알고리즘은 Penman-Monteith Equation (FAO 56)을 기반으로, 국내 관측 기상인자를 사용하여 증발산량을 산정할 수 있도록 Fortran 90 프로그램으로 알고리즘을 개발하였으며, 또한 사용자 사용성을 제고하기 위하여 엑셀 프로그램으로 자동화 알고리즘을 개발하였음.
- 증발산량 산정 알고리즘을 파일럿 플랜트에 적용하여 수요량을 산정하였으며, 이때 침투량은 7 mm/day, 관리용수량은 4 mm/day로 가정하였음.
- 수요/공급량 산정 알고리즘을 파일럿 플랜트에 적용하기 위하여 기 설치된 파일럿 플랜트의 현황을 조사한 바, 논 3개, 밭 1개 지구에 용수를 공급할 수 있도록 관수로 시스템의 축소 모형을 구축하였음.



[그림 3-3-4-4] 파일럿 플랜트 설치 현황

- 파일럿 플랜트에 개발된 수요량 산정 알고리즘을 적용하여 논 3개 지구, 밭 1개 지구의 수요량을 산정한 결과, 논 1은 0.14 m<sup>3</sup>/day, 논 2는 0.14 m<sup>3</sup>/day, 논 3은 0.29 m<sup>3</sup>/day, 밭 1은 1.20 m<sup>3</sup>/day로 산정되었음.
- 산정된 수요량으로부터 2차년도에 개발된 공급량 산정 방법을 이용하여 공급량을 산정하

였는데, 수요량의 5%를 손실 및 기타 관리수량으로 가정하고 수요량에 손실 및 기타 관리수량을 더한 값으로 공급량을 산정하였음.

○ 관수로 시스템의 공급량 산정식

$$Q_{st} = Q_n + Q_l$$

$Q_{st}$  : 해당 월의 총 공급량 (ton)

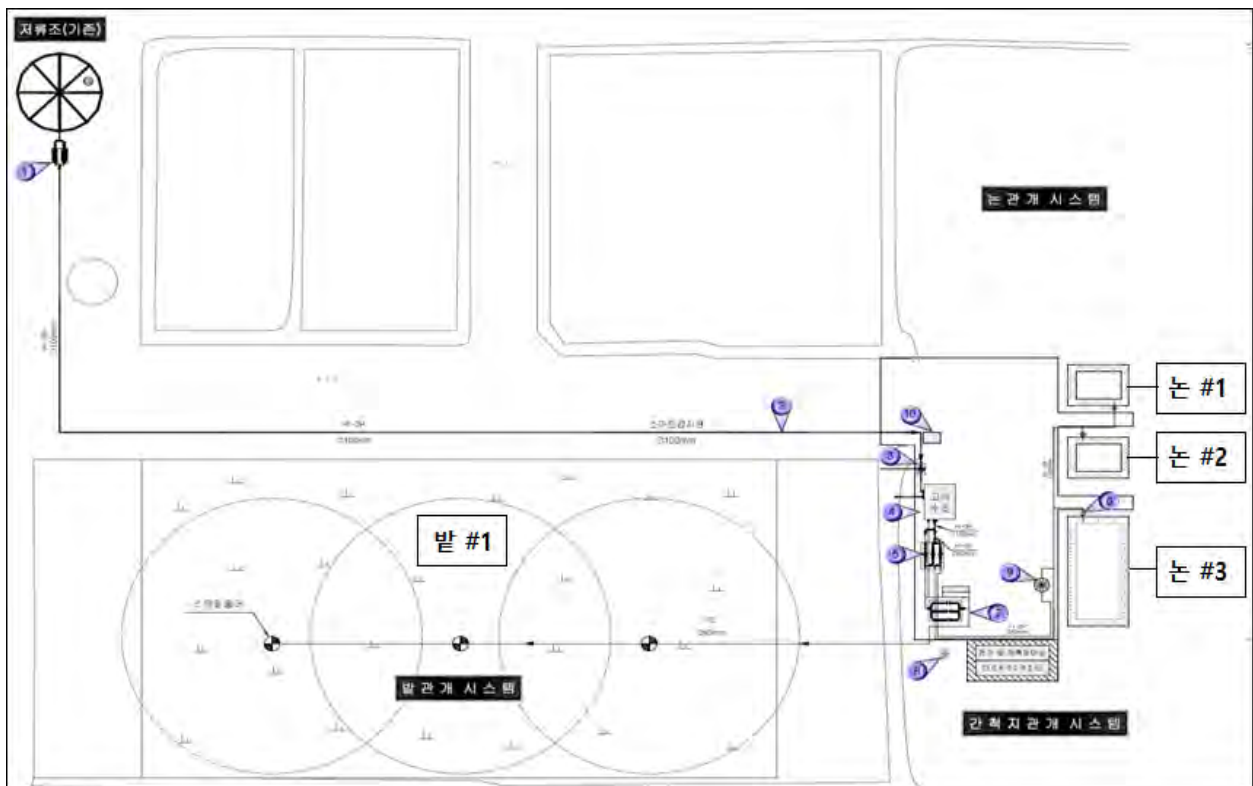
$Q_n$  : 해당 월의 필요수량 (Penman-Monteith Equation (FAO 56) 자동화 알고리즘을 이용)

$Q_l$  : 해당 월의 손실수량 (=  $Q_n \times 5\%$ ) (수로 손실수량 및 기타 관리수량)

○ 파일럿 플랜트의 공급량을 계산한 결과, 논 1은 0.15 m<sup>3</sup>/day, 논 2는 0.15 m<sup>3</sup>/day, 논 3은 0.30 m<sup>3</sup>/day, 밭 1은 1.26 m<sup>3</sup>/day로 산정되었음.

○ 파일럿 플랜트를 대상으로 산정된 수요량 및 공급량을 이용하여, 관수로 시스템의 효율적인 운영 및 관리방안을 개발하고자 물공급 시나리오를 적용하였음.

○ 즉, 우리나라의 일반적인 관개방식인 간단관개, 운번관개, 연속관개를 토대로 시나리오 1은 3개의 논 지구와 1개의 밭 지구를 순차적으로 관개하는 방식이고, 시나리오 2는 3개의 논 지구를 동시에 관개하고 1개의 밭 지구를 관개하는 방식이고, 시나리오 3은 3개의 논 지구와 1개의 밭 지구를 동시에 관개하는 방식으로 적용하였음.



[그림 3-3-4-5] 파일럿 플랜트의 관수로 관개지구 현황



[표 3-3-4-1] 파일럿 플랜트 적용을 위한 관개 시나리오

관개 시나리오	관개 형식	관개 방식
시나리오 1 (S1)	간단관개	- 3개의 논 지구 및 1개의 밭 지구에 대하여 각각의 필요 수량이 만족할 때까지 순차적으로 관개
시나리오 2 (S2)	윤번관개	- 관개지구를 그룹화하여 3개의 논 지구 필요수량이 만족할 때까지 우선적으로 관개하고 이후 1개의 밭 지구에 관개
시나리오 3 (S3)	연속관개	- 공급 밸브의 제어 없이 3개의 논 지구 및 1개의 밭 지구 필요수량이 모두 만족할 때까지 동시에 관개

- 관개 형식에 따른 물공급 형태를 분석하기 위하여 관수로에서의 Manning 공식 및 연속방정식 등 간단한 관망해석으로 각 시나리오별 관개 시간 및 공급량을 산정하였음.

[표 3-3-4-2] 파일럿 플랜트 관개 시나리오별 관개 시간 및 공급량 산정

관개 시나리오	관개 형식	관개 시간 (min)	공급량 (ton)
시나리오 1 (S1)	간단관개	46.4	1.86
시나리오 2 (S2)	윤번관개	44.2	2.16
시나리오 3 (S3)	연속관개	42.0	18.5

- 시나리오 1은 간단관개 형식으로서 각 관개 지구별로 필요수량이 만족할 때까지 순차적으로 관개하므로, 관개시간은 약 46분으로 가장 오래 소요되나 관개수량은 1.86ton으로 가장 적은양으로서 관개가 가능한 방법으로 비교적 관개수량이 충분하지 못한 시기 혹은 지역에서 적용이 가능함.
- 시나리오 2는 윤번관개 형식으로서 3개의 논 지구를 우선적으로 관개하고 논 지구의 필요수량을 만족하면 밭 지구를 관개하는 방법으로, 관개시간은 약 44분으로 간단관개보다 관개시간은 다소 절감되나 관개수량은 2.16ton으로 다소 관개수량이 증가하였음.
- 시나리오 3은 연속관개 형식으로서 중간 공급밸브 제어 없이 논 지구 및 밭 지구를 동시에 관개하는 방법으로, 가장 많은 필요수량이 요구되는 지구의 필요수량이 공급될 때까지 연속적으로 공급하여 관개시간은 약 42분으로 가장 적게 소요되나 관개수량은 18.5ton으로 가장 많은양이 공급되는 단점이 있어, 비교적 연중 관개수량이 충분한 지역에서 적용이 가능함.
- 파일럿 플랜트에서 적용된 시나리오를 해남지구에 적용함하여 실제 관개형태와 비교함

로서 관수로 시스템에 적절한 관개 형식을 제안하고자 하며, 현장 적용을 위해서 관망 해석 모형인 EPANET을 이용하였음.

## 나. 관수로 시스템의 수요/공급 운영방안 개발

- EPANET 모형은 관망 내의 수리 거동을 모의하는 프로그램으로서, 관거, 절점, 펌프, 밸브, 저수탱크, 저수지 등이 포함되어 있는 관망에서 통수량, 압력, 수위 등을 모의할 수 있음.
- EPANET 모형을 해남지구에 적용하여 관수로 시스템의 관내 수리거동을 분석하고 필요수량 대비 과잉 공급량을 분석함으로써 수요/공급 운영 방안을 개발하고자 함.

### (1) 관망해석을 위한 기초자료 조사

- 해남지구 3공구는 한국농어촌공사 해남지사에서 관리하고 있으며, 행정구역상으로는 전라남도 해남군 해남읍 울동리, 연곡리, 내사리, 송호리, 원호리, 금풍리, 일신리에 위치하고 있고, 농업용 관수로시스템은 1987년도에 서남해안간척사업으로 해남지구 간척농지개발사업으로 시작되었어 2002년 3-1공구, 2004년 3-2공구 준공이 완료되었음.
- 대상지구의 용수원은 서남해안간척사업으로 조성된 해남호에 확보된 용수원을 기반으로 연곡양수장으로부터 용수간선 6조 12,500m와 용수지선 21조 18,239m을 적절히 배치하여, 간척지 695ha와 배후지 430ha로 수혜면적 1,125ha에 공급하고 있음.



[그림 3-3-4-6] 해남지구 위치도

- 해남지구의 설계 당시 연강우량은 700.6mm에서 1749.7mm까지 분포하고 있으며 연평균 강우량은 1,253mm이고, 강우분포는 대부분이 고온다습한 6~9월중에 연강우량의 약 60%가 집중되어 우리나라의 일반적인 강우분포 형태를 나타내고 있음.

- 기온은 연평균 기온이 13.6℃로 전국 연평균 기온 12.5℃보다 다소 높게 나타나고 있는데 동절과 하절의 차가 약 25℃로서 심한 변화를 이루고 있지만 수도생육기인 6월과 9월 사이의 평균기온 차는 약 2℃로써 큰 변화가 없음.
- 연평균 상대습도는 74.8%로 나타나고 있어 높은 분포를 보이고 있으며 최소상대습도는 71%로서 10 ~ 12월에 나타나고 최고상대습도는 83%로 7월에 조사되어 여름철에 고온다습하고 겨울철에 한랭건조한 우리나라의 일반적인 기상특성을 나타내고 있음.

[표 3-3-4-3] 해남지구 월별 습도 (1990~2010) (단위: mm)

월 별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
최 고	83	80	81	83	83	88	91	87	83	75	83	79
최 저	66	61	62	66	66	70	74	75	71	64	62	59
평 균	69.7	68.2	67.9	66.8	71.1	75.4	81.7	80.2	76.1	70.4	70.1	69.7

[표 3-3-4-4] 해남지구 월별 기온 (1990~2010) (단위: ℃)

월 별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
최 고	17.2	21.7	22.7	27.2	33.1	31.8	36.6	35.5	33.7	29.7	25.9	19.5
최 저	-14.1	-10.9	-7.5	-4.6	2.1	8.4	15	14	5.9	-3.2	-5.9	-12.7
평 균	1.6	3.0	6.8	12.1	17.1	21.4	24.9	25.7	21.6	15.4	9.2	3.7

[표 3-3-4-5] 해남지구 월별 평균 강수량 (1990~2000) (단위: mm)

월 별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평 균 강수량	31.2	45.7	106.6	90.7	106.6	182.0	242.6	252.6	143.1	43.4	45.9	29.9

- 해남지구는 간척사업으로 조성된 해남호에 확보된 용수원을 2공구의 1251ha를 교통양수장에서 3공구의 1125ha를 연곡양수장에서 양수하여 2,376ha의 면적에 농업용수를 공급하고 있음.
- 해남호의 유역면적은 18,130ha 중 상류부 양촌저수지 유역 1,776ha에 대한 수혜면적 316ha를 관개한 후 월류되는 수량과 나머지 유역 16,354ha의 유출량을 합하여 호 유입량으로 계획하였으며 관개면적 2,376ha의 필요수량을 32개년(1956~1987년)간 물수지를 시행하여 필요수량에 대한 각 연도별 필요수량에 대한 빈도분석을 시행하여 비교분석 후 Gumbel chow Method에 의하여 10년 빈도 한발에 해당하는 필요저수량 1,175ha·m로 산출하여 유효저수량 1,234ha·m을 확보하고 있음 (농어촌공사, 2009).

[표 3-3-4-6] 해남호 저수현황

관개면적	2,376ha
연간 유입량	9,516.6ha · m
총 저수량	1,920ha · m
유효 저수량	1,234ha · m
필요 저수량	1,177ha · m
담수호 면적	649ha
농업용수공급	1,064.7ha · m
관리수위	EL(-)0.50m(505ha)
사 수 위	EL(-)4.00m(197ha)
평균최저수위	EL(-)2.33m

- 해남 방조제의 내측에 방조제 9조, 30,037m을 축조하여 조성된 만수면적 505ha의 호를 용수원으로 하여 양수장 2개소 2공구 교동양수장과 3공구 연곡양수장은 1단 양수장으로 서 간척지 1,801ha와 배후지 679ha의 해남지구 관개면적 2,480ha 농경지에 농업용수를 공급하는 주 양수장임.
- 본 연구대상지구로 선정한 해남지구 3공구의 주 양수장인 연곡양수장은 해남지구 3공구 간척농지 695ha 와 배후지 430ha 합계 1,125ha의 면적에 관개급수를 위하여 해남군 화산면 연곡리에 설치된 3공구의 주 수원공임.
- 연곡양수장의 1호 Pump는 전 양정 18.14m에 실 양정은 16.06m로 1.644m<sup>3</sup>/sec을 양수하기 위하여 650mm 양흡입와권펌프 2대와 260HP 전동기 2대의 규모이며, 2호 Pump는 전 양정 20.16m에 실 양정은 18.06m로 1.410m<sup>3</sup>/sec을 양수하기 위하여 600mm 양흡입와권펌프 2대와 250HP 전동기 2개의 규모임.
- 영호남 지역의 묘대기는 5월 1일~6월 10일 (41일간)이며 묘대면적은 관개면적의 1/20로 하고 묘대정지기간은 4월 27일~4월 30일 (4일간)으로 하여 씨레용수 140mm를 공급하도록 하였으며 본답기의 관개기간은 6월 중순부터 9월 중순까지로 102일간으로 하여 공급하고 있음 (농림수산부, 2000).

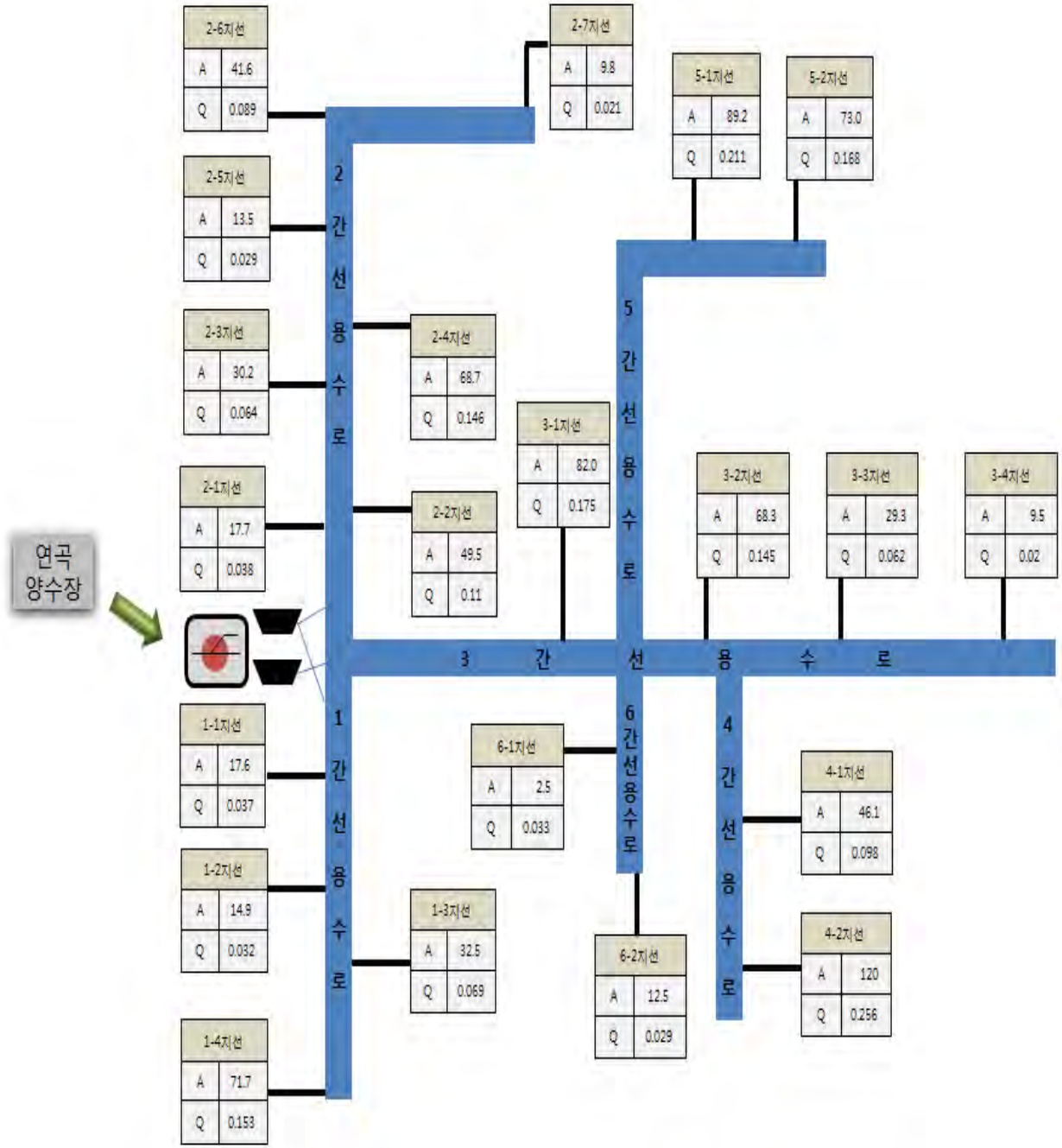
[표 3-3-4-7] 해남지구 3공구 양수장 제원

양수장 명칭	위 치	관개면적 (ha)	양수량 (m <sup>3</sup> /sec)	전동기		양수기 (mm x 대)
				마력	대수	
연곡	해남군 화산면 연곡리	1,125	1,644	260	2	650 x 2
			1,410	250	2	600 x 2
부호	해남읍 부호리	79	0.200	40	2	250 x 2
울동	화산면 울동리	79	0.200	40	2	250 x 2



[그림 3-3-4-7] 연곡양수장 전경

- 연곡양수장을 통해 저류조 2곳으로 양수하여 확보된 용수를 지구 내의 설치되어 있는 관수로를 이용하여 용수간선, 용수지선, 용수지거를 통하여 말단에 공급하고 있고, 배수는 지구 내 홍수량이 호로 최대한 자연배제가 가능하도록 계획되었으며 설치된 배수지거와 배수지선은 지형을 최대한 이용하여 직선화하였음.
- 해남지구 3공구의 용수 계통을 도식화 한 결과 연곡양수장으로부터 고지대 급수용과 저지대 급수용으로 2곳의 저류조 각각 용수가 양수되고, 저지대급수 저류조에서 1호 간선용수로와 2호 간선용수로의 용수공급을 하고 있으며, 고지대급수 저류조는 3호 간선용수로로 통하여 4호 간선용수로, 5호 간선용수로, 6호 간선용수로로 용수를 공급하고 있음.
- 3개 간선이 분기하여 최종 6개 간선이 지구 전 지역을 관개하는 조직으로 5호 간선은 지구여건상 개거수로로 설치되었고 나머지 5조는 관수로로 되어있고, 용수 지선은 21조 중에서 18조가 관수로이며 용수지거는 86조로 구성되어 있음.
- 용수간선 제원은 1호 간선용수로의 관경으로 500~800mm, 2호 간선용수로 350~800mm, 3호 간선용수로 700~1100mm, 4호 간선용수로 450~600mm 6호 간선용수로 400mm, 마지막으로 5호 간선용수로는 개거수로로 구성되어 있음.

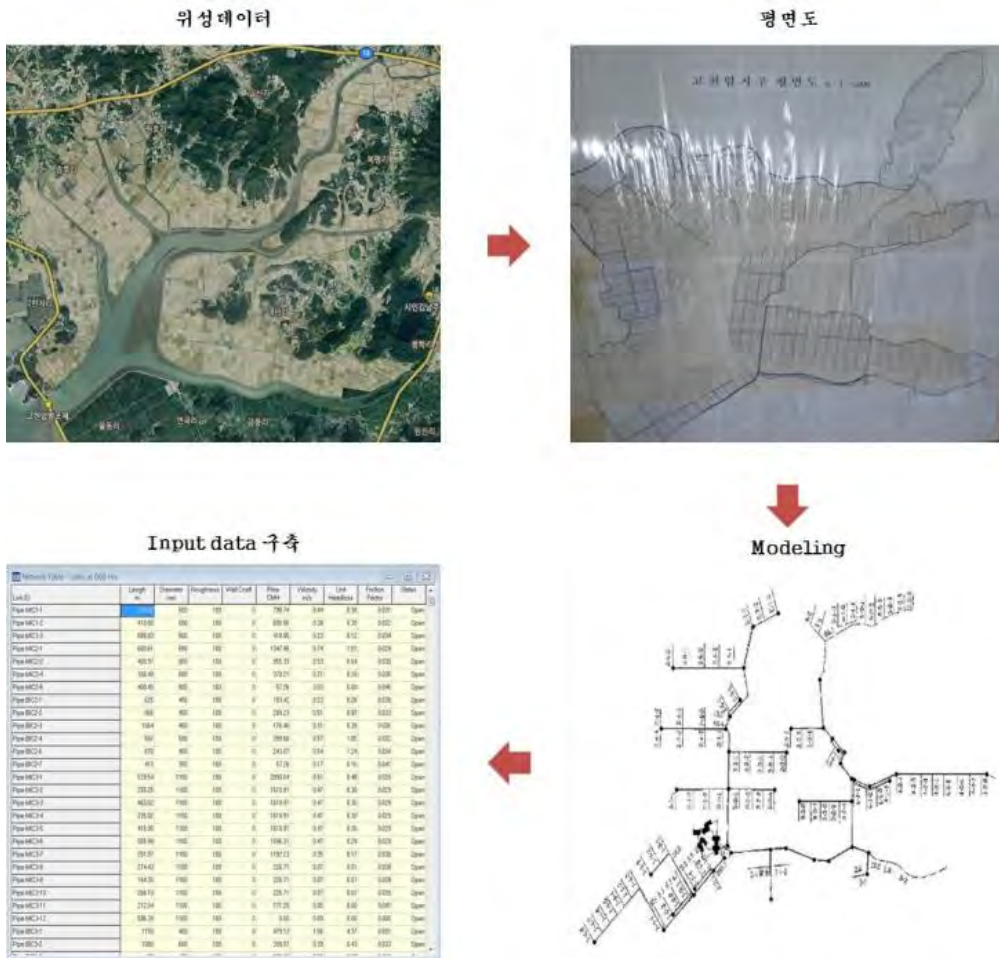


[그림 3-3-4-8] 해남지구 용수계통도



(2) 관망해석을 위한 입력자료 구축

- 관망해석을 위하여 EPANET에 입력되는 대상지구의 기초자료로는 관경, 관 연장, 관 재료에 따른 조도계수, 계획도, 시설문 현황 등으로 구축되는데, 현장 조사와 농어촌공사 해남지사가 보유하고 있는 설계도면을 활용하여 모형에 필요한 입력 자료를 수집하였음.



[그림 3-3-4-9] EPANET 입력자료 구축절차

- GIS 기반으로 공간자료와 수집된 현장자료의 평면도를 Back ground 기능을 이용하여 보다 정확한 network 형성하는데 활용하였고, 대상지구의 위성사진과 Back ground에 사용된 평면도를 Map Dimensions을 기반으로 간선별, 지선별 용수로의 분기점에 대한 기초자료를 도출하였음.
- 현장조사를 통한 기초자료와 GIS 기반 구축자료를 분석한 결과를 바탕으로 간선 용수로 5조 (1호 간선, 2호 간선, 3호 간선, 4호 간선, 6호 간선) 8,881.71m, 지선 용수로 18조 14,830m의 용수로 입력 자료를 구축하였음.

[표 3-3-4-8] 해남 1호 용수간선

간 선	수로 제원			Node		누적거리 (m)	비고 오차(m)
	D(mm)	L(m)	El.(m)	시점	종점		
MIC1	800	1,216		J6	J11		
MIC1-1	800	216.28	4.75	J6	J7	216.28	
MIC1-2	800	410.80	3.85	J7	J10	627.08	
MIC1-3	800	588.93	3.17	J10	J11	1,216.11	+0.11

[표 3-3-4-9] 해남 2호 용수간선

간 선	수로 제원			Node		누적거리 (m)	비고 오차(m)
	D(mm)	L(m)	El.(m)	시점	종점		
MIC2	800	2,409					
MIC2-1	800	600.61	4.43	J18	J19	600.61	
MIC2-2	800	400.97	6.23	J19	J20	1001.58	
MIC2-3	800	300.0	3.42	J20	J23	1301.58	
MIC2-4	800	160.49	3.17	J23	J24	1462.07	
MIC2-5	800	550.95	2.96	J24	J26	2013.02	
MIC2-6	800	400.40	2.51	J26	J27	2413.42	+4.42

[표 3-3-4-10] 해남 3호 용수간선

간 선	수로 제원			Node		누적거리 (m)	비고 오차(m)
	D(mm)	L(m)	El.(m)	시점	종점		
MIC3	1,100	4,338					
MIC3-1	1,100	579.54	4.61	J36	J37	579.54	
MIC3-2	1,100	255.25	2.52	J37	J38	834.79	
MIC3-3	1,100	463.02	2.32	J38	J39	1297.81	
MIC3-4	1,100	235.02	2.12	J39	J40	1532.83	
MIC3-5	1,100	415.90	1.96	J40	J41	1947.92	
MIC3-6	1,100	555.99	2.53	J41	J49	2503.91	
MIC3-7	1,100	291.97	3.81	J49	J50	2795.88	
MIC3-8	1,100	274.43	3.12	J50	J51	3070.31	
MIC3-9	1,100	164.35	2.97	J51	J52	3234.66	
MIC3-10	1,100	266.10	2.97	J52	J53	3500.76	
MIC3-11	1,100	242.04	2.74	J53	J54	3742.8	
MIC3-12	1,100	596.39	2.51	J54	J55	4339.19	-1.19



[표 3-3-4-11] 해남 4호 용수간선

간 선	수로 제원			Node		누적거리 (m)	비고 오차(m)
	D(mm)	L(m)	El.(m)	시점	종점		
MIC4	600	911					
MIC4-1	600	51.84	3.12	J50	J65	51.84	
MIC4-2	600	343.37	3.12	J65	J62	395.01	
MIC4-3	600	515.79	1.76	J62	J63	911	0

[표 3-3-4-12] 해남 6호 용수간선

간 선	수로 제원			Node		누적거리 (m)	비고 오차(m)
	D(mm)	L(m)	El.(m)	시점	종점		
MIC6	400	913					
MIC6-1	400	913	2.53	J41	J42	913	0

[표 3-3-4-13] 해남 1호 용수지선

지 선	수로 제원			Node		누적거리 (m)	비고
	D(mm)	L(m)	El.(m)	시점	종점		
BIC1-1	350	355	1.75	J7	J9	355	
BIC1-2	350	428	2.39	J10	J13	783	
BIC1-3	400	698	2.24	J10	J17	1,481	
BIC1-4	400	1,595	1.35	J11	J15	3,076	

[표 3-3-4-14] 해남 2호 용수지선

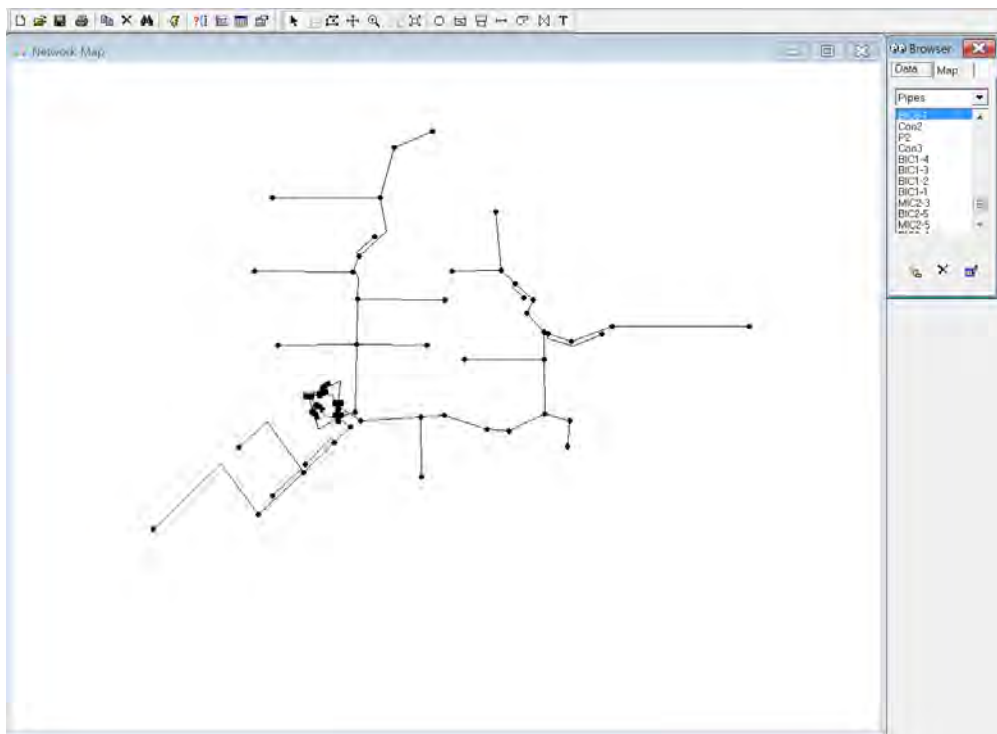
지 선	수로 제원			Node		누적거리 (m)	비고
	D(mm)	L(m)	El.(m)	시점	종점		
BIC2-1	400	625	2.27	J19	J28	625	
BIC2-2	450	856	2.84	J19	J29	1,481	
BIC2-3	450	1,064	1.72	J20	J30	2,545	
BIC2-4	500	562	2.3	J23	J31	3,107	
BIC2-5	350	320	1.51	J24	J33	3,427	
BIC2-6	400	870	1.12	J26	J34	4,297	
BIC2-7	350	410	1.75	J27	J35	4,707	

[표 3-3-4-15] 해남 3호 용수지선

지 선	수로 제원			Node		누적거리 (m)	비고
	D(mm)	L(m)	El.(m)	시점	종점		
BIC3-1	400	1,150	1.68	37	57	1,150	
BIC3-2	600	1,085	2.15	49	58	2,235	
BIC3-3	450	485	1.51	54	61	2,720	
BIC3-4	350	206	1.2	53	60	2,926	

[표 3-3-4-16] 해남 4호, 6호 용수지선

지 선	수로 제원			Node		누적거리 (m)	비고
	D(mm)	L(m)	El.(m)	시점	종점		
BIC4-1	450	687	1.35	65	68	687	
BIC4-2	450	1,922	2.38	63	64	2,609	
BIC6-1	350	756	2.38	42	69	3,365	



[그림 3-3-4-10] 해남지구 3공구 용수관망 구축결과

### (3) 관망해석을 통한 공급능력 평가

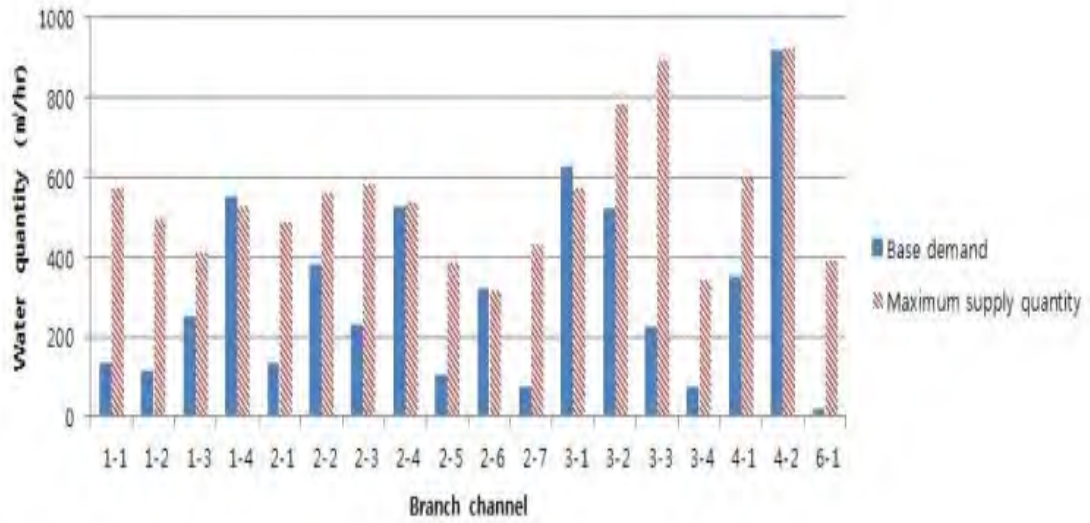
- EPANET을 이용하여 해남지구 3공구의 농업용 관수로시스템에 계통별 공급 가능량이 기저 수요량을 충족시킬 수 있는지 단일기간 해석을 통하여 공급능력을 평가를 실시하였음.

- 공급 가능량 산정을 위하여 말단부에 가상의 저류지를 설치하고, FCV와 역지밸브(CV)기능을 이용하여 구축하였음.
- 말단의 방류장치를 통하여 공급 가능량 산정한 결과 현재 해남지구 관수로시스템의 공급 가능량을 산정한 바, 간선별 공급 가능량은 각각 1간선 구역 413.32 ~ 575.15m<sup>3</sup>/h, 2간선 319.31 ~ 583.48m<sup>3</sup>/h, 3간선 343.1 ~ 896.27m<sup>3</sup>/h, 4간선 596.44 ~ 922.42m<sup>3</sup>/h, 6간선 구역에서 392.2m<sup>3</sup>/h로 산정되었음.

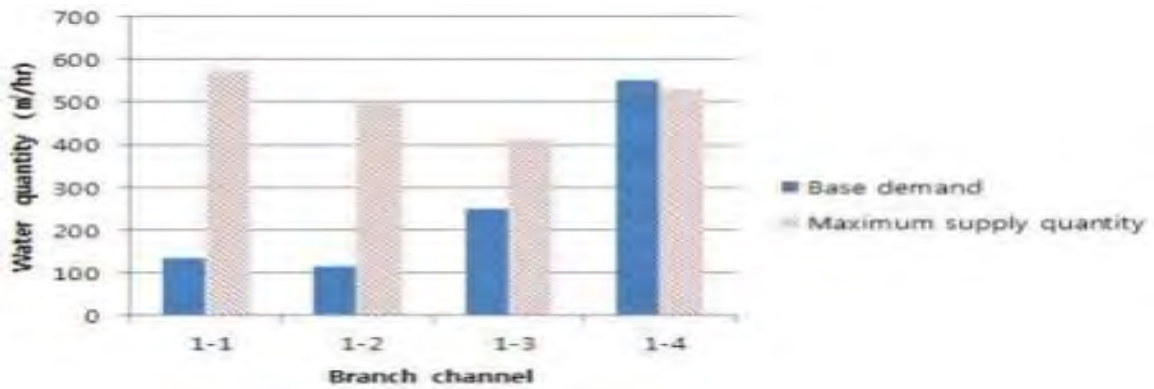
[표 3-3-4-17] 해남지구 3공구 지선별 지배면적 및 공급 가능량

1 간선 용수로			2 간선 용수로			3 간선 용수로		
지선	면적 (ha)	공급 가능량 (m <sup>3</sup> /h)	지선	면적 (ha)	공급 가능량 (m <sup>3</sup> /h)	지선	면적 (ha)	공급 가능량 (m <sup>3</sup> /h)
1-1	17.60	575.15	2-1	17.70	488.24	3-1	82.00	574.41
1-2	14.90	496.43	2-2	49.50	561.1	3-2	68.30	785.52
1-3	32.50	413.32	2-3	30.20	583.48	3-3	29.30	896.27
1-4	71.70	529.17	2-4	68.68	540.62	3-4	9.50	343.1
4 간선 용수로			2-5	13.50	389.1	6 간선 용수로		
지선	면적 (ha)	공급 가능량 (m <sup>3</sup> /h)	지선	면적 (ha)	공급 가능량 (m <sup>3</sup> /h)	지선	면적 (ha)	공급 가능량 (m <sup>3</sup> /h)
4-1	46.10	596.44	2-6	41.60	319.31	6-1	2.5	392.2
4-2	120.0	922.42						

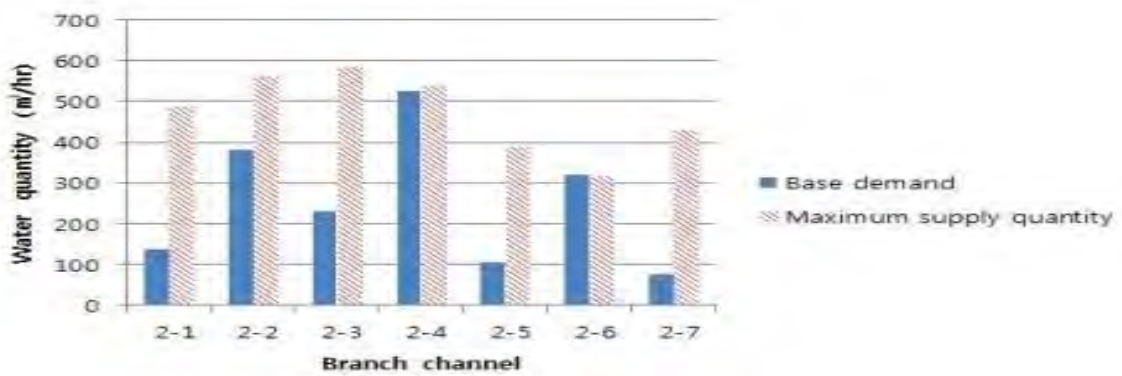
- 대상지구의 필요수량과 EPANET을 이용한 공급 가능량을 비교 분석해 본 결과, 수요량 대비 공급 가능량의 비율 범위는 0.91 ~ 20.4로 분포하는 결과 값을 보였다. 평균 비율은 3.59로 산정되어 해남지구 3공구 관수로시스템은 충분한 용수공급능력을 확보하고 있으나 기존 시설물의 효율성은 다소 떨어질 수 있다고 판단됨.
- 6간선 용수로에서 공급 가능량과 수요량의 비율이 20.4로 가장 크게 산정되었지만, 이는 초기 관망해석을 실시할 때에 EPANET의 제한된 조건으로 인한 6-2지선의 12.8ha에 대한 98.15m<sup>3</sup>/h과 5간선 용수로에 포함된 162.22ha에 대한 1243.9m<sup>3</sup>/h의 배제한 개수로 구간 175.02ha의 1342.05m<sup>3</sup>/h을 감안하면 6간선 용수로의 비율이 3.34로 하향할 것으로 판단됨.



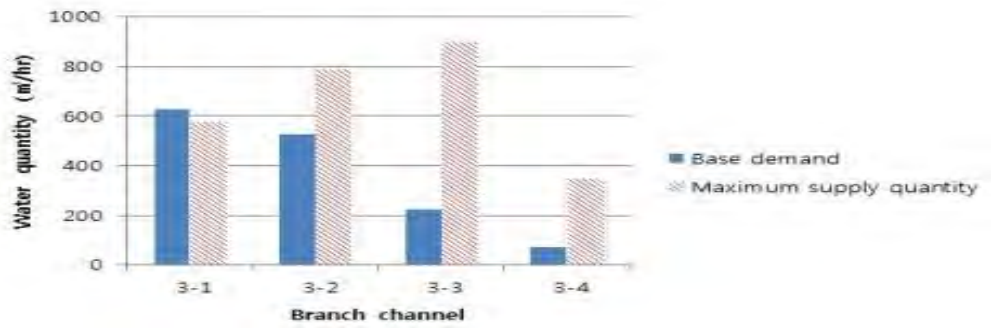
[그림 3-3-4-11] 해남지구 3공구 지선별 수요량 대비 공급가능량 결과



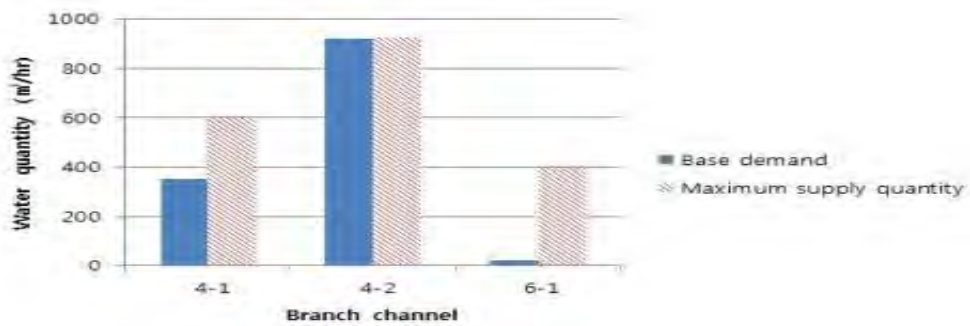
[그림 3-3-4-12] 1지선용수로 수요량 대비 공급가능량 결과



[그림 3-3-4-13] 2지선용수로 수요량 대비 공급가능량 결과



[그림 3-3-4-14] 3지선용수로 수요량 대비 공급가능량 결과



[그림 3-3-4-15] 4지선과 6지선용수로 수요량 대비 공급가능량 결과

[표 3-3-4-18] 해남지구 3공구 지선별 수요량 및 공급 가능량 비교

간선 (MIC)	지선 (BIC)	면적 (ha)	수요량 (m³/h)	공급 가능량 (m³/h)	비율
1	1-1	17.60	134.95	575.15	4.26
	1-2	14.90	114.25	496.43	4.34
	1-3	32.50	249.21	413.32	1.65
	1-4	71.70	549.79	529.17	0.96
2	2-1	17.70	135.72	488.24	1.47
	2-2	49.50	379.56	561.01	2.51
	2-3	30.20	231.57	583.48	1.03
	2-4	68.68	524.49	540.62	3.75
	2-5	13.50	103.51	389.1	3.75
	2-6	41.60	318.98	319.31	1.00
	2-7	9.80	75.14	430.53	5.72
3	3-1	82.00	628.77	574.41	0.91
	3-2	68.30	523.72	785.52	1.49
	3-3	29.30	224.67	896.27	3.98
	3-4	9.50	72.84	343	4.70
4	4-1	46.10	353.49	596.44	1.68
	4-2	120	920.16	922.42	1.00
6	6-1	2.5	19.17	392.2	20.45

(4) 관개형식에 따른 공급 운영 방안 제시

- 관개형식에 따른 수요/공급 운영 방안을 제시하기 위하여 해남지구의 간선별 관개형식 즉, 파일럿 플랜트에서 적용한 간단관개, 윤번관개, 연속관개 형식을 적용하여 해남지구의 공급량 및 공급 시간을 분석하였음.
- 해남지구는 간척사업으로 조성된 담수호를 수원공으로 사용하고 있어 연중 관개용수가 다소 풍부한 지역으로서 특별한 밸브 제어 없이 관행적으로 연속관개 형식으로 관개용수를 공급하는 것으로 조사되었음.
- 하지만 2015년도와 같이 가뭄이 극심한 시기에는 간단관개 혹은 윤번관개와 같이 관개 시간을 다소 오래 소요되지만 관개용수를 절감할 수 있는 관개형식을 사용할 필요할 경우에는 각 관개형식별 공급량 및 공급시간을 산정하여 관개 계획을 수립하여야 함.
- 따라서, 해남지구의 6개 간선에 대하여 파일럿 플랜트에 적용하였던 3가지 시나리오 즉, 간선별로 순차적으로 관개하는 간단관개, 다수의 간선을 동시에 순차적으로 관개하는 윤번관개, 밸브의 제어 없이 6개의 간선을 동시에 관개하는 연속관개를 적용하였고, 연속관개를 실시하면서 수요량이 만족하는 간선의 밸브를 제어하여 용수를 절감하는 시나리오를 추가적으로 적용하였음.

[표 3-3-4-19] 해남지구 관개형식에 따른 관개용수 공급 시나리오

관개 시나리오	관개 형식	관개 방식
시나리오 1 (S1)	간단관개	- 1개 간선 지구의 필요수량이 만족할 때까지 6개의 간선을 순차적으로 공급
시나리오 2 (S2)	윤번관개	- 1번, 2번 간선 지구의 필요수량이 만족할 때까지 동시에 공급하고 3번, 4번, 6번 간선 지구를 동시에 공급
시나리오 3 (S3)	연속관개	- 공급 밸브의 제어 없이 6개 간선 지구의 필요수량이 모두 만족할 때까지 동시에 공급
시나리오 4 (S4)	연속관개 (밸브제어)	- S3의 연속관개를 실시하면서 필요수량이 만족하는 간선의 밸브를 닫음으로서 공급을 차단

- 해남지구의 현장조사 결과, 간선에 설치된 제수문 및 밸브는 수요량 및 공급량에 따라 제어하고 있지만, 필지에 직접 공급되는 지거의 밸브는 농민이 직접 제어하고 있어 논의 필요 물꼬 높이를 초과해도 밸브를 닫지 않는 등 관리가 미흡한 실정임.
- 이러한 현장의 관리 실정을 적절하게 모의할 수 있도록 각 간선의 밸브만 제어하고 지선 및 지거의 밸브는 제어하지 않는 형태를 모의하기 위하여 간선별 총 수요량에 만족할 때까지 공급하는 것으로 모의하였음.

[표 3-3-4-20] 해남지구 관개형식에 따른 관개용수 공급 시나리오

간선	면적 (ha)	수요량 (ton/h)	공급가능량 (ton/h)
1 간선	136.7	1,048.2	2,041.1
2 간선	231.0	1,769.0	3,312.3
3 간선	189.1	1,450.0	2,655.2
4 간선	166.1	1,273.7	1,518.9
6 간선	2.5	19.2	392.2

- 4개의 관개형식 시나리오를 해남지구에 적용하여 각 관개형식별 공급량 및 공급시간을 분석함으로써 평상시 연속관개 혹은 가뭄시와 같은 절수가 필요한 시기의 간단관개 등에 대한 공급 운영 방안을 제시하였고, 이때 필요수량을 충족하는 공급량은 관로의 송수 및 관리손실을 고려하여 필요수량에 5%를 추가적으로 공급하는 것으로 모의하였음.

[표 3-3-4-21] 해남지구 관개 시나리오별 관개 시간 및 공급량 산정

관개 시나리오	관개 형식	관개 시간 (day)	공급량 (천ton)
시나리오 1 (S1)	간단관개	2.6	140.1
시나리오 2 (S2)	윤번관개	1.4	168.5
시나리오 3 (S3)	연속관개	0.9	209.6
시나리오 4 (S4)	연속관개 (밸브제어)	0.9	140.1

- 시나리오 1은 간단관개 형식으로서 각 간선 지구별로 필요수량이 만족할 때까지 순차적으로 관개하므로, 관개시간은 약 2.6일로 가장 오래 소요되나 관개수량은 약 14만톤으로 가장 적은양으로서 관개가 가능한 방법으로 가뭄시와 같이 절수관개가 필요한 시기에서 적용할 수 있음.
- 시나리오 2는 윤번관개 형식으로서 1번 2번 간선 지구를 동시에 관개하고 필요수량을 만족하면 3번, 4번, 6번 간선 지구를 동시에 관개하는 방법으로, 관개시간은 약 1.4일로 간단관개보다 관개시간은 다소 절감되나 관개수량은 약 17만톤으로 다소 관개수량이 증가하였음.
- 시나리오 3은 연속관개 형식으로서 중간 공급밸브 제어 없이 각 간선 지구를 동시에 관개하는 방법으로, 가장 많은 필요수량이 요구되는 지구의 필요수량이 공급될 때까지 연속적으로 공급하여 관개시간은 약 0.9일로 가장 적게 소요되나 관개수량은 약 21만톤으로 가장 많은양이 공급되는 단점이 있어, 강수량 및 저수위가 충분한 시기에 적용이 가능함.

- 시나리오 4는 시나리오 3과 동일한 연속관개 형식이나 6개의 간선 지구를 동시에 관개하면서 필요수량이 충족되는 지구의 간선 밸브를 닫음으로서 관개용수를 절감할 수 있는 방법으로, 시나리오 3과 같이 관개 시간은 0.9일로 가장 적게 소요되고 시나리오 1과 같이 관개수량은 약 14만톤으로 가장 적은양이 소요되는 장점이 있음.
- 해남지구는 연중 관개수량이 풍부하고 TM/TC가 적용되지 않은 지구로서 관행적으로 시나리오 3과 같은 연속관개를 실시하고 있으나, 관개수량이 부족하거나 절수관개가 필요한 시기에는 각 간선의 밸브를 인위적으로 제어하여 시나리오 1과 같은 간단관개 혹은 시나리오 4와 같은 밸브를 제어하는 연속관개를 실시할 필요가 있음.

## 다. 관수로 시스템의 수요/공급 관리방안 개발

### (1) 수리거동 분석을 통한 유지관리 방안 제시

- 관수로시스템 시설물의 유지관리에 있어 관로 내의 수리거동인자들 파악하는 것은 중요한 요소가 될 수 있는데, 해남지구 3공구 농업용 관수로시스템은 시설물에 대한 유지관리 차원에서 관로 내의 수리거동 상황을 파악할만한 계측장비 설비가 이루어지지 않아 대상지구의 수리거동인자에 대한 정보가 없는 상황임.
- 본 연구에서는 대상지구 관수로시설물에 대한 물리적 요소를 포함한 관망도를 구축하여 관로 내에서의 수리거동 분석함으로써 시설물 유지관리에 필요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단됨.
- 수리거동분석은 해남지구의 간선용수로조직 1호, 2호, 3호, 4호, 6호에서 각 말단까지 분기 되는 지선별 용수로를 대상으로 1일 최대 펌프가동시간 24시간을 조건으로 관로 내의 유속, 압력, 동수경사선에 대하여 분석하였음.

### (가) 관로 내의 유속 분석

- 확장기간모의를 통하여 24시간 펌프가동 조건에서의 관로 내의 유속을 분석한 결과, 1간선용수로는 각 간선별 최소 유속 0.24 ~ 0.44m/s, 최대 유속 0.33 ~ 2.06m/s, 평균 유속 0.28 ~ 1.22m/s로 분석되었음.
- 지선별 용수로는 최소 유속 0.29 ~ 1.08m/s, 최대 유속 1.32 ~ 1.92m/s, 평균 유속 1.03 ~ 1.20m/s로 산정되어 전반적인 관로에서 최소, 최대, 평균 유속의 범위가 허용설계기준에 적합한 범위로 산정되었지만, 1간선용수로 구역에서 최소 유속이 가장 낮게 산정된 MIC1-3과 BIC1-2 용수로의 경우 농업생산기반정비사업-관수로편(농림수산부, 2009)에서 제시하고 관내 최소유속 0.3m/s에 다소 미치지 못하는 값으로 산정되어 향후 관로의 유지관리시 유속을 증가시킬 필요가 있을것으로 판단됨.
- 2간선용수로는 각 간선별 최소 유속 0.36 ~ 0.74m/s, 최대 유속 0.76 ~ 2.53m/s, 평균 유속 0.56 ~ 1.64m/s로 분석되었고 지선별 용수로는 최소 유속 0.26 ~ 0.57m/s, 최대 유속



1.01 ~ 1.56m/s, 평균 유속 0.82 ~ 1.01m/s로 산정되었음.

- 3간선용수로는 각 간선별 최소 유속 0.35 ~ 0.61m/s, 최대 유속 0.45 ~ 1.84m/s, 평균 유속 0.40 ~ 1.23m/s로 분석되었고 지선별 용수로는 최소 유속 0.29 ~ 1.06m/s, 최대 유속 1.63 ~ 2.01m/s, 평균 유속 1.05 ~ 1.35m/s로 산정되었음.
- 4간선용수로 구역과 6간선용수로 구역에서의 최소, 최대, 평균 유속이 로에서 간선별 0.69 ~ 0.95m/s, 0.72 ~ 1.70m/s, 0.71 ~ 1.33m/s와 0.33m/s, 0.92m/s, 0.63m/s으로 산정되었고, 지선별 0.48 ~ 1.12m/s, 1.28 ~ 1.75m/s, 0.88 ~ 1.44m/s와 0.44m/s, 1.20m/s, 0.82m/s로 산정되었음.
- 해남지구 3공구의 관내 유속거동을 분석한 결과, 2간선용수로 구역 BIC2-1의 최소 유속 0.26m/s와 3간선용수로 구역의 BIC3-4에 0.29m/s로 허용 최소 유속에 다소 미치지 못하여 관로내의 침전물이 발생할 수 있다고 판단되나, 전반적으로 간선 및 지선용수로의 최대, 최대, 평균 유속은 설계기준의 허용범위를 만족하므로 관로 내의 흐름 상태가 양호할 것이라 사료됨.

[표 3-3-4-22] 1간선 · 지선별 용수로 유속분석 결과

간선 (MIC)	지선 (BIC)	최소 유속 (m/s)	최대 유속 (m/s)	평균 유속 (m/s)
1-1		0.44	1.46	0.95
1-2		0.38	2.06	1.22
1-3		0.24	0.33	0.28
	1-1	0.32	1.92	1.12
	1-2	0.29	1.78	1.03
	1-3	0.47	1.68	1.08
	1-4	1.08	1.32	1.20

[표 3-3-4-23] 2간선 · 지선별 용수로 유속분석 결과

간선 (MIC)	지선 (BIC)	최소 유속 (m/s)	최대 유속 (m/s)	평균 유속 (m/s)
2-1		0.74	2.53	1.64
2-2		0.53	1.69	1.11
2-3		0.43	1.32	0.88
2-4		0.41	0.75	0.58
2-5		0.34	1.49	0.92
2-6		0.36	0.76	0.56
	2-1	0.26	1.56	0.91
	2-2	0.55	1.47	1.01
	2-3	0.34	1.14	0.74
	2-4	0.57	1.46	1.01
	2-5	0.27	1.39	0.83
	2-6	0.63	1.01	0.82
	2-7	0.59	1.24	0.92

[표 3-3-4-24] 3간선 · 지선별 용수로 유속분석 결과

간선 (MIC)	지선 (BIC)	최소 유속 (m/s)	최대 유속 (m/s)	평균 유속 (m/s)
3-1		0.61	1.84	1.23
3-2		0.47	1.63	1.05
3-3		0.47	1.63	1.05
3-4		0.47	1.63	1.05
3-5		0.48	1.64	1.06
3-6		0.47	1.51	0.99
3-7		0.36	1.02	0.69
3-8		0.37	0.52	0.45
3-9		0.36	0.52	0.44
3-10		0.36	0.51	0.44
3-11		0.35	0.45	0.40
	3-1	1.06	1.64	1.35
	3-2	0.58	1.63	1.11
	3-3	0.35	2.01	1.18
	3-4	0.29	1.81	1.05

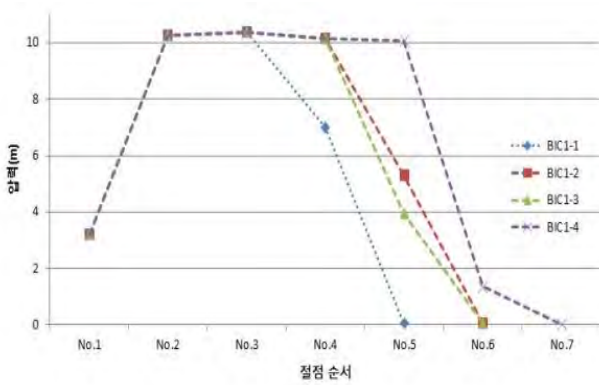
[표 3-3-4-25] 4 · 6간선 · 지선별 용수로 유속분석 결과

간선 (MIC)	지선 (BIC)	최소 유속 (m/s)	최대 유속 (m/s)	평균 유속 (m/s)
4-1		0.95	1.70	1.33
4-2		0.69	0.72	0.71
4-3		0.69	0.72	0.71
	4-1	0.48	1.28	0.88
	4-2	1.12	1.75	1.44
6-1		0.33	0.92	0.63
	6-1	0.44	1.20	0.82

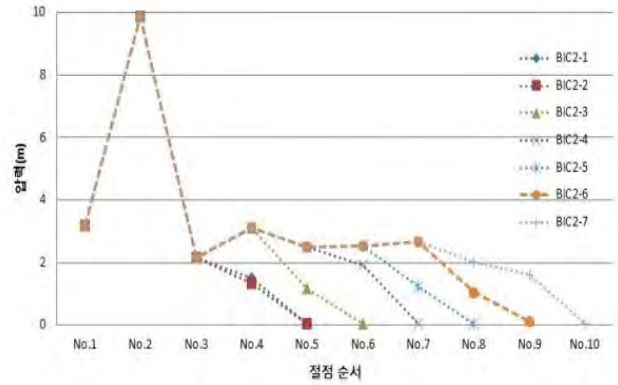
(나) 관로 내의 압력 분석

- 상수도 또는 농업용 관수로 시스템 등의 관수로에서의 운영에 가장 밀접하게 영향을 미치는 요소는 관로 내의 압력인데, 해남지구 농업용 관수로시스템의 경우 1호 펌프 전양정 18.14m 실양정 16.06m의 펌프2대, 2호 펌프 20.16m 실양정 18.06m의 펌프 2대를 이용하여 2곳의 저류조로 양수하여 자연유하방식을 적용하고 있어 상수관망에 비해 고압이 사용되지 않고 있음.
- 관로 내의 압력은 누수량, 통수량, 동수경사선 등에 많은 영향을 미치게 되는데 압력수두를 분석한 결과, 1간선용수로 지선별 압력수두는 1.35 ~ 10.38m로 산정되었으며, 용수가 말단부에 유출되는 절점의 압력은 0에 가까운 값을 나타내었음.

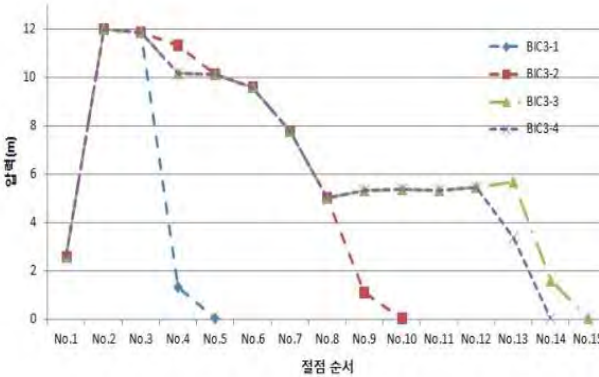
- 2간선용수로 지선별 압력수두는 1.05 ~ 9.86m로 분석 되었고, 3간선용수로 지선별 압력수두는 1.10 ~ 11.97m, 3간선용수로에서 분기되는 4간선용수로와 6간선용수로의 압력수두는 각각 0.72 ~ 11.97m, 1.12 ~ 11.97m로 산정되었음.



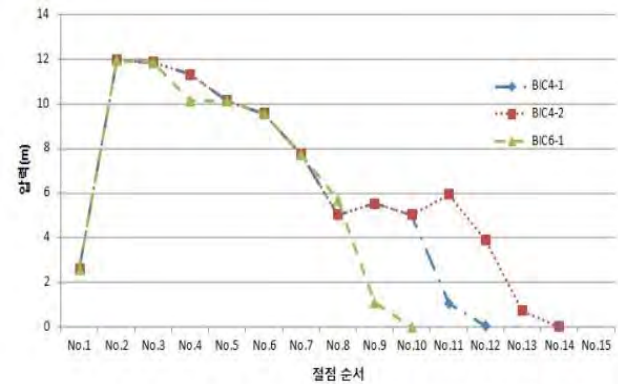
[그림 3-3-4-16] 1간선용수로 지선별 압력수두



[그림 3-3-4-17] 2간선용수로 지선별 압력수두



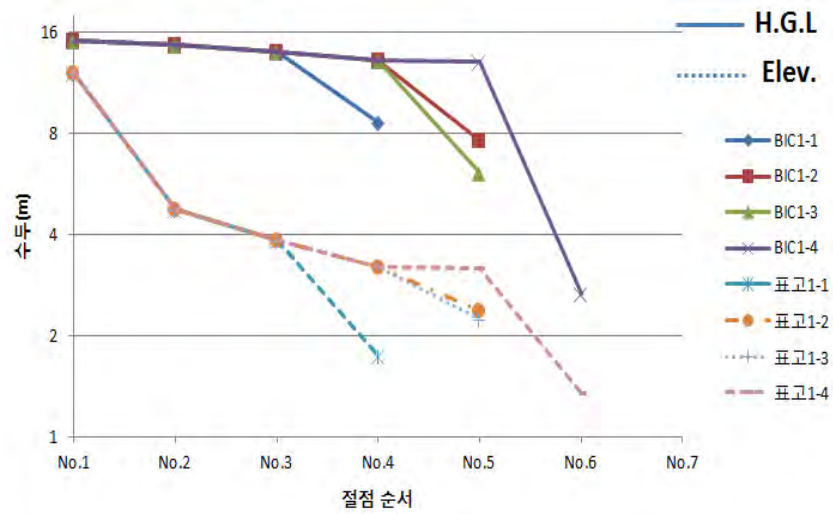
[그림 3-3-4-18] 3간선용수로 지선별 압력수두



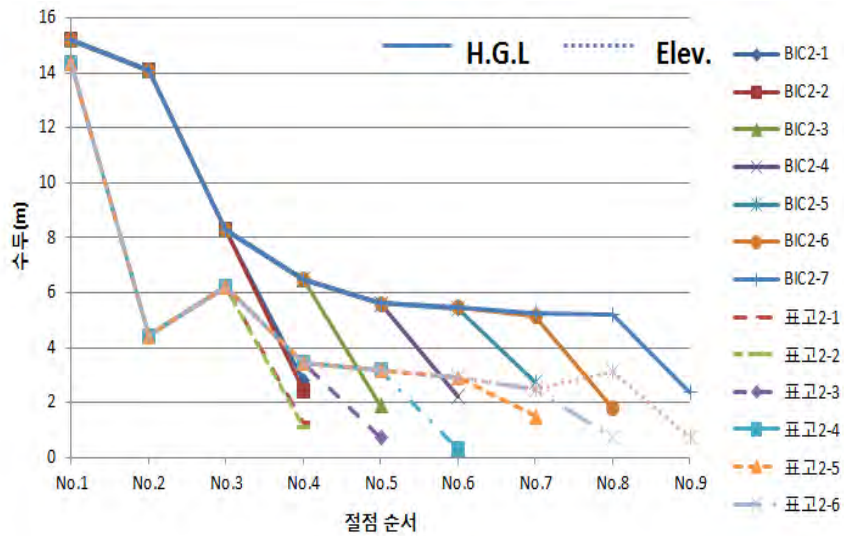
[그림 3-3-4-19] 4·6간선용수로 지선별 압력수두

(다) 관로의 동수경사선 분석

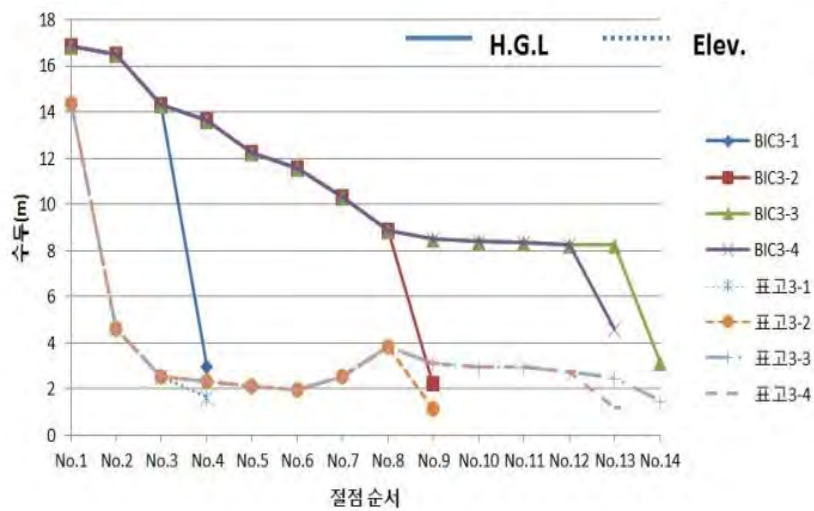
- 관수로시스템을 운영하는데 있어 동수경사선이 관정보다 낮게 되면 관로 내의 압력이 대기압보다 낮아지게 되면서 관내 통수가 방해되며, 이로 인하여 관로 내의 흐름이 유발될 수 없기 때문에 동수경사선은 관정보다 높아야 하며, 동수경사선과 관정의 관계는 0.5m이상을 확보해야 함 (농림수산부, 2009).
- 앞서 분석한 관로 내의 유속과 압력을 분석한 결과를 바탕으로 대상지구의 간선용수로 지선별 동수경사선을 분석하였음.



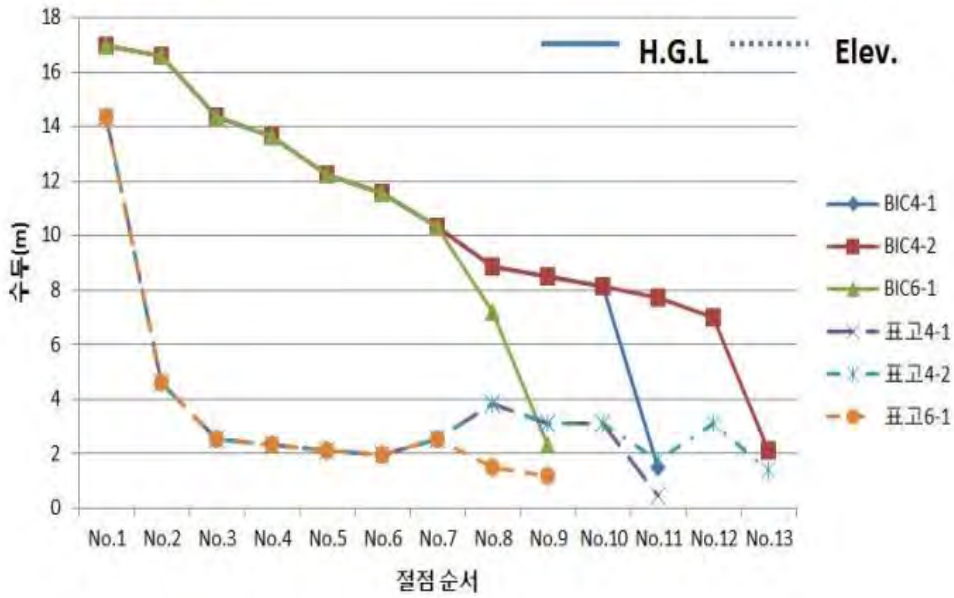
[그림 3-3-4-20] 1간선용수로 지선별 동수경사선 산정 결과



[그림 3-3-4-21] 2간선용수로 지선별 동수경사선 산정 결과



[그림 3-3-4-22] 3간선용수로 지선별 동수경사선 산정 결과



[그림 3-3-4-23] 4·6간선용수로 지선별 동수경사선 산정 결과

- 대상지구의 계통별 동수경사선과 관정 표고를 분석한 결과, 동수경사선과 표고가 말단 부근에서 가장 근접한 것으로 나타남.
- 1간선용수로 말단에서의 동수경사와 표고에 차이는 1-1지선용수로 6.90m, 1-2지선용수로 5.23m, 1-3지선용수로 3.88m, 1-4지선용수로 1.33m를 확보하였으며, 2간선용수로 구역에서는 차이는 2-1지선용수로 1.52m, 2-2지선용수로 1.33m, 2-3지선용수로 1.17m, 2-4지선용수로 1.91m, 2-5지선용수로 1.23m, 2-6지선용수로 1.05m, 2-7지선용수로 1.62m의 수두를 확보하고 있는 것으로 나타남.
- 3간선용수로의 3-1, 3-2, 3-3, 3-4지선용수로의 동수경가선과 관정 표고의 차는 각각 1.32m, 1.1m, 1.64m, 3.39m로 나타났으며 나머지 4간선용수로의 4-1, 4-2지선용수로와 6간선용수로의 6-1지선용수로에서 각각 1.07m, 0.73m, 1.12m를 확보하는 것으로 나타남.
- 해남지구 3공구의 계통별 동수경사선과 관정 표고의 여유고를 분석한 결과, 대상지구의 모든 간선용수로 구간에서 여유고를 확보하는 것을 확인었는데 4간선용수로의 4-2지선용수로에서 동수경사선과 관정 표고의 최소값 0.73m으로 허용설계기준 범위 안에 만족하였으나, 시설의 노후화에 따른 관로 내의 토사 퇴적과 같은 상황에서 영향을 받을 수 있을 것으로 판단됨.

(2) 관개효율 분석을 통한 공급 관리 방안 제시

- 우리나라 농업용수는 일반적으로 수요자 중심의 공급방식을 채택하고 있어 수요자의 용수관리에 따라 관개용수 효율성이 크게 영향을 받게 되는데, 수요자들의 비효율적이고 무분별한 용수이용으로 많은 양의 관개용수가 과잉공급 되고 있는 실정임.

○ 해남지구 3공구의 관수로시스템 또한 말단에서 수요자의 용수관리가 이루어지지 않고 필요수량 이상의 용수가 공급되고 있는 상황이며, 대상지구의 관수로시스템 설계기준 펌프 가동시간 22시간을 기준으로 현재 24시간 공급하고 있는 대상지구의 공급 관리 방안을 제시하고자 함.



(2) BIC1-2



(1) BIC1-1



(3) BIC1-3



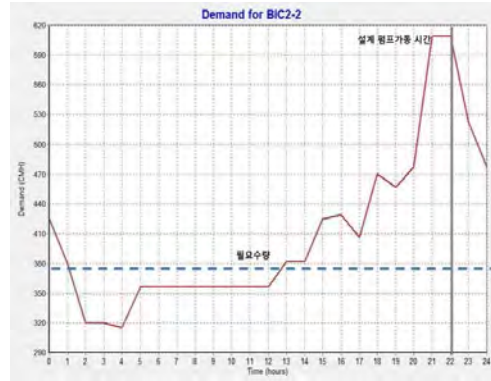
(4) BIC1-4

[그림 3-3-4-24] 1간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과

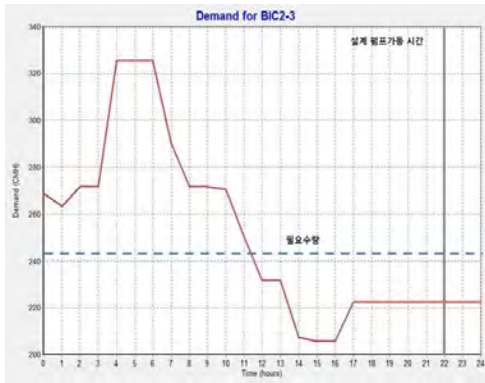




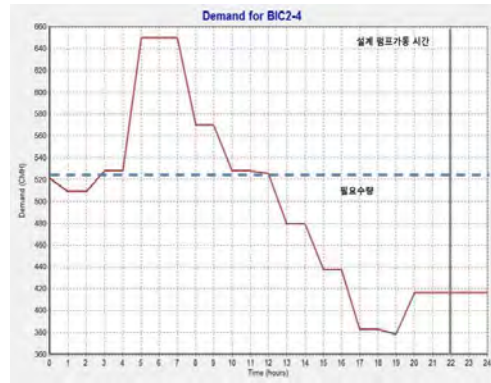
(1) BIC2-1



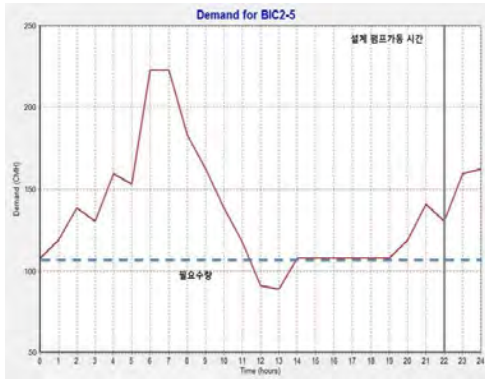
(2) BIC2-2



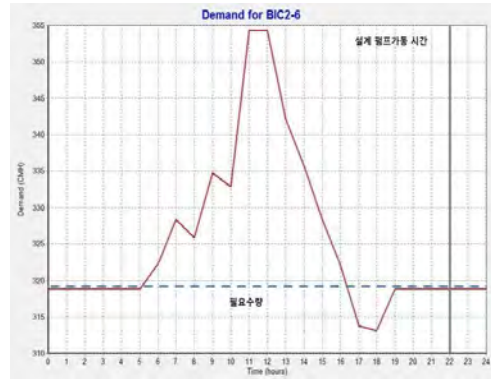
(3) BIC2-3



(4) BIC2-4



(5) BIC2-5

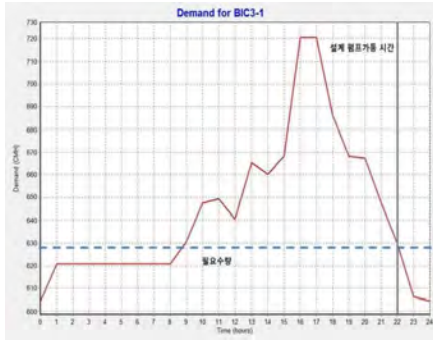


(6) BIC2-6



(7) BIC2-7

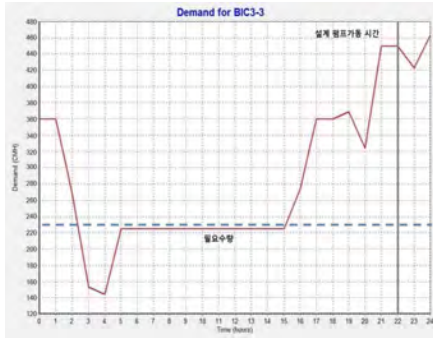
[그림 3-3-4-25] 2간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과



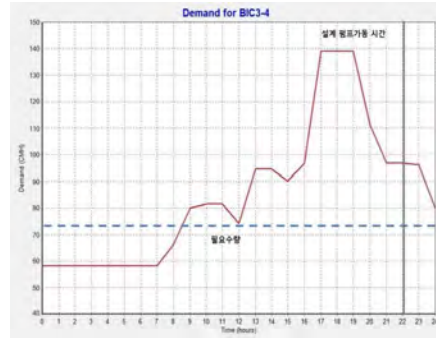
(1) BIC3-1



(2) BIC3-2



(3) BIC3-3

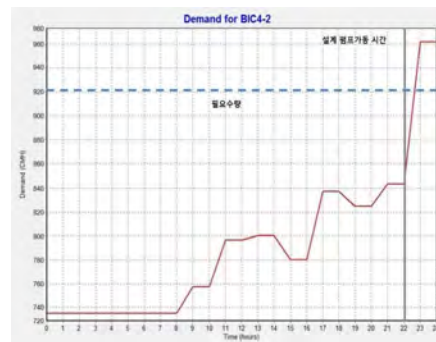


(4) BIC3-4

[그림 3-3-4-26] 3간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과



(1) BIC4-1



(2) BIC4-2

[그림 3-3-4-27] 4간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과



(1) BIC6-1

[그림 3-3-4-28] 6간선용수로 지선별 공급용수량 산정 결과



- 24시간 펌프가동에 따른 지선별 말단에 공급되는 공급용수량 결과를 이용하여 시간별 누적 관개용수량을 산정하고 필요수량과 공급량을 비교하여 과잉 용수량을 추정하였음.
- 누적 필요수량이 누적 공급량보다 작아지는 시점이 과잉공급수량 발생 시점을 말하며 이와 같은 방법으로 지선별 과잉용수공급 시점을 파악하여 효율적인 관개용수 효율성 제고 및 공급 운영 방안을 제시하고자 함.

[표 3-3-4-26] 1간선용수로 지선별 공급량 및 필요수량 대비 결과 (m³)

시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량	시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량
0	0	0	0	0	0
1	92	134	1	75	114
2	197	269	2	147	228
3	302	403	3	227	342
4	407	538	4	317	457
5	512	672	5	407	571
6	617	807	6	497	685
7	722	941	7	587	799
8	827	1,076	8	677	914
9	940	1,211	9	767	1,028
10	1,072	1,345	10	857	1,142
11	1,217	1,480	11	957	1,256
12	1,360	1,614	12	1,077	1,371
13	1,515	1,749	13	1,207	1,485
14	1,680	1,883	14	1,332	1,599
15	1,845	2,018	15	1,467	1,713
16	2,055	2,152	16	1,612	1,828
17	2,305	2,287	17	1,757	1,942
18	2,530	2,422	18	1,947	2,056
19	2,715	2,556	19	2,177	2,170
20	2,885	2,691	20	2,377	2,285
21	3,040	2,825	21	2,537	2,399
22	3,175	2,960	22	2,687	2,513
23	3,280	3,094	23	2,837	2,627
24	3,357	3,229	24	2,977	2,742

(1) BIC1-1

(2) BIC1-2

시간	수량	누적 공급량	누적 필요수량
0		0	0
1		235	249
2		455	498
3		675	747
4		905	996
5		1,145	1,246
6		1,385	1,495
7		1,625	1,744
8		1,865	1,993
9		2,105	2,242
10		2,345	2,492
11		2,585	2,741
12		2,830	2,990
13		3,090	3,239
14		3,360	3,488
15		3,625	3,738
16		3,900	3,987
17		4,185	4,236
18		4,470	4,485
19		4,790	4,734
20		5,140	4,984
21		5,470	5,233
22		5,770	5,482
23		6,060	5,731
24		6,350	5,981

(3) BIC1-3

시간	수량	누적 공급량	누적 필요수량
0		0	0
1		537	549
2		1,067	1,099
3		1,602	1,649
4		2,142	2,199
5		2,682	2,749
6		3,222	3,298
7		3,762	3,848
8		4,302	4,398
9		4,842	4,948
10		5,382	5,498
11		5,922	6,047
12		6,465	6,597
13		7,010	7,147
14		7,560	7,697
15		8,115	8,247
16		8,667	8,796
17		9,225	9,346
18		9,787	9,896
19		10,352	10,446
20		10,922	10,996
21		11,507	11,545
22		12,107	12,095
23		12,697	12,645
24		13,272	13,195

(4) BIC1-4

- 1간선용수로 구역의 지선별 공급량과 필요수량을 분석한 결과, BIC1-1에서 관개 시작 17시간 이후에 공급용수량이 필요수량을 초과하였고, BIC1-2에서 관개를 시작하고 19시간 이후로 필요수량을 초과하였음.
- BIC1-3의 공급용수량이 필요수량을 초과하는 시간은 19시간을 경과하는 시점으로 나타났으며, BIC1-4의 필요수량 초과하는 시간은 22시간 이후 분석되어 1간선용수로의 과잉공급 용수량은 128.06, 235.5, 368.96, 77.3m<sup>3</sup>/d로 총 809.82m<sup>3</sup>/d의 관개용수량을 절감할 수 있는 것으로 나타났음.

[표 3-3-4-27] 2간선용수로 지선별 공급량 및 필요수량 대비 결과 (m³)

시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량	시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량
0	0	0	0	0	0
1	135	135	1	400	379
2	240	271	2	750	759
3	330	407	3	1,070	1,138
4	420	542	4	1,390	1,518
5	520	678	5	1,730	1,897
6	630	814	6	2,090	2,277
7	740	950	7	2,450	2,656
8	850	1,085	8	2,810	3,036
9	960	1,221	9	3,170	3,416
10	1,070	1,357	10	3,530	3,795
11	1,180	1,492	11	3,890	4,175
12	1,290	1,628	12	4,250	4,554
13	1,410	1,764	13	4,620	4,934
14	1,540	1,900	14	5,000	5,313
15	1,680	2,035	15	5,400	5,693
16	1,830	2,171	16	5,820	6,073
17	1,975	2,307	17	6,235	6,452
18	2,130	2,442	18	6,675	6,832
19	2,295	2,578	19	7,140	7,211
20	2,460	2,714	20	7,605	7,591
21	2,675	2,850	21	8,140	7,970
22	2,935	2,985	22	8,740	8,350
23	3,170	3,121	23	9,305	8,730
24	3,360	3,257	24	9,810	9,109

(1) BIC2-1

(2) BIC2-2

시간 \ 수량	누 적 공급량	누 적 필요수량
0	0	0
1	267	231
2	535	463
3	805	694
4	1,102	926
5	1,427	1,157
6	1,752	1,389
7	2,060	1,620
8	2,340	1,852
9	2,610	2,084
10	2,880	2,315
11	3,140	2,547
12	3,380	2,778
13	3,610	3,010
14	3,830	3,241
15	4,040	3,473
16	4,250	3,705
17	4,467	3,936
18	4,692	4,168
19	4,917	4,399
20	5,142	4,631
21	5,367	4,862
22	5,592	5,094
23	5,817	5,326
24	6,042	5,557

(3) BIC2-3

시간 \ 수량	누 적 공급량	누 적 필요수량
0	0	0
1	515	524
2	1,025	1,048
3	1,540	1,573
4	2,060	2,097
5	2,645	2,622
6	3,295	3,146
7	3,945	3,671
8	4,555	4,195
9	5,125	4,720
10	5,675	5,244
11	6,205	5,769
12	6,735	6,293
13	7,240	6,818
14	7,720	7,342
15	8,180	7,867
16	8,620	8,391
17	9,030	8,916
18	9,410	9,440
19	9,790	9,965
20	10,185	10,489
21	10,595	11,014
22	11,005	11,538
23	11,415	12,063
24	11,825	12,587

(4) BIC2-4

수량 시간	누 적 공급량	누 적 필요수량	수량 시간	누 적 공급량	누 적 필요수량	수량 시간	누 적 공급량	누 적 필요수량
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	110	105	1	318	318	1	101	75
2	240	211	2	636	637	2	189	150
3	375	316	3	954	956	3	259	225
4	520	422	4	1,272	1,275	4	314	300
5	677	527	5	1,590	1,594	5	376	375
6	865	633	6	1,909	1,913	6	446	450
7	1,085	738	7	2,232	2,232	7	516	525
8	1,280	844	8	2,558	2,551	8	586	601
9	1,445	949	9	2,888	2,870	9	656	676
10	1,595	1,055	10	3,222	3,189	10	726	751
11	1,725	1,160	11	3,566	3,508	11	796	826
12	1,830	1,266	12	3,920	3,827	12	866	901
13	1,920	1,371	13	4,268	4,146	13	936	976
14	2,015	1,477	14	4,607	4,465	14	1,010	1,051
15	2,115	1,582	15	4,938	4,784	15	1,093	1,127
16	2,215	1,688	16	5,263	5,103	16	1,183	1,202
17	2,315	1,793	17	5,583	5,422	17	1,271	1,277
18	2,415	1,899	18	5,900	5,741	18	1,368	1,352
19	2,515	2,004	19	6,218	6,060	19	1,478	1,427
20	2,620	2,110	20	6,536	6,379	20	1,586	1,502
21	2,745	2,215	21	6,854	6,698	21	1,693	1,577
22	2,880	2,321	22	7,172	7,017	22	1,823	1,653
23	3,025	2,426	23	7,490	7,336	23	1,973	1,728
24	3,185	2,532	24	7,808	7,655	24	2,108	1,803

(5) BIC2-5

(6) BIC2-6

(7) BIC2-7

- 2간선용수로 구역의 지선별 과잉공급량이 발생하는 시간을 보면 BIC2-1에서 관개 시작 23시간 이후에 발생하는 것으로 분석되었으며, BIC2-2의 과잉공급량은 관개 시작 20시간 이후부터 발생하는 것으로 나타났음.
- BIC2-3과 BIC2-5의 경우 관개를 시작하는 시점부터 공급량이 필요수량을 충족시키는 것으로 나타났는데 이는 관개를 시작하는 시점부터 관개 종료까지 시간별 밸브조절 통하여 각각 BIC2-3에서 8.02~21.3%에 해당되는 484.82m<sup>3</sup>/d, BIC2-5는 4.07~34.05% 해당되는 652.52m<sup>3</sup>/d의 관개용수량을 절감할 수 있는 것으로 판단됨.

[표 3-3-4-28] 3간선용수로 지선별 공급량 및 필요수량 대비 결과 (m³)

시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량	시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량
0	0	0	0	0	0
1	612	628.75	1	545	523
2	1,232	1,257.5	2	1,082	1,047
3	1,852	1,886.25	3	1,602	1,571
4	2,472	2,515	4	2,112	2,094
5	3,092	3,143.75	5	2,630	2,618
6	3,712	3,772.5	6	3,155	3,142
7	4,332	4,401.25	7	3,680	3,666
8	4,952	5,030	8	4,205	4,189
9	5,577	5,658.75	9	4,730	4,713
10	6,215	6,287.5	10	5,255	5,237
11	6,860	6,916.25	11	5,780	5,760
12	7,502	7,545	12	6,305	6,284
13	8,155	8,173.75	13	6,830	6,808
14	8,817	8,802.5	14	7,355	7,332
15	9,480	9,431.25	15	7,882	7,855
16	10,172	10,060	16	8,420	8,379
17	10,892	10,688.75	17	8,965	8,903
18	11,595	11,317.5	18	9,510	9,426
19	12,270	11,946.25	19	10,052	9,950
20	12,935	12,575	20	10,602	10,474
21	13,585	13,203.75	21	11,160	10,998
22	14,217	13,832.5	22	11,722	11,521
23	14,835	14,461.25	23	12,292	12,045
24	15,440	15,090	24	12,882	12,569

(1) BIC3-1

(2) BIC3-2

시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량
0	0	0
1	360	224
2	670	449
3	875	674
4	1,025	898
5	1,210	1,123
6	1,430	1,348
7	1,650	1,572
8	1,870	1,797
9	2,090	2,022
10	2,310	2,246
11	2,530	2,471
12	2,750	2,696
13	2,970	2,920
14	3,190	3,145
15	3,410	3,370
16	3,670	3,594
17	4,000	3,819
18	4,360	4,044
19	4,720	4,268
20	5,060	4,493
21	5,445	4,718
22	5,895	4,942
23	6,330	5,167
24	6,770	5,392

(3) BIC3-3

시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량
0	0	0
1	60	72
2	120	145
3	180	218
4	240	291
5	300	364
6	360	437
7	420	509
8	482	582
9	555	655
10	635	728
11	715	801
12	792	874
13	877	947
14	972	1,019
15	1,065	1,092
16	1,157	1,165
17	1,275	1,238
18	1,415	1,311
19	1,555	1,384
20	1,680	1,457
21	1,785	1,529
22	1,885	1,602
23	1,985	1,675
24	2,075	1,748

(4) BIC3-4

- 3간선용수로 구역 BIC3-1에서 과잉용수공급이 발생하는 시점은 관개시작 14시간 이후에 발생하는 것으로 나타났으며, BIC3-2의 경우 앞서 분석된 BIC2-3과 BIC2-5와 같이 관개용수가 공급되는 시점부터 필요수량을 충족하는 것으로 분석되었음.
- 이러한 공급량이 필요수량을 시점부터 충족시키는 구역은 용수공급의 안정성을 확보할 수 있으나, 용수 이용의 효율성을 보면 공급용수량의 0.33~3.9%에 해당되는 313.22m<sup>3</sup>/d의 용수절감을 할 수 있는 것으로 분석되었음.

[표 3-3-4-29] 4간선용수로 지선별 공급량 및 필요수량 대비 결과 (m³)

시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량	시간 \ 수량	누적 공급량	누적 필요수량
0	0	0	0	0	0
1	375	353	1	730	820
2	742	706	2	1,460	1,640
3	1,087	1,060	3	2,190	2,460
4	1,417	1,413	4	2,920	3,280
5	1,757	1,767	5	3,650	4,100
6	2,107	2,120	6	4,380	4,920
7	2,457	2,474	7	5,110	5,741
8	2,807	2,827	8	5,840	6,561
9	3,157	3,181	9	6,585	7,381
10	3,507	3,534	10	7,345	8,201
11	3,857	3,888	11	8,125	9,021
12	4,207	4,241	12	8,925	9,841
13	4,557	4,595	13	9,725	10,662
14	4,907	4,948	14	10,525	11,482
15	5,262	5,302	15	11,315	12,300
16	5,630	5,655	16	12,095	13,122
17	6,005	6,009	17	12,905	13,942
18	6,380	6,362	18	13,745	14,762
19	6,752	6,716	19	14,580	15,583
20	7,132	7,069	20	15,410	16,403
21	7,522	7,423	21	16,250	17,223
22	7,912	7,776	22	17,100	18,043
23	8,302	8,130	23	18,005	18,863
24	8,722	8,483	24	18,965	19,683

(1) BIC4-1

(2) BIC4-2

- 4간선용수로 구역 BIC4-1의 과잉공급용수량이 발생하는 시점은 각각 관개 시작 18시간 이후 분석되었으나 BIC4-2에서는 공급량이 필요수량을 충족시키는 시점이 발생하지 못하였는데, 이는 BIC4-2의 위치가 양수장과의 가장 먼 곳에 위치하고 있어 통수량은 증가하였지만 급수소요시간 지체된 것으로 판단됨.



## 5. 요약 및 결론

- 본 절은 ‘농업용 관수로의 경제성 분석 및 수요공급 시스템 개발’로서 다음과 같이 ① 관수로 시스템의 경제성 분석, ② 수요/공급량 산정 알고리즘 개발, ③ 관수로 시스템의 최적 운영/관리방안 개발의 세부 연구항목으로 구성되었음.
- 농업용 관수로 시스템의 경제성 분석을 통하여 관수로 시스템의 용수절감효과를 도출하고, 관수로 시스템에 사용 가능한 수요/공급량 산정 알고리즘을 개발하고, 이를 바탕으로 관수로 시스템에 적합한 관리 및 운영 방안을 제시하였음.
- 관수로 시스템의 수로 손실율을 고흥지구를 대상으로 분석한 결과, 초기 공급량인 1백7십 만톤에 대하여 약 2만톤의 수로 손실이 발생하여 1.13%의 수로 손실율을 나타내었는데, 일반적인 개수로에서의 수로 손실인 5~25%의 수로 손실율보다 월등히 적은 손실 비율을 보이고 있음.
- 관수로 시스템의 용수절감효과를 단위면적당 용수절감 및 필요수량 대비 공급량 절감으로 분석한 결과, 개수로 시스템에 비하여 관수로 시스템은 단위면적당 약 9%, 필요수량 대비 공급량 절감은 약 50% 이상 용수절감효과가 나타나는 것으로 분석되었음.
- 관수로 시스템의 경제성 분석을 위하여 총사업비 비용 대비 인력절감 편익, 용수절감효과 편익, 부지활용효과 편익, 수질오염방지 효과 편익을 분석한 결과, 약 30년 이내의 투자비용 회수기간을 보이고 있음.
- 관수로 시스템에 적합한 수요/공급량 산정 알고리즘을 개발하기 위하여 Penman-Monteith 증발산량 산정방법을 국내 기상 자료를 이용하여 수요량을 용이하게 산정할 수 있도록 사용자 편의 자동화 알고리즘을 구축하였고, 수요량에 관리손실 5%를 추가하여 공급량을 결정하도록 제시하였음.
- 개발된 수요/공급량 산정 알고리즘을 파일럿 플랜트에 적용하여 간단관개, 운번관개, 연속관개 형식을 실시하였을 때의 관개시간 및 공급량을 분석하였고, 이를 해남지구에 확대 적용하여 관개수량이 충분한 시기에서는 연속관개를, 가뭄시와 같이 절수관개가 필요한 시기에서는 간단관개 및 밸브 제어를 겸용한 연속관개가 적합함을 제시하였음.
- 또한, EPANET 모형을 적용함으로써 관수로 시스템의 수리거동을 분석하여 관로 내의 유속, 압력, 동수경사 등을 분석하여 향후 유지관리를 위한 기초자료를 제시하였고, 관개 효율 분석을 통하여 필요수량 대비 공급량이 초과되는 시점을 도출함으로써 관수로 관개를 위한 양수장 운영 방안을 제시하였음.

## 제 4 절 농촌용수의 파이프라인 운영관리 시스템 개발

3협동

농촌용수의 파이프라인 운영관리 시스템 개발

연구 목표	연구 내용	수행기관
ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 테스트 및 검증	- 시스템 테스트 및 프로그램 기능 검증 - AMI 시스템 연계 구축 및 기능 구현	이메트릭스(주)
ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 고도화	- 테스트 결과를 반영한 시스템 기능 고도화 - 시스템 표준화 방안 수립 - 시스템 매뉴얼 및 운영관리 지침 제시	
농촌용수 AMI 시스템 현장 적용	- 농촌용수 전용 AMI 시스템의 현장적용 및 운영	

### 1. 서론

- 우리나라는 인구에 비해 이용 가능한 수자원량이 매우 적고, 하천수 이용률이 높아 가뭄에 대비한 여유수량이 부족한 편이다. 연평균 강수량은 1,277.4mm(1978~2007년 평균)로 세계 평균(807mm)보다 1.6배 많으나, 1인당 연강수 총량은 2,629m<sup>3</sup>로 세계 평균(16,427m<sup>3</sup>)의 약 1/6에 불과하다. 전세계적으로 볼 때 1,500mm 이상의 연평균강수량을 갖는 국가는 일본, 뉴질랜드, 브라질 등이며, 우리나라와 비슷한 1,000~1,500mm의 국가는 인도, 영국, 노르웨이 등이 해당된다. 이는 한국이 수자원 부족량에서 빈국에 속함을 의미한다. 또한, 가뭄에 취약한 하천수의 이용율이 전체 물이용량의 36%로 매우 높아(미국 20%, 인도 29%) 용수공급이 제한될 가능성이 크다.
- 농업용수는 우리나라 수자원 총 이용량(255억m<sup>3</sup>/년) 중 159억m<sup>3</sup>/년(62%)으로 가장 높은 비중을 차지하기 때문에 농업용수의 효율적 관리는 수자원의 효율적 관리와도 직결되며, 이에 따라 농촌지역에서 관개용수를 체계적으로 관리할 수 있는 과학적인 농업용수 관리기법의 도입이 필요한 실정이다.
- 그러나 현재까지도 농촌용수의 체계적인 관리가 이루어지지 않아 과잉 양수에 따른 수량 부족 및 오염원 유입에 따른 수질 오염이 발생하고 있다. 이는 농민에게 생활의 기본인 물 문제를 초래하고, 농업 활동에 따른 용수부족을 야기할 수 있으며, 수질불량에 따라 안전농산물 생산에 타격을 입힐 수 있는 중요한 문제가 될 수 있다. 농촌용수의 수량·수질보전을 위한 선제적 감시체계 구축은 그 어느 때보다 시급히 요구되고 있다.
- 그리하여, 본 연구에서는 기존 농촌용수의 비효율적 관리를 개선하고 안정적인 공급관리 체계를 갖추기 위해 관수로를 구축하고 감시제어(TM/TC) 수준을 벗어나 관수로 시스템의 모니터링 및 수량관리(수요량 및 공급량 관리), 누수관리, 관망해석 등 의사결정을 지원할

수 있는 운영관리 S/W의 기능을 통해 농촌용수의 공급량 관리, 손실을 저감 및 최적의 운영관리를 달성하고 궁극적으로 부족한 수자원을 확보하기 위해 다음과 같은 농촌용수 파이프라인 운영관리시스템을 개발하고자 하였다.

- 또한, 농촌환경에 적합한 환경 적응형, 고신뢰성 유·무선 네트워크 기술과 농촌용수 정보 전송을 위한 AMI 시스템을 개발하고 이를 통합 관리하기 위한 소프트웨어 플랫폼을 개발하고 농촌용수 AMI 테스트베드 구축을 통해 효용성을 실증하고자 하였다. ICT 기반의 농업용수 관리의 현대화를 위하여 실시간 분석된 정보에 맞게 물관리 계획을 유연성 있게 수립하고 농업 생산 기반시설이 그 사용 목적에 적합한 최대의 기능을 발휘할수 있는 농촌용수의 AMI 시스템이 구축 되어야 하며, 이는 결과적으로 현장계측, 자료 분석및 평가, 실시간 모니터링, 신속한 상황전파, 이를 통한 정확한 농촌용수 관리 과정이 이루어져야한다. 따라서 농촌용수의 AMI 시스템을 구축하여 농촌용수의 수자원 정보를 정확하고 객관적으로 측정하며, 개별적인 물관리 정보 시스템을 통합하여 ICT 기반 정보화 업무로 추진할 수 있도록 해야 한다.

## 2. 농촌용수 파이프라인 운영관리시스템 요소기술 도출 및 적용

### 가. 농촌용수 계측자료 조사 및 요소기술 분석

#### (1) 농촌용수 계측시스템(TM/TC) 자료 조사

##### (가) TM/TC 추진 현황

##### ① 사업개요

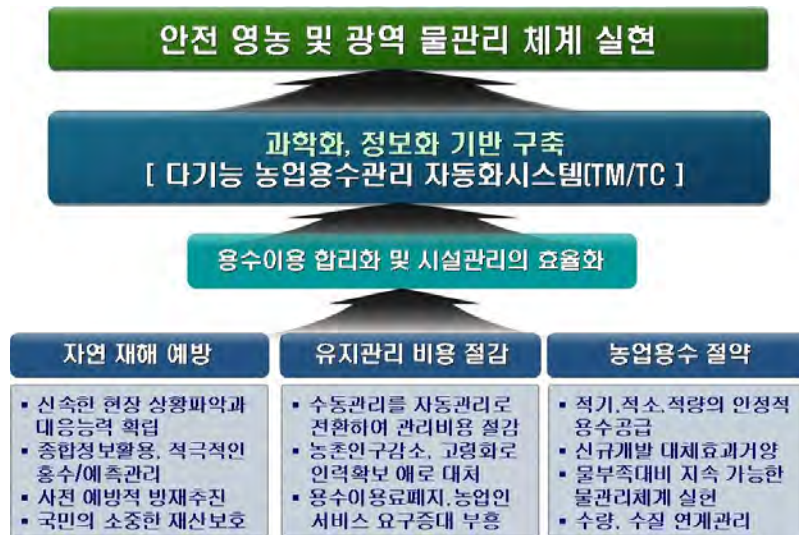
- 저수지, 양·배수장, 용·배수로 등 농업기반시설의 원격계측·감시·제어시설 설치를 통해 중양집중식 물관리시스템 구축
  - 저수지 수문 개폐시설, 양배수장 가동·중지시설, 용수배분시설 등
  - 원격 모니터링, 조작을 위한 운용시스템(계측, 제어 등)
- 시행자 : 한국농어촌공사
- 추진현황 : 총계획 93지구중 '14까지 : 37지구 준공(133천ha)

[표 3-4-2-1] 사업추진현황

(단위: 백만원)

계			'14까지 준공			'15 계획			'15 이후		
지구	면적	사업비	지구	면적	사업비	지구	면적	사업비	지구	면적	사업비
93	532	5,098	37	133	1,031	(4) 17	(10) 64	107	52	389	3,960

\* ( )는 준공지구



[그림 3-4-2-1] 농업용수관리자동화사업 개요

② 지구별 추진현황

[표 3-4-2-2] 지구별 추진현황

착공 년도	지구명	위 치		면적 (ha)	사업비(백만원)				준공 년도
		도	시군		총사업비	'12년 까지	'13년 계획	'14년 이후	
합계	48지구			178,336	117,940	83,090	10,000	24,850	
준공	30지구			116,092	77,171	77,171			
계속	11지구			38,414	24,510	5,919	9,300	9,291	
신규	7지구			23,830	16,259		700	15,559	
2001년 (7지구)	계			20,281	15,257	15,257			
	파주	경기	파주	4,690	2,931	2,931			'04
	원주	강원	원주	856	2,546	2,546			'04
	음성	충북	음성	2,752	1,888	1,888			'03
	대아	전북	완주	5,133	1,662	1,662			'02
	동강	전남	나주	2,269	2,459	2,459			'04
	경천 의령	경북 경남	문경 의령	3,461 1,120	1,983 1,788	1,983 1,788			'04 '02
2002년 (4지구)	계			12,187	11,187	11,187			
	진천	충북	진천	2,801	2,661	2,661			'05
	광주호	전남	담양	3,155	2,880	2,880			'06
	의성 창원	경북 경남	의성 창원	2,971 3,260	2,648 2,998	2,648 2,998			'06 '05
2003년 (2지구)	계			25,910	6,652	6,652			
	당진 동진	충남 전북	당진 김제	3,800 22,110	3,105 3,547	3,105 3,547			'07 '06
2004년 (2지구)	계			6,682	5,969	5,969			
	평택 함안	경기 경남	평택 함안	3,550 3,132	2,993 2,976	2,993 2,976			'08 '09
2005년 (2지구)	계			3,904	7,983	7,983			
	철원 예산	강원 충남	철원 예산	2,165 1,739	3,955 4,028	3,955 4,028			'09 '09
2006년 (2지구)	계			11,001	6,600	6,600			
	보문 금강	경북 전북	경주 익산	3,181 7,820	3,300 3,300	3,300 3,300			'09 '09
2007년 (3지구)	계			5,829	6,147	6,147			
	부여	충남	부여	1,396	1,926	1,926			'10
	장성 밀양	전남 경남	장성 밀양	2,755 1,678	1,992 2,229	1,992 2,229			'10 '10

[표 3-4-2-2] 지구별 추진현황(계속)

착공 년도	지구명	위 치		면적 (ha)	사업비(백만원)				준공 년도
		도	시군		총사업비	'12년 까지	'13년 계획	'14년 이후	
2009년 (5지구)	계			18,229	10,776	10,776			
	안성	경기	안성	5,163	2,155	2,155			'10
	불갑	전남	영광	3,988	2,100	2,100			'10
	미호	충북	청원	3,508	2,400	2,400			'11
	청양	충남	청양	2,417	1,991	1,991			'11
	부안	전북	부안	3,153	2,130	2,130			'11
2010년 (5지구)	계			19,154	11,090	10,119	971		
	홍천	강원	홍천	2,016	2,090	1669	421		'13계획
	서천	충남	서천	6,898	2,270	2270			'12
	오마	전남	고흥	2,553	2,180	2180			'12
	예천	경북	예천	2,618	2,150	2150			'12
	남해	경남	남해	5,069					2,400
2011년 (5지구)	계			20,270	11,380	2,000	6,279	3,100	
	능서	경기	여주	1,863	2,020	400	1620		'13계획
	괴산	충북	괴산	1,407	2,080	400	1680		'13계획
	정읍	전북	정읍	6,855	2,450	400	1005	1045	'14계획
	시종	전남	영암	4,794	2,600	400	1077	1122	'14계획
	김해	경남	김해	5,351	2,230	400	897	933	'14계획
2012년 (4지구)	계			11,059	8,640	400	2,050	6,191	
	설악	강원	속초	1,509	2,300	100	547	1653	'15계획
	논산	충남	논산	5,713	2,160	100	513	1548	'15계획
	백운	전남	순천	2,092	2,230	100	530	1600	'15계획
	영천	경북	영천	1,745	1,950	100	460	1390	'15계획
2013년 (7지구)	계			23,830	16,259		700	15,559	
	연천	경기	포천	2,172	2,400		100	2,300	미확정 (예정지 신청기준)
	충주	충북	충주	5,351	2,273		100	2,173	
	공주	충남	공주	1,277	2,500		100	2,400	
	군산	전북	군산	6,685	2,300		100	2,200	
	서산	전남	강진	2,078	2,286		100	2,186	
	칠곡	경북	칠곡	2,201	2,000		100	1,900	
	창녕	경남	창녕	4,066	2,500		100	2,400	

[표 3-4-2-3] '15년 농업용수관리자동화 사업현황

(단위: 백만원)

지구명	위 치			면적 (ha)	시행자 (농어촌공사)	총 사업비	'14 까지	'15 예산	'16이후	착공
	시도	시군	읍면							
17				63,964		56,182	10,049	10,700	35,433	
설악	강원	속초	대포	1,856	영북	2,300	1,474	826	-	'12
논산	충남	논산	관촉	4,106	논산	2,160	1,387	773	-	"
백운	전남	순천	조례	2,446	순천광양여수	2,230	1,430	800	-	"
영천	경북	영천	금오	2,012	영천	1,950	1,255	695	-	"
연천	경기	포천	영북	2,172	연천포천	2,415	619	870	926	'13
충주	충북	충주	문화	3,033	충주제천단양	2,273	588	866	819	"
공주	충남	공주	신관	2,093	공주	2,400	616	870	914	"
군산	전북	군산	개사	7,785	군산	2,500	634	900	966	"
서산	전남	강진	강진	2,284	강진완도	2,450	593	900	957	"
칠곡	경북	칠곡	지천	1,619	칠곡	2,000	526	800	674	"
창녕	경남	창녕	창녕	3,284	창녕	2,450	627	900	923	"
강화	인천	강화	내가	2,807	강화	2,490	100	400	1,990	'14
경수	전남	해남	송지	1,921	해남	2,314	100	400	1,814	"
진주	경남	진주	진주	1,546	진주산청	2,250	100	400	1,750	"
(신규 3지구)				25,000		24,000		300	23,700	'15

(나) 주요사업지구

① 서천지구

- 지구명 : 서천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)사업
- 사업구역 : 충청남도 서천군 일원



[그림 3-4-2-2] 서천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)사업 계획도

- 수혜면적 : 6,898ha(배수면적 : 325ha)
- 자동화시설 : 22개소(저수지 2개소, 양수장 2개소, 배수장 4개소, 평야부 수문 9개소, 수위국 5개소)
- 총사업비 : 2,270백만원
- 사업시행기간 : 2010년 ~ 2012년 (3개년)
- 사업시행 예정자 : 한국농어촌공사 서천지사

[표 3-4-2-4] 서천지구 자동화시설 주요내용

구 분	사 업 량			사 업 내 용
	계	신설	기설	
중앙관리소	1개소	1		- 컴퓨터, 운용프로그램, 영상관제장치, 보안장비
현장원격소	24개소	23	1	- 원격소장치(RTU), 계측장치(수위, 개도), 통신장치
- 원격소	19개소	18	1	- 원격소장치(RTU), 계측장치(수위, 개도), 통신장치
- 수위국	5개소	5		- 계측장치(수위), 통신장치
수문전동화	32련	29	3	- 권양기, 개도발신장치
CCTV	26대	24	2	- CCTV
수 위 계	36대	16	20	- 초음파
기 타	1식	1		- 물관리 지원 프로그램

- 서천지구의 농업용수관리자동화(TM/TC)시설 설치계획 다음과 같다.

[표 3-4-2-5] 서천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)시설 설치계획

FIU RTU NO.	자동화 대상시설	주요 설비	설치 내용			비고
			수위계	actuator	CCTV	
	○ 중앙관리소					
F1	서천지사	주컴퓨터,MMI 및 물관리프로그램, 영상관제장치				
F2	동부지소	주컴퓨터,MMI				
F3	서부지소	주컴퓨터,MMI				
F4	○ 원격소					
R1	동부저수지	수위계, CCTV, RTU, VPN		2	2	TM/TC/TV
R2	서부저수지	수위계			1	TM/TC/TV
R3	화양양수장	수위계, CCTV, RTU, VPN	1		2	TM/TC/TV
R4	마산양수장	수위계, CCTV, RTU, VPN	1	6	2	TM/TC/TV
R5	상촌배수장	수위계, CCTV, RTU, VPN			3	TM/TC/TV
R6	마양배수장	수위계, CCTV, RTU, VPN			3	TM/TC/TV
R7	수원배수장	수위계, CCTV, RTU, VPN			2	TM/TC/TV
R8	나교배수장	수위계, CCTV, RTU, VPN			2	TM/TC/TV
R9	이사제수문	수위계,actuator,CCTV,RTU	1		1	TM/TC/TV
R10	이사2제방수문	수위계,actuator,CCTV,RTU	1	3	1	TM/TCV
R11	막동1호제수문	수위계,actuator,CCTV,RTU	1	3	1	TM/TC/TV
R12	내산정방수문	수위계,actuator,CCTV,RTU	1	4	1	TM/TC/TV
R13	원길제수문	수위계,actuator,RTU	1	3	1	TM/TC/TV
R14	화양저토출조	수위계,actuator,RTU	1	2	1	TM/TC/TV
R15	장상내동간선	수위계,actuator,RTU	1	2		TM/TC
R16	화양축동간선	수위계,actuator,RTU	1	2		TM/TC
R17	서부2호제수문	수위계,actuator,RTU	1	2	1	TM/TC/TV
R18	화양양수장고토출	수위계	1	0	0	TM
R19	마산양수장저토출	수위계	1			TM
R20	마산양수장고토출	수위계	1			TM
R21	내동간선말단	수위계	1			TM
R22	화양간선7호개거	수위계	1			TM
합계			16	29	24	



② 예천지구

- 지구명 : 예천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)사업
- 사업구역 : 경상북도 예천군 일원



[그림 3-4-2-3] 예천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)사업 계획도

- 수혜면적 : 2,618ha
- 자동화시설 : 24개소(저수지 4개소, 양수장 4개소, 평야부 수문 12개소, 수위국 4개소)
- 총사업비 : 2,150백만원
- 사업시행기간 : 2010년 ~ 2012년 (3개년)
- 사업시행 예정자 : 한국농어촌공사 예천지사

[표 3-4-2-6] 예천지구 자동화시설 주요내용

구 분	사 업 량			사 업 내 용
	계	신설	기설	
중앙관리소	3개소	3		- 컴퓨터, 운용프로그램, 영상관제장치, 보안장비
현장원격소	24개소	24		- 원격소장치(RTU), 계측장치(수위, 개도), 통신장치
- 원격소	20개소	20		- 원격소장치(RTU), 계측장치(수위, 개도), 통신장치
- 수위국	4개소	4		- 계측장치(수위), 통신장치
수문전동화	35련	35		- 권양기, 개도발신장치
CCTV	27대	27		- CCTV
수 위 계	25대	25		- 초음파, 음파수위계
기 타	1식	1		- 물관리 지원 프로그램

[표 3-4-2-7] 예천지구 농업용수관리자동화(TM/TC)시설 설치계획

FIU RTU NO.	자동화 대상시설	주 요 설 비	설치 내용			비 고
			수위계	actuator	CCTV	
	○ 중앙관리소					
F1	예천지사	주컴퓨터, MMI 및 물관리프로그램, 영상관제장치				
F2	풍양지소	주컴퓨터, MMI				
F3	지보지소	주컴퓨터, MMI				
	○ 원격소					
R1	대맥저수지	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	4	2	TM/TC/TV
R2	금당저수지	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	8	2	TM/TC/TV
R3	돈담저수지	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	5	2	TM/TC/TV
R4	죽안저수지	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	4	2	TM/TC/TV
R5	풍양양수장	수위계, actuator, CCTV, RTU			2	TM/TV
R6	암천양수장	수위계, actuator, CCTV, RTU			2	TM/TV
R7	도화양수장	수위계, actuator, CCTV, RTU			2	TM/TV
R8	소화양수장	수위계, actuator, CCTV, RTU	1		1	TM/TV
R9	지보간선분수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	2	1	1	TM/TC/TV
R10	매창방수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	1	1	TM/TC/TV
R11	송평방수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	1	1	TM/TC/TV
R12	와룡간선제1분기점	수위계, actuator, CCTV, RTU	2	3	1	TM/TC/TV
R13	와룡간선제1방수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	1	1	TM/TC/TV
R14	청곡분수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	2	1	1	TM/TC/TV
R15	흔효제수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	1	1	TM/TC/TV
R16	흥천제수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	2	1	1	TM/TC/TV
R17	봉림방수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	1	1	TM/TC/TV
R18	수산방수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	1	1	TM/TC/TV
R19	돈담방수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	1	1	TM/TC/TV
R20	가자골방수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	1	1	TM/TC/TV
R21	마전지방수문	수위계	1			TM
R22	요성지방수문	수위계	1			TM
R23	안백골방수문	수위계	1			TM
R24	우망방수문	수위계	1			TM
합 계			25	35	27	

③ 오마지구

- 지구명 : 오마지구 농업용수관리자동화(TM/TC)사업
- 사업구역 : 전라남도 고흥군 풍양면 일원



[그림 3-4-2-4] 오마지구 농업용수관리자동화(TM/TC)사업 계획도

- 수혜면적 : 2,553ha(배수면적 : 1,385ha)
- 자동화시설 : 25개소(저수지 2개소, 양수장 2개소, 배수장 7개소, 양배수장1개소, 배수감문 4개소, 평야부 수문 3개소, 수위국 6개소)
- 총사업비 : 2,180백만원
- 사업시행기간 : 2010년 ~ 2012년 (3개년)
- 사업시행자 : 한국농어촌공사 고흥지사

[표 3-4-2-8] 오마지구 자동화시설 주요내용

구 분	사 업 량			사 업 내 용
	계	신설	기설	
중앙관리소	1개소	1		- 컴퓨터, 운용프로그램, 영상관제장치, 보안장비
현장원격소	39개소	25	14	- 원격소장치(RTU), 계측장치(수위, 개도), 통신장치
- 원격소	18개소	16	2	- 원격소장치(RTU), 계측장치(수위, 개도), 통신장치
- 수위국	18개소	6	12	- 계측장치(수위), 통신장치
- 영상감시국	3개소	3		- CCTV, 통신장치
수문전동화	11련	10	1	- 권양기, 개도발신장치
CCTV	30대	28	2	- CCTV
수위계	12대	2	10	- 초음파, 음파수위계
기 타	1식	1		- 물관리 지원 프로그램

[표 3-4-2-9] 오마지구 농업용수관리자동화(TM/TC)시설 설치계획

FIU RTU NO.	자동화 대상시설	주요설비	설치내용			비고
			수위계	actuator	CCTV	
	○ 중앙관리소					
F1	고흥지사	주컴퓨터, MMI 및 물관리프로그램, 영상관제장치				
	○ 원격소					
R1	내봉저수지(1사통)	CCTV, RTU		1	1	TM/TC/TV
R2	내봉저수지(2사통)	CCTV, RTU		1	1	TM/TC/TV
R3	봉암저수지	CCTV, RTU		1	1	TM/TC/TV
R4	내봉양수장	CCTV, RTU			1	TM/TC/TV
R5	봉암양수장	CCTV, RTU, VPN			1	TM/TC/TV
R6	신기배수장	CCTV, RTU, VPN			2	TM/TC/TV
R7	인수배수장	CCTV, RTU			2	TM/TC/TV
R8	안동배수장	CCTV, RTU			2	TM/TC/TV
R9	매곡배수장	CCTV, RTU			2	TM/TC/TV
R10	오마배수장	CCTV, RTU			2	TM/TC/TV
R11	봉암배수장	CCTV, RTU			2	TM/TC/TV
R12	신흥배수장	CCTV, RTU			2	TM/TC/TV
R13	분매양.배수장	CCTV, RTU			2	TM/TC/TV
R14	대뜰제수문	수위계, actuator, CCTV, RTU	1	5	1	TM/TC/TV
R15	풍도도수로제수문	수위계, actuator, CCTV, RTU, VPN	1	2	2	TM/TC/TV
R16	풍도용수간선 제진기	CCTV,RTU,VPN			1	TM/TC/TV
R17	오마1호 배수갑문	CCTV,VPN			1	TV
R18	오마2호 배수갑문	CCTV			1	TV
R19	오마3,4호 배수갑문	CCTV			1	TV
R20~ 25	저수지 수위국	자동 수위계	6			TM
합계			8	10	28	

(2) 계측자료 및 요소기술 검토

(가) 관수로 시스템 필요 계측자료

- 기존 관수로 시스템의 계측자료의 수집현황을 보면 유량의 경우 양수장의 토출량을 계측하는 경우가 대부분이고 관수로의 경우에는 유량계측이 일부 지역에 한해 적용되고 있다.
- 수위의 경우에는 저수지 수위를 계측하고, CCTV 영상은 관수로를 제외한 대부분의 시설에 대해 감시를 수행하고 있으며, 제어 또한 양수장 및 수문 등에는 적용 중에 있다.

[표 3-4-2-10] 기존 계측자료 현황

구 분	양수장	수문	저수지	관수로
유량	○	-	-	○
수위	-	-	○	-
CCTV	○	○	○	-
제어	○	○	-	-

- 주) 1. 관수로 유량은 일부 지역에서 계측하고 있음  
 2. 자동화 제어는 제한적으로 적용 중임

- 이를 토대로 관수로 시스템에서 필요한 계측자료를 정리하면 다음과 같으며, 유량의 경우 양수장, 관수로의 간선 및 지선에 적용이 필요하고, 수위는 저수지, 수압은 간선과 지선 말단부에 대한 적용이 필요하다.
- 제어는 TM/TC를 기반으로 양수장, 수문 등의 시설에 대한 감시와 제어의 적용이 필요하다.

[표 3-4-2-11] 시스템 필요 계측자료

구 분	양수장	수문	저수지	간선	지선
유량	○	-	-	○	○
수위	-	-	○	-	-
수압	-	-	-	○	○
제어	○	○	-	-	-

- 주) 1. 간선과 지선은 말단부를 기준으로 함  
 2. 제어는 TM/TC 활용

(나) 요소기술 검토

- 관수로 운영관리시스템에서 필요한 요소기술에 대한 검토를 통해 관망해석, 지리정보기술, 모바일 정보 활용, 조절지 운영, 사용량 분석 등의 요소기술이 필요할 것으로 판단되었다.
- 관망해석은 농업용수 파이프라인에 적합한 모델을 구성하고 특성을 고려한 인자값을 설정하는 것으로 내용으로 하며, 파이프라인 유량 등 공급체계 시뮬레이션과 시나리오별 사전모의 기능에 적용이 가능하다.

- 지리정보기술은 관망 외 농지이용현황과 용수구역 정보, 계획용수량 등을 GIS 형식으로 구성하는 것으로 내용으로 하며, 시스템에서 GIS 방식으로 표출하게 된다.
- 모바일 정보는 광역 및 다수 운영자를 위해 모바일 기기를 활용한 시스템 구현으로서 웹 기반 시스템에서 모바일 기기를 통한 정보 조회가 가능하다.
- 조절지 운영은 효율적인 용수공급을 위한 양수장, 조절지 연계방안을 내용으로 하며, 양수장과 조절지 등의 원격 자동 운영체계에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 사용량 분석은 용수 공급량 분석 및 사용량 비교, 계획 용수량 대비 실사용량 분석 로직을 내용으로 하며, 계측 데이터 자동분석 및 운영정보 제공시 적용하여 활용 가능하다.

[표 3-4-2-12] 시스템 요소기술 검토

구분	내용	적용 방안
관망해석	- 농업용수 파이프라인에 적합한 모델 구성 - 농업용수 특성을 고려한 인자값 설정	- 파이프라인 유량 등 공급체계 시뮬레이션 - 시나리오별 사전모의 기능 적용
지리정보기술	- 관망 외 농지이용현황, 용수구역 정보, 계획 용수량 등을 GIS 형식으로 구성	- 운영관리시스템 구축 지역의 관련 정보를 GIS 방식으로 표출
모바일 정보 활용	- 광역 및 다수 운영자를 위해 모바일 기기를 활용한 운영관리시스템 구현	- WEB 기반 시스템을 활용하여 운영자 모바일 기기를 통해 시스템 정보 조회
조절지 운영	- 효율적인 용수 공급을 위한 양수장, 조절지 연계 방안	- 양수장과 조절지 등의 원격 자동 운영체계 적용
사용량 분석	- 용수 공급량 분석 및 사용량 비교, 계획 용수량 대비 실사용량 분석 로직	- 계측 데이터 자동분석 및 운영정보 제공시 활용

## 나. 농촌용수 파이프라인 운영인자 도출 및 적용방안 수립

### (1) 파이프라인 운영인자 도출

#### (가) 모니터링 및 감시제어 대상

- 모니터링 및 감시제어 인자로는 유량, 수위, 수압, 펌프, 수문, CCTV 등이 있으며, 적용시설은 양수장, 간선 및 지선, 조절지 및 토출수조 등이 있다.

[표 3-4-2-13] 모니터링 및 감시제어 인자

구분	적용 시설	주기	활용방법	관련 기능
유량	양수장, 간선, 지선	1분 이하	- 공급량 및 사용량 분석 - 계획 대비 실제 사용량 분석	- 유량 모니터링, 보고서, 관망해석
수위	조절지, 토출수조	1분 이하	- 자동 운영 활용, 용량 여유율 산정	- 수위 모니터링, 여유율 산정
수압	간선 및 지선	1분 이하	- 모니터링 및 관망해석 자료 활용	- 수압 모니터링, 관망해석
펌프	양수장	이벤트 발생시	- 펌프 원격제어 및 자동 운전	- 감시제어, 가동시간, 운영일보
수문	조절지, 토출수조	이벤트 발생시	- 수문 원격제어 및 자동 운전	- 감시제어
CCTV	관로 외 전시설	실시간	- 시설물 영상 감시 활용	- 영상감시

- 적용주기는 유량, 수위, 수압의 계측 데이터의 경우 1분 이하, 펌프 및 수문 등의 시설물은 이벤트 발생시, CCTV 영상은 실시간 주기를 적용한다.
- 인자는 공급량 및 사용량 분석, 여유율 산정, 모니터링 및 관망해석 자료 활용, 펌프 원격 제어 및 자동운전, 수문 원격제어 및 자동운전, 시설물 영상 감시 등에 활용한다.
- 관련 기능으로는 계측 데이터 모니터링, 관망해석, 여유율 산정, 감시제어 및 운영일보, 영상감시 등을 계획하였다.

(나) 시설 및 지역정보

- 파이프라인 운영관리 시스템에 필요한 시설 및 지역정보 현황을 정리하면 다음과 같다.
- 주요 시설 및 지역정보로는 관망도, 농지현황, 시설현황, 계획정보 등이 있으며, 그 내용으로는 관망도 정보, 농지사용현황 및 면적과 구역, 시설물 규격 및 사양, 용수량 및 설계자료 등을 대상으로 한다.
- 관망도 및 농지현황은 GIS 형태로 변환하여 프로그램에 표출하여 GIS 정보 조회 기능에서 활용하고, 시설현황은 시설물정보 조회시 기초자료로 활용하며, 계획정보는 계획 공급량 및 사용량 비교자료로 활용하여 공급량과 사용량 분석 기능에서 사용하도록 계획하였다.

[표 3-4-2-14] 시설/지역정보 인자 및 활용방법

구분	내용	활용방법	관련 기능
관망도	관망도 정보 (속성, 도형)	- GIS 형태로 변환하여 프로그램 표출	- GIS 정보 조회
농지현황	농지사용현황, 면적, 구역	- GIS 형태로 변환하여 프로그램 표출	- GIS 정보 조회
시설현황	시설물 규격, 사양, 사진 등	- 시설물 정보 조회시 기초자료로 활용	- 시설물 관리, 시설물 정보 조회
계획정보	용수량, 설계자료	- 계획 공급량 및 사용량 비교 자료로 활용	- 공급량 및 사용량 분석

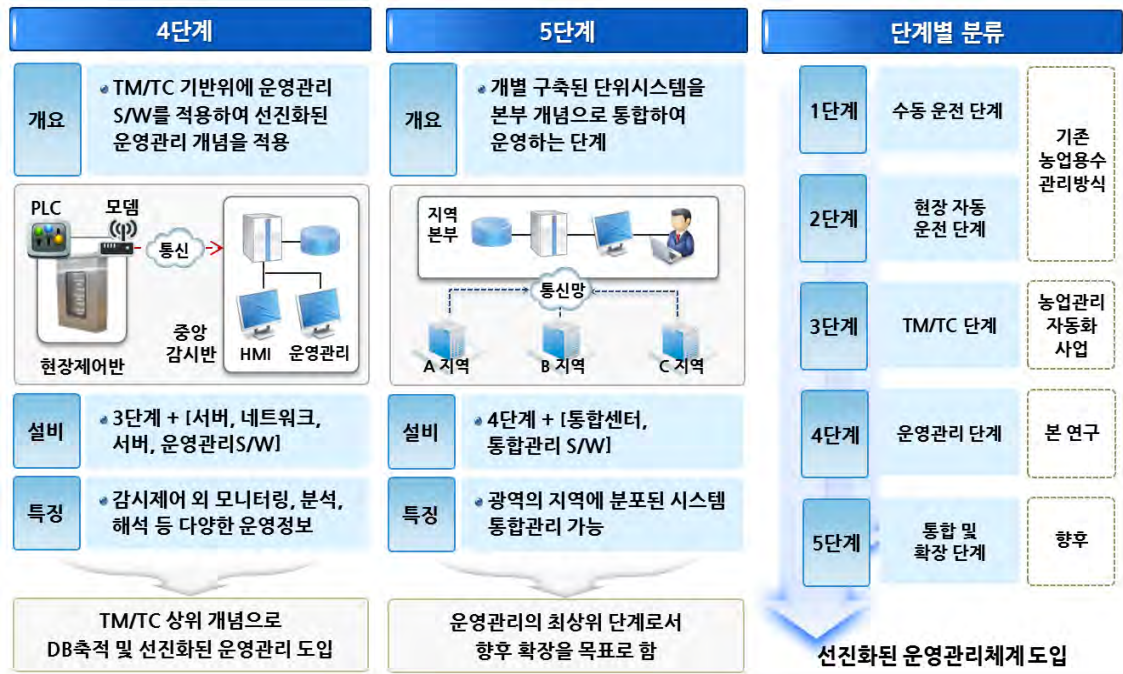
(다) 시스템 적용방안

- 시스템 적용방안을 단계별로 구분하면 아래와 같이 1~5단계로 구분할 수 있으며, 이 중 본 연구에서는 4단계의 시스템을 개발하여 향후 5단계로 발전시키는 방안을 검토하였으며, 1~3단계의 기존 방식을 진보시키는 스마트개념을 도입하고자 계획하였다.





[그림 3-4-2-5] 단계별 적용방안(1~3단계)



[그림 3-4-2-6] 단계별 적용방안(4~5단계)

① 1단계

- 현장제어반에서 수동 작동을 통해 제어하는 방식으로서 주요 설비로는 현장제어반과 제어설비가 해당된다.
- 현장에서 운영자가 직접 제어를 하므로 효율성이 낮은 단점이 있다.
- 기초적인 단계로서 감시제어 개념이 미 적용된 상태이다.



## ② 2단계

- 현장제어반 내부에 PLC 설치 및 로직을 적용하여 현장에서 운전자동화 단계임
- 주요 설비로는 1단계에 적용하는 설비와 PLC 설비가 추가로 설치된다.
- 특징으로서는 현장 자동 운전이 가능하나, 원격지에서 운전상태에 대한 확인이 불가능하다.
- 2단계는 TM/TC 전단계로서 자동개념의 일부가 적용된다.

## ③ 3단계

- TM/TC가 적용되어 자동운전이 가능하고 원격지에서 감시제어가 가능한 단계이다.
- 주요 설비로는 2단계까지의 설비에 감시제어 PC와 통신장비, HMI S/W 설치가 필요하다.
- 특징으로는 원격지 운전상태에 대한 확인이 가능하고 이와 더불어 원격 제어가 가능하다.
- 3단계는 TM/TC 단계로서 운영관리 개념 적용의 전단계로 볼 수 있다.

## ④ 4단계

- TM/TC 기반위에 운영관리 S/W를 적용하여 선진화된 운영관리 개념을 적용하는 단계에 해당하며 본 연구에서 계획하는 단계이다.
- 주요 설비로는 3단계까지의 설비에 서버 장비와 네트워크 장비, 서버의 데이터베이스와 운영관리 소프트웨어 설치가 필요하다.
- 특징으로는 감시제어 이외에 모니터링 및 분석 그리고 해석 등 다양한 운영정보 도출이 가능하다.
- 4단계는 TM/TC 상위 개념으로 DB축적 및 선진화된 운영관리 개념이 도입된 것이다.

## ⑤ 5단계

- 개별 구축된 단위시스템을 본부 개념으로 통합하여 운영하는 단계이다.
- 주요 설비로는 4단계까지의 설비에 통합센터설비와 통합관리 소프트웨어 설치가 필요하다.
- 특징으로는 광역의 지역에 분포된 시스템 통합관리가 가능한 장점이 있다.
- 5단계는 운영관리의 최상위 단계로서 향후 확장을 목표로 한다.

## 다. 시스템 기능 적용을 위한 요소기술 적용 및 로직작성

### (1) 시스템 요소기술 분석

#### (가) 관망해석

##### ① 관망해석의 개요

- 관망해석이라 함은 여러 관로에 의해 회로(Loop) 혹은 수지(Branched)형을 구성하고 있는 각 관로의 특성 제원과 관로의 유입유량과 유출량 등이 주어졌을 때, 각 관로의 유량과 손실수두 등을 계산하는 것으로서 관망해석의 목적은 관로내 각 지점에서 관경, 관길이, 유속계수, 밸브상태, 펌프의 운전상태 등을 알고 있는 조건하에서 유량 및 동수두를 계산하여 관로를 통하여 흐르는 물이 안정적으로 공급되는지를 확인하기 위함이다.
- 모의는 고정상태(Steady-state 또는 Snapshot) 또는 시간변화(Extended Period)를 고려하여 수행되며, 고정상태 해석은 일순간의 상태를 모의하는 것으로 관망 내 어떤 순간의 조건

에서 가동할 때의 거동을 결정하기 위하여 이용된다. 이와 같은 해석은 설계 시 목표연도의 일최대 공급량이나 시스템내 평균공급량의 송수 가능여부 등 물 흐름의 단기적인 효과를 검증하기 위하여 사용된다.

- 시간변화모의(Extended Period Simulation, EPS)는 공급량, 수위, 펌프가동 등의 시간적 변화를 고려한 해석기법으로 배수지의 수위변동, 조절밸브의 작동, 펌프의 시간대별 가동, 시간에 따른 공급량 변동과 계통내 압력과 유량의 변화 상태를 분석하여 운영자에게 자동운전전략을 제공한다.

## ② 관망해석 이론 고찰

### ㉠ Hard Cross법

- 1938년 개발된 Hardy Cross법은 적용이 간단하고 이론의 이해가 쉬우며 수 계산이 가능하기 때문에 현장 기술자들에게 상당히 인기가 있었으며 지금도 많이 사용되고 있는 해석법이다. 이 방법을 이용한 해석의 첫 단계는 관망내 모든 관로에서의 유량을 예측하여 각 절점에서의 연속성을 만족하도록 해야 하며, 각 관망에서 EL-HGL이 연속성을 갖게 되도록 관망에서 단위 폐합관로(loop)에 적용할 수 있는 특정유량을 찾을 수 있다고 가정되어야 한다. 수리학에서 이러한 연속성은 각 단위 관망에 대하여 관로의 어느 경로로 물이 흐르더라도 손실수두의 합은 0이 되므로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^N h_{L_i} = 0 \quad (3.4.2.1)$$

- 여기에서  $i$  는 관로번호이며  $N$ 은 관망내 관로의 개수이며, 수두손실은 다음과 같은 형태로 표현된다고 가정한다.

$$h_{L_i} = K_i Q_i^n \quad (3.4.2.2)$$

- 식(3.4.2.1)을 만족하기 위하여 보정유량  $\Delta Q$ 를 각 관로 유량에 더한다고 가정하면, 위의 방정식은 다음과 같이 수정된다.

$$\sum_{i=1}^N K_i (Q_i + \Delta Q)^n = 0 \quad (3.4.2.3)$$

- 여기에서  $Q_i$ 는 관망내 각 관로에서 유량에 대한 가장 최근의 가정치 임을 보여주고 있으며, 다음으로  $\Delta Q$ 에 대한 풀이과정이 필요하다.

- $n$ 이 일반적으로 정수가 아니기 때문에, 식(3.4.2.2)은  $\Delta Q$ 에 대한 방정식을 풀기 위하여 일반적으로 2항 전개법을 이용한다. 2항 전개식의 두 번째 항까지 만을 취하면,  $\Delta Q$ 에 관한 다음과 같은 얻을 수 있다.

$$\Delta Q = \frac{\sum_{i=1}^N K_i Q_i^n}{-n \sum_{i=1}^N K_i Q_i^{n-1}} \quad (3.4.2.4)$$

- $\Delta Q$ 에 대한 적절한 부호 결정을 위하여, 분모는 항상 음(-)이어야 하며, 분자는 관망을 시계방향으로 진행 시킬 때 시계방향인가 반대방향인가에 따라서 각각 양(+) 또는 음(-)의 부호를 붙인다.
- 각 단위관망에 대하여  $\Delta Q$ 가 계산되면, 이를 관망의 각 관로의 유량에 더하여(또는 빼다) 좀더 정확한 유량이 예측되도록 하며,  $(Q_i + \Delta Q)n$ 을 2항 전개로 풀었기 때문에 오차가 생기게 되며 통상 여러 번의  $\Delta Q$ 에 대한 보정이 필요로 하는 많은 단위 폐합관로로 이루어져 있기 때문에,  $\Delta Q$ 는 정확하지 않다. 그러므로, 이 과정을 반복하여 오차가 허용 한계치 내로 작아질 때까지(또는 해에 대한 수렴이 없어 질 때 까지) 반복해야 한다.
- 이 수치해석 방법이 다른 방법보다 복잡하지 않음에도 불구하고, 그 결과는 상당히 정확하고 좋은 수렴성을 얻을 수 있으며, 실질적으로 좀더 자세한 연구에 의하면 Hardy Cross 해석방법은 일종의 분리된(decoupled) Newton-Raphson 기법이라고 할 수 있다.

#### ㉔ 선형이론법(Linear Theory Method)

- 선형이론법은 관로내 미지의 유량에 대하여 대부분 비선형인 관망 방정식의 해를 구하는 기법중의 하나이며, 방정식들은 각 절점에 유입하고 유출하는 유량에 대한 연속방정식을 이용하고 각 단위 관망에서의 수두손실의 대수합이 0이라는 법칙에 의하여 유도된다. 이러한 일련의 비선형 방정식의 해를 구하는 것은 반복법에 의하여 이를 푸는데는 많은 기법이 적용되고 있다. 선형이론법은 각 관망에서의 수두손실의 합에 대한 비선형 방정식을 선형화 하는 것이며, 그 다음 완전한 일련의 선형방정식(연속방정식은 이미 선형화 되었다)을 풀어내야 한다.

- 관로 시스템내 단위 관망에서 아래와 같은 방정식이 성립되며,

$$\sum_{i=1}^N h_{L_i} = \sum_{i=1}^N K_i Q_i^n = 0 \quad (3.4.2.5)$$

- 여기에서 N은 관망내 관로의 수를 나타낸다. 이 방정식을 선형화 하기 위하여,  $Q_i$ 를 두 개의 부분으로 분리하면 다음 식과 같이 된다.

$$\sum_{i=1}^N (K_i Q_i^{n-1}) Q_i = \sum_{i=1}^N K'_i Q_i = 0 \quad (3.4.2.6)$$

- $K'_i$ 는  $Q_i$ 의 함수이며 따라서 아직 반복절차를 포함하고 있다. 일련의 선형과 선형화된 방정식(linearplus-linearized equations)을 연속적으로 풀어내어, 가정한  $K'_i$ 에 대하여 각각의 해를 구한 후에 수정한다. 수차례의 반복절차를 거친 후  $Q_i$ 와  $K'_i$  값은 최종 값에 수렴해야 한다. 이러한 반복식의 수학적 표현은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^N K_i [Q_i^{(j-1)}]^{n-1} Q_i^j = 0 \quad (3.4.2.7)$$

- 여기에서 j는 반복 회수이다. 예를 들면, 만일 6번의 반복을 설정한다면(j = 6), 반드시 5번째의 반복의 결과로부터  $K'_i$ 를 계산해야 한다.

- 경험에 의하면 선형이론은 수치 해가 최종값 주위에서 진동하는 경향이 있음을 보여준다. 이러한 수치적 진동을 줄이기 위하여, 반복방정식을  $K_i$ 의 계산에서  $Q_i$ 에 대하여 최종 두 개의 반복이 포함되도록 바뀌야 한다.

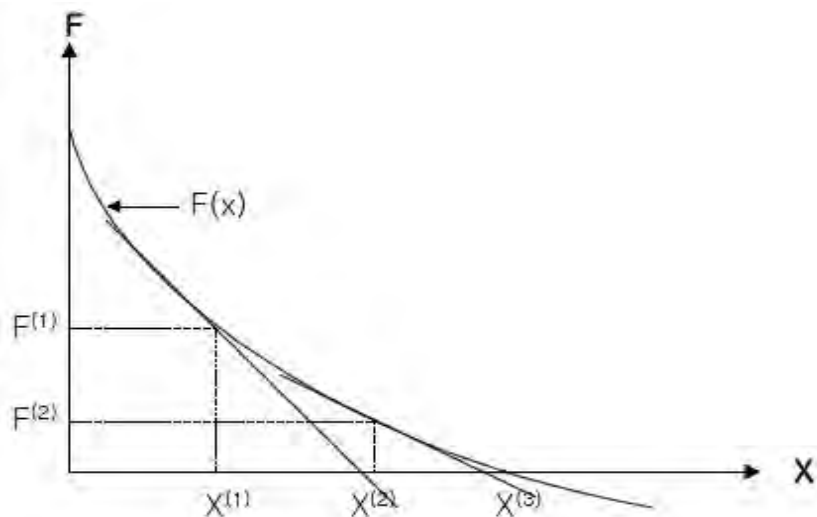
$$\sum_{i=1}^N K_i \left[ \frac{Q_i^{(j-1)} + Q_i^{(j-2)}}{2} \right]^{n-1} Q_i^j = 0 \quad (3.4.2.8)$$

- 해석을 시작할 때 흐름의 방향만을 설정하고, 처음 반복에서  $K_i(1)$ 은  $K_i$ 와 동일하게 가정한다. 두 번째 반복에서  $K_i(2)$ 은  $K_i[Q_i(1)]^{n-1}$ 과 같을 것이며, 이러한 형태로 식(3.4.2.8)을 각 관망에 대하여 풀이해 나감.

#### ㉔ Newton-Raphson법

- Newton-Raphson법도 Hardy Cross법과 기본적으로 같은 개념으로 각 관로의 유량을 연속성을 만족하도록 가정하고 이들 유량을 보정하여 각 관망에서의 수두손실의 합이 0에 근접하도록 하는 기법이다. Hardy Cross법에서는 각 관로에서의 유량을  $\Delta Q$  계산 직후에 보정하지만 Newton-Raphson법에서는  $\Delta Q$ 를 포함한 방정식을 각 관망에 대하여 쓰고, 이 비선형 방정식을 각 관망에서  $\Delta Q$ 의 최종 값을 구하기 위하여 연속적으로 풀이해 나감. 계산이 끝났을 때, 각 관로에 대한 초기유량을 최종 값에 적용하면 된다.
- Newton-Raphson법은 관망해석뿐만 아니라 다른 해를 구하는 데 있어서 종종 사용되고 있는 기법으로 수치적 해석에 있어서 강력한 방법이며, 적용에 있어서 해는 각 변수에 따라 움직이고 그 다음에 계산을 근거로 하여 미지수에 대한 새로운 반복 값을 계산하는 방법으로 계산하여 연속적으로 해의 가정치를 근접화한다.
- 1차원에서 Newton-Raphson 기법을 이용하여 해를 구하고자 하는 방정식이 식(3.4.2.9)과 같을 때,

$$F(x) = 0 \quad (3.4.2.9)$$



[그림 3-4-2-7] 1차원에서 Newton-Raphson 기법

- [그림 3-4-2-7]에서 곡선이 F(x)의 그래프를 나타내며 구하고자하는 해는 F(x)가 x축과 교차하는 곳의 x값이다. 이 방법에서 F(x)의 기울기는 x축으로 투영된 x(1)에서 값을 구하며, 이 x값을 x(2)로 사용한다 반복계산을 ! x ( j )- x ( j - 1 )의 값이 설정된 허용한도 내에 들 때까지 계속한다. 수학적 형태로, 앞에서 언급한 것은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dF}{dx} = \frac{F^{(j-1)} - 0}{x^{(j-1)} - x^{(j)}} \quad (3.4.2.10)$$

- 식(3.4.2.10)을 x(j)에 대하여 풀면,

$$x^{(j)} = x^{(j-1)} - \frac{F^{(j-1)}}{\frac{dF^{(j-1)}}{dx}} \quad (3.4.2.11)$$

- F의 함수형태를 알고 있기 때문에, 이 미분방정식을 풀 수 있으며 이것의 수치 값은 가정한 x 값으로 대체하여 계산할 수 있다.

- 이것은 방정식에서 한 개 이상의 해가 있어야 [F(x)가 x축에 한번이상 교차하여야 한다] 가능하며 또한 이것이 미지의 한 점에 도달해야 가능한 것이다. 이것은 또한 해로부터 근접해 있기보다는 멀리 떨어진 x값으로부터 찾기 시작해야 가능하다. 다행히도, 관망 방정식은 일반적으로 이러한 거동을 나타내지 않으며 ΔQ에 대한 해는 유일하다.

- 2차원 이상의 방정식(두개 이상의 미지수를 가진 두개 이상의 방정식)에서의 Newton-Raphson법은 각 Fi 함수가 xk의 많은 수에 의해 결정된다는 것만 제외하고는 동일하게 풀이한다. 결과적으로 이 xk에 대한 다음 단계의 반복 값을 찾기 위한 반복방정식은 식(3.4.2.11)과 같이 간단하지가 않다.

- 다음과 같은 일련의 방정식이 있다고 가정하였을 경우,

$$\begin{aligned} F_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, \dots, x_K) &= 0 \\ F_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, \dots, x_K) &= 0 \\ F_K(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, \dots, x_K) &= 0 \end{aligned} \quad (3.4.2.12)$$

- xk에 대한 다음 단계의 반복 값을 찾기 위하여, 다음 방정식을 적용한다.

$$\begin{aligned} F_k &= F_k^{(j-1)} + [x_1^{(j)} - x_1^{(j-1)}] \frac{\partial F_k^{(j-1)}}{\partial x_1} + [x_2^{(j)} - x_2^{(j-1)}] \frac{\partial F_k^{(j-1)}}{\partial x_2} \\ &\quad + [x_3^{(j)} - x_3^{(j-1)}] \frac{\partial F_k^{(j-1)}}{\partial x_3} + \dots + [x_K^{(j)} - x_K^{(j-1)}] \frac{\partial F_k^{(j-1)}}{\partial x_K} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (3.4.2.13)$$

- 여기에서  $k$ 는 관망 번호를 나타내며, 각 단위 관망에 한 개씩,  $K$ 개의 이러한 방정식이 존재한다. 이러한 일련의 방정식에 대하여 가장 좋은 표현방법은 행렬(matrix) 형태로 나타내는 것으로서,

$$\{F^{(j-1)}\} + [J^{(j-1)}]\{x^{(j)} - x^{(j-1)}\} = \{0\} \quad (3.4.2.14)$$

- 여기에서  $[J]$ 는 Jacobian으로 알려진  $(\partial F^{(j-1)} / \partial x_k)$ 의  $K \times K$  행렬이다. 이것을 식(3.4.2.11)과 같은 형태로 바꾸면,

$$\{x^{(j)}\} = \{x^{(j-1)}\} - [J^{(j-1)}]^{-1}\{F^{(j-1)}\} \quad (3.4.2.15)$$

- 일차원에서, Jacobian의 역치(inverse)는  $1/(dF/dx)$ 이 된다. 모든  $F_k$ 는 미분할 수 있으므로, Jacobian은  $x_i$ 에 대한 각각의 새로운 가정치에서 계산할 수 있으며, 그 역치도 계산할 수 있다. 그러나, 이것은 큰 시스템의 방정식에 대해서는 매우 큰 계산과정이 필요하기 때문에, 관망도에 대하여 약간 다른 접근방법을 도입이 필요하다. 관망도에 대하여 다음식이 주어졌을 경우,

$$F_k = \sum_{i=1}^N K_i Q_i^n = 0 \quad (3.4.2.16)$$

- $Q_i$ 값을 모르기 때문에,  $Q_{0i}$  값을 각 관로마다 가정해야 하고  $Q_0$ 이 적절한 값을 갖도록 보정할 수 있는  $\Delta Q$ 값을 찾아야 한다. 그러면 관망의 방정식은 다음과 같은 형태가 되며,

$$F_k = \sum_{i=1}^N K_{L_i} \left[ Q_{0i} + \sum_{\ell=1}^K \Delta Q_{\ell} \right]^n = 0, \quad k=1, K \quad (3.4.2.17)$$

- 그것은 주어진 관망에서 어느 관로나 다른 관망에서의 일부가 될 수 있으며 또한 거기에서의  $\Delta Q$  값이 반드시 포함되어야 하기 때문이다. 일반적으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_k(\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_K) = 0, \quad k=1, K \quad (3.4.2.18)$$

- 만일 각 관망에서  $\Delta Q^{(j)} - \Delta Q^{(j-1)}$ 을  $\delta Q^{(j)}$ 로 표현한다면, 식 (3.4.2.14)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$[J^{(j-1)}]\{\delta Q^{(j)}\} = -\{F^{(j-1)}\} \quad (3.4.2.19)$$

- 이 방정식은  $\{\delta Q^{(j)}\}$ 에 대하여 풀면 반복 후에 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\{\Delta Q^{(j)}\} = \{\Delta Q^{(j-1)}\} + \{\delta Q^{(j)}\} \quad (3.4.2.20)$$

- $\delta Q$ 가 충분히 적어지면, 만족할 수 있는 계산결과를 얻을 수 있게 된다. 이 방법은 단지 관망의 수와 같은 수의 방정식에 대한 해만이 필요하다는 것을 알아야 하며, 선형이론은 미지의 유량에 대한 수만큼의 방정식을 풀어야한다. 결과적으로 Newton-Raphson법이 해를 구하는데 더 적은 방정식이 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.

③ 관망해석 프로그램

○ 1960년대 이후 관수로시스템 해석을 위해 다양한 컴퓨터 프로그램들이 개발되고 실무에 적용되었다.

○ 아래의 표는 주요 관망해석 프로그램별 목적 및 특징과 기능을 보여줌.

[표 3-4-2-15] 관망해석 프로그램 현황

프로그램	목적	추가적인 특징				제한 max. nodes	ROM/ RAM MB	비고
		모의	WQA	GUI	GIS/ CAD/DB			
AquaNet	가압관수로 시스템에 대한 모의 및 모델링	○	○	○	GIS 연동가능	무제한	10/16	
Epanet 2.0	가압관수로 내 수리 및 수질인자 거동에 관한 확장기간모의	○	○	○	-	무제한	2/16	무료 (본 연구 적용)
H2Onet/ H2Omap	포괄적인 GIS에 기초한 관수로 해석, 설계 및 최적화 소프트웨어	○	○	○	DB 도출 GIS 가능	1,000 ~ 무제한	200/64	
Mike Net	관수로 모델링 소프트웨어에 기초한 EPANET 개선	○	○	○	DB 연동가능 GIS 가능	250 ~ 무제한	20/16	
Netis	간헐적인 관수로시스템에 대한 설계 및 분석	○	○		Exp-Imp DB	무제한	100/16	무료
Pipe2000	단일/복합관로에 대한 모델링 소프트웨어	○	○	○	AutoCAD files GIS 가능	250 ~ 20,000	20/128	
WaterCAD 5.0	관수로 완전해석 및 설계 툴	○	○	○	CAD interface GIS 통합	10 ~ 무제한	25/32	

[표 3-4-2-16] 관망해석 프로그램별 기능

기능		프로그램명	Pipe2000	Water CAD	H <sub>2</sub> Onet	Syner GEE	MikeNET	EPANET	Kwater NET
관망시설표현	관로손실	DW	○	○	○	○	○	○	○
		HW	○	○	○	○	○	○	○
		MN	○	○	○	○	○	○	○
	밸브	역지밸브	○	○	○	○	○	○	○
		제수밸브	○	○	○	○	○	○	○
		감압밸브	○	○	○	○	○	○	○
		유량밸브	○	○	○	○	○	○	○
		범용밸브	○	○	○	○	○	○	○
		손실밸브	○	○	○	○	○	○	○
	펌프	병렬펌프	○	○	○	○	○	○	○
		직렬펌프	○	○	○	○	○	○	○
		효율계산	○	○	○	○	○	○	○
		전력원단위	○	○	○	○	○	○	○
	탱크	완전혼합	○	○	○	○	○	○	○
		이분혼합					○	○	○
		순차혼합					○	○	○
		순적혼합					○	○	○
	노즐	오리피스	○	○	○	○	○	○	○
		노즐	○	○	○	○	○	○	○
		소화전	○	○	○	○	○	○	○
	해석	정상류해석	○	○	○	○	○	○	○
확장기간모의		○	○	○	○	○	○	○	
수질모의		Water AGE		○	○	○	○	○	○
		반응물질 (잔류염소등)		○	○	○	○	○	○
		비반응물질		○	○	○	○	○	○
설계	관경결정	○	○	○	○	○	○	○	
	관압 및 유량결정	○	○	○	○	○	○	○	



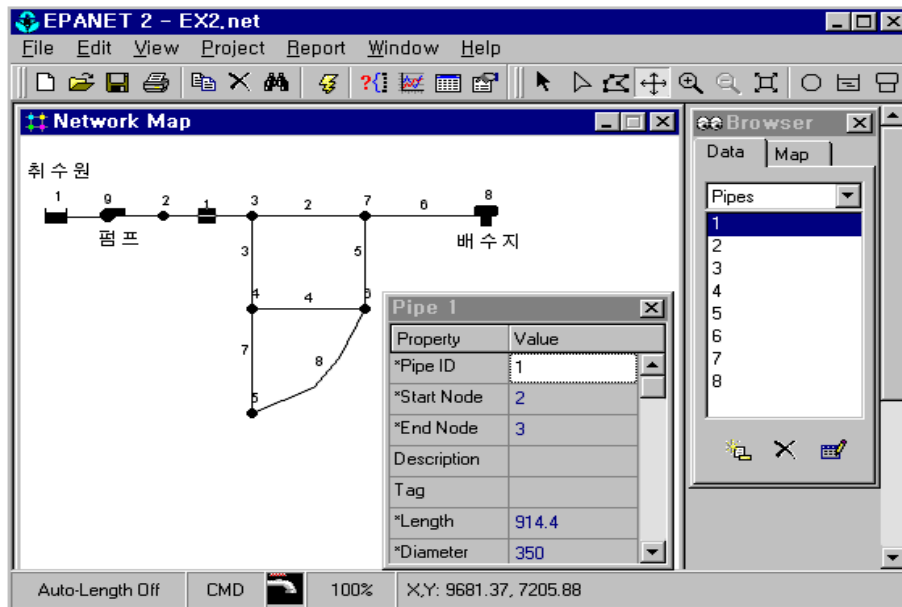
[표 3-4-2-16] 관망해석 프로그램별 기능(계속)

기능 \ 프로그램명		Pipe2000	Water CAD	H <sub>2</sub> Onet	Syner GEE	MikeNET	EPANET	Kwater NET
운영	감압크기결정	○	○	○	○	○	○	○
	밸브조작	○	○	○	○	○	○	○
	펌프운전	○	○	○	○	○	○	○
	시간별 용수공급변화	○	○	○	○	○	○	○
	년도별 용수공급변화	○	○	○	○	○	○	○
	시나리오분석	○	○	○	○	○	○	○
네트워크분석	최단흐름추적							○
	최단경로추적							○
	급수원추적							○
	급수구역추적							○
출력	DATABASE	○	○	○	MDB	InterBase		추가기능
	Table화	○	○	○	○	○	○	○
	Graph	○	○	○	○	○	○	○
	애니메이션	○	○	○		○		○
	이중그래프 (HGL/관저고)	○	○	○		○		○
화면	배경지도	○	○	○	○	○	○	○
	수치지도 (DXF, DWG 등)	○	○	○	○	○		○
코드	소스코드						○	○
	외부프로그램 제어기능	추가모듈	추가모듈	추가모듈	추가모듈		○	○
절점	해석가능절점	○	○	○	○	○	○	○

※ 자료 : 홍릉과학출판사, '유수율제고를 위한 관망해석 및 진단 GIS 및 EPANET 활용'

#### ④ EPANET

- EPANET은 미국 환경청(US Environmental Protection Agency)에서 개발하여 무료로 제공하고 있는 관망해석 프로그램으로 시간변화 모의를 바탕으로 수리 및 수질해석, 개별펌프 모터 및 전력 원단위 추정 등의 다양한 해석이 가능하며, EPANET 2.0은 Windows 프로그램 내에서 편리한 관망도 작성, 해석 결과의 그래프, 표, 관망내 색 구분에 의한 표현 등 다양한 기능을 제공한다.



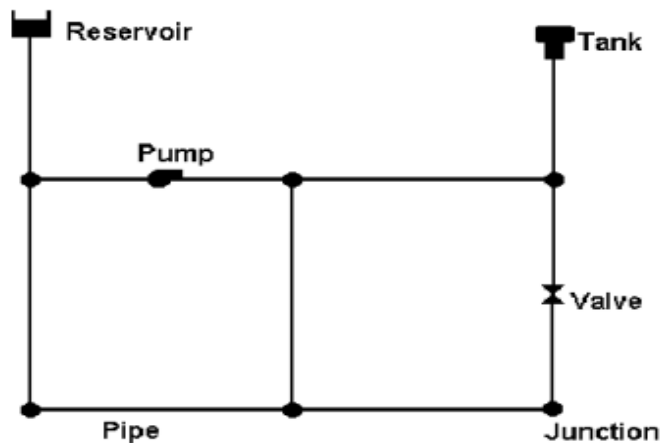
[그림 3-4-2-8] EPANET 2.0 프로그램 화면

- EPANET의 수리해석 범위
  - 해석하고자 하는 관수로의 크기 제한이 없다.
  - 손실수두 공식 중 Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Manning식이 사용
  - 각종 펌프(정속 또는 변속 등)의 마력, 특성곡선에 의한 해석
  - 펌핑 에너지와 비용계산
  - 다양한 밸브(유량조절, 역지밸브, 압력제어) 포함
  - 다양한 형태의 배수지(급수탱크) 포함
  - 시스템 제어규칙(Rule)에 의한 모의 가능
- EPANET의 수질해석 범위
  - 비반응 추적자(non-reactive tracer) 물질의 이동 모의
  - 시간별 증가(소독부산물) 또는 감소(잔류염소)하는 반응물질의 이동과 반응해석
  - 물의 이동시간 계산
  - 취수원이 여러 곳일 때 관망에서의 혼합시 취수원별 물의 비율계산
- 관망의 구성요소 : 관로, 펌프, 밸브, 저수지, 배수지, 절점 등 자료
  - 격점(Node)

- 절점(Junction) : 관경변화, 분기지점, 공급이 있는 지점
- 저수지(Reservoir) : 취수원(고정된 수두를 가지는 취수원, 양수장 토출수조 등 계산시작 점)
- 탱크(Tank) : 배수지, 조절지 또는 수위변화를 고려 할 필요성이 있는 저수지 등 자유 수면을 갖는 점

- 연결요소(link)

- 관로(Pipe) : 관경, 유속계수(C값) 등이 동일한 관
- 펌프(Pump) : 펌프특성곡선, 마력 등 적용
- 밸브(Valve) : 압력조절밸브(PRV, PSV), 유량조절밸브(TCV) 등



[그림 3-4-2-9] 관망의 물리적 구성요소

- 가동요소 : 관망의 운영 및 가동을 위하여 필요한 자료

- 곡선(curve) : 펌프특성 및 효율곡선, 배수지 수위-유량 곡선, 수두손실 곡선
- 패턴(pattern) : 시간별 유량변동, 저수지 수위변동 패턴 등
- 제어(control) : 유량, 수위에 따른 펌프, 밸브 등의 제어를 위한 제어 규칙(rule)
- 해석옵션(option) : 수리, 수질, 수질반응, 시간 및 에너지 해석을 위한 선택사양

○ EPANET 사용절차

- 실제 현장에서 해석에 필요한 관로, 펌프, 밸브, 수용가 사용유량 등의 기초자료를 수집, 정리하여 관망도 및 관련 DB를 작성한 후에 다음의 절차에 따라 EPANET 프로그램을 이용하여 관망해석을 수행한다.

- 그리기 도구(Map Toolbar)를 이용하여 관망도 작성 : Adding Objects
- 관로, 절점 등 관망구성 자료 입력 : Editing Objects
- 가동상황 설정(펌프곡선, 시간별 사용량 변화, 제어규칙 등) : Curve, Time Pattern, Control
- 해석옵션 선택 : Setting Analysis Options
- 수리/수질해석 : Running Analysis
- 해석결과 조회 : Viewing Result

## (나) 누수모니터링

- 기존 농업용수 공급방식이었던 개수로에서는 콘크리트 구조물의 노후화로 인한 파손과 토사가 용수로 내에 쌓이는 문제 등으로 인해 많은 양의 농업용수가 누수되고 손실되었으며, 그 수량 또한 파악이 어려운 문제점을 지니고 있었다.
- 또한, 농업용수의 누수를 파악하기 위해서는 운영자가 눈으로 직접 파손된 구조물을 확인하거나 지역 농민의 민원 등을 통해 확인이 가능하기 때문에 문제로 인식되는 상황과는 달리 누수는 주요 관리대상이 되지 못하였다.
- 그러나 ‘다목적농촌용수개발사업’, ‘영산강지구대단위농업개발사업’ 등과 같이 농업용수로를 관수로로 시공하는 지구의 증가 추세를 보이고 있는 현 상황과 본 연구에서 목표로 하는 농촌용수 파이프라인 운영관리시스템의 적용을 위해서는 누수모니터링은 필수적인 요소이며, 개수로의 누수문제를 개선하고 농업용수 손실량을 저감시킬수 있는 해결책이 될 수 있을 것으로 판단된다.
- 본 연구에서는 선행적인 관수로 시스템 구축과 연구개발이 진행되고 있는 상수도 분야의 누수 모니터링 기술을 검토·분석하였다.

### ① 종래의 누수모니터링 기법

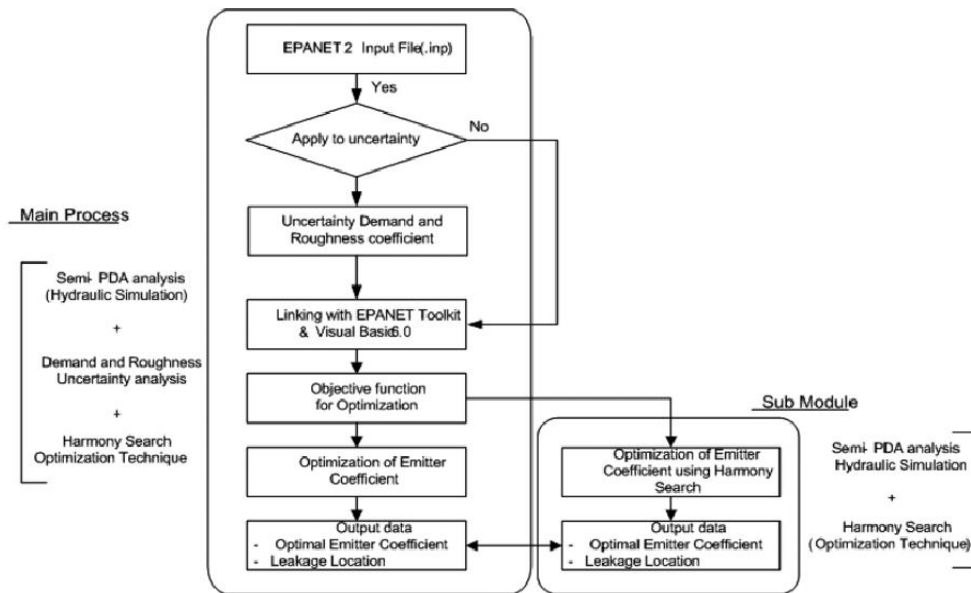
- 현재 가장 많이 쓰이는 누수모니터링 기법으로는 음향식탐지법, 상관식탐지법, 야간최소유량법 등 여러 방법이 적용되고 있다.
- 음향식탐지법은 누수가 발생될 때 내는 배관의 파열음 등 누수음을 지표면에서 센서를 통해 누수위치를 산출해 내며, 상관식탐지법은 관로상에 센서를 부착시켜 누수지점에서 전해지는 동일한 누수음이 쌍방의 감지기에 전해지는 시간차를 계산하여 누수지점을 산출하는 방식이다. 마지막으로 야간최소유량법은 야간에 물 사용이 적은 시간대에 블록 내로 유입되는 유량을 이용하여 누수를 모니터링하는 방법이다.

### ② 관망해석 모델을 적용한 누수 모니터링

- Yoo et al.(2014)에서는 기존 누수탐지 모델의 문제점을 보완하여, 절점의 수요량과 관 마찰계수의 불확실성 분석을 포함하는 수리해석 시뮬레이션을 통해 개선된 누수탐지모형을 개발하였다. 관망해석 프로그램인 EPANET 2.0의 에미터(Emitter) 기능을 활용한 모형을 구축하였으며, 관망의 수리해석 시 불확실성이 큰 매개변수인 수요량과 관 마찰계수의 불확실성 분석을 통해 보다 합리적인 누수탐지 기법을 제안하였다.
- 개발된 방법을 검·보정이 완료된 국내 실제 소블럭 관망에 적용하였으며, 불확실성을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우를 구분하여 그 결과를 서로 비교하였다. 적용 결과 현장의 누수탐지를 실시하기 전 전처리 과정으로 누수탐지모형을 적용하고 그 결과로 도출된 누수의심 지점을 바탕으로 탐지를 실행할 경우 경제적, 시간적으로 많은 효율을 보일 수 있

을 것으로 판단하였으며, 제안된 방법이 누수지점 탐지를 위한 방법론 뿐 만 아니라, 효율적인 누수탐지를 위한 관측 자료의 수 및 관측 지점의 선택에 관한 연구에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

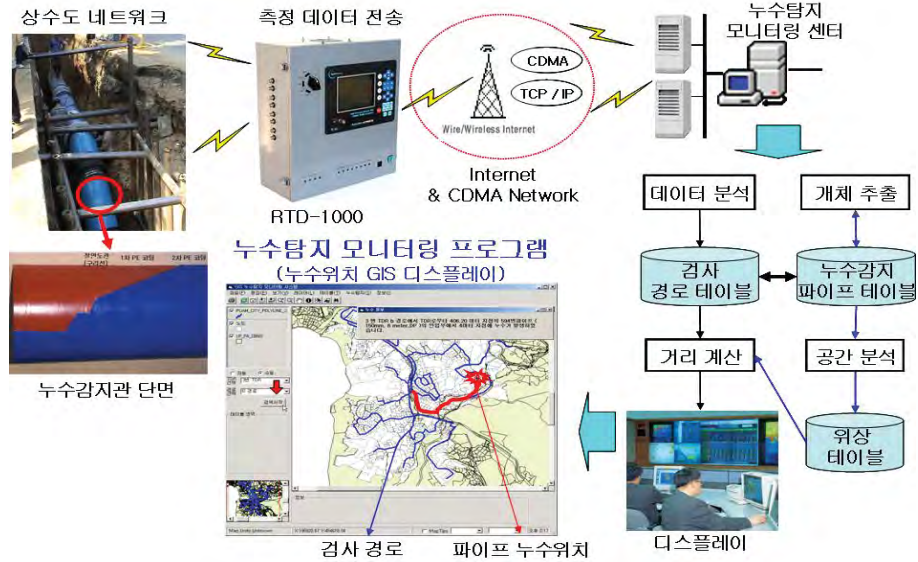
- [그림 3-4-2-10]은 Yoo et al.(2014)에서 제안한 최적 누수감지 모델의 흐름도를 보여주고 있으며, 메인프로세스와 서브모듈로 구성된다. 메인프로세스는 절점의 수요량과 관 마찰 계수의 불확실성을 고려하여 화음탐색법을 통한 최적 누수탐지를 수행하는 전반적인 절차를 나타내며, 서브모듈은 Semi-PDA 분석과 화음탐색법을 통한 에미터계수를 최적화하고 누수 지점을 결정하는 상세한 과정을 나타낸다.



[그림 3-4-2-10] Yoo et al.(2014)이 제안한 최적누수감지 모델의 흐름도

### ③ TDR(Time Domain Reflectometer)을 적용한 관망 누수탐지 시스템

- Koo et al.(2007)의 연구에서 개발된 누수감지관, 누수감지 센서, 파이프 연결조인트, 누수 감지 전용 TDR 등으로 구성된 누수탐지 모니터링 시스템은 누수가 발생한 정확한 위치를 실시간으로 알려줌으로써 파손된 관로와 정확한 파손위치를 쉽게 파악할 수 있으며, 보수 및 교체 등의 대책을 조기에 세울수 있도록 함으로써 누수로 인한 수자원의 손실을 최소화 시킬 수 있는 기술이다.



[그림 3-4-2-11] 누수감지 모니터링 시스템 개요(Koo et al.(2007))

- [그림 3-4-2-11]은 누수탐지 모니터링 시스템의 구성도로서 관체의 파손에 의한 누수감지 센서에 삽입되어 있는 도선이 누수로 인하여 끊어지는 경우 누수감지 전용 TDR(TDR-1000)에 의해서 누수신호가 감지되고 이것은 인터넷 또는 CDMA를 통해 모니터링 센터로 전송되어 공간분석을 통한 정확한 누수 사고지점의 위치가 상수도 GIS상에 경보로 나타나게 됨으로써 신속한 누수 보수작업이 가능토록 지원한다.
- 음향탐지법, 상관식탐지법, TDR 기법 등 센서를 이용한 누수 모니터링 기술은 농촌용수 파이프라인에 적용가능 할 것으로 판단된다. 그러나 관수로 구간별 센서를 부착하는 것은 비효율적이며, 이를 해결하기 위한 주요지점 선정과 센서 비용의 최소화가 필요할 것으로 여겨진다.
- 상수도에서 적용 중에 있는 야간최소유량법은 농업용수의 공급 특성상 어려울 것으로 판단된다. 이는 농업용수의 경우 사용량의 패턴이 존재는 하나 그 패턴이 일반적이라고 보기는 어렵기 때문이며, 요금이 적용되지 않기 때문에 부주의하게 사용함으로써 야간에 사용되는 수량이 의미가 없을 수 있기 때문이다.
- 관망해석 모델의 경우 본 연구에서도 EPANET을 적용함에 따라 해석 모델을 활용한 누수 모니터링이 가능하며, 해석치와 실제 계측되는 유량 및 수압의 비교분석을 통해 누수를 모니터링 할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 이를 실현하기 위해서는 계측기의 지점 선정이 주요한 변수가 될 수 있다.

(다) GIS(Geographic Information System)

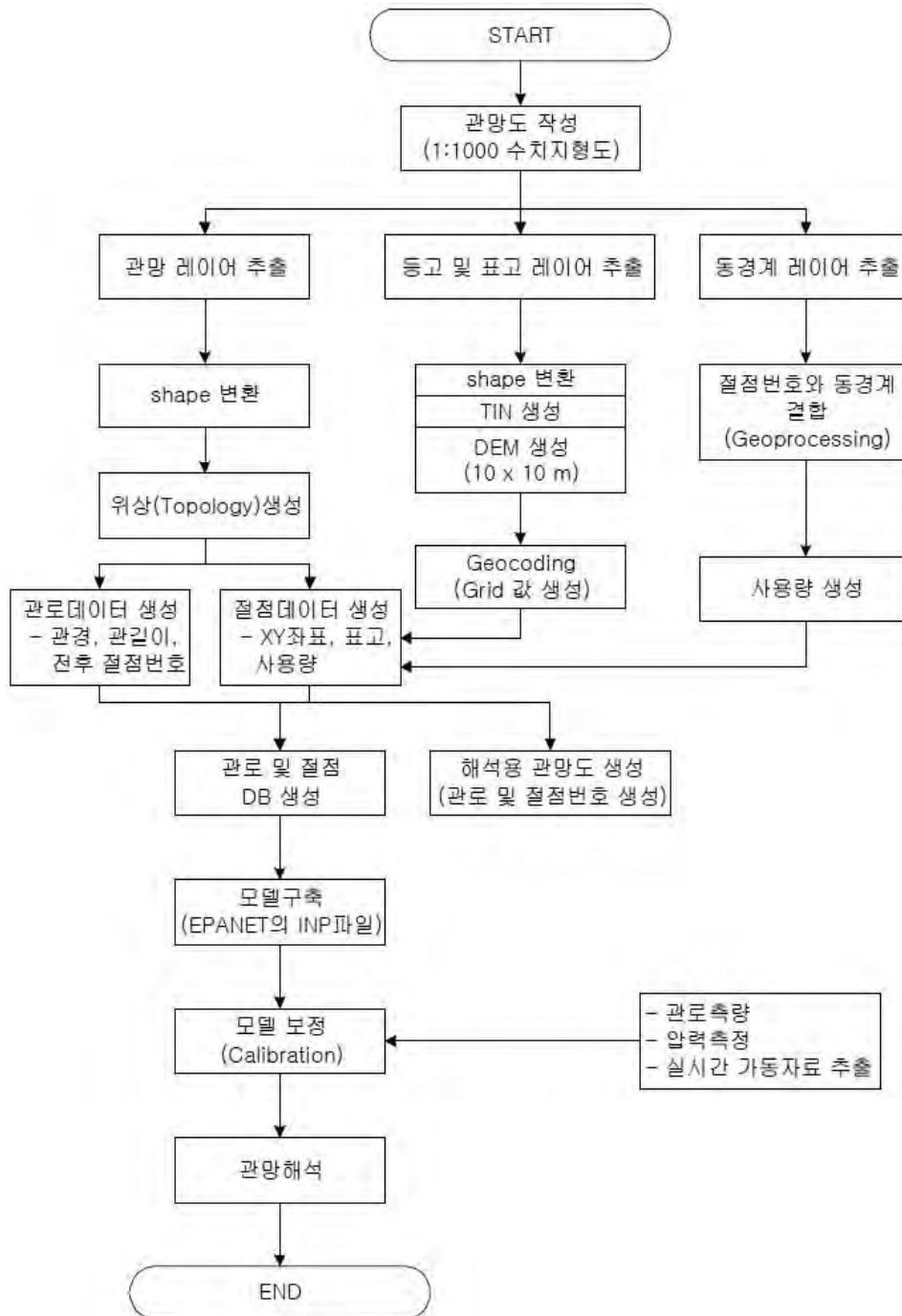
- GIS는 농업용수 관수로시스템 내에서 실시간으로 계측되는 설비 및 관개구역 등의 정확한 위치정보를 확인하기 위해 필요한 기능으로 시설물과 계측장비의 장애 및 용수공급이 어려운 관개구역을 시각적인 정보를 통해 제공할 수 있으며, 관망해석 기능과 연계함으로

써 해석결과에 따른 누수지점과 유량/압력 이상치를 보이는 지점의 정보를 실시간으로 파악할 수 있다.

- 지리정보는 두 가지로 구분된다. 먼저 도형정보(Graphic Information)로서, 공간객체(spatial object)의 형상을 2차원의 공간좌표 X, Y 또는 3차원의 공간좌표 X, Y, Z로 표현하여 시각적인 판단의 근거를 제공하는 정보이며, 나머지 하나는 속성정보(Attribute Information)로서 도형정보와 같이 시각적인 형태를 갖지는 않으나 지리적 객체와 연관된 다양한 정보를 포함한다. 한국수자원공사의 ‘실무자를 위한 관망해석 매뉴얼’에 따르면 광역상수도물 예를 들어 관로의 직경, 관길이 등의 물리적인 정보와 준공날짜, 보수시기, 가동상황 등 운영정보 등이 속성정보에 속한다.
- GIS는 도형정보와 속성정보를 함께 관리하고 있기 때문에 성격이 다른 정보간의 관계를 설정, 분석하고 새로운 형태의 정보를 합성하는데 유용하게 이용할 수 있다. 또한, GIS를 관망해석과 연계하면 관망자료의 시각화, 관망분석, 중첩분석에 활용할 수 있다.

#### ① GIS를 이용한 모델 구축

- 관망해석을 위한 모델 구축을 위해서는 우선 관망도가 있어야 하며, 모델구축에는 직접입력 등 여러 가지가 있으나, 일반적으로 CAD 파일로 작성된 관망도면을 활용하여 모델을 구축한다.
- CAD로 작성된 file을 GIS의 응용기능을 활용하여 각 관로 및 절점의 데이터베이스를 작성하기 위하여 Arc Info를 이용하여 관경변화점, 분기점에 대하여 Node 점을 추출하고 이들 Node 사이의 관로에 대한 관경, 관길이의 Data Base를 만듦. 이와 같은 일련의 과정을 통하여 GIS를 이용한 관망해석의 모델이 구축되며 이를 이용하여 모델의 보정과정을 거친 후 관망해석 및 활용을 하게 된다.
- 아래의 [그림 3-4-2-12]는 김성한 등에 의해 개발된 GIS를 이용한 관망해석 모델 구축의 흐름도 이다.

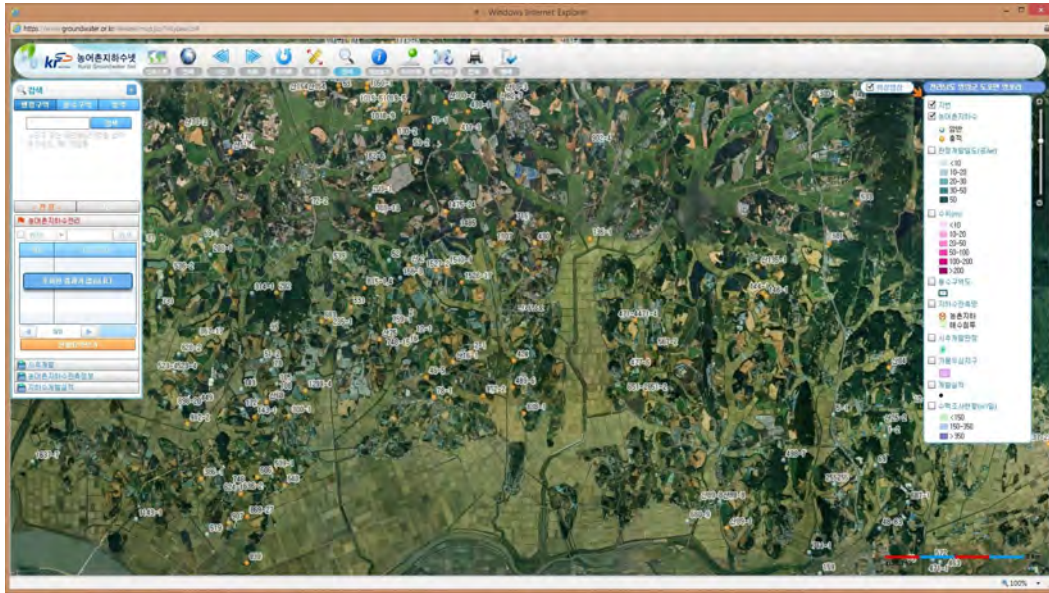


[그림 3-4-2-12] 관망해석 모델구축 흐름도

## ② 농업용수 GIS 시스템

- 농촌지역 지하수의 기존자료수집, 이용현황, 수질 및 수리현황 조사와 기타 세부조사를 실시하여 지하수를 최적 관리할 수 있는 시스템을 구축함으로써 지하수 관리대책 방안을 강구하고 지하수 모니터링의 실시와 지속적인 감시 관리를 하여 농촌지역 지하수의 난개발과 수질 오염을 사전 예방하고자 개발된 시스템으로서 GIS상에 구축되어 있는 전국의 관정 현황을 웹서비스를 통해 한눈에 알아볼 수 있도록 시스템을 구성하였으며, 각 관정의 시설제원과 수질검사자료 등을 확인할 수 있어 개발 이용자 및 지역주민의 편의를 도모하였다.





[그림 3-4-2-13] GIS로 구축된 지하수넷 화면

- 관망해석 및 누수모니터링 등의 기능을 탑재한 효과적인 운영관리시스템 개발을 위해서는 관수로 시스템과 GIS를 반드시 연계적용 되어야 한다. 또한 지하수 넷과 같이 시설의 정확한 위치를 파악하고 사용·유지관리를 위해서라도 GIS는 적용되어야 하는 기술임에는 분명하다.
- 농촌용수 파이프라인 운영관리시스템 적용 시에는 상수도 시설의 관경, 관 재질 등과 같은 시설제원뿐만 아니라 관개구역의 형태, 정확한 면적, 재배 작물, 사용수량 등의 정보를 포함할 있도록 GIS를 구축하여야 할 것으로 판단된다.

(라) 공급대비 사용량 분석

- 농업용수의 손실과 관련하여 관개를 위한 개수로에서의 용수 손실률은 전체 농업용수 이용량(159억 $m^3$ /년)의 약 15%(약 20억 $m^3$ /년)에 달하며 이는 우리나라 수자원 총 이용량의 6%에 해당되는 수치이다. 개수로에서의 이러한 손실은 침투·증발 손실, 수로 배분 손실 등으로 공급되는 수량이 관개구역까지 안정적으로 공급되지 못하기 때문에 발생하는 것으로서 관수로시스템이 적용될 시에는 관파손이나 누수, 설비장애 등의 문제가 발생되지 않는다면 공급되는 수량이 실제 사용량과 근사한 양을 유지할 것으로 보인다.
- 관수로시스템뿐만 아니라 효율적인 농업용수 관리를 위해서라도 공급량과 사용량을 체계적으로 관리하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 농업용수 공급과 사용에 대한 자료를 검토하고 이를 활용하고자 하였다.
- 사용량의 경우에는 관개구역별로 농업용수량을 측정하는 것이 어려움에 따라 기존 농업용수에서 적용되고 있는 수요량을 검토하였으며, 공급량과 사용량의 분석 시에 수요량이 손실량 파악을 위한 기준이 될 수 있을 것으로 예상된다.

① 공급량

- 수리시설물에서 농업용수 수요에 의해 공급되는 용수량으로 강우에 의해 농경지에 작물 재배기간 중 이용되는 수량(유효수량)을 제외한 실제 농경지(논/밭)에서 작물재배를 위해 이용되는 수량 및 수리불안전답, 비관개전에 이용되는 용수로 수리시설물에서 실제 이루어지고 있는 공급량을 의미한다.

② 수요량

- 수요량은 논/밭의 작물생육에 필요한 용수, 농약/비료살포 등 영농작업을 위한 영농용수 등 농업활동에 필요한 수량으로서 유효수량이 제외된 10년 빈도 가뭄시 경지에서 필요로 하는 수량과 가축 음용수량, 축사 및 기계/기구청소에 필요한 세정수량과 초지조성에 필요한 용수 및 축산물 가공에 필요한 용수를 더한 수량(축산용수 수요량)을 말한다.
- 농업용수 수요량 추정방법으로는 관개구역에서 발생하는 각 작물별 사용수량(소비수량)을 계측하여 전국적으로 누계하는 방법, 대표작물 및 계측지구의 단위필요수량이 구역을 대표한다는 가정 하에 전체 필요수량을 추정하는 방법, 작물성장에 필요한 증발산량을 정립된 이론 및 공식을 통하여 추정하는 방법 등이 있다.
- 농업용수 수요량 구성요소는 1965년 이후 수립년도에 따라 유지·변경되었으며 크게 논용수, 밭용수, 축산용수로 구분하여 관리하고 있다.
- 기존에 개발된 농촌용수종합정보시스템에서는 각 용수별 수요량을 아래와 같이 산정하고 있다.



[그림 3-4-2-14] 논용수(좌) 및 밭용수(우) 수요량 추정

- 논용수의 경우에는 비의 증발산량, 침투량, 기타 관리용수량 및 작물이 강우를 직접 사용할 수 있는 유효우량을 고려하여 당일의 필요수량을 산정하고, 일 필요수량을 누적시켜 산정한 연 필요수량의 빈도분석을 통하여 10년빈도 한발년에 대한 수요량을 산정한다.
- 발용수에는 FAO와 ICID등 세계적인 기구에서 추천하는 증발산량 산정법인 Penman-Monteith식을 증발산량 추정방법을 적용하고, 토양의 특성에 따른 TRAM값을 포장용수량으로 발 토양 내의 수분을 추적하는 물수지 방법을 이용하여 유효우량과 발작물의 필요수량을 산정하였으며 최종적으로 10년빈도 한발년에 해당하는 발작물 필요수량을 발작물 수요량으로 결정한다.

## (2) 요소기술 적용 및 로직작성

### (가) EPANET IO interface

- 관망해석을 수행하기 위한 프로그램으로는 앞서 언급된 EPANET을 선정하였다. 수지상식의 농촌용수 파이프라인 해석을 위한 기본적인 조건을 갖추고 있으며, 범용적으로 사용하는 프로그램이므로 개발 이후 유지관리가 용이할 것으로 판단된다.

#### ① Input File(.inp) 구성

- 관망해석을 하기 위해 필요한 설정 및 Network 구성을 표현한 입력파일로 각각의 구성은 대괄호를 통해 구분된다. 또한 섹션 내부 항목간의 Delimiter는 tab이나 space로 구분되며, ; (세미콜론)뒤에 오는 문자는 주석이나 제목으로 간주하여 관망해석에 전혀 영향을 주지 않는다. 표현할 수 있는 요소들은 크게 Node (Junction, Reservoir, Tank)와 Link(Pipe, Pump, Valve)로 구분된다.

#### ㉠ [JUNCTION]

- Network 구조의 절점을 표시한다. 모델 상 적어도 한 개의 절점이 필요하며, Pattern이 설정되지 않은 경우는 OPTIONS항목의 Default Pattern이나 1번째로 등록된 패턴을 기준으로 동작하게 된다. 만약 정의된 패턴이 없을 경우는 Base Demand는 상수화되어 적용된다(모든 시간대에 항상 Base Demand로 정의된 양만큼 사용하게 됨). 또한 [DEMANDS] 섹션에 해당 절점의 사용량을 구분하여 정의할 수 있다.

#### ㉡ [RESERVOIRS]

- 모델 상 물의 공급원을 지칭하는 요소 중 하나로 일반적으로 배수지를 표현하며, 모델 상 적어도 한 개의 공급원 (Reservoir or Tank)가 존재해야 한다.

#### ㉢ [TANKS]

- 모델 상 물의 공급원을 지칭하는 요소 중 하나로 저수용 탱크를 지칭하며, 모델 상 적어도 한 개의 공급원 (Reservoir or Tank)이 존재해야 한다.
- 비 원통형 구조의 Tank에 적용할 Curve는 체적(volume)/수심으로 표현 할 수 있으며, 이

때 Diameter는 0이 아닌 임의의 수로 표시한다. 원통형의 Tank인 경우 Minimum Volume 은 0이나 제공되는 Curve를 이용한다.

#### ㉔ [PIPES]

- 모델 상 모든 파이프를 표시한다. Hazen-Williams와 Chezy-Manning 수두 손실 식은 단위가 없으며, Darcy-Weisbach 수두 손실 식은 millifeet이나 mm 단위를 사용한다. 이는 [OPTIONS] 섹션에서 선택할 수 있다. Setting Status가 CV인 경우는 check value(역지밸브)를 나타내며 이는 물이 한 방향으로 흐르도록 한다. 또한 미소손실계수가 0이고 파이프의 상태가 OPEN인 경우에 한해서 두 항목의 표현을 생략할 수 있다.
- 모델에서 표현된 파이프의 순서도 네트워크 구조에 영향을 줌으로 만약 다시 모델을 조합할 경우 필히 초기에 생성시킨 파이프의 순서대로 조합해야 하며, 그렇지 않을 경우 해석결과에 영향을 줌.

#### ㉕ [PUMPS]

- 모델 상 모든 펌프를 표시한다. 기본적으로 PIPES의 구조와 흡사하고 Properties 항목의 keyword에 의해 펌프의 설정이 가능하며, keyword는 다음과 같다.
  - POWER : 펌프의 정전력 (hp,kw)
  - HEAD : 유량/양정 Curve의 ID
  - SPEED : 펌프의 Speed 설정 (일반 속도는 1.0이며 0일 경우 펌프정지를 뜻함)
  - PATTERN : 시간 별 Speed setting pattern

#### ㉖ [VALVES]

- 모델 상 모든 밸브를 표시한다. 밸브의 세팅을 변경/적용 하기 위해서는 필히 SETTING 섹션에 해당 밸브를 정의하지 않아야 한다. 또한 CV는 PIPE섹션에 포함되는 관계로 VALVES 섹션에서는 정의되지 않는다. 정의 가능한 VALVE의 종류는 다음과 같다.
  - PRV : pressure reducing valve - 압력 (psi,m)
  - PSV : pressure sustaining valve - 압력 (psi,m)
  - PBV : pressure breaker valve - 압력 (psi,m)
  - FCV : flow control valve - 유량 (flow units)
  - TCV : throttle control valve - 손실계수
  - GPV : general purpose valve - 수두손실곡선 ID

#### ㉗ [EMITTERS]

- Emitter 계수를 적용 할 Junction을 표시한다. 이는 살수방식의 유량 표현이나 관 누수를 표현할 때 쓰이며, Emitter의 분출량은 Flow coefficient와 절점의 압력 x승을 통해 표현된다. 이때 지수 x는 [OPTIONS] 섹션의 EMITTER EXPONENT항목을 통해 설정이 가능하다. (기본적으로 0.5가 일반적인 상황을 표시) 이는 실제 사용량에 의거한 해석을 수행할 필요가 있을 때 사용하며, [EMITTERS]섹션을 구성하지 않아도 해석에는 지장이 없다.

#### ㉠ [CURVES]

- X,Y로 표현되는 데이터 곡선을 지칭하며, 표현할 수 있는 데이터는 다음과 같다.
  - 양정/유량 곡선 (펌프)
  - 효율/유량 곡선 (펌프)
  - 체적 (volume)/수심 곡선 (탱크)
  - 수두손실/유량 곡선 (일반 목적으로의 밸브)
  
- X값은 작은 수부터 큰 수 순으로 순서대로 정의되어야 하며, 컬럼 표시 이후 주석에 의해 EAPNET Windows 버전에서 Curve의 특성이 표시되게 된다. 이때 사용하는 Keyword는 다음과 같다.
  - PUMP : 양정/유량 곡선
  - EFFICIENCY : 효율/유량 곡선
  - VOLUME : 체적(volume)/수심 곡선
  - HEADLOSS : 수두손실/유량 곡선

#### ㉡ [PATTERNS]

- 시간 흐름에 따른 패턴을 정의하며, 승수는 시간 흐름에 따른 기본값에 보정할 내용을 정의한다. 모든 패턴은 [TIMES]섹션에 정의된 시간 간격을 공유하며, 시뮬레이션 시간이 패턴정의를 넘어서는 경우 다시 패턴의 첫 번째 값부터 적용된다.

#### ㉢ [ENERGY]

- 펌프 에너지와 소요비용 연산을 정의하며, 펌프마다 혹은 모든 펌프에 일괄적으로 설정을 적용할 수 있다. 설정할 수 있는 항목은 아래와 같다.
  - PRICE : 시간당 평균 소모량(kW/Hour)
  - PATTERN : 시간 별 에너지 비용 패턴
  - EFFIC : 펌프의 성능곡선 ID
  - DEMAND CHARGE : 시뮬레이션 중 추가된 최대 KW에 대한 비용
  
- Global로 분류되는 pump의 효율은 기본적으로 75%이며, 에너지 비용은 0이다. 모든 항목의 입력은 선택사항이다.

#### ㉣ [STATUS]

- 시뮬레이션 시작 시점에서 링크의 최초 상태를 표현하며, 표현되지 않는 링크에 대해서는 OPEN이나(파이프, 펌프) ACTIVE(밸브)가 초기 상태가 된다. 만약 밸브가 이 섹션에 정의되는 경우는 OPEN이나 CLOSE중 하나의 상태가 되며 이때는 완전개방과 완전폐쇄 상태를 뜻하며 밸브에 대한 컨트롤은 불가능하다. 세팅 할 수 있는 값은 OPEN과 CLOSE외에 펌프의 Speed와 밸브 세팅값들이 올 수 있으며, 초기 세팅에 대해서는 이후 RULE이나 CONTROL섹션의 내용에 따라 상태가 변경될 수 있다.

## ⑫ [CONTROLS]

- 모델 내 링크에 대한 단순한 조작에 관련된 명령을 표현한다. 단순한 조작이라 함은 링크의 Status와 탱크의 수위, 절점의 압력, 시간 등이 있을 수 있다.

## ㉠ [RULES]

- 링크의 상태 변환에 관련된 규칙기반 제어를 표현한다. 표현식은 IF와 THEN, AND, OR로 이루어진 제어문과 흡사한 방식이며, AND와 OR가 혼재할 경우 OR가 AND보다 우선권을 가지게 된다. 만약 복수의 Rule이 서로 상충되는 Action을 수행하고자 할 때는 정의된 우선순위에 따라 적용되며, 우선순위가 적용되지 않았을 경우 먼저 등록된 항목이 우선권을 가지게 된다.

## ㉡ [DEMANDS]

- [JUNCTIONS] 섹션의 demand를 세분화하여 사용할 필요가 있는 경우 정의하며, 이때 [JUNCTIONS]에 정의된 DEMAND는 무시된다. 카테고리의 수는 무한대이며, 패턴에 대한 적용 방식은 [JUNCTIONS]과 동일하다.

## ㉢ [QUALITY]

- 절점의 초기 수질 데이터를 정의한다. 입력되지 않은 절점의 초기 수질은 0이며, 표시될 수 있는 항목은 잔류염소농도, 수령, 수원지 추적정보이다. 입력은 선택사항이며, 입력하지 않더라도 해석에 지장은 없다.

## ② Output 구성

- 관망해석의 결과에 따른 항목별 해석값을 반환하는 .rpt 파일이 존재하지만 실제로 Toolkit을 이용한 프로그램에서는 활용할 상황이 극히 드물다. 보통 프로그램 상의 getNodeValue 및 getLinkValue method를 이용하여 필요한 값을 발취하는 것을 기본으로 한다.

- NodeValue 구성 : Node에 관련된 해석 결과값을 반환하며, 그 내용은 다음과 같다.

- EN\_ELEVATION : 표고
- EN\_BASEDEMAND : 기본 사용량
- EN\_PATTERN : 사용량 패턴 ID
- EN\_EMITTER : Emitter 계수
- EN\_INITQUAL : 초기 수질값
- EN\_SOURCEQUAL : 공급원일 경우 수질
- EN\_SOURCEPAT : 공급원일 경우 패턴 ID
- EN\_SOURCETYPE : 공급원일 경우 유형(0:CONCEN 1:MASS 2:FLOWPACED 3:SETPOINT)
- EN\_TANKLEVEL : 탱크일 경우 수위
- EN\_DEMAND : 사용량
- EN\_HEAD : 수두
- EN\_PRESSURE : 압력
- EN\_QUALITY : 수질

- EN\_SOURCEMASS : 분당 수질항목에 대한 유량
- EN\_INITVOLUME : 탱크인 경우 초기 체적(volume)
- EN\_MIXMODEL : 탱크인 경우 혼합모델 코드 (0:single 1:two-compartment 2:FIFO 3:LIFO)
- EN\_MIXZONEVOL : 탱크인 경우 입력/출력 부 체적 (two-compartment)
- EN\_TANKDIAM : 탱크인 경우 직경
- EN\_VOLCURVE : 탱크인 경우 체적/수심 Curve ID
- EN\_MINLEVEL : 탱크인 경우 최저 수위
- EN\_MAXLEVEL : 탱크인 경우 최고 수위
- EN\_MIXFRACTION : 탱크인 경우 입출력 부에서 사용된 체적 총량 (two-compartment)
- EN\_TANK\_KBULK : 탱크인 경우 수체반응계수

- LinkValue 구성

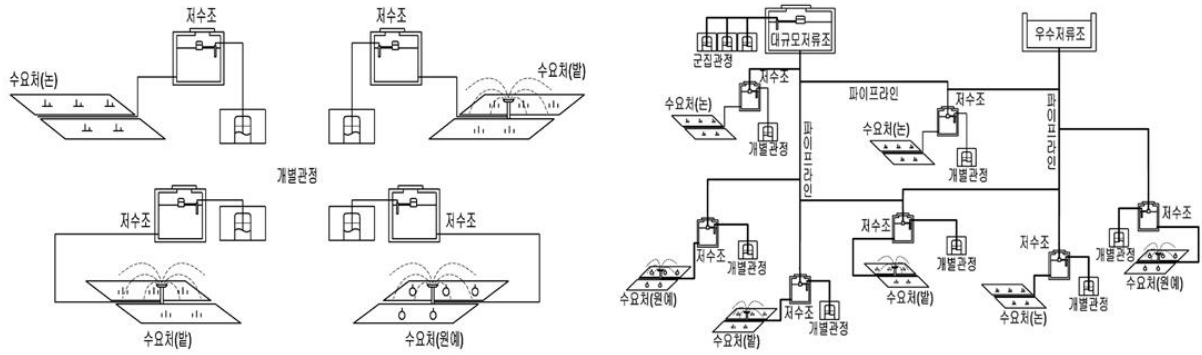
Link에 관련된 해석 결과값을 반환하며, 그 내용은 다음과 같다.

- EN\_DIAMETER : 관경
- EN\_LENGTH : 연장
- EN\_ROUGHNESS : 조도계수
- EN\_MINORLOSS : 미소손실계수
- EN\_INITSTATUS : 초기상태 (0:closed 1:open)
- EN\_INITSETTING : 초기 세팅값(pipe:조도계수 pump:speed valve:valve setting)
- EN\_KBULK : 수체반응계수
- EN\_KWALL : 관벽반응계수
- EN\_VELOCITY : 유속
- EN\_HEADLOSS : 수두손실
- EN\_STATUS : 해석 시 상태값 (0:closed 1:open)
- EN\_SETTING : 해석 시 세팅값 (pipe:조도계수 pump:speed valve:valve setting)
- EN\_ENERGY : 소모된 에너지 (kwatts)

(나) 요소기술 적용 및 활용

① 적용대상

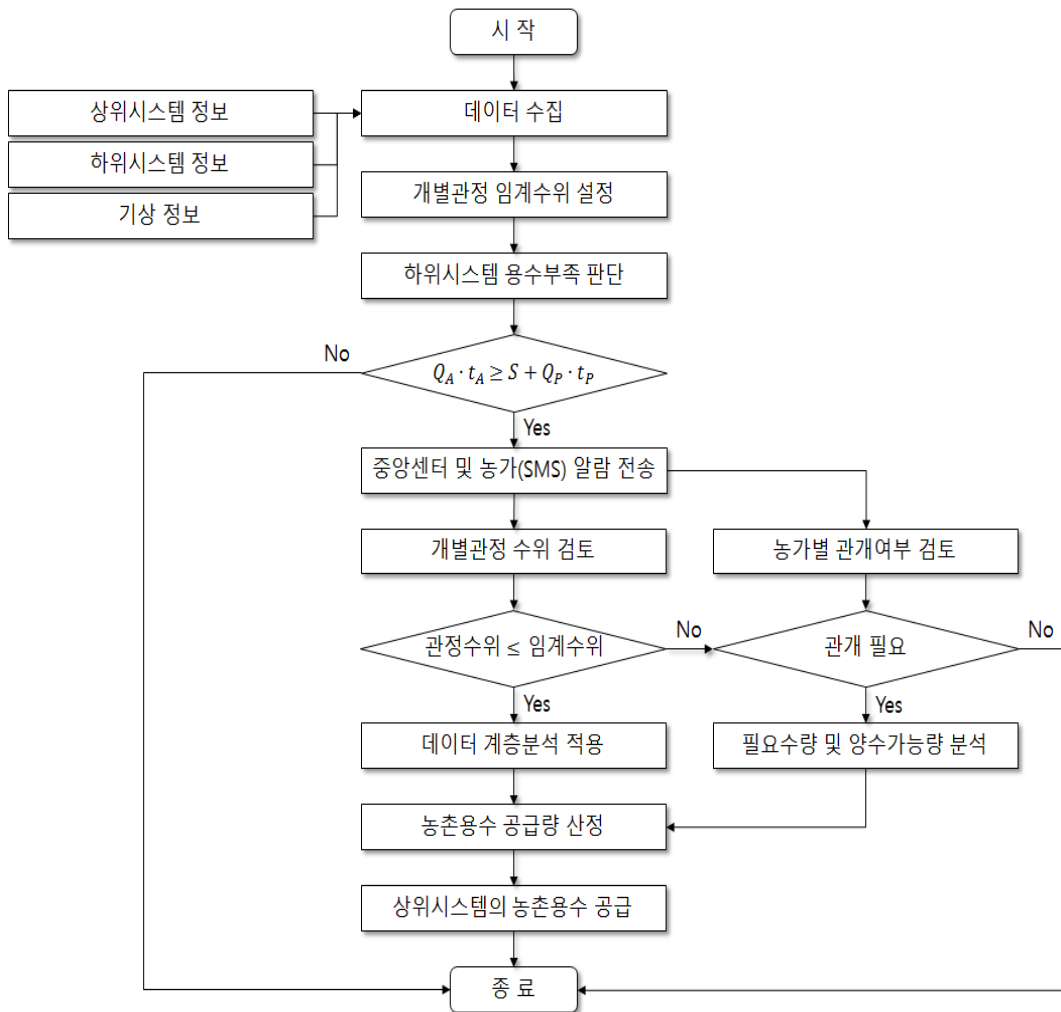
- 적용대상으로는 농촌용수 파이프라인의 적용 및 운영이 용이할 것으로 판단되는 지하수 관정 시스템을 대상으로 하였으며, 기존에 개별적으로 관정 및 저수조의 수위를 모니터링 하고 펌프 제어를 통해 수량을 감시하는 정도의 수준이 아닌 본 연구를 통해 각 단위시스템(관정, 저수조, 펌프 등)과 상위시스템(군집관정 및 대용량 저수조, 우수저류조 등)을 파이프라인으로 통합·연계하여 중앙제어센터에서 각 개별관정 및 저수조의 수위(수량) 및 사용량을 파악하고 수요에 따라 농업용수가 부족하거나 관정 수위가 낮은 하위시스템에 상위시스템의 농업용수를 공급할 수는 통합시스템을 구성하여 운영관리 시스템을 적용하였다.



[그림 3-4-2-15] 기존 관정시스템(좌) 및 본 연구내용의 관정 통합시스템(우)

② 시스템 운영흐름

○ 지하수 관정에 적용 시 농촌용수 파이프라인 운영관리시스템의 운영 흐름은 다음과 같다.



[그림 3-4-2-16] 운영관리 시스템의 운영 흐름도



### ③ 시스템 운영방법

#### ㉓ 데이터 수집

- 하위시스템 정보 수집은 개별관정을 기준으로 관정의 위치정보, 관정 및 저수조 수위, 사용량, 자체 생산가능량, 관정 양수능력(펌프 토출량), 용수공급 농지현황(작물, 토양, 면적, 영농방식 등) 등을 수집한다.
- 상위시스템 정보 수집은 군집관정 및 대용량 저수조 수위, 우수저류조 수위, 사용량, 유량 등을 수집하고, 상·하위 시스템을 연계하는 파이프라인(관경, 관연장 등), 펌프, 밸브 등의 시설정보와 이들의 위치를 나타낼 수 있는 GIS 정보를 수집한다.
- 농업용수 사용량의 주요인자로 판단되는 기상정보(강우량, 일평균온도, 일조시간 등)를 수집하여 데이터베이스에 저장한다.

#### ㉔ 개별관정의 임계수위 설정

- 임계수위라 함은 지하수 관정내의 농업용수를 펌프로 부터 양수가 가능한 수위를 의미하며, 임계수위에 도달했다는 것은 가뭄이나 사용량 증가로 인해 현재 생산가능한 지하수량이 한계에 도달했다는 것을 의미한다. 이러한 임계수위는 개별관정의 위치 및 수량 등에 따라 상이하며, 시스템 적용 환경에 따라 수위를 달리 설정할 수 있도록 한다.

#### ㉕ 농업용수 부족량 판단

- 상위시스템으로부터 개별관정을 중심으로 한 하위시스템에 농업용수를 공급하는 초기 판단기준을 제공하는 항목으로, 농가별 사용량과 저수조 보유량 및 관정의 생산량을 이용하여 아래의 수식을 통해 농업용수 부족을 판단하고, 아래의 수식에 따라 관개용수 사용시간과 펌프의 양수시간이 동일한 경우, 농업용수가 부족한 시점을 사전 예측할 수 있다.

$$Q_A \cdot t_A \geq S + Q_P \cdot t_P$$

$Q_A$  : 농업용수 사용량( $m^3/hr$ ) → 시간에 따른 농업용수 사용량 ( $Q_{A1} + Q_{A2} \dots + Q_{An}$ )

$Q_P$  : 관정 양수량( $m^3/hr$ ) → 펌프성능에 따라 일정하나, 임계수위에 도달하면 변동가능

$S$  : 저수조 보유량( $m^3$ ) → 관개 전 수량

$t_A, t_P$  : 농업용수 사용시간, 양수시간( $hr$ )

∴  $t_A = t_P$ 이면,  $t = \frac{S}{Q_A - Q_P} \Rightarrow$  부족시점 예측가능

- 현시점에 가용 가능한 농업용수가 부족하다고 판단되면, 중앙센터와 농가에 알람을 전송한다. 이를 통해 중앙감시센터에서는 부족한 상황에 대한 대비가 가능하고 농가에서는 농업용수의 과잉 사용을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

㉔ 관정 수위 검토

- 실시간으로 계측되는 관정의 수위를 검토하여 설정된 임계수위와 비교하고 지하수 관정의 수위가 임계수위와 같거나 낮은 경우에는, 가뭄이나 농업용수 과잉 공급으로 인해 지하수 수위가 낮아져 공급 가능한 농업용수가 부족하다고 판단하게 되고 공급량 산정을 위한 데이터 계층분석을 적용하게 된다. 지하수 관정의 수위가 임계수위보다 높은 경우에는, 일시적인 수량 부족으로 판단하고 농가별 관개 필요 유무를 판단해야 한다.

㉕ 농가별 관개여부 검토

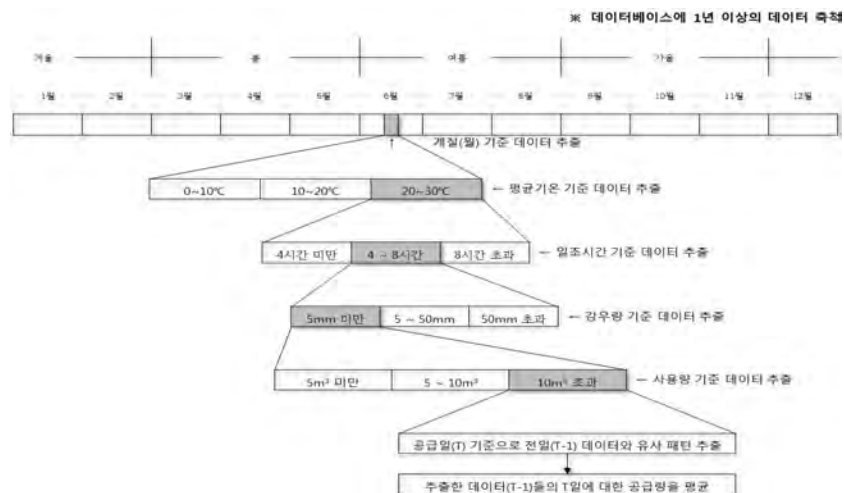
- 일시적인 수량부족이 발생하였다하여 무조건적으로 상위시스템에서 농업용수를 공급하는 것은 수자원 활용 측면에서 효율성이 떨어짐으로 관개여부 검토가 필요하며, 앞서 수량부족에 대한 알람을 전송함에 따라 관개용수가 더 필요할 것인지 충분한지에 대한 농가별 의견을 반영할 수 있으며, 이를 이용해 관개의 필요여부를 판단할 수 있다. 농가별 의견은 스마트폰 등 휴대용 단말기를 이용하여 반영할 수 있도록 시스템이 구성되어야 한다.

㉖ 데이터 계층분석 적용

- 본 연구에서 데이터 계층분석이라 함은 데이터베이스에 저장되어있는 일련의 데이터들을 계층적으로 세분화(입자화)하여 현재와 유사한 특성과 패턴을 가지는 데이터를 추출해내는 기법을 의미한다.

- 예를 들어, 농업용수 공급이 필요한 현재시점(T)을 기준으로 T-1일의 정보가 다음과 같을 때, 예시) 6월, 평균기온이 23℃, 일조시간 5시간, 무강우, 사용량 12m<sup>3</sup> 상기 정보를 토대로 과거의 유사패턴을 [그림 3-4-2-17]과 같은 기준을 적용하여 추출한다.

- 예시에 적용한 평균기온, 일조시간, 강우량 등의 기준은 적용되는 현장에 따라 달리 적용 가능하며, 1년 이상의 데이터 축적이 필요할 것으로 판단된다. 시스템이 적용되는 시점에서 축적된 데이터가 부족할 시에는 공급량의 디폴트값으로 ‘농업용수 수요예측 가이드라인’의 논, 밭 관개용수 산정 방식을 따르도록 한다.



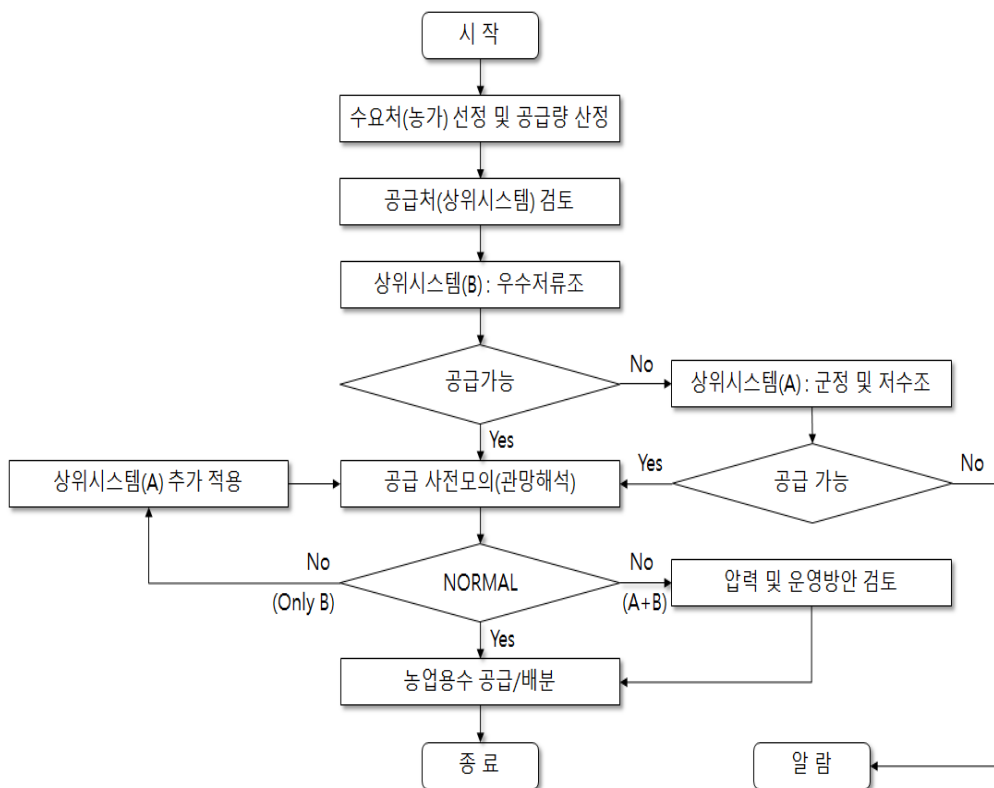
[그림 3-4-2-17] 데이터 계층분석을 통한 수요예측의 모식도

㉔ 공급량 산정

- 농가별 필요수량 및 지하수 관정의 수위를 검토하여 관정의 양수가능량 및 부족분에 대한 공급량을 산정하고, 데이터 계층분석을 통해 산정된 공급량과 금일 사용된 사용량을 비교분석하여 최종적으로 공급해야할 농업용수 공급량을 산정한다.

㉕ 농업용수 공급

- 하위시스템별 공급처 우선순위를 결정하여 산정된 농업용수를 공급한다. 공급처의 우선순위를 결정하는 흐름도는 [그림 3-4-2-18]과 같다. 단, 시스템의 적용대상에 따라 상위시스템은 단일 혹은 다수 존재할 수 있으며, 사용자가 상위시스템의 검토우선순위를 임의 지정할 수 있다.
- 운영 흐름도에 따라 공급이 필요한 하위시스템과 공급량이 산정되었으며, 이를 토대로 공급처인 상위시스템을 검토하게 된다. 본 연구에서 우선적으로 검토되는 공급처는 우수저류조(B)이며 우수저류조의 수위를 계측하여 보유하고 있는 수량이 공급량을 충당할 수 있고 공급이 필요한 모든 하위시스템에 공급이 가능하면 운영모의 단계로 진행한다. 만약 공급이 불가능한 경우에는 연계된 다른 상위시스템인 군정 및 저수조(A)를 검토한다.
- 공급가능이라 함은 수량적인 측면과 파이프라인의 연계성을 의미한다. 수량은 산정된 공급량과 계측되는 상위시스템의 수위를 통해 파악하며, 연계성은 상위시스템과 하위시스템 간의 GIS정보를 통해 파이프라인이 구축되어 공급이 이루어질 수 있는가를 판단한다.



[그림 3-4-2-18] 공급처 우선순위 선정 흐름도

- 수량 및 연계성을 모두 만족하여 공급이 가능하면 운영모의(관망해석)를 수행하게 되며, 모의결과에 따라 normal/abnormal로 구분되어 진행된다. normal/abnormal의 기준은 해석 결과의 압력을 검토하여 유량 및 수압의 이상치 발생여부를 통해 결정한다.
- 모의 결과가 normal인 경우 산정된 공급량을 선정된 공급처(상위시스템,B)에서 공급/배분하게 되고, abnormal(Only B)인 경우 상위시스템(A)를 추가 공급처로 적용하여 사전모의를 수행한다.
- 초기 상위시스템(B) 검토에서 공급이 불가능하다는 판단을 내리게 되면 상위시스템(A)를 추가하여 수량 및 연계성을 재검토한다. 이때 공급이 가능하다는 판단이 내려지면 사전모의 단계로 진행되고, 공급이 불가능하다는 판단이 내려지면 수량부족에 대한 알람을 운영자에게 전송한다. 알람을 통해 운영자는 추가적으로 공급할 수 있는 농업용수량을 파악하고 그에 따른 사전대책을 마련하도록 한다.
- 상위시스템 A, B를 모두 적용한 사전모의 결과가 normal인 경우는 앞서 설명된 내용과 동일하며, abnormal(A+B)인 경우 압력 및 운영방안을 검토하여(예 : 감압변 및 가압펌프를 이용하여 적정압력 유지) 농업용수를 공급/배분하도록 한다.
- 위와 같은 농촌용수 파이프라인 시스템의 운영은 수원을 달리 적용하더라도 주요 운영흐름은 유사할 것으로 판단되며, 적용현장에 따라 커스터마이징 수행이 필요할 것으로 예상된다.

### 3. 지능형 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템 개발

#### 가. 시스템 기능 요구사항 및 시스템 구성방안 도출

##### (1) 운영관리 시스템 구성 기본방향 검토

##### (가) 시스템 운영체제

- 운영체제는 현재 Windows와 Unix, Linux가 주종을 이루며, 각각 장단점은 있으나, Windows계열은 경제성, 유지관리, 프로그램 변경 및 사용자의 편이성 등이 우수하고 안정성과 성능, 보안은 Unix가 우세한 특징을 보인다.
- 본 연구에 대한 검토 결과 하드웨어 및 소프트웨어 통합이 간편하고 경제적이며 사용자에게 친숙하고 운용이 편리한 윈도우 계열의 운영체제를 선정하였다.

##### (나) 시스템 운영방식

- 운영방식에 대해 단일접속 방식과 동시접속 방식을 비교 검토하였으며, 검토 결과 광역에 산재된 농촌용수 관련 시설물의 운영관리에 적합하고 향후 단위 시스템을 통합 구축하여 운영하기 위한 방향에 부합되며, 운영관리 및 시스템 활용측면에서 유리한 동시 접속 운영방식을 선정하였다.

##### (다) 통신방식

- 시스템 적용에 필요한 통신방식 검토를 위하여 CDMA 통신과 RF 및 인터넷을 적용하는 방식을 비교 검토하였다.
- 검토 결과 농촌용수의 경우 농한기 약 6개월간 시스템이 휴지기에 들어가므로 휴지기간 동안의 통신비용 최소화가 요구되며, 다수 시설에 대한 모니터링 및 제어시 발생하는 통신 비용 최소화를 위하여 경제적인 통신 방식이 필요하다.
- 따라서 다수 시설 적용시 통신비용 절감이 가능하고 농한기의 시스템 휴지기간 동안 통신비용이 최소화될 수 있는 RF통신 및 인터넷 방식을 선정했다. (단, RF통신의 불안정성을 해소할 수 있도록 RF모듈에 대한 거리 개선 및 안정성 확보가 선행되어야 함)

##### (라) 시스템 통합방식

- 시스템의 통합방식 검토를 위해 지역 개별 운영방식과 중앙 통합 운영방식을 비교 검토하였으며, 운영 효율성과 통합관리체계의 적합성을 고려하여 지역 및 지사별 시스템을 향후 본부로 통합하는 방식을 선정하였다.

##### (마) 소프트웨어 적용 방안

- 소프트웨어 적용 방안 검토를 위해 감시제어 위주 구성과 운영관리 위주 구성을 비교 검토하였다.
- 검토결과 감시제어 위주의 소프트웨어 보다는 운영관리 위주의 소프트웨어를 적용하는

것이 다양한 스마트 기능 구현과 데이터베이스 구축을 통한 활용 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

(바) 시스템 이중화 방안

- 시스템 이중화에 있어서는 공유 방식과 고가용성 방식으로 적용이 가능하다. 이중 공유방식은 서버를 이중화하여 적용하게 되므로 분산처리의 장점이 있으나 초기 투자비 및 유지보수 비용이 증가되는 단점이 있다.
- 고가용성 방식의 경우에는 별도의 장치 및 추가옵션이 불필요하고 구축 및 운영관리가 용이한 장점이 있어, 금회 검토시에는 고가용성 방식(Active-Standby)을 적용하는 것으로 선정하였다.

(사) 네트워크 토폴로지

- LAN에서 가장 많이 이용되는 토폴로지는 버스, 링, 스타의 세 가지이며, 세 가지 모두는 여러 가지 상황의 LAN에서 모두 사용될 수 있으나 금회 검토 시에는 3가지 방식 중 일반적으로 많이 사용하고 물리적으로 안정적이며 경제성을 확보할 수 있는 버스 토폴로지 방식을 선정하였다.

(2) 시스템 기능정의

[표 3-4-3-1] 시스템 기능정의

1차	2차	3차	설명
관망 감시	계측기 및 시설에 대한 상태 감시 및 실시간 모니터링 등을 조회		
	실시간모니터링	양수장, 배수장, 관수로 등 시설의 상태를 감시하고 계측데이터를 실시간으로 모니터링	
		• 실시간모니터링	주요시설의 계측상태와 수위, 유량, 수압 등을 실시간 모니터링
	동수두감시	동수두에 대하여 모니터링	
		• 동수두감시	동수두감시 결과를 조회
	트렌드감시	트렌드별 감시를 조회	
		• 항목별 트렌드 조회	항목별로 트렌드를 조회
	실시간 경보	경보내용을 화면상에 표출하고 경보이력을 조회	
		• 실시간 경보표시	실시간으로 발생하는 주요시설 별 경보이력을 화면상에 표시
		• 경보발생 조회	기간별 경보발생 및 경보처리 이력을 조회
실시간누수감시	누수에 대한 감시를 실시		
	• 누수감시	누수에 대하여 모니터링	
관망 관리	관망에 대하여 관리를 실시		
	패턴관리	유량 및 수압의 패턴분석 및 관리	
		• 구간별 패턴관리	신규 패턴을 등록, 수정, 삭제, 조회
		• 구간별 패턴분석	관수로의 구간별 유량과 수압 패턴을 분석
	데이터분석	각종 데이터에 대한 분석결과를 조회	
		• 수질데이터 분석	수질측정지점별 데이터 조회 및 분석
		• 펌프가동률 분석	양배수장 등 펌프시설에 대한 가동률을 조회
	손실률분석	손실률에 대한 분석결과를 조회	
• 추이분석		추이별로 분석결과를 조회	
• 구간별 손실률분석		구간별로 분석결과를 조회	

[표 3-4-3-1] 시스템 기능정의(계속)

1차	2차	3차	설명
관망 관리	누수량분석	누수량에 대한 산정 및 누수판정을 조회	
		• 누수량 산정	지점에 대한 누수량을 산정
		• 누수판정 조회	누수량 산정에 따른 누수판정 결과를 조회
	수압관리	수압관리를 위한 분석 및 수압 데이터를 조회	
		• 실시간 수압분석	수압의 임계치와 계측수압을 조회
		• 수압분석	수압계가 설치된 구간별로 수압을 분석
	보고서	각종 보고서를 조회	
		• 데이터분석	데이터분석에 대한 보고서를 조회
		• 손실률	손실률에 대한 보고서를 조회
		• 누수량	누수량에 대한 보고서를 조회
• 수압		수압에 대한 보고서를 조회	
관망 해석	관망에 대하여 모의 및 결과를 조회		
	관망해석 모델관리	관망해석을 위한 Input 파일을 관리	
		• 관망해석 모델관리	관망해석을 위한 Input 파일을 등록, 삭제, 조회
	실시간관망해석	실시간 관망해석을 실행하고 해석결과를 조회, 분석	
		• 관망해석 결과 조회	관망해석 결과를 조회
		• 오차율 분석	실측값과 해석값을 비교 분석
	운영모의	운영모의 실행 및 결과를 조회	
		• 운영모의해석	등록된 모델의 조건을 변경하여 운영모의 실행 및 결과를 조회
		• Case별 운영모의해석	Case별 운영모의 결과를 조회
		• 운영모의 계통도	계통도를 통해 운영모의에 따른 관망의 거동생태를 조회
	에너지모의	에너지모의 실행 및 결과를 조회	
		• 일별펌프성능 모의	해당 일자의 모의결과를 조회
		• 실시간 펌프성능 모의	실시간 관망해석을 통한 펌프별 에너지모의 정보를 조회
		• 전력량/원단위 분석	펌프장별 모의 결과에 대한 통계자료를 조회
• 펌프최적조합 분석		에너지 사용량 모의결과에 대한 펌프최적조합 결과를 조회	
공급 관리	농촌용수에 대하여 공급관리를 조회		
	계획정보	농업용수 계획정보를 관리	
		• 계획사용량 관리	전/답별 계획사용량을 등록, 수정, 삭제, 조회
	강우정보	강우정보를 관리	
		• 강우량 조회	관개구역의 강우량을 조회
		• 강우/공급량분석	강우량에 따른 공급량을 분석
	수요예측	농업용수에 대한 수요예측결과를 조회 및 관리	
		• 수요예측관리	수요량 예측을 위한 모델을 관리
		• 수요예측결과조회	관개구역 별로 예측한 수요량을 조회
	공급검토	농업용수 공급량에 대한 조회 및 분석	
• 공급량 조회		관개구역에 대한 공급량을 조회	
• 예측량/공급량분석		수요예측량에 대한 공급량을 비교 분석	

[표 3-4-3-1] 시스템 기능정의(계속)

1차	2차	3차	설명
기본 설정	시스템의 기본정보를 관리		
	사용자관리	시스템을 사용하는 사용자를 관리	
		• 사용자 등록	신규 사용자 정보를 등록
		• 사용자 수정	기존 사용자 정보를 수정
		• 사용자 삭제	사용자를 삭제
		• 사용자 조회	사용자를 조회
	이력관리	시스템에 접속한 이력을관리	
		• 로그인이력 조회	로그인한 사용자의 이력을 조회
		• 메뉴이력 조회	사용자가 이용한 메뉴의 이력을 조회
	코드관리	시스템에 사용하는 코드를 관리	
		• 상위코드 등록	상위코드를 등록
		• 상위코드 수정	상위코드를 수정
		• 상위코드 삭제	상위코드를 삭제
		• 상위코드 조회	상위코드를 조회
		• 하위코드 등록	하위코드를 등록
		• 하위코드 수정	하위코드를 수정
		• 하위코드 삭제	하위코드를 삭제
		• 하위코드 조회	하위코드를 조회
		권한관리	권한그룹을 생성하고, 사용자를 매핑시켜서 메뉴별로 접근권한을 부여
	• 권한그룹 등록		권한그룹을 등록
	• 권한그룹 수정		권한그룹을 수정
	• 권한그룹 삭제		권한그룹을 삭제
	• 권한그룹 조회		권한그룹을 조회
	• 그룹별 메뉴매핑 등록		그룹별 메뉴매핑을 등록
	• 그룹별 메뉴매핑 조회		그룹별 메뉴매핑을 조회
	• 그룹별 사용자매핑 등록		그룹별 사용자매핑을 등록
	• 그룹별 사용자매핑 조회		그룹별 사용자매핑을 조회
로그인기능	시스템에 로그인/아웃을 제공		
	• 로그인	시스템에 로그인 함	
	• 로그아웃	시스템에서 로그아웃을 함	



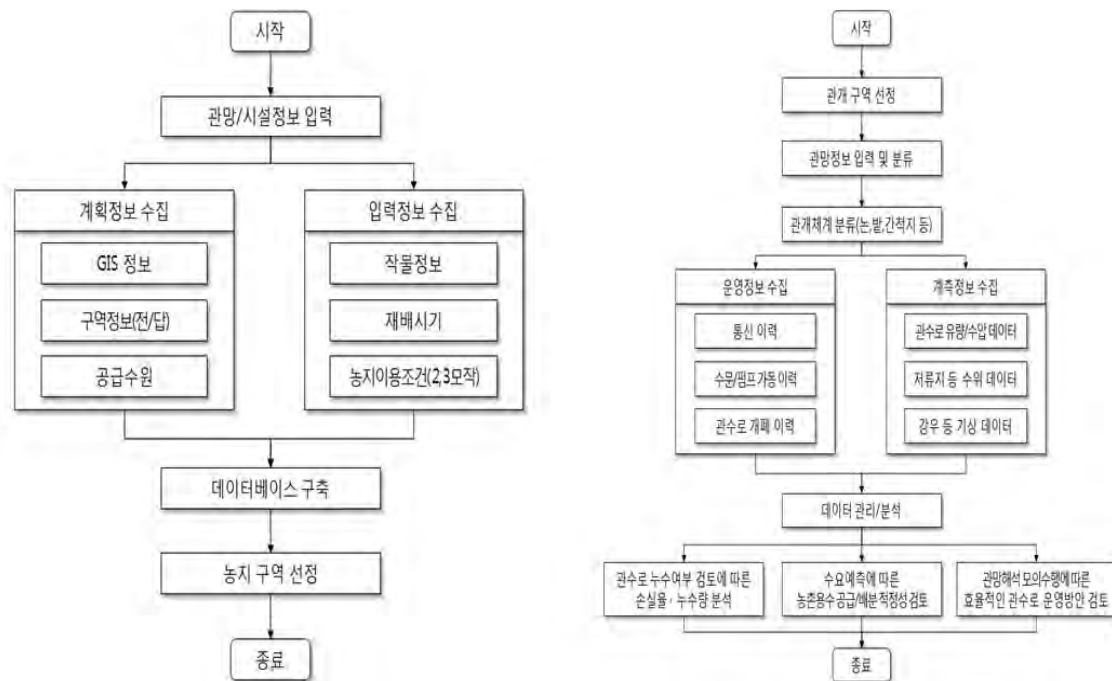
## 나. 시스템 프로세스 정의 및 분석

- 시스템프로세스는 우선적으로 농촌용수 파이프라인 관리를 위해 필요한 데이터 수집 및 이를 활용할 수 있는 기본적인 데이터베이스 구축이 이루어져야하며, 구축된 정보를 바탕으로 전체적인 운영프로세스 단계와 세부적인 기능에 대한 프로세스 정의가 이루어진다.

### (1) DB구축 및 운영프로세스

#### (가) 데이터베이스 구축

- 먼저 시스템의 데이터베이스 구축을 진행하는 절차는 [그림 3-4-3-1(좌)]와 같다.



[그림 3-4-3-1] 데이터베이스 구축(좌) 및 시스템 운영(우) 프로세스

- 관망/시설정보 입력사항은 농촌용수 공급에 파이프라인이 적용됨에 따라 관망 정보 및 시설/설비의 입력이 필요하다. 관망정보에는 관경, 관 종류, 연장, 매설 연도 등이 있으며, 시설정보로는 양수장, 토출수조 및 조절지 등의 공급시설과 수문, 펌프, 밸브 등의 제어시설이 있다. 이러한 관망 및 시설 정보는 파이프라인을 통한 농촌용수 공급을 감시·제어하고 관망해석 및 운영·관리의 기초데이터로써 활용된다.
- 계획정보에는 농촌용수가 공급되는 관개구역과 주요 공급수원 및 대체 수원지의 등의 위치정보를 확인할 수 있도록 GIS 정보를 등록/수집하고 농업용수가 공급되는 범위를 설정한다. 그리고 관개체계 및 사용량 등을 관리하기 위해 구역정보(전/답)를 수집한다. 이와 같은 항목은 상수도에서의 블록시스템과 유사한 개념으로 하나의 단위구역으로 적용될 수 있다.
- 공급수원은 먼저 양수장에서 취수하는 주요 공급수원(저수지 등)의 정보가 수집되며, 갈수기에 따른 수원 부족 상황을 대처할 수 있도록 대체수원의 정보가 수집되어야 한다. 이

러한 수원의 정보에는 저수지의 수질정보 및 수량을 확인할 수 있는 수위 등의 정보가 포함 되어야 한다.

- 입력정보는 계획정보 보다는 하위의 개념으로서 작물정보, 재배시기 농지이용조건 등이 있을 것으로 판단된다. 작물정보의 수집 목적은 작물에 따라 농업용수 공급량과 관개스케줄이 다르며, 재배 가능한 토양의 성상이 달라짐에 따라 농촌용수 수요량 산정을 통한 공급계획량 및 공급방식을 달리 할 필요가 있어 정보수집의 필요성을 가진다.
- 재배시기 또한 작물정보와 같은 맥락으로 볼 수 있을 것이며, 여기에는 재배시기의 계절적인 차이에 따라 여름의 경우 많은 강우로 인해 공급·관리하는 수량이 겨울과 상이한 차이를 보일 것으로 판단된다. 또한 휴지기를 가지는 논관개의 경우 재배시기에 대한 정보는 필수적이다.
- 농지이용조건은 앞서 설명한 바와 같이 농지구역에 따라 사계절 농촌용수를 공급할 것인지 아니면 일시적인 휴지기가 발생하여 단 기간 용수 공급이 중단될 것인지를 파악할 수 있으며, 휴지기가 지속된다면 어떠한 관리가 필요할 것인지에 대한 의사결정 도출을 위한 정보로 사용될 수 있다.

#### (나) 시스템 운영 프로세스

- 데이터베이스 구축을 바탕으로 전체적인 시스템 운영이 이루어진다. [그림 3-4-3-1]의 우측 흐름도는 시스템 운영프로세스에 대한 흐름도로서 그 내용은 다음과 같다.
- 우선적으로 운영관리의 대상이 되는 관개구역이 선정되면 관개구역에 매칭이 되는 관망도(GIS)와 시설정보를 불러오고 구역에 따른 분류작업이 진행 된다(여기서 분류작업이라 함은 GIS를 적용한 관망해석 모델 구축 등을 의미함). 이후 논, 밭, 간척지, 원예 등에 따라 공급계획 및 공급량, 공급방식의 유연한 운영관리를 위해 관개체계의 분류가 이루어진다.
- 앞선 설정이 이루어진 상태에서 시설/장비의 운영정보(펌프가동이력 및 수문제어 등)와 계측기로부터 유량, 수압, 수위 등의 계측데이터를 수집하게 된다. 운영정보의 수집은 통신장비 및 설비의 가동 이력을 확인하여 데이터의 수치가 실제 계측되는 데이터인지 아니면 장비의 오작동으로 인해 발생하는 데이터인지를 확인하기 위한 정보수집 단계이며, 이를 통해 실시간으로 계측되는 데이터의 신뢰도를 높일 수 있다.
- 이렇게 수집된 계측정보는 실시간 관망해석 및 누수량 분석/산정 등에 활용되며, 배수지 등의 공급 수원의 수위변화를 토대로 사용량을 파악하고 수요예측 및 공급계획의 기초데이터로써 활용된다.
- 강우정보의 수집을 통해 기상 상황에 따른 농업용수 공급계획량을 조절할 수 있으며, 불필요한 용수 공급으로 인한 펌프의 가동을 최소화하여 전력사용량을 줄이고 그로인해 효율적인 에너지관리가 가능할 것이라 판단된다.

- 또한, 수집된 데이터를 축적/분석하고 농촌용수 파이프라인 운영관리시스템 각 기능을 수행함으로써 기존의 농촌용수 관리의 감시제어 수준을 벗어나 사용자의 의사결정을 지원하며, 효율적인 농촌용수의 운영관리가 가능할 것으로 판단된다.

## (2) 주요기능별 프로세스 정의

### (가) 관망감시

- 관망감시 기능은 모니터링에 초점을 둔 기능으로서 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템 이용 시 사용자의 활용 빈도가 높은 기능을 위주로 기능을 구성하였다. 먼저 실시간모니터링의 경우 기존의 TM/TC 시스템에서와 같이 실시간으로 계측되는 양배수장의 수위, 관수로의 유량·압력 등을 감시할 수 있으며, GIS를 적용한 관망도 상에서 계측지점을 확인할 수 있다. 또한 상세 정보를 통해 각 측정지점의 일련의 계측데이터를 확인함으로써 운영의 문제점과 이상 현상을 한눈에 확인할 수 있다.
- 동수두 감시는 실시간으로 해석되는 관망해석 결과를 적용하는 기능으로 해석일자를 선정하여 조회하고 일자에 따른 관수로 구간별 동수구배선 조회를 통해 관망해석 모델 상에 입력되어있는 각 지점의 구배를 기준으로 해석결과에 따른 위치수두를 파악할 수 있다. 이는 실시간 계측 값을 이용한 결과임으로 위치수두의 변화를 통해 특정지점의 압력·유량에 이상이 발생했는지를 확인할 수 있으며, 평면도로서 관수로를 표출하는 것이 아니라 측면도를 보여줌으로써 주요 변곡점들을 눈으로 쉽게 파악할 수 있다.
- 트렌드 감시는 과거에서 현재까지 기간설정과 사업지구, 계통, 구간을 선정하여 조회를 하면 각 계측기(수위, 유량, 압력 등)로부터 측정된 데이터의 트렌드를 파악할 수 있다. 조회결과는 데이터베이스에 축적되는 계측시간을 기준으로 결과 값을 보여주게 된다.
- 실시간경보 기능은 화면상에 경보 창을 표시하는 기능과 조회기능으로 구분되며, 조회 기능의 경우 기간을 설정하고, 업무구분 및 경보구분을 선택하여 각 지점의 경보 이력을 조회하게 된다. 경보내용은 관망해석 이상데이터로 인한 수리경보, 통신으로 인한 데이터 수집경보 등이 있으며, 사용자가 경보확인·처리·미처리로 구분하여 관리할 수 있다.
- 실시간누수감시는 해당 일에 따라 자동으로 누수판단로직이 수행되고, 결과에 사용자가 로직을 재실행할 수 있다. 로직이 적용된 데이터를 확인이 가능하며, 누수판단카운트에 따라 정상과 누수로 구분하여 판단결과를 제공한다.

### (나) 관망관리

- 관망관리는 관수로 시스템을 관리·분석하는 기능으로 구성되어 있다. 패턴관리 기능은 구간별 패턴분석과 패턴관리로 구성되어 있으며, 패턴분석의 경우 검색기간, 사업지구 등의 검색조건에 따라 조회할 수 있다. 패턴관리에서 생성한 패턴 중 선택된 패턴을 기준으로 실측된 데이터를 비교하여 시간대별 패턴-실측 데이터를 비교하여 오차율 결과를 테이블, 그래프, 엑셀의 형태로 사용자에게 제공한다.

- 패턴관리에서는 신규패턴을 생성하고, 생성된 패턴을 조회할 수 있다. 패턴생성 방법은 패턴추가를 이용하여 기존 측정데이터를 기준으로 관수로 구간과 기간을 선정하고 패턴 ID와 설명을 입력하여 그 특징을 기술하며, 산술평균방식을 통해 일단위/주단위/월단위의 패턴을 생성한다. 이렇게 생성된 패턴들 중 기준설정을 적용하면 패턴분석에 반영된다.
- 데이터분석은 수질데이터분석 기능과 펌프가동률 분석 기능으로 구성된다. 먼저 수질데이터분석의 경우 검색기간, 사업지구, 계통, 측정소를 검색조건으로 선택하여 조회할 수 있다. 조회 결과로는 측정소별 태그명과 측정시간, 수질측정값이 테이블, 그래프, 엑셀로 제공되며, 상/하한치를 저장할 수 있어 저장-선정한 상/하한치를 결과로 볼 수 있다.
- 펌프가동률분석은 검색조건(검색기간, 시설 등)을 선택하여 조회하고 결과로서 각 시설의 펌프별 관리번호, 일자, 가동시간, 가동률, 유량 등을 결과로 제공한다. 각 펌프별 평균사용시간과 가동률을 보여줌으로써 주 가동펌프를 확인할 수 있으며, 이를 통해 균등한 펌프가동을 적용할 수 있다.
- 손실률분석은 하위기능으로 추이분석과 구간별 손실률 분석 기능이 있으며, 추이분석의 경우, 검색기간 조회를 통해 전체 시스템 내에서 발생하는 손실률의 추이결과를 사용자에게 테이블, 그래프, 엑셀문서로 제공한다. 구간별 손실률분석은 검색기간 포함해 구간을 선정하여 결과를 조회하며, 구간별 결과를 비교할 수 있어 사용자가 관심지점으로 선정할 수 있다.

#### (다) 관망해석

- 관망해석모델관리 기능은 사용구분(수리/에너지모의 등)에 따라 관망해석 inp파일을 등록, 조회, 저장, 삭제할 수 있다. 등록된 모델은 EPANET 상에 띄워 관망도를 확인할 수 있으며, 해석실행을 통해 관망해석을 수행하고 그 결과를 조회할 수 있다. 또한 EPANET을 통해 선택 지점만을 확인하는 불편함을 없애기 위해 조회 창에서 각 지점의 표고와 수요량을 한번에 확인할 수 있다.
- 관망해석결과조회 기능은 해석일자를 검색조건으로 하여 결과를 조회할 수 있으며, 조회된 결과를 유량/압력/에너지 항목으로 구분하여 확인할 수 있다. 결과 값은 유량의 경우 관수로 구간별 해석시간과 유량 값을, 압력의 경우 구간별 해석시간과 수압, 마지막으로 에너지는 관수로 구간별 해석시간과 전력량, 원단위를 제공한다.
- 오차율분석은 해당 일자의 조회를 통해 관망해석 결과와 실측된 수압 결과를 보여주며, 이를 통해 해석-실측 간의 오차와 오차율 그리고 표고데이터를 제공한다. 또한 관수로 구간을 선택하면 해석시간에 따른 일련의 데이터를 확인할 수 있다.
- 운영모의 기능은 Case별 운영모의해석, 운영모의해석, 운영모의계통도로 구성된다. 먼저 Case별 운영모의해석은 관망해석 모델을 등록, 저장, 삭제할 수 있으며, Case 비교를 통해 각 케이스별 유량, 압력, 에너지의 해석결과를 제공한다. 또한 제어지점 및 해석결과 표출

지점을 관리할 수 있다.

- EPANET에 따른 지점별 Junction, Pipe, Pump, Valve, Reservoir, Tank의 정보를 제공하며, 해석실행과 해석결과조회를 통해 등록된 관망모형을 분석할 수 있다. 또한, Case 복제를 통해 새로이 모델을 만들지 않고도 유사 Case를 손쉽게 생성할 수 있다.
- 운영모의해석 기능은 EPANET을 이용한 모델 생성의 불편함을 개선하여 운영관리 시스템 상에서 각 지점의 사용량과 표고를 설정하여 모델을 생성할 수 있다. 지점관리, 해석실행, 해석결과조회와 등록된 모델을 복제할 수 있으며, 실시간 데이터 및 배분량을 운영모의에 적용하여 저장할 수 있다.
- 운영모의계통도는 운영관리 시스템 상에 등록된 모델을 선택하고 해석실행을 통해 각 관수로 구간의 운영모의결과를 계통도로 사용자에게 제공하며, 계통도상에서 변경한 데이터를 저장할 수 있다. 또한, 신규 Case를 등록할 수 있으며, 실시간데이터와 기존에 설정된 배분량의 적용 가능하다.
- 에너지모의 중 일별펌프성능모의분석 기능은 검색일자, 펌프시설의 검색조건을 선택하여 조회할 수 있으며, 각 시설의 펌프별 모의결과를 가동시간, 유량, 양정, 전력량, 원단위, 운영효율, 정격효율로 구분하여 사용자에게 제공한다. 그리고 개별 펌프 선택 시 시간에 따른 유량, 양정, 운영효율, 정격효율, 운영효율차를 보여주며, 펌프운영에 대한 평가(운영범위미달, 적정 등)를 내려줌.
- 전력량/원단위분석조회는 검색기간, 펌프시설별 조회가 가능하며, 비교조건으로 일간/요일별/주간별/월평균/년간평균을 선택할 수 있다. 검색결과로는 시설별 일자와 공급량, 평균양정, 전력량, 원단위, 운영효율을 제공한다.

#### (라) 공급관리

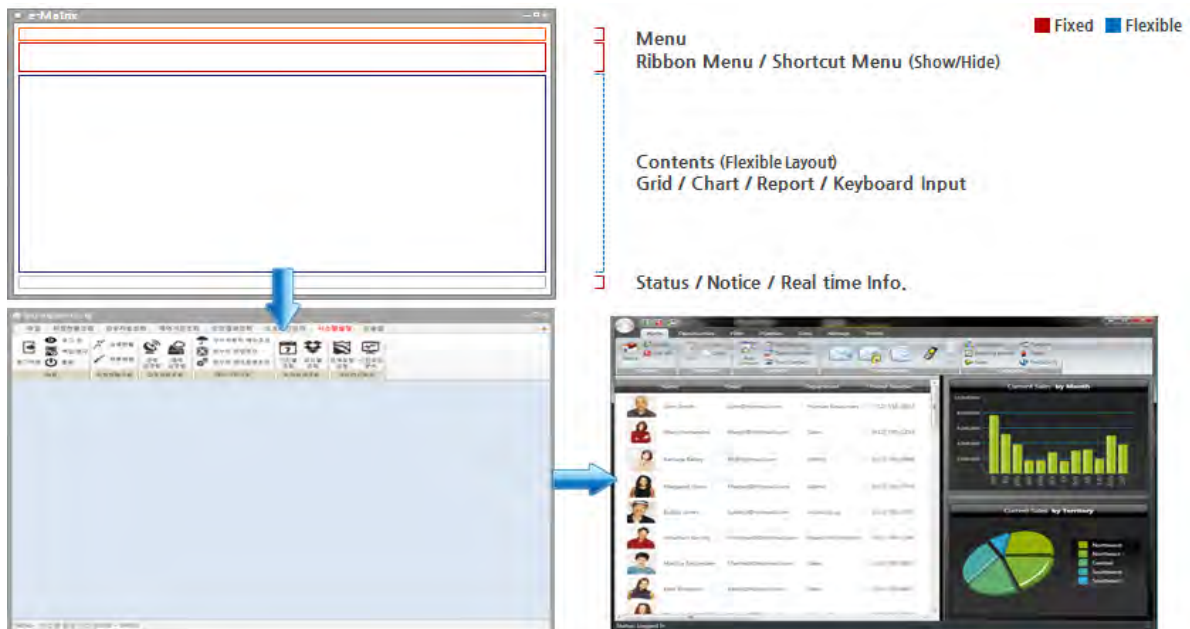
- 공급관리의 강우정보에서는 검색기간에 따른 관개구역의 강우량 및 유효우량을 조회할 수 있으며, 강우량 대비 공급량 분석을 통해 강우 발생 시의 공급량 변동 값을 제공한다. 이를 통해 강우에 따른 공급량의 변화를 사용자가 확인할 수 있다.
- 수요예측 기능은 수요예측결과조회와 수요예측관리로 구성되어 있으며, 검색기간에 따라 유량계와 배수지를 기준으로 수요예측량을 조회할 수 있다. 실측값과 예측값, 실측-예측 차이값, 오차율을 조회결과로서 제공하여 예측알고리즘의 적정성을 판단하고 이를 개선할 수 있다.
- 수요예측관리 기능은 검색기간에 따른 사업지구, 계통, 구간을 선택하여 결과를 조회할 수 있으며 관리구분을 유량계/배수지로 설정할 수 있다. 조회된 수요예측 결과 현황으로부터 사용자의 의사에 따라 수요예측을 재실행할 수 있으며, 실행여부를 저장하고 기본설정을 저장할 수 있다. 또한 수요예측에 적용된 모델을 관리 설정할 수 있다.

- 공급검토기능은 기간검색과 관수로 구간을 선택하여 그 결과를 조회할 수 있으며, 배수지를 선정하여 계통 전체의 공급량을 파악할 수 있다. 예측량/공급량 비교분석은 수요예측에서 출력된 결과와 공급량 결과를 통해 차이값과 오차율을 제공하여 공급된 농업용수량이 타당한지를 판단할 수 있도록 한다.

## 다. 시스템 화면 설계

### (1) 레이아웃 설계

- 화면의 레이아웃은 아래의 [그림 3-4-3-2]와 같이 4개로 구분하였으며, 최상단에는 대분류, 그 하위에는 중분류 및 하위분류에 대한 리본형태의 메뉴를 구성하여, 메뉴를 클릭시 해당 화면으로 이동하게끔 구성하였다.
- 다음으로는 내용을 보여주는 Contents 부분, 마지막으로 프로그램에 상태 및 경고 및 알림을 표시해 주는 영역으로 구분하여 레이아웃을 구성하였다.



[그림 3-4-3-2] 화면 레이아웃 설계 예시

### (2) 주요기능별 화면 설계

#### (가) 관망감시

##### ① 실시간 모니터링

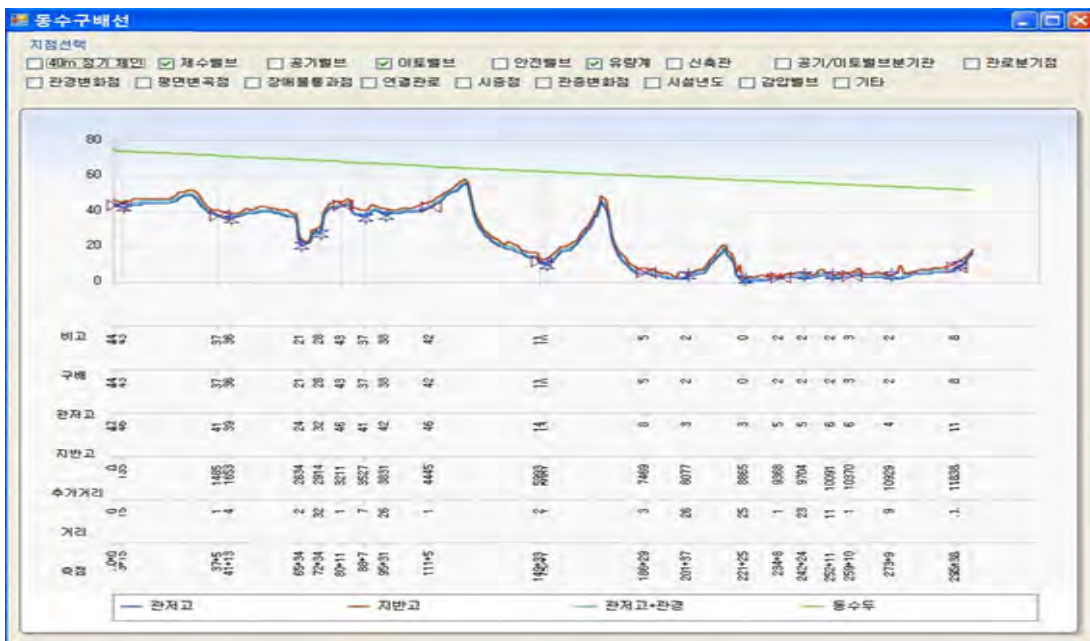
- 모니터링 화면은 기존의 농업용수관리자동화사업(TM/TC)이 구축된 사업소를 대상으로 계측데이터를 수집하여 화면에 표출할 수 있도록 구성하였으며, GIS를 적용한 관망도를 통해 각 시설의 위치와 관개구역을 한눈에 알아볼 있도록 구성하였다. 또한 상세정보 영역을 추가하여 클릭한 시설 및 관수로의 계측정보를 데이터와 그래프로 제공할 수 있다.



[그림 3-4-3-3] 실시간모니터링 화면설계

② 동수두감시

- 실시간 관망해석의 결과에 따른 관수로의 구간별 동수두를 감시할 수 있는 화면으로서 해석일자별로 지정된 구간을 조회할 수 있도록 하였으며, 조회된 결과를 그래프로 표출하여 각 지점의 구배현황과 해석결과의 압력 이상구간을 쉽게 파악할 수 있다.



[그림 3-4-3-4] 동수구배선 화면설계



(나) 관망관리

① 패턴관리

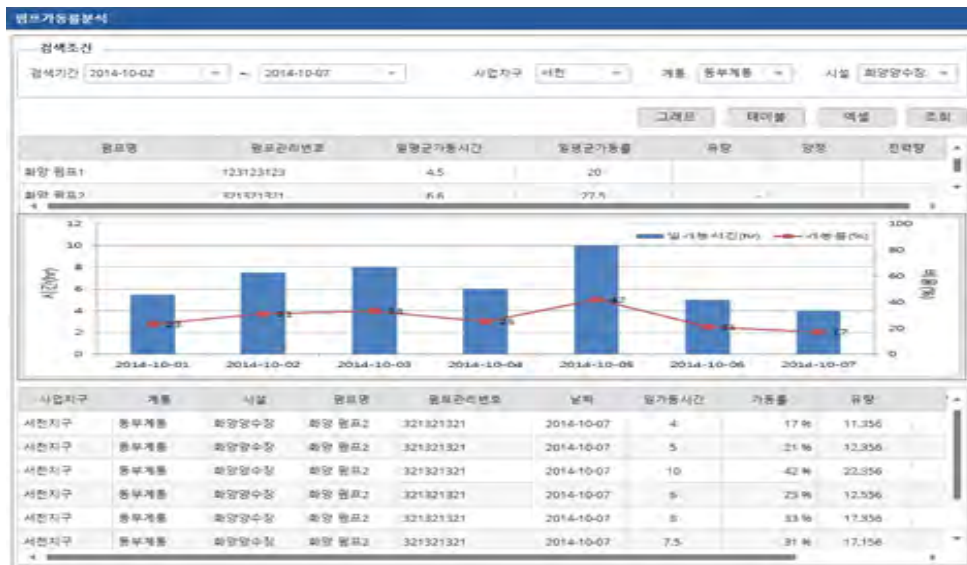
- 구간별패턴분석 화면은 기존에 패턴관리 기능을 통해 생성한 가상의 패턴(과거의 데이터를 기준으로 일반적인 패턴을 생성)과 실측된 유량과 수압을 비교할 수 있도록 화면을 구성하였으며, 패턴과 실측값의 오차를 그래프와 테이블로 표현할 수 있도록 화면을 설계하였다.



[그림 3-4-3-5] 구간별 패턴분석 화면설계

② 펌프가동률분석

- 펌프가동률분석 화면은 시설별(양수장, 배수장 등) 일단위로 가동되는 펌프의 사용시간과 가동률을 그래프와 테이블로 조회할 수 있도록 화면을 구성하였으며, 각 시설 내에서 가동되고 있는 여러 대의 펌프 가동률을 비교할 수 있도록 하였다.



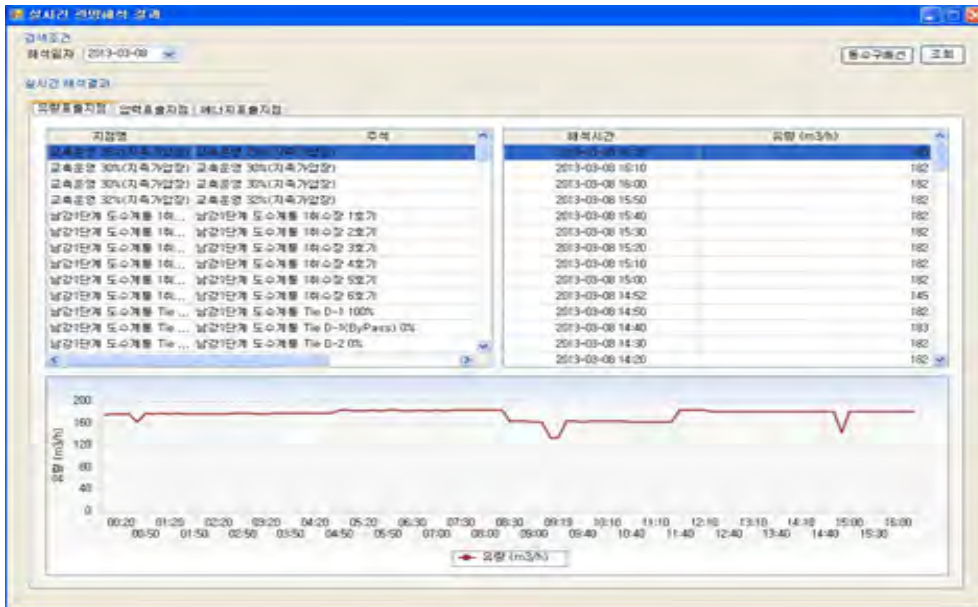
[그림 3-4-3-6] 펌프가동률분석 화면설계



(다) 관망해석

① 관망해석 결과조회

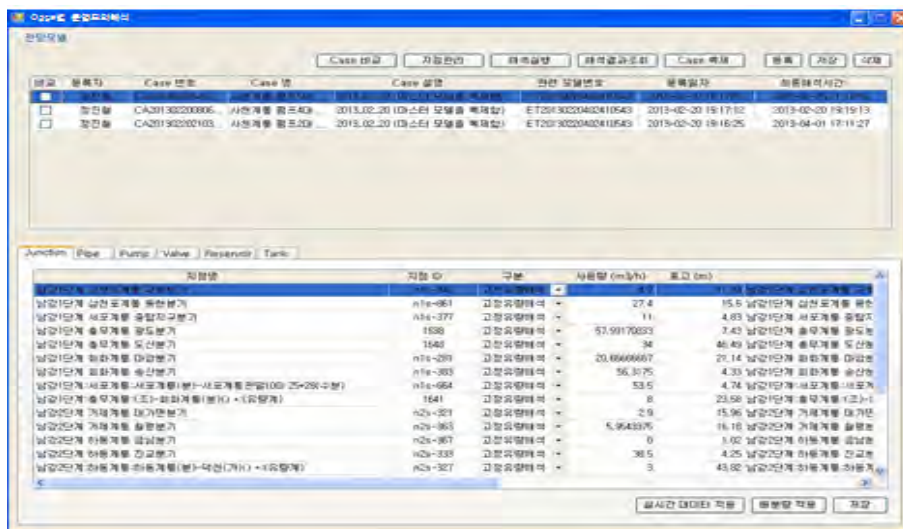
- 관망해석결과조회 화면은 농업용수 관수로의 구간별 해석결과 값(유량/수압,에너지)을 표출할 수 있도록 하였으며, 상단의 좌측테이블을 클릭시 우측의 테이블과 하단의 그래프를 통해 결과 값의 조회가 가능하도록 화면을 구성하였다.



[그림 3-4-3-7] 관망해석 결과조회 화면설계

② 운영모의

- 운영모의 기능 중 Case별 운영모의해석 화면에는 관망해석을 위한 inp 파일을 각 케이스 별(가동 펌프수 등)로 사용자가 등록, 관리할 수 있도록 하였으며, Case비교 결과를 화면 상에 제공할 수 있도록 화면을 구성하였다.



[그림 3-4-3-8] Case별 운영모의해석 화면설계

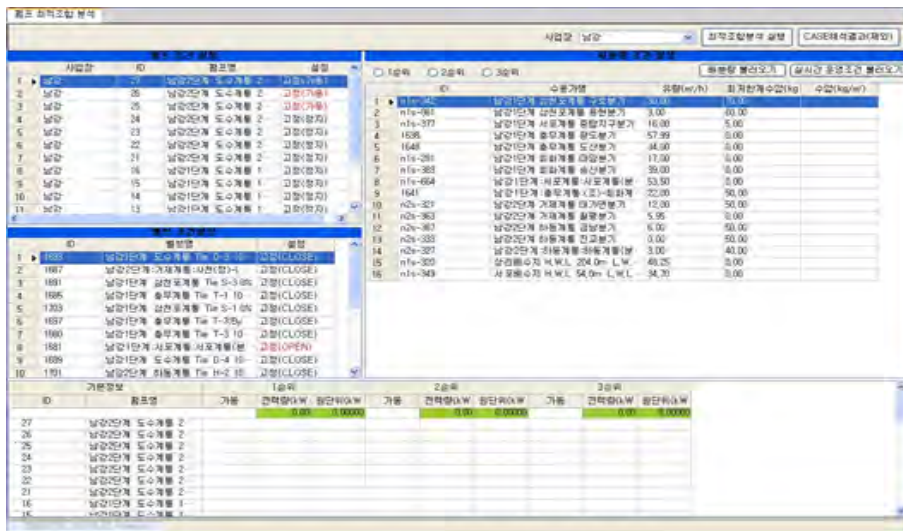
- 운영모의계통도에서는 관망해석 모델의 선정에 따른 구간별 해석결과를 시각적으로 표현할 수 있도록 물질수지 형태로 표현하였으며 각 지점별로 유량과 수압의 모의결과 값을 제공할 수 있도록 화면을 구성하였다.



[그림 3-4-3-9] 운영모의계통도 화면설계

③ 에너지모의

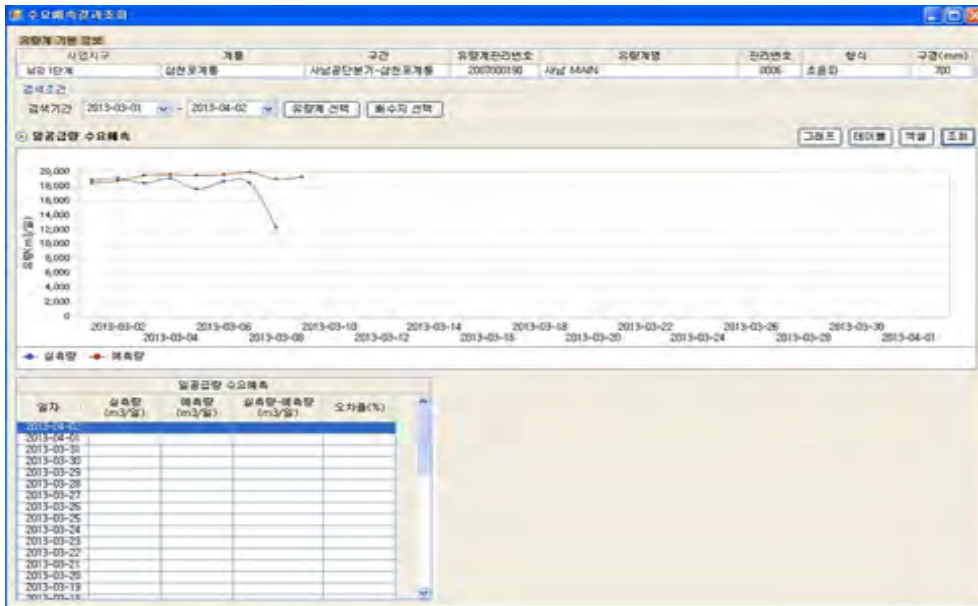
- [그림 3-4-3-10]은 에너지모의 기능 중 펌프최적조합분석의 설계화면으로써 시설별 펌프의 분석결과를 순위별(1, 2, 3)로 체크하여 확인이 가능하도록 하였으면 하단의 테이블을 통해 전력량과 원단위를 제공하도록 화면을 구성하였다.



[그림 3-4-3-10] 펌프최적조합분석 화면설계

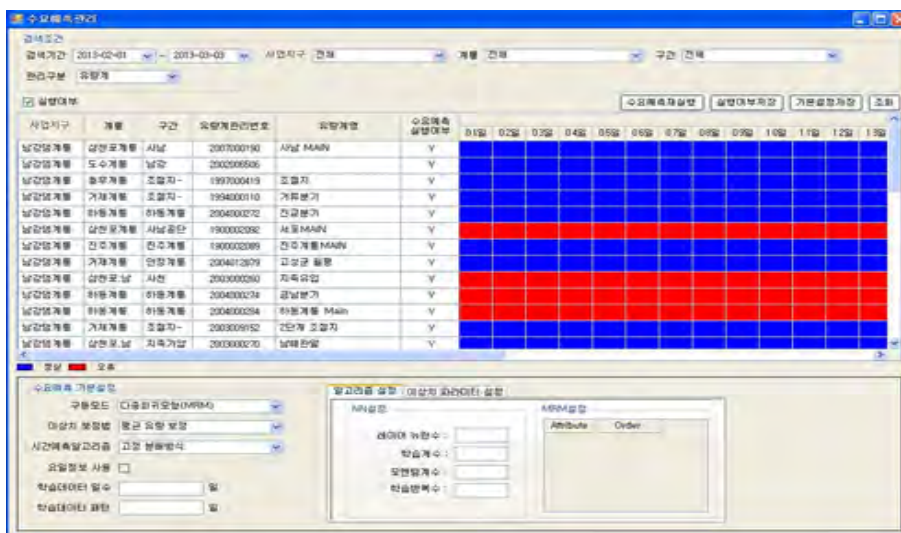
(라) 공급관리

- 수요예측결과조회는 지점별 유량계 또는 계통에 농업용수를 공급하는 배수지 기준으로 수요를 예측하기 위해 검색조건으로 유량계/배수지 버튼을 구성하였으며, 예측된 수요량과 실측된 유량값을 비교할 수 있도록 테이블창과 그래프에 2개 항목을 표출할 수 있도록 화면을 설계한다.



[그림 3-4-3-11] 수요예측결과조회 화면설계

- 수요예측관리 화면은 수요예측의 조건을 변경할 수 있도록 화면 하단에 기본설정 창을 구성하고 사용자가 수요예측 실행여부를 판단할 수 있도록 정상과 오류로 구분하여 화면 상에 일자별로 색(파란색, 빨간색) 구분을 두어 사용자 판단에 따라 수요예측을 재실행할 수 있도록 하였다.



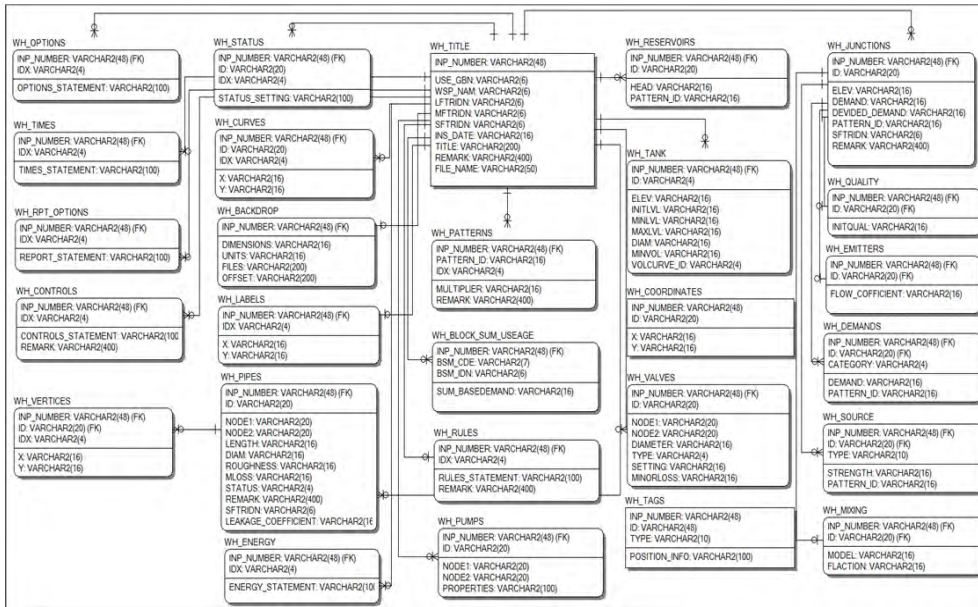
[그림 3-4-3-12] 수요예측관리 화면설계





(3) 관망해석

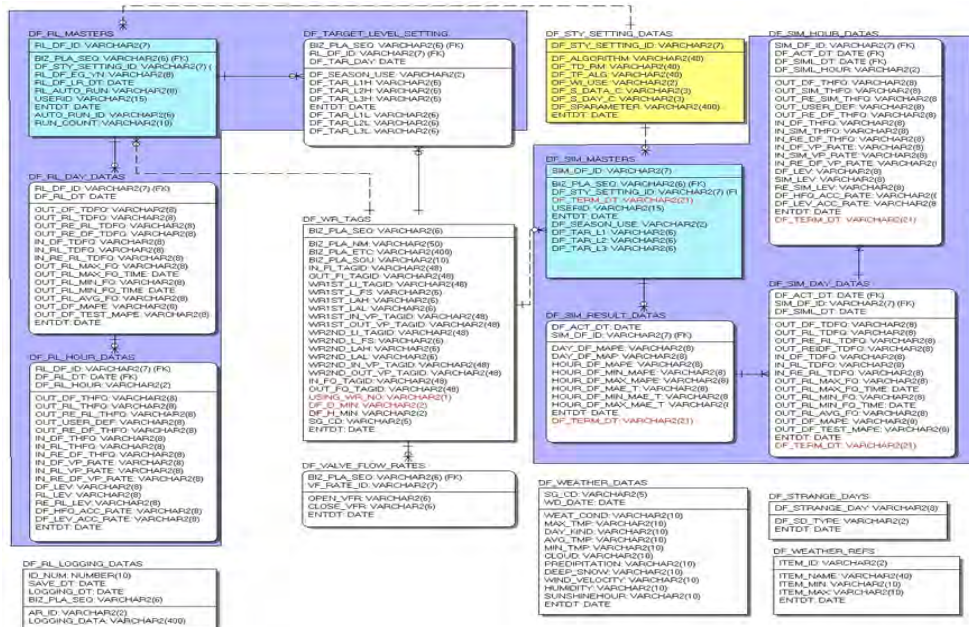
- 관망해석에 사용되는 기초데이터(inp 파일 등)와 실시간으로 계측되는 유량 및 수압데이터 등 운영모의에 필요한 데이터들의 관계를 표현한다.



[그림 3-4-3-15] 운영모의 ERD

(4) 공급관리

- 공급관리 기능에 사용되는 데이터의 관계를 나타내는 ERD로써, 계획정보와 수요예측 등의 결과가 타 기능에 어떠한 형태로 적용되고 호출되는지를 확인할 수 있다.



[그림 3-4-3-16] 수요예측 ERD

## 마. 운영관리 시스템 개발

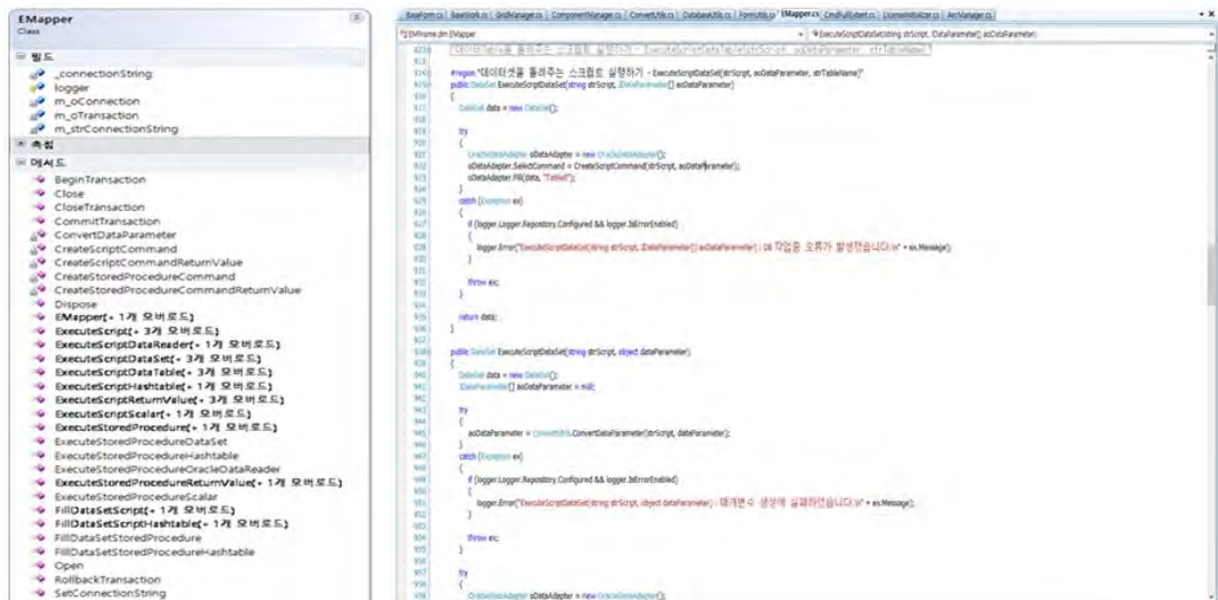
### (1) 시스템 프레임워크 제작

#### (가) 기본 프레임워크 구조

- 10개로 카테고리를 정의하고 분류하였으며, 그 하위에는 기능에 필요한 클래스들을 생성하여 객체 지향적인 형태로 구성하였다.
- 주요 카테고리로는 시스템에 대한 환경을 설정하는 Config, 데이터베이스와의 인터페이스를 담당하는 dm, 프로그램에 사용하는 각종 이미지를 관리하는 icon, 그리고 프로그램에서 사용하는 공통함수와 로직들을 관리하는 utils 등으로 구성된다.

[표 3-4-3-2] 기본 프레임워크 기능

구분	기능
Config	• 시스템 구동에 필요한 환경설정
dm	• 데이터베이스 인터페이스 정의
ext	• 시스템에 사용하는 외부 DLL 관리
form	• UI 로직의 전처리기
icon	• 시스템에 사용하는 아이콘 이미지 관리
log	• 시스템 로그 기능
manager	• 컴포넌트에 대한 속성 관리
statics	• 전역 변수에 대한 속성 관리
utils	• 공통함수 및 로직 정의 관리
work	• 비즈니스 로직의 전처리기



[그림 3-4-3-17] EMapper 클래스의 Method(좌) 및 코딩화면(우)

- [그림 3-4-3-17]은 기본 클래스 중에 데이터베이스와의 인터페이스를 담당하는 Emapper 파일이며 Microsoft 사의 C#.NET을 이용한 실제 코딩화면이다. 인터페이스에 필요한 기능들을 좌측 트리구조에서 사전에 메서드라는 형태로 명명을 하고, [그림 3-4-3-17(우)]와 같이 각각의 메서드에 대해서는 필요한 기능들을 개발하였다.

(나) 관망해석 프레임워크 구조

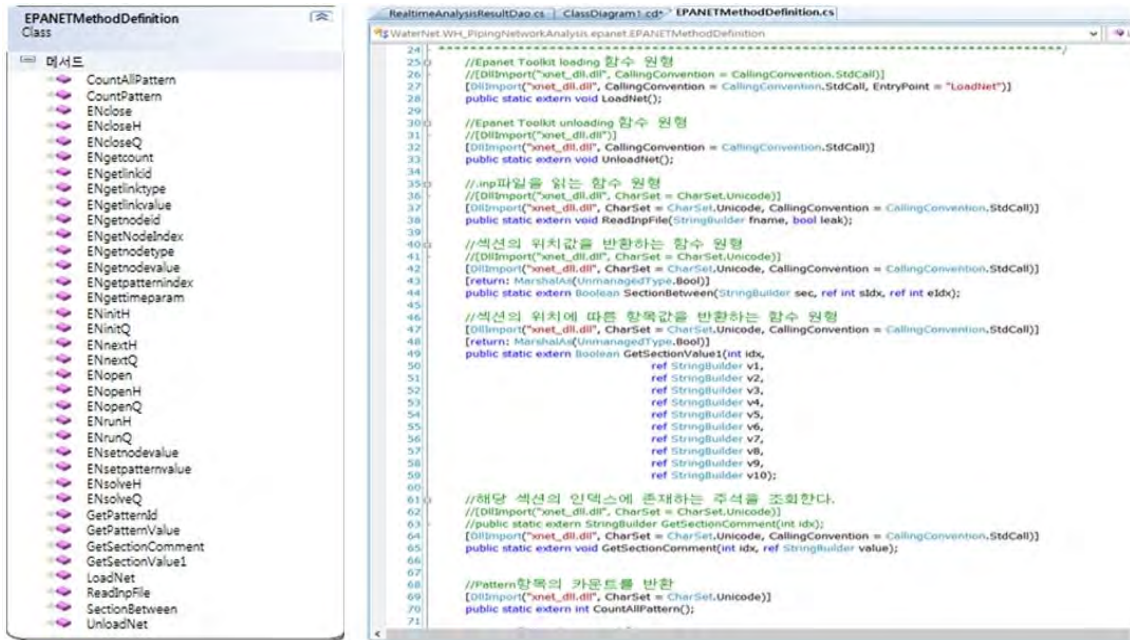
- 본 연구에서는 농촌용수 파이프라인의 관망해석을 수행하기 위하여 EPANET을 사용하였으며, 운영관리 소프트웨어에 맞게끔 기존 로직을 변환 및 커스트마이징하여 별도의 컴포넌트로 개발을 하였다. 또한, EPANET 엔진을 위하여 솔루션을 생성하여 그 하위에 주요 모듈별로 프로젝트를 구성하고, 기능을 클래스로 만들어서 객체화를 시켰다.

[표 3-4-3-3] 관망해석 프레임워크 기능

구 분	기 능
WH_AnalysisSchedule Management	• 관망해석의 스케줄링을 관리하는 기능
	• 관망해석시 시간, 상태 등을 감시 및 정의하는 기능
WH_INPManage	• INP 구성요소를 핸들링하는 모듈
	• INP 파일 관리
WH_PipingNetwork Analysis	• 관망해석 실행 모듈
	• 관망해석에 관련된 Data Access Object
	• EPANET Toolkit의 확장 함수 정의
WH_RTAnalysis	• 관망해석 결과에 따른 저장 및 조회 기능
	• 관망해석 로그 기능
	• 해석결과와 실측값 비교 기능

- 아래의 [그림 3-4-3-18]은 주요 클래스의 다이어그램으로써 객체화된 클래스 중 EPANETMethod Definition 파일의 일부를 보여주는 것이며, 기능들을 좌측의 트리구조와 같이 Method 형태로 명명을 하고, 우측 화면과 같이 각각의 Method에 대해서 필요한 기능을 C#.NET을 이용하여 코딩하였다.





[그림 3-4-3-18] EPANETMethodDefinition 클래스의 Method(좌) 및 코딩화면(우)

(다) GIS 프레임워크 구조

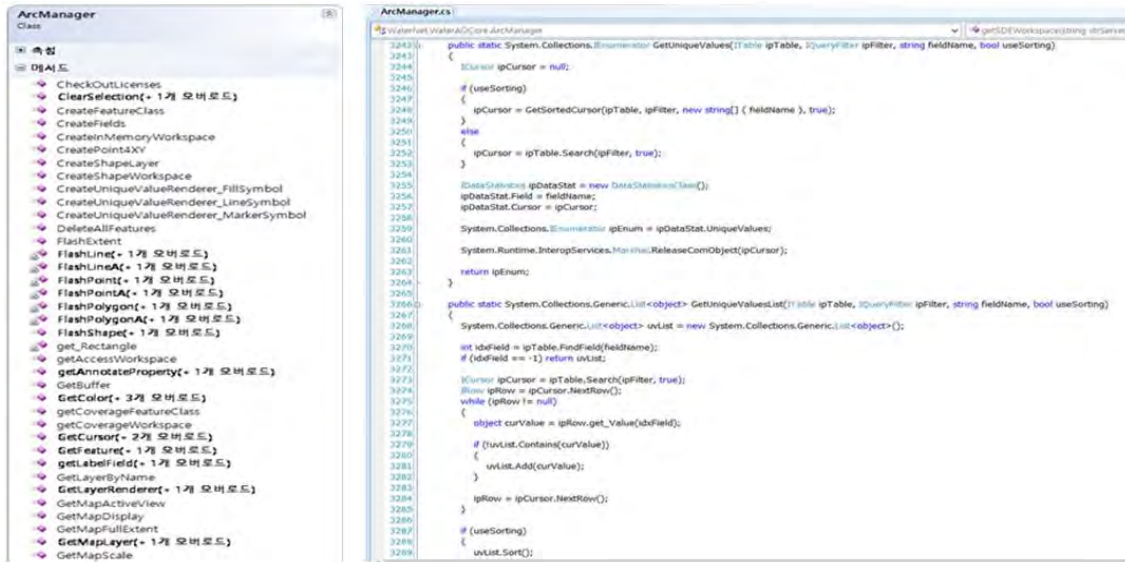
- 농촌용수 파이프라인의 운영관리시스템은 GIS 기반의 운영모의와 다양한 기능으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 GIS 기능을 구현하기 위해 ArcGIS 엔진을 사용하였으며, 프로그램에 적용가능 하도록 해당 기능을 객체화하여 컴포넌트로 구성된다.
- WaterAOCore라는 프로젝트는 화면에 GIS를 표출하기 위한 핵심 엔진이고 WaterFull Extent는 확장 기능을 정의하며, 마지막으로 Rtree는 많은 GIS를 데이터를 한번에 화면에 표출할 시 예상되는 시스템의 성능 저하를 미연에 방지하기 위해 공간 인덱싱 알고리즘을 적용하여 부하 분산 및 성능을 향상시키는데 중점을 두고 개발하였다.

[표 3-4-3-4] ArcGIS 프레임워크 기능

구 분	기 능
WaterAOCore	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화면상에 GIS 정보를 표시하는 핵심 엔진 모듈</li> <li>- ArcGIS 엔진과의 인터페이스 기능</li> <li>- GIS 화면상의 이벤트(버튼 및 위치 클릭 등) 처리 기능</li> <li>- 라이선스 관리</li> </ul>
WaterFullExtent	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 확장기능</li> <li>• ArcGIS 컴포넌트 등록/삭제 기능</li> </ul>
RTree	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spatial indexing Algorithm(공간 인덱싱 알고리즘)</li> <li>- 다차원의 공간 데이터를 저장하는 색인</li> <li>- 공간을 최소 경계 사각형으로 분할하여 저장하는 구조</li> <li>- 가까운 데이터는 동일 단말노드에 위치시켜 검색 성능 향상</li> </ul>



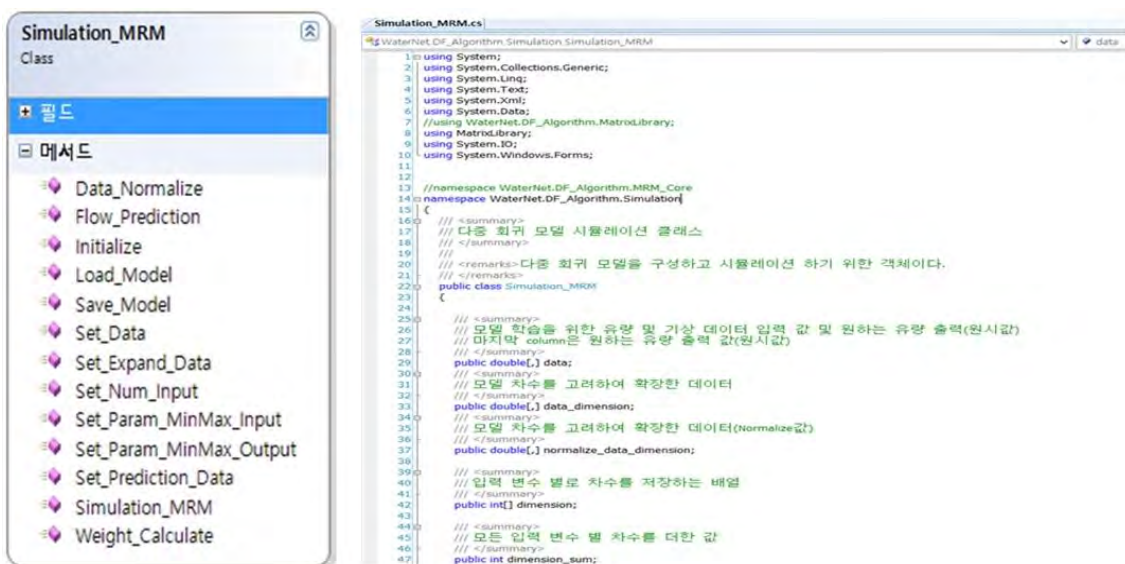
○ 아래의 [그림 3-4-3-19]는 주요 클래스의 다이어그램으로써 GIS의 객체화된 클래스 중 Arc Manager라는 클래스 파일의 일부를 보여주는 것이며, 기능들을 좌측의 트리구조와 같이 Method 형태로 명명을 하고, 우측 화면과 같이 각각의 Method에 대해서 필요한 기능을 C#.NET을 이용하여 코딩하였다.



[그림 3-4-3-19] ArcManager 클래스의 Method(좌) 및 코딩화면(우)

(라) 수요예측 프레임워크 구조

○ 수요예측 기능의 주요 클래스의 다이어그램으로써 객체화된 클래스 중 Simulation\_MRM의 클래스 파일 일부를 아래와 같이 도식하였으며, 기능들을 좌측의 트리구조와 같이 Method 형태로 명명을 하고, 우측 화면과 같이 각각의 Method에 대해서 필요한 기능을 C#.NET을 이용하여 코딩하였다.



[그림 3-4-3-20] Simulation\_MRM 클래스의 Method(좌) 및 코딩화면(우)

#### 4. ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리시스템 테스트 및 검증

##### 가. 시스템 테스트 및 프로그램 기능 검증

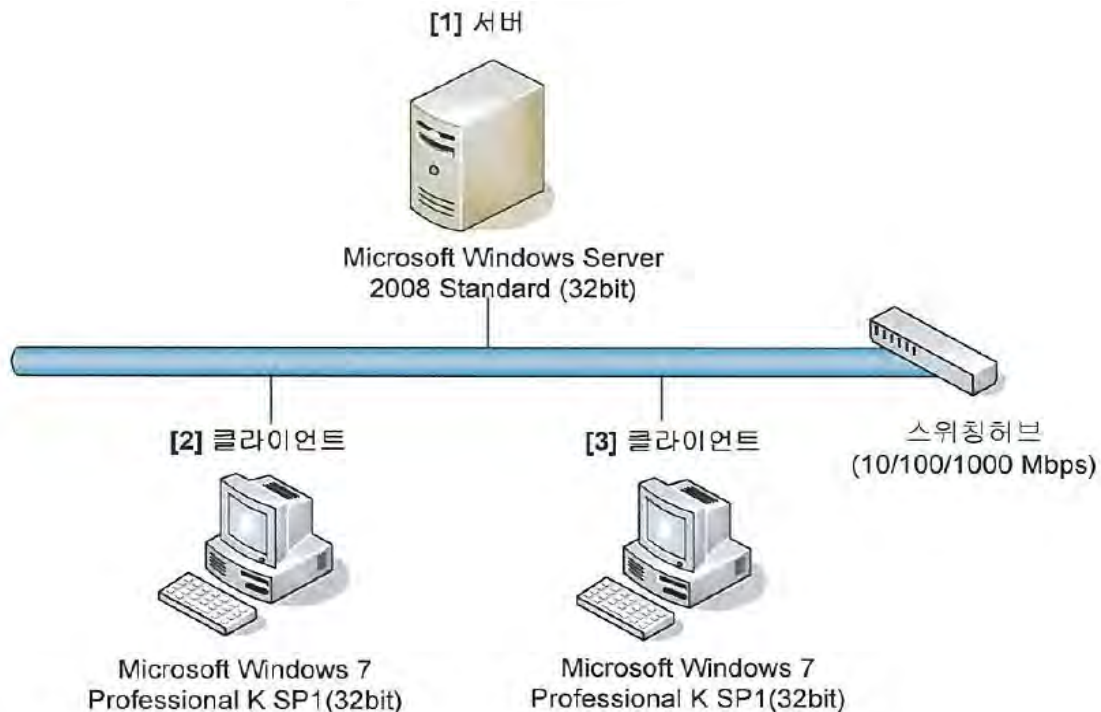
###### (1) 운영관리 시스템 성능 테스트

###### (가) 테스트 목적

- 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템이 S/W 품질 요구사항을 만족하는지 확인하고 S/W 품질을 개선함으로써 운영관리 시스템의 신뢰도 향상 및 경쟁력을 제고하는데 목적이 있다.

###### (나) 테스트 환경 구성

- [1]번 서버에 설치한 프로그램
  - 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템 서버 모듈
  - DBMS : Oracle Database 11g
  - 기타 : Microsoft .Net Framework 4.0
- [2], [3]번 클라이언트에 설치한 프로그램
  - 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템 클라이언트 모듈
  - 기타 : ODAC 11.2.0.1.2, Microsoft .Net Framework 4.0
  - 일반 응용프로그램 : Microsoft Office 2013, 한글 2010 등
- 네트워크 : 10/100/1000 Mbps 스위칭 허브를 사용한다.



[그림 3-4-4-1] 테스트 환경 구성도

- Performance Logs and Alerts(자원사용율 측정)
  - [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트에 설치한다.

[표 3-4-4-1] 세부사양

No	Role	OS	CPU	Mem	HDD	Pre-requisite
1	서버	Microsoft Windows Server 2008 Standard(32bit)	Intel Xeon X5460	16GB	600GB	- Oracle 11g - Microsoft .Net Framework 4.0
2	클라이언트	Microsoft Windows 7 Professional K SP1 (32bit)	Intel Core i7 860 2.80GHz	4.00GB	210GB	- ODAC 11.2.0.1.2 - Microsoft .Net Framework 4.0
3	클라이언트	Microsoft Windows 7 Professional K SP1 (32bit)	Intel Core i7-3770 3.40GHz	8.00GB	940GB	- ODAC 11.2.0.1.2 - Microsoft .Net Framework 4.0

(다) 성능 테스트 시나리오

- 주요기능에 대한 성능 테스트를 위해 크게 3가지의 시나리오 구성하였으며, 시나리오에 대한 상세 내용은 [표 3-4-4-2]와 같다.

[표 3-4-4-2] 성능 테스트 시나리오

시나리오 ID	내 용
SC-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>관망해석 수행 시 [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트 자원 효율성, 시간 효율성 측정</li> </ul> <p>[OPTIONS]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Specific Gravity 1</li> <li>- Viscosity 1</li> <li>- Trials 100</li> <li>- Accuracy 0.001</li> <li>- CHECKFREQ 2</li> <li>- MAXCHECK 10</li> <li>- DAMPLIMIT 0</li> <li>- Unbalanced Continue 10</li> <li>- Pattern No. 1</li> <li>- Demand Multiplier 1</li> <li>- Emitter Exponent 0.5</li> <li>- Quality None mg/L</li> <li>- Diffusivity 1</li> <li>- Tolerance 0.01</li> </ul> <p>[Project Summary]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Number of Junctions 1838</li> <li>- Number of Reservoirs 52</li> <li>- Number of Tanks 4</li> <li>- Number of Pipes 1836</li> <li>- Number of Pumps 53</li> <li>- Number of Valves 85</li> <li>- Flow Units CMH</li> <li>- Headloss Formula H-W</li> <li>- Quality Parameter None</li> </ul>
SC-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>펌프 운영 10대, 20대, 30대일 경우 Case별 운영모의 수행 시 [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트 자원 효율성, 시간 효율성 측정</li> </ul> <p>[Case별 운영모의 설정]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10대 : PUMP ID 1~10 Open, 11~53 Closed</li> <li>- 20대 : PUMP ID 1~20 Open, 21~53 Closed</li> <li>- 30대 : PUMP ID 1~20 and 44~53 Open, 21~43 Closed</li> </ul>
SC-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>데이터조회 실행 시 [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트 자원 효율성, 시간 효율성 측정</li> </ul> <p>[조회 항목]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 트랜드 조회, 구간별 데이터 조회 등 기본적으로 DB에 축적된 데이터를 불러오는 기능 실행</li> </ul>

(라) 성능 테스트 결과

- 성능 테스트의 측정항목은 CPU 사용률, 메모리사용량, 응답시간으로 관련 내용은 [표 3-4-4-3]에서 설명하였다.

[표 3-4-4-3] 성능 테스트 측정항목

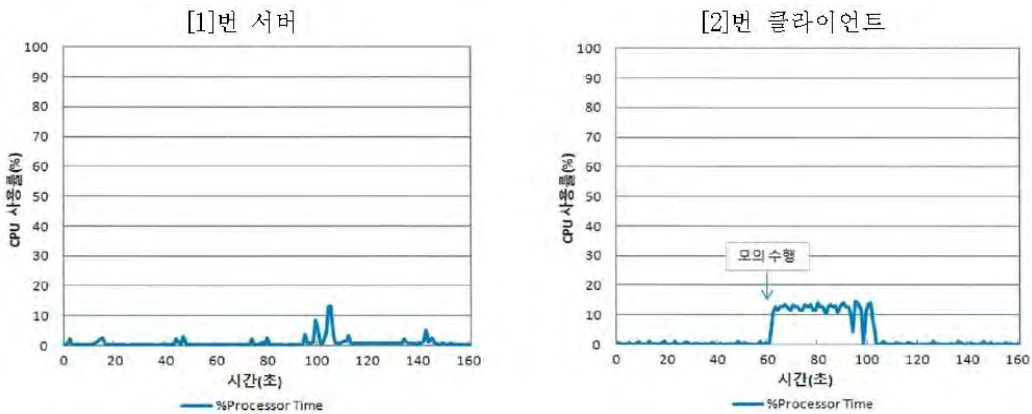
항 목	단 위	내 용	
CPU 사용률	%	%Processor Time	비유휴 스레드를 실행하는데 소요되는 시간의 백분율
메모리 사용량	MB	Private Mbytes	시스템에서 사용된 평균 메모리 양
응답시간	초	시스템에 조회나 요청 등의 명령을 실행한 직후부터 해당 명령에 대한 응답이 완료될 때까지 소요되는 시간	

- 개발된 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템의 성능 테스트의 결과를 자원효율성(CPU 사용률, 메모리 사용량)과 시간효율성(응답시간)으로 구분하여 도출하였다.

① 자원 효율성

○ CPU 사용률

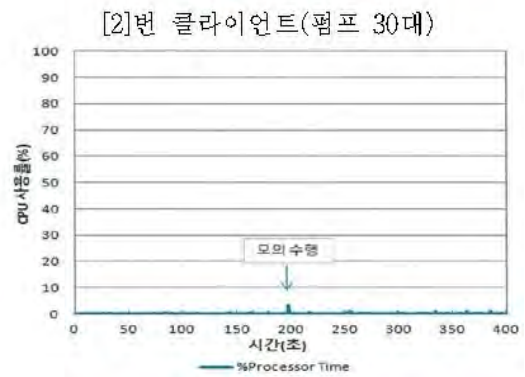
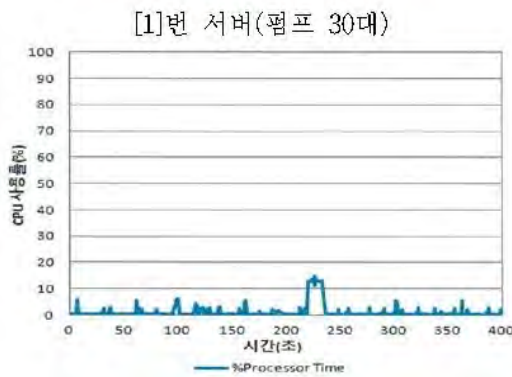
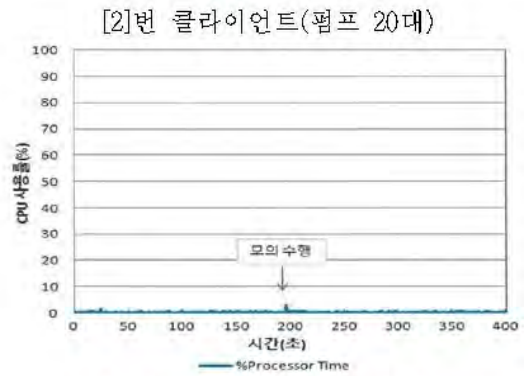
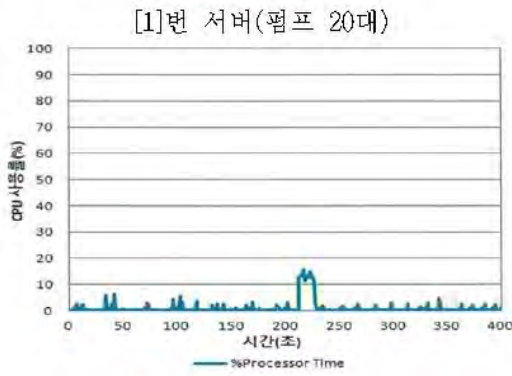
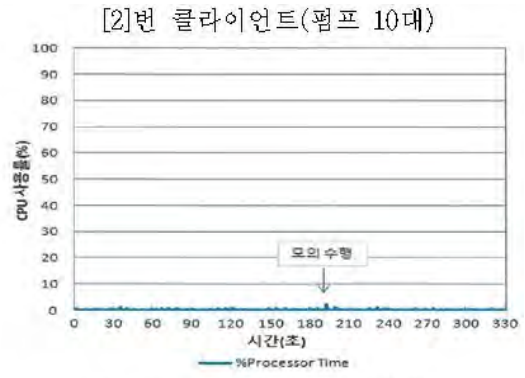
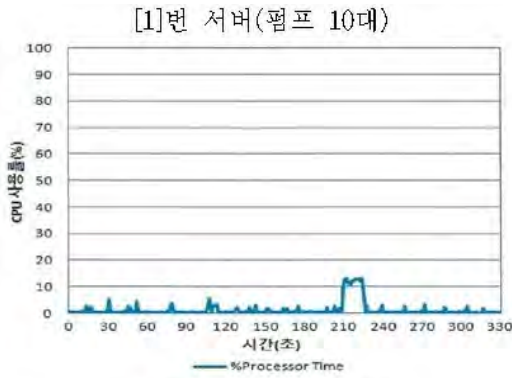
- 관망해석 수행 시 [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트의 CPU 사용률은 각각 최고 13.02%, 14.66%까지 올라갔으나 해석이 완료된 이후에는 각각 5.17%, 1.14% 미만으로 CPU 사용률이 감소하였다.



[그림 3-4-4-2] 관망해석 수행 시 CPU 사용률

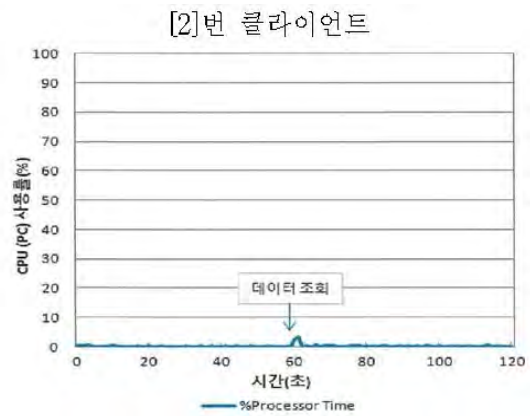
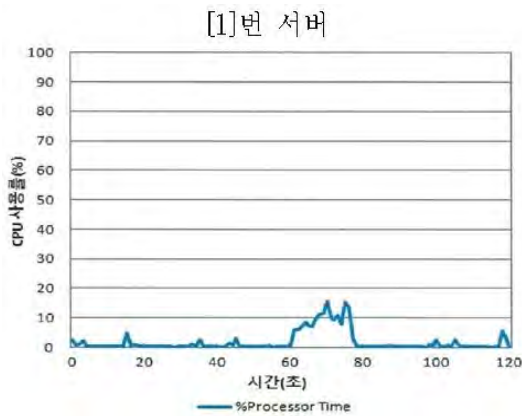
- 운영모의를 위해 임의로 생성한 모델의 Case에 따라 10대, 20대, 30대의 펌프가 작동할 경우에 대한 관망해석을 수행하였다. 수행 결과인 [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트의 CPU 사용률은 다음과 같으며, 해석 완료 후 사용률이 모두 정상 상태로 복귀한다는 것을 확인할 수 있었다.

구 분	CPU(%)		
	10대	20대	30대
[1]번 서버	13.08	15.53	14.76
[2]번 클라이언트	2.42	2.94	3.30



[그림 3-4-4-3] Case별 운영모의 실행 시 CPU 사용률

- 데이터조회 실행 시 [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트 CPU 사용률은 각각 최고 15.70%, 3.25%까지 증가하였으나, 분석 처리 완료 후 각각 5.3%, 0.51% 미만으로 감소하였다.

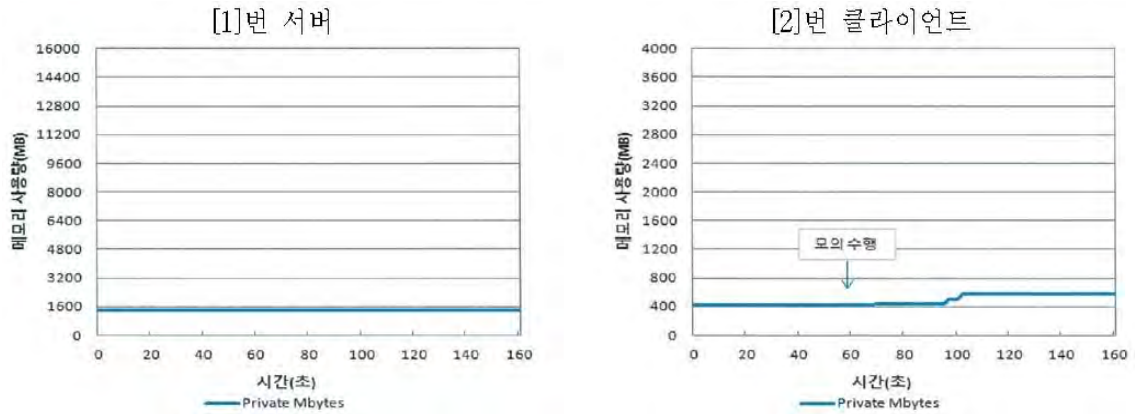


[그림 3-4-4-4] 데이터 조회 시 CPU 사용률



○ 메모리 사용량

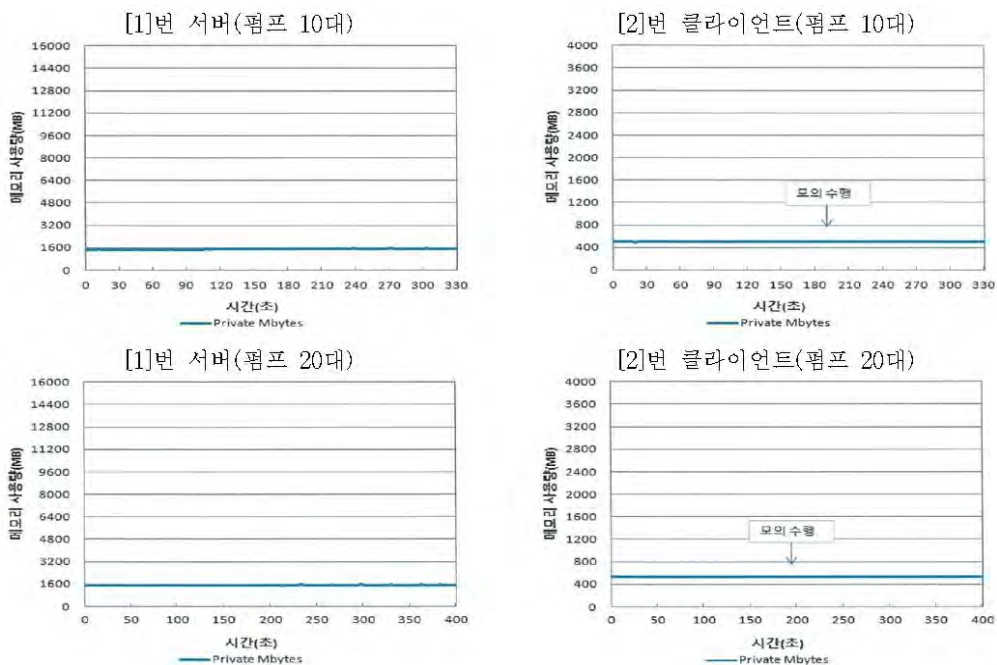
- 관망해석 수행 시 [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트의 메모리 사용량은 각각 1,425MB, 581MB 이하로 일정하게 유지되었다.



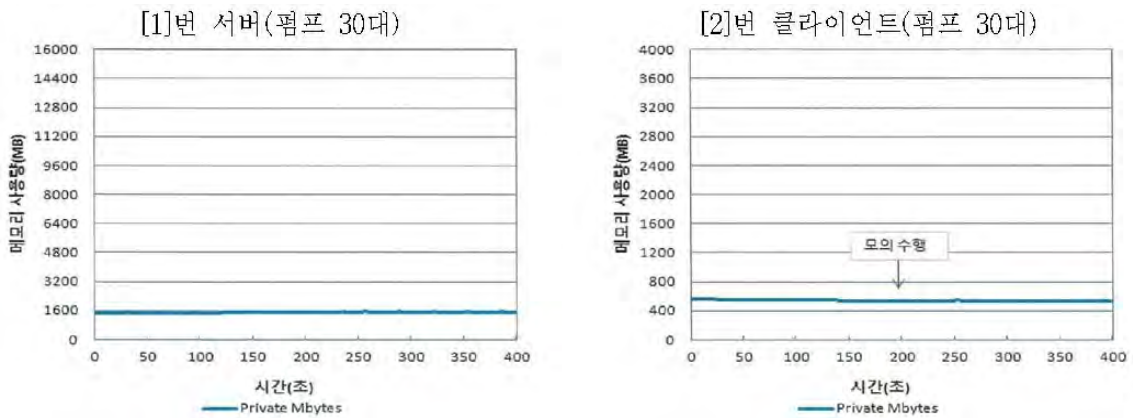
[그림 3-4-4-5] 관망해석 수행 시 메모리 사용량

- 관망해석 모델의 Case에 따라 10대, 20대, 30대의 펌프가 작동할 경우 Case별 운영모의 해석 수행 시 [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트의 메모리 사용량은 아래 표에 나온 값 이하로 일정하게 유지되었다.

구 분	Memory(MB)		
	10대	20대	30대
[1]번 서버	1,565	1,568	1,577
[2]번 클라이언트	512	534	566

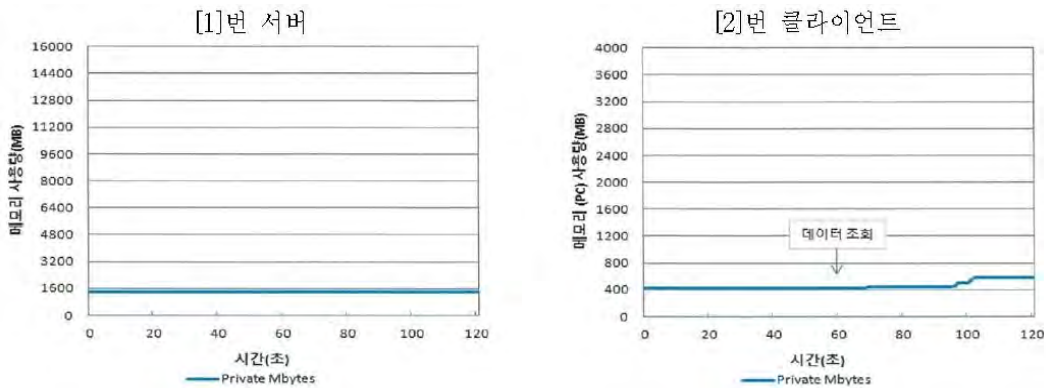


[그림 3-4-4-6] Case별 운영모의 실행 시 메모리 사용량



[그림 3-4-4-6] Case별 운영모의 실행 시 메모리 사용량(계속)

- 데이터조회 실행 시 [1]번 서버 및 [2]번 클라이언트 메모리 사용량은 각각 1,425MB, 581MB 이하로 일정하게 유지된다.



[그림 3-4-4-7] 데이터조회 시 메모리 사용량

## ② 시간 효율성

### ○ 응답시간

- [2]번 클라이언트에서 관망해석 수행 후 해석이 완료되기까지의 평균 응답시간은 평균 7.82초 소요되었다.
- [2]번 클라이언트에서 데이터조회 실행 후 완료되기까지의 평균 응답시간은 3.76초 소요 되는 것을 확인할 수 있었다.

## (2) 파일럿플랜트 시스템 구축

### (가) 현장조사 및 자료 수집

- 개발된 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템의 테스트를 위해 파일럿플랜트 시스템 구축을 현장조사 진행하였으며, 관수로 및 주요시설에 대한 설계 자료를 토대로 분석을 수행하였다.
- 본 연구에 활용된 파일럿플랜트는 한국농어촌공사 농어촌연구원 내에 설치되어 있으며, 주요 구성은 크게 논관개시스템, 발관개시스템, 간척지관개시스템으로 이루어져 있다.

- 주요시설로는 기존에 설치되어 있는 저류조를 수원으로 선정하여 이로부터 농촌용수를 공급하는 2대의 펌프와 각각의 관개시스템으로 공급되는 농촌용수를 저장할 수 있는 고가수조가 있으며, 관개시스템으로 농촌용수를 원활히 공급할 수 있는 펌프 및 관수로 등이 구축되어 있다. 농촌용수 파이프라인 공급체계 운영관리를 위한 파일럿플랜트의 주요 시설은 [표 3-4-4-4]와 같다.



[그림 3-4-4-8] 파일럿플랜트 현장

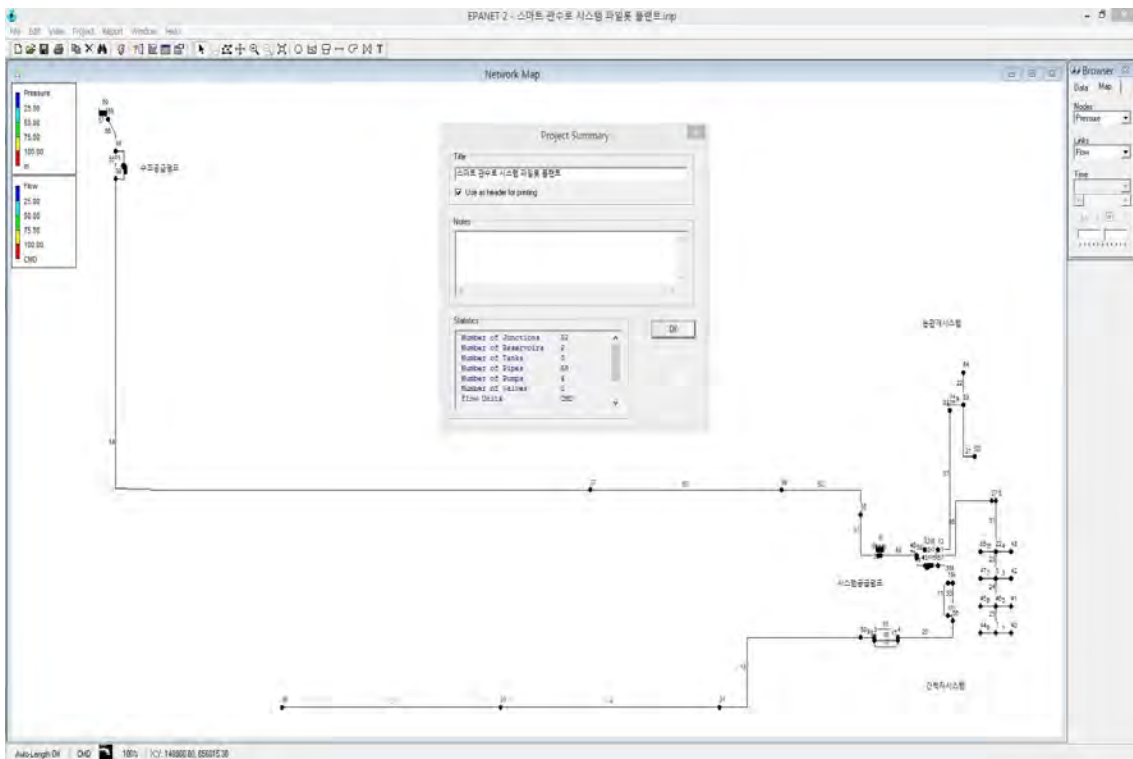
[표 3-4-4-4] 파일럿플랜트 주요시설

구 분		시설 제원
용수공급시설	수조공급펌프	자흡식펌프(유량: 0.5m <sup>3</sup> /min, 양정: 10mH)
	논관개시스템 공급펌프	입형펌프(유량: 0.12m <sup>3</sup> /min, 양정: 10mH)
	간척지관개시스템 공급펌프	입형펌프(유량: 0.12m <sup>3</sup> /min, 양정: 10mH)
	밭관개시스템 공급펌프	입형펌프(유량: 0.24m <sup>3</sup> /min, 양정: 40mH)
	밭관개시스템 공급밸브	전동볼밸브(일상식, 제어반부착형) 50A×7.5kg/cm <sup>2</sup>
	고가수조	5ton, ∅2,344 × H1,430, 1조
논관개시스템	개수로시스템	3,000X4,000X200 유입관 : 뱀치플롭관(300X200)
	관수로시스템	3,000X4,000X200 유입관 : HI-3P관(50mm)
	분수공	∅560 × H500 X 1조
밭관개시스템	시스템 부지	42,2m X 23,1m
	스프링클러	스프링클러 헤드 : D15 X 3EA
간척지관개시스템		4,000X8,000X200, 유입관 : HI-3P관(50mm)



(나) 설계 모델 분석

- 파일럿플랜트 설계에 반영된 도면 및 EPANET INP 파일은 모니터링 및 관망해석을 위한 기초자료로 활용됨에 따라 우선적인 분석 작업을 수행하였다.
- 설계에 반영된 .net 파일(Network files)을 관망해석 틀인 EPANET 2.0 상에서 불러와 화면상에 표출하여 전체적인 관수로 구성 체계를 검토하였으며, 이를 \*.inp 파일로 Export하여 junction, node 등의 주요 인자별 분석을 진행하였다.
- 파일럿플랜트의 해석모델의 Project Summary
  - Junction의 개수 : 52개
  - Reservoirs의 개수 : 2개
  - Tank의 개수 : 0개
  - Pipe의 개수 : 58개
  - Pump의 개수 : 4개
  - valve의 개수 : 0개
  - 유량 단위 : CMD(Cubic Meter per Day)
- Project Summary를 통해 파일럿플랜트 설계를 위해 사용된 관망해석 모델의 격점(Node) 요소 및 연결(Link)요소에 대한 정보를 파악할 수 있었다.
  - 격점 요소 : 절점(Junction), 저수지(Reservoir), 탱크(Tank)
  - 연결 요소 : 관로(Pipe), 펌프(Pump), 밸브(valves)



[그림 3-4-4-9] 파일럿플랜트의 EPANET 화면(Project Summary)

- 보다 세부적인 모델분석을 위해 Export 시킨 .inp 파일을 검토하였다. 기본적으로 파일럿 플랜트의 관수로에 적용된 관저고는 7m로 설정하였으며, 각 관개시스템별 Demand 값을 달리 설정하였다. 수원이 되는 저류조의 Head를 4m로 하였으며, 고가수조의 Head는 8.5m로 설정된다.
- 전체 시스템에 적용된 관수로의 C값은 130으로 적용되었으며, 각 펌프의 사양에 따라 유량-양정 곡선을 등록하여 각 펌프에 대한 성능곡선에 따라 펌프 운영이 이루어지도록 해석모델이 설계되었다는 것을 파악할 수 있었다.
- 이와 같이 설계에 반영된 관망해석 모델은 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템의 커스텀마이징 단계에서 관망해석 모델관리 및 모델 생성을 위한 마스터모델 구축을 위한 기초자료가 될 것으로 판단되며, 모델 최적화를 거친 후 시스템 상에 등록할 수 있도록 추가적인 분석이 필요하다.
- 아래의 내용은 .inp 파일의 일부 정보를 보여주고 있다.

```
[TITLE]
스마트 관수로 시스템 파일럿 플랜트

[JUNCTIONS]
;ID          Elev          Demand          Pattern
1            0            0            1            ;
2            0            0            1            ;
.
59           7            0            1            ;

[RESERVOIRS]
;ID          Head          Pattern
60           4            ;
6            8.5          ;

[TANKS]
;ID          Elevation      InitLevel      MinLevel      MaxLevel
Diameter    MinVol        VolCurve
;

[PIPES]
;ID          Node1          Node2          Length
Diameter    Roughness     MinorLoss     Status
1           7            40           1.18  40       130  0       Open ;
2           46           41           1.18  40       130  0       Open ;
```

58 6 33 0.5 100 130 0 Open ;

[PUMPS]

;ID	Node1	Node2	Parameters	
P1	39	38	HEAD P1	;
P2	32	28	HEAD P2	;
P3	30	17	HEAD P3	;

[TAGS]

NODE 4 SAA001;BZ003;  
LINK 1 관수로;1;SAA001;BZ003;  
LINK 2 관수로;2;SAA001;BZ003;

[TIMES]

Duration 24:00  
Hydraulic Timestep 1:00  
Quality Timestep 0:00  
Pattern Timestep 1:00  
Pattern Start 0:00  
Report Timestep 1:00  
Report Start 0:00  
Start ClockTime 0  
Statistic NONE

[OPTIONS]

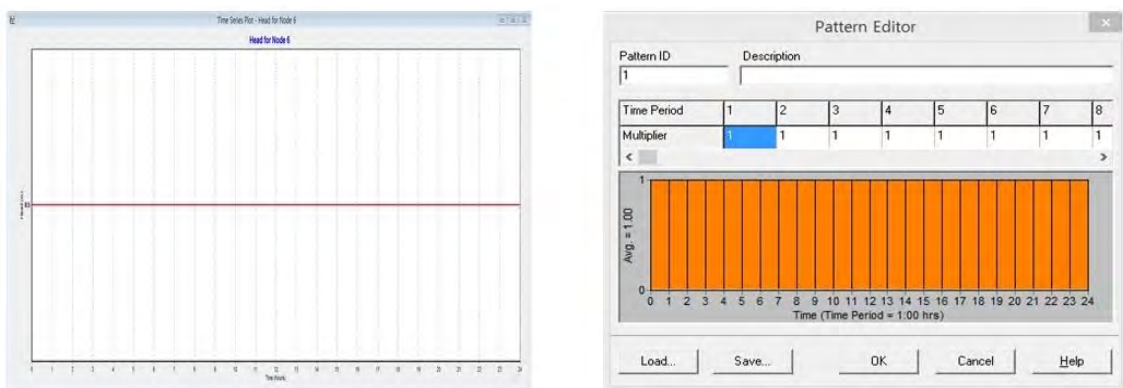
Units CMD  
Headloss H-W  
Specific Gravity 1  
Viscosity 1  
Trials 40  
Accuracy 0.001  
CHECKFREQ 2  
MAXCHECK 10  
DAMPLIMIT 0  
Unbalanced Continue 10  
Pattern 1  
Demand Multiplier 1  
Emitter Exponent 0.5  
Quality None mg/L

Diffusivity	1	
Tolerance	0.01	
[COORDINATES]		
;Node	X-Coord	Y-Coord
1	149012.58	656780.64
2	149010.74	656780.64
.		
.		
[END]		

(다) CASE별 모델 분석

① 단일기간(순간) 해석(Single Period Analysis)

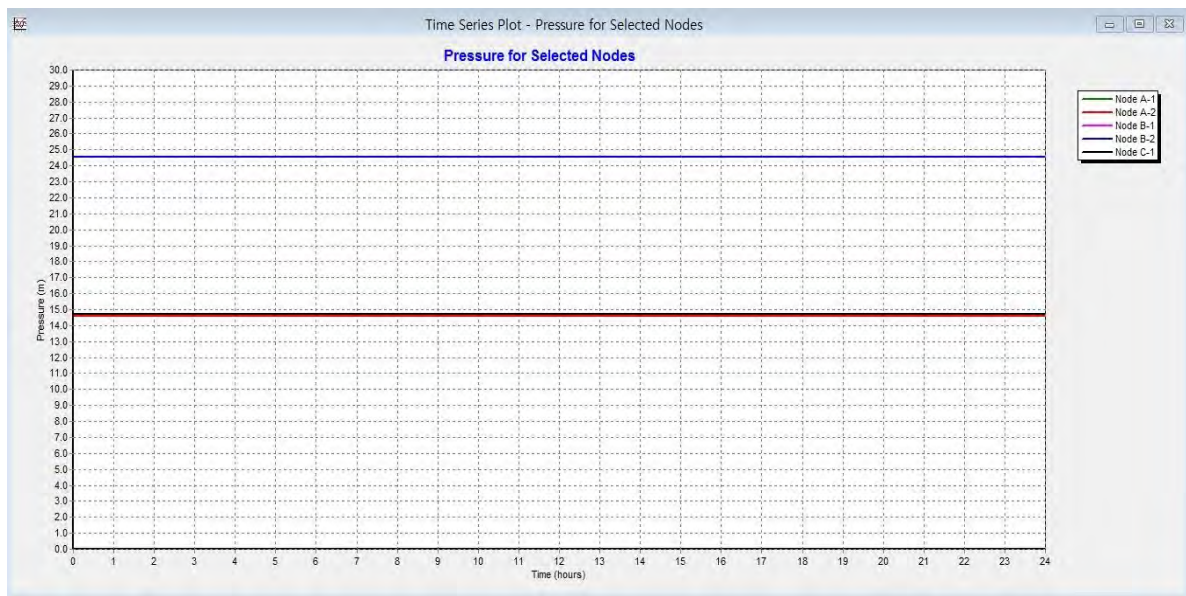
- 본 연구에서 분석한 설계 모델은 단일기간 해석 또는 고정상태 해석(Steady-State Analysis)을 수행한 결과로써 시간에 따른 사용량, 수위변동을 고려하지 않고 사용자가 입력한 한 개의 자료만을 해석한 방법으로 순간해석(Snapshot Analysis)이라고도 한다.
- 시간에 따른 사용량 및 수위의 변화가 발생하지 않으므로 각 절점의 압력변화도 발생하지 않으며 순간적인 상태를 수리 해석한 결과만을 확인할 수 있다. 실제 현장에서 적용하기에는 무리가 있으며, 단순히 설계를 위한 자료로 활용 가능하다.
- 관망해석에 사용된 저수지의 수위와 각 관개시스템에 적용된 사용량 패턴은 [그림 3-4-4-10]과 같이 고정된 상태를 유지한다는 것을 확인할 수 있으며, 이에 따른 논관개/밭관개/간척지관개의 기본적인 사용량(Base Demand) 및 해석 결과는 [표 3-4-4-5] 및 [그림 3-4-4-11]과 같다.



[그림 3-4-4-10] 고정해석에 반영된 저수지 수위 및 사용량 패턴

[표 3-4-4-5] 관망해석(고정상태) 결과

구 분		Elevation (m)	Base Demand (m <sup>3</sup> /day)	Total Head (m)	Pressure (m)
논관개시스템	A-1	7	21.6	21.60	14.60
	A-1	7	21.6	21.59	14.59
밭관개시스템	B-1	37	23.2	61.54	24.54
	B-2	37	20	61.53	24.53
간척지관개시스템	C-1	7	3.51	21.73	14.73
	C-2	7	3.51	21.73	14.73
	C-3	7	3.51	21.73	14.73
	C-4	7	3.51	21.73	14.73
	C-5	7	3.51	21.73	14.73
	C-6	7	3.51	21.73	14.73
	C-7	7	3.51	21.73	14.73
	C-8	7	3.51	21.73	14.73
계	-	-	114.48	-	-



[그림 3-4-4-11] 각 관개시스템 말단의 압력해석 결과 그래프

- 파일럿플랜트의 전체 관개시스템에서 필요로 하는 수요량 114m<sup>3</sup>/일을 기준으로 관망해석을 수행한 결과 각 시스템의 말단부에 음(-)압이 발생하지 않고 문제없이 농업용수가 공급된다는 것을 확인할 수 있었다.
- 말단의 압력은 1.46~2.45kgf/cm<sup>2</sup> 로 적정수압 기준인 1.50~4.50kgf/cm<sup>2</sup>를 만족하는 결과를 보였으나, 위의 결과는 앞서 설명한 바와 같이 고정상태에서의 해석결과이며, 이는 일간 농업용수 사용량이 매 시간 동일한 상황일 경우에 한해서 나타날 수 있다. 그러나 실제 농업 현장에 따라 시간별 사용량이 다르며 기상상황, 작물, 관개시스템 등으로 인해 사용패턴이 달리 적용되어 운영되고 있다.

○ 또한, 관망해석 수행 틀인 EPANET 2.0에서 배수지로 사용되는 Reservoir의 경우 수량이 무제한 공급되는 조건으로 모의가 이루어져 각 관개시스템에서 사용되는 수량에 따른 수위변화를 확인하기 어려움. 수위패턴을 입력하여 수위변화에 따른 용수 공급의 제한사항이 발생하는지를 확인할 수는 있으나, 실질적인 수위변화를 확인할 수 없으며, 사용자의 경험에 따라 입력하는 값이므로 현장 상황에 따라 해석결과가 상이하다.

○ 수위변화를 고려하지 않은 고정상태 해석의 경우 수원으로부터 공급 가능한 농업용수량에 따른 해석이 불가능하며, 펌프의 가동 방안을 제시할 수 없다. 그리하여 본 연구에서는 시간변화 해석을 수행하여 해석결과를 검토하였다.

② 시간변화 해석(Extended Period Analysis)

○ 시간변화 해석은 계통내의 가동조건을 고려한 해석으로써, 본 연구에서는 농업용수 파이프라인 운영을 위해 고정상태가 아닌 시간변화에 따라 여러 가지 조건을 변경하여 관망해석을 수행하였으며, 고정상태의 결과와 비교하여 파이프라인 운영에 필요한 저류지 운영 및 펌프의 제어 방안을 도출하였다.

㉑ 사용패턴 적용

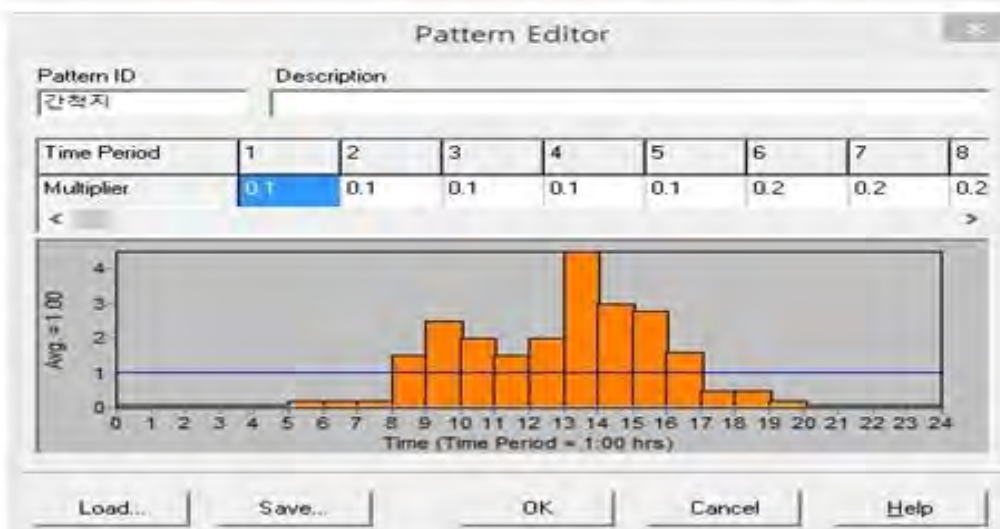
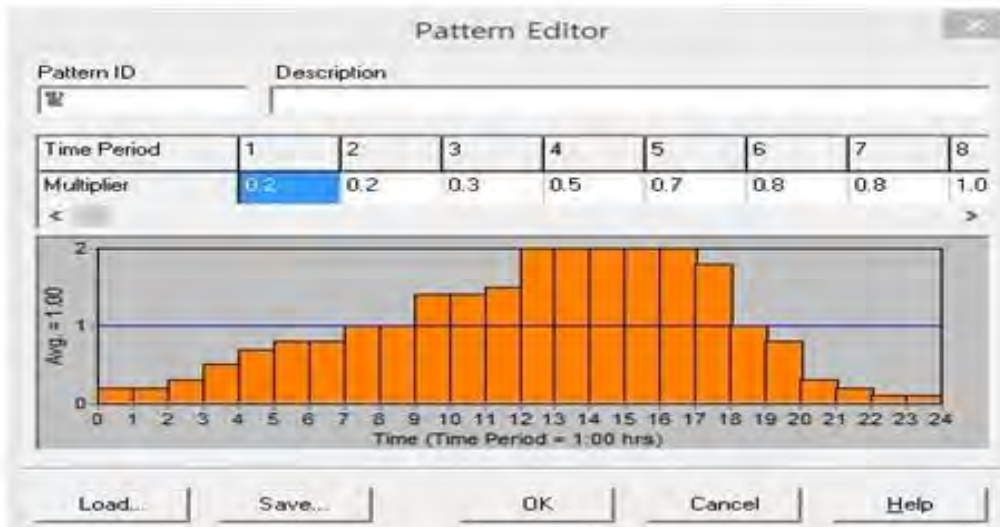
○ 시간변화 해석 수행을 위해 전체 모의시간(Total Duration)인 24시간에 대하여 패턴간격(Pattern Time Step)을 1시간 단위로 [그림 3-4-4-12]와 같이 EPANET 2.0의 Times Options을 통해 설정하였다.

Property	Hrs:Min
Total Duration	24:00
Hydraulic Time Step	1:00
Quality Time Step	0:00
Pattern Time Step	1:00
Pattern Start Time	0:00
Reporting Time Step	1:00
Report Start Time	0:00
Clock Start Time	0
Statistic	NONE

[그림 3-4-4-12] Times Options 화면

○ 각 관개시스템별 수요량(Base Demand)은 [표 3-4-4-5]와 같이 논관개(43.2m<sup>3</sup>/일), 밭관개(43.2m<sup>3</sup>/일), 간척지관개(28.08m<sup>3</sup>/일) 별로 고정상태 해석과 동일한 값을 적용하였으며, 사용량 패턴을 관개 특성에 맞도록 시간에 따라 임의적으로 생성하였다. 아래의 [그림 3-4-4-13]은 각 관개 시스템별 사용량 패턴을 보여주고 있다.



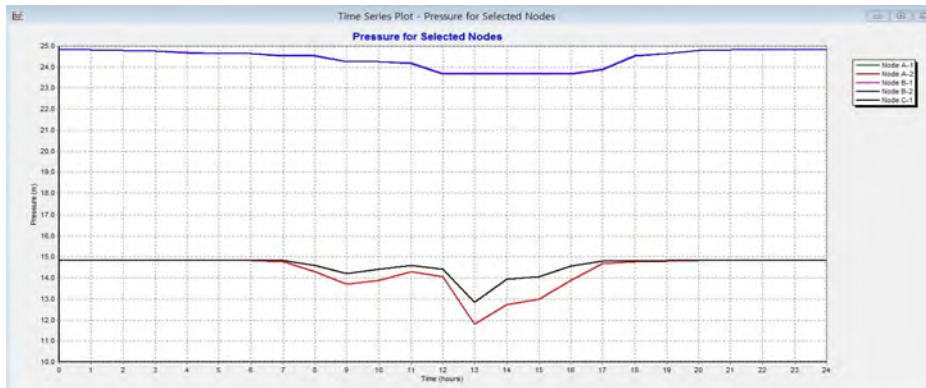


[그림 3-4-4-13] 각 관개시스템의 사용패턴(상: 논, 중: 밭, 하: 간척지)

○ 고정상태 해석과 모든 조건이 동일한 상황에서 사용패턴을 적용하여 시간변화 해석을 수행한 결과 각 관개시스템 말단부의 절점에 대한 압력변화는 아래와 같은 결과를 보였다.

[표 3-4-4-6] 사용패턴에 따른 압력해석 결과

시간	논관개		밭관개		간척지관개							
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
00:00	14.83	14.83	24.82	24.82	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
01:00	14.83	14.83	24.82	24.82	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
02:00	14.83	14.83	24.81	24.80	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
03:00	14.83	14.83	24.76	24.76	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
04:00	14.83	14.83	24.69	24.68	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
05:00	14.83	14.83	24.65	24.64	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
06:00	14.82	14.82	24.65	24.64	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
07:00	14.77	14.77	24.54	24.53	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
08:00	14.30	14.30	24.54	24.53	14.61	14.61	14.60	14.60	14.60	14.60	14.60	14.60
09:00	13.70	13.69	24.27	24.25	14.21	14.21	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20
10:00	13.89	13.89	24.27	24.25	14.43	14.43	14.43	14.43	14.43	14.43	14.43	14.43
11:00	14.30	14.30	24.19	24.17	14.61	14.61	14.60	14.60	14.60	14.60	14.60	14.60
12:00	14.07	14.07	23.70	23.66	14.43	14.43	14.43	14.43	14.42	14.42	14.42	14.42
13:00	<b>11.82</b>	<b>11.80</b>	23.69	23.65	<b>12.84</b>	<b>12.84</b>	<b>12.82</b>	<b>12.82</b>	<b>12.81</b>	<b>12.81</b>	<b>12.81</b>	<b>12.81</b>
14:00	12.73	12.72	23.70	23.66	13.94	13.94	13.93	13.93	13.93	13.93	13.92	13.92
15:00	13.00	13.99	23.70	23.66	14.05	14.05	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04
16:00	13.89	13.89	23.70	23.66	14.57	14.57	14.57	14.57	14.57	14.57	14.57	14.57
17:00	14.68	14.68	23.92	23.88	14.81	14.81	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80
18:00	14.77	14.77	24.54	24.53	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81
19:00	14.81	14.81	24.65	24.64	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
20:00	14.82	14.82	24.81	24.80	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
21:00	14.82	14.82	24.82	24.82	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
22:00	14.83	14.83	24.83	24.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
23:00	14.83	14.83	24.83	24.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
24:00	14.83	14.83	24.82	24.82	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83	14.83
평균	14.35	14.38	24.43	24.41	14.60	14.60	14.59	14.59	14.59	14.59	14.59	14.59



[그림 3-4-4-14] 사용패턴에 따른 관개시스템 말단부의 압력해석 결과 그래프



[표 3-4-4-7] 고정상태 및 시간변화 해석의 압력 비교

해석구분	논관개		밭관개		간척지관개							
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
고정상태	14.60	14.59	24.54	24.53	14.73	14.73	14.73	14.73	14.73	14.73	14.73	14.73
시간변화 (평균)	14.35	14.38	24.43	24.41	14.60	14.60	14.59	14.59	14.59	14.59	14.59	14.59
비교값	0.25	0.21	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14

○ [표 3-4-4-7]과 같이 각 관개시스템 말단부의 압력 비교결과는 0.11~0.25m로 고정상태 해석결과와 시간변화(평균) 해석결과 간에 큰 차이를 보이지는 않았으나, 논 및 밭관개시스템의 경우 13:00에 압력이 11.80~12.84m(1.18~1.28kgf/cm<sup>2</sup>)로 적정수압을 유지하지 못하는 시점이 발행하였다. 이로 인해 각 관개시스템의 말단에는 순간적으로 농업용수 공급이 어려운 상황이 발생할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

○ 위 해석결과는 단순히 사용량의 패턴만 적용한 경우이며, 저수조의 수위변화를 고려한다면 말단부의 압력변화는 더욱 심할 것으로 판단되며 한 시점이 아닌 지속적으로 공급이 어려운 상황이 발생할 수 있을 것이라 사료된다.

㉠ 수위변화 고려

○ 관망해석 툴인 EPANET 2.0에서 수위변화 검토를 위해서는 저수지(Reservoir)가 아닌 탱크(Tank) 격점을 적용하여야 하며, 본 파일럿플랜트 모델 분석을 위해 탱크의 시설제원을 다음과 같이 설정하였다.

- 직경 : 5m
- 최대수위 : 4m
- 최저수위 : 0m
- 초기수위 : 4m
- 탱크용량 : 78.5ton

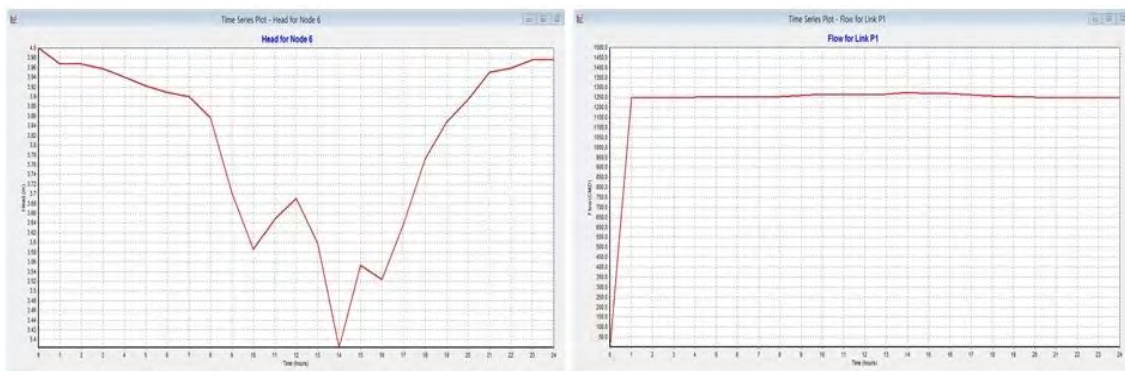
○ 각 관개시스템별로 기존 사용패턴을 동일하게 적용하여 말단부의 압력해석 결과를 분석하였으며, 그 결과 [표 3-4-4-8]에서와 같이 전체적으로 압력이 낮아졌다는 것을 확인할 수 있었다. 논 관개 및 간척지 관개의 경우에는 음(-)압이 발생되지 않았으나 시간평균압력이 9.65m, 9.90m(기존 14.35m, 14.59m)로 낮아졌다.

○ 밭관개의 경우 평균압력이 24.42m에서 19.73m로 떨어지기는 했으나, 시간변화에 따른 패턴의 변화가 크지 않아 적정수압 내의 압력을 유지하였다.

[표 3-4-4-8] 사용패턴 및 수위변화에 따른 압력해석 결과

시간	논관개		밭관개		간척지관개								
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	
00:00	10.33	10.33	20.32	20.32	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33
01:00	10.30	10.30	20.29	20.29	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30
02:00	10.30	10.30	20.27	20.27	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30
03:00	10.29	10.29	20.22	20.21	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29
04:00	10.27	10.27	20.13	20.12	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27
05:00	10.25	10.25	20.07	20.06	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25
06:00	10.23	10.23	20.06	20.05	10.24	10.24	10.24	10.24	10.24	10.24	10.24	10.24	10.24
07:00	10.17	10.17	19.94	19.93	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23
08:00	9.66	9.66	19.90	19.89	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96
09:00	8.90	8.89	19.47	19.45	9.41	9.41	9.41	9.41	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40
10:00	8.98	8.98	19.36	19.33	9.52	9.52	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
11:00	9.45	9.45	19.34	19.31	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75
12:00	9.26	9.26	18.89	18.85	9.62	9.62	9.62	9.62	9.62	9.62	9.62	9.62	9.62
13:00	6.91	6.90	18.79	18.75	7.93	7.93	7.92	7.92	7.91	7.91	7.91	7.91	7.91
14:00	7.62	7.61	18.58	18.54	8.82	8.82	8.81	8.81	8.81	8.81	8.81	8.81	8.81
15:00	8.05	8.05	18.75	18.71	9.10	9.10	9.10	9.10	9.09	9.09	9.09	9.09	9.09
16:00	8.92	8.91	18.73	18.69	9.60	9.60	9.59	9.59	9.59	9.59	9.59	9.59	9.59
17:00	9.82	9.82	19.05	19.02	9.94	9.94	9.94	9.94	9.94	9.94	9.94	9.94	9.94
18:00	10.04	10.04	19.82	19.80	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08
19:00	10.16	10.16	19.99	19.99	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18
20:00	10.22	10.22	20.20	20.20	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23
21:00	10.27	10.27	20.27	20.27	10.28	10.28	10.28	10.28	10.28	10.28	10.28	10.28	10.28
22:00	10.29	10.29	20.29	20.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29
23:00	10.31	10.31	20.31	20.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
24:00	10.31	10.31	20.30	20.30	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31	10.31
평균	9.65	9.65	19.73	19.72	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90

- 저수지 수위변화를 고려하였을 때, 논관개 및 발관개시스템의 해석결과를 보면 농업용수 사용량이 증가하는 낮 시간 08:00~17:00 사이의 압력이 10m(1.0kgf/cm<sup>2</sup>) 이하로 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며, 앞서 예상했던 바와 같이 지속적으로 용수공급이 원활하지 않을 것으로 판단된다.
- 원활한 농업용수 공급을 위해서는 사용패턴에 따라 펌프를 유기적으로 운영할 수 있는 펌프 운영방안이 검토되어야 한다.
- 또한, 해당 해석은 수원공으로부터 저수조(Tank)에 용수 공급을 위해 펌프의 운전 상태를 Open으로 유지한 결과이며, 별도의 펌프제어를 적용하지 않은 결과이다. 일정하게 펌프가 가동되고 있는 상황임으로 저수조의 수위는 [그림 3-4-4-15]와 같이 공급량이 많은 낮 시간에 수위가 낮아지고 농업용수 사용이 거의 없는 시간에는 다시 일정 수위를 유지할 수 있으나, 펌프의 지속적인 가동으로 인해 현장 적용 시 펌프의 빠른 노후화가 진행될 수 있으므로 이를 감안한 해석결과가 필요하다.
- 따라서, 이후 연구내용에서는 저수조의 수위에 따라 펌프(P1)를 제어할 수 있도록 제어규칙을 적용하고 추가적으로 각 관개시스템의 말단부 압력을 일정 압력으로 유지하기 위해 각 관개별 용수공급 펌프(P2, P3, P4)를 제어하는 방식을 적용하여 관망해석을 수행하였다.



[그림 3-4-4-15] 사용량에 따른 저수조(Tank)의 수위변화(좌) 및 펌프유량(우)

#### ㉔ 펌프제어 적용

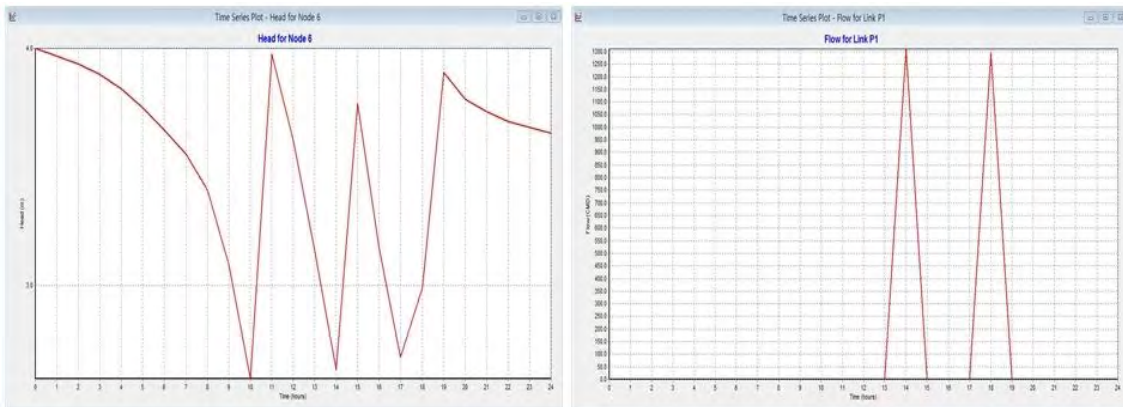
- 우선적으로 저수조에 최초 수원을 공급하는 펌프(P1)에 대한 제어규칙을 적용하였다. 해석 초기 저수조내의 수위는 앞서 설정했던바와 같이 4m이므로 적정 수량이 존재함에 따라 저수조로 농업용수를 공급하는 펌프(P1)의 시작상태는 Closed 상태로 설정하였다.
- 펌프(P1)의 운영은 저수조의 수위가 2.5m 이하일 시 가동, 최대수위인 4.0m 이상이 되면 가동을 중단하도록 제어규칙을 적용하였으며, 해당 펌프를 변속펌프(인버터)로 가정하여 최초 가동시작 시 과도한 압력이 발생되지 않도록 하고 전력사용량을 절감하는 방안으로 펌프의 회전속도를 0.9배수를 적용하였다. 펌프(P1)에 적용된 제어문 및 설정화면은 다음과 같다.

- RULE 1  
IF TANK 6 LEVEL BELOW 2.5  
THEN PUMP P1 STATUS IS OPEN
- RULE 2  
IF TANK 6 LEVEL ABOVE 4.0  
THEN PUMP P1 STATUS IS CLOSED

Pump Curve	P1
Power	
Speed	0.9
Pattern	
Initial Status	Closed

[그림 3-4-4-16] 펌프(P1) 설정 화면

- 위와 같이 제어규칙을 적용하여 관망해석을 수행한 결과 펌프(P1)이 지속적인 가동이 이루어지지 않고 두 차례의 가동만으로도 저수조의 수위를 적정하게 유지한다는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 3-4-4-17] 펌프(P1)제어에 따른 저수조의 수위변화(좌) 및 펌프유량(우)

- 반면, 펌프(P1)의 제어결과로 인해 [표 3-4-4-9]와 같이 각 관개시스템의 말단 압력이 앞서 제어가 반영되지 않은 해석 결과보다 낮게 유지되는 현상이 발생된다. 본 해석결과와 같이 1대의 펌프를 제어하는 것으로는 전체 시스템이 만족할 수 있는 결과가 도출될 수 없으며, 무의미한 펌프제어가 이루어질 수 있으므로 최종적으로 각 관개시스템으로 용수를 공급하는 펌프(P2, P3, P4)의 제어가 요구된다.

[표 3-4-4-9] 펌프(P1)제어에 따른 압력해석 비교결과

시간	논관개(A-1)		발관개(B-1)		간척지관개(C-1)	
	비제어	제어	비제어	제어	비제어	제어
00:00	10.33	10.33	20.32	20.32	10.33	10.33
01:00	10.30	10.30	20.29	20.29	10.30	10.30
02:00	10.30	10.26	20.27	20.24	10.30	10.27
03:00	10.29	10.22	20.22	20.15	10.29	10.22
04:00	10.27	10.16	20.13	20.02	10.27	10.16
05:00	10.25	10.08	20.07	19.90	10.25	10.08
06:00	10.23	<b>9.98</b>	20.06	19.80	10.24	<b>9.98</b>
07:00	10.17	<b>9.83</b>	19.94	19.60	10.23	<b>9.88</b>
08:00	<b>9.66</b>	<b>9.20</b>	19.90	19.44	<b>9.96</b>	<b>9.51</b>
09:00	<b>8.90</b>	<b>8.28</b>	19.47	18.85	<b>9.41</b>	<b>8.79</b>
10:00	<b>8.98</b>	<b>8.00</b>	19.36	18.38	<b>9.52</b>	<b>8.54</b>
11:00	<b>9.45</b>	<b>7.98</b>	19.34	17.86	<b>9.75</b>	<b>8.28</b>
12:00	<b>9.26</b>	<b>7.38</b>	18.89	17.01	<b>9.62</b>	<b>7.74</b>
13:00	<b>6.91</b>	<b>4.66</b>	18.79	16.54	<b>7.93</b>	<b>5.68</b>
14:00	<b>7.62</b>	<b>6.26</b>	18.58	17.23	<b>8.82</b>	<b>7.47</b>

[표 3-4-4-9] 펌프(P1)제어에 따른 압력해석 비교결과(계속)

시간	논관개(A-1)		발관개(B-1)		간척지관개(C-1)	
	비제어	제어	비제어	제어	비제어	제어
16:00	<b>8.92</b>	<b>8.72</b>	18.73	18.53	<b>9.60</b>	<b>9.40</b>
17:00	<b>9.82</b>	<b>9.04</b>	19.05	18.28	<b>9.94</b>	<b>9.17</b>
18:00	10.04	<b>8.87</b>	19.82	18.64	10.08	<b>8.90</b>
19:00	10.16	<b>8.74</b>	19.99	18.58	10.18	<b>8.76</b>
20:00	10.22	<b>8.64</b>	20.20	18.62	10.23	<b>8.65</b>
21:00	10.27	<b>8.59</b>	20.27	18.59	10.28	<b>8.60</b>
22:00	10.29	<b>8.55</b>	20.29	18.55	10.29	<b>8.55</b>
23:00	10.31	<b>8.53</b>	20.31	18.53	10.31	<b>8.53</b>
24:00	10.31	<b>8.50</b>	20.30	18.49	10.31	<b>8.51</b>
평균	<b>9.65</b>	<b>8.78</b>	<b>19.73</b>	<b>18.86</b>	<b>9.90</b>	<b>9.03</b>

- 논관개 및 간척지 관개의 경우 말단부의 압력을 상수도에서 기준으로 적용하고 있는 1.5 ~4.5kgf/cm<sup>2</sup>를 유지할 수 있도록 제어규칙을 적용하였다.
- 먼저 논관개 공급펌프(P2)의 제어는 적정 압력을 유지하기 위해 말단부 절점의 압력이 15.0m이하의 압력이 발생될 시 회전속도를 1.2배로 증가시키고, 17.0m 이상일 시 펌프의 회전속도를 기존 1.0배로 복귀하도록 제어규칙을 생성하였다. 또한, 최초 가동시작 시 회전속도는 1.0배수를 적용하여 초기 압력이 적정하게 유지될 수 있도록 펌프를 설정하였다. 펌프(P2)에 적용된 제어문 및 설정화면은 다음과 같다.

- RULE 3  
IF JUNCTION A-1 PRESSURE BELOW 15.0  
THEN PUMP P2 SPEED IS 1.2
- RULE 4  
IF JUNCTION A-1 PRESSURE ABOVE 17.0  
THEN PUMP P2 SPEED IS 1.0

Pump Curve	P2
Power	
Speed	1.0
Pattern	
Initial Status	Open

[그림 3-4-4-18] 펌프(P2) 설정 화면

- 간척지관개 펌프(P3)의 경우 또한 논관개와 동일하게 말단부 절점의 압력이 15.0m이하일 시 펌프의 회전속도를 1.2배로 가동을 하며, 40.0m이상의 압력이 발생될 시 0.8배의 회전속도로 가동될 수 있도록 제어규칙을 생성하였다. 또한, 최초 가동시작 시 회전속도를 1.1 배수를 적용하여 말단의 부족한 압력을 적정수준으로 올려 공급이 원활하도록 펌프를 설정하였다. 펌프(P3)에 적용된 제어문 및 설정화면은 다음과 같다.

- RULE 5  
IF JUNCTION C-8 PRESSURE BELOW 15.0  
THEN PUMP P3 SPEED IS 1.5
- RULE 6  
IF JUNCTION C-8 PRESSURE ABOVE 40.0  
THEN PUMP P3 SPEED IS 0.8

Pump Curve	P3
Power	
Speed	1.1
Pattern	
Initial Status	Open

[그림 3-4-4-19] 펌프(P3) 설정 화면

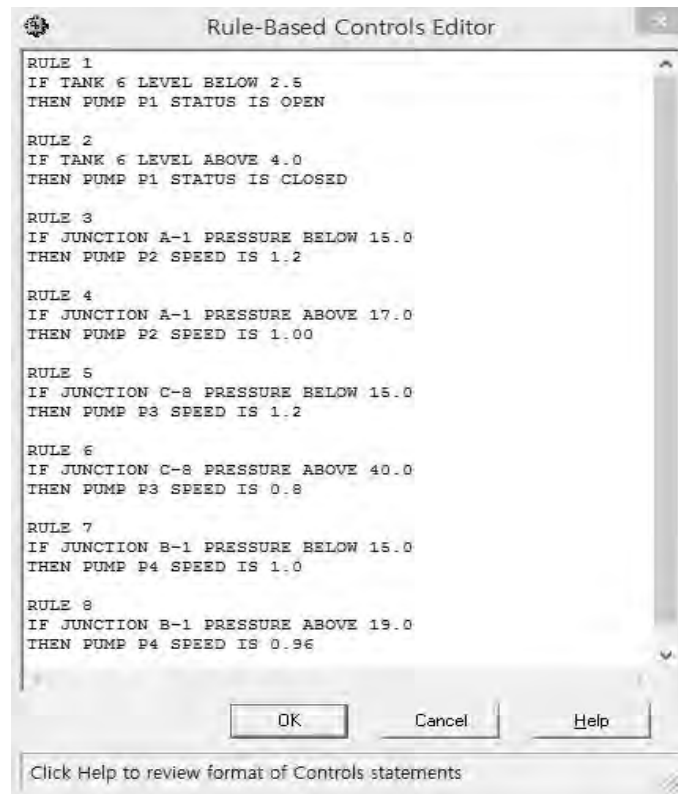
- 마지막으로, 발관개의 경우 스프링클러를 이용한 농업용수 공급이 원활할 수 있도록 논관개 및 간척지관개 보다 조금 높은 압력이 유지될 수 있도록 펌프제어 규칙을 적용하였다.
- 제어규칙으로 발관개 펌프(P4)는 말단부 절점의 압력이 15.0m이하일 시 1.0의 회전속도를 유지하며, 19.0m이상일 시 펌프의 회전속도를 0.96배로 가동하도록 펌프를 설정하였다. 최초 가동시작 시 회전속도를 0.95배수를 적용하여 과도한 압력이 발생되지 않도록 펌프를 설정하였다. 펌프(P4)에 적용된 제어문 및 설정화면은 다음과 같다.

- RULE 7  
IF JUNCTION B-1 PRESSURE BELOW 15.0  
THEN PUMP P4 SPEED IS 1.0
- RULE 8  
IF JUNCTION B-1 PRESSURE ABOVE 19.0  
THEN PUMP P4 SPEED IS 0.96

Pump Curve	P4
Power	
Speed	0.95
Pattern	
Initial Status	Open

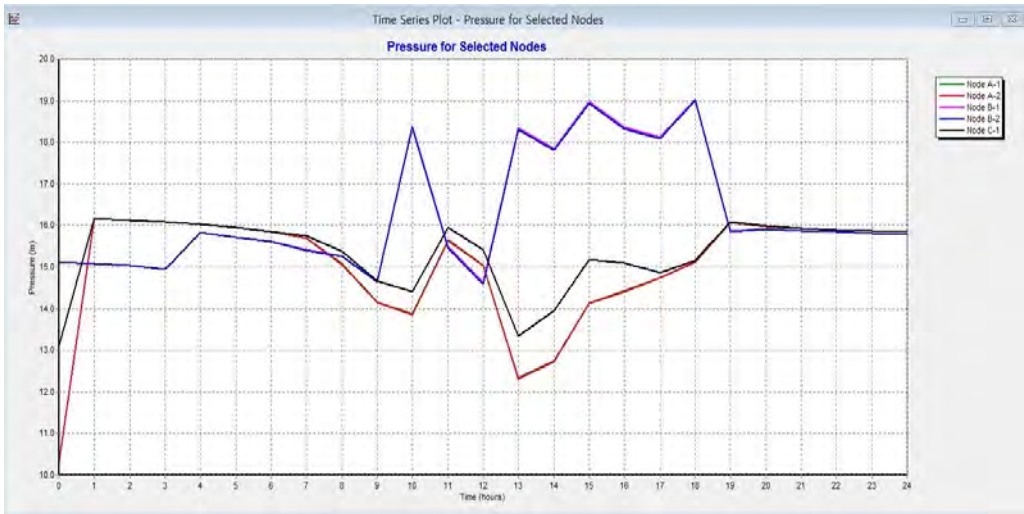
[그림 3-4-4-20] 펌프(P4) 설정 화면

- [그림 3-4-4-21]은 전체 펌프에 적용된 제어규칙을 보여주고 있으며, 이렇게 입력된 제어규칙에 따라 각 관개시스템에 농업용수를 공급하는 펌프가 운영된다.



[그림 3-4-4-21] Rule-Based Controls Editor 화면

- 관망해석 결과 전체 관개시스템의 말단 압력은 [그림 3-4-4-22]과 같이 1.5~4.5kgf/cm<sup>2</sup> 내에서 적정수압을 유지한다는 것을 확인 할 수 있었으며, 수위변화를 고려하고 펌프의 제어규칙을 적용한 시간변화 해석을 통해 결과 효율적인 농업용수 운영방안을 도출하였다.



[그림 3-4-4-22] 펌프제어에 따른 관개시스템 말단의 압력해석 결과

[표 3-4-4-10] 펌프제어에 따른 시간단위의 압력해석 결과

시간	논관개		밭관개		간척지관개							
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
00:00	10.33	10.33	15.12	15.12	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13
01:00	16.16	16.16	15.09	15.09	16.17	16.17	16.17	16.17	16.17	16.17	16.17	16.17
02:00	16.13	16.13	15.04	15.04	16.13	16.13	16.13	16.13	16.13	16.13	16.13	16.13
03:00	16.09	16.09	14.95	14.95	16.09	16.09	16.09	16.09	16.09	16.09	16.09	16.09
04:00	16.03	16.03	15.84	15.83	16.03	16.03	16.03	16.03	16.03	16.03	16.03	16.03
05:00	15.95	15.95	15.72	15.71	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95
06:00	15.85	15.85	15.62	15.61	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85	15.85
07:00	15.69	15.69	15.42	15.40	15.75	15.75	15.75	15.75	15.75	15.75	15.75	15.75
08:00	15.07	15.07	15.26	15.25	15.38	15.38	15.37	15.37	15.37	15.37	15.37	15.37
09:00	14.15	14.14	14.67	14.65	14.66	14.66	14.66	14.66	14.65	14.65	14.65	14.65
10:00	13.87	13.86	18.38	18.35	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40
11:00	15.64	15.64	15.49	15.46	15.95	15.95	15.95	15.95	15.94	15.94	15.94	15.94
12:00	15.05	15.04	14.63	14.59	15.41	15.41	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40
13:00	12.33	12.31	18.34	18.30	13.35	13.35	13.33	13.33	13.32	13.32	13.32	13.32
14:00	12.74	12.73	17.84	17.80	13.95	13.95	13.94	13.94	13.93	13.93	13.93	13.93
15:00	14.13	14.13	18.97	18.92	15.18	15.18	15.18	15.18	15.17	15.17	15.17	15.17
16:00	14.42	14.41	18.36	18.32	15.10	15.10	15.10	15.10	15.09	15.09	15.09	15.09
17:00	14.74	14.74	18.12	18.08	14.87	14.87	14.87	14.87	14.87	14.87	14.87	14.87
18:00	15.13	15.13	19.03	19.02	15.16	15.16	15.16	15.16	15.16	15.16	15.16	15.16
19:00	16.08	16.08	15.86	15.86	16.09	16.09	16.09	16.09	16.09	16.09	16.09	16.09
20:00	15.98	15.98	15.91	15.91	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98
21:00	15.92	15.92	15.87	15.87	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
22:00	15.89	15.89	15.84	15.84	15.89	15.89	15.89	15.89	15.89	15.89	15.89	15.89
23:00	15.86	15.86	15.82	15.82	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87
24:00	15.84	15.84	15.78	15.78	15.84	15.84	15.84	15.84	15.84	15.84	15.84	15.84
평균	15.00	15.00	16.28	16.26	15.36	15.36	15.36	15.36	15.36	15.36	15.36	15.36

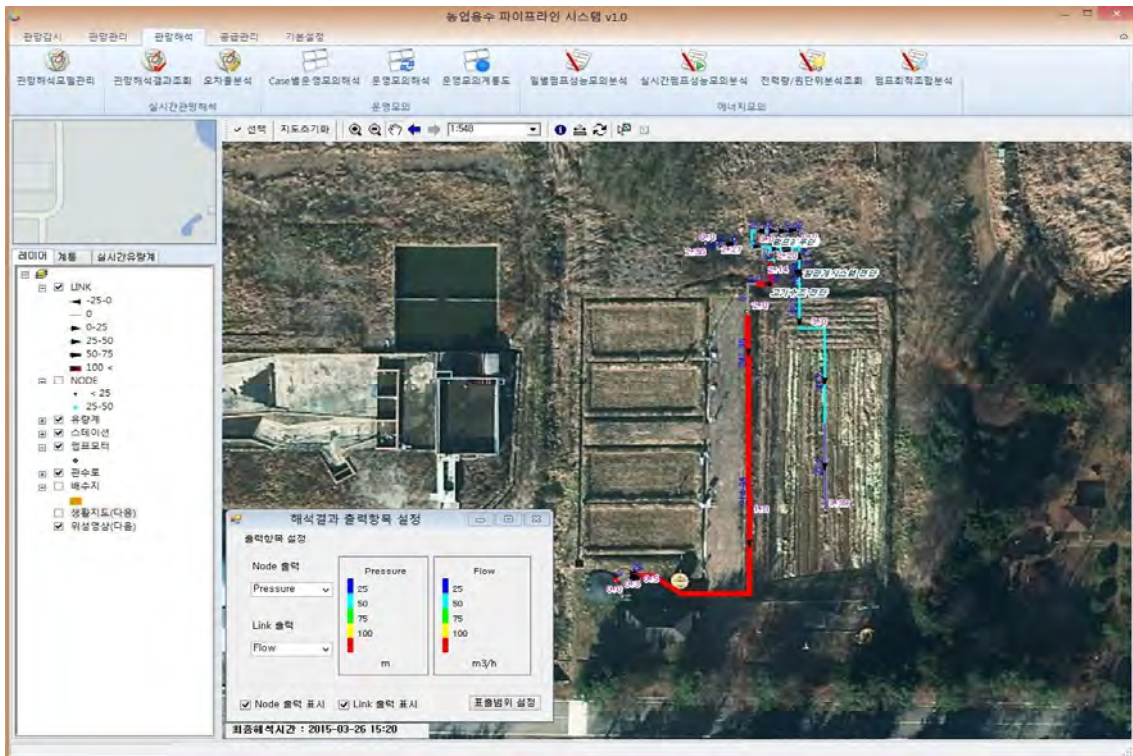


(라) GIS 모델 구축

- AutoCAD Map을 사용하여 도엽별 DXF 파일 병합
- AutoCAD Map의 Export 기능을 이용하여, 각각의 Shape 레이어로 변환

(마) 관망해석 모델 구축

- 모델 수정 및 검토
- 단계/계통/구간 중심 계통도 작성
- 모델 검토 및 확인
- 농촌용수 파이프라인 운영관리시스템 상에 해당 GIS 및 관망해석모델 적용



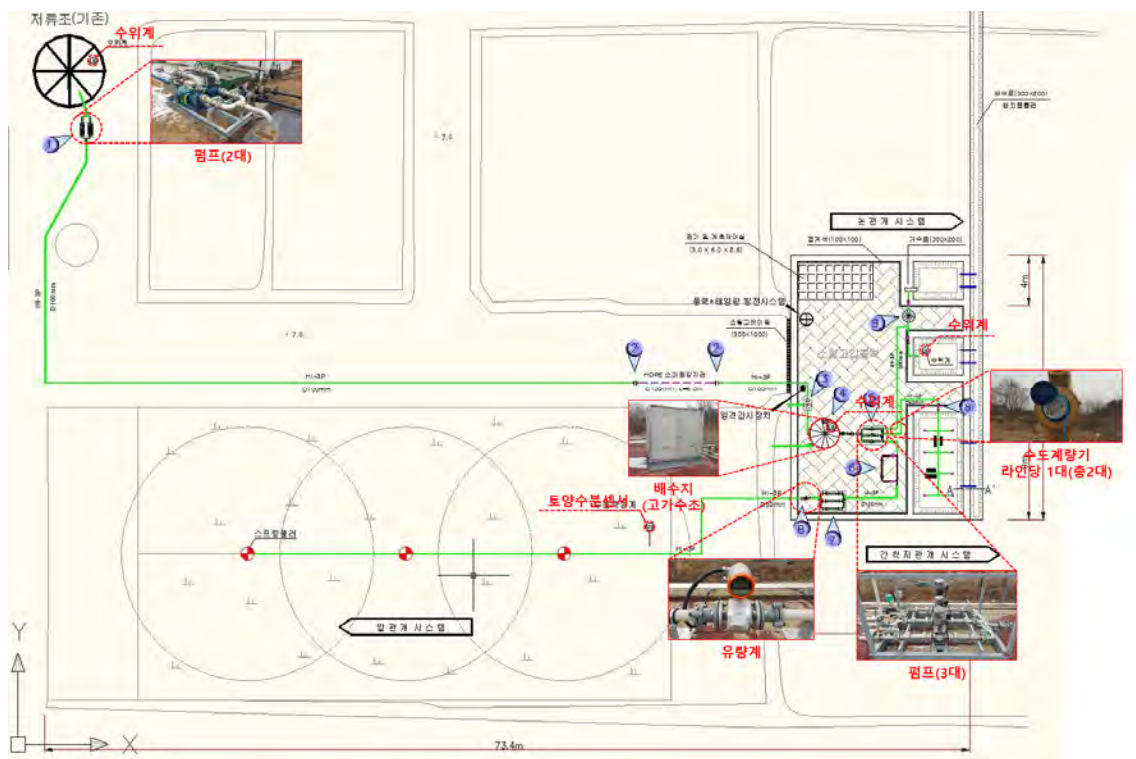
[그림 3-4-4-23] GIS 및 관망해석모델 적용결과

(바) 시스템 커스트마이징

- 기존에 개발된 농촌용수 파이프라인 운영관리시스템의 기능별 분석을 통해 커스트마이징이 필요한 주요기능을 추출하였으며, 해당기능에 대해서 설계 및 개발이 필요한 부분에 대한 정의를 진행하였다.
- 파일럿플랜트 시스템 구축을 위해서는 우선적으로 수집되는 데이터를 데이터베이스에 저장하여 이를 운영관리 시스템에서 활용할 수 있어야 한다. 이를 위해 수집되는 계측정보에 대한 분석을 수행하였으며, 수집정보가 어떻게 축적되는지를 파악하였다. 계측정보에 대한 내용 및 위치정보는 [표 3-4-4-11] 및 [그림 3-4-4-24]과 같다.

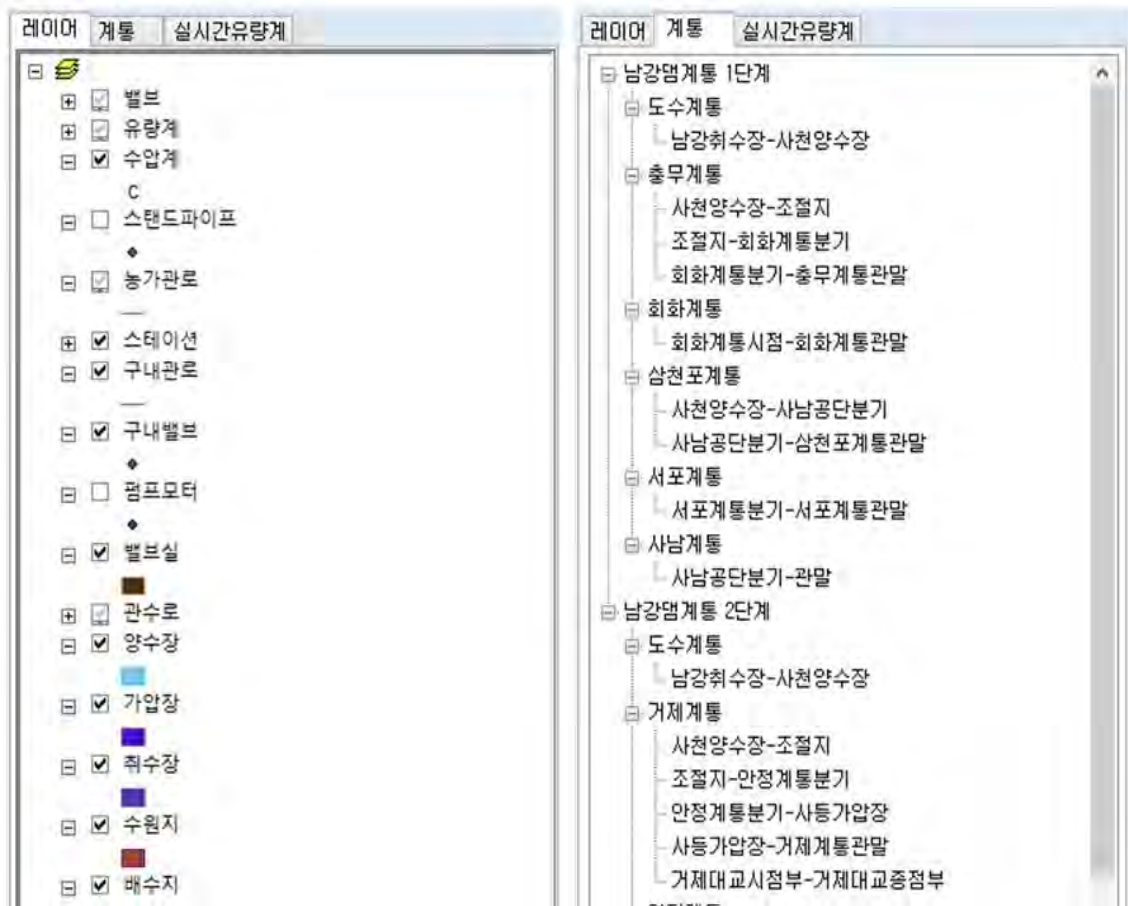
[표 3-4-4-11] 파일럿플랜트 계측정보

계측정보		내 용
수위정보	저류조	<ul style="list-style-type: none"> <li>파일럿플랜트의 수원이 되는 저류조의 수위 값</li> <li>출력 값 : 접점 2POINT(저점/고점)</li> </ul>
	고가수조	<ul style="list-style-type: none"> <li>각 관개시스템의 용수공급을 위한 고가수조의 수위 값</li> <li>출력 값 : 4~20mA(24VDC)</li> </ul>
	논관개 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>논관개 시스템 조의 수위 값</li> <li>출력 값 : 접점 2POINT(저점/고점)</li> </ul>
	간척지 관개시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>간척지관개 시스템 조의 수위 값</li> <li>출력 값 : 접점 2POINT(저점/고점)</li> </ul>
유량정보	저류조~고가수조	<ul style="list-style-type: none"> <li>저류조에서 고가수조로 공급되는 유량 값</li> <li>출력 값 : 4~20mA(24VDC)</li> </ul>
	고가수조~발관개	<ul style="list-style-type: none"> <li>고가수조에서 발관개 시스템 조로 공급되는 유량 값</li> <li>출력 값 : 4~20mA(24VDC)</li> </ul>
	수도계량기	<ul style="list-style-type: none"> <li>고가수조에서 논관개/간척지관개 시스템(각 1대)으로 공급되는 유량값(사용량)</li> </ul>
펌프정보	저류조~고가수조	<ul style="list-style-type: none"> <li>저류조와 고가수조 구간의 용수 공급펌프(2대)</li> <li>입력 값 : 4~20mA</li> </ul>
	고가수조~각 관개 시스템 조	<ul style="list-style-type: none"> <li>고가수조와 각 관개 시스템 조 구간의 용수 공급펌프(3대)</li> <li>입력 값 : 4~20mA</li> </ul>
토양수분센서	발관개 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>발관개 시스템 조의 토양수분</li> <li>출력 값 : pf값 출력(3.2)</li> </ul>



[그림 3-4-4-24] 파일럿플랜트 계측정보 위치도

- 데이터베이스에 저장되는 항목 및 조회가 필요한 데이터를 구분하고 이를 활용할 수 있도록 각각의 기능에 대한 구체적인 설계를 진행하였으며, 설계된 내용을 바탕으로 개발이 필요한 기능을 도출하였다.
- 주요기능에 대한 커스트마이징에 앞서 파일럿플랜트 상황에 맞도록 수집데이터를 데이터베이스에 저장하기 위해 전체 시스템에 공통으로 적용되어야 하는 레이어와 계통을 [그림 3-4-4-25]와 같은 형태로 정의하였으며, 축적되는 데이터를 운영관리 시스템을 통해 조회하고 해당 데이터를 활용하여 분석 기능을 수행할 수 있도록 선행 작업을 우선적으로 진행하였다.



[그림 3-4-4-25] 레이어 및 계통 정의 예시

### ① 관망감시

- 실시간모니터링 기능 적용을 위해서는 SCADA 시스템으로부터 수집되는 항목에 대한 정의가 필요하며, 항목이 선정될 시 운영관리 시스템 상에서 실시간 데이터를 표출하고 데이터베이스에 저장하여 조회를 할 수 있도록 데이터 테이블을 구성해야한다. 기 구축된 파일럿 시스템의 경우 수집항목은 크게 수원이 되는 저류지의 수위정보와 고가수조로 유입/유출되는 유량정보가 있으며, 각 관개시스템으로 유입되는 사용량에 대한 정보 및 펌프 운전정보 등이 있다.

- 동수두감시 기능의 경우 파일럿플랜트 시스템의 경우 관수로 및 펌프 등 주요설비의 고저차가 크지 않기 때문에 감시의 대상이 되지 않을 것으로 판단되어 커스트마이징 기능으로는 제외하였다. 기능이 구축될 시 축 범례를 최소화할 필요가 있다고 판단된다.
- 트렌드 조회 기능 및 실시간 경보 기능은 실시간 데이터가 반영되는 SCADA 시스템과 데이터베이스 상에 축적되어 있는 데이터를 불러오는 기능으로 기능 구현을 위한 별도의 설계가 필요하지는 않다고 판단되어 공통으로 적용된 계통을 기준으로 데이터를 조회할 수 있도록 하는데 중점을 두었다.
- 누수감시 기능의 누수판단에 대한 알람구분은 크게 [1]구간별 유량값 차이에 의한 누수판단, [2]한계치 설정에 의한 누수판단, [3]관파손 감지에 따른 누수판단으로 분류되어 있다. 판단 기준 중 [1]의 경우 실시간으로 유량값을 수집하는 SCADA 시스템과 연계하여 차이값을 산정하여 누수판단 결과를 제공하며, [3]의 경우 관파손 감지시스템과의 연계를 통해 누수카운트를 적용하여 할 수 있다. 이와 같이[1], [3]은 데이터를 수집하는 것만으로도 기능의 구현이 가능하나 [2]의 경우 관리자가 등록하고자 하는 임의의 한계치를 설정할 수 있는 기능이 필요하다고 판단되어, 관망관리의 누수량 산정 기능에 유입량 한계치를 설정할 수 있도록 기능을 구현하였다.

## ② 관망관리

- 패턴관리 기능은 데이터베이스 상에 축적되어 있는 데이터를 기준으로 유량패턴을 생성하고 조회하는 기능으로 기능 구현을 위한 별도의 설계가 필요하지는 않다고 판단되었으며, 공통으로 적용된 계통을 기준으로 유량데이터를 생성·조회할 수 있도록 시스템을 구현하였다.
- 데이터분석 기능 중 수질데이터 분석의 경우 공통사항인 계통(구간)이 분류되어 감시데이터를 시스템 상에서 모니터링하거나 조회하는 기능으로 수질계측기가 필요한 기능이다. 현재 파일럿 시스템에서는 수질계측기가 설치되지 않아 데이터를 조회할 수 없는 상황으로 본 연구에서는 우선적으로 수질데이터에 대한 데이터 테이블은 구성하고 향후 수질계측기 설치에 따라 기능 구현이 가능하도록 시스템을 구축하였다.
- 데이터분석 중 펌프 가동률 분석 기능은 파일럿플랜트 상에 설치된 펌프에 대한 정의가 필요하며, 펌프운전 데이터를 연계해야하는 부분으로 파일럿 시스템에 적용된 5대(수원-고가수조 : 2대, 각 관개시스템 유입펌프 : 3대)의 펌프를 분류하고 해당 펌프의 정보를 등록하여 기능 구현이 가능하도록 시스템을 커스트마이징 하였다.
- 수압관리 기능 또한 수질데이터분석 기능과 동일하게 공통사항인 계통(구간)이 분류되어 수압 감시데이터를 시스템 상에서 모니터링하거나 조회하는 기능으로 수압계측기가 필요한 기능이다. 현재 파일럿 시스템에서는 수압계가 설치되지 않아 데이터를 조회할 수 없는 상황으로 본 연구에서는 우선적으로 수압데이터에 대한 데이터 테이블은 구성하고 향후 수압계 설치에 따라 기능 구현이 가능하도록 시스템을 구축하였다.

- 손실률분석 및 누수량분석 기능은 초기 개발된 시스템의 경우 화면상에 손실률/누수량에 대한 결과만 표시되고 있어 사용자가 한 눈에 데이터를 파악하는데 어려움이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 수량변화에 따른 변화를 파악할 수 있도록 유입량 및 유출량을 추가적으로 화면에 표출하였다.
- 데이터분석, 손실률, 수압 등에 대한 보고서는 각 기능별 커스트마이징을 통해 출력하고자 하는 항목을 선정하였으며, 엑셀양식의 보고서 출력이 가능하도록 구현하였다.

### ③ 관망해석

- 관망해석을 위한 모델관리 기능은 초기 사용자의 편의를 위해 EPANET을 연계하여 화면상에서 관망도를 검토하고 수정이 가능하도록 시스템을 개발하였으나, 사용자에게 의해 임의 변경된 관망도가 GIS나 운영관리 시스템에 반영되기 어려운 시스템 환경 및 모델관리 문제로 인해 관망도의 물리적이 변경은 제한하고 속성에 대한 변경사항(펌프 ‘on/off’ 및 밸브의 ‘open/closed’ 등)이 시스템에 적용될 수 있도록 모델을 생성하고 관리할 수 있도록 시스템을 수정·변경하였다.
- GIS 정보가 반영된 관망해석 결과와 실시간으로 수집되는 유량·수압데이터가 연계된 실시간 관망해석의 경우 실시간으로 수집되는 유량 값에 따라 해석모델에 적용된 수용가(농가)의 Demand 값이 변경되는 형태로 구현되어 있다. 이로 인해 실시간 관망해석 수행을 위해서는 관로상에 정확한 유량계 위치정보가 정의되어야 하며, 해석결과와의 비교분석을 위해 해석모델의 관수로와 유량계/수압계 사이의 매핑이 이루어져야한다. 본 연구에서는 파일럿플랜트에 설치된 유량정보(유량계 : 2대, 수도계량기 : 2대)를 매핑하였다.
- Case별 운영모의해석 및 임의 운영모의해석을 위해 파일럿플랜트를 기준으로 마스터모델을 생성하였으며, 이를 이용해 모델을 복제하고 Case별 모의결과를 비교분석할 수 있도록 시스템 기능을 구성하였다. 또한, 파일럿플랜트의 계통(구간)을 반영한 운영모의 계통도를 작성하여 사용자가 주요지점에 대한 해석결과를 한눈에 확인할 수 있도록 시스템을 구현하였다.
- 에너지모의 기능을 수행하기 위해서는 파일럿플랜트에 설치된 펌프의 제원을 시스템 상에 등록하여야 한다. 앞서 정의된 계측정보의 [표 3-4-4-4]에서와 같이 펌프정보를 설정하였으며, 추가적인 정보(전력량, 원단위 등)를 검토하여 펌프최적조합 결과를 도출할 수 있도록 기능 최적화를 수행하였다.

### ④ 공급관리

- 계획사용량관리 기능에서 조회되는 데이터 중 공급량 데이터의 경우 데이터베이스 상에 축적되어 있는 데이터를 불러오는 기능으로 공통 적용된 계통 기준의 데이터를 조회하면 될 것으로 판단되나, 분석 작업이 필요한 계획사용량 및 수요예측량의 경우에는 프로그램 상에서 수요량 산정을 위한 수식 및 예측로직의 적용이 필요하다. 본 연구에서는 파일럿

플랜트에 수요량 산정 및 예측 로직 적용이 가능한지에 대한 적정성을 검토하였으며, 실시간 수집데이터와 각각의 로직에 대한 비교 결과를 제공할 수 있도록 로직 활용방안을 검토하였다.

- 강우/유효우량조회 기능을 검토한 결과 파일럿플랜트의 경우 유효우량 산정이 어려울 것으로 판단되어 우선적으로 강우정보 수집에 대한 커스트마이징을 수행하였다. 강우정보 수집의 경우 구축된 파일럿플랜트에 강우설량계가 존재하지 않아 계측기를 활용한 실시간 강우량 조회 기능의 구현이 불가능하였으며, 이를 해결하기 위해 기상청 데이터를 수집·활용할 수 있는 방안을 도출하였다.
- 분석기능인 수요예측 및 공급검토를 구현하기 위해 로직에 적용된 수집데이터를 분석하고 결과 표출방안을 검토하였다. 추후 시스템 테스트를 통해 파일럿플랜트에 최적화된 로직 수정이 필요할 것으로 판단된다.

#### ⑤ 기본설정

- 파일럿플랜트에 최적화된 운영관리 시스템의 주요기능에 대한 상위/하위 코드내용을 수정하였으며, 적용된 시스템 메뉴를 분류하는 작업을 수행하였다.
- [표 3-4-4-12]에서 커스트마이징이 필요한 주용기능을 구분하여 작업항목을 정의하였으며, 각 항목에 대해 설계/개발로 분류하였다.



[표 3-4-4-12] 시스템 커스트마이징 항목

주요기능		작업항목	내 용	비 고
공 통		관망도 구간(계통) 정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>구간(계통) 분류를 통해 조회 기능 사용시 분류된 지점의 데이터가 표출될 수 있도록 정의</li> </ul>	설계/개발
관망 감시	실시간 모니터링	모니터링 데이터 정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>SCADA 시스템(HMI)으로부터 연계되는 데이터로 실시간모니터링 화면에 테이블로 표시될 항목을 선정하고 각 항목의 수집정보를 정의</li> </ul>	설계/개발
	동수두 감시	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>파일럿플랜트의 경우 관로의 고저차가 크지 않아 동수두배에 큰 의미가 없는 기능 항목임</li> <li>공통사항의 경우 적용이 필요하며 데이터를 조회할 수 있도록 시스템 구현</li> </ul>	
	트랜드 조회	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>공통사항 적용</li> </ul>	
	실시간 경보	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>공통사항의 구간을 적용하며 기존의 경보구분(수리경보, 수량경보 등)을 유지</li> </ul>	
	누수감시	한계치 입력 기능추가	<ul style="list-style-type: none"> <li>누수알람 중 한계치 설정 항목에 대한 입력 기능 필요</li> <li>관망관리의 누수량 산정 기능에서 유입량 한계치 설정이 가능하도록 시스템 기능 수정</li> </ul>	개발
관망 관리	패턴관리	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>공통사항 적용</li> </ul>	
	데이터 분석	펌프시설 정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>수질데이터분석의 경우 공통사항인 구간이 분류되어 표출되나, 파일럿플랜트의 수질감시데이터가 없어 조회는 되지 않음(데이터 수집을 위한 데이터 테이블에 대한 검토 필요)</li> <li>펌프가동율분석의 경우 파일럿플랜트에 설치된 총 5대의 펌프에 대한 시설 구분 필요</li> </ul>	설계/개발
	손실률 분석	그래프 수정	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기 개발된 기능은 그래프에 손실률만 표시되는 상태임</li> <li>유입량과 유출량 데이터가 그래프에 표출되도록 수정 필요</li> </ul>	개발
	누수량 분석	그래프 수정	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기 개발된 기능은 그래프에 누수량만 표시되는 상태임</li> <li>유입량과 유출량 데이터가 그래프에 표출되도록 수정 필요</li> </ul>	개발

[표 3-4-4-12] 시스템 커스트마이징 항목(계속)

구 분		작업명	내 용	비 고
관망 관리	수압관리	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>공통사항인 구간이 분류되어 표출되나, 파일럿 플랜트의 수압감시데이터가 없어 조회는 되지 않음(데이터 수집을 위한 데이터 테이블에 대한 검토 필요)</li> </ul>	
	보고서	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>공통사항 적용</li> </ul>	
관망 해석	관망해석 모델관리	기능 수정	<ul style="list-style-type: none"> <li>기 개발된 시스템의 모델관리 기능은 단지 EPANET이 연동되는 형태임</li> <li>○해석모델의 수정 및 등록을 관리할 수 있는 형태로 수정 필요</li> </ul>	개발
	실시간 관망해석	유량계 정보 정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>관망해석결과조회시 경우 공통사항 적용으로 별도의 수정 없으나, 오차율 분석 기능의 경우 유량계 정보의 내용은 구축된 파일럿플랜트에 반영된 내용으로 수정 필요</li> </ul>	설계/개발
	운영모의	파일럿플랜트 모델 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>임의 등록된 마스터모델을 파일럿플랜트 모델로 변경하여 등록(모델분석)</li> </ul>	개발
		운영모의 계통도 수정	<ul style="list-style-type: none"> <li>파일럿플랜트의 계통을 반영하여 계통도 수정 필요</li> </ul>	설계/개발
	에너지 모의	펌프사양 정보 등록	<ul style="list-style-type: none"> <li>펌프시설 정의 결과 적용(시설구분)</li> <li>전력량, 원단위 등 사양정보 검토 후 적용</li> </ul>	설계/개발
공급 관리	계획사용량 관리	수요량산정 로직 적용 (계획사용량)	<ul style="list-style-type: none"> <li>공통사항 적용</li> <li>개발된 수요량 산정 로직 검토 후 적용(실시간으로 수요량 산정 로직이 적용되는지를 데이터 생성 스케줄러를 활용하여 검토)</li> <li>수요량 산정 데이터와 수요예측 로직결과의 비교검증을 통해 최적화된 로직 적용</li> </ul>	설계/개발
	강우정보	유효유량 검토 및 강우정보 수집	<ul style="list-style-type: none"> <li>강우량에 따른 유효유량 산정이 어려워 기능 구현이 어려울 것으로 판단됨</li> <li>강우량 조회를 위해 기상청 데이터 수집 검토</li> </ul>	개발
	수요예측	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>수요량 산정 데이터와 수요예측 로직결과의 비교검증을 통해 최적화된 로직 적용</li> </ul>	검증/개발
	공급검토	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>수요량 산정 데이터와 수요예측 로직결과의 비교검증을 통해 최적화된 로직 적용</li> </ul>	검토
기본 설정	코드관리	내용수정	<ul style="list-style-type: none"> <li>코드 및 메뉴 내용 수정</li> </ul>	



## 나. AMI 시스템 연계구축 및 기능구현

### (1) AMI Database와 시스템 연계방안

- AMI 시스템에서는 계측기에서 수집되어지는 데이터는 AMI Database에 저장되어 지고 관리되어 지며, 운영관리 프로그램은 별도의 Database에서 정보를 저장 및 관리되어 지고 있다.
- 운영관리 프로그램의 주요 기능 중 모니터링, 누수량분석, 수요예측 기능을 수행하기 위해서는 AMI에서 수집되는 검침량을 기초데이터로 활용해야 하므로 두 Database 간의 상호 연계가 필요하며, 이를 통해 파이프라인 운영관리 프로그램에서 정확한 모니터링 데이터 및 분석 결과를 얻을 수 있다.



[그림 3-4-4-26] AMI 시스템 데이터 활용

- AMI 시스템 및 파이프라인 운영관리 시스템 간의 Database를 연계하기 위해서는 여러 가지 방법들이 존재하나 본 연구에서는 크게 두 가지 방안에 대해 검토하였다.

#### (가) 일괄 데이터 연계 방식

- AMI 시스템에서 검침량 정보를 저장 시 운영관리 시스템 Database에 동시에 저장하는 방식을 검토하였다.
- 해당 방식의 경우, 똑같은 데이터가 동시에 두 개의 Database에 들어가는 장점이 있는 반면에, 하나의 Database에서 오류 및 문제가 발생할 경우, 해당 데이터는 사라지게 되거나 무한 루프가 발생하여 각각의 시스템이 느려지거나, 실행이 안 되는 문제점이 발생할 수 있다.

#### (나) DB 통신 데이터 연계 방식

- 각각의 Database 통신을 통하여 필요한 데이터만을 가져오는 방식으로써 AMI 시스템이 우선적으로 자신의 Database에 데이터를 저장하면, 운영관리 시스템에서 해당 데이터를 가져오는 방식을 말한다.

- 이러한 방식은 실시간으로 데이터가 동기화 되지 않는 문제가 발생할 수는 있으나, 간격을 조정하여 최소한의 시간 간격으로 줄일 수 있다.
- 운영관리 시스템에서는 View를 생성하여 필요한 데이터를 AMI Database에 요청하여 데이터를 불러올 수 있기 때문에 시스템의 성능에 별다른 문제점이 발생하지 않는 장점이 있다.
- 본 연구에서는 시스템 데이터 연계를 위해 두 번째 방식인 Database 통신을 이용한 연계 방식을 적용하였으며, AMI Database에서 가져오는 데이터 정보는 아래와 같다.

DB 테이블에 컬럼 변경사항		추가된 컬럼				
		삭제된 컬럼				
테이블	종류	컬럼	타입	널 허용	설명	
WATER_FLOW_HO [시단위 유량 데이터]	공급량	EXPORT	decimal(19, 3)	X	실공급량	
		REVISION_EXPORT	decimal(19, 3)	X	보정 실공급량	
		METER_EXPORT	decimal(19, 3)	X	지침공급량	
		REVISION_METER_EXPORT	decimal(19, 3)	X	보정 지침공급량	
		EXPORT_TOTAL_SUB_BLOCKS	int	X	실공급량 산출시 하위 총 소블록 개수	
		EXPORT_INVALID_SUB_BLOCKS	int	X	실공급량 산출시 하위 이상 소블록 개수	
	순시유량	MOMENT	decimal(19, 3)	X	실순시유량	
		REVISION_MOMENT	decimal(19, 3)	X	보정 실순시유량	
		METER_MOMENT	decimal(19, 3)	X	지침순시유량	
		REVISION_METER_MOMENT	decimal(19, 3)	X	보정 지침순시유량	
		MOMENT_TOTAL_SUB_BLOCKS	int	X	실순시유량 산출시 하위 총 소블록 개수	
		MOMENT_INVALID_SUB_BLOCKS	int	X	실순시유량 산출시 하위 이상 소블록 개수	
	WATER_FLOW_DA [일단위 유량 데이터]	순시유량 최소/최대/평균	MOMENT_MIN	decimal(19, 3)	X	실순시유량 최소
			MOMENT_MAX	decimal(19, 3)	X	실순시유량 최대
			MOMENT_AVG	decimal(19, 3)	x	실순시유량 평균
			REVISION_MOMENT_MIN	decimal(19, 3)	X	보정 실순시유량 최소
			REVISION_MOMENT_MAX	decimal(19, 3)	X	보정 실순시유량 최대
			REVISION_MOMENT_AVG	decimal(19, 3)	X	보정 실순시유량 평균
		METER_MOMENT_MIN	decimal(19, 3)	X	지침순시유량 최소	
		METER_MOMENT_MAX	decimal(19, 3)	X	지침순시유량 최대	
METER_MOMENT_AVG		decimal(19, 3)	X	지침순시유량 평균		
REVISION_METER_MOMENT_MIN		decimal(19, 3)	X	보정 지침순시유량 최소		
REVISION_METER_MOMENT_MAX		decimal(19, 3)	X	보정 지침순시유량 최대		
REVISION_METER_MOMENT_AVG		decimal(19, 3)	X	보정 지침순시유량 평균		
기타	IS_REAL_SET	decimal(3, 0)	X	실공급량, 실순시유량 데이터를 입력했는지 여부		

[그림 3-4-4-27] AMI Database 연계가 필요한 데이터 정보

(2) 연계를 통한 기능구현 방안

- WATER\_FLOW\_HO(시단위 유량 데이터) 와 WATER\_ROW\_DA(일단위 유량 데이터) 테이블에서 공급량, 순시유량, 순시유량 최소/최대/평균 데이터를 추출하는 View를 생성하여 일정시간동안 배치를 사용하여 데이터를 불러오도록 한다.
- 전달정보에 대해서는 AMI 와 운영관리 시스템과의 정보를 비교 분석하여 정확한 정보를 가져오게끔 구성하였으며, 서로 간에 정보가 맞지 않을 경우 운영자가 해당 정보를 조회하여 적절한 의사 결정을 할 수 있도록 시스템을 구성하였다.
- AMI 시스템에서 가져온 전달정보 및 검침량 데이터는 운영관리 시스템에서 사용하는 실시간 모니터링, 트렌드 감시 등과 같은 관망감시, 데이터 분석 및 누수량 분석과 같은 관

물관리, 실시간 관망해석 및 에너지모의와 같은 관망해석, 마지막으로 계획정보 및 수요 예측이 가능한 공급관리 기능 등과 같이 다양한 기능에 활용될 수 있도록 구현방안을 마련하였다.

## 5. ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리시스템 고도화

### 가. 운영관리 시스템 기능 고도화

#### (1) 계획정보 기능 고도화

- 공급관리 기능 중 계획정보는 실제 사용량(유량계 기준 사용량)을 계획사용량 및 수요예측량과 비교분석하는 기능으로써 현재 사용된 용수의 적정성을 판단하는데 활용될 수 있는 기능이다. 이러한 분석을 위해서는 실제사용량과 비교할 기준이 필요하며, 일반적으로 수요량 추정방식이 그 기준으로서 적용될 수 있다.
- 수요량 추정 방식을 검토하여 계획사용량으로 활용될 수 있는 방식을 채택하였으며, 해당되는 기능을 토대로 시스템 고도화를 수행하였다.

#### (가) 수요량 추정 방식

- 농업용수 수요량을 추정하는 데에는 다양한 방법이 있다. 전국적으로 적용하기에 적합한 방법으로는 경지에서 발생하는 각 작물별 사용수량, 즉 소비수량을 계측하여 전국적으로 누계하는 방식, 대표작물 및 계측지구의 단위필요수량이 구역을 대표한다는 가정 하에 전체 필요수량을 추정하는 방식, 작물성장에 필요한 증발산량을 정립된 이론 및 공식을 통하여 추정하는 방식 등이 있다.
  - 수요량의 추정방식은 각각 장단점을 가지고 있으며 현재 직접 적용하기 어려운 방법도 있다. 따라서, 본 연구에서는 농업용수 수요량을 산정하기 위하여 각 방식을 검토하여 시스템화 할 수 있는 기능을 개발하고자 하였다.
- ① 농업용수 사용수량을 계측하여 누계하는 방식
- 해당 방식은 논·밭 등에서 사용되는 농업용수를 직접 계측하여 농업용수 수요량을 추정하는 방식으로 실제 사용하는 농업용수를 가장 정확하게 추정할 수 있다는 장점을 가지고 있다.
  - 반면, 이 방식을 통하여 농업용수량을 산정하기 위해서는 광범위한 농업용수 계측망이 구축되어야 하며, 장기간의 실측자료를 필요로 한다는 단점이 있다. 현시점에서 해당 방식의 적용은 어렵다고 판단된다.
- ② 표본지구 및 대표작물의 단위수량으로 추정하는 방식
- 표본지구 및 대표작물의 단위수량으로 추정하는 방식은 구역별 표본지구 및 대표작물을 지정하고 이에 대한 실제 사용수량을 모니터링하여 수요량을 누계하는 방법으로서 앞서 설명한 방식보다 현실적인 추정방법이라 할 수 있다.

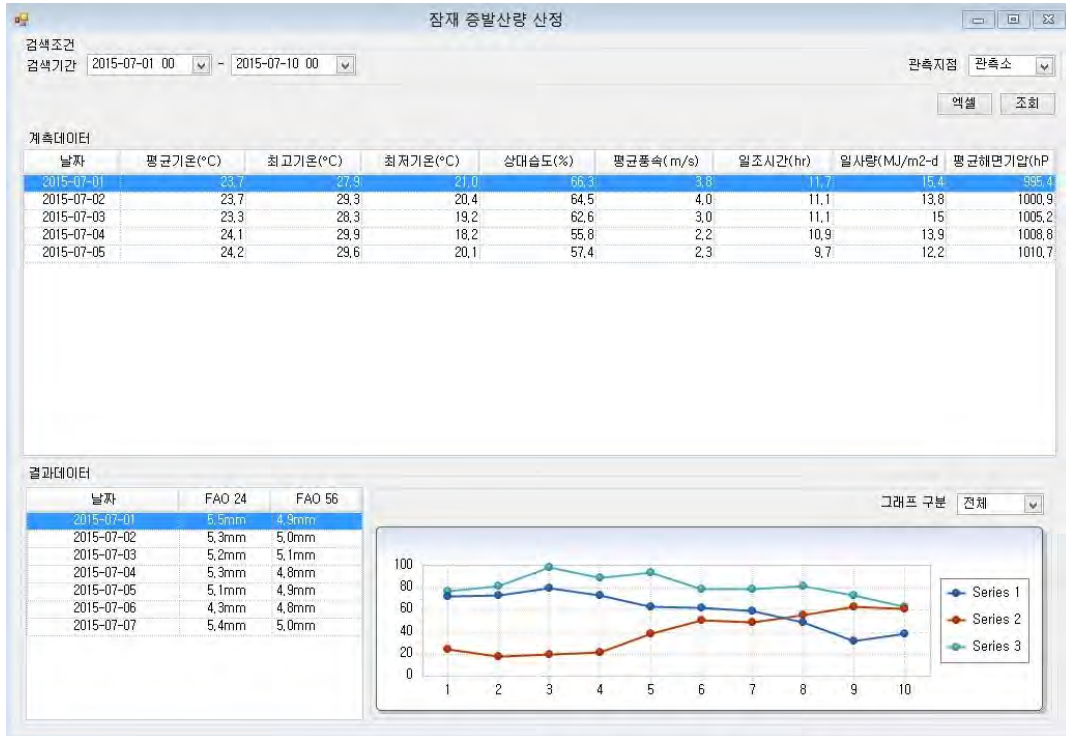
- 그러나, 대규모 관개구역과 소규모 관개구역사이에는 관리용수량 차이가 상당량 발생하기 때문에 구역면적에 따라 실측자료와의 오차가 발생할 가능성이 크며, 발작물의 경우 작물별 필요수량의 편차가 대단히 크고, 같은 작물이라 해도 기상상황에 따라 지역별 유효수량의 차이가 크기 때문에 적절한 대표작물 및 표본지구 선정의 어려움이 있다.

### ③ 증발산량 공식으로 추정하는 방식

- 본 방식은 작물성장에 필요한 증발산량을 산정하여 농업용수를 추정하는 간접적인 방법으로 실측자료 없이 농업용수 수요량 산정이 가능하며, 기상자료와 지역별 특성자료를 반영함으로써 지역별 시기별 편차가 매우 큰 농업용수의 특성을 고려할 수 있다. 또한, 이 방식에 적용하는 증발산량 추정이론이 실측자료를 바탕으로 하고 있으며, 오랫동안 수리시설물의 설계에 적용하고 있어 전국적으로 일관된 수요량을 추정이 가능하다.
- 하지만, 직접적인 계측에 의한 이용량이 아니기 때문에 분석기법에 따라 정확성에 대한 논란의 여지가 있다.

### (나) 잠재증발산량 산정 기능 개발

- 시스템 고도화 방안으로써 계획정보에 활용될 수 있는 수요량 추정 방식을 검토하였다. 검토 결과 시스템 특성상 데이터 수집 및 활용이 용이하고 일관된 분석 결과를 도출할 수 있는 잠재증발산량 산정 방식을 채택하였으며, 그에 대한 로직을 분석하였다.
- 추가적으로 개발된 잠재증발산량 산정 기능은 두 가지 형태(FAO24, FAO56)의 잠재증발산량을 산정할 수 있으며, 시스템 구축 현장에 따라 적용이 용이하도록 설정 기능을 별도 구성하였다.
- 잠재증발산량산정 기능은 평균기온, 최고기온, 상대습도 등 일단위의 기상정보를 수집하여 FAO24, FAO56에 따라 산정된 결과를 제공하며, 해당 기능뿐만 아니라 계획사용량관리 기능에서도 결과가 적용될 수 있도록 구현하였다. 또한, 잠재증발산량 산정에 사용되는 입력변수는 잠재증발산량 설정 기능에서 수정 가능하도록 개발하였다.
- 잠재증발산량 산정을 위한 입력변수를 설정하는 기능으로 FAO 24, FAO 56 산정 기준에 따라 시스템 구축지점의 변수를 수정하는 기능을 제공한다.



[그림 3-4-5-1] 잠재증발산량 산정

잠재 증발산량 설정

구분 FAO24

변수명	기호	설정값	단위
주야의 기후차에 의한 보정계수	C	1.00	
풍속계의 지상 높이	ha	14.70	m
관측소 노장의 해발 높이	H	33.60	m
관측소 위도		37.27	Dec, Deg.
Stefan Boltzman상수	e	1.171E-07	cal/cm <sup>2</sup> K.day
알베도	al	0.23	
일조가능시간	N	14.70	hr
f(ed)	a	0.39	
	b	-0.05	
f(n/N)	a	0.10	
	b	0.90	

잠재 증발산량 설정

구분 FAO56

변수명	기호	설정값	단위
관측소의 위치(위도)	lat	37.27	Dec, Deg.
풍속계의 지상 높이	z1	14.70	m
기압계의 해발 높이	z2	37.80	m
관측소 노장의 해발 높이	z3	33.60	m

[그림 3-4-5-2] 잠재증발산량 설정(상 : FAO24, 하 : FAO56)

## (2) 용수 수요예측

### (가) 지능형 신경망 모형의 현황 및 비교

#### ① 지능형 신경망 모형의 개요

- 지능형 신경망은 1943년에 McCulloch와 Pitts가 신경세포의 기능을 구현하는 최초의 모델을 발표하였다. 1949년에는 Hebb이 생물학적인 학습 원리를 발견하였는데 이것이 신경회로망의 학습에 관한 많은 연구를 촉진시켰다.
- 1958년에 발표된 Rosenblatt의 퍼셉트론(perceptron)의 수렴성 정리는 기존의 컴퓨터 알고리즘에 의한 연산으로 해결하기 어려운 문제를 효율적으로 접근할 수 있음을 보여 주었다.
- Widrow와 Hoff에 의해 ADALINE (adaptive linear element)이 제안되었으며, 지능형 신경망에 대한 연구는 1969년에 Minsky와 Papert에 의해 단층인식자가 XOR를 구현하지 못한다는 것이 증명됨으로써, 중단될 위기를 맞기도 하였다.
- 그러나 Werbos에 의해 최초로 제안되었고 많은 다른 연구자들에 의해 재발견되어 널리 알려진 역전파(back-propagation) 학습 방법을 사용한 다층인식자(multilayer feed-forward networks, multilayer perceptrons)에 의해 1980년대 중반 이후 다시 관심을 모으게 되었다.

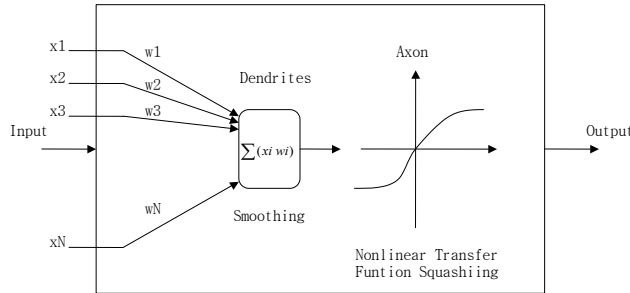
#### ㉠ 지능형 신경망 모형 기초 및 구조

- 신경망은 연결모형(connectionist model), PDP(parallel distribution processing), 또는 뉴로시스템(neuromorphic systems)이라고 불리는데, 인간 뇌의 구조를 컴퓨터로 구현하고자 개발된 개념이다. 그러므로 신경회로망을 구성하는 기본 단위도 신경단위(neuron)이며, 모두 단순한 계산 소자의 연결을 통해 좋은 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다.
- [그림 3-4-5-3]은 신경세포의 학습과정을 모의하기 위하여 수학적 모형으로 나타낸 인공적 신경단위를 도시한 것이다. 이 인공적 신경단위에서는 수상돌기를 통해 전달 받는 입력(input)이 시냅스에서 연결강도의 변화를 겪는 것을 모의하기 위하여 가중치(weight)를 고려하였으며, 이들의 가중합(weighted sum of inputs)을 세포체에서 해석하여 축색돌기를 통하여 전달하는 출력값을 모의하기 위하여 전달함수(transfer function)가 고려되었다. 이를 수학적으로 표시하면 다음 식(3-18)과 같다.

$$y_k = f\left(\sum_{j=1}^p w_{kj}x_j - \theta_k\right) \quad (3-18)$$

- 여기서  $x_j$ 는  $j$ 번째 신경단위의 입력신호로서 0 또는 1의 값을 갖는다.  $w_{kj}$ 는  $j$ 번째 신경단위로부터  $k$ 번째 신경단위로 연결되는 시냅스의 연결강도를 나타내며,  $\theta_k$ 는 각 세포가 가지는 고유값으로서  $k$ 번째 신경단위의 임계값을 나타낸다.  $f()$ 는 계산된 결과의 범위를 제공하는 전달함수이며,  $y_k$ 는 출력값이다. 여기서 전달함수는 처리소자의 동작범위를 제공하는 함수로서 선형함수, 계단함수(step function), 선형계단함수(linear threshold

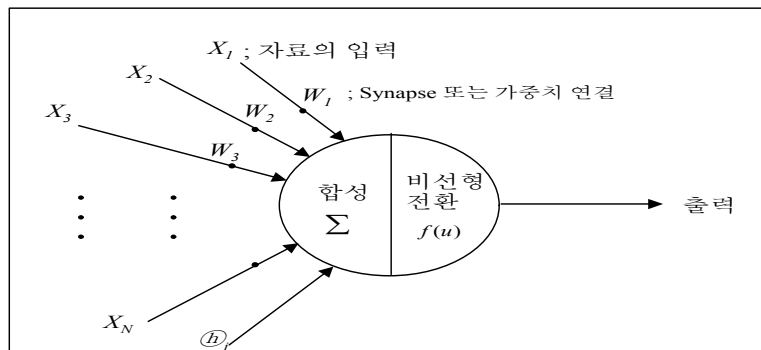
function), 시그모이드함수(sigmoid function) 그리고 가우시안(gaussian)함수 등이 있으며 전달함수에의해서 계산된 결과가 어떤 임계치를 초과하면 그 값을 처리소자의 출력값으로 하며 그렇지 않을 경우 학습에 필요한 연결강도의 조정량에 영향을 미치지 않는 값을 출력하게 된다.



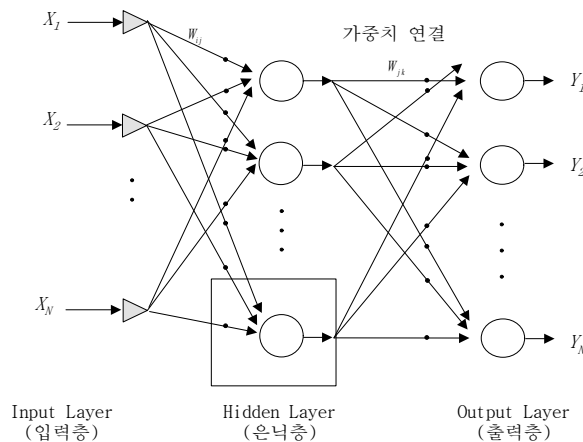
[그림 3-4-5-3] 인공적 신경단위의 처리 구조

㉔ 지능형 신경망 모형화 기법

- 하나의 신경단위의 기본적인 역학은 [그림 3-4-5-4]와 같이 수리 모형화 할 수 있으며 이러한 각각의 신경단위들은 일반적으로 [그림 3-4-5-5]와 같이 다층구조(multi-layer structure)로 병렬적으로 연결되어 입력된 신호는 전방향(feed-forward)으로 전달이 가능하다. 이를 다층전방향신경망(multi-layer feed-forward neural network, MFN)이라한다.



[그림 3-4-5-4] 신경단위의 수리 모형화(McCulloch & Pitts, 1954)



[그림 3-4-5-5] 다층전방향신경망의 구조

㉔ 신경단위간의 역학

- 입력 정보는 입력층(input layer)으로 들어가며 입력층에서의 신경단위들은 단지 그 자료를 다음 은닉층(hidden layer)의 노드(node)들로 가중 연결(weighted connection)에 의해 전달된다. [그림 3-4-5-5]에서 입력자료는  $x_i$ 이며  $i_I$ 는  $1, \dots, N_I$ 로 나타낼 수 있고,  $N_I$ 는 입력 자료의 차수(dimension)이다.
- 각 은닉층의 노드들은 모든 입력층으로부터 각기 다른 연결강도(weight)에 의해 변환된 자료들을 받으며, 각 노드는 합산(summation)된 자료들을 일반적으로 시그모이드나 하이퍼볼릭 탄젠트(hyperbolic tangent) 함수에 의해 비선형적으로 변환시켜 가중 연결에 의해 출력층(output)의 노드로 전달한다. [그림 3-4-5-5]에서 은닉층 노드로의 가중된 입력은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$h_j = \sum_{i=0}^{N_I} w_{ij} X_i + \theta_j, \quad j = 1, \dots, N_H \quad (3-19)$$

- 여기서  $N_H$ 는 은닉층 노드의 수이고  $\theta_j$ 는 은닉층  $j$ 번째 노드의 편차입력이며  $w_{ij}$ 는 입력층의  $i$ 번째 노드와 은닉층  $j$ 번째 노드 사이의 가중치를 말한다. [그림 3-4-5-5]에서 은닉층의 노드로부터의 출력은  $H_j$ 는  $f(h_j)$ 로 나타낼 수 있다. 은닉층에서 사용된 대표적 전달 함수는 비선형 변환 함수로 식(3-20)의 시그모이드 함수와 식(3-21)의 하이퍼볼릭탄젠트 함수를 들 수 있다.

$$f(u) = \frac{1}{1 + e^{(-u)}}, \quad f'(u) = f(u)(1 - f(u)) \quad (3-20)$$

$$f(u) = \tanh(u) = \frac{1 - e^{(-u)}}{1 + e^{(-u)}} \quad (3-21)$$

- 각 출력층의 노드들은 모든 은닉층으로부터 각기 다른 가중치에 의해 변환된 자료들을 받으며, 각 노드는 합산된 자료들은 출력값의 목적에 따라 이진값의 출력을 위한 결합 함수, 연속값의 출력을 위한 선형 또는 비선형함수에 의하여 변형시켜 출력하며 그 값이 지능형 신경망의 목적하는 출력값이 된다. 출력층 노드로의 가중된 입력은 식(3-22)로 나타낼 수 있다.

$$h_k = \sum_{j=0}^{N_H} w_{jk} H_j + \theta_k, \quad k = 1, \dots, N_o \quad (3-22)$$

- 여기서,  $N_o$ 는 출력층 노드의 수를 나타내고  $\theta_k$ 는 출력층  $k$ 번째 노드의 편차입력을 나타내며  $w_{jk}$ 는 은닉층  $j$ 번째 노드와 출력층  $k$ 번째 노드 사이의 가중치를 말한다. 또한, 출력층 노드로부터의 출력은  $Y_k$ 는  $f(h_k)$ 로 나타낼 수 있으며 선형변환함수  $f(u)$ 는 식 (3-23)로 나타낸다.



$$\text{Signum변환 } f(u) : \begin{array}{lll} f(u)=1 & \text{if} & u > 0 \\ 0 & \text{if} & u = 0 \\ -1 & \text{if} & u < 0 \end{array} \quad (3-23)$$

- 위의 다층전방향신경망이 가진 역학에 의한 출력을 다시 정리하여 보면 식(3-24)로 나타낼 수 있다.

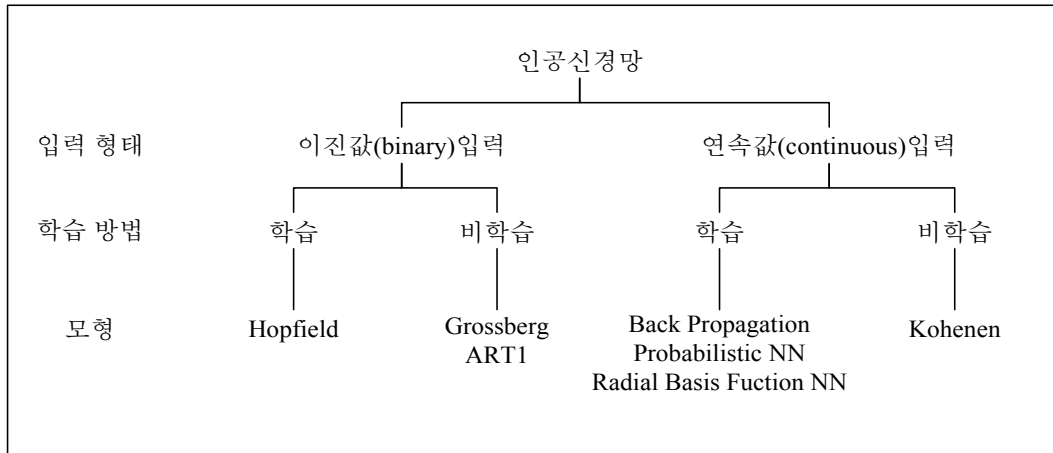
$$Y_k = f \left[ \sum_{j=0}^{N_H} w_{jk} \left( \sum_{i=0}^{N_H} w_{ji} X_i \mathcal{G}_j \right) + \mathcal{G}_k \right] \quad (3-24)$$

- 이는 NI 차원의 입력 패턴  $X$ 을  $N_0$ 차원의 출력패턴으로 비선형 변환시키기 위한 관계 공식이며(C: RNIRNI), 어떠한 입력과 출력의 패턴도 서로 관계를 맺어 주는 가장 일반적인 패턴 인식기(pattern recognition)의 역할을 한다. 이러한 패턴인식의 기능은 크게 두 부류로 나뉠 수 있는데 함수근사(function approximation)와 패턴분류(pattern classification)이다.

#### ㉔ 지능형 신경망의 학습과 분류

- 뇌의 작용은 오랜 기간 또는 반복되는 학습(training and learning)에 의하여 이루어진다. 예를 들어 만약 우리가 여러 번 보아왔기 때문에 이미지가 뇌에 적절히 학습되어 있는 친구를 낯선 곳에서 멀리 떨어져간다고 할 때 우리는 어느 정도의 실패 허용한도(fault tolerance)내에서 그를 인식할 수 있다. 이러한 학습의 과정은 지능형 신경망에서도 수행되며 두 가지 종류가 있으며, 하나는 감독학습(supervised learning)이고 다른 하나는 비감독학습(unsupervised learning)이다.
- 감독학습은 모형을 위하여 수집된 기존의 학습 입력패턴과 출력패턴의 쌍으로 구성되는 학습패턴  $[X_i^n, Y_k^n | n = 1, \dots, N]$ 을 지능형 신경망에 입력하여 계산치와 목적치의 오차  $E = 1/N \sum (X_i^n - Y_k^n)^2$ 를 목적하는 오차한도까지 최소화(minimization) 시켜가며 지능형 신경망 모형의 매개변수인 각 층간의 가중치들과 편차들을 변환시켜 나가는 방법으로 경사하강법(Gradient Decent Method), 시뮬레이트 어닐링(Simulation Annealing) 등 여러가지 수치해법이 이용될 수 있다. 가장 널리 사용되는 감독학습은 오차를 역으로 전파하는 역전파알고리즘(Back Propagation Algorithm, Rumelhart 등, 1986)이다. 감독학습은 비교적 적은 매개변수를 사용하는 반면에 긴 학습시간이 요구된다. 또한 최적화(optimization) 기법 및 영상처리에 주로 응용되는 호프필드 신경망(Hopfield, 1982) 함수근사를 위하여 개발된 방사형기저함수 신경망(Radial Basis Function Neural Network, Poggio 등, 1990)도 널리 사용되고 있다.
- 비감독학습은 기존의 수집된 자료없이 지능형 신경망 모형 자체적으로 경쟁(competitive) 또는 자기조직화(self-organization)에 의하여 가중치들을 산정하며, 이는 일반적으로 감독학습에 비하여 더 많은 매개변수를 요구하나 그 학습 시간은 짧다. 비감독학습을 사용하

는 지능형 신경망은 ART1&2(Grossberg, 1976), 일반적으로 베이시안(bayesian) 분류 이론에 근거하여 패턴의 분류기(classifier)로 사용되는 확률적신경망(probabilistic neural network, Spetch, 1991), 공간자료의 해석 및 회귀분석 등에 사용되는 코헤넨 신경망(Kohonen, 1977)등이 있다. [그림 3-4-5-6]은 입력형태와 학습방법에 따른 지능형 신경망의 분류를 보여주고 있으며, [표 3-4-5-1]은 대표적인 지능형 신경망을 나타낸다.



[그림 3-4-5-6] 입력형태와 학습방법에 따른 지능형 신경망의 분류

[표 3-4-5-1] 대표적인 신경망 모형

구분	신경망 모형	연구개발자	연도	주요응용분야	비고
자율학습	Clustering Network	T. Kohonen	1988	패턴 및 데이터 분류	
	Self-Organizing Maps	T. Kohonen	1982	기하학적 영역에서 2차원 또는 3차원 영역으로 맵핑(Mapping)	
	Adaptive Resonance Theory	G. Carpenter S. Grossberg	1974	잡음이 있는 신호인식	
지도학습	Perceptrons	F. Rosenblatt	1957	문자인식	
	Madaline	N. Nilsson	1965	패턴인식, 적응제어	
	Neo-cognition	K. Fukushima	1980	문자인식	
	Back-propagation	W. Werbos D. Rumelhart	1985	문자인식 비선형계 예측	
기억방법	Hopfield Networks	J. Hopfield	1982	연상 기억 장치	
	Linear Associative Memory			연상 기억	
	Bidirectional Associative Memory	B. Kosko	1985	Contnet-addressable 연상기억장치	
통계적 방법	Boltzman Machines	G. Hinton T. Sejnowski	1984	최적화문제	
	Simulated Annealing	S. Kirkpatrick	1984	최적화문제	
	Cauchy Machine	H. Szu	1986	최적화문제	
자율, 지도 학습	Counter-propagation	Hecht-Nielsen	1986	영상압축, 패턴분류	

## ② 지능형 신경망의 특징 및 모형화

### ㉠ 지능형 신경망의 특징

○ 신경망은 개개의 신경단위가 주어진 입력에 따라 학습하게 되면, 다수의 신경단위가 서로 다른 강도로 결합되어 하나의 망을 구성하게 됨으로써 기존 컴퓨터의 계산 알고리즘과는 다른 다음과 같은 여러 가지 특징이 있다.

#### ○ 비선형성(nonlinearity)

- 신경망은 출력값의 목적에 따라 입력 또는 은닉층의 자료들을 비선형 함수에 의해 변형되어 출력하게 되는 비선형의 특징을 가진다. 따라서 비선형적인 특성을 갖는 자연계 대부분의 수문사상의 입출력 모의에 보다 더 정도 높은 결과를 도출하는 것이 가능하다.

#### ○ 학습을 통한 모형 구축

- 신경망은 벡터형태로 주어지는 여러 예제를 학습함으로써 모형이 구축된다. 이러한 데이터들은 영상, 음성신호, 센서 데이터 또는 기타의 정보들로 구성되는 것들이다. 일반적으로 이용되는 학습 시나리오는 목표패턴이 주어지는 지도학습으로 입력패턴과 그에 대한 출력이 학습의 방향이 된다. 신경망은 이러한 예제들로부터 반복적인 학습에 의해 내부적인 연결강도를 조정하게 된다. 즉, 기존의 컴퓨터 프로그램은 미리 정해진 알고리즘에 따라 순차적으로 수행되는데 반해, 신경망은 입력값과 출력값으로 원하는 결과를 출력할 수 있도록 학습되어짐으로써 모형이 구축된다.

#### ○ 높은 적응성(adaptivity)

- 신경망 모형은 반복된 학습에 의하여 가중치를 결정하는 비매개변수법(nonparametric approach)으로 입력과 출력의 형태의 변화에 자유롭고 일정한 함수에 얽매이지 않아 이미 설정된 신경망 모형을 문제의 목적에 따라 자유롭게 변환할 수 있다.

#### ○ 분산된 형태로 정보 저장

- 특정한 정보가 특정한 장소에 저장되는 전통적인 기억방식과는 달리 신경망은 정보들을 분산하여 저장한다. 즉, 하나의 형태를 하나의 장소에 저장하지 않고 여러 형태를 전체 구조 속에 분산하여 동시에 저장하게 되는 것이다. 따라서 신경망은 구조 내에 일부 정보가 파손되어도 제대로 작동할 수 있으며 이런 점에서 신경망은 오차 허용시스템(fault tolerant system)으로도 분류된다.

#### ○ 병렬 분산처리

- 두뇌는 고도의 병렬분산성을 이용하여 현재의 컴퓨터가 처리하기 힘든 패턴인식을 짧은 시간에 수행할 수 있다. 기존의 컴퓨터에 의한 작업이 하나의 알고리즘에 의해 순차적 처리를 하는 반면에 신경망은 본질적으로 다수의 모듈이 서로 영향을 주며, 동시에 서로 다른 처리를 실행하는 병렬 분산처리를 한다. 이러한 병렬 분산처리에 의해 신경망은 기존의 직렬형 컴퓨터에서는 수행하기 힘든 여러 분야에서 빠른 계산능력을 발휘할 수 있다.

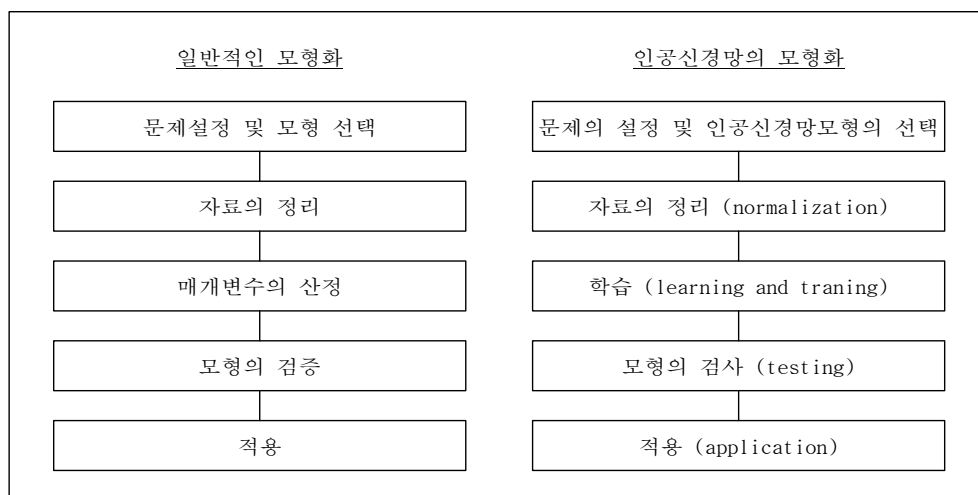
○ 시스템의 견고성 및 결점에 강함

- 많은 노드와 링크로 복합적으로 연결되어 있어서 시스템이 매우 견고하다. 따라서 몇 개의 처리소자 또는 노드나 링크에 손상이 가도 전체적인 성능에는 크게 심각한 영향을 미치지 않는 장점을 가지고 있다.

㉞ 지능형 신경망의 모형화

○ 지능형 신경망은 [그림 3-4-5-7]과 같이 일반적인 모형과 비교하여 다섯 단계의 모형화 절차를 가진다. 먼저 적용하고자 하는 문제를 설정하여야 하며, 또한 문제에 맞는 지능형 신경망 모형을 선택하여야 한다. 여러 지능형 신경망 모형 중에서(역전파알고리즘 신경망, 방사형기저함수망 신경망, 확률론적 신경망, 호프필드 신경망, 코헤넨 신경망 등) 적절한 모형의 선택은 응용하고자 하는 문제의 특성과 지능형 신경망 모형의 특성을 함께 고려하여 선택되어야 한다. 문제가 설정되고 지능형 신경망 모형이 선택된 후에는 실제로 수집된 또는 측정된 입력과 출력의 학습패턴을 정리해야 한다. 이 단계는 일반적인 모형에서의 자료의 전처리(preprocessing) 단계로, 이때 일반적으로 자료의 특성을 변환시키지 않는 범위에서 입력과 출력 학습 패턴을 0.1 ~ 0.9 사이의 값으로 단순정규화(normalization) 하는데 그 원인은 입력값 사이의 또는 입력값과 출력값 사이의 차원을 일치시키기 위함이다.

○ 다음으로는 수집 또는 측정된 후 정리된 입력 및 출력 학습패턴을 사용하여 학습을 수행한다. 이 절차는 선택된 지능형 신경망 모형의 종류에 따라 그 학습방법이 달라진다. 학습 단계에서는 일반적으로 선택된 모형의 구조(topology)를 결정하고 그 구조에 필요한 가중치 또는 매개변수들을 산정한다. 또한, 입력과 출력 자료의 수, 층의 수, 각층 노드의 수, 각층을 위한 활성화변환함수 및 적정 학습방법 등을 살펴서 가장 적절한 구조를 택하여야 하며 감독학습의 경우 가중치 업데이트를 위한 반복횟수 및 오차의 허용범위 등을 고려하여 학습방법 또한 신중하게 선택해야한다.



[그림 3-4-5-7] 일반적인 모형화 및 인공신경망 모형화 절차

○ 학습이 완료된 지능형 신경망 모형 학습에 사용되지 않은 실측자료를 이용하여 그 모형

의 실행능력(performance) 및 적합성(fitness)을 검증(validation)하는 단계는 지능형 신경망의 용어로는 검사(testing)의 단계이다. 실제로 지능형 신경망에서 학습의 목적은 학습시 사용되지 않은 자료에도 그 학습된 지능형 신경망 모형이 일반화(generalization)될 수 있도록 하는 것이므로 모형의 학습과 검사의 과정은 동시에 수행되어야 하며 이 과정을 통하여 적정한 지능형 신경망 모형 및 구조가 결정되어야 한다. 학습패턴에 의한 학습오차(training error)는 반복학습이 진행되는 동안 그 오차는 빠르게 계속적으로 감소하다가 일반적으로 어떤 시점부터는 증가한다. 이 최소 검사오차점이 최적모형을 선택할 수 있는 시점이며 경험적으로 이때 모형의 학습을 멈추어야 하는데, 그 이유는 최소 검사오차점 이후는 모형의 학습에 의해 학습패턴이 가지고 있는 잡음까지도 학습하여 모형이 과다적합되는 문제를 야기하여 일반화에 실패할 수도 있기 때문이다.

## (나) 지능형 신경망 용수수요예측모형 개발

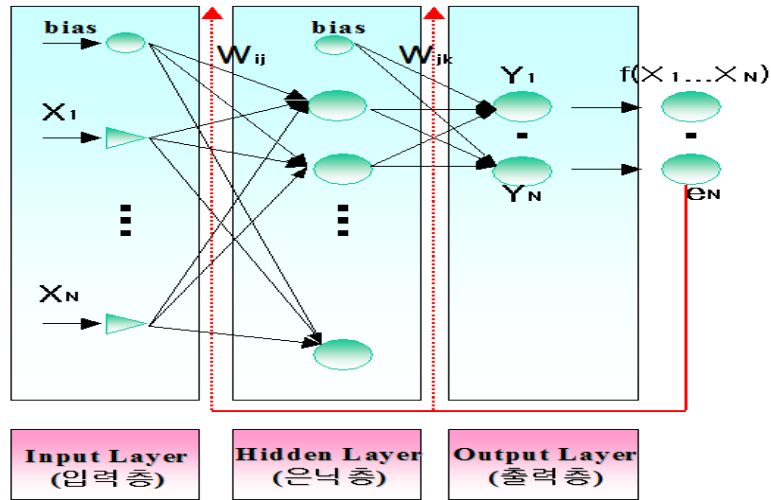
### ① 역전파알고리즘(Back-Propagation) 구조

- 본 연구에서 사용된 신경망 알고리즘은 역전파 알고리즘으로 역전파는 신경망을 학습시키는데 가장 많이 사용되는 알고리즘이다. 역전파 방법은 네트워크 에러 함수를 최소화하는 경사하강법(gradient descent)과 일반화된 델타(delta) 법칙에 의해 지배받는 학습을 가지는 망이다. 이 알고리즘은 처음에 Werbos(1974)에 의해서 개발되었지만 그 강력한 기능은 오랫동안 인식되지 못하였고, Rumelhart 등(1986)에 의해 알고리즘이 다시 개발되어 맵핑(mapping)문제에 대한 은닉 절점의 학습방법을 보여줌으로써 많이 사용되게 되었다.
- 이 모형의 네트워크는 [그림 3-4-5-8]에서와 같이 입력층, 출력층, 많은 수의 은닉층으로 구성되어 있다. 각 층에서의 절점은 정보를 받아 저장하고 처리하는 역할을 하고 다음 층의 절점과도 연결된다. 학습의 시작 단계에서 모든 가중치는 무작위의 작은 수로 초기화되며, 이러한 가중치는 일반화된 델타법칙 또는 경사하강법 원칙을 사용하여 반복적으로 갱신되거나 수정된다. 학습 과정은 연결과 관련된 값이 적당한 변화를 보이지 않거나 어떠한 중지 기준에 만족될 때 멈추게 된다. 따라서, 역전파 네트워크의 학습은 두 가지 측면으로 구성된다. 입력층에서 출력층으로 정보의 처리가 일어나는 전방향 과정과 출력층에서 입력층으로 에러가 역방향으로 전달되고 연결 강도가 수정되는 과정이다. 네트워크의 학습 자료는 입력층에서 출력층으로 전달된다.
- 네트워크의 출력은 목적치와 비교되고 에러가 계산된다. 이러한 에러는 네트워크의 각 절점을 역방향으로 전달되고 식(3-25)에 기반을 두어 연결 강도가 조정된다.

$$\Delta w_{ij}(n) = -\epsilon \times \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} + \Delta w_{ij}(n-1) \quad (3-25)$$

- 여기서,  $\Delta w_{ij}(n)$ 와  $\Delta w_{ij}(n-1)$ 는 n번째와 n-1번째 학습 중 절점 i와 j 사이의 가중치 증가분이다. 최적의 편차 값을 구하는 방정식 또한 비슷하다. 식(3-25)에서  $\epsilon$ 와  $\alpha$ 는 각각 적응학습률(adaptive learning rate)과 모멘텀(momentum)이다. 모멘텀은 에러 표면에서 평편한 부분에서의 학습속도를 높여주고, 가중치의 발산(oscillations)을 막아줌. 학습률은 전

체 최소값 대신 국부 최소값에 도달하는 것을 방지한다.



[그림 3-4-5-8] 지능형 용수수요예측 신경망 모형

## ② 학습 절차

- 본 연구의 모형 구축에 사용된 역전파모형의 알고리즘의 절차는 다음과 같다.
- 우선 각 입력 절점  $X_i (i=1,2, \dots, n)$ 은 입력 신호  $X_i$ 를 받고 이 신호를 다음 층의 모든 절점(은닉 절점)에 보낸다. 각 은닉 절점( $Z_j, j=1,2, \dots, p$ )은 가중치가 부여된 입력 신호를 합하며 그 단계는 식(3-26)로 나타낼 수 있다.

$$Z_{in_j} = v_{oj} + \sum x_i v_{ij} \quad i=1,2, \dots, n \quad (3-26)$$

- 여기서,  $v_{ij}$ 는 연결강도이고  $v_{oj}$ 는 편차이다. 출력 신호를 계산하기 위해 위의 값을 활성화 함수에 대입하면  $Z_j = f(Z_{in_j})$ 로 나타낼 수 있고, 이 신호를 다음 층의 모든 절점에 보낸다. 일반적으로 역전파 알고리즘의  $f$ 는 다음과 같은 시그모이드 형태의 비선형 함수이다.

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (3-27)$$

- 각 출력 절점에서는 은닉 절점에서의 출력치에 강도를 곱한 후 합을 행하며 식(3-28)로 나타낼 수 있다.

$$Y_{in_k} = w_{ok} + \sum z_j w_{jk} \quad j=1,2, \dots, n \quad (3-28)$$

- 그리고 출력신호를 계산하기 위해 위의 값을 활성화 함수에 대입하면  $Y_k = f(Y_{in_k})$ 로 나타나고 그 후에 에러를 역방향으로 전파하게 된다. 그런 후 각 출력 절점들은 목적패턴과 비교하여 에러 정보를 계산하고 그 항은 식(3-29)로 표현 할 수 있다.

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(Y_{in_k}) \quad (3-29)$$

- $w_{jk}$ 를 갱신시키기 위하여 강도와 관련된 항을  $\Delta_{jk} = \partial\delta_k Z_j$ 로 계산하고 편차와 관련된 항을  $\Delta w_{ok} = \alpha\delta_k$ 로 계산하고  $\delta_k$ 를 앞층의 절점으로 보낸다. 각 은닉 절점( $Z_j, j=1,2,\dots,p$ )은 다음 층에서부터 입력된 값을 합하여 식(3-30)으로 나타낼 수 있다.

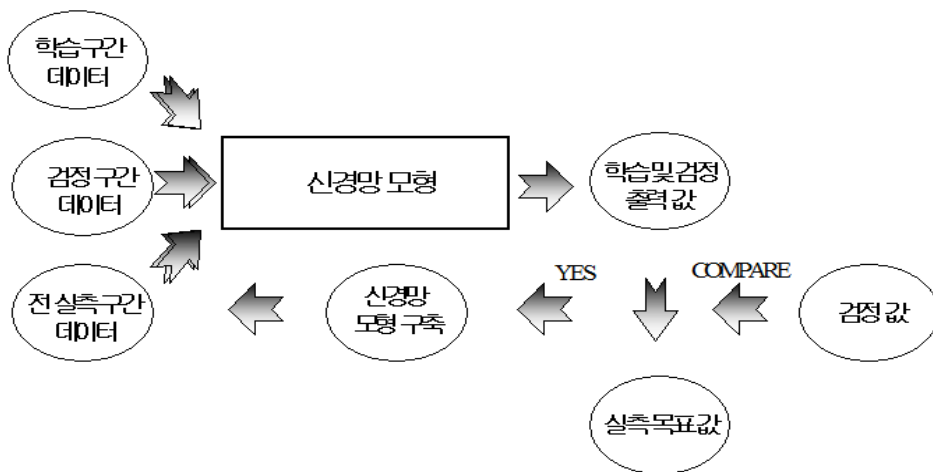
$$\delta_{in_j} = \sum \delta_k w_{jk} \quad k=1,2,\dots,m \quad (3-30)$$

- 그 후에 에러 정보를 계산하기 위해 활성화함수의 미분을 구하여 곱하고 강도와 관련된 항 및 편차와 관련된 항을 계산한다. 그런 후에 각 출력 절점의 강도와 편차를 갱신한다.

### ③ 지능형 신경망 모형 개발

- [그림 3-4-5-9]에 일반적인 신경망 모형 개발 과정을 도시하였다. 대상이 대상 실측 자료를 학습(training) 구간과 검정(testing) 구간으로 나누어 신경망모형 운영을 통하여 나온 출력 값과 실측 목표 값을 검정기준을 통하여 비교한 뒤 타당한 모형의 개략적인 모형구조를 확인한다. 예를 들면 강우-유출 모형의 경우에 있어서는 은닉층의 개수, 선행지체강우의 지체수, 선행지체 유량의 수 등의 개략적인 값을 결정하는 것을 의미한다. 다음으로 모형의 정확성을 향상시키기 위해서 전 실측구간에 대해서 다시 한 번 신경망모형을 학습(training)시켜 최상의 검정기준을 만족하는 모형의 구조를 결정한다.

- [표 3-4-5-2]와 같이 상대첨두치오차(Relative Peak Error), 상대총량오차 (Relative Volume Error), 절대평균오차(Absolute Mean Bias), 제곱근평균오차(Root-Mean-Square-Error), 상관계수(Correlation Coefficient)의 5개의 기준 검정값을 설정하여 최적모형 결정을 하였다. 상관계수(Correlation Coefficient)의 값은 클수록 나머지 4개 변수는 작은 값을 나타낼수록 최적의 모형을 나타냄을 의미한다.



[그림 3-4-5-9] 신경망 모형 개발 과정

[표 3-4-5-2] 모형 검정 기준(Validation Measures)

Criteria	Expressions	Definitions
상대첨두치오차 (Relative Peak Error)	$RPE = \frac{[\mathcal{R}_p - R_p]}{R_p}$	N = 총검정자료수 $\mathcal{R}_p, R_p$ = 예측 및 관측 첨두치 $\mathcal{R}_v, R_v$ = 예측 및 관측 총량 $\mathcal{R}_v(t), R_v(t)$ = 예측 및 관측치 t = 시간 CC = 예측치와 관측치 사이의 선형 상관계수
상대총량오차 (Relative Volume Error)	$RVE = \frac{[\mathcal{R}_v - R_v]}{R_v}$	
절대평균오차 (Absolute Mean Bias)	$AMB = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N  \mathcal{R}(t) - R(t) $	
제곱근 평균 자승오차 (Root-Mean-Square-error)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [\mathcal{R}(t) - R(t)]^2}$	
상관 계수 (Correlation Coefficient)	CC	

(다) 단기 용수수요예측을 위한 신경망모형 적용

① 신경망모형의 적용개요

㉠ 연구 개요

- 급수량의 변화는 기후와 많은 연관성이 있는 것으로 알려져 있지만 실제로 효율적인 예측모형을 개발 적용시키지 못하고 있는 실정이다. 급수량의 일별변화는 선형적인 관계로는 설명이 미흡한 비선형적인 부분이 많이 포함되어 있어서 기존의 수학적 연속방정식 모형이나 통계학적 다중선형회귀 모형은 상당히 미흡한 부분이 있다. 따라서 신경망이론을 적용하여 비선형모형을 구성하고 기존의 선형방정식모형으로 할 수 없었던 정확한 일별용수수요 예측을 시도하였다.

㉡ 입력 자료

- 적용 입력변수로는 전일 용수수요, 최고기온, 일조량, 일별특성을 이용하고 분석결과는 당일 용수수요가 된다.

입력변수
용수수요
최고기온
일별특성
일조량

층수	3 Layer
신경망	Feedforward backpropagation
임계함수	Sigmoid Function

㉢ 적용 오차함수

- Absolute Mean Bias (AMB) :

$$AMB = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |z(\mathbf{x}_m) - z(\mathbf{x}_m)|$$

- Root Mean Square Error (RMSE) :



$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M [\hat{z}(\mathbf{x}_m) - z(\mathbf{x}_m)]^2}$$

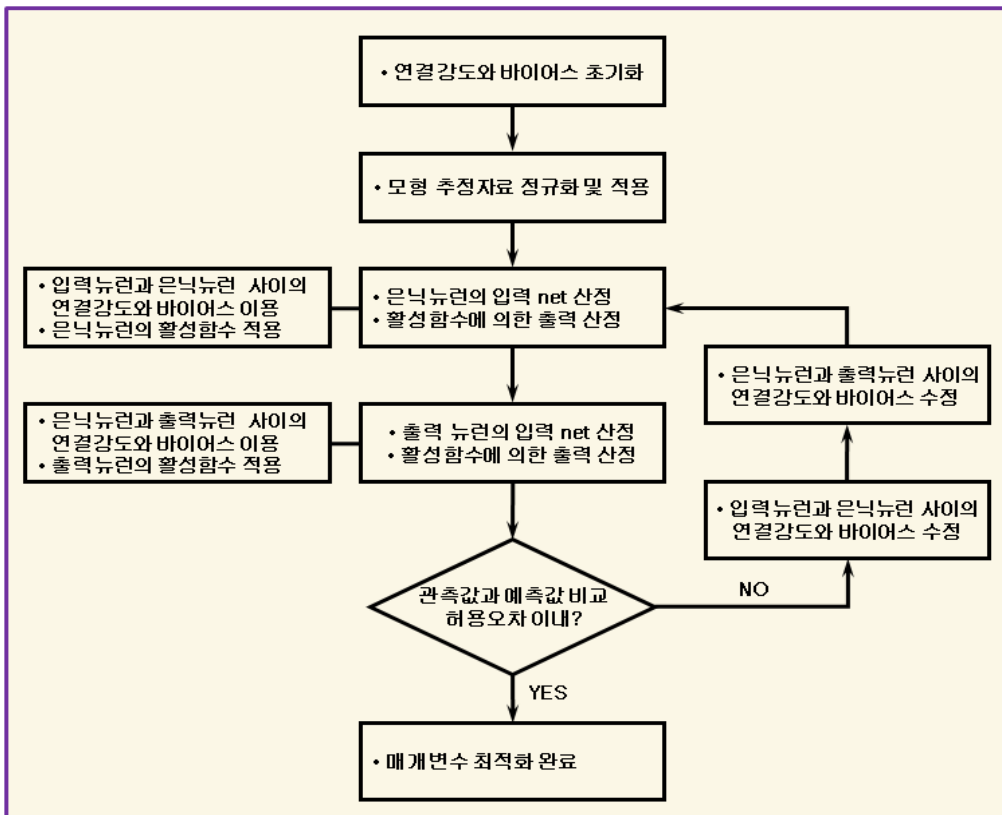
○ Relative Root Mean Square Error (RRMSE) :

$$\text{RRMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^M [\hat{z}(\mathbf{x}_m) - z(\mathbf{x}_m)]^2}{\sum_{m=1}^M z(\mathbf{x}_m)^2}}$$

○ 여기서 M = the total number of estimated or interpolated points.

㉔ 적용 매개변수 및 학습 절차

○ 신경망모형의 학습에 적용되는 매개변수는 학습회수, 학습율, 학습율 증가비와 감소비, 모멘텀상수, 최대오차비율, 목적오차가 있으며 오차함수는 Matlab 내부적으로 Sum-squared error로 설정되어 있다. 학습과정에서 설정된 오차 이내로 오차가 감소하는 경우 학습이 종료되며 그렇지 않은 경우는 사용자가 매개변수의 설정을 변경하거나 입력자료의 구성을 변경하여 재학습 한다.



[그림 3-4-5-10] 매개변수 최적화 절차

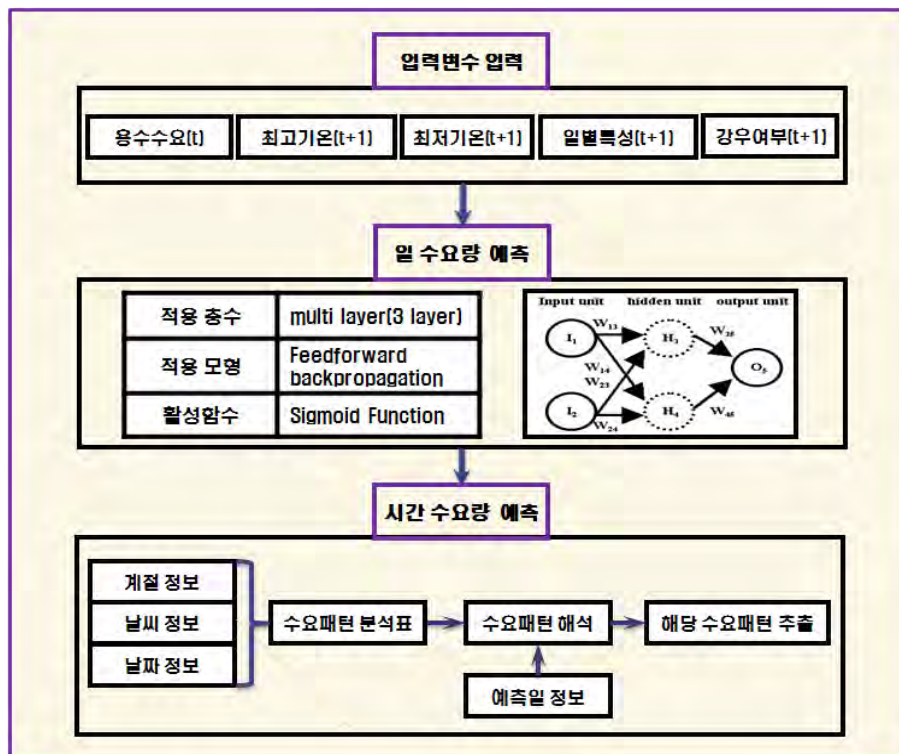
- 최대학습 회수(Maximum number of epochs to train, default = 1000)
- 학습율 (Learning rate, default=0.01)
- 학습율 증가비(Learning rate increase, default=1.05)
- 학습율 감소비(Learning rate decrease, default=0.7)
- 모멘텀 상수( Momentum constant, default=0.9)
- 최대오차비율(Maximum error ratio, default=1.04)
- 목적오차(Sum-squared error goal, default=0.02)

㉞ 적용 응용함수 및 모형 적용절차

- 기존의 Matlab 파일에서 적용된 함수가 최근 버전의 Matlab에서 변경되어 사용되는데 그 함수의 현황은 아래 [표 3-4-5-3]과 같다.

[표 3-4-5-3] 모형 내 적용함수의 변경현황

구분	obsolete function	recommended function
1	deltatan	dtansig
2	deltalin	dpurelin
3	tansig('delta')	tansig('deriv')
4	purelin('delta')	purelin('deriv')
5	tansig(Z,B)	tansig(netsum(Z,B))
6	purelin(Z,B)	purelin(netsum(Z,ones(1,Q)))
7	learnbpm	learnngdm
8	simuff	nnt2ff, sim

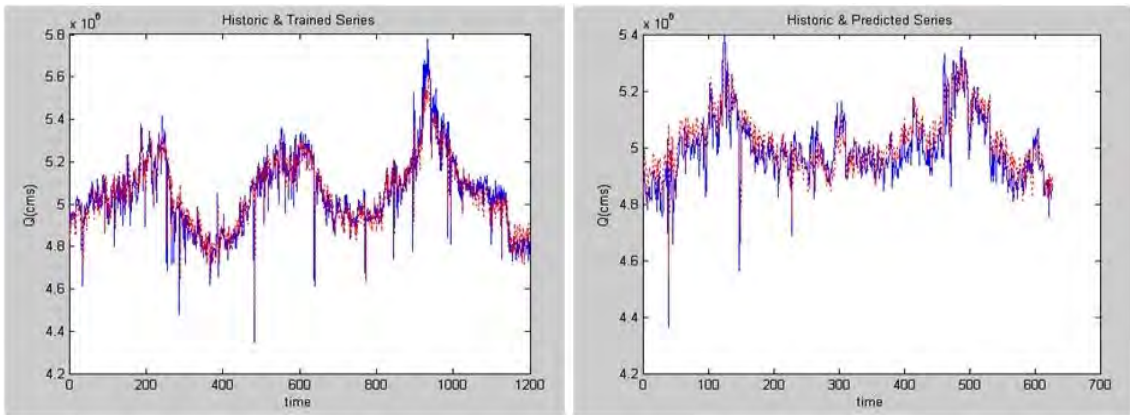


[그림 3-4-5-11] 신경망모형의 적용절차

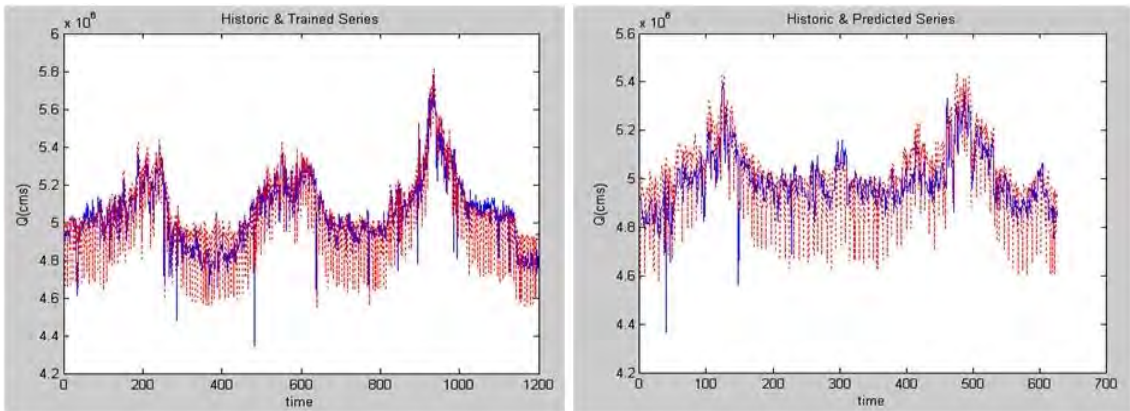
② 신경망모형의 적용결과

㉓ 은닉층 노드개수의 최적화

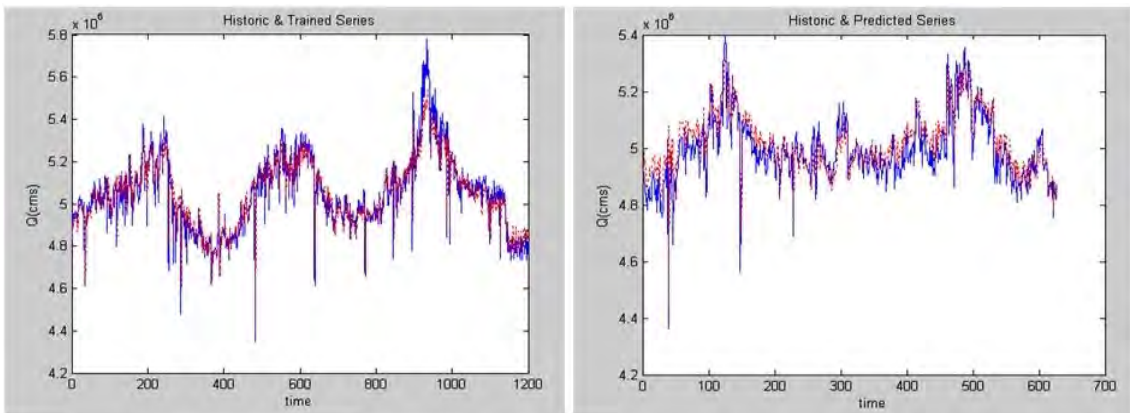
- 신경망 모형의 구성은 입력층, 은닉층 및 출력층으로 구성되며 입력층은 입력자료의 수와 일치하고 출력층은 요구되는 결과값의 수와 동일하게 구성하면 되지만 은닉층은 대상 모형에 따라 최적의 노드개수를 선정해야 한다. 따라서 구성된 모형을 이용하여 오차가 최소가 되는 노드개수를 아래와 같은 분석결과를 통해 최소오차를 나타내는 11개로 선정하였다.



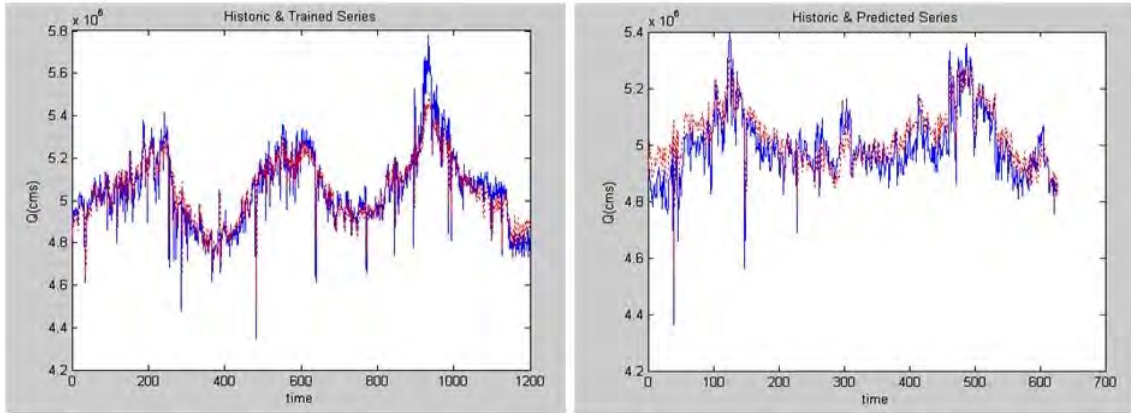
[그림 3-4-5-12] 은닉층 노드(5개) 시 모의결과



[그림 3-4-5-13] 은닉층 노드(10개) 시 모의결과



[그림 3-4-5-14] 은닉층 노드(15개) 시 모의결과



[그림 3-4-5-15] 은닉층 노드(20개) 시 모의결과

[표 3-4-5-4] 은닉층 노드개수에 따른 오차함수별 모의결과

은닉층 노드 개수	AMB		RMSE		RRMSE		Correlation Coefficient	
	학습	예측	학습	예측	학습	예측	학습	예측
4	59444.4	65755.3	88672.1	88932.7	0.00051	0.00071	0.8691	0.7314
5	59664.3	61533.1	89457.2	84176.2	0.00051	0.00067	0.8664	0.7360
6	104605.3	85372.0	142588.7	110853.7	0.00082	0.00089	0.7169	0.5836
7	66417.7	65277.5	95676.9	86953.2	0.00055	0.00070	0.8478	0.7071
8	67698.1	69488.3	96405.6	91071.3	0.00055	0.00073	0.8470	0.6951
9	55329.1	56988.5	86941.1	81851.4	0.00050	0.00065	0.8741	0.7523
10	103265.5	108345.7	144764.4	141335.8	0.00083	0.00113	0.7146	0.5338
11	54283.9	56132.0	85417.2	80865.1	0.00049	0.00065	0.8790	0.7619
12	56090.6	57586.6	86951.7	82101.6	0.0005	0.00066	0.8741	0.7523
13	95452.7	87950.7	130110.7	113987.6	0.00074	0.00091	0.7555	0.6093
14	110455.8	102168.9	152731.0	134860.4	0.00087	0.00108	0.6892	0.5310
15	55433.6	56734.8	87451.0	81975.9	0.0005	0.00066	0.8725	0.7512
16	58297.5	61161.1	88155.4	85668.0	0.0005	0.00069	0.8704	0.7325
17	54158.6	56184.3	85228.8	80969.6	0.00049	0.00065	0.8796	0.7627
18	113748.8	97051.7	157503.9	135140.5	0.0009	0.00108	0.6771	0.4928
19	105353.5	90434.1	145161.8	120218.7	0.00083	0.00096	0.7109	0.5867
20	58137.7	63479.7	88220.8	87472.2	0.0005	0.0007	0.8706	0.7290
21	126069.3	132450.6	177093.4	173173.7	0.00101	0.00139	0.6320	0.4777
22	55564.3	59488.9	84801.0	83563.4	0.00049	0.00067	0.8810	0.7492
23	116412.7	113832.0	164736.1	150369.2	0.00094	0.0012	0.6642	0.5015
24	189680.1	159392.6	261904.3	218972.8	0.0015	0.00175	0.5019	0.4102
25	241186.2	236831.4	348601.5	326968.6	0.00199	0.00262	0.3942	0.2910



㉔ 신경망모형의 시스템 구성방안

○ 과거 자료를 이용한 매개변수의 최적화 모듈

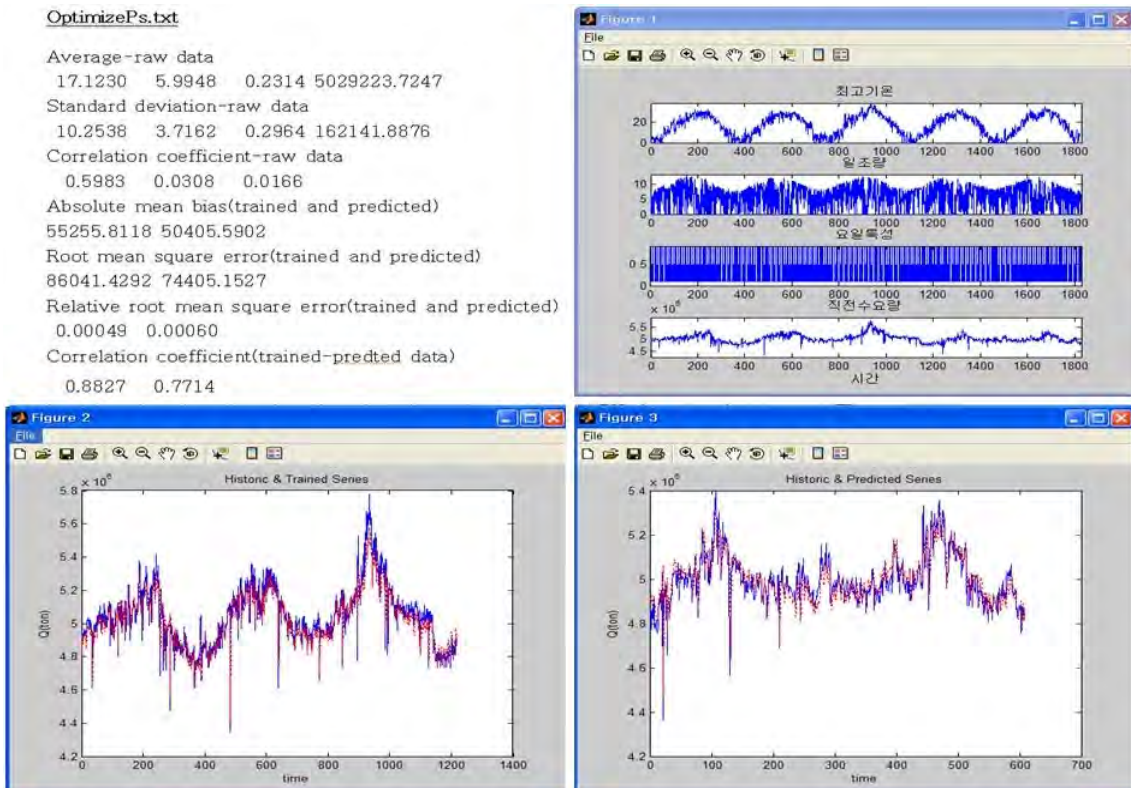
- 적용된 입력자료 : 다음날의 최고기온과 일조량 및 일별특성, 직전일 수요량
  - 현재 기상청에서 예보자료 중 일조량은 존재하지 않으므로 입력자료를 수정
  - 다음날의 최고기온과 일별특성, 직전일의 일조량과 수요량으로 수정
- 적용 프로그램
  - OptimizePs.exe : 입력자료를 이용하여 적용 매개변수를 최적화시킴  
: 은닉층과 출력층의 weight와 bias에 최종결과를 파일로 출력
  - 사용자가 선택 항목 : 은닉층의 노드개수, 입력자료 중 검정에 사용할 자료개수

○ 다음날의 조건에 대한 수요량 예측 모듈

- 다음날의 최고기온과 일별특성, 직전일의 일조량과 수요량 입력
- 입력자료와 최적화된 매개변수를 이용한 수요량 예측
- 적용프로그램
  - PredictWD.exe : OptimizePs.exe에서 생성된 파일을 읽어드림

○ 모의 결과파일 분석

- OptimizePs.exe  
: 생성파일-bh.dat, bo.dat, momo.dat, mxmn.dat, whi.dat, woh.dat, OptimizePs.txt



[그림 3-4-5-16] 최적화결과 파일 및 실측값과 예측값의 비교

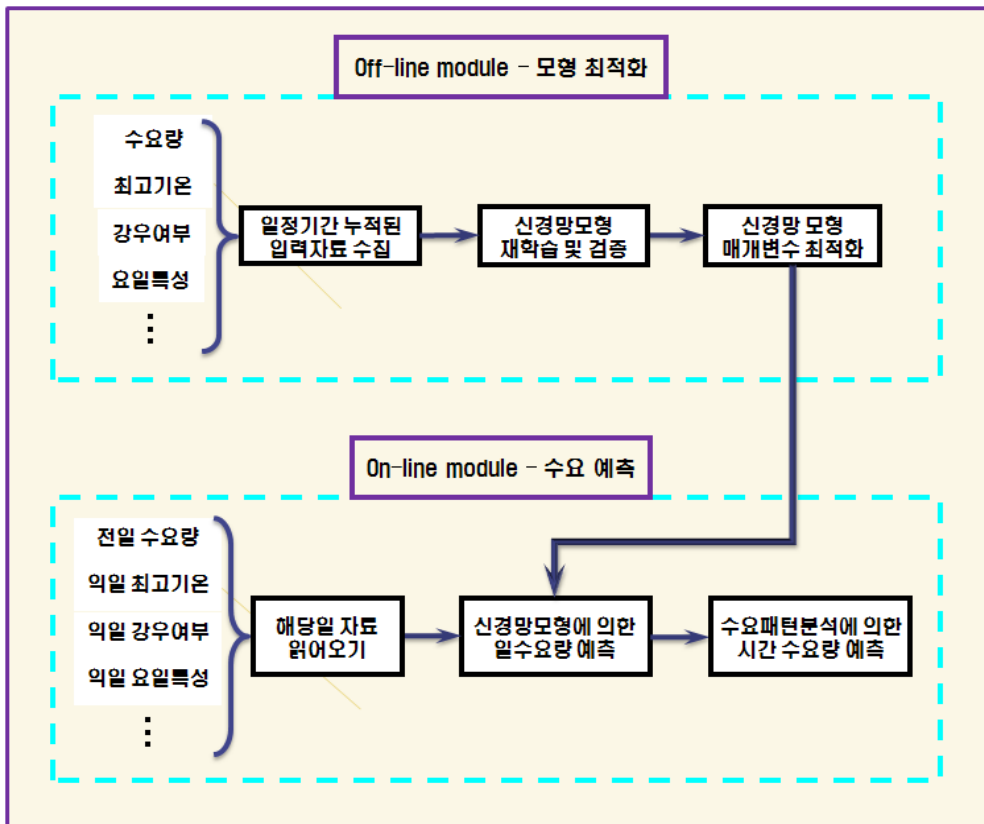
- PredictWD.exe
- : 생성파일 - PredictWD.txt
- : 다음날이 예측수요량을 표시

㉔ 예측 알고리즘 분석

- 최초 로직은 Matlab의 함수를 기초로 작성되었고 Matlab 프로그램과 데이터를 활용하여 결과를 검토하였다. 이를 바탕으로 최종 시스템화 할 수 있는 code로 변환하였다.
- 예측알고리즘의 기본절차는 입력자료를 정규화하고 예측 알고리즘을 적용하여 결과를 산출한 후 결과자료에 대한 Denormalization을 적용하는 것으로 구성된다.
  - 입력자료에 대한 Normalization
  - 예측 알고리즘 적용
  - 결과자료에 대한 Denormalization

㉕ 신경망모형 최적화 및 예측 절차의 적용 방안

- 모형 최적화는 off-line 상태에서 기준시점 이전의 과거 자료를 이용해 적용하며 최적화를 통해 산정된 매개변수는 on-line상태의 수요예측 모듈로 전달되어 일수요량을 산출한다.



[그림 3-4-5-17] 최적화 및 예측 절차의 적용방안

## 나. 시스템 표준화 및 현장적용 방안 수립

- 시스템 표준화를 위해 국내 추진 중에 있는 사업을 검토하였으며, 그 중 특징을 띠는 표준화 대상지를 선정하였다.
- 선정 대상은 영산강 IV지구 농업종합개발사업 및 제주시농업용수광역화사업으로 전자의 경우 도수 및 송수관로 등 대규모 관수로가 구축되어 많은 양의 농업용수가 공급된다. 이는 수량적인 측면과 운영적인 측면에서 농촌용수 관수로 시스템의 기본적인 형태를 지니고 있다고 판단되며, 향후 시스템 통합관리를 위한 기준이 될 수 있다고 사료된다.
- 후자의 경우는 관정을 이용해 농촌용수를 공급하는 특성을 지니고 있으며, 관수로 말단의 농가단위까지 관리할 수 있다는 점에서 영산강과는 규모적인 차이를 보인다. 영산강 관수로 시스템이 상위의 공급체계를 관리할 수 있다면, 제주도는 하위 농가단위의 체계적 배분을 시스템을 통해 관리할 수 있을 것이라 판단된다.
- 하드웨어 및 소프트웨어의 표준을 제시하는 것뿐만 아니라, 현장에서 시스템을 어떠한 방식으로 활용할 지에 대한 현장적용 방안을 제시하고자 하였다.

### (1) 영산강 IV지구 농업종합개발사업

#### (가) 사업개요

- 사업명 : 영산강IV단계 농업종합개발사업
- 위 치 : 전남 무안·함평·신안·영광군 일원(1도 4군 14개 읍면)
- 개발면적 : 16,730ha(답 10,040ha, 전 6,690ha)



[그림 3-4-5-18] 영산강 IV지구 사업계획 평면도

- 주요사업
  - 관개개선 : 16,730ha
  - 경지정리 : 1,117ha
  - 배수개선 : 1,123ha
  - 받기반정비 : 6,690ha

- 주요시설물
  - 양수장 : 10개소
  - 조절지 : 7개소(1개소 신설)
  - 도수로 : 11km, 용수로 : 476km
  - 배수장 : 13개소
  - 배수로 : 19km

(나) 사업목적

- 남부 서해안지역을 WTO체제하에 경쟁력 있는 농업지대로 육성
- 지역 특화작물(마늘, 양파 등) 생산단지 및 기계화 영농기반 구축
- 사계절 영농에 필요한 관개용수 공급체계 구축
- 최적의 효율성과 첨단기능을 갖는 농업생산기반 구축
  - 용수간선 Pipe-Line화로 초고속 수로망 구축
  - 물관리자동화시스템 등으로 효율적 물관리체계 구축
- 영산호의 여유수량을 농업용수로 공급하여 지하수 함양 및 보전, 연작으로 인한 염집적 피해방지, 겨울철 푸른들 가꾸기 등 환경친화적 농업기반조성

(다) 운영관리시스템 도입 필요성

- 양수장 및 도송수관로 설비공사는 완료되었으나 원격감시제어 및 자동운전을 위한 TM/TC 설비 미설치
  - 시설 감시제어 및 자동 연계 운영 등을 위한 기반 시스템 구축 필요
  - 단위 시설 공사시 해당 시설 운영에 필요한 기본적인 TM/TC 설비 동시 구축 필요
- 수자원 확보, 안정적인 용수 배분 및 공급 등 농업용수 공급체계의 정보화·지능화를 위한 시스템이 필요하며, 대규모 농지의 경우 인력을 이용한 누수감시 및 관수로의 관리가 어려움. 이에 따라 농업용수 파이프라인을 효율적이고 체계적으로 관리할 수 있도록 운영자의 의사결정을 지원할 수 있는 운영관리 시스템이 필요하다.

(라) 운영관리 시스템 구성방안

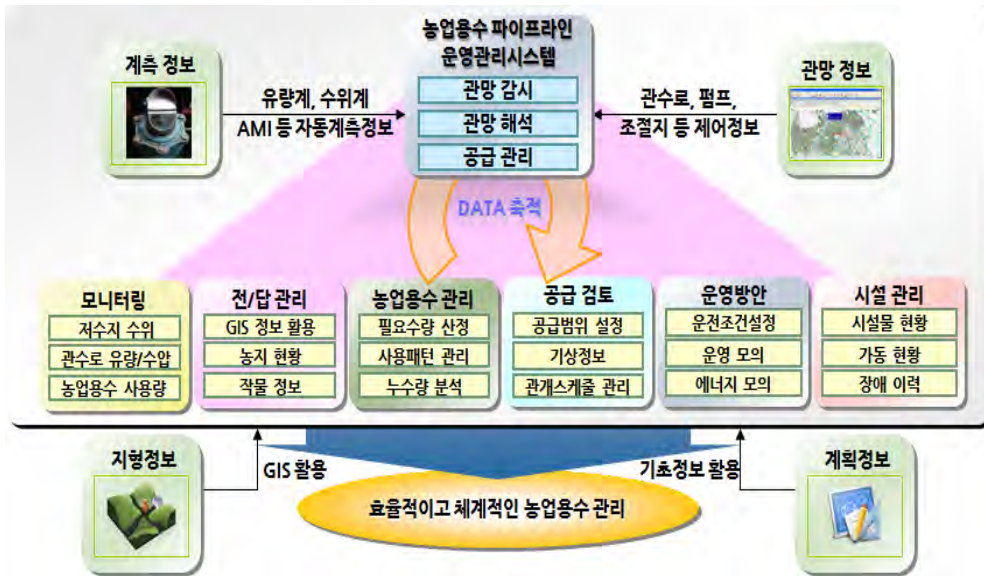
① 시스템 구성체계

- 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템은 유량, 수위 등의 실시간 계측정보와 관수로 시설 제원 등의 관망정보를 데이터베이스에 축적하고 이를 활용하여 관망감시, 관망관리, 관망



해석, 공급관리 등 주요기능을 수행할 수 있도록 구성하였다.

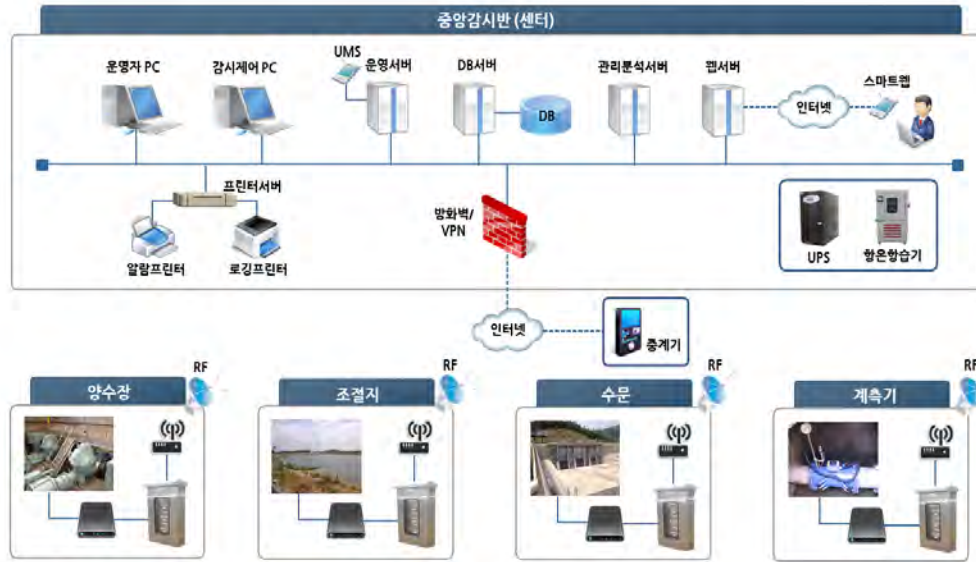
- 작물, 관개면적 등과 같은 지형정보와 관개스케줄 등의 계획정보를 통해 전/답을 관리하고 관개구역의 필요수량 산정이 가능하도록 하였으며, 최종적으로는 이러한 데이터들을 이용해 효율적인 농업용수의 운영방안을 제공하고자 하였다.



[그림 3-4-5-19] 시스템 구성체계

## ② 시스템 구성도

- 시스템 구성도는 [그림 3-4-5-20]과 같으며, 센터의 중앙감시반에는 DB서버를 비롯한 관리분석서버, 운영서버 등과 사용자가 운영을 수행하는 운영자PC 및 감시제어PC로 구성된다. 또한, 데이터 통신을 위한 네트워크 장비와 프린터 설비, 무정전 전원장치(UPS) 등을 구성된다.
- 또한 양수장, 조절지, 수문 등의 현장 설비 및 제어반은 RF통신과 인터넷망을 통해 중앙감시반의 센터로 데이터를 전송하도록 구성했다.
- 시스템 보안 확보를 위하여 방화벽을 구성하고 스마트폰을 활용하여 웹을 사용한 시스템 조회가 가능하도록 시스템을 구성했다.



[그림 3-4-5-20] 시스템 구성도

### ③ 하드웨어 구성

#### ○ 서버 용량 검토

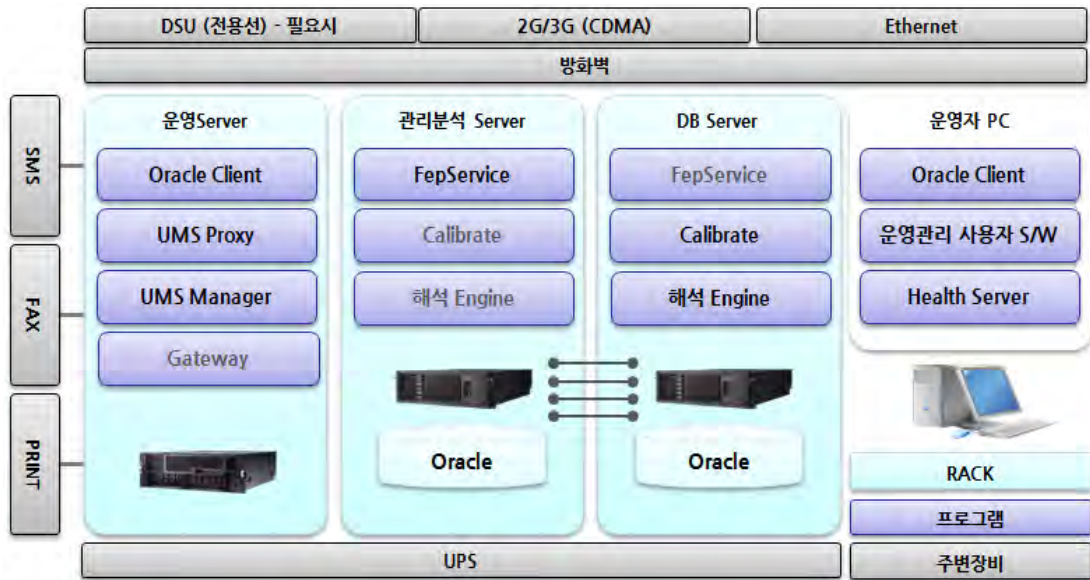
- 시스템에 적용되는 주요 서버에 대한 용량을 검토한 후 장비 사양 결정에 활용된다.

[표 3-4-5-5] 서버용량 검토

구분	항목	용량	산정내역	
DB 서버	메모리	5.1GB 이상	OS 및 프로그램	150MB
			응용 프로그램	프로세스수×용량×계측기수 = 15×1×200 = 3GB
			Database	오라클 + 공유메모리 = 800MB
			여유율	30%
DB 서버	디스크	806GB 이상	유량 데이터	분당기준년간데이터 × 계측기수 × 보관기간 = 300MB × 200개 × 10년 = 600GB
			OS 및 프로그램	20G
			여유율	30%
			관리 분석 서버	메모리
응용 프로그램	프로세스수×용량×계측기수=15×0.5×200=1.5GB			
Database	MySQL + 공유메모리 = 300MB			
여유율	30%			
관리 분석 서버	디스크	442GB 이상	유량 데이터	초당기준년간데이터 × 계측기수 × 보관기간 = 1.6G × 200 × 1년 = 320GB
			OS 및 프로그램	20G
			여유율	30%

④ 하드웨어 및 소프트웨어 구조

- 하드웨어와 소프트웨어의 구조를 도식화하여 나타내면 다음과 같으며, 서버별 주요 소프트웨어 및 네트워크 등 주변장비의 구조를 표시하였다.



[그림 3-4-5-21] 하드웨어 및 소프트웨어 구성

- DB서버 및 관리분석서버에는 통신프로그램, 데이터 검토 프로그램, 분석 및 해석엔진을 탑재하고 오라클 데이터베이스를 탑재했다.
- 운영자PC에는 사용자 프로그램과 시스템 체크 프로그램 등을 설치하여 활용할 수 있도록 구성하였다.

⑤ 운영관리시스템 기능구성

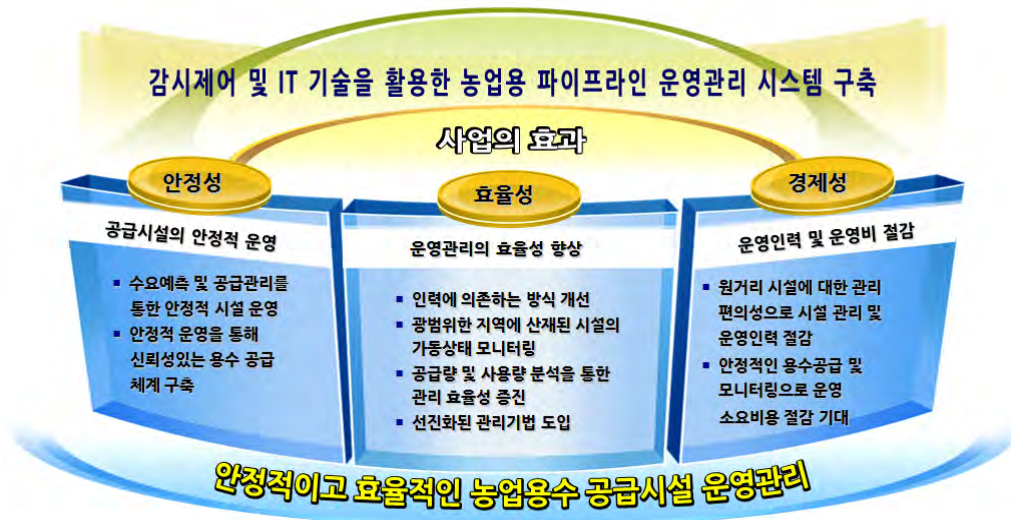
- 농촌용수 파이프라인 운영관리 프로그램을 통해 관망, 수요 및 공급, 시설물 및 시스템의 기본적인 설정에 대한 정보를 제공하고자 하였으며, 기본적인 메뉴구성은 관망감시, 관망관리, 관망해석, 공급관리, 기본설정, 시설관리로 이루어진다.
- 각 메뉴별로 기능에 따라 세부적인 메뉴를 구성하고 있으며, 프로그램의 전체적인 메뉴구성을 [그림 3-4-5-22]에 도식화하였음 .



[그림 3-4-5-22] 운영관리 시스템 메뉴 구성

(마) 시스템 구축 기대효과

- ICT 기술을 농업용수공급 체계에 접목하여 국내 농업용수 운영관리의 선진화를 도모할 수 있다.
  - 농업용수의 파이프라인 운영관리체계 마련
  - 관망해석(사전모의)을 통한 최적 운영방안 도출
  - 다양한 기능을 통한 운영자의 의사결정 지원
- 국내 농업에 선진화 기술 접목을 통해 농업용수 부족 및 기후변화에 대한 영향의 한계를 극복할 수 있다.
  - 운영상황에 따른 전략적인 농업용수 공급을 통해 지역적 물 부족 갈등문제 및 가뭄 해소
  - 수요예측에 따른 적정 수량 공급을 통해 부족한 수자원 확보



[그림 3-4-5-23] 기대효과



## (2) 제주시 농업용수 광역화 사업

### (가) 사업개요

- 사업명 : 동부권역 농업용수 광역화 시범사업 이용시설 및 관로공사(동부2지구)
- 위 치 : 제주특별자치도 제주시 구좌읍 덕천리, 송당리, 한동리, 평대리, 세화리 일원



[그림 3-4-5-24] 동부권역 농업용수 광역화 시범사업 위치도

#### ○ 개발면적

- 수혜면적 : 1,617ha

#### ○ 사업목적

- 농산물증산, 작부체계개선, 생산비절감, 품질향상효과
- 감귤 및 발작물 생산량 증가로 조수익 증대효과
- 가뭄해결로 인한 생산비 절감효과
- 효율적인 용수공급을 통한 농산물 가격안정 및 농업경쟁력 강화에 기여

#### ○ 사업의 효과 및 필요성

- 수혜구역 중 대부분은 받기반사업이 완료되어 농업용수가 공급되고 있으나, 기존 농업용 관정이 개별단위 급수체제로 구성되어 급수구역 간 용수공급 불균형 현상이 발생하고 있으며, 한발 시 수량 부족 등으로 인해 물부족 현상이 나타나고 있는 실정이다. 이에 본 사업으로 부족한 수량을 보충 공급하여 주고 기존 시설을 그대로 이용하여 수혜면적을 확대하는 방향으로 계획하였다.

○ 주요공사

- 저수조공사

- 스텐레스 원형물탱크 : 3,000Ton (구좌읍 덕천리 1377목)
- 스텐레스 원형물탱크 : 1,500Ton (구좌읍 송당리 산48-1목)
- 스텐레스 사각형물탱크 : 1,000Ton (구좌읍 세화리 2663유)
- 송수관로 : D100mm, L=173.5m

- 양수장공사 : 3개소

- 급수관로공사 : D100~250mm L=29.7km

- 수중모터펌프 설치공사 : 60HP 3개소

- 부대공사 : 각종 운반 1식

(나) 시스템 적용방안

① 시스템 구축 필요성

- 제주도 동부권역 광역 급수체계 사업에는 관정개발 2개소 포함 총 7공, 대용량 광역저수조 2개소, 그리고 신규 관로설치 및 기존 관로와의 연결 등을 주요 내용으로 하며, 이러한 시설 및 관로를 이용하여 안정적인 농업용수의 공급 및 분배와 시설의 경제적이고 합리적인 운용, 시설물에 대한 효율적인 관리 등을 위해 전체적인 시스템을 운영·관리할 수 있는 농촌용수 운영관리 시스템 도입이 필요하다.

② 시스템 구축 목적

- 광역급수체계 운영관리 시스템은 군정/관정, 배수지의 합리적이고 경제적인 운영으로 인한 안정된 공급량/수압확보 와 관정간 상호 연결 및 조정으로 인한 수요를 충족시키고, 농촌용수 운용의 효율화를 실현시키며 마지막으로 수집된 각종 데이터를 근거로 분석 및 운영모의 등을 통해서 광역급수체계가 원활히 운영될 수 있도록 하는데 목적이 있다.



[그림 3-4-5-25] 시스템의 필요성

### ③ 시스템 개요

- 운영관리시스템은 농촌용수시설 전반에 대한 모니터링 및 운영관리를 위한 시스템으로서 크게 관정관리, 수요관리, 관망해석, 관망관리, 시설관리, 관망감시로 구분할 수 있다.
- 관정관리는 마을단위로 위치한 저수조와 연계된 관정에 대하여 수위 와 관로의 압력 그리고 사용량에 대해서 조회하는 기능을 제공하며, 관망감시는 계측 및 시설의 상태감시, 관로의 유량과 압력에 대한 실시간 모니터링을 트렌드 조회를 할 수 있으며, 관망관리는 모니터링 된 데이터를 분석하여 손실률과 수압 등을 분석하며 이런 자료들을 보고서로 만드는 기능을 제공하며, 관망해석은 GIS정보를 활용하여 실시간 관망해석과 운영모의, 구역별 유량현황을 조회하는 기능이 있으며, 수요관리는 전답별 계획사용량 정보 와 수요량 예측, 수요량대비 공급량 비교를 통한 과/부족량 정보를 조회할 수 있으며, 시설관리는 농지현황이나 각종 시설물에 대한 정보를 관리할 수 있도록 하는 기능들로 구축되는 운영관리시스템을 활용하여 농촌용수의 운영효율을 극대화하도록 시스템을 구성했다.

### ④ 시스템 구축 기본방향

#### ㉠ 고려사항



- 제주도 동부권역 광역 급수체계 운영관리시스템을 구축함에 있어서 기본적인 검토사항으로 통합성, 연계성, 확장성, 호환성을 검토하였고 각각의 고려사항에 대한 적용방안을 수립했다.
- 통합성 측면에서는 동부권역을 시작으로 하여 제주도 전 권역으로 확대되어 지는 것을 고려하여 통합관리센터를 농어촌공사 제주본부 내에 설치하여 운영관리를 용이하게 수행할 수 있도록 고려하였다.
- 연계성 측면에서는 농가 및 농지를 관리하는 시스템에서 운영관리시스템에 필요한 정보를 인터페이스를 통해서 가져오는 것을 고려하였고, 만약 관리하는 별도의 시스템이 없을 경우 오프라인 자료를 온라인화 할 수 있는 방안으로 검토하였다.
- 확장성 측면에는 향후 시스템 확장을 고려하여 하드웨어 용량 산정시 반영하도록 계획하였고 지점별 모니터링 결과 조회가 용이한 프로그램 화면을 구성할 수 있도록 계획했다.
- 호환성 측면으로는 최신의 사양으로 하드웨어를 구성하고, 범용적인 운영체계 및 데이터베이스를 사용하도록 계획하였다.

#### ㉡ 시스템 통합계획

- 시스템 통합 운영계획 검토를 위하여 통합관리센터 1개소를 단독으로 운영하는 집중 통합 운영방식과 통합관리센터와 각각의 권역 데이터를 수집하고 집계하는 권역별 거점과 병행하여 운영하는 분산 통합 운영방식에 대하여 비교 검토하였다.

- 검토결과 초기 투자비용 측면에서는 집중 통합 운영방식이 유리하나 권역에서 발생하는 모든 원시 데이터를 수집하여 많은 네트워크 트래픽이 발생하는 문제점이 있어, 각 권역과 통합관리센터 사이의 거점에 데이터 전처리 시스템을 위치시켜 무분별한 데이터전송으로 인한 트래픽을 분산시키고 체계적인 운영방식 적용이 가능한 분산 통합 운영방식을 선정하는 통합 운영계획을 적용하였다.

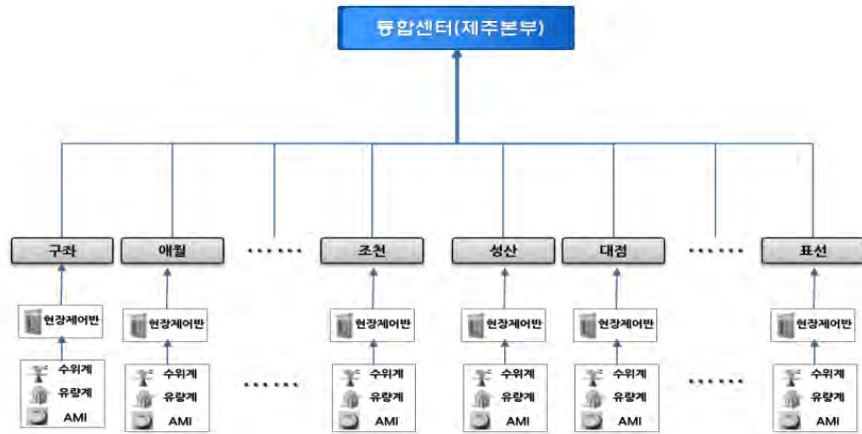
[표 3-4-5-6] 통합계획검토

구분	고려사항	적용방안
구성 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>•통합관리센터 1개소 단독 운영</li> <li>•전 권역별에 대하여 운영·관리할 수 있는 통합 관리센터를 설치하여 시스템 운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•통합센터와 권역별 거점 병행 운영</li> <li>•권역별로 분할하여 권역거점을 운영하고 통합 관리센터 1개소를 설치하여 시스템 통합·운영</li> </ul>
개요도		
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>•통합센터 단독 설치 및 운영으로 초기 투자비용과 운영기간 중 하드웨어 대수선비용이 다소 적게 소요됨</li> <li>•운영관리 인력을 중앙집중하여 인력 관리가 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•네트워크 트래픽이 단독 운영방식보다는 적음</li> <li>•권역별 거점과 통합센터를 분리운영하고 데이터를 백업관리하므로 시스템 안정성이 높음</li> <li>•권역별 거점과 통합센터를 개별 운영하므로 권역별로 해당 처리구역을 관리하는 체계적인 운영방식 적용 가능</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>•단독 시스템 운영으로 시스템 안정성이 낮음</li> <li>•네트워크 트래픽의 과부하가 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•통합센터와 권역별 거점을 별도 설치하므로 초기투자비가 다소 증가함</li> <li>•권역별 거점에서 문제발생시 별도의 인력이 해당지역으로 이동하여 해결해야함</li> </ul>
선정		●
선정 사유	<ul style="list-style-type: none"> <li>•초기투자비는 다소 증가되나 시설 유지관리 및 네트워크 트래픽이 적고 체계적인 운영방식 적용으로 광역의 농촌용수 공급에 대한 관리가 용이한 분산 통합 운영방식을 선정</li> </ul>	



㉔ 시스템 구성체계

- 시스템 구성 체계 및 센터 계획 수립 시에는 [그림 3-4-5-26]과 같이 통합관리센터 와 권역별 거점으로 구성하여, 각각의 권역별 거점 하위에는 해당 처리구역에서 계측되는 데이터 및 상태를 감시하도록 데이터 전처리 시스템을 구성하도록 하였다.

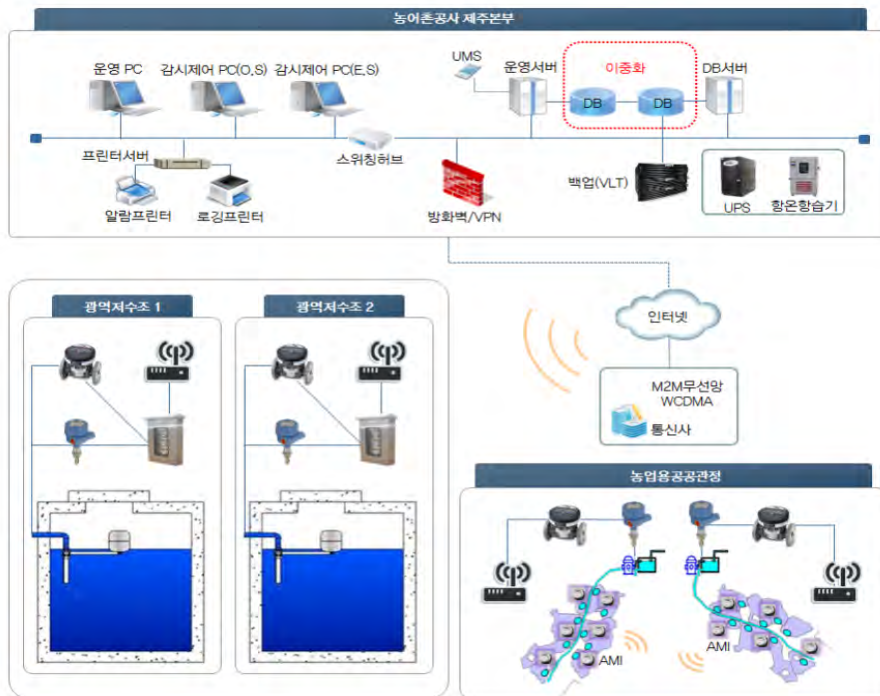


[그림 3-4-5-26] 광역시스템 구성체계

⑤ 시스템 구성계획

㉕ 시스템 구성

- 광역급수체계 운영관리 시스템은 통합운영관리센터를 농어촌공사 제주본부에 구축하고 여기에는 관련 서버설비 및 네트워크 설비와 운영자 PC, 프린터 장비, DLP 등을 구축하도록 계획하였다.



[그림 3-4-5-27] 광역시스템 구성체계

- 또한 각 광역저수조 및 관정에는 유량계, 수위계 등의 계측기가 설치되고 감시제어를 위해 계측된 데이터는 무선망 WCDMA 인터넷을 통해 통합운영관리센터로 전송되며 취합한 데이터를 통해 시스템을 통합 관리하도록 계획하였다.

㉞ 시스템 기능구성

- 관수로 시스템의 모니터링 및 수요관리, 누수관리, 관망해석 등이 가능하여 농촌용수의 안정적인 공급/배분 및 손실률을 절감시킬 수 있는 지능형 운영관리 시스템이다.

[표 3-4-5-7] 농업용수 통합 광역급수체계 운영관리 시스템 기능

구 분	메인	서브	설명
운영관리 시스템	• 관망감시	• 계측상태 감시	계측기의 상태를 감시
		• 시설상태 감시	시설의 상태를 감시
		• 실시간 모니터링	유량 및 수위에 대한 실시간 감시
	• 관정감시	• 마을저수지 수위	관정별 수위를 감시
		• 관로 압력	공급관로의 압력을 감시
		• 사용량	배수조의 물 사용량을 감시
	• 관망관리	• 수량 관리	농촌용수 수량에 대한 관리
		• 수질 관리	농촌용수 수질에 대한 관리
		• 에너지 관리	펌프 시설 관리
		• 운영일보	운영일보 관리
	• 관망해석	• 운영 모의	운영에 대한 모의 실행
		• 용수구역 유량 현황	용수구역에 대한 유량 현황 관리
	• 수요관리	• 계획 정보	수요예측에 따른 공급량 계획 정보 관리
		• 수요 예측	농지기반의 수요 예측 관리
		• 공급 검토	농촌용수 공급 검토 관리
	• 시설물관리	• 시설물 정보	시설물에 대한 정보 관리
		• 농지 현황	농지의 현황을 관리
		• 용수구역 관리	용수구역에 대한 관리
		• 공사대장	공사에 대한 이력 관리
	• 기본기능	• 사용자 관리	시스템에 접속하는 사용자정보 관리
		• 이력 관리	시스템에 접속한 사용자의 이력 관리
• 권한/코드 관리		권한그룹 및 코드 관리	

## ⑥ 시스템 활용방안

### ㉠ 활용 개요

○ 농촌용수 운영관리시스템의 활용방안 수립에 있어서 농촌용수 공급의 특성을 고려하여 계절적, 기후를 반영한 활용방안을 수립하도록 계획하였다. 농촌용수 공급의 특성상 날씨가 중요한 인자로 작용할 수 있으므로 평상시, 가뭄시, 장마시로 구분하여 농촌용수 운영관리시스템의 효율적 활용방안 수립을 위한 고려사항과 반영내용을 요약하면 [그림 3-4-5-28]과 같다.

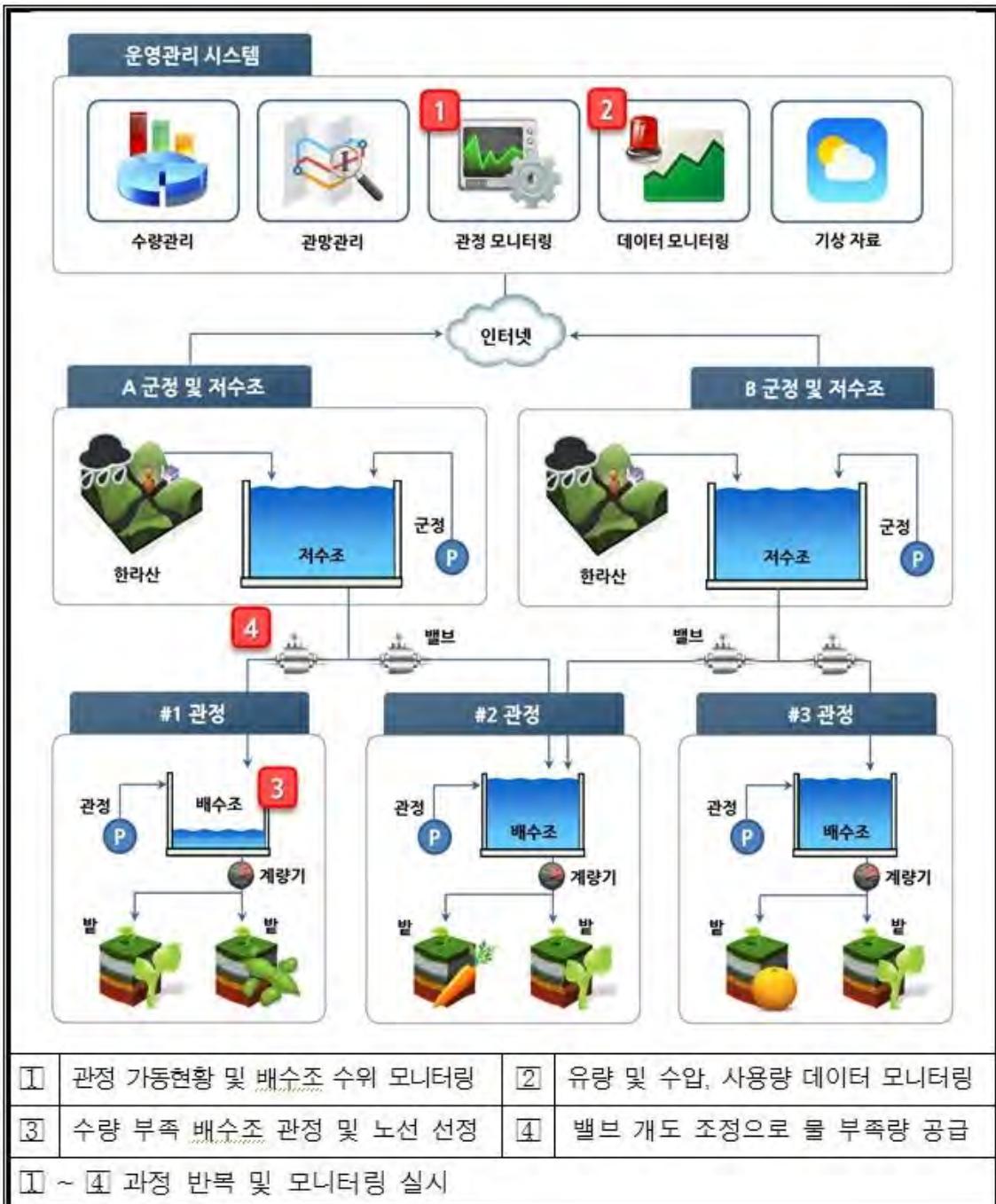
○ 관망감시 및 관리, 관정 모니터링, 시설물 관리, 수량관리 및 예측 등의 기능을 구비한 농촌용수 운영관리시스템을 구축한 후 본 시스템을 효율적으로 활용하기 위한 방향을 수립하였으며, 가뭄시는 장기간 미강우로 인한 가뭄 발생시의 시스템 활용방안을 수립하기 위함이며, 평상시는 평시의 농촌용수 공급 관리를 위한 방안을 의미하고, 장마시는 하절기 장기간 강우로 인해 수량이 풍부한 시기의 시스템 활용방안을 의미한다.



[그림 3-4-5-28] 시스템 활용 개요

㉔ 평상시 활용

- 평상시의 관정 및 운영관리시스템 활용방안을 정리하면 다음과 같다. 평상시의 경우 관정의 가동현황과 배수조 수위를 모니터링하며, 노선별 유량, 저수조 수위 등을 상시 모니터링 한다. 개별 관정 중 배수조 수위가 저하되어 수량 공급이 부족할 것으로 판단되는 관정 및 노선이 발생할 경우 해당 노선의 밸브 개도를 조절하여 해당 노선으로의 공급량을 증가시켜 물량이 부족하지 않도록 사전 조치하며, 이후 관정과 데이터에 대한 모니터링을 반복하도록 한다.

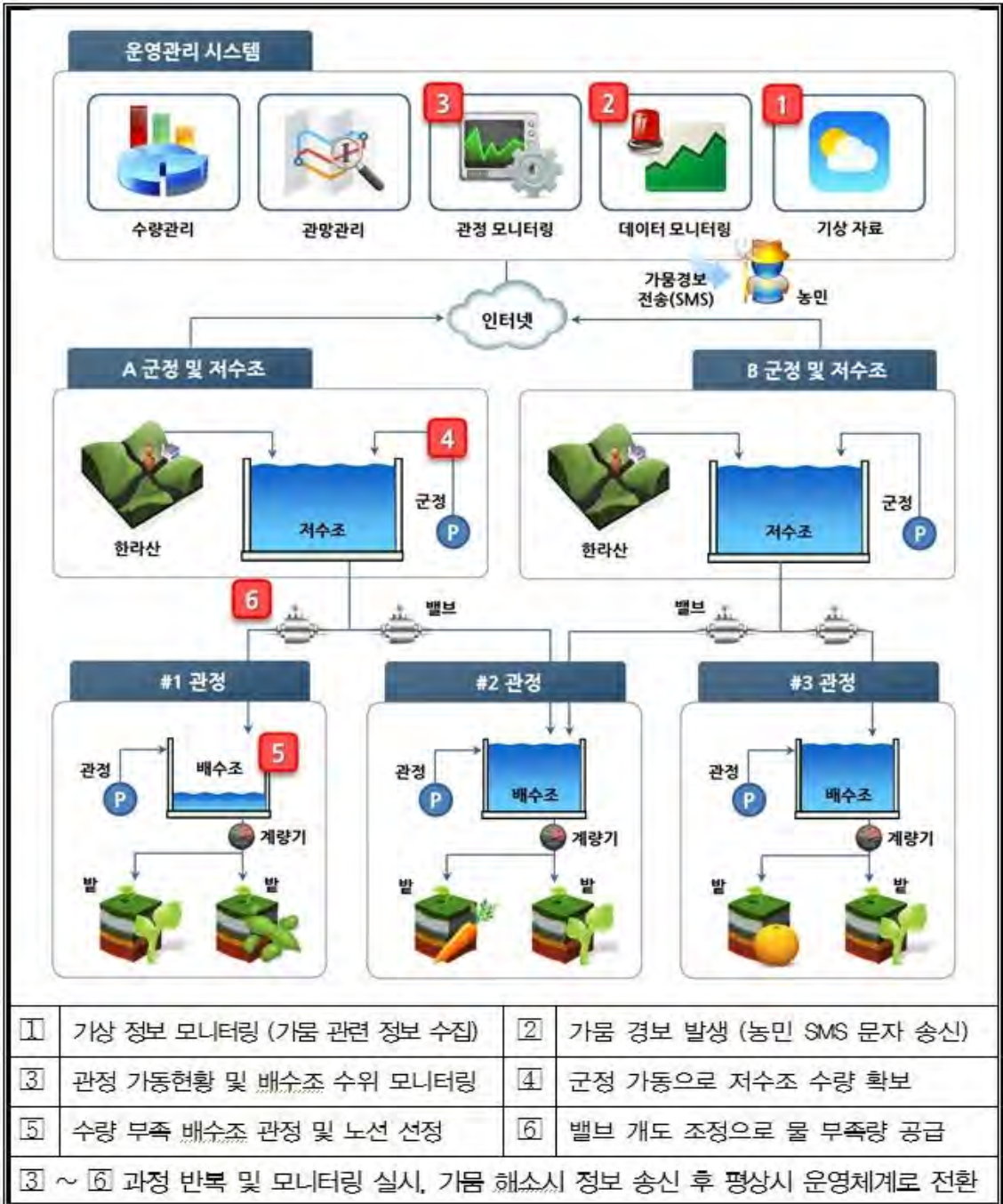


[그림 3-4-5-29] 평상시 시스템 활용



㉔ 가뭄시 활용

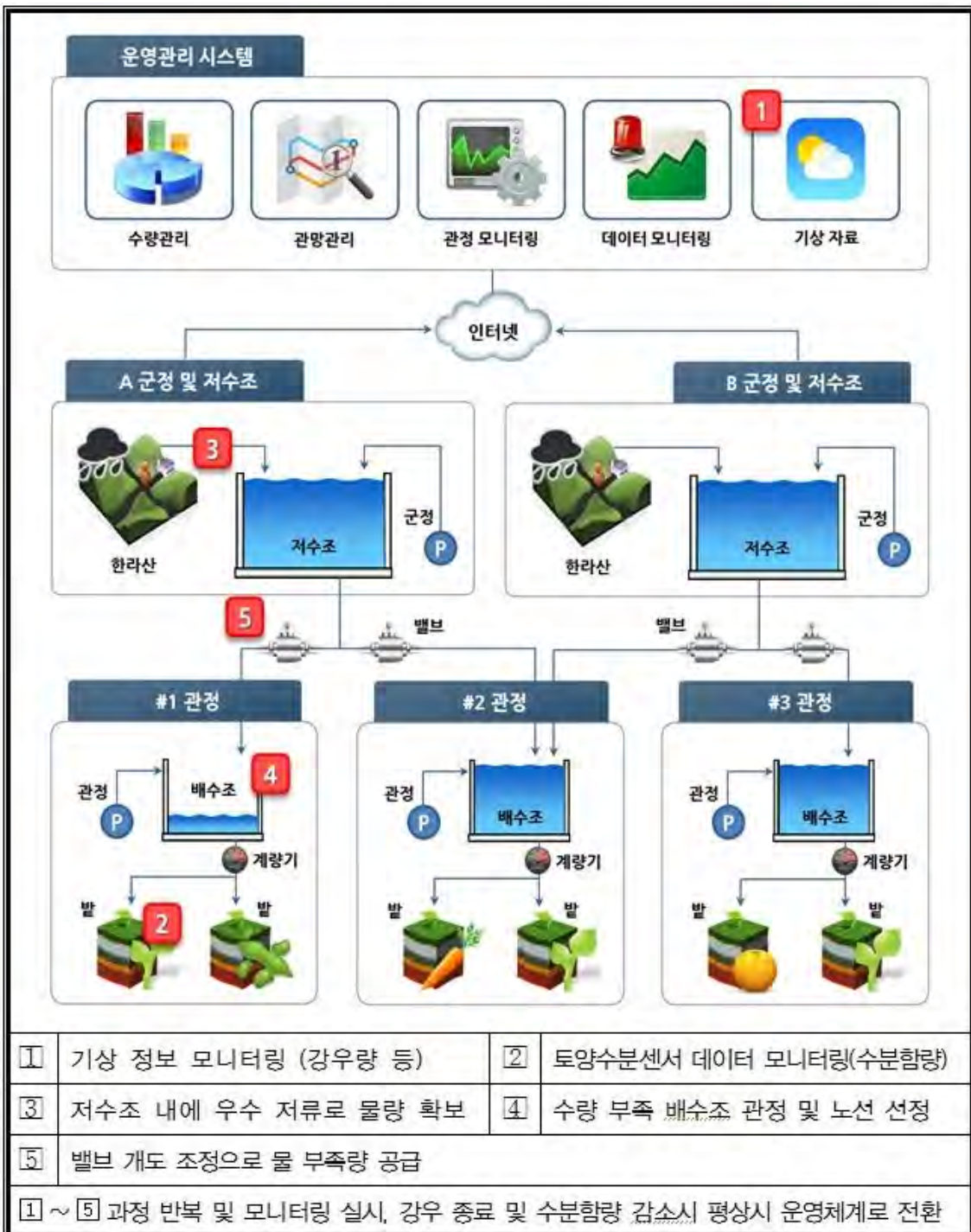
- 가뭄시의 경우에는 기상자료 및 데이터 모니터링을 통해 가뭄으로 판단되면 지역 농민들에게 경보를 발송하도록 하고 관정의 가동현황과 배수조 수위를 모니터링하며, 군정을 가동하여 저수조 수위를 확보하도록 한다. 개별 관정 중 배수조 수위가 저하되어 수량 공급이 부족할 것으로 판단되는 관정 및 노선에는 해당 노선의 밸브 개도를 조절하여 공급량을 증가시켜 물량이 부족하지 않도록 조치하며, 해당 과정을 반복하고 가뭄이 해소될 경우 평상시로 전환한다.



[그림 3-4-5-30] 가뭄시 시스템 활용

㉔ 장마시 활용

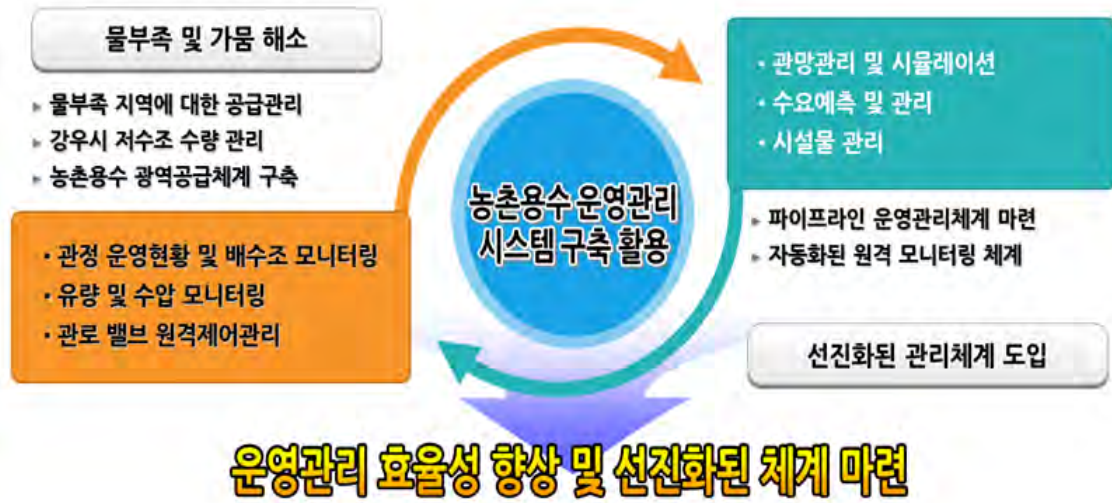
- 장마시에는 강우로 인해 물부족 우려가 적으므로 강우량 정보와 토양 수분측정 데이터를 모니터링함과 동시에 상류 저수조에 우수를 저류하여 물량을 확보하도록 한다. 개별 관정 현황 및 모니터링을 통해 물공급이 필요한 노선에 대해서는 저류한 우수를 우선 공급하도록 하고 강우 종료 및 수분함량 감소시 평상시로 전환하도록 하며, 저수조 저류량에 여유가 있을 경우 개별 관정에 이를 공급하여 개별 관정 사용량을 절감하도록 운영한다.



[그림 3-4-5-31] 장마시 시스템 활용

(다) 시스템 구축 기대효과

- 현재 제주시에서 심각한 문제가 되고 있는 계절적 및 지역적인 가뭄현상을 관수로의 체계적인 운영을 통해 사전에 대응할 수 있으며, 효율적인 수자원 사용을 통해 향후 지하수량 보존에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.
- 운영관리의 효율성 향상과 선진화된 농촌용수 관리체계를 마련할 수 있으며, 선진화된 관리체계도입으로 파이프라인에 대한 운영전략을 수립할 수 있다.



[그림 3-4-5-32] 관정 시스템 적용 기대효과

6. AMI 시스템의 네트워크 토폴로지

가. 연구개발 접근방법

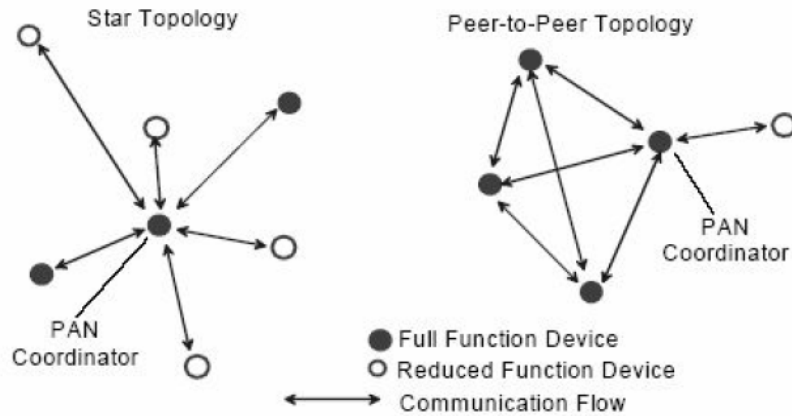
- AMI 시스템을 위한 네트워크 토폴로지의 기존 사례를 분석하고, 기존의 AMR 시스템의 주파수 환경 및 나타나고 있는 문제점 분석을 통하여 농업 환경에 최적의 네트워크 라우팅 프로토콜의 설계 및 구현에 대한 연구를 진행하였다.
  - 무선 네트워크 토폴로지 분석 및 조사
  - AMR 시스템의 주파수 환경 및 문제점 분석
  - AMR 시스템에서 문제점을 극복하기 위한 AMI네트워크 설계

나. 연구내용

(1) 무선 네트워크 토폴로지(Network Topology) 분석 및 조사

- 무선 네트워크 토폴로지는 응용할 때의 요구조건에 따라 [그림 3-4-6-1]에서 보이는 것과 같은 방사형 토폴로지(star topology) 또는 동등계층 토폴로지(peer-to-peer topology)라는 2가지의 토폴로지로 동작한다.
- 방사형 토폴로지 통신은 여러 개의 디바이스와 PAN 코디네이터라 불리는 중앙 컨트롤러 사이에 이루어진다. 디바이스는 전형적으로 가입 기능을 가지고 있으며, 네트워크 통신에서 시작점 또는 종점이 된다. PAN 코디네이터는 또한 규정된 애플리케이션을 가질 수 있

지만 이는 네트워크 주위의 통신에서 시작과 끝 또는 라우터로서 이용될 수 있으며, PAN 코디네이터는 PAN의 주 컨트롤러이다. 각 토폴로지를 이용하여 네트워크에서 작동되는 모든 디바이스는 고유한 64bit의 확장된 주소를 가지며, 이 주소는 PAN에서의 직접통신을 위해 사용될 수 있고, 디바이스의 가입 및 대신 사용할 때 PAN 코디네이터에 의해 짧은 주소가 할당되기도 한다. 디바이스들이 주로 배터리로 전력을 공급받는 반면 PAN 코디네이터는 주 파워로 동작을 한다.



[그림 3-4-6-1] 방사형과 동등 계층 토폴로지

- 동등계층 토폴로지는 하나의 PAN 코디네이터를 가지지만 방사형 토폴로지와는 달리 어떠한 디바이스나 일정한 범위 안에만 있으면 다른 디바이스와의 통신이 가능하다. 동등계층 토폴로지는 메시 네트워크 토폴로지와 같이 구현하기가 좀 더 복잡한 네트워크 구성을 할 수 있고, 산업 컨트롤 또는 모니터링이나 무선 센서네트워크, 자산이나 재고 추적, 인텔리전트 농경산업, 그리고 감시 시스템 등의 응용제품은 동등계층 토폴로지의 장점을 가진다. 동등계층 네트워크는 애드 혹, 자기 조직화, 그리고 자가치료 등을 할 수 있다. 또한 다중홉(multiple hop)이 가능하여 네트워크상에서 디바이스간의 메시지를 전달할 수 있으며, 이러한 기능들은 상위 계층에서 더해질 수 있다.

(가) 방사형 네트워크 구조 (Star network formation)

- 방사형 네트워크의 구조는 하나의 FFD(Full-Function Device)가 활성화 된 후에는 이 FFD는 고유의 네트워크를 형성할 수 있으며 PAN 코디네이터가 될 수 있다. 모든 방사형 네트워크는 현재 동작중인 다른 방사형 네트워크로부터 독립적으로 동작하며, 이 동작은 무선통신 영향권 내에 있는 다른 네트워크에 의해 현재 사용되지 않는 하나의 PAN 식별자를 선택함으로써 이루어진다. 일단 PAN 식별자가 선택되면, PAN 코디네이터는 잠재적으로 FFD와 RFD(Reduce-Function Device)가 될 수 있는 다른 디바이스들이 네트워크에 연결되는 것을 허용하게 된다.

(나) 동등 계층 네트워크 (Peer-to-peer network formation)

- 동등 계층 토폴로지에서 각각의 디바이스는 무선통신 영향권 하에 있는 다른 디바이스와 통신을 할 수 있다. 예를 들어, 한 채널에서 통신하는 첫째 디바이스가 되는 디바이스는

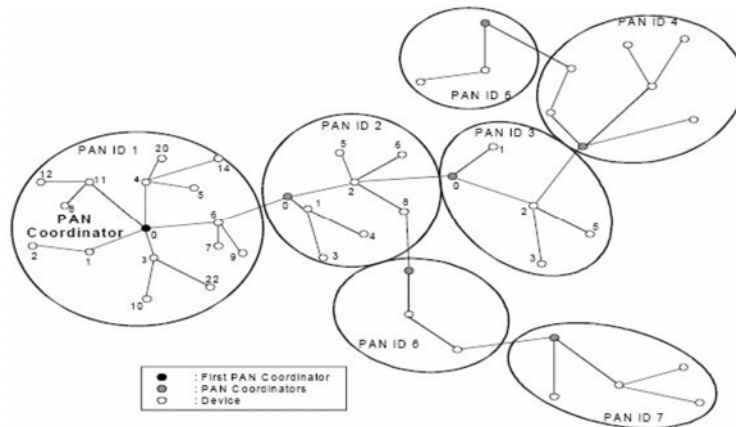


PAN 코디네이터로 지정하고, 그 이상의 네트워크 구조는 동등 계층 토폴로지로부터 구성되고, 네트워크의 형성에 토폴로지 제한이 가해 질 수 있다. 동등 계층 통신 토폴로지의 예로서 클러스터 트리구조가 있다.

- 이 클러스터 트리 네트워크는 대부분의 디바이스가 FFD인 동등 계층 네트워크의 특별한 경우이며, RFD는 다른 디바이스들이 가입되는 것을 허용치 않기 때문에 가지 끝 부분에서 leaf 디바이스로서 클러스터 트리 네트워크와 연결된다. 모든 FFD는 코디네이터로서 활동을 하고 다른 디바이스 혹은 다른 코디네이터들의 동기화를 제공하며, 여러 코디네이터들 중 단 하나는 통합 PAN 코디네이터가 되는데, 이는 PAN에서 어떠한 다른 디바이스보다도 더 많은 계산 자원을 가진다. PAN 코디네이터는 사용되지 않는 PAN 식별자를 선택하고 비컨 프레임을 인접 프레임을 에 방송함으로써 첫번째 클러스터를 구성하며, 경합 해결메카니즘은 2개 또는 그 이상의 FFD가 동시에 그들 스스로 PAN 코디네이터가 되려 할 때 필요하다.

(다) 클러스터 트리 네트워크

- 클러스터 트리 네트워크의 가장 단순한 형태는 단일 클러스터 네트워크이지만 다중 접속 클러스터를 메쉬 형태로 만들어 보다 큰 네트워크를 만들 수 있다. 네트워크사전에 규정된 응용 및 네트워크의 요구사항이 충족되면, 첫째 PAN 코디네이터는 한 디바이스를 첫째에 인접한 새로운 클러스터속 클러스터코디네이터로 지정된다. [그림 3-4-6-2]에서 속선들은 통신선 흐름이 아니라 디바이스의 부자(Para-child) 관계를 나타낸다. 멀티 클러스터 구조의 이점은 통신 가능 지역이 증가하는 반면, 메시지 대기 시간이 증가하게 된다.



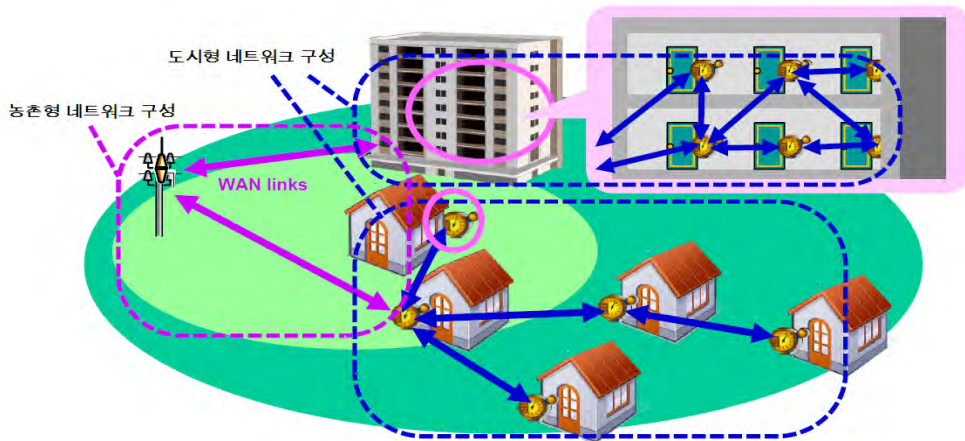
[그림 3-4-6-2] 클러스터 트리 네트워크

(라) 환경 적응형 센서 네트워크 클러스터 구성

- 환경 적응형 센서 네트워크의 구성을 위하여 크게 [그림 3-4-6-3]과 같이 도시형과 농촌형의 모델을 구성할 수 있다. 이러한 도시형과 농촌형의 차이는 AMI 네트워크 설계에 있어서 수용가 수가 도시형의 경우 경제성 있는 네트워크 구성을 위하여 가능한 많은 데이터를 수집할 수 있는 네트워크를 설계해야 한다. 그러나 농촌형의 AMI 네트워크의 구성은 수용가가 많지 않기 때문에 면적에 비하여 수집되는 데이터의 개수가 작기 때문에 멀

티옴을 이용하여 데이터 수집을 해야만 경제성 있는 네트워크를 설계할 수 있다.

- 도시형의 네트워크는 기존 도시에 구축되어진 IT 인프라를 활용하여 WiFi 또는 전용선을 활용하여 데이터를 수집할수 있도록 고려되어야 한다. 그러나 농촌형 네트워크의 경우 그 계획되어지는 센서의 분포가 독립적으로 위치하거나 소규모로 설치되기 때문에 네트워크 구성에 있어서도 IT 인프라를 활용하기에 어려움이 있기 때문에 이동통신망을 활용하여 네트워크 구성을 고려해야한다.



[그림 3-4-6-3] 도시형 및 농촌형 네트워크 구성 방식

(2) 기존 AMR 시스템 및 문제점 분석

(가) 기존 AMR(Automated Meter Reading) 시스템

- 유틸리티(수도, 전기, 가스, 온수, 열량 등)를 공급하는 공급자가 수요자(고객)의 유틸리티 사용량을 원격에서 자동으로 검침하기 위해 설치된 시스템이다. 이러한 원격검침은 기존의 인력에 의한 검침에 따른 검침효율 및 정확성 등을 개선하기 위해서 제안되었으나, 최근 검침 이외의 다양한 에너지 서비스와 IT를 결합하여 새로운 시대를 위한 패러다임의 전환을 꾀하고 있다. 이러한 원격검침에는 [표 3-4-6-1]에서 보는 바와 같이 크게 유선(전용선)방식과 PLC (전력선통신)방식 그리고 무선기술을 이용하는 방식이 있다.

[표 3-4-6-1] 국내 AMR 현황

AMR 방식	주요 내용	주 적용분야	국내업체
유선방식 (전용선)	- RS-232 - RS-485 - M-BUS(Meter-BUS)	신규 공동주택 (전기/가스/열/수도)	- LS산전 - 피에스텍 - 옴니시스템 - 위지트
전력선통신방식	- IEC12149-1	기존 및 신규주택 (전기)	- 한전 KDN - 플레넷 - 소디프
무선방식	- 424MHz - ZigBee(2.4GHz)	기존 공동 및 단독주택 (전기/가스/수도)	- LS산전 - 위지트 - 카오스 - 누리텔레콤 - 레오테크

(나) 유선 방식의 AMR 시스템 문제점

- 주로 건설업체들 주도로 신규 공동주택 건축 시에 일괄적으로 선로공사 및 설치가 이루어지기 때문에 각 주택마다 중앙관리가 용이한 장점이 있으나, 설치 후 이동 또는 추가 검침기의 설치가 용이하지 않기 때문에 새로운 시스템으로의 확장 또는 전환의 어려움이 있다.
- 전력선을 이용하여 통신 네트워크를 구성하고, 데이터를 송수신하는 기술로써, 수 kbps 수준의 저속 전력선 통신에서 부터 수십 Mbps 이상의 속도를 가지는 고속 전력선 통신기술도 적용되고 있으나 잡음, 정확성 등의 문제점과 전력을 제외한 다른 유틸리티에서는 검침을 위해 추가적으로 전력선을 연결해야 하는 단점 때문에, 전기검침 분야 외에 다른 분야로의 확장이 제한되고 있다.

(다) 무선 방식의 AMR 시스템의 필요성 증대 및 한계

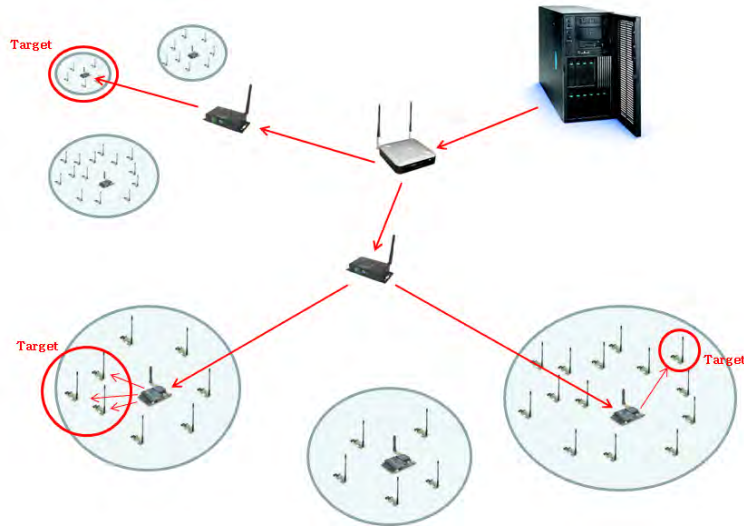
- 무선 AMR 시스템은 매우 유용한 대안으로써 활용될 수 있다. 실제로 국내에 적용되는 AMR 시스템 중 기존주택 및 단독주택에서는 대부분 무선방식을 이용된다. 현재, 국내 무선 AMR 시스템은 주로 424MHz대역을 이용하는 방식과 2.4GHz대역의 ZigBee를 사용하는 무선 시스템을 이용하고 있다.
- 무선 AMR 시스템은 전력소모를 최소화하기 위하여 Global Synchronization을 기반으로 각 수집기에서 고정된 Slot에서 통신을 수행하며, 수차례의 재전송을 통해 최종 데이터가 서버로 전송된다. 이러한 단 방향의 서비스는 다수의 수집기 데이터를 수집함에 있어 상당한 양의 수집시간을 요구하게 되고, 최적화된 전력관리를 사용하기에 어려움이 있다.
- 특히 424MHz 및 2.4GHz 기반의 기존의 무선 AMR 시스템은 무엇보다 주파수의 특성상 다양한 간섭 등의 환경적인 제약이 있으며, 현재 AMR 시스템 구조는 계측기에서 서버로의 단방향 통신에 의존하기 때문에 다양한 서비스의 확장이 불가능하며, 에러 및 장애상황의 빠른 감지 및 대처의 어려움이 있다. 또한, 에너지 효율적인 데이터 수집을 위하여 Global Synchronization기반의 고정된 슬롯에서의 데이터 전송방식은 clock drift에 의한 에러가 발생하며, 이러한 에러 상황은 다른 노드들에게 악영향을 미치게 된다. 또한 Tight한 TDMA 기반의 데이터 수집에 의존하기 때문에 데이터 수집 시간이 상대적으로 길어지며, 전력관리가 효율적으로 수행되지 못하고 있는 등 대부분의 무선기반의 원격검침시스템에서 다음과 같은 문제점 및 한계를 보인다.

(라) AMI 네트워크 프로토콜 설계 및 구현

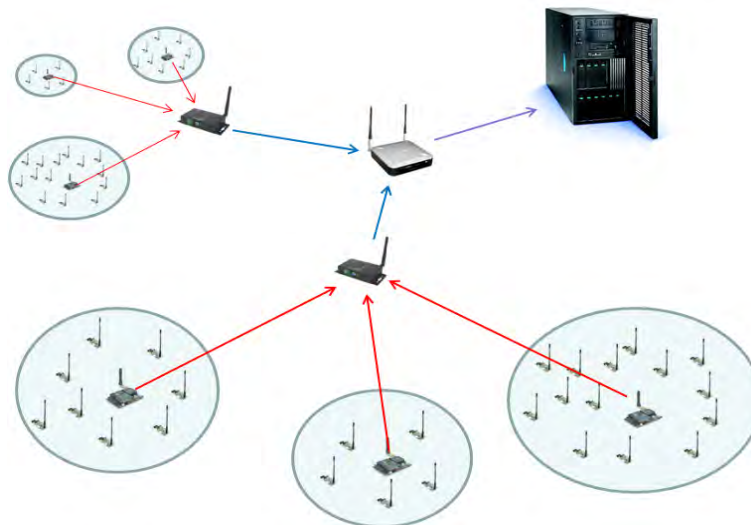
- 연구과제를 통해 개발되어진 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기반의 프로토콜은 크게 4가지의 특징을 지님.
- 첫째, 무선 통신 간 비동기 방식을 사용하며, 이로써, 동기화를 맞추기 위한 별도의 로직이나 알고리즘이 필요 없어 하위 계층으로 내려갈수록 프로그램이 가벼워진다. Clock

Drift 나 노드별 데이터 처리 시간 차이 등으로 인해 Time Sync가 어긋나는 문제를 예방한다.

- 둘째, 저전력을 추구하는 프로토콜로, WSN(Wireless Sensor Network) 환경에서 각 무선 노드들의 수명을 향상시키기 위해서는 주기적인 Sleep상태와 Active상태 간 전환과 복구는 필수적이다. 하지만 이로 인해, 동기화 문제가 발생할 수 있다. 개발된 프로토콜은 저전력 및 동기화 문제를 동시에 해결하는 알고리즘으로 설계되었으며, 저전력 방식으로 인해 자연스레 비용절감의 효과를 가져 올 수 있고, 이를 바탕으로 긴 수명을 가진 시스템의 설계 및 구현이 가능하다.
- 셋째, 실시간 데이터 수집이 가능. 비동기화로 Time Sync가 어긋난 노드들을 쉽게 동기화시킬 수 있기 때문에 사용자가 원할 때 서버에 데이터 수집 명령을 내리면 서버의 하위 계층의 노드들은 상호간 Time Sync를 맞추며 데이터 수집한다. 따라서 수집 시간을 정해놓지 않은 임의의 시간에서도 사용자가 원할 때 검침 데이터를 수집 수행할 수 있다.
- 넷째, 노드 명령, 호출 간 Bitmap Call 방식을 사용. Bitmap Call 방식으로 인해 한 지역 안에서도 차별적으로 데이터 수집이 가능해지고, Request Packet의 크기 그리고 전송 횟수 절감의 효과를 가져올 수 있다.
- [그림 3-4-6-4]는 최상위 계층인 Server에서 최하위 계층 스마트 검침기까지 데이터 수집 요청을 수행하는 과정을 나타낸 그림이며, 데이터 수집 요청의 흐름은 크게 Server → 스마트 코디네이터 → 스마트 매니저 → 스마트 검침기 순으로 계층적 방식이다.
- Server가 스마트 코디네이터에게 수집 요청을 내리면 스마트 코디네이터는 자신의 주위에 배치된 스마트 매니저를 모두 Standby 시키고 모든 스마트 매니저가 Listening 상태가 되었을 때 수집 명령을 전달한다. 여기서 스마트 매니저는 그룹채널과 네트워크 채널 등 두 개의 채널영역을 가진다. 스마트 코디네이터와 통신을 할 때는 다른 스마트 매니저들과 과도 공통이 되는 네트워크 채널을 이용하고, 보다 하위 계층인 스마트 검침기와 통신 할 때는 자기 고유의 r,lp 채널을 이용함으로써 어느 정도 활동 범위가 겹치거나 거리가 가까워 발생하는 동일채널 간섭을 방지 할 수 있다. 네트워크 채널에서 스마트 코디네이터에게 수집 요청을 받은 스마트 매니저는 보다 하위 계층인 스마트 검침기들을 Standby 시키면서, 근접한 스마트 매니저와 서로 다른 그룹 채널을 사용하므로 Co-Channel Interference를 고려하지 않아도 되기 때문에 네트워크 전 영역의 스마트 매니저들이 동시다발 적으로 데이터 수집 요청 및 수집을 행할 수 있다.
- 스마트 검침기가 모두 Listening 상태가 되면 스마트 매니저는 수집 요청을 내림. 이렇게 한 계층 한 계층 하위로 내려가면서 전 네트워크 영역으로 뻗어 나가게 되는 것이 본 프로토콜의 강점으로 특별한 동기화 없이 동시다발적으로 일어나므로 데이터 수집을 위한 지연시간은 상당히 단축된다.



[그림 3-4-6-4] 데이터 수집도 - 수집 요청



[그림 3-4-6-5] 데이터 수집도 - 자료 보고

- [그림 3-4-6-5]는 최하위 계층에서 수집한 데이터를 최상위 계층인 Server 까지 보고 하는 과정을 나타낸다. 스마트 검침기는 검침한 데이터를 곧장 스마트 매니저로 올려주고, 이를 차례로 전송받은 스마트 매니저는 스마트 코디네이터가 Listening 하고 있는 네트워크 채널로 전환하여 CSMA-CA 방식으로 데이터를 전송한다. 모든 스마트 매니저로부터 데이터 수집이 완료되면 스마트 코디네이터는 모아둔 데이터를 몇 등분으로 나누어 Server에 차례로 전송한다.

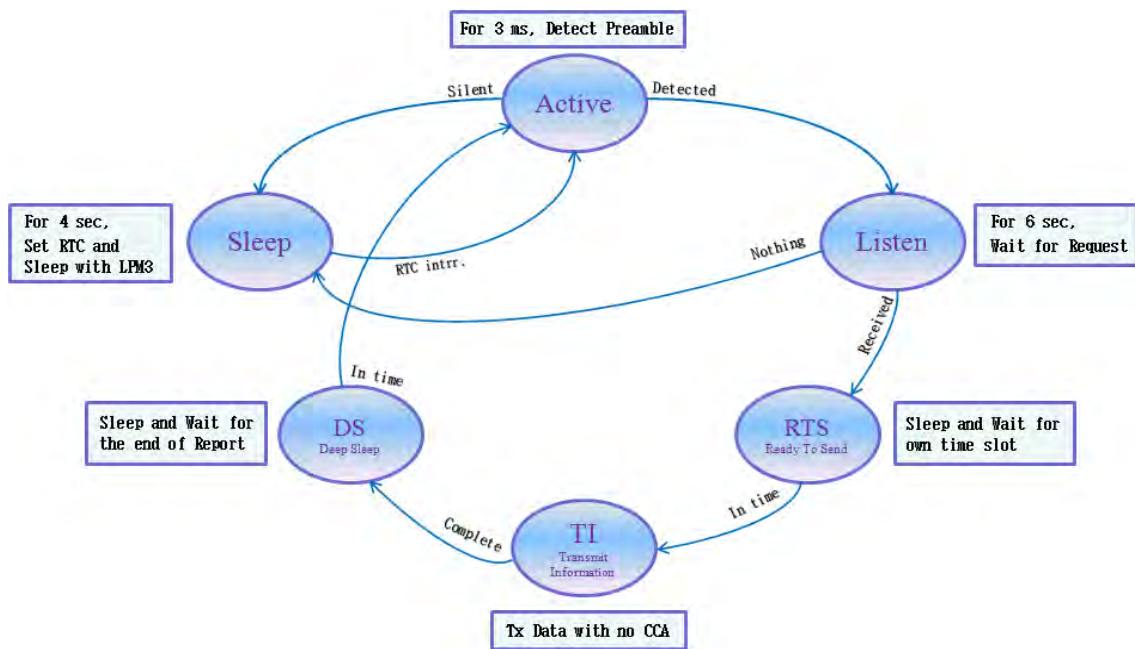
#### (마) AMI 프로토콜 동작 방식

##### ① Preamble Receiver

- [그림 3-4-6-6]은 Preamble Receiver의 상태 전이 과정을 도식화 한 것이다. 기본적으로 Sleep상태에서 시작하게 되는데 Power Saving 정책에 의해서 Active 상태와의 전이를 반복한다. Active상태로 진입 하자마자 Preamble Detection을 하게 되는데 만약 Preamble이

감지가 되면 노드는 Listen 상태로 전이된다.

- Listen 상태에서는 일정 시간을 대기하면서 Request Message를 기다리게 되는 데 그 시간 내에 Request Message를 받지 못하면 다시 Sleep 상태로 전이되어 다시 PPS를 계속 PPS를 수행하고, 반대로 Request Message를 전송 받는다면 RTS 상태로 전이되는데 RTS에서 노드는 Sleep모드로 들어가 자기 아이디어에 대응하는 Time Slot을 기다림. 시간이 지나 자신만 깨어 있게 되는 고유 Time Slot에 다다르면 다시 일어나 정보를 상위 계층에 전송하고, DS(Deep Sleep) 상태로 들어가 잠들. DS에 진입하게 되면 노드는 나머지 모든 노드들이 통신을 마칠 때까지 잠들게 된다. 이후 모든 데이터 보고가 끝나면 PPS를 계속 수행한다.

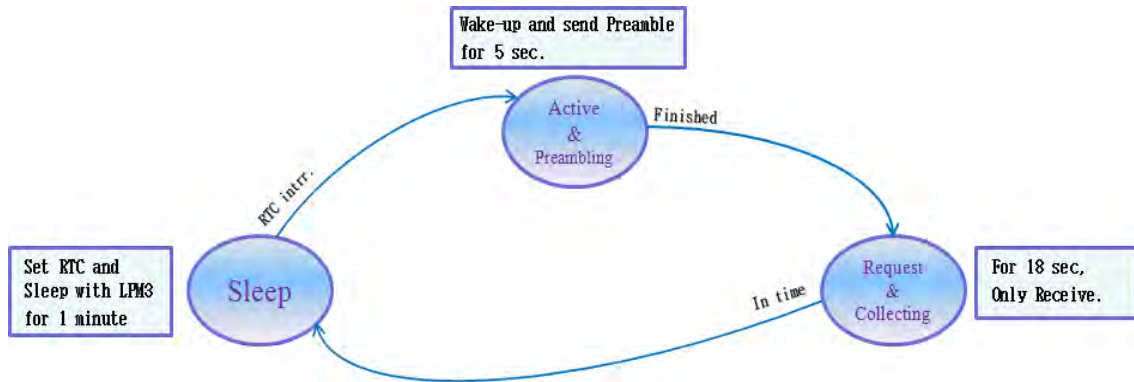


[그림 3-4-6-6] Preamble Receiver State Diagram

## ② Trigger Node

- [그림 3-4-6-7]은 Trigger Node의 State 전이 과정을 도식화 한 것이며, Preamble Receiver 보다 상위 계층인 Trigger Node 역시 Power Saving 정책에 의해 Sleep 상태에 진입하게 되는데 한번 깨어나면 Active 상태가 길기 때문에 비교적 오랜 시간 Sleep상태를 유지한다.
- RTC Interrupt에 의해 깨어나게 되면 Preambling을 하여 모든 하위 노드들을 Standby를 유지하며, 모든 하위 노드들이 Active 상태가 되는 충분한 시간동안 Preambling을 한 뒤 구성해놓은 Request Message에 Bitmap 을 실어 전송하고, 이내 하위 노드들은 응답하여 데이터를 보고하게되고, Bitmap에 있는 모든 하위 노드들이 데이터 전송을 마치면 상위 계층에 보고 한 후 다시 Sleep 모드로 복귀한다.





[그림 3-4-6-7] Trigger Node State Diagram

## 7. AMI 시스템 개발

### 가. 연구개발 접근방법

- 관수로 운영은 전체 시설을 과학적이고 통계적인 방식을 도입하여 감시·제어함으로써 현장설비의 직접적인 제어보다는 생산 및 공급설비의 감시를 통한 용수지역에 안정적으로 용수를 공급해야한다. 따라서 관수로에 AMI 시스템을 도입하여 각 절점에서의 용수 공급 상황을 모니터링하기 위한 무선 네트워크 시스템을 개발해야한다.

### 나. 연구내용

#### (1) AMI 무선 네트워크 개발

- 기존 무선 검침 시스템은 크게 424MHz 대역의 저속 기반의 원격검침 시스템과 2.4GHz의 ZigBee 기반의 무선 원격검침이 대표적으로 사용되고 있다. 대다수의 현존하는 원격검침은 전력소모를 최소화하기 위하여 Global Synchronization을 기반으로 각 수집기에서 고정된 Slot에서 통신을 수행하며, 수차례의 재전송을 통해 최종 데이터가 서버로 전송 된다. 이러한 단 방향의 서비스는 다수의 수집기 데이터를 수집함에 있어 상당한 양의 수집시간을 요구하게 되고, 최적화된 전력관리를 사용하기에 어려움이 있다.
- 424MHz 및 2.4GHz 기반의 기존의 무선 검침시스템은 무엇보다 주파수의 특성상 다양한 간섭 등의 환경적인 제약이 있다. 더욱이 대다수의 현존하는 원격검침 구조는 수집기에서 집중기로의 단방향 통신에 의존하기 때문에 다양한 검침서비스의 확장이 불가능하며, 예러 및 장애상황의 빠른 감지 및 대처의 어려움이 있으며, 에너지 효율적인 데이터 수집을 위하여 Global Synchronization기반의 고정된 슬롯에서의 데이터 전송방식은 clock drift에 의한 예러 발생이 쉽고 이러한 예러 상황은 다른 노드들에게 영향을 미치게 된다. 또한 Tight한 TDMA 기반의 데이터 수집에 의존하기 때문에 데이터 수집 시간이 상대적으로 길어지며, 전력관리가 효율적으로 수행되지 못하는 단점 및 한계를 가진다. 앞서 언급한 기존 무선 검침 시스템의 한계 및 단점을 극복하기 위하여 본 과제에서는 새로운 검침 시스템 인프라(AMI)의 구조를 다음과 같이 제안하였다.

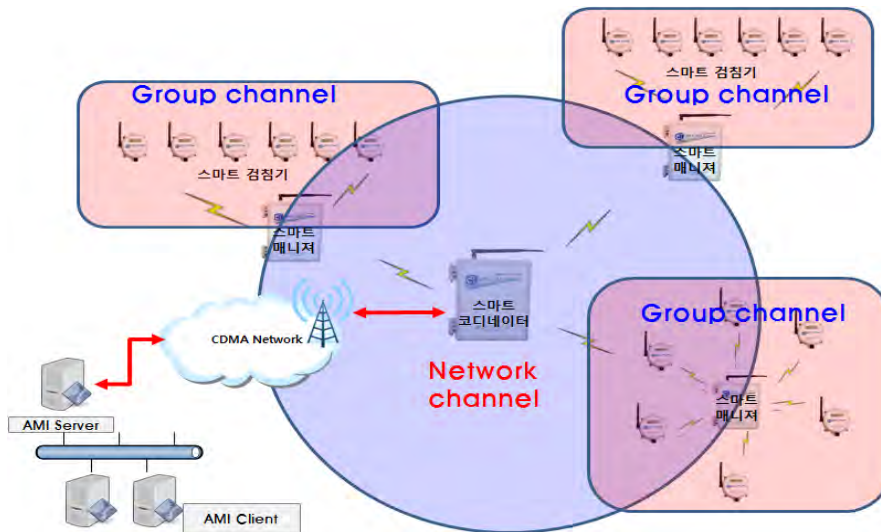
- 첫째, 계층적 검침 데이터 수집 구조를 가져야한다. 기존의 무선 검침 시스템의 단순한 1:N 형의 데이터 수집기법에서 탈피하여, 본 과제에서는 계층별 독립적인 역할을 수행하는 다양한 기기를 정의하고, 이를 통해 다양한 검침기로의 적용이 유연(Flexible)하고, 소형 및 대규모 검침 네트워크 모두를 지원가능하고 (Scalable), 안정적인 데이터 전송 (Reliable)한 데이터 수집을 가능케 했다.
- 둘째, 양방향 통신 지원. 기존의 단방향 통신이 아닌 서버로부터 최종 수집기까지 양방향 통신을 가능케 함으로써, 다양한 차세대 검침 서비스의 개발 및 실현을 가능케 하고, 각 부분에 있어서의 에러 및 장애 상황을 감지 및 대처 할 수 있도록 하였다.
- 셋째, Loose Time Synchronization 구조를 가진다. 기존 검침시스템의 문제점 중의 한 가지였던 Tight한 Global Synchronization을 배제하고, 각 요청마다 자신의 하위 장치들과의 on-demand synchronization을 수행함으로써, Clock drift 등으로 인한 에러 발생 및 에러 전파를 최소화함은 물론, 이후의 검침 요청으로의 에러 영향을 최소화시켰다.



- 넷째, 서버 요청기반의 데이터 수집 모델을 가진다. 기존의 스케줄 기반의 데이터 수집에서 발생하는 문제를 해결하고, 양방향 통신의 장점을 극대화시키기 위하여, 개발하는 시스템은 서버 요청기반의 데이터 수집 모델을 적용함으로써 개별 및 부분 그리고 전체 검침이 가능함은 물론, 각 검침 요청시마다 에러감지를 수행함으로써 에러의 즉각적인 통보 및 처리가 가능케 하였다.

(가) AMI 시스템 구조

- [그림 3-4-7-1]은 개발시스템의 구성요소들로 이루어진 계층적 AMI 구조를 보여주고 있으며, 그림에서와 같이 가장 상위에는 스마트 코디네이터가 있고, 한 개의 스마트 코디네이터는 다수의 최대 10개까지의 스마트 매니저를 관리하고, 각 스마트 매니저는 분할된 각 지역의 스마트 검침기의 데이터를 관리하는 중요한 디바이스이다. 스마트 검침기에 계량기와 직접 연결되어 사용량을 매 시간단위로 검침하고 해당 검침데이터 정보를 표시한다.



[그림 3-4-7-1] AMI 시스템 구조

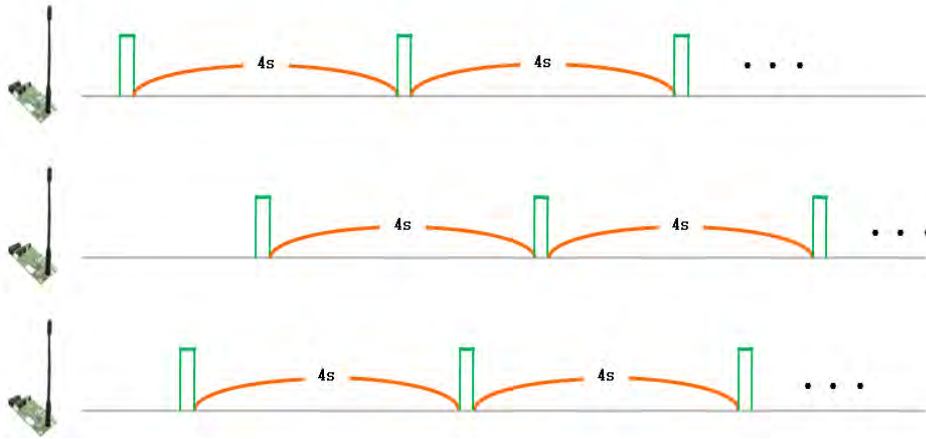
- [그림 3-4-7-1]에서와 같이 각 지역을 직접 관리하는 스마트 코디네이터는 CDMA를 통해 TCP/IP망으로 관리자 서버와 연결되며, 서버는 각 지역의 스마트 코디네이터로 스케줄에 의한 검침을 요청하고, 다수의 스마트 코디네이터들로부터 개별적인 연결을 통해 데이터를 수집한다. 또한 모든 수집된 데이터는 서버의 DB로 저장되며, 다수의 클라이언트에서는 서버와의 연결을 통해 다양한 서비스를 제공받게 된다.

(나) AMI 시스템을 위한 네트워크 디바이스 PPS 구조 설계

① Periodic Preamble Sensing(PPS)

- Power Saving을 구현하기 위하여, 각 노드들은 [그림 3-4-7-2]에서와 같이 특정주기로 Sleep상태와 Active상태 간의 전환을 계속하며, Sleep상태로 전이되기 전 노드는 RTC Timer를 제외하고 모든 리소스를 해체시켜 전류 소비를 극소화 시킴. 이내 특정 시간이 지나고 RTC Interrupt가 Pending 되면 노드는 Active 상태로 전환하는 데 전환됨과 동시에 현 채널상의 RSSI 값을 측정한다. 이는 상위 계층의 노드로부터 전송되는 Preamble을

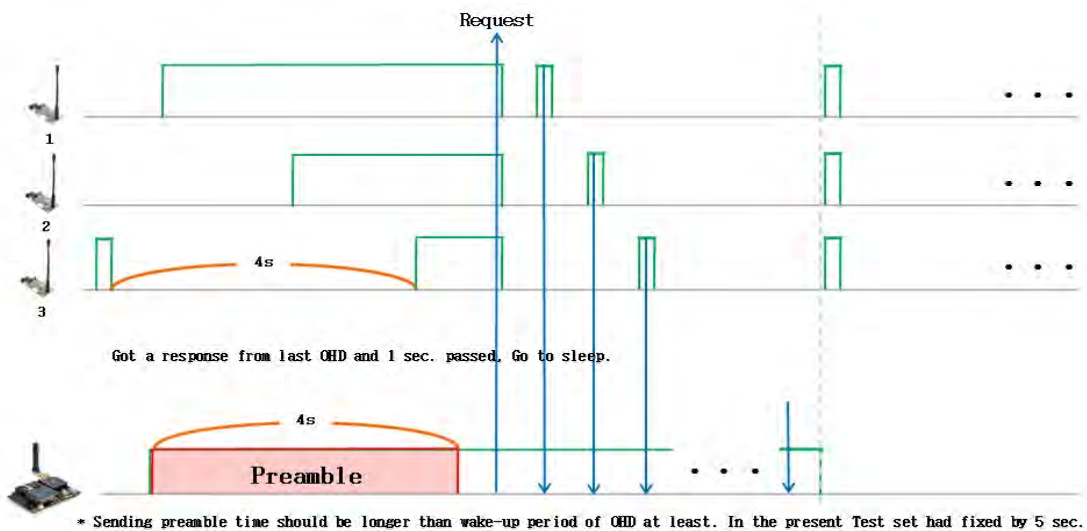
감지하기 위함이며, Preamble은 특정한 데이터가 있는 신호가 아니기 때문에 RSSI 값으로 감지한다. 만약 감지된 RSSI 값이 Threshold 이상일 경우, Active 상태를 유지하고 그렇지 않을 경우 다시 Sleep 상태로 전이된다. RSSI 값을 측정하는 데는 매우 짧은 시간이 소요되며, channel이 Clear할 경우 측정을 마치고 다시 Sleep 상태로 전이되는 데는 약 3ms 정도 밖에 걸리지 않는다.



[그림 3-4-7-2] Periodic Preamble Sensing

② Asynchronous Source Trigger

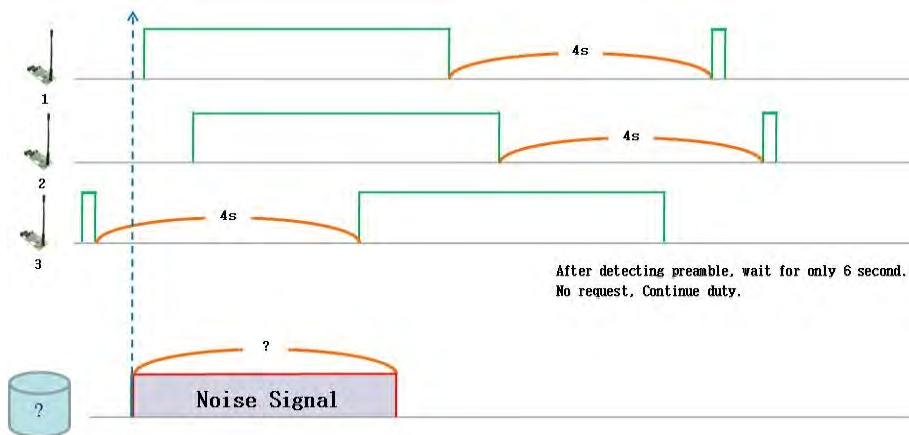
- 상위 계층 노드로부터 Preamble을 감지한 노드는 Active 상태를 유지하며 Request Message를 기다리며, Request Message를 들으면 노드들은 현 상태를 다시 Sleep 모드로 전환하고, 각 노드의 아이디어에 따라 정해진 Time Slot에 잠깐 깨어나 데이터만 Forwarding 하고 다시 Sleep 상태로 전환한다. 이 후 모든 다른 노드들까지 모든 통신이 끝나야만 PPS 다시 수행해 가는데 정해진 Time Slot이 있기 때문에 다른 노드들로부터의 RSSI를 감지하거나 간섭을 일으켜 통신을 방해하지 않도록 자체적으로 보호한다. [그림 3-4-7-3]은 Asynchronous Source Trigger 동작 상태를 나타낸다.



[그림 3-4-7-3] Periodic Preamble Sensing

### ③ 간섭 회피

- 특정 데이터가 존재하지 않는 Preamble은 채널상의 RSSI 값을 가지고 Sensing 됨에 따라 근접 지역 간 RSSI Interference가 발생 할 수 있는 데 이를 방지하기 위해 RSSI Threshold를 유연하게 지정해주어 해결하도록 프로토콜은 설계되어야 한다. 하지만 최악의 경우 출처를 알 수 없는 신호의 RSSI 값을 감지하거나 근접 채널의 RSSI 값을 감지해 낼 수 있는 경우에 노드들은 Active 상태로 전환되고 Request Message를 기다리게 된다. 하지만 특정 시간 내에 Request Message를 받지 못하면 다시 PPS를 계속해 수행해 나감으로써 다음 통신에 지장이 없도록 극복 할 수 있다. [그림 3-4-7-4]는 PPS를 이용한 간섭 회피 기능을 나타낸다.



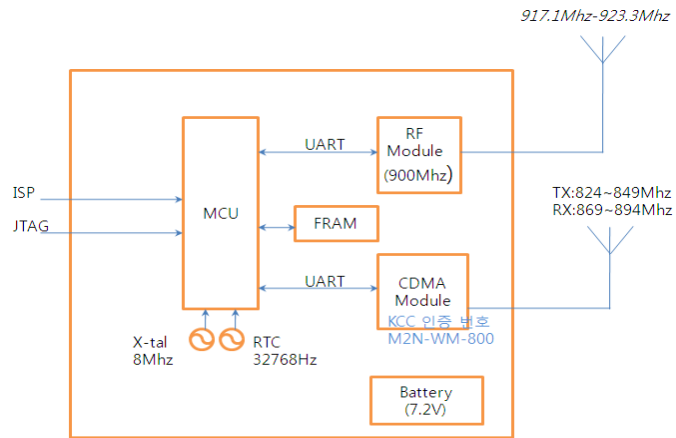
[그림 3-4-7-4] 간섭 회피 기능

### (다) AMI 시스템을 위한 AMI 디바이스 설계 및 개발

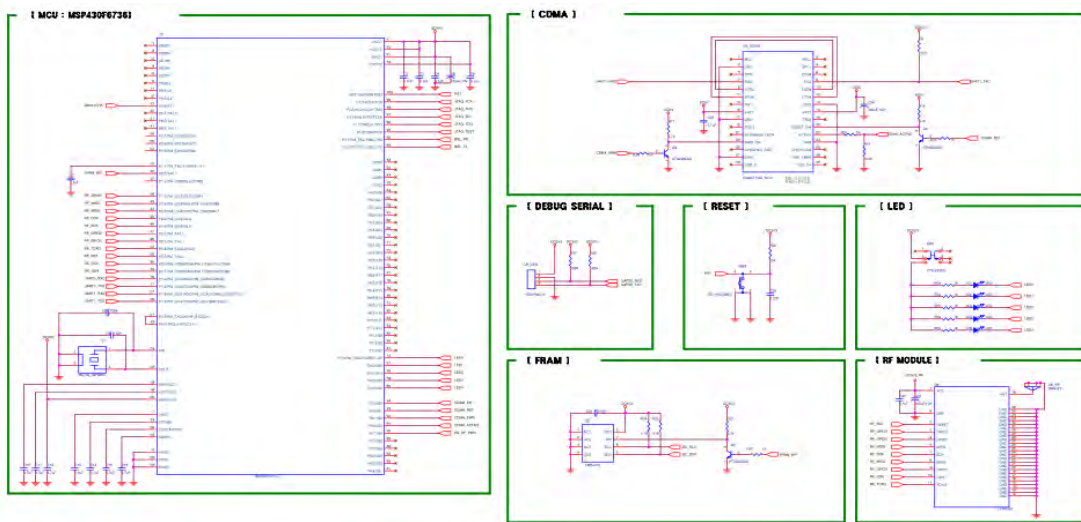
- AMI 시스템은 스마트 코디네이터, 스마트 매니저, 스마트 검침기 등의 디바이스로 구성된다. 스마트 코디네이터는 900 MHz 기반의 무선모듈과 CDMA로 구성 되어 있으며, 스마트 매니저, 스마트 검침기는 900 MHz 기반의 무선모듈로만 구성되어 있고, 스마트 검침기는 계량기 검침을 위한 계량기 검침부를 추가로 구성한다.

### ① 스마트 코디네이터

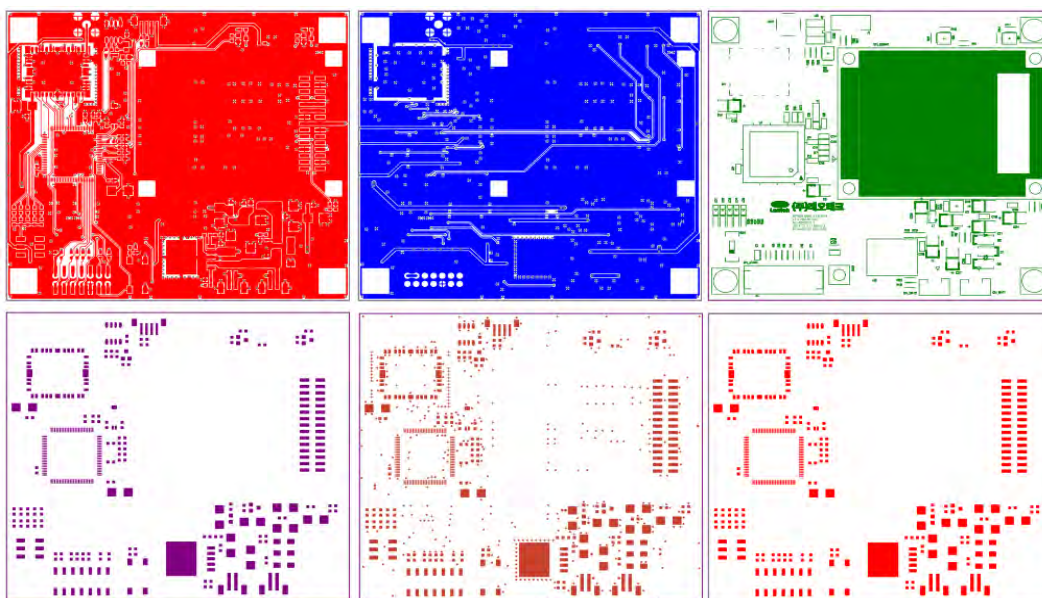
- [그림 3-4-7-5]는 RF 제어를 위한 MCU 및 주변 인터페이스 회로와 RF 회로로 구성된 스마트 코디네이터의 구성도이며, CDMA 모듈 부는 이동통신사에 지원하는 2G/3G 지원 하는 이동통신 데이터 모뎀을 인터페이스하기 위한 회로로 구성된다. 또한 수집된 데이터를 저장하기 위한 FRAM과 전원 공급을 위한 배터리 부로 구성된다.



[그림 3-4-7-5] 스마트 코디네이터 구성도



[그림 3-4-7-6] 스마트 코디네이터 회로 설계



[그림 3-4-7-7] 스마트 코디네이터 PCB 설계



[그림 3-4-7-8] 스마트 코디네이터 시제품 제작

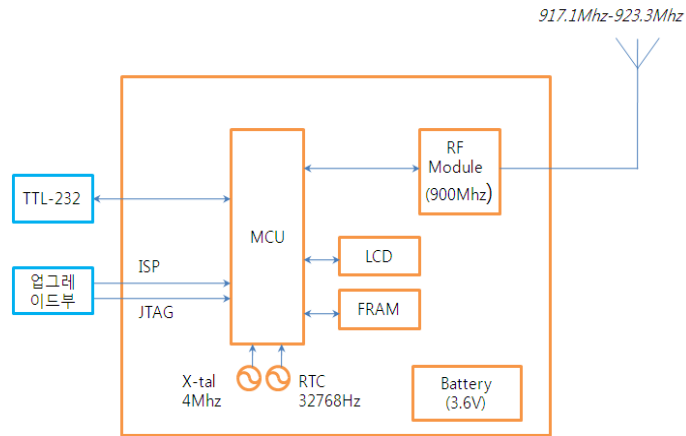
[표 3-4-7-1] 스마트 코디네이터 제원

구 분	내 용
MCU	• MSP430F6736(16bit)
입력전원방식	• DC 7.2V 19AH 배터리 10 EA = 1 Set • 총 용량 : 4Set -> 2직렬 2병렬
동작전원	• DC 5V : CDMA • DC 3.3V : MCU, RF 모뎀
소비전류	• RF모뎀 사용 구간 : 20mA • CDMA모뎀 사용 구간 : 230mA • POWER SAVE 구간 : 30uA • POWER Down 구간 : 7uA
동작온도	• -20℃ ~ +60℃
통신방식	• RF통신(920.700Mhz~923.9Mhz) : 통신채널 수 - 12채널 • CDMA통신(SKT, 2G or 1x 망)
프로토콜	• 자체 프로토콜 사용
방진/방수	• IP44

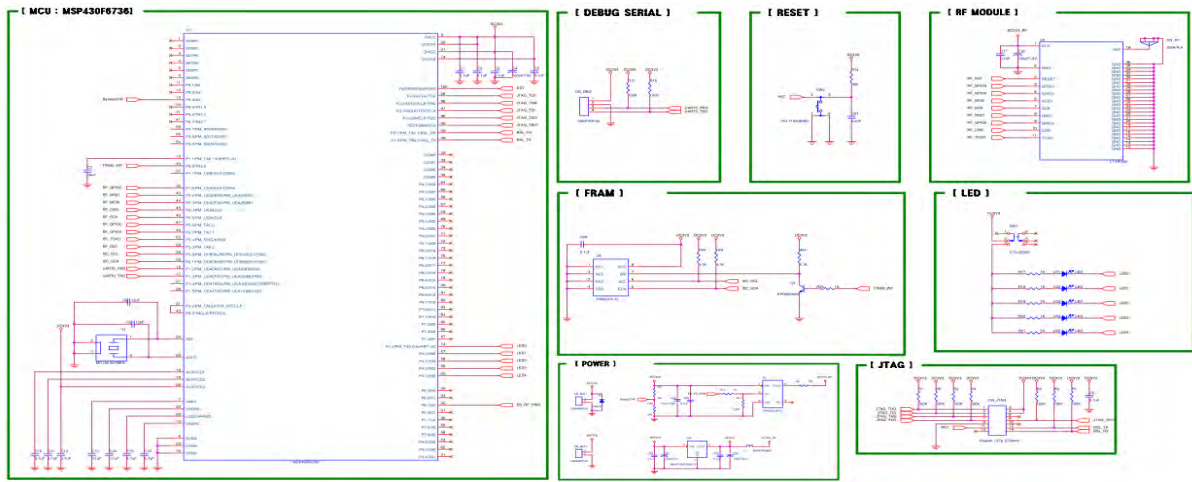
## ② 스마트 매니저

- 스마트 매니저는 RF 제어를 위한 MCU 및 주변 인터페이스 회로와 RF 회로로 구성되며, 스마트 검침기로부터 전송된 데이터를 저장하기 위한 FRAM과 전원 공급을 위한 배터리 부로 구성된다.

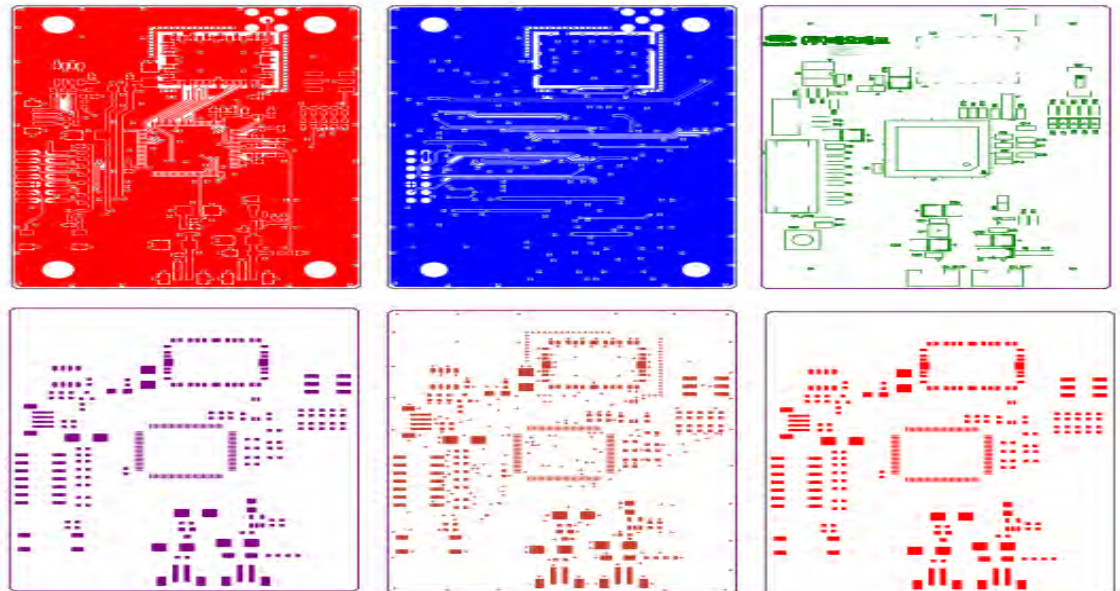




[그림 3-4-7-9] 스마트 매니저 구성도



[그림 3-4-7-10] 스마트 매니저 회로 설계



[그림 3-4-7-11] 스마트 매니저 PCB 설계

○ 스마트 매니저 사양 구성



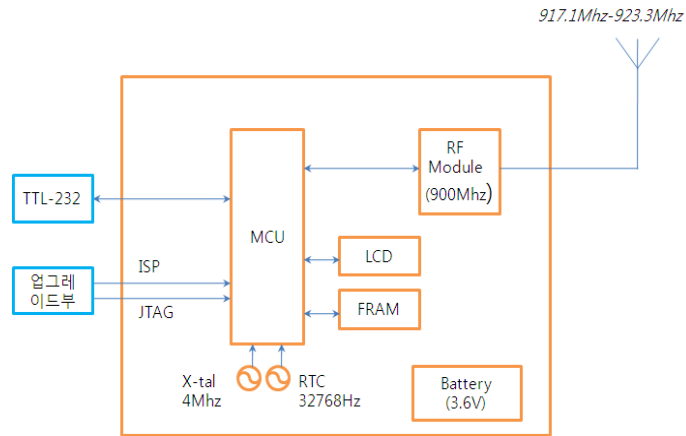
[그림 3-4-7-12] 스마트 매니저 시제품 제작

[표 3-4-7-2] 스마트 매니저 제원

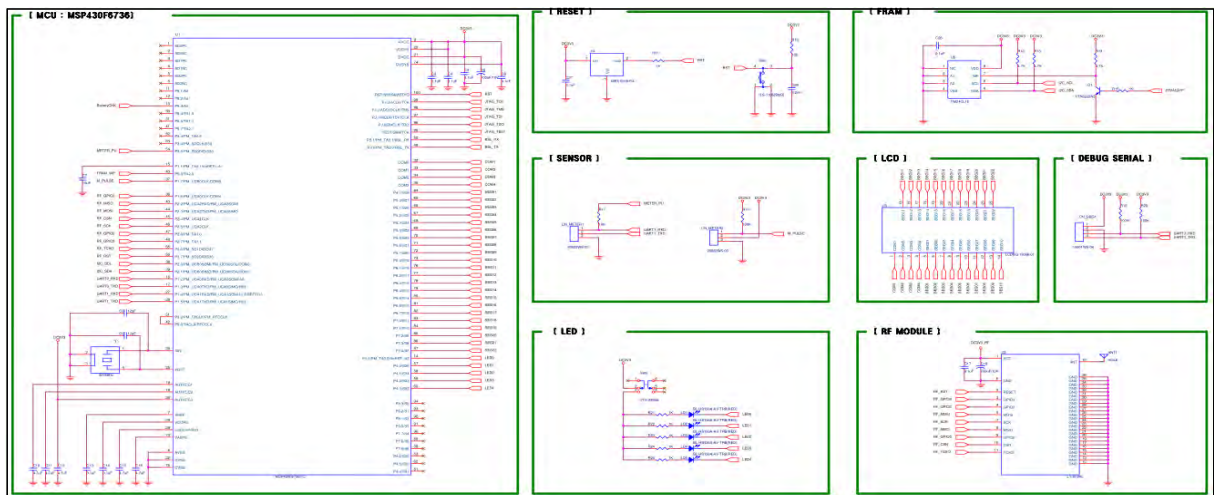
구 분	내 용
MCU	• MSP430F6736(16bit)
입력전원방식	• DC 3.6V 19AH 배터리 1 EA
동작전원	• DC 3.3V : MCU, RF 모뎀
소비전류	• RF모뎀 사용 구간 : 20mA • POWER SAVE 구간 : 30uA • POWER Down 구간 : 7uA
동작온도	• -20℃ ~ +60℃
통신방식	• RF통신(920.700Mhz~923.9Mhz) : 통신채널 수 - 12채널
프로토콜	• 자체 프로토콜 사용
방진/방수	• IP44

③ 스마트 검침기

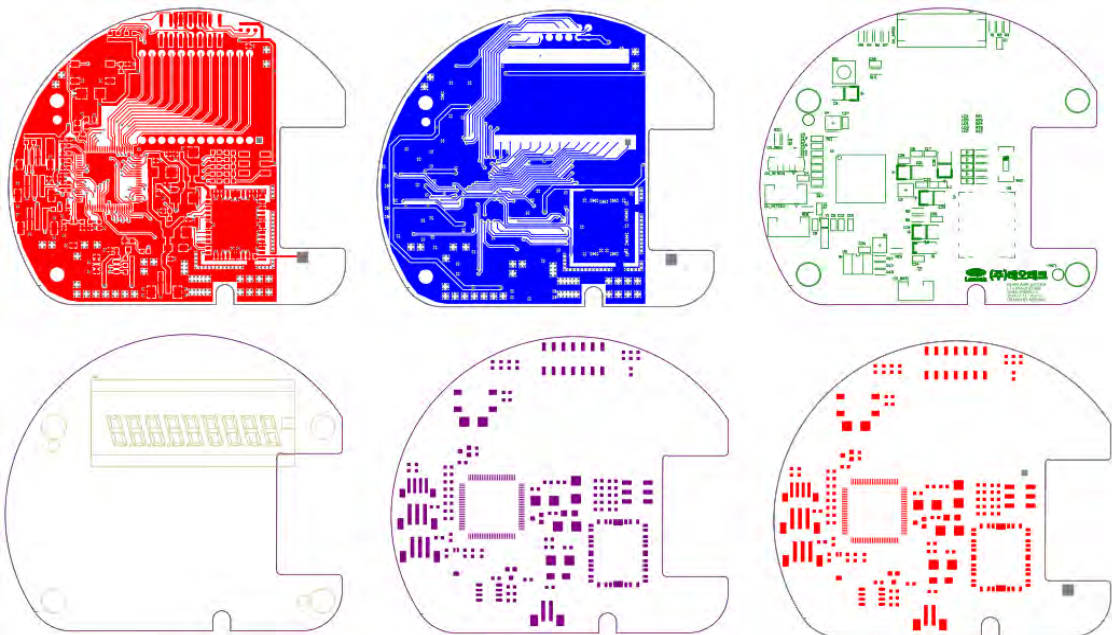
- 스마트 검침기는 RF 제어를 위한 MCU 및 주변 인터페이스 회로와 RF 회로로 구성되며, 계량기로부터 검침된 데이터를 표시하기 위한 LCD 및 검침된 데이터를 저장하기 위한 FRAM과 전원 공급을 위한 배터리부로 구성된다.



[그림 3-4-7-13] 스마트 검침기 구성도



[그림 3-4-7-14] 스마트 검침기 회로 설계



[그림 3-4-7-15] 스마트 검침기 PCB 설계



○ 스마트 검침기 사양 구성



[그림 3-4-7-16] 스마트 검침기 시제품 제작

[표 3-4-7-3] 스마트 검침기 제원

구 분	내 용
MCU	• MSP430F6736(16bit)
입력전원방식	• DC 3.6V 19AH 배터리 1 EA
동작전원	• DC 3.3V : MCU, RF 모듈
소비전류	• RF모뎀 사용 구간 : 20mA • POWER SAVE 구간 : 30uA • POWER Down 구간 : 7uA
동작온도	• -20℃ ~ +60℃
통신방식	• RF통신(920.700Mhz~923.9Mhz) : 통신채널 수 - 12채널
프로토콜	• 자체 프로토콜 사용
센싱방법	• TTL232(전자식)
방진/방수	• IP68

(라) AMI 시스템을 위한 AMI 디바이스 테스트

- 900MHz 무선 원격검침 시스템은 각 Device의 성능과 스마트 코디네이터 <--> 스마트 매니저 <--> 스마트 검침기 통신 성능, AMI Device 상호간의 성능의 검증이 중요하다. 이를 검증하기 위해 RF 모듈의 성능, 옥외 거리테스트, Device간 네트워크 상태 테스트별로 테스트 하여 신뢰성을 검증했다.



[그림 3-4-7-17] RF 성능 시험 테스트 보드

① 900MHz 무선 주파수 분석

○ 900MHz 무선 원격검침 시스템을 테스트하기 위해서는 기본적으로 RF 모듈의 성능을 확인하는 것이 필요하다. 따라서 본 항에서는 RF 모듈을 장착한 스마트 코디네이터에 RF 모듈을 장착하여 실내와 실외로 구분하여 테스트를 진행하였고 그 결과는 다음과 같다.

- 불요발사 (적합)

주파수	기준값	분해 대역폭
1[GHz] 미만	-36dBm	100 [KHz] 다만, 지정주파수의 끝으로부터 200 KHz 이내에서는 3 KHz, 400 KHz 이내에서는 30 KHz를 적용

- 부차적 전파발사 (적합)

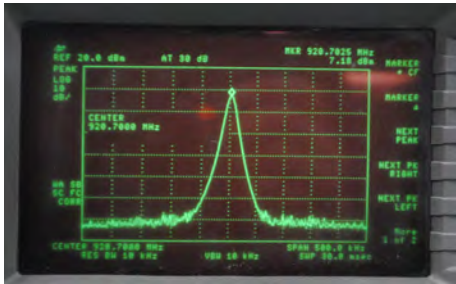
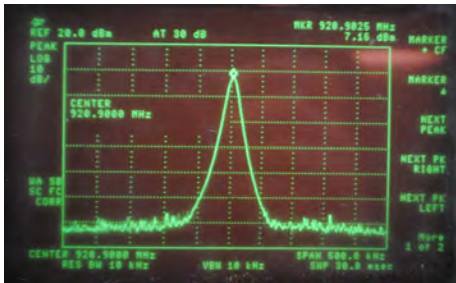
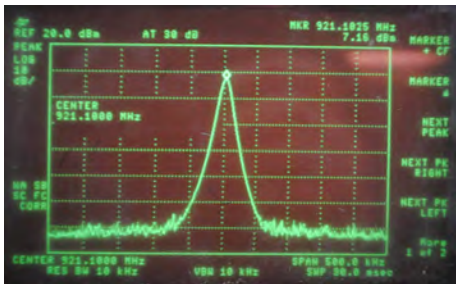
주파수	기준값	기준 대역폭
1[GHz] 미만	-54dBm	100 [KHz]

- 특정채널 점유시간 (적합)

- 임의의 20초 주기 동안에 2% 이내일 것.

- RF 무변조 신호 출력 측정 데이터

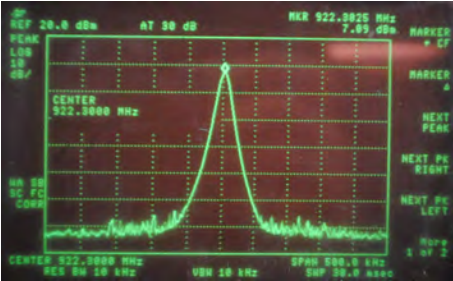
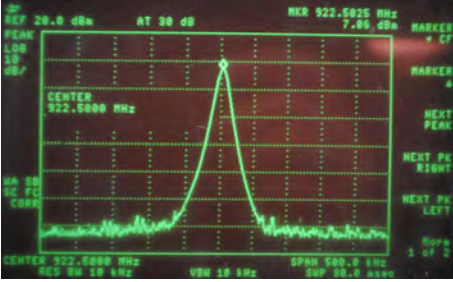
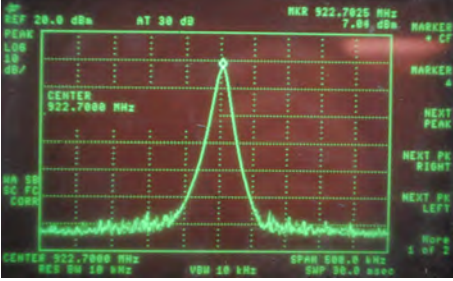
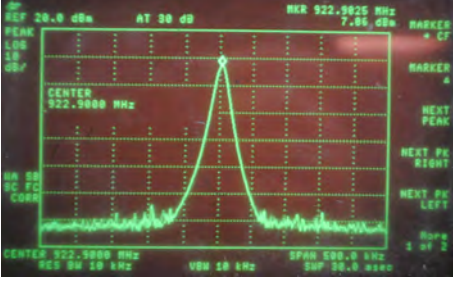
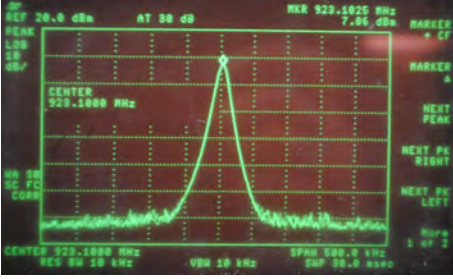
[표 3-4-7-4] 무변조시 송신 중심 주파수 (출력세기: 10dBm)

채널	설정 주파수	측정 결과	오차범위
CH : 19	920.7 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 20	920.9 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 21	921.1 [MHz]		+2.5KHz 적합

[표 3-4-7-4] 무변조시 송신 중심 주파수 (출력세기: 10dBm) (계속)

채널	설정 주파수	측정 결과	오차범위
CH : 22	921.3 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 23	921.5 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 24	921.7 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 25	921.9 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 26	922.1 [MHz]		+2.5KHz 적합

[표 3-4-7-4] 무변조시 송신 중심 주파수 (출력세기: 10dBm) (계속)

채널	설정 주파수	측정 결과	오차범위
CH : 27	922.3 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 28	922.5 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 29	922.7 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 30	922.9 [MHz]		+2.5KHz 적합
CH : 31	923.1 [MHz]		+2.5KHz 적합

② 900MHz 무선 모듈 실외 거리 테스트

- 900MHz 무선 원격검침 시스템은 각 Device의 성능과 스마트 코디네이터 <--> 스마트 매니저 <--> 스마트 검침기 간의 RF 모듈의 거리 테스트를 통해 각 Device의 성능을 검증하기 위한 테스트를 하였고 그 결과는 다음과 같다.

[표 3-4-7-5] 거리에 따른 PER Test 결과

거리 (m)	PER (%)	dBm	참고 사항	
유효 거리	500	100	-70 ~ -80	주변에 사람(장애물)이 많음
	550	100	-77	주변에 사람(장애물)이 많음
	600	99.7 ~ 100	-80 ~ -83	주변에 사람(장애물)이 많음
	650	100	-66 ~ -69	장애물 줄어듦.
	700	100	-71 ~ -75	대체로 장애물 없음.
	750	Skip	-70 ~ -80	대체로 장애물 없음.
	800	Skip	-70 ~ -80	대체로 장애물 없음.
	850	100	-81 ~ -82	대체로 장애물 없음.
	900	100	-81 ~ -87	대체로 장애물 없음.
	950	100	-81 ~ -87	대체로 장애물 없음.
최대 거리	1000	100	-87	대체로 장애물 없음.
	1050	90	-81	대체로 장애물 없음.
	1100	80	-90	대체로 장애물 없음.
	1150	95	-87	대체로 장애물 없음.
	1200	95	-86	대체로 장애물 없음. 고압선 아래
	1250	100	-85	대체로 장애물 없음.
	1300	96	-86	대체로 장애물 없음.
	1350	84	-84	대체로 장애물 없음.
	1400	89	-86	대체로 장애물 없음.
1450	10 이하		대체로 장애물 없음.	



## 8. AMI 운용 소프트웨어 개발

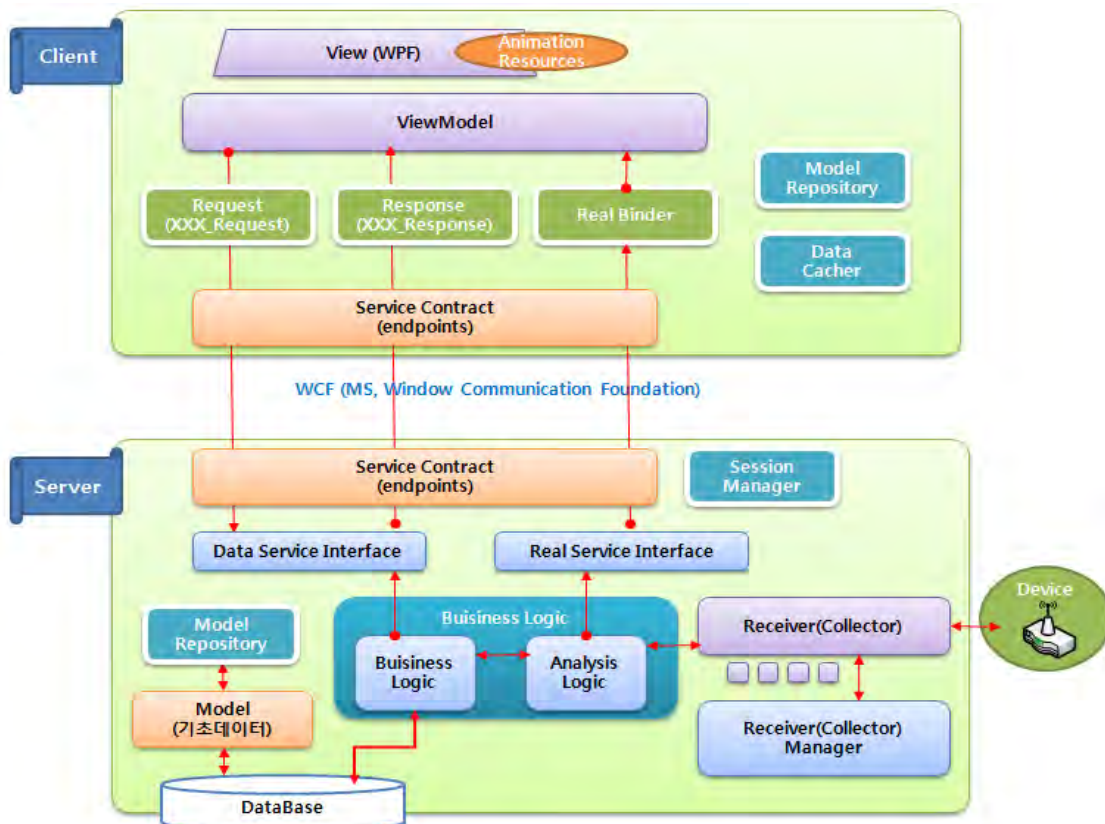
### 가. 연구개발 접근방법

- AMI 운용 소프트웨어는 Server/Client의 2Tier로 구성이 되며, 하나의 Server는 다수의 사용자 Client가 연동되는 1:N 구조로 구성되며, client UI는 .netframework 4.0 기반의 WPF(Window Presentation Foundation)으로 구성되어 사용자에게 직관적인 인터페이스를 제공하고 Client~Server 간의 통신은 WCF(Window Communication Foundation)를 이용하여 유연한 통신 환경을 구축하도록 개발하였다.

### 나. 연구내용

#### (1) 소프트웨어 모듈 구성

- Client의 구성은 사용자 인터페이스를 제공하는 'View' 와 'View'의 데이터 로직을 제공하는 'ViewModel', 데이터 조회 엔터티인 XXX\_Request, 데이터 응답 엔터티인 XXX\_Response로 이루어지며 실시간 모니터링을 위해 'Real Binder' 모듈을 개발하여 실시간적인 관리가 이루어지도록 했다. Server의 구성은 DataBase를 관리하는 'Model Repository' 모듈과 CDMA로부터 데이터를 수신하는 'Receiver/ReceiverManager' 모듈, 데이터 분석과 가공을 담당하는 'Business Logic'로 이루어지며, 이때, Client와 Server는 'Service Contract(EndPoints)'를 구성하여 상호간의 통신 접점을 구성하였다. [그림 3-4-8-1]은 서버/클라이언트 구조의 시스템 전체 로직을 나타낸다.



[그림 3-4-8-1] 서버/클라이언트 구조의 시스템 전체 로직

- 사용자 서비스 환경의 다양화를 위하여 기존 TCP/IP를 이용한 Client/Server 구조의 사용자 환경에서 MicroSoft의 WCF(Window Communication Foundation) 통신기술을 이용하여 다양한 Client Type의 사용자 UI 환경을 제공한다. Client Type별 서비스 환경 적용은 다음과 같다.

[표 3-4-8-1] Client Type별 서비스 환경 변경 내용

항목	타입	설명
기존	Client/Server	TCP/IP 통신을 통한 어플리케이션 UI환경 제공
변경	Client/Server	TCP/IP 통신을 통한 어플리케이션 UI환경 제공
	Web/Server	SOAP/JSON/WSDL 등의 표준 웹 프로토콜을 이용한 Web 기반의 UI환경 제공
	모바일 App.	Web Service를 이용한 모바일 App.운영 환경 제공

- 또한, 다양한 환경에 부합하는 통신 모듈 사용을 위하여 예를 들면 공인IP망, 행정업무망, VPN망 등 다양한 운영환경과 통신 보안환경에 부합할수 있도록 MicroSoft의 WCF(Window Communication Foundation) 통신기술을 이용해 유연한 통신 인터페이스를 제공하며, 기본적인 통신 암호화 알고리즘을 적용하여 보안성을 향상시킴.

(2) AMI 시스템 운용 소프트웨어

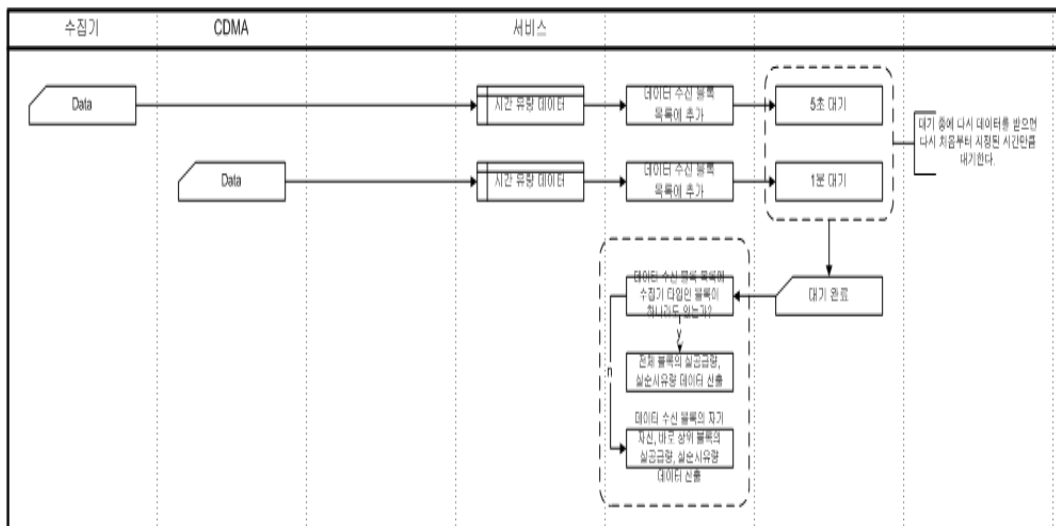
(가) 유량 모니터링 시스템

- 시스템 모듈 항목 목록은 [표 3-4-8-2]와 같다.

[표 3-4-8-2] 시스템 모듈 항목 목록

항목명	설명
View	User Intervace 화면부
ViewModel	View 바인딩 데이터부
Request_XXX_Request	서버요청 데이터 타입
Response_XXX_Response	서버응답 데이터 타입
Real Binder	실시간 데이터 관리자
Service Contract(Endpoints)	Client와 서버의 연동 포인트
Data Service Interface	Client 데이터 요청 인터페이스
Real Service Interface	실시간 데이터 연동 인터페이스
Model Repository	DB 구조화 데이터 저장소
Model	DB 구조화 데이터 객체
Business Logic	데이터 가공 로직
Analysis Logic	데이터 분석 로직
Receiver(Collector)	외부 데이터 수신 및 수집 관리자
Receiver(Collector) Manager	외부 데이터 수신 및 수집 관리자 매니저
Session Manager	Client와 서버 세tus 관리자
DataBase	데이터 파일

- 효율적인 용수관리를 위한 관수로 블록 계층 구성은 대/중/소블록의 계층으로 구성이 되지만, 지리적/물리적 입지조건을 고려하여 소블록에서 소블록으로 분기되는 구조가 발생하며, 소블록 별 용수 공급량 산출 시 (상위)소블록에서 분기된 (하위)소블록의 공급량을 제한 실 공급량을 이용해 계산되어야 한다. 시스템구성은 원격지에서 데이터를 송신하는 수집기와 수신하는 서비스로 이루어지며, 데이터 통신 환경은 CDMA망을 이용한 WCDMA 통신과 전용회선을 이용한 데이터 통신으로 이루어진다.



[그림 3-4-8-2] 시스템 구성

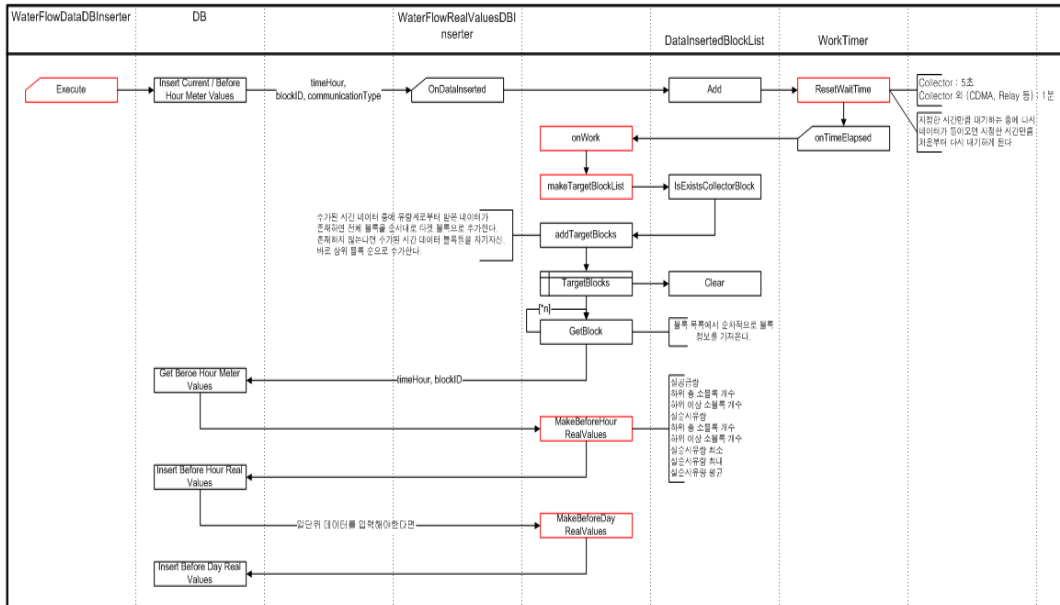
### ① 데이터처리 모듈 구성

- WaterFlowDataDBInserter: 유량 데이터 DB입력 모듈
- DB: 데이터를 저장하기 위한 DBMS 서비스
- WaterFlowRealValuesDBInserter: 실시간 유량 데이터 분석 및 DB입력 데이터 생성 모듈
- DataInsertedBlocList : 유량 데이터 블록 및 처리 매니저 모듈
- WorkTimer: 주기적인 데이터 분석 관리자

### ② DB 설계

- 계층 관계에 따른 실 공급량/순시유량 데이터 이력화를 위해 기존 이력 데이터 저장 DB 스키마가 아래와 같으며, Meter\_XXXX는 기존 지침 공급량/순시유량 데이터가 저장되고 Revision\_Meter \_XXXX는 실 공급량/순시유량 분석 데이터가 저장 된다.





[그림 3-4-8-3] 로직 모듈 구성

DB 테이블에 컬럼 변경사항		추가된 컬럼	삭제된 컬럼			
테이블	종류	컬럼	타입	필	허용	설명
WATER_FLOW_HO [시단위 유량 데이터]	공급량	EXPORT	decimal(19, 3)	X		실공급량
		REVISION_EXPORT	decimal(19, 3)	X		보정 실공급량
		METER_EXPORT	decimal(19, 3)	X		지침공급량
		REVISION_METER_EXPORT	decimal(19, 3)	X		보정 지침공급량
		EXPORT_TOTAL_SUB_BLOCKS	int	X		실공급량 산출시 하위 총 소블록 개수
		EXPORT_INVALID_SUB_BLOCKS	int	X		실공급량 산출시 하위 이상 소블록 개수
	순시유량	MOMENT	decimal(19, 3)	X		실순시유량
		REVISION_MOMENT	decimal(19, 3)	X		보정 실순시유량
		METER_MOMENT	decimal(19, 3)	X		지침순시유량
		REVISION_METER_MOMENT	decimal(19, 3)	X		보정 지침순시유량
WATER_FLOW_DA [일단위 유량 데이터]	순시유량	MOMENT_TOTAL_SUB_BLOCKS	int	X		실순시유량 산출시 하위 총 소블록 개수
		MOMENT_INVALID_SUB_BLOCKS	int	X		실순시유량 산출시 하위 이상 소블록 개수
	순시유량 최소/최대/평균	MOMENT_MIN	decimal(19, 3)	X		실순시유량 최소
		MOMENT_MAX	decimal(19, 3)	X		실순시유량 최대
		MOMENT_AVG	decimal(19, 3)	X		실순시유량 평균
		REVISION_MOMENT_MIN	decimal(19, 3)	X		보정 실순시유량 최소
		REVISION_MOMENT_MAX	decimal(19, 3)	X		보정 실순시유량 최대
		REVISION_MOMENT_AVG	decimal(19, 3)	X		보정 실순시유량 평균
		METER_MOMENT_MIN	decimal(19, 3)	X		지침순시유량 최소
		METER_MOMENT_MAX	decimal(19, 3)	X		지침순시유량 최대
METER_MOMENT_AVG	decimal(19, 3)	X		지침순시유량 평균		
기타	IS_REAL_SET	decimal(3, 0)	X			실공급량, 실순시유량 데이터를 입력했는지 여부

[그림 3-4-8-4] DB설계 구조변경

### ③ 유량 내역 모니터링

○ UX(User eXperience) 기반 사용자 편의적인 화면 구성 및 디자인 다음과 같다.

- 사용자 편의성 동적 레이아웃 구성
- 그래프/효과 등의 직관적 인터페이스 구성

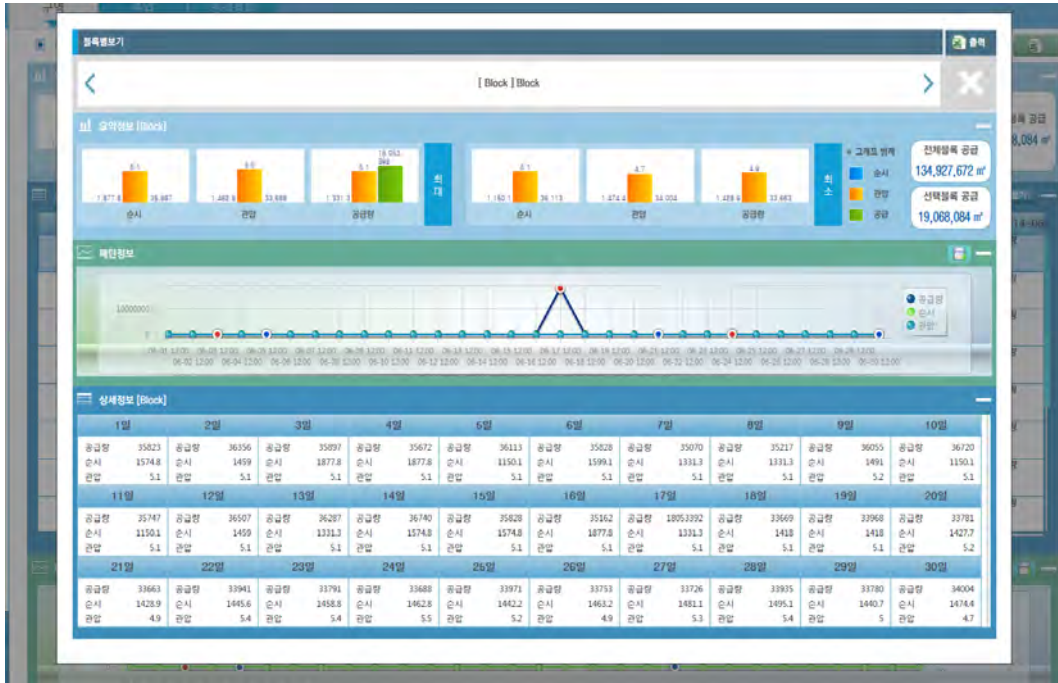


[그림 3-4-8-5] 연관계층 분석

- 분단위 상세 그래프 팝업 및 일별/개소별 상세보기 팝업



[그림 3-4-8-6] 분단위 상세 데이터 조회



[그림 3-4-8-7] 개별 상세뷰어 창

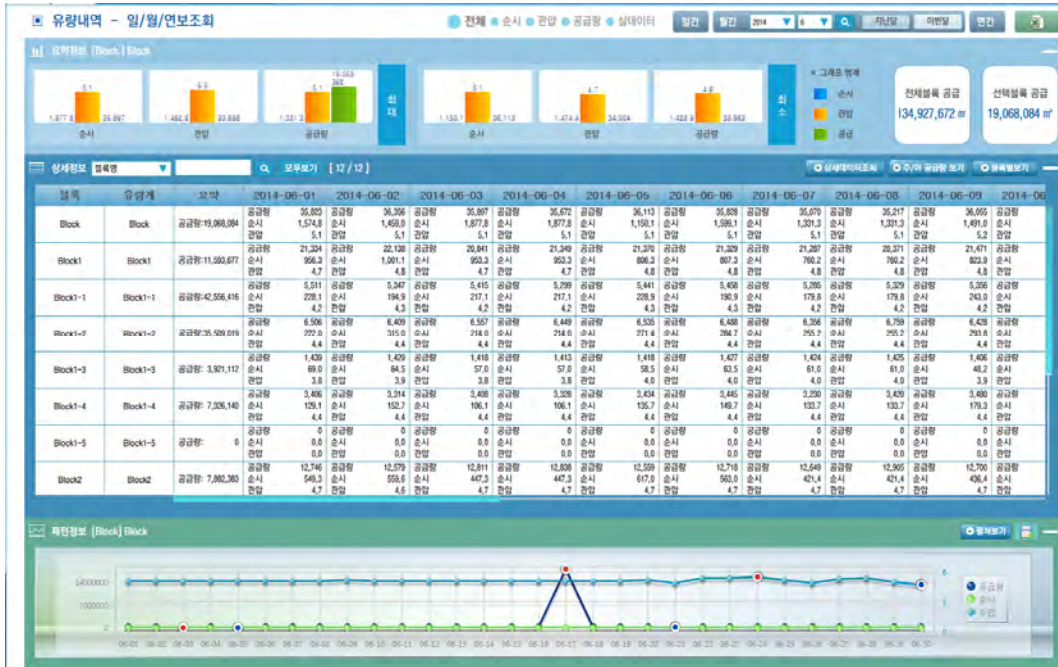
④ 다각도의 유연한 유량 이력 조회

- 일/월/연보 조회 관리
- 일별, 블록별 유량 패턴 비교 조회
- 지정시간조회(최소야간순시) 기능을 통한 시간대별 패턴 비교
- 유량 데이터 개별 항목별 최대/최소/평균/정시 데이터 조회 관리
- 알람발생 정보 관리



[그림 3-4-8-8] 통합조회





[그림 3-4-8-9] 일간보고서 조회

(나) 원격점검 모니터링 시스템

① 검침내역 - 통합조회

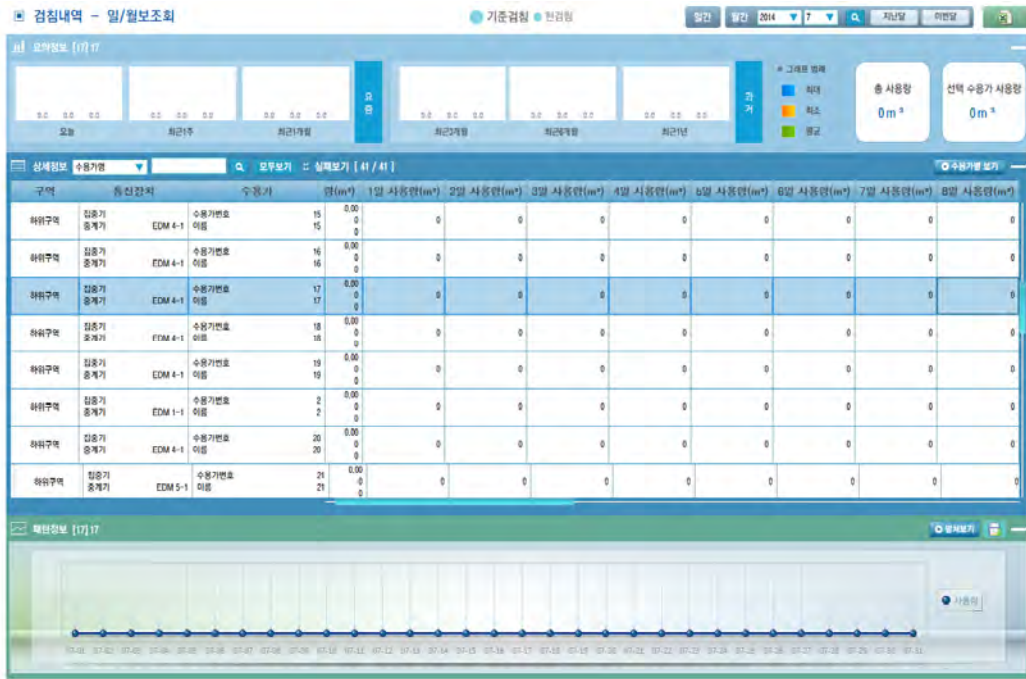
- 통합조회 메뉴에서는 각 수용가에 대한 다각도의 유연한 데이터 조회 기능을 제공하며, 원격점검이 이루어지는 수용가에 대한 정보를 알 수 있으며, 수용가와 기간을 지정하여 일간, 월간 검침 내역을 조회할 수 있으며, 각 일자별 사용량 확인과 패턴정보(그래프)를 제공한다. 제공하는 모든 조회/분석 결과는 최종 그리드(표)의 형태로 엑셀 출력이 가능하며 보고 및 기초데이터 확보에 편의성을 제공한다.



[그림 3-4-8-10] 검침내역 - 통합조회 화면

② 검침내역 - 일/월보조회

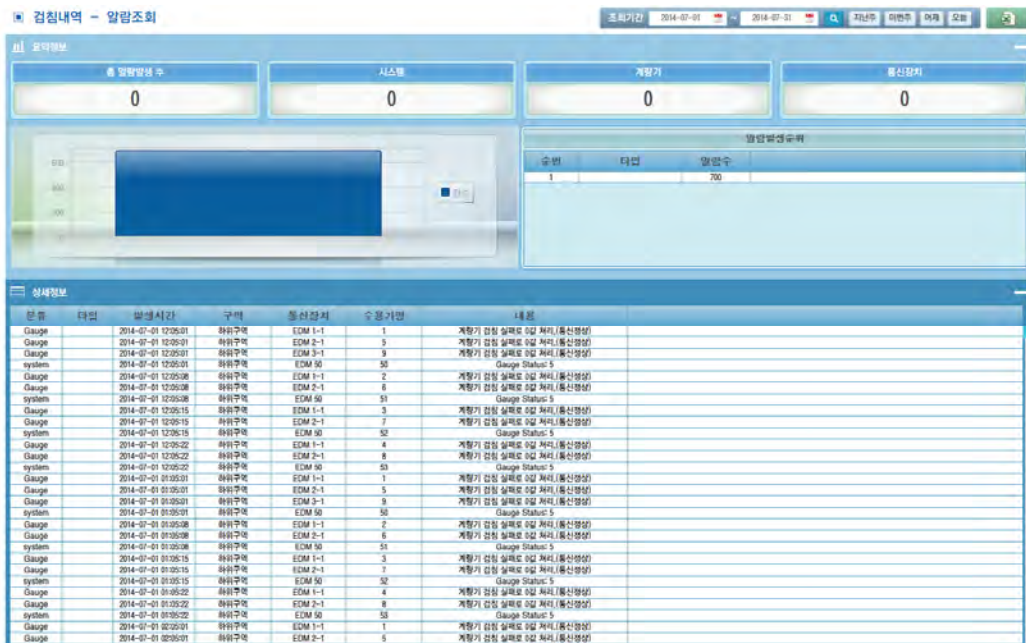
○ 검침내역 - 일/월보조회 화면은 다수의 선택 구역에 대해 일보/월보 출력을 위한 조회 기능을 제공한다.



[그림 3-4-8-11] 검침내역 - 일/월보조회 화면

③ 검침내역 - 알람조회

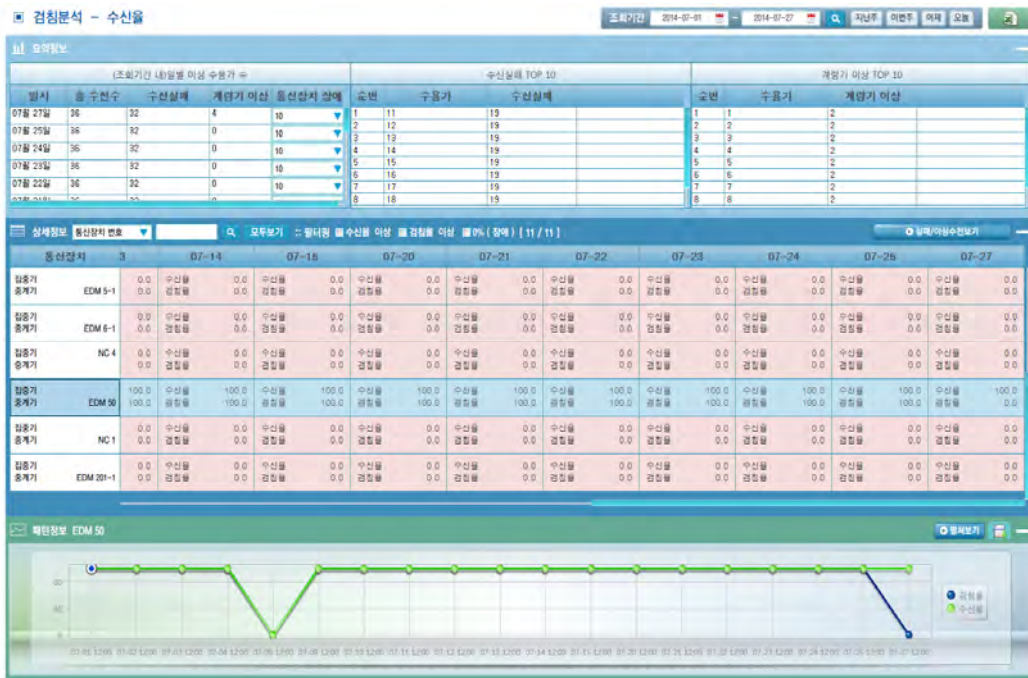
○ 검침내역 - 알람조회 화면은 시스템, 계량기, 통신장치 이상 발생 등에 대한 알람발생 내역 조회 기능을 제공한다.



[그림 3-4-8-12] 검침내역 - 알람조회 화면

④ 검침분석 - 수신율

- 수신율 화면에서는 통신장치들의 수신율을 확인하여 실시간 통신 상태를 확인할 수 있으며, 제공하는 모든 조회/분석 결과는 최종 그리드(표)의 형태로 엑셀 출력이 가능하여 보고 및 기초데이터 확보에 편의성을 제공한다.



[그림 3-4-8-13] 검침분석 - 수신율 화면

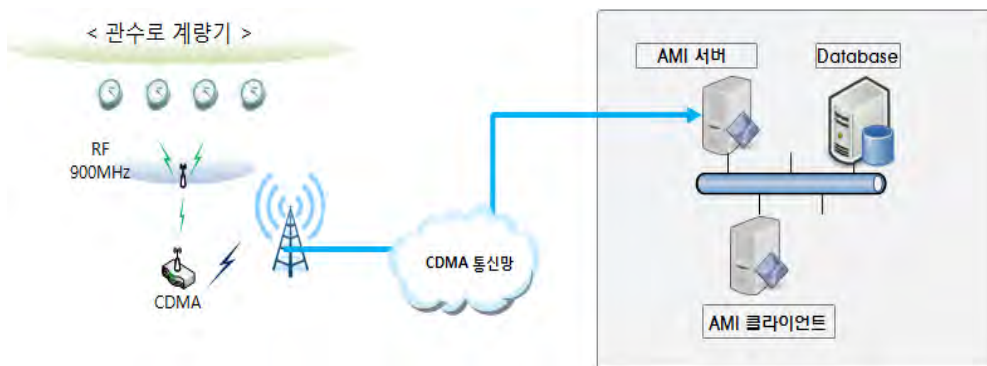
9. AMI 시스템의 파일럿 플랜트 운영 및 테스트

가. AMI 시스템 구성

(1) 실험 목적

- 관수로에 계량기를 설치하고 계량기의 사용량을 원격으로 검침하는 시스템을 구성하여 그 사용량을 계측하기 위한 시험이다.

(2) 시스템 구성



[그림 3-4-9-1] 시스템 구성도



[표 3-4-9-1] 계측기 구성 목록 및 수량

계측기 목록	설치 수량	비고
수도 계량기(50mm)	4조	디지털 계량기
스마트 검침기	4조	RF 900MHZ
스마트 매니저	1조	RF 900MHZ
스마트 코디네이터	1조	RF 900MHZ, CDMA



[그림 3-4-9-2] AMI 계측기 및 통신 장비 현장 설치 사진

## 나. RF 900MHz 테스트 사항

### (1) 테스트 항목

#### (가) 각 장치별 소비전류

- 각 장치별 소비 전류를 측정함으로써 배터리 Life Time에 대하여 추정
- 각 장치별 소요되는 배터리 용량을 산정

#### (나) 각 장치간 RF 통신거리

- 각 장치별 RF 통신 거리를 측정함으로써 RF 네트워크 구축시 소요되는 장치의 개수에 대하여 추정
- 스마트 검침기 - 스마트 매니저, 스마트 매니저 - 스마트 코디네이터 간의 RF 통신거리 측정

(다) 각 장치간 RF 출력 테스트

- 각 장치별 RF 출력을 측정함으로써 소출력 기기의 RF 출력 범위에서의 운영 확인
- 900Mhz 대역의 RFID/USN 무선기기의 10mW 이내의 출력 확인

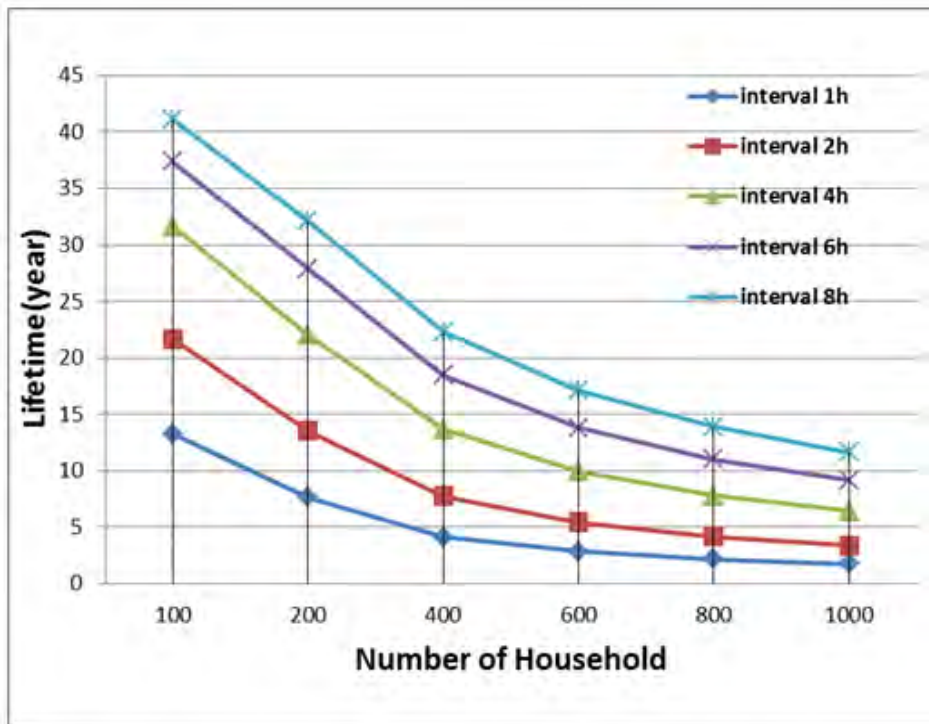
(2) 각 장치별 소비전류 테스트

[표 3-4-9-2] 각 디바이스 소비전류 측정 결과

장치	항목	소모 전류	단위	
스마트 코디네이터	Sleep	151	uA	
	Active	RF-Recive, CDMA-Off	22.7	mA
		RF-Send, CDMA-Off	51.5	mA
		RF-Recive, CDMA-On	56 - 160	mA
		RF-Send, CDMA-On	85 - 650	mA
스마트 매니저	Sleep	141	uA	
	Active	RF-Recive	23.0	mA
		RF-Send	53.3	mA
스마트 검침기	Sleep	90	uA	
	Active	RF-Recive	23.0	mA
		RF-Send	45.2	mA

(가) 스마트 코디네이터

- 검침 주기를 1시간부터 8시간 주기로 수행할때의 배터리의 Lifetime을 나타내고 있다.
- 배터리는 5병렬 팩을 4개씩 장착 하였을시 결과이다.
- 8년 이상의 배터리 Lifetime을 가져갈시 6시간에 1번 검침하여 일 4회 검침 가능

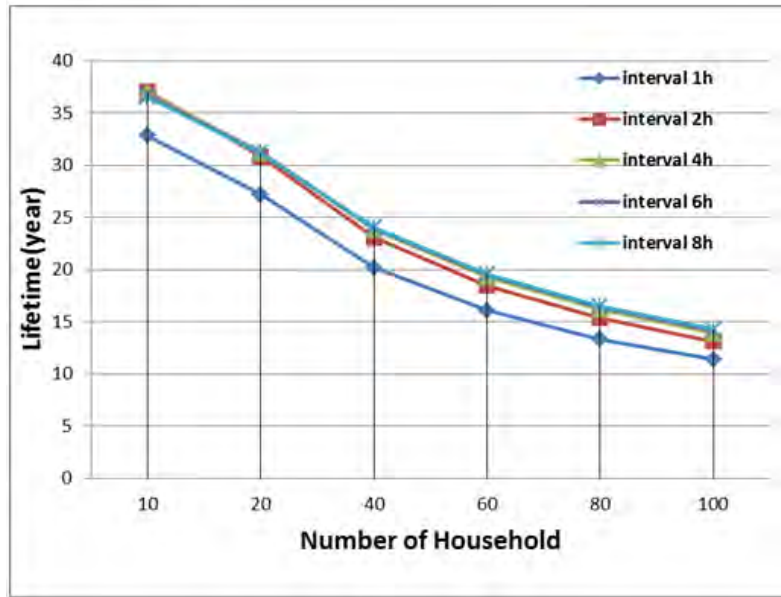


[그림 3-4-9-3] 스마트 코디네이터의 배터리 수명분석



(나) 스마트 매니저

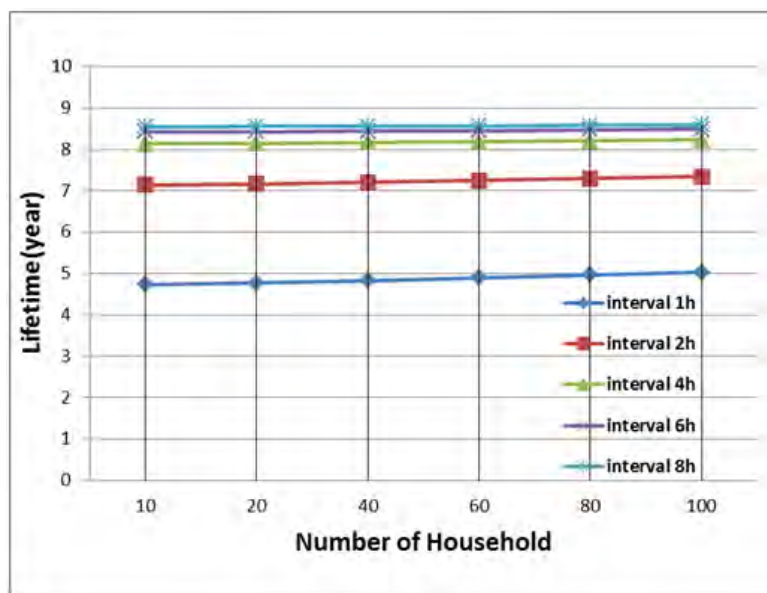
- 검침 주기를 1시간부터 8시간 주기로 수행할때의 배터리의 Lifetime을 나타내고 있다.
- 배터리는 5병렬 팩을 2개씩 장착 하였을시 결과이다.
- 8년 이상의 배터리 Lifetime을 가져갈시 매 시간마다 검침 가능



[그림 3-4-9-4] 스마트 매니저의 배터리 수명분석

(다) 스마트 검침기

- 검침 주기를 1시간부터 8시간 주기로 수행할때의 배터리의 Lifetime을 나타내고 있다.
- 배터리는 Dcell 1개를 장착 하였을시 결과이다.
- 8년 이상의 배터리 Lifetime을 가져갈시 4시간에 1번 검침하여 일 6회 검침 가능



[그림 3-4-9-5] 스마트 검침기의 배터리 수명분석

(3) 각 장치간 RF 통신 거리 테스트

- 스마트 코디네이터 - 스마트 매니저 간의 통신거리는 최대 400m로 나타남.
- 스마트 매니저 - 스마트 검침기 간의 통신거리는 최대 240m로 나타남.

[표 3-4-9-3] 스마트 코디네이터 <---> 스마트 매니저 거리테스트 결과

거리(M)	RSSI(T-->R)	RSSI(R-->T)	PSR
40	-56.7	-58.4	100%
80	-65.2	-67.6	100%
120	-71.7	-73.8	100%
160	-73.8	-75.7	100%
200	-73.1	-75.6	100%
240	-86.1	-87.7	100%
280	-81.5	-82.8	100%
320	-80.1	-82.3	100%
360	-80.3	-81.4	100%
400	-85.4	-87.5	100%
450	-94.3	-95.7	75%

[표 3-4-9-4] 스마트 매니저 <---> 스마트 검침기 거리테스트 결과

거리(M)	RSSI(T-->R)	RSSI(R-->T)	PSR
120	-77.5	-78.1	100%
160	-80.6	-80.5	100%
200	-84.0	-84.7	100%
240	-82.5	-82.3	100%
280	-91.1	-91.1	60%

(4) 각 장치간 RF 출력 테스트

- 주파수 채널에서 출력 peak 값을 측정
- 10 mW 이하의 RF 출력을 나타낸다.

[표 3-4-9-5] 채널 별 스마트 코디네이터 RF 측정 결과

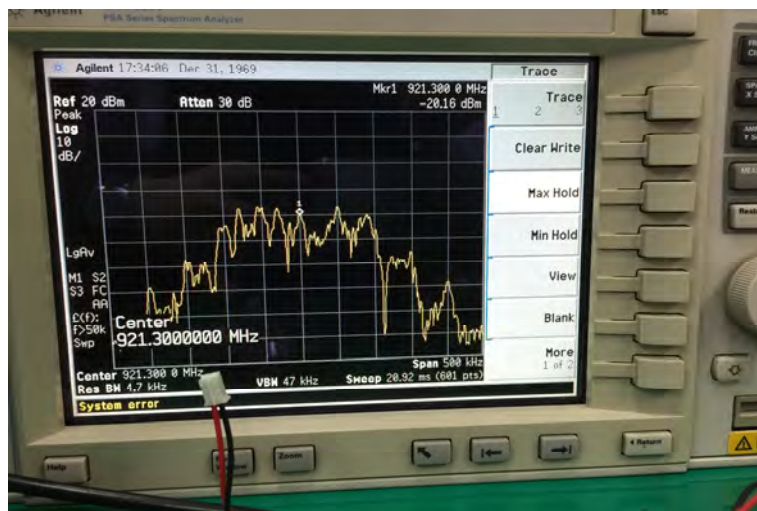
채널	중심주파수(Mhz)	p_MKR(dBm)	BW(KHz)	RES_BW(KHz)
CH2	921.1	-9.74	200	4.7
CH3	921.3	-9.64	200	4.7
CH4	921.5	-9.65	200	4.7
CH5	921.7	-9.64	200	4.7
CH6	921.9	-9.7	200	4.7
CH7	922.1	-9.72	200	4.7
CH8	922.3	-9.74	200	4.7
CH9	922.5	-9.76	200	4.7
CH10	922.7	-9.78	200	4.7
CH11	922.9	-9.72	200	4.7
CH12	923.1	-9.74	200	4.7
CH13	923.3	-9.7	200	4.7

[표 3-4-9-6] 채널 별 스마트 매니저 RF 측정 결과

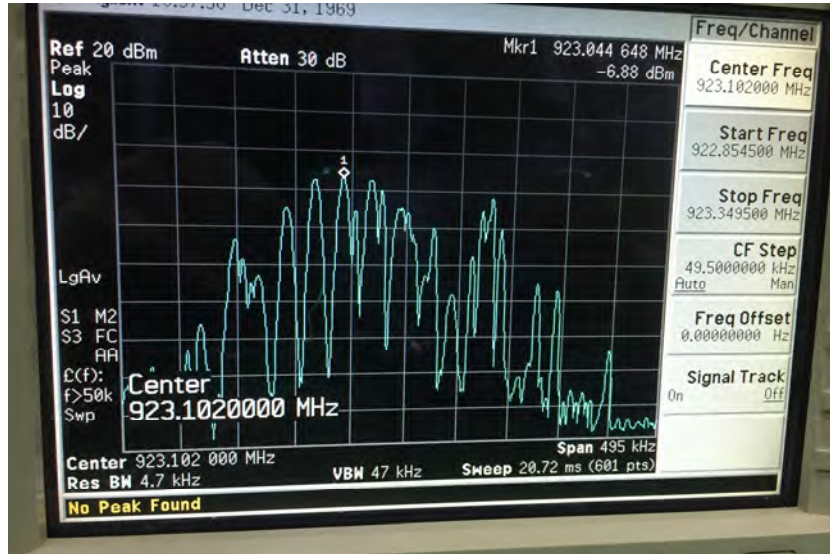
채널	중심주파수(Mhz)	p_MKR(dBm)	BW(KHz)	RES_BW(KHz)
CH2	921.1	-6.84	200	4.7
CH3	921.3	-6.79	200	4.7
CH4	921.5	-6.8	200	4.7
CH5	921.7	-6.79	200	4.7
CH6	921.9	-7.21	200	4.7
CH7	922.1	-6.76	200	4.7
CH8	922.3	-6.8	200	4.7
CH9	922.5	-6.85	200	4.7
CH10	922.7	-6.82	200	4.7
CH11	922.9	-6.85	200	4.7
CH12	923.1	-6.88	200	4.7
CH13	923.3	-6.79	200	4.7

[표 3-4-9-7] 채널 별 스마트 검침기 RF 측정 결과

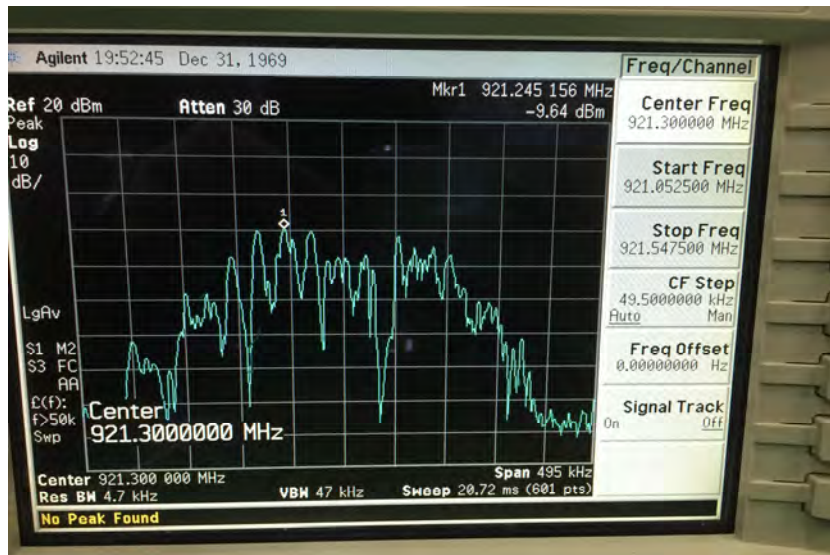
채널	중심 주파수(Mhz)	p_MKR(dBm)	BW(KHz)	RES_BW(KHz)
CH2	921.1	-15.56	200	4.7
CH3	921.3	-20.16	200	4.7
CH4	921.5	-20.29	200	4.7
CH5	921.7	-17.21	200	4.7
CH6	921.9	-19.73	200	4.7
CH7	922.1	-16.45	200	4.7
CH8	922.3	-16.3	200	4.7
CH9	922.5	-16.1	200	4.7
CH10	922.7	-16.27	200	4.7
CH11	922.9	-16.24	200	4.7
CH12	923.1	-16.22	200	4.7
CH13	923.3	-16.28	200	4.7



[그림 3-4-9-6] 스마트 검침기 출력 특성



[그림 3-4-9-7] 스마트 매니저 출력 특성



[그림 3-4-9-8] 스마트 코디네이터 출력 특성

(5) AMI 시스템 테스트 결과

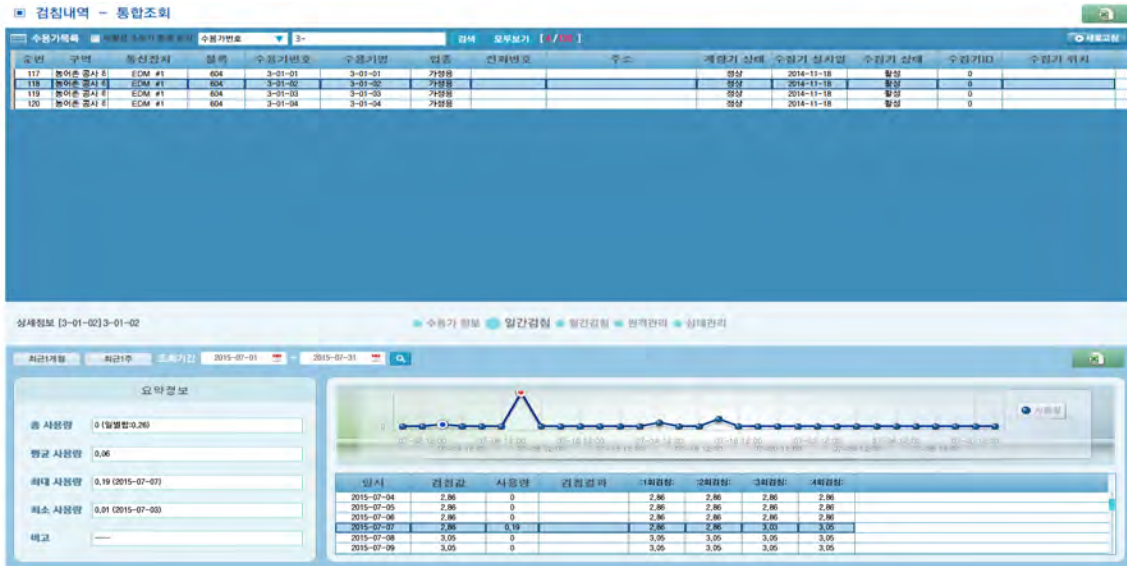
- 배터리 Lifetime(8년) vs 검침 주기
- 배터리 Lifetime(8년)을 고려하여 일 4회 검침을 수행
- 스마트 검침기는 스마트 매니저 반경 200M 이내로 설치
- 스마트 매니저는 스마트 코디네이터 반경 400M 이내에 설치

[표 3-4-9-8] AMI 시스템 테스트 결과에 따른 설치 및 운영 방안

장치	수용가 수	배터리 수	검침주기
스마트 코디네이터	1000 개 (스마트 매니저 10개)	20 cell (5병렬 4개)	4회/일
스마트 매니저	100 개	10 cell (5병렬 2개)	24회/일
스마트 검침기	1 개	1 cell	6회/일

## 다. AMI Client 구성

### (1) 검침내역 - 통합조회 화면



[그림 3-4-9-9] 검침내역 - 통합조회 화면

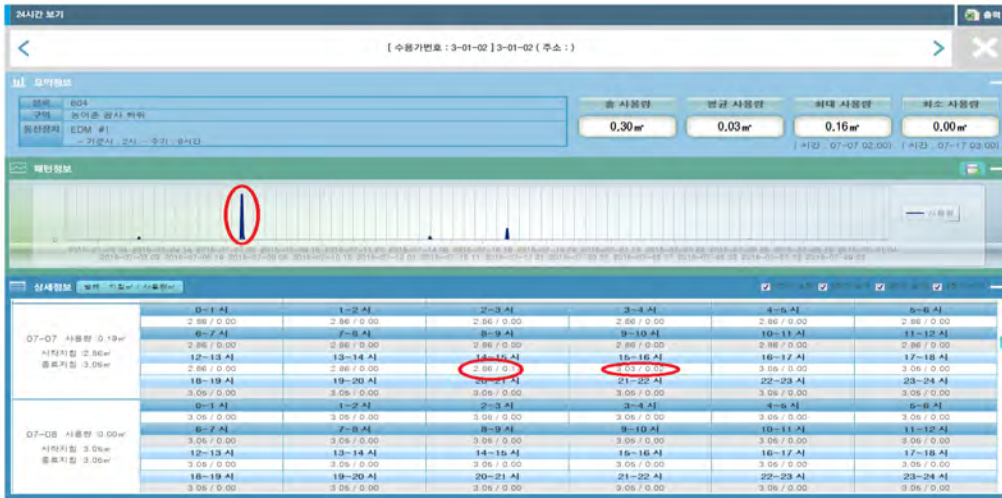
### (2) 검침내역- 일/월보조회 화면



[그림 3-4-9-10] 검침내역- 일/월보조회 화면



### (3) 시간대별 검침 및 사용량 보기 화면



[그림 3-4-9-11] 시간대별 검침 및 사용량 보기 화면

## 10. 요약 및 결론

- 본 연구에서는 선제적 농업용수 공급체계인 관수로를 대상으로 하여 관수로의 운영관리와 농촌용수 공급/배분에 대한 요소기술 및 로직을 도출하고 이를 시스템에 반영하여 최종적으로 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템을 개발하였다.
- 관수로 운영관리 시스템에서 필요한 요소기술에 대한 검토를 통해 관망해석, 지리정보기술, 모바일 정보 활용, 조절지 운영, 사용량 분석 등의 요소기술을 도출하였다.
  - 관망해석 : 파이프라인 유량 등 공급체계 시뮬레이션과 시나리오별 사전모의 적용
  - 지리정보기술 : 관망 외 농지이용현황과 용수구역 정보, 계획용수량 등을 GIS로 구성
  - 조절지(배수지) 운영 : 수요예측을 통한 저장시설의 수량관리 방안
  - 사용량 분석 : 용수 공급량 분석 및 사용량 비교, 계획 용수량 대비 실사용량 분석
- 도출된 요소기술을 적용하여 운영관리 시스템의 기능을 정의하고 화면 및 데이터베이스를 설계하였으며, 설계된 내용을 토대로 코딩을 수행하여 운영관리 시스템을 개발하였다. 운영관리 시스템의 주요기능은 다음과 같다.
- 개발된 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템을 한국농어촌공사 농어촌연구원 내에 위치한 파일럿플랜트 상에 적용하여 시스템 테스트를 수행하였다. 주요기능에 대한 테스트 결과 시스템 운영에 있어 별도의 오류가 발생하지 않았으며, 응답시간 또한 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.
- 시스템 테스트 및 운영결과를 토대로 추가되거나 보완이 필요한 공급관리 기능에 대한 고도화 작업이 진행되었으며, 실제 관수로 공급체계의 현장인 영산강 및 제주도를 대상으로 시스템 표준화 및 시스템 적용방안을 수립하였다.

[표 3-4-10-1] 운영관리 시스템 주요기능 요약

구분	주요기능	기능 설명
관망감시	실시간모니터링	주요시설의 계측상태와 수위, 유량, 수압 등을 실시간 모니터링
	동수두감시	동수두감시 결과를 조회
	트렌드감시	항목별로 트렌드를 조회
	실시간 경보	경보내용을 화면상에 표출하고 경보이력을 조회
	실시간누수감시	누수에 대한 감시를 실시
관망관리	패턴관리	유량 및 수압의 패턴분석 및 관리
	데이터분석	각종 데이터에 대한 분석결과를 조회
	손실률분석	손실률에 대한 분석결과를 조회
	누수량분석	누수량에 대한 산정 및 누수판정을 조회
	수압관리	수압관리를 위한 분석 및 수압 데이터를 조회
	보고서	각종 보고서를 조회
관망해석	관망해석모델관리	관망해석을 위한 Input 파일을 관리
	실시간관망해석	실시간 관망해석을 실행하고 해석결과를 조회, 분석
	운영모의	운영모의 실행 및 결과를 조회
	에너지모의	에너지모의 실행 및 결과를 조회
공급관리	계획정보	농촌용수 계획정보를 관리
	강우정보	강우정보를 관리
	수요예측	농촌용수에 대한 수요예측결과를 조회 및 관리
	공급검토	농촌용수 공급량에 대한 조회 및 분석

○ AMI 시스템의 경우 농촌용수 관수로의 무선 통신 시스템을 구축하기 위한 농촌용수 관수로 환경에 적합한 네트워크 기술을 개발하고, AMI 디바이스에 대한 시제품을 제작 및 운영 소프트웨어를 개발 하였다. 농촌용수 관수로에 설치되는 다양한 계측기 및 농작물 재배를 위해 부가적으로 설치되는 센서 측정을 위한 AMI 디바이스의 개발 및 측정된 데이터의 수집을 위한 RF 통신 네트워크를 구축하고, 이를 CDMA 이동통신을 이용하여 원격지에 각종 측정되고, 계측된 데이터를 전송하는 기술이다.

- 농촌용수 AMI 시제품 제작
  - 스마트 검침기
  - 스마트 매니저
  - 스마트 코디네이터
- 농촌용수 AMI 운영 소프트웨어 개발
  - 유량 모니터링 시스템
  - 원격검침 모니터링 시스템



## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 연구목표 및 평가 착안점

#### 1. 연구목표

- 본 연구는 농업용 관수로와 ICT 기술을 융합하여 농촌용수 스마트 관수로시스템을 개발하여 요소기술 개발 및 시제품을 제작하여 파일럿 플랜트를 통하여 기술을 검증하여 21세기형의 첨단 농업용 관수로 시스템을 구축하여 현장에서 활용할 수 있는 실용적인 기술을 개발하는 것이 연구목표이다.

#### 2. 평가 착안점

- 본 연구의 평가를 위한 연구개발계획서 상의 착안점은 아래 표와 같다. 최종평가에서는 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발의 적정성, 부식/스케일, 침하, 지진에 강한 관중 선정 및 유지관리 매뉴얼 제시, 관수로 운영관리 시스템 개발, 관수로 시스템의 경제성 평가, 관수로 시스템의 수요/공급량 산정 알고리즘 개발, 관수로 시스템에 적합한 운영관리방안 개발 등이 주요 평가기준이 된다.

[평가의 착안점 및 기준]

구분	평가의 착안점 및 기준	
	착안사항	기준(%)
1차년도 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농촌용수 스마트 파이프라인 모형 개발 적정성 여부</li> <li>○ 시험지구 선정 및 현장조사분석의 적절성</li> <li>○ 부식/스케일, 침하, 지진에 강한 관중 선정 계획 수립 여부</li> <li>○ 농업용수 관리 의사결정 체계 조사분석의 적절성</li> <li>○ 국내외 기술현황 및 적용사례 조사 여부</li> </ul>	20 20 20 20 20
2차년도 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지능형 스마트 요소기술 개발의 실용성</li> <li>○ 관수로시스템 최적화 설계 매뉴얼 작성</li> <li>○ 최적화 알고리즘 및 프로그램 개발의 실용성</li> <li>○ 부식/스케일, 침하, 지진에 강한 관중선정 적정성</li> <li>○ 관수로시스템 운영 프로그램의 적정성</li> <li>○ 스마트 관수로 운영관리 시스템 시제품 제작</li> </ul>	20 10 15 20 20 15
3차년도 (2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농촌용수 설계 및 운영기술 적용 및 평가의 적절성</li> <li>○ 관중선정 및 설계기술의 Test Bed 현장 적용성 평가</li> <li>○ 파일럿 플랜트 및 테스트 베드 검토 여부</li> <li>○ 관수로 운영관리 시스템 개발 적정성 여부</li> <li>○ 관수로 운영관리 시스템 매뉴얼 및 운영관리 지침 제시</li> <li>○ AMI 시스템 연계 구축 및 기능 구현</li> </ul>	15 20 15 20 15 15

## 제 2 절 연구개발 목표 달성도

### 1. 1차년도(2012.12.18.~2013.12.17.)

세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
[주관] 한국농어촌공사 농어촌연구원  고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발	농용수 및 발용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•현관수로 시스템 문제점 파악 및 새로운 관수로 시스템 모델 제시</li> <li>•논관개 시스템에 대한 문제점 파악 및 개선 모델 제시</li> <li>•해외적용사례 조사 및 신재생에너지 이용 가능성 파악</li> <li>•도서지역에 적용을 위한 모델 제시</li> </ul>
	강체수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•이론해석 및 검토를 통한 후보지 모색</li> <li>•제어시설 종류 및 특징 파악</li> <li>•유전자알고리즘을 이용한 적용가능성 검토</li> <li>•유전자알고리즘과 강체수주 이론시뮬레이션 알고리즘 검토</li> </ul>
	스마트 파이프라인 시스템 Test-bed	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•스마트 파이프라인 시스템 플랜트 적용지 모색 및 구성</li> <li>•Test-Bed 적용지 모색 및 선정</li> <li>•차년도 적용 계획 수립</li> </ul>
	농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•국내외 양수시설 현황 및 운영 방법 문헌조사</li> <li>•국내외 농업용 관로시스템 현황 및 시스템 특성 파악</li> <li>•농업용 관로시스템과 상수관망을 비교하여 특성 파악 및 분석</li> <li>•기존 연구의 최적화 기법과 본 연구에 적용할 설계방법 비교</li> <li>•양수시설 및 펌프를 포함한 최적규모 결정을 위한 기술 조사</li> </ul>
[1협동] (재)한국계면 공학연구소  농업용 관수로의 안전성 및 내구성 확보를 위한 대책기술 개발	부식/스케일, 침하, 지진에 강한 관종 선정 및 설계기술 최적화 연구	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농업용 관종 선정을 위한 기초자료 조사 분석                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-국내 관수로 현황 조사 및 현장답사</li> <li>-농업용 관종 특징 분류 조사 및 사용가능 관종 분류</li> </ul> </li> </ul>
		100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•관 재료의 부식 영향인자 고찰                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-부식현상에 대한 이론적 고찰</li> <li>-농업용수별 관 재질에 따른 부식실험 및 부식영향 인자 고찰</li> </ul> </li> </ul>
		100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농업용 관수로에 적합한 관종의 내구성 평가 연구                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-농업용 관종 선정을 위한 기초자료 조사</li> <li>-관종별 물성 특성 및 내구성 평가 방법 고찰</li> </ul> </li> </ul>
		100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농업용 관수로 관종에 따른 설계인자 고찰                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-농업용 관종 선정에 대한 설계기준 검토 및 고찰</li> </ul> </li> </ul>
		100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농업용 관수로 안전성 확보를 위한 관 파손 감지 시스템 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-관 파손시스템 구성 및 시제품 제작</li> </ul> </li> </ul>
		100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농업용 관수로의 관내 압력의 과도현상 (워터해머) 방지기술 연구                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-관내 과도현상에 대한 이론적 고찰 및 한국농어촌공사 영산강사업단 공기변 개산사례 조사</li> </ul> </li> </ul>
[2협동] 건국대학교 산학협력단  농업용 관수로의 경제성 분석 및 수요공급 시스템 개발	국내·외 관개수로 현황 및 변동추세 조사	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•국내·외 농업생산 기반시설 현황 및 변천과정 특성 파악하고 개수로 및 관수로의 수로 손실 분석</li> </ul>
	관수로 적용에 의한 용수절감 효과 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•개수로 시스템 대비 관수로 시스템 적용에 의한 용수절감 효과 분석하고 관수로 시스템 구축의 타당성 제시</li> </ul>
	농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농촌용수 관수로 시스템에 적합한 경제성 분석 기법을 개발하고 경제성 분석을 통한 관수로 시스템 구축의 타당성 제시</li> </ul>
[3협동] 이메트릭스(주)  농촌용수의 파이프라인 운영관리 시스템 개발	농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템 핵심 요소기술 도출	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농촌용수 운영관리 시스템 국내외 기술현황 및 적용사례 조사</li> <li>•농촌용수 계측자료 조사 및 요소기술 개발을 위한 분석</li> <li>•농촌용수 파이프라인 운영인자 도출 및 적용방안 수립</li> </ul>
	농촌용수 운영관리 시스템 프로토타입 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•운영관리 시스템 기능 요구사항 도출 및 시스템 구성방안 수립</li> <li>•운영관리 프로그램 프로토타입 개발</li> </ul>
	유무선 AMI 네트워크 요구사항 분석 및 지능형 노드 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•AMI 시스템의 네트워크 토폴로지 연구</li> <li>•유량계, 수압계, 토양수분센서 데이터 수집을 위한 지능형 노드 개발</li> </ul>

2. 2차년도(2013.12.18.~2014.12.17.)

세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
[주관] 한국농어촌공사 농어촌연구원	농용수 및 발용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농촌용수 스마트 파이프라인 시스템의 개념</li> <li>•저류지 이용 관수로 시스템 설계기술 개발</li> <li>•저압형 논관개 시스템 설계기술 개발</li> <li>•신재생에너지 활용 발관개시스템 개발</li> </ul>
	강체수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•강체수주 이론 분석 및 정상류 및 비정상류 해석기법</li> <li>•통계-쿠타 기법 적용 프로그램 작성</li> <li>•서징해석 시스템 개발 계획 수립</li> </ul>
	고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•파일럿 플랜트 기본구상 및 관망설계</li> <li>•테스트 베드 성격 규정, 기능 설정</li> <li>•대상지구 현황 분석 및 선정 검토</li> </ul>
	농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•국내외 양수시설 최적운영기술 조사</li> <li>•관수로 모델링/시뮬레이션 기반 최적 의사결정시스템 개발</li> <li>•최적화이론(Genetic Algorithm) 검토</li> <li>•진화알고리즘 이용 최적설계 기법 개발</li> </ul>
[1협동] (재)한국계면 공학연구소		100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농업용수별 lab unit 실험(연속식)을 통한 관 재질별 부식 특성 연구 -부식현상에 대한 이론적 고찰</li> <li>-관종의 농업용수별 부식실험(연속식) 및 부식영향 인자 고찰</li> </ul>
	농업용 관수로의 안전성 및 내구성 확보를 위한 대책기술 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•부식침하지진에 강한 관중선정을 위한 진단 및 설계기준 최적화</li> <li>-노후관 진단기법 및 관 재질별 특성 조사 연구</li> <li>-관중 선정 설계기준 최적화 검토 연구</li> </ul>
		100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•관 파손 감지시스템의 성능 평가 연구</li> <li>-관 파손감지 시스템 원리 및 구성</li> <li>-관 파손감지 시스템 성능 평가 연구</li> </ul>
[2협동] 건국대학교 산학협력단	농촌용수 수요량 산정 알고리즘 개발	100	국내·외 필요수량 산정 방법을 분석하여 과다/과소 산정되는 문제점 개선
	농촌용수 공요량 산정 알고리즘 개발	100	기존의 개수로 지구의 공급량 산정 방법을 분석하여 관수로 시스템에 적합한 공급량 산정 방법 개발
	농촌용수 수요/공급량 산정 알고리즘 개발	100	관수로 시스템에 적합한 수요/공급량 산정 알고리즘 개발
[3협동] 이메트릭스(주)	운영관리 시스템 지능화 요소 기술 개발	100	•시스템 기능 적용을 위한 요소기술 적용 및 로직 작성(조정지 운영/누수 모니터링/관망해석/공급량 대비 사용량 분석 등)
	지능형 파이프라인 운영관리 시스템 시작품 제작	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•시스템 업무 흐름 및 기능 정의</li> <li>•시스템 프로세스 정의 및 분석</li> <li>•시스템 화면 설계, 및 시스템 데이터베이스 설계</li> <li>•운영관리 시스템 시작품 제작</li> </ul>
	AMI 시스템 프로토타입 및 운영 소프트웨어 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•AMI 시스템을 위한 무선 네트워크 기술 개발</li> <li>•AMI 네트워킹 모듈 검증 프로토타입 및 운영 소프트웨어 개발</li> </ul>

### 3. 3차년도(2014.12.18.~2015.12.17.)

세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
[주관] 한국농어촌공사 농어촌연구원	농용수 및 발용수에 적합한 한국형 모델 및 설계기술 개발	100	저류지 이용 관수로 시스템 설계기술 개발 저압형 논관개 시스템 설계기술 개발 신재생에너지 활용 발관개 시스템 설계기술 개발
	강체수주이론 활용 파이프라인 시뮬레이션 기법 개발	100	강체수주 이론 적용 및 서징해석 프로그램 개발 파이프라인 서징해석 시뮬레이션 프로그램 개발
	스마트 파이프라인 시스템 Test-bed	100	스마트 파이프라인 시스템 파일럿 플랜트 기본구상 스마트 파이프라인 시스템 Test-bed 선정
고효율 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 개발	농업용 파이프라인 최적설계 알고리즘 개발 및 적용	100	농업용 양수시설 최적화 기법 검토 국내외 파이프라인 최적설계 기술 분석 파이프라인 시스템/펌프/양수시설 최적화 알고리즘 개발 진화알고리즘을 이용한 최적설계 기법 개발
[1협동] (재)한국계면 공학연구소	농업용 관수로의 안전성 및 내구성 확보를 위한 대책기술 개발	부식/스케일, 침하, 지진에 강한 관중 선정 및 설계기술 최적화 연구	•Test Bed 현장 적용성 평가를 통한 최적 농업용 관중 선정 및 설계기술 개발 -Test Bed 현장 조건 파악(농업용수 원수 특성 등) -국내 관수로 현장 적용에 따른 최적 관수로 선정 및 적용 -관파손 시스템 적용 평가 및 운영 가이드 라인 제시
		•부식, 침하, 지진에 강한 관수로용 관중 선정 가이드라인 마련 -국내 농업용 관수로 사용지역 현장 답사 및 실태분석 -원수 특성에 맞는 최적 관중 선정 가이드라인 마련	
		•관 파손감지시스템의 현장 성능평가 및 경제성 분석 -시스템 현장적용 및 현장 성능평가 (파손위치 정확도, 감시장치 성능, 누수감지 센서성능) -기존 기술대비 초기 설치비/운영유지비 등 경제성 분석	
		•관수로 유지보수 방법 고찰 -국내외 학술자료 분석을 통한 최적운영 유지방법 도출 -국내외 관수로 유지방법 방안 관련 보고서 분석/도출	
[2협동] 건국대학교 산학협력단	수요/공급량 산정 알고리즘의 파일럿 적용	100	개발된 수요/공급량 산정 알고리즘을 파일럿 적용을 통한 알고리즘 적용 및 보완
	관수로 시스템의 수요/공급 운영방안 개발	100	파일럿 적용을 토대로 알고리즘을 현장적용하여 관수로 시스템의 운영 방안 개발
	관수로 시스템의 수요/공급 관리방안 개발	100	파일럿 적용 및 현장적용 결과를 토대로 갈수기 및 홍수기 관수로 시스템의 관리방안 개발
[3협동] 이메트릭스(주)	ICT 기반 지능형 파이프라인 운영관리 시스템 테스트 및 검증	100	•시스템 테스트 및 프로그램 기능 검증 •AMI 시스템 연계 구축 및 기능 구현
	농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템 핵심 요소기술 도출	100	•테스트 결과를 반영한 시스템 기능 고도화 •시스템 표준화 방안 수립 •시스템 매뉴얼 및 운영관리 지침 제시
	농촌용수 AMI 시스템 현장 적용	100	•농촌용수 전용 AMI 시스템의 현장적용 및 운영

## 제 3 절 관련 분야에의 기여도

### 1. 기술적 측면

#### 가. 농촌용수 스마트 관수로 시스템 체계 구축

- 농촌용수 관수로 시스템에 IoT 기반 관망 운영기술을 융합하여 사용자와 운영자간의 쌍방향 정보 교류가 가능한 차세대 스마트 관수로 시스템을 개발하여 농촌용수 물관리 기술을 한 단계 업그레이드 시켰다.
  - 단위 기술인 AMI 계측시스템, IoT 관망운영 HMI, IoT 관망운영 APP, 실시간 관망해석, 관로사고예방시스템, IoT 펌프운영 등 각종 요소기술을 융합시켜 실시간 수요베이스 관망운영이 가능한 첨단 관개자동화 시스템을 구축하였다.
  - IoT 기반 관망운영 HMI는 AMI 계측시스템과 수원 및 저류시설 수위, 수질, 관망 유량 및 수압, 논 수위, 밭 토양수분을 모니터링하고 펌프, 밸브를 제어할 수 있다.
  - Agro Pipe App은 Agro Pipe HMI DB(Database)와 연동하여 원격으로 스마트폰, 태블릿 PC로 관망 정보를 모니터링하고 펌프, 밸브 등을 제어할 수 있다.

#### 나. 관파손 감지 시스템

- 농업용 관수로의 운영에 있어 문제가 되는 관 파손과 이음부 파손에 의한 누수를 실시간으로 감시하고 예방할 수 있는 시스템의 개발로 농업용 관수로의 파손 및 누수에 대한 실시간 파손 및 위치 정보를 운영자에게 제공함으로써 빠른 사고 대처가 가능하다. 또한, 관이 파손되기 전에 관망을 보호할 수 있으며, 사고시의 빠른 대처를 통해 2차 사고 등의 예방이 가능하다.

#### 다. 농업용 관수로 운영관리 시스템

- 농업용 관수로를 실시간 데이터 기반의 관망해석 사전모의를 통해 최적의 운영방안 정보를 운영자에게 제공함으로써 운영효율을 높일 수 있는 관망운영관리 프로그램을 농업용으로는 국내 최초로 개발하였다.

### 라. 가이드라인 마련

#### (1) 관파손 감지 시스템

- 관파손 감지 시스템 및 관중 선정 가이드라인 마련은 Smart Pipeline System의 요소 기술로써 지하에 매설되는 농업용 관수로의 안정성과 내구성을 증진시킬 수 있을 것으로 기대하며, 다른 협동과제에서 개발된 통합관리 시스템과 함께 다양하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### (2) 관중 선정 가이드라인

- 본 연구는 국내의 토양환경 및 수질환경, 부식 기작에 대한 충분한 사전 검토를 통해 매설 환경에 맞는 관중 선정 가이드라인을 제시함으로써 새롭게 매설되는 관의 부식으로 인한 파손을 절감하기 위한 것으로, 관련 분야의 기여도는 아래와 같다.
- 현재 농업용 관수로분야에 사용되고 있는 ‘농업생산기반 정비사업계획 설계기준’ 상에는 내부 압력 및 외부 압력, 관경, 이음부의 수밀성 등을 고려하여 관중을 결정하도록 하고 있다. 또한, 주변 토양 환경에 따른 방식방지 대책을 마련함으로써 관의 부식에 대비하도록 하고 있다. 그러나, 현재의 관중 결정 방법에는 관의 내부 부식에 대한 고려를 하지 않고 있으며, 때문에 내부 부식으로 인한 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구를

통해 용수 수질에 대한 부식성 평가 방안을 마련함으로써, 관 내부 부식에 대한 효율적인 관리가 가능할 것으로 예상된다.

### (3) 농업용 관수로 유지관리 가이드라인

- 수자원의 관리 및 효율적인 이용에 대한 요구가 증대됨에 따라 관수로 시스템의 도입 필요성이 증대되고 있으며, 관수로 시설의 효율적인 관리를 통한 관파손, 누수의 저감은 교체비용의 절감과 용수 사용량 절감의 효과를 동시에 얻을 수 있는 현실적인 방안임. 본 연구에 대한 관련 분야의 기여도는 다음과 같다.
- 기존의 농업용 관수로의 유지관리는 원활한 용수공급을 위한 통수관리와 사고관리를 위주로 이루어졌다. 용수의 효율적인 이용에 대한 중요성이 부각되면서 관수로 자체의 관리의 중요성 또한 증대되고 있으나, 관수로의 현행 유지관리 방안은 이에 부합하지 못하고 있다. 따라서 유지관리 계획의 수립부터 실제 유지관리 수행에 있어서 관수로의 기능 유지를 위한 유지관리 방안에 대해 마련하였다. 또한, 시설의 관리를 위한 정보화의 중요성이 증대되고 있기 때문에, 자료의 GIS화는 필수적이라 할 수 있다. 본 연구에서 마련한 농업용 관수로 유지관리 가이드라인은 향후 관수로 유지관리를 위한 유지관리 기법의 기초가 될 것으로 기대한다.

### 마. 농업용 관수로 시스템의 경제성 분석

- 농촌용수 관수로 시스템의 경제성 분석 기법을 개발함으로써, 향후 개수로 지구를 관수로 시스템으로 전환하는 사업에서의 경제성 분석에서 활용이 가능하다.

### 바. 수요/공급량 산정 알고리즘 개발

- 관수로 시스템에 적합한 수요/공급량 산정 알고리즘을 개발함으로써, 관행적으로 산정되는 수요량 및 공급량을 지양하고 정량적인 용수량 산정에 활용하며, 특히 정확한 수요량 산정을 위한 모니터링 네트워크 구축 및 활용성을 제시함으로써 계측자료를 이용하여 정량적인 농촌용수 산정이 가능하다.

### 사. 관수로 시스템의 운영 및 관리방안 개발

- 농촌용수 관수로 시스템에 적합한 운영 및 관리방안을 개발함으로써, 수요량 대비 과잉 공급되는 관행적인 운영 방안을 지양하고 초과 공급되는 시점 및 공급량을 산정함으로써 용수절감효과를 제고할 수 있다.
- 또한, 관개형식별 (간단관개, 운번관개, 연속관개) 관개시간 및 공급량을 제시함으로써 가뭄시와 같은 절수관개가 필요한 시기에서의 운영 방안으로 활용이 가능하다.

## 2. 경제 · 산업적 측면

### 가. 농촌용수 스마트 관수로 시스템

- 농촌용수 관수로 시스템에 IoT 기반 관망 운영기술을 융합하여 사용자와 운영자간의 쌍방향 정보교류가 가능한 차세대 스마트 관수로시스템을 개발하였다. 스마트 관수로 시스템은 AMI 기반의 수요공급관리로 물관리 효율을 높여 운영관리 비용을 절감 할 수 있다.

### 나. 관파손 감지 시스템

- 농업용 관수로의 파손 및 누수 저감을 통해 사회 · 경제적 비용을 절감할 수 있음. 또한, 지하 매설관망의 이상 유무 감시를 통해 지하 매설관망의 통합관리시스템과의 유기적인

연계를 통해 효율적인 농업용 관수로의 정보화 사업에 기여할 수 있으며, 이를 통한 경영 효율의 개선을 기대할 수 있다.

- 관 내부 부식은 누수 및 관파손으로 이어지게 되며, 이는 관 수명 감소로 인한 교체 비용의 증가를 초래할 수 있다. 용수의 수질에 따른 부식성을 미리 판단하여 내부 부식에 대한 방안을 마련함으로써 부식으로 인한 관의 노후 및 노후관 교체로 인한 과도한 경제적 소모를 감소시킬 수 있을 것이라 판단된다.

#### 다. 농업용 관수로 유지관리 가이드라인

- 계획 단계부터의 유지관리 계획은 향후의 관수로에서 발생할 수 있는 문제들에 대해서 예측이 가능할 수 있도록 하며, 관로의 노후화도 평가를 통해서 계획적인 보수나 교체가 가능할 것으로 기대된다. 이는 예산의 효율적인 사용을 가능하게 하며, 궁극적으로는 관수로 유지관리에 소요되는 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대함.

### 3. 사회·문화적 측면

#### 가. 농촌용수 스마트 관수로 시스템

- 농촌용수 스마트 관수로 시스템은 농촌용수의 운영관리를 ICT와 융합하여 첨단물관리시스템을 구축함으로써 ICT 연관산업이 활성화할 수 있는 밸류 체인을 구축할 수 있다.
  - AMI 계측시스템, 각종 센서 및 HMI 제작 + 관망 S/W, APP 서비스 시스템 등 신규 제조 및 서비스업 활성화 기반 마련

#### 나. 관파손 감지 시스템

- 농업용 관수로의 파손 및 누수의 저감으로 수자원의 손실과 이에 따른 민원을 해소할 수 있다. 이는 국내 수자원의 보존과 효율적인 이용에 기여할 수 있다.
- 용수 수질에 따른 부식성을 판단할 수 있는 가이드라인의 마련을 통해 배관의 부식을 미리 예측하여 관수로의 사용 수명을 연장할 수 있으며, 부식 저감을 통한 안정성 확보를 통해 관수로에 대한 농민들의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 다. 농업용 관수로 유지관리 가이드라인 마련

- 현재 국내의 농업용수 공급시설의 양적인 공급은 수요를 충족하고 있으나, 기후변화로 인한 가뭄 발생이 증가하면서 안정적인 용수 공급에 대한 농민의 신뢰가 떨어지고 있다. 이에 관수로 시스템을 도입하여 용수의 효율적인 공급을 통해 농민의 물수요를 충족시킬 수 있을 것으로 기대한다. 도입되는 관수로를 적절하게 유지관리 함으로써 이에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 라. 농업용 관수로 운영관리 시스템

- ICT 기반의 농업용 파이프라인 운영관리 융합기술 체계를 마련하여 국내 농촌용수 운영관리를 선진화하여, 수요예측에 따른 적정 수량 공급과 운영상황에 따른 전략적인 용수공급을 통해 지역적 물 부족 갈등 문제 및 가뭄 해소하여 물부족의 사회적 파장을 최소화할 수 있다.



# 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

## 제 1 절 연구개발 성과

### 1. 연구성과 요약

#### 가. 특허출원 및 등록

- 농촌용수 스마트 관수로 시스템을 개발하는 과정에서 특허출원 14건, 특허등록 1건 등의 지식재산권을 획득하였다. 출원된 특허 중 미등록된 13건의 특허에 대해서는 2016년 말에 등록될 예정이며, 2016년에 추가적으로 1건을 등록할 계획이다.

#### 나. 설계운영 매뉴얼

- 농촌용수 스마트 관수로 시스템을 개발하는 과정에서 농업용 스마트 관수로 시스템 설계 매뉴얼, 농업용 관수로의 관중선정 및 유지관리 매뉴얼 2건, 농촌용수의 파이프라인 운영 관리시스템 개발보고서 및 사용자 매뉴얼, 관파손 감지시스템(Under-Navi System)의 설치 및 운영 매뉴얼을 작성하여 향후 설계자가 활용할 수 있도록 설계기술 자료 및 운영관리, 시공자료를 작성하였다. 이 자료는 농촌용수사업을 시행하는 설계자, 시공자 등이 활용할 수 있다.

#### 다. 논문게재

- 농촌용수 스마트 관수로 시스템 연구를 통해 개발한 내용을 바탕으로 국내학술지에 8편의 논문을 게재 하였으며, 해외학술지(SCI)에 1편, SCI(E)에 1편의 논문을 게재하였다. 또한, 농촌용수 스마트 관수로 시스템 연구를 통해 개발한 결과 등을 국내학술지에 8편을 게재하였으며, 향후 추가로 논문을 게재할 예정이다.

## 2. 정량적 성과

(단위 : 건수)

구분	특허출원	특허등록	설계·운영 매뉴얼	프로그램 등록	SCI(E)	비SCI	기타
1차 년도	목표	4	-	-	-	2	-
	달성	4	-	-	-	2	7(학술발표)
2차 년도	목표	8	2	1	2	8	-
	달성	10	-	-	2	1	2(홍보전시)
3차 년도	목표	2	10	2	2	8	-
	달성	2	1	4	1	2	5 2(학술발표) 1(홍보전시)
계	목표	14	12	3	4	18	
	달성	17	1	4	3	2	8

가. 특허 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2014	스마트 농촌용수 공급 시스템	한국농어촌공사	대한민국	10-2014-0139373					
2014	스마트 농촌용수 공급 시스템	한국농어촌공사	"	10-2014-0139374					
2014	스마트 농촌용수 공급 시스템	한국농어촌공사	"	10-2014-0139375					
2014	농업용 관수로를 이용한 에너지생산 및 관리 시스템	한국농어촌공사	"	10-2014-0139376					
2014	작물의 물 스트레스 특성을 이용한 용수 공급 시스템	한국농어촌공사	"	10-2014-0139377					
2014	스마트 밸브 제어 시스템	한국농어촌공사	"	10-2014-0139952					
2013	농업용 관수로 관리 시스템	(재)한국계면공학연구소	"	10-2013-0120892					
2014	지능형 농업용 관수로 누수관리 시스템	(재)한국계면공학연구소	"	10-2014-0136027					
2014	관수로 파손 및 누수 실시간 감지 시스템	(재)한국계면공학연구소	"	10-2014-0139368					
2015	농업용수의 효율을 위한 파손 및 누수 모니터링 시스템	(재)한국계면공학연구소	"	10-2015-0012904					
2013	농업용 관수로 선정 시스템 및 방법	(주)유일기연	"	10-2013-0127096					
2014	농촌용수 수요 및 공급량 산정 알고리즘 개발	(주)유일기연	"	10-2014-0144183					
2015	농업용 관수로 시스템의 운영 방안	(주)유일기연	"	10-2015-0173964					
2013	농촌용수 파이프라인 운영관리 및 시스템 방법	이메트릭스(주)	"	10-2013-0151325					
2013	발관개 자동운영 관리 시스템 및 방법	이메트릭스(주)	"	10-2013-0151326					
2014	농업용수 활용을 위한 지하수 관정 운영 및 통합운영 관리 시스템 및 방법	이메트릭스(주)	"	10-2014-0086075	2015	농업용수 활용을 위한 지하수 관정 운영 및 통합운영 관리 시스템 및 방법	이메트릭스(주), 한국농어촌공사	대한민국	10-2014-0086075

## 나. 논문게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2015	Development of the Optimal Pipe Diameter Using Genetic Algorithms and Application on Saemangeum Project	DoGuen Yoo	김중훈	김영화	ICID 논문집		국외	SCI
2013	농업용 관수로 시스템의 최적설계 및 신뢰성에 관한 연구	한국방재학회논문집	이영진	김영화	한국방재학회		국내	비SCI
2013	농업용 관수로의 최적관경 선정을 위한 개선방안 연구	한국방재학회논문집	김경완	김영화	한국방재학회		국내	비SCI
2015	탁도와 총유기탄소 제거를 위한 최적응집제 및 투여량 선정 연구	박한배	우달식	우달식	한국산학기술학회지	16(3)	국내	비SC
2016	고순도 소석회 및 액상소석회를 이용한 부식제어 효율 평가	신태섭	우달식	윤복합 지식학회	국내		국내	비SC
2014	농업용수 관수로 관계에 의한 용수절감 효과 분석	권형중	김선주	박현준, 김필식, 김영화	한국관개배수논문집	21(2)	국내	비SCI
2015	공익적 효과를 고려한 농업용 관수로 시스템의 경제성 분석				한국농공학회논문집			
2015	EPANET을 이용한 농업용 관수로 시스템의 운영 방안 개발				한국농공학회논문집			
2015	가동보를 활용한 농업용수 확보 및 소수력 발전부존량 분석				한국농공학회논문집			
2015	A Study on Development and Application Plan of Smart Pipeline Management System for Agricultural Water	김영화		윤준재, 최석준, 박형근	International Journal of Applied Engineering Research	10(13)	국외	SCI(E)

## 다. 프로그램 등록 성과

프로그램명	등록번호	저작자	공동저작자	등록일
Agro-PIPENET_OM (농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템)	C-2015-031855	이메트릭스(주)	-	2015.12.18
Agro-PIPENET_Sim (농촌용수 파이프라인 관망해석 시스템)	C-2015-031855	이메트릭스(주)	-	2015.12.18
ASP-AMI.V1 (농촌용수 스마트 파이프라인 AMI 시스템.V1)	C-2016-002190	(주)레오테크		2016.01.26

### 3. 핵심성과 상품화 내역




- 농촌용수 스마트 관수로 시스템을 구축하여 위하여 공동연구기관, 위탁기관, 참여기업과 함께 신기술의 개발 및 기존기술의 고도화를 통하여 1) AMI 통신장비 및 운영 프로그램, 2) 농업용 관수로 운영관리 프로그램, 3) 농업용 관수로 스마트 앱, 4) 농업용 관수로 파손감지시스템, 5) 친환경 농업용 전용관 등을 개발하여 상품화하였다.

#### < 스마트 관수로 시스템의 핵심성과 >

핵심성과	상품명	비고
1. AMI 통신장비 및 운영 프로그램	1-1 스마트 코디네이터(1종)	(주)레오테크
	1-2 스마트 매니저(1종)	
	1-3 스마트 검침기(1종)	
	1-4 AMI 계측기 운영관리 소프트웨어	
2. 농업용관수로운영관리프로그램	Agro - PIPENET	이메트릭스
3. 농업용 관수로 스마트 앱	Agro - Smart APP	피에스글로벌
4. 농업용 관수로 파손감지시스템	Under Navi System	코워드윈
5. 친환경 농업용 전용관	Poly Vynychloride pipe for Agricultural	(주)고리

- 스마트 관수로시스템을 구성하는 핵심성과물의 주요기능은 다음과 같다.

#### < 핵심성과 주요 기능 >

핵심성과	주요기능	성과물	비고
AMI 통신 장비 및 운영 프로그램	900 MHz 기반의 무선모듈과 CDMA로 구성되어 있으며, 검침된 데이터를 서버로 전송하는 기능 수행		(주)레오테크
	900 MHz 기반의 무선모듈로 구성되어 있으며, 검침데이터를 스마트 코디네이터로 전송하는 중간 리피터 기능을 수행		(주)레오테크
	900 MHz 기반의 무선모듈로 구성되어 있으며, 계측기 및 센서로부터 데이터를 계측하여 수집하고, 스마트 매니저로 전송하는 기능을 수행		(주)레오테크

	ASP-AMI.V1  농촌용수 스마트파이프라인 AMI 시스템	각 수용가에 대한 다각도의 유연한 데이터 조회 기능을 제공하며, 수용가에 대한 정보를 알 수 있으며, 수용가와 기간을 지정하여 일간, 월간 검침 내역을 조회할 수 있으며, 각 일자별 사용량 확인과 패턴정보(그래프)를 제공		(주)레오테크
Agro-PipeNET 농업용 관수로 운영관리 프로그램		관망 압력, 사용량, 수위 등 데이터를 실시간으로 취득하여 수요분석 및 예측, 관망해석 및 제어 시뮬레이션을 통하여 관망을 운영관리할 수 있는 결과를 제공		(주)이메트릭스
Agro - Smart APP 농업용 관수로 스마트 앱		원격지에서 관망내의 펌프, 밸브 등을 모니터링하고 제어할 수 있는 기능을 제공		(주)피에스글로벌
Under Navi System 농업용 관수로 파손감지시스템		농업용 관로의 노선위치, 누수, 파손 등을 실시간으로 모니터링하고 관로내의 사고를 사전에 예방할 수 있는 기능을 제공		(주)코워드윈
VA (Poly Vinylchloride pipe for Agricultural) 친환경 농업용 전용관		농업용수로의 특성을 고려하여 용수로 구간별로 다른 압력으로 설치가능하도록 저압관으로 개발		(주)고리

#### 4. 핵심성과 실용화 방안

##### 가. 기능별 상품 조합하여 상용화

- AMI 통신장비 운영 프로그램은 유량, 수압 등 각종 관망내의 데이터를 독립적으로 수집하여 관리할 수 있으며, 수요관리 및 관망해석 등이 가능한 관수로 운영관리 프로그램(Agro-PipeNET)과 연계하여 현장에 적용할 수 있다. 그리고, Agro - Smart APP(농업용 관수로 스마트 앱)는 관망의 운영관리 HMI와 연계하여 관망의 모니터링 및 양수장 및 밸브 제어용으로 활용할 수 있다. 이와 같이, 본 연구에서 개발한 기술은 각종 기술을 조합하면 현장에서 필요한 기능에 따라 상품을 조합하여 적용할 수 있다.

##### < 핵심성과 실용화 전략 >

핵심성과	실용화 적용대상	실용화 전략
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ AMI 통신장비 및 운영 프로그램</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 농업생산기반시설인 저수지 수위, 관로 유량, 유속, 압력, 말단수위 등 계측관리에 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 기술협약 추진                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 한국농어촌공사와 기술실험약 체결하여 다양한 지구에 적용할수있는 기반 마련</li> </ul> </li> <li>■ 시범사업 추진                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시범사업 대상지구 선정</li> <li>- 실무부서 협의하여 설계 지원</li> <li>- 설계반영후 공사시행 단계까지 기술지원</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Agro-PipeNET 농업용 관수로 운영관리 프로그램</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 한국농어촌공사가 시행하는 농촌용수개발, 간척개발사업지구의 관수로 지구의 운영관리에 적용</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Agro - Smart APP 농업용 관수로 스마트 앱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 양수장 펌프 및 밸브 등의 운영 관리에 적용</li> <li>■ 대규모 농업용수 관개지구의 운영관리 툴로 활용</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Under Navi System 농업용 관수로 파손 감지시스템</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 농촌용수사업지구의 간지선 관로 노선관리, 누수관리, 사고예방 시스템으로 적용</li> <li>■ 도시 관통 관수로 , 국도, 지방도 등 도로 횡단 관로관리에 적용</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ VA(Poly Vinychloride pipe for Agricultural) 친환경 농업용 전용관</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 한국농어촌공사가 시행하는 농촌용수개발, 간척개발지구에 적용</li> </ul>	

##### 나. 기술전용실시 협약 추진으로 실용화

- 공동연구를 통하여 개발된 기술들은 공동개발 주체와 한국농어촌공사가 기술실험협약을 체결하여 농촌용수사업 등 다양한 관수로 사업에 적용 할 수 있도록 할 필요가 있다.
- 기술전용실시 대상 성과물은 AMI 통신장비 및 운영 프로그램, Agro-PipeNET(농업용 관수로 운영관리 프로그램), Agro - Smart APP(농업용 관수로 스마트 앱), Under Navi System(농업용 관수로 파손감지시스템), VA(Poly Vinychloride pipe for Agricultural, 친환경 농업용 전용관) 등이 해당함
- 기술전용실시 방식은 각 공동연구 주체와 주관인 한국농어촌공사가 협약을 체결하는 형태가 적합하며 향후 공동연구 참여 기업의 요청에 따라 협약을 체결할 계획이다.

## 제 2 절 연구성과 활용 실적 및 계획

- 본 연구에서 개발된 성과물을 한국농어촌공사 사업계획워크숍, 제주지역본부 실용화 발표, 강원지역본부 실용화 발표 등을 통하여 성과 확산을 위하여 노력하고 있다.

### 1. 연구성과 활용실적

(단위 : 건수)

구분	기술실시(이전)	상품화	정책자료	교육지도	언론홍보	기타
활용건수	목표	5	5	3	2	5
	달성	-	8	3	2	5

- 관 파손감지 시스템 사업화 실적 : 관 파손감지 시스템을 참여기업에서 하수도시설공사에 반영하였으며, 농업용 관수로에 적용하기 위하여 한국농어촌공사 사업부서와 협의 중에 있다.

사업화명	사업화내용	사업화 업체 개요				기대출액	당해년도 매출액	매출액 합계
		업체명	대표자	종업원수	사업화형태			
재이용 하수압송관로 시설공사	관파손 예방시스템	(주) 코위드원	윤상조	7	시스템 납품 및 시공	-	71백만원	71백만원


### 2. 연구성과 활용을 위한 노력

- 한국농공학회 학술발표회를 통한 연구성과 특별세션 2회를 개최하여 전문가 자문, 공감대 형성, 관련 기관 자문을 통하여 연구성과의 확산과 보급을 위하여 노력하였다.

- 농촌용수의 효율적 이용을 위한 스마트 파이프라인 시스템 구축 특별세션 개최 (10.23)

특별세션	주관기관	발표사진
농촌용수 스마트 관수로 시스템 구축방향 - 주관기관 : (사)한국농공학회 - 장 소 : 나주중흥골드스파리조트	(사)한국농공학회	

- 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 구축 기술 홍보 (2015.10.22.~23)

홍보부스 운영	참여기업	홍보부스
농촌용수 스마트 관수로 시스템 구축기술 - 참여기업 홍보부스 운영 - 장 소 : 나주중흥골드스파리조트	이메트릭스(주) 시그너스파워 (주)고리 (주)레오테크 HNP 코위드원	



- 2014년도에는 국제 관개배수위원회(ICID) 세계총회서 농촌용수 스마트 파이프라인에 대한 기술세션을 개최하여 향후 스마트 운영관리 기술의 해외사업화 및 수출을 위한 기술홍보 및 공감대 형성을 도모하였다.

특별세션	주관기관	비고
농촌용수 스마트 파이프라인 개발 - 주 관기관 : ICID - 장 소 : 나주 김대중 센터	한국관개배수 위원회	-

### 3. 연구성과 활용계획

#### 가. 연구성과 확산을 위한 홍보 리플렛 작성

- 연구성과 확산을 위하여 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 리플렛(2015.10)을 작성하였다.



[그림 5-2-3-1] Smart Pipeline System 홍보 리플렛

- 향후 농촌용수 사업지구 현장시연회 등을 통해 지속적으로 홍보함으로써 기술확산과 실용화를 도모할 계획에 있다. 특히, 강원도 농촌용수 사업지구등에 본 연구에서 개발된 시스템을 적용하는 방안이 논의 되고 있으며, 성과공유제를 통해 농촌용수 관리지역에 순차적으로 보급할 계획이다.
- 연구성과의 주요 활용계획으로는 IoT 양수장 운영관리 기술은 한국농어촌공사. 지자체 등의 양수장 지구에 설치 될 수 있을 것으로 예상하고 있다.
- 본 과제에서 개발된 스마트 관수로 시스템은 및 요소기술은 한국농어촌공사의 고유 브랜드로 하여 농촌용수 관수로 지구의 운영관리 기술로 활용될 수 있도록 정책건의하고 현장사업지구에는 기술 자료 재공을 통하여 실용화 제안할 예정이다.

#### 나. 농촌용수 파이프라인 운영 관리시스템

- 향후 한국농어촌공사와 기술협약 체결을 통하여 적극적인 사업화를 도모하며, 현재 진행 및 계획 중인 제주시, 안반데기지구, 감곡지구 등 농업용수개발사업에 해당 농촌용수 파이프라인 운영 관리시스템을 적용하여 사업화를 달성할 예정이다.

## 다. 농촌용수 관수로 AMI 계측 시스템

- 농촌용수 관수로에 설치 되는 유량계, 수압계, 수질계, 원격검침을 위한 AMI 시스템 구축과 농촌용수 논관개와 밭관개를 위한 관수로 운영관리 시스템 구축에 활용 가능

## 라. 농촌용수 스마트 파이프라인 시스템 실용화 계획

- 농촌용수의 효율적 관리를 위하여 개발한 스마트 파이프라인 시스템 모델을 농촌용수사업, 간척사업 등에 반영하여 실용화를 추진할 계획이다.
  - 제주도 농업용수 통합 광역급수체계 구축 사업에 성과 반영할 수 있도록 사업제안 예정

## 마. 연구성과 특허출원으로 원천기술 확보

- 저압형 관수로 개발 연구성과물인 “폐각을 이용한 친환경 수지관의 제조방법” 특허출원
  - 참여기업인 (주)고리와 공동 특허 출원 중

## 바. 관파손 감지시스템 실용화

- 본 연구에서 개발한 관파손 감지시스템은 농업용 관수로에 대한 누수 감시 및 유지관리 등에 활용이 가능하며, 정보화 사업과의 연계를 통해 활용범위 확대 및 새로운 기술 분야의 창조효과를 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

## 사. 농업용 관중 선정 및 유지관리 매뉴얼 작성

- 매뉴얼은 현장에서 농업용 관수로의 설계와 유지관리 대책 수립시에 활용될 수 있다.

## 아. 농촌용수 파이프라인 운영관리 시스템

- 기후변화에 대비하고 농촌지역의 농업용수 공급을 안정적으로 수행할 수 있는 운영관리 기반을 마련하는데 활용이 가능하며, 향후 간척, 농촌용수 등 농어촌 정비사업의 관수로 운영관리시스템 구축과 기존 농업용수관리 자동화 사업 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- 파이프라인 운영관리 시스템은 수원으로부터 펌프드에의 용수공급과 각 관개지에 용수를 공급하는 조정지의 용수관리 등에 활용되며 관개지 내의 사용수량에 대한 원격검침을 통해 공급량 대비 사용량을 관리함으로써 누수량 관리 등에 활용할 수 있다.
- 또한, 작물재배에 필요한 용수 공급 시점과 용수사용량 등을 데이터베이스에 사전 입력하여 용수공급의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단되며, 적정 수압관리와 누수모니터링을 통해 용수 생산성을 향상시켜 경제적인 손실을 최소화할 것으로 전망된다.
- 농업용수 관리 시스템을 통해 가뭄에 대비한 용수관리체계 수립 및 기존 콘크리트 수로와 흙수로, 그리고 강우에 의존하는 농업용수체계를 시스템화된 관수로 급수체계로 전환이 가능하다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 제 1 절 첨단 농업 기술 사례

#### 1. 이스라엘 농업 기술 사례

##### 가. 파이텍 무선식물 생장 모니터링 시스템

- 파이텍은 작물과 경작 환경을 모니터링 하는 센서와 소프트웨어를 개발, 이스라엘 오렌지 농장 등에 적용하였다.
- 식물성장량을 자동으로 측정하여 관수 주기, 관수량 등의 재배법 개선에 이용하였다.
  - 식물에 직접 부착되어있는 센서들은 5분에서 10분 간격으로 읽혀지며 이 자료는 케이블이나 무선연결을 통해 재배자의 집에 있는 컴퓨터로 전송된다.

구분	내용
회사 개요	- 회사명 : Phyttech - 설립연도 : 1999 - 직원수 : 약 20명 - 연매출 : 4억 5천달러(2008년 기준) - 홈페이지 : www.phyttech.com
	

- 소프트웨어는 식물의 컨디션을 최적상태의 녹색부터 최악생태인 적색까지 그래프와 색깔로 표시한다.
- (기대 효과) 이스라엘 오렌지 농장에 적용한 결과 30분 간격으로 환경정보를 측정하여 관수 방법을 개선하여 톤당 \$700달러 소득 증가하였으며, 열매나 식물의 시간에 따른 정확한 생리학적 상태 모니터링과 스트레스 감지를 통해 작물 생산성 향상 및 재배 오류 감소 효과를 얻어냈다.

##### 나. 이스라엘 히브리농대 자동 관개시스템

- 식물이 필요한 만큼 물을 공급함으로써 토마토 생산량을 40%이상 증가시킬 수 있는 물 자동공급 센서를 개발하였다.
- 센서는 잎의 두께를 1마이크로미터까지 측정할 수 있으며, 수확량을 최대 40%까지 증대시키면서 물의 소비를 60% 이상 절약할 수 있는 장점을 지닌다.

- (기대 효과) 첨단센서를 이용하여 적시에 적당한 양의 물을 제공, 물소비를 줄임(60% 감소)과 동시에 일부 농작물의 수확량을 증가시키는 결과를 도출했다.(토마토의 경우 40%)



[그림 6-1-1-1] 하제라 생산 다양한 토마토 품종

## 제 2 절 일본의 관수로

- 일본의 관수로에 적용되고 있는 관종은 대부분 강관을 사용하고 있고 우리나라에 비해 30년 이상된 관수로 지역이 상당부분 존재하고 있다. 하여 농업용 금속관에 대한 누수사고 사례를 바탕으로 이에 대한 문제 해결방안 연구가 활발하게 이루어지고 있는 상황이다. 특히, 금속재료의 관부식에 대한 평가 기준 설계, 갱생공법 등과 같은 원인분석에 대한 기초자료 확보 및 해결방법에 대해 다각도로 활발하게 연구를 추진하고 있다.
- 이에 본 연구에서는 일본에서의 농업용 관수로에서의 부식문제로 금속관의 부식에 대한 대책 공법 개발 및 평가 기준/방법에 대해 연구한 보고서를 소개하고자 한다.
- 일본의 “農業用管水路における鉄鋼系管材の腐食調査と要因評価について” 보고서에서는 농업용 관 부식에 대한 진단기술을 개발하기 위해 현장조사 평가 사례를 소개하고 있다. 구체적으로 “요이치 지구”에서 1955~1962년에 걸쳐 조성된 11.8km의 세미쿠로스타입 관수로에 20년이상 경과된 관에서 누수문제가 발견되어 이를 대상으로 조사 및 평가 방법에 대해 고찰하고 있다.
- 결과론적으로 [그림 6-2-1-1]과 같이 강관에서 열화에 의한 공침부식으로 누수가 확인되어 설계기준에 의거한 DIN50929 part3(독일 규격협회) 및 ANSI A21.5(미국 규격협회)의 부식성 평가에 필요한 토양, 지하수 및 전위 등을 조사하였다고 보고하고 있다.
- 하지만, 우리나라와 마찬가지로 관수로에 적용되고 있는 금속재료의 관종에 대한 부식평가 방법 및 기준이 명확하게 확립되어 있지 않기 때문에 미국 국가 표준(American National Standard Institute, ANSI)시설물 기능 진단 조사 매뉴얼의 평가 기준을 채택하였고, 토양 조사의 측정 결과를 점수화하여 종합 점수로 평가하였다.



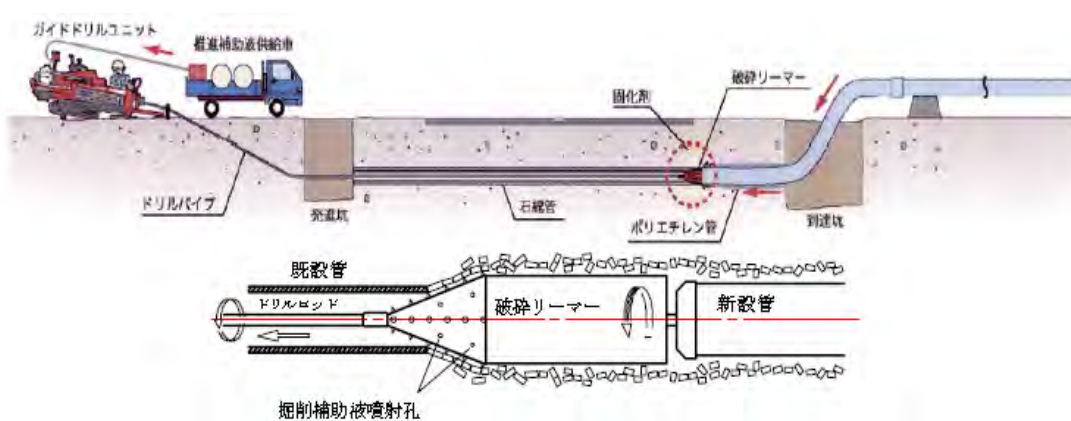
[그림 6-2-1-1] 일본 관수로의 부식사례

- 또한, “非開削工法による既設管の置換更新工法の開発”에서는 이미 부식이 이루어진 관에 대한 보수 공법을 소개하고 있는데, 이는 우리나라의 하수도 비굴착공법과 유사한 공법으로 농업용 관을 대상으로 [그림 6-2-1-2]와 같이 적용되는 사례를 소개하고 있다.
- 본 공법의 특징은 신속한 공사로 기간단축 효과가 있고 경제성이 우수하다는 장점을 가지고 있으며, 기 매설된 관에 대한 손상 위험을 최소화 할 수 있다고 기술하고 있다. 또



한, 먼지와 파편의 비산이 없고 교통량이 많은 곳에서도 작업이 가능하다는 장점이 있다고 한다. 이는 우리나라 하수도관의 비굴착 공법과 유사하지만, 기존관을 파괴하고 새로운 관을 설치한다는 점에서 다소 차이가 있다.

- 본 공법에 사용되고 있는 관종은 ISO TR 9080 및 ISO 1262에 규정된 HDPE관을 사용하고 있으며, 1.0MPa이하의 농업용수 이용관을 대상으로 설계하였다고 기술하고 있다.
- 또한, 본 공법을 실제 일부 지역에 현장 적용하므로써 기술에 대한 검증은 확인하였다고 시술하고 있으나, 적용대상관이 300mm이하로 소구경에 한해 적용되고 있으며, 재질역시 HDPE관을 사용하기 때문에 압력관을 사용하고 있는 관수로에 적용하는데는 한계가 있을 것으로 사료된다.



[그림 6-2-1-2] 농업용 관종 비굴착 보수공법 개요도

○ 본 공법의 일본 적용 사례

<ul style="list-style-type: none"> <li>- 농업용 도관 홋카이도</li> <li>• 종별 : 노후관 부설 교체 공사</li> <li>• 공사 기간 : 2006/11/9 ~ 11/10</li> <li>• 내용 : 기설 관 석면 관 φ250</li> <li>• 신설 관 PE φ250</li> <li>• 시공 연장 L = 90m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 농업용 도관 지방도로 횡단 니가타 현</li> <li>• 종별 : 파손에 의한 포설 교체 공사</li> <li>• 공사 기간 : 2007/2/8 ~ 2/10</li> <li>• 내용 : 기설 관 도관 φ350</li> <li>• 신설 관 PE φ300</li> <li>• 시공 연장 L = 20m (곡선)</li> </ul>
---	--



[그림 6-2-1-3] 농업용 관종 비굴착 개보수 공법(일본)

[표 6-2-1-1] 일본 토지개생사업계획 설계기준 “파이프라인” 변천

구분		1973년 3월 제정	1977년 10월 개정	1983년 3월 개정	1999년 3월 개정	2009년 3월 개정
일반사항	관 구경	계정없음	∅300~∅2000	∅2000이상	∅3000이상	∅3000이상
	관 길이	-	100m이하	100m이하	100m이하	100m이하
	관 종	RC·PC·ACP·CIP·DCIP·SP·PVC·PE	CIP삭제,FRM추가	ACP삭제	-	-
물관리설계	시스템	-	-	물 관리 장치 도입	-	-
	설계유속	표준값	표준값	자연압:허용유속의 평균값 2m/s이하 펌프압송:표준압	자연 압력 펌프 압송:허용유속의 평균값원칙 2m/s 이하	자연 압력 펌프 압송:허용유속의 평균값 원칙 2m/s 이하
	수리현상	-	일·비정상의 도입	-	-	-
	수격압	-	계산에 의한 방법	경험치에 의한 방법	경험치에 의한 방법	계산에 의한 방법
구조설계	버섯류 (표준)	경작지:0.6m이상, 농도·차도:관경 450mm이하1.0m 이상 관경 500mm 이상 1.2이상 도로아래:관리자와 협의	도로아래:일반적으로 1.2m이상	관로보호:0.6m이상의도로·궤도·하천 등(관리자와협의)도로아래:1.2m이상, 농도·차도:1.0m이상	관로보호:0.6m이상의도로·궤도·하천 등(관리자와협의)도로 및 도로구조령을 준수하는 농도 이하:1.2m이상 도로 구조령을 준수하지 않는 농도아래:1.0m이상	관로보호:0.6m이상의도로·궤도·하천 하등(관리자와협의)도로 및 도로구조령을 준수하는 농도 이하:1.2m이상 도로 구조령을 준수하지 않는 농도아래:1.0m이상
	연직토압	마스톤공식	시공의 추가:매반환 깊이 2m이하의 수직압력송식을 적용	-	簡易立て込み矢板工の追加	-
	수평토압	불투성관:랭킹공식 투성관:스팽글러공식	비율 규정:스팽글러 수정식	-	e'의 표준값 삭제 새로운 방법의 도입	-
	기초공법	-	-	-	복합배관항목을 추가, 양호한 지반의 경우 삭제	복합 배관 관 각격의 산출식·표 추가
내진설계	계정없음	액상화지반 사용금지	액상화침하 대책으로서 쇄석 기초 채용	중요도구분에 따라 검토·설계 지진응답 대책검토		
설계 기술의 특징	CIP공법 기준 제정 시점에서 사용되지 않음	변형지연계수 (F=1.5) FRPM관 보급	변형지연계수 (F=1.0) 얇은 매설 공법	시설 주변의 환경과의 조화를 고려, 소 구경 관 단순화 보수·보강		
시공	통수시험기술	관체매설추가		시공관리추가		

\*1973년 3월 제정 : 제 5 편 수로 산업 (2) 제 15 장 파이프 라인

\*1997년 10 월 개정 : 디자인 수로 산업 (2) 파이프 라인

\*1983년 3 월 개정 : 디자인 수로 산업 (2) 파이프 라인

\*1999년 3 월 개정 : 설계 "파이프 라인"기준서 · 기술서

\*2009년 3 월 개정 : 설계 "파이프 라인"기준서 · 기술서



[표 6-2-1-2] 일본 농업용 파이프라인 관종의 주요용도·특징 및 변장

관종		용도·특징	주요 변장	
비 땅 성 관	콘 크 리 트 계	원심력 철근 콘크리트관 (RC)	내구성이 뛰어나며, 저압파이프 라인에 적합함. [구경]150~3,000mm	균열, 부등침하, 계수부 열화·폴림
		코어식 프리스트레스트 콘크리트관 (PC)	프리스트레스트를 도입 한 콘크리트 관로 내 하중이 우수하며, 체중량이 큼. [구경]150~3,000mm	부등침하, 피팅 부 열화, PC강선부식, 관체손상
		석면 시멘트관 (ACP)	1965년대 보급하였지만, 석면 섬유 발암에 의하여 1988년에 규격 폐지. [구경]150~1,500mm	부등침하, 피팅 부 열화·폴림, 관체손상
땅 성 관	철 강 계	연성 철 파이프 (DCIP)	인장강도, 연성이 풍부하여 내구성이 뛰어나며 내외압이 큰 관로 및 연약지반에 적합하고 관 체중량이 큼. [구경]75~2.600mm	C/S매크로 셀 부식, 전지부식
		철강 관 (SP)	인장강도, 인성, 연성이 풍부하여 내 외압 큰관로 및 연약지반에 적합하지만, 전해 부식에 약함 [구경]15~3,000mm	C/S매크로 셀 부식, 전지부식, 전해부식, 필 홀 누수
	수 지 계	경질 폴리염화 비닐관 (PVC)	내구성, 내식성, 내전식성이 우수하며, 경량으로 취급 시 연약지반에 적합하지만 한랭지에서의 충격이 약함. [구경]13~800mm	균열 및 관체 손상
		폴리에틸렌관 (PE)	가볍고, 내충격성, 내식성, 내전식성이 우수함.[구경]13~300mm	용착 불량에 의한 누수
		강화 플라스틱 복합관(FRPM)	내구성,내식성,내전 식성이 우수하며 경량으로 운반 시공이 용이함	부등침하, 변형굴곡, 균열 및 관체손상

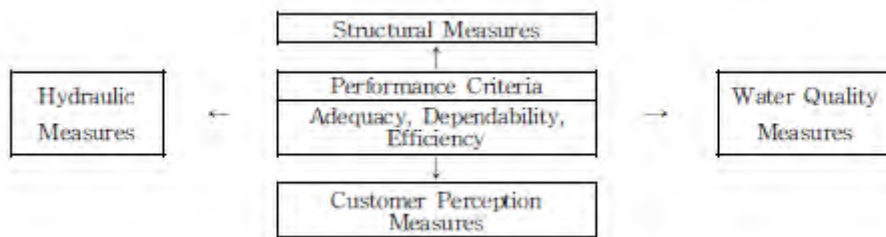
### 제 3 절 관제 노후도 평가 시스템 및 관망 진단 시스템

#### 1. 관제 노후도 평가 시스템

- 국외에서는 관제상태평가 및 노후도 평가모델 개발을 위해 많은 연구가 이미 수행되고 있다. 또한, 이를 활용하여 비파괴 안전진단기술에 활용하여 모델의 결과를 토대로 상수도관의 갱생공사를 진행하고 있다.
- 대표적인 연구로는 Shamir(1979) 등이 관 보수와 교체비용에 관련된 전체적인 관망의 경제적 교체시기 결정방법을 발표했으며, Clark(1982) 등은 회귀식을 통하여 관 파괴시점까지의 예상시간을 구하였고, Andreou(1987a) 등은 Clark(1982) 등과는 다르게 노후된 관의 파손에 관하여 확률론적 예측기법을 제시하였으며, Duan(1992) 등은 Andreou (1987a) 등의 모형에 근본이 된 Semi-Markovian Model을 연구하였다. 회귀모델의 대표적인 예로는 미국의 Iowa주의 Des Moines 수도국이 개발한 것과 USEPA가 개발한 모델이 있으며, 점수평가법의 대표적인 예로는 Colorado주 Denver시 수도국, Kentucky주 Louisville시 수도국의 노후도 예측모델이 있다.

#### 2. 관망 진단 시스템

- 해외의 대표적인 관망 진단시스템으로 미국수도협회연구기금재단(AWWARF)에서 개발한 배수시스템의 수행능력 평가(Distribution System Performance Evaluation)가 있다. 해당 방법은 정수처리시스템의 진단기법과 같이 현재 상황을 조사하고 분석하여 수행목표 수준을 설정하며, 나아가 목표수준을 달성하기 위한 개선방안을 제시하였다.
- 배수시스템 수행능력의 평가는 ① 배수시스템 수행능력 평가기준과 척도의 확인 및 정의, ② 수행 척도를 사용하여 배수시스템 수행을 평가하기 위한 절차 개발, ③ 수도사업체 관리자가 배수시스템의 총체적인 조건을 평가하고, 수행의 목표수준을 설정하며, 이들 목표수준을 달성하기 위해 필요한 시스템 개선을 확인하도록 하기위한 지침서 개발 등을 목적으로 한다.



[그림 6-3-2-1] 수행 기준과 수행 척도의 관계(미국)

- 일본의 수도기술연구센터(JWRC)에서는 소비자의 요구에 기초한 상수도 서비스를 향상시킬 목적으로 상수도 도·송·배수시스템을 재평가하고, 시스템을 개선하기 위한 대책방안을 검토하기 위한 것으로 간편한 도·송·배수시스템 평가방법을 제시하였다. 소비자의 요구부터 요구를 만족시키기 위한 서비스가 제공 가능한 상태를 이상적인 도·송·배수시스

템이라 정의하고, 평가항목으로 건전성, 신뢰성, 긴급성, 효율성, 충실성을 설정하였다.

- 매뉴얼의 활용을 위해서는 기초자료를 수집하고, 각 평가항목에 대응하는 지표값을 산출하여 각각에 대한 결과를 우(3점), 양(2점), 가(1점), 불가(0점)의 4가지 점수로 분류하고 이를 바탕으로 검토하여 상태를 평가하고 대책을 제시한다. 도·송·배수시설을 시스템적으로 파악하는 기능평가를 고려한 본 매뉴얼은 도·송·배수시설을 평가하고, 개선방안을 선정할 때의 방법을 제시하기 위하여 해당 매뉴얼을 사용하고 있다.

## 제 4 절 비굴착 보수·보강 공법

- 관의 매설년수가 경과하면 부식이나 노후화로 인하여 관망 자체의 기능이 떨어지며, 에너지 소비를 증가시키는 결과를 가져온다. 따라서 부식생성물(스케일, 슬라임 등), 파손 등의 문제해결을 위해 노후관에 대한 갱생공사(교체, 갱생)를 실시하게 되는데, 갱생공법에는 세관(Cleaning) 및 라이닝(Lining) 등이 있다. 관로갱생공법에는 갱생공법과 갱생공법이 있으며, 갱생공법에는 기능저하된 관을 새로운 관으로 교체하는 부설교체공법과 세관(Cleaning)한 기존 관내에 새로운 신관을 삽입함에 따라 비굴착으로 신관을 부설하는 관내삽입공법 등이 있다.
- 노후관에 적용되는 갱생공법은 세관공법과 라이닝공법으로 크게 나누는 데, 세관공법에는 Scraper공법, Air Sand공법, Water Jet공법, Polly Pigs공법 등이 있으며, 이와 유사한 방법 및 갱생화된 공법이 개발되고 있다. 특히, Air Sand 공법은 일본, 미국, 서독, 프랑스 등지에서 개발되어 보완 발전을 거듭하면서 현재 사용되고 있으며, 기타 세관공법은 적용하는 회사에 따라 다양하고 세관의 효과도 비슷하며, 주로 라이닝공법의 전처리 공정으로 사용되고 있다.
- 세관후 관의 보호를 위한 후속공정인 라이닝공법에는 시멘트몰탈라이닝공법, 수지도장공법, 플라스틱관 삽입공법 및 보통 Hose Lining 공법, In-situ form 공법, 피복재 관내장착공법 등이 있다. 특히, 라이닝공법은 부식에 의해 관의 통수능이나 관의 두께가 현저하게 감소하여 기능을 제대로 수행하지 못할 경우 세관후 피막을 도장하여 관로기능을 향상시키는 공법이다. 대표적인 갱생공법은 액상에폭시수지공법이며, 전세계적으로도 가장 널리 사용되고 있다.
- 기본적인 갱생기술의 적용은 세관공법 + 라이닝공법이 공통적이며, 기술이 향상됨에 따라 신뢰성 높은 라이닝 도막의 품질향상, 도로 및 연마제의 개선, 합리적인 작업관리를 통해 갱생으로인한 관의 수명이 늘어나고 있는 추세이다.
- 갱생공법에 관한 평가항목은 적용성(시공의 부합, 관중, 관경), 균일성(연마, 피막, 도포상태), 내구성(피막의 내박리성, 내마모성, 내팽윤성), 안정성(피막의 수질영향), 환경에 미치는 영향(소음, 분진, 배출물), 시공성(기술의 신뢰성, 시간, 기구운반) 등이 있다. 갱생공법을 실시하기 전에는 항상 경제성 평가를 통해 비용/효과를 고려해야 한다.
- 이러한 관로갱생공법의 개발을 위한 선진외국의 연구동향을 보면, 계획적이고 효율적으로 갱생계획과 수행을 위한 Manual 작성 연구인 관로갱생 기준화 연구, 관로갱생 기준의 정립 및 관로갱생 공법 개발, 이형관부의 현장내면 라이닝, 도장기술의 갱생 개발을 위한 이형관종류의 갱생공법, 관로에서 많이 채택되고 있고 모르타라이닝의 내구성 향상에 관한 연구인 Cement Mortar Lining의 중성화 방지, 갱생시 공법에 따라 양생, 세관을 적절하게 수행하지 않으면 수질에 대한 영향을 미칠 가능성이 있기 때문에 공법 등의 적절한 양생·세관법을 확립하기 위한 연구인 양생, 세관법 등의 연구가 이루어지고 있다.

## 제 7 장 연구시설·장비 현황

### 제 1 절 Pilot plant 구축 및 관리 현황

[주요공정 시설 설비 사양]

구 분		설 비 사 양	비 고
용수공급시설	수조공급펌프	자흡식펌프 0.5m <sup>3</sup> /min × 10mH	1대 예비
	논관개시스템 공급펌프	입형펌프 0.12m <sup>3</sup> /min × 10mH	
	간척지관개시스템 공급펌프	입형펌프 0.12m <sup>3</sup> /min × 10mH	
	밭관개시스템 공급펌프	입형펌프 0.24m <sup>3</sup> /min × 40mH	인버터 제어
	밭관개시스템 공급밸브	전동볼밸브(일상식,제어반부착형) 50A x 10.0kg/cm <sup>2</sup>	
	고가수조	10TON, 1조 (2mW × 2.5mL × 2mH)	
	스마트 감지관	스마트 감지관 1본(6.0m), 감지테이프, 누수감지센서, 보호커버, 원격감시장치	
	이물질 배출장치	100mm, 1조	
논관개 시스템	개수로 시스템 조	3,000mm × 4,000mm × 200mm 유입관: 벤치플룸관(300mm × 200mm)	
	관수로 시스템 조	3,000mm × 4,000mm × 200mm 유입관: HI-3P관(50 mm)	
	분수정 (무동력균등 분수장치)	560mm∅ × 500mmH × 1조	
밭관개 시스템	시스템 부지	42.2m × 23.1m	기존부지 이용
	스프링클러	스프링클러 헤드: 15D × 3EA	
	관로 부식도 TEST	SPP관, 0.5m × 2EA	
	관로내 발전시스템	터빈: Darrieus형, Cross Flow형, Savonius형	
발전 시스템	하이브리드 (풍력+태양광) 풍력: H형 수직형 날개 (1,500mm × 250mm × 45mm) 태양력: 태양전지판 (1,050mm × 660mm × 35mm)		
간척지 시스템	시스템 조	4,000mm × 8,000mm × 200mm 유입관 : HI-3P관(50 mm)	
전자 유량계	공급수 유량계	100A, 0.282-367.5m <sup>3</sup> /hr, 정확도: ±0.25%	(주)원텍
	공정용 유량계	50A, 0.07-91.9m <sup>3</sup> /hr, 정확도: ±0.25%	(주)원텍
디지털 압력계	공정 압력계	0-6Bar, 정확도: ±0.25%	올파기술(주)
수위계	공급수 저장조 수위계	전극봉, 0-2.5m	
측정기	토양 수분 측정기	압력식, 0-100%, 0~(-100)kPa, 직선성: ±0.5% 이하	Daiki

## 제 8 장 연구실 안전관리 이행 실적

### 연구개발과제 보안관리 현황

- 대상과제 : 2015년 협약과제 중 주관 및 협동과제(공동, 위탁 제외)
  - 농촌용수의 효율적 이용을 위한 Smart Pipeline System 개발 (연구책임자 : 김영화)
- 조사대상기간: 2015. 1. 1 ~ 2015. 12. 31 (1년)
- 조사내용
  - ① 연구기관 보안관리심의회 운영 현황(국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정 제47조의3)

연번	개최 일자	심의 건수	주요 사항	심의결과
1	2015.02.09	1	2015년도 보안업무추진계획 심의	
2	2015.02.27	1	보안업무시행지침 일부개정(안) 심의	원안 의결
3	2015.03.30	1	정보보호지침 개정(안) 심의	원안 의결
4	2015.12.02	1	보안업무시행지침 일부개정(안) 심의	원안 의결

- ② 보안과제 관리현황(국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정 제47조의4)

해당없음

- ③ 보안등급에 따른 조치 현황

조치 사항	보안과제	일반과제	비고
① 외국기업 및 국외연구기관 위탁 시 중앙행정기관 승인		해당없음	
② 외국인 참여 시 기관장 승인		해당없음	
③ 연구 성과물 대외공개 시 보안대책 수립		N	
④ 보안점검 및 보안교육 실시 횟수	3건		
⑤ 국가연구개발사업과 관련된 자체 보안관리 규정 마련 여부	( Y )		관련 규정, 조항
⑥ 보안사고 대응체계 마련 여부	( Y )		관련 대책 별첨

- ④ 연구개발과제 보안사고 관리 현황 : 해당없음

- ⑤ 그 밖의 건의사항

없음

위와 같이 본 기관의 연구개발과제 보안관리 현황을 제출합니다.

2016 . 1. .

보안관리 부서장 : (인)

농림수산기술기획평가원장 귀하

## 제 9 장 참고문헌

1. 강성수, 김세한, 이준욱, 강현중, SN 기반 농업 IT 융합기술 동향, 전자통신동향분석 제26권 제6호, 2011.
2. 구자용, 이현동, 홍인식, 김정구, 김정필, 누수 방지 및 저감 기술의 적용사례, 대한환경공학회지, 제29권 12호, pp 1310-1317, 2007.
3. 국토해양부, 수자원장기종합계획(2011~2020), 2011.
4. 국토해양부, 제4차 수자원장기종합계획 제2차 수정계획, 2011.
5. 김경록, EPANET을 이용한 수원시 음용수 특성 파악 및 예측, 경기대학교 석사학위 논문, 1999.
6. 김동일, 정희창, 네트워크 기반에서의 유비쿼터스 농업을 위한 기술 표준화 동향, TTA Journal Vol.143, pp 76-79, 2012.
7. 김성한, 양승경, 김동홍, 우형민, 유수율 제고를 위한 관망해석 및 진단(GIS 및 EPANET 활용), 홍릉과학출판사, 2009.
8. 김성훈, 이시형, 김동문, 김의명, 박재국, 물사용예측행정을 위한 실시간 생활용수 추세패턴 모형개발 및 GIS 연계방안에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, 제18권, 제4호, pp109-117, 2010.
9. 김정환, 김태균, 김중훈, 윤용남, 비선형계획법을 이용한 상수도 관망 설계에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 27권, 제 4호, 1994.
10. 권형중, 박현준, 김필식, 김영화, 김선주, 농업용수 관수로 관개에 의한 용수절감 효과 분석, 한국관개배수, 제21권, 제2호, pp126-137, 2014
11. 농림부, 농업용수로의 관수로 시스템 계획과 물의 이용 및 관리에 관한 연구, 농림수산식품부, 1997.
12. 농림부, 농업생산기반정비사업계획설계기준 수로편, 2004.
13. 농림수산식품부, 농업생산기반정비사업계획설계기준 관수로편, 2009.
14. 농림수산식품기술기획평가원, 일본 농식품 IT 융합기술 현황 및 전망, 2012.
15. 농림축산식품부, 농림축산식품 통계연보, 2014.
16. 농림수산식품부, 농업생산기반시설 관리규정, 2011.
17. 농촌진흥청, 농업 ICT 선진사례 모음, 2014.
18. 박영복 외 1인, 상수도관 부식방지를 위한 탄산칼슘 포화지수(LI) 인자 제어에 관한 연구, Korean Ind. Eng. Chem, Vol 16, No 3, 2005.
19. 박영수, 유전자 알고리즘을 이용한 관망시스템의 최적비용 설계, 1998.
20. 박영수, 김종우, 김태균, 김중훈, 유전자 알고리즘을 이용한 관망시스템의 최적비용 설계, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 32권, 제 1호, 1999.
21. 박석두, 김호상, 김창호, 농촌용수의 효율적 이용 및 관리 방안, 한국농촌경제연구원, 2010.
22. 박종준, 정훈, 황소영, 주성순, 대규모 무선 센서 네트워크를 위한 계층적 클러스터 트리 기반 분산 주소 할당 기법, 한국통신학회논문지 vol. 34, no. 12, pp 1514-1523, 2009.
23. 심병섭, 이지형, 최석준, 김영화, 농촌용수의 효율적 관리를 위한 AMI 시스템 개발, 한국통



신학회 학술대회논문집, Vol.2013 No.11, 2013.

24. 안태진, 최계운, 박정웅, 추계학적 최적화방법에 의한 기존관수로시스템의 병렬관로 확장, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 28권, 제 2호, 1995.
25. 양승경, 실무자를 위한 관망해석 매뉴얼, 한국수자원공사, 2007.
26. 유도근, 윤정수, 이호민, 강두선, 김중훈, 불확실성을 고려한 상수도관망 누수탐지 모형 개발 및 적용, 한국방재학회논문집, 제14권 3호, pp 177-185, 2014.
27. 유아랑, 상수도관망에서 용수사용량 패턴변화에 따른 수리적 거동 분석 연구, 한밭대학교 석사학위 논문, 2008.
28. 유태상, 하성룡, 정태성, 다수원 상수도시스템 연계운동을 위한 최적 네트워크 모형 구축, 한국수자원학회논문집, 제44권, 제12호, pp1001-1013, 2011.
29. 이상표, 이명호, EPANET을 이용한 최적 관망모델구축, 한국수자원공사, 2012.
30. 이승철, 이상일, 유전자 알고리즘을 이용한 배수관망의 최적 확장 설계, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 34권, 제 5호, 2001.
31. 이영진, 김경완, 강두선, 김영화, 농업용 관수로 시스템의 최적 설계 및 신뢰성에 관한 연구, 한국방재학회지, 제13권, 제6호, pp351-358, 2013.
32. 이정호, 상하수도 전산해석, 한밭대학교출판부, 2009.
33. 정대권. 홍인식, 실시간 누수탐지 모니터링 시스템의 구현, 한국멀티미디어학회, 춘계학술 발표대회논문집, pp 810-813, 2004.
34. 정진호, 농촌용수 종합정보시스템, 한국관개배수 제15권 2호, pp222-228
35. 장중석, 농업용수의 효율적인 관리방안, 한국관개배수회지, 제51호, PP16-24, 2013.
36. 전환돈, 김태균, 김중훈, 윤용남, 선형계획법을 이용한 분기형 관망 시스템의 최적설계, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 27권, 제 3호, pp. 135-143, 1994.
37. 정건희, 김영화, 전건영, 김중훈, 이진정수법을 이용한 농업용 관수로 최적 관경 선정 및 설계 표준화 자료 구축, 한국방재학회지, 제12권, 제5호, pp225-231, 2012.
38. 지용근 외 2인, 농업용수관리자동화시스템의 용수절감효과에 대한 경제적 가치 평가, 한국농공학회 논문집, 제51권, 제4호, pp. 1-6, 2000.
39. 차준호, 김진근, 제주도 상수도 관망 블록시스템 구축을 통한 누수 저감, 상하수도학회지, 제26권, 제5호, pp693-703, 2012.
40. 최재호, 왕창근, EPANET을 이용한 모델도시 상수도 관망에서의 수리 및 수질 Simulation, 대한환경공학회지, 제19권, 제7호, pp915-928, 1997.
41. 최태호, 배수관망의 물공급 리스크 평가 및 최적 설계 연구, 서울시립대학교 박사학위 논문, 2013.
42. 한국계면공학연구소, 상수도관의 부식방지를 위한 수질안정화 기법을 통한 통합 부식제어 시스템 개발, 환경부, 2006.
43. 한국농어촌공사, 농업기반정비사업 글로벌 평가지표 개발에 의한 총량성과분석 연구, 농림축산식품부, 2013.
44. 한국농어촌공사, 농업용수 공급원가 절감기술연구, 농림축산식품부, 2014.
45. 한국농촌경제연구원, 농업생산기반정비사업의 추진체계에 관한 연구, 1998.
46. 한국농촌경제연구원, 스마트 농업의 현황과 발전방향, 2013.
47. 한국농촌경제연구원, 식물공장의 전망과 정책과제, 2013.

48. 한국수자원공사, 수도시설 개략공사비 산정서 보고서, 2010.
49. 한국정보화진흥원, 농업 가치 제고를 위한 ICT의 역할과 과제, 2013.
50. 한국정보화진흥원, ICT 융합 해외 선진 사례, 2014.
51. 환경부, 공공하수도시설 유지관리 실무지침서, 2005.
52. 환경부, 내부수질관리 및 외부전기방식에 의한 상수관 부식원격제어와 통합관리시스템 기술개발, 2005.
53. 환경부, 상수도관망 최적관리시스템 구출 및 유지관리 표준업무처리지침, 2010.
54. 환경부, 상수도 배·급수시설 부식방지를 위한 방청제의 개발 및 최적이용모델 개발, 2003.
55. 환경부, 하수관거 유지관리지침, 1999.
56. 황광일, 다중 흡 원격검침망에서의 최소 트래픽 보장을 위한 데이터 수집기법에 관한 연구, 한국통신학회논문지 vol. 36, no. 7, pp848-857, 2011.
57. Abraham, N., Hema, P.S., Saritha, E.K., Subramannian, S., Irrigation automation based on soil electrical conductivity and leaf temperature. *Agricultural Water Management* 45, 145-157, 2000.
58. Alperovits, E., and Shamir, U., Design of optimal water distribution systems. *Water Resources Research*, Vol. 13, No. 6, pp. 885-900, 1977.
59. American Water Works Association Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, Internal Corrosion of Water Distribution Systems, 1996.
60. APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd ed., USA, 2014.
61. ARS, Irrigation & Drainage - A National Research Plan to Meet Competing Demands and Protect the Environment, USA, 2001.
62. ASTM, Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens, G1-81, 1977.
63. Boutraa, T., Akhkha, A., Alshuaibi, A., Atta, R., Evaluation of the effectiveness of an automated irrigation system using wheat crops. *Agriculture and Biology Journal of North America* 2 (1), 80-88, 2011.
64. Caceres, R., Casadesus, J., Marfa, O., Adaptation of an automatic irrigationcontrol tray system for outdoor nurseries. *Biosystems Engineering* 96, 419-425, 2007.
65. Calhoun, C., Optimization of Pipe Systems by Linear Programming, Control of Low in Closed Conduits, J. P. Tullis, ed., Colorado State Univ., Ft. Collins, pp. 175-192, 1971.
66. E. E. Stansbury and R. A. Buchanan, Fundamentals of Electrochemical Corrosion, ASM International, Ohio, 2000.
67. Eiger, G., Sharmir, U., and Ben-Tal, A., Optimal design of water distribution networks. *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 9, pp. 2637-2646, 1994.
68. Eilen A., Internal Corrosion of Water Distribution System, AWWARF Cooperative Research Report, pp. 389-394, 1996.
69. Evett, S.R., Howell, T.A., Schneider, A.D., Upchurch, D.R., Wanjura, D.F., Automatic drip irrigation of corn and soybean. In: Evans, R.G., et al. (Eds.), Proc. of the 4th Decennial National Irrigation Symp. Phoenix, AZ, 14-16 November 2000. ASAE, St. Joseph, MI, pp.

401-408, 2000

70. F. Cuomoa, S. Della Lunaa, E. Cipollonea, P. Todorovab, T. Suihkoc, “Topology formation in IEEE 802.15.4:cluster-tree characterization“, Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, pp276-281, 2008.
71. Fujiwara, O., and Khang, D. B., A Two-phase decomposition method for optimal design of looped water distribution networks. *Water Resources Research*, Vol. 26, No. 4, pp. 539-549, 1990.
72. Fujiwara, O., Jenchaimahakoon, B., and Edirisinghe, N. C. P., A modified linear programming gradient method for optimal design of looped water distribution networks. *Water Resources Research*, Vol. 23, No. 6, pp. 977-982, 1987.
73. Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Co, 1989.
74. Goulter, I. C., Lussier, B. M., and Morgan, D. R., Implications of head loss path choice in the optimization of water distribution networks. *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 5, pp. 819-822, 1986.
75. Gupta, I., Linear programming analysis of a water supply system. *Transactions of American Institute of Industrial Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 56-61, 1969.
76. Gupta, I., M. S. Hassan and J. Cook, Linear Programming Analysis of a Water Supply System with Multiple Supply Points, *AIIE Trans.* 4(3), pp. 200-204, 1972.
77. Holland, J. H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems.*, The University of Michigan Press, 1975.
78. Iron by Solution of Sodium Orthophosphate, *J. Electrochemical Soci.*, 98, 263, 1951.
79. Kameli, D., Gadish, Y., and Meyers, S., Design of Optimal Water Distribution Networks, *J. Pipeline Div. ASCE*, 94(1), pp.1-9, 1968.
80. Kessler, A., and Sharmir, U., Analysis of their linear programming gradient method for optimal design of water supply networks. *Water Resources Research*, Vol. 25, No. 7, pp. 1469-1480, 1989.
81. Kessler, A., and Sharmir, U., Decomposition technique for optimal design of water supply network. *Engrg. Optimization*, Vol. 17, No. 1, pp. 1-19, 1991.
82. Langelier, W. F., *Chemical Equilibria in Water Treatment*, *Jour. AWWA*, Vol. 38, No. 2, 1946.
83. Lee, Y.J., Kim, K.W., Kang, D.S., Kim, Y.H., Optimal Design of Agricultural Irrigation Systems Considering System Reliability. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 13 (6), 351-358, 2013.
84. Lewis A. Rossman, “EPANET 2 USERS MANUAL” United States, Environmental Protection Agency, 2000.
85. Luthra, S.K., Kaledhonkar, M.J., Singh, O.P., Tyagi, N.K., Design and development of an auto irrigation system. *Agricultural Water Management* 33, 169-181, 1997.
86. Mays, L. W. and Tung, Y. K., *Hydrosystems Engineering and Management*. McGraw-Hill, New York, N. Y, 1992.

87. Merrill, D.T., and Sanks, R.L., Corrosion Control by Deposition of CaCO<sub>3</sub> Films: Part 1, A Practical Approach for Plant Operators, J. AWWA Vol. 69 No. 11, 1977.
88. Merrill, D.T., and Sanks, R.L., Corrosion Control by Deposition of CaCO<sub>3</sub> Films: Part 3, A Practical Approach for Plant Operators, J. AWWA Vol. 70 No. 1, 1978.
89. Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, Agricultural Design Standards(in Korea), 2002.
90. Miranda, F.R., Yoder, R.E., Wilkerson, J.B., Odhiambo, L.O., An autonomous controller for site-specific management of fixed irrigation systems. Computers and Electronics in Agriculture 48, 183-197, 2005.
91. NRCS, Natural Resources Conservation Service Conservation Practice Standard - Drainage Water Management(554)-1, USA, 2011.
92. NRCS, Natural Resources Conservation Service Conservation Practice Standard - Irrigation Pipeline\_Plastic Pipe(430-S)-1, USA, 2012.
93. NRCS, Natural Resources Conservation Service Conservation Practice Standard - Irrigation Pipeline\_Steel Pipe(430-S)-1, USA, 2012.
94. NRCS, Natural Resources Conservation Service Conservation Practice Standard - Irrigation Pipeline(430), USA, 2012.
95. O' Shaughnessy, S.A., Evett, S.R., Canopy temperature based system effectively schedules and controls center pivot irrigation for cotton. Agricultural Water Management 97, 1310-1316, 2010.
96. Peters, R., Evett, S., Automation of a center pivot using the temperature-time-threshold method of irrigation scheduling. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 134, 286, 2008.
97. Quindry, G.E., Brill, E.D., and Liebman, J.C., Optimization of looped water distribution systems. Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 107, No. 4, pp. 665-679, 1981.
98. Romero, R., Muriel, J.L., Garcia, I., Munoz de la Pena, D., Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results. Agricultural Water Management 114, 59-66, 2012.
99. Ryznar, J.W., A New Index for Determining Amount of Calcium Carbonate Scale Formed by a Water. Jour. AWWA, Vol. 36, No. 4, 1944.
100. Savic, D.A., and Walters, G.A., Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 123, No. 2, pp. 67-77, 1997.
101. Schaake, J., and Lai, D., Linear Programming and Dynamic Programming - Application of Water Distribution Network Design, Report 116, MIT Press, Cambridge, Mass, 1969.
102. Simpson, A., Dandy, G., and Murphy, L., Genetic algorithms compared to other techniques for pipe optimization. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 120, No. 4, pp. 423-443, 1994.
103. Xinjian, X., Design of fuzzy drip irrigation control system based on ZigBee wireless

- sensor network. *Computer and computing technologies in agriculture IV. IFIP Advances in Information and Communication Technology* 344, 495–501, 2011.
104. Wood, D. J. and Funk, J. E., Hydraulic analysis of water distribution systems. in *Water supply systems, state of the art and future trends*, E. Cabrera and F. Martinez, eds., Computational Mechanics Publications, Southampton, pp. 41~85, 1993.
  105. Wood, D. J., Computer analysis of flow in pipe networks including extended period simulations (KYPIPE user's manual), Reference material for a three-day short course and correspondence course, office of continuing education and extension of the college of engineering at the university of kentucky, Lexington, 1980.
  106. Zhou, Y., Yang, X., Wang, L., Ying, Y., A wireless design of low-cost irrigation system using ZigBee technology. In: *Proceedings of the 2009 International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing - Volume 01 (NSWCTC '09)*, vol. 1. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, pp. 572-575, 2009.
  107. Zhu, L.Z., Li, X., Study of automatic control system for irrigation. *Advanced Materials Research* 219-220, 1463-1467, 2011.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업 (농촌용수의 효율적 이용을 위한 Smart Pipeline System 개발)의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.