

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
농업기반및재해대응기술연구개발사업 2022년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004355-01

ICT기반 발관개용수 확보 다기능 저류조 용수공급시스템 개발

2023. 06. 02

주관연구기관 / 한국농어촌공사 농어촌연구원
공동연구개발기관 / 서울대학교 산학협력단
/ (주)이티워터
/ (주)콘텍이엔지

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “ICT기반 발관개용수 확보 다기능 저류조 용수공급시스템 개발”(개발기간 : 2020. 4. ~ 2022. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023.06.02.

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 (대표자) 서 상 기



협동연구기관명 : 서울대학교 산학협력단

(대표자) 김 재 영



(주)이티워터

(대표자) 이 한 필



(주)콘택이엔지

(대표자) 박 성 기



주관연구책임자 : 신 형 진

협동연구책임자 : 송 인 흥

이 한 필

김 향 희

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

| 최종보고서 | | | | | | | | | | 보안등급 | | |
|-------------------------|-------------|-----------------|--|-------------------------------------|--------------------------|---------------|-----------------------|----------------|---------|----------------|----------------|------|
| | | | | | | | | | | 일반[○], 보안[] | | |
| 중앙행정기관명 | | 농림축산식품부 | | | 사업명 | | 사업명 | | | 농업기반및재해 대응기술개발 | | |
| 전문기관명 (해당 시 작성) | | 농림식품기술기획평가원 | | | 내역사업명 (해당 시 작성) | | 농업용수 및 기반시설 관리 효율화 기술 | | | | | |
| 공고번호 | | 제 농축2020 - 99호 | | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | | | | | | |
| | | | | | 연구개발과제번호 | | 320051-3 | | | | | |
| 기술분류 | 국가과학기술 표준분류 | LB | 20% | LB09 | 30% | LB0903 | 30% | LB0901 | 20% | | | |
| | 농림식품과학기술분류 | RA농림식품환경생태 | 20% | RA01농림업토목 | 50% | RA0199기타농림업토목 | 30% | | | | | |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | | 국문 | I | | | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 | | 국문 | ICT기반 발관개용수 확보 다기능 저류조 용수공급시스템 개발 | | | | | | | | | |
| | | 영문 | Development fo a ICT-based irrigation system using multi-functional water storage tanks for upland cultivation | | | | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | 한국농어촌공사 농어촌연구원 | | | 사업자등록번호 | | 134-82-04362 | | | | |
| | | 주소 | (우)15634 경기 안산시 상록구 해안로 870 | | | 법인등록번호 | | 135271-0000021 | | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | 신형진 | | | 직위 | | 책임연구원 | | | | |
| | | 연락처 | 직장전화 | | | | 휴대전화 | | | | | |
| | | | 전자우편 | | | | 국가연구자번호 | | | | | |
| 연구개발기간 | | 전체 | 2020. 04. 29 - 2022. 12. 31(2년 9개월) | | | | | | | | | |
| | | 단계 (해당 시 작성) | 1단계 | 2020. 04. 29 - 2021. 12. 31(1년 9개월) | | | | | | | | |
| | | | 2단계 | 2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(1년) | | | | | | | | |
| 연구개발비 (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 | 기관부담 연구개발비 | 그 외 기관 등의 지원금 | | | | 합계 | | | 연구개발비 외 지원금 | |
| | | 현금 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 합계 | 지원금 |
| 총계 | | 712,000 | 0 | 239,000 | | | | | 712,000 | 239,000 | 951,000 | |
| 1단계 | | 1년차 | 194,000 | 0 | 65,000 | | | | 194,000 | 65,000 | 259,000 | |
| | | 2년차 | 259,000 | 0 | 87,000 | | | | 259,000 | 87,000 | 346,000 | |
| 2단계 | | 3년차 | 259,000 | 0 | 87,000 | | | | 259,000 | 87,000 | 346,000 | |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | 책임자 | | 직위 | | 휴대전화 | | 전자우편 | | 비고 | |
| | | 서울대학교 | 송인홍 | | 부교수 | | | | | | 역할 | 기관유형 |
| 공동연구개발기관 | | (주)이티워터 | 이한필 | | 대표이사 | | | | | | 공동 | 대학 |
| | | (주)콘텍이엔지 | 김황희 | | 연구소장 | | | | | | 공동 | 중소기업 |
| 연구개발담당자 실무담당자 | | 성명 | 이재남 | | | 직위 | | | | 책임연구원 | | |
| | | 연락처 | 직장전화 | | | | 휴대전화 | | | | | |
| | | | 전자우편 | | | | 국가연구자번호 | | | | | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023년 6월 2일

연구책임자: 신 형 진



주관연구개발기관의 장: 서 상 기



공동연구개발기관의 장: 김 재 영



공동연구개발기관의 장: 이 한 필



공동연구개발기관의 장: 박 성 기



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

| | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------|--|---|---------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|--------|-----|
| 사업명 | | 농업기반및재해대응기술개발사업 | | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | | | |
| 내역사업명 (해당 시 작성) | | 농업용수 및 기반시설 관리 효율 화 기술 | | | 연구개발과제번호 | | 320051-3 | | |
| 기술 분류 | 국가과학기술 표준분류 | LB | 20% | LB09 | 30% | LB0903 | 30% | LB0901 | 20% |
| | 농림식품 과학기술분류 | RA농림식품환경 생태 | 20% | RA01농림업토 목 | 50% | RA0199기타농림 업토목 | 30% | | |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 | | ICT기반 발관개용수 확보 다기능 저류조 용수공급시스템 개발 | | | | | | | |
| 전체 연구개발기간 | | 2020.04.29. - 2022.12.31 | | | | | | | |
| 총 연구개발비 | | 총 951,000천원 (정부지원연구개발비: 712,000천원, 기관부담연구개발비 : 239,000천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원) | | | | | | | |
| 연구개발단계 | | 기초[] 응용[] 개발[O] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[] | | | 기술성숙도 (해당 시 기재) | | 착수시점 기준() 종료시점 목표() | | |
| 연구개발과제 유형 (해당 시 작성) | | | | | | | | | |
| 연구개발과제 특성 (해당 시 작성) | | | | | | | | | |
| 연구개발 목표 및 내용 | 최종 목표 | | 농업용수 공급의 효율성 증대를 위한 기후변화 대응 회복력(레질리언스) 개념을 도입한 지표수 및 지하수를 모두 발관개용수로 공급할 수 있는 ICT를 활용한 다기능 저류조 용수 공급시스템 개발 | | | | | | |
| | 전체 내용 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ 발관개용수 공급 레질리언스 평가 지표 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발 - 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용과 기술 고도화 - 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시 ○ 지표/지하수를 이용한 다기능 저류조 발용수 공급 집단화 방안 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 농촌용수구역 단위 전작전환 규모 및 패턴 분석 - 농촌용수구역 단위 전작전환 패턴에 따른 지표/지하수의 발용수 공급 방안 도출 - 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집단화 방법 도출 ○ 레질리언스를 고려한 다기능 저류조 요소기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 용수공급체계 분석 및 다기능 저류조 요소기술 개발 - 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조의 설계 - 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 검증 ○ 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 다기능 저류조 시스템의 효과 검증 및 실증화 <ul style="list-style-type: none"> - 센싱기술을 이용한 온-습도 토양수분 실시간 모니터링 시스템 개발 - ICT 활용 원격 자동 관수시스템 구축 - 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 저류조 시스템의 효과 및 실증화 | | | | | | |
| | 1단계 (해당 시 작성) | 목표 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발 및 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용과 기술 고도화 ○ 농촌용수구역단위 전작전환 규모 및 패턴분석 및 농촌용수구역 단위 전작전환 공간 분포에 따른 발용수 공급 방안 도출 ○ 용수공급체계 분석 및 다기능 저류조 요소기술 개발 및 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조의 설계 ○ 센싱기술을 이용한 온-습도 토양수분 실시간 모니터링 시스템 개발 및 ICT 활용 원격 자동 관수시스템 구축 | | | | | | |

| | | |
|---------------|---|--|
| | | <p>내용</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 전국 용수구역 단위 GIS 자료 및 수문기상자료 구축 - 발 관개용수 취약성 및 회복력 평가 절차 수립에 대한 지수 선정 ○ 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용과 기술 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 취약성 및 회복력 지수의 가중치 산정 - 취약지구 도출 및 회복성 평가 ○ 농촌용수구역단위 전작전환 규모 및 패턴분석 <ul style="list-style-type: none"> - 농촌용수구역단위 전작전환 현황 및 추이 분석 - 수도작의 전작전환 현황 및 추이 분석 - 농촌용수구역의 전작화 공간분포 특성 분석 ○ 농촌용수구역 단위 전작 전환 공간 분포에 따른 발용수 공급 방안 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 농촌용수구역 단위 전작화 패턴에 따른 용수구역 그룹화 - 전작화 그룹에 따른 저류조 발용수 공급 집단화 방안 도출 ○ 용수공급체계 분석 및 다기능 저류조 요소기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 용수공급체계 변화 분석 - 원수특성에 따른 용수공급 및 활용방안 개발 - 수처리 효율 제고를 위한 수질개선기술 개발 ○ 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조의 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 공급체계 및 원수특성별 적정용수공급을 위한 저류조 기능 모듈화 - 다기능 저류조 설계 ○ 센싱기술을 이용한 온-습도 토양수분 실시간 모니터링 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 실시간 모니터링을 위한 센서 종류 조사 - 센싱기술을 이용한 실시간 모니터링 시스템 구축 ○ ICT 활용 원격 자동 관수시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 수집 방법 - 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 분석 - 실시간 모니터링 및 관수 시스템 구축 |
| | <p>2단계 (해당 시 작성)</p> | <p>목표</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시 ○ 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집단화 방법 도출 ○ 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 검증 ○ 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 저류조 시스템의 효과 및 실증화 <p>내용</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 발 관개용수의 취약성 및 회복성 평가기술의 고도화 및 가이드라인 작성 - 미래 기후변화 시나리오에 따른 농어촌 유역별 미래 발 관개용수 공급 취약성 평가 실시 - 미래 사회변화 시나리오에 따른 농어촌 유역별 미래 발 관개용수 회복성 평가 및 대응방안 제시 ○ 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집단화 방법 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 전작 체계 전환에 따른 필요수량 및 용수원 변화에 따른 저류조 이용 방안 분석 및 평가 - 지속가능한 다기능 저류조 도출을 위한 평가 인자 선정 - 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집단화 방법 도출 ○ 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 효과 검증 및 실증화 <ul style="list-style-type: none"> - 다기능 저류조의 현장적용 및 모니터링 체계 구축 - 다기능 저류조의 적정성 검증 ○ 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 저류조 시스템의 효과 및 실증화 <ul style="list-style-type: none"> - 다기능 저류조 제작 및 Test-bed 구축 - 모니터링 실시 및 문제점 분석, 보완 |
| <p>연구개발성과</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 발관개용수 공급 취약성 및 회복력 평가 지표 및 평가기반 발관개용수 공급개선 가이드라인 제시 ○ 안정적 발 용수공급을 위한 시스템 설계의 가이드라인 제시 ○ 농업용수 관련 사업시 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 요소기술 현장 보급 ○ ICT기반 다기능 저류조 시스템의 Test-bed 구축에 따른 효과 검증 및 문제점 보완 후 스마트팜 사업에 활용 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|----|---------------------|----------|--------------|--------|-------------|------|--|-----|-----|--|
| | <p>(사업화지표) 목 표 : 특허출원 1건, 특허등록 1건, 기술이전 1건, 제품화 1건 성 과 : 특허출원 1건, 특허등록 2건, 기술이전 1건, 제품화 1건</p> <p>(연구기반지표) 목 표 : SCI 논문 2편, 비SCI 논문 3편, 학술발표 6건, 인력양성 3명, 홍보전시 1건, 정책활용 1건 성 과 : SCI 논문 3편, 비SCI 논문 8편, 학술발표 24건, 인력양성 7명, 홍보전시 14건, 정책활용 1건, 수상 1건</p> | | | | | | | | | | | |
| 연구개발성과 활용계획 및 기대 효과 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 발 관개용수 취약성 및 회복력 평가기술은 광역적으로 완전히 물리적인 평가방법의 개발 및 평가 기술의 개발 및 가이드라인 제시를 통해 지자체 등에서 활용 가능 ○ 용수구역단위 전작 추이 분석 결과는 기존 논 관개를 위해 설계된 저수지 수량의 효율적 활용방 안 마련에 기초자료 제공 ○ 용수공급시스템과 수질개선기술의 융합을 통하여 기존에 없던 새로운 기술을 개발함으로써 최근 대두되는 다목적 수요에 부합하고 다기능 저류조의 선진화 및 첨단화를 이기 ○ 농업과 ICT 기술의 접목을 통한 신사업 기회 마련 및 시장 수요 대응과 농업 관리 서비스의 질 향상 기대 | | | | | | | | | | | |
| 연구개발성과의 비공개여부 및 사유 | | | | | | | | | | | | |
| 연구개발성과의 등록·기탁 건수 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구 시설·장비 | 기술 요약 정보 | 소프트 웨어 | 표준 | 생명자원 | | 화합물 | 신품종 | |
| 연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황 | Y | Y | Y | Y | | | | | | | | |
| 국문핵심어 (5개 이내) | 다기능 | | 저류조 | | 밭 농업 | | 회복력 (레질리언스) | | ICT (정보통신기술) | | | |
| 영문핵심어 (5개 이내) | Multi functional | | Water storage tanks | | Upland Field | | Resilience | | ICT(Information & Communications Technologies) | | | |

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨 자료 (참고 문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

(1) 연구목표

- ICT기반 농업용수 공급의 효율성 증대를 위한 기후변화 대응 회복력(레질리언스) 개념을 도입한 지표수 및 지하수를 모두 발관개용수로 공급할 수 있는 ICT를 활용한 다기능 저류조 용수공급시스템 개발

(2) 핵심 기술

- 발관개용수 공급 레질리언스 평가 지표 개발
 - 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발
 - 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용과 기술 고도화
 - 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시
- 지표/지하수를 이용한 다기능 저류조 발용수 공급 집단화 방안 개발
 - 농촌용수구역 단위 전작전환 규모 및 패턴 분석
 - 농촌용수구역 단위 전작호 패턴에 따른 지표/지하수의 발용수 공급 방안 도출
 - 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집단화 방법 도출
- 레질리언스를 고려한 다기능 저류조 요소기술 개발
 - 용수공급체계 분석 및 다기능 저류조 요소기술 개발
 - 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조의 설계
 - 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 검증
- 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 다기능 저류조 시스템의 효과 검증 및 실증화
 - 센싱기술을 이용한 온·습도 토양수분 실시간 모니터링 시스템 개발
 - ICT 활용 원격 자동 관수시스템 구축
 - 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 저류조 시스템의 효과 및 실증화

ICT 기반 발관개용수 확보 다기능 저류조 용수공급시스템 개발



그림 1-1. 연구개발 주요내용

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

○ 1차년도(2020)

| 구 분 | | 기관명 | 개발 목표 | 개발 내용 및 범위 |
|------------------|------------|------------|------------------------------------|---|
| 주 관 | 주관 기관 | 농어촌 연구원 | 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 전국 표준유역 단위 GIS 자료 및 수문기상자료 구축 • 전국 자료 구축을 위한 농어촌용수구역 내 시군 편입비 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 티센망을 이용한 용수구역별 대표 기상관측소 선정 및 기상자료 수집 ○ 발관개용수 취약성 및 회복력 평가 절차 수립에 대한 지수 선정 <ul style="list-style-type: none"> • 발관개시설물(관정) 취약성 및 회복력 평가를 위한 지수 선정 - 수집 가능한 자료 항목 검토 및 항목별 취약성 및 회복력 평가 기법 검토 - 기후노출, 민감도, 적응능력 등 영역별 평가 지수 확정 • 발 필요수량 산정 모듈 개발 및 모형 입력자료 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 유입량 산정모듈 및 발 필요수량 산정 모듈 개발 - 표준유역에 대한 유입량 및 발 필요수량 산정 • 발 관개용수 취약성 및 회복력 평가 절차 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 발 관개용수 지표별 지수산정, 통합 취약성 평가 및 회복력 검토 • 사회적 발 관개용수 대응능력 기반 레질리언스 평가 |
| 제 1 협 동 | 제1협동 기관 | 서울 대학교 | 농업용수구역단위 전작전환 규모 및 패턴분석 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농촌용수구역단위 전작전환 현황 및 추이 분석 <ul style="list-style-type: none"> • 저수지 농촌용수구역 GIS DB 구축: 전국 511개 구역 대상 <ul style="list-style-type: none"> - 농촌용수구역도, 스마트팜맵, 토지피복도(환경부) 등 ○ 수도작의 전작전환 현황 및 추이 분석 <ul style="list-style-type: none"> • 저수지 용수공급 수혜면적 200ha 이상 선정: 약 200 여개 지구 대상 • 지역별 용수구역 내 전작전환 현황 분석: 면적 및 비율 • 용수구역단위 최근 10년 전작전환 추이 분석 ○ 농촌용수구역의 전작화 공간분포 특성 분석 |

| | | | | |
|---------|---------|-----------|-------------------------------------|---|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> • 용수구역 내 전작전환 규모(비율) 상위 5개 지구 선정 • 전작화 필지의 공간 분포 특성 분석: Fragstats 등 이용 - 전작 필지 면적, 군집화 정도 등 분석 |
| 제 2 협 동 | 제2협동 기관 | (주)이티 워터 | 용수공급체계 분석 및 다기능 저류조 요소기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 용수공급체계 변화 분석 • 중·소규모 용수공급 특성 분석 • 영농특성 및 레질리언스를 고려한 요소(수질, 수온, 용량)별 적정 용수공급방안 검토 ○ 원수특성에 따른 용수공급 및 활용방안 개발 • 주요 원수(지표수, 지하수)별 특성 분석 • 적정 공급목표(수질, 수온) 검토 • 단일·복합원수 활용방안 및 공급 프로세스 개발 ○ 수처리 효율 제고를 위한 수질개선기술 개발 • 문헌조사를 통한 유입수원별 국내 수질 현황조사 • 문헌조사 및 현장조사를 통해 유입수원 형태에 따른 수처리 기준 결정 • 유입수원 형태 및 처리기준에 따른 적정 수질 개선 기술개발 |
| 제 3 협 동 | 제3협동 기관 | (주)콘택 이엔지 | 센싱기술을 이용한 온·습도 토양수분 실시간 모니터링 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 실시간 모니터링을 위한 센서 종류 조사 • 토양수분 및 수질 등 항목별 센서 종류 조사 • 2차원 수분 유무 관측기술 조사 및 검토 ○ 센싱기술을 이용한 실시간 모니터링 시스템 구축 • 토양수분 센서 및 수질측정 센서 현장 설치 • 현장 모니터링을 통한 토양수분 및 수질 DB 구축 • 수집된 데이터 활용한 최적의 센서 및 설치 위치 선정 • 토양수분 및 수질측정 실시간 모니터링 시스템 구축 |

○ 2차년도(2021)

| 구 분 | | 기관명 | 개발 목표 | 개발 내용 및 범위 |
|---------|---------|----------|---------------------------------------|--|
| 주 관 | 주관 기관 | 농어촌 연구원 | 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용과 기술 고도화 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 취약성 및 회복력 지수의 가중치 산정 <ul style="list-style-type: none"> • 기존의 AHP 방법과 SPSS의 선형회귀분석 방법을 이용한 취약성 및 회복력 지수 가중치 평가 비교 • 선형회귀분석으로 도출한 가중치 적용 전·후의 취약성 및 회복력 평가 차이 비교 • Geometrical interval 방법을 통한 가중치 적용 전·후 취약성 결과 등급 분류 및 취약성 지도 작성 ○ 취약지구 도출 및 회복성 평가 <ul style="list-style-type: none"> • 표준유역에 대한 취약지구 도출 및 용수구역 회복을 위한 회복력 검토 결과 제시 • 레질리언스 평가 결과 기반 지역 회복 방안 구축 |
| 제 1 협 동 | 제1협동 기관 | 서울 대학교 | 농업용수구역 단위 전작전환 공간 분포에 따른 발용수 공급 방안 도출 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농촌용수구역 단위 전작화 패턴에 따른 용수구역 그룹화 <ul style="list-style-type: none"> • 전작 규모와 군집화 정도에 따른 그룹화: 소/대규모, 개별/집단화 구분 ○ 전작화 그룹에 따른 적정 저류조 발용수 공급방안 도출 <ul style="list-style-type: none"> • 전작 그룹에 따른 필요수량 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 10년 한발빈도 기준 재배 작물의 TRAM을 고려한 필요수량 산정 • 전작 그룹에 따른 적정 저류조 용량 결정 <ul style="list-style-type: none"> - 전작화 공간 분포에 따른 저류조 용수공급 범위 및 적정 용량 결정 - 기존 발관개 방안을 고려한 최적 용수공급 방안 제안 • 기존 발 용수공급 방식 및 저류조 활용 용수공급 방식 문헌조사 |
| 제 2 협 동 | 제2협동 기관 | (주)이티 워터 | 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조의 설계 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 공급체계 및 원수특성별 적정용수공급을 위한 저류조 기능 모듈화 <ul style="list-style-type: none"> • 원수 수질 및 수온 특성에 대응할 수 있는 요소별 모듈 설계 • 단일·복합용수의 계절별 특성을 고려한 적정모듈 통합프로세스 개발 ○ 다기능 저류조 설계 <ul style="list-style-type: none"> • 적정 수온 확보방안 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 유입수원이 지하수 및 저수지 저층수일 경우 낮은 수온에 의한 작물 냉해 우려 - 적정 수온 확보를 위한 저류지 내 체류시간 도출 및 수온 조절시스템 개발 |

| | | | | |
|------------------|------------|--------------|--------------------------|--|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> • 저류조 최적용량 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 한발빈도를 고려한 일최대 필요수량 및 단위용수량 도출 - 수처리 및 수온확보를 위한 체류시간과 일최대 필요수량을 고려한 최적용량 도출 • 레질리언스 기능 집산화 저류조 시스템 개발 |
| 제 3 협 동 | 제3협동 기관 | (주)콘택 이엔지 | ICT 활용 원격 자동 관수시스템 구축 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 수집 방법 <ul style="list-style-type: none"> • Test-bed 데이터 수집 현황 • 최적의 관수제어 시스템 운영을 위한 센서 설치 현황 • 지표수 활용을 위한 센서설치 현황 ○ 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 분석 <ul style="list-style-type: none"> • 강우량 및 관개수량 모니터링 결과 • 토양수분 모니터링 결과 • 지표수(용수로)의 수량 및 수질 분석 ○ 실시간 모니터링 및 관수 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> • 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템 개요 • ICT기반 지표수 및 지하수 관수 제어 운영방식 • ICT기반 자동 관수시스템 제작 |

○ 3차년도(2022)

| 구 분 | | 기관명 | 개발 목표 | 개발 내용 및 범위 |
|------------------|------------|--------------|---|--|
| 주 관 | 주관 기관 | 농어촌 연구원 | 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 발 관개용수의 취약성 및 회복성 평가기술의 고도화 및 가이드라인 작성 <ul style="list-style-type: none"> • 표준유역에 대한 취약지구 도출 및 회복을 위한 회복력 분석 절차 기술보고서 작성 ○ 미래 기후변화 시나리오에 따른 표준유역 미래 발 관개용수 공급 취약성 평가 실시 <ul style="list-style-type: none"> • 미래 기후변화 시나리오 수집 및 전국 용수구역별 가공 • 미래 기후변화에 따른 유입량 및 발 필요수량 산정 ○ 미래 사회변화 시나리오에 따른 농어촌 유역별 미래 발 관개용수 회복성 평가 및 대응방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> • 미래 사회변화 시나리오 구축 • 미래 사회변화에 따른 회복력 평가 및 제도적, 사회적 대응 방안 수립 |
| 제 1 협 동 | 제1협동 기관 | 서울 대학교 | 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집단화 방법 도출 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 전작 체계 전환에 따른 필요수량 및 용수원 변화에 따른 저류조 이용 방안 분석 및 평가 ○ 지속가능한 다기능 저류조 도출을 위한 평가 인자 선정 <ul style="list-style-type: none"> • 저류조, 용량, 용수공급 가능 여부, 작물 재해 등을 고려한 평가인자 선정 ○ 지속가능한 용수공급을 설계를 위한 신뢰성(reliability), 회복탄력성(resiliency), 로버스트(robustness), 취약성(vulnerability) 자료 기반 평가 방법 체계 수립 ○ 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집단화 방법 도출 <ul style="list-style-type: none"> • 목록화된 적정용수공급 방법 중 레질리언스, 경제성을 고려한 다기능 저류조 도출 |
| 제 2 협 동 | 제2협동 기관 | (주)이티 워터 | 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 검증 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 레질리언스기능 집단화 저류조 시스템의 효과 및 실증화 <ul style="list-style-type: none"> • 수처리 효율 및 저류조 설계용량의 적정성 검증 - 현장 모니터링을 통해 개발 기술의 레질리언스 효과 검증 - 수처리 효율과 수온 확보를 위한 운영방안 마련 - 농업활동자의 보건적 안전성 개선효과 평가 |
| 제 3 협 동 | 제3협동 기관 | (주)콘텍 이엔지 | 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 저류조 시스템의 효과 및 실증화 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 다기능 저류조 제작 및 Test-bed 구축 <ul style="list-style-type: none"> • 대상작물, 작부시기, 용수원 등을 고려한 Test-bed 대상지 조사 및 선정 • ICT 기반 다기능 저류조 제작 및 설치 ○ 모니터링 실시 및 문제점 분석, 보완 <ul style="list-style-type: none"> • ICT 기반 다기능 저류조의 적정성 여부 검증 • ICT 기반 다기능 저류조의 운용방안 수립 |

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

ICT기반 발관개용수 확보 다기능 저류조 용수공급시스템 개발

Development of a ICT-based irrigation system using multi-functional water storage tanks for upland cultivation

연 구 기 관

한국농어촌공사 농어촌연구원, 서울대학교,
(주)이티워터, (주)콘택이엔지

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

목 차

| | |
|--|-----|
| 제 1 장 서 론 | 1 |
| 제 1 절 연구의 배경 및 필요성 | 1 |
| 제 2 절 연구 목표 | 2 |
| 제 3 절 연구 범위 | 3 |
| 1. 연구 대상 | 3 |
| 2. 연차별 연구내용 | 4 |
| 제 2 장 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발 | 10 |
| 제 1 절 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발 | 12 |
| 1. 국내·외 발관개용수 취약성 및 회복력 평가 사례 분석 | 12 |
| 2. 전국 용수구역 단위 GIS 자료 및 수문기상자료 구축 | 21 |
| 3. 발관개용수 취약성 및 회복력 평가 절차 수립에 대한 지표 선정 | 32 |
| 4. 농업용수 건전성 및 발관개용수 취약성 평가결과 | 36 |
| 제 2 절 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지표 적용과 기술 고도화 | 52 |
| 1. 취약성 및 회복력 지수의 가중치 산정 | 52 |
| 2. 취약지구 도출 및 회복성 평가 | 61 |
| 제 3 절 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시 | 66 |
| 1. 발관개용수의 취약성 및 회복성 평가기술의 고도화 및 가이드라인 작성 | 66 |
| 2. 미래 기후변화 시나리오에 따른 농어촌 유역별 미래 발관개용수 공급 취약성 평가 실시 | 71 |
| 3. 미래 사회변화 시나리오에 따른 농어촌 유역별 미래 발관개용수 회복성 평가 및 대응방안 제시 | 76 |
| 제 3 장 농촌용수구역단위 전작권환 규모 및 패턴분석 | 82 |
| 제 1 절 전국 농촌 저수지 수혜구역 토지이용 현황 분석 | 85 |
| 1. 저수지 수혜구역 토지이용 현황 분석 방법 | 85 |
| 2. 전국 단위 수혜구역 토지이용 현황 | 87 |
| 3. 권역별 수혜구역 토지이용 현황 | 91 |
| 4. 경지별 수혜구역 토지이용 현황 | 94 |
| 5. 주요 도시와의 거리구간별 수혜구역 토지이용 현황 | 97 |
| 제 2 절 전국 농촌 저수지 수혜구역 전작권환 추이 분석 | 101 |
| 1. 전작권환 추이 분석 개요 | 101 |

| | |
|---|------------|
| 2. 전국 전작화 추이 분석 | 101 |
| 3. 권역별 전작화 추이 분석 | 103 |
| 4. 수혜구역 규모별 전작화 추이 분석 | 105 |
| 5. 주요 도시와의 거리구간별 전작화 추이 분석 | 106 |
| 6. 전작전환 추이 공간분포 | 108 |
| 제 3 절 전작화 특성에 따른 대상지 선정 및 군집 분석 | 110 |
| 1. 전작전환 규모 및 지역 특성에 따른 대상지 선정 | 110 |
| 2. 전작화 필지의 공간분포 특성 분석 | 113 |
| 제 4 절 농촌저수지 수혜구역 단위 전작화 패턴별 그룹화 및 대표지구 선정 | 128 |
| 1. 전작전환 패턴별 클러스터 구축 | 128 |
| 2. 전작전환 패턴분석 및 패턴별 대표지구 선정 (5지구) | 128 |
| 제 5 절 전작화 그룹에 따른 저류조 발용수 공급 집단화 방안 도출 | 131 |
| 1. 대표지구별 주요 발작물 선정 | 131 |
| 2. 대표지구별 저류조 규모 선정 | 134 |
| 3. 대표지구별 저류조 공간배치 결정 | 137 |
| 제 6 절 유전자 알고리즘 기반 저류조 최적 공간배치 | 141 |
| 1. 저류조 최적 공간배치 알고리즘 개발 | 141 |
| 2. 대상지구별 저류조 최적 공간배치 알고리즘 적용 | 142 |
| 제 7 절 레질리언스를 고려한 농업용 저수지의 발 용수공급 최적 설계 | 144 |
| 1. 발 토양수분 물수지 모의 모형 개발 | 144 |
| 2. 농업용 저수지의 발 용수공급 모의 및 레질리언스 평가지표 설정 | 145 |
| 3. 전작화 그룹 대상 농업용 저수지의 발 용수공급 최적 설계 | 146 |
| 제 4 장 용수공급체계 분석 및 저류조 요소기술 개발 | 150 |
| 제 1 절 용수공급체계 변화 분석 | 153 |
| 1. 중·소규모 용수공급 특성 분석 | 153 |
| 2. 영농특성에 따른 고려 요소 | 163 |
| 3. 레질리언스를 고려한 요소별 적정 용수공급방안 검토 | 166 |
| 제 2 절 원수특성에 따른 용수공급 및 활용방안 | 173 |
| 1. 주요 원수별 특성 분석 | 173 |
| 2. 적정 공급목표 검토 | 178 |
| 3. 단일·복합원수 활용방안 및 공급 프로세스 | 182 |
| 제 3 절 수처리 효율 제고를 위한 수질개선기술 | 183 |

| | |
|---|-----|
| 1. 국내 공급수원 수질 현황 | 183 |
| 2. 유입수원에 따른 수처리 기준 | 183 |
| 3. 유입수원 및 고려요소에 따른 적정 수질 개선 기술 | 184 |
| 제 4 절 공급체계 및 원수특성별 적정용수공급을 위한 저류조 기능 모듈화 | 185 |
| 1. 요소별 모듈 설계 | 185 |
| 2. 통합프로세스 개발 | 202 |
| 제 5 절 다기능 저류조 설계 | 205 |
| 1. 설계인자 도출 | 205 |
| 2. 레질리언스 기능 집단화 저류조 시스템 검토 | 211 |
| 제 6 절 다기능 저류조 효과 검증 및 실증화 | 220 |
| 1. 현장적용 및 모니터링 체계 구축 | 220 |
| 2. 다기능 저류조의 적정성 검증 | 223 |
| 3. 결론 | 232 |
| 제 5 장 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 다기능 저류조 시스템의 효과 검증 및 실증화 | 233 |
| 제 1 절 실시간 모니터링 대상지 선정 | 237 |
| 1. 개요 | 237 |
| 2. 대상지 현황 | 238 |
| 3. 대상지 관개 및 지표수 수질 현황 | 239 |
| 4. 실시간 모니터링을 위한 센서 설치 계획 | 243 |
| 제 2 절 실시간 모니터링 위한 센서 조사 및 선정 | 246 |
| 1. 토양환경 및 지표수 정보 제공 센서 조사 | 246 |
| 2. 영상분석을 활용한 관개기술 조사 | 253 |
| 제 3 절 실시간 모니터링 시스템 구축 | 255 |
| 1. 모니터링 시스템 개요 | 255 |
| 2. 데이터 송수신 모듈 및 프로그램 | 256 |
| 3. 밭 토양 및 지표수 정보 제공시스템 구축 | 261 |
| 제 4 절 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 수집 방법 | 263 |
| 1. 데이터 수집 현황 | 263 |
| 2. 최적의 관수제어 시스템 운영을 위한 센서 설치 현황 | 264 |
| 3. 지표수 활용을 위한 센서 설치 현황 | 265 |
| 제 5 절 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 분석 | 269 |

| | |
|---|-----|
| 1. 강우량 및 관개수량 모니터링 결과 | 269 |
| 2. 토양수분 모니터링 결과 | 271 |
| 3. 지표수(용수로)의 수량 및 수질 분석 | 276 |
| 제 6 절 실시간 모니터링 및 관수시스템 구축 | 279 |
| 1. 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템 개요 | 279 |
| 2. ICT기반 지표수 및 지하수 관수 제어 운영방식 | 283 |
| 제 7 절 다기능 저류조 설치 및 Test-bed 구축 | 285 |
| 1. Test-bed 대상지 현황 | 285 |
| 2. 다기능 저류조 제작 | 286 |
| 3. Test-bed 구축 및 시운전 | 287 |
| 제 8 절 Test-bed 모니터링 실시 및 문제점 분석, 보완 | 293 |
| 1. Test-bed 모니터링 데이터 분석 | 293 |
| 제 9 절 ICT기반 다기능 저류조의 운용방안 | 302 |
| 1. 자동 관수시스템 운영 | 302 |
| 2. 다기능 저류조 운영 | 304 |
| 참고문헌 | 306 |

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 필요성

- 쌀 과잉 생산이 국가적인 아젠다가 된 상황에서 중앙정부는 기존의 논에서 벼를 재배하는 대신 콩이라 밀 등 다른 식량작물 재배로 전환할 것을 정책적으로 지원하고 있다. 이러한 정책적 기조에서 전체 농업용수의 절반 이상을 담당하는 농업용 저수지도 기존의 논 용수공급에서 농지범용화 밭 작물 기반 조성과 더불어 밭 관개를 위한 시스템을 구축하는 노력이 필요하다. 특히 전국적으로 벼 재배면적이 꾸준히 줄어들고 밭으로의 전환이 지속되는 추세에서 스마트 농업을 구축하는 기반으로 생산기반 전반에 대한 새로운 시스템을 고민해야 하는 단계에 왔음
- 밭 농업은 중력을 이용한 개수로 형태의 기존 저수지를 활용한 용수공급 체계와는 다른 용수공급 시스템을 요구한다. 주요 밭 관개 형태가 점적이나 스프링클러로 이뤄지기 때문에 관수로를 통한 용수공급이 필요하기 때문이다. 특히, 가뭄 시 밭 작물에 적기에 용수를 공급하려면 지하수 뿐 아니라 지표수도 용수원으로 이용할 수 있는 용수공급 시스템을 생각해야 안정성을 확보할 수 있음
- 이에 지표수와 지하수를 밭 관개용수로 공급하기 위해 ICT와 연계한 다기능 저류조를 이용한 밭 용수공급 시스템을 개발을 위한 연구를 진행하고 있다. 전국 농촌 저수지 수혜구역을 대상으로 토지이용현황을 조사한 결과, 논 84%, 밭, 시설재배, 과수원 등이 16% 비중으로 도시와 거리가 가까울수록 논 비중은 점점 줄어들고 밭 비중은 늘어나는 추세로 나타났다. 전국 주요 저수지 수혜구역에서도 마찬가지로 과거 10여 년간 평균 논 면적이 약 18% 줄어든 반면 밭이 차지하는 면적은 평균 5% 이상 증가하는 추세를 보더라도 밭 용수 공급에 대한 관심이 더욱 요구되는 시점임
- 최근에는 친환경 농업에 대한 관심이 증가하여 농업용수 수질에도 농민들의 관심이 높다. 전국의 많은 농업용 저수지는 비점오염원의 유입의 증가와 갈수기 유량의 부족으로 수질오염이 악화되고 있다. 또한 대부분의 시설재배지에 이용되는 지하수는 낮은 수온에 의한 작물의 냉해와 해안지대의 경우 높은 EC로 인한 염해가 우려되는 상황으로 안전하고 안정적인 농업용수 공급방안의 마련이 시급하다. 또한, 최근 이상기후의 영향으로 가뭄에 취약한 밭작물의 피해저감 및 생산량 증가 방안을 모색할 때임
- 본 연구는 지표수와 지하수를 동시에 밭 용수공급에 이용하면서 수질과 수량을 효율적으로 관리할 수 있도록 ICT 기술을 접목하여 원격으로 관리할 수 있는 스마트 관수시스템을 갖춘 다기능 저류조 용수공급 시스템을 개발하는데 목적이 있음

제 2 절 연구목표

- 본 연구의 목적은 농업용수 공급의 효율성 증대를 위한 기후변화 대응 회복력(레질리언스) 개념을 도입한 지표수 및 지하수를 모두 발관개용수로 공급할 수 있는 ICT를 활용한 다기능 저류조 용수 공급시스템 개발

- 발관개용수 공급 레질리언스 평가 지표 개발
- 지표/지하수를 이용한 다기능 저류조 발용수 공급 집단화 방안 개발
- 레질리언스를 고려한 다기능 저류조 요소기술 개발
- 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 다기능 저류조 시스템의 효과 검증 및 실증화

- 발 관개용수 취약성 및 회복력 평가기술은 광역적으로 완전히 물리적인 평가방법의 개발 및 평가 기술의 개발 및 가이드라인 제시를 통해 지자체 등에서 활용 가능
- 용수구역단위 전작 추이 분석 결과는 기존 논 관개를 위해 설계된 저수지 수량의 효율적 활용방안 마련에 기초자료 제공
- 용수공급시스템과 수질개선기술의 융합을 통하여 기존에 없던 새로운 기술을 개발함으로써 최근 대두되는 다목적 수요에 부합하고 다기능 저류조의 선진화 및 첨단화를 야기
- 농업과 ICT 기술의 접목을 통한 신사업 기회 마련 및 시장 수요 대응과 농업 관리 서비스의 질 향상 기대

ICT 기반 발관개용수 확보 다기능 저류조 용수공급시스템 개발



제 3 절 연구범위

1. 연구대상

- 발관개용수 공급 레질리언스 평가 지표 개발
 - 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발
 - 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용과 기술 고도화
 - 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시

- 지표/지하수를 이용한 다기능 저류조 발용수 공급 집단화 방안 개발
 - 농촌용수구역 단위 전작전환 규모 및 패턴 분석
 - 농촌용수구역 단위 전작화 패턴에 따른 지표/지하수의 발용수 공급 방안 도출
 - 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 검증

- 레질리언스를 고려한 다기능 저류조 요소기술 개발
 - 용수공급체계 분석 및 다기능 저류조 요소기술 개발
 - 레질리언스를 고려한 지속 가능한 다기능 저류조의 설계
 - 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 검증

- 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 다기능 저류조 시스템의 효과 검증 및 실증화
 - 센싱기술을 이용한 온·습도 토양수분 실시간 모니터링 시스템 개발

2. 연차별 연구내용

○ 1차년도(2020)

| 구분 | | 기관명 | 개발 목표 | 개발 내용 및 범위 |
|------|---------|---------|------------------------------|---|
| 주관 | 주관 기관 | 농어촌 연구원 | 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 전국 표준유역 단위 GIS 자료 및 수문기상자료 구축 <ul style="list-style-type: none"> ● 전국 자료 구축을 위한 농어촌용수구역 내 시군 편입비 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 티센망을 이용한 용수구역별 대표 기상관측소 선정 및 기상자료 수집 ○ 발관개용수 취약성 및 회복력 평가 절차 수립에 대한 지수 선정 <ul style="list-style-type: none"> ● 발관개시설물(관정) 취약성 및 회복력 평가를 위한 지수 선정 <ul style="list-style-type: none"> - 수집 가능한 자료 항목 검토 및 항목별 취약성 및 회복력 평가 기법 검토 - 기후노출, 민감도, 적응능력 등 영역별 평가 지수 확정 ● 밭 필요수량 산정 모듈 개발 및 모형 입력자료 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 유입량 산정모듈 및 밭 필요수량 산정 모듈 개발 - 표준유역에 대한 유입량 및 밭 필요수량 산정 ● 밭 관개용수 취약성 및 회복력 평가 절차 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 밭 관개용수 지표별 지수산정, 통합 취약성 평가 및 회복력 검토 ● 사회적 밭 관개용수 대응능력 기반 레질리언스 평가 |
| 제1협동 | 제1협동 기관 | 서울 대학교 | 농업용수구역단위 전작전환 규모 및 패턴분석 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농촌용수구역단위 전작전환 현황 및 추이 분석 <ul style="list-style-type: none"> ● 저수지 농촌용수구역 GIS DB 구축: 전국 511개 구역 대상 <ul style="list-style-type: none"> - 농촌용수구역도, 스마트팜맵, 토지피복도(환경부) 등 ○ 수도작의 전작전환 현황 및 추이 분석 <ul style="list-style-type: none"> ● 저수지 용수공급 수혜면적 200ha 이상 선정: 약 200 여개 지구 대상 ● 지역별 용수구역 내 전작전환 현황 분석: 면적 및 비율 |

| | | | | |
|------|---------|-----------|-------------------------------------|---|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> • 용수구역단위 최근 10년 전작전환 추이 분석 ○ 농촌용수구역의 전작화 공간분포 특성 분석 • 용수구역 내 전작전환 규모(비율) 상위 5개 지구 선정 • 전작화 필지의 공간 분포 특성 분석: Fragstats 등 이용 - 전작 필지 면적, 군집화 정도 등 분석 |
| 제2협동 | 제2협동 기관 | (주)이티 워터 | 용수공급체계 분석 및 다기능 저류조 요소기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 용수공급체계 변화 분석 • 중·소규모 용수공급 특성 분석 • 영농특성 및 레질리언스를 고려한 요소(수질, 수온, 용량)별 적정 용수공급방안 검토 ○ 원수특성에 따른 용수공급 및 활용방안 개발 • 주요 원수(지표수, 지하수)별 특성 분석 • 적정 공급목표(수질, 수온) 검토 • 단일·복합원수 활용방안 및 공급 프로세스 개발 ○ 수처리 효율 제고를 위한 수질개선기술 개발 • 문헌조사를 통한 유입수원별 국내 수질 현황조사 • 문헌조사 및 현장조사를 통해 유입수원 형태에 따른 수처리 기준 결정 • 유입수원 형태 및 처리기준에 따른 적정 수질 개선 기술개발 |
| 제3협동 | 제3협동 기관 | (주)콘텍 이엔지 | 센싱기술을 이용한 온·습도 토양수분 실시간 모니터링 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 실시간 모니터링을 위한 센서 종류 조사 • 토양수분 및 수질 등 항목별 센서 종류 조사 • 2차원 수분 유무 관측기술 조사 및 검토 ○ 센싱기술을 이용한 실시간 모니터링 시스템 구축 • 토양수분 센서 및 수질측정 센서 현장 설치 • 현장 모니터링을 통한 토양수분 및 수질 DB 구축 • 수집된 데이터 활용한 최적의 센서 및 설치 위치 선정 • 토양수분 및 수질측정 실시간 모니터링 시스템 구축 |

○ 2차년도(2021)

| 구 분 | | 기관명 | 개발 목표 | 개발 내용 및 범위 |
|------------------|------------|-------------|--|--|
| 주 관 | 주관 기관 | 농어촌 연구원 | 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용과 기술 고도화 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 취약성 및 회복력 지수의 가중치 산정 <ul style="list-style-type: none"> ● 기존의 AHP 방법과 SPSS의 선형회귀분석 방법을 이용한 취약성 및 회복력 지수 가중치 평가 비교 ● 선형회귀분석으로 도출한 가중치 적용 전·후의 취약성 및 회복력 평가 차이 비교 ● Geometrical interval 방법을 통한 가중치 적용 전·후 취약성 결과 등급 분류 및 취약성 지도 작성 ○ 취약지구 도출 및 회복성 평가 <ul style="list-style-type: none"> ● 표준유역에 대한 취약지구 도출 및 용수구역 회복을 위한 회복력 검토 결과 제시 ● 레질리언스 평가 결과 기반 지역 회복 방안 구축 |
| 제 1 협 동 | 제1협동 기관 | 서울 대학교 | 농업용수구역 단위 전작전환 공간 분포에 따른 발용수 공급 방안 도출 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농촌용수구역 단위 전작화 패턴에 따른 용수구역 그룹화 <ul style="list-style-type: none"> ● 전작 규모와 군집화 정도에 따른 그룹화: 소/대규모, 개별/집단화 구분 ○ 전작화 그룹에 따른 적정 저류조 발용수 공급방안 도출 <ul style="list-style-type: none"> ● 전작 그룹에 따른 필요수량 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 10년 한발빈도 기준 재배 작물의 TRAM을 고려한 필요수량 산정 ● 전작 그룹에 따른 적정 저류조 용량 결정 <ul style="list-style-type: none"> - 전작화 공간 분포에 따른 저류조 용수공급 범위 및 적정 용량 결정 - 기존 발관개 방안을 고려한 최적 용수공급 방안 제안 ● 기존 발 용수공급 방식 및 저류조 활용 용수공급 방식 문헌조사 |
| 제 2 협 동 | 제2협동 기관 | (주)이티 워터 | 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조의 설계 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 공급체계 및 원수특성별 적정용수공급을 위한 저류조 기능 모듈화 <ul style="list-style-type: none"> ● 원수 수질 및 수온 특성에 대응할 수 있는 요소별 모듈 설계 ● 단일·복합용수의 계절별 특성을 고려한 |

| | | | | |
|---------|---------|-----------|-----------------------|--|
| | | | | <p>적정모듈 통합프로세스 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 다기능 저류조 설계 <ul style="list-style-type: none"> ● 적정 수온 확보방안 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 유입수원이 지하수 및 저수지 저층수일 경우 낮은 수온에 의한 작물 냉해 우려 - 적정 수온 확보를 위한 저류지 내 체류시간 도출 및 수온 조절시스템 개발 ● 저류조 최적용량 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 한발빈도를 고려한 일최대 필요수량 및 단위용수량 도출 - 수처리 및 수온확보를 위한 체류시간과 일최대 필요수량을 고려한 최적용량 도출 ● 레질리언스 기능 집산화 저류조 시스템 개발 |
| 제 3 협 동 | 제3협동 기관 | (주)콘텍 이엔지 | ICT 활용 원격 자동 관수시스템 구축 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 수집 방법 <ul style="list-style-type: none"> ● Test-bed 데이터 수집 현황 ● 최적의 관수제어 시스템 운영을 위한 센서 설치 현황 ● 지표수 활용을 위한 센서설치 현황 ○ 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 분석 <ul style="list-style-type: none"> ● 강우량 및 관개수량 모니터링 결과 ● 토양수분 모니터링 결과 ● 지표수(용수로)의 수량 및 수질 분석 ○ 실시간 모니터링 및 관수 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> ● 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템 개요 ● ICT기반 지표수 및 지하수 관수 제어 운영방식 ● ICT기반 자동 관수시스템 제작 |

○ 3차년도(2022)

| 구 분 | | 기관명 | 개발 목표 | 개발 내용 및 범위 |
|------------------|------------|------------|---|---|
| 주 관 | 주관 기관 | 농어촌 연구원 | 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 발 관개용수의 취약성 및 회복성 평가기술의 고도화 및 가이드라인 작성 ● 전국 표준유역에 대한 취약지구 도출 및 회복을 위한 회복력 분석 절차 기술보고서 작성 ○ 미래 기후변화 시나리오에 따른 표준유역 미래 발 관개용수 공급 취약성 평가 실시 ● 미래 기후변화 시나리오 수집 및 표준유역 가공 ● 미래 기후변화에 따른 유입량 및 발 필요수량 산정 ○ 미래 사회변화 시나리오에 따른 농어촌 유역별 미래 발 관개용수 회복성 평가 및 대응방안 제시 ● 미래 사회변화 시나리오 구축 ● 미래 사회변화에 따른 회복력 평가 및 제도적, 사회적 대응 방안 수립 |
| 제 1 협 동 | 제1협동 기관 | 서울 대학교 | 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집단화 방법 도출 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 전작 체계 전환에 따른 필요수량 및 용수원 변화에 따른 저류조 이용 방안 분석 및 평가 ○ 지속가능한 다기능 저류조 도출을 위한 평가 인자 선정 ● 저류조, 용량, 용수공급 가능 여부, 작물 재해 등을 고려한 평가인자 선정 ○ 지속가능한 용수공급을 설계를 위한 신뢰성(reliability), 회복탄력성(resiliency), 로버스트(robustness), 취약성(vulnerability) 자료 기반 평가 방법 체계 수립 ○ 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집단화 방법 도출 ● 목록화된 적정용수공급 방법 중 레질리언스, 경제성을 고려한 다기능 저류조 도출 |

| | | | | |
|------------------|------------|--------------|---|---|
| 제 2 협 동 | 제2협동 기관 | (주)이티 워터 | 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 검증 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 레질리언스기능 집산화 저류조 시스템의 효과 및 실증화 ● 수처리 효율 및 저류조 설계용량의 적정성 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 현장 모니터링을 통해 개발 기술의 레질리언스 효과 검증 - 수처리 효율과 수온 확보를 위한 운영방안 마련 - 농업활동자의 보건적 안전성 개선효과 평가 |
| 제 3 협 동 | 제3협동 기관 | (주)콘텍 이엔지 | 최적 관개용수 공급 및 물절약 집산화 저류조 시스템의 효과 및 실증화 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 다기능 저류조 제작 및 Test-bed 구축 <ul style="list-style-type: none"> ● 대상작물, 작부시기, 용수원 등을 고려한 Test-bed 대상지 조사 및 선정 ● ICT 기반 다기능 저류조 제작 및 설치 ○ 모니터링 실시 및 문제점 분석, 보완 <ul style="list-style-type: none"> ● ICT 기반 다기능 저류조의 적정성 여부 검증 ● ICT 기반 다기능 저류조의 운용방안 수립 |

제 2 장 발 관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발

제 1 절 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발

- 본 절은 발 관개용수 취약성 평가를 위한 기존의 기후변화 취약성 연구의 문헌조사를 수행하였으며, 합리적인 취약성 및 회복력 평가를 위해 자연적 요인의 건전성 지수와 인위적 요인의 취약성 지수를 선정하여 발 관개용수의 건전성, 취약성 및 회복력 평가절차를 개발함
- 주요결과
 - 수자원 분야의 전문가들을 대상으로 델파이 기법을 사용하여 우리나라 중·소하천의 기후변화 취약성에 대하여 분석
 - 미국 해양대기관리처(NOAA)에서는 RVAT를 개발하여 위험에 노출된 인명, 재산, 시설물 등 재해 위험성과 취약성을 평가하고 있음
 - 유럽 환경청(EEA)은 기후노출, 영향 및 적응능력에 대한 지표를 설정하고 전문가 설문을 통한 가중치를 산정함
 - 발 관개용수 회복을 위한 우선순위 결정을 수행하도록 평가절차를 개발함
 - 농업용수 건전성 평가는 유역환경, 수문/수질, 서식지/수생태 요소를 적용
 - 유역환경은 토지피복/식생, 하천에 대한 요소를 포함하고 있음
 - 발 관개 회복성 검토는 유역의 복구우선순위를 평가하기 위해 필수적인 요소로 사회적 평가항목으로 설정

제 2 절 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용과 기술 고도화

- 본 절은 농업용수 건전성 및 발관개용수 취약성 지수에 적용할 가중치를 산정하였으며, 합리적인 취약성 및 회복력 평가를 위해 자연적 요인의 건전성 지수와 인위적 요인의 취약성 지수를 선정하여 가중치 적용 전·후를 비교함
- 주요결과
 - Shannon 엔트로피 분석 결과 가장 큰 가중치를 나타내는 것은 A9 (하천) SS, T-N, T-P의 기준농도이며 A3 하천기준조건 (산지하천, 소하천, 지방하천, 도시하천, 국가하천), C1 KRC 지사별 직원 (물관리요원)의 군으로 가중치가 높게 나타남
 - B5 (농업용수 수요량 변화), B150 (미래토지이용 변화 (2050년)), A6 (침투, 토양수분, 중간유출) 항목의 순으로 가중치가 작게 측정되었음
 - AHP 기법과 Shannon 엔트로피 방법을 이용하여 각각 가중치를 산정 후 평균값을 적용
 - 주요 5대강(한강, 금강, 섬진강, 영산강, 낙동강)을 대상으로 가중치 적용
 - 가중치의 적용 전후 비교를 위한 차이 값 산정(적용 전-적용 후)
 - 가중치 비중이 작은 곳은 빨간색, 높은 가중치가 적용된 부분은 파란색으로 분포도 작성

제 3 절 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시

- 본 절은 미래 기후변화 시나리오에 따른 농업용수 공급 취약성 평가와 추가적인 용수공급 시나리오에 따른 농업용수 공급 회복력을 평가함
- 주요결과
 - 기상청에서 제공하는 국가표준시나리오(HadGEM3-RA) 기후모델 자료를 이용한 RCP 4.5, 8.5 시나리오 구축
 - 주요 5대강(한강, 금강, 섬진강, 영산강, 낙동강)을 대상으로 미래 기후변화 시나리오 적용
 - 미래 기후변화 시나리오를 Historical(1980~2005), 2020s(2010~2039), 2050s(2040~2069), 2080s(2070~2099)로 구분하여 분포도 작성
 - 금강 유역은 전반적으로 농업용수 건전성이 하류로 갈수록 건전성이 낮고 특히, 대청댐 인근에 가장 건전성이 낮은 것으로 분석됨
 - 금강 유역의 발관개용수 취약성 결과는 하류의 한천, 보강천, 병천천 유역이 취약성이 높은 것으로 분석됨
 - 농어촌 용수이용합리화계획보고서(2014) 자료를 활용하여 농업용수 공급 취약지역에 대한 회복력을 평가함
 - 시범유역(금강)을 대상으로 농업용 수리시설(관정) 신설에 따른 추가 용수공급 시나리오 적용
 - 중권역 단위를 기준으로 추가 용수공급 시나리오 산정
 - 총 1,1175개 추가 신설 계획자료로 47.7 10⁶m³ 추가 공급 계획
 - 총 35년 평균 10.7 10⁶m³ 농업용수 부족량이 감소하는 것으로 분석됨
 - 미래기후변화 시나리오를 적용한 결과 baseline부터 2020s, 2050s, 2080s까지 각각 +3.7, +3.8, +8.0 10⁶m³의 농업용수 부족이 증가하는 것으로 분석됨
 - 미래기후변화 시나리오 연평균 농업용수 부족은 용수공급 시나리오 적용 전 64.3 10⁶m³, 적용 후 57.1 10⁶m³로 7.2 10⁶m³ 부족량이 완화되는 것으로 분석됨

제 2 장 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표개발

제 1 절 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발

1. 국내·외 발관개용수 취약성 및 회복력 평가 사례 분석

가. 국내 발 관개용수 취약성 및 회복력 평가 사례

○ 기후변화 취약성 평가 사례 조사

- 환경부 주관 부처합동 국가기후변화적응대책과 지자체 단위 세부시행계획 수립에 있어 실질적 기후변화 대응을 위해서는 기후변화에 따른 잠재적 취약부문 및 지역을 선정하고 이에 부합하는 대응 사업 및 지역 우선순위 결정이 선행되어야 함
- 기후변화 취약성 평가는 취약부문에 따라 기후변화에 대한 반응과 적응·회복력이 상이하기 때문에 실효성 있는 평가를 위해서는 부문별로 심도 있는 평가 요소와 방법의 개발과 적용이 필요함. 이에 다양한 접근을 통한 부문별 취약성 평가 관련 국내 선행연구를 조사하여 고찰하였음

○ 기후변화 취약성의 개념정립 사례 고찰

- 국내외 사례를 고찰하여 기후변화 취약성 개념정립 사례를 고찰하고 활용/서비스 실태를 분석함으로써 용수구역단위 기후변화 취약성 평가를 위한 시사점 도출
- 세부 취약부문별(예: 이수부문, 치수부문) 취약정도의 개념정립과 활용성을 기술하여 취약성 평가결과의 정책수립에 대한 실효성을 제고함

○ 농어촌용수 관련 기후변화 취약성의 개념과 해석 방법 제시

- 농어촌용수 관리를 위한 목적을 이수, 치수 등으로 구분하고 평가 대상을 농어촌용수와 농업생산기반시설로 구분하여 세부 취약부문에 대한 기후변화 취약성의 개념을 기술함
- 기술된 개념은 취약부문별 관리 목적, 기후변화 대응과 피해양상의 예를 들어 취약정도의 해석 방법을 제시함

○ 기후변화 취약성 평가 사례 조사

- 국가기후변화적응대책 수립을 위해 국내 기후변화 취약성 평가는 기초자료로 활용되므로 다양한 분야에 대해 관련연구가 수행되어 왔음
- 유가영 등 (2008)은 우리나라 16개 시·도를 대상으로 취약성을 평가하기 위해 선행연구에서 사용한 민감도와 적응능력에 IPCC (2001)의 개념 틀에 따라 기후에 대한 노출, 시스템의 민감도 정도, 그리고 시스템이 이에 대응할 수 있는 적응능력의 함수로 확장하여 기후변화 취약성의 개념으로 적용함
- 김연주 등 (2010)은 취약성지수 VRI (Vulnerability-Resilience Index)를 적용하여 인간정주, 식량안보, 생태계, 보건, 수자원, 경제력 등으로부터 취약성 평가를 수행하고 기후변화 적응역량 제고 방안을 고찰함. 명수정 등 (2009)은 전문가 설문 방법으로 미래 기후변화 시나리오에 따라 평균기온 상승, 홍수, 가뭄, 혹한, 혹서, 그리고 태풍에 사회기반시설의 노출정도를 5단계로 구

분하여 취약성 평가를 실시하였으며, 김다운 등 (2011)은 수자원 분야의 전문가들을 대상으로 델파이 기법을 사용하여 우리나라 중·소하천의 기후변화 취약성에 대하여 분석하였는데 수자원 분야의 취약성은 민감도의 분야에서의 다양한 변수들의 영향을 받는 것으로 나타나 추후 수자원 분야의 취약성 평가 진행에 참고할 것이라 밝힌 바 있음.

- 이문환 (2011)은 기후변화에 따른 홍수 취약성 평가기법을 제안하고 국내 중권역에 대한 기후변화 민감도, 노출, 적응능력 지표를 산정하여 현재 기후 상황에서의 홍수 취약성을 평가한 바 있음
- 고재경 (2009)은 기존의 기후변화 취약성 평가 방법론을 검토하고 기초지자체에 활용 가능한 취약성 평가 지표를 도출하고 기존의 민감도, 기후노출, 적응능력 지표기반 취약성 평가는 효과적인 진단방법이라 고찰한 바 있음
- 김은화 (2010)는 기후변화 취약성 지표 산정에 필요한 민감도, 적응능력 지수를 계산하기 위하여 사회 경제적 자료를 지역별로 수집하여 기후노출 지수에 따른 기후변화 취약성 평가를 시도하였으며 농업 부문과 임업 부문 및 생태계 부문에 대한 상대적 취약지역을 도출한 바 있음
- 농업분야에서는 작물·가축별 생산성에 대한 취약성 평가가 기후노출, 민감도, 적응능력 지표기반으로 다양하게 이루어지고 있으며 농진청(2012)은 기후변화 시나리오에 따른 농업생물군집의 영향 분석 및 예측을 위해서 기후변화 취약성 평가를 수행한 바 있고 국립환경과학원(2012)은 생태계와 농업부문에 대한 토양침식, 사육시설 붕괴, 작물가축 생산성 등을 취약성 평가 세부항목을 도출하고 대응변수로 기후노출, 민감도, 적응능력 지표를 대응변수로 취약성 지도를 제작한 바 있음
- 농어촌용수와 농업생산기반시설은 생·공용수 관리대상 수자원 및 인프라와 관리주체와 운영목적에 상이하므로 기후변화에 따른 취약정도와 양상이 다르므로 차별화된 변수에 대한 자료와 중요도를 적용한 취약성 평가가 필요하나 수행된 바 없음

○ 기후변화 취약성 개념정립 사례 고찰

- IPCC 3차보고서(2001)에서는 취약성을 기후 다양성과 극한 기후상황을 포함한 기후변화의 역효과에 대한 시스템의 민감도 또는 대처할 수 없는 정도로 정의한 바 있음. 이는 이후 다양한 분야의 기후변화 취약성 평가에 있어 취약성 정의에 대한 기본적인 배경으로 주로 활용됨
- UNDP(2003)은 기후변화 취약성은 기후변동이나 스트레스에 대한 노출과 이에 대한 대처, 회복, 적응능력에 따른 노출단위의 위험에 대한 민감도로 정의하고 유해한 충격, 혼란 상태나 스트레스에 대한 확률 혹은 예견된 발생보다는, 근본적인 노출 대비 영향의 개념으로 접근함
- 한화진 등(2006)은 취약성이란 어떤 노출단위가 혼란 상태나 스트레스에 의한 노출에 기인한 피해에 민감한 정도와 노출 단위의 대처, 회복 또는 근본적인 적응 능력 정도로 정의함
- 기존의 취약성의 개념과 정의는 분야를 일반화 하여 설명하고 있어 다양한 분야별 취약성 평가 결과에 대한 해석을 위해 접목하기에 다소 추상적임. 취약성 평가 분야에 대한 특성(목적, 피해양상, 대응방법)에 따른 취약정도의 상세한 개념 정립이 필요함

[표 2-1] 기후변화 취약성 일반 정의 예

| 연구자 | 정의 |
|------------------------------|---|
| IPCC | 기후변동과 극한 기후 상황을 포함한 기후변화의 부정적 영향에 대한 시스템의 민감도 혹은 대처할 수 없는 정도 |
| UNDP | 기후변동이나 스트레스에 대한 노출과 이에 대한 대처, 회복, 적응능력에 따른 노출단위의 위험에 대한 민감도 |
| UNFCCC | 사회, 인구, 생물종, 생태계, 지역, 농업시스템이나 이외의 다른 시스템이 기후변화의 부정적인 영향에 민감한 정도 혹은 대처할 수 없는 정도 |
| UN/ISDR | 위험의 영향에 대한 지역사회의 민감도를 증가시키는 물리적, 사회적, 경제적, 환경적 요소에 의해 결정되는 일련의 조건 혹은 과정 |
| Australian Government Office | 자연계와 인간사회가 기후변화, 기후변동, 극한기후 상황이 야기하는 부정적인 영향에 대처할 수 없는 정도의 시스템이나 사회의 민감도, 적응능력뿐만 아니라 기후변화에 의해 좌우됨 |
| Tomkins (2000) | 개인이나 집단, 시스템이 위험이나 스트레스에 노출되어 나타나는 위험과 그에 대한 대처, 회복, 적응능력에 대한 민감도 |
| Pew Center (2004) | 기후변화에 대한 시스템의 민감도 측정지표로 시스템의 노출, 민감도, 적응능력의 함수임 |
| U.S. Energy | 기후변화에 대한 시스템 혹은 과정의 민감도(기후 투입변화에 따른 결과 혹은 특성의 변화정도)와 시스템의 적응성(변화가 새로운 조건을 활용할 수 있는 정도) |
| Blakie et al. (1994) | 자연재해의 영향에서 회복할 수 있는 정도를 포함한 개인이나 집단의 노출 |
| Kelly & Adger (2000) | 개인이나 사회집단이 생계와 복지에 영향을 주는 외부적 스트레스에 대처하고 회복하며 적응할 수 있거나 없는 능력 |
| Brooks (2003) | 리스크는 기후위해와 취약성의 함수이며, 여기서 취약성은 기후위해와 별개로 시스템 내에 존재하는 상태로서 사회적 취약성과 동일한 의미 |
| 한화진 등 (2006) | 취약성이란 어떤 노출단위가 혼란 상태나 스트레스에 의한 노출에 기인한 피해에 민감한 정도와 노출 단위의 대처, 회복 또는 근본적인 적응능력 정도 |

- 농어촌용수 관리를 위한 목적·대상별 기후변화 취약성의 개념과 해석 방법 제시
 - 농어촌용수 기후변화 취약성 평가를 위한 실태조사(한국농어촌공사, 2017)에서 구분한 농어촌용수 2개 취약영역과 농업생산기반시설에 대한 저수지 3개 취약영역 및 양수장, 배수장에 대해 기후변화 취약성 개념을 기술하였음. 부문별 관리를 위한 목적을 이수, 치수 등으로 구분하고 평가 대상을 농어촌용수와 농업생산기반시설로 구분하여 세부 취약부문에 대한 기후변화 취약성의 개념을 정립함
 - 기술된 개념은 다음 예문과 같이 취약부문별 관리 목적, 기후변화 대응과 피해양상의 사례를

들어 취약정도의 해석 방법을 제시하며 정량적 취약성 지표를 기반으로 한 상대평가 결과의 의의를 함축하고자 하였음

- 예: () 부문의 관리목적인 ()에 있어 비정상적 기상활동 발생에 따른 부정적 영향에 대한 대응(예시)의 미흡으로 발생할 수 있는 잠재적 피해 (사례)의 정도

[표 2-2] 농어촌용수와 농업생산기반시설에 대한 목적별 ‘기후변화 취약성’ 정의 (개념)

| 대상 부문 | 목적 (취약영역) | 부문별 취약성 개념 설명 |
|------------------|-----------|--|
| 농어촌 용수 | 이수 | 농어촌용수 이용 관리의 주목적인 농업용수의 원활한 공급에 있어 기후변화에 따른 기상·수문조건의 변화와 이에 따른 부정적 영향에 대한 대응(저항, 복구: 관개 관리 등) 미흡으로 발생할 수 있는 잠재적 가뭄피해(농작물 생산량 감소와 품질 저하 등)의 정도. 농촌용수구역 단위에서 정의됨 |
| | 치수 | 기후변화에 따른 기상·수문조건 변화와 이에 따른 부정적 영향에 대한 대응(저항, 복구: 배수 관리 등) 미흡으로 발생할 수 있는 농업생산기반(농지, 수리시설 등)과 농작물에 대한 잠재적 홍수피해(파손/매몰/침수, 농작물 생산량과 품질 저하 등)의 정도. 농촌용수구역 단위에서 정의됨 |
| 저수지 (개별 농업용 저수지) | 이수 | 농업용 저수지 이용의 주목적인 관개지역에 대한 안정적 농업용수 공급에 있어 기후변화에 따른 기상·수문조건의 변화와 이에 따른 부정적 영향에 대한 대응(저항, 복구: 저수량 관리 등) 미흡으로 발생할 수 있는 잠재적 가뭄피해(시설 기능상실, 농작물 생산량 감소와 품질 저하 등)의 정도 |
| | 치수 | 기후변화에 따른 기상·수문조건의 변화와 이에 따른 부정적 영향에 대한 저수지 시설 관련 대응(저항, 복구: 수위 관리 등) 미흡으로 발생할 수 있는 저수지 시설과 관개지역(농지, 수리시설 등)에 대한 잠재적 홍수피해(기능상실, 파손/붕괴/매몰 등)의 정도 |
| | 수질 환경 | 기후변화에 따른 기상·수문조건의 변화와 이에 따른 부정적 영향에 대한 대응(저항, 복구: 유역오염원 관리, 호소수질 관리 등) 미흡으로 발생할 수 있는 농업용 저수지 내 수질과 생태환경의 잠재적 악화 가능성의 정도 |
| 양수장 (개별) | 이수 | 양수장 이용의 주목적인 관개지역에 대한 안정적 농업용수 공급에 있어 기후변화에 따른 기상·수문조건의 변화와 이에 따른 부정적 영향에 대한 대응(저항, 복구: 양수능력 개선 등) 미흡으로 발생할 수 있는 잠재적 가뭄피해(양수부족, 농작물 생산량 감소와 품질 저하 등)의 정도 |
| 배수장 (개별) | 치수 | 기후변화에 따른 기상·수문조건의 변화와 이에 따른 부정적 영향에 대한 배수장 관련 대응(저항, 복구: 배수능력 관리 등) 미흡으로 발생할 수 있는 배수장 시설과 관개지역(농지, 수리시설 등)에 대한 잠재적 홍수피해(기능상실, 파손/붕괴/매몰 등)의 정도 |

나. 국외 발판개용수 취약성 및 회복력 평가 사례

○ 국외 유역 건전성 평가기술 현황

- 국가별 물순환 도시조성 기술개발에 접근하는 방식은 일부 다르나 공통적으로 발생한 강우를 그 지역 내에서 관리하는 개념이 도입
- 분산식 빗물관리를 통해 하천으로 방류하는 빗물을 최소화하고 수량과 수질을 동시에 관리하는 정책을 추진
- 미국, 독일, 영국, 일본 등 선진국을 중심으로 국토의 자연자원을 보전하고 있음
- 기후변화에 적응하기 위한 일환으로 물에 민감한 도시(Water sensitive city)를 구현하는 물관리 정책으로 변모하고 있음

[표 2-3] 국외 유역건전성 관련 정책동향

| 국가 | 정책내용 |
|-----|---|
| 미국 | 미국의 연방정부는 주로 지질조사국과 기상청이 수자원정보를 관리하며, 지질조사국이 운영하고 있는 메인 컴퓨터에서 유지되는 기기에서 우선 처리되어 지질조사국, 환경청 그리고 다른 연방정부기관과 주정부기관에서 제공되는 물 관련 자료의 목록을 관리함 |
| | 각 지방자치단체마다 대수층의 특성이 모두 다르기 때문에 주정부는 자체적으로 지역 특성에 부합되는 취수정 보호계획을 수립하여 기술적인 지원은 중앙정부가 담당함 |
| | 주정부는 보호목적, 취수정의 잠재오염 위험, 취수정 보호지역의 설정기준, 기준의 한계 및 보호지역의 도형작업 등 여러 가지를 고려한 자체취수정 보호계획을 수립 |
| 일본 | 일본의 지하수는 대개 양호한 상태로서 다양한 용도로 공급되고 있으나 무분별한 난개발로 1925년부터 동경과 대관 일부 지역에서 지하수장해가 발생하였고, 1945년 이후 본격적으로 문제가 발생함 |
| | 일본의 경우 지하수에 관한 수리질서가 명확하게 성립되어 있지 않고, 일부에서 지하수 이용은 지표수 이용을 보완하는 것이라는 인식을 가지고 있음 |
| | 일본의 지하수 채취기술이 진보함에 따라 지하수 개발이 가속화되면서 1956년에 공업용수법, 1962년에 빌딩용수법 제정 등 지하수보호 대책을 강구함 |
| 캐나다 | 캐나다는 급수원 중 약 26% 정도를 지하수로 이용하고 있으며, 생활·공업 및 농업용수를 지하수에 의존하고 있는 주인 Prince Edward Island주와 Ontario, Manitoba주에서 지하수 보호전략을 수립, 시행함 |

○ 유역 건전성 관련 국외의 시장현황

- 국외에서는 물순환 건전화를 위하여 하수처리장 처리수의 이용과 불투수면적의 관리, 우수침투 시설의 설치와 같은 방법을 사용
- 하수처리장 처리수 등을 이용하는 단기적 정책과 불투수면적을 관리하기 위한 장기적인 정책을 함께 사용하고 있음

[표 2-4] 국외 유역건전성 관련 정책동향

| 국가 | 정책내용 |
|----|---|
| 미국 | 미국의 하수처리장 처리수 이용은 1975년부터 이루어지고 있으며, 이중 약 95%가 미국 서남부의 건조지대 및 반건조지대에서 이용되었으며, 주로 관개, 공업, 환경용수로 이용됨 |
| | 물순환 건전화를 위해 도시지역의 주차장이나 도로의 불투수면적을 감소시키고, 지질학적인 검토를 통해 침투능력을 증진시킬 수 있는 지역을 선별하여 포장 가능한 지역을 구분 후 개발계획 시 활용함(과학기술부, 2003). |
| 일본 | 2005년을 기준으로 전국에 2,068개의 하수처리장에서 연간 약 137억m ³ 의 막대한 하수처리장 처리수가 발행되고 있으며, 이중 약 2억m ³ 이 재이용됨 (서울시정개발연구원, 2009) |
| | 쾌적한 수공간 창출을 목표로 ‘청류부활사업’을 시행하고 있으며, 2005년 4월 「하수처리수의 재이용수질기준 등에 관한 매뉴얼」을 작성하여 활용함 |
| | 일본 오사카시에서는 하수처리수를 공원으로 유입시켜 공원의 호수 유지용수로 활용하고 있고, 코스케처리장에서는 처리장의 상부를 공원화하고 처리수는 분수로 이용하는 하수처리수 재이용 사례가 있음 (한국환경정책평가연구원, 2011) |

○ 유역 건전성 관련 국외의 연구동향

- 미국 환경보호청(EPA, U.S. Environmental Protection Agency)에서는 건강한 유역체계란 수문,

수질, 토지이용, 수생태, 생물학적 조건 등의 주요 특성에 대하여 동적으로 발생하는 상호작용의 평가를 통해 통합시스템으로 정의

- 유역 건전성 평가를 위해서는 토지 및 물 사용의 변화를 포함하여 기후변화와 인구증가에 따른 취약성과 같은 미래 변화에 대한 예측의 필요성을 제시

[표 2-5] 유역환경 측면의 유역건전성 관련 연구동향 분석

| 구분 | 연구 | 연구내용 |
|--|--|--|
| 유역 환경 | Virginia Watershed Integrity Model | 버지니아 유역 건전성 모델은 유역과 수변지역의 수문연결성을 평가하는 방식을 사용함 |
| | | 생태서식지의 평가와 수정된 IBI지수의 평가를 통해 생태학적으로 중요한 유역을 나타냄 |
| | | 지형, 수문, 수질을 직접적으로 해결하지는 않지만 IBI의 상태를 통합지표로서 활용하며, 지형조건이 생태지표에 큰 영향을 미치는 것으로 제시됨 |
| | Minnesota's Watershed Assessment Tool | 미네소타의 유역 평가 툴은 사용자가 온라인 맵을 통해 볼 수 있으며, 지형, 생태서식지, 생물, 수질, 수문 등을 통합적으로 평가함 |
| | | 현재 온라인으로 분석이 가능하도록 제공하며, 이러한 데이터들을 사용하여 유역의 건강지수를 만들고 유역의 건전성을 평가하는 노력이 계속 진행 중임 |
| | Oregon Watershed Assessment Manual | 오리곤 유역평가 매뉴얼은 필드분석을 통해 지형, 생태 서식지, 생물, 수질, 수문을 평가하고, 하천의 생태서식지 종류의 분류 및 서식지 조건의 평가를 통해 분석결과를 적용하는 방법을 사용하고 있음 |
| | | 분류체계는 하천과 주변의 토지이용의 생물군을 기반으로 하며, 이러한 조건들의 평가를 통해 유역의 관리는 보호, 복원 또는 추가적인 데이터를 수집하는 목적에 따라 우선순위를 정하는 방식임 |
| | California Watershed Assessment Manual | 캘리포니아 유역평가는 캘리포니아 유역의 통합평가 조직체계를 통해 이루어진다. 이 체계는 EPA의 과학자문위원회에서 요구하는 방법을 기반으로, 지형조건, 수문, 생물학적 조건, 물리화학적 조건, 자연교란 체제 및 생태학적 조건과 같은 6가지 필수적인 생태학적 특성을 평가하는 방법이다. 또한 유역 평가 및 관리를 위한 다양한 옵션이 적용된다. |
| | Pennsylvania Aquatic Community Classification | 펜실베이니아의 수생태 분류방식은 하천흐름을 최소한으로 방해하고, 유역을 보전 및 복원하며, 우선순위를 설정하기 위해 분류된 유역의 생물학적, 환경적 변수를 기반으로 접근함 |
| | Connecticut Least Disturbed Watershed | 코네티컷 유역의 교란을 최소한으로 하는 유역의 건전성 평가 접근방식은 불투수면과 자연 토지피복, IBI 생태지수, 수질, 유량변화, 취수량을 분석하는 것을 기반으로 함 |
| 건전성이 우수한 유역으로 평가된 유역은 개발에 있어 생물학적 조건의 기준으로서 활용되고, 보호를 위한 우선순위 결정에도 이용됨 | | |
| Kansas Least Disturbed Watershed | 캔자스 유역의 교란을 최소한으로 하는 유역의 건전성 평가방식은 지형변화지수와 충분히 분류가 가능한 데이터를 이용함 | |
| | 모든 하천의 평가를 위해 캔자스의 5개 생태지역과 조건의 평가는 기준이 됨 | |
| EPA Recovery Potential Screening Tool | EPA의 복원 가능성 검사 툴은 유역을 보호하고 복원하기 위한 유역의 우선순위를 평가하기 위함으로 지형 데이터, EPA로부터 보고되는 계 기능을 하지 못하는 하천들, 평가를 위한 모니터링 데이터, 영향요인, 사회적 지표 등을 다양하게 사용함 | |

○ 국외 논문발표 현황 분석

- 유역건전성 관련 국외 논문 동향을 살펴보면, 수량측면의 연구는 SWAT 모형을 이용한 연구가 많고, 유역의 수문순환 영향평가 후 수자원 관리를 위한 물이용 가능량을 평가하거나 이수모델을 연계하여 용수공급능력을 평가한 연구가 많이 진행됨
- 수질관련 연구로는 관측된 수질 자료에 대하여 다양한 통계분석으로 유역의 건강성을 평가한 연구가 진행됨
- 유역환경 관련 연구도 마찬가지로 SWAT 모형을 이용한 연구가 많았으며, 기후변화 및 토지이용변화에 따른 유량, 수질, 생태학적 건강성을 평가함

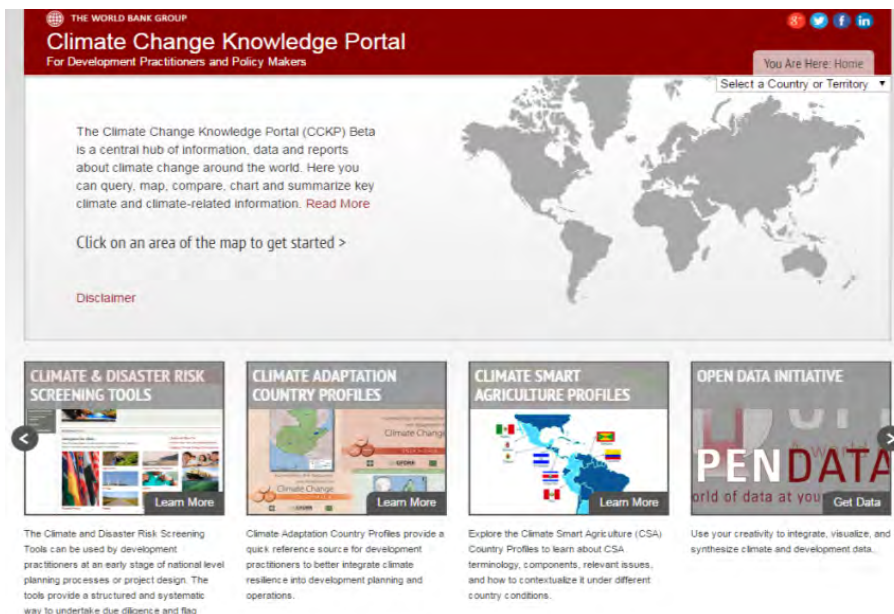
[표 2-6] 국외 유역건전성 관련 논문발표 현황

| 구분 | 저널 | 저자 | 제목 | 년도 | 내용 |
|----|---|-----------|--|------|---|
| 수량 | Journal of Hydrology | Perrin 등 | Assessing water availability in a semi-arid watershed of southern India using a semi-distributed model | 2012 | SWAT 모형을 이용하여 농업유역을 대상으로 지하수 충전량 추정, 배수시스템에 의한 지표유출량, 지하수위 변동 등을 분석하여 수자원 관리를 위한 유역의 물이용 가능량을 평가함 |
| 수량 | Journal of the American Water resources Association | Park과 Kim | Potential Impacts of Climate Change on the Reliability of Water and Hydropower Supply from a Multipurpose Dam In South Korea | 2014 | SWAT과 HEC-ResSim을 연계하여 충주댐유역에 대하여 기후변화에 따른 댐 유입량, 용수 공급능력, 전력공급, 물 사용효율 등을 평가함 |
| 수량 | Journal of Science of The Total Environment | Serpa 등 | Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments | 2015 | SWAT모델과 ECHAM5 GCM기후변화 시나리오를 이용하여 토지이용분류가 대조적인 두 유역에 적용 후 수문 및 침식과정에 미치는 영향 평가. |
| 수량 | Journal of Irrigation and Drainage | Ahn과 Kim | ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACTS ON THE FUTURE HYDROLOGIC CYCLE OF THE HAN RIVER BASIN IN SOUTH KIREA USING A GRID-BASED DISTRIBUTED | 2016 | PGA-CC(Climate Change)모형을 이용하여 한강 유역의 기후변화에 따른 수문변화의 영향을 평가함. |

| | | | MODEL | | |
|----|--|--------------------|---|------|---|
| 수질 | International Journal of Sustainable Development & World Ecology | Odemis와 Evrendilek | Multi variate analysis of watershed health and sustainability in Turkey | 2008 | 유출률, 수온, PH, 전기전도도, 유사농도, 8가지 염양염류의 경향성을 분석하고, 25개 유역에서의 다중선형회귀, 주성분 분석, 군집분석을 이용하여 유역 건강성 및 지속가능성을 평가함 |
| 수질 | Journal of Environmental Management | Hoque 등 | Watershed reliability, resilience and vulnerability analysis under uncertainty using water quality data | 2012 | 하천 수질자료(농약, 암모늄, 총인)로부터 R-R-V 분석(신뢰도, 회복력, 취약성)을 적용하여 회귀분석 및 경향성 분석을 수행함으로써 유역건강성을 평가함 |

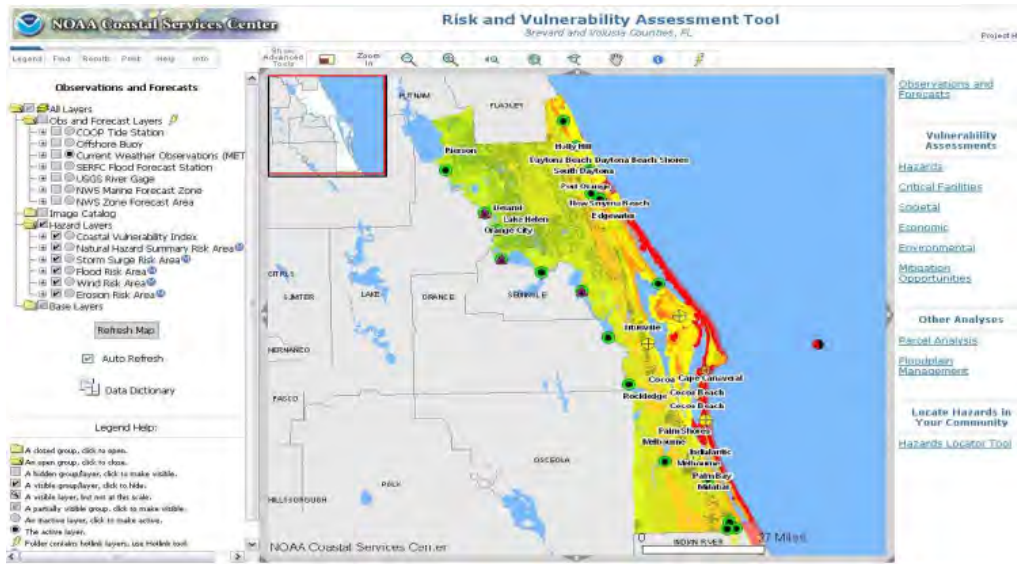
○ 국외 수자원 취약성 평가기술 현황

- 세계은행(The World Bank)에서는 1992년 이후 세계발전보고서(World Development Report)를 매년 발간하고 있으며, 세계발전지표(World Development Indicators)는 WDR 완성 후 다음 해 4월 경 발표한다. WDI는 국제적으로 인정되는 주요 개발 은행 지표로, 최신의 글로벌 개발 데이터를 제공하고 있음
- 기후변화 관련 주요 지표 선정하여 자료 및 지도를 제공하고, 기후변화 지식포털(Climate Change Knowledge Portal)을 운영하고 있음
- 포털에서는 기후변화 및 개발과 관련된 포괄적인 국가 및 지역 자료에 접근할 수 있는 능력 배양 및 지식 개발을 지원하기 위한 웹 기반의 플랫폼을 제공하고 있음
- 환경, 재난 위험 및 사회경제적 자료뿐 아니라 특정 국가의 기후변화 지수 등을 포함하고 있음



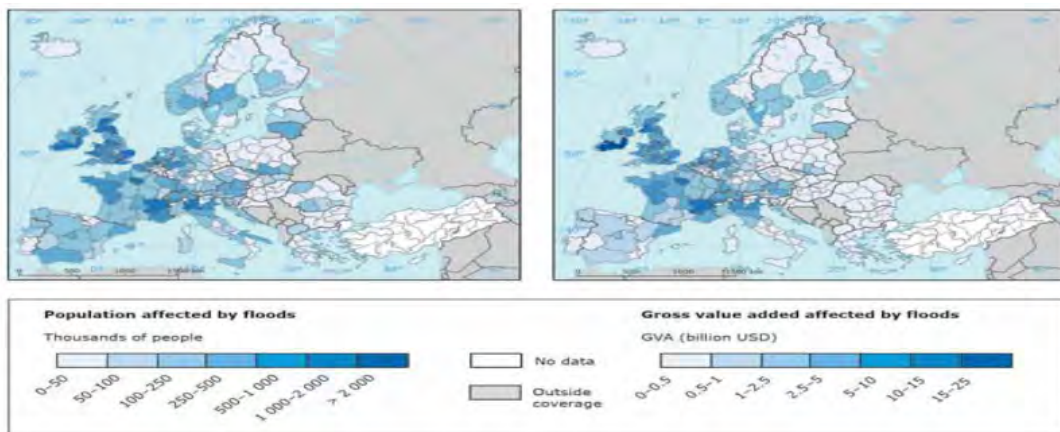
[그림 2-1] 세계은행의 기후변화 지식포털(CCKP) 화면(<http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/>)

- 미국 해양대기관리처(NOAA)에서는 RVAT를 개발하여 위험에 노출된 인명, 재산, 시설물 등 재해 위해성과 취약성을 평가하고 있음
- 제공되는 정보는 해당지역의 재난방재정책을 수립하기 위한 예방 조치들을 결정하거나 우선순위를 부여할 때 이용됨(행정안전부, 2012)



[그림 2-2] 웹기반의 RVAT 분석 화면(행정안전부, 2012)

- 유럽 환경청(EEA)은 기후노출, 영향 및 적응능력에 대한 지표를 설정하고 전문가 설문을 통한 가중치를 산정함
- 홍수에 대한 기후변화와 시장경제 시나리오를 적용하여 취약성 평가를 실시
- 경제성장 우선 시나리오는 이용가능한 모든 에너지를 사용하며, 물 절약에 관한 새로운 기술의 도입률이 낮아 물 부족을 조래하는 적응능력이 낮은 시나리오를 사용함(환경부, 2013)



[그림 2-3] EEA의 2050년대 경제성장 우선 시나리오에 따른 100년 단위의 홍수에 의해 영향을 받는 인구와 손해 예측(환경부, 2013)

2. 전국 용수구역 단위 GIS 자료 및 수문기상자료 구축

가. 전국 용수구역 단위 GIS 자료 및 수문기상자료 구축

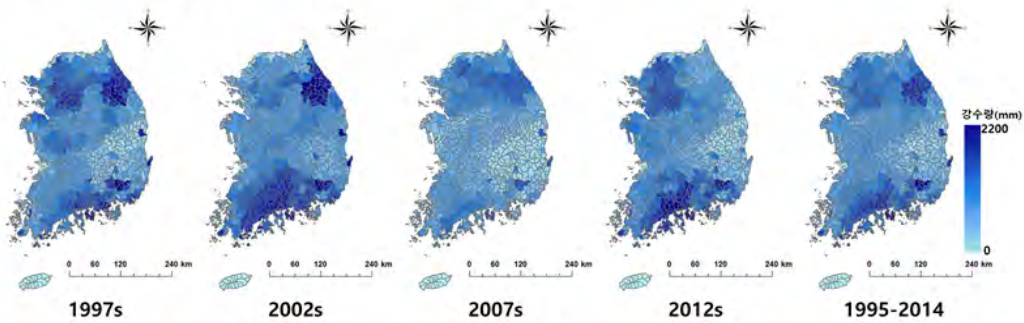
- 전국 용수구역, 시군 및 표준단위 GIS 자료 및 수문기상자료 구축
 - 전국 자료 구축을 위한 농어촌용수구역 내 시군 및 표준단위 편입비 산정
 - 티센망을 이용한 용수구역별 대표 기상관측소 선정 및 기상자료 수집
 - 전국 511개 용수구역 내 대표 저수지 선정



[그림 2-4] 농어촌용수구역 시군 및 표준단위구역 편입비 산정

- 강우량 변화의 연대별 분포분석 결과

강우량 변화의 연대별 분포도

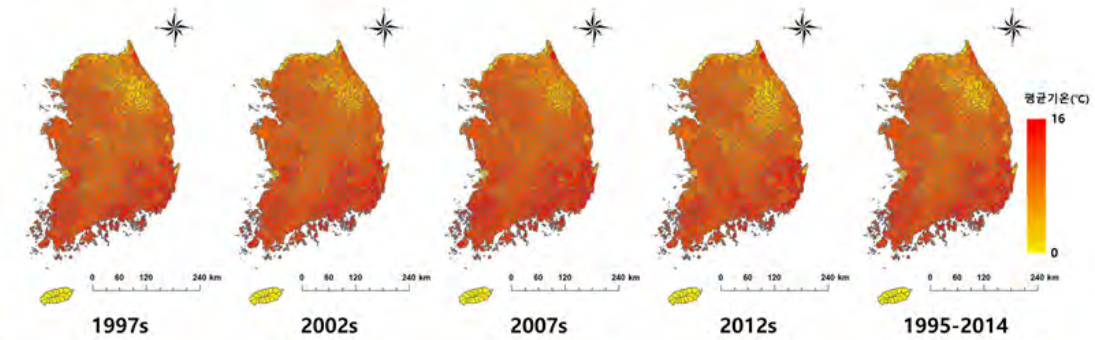


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 한강 | 1435.1 | 1373.0 | 1358.3 | 1373.1 | 1384.9 |
| 낙동강 | 1307.0 | 1428.2 | 1170.0 | 1310.5 | 1303.9 |
| 금강 | 1392.2 | 1387.3 | 1254.0 | 1383.2 | 1354.2 |
| 섬진강 | 1435.9 | 1605.9 | 1343.8 | 1573.2 | 1489.7 |
| 영산강 | 1345.9 | 1508.4 | 1343.6 | 1396.3 | 1398.5 |

[그림 2-5] 유역환경변화 강우량 DB 구축

- 평균기온 변화의 연대별 분포도 구축

평균기온의 연대별 분포도

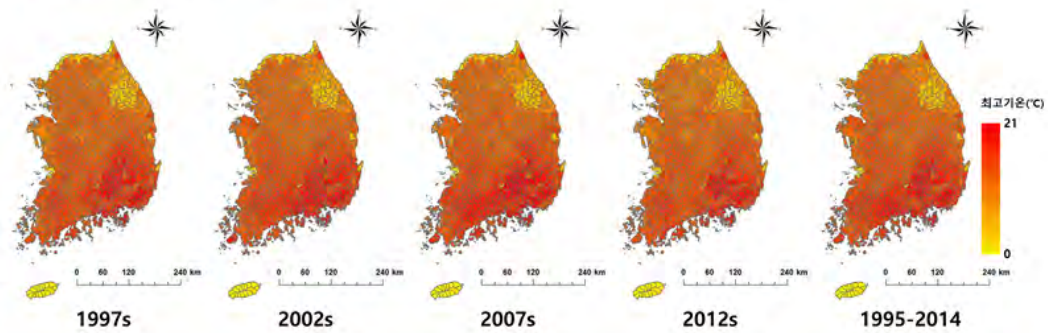


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 한강 | 10.7 | 10.9 | 11.0 | 10.6 | 10.8 |
| 낙동강 | 12.7 | 12.7 | 13.0 | 12.5 | 12.7 |
| 금강 | 11.9 | 12.1 | 12.3 | 12.0 | 12.1 |
| 섬진강 | 12.4 | 12.5 | 12.9 | 12.9 | 12.7 |
| 영산강 | 13.9 | 13.7 | 14.1 | 13.6 | 13.8 |

[그림 2-6] 유역환경변화 평균기온 DB 구축

- 최고기온 변화의 연대별 분포도 구축

최고기온의 연대별 분포도

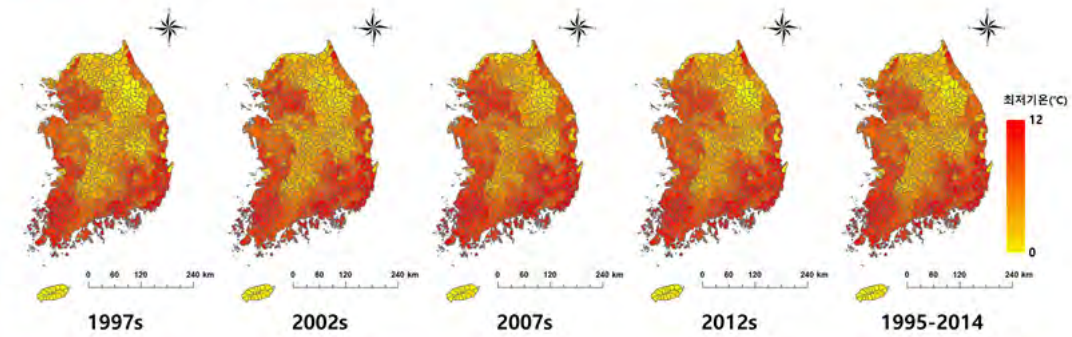


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 한강 | 5.8 | 6.2 | 6.4 | 6.2 | 6.1 |
| 낙동강 | 7.2 | 7.5 | 7.8 | 7.6 | 7.5 |
| 금강 | 6.4 | 6.8 | 7.0 | 6.9 | 6.8 |
| 섬진강 | 6.8 | 7.1 | 7.4 | 7.3 | 7.1 |
| 영산강 | 9.5 | 9.3 | 9.9 | 9.6 | 9.6 |

[그림 2-7] 유역환경변화 최고기온 DB 구축

- 최저기온 변화의 연대별 분포도 구축

최저기온의 연대별 분포도

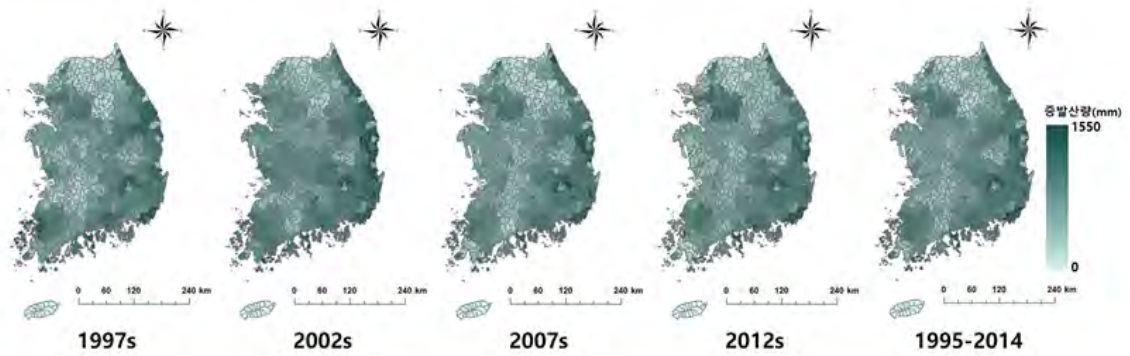


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 한강 | 16.3 | 16.3 | 16.3 | 16.0 | 16.2 |
| 낙동강 | 18.9 | 18.8 | 19.1 | 18.7 | 18.9 |
| 금강 | 18.3 | 18.2 | 18.3 | 17.9 | 18.1 |
| 섬진강 | 19.1 | 19.0 | 19.3 | 18.5 | 19.0 |
| 영산강 | 19.2 | 18.9 | 19.2 | 18.9 | 19.1 |

[그림 2-8] 유역환경변화 최저기온 DB 구축

- 증발산량의 연대별 분포도 구축

증발산량의 연대별 분포도

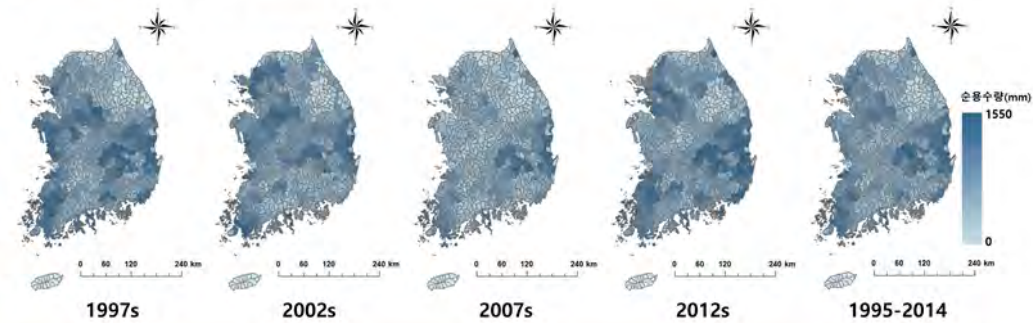


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 한강 | 1016.1 | 1035.1 | 1024.4 | 1036.3 | 1028.0 |
| 낙동강 | 1146.7 | 1166.0 | 1152.5 | 1157.4 | 1155.7 |
| 금강 | 1049.6 | 1108.6 | 1056.9 | 1046.9 | 1065.5 |
| 섬진강 | 1040.8 | 1066.5 | 1041.4 | 1062.8 | 1052.9 |
| 영산강 | 1202.5 | 1167.9 | 1136.6 | 1143.5 | 1162.6 |

[그림 2-9] 유역환경변화 증발산량 DB 구축

- 순용수량의 연대별 분포도 구축

순용수량의 연대별 분포도

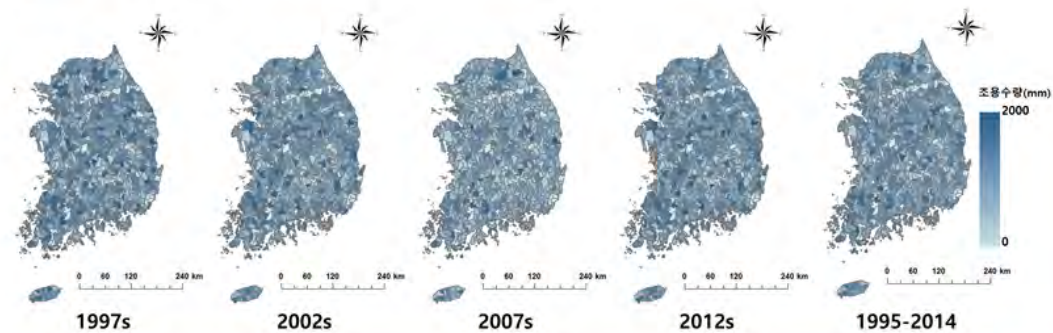


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|--------|-------|-------|-------|-----------|
| 한강 | 716.1 | 778.1 | 628.9 | 765.0 | 722.1 |
| 낙동강 | 910.1 | 838.5 | 830.7 | 923.6 | 875.7 |
| 금강 | 872.8 | 901.8 | 680.3 | 765.8 | 805.2 |
| 섬진강 | 724.6 | 722.9 | 695.0 | 795.1 | 734.4 |
| 영산강 | 1053.3 | 853.2 | 826.0 | 998.1 | 932.7 |

[그림 2-10] 유역환경변화 순용수량 DB 구축

- 조용수량의 연대별 분포도 구축

조용수량의 연대별 분포도

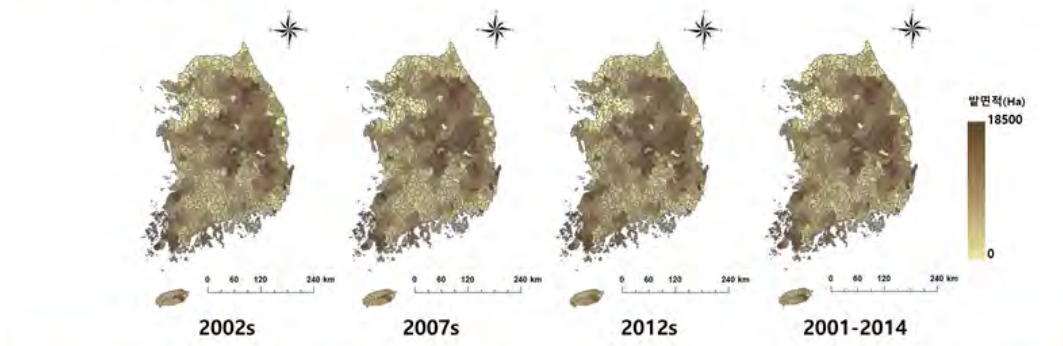


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|--------|--------|-------|--------|-----------|
| 한강 | 1041.7 | 1004.2 | 900.0 | 1043.4 | 997.3 |
| 낙동강 | 1015.7 | 1013.2 | 899.6 | 1059.0 | 996.9 |
| 금강 | 1032.0 | 1034.1 | 915.8 | 1067.1 | 1012.2 |
| 섬진강 | 1050.8 | 1018.7 | 940.7 | 1060.2 | 1017.6 |
| 영산강 | 1185.1 | 1144.0 | 984.8 | 1143.3 | 1114.3 |

[그림 2-11] 유역환경변화 조용수량 DB 구축

- 발면적의 연대별 분포도 구축

발면적의 연대별 분포도

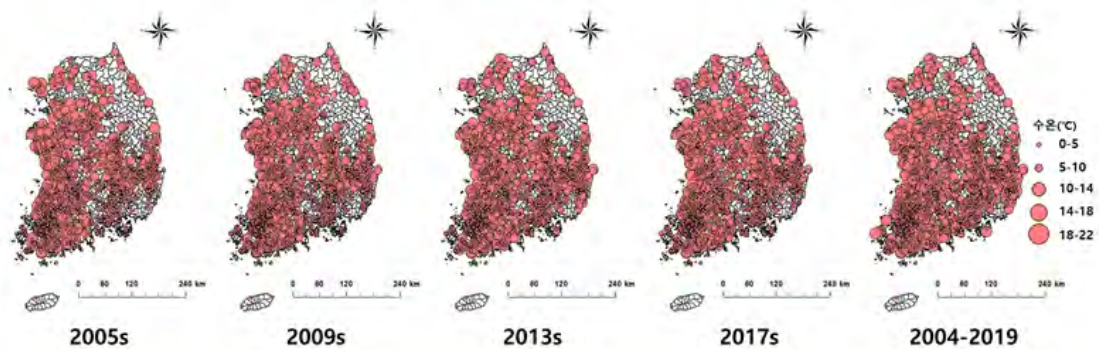


| 권역 | 2002s | 2007s | 2012s | 2001-2014 |
|-----|--------|--------|--------|-----------|
| 한강 | 4395.0 | 4431.2 | 4423.6 | 4419.1 |
| 낙동강 | 5854.1 | 5766.0 | 5992.5 | 5868.5 |
| 금강 | 4661.8 | 4637.4 | 4862.2 | 4721.3 |
| 섬진강 | 2982.2 | 3127.7 | 3749.2 | 3307.0 |
| 영산강 | 4550.8 | 4493.0 | 5094.8 | 4719.3 |

[그림 2-12] 유역환경변화 발면적 DB 구축

- 저수지 수질의 수온 연대별 분포도 구축

수온의 연대별 분포도

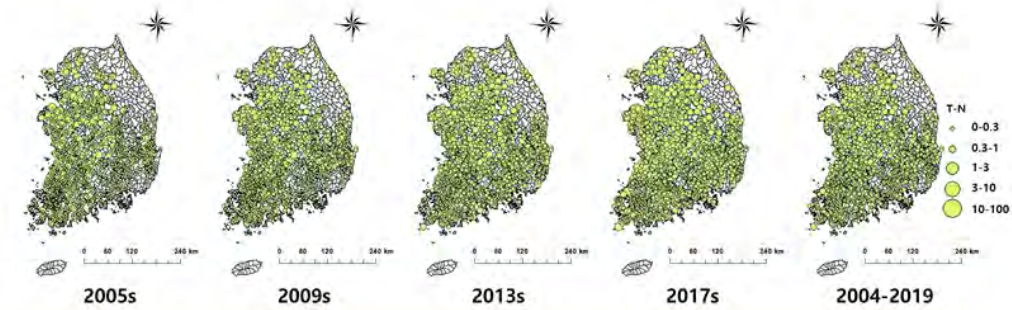


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 한강 | 5.4 | 7.2 | 7.8 | 7.7 | 7.0 |
| 낙동강 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 1.3 | 0.6 |
| 금강 | 3.7 | 4.7 | 5.0 | 5.2 | 4.7 |
| 섬진강 | 1.2 | 1.7 | 2.3 | 2.3 | 1.9 |
| 영산강 | 0.3 | 0.8 | 1.1 | 1.1 | 0.8 |

[그림 2-13] 유역환경변화 수질 (수온) DB 구축

- 저수지 수질의 T-N 연대별 분포도 구축

T-N의 연대별 분포도

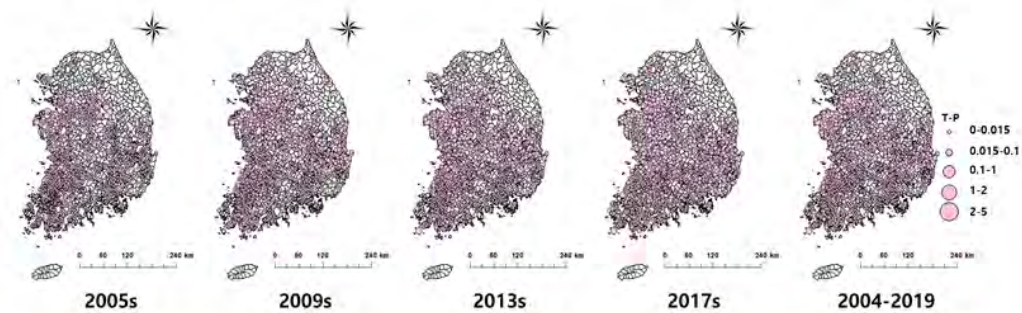


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 한강 | 0.637 | 0.962 | 1.186 | 1.497 | 1.070 |
| 낙동강 | 0.000 | 0.000 | 0.481 | 1.053 | 0.383 |
| 금강 | 0.439 | 0.765 | 0.923 | 1.255 | 0.846 |
| 섬진강 | 0.082 | 0.433 | 0.543 | 1.059 | 0.529 |
| 영산강 | 0.026 | 0.212 | 0.316 | 0.560 | 0.279 |

[그림 2-14] 유역환경변화 저수지 수질 (T-N) DB 구축

- 저수지 수질의 T-P 연대별 분포도 구축

T-P의 연대별 분포도

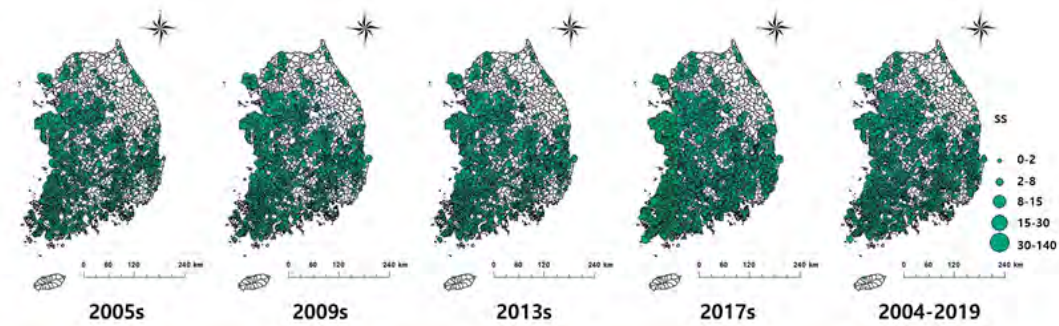


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 한강 | 0.053 | 0.029 | 0.025 | 0.031 | 0.034 |
| 낙동강 | 0.000 | 0.000 | 0.011 | 0.044 | 0.014 |
| 금강 | 0.010 | 0.020 | 0.025 | 0.035 | 0.022 |
| 섬진강 | 0.002 | 0.011 | 0.018 | 0.035 | 0.016 |
| 영산강 | 0.001 | 0.012 | 0.012 | 0.030 | 0.014 |

[그림 2-15] 유역환경변화 저수지 수질 (T-P) DB 구축

- 저수지 수질의 SS 연대별 분포도 구축

SS의 연대별 분포도

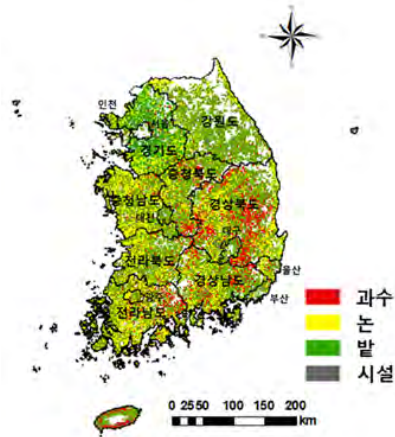


| 권역 | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s | 2016-2018 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 한강 | 3.327 | 4.611 | 5.074 | 6.847 | 4.965 |
| 낙동강 | 0.000 | 0.000 | 1.904 | 7.650 | 2.389 |
| 금강 | 2.858 | 3.334 | 4.237 | 6.077 | 4.127 |
| 섬진강 | 0.549 | 1.786 | 2.615 | 5.352 | 2.576 |
| 영산강 | 0.301 | 0.626 | 2.320 | 4.465 | 1.928 |

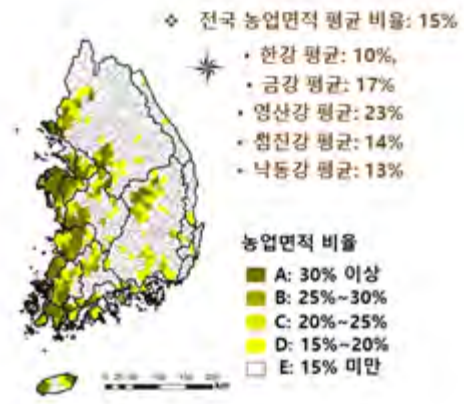
[그림 2-16] 유역환경변화 저수지 수질 (SS) DB 구축

나. 전국 토지피복 면적 비율 산정

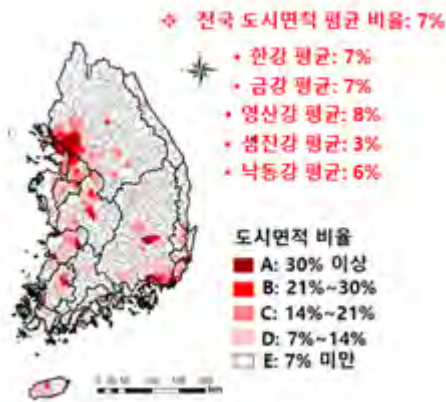
- 토지피복도(2020)에서 각 유역(농업, 도시, 산림) 면적을 추출하여 표준유역 내 유역 비율을 산정
 - 농업면적(논+밭) 평균 면적 비율을 히스토그램 빈도분석을 통해 5단계(15% 미만, 15~20%, 20~25%, 25~30%, 30% 이상)로 구분
 - 전국 도시면적 평균 비율은 7%로 산정되었으며, 5단계(7% 미만, 7~14%, 14~21%, 21~30%, 30% 이상)로 구분
 - 전국 산림면적 평균 비율은 57%로 산정되었으며, 5단계(57% 미만, 57~65%, 65~75%, 75~85%, 85% 이상)로 구분



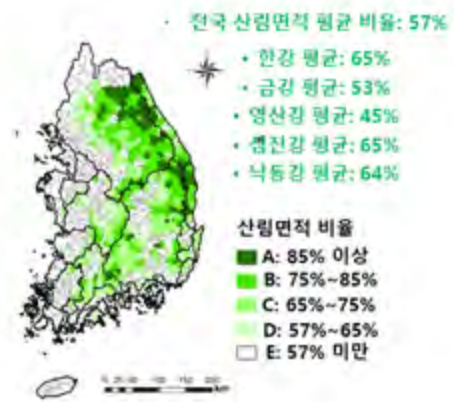
(a) 전국 토지피복 분포도



(b) 농업지역 면적 비율 분포도



(c) 도시지역 면적 비율 분포도

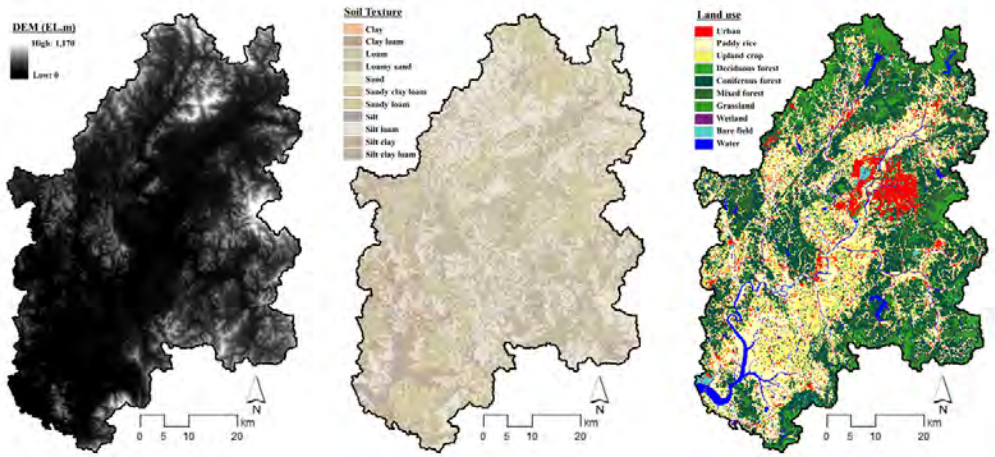


(d) 산림지역 면적 비율 분포도

[그림 2-17] 전국 토지이용도 현황

다. 농업용수 수문, 수질 평가를 위한 유역모델 구축

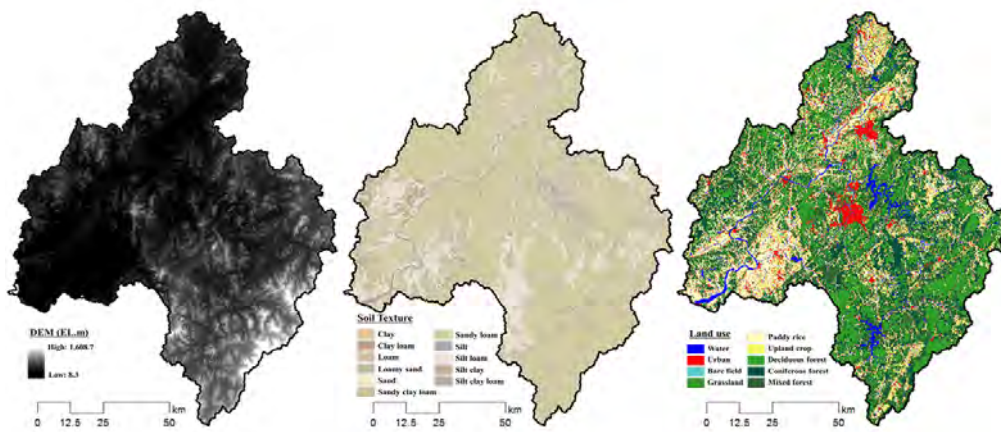
- 농업용수 건전성 평가를 위해 시범유역인 영산강, 삼교천 및 금강 유역을 대상으로 SWAT 모형을 이용하여 장기 수문순환 모델링을 수행하였음.
 - 유역의 수문순환을 모의하기 위해 금강의 경우 다목적 댐 2개, 다기능 보 3개의 운영자료, 영산강의 경우 2개 다기능 보의 운영자료, 삼교천은 2개의 수문관측소를 고려하여 SWAT 모형을 구축하였음.
 - SWAT 모형 구동을 위해 GIS 공간자료로 DEM(Digital Elevation Model)과 토양도, 토지이용도를 입력하였음.
 - 토양도는 농촌진흥청에서 제공하는 1:25,000 정밀 토양도를 사용하였으며, 유역 내에는 총 11가지 토양종류(Clay, clay loam, Loam, Loamy sand, Sand, Sandy clay Loam, Sandy Loam, Silt, Silt lam, Silt caly, Silt caly loam)로 이루어져 있음
 - 토지이용도는 환경부의 2008년 중분류 자료를 사용하였으며, 이를 9개 항목(활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 주거지, 논, 밭, 초지, 나지, 수역)으로 분류하여 모형에 입력하였음.



(a) 영산강 유역



(b) 삼교천 유역

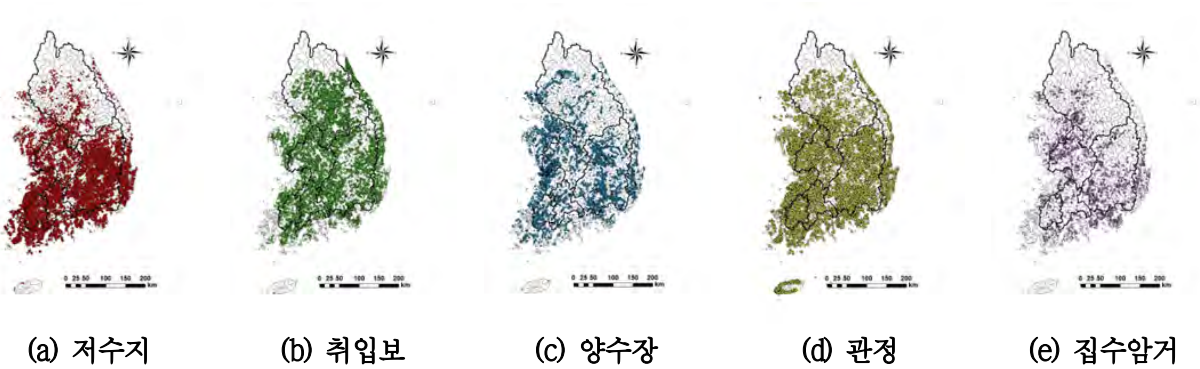


(c) 금강 유역

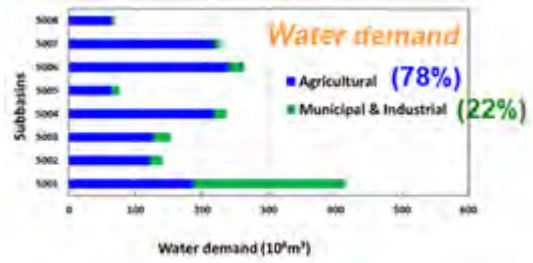
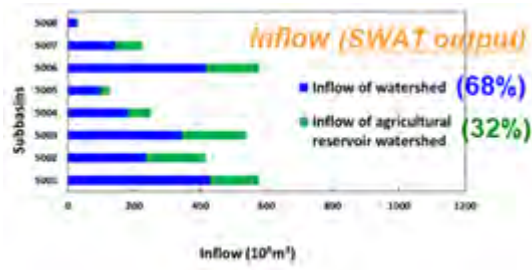
[그림 2-18] SWAT 모형의 GIS 입력자료

라. 농업용수 공급 및 부족량 평가를 위한 유역모델 구축

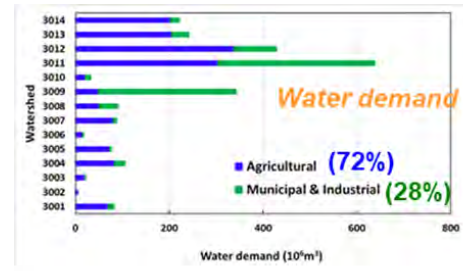
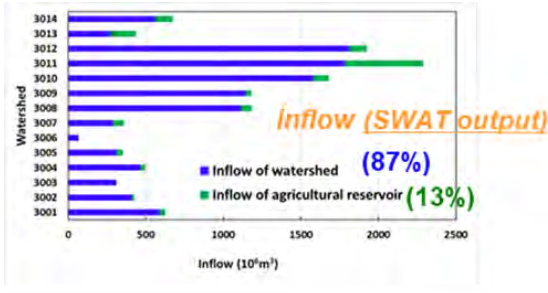
- 유입량의 경우 생공용수로 공급되는 유역유입량과 농업용수에 영향을 주는 저수지 유입량으로 구분하여 설계하였음.
- 네트워크 구축 시 소유역 단위의 가용수량과 농업용수 수요량 비교를 통해 분석을 수행하였음.
- 한국농어촌공사의 RIMS 자료를 이용하여 농업용 수리시설물(저수지, 양수장, 집수암거, 관정, 취입보)을 적용하였음.
 - 양수장 및 보: 1년 중 5-8월 기간 중 10시간씩 가동하는 것으로 가정
 - 관정 및 집수암거: 1년 중 2월부터 10월 기간에 시설물이 가동하는 것으로 적용하였음.
- 용수공급 다시 하천으로 회귀 될 수 있도록 각각 회귀율(농업용수 35%)을 적용하였음.



[그림 2-19] 전국 농업수리시설물 분포도

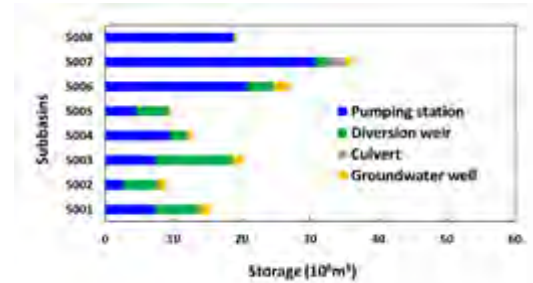
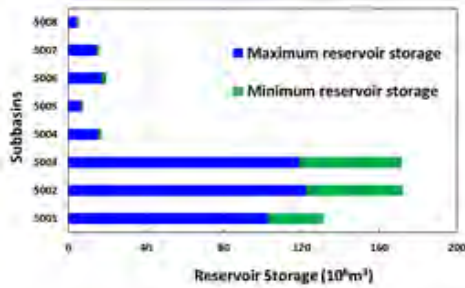


(a) 영산강 유역

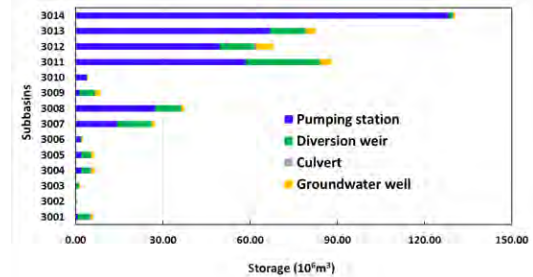
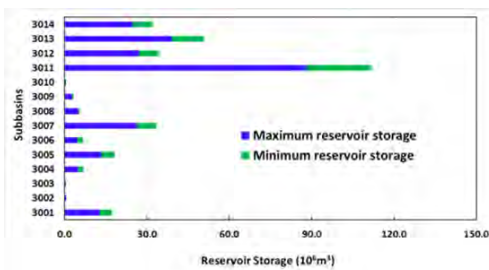


(b) 금강 유역

[그림 2-20] 중권역 단위의 유입량 및 수요량

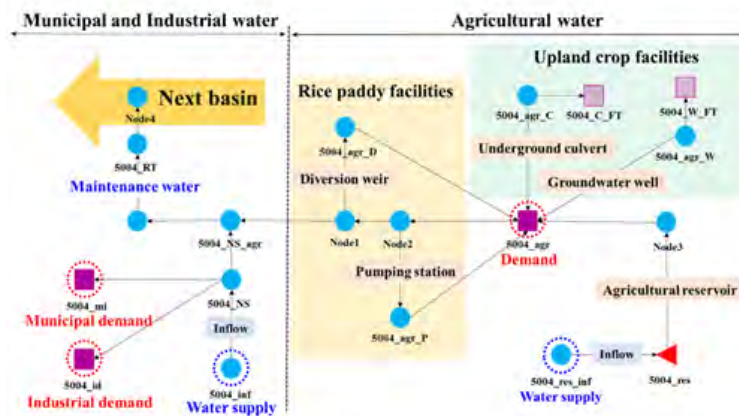
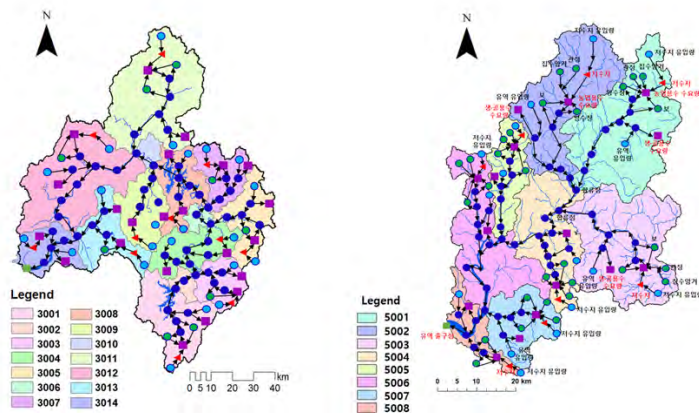


(a) 영산강 유역



(b) 금강 유역

[그림 2-21] 대상유역의 농업용수리시설물 저수량 및 취 채수량



[그림 2-22] MODSIM-DSS 네트워크 설계

3. 발판개용수 취약성 및 회복력 평가절차 수립에 대한 지수 선정

가. 발판개용수 취약성 및 회복력 평가항목 설정

1) 농업용수 건전성 및 발판개 취약성 정의

- 취약성이란 어떤 노출 단위가 혼란 상태나 스트레스에 의한 노출에 기인한 피해에 민감한 정도와 노출 단위의 대처, 회복, 또는 근본적인 적응능력으로 정의함 (한화진 등, 2006).
- 취약성 평가란 기본적으로 미래에 발생할 수 있는 위험의 크기를 규정하고 우선순위가 높은 취약 지구를 찾아 기술적, 물적 자원을 집중할 수 있도록 하여 재해피해 경감을 위한 전략 수립과 시행에 필요한 기반 정보를 제공하는 과정임
- 현재 우리나라의 기후변화에 따른 지역별 취약성 평가를 위한 지표의 개발 및 적용에 관한 연구는 미흡한 실정이며, 특히 농업 분야의 기후변화 노출, 민감도, 적응능력을 종합적으로 고려한 취약성 평가와 적응 대책개발이 시급히 요구되고 있음

- 본 연구에서는 유역 건전성에 영향을 미치는 요소를 규명하고, 유역 건전성을 통합적으로 평가하는 기술을 개발하여 기후변화에 대응하기 위한 유역관리 차원에서 관리 지표로 활용하고자 함
- 본 연구에서 정의하는 밭 관개 취약성 평가지수 및 농업용수 건전성 평가기술은 아래와 같음
 - 농업용수 건전성: 농업용수 확보를 위한 수량(증발산, 하천유출량, 토양수분, 지하수, 댐 및 저수지 방류량 등) 수질(유사, 총질소, 총인 등) 뿐 아니라 유역환경 (식생 및 토지피복)을 종합적으로 고려하여 농어촌 용수구역의 건전성 평가

[표 2-7] 농업용수 건전성 평가를 위한 평가요소

| 농업용수 건전성 평가요소 | | 정의 | Data |
|---------------|---------------------------------|---|---------------------------|
| 유역환경 | 토지피복/식생 (Landscape) | 표준유역별 자연토지피복(산림, 자연초지, 강, 습지) 수변지역 자연토지피복(산림, 자연초지, 강, 습지) | GIS data |
| | 하천 (Geomorphology) | 하천 기준조건(산지하천, 소하천, 지방하천, 도시하천, 국가하천) | |
| 수문/수질 | 수문 (Hydrology) | 총강수량, 총유출량, 지표유출, 침투, 토양수분, 중간유출 침투, 지하수충진량, 기저유출, 저수지 저수율 | SWAT modeling data 및 관측자료 |
| | 수질 (water quality) | (하천) SS, T-N, T-P의 기준농도 (농업용 저수지) TOC 기준농도 | |
| 서식지/수생태 | 서식지 (Aquatic habitat condition) | 하천길이에 대한 저수지 개수(서식지 연결성) 표준유역별 습지면적 | GIS data |
| | 수생태 (Biological condition) | TDI(부착돌말류), BMI(저서대형무척추동물), FAI(어류) 기준값 | 생물측정망 |

- 밭 관개 취약성: 밭 관개에 영향을 주는 기후변화, 토지피복변화, 수요량 변화 등의 인위적인 요인을 종합적으로 고려하여 밭 관개 시 취약성 평가
- 밭관개 취약성 분석시 물 이용 변화를 정량적으로 분석하기 위해 농업용수 수요량, 용수공급량, 용수부족량, 지하수 이용량에 대한 MODSIM 모델링을 수행하였으며, 기후변화 중, 무강우일수를 고려하여 밭관개 취약성을 평가
- 미래의 밭 관개취약성 평가를 위한 평가요소들은 지역마다 다를 수 있으나, 유역상태에 가장 영향을 미치는 것은 기후변화에 의해 취약성과 농업용수 수요량 변화에 기인할 것으로 예상됨에 따라 유역의 인위적인 요인에 의한 밭관개 취약성 평가를 위해 표 2-8과 같이 미래 토지이용 면적 변화, 기후변화, 물이용 변화, 최근 토지이용변화의 4가지 요소에 대하여 취약성 평가 항목을 설정

[표 2-8] 밭 관개 취약성 평가를 위한 평가요소

| 평가요소 | 정의 | Data |
|------------|---|-----------------------------|
| 불투수층 변화 | 미래 토지이용 변화 (2050년) | CLUE-s |
| 기후변화 | 기온변화 강수량변화 무강우일수 | 관측자료 및 기후변화 시나리오 |
| 물이용변화 | 농업용수 수요량 변화 용수부족량 용수공급률 지하수이용량 | 수자원장기종합계획및 MODSIM Modelling |
| 최근 토지피복 변화 | 논+밭 면적 변화 | 통계연보 |

- 사회적요인: 취약지역에 대한 원활한 농업용수 공급 및 밭 관개를 위한 인적, 물적 회복 가능성

[표 2-9] 밭 관개 회복성 검토를 위한 평가요소

| 밭관개 회복성 평가요소 | | 정의 | Data |
|--------------|----------|--------------------------|------|
| 사회적 요인 | 물관리 공무원수 | 농어촌공사 지사별 직원 (물관리 요원) | KRC |

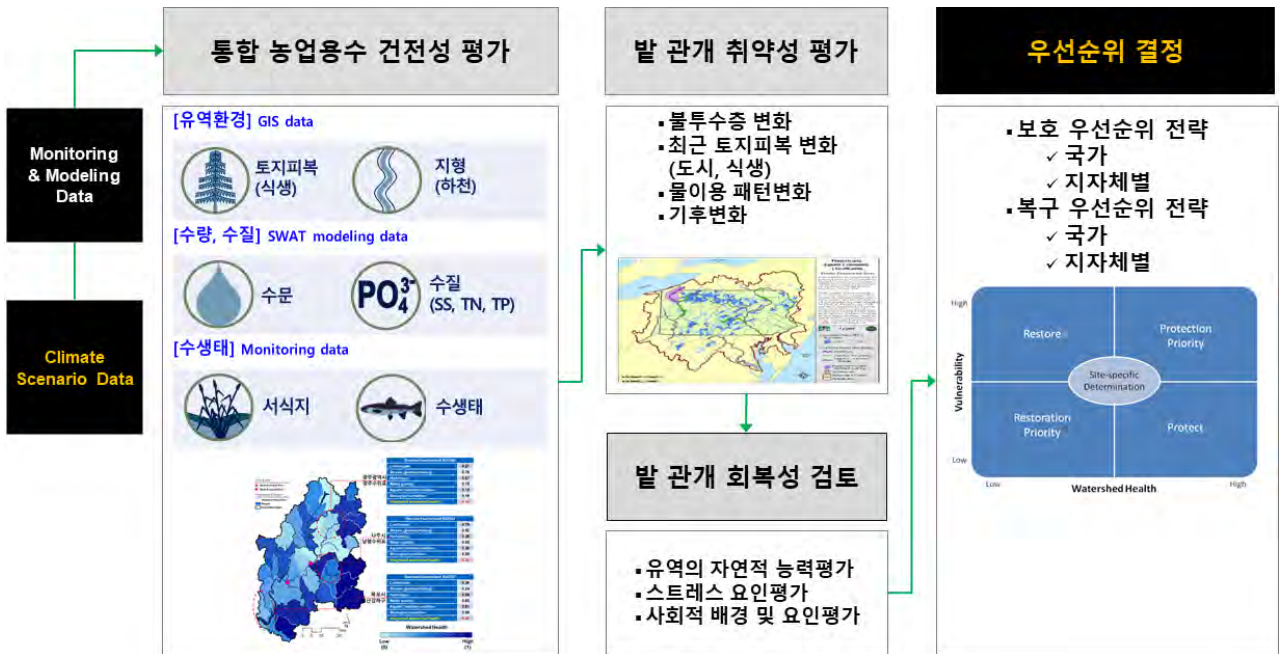
나. 밭관개용수 취약성 및 회복력 절차 개발

1) 밭관개용수 취약성 및 회복력 평가절차

- 본 연구에서 농업용수 건전성은 유역이 본래 가지고 있는 자연적인 건전성을 의미하며, 유역의 현재 상태 및 유역이 가지고 있는 능력에 대한 평가가 선행되어야 인위적인 요소에 따른 밭 관개 용수 취약성과 회복력 분석을 수행할 수 있을 것임
- 따라서 밭 관개 용수 취약성 및 회복력 평가는 농업용수의 건전성 평가와 밭 관개 취약성 평가, 밭 관개 회복성 검토를 통해 밭 관개 용수 회복을 위한 우선순위 결정을 수행하도록 평가절차를 개발함
- 밭관개취약성 평가는 보호·복구 우선순위를 평가하기 위해 필수 적인 요소로 평가방법은 기후변화 대비 수자원적용기술 개발연구단(2020)의 수자원 취약성 평가결과를 밭관개 취약성에 맞게 수

정 및 변경하여 적용하였음

- 발관개 회복성 검토는 유역의 보호·복구 우선순위를 평가하기 위해 필수적인 요소로 평가방법은 사회·경제적 평가항목을 설정하여 발관개 회복을 위한 인적, 물적 지원을 위주로 검토
- 사회적 요인의 공무원 수는 발관개 관리 시 결정권자의 유무를 판단하기 위한 지표로 구조적/비구조적인 유역관리 여부를 판단할 수 있는 지표



[그림 2-23] 발 관개 취약성 및 회복력 평가 절차

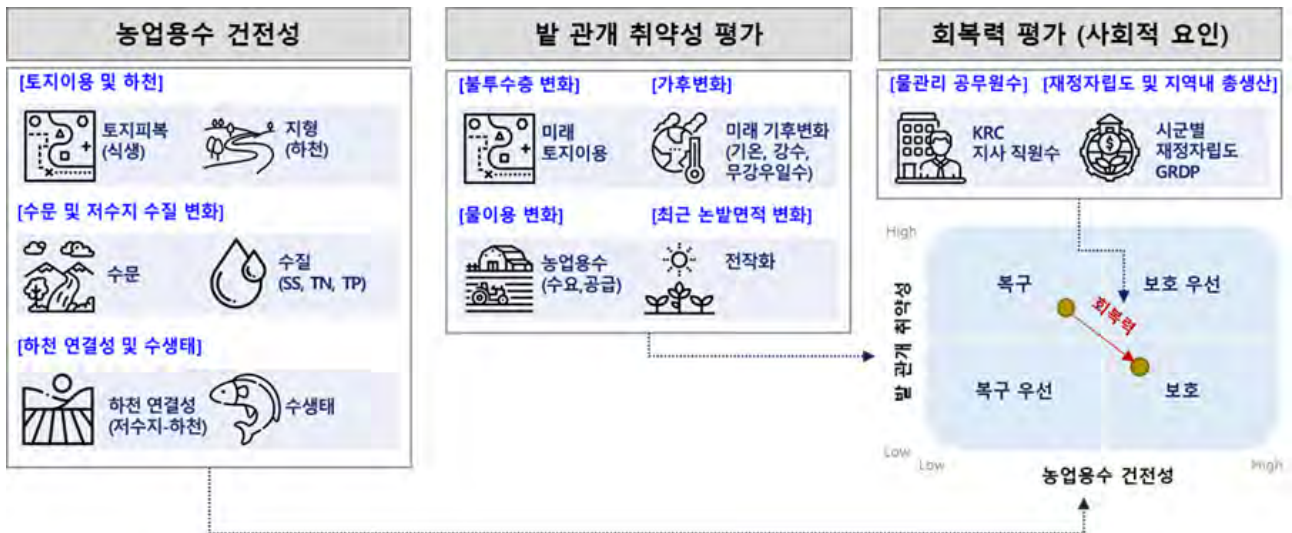
- 농업용수 건전성 평가는 유역환경, 수문/수질, 서식지/수생태 요소를 적용하였으며, 각 요소의 정의 및 Data 형식을 표 2-10에 정리함
- 유역환경은 토지피복/식생, 하천에 대한 요소를 포함하고 있으며, 이는 GIS Data 형식으로 구성되어 있음
 - 수문/수질은 총강수량, 총유출량, 지표유출, 중간유출, 기저유출과 부유사, 총질소, 총인에 대한 요소를 포함하고 있으며, 이는 모니터링 자료를 활용한 SWAT 모형의 장기모의 결과 및 관측자료로 구성되어 있음
 - 서식지/수생태는 하천길이에 대한 저수지 개수, 표준유역별 습지면적, TDI(부착돌말류), BMI(저서대형무척추동물), FAI(어류)에 대한 요소이며, 이는 모니터링 데이터를 활용하였고 선정된 평가요소들에 대하여 유역건전성지수를 도출하는 과정은 다음 식과 같음

$$Normalized\ component\ value = \frac{Observed\ or\ \sim\ ulated\ value\ for\ watershed\ x}{Reference\ value\ for\ all\ watersheds}$$

$$Sub-index = \frac{(Normalized\ value\ 1 + Normalized\ value\ 2 + \dots + Normalized\ value\ x)}{Total\ number\ of\ normalized\ values}$$

$$Watershed\ soundness\ index = \frac{(Sub-index\ 1 + Sub-index\ 2 + \dots + Sub-index\ x)}{Total\ number\ of\ sub-indices}$$

- 지수의 범위는 0에서 1사이이며, 1에 가까울수록 취약한 유역을 의미함
- 발 관개 회복성 검토는 유역의 복구우선순위를 평가하기 위해 필수적인 요소로 평가방법은 사회 요인 평가항목을 설정하여 발 관개 회복을 위한 인적, 물적 자원을 위주로 검토함
- 평가요소로는 수자원 관련 공무원 수의 요소에 대하여 사회적 평가지수를 선정함
 - 농업용수관리 공무원 수는 발 관개 관리 시 결정권자의 유무를 판단하기 위한 지표로 구조적/비구조적인 유역관리 여부를 판단할 수 있는 지표임
- 선정한 지표들에 대한 점수를 통합 시 3차원 “버블 플로팅”(그림 2-19)을 사용할 수 있으며, 이 방법에서 X 축과 Y 축은 스트레스 요인과 생태학적 점수를 나타내며 그래프상의 각 유역 버블의 위치를 결정함. 버블 플로팅에서 회복성 지수는 버블의 크기를 결정하며 버블의 크기가 클수록 점수가 높음 버블 플롯의 왼쪽 위 사분면에 속하는 유역(Zone A)은 생태 요약 점수가 높고 스트레스 요인 요약 점수가 낮으며 처음에는 높은 회복 잠재력이 있다고 가정함



[그림 2-24] 농업용수의 회복력 평가 및 보호, 복구 우선순위 결정

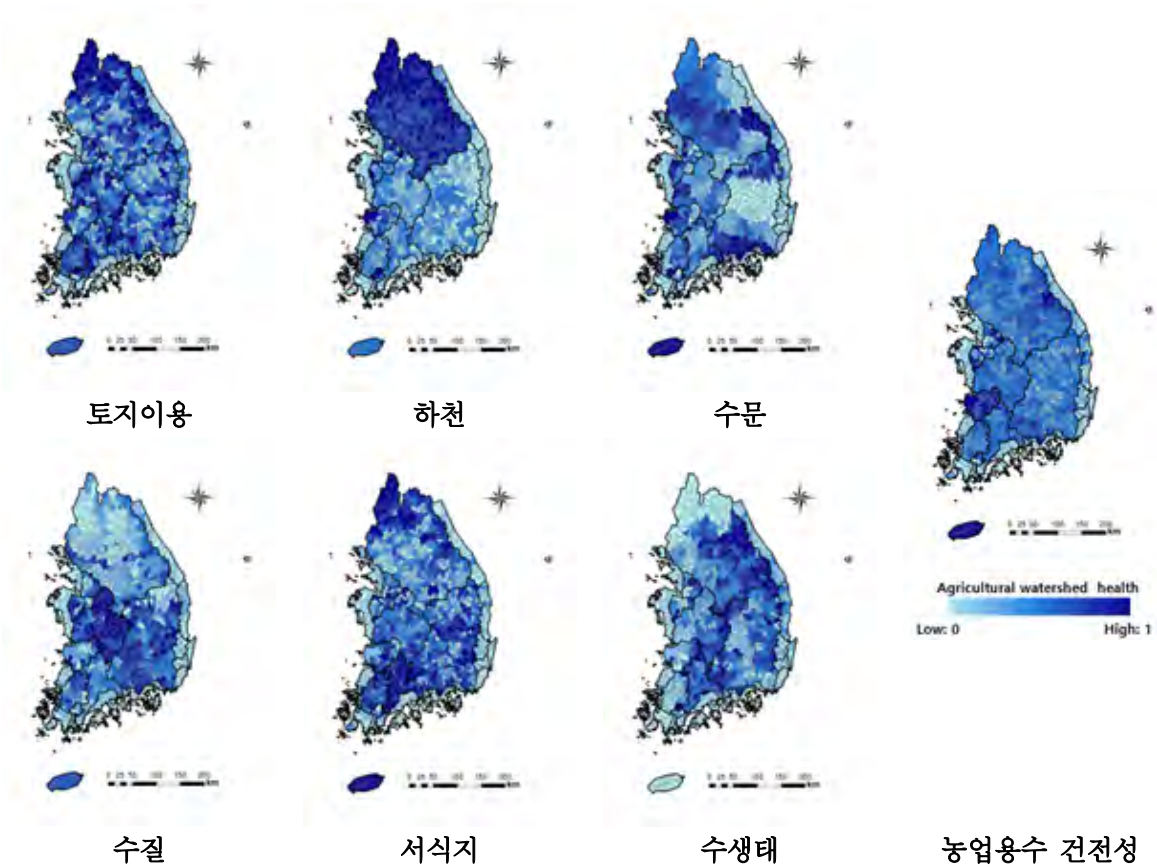
4. 농업용수 건전성 및 발관개용수 취약성 평가기법 적용결과

가. 전국 농업용수 건전성 및 취약성 평가결과

- 본 연구에서 분석하고자 하는 농업용수 건전성은 유역이 본래 가지고 있는 자연적인 건전성을 평가하고자 하는 것이며, 이러한 유역의 현재 상태 및 유역이 가지고 있는 능력에 대한 평가가 선행되어야 토지이용변화, 기후변화, 물이용 변화, 인구증가 등 인위적인 요소에 따른 취약성과 같

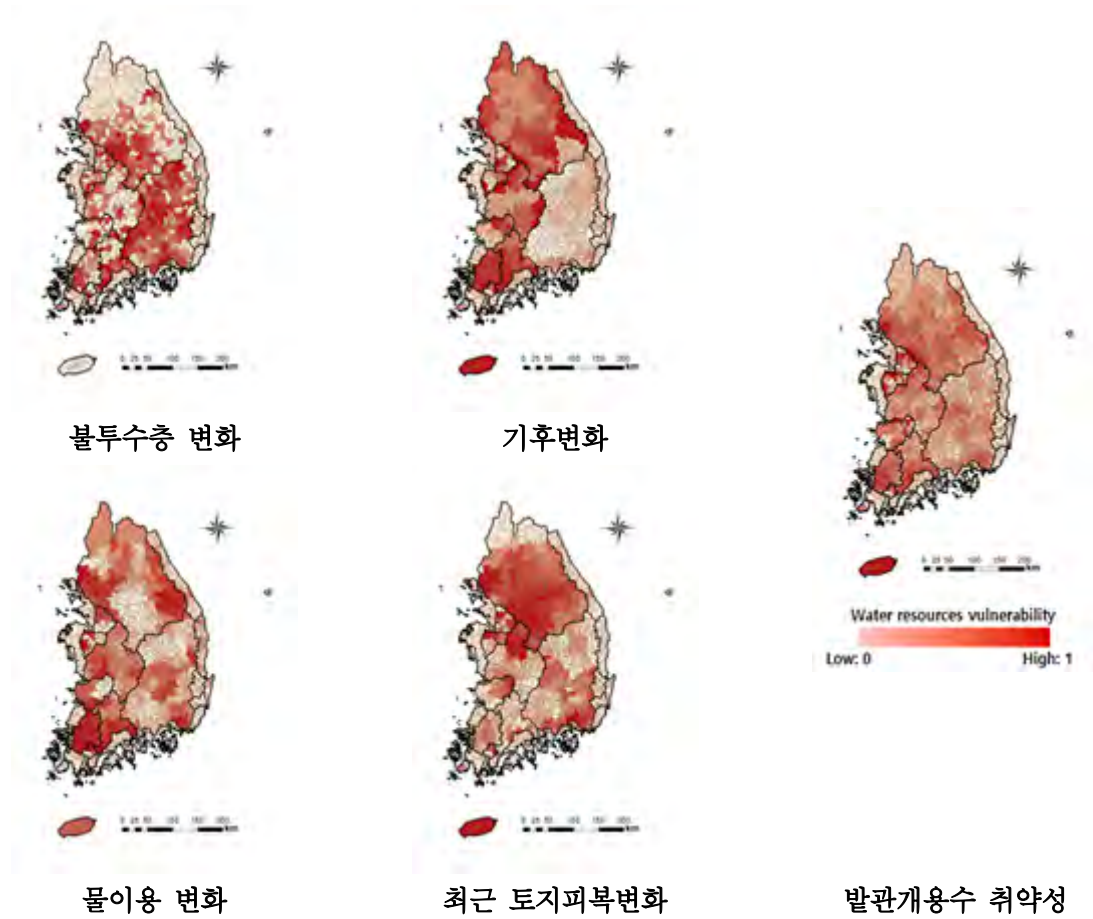
은 미래 변화에 대한 예측을 수행할 수 있음.

- 수문/수질과 관련된 유역 건전성 평가는 SWAT 모형의 장기모의 결과를 활용하였으며, 유역 환경 및 수생태와 관련된 유역 건전성 평가는 모니터링 자료를 활용하였음.
- 우리나라 5대강(한강, 금강, 섬진강, 영산강, 낙동강)을 대상으로 농업용수 건전성 평가를 수행하였음.
 - 6가지 평가요소(토지이용, 하천, 수문, 수질, 서식지, 수생태)를 정규화하여 1개의 지수로 산정



[그림 2-25] 우리나라(5대강)를 대상으로 자연적 요인에 의한 농업용수 건전성 평가

- 본 연구에서는 4개의 Sub-index에 대한 산정결과를 기반으로 인위적인 요소에 따른 유역의 취약성을 평가하였음.
- 그림 2-21은 4가지 평가요소(불투수층변화, 기후변화 물이용 변화, 최근토지피복 변화)를 정규화하여 발관개용수 취약성 지수를 계산하였음.



[그림 2-26] 우리나라(5대강)를 대상으로 인위적 요인에 의한 발관개용수 취약성 평가

나. 시범유역에 대한 취약성 및 회복력 평가

1) SWAT 모형의 수문 및 수질 검·보정 결과

○ 영산강 유역의 수문 및 수질 검·보정

- 영산강 유역 내 5개의 댐(평림, 장성, 담양, 광주, 나주)과 2개 다기능 보(승촌, 죽산)의 운영을 고려하여 모형의 검·보정을 수행하였음.
- 모형의 적용성 평가를 위한 목적 함수로는 Coefficient of determination (R^2), Nash and Sutcliffe (1970) model efficiency (NSE), p-factor 및 the percent bias (PBIAS)를 사용하였음.
- 검·보정 결과 수문의 경우 R^2 는 0.71~0.91의 정확도로 모형이 보정되었으며, 수질의 경우 SS는 0.73~0.97, T-N은 0.52~0.57, T-P는 0.43~0.68의 정확도로 검·보정되었음.

[표 2-10] 영산강 유역의 수문 및 수질 검·보정 결과

| Station | | NP | | MR | | SCW | | JSW | |
|----------------|-----|------|------|--------|--------|------|-------|-------|-------|
| | | Cal. | Val. | Cal. | Val. | Cal. | Val. | Cal. | Val. |
| R ² | | 0.76 | 0.71 | 0.9 | 0.81 | 0.83 | 0.93 | 0.83 | 0.88 |
| RMSE(mm/day) | | 1.75 | 1.62 | 2.13 | 2.02 | 1.47 | 0.88 | 1.72 | 0.65 |
| NSE | | 0.72 | 0.49 | 0.66 | 0.61 | 0.51 | 0.68 | 0.65 | 0.68 |
| PBIAS (%) | | 47.5 | 4.36 | -23.22 | -23.66 | -7.4 | -8.35 | -8.43 | -14.3 |
| Station | | - | | - | | NJ | | JSC | |
| R ² | SS | - | - | - | - | 0.77 | 0.73 | 0.93 | 0.77 |
| | T-N | - | - | - | - | 0.52 | 0.57 | 0.55 | 0.50 |
| | T-P | - | - | - | - | 0.54 | 0.68 | 0.43 | 0.62 |

○ 삼교천 유역의 수문 및 수질 검·보정

- 검·보정 결과 평균 R²는 0.76, RMSE는 3.77 mm/day, NSE는 0.41로 분석되었음.
- 무한천 지점에서 2013~2017에 대한 평균 강수량은 1030.6 mm이며, 실측자료의 평균 유출량은 172.9 mm로 평균 유출률 16.6%로 상대적으로 유출률이 매우 낮은 유역으로 분석되었음.

[표 2-11] 삼교천 유역의 수문 및 수질 검·보정 결과

| Station | | HNDR | | MHC | |
|----------------|-----|------|------|------|------|
| | | Cal. | Val. | Cal. | Val. |
| R ² | | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.8 |
| RMSE (mm/day) | | 3.5 | 4.0 | 0.6 | 0.7 |
| NSE | | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.7 |
| Station | | GGC2 | | MHC2 | |
| R ² | SS | 0.56 | 0.78 | 0.72 | 0.76 |
| | T-N | 0.64 | 0.83 | 0.49 | 0.75 |
| | T-P | 0.69 | 0.93 | 0.74 | 0.82 |

○ 금강 유역의 수문 및 수질 검·보정

- 금강 유역 내 2개의 댐(용담, 대청)과 3개의 다기능 보(세종, 공주, 백제)의 운영을 고려하여 모형의 검·보정을 수행하였음.
- 검·보정 결과 수문의 경우 R²는 0.31~0.78의 정확도로 모형이 보정되었으며, 수질의 경우 SS는 0.67~0.94, T-N은 0.59~0.79, T-P는 0.61~0.79의 정확도로 검·보정되었음.

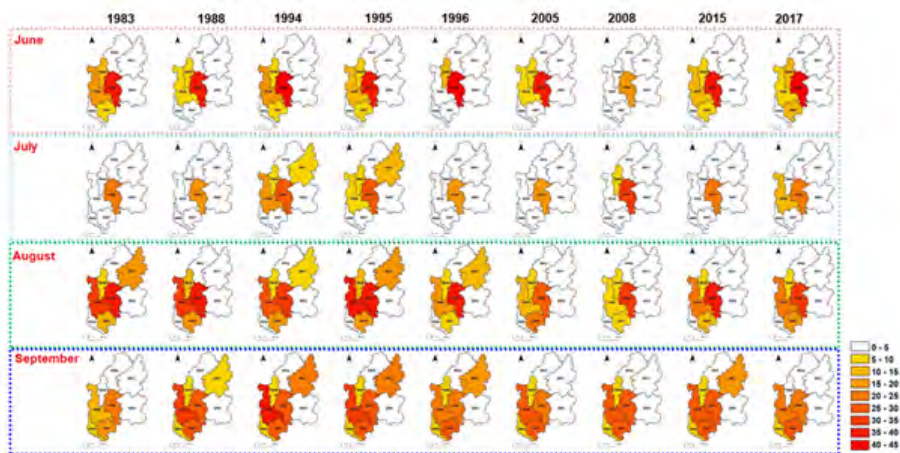
[표 2-12] 금강 유역의 수문 및 수질 검·보정 결과

| Station | YDD | | DCD | | SJW | | GJW | | BJW | |
|----------------|------|------|--------|-------|------|------|------|-------|-------|------|
| | Cal. | Val. | Cal. | Val. | Cal. | Val. | Cal. | Val. | Cal. | Val. |
| R ² | 0.68 | 0.78 | 0.65 | 0.68 | 0.55 | 0.70 | 0.55 | 0.72 | 0.57 | 0.31 |
| RMSE(mm/day) | 2.19 | 1.57 | 2.02 | 2.10 | 0.12 | 0.15 | 0.25 | 0.28 | 0.27 | 0.16 |
| NSE | 0.79 | 0.94 | 0.95 | 0.93 | 0.92 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| PBIAS (%) | 1.26 | 8.99 | -16.99 | -3.86 | 5.34 | 1.00 | 2.62 | -0.93 | -0.38 | 1.83 |
| Station | JW | | GNR | | | | JD | | | |
| R ² | Cal. | Val. | Cal. | | Val. | | Cal. | Val. | | |
| | SS | 0.94 | 0.67 | 0.86 | | 0.73 | | 0.74 | 0.70 | |
| | T-N | 0.74 | 0.77 | 0.59 | | 0.79 | | 0.62 | 0.75 | |
| | T-P | 0.79 | 0.77 | 0.77 | | 0.69 | | 0.61 | 0.66 | |

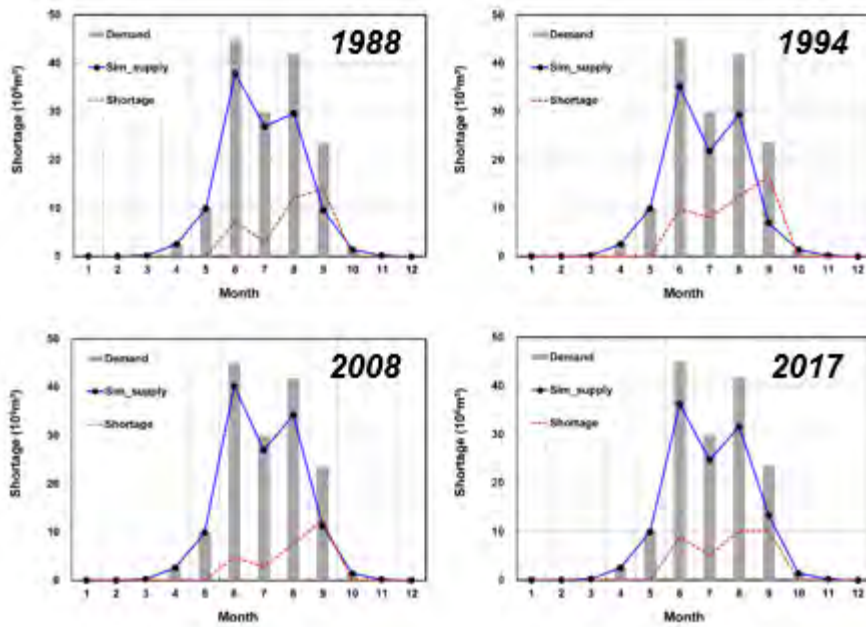
2) MODSIM을 이용한 농업용수 공급현황 및 부족량 결과

○ 영산강 유역 농업용수 공급현황 및 부족량 결과

- 물수지 분석은 총 37년(1981~2017) 기간에 대하여 수행하였으며, 분석결과 여름철(6월~9월) 관개 기간의 농업용수 수요량에 따른 농업용수 부족량이 크게 발생함
- 총 37년 기간의 농업용수 공급률은 70~94%로 분석되었으며, 강수량이 814.9 mm로 가장 가뭃해였던 1988년의 농업용수 부족량은 290.7×106m³로 분석되었음.
- 그 이상 농업용수 부족량이 발생한 해는 1994년, 1995년, 2015년으로 분석되었음.
- 해당 소유역의 농업용수 공급률은 54~87%로 분석되며, 단위 면적당 농업용 수리시설물의 유효저수량이 적고 농경지가 밀집된 지역으로 추가적인 용수공급이 필요할 것으로 분석되었음.
- 최종적으로 MODSIM-DSS 모의결과 값(농업용수 부족량, 용수공급률, 농업용수 수요량 변화)은 취약성 평가지수로 활용함



[그림 2-27] MODSIM-DSS 이용한 중권역별 농업용수 부족량 공간분포



[그림 2-28] 영산강 유역의 월별 농업용수 수요량 및 부족량

[표 2-13] 영산강 유역 중권역별 물수지분석 결과

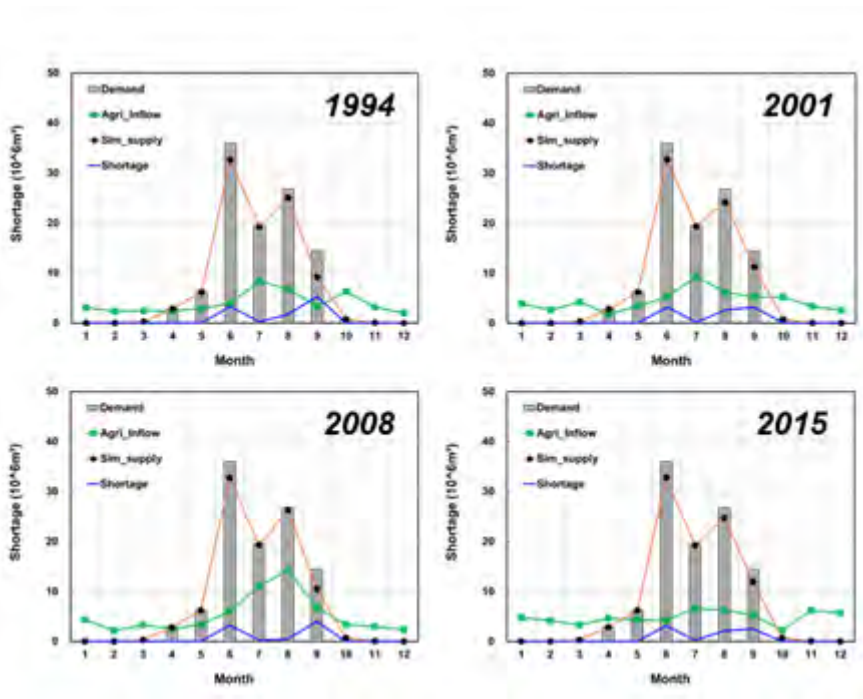
| Basin | Demand (10 ⁶ m ³) | Supply (10 ⁶ m ³) | Potential Water supply rate (%) | Shortage (10 ⁶ m ³) | Shortage rate (%) |
|-------|--|--|---------------------------------|--|-------------------|
| 5001 | 187.6 | 182.4 | 97.2 | 5.2 | 2.8 |
| 5002 | 121.3 | 121.3 | 100.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5003 | 126.0 | 126.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5004 | 217.2 | 117.6 | 54.1 | 99.7 | 45.9 |
| 5005 | 64.4 | 44.1 | 68.5 | 20.3 | 31.5 |
| 5006 | 240.7 | 208.4 | 86.6 | 32.3 | 13.4 |
| 5007 | 217.2 | 189.8 | 87.4 | 27.4 | 12.6 |
| 5008 | 64.4 | 58.3 | 90.6 | 6.1 | 9.4 |
| Avg. | 154.9 | 131.0 | 85.6 | 23.9 | 14.4 |

[표 2-14] 총 37년(1981~2017)기간에 대한 영산강 유역 물수지분석 결과

| Year | Demand (10 ⁶ m ³) | Supply (10 ⁶ m ³) | Shortage (10 ⁶ m ³) | Shortage rate (%) |
|------|---|---|---|----------------------|
| 1981 | 1238.8 | 1120.0 | 118.9 | 9.6 |
| 1982 | 1238.8 | 970.5 | 268.3 | 21.7 |
| 1983 | 1238.8 | 966.1 | 272.7 | 22.0 |
| 1984 | 1238.8 | 1049.8 | 189.1 | 15.3 |
| 1985 | 1238.8 | 1152.5 | 86.4 | 7.0 |
| 1986 | 1238.8 | 1104.4 | 134.4 | 10.9 |
| 1987 | 1238.8 | 1111.6 | 127.3 | 10.3 |
| 1988 | 1238.8 | 948.2 | 290.7 | 23.5 |
| 1989 | 1238.8 | 1132.2 | 106.7 | 8.6 |
| 1990 | 1238.8 | 1073.6 | 165.2 | 13.3 |
| 1991 | 1238.8 | 1066.0 | 172.9 | 14.0 |
| 1992 | 1238.8 | 940.6 | 298.3 | 24.1 |
| 1993 | 1238.8 | 1064.5 | 174.3 | 14.1 |
| 1994 | 1238.8 | 862.4 | 376.5 | 30.4 |
| 1995 | 1238.8 | 869.9 | 368.9 | 29.8 |
| 1996 | 1238.8 | 976.5 | 262.4 | 21.2 |
| 1997 | 1238.8 | 1047.8 | 191.1 | 15.4 |
| 1998 | 1238.8 | 1113.3 | 125.6 | 10.1 |
| 1999 | 1238.8 | 1112.7 | 126.1 | 10.2 |
| 2000 | 1238.8 | 1108.4 | 130.4 | 10.5 |
| 2001 | 1238.8 | 1015.3 | 223.6 | 18.0 |
| 2002 | 1238.8 | 1097.0 | 141.9 | 11.5 |
| 2003 | 1238.8 | 1161.0 | 77.8 | 6.3 |
| 2004 | 1238.8 | 1159.2 | 79.6 | 6.4 |
| 2005 | 1238.8 | 1001.2 | 237.7 | 19.2 |
| 2006 | 1238.8 | 1108.6 | 130.2 | 10.5 |
| 2007 | 1238.8 | 1079.3 | 159.6 | 12.9 |
| 2008 | 1238.8 | 1018.0 | 220.8 | 17.8 |
| 2009 | 1238.8 | 1052.3 | 186.5 | 15.1 |
| 2010 | 1238.8 | 1094.5 | 144.3 | 11.7 |
| 2011 | 1238.8 | 1080.6 | 158.3 | 12.8 |
| 2012 | 1238.8 | 1098.4 | 140.4 | 11.3 |
| 2013 | 1238.8 | 1034.6 | 204.2 | 16.5 |
| 2014 | 1238.8 | 1049.0 | 189.9 | 15.3 |
| 2015 | 1238.8 | 947.7 | 291.2 | 23.5 |
| 2016 | 1238.8 | 1022.4 | 216.4 | 17.5 |
| 2017 | 1238.8 | 962.8 | 276.1 | 22.3 |
| Avg. | 1238.8 | 1047.9 | 190.9 | 15.4 |

○ 금강 유역 농업용수 공급현황 및 부족량 결과

- 물수지 분석은 총 35년(1981~2015) 기간에 대하여 수행하였으며, 분석결과 여름철(6월~9월) 관계 기간의 농업용수 수요량에 따른 농업용수 부족량이 크게 발생함.
- 총 35년 기간의 농업용수 공급률은 90~99%로 분석되었으며, 강수량이 814.9 mm로 가장 가뭄 해였던 1988년의 농업용수 부족량은 $84.2 \times 10^6 \text{m}^3$ 로 분석되었음.
- 그 이상 농업용수 부족량이 발생한 해는 1982년, 1994년, 2001년, 2008년, 2013년, 2014년, 2015년으로 분석되었음.
- 해당 소유역의 3004번, 3012번 유역에서 농업용수 부족이 발생하는 것으로 분석, 특히 3012번 유역은 상류의 농업지역에 따른 농업용수의 증가로 용수 부족이 발생하였음.
- 최종적으로 MODSIM-DSS 모의결과 값(농업용수 부족량, 용수공급률, 농업용수 수요량 변화)은 취약성 평가지수로 활용함.



[그림 2-29] 금강 유역의 월별 농업용수 수요량 및 부족량

[표 2-15] 금강 유역 중권역별 물수지분석 결과

| Basin | Demand (10 ⁶ m ³) | Supply (10 ⁶ m ³) | | Shortage (10 ⁶ m ³) | |
|-------|---|---|-------|---|-------|
| | | before | after | before | after |
| 3001 | 68.5 | 58.9 | 60.6 | 9.6 | 7.9 |
| 3002 | 5.0 | 4.9 | 4.9 | 0.0 | 0.0 |
| 3003 | 18.4 | 15.4 | 16.0 | 3.0 | 2.3 |
| 3004 | 81.4 | 66.9 | 68.4 | 14.6 | 13.0 |
| 3005 | 71.6 | 61.9 | 63.2 | 9.7 | 8.4 |
| 3006 | 13.4 | 13.4 | 13.4 | 0.0 | 0.0 |
| 3007 | 78.7 | 78.7 | 78.7 | 0.0 | 0.0 |
| 3008 | 49.3 | 49.3 | 49.3 | 0.0 | 0.0 |
| 3009 | 47.2 | 47.2 | 47.2 | 0.0 | 0.0 |
| 3010 | 19.7 | 19.6 | 19.7 | 0.1 | 0.0 |
| 3011 | 302.4 | 302.4 | 302.4 | 0.0 | 0.0 |
| 3012 | 337.1 | 312.3 | 317.1 | 24.7 | 20.0 |
| 3013 | 204.2 | 204.1 | 204.2 | 0.1 | 0.0 |
| 3014 | 201.2 | 197.5 | 198.2 | 3.7 | 2.9 |
| Avg. | 107.0 | 102.3 | 103.1 | 4.7 | 3.9 |

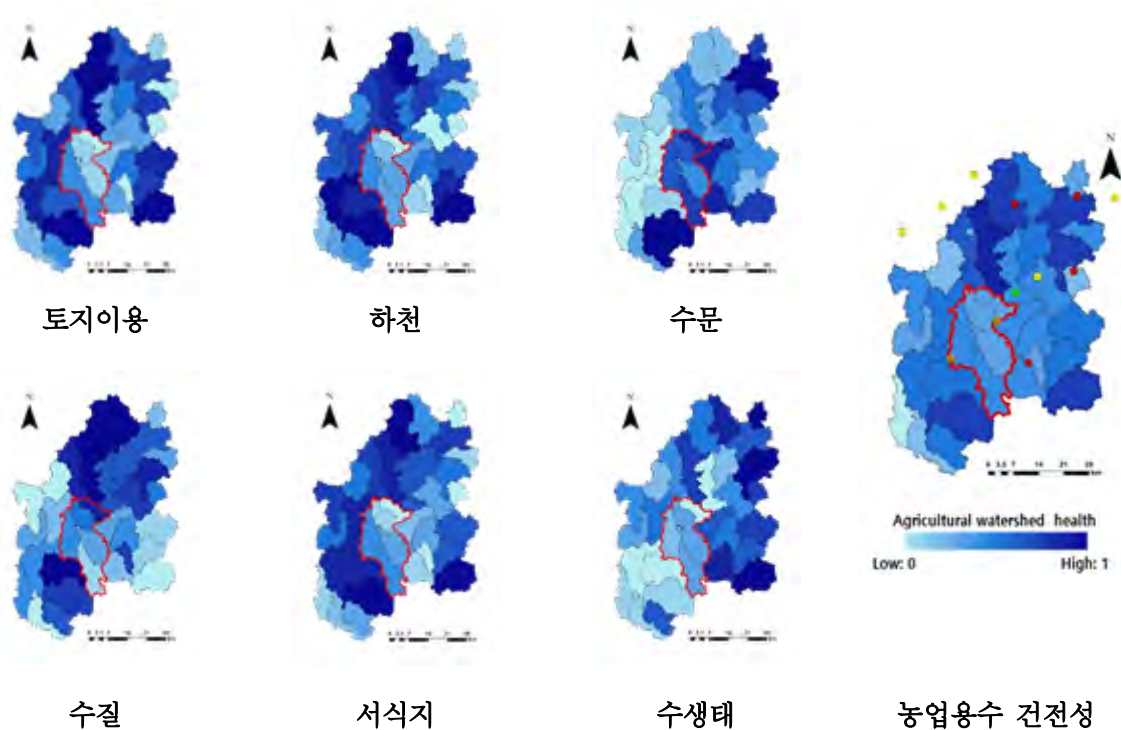
[표 2-16] 총 35년(1981~2015)기간에 대한 금강 유역 물수지분석 결과

| Year | Demand (10 ⁶ m ³) | Supply (10 ⁶ m ³) | | Shortage (10 ⁶ m ³) | |
|------|---|---|--------|---|-------|
| | | before | after | before | after |
| 1981 | 1498.0 | 1460.7 | 1463.5 | 37.3 | 34.5 |
| 1982 | 1498.0 | 1412.0 | 1428.1 | 86.1 | 69.9 |
| 1983 | 1498.0 | 1422.1 | 1433.5 | 75.9 | 64.5 |
| 1984 | 1498.0 | 1441.1 | 1451.3 | 56.9 | 46.7 |
| 1985 | 1498.0 | 1457.2 | 1462.3 | 40.8 | 35.7 |
| 1986 | 1498.0 | 1448.1 | 1457.0 | 49.9 | 41.0 |
| 1987 | 1498.0 | 1446.6 | 1455.9 | 51.4 | 42.1 |
| 1988 | 1498.0 | 1413.8 | 1427.6 | 84.2 | 70.4 |
| 1989 | 1498.0 | 1439.5 | 1450.8 | 58.5 | 47.2 |
| 1990 | 1498.0 | 1441.6 | 1453.0 | 56.4 | 45.1 |
| 1991 | 1498.0 | 1443.3 | 1452.8 | 54.7 | 45.2 |
| 1992 | 1498.0 | 1431.4 | 1442.5 | 66.6 | 55.5 |
| 1993 | 1498.0 | 1433.4 | 1442.3 | 64.6 | 55.7 |
| 1994 | 1498.0 | 1386.5 | 1403.3 | 111.6 | 94.7 |
| 1995 | 1498.0 | 1402.5 | 1415.7 | 95.5 | 82.3 |
| 1996 | 1498.0 | 1452.6 | 1463.4 | 45.4 | 34.7 |
| 1997 | 1498.0 | 1449.4 | 1462.9 | 48.6 | 35.1 |
| 1998 | 1498.0 | 1465.7 | 1471.8 | 32.4 | 26.2 |
| 1999 | 1498.0 | 1447.3 | 1456.2 | 50.8 | 41.8 |
| 2000 | 1498.0 | 1462.6 | 1467.7 | 35.4 | 30.3 |
| 2001 | 1498.0 | 1408.2 | 1423.0 | 89.8 | 75.1 |
| 2002 | 1498.0 | 1441.1 | 1452.5 | 57.0 | 45.5 |
| 2003 | 1498.0 | 1447.3 | 1455.2 | 50.7 | 42.9 |
| 2004 | 1498.0 | 1455.1 | 1462.5 | 42.9 | 35.5 |
| 2005 | 1498.0 | 1437.0 | 1447.3 | 61.1 | 50.7 |
| 2006 | 1498.0 | 1428.7 | 1441.2 | 69.4 | 56.8 |
| 2007 | 1498.0 | 1452.5 | 1459.7 | 45.5 | 38.3 |
| 2008 | 1498.0 | 1410.6 | 1424.5 | 87.5 | 73.5 |
| 2009 | 1498.0 | 1418.1 | 1431.5 | 79.9 | 66.5 |
| 2010 | 1498.0 | 1441.2 | 1449.0 | 56.8 | 49.0 |
| 2011 | 1498.0 | 1454.0 | 1460.9 | 44.0 | 37.1 |
| 2012 | 1498.0 | 1453.9 | 1460.1 | 44.1 | 37.9 |
| 2013 | 1498.0 | 1370.8 | 1388.2 | 127.2 | 109.8 |
| 2014 | 1498.0 | 1392.5 | 1407.0 | 105.5 | 91.0 |
| 2015 | 1498.0 | 1396.9 | 1416.2 | 101.1 | 81.8 |
| Avg. | 1480.0 | 1433.3 | 1444.0 | 64.7 | 54.0 |

3) 농업용수 건전성 및 발관개용수 취약성 평가결과

○ 영산강 유역의 건전성 평가결과

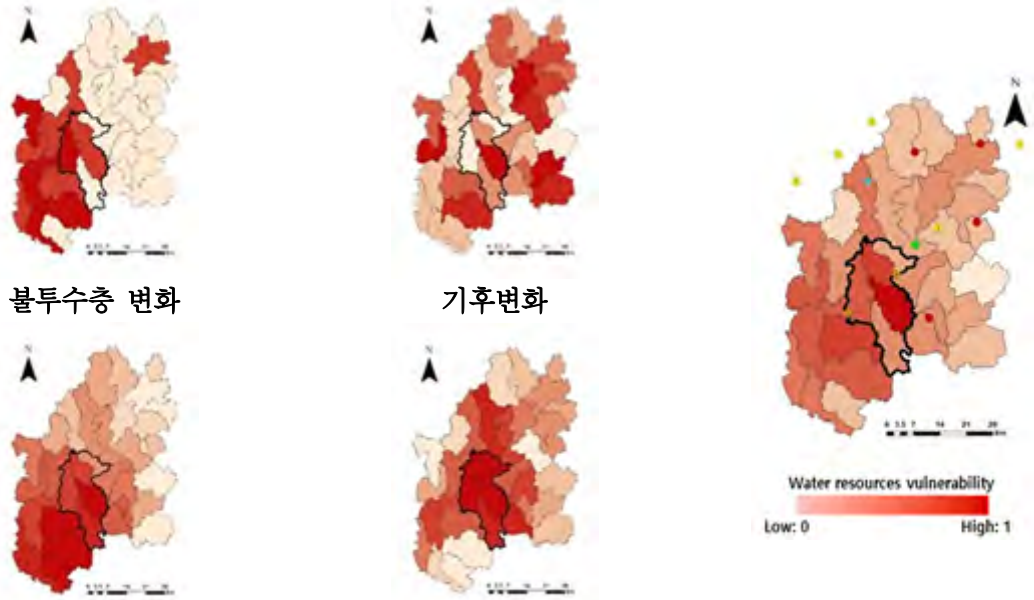
- 6가지의 Sub-index를 공간적인 패턴 분석결과 자연적 요인에 의한 유역 건전성은 영산강 상류 광주광역시 광주천에서 가장 안 좋아지는 것으로 나타남.
- 표준단위유역으로 살펴보면, 광주광역시 광주수위표 유역은 수문과 하천 Sub-index가 각각 0.97, 0.76로 가장 높은 평가요소로 분석되었으며, 가장 낮게 분석된 Sub-index는 수질과 서식지가 각각 0.15, 0.12로 분석되었음.
- 최종적으로 광주광역시 광주수위표 유역은 6개의 Sub-index를 통합한 유역 건전성 지수가 0.15로 분석되었으며, 가장 건전성이 낮은 것으로 분석되었음
- 반면, 목포시 영산강하구 유역은 수문 및 수생태 Sub-index가 각각 0.09, 0.09로 가장 낮은 평가요소로 분석되었으며, 이를 통합한 유역 건전성 지수는 0.42로 가장 건강한 유역으로 분석되었음



[그림 2-30] 영산강 유역의 자연적 요인에 의한 농업용수 건전성 평가결과

○ 영산강 유역의 취약성 평가결과

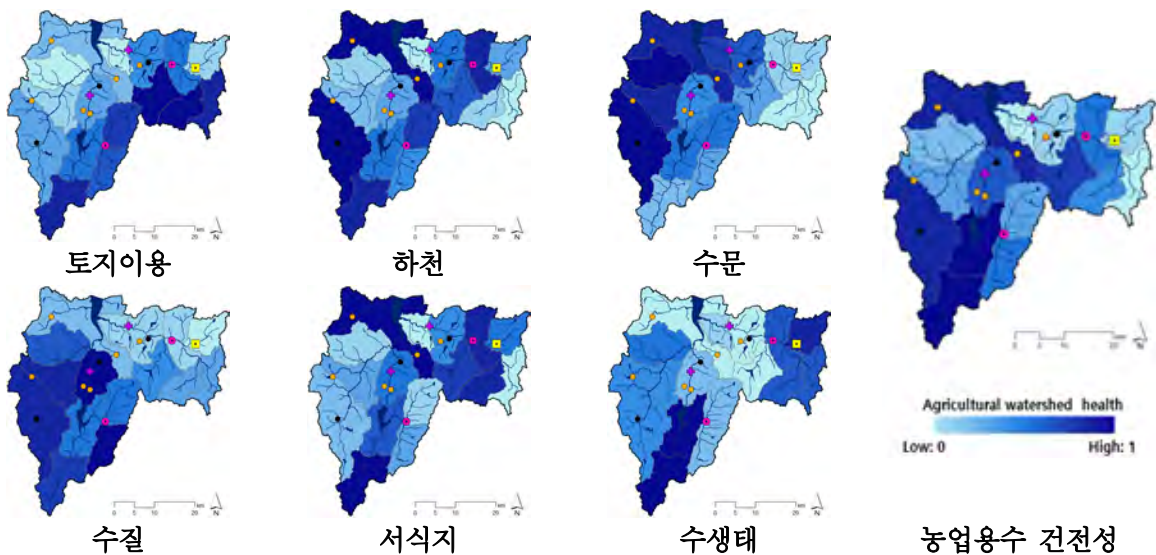
- 발 용수 취약성 종합평가결과는 기후변화 지수에 대한 평가 결과와 가장 유사한 패턴을 나타내고 있음. 특히 유역의 하류에 위치한 목포시 인근 유역에서 기후변화에 대한 취약성이 크게 나타났으며, 유역의 하류로 갈수록 취약성이 크게 증가하는 것으로 분석되었음.



물이용 변화 최근 토지피복변화 발관개용수 취약성
 [그림 2-31] 영산강 유역의 인위적 요인에 의한 발관개용수 취약성 평가

○ 삼교천 유역의 건전성 평가결과

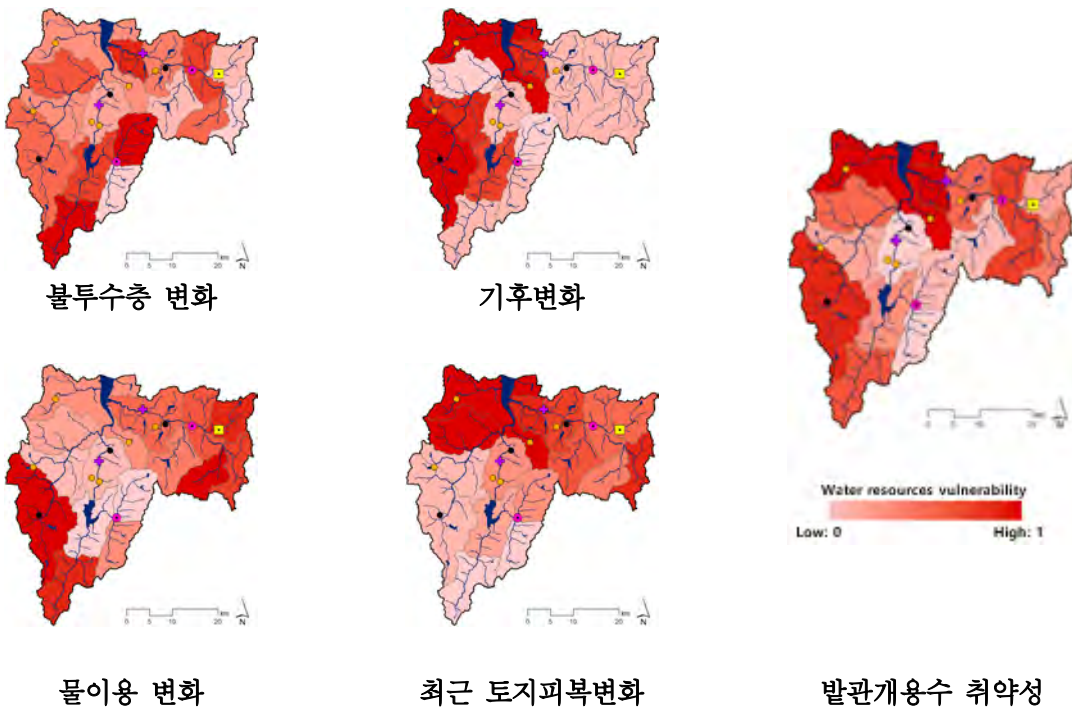
- 토지 피복의 경우 하류보다 상류에서 건전성이 높았으나, 수문의 경우 상류보다 하류가 더 건전한 것으로 나타남
- 이는 상류하천의 건전화로 인한 영향으로 판단되며, 이러한 영향과 수생태 서식지 지수로 인해 세종시에서의 통합 유역 건전성 지수가 0.07로 매우 낮게 나타남
- 아산시는 삼교천 유역에서 가장 통합 유역 건전성이 안 좋은 것으로 분석되었음
- 이는 유역 환경적인 요소와 밀접한 관련이 있는 토지피복, 하천형상, 수생태 서식지의 건전성 지수가 매우 낮기 때문이며, 유역 건전성 회복을 위해서는 환경적인 요소를 집중적으로 향상시킬 필요성이 있음



[그림 2-32] 삼교천 유역의 자연적 요인에 의한 농업유역 건전성 평가결과

○ 삼교천 유역의 취약성 평가결과

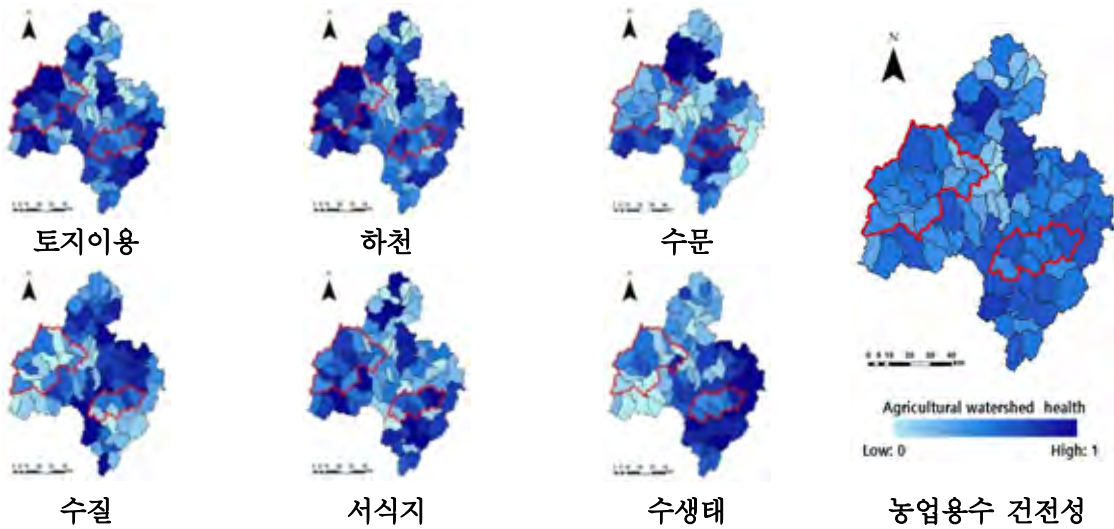
- 삼교천 유역은 기후변화와 최근 토지이용 변화에 대한 취약성 지수가 증가하는 경향이 나타남
- 삼교천 유역의 세종시에서의 통합 취약성 지수는 0.47였으며, 세종시의 발전으로 인한 최근 토지이용 변화의 영향과 물 이용량 변화가 크게 영향을 미친 것으로 분석되었음
- 예산군 예당댐의 통합 취약성 지수는 0.4였으며, 물 이용량 변화와 토지이용 변화가 적기 때문에 상대적으로 취약성 지수가 낮게 분석되었음



[그림 2-33] 삼교천 유역의 인위적 요인에 의한 발관개용수 취약성 평가

○ 금강 유역의 건전성 평가결과

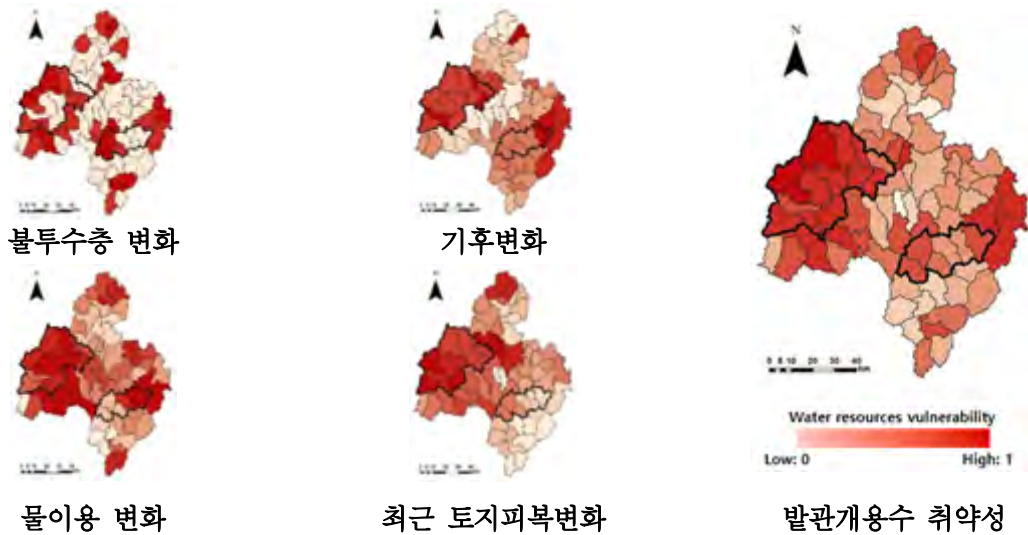
- 6가지의 Sub-index를 공간적인 패턴 분석결과 자연적 요인에 의한 유역 건전성은 대청댐 하류인 대교천에서 가장 안 좋아지는 것으로 나타남
- 대교천 유역은 토지이용, 수문 및 서식지 지수가 각각 0.27, 0.27, 0.10으로 가장 낮게 분석되었으며, 해당 유역에서는 6가지의 Sub-index 중, 수생태 지수가 0.49로 가장 높은 것으로 분석됨
- 반면, 금강 하류에 위치한 금천의 경우 수문 및 수생태 지수가 각각 0.34, 0.13으로 가장 낮은 평가요소로 분석되었으며, 전반적인 유역 건전성 점수에 큰 영향을 주는 것으로 분석됨



[그림 2-34] 금강 유역의 자연적 요인에 의한 농업유역 건전성 평가결과

○ 금강 유역의 취약성 평가결과

- 발관개용수 취약성 종합평가 결과는 기후변화와 물이용 변화 지수에 대한 결과와 가장 유사한 패턴을 나타내고 있음
- 건전성 지수에서 가장 낮은 점수로 반영된 대교천의 경우 기후변화 지수가 0.96으로 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석됨
- 특히 금강 하류에 위치한 대교천, 지천합류, 금천 유역은 최근 토지피복변화 취약성이 크게 나타났으며 특정 농경지가 밀집된 유역에 대해 취약성이 큰 것으로 분석됨

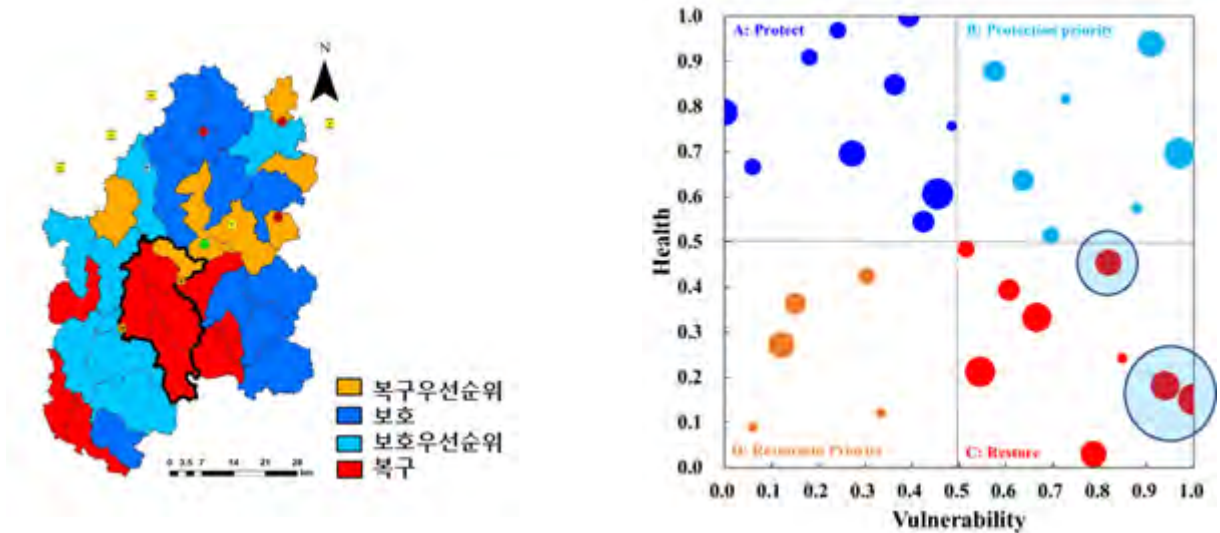


[그림 2-35] 금강 유역의 인위적 요인에 의한 발관개용수 취약성 평가

4) 시범유역에 대한 발관개용수 보호·복구 우선순위 평가결과

○ 영산강 유역

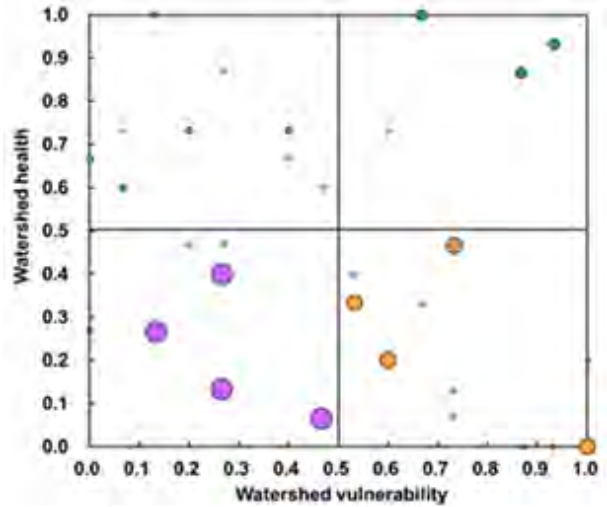
- 복구 우선순위의 경우 유역 건전성 평가와 취약성 평가의 결과를 각각 x, y축으로 도시하여 4개의 Zone (Protect, Protection priority, Restore, Restoration priority)로 구분하였음
- 영산강 유역의 발관개용수 회복력은 지류하천에서 비교적 높은 회복력을 나타내고 있으며, 본류에서는 상류에서 하류로 갈수록 회복력이 높아지는 양상을 나타내고 있음.



[그림 2-36] 영산강 유역의 발관개용수 보호·복구 우선순위 평가

○ 삼교천 유역(국토교통부, 2019)

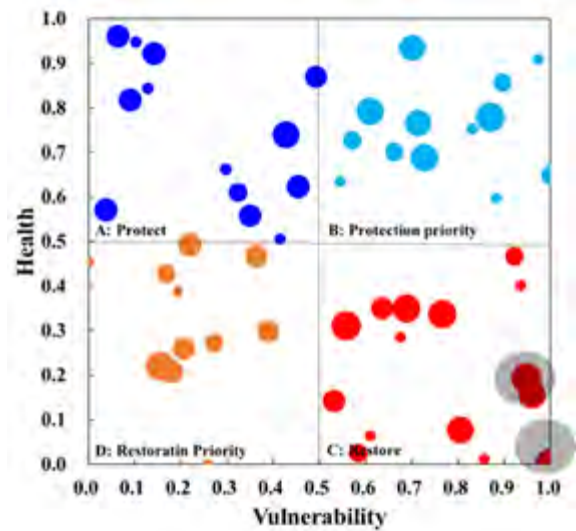
- 삼교천 유역의 회복력은 예당댐이 위치한 유역에서는 높으나, 세종시와 아산시가 위치한 유역에서 낮은 경향을 나타내고 있음
- 복구 우선순위의 경우 4개의 Zone이 골고루 분포되어 있으며, 보호우선(Protection priority)에 해당하는 표준단위유역은 3개로 가장 적게 나타났으며, 복구(Restore)에 해당하는 표준단위유역은 5개로 가장 많이 나타났음
- 1차년도에는 가용한 자료를 기반으로 유역의 자연적인 상태에서의 수문량을 기반으로 한 유역 건전성과 발관개 취약성을 토대로 유역의 회복력과 보호 복구 우선순위를 산정하는 기법을 개발하고 이를 영산강 유역과 삼교천 유역에 적용하였음



[그림 2-37] 삼교천 유역의 발관개용수 보호·복구 우선순위 평가

○ 금강 유역

- 금강 유역의 발관개용수 보호·복구 우선순위 평가결과 금강공주 유역은 전반적으로 복구에 주로 분포 되어있으며, 단위 면적당 저수지 유효저수량이 $14.7 \times 10^6 m^3$ 로 낮게 분석됨
- 최종적으로 각 수원공의 농업용수 공급 운영에 대한 대책이 필요할 것으로 고려됨



[그림 2-38] 금강 유역의 발관개용수 보호·복구 우선순위 평가

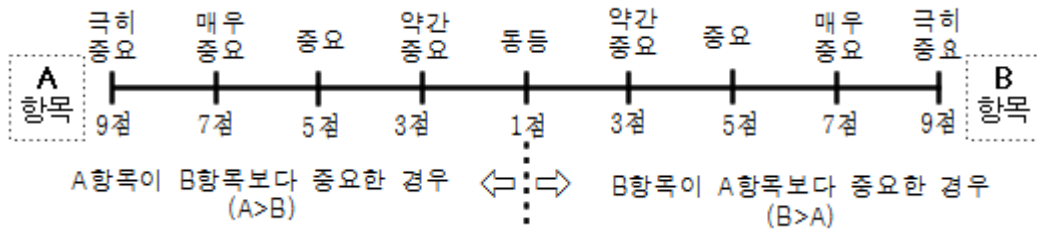
제 2 절 발판개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용 과 기술 고도화

1. 취약성 및 회복력 지수의 가중치 산정

가. 발판개 취약성 평가 요소의 가중치 산정기법 개발

1) Subjective methods

- 주관적 가중치는 주로 의사결정자의 의견을 활용하여 결정되며, 대표적인 산정기법으로는 AHP법, 가중최소자승법, 델파이법이 이 범주에 속함
- 관리가 필요하며 문제의 해결에는 의사결정자의 전문성과 판단력을 고려해야 하므로 주관적인 가중치를 부여하는 것이 바람직할 수 있음
- 기존의 연구들에서는 이와 같은 전문가 의견 수렴방법을 널리 사용해 왔음
- AHP(Analytic Hierachy Process, 계층화 분석 과정)은 대안간의 우선순위 또는 상대적 중요도를 분석하여 의사결정을 지원하는 방법임
- AHP는 여러개의 대안을 2가지 대안으로 축소하여 상대적 중요 수준을 결정하는 쌍대비교 방법과 대안에 대한 평가점수를 부여하는 절대측정 방법이 있음
- 여기서, 평가척도는 다음의 그림 2-39와 표 2-17에 나타내었음



[그림 2-39] 평가척도

[표 2-17] 평가척도의 정의

| 중요도 | 정의 | 내용 |
|---------|-----------|--|
| 1 | 동등 | 비교 대상인 두 항목의 중요정도가 비슷하다고 판단될 경우 |
| 3 | 약간 중요 | 비교 대상인 두 항목 중 하나의 항목이 상대적으로 약간 중요하다고 판단되는 경우 |
| 5 | 중요 | 비교 대상인 두 항목 중 하나의 항목이 상대적으로 중요하다고 판단되는 경우 |
| 7 | 매우 중요 | 비교 대상인 두 항목 중 하나의 항목이 상대적으로 매우 중요하다고 판단되는 경우 |
| 9 | 극히 중요 | 비교 대상인 두 항목 중 하나의 항목이 절대적으로 중요하다고 판단되는 경우 |
| 2,4,6,8 | 위 값들의 중간값 | 위의 중요도의 사이값에 해당하는 경우 |

2) Objective methods

- 객관적 가중치 추정방법은 수학적 모델을 통하여 가중치를 결정함
- 평가자료의 성향을 기반으로 가중치를 도출 할 수 있음 대표적인 방법으로는 엔트로피 방법, 다중 목적 프로그래밍, 주성분분석 등이 있음
- 주성분 분석 (Principal Components Analysis; PCA)은 변수들의 몇 가지 선형 조합을 통해 변수 집합의 분산 공분산 구조를 설명하는 것과 관련(Krishnakumar and Nagar, 2007)이 있으며 분석의 목적은 데이터 축소 및 해석에 있음
- Shannon 엔트로피 방법은 의사 결정 프로세스에서 데이터를 정확하게 측정하기 어렵거나 서로 다른 유형의 데이터를 평가에 적용함에 있어서 활용도가 높음
 - 본 연구에서는 Shannon and Weaver(1949)가 제시한 확률 이론의 관점에서 엔트로피 개념을 적용한 평가인자의 가중치를 산정함
 - Shannon 엔트로피 분석에서는 추정된 결합 확률 분포 P내의 모든 pi에 대해 다음 속성을 만족하는 측정값 H를 개발함

$$H_{shannon} = - \sum_i p_i \log (p_i)$$

- Shannon 엔트로피 분석 방법을 활용한 가중치 산정 방법은 다음과 같음

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_i x_{ij}}$$

- 항목별 엔트로피를 측정함, 여기서 $K = (\ln(m))^{-1}$ 임

$$e_j = - K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln (P_{ij})$$

- dicergence 산정

$$Div_j = 1 - e_j$$

- 가중치 산정

$$p_{ij} = \frac{Div_j}{\sum_j Div_j}$$

3) Hybrid methods

- 취약성평가의 신뢰성은 양질의 데이터와 중요 정도를 반영한 가중치를 부여하면 향상될 수 있음
- 주관적 가중치를 확보하는 과정에 전문가의 개인적 성향, 의견의 담합, 충분한 정보 인식 등의 문제점에 대하여 꾸준한 지적이 있음
- 그러나 적용하고자 하는 평가자료의 수집된 자료에 문제가 있을 경우, 가중치는 변수의 기본 데이터 품질에 영향을 받으므로 데이터 문제가 있거나 많은 양의 결측값이 있는 변수에 가중치를 조정하는 방법을 적용할 수 있음(Rowena et al. 2004)
- 본 연구에서는 주관적 가중치 산정 방법과 객관적 방법을 결합하여 각각의 방법이 가지는 단점을 해소하고자 함
 - 가중치 산정

$$w_i = a \times w_i^{AHP} + (1 - a)(b \times w_i^{PCA} + (1 - b) \times w_i^{Ent}), a = b = 0.5$$

| 평가요소 | 상위지표 | 하위지표 | 유형 | Weight shanonentropy | Rank | Weight AHP | Rank | Final | Rank | |
|-------|---------------|--|-------------------|----------------------|----------|------------|----------|----------|----------|---------|
| 건전성 | 토지이용 | 표준유역 별 자연 토지피복 | 토지 | 0.033353 | 8 | 0.200302 | 1 | 0.116827 | 2 | |
| | | 수변지역 자연토지피복 (산림, 자연초지, 강, 습지) | | 0.049356 | 5 | 0.122407 | 2 | 0.085881 | 4 | |
| | 하천 | 하천기준조건 (상지하천, 소하천, 지방하천, 도시하천, 국가하천) | 하천 | 0.208525 | 2 | 0.004710 | 17 | 0.106618 | 3 | |
| | | 중강수량, 총유출량 | | 0.021074 | 13 | 0.074075 | 5 | 0.047575 | 9 | |
| | 수문 | | 지표유출 | 하천 | 0.028767 | 12 | 0.064800 | 6 | 0.046784 | 10 |
| | | | 침투, 토양수분, 중간유출 | | 0.015355 | 15 | 0.055782 | 7 | 0.035569 | 12 |
| | | | 침투, 지하수 증진량, 기저유출 | | 0.033651 | 7 | 0.049985 | 9 | 0.041818 | 11 |
| | | | 저수지 저수량 | | | | | | | |
| | 수질 | (하천) SS, T-N, T-P의 기준농도 (저수지) TOC의 기준농도 | 하천 | 0.305107 | 1 | 0.038455 | 11 | 0.171781 | 1 | |
| | | | | | | | | | | 서식지 |
| 수생태 | TDI, BMI, FAI | 토지 | 0.031059 | 9 | 0.031285 | 12 | 0.031172 | 13 | | |
| | | | 0.019824 | 14 | 0.015818 | 14 | 0.017821 | 15 | | |
| 취약성 | 불투수층 변화 | 미래토지이용 변화 (2050년) | 토지 | 0.006614 | 16 | 0.022139 | 13 | 0.014377 | 17 | |
| | | 기온변화 | | 0.030031 | 10 | 0.004997 | 16 | 0.017514 | 16 | |
| | 기후변화 | 강수량변화 | 하천 | 0.043717 | 6 | 0.013613 | 15 | 0.028665 | 14 | |
| | | 무강우일수 | | 0.005690 | 17 | 0.096426 | 4 | 0.051058 | 8 | |
| | 물이용 변화 | 농업용수 수요량 변화 | 하천 | | | | | | | |
| | | 용수부족량 | | | | | | | | |
| | | 용수공급률 | | | | | | | | |
| | 최근 토지피복 변화 | 논+밭 면적 변화 | 토지 | 0.029748 | 11 | 0.110696 | 3 | 0.070222 | 5 | |
| 사회적요인 | | | | | | | | | | 물관리 공무원 |

[그림 2-40] 취약성 및 회복력 지수의 가중치 산정

나. 평가 자료의 표준화

1) 표준화 기법

- 선정된 인자에 대한 자료를 수집하면 각 자료는 정량적, 정성적인 다양한 형태와 규모로 구성되어 있음
- 이 데이터베이스를 평가에 적용하기 위해서는 자료의 형식을 파악하고 이들을 평가에 적용할 방안을 고안해야 함
- 즉, 서로 다른 단위와 성질을 가진 다양한 자료를 이용하여 수학적으로 결합하여 하나의 지표를 제시하는 복합지표(composite indicator) 방법에서는 적용되는 각 개별지표를 표준화(Normalization) 하는 과정이 필요함

- 이를 위하여 다양한 표준화 방법이 제시되고 있는데 Nardo et al.(2005)는 표 2-15과 같이 이를 정리하여 제시한 바 있음
- 이들 중에서 널리 사용되는 방법으로는 추출된 자료를 대상으로 Hybrid methods 가중치 산정과 같이 전체 자료범위 내에서 표준화하여 0~1의 값을 갖도록 만드는 Re-scaling 방법이 있음. 여기서 x_{qc}^t 는 t 시간 일 때 c 지역의 지표 q 임.

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_{qc}^{t_0})}{\max_c(x_{qc}^{t_0}) - \min_c(x_{qc}^{t_0})}$$

[표 2-18] Standardization methods

| Standardization method | Equation |
|---|---|
| Ranking | $I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$ |
| Z-score | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^t = \bar{c}}{\sigma_{qc}^t = \bar{c}}$ |
| Re-scaling | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min(x_q^{t_0})}{\max(x_q^{t_0}) - \min(x_q^{t_0})}$ |
| Distance to reference country | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc}^{t_0} = \bar{c}}$ or $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t_0} = \bar{c}}{x_{qc}^{t_0} = \bar{c}}$ |
| Logarithmic transformation | $I_{qc}^t = \ln(x_{qc}^t)$ |
| Categorical scale | If x_{qc}^t in the upper 5-th percentile then $y_{qc}^t = 100$ If x_{qc}^t in the upper 15-th percentile then $y_{qc}^t = 80$ If x_{qc}^t in the upper 35-th percentile then $y_{qc}^t = 60$... |
| Indicators above or below the mean | If $\frac{x_{qc}^t}{x_{qc}^{t_0} = \bar{c}} > (1 + p)$ then $I_{qc}^t = 1$ If $\frac{x_{qc}^t}{x_{qc}^{t_0} = \bar{c}} > (1 - p)$ then $I_{qc}^t = -1$ If $(1 - p) < \frac{x_{qc}^t}{x_{qc}^{t_0} = \bar{c}} < (1 + p)$ then $I_{qc}^t = 0$ |
| Cyclical indicators(OECD) | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t))}$ |
| Balance of opinion(EC) | $I_{qc}^t = \frac{100}{N_e} \sum_e^{N_e} sgn_e(x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1})$ |
| Percentage of annual differences over consecutive years | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t}$ |

2) 표준화 결과

- 선정된 인자는 다음의 표 2-19와 같음

[표 2-19] Assessment criteria

| 구분 | 인자 |
|-------|--------------------------------------|
| A1 | 표준유역 별 자연 토지피복 |
| A2 | 수변지역 자연토지피복 (산림, 자연초지, 강, 습지) |
| A3 | 하천기준조건 (산지하천, 소하천, 지방하천, 도시하천, 국가하천) |
| A4 | 총강수량, 총유출량 |
| A5 | 지표유출 |
| A6 | 침투, 토양수분, 중간유출 |
| A7 | 침투, 지하수 충전량, 기저유출 |
| A9 | (하천) SS, T-N, T-P의 기준농도 |
| A11 | 하천길이에 대한 저수지 개수 |
| A12 | 표준유역별 습지면적 |
| A13 | TDI, BMI, FAI |
| B2 | 기온변화 |
| B3 | 강수량변화 |
| B5 | 농업용수 수요량 변화 |
| B9 | 논+밭 면적 변화 |
| C1 | KRC 지사별 직원 (물관리요원) |
| B1_50 | 미래토지이용 변화 (2050년) |
| B1_80 | 미래토지이용 변화 (2050년-2080년) |

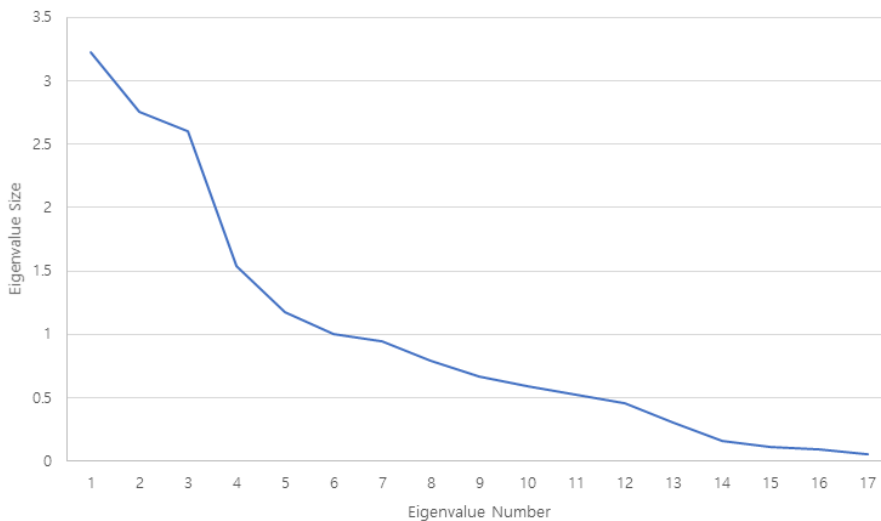
- 여기서, A1과 A2는 토지이용에 대한 평가 항목이며, A3는 하천에 대한 항목임. A4, A5, A6, A7은 수문 평가 항목이며, A9은 수질, A11, A12, A13은 서식지와 수생태에대한 항목임
- A로 구분된 항목은 건전성에 대한 평가 요소이고 B로 구성된 항목은 취약요소임
- B1의 경우, 미래 토지이용 변화항목으로 예측 시점에 따라 2050년대, 2080년대로 나누어 측정함. B2, B3는 기후변화, B5는 물이용 변화, B9는 토지 피복변화에 대한 항목임
- iance matrix를 표 2-20과 같이 구성함
- 산정된 Eigenvalue는 표 2-21과 같음

[표 2-20] Covariance matrix

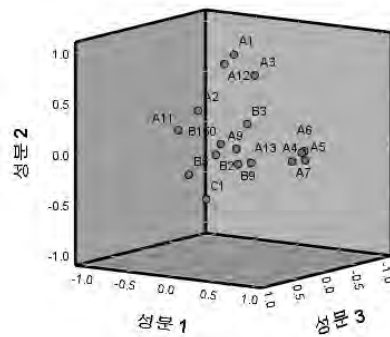
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A9 | A11 | A12 | A13 | B2 | B3 | B5 | B9 | C1 | B150 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A1 | 1.000 | .456 | .662 | .041 | -.027 | .101 | -.040 | -.001 | .224 | .798 | -.140 | -.047 | .189 | -.089 | -.107 | -.292 | -.018 |
| A2 | .456 | 1.000 | .187 | .120 | .078 | .092 | .028 | -.028 | .650 | .383 | -.168 | .278 | .149 | .367 | -.107 | .143 | -.011 |
| A3 | .662 | .187 | 1.000 | .208 | .087 | -.007 | .198 | -.149 | -.221 | .500 | -.291 | -.140 | .640 | -.081 | .090 | -.392 | -.050 |
| A4 | .041 | .120 | .208 | 1.000 | .895 | .490 | .478 | -.048 | -.090 | .035 | .080 | .187 | .239 | .086 | .069 | .012 | -.026 |
| A5 | -.027 | .078 | .087 | .895 | 1.000 | .657 | .515 | -.004 | -.044 | .037 | .081 | .291 | .111 | .085 | .036 | .077 | -.017 |
| A6 | .101 | .092 | -.007 | .490 | .657 | 1.000 | .575 | .063 | -.072 | .071 | .071 | .119 | -.056 | -.065 | -.056 | .072 | -.098 |
| A7 | -.040 | .028 | .198 | .478 | .515 | .575 | 1.000 | .014 | -.166 | -.058 | -.151 | .021 | .330 | -.021 | .282 | .065 | -.057 |
| A9 | -.001 | -.028 | -.149 | -.048 | -.004 | .063 | .014 | 1.000 | -.016 | -.024 | .088 | -.036 | -.092 | -.045 | -.017 | .017 | -.033 |
| A11 | .224 | .650 | -.221 | -.090 | -.044 | -.072 | -.166 | -.016 | 1.000 | .411 | -.018 | .447 | -.283 | .319 | -.194 | .281 | .038 |
| A12 | .798 | .383 | .500 | .035 | .037 | .071 | -.058 | -.024 | .411 | 1.000 | -.102 | .218 | .078 | -.022 | -.143 | -.136 | .079 |
| A13 | -.140 | -.168 | -.291 | .080 | .081 | .071 | -.151 | .088 | -.018 | -.102 | 1.000 | .118 | -.186 | -.133 | -.020 | .022 | .079 |
| B2 | -.047 | .278 | -.140 | .187 | .291 | .119 | .021 | -.036 | .447 | .218 | .118 | 1.000 | .058 | .314 | -.055 | .187 | .075 |
| B3 | .189 | .149 | .640 | .239 | .111 | -.056 | .330 | -.092 | -.283 | .078 | -.186 | .058 | 1.000 | .085 | .293 | -.249 | -.109 |
| B5 | -.089 | .367 | -.081 | .086 | .085 | -.065 | -.021 | -.045 | .319 | -.022 | -.133 | .314 | .085 | 1.000 | -.034 | .375 | -.010 |
| B9 | -.107 | -.107 | .090 | .069 | .036 | -.056 | .282 | -.017 | -.194 | -.143 | -.020 | -.055 | .293 | -.034 | 1.000 | -.088 | .071 |
| C1 | -.292 | .143 | -.392 | .012 | .077 | .072 | .065 | .017 | .281 | -.136 | .022 | .187 | -.249 | .375 | -.088 | 1.000 | .003 |
| B150 | -.018 | -.011 | -.050 | -.026 | -.017 | -.098 | -.057 | -.033 | .038 | .079 | .079 | .075 | -.109 | -.010 | .071 | .003 | 1.000 |

[표 2-21] Eigenvalues

| | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 | PC7 | PC8 | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Eigen values | 3.224 | 2.76 | 2.599 | 1.543 | 1.172 | 1.004 | 0.945 | 0.789 | |
| | PC9 | PC10 | PC11 | PC12 | PC13 | PC14 | PC15 | PC16 | PC17 |
| Eigen values | 0.666 | 0.588 | 0.527 | 0.455 | 0.304 | 0.16 | 0.111 | 0.096 | 0.058 |



[그림 2-41] Scree Graph



[그림 2-42] Factor plot in rotated factor space

3) Entropy 분석 기법을 적용한 발가품 취약요소 분석

- Shannon 엔트로피 분석 결과는 표 2-22과 같음
- 여기서 가장 큰 가중치를 나타내는 것은 A9 (하천) SS, T-N, T-P의 기준농도이며 A3 하천기준조건 (산지하천, 소하천, 지방하천, 도시하천, 국가하천), C1 KRC 지사별 직원 (물관리요원)의 군으로 가중치가 높게 나타남
- B5 농업용수 수요량 변화, B150 미래토지이용 변화 (2050년), A6 침투, 토양수분, 중간유출 항목의 순으로 가중치가 작게 측정되었음

[표 2-22] Entropy 분석 기반 평가요소 가중치 산정 결과

| 항목 | Entropy | Degree | Weight | Rank | |
|------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----|
| A1 | 표준유역 별 자연 토지피복 | 0.974901 | 0.025099 | 0.033353 | 8 |
| A2 | 수변지역 자연토지피복 (산림, 자연초지, 강, 습지) | 0.962859 | 0.037141 | 0.049356 | 5 |
| A3 | 하천기준조건 (산지하천, 소하천, 지방하천, 도시하천, 국가하천) | 0.843082 | 0.156918 | 0.208525 | 2 |
| A4 | 총강수량, 총유출량 | 0.984141 | 0.015859 | 0.021074 | 13 |
| A5 | 지표유출 | 0.978352 | 0.021648 | 0.028767 | 12 |
| A6 | 침투, 토양수분, 중간유출 | 0.988445 | 0.011555 | 0.015355 | 15 |
| A7 | 침투, 지하수 충전량, 기저유출 | 0.974677 | 0.025323 | 0.033651 | 7 |
| A9 | (하천) SS, T-N, T-P의 기준농도 | 0.770403 | 0.229597 | 0.305107 | 1 |
| A11 | 하천길이에 대한 저수지 개수 | 0.952121 | 0.047879 | 0.063625 | 4 |
| A12 | 표준유역별 습지면적 | 0.976628 | 0.023372 | 0.031059 | 9 |
| A13 | TDI, BMI, FAI | 0.985082 | 0.014918 | 0.019824 | 14 |
| B2 | 기온변화 | 0.977401 | 0.022599 | 0.030031 | 10 |
| B3 | 강수량변화 | 0.967102 | 0.032898 | 0.043717 | 6 |
| B5 | 농업용수 수요량 변화 | 0.995718 | 0.004282 | 0.00569 | 17 |
| B9 | 논+밭 면적 변화 | 0.977615 | 0.022385 | 0.029748 | 11 |
| C1 | KRC 지사별 직원 (물관리요원) | 0.943936 | 0.056064 | 0.074502 | 3 |
| B150 | 미래토지이용 변화 (2050년) | 0.995023 | 0.004977 | 0.006614 | 16 |

4) AHP 조사 결과 분석

- AHP 설문조사에는 가뭄 취약성과 농업분야의 전문가 8명이 참여하였으며 분석결과는 다음의 표와 같음

[표 2-23] AHP 설문조사 기반 평가요소 가중치 산정 결과

| 항목 | Weight_D | 그룹 | 그룹 가중치 | Weight | Rank |
|------|-----------|---------------|-----------|----------|------|
| A1 | 0.5026328 | 토지에 따른 건전성 | 0.3 | 0.15079 | 1 |
| A2 | 0.3071645 | 토지에 따른 건전성 | 0.3 | 0.092149 | 2 |
| A3 | 0.0118197 | 하천에 따른 건전성 | 0.3 | 0.003546 | 17 |
| A4 | 0.1858827 | 하천에 따른 건전성 | 0.3 | 0.055765 | 5 |
| A5 | 0.162607 | 하천에 따른 건전성 | 0.3 | 0.048782 | 6 |
| A6 | 0.1399778 | 하천에 따른 건전성 | 0.3 | 0.041993 | 7 |
| A7 | 0.1254304 | 하천에 따른 건전성 | 0.3 | 0.037629 | 9 |
| A9 | 0.0964974 | 하천에 따른 건전성 | 0.3 | 0.028949 | 11 |
| A11 | 0.1116962 | 토지에 따른 건전성 | 0.3 | 0.033509 | 10 |
| A12 | 0.0785065 | 토지에 따른 건전성 | 0.3 | 0.023552 | 12 |
| A13 | 0.0396935 | 하천에 따른 건전성 | 0.3 | 0.011908 | 14 |
| B2 | 0.012539 | 하천에 따른 취약성 | 0.3 | 0.003762 | 16 |
| B3 | 0.0341602 | 하천에 따른 취약성 | 0.3 | 0.010248 | 15 |
| B5 | 0.2419683 | 하천에 따른 취약성 | 0.3 | 0.07259 | 4 |
| B9 | 0.8333333 | 토지에 따른 취약성 | 0.1 | 0.083333 | 3 |
| C1 | - | - | - | 0.037641 | 8 |
| B150 | 0.1666667 | 토지에 따른 취약성 | 0.1 | 0.016667 | 13 |

5) Hybrid 가중치 산정

- 가중치 산정 기법별 분석결과는 다음의 표와 같음
- WE는 엔트로피 기법으로 산정한 가중치, Rank WE는 엔트로피 기법 가중치의 순위
- WP는 PCA 기법으로 산정한 가중치, Rank WP는 PCA 기법 가중치의 순위
- WA는 AHP 기법으로 산정한 가중치, Rank WA는 AHP 기법 가중치의 순위
- WH는 Hybrid 기법으로 산정한 가중치, Rank WP는 Hybrid 기법 가중치의 순위
- 밭 가뭄 취약성 평가는 Hybrid 기법 가중치를 적용함

[표 2-24] 가중치 산정 결과

| | | WE | Rank WE | WP | Rank WP | WA | Rank WA | WH | Rank WH |
|-------|--------------------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| A1 | 표준유역 별 자연 토지피복 | 0.0334 | 8 | 0.0548 | 13 | 0.2003 | 1 | 0.1222 | 1 |
| A2 | 수변지역 자연토지피복 (산림, 자연초지, 강, 습지) | 0.0494 | 5 | 0.0688 | 5 | 0.1224 | 2 | 0.0907 | 3 |
| A3 | 하천기준조건 (산지하천, 소하천, 지방하천, 도시하천, 국가하천) | 0.2085 | 2 | 0.0798 | 1 | 0.0047 | 17 | 0.0744 | 4 |
| A4 | 총강수량, 총유출량 | 0.0211 | 13 | 0.0694 | 3 | 0.0741 | 5 | 0.0597 | 8 |
| A5 | 지표유출 | 0.0288 | 12 | 0.0690 | 4 | 0.0648 | 6 | 0.0568 | 10 |
| A6 | 침투, 토양수분, 중간유출 | 0.0154 | 15 | 0.0680 | 6 | 0.0558 | 7 | 0.0487 | 12 |
| A7 | 침투, 지하수 충전량, 기저유출 | 0.0337 | 7 | 0.0667 | 7 | 0.0500 | 9 | 0.0501 | 11 |
| A9 | (하천) SS, T-N, T-P의 기준농도 | 0.3051 | 1 | 0.0211 | 17 | 0.0385 | 11 | 0.1008 | 2 |
| A11 | 하천길이에 대한 저수지 개수 | 0.0636 | 4 | 0.0766 | 2 | 0.0445 | 10 | 0.0573 | 9 |
| A12 | 표준유역별 습지면적 | 0.0311 | 9 | 0.0636 | 9 | 0.0313 | 12 | 0.0393 | 13 |
| A13 | TDI, BMI, FAI | 0.0198 | 14 | 0.0465 | 14 | 0.0158 | 14 | 0.0245 | 16 |
| B2 | 기온변화 | 0.0300 | 10 | 0.0591 | 10 | 0.0050 | 16 | 0.0248 | 15 |
| B3 | 강수량변화 | 0.0437 | 6 | 0.0559 | 12 | 0.0136 | 15 | 0.0317 | 14 |
| B5 | 농업용수 수요량 변화 | 0.0057 | 17 | 0.0579 | 11 | 0.0964 | 4 | 0.0641 | 6 |
| B9 | 논+밭 면적 변화 | 0.0297 | 11 | 0.0427 | 15 | 0.1107 | 3 | 0.0735 | 5 |
| C1 | KRC 지사별 직원 (물관리요원) | 0.0745 | 3 | 0.0666 | 8 | 0.0500 | 8 | 0.0603 | 7 |
| B1_50 | 미래토지이용 변화 (2050년) | 0.0066 | 16 | 0.0336 | 16 | 0.0221 | 13 | 0.0211 | 17 |

2. 취약지구 도출 및 회복성 평가

가. 가중치 산정 기법별 발가품 취약성 평가결과

1) 가품 취약성 평가 기법 수립

- 각 인자의 평가는 자료를 수집하여 표준화한 인자의 값과 가중치를 이용하여 결정할 수 있음
- 일반적으로 사용되는 가중합계법(Weighted Sum Method, WSM)은 인자별로 표준화한 자료에 가중치를 적용하여 합산하는 방법임. 그러나 가중합계법은 산술적인 수치의 합계만을 이용하여 평가 결과를 제시하므로 최적의 합의안을 결정하는 데 합리적이지 않다는 관점이 있음
- 따라서 최근에는 MCDM 기법 중의 하나로서 Hwang and Yoon(1981)에 의해 제안된 TOPSIS 방법이 널리 사용되고 있음
- TOPSIS는 양의 이상적인 해(PIS: Positive Ideal Solution)로부터 가장 가까운 거리에 있고 부의 이상적인 해(NIS: Negative Ideal Solution)로부터 가장 먼 거리에 있는 대안을 우선적으로 선정하게 하는 개념으로 최선의 대안과 최악의 대안을 동시에 고려하여 인간의 합리적 선택이 가능하도록 유도하는 기법(Lai et al., 1994; Chu, 2002; Jun et al., 2011)
- 즉, 거리척도를 이용하여 평가순위를 제시하는 방법이며 또한 다속성 관점에서 모든 대안들에 대한 평가결과를 쉽게 계산해서 나타낼 수 있음(Kim et al., 1997; Shih et al., 2007; Lee and Chung, 2007; Chung and Lee, 2009a)
- 본 연구에서 양의 이상적인해는 가장 취약한 지역이며 부의 이상적인 해는 그 취약의 정도가 가장 낮은 지역임. TOPSIS 기법의 평가절차는 다음과 같다. 표준화된 평가자료에 다음과 같이 가중치(w_j)를 반영함

$$v_{ij} = w_j n_{ij}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n$$

- 각 평가단위별로 산정한 평가값으로부터 PIS(A^+)와 NIS(A^-)를 다음의 식을 적용하여 산정함

$$A^+ = \widetilde{v}_1^+, \widetilde{v}_2^+, \dots, \widetilde{v}_n^+$$

$$A^- = \widetilde{v}_1^-, \widetilde{v}_2^-, \dots, \widetilde{v}_n^-$$

- 여기서 $\widetilde{v}_j^+ = \max(v_{ij})$, $\widetilde{v}_j^- = \min(v_{ij})$ 임
- 이상해인 PIS, NIS와 각 평가단위와의 거리는 다음의 식으로부터 산정

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m$$

- 근접도 계수 C^+ 는 다음의 Eq. (14)으로부터 산정한다. 순위(Rank)는 산정한 C^+ 로부터 결정

$$C^+ = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-), \quad i = 1, \dots, m$$

- VIKOR 방법은 복잡한 시스템의 다기준 최적화를 위하여 개발됨. VIKOR 기법에서는 우선순위를 도출하기 위해 이상해를 설정하고 이에 대한 근접도(closeness) 즉, 거리를 산정함
- 또한 이 방법은 각 의사결정자의 의견을 적극적으로 반영하는 기법으로 대부분의 의사결정기법이 참여하는 대다수가 지지하는 의견에만 관심을 두는 것과는 달리 다수의 의견으로부터 도출되는 결과와 개별적인 의견들을 절충하는 접근법임
- 이와 같은 VIKOR은 널리 적용되고 있는데 적지선정 문제(Tzeng, 2002a), 환경문제(Tzeng et al., 2002b)와 공공 환경 개선 전략을 위한 다기준 환경 자료포락분석(Tzeng and Opricovic, 2002)에 이 기법을 적용한 바 있음
- 본 연구에서는 VIKOR 방법을 그룹의사결정 기법에 적용하여 각 의사결정 그룹의 대안에 대한 평가순위에 대한 평가를 통하여 최종적인 대안의 우선순위를 도출하는 기법을 제시함
- VIKOR 평가기법에서는 절충된 순위를 도출하기 위하여 절충 프로그래밍 방법(compromise programming method)의 집계함수 Lp-metric를 적용함(Yu, 1973; Zeleny, 1982; Opricovic, 2004; Huang et al., 2009)
- 대안이 a_1, a_2, \dots, a_j 라면 a_j 의 경우, i 번 측면의 평가를 f_{ij} 로 나타낸다. 즉, f_{ij} 은 대안 a_j 에 대한 i 인자의 값이다. VIKOR 기법의 “levels of regret“은 다음과 같이 정의 할 수 있음. 여기서 n 은 인자의 수임

$$L_{p,j} = \left\{ \sum_{i=1}^n [w_i (f_i^* - f_{ji}) / (f_i^* - f_i^2)]^p \right\}^{1/p}, \quad 1 \leq p \leq \infty, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

- VIKOR 기법의 평가과정은 다음과 같다. 먼저, 모든 인자에 대하여 다음의 식과 같이 이상해(f_i^*)와 부이상해(f_i^-)를 결정한다. 이때 $i = 1, 2, \dots, n$

$$f_i^* = \max_j f_{ji}$$

$$f_i^- = \min_j f_{ji}$$

- S_j (the mean the maximum group utility)와 R_j (the minimum individual regret of the opponent)를 다음의 식으로 산정

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)$$

$$R_j = \max_i [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)]$$

- 여기서 w_i 는 인자 i 의 가중치로서 해당인자의 상대적 중요성을 나타냄
- $Q_j, j=1,2,\dots,J$ 는 다음의 식으로부터 산정할 수 있음

$$Q_j = v(S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1-v)(R_j - R^*) / (R^- - R^*)$$

- 여기서 $S^* = \min_j S_j, S^- = \max_j S_j, R^* = \min_j R_j, R^- = \max_j R_j$ 이며 v 는 S_j 항과 R_j 항에 대한 전략적 가중치이다. 산정한 S, R, Q 에 대하여 순위를 도출할 수 있음.

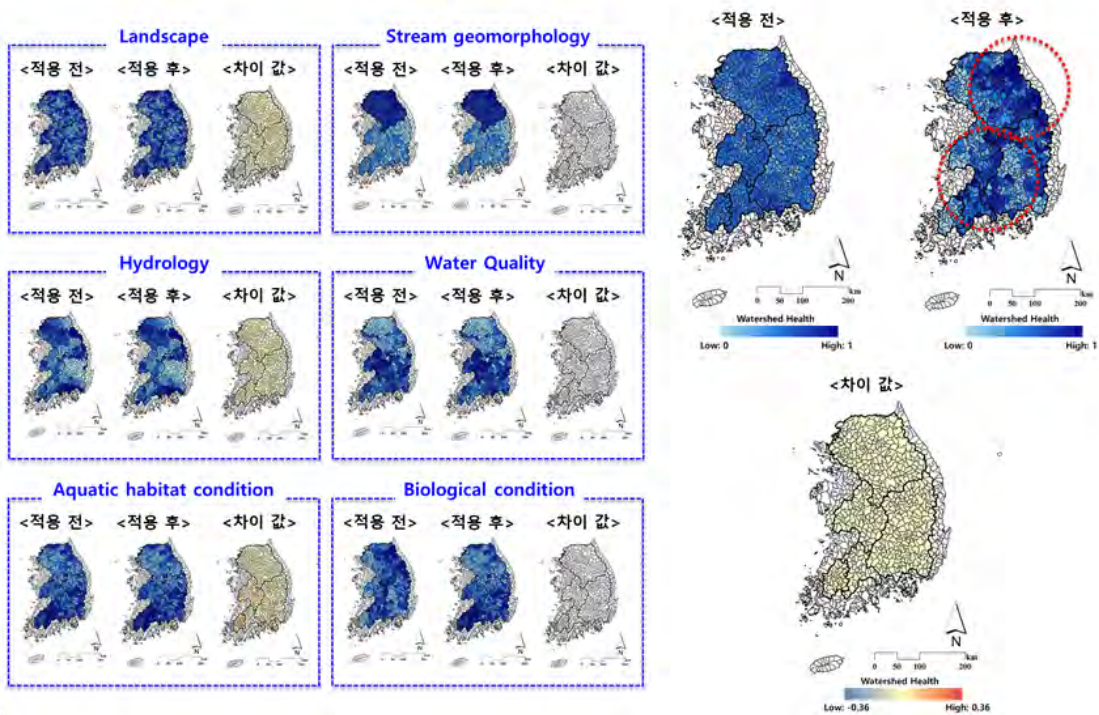
2) 가뭄 취약성 평가결과

- 밭 가뭄취약성을 평가하기 위하여 수립한 접근법은 밭의 특성을 고려한 평가인자를 구성하고 가중치를 활용하여 중요정도를 조정하는 방법으로서 가뭄에 대한 밭 관리 대응방안 수립에 활용이 가능함
- 특히 중요정도를 반영하는 가중치산정을 위한 다양한 기법으로 주관적 가중치 산정기법인 AHP, 객관적 가중치 산정기법인 Entropy, PCA 기법을 적용하고 이들 가중치 산정기법의 단점을 보완하기 위하여 두 가지 방법을 결합한 Hybrid 가중치 산정기법을 수립하고 적용함
- 평가 결과는 가중치 산정기법에 따라 차이가 발생하였으며 특히 Entropy 가중치의 경우, 다른 방법에 비하여 차이가 많이 나타났으며 이 같은 차이는 Entropy 가중치 산정기법상 정보의 변화량이 많은 평가인자에 과도한 가중치가 반영된 결과로 판단됨

- 본 연구에서 제시한 밭 가뭄과 연관되는 지표를 적용하여 가뭄취약성을 평가하는 방안은 각 지역에 내재된 농지 가뭄취약정도를 파악하여 사전에 대응하기 위한 정책 수립 등에 기여할 수 있음

나. 농업용수 건전성 지수의 가중치 적용 전·후 비교

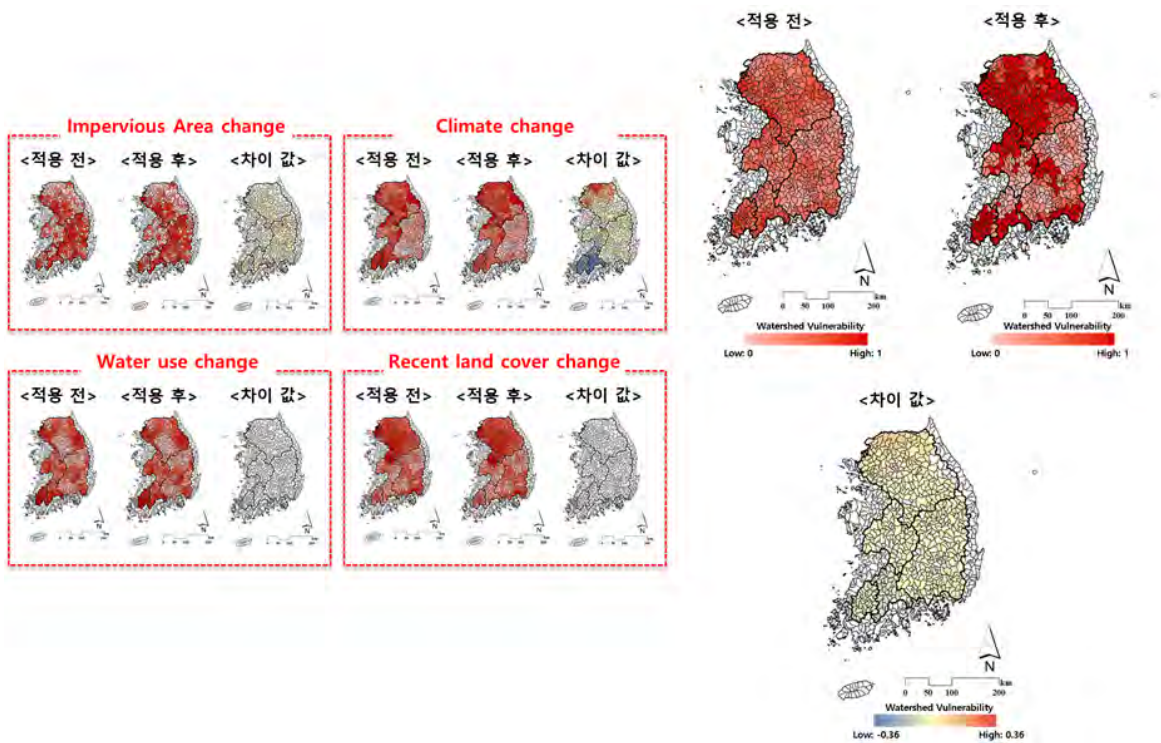
- AHP(Analytic Hierarchy Process, 계층화 분석 과정) 기법과 Shannon 엔트로피 방법을 이용하여 각각 가중치를 산정 후 평균값을 적용
- 주요 5대강(한강, 금강, 섬진강, 영산강, 낙동강)을 대상으로 가중치 적용
- 가중치의 적용 전·후 비교를 위한 차이 값 산정 (적용 전-적용 후)
- 가중치 비중이 작은 곳은 빨간색, 높은 가중치가 적용된 부분은 파란색으로 분포됨
 - 토지이용, 수문, 서식지 평가항목에서 가중치 적용 전·후 차이가 분석됨
 - 토지이용 평가항목의 ‘표준유역별 자연 토지피복’ 지수는 평균 가중치 0.117로 높게 선정됨
 - 수문 평가항목의 ‘총 강우량, 총 유출량’ 지수는 가중치 비중이 평균 0.048로 가장 높았으며 수문 평가항목에 큰 영향을 주는 것으로 분석됨
 - 서식지 평가항목의 ‘하천길이에 대한 저수지 개수’ 지수는 평균 가중치가 0.054로 높은 비중을 차지함
 - 금강, 영산강, 낙동강 유역에 대한 서식지 평가항목은 가중치 비중이 작은 것으로 분석됨



[그림 2-43] 농업용수 건전성 지수의 가중치 적용

다. 발관개용수 취약성 지수의 가중치 적용 전·후 비교

- 건전성에서 적용한 가중치의 적용 전·후 비교 방법을 동일하게 적용함
 - 불투수층변화와 기후변화 평가항목에서 가중치 적용 전후 차이가 크게 나타남
 - 낙동강, 섬진강의 일부 유역에서 불투수층변화에 대한 가중치 비중이 작은 것으로 분석됨
 - 불투수층변화 평가항목은 ‘2050년 미래토지이용 변화’ 지수의 평균 가중치가 0.014로 산정되었으며 불투수층변화 평가항목에 큰 영향을 주는거승로 나타남
 - 기후변화 평가항목은 영산강과 섬진강 유역에서 가중치 비중이 큰 것으로 분석됨
 - 기후변화 평가항목은 ‘강수량 변화’ 지수에 영향을 받으며 평균 가중치가 0.03로 산정됨
 - 반면, 한강 유역은 기후변화에 적용된 가중치 비중이 작은 것으로 나타남
 - 금강 유역은 상류에 가중치 비중이 크게 나타났으며, 하류에는 비중이 작은 것으로 분석됨
 - 평균적으로 한강 유역에 적용된 가중치 비중이 작은 것으로 분석됨



[그림 2-44] 발관개용수 취약성 지수의 가중치 적용

제 3 절 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시

1. 발관개용수의 취약성 및 회복성 평가기술의 고도화 및 가이드라인 작성

가. 서론

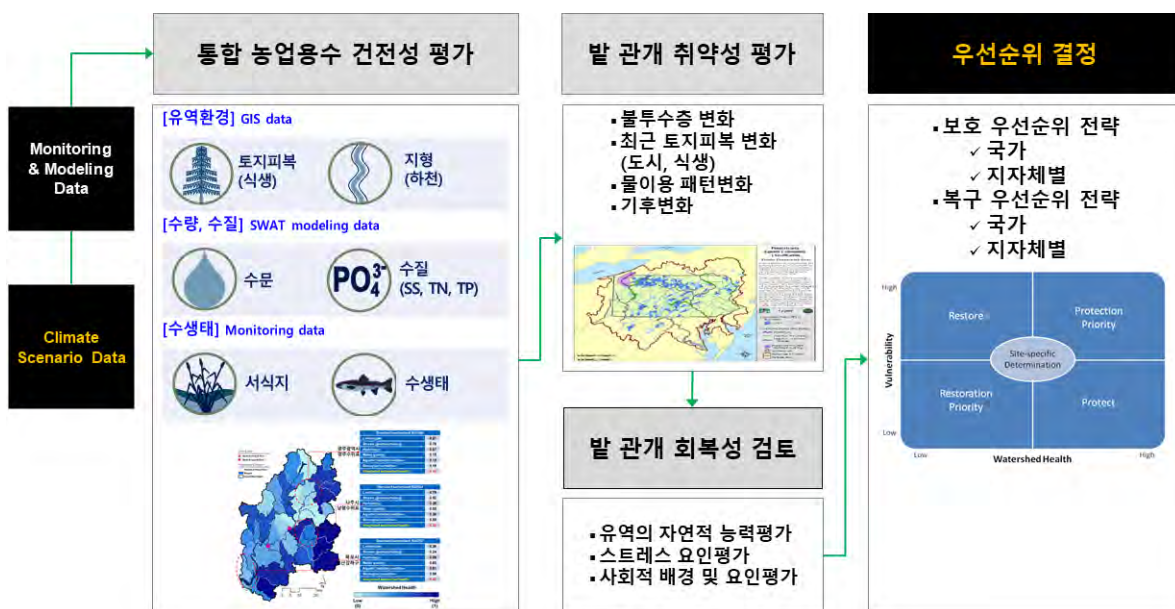
- 기후변화는 영농환경의 변화를 가져와 안전한 영농을 위협하고 있으며, 농업용수와 농업기반시설의 적정규모 및 이용방법에 영향을 미치고 있음
 - 최근 기후변화로 인한 물 부족이 발생하고 가뭄이 장기화되어 농작물 피해가 빈번히 발생함에 따라 기후변화에 대응한 농업용수의 안정적인 공급 대책에 대한 요구가 증가하고 있음
 - 농업기반시설은 작물 필요수량을 강우만으로는 보충할 수 없기 때문에 추가수량을 인위적으로 공급하기 위한 시설로서 강우가 시설규모 결정의 기준이기 때문에 기후변화에 가장 민감한 시설임
- 기후변화 영향은 수자원, 산림, 농업 등 여러 분야에서 전망되고 있는데, 특히 강우패턴의 변화에 대한 영향이 가장 크게 나타남
- 강우패턴변화는 강우의 공간적 이동뿐만 아니라 강우강도 및 강우기간의 이동을 의미하며, 강우의 이동영향은 기존에 설치된 농업생산기반시설의 효율적인 운영과 이용에 영향을 미치고 있음
 - 강우의 시간적 이동에 따른 영향으로는 농업용 저수지 수질 영향이 있음
 - 강우의 공간적 이동에 따른 영향으로는 용수부족 현상이 발생함
 - 강우강도의 이동에 따른 집중호우로 인한 재해지역 발생
 - 증발산량 증가에 따른 농업용수 수요량 증가
- 결과적으로 기후변화로 인한 강수패턴의 변화로 물순환 체계가 파괴되고 땅 속으로 스며드는 빗물량이 감소하여 농업용수 공급에 문제가 되고 있음
 - 식생 및 토지이용의 변화와 같은 유역환경의 변화에 따라 유역의 수질 및 생태환경이 위협 받고 있어 평가기술 개발을 통해 기후변화 적응을 위한 대책마련이 필요한 실정임
- 최종적으로 농업용수 공급 및 회복력 평가를 위해서는 유역 내 수량에 따른 수질 및 유역환경에 미치는 영향을 평가하고 건전성을 확보하기 위한 인위적 변화 요인을 동시에 고려할 수 있는 통합적인 물관리 기술개발이 필요함
 - 수량, 수질 및 유역환경을 고려하여 건전한 유역으로 관리하기 위해서는 유역이 제공하는 수자원의 함양능력(지표 및 지하수)을 평가하는 기술이 필요함
 - 지표수-지하수 상호관계를 잘 유지할 수 있고 동시에 수량 및 수질 문제를 극복하기 위한 기후변화 적응 유역건전성 및 취약성 평가 기술 개발이 필요함
- 본 연구에서 적용한 발관개용수 취약성 및 회복력 평가절차는 미국 환경보호청(EPA, U.S. Environmental Protection Agency)에서 제시하고 있는 평가절차를 적용하였으며, 기후변화 적응을 위한 농업유역의 수량(증발산, 하천유출량, 지하수, 댐 및 저수지 등)과 수질(T-N, T-P, SS)뿐만 아

나라 유역환경(식생, 어류 및 토지이용 등)을 종합적으로 고려하여 농업유역에 대한 전반적인 건전성, 취약성 및 회복력 평가를 수행할 수 있음

- 농업유역 건전성을 평가하기 위해 6개 요소(자연토지피복, 하천지형, 수문, 수질, 수생태, 서식지)에 대해 국가에서 제공하는 모니터링 자료, GIS 자료 및 SWAT 유역 모델 결과자료를 이용하여 유역건전성 지수를 산정함
- 특히 SWAT 모형은 다목적 댐, 발전용 댐, 다기능 보를 고려한 신뢰성 있는 유역의 수문, 수질 모의 및 기후변화 영향평가를 위하여 활용됨
- 유역의 인위적인 취약성 평가는 수자원장기종합계획(2016)에서 제시한 물이용변화, 최근토지이용변화 자료와 기후변화 시나리오에 따른 기후변화, 미래불투수면적 변화자료를 활용하여 지수를 산정하였음
- 사회적 요인으로는 수자원 관련 공무원 수 통계 자료를 활용하여 평가지수를 산정하였음

나. 발관개용수 취약성 및 회복력 평가절차

- 발관개용수 취약성 및 회복력 평가는 농업용수의 건전성 평가와 발관개 취약성 평가, 발관개 회복성 검토를 통해 발관개용수 회복을 위한 우선순위 결정을 수행하도록 평가절차를 개발함
 - 발관개취약성 평가는 보호·복구 우선순위를 평가하기 위해 필수적인 요소로 평가 방법은 기후변화 대비 수자원적용기술 개발연구단(2020)의 수자원 취약성 평가결과를 발관개 취약성에 맞게 수정 및 변경하여 적용하였음
 - 발관개 회복성 검토는 유역의 보호·복구 우선순위를 평가하기 위해 필수적인 요소로 평가방법은 사회·경제적 평가항목을 설정하여 발관개 회복을 위한 인적, 물적 지원을 위주로 검토하였음
 - 사회적 요인의 공무원 수는 발관개 관리 시 결정권자의 유무를 판단하기 위한 지표로 구조적/비구조적인 유역관리 여부를 판단할 수 있는 지표를 의미함



[그림 2-45] 발 관개 취약성 및 회복력 평가 절차

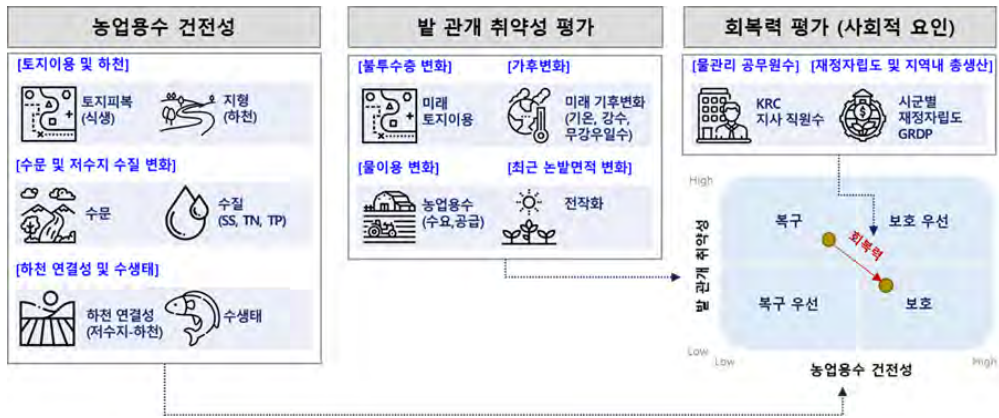
- **유역환경은 토지피복/식생, 하천에 대한 요소를 포함하고 있으며, 이는 GIS Data 형식으로 구성**
 - 수문/수질은 총강수량, 총유출량, 지표유출, 중간유출, 기저유출과 부유사, 총질소, 총인에 대한 요소를 포함하고 있으며, 이는 모니터링 자료를 활용한 SWAT 모형의 장기모의 결과 및 관측자료로 구성되어 있음
 - 서식지/수생태는 하천길이에 대한 저수지 개수, 표준유역별 습지면적, TDI(부착돌말류), BMI(저서대형무척추동물), FAI(어류)에 대한 요소이며, 이는 모니터링 데이터를 활용하였고 선정된 평가요소들에 대하여 유역건전성 지수를 도출하는 과정은 다음 식과 같음
 - 지수의 범위는 0에서 1사이이며, 1에 가까울수록 취약한 유역을 의미함

$$\text{Normalized component value} = \frac{\text{Observed or ~ ulated value for watershed } x}{\text{Reference value for all watersheds}}$$

$$\text{Sub-index} = \frac{(\text{Normlaized value } 1 + \text{Nomalized value } 2 + \dots + \text{Normalized value } x)}{\text{Total number of normalized values}}$$

$$\text{Watershed soundness index} = \frac{(\text{Sub-index } 1 + \text{Sub-index } 2 + \dots + \text{Sub-index } x)}{\text{Total number of sub-indices}}$$

- **선정한 지표들에 대한 점수를 통합 시 3차원 “버블 플로팅”(그림 2-19)을 사용할 수 있음**
 - X 축과 Y 축은 스트레스 요인과 생태학적 점수를 나타내며 그래프상의 각 유역 버블의 위치를 결정함
 - 버블 플로팅에서 회복성 지수는 버블의 크기를 결정하며 버블의 크기가 클수록 점수가 높음 버블 플롯의 왼쪽 위 사분면에 속하는 유역(Zone A)은 생태 요약 점수가 높고 스트레스 요인 요약 점수가 낮으며 처음에는 높은 회복 잠재력이 있다고 가정함
 - 즉, Zone A는 농업용수 공급에 차질이 없는 유역으로 가정함
 - Zone B는 유역의 농업용수 공급 건전성 및 취약성 지수가 동시에 높은 유역으로 인위적인 인간활동에 대한 보호 대책이 필요한 것으로 가정함
 - Zone C는 용수공급 건전성이 낮고 취약성이 높은 유역으로 자연적인 요인보다 인위적인 요인에 의한 용수공급 취약성이 높은 것으로 가정함
 - Zone D는 농업용수 공급 건전성 및 취약 모두 낮은 유역으로 구조적인 대안을 이용하여 원활한 용수공급 시설물 관리 및 복구를 우선순위로 필요한 유형

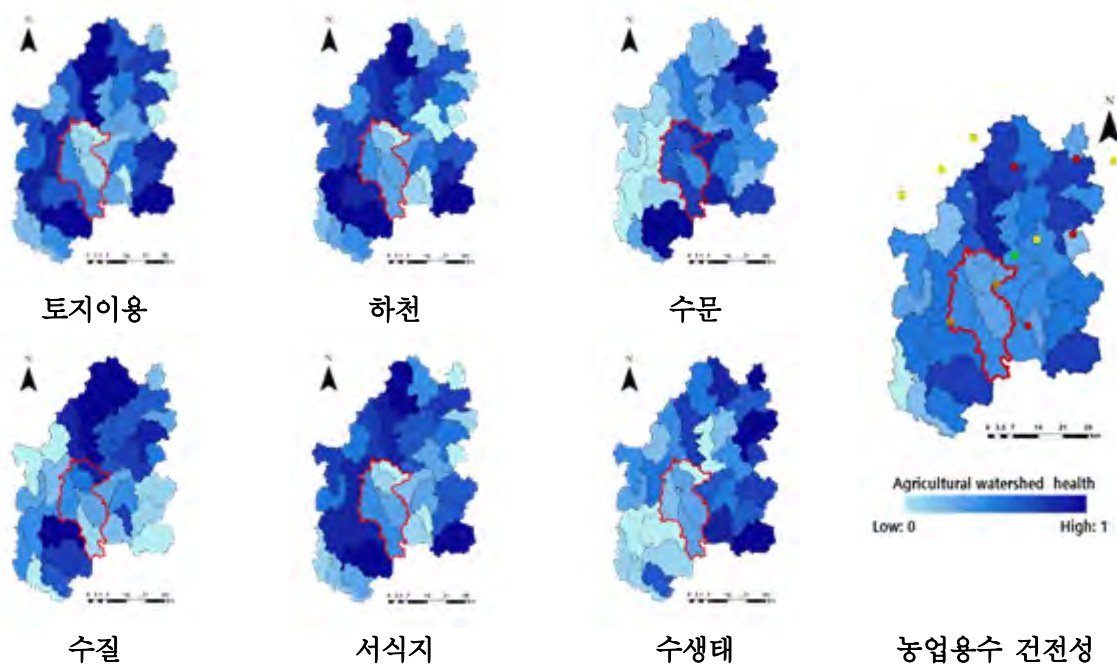


[그림 2-46] 농업용수의 회복력 평가 및 보호·복구 우선순위 결정

다. 결론

○ 영산강 유역의 건전성 평가결과

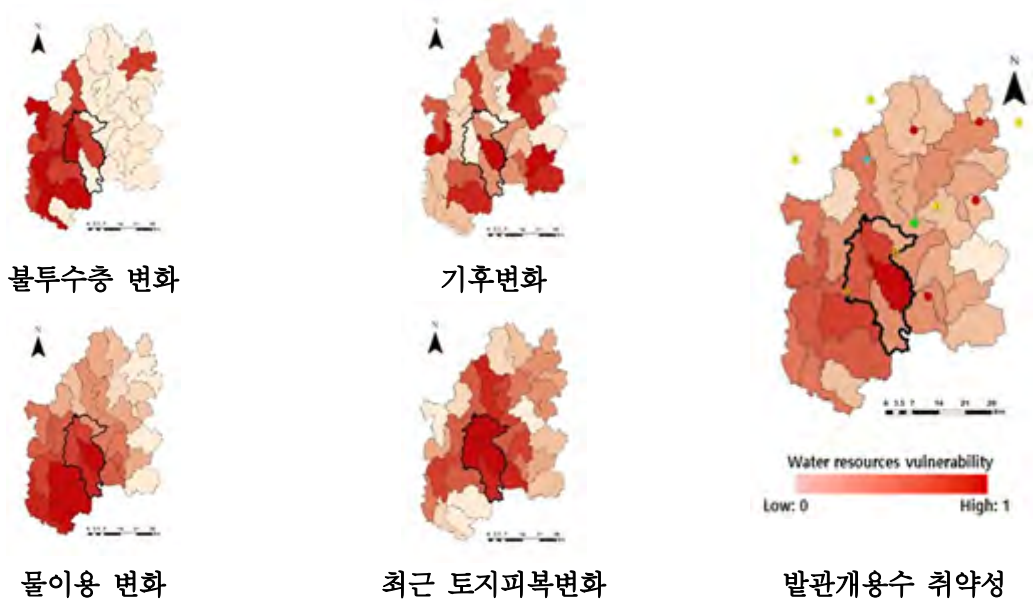
- 6가지의 Sub-index를 공간적인 패턴 분석결과 자연적 요인에 의한 유역 건전성은 영산강 상류 광주광역시 광주천에서 가장 안 좋아지는 것으로 나타남
- 표준단위유역으로 살펴보면, 광주광역시 광주수위표 유역은 수문과 하천 Sub-index가 각각 0.97, 0.76로 가장 높은 평가요소로 분석되었으며, 가장 낮게 분석된 Sub-index는 수질과 서식지가 각각 0.15, 0.12로 분석되었음
- 최종적으로 광주광역시 광주수위표 유역은 6개의 Sub-index를 통합한 유역 건전성 지수가 0.15로 분석되었으며, 가장 건전성이 낮은 것으로 분석되었음
- 반면, 목포시 영산강하구 유역은 수문 및 수생태 Sub-index가 각각 0.09, 0.09로 가장 낮은 평가요소로 분석되었으며, 이를 통합한 유역 건전성 지수는 0.42로 가장 건강한 유역으로 분석되었음



[그림 2-47] 영산강 유역의 자연적 요인에 의한 농업용수 건전성 평가결과

○ 영산강 유역의 취약성 평가결과

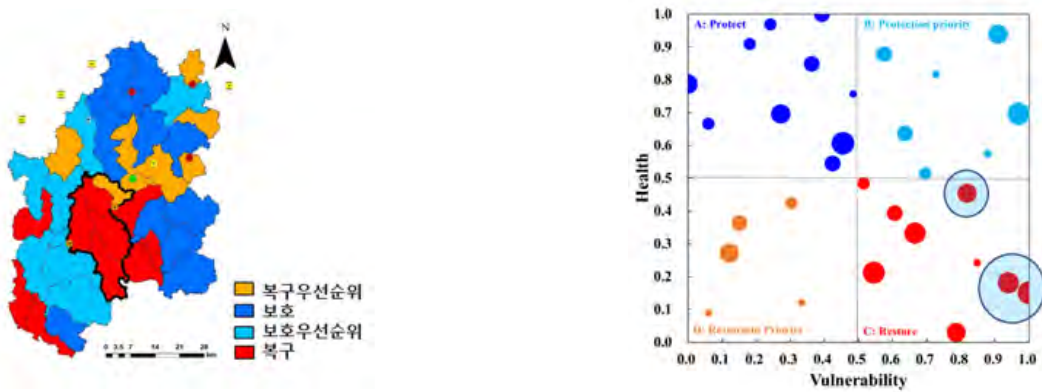
- 발 용수 취약성 종합평가결과는 기후변화 지수에 대한 평가 결과와 가장 유사한 패턴을 나타내고 있음. 특히 유역의 하류에 위치한 목포시 인근 유역에서 기후변화에 대한 취약성이 크게 나타났으며, 유역의 하류로 갈수록 취약성이 크게 증가하는 것으로 분석되었음.



[그림 2-48] 영산강 유역의 인위적 요인에 의한 발관개용수 취약성 평가

○ 발관개용수 보호·복구 우선순위 평가결과

- 복구 우선순위의 경우 유역 건전성 평가와 취약성 평가의 결과를 각각 x, y축으로 도시하여 4개의 Zone (Protect, Protect priority, Restore, Restoration priority)로 구분하였음
- 영산강 유역의 발관개용수 회복력은 지류하천에서 비교적 높은 회복력을 나타내고 있으며, 본류에서는 상류에서 하류로 갈수록 회복력이 높아지는 양상을 나타내고 있음



[그림 2-49] 영산강 유역의 발관개용수 보호·복구 우선순위 평가

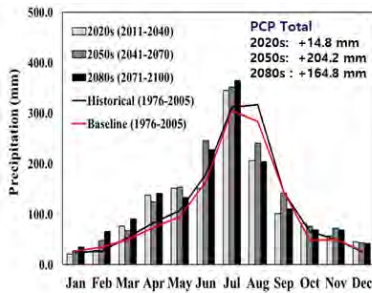
- 최종적으로 본 연구의 평가기술은 농업용수 건전성 및 발관개용수 취약성 지수 등을 활용해 전반적인 농업유역 관리에 중요한 인자를 식별하고 보호·복구 우선순위를 도출할 수 있으며, 기후변화에 따른 농업용수 취약유역 선별과 농업용수 회복을 위한 대응전략에 활용될 것으로 판단됨

2. 미래 기후변화 시나리오에 따른 농어촌 유역별 미래 발판개용수 공급 취약성 평가 실시

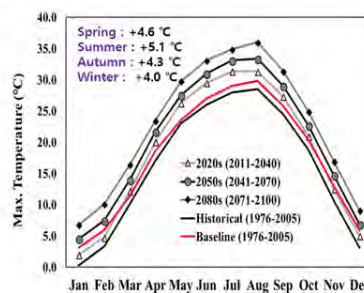
가. 미래 기후변화 시나리오 구축

1) 국가표준시나리오(HadGEM3-RA)

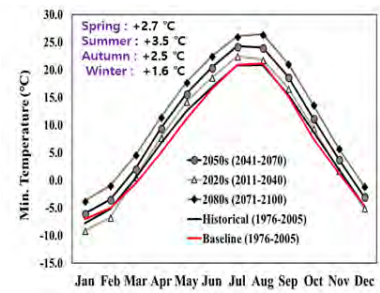
- RCP 시나리오는 온실가스 농도 변화 경향을 반영하였으며 4가지 온실가스 농도(2.6, 4.5, 6.0, 8.5)를 사용하였음
- RCP 4.5
 - 온실가스, 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
- RCP 8.5
 - 현재 추세(저감 없이)로 온실가스가 배출되는 경우
- 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 HadGEM3-RA 기후모델 자료를 이용한 RCP 4.5, 8.5 시나리오를 구축하였음
 - HadGEM3-RA의 경우 여름과 가을철 강수량 감소, 겨울철과 봄철에 강수량 증가하는 패턴이 나타남



(a) 강수량



(b) 최고기온



(c) 최저기온

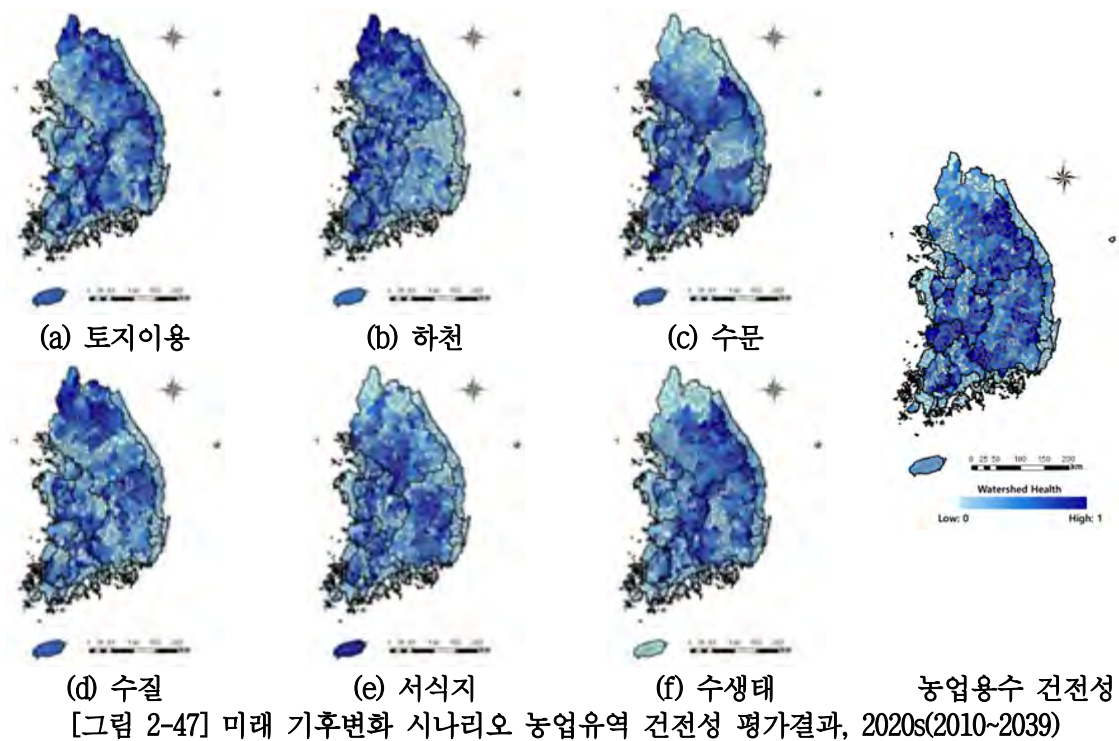
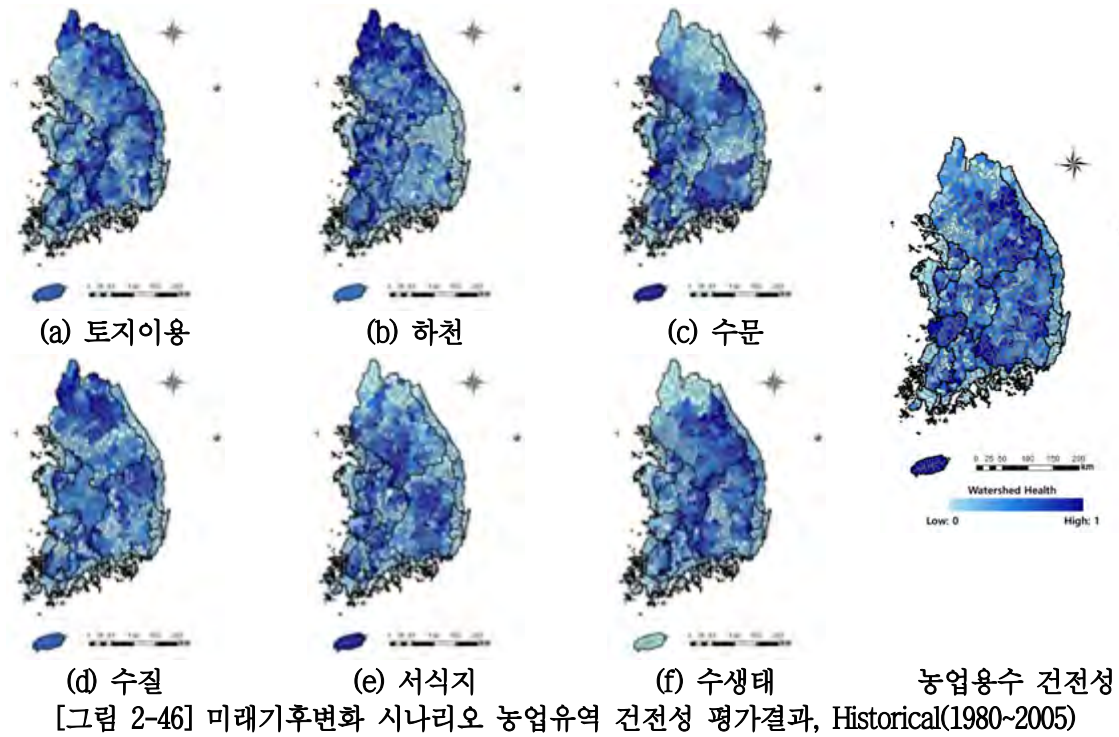
[그림 2-45] 국가표준시나리오(HadGEM3-RA)

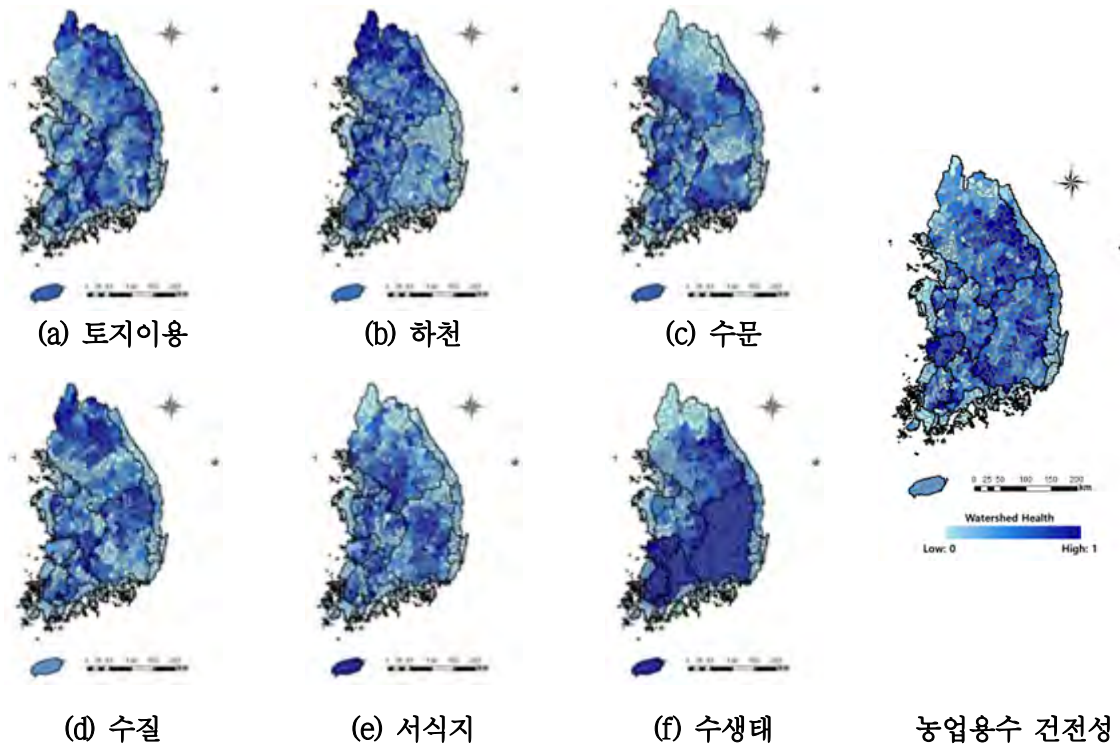
나. 미래 기후변화 시나리오를 적용한 건전성 및 취약성 평가

1) 자연적 요인에 의한 농업용수 건전성 평가결과

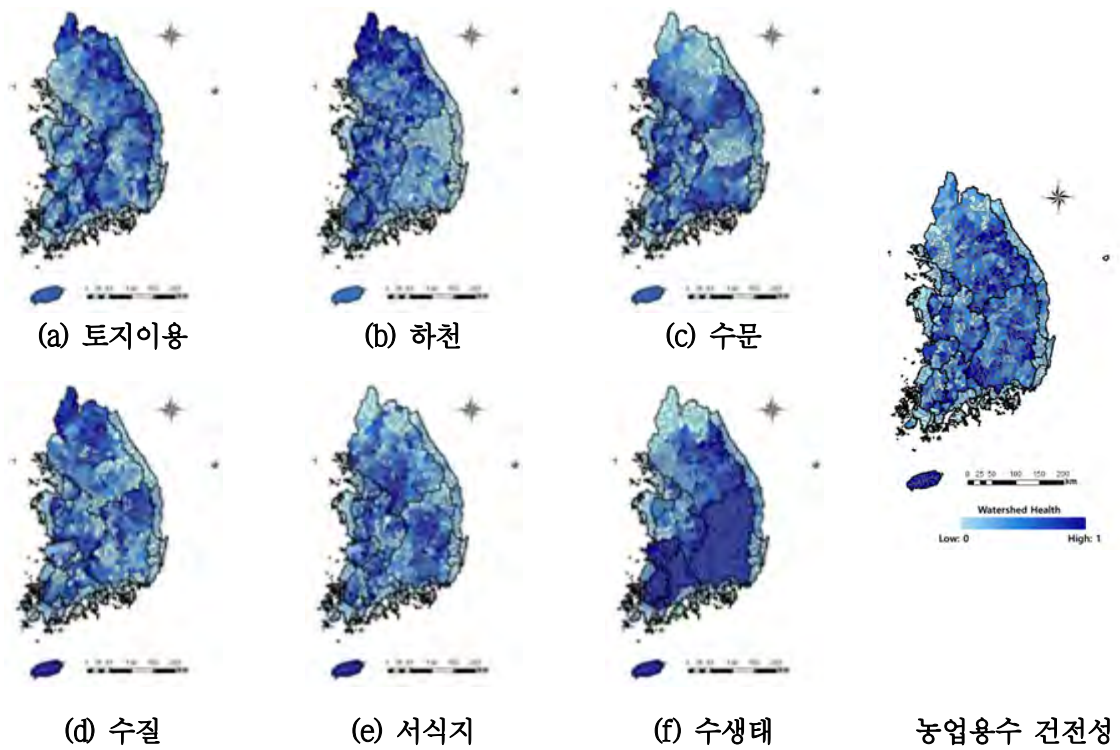
- 본 연구에서는 미래 기후변화 시나리오(HadGEM3-RA)를 적용하여 농업용수 건전성 및 취약성 분석을 수행하였음
 - 그림 2-46~49는 해당 자료의 기간을 4개(Historical(1980~2005), 2020s(2010~2039), 2050s(2040~2069), 2080s(2070~2099))로 구분하여 미래 농업용수 건전성 분포지도를 작성하였음
 - 시범유역이었던 금강 유역은 전반적으로 농업용수 건전성이 하류로 갈수록 건전성이 낮고 특히, 대청댐 인근에 가장 건전성이 낮은 것으로 분석됨

- 또한, 금강 상류 유역은 2050s에서는 건전성이 낮았다가 2080s에서는 건전성이 높아지는 경향을 나타냈으며, 하류 유역은 상반된 결과를 나타내고 있음 이는 하류 유역에 주로 농경지가 분포되어 있는 토지이용 특성과 강수패턴의 영향인 것으로 판단됨





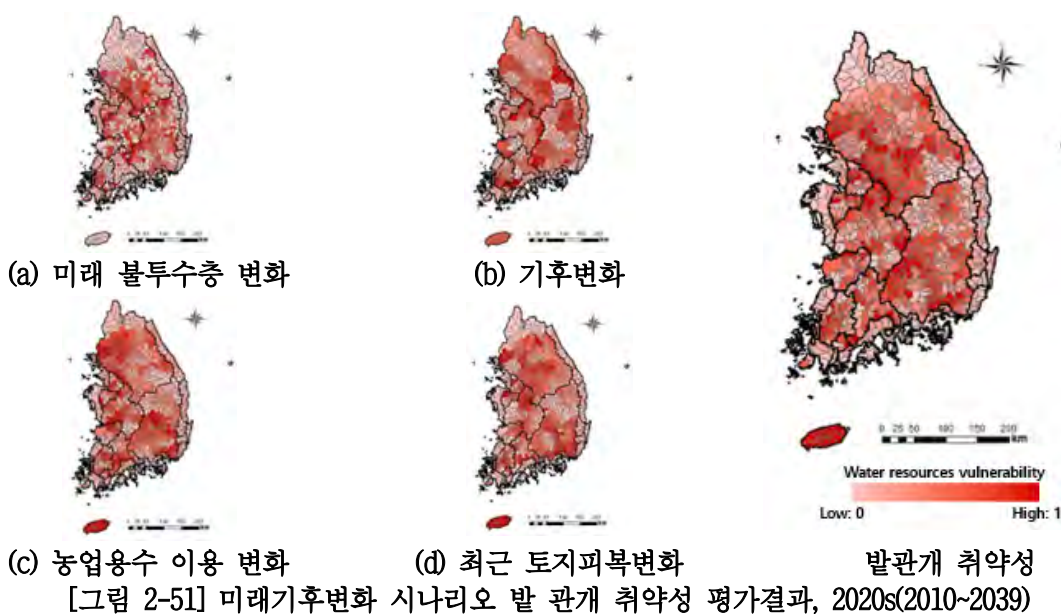
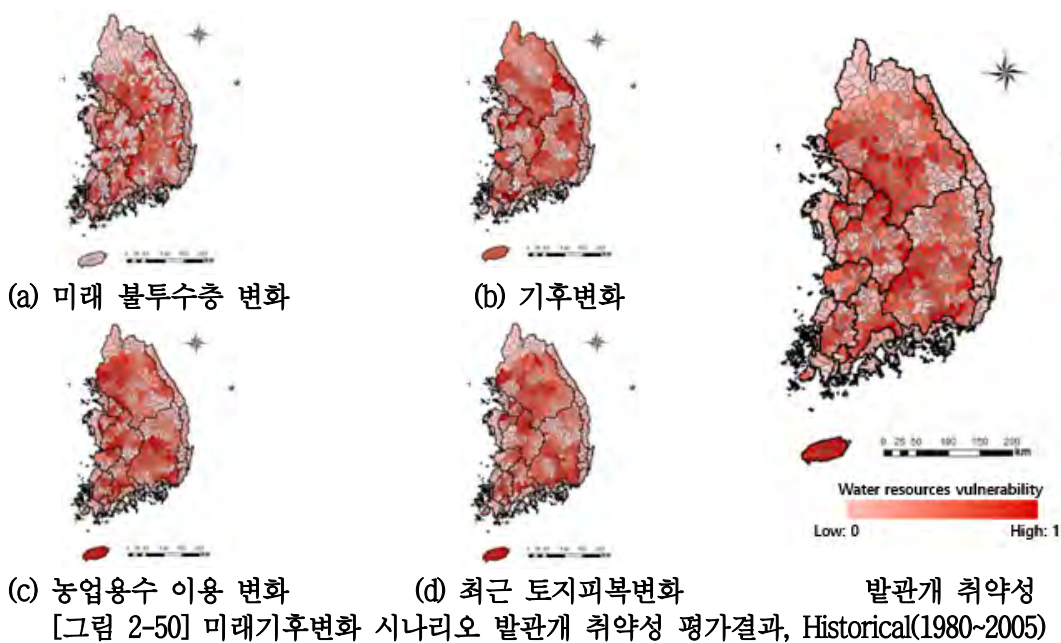
[그림 2-48] 미래기후변화 시나리오 농업유역 건전성 평가결과, 2050s(2040~2069)

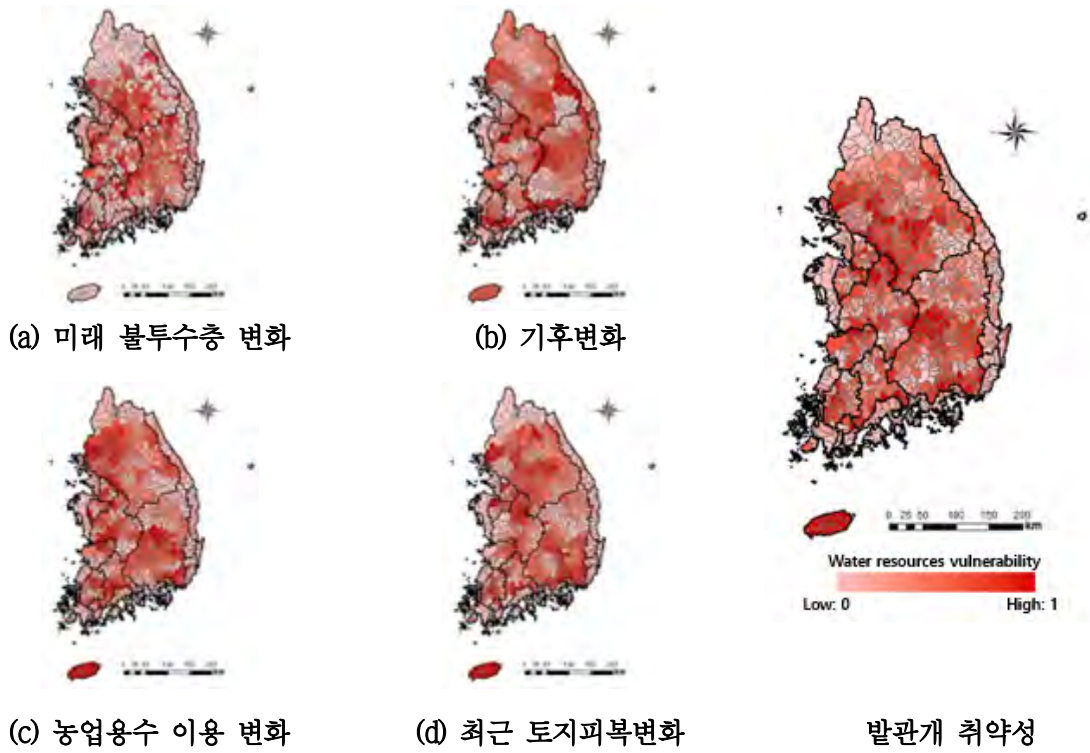


[그림 2-49] 미래기후변화 시나리오 농업유역 건전성 평가결과, 2080s(2070~2099)

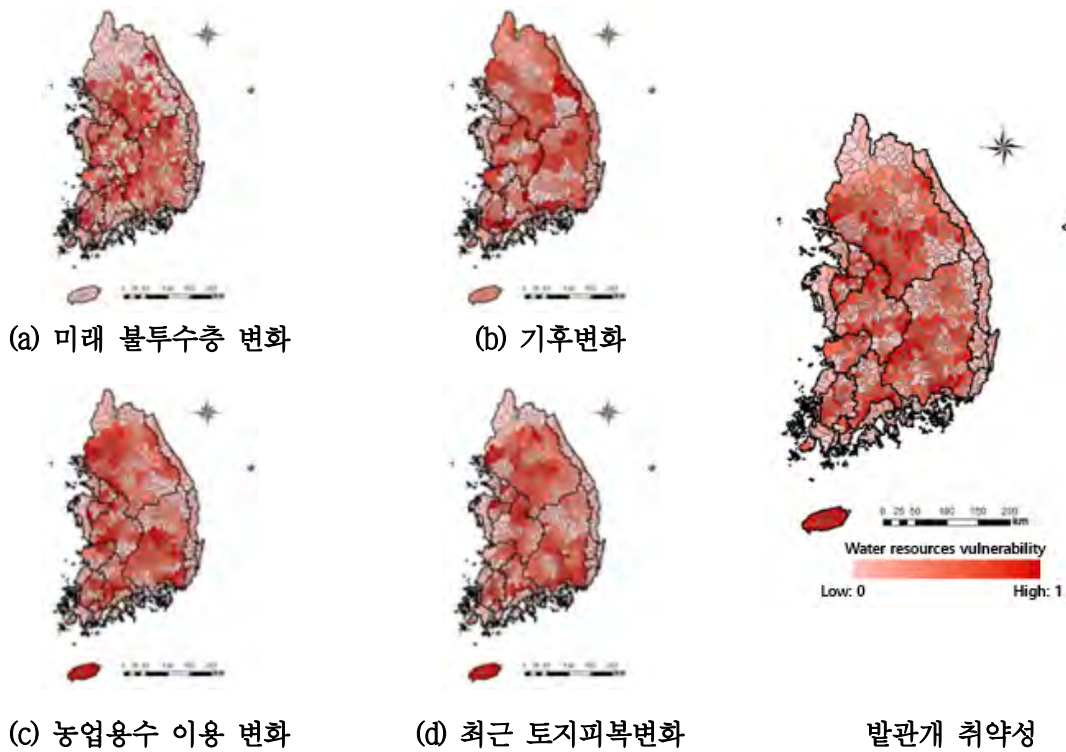
2) 인위적 요인에 의한 발관개용수 취약성 평가결과

- 본 연구에서의 미래 발관개용수 취약성 결과는 90년간 좋아지고 있는 유역과 안 좋아지고 있는 유역이 혼재되어 있는 것으로 나타남, 특히 금강 유역 하류의 한천, 보강천, 병천천 유역이 취약성이 높은 것으로 분석됨
 - 전반적으로 발관개용수 취약성은 용담댐 상류와 대청댐 상류에서는 취약성이 낮고, 농경지가 주로 분포되어 있는 하류에 취약성이 높은 것으로 나타남
 - 또한, 2050s 기간에 농업용수 건전성이 낮았던 금강 상류 유역은 발관개용수 취약성이 높은 것으로 나타났으며, 2080s에서는 취약성 위험도가 낮아지는 경향이 분석됨
 - 하류 유역은 상반된 결과를 나타내고 있으며, 이는 농업용수 이용 변화와 미래 불투수층 변화가 영향을 주는 것으로 판단됨





[그림 2-52] 미래기후변화 시나리오 발 관개 취약성 평가결과, 2050s(2040~2069)



[그림 2-53] 미래기후변화 시나리오 발 관개 취약성 평가결과, 2080s(2070~2099)

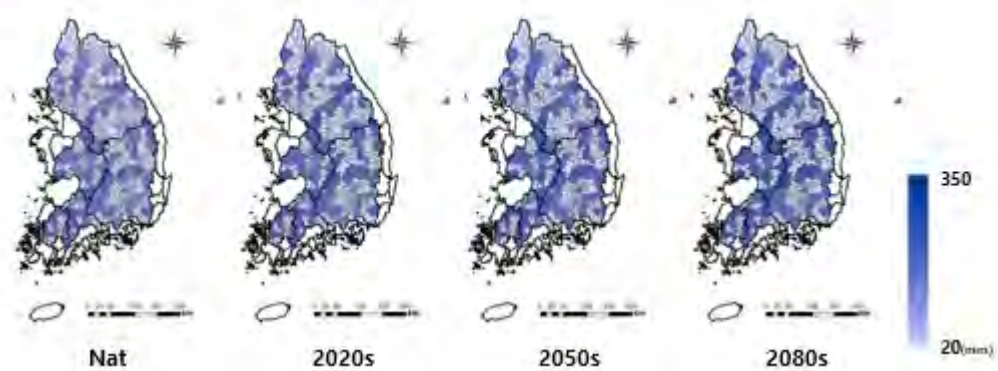
3. 미래 사회변화 시나리오에 따른 농어촌 유역별 미래 발판개용수 회복성 평가 및 대응방안 제시

가. 미래 사회변화 시나리오 구축

○ 미래 발필요수량 산정

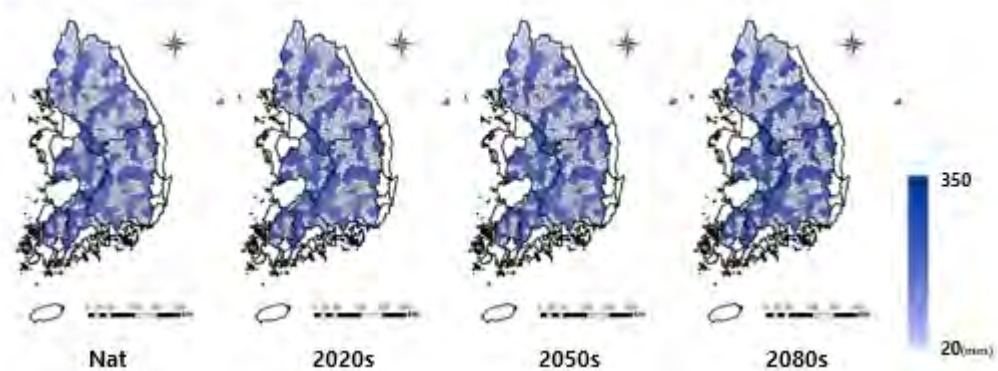
- HadGEM3-Ra 기후모델 자료를 이용한 RCP 4.5, 8.5 시나리오에 따른 발필요수량을 산정하였음
- 그림 2-54는 해당 자료의 기간을 4개(Nat(2021~2030), 2020s(2021~2040), 2050s(2041~2070), 2080s(2071~2099))로 구분하여 미래 발필요수량 분포지도를 작성하였음

발 필요수량의 연대별 분포도 HadGEM-RA3 4.5



(a) RCP 4.5

발 필요수량의 연대별 분포도 HadGEM-RA3 8.5



(b) RCP 8.5

[그림 2-54] 미래 기후변화에 따른 발필요수량 산정

나. 농업용수 회복을 위한 용수공급 시나리오 구축

1) 미래 지하수 관정 신설에 따른 용수공급 시나리오

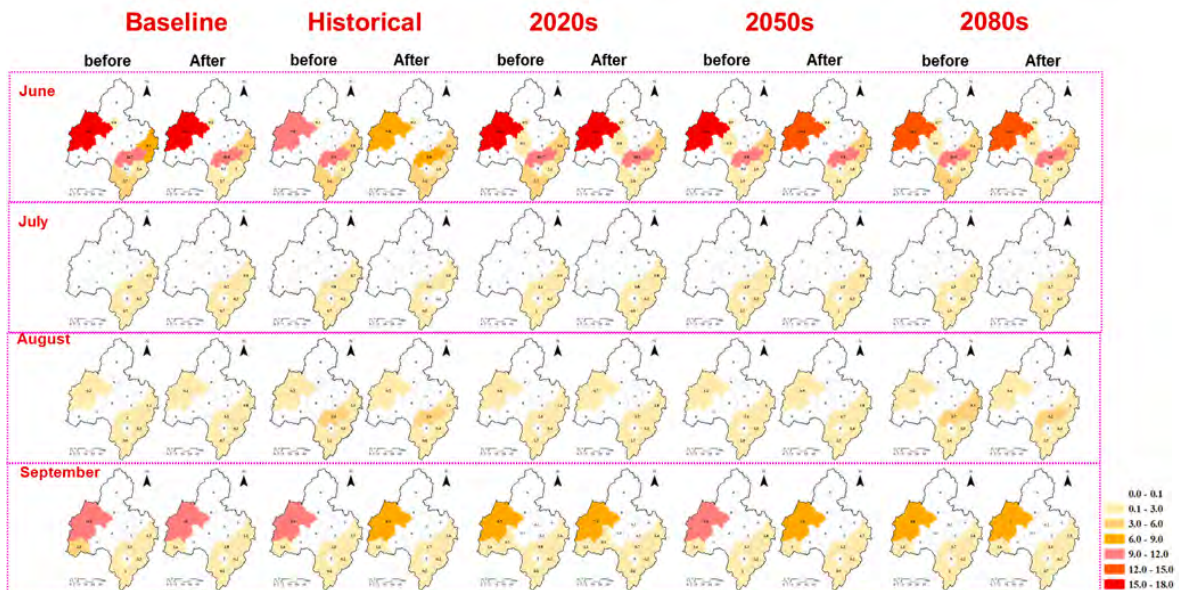
- 본 연구에서는 농어촌 용수이용합리화계획보고서(2014) 자료를 이용하여 농업용수 취약지점에 대한 회복력 평가를 수행하였음.
- 금강 유역을 대상으로 농업용 수리시설(관정) 신설에 따른 추가 용수공급 시나리오를 적용함
- 중권역 단위를 기준으로 추가 용수공급 시나리오를 산정하였음
- 총 1,175개 추가 신설 계획자료로 47.7 10⁶m³ 추가 공급계획을 적용하였음

[표 2-25] 금강 유역의 관정 신설 자료

| basin | name | Yearly data(February~October: operation about 270 day) | | | |
|-------|------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| | | Well | | Well development plan | |
| | | Number | (10 ⁶ m ³) | Number | (10 ⁶ m ³) |
| 3001 | Yongdam dam | 159 | 8.4 | 268(+109) | 12.8(+4.4) |
| 3002 | Yongdam downstream | 13 | 0.9 | 27(+14) | 1.4(+0.6) |
| 3003 | Muju namdeacheon | 67 | 3.3 | 105(+38) | 4.8(+1.5) |
| 3004 | Yeongdongcheon | 161 | 11.7 | 263(+102) | 15.8(+4.1) |
| 3005 | Cho river | 147 | 9.4 | 192(+45) | 11.2(+1.8) |
| 3006 | Daecheong upstream | 30 | 2.0 | 37(+7) | 2.3(+0.3) |
| 3007 | Bocheongcheon | 149 | 10.0 | 184(+35) | 11.4(+1.4) |
| 3008 | Daecheong dam | 337 | 9.6 | 349(+12) | 10.1(+0.5) |
| 3009 | Gapcheon | 357 | 17.1 | 406(+49) | 19.1 (+2.0) |
| 3010 | Daecheong downstream | 70 | 2.7 | 76(+6) | 2.9(+0.2) |
| 3011 | Mihocheon | 539 | 38.3 | 658(+119) | 43.3(+5.0) |
| 3012 | Geum river gongju | 656 | 49.9 | 914(+258) | 60.4(+10.4) |
| 3013 | Nonsancheon | 478 | 28.8 | 697(+219) | 37.7(+8.9) |
| 3014 | Geum river estuary dam | 99 | 5.5 | 261(+162) | 12.1(+6.6) |
| Total | | 3,262 | 197.6 | 4,437(+1175) | 245.3(+47.7) |

2) 미래 추가 용수공급 시나리오를 적용한 농업용수 회복력 평가결과

- 총 35년 평균 $10.7 \times 10^6 \text{m}^3$ 농업용수 부족량이 감소하는 것으로 분석됨
 - 그림 2-55는 관개기간(6월~9월) 동안의 미래 기후변화 시나리오를 적용하여 농업용수 부족을 비교하였음
- baseline: 1981~2005, historical: 1981~2005, 2020s: 2011~2040, 2050s: 2041~2070, 2080s: 2071~2100
- 미래기후변화 시나리오를 적용한 결과 baseline부터 2020s, 2050s, 2080s까지 각각 +3.7, +3.8, $+8.0 \times 10^6 \text{m}^3$ 의 농업용수 부족이 증가하는 것으로 분석됨
- 미래기후변화 시나리오 연평균 농업용수 부족은 용수공급 시나리오 적용 전 $64.3 \times 10^6 \text{m}^3$, 적용 후 $57.1 \times 10^6 \text{m}^3$ 로 $7.2 \times 10^6 \text{m}^3$ 부족량이 완화되는 것으로 분석됨



[그림 2-55] 농업용수 건전성 지수의 가중치 적용

[표 2-26] 금강 유역의 미래기후변화 시나리오 및 용수공급 시나리오 적용결과

| Period | Agricultural water shortage(10^6m^3) | | | | | | | | | |
|------------|--|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-----------|-------|
| | Annual average | | Jun | | July | | August | | September | |
| | before | after | before | after | before | after | before | after | before | after |
| Baseline | 61.1 | 50.6 | 32.8 | 28.4 | 3.1 | 2.5 | 4.9 | 4.1 | 20.1 | 15.5 |
| Historical | 59.5 | 52.6 | 31.0 | 28.5 | 2.4 | 2.1 | 7.9 | 7.3 | 18.1 | 16.6 |
| 2020s | 64.8 | 57.4 | 38.8 | 36.2 | 3.2 | 2.9 | 7.4 | 6.6 | 15.2 | 13.4 |
| 2050s | 64.9 | 57.3 | 36.4 | 33.7 | 4.4 | 4.0 | 7.6 | 7.0 | 16.4 | 14.6 |
| 2080s | 69.1 | 60.9 | 37.1 | 34.4 | 4.9 | 4.4 | 10.5 | 9.6 | 16.4 | 14.6 |
| Ave. | 64.3 | 57.1 | 36.4 | 33.8 | 3.4 | 3.1 | 7.5 | 6.8 | 16.9 | 15.1 |

[표 2-27] 금강 유역의 중권역별 미래기후변화 시나리오 및 용수공급 시나리오 적용 결과

| basin | Agricultural water shortage(10 ⁶ m ³) | | | | | | | | |
|-------|--|--------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | baseline | Historical (1990s) | | 2020s | | 2050s | | 2080s | |
| | | before | after | before | after | before | after | before | after |
| 3001 | 7.6 | 6.3 | 5.5 | 6.5 | 5.7 | 6.8 | 6.1 | 7.9 | 6.9 |
| 3002 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 3003 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 3.1 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 2.7 |
| 3004 | 14.4 | 15.7 | 14.6 | 15.1 | 14.2 | 15.1 | 14.2 | 17.8 | 16.8 |
| 3005 | 7.3 | 11.9 | 11.2 | 10.0 | 9.4 | 9.9 | 9.3 | 12.1 | 11.4 |
| 3006 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3007 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3008 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 3009 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.7 |
| 3010 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| 3011 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3012 | 25.3 | 20.2 | 18.0 | 25.6 | 23.5 | 26.1 | 24.0 | 23.8 | 21.8 |
| 3013 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3014 | 3.8 | 2.8 | 2.5 | 2.4 | 2.1 | 2.6 | 2.3 | 2.2 | 2.0 |
| Ave. | 4.4 | 4.3 | 3.9 | 4.6 | 4.2 | 4.6 | 4.3 | 4.9 | 4.5 |

다. 발관개용수 회복탄력성 대응 방안

1) 발가뭄 회복탄력성 증진 관련 사업 조사

[표 2-28] 발가뭄 회복탄력성 증진 사업 및 효과 분석

| 사업명 | 사업 내용 및 목표 | 발가뭄 회복탄력성 증진 효과 분석 |
|---------------|--|--|
| 농어촌용수 관리사업 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농어촌공사 관리지역 내 수리시설(저수지, 양배수장, 용배수로, 보 등)을 활용, 영농에 필요한 양질의 용수를 적기에 적량을 공급함으로써 농업 생산성 향상에 기여하고 대농업인의 영농편의를 지원하여 서비스 제고 ○ 수리시설 보수 및 관리 등 예방 위주의 재해대책 추진으로 기후변화에 따른 집중호우 등 홍수 및 가뭄에 효율적으로 대처하여 재해를 최소화 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 용수 공급을 위한 수리시설의 관리를 통하여 가뭄 재해에 효율적으로 대처할수 있는 지역의 내구성을 확보하는 사업 |
| 농업용수 관리자동화 사업 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 주요 수원공, 용수간선, 배수시설 등 농업기반시설을 중앙관리소에서 원격제어시설에 의하여 집중적, 체계적으로 관리함으로써 효율적인 용수 관리 및 시설관리로 용수관리비용 절감과 용수 배분을 합리화하는 과학적인 용수관리 기반 구축 ○ 과학적인 농업용수 공급·관리로 가뭄, 홍수 등 재해 대응 능력 향상 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업 용수의 공급 및 관리에 합리적, 체계적 관리기술을 도입하여 효율성을 확보하여 가뭄에 대하여 지역의 대응 능력을 향상하는 사업 |

| | | |
|--|---|---|
| <p>통합물관리 구축사업</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 물관리기본법 제정.시행 등 물관리 정책 변화에 효과적으로 대응하고, 지속가능한 물관리 체계를 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 농업용수의 공급.이용.배분과 수자원의 개발.보전 및 중장기 수급전망분석 - 수요자 중심 농업용수관리 등 농업인이 직접 참여하는 물관리 체계 구축방안 마련 - AI, IoT, 빅데이터 등 첨단기술을 통한 물 인프라 관리 선진화 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 통합적인 물관리를 통하여 사용되는 용수의 공급, 이용, 배분을 합리화하는 사업으로 받가뭇에 직접적인 개선 효과는 낮지만 체계 구축에 따른 물이용 안전성은 높아질 것으로 기대되는 사업 |
| <p>용·배수계 통도 디지털화 사업</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용수 디지털 정보체계 구축으로 물수급 분석 기반 마련 및 신규사업 등의 기초자료로 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 용·배수로와 수혜면적 등 농업 SOC 디지털 구축 - 통합물관리 국가정책 대응을 위한 물수급 분석 기반 마련 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 용·배수로와 수혜면적 등 농업 SOC에 대한 정보를 구축하여 물관리를 위한 정책적 기반을 마련하는 사업으로 받가뭇에 대응하기 위한 용수 확보에 관련한 정보 획득 가능 |
| <p>농업가뭇 모니터링 및 평가분석 사업</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 가뭇에 대한 선제적 대응력을 높여 안전 영농 및 가뭇피해 최소화 도모 <ul style="list-style-type: none"> - 최근 가뭇 발생빈도 및 강도 증가 추세로 선제적 가뭇 대응력 제고 필요 - 과학적 분석 기반 가뭇 전주기(예방-대비-대응-복구) 관리 체계 구축 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 가뭇 모니터링 및 관리 체계를 구축하여 대응하기 위한 사업 ○ 과학적 분석을 기반으로 가뭇에 전주기를 관리하는 체계로서 가뭇 회복탄력성을 확보하기 위한 체계적 접근법을 획득 |
| <p>수리시설 개보수사업</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 노후·파손 또는 기능이 저하된 수리시설의 보수·보강 등을 통해재해예방, 물 손실 최소화 및 영농편의기반 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 저수지, 양배수장 및 용배수로 보수보강, 저수지 준설, 정밀안전진단 등 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 노후·파손 또는 기능이 저하된 시설이 보강을 통하여 물 손실을 줄이고 가뭇시 용수 공급을 안전하게 개선하는 사업 |
| <p>다목적 농촌용수 개발사업</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 가뭇상습지역에 저수지, 양수장, 용수로 등의 수리시설을 설치하여 농어촌지역에서 필요한 농업·생활·환경용수 등을 확보·공급함으로써 안전영농기반 구축과 농어촌 환경개선 도모 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 가뭇상습지역에 가뭇회복탄력성을 증진하는 사업으로 효과가 높을 것으로 기대됨 |
| <p>농촌용수 이용체계 재편사업</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농촌지역의 다양한 용수수요에 대처하고 지역간, 수계간 용수수급불균형 해소를 위해 기개발된 여유수자원을 효율적으로 배분·활용하고 기존 시설물의 리모델링 등에 의한 소규모 수리시설을 통합·재편하여 농촌용수의 효율적인 개발·이용·관리체계 구축 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 용수의 수요를 근간으로 용수 수급의 불균형을 해소하는 사업으로 받가뭇과 같이 안정적 용수가 부족한 농업에 여유수자원을 배분함으로써 가뭇회복탄력성을 제고 |
| <p>농업기반 및 재해대응 기술개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 지속가능한 농업·농촌 구현과 안정적 생산기반 확립을 위해 주요 기반인프라 고도화, 기후변화 등에 따른 농업 재해 대응력 제고 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업기반 인프라의 고도화는 농업 분야 전반의 재해 대응력을 확보할 수 있으며 특히 가뭇과 같이 용수의 개발과 배분으로 회복력을 증가할 수 있는 재해에 효과가 있을 것으로 기대됨 |
| <p>제주농업용 수 통합광역화 사업</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용수 공급 시설의 자동화, 원격감시 및 원격조정, 스마트 물관리 시스템 도입 ○ 노후된 시설물의 기능개선 및 재해 사전 예방, 영농편의 제공 ○ 영농편의 제공으로 지역경제발전 및 안정적인 식량안보 대처 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 물관리 시스템을 통하여 농업용수를 효율적으로 재배분하고 영농자원을 손실없이 활용하기 위한 사업으로 제주지역의 가뭇 회복탄력성 증진에 효과가 클 것으로 기대됨 |

2) 발관련 사업을 활용한 가뭄회복력 증진 방안 도출

- 발가뭄과 연관된 회복탄력성 증진 사업에서는 용수의 확보와 재배분에 중점을 두고 있는 것으로 분석됨
- 또한 용수의 공급체계인 영농 SOC 시설의 개선 및 고도화 역시 중요한 사업으로 나타남
- 이를 통하여 가뭄회복력의 증진을 위한 방안을 제안하면 다음과 같음.
- 관망을 이용한 발 용수 공급 체계의 활성화
 - 발은 재배작물에 따른 용수의 필요 시기, 필요량, 관리되어야 하는 수질이 다양하기 때문에 확보한 용수를 적절한 시기에 안전하게 공급하는 관망의 확보는 가뭄에 대한 대응력을 제고함
 - 또한 관망을 통한 송수는 공급하는 물의 양을 관리하여 소실되어 낭비되는 물을 줄이고 물자원을 최적 관리 할 수 있음
 - 또한 공급과정에서 수질에 영향을 줄 수 있는 다른 요소의 개입이 없으므로 수질의 관리에 유리함
- 가뭄 취약지역 저류조 및 빗물 이용시설 활용 활성화
 - 고지대, 섬지역 등 다양한 용수를 개발하여 활용하는 것이 어려운 지역, 또는 소규모 경작지로 용수의 개발 효과가 낮은 지역 등에 발 용수를 확보하기 위하여 저류조의 활용은 가뭄시 회복탄력성을 제고 하는데 기여함
 - 저류조는 빗물 또는 지하수 등을 가뭄이 발생하기 전에 확보하여 대비할 수 있으므로 발가뭄이 발생하는 지역에 설치하여 가뭄의 피해를 저감하는데 활용할 수 있음
- 가뭄 취약지역 지하수(공공관정)의 개발
 - 가뭄시 부족한 수량을 보완하는데 있어 공공관정 개발은 효과가 매우 크지만 개발 및 유지에 비용이 투입되어야 하기 때문에 제도적 지원으로 개발할 필요가 있음
- 농업용 저수지 용수 활용 방안 개발
 - 저수지 용수 활용은 확보된 수량을 적극적으로 활용할 수 있는 방법으로서 안정적인 송수 방법 및 수질 관리 방안을 수립하여 지원할 필요가 있음
- 농업용수의 광역화
 - 광역화는 활용할 수 있는 용수량이 부족한 경우에 수량을 보충할 수 있도록 지역간 용수를 재배분하여 상호 보완하는 방법으로 확보된 용수를 효율적으로 배분할 수 있기 때문에 다각도로 검토될 필요가 있음. 여기에는 상수도 포함될 수 있음

제 3 장 농촌용수구역단위 전작전환 규모 및 패턴분석

제 1 절 전국 농촌 저수지 수혜구역 토지이용 현황 분석

- 본 절은 전작전환 현황 및 추이를 파악하기 위하여 전국의 농촌 저수지 수혜구역을 대상으로 토지 이용 현황을 조사하고, 권역별, 경지별, 주요도시와의 거리구간에 따른 수혜구역의 현황과 전작전환율을 조사함
- 주요결과
 - 본 연구의 대상지역으로 농촌 저수지의 수혜면적이 200ha 이상인 605개의 지역을 선택하고 토지이용 중 농업관련 현황을 조사하기 위하여 스마트팜맵을 이용함
 - 2019년 기준 총 저수지 수혜면적 400,695ha 중 농업지역의 면적은 292,244ha로 농업지역 내에서 논 84%, 밭 8%, 시설재배 5%, 과수원 3%의 비중을 차지함
 - 605개의 대상지역은 권역별로 강원 5개, 경상 215개, 경기 72개, 전라 151개, 충청 162개로 논의 비중이 높은 권역은 전라, 충청, 강원, 경기, 경상 순서고 밭의 비중이 높은 권역은 경상, 경기, 강원, 충청, 전라의 순서로 나타남
 - 저수지 수혜구역 내 논 면적이 1,200ha를 초과하는 22지역과 밭 면적이 250ha를 초과하는 11지역의 각각 63%와 54%는 주로 농업지역 면적이 넓게 나타나는 전라권역에 분포하고 있음
 - 특별시와 광역시와 같은 주요 도시로부터의 거리가 가까울수록 논 비중은 줄어들고 밭 비중은 늘어나는 경향이 나타남
 - 권역별 현황과 주요 도시와의 거리구간별 현황을 종합했을 때, 경기권역과 경상권역에서는 주요 도시가 타권역보다 많아 농업지역의 비율이 낮게 나타나는 것을 볼 수 있음

제 2 절 전국 농촌 저수지 수혜구역 전작전환 추이 분석

- 본 절은 2007년부터 2019년까지 농촌 저수지 수혜구역 내 논과 밭 면적의 변화를 분석하여 12년간의 전작전환 추이를 조사하고, 권역별, 수혜구역의 규모별, 주요 도시와의 거리구간별로 나타나는 특징을 분석함
- 주요결과
 - 2007년부터 2019년까지 12년간 농촌 저수지 수혜구역 내 논 면적은 335,111ha(84.4%)에서 266,634ha(66.5%)로 감소하고 밭 면적은 21,168ha(5.3%)에서 41,057ha(10.2%)로 증가함
 - 대상 지역 중에서 논과 밭의 비중이 모두 감소하는 지역은 180개, 논 비중만 감소하는 지역은 364개, 밭 비중만 감소하는 지역은 42개, 논과 밭의 비중이 모두 증가하는 지역은 19개로 나타남
 - 권역별로 논 비중이 감소하는 정도는 경기, 강원, 경상, 충청, 전라의 순서로 나타났고, 밭 비중이 증가하는 정도는 강원, 경상, 충청, 경기, 전라의 순서로 나타나 전라권역에서 전작전환이 가장 적게 진행되었음을 볼 수 있음
 - 수혜지역의 규모별 논 비중의 변화와 밭 비중의 변화는 400ha이상 500ha 미만인 경우 가장 적게 나타났으나 수혜면적에 따른 경향성은 나타나지 않았음
 - 주요 도시와의 거리가 가까울수록 논 비중의 감소와 밭 비중의 증가가 크게 나타나 주요 도시로부터 가까울수록 전작전환율이 높은 것을 볼 수 있음

제 3 절 대상지 선정 및 군집 분석

- 본 절은 농촌 저수지 수혜구역의 토지이용 현황과 추이와 관련된 요인을 분석하기 위하여 밭의 면적이 크게 증가한 5개의 지역(신곡, 거여, 신흥, 영천, 화정)을 대상으로 수혜구역 내 농업지역의 공간분포 특성을 분석함
- 주요결과
 - 공간분포 특성을 분석하기 위한 지표로는 필지의 면적, 개수, 둘레, 변화량, 도시와의 거리 등을 고려한 CA, PLAND, NP, MPS, LPI, LSI, ACR, PCI, TPR, DUP을 사용함
 - 신곡에서는 감소한 논 면적에 비해 증가한 밭의 면적이 적어 논이 대부분이 밭 이외의 토지이용으로 전환된 것으로 보이며, 도시와 인접한 점과 2019년에도 논 비율이 높은 점을 고려할 때 앞으로 논 면적은 계속해서 감소할 전망이다
 - 거여에서는 감소한 논 면적과 증가한 밭의 면적이 비슷하게 나타나 전작전환율이 높은 것으로 나타났다으며, 상대적으로 도시에 인접하여 개발가능성이 높아 농업면적의 변화가 일어날 것으로 예상된다
 - 신흥에서는 감소한 논 면적의 절반 이상이 밭으로 전환되었으며, 도시로부터의 거리가 멀기 때문에 앞으로의 전작전환속도는 타지역에 비해 낮을 것으로 보임
 - 영천에서는 거여와 마찬가지로 논이 대부분이 밭으로 전환되었으나, 거여와는 달리 도시와 상당히 떨어진 지역에 있어 이후의 농업지역의 면적 변화는 적을 것으로 예상된다
 - 화정에서는 전환된 논 중 절반 정도가 밭으로 전환되었으며, 2019년에도 논 비율이 높아 논 전환이 계속될 전망이지만 주요 도시로부터의 거리가 중간 즈음으로 전환속도는 그리 빠르지 않을 것으로 보임

제 4 절 농촌저수지 수혜구역 단위 전작화 패턴별 그룹화 및 대표지구 선정

- 본 절은 농촌 저수지 수혜구역의 전작 특성, 전작화 속도 등 인자에 따라 패턴별 그룹화를 수행하고, 각 그룹의 대표지구를 농지면적, 집단화규모, 전작화 속도 등을 고려해 선정함
- 주요결과
 - 논이 밭으로 전작화는 일부 지역의 특이 현상이 아닌 전국적 추이를 보였으며(60.2%), 농경지인 논과 밭 모두 감소하는 지역(29.8%)에 대한 관리가 필요할 것으로 나타남
 - 전작화 패턴에 따른 용수공급은 주요 2개 인자(집단/개별 전작화 & 전작화 속도의 인자)에 의해 결정되었고, 집단/개별 전작화 인자 구분지표로 LPI 등을, 전작화 속도 인자는 시계열 분석 등으로 구분함
 - 전체 농촌 저수지 수혜구역 605지역은 전작화 패턴에 따라 4개의 패턴으로 그룹화 하였으며, 논과 밭이 모두 증가하는 지역을 추가 1개의 패턴으로 고려해 총 5개로 그룹화함
 - 각 5개 클러스터별 농지면적, 집단화 규모, 전작전환 속도 등을 고려하여 진두 수혜구역 (논 & 밭 경지 증가 추이), 신흥 수혜구역 (집단화전작, 느린 전작추이), 거여 수혜구역 (집단화전작, 빠른 전작추이), 화정 수혜구역 (개별전작, 느린 전작추이), 신곡 수혜구역 (개별전작, 빠른 전작추이)을 각 클러스터의 대표지구로 설정함

제 5 절 전작화 그룹에 따른 저류조 발용수 공급 집단화 방안 도출

- 본 절은 전작화 그룹의 대표지구별 주요 발작물설정, 30년 한발을 고려한 재배 필요수량 산정 및 관개 주기를 고려한 저류조 용량 결정, 저류조 공간배치 결정의 과정으로 선정된 대표지구별 발용수 공급 집단화 방안을 도출함
- 주요결과
 - 대표지구의 발작물 재배 현황조사 및 작물재배 필요수량 고려로, 진두 수혜구역(양파), 신흥 수혜구역(콩), 거여 수혜구역(복숭아), 화정 수혜구역(고추), 신곡 수혜구역(상추)로 지구별 주요 발작물을 설정함
 - 30년 한발, TRAM, 관개효율(스프링클러 관개 가정)을 고려하여 대표 지구별 작물재배 필요수량을 산정함. 진두 수혜구역(양파, 410.4 mm), 신흥 수혜구역(콩, 205.4 mm), 거여 수혜구역(복숭아, 373.5 mm), 화정 수혜구역(고추, 185.2 mm), 신곡 수혜구역(상추, 198.0 mm)로 산정됨
 - 대표 저류조 용량을 50 ton, 100 ton 규모로 설정하고 각 저류조 용량별 관개가능 필지 수(논의 밭으로 전작화 가정)를 산정하고, 최소 개수의 저류조로 대표지구의 모든 밭 필지에 용수공급이 가능하도록 저류조 공간배치를 수행함. 이때, 저류조의 유지관리 및 용수공급 효율성을 고려해 저류조 집단화 배치를 수행함

제 6 절 유전자 알고리즘 기반 저류조 최적 공간배치

- 본 절은 전작화 경지의 용수공급 시스템 설계시 용수공급의 효율성, 경제성 등을 고려한 저류조의 최적 공간적 배치 결정을 목적으로 유전알고리즘 (GA, genetic algorithm)을 이용해 저류조 최적 공간배치 알고리즘을 개발하고 대상지역의 저류조 최적 배치를 수행함
- 주요결과
 - 유전알고리즘 (GA, genetic algorithm)을 최적화 함수로 설정하고, 저류조-필지 & 저류조-저류조간 거리를 설계변수로, 전체 시스템의 총 관로 비용의 최소화를 설계 목적함수로 설정해 저류조 최적 공간배치 알고리즘을 구성함
 - 총 관로의 비용을 최소로 하는 저류조 설치 지점수는 밭 필지수의 $9.6 \pm 1.3\%$ 로 산정되었으며, $R^2 = 0.98$ 의 높은 상관성을 보임
 - 평균적으로 한 개 저류조에서 최대 4.66 ha, 최소 0.15 ha의 밭에 용수공급이 가능하도록 설계었고, 한 개 저류조의 관개면적은 개별전작 지구와 비교하여 집단전작 지구에서 균일하게 산정됨

제 7 절 레질리언스를 고려한 농업용 저수지의 밭 용수공급 최적 설계

- 본 절은 논을 밭으로 전작화 필지에 농업용 저수지를 용수원으로 이용한 관개의 안정성을 평가하기 위한 방안으로, 관개 시나리오별 저수지 수혜구역의 대표작물의 조용수량을 산정하고 레질리언스 지표를 이용해 관개용수 공급의 이수적 안정성 평가를 수행함
- 주요결과
 - 관행관개와 비교하여 운번관개시 평균 토양수분을 낮게 유지할 수 있어, 강우를 효과적으로 이용한 관개가 가능했고, 이에 따라 관개용수 절감이 가능하였음
 - 레질리언스 지표를 이용한 기존 논 관개용수에 밭 관개용수를 추가 방류를 가정한 저수지 수위 모의의 이수적 안정성 평가에서 전반적으로 농업용 저수지의 가뭄 기준인 평균 저수위의 70% 이하로 하강하지 않아 저수지를 용수원으로 이용한 밭 관개가 가능한 것으로 평가됨
 - 특히, 운번관개시 관개용수 절감이 가능할 뿐만아니라, 관개구획수 만큼 이연된 관개 수행이 가능해 수리구조물의 부하를 줄이는 안정적 관개가 가능할 것으로 생각됨

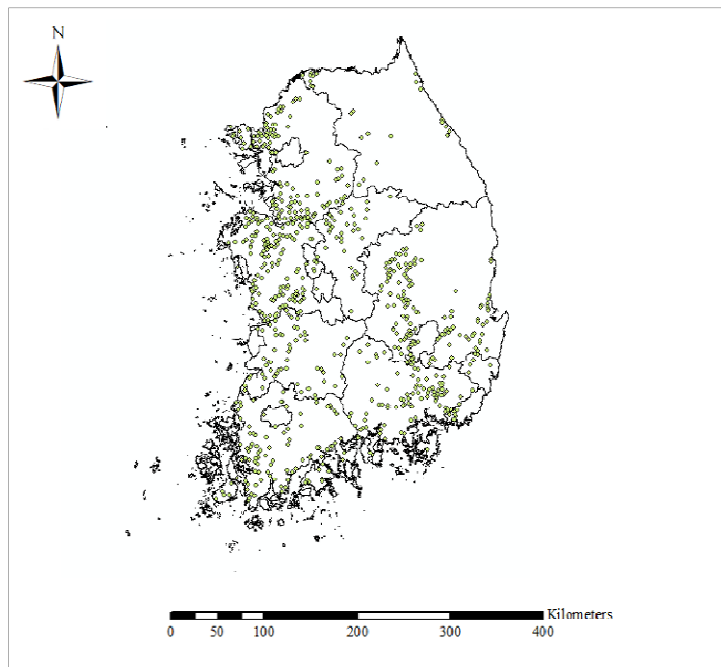
제 3 장 농촌용수구역단위 전작전환 규모 및 패턴분석

제 1 절 전국 농촌 저수지 수혜구역 토지이용 현황 분석

1. 저수지 수혜구역 토지이용 현황 분석 방법

가. 대상구역

- 본 연구에서는 농촌 저수지 수혜구역 단위로 토지이용 현황을 파악하여 전작전환 현황 및 추이를 파악하고자 함
- 저수지 수혜구역 중 수혜면적이 200ha이상으로 비교적 규모가 크다고 할 수 있는 605개의 농촌 저수지 수혜구역을 대상지역으로 설정함



[그림 3-1] 저수지 수혜구역 대상 지역

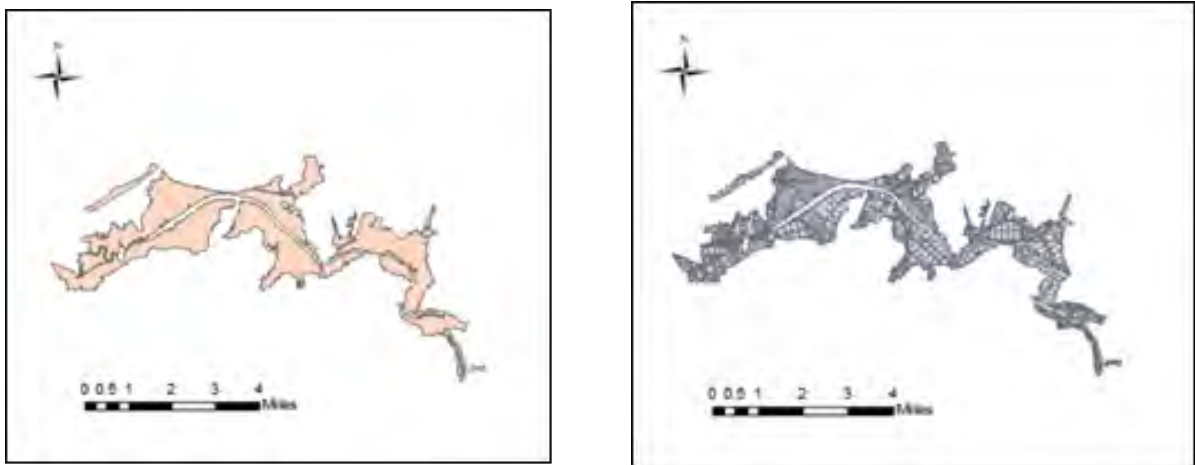
나. 토지이용 자료

- 토지이용 현황 분석에 대한 다양한 연구에서는 지적도, 토지피복지도, 스마트팜맵 등이 쓰이고 있음
- 지적도와 토지피복지도는 필지의 용도에 따라 구분되어 있으며, 스마트팜맵의 경우 농업지역에 특화된 지도로서 농업지역을 4개로 구분하여 나타내고 있음
- 본 연구에서는 저수지 수혜구역 별 토지이용 현황 중에서 농업지역의 현황을 집중하여 보고자하므로 농림수산물교역문화정보원에서 제공하는 2019년 스마트팜맵을 활용하여 토지이용 현황 분석을 진행함

- 스마트팜맵과 관련한 세부 항목은 다음과 같음
 - 영상촬영년도: 2017년-2018년 항공 영상
 - 제작년도: 2019년
 - 농업지역 구분 항목: 논, 밭, 과수, 시설재배지

다. 분석 방법

- 토지이용 현황 분석을 위해 최우선적으로 저수지 수혜구역 별 스마트팜맵 자료 구축이 필요함
- ArcGIS를 프로그램을 사용하여 2019년 스마트팜맵을 605개의 농촌 저수지 수혜구역 단위로 잘라 자료를 구축하였으며, 저수지 수혜구역과 각 수혜구역 별 스마트팜맵은 다음 [그림 3-2]와 같음



[그림 3-2] 저수지 수혜구역(좌) 및 저수지 수혜구역 별 스마트팜맵(우)

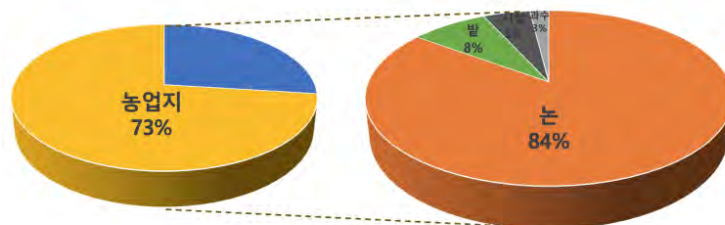
- 저수지 수혜구역 별로 구축된 스마트팜맵 자료를 ArcGIS 프로그램을 사용하여 스마트팜맵의 4개 항목을 기준으로 각 용수구역의 항목별 절대면적을 얻음
- 저수지 수혜구역 총 면적에 대한 논, 밭, 과수, 시설재배지의 비율을 얻어, 2019년 스마트팜맵을 기준으로 전작화 현황 분석을 진행함
- 구체적인 전작화 현황 분석 방법은 다음과 같음
 - 전국적인 농업용지 이용 현황 파악을 우선적으로 진행하여 저수지 수혜구역 총 면적에 대한 각 항목별 절대면적 비교
 - 전국의 5개 권역에 대해 각 권역별 농업지역 항목별 절대면적 및 총 면적에 대한 비율 비교
 - 스마트팜맵의 4개 항목에 대해 각 경지별 현황 분석을 진행함
 - 전국 주요 도시로부터 각 저수지 수혜구역까지의 최소 거리를 구해 이 거리에 따른 토지 이용 변화 파악

라. 토지이용 현황 분석 관련 지표

- 저수지 수혜구역 총 면적
 - ArcGIS를 사용하여 각 수혜구역 총 면적 도출
- 농업지역 항목별 절대면적
 - ArcGIS를 사용하여 각 항목별 절대면적 도출
- 농업지역 항목별 비율
 - 저수지 수혜구역 총 면적에 대한 농업지역 각 항목별 절대면적의 비를 계산
- 주요도시와의 거리
 - ArcGIS를 사용하여 인근 주요 도시까지의 거리 최솟값 도출

2. 전국 단위 수혜구역 토지이용 현황

- 저수지 수혜구역 별로 구축된 스마트팜맵을 활용하여 전국 현황 분석을 진행함
- 저수지 수혜구역은 농업용 저수지 설계 목적을 고려하였을 때 수혜 면적의 대부분이 과거 논으로 이루어져 있던 지역임을 확인할 수 있음
- 우리나라 전체 저수지 수혜구역에 대한 2019년 전국 현황을 살펴보면 다음 표 [3-1]과 같음
- 200ha 이상의 저수지 수혜구역의 총 수혜구역 면적은 400,695ha로 농업지역은 그 중 292,244ha로 전체의 73%를 차지하고 있음
- 농업지역의 가장 큰 비중을 차지하는 항목은 논으로, 농업지역의 84%를 점유하고 있으며 이어서 밭이 농업지역의 약 8%를 차지하고 있음
- 즉, 2019년을 기준으로 농업지역의 대부분은 여전히 논이 차지하고 있음을 확인할 수 있음
- 전국 저수지 수혜구역 면적을 기준으로 볼 경우, 논이 점유하는 비중은 244,886ha로 전체의 61.2%를 차지하고 있으며, 밭이 5.5%, 시설재배지가 4.9%를 차지하고 있음
- 이 외 과수원 면적의 경우 전체 수혜구역 면적 중 1.4%를 차지하고 있음을 확인할 수 있음

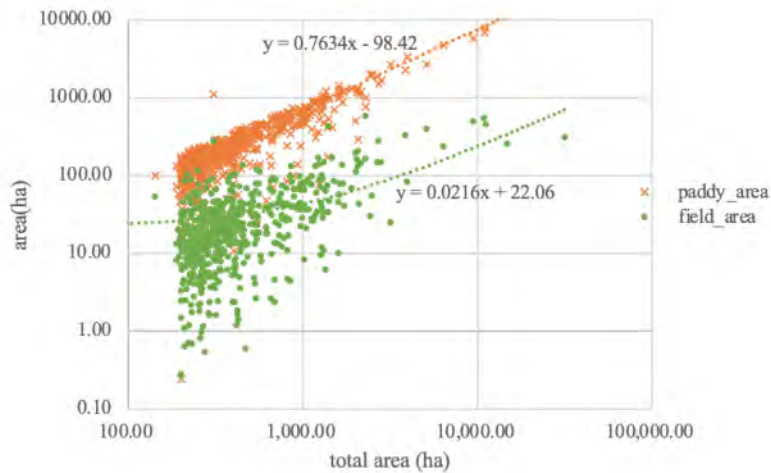


[그림 3-3] 전국 저수지 수혜구역 토지이용 현황 비율

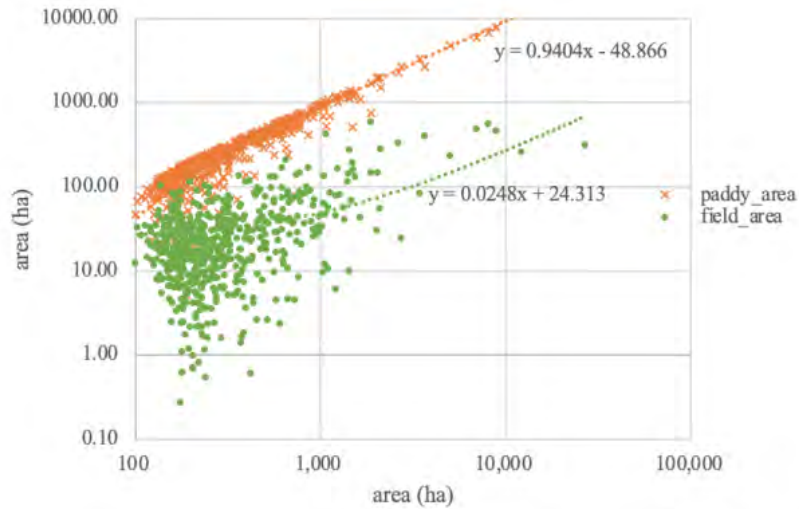
[표 3-1] 전국 저수지 수혜구역 토지이용 현황

| 대분류 | 중분류 | Area(ha) | Rate(%) |
|-----|-------|----------|---------|
| 농업지 | 논 | 244,886 | 61.1 |
| | 밭 | 22,156 | 5.5 |
| | 시설재배지 | 19,446 | 4.9 |
| | 과수원 | 5,757 | 1.4 |
| | 계 | 316,755 | 78.61 |
| 계 | | 402,864 | |

- 605개의 저수지 수혜구역의 각 구역별 총 면적에 따른 전작 면적 분석을 진행함
- 각 저수지 수혜구역 총 면적에 대한 전작의 절대면적의 그래프는 그림 [3-4]와 같으며 각 저수지 수혜구역의 총 경지면적에 대한 전작의 절대면적의 그래프는 그림 [3-5]와 같음
- 대부분의 저수지 수혜구역에서 논, 밭의 절대면적이 시설재배지의 절대면적의 합보다 크게 나타나는 것을 확인할 수 있음
- 저수지 수혜구역 총 면적에 따른 논 면적의 경우 거의 선형성을 띠고 있는 것을 확인할 수 있는 반면 밭과 시설재배지 면적의 경우 총 면적에 대해 상대적으로 선형성을 덜 띠고 있는 것을 확인할 수 있음
- 각 저수지 수혜구역의 농업지역 면적에 따른 전작 면적의 경향성 역시 유사함을 확인할 수 있음
- 밭과 시설재배지 면적이 저수지 수혜구역의 총 면적과 농업지역 면적에 따른 변화 정도가 작게 나타나며 수혜구역 면적의 차이가 거의 없는 경우에도 밭과 시설재배지 면적이 구역별로 다양하게 나타나는 것을 확인할 수 있음

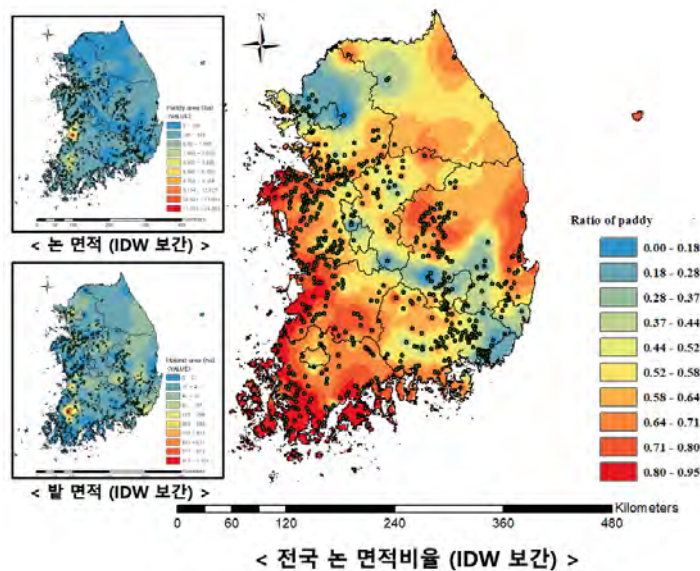


[그림 3-4] 각 저수지 수혜구역 총 면적에 따른 논, 밭 면적



[그림 3-5] 각 저수지 수해구역의 농업지역 면적에 따른 논, 밭 면적

- 그림 [3-6]은 각 저수지 수해구역의 논과 밭 면적 비율을 이용하여 전국적으로 IDW 보간을 통해 추정된 값
- 논과 밭의 절대면적의 차이가 크므로 각 항목에 해당하는 절대면적의 최댓값을 고려하여 보간법을 적용하였음
- 전국 지도를 통해 확인하였을 때 앞서 표에서 확인했던 것과 유사하게 대부분의 저수지 수해구역이 논으로 구성되어 있음을 확인할 수 있음
- 또한 IDW 보간법을 통해 추정된 결과, 전라 지역에서 논 면적의 비율과 밭 면적의 비율이 모두 높게 나타나는 것을 확인할 수 있음



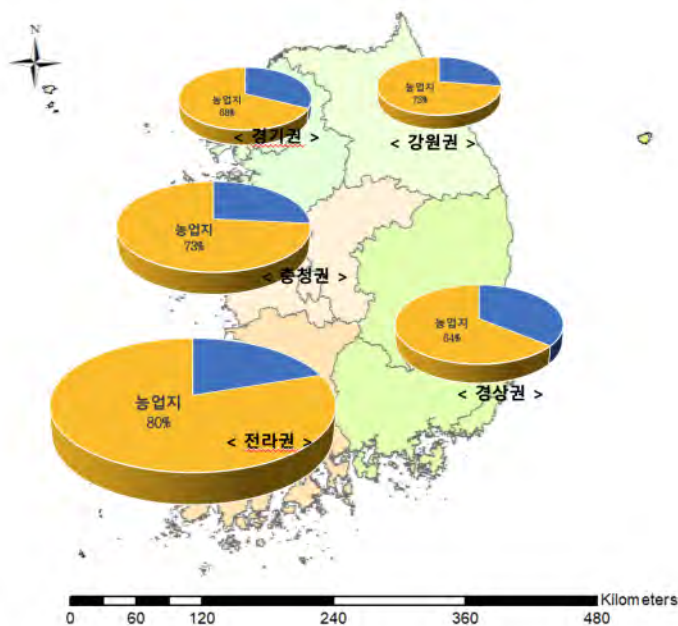
[그림 3-6] 전국 저수지 수해구역 논, 밭 면적 (IDW 보간)

- 저수지 수혜구역에 대한 용수공급을 고려하고자 국가 하천, 1급 하천, 2급 하천과의 거리에 따른 논과 밭의 면적 비율 변화를 파악함
- 하천으로부터 가까운 거리에 저수지 수혜구역이 많이 존재하고 있으며 하천에 가까운 곳에 넓은 면적의 저수지 수혜구역이 존재하고 있음
- 국가하천과 1급 하천으로부터의 거리에 따른 논과 밭의 면적 비율의 경향성은 매우 유사하게 나타남
- 국가하천과 1급 하천으로부터의 거리에 따른 수혜구역 분포의 경우 하천 인근 5km까지 수혜구역이 존재하고 있는 것으로 나타남
- 논, 밭의 경우 하천으로부터의 거리에 따른 면적 비율의 변화가 크게 나타나지 않는 것으로 나타났으며, 밭의 경우 하천으로부터 거리가 멀어질수록 면적 비율이 작아지는 것으로 나타났음
- 2급 하천으로부터의 거리에 따른 수혜구역 분포의 경우 대부분이 하천 인근 2km 이내에 분포하고 있는 것을 확인할 수 있었음
- 대부분 하천 인근 2km 이내에 수혜구역이 분포하고 있으므로 하천으로부터의 거리에 따른 논과 밭 면적 비율 경향성이 뚜렷하게 나타나지 않음
- 하천으로부터의 거리에 따른 논, 밭 절대면적의 약간의 경향성은 파악할 수 있으나 두 지표의 관련성에 대한 R-제곱 값이 매우 작으므로 현황 분석과 이후 추이 분석에 유의미한 지표로 활용하기는 어려울 것으로 확인됨
- 저수지 수혜구역으로부터 주요 도로와의 거리에 따른 논과 밭의 면적 비율 변화를 파악함
- 거리 산출에 사용한 주요 도로는 전국 고속도로로 한정하여 저수지 수혜구역으로부터 가장 가까운 고속도로까지의 거리를 계산함
- 주요 도로로부터 거리 20km 이내에 대부분의 저수지 수혜구역이 존재하는 것을 확인할 수 있음
- 주요 도로로부터 가까운 거리일수록 저수지 수혜구역이 많이 존재하는 것으로 나타남
- 주요 도로로부터 거리가 멀어질수록 논, 밭의 절대 면적이 매우 작은 차이로 증가하고 있는 것을 확인하였으며 밭의 절대 면적의 경우 주요 도로로부터 거리가 멀어질수록 매우 작은 차이로 감소하고 있는 것으로 나타남
- 주요 도로로부터의 거리에 따른 논, 밭 절대면적의 약간의 경향성은 파악할 수 있으나 마찬가지로 두 지표의 관련성에 대한 R-제곱 값이 매우 작으므로 현황 분석과 이후 추이 분석에 유의미한 지표로 활용하기는 어려울 것으로 확인됨

3. 권역별 수해구역 토지이용 현황

[표 3-2] 권역별 저수지 수해구역 현황

| 5개 권역 | 수해구역 개수 | |
|-------|---------|---------------------------------|
| 강원 | 5 | 강원도 |
| 경상 | 215 | 경상북도, 경상남도, 대구광역시, 부산광역시, 울산광역시 |
| 경기 | 72 | 서울, 인천, 경기 |
| 전라 | 151 | 전라북도, 전라남도, 광주광역시 |
| 충청 | 162 | 충청북도, 충청남도, 대전광역시, 세종특별시 |
| 계 | 605 | |



[그림 3-7] 권역별 저수지 수해구역 토지이용 현황 비율

- 저수지 수해구역 별로 구축된 스마트팜맵을 활용하여 권역별 현황 분석을 진행함
- 우리나라의 경우 5개의 권역(강원, 경상, 경기, 전라, 충청)으로 이루어져 있고 각 권역에 해당하는 저수지 수해구역의 지역과 개수는 표 [3-2]와 같음
- 우리나라 전체 저수지 수해구역에 대한 2019년 권역별 농업지역 비율은 그림 [3-7]과 같으며 농업지역의 각 항목별 현황(논, 밭, 시설재배지, 과수)을 살펴보면 다음 표 [3-3]과 같음
- 표 [3-2]에서 확인할 수 있듯이 전라권, 충청권에 가장 많은 저수지 수해구역이 존재하며, 강원권에 가장 적은 저수지 수해구역이 존재하고 있음
- 전국 저수지 수해구역 중 각 권역별 농업지역 면적 비율은 전라권에서 최대, 경기권에서 최소로 나타났으며 전라권이 80%, 충청권이 73%, 강원권이 73%, 경기권이 68%, 경상권이 64%로 나타남

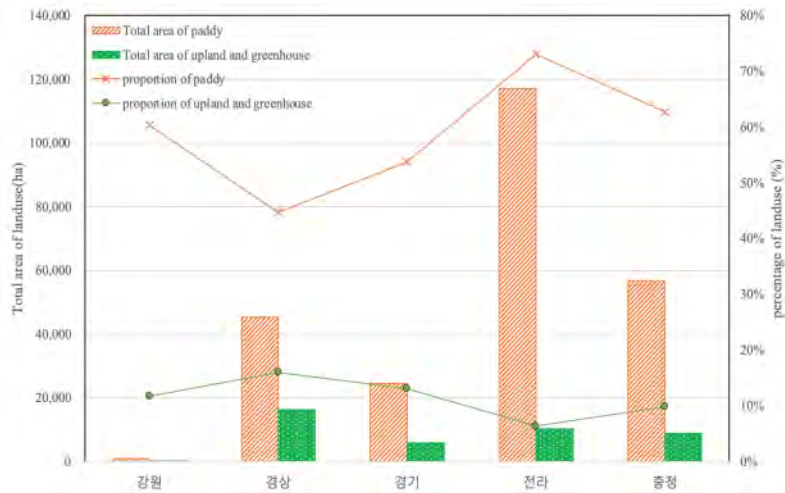
- 저수지 설계 당시 대부분의 지역이 농업 지역이었던 것을 고려한다면 전라권과 충청권에서 토지 이용 변화가 가장 적게 일어났으며, 경기권과 경상권에서 가장 많은 토지 이용 변화가 일어났음을 확인할 수 있음
- 농업지역 항목별 현황은 전국 현황에서와 유사하게 농업지역에서 가장 큰 비중을 차지하는 항목은 논으로 나타남
- 농업지역 중 논과 밭의 절대면적 비율도 권역별로 유의미한 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있음
- 전라권의 경우 논 면적 비율이 73%로 5개 권역 중에서 가장 큰 비율을 보이고 있지만, 밭 면적 비율의 경우 6%로 상대적으로 낮은 비율을 차지하고 있음
- 경상권의 경우 논 면적 비율의 경우 45%로 5개 권역 중 낮은 편에 속하고 있으나, 밭 면적 비율의 경우 16%로 5개 권역 중 가장 크게 나타나고 있음

[표 3-3] 권역별 저수지 수혜구역 토지이용 현황 (단위: ha)

| 권역 | 논 | 밭 | 시설재배지 | 과수 | 농업지역 |
|-----|---------|-------|-------|-------|---------|
| 강원권 | 928 | 123 | 57 | 7 | 1,115 |
| 경상권 | 45,409 | 7,774 | 8,513 | 3,391 | 65,086 |
| 경기권 | 24,498 | 4,073 | 1,894 | 299 | 30,763 |
| 전라권 | 117,090 | 5,639 | 4,595 | 1,268 | 128,591 |
| 충청권 | 56,731 | 4,524 | 4,384 | 787 | 66,426 |

- [표 3-3]에서 확인할 수 있듯이 전라권의 농업지역 면적은 128,591ha로 가장 큰 면적을 차지하고 있으며 강원권의 농업지역 면적은 1,115ha로 가장 작은 면적을 차지하고 있음
- 논 면적 역시 전라권에서 117,090ha로 가장 큰 면적을 차지하고 있으며 강원권에서 964ha로 가장 작은 면적을 차지하고 있음
- 밭 면적의 경우 경상권에서 7,744ha로 가장 큰 면적을 차지하고 있으며 강원권에서 123ha로 가장 작은 면적을 차지하고 있는 것을 확인할 수 있음
- 밭과 시설재배지 면적의 합으로 비교하였을 때, 경상권에서 16,287ha로 가장 크게 나타나며, 강원권에서 180ha로 가장 작게 나타남
- [그림 3-8]은 각 권역별 논과 밭의 절대면적과 비율을 나타내고 있음
- 모든 권역에서 논 면적이 밭 면적에 비해 높게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있으며, 강원권과 충청권의 경우 절대 면적에 있어서 큰 차이를 보이지만 논과 밭의 비율의 경우 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있음
- 강원권과 충청권에서 논 면적 비율과 밭 면적 비율이 유사하게 나타나며 강원권과 경기권에서 밭 면적 비율이 유사하게 나타남

- 권역별 논과 밭 면적 비율을 종합적으로 고려하였을 때, 전라권과 경상권에서 뚜렷한 차이가 나타나고 있음
- [표 3-2]에서 확인할 수 있듯이, 각 권역에 해당하는 저수지 수혜구역의 개수 차이가 존재하므로 권역별 토지이용 현황을 절대면적으로 비교하는 것은 어려움이 있음
- 각 권역별 저수지 수혜구역 개수를 고려하여 평균 토지이용 현황은 [표 3-4]과 같음



[그림 3-8] 각 권역별 논, 밭 면적 및 비율

[표 3-4] 권역별 저수지 수혜구역 평균 토지이용 현황 (단위: ha)

| 권역 | 논 | 밭 | 시설재배지 | 과수 | 농업지역 |
|-----|-----|----|-------|----|------|
| 강원권 | 186 | 25 | 11 | 1 | 223 |
| 경상권 | 211 | 36 | 40 | 16 | 303 |
| 경기권 | 340 | 57 | 26 | 4 | 427 |
| 전라권 | 775 | 37 | 30 | 8 | 852 |
| 충청권 | 350 | 28 | 27 | 5 | 410 |

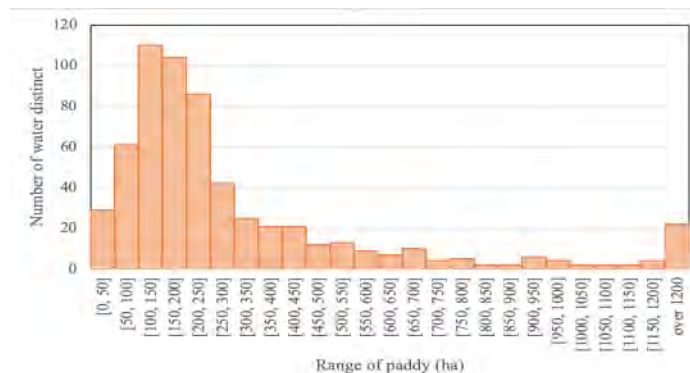
- [표 3-4]는 각 권역별 저수지 수혜구역의 개수를 고려하여 농업지역 항목의 평균 면적을 나타내고 있음
- 저수지 수혜구역 별 평균 농업지역의 경우 앞서 [표 3-3]에서와 마찬가지로 전라권에서 가장 크게 나타나고 있으며 강원권에서 가장 작게 나타나고 있음
- 논 면적의 경우 농업지역 면적과 동일하게 전라권에서 평균 775ha로 가장 크게 나타나며, 강원권에서 평균 186ha로 가장 작게 나타남
- 밭 면적의 경우 앞서 경상권에서 가장 크게 나타났던 것과 다르게 경기권에서 평균 57ha로 가장

크게 나타났으며, 최솟값의 경우 앞서 강원권에서 가장 작게 나타났던 것과 마찬가지로 평균 25ha로 가장 작게 나타남

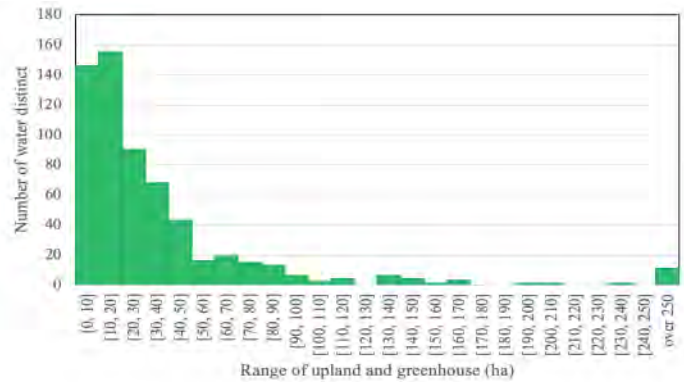
- 밭과 시설재배지 평균 면적 합으로 비교하였을 때, 경상권에서 평균 76ha로 가장 크게 나타나며, 강원권에서 36ha로 가장 작게 나타남

4. 경지별 수혜구역 토지이용 현황

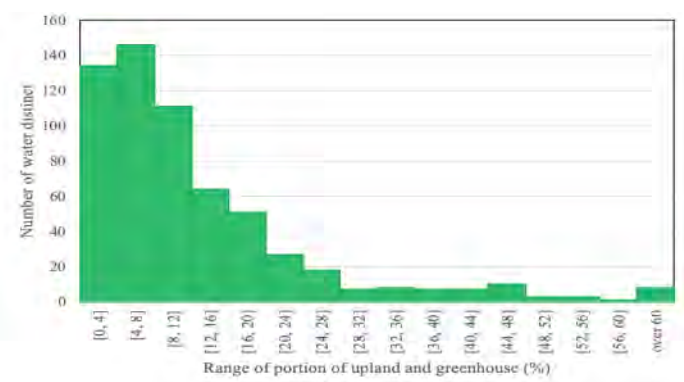
- 농업지역의 항목은 논, 밭, 시설재배지, 과수로 이루어져 있으며, 각 항목별 면적 및 비율에 대한 분석을 진행함
- [그림 3-9]는 605개의 저수지 수혜구역의 논 면적을 도수분포도로 나타낸 것이며, [그림 3-10]은 605개의 저수지 수혜구역의 밭과 시설재배지의 면적을 도수분포도로 나타낸 것이고, [그림 3-11]은 605개의 저수지 수혜구역의 밭과 시설재배지의 비율을 도수분포도로 나타낸 것임
- 논 면적의 경우 300ha 이하가 432개소로 나타났으며 1,200ha를 초과하는 22개소 중 63%는 농업지역 면적이 많은 전라권에서 나타남
- 최대값은 25,889ha로 전라권의 섬진에서 나타남
- 밭과 시설재배지 면적 합이 60ha 이하가 518개소 60ha 이상이 87개소로 나타났으며 250ha를 초과하는 11개소 중 54%는 논 면적과 마찬가지로 농업지역 면적이 많은 전라권에서 나타남
- 최대값은 1,090ha로 전라권의 장성호에서 나타남
- 밭과 시설재배지 면적 비율의 경우 16% 이하가 455개소, 16% 이상이 150개소로 나타났으며 60%를 초과하는 8개소는 평균 70%의 밭/시설재배지 면적 비율을 보임
- 최댓값은 67%로 경상권의 거여에서 나타남



[그림 3-9] 논 면적 도수분포도

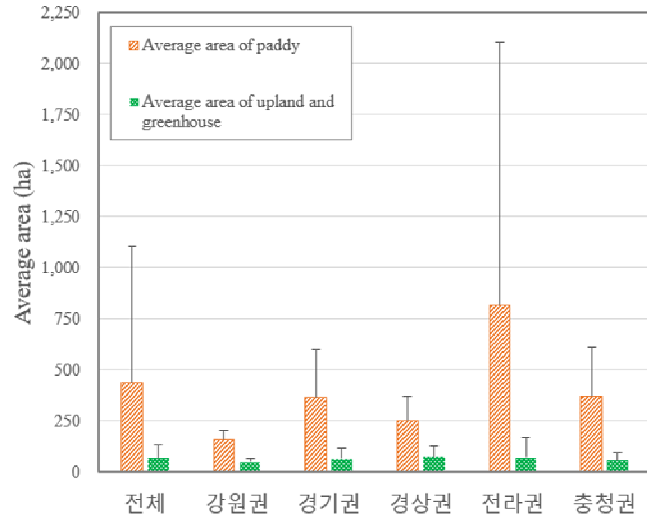


[그림 3-10] 밭/시설재배지 면적 도수분포도

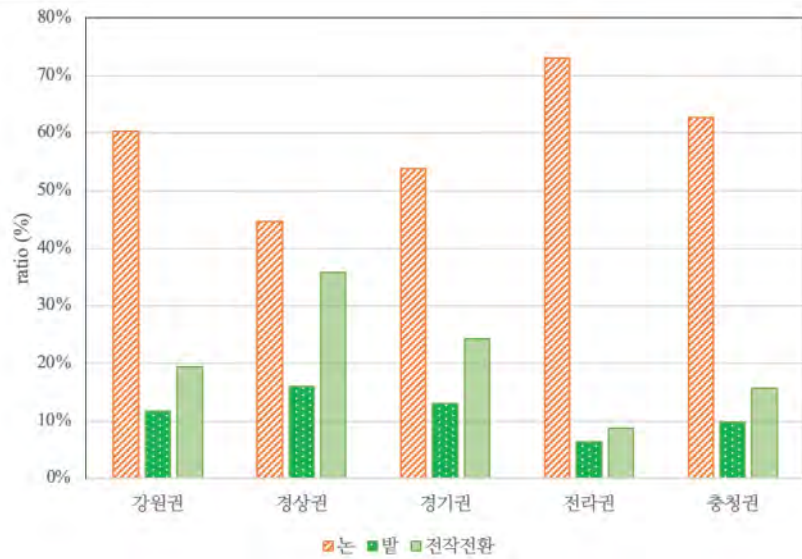


[그림 3-11] 밭/시설재배지 비율 도수분포도

- 그림 [3-12]는 각 권역별 경지면적 평균값과 편차를 나타냄
- 권역별로 밭과 시설재배지의 절대면적에 비해 논 면적의 절대면적 평균값에서 더 큰 차이를 보이고 있음
- 권역별 경지 면적의 평균값은 앞서 권역별 현황 분석에서 확인하였듯이, 전라권의 논 면적 평균값이 가장 크며, 경상권에서 밭과 시설재배지 면적 평균 값이 가장 크게 나타나고 있음
- 권역별 논 면적 편차의 경우, 전라권에서 가장 크게 나타나고 강원권에서 가장 작게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있음
- 권역별 밭 면적 편차의 경우에도 전라권에서 가장 크게 나타나고 강원권에서 가장 작게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있음
- 전라권에서는 논, 밭/시설재배지 면적 크기의 편차가 모두 크게 나타나고 있으며, 이는 전라권에 농업지역이 가장 많으므로 다양한 형태의 토지 이용이 일어나고 있으므로 나타나는 결과로 보임
- 강원권에서는 논, 밭/시설재배지 면적 크기의 편차가 모두 작게 나타나고 있으며, 이는 605개의 저수지 수혜구역 중 5개의 수혜구역만으로 이루어져 있으므로 편차가 다른 권역에 비해 상대적으로 작게 나타나는 것으로 보임



[그림 3-12] 각 권역별 경지면적 평균값과 편차



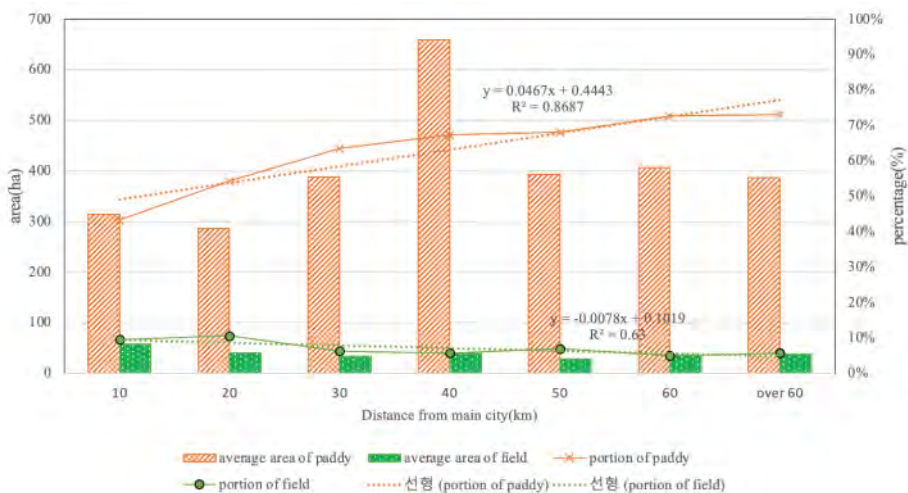
[그림 3-192] 각 권역별 논, 밭 비율 및 전작전환율

- 그림 [3-13]는 각 권역별 논, 밭 비율 및 전작전환율을 나타냄
- 저수지 설계 당시 대부분의 경작지가 논으로 이루어졌던 것을 고려하였을 때, 2019년 스마트팜맵으로 얻어진 저수지 수해구역 별 토지이용 현황을 분석하여 전작전환율을 추정할 수 있음
- 농업지역 면적에 대한 밭 면적의 비율을 전작전환율로 [그림 3-9]와 같은 그래프로 나타냄
- 권역별 농업지역 면적 현황을 보았을 때 농업지역 면적 비율이 높던 전라권과 충청권의 전작전환율이 낮게 나타나고 있으며 상대적으로 농업지역 면적 비율이 상대적으로 낮았던 경상권과 강원권의 경우 전작전환율이 높게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있음
- 또한 전작전환율이 클수록 논 면적 비율이 다른 권역에 비해 상대적으로 작으며 밭의 면적 비율이 상대적으로 높게 나타나고 있음

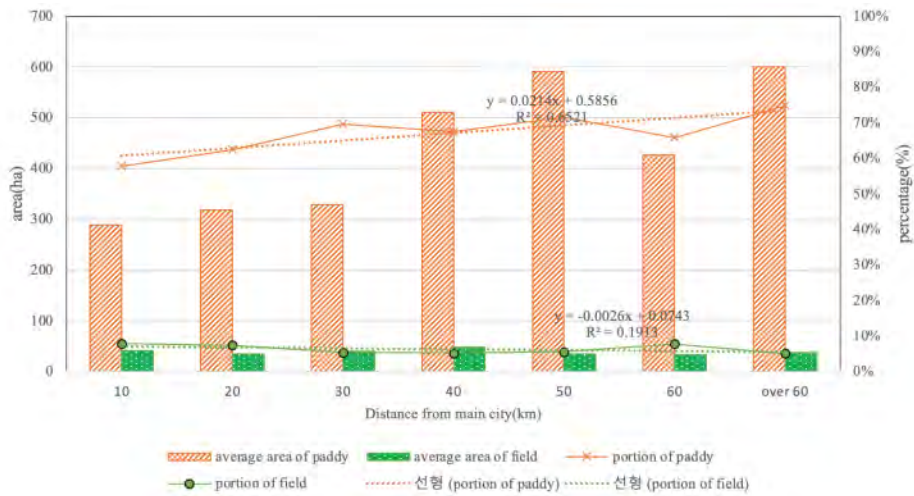
- 이는 농업지역에서의 토지 이용 전환은 대부분 논에서 밭으로 일어나고 있는 것을 보여줌
- 이후 시계열 자료를 사용하여 실제 전작전환율과 추이를 분석하고자 함

5. 주요 도시와의 거리구간별 수혜구역 토지이용 현황

- 건설교통부의 <토지적성평가 평가지표별 조사방법, 2003>에 따르면 도시 인접 용지 비율이 높을 수록 개발 가능성이 높음
- 이를 참고하여 주요 도시와의 거리를 지표로 설정하여 거리구간에 따른 농업지역의 현황을 분석하고자 함
- 주요 도시와의 거리를 지표로 설정하기 위해 세 가지 기준으로 주요 도시를 나누어 각 경우에 따른 농업지역 현황을 파악하고 가장 적절한 지표를 선택함
- 주요 도시를 나눈 세 가지 기준은 다음과 같음
 - 특별시, 광역시
 - 거주 인구 50만 명 이상 도시
 - 거주 인구 30만 명 이상 도시
- 세 가지 기준에 따라 저수지 수혜구역으로부터 주요 도시까지의 거리구간을 계산하였으며, 거리구간별 현황을 파악함
- 첫 번째 특별시, 광역시를 주요 도시 기준으로 설정하여 주요 도시와의 거리구간별 논과 밭의 절대면적 및 비율을 도시한 결과는 [그림 3-14]와 같음
- 두 번째 거주 인구 50만 명 이상 도시를 주요 도시 기준으로 설정하여 주요 도시와의 거리구간별 논과 밭의 절대면적 및 비율을 도시한 결과는 [그림 3-15]와 같음
- 세 번째 거주 인구 30만 명 이상 도시를 주요 도시 기준으로 설정하여 주요 도시와의 거리구간별 논과 밭의 절대면적 및 비율을 도시한 결과는 [그림 3-16]과 같음



[그림 3-14] 주요 도시(특별시, 광역시)와의 거리구간별 현황



[그림 3-15] 주요 도시(인구 50만 이상)와의 거리구간별 현황

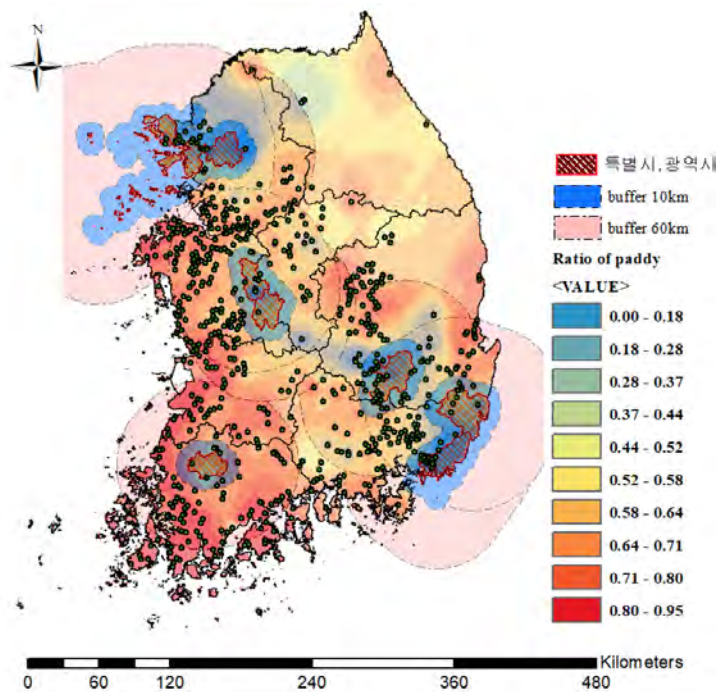


[그림 3-16] 주요 도시(인구 30만 이상)와의 거리구간별 현황

- 세 가지 기준에 따라 논, 밭 절대면적 및 비율을 도시하고 거리구간에 따른 비율의 추세를 나타냄
- 각 기준에 따라 구한 거리구간을 10km단위로 구간마다의 저수지 수혜구역 토지이용 평균값을 이용하여 그래프를 도시하였음
- 세 가지 기준으로 도시한 결과 모두 도심지로부터 거리가 멀어질수록 논, 밭의 절대면적과 비율은 증가하고 밭의 절대면적과 비율은 감소하는 경향성을 보임
- 주요 도시를 나눈 세 가지 기준에 대해 모두 R-제곱 값을 구해 통계적으로 가장 유의미한 지표를 확인한 결과, 첫 번째 기준인 특별시, 광역시를 주요 도시로 설정한 지표가 논, 밭 비율과의 상관관계가 가장 높게 나타남
- 따라서 주요 도시와의 거리 지표로 첫 번째 기준을 적용하였으며, 이에 해당하는 주요 도시는 [표

3-5]와 같음

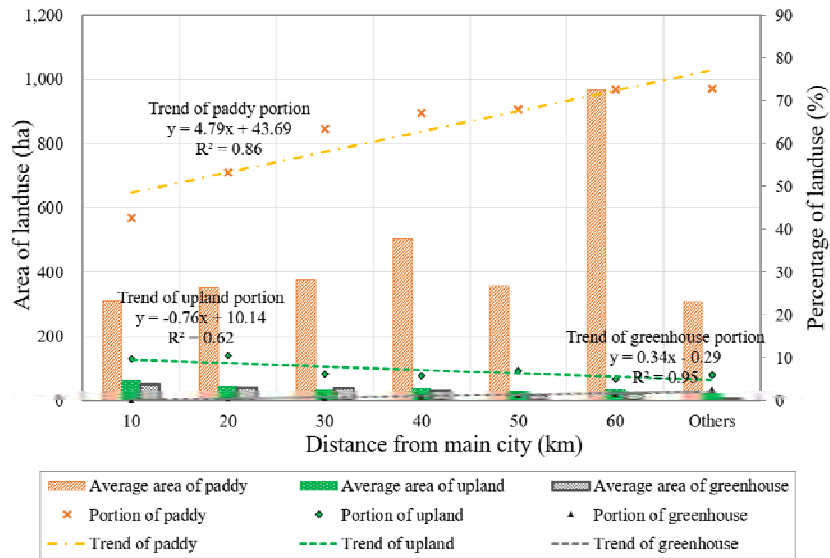
- 특별시, 광역시로부터 저수지 수혜구역까지의 거리 구간을 얻기 위해 ArcGIS 상에서 버퍼를 설정하여 다음 [그림 3-17]과 같이 나타냄
- 10km구간과 60km 구간까지 버퍼를 설정하여 10km부터 60km 사이에 거리 10km 구간마다의 저수지 수혜구역 항목별 토지이용 평균값을 계산함
- [그림 3-17]에서 볼 수 있듯이 주요 도시가 대부분 경상권과 경기권에 존재하며 강원권에는 존재하지 않는 것을 확인할 수 있음
- 이러한 기준에 따라 나타나는 주요 도시와 거리구간에 따른 경지 이용 현황은 [표 3-6]과 [그림 3-18]과 같음



[그림 3-17] 주요 도시와의 거리

[표 3-5] 주요 도시 현황

| 5개 권역 | 주요 도시 개수 | 주요 도시 |
|-------|----------|---------------------|
| 강원 | 0 | |
| 경상 | 3 | 대구광역시, 부산광역시, 울산광역시 |
| 경기 | 2 | 서울특별시, 인천광역시 |
| 전라 | 1 | 광주광역시 |
| 충청 | 2 | 대전광역시, 세종특별시 |
| 계 | 8 | |



[그림 3-18] 주요 도시와 거리구간에 따른 경지 이용

[표 3-6] 주요 도시와의 거리구간에 따른 경지 이용 현황(단위:ha, (%))

| 구간(km) | 논 면적 평균 | 밭/시설재배 면적 평균 | 논 면적 비율 | 밭 면적 비율 |
|--------|---------|--------------|---------|---------|
| 0~10 | 315 | 57 | 43 | 9 |
| 10~20 | 286 | 40 | 54 | 11 |
| 20~30 | 387 | 33 | 63 | 6 |
| 30~40 | 659 | 39 | 67 | 6 |
| 40~50 | 303 | 28 | 68 | 7 |
| 50~60 | 407 | 36 | 73 | 5 |
| 60~ | 386 | 37 | 73 | 6 |

- 특별시, 광역시의 도심지로부터 거리가 멀어질수록 논 면적의 절대면적과 비율은 증가하며 밭과 시설재배지의 절대면적과 비율은 감소하고 있는 경향성을 보임
- 10km구간마다 평균 면적을 나타낸 결과 논 면적은 지속적으로 증가하는 추세를 띠고 있으며 30~40km 구간에서 659ha로 최댓값을 보이고 있으며, 밭의 면적은 지속적으로 감소하는 추세를 띠고 있으며 40~50km 구간에서 28ha로 최솟값을 보이고 있음
- 권역별 현황과 종합하여 분석한다면 전라권, 충청권은 농업지역이 약 80% 가까이 나타나며 경상권, 경기권은 약 70% 수준으로 상대적으로 적은 비중을 차지하는 것이 주요 도시로부터의 거리와 관련이 있음을 확인할 수 있음
- 특별시와 광역시 인근 유역은 대부분 경기권과 경상권에 포함되고 있는 것을 볼 수 있음
- 경기권과 경상권의 농업지역 비율이 상대적으로 낮게 나타나는 것은 주요 도시가 많이 분포하고 있기 때문이며, 주요 도시와의 거리 인자가 토지 이용 현황 분석 결과와 유의미한 관계가 존재하는 것을 확인할 수 있음

제 2 절 전국 농촌 저수지 수혜구역 전작전환 추이 분석

1. 전작전환 추이 분석 개요

- 본 연구에서는 대상 지역의 2007년부터 2019년까지의 12년간 농촌 저수지 수혜구역 내 논 면적과 밭/시설재배지의 면적의 변화를 분석함
- Arcgis 프로그램과 토지피복지도, 스마트팜맵 등을 이용하여 대상 지역으로 선정된 605개의 농촌 저수지 수혜구역의 총 면적, 논 면적, 시설재배지 면적 등을 구하여 분석자료로 이용함
- 대상 지역에서의 논 및 밭 면적과 수혜구역의 총면적에 대한 논 및 밭 면적의 비율의 변화를 분석함

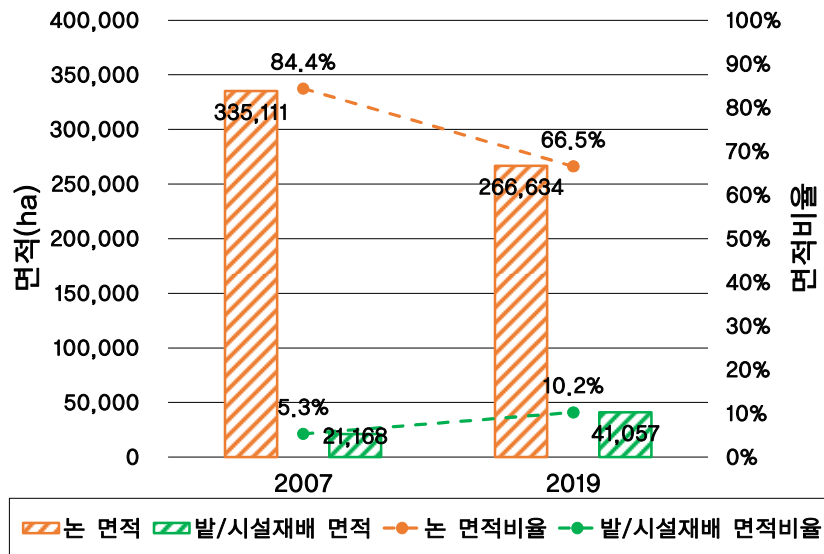
2. 전국 전작전환 추이 분석

가. 개요

- 605개의 대상 지역의 면적을 합산하여 2007년과 2019년의 저수지 수혜면적의 총면적, 논 면적, 밭 면적을 구하고 논 면적비율과 밭 면적비율을 산정하여 비교함

나. 논밭 면적 변화 분석

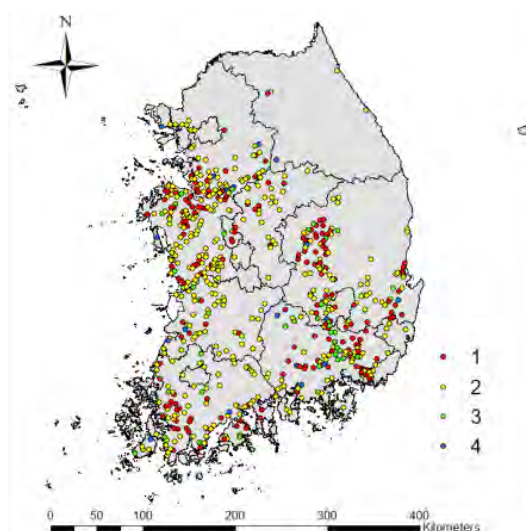
- [그림 3-19]은 2007년과 2019년의 대상지역으로 선정된 농촌 저수지 수혜구역 내 전체 논밭의 면적과 면적비율을 나타냄
- 2007년부터 2019년까지 농촌 저수지 수혜구역 내 논 면적은 총 335,111ha에서 266,634ha로 68,477ha 감소함
- 2007년부터 2019년까지 농촌 저수지 수혜구역 내 밭/시설재배지의 면적은 총 21,168ha에서 41,057ha로 19,889ha 증가함
- 2007년부터 2019년까지 수혜구역 총 면적에 대한 논 면적비율은 17.8%p 감소했고, 밭/시설재배 면적비율은 4.9%p 증가하여 12년 동안 연평균 약 -1.5%p, +0.4%p의 변화율을 보임
- 전체적으로 논 면적은 감소하고 밭/시설재배지의 면적은 증가하나, 논 면적이 감소하는 양에 비해 밭/시설재배지의 면적이 증가하는 양은 적은 것으로 나타나 논 면적으로의 전환보다 타용도로 전환하는 경우가 많은 것으로 판단됨



[그림 3-19] 2007, 2019년 논, 밭/시설재배지 면적 및 면적비율 변화

다. 대상 지역 분류

- 논과 밭/시설재배 면적비율이 모두 감소한 경우 1, 논 면적비율만 감소한 경우 2, 밭/시설재배 면적비율만 감소한 경우 3, 논과 밭/시설재배 면적비율이 모두 증가한 경우 4로 하여 [그림 2-21]에 제시함
- 1에 해당하는 지역은 180개(29.8%), 2에 해당하는 지역은 364개(60.2%), 3에 해당하는 지역은 42개(6.9%), 4에 해당하는 지역은 19개(3.1%)로 나타남
- 논이 감소하는 지역은 544 지역으로 전체 대상 지역 중 89.9%를 차지하고 밭/시설재배지가 증가하는 지역은 383 지역으로 전체 대상 지역 중 63.3%를 차지함



[그림 3-20] 논과 밭/시설재배 면적비율의 증감에 따른 대상지역 분류

3. 권역별 전작전환 추이 분석

가. 개요

- 전국을 강원권역, 경상권역, 경기권역, 전라권역, 충청권역으로 나누어 분석을 진행함
- 권역별 저수지 수혜면적의 수와 총면적이 다른 점을 고려하여 총면적에 대한 논과 밭의 비율을 중심으로 분석
- 각 권역 내 대상 지역의 총면적, 논면적, 밭면적 등을 합산하여 논 면적비율과 밭 면적비율을 산정하고 2007년의 값과 2019년의 값을 비교함

나. 논 면적 변화 분석

- [표 3-7]은 권역별 2007년과 2019년의 논 면적과 면적비율의 변화를 나타냄
- 권역별 논 면적비율의 변화량은 강원권 -19.7%p, 경상권 -19.1%p, 경기권 -21.5%p, 전라권 -15.9%p, 충청권 -17.8%p으로 논 면적비율의 감소는 경기권에서 가장 크고 전라권에서 가장 작게 나타남

[표 3-7] 권역별 논 면적 및 면적비율 변화(단위: ha)

| 논 면적 (논 면적비율) | 전국 | 강원권 | 경상권 | 경기권 | 전라권 | 충청권 |
|------------------|----------------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 2007년 | 335,111 (84.4%) | 973 (71.6%) | 74,618 (72.2%) | 33,360 (80.7%) | 147,748 (93.0%) | 78,025 (84.8%) |
| 2019년 | 266,634 (66.5%) | 792 (51.8%) | 54,886 (53.2%) | 25,963 (59.1%) | 123,542 (77.1%) | 61,205 (67.0%) |
| 변화량 | -68,477 (-17.8%p) | -181 (-19.7%p) | -19,731 (-19.1%p) | -7,397 (-21.5%p) | -24,207 (-15.9%p) | -16,821 (-17.8%p) |

다. 밭 면적 변화 분석

- [표 3-8]은 권역별 2007년과 2019년의 밭/시설재배지의 면적과 면적비율의 변화를 나타냄
- 권역별 밭 면적비율의 변화량은 강원권 +11.3%p, 경상권 +5.4%p, 경기권 +5.2%p, 전라권 +4.2%p, 충청권 +5.4%p으로 밭 면적비율의 증가는 강원권에서 가장 크고 전라권에서 가장 작게 나타남

[표 3-8] 권역별 쌀/시설재배 면적 및 면적비율 변화(단위: ha)

| 쌀/시설재배 면적 (쌀/시설재배 면적비율) | 전국 | 강원권 | 경상권 | 경기권 | 전라권 | 충청권 |
|----------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2007년 | 21,168 (5.3%) | 88 (6.5%) | 10,511 (10.2%) | 2,111 (5.1%) | 3,981 (2.5%) | 4,463 (4.8%) |
| 2019년 | 41,057 (10.2%) | 272 (17.8%) | 16,088 (15.6%) | 4,535 (10.3%) | 10,780 (6.7%) | 9,362 (10.2%) |
| 변화량 | 19,889 (+4.9%p) | 184 (+11.3%p) | 5,576 (+5.4%p) | 2,424 (+5.2%p) | 6,799 (+4.2%p) | 4,899 (+5.4%p) |

- 대부분 감소한 논 면적의 비율이 높은 권역일수록 쌀/시설재배 면적비율의 증가가 높게 나타남
- 전라권에서는 논 면적비율의 감소와 쌀/시설재배 면적비율의 증가가 가장 적어 전작전환율이 가장 낮은 권역으로 나타남
- 경기권의 경우 논 면적비율의 감소가 권역 중 가장 크게 나타났으나 쌀/시설재배 면적비율의 증가는 전라권보다 큰 정도였는데, 이는 경기권역에서 논이 쌀 또는 시설재배지 외의 다른 용도로 전환되는 경우가 많은 것을 보여줌

라. 대상 지역 분류 결과

- [표 3-9]는 논과 쌀/시설재배지의 면적비율의 증가여부에 따라 분류된 저수지 수혜구역의 수를 권역별로 나타낸 것임
- 대부분 권역 내 대상지역 중 60% 이상이 논 면적비율이 감소하고 쌀/시설재배 면적비율이 증가하는 반면, 경상도에서는 약 47%에 불과했고, 논과 쌀/시설재배 모두 감소한 경우와 쌀/시설재배만 감소한 경우의 비율이 다른 지역에 비해 높게 나타남
- 논 면적비율이 감소한 지역의 비율은 충청권이 96%로 가장 높으며, 그 아래로 전라권, 경기권, 경상권, 강원권 순임
- 쌀/시설재배 면적비율이 증가한 지역의 비율은 강원권이 80%로 가장 높고, 그 아래로 경기권, 전라권, 충청권, 경상권 순임

[표 3-9] 권역별 논과 쌀/시설재배 면적비율의 증가여부에 따른 분류

| 구분 | 강원 | 경기 | 경상 | 전라 | 충청 | 계 |
|------------|--------|---------|----------|----------|----------|-----|
| 논, 쌀 모두 감소 | 1(20%) | 14(21%) | 85(39%) | 34(22%) | 46(28%) | 180 |
| 논 감소, 쌀 증가 | 3(60%) | 44(67%) | 103(47%) | 103(68%) | 111(68%) | 364 |
| 논 증가, 쌀 감소 | - | 3(5%) | 23(11%) | 11(7%) | 5(3%) | 42 |
| 논, 쌀 모두 증가 | 1(20%) | 5(8%) | 7(3%) | 4(3%) | 2(1%) | 19 |
| 계 | 5 | 66 | 218 | 152 | 164 | 605 |

- 경상권에서 밭/시설재배지의 면적비율이 증가하는 지역이 50%로 다른 권역에 비해 적음에도 전체 면적에서 밭/시설재배지가 차지하는 비율이 증가하는 비율이 경기, 충청권역과 비슷한 것으로 보아, 경상권에서는 타권역에 비해 한 지역에서 증가하는 밭/시설재배지의 비율이 높은 것으로 생각됨

4. 수혜구역 규모별 전작전환 추이 분석

가. 개요

- 대상지역으로 선정된 지역들을 수혜구역의 규모에 따라 300ha 미만부터 600ha 이상까지 100ha 단위로 다섯 개 집단으로 구분
- 각 집단별로 223개, 126개, 75개, 38개, 143개의 수혜구역이 존재함
- 각 집단에 해당하는 저수지 수혜구역의 총면적, 논면적, 밭면적 등을 합산하여 논 면적비율과 밭 면적비율을 산정하고 2007년의 값과 2019년의 값을 비교함

나. 논 면적 변화 분석

- [표 3-10]은 수혜구역의 규모에 따른 2007년과 2019년의 논 면적비율의 변화를 나타냄
- 수혜구역의 규모에 따라 논 면적비율의 변화는 -18.7%p부터 -17.3%p로, 수혜구역의 규모가 400ha 미만인 경우에 감소율이 가장 많고 400ha 이상 500ha 미만인 경우 감소율이 가장 적음

[표 3-10] 수혜구역 규모별 논 면적비율 변화

| 논 면적비율 | 300ha미만 | 300ha이상 400ha미만 | 400ha이상 500ha미만 | 500ha이상 600ha미만 | 600ha이상 |
|--------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 2007년 | 79.8% | 78.9% | 79.0% | 75.8% | 87.8% |
| 2019년 | 61.1% | 60.3% | 61.7% | 58.4% | 70.2% |
| 변화량 | -18.7%p | -18.7%p | -17.3%p | -17.4%p | -17.6%p |

다. 밭 면적 변화 분석

- [표 3-11]은 수혜구역의 규모에 따른 2007년과 2019년의 밭/시설재배지 면적비율의 변화를 나타냄
- 수혜구역의 규모에 따라 밭/시설재배지 면적비율의 변화는 +2.7%p부터 +7.6%p로, 수혜구역의 규모가 500ha 이상 600ha 미만인 경우에 증가율이 가장 많고 400ha 이상 500ha 미만인 경우 증가율이 가장 적음

[표 3-11] 수혜구역 규모별 밭/시설재배지 면적비율 변화

| 밭/시설재배지 면적비율 | 300ha미만 | 300ha이상 400ha미만 | 400ha이상 500ha미만 | 500ha이상 600ha미만 | 600ha이상 |
|--------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 2007년 | 6.3% | 6.6% | 8.1% | 7.1% | 4.4% |
| 2019년 | 13.0% | 12.6% | 10.8% | 14.6% | 8.8% |
| 변화량 | +6.7%p | +6.1%p | +2.7%p | +7.6%p | +4.4%p |

- 논과 밭/시설재배지 면적비율의 변화는 특정 규모의 수혜면적을 가질 때 변화가 가장 적은 것으로 보이나, 편차가 작거나 변동이 불규칙적이어서 규모에 따른 뚜렷한 경향성을 가지지 않는 것으로 판단됨

라. 대상 지역 분류 결과

- [표 3-12]는 논과 밭/시설재배지의 면적비율의 증가여부에 따라 분류된 저수지 수혜구역의 수를 규모별로 나타낸 것임
- 논과 밭/시설재배 면적비율의 증가여부에 따른 백분율이 규모에 따라 큰 편차가 나타나지 않아 분류된 대상 지역의 수는 규모에 따른 경향성이 없는 것으로 판단됨

[표 3-12] 수혜구역 규모별 논과 밭/시설재배 면적비율의 증가여부에 따른 분류

| 구분 | 300ha미만 | 300ha이상 400ha미만 | 400ha이상 500ha미만 | 500ha이상 600ha미만 | 600ha이상 | 계 |
|------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|-----|
| 논, 밭 모두 감소 | 61(27%) | 43(34%) | 22(29%) | 11(29%) | 43(30%) | 180 |
| 논 감소, 밭 증가 | 136(61%) | 72(57%) | 45(60%) | 21(55%) | 90(63%) | 364 |
| 논 증가, 밭 감소 | 15(7%) | 8(6%) | 7(9%) | 3(8%) | 9(6%) | 42 |
| 논, 밭 모두 증가 | 11(5%) | 3(2%) | 1(1%) | 3(8%) | 1(1%) | 19 |
| 계 | 223 | 126 | 75 | 38 | 143 | 605 |

- 전반적으로 수혜구역의 규모와 전작전환율에 대한 연관성은 없는 것으로 나타남

5. 주요 도시와의 거리구간별 전작전환 추이 분석

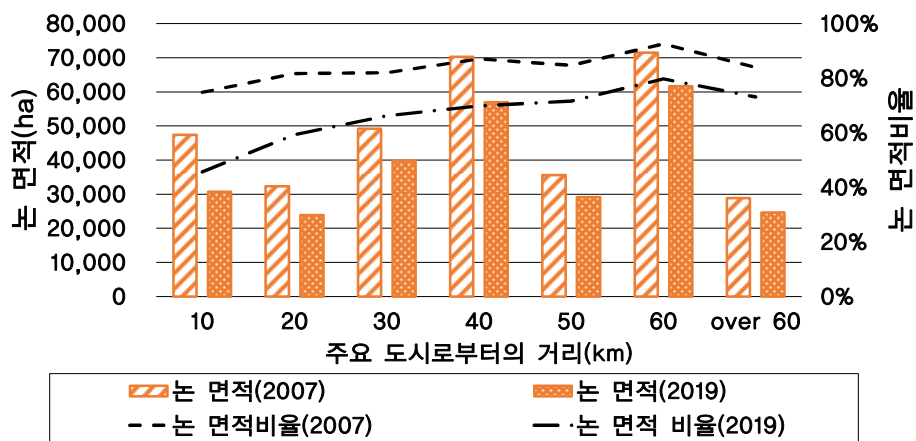
가. 개요

- 우리나라의 주요 도시인 8개의 특별시 및 광역시들을 기준으로 주요 도시로부터의 거리에 따른 전작전환율을 분석함
- 주요도시의 중심으로부터 10km마다 거리구간을 두고 대상지역을 거리구간에 따라 7개로 구분함

- 각 거리구간 내에 해당하는 저수지 수해구역의 총면적, 논면적, 밭면적 등을 합산하여 논 면적비율과 밭 면적비율을 산정하고 2007년의 값과 2019년의 값을 비교함

나. 논 면적 변화 분석

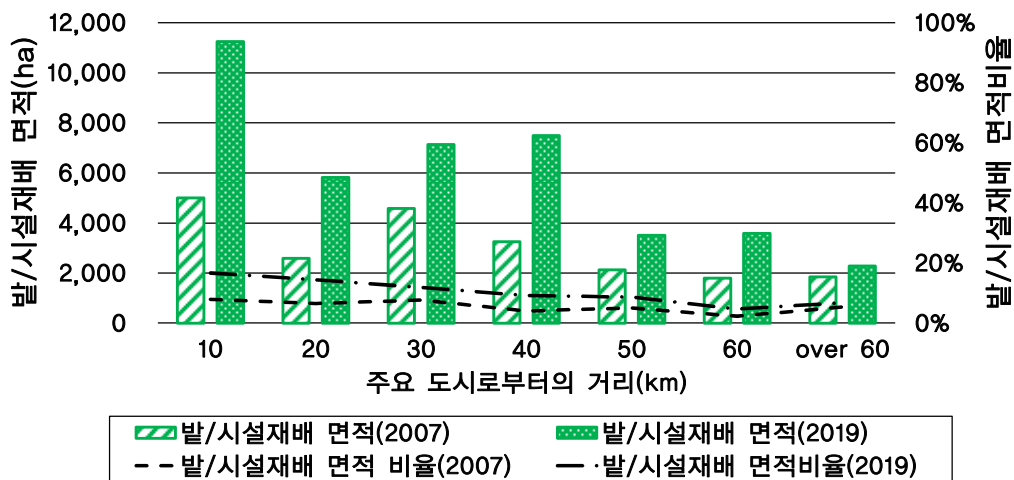
- [그림 21]은 주요 도시로부터의 10km의 거리구간 내 대상지역의 논 면적과 면적비율을 나타냄
- 주요 도시로부터 거리가 가까울수록 논 면적비율의 감소가 크게 나타남



[그림 3-21] 주요 도시와의 거리구간별 논 면적 및 면적비율 변화

다. 밭 면적 변화 분석

- [그림 22]는 주요 도시로부터의 10km의 거리구간 내 대상지역의 밭/시설재배지의 면적과 면적비율을 나타냄
- 주요 도시로부터 거리가 가까울수록 밭/시설재배지의 면적비율의 증가가 크게 나타남



[그림 3-22] 주요 도시와의 거리구간별 밭/시설재배지 면적 및 면적비율 변화

- 주요 도시로부터의 거리가 가까울수록 논 면적비율의 감소와 밭 면적비율의 증가가 크게 나타나고, 멀수록 논 면적비율의 감소와 밭 면적비율의 증가가 가장 적게 나타나 전작 전환율은 도시로부터 가까울수록 큰 것으로 나타남

[표 3-13] 주요 도시와의 거리구간별 논과 밭/시설재배 면적비율의 증가여부에 따른 분류

| 구분 | 10km | 20km | 30km | 40km | 50km | 60km | 60km> | 계 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| 논, 밭 모두 감소 | 33(34%) | 15(23%) | 32(30%) | 31(27%) | 28(34%) | 20(32%) | 21(27%) | 180 |
| 논 감소, 밭 증가 | 54(56%) | 46(70%) | 65(61%) | 72(64%) | 44(54%) | 39(54%) | 44(56%) | 364 |
| 논 증가, 밭 감소 | 8(8%) | 4(6%) | 8(8%) | 4(4%) | 6(7%) | 3(5%) | 9(12%) | 42 |
| 논, 밭 모두 증가 | 2(2%) | 1(2%) | 1(1%) | 6(5%) | 4(5%) | 1(2%) | 4(5%) | 19 |
| 계 | 97 | 66 | 106 | 113 | 82 | 63 | 78 | 605 |

- 논과 밭/시설재배 면적비율의 감소 혹은 증가하는 지역의 수는 거리구간과 관계없이 비슷하지만 거리구간이 가까울수록 전체 면적비율의 변화가 크게 나타나는 것은 주요 도시와 인접할수록 한 지역에서 논 면적의 감소와 밭/시설재배지의 증가가 큰 것을 보여줌

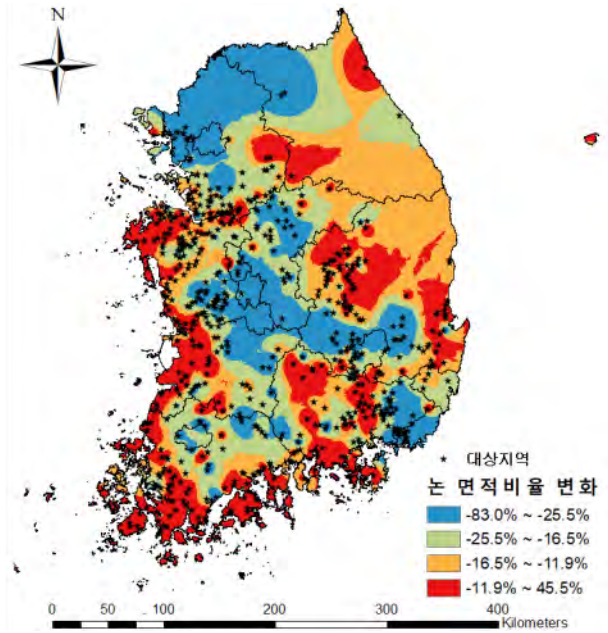
6. 전작 전환 추이 공간분포

가. 개요

- 대상 지역의 논 면적비율 변화와 밭/시설재배지 면적비율 변화의 공간분포를 분석함
- 공간분석법으로는 역거리가중법(Inverse distance weighted, IDW)을 사용함
- 논과 밭/시설재배지의 면적비율 변화의 공간분포를 4분위로 나누어 제시함

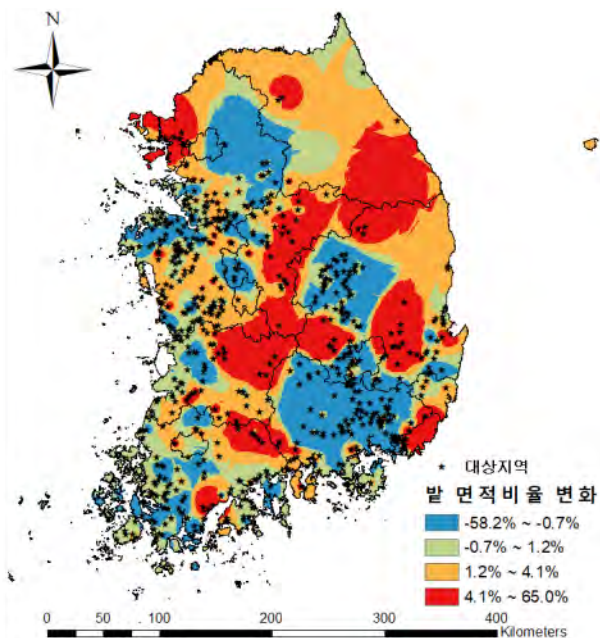
나. 공간분포 분석 결과

- [그림 3-23]은 논 면적비율 변화의 공간분포를 나타냄
- 해안지역의 강 하류에서는 대부분 논 면적비율의 감소가 적음
- 내륙지역의 전라북도와 충청북도, 경상북도 남서부에서 논 면적비율의 감소가 큰 지역이 주로 나타나고 경상북도 북서부와 경상남도는 논 면적비율의 감소가 크지 않음
- 특별시 및 광역시와 같은 대도시 인근에서 논 면적비율의 감소가 크게 나타남



[그림 3-23] 논 면적비율 변화의 공간분포

- [그림 3-24]는 밭/시설재배지 면적비율 변화의 공간분포를 나타냄
- 해안지역에서는 대부분 밭/시설재배지 면적비율이 감소
- 내륙지역의 전라북도와 충청북도, 경상북도 남서부에서 밭/시설재배지 면적비율의 증가가 큰 지역이 주로 나타나고 경상북도 북서부와 경상남도에는 밭/시설재배지 면적비율의 증가가 크지 않음
- 특별시 및 광역시와 같은 대도시 인근에서 밭/시설재배지 면적비율의 감소가 크게 나타남



[그림 3-24] 밭 면적비율 변화의 공간분포

- 대부분 논 면적비율이 크게 감소하는 지역의 경우 밭/시설재배지의 면적비율이 증가하는 것으로 나타났으나 그렇지 않은 지역도 적지 않게 존재함
- 특별시 및 광역시와 같은 대도시 인근의 경우 개발로 인해 수해구역 내 경작지 외 용도의 지역이 늘어나 논과 밭/시설재배지의 면적비율이 모두 크게 감소하는 것으로 판단됨

제 3 절 전작화 특성에 따른 대상지 선정 및 군집분석

1. 전작전환 규모 및 지역 특성에 따른 대상지 선정

가. 토지이용 분석 접근 방법

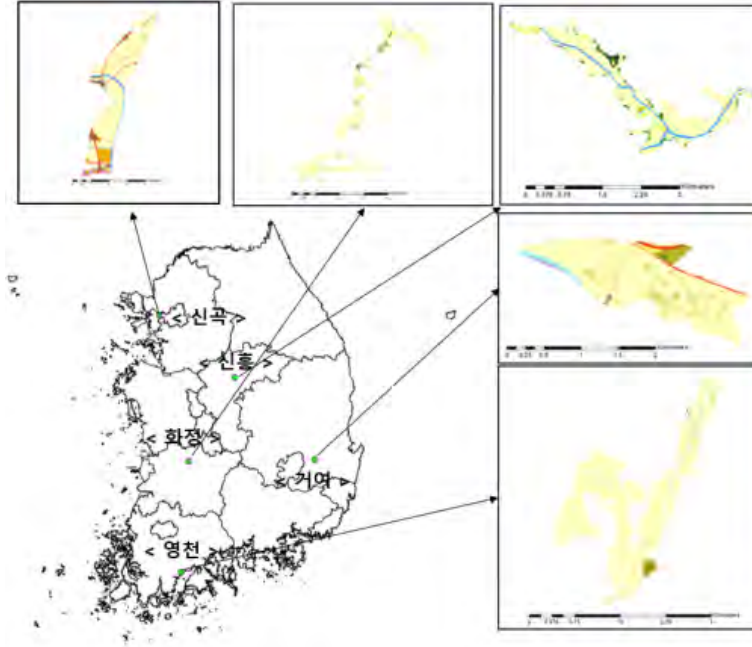
- 농업지역 토지이용 분석의 목적은 논과 밭을 포함한 농지 면적의 현황과 추이를 파악하여 앞으로의 농업 효율성을 극대화하는데 도움을 주는 것이며, 농지 면적 변화 추이에 대한 분석을 명료하고 상세하게 수행하는 것이 중요함
- 그러므로 토지이용 현황 분석에 관련한 요인을 확인하는 것뿐만 아니라 앞서 언급한 추이 분석에 관련한 전반적인 요인을 함께 고려해야 함
- 토지이용 분석에 있어서 고려해야할 사항은 다음과 같음
 - 첫째, 추이 분석을 진행하는 두 시점에서 사용하는 자료가 동일해야함. 추이 분석을 위해서는 동일한 토지 이용 항목별로 비교해야 하므로 본 연구에서는 환경부에서 제공하는 토지피복지도를 사용하여 분석을 진행함
 - 둘째, 각 저수지 수해구역 별 총 면적이 동일한지 확인해야함. 특정 토지이용 항목의 변화량만을 확인하기 위해서는 두 시점에서의 각 저수지 수해구역 총 면적이 동일해야 정확한 비교가 가능함
 - 셋째, 토지이용 분석에 있어 절대면적의 크기를 고려해야함. 절대면적이 상대적으로 작을 경우 특정 토지이용 항목의 증감율이 과대평가될 가능성이 있음

나. 대상지 선정

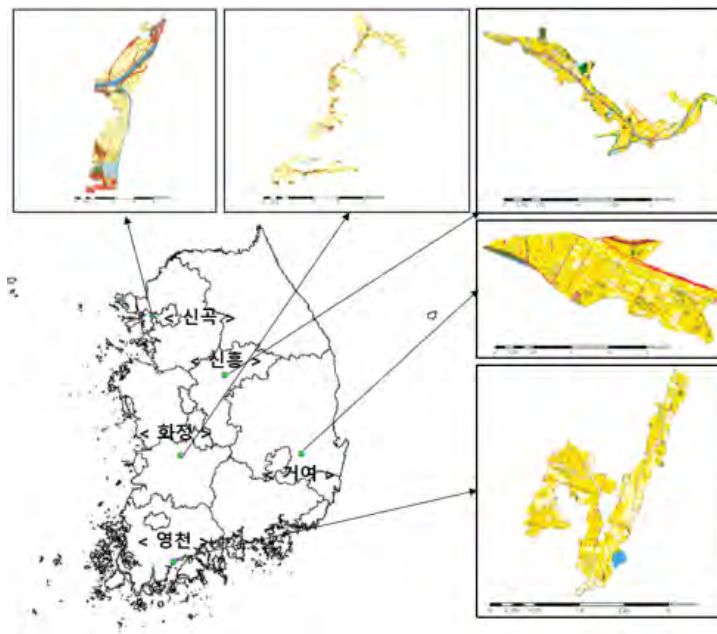
- 본 연구의 대상 지역 선정은 다음에 따라 진행됨
 - 권역마다 한 지역을 선정하되, 강원권은 저수지 수해구역이 적고, 전라권은 용수구역이 넓게 존재하는 것을 고려하여 경기권 1, 경상권 1, 전라권 2, 충청권 1, 총 5 지역을 선정
 - 전작전환이 많이 진행된 지역을 선정하기 위하여 2007년부터 2019년까지 증가한 밭/시설재배지의 면적이 50ha 이상을 기준으로 저수지 수해구역의 총면적에 대해 밭/시설재배지의 면적이 증가한 비율이 높은 지역을 선정
- 신곡(경기권), 거여(경상권), 영천(전라권), 화정(전라권), 신흥(충청권)을 대상 지역으로 선정함
- 표 16은 대상 지역의 2007년도와 2019년도 토지피복지도를, 표 17은 대상 지역의 2007년, 2019년

도 수해구역의 총면적과 논 면적, 밭 면적을 보여줌

- 대상 지역들은 모두 2007년에는 대부분 논이었다가 2019년에 밭으로 전환된 면적이 높은 것을 볼 수 있음

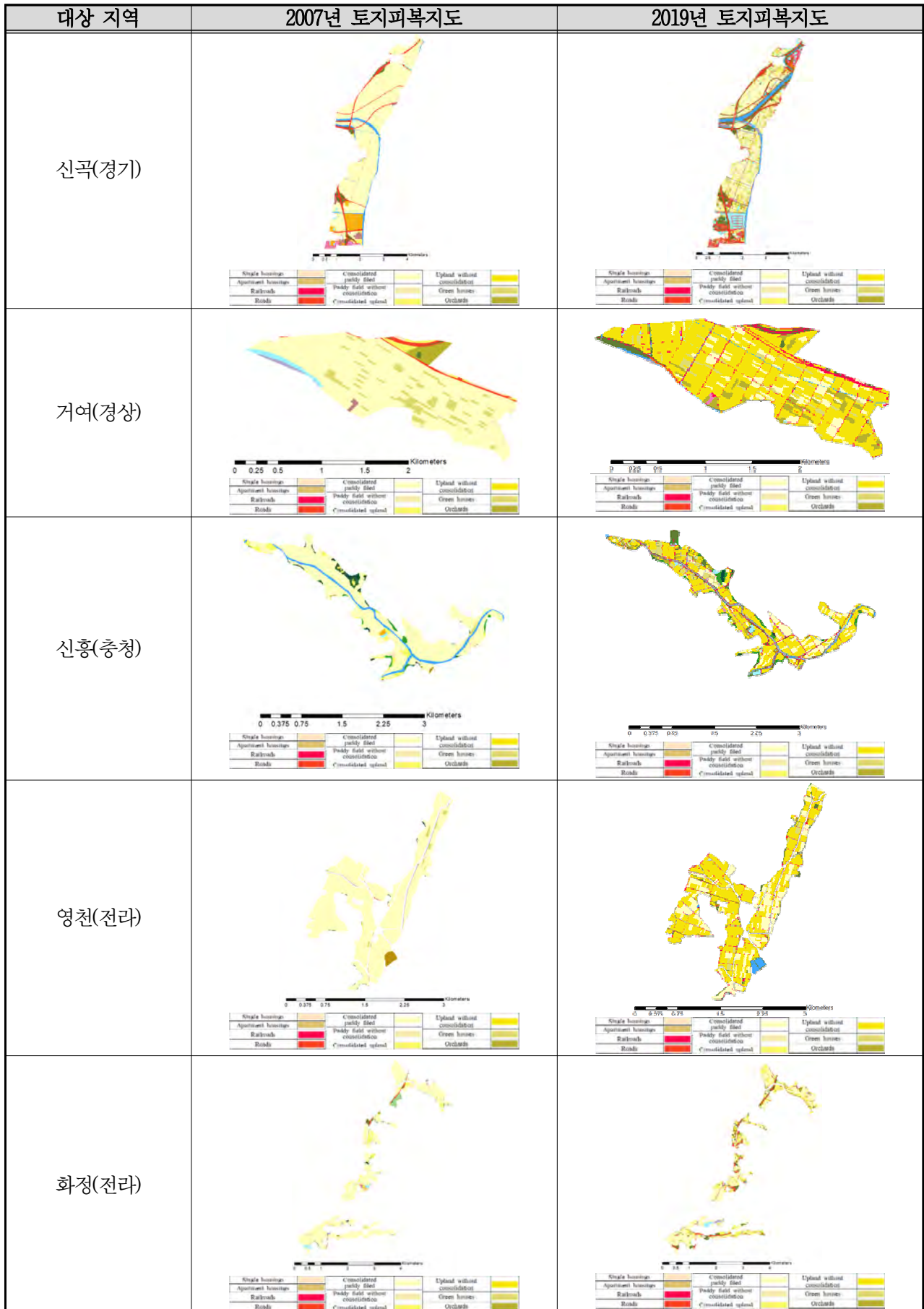


[그림 3-25] 대상지역의 2007 토지이용 현황



[그림 3-26] 대상지역의 2019 토지이용 현황

[표 3-14] 공간분포 특성분석 대상 지역의 2007년, 2019년 토지피복지도



2. 전작화 필지의 공간분포 특성 분석

가. 공간분포 특성 분석 지표

1) CA (Total Class Area)

- McGarigal et al. (1995)이 경관의 정량적 평가를 위해 개발한 지표
- 경관을 구성하고 있는 패치 타입의 면적에 대한 지표로 특정 패치 타입이 점유하고 있는 경관 면적을 나타냄
- 특정 패치 타입의 면적에 대한 직접적인 해석뿐만 아니라, 다른 지표 계산에 사용되는 가장 기본적인 지표임

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$$

a_{ij} = area (m^2) of patch ij.

2) PLAND (Percentage of Landscape)

- 경관의 크기, 밀도, 가장자리, 형태, 핵심구역 등에 관련된 경관지수 중 파편화 정도를 가장 잘 나타낼 수 있는 경관지수 중 하나임
- 경관 내의 특정 패치 타입이 점유하고 있는 면적의 비율 및 총 클래스 면적을 나타내는 지수
- 토지 이용 변화의 추이를 분석하는 데 있어서 PLAND 지표는 토지 이용 변화의 개략적인 변화를 확인하는 데 사용함
- 정확한 경관의 파편화를 파악하기 위해서는 PLAND 외의 추가적인 지표를 확인해야 함

$$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$$

P_i = proportion of the landscape occupied by patch type (class) I.

a_{ij} = area (m^2) of patch ij.

A = total landscape are (m^2)

3) NP (Number of Patches)

- NP는 클래스 수준에서 특정 타입의 패치 개수를 나타내는 지표
- NP는 특정 패치 타입의 파편화 정도를 나타내는 간단한 척도로 CA와 함께 특정 패치 타입에 대한 해석과 더불어, 다른 지표 계산에 사용되는 기본적인 지표 중 하나임
- 경관의 면적, 분포, 패치의 밀도에 대한 정보를 담고 있지 않아, 세부적인 파편화 정도 해석에는 한계가 있음
- 전체 경관 면적과 클래스 면적이 일정할 경우에 NP는 패치 밀도 또는 패치 크기와 동일한 정보를 전달할 수 있어 해석에 유용한 지표로 사용가능함

$$NP = n_i$$

n_i = number of patches in the landscape of patch type (class) i.

4) MPS (Mean Patch Size)

- MPS는 평균패치크기를 의미하며 경관 내의 모든 패치 크기의 평균을 계산하여 얻을 수 있음
- MPS 값이 클수록 각 패치 크기가 크다는 것을 의미하므로 패치의 파편화가 상대적으로 덜 일어난 것을 의미함
- 특정 타입 패치의 MPS 값을 활용하여 경관의 토지 이용에 따른 파편화 정도를 개략적으로 확인할 수 있음

$$MPS = \frac{a_{ij}}{n_i(100)}$$

a_{ij} = area (m^2) of patch ij.

n_i = number of patches in the landscape of patch type (class) i.

5) LPI (Largest Patch Index)

- LPI는 경관 내에서 가장 큰 패치로 이루어진 패치의 면적이 점유하는 비율을 의미함
- 클래스 수준에서 LPI 값은 가장 큰 패치로 구성된 전체 경관 면적의 백분율을 정량화한 것으로,

경관 내의 특정 패치의 지배 정도를 나타내는 척도임

- LPI 값이 작아질수록 경관의 파편화 정도가 커졌음을 의미하며, LPI 값이 커질수록 경관의 집단화 정도가 커졌음을 의미함

$$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$$

a_{ij} = area (m^2) of patch ij.

n_i = number of patches in the landscape of patch type (class) I.

6) LSI (Landscape Shape Index)

- LSI는 경관 내에 속하는 모든 가장자리 길이의 총합을 경관 면적의 평방근으로 나눈 값을 의미함
- LSI는 가장자리 길이의 총합 또는 가장자리 밀도의 표준화된 측정 값을 제공하며, 단순한 가장자리 길이의 총합과는 다르게 직접적인 해석에 사용 가능함
- 파편화에 따라 경관이 복잡해질수록 LSI 값이 커지며, 집단화가 일어날수록 LSI 값은 작아지며, LPI 값과 반비례함

$$LSI = \frac{0.25 \sum_{k=1}^m e_{ik}}{\sqrt{A}}$$

e_{ik} = total length (m) of edge in landscape between patch types (classes) i

and k; includes the entire landscape boundary and some or all background

edge segments involving class i.

A = total landscape are (m^2)

7) ACR (Area Change Rate)

- ACR은 토지 이용 변화를 나타내기 위해 정의한 지표로 두 시점 사이의 면적 증감율을 의미함
- ACR은 총 클래스 면적에 대한 두 시점 사이의 면적 변화를 이용하여 지표를 나타냄
- ACR은 특정 타입 패치 면적의 증가 또는 감소 정도를 확인할 수 있는 지표로 단위는 백분율을 이용하여 나타냄
- 두 시점 사이의 면적 변화 정도가 커질수록 ACR 값이 커지며, 값의 부호에 따라 특정 타입 패치 면적의 증가 또는 감소 여부를 확인할 수 있음
- 총 클래스 면적을 기준으로 한 지표이므로 실제로 증가하거나 감소한 면적에 비해 증감율이 과대 평가될 수 있음

$$ACR = \frac{a_2 - a_1}{A} (100)$$

a_1 = area (m^2) of patch at first point of time.

a_2 = area (m^2) of patch at second point of time.

A = total landscape are (m^2)

8) PCI (Patch Change Index)

- PCI는 특정 타입 패치 면적의 변화량으로 정의한 지표로 토지이용 변화 분석에 사용함
- 총 클래스 면적에 대한 특정 두 시점에서의 면적 변화를 이용하여 지표를 나타내며 특정 두 시점에서의 클래스 면적의 총합이 동일할 때 적용 가능한 지표
- PCI 값이 커질수록 특정 타입 패치의 절대적인 면적 변화가 크게 나타났음을 의미하며 PCI 값이 작을수록 특정 타입 패치의 절대적인 면적 변화가 작게 나타났음을 의미함
- ACR은 면적 변화의 증감율을 확인할 수 있다면, PCI는 절대적인 면적 변화량을 고려할 수 있다는 특징이 있음

$$PCI = P_i = \frac{a_2 - a_1}{A} (100)$$

a_1 = area (m^2) of patch at first point of time.

a_2 = area (m^2) of patch at second point of time.

9) TPR (Transformation in Paddy Rate)

- TPR은 토지이용 변화 분석 중에서 논·밭으로의 토지 이용 변화에 대해 초점을 둔 지표
- 토지의 전작 전환 정도를 파악하기 위한 지표로 특정 두 시점에서의 클래스 면적의 총합이 동일할 때 적용 가능한 지표
- TPR은 논 면적 감소량에 대한 밭 면적 증가량을 나타낸 지표로 두 시점 사이의 논 면적 중에서 얼마나 밭 면적으로 전환되었는지를 확인할 수 있도록 정의한 지표
- TPR 값이 클수록 해당 경관에서는 논 면적 중에서 밭 면적으로 전작 전환된 면적이 많다는 것을 의미하며 이 값이 작을수록 전작 전환된 면적이 적다는 것을 의미함

$$TPR = \frac{|a_{f_2} - a_{f_1}|}{|a_{p_2} - a_{p_1}|} (100)$$

a_{p_1} = paddy area (m^2) at first point of time.

a_{p_2} = paddy area (m^2) at second point of time.

a_{f_1} = field area (m^2) at first point of time.

a_{f_2} = field area (m^2) at second point of time.

10) DUP (Degree of Urban Proximity)

- DUP은 토지이용 변화 분석 과정에서 도시와의 거리에 따른 개발 정도를 고려하여 정의한 지표
- DUP은 경관에서 가장 가까운 도시까지의 거리로 정의한 지표로 DUP 값이 작을수록 도시와의 거리가 가까우며, DUP 값이 클수록 도시와의 거리가 멀다는 것을 의미함
- <토지의 적성평가에 관한 지침, 국토교통부(2018)>을 참고하여 정의한 지표로 이에 따르면 도시 용지 비율과 도시 용지 인접 비율이 높을수록 개발 가능성이 높다는 것을 의미함
- 이를 고려하여 DUP 값이 작을수록 개발가능성이 높아 토지 이용 변화 가능성이 높다는 것을 의미함

$$DUP = \min_{i=1}^n d_i$$

d_i = distance (m) from urban area.

[표 3-15] 토지적성평가 평가지표별 조사방법(건설교통부, 2003)

| 평가지표 | 조사방법 | 단위 | 활용가능자료 | 비고 |
|----------|--|----|---|---|
| 도시용지비율 | 최소행정구역단위 도시용지면적/최소행정 구역단위면적×100 | % | 한국토지정보시스템 전산 자료, 개별공 시지가 토지 특성조 사 전산자료 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 도시용지비율이 높을수록 개발잠재력이 높음 ■ 농지임야비율이 높을수록 농업·보전적성이 높음 |
| 도시용지인접비율 | 최소행정구역단위 도시용지 인접필지면적/최소행정 구역단위면적×100 (GIS 상 공간분석 가능) | % | 한국토지정보시스템 전산 자료, 개별공 시지가 토지 특성조 사 전산자료 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 인접필지와 의 용도불부 합 비율이 높을수록 개발 잠재력이 높음 ■ 인접지역의 토지이용상 태에 따라 개발 또는 보전 여부 결정 가능 |

나. 선정된 전작화 필지 공간분포 특성 분석

1) 신곡

[표 3-16] 신곡의 2007년 공간분포 지표 산정

| 토지 이용 항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|----------|-------|-------|------|------|-----|------|
| 논 | 915.1 | 76.3 | 25.0 | 17.3 | 6.6 | 36.6 |
| 밭 | 9.4 | 0.8 | 7.0 | 0.3 | 3.4 | 1.3 |
| 과수원 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 시설재배지 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

[표 3-17] 신곡의 2019년 공간분포 지표 산정

| 토지 이용 항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|----------|-------|-------|-------|-----|------|-----|
| 논 | 405.3 | 33.8 | 293.0 | 0.6 | 23.0 | 1.4 |
| 밭 | 120.5 | 10.0 | 411.0 | 0.2 | 29.5 | 0.3 |
| 과수원 | 6.4 | 0.5 | 19.0 | 0.1 | 6.2 | 0.3 |
| 시설재배지 | 79.3 | 6.6 | 353.0 | 0.1 | 23.4 | 0.2 |

- 신곡 지역의 2007년과 2019년 토지피복지도 분석 결과는 다음 [표 3-16]과 [표 3-17]과 같음
- 논·밭의 CA값의 경우 2007년에 915.1 2019년 405.3, PLAND 값은 2007년에 76.3%, 2019년에 33.8%로 절대면적과 비율이 절반 이상 감소한 것을 확인할 수 있음
- 신곡 지역은 2007년과 2019년 모두 논 면적이 최대 비율을 차지하고 있음을 확인할 수 있음
- 논과 밭에서 2007년에 비해 2019년의 NP 값이 증가하였으며 이는 해당 저수지 수혜구역의 필지의 파편화로 나타난 결과로 보임

- 하지만 2007년과 2019년 사이에서 논외의 LPI 값은 17.3에서 0.6으로 감소하였으며 LSI 값은 6.6에서 23으로 급증하였고, MPS 값은 36.6에서 1.4로 감소하였음
- 이는 논외의 파편화가 일어나 논외로 이용되는 경외 면적이 다른 토외 이용외로 전환되었음을 나타냄
- 밭외의 경우 CA값이 9.4에서 120.5로 급격하게 증가하였으며, PLAND값도 0.8에서 10으로 증가하였음
- 밭 외적이 두 시점 사이에서 10배 이상 증가하였음을 확인할 수 있음
- 2007년과 2019년 사이에 밭외의 PLAND 값이 9.2%p 증가한 것은 전국 평균 밭 외적 증가율의 두 배 가까이 다다른 비율임을 확인할 수 있음
- 이는 논외의 경우와 반대로 신곡 지역에서 밭 외적이 증가하였으며 해당 저수지 수해구역에서 밭 외적이 차지하는 비율도 상승하였음을 의미함
- 논외의 LSI 값이 급격하게 증가한 것과 비슷하게 밭외의 LSI 값 역시 급격하게 증가하였으며, 이는 논외의 파편화 정도가 밭외의 파편화 정도와 유사하다는 것을 확인할 수 있음

[표 3-18] 신곡외의 추외 해석 지표

| 토외 이용 항목 | ACR(%) | PCI | TPR(%) | DUP(km) |
|-----------|--------|-------|--------|---------|
| 논 | 43 | 509.8 | 22 | 0 |
| 밭 | 9 | 111.1 | | |
| 밭 + 시설재배지 | 16 | 190.3 | | |

- 논외의 경우 PCI 값이 509.8이며 밭외의 PCI 값은 111.1, 밭과 시설재배지 외적 합외의 PCI 값은 190.3으로 나타나고 있음
- PCI 값을 신곡 지역의 총 외적으로 나누어 얻은 ACR을 보았을 때 논외의 경우 전체 외적을 고려하였을 때 43% 감소하였으며, 밭외의 경우 9% 증가하였음을 확인할 수 있음
- 이는 대부분의 농업지역 항목에서 외적 변화가 일어났으며, 논 외적 감소량이 밭과 시설재배지 외적외의 증가량외로 전환되었다는 것을 확인할 수 있음
- TPR 값은 22%로 논 외적 중 22%가 밭 외적으로 전환되었음
- 이는 2007년 기준 신곡지역외의 논이었던 지역이 밭을 제외한 다른 토외 이용 항목외로 전환이 많이 일어났음을 의미함
- DUP 값은 0으로 신곡지역과 우리나라 주요 도시가 인접하여 있음을 의미함
- 도시 인접 용지가 많을수록 개발가능성이 높다는 특징을 고려해보았을 때 이후 농업지역 외적 변화가 더 크게 일어날 것으로 예상됨
- 2007년과 2019년 모두 최대 토외 이용 항목이 논외로 나타나지만 논외의 외적 비율이 절반 이상 감소한 것과 DUP 값이 0이라는 것을 고려하였을 때 이후 논 외적은 더욱 감소할 것으로 예상됨

2) 거여

[표 3-19] 거여의 2007년 공간분포 지표 산정

| 토지 이용 항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|----------|-------|-------|-----|------|-----|------|
| 논 | 159.7 | 79.0 | 4.0 | 79.0 | 5.8 | 39.9 |
| 밭 | 3.5 | 1.7 | 9.0 | 1.0 | 4.4 | 0.4 |
| 과수원 | 6.3 | 3.1 | 4.0 | 3.1 | 2.1 | 1.6 |
| 시설재배지 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |

[표 3-20] 거여의 2019년 공간분포 지표 산정

| 토지 이용항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|---------|-------|-------|-------|-----|------|-----|
| 논 | 22.8 | 11.3 | 66.0 | 0.5 | 12.7 | 0.3 |
| 밭 | 135.4 | 67.0 | 109.0 | 4.2 | 16.8 | 1.2 |
| 과수원 | 12.8 | 6.3 | 38.0 | 0.9 | 9.5 | 0.3 |
| 시설재배지 | 7.4 | 3.7 | 37.0 | 0.5 | 10.5 | 0.2 |

- 거여 지역의 2007년과 2019년 토지피복지도 분석 결과는 다음 [표 3-19]와 [표 3-20]과 같음
- 논·밭의 CA값의 경우 2007년 159.7에서 2019년 22.8로 매우 급격한 감소가 일어났음을 확인할 수 있으며 PLAND 값 역시 79%에서 11.3%로 1/6 이상 감소하였음
- 거여 지역은 2007년 기준 논 면적이 최대 비율을 차지하고 있었지만 2019년 밭 면적이 최대 비율로 나타나고 있음
- 2007년 논·밭의 PLAND 값이 79%, 2019년 밭의 PLAND 값이 67%임을 고려하였을 때 논 면적의 대부분이 밭 면적으로 전환되었음을 예상할 수 있음
- 2007년과 2019년 사이에서 논·밭의 LPI 값은 79에서 0.5로 감소하였으며 LSI 값은 5.8에서 12.7으로 증가하였고, MPS 값은 39.9에서 0.3으로 감소하였음
- 이는 논·밭 면적의 파편화가 일어나 논으로 이용되는 경지 면적이 다른 토지 이용으로 전환되었음을 나타냄
- 밭의 경우 CA값이 3.5에서 135.4로 급격하게 증가하였으며, PLAND 값도 1.7%에서 67%로 증가하였음
- 이는 밭 면적이 두 시점 사이에 40배 가까이 증가하였음을 의미함
- 2007년과 2019년 사이에 밭의 PLAND 값이 65.3%p 증가한 것은 전국 평균 밭 면적 증가율을 뛰어넘는 값으로 전국 최대치에 해당하는 증가율을 확인할 수 있음

- 이는 논외의 경우와 반대로 거여 지역에서 밭 면적이 증가하였으며 해당 저수지 수혜구역에서 밭 면적이 차지하는 비율도 상승하였음을 의미함
- 시설재배지의 경우 2007년 CA 값이 17.9에서 2019년 7.4로 절반 이상 감소한 것으로 나타남
- 반면 과수원의 경우 2007년 CA 값이 6.3에서 2019년 12.8로 절반 이상 증가한 것으로 나타남
- 거여 지역에서 2007년과 2019년 사이에 논 면적의 급격한 감소와 밭 면적의 급격한 증가가 일어났음을 확인할 수 있으며 시설재배지 면적 감소량과 과수원 면적 증가량이 유사하게 나타났음을 확인할 수 있음

[표 3-21] 거여의 추이 해석 지표

| 토지 이용 항목 | ACR(%) | PCI | TPR(%) | DUP(km) |
|-----------|--------|-------|--------|---------|
| 논 | 68 | 136.9 | 96 | 13 |
| 밭 | 65 | 131.8 | | |
| 밭 + 시설재배지 | 60 | 121.4 | | |

- 논외의 경우 PCI 값이 136.9로 나타나고 있으며 밭외의 경우 PCI 값이 131.8로 두 토지 이용에 대한 PCI 값이 유사하게 나타나고 있음을 확인할 수 있음
- PCI 값을 거여 지역의 총 면적으로 나누어 얻은 ACR을 보았을 때 논외의 경우 68% 감소하였으며, 밭외의 경우 65% 증가하였으며, 밭과 시설재배지를 합친 면적은 60% 증가하였음을 확인할 수 있음
- 밭외의 ACR값에 비해 밭과 시설재배지를 합친 면적의 ACR값이 작다는 것은 시설재배지 면적이 감소하였음을 확인할 수 있음
- 농업지역 면적 변화 중 논과 밭외의 면적 변화가 차지하는 비중이 매우 높으며 이 외 다른 농업지역 항목은 상대적으로 적은 변화가 일어났음을 확인할 수 있음
- 논외의 면적 변화에 비해 밭외의 면적 변화가 매우 크기 때문에 TPR 값이 96%로 매우 크게 나타나고 있음
- 이는 거여 지역에서의 전작전환은 거의 대부분 논 면적이 밭 면적으로 전환된 것이라고 판단할 수 있음
- 앞서 농업지역의 과수원과 시설재배지 면적 변화량이 유사하게 나타난 것으로 보아 시설재배지 면적 감소량이 과수원 면적 증가량으로 전환되었음을 예상할 수 있음
- DUP 값은 13으로 거여 지역과 우리나라 주요 도시가 상대적으로 가까운 것을 확인할 수 있음
- 도시 인접 용지가 많을수록 개발가능성이 높다는 특징을 고려해보았을 때 이후 농업지역 면적 변화가 더 일어날 것으로 예상되며 신곡 지역에 비해서는 상대적으로 변화 속도가 느릴 것으로 예상됨

3) 신흥

[표 3-22] 신흥의 2007년 경관 해석 지표

| 토지 이용 항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|----------|-------|-------|------|------|-----|------|
| 논 | 170.8 | 77.4 | 11.0 | 20.6 | 7.4 | 15.5 |
| 밭 | 12.7 | 5.8 | 41.0 | 0.8 | 9.3 | 0.3 |
| 과수원 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 시설재배지 | 1.2 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 2.1 | 1.2 |

[표 3-23] 신흥의 2019년 경관 해석 지표

| 토지 이용 항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|----------|------|-------|-------|-----|------|-----|
| 논 | 35.3 | 16.0 | 94.0 | 1.2 | 14.1 | 0.4 |
| 밭 | 98.8 | 44.8 | 245.0 | 1.5 | 20.1 | 0.4 |
| 과수원 | 5.3 | 2.4 | 19.0 | 0.3 | 6.5 | 0.3 |
| 시설재배지 | 10.3 | 4.7 | 52.0 | 0.7 | 9.0 | 0.2 |

- 신흥 지역의 2007년과 2019년 토지피복지도 분석 결과는 다음 [표 3-22]와 [표 3-23]과 같음
- 논·밭의 CA값의 경우 2007년 170.8에서 2019년 35.3으로 감소하였으며, PLAND 값 역시 77.4%에서 16%로 1/4 가까이 감소하였음을 확인할 수 있음
- 신흥 지역은 2007년 기준 논 면적이 최대 비율을 차지하고 있었으며, 2019년 밭 면적이 최대 비율을 차지하고 있음
- 대부분의 토지이용항목에서 2007년에 비해 2019년의 NP 값이 증가하였으며 이는 해당 저수지 수혜구역의 필지의 파편화로 나타난 결과로 보임
- 2007년과 2019년 사이에서 논·밭의 LPI 값은 20.6에서 1.2로 급격하게 감소하였으며 LSI 값은 7.4에서 14.1로 증가하였음
- 이는 논·밭의 파편화가 일어났음을 의미하며 LPI 값이 1/20으로 줄어든 것은 논으로 사용되던 필지가 매우 작은 단위로 분리되었다는 것을 의미함
- 밭의 경우 CA값이 12.7에서 98.8로 급격하게 증가하였으며, PLAND 값도 5.8%에서 44.8%로 증가하였음
- 이는 밭 면적이 두 시점 사이에 8배 가까이 증가하였음을 의미함
- 2007년과 2019년 사이에 밭의 PLAND 값이 39%p 증가한 것은 전국 평균 밭 면적 증가율을 뛰어넘는 값이며 2019년 저수지 수혜구역별 스마트팜맵에 따른 밭 면적 비율을 고려하더라도 상위에 속하는 값임
- 논·밭의 LSI 값과 밭의 LSI 값은 모두 두 배 가까이 증가하였으며, 이는 논과 밭의 각 필지 파편화

정도는 비슷하다는 것을 의미함

- 시설재배지의 경우 2007년 CA 값 1.2, PLAND 값 0.5%에서 2019년 CA 값 10.3, PLAND 값 4.7%로 나타남
- 이는 시설재배지 절대면적 증가량이 논과 밭의 면적 변화량에 비해 크지 않지만 두 시점 사이에 9배 가까이 증가하였음을 의미함
- 과수원의 경우 2007년에 면적이 전혀 없었던 반면 2019년 PLAND 값 2.4%로 새롭게 나타난 것을 확인할 수 있음
- 신흥 지역에서 2007년과 2019년 사이에 논 면적과 밭 면적의 큰 변화량이 나타났으며 특히 시설재배지 면적이 9배 가까이 증가하는 큰 변화가 나타났음을 확인할 수 있음

[표 3-24] 신흥의 추이 해석 지표

| 토지 이용 항목 | ACR(%) | PCI | TPR(%) | DUP(km) |
|-----------|--------|-------|--------|---------|
| 논 | 61 | 135.5 | 64 | 50 |
| 밭 | 39 | 86.0 | | |
| 밭 + 시설재배지 | 43 | 95.1 | | |

- 논인 경우 PCI 값이 135.5 밭의 PCI 값은 86, 밭과 시설재배지 면적 합인 PCI 값은 95.1로 나타남
- PCI 값을 신흥 지역의 총 면적으로 나누어 얻은 ACR을 보았을 때 논인 경우 61% 감소하였으며, 밭인 경우 39% 증가하였음을 확인할 수 있음
- 밭의 PCI 값에 비해 밭과 시설재배지 면적의 PCI 값이 크게 나타나는 것으로 보았을 때, 앞서 지표를 통해 확인했던 것과 같이 시설재배지 면적이 크게 증가하였음을 의미함
- 논인 면적 변화에 대한 밭인 면적 변화인 TPR 값이 64%로 나타나고 있으며 이는 논 면적 중 절반 이상이 밭으로 전락 전환되었음을 의미함
- 신흥지역에서 시설재배지 면적이 크게 증가한 것을 고려하였을 때 TPR 값으로 나타나는 64%를 제외한 36%에서 상당 부분 논에서 시설재배지로의 토지 이용 전환이 나타났을 것으로 예상됨
- 또한 신흥지역에서 과수원 면적이 새롭게 나타난 것을 고려하였을 때 TPR 값으로 나타나는 64%를 제외한 36%에서 상당 부분 논에서 과수원으로의 토지 이용 전환이 나타났을 것으로 예상됨
- DUP 값은 50으로 신흥지역으로부터 우리나라 주요 도시까지의 거리가 어느 정도 떨어져 있음을 의미함
- 도시 인접 용지가 많을수록 개발가능성이 높다는 특징을 고려해보았을 때 이후 다른 지역에 비해 상대적으로 농업지역 토지 이용 변화가 크지 않을 것으로 예상됨
- 2007년에 면적 비율이 높은 두 항목이 논과 밭으로 나타나며, 2019년에도 역시 면적 비율이 높은 두 항목이 밭과 논으로 나타나는 것과 DUP 값이 50인 것을 고려하였을 때 신흥지역의 농업지역 면적 변화 속도는 빠르지 않을 것으로 예상됨

4) 영천

[표 3-25] 영천의 2007년 경관 해석 지표

| 토지 이용 항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|----------|-------|-------|------|------|-----|------|
| 논 | 237.3 | 94.8 | 20.0 | 35.0 | 7.6 | 11.9 |
| 밭 | 0.7 | 0.3 | 33.0 | 0.1 | 9.6 | 0.0 |
| 과수원 | 0.1 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 1.8 | 0.1 |
| 시설재배지 | 2.9 | 1.2 | 7.0 | 0.4 | 3.8 | 0.4 |

[표 3-26] 영천의 2019년 경관 해석 지표

| 토지 이용 항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|----------|-------|-------|-------|-----|------|-----|
| 논 | 68.1 | 27.2 | 84.0 | 1.6 | 12.8 | 0.8 |
| 밭 | 153.7 | 61.4 | 157.0 | 2.9 | 16.1 | 1.0 |
| 과수원 | 0.4 | 0.1 | 4.0 | 0.0 | 2.7 | 0.1 |
| 시설재배지 | 4.3 | 1.7 | 34.0 | 0.3 | 7.0 | 0.1 |

- 영천 지역의 2007년과 2019년 토지피복지도 분석 결과는 다음 [표 3-25]와 [표 3-26]과 같음
- 논·밭의 CA값의 경우 2007년 237.3에서 68.1로 감소하였으며 PLAND 값은 94.8%에서 27.2%로 매우 큰 감소가 일어났음을 확인할 수 있음
- 영천 지역은 2007년 기준 저수지 수혜구역의 대부분이 논으로 이루어져 있었으나 2019년 이 비율이 1/4 가까이 감소한 것으로 나타남
- 영천 지역은 2007년 논이 최대 면적 비율을 차지하고 있었으나 2019년 밭이 최대 면적 비율을 차지하고 있음
- 대부분의 토지이용항목에서 2007년에 비해 2019년의 NP 값이 증가하였으며 이는 해당 저수지 수혜구역의 필지의 파편화로 나타난 결과로 보임
- 2007년과 2019년 사이에서 논·밭의 LPI 값은 35에서 1.6으로 감소하였으며 LSI 값은 7.6에서 12.8로 증가하였고, MPS 값은 11.9에서 0.8로 급격하게 감소하였음
- 이는 논·밭의 파편화가 일어나 논으로 이용되는 경지 면적이 다른 토지 이용으로 전환되었음을 나타냄
- 밭의 경우 CA값이 0.7에서 153.7로 급격하게 증가하였으며, PLAND 값도 0.3%에서 61.4%로 증가하였음
- 이는 밭 면적이 두 시점 사이에 200배 이상 증가하였음을 의미함
- 2007년과 2019년 사이에 밭의 PLAND 값이 61.1%p 증가한 것은 전국 평균 밭 면적 증가율이 가장 높은 지역 중 하나임을 의미함
- 이는 논·밭의 경우와 반대로 영천 지역에서 밭 면적이 증가하였으며 해당 저수지 수혜구역에서 밭 면적이 차지하는 비율도 상승하였음을 의미함
- 논·밭의 경우 모두 2007년과 2019년 사이에 LSI 값이 두 배 정도 증가하였으며, 이는 농업지역 전반적으로 필지의 파편화가 일어났음을 의미함

- 시설재배지의 경우 2007년 CA 값이 2.9, PLAND 값이 1.2%에서 2019년 CA 값 4.3, PLAND 값 1.7%로 2007년과 2019년 사이에서 큰 차이가 나타나지 않음
- 과수원의 경우 2007년 CA 값이 0.1, PLAND 값이 0.03%이며 2019년 CA 값이 0.4, PLAND 값이 0.1%로 역시 2007년과 2019년 사이의 큰 면적 변화가 나타나지 않음
- 영천 지역에서 논과 밭 면적을 제외하고는 농업지역 면적 변화가 크게 나타나지 않았음을 확인할 수 있음

[표 3-27] 영천의 추이 해석 지표

| 토지 이용 항목 | ACR(%) | PCI | TPR(%) | DUP(km) |
|-----------|--------|-------|--------|---------|
| 논 | 68 | 169.2 | 90 | 45 |
| 밭 | 61 | 153 | | |
| 밭 + 시설재배지 | 62 | 154.4 | | |

- 논인 경우 PCI 값이 169.2, 밭의 PCI 값은 153, 밭과 시설재배지 면적을 합친 PCI 값은 154.4로 나타남
- 밭의 PCI 값과 밭과 시설재배지를 합친 PCI 값의 큰 차이가 없다는 것은 시설재배지 면적 변화량이 크지 않다는 것을 의미함
- PCI 값을 신곡 지역의 총 면적으로 나누어 얻은 ACR을 보았을 때 논인 경우 68% 감소하였으며 밭인 경우 61% 증가하였음을 확인할 수 있음
- 이 수치는 거여지역의 ACR 값과 유사함을 확인할 수 있음
- 논인 면적 변화에 비해 밭인 면적 변화가 매우 크기 때문에 TPR 값이 90%로 매우 크게 나타나고 있음
- 이는 영천지역에서의 농업지 면적 변화는 대부분 논에서 밭으로의 전환이 일어났음을 의미하며, TPR 값도 거여 지역과 유사하게 매우 높게 나타나는 것을 확인할 수 있음
- TPR 값 90%를 제외한 나머지 토지 이용 전환은 시설재배지와 과수원 토지 이용으로 전환되었을 것으로 예상됨
- DUP 값은 45로 영천 지역과 우리나라 주요 도시가 상당히 떨어져있음을 의미함
- 이는 앞서 신흥 지역의 DUP 값과 유사하게 나타나고 있음
- 도시 인접 용지가 많을수록 개발가능성이 높다는 특징을 고려해보았을 때 이후 농업지역 면적 변화가 상대적으로 작게 일어날 것으로 예상됨
- 신흥 지역의 특징과 유사하게 2007년과 2019년에 모두 농업지역 항목 면적 비율이 최대로 나타나고 있는 것을 확인할 수 있음
- 신흥 지역의 DUP가 50으로 나타난 것을 함께 고려하였을 때 해당 지역은 이후에도 농업지 면적 비율이 상당히 높게 나타날 것으로 예상됨

5) 화정

[표 3-28] 화정의 2007년 경관 해석 지표

| 토지 이용 항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|
| 논 | 309.1 | 81.7 | 22.0 | 14.3 | 9.0 | 14.0 |
| 밭 | 21.1 | 5.6 | 83.0 | 1.0 | 11.3 | 0.3 |
| 과수원 | 0.3 | 0.1 | 15.0 | 0.0 | 5.9 | 0.0 |
| 시설재배지 | 1.3 | 0.4 | 6.0 | 0.2 | 3.4 | 0.2 |

[표 3-29] 화정의 2019년 경관 해석 지표

| 토지 이용 항목 | CA | PLAND | NP | LPI | LSI | MPS |
|----------|-------|-------|-------|-----|------|-----|
| 논 | 177.4 | 46.9 | 132.0 | 6.4 | 16.0 | 1.3 |
| 밭 | 90.1 | 23.8 | 372.0 | 1.0 | 24.5 | 0.2 |
| 과수원 | 3.2 | 0.8 | 21.0 | 0.2 | 6.7 | 0.2 |
| 시설재배지 | 7.8 | 2.1 | 90.0 | 0.2 | 12.1 | 0.1 |

- 화정 지역의 2007년과 2019년 토지피복지도 분석 결과는 다음 [표 3-28]과 [표 3-29]와 같음
- 논·밭의 CA값의 경우 2007년 309.1, 2019년 177.4로 감소하였으며, PLAND 값 역시 81.7%에서 46.9%로 절반 가까이 감소하였음
- 화정 지역은 2007년 기준 논 면적이 최대 면적 비율을 차지하고 있었으며 2019년 역시 논 면적이 최대 면적 비율을 차지하고 있음
- 대부분의 토지이용항목에서 2007년에 비해 2019년의 NP 값이 증가하였으며 이는 해당 저수지 수해구역의 필지의 파편화로 나타난 결과로 보임
- 하지만 2007년과 2019년 사이에서 논·밭의 LPI 값은 14.3에서 6.4로 감소하였으며 LSI 값은 9.0에서 216으로 증가하였고, MPS 값은 14에서 1.3으로 급격하게 감소하였음
- 이는 논·밭의 파편화가 일어나 논으로 이용되는 경지 면적이 다른 토지 이용으로 전환되었음을 나타냄
- 밭의 경우 CA값이 21.1에서 90.1로 급격하게 증가하였으며, PLAND값도 5.6%에서 23.8%로 증가하였음
- 이는 밭 면적이 두 시점 사이에 네 배 이상 증가하였음을 의미함
- 2007년과 2019년 사이에 밭의 PLAND 값이 18.2%p 증가한 것은 전국 평균 밭 면적 증가율을 훨씬 뛰어넘는 값을 의미함
- 이는 논·밭의 경우와 반대로 화정 지역에서 밭 면적이 증가하였으며 해당 저수지 수해구역에서 밭 면적이 차지하는 비율도 상승하였음을 의미함
- 시설재배지의 경우 2007년 CA 값 1.3, PLAND 0.4%에서 2019년 CA 값 7.8, PLAND 2.1%로 5배 이상 증가하였음을 확인할 수 있음

- 과수원의 경우 2007년 CA 값 0.3 PLAND 0.1%에서, 2019년 CA 값 3.2, PLAND 0.8%로 면적 변화량 자체는 크지 않지만 8배 이상 증가하였음을 확인할 수 있음
- 기타재배지의 경우 2007년 CA 값 1.3, PLAND 0.3%에서 2019년 CA 값 7.8, PLAND 2.1%로 7배 이상 증가하였음을 확인할 수 있음
- 화정 지역에서 2007년과 2019년 사이에 논 면적은 크게 감소하였지만 논 면적을 제외한 모든 농업지역 항목에서 면적이 증가하였음을 확인할 수 있음

[표 3-30] 화정의 추이 해석 지표

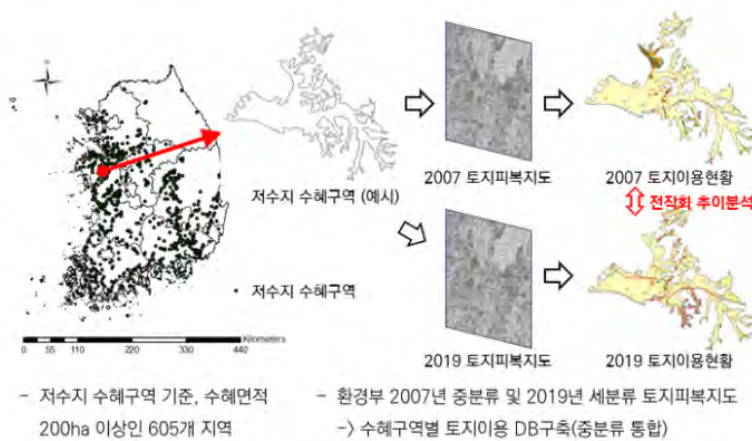
| 토지 이용 항목 | ACR(%) | PCI | TPR(%) | DUP(km) |
|-----------|--------|-------|--------|---------|
| 논 | 35 | 131.7 | 52 | 31 |
| 밭 | 18 | 68.9 | | |
| 밭 + 시설재배지 | 20 | 75.4 | | |

- 논인 경우 PCI 값이 131.7, 밭의 PCI 값은 68.9, 밭과 시설재배지 면적을 합친 PCI 값은 75.4로 나타나고 있음
- 이는 밭 외에 시설재배지 면적 변화량도 상당량 존재하고 있음을 의미함
- PCI 값을 신곡 지역의 총 면적으로 나누어 얻은 ACR을 보았을 때 논인 경우 35% 감소하였으며, 밭의 경우 18% 증가하였음을 확인할 수 있음
- 이는 논과 밭에서 대부분의 토지이용 전환이 일어나면 시설재배지에서 약간의 토지이용 전환이 일어나고 있음을 의미함
- 논인 면적 변화에 비해 밭의 면적 변화 비를 의미하는 TPR 값이 52%로 나타나고 있음
- 이는 논 면적 중 52%는 밭으로 전환되었으며 나머지 48%는 다른 토지 이용 목적으로 전환되었을 것으로 예상됨
- 밭을 제외한 과수원, 시설재배지, 기타재배지 면적이 모두 증가하였던 것을 고려하였을 때, 논에서 밭으로 전환되는 52%를 제외한 나머지는 다른 농업지역 항목 면적으로 전환되었을 것이라 예상됨
- DUP 값은 31로 화정지역은 주요 도시로부터의 거리가 평균 값에 가까운 것을 알 수 있음
- 도시 인접 용지가 많을수록 개발가능성이 높다는 특징을 고려해보았을 때 화정의 토지 이용 전환 속도는 전국 평균에 가까울 것으로 예상됨
- 상대적으로 DUP 값이 큰 영천과 신흥 지역에 비해서는 토지 이용 전환 속도가 빠를 것으로 예상되며 상대적으로 DUP 값이 작은 신곡과 거여 지역에 비해서는 토지 이용 전환 속도가 느릴 것으로 예상됨
- 화정 지역에서 2007년과 2019년 모두 논 면적 비율이 최대이며, 밭 면적 비율이 지속적으로 증가하고 있는 것으로 보아 이후 어느 정도 화정 지역의 농업지역 면적 전환 추세가 유지될 것으로 예상됨

제 4 절 농촌저수지 수혜구역 단위 전작화 패턴별 그룹화 및 대표 지구 선정

1. 전작전환 패턴별 클러스터 구축

- 전작전환은 토지피복분류도(환경공간정보시스템)와 스마트팜맵(농림축산식품부)으로 토지이용변화 분석을 통해 확인함
- 이때, 수혜면적 200 ha 이상인 605개 지역을 대상으로 분석을 수행하여 연구의 적용성을 높임

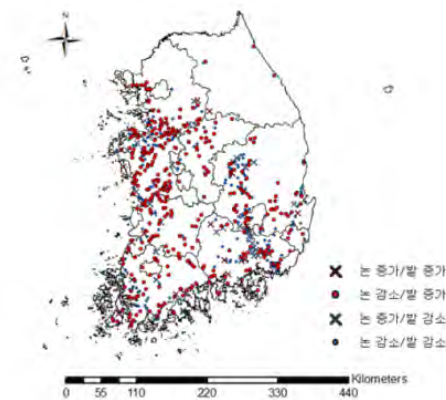


[그림 3-27] 전작화 패턴 분석 모식도

2. 전작전환 패턴분석 및 패턴별 대표지구 선정 (5지구)

가. 전작전환 패턴분석

- 전국단위 전작전환 패턴 분석결과, 대상지역 중 약 90% 지역은 논 면적 감소 추이를 보였고, 그 중 약 67% 지역에서 밭으로 전작이 활발하게 일어남



[그림 3-28] 전국 전작화 패턴 현황

[표 3-31] 저수지 수혜구역 전작화 추이

| | 논 증가 | 논 감소 | 합계 |
|------|------------------|-------------------|--------------------|
| 밭 증가 | 19 지역 (3.1%) | 364 지역 (60.2%) | 383 지역 (63.3%) |
| 밭 감소 | 42 지역 (6.9%) | 180 지역 (29.8%) | 222 지역 (36.7%) |
| 합계 | 61 지역 (10.0%) | 544 지역 (90.0%) | 605 지역 (100.0%) |

- 권역단위 전작전환 패턴에서 전작화는 일부 지역의 특이 현상이 아닌, 전국적 변화 추이임을 확인함

[표 3-32] 권역단위 전작화 추이 (저수지 수혜구역 기준)

| 구분 | 강원 | 경기 | 경상 | 전라 | 충청 | 계 |
|-----------|--------|---------|----------|----------|----------|-----|
| 논 증가/밭 증가 | 1(20%) | 5(8%) | 7(3%) | 4(3%) | 2(1%) | 19 |
| 논 감소/밭 증가 | 3(60%) | 44(67%) | 103(47%) | 103(68%) | 111(68%) | 364 |
| 논 증가/밭 감소 | - | 3(5%) | 23(11%) | 11(7%) | 5(3%) | 42 |
| 논 감소/밭 감소 | 1(20%) | 14(21%) | 85(39%) | 34(22%) | 46(28%) | 180 |
| 계 | 5 | 66 | 218 | 152 | 164 | 605 |

- 모든 권역에서 논면적 15% 이상의 감소를 확인하였고, 감소된 논 면적중 약 30%의 면적이 밭으로 전용되는 경향을 보임
- 논은 전라권역에서 가장 적은 감소폭을 보였고, 밭은 강원권역에서 가장 큰 증가폭
- 단위 수혜구역별 전작전환은 집단화/개별화 그리고 전작화속도의 두 변인에 따른 변화가 두드러짐

[표 3-33] 저수지 수혜구역 논 면적 변화 추이

unit: ha

| 논 면적 (논 면적비율) | 전국 | 강원권 | 경상권 | 경기권 | 전라권 | 충청권 |
|------------------|----------------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 2007년 | 335,111 (84.4%) | 973 (71.6%) | 74,618 (72.2%) | 33,360 (80.7%) | 147,748 (93.0%) | 78,025 (84.8%) |
| 2019년 | 266,634 (66.5%) | 792 (51.8%) | 54,886 (53.2%) | 25,963 (59.1%) | 123,542 (77.1%) | 61,205 (67.0%) |
| 변화량 | -68,477 (-17.8%p) | -181 (-19.7%p) | -19,731 (-19.1%p) | -7,397 (-21.5%p) | -24,207 (-15.9%p) | -16,821 (-17.8%p) |

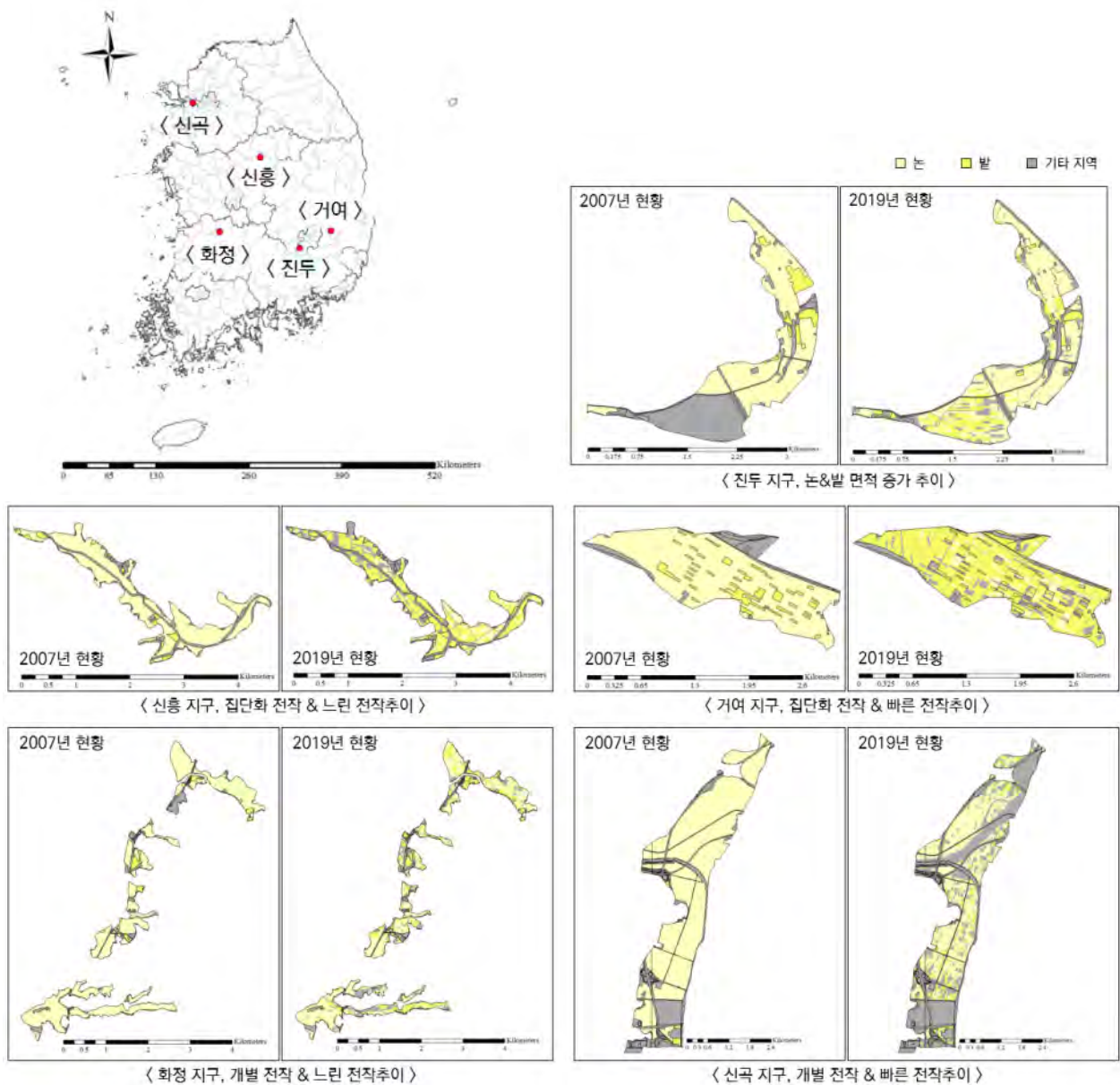
[표 3-34] 저수지 수혜구역 밭 면적 변화 추이

unit: ha

| 밭/시설재배 면적 (밭/시설재배 면적비율) | 전국 | 강원권 | 경상권 | 경기권 | 전라권 | 충청권 |
|-------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2007년 | 21,168 (5.3%) | 88 (6.5%) | 10,511 (10.2%) | 2,111 (5.1%) | 3,981 (2.5%) | 4,463 (4.8%) |
| 2019년 | 41,057 (10.2%) | 272 (17.8%) | 16,088 (15.6%) | 4,535 (10.3%) | 10,780 (6.7%) | 9,362 (10.2%) |
| 변화량 | 19,889 (+4.9%p) | 184 (+11.3%p) | 5,576 (+5.4%p) | 2,424 (+5.2%p) | 6,799 (+4.2%p) | 4,899 (+5.4%p) |

나. 전작전환 패턴별 대표지구 선정

- 전작이 활발하게 일어나는 지구를 대상으로 집단/개별화 전작특성, 전작화 속도특성에 따라 4개 클러스터로 구분함
- 또한, 논과 밭이 모두 증가하여 총 농지면적이 증가하는 추이를 보이는 패턴을 추가 1개 클러스터로 구분함
- 집단/개별화 전작특성은 집단화 정도와 비례하는 LPI (Largest patch index)를 대표 지표로, 전작화 속도특성은 2007, 2019년 2개년간 논/밭의 면적 변화율을 대표 지표로 이용하여 설정함
- 설정된 각 5개 클러스터별 농지면적, 집단화 규모, 전작전환 속도 등을 고려하여 대표지구를 설정함



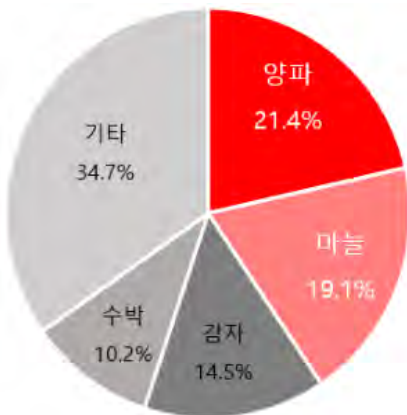
[그림 3-29] 전작전환 패턴별 대표지구 선정

제 5 절 전작화 그룹에 따른 저류조 발용수 공급 집단화 방안 도출

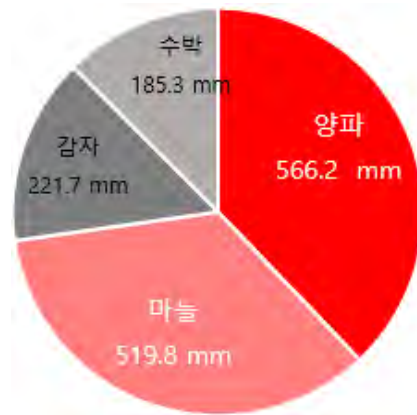
1. 대표지구별 주요 발작물 선정

가. 진두 수혜구역 (논 & 밭 경지 증가 추이)

- 진두 수혜구역은 경상북도 고령군 개진면에 위치하며 옥섬지, 송골지 등의 용수공급원이 있음
- 경북 고령군의 주요 발작물은 양파(21.4%), 마늘(19.1%)로 구성됨 (통계청 경상북도 고령군 기본통계, 2020)
- 각 작물의 재배기간 중 증발산량의 합은 양파(566.2 mm), 마늘(519.8 mm) 순임 (농진청 발작물 물사용기술, 2019; 유승환 등, 2014)



[그림 3-30] 경북 고령군 재배 발작물 비율

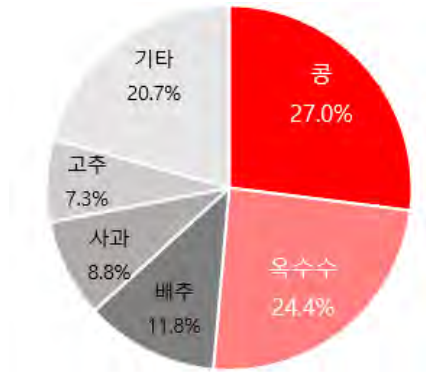


[그림 3-31] 발작물별 연간 증발산량

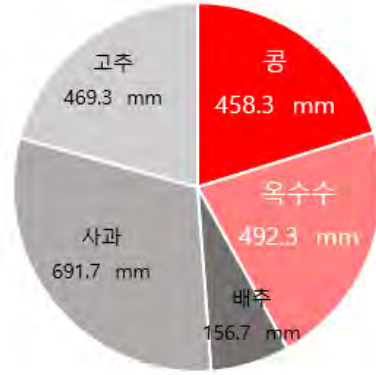
- 작물별 총 재배면적에서의 증발산량 합은 작물재배 필요수량과 비례하고, 양파 (278,995 ha · mm), 마늘(228,660 ha · mm) 순임
- 재배 작물과 무관한 안정적 용수공급을 목표로 재배에 필요한 수량이 가장 큰 양파를 진두 수혜구역의 대표작물로 선정함

나. 신흥 수혜구역 (집단화전작, 느린 전작추이)

- 신흥 수혜구역은 충청북도 괴산군 불정면에 위치하여, 신흥 저수지에서 농업용수가 공급됨
- 충청북도 괴산의 주요 발작물은 콩(27.0%), 옥수수(24.4%)로 구성됨 (통계청 충청북도 괴산군 기본통계, 2020)
- 각 작물의 재배기간 중 증발산량의 합은 사과(691.7 mm), 옥수수(492.3 mm), 콩(458.3 mm) 순임 (농진청 발작물 물사용기술, 2019)



[그림 3-32] 충북 괴산군 재배
밭작물 비율

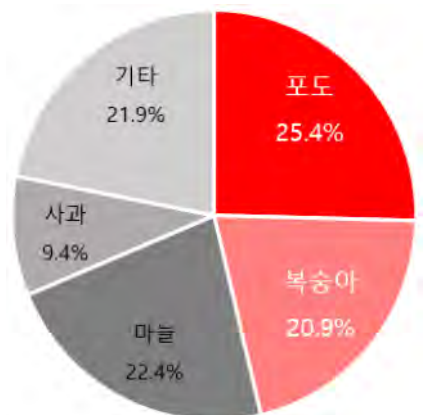


[그림 3-33] 밭작물별 연간
증발산량

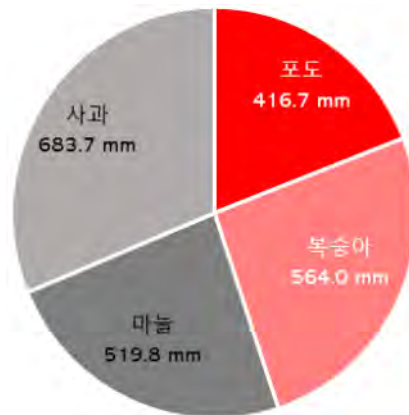
- 작물별 총 재배면적에서의 증발산량 합은 작물재배 필요수량과 비례하고, 콩 (670,129 ha · mm), 옥수수(650,569 ha · mm), 사과(328,542 ha · mm) 순임
- 재배 작물과 무관한 안정적 용수공급을 목표로 재배에 필요한 수량이 가장 큰 콩을 신흥 수혜구역의 대표작물로 선정함

다. 거여 수혜구역 (집단화전작, 빠른 전작추이)

- 거여 수혜구역은 경상북도 영천시 금호읍에 위치하여, 대승지에서 농업용수가 공급됨
- 경상북도 영천시 주요 밭작물은 포도(25.4%), 복숭아(20.9%), 마늘(22.4%), 사과(9.4%) 로 구성됨 (통계청 경상북도 영천시 기본통계, 2020)
- 각 작물의 재배기간 중 증발산량의 합은 사과(683.7 mm), 복숭아(564.0 mm), 마늘(519.8 mm), 포도(416.7 mm) 순임 (농진청 밭작물 물사용기술, 2019; 유승환 등, 2014; 윤석규 등, 2009)



[그림 3-34] 경북 영천시 재배
밭작물 비율

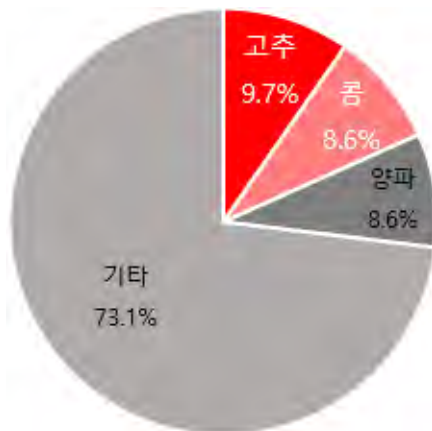


[그림 3-35] 밭작물별 연간
증발산량

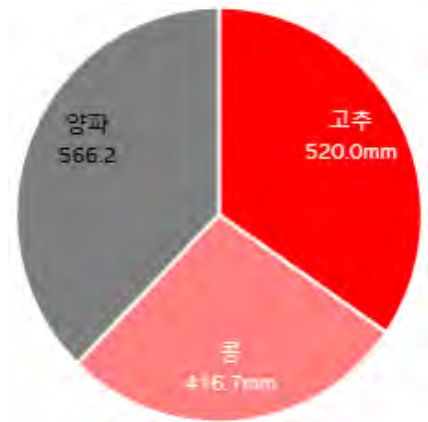
- 작물별 총 재배면적에서의 증발산량 합은 작물재배 필요수량과 비례하고, 복숭아(902,964.0 ha · mm), 마늘(774,554.0 ha · mm), 포도(756,310.5 ha · mm) 사과(459,424.0 ha · mm) 순임
- 재배 작물과 무관한 안정적 용수공급을 목표로 재배에 필요한 수량이 가장 큰 복숭아를 거여 수혜구역의 대표작물로 선정함

라. 화정 수혜구역 (개별전작, 느린 전작추이)

- 화정 수혜구역은 전라북도 완주군 용진읍에 위치하여, 화정 저수지의 용수원으로부터 농업용수를 이용함
- 전라북도 완주군의 주요 밭작물은 고추(9.7 %), 콩(8.6 %), 양파(8.6 %) 순임 (통계청 전라북도 완주군 기본통계, 2020)
- 각 작물의 재배기간 중 증발산량의 합은 양파(566.2 mm), 고추(520.0 mm), 콩(416.70 mm) 순임 (농진청 밭작물 물사용기술, 2019; 유승환 등, 2014)



[그림 3-36] 전북 완주군 재배 밭작물 비율

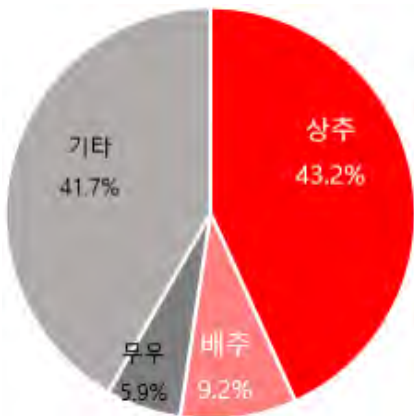


[그림 3-37] 밭작물별 연간 증발산량

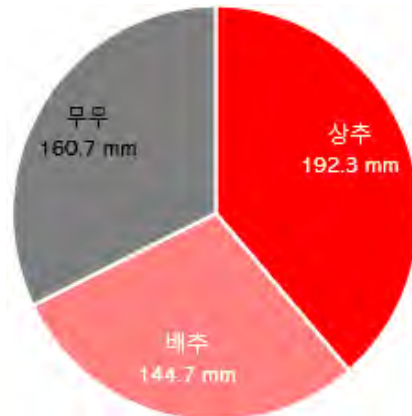
- 작물별 총 재배면적에서의 증발산량 합은 작물재배 필요수량과 비례하고, 고추(163,696.0 ha · mm), 양파(159,102.2 ha · mm) 콩(117,500.0 ha · mm) 순임
- 재배 작물과 무관한 안정적 용수공급을 목표로 재배에 필요한 수량이 가장 큰 고추를 화정 수혜구역의 대표작물로 선정함

마. 신곡 수혜구역 (개별전작, 빠른 전작추이)

- 신곡 수혜구역은 인천광역시 계양구에 위치함
- 인천 계양구 주요 밭작물은 상추(43.2%), 배추(9.2%), 무(5.9%)로 구성됨 (통계청 인천광역시 계양구 기본통계, 2020)
- 각 작물의 재배기간 중 증발산량의 합은 상추(192.3 mm), 무(160.7 mm), 배추(144.7 mm) 순임 (농진청 밭작물 물사용기술, 2019)



[그림 3-38] 인천 계양구 재배 밭작물 비율



[그림 3-39] 밭작물별 연간 증발산량

- 작물별 총 재배면적에서의 증발산량 합은 작물재배 필요수량과 비례하고, 상추(13,078.7 ha · mm), 배추(2,083.2 ha · mm), 무(1,494.2 ha · mm) 순임
- 재배 작물과 무관한 안정적 용수공급을 목표로 재배에 필요한 수량이 가장 큰 상추를 신곡 수혜구역의 대표작물로 선정함

2. 대표지구별 저류조 규모 선정

가. 진두 수혜구역 (논 & 밭 경지 증가 추이)

- 작물 재배 필요수량은 HOMWRS(ver. 2.10) 구동으로 30년 한발을 고려해 410.4 mm으로 산정됨.
- 이때, 합천기상대의 1978년 ~ 2007년 기상자료 및 TRAM 45 mm를 적용하였으며, 스프링클러관개 및 송수효율을 고려해 관개효율 70%로 설정함
- 농진청 양파작물 재배시 관개기간을 바탕으로 양파의 총 재배기간 150 일, 3 일 주기 1 회 관개로 설정하고, 정비된 논·밭으로의 전작상황을 고려해 1개 필지면적은 3,000 m² (100 m x 30 m)으로 설정됨

- 필지별 1회 관개 필요수량은 24.6 m³ 으로 산정됨
- 1회 관개 필요수량을 충족하는 저류조 규모별 공급가능 필지는 100 ton 규모 저류조 4 필지, 50 ton 규모 저류조는 2 필지 관개 가능함

[표 3-34] 진두 수혜구역 저류조 용량별 관개가능 필지 수, 면적

| 저류조 용량 (ton) | 관개가능 필지수 (필지) | 관개가능 면적 (m ²) |
|--------------|---------------|---------------------------|
| 100 | 4.1 | 12,183.2 |
| 50 | 2.0 | 6,091.6 |

나. 신흥 수혜구역 (집단화전작, 느린 전작추이)

- 작물 재배 필요수량은 HOMWRS(ver. 2.10) 구동으로 30년 한발을 고려해 205.4 mm으로 산정됨.
- 이때, 충주기상대의 1978년 ~ 2007년 기상자료 및 TRAM 45 mm를 적용하였으며, 스프링클러관개 및 송수효율을 고려해 관개효율 70%로 설정함
- 농진청 콩작물 재배시 관개기간을 바탕으로 콩의 총 재배기간 150 일, 3 일 주기 1 회 관개로 설정하고, 정비된 논의 밭으로의 전작상황을 고려해 1개 필지면적은 3,000 m² (100 m x 30 m)으로 설정됨
- 필지별 1회 관개 필요수량은 12.3 m³ 으로 산정됨
- 1회 관개 필요수량을 충족하는 저류조 규모별 공급가능 필지는 100 ton 규모 저류조 8 필지, 50 ton 규모 저류조는 4 필지 관개 가능함

[표 3-35] 신흥 수혜구역 저류조 용량별 관개가능 필지 수, 면적

| 저류조 용량 (ton) | 관개가능 필지수 (필지) | 관개가능 면적 (m ²) |
|--------------|---------------|---------------------------|
| 100 | 8.1 | 24,342.8 |
| 50 | 4.1 | 12,171.4 |

다. 거여 수혜구역 (집단화전작, 빠른 전작추이)

- 작물 재배 필요수량은 HOMWRS(ver. 2.10) 구동으로 30년 한발을 고려해 373.5 mm으로 산정됨.
- 이때, 영천기상대의 1978년 ~ 2007년 기상자료 및 TRAM 45 mm를 적용하였으며, 스프링클러관개 및 송수효율을 고려해 관개효율 70%로 설정함
- 농진청 마늘작물 재배시 관개기간을 바탕으로 마늘의 총 재배기간 150 일, 3 일 주기 1 회 관개로 설정하고, 정비된 논의 밭으로의 전작상황을 고려해 1개 필지면적은 3,000 m² (100 m x 30 m)으로 설정됨
- 필지별 1회 관개 필요수량은 22.41 m³ 으로 산정됨
- 1회 관개 필요수량을 충족하는 저류조 규모별 공급가능 필지는 100 ton 규모 저류조 4 필지, 50 ton 규모 저류조는 2 필지 관개 가능함

[표 3-36] 거여 수혜구역 저류조 용량별 관개가능 필지 수, 면적

| 저류조 용량 (ton) | 관개가능 필지수 (필지) | 관개가능 면적 (m ²) |
|--------------|---------------|---------------------------|
| 100 | 4.5 | 13,386.9 |
| 50 | 2.2 | 6,693.4 |

라. 화정 수혜구역 (개별전작, 느린 전작추이)

- 작물 재배 필요수량은 HOMWRS(ver. 2.10) 구동으로 30년 한발을 고려해 185.2 mm으로 산정됨.
- 이때, 전주기상대의 1978년 ~ 2007년 기상자료 및 TRAM 45 mm를 적용하였으며, 스프링클러관개 및 송수효율을 고려해 관개효율 70%로 설정함
- 농진청 고추작물 재배시 관개기간을 바탕으로 고추의 총 재배기간 130 일, 3 일 주기 1 회 관개로 설정하고, 정비된 논의 밭으로의 전작상황을 고려해 1개 필지면적은 3,000 m² (100 m x 30 m)으로 설정됨
- 필지별 1회 관개 필요수량은 12.8 m³ 으로 산정됨
- 1회 관개 필요수량을 충족하는 저류조 규모별 공급가능 필지는 100 ton 규모 저류조 7 필지, 50 ton 규모 저류조는 3 필지 관개 가능함

[표 3-37] 화정 수혜구역 저류조 용량별 관개가능 필지 수, 면적

| 저류조 용량 (ton) | 관개가능 필지수 (필지) | 관개가능 면적 (m ²) |
|--------------|---------------|---------------------------|
| 100 | 7.8 | 23,398.1 |
| 50 | 3.9 | 11,699.1 |

마. 신곡 수혜구역 (개별전작, 빠른 전작추이)

- 작물 재배 필요수량은 HOMWRS(ver. 2.10) 구동으로 30년 한발을 고려해 198.0 mm으로 산정됨.
- 이때, 인천기상대의 1978년 ~ 2007년 기상자료 및 TRAM 45 mm를 적용하였으며, 스프링클러관개 및 송수효율을 고려해 관개효율 70%로 설정함
- 농진청 상추작물 재배시 관개기간을 바탕으로 상추의 총 재배기간 70 일, 3 일 주기 1 회 관개로 설정하고, 정비된 논외 밭으로의 전작상황을 고려해 1개 필지면적은 3,000 m² (100 m x 30 m)으로 설정됨
- 필지별 1회 관개 필요수량은 25.5 m³ 으로 산정됨
- 1회 관개 필요수량을 충족하는 저류조 규모별 공급가능 필지는 100 ton 규모 저류조 3 필지, 50 ton 규모 저류조는 1 필지 관개 가능함

[표 3-38] 신곡 수혜구역 저류조 용량별 관개가능 필지 수, 면적

| 저류조 용량 (ton) | 관개가능 필지수 (필지) | 관개가능 면적 (m ²) |
|--------------|---------------|---------------------------|
| 100 | 3.9 | 11,784.5 |
| 50 | 1.9 | 5,892.3 |

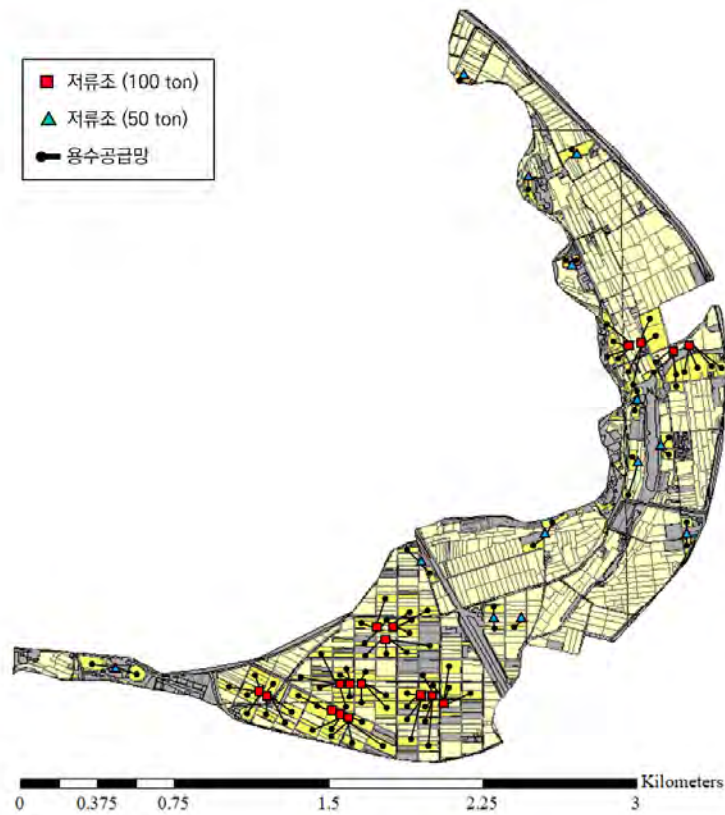
3. 대표지구별 저류조 공간배치 결정

- 진두 수혜구역 (논 & 밭 경지 증가 추이), 신흥 수혜구역 (집단화전작, 느린 전작추이), 거여 수혜구역 (집단화전작, 빠른 전작추이), 화정 수혜구역 (개별전작, 느린 전작추이), 신곡 수혜구역 (개별전작, 빠른 전작추이) 각 지구에 100 ton 규모 저류조 및 50 ton 규모 저류조를 이용한 공간배치를 수행함

[표 3-39] 전작화 패턴 대표지구별 관개시 필요 저류조 개수

| 저류조 용량 (ton) | 100 ton 저류조 개수 | 50 ton 저류조 개수 |
|-----------------------------|----------------|---------------|
| 진두 수혜구역 (논 & 밭 경지 증가 추이) | 18 | 13 |
| 신흥 수혜구역 (집단화전작, 느린 전작추이) | 37 | 15 |
| 거여 수혜구역 (집단화전작, 빠른 전작추이) | 109 | 3 |
| 화정 수혜구역 (개별전작, 느린 전작추이) | 8 | 14 |
| 신곡 수혜구역 (개별전작, 빠른 전작추이) | 8 | 31 |

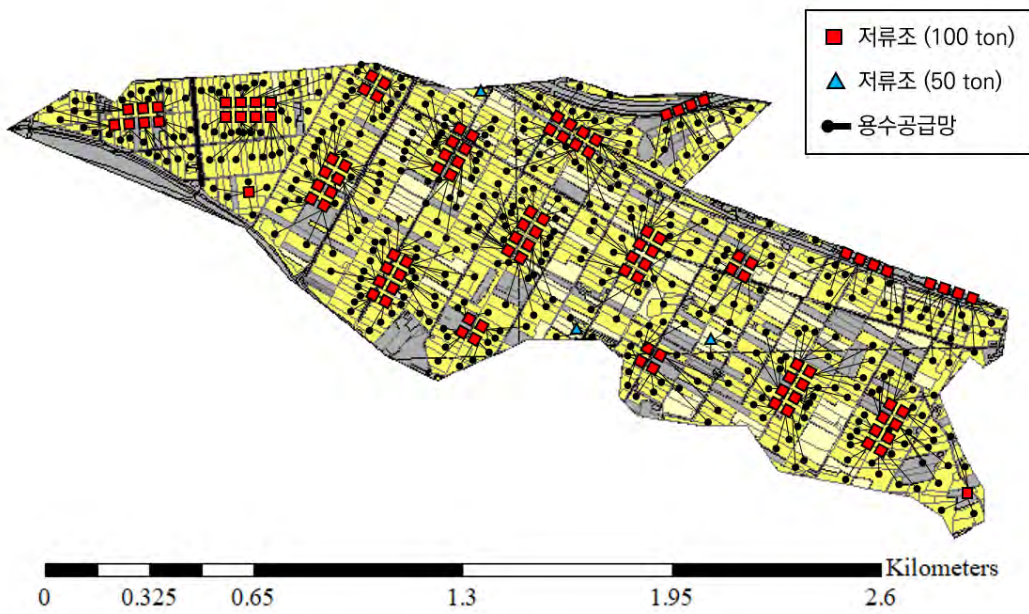
- 추후 전작필지 위치, 용수공급원, 용수공급실패 등 레질리언스를 고려한 최적 공간배치 결정이 필요함



[그림 3-40] 진두 수혜구역 (논 & 밭 경지 증가 추이) 저류조 공간배치



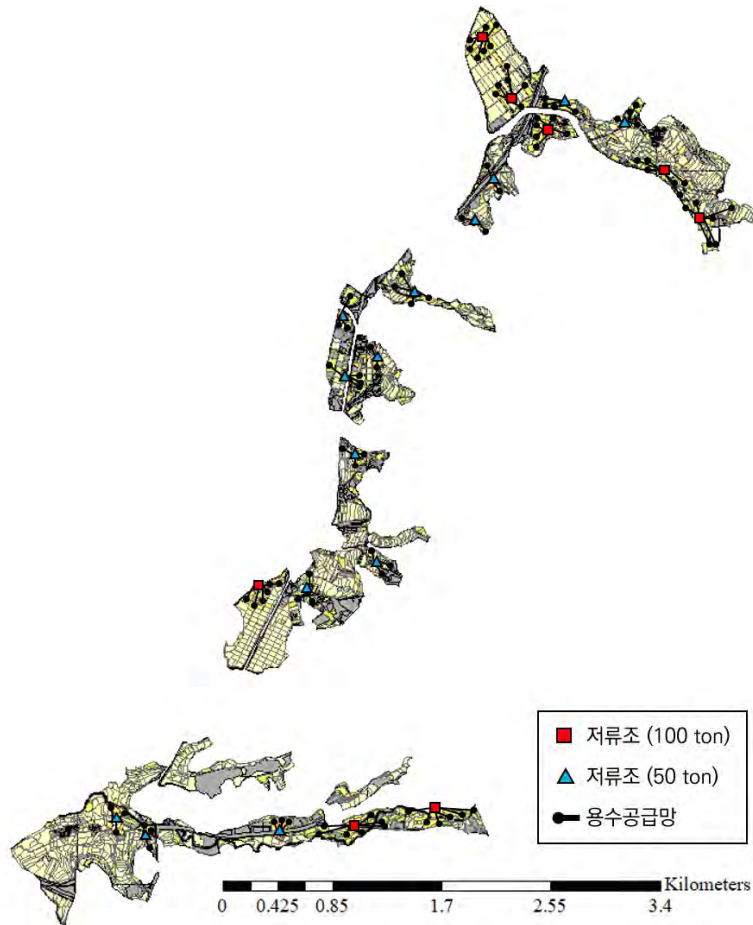
[그림 3-41] 신흥 수혜구역 (집단화전작, 느린 전작추이) 저류조 공간배치



[그림 3-42] 거여 수혜구역 (집단화전작, 빠른 전작추이) 저류조 공간배치



[그림 3-43] 신곡 수혜구역 (개별전작, 빠른 전작추이) 저류조 공간배치

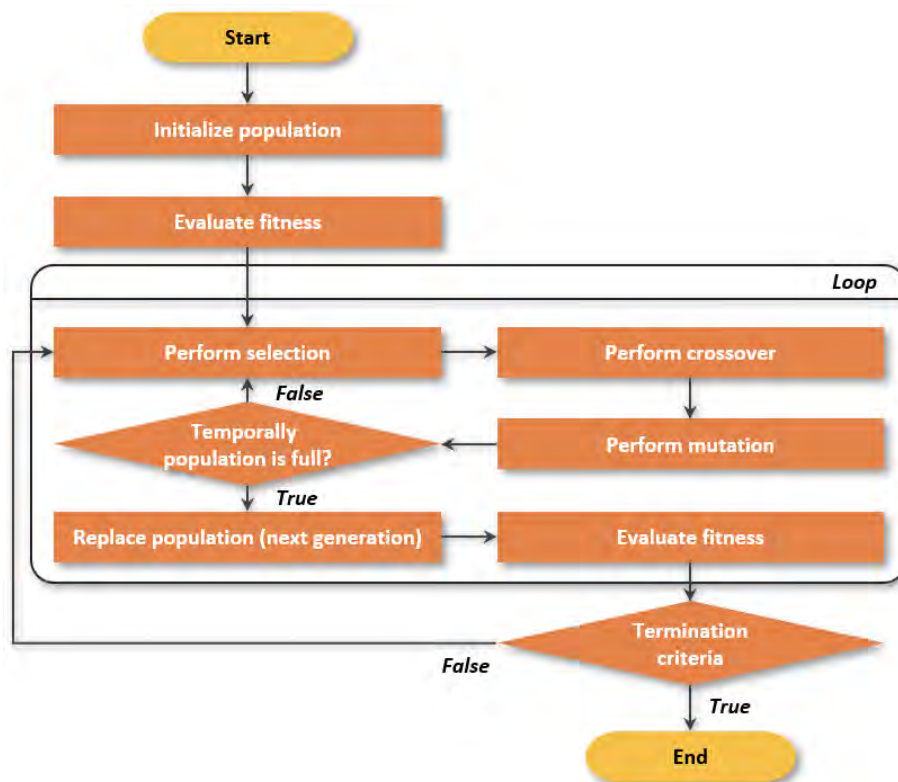


[그림 3-44] 화정 수혜구역 (개별전작, 느린 전작추이) 저류조 공간배치

제 6 절 유전자 알고리즘 기반 저류조 최적 공간배치

1. 저류조 최적 공간배치 알고리즘 개발

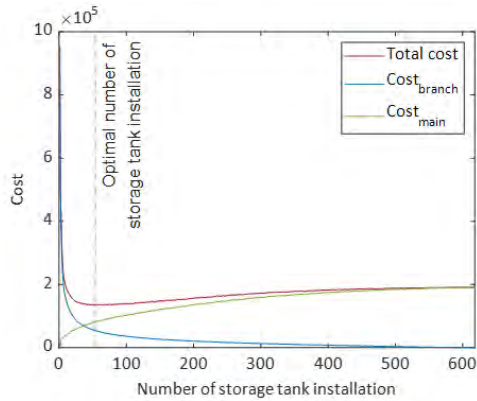
- 논의 발으로 전작화 경지의 공간분포는 전작전환 패턴별 상이한 특징을 보임
- 관로를 기반으로한 발 용수공급시스템의 특징으로, 설비 시공시 변경이 어려워 초기 시스템 설계 시 용수공급 효율성, 경제성 등의 고려가 필수적임
- 이에, 유전알고리즘 (GA, genetic algorithm)을 최적화 함수로 설정하고, 저류조-필지 & 저류조-저류조간 거리를 설계변수로, 전체 시스템의 총 관로 비용의 최소화를 설계 목적함수로 설정해 저류조 최적 공간배치 알고리즘을 구성함
- 유전알고리즘의 염색체는 N 개의 저류조가 설치됨을 고려해, 각 저류조의 x, y 방향 좌표를 나열해 $2N$ 의 배열로 구성함
- GA의 연산자로 선택연산, 교차연산, 돌연변이 연산 등을 고려해 세대내 염색체의 다양성을 유지하며 최적해를 산정할 수 있도록 함
- 한 세대의 염색체수는 200개로 설정하였고, 다음 세대로의 염색체 전달은 적합도 상위 30%의 염색체는 변형없이, 남은 70%의 염색체는 연산자를 고려한 자손염색체를 구성하여 전달됨



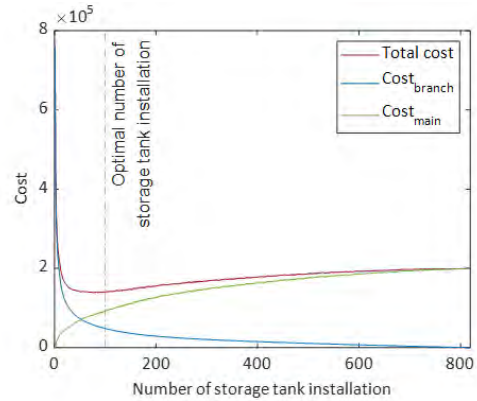
[그림 3-45] 유전알고리즘을 이용한 저류조 최적 공간배치 흐름도 (홍록기 등, 2022)

2. 대상지구별 저류조 최적 공간배치 알고리즘 적용

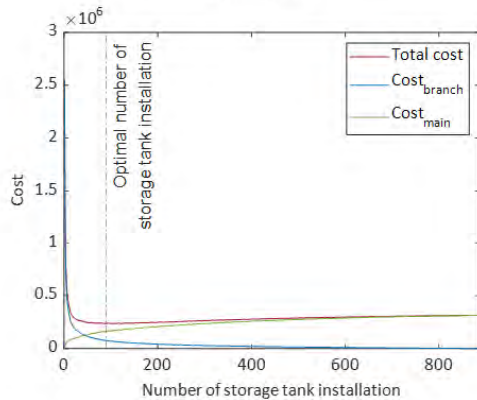
- 전작화 패턴 대표지구별 저류조 최적 공간배치 알고리즘 적용으로 저류조 설치 지점수에 따른 설계변수인 저류조-필지 & 저류조-저류조간 설치비용 및 목적함수인 총 관로비용의 산정을 수행함
- 전반적으로 저류조 설치 지점수 증가시, 말단관로 (저류조-필지) 비용은 감소하고 주관로 (저류조-저류조) 비용은 증가하는 경향을 보임
- 특히, 총 관로의 비용을 최소화 하는 저류조 설치 지점수는 발 필지수의 $9.6 \pm 1.3\%$ 로 산정되었으며, $R^2 = 0.98$ 의 높은 상관성을 보임



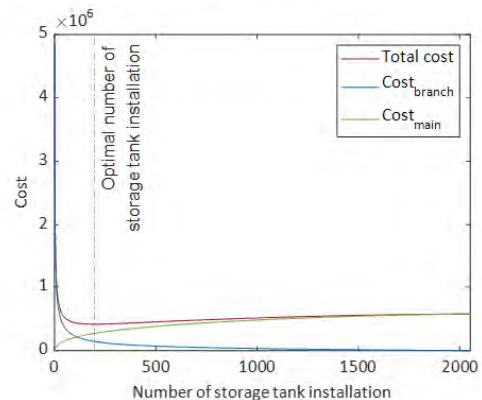
(a) Sinheung



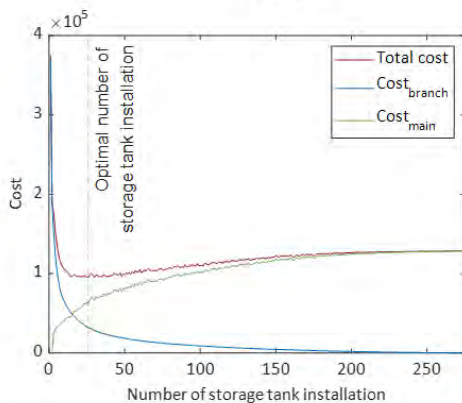
(b) Geoyeo



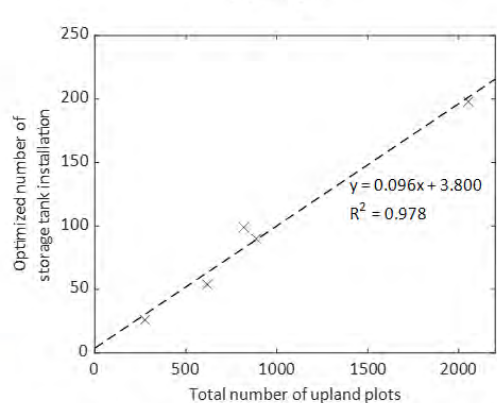
(c) Hwajeong



(d) Shingok



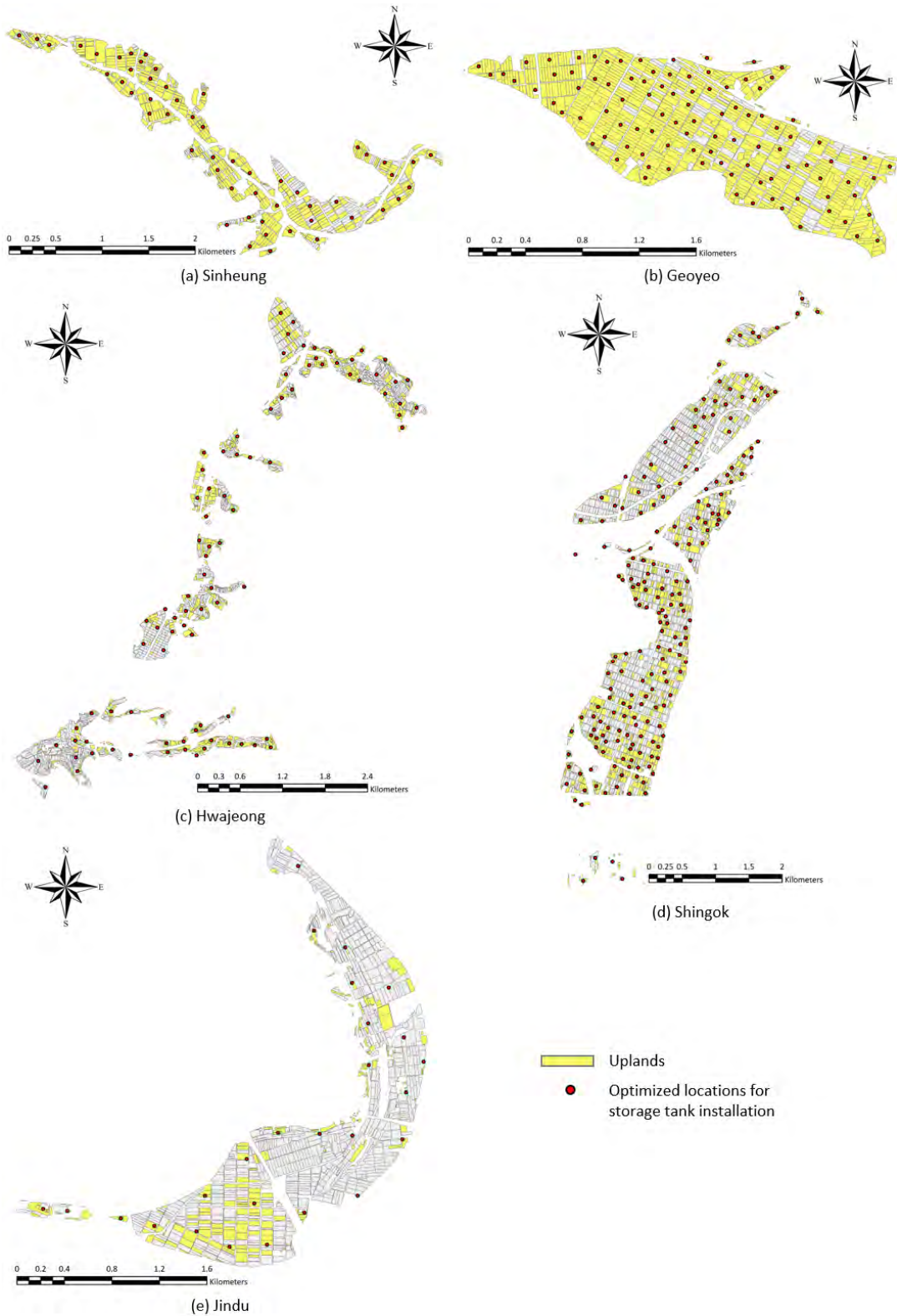
(e) Jindu



(f) Regression between the total number of upland plots and optimized number of storage tank installation

[그림 3-46] 전작화 패턴 대표 지구별 저류조 설치 지점수에 따른 관로 비용 (홍록기 등, 2022)

- 분석된 최적 저류조 지점수의 공간배치 및 설치 저류조의 설계 규모 분석을 수행함
- 전반적으로 집단 전작 특징을 보인 신흥, 거여 지구에서는 저류조 설치지점이 비교적 균일하게 분포하지만, 개별 전작 특징을 보인 화정, 신곡 지구에서는 밭의 분포에 따라 저류조 설치지점이 불규칙적으로 분포함



[그림 3-47] 전작화 패턴 대표 지구별 최적 저류조 공간배치 (홍록기 등, 2022)

- 설계된 저류조의 관개면적의 최대, 최소, 평균, 변동계수 (CV, coefficient of variation) 분석을 수행함
- 평균적으로 한 개 저류조에서 최대 4.66 ha, 최소 0.15 ha의 밭에 용수공급이 가능하도록 설계됨
- 전반적으로 집단 전작특성을 보여 균일한 저류조 설치를 보인 신흥, 거여지구에서 관개 면적의 변동계수가 개별 전작특성으로 불규칙한 저류조 설치를 보인 화정, 신곡지구에 비해 낮게 나타나 균일한 양상을 보임
- 논, 밭의 전체 경지면적 증가를 보인 진두 지구는 상대적으로 남서쪽의 집단전작화, 동북쪽의 개별 전작화 특성을 보였고, 이에 관개면적 변동폭이 크게 산정됨

[표 3-40] 설계 저류조별 관개면적 통계치 (홍록기 등, 2022)

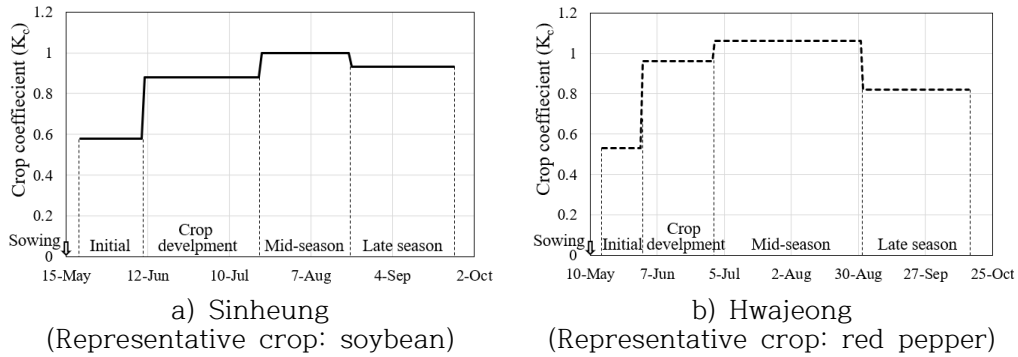
| Study site | Irrigation area of a storage tank (ha) | | | |
|------------|--|------|------|------|
| | Max | Min | Mean | CV |
| Sinheung | 4.89 | 0.35 | 2.14 | 0.42 |
| Geoyeo | 3.61 | 0.13 | 1.46 | 0.39 |
| Hwajeong | 4.63 | 0.04 | 1.12 | 0.69 |
| Shingok | 4.56 | 0.04 | 1.12 | 0.58 |
| Jindu | 5.60 | 0.19 | 1.56 | 1.07 |
| Mean | 4.66 | 0.15 | 1.48 | |

제 7 절 레질리언스를 고려한 농업용 저수지의 밭 용수공급 최적 설계

1. 밭 토양수분 물수지 모의 모형 개발

가. 밭 토양수분 물수지 분석

- 밭 토양수분 물수지 모형을 이용한 토양수분함량 산정 및 밭관개 시나리오 적용으로 밭작물 관개에 필요한 순용수량 산정을 수행함
- 작물소비수량은 Allen et al. (1998)의 FAO Penman-Monteith (FAO PM)을 이용한 기준작물증발산량에 작물계수를 적용해 산정됨
- 이때, 전작화 패턴 대표지구별 재배면적이 크고 연간증발산량이 많아 연간 이용수량이 가장 큰 작물을 대표작물로 설정하여 NAAS (2017)의 국내 작물계수를 이용하여 모의함



[그림 3-48] 대상지구의 대표작물별 작물계수 (NAAS, 2017)

- 강우로부터 밭 필지에 직접 공급되는 유효수량은 미국자연자원보호청 (NRCS, Natural resources conservation service)에 따라 산정되었으며, CN값으로 농경지의 수문학적 토양군 B의 75를 적용함

나. 밭 관개 시나리오 설정

- 전작화된 밭의 작물 관개방법으로 관행관개, 윤번관개의 두 시나리오를 구성함
- 관행관개 시나리오는 용수공급이 필요할 때 전체 대상필지에 용수공급을 수행하는 일반적 관개 방법으로, 잔존 토양수분함량이 토양수분량 하한계보다 낮을 경우 토양수분의 상한계까지 관개용수를 공급하도록 설정함
- 윤번관개 시나리오는 전체 관개지구를 간단일수만큼 구획하여, 각 구획에 순차적으로 관개가 수행되도록 설정함. 이에 관행관개와 비교하여 윤번관개시 관개가 간단일수만큼 이연되어 이루어지는 특징을 보임
- 이때, 하나의 구획에서의 관개는 관행관개와 같이 잔존 토양수분함량이 토양수분량 하한계보다 낮을 경우 토양수분의 상한계까지 관개용수를 공급하도록 설정함

2. 농업용 저수지의 밭 용수공급 모의 및 레질리언스 평가지표 설정

- 밭작물의 관개용수 공급은 기존 논외 개수로를 통한 관개용수 공급의 영향 없이 관개가 수행될 수 있도록 밭 관개용수 추가 방류를 가정함
- 저수지의 내용적 조건표를 이용한 수위-수면 회귀식을 산정하고, 양단면 평균법을 고려한 저수지 수위별 방유량을 추정함
- 이때, 과거 10년의 저수지 수위를 이용해 논 관개용수 공급에 필요한 용수량을 추정하고 추가 밭용수 방류량을 고려한 저수지 수위모의를 수행함
- 저수지의 레질리언스 평가는 Hsu (1995)에 의해 제안된 이수 안정성 지표를 기반으로 수행됨
- 이때, 가뭄의 임계치를 국내 농업용 저수지의 가뭄판단 기준 (MOIS, 2021)을 기반으로 평년 수위의 70%를 기준으로 레질리언스 평가를 수행함

- 용수부족의 연속성을 고려해 DR (deficit ratio), MD (Maximum deficit), ND (Number of deficit), MCD (Maximum continuous deficit), ACD (Average continuous deficit) 등의 지표로 레질리언스 평가를 수행함

$$DR(\%) = \frac{Deficit\ period}{Total\ period} \times 100\%$$

$$MD(m) = Max(Amount\ of\ deficit)$$

$$ND(times) = \sum Deficit\ days$$

$$MCD(days) = Max(Continuous\ deficit)$$

$$ACD(m) = Average(Continuous\ deficit)$$

3. 전작화 그룹 대상 농업용 저수지의 밭 용수공급 최적 설계

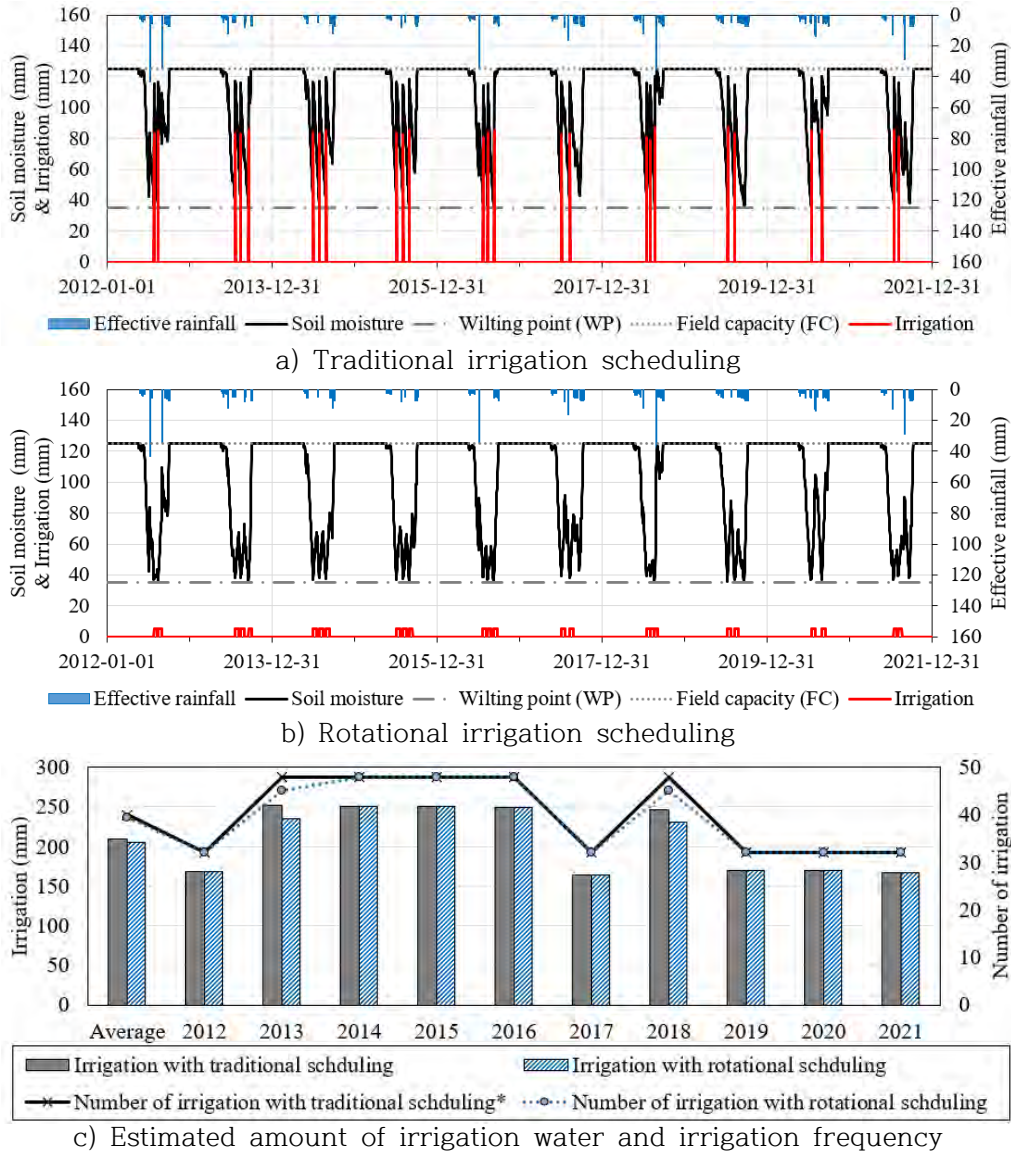
- 전작화 그룹 중 집단, 개별화 전작 지구인 신흥, 화정 수혜지구의 농업용 저수지의 레질리언스를 고려한 밭용수공급 안정성 평가를 수행함

[표 3-41] 대상지역별 작물 재배현황

| Study area (Location) | Field crop | Cultivate area (ha) | Annual evapotranspiration (mm) | Annual crop water use (ha·mm) | Remarks |
|--|------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------|
| Sinheung (Goesan-gun, Chungcheong buk-do, Korea) | Soybean | 1,462.1 (27.0%) | 458.3 | 670,080 | Study crop |
| | Corn | 1,321.4 (24.4%) | 492.3 | 650,525 | |
| | Others | 2,632.5 (48.6%) | - | - | |
| Hwajeong (Wanju-gun, Jeollabuk-do, Korea) | Red pepper | 314.8 (9.7%) | 520.0 | 163,696 | Study crop |
| | Soybean | 282.0 (8.6%) | 416.7 | 117,509 | |
| | Onion | 281.0 (8.6%) | 566.2 | 159,102 | |
| | Others | 2,382.2 (73.1%) | - | - | |

- 신흥 수혜지구의 대표작물 콩 관개시 관행관개 및 윤번관개시의 평균 토양수분변화를 모의함
- 이때, 신흥지구의 과거 10년중 최대 필요수량은 5.8 mm/day 였고, 토양특성 및 작물을 고려한 총 용이 유효수량은 89.6 mm로 산정되어 16개의 구획으로 구분하여 윤번관개를 모의함
- 관개시 1일 평균 관개량은 관행관개시 83.7 mm/day, 윤번관개시 5.2 mm/day로 산정됨
- 윤번관개시 일평균 관개량이 적게 산정되었는데, 이는 두 관개시나리오에서 모두 위조점 이하의 토양수분에서 포장용수량까지 관개가 수행되지만, 윤번관개시 하루에 한 개 구획씩 관개를 수행하며, 구획의 개수만큼 이연되어 관개가 가능하기 때문이었음
- 모의된 연평균 조용수량은 관행관개시 208.96 mm, 윤번관개시 205.72 mm로 산정되어 윤번관개시 관개용수 절감이 가능하였음

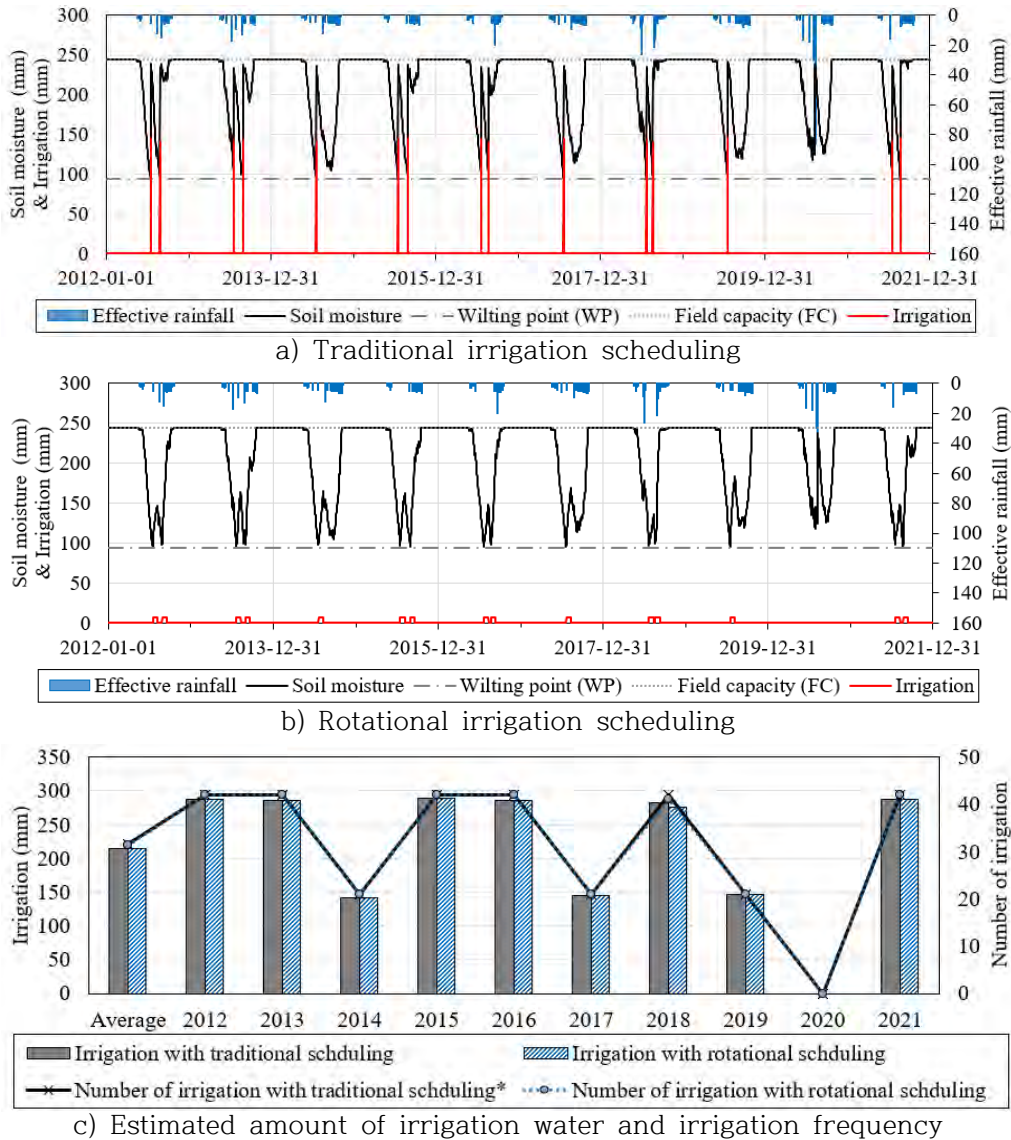
- 관행관개 횟수에 구획 수를 가중한 총 관개횟수를 비교하였을 때, 2013, 2018년의 두 해에서 관개 용수를 절감할 수 있었음



[그림 3-49] 관개시나리오별 평균 토양수분 및 관개횟수 (신흥)

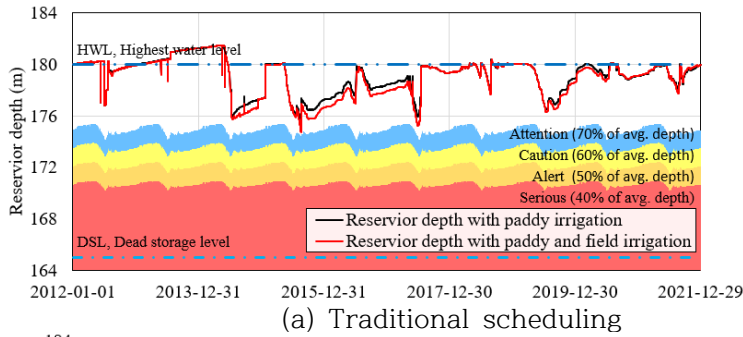
- 화정 수혜지구의 대표작물 고추 관개시 관행관개 및 윤번관개시의 평균 토양수분변화를 모의함
- 이때, 화정지구의 과거 10년중 최대 필요수량은 7.2 mm/day 였고, 토양특성 및 작물을 고려한 총 용이 유효수량은 149.5 mm로 산정되어 21개의 구획으로 구분하여 윤번관개를 모의함
- 관개시 1일 평균 관개량은 관행관개시 129.2 mm/day, 윤번관개시 6.2 mm/day로 산정되어 윤번관개시 관개용수 공급의 이연으로 용수공급 부하를 줄일수 있을것으로 확인됨
- 모의된 연평균 조용수량은 관행관개시 215.14 mm, 윤번관개시 214.47 mm로 산정되어 윤번관개시 관개용수 절감이 가능하였음
- 이는 윤번관개시 포장용수량 이하로 토양수분을 길게 유지할수 있어, 관개용수를 강우를 이용한 유효수량으로 공급받을수 있는 시간적 이점을 얻을수 있기 때문이었음

- 특히, 2013, 2018년의 두 해에서 관개용수 절감을 확인할 수 있었는데, 이는 연평균 유효우량이 평년에 비해 낮았던 가뭃기로 확인되어 운번관개는 한발시 강우를 효과적으로 이용한 관개용수 공급방안으로 활용될 수 있을 것으로 생각됨

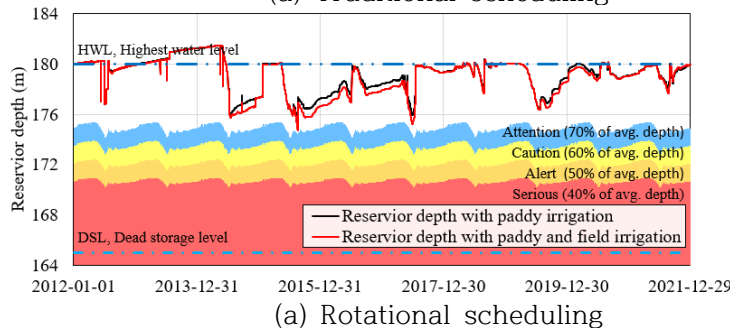


[그림 3-50] 관개시나리오별 평균 토양수분 및 관개횟수 (화정)

- 2012 - 2021년의 10년의 저수지 수위를 모의하고, 10년 평균수위의 70%를 임계치로 레질리언스 평가를 수행함
- 대상 저수지의 수위는 모두 2013 - 2016년, 2018년에 낮은 경향을 보였는데, 이는 편평균 유효우량이 낮은 시기와 일치하여 한발의 영향일 것으로 생각됨
- 신흥 수혜지구의 신흥 저수지의 수위모의결과 모든 기간에서 논관개용수공급 및 밭관개용수 추가 방류에서 모두 용수부족이 발생하지 않고 안정적으로 관개가 가능할 것으로 평가됨



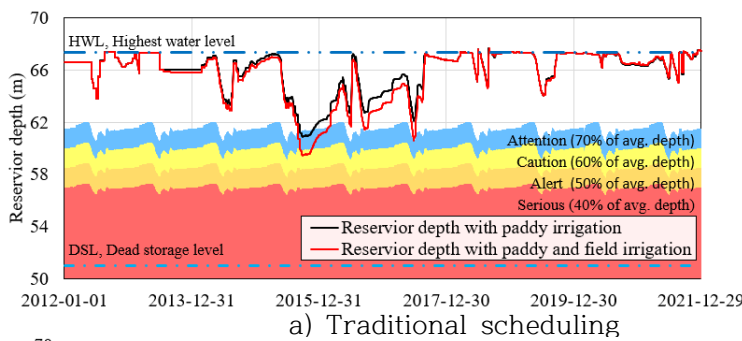
| Index | Value |
|------------|-------|
| DR (%) | 0.00 |
| MD (EL.m) | 0.00 |
| ND (times) | 0 |
| MCD (day) | 0 |
| ACD (day) | 0 |



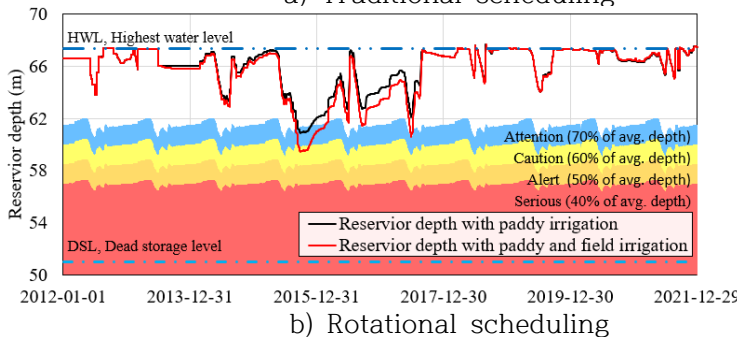
| Index | Value |
|------------|-------|
| DR (%) | 0.00 |
| MD (EL.m) | 0.00 |
| ND (times) | 0 |
| MCD (day) | 0 |
| ACD (day) | 0 |

[그림 3-51] 저수지 수위모의결과 및 레질리언스 평가지표 (신흥)

- 화정 수혜지구의 화정 저수지의 수위도 2015년의 1개년을 제외한 기간에서 안정적으로 평가되어 저수지로부터 발용수의 추가 공급이 가능할 것으로 생각됨
- 특히 2015년의 수위는 2013, 2014년에서 논 관개 이후 만수위 이상으로 저수지 저류량을 채우지 못해 2개년간 방류한 밭 관개용수량의 수위저하 효과가 2015년에 영향을 미쳤기 때문임
- 화정지구의 용수부족은 두 관행관개, 윤번관개 시나리오에서 모두 1회 175일간 발생함
- 하지만, 용수부족의 최대심도를 의미하는 MD, 연속용수부족의 크기를 의미하는 ACD에서 모두 윤번관개와 비교하여 관행관개에서 크게 산정되어 윤번관개시 레질리언스적 이점이 있음을 확인함



| Index | Value |
|------------|-------|
| DR (%) | 4.79 |
| MD (EL.m) | 1.96 |
| ND (times) | 1 |
| MCD (day) | 175 |
| ACD (EL.m) | 0.339 |



| Index | Value |
|------------|-------|
| DR (%) | 4.79 |
| MD (EL.m) | 1.95 |
| ND (times) | 1 |
| MCD (day) | 175 |
| ACD (EL.m) | 0.335 |

[그림 3-51] 저수지 수위모의결과 및 레질리언스 평가지표 (화정)

제 4 장 용수공급체계 분석 및 저류조 요소기술 개발

제 1 절 용수공급체계 변화 분석

- 본 절은 용수공급체계에 따른 주요 원수별 특성을 분석하여 원수특성을 고려한 용수공급 및 활용방안 도출과 레지리언스를 고려한 다기능 저류조의 개발에 활용함
- 주요결과
 - 중·소규모 용수공급 특성 분석 결과 농업용수 중에서 농업수리시설에 의해 공급되는 양은 연간 101억 m^3 에 달하며, 이 중 저수지와 담수호에 의해 공급되는 양이 67%를 차지하고 있어 국내농업용수는 전국적으로 17,265개소 분포하고 있는 농업용 저수지 및 담수호에 대한 의존도가 대단히 높음. 또한, 전국의 농업용 지하수는 792,321개소로 지하수 이용량은 1,484백만 m^3 /년으로 조사됨
 - 영농특성에 따른 고려 요소로 기후, 토양, 관개용수 등 다양한 환경인자에 따라 작물경작의 영향이 나타나며, 작물종류에 따라 다양한 형태의 피해가 발생하고 그 정도도 매우 상이함. 작물피해 정도에 따라 온도장해와 가뭄, 염해를 고려한 용수공급방안 마련 시급
 - 용수공급특성분석은 레지리언스를 고려한 다기능 저류조의 개발에 기초자료 제공

제 2 절 원수특성에 따른 용수공급 및 활용방안

- 본 절은 주요 원수별 특성을 분석하여 다기능 저류조의 적정 공급목표를 검토하고 단일·복합원수 활용방안 및 공급 프로세스를 검토함
- 주요결과
 - 전국 농업용저수지의 농업용수 수질기준인 IV등급 초과 비율은 TOC 기준 12.4%, T-P 기준 9.1%, *Chl-a* 기준 9.1%, COD 기준 29.9%, T-N 기준 61.8%로 나타남에 따라 유기물과 영양염류의 처리가 요구되며, 추가적인 대장균군의 처리도 필요할 것으로 판단됨
 - 농촌지하수 관측망 측정자료 분석결과 지하수 수온 현황은 18℃ 미만이 99.4%에 해당되어오직 0.6%만이 관개에 적정하기 때문에 수온의 조절이 주요한 설계인자로 판단됨
 - 또한, 지하수 EC 현황은 700 $\mu S/cm$ 이상이 18.4%로, 81.6%가 밭작물 관개에 적정한 것으로 나타났고, 실제 작물 생육에 중요한 EC 기준이 설정되어 있지 않기 때문에 염류장애로 인한 작물피해 우려됨에 따라 원수의 탁도와 EC 현황에 따라 추가처리 계획

제 3 절 수처리 효율 제고를 위한 수질개선기술

- 본 절은 용수공급체계에 따른 주요 원수별 특성을 분석하여 레지리언스를 고려한 다기능 저류조에 적합한 수질개선기술을 검토하고 향후 개발방향 및 방법을 정립함
- 주요결과
 - 기본시설 : BF(Bio Filter) + AOP(Advanced Oxidation Process) + SF(Soil Filter)
 - 추가시설 : 기본시설 + 추가처리 모듈(특정수질 / 특정항목제거 필요시)

- 용수공급시스템과 수질개선기술의 융합을 통하여 기존에 없던 새로운 기술을 개발함으로써 최근 대두되는 다목적 수요에 부합하고 다기능 저류조의 선진화 및 첨단화를 야기

제 4 절 공급체계 및 원수특성별 적정용수공급을 위한 저류조 기능 모듈화

- 본 절은 바이오필터를 토대로 원수 수질 및 수온 특성에 대응할 수 있는 요소별 모듈 설계를 수행하고, 저수지와 지하수의 단일·복합용수 공급방안을 고려한 적정모듈 통합프로세스 개발
- 주요결과
 - 수처리 기준 설정 : 호소생활환경기준의 IV등급(약간나쁨)으로 설정할 경우, 양약재배용 원수의 적정 수질기준 만족하며, 지하수의 경우 수온 18℃ 미만에서 성장저해가 발생하고, 전기전도도(EC) 700 μ S/cm 이상에서 염해가 발생하는 것으로 보고됨에 따라 이를 수처리 기준으로 설정
 - 저류조 기능의 모듈화 : BF(Bio Filter), AOP(Advanced Oxidation Process), SF(Soil Filter) 시설을 개별적으로 모듈화하여, 복합용수 공급 및 농업용수 수질현황에 맞춰 다양한 조합으로 구성

제 5 절 다기능 저류조 설계

- 본 절은 적정수온을 확보하고, 가뭄을 고려한 농업지역의 필요 공급용수량을 고려하여 다기능 저류조의 설계인자를 도출하고, 도출된 설계인자와 실제 적용성을 고려하여 농업용수 수질개선기술을 설계
- 주요결과
 - 유입수원이 지하수 및 저수지 저층수일 경우 낮은 수온에 의한 작물 냉해가 우려됨에 따라 적정 수온 확보를 위한 저류지내 체류시간 도출 및 설계 반영
 - 한발빈도 10년을 기준으로 검토된 작물 물수요량을 토대로 필수용량을 추정하고, 수처리 및 수온확보를 위한 체류시간과 필수용량을 고려한 최적용량을 도출하였으며, 이를 반영하여 레질리언스 기능이 반영된 집단화 저류조 시스템에 적용가능한 농업용수 수질개선기술 개발
 - 적용성을 고려하여, 0.1ha의 재배면적을 기준으로 제품을 설계하고 시작품 제작
 - TEST-BED 저류조와 수질개선시설을 일체형을 설계 및 제작함으로써 시설보호, 유지관리의 편의성 확보와 더불어 민원 발생 가능성 최소화

제 6 절 다기능 저류조 효과 검증 및 실증화

- 본 절은 설계된 다기능 저류조의 현장 적용 및 TEST-BED 모니터링 시스템을 구축하고, 구축된 모니터링 결과를 바탕으로 다기능 저류조 수처리 효율을 검증하고, 미생물 위해성 평가 기법을 활용하여 보건적 안전성을 평가함
- 주요결과
 - 제작된 저류조 시스템의 TEST-BED는 충남 예산군 신양면의 사과를 재배하는 밭에 구축하였으며, 유입수원으로는 신양저수지 또는 지하수를 관개용수로 공급받음
 - 모니터링은 2022년 5월부터 9월까지 TEST-BED의 유입수(지하수, 지표수), 유출수에 대해 월 1회

모니터링을 진행

- 4절에서 설정된 수처리 기준은 TEST-BED의 유출수에서 전항목 만족하고, 다기능 저류조의 저감 효율은 지표수에서 TOC 평균 19.2%, SS 평균 43.8%, T-N 평균 28.1%, T-P 평균 46.9%, *Chl-a* 평균 70.1%, 지하수에서 수온 평균 7.5% 상승, EC 평균 54.3%의 저감효율을 보여, 다기능 저류조의 수질정화 개선효과를 검증함
- 미생물 위해성 평가 결과, 평균 위해도 값은 유입수(지하수) -3.02×10^{-6} , 유입수(지표수) 2.79×10^{-5} 로 나타났으며, 다기능 저류저 처리 후 E.coli가 전량 사멸함에 따라 영농작업자의 위해성은 없을 것으로 판단됨

제 4 장 용수공급체계 분석 및 저류조 요소기술 개발

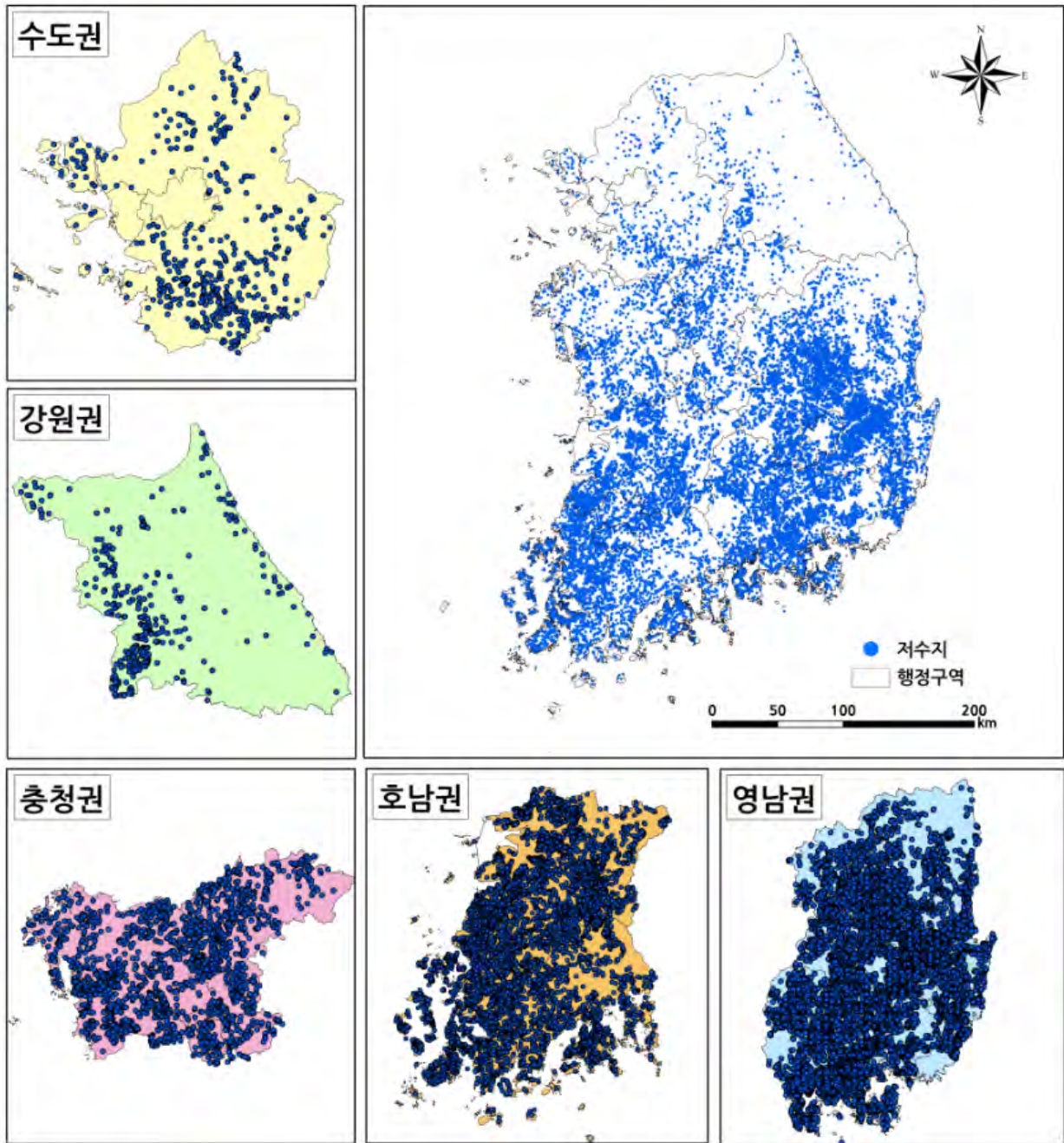
제 1 절 용수공급체계 변화 분석

1. 중·소규모 용수공급 특성 분석

- 식생활의 다양화 등으로 2018년 연간 쌀 소비량은 2010년 대비 80% 수준의 59.2 kg에 그치는 등 지속적 감소추세를 보임(통계청, 2018)
- 장기적 쌀소비량 감소로 인해 늘어난 쌀 재고량과 이에 따른 쌀가격 하락을 막기위해 정부는 논 소득기반다양화사업(2011-2013), 수확기 쌀 수급안정 대책(2017) 등의 정책을 통해 쌀 공급량을 감소시키기 위해 노력하고 있음
- 이에 논의 밭으로 전용은 2010년 대비 2016년 논면적은 2.9%가 밭면적으로 전환되는 등 꾸준히 증가하는 추세임(농림축산식품 통계연보, 2017)
- 밭 경지 중 용수공급시설을 갖춘 면적은 15년 기준 전체 밭면적 중 18.5% 수준에 불과한 실정으로 안정적 용수공급 방안 마련이 필요함
- 2018년 기준 가뭄으로 인해 논 피해면적 2,514 ha에 비해 밭 피해면적 20,255 ha로 밭작물의 안정적 용수공급 방안마련이 필요함(관계부처 합동, 2020)
- 국내 연간 수자원량 337억 m³중 농업용수가 차지하는 양은 160억 m³으로 전체 사용수자원의 47%를 차지하고 있으며, 이 중 약 80% 이상이 논농사를 위한 관개용수로 사용되고 있음
- 용수이용량이 가장 많은 농업용수 중에서 농업수리시설에 의해 공급되는 양은 연간 101억 m³에 달하며, 이 중 저수지와 담수호에 의해 공급되는 양이 각각 47억 m³과 20억 m³으로서 67%를 차지하고 있어 우리나라의 농업용수는 저수지와 담수호, 특히 저수지에 대한 의존도가 대단히 높음

가. 지표수 현황

- 전국 저수지 및 호소의 현황 조사를 수행하기 위해 국가수자원 종합정보시스템(WAMIS), 농업기반 시설관리(RIMS), 농촌용수 종합정보시스템(RAWRIS), 물환경정보시스템(WIS), 전국호소편람(환경부), 농업용 저수지 뚝높이기 사업(농림부)등의 자료를 수집
- 수집된 자료 중 분석가용자료를 확보하고 있는 농업용 저수지 및 담수호 17,265개소를 대상으로 시도별 분포현황, 준공년도별 저수지현황, 규모별(유효저수량) 저수지 현황 및 수질 현황에 대하여 분석을 수행



[그림 4-1] 농업용 저수지 전국분포현황(17,265개소)

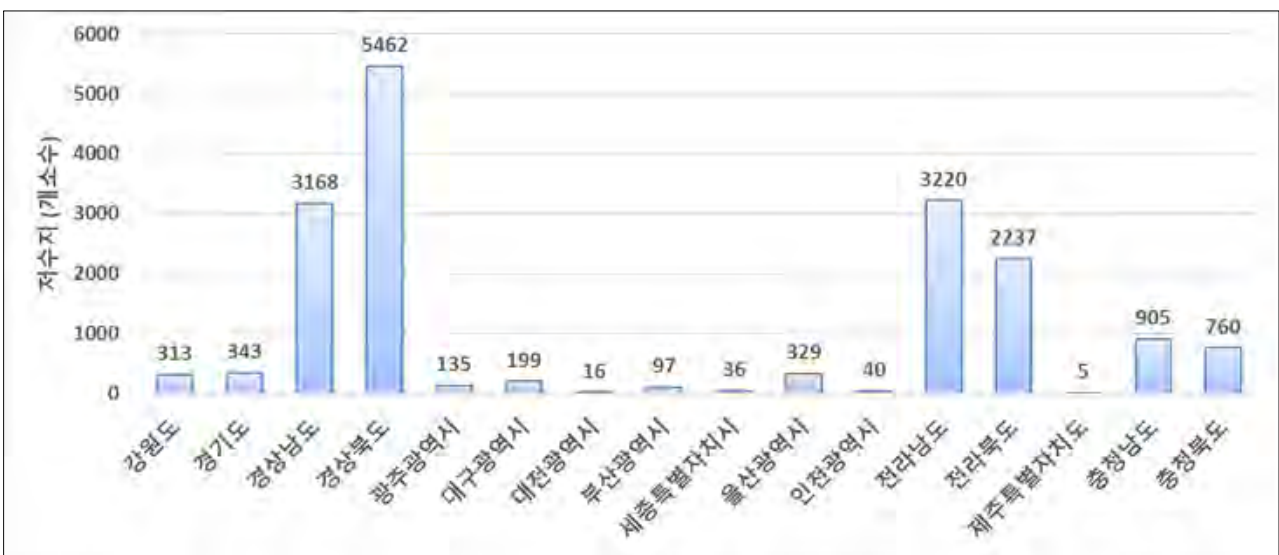
※ 자료 : 한국농어촌공사 농어촌연구원

1) 지역별 분포 현황

- 농업용 저수지 및 담수호의 시도별 분포현황은 경북이 5,462개소로 가장 많은 분포를 보이고 있으며, 경남 3,168개소, 전남 3,220개소, 전북 2,237개소 순으로 나타남
- 전국 농업용 저수지 및 담수호는 경상도 (50.0%)와 전라도(31.6%)에 80%이상 위치하고 있는 것으로 나타남

[표 4-1] 전국 농업용 저수지 및 담수호 분포현황

| 시도 | 개소 | 분포율(%) |
|---------|--------|--------|
| 강원도 | 313 | 1.8 |
| 경기도 | 343 | 2.0 |
| 경상남도 | 3,168 | 18.3 |
| 경상북도 | 5,462 | 31.6 |
| 광주광역시 | 135 | 0.8 |
| 대구광역시 | 199 | 1.2 |
| 대전광역시 | 16 | 0.1 |
| 부산광역시 | 97 | 0.6 |
| 세종특별자치시 | 36 | 0.2 |
| 울산광역시 | 329 | 1.9 |
| 인천광역시 | 40 | 0.2 |
| 전라남도 | 3,220 | 18.7 |
| 전라북도 | 2,237 | 13.0 |
| 제주특별자치도 | 5 | 0.0 |
| 충청남도 | 905 | 5.2 |
| 충청북도 | 760 | 4.4 |
| 합계 | 17,265 | 100.0 |



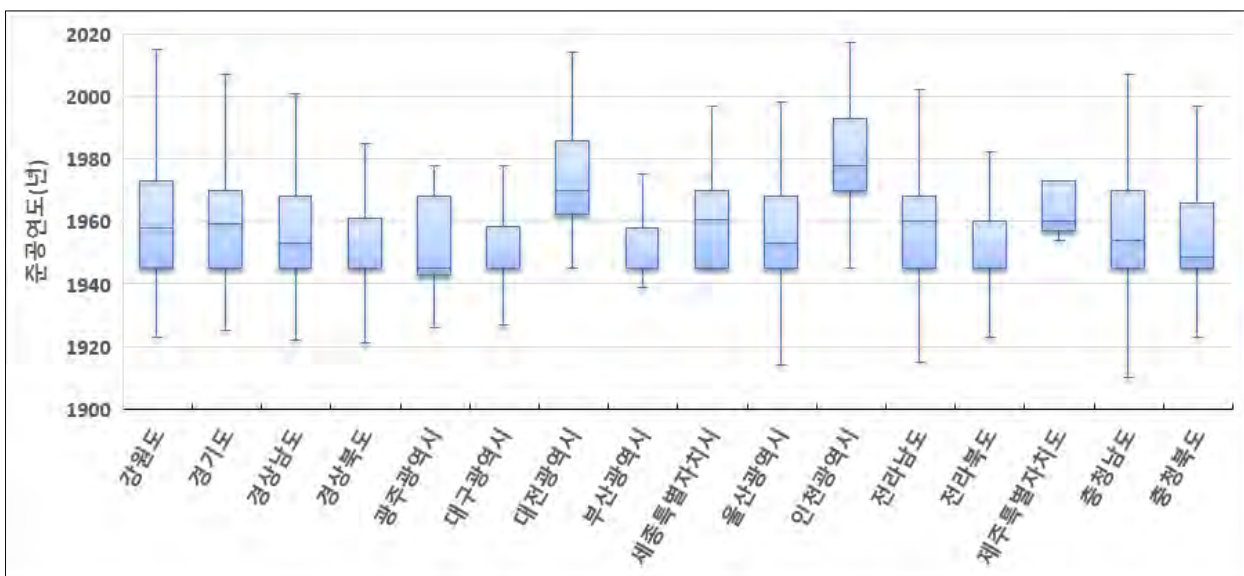
[그림 4-2] 전국 시도별 농업용 저수지 및 담수호 분포현황

2) 시설별 조성년도 현황

- 전국 호소의 분포 분석과 더불어 저수지의 노후화에 대한 간접적인 분석을 위하여 준공년도 분포를 분석하였으며, 분석결과 전체 저수지의 55.3%가 1950년도 이전에 준공되었으며, 93.1%는 1980년대 이전에 준공된 저수지인 것으로 나타남에 따라 대부분의 인공호수는 시설 노후로 인한 문제점이 나타날 가능성이 높은 것으로 분석됨
- 시도별 결과는 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도, 광주광역시, 대구광역시의 경우 평균적으로 1950년대 초에 준공된 시설이 대부분으로 시설 노후화 정도가 높게 나타났으며, 대전광역시, 인천광역시, 제주특별자치도의 경우 평균적으로 1970~1980년대 초에 준공된 시설이 대부분으로 상대적으로 최근에 준공된 시설이 많이 분포하는 것으로 분석됨



[그림 4-3] 준공년도별 농업용 저수지 및 담수호 현황



[그림 4-4] 농업용 저수지 및 담수호 시도별 준공년도 분포

[표 4-2] 전국 농업용 저수지 및 담수호 시도별 준공년도

| 시도 | 호소 (개소) | 준공년도 | 평균 준공년도 | 1950년 이전 준공 시설 | |
|---------|------------|-----------|---------|----------------|-------|
| | | | | 개소 | 비율(%) |
| 강원도 | 313 | 1923~2015 | 1961 | 145 | 46.3 |
| 경기도 | 343 | 1925~2011 | 1960 | 134 | 39.1 |
| 경상남도 | 3,168 | 1922~2018 | 1957 | 1,510 | 47.7 |
| 경상북도 | 5,462 | 1480~2017 | 1952 | 3,606 | 66.0 |
| 광주광역시 | 135 | 1926~2009 | 1952 | 84 | 62.2 |
| 대구광역시 | 199 | 1899~2000 | 1951 | 125 | 62.8 |
| 대전광역시 | 16 | 1945~2014 | 1971 | 3 | 18.8 |
| 부산광역시 | 97 | 1920~2016 | 1952 | 66 | 68.0 |
| 세종특별자치시 | 36 | 1945~1997 | 1961 | 15 | 41.7 |
| 울산광역시 | 329 | 1907~2015 | 1957 | 162 | 49.2 |
| 인천광역시 | 40 | 1945~2017 | 1982 | 2 | 5.0 |
| 전라남도 | 3,220 | 1915~2017 | 1959 | 1,370 | 42.5 |
| 전라북도 | 2,237 | 1906~2017 | 1952 | 1,511 | 67.5 |
| 제주특별자치도 | 5 | 1954~2016 | 1972 | - | - |
| 충청남도 | 905 | 1910~2017 | 1959 | 427 | 47.2 |
| 충청북도 | 760 | 1923~2017 | 1957 | 389 | 51.2 |
| 합계 | 17,265 | | | 9,549 | 55.3 |

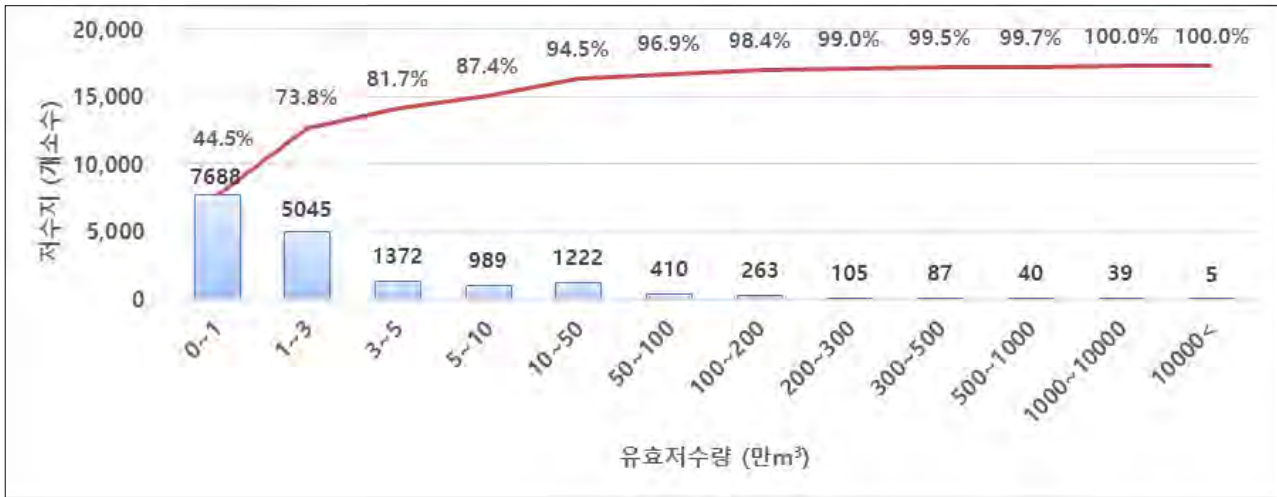
3) 시설별 규모현황

- 시도별 분포현황과 더불어 시도별 규모별(유효저수량) 분석을 실시한 결과 가장 많은 분포를 보인 영남권(8,630개소)보다 호남권(5,457개소)의 유효저수량이 약 2.54배 높은 것으로 나타남
- 이는 영남권에 비하여 호남권에 섬진호, 영산호, 영암호, 금강호, 나주호등 상대적으로 규모가 큰 저수지가 분포하여 나타난 결과로 판단됨
- 충청권은 73,000만 m³의 유효저수량을 보였으며, 기타지역은 상대적으로 낮은 유효저수량을 나타내었으며, 시도별 유효저수량은 전라남도지역이 119,472만 m³으로 가장 높게 나타났으며, 전라북도 82,131만 m³, 충청남도 52,799만 m³ 순으로 나타남

[표 4-3] 전국 농업용 저수지 및 담수호 시도별 유효저수량

| 시도 | 호소개수 | | 총 유효저수량 | | 유효저수량 현황 | |
|---------|--------|--------|------------|--------|--------------|-------------|
| | 개소 | 분포율(%) | 총유효저수량(만㎥) | 점유율(%) | 유효저수량 범위(만㎥) | 평균유효저수량(만㎥) |
| 강원도 | 313 | 1.8 | 11,845 | 3.0 | 0.01~1,741 | 38 |
| 경기도 | 343 | 2.0 | 25,414 | 6.3 | 0.1~8,289.2 | 74 |
| 경상남도 | 3,168 | 18.3 | 29,272 | 7.3 | 0~3,033.7 | 9 |
| 경상북도 | 5,462 | 31.6 | 50,108 | 12.5 | 0~2,815.0 | 9 |
| 광주광역시 | 135 | 0.8 | 902 | 0.2 | 0.06~226.5 | 7 |
| 대구광역시 | 199 | 1.2 | 2,600 | 0.6 | 0.16~864.9 | 13 |
| 대전광역시 | 16 | 0.1 | 521 | 0.1 | 0.136~282.1 | 33 |
| 부산광역시 | 97 | 0.6 | 179 | 0.0 | 0~34.2 | 2 |
| 세종특별자치시 | 36 | 0.2 | 520 | 0.1 | 0~486.8 | 14 |
| 울산광역시 | 329 | 1.9 | 1,820 | 0.5 | 0~193.5 | 6 |
| 인천광역시 | 40 | 0.2 | 3,149 | 0.8 | 0.3~621.4 | 79 |
| 전라남도 | 3,220 | 18.7 | 119,472 | 29.8 | 0~18,092 | 37 |
| 전라북도 | 2,237 | 13.0 | 82,131 | 20.5 | 0~25,856.2 | 37 |
| 제주특별자치도 | 5 | 0.0 | 204 | 0.1 | 0.53~105 | 41 |
| 충청남도 | 905 | 5.2 | 52,779 | 13.2 | 0~6,278.7 | 58 |
| 충청북도 | 760 | 4.4 | 20,221 | 5.0 | 0.001~2,637 | 27 |
| 합계 | 17,265 | 100.0 | 401,137 | 100.0 | | |

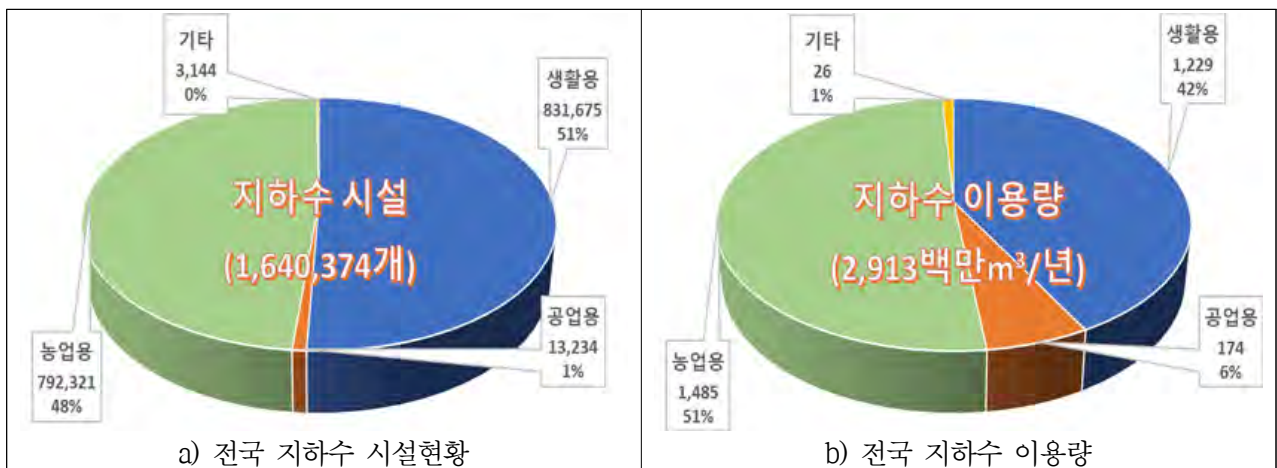
○ 분석대상 17,265개 호소 중 유효저수량 1만 ㎥이하 호소 7,688개소(44.5%)이며, 유효저수량 100만 ㎥ 이하 호소 16,726개소 (96.9%)로 분석되어 중소규모 호소 및 저수지가 대부분을 차지하는 것으로 나타남



[그림 4-5] 유효저수량별 농업용 저수지 및 담수호 현황

나. 지하수 현황

- 전국 지하수의 현황 조사를 수행하기 위해 국가지하수정보센터(GIMS), 국가수자원 종합정보시스템(WAMIS), 지하수수질측정망(K-water)등의 자료를 수집
- 전국의 지하수 시설은 총 1,640,374개소로 이중 792,321개(48.3%)가 농업용으로 조사되었으며, 지하수 이용량은 전국 2,913백만 m³/년 중 농업용이 51.0% (1,484백만 m³/년)을 차지하는 것으로 나타남



[그림 4-6] 전국 지하수 이용현황(2018년)

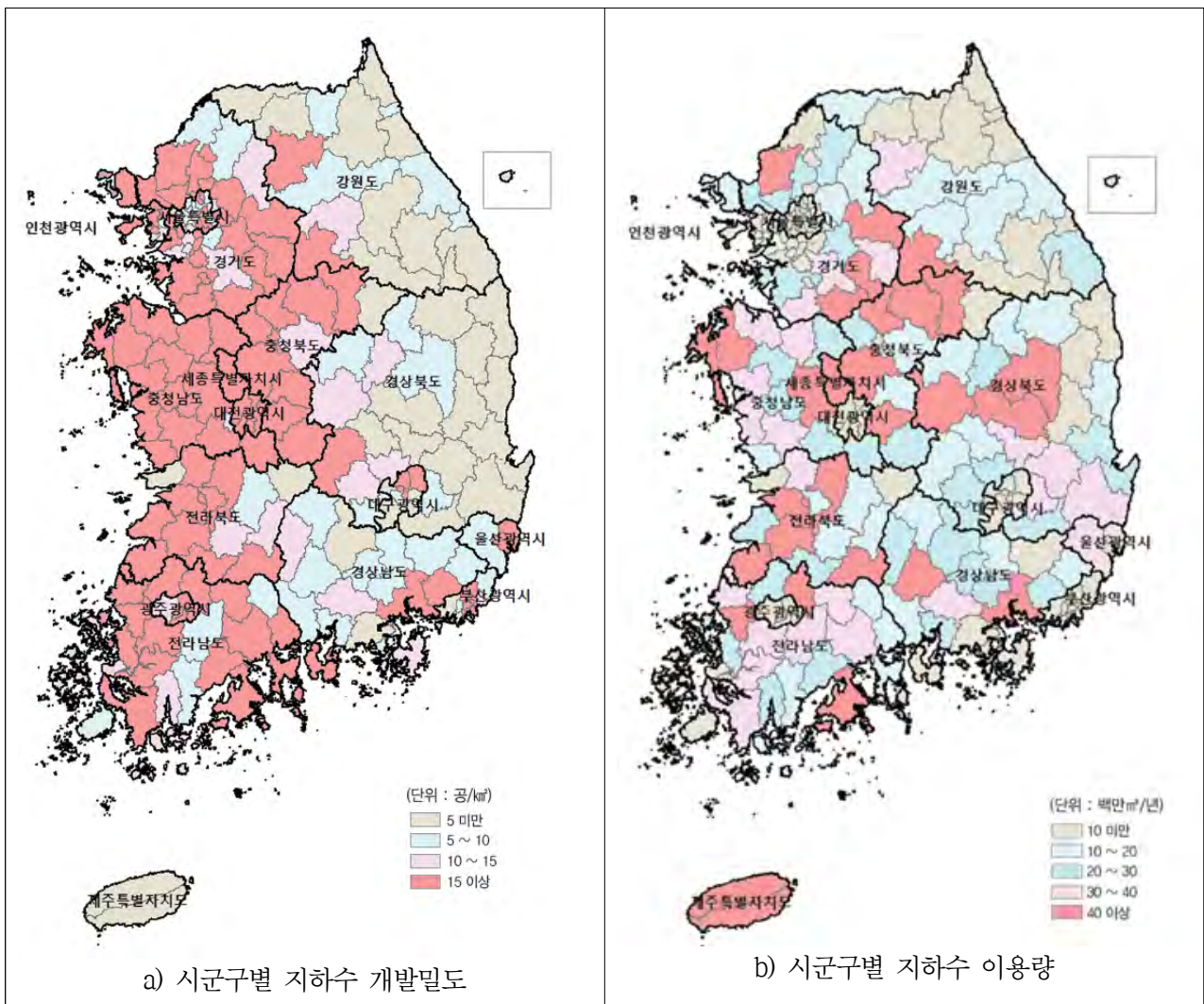
[표 4-4] 전국 시도별 지하수 시설개소수

| 행정구역 | 개소수(개소) | | | | |
|---------|-----------|---------|--------|---------|-------|
| | 총계 | 생활용 | 공업용 | 농업용 | 기타 |
| 합계 | 1,640,374 | 831,675 | 13,234 | 792,321 | 3,144 |
| 서울특별시 | 7,742 | 5,263 | 211 | 2,216 | 52 |
| 부산광역시 | 6,972 | 5,577 | 191 | 1,128 | 76 |
| 대구광역시 | 5,484 | 3,103 | 214 | 2,160 | 7 |
| 인천광역시 | 13,892 | 7,499 | 85 | 6,247 | 61 |
| 광주광역시 | 11,973 | 5,667 | 187 | 6,118 | 1 |
| 대전광역시 | 20,699 | 16,032 | 228 | 4,422 | 17 |
| 울산광역시 | 5,601 | 3,759 | 165 | 1,673 | 4 |
| 세종특별자치시 | 21,175 | 11,161 | 160 | 9,845 | 9 |
| 경기도 | 257,991 | 157,053 | 2,830 | 97,347 | 761 |
| 강원도 | 116,707 | 76,628 | 833 | 39,193 | 53 |
| 충청북도 | 173,050 | 93,161 | 1,698 | 78,031 | 160 |
| 충청남도 | 284,718 | 143,779 | 1,387 | 138,320 | 1,232 |
| 전라북도 | 233,212 | 85,842 | 727 | 146,437 | 206 |
| 전라남도 | 251,262 | 119,696 | 936 | 130,427 | 203 |
| 경상북도 | 125,268 | 48,794 | 1,651 | 74,633 | 190 |
| 경상남도 | 99,871 | 47,228 | 1,588 | 50,950 | 105 |
| 제주특별자치도 | 4,757 | 1,433 | 143 | 3,174 | 7 |

[표 4-5] 전국 시도별 지하수 이용량

| 행정구역 | 이용량(㎥/년) | | | | |
|---------|---------------|---------------|-------------|---------------|------------|
| | 총계 | 생활용 | 공업용 | 농업용 | 기타 |
| 합계 | 2,913,531,315 | 1,228,642,103 | 174,046,083 | 1,484,648,381 | 26,194,748 |
| 서울특별시 | 20,005,914 | 16,920,245 | 648,576 | 2,018,356 | 418,737 |
| 부산광역시 | 28,558,796 | 21,762,987 | 1,119,396 | 3,935,373 | 1,741,040 |
| 대구광역시 | 22,144,645 | 10,950,561 | 3,554,245 | 7,239,763 | 400,076 |
| 인천광역시 | 40,607,641 | 24,237,993 | 839,715 | 15,058,059 | 471,874 |
| 광주광역시 | 17,360,815 | 9,002,555 | 2,473,287 | 5,883,817 | 1,156 |
| 대전광역시 | 25,223,220 | 17,620,818 | 1,384,529 | 6,124,528 | 93,345 |
| 울산광역시 | 23,804,630 | 18,262,531 | 2,112,070 | 3,421,313 | 8,716 |
| 세종특별자치시 | 21,531,502 | 8,281,994 | 3,485,414 | 9,593,566 | 170,528 |
| 경기도 | 406,171,007 | 213,788,626 | 30,947,979 | 153,693,909 | 7,740,493 |
| 강원도 | 186,143,863 | 97,389,910 | 9,227,446 | 79,056,764 | 469,743 |
| 충청북도 | 258,601,461 | 92,340,407 | 19,520,744 | 145,217,892 | 1,522,418 |
| 충청남도 | 363,662,909 | 137,169,759 | 17,108,380 | 206,069,238 | 3,315,532 |
| 전라북도 | 233,634,529 | 69,266,596 | 9,528,559 | 152,858,926 | 1,980,448 |
| 전라남도 | 376,400,152 | 102,068,611 | 13,254,592 | 258,761,805 | 2,315,144 |
| 경상북도 | 359,677,004 | 129,548,066 | 39,138,956 | 186,905,238 | 4,084,744 |
| 경상남도 | 288,426,013 | 112,361,512 | 17,578,643 | 158,046,975 | 438,883 |
| 제주특별자치도 | 241,577,214 | 147,668,932 | 2,123,552 | 90,762,859 | 1,021,871 |

- 전국의 농업용 지하수는 792,321개소로 지하수 이용량은 1,484,648,381 m³/년으로 나타났음
- 농업용 지하수의 시도별 분포현황은 전북이 146,437개소로 가장 많은 분포를 보이고 있으며, 충남 138,320개소, 전남 130,427개소 순으로 나타남
- 농업용 지하수는 전라도 (35.0%)와 충청도(27.0%)에 62%이상 위치하고 있는 것으로 나타남
- 농업용 지하수의 시도별 이용현황은 전남이 258,761,805 m³/년으로 가장 많은 이용량을 보이고 있으며, 충남 206,069,238 m³/년, 경북 186,905,238 m³/년 순으로 나타남
- 농업용 지하수 이용량은 전라도 (38.0%), 충청도(24.0%)와 경상도(23.0%)에서 75%이상 사용하고 있는 것으로 나타남



[그림 4-기] 시군구별 지하수 이용현황(2018년)

※ 자료 : 한국수자원공사

2. 영농특성에 따른 고려 요소

- 기후, 토양, 관개용수 등 다양한 환경인자에 따라 작물경작의 영향이 나타나며, 작물종류에 따라 다양한 형태의 피해가 발생하며 그 정도도 매우 상이함
- 기온이 평년보다 낮을 경우 발작물이 얼어 죽거나 냉해로 생육장애를 겪는 것으로 알려져 있으며, 사과나 배 등 과수와 인삼의 피해가 크고, 이외에도 깻잎·양파·감자 등 다양한 품종에서 피해가 발생하는 것으로 보고되고 있으며, 반대로 기온이 평년보다 높을 경우 발작물의 나방류 해충 피해가 예상되기도 함
- 이외 홍수, 가뭄 등의 자연재해 및 토양의 염분에 의한 작물 피해도 빈번함

가. 냉해

1) 냉해의 원인

- 여름철 낮은 기온 또는 낮은 수온으로 수확량이 감소되는 기상장해

2) 냉해의 형태

| | |
|--------|---|
| 지연형 냉해 | 생육기간 중에 저온에 의하여 생육 진전 및 어린 이삭의 발육이 늦어져 출수가 지연되는 형태의 냉해 |
| 장해형 냉해 | 생식생장기에 일시적 또는 지속적으로 저온이 찾아와 비정상적인 꽃가루가 만들어지고 수정이 불량해져 불임이 발생하는 형태의 냉해 |
| 혼합형 냉해 | 지연형 냉해와 장해형 냉해가 동시에 복합적으로 발생. 장기적으로 저온이 계속되는 해에 발생하는 것으로 피해가 치명적임 |

3) 냉해 경감 대책

| | |
|----------|--|
| 재배기술적 대책 | <ul style="list-style-type: none"> · 냉해 상습지역은 냉해에 강한 품종 재배 · 규산(200~300 kg/10a), 유기물사용, 질소비료를 15% 정도 적게 주고, 인산과 칼리는 20~30% 정도 많이 줌 · 가지치기 비료는 가급적 유안을 주어 초기생육을 촉진 |
| 냉해발생시 대책 | <ul style="list-style-type: none"> · 찬물은 비닐튜브 등을 이용하여 100 m 이상 돌려 통과시키거나 돌림도랑을 이용하여 물 온도 높이기 · 벼의 경우 배기 시작할 때에는 물을 깊게 대어 어린이삭 보호 |

나. 풍해

1) 풍해의 원인

- 태풍 또는 폭풍우에 의해 발생된 피해

2) 풍해의 형태

| | |
|-----------|---|
| 냉조풍 | · 동해안 지역에 발생되어 저온 장해를 일으킴 |
| 건조풍 조풍 | · 벼작물의 경우 이삭 패는 시기에 발생하여 백수(흰이삭) 또는 백화영 현상이나, 갈변립(벼 알이 갈색으로 변하는 현상)이 발생 |
| 고온 저습한 강풍 | · 고온(온도 25℃ 이상), 저습(습도 65% 이하)한 강풍(풍속 8 m/초 이상)에 의하여 짧은 시간동안 작물이 많은 수분을 빼앗김 |

3) 풍해경감 대책

| | |
|------|---|
| 사전대책 | · 질소비료의 과다사용 삼가, 3요소 비료를 골고루 시비 |
| 사후대책 | · 태풍이 통과 후 6시간 이내에 분무기를 이용 10 a당 물을 600 L이상 살포하여 등숙비율을 향상시킴 |

다. 침관수 피해

1) 침관수 피해 원인

- 강수량이 지나치게 많아 경작지에 과다한 물이 들어와서 발생하며, 이 때 식물체 일부가 수면 위에 노출된 상태인 침수와 식물체 전체가 물에 잠긴 상태인 관수를 합하여 이르는 말

2) 침관수 피해 형태

- 침관수 기간, 물 흐름의 정도, 물의 온도, 수질 등에 따라 다르며 피해정도는 침관수 기간이 길 때 피해가 커짐

| | |
|------|---|
| 수 질 | · 침수<관수, 맑은 물<흐린물, 흐르는 물<정지된 물, 온도가 낮은 물<온도가 높은 물 |
| 생육시기 | · 가지치는 시기<어린이삭 형성기<출수기<감수분열기 |

3) 침관수 피해 경감 대책

- 도복, 병충해 및 침관수에 강한 품종 선택
- 질소비료는 20~30% 적게, 규산과 칼리비료는 20~30% 많이 줌
- 관개시설을 사전에 정비하여 토사 매몰이나, 차오른 물이 오래 머물지 않도록 조치

라. 가뭄해

1) 가뭄해의 원인

- 가뭄해는 토성에 따라 점질토양보다 사질토양에서 심하고, 유기물함량이 높은 토양은 보수력이 높아 가뭄을 경감시킴
- 질소질 비료가 과다하면 식물체가 웃자라 수분 소모량이 많아져 한발 저항성 저하

2) 가뭄해의 형태

| | |
|--------------|--|
| 가 뭄 해 | · 토양의 수분부족에 의하여 발생하는 작물의 생육장해 |
| 증 상 | · 가뭄해의 증상은 잎의 말림으로 시작 · 잎이 위조되고, 신장 중인 잎의 생장이 억제되며 아래 잎이 황화 고사하게 됨. 영구위조점 이하로 토양이 건조하면 위 잎이 선단부터 고사하고 그 후에는 관개를 하여도 정상적으로 회복되지 않음 |

3) 가뭄해 피해 경감 대책

- 가뭄 저항성 품종을 선택, 이앙이 지연될 경우 내만식성 품종을 재배
- 감수분열기>이삭 패는 시기, 개화기>등숙초기>유수형성기 순으로 피해가 크므로 이 시기에는 충분히 관개하고 이외의 시기에는 절수재배
- 질소질 비료를 줄여주고 규산질 비료를 사용하여 증산을 억제하며, 유기물을 사용하여 토양의 보수력을 높임

마. 염해

1) 염해의 원인

- 염해가 발생하면 식물체 영양기관의 수분이 감소
- 식물체 내에 흡수, 축적된 높은 농도의 염분은 효소를 불활성화시키고 단백질의 합성을 억제
- 높은 농도의 Na는 식물에 직접 해를 줄 뿐 아니라, 토양의 공극과 수분 투과성을 감소시켜 토양 구조를 악화 시킴

2) 염해의 형태

| | |
|------------|--|
| 염 해 | · 해수의 침입 또는 간척지 등에서 염분의 추출에 의하여 발생하는 작물의 생육장애, 염수(소금물)에 의한 피해를 염수해, 염풍에 의한 피해를 염풍해라 하며 이 둘을 통칭하여 염해라 함 |
| 증 상 | · 염해가 발생하면 잎이 붉게 마르는 현상이 나타나고 광합성, 호흡 및 뿌리의 생육이 부진. 피해가 심하면 식물체 전체가 말라죽음 |

3) 염해 피해 경감 대책

- 담수나 암거배수 시설에 의한 제염 및 석회와 유기물 시용에 의한 토양 산성화 유도 및 토양 물리성 개선
- 내염성 품종을 선택하고 고온에서는 염분의 용출이 증가하므로 저온피해를 받지 않는 범위에서 가능한 일찍 파종
- 질소비료는 속효성인 유안을 사용하고 웃거름 중점 시비, 염분 농도를 낮추기 위하여 염화칼리보다 황산칼리 사용

3. 레질리언스를 고려한 요소별 적정 용수공급방안 검토

가. 온도장해를 고려한 용수공급

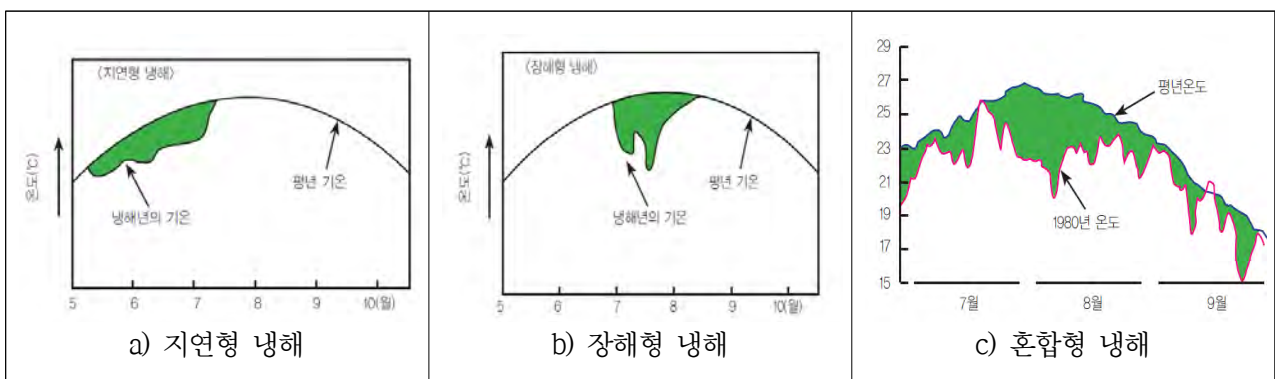
1) 냉해

가) 냉해의 환경 요인

- 온도 : 냉해가 유발되는 제일 큰 이유는 역시 기온임. 단기간의 저온은 비교적 피해가 적지만 저온기간이 길어지면 피해가 심해짐
- 일사 : 일사는 직접적으로 냉해를 주지는 않지만 일사량이 부족하면 냉해의 피해는 더욱 커짐. 일사부족은 벼의 광합성을 저하시키고 지온과 수온의 상승이 저해하여 간접적으로 냉해를 조장
- 양분 : 벼는 질소 거름량이 적은 경우와 인산의 거름량이 충분한 경우에는 냉해가 왔을 때 상대적으로 불임률이 낮아지고, 질소 거름량이 증가한 경우에는 불임률이 높아짐. 또한 유기물이 충분한 논은 냉해가 왔을 때 그 피해가 크게 감소되므로 퇴비시용도 냉해의 피해를 줄일 수 있는 한 가지 요인이 됨

나) 냉해의 종류

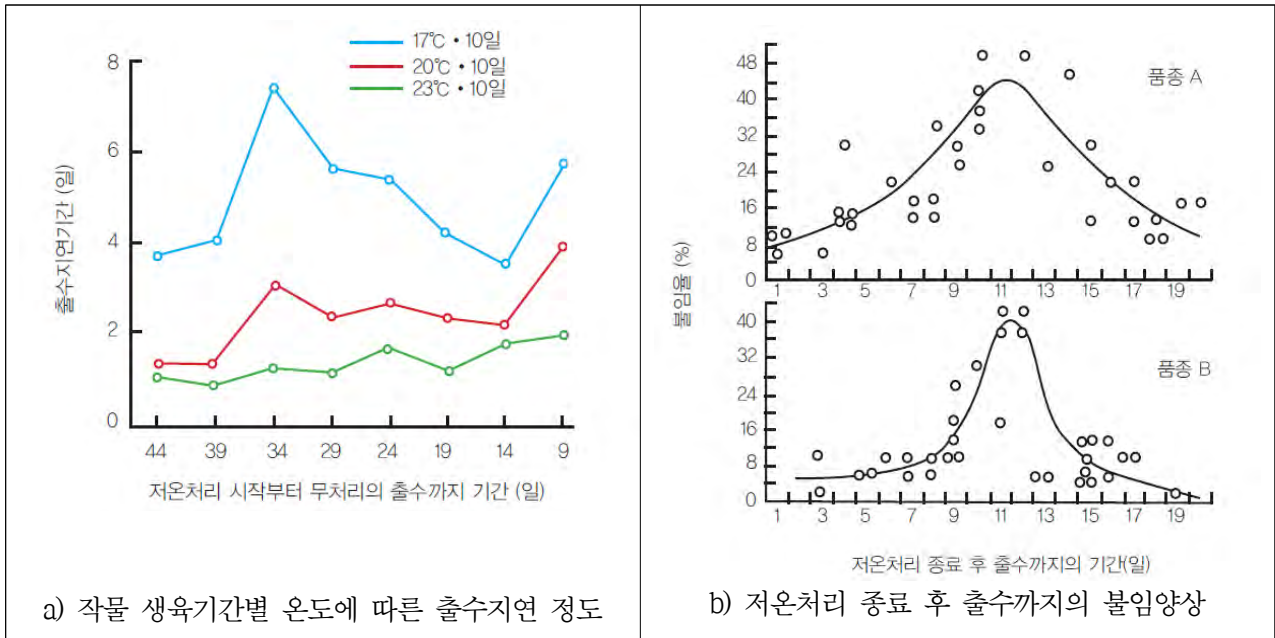
- 냉해의 종류는 작물의 생육시기에 따라 크게 달라지며, 저온의 발생시기가 어느 생육시기에 해당하느냐에 따라 주로 ‘지연형 냉해’, ‘장해형 냉해’ 및 ‘혼합형 냉해’의 3가지 형태로 분류
- 지연형 냉해 : 영양생장기 냉해에 의해 초기생육이 부진하며 어린이삭의 발육을 늦추는 것
- 장해형 냉해 : 생식생장기 시기의 저온으로 비정상적인 꽃가루가 형성되어 수정이 방해되어 불임 현상을 일으키는 냉해
- 혼합형 냉해 : 지연형 냉해와 장해형 냉해가 겹쳐서 발생하는 경우로 병행형 냉해라고도 함. 이것은 저온이 장기적으로 계속되는 해에 발생하는 것으로 그 피해는 치명적임



[그림 4-8] 냉해의 연중 기온변화

다) 냉해형태에 따른 생육장애 발생경로와 생산량 감소 요인

- 지연형 냉해의 피해 발생경로를 보면 저온으로 이삭의 발육이 늦어지며, 중요한 시기는 ① 뿌리 내릴 때부터 가지치기를 시작하는 시기, ② 어린이삭 분화기 전·후, ③ 감수분열기 등 3시기로 나눌 수 있지만 그 중에서도 뿌리내리는 시기에 저온의 영향이 가장 큼
- 장해형 냉해를 일으키는 중요한 시기는 수잉기 특히 감수분열기와 꽃이 피고 꽃가루가 암술에 수정하는 두시기임. 수잉기의 저온은 꽃가루 생성과 발육을 저해하여 수정을 불량하게하며, 감수분열기 저온에 의한 불임률 발생은 온도가 낮아질수록, 저온기간이 길어질수록 커지게 됨



[그림 4-9] 냉해에 의한 작물 피해정도

라) 냉해의 경감방법

- 항구적인 방법으로는 방풍림 조성이 있으며, 온수로 및 온수지 설치, 관개수심조절이 가능한 휴반 시설, 댐의 표층수 관개장치, 수로조직 정비 등 수온 상승을 위한 관개수 개선하는 방법
- 재배기술적인 대책으로는 냉해상습지역은 냉해에 강한 품종을 재배하거나, 또 규산(200~300 kg/10a) 및 유기물 사용하거나 질소비료를 15%정도 적게 주고, 인산과 칼륨은 20~30% 정도 많이 주며 가지치기를 위한 비료는 가급적 유안을 주어 초기생육을 촉진하는 것이 안전함
- 냉해발생 시 대책으로는 논에 들어가는 찬물은 비닐튜브를 100 m 이상 통과시키거나 돌림도랑을 이용하여 물 온도를 높임



[그림 4-10] 온수지 예시

2) 고온장해

- 고온장해는 온도가 지나치게 높아 작물의 생육이 나빠지거나 불임을 유발시켜 수확량의 감소를 가져오는 것을 말하는데 일반적으로는 열대지역에서 주로 발생

가) 고온장해의 모습

- 고온장해의 종류로는 발아불량, 영양생장기 고온에 의한 단백질화현상, 초장 및 가지 수가 감소 등
- 모든 장해 중에서 가장 피해가 큰 것은 개화기 고온피해이며 주로 불임이 크게 발생함

나) 고온장해의 원인

- 고온에서의 불임은 꽃가루의 기능적 장애가 주원인이며 암술은 고온에서도 수정 능력을 지님
- 고온에서 개화를 하게 되면 많은 불임이 발생하는데 고온조건에서 개화한 암술머리에 정상 온도에서 생성된 꽃가루를 수정한 결과 수정이 정상적으로 이루어진 결과가 보고됨

다) 고온장해의 발생 시기 및 온도

- 고온에 의한 불임의 발생온도는 품종, 재배조건, 고온의 지속시간에 따라 다르며 일반적으로 불임이 20% 이상 발생하는 온도를 불임한계 온도로 봄
- 작물과학원 인공기상연구동에서 조사된 고온장해에 관한 연구결과에 따르면 우리나라에서 육성된 품종은 전반적으로 37℃ 및 40℃ 고온조건에서 외국품종에 비해 비교적 불임률이 낮아 고온에 강함

3) 온도를 고려한 용수공급 방안

- 관개시에 수온이 낮은 용수를 작물에 공급하면 생육에 지장을 초래
- 지하수를 수원으로 사용할 경우 저수온을 야기 시키는 사례 많음
- 관개수 수온이 18℃ 이하인 경우 작물의 냉해가 우려됨에 따라 수온 상승대책 적용
- 주요 수온 상승대책 : 표층수 취수설비로 변경, 심수 폭기, 온수지/온수로(태양복사열 흡수)
- 안전하고 안정적인 농업용수 공급방안 마련이 시급한 실정

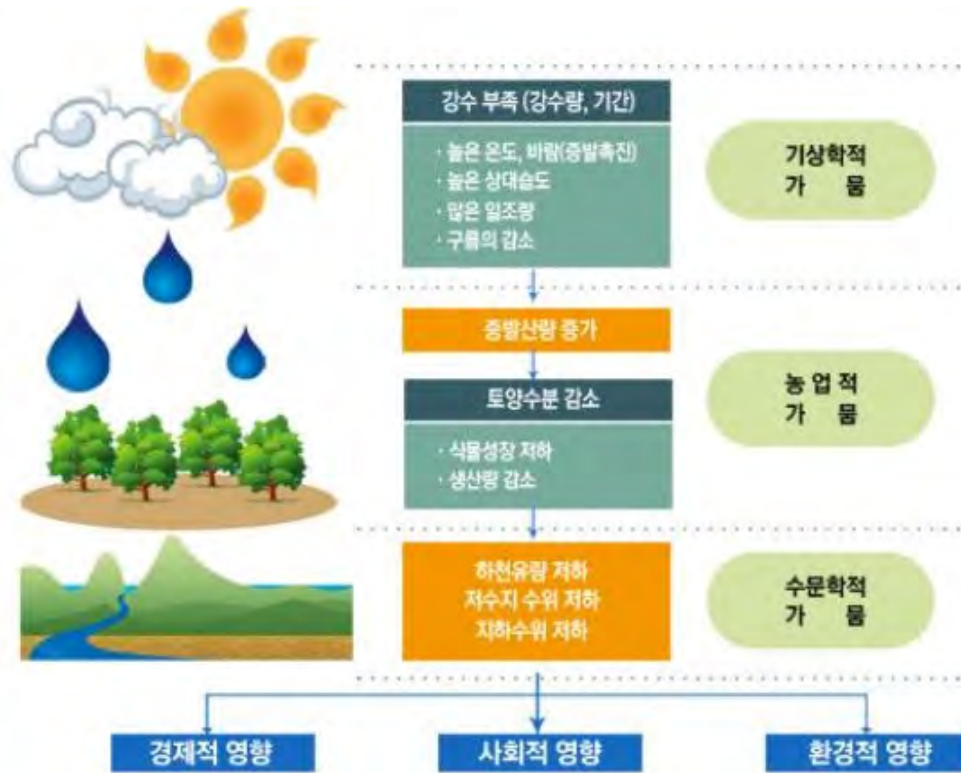
[표 4-6] 작물에 따른 적정 수온

| 구 분 | 특 성 |
|-------|---|
| 수도(벼) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 저수온에서 거의 모든 특성에 영향을 미치는 종합적인 생육불량 현상을 나타냄 ○ 23℃ 이상의 수온이 적정수온으로 나타남 |
| 고추냉이 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 수온 범위 8~18℃ ○ 최적 수온 범위 12~13℃ ○ 18℃ 이상에서 재배 불가 |

나. 가뭄을 고려한 용수공급

1) 가뭄의 정의

- 가뭄은 어떤 지역의 작물성장이나 물공급에 영향을 줄 정도로 물수지에 심각한 불균형을 초래하는 비정상적으로 건조한 날씨가 장기간 지속되는 상태를 의미
- 가뭄은 다른 자연재해와는 달리 진행속도가 느리고 시·공간적으로 정확한 시작과 끝을 판단하는 것이 쉽지가 않음
- 더욱이 가뭄피해의 영향은 장기적이면 그 파급효과가 사회·경제·환경 등에서 복잡한 양상으로 나타나기 때문에 피해규모를 정확히 파악하는 것이 어려움
- 가뭄에 대한 정의는 가뭄이 다루어지는 목적에 따라 각기 다르게 해석하기 때문에 명확하게 구분할 필요가 있으며, 일반적인 가뭄의 정의는 크게 3가지로 나눌 수 있음
 - 농업적 가뭄 : 농업에 영향을 주는 가뭄으로 농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분으로 표시
 - 수문학적 가뭄 : 물 공급에 초점을 맞추고 하천유량, 저수지, 지하수 등 가용수자원의 양으로 정의
 - 기상학적 가뭄 : 주어진 기간의 강수량이나 무강우 계속일수 등으로 정의되면 기상현상의 영향을 직접적으로 표현



[그림 4-11] 가뭄의 정의

2) 가뭄의 특징

- 가뭄의 특징은 첫째로 가뭄의 시작과 종료, 지속시간, 심도, 공간적 범위, 재현기간 등의 특성 파악이 어렵고, 둘째로 기상학적 가뭄에서 농업 및 수문학적 가뭄으로 심화된 후 사회경제적 가뭄으로 심화되는 양상을 보임. 셋째로 용수공급시설에 따라 가뭄의 체감정도가 다른데 예를 들어 대도시의 경우 다목적댐에 의해 용수 공급이 보장되므로, 제한급수가 일어나지 않는 한 일반인들이 가뭄을 실감하고 체험하지 못하므로 가뭄에 대한 경각심이 낮음. 마지막으로 가뭄은 모든 수문 시스템 요소에 영향을 미치므로 다양한 가뭄지수가 개발되어 활용되고 있음
- 우리나라는 평균 10년에 1회 정도 가뭄이 발생하며, 특히 2014년에는 5~7월 강수량이 평년의 50% 수준으로 1973년 이후 최저 4위를 기록하였으며, 전국 다목적 댐 유역 5~7월 평균 강수량 역대 최저 1위를 기록함. 7월 초에 중부지방에 장마가 시작(22년 만의 7월 늦은 장마)되었으나, 뚜렷한 강우 없이 장마전선이 소멸됨에 따라 7월말 다목적 댐의 저수량은 예년의 64% 수준밖에 미치지 못했으며, 유입량은 예년의 35% 수준에 그침. SPI지수에 따르면 경기, 강원 북부에서 가뭄이 시작되어 전국적으로 확대되었으며, WADI지수에 따르면 강원 일부 및 경북 전역에 가뭄이 지속적으로 심화된 것으로 나타남

[표 4-7] 국내 가뭄피해 현황

| 연도 | 가뭄피해 |
|----------|----------------------------------|
| 1927~28년 | 농업용수 부족, 식수부족, 물분쟁 살인사건 발생 |
| 1937~39년 | 농업용수 부족, 쌀 생산량 37%감소 |
| 1942~44년 | 발전용수 고갈 |
| 1958~59년 | 농업 및 발전용수 부족, 서울 극심한 식수난 |
| 1967~68년 | 대도시 식수난, 호남지방 이농상태 |
| 1976~78년 | 농업 및 공업용수 고갈 |
| 1981~82년 | 저수지 및 하천 고갈, 도시용수 부족 |
| 1994~95년 | 생활 및 공업용수 부족, 농작물 및 가축피해, 저수지 고갈 |
| 2001년 | 생활용수 부족, 농업용수 부족 |
| 2008~09년 | 생활용수 부족(태백시, 남부지방), 농작물 및 가축피해 |
| 2012년 | 생활용수 및 농업용수 부족 |

3) 가뭄을 고려한 용수공급 방안

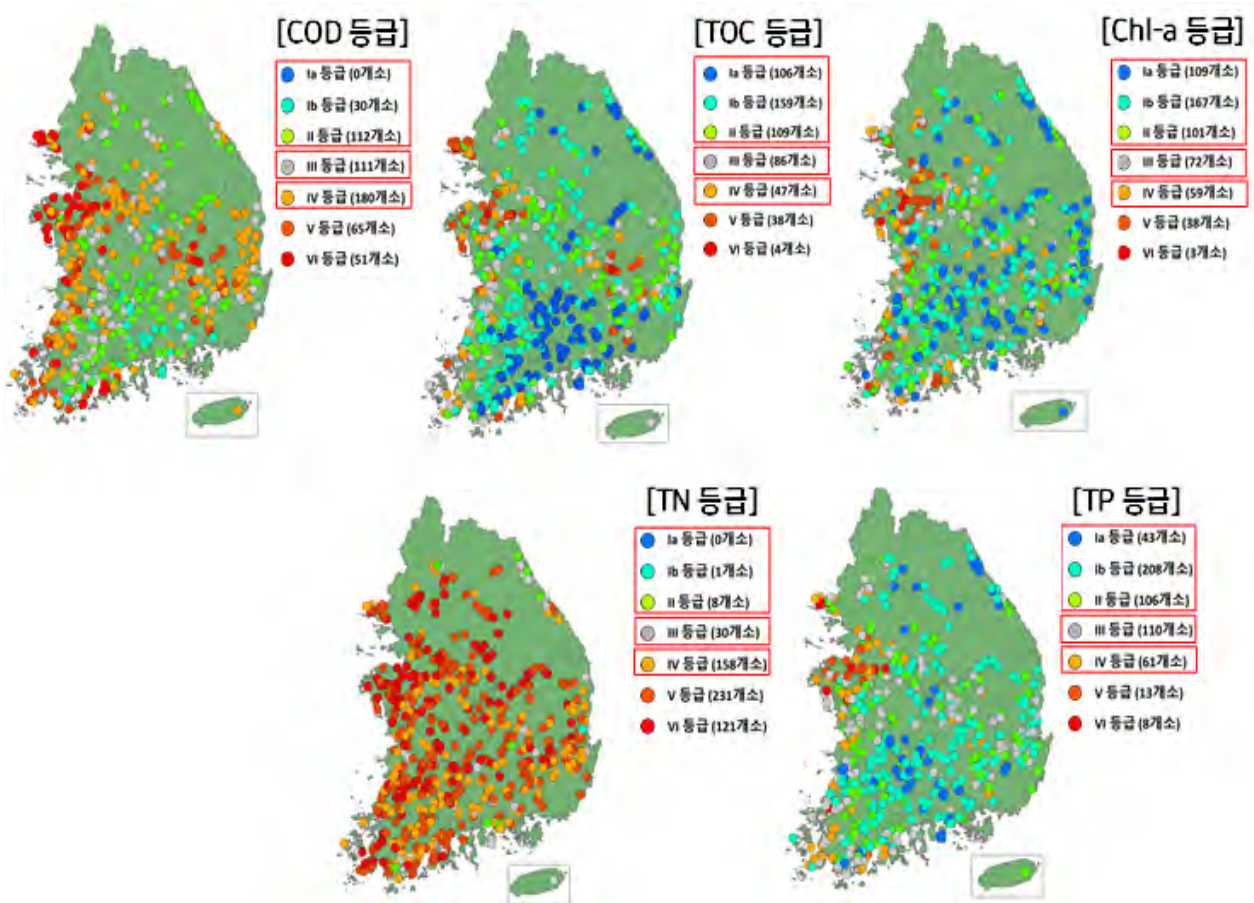
- 가뭄 : 비정상적으로 건조한 날씨가 장기간 지속되는 상태
- 작물성장이나 물공급에 영향을 줄 정도로 물수지에 심각한 불균형 초래, 평균 10년에 1회 정도 가뭄 발생
- 시작과 종료, 지속시간, 심도, 공간적 범위, 재현기간 등 특성 파악 어려움
- 기상학적 가뭄 → 농업 및 수문학적 가뭄 → 사회경제적 가뭄으로 심화
- 용수공급시설에 따라 체감정도가 다름 : 대도시 다목적댐 →가뭄 경각심 낮음
- 가뭄시 가뭄취약 작물에 적절한 관개로 밭작물의 피해저감 효과 및 생산량 증가 방안 모색

제 2 절 원수특성에 따른 용수공급 및 활용방안

1. 주요 원수별 특성 분석

가. 지표수 특성

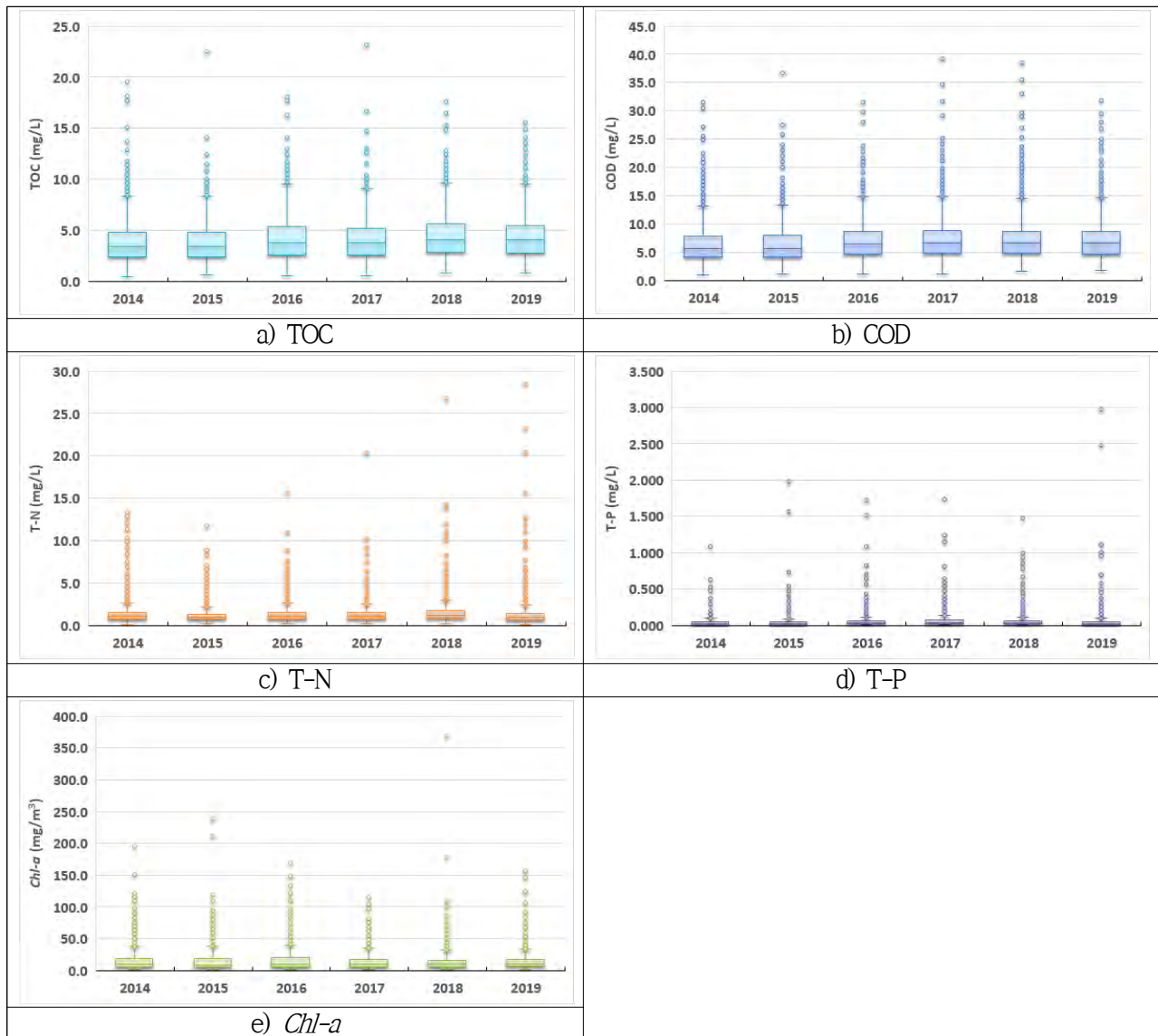
- 전국 호소의 수질현황을 분석하기 위하여, 농림축산식품부, 환경부, 지자체의 측정 자료를 수집하였으며, 정기적인 모니터링 자료를 확보하고 있는 3,517개 호소에 대하여 6개년(2014-2019년) 평균 수질을 산정하여 분석
- 호소의 생활환경 수질기준에 따른 평가를 수행할 수 있도록 평가항목은 COD, TOC, T-N, T-P, *Chl-a*로 하였음
- 분석결과 농업용수 수질기준인 IV등급 초과 비율은 TOC 기준 12.4%, T-P 기준 9.1%, *Chl-a* 기준 9.1%, COD 기준 29.9%, T-N 기준 61.8%로 나타남



[그림 4-12] 농업용 저수지 수질등급 현황

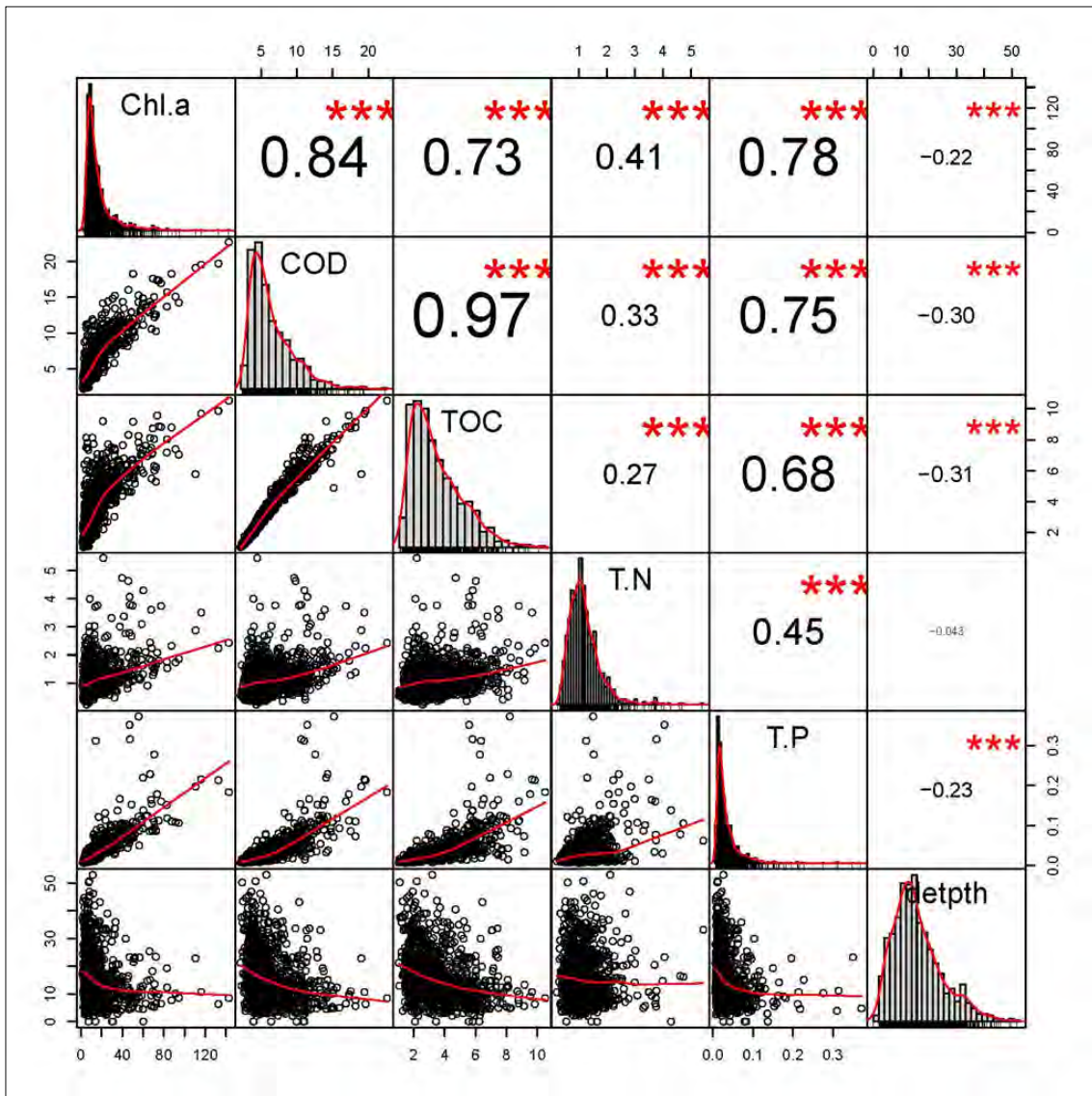
[표 4-8] 전국 호소 수질현황

| 등급 | TOC (mg/L) | T-N (mg/L) | T-P (mg/L) | Chl-a (mg/m ³) | COD (mg/L) |
|--------|------------|------------|------------|----------------------------|------------|
| I 이상 | 30.7% | 0.1% | 24.3% | 43.2% | 2.6% |
| II | 21.8% | 0.6% | 20.2% | 20.7% | 11.4% |
| III | 19.4% | 5.2% | 26.6% | 14.9% | 15.1% |
| IV | 15.8% | 32.4% | 19.8% | 12.1% | 41.0% |
| V | 10.6% | 38.0% | 5.3% | 7.4% | 18.3% |
| VI | 1.7% | 23.8% | 3.8% | 1.7% | 11.5% |
| 4등급 초과 | 12.4% | 61.8% | 9.1% | 9.1% | 29.9% |



[그림 4-13] 전국 호소 연도별 수질현황

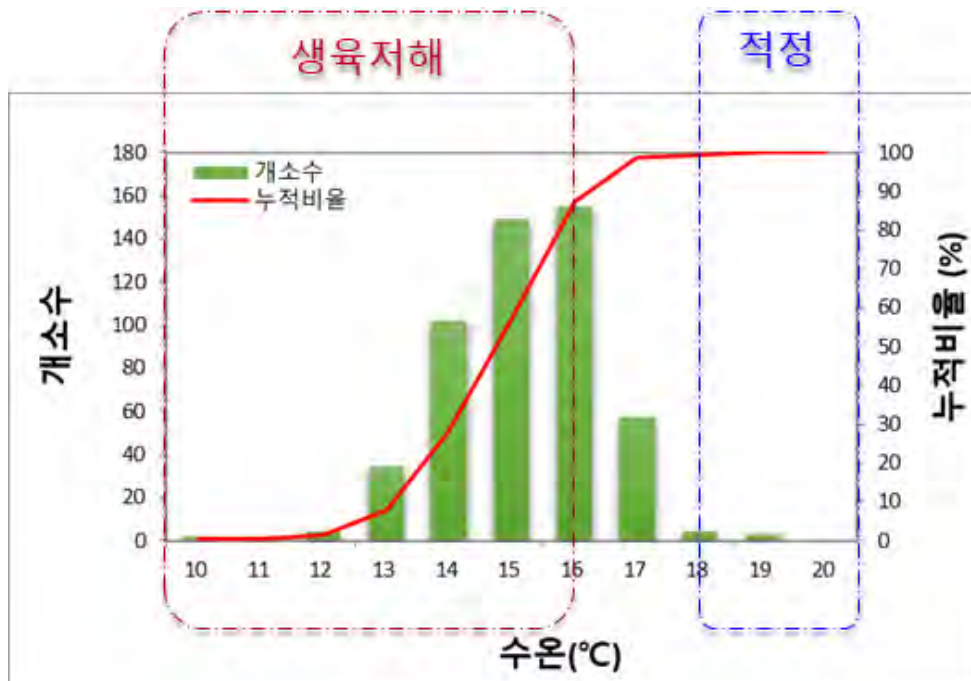
- 정기적인 모니터링 자료를 확보하고 있는 3,517개 호소의 6개년(2014-2019년) 수질자료를 토대로 TOC, COD, SS, T-N, T-P, *Chl-a*, 수심의 주요 항목에 대한 상관성 분석을 수행하였다. 아래에서 대각선 상부의 수치들은 상관계수(Pearson's correlation coefficient)로 높을수록 양호한 상관성을 나타내며, 대각선 하부에 분포도(Scatter-plot matrix), 대각선엔 히스토그램을 나타냄
- 상관성 분석결과, 수질항목간 상관관계 (*Chl-a* ↔ TOC(COD) ↔ T-P)가 매우 높게 나타났으며, 수질항목과 수심간의 음의 상관관계가 뚜렷한 것으로 나타남



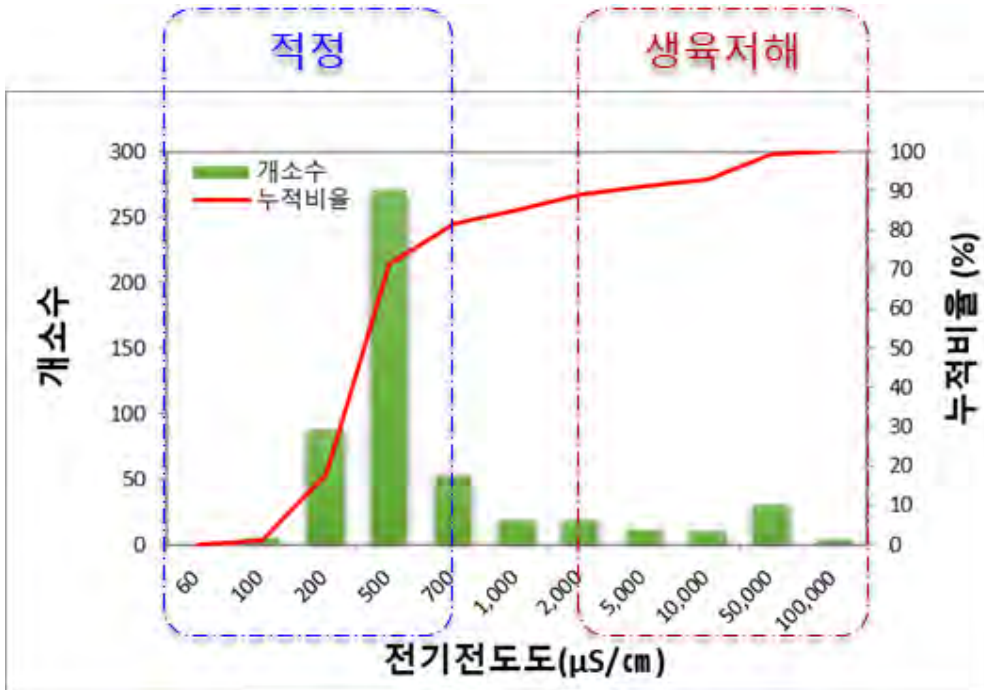
[그림 4-14] 주요 항목별 상관성 분석 결과

나. 지하수 특성

- 농촌지하수관측망 511개소 자료에 대하여 수온과 EC(전기전도도)항목에 대한 분석 수행
- 일반적인 발작물의 적정수온은 명확히 제시된 참고문헌이 없는 관계로 국내 벼의 생육에 적정한 수온 참고, 16°C 이하에서 생육이 정지되며, 18°C 이하에서 생육과 수확량 제한됨 (농촌진흥청, 2017)에 따라 최소 18°C 이상의 수온이 관개에 적정할 것으로 판단됨
- EC(전기전도도)의 경우 일반적인 채소는 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상에서, 염해에 강한 블로콜리의 경우 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상에서 염해가 우려되는 것으로 보고됨(환경부, 2013)(Ayers & Westcot, 1985)에 따라 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하의 전기전도도가 관개에 적정한 것으로 도출됨
- 농촌지하수 관측망 측정자료 분석결과 지하수 수온 현황은 16°C 미만이 85.1%, 18°C 미만이 99.4%에 해당하는 것으로 분석됨에 따라 오직 0.6%만이 관개에 적정한 수온상태인 것으로 분석됨에 따라 지하수 관개 시 필수적으로 수온상승대책 필요
- 지하수 EC 현황은 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상이 18.4%, 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상이 11.0%에 해당하는 것으로 분석되었으며, 81.6%가 발작물 관개에 적정한 것으로 나타남, 현장여건에 따른 EC저감대책도 고려될 필요가 있을 것으로 판단됨



[그림 4-15] 지하수 수온 현황 (511개소)



[그림 4-16] 지하수 전기전도도 현황 (511개소)

[표 4-9] 전국 지하수 수질현황

| 수온(℃) | | | 전기전도도(μS/cm) | | |
|-------|-----|-------|----------------|-----|-------|
| 범위 | 개소수 | 비율(%) | 범위 | 개소수 | 비율(%) |
| 10~11 | 2 | 0.4 | 60~100 | 0 | 0.00 |
| 11~12 | 1 | 0.2 | 100~200 | 5 | 0.98 |
| 12~13 | 4 | 0.8 | 200~500 | 88 | 17.22 |
| 13~14 | 34 | 6.7 | 500~700 | 271 | 53.03 |
| 14~15 | 102 | 20.0 | 700~1,000 | 53 | 10.37 |
| 15~16 | 149 | 29.2 | 1,000~2,000 | 19 | 3.72 |
| 16~17 | 155 | 30.3 | 2,000~5,000 | 19 | 3.72 |
| 17~18 | 57 | 11.2 | 5,000~10,000 | 11 | 2.15 |
| 18~19 | 4 | 0.8 | 10,000~50,000 | 10 | 1.96 |
| 19~20 | 3 | 0.6 | 50,000~100,000 | 31 | 6.07 |
| 20 이상 | 0 | 0.0 | 100,000 이상 | 4 | 0.78 |

2. 적정 공급목표 검토

가. 국내수질기준 현황

- 우리나라의 농업용수 수질기준은 IV등급을 만족하도록 하고 있으나, 하천수와 호소수(농업용저수지)를 별도의 기준으로 관리함에 따라 에 차이
 - 총 부유물질(SS)과 T-N, T-P 모두 차이를 보임
 - 유기물질 지표 간 BOD 보다 TOC가 낮게 설정되어 있음
 - 수인성 질병과 밀접한 관련이 있는 미생물(대장균군) 항목은 부재되어 영농작업 및 과실류, 채엽 식물 등의 안전성의 우려
- 실제 작물 생육에 중요한 EC 기준이 설정되어 있지 않기 때문에 염류장애로 인한 작물피해 우려 되는 실정임
- 수질기준항목은 단일지표로 제시되고 있으나, 실제 저수지 수질은 수질항목간 복합적인 연계성을 나타냄에 따라 기준검토를 위해 단일 수질항목지표와 복합 수질항목지표를 검토
 - 단일 수질항목지표는 COD 및 T-N, T-P, *Chl-a* 등 4가지 수질항목에 대하여 각각 농업용 저수지 수질기준 초과 여부를 분석
 - 복합 수질항목지표는 COD 및 T-N, T-P, *Chl-a*를 이용하여 지표 두 가지 모두 수질기준을 초과하는 경우, 지표 두 가지 중 한 개 이상 수질기준을 초과하는 경우, 지표 세 가지 중 한 개 이상 수질기준을 초과하는 경우 등 방법으로 수질기준 초과여부를 검토
 - 전국 저수지 중에서 농업용수 수질측정망으로 모니터링되고 있는 815개소 (환경부 15개소, 농림축산식품부 800개소)의 5개년(2008년 ~ 2012년) 수질자료를 이용하여 분석
 - 분석기준은 호소의 생활환경기준의 농업용 저수지 ‘약간나쁨(IV)’ 등급을 기준으로 분석
- 단일 수질항목지표 분석시 COD 항목은 139개소에서, *Chl-a* 항목은 61개소에서 농업용 수질기준을 초과하였으며, 상대적으로 T-N과 T-P는 각각 20개소와 37개소로 적었다. 규모에 따른 저수지 수질기준 초과여부를 검토한 결과에서 1천만 m³ 이상의 대규모 저수지는 COD 및 T-N, T-P 항목 모두에서 1개소에서만 수질기준을 초과하는 등 상대적으로 소규모 저수지에 비하여 수질이 양호함

[표 4-10] 농업용 저수지 수질기준 검토

| 구 분 | 단일지표별 농업용 저수지 수질기준 초과개소 | | | |
|---------------------|-------------------------|-----|-----|--------------|
| | COD | T-N | T-P | <i>Chl-a</i> |
| 합 계 | 139 | 20 | 37 | 61 |
| 총저수용량 1,000 만톤이상 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 총저수용량 1,000 만톤미만 | 138 | 19 | 36 | 61 |

- 복합 수질항목지표에서 지표 두 가지 모두 수질기준을 초과하는 경우(총 6가지)를 분석한 결과 두 가지 지표를 모두 초과하는 경우 COD와 *Chl-a* 지표가 57개소에서 농업용 수질기준을 초과하였으며, T-N과 T-P 지표는 13개소에서 수질기준을 초과하였음

[표 4-11] 농업용 저수지 수질기준 검토2

| 구 분 | 복합수질항목지표별(모두) 농업용 저수지 수질기준 초과개소 | | | | | |
|---------------------|---------------------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------|
| | COD & T-N | COD & T-P | COD & <i>Chl-a</i> | T-N & T-P | T-N & <i>Chl-a</i> | T-P & <i>Chl-a</i> |
| 합계 | 19(2.3%) | 37(4.5%) | 57(7.0%) | 13(1.6%) | 17(2.1%) | 32(3.9%) |
| 총저수용량 1,000 만톤이상 | - | 1 | - | - | - | - |
| 총저수용량 1,000 만톤미만 | 19 | 36 | 57 | 13 | 17 | 32 |

- 두 가지 지표 중 한 개 이상 초과하는 경우 (6가지)는 COD 또는 *Chl-a* 지표가 143개소에서 수질 기준을 초과하였으며, T-N 또는 T-P 지표는 44개소에서 수질기준을 초과하였다.

[표 4-12] 농업용 저수지 수질기준 검토3

| 구분 | 복합수질항목지표별(한개이상) 농업용 저수지 수질기준 초과개소 | | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|------------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------|
| | COD & T-N | COD & T-P | COD & <i>Chl-a</i> | T-N & T-P | T-N & <i>Chl-a</i> | T-P & <i>Chl-a</i> |
| 합계 | 140(17.2%) | 139(17.1%) | 143(17.5%) | 44(5.4%) | 64(7.9%) | 66(8.1%) |
| 총저수용량 1,000 만톤이상 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 총저수용량 1,000 만톤미만 | 138 | 138 | 142 | 42 | 63 | 65 |

- 지표 세 가지 중 한 개 이상을 초과하는 COD 또는 T-N 또는 T-P의 경우에는 140개소에서 수질 기준 (IV등급)을 초과하였으며 COD 또는 T-N과 같은 결과를 나타냄

[표 4-13] 하천생활환경기준

| 등급 | 상태 (캐릭터) | 기 준 | | | | | | | | | |
|----------|--|------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|-------------|--|
| | | 수소 이온 농도 (pH) | 생물 화학적 산소 요구량 (BOD) (mg/L) | 화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L) | 총유기 탄소량 (TOC) (mg/L) | 부유 물질량 (SS) (mg/L) | 용존 산소량 (DO) (mg/L) | 총인 (T-P) (mg/L) | 대장균군 (균수/100mL) | | |
| | | | | | | | | | 총 대장균군 | 분원성 대장균군 | |
| 매우 좋음 | Ia  | 6.5~8.5 | 1 이하 | 2 이하 | 2 이하 | 25 이하 | 7.5 이상 | 0.02 이하 | 50 이하 | 10 이하 | |
| 좋음 | Ib  | 6.5~8.5 | 2 이하 | 4 이하 | 3 이하 | 25 이하 | 5.0 이상 | 0.04 이하 | 500 이하 | 100 이하 | |
| 약간 좋음 | II  | 6.5~8.5 | 3 이하 | 5 이하 | 4 이하 | 25 이하 | 5.0 이상 | 0.1 이하 | 1,000 이하 | 200 이하 | |
| 보통 | III  | 6.5~8.5 | 5 이하 | 7 이하 | 5 이하 | 25 이하 | 5.0 이상 | 0.2 이하 | 5,000 이하 | 1,000 이하 | |
| 약간 나쁨 | IV  | 6.0~8.5 | 8 이하 | 9 이하 | 6 이하 | 100 이하 | 2.0 이상 | 0.3 이하 | | | |
| 나쁨 | V  | 6.0~8.5 | 10 이하 | 11 이하 | 8 이하 | 쓰레기 등이 떠 있지 않을 것 | 2.0 이상 | 0.5 이하 | | | |
| 매우 나쁨 | VI  | | 10 초과 | 11 초과 | 8 초과 | | 2.0 미만 | 0.5 초과 | | | |

[표 4-14] 호소생활환경기준

| 등급 | 상태 (캐릭터) | 기 준 | | | | | | | | | | |
|----------|--|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|---|--------------------|-------------|--|
| | | 수소 이온 농도 (pH) | 화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L) | 총유기 탄소량 (TOC) (mg/L) | 부유 물질량 (SS) (mg/L) | 용존 산소량 (DO) (mg/L) | 총인 (T-P) (mg/L) | 총질소 (T-N) (mg/L) | 클로로필 -a (Chl-a) (mg/m ³) | 대장균군 (군수/100mL) | | |
| | | | | | | | | | | 총 대장균군 | 분원성 대장균군 | |
| 매우 좋음 | Ia  | 6.5~8.5 | 2 이하 | 2 이하 | 1 이하 | 7.5 이상 | 0.01 이하 | 0.2 이하 | 5 이하 | 50 이하 | 10 이하 | |
| 좋음 | Ib  | 6.5~8.5 | 3 이하 | 3 이하 | 5 이하 | 5.0 이상 | 0.02 이하 | 0.3 이하 | 9 이하 | 500 이하 | 100 이하 | |
| 약간 좋음 | II  | 6.5~8.5 | 4 이하 | 4 이하 | 5 이하 | 5.0 이상 | 0.03 이하 | 0.4 이하 | 14 이하 | 1,000 이하 | 200 이하 | |
| 보통 | III  | 6.5~8.5 | 5 이하 | 5 이하 | 15 이하 | 5.0 이상 | 0.05 이하 | 0.6 이하 | 20 이하 | 5,000 이하 | 1,000 이하 | |
| 약간 나쁨 | IV  | 6.0~8.5 | 8 이하 | 6 이하 | 15 이하 | 2.0 이상 | 0.10 이하 | 1.0 이하 | 35 이하 | | | |
| 나쁨 | V  | 6.0~8.5 | 10 이하 | 8 이하 | 쓰레기 등이 떠 있지 않을 것 | 2.0 이상 | 0.15 이하 | 1.5 이하 | 70 이하 | | | |
| 매우 나쁨 | VI  | | 10 초과 | 8 초과 | | 2.0 미만 | 0.15 초과 | 1.5 초과 | 70 초과 | | | |

나. 양액재배용 원수의 적정 수질기준

- 국내·외 양액재배용 원수의 수질기준을 조사하였으며, 우리나라의 경우 질소는 10 mg/L이하, 인은 2 mg/L이하로 적용하고 있음
- 호소생활환경기준의 IV등급(약간나쁨)의 질소는 1.0 mg/L이하, 인은 0.1 mg/L이하로 관리기준이 설정되어 있기 때문에 호소생활환경기준의 IV등급(약간나쁨)을 관개용수 목표수질로 설정할 경우 양액재배용 원수의 적정 수질기준도 만족할 것으로 판단됨

[표 4-15] 양액재배용 원수의 적정 수질기준

| 항목 | 함유이온 | 우리나라 | 네덜란드 | 일본 |
|----------|------------------|---------|---------|---------|
| EC(dS/m) | - | < 0.5 | < 0.5 | < 0.3 |
| pH | - | 5.0~8.0 | 5.0~7.5 | 5.0~8.0 |
| 질소(mg/L) | N | < 10 | | < 60 |
| 인 | P | < 2 | | < 30 |
| 칼륨 | K | < 10 | | < 80 |
| 칼슘 | Ca | < 40 | < 80 | < 80 |
| 마그네슘 | Mg | < 15 | < 12 | < 40 |
| 황산 | SO ₄ | < 40 | < 16 | |
| 중탄산 | HCO ₃ | < 100 | < 40 | |
| 나트륨 | Na | < 30 | < 30 | < 80 |
| 염소 | Cl | < 30 | < 50 | < 200 |
| 철 | Fe | < 0.5 | < 1.0 | < 10 |
| 망간 | Mn | < 0.6 | < 0.5 | < 1 |
| 아연 | Zn | < 0.5 | < 0.5 | < 1 |
| 구리 | Cu | < 0.01 | < 0.06 | |
| 붕소 | B | < 0.1 | < 0.3 | < 0.7 |

3. 단일·복합원수 활용방안 및 공급 프로세스

- 전국 농업용저수지의 수질 분석결과 농업용수 수질기준인 IV등급 초과 비율은 TOC 기준 12.4%, T-P 기준 9.1%, *Chl-a* 기준 9.1%, COD 기준 29.9%, T-N 기준 61.8%로 나타남
- 이에 지표수를 원수로 사용할 경우 유기물과 영양염류의 처리가 요구되며, 추가적인 대장균군의 처리도 필요할 것으로 판단됨
- 농촌지하수 관측망 측정자료 분석결과 지하수 수온 현황은 16℃ 미만이 85.1%, 18℃ 미만이 99.4%에 해당하는 것으로 분석됨에 따라 오직 0.6%만이 관개에 적정함
- 이에 지하수를 원수로 사용할 경우 수온의 조절이 주요한 설계인자로 판단됨
- 지하수 EC 현황은 700 $\mu\text{S/cm}$ 이상이 18.4%, 2,000 $\mu\text{S/cm}$ 이상이 11.0%에 해당하는 것으로 분석되었으며, 81.6%가 발작물 관개에 적정한 것으로 나타났고, 실제 작물 생육에 중요한 EC 기준이 설정되어 있지 않기 때문에 염류장애로 인한 작물피해 우려됨에 따라 원수의 탁도와 EC 현황에 따라 추가처리 계획
- 수질개선기술 적용방안
 - 기본시설 : BF(Bio Filter) + AOP(Advanced Oxidation Process) + SF(Soil Filter)
 - 추가시설 : 기본시설 + 추가처리 모듈(특정수질 / 특정항목제거 필요시)

제 3 절 수처리 효율 제고를 위한 수질개선기술

1. 국내 공급수원 수질 현황

가. 공급수원별 수질분석결과

- 전국 농업용저수지의 수질 분석결과 농업용수 수질기준인 IV등급 초과 비율은 TOC 기준 12.4%, T-P 기준 9.1%, *Chl-a* 기준 9.1%, COD 기준 29.9%, T-N 기준 61.8%로 나타남
- 이에 지표수를 원수로 사용할 경우 유기물과 영양염류의 처리가 요구되며, 추가적인 대장균군의 처리도 필요
- 농촌지하수 관측망 측정자료 분석결과 오직 0.6%만이 관개에 적정하기 때문에 지하수의 수온의 조절 방안 마련 시급
- 지하수 EC 현황은 81.6%가 밭작물 관개에 적정한 것으로 나타났고, 실제 작물 생육에 중요한 EC 기준이 설정되어 있지 않기 때문에 염류장애로 인한 작물피해 우려됨에 따라 원수의 탁도와 EC 현황에 처리 필요

나. 농업용수 수질개선 기술 현황

- 현재 개발된 농업용수 수질개선 기법은 대부분 전처리(막) + RO로 이루어짐
 - NF(나노필터) + RO(역삼투막) : 농촌진흥청(2015)
 - MF/UF + RO : 제주도 판포지구
 - 응집처리 + 여과 + RO : 농림식품기술기획평가원
- 이러한 기법들은 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조의 개발에 있어 요구되는 수질처리항목에 대한 수질개선효과는 담보되나 설치 및 유지관리에 과도한 비용이 요구되는 단점을 지님
- 비교적 공사비와 유지관리비가 저렴하고, 유지관리가 용이하면서, 요구되는 수질개선성능을 확보할수 있는 바이오필터를 기초로 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조를 개발

2. 유입수원에 따른 수처리 기준

가. 수처리 기준의 결정

- 호소생활환경기준의 IV등급(약간나쁨)의 질소는 1.0 mg/L이하, 인은 0.1 mg/L이하로 관리기준이 설정되어 있기 때문에 호소생활환경기준의 IV등급(약간나쁨)을 관개용수 목표수질로 설정할 경우 양액재배용 원수의 적정 수질기준도 만족할 것으로 판단됨
- 지하수의 경우 수온 18℃ 미만에서 성장저해가 발생하고, 전기전도도(EC) 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상에서 염해가 발생하는 것으로 보고됨에 따라 이를 수처리 기준으로 설정

나. 다기능 저류조 적용 수질개선 기술

- 공사비와 유지관리비가 저렴하고, 유지관리가 용이하면서, 요구되는 수질개선성능을 확보할수 있는 바이오필터를 기초로 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조를 개발
- 바이오필터 시스템의 장점은 다음과 같음
 - 처리공정이 단순하여 설치 및 운영이 용이함
 - 기계적처리 및 화학약품처리를 하지 않아 운영 및 유지관리비용이 낮음
 - 태양광을 이용한 자체 전력시스템을 이용하기 때문에 시스템운영이 안정적이고 전력공급이 없는 지역에서도 운영가능
 - 미생물분해로 인해 오폐수처리 후 가장 큰 문제점인 슬러지(폐기물) 발생량이 미미함
- 국내 실험 결과, 바이오필터 시스템의 경우 BOD, TSS, NH₃-N에서 높은 제거율을 보이며, Soil filter를 통해 추가 처리할 경우 T-N과 T-P 역시 80%이상 처리할 수 있는 것으로 분석됨

3. 유입수원 및 고려요소에 따른 적정 수질 개선 기술

가. 농업용수 수질개선 기술 기본구성

- BF(바이오필터), AOP(Advanced Oxidation Process)과 SF(Soil filter)를 이용한 시스템을 기본구성으로 하며, 다양한 현장여건 및 처리대상을 고려하여 어플리케이션 형태로 제품을 구성
- 수온: 원수별 혼합 및 재가열 기술 개발
- 수질: 원수별 적정 기술 선택적용을 위한 탈착 모듈 및 프로세스 개발 (복수원수는 원수 별 bypass)
- 수량 확보: 레질리언스를 고려하여 기초 보유량 및 선택적 복합 원수 및 회귀수 활용
- 모듈화 기반의 프로세스 플랫폼 제시
- 각종 계측기술과 무선통신 기반의 자립형, 자율형, 태양광 등을 통한 에너지 절감형

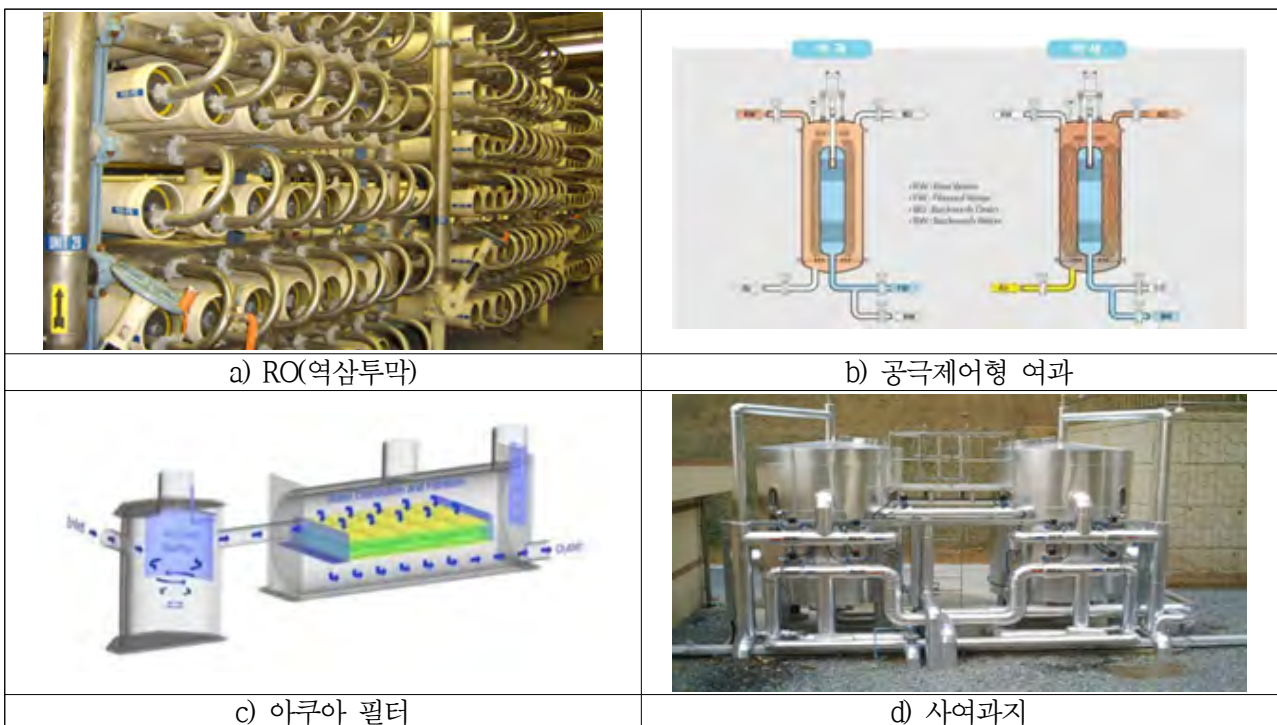
제 4 절 공급체계 및 원수특성별 적정용수공급을 위한 저류조 기능 모듈화

1. 요소별 모듈 설계

가. 농업용수 수질개선 기술 현황

1) 수질개선 기술 현황

- 농업용수 수질개선에 적용가능한 기법은 생물학적처리를 기초로하는 바이오 필터, 아쿠아 디스크 필터, 마이크로 디스크 필터 등이 있으며, 물리적처리를 기반으로 하는 공극제어형 여과, 사여과지, 마이크로 필터, 여과기, RO(역삼투막) 등이 있음

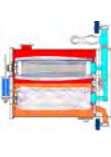






[그림 4-17] 다양한 수질개선 기술

[표 4-16] 수질개선 기술 적용 현황

| 여과필터 | 공사비 (원/㎡) | 유지관리비 (원/㎡) | 합계 (원/㎡) (20년 장기운영시) | 비고 |
|--------------|--------------|----------------|-------------------------|-------------|
| 바이오필터 | 1,250,000 | - | 1,250,000 | 외장(건물)공사 포함 |
| 공극제어형 여과 | 12,230 | 528 | 3,866,630 | |
| 아쿠아 디스크필터 | 20,208 | 237 | 1,750,308 | |
| 마이크로 디스크필터 | 20,214 | 508 | 3,728,614 | |
| 중력식자동역세 사여과지 | 47,788 | 247 | 1,850,888 | |
| 수직압착 마이크로 필터 | 25,890 | 1,415 | 10,355,390 | |
| SF 여과기 | 26,000 | 604 | 4,435,200 | |
| FDA 여과기 | 14,285 | 200 | 1,474,285 | |

[표 4-17] 수질개선 기술 비교

| 구분 | 공극제어형섬유여과기 PCF-FILTER | 아쿠아 디스크 필터 Aqua Disk Filter | 마이크로 디스크 필터 Micro Disk Filter | 중력식 자동역세 사여과지 Automatic Backwash Filter | 수직 압착식 마이크로 필터 Micro Chip Filter |
|---------|--|---|---|---|---|
| 형식 | 행류 연속 증력식 또는 압력식 | 행류 연속 증력식 | 행류 연속 증력식 | 행류 연속 증력식 | 행류 연속 증력식 |
| 형상 및 구조 |  |  |  |  |  |
| 원산지 | 한국 | 미국 | 스웨덴 | 미국 | 일본 |
| 개요 | * 여과 : 내부스트레너를 감싼 섬유여과를 비틀어 압착, 공극을 작게 하여 원수를 외부에서 내부로 증력여과(침지형) 또는 펌프압력여과 * 역세 : 섬유압착을 이완, 공극을 크게하여 역세수와 공기로 포화입자 탈리역세 | * 여과 : 증력에 의한 저압수두방식으로 탱크 또는 수조로 유입되어 회전형 멤브레인 필터를 외부에서 내부로 통과하여 여과 * 역세 : 드럼을 회전시키며 여세필름로부터 인출에서 밀고 바깥쪽에서 빨아내는 흡인장치로 자동역세 | * 여과 : 기계적작(V.V.F)의 연속회전센터드림에 부착된 미세망을 원수가 내부에서 외부로 통과하여 여과되는방식 * 역세 : 고압역세필름(OBAR)을 이용 고압수를 수위차 및 타이머로 연속적으로 세척수를 공급하는 상향역세방식 | * 여과 : 원수를 여과층 상부로 유입, 여과층을 하향으로 통과한 후 하부집수장치로 유출되는 증력여과 * 역세 : 길이방향으로 분할된 샌드위치여과층을 수위차 및 타이머로 연속적으로 세척수를 공급하는 상향역세방식 | * 여과 : 가압PP사 원형섬유여과를 피스톤으로 압착, 공극을 작게하여여 상부에서 하부로 하향여과 * 역세 : 피스톤의 압착을 해제, 여재를 이완하고 공기와 가압수로 여재 CHIP에 붙은 SS를 탈리역세 |
| 사용여재 | * P.P 또는 Nylon * 여과수명 : 5년내외 | * PE Loop Pile (카펫트 모양) * 여과수명 : 5년내외 | * 폴리에스테르 또는 STS316 * 여과수명 : 5년내외 | * 모래 * 여과수명 : 5년내외 | * P.P사 가공질 * 여과수명 : 3년 내외 |
| 여과방식 | * 심층여과 * 여충두께 : 30 ~ 100 m/m (압축시) | * 망(Strainer)여과방식 * 여충두께 : 13 m/m | | * 심층여과 * 여충두께 : 300 ~ 1200 m/m | * 심층여과 * 여충두께 : 450 m/m (압축시) |
| SS제거효율 | 85 ~ 95 % | 60 ~ 85% | 50 ~ 80% | 50 ~ 60% | 80 ~ 90% |
| 여과속도 | 120 ~ 360 m/일 | 205 ~ 420 m/일 | 260 m/일 (18 um) | 110 ~ 170 m/일 | 720 ~ 1200 m/일 |
| 장점 | * 국내개발품으로 원리가 간단하고 막분리방식을 제외하면 최고의 처리수질 (평균 1 mg/L 이하)을 얻을 수 있고 100 mg/L 정도의 고부하에도 처리수질 양호함 * 지상 또는 침지형 등 자유로이 설치가 가능하고 고부하시 역세 빈도가 자동으로 높아져 대체되므로 편리. * 여과수명이 길고(5년) 교환이 간편, 양쪽 방향으로도 유실 불가능 * 고장시 unit별로 대처가 가능하여 전체 설비가동에 영향이 없음 | * 심층여과방식으로 처리수질이 우수하고 비교적 높은 SS부하(약 80 mg/L)에 여과속도를 줄이는 등 대처가 가능함 * 소모부지 면적이 작음 * 설비가 단위기별로 제작되어 유지관리가 쉬움 * 여과 및 역세가 동시에 일어남으로 역세로 인한 운전중단이 없음 * 허부로 Sludge 인발기능이 있어 여과부하를 줄일 수 있고 일부 침전기능 수행 가능 | * 10 um 여과망 사용시 처리수질이 비교적 우수함 * 설치공간이 비교적 작아 소모부지 면적이 작음 * 설비가 단위기별로 제작되어 유지관리가 쉽고 여과교환이 용이 * 여과 및 역세가 동시에 일어남으로 역세로 인한 운전중단이 없음 * 손실수두가 적어 자연유하로 여과 * 다양한 여과망 (10 ~ 100 um)을 SS의 크기에 따라 교환사용이 가능함 | * 일개의 여과지에서 단위 셀별로 역세가 이루어지므로 여과와 역세가 동시에 이루어져 역세로 인한 운전중단이 없음 * 별도의 역세척수조가 불필요 * Mud Ball 등에 의한 여과 패쇄가 발생하지 않음 * 손실수두가 적어 자연유하로 여과가능 | * 심층여과 방식으로 비교적 처리수질이 우수함 * 압착시 일정한 압력으로 여재를 압축할 수 있음 * 원수 및 SS 농도에 따라 CHIP을 선택적으로 사용할 수 있고 압축을 조정 가능하여 처리효율을 임의로 조정가능함 * 고장시 unit별로 대처가 가능하여 전체 설비가동에 영향이 없음 |
| 단점 | * 오·폐수·경수처리등의 실적은 많으나 (150여대) 하수처리장 설치 실적저조 * 1대를 독립적으로 설치할 경우 여과와 역세가 교대로 일어남으로 역세시 UNIT별로 여과가 중단됨 | * 유입수질 및 유량변동에 따른 개별기기의 대처가 어려움 * 회전드럼의 회전수를 감소시키거나 디스크의 세척빈도를 줄이면 제거효율 증가, 처리용량 감소 * 예비기기(단일구동방식)를 포함하지 않으면 본체 및 부속설비의 고장시 고압사용으로 인한 필터 엘리먼트의 수명감소와 파손유려 * 여재가 수중에 위치하므로 교환이 용이하지 않고 전체 배수등의 변경이 있음 | * 유입수질 및 유량변동에 따른 개별기기의 대처가 어려움 * 회전드럼의 회전수를 감소시키거나 디스크의 세척빈도를 줄이면 제거효율 증가, 처리용량 감소됨 * 예비기기(단일구동방식)를 포함하지 않으면 본체 및 부속설비의 고장시 고압사용으로 인한 필터 엘리먼트의 수명감소와 파손유려 * 전체 SS가 여과망에 부착후 탈리되므로 여과재형이 큼 | * 소모면적이 대단히 크고 초기 투자비가 많음 * 설치시 숙련된 기술 요구 * 정확한 기계작동 요구 * 예비지(단일구동방식)를 포함하지 않으면 본체 및 부속설비 고장시 처리 불가 * 태양광에 의한 조류성장 촉진 및 잦은 역세로 기능저하 조래유려 * 여과수량이 많아 반송부하에 영향을 미치며 여재치리 비용 증가 * 여과와 역세가 교대로 이루어짐으로 역세시 UNIT별로 여과가 중단 | * 소모면적이 비교적 크고 초기 투자비가 많음 * 여재유실이 있을 수 있고 압축시 공간(CHANNEL)이 생길 수 있으며 이 경우 수질 악화가 우려됨 * 여재량이 비교적 많고 교환이 번거로우며 여과수명이 짧음 * 역세수량이 많아 반송부하에 영향을 미치며 여재치리 비용 증가 * 여과와 역세가 교대로 이루어짐으로 역세시 UNIT별로 여과가 중단 |

2) 막여과 기술

- 현재 개발된 농업용수 수질개선 기법은 대부분 전처리(막) + RO로 이루어짐
 - NF(나노필터) + RO(역삼투막) : 농촌진흥청(2015)
 - MF/UF + RO : 제주도 판포지구
 - 응집처리 + 여과 + RO : 농림식품기술기획평가원
- 유입수 오염정도가 심한 경우에는 가장 효과적인 유기막을 이용한 수처리방법으로 구분은 정밀여과, 한외여과 나노여과, 역삼투여과, 전기투석 등으로 구분하고 있으며 공경의 크기 및 흡착, 막표면에서의 용해 및 확산 등의 분리원리로 처리함

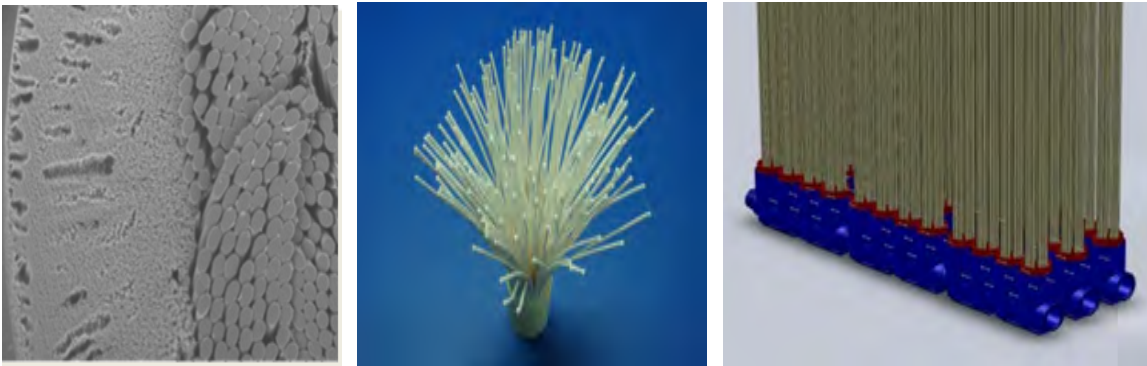
[표 4-18] 막여과의 운영조건별 분류

| 구분 | 분리입경, 분자량 | 조작압력 (kg/cm ²) |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 역삼투막 (Reverse Osmosis) | 분자량 (수십) | 해수담수화 50~70 |
| | | 염수탈염 4~40 |
| 나노여과막 (NF; Nanofiltration) | 분자량 (최대 수백) | 2~15 |
| 한외여과막 (UF; Ultrafiltration) | 분자량 (1,000 ~ 300,000) | 흡인방식 : 0.6정도 이상 |
| | | 가압방식 : 3정도 이상 |
| 정밀여과막 (MF; Microfiltration) | 분리입경 (0.4 ~ 0.01 μm) | 흡인방식 : 0.6정도 이상 |
| | | 가압방식 : 2정도 이상 |

- 정밀여과막 (MF : Microfiltration Membrane) : 정밀여과법에 이용되며 부유물질이나 원충, 세균, 바이러스 등을 체가름 원리에 따라 입자의 크기로 분리를 목적으로 수처리에 이용됨
 - 공경 : 0.01 μm 이상
 - 여과성능 : 0.5 m³/m²·일 이상
 - 탁도제거 : 0.05 NTU 이하
 - 여과작용 : 용질입자의 크기와 분리막의 공극에 의한 체걸음 작용
 - 제거 대상 물질 : 부유물질, 콜로이드, 세균, 현탁질, 조류, 박테리아 등
 - 분리 능력 표시 : 공칭분획경 (Pore Size)
 - MF은 크게 Depth 및 Membrane Type으로 구분하여 Depth Type은 마이크로필터, Membrane Type은 Membrane을 사용하기 때문에 분리막 교체가 필요함
 - MF막의 특성은 다른 분리막에 비해 높은 투과플럭스를 가지는 반면 수처리 수준은 가장 낮음
 - 또한 공경이 비교적 크기 때문에 하수처리수와 같이 콜로이드 성분을 갖고 있는 유입수의 경우 내부 폐색을 일으킬 가능성이 높음

○ 한외여과막 (UF : Ultrafiltration Membrane)

- 공경 : 0.01~0.001 μm
- 여과성능 : 0.5 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ 이상
- 탁도제거성능 : 0.05 NTU 이하
- 여과작용 : 체걸음 작용
- 제거 대상 : 분자량 5,000~30만 정도의 세균, 콜로이드, 단백질, 고분자 유기물 등
- 분리 능력 표시 : 분획분자량(MWCO), 즉 분리해낼 수 있는 분자량의 크기로 나타냄
분획 분자량(MWCO; Molecular Weight of Cut-Off)이란 UF막에서 사용되는 단위, 막에서 90% 이상 저지되는 표준 고분자물질의 분자량으로 표시
- 조작압력 : 2~5 kg/cm^2 정도
- 특성 : 세척을 통하여 여러번 사용 가능하고, 비대칭성 구조로 선택분리기능 가진 표면 활성층 및 다공성의 지지층으로 구성
- PoreSize 보다 큰물질은 Fiter에 걸려서, Pore Size 보다 작아 통과한 물질은 확산 작용에 의해 제거

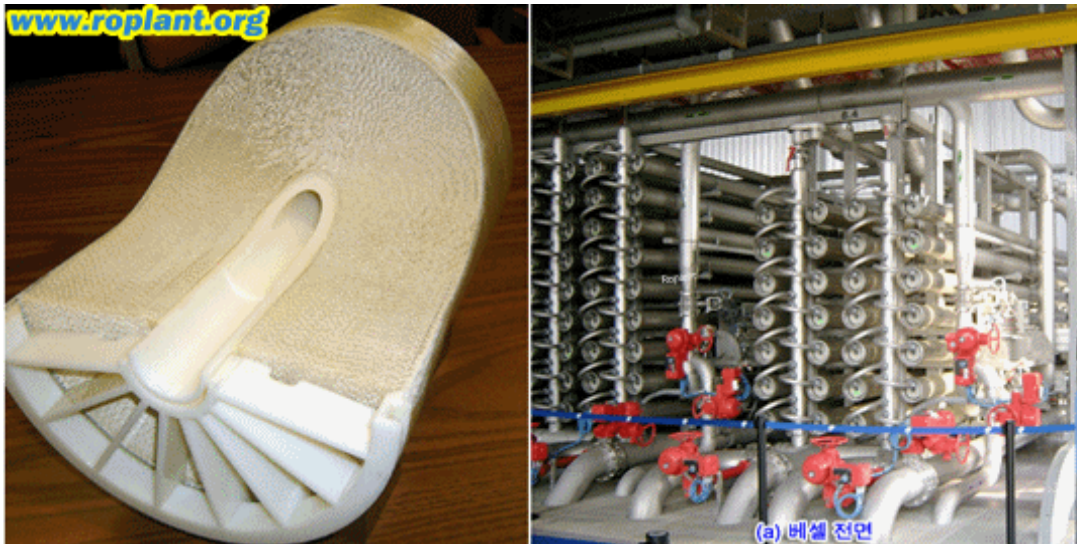


[그림 4-18] UF 멤브레인 구조

○ 나노여과막 (NF : Nanofiltration Membrane) : 정밀여과법에 이용되며 이온이나 저분자량(유기물, 농약, 맛/냄새물질, 합성세제, 칼슘이온, 마그네슘이온, 황산이온 등) 물질을 제거하는 목적으로 사용

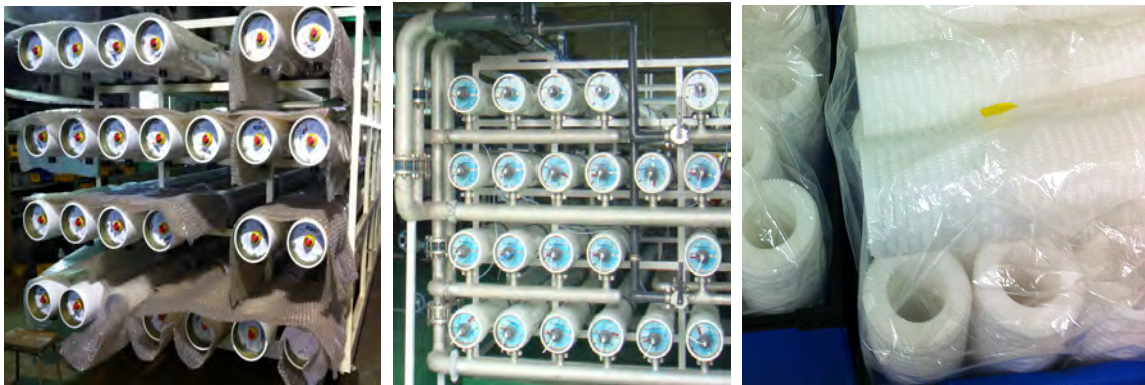
- 공경 : 0.005~0.001 μm
- 여과성능 : 0.05 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ 이상
- 여과작용 : 체거름 작용과 확산 작용, 즉 삼투현상을 응용
- 제거대상 : 분자량 5,000~30만 정도의 세균, 콜로이드, 단백질, 고분자 유기물 등
- 분리 능력 표시 : 분획 분자량(MWCO)
- 조작압력 : 5~40 kg/cm^2 정도

- 특성 : 분획분자량은 RO막과 UF막의 중간적 특성이고 유기물에 대해서는 분자량 200~500정도의 분획분자량을 가지며 주로 2가 이온이나 저분자 물질이 분리대상임
- 생활용수 수처리 목적으로 사용되고, 현재 기술 수준은 조작압력이 높아 경제성이 문제



[그림 4-19] NF 멤브레인 및 나노여과시설

- 역삼투여과막 (RO : Reverse Osmosis) : 이온물질 제거를 목적으로 RO 고압펌프를 사용하는 해수 담수화용 공정과 RO 저압펌프를 사용하는 금속이온제거 및 기수 담수화 공정으로 사용
 - 공경 : 0.001~0.0001 μm
 - 여과성능 : 0.01 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ 이상
 - 여과작용 : 체거름 작용과 확산 작용, 즉 삼투현상을 응용
 - 염화나트륨제거율 : 93% 미만
 - 제거 대상물질 : 금속이온, 염소이온, 해수중의 염분 등
 - 분리 능력 표시 : 분획 분자량(MWCO)
 - 조작압력 : 50~75 kg/cm^2 정도
 - 특성 : 이온 상태의 물질을 처리 목적으로 주로 염분제거 및 금속류 제거에 이용



[그림 4-20] RO 멤브레인 및 베셀

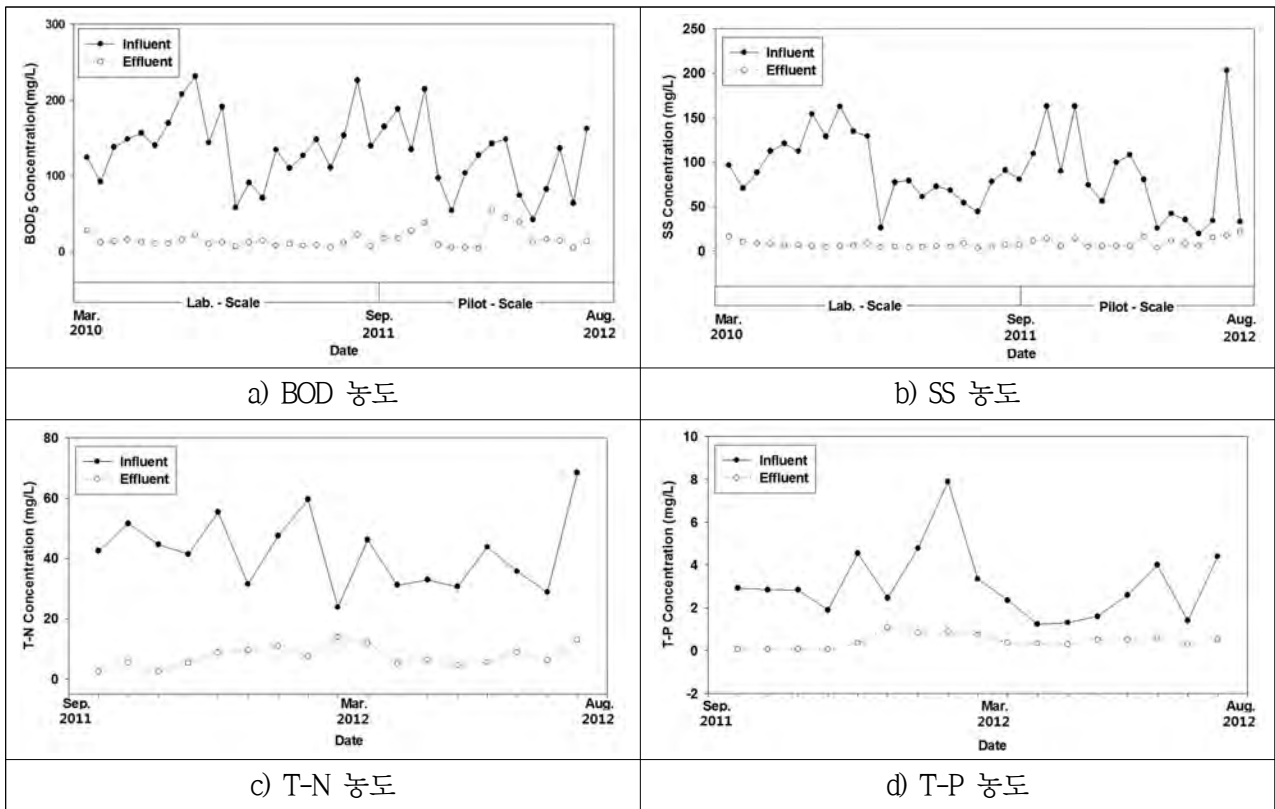
- 분리막의 장기 운전을 위해서는 과도한 전처리가 필요함(설비비, 운전비용 상승). 또한 중공사막이나 평막 막분리 공정에서 오염으로 인해 막의 투과성이 감소하여 이를 회복하기 위한 빈번한 역세척, 공기세정, 펌프의 유속 증가 등으로 설비비 및 운전비용이 추가됨
- 막여과는 빈번한 화학세정으로 막성능 저하, 비용발생 및 환경오염 발생 등의 문제가 심각하고 운전조건이 까다로우며 자주 발생하는 상황으로서, 여과 압력 상승, 공기세정으로 인한 충격, 화학세정 및 역세척으로 인한 막의 파손, 특히 중공사막의 절단, 평막의 찢어짐 현상 발생할 수 있음. 회수율(Recovery rate)을 높이면 막의 투과성이 급격히 감소하고, 슬러지나 고형분리막을 폐색시키며, 심지어는 파손도 일어나므로 90%이상의 회수가 어려움

3) 바이오 필터

- 이러한 기법들은 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조의 개발에 있어 요구되는 수질처리항목에 대한 수질개선효과는 담보되나 설치 및 유지관리에 과도한 비용이 요구되는 단점을 지님
- 비교적 공사비와 유지관리비가 저렴하고, 유지관리가 용이하면서, 요구되는 수질개선성능을 확보할수 있는 바이오필터를 기초로 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조를 개발
- 바이오필터 시스템의 장점은 다음과 같음
 - 처리공정이 단순하여 설치 및 운영이 용이함
 - 기계적처리 및 화학약품처리를 하지 않아 운영 및 유지관리비용이 낮음
 - 태양광을 이용한 자체 전력시스템을 이용하기 때문에 시스템운영이 안정적이고 전력공급이 없는 지역에서도 운영가능
 - 미생물분해로 인해 오폐수처리 후 가장 큰 문제점인 슬러지(폐기물) 발생량이 미미함
- 국내 실험 결과, 바이오필터 시스템의 경우 BOD, TSS, NH₃-N에서 높은 제거율을 보이며, Soil filter를 통해 추가 처리할 경우 T-N과 T-P 역시 80%이상 처리할 수 있는 것으로 분석됨

[표 4-19] 바이오필터 시스템의 처리효율

| 항목 | 유입수 농도 (mg/L) | 바이오필터 하수처리시스템 | | 바이오필터 +상하흐름형 습지 | |
|-------|---------------|---------------|--------|-----------------|--------|
| | | 농도(mg/L) | 제거율(%) | 농도(mg/L) | 제거율(%) |
| BOD | 42.6~231.2 | 4.7~55.1 | 90.4 | 3.1~10.7 | 95.0 |
| TSS | 19.2~203.0 | 2.8~21.3 | 92.7 | 0.4~6.4 | 98.0 |
| T-N | 23.8~152.8 | - | - | 2.36~13.84 | 83.7 |
| NH3-N | 14.9~143.5 | 0.4~79.1 | 78.9 | - | - |
| T-P | 1.23~16.4 | 0.66~6.42 | 18.6 | 0.07~1.07 | 84.1 |



[그림 4-21] 바이오필터 시스템의 처리효율

가) 국내 바이오필터 현황

- 바이오필터는 효소나 미생물을 이용하여 오염물질이나 독성물질을 제거하는 기술로서, 수처리·탈취·미생물 제거 등으로 세분화되어, 화학·의료·환경분야에 널리 사용되고 있음
- 국내 바이오필터 기술은 상당히 높은 수준에 있으나, 주로 악취제거를 용도로 사용되고 있을 뿐, 국내 하수처리장 및 하수도보급률이 높아짐에 따라 소규모하수처리분야에서는 거의 사용되고 있지 않은 실정이며, 지표수 수질개선에는 적용된바 없음

- 과거에는 바이오필터에 사용되는 여재의 경우 상당부분이 외국 선진사의 여재를 수입하여 적용하거나 단순 모방하여 적용한 경우가 적지 않았으나 최근에 들어 일부업체들은 자체개발 또는 기술 도입을 통하여 중소기업의 하폐수 처리시설에 적용하여 실적을 쌓고있는 상황임
- 국내에서는 (주)자연과환경에서 ‘고친수성 여재를 이용한 바이오필터 하수 및 오수 처리방법’ 과 (주)테노바엔비타에서 ‘축산 폐수처리시스템’ 에 대한 특허를 보유하고 있으나, 국내시장의 수요가 없어 제품의 생산은 하고 있지 않음
- 효성에바라엔지니어링(주)에서 ‘접촉폭기 바이오리액터’ 와 ‘오폐수 처리용 미생물 접촉재’ 의 특허와 (주)미래앤씨에서 ‘바이오필터를 이용한 오폐수처리장치’ 특허를 보유하고, 하수처리시스템의 처리단계중 하나로 개발하여, 대규모 하수처리장사업에 설치하고 있음
- 이외 바이오필터를 이용한 수처리시스템이 농촌산간 분산지역에 일부 설치, 운영되고 있으나 유지관리의 어려움 등의 문제점이 있고, 처리효율이 낮기때문에 이에 대한 시스템의 개선이 필요

[표 4-20] 국내 업체 및 기관 바이오필터 개발 현황

| 개발기관명 | 제품명 | 개발내용 | 비고 |
|---------------|------------------|--|-----------------|
| (주)자연과 환경 | KN-NEWS공법 | 하수 및 오수처리용 바이오필터 시스템 개발 | 특허 보유 |
| (주)테노바엔비타 | 축산 폐수처리시스템 | 섬유형태의 필터를 적용하여 폐수에 잘 적응하는 우수균주를 분리하여 고정화시키는 회전형 생물막필터를 이용한 축산 폐수처리시스템 개발 | 특허 보유 |
| 효성에바라엔지니어링(주) | 비씨플러스 바이오리액터 시스템 | 반응기(리액터·Reactor)에 다량의 미생물을 넣어 단시간에 오염물질을 제거하는 바이오필터 시스템 | 설치 및 유지관리 비용 고가 |
| (주)미래앤씨 | BioMat공법 | 오폐수 속에 함유되어 있는 불용성고형물, 용존유기물, 질소를 물리적여과 및 생물학적분해를 통하여 제거 | 설치 및 유지관리 비용 고가 |

나) 국외 바이오필터 현황

- 해외 기술 중 대표적인 바이오필터 시스템은 독일 Linde사의 Linpor공정과 일본 Biomaterial Co.의 Aquacel 공정임
- Linpor 공정은 일반적인 활성슬러지 공정에서 미생물을 고정화하기 위해 공극이 많은 약 10-12 mm 크기의 폴리우레탄 스폰지가 포기조 안을 마음대로 움직일 수 있게 한 공정임

- Linpor 공정의 주요 장점은 고농도의 미생물을 유지할 수 있으므로 처리효율이 높고, 슬러지의 침강성이 좋으며, 유출수의 SS도 일반 활성슬러지공정에 비하여 낮다는 점이며, 단점은 소규모의 산업폐수에만 적용사례가 있어 실증사례가 많지 않다는 점임
- Aquacel 공정은 흡착에 의해 질산화, 탈질화 미생물을 고정시킨 양이온을 갖는 다공성 여재를 이용하는 공법으로 여재는 polyethyleneimine(PEI)로 처리하여 Ion Exchange Capacity가 0.8-1.3 meq/g 정도 되도록 만들고, 비표면적 3-7 m²/g, 공극율 97%, 비중 1.06 g/cm³ 정도이며 정육면체 형태로 제조하여 사용하며, 질산화, 탈질화의 담체로 사용되는 경우 Aquacel을 작은 입자형태로 하여 질산화시 요구되는 산소전달 요구량의 문제를 저감시키며 이때 혼합설비 및 포기 설비가 필요
- 이외에 풍부한 사업실적을 기반으로 하여 유럽 주요 시장을 차지하고 있는 OTV사와 Degremont사의 Biofiltration System 공법 등이 있음
- 국제적으로 바이오필터에 대한 선도적 연구 및 설치, 운영을 하는 업체들도 하천수질개선을 위한 기술개발은 고려하진 않는 상황이며, 이는 바이오필터만으로 하천수를 처리하기엔 용량이 부족한 문제점을 극복하지 못했고 개발 국가 혹은 개발도상국의 오폐수에만 관심을 지녀 고비용 고효율의 시스템 개발에만 초점을 맞추고 있기 때문임

[표 4-21] 해외 업체 및 기관 바이오필터 개발 현황

| 개발기관명 | 제품명 | 개발내용 | 비고 |
|---------------------|----------------------|--------------|------------------|
| Denka Eng.(일본) | Biodynactor | 설계 및 시공기술 확보 | 여재위주 |
| Biomaterial Co.(일본) | Aquacel 공정 | 설계 및 시공기술 확보 | 여재위주 |
| Linde(독일) | Linpor공정 | 설계 및 시공기술 확보 | 여재위주 |
| Kajima(일본) | Ring-lace | 설계 및 시공기술 확보 | 여재위주 |
| Munter(독일) | T/F process | 설계 및 시공기술 확보 | 설치 및 유지 관리 비용 고가 |
| OTV(프랑스) | Biofiltration System | 설계 및 시공기술 확보 | 설치 및 유지 관리 비용 고가 |
| Degremont(프랑스) | Biofiltration System | 설계 및 시공기술 확보 | 설치 및 유지 관리 비용 고가 |

나. 수온 상승 및 유지를 위한 히팅 장치 현황

1) 수온 상승 및 유지를 위한 히팅 장치 현황

- 공급용수 수온 상승 및 유지를 위한 히팅 장치에는 설치한 기기를 통해 온도를 높이는 온수기, 히트펌프 등이 있음
- 온수기는 전기순간온수기, 전기저장온수기, 가스순간온수기, 가스저장온수기로 구분됨
- 설치 없이 직접 장치를 투입해 온도를 높이는 히팅 장치인 시즈히터는 파이프식 시즈히터, 티타늄 히터봉, 돼지꼬리식 시즈히터 등이 있음



a) 온수기



b) 히트펌프



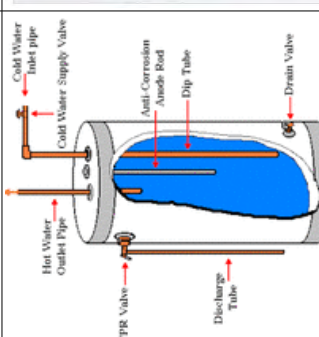
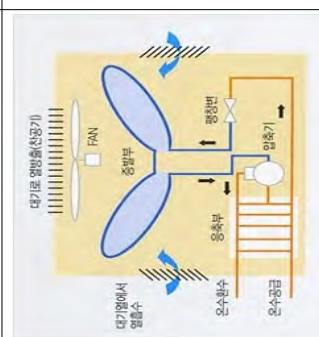
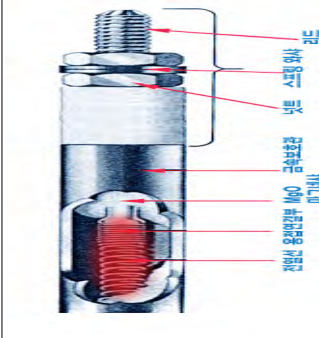

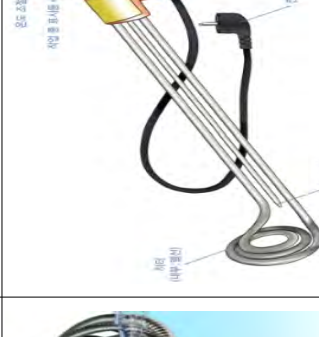

c) 티타늄 히터봉



d) 돼지꼬리식 시즈히터

[그림 4-22] 다양한 히팅 장치

[표 4-22] 히팅 장치 비교

| 구 분 | 히트펌프 | | | 시즈히터 | | |
|---------|--|---|---|--|--|--|
| | 온수기 | 파이프식 시즈히터 | 티타늄 히터봉 | 웨이퍼리식 시즈히터 | | |
| 구동 방식 | 전기식, 가스식 | 전기식 | 전기식 | 전기식 | | |
| 열 공급 방식 | 보온저장, 순간가열 | 공기열원식 | 직접 투입 | 직접 투입 | | |
| 소재 | 스테인리스 | 티타늄 | 스테인리스 316 | 스테인리스 | | |
| 형상 및 구조 |  |  |  |  |  |  |
| 개요 | <ul style="list-style-type: none"> * 보온저장 온수기는 저장 탱크에 채워진 물을 일정한 온도로 가열해두고 사용하며, 순간가열식 온수기는 유입된 물을 즉시 가열해서 내보냄 | <ul style="list-style-type: none"> * 급수 펌프가 물을 끌어올리는 것처럼 열을 저온에서 고온으로 끌어올리는 방식의 히터 | <ul style="list-style-type: none"> * Sheath(외부 파이프)의 저장양에 전열선을 내장하고 절연체인 산화마그네슘 분말을 넣어 함께 증진하여 압축 가능한 판모양의 히터 | <ul style="list-style-type: none"> * 액체 또는 공기탱크 등에 투입하여 직접 가열하는 봉 형태의 티타늄 시즈히터 | <ul style="list-style-type: none"> * 물을 넣은 통에 직접 투입하여 물을 끓일 수 있으며 열량을 높이기 위해 웨지 피리 모양으로 등글게 감은 형태의 시즈히터 | <ul style="list-style-type: none"> * 물을 넣은 통에 직접 투입하여 물을 끓일 수 있으며 열량을 높이기 위해 웨지 피리 모양으로 등글게 감은 형태의 시즈히터 |
| 사용 온도 | 약 60 ~ 70°C | 26 ~ 140°C | 약 200 ~ 300°C, (최고 사용온도 : 약 850°C 이상) | 최대 150°C 이하 사용 | 약 20 ~ 120°C | |
| 장 점 | <ul style="list-style-type: none"> * 보온저장식은 대용량 온수를 사용할 가능하며 온수 온도의 변화가 거의 없음 * 순간가열식은 부피가 작아 설치 공간의 제약이 적음 | <ul style="list-style-type: none"> * 대기의 공기열을 이용해 에너지를 얻으므로 환경친화적 * 효율이 높으며 전기료 절감 가능 | <ul style="list-style-type: none"> * 용도에 적합한 형태로 가공 가능 * 기계적 강도가 크고 진동 및 외부충격에 강함 * 고온 다습에서도 질연 저하가 일어나지 않는 전기적, 열적 우수성 * 높은 열 효율 | <ul style="list-style-type: none"> * 티타늄 비중은 철의 60%로 알루미늄보다 1.06% 가벼움 * 피막이 견고하고 부식 억제 효과가 뛰어나 | <ul style="list-style-type: none"> * 물을 빠르게 가열 가능 * 쉽게 사용 가능 * 구조 간단 * 가격 저렴 | <ul style="list-style-type: none"> * 물을 빠르게 가열 가능 * 쉽게 사용 가능 * 구조 간단 * 가격 저렴 |
| 단 점 | <ul style="list-style-type: none"> * 저장식은 부피가 커 넓은 공간이 필요하며 적정 온도 이하로 내려가게 가열되면 물을 데우는 시간 소요됨 * 순간가열식은 사용시 저장식보다 대량의 전력이 필요함 | <ul style="list-style-type: none"> * 저온부와 고온부의 온도 차이가 커지면 난방능력 감소 * 설치 공간 확보 필요 | <ul style="list-style-type: none"> * 수조 내의 물이 모두 증발하면 합성수지로 된 수조를 착화시킬 수 있음 * 전원 차단, 단락 전까지 지속적으로 발열을 동반하므로 큰 화재로 변질 수 있는 위험 존재 | <ul style="list-style-type: none"> * 공기중에 가열시 과열로 인한 단선 및 화재 가능성 * 리드선 연결부의 단자 부분에 액체 및 습기가 접촉되지 않도록 해야함 * 정기적으로 표면의 플레, 탄화생성물을 제거하지 않으면 단선 또는 부식 발생 가능 | <ul style="list-style-type: none"> * 염분, 화공약품, 기름 등 불순물이 많은 물에 사용시 고장, 화재 위험 존재 * 스톱톱이므로 항상 점검 후 사용 필요 | <ul style="list-style-type: none"> * 염분, 화공약품, 기름 등 불순물이 많은 물에 사용시 고장, 화재 위험 존재 * 스톱톱이므로 항상 점검 후 사용 필요 |

2) 히팅 장치 종류

가) 온수기

① 전기순간온수기

- 유입된 물을 순간적으로 가열하여 바로 사용가능한 온수기
- 소비전력 (kW/h) : 6.6 ~ 9.9
- 용도 : 온수 전용
- 용량 (l/min) : 2 ~ 8
- 전기순간온수기는 순간적으로 강한 대용량의 전력이 필요하며 별도의 저장탱크가 없고 크기가 작아 물을 한 번에 데울 수 있는 양과 온도 변화에 한계가 있음

② 전기저장온수기

- 저장탱크에 채운 물을 전기를 사용해 일정한 온도로 가열해두고 사용하는 온수기
- 소비전력 (kW/h) : 1 ~ 5
- 용도 : 온수 전용
- 용량 (L) : 100 ~ 500
- 전기저장온수기는 전기를 사용하고, 작동법이 간단하며 비교적 설치가 간단하며, 대용량의 물 저장 가능하며 수온 변화가 적은 특징이 있음

③ 가스순간온수기

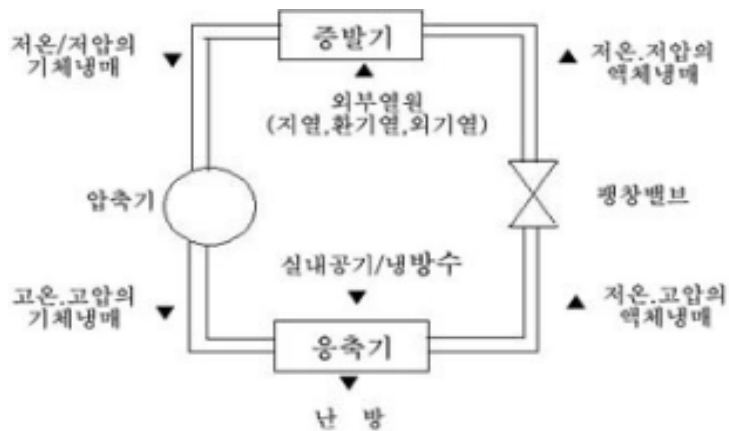
- 가스를 연료로 사용하여 물을 순간적으로 가열해 사용하는 온수기
- 가스소비량 : LP가스는 2.04 ~ 3.62 kg/h, 도시가스는 24,500 ~ 43,400 kcal/h
- 용도 : 온수 전용
- 용량 (L) : 14 ~ 24
- 가스순간온수기는 가스 설비 된 공간에 설치가 가능하며, 밀폐된 공간에서는 가스폭발의 위험이 있어 사용할 수 없음

[표 4-23] 온수기 종류 비교

| 구분 | 전기순간온수기 | 전기저장온수기 | 가스순간온수기 |
|------|-------------|------------|-------------|
| 방식 | 순간가열식 | 가열 후 보온저장 | 순간가열식 |
| 크기 | 작은 공간 설치 가능 | 큰 공간 필요 | 작은 공간 설치 가능 |
| 전기용량 | 3 ~ 6 kW | 1.5 ~ 5 kW | - |

나) 히트펌프

- 히트펌프는 물 대신 열을 온도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 보내는 기기
- 에어컨과 마찬가지로 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기 등의 부품으로 구성되어 냉난방 겸용 기능을 담당할 수 있으며 히트펌프는 냉열뿐 아니라 응축과정에서의 온열도 이용 가능함
- 소비전력 (kW/h) : 2.7 ~ 6.8
- 정격 전압 : 220 V, 60 Hz
- 용도 : 온수를 이용한 난방 및 급탕
- 구성 : 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기
- 저온부와 고온부의 온도 차이가 커질수록 난방 능력이 감소하는 단점이 있어, 이러한 부분을 극복하기 위해서는 인버터 기술을 이용하여 기후조건에 맞도록 압축기 회전수를 증가시켜 높은 난방 용량을 확보하는 방안이 존재



[그림 4-23] 히트펌프 구조

다) 시즈히터

① 파이프식 시즈히터

- 발열량을 높이기 위하여 코일형으로 발열선을 감아 길이를 늘이고 열선과 보호관을 절연한 관 모양의 히터
- 소비전력 (kW/h) : 3 ~ 5
- 정격 전압 : 단상 220 V
- 용도 : 온수 전용
- 길이 (mm) : 420
- 파이프식 시즈히터의 외부 금속보호관은 내부의 전열선을 보호하는 역할과 동시에 전열선의 열을 외부로 방열하는 역할을 동시에 수행함

- 외부금속관은 용접관이 아닌 SEAMLESS Pipe를 사용하고 부식의 방지와 열전달률을 높이기 위하여 스테인리스 316을 재료로 사용하여 금속 등의 고체, 가연성유, 전도성 액체 등을 직접 가열하는 것이 가능

② 티타늄 히터봉

- 물과 닿는 부분을 티타늄 재질로 하여 지하수, 염분, 화학약품 등에 사용이 가능함
- 소비전력 (kW/h) : 3
- 정격 전압 : 220 V, 60 Hz
- 용도 : 약염산, 약인산, 약질산, 약불산, 염소, 약유산, 약크롬산, 염화나트륨수용액, 수산화나트륨용액, 암모니아수, 해수, 아황산가스, 벤젠, 페놀, 클로로벤젠 등 온도 조절
- 길이 (mm) : 450
- 석회질이 많은 지하수를 가열 할 경우 정기적으로 파이프 표면에 적층된 석회슬러지를 제거하여 열전도를 원활하게 해야 하며 농도가 높은 액체에는 사용을 금지함

③ 돼지꼬리식 시즈히터

- 돼지꼬리식 시즈히터를 직접 투입하여 물을 끓이는 방식이며 별도의 설비를 갖추지 않고 전기만 연결해 쉽게 사용이 가능함
- 소비전력 (kW/h) : 2.5 ~ 3
- 정격 전압 : 220 V, 60 Hz
- 용도 : 온수 전용
- 길이 (mm) : 300 ~ 1000
- 돼지꼬리식 시즈히터는 하부로부터 15 cm 이상 물이 있어야 전원이 공급되는 특징이 있음

다. 요소별 모듈설계

1) 수처리 기준

- 호소생활환경기준의 IV등급(약간나쁨)의 질소는 1.0 mg/L이하, 인은 0.1mg/L이하로 관리기준이 설정되어 있기 때문에 호소생활환경기준의 IV등급(약간나쁨)을 관개용수 목표수질로 설정할 경우 양액재배용 원수의 적정 수질기준도 만족할 것으로 판단됨
- 지하수의 경우 수온 18℃ 미만에서 생장저해가 발생하고, 전기전도도(EC) 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상에서 염해가 발생하는 것으로 보고됨에 따라 이를 수처리 기준으로 설정

[표 4-24] 다기능 저류조의 수처리 기준

| 등급 | pH | TOC (mg/L) | SS (mg/L) | T-N (mg/L) | T-P (mg/L) | Chl-a (mg/m ³) | 지하수항목 | |
|----|-----------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------------------------|--------|-------------------------------|
| | | | | | | | 수온(°C) | EC($\mu\text{S}/\text{cm}$) |
| IV | 6.0 ~ 8.5 | < 6 | < 15 | < 1.0 | < 0.10 | < 35 | > 18 | <700 |

- 원수 수질 및 수온 특성에 대응할 수 있는 요소별 모듈 설계
- 1차적으로 SS 등 입자성 물질과 TOC 등 유기물질을 처리하도록 바이오 필터를 적용, EC와 대장균군을 포함한 미생물 처리를 위한 AOP(Advanced Oxidation Process) 소독 및 질소(N), 인(P) 등 영양염류와 잔류오염물질 제거를 위한 Soil Filter 적용을 고려하였으며, 각각 요소기술에 대한 모듈화 방안 모색

2) BF (바이오 필터, Bio-Filter)

- 흡수성 여재를 충전한 반응기 상부에서 노즐을 통하여 오폐수를 간헐적으로 살수하여 자연유하로 여재층을 통과 하면서 여재층에 형성된 임의성 미생물에 의해 산화분해되는 생물학적 처리방법
 - 살수여상을 통한 미생물 처리
 - 장기간(10년 이상) 여재의 교체, 청소가 필요 없고 안정적
 - 에너지 소비량이 적고, 공정이 단순하며 잦은 유지보수 불필요
 - 기타 여과기법(모래, 토양 등)에 비해 공극폐색 없이 고부하 수용가능
 - 비사용기간에도 미생물집단 유지
- 복잡한 기계나 설비가 없어 운전이 용이하며, 에너지 소비량이 적고, 슬러지 발생량이 적음
- 바이오필터의 여재로 고친수성 멜라민 폼과 폴리우레탄 폼을 병용하여, 미생물 부착성장공간을 제공함으로써 여과기능, 흡수, 수분 유지와 오염물 흡착·제거 기능을 향상시켰으며, 유입유량 변동의 영향과 미생물의 고사율을 감소시킴

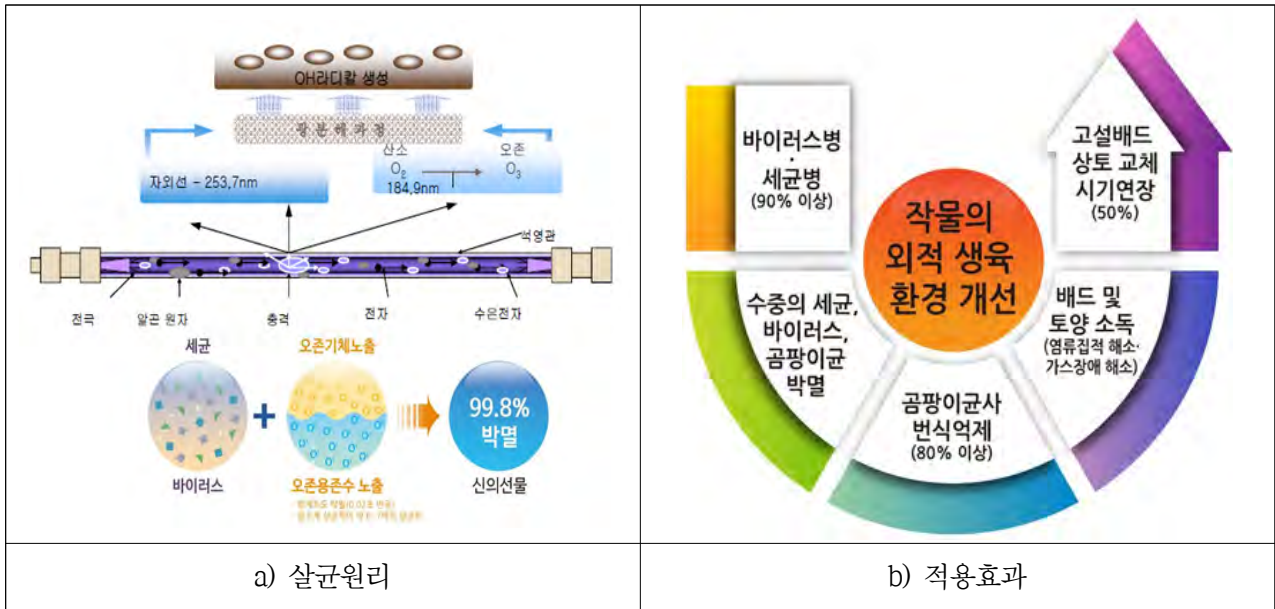
- 짧은 시간동안 많은 양의 원수를 미립자로 분무되도록 운전하여 공기와 접촉시간이 길고 접촉면적을 크게 함으로써 미생물에 의한 유기물의 분해가 충분히 이루어져 슬러지가 발생이 최소화되도록 함



[그림 4-24] 바이오필터 시스템

3) AOP (Advanced Oxidation Process)

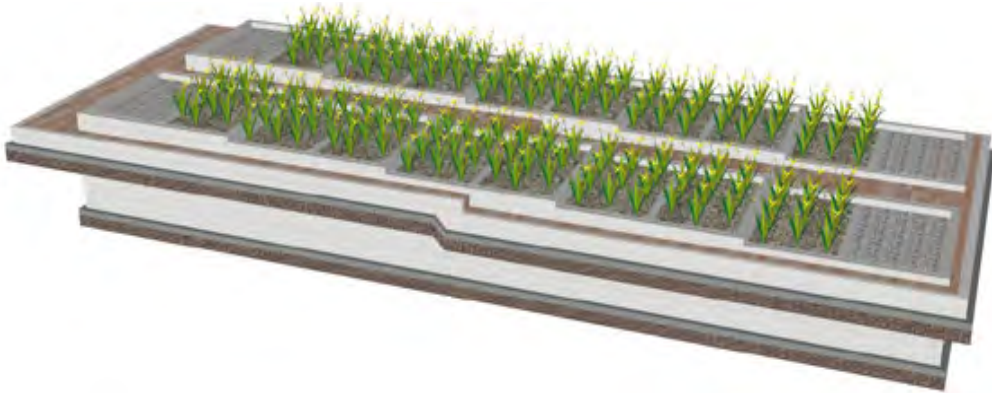
- 자외선 살균만 하는 기존 자외선(UV)램프가 아닌 이중석영관 내에서 자외선파장 (254 nm)과 오존 발생파장 (185 nm)을 동시에 발생시키는 AOP(Advanced Oxidation Process)램프를 사용하여 OH-라디칼을 생성하여 자외선살균과 유기물산화를 동시에 수행함으로써 살균효과를 극대화함
- 살균범위가 높고 제거속도가 빠르며, 난분해성 유기물질도 산화가능
- 설치비용이 저렴하며, 램프의 사용기간은 2 ~ 3년으로 유지관리 및 보수가 용이함
- 소독부산물 없이, UV 및 오존을 활용한 강력한 이중살균
- 전 공정(미생물)에서 처리하지 못한 잔여 고분자화합물의 산화-분해 가능
- 필요시 체류시간 및 후처리 공정 조절을 통해 오존수(오존농도) 적용 가능
- 살균에 사용되는 마이크로버블 등은 미세기포를 오존을 주입하여 탱크 내 관개수를 고르게 살균하는데 주요 목적을 두는 반면, 적용되는 AOP 시스템은 SUS 탱크 내부에서 직접 오존과 함께 UV, OH-이온을 발생시켜 강력한 살균 및 산화효과를 기대할 수 있음



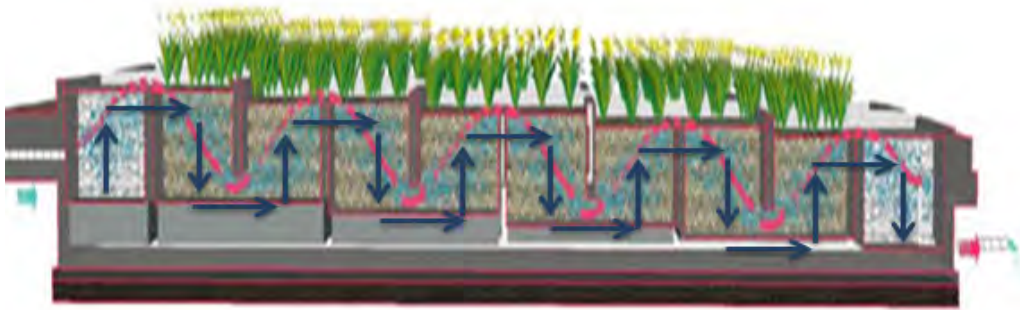
[그림 4-25] AOP (Advanced Oxidation Process)

3) SF (Soil filter)

- 인공토양 / 여재를 활용한 상하흐름형 여과
- Soil filter는 방류수질을 추가적으로 개선하고 자연친화적인 경관을 조성할 수 있음
- 오존수 및 각 구획별 Layer간 이동관로 설치를 통해 폐색사고 예방 (기존 시설 대비 공극폐색 최소화)
- Soil filter의 제거 기작은 식물에 의한 흡수, 식재기반재의 흡착 및 침전 그리고 식물 뿌리와 기반 재료에 활동하는 미생물에 의한 분해와 탈질 등의 제거 기작을 가지며 이는 오래 세월 검증된 기작임
 - 바이오필터에서 미처리된 유기물 및 질소, 인 제거
 - 여과 및 흡착기작 활용을 통해 오존 및 OH-이온 제어
- 영양물질 중심의 처리로 장기적인 운전에도 안정적인 처리효율 유지
 - 후처리 조절에 따라 농업에 필요한 영양물질(인, 질소)을 일정수준 유지하여 비료사용량 절감 가능
- 표면에 하수유출이 되지 않아서 해충(모기, 파리 등)발생문제를 원천적으로 해결



[그림 4-26] Soil filter 모식도



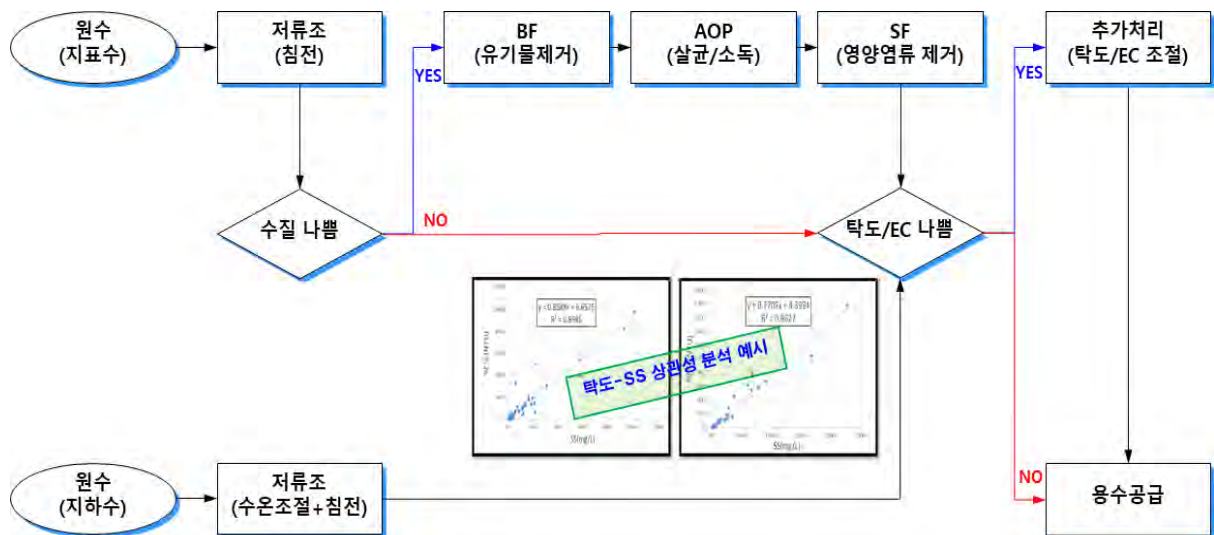
[그림 4-27] Soil filter 처리과정

2. 통합프로세스 개발

가. 적정모듈 통합프로세스 개발

- 용수의 계절별 특성을 고려한 적정모듈 통합프로세스 개발
- 기후적응능력 확보를 위한 (극한기후(한발) 대비) 단일·복합용수 적용방안 검토
- 전국 농업용저수지의 수질 분석결과 농업용수 수질기준인 IV등급 초과 비율은 TOC 기준 12.4%, T-P 기준 9.1%, *Chl-a* 기준 9.1%, COD 기준 29.9%, T-N 기준 61.8%로 나타났으며, 여름철 녹조발생과 더불어 일부수질항목은 V~VI등급까지 악화되기도 함
- 이에 지표수를 원수로 사용할 경우 유기물과 영양염류의 처리가 요구되며, 추가적인 대장균군의 처리도 필요할 것으로 판단됨
- 농촌지하수 관측망 측정자료 분석결과 지하수 수온 현황은 16°C 미만이 85.1%, 18°C 미만이 99.4%에 해당하는 것으로 분석됨에 따라 오직 0.6%만이 관개에 적정함
- 이에 지하수를 원수로 사용할 경우 수온의 조절이 주요한 설계인자로 판단됨

- 지하수 EC 현황은 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상이 18.4%, 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상이 11.0%에 해당하는 것으로 분석되었으며, 81.6%가 발작물 관개에 적정한 것으로 나타났고, 실제 작물 생육에 중요한 EC 기준이 설정되어 있지 않기 때문에 염류장애로 인한 작물피해 우려됨에 따라 원수의 탁도와 EC 현황에 따라 추가처리 계획
- 수질개선기술 적용방안
 - 기본시설 : BF(Bio Filter) + AOP(Advanced Oxidation Process) + SF(Soil Filter)
 - 추가시설 : 기본시설 + 추가처리 모듈(특정수질 / 특정항목제거 필요시)



[그림 4-28] 원수 활용 및 공급방안

- 농업용수 수질개선 기술 기본구성은 BF(바이오필터), AOP(Advanced Oxidation Process)과 SF(Soil filter)를 이용한 시스템을 기본구성으로 하며, 다양한 현장여건 및 처리대상을 고려하여 어플리케이션 형태로 제품을 구성
- 수온 : 원수별 혼합 및 재가열 기술 개발
- 수질 : 원수별 적정 기술 선택적용을 위한 탈착 모듈 및 프로세스 개발 (복수원수는 원수 별 bypass)
- 수량 확보 : 레질리언스를 고려하여 기초 보유량 및 선택적 복합 원수 및 회귀수 활용
- 모듈화 기반의 프로세스 플랫폼 제시
- 각종 계측기술과 무선통신 기반의 자립형, 자율형, 태양광 등을 통한 에너지 절감형



[그림 4-29] 수질개선기술 개요도

나. 통합프로세스의 장점 및 기대효과

- 최초설치 후, 전문인력 상주 불필요
- 장기간 유지관리 필요성 및 운전비용 최소화
 - 운전사고 발생 외 주기적 유지관리 불필요 (4년 주기 램프교체 외)
- 원격 운전모니터링 및 제어 가능
 - 센서장비와 프로그램을 통한 자동제어
 - 앱을 통한 운전모니터링(고장 및 오작동 등) 및 제어, 알람기능 추가 가능
- 태양광 발전을 통한 에너지 자립 및 운전 가능 (사고대비 보조전원 사용)
- 후처리 조절에 따라 농업에 필요한 영양물질(인, 질소)을 일정수준 유지하여 비료사용량 절감 가능
- 처리수내 잔류오존으로 오존농법 효과 기대

제 5 절 다기능 저류조 설계

1. 설계인자 도출

가. 적정 수온 확보방안 도출

- 유입수원이 지하수일 경우 낮은 수온에 의한 작물 냉해 우려
- 적정 수온 확보를 위한 저류조내 체류시간 도출 및 수온 조절시스템 개발
- 열역학 제0법칙의 정의는 온도가 서로 다른 두 물체를 접촉시키면 온도가 높은 물체의 온도는 내려가고, 온도가 낮은 물체의 온도는 올라가서 두 물체의 온도차가 없어져 열평형 상태로 변하게 되며, 일반식은 다음과 같음

$${}_1Q_2 = mC\Delta t = mC(t_2 - t_1)$$

- 여기서 Q= 열량(kJ), m=질량(kg), t=온도(°C)

[표 4-25] 물질별 비열 (한국산업에너지절감협회)

| 물질 | 상태 | 비열 | |
|----|----|-------------|--------------|
| | | J / kg · °C | cal / g · °C |
| 수소 | 기체 | 14,300 | 2.39 |
| 공기 | 기체 | 1,010 | 0.25 |
| 물 | 액체 | 4,180 | 1 |
| 알콜 | 액체 | 2,400 | 0.58 |
| 철 | 고체 | 450 | 0.107 |
| 구리 | 고체 | 390 | 0.092 |

- 농촌지하수 관측망 측정자료 분석결과 지하수 수온 현황은 16°C 미만이 85.1%, 지하수 수온은 16°C로 가정하고 적정 관개수온은 18°C로 설정함
- 5월~9월까지 영농작업에 의한 관개가 주로 이루어진다는 가정하에 국내 220개 기상대의 30년 (1991~2020년) 5월~9월 평균기온 22.0°C를 공기 온도로 가정

[표 4-26] 국내 평년 월평균 기온

| 구분 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 평균 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| 월평균 기온(°C) | 17.6 | 21.8 | 24.9 | 25.6 | 20.1 | 22.0 |

- 1^m 규모 물탱크에 80% 지하수를 저장하여, 16^oC에서 18^oC로 수온을 상승시키기 위한 열량은 6,688 kJ로 산정
 - 물의 질량 (800 kg) × 물의 비열 (4.18 kJ/kg · ^oC) × (18^oC-16^oC) = 6,688 kJ
- 섭씨 0^oC 1기압에서 공기의 질량은 28 g/22.4 L로 알려져 있으며, 평균기온 22^oC에서 18^oC로 변할 때 손실열량은 1.01 kJ로 기온과 접촉하여 지하수 수온을 상승시키는 것은 현실적으로 불가능할 것으로 판단됨
 - 공기의 질량 (0.25 kg = 1 m³의 20% × 28 g/22.4 L) × 공기의 비열 (1.01 kJ/kg · ^oC) × (18^oC-22^oC) = -1.01 kJ
- 국내 220개 기상대의 30년(1991~2020년) 총일사량의 평균 4,936.3 MJ/m²이며, 평균일조시간은 6.3시간, 총일사량을 평균일조시간으로 나누어 추정한 일사량의 평균은 788.57 MJ/m²/hr로 나타남
- 1 m³ 규모 물탱크의 상부면적이 1 m²이고, 물탱크 열전도율을 무시했을 때 1 m³ 규모 물탱크에 80% 지하수를 저장하여, 16^oC에서 18^oC로 수온을 상승시키는데 30초 정도가 소요되는 것으로 계산되었음
 - 물의 질량 (800 kg) × 물의 비열 (4.18 kJ/kg · ^oC) × (18^oC-16^oC) = 6,688 kJ
 - 소요열량 (6,688 kJ) ÷ 일사량 (788.57 MJ/m²/hr) × 물탱크상부면적 (1 m²) = 30초

나. 저류조 최적용량 산정

- 농업용 수리시설은 대부분 소규모이고 유지관리의 미흡 및 시설물의 노후화로 인하여 가뭄에 대한 내한능력이 크게 감소되고 있는 실정임
- 「농업생산기반정비통계연보 (농림축산식품부,2020)」에 따르면 수리답의 내한능력은 2019년 총 답면적 82만 9,778 ha 중 68만 7,089 ha로서 수리답율이 82.8%이며, 이러한 수리답도 농지개발시설의 설계기준년이 10년 빈도를 만족시키는 시설은 약 62.6%에 불과한 52만 155 ha 정도 뿐이며, 특히 17%인 약 14만 4,240 ha는 평년 3년 빈도의 내한능력 밖에 되지 않아 상습적인 가뭄피해를 당하고 있어 이에 대한 수리시설의 대규모화와 신규개발이 무엇보다도 절실한 실정임
- 2019년 총 관개 면적은 68만 7,089 ha로 저수지의 총 관개면적은 총 관개 면적은 42만 4,045 ha이고, 양수장 14만 9,916 ha, 취입보 관개면적 5만 1,984 ha을 차지하고 있음. 농업용수 공급을 위하여 설치된 수리시설물은 1945년 이전 일제시대에 시설되어 60년 이상된 저수지가 전국적으로 9,380개소에 달하고 있으며, 취입보가 4,474개소, 양수장은 83개소를 차지하고 있음. 따라서 시설물 내용연수(농업토목설계편람 농림수산부)를 저수지 70년, 양수장 40년, 보 40년으로 판단할 때 이렇게 노후화된 수리시설물 등에서 관개하고 있는 면적은 사용정지 대상이라 할 수 있음
- 농업용수 관리기관인 한국농어촌공사의 가뭄대응을 위한 농업용수 추가 확보계획은 대부분 하천수를 이용한 양수장을 신설하는 사업으로 기존의 저수지 용량의 한계를 증가시키기 위한 방법들임
- 이와 같은 농업용수 추가 확보방안은 깊은 심도의 가뭄이 발생할 경우, 하천수의 확보 가능성을

담보하기 어려운 상황이 발생할 수 있고, 가뭄시에는 농업용 저수지와 하천의 수위 및 수량이 동반하여 감소하기 때문에 안정적으로 유지 가능한 용수 저류시설이 요구됨

- 이를 위해 가뭄강도 및 한발빈도의 기후적응을 위한 필요관개수량으로부터 저류조 필수용량을 도출하고, 수처리 및 수온확보를 위한 체류시간과 필수용량을 고려한 최적용량 도출할 필요가 있음

[표 4-27] 한발빈도별 관개 면적(2019)

| 구분 | | 한발빈도 | | | | | |
|-------|--------|------------|------------|-----------|-----------|----------|------------|
| | | 계 | 평년 | 3년 | 5년 | 7년 | 10년이상 |
| 저수지 | 면적(ha) | 424,045.00 | 64,264.90 | 20,990.90 | 5,122.90 | 2,090.80 | 331,575.50 |
| | 비율(%) | 100.0 | 15.2 | 5.0 | 1.2 | 0.5 | 78.2 |
| 양수장 | 면적(ha) | 149,916.40 | 11,529.60 | 2,761.10 | 1,303.80 | 1,620.20 | 132,701.70 |
| | 비율(%) | 100.0 | 7.7 | 1.8 | 0.9 | 1.1 | 88.5 |
| 양·배수장 | 면적(ha) | 24,663.30 | 141.9 | - | 89.6 | 671 | 23,760.80 |
| | 비율(%) | 100.0 | 0.6 | - | 0.4 | 2.7 | 96.3 |
| 배수장 | 면적(ha) | - | - | - | - | - | - |
| | 비율(%) | - | - | - | - | - | - |
| 보 | 면적(ha) | 51,984.80 | 16,209.90 | 9,008.10 | 3,724.80 | 2,351.10 | 20,690.90 |
| | 비율(%) | 100.0 | 31.2 | 17.3 | 7.2 | 4.5 | 39.8 |
| 집수암거 | 면적(ha) | 6,411.60 | 2,198.90 | 1,718.30 | 181.5 | 77.6 | 2,235.30 |
| | 비율(%) | 100.0 | 34.3 | 26.8 | 2.8 | 1.2 | 34.9 |
| 관정 | 면적(ha) | 25,707.30 | 7,893.40 | 3,260.90 | 5,262.60 | 113.3 | 9,177.10 |
| | 비율(%) | 100.0 | 30.7 | 12.7 | 20.5 | 0.4 | 35.7 |
| 기타시설 | 면적(ha) | 4,360.60 | 4,163.60 | 99 | - | 84 | 14 |
| | 비율(%) | 100.0 | 95.5 | 2.3 | - | 1.9 | 0.3 |
| 합계 | 면적(ha) | 687,089.00 | 106,402.20 | 37,838.30 | 15,685.20 | 7,008.00 | 520,155.30 |
| | 비율(%) | 100.0 | 15.5 | 5.5 | 2.3 | 1.0 | 75.7 |

- 정확한 농업용수의 요구수량을 산정하기 위하여, 실측된 강우자료를 이용한 수문분석이 선행되어야 하나, 강우현상은 기상 및 지형적인 자연요소에 따라 시시각각 변화하기 때문에 이를 일반화된 값 또는 수식 하나로 정확하게 예측하거나 파악하기는 매우 곤란함
- 따라서, 대상지역에 대한 수문학적 분석을 실시하기 위하여 대상지역과 가장 인접하고 유사한 기후 특성을 갖는 기상관측소 및 유량관측소를 선정하여 관측자료에 대한 수문학적 해석을 수행하여야 함
- 본 연구에서는 레질리언스를 고려한 다기능 저류조 개발에 초점을 맞춰 선행연구에서 분석된 농업용수량 원단위 값을 통해 정성적인 분석을 실시하였으며, 추후 실질적인 사업을 수행 시, 사업 지구와 가장 인접한 기상관측소 및 유량관측소의 관측자료를 이용한 수문분석을 통해 정량적인 필요수량 산정이 요구됨

1) 논용수 필요수량산정

- 논 단위용수량은 영농방식 변화를 고려하여 담수직파재배를 적용하였고, 10년 빈도 한발시에도 원활한 용수공급이 가능하도록 고려. 구체적인 논용수 필요수량 산정은 새만금 사업단 분석결과 자료를 이용함

2) 밭용수(노지재배) 필요수량산정

- 내륙에서 노지재배로 재배되는 품목이 많고 파종시기에 따라 다른 용수 공급이 필요하며 재배시에 공급되는 용수 공급방법에 따라서도 차이가 많이 나게 됨에 따라, 서울대(2013)에서는 농업과 학기술원 자료를 이용하여 미사질양토를 기준으로 1 ha에 대한 필요 용수량(물소모량)과 관개방법별 효율에 따른 실제 용수량을 계산하였음

3) 밭용수(양액재배) 필요수량산정

- 재배작물별 공급 용수량은 작물이 흡수하여 방출하는 증발산량 및 작물이 사용하지 않고 버려지는 양으로 나눌 수 있음. 작물이 흡수하여 방출하는 증발산량은 생육단계와 같은 내재적 요인 및 환경과 같은 외부적 요인에 의해 변화함. 재배작물별 증발산량의 최대치는 생육활력과 환경에 따라서 매우 다양하므로 조사된 최대치 중에서 가장 높은 값을 사용하는 것이 설계에 바람직함
- 단위면적당 증발산량은 재배방법에 의해 다르며, 장기재배는 단기재배와 비교하여 많이 요구되며, 밀식재배에서도 많이 필요함. 작물이 사용하지 않고 버려지는 양은 생산방법에 따라 달라질 수 있음. 관수방법에 따라, 생산시스템에 따라서도 매우 달라지며, 통상 최대치의 30%를 적용하는 것이 안전함
- 용수량은 재배작물별로 증발산량의 최대치가 발생하는 시기가 유통 등의 여건 변화에 따라 달라지므로 연중 최대값을 사용해야함. 기존의 연구자료 및 현장조사를 통해 얻어진 자료 중에서 비교적 용수 사용량이 많고 수출 가능성이 높은 파프리카 재배에 필요한 용수량을 평균하여 검토함. 자료 조사에서는 파프리카 등의 과채류는 고온기에 60-75 ton 저온기에 30-40 ton이 필요한 것으로 제시되어 있으며 고온기를 5-9월로 보고 저온기는 10-4월로 나누어 계산할 경우 연간 필요 용수량은 15,810-199,955 ton/ha (평균 18,058 ton/ha)로 계산 됨
- 과채류 (파프리카, 토마토, 오이) 최대 공급 용수량 산출
 - 작물의 증산량과 태양광에너지의 관계에 따른 용수량 산정법을 이용하여 최대 필요 용수량은 다음과 같은 계산으로 산출할 수 있음

$$\text{일일 최대 필요용수량} = \text{m}^2\text{당 일일 최대광량} \times a \text{ ml/J/cm}^2$$

- 여기서 a값은 각 작물의 태양방사에너지 J당 최대 급수량으로 파프리카의 경우 3.5가 되며 토마토나 오이의 경우 4 정도 됨. 이는 엽면적 특성에 따른 값으로 파프리카 보다 토마토나 오이가 엽면적이 넓고 엽면 큐티클 층의 차이에 의해서 통상 증산량이 더 많기 때문임. 또한 여름철 일일 최대 광량은 약 2500 J/cm² 정도가 되므로 파프리카의 일일 최대 필요 용수량은 88 ton/ha가 되며, 토마토나 오이의 경우 100 ton/ha의 용수가 필요

최대 필요용수량 = m²당 식물의 일일 증 최대 흡수량 × 배액율 × 재배면적

- 파프리카의 일일 최대 흡수량은 약 6-7 L/m²가 되므로, 최대 흡수량이 계산되며, 배액율을 30%로 계산하게 되면 최대 필요용수량은 78-91 ton/ha가 됨

[표 4-28] 노지재배 물소모량 (미사질양토-1ha 기준)

(단위: m³)

| 작물 | 파종 시기 | 물 소모량 | 분수 | | 스프링클러 | | 점적 | |
|----------|-------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | (0-20cm) | (0-40cm) | (0-20cm) | (0-40cm) | (0-20cm) | (0-40cm) |
| 고추(반축성) | 3/10 | 7,768.0 | 11,769.7 | 9,359.0 | 9,832.9 | 8,728.1 | 10,357.3 | 8,091.7 |
| 고추(조숙) | 5/1 | 6,299.5 | 9,544.7 | 7,589.8 | 7,974.1 | 7,078.1 | 8,399.3 | 6,562.0 |
| 토마토(노지) | 5/10 | 4,316.6 | 6,540.3 | 5,200.7 | 5,464.1 | 4,850.1 | 5,755.5 | 4,496.5 |
| 토마토(하우스) | 2/5 | 3,293.2 | 4,989.7 | 3,967.7 | 4,168.6 | 3,700.2 | 4,390.9 | 3,430.4 |
| 방울토마토 | 11/20 | 3,281.5 | 4,972.0 | 3,953.6 | 4,153.8 | 3,687.1 | 4,375.3 | 3,418.2 |
| 오이(노지) | 5/15 | 1,585.4 | 2,402.1 | 1,910.1 | 2,006.8 | 1,781.3 | 2,113.9 | 1,651.5 |
| 참외(반축성) | 2/25 | 2,036.3 | 3,085.3 | 2,453.4 | 2,577.6 | 2,288.0 | 2,715.1 | 2,121.1 |
| 참외(노지) | 5/25 | 2,038.4 | 3,088.5 | 2,455.9 | 2,580.3 | 2,290.3 | 2,717.9 | 2,123.3 |
| 오이(반축성) | 2/20 | 2,556.5 | 3,873.5 | 3,080.1 | 3,236.1 | 2,872.5 | 3,408.7 | 2,663.0 |
| 오이(축성) | 11/25 | 2,488.8 | 3,770.9 | 2,998.6 | 3,150.4 | 2,796.4 | 3,318.4 | 2,592.5 |
| 봄배추 | 4/10 | 281.7 | 426.8 | 339.4 | 356.6 | 316.5 | 375.6 | 293.4 |
| 가을배추 | 9/5 | 206.5 | 312.8 | 248.8 | 261.4 | 232.0 | 275.3 | 215.1 |
| 시설배추 | 2/15 | 250.2 | 379.1 | 301.4 | 316.7 | 281.1 | 333.6 | 260.6 |
| 봄상추 | 3/20 | 232.0 | 351.5 | 279.5 | 293.6 | 260.6 | 309.3 | 241.6 |
| 겨울상추 | 11/20 | 149.1 | 226.0 | 179.7 | 188.8 | 167.6 | 198.8 | 155.3 |
| 고구마(단작) | 5/10 | 481.9 | 730.1 | 580.6 | 610.0 | 541.4 | 642.5 | 501.9 |
| 고구마(후작) | 6/10 | 390.7 | 592.0 | 470.7 | 494.6 | 439.0 | 520.9 | 407.0 |
| 봄무우 | 3/20 | 294.1 | 445.5 | 354.3 | 372.2 | 330.4 | 392.1 | 306.3 |
| 가을무우 | 9/1 | 194.0 | 293.9 | 233.7 | 245.5 | 217.9 | 258.6 | 202.1 |
| 시설무우 | 1/10 | 225.3 | 341.3 | 271.4 | 285.2 | 253.1 | 300.4 | 234.7 |
| 시설무우 | 2/10 | 259.3 | 392.8 | 312.4 | 328.2 | 291.3 | 345.7 | 270.1 |
| 시금치(멸칭) | 4/15 | 174.1 | 263.8 | 209.8 | 220.4 | 195.6 | 232.1 | 181.4 |
| 시금치(멸칭) | 9/15 | 139.4 | 211.3 | 168.0 | 176.5 | 156.7 | 185.9 | 145.2 |
| 수박(조숙) | 4/20 | 242.8 | 367.9 | 292.6 | 307.4 | 272.8 | 323.8 | 252.9 |
| 수박(보통) | 5/20 | 225.7 | 342.0 | 272.0 | 285.7 | 253.6 | 301.0 | 235.1 |
| 수박(하우스) | 8/20 | 253.1 | 383.4 | 304.9 | 320.3 | 284.3 | 337.4 | 263.6 |
| 보리 | 11/1 | 431.6 | 654.0 | 520.0 | 546.4 | 485.0 | 575.5 | 449.6 |
| 밀 | 11/1 | 330.0 | 499.9 | 397.5 | 417.7 | 370.7 | 439.9 | 343.7 |
| 콩(1모작) | 5/15 | 483.3 | 732.3 | 582.3 | 611.8 | 543.0 | 644.4 | 503.4 |
| 팥콩 | 3/10 | 388.0 | 587.9 | 467.5 | 491.2 | 436.0 | 517.3 | 404.2 |
| 팥콩 | 4/20 | 266.4 | 403.7 | 321.0 | 337.2 | 299.3 | 355.2 | 277.5 |
| 옥수수 | | 528.4 | 800.6 | 636.6 | 668.8 | 593.7 | 704.5 | 550.4 |
| 감자 | 3/25 | 267.3 | 405.1 | 322.1 | 338.4 | 300.4 | 356.5 | 278.5 |
| 감자 | 8/15 | 167.8 | 254.3 | 202.2 | 212.4 | 188.6 | 223.7 | 174.8 |
| 콩(후작) | 6/5 | 393.7 | 596.6 | 474.4 | 498.4 | 442.4 | 525.0 | 410.1 |
| 포도(보통) | 3/25 | 497.0 | 753.1 | 598.8 | 629.2 | 558.5 | 662.7 | 517.7 |
| 사과 | 3/25 | 382.6 | 579.8 | 461.0 | 484.4 | 429.9 | 510.2 | 398.6 |
| 배(중생종) | 3/25 | 459.4 | 696.0 | 553.5 | 581.5 | 516.1 | 612.5 | 478.5 |
| 복숭아(노지) | 3/25 | 324.7 | 491.9 | 391.2 | 411.0 | 364.8 | 432.9 | 338.2 |

3) 농업지역 최대 필요 공급용수량 산정

- 농업지역의 필요 공급용수량 설계를 위해서는 대상 작물별 재배면적이 정해져야 할 것임. 또한 용수공급이 갈수기 또는 고온기에 부족하게 되어 작물 생육에 영향을 줄 경우 1년의 재배농사가 실패로 돌아갈 수 있기 때문에 공급용수량은 최대치를 기준으로 설계해야하기 때문에 다음과 같이 일최대 필요수량을 산정

[표 4-29] 재배방식별 단위용수량 산정

| 구 분 | 분석조건 | 일최대 필요수량 (m ³ /ha) | 단위용수량 (m ³ /sec/ha) |
|--------|--|----------------------------------|-----------------------------------|
| 논-담수직파 | 새만금 사업단 분석결과 관측소 : 부안 분석기간 : 1973 ~ 2009 수로손실 : 10% 침투량 : 9.1 mm | 282.5 | 0.003540 |
| 밭-노지재배 | 농업과학기술원(2007) 관개효율 : 75% TRAM : 40 mm | 78.4 | 0.0009079 |
| 밭-시설재배 | 자료수집(토마토, 파프리카 평균) | 100.5 | 0.001163 |

4) 저류조 최적용량 산정

- 지표수 및 지하수를 모두 발관개용수로 공급할 수 있는 ICT를 활용한 다기능 저류조 용수 공급시스템 개발을 위한 일최대 필요수량은 시설재배의 100 m³/일/ha를 대상으로 설계검토 수행
- 1 ha에 해당하는 시설재배 관개용수인 100 m³를 16℃에서 18℃로 수온을 상승시키는데 1시간 정도 소요되는 것으로 산정됨
 - 물의 질량 (100,000 kg) × 물의 비열 (4.18 kJ/kg · °C) × (18℃-16℃) = 836,000 kJ
소요열량 (836,000 kJ) ÷ 일사량 (788.57 MJ/m²/hr) × 물탱크상부면적 (1 m²) = 1시간
- 유입수원으로 지하수 활용할 경우 적정수온 확보를 위해 저류조를 일사량이 충분한 곳에 위치시켜 체류시간을 충분히 확보할 경우 별도의 수온 조절시스템은 필요치 않을 것으로 판단되며, 계산과정의 가정 및 일사량이 부족한 날을 고려하여 수온확보를 위해 계산된 최대체류시간의 3배인 3시간 이상으로 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단됨
- 적용된 농업용수 수질개선기술인 바이오필터는 짧은 시간동안 많은 양의 원수를 미립자로 분무되도록 운전하여 공기와 접촉시간이 길고 접촉면적을 크게 함으로써 미생물에 의한 유기물의 분해가 충분히 이루어져 슬러지가 발생을 최소화할 수 있으며, 국내 실험 결과 바이오 필터의 안정적인 운전을 위해 최소체류시간은 6시간 이상 확보하는 것이 바람직함
- 수처리 및 수온확보를 위한 체류시간은 최종적으로 6시간으로 선정하는 것이 합리적일 것으로 판단되며, 체류시간을 6시간으로 설정할 경우 계산상 하루에 4번 저류조의 수량의 전환이 이루어지

며, 여유고 20%를 고려하여 저류조 80%만 용수를 저장한다고 가정할 때, 저류조에 100 m³/일/ha의 용수 저장하기 위해서는 약 31 m³/ha 규모의 저류조가 필요함

$$- \text{[필요용수량 (100 m}^3\text{/일/ha)} \div \text{4시간 (24시간} \div \text{체류시간 (6시간))}] \times 1.25 \text{ (80\% 저류율)}$$

$$= 31.25 \text{ m}^3\text{/ha}$$

2. 레질리언스 기능 집단화 저류조 시스템 검토

가. 농업용수 수질개선기술 설계

1) FRP 탱크

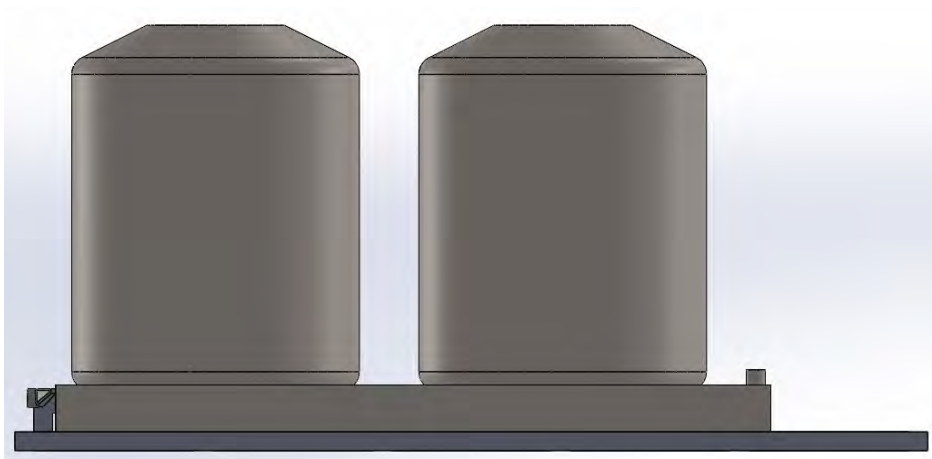
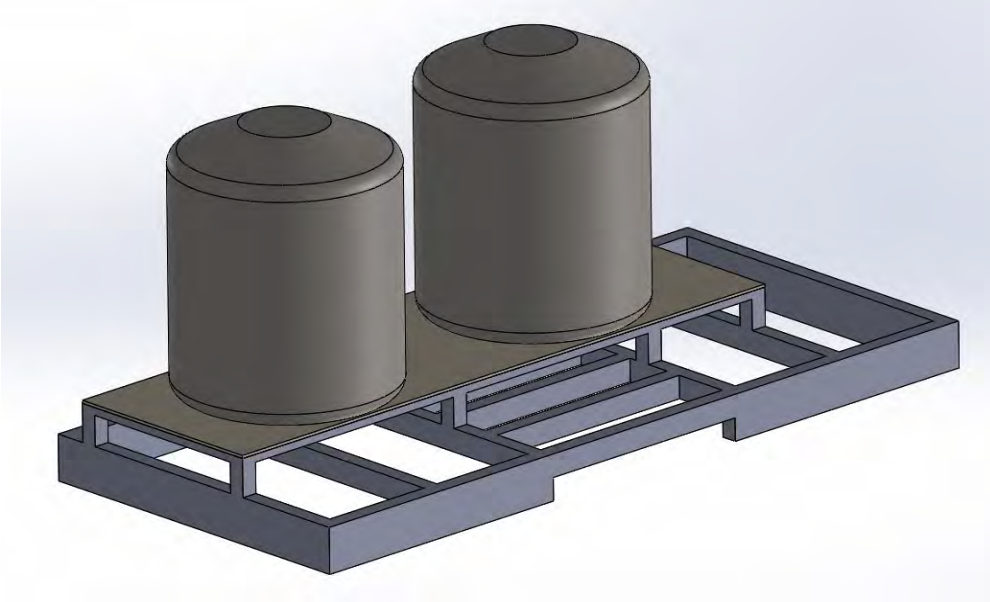
- 설계인자 분석시 산정된 저류조 규모는 재배면적 1 ha에 31 m³ 규모로 산정되었으나, 실제 제품으로 적용하기에는 과대한 용량으로 실제 적용성을 고려할 때, 0.1 ha의 재배면적을 기준으로 제품을 설계·제작하고, 재배면적에 비례하여 여러기의 저류조를 설치하도록 계획함
- 처리용량 : 10 ton/day
- 체류시간 : 6시간
- FRP 탱크 : 3,000 L

[표 4-30] FRP 탱크 제원

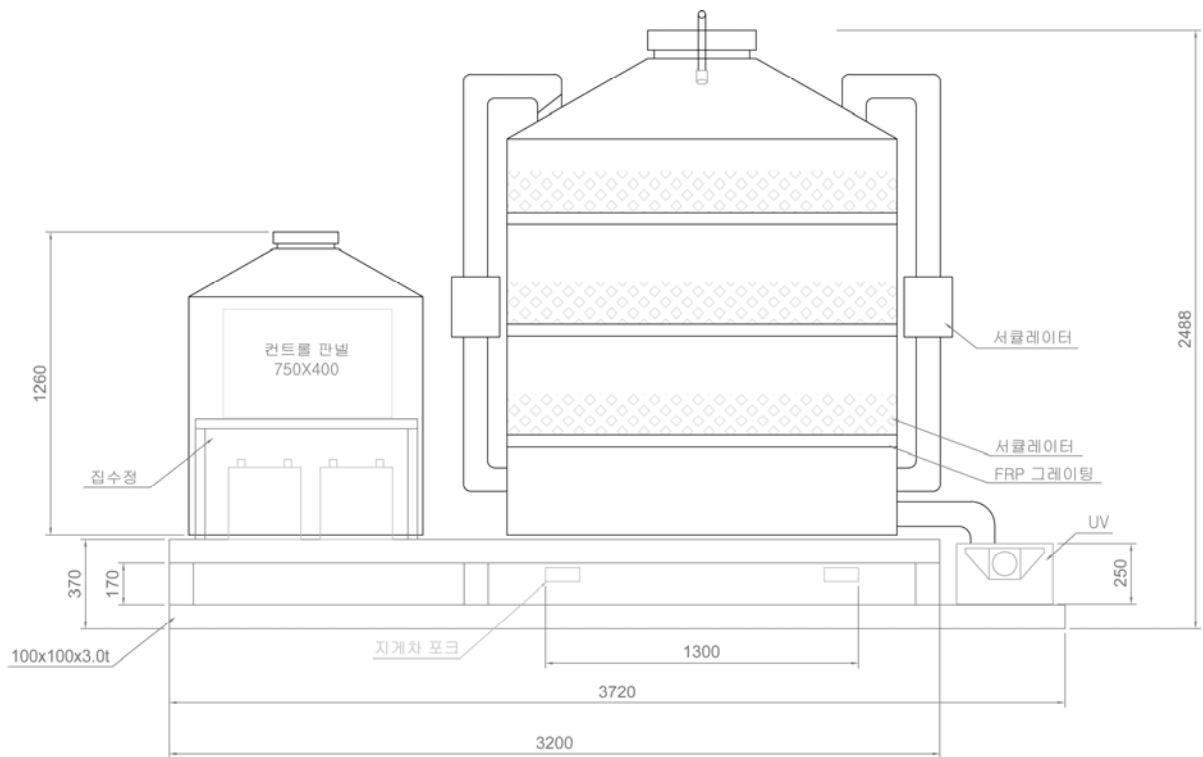
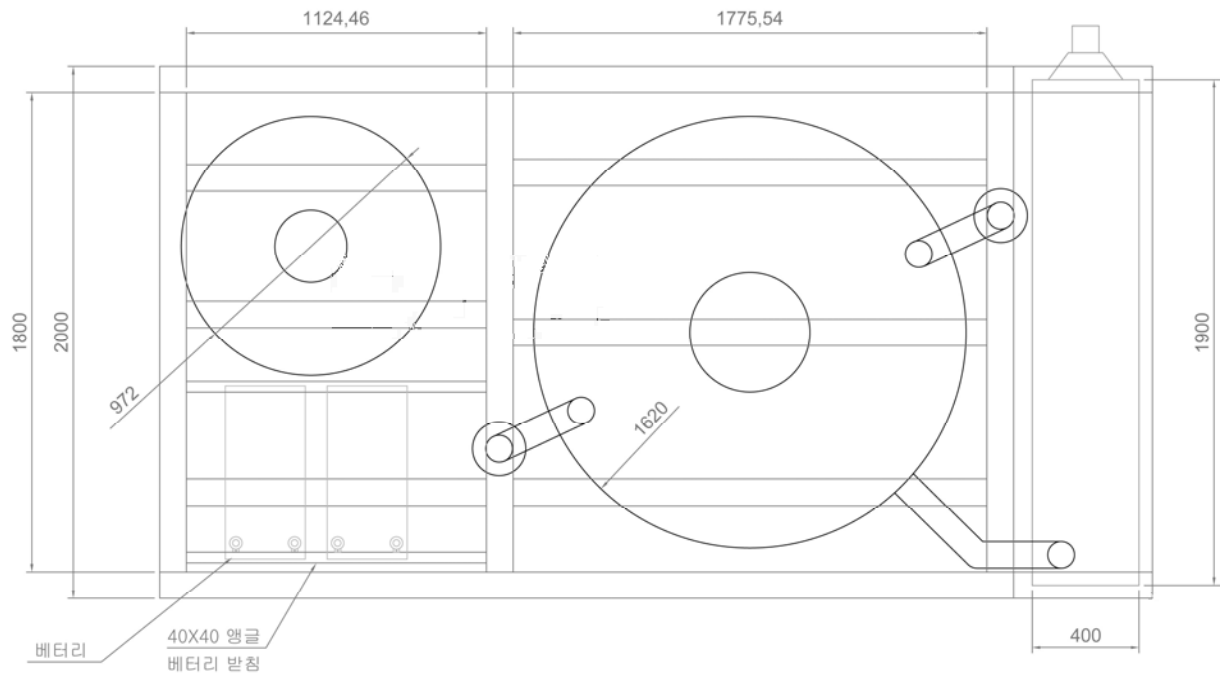
| 용량(KS TR) | 총높이(mm) | 수면고(mm) | 지름(φ) | 뚜껑내경(φ) | 선정 |
|------------|---------|---------|-------|---------|----|
| 원형 600리터 | 1100 | 930 | 912 | 380 | |
| 원형 1,000리터 | 1365 | 1160 | 1100 | 380 | |
| 원형 2,000리터 | 1715 | 1450 | 1325 | 380 | |
| 원형 3,000리터 | 1945 | 1620 | 1530 | 475 | ◎ |
| 원형 4,000리터 | 2200 | 1730 | 1700 | 475 | |

2) Base Frame

- 크기 : 2000(D)×3200(W)
- 3,000 L 탱크 1기와 집수정을 직렬로 배치한 후 700 mm 정도의 여유공간에 배전반, 배터리, 각종 제어장비 설치
- 높이 조절을 위한 높이조절좌, 크레인 고리를 걸 수 있는 아이볼트 등 추가 설치 고려



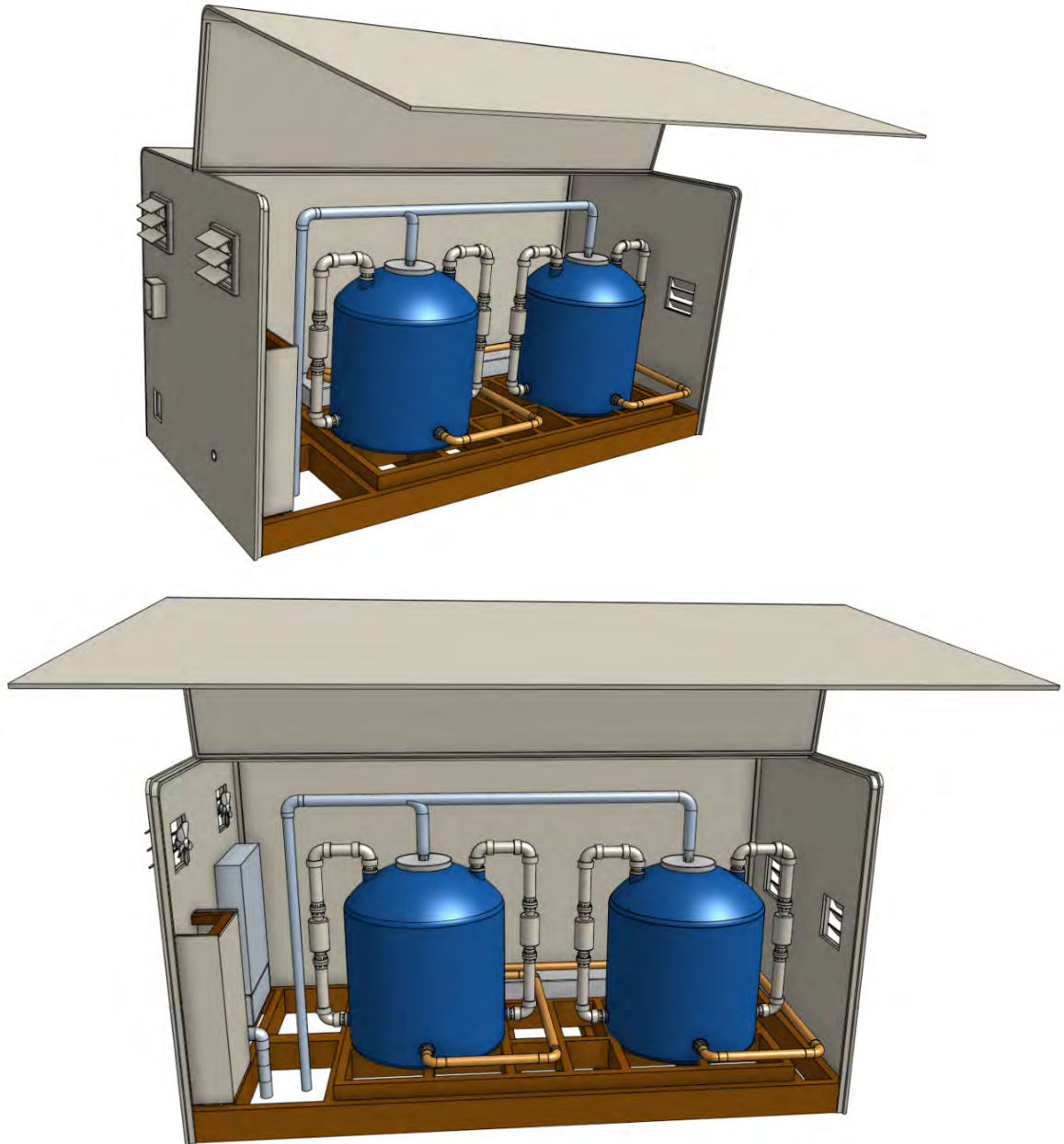
[그림 4-30] Base Frame 3D 설계(20ton 규모)



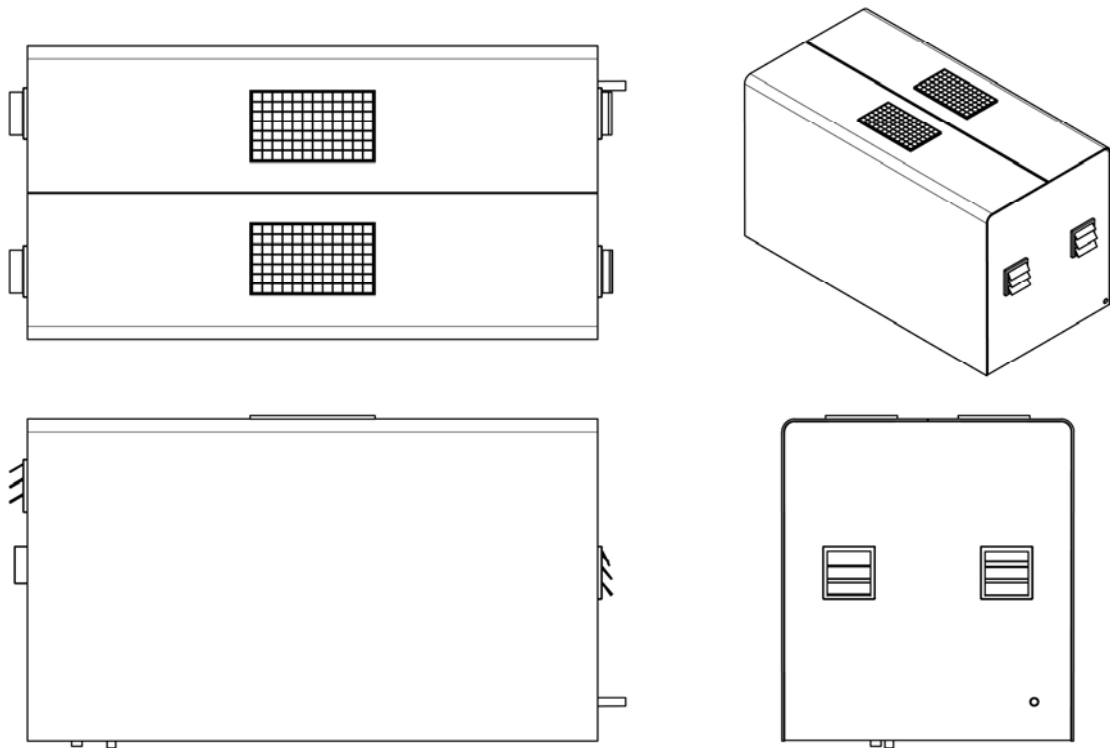
[그림 4-31] 바이오필터 설계 도면

3) 외부 컨테이너(Wing Body)

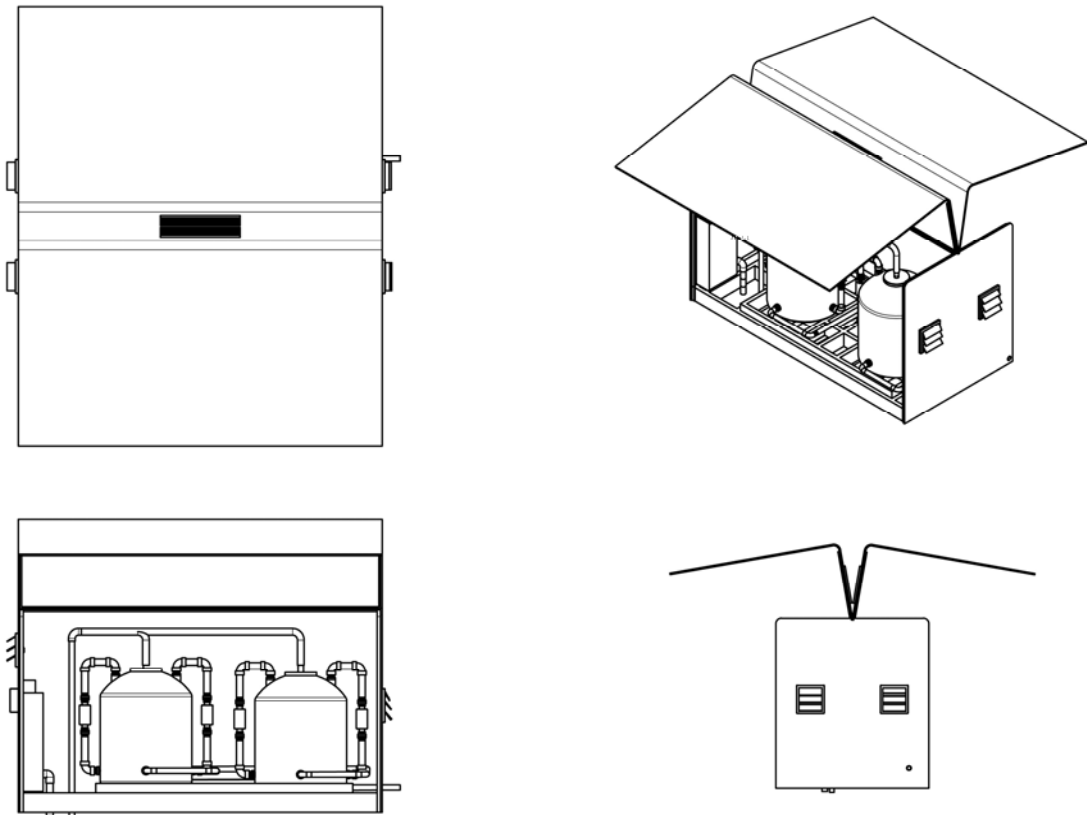
- 크기 : 2200(D)×4850(W)×2500(H)
- 컨테이너 벽면전체가 개폐되도록 외부벽체 설계
- 바이오필터의 주요부품을 Compact하게 배치



[그림 4-32] Wing Body 3D 설계(20ton 규모)

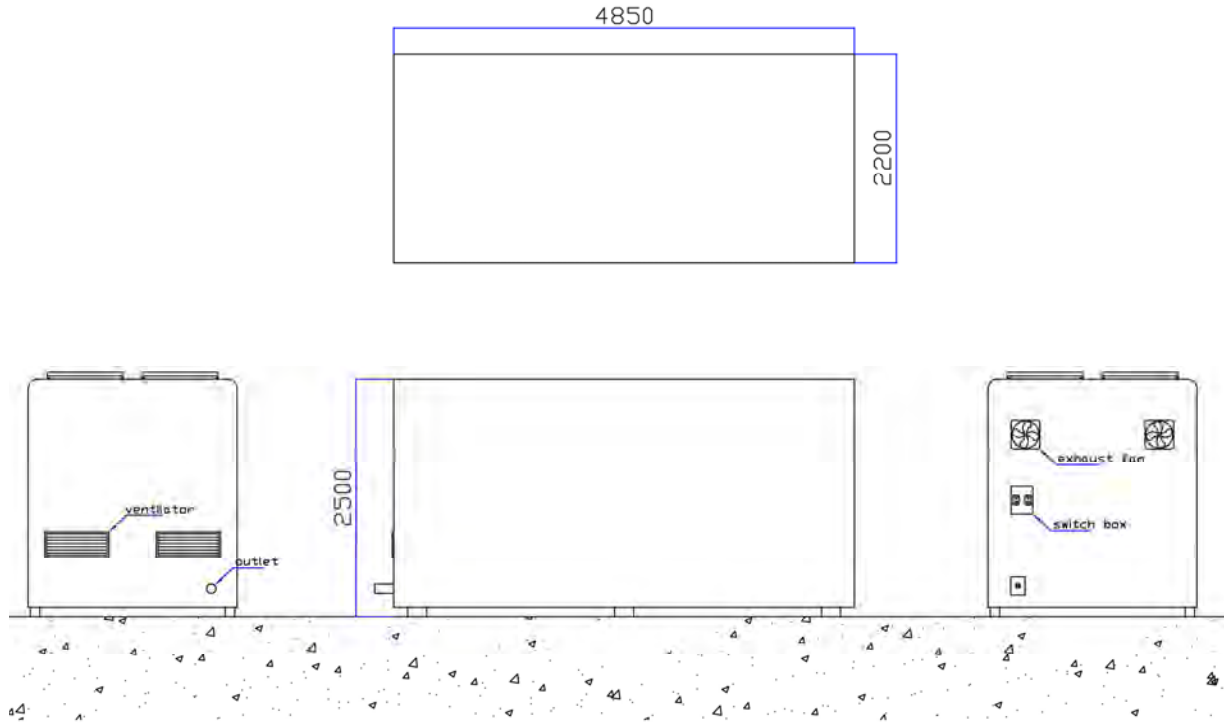


a) Wing Body - CLOSE



b) Wing Body - OPEN

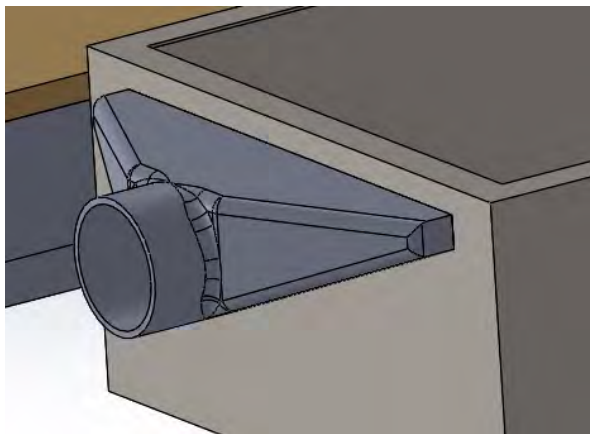
[그림 4-33] Wing Body 설계 도면



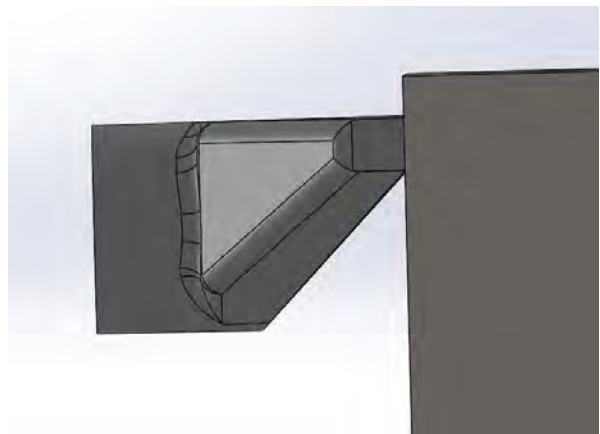
[그림 4-34] 바이오필터 외관 설계 도면

4) AOP 소독조

- 크기 : 400(D)×1900(W)×250(H)
- 용량 : 190 L
- 재질 : 스텐 2.4T
- AOP lamp : 60W X 2개
- 내구성 증대를 위해 스테인레스 재질의 외관 및 부품 설계

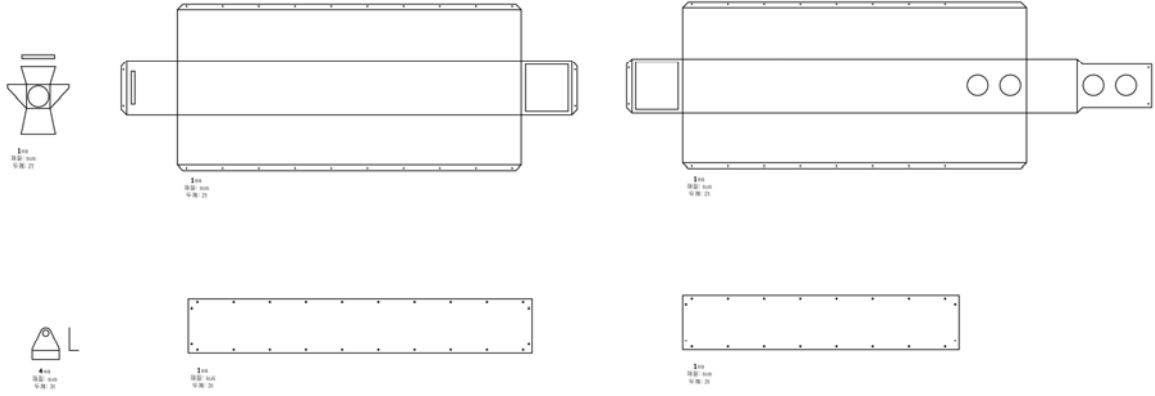


a) 유출부

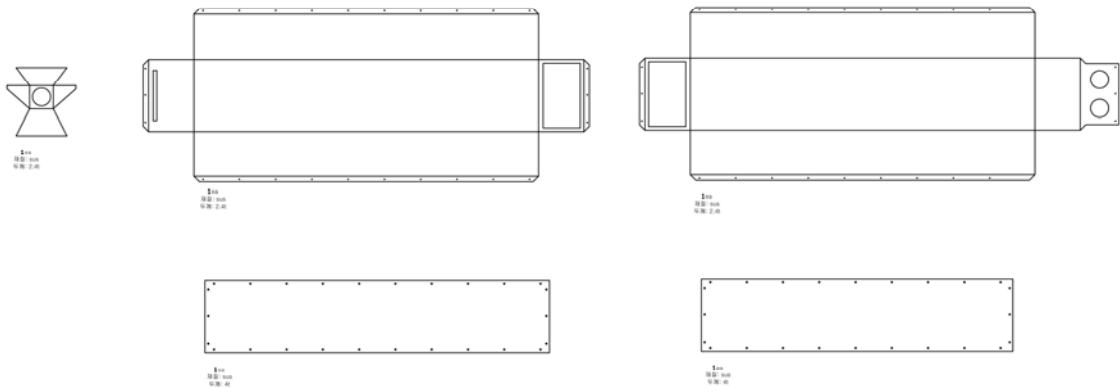


b) 접속부

[그림 4-35] AOP 소독조 3D 설계



a) AOP 소독조 - TYPE1



b) AOP 소독조 - TYPE2

[그림 4-36] AOP 소독조 설계 도면

나. 시작품 제작

1) Base Frame 제작

- 스틸 각파이프를 이용하여 설계도면에 맞춰 제작 후 바이오필터 설치



2) 그레이팅(Gratings)과 여재충진

- 충전된 흡수성 여재의 뭉침과 쓸림 현상을 방지하고 공기와 접촉시간과 접촉면적을 최대화 하기 위해 바이오필터 내 그레이팅 제작
- 물탱크 표면적에 골고루 분사될 수 있는 높이까지 흡수성 여재 충전



a) 그레이팅(Gratings)과 프로파일(Profiles) 1



b) 그레이팅(Gratings)과 프로파일(Profiles) 2



c) 여재충진 1



d) 여재충진 2

3) 집수정 설치

- 바이오필터 내 처리원수가 안정적으로 유입될수 있도록 전단에 집수정 설치



4) 추가 모듈 제작

- 수처리시스템의 AOP 소독조와 Soil filter를 제작하여 바이오필터 처리 후 직렬 연결되도록 설치



a) AOP 소독조 제작



b) AOP 소독조 및 Soil Filter 배치

제 6 절 다기능 저류조 효과 검증 및 실증화

1. 현장 적용 및 모니터링 체계 구축

가. TEST-BED 구축

1) TEST-BED 제작

- TEST-BED의 관개면적과 시작품을 위치시킬 여유부지가 매우 협소하여, 2차년도에 제작된 수질개선시설 바이오필터 시작품의 설치가 어려움
- 또한, 지표수원의 수질 중 유기물 농도가 낮기 때문에 연구진 내부 회의결과 수질개선시설 통합프로세스 중 가장 큰 소요면적을 요구하는 바이오필터 모듈의 제외 방안이 타당할 것으로 판단됨
- 수질개선시설 통합프로세스 모듈 중 Soil-filter를 적용하여 영양염류인 T-N, T-P과 *Chl-a*를 제어하고, AOP소독시스템 모듈을 추가하여, 대장균군 등 미생물 소독과 잔류오존을 통해 관개설비 폐색 방지를 도모
- 저류조와 수질개선시설을 일체형을 설계 및 제작함으로써 시설보호, 유지관리의 편의성 확보와 더불어 민원 발생 가능성 최소화



[그림 4-37] 수질정화 일체형 저류조 3D 설계

2) TEST-BED 현황

- 레질리언스 기능 집단화 저류조 시스템의 TEST-BED는 충남 예산군 신양면 하천리 675-24번지 일원으로 현재 전작전환으로 사과를 재배중인 밭으로, 총 면적 1,800 m² 중 약 300 m²를 TEST-BED로 구축
- TEST-BED는 상류 1.6 km 이격된 신양저수지를 수원으로 용수로를 통해 관개용수를 공급받고 있으며, 시기에 따라 관정을 통해 지하수를 관개용수로 활용함



[그림 4-38] TEST-BED 현황

- TEST-BED에 적합한 수질개선시설을 고려하기 위해 기존 연구자료 조사 및 현장조사(2021.10.01.)를 통해 지표수원의 수질현황을 분석한 결과, COD, SS는 매우 깨끗한 상태이며, T-N, T-P 항목이 다소 높은 것으로 나타남. 또한 저수지 내 *Chl-a* 역시 존재하여 여름철 조류증식에 의한 관개설비의 폐색이 우려되는 현황임

[표 4-31] 기존 연구결과

| 구분 | 분석결과 | | | | | | | |
|-----------|------|---------------------|-----------------|-----------|-------------|---------------------------------|-----------|----------|
| | pH | EC | 화학적 산소요구량 (COD) | 부유물질 (SS) | 총유기탄소 (TOC) | 클로로필- <i>a</i> (<i>Chl-a</i>) | 총질소 (T-N) | 총인 (T-P) |
| 시료명 | - | $\mu\text{mhos/cm}$ | mg/L | mg/L | mg/L | mg/m ³ | mg/L | mg/L |
| 유입수 (하천) | 7.2 | 236 | 4.4 | 3.1 | 3.2 | 2.1 | 3.307 | 0.101 |
| 유입수 (용수로) | 7.3 | 136 | 5.6 | 9.5 | 3.9 | 16.3 | 0.870 | 0.037 |
| 침전조 (용수로) | 7.4 | 132 | 5.6 | 11.4 | 4.0 | 14.7 | 0.851 | 0.038 |
| 저류조 (용수로) | 7.4 | 139 | 5.6 | 10.0 | 3.8 | 11.5 | 0.878 | 0.036 |

자료 : 발지대를 고려한 적정 용수 확보방안 연구 시 모니터링 결과 (농어촌연구원, 2018.06.21.)

[표 4-32] 현장조사 결과(2021.10.01)

| 구분 | 분석결과 | | | | | |
|-----|--------------------|-------------------------|-------------------|--|-------------------|------------------|
| | 용존 산소 (DO) mg/L | 화학적 산소요구량 (COD) mg/L | 부유물질 (SS) mg/L | 클로로필-a (<i>Chl-a</i>) mg/m ³ | 총질소 (T-N) mg/L | 총인 (T-P) mg/L |
| 하천 | 9.2 | 1.6 | 0.5 | 0.031 | 2.338 | 0.047 |
| 저수지 | 8.2 | 2.6 | 1.3 | 7.052 | 3.381 | 0.226 |

나. 모니터링 시스템 구축

1) TEST-BED 모니터링 개요

- 조사지점 : TEST-BED의 유입·유출 지점
 - 유입지점은 신양저수지에서 TEST-BED로 관개용수를 공급받는 용수로 1지점, 시기에 따라 관정을 통해 TEST-BED에 지하수를 공급받는 1지점
 - 유출지점은 TEST-BED를 통해 처리된 유출수를 측정할 수 있는 1지점
- 조사횟수 : 모니터링 월 1회(총 5회) 조사
- 조사항목 : 수온, pH, EC, DO, TOC, COD, SS, T-N, T-P, *Chl-a*, 총대장균군, 분원성대장균, *E.coli*



a) 지하수 공급



b) 용수로



c) TEST-BED 통해 처리된 유출수

[그림 4-39] 모니터링 조사지점

2) 수질 측정 및 분석

- 시료채수 시 수질시료는 수동으로 채수하며, 교란이 발생되지 않도록 주의
- 채수된 시료는 시료의 변질이 발생되지 않도록 시료채수 즉시 ICE BOX에 보관하여 분석장으로 이송
- 수질분석 항목은 총 13개 항목으로 수온, pH, EC는 현장에서 측정, DO, TOC, COD, SS, T-N, T-P, *Chl-a*, 총대장균군, 분원성대장균군, *E.coli*는 분석장으로 이송하여 분석

- 수질시료분석은 기본적으로 수질오염공정시험기준에 따라 분석하며, 수질오염공정시험기준에 없는 항목은 Standard Methods(APHA, 1998)에 따라 분석
- 각 측정항목별 분석방법 및 보존방법은 다음과 같음

[표 4-33] 수질분석방법

| 측정항목 | 분석방법 | 보존방법 | 최대(권장) 보존기간 |
|---|------------------------|--|---------------------|
| 수온 | 서미스터 온도계 측정법 | - | 즉시측정 |
| pH (수소이온농도) | 전극법 | - | 즉시측정 |
| EC (전기전도도) | | 4°C 보관 | 24시간 |
| DO (산소요구량) | 적정법 | 즉시 용존산소 고정후 암소보관 | 8시간 |
| TOC (총유기탄소) | 고온연소산화법 | 즉시 분석 또는 HCl 또는 H3PO4 또는 H2SO4를 가한 후 (pH<2) 4°C 냉암소에서 보관 | 28일(7일) |
| COD _{Mn} (화학적산소요구량) | 산성 과망간칼륨법 (Water bath) | 4°C 보관, H2SO4로 pH 2이하 | 28일(7일) |
| SS (부유물질) | 유리섬유여지법 (Dry oven) | 4°C 보관 | 7일 |
| T-N (총질소) | 자외선/가시선 분광법 (분광광도계) | 4°C 보관, H2SO4로 pH 2이하 | 28일(7일) |
| T-P (총인) | | | 28일 |
| Chl- <i>a</i> (클로로필- <i>a</i>) | | 즉시 여과하여 -20°C 이하에서 보관 | 7일 (24시간) |
| 총대장균군 | 최적확수시험법 | 저온(10°C 이하) | 24시간 (환경기준 적용시료) |
| 분원성대장균군 | | 저온(10°C 이하) | 24시간 |
| <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) | | 저온(10°C 이하) | 24시간 |

자료 : 수질오염 공정시험기준 (환경부, 2022 개정), Standard Methods(APHA, 1998)

2. 다기능 저류조의 적정성 검증

가. TEST-BED 모니터링 결과

- 연구기간인 2022년 5월부터 9월까지 TEST-BED 조사지점(유입수(지하수, 지표수), 유출수)에 대하여 모니터링을 수행함
- 모니터링은 2022년 5월 17일, 6월 15일, 7월 5일, 8월 18일, 9월 28일 총 5회 모니터링을 완료하였으며, 7월 ~ 9월의 지표수는 용수로로 유입되는 용수가 없는 상태로 채수가 불가하였음



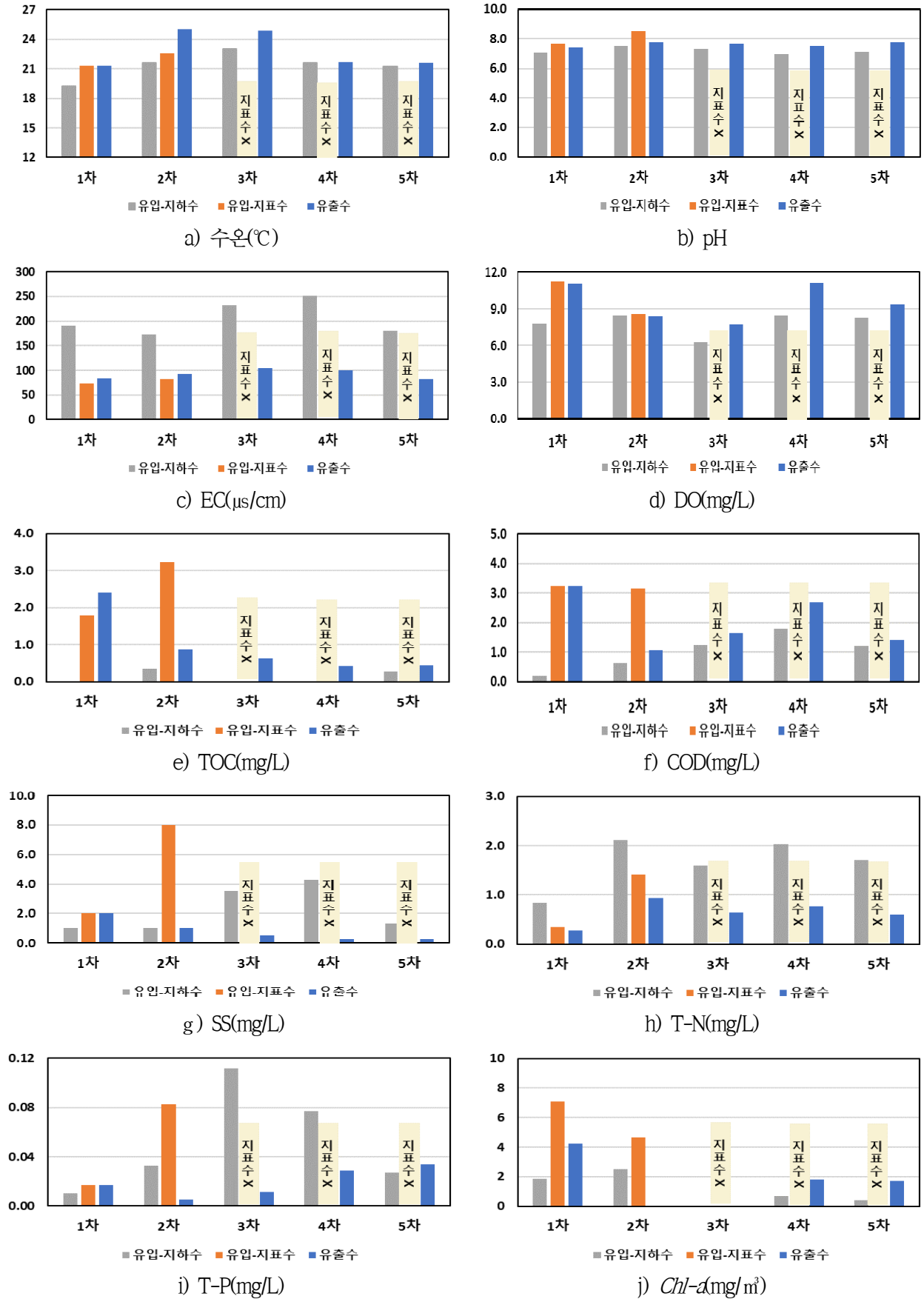
a) 1차(2022.05.17) b) 2차(2022.06.15) c) 3차(2022.07.05) d) 4차(2022.08.18) e) 5차(2022.09.28)

[그림 4-40] TEST-BED 용수로 내 지표수 상태

[표 4-34] TEST-BED 모니터링 결과

| 지점 | 조사 회차 | 수온 | pH | EC | DO | TOC | COD | SS | T-N | T-P | Chl-a | |
|-----|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------------------|-----|
| | | ℃ | - | μs/cm | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/m ³ | |
| 유입수 | 지하수 | 1차 | 19.2 | 7.1 | 190.0 | 7.8 | 0.0 | 0.2 | 1.0 | 0.842 | 0.010 | 1.8 |
| | | 2차 | 21.6 | 7.5 | 172.3 | 8.5 | 0.3 | 0.6 | 1.0 | 2.118 | 0.033 | 2.5 |
| | | 3차 | 23.0 | 7.3 | 232.0 | 6.3 | 0.0 | 1.2 | 3.5 | 1.597 | 0.112 | 0.0 |
| | | 4차 | 21.6 | 7.0 | 252.0 | 8.5 | 0.0 | 1.8 | 4.3 | 2.025 | 0.077 | 0.7 |
| | | 5차 | 21.2 | 7.1 | 180.2 | 8.2 | 0.3 | 1.2 | 1.3 | 1.700 | 0.027 | 0.4 |
| | 지표수 | 1차 | 21.3 | 7.7 | 73.0 | 11.2 | 1.8 | 3.2 | 2.0 | 0.351 | 0.017 | 7.1 |
| | | 2차 | 22.6 | 8.5 | 82.2 | 8.6 | 3.2 | 3.2 | 8.0 | 1.408 | 0.083 | 4.7 |
| | | 3차 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 4차 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 5차 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 유출수 | 1차 | 21.3 | 7.4 | 84.0 | 11.0 | 2.4 | 3.2 | 2.0 | 0.274 | 0.017 | 4.2 | |
| | 2차 | 25.0 | 7.8 | 92.3 | 8.4 | 0.9 | 1.1 | 1.0 | 0.928 | 0.005 | 0.0 | |
| | 3차 | 24.9 | 7.7 | 105.0 | 7.7 | 0.6 | 1.6 | 0.5 | 0.639 | 0.011 | 0.0 | |
| | 4차 | 21.7 | 7.5 | 100.2 | 11.1 | 0.4 | 2.7 | 0.3 | 0.768 | 0.029 | 1.8 | |
| | 5차 | 21.6 | 7.7 | 82.0 | 9.3 | 0.4 | 1.4 | 0.3 | 0.600 | 0.034 | 1.7 | |

※ 총대장균군, 분원성대장균군, E.coli 분석 결과는 '다. 보건 안전성 평가'에서 제시



[그림 4-41] TEST-BED 모니터링 결과

나. 저류조 수처리 효율 검증

1) 다기능 저류조 수처리 기준 만족 여부

- 본 연구에서 설정한 다기능 저류조 수처리 기준(표 4-24)을 바탕으로 TEST-BED 모니터링 결과에 대해 다기능 저류조 수처리 기준 만족 여부를 판단
- 수온의 기준등급은 지하수에서 18°C 초과이며, 모니터링 결과 유입수(지하수+지표수) 수온은 19.2 ~ 23.0°C, 유출수 수온은 21.3 ~ 25.0°C로 유출수는 유입수보다 수온이 상승하였고, 수처리 기준을 만족함
 - 단, 유입수(지하수)의 경우 FRP 저류조의 활용으로 실제 지하수 수온보다 높게 측정될 가능성이 있음
- pH의 기준등급은 6.0 ~ 8.5 범위이며, 유입수는 pH 7.0 ~ 8.5, 유출수는 pH 7.4 ~ 7.8로 수처리 기준을 만족함
- EC의 기준등급은 지하수에서 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 미만이며, EC 모니터링 결과 유입수는 73.0 ~ 252.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 유출수는 82.0 ~ 105.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 수처리 기준을 만족함
- TOC의 기준등급은 6 mg/L 미만이며, TOC 모니터링 결과 유입수는 0.0 ~ 3.2 mg/L, 유출수는 0.4 ~ 2.4 mg/L로 수처리 기준을 만족하며, 유출수 평균 농도는 1.0 mg/L로 유입수(지표수) 평균 농도 2.5 mg/L보다 감소하였음
- SS의 기준등급은 15 mg/L 미만이며, SS 모니터링 결과 유입수는 1.0 ~ 8.0 mg/L, 유출수는 0.3 ~ 2.0 mg/L로 수처리 기준을 만족하며, 유출수 평균 농도는 0.8 mg/L로 유입수(지하수 평균 2.2 mg/L, 지표수 평균 5.0 mg/L) 농도보다 감소하였음
- T-N의 기준등급은 1.0 mg/L 미만이며, T-N 모니터링 결과 유입수는 0.4 ~ 2.1 mg/L, 유출수는 0.3 ~ 0.9 mg/L로 유출수에서 수처리 기준을 만족하며, 유출수 평균 농도는 0.6 mg/L로 유입수(지하수 평균 1.7 mg/L, 지표수 평균 0.9 mg/L) 농도보다 감소하였음
- T-P의 기준등급은 0.10 mg/L 미만이며, T-P 모니터링 결과 유입수는 0.01 ~ 0.11 mg/L, 유출수는 0.01 ~ 0.03 mg/L로 유출수에서 수처리 기준을 만족하며, 유출수 평균 농도는 0.02 mg/L로 유입수(지하수 평균 0.05 mg/L, 지표수 평균 0.05 mg/L) 농도보다 감소하였음
- T-N은 2 ~ 5차 유입수, T-P는 3차 유입수에서 수처리 기준을 만족하지 못하였으나, 동회차의 유출수에서는 수처리 기준을 만족하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 다기능 저류조에서 유입수의 T-N, T-P 제어가 진행됨을 의미함
- *Chl-a*의 기준등급은 35 mg/m³ 미만이며, *Chl-a* 모니터링 결과 유입수는 0.0 ~ 7.1 mg/m³, 유출수는 0.0 ~ 4.2 mg/m³로 수처리 기준을 만족하며, 유출수 평균 농도는 1.5 mg/m³로 유입수(지표수) 평균 농도 5.9 mg/m³보다 감소하였음

2) 다기능 저류조 저감효율

- 다기능 저류조의 저감효율을 분석하기 위해서 제거효율법 (Efficiency Ration, ER)을 적용하였음
- 제거효율법은 모니터링을 통한 저감효율을 산정한 후 산술평균을 이용하여 구하는 방법으로 일괄적인 산술평균으로 장기적인 모니터링이 필요함

$$ER(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Removal efficiency}_i}{N}$$

- 여기서, N은 이벤트 수, Removal efficiency_i는 제거효율임
- 본 연구의 TEST-BED 모니터링 결과를 바탕으로 다기능 저류조의 저감효율을 산정하면, 지표수에서 TOC 평균 19.2%, SS 평균 43.8%, T-N 평균 28.1%, T-P 평균 46.9%, *Chl-a* 평균 70.1%로 나타남
- 지하수에서는 수온 평균 7.5% 상승, EC 평균 54.3%의 저감효율을 보임
- TOC, *Chl-a*는 유입되는 지하수의 본래 농도가 낮아 저감효율이 미비하며, 1차 결과는 TEST-BED 설치한 날의 분석 결과로 저류조의 수처리 기작이 안정화되지 못하여 저감효율이 나타나지 않은 것으로 판단됨

[표 4-35] 다기능 저류조 저감효율(%)

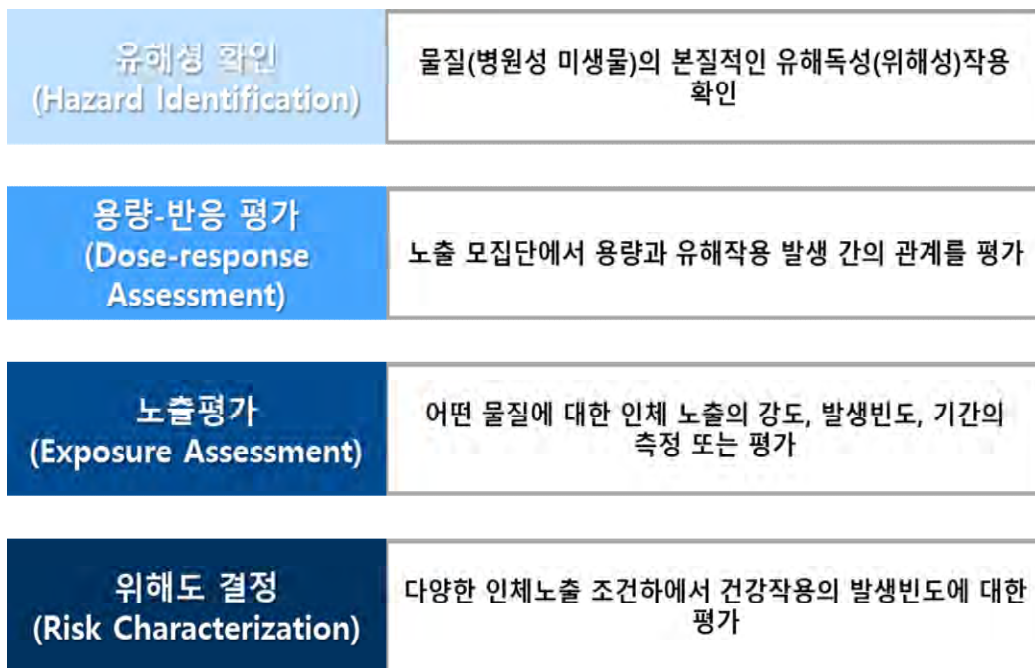
| 저감효율(%) | | TOC | SS | T-N | T-P | <i>Chl-a</i> | 지하수항목 | |
|----------------|-----|------|------|------|------|--------------|--------------|------|
| | | | | | | | 수온 | EC |
| 평균 (1 ~ 5차) | 지하수 | - | 31.1 | 62.1 | 28.3 | - | 7.5 (상승률) | 54.3 |
| | 지표수 | 19.2 | 43.8 | 28.1 | 46.9 | 70.1 | - | - |

- 하천수 수질환경기준으로 살펴보면, 유입수(지하수)의 T-P는 평균 II 등급이고, 최대 III 등급으로 나타났으며, 유입수(지표수)의 TOC는 평균 Ib 등급이며, 최대 II 등급, T-P는 평균 II 등급이고, 최대 III 등급으로 나타남
- 유출수의 경우 TOC, SS, T-P에서 평균 Ia 등급이 나타났으며, 유입수의 수질이 개선됨을 확인할 수 있음
- 농업용수 수질기준(하천)을 살펴보면, TOC는 6 mg/L 이하, SS는 100 mg/L 이하, T-P는 0.3 mg/L 이하로 유출수의 TOC 평균 농도는 1.0 mg/L, SS 평균 농도는 0.8 mg/L, T-P 평균 농도는 0.02 mg/L로 농업용수 수질기준을 만족함

- 전체적으로 TEST-BED의 유입 수원의 수질 농도는 낮았지만, 다기능 저류조 적적성 검증을 위해 앞서 설정한 다기능 저류조 수처리 기준, 저감효율, 하천수 수질환경기준, 농업용수 수질기준을 종합적으로 살펴보았을 때, 다기능 저류조를 통해 T-N, T-P, *Chl-a* 등 유입 수질에 대한 수질 저감 효과가 나타나 다기능 저류조의 수질정화 개선효과를 검증하였음

다. 보건 안전성 평가

- 본 연구에서는 미생물에 의한 농업활동자의 보건적 안전성을 확보하고자 하였으며, 보건적 안전성을 평가하기 위하여 본 연구에서는 미생물 위해성 평가 기법을 활용함
- 위해성 평가(Risk assessment)는 개인이나 집단이 유해상황에 노출되었을 때 발생할 수 있는 영향의 양과 정도를 추정하는 과정
- 위해성평가 기법은 화학물질의 노출로 인하여 인체에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위해 개발되었으며, 그 과정은 위험성확인(Hazard identification), 용량-반응평가(Dose-response assessment), 노출평가(Exposure assessment)를 거쳐 위해도 결정(Risk characterization)으로 이루어짐(National Academy of Science, 1983)



[그림 4-42] 위해성 평가 단계

1) 미생물 모니터링

- 연구기간인 5월부터 9월까지 유입수(지하수, 지표수), 유출수를 대상으로 총 5회 모니터링 함
- 총대장균군 (Total coliform), 분원성대장균군 (Fecal coliform) 및 *E.coli* 항목에 대하여 공정시험법에 따라 최적확수시험법 (MPN, most probable number)을 이용하였으며, 확정시험까지 실시함

- 접종은 각 시료당 3단계로 희석하고 시험관에 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001 mL로써 각 5개씩 5단계 접종한 후, 48±3시간 배양하여 인접한 3단계의 15개 시험관을 취해 양성과 음성을 판정
- 유출수에서는 대장균이 검출되지 않았으나, 유입수(지하수)의 경우 총대장균군 4~25 MPN/100mL, 분원성대장균군과 *E.coli*는 4~17 MPN/100mL가 검출되었고, 유입수(지표수)의 경우 용수가 없어 채수가 불가능한 3~5차를 제외하고 총대장균군 4~500 MPN/100mL, 분원성대장균군과 *E.coli*는 4~300 MPN/100mL이 검출됨

[표 4-36] TEST-BED 미생물 농도

| 지점 | 조사 회차 | TC | FC | EC | |
|-----|-------|-----------|-----------|-----------|-----|
| | | MPN/100mL | MPN/100mL | MPN/100mL | |
| 유입수 | 지하수 | 1차 | 8 | 4 | 4 |
| | | 2차 | <2 | <2 | <2 |
| | | 3차 | <2 | <2 | <2 |
| | | 4차 | 25 | 17 | 17 |
| | | 5차 | 4 | <2 | <2 |
| | 지표수 | 1차 | 4 | 4 | 4 |
| | | 2차 | 500 | 300 | 300 |
| | | 3차 | - | - | - |
| | | 4차 | - | - | - |
| | | 5차 | - | - | - |
| 유출수 | 1차 | <2 | <2 | <2 | |
| | 2차 | <2 | <2 | <2 | |
| | 3차 | <2 | <2 | <2 | |
| | 4차 | <2 | <2 | <2 | |
| | 5차 | <2 | <2 | <2 | |

2) 미생물 위해성 평가

가) 유해성 확인 (Hazard Identification)

- *E.coli*는 분원성대장균군의 한 종으로서 인간과 온혈동물의 분뇨에서만 나타나며, 수인성질병과 더 밀접한 관계가 있어 많은 연구에서 분원성대장균군을 대체할 수 있는 항목으로 추천하고 있으며 (Jung et al., 2004; Yoon et al., 2003), Hass 등 (1999)은 *E.coli* 농도를 이용한 미생물 위해성 평가 방법을 소개하였음
- 정확한 미생물 위해성 평가를 위하여 대상지역에 존재하는 검출 가능한 위해미생물을 모두 검출하여 적용하는 것이 적절하지만, 시간적·경제적 측면에서 불리하며 모든 위해미생물이 검출 가능한 것은 아님

- 본 연구에서는 병원성 미생물에 대한 지표로서 관개용수 내 *E.coli* 농도를 이용하였으며, 영농작업의 특성상 관개 후 담수보다는 관개용수에서 노출 가능성이 더 높다고 판단되었음

나) 용량-반응 평가 (Dose-response Assessment)

- 평가모형 (Quantitative Microbial Risk Assessment model)으로서 Beta-Poisson Dose-response 모형을 이용하여 감염가능성(Assessment of Infection Probability, P_I)을 적용함
- 이 모형은 음용수의 세균성 미생물에 의한 감염을 평가하기 위하여 개발된 모형으로, 일정농도의 미생물을 섭취할 경우 발생할 수 있는 위험을 평가하는 경험 모형이며, 다음 식과 같음

$$P_I = 1 - \left[1 + \frac{d}{N_{50}} (2^{1/\alpha} - 1) \right]^{-\alpha}$$

- 여기서, P_I 는 음용수에서 병원성 미생물을 섭취하였을 경우 발생할 수 있는 위해도이고, d 는 미생물의 농도, N_{50} 은 50%가 감염될 수 있는 농도, α 값은 N/N_{50} 과 P_I 의 비로서, 용량-반응 곡선의 기울기를 나타냄
- 본 연구에서는 *E.coli*에 대한 best-fit parameter로서 Haas 등(1999)이 제시한 $N_{50} = 8.6 \times 10^7$ 과 $\alpha = 0.1778$ 을 사용함
- 병원성 미생물에 감염되었을 경우 개인적인 상태에 따라 질병으로 발전하지 않을 수도 있으며, 이는 개인적인 면역성, 건강상태 등의 특성에 따라 다르기에 발병가능성(Probability of Morbidity, P_D)을 고려하여 다음 식과 같이 계산함

$$P_D = P_{D:I} \times P_I$$

- 여기서, P_D 는 감염된 사람이 질병으로 발전하는 위해도이고, $P_{D:I}$ 는 질병이 발생할 가능성임
- 질병이 발생할 가능성은 미생물의 종류나 개인에 따라 다르며, 환경적인 영향을 받으므로 많기에 많은 역학조사가 필요하나, 국내에서는 관개용수에 따라 발에 관개하였을 경우 정확한 질병 발생 여부가 확인·보고되지 않았으므로 중간값인 50% ($P_{D:I} = 0.5$)를 사용함(Haas et al., 1993)
- 국내 농업 종사자 평균연령의 고령화에 따라 감염가능성을 일반인에 비하여 2배 높게 설정하여 평가함(Jung et al., 2005a)

다) 노출평가 (Exposure Assessment)

- 인간이 환경물질에 노출되는 강도, 빈도, 기간 등을 측정하거나 평가하는 과정으로 오염물질에 대한 노출은 호흡이나, 물, 음식물의 흡입 또는 피부를 통하여 발생할 수 있음(이건형, 2001)
- 본 연구에서는 장내질병에 대하여 관개용수로 사용되는 유입수(지하수, 지표수)에 따른 미생물 위

해성 평가를 목표로 하고 있기 때문에 노출경로는 경구 복용으로 한정하였음

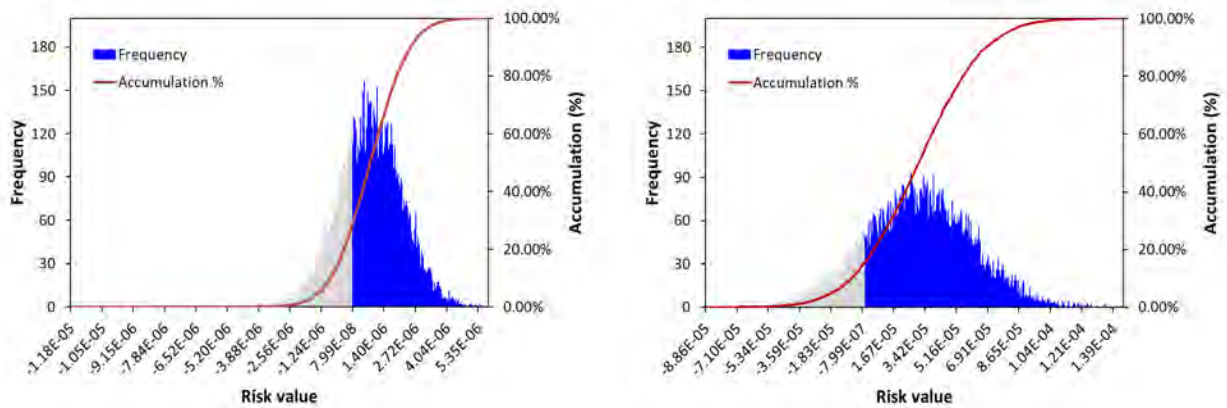
- 영농기간동안 작업자인 농민에 대하여 노출 시나리오를 설정하여 미생물 위해성 평가를 실시하였으며, 영농작업자가 작업에 임한 기간은 5개월(20일/개월), 약 100일로 보수적으로 산정하여 지속적으로 노출된다고 가정하였음
- Asano 등(1992)은 하수를 재처리하여 골프장에 관개하였을 경우 골프채, 골프공, 그리고 의복 등을 통한 섭취 가능량을 1 mL day⁻¹로 가정하였으며, 이를 참고할 때 밭 관개용수 역시 직접 섭취하지 않으나, 농민은 골퍼에 비하여 영농활동 중이나 주변에서 담수된 관개수와 직접 접촉할 수 있으며, 위생적으로 열악한 것으로 판단하여 일 섭취량 2 mL day⁻¹로 가정하였음

라) 위해도 결정 (Risk Characterization)

- 위해성 평가과정의 마지막 단계는 위험을 정량화하는 것으로서, 특정 노출상태에서 인체 영향에 대한 확률을 산출하기 위해 노출평가와 용량-반응 평가를 통합하며, 양적인 위험은 적절한 매체와 경로로 계산됨(이건형, 2001)
- Burmaster and Anderson(1994)과 Finkel(1990)에 따르면 위해도 결정의 과정은 용량-반응과 노출에 대한 정보의 결합을 통하여 이루어지며, Monte-Carlo Analysis의 적용이 위해도 산출의 부정확성(imprecision) 및 불확실성(Uncertainty)에 대하여 중요한 정보를 제공할 수 있다고 설명하고 있음
- 본 연구에서는 Monte-Carlo analysis의 적용에 있어서 n=10,000으로 실시하였으며, 95% 신뢰구간에서 평가함으로써 불확실성 분석을 수행하였음

3) 미생물 위해성 평가 결과

- 유입수(지하수, 지표수)의 평균과 표준편차를 이용하여 Monte-Carlo simulation (정규분포, n=10,000)를 적용하였고, 산출된 위해도 값에 대하여 빈도 분석을 실시하여 누적백분율 2.5% 이하와 97.5% 이상에 해당하는 값을 배제함으로써 95% 신뢰구간을 선정하였음



a) 유입수(지하수)

b) 유입수(지표수)

[그림 4-43] 미생물 위해도 분석을 위한 Monte-Carlo Simulation

- 본 연구에서 미생물 위해성 평가를 실시한 결과, 평균 위해도 값은 유입수(지하수) -3.02×10^{-6} , 유입수(지표수) 2.79×10^{-5} 를 나타내었고, 95% 신뢰구간은 유입수(지하수)의 경우 $-1.81 \times 10^{-6} \sim 3.38 \times 10^{-6}$, 유입수(지표수)의 경우 $-2.77 \times 10^{-5} \sim 8.82 \times 10^{-5}$ 를 나타내었음

[표 4-37] 관개용수 *E.coli*의 월별 평균위해도(10^{-5})

| 구분 | | MEAN | C.R. (95%) |
|-----|-----|--------|----------------|
| 유입수 | 지하수 | -0.302 | -0.181 ~ 0.338 |
| | 지표수 | 2.791 | -2.767 ~ 8.821 |

- US EPA는 장내 질병에 관한 위해도 값이 1년 동안 10^{-4} 이하인 경우 안전하다고 보고(Haas et al., 1993)
- 본 연구에서 수행된 유입수 위해도 값은 10^{-4} 보다 낮게 나타났고, 유입수의 위해성 수준은 상대적으로 지하수에 비해 지표수가 높게 나타났지만, 지하수와 지표수 모두 장내 질병에 대해 안전한 수준으로 나타나 영농작업자에게 유해하다고 하기에는 어려움이 있다고 판단됨
- 유출수의 경우 대장균이 검출되지 않아 유출수 미생물 위해성 평가는 수행되지 않았으며, 다기능 저류조를 통해서 유입수의 대장균은 전량 처리됨을 확인함에 따라 유출수의 미생물 위해성은 없을 것으로 판단됨

3. 결론

- 본 연구에서는 밭 관개용수를 확보하기 위한 다기능 저류조 용수공급시스템 개발을 위해 레질리언스를 고려한 다기능 저류조에 적합한 수질개선기술을 검토하고, 저류조 기능을 모듈화하였으며, TEST-BED를 구축하여 현장 적용을 통한 저류조 효과 검증을 연구 전반에 걸쳐 수행함
- 용수의 계절별 특성을 고려하여 적정 모듈 통합프로세스를 개발하였으며, BF(Bio Filter), AOP(Advanced Oxidation Process), SF(Soil Filter) 시설을 저류조 기능으로 모듈화하여 복합용수 공급 및 농업용수 수질현황에 맞춰 다양한 조합으로 구성함
- 저류조는 수처리 및 수온 확보를 위한 체류시간과 필수용량을 고려하여 최적용량을 산출하였으며, 레질리언스 기능을 반영하였고, 본 연구에서 구축한 TEST-BED는 현장상황을 고려하여 BF 모듈을 제외하고 제작 및 현장 적용함
- 저류조의 효과 검증은 앞서 설정한 다기능 저류조 수처리기준, 저감효율, 미생물 위해성 평가 등을 통해 수행되었으며, 그 결과 다기능 저류조는 수질개선 기능을 확보하였으며, 살균효과도 명확하게 나타나 영농작업자의 미생물 위해성도 안전할 것으로 판단됨. 향후 다양한 지역에서 수질현황에 따른 지속적인 모니터링 등 추가 연구를 통한 수질개선효과의 검증 및 다기능 저류조의 보완이 필요할 것임

제 5 장 최적 관개용수 공급 및 물절약 집단화 다기능 저류조 시스템의 효과 검증 및 실증화

제 1 절 실시간 모니터링 대상지 선정

- 본 절은 지표수 활용이 가능한 발지대를 조사하여 실시간 모니터링 대상지를 선정하였으며, 지표수 활용을 위한 세부계획을 수립함
- 주요결과
 - 대상지는 충남 예산군 신양면 하천리에 위치한 곳으로 논에서 밭으로 전환하여 사과를 재배하고 있으며, 가뭄시 관개용수가 부족한 상태임. 수원공은 저수지, 소하천, 용수로가 있으며, 관개용수로 취급이 용이한 용수로의 용수를 활용하고자 함
 - 지표수의 활용을 위한 유량 및 수질을 모니터링 방법과 최적의 관개시기를 결정하기 위한 토양수분 모니터링 방법을 수립함

제 2 절 실시간 모니터링을 위한 센서 조사 및 선정

- 본 절은 용수로의 용수공급 여부 및 충분한 유량 확보가 되어 있는지 확인하기 위하여 수위측정 센서와 관개용수로 수질이 적합한지를 판단하기 위하여 SS측정 센서, 최적의 관개시기를 결정하기 위하여 토양수분 센서를 조사 및 선정함
- 주요결과
 - 용수로의 용수 공급 확인 및 충분한 유량 확보 여부를 판단하기 위한 수위 센서를 조사하였으며, 지속적으로 용수로의 수위를 수치 자료 형태로 수집이 가능하고 실시간 시스템 구축이 가능한 압력식 수위센서로 선정함
 - 용수로의 특성상 부유물 유입이 많아 관개장치의 막힘 및 발작물 상품성 저하 우려 등이 발생하므로, 관개용수로 적합 여부를 판단하기 위하여 센서를 고려하였으며, 일반적으로 널리 사용되고 있는 광학법 SS 센서로 선정함
 - 토양수분을 간접적으로 측정하는 간접측정법 센서 종류 중 직접적으로 정확도가 높은 중량측정법에 가장 가깝게 도출되는 TDR식 토양수분센서를 선정함

제 3 절 실시간 모니터링 시스템 구축

- 본 절은 밭 관개용수로 지표수로 활용하기 위한 지표수 환경과 최적의 관개시기를 결정하기 위한 토양수분 환경의 데이터를 조사하고자 실시간 모니터링 시스템을 구축함
- 주요결과
 - 실시간 모니터링 항목으로 공급량 파악을 위한 수위자료, 수질을 확인하기 위한 SS자료 및 토심별 토양수분량을 파악할 수 있는 토양수분 자료로 3종류이며, 하나의 데이터 로거 및 데이터 로거 관리 프로그램을 이용하고 있음. 향후 필요시 별도의 센서와 데이터 로거가 추가될 경우, 직접 서버에 연

결되어 사용자에게 정보를 제공할 수 있는 기능도 확보되어 있음

- 스마트폰이나 PC를 통하여 웹브라우저에 등록된 사용자의 이메일 주소와 암호를 입력하여 로그인 하면 측정된 최근 데이터 정보가 화면에 표시되며, 표의 칼럼헤더를 누르면 해당 칼럼 데이터의 시계열 그래프 표시되는 방식임

제 4 절 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 수집 방법

- 본 절은 1차년도 연구에서 선정된 대상지에 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위해 토양수분센서 및 강우량계를 설치하여 실시간 모니터링하고, 원활한 지표수 활용을 위해 용수로에 공급되는 지표수의 수위, 부유물질(SS), 유속 측정을 진행함
- 주요결과
 - 최적의 관개시기 파악 및 관수관리의 효율성을 높이기 위해 토양수분센서와 강우량계를 설치함. 토양수분센서는 관수에 다른 토양수분함량을 토양깊이 10, 30, 50cm 별로 모니터링하였고, 강우량계는 토양수분에 영향을 주는 강우 발생량과 발생일을 모니터링함.
 - 용수로에 공급되는 지표수를 관개 용수로 사용하기 위해 용수로의 용수공급 여부 및 충분한 유량 확보 확인을 위한 초음파식 수위계를 설치하여 모니터링하였고, 점적간개 용수로 사용 가능 여부를 판단하기 위해 부유물질(SS)센서를 설치하여 모니터링함.

제 5 절 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 분석

- 본 절은 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위하여 1절에서 설치한 센서로부터 취득한 데이터를 분석함
- 주요결과
 - 강우량 및 관개수량 모니터링 분석 결과, 강우량은 강우량계의 실측 관측값과 실제 기상청의 데이터는 일부를 제외하고 다소 차이가 있었는데 이는 모니터링 서버 다운 및 모뎀의 접속불량 등의 이유로 강우량계 데이터 손실과 기상관측소와 Test-bed와의 거리차이로 인한 것으로 판단됨. 관개수량은 Test-bed의 경험적 관개에 따른 관수량을 분석하였음. 하루 평균 관수시간은 5.3시간, m³당 관수량은 2.2m³인 것으로 파악됨.
 - 토양수분 모니터링 분석 결과 토양깊이 10cm는 강우 시 토양수분함량이 급격히 증가하였고, 관수 시 토양수분함량 변화는 미비한 것으로 관측됨. 이는 점적관개지점 사이로 토양수분측정센서가 설치되어 있어 표면의 토양수분함량 변화는 관개 시보다 강우 시의 영향을 크게 받음. 토양깊이 30, 50cm는 강우 시 토양수분함량 변화가 미비하였으나, 관수 시 토양수분함량이 증가함. 따라서 토양 깊이가 깊어질수록 강우 시보다 관개 시의 영향을 크게 받은 것으로 나타남. 토성실험을 통하여 얻은 토양수분값과 토양수분센서 측정값을 비교하여 추후 센서값을 보정하여 사용할 예정임
 - 용수로의 수량 및 수질 파악을 위한 수위 및 유속, 부유물질 측정 분석결과, 용수로의 지표수 공급은 6시간 이상 공급되는 것으로 확인되었으며, 부유물질(SS) 분석결과 2.6~12.1mg/L 값으로 다소 깨끗한 수질을 나타냄.

제 6 절 실시간 모니터링 및 관수시스템 구축

- 본 절은 지표수 활용을 위하여 용수로에 수위 및 수질 센서를 설치하여 실시간 모니터링을 통해 지표수 활용 여부를 판단하고, 토양수분센서를 설치하여 자동으로 관개용수를 공급하는 ICT 기반 자동 관수시스템임
- 주요결과
 - ICT기반 자동 관수시스템에서는 수위측정 센서, 수질측정 센서, 강우량계, 토양수분 센서를 사용하여, 지표수 및 지하수 사용 여부와 자동관개 제어용으로 토양수분함량 모니터링 정보를 포함.
 - 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템 구축을 위해 SCADA 시스템을 적용하였고, 수신된 데이터 저장 및 프로그램 실행을 위하여 Window OS를 탑재한 컴퓨터를 사용함
 - ICT기반 지표수 및 지하수 관수 제어 운영방식은 모니터링 분석을 통한 센서별 설정값을 통하여 자동으로 on, off가 가능하도록 설계되었으며, 농업인의 일기예보등 자의적인 판단하에 수동으로 관수 공급이 가능하도록 설정함

제 7 절 다기능 저류조 설치 및 Test-bed 구축

- 본 절은 개발한 다기능 저류조를 제작하고, ICT기반 자동 관수시스템의 실증화를 위해 Test-bed 에 다기능 저류조를 설치하고, ICT기반 자동 관수시스템 설치를 설치하였음
- 주요결과
 - Test-bed는 충남 예산군 신양면 하천리에 위치, 사과밭 근처에 용수로에서 지표수 활용이 가능한 사과밭으로 2차년도에 센서 보완 및 실시간 데이터를 수집하였으며, 수집된 데이터를 기반으로 관수제어 시스템을 구축하였음
 - 다기능 저류조는 설계는 공동연구기관인 (주)이티위터에서 설계하였으며, 다기능 저류조의 용량은 Test-bed 규모 및 여건을 고려하여 제작함. 다기능 저류조 내부에는 수질개선을 위한 수처리 시설 및 UV 살균램프 설치하였음
 - Test-bed에 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템 구축을 완료하였음. 밭 토양의 토양수분함량, 깊이 별 온도 및 강수량, 용수로의 수위 및 부유물질(SS) 그리고 지하수 수위를 실시간으로 확인할 수 있으며, 토양수분센서의 토양수분함량 설정값에 따라 자동으로 관개용수를 공급이 가능함
 - 설치한 센서들의 데이터값은 실시간으로 저장되며. 제어함이나 스마트폰에서 원격으로 확인이 가능함. 또한, 지표수 및 지하수 가동 펌프를 자유롭게 ON/OFF가 가능하여 영농인의 편의에 따라 자유로운 용수공급이 가능함

제 8 절 Test-bed 모니터링 실시 및 문제점 분석, 보완

- 본 절은 Test-bed 구축을 완료한 후 ICT기반 지표수 자동 관수 시스템을 분석 및 보완하기 위해 주기적으로 모니터링을 실시하고 데이터를 분석하였음. 모니터링 데이터 분석은 토양 정보 분석을 위한 토양수분센서, 지표수의 유량 및 수질 관찰을 위한 초음파 수위계 및 부유물질(SS) 센서, 관수관리의 효율성을 높이기 위한 강우량계 센서를 분석하였으며, 추가적으로 지하수 관정에 수위 확인을

위한 압력식 수위계도 추가하여 분석하였음

○ 주요결과

- 지표수 수위 및 수질(SS) 모니터링 분석 결과 지표수 용수공급 펌프 가동이 가능한 시간은 1일 기준 최소 1시간에서 최대 23시간 정도 가능한 것으로 분석되었으며, 부유물질은 모니터링 결과 초기에는 값의 변동이 심했지만 이후에는 안정적인 값을 보임. 다만 부유물질(SS)값을 측정하는 센서 부에 이물질로 인해 기본값이 실제 용수로 내 부유물질(SS)(mg/L)값 보다 높게 측정되어 이 부분은 보정이 필요할 것으로 판단됨
- 지하수 수위는 지하수 관개 시를 제외하고 평균 수위 23.4m를 유지하고 있으며, 지하수 관개 시에는 잠시 낮아졌다가, 1시간 내로 평균 수위를 다시 회복하였음
- 관수량과 강수량 모니터링 분석결과 하루 최소 관수량은 0.8시간 동안 1.76㎥, 최대 관수량은 14시간 동안 30.8㎥으로 분석되었으며, 지표수 관수 시 1시간 기준 8.64㎥ 관수가 가능하므로 지표수 사용에 부족이 없을 것으로 판단됨
- Test-bed 구축 후 토양수분함량 모니터링 중에 캠벨사의 TDR식 토양수분센서와 PLC 프로그램상 호환성 결함이 발생하여 토양수분센서를 변경함. 변경된 토양수분센서 분석결과 작물의 생육시기에는 강우 시 토양수분함량은 10~20% 이상 증가하였으며 지하수 관개 시 토양수분함량은 영농인의 경험적 관개시간에 따라 적게는 5%에서 많이는 10% 이상 증가한 것으로 분석됨

제 9 절 ICT기반 다기능 저류조의 운용방안

○ 본 절은 ICT기반 자동 관수시스템 및 다기능 저류조의 관리 및 운영은 지표수를 활용한 밭 관개용수 공급을 위해 적정한 유지관리 및 운영방안이 필요함

○ 주요결과

- ICT기반 자동 관수시스템은 지표수 취수 위치에 설치된 수위 및 부유물질(SS)센서가 설정된 수위 및 수질 범위에 도달하면 자동으로 지표수 용수공급 펌프가 작동하여 다기능 저류조에 용수가 공급됨. 저류조 내부 용량이 차거나 수위 및 수질이 설정값을 만족하지 못할 시에는 지표수 용수공급펌프는 자동 중지됨
- 밭에 설치된 토양수분센서의 토양수분함량이 설정된 기준값에 도달하면 다기능 저류조의 용수공급 펌프가 자동 작동하여 관개용수로 지표수 또는 지하수를 공급함. 일정 관개시간 이후, 토양수분함량이 설정된 기준값에 도달하면 관개용수 공급을 자동 중지하는 방식으로 운용됨
- ICT기반 자동 관수시스템은 실시간으로 센서 모니터링 및 설정이 가능하며, 사용자의 경험에 따라 관수를 위한 설정을 원격으로 변경이 가능함
- 지표수를 밭작물에 관개용수로 안정적으로 공급하기 위해서는 다기능 저류조의 지속적인 유지관리가 필요함

제 5 장 센싱기술을 이용한 온·습도 토양수분 실시간 모니터링 시스템 개발

제 1 절 실시간 모니터링 대상지 선정

1. 개요

- 우리나라의 농업용 수리시설물은 매우 다양하며, 수원공은 저수지, 양수장, 보, 집수암거, 관정, 담수호가 있음. 가장 많은 개소수와 수혜면적을 가진 수원공은 저수지이며, 저수지의 개소수는 점차 줄어들고 있으나, 저수량과 수혜면적은 증가하였음
- 국내 발관개용수 공급 수원은 대부분 관정을 이용하여 지하수를 사용하고 있으며, 지표수는 저수지, 양수장, 취입보를 활용하여 공급하고 있으며, 송수시설은 관수로 및 용수간선을 활용하여 저류시설로 공급되고 있음
- 최근 경지면적 추이를 보면 논 면적은 감소하고 밭 면적은 증가하고 있는 추세임. 이러한 논 면적 감소에 의한 여분의 지표수를 발관개용수로 사용함으로써 기존 수리시설의 활용도 제고, 농업용수의 사용 절감, 신규 개발비 절약 등의 효과를 얻게 될 수 있도록 농업용수의 다목적 이용방안이 필요함



[그림 5-1] 밭 관개용수 공급 방식

- 국내 농업은 과거 2000년대 초반까지 지속적으로 성장해왔으나 최근 농가소득의 정체, 곡물자급률 하락, 농촌인구의 감소와 고령화, 더 나아가 기후변화 등으로 인한 어려움을 겪고 있음.
- 2019년 국내 농가인구는 총 인구 대비 4.3%이며, 65세 이상 농가 인구는 농가인구 대비 46.6%를 차지하고 있음. 농가인구의 고령화율은 1965년 3.2%에서 2019년 46.6%로 무려 43.4%, 14.5배가 증가함. 고령화도 심각하지만 농가인구의 구성비가 4.3% 밖에 되지 않음

- 농가인구 감소 및 농업인구의 고령화 문제는 농촌의 일손부족으로 이어지고 있으며, 더 나아가 식량이슈로 변질 수 있어 근본적인 해결책이 필요함. 따라서, 농업에서 노동생산성을 향상 및 농업소득 증대를 위하여 지표수 활용 스마트 관수 제어 시스템을 구축을 목표로 함

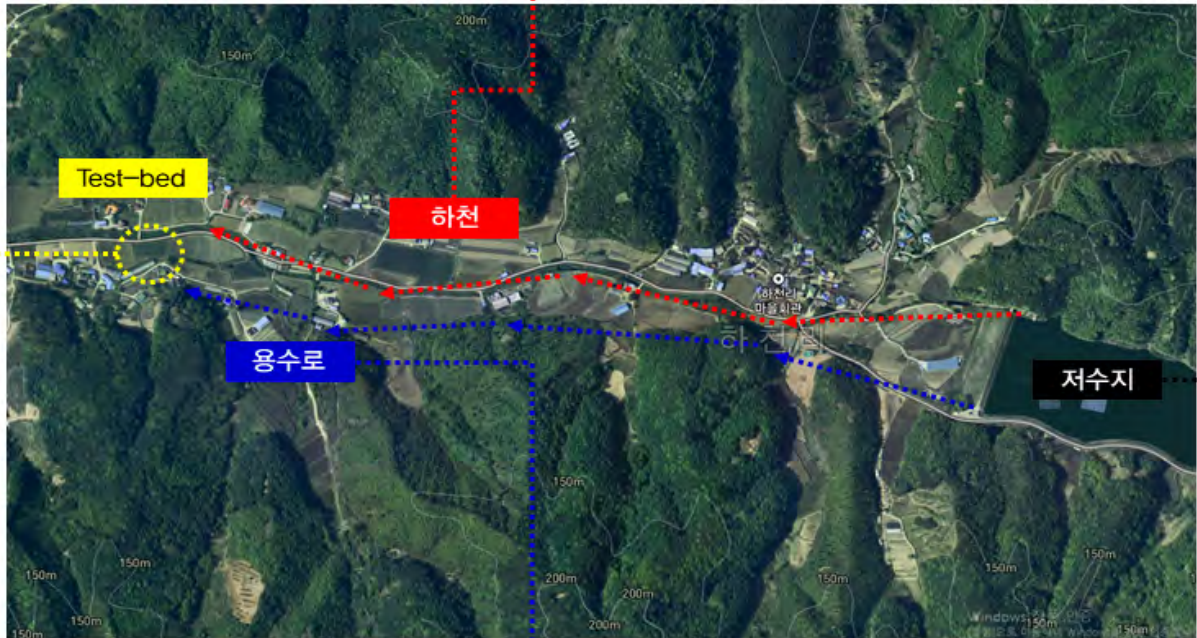
2. 대상지 현황

- 본 연구에서는 지표수 활용이 가능한 발지대를 조사하였으며, 대상지는 충남 예산군 신양면 하천리에 위치한 곳으로 논에서 밭으로 전환하여 사과를 재배하고 있음
- 현재 관정을 설치하여 지하수를 사용하고 있으며, FRP 저류조 구입하여 펌프를 이용한 점적관개를 실시하고 있음. 그러나 가뭄시 관개용수가 부족한 실정으로 여분의 지표수 활용이 필요한 상태임

[표 5-1]실시간 모니터링 대상지 현황

| 구분 | 내용 | |
|------|----------------|---|
| 주소 | 충남 예산군 신양면 하천리 |  |
| 면적 | 약 0.16ha 규모 | |
| 수원공 | 지하수(관정) | |
| 재배작물 | 사과(노지재배) | |
| 관개방법 | 펌프를 이용한 점적관개 | |

- 모니터링 대상지에서 지표수 활용이 가능한 수원공으로 약 2km 떨어진 곳에 저수지가 있으며, 대상지 바로 옆에 소하천이 있음. 또한 논에 관개용수를 공급할 수 있는 용수로가 설치되어 있음
- 저수지의 경우, 대상지와 거리가 있어 직접 활용하기에는 송수시설이 필요한 상태로 추가적인 비용이 발생함
- 하천의 경우, 하천 상류 인근에 축사가 있어 수질 오염이 우려되며, 용수 공급시 하천 바닥의 미세한 진흙이 유입되지 않도록 별도 취수시설의 설치가 필요한 상태임
- 용수로의 경우, 별도의 추가 시설없이 펌프만을 이용하여 관개용수로 사용이 가능한 상태로 본 연구에서는 용수로의 용수를 밭 관개용수로 활용하기로 결정함



[그림 5-2] 실시간 모니터링 대상지의 지표수 현황

3. 대상지 관수 및 지표수 수질 현황

- 실시간 모니터링 대상지인 과수원의 영농인이 2018년부터 영농일지를 작성하였으며, 영농일지를 토대로 본 연구에서 실시간 모니터링 대상지의 실제 지하수를 활용한 관수량을 파악함
- 최근 3년간 관수량은 다음 표5-89과 같으며, 2018년과 2020년은 0.1472~0.149.2 m^3/m^2 의 비슷한 관수량을 나타내었으나, 2019년의 경우, 0.2293 m^3/m^2 의 관수량을 나타냄

[표 5-2] 최근 3년간 실시간 모니터링 대상지(과수원)의 관수량(지하수)

| 연도 | 총 관수 시간 (hour) | 총 관수량 (m ³) | 연간 m ² 당 총 관수량 (m ³ /m ²) |
|-------|-------------------|----------------------------|--|
| 2018년 | 112 | 246.6 | 0.1492 |
| 2019년 | 172 | 378.8 | 0.2293 |
| 2020년 | 110.5 | 243.1 | 0.1472 |

- 실제관수량과 설계관수량의 관계수량을 비교하기 위하여 HOMWRS 프로그램을 활용하였으며, 실시간 모니터링 대상지와 가장 가까운 거리의 대전관측소를 기준으로 밭(과수) 필요수량을 산정함
- 영농인이 작성한 영농일지가 2018년부터 2020년까지이며, HOMWRS 프로그램은 2019년까지 모의설계가 가능하여 2018년부터 2019년까지 최근 2개년의 실제 관수량과 설계관수량을 비교함
- 2018년 설계관수량이 실제 관수량보다 160.6% 이상으로 설계되었으며, 2019년은 설계관수량이 실제 관수량보다 28.2% 이상으로 설계되었음. 따라서 상세 비교는 관수량의 차이가 비교적 작은 2019년도로 진행함

[표 5-3] 최근 2년간 실시간 모니터링 대상지의 실제 관수량과 설계 관수량 비교

| 연도 | 실제 관수량 (m ³ /m ²) | 설계 관수량 (m ³ /m ²) | 관수량 차이 (%) |
|-------|---|---|---------------|
| 2018년 | 0.1492 | 0.3888 | 160.6 |
| 2019년 | 0.2293 | 0.2939 | 28.2 |

※ 한국농어촌공사 수리시설물 모의조작 프로그램(HOMWRS) 활용

- 2019년 대상지의 실제 관수는 172시간 동안 0.2293m³/m² 이루어졌으며, 월별로 보면, 5월 0.0662m³/m², 6월 0.0526m³/m², 7월 0.0519m³/m², 8월 0.0266m³/m², 9월은 관수 없으며, 10월 0.0160m³/m², 11월 0.0160m³/m²를 관수함
- HOMWRS 프로그램을 활용한 2019년 밭(과수) 관계 필요수량은 0.2939m³/m²의 관수량이 필요하며, 월별로 보면 5월 0.061m³/m², 6월 0.0875m³/m², 7월 0.058m³/m², 8월 0.0823m³/m², 9월은 관수가 필요 없으며, 10월 0.0051m³/m²로 나타남.
- 실제 연간 총 관수량은 0.2293m³/m²이나 설계 연간 총 관수량은 0.2939m³/m²으로 실제 관수량과는 약 28.2%의 차이를 나타냈으며, 8월 실제 관수량은 0.0266m³/m²이며, 8월 설계 관수량은 0.0823m³/m²로 8월에 가장 큰 관수량의 차이를 보임

- 이는 대상지와 기상관측소와의 기상조건 변수와 토양 조건에 따른 변수로 인하여 상당한 차이가 발생한 것으로 판단됨
- 지속적인 실제관수량 측정하고, 강우량계 및 토양수분 측정센서를 설치하여 관수시 토양수분 함량 등의 데이터를 확보 및 데이터 분석을 통한 최적의 관수시기 결정이 필요함

[표 5-4] 2019년 실시간 모니터링 대상지(과수원)의 관수량(지하수)

| 관수 일자 | | 관수 시간 (hour) | 총 관수량 (㎥) | ㎥ 당 관수량 (㎥/㎡) | 월별 ㎥ 당 관수량 (㎥/㎡) |
|---------------|----|-----------------|--------------|------------------|---------------------|
| 월 | 일 | | | | |
| 5 | 4 | 4 | 8.8 | 0.0053 | 0.0662 |
| | 6 | 5 | 11.0 | 0.0067 | |
| | 14 | 12.66 | 27.9 | 0.0169 | |
| | 23 | 16 | 35.2 | 0.0213 | |
| | 30 | 12 | 26.4 | 0.0160 | |
| 6 | 3 | 13.5 | 29.7 | 0.0180 | 0.0526 |
| | 14 | 11 | 24.2 | 0.0146 | |
| | 19 | 15 | 33.0 | 0.0200 | |
| 7 | 1 | 12 | 26.4 | 0.0160 | 0.0519 |
| | 4 | 12 | 26.4 | 0.0160 | |
| | 6 | 3 | 6.6 | 0.0040 | |
| | 14 | 12 | 26.4 | 0.0160 | |
| 8 | 4 | 6 | 13.2 | 0.0080 | 0.0266 |
| | 8 | 6 | 13.2 | 0.0080 | |
| | 20 | 6 | 13.2 | 0.0080 | |
| | 26 | 2 | 4.4 | 0.0027 | |
| 10 | 24 | 12 | 26.4 | 0.0160 | 0.0160 |
| 11 | 7 | 12 | 26.4 | 0.0160 | 0.0160 |
| 연간 총 관수량(㎥/㎡) | | | | 0.2293 | |

[표 5-5] 2019년 밭 필요수량(대전관측소)

| 월 | 순 | ㎡ 당 관수량 (㎡/㎡) | 월별 ㎡ 당 관수량 (㎡/㎡) |
|---------------|---|------------------|---------------------|
| 4월 | 상 | - | - |
| | 중 | - | |
| | 하 | - | |
| 5월 | 상 | - | 0.061 |
| | 중 | 0.0313 | |
| | 하 | 0.0297 | |
| 6월 | 상 | 0.0321 | 0.0875 |
| | 중 | 0.0098 | |
| | 하 | 0.0456 | |
| 7월 | 상 | 0.058 | 0.058 |
| | 중 | - | |
| | 하 | - | |
| 8월 | 상 | 0.0317 | 0.0823 |
| | 중 | 0.0441 | |
| | 하 | 0.0065 | |
| 9월 | 상 | - | - |
| | 중 | - | |
| | 하 | - | |
| 10월 | 상 | - | 0.0051 |
| | 중 | - | |
| | 하 | 0.0051 | |
| 연간 총 관수량(㎡/㎡) | | 0.2939 | |

※ 한국농어촌공사 수리시설물 모의조작 프로그램(HOMWRS) 활용

- 우리나라 농업용수의 수질기준은 수원별(하천수, 호소수, 지하수)로 각기 다른 기준을 적용하고 있으며, 호소수는 환경정책기본법 10조 “호소수 수질환경기준”의 4급수를 적용하고 있음
- 농촌용수종합정보시스템 확인 결과, 대상지의 수원공 중 하나인 하천저수지의 수질등급은 2등급에 해당함
- 하천저수지의 경우, SS 농도가 5이하로 양호한 상태이나, 용수로로 지표수 공급시 SS농도가 더 높아질 가능성이 있으므로, 지표수로 활용하기 위해서는 SS 측정센서를 설치하여 실시간으로 모니터링을 통하여 관개용수로 사용 적합여부를 판단할 필요가 있음

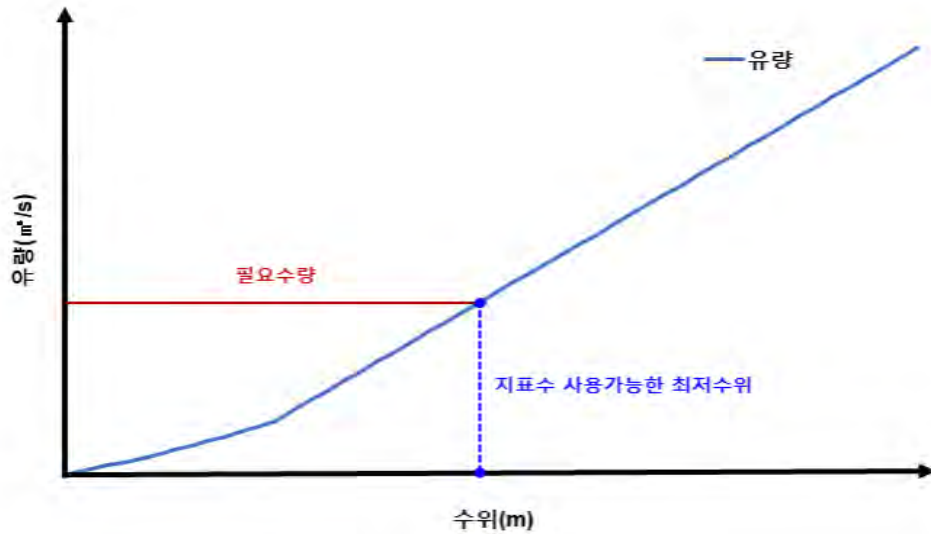
[표 5-6] 호소수 수질 환경기준

| 등급 | pH | COD (mg/L) | TOC (mg/L) | SS (mg/L) | DO (mg/L) | T-P (mg/L) | T-N (mg/L) | Chl-a (mg/L) | 대장균군 (균수/100mL) | | |
|----------|-----|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------|-------------|
| | | | | | | | | | 총 | 분원성 | |
| 매우 좋음 | I a | 6.5~8.5 | 2 이하 | 2 이하 | 1 이하 | 7.5 이상 | 0.01 이하 | 0.2 이하 | 5 이하 | 50 이하 | 10 이하 |
| 좋음 | I b | 6.5~8.5 | 3 이하 | 3 이하 | 5 이하 | 5.0 이상 | 0.02 이하 | 0.3 이하 | 9 이하 | 500 이하 | 100 이하 |
| 약간 좋음 | II | 6.5~8.5 | 4 이하 | 4 이하 | 5 이하 | 5.0 이상 | 0.03 이하 | 0.4 이하 | 14 이하 | 1,000 이하 | 200 이하 |
| 보통 | III | 6.5~8.5 | 5 이하 | 5 이하 | 15 이하 | 5.0 이상 | 0.05 이하 | 0.6 이하 | 20 이하 | 5,000 이하 | 1,000 이하 |
| 약간 나쁨 | IV | 6.0~8.5 | 8 이하 | 6 이하 | 6 이하 | 0.10 이하 | 0.10 이하 | 1.0 이하 | 35 이하 | - | - |
| 나쁨 | V | 6.0~8.5 | 10 이하 | 8 이하 | 8 이하 | 0.15 이하 | 0.15 이하 | 1.5 이하 | 70 이하 | - | - |
| 매우 나쁨 | VI | - | 10 초과 | 8 초과 | 8 초과 | 0.15 초과 | 0.15 초과 | 1.5 초과 | 70 초과 | - | - |

※ 자료 : 환경정책기본법 10조 “호소수 수질환경기준”

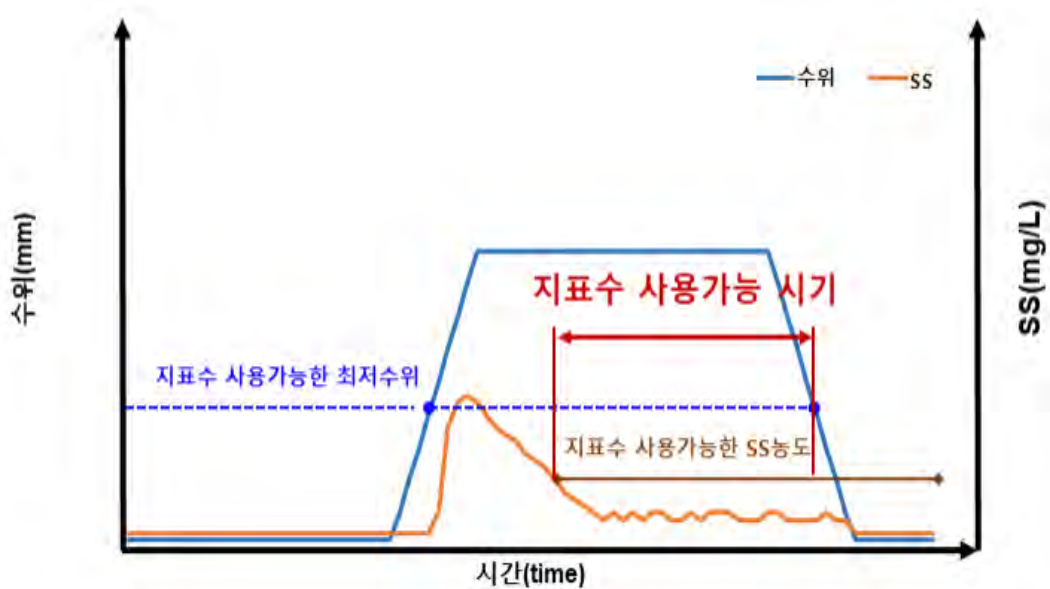
4. 실시간 모니터링을 위한 센서 설치 계획

- 용수로의 용수를 발관개용수로 사용하기 위해서는 용수로의 용수공급 여부 확인과 관개장치로 원활하게 공급될 수 있는 충분한 유량이 확보되어 있어야 함
- 개수로가 대부분인 농업 수로의 유량측정은 유량을 직접 계측하는 방법과 수위를 계측하여 유량으로 환산하는 간접방법이 있으며, 간접 측정방법은 개수로의 수위를 측정하고 이를 수로 단면과 유속의 자료로 수위-유량관계를 조사하여 유량으로 환산하는 것임
- 본 연구에서는 수위센서를 용수로에 설치한 후 실시간 수위를 측정하고 현장에서 유속자료를 수집하여 수위-유량관계식으로 유량을 환산 후 필요수량에 따른 최저수위를 도출할 계획임
- 수위 센서에서 취득한 시간별 수위 데이터를 활용하여 용수로의 용수공급 및 충분한 유량 확보 여부를 판단하여 지표수를 발관개용수로 활용하고자 함



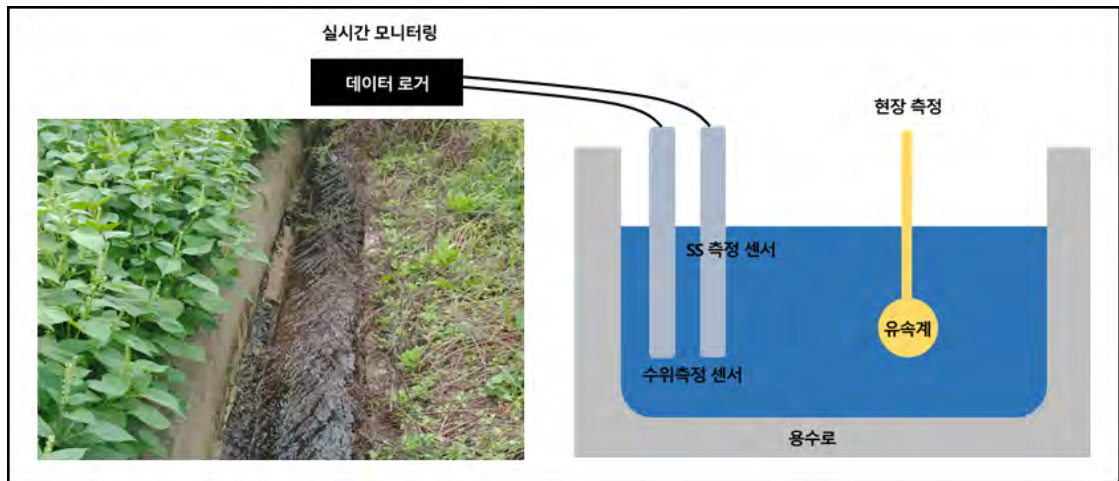
[그림 5-3] 필요수량에 따른 용수로의 최저 수위 산정(예)

- 용수로의 용수는 특성상 부유물 유입이 많아 관개장치 막힘 및 발작물 상품성 저하의 우려가 있음. 따라서 관개용수의 적합 여부를 판단하기 위하여 SS 센서를 용수로에 설치하여 실시간 모니터링을 실시할 예정임



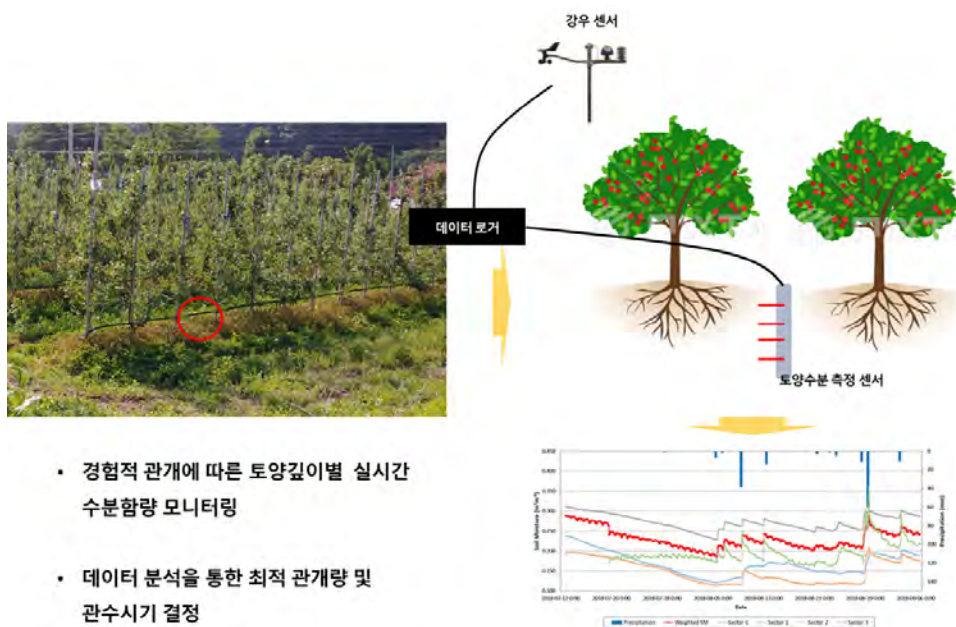
[그림 5-4] 지표수의 활용 개념도

- 용수로의 수위 및 수질을 실시간 모니터링하여 지표수 활용 관개제어 시스템 구축을 최종목표로 함



[그림 5-5] 지표수의 실시간 모니터링을 위한 센서 설치 및 데이터 수집 계획

- 2019년 국내 농가인구는 총 인구 대비 4.3%이며, 65세 이상 농가 인구는 농가인구 대비 46.6%를 차지하고 있음. 농가인구의 고령화율은 1965년 3.2%에서 2019년 46.6%로 무려 43.4%, 14.5배가 증가함. 고령화도 심각하지만 농가인구의 구성비가 겨우 4.3% 밖에 되지 않음
- 농가인구 감소 및 농업인구의 고령화 문제는 농촌의 일손부족으로 이어지고 있으며, 더 나아가 식량이슈로 번질 수 있어 근본적인 해결책이 필요함. 따라서, 농업에서 노동생산성을 향상시키기 위하여 농업용수공급 자동화를 위한 스마트 제어가 필수적임
- 토양수분 센서 모니터링은 농업용수 공급 및 관리를 위해 계측된 정보를 바탕으로 최적의 관개시기를 파악하여 식물 성장에 효과를 높이고 관개용수의 과소비 방지 등 관수관리에 효율성을 높일 수 있음
- 본 연구는 경험적 관개에 따른 토양 깊이별로 실시간 수분 함량 모니터링 실시하여 데이터 분석을 통하여 최적 관개량 및 관수시기를 결정할 예정임



- 경험적 관개에 따른 토양깊이별 실시간 수분함량 모니터링
- 데이터 분석을 통한 최적 관개량 및 관수시기 결정

[그림 5-6] 토양수분 측정 개요도

제 2 절 실시간 모니터링을 위한 센서 조사 및 선정

- 본 연구에서는 용수로의 용수공급 여부 및 충분한 유량 확보가 되어 있는지 확인하기 위하여 수위측정 센서와 관개용수로 수질이 적합한지를 판단하기 위하여 SS측정 센서, 최적의 관개시기를 결정하기 위하여 토양수분 센서를 조사 및 선정함

1. 토양환경 및 지표수 정보 제공 센서 조사

가. 수위측정 센서

- 용수로에서 실시간으로 수위를 측정하여 취득한 수위 데이터를 활용하여 관개시 용수로의 충분한 유량 확보 여부를 판단하고자 함
- 본 연구에서는 용수로의 용수를 발관개용수로 활용하기 위해서는 용수로 내의 안정적인 용수공급 여부 확인과 용수가 관개장치로 원활한 공급이 이루어지도록 용수로 내의 충분한 유량이 확보되어야 함
- 개수로가 대부분인 농업 수로의 유량측정은 유량계를 설치하여 확인하는 직접측정법과 수위를 계측하여 유량으로 환산하는 간접방법이 있음. 유량계는 매우 고가의 장비이며 초기 설치의 어려움이 있어 간접 측정방법으로 수위 센서를 이용하여 수위-유량관계를 조사하여 유량을 측정할 것임
- 본 연구에서는 수위센서를 용수로에 설치한 후 실시간 수위를 측정하여 현장에 적용할 수 있게 수위-유량관계식으로 유량을 환산 후 필요수량에 따른 용수로 내의 최저수위를 도출할 계획임
- 수위 센서 종류의 종류는 표 5-93과 같으며, 비접촉 수위 측정방식은 레이더식과 초음파식이며 접촉 수위 측정방식은 기포식, 압력식, 부자식으로 수면과 직접 접촉하는 방식으로 수위를 측정함

[표 5-7] 수위 센서의 종류

| 종류 | 원리 | 특징 | 사용 기간 / 가격 |
|------|---|---|----------------------------|
| 레이더식 | 마이크로웨이브를 수면에 발사하여 반사파의 도달시간을 수위로 변환 | <ul style="list-style-type: none"> 하천시설물에 손쉽게 설치가능 수위계에 접근이 용이하여 유지관리 간편 | 5~10 년 / 약 500~2000 만원 |
| 초음파식 | 초음파를 수면에 발사하여 반사된 초음파의 도달시간을 수위로 변환 | <ul style="list-style-type: none"> 수면에 비접촉식으로 토사퇴적, 수초, 급류 등에 의한 수위측정 방해요소에 영향을 받지 않음 | 5~10 년 / 약 400 ~700 만원 |
| 기포식 | 수심과 수압이 비례하는 원리 수압을 평형상태로 검출하여 기포를 발생하는 기계적 Torque 출력을 전기적으로 변환 | <ul style="list-style-type: none"> 경사 또는 곡선 설치 가능 수위측정시 압축공기로 측정관을 불어내기 때문에 질소탱크나 공기펌프가 필요 기포발생 압축공기를 주기적 점검 기포관의 폐쇄에 따른 영향있음 | 3~5 년 / 약 800 ~2000 만원 |
| 압력식 | 수심과 수압이 비례하는 원리 수압을 평형상태로 검출하여 그 변위를 증폭하여 전기신호를 변환 | <ul style="list-style-type: none"> 센서의 크기가 작고 설치가 용이하여 협소한 곳, 관정 등에도 설치 가능 홍수시 유지보수가 어려움 설치가 비교적 간단, 홍수시 급류에 대한 정수위 장치가 필요 수면이 결빙되었을 때에도 측정이 가능 | 3~5 년 / 약 200 ~400 만원 |
| 부자식 | 관측정에서 부자의 수면접촉을 통해 안정적인 수위자료의 획득 | <ul style="list-style-type: none"> 관측정, 도수관 등의 초기설치 필요 측정기구가 단순하여 고장시 수리 용이 부자 걸림, 도수관 막힘, 정수관 내 퇴적 등으로 오측발생 | 5~10 년 / 약 700 ~1500 만원 |

- 용수로의 수위측정 지점의 수위를 수치자료 형태로 지속적으로 수집하고, 실시간 시스템 구축을 고려하여 다양한 종류의 수위계 센서 중 가격이 저렴하고 설치가 쉬운 압력식 수위계 센서를 선정함
- 압력식 수위계는 수위의 변화에 따라 수중에 설치된 수압부가 받는 수압의 변화를 기계적으로 측정하거나 혹은 감압소자에 의해서 전기신호로 변환하여 수심을 측정하고 이를 수위로 변환하는 센서임



[그림 5-7] 압력식 수위 센서

[표 5-8] 압력식 수위 센서의 사양

| 구분 | 사양 |
|---------|--|
| 제조사 | Campbell scientific |
| 모델명 | CRS451 |
| 재질 | 스테인레스 스틸 |
| 측정시간 | 1 초 |
| 수위정확도 | ±0.1% |
| 온도정확도 | ±0.2℃ |
| 작동온도 | 0 ~ 60℃ |
| 보관온도 | -30 ~ 80℃ |
| 배터리수명 | 5년 |
| 수위측정범위 | 0~50kPa : 0~5.1m 0~100kPa : 0~10.2m 0~200kPa : 0~20.4m 0~500kPa : 0~50.9m 0~1000kPa : 0~102m |
| 크기 / 무게 | Φ22.2 mm × 222.3 mm (L) / 230g |

나. SS(부유물질) 측정 센서

- 농업용 수로는 대부분 개수로로 양질의 농업용수 확보를 위해 탁도, 부유물질 관리가 필요함
- 저수지나 하천에서 직접 취수하여 관개할 때 부유물질의 유입이 많아 관개 장치가 막힐 우려가 있으며, 부유물질이 발작물 표면에 붙어 상품성이 저하될 우려가 있음
- SS측정 센서의 경우 빛의 흡수나 산란 방식을 이용하여 탁도 및 SS을 측정하는 광학법 방식이 있으며, SS의 유무에 따른 초음파 속도 차이를 이용하여 농도를 측정하는 초음파법이 있음

[표 5-9] SS(부유물질) 측정 센서의 종류

| 구분 | 원리 | 특징 |
|----------------------|--|---|
| 광학법 (빛 흡수 산란법) | <ul style="list-style-type: none"> ○ SS는 직접 측정이 불가능하여 탁도를 측정한 후 탁도와 SS 사이의 회귀식을 통하여 SS 농도를 계산하여 산출 ○ 빛의 흡수나 산란 방식을 이용하여 탁도 측정 ○ 빛을 조사하여 SS에 의해 굴절된 빛의 양을 측정 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 측정 시, SS에 의한 적외선의 흡수, 산란이 측정되고 입사된 적외선 제외 ○ 측정 광학 방법은 SS의 농도에 의해 좌우됨 ○ 낮은 농도에서는 투과되는 빛과 함께 시그널과 노이즈의 비율이 매우 낮기 때문에 산란 방식을 선호 ○ 높은 농도에서는 후방산란 방식을 선호 ○ 농도가 너무 높아서 측정이 쉽지 않은 경우, 희석하여 측정 ○ 공기방울과 파울링 현상은 탁도 측정 시 발생하는 주요 방해인자로 SS의 계산값, 입자 사이즈 등의 정확도가 떨어짐 |
| 초음파법 | <ul style="list-style-type: none"> ○ SS가 있을 때와 없을 때 초음파의 속도 차이를 이용하여 농도 측정 | <ul style="list-style-type: none"> ○ SS가 존재하지 않을 때의 레퍼런스 값이 필요 ○ SS 센서는 측정 전 보정 (calibration)이 이루어져야함 |

- 현재 일반적으로 상용화되어 있는 대표적인 수질계측 센서는 SS, 탁도 및 MLSS를 측정하기 위한 것으로 pH, DO, 전기전도도, 수온, ORP 등의 전극센서와 함께 모듈형태로 제작된 다항목측정기로 상용화되어 활용되고 있음
- 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되고 있는 광학법 SS 측정 센서를 선정함



[그림 5-8] 광학법 SS(부유물질) 측정 센서

[표 5-10] 광학법 SS(부유물질) 측정 센서의 사양

| 구분 | 사양 |
|------------------|--|
| 제조사 | SUNTEX |
| 모델명 | TC-7310-RS |
| 측정 | 탁도 / 부유물질 |
| 측정단위 | 탁도 : NTU, FTU, FNU 부유 물질 : mg/l, ppm |
| 측정범위 | 0~1000 ppm (TCS-1000 sensor) |
| 분해능 | 0.1 ppm (TCS-1000 sensor) |
| 사용온도 / 센서작동온도 | 0 ~ 50℃ / 0 ~ 40℃ |
| 보관온도 | -20 ~ 70 ℃ |
| 기능 | 자동 세척 와이퍼기능 |
| 방수 | 송신기 : IP65 센서 : IP68 |
| 크기 / 무게 | 144 × 144 × 115 mm(H x W x D), 1/2 DIN / 0.8kg |

다. 토양수분 측정 센서

- 토양수분 센서는 토양의 수분 함유량을 실시간으로 확인하여 경지의 토양수분 상태에 따라 적기에 용수공급이 이루어질 수 있도록 하며, 토양종류별 수분 함유 특성 및 발작물의 생육특성에 따른 용수 사용량 조사가 가능함
- 토양수분 센서를 경지에 적용함으로써 가뭄으로 인한 피해 발생 및 농업용수의 과다사용을 방지함. 이러한 이유로 토양수분 센서를 실시간 모니터링 센서로 선정하였음
- 토양 내의 수분 함유량을 측정하는 방법은 직접 채토를 통하여 건조 전후의 무게를 측정하는 직접측정법과 현장에서 측정기구를 이용하는 간접측정법이 있음. 본 연구에 적용한 토양수분 센서는 간접측정법 센서를 채택함
- 간접측정법은 토양 내 수분 함유량 측정의 정확도, 토양수분 변화에 따른 순간 반응도가 좋고, 연속 측정시 사용 및 설치의 편리함, 향후 영농현장에서 농업인들이 손쉽게 사용 가능함

[표 5-11] 간접측정법 토양수분 측정 센서의 종류

| 구분 | | 장점 | 단점 |
|------------------------|---|--|---|
| 텐시오미터 (Tensiometer) |  | <ul style="list-style-type: none"> ○ 저렴한 비용 ○ 설치가 용이함 ○ 여러 시간대 측정이 가능 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 센서 내부에 물을 채우기 위한 별도의 도구가 필요 ○ 사질토 적용불가 ○ 유지관리 어려움 |
| FDR 식 (반사주파수 영역계) |  | <ul style="list-style-type: none"> ○ 장기간 사용 ○ 자동관개 센서 가능 ○ Network 설계 가능 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 주변 환경변화에 영향을 받음 ○ 저렴한 센서 및 설치비용 |
| TDR 식 (반사시간 영역계) |  | <ul style="list-style-type: none"> ○ 장기간 사용 ○ 자동관개센서 가능 ○ Network 설계 가능 ○ 주변 환경변화에 안정적 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 고가의 센서 및 설치비용 |

- 농촌진흥청 국립농업과학원 보고서에 의하면 간접측정법 센서 종류 3가지 중 가장 직접적이고 정확도가 높은 중량측정법과 비교한 결과, TDR식 토양수분 측정결과가 중량측정법에 가장 근접하게 도출되었으므로 본 연구에서는 중량측정법이 어려워 이와 가장 유사한 결과를 도출한 TDR식 토양수분 센서를 선정함
- TDR식 토양수분 센서는 전기적 펄스의 전송시간을 측정하는 TDR에 의해 토양수분 함량을 측정하여 수분함량에 따른 전자기파의 걸보기 유전율의 변화를 이용하는 방법으로 대상지에서 실시간으로 측정이 가능함



[그림 5-9] TDR식 토양수분 센서

[표 5-12] TDR식 토양수분 센서의 사양

| 구분 | 사양 |
|------------------------|---------------------------------|
| 제조사 | ○ Campbell scientific |
| 모델명 | ○ Soilvue10 |
| 측정 | ○ 체적수분함량 , 온도 , 전기전도도 , 유전율 |
| 측정깊이 | ○ 5, 10, 20, 30, 40, and 50 cm |
| 체적수분함량 정확도 | ○ ±1.5% |
| 온도 (정확도 / 측정범위) | ○ ±0.15℃ / -30 ~ 40 ℃ |
| 전기전도도 (정확도 / 측정범위) | ○ ±5% / 0~10dS/m |
| 상대유전율 (정확도 / 측정범위) | ○ ±1% / 1~80 |
| 크기 / 무게 | ○ Ø58 mm × 550 mm (L) / 1.9kg |

2. 영상분석을 활용한 관개기술 조사

- 우리나라 농업은 소규모 면적에 여러 작물을 재배하는 혼작 형태의 작부체제로 국외 환경 모니터링에 적용하는 방식인 중저해상도 위성영상을 활용하는데 어려움이 있음
- 근거리 센싱기술은 원거리에서 취득하는 동안 대기의 영향으로 인한 오차를 최소화하고 다량의 영상 자료를 취득할 수 있는 장점을 가지고 있음. 또한, 정밀한 영상자료를 수집하여 다양한 분석 적용이 가능함
- 영상분석 기반의 센서별 활용사례를 바탕으로 농업분야 활용성에 대해 정리함

[표 5-13] 영상분석 기반 센서별 활용사례(농촌진흥청, 2018)

| 구분 | 내용 |
|--|---|
| Visible and NIR bands | <ul style="list-style-type: none"> ○ 작물의 분광 반사곡선에서 적색광과 근적외선의 경계가 스트레스 상태의 식물에서는 가장 짧은 파장 쪽으로 이동되는 부분 ○ 적색영역의 파장을 세분화하여 반사에너지를 감지할 수 있는 원격탐사 기법은 개개의 잎뿐만 아니라 밀집된 식생군락의 개체별 스트레스 상태를 찾아내는 데 보다 효과적이다 |
| Mid-infrared bands | <ul style="list-style-type: none"> ○ MIR 밴드는 2,500-50,000nm의 범위를 말하며, 샘플에 전처리가 필요함 ○ MIR의 이점은 많은 화학물질이 peak를 가지거나 분광특성을 가지고 있어 NIR보다 해석하기가 쉬움 ○ Sankaran and Ehsani (2013)의 연구결과 감귤류에서 MIR 분광기를 통해 HLB와 canker에 감염된 잎을 탐지함 |
| Fluorescence spectroscopy | <ul style="list-style-type: none"> ○ 형광 분광법은 식물 스트레스 반응 연구에 널리 사용되는 기술로 최근 감귤에서 HLB 질병 검출을 위해 사용됨 ○ 추출한 파장은 UV, blue, green and red이며, 이를 이용하여 yellow, red, far-red fluorescence를 측정 |
| Airborne hyperspectral and multispectral imaging | <ul style="list-style-type: none"> ○ 무인기나 항공기를 활용하면 넓은 지역의 영상을 획득할 수 있으며, 이를 통해 시간과 노동력을 절약할 수 있음 ○ 특히 산림과 과수에서 활용되고 있으며, 잠재적으로 질병에 감염된 나무를 신속하게 탐지, 방지할 수 있음 |

- 국외의 경우, 적외선 영상분야의 선진국들은 국방 및 비파괴 검사분야 (항공, 반도체, 환경, 에너지 등)의 산업에 이용되는 영상계측장치와 초정밀 적외선 영상분석 기술을 이미 상용화함
- ICT 기반 제어시스템에서 영상분석 기술은 3D, 열화상카메라 및 컬러카메라를 활용하여 작물생육 정도와 상태를 자동으로 측정 가능한 작물생육측정시스템에 적용되고 있음
- 드론을 이용한 열화상 카메라를 활용하여 관수시스템에서의 누수 확인을 파악하는데 사용되기도 하나, 토양수분 모니터링을 이용한 기술에는 아직 연구가 미비함

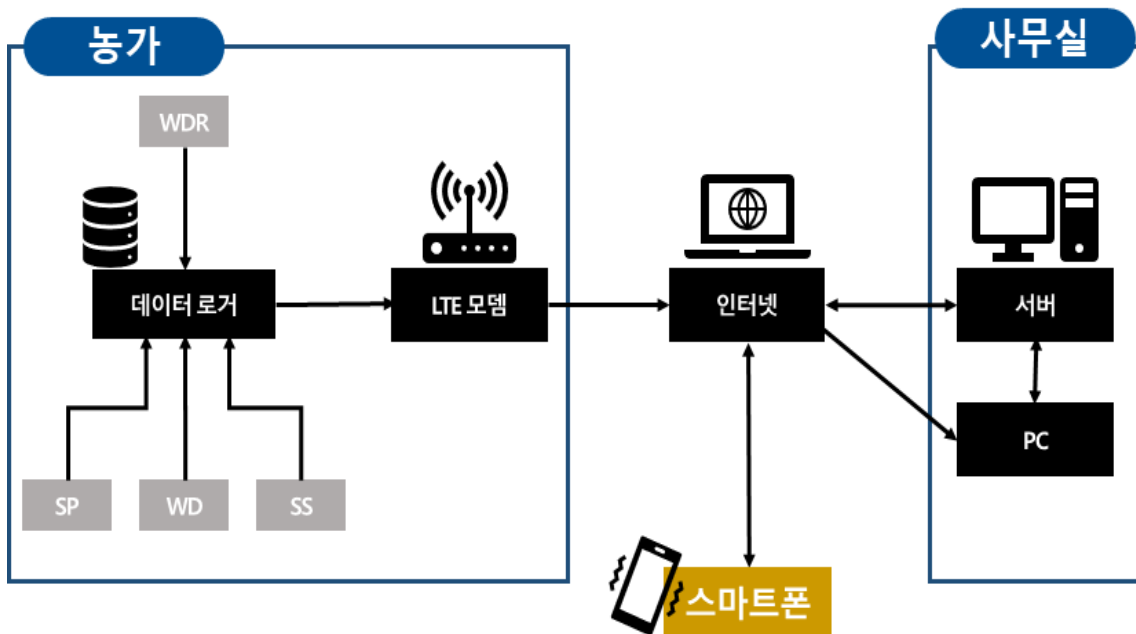
[표 5-14] 열영상을 활용한 적정 관개기술 연구 사례(농촌진흥청, 2019)

| 구분 | 특징 |
|---|---|
| 미국 농업연구청 (O' Shaughnessy 등, 2012) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 비파괴 적외선센서를 이용해 작물 외관부 엽온의 시공간 변이를 분석하고, 이를 통한 적정 관개계획 의사결정모델 개발 |
| 일본 홋카이도 대학 (Ito 등, 2016) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 노지 작물의 가뭄저항성 향상을 위해 수분스트레스 측정을 통한 유전자 발현정보 획득 기술을 개발 |
| 일본 농업환경기술연구소 (Kameoka 등, 2017) | <ul style="list-style-type: none"> ○ Wi-Fi 통신 네트워크와 웹 카메라를 사용하여 작물생육 환경을 관리하는 기술을 개발하였다 |
| 캐나다 Hoogendoorn 사 (Hoogendoorn, 2016) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 작물의 가뭄스트레스를 측정하고 최적의 생장조건을 파악하기 위한 원격통신 및 화상처리기술을 개발하여 전문적인 생산관련 의사결정 지원 |
| 이스라엘 농업연구청 (Rud 등, 2013) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 열 및 가시화영상을 이용하여 포도의 작물 수분상태를 산정하는 연구를 수행 |
| 이스라엘 파이토크 (CCSDS, 2015) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 식물생장 모니터링으로 관개를 제어하기 위해 400 MHz 대역 무선 네트워크 및 CDMA 데이터 통신을 연동하여 실용화하는 기술을 개발 |
| 스페인 (Hoffmann 등, 2016) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 열화상 카메라를 탑재한 드론을 활용하여 광활한 면적의 사탕무 밭의 작물 수분 스트레스를 측정하는 정밀 센싱 기술을 개발 |
| 프랑스 국립환경농학 과학기술연구원(IRSTEA) (Barcelo-Ordinas 등 2013) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 정밀관개계획을 위한 근거리 센싱 및 취득영상 보정기술을 개발 |

제 3 절 실시간 모니터링 시스템 구축

1. 모니터링 시스템 개요

- 실시간으로 측정된 지표수(수위 및 수질) 및 토양수분 데이터는 현장의 데이터 로거로 취합되고, LTE 모뎀을 통해 서버로 전송됨. 서버로 전송된 데이터는 사용자가 편리하게 볼 수 있는 형태의 자료로 변화되어 다시 LTE 모뎀을 통해 사용자의 휴대폰 및 컴퓨터 웹사이트를 통해 제공됨



[그림 5-10] 실시간 모니터링 시스템 구성도

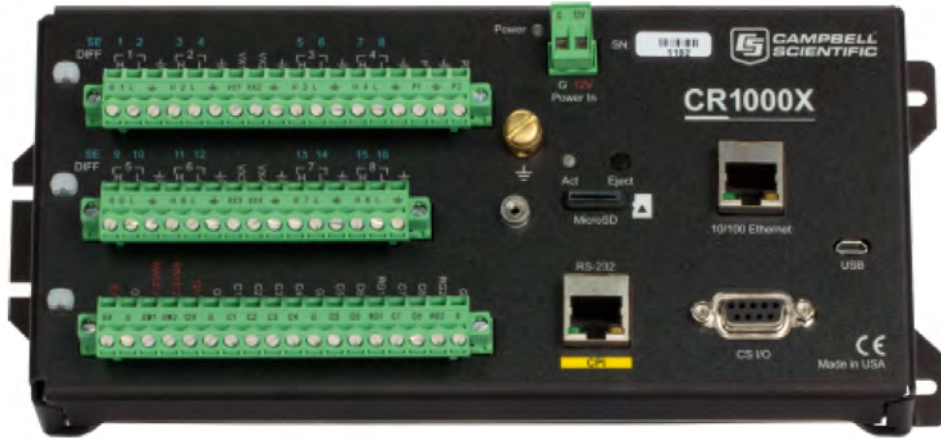
- 실시간으로 측정된 지표수(수위 및 수질) 및 토양수분 데이터는 현장에 태양광으로 운영하고 있는 데이터 로거에 저장하며, 사무실 내, 자료처리 전용 PC를 비치하고, 데이터 로거관리 전용프로그램을 이용하여, 일정 시간 간격으로 현장에 설치되어 있는 데이터 로거 자료를 취득함
- 데이터 로거 관리 PC와 자료제공용 서버를 유선으로 연결하고, 지정된 형식으로 취득된 현장 자료를 서버에 저장하며, 사용자에게 고정 IP주소를 제공하고, 언제든지 서버에 접속하여 자료를 확인하고, 필요시 다운로드할 수 있는 기능이 제공됨
- 현재, 실시간 모니터링 항목으로 공급량 파악을 위한 수위자료, 수질을 확인하기 위한 SS자료 및 토심별 토양수분량을 파악할 수 있는 토양수분 자료로 3종류이며, 하나의 데이터 로거 및 데이터 로거 관리 프로그램을 이용하고 있음. 향후 필요시 별도의 센서와 데이터 로거가 추가될 경우, 직접 서버에 연결되어 사용자에게 정보를 제공할 수 있는 기능도 확보되어 있음
- 자료의 크기에 따라, 모뎀 사용료가 결정되므로, 최소 용량의 모뎀을 선정하여 현장 및 실내 테스트를 수행하고 있음. 필요에 따라 자료 취득 주기와 전송 주기를 별도로 하여(예: 자료취득주기 - 10분, 전송주기 - 1시간) 사용자에게 경제적이고 효율적인 시스템을 제공하고자 함

[표 5-15] 실시간 모니터링 시스템의 구성 및 범위

| 구분 | 내용 |
|--------|------------------------------------|
| 환경측정 | 용수로 수위, 용수로 수질, 토양수분, 강우량 |
| 데이터 획득 | Campbellsci 데이터 로거 CR1000X로 데이터 획득 |
| 데이터 전송 | LTE 모뎀을 사용하여 데이터 전송 |
| 데이터 수신 | 데이터 로거와 연동되는 LoggerNet으로 데이터 수신 |
| 데이터 처리 | 센서 측정 항목을 칼럼으로 하여 데이터베이스에 저장 |
| 정보 조회 | 웹 브라우저를 통해 웹 서비스에 접속하여 조회 |
| 시스템 관리 | 사용자, 기기, 알람 기준 값 등 설정 |

2. 데이터 송수신 모듈 및 프로그램

- 토양수분 함량 및 지표수 실시간 정보 데이터 수집 및 저장을 위한 데이터 로거는 시중에 다양한 제품이 판매되고 있으며, 본 연구에서는 토양수분장치와 동일 제조사인 ‘Campbell sci’ 가 판매하는 ‘CR 1000X’ 를 사용함
- 원거리에 의한 데이터 수집 및 전송을 위한 통신모뎀은 자료 전송량 및 속도 등을 고려하여 LTE 모뎀을 선정하였으며, 제조사별 큰 차이가 없음을 확인하였음. 사무실에 있는 PC에 설치되어 있는 데이터 로거 전용프로그램이 현장에 있는 모뎀의 고유번호를 인식하여, 무선으로 구축되어 있는 인터넷 환경을 이용하여 자료를 취득하는데 사용함
- 네트워크 설정 및 구성, 데이터 로거 연결 및 상태 확인 데이터 로거 프로그래밍, 실시간 모니터링 또는 과거 데이터 표시, 데이터 백업 등을 위하여 데이터 로거와 연동되는 LoggerNet를 사용하였으며, 운영프로그램은 윈도우 10을 사용함



[그림 5-11] 데이터 로거

[표 5-16] 데이터 로거 사양

| 구분 | 사양 |
|----------|--|
| 제조사 | Campbell scientific |
| 모델명 | CR100X |
| 재질 | 알루미늄 |
| 입력 | 단일 16 개 / 8 개 |
| 정확도 | $\pm 0.06\%$ (0~40°C : $\pm 0.04\%$) |
| 사용온도 | -40 ~ 70°C |
| 인터넷 프로토콜 | Ethernet, PPP, CS I/O IP, RNDIS, ICMP/Ping, Auto-IP(APIPA), IPv4, IPv6, UDP, TCP, TLS (v1.2), DNS, DHCP, SLAAC, SNMPv3, NTP, Telnet, HTTP(S), FTP(S), SMTP/TLS, POP3/TLS |
| 통신 프로토콜 | CPI, PakBus, SDM, SDI-12, Modbus, TCP, DNP3, UDP, NTCIP, NMEA0183, I2C, SPI 등 |
| 전원 | 12V |
| 데이터저장 | Micro SD 4MB SRAM + 72MB 플래시 (최대 16GB) |
| 크기 / 무게 | 238 x 101 x 62 mm / 0.86kg |



[그림 5-12] 통신 모뎀

[표 5-17] 통신모뎀 사양

| 구분 | 사양 |
|---------|---|
| 제조사 | STS biz |
| 모델명 | TC500 |
| 측정모드 | Wi-Fi 지원 2 포트 CPE |
| 주파수 | LTE : SKT (B1/3/5), KT (B1/3/8), LGU (B1/5/7) Wi-Fi : 2.4GHz 및 5 GHz |
| 사용온도 | -20 ~ 50℃ |
| 보관온도 | -30 ~ 70℃ |
| 전력소비 | 최대 : 1.3A @ 5.0V 미만 일반 : 400mA AA5.0V 미만 |
| 데이터 처리량 | 다운로드 : : 150Mbps 업로드 : 50Mbps |
| 크기 | 68 x 68 x 14.7 mm(W x L x T) |



[그림 5-13] 프로그램

[표 5-18] 프로그램 사양

| 구분 | 사양 |
|-------|--|
| 제조사 | Campbell scientific |
| 프로그램명 | LoggerNet 4 series |
| 기능 | <ul style="list-style-type: none"> • 네트워크 설정 및 구성 • 데이터로거 연결 및 상태 확인 • 데이터로거 프로그래밍 • 실시간 모니터링 또는 과거 데이터 표시 • 데이터 백업 |

- 데이터 송수신 모듈 및 프로그램의 시스템 구성요소별 규격 및 용도는 다음과 같다.
 - SP : 대상지점의 토양에 수직으로 설치하고, 지면으로부터 연직방향으로 깊이 5, 10, 20, 30, 40 및 50 cm 지점의 토양수분량 및 온도를 제공함
 - WL : 관개수로로 공급되는 공급량을 파악하기 위한 목적으로, 관개수로 측면부에 설치. 직접적으로 압력변화에 의한 수위관측에 사용되나, 수위-유량 관계식을 산출하여 수위를 이용한 유량 추정이 가능함
 - SS : 관개수로에서의 공급용수가 포함하고 있는 부유물질(Suspended Solid)의 양을 파악하기 위한 목적으로, 관개수로 측면부에 고정 설치할 예정이며, 필요시 용수공급용 탱크 내부의 수질 관측으로도 사용할 수 있음
 - WDR : 관강우량 관측을 위한 장치로, 다양한 제조사가 있으나, 우리나라에서는 웨덴(Weden)사에서 제작하는 우량계 사용이 일반적이어서, 본 연구에서도 동일 장비를 사용하고자 함. 즉, WDR은 웨덴사에서 제작한 'Rain gauge'의 'R'로 구분하였음
 - 데이터로거 : 시중에 다양한 데이터로거가 판매되고 있으며, 본 연구에서는 토양수분장치와 동일 제조사인 'Campbell sci'가 판매하는 'CR 1000X' 로거를 사용함

- LTE모뎀 : 자료 전송량 및 속도 등을 고려하여 LTE모뎀을 선정하였으며, 제조사별 큰 차이가 없음을 확인하였음. 사무실에 있는 PC에 설치되어 있는 로거전용프로그램이 현장에 있는 모뎀의 고유번호를 인식하여, 무선으로 구축되어 있는 인터넷 환경을 이용하여 자료를 취득하는데 사용함
- PC : 로거관리 프로그램인 ‘LoggerNet’ 프로그램을 설치한 컴퓨터로, 운영프로그램은 윈도우10을 사용함
- 서버 : 범용 리눅스(CentOS) 서버로서, 데이터베이스와 웹 서비스 운용에 사용되며, 고정 IP로 인터넷에 상시 연결되어 있음
- 스마트폰 : 크롬 브라우저 탑재되어 있는 스마트폰, 태블릿 및 PC가 대상이 될 수 있으며, 서버에서 제공하고 있는 측정 결과를 조회하는 목적으로 사용함

[표 5-19] 실시간 모니터링 시스템 구성요소의 규격 및 용도

| 번호 | 이름 | 규격 | 용도 |
|----|-------|---------------------------------------|----------------------------|
| 1 | SP | SoilVUE 10 Soil Profiler | 토양 수분/온도 측정 |
| 2 | WD | CS451 Submersible Pressure Transducer | 관개수위(Water Level) 측정 |
| 3 | SS | TC-7310-RS | 지표수 부유물질 측정 |
| 4 | WDR | WDR-200 | 강우측정 |
| 5 | 데이터로거 | Campbellsci CR1000X | 환경 센서 데이터 획득/전송 |
| 6 | LTE모뎀 | TC500S | 인터넷 통신 제공 |
| 7 | PC | 범용 Windows 10 PC | 데이터로거와 연동되는 LoggerNet 앱 운용 |
| 8 | 서버 | 범용 리눅스(CentOS) 서버 | 데이터베이스와 웹 서비스 운용 |
| 9 | 스마트폰 | 크롬 브라우저 탑재 스마트폰/태블릿/PC | 측정 데이터 조회 |

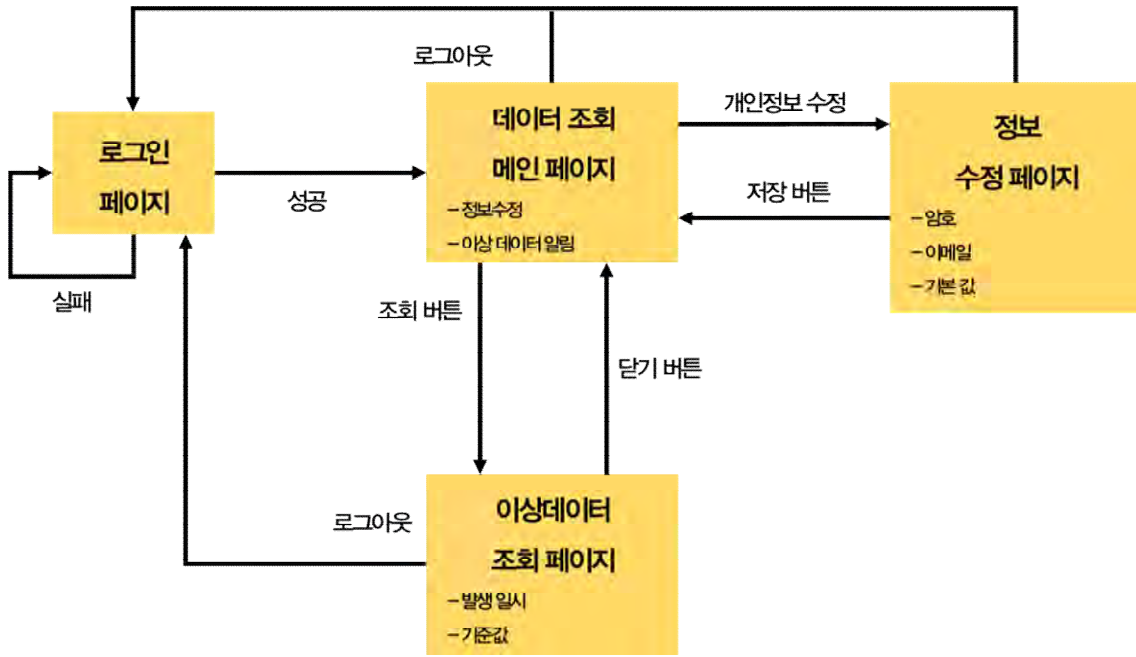
- 대상지 현장에 직접 센서를 설치한 후 테스트를 진행하여 데이터가 송신 및 웹사이트를 통한 데이터 수신 여부를 확인함
- 테스트 결과, 10분 간격으로 데이터 송수신되는 것을 확인하여 테스트를 완료함



[그림 5-14] 대상지 설치 및 데이터 수신 확인

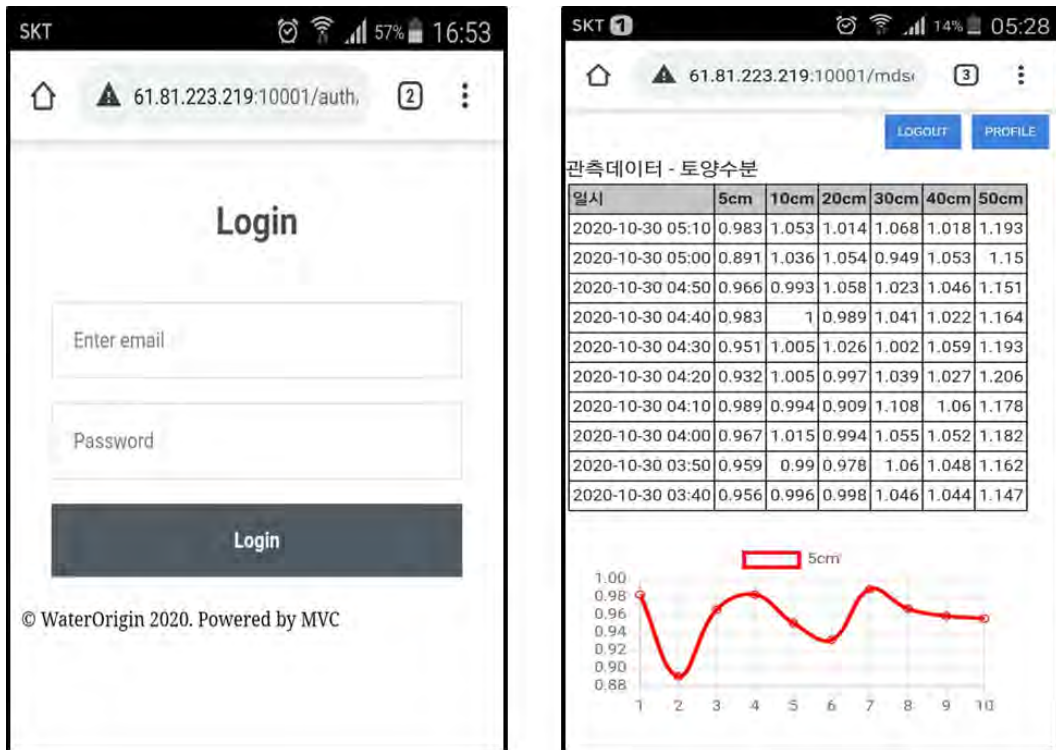
3. 밭 토양 및 지표수 정보 제공시스템 구축

- 밭 토양수분함량 및 지표수 정보 제공 시스템의 흐름도는 그림 5-151와 같으며, 사용자 스마트폰에 별도의 앱을 설치하고 로그인 페이지를 구동시킴
- 일반적으로 데이터 조회를 할 수 있는 메인페이지에 접속이 가능하며, 정보 수정이나 이상 자료를 알리기 위해 관리자에게 메모를 남길 수 있음
- 관리자 허가 시, 이상 데이터 조회 페이지에 들어갈 수 있으며, 기존에 제공하는 자료 외에 과거 자료 및 동일 장소에서 관측되고 있는 관련자료(강우량 등)들을 조회할 수 있음
- 관리자 허가 시, 정보 수정 페이지에 접속이 가능하며, 다수의 사용자에게 특이 정보를 공지할 수 있고, 타당한 사유가 확인될 경우, 공개 정보를 수정할 수 있음
- 토양 수분, 온도, 수위, SS의 측정 데이터를 10분 주기로 획득하여 전송하며, 웹 브라우저를 통해 표나 그래프 형식으로 수집된 자료 조회가 가능하며, 수집된 자료를 엑셀 형식으로 다운로드도 가능함



[그림 5-15] 발 토양 및 지표수 정보 제공 시스템 흐름도

- 그림 5-152은 본 연구에서 개발한 로그인 화면과 메인 화면으로 스마트폰이나 PC를 통하여 웹 브라우저에 등록된 사용자의 이메일 주소와 암호를 입력하여 로그인하면 측정된 최근 데이터 정보가 화면에 표시되며, 표의 칼럼헤더를 누르면 해당 칼럼 데이터의 시계열 그래프 표시되는 방식임



[그림 5-16] 로그인 화면 및 메인 화면

제 4 절 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 수집 방법

1. 데이터 수집 현황

- 1차년도 연구에서 지표수 활용이 가능한 받지대를 조사하고 대상지를 선정하였음
- 충남 예산군 신양면 하천리에 위치한 사과 과수원을 대상지로 선정하였으며, 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 센서 설치 및 데이터 수집을 진행함
- 실시간 모니터링 대상 데이터는 지표수의 유량 및 수질(SS)과 토양수분함량, 강수량 등으로 대상지의 지표수 활용을 위하여 용수로에 부유물질(SS) 및 수위센서를 설치하였으며, 관수 대상인 사과나무 아래 토양수분측정 센서를 설치함
- 실시간 모니터링 데이터 수집 및 저장을 위한 데이터로거, 전송을 위한 통신 모듈 등이 포함된 제어함을 아래 그림과 같이 설치함



[그림 5-17] 실시간 모니터링 대상지의 센서 설치 현황

2. 최적의 관수제어 시스템 운영을 위한 센서 설치 현황

가. 토양수분 측정 센서

- 관개나 수분수지 규명을 위한 가장 기본적인 자료는 토양수분함량으로 토양수분 모니터링은 농업용수 공급 및 관리를 위해 계측된 정보를 바탕으로 최적의 관개 시기를 파악하여 식물 생장의 효과를 높이고 관개용수의 과소비 방지 등 관수 관리에 효율성을 높일 수 있음
- 본 연구는 경험적 관수에 따른 토양수분함량 모니터링을 실시하여 취득한 데이터로 관수시스템 운영알고리즘을 설계하여 최종적으로 ICT기반 관수 제어 시스템 구축에 활용하고자 함
- 연구에 사용된 토양수분 센서는 TDR식 센서로 토양수분함량뿐 아니라 온도, 전기전도도, 유전율 등 실시간 측정이 가능함
- 토양수분함량 센서는 점적관개 지점 사이에 설치하였으며, 토양깊이 10cm, 30cm, 50cm의 토양수분을 측정함



[그림 5-18] 토양수분 측정모습

나. 강우량계

- 농업용수 공급 및 관리를 위해 계측된 정보를 바탕으로 최적의 관개시기를 파악하여 식물 생장에 효과를 높이고 관개용수의 과소비 방지 등 관수 관리에 효율성을 높이기 위하여 토양수분에 영향을 주는 강우 발생량과 발생일을 확인하기 위하여 강우량계를 설치하여 측정함



강우량계



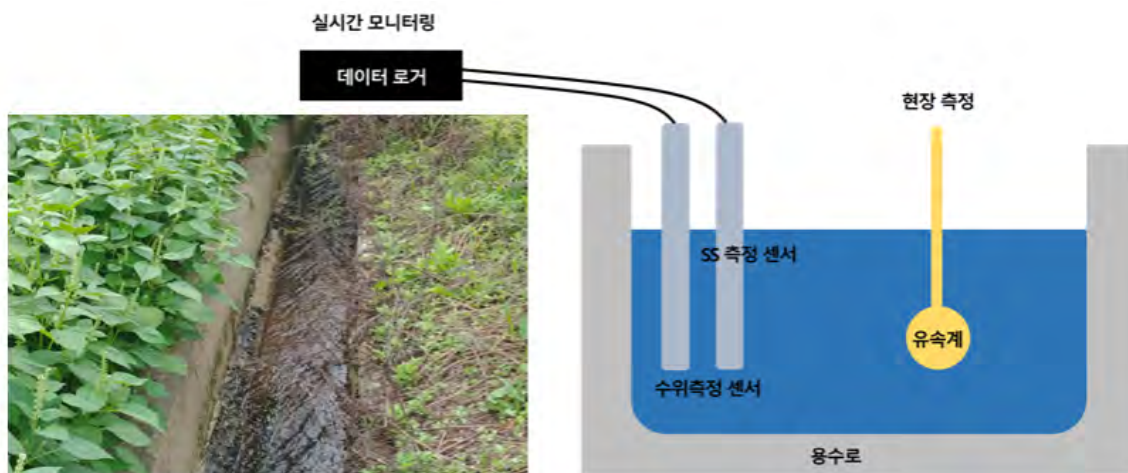
강우량 측정 모습

[그림 5-19] 강우량계

3. 지표수 활용을 위한 센서 설치 현황

가. 개요

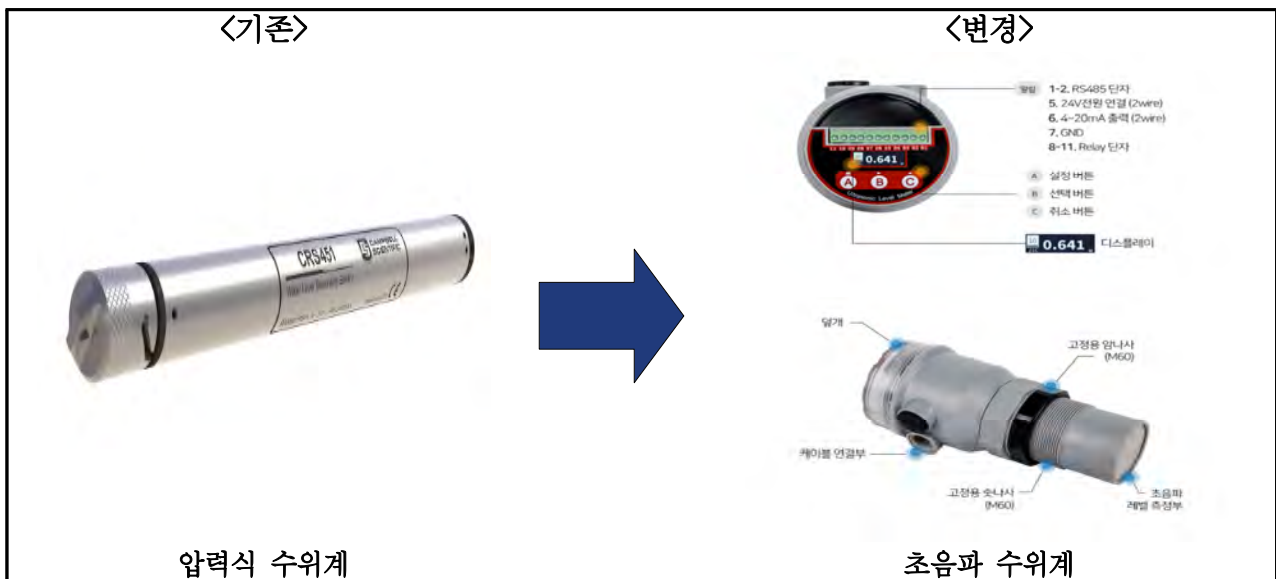
- 용수로에 공급되는 지표수를 발관개 용수로 사용하기 위해서는 용수로의 용수공급 여부 확인과 원활하게 공급될 수 있는 충분한 유량이 확보되어 있어야 하므로 용수로의 수위를 모니터링을 실시함. 또한 점적관개 용수로 사용 가능한 수질 여부를 판단하기 위하여 부유물질(SS) 측정 센서를 설치하여 데이터를 수집함
- 본 연구에서는 용수로의 수위를 측정하여 흐름단면적을 환산하고, 유속계를 이용하여 점유속 측정을 통해 유량을 산정하였음.
- 수위 센서를 용수로에 설치한 후 실시간 수위를 측정하고 현장에서 유속 자료를 수집함
- 수위 센서에서 취득한 시간별 수위 데이터를 활용하여 용수로의 용수공급 및 충분한 유량 확보 여부를 판단하여 지표수를 발관개 용수로 활용하고자 함



[그림 5-20] 지표수의 데이터 수집을 위한 센서 설치 및 방법

나. 수위 측정 센서

- 수위 측정 센서는 1차년도에 압력식 수위계를 선정하여 설치하였음. 압력식 수위계는 수심과 수압이 비례하는 원리 수압을 평형상태로 검출하여 그 변위를 증폭하여 전기신호로 변환하여 수위를 측정하는 방식임
- 이러한 압력식 수위계를 통해 데이터를 수집한 결과, 용수로의 수위가 센서 위치보다 낮은 경우는 데이터를 확보할 수 없고, 센서가 수중에 충분히 잠겨 있어야 데이터 취득이 가능하며, 용수중에 용수 수위가 낮게 흐를 때는 데이터 확보가 어려움
- 따라서, 수면에 발사하여 반사된 초음파의 도달시간을 수위로 변화를 측정하며, 비접촉 수위 측정이 가능한 초음파 수위계로 변경하여 설치 보완함
- 초음파 수위계는 최소 1mm 분해능을 표현하며, 용수의 유무, 수위에 관계없이 데이터 확보가 가능함



[그림 5-21] 수위계 설치 보완

[표 5-20] 초음파 수위계 사양

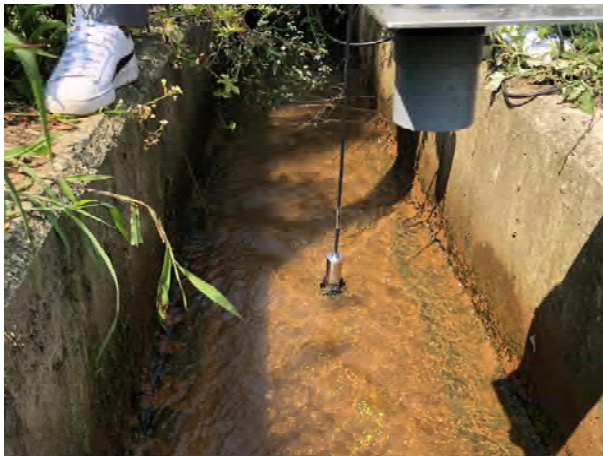
| | |
|--------|---------------------|
| 방식 | Ultrasonic |
| 측정범위 | 5, 10, 15m |
| 정밀도 | 0.3%FS |
| 주파수 | 20~350kHz |
| 출력 | 4~20mA |
| 통신 | RS485 (옵션) |
| 알람 | 2relay (옵션) |
| 릴레이 용량 | 250Vac5A / 24Vdc10A |
| 하우징 | ABS |
| 사용온도 | -20~80℃ |
| 전원 | 24Vdc |



[그림 5-22] 초음파 수위계 설치 모습

다. 부유물질(SS) 측정 센서

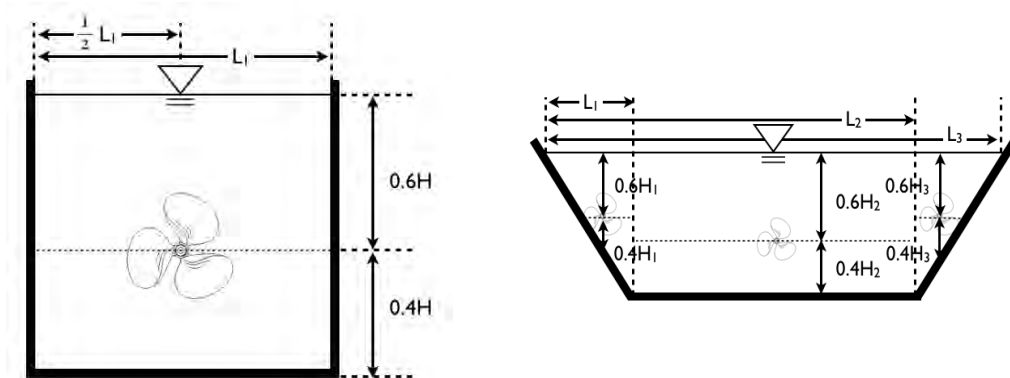
- 용수로의 수질은 특성상 부유물 유입이 많아 관개장치 막힘이 우려되며, 부유물질로 인한 발작물 상품성 저하가 우려됨. 따라서, 관개용수로 적합 여부를 판단하기 위하여 부유물질(SS) 측정 센서를 용수로에 설치하여 실시간 모니터링 실시함
- 1차년도에 설치한 부유물질(SS) 측정 센서가 부주의로 인한 고장 및 호환성이 제대로 이루어지지 않아 실시간 모니터링은 실시하지 못함. 대신 용수로의 용수공급 시 센서를 활용하여 현장 실측 데이터를 확보함
- 센서 데이터의 건전성 검증을 위해 센서값과 직접 용수를 채취하여 부유물질(SS)을 측정된 실측값 결과를 비교함
- 추후 관수제어 시스템 구축 시 실시간으로 모니터링 및 데이터 확보가 가능하도록 구성함



[그림 5-23] 부유물질(SS) 측정 모습

라. 유속계

- 콘크리트 수로는 일반적으로 단순한 직사각형 형태나 사다리꼴 형태로 이루어져 있기 때문에, 직사각형 단면 수로의 경우 수로 중간 지점에서 유속을 측정하며, 사다리꼴 단면 수로의 경우 삼각형 단면 부분과 직사각형 단면 부분을 나누어 유속을 측정해야 함. 각 단면 부분별로 수심이 1.2 m 이하인 경우 1점법, 1.2 m 이상인 경우 2점법 혹은 3점법을 사용해야 함.



[그림 5-24] 콘크리트 수로 유속 측정 방법

- 본 용수로는 직사각형 수로이며, 수심이 1.2m 이하로 1점법을 사용하여 측정하였으며, 용수रो에 지표수 용수공급 시 프로펠러 유속계를 활용하여 흐름 단면의 점유속을 측정함



[그림 5-25] 유속계 측정 모습

[표 5-21] 유속계 사양

| | |
|-------------|--|
| 측정범위 | 0.03 to 7.5 m/s |
| 메모리 용량 | 1,000 points |
| 표시창 | Two line by 16 Character LCD |
| 분석능력 | 0.01m/sec |
| 정확도 | ±1% |
| 평균 측정 시간 표시 | 1 ~ 999초 범위 사용자 조정 가능 |
| 작동 가능 온도 | 관독기 -10°C ~ 82°C (상대습도 15% 일 경우) 센서 -17.8°C ~ 149°C |
| 전원 | 4 AA batteries |
| 신호 연결 방식 | RS232 |

제 5 절 지표수 활용 관수제어 시스템 운영을 위한 데이터 분석

1. 강수량 및 관개수량 모니터링 결과

- 관수관리의 효율성을 높이기 위하여 토양수분에 영향을 주는 강우 발생량과 발생일을 확인하기 위하여 현장에 설치된 강우량계에서 관측된 강우 데이터와 기상청 데이터를 비교함
- 기상청 데이터는 기상청 관측소 중 Test-bed 대상지와 가장 인접한 홍성기상관측소의 관측자료를 사용함
- 모니터링 결과, 강우량계 실측 데이터와 기상청 관측자료의 차이가 다소 높음. 이는 강우량계 데이터를 수집하여 송출하는 서버다운 및 모뎀 접속 불량 등의 이유로 데이터 유실이 발생함
- 또한, 홍성기상관측소가 가장 인접해있으나 실제 Test-bed 대상지와는 20km 이상 거리가 있어 실제 Test-bed 대상지에서의 강수량 차이가 나타난 것으로 판단됨

[표 5-22] 강수량

| 구분 | 강수량(mm) | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 03/29 | 04/29 | 04/30 | 05/01 | 05/04 | 05/07 | 05/10 | 05/11 | 05/16 | 05/17 |
| 강우량계 | 1.0 | 3.0 | 4.0 | 2.0 | 12.0 | 2.0 | 21.0 | 2.0 | 4.0 | 1.0 |
| 홍성관측소 | 0.2 | 2.9 | 6.3 | 0.2 | 18.3 | 4.0 | 21.6 | 1.9 | 18.3 | 1.4 |
| 구분 | 강수량(mm) | | | | | | | | | |
| | 05/20 | 05/21 | 05/28 | 05/31 | 06/03 | 06/18 | 06/23 | 06/26 | 06/28 | 06/29 |
| 강우량계 | 1.0 | 1.0 | 4.0 | 3.0 | 4.0 | 2.0 | 9.0 | 2.0 | 27 | 36 |
| 홍성관측소 | 11.3 | 2.9 | 39.3 | 3.5 | 20.2 | 4.9 | 25.3 | 1.1 | 0.3 | 0.1 |

- Test-bed의 경우 영농인이 영농일지를 작성하고 있었으며, 영농일지를 토대로 Test-bed의 실제 관수량을 파악함
- 관수 시 관수시간은 최소 4시간에서 최대 8시간 진행하였으며, 평균 관수시간은 5.3시간임.
- Test-bed의 관수면적은 1,650㎡으로 시간당 관수량은 2.2㎡, 1㎡ 당 관수량은 1시간에 0.0013㎡로 3월부터 10월까지 Test-bed의 총 관수량은 0.12㎡/㎡으로 파악됨

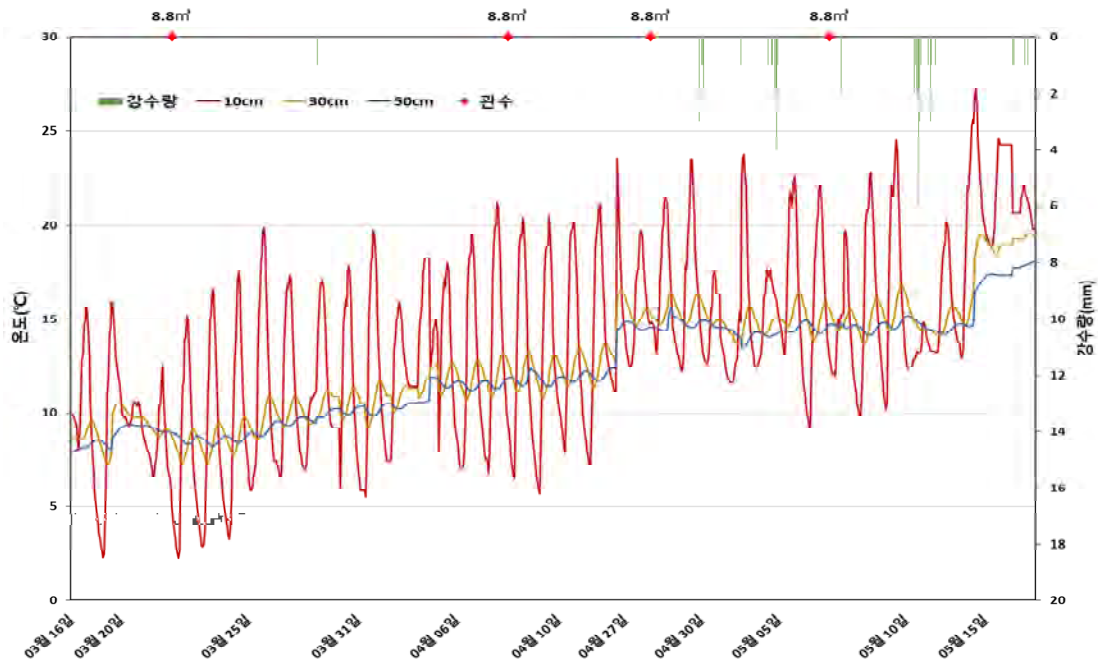
[표 5-23] 3월~10월 Test-bed 관수량

| 관수 일자 | | 관수 시간 (hour) | 총 관수량 (㎡) | ㎡ 당 관수량 (㎡/㎡) | 월별 ㎡ 당 관수량 (㎡/㎡) |
|---------------|----|-----------------|--------------|------------------|---------------------|
| 월 | 일 | | | | |
| 3 | 22 | 4 | 8.8 | 0.0053 | 0.0053 |
| 4 | 8 | 4 | 8.8 | 0.0053 | 0.0240 |
| | 20 | 6 | 13.2 | 0.0080 | |
| | 24 | 4 | 8.8 | 0.0053 | |
| | 28 | 4 | 8.8 | 0.0053 | |
| 5 | 7 | 4 | 8.8 | 0.0053 | 0.0160 |
| | 12 | 8 | 17.6 | 0.0107 | |
| 6 | 8 | 5 | 11 | 0.0067 | 0.0067 |
| 7 | 14 | 6 | 13.2 | 0.0080 | 0.0200 |
| | 23 | 5 | 11 | 0.0067 | |
| | 31 | 4 | 8.8 | 0.0053 | |
| 8 | 5 | 7 | 15.4 | 0.0093 | 0.0253 |
| | 13 | 6 | 13.2 | 0.0080 | |
| | 20 | 6 | 13.2 | 0.0080 | |
| 9 | 17 | 6 | 13.2 | 0.0080 | 0.0080 |
| 10 | 4 | 5 | 11 | 0.0067 | 0.0147 |
| | 5 | 6 | 13.2 | 0.0080 | |
| 연간 총 관수량(㎡/㎡) | | | | 0.1200 | |

2. 토양수분 모니터링 결과

가. 토양깊이별 온도 변화

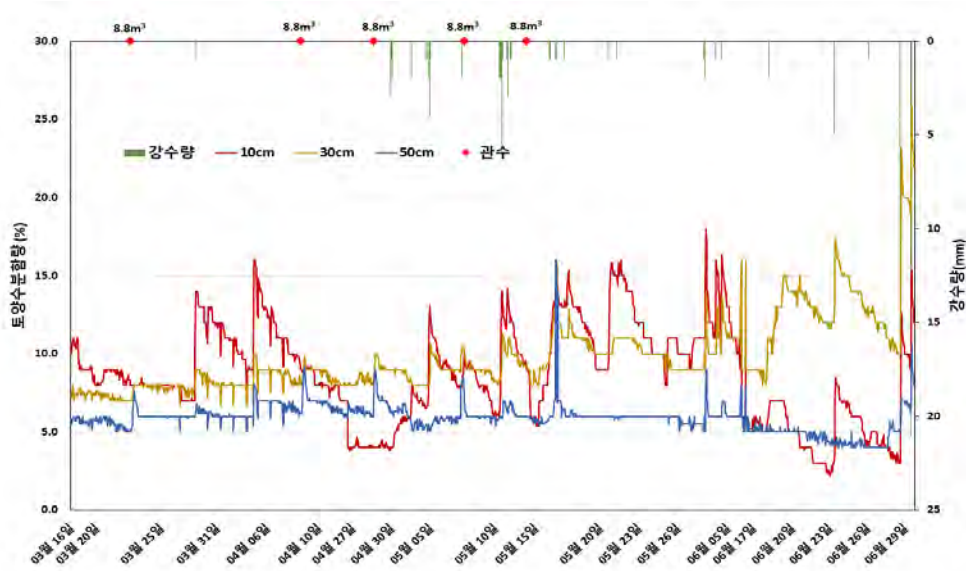
- 관수 시나 강우 발생 시 토양깊이별 온도변화를 확인한 결과, 토양깊이 10cm는 대기 온도에 영향을 받으며, 강우 시 급격한 온도 저하가 발생하였으며, 토양깊이 30, 50cm는 일일 온도 변화가 크지 않으며, 강우 시 온도변화가 미비한 것으로 관측됨



[그림 5-26] 토양 깊이별 온도변화 결과

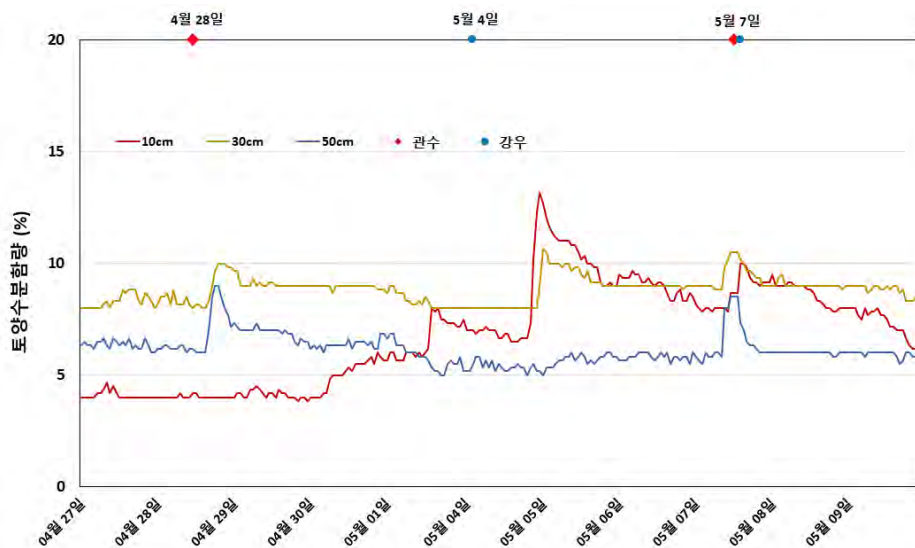
나. 토양깊이별 수분함량 변화

- Campbell sci사 SoilVUE 토양수분센서를 이용하여 관수시기인 2021년 3월~6월까지 토양깊이 10cm, 30cm, 50cm에서의 토양수분 함유량을 실시간으로 확인함
- 토양수분함량, 강수량, 관수량을 모두 확인하여 토양깊이별 수분함량 변화를 분석한 결과, 토양깊이 10cm는 강우 시 토양수분함량이 급격히 증가하였으나, 관수 시 토양수분함량 변화는 미비한 것으로 관측됨. 이는 점적관개지점 사이로 토양수분측정센서가 설치되어 있어 표면의 토양수분함량 변화는 관개 시보다 강우 시의 영향을 크게 받음
- 토양깊이 30, 50cm는 강우 시 토양수분함량 변화가 미비하였으나, 관수 시 토양수분함량이 증가함. 따라서 토양깊이가 깊어질수록 강우 시보다 관개 시의 영향을 크게 받은 것으로 나타남
- 경험적 관개는 토양깊이 10cm의 토양수분함량이 10% 이하일 때 관개를 진행하는 것으로 확인하였으며, 지속적인 모니터링을 통해 데이터 확보 및 관수제어 시 토양수분함량 기준 제시를 위한 깊이를 결정할 예정임



[그림 5-27] 토양 깊이별 토양수분 함량 측정결과

- 관개 또는 강우 발생 시 토양수분함량의 변화를 자세히 관찰하기 위하여 2021년 04월 27일부터 열흘간 토양수분함량의 변화를 살펴보면 Test-bed에 관개 시와 강우 발생 시 깊이별 토양수분 함량 변화의 차이를 알 수 있음
- 4월 28일 관수 전 토양깊이 10cm는 토양수분함량이 5% 이하, 토양깊이 30, 50cm는 10% 이하였는데 관수 후 토양깊이 10cm는 여전히 5%이하 였으나, 토양깊이 30, 50cm는 3% 정도 증가함
- 5월 4일 강우가 있던 날은 토양깊이 10cm는 강우 전보다 토양수분함량이 7%정도 증가하였고, 토양깊이 30cm도 토양수분함량이 증가하였으나 2% 정도로 미비하였음. 토양깊이 50cm는 토양수분 함량의 변화가 거의 없었음
- 5월 7일에는 토양수분함량이 깊이별로 증가하는 추세를 보였는데, 토양깊이 30, 50cm는 이날 오전 관수로 인한 영향으로 판단되며, 토양깊이 10cm는 오후 강우의 영향으로 판단됨



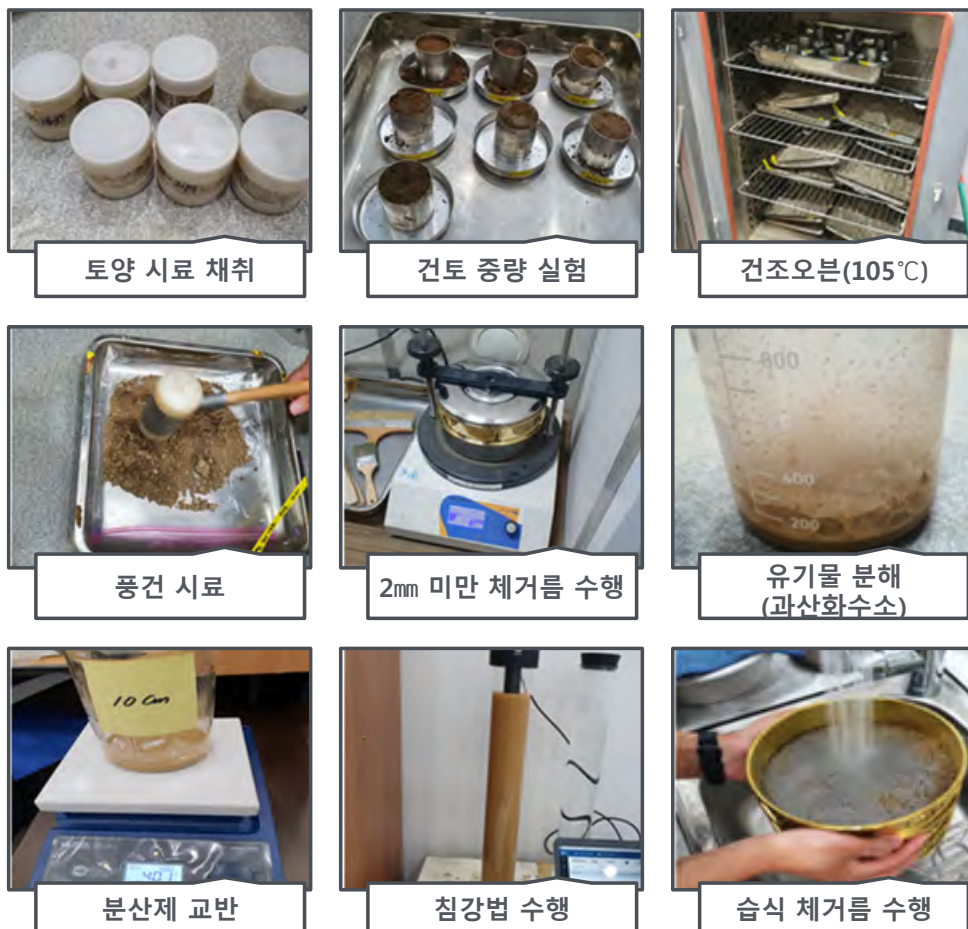
[그림 5-28] 2021년 4월 27~5월 9일 동안 토양수분 함량 변화

다. 토성실험 결과

- 2021년 7월 28일 10시 40분경 대상지의 토양수분 측정을 수행하였으며, 토양깊이 10cm, 30cm, 50cm에서 샘플을 각각 3, 3, 1개씩 코어법을 통해 채취함
- 건토중량법, 유기물함량, 토질 분석을 수행하였으며, 실험 모습은 아래와 같음

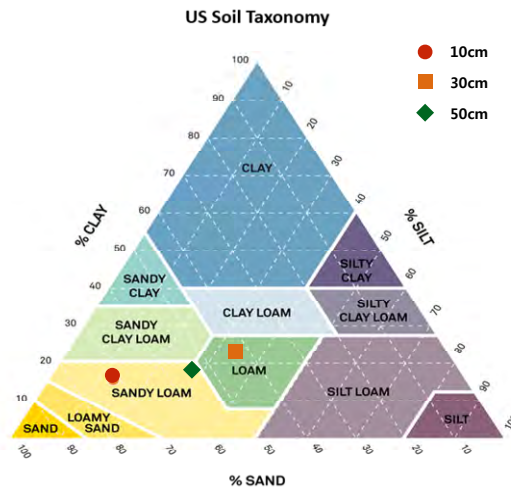


[그림 5-29] 토양 샘플 채취 모습



[그림 5-30] 토양 수분량 실험모습

- 건토중량법을 수행한 토양수분값은 토양깊이 10cm, 30cm, 50cm에서 각각 평균 0.17 m^3/m^3 , 0.26 m^3/m^3 , 0.22 m^3/m^3 으로 나타남
- 유기물 함량은 토양깊이 10cm, 30cm, 50cm에서 각각 1.24%, 2.62%, 6.20%로 깊이가 깊어질수록 유기물의 함량이 높아짐
- 일반적인 경작지 토양의 유기물 농도가 약 2%이며 토양깊이 30cm에서 비교적 높은 유기물 함량을 가지고 있음
- 토질 특성은 토양깊이 10cm, 30cm, 50cm에서 각각 sandy loam, loam, sandy loam으로 토양깊이 30cm에서 점토함량을 비교적 많이 포함하고 있음

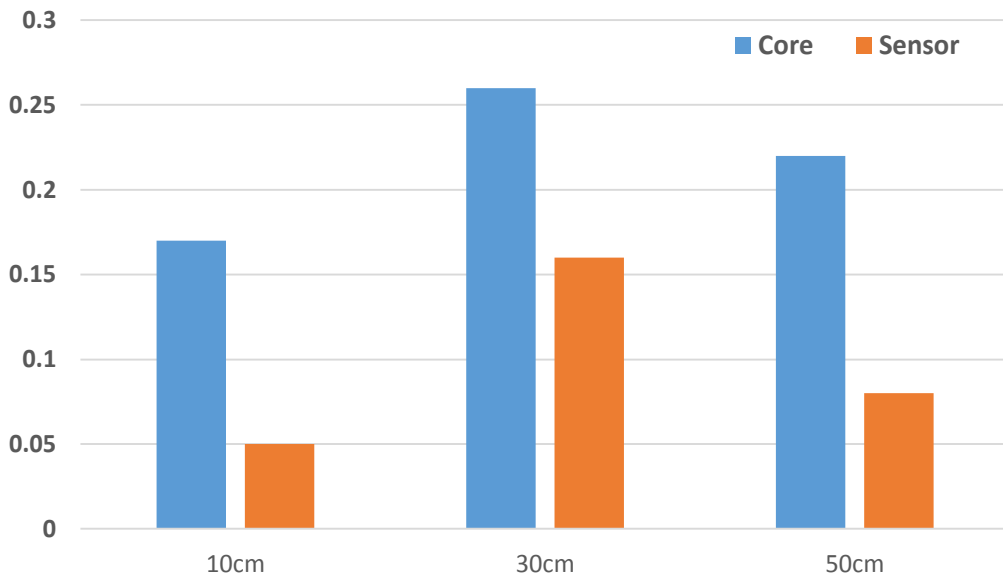


[그림 5-31] 토양 수분량 실험결과

[표 5-24] 토양 깊이별 토성 실험결과

| 토양수분(m^3/m^3) | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|
| 구분 | No. 1 | No. 2 | No. 3 | 평균 |
| 10cm | 0.16 | 0.16 | 0.2 | 0.17 |
| 30cm | 0.23 | 0.27 | 0.29 | 0.26 |
| 50cm | 0.22 | | | 0.22 |
| 유기물 함량 | | | | |
| 구분 | 건조시료 무게 (유기물제거 전) (g) | 건조시료 무게 (유기물제거 후) (g) | 유기물 함량 (g) | 유기물 비율 (%) |
| 10cm | 50 | 49.38 | 0.62 | 1.24 |
| 30cm | 50 | 48.69 | 1.31 | 2.62 |
| 50cm | 50 | 48.87 | 1.13 | 2.26 |
| 토질 특성 | | | | |
| 구분 | Sand(%) | Silt(%) | Clay(%) | Soil type |
| 10cm | 71 | 13 | 16 | Sandy loam |
| 30cm | 43 | 35 | 24 | loam |
| 50cm | 57 | 28 | 15 | Sandy loam |

- 시료 채취 후 건토중량법을 수행한 토양수분 값과 토양수분센서(Campbell sci사 SoilVUE) 값과 비교하여 토양수분센서 데이터 건전성을 평가한 결과 토양수분센서에서 약 10% 내외의 과소산정이 되는 것으로 나타났음
- 사용된 SoilVUE 센서의 경우 토양수분의 민감도가 낮았으며, 이는 파일 설치 주변이 촘촘하게 압축된 층이 형성되어 주변 토양수분과 평형을 이루는데 발생한 문제이며, 점토와 같은 미세질의 토양에서 압축효과가 강화되어 측정에 불확도를 높임
- 추후 관수시스템 운영시 토양수분함량을 보정해서 사용해야 할 것으로 판단됨



[그림 5-32] 토양수분센서 데이터 건전성 검증 결과

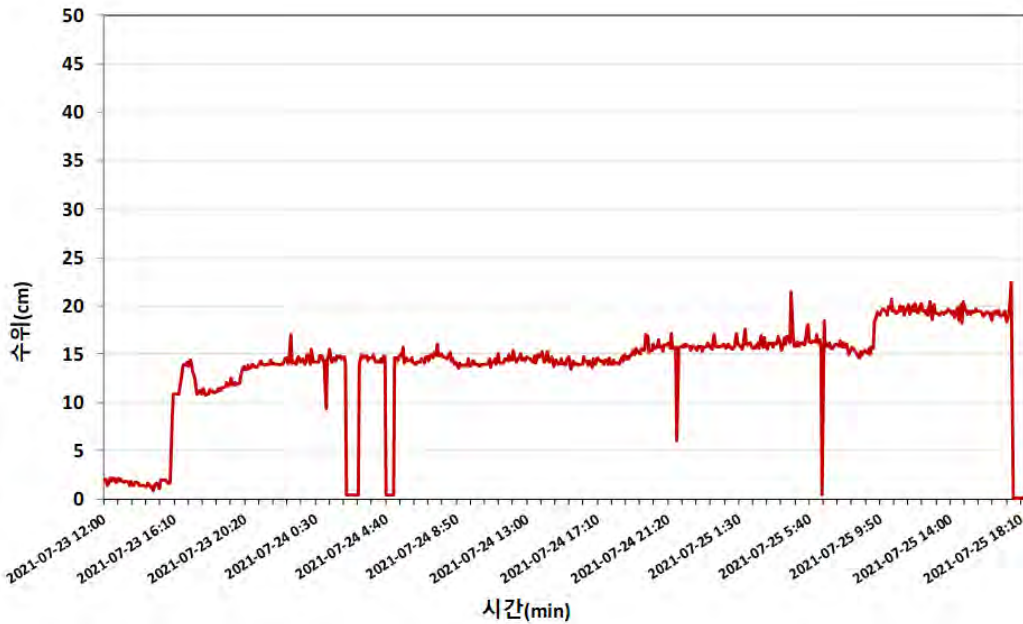
[표 5-25] 토양수분센서 데이터 건전성 검증 결과

| 토양수분(m ³ /m ³) | | |
|---------------------------------------|------|--------|
| 구분 | Core | Sensor |
| 10cm | 0.17 | 0.05 |
| 30cm | 0.26 | 0.16 |
| 50cm | 0.22 | 0.08 |

3. 지표수(용수로)의 수량 및 수질 분석

가. 실시간 수위 모니터링 결과

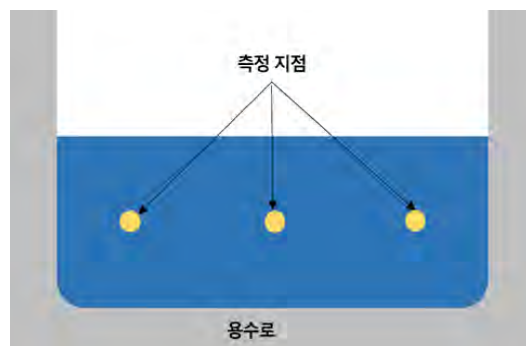
- 기존의 압력식 수위계에서 변경된 초음파 수위계로 실시간 수위 모니터링 측정 결과, 용수로에 지표수가 공급될 때 수위는 6시간 이상 일정하게 유지됨을 확인함. 모니터링 시기가 농번기를 지나 지표수가 적게 공급되어 수위는 높지 않았음. 지속적인 모니터링을 통하여 관개시 충분한 유량 확보를 위한 수위값을 결정할 예정임
- 일부 오차 및 수위가 급변하는 원인은 추후 모니터링을 통하여 분석할 예정이며, 관수시스템 구축 시 문제가 없도록 보정할 예정임



[그림 5-33] 용수로 수위 측정 결과

나. 유속 측정 결과

- 용수로의 유량측정을 위한 유속 측정은 용수로의 좌, 우, 중앙의 유속을 측정하여 평균 유속값을 사용하였음. 유속을 측정할 때 용수로의 수위도 함께 측정함



[그림 5-34] 유속 측정 방법

[표 5-26] 유속 측정 결과

| 구분 | 평균유속 (m/s) | 수위 (m) |
|----|------------|--------|
| 1차 | 0.46 | 0.19 |
| 2차 | 0.80 | 0.10 |
| 3차 | 0.62 | 0.08 |

- 1차, 2차, 3차 유속측정은 5월~7월 중 용수로에 용수가 공급될 때 측정한 값으로, 농번기 시기가 지나 용수로에 용수공급이 충분하지 않았던 것으로 보임. 추후 지속적인 유속 측정을 실시하여 유속 및 수위에 따른 안정적인 지표수 공급 방안 설계 예정

다. 유량 분석

- 용수로 내 유속 측정 결과와 유속 측정 시 측정한 수위에 따른 유량을 계산함. 5월 말에서 7월 중에는 평균 수위는 0.12m, 평균유속은 0.62m/s로 그에 따른 유량은 0.06m³/s로 확인됨. 관찰시기가 농번기를 지난 시기라 수위가 용수로의 높이의 50% 이하로 유지되고 있었음
- 본 연구에서 관수제어에 사용할 펌프의 용량은 100L/min으로 안정적인 지표수 공급을 위해서는 최소 0.002m³/s이상의 유량을 확보하여야함. 수위에 따른 유량은 펌프 용량에 알맞게 안정적으로 지표수 공급이 가능할 것으로 판단됨
- 안정적이며 원활한 지표수 공급을 위해 지속적인 수위에 따른 유량 분석을 진행할 예정임

[표 5-27] 측정 수위에 따른 유량값

| 구분 | 수위 (m) | 유속 (m/s) | 유량 (m ³ /s) |
|----|--------|----------|------------------------|
| 1차 | 0.19 | 0.46 | 0.05 |
| 2차 | 0.10 | 0.80 | 0.03 |
| 3차 | 0.08 | 0.62 | 0.02 |
| 평균 | 0.12 | 0.62 | 0.06 |

라. 수질 분석

- 용수로에 용수 공급 시 부유물질(SS) 측정 센서를 이용하여 부유물질(SS)을 측정함. 현장에서 취득한 데이터와 센서의 데이터 건전성 검증을 위해 용수로 내 직접 채수한 용수를 수질오염공정시험기준에 따라 시험하여 구한 부유물질(SS) 값을 비교함
- 부유물질(SS) 측정결과 1차에서는 센서의 고장으로 인하여 센서 실측값을 측정하지 못함. 2차 측정결과 현장에서 센서로 실측한 값과 용수로에서 채수하여 시험한 부유물질(SS) 측정값은 1.1(mg/L)로 미세한 차이를 보였음. 추후 명확한 데이터 건전성 확보를 위해 지속적인 비교 실험

을 진행할 예정임

- 용수로에서 채수하여 부유물질을 측정된 결과, 1차, 2차 모두 농업용수 수질기준 중 하천수 및 호소수에 부합한 값을 얻었음. 1차 채수시 육안으로 관찰되는 부유물질은 거의 없었으며, 2차 측정 시에는 1차보다는 육안으로 확인되는 부유물질은 있었으나, 대부분은 미세한 유기성 물질이었음



1차



2차

[그림 5-35] 수질 분석 시 용수로 내 지표수 상태



[그림 5-36] 수질분석을 위한 용수 채수

[표 5-28] 부유물질(SS) 측정결과

| 구분 | TSS (mg/L) | |
|----|------------|------|
| | 센서 실측값 | 시험값 |
| 1차 | - | 2.16 |
| 2차 | 10.95 | 12.1 |

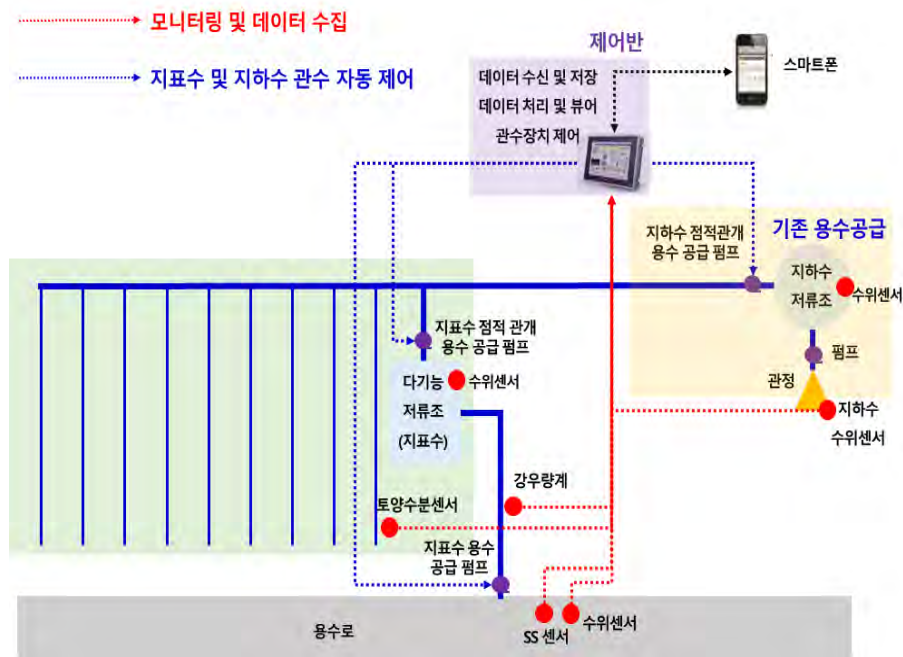
[표 5-29] 부유물질(SS) 농업용 수질 기준(ml/L)

| 구분 | 하천수 | 호소수 | 지하수 |
|----|--------|------|-----|
| SS | 100 이하 | 15이하 | - |

제 6 절 실시간 모니터링 및 관수시스템 구축

1. 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템 개요

- ICT 기반 자동 관수시스템은 지표수 활용을 위하여 용수로에 수위 및 수질 센서를 설치하여 실시간 모니터링을 통해 지표수 활용 여부를 판단하고, 토양수분센서를 설치하여 자동으로 관개용수를 공급하는 시스템임



[그림 5-37] ICT기반 관수제어 시스템

- ICT 기반 자동 관수시스템에 사용된 센서는 수위측정 센서, 수질측정 센서, 강우량계, 토양수분 센서 등 4종류를 사용함
- 수위센서는 지하수 및 지표수 수위 변화 모니터링과 저류조 내부 수위를 측정하는 용도로 사용하였으며, 수질센서는 용수로에 흐르는 지표수의 수질을 측정하여 사용여부를 판단하고, 토양수분 센서는 토양수분함량 모니터링을 위한 자동관개 제어용으로 사용함
- 기존에 사용되고 있는 펌프는 2대(지하수)이며, 지표수를 사용하기 위해서 다기능 저류조에 설치되는 지표수 점적관개 용수 공급 펌프 1대와 다기능 저류조에 용수공급을 위한 지표수 용수공급 펌프 1대, 총 4대가 사용될 예정임

[표 5-30] ICT기반 관수제어 시스템 센서 구성 및 기능


| 구분 | | 내용 |
|--------|------------|--|
| 수위센서 | 지하수 | - 지하수 실시간 수위변화 모니터링 |
| | 지하수 저류조 내부 | - 지하수 점적 관개 용수공급 펌프 제어 |
| | 지표수 | - 용수로의 지표수 공급 여부 실시간 확인 - 실시간 수위 모니터링 - 지표수 용수공급 펌프 제어 |
| | 다기능 저류조 내부 | - 지표수 점적 관개 용수공급 펌프 제어 - 지표수 용수공급 펌프 제어 |
| 수질센서 | | - 지표수 실시간 SS(부유물질) 모니터링 - 지표수 수질 적정 여부 판단 - 지표수 용수공급 펌프 제어 |
| 강우량계 | | - 실시간 강우량 모니터링 |
| 토양수분센서 | | - 토양 깊이별 실시간 온도 및 토양수분함량 모니터링 - 지하수 및 지표수 용수공급 펌프 제어 |

[표 5-31] ICT기반 관수제어를 위한 펌프 구성

| 구분 | | 내용 |
|-----|----------------|-----------------|
| 지하수 | 공급 펌프 (기존) | - 지하수 저류조 용수 공급 |
| | 점적관개 용수 펌프(기존) | - 밭 점적관개 용수 공급 |
| 지표수 | 지표수 용수공급 펌프 | - 다기능 저류조 용수 공급 |
| | 점적관개 용수 공급 펌프 | - 밭 점적 관개용수 공급 |

- 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템 구축을 위하여 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 및 PLC(Programmable Logic Controller) 시스템을 적용하였음. 수신된 데이터 저장 및 프로그램 실행을 위하여 Window OS를 탑재한 컴퓨터를 사용함

[표 5-32] PC 사양

| 구분 | | 내용 | |
|-----------|-------------------|--|--|
| H/W | CPU | Intel® Celeron® J1900 2.0GHz (FANLESS) |  <ul style="list-style-type: none"> • 다양한 I/O 포트 • Intel Quad-Core J1900 CPU 탑재 • SSD 표준 적용으로 빠른 부팅 및 데이터 손실 최소화 |
| | MEMORY | DDR3L SDRAM 4GB (Max. 8GB) | |
| | GRAPHIC | Integrated Intel HD Graphic | |
| | DISPLAY | 12.1" TFT LCD | |
| | RESOLUTION | XGA (10240x768) | |
| | LCD BRIGHTNESS | 700cd/m ² | |
| | Backlight Unit | LED | |
| | TOUCH | Analog Resistive | |
| | STORAGE | SSD 120 GByte | |
| | EX. STORAGE | mSATA * 1 | |
| | ETHERNET | Gigabit Ethernet (2 Port) | |
| | USB | USB 2.0 (2 Port), USB 3.0 (1 Port) | |
| | AUDIO | Line-out, MIC-in (각 1 Port) | |
| | EX. VIDEO | VGA, DVI-D (각 1 Port) | |
| | OS (Selectable) | Windows 10 IoT Enterprise (Standard) | |
| | UTILITY PROGRAM | UWF / Winclon 6 (Recovery System) | |
| | POWER CONSUMPTION | 21W | |
| | POWER INPUT | A: AC100~240V, 50/60Hz / D: DC24V | |
| SCADA S/W | | FULL / 1500 / 500 | |

[표 5-33] PLC CPU MODULE

| 항목 | | 내용 |
|------------------|--------|--------------------------------|
| 전원 | | DC12V~24V |
| 프로그램 제어방식 | | 반복 연산, Time Driven interrupt |
| 입출력 제어방식 | | Indirect 방식, 명령어에 의한 Direct 방식 |
| 데이터 처리 방식 | | 32 Bit |
| 명령 | 시퀀스 명령 | 55 Instruction |
| | 응용 명령 | 389 Instruction |
| 연산 처리 속도 (기본 명령) | | 300 ns/Step |
| 프로그램 메모리 용량 | | 10k Step |
| 최대 입출력 정수/최대 확장 | | 1024 pts |
| 운전모드 | | Remote Run, Remote Stop |
| 정전시 데이터 보존 | | K 영역 및 보존(Latch)으로 설정된 데이터 |
| 프로그램 블록 수 | | 128개 |



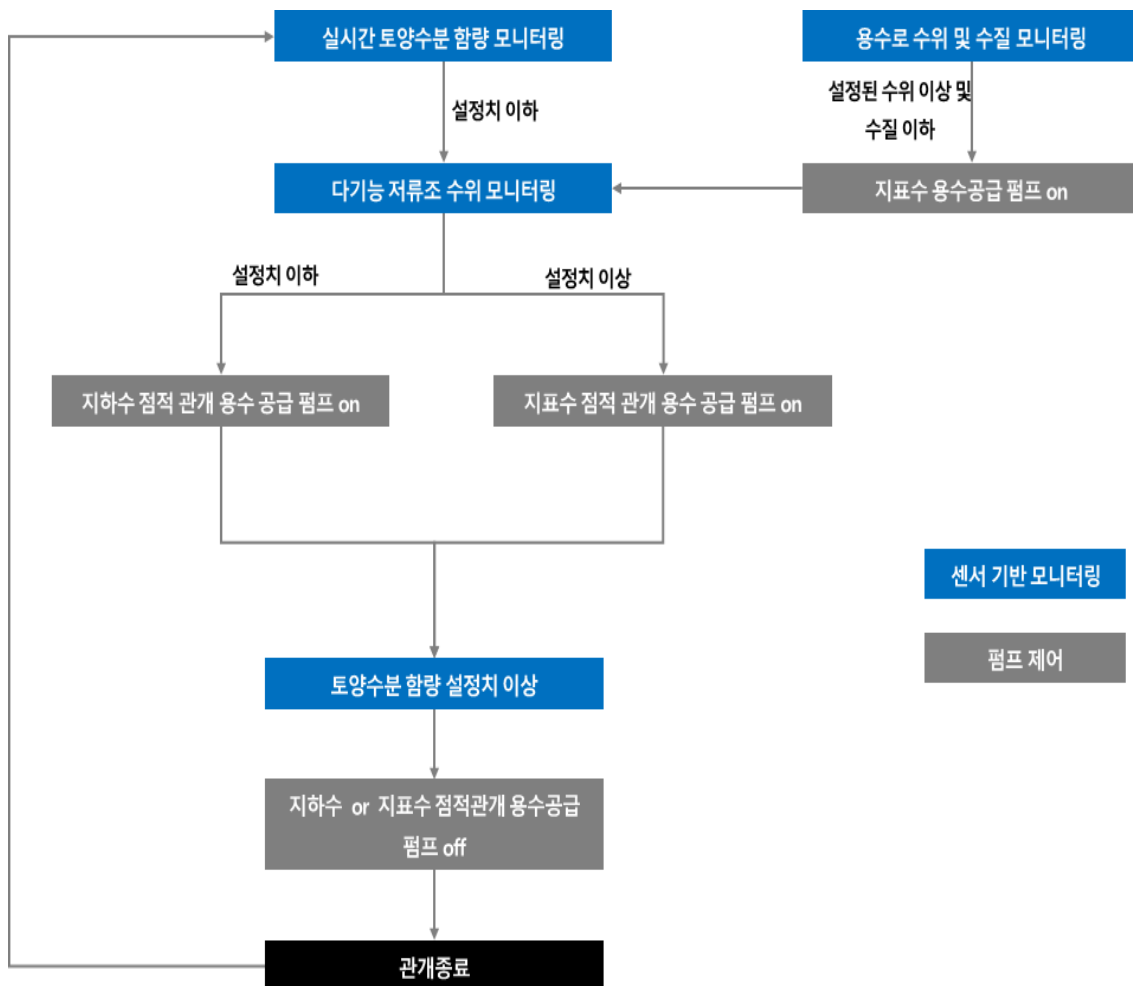
[표 5-34] PLC 아날로그 입출력 MODULE

| 항목 | | 내용 |
|------------|-------------|-------------------------------|
| 아날로그 입력점수 | | |
| 아날로그 입력 | 전압 | 0~5V / 1~5V / 0~10V / -10~10V |
| | 전류 | 0 ~ 20 mA / 4 ~ 20 mA |
| 디지털 출력 | | 14 bit (0 ~ 16000) |
| 정격부하 전압/전류 | 0V ~ 5 V | 312.5 mV |
| | 250 mV | 55 Instruction |
| 1V ~ 5 V | 0V ~ 10 V | 625 mV |
| | -10V ~ 10 V | 1250 mV |
| | 0mA ~ 20 mA | 1.25 nA |
| | 4mA ~ 20 mA | 1 nA |
| | 정밀도 | ±0.1% (full scale) |
| 최대 변환속도 | | 2.1 ms / 4 channels |
| 절대 최대입력 | | 전압 : ±15V, 전류 : ±30mA |
| 절연방식 | | 입력단자와 PLC간 포토커플러 절연 (채널간 비절연) |
| 전원 | | 외부 24Vdc 공급 |
| 정전시 데이터 보존 | | K 영역 및 보존(Latch)으로 설정된 데이터 |
| 프로그램 블록 수 | | 128개 |



2. ICT기반 지표수 및 지하수 관수 제어 운영방식

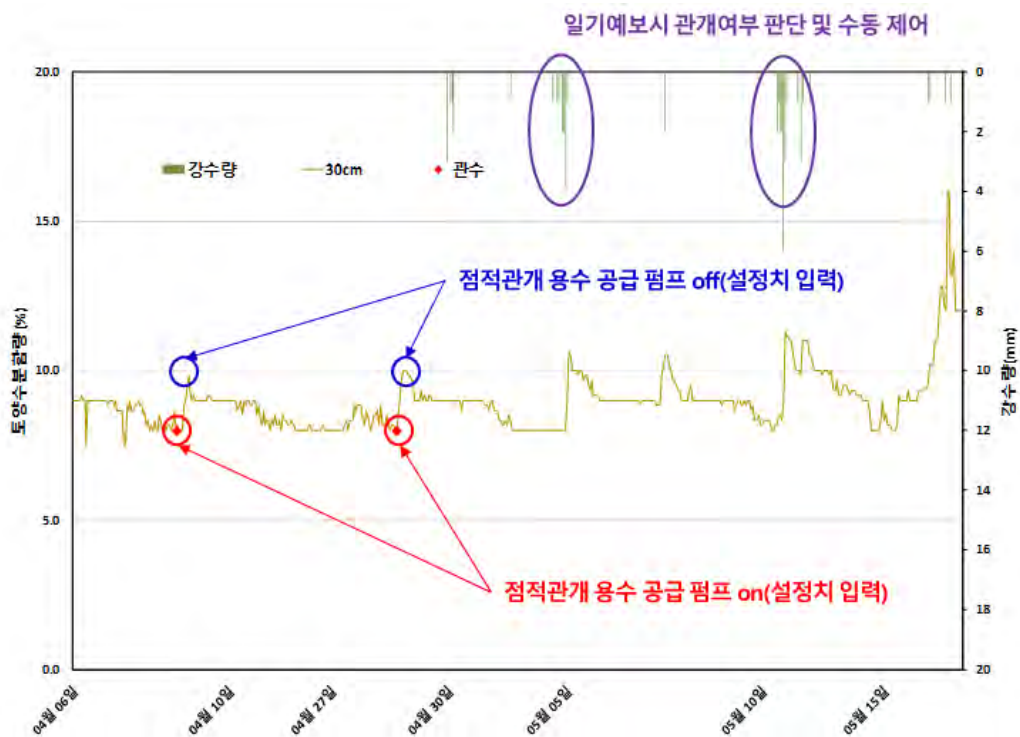
- ICT기반 자동 관수시스템은 토양수분센서를 이용하여 실시간 토양수분 데이터를 측정하고, 최저 토양수분 값에 도달하면 지표수 점적관개 용수공급 펌프가 작동하여 관개용수를 공급함. 일정 시간 이후 실시간 토양수분 값이 설정된 최대값에 도달하게 되면 펌프는 자동으로 정지함
- 만약, 다기능 저류조에 저장된 지표수가 일정 수위 이하일 경우, 지표수 점적 관개 용수공급 펌프는 작동하지 않고 지하수 점적 관개 용수공급 펌프가 작동되어 지하수를 공급하는 시스템임
- 지표수를 활용하기 위하여 용수로에 수위센서 및 수질센서를 설치하여 수위 및 수질 데이터를 측정하고, 용수로의 수위가 설정된 수위값과 수질 범위에 도달하면 지표수 용수공급 펌프가 작동되어 다기능 저류조에 용수를 공급함. 저류조에 설정된 최대값에 도달하거나, 용수로의 수위가 설정된 수위 이하 및 수질 범위로 떨어지게 되면 지표수 용수공급 펌프는 자동으로 정지함
- 또한, 농업인이 일기예보 시 관개여부를 판단하여 수동으로 관수 공급을 중단할 수 있게 설정함



[그림 5-38] ICT기반 관수 우선 순위 및 제어 흐름도

[표 5-35] 관수펌프 제어 방식

| 구분 | 펌프 제어 | |
|-------------------|---|--|
| | off | on |
| 지표수 용수공급 펌프 | ① 용수로 수위계 설정치 이하 ② SS Data 설정치 이상 ③ 다기능 저류조 수위 HI | ① 용수로 수위계 설정치 초과 ② SS Data 설정치 미만 ③ 다기능 저류조 수위 LOW |
| 지표수 점적관개 용수 공급 펌프 | ① 다기능 저류조 수위 LOW ③ 토양수분함량 설정치 이상 | ① 토양수분함량 설정치 이하 ② 다기능 저류조 설정 수위 이상 |
| 지하수 점적관개 용수 공급 펌프 | ① 지하수 저류조 수위 LOW ② 토양수분함량 설정치 이상 ③ 지표수 점적관개 용수 공급 펌프 ON | ① 토양수분함량 설정치 이하 ② 지표수 점적관개용수 공급 펌프 OFF ③ 지하수 저류조 수위 설정 수위 이상 |



[그림 5-39] ICT기반 자동관수 시스템 운영을 위한 점적관개 용수 펌프 제어(안)



[그림 5-40] 지표수 관개용수 활용을 위한 펌프 제어(안)

제 7 절 다기능 저류조 설치 및 Test-bed 구축

1. Test-bed 대상지 현황

- Test-bed 대상지는 1차년도 연구에서 지표수 활용이 가능한 발지대로 선정함
- Test-bed는 충남 예산군 신양면 하천리에 위치, 사과밭 근처에 용수로에서 지표수 활용이 가능한 사과밭으로 2차년도에 센서 보완 및 실시간 데이터를 수집하여 수집된 데이터를 기반으로 관수제어 시스템 구축하였음
- Test-bed에서 재배 중이던 사과나무는 작년에 병해를 입어 올해 초 새로운 사과나무 유목을 심어 현재 재배 중에 있음



2021.09월

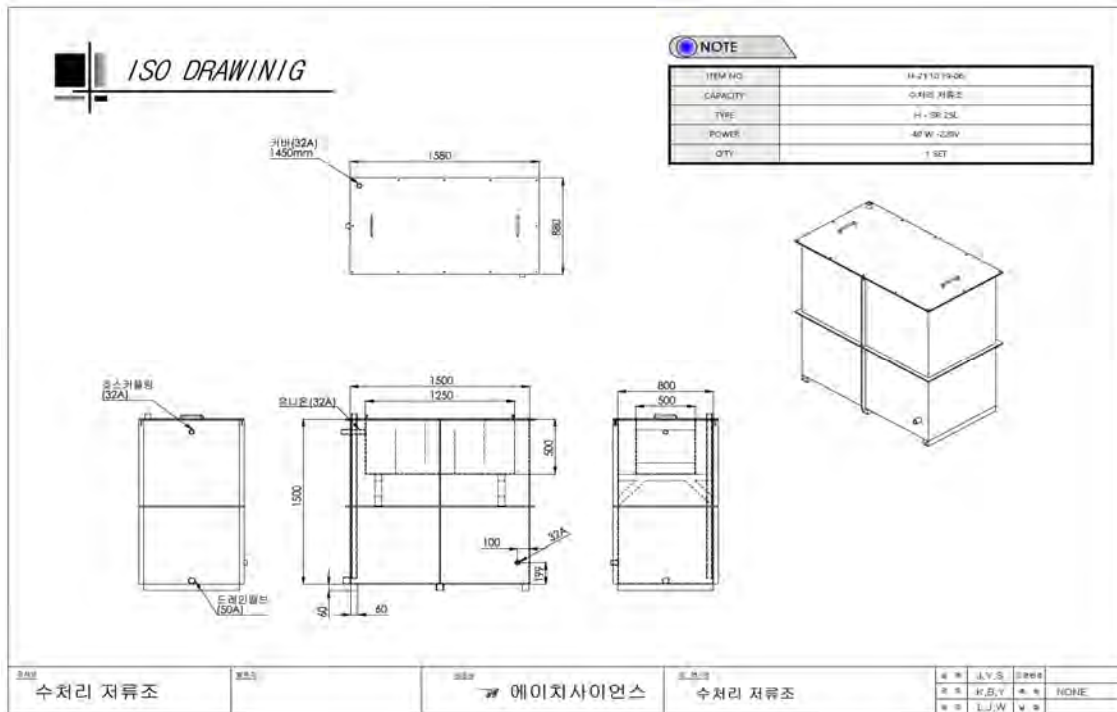


2022.04월

[그림 5-41] Test-bed 현황

2. 다기능 저류조 제작

- 본 연구에 적용된 다기능 저류조는 설계는 공동연구기관인 (주)이티위터에서 설계하였으며, 다기능 저류조의 용량은 Test-bed 규모 및 여건을 고려하여 본체를 제작하였음
- 다기능 저류조 내부에는 수질개선을 위한 수처리 시설(여재) 및 UV 살균램프 설치를 고려하여 내부를 제작함



[그림 5-42] 다기능 저류조 설계 도면 및 저류조 제작 모습



다기능 저류조 설치 모습



내부 수처리 시설



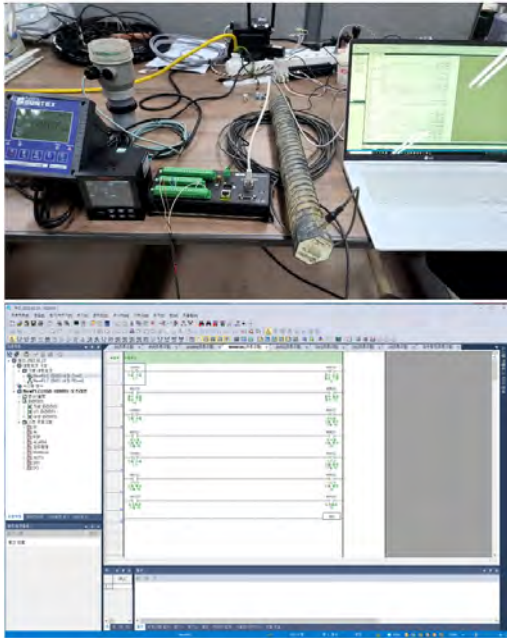
내부 UV램프 설치

[그림 5-43] 다기능 저류조 완제품 및 내부 모습

3. Test-bed 구축 및 시운전

- 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템 구축을 위하여 C사의 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 및 PLC(Programmable Logic Controller) 시스템을 적용하였음
- C사의 SCADA는 스마트폰의 3G, LTE뿐만 아니라 WIFI를 통해서도 시스템에 대한 원격제어/모니터링이 가능하며, PLC는 센서, 컨트롤러, 모니터 등의 각종 하위 디바이스와 연결하여 동작을 제어하여 손쉬운 네트워크 환경 구축이 가능함
- 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템은 Test-bed 밭 토양의 토양수분함량, 깊이 별 온도 및 강수량, 용수로의 수위 및 부유물질(SS) 그리고 지하수 수위를 실시간으로 확인할 수 있으며, 토양수분센서의 토양수분함량 설정값에 따라 자동으로 관개용수 공급이 가능함
- 제어함이나 스마트폰에서 원격으로 지표수 및 지하수 가동 펌프를 자유롭게 ON/OFF가 가능하여 영농인이 언제든지 자동/수동으로 관개 용수공급이 가능함
- 설치한 토양수분계, 강우량계, 초음파 수위계, 부자식 수위계, 부유물질(SS) 센서는 실시간으로 데이터 값을 확인이 가능하며 그래프 형식으로도 데이터 확인이 가능함

- 사용자가 원하는 센서 및 날짜의 데이터를 선택하여 EXCEL 형식으로 변환하여 PC에 다운로드 및 저장이 가능함

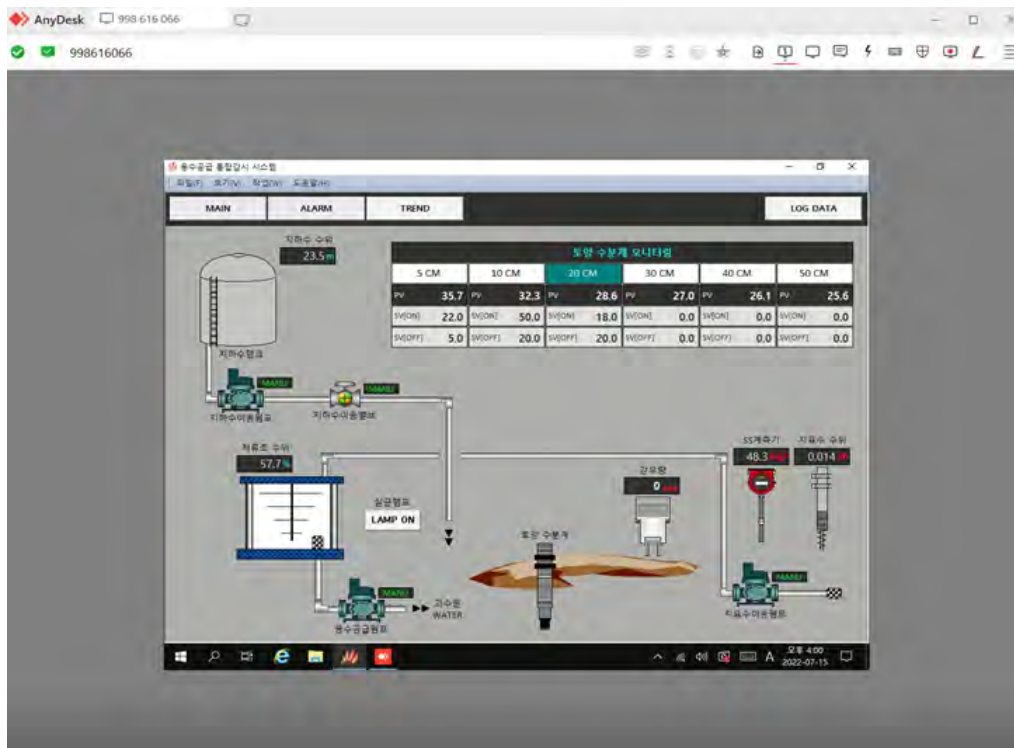


센서 및 데이터 로거 간 PLC 프로그래밍

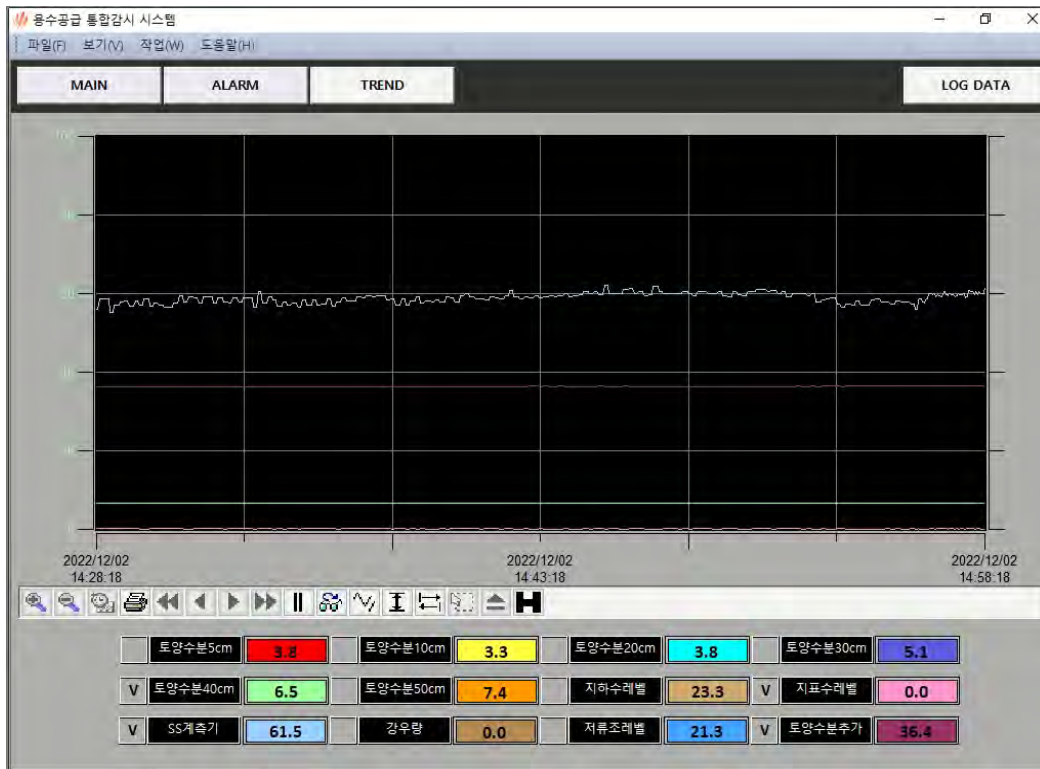


센서 자동제어함

[그림 5-44] 실시간 모니터링 및 관수제어 시스템 제작



[그림 5-45] 실시간 모니터링 및 관수제어 프로그램 화면



[그림 5-46] 실시간 모니터링 및 관수제어 프로그램 그래프 데이터

- 다기능 저류조 위치는 점적관개 편의성을 위해 기존 지하수 관개호스 시작부에 위치를 선정하였으며, 토양수분센서는 점적관개 지점 사이에 설치함. 모니터링 시스템 제어함은 용수로 옆에 설치함
- 기존에 이용 중이던 지하수 관정에도 자동밸브와 펌프 제어반을 설치하여 영농인이 관수에 있어서 유동적 사용이 가능하게 하였음



다기능 저류조 설치



수처리 시설 및 UV램프 설치



점적관개 호스 및 펌프 설치



토양수분센서 설치



지표수 용수공급 펌프 설치



모니터링 시스템 제어함 설치



초음파 수위계 및 부유물질(SS)센서 설치



용수로→저류조 급수 호스 설치



지표수 관수 시스템 설치 완료



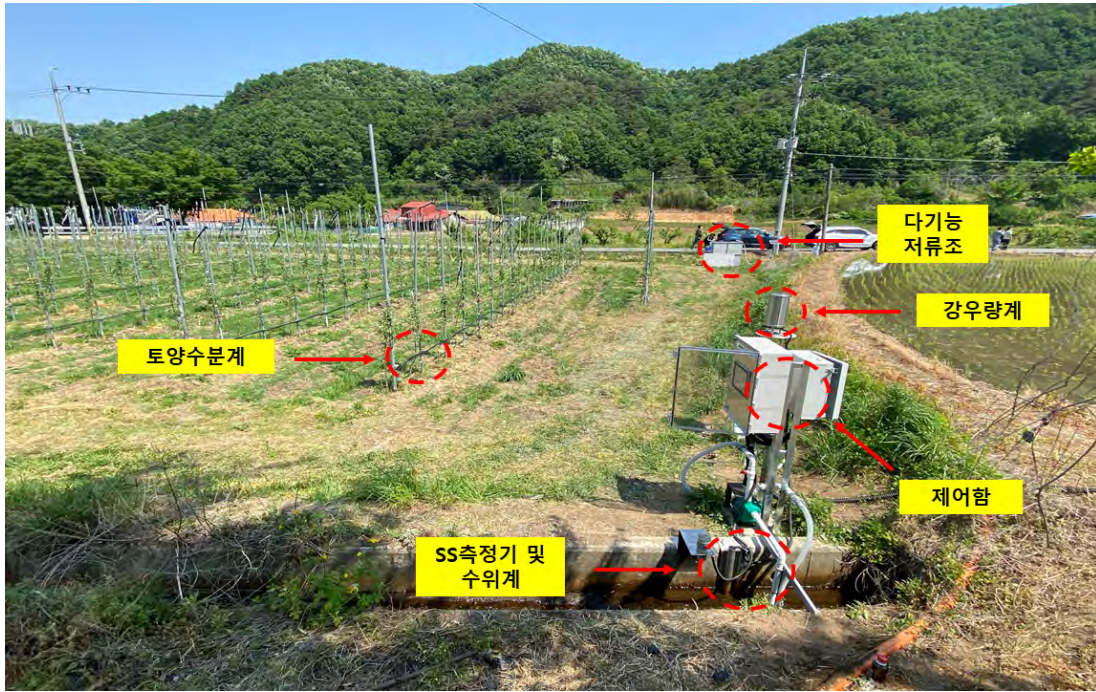
지하수 관정 수위계 설치



지하수 자동 펌프 밸브 및 펌프 제어반 설치



[그림 5-47] Test-bed 구축 과정



[그림 5-48] Test-bed 구축 완료 (2022. 05월)

- Test-bed 시운전 날은 용수로에서 지표수가 공급되고 있었으며 수위는 0.1m-0.15m 사이로 흐르고 있었음. 지표수 공급 펌프를 수동 가동시켜, 다기능 저류조에 용수를 공급하였으며, 사과밭까지 지표수 점적관개가 원활히 이루어지는 것을 확인함
- 지표수의 유속과 부유물질(SS)을 현장에서 측정하였으며, 지표수를 받 용수로 공급에 있어 수질 및 유속 모두 양호하였음



지표수 용수공급 펌프 ON



다기능 저류조 용수 공급



지표수 점적관개



용수로 지표수 유속 측정



지표수 부유물질(SS) 측정



[그림 5-49] Test-bed ICT기반 지표수 관수제어 시스템 시운전

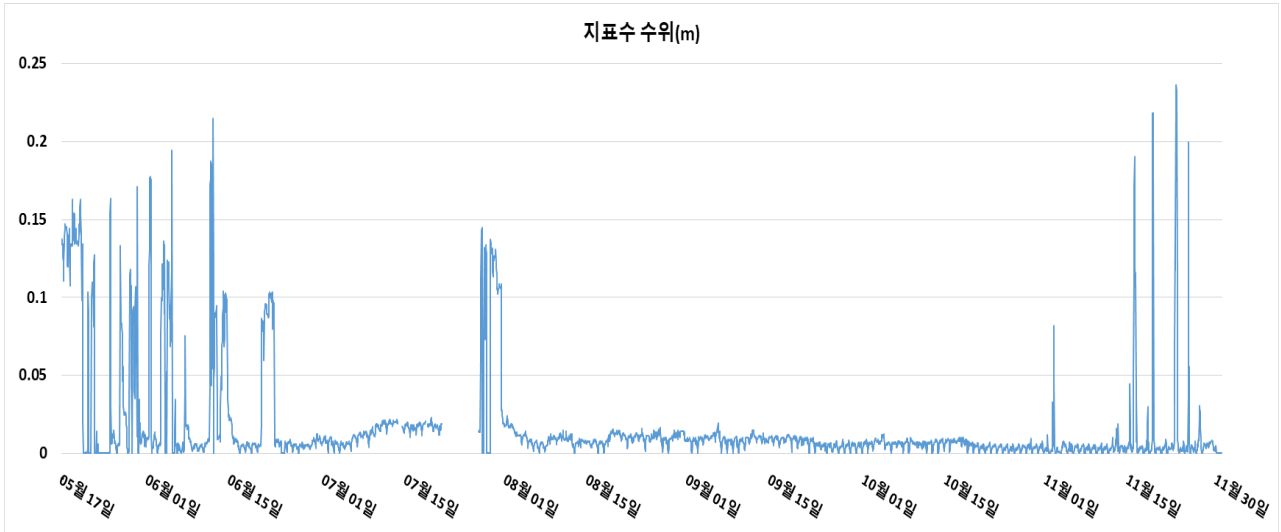
제 8 절 Test-bed 모니터링 실시 및 문제점 분석, 보완

1. Test-bed 모니터링 데이터 분석

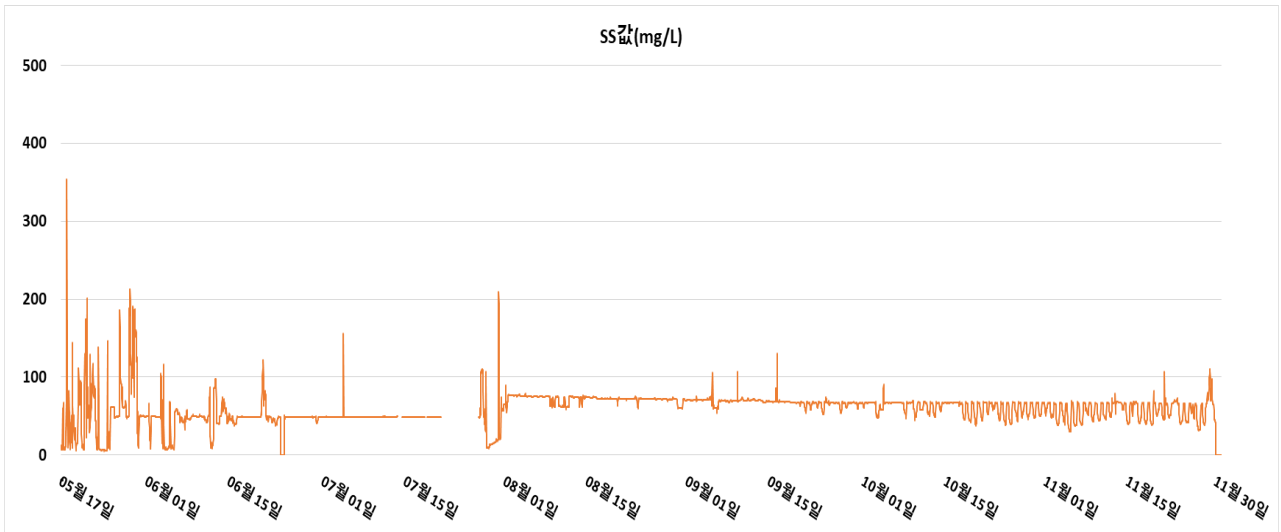
- Test-bed 모니터링은 구축 후인 5월 말부터 진행하였음. 원격으로 데이터 확인 및 저장이 가능하여 매주 원격으로 데이터를 확인 및 수집하였음
- 모니터링 데이터 분석은 2차년도와 동일한 실시간 토양 정보 분석을 위한 TDR식 토양수분센서, 지표수의 유량 및 수질 관찰을 위한 초음파 수위계 및 부유물질(SS) 센서, 관수관리의 효율성을 높이기 위한 강수량계 센서를 분석하였으며, 추가적으로 지하수 수위 확인을 위한 압력식 수위계도 추가하여 분석하였음
- 5월 17일부터 모니터링 중 30mm 이상의 많은 양의 강우로 인한 전기 누전으로 전력이 차단되어 6월 23일 오전~24일 오후/7월 13일 오후~14 오전/7월 18일 7시간 /7월 21일 오후부터 7월 27일 오전까지 4차례 모니터링이 중단됨

가. 지표수, 지하수 수위 및 수질(SS) 모니터링 분석

- 지표수 자동 관수 시스템은 용수로에 지표수가 흐를 때 수위가 0.1m 이상 유지와 동시에 부유물질(SS)값이 100mg/L 이하 유지 시 지표수 용수공급 펌프가 작동되도록 설정하였음
- 아래 표 5-81은 지표수 수위 및 부유물질(SS) 모니터링을 시작한 5월 17일부터 11월 30일까지 지표수 용수공급 펌프 가동이 가능한 시간은 1일 기준 최소 1시간, 최대 23시간 정도 가능한 것으로 분석되었음
- 지표수 수위가 0.1m일 때, 2차년도에서 용수로 유속 측정 조사에 따른 평균유속 0.6m/s일 때 유량은 8.64m³/h로 충분한 유량을 확보한 것으로 판단됨
- 다만 올해는 작년에 비해 강수일수와 강수량이 많아 상류 저수지에서 용수로에 지표수 공급이 8월 이후 중단된 것으로 분석됨
- 5월 17일부터 6월 중순까지 부유물질(SS) 모니터링 결과 초기에는 부유물질(SS)(mg/L)값에 변동이 심했지만, 이후에는 안정적인 값을 나타냄. 다만 SS 값을 측정하는 센서 부에 이물질로 인해 기본값이 실제 용수로 내 부유물질(SS)(mg/L)값 보다 높게 측정되어 이 부분은 보정이 필요할 것으로 판단됨



[그림 5-50] 5월 17일~ 11월까지 지표수 수위 변화 모니터링

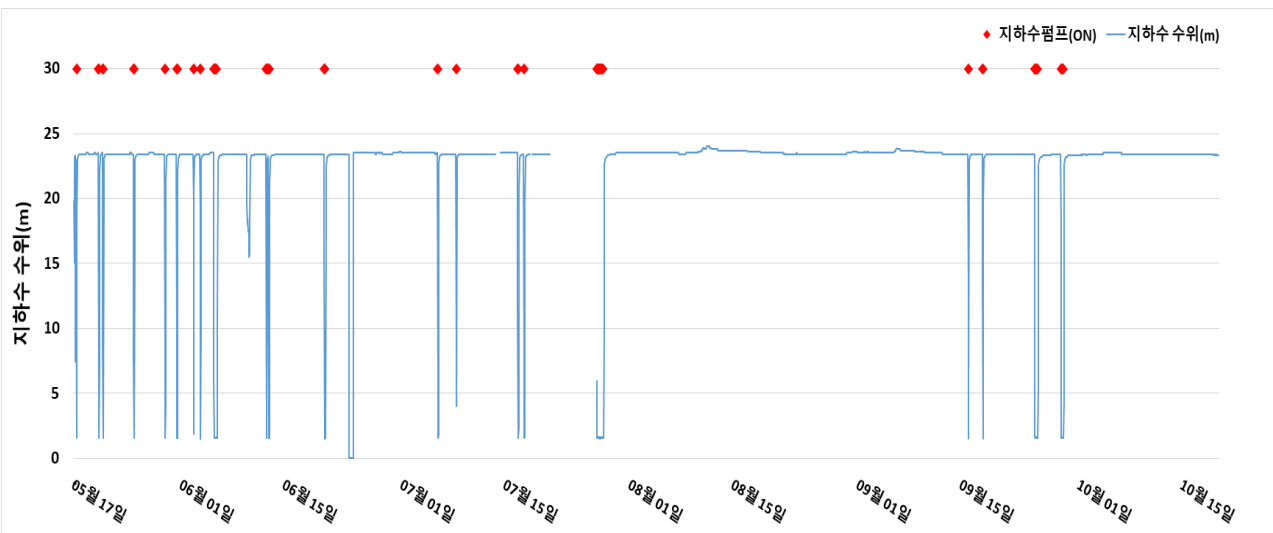


[그림 5-51] 5월 17일~ 11월까지 부유물질(SS) 변화 모니터링

[표 5-36] 지표수 펌프 가동 가능 시간에 따른 확보 가능 유량

| 구분 | | 지표수 펌프 가동 가능 시간(hr) 및 확보 가능 유량(m ³) | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|---|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-----|-------|--------|--|
| 5월 17일~ | 일자 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 25 | / | | | |
| | 가능 가동 시간 | 15 | 21 | 23 | 23 | 1 | 7 | 3 | | | | |
| | 유량 | 1296 | 1814.4 | 1987.2 | 1987.2 | 86.4 | 604.8 | 259.2 | | | | |
| 6월 | 일자 | 1 | 3 | 4 | 5 | 11 | 12 | 13 | 14 | 21 | 22 | |
| | 가능 가동 시간 | 8 | 12 | 8 | 4 | 6 | 4 | 3 | 5 | 8 | 13 | |
| | 유량 | 691.2 | 1036.8 | 691.2 | 345.6 | 518.4 | 345.6 | 259.2 | 432 | 691.2 | 1123.2 | |
| 7월 | 일자 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | / | | | | | |
| | 가능 가동 시간 | 3 | 5 | 15 | 22 | 6 | | | | | | |
| | 유량 | 259.2 | 432 | 1296 | 1900.8 | 518.4 | | | | | | |
| 11월 | 일자 | 15 | 16 | 19 | 22 | 23 | 25 | / | | | | |
| | 가능 가동 시간 | 1 | 8 | 5 | 1 | 9 | 1 | | | | | |
| | 유량 | 86.4 | 691.2 | 432 | 86.4 | 777.6 | 86.4 | | | | | |

- 지하수 관정의 수위를 확인하기 위해 압력식 수위센서를 설치하였음. 지하수 관정 수위는 지하수 관개 시를 제외하고 평균 23.4m의 일정한 수위를 항상 유지하고 있으며, 지하수 관개 시 수위는 평균 6.2m로 낮아졌다가, 1시간 이내로 평균수위로 회복되었음



[그림 5-52] 5월 17일~ 11월까지 지하수 관정 수위 변화 모니터링

나. 관수량 및 강수량 모니터링 분석

- 관수량은 지하수 관개용수 공급 펌프가 작동된 시간을 관수량으로 계산하여 분석하였음
- 관수공급 펌프가동 시간을 분석한 결과 최소 관수시간은 0.8시간, 최대 관수시간은 14시간으로 분석되었으며, 지하수 관수 시 관수량은 1시간당 2.2^m로 하루 최소 관수량은 1.76^m, 최대 관수량은 30.8^m으로 분석됨
- 지표수 관수 시 1시간 기준 8.64^m 관수가 가능하므로 지표수 사용에 부족이 없을 것으로 판단됨
- 8월에는 아래 표 5-83과 같이 한달 동안 누적 강수량 총 467mm 많은 양의 비가 내려, 영농인이 관수를 하지 않은 것으로 판단됨
- Test-bed와 인접한 홍성기상관측소를 확인 결과 7월 21에서 24일 사이에도 10mm 이상의 강수가 있었으나, 누수로 인한 전력 차단으로 데이터가 저장되지 않았음

[표 5-37] 5월 17~11월까지 Test-bed 지하수 관수량

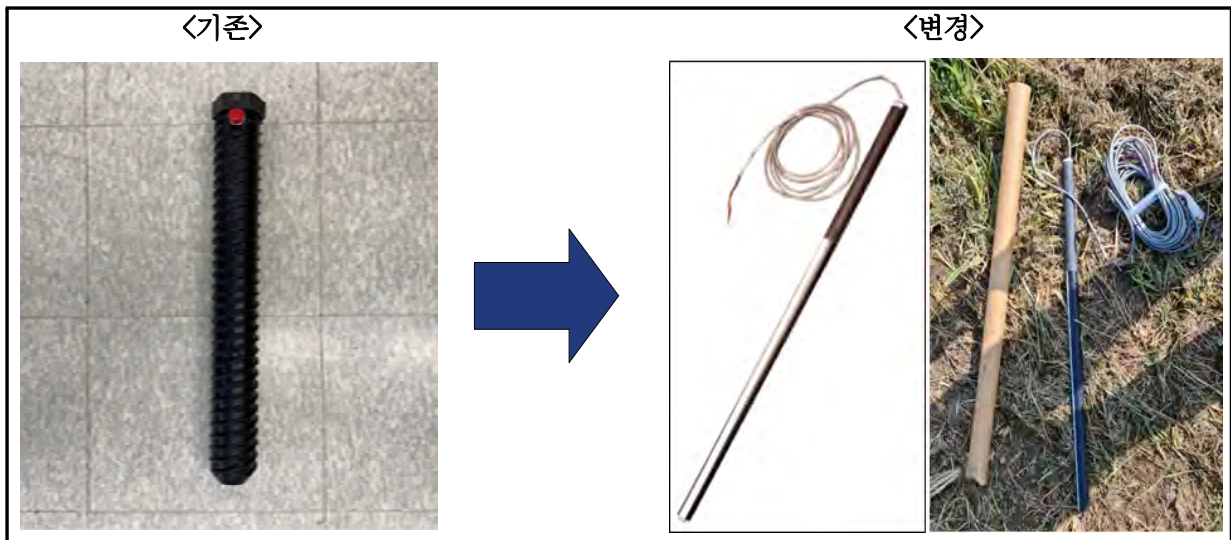
| 관수 일자 | | 관수시간 (hour) | 총 관수량 (^m) | ^m 당 관수량 (^m / ^m) | 월별 ^m 당 관수량 (^m / ^m) |
|---|----|----------------|---------------------------|---|--|
| 월 | 일 | | | | |
| 5월 | 17 | 1 | 2.2 | 0.0013 | 0.0141 |
| | 20 | 1.8 | 3.96 | 0.0024 | |
| | 21 | 1.9 | 4.18 | 0.0025 | |
| | 25 | 2 | 4.4 | 0.0027 | |
| | 29 | 1.7 | 3.74 | 0.0023 | |
| | 31 | 2.2 | 4.84 | 0.0029 | |
| 6월 | 2 | 0.8 | 1.76 | 0.0011 | 0.0307 |
| | 3 | 1.3 | 2.86 | 0.0017 | |
| | 5 | 9.8 | 21.56 | 0.0131 | |
| | 12 | 7.5 | 16.5 | 0.0100 | |
| | 20 | 3.6 | 7.92 | 0.0048 | |
| 7월 | 5 | 2 | 4.4 | 0.0027 | 0.0400 |
| | 8 | 1.1 | 2.42 | 0.0015 | |
| | 16 | 3 | 6.6 | 0.0040 | |
| | 17 | 1.9 | 4.18 | 0.0025 | |
| | 27 | 14 | 30.8 | 0.0187 | |
| | 28 | 8 | 17.6 | 0.0107 | |
| 8월 | | 관수 없음 | | | |
| 9월 | 15 | 1.5 | 3.3 | 0.0020 | 0.0211 |
| | 17 | 1.8 | 3.96 | 0.0024 | |
| | 25 | 8 | 17.6 | 0.0107 | |
| | 28 | 4.5 | 9.9 | 0.0060 | |
| 10월 | 20 | 1.1 | 2.42 | 0.0015 | 0.0088 |
| | 28 | 3.9 | 8.58 | 0.0052 | |
| | 30 | 1.6 | 3.52 | 0.0021 | |
| 11월 | 7 | 0.9 | 1.98 | 0.0012 | 0.0028 |
| | 28 | 1.2 | 2.64 | 0.0016 | |
| 연간 총 관수량(^m / ^m) | | | | 0.12 | |

[표 5-38] 5월 17~11월까지 Test-bed 강수량 분석

| 구분 | | 일자별 강수량(mm) | | | | | | | | | | | 총 누적 강수량 | |
|------------|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|
| 5월 17일~ | 강수일 | 26일 | | | | | | | | | | | | 3mm |
| | 강수량 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 6월 | 강수일 | 05일 | 06일 | 14일 | 15일 | 16일 | 23일 | 24일 | 29일 | 30일 | | | 128mm | |
| | 강수량 | 4 | 3 | 6 | 14 | 1 | 4 | 4 | 88 | 4 | | | | |
| 7월 | 강수일 | 01일 | 07일 | 11일 | 13일 | 14일 | 18일 | 20일 | 21일 | 24일 | 27일 | 31일 | 85mm | |
| | 강수량 | 1 | 1 | 18 | 18 | 19 | 4 | 1 | 3 | 4 | 4 | 12 | | |
| 8월 | 강수일 | 01일 | 02일 | 03일 | 04일 | 05일 | 08일 | 09일 | 10일 | 11일 | 13일 | 14일 | 467mm | |
| | 강수량 | 23 | 2 | 1 | 3 | 3 | 22 | 14 | 146 | 88 | 42 | 19 | | |
| | 강수일 | 15일 | 16일 | 20일 | 29일 | 30일 | 31일 | | | | | | | |
| | 강수량 | 15 | 1 | 13 | 2 | 69 | 4 | | | | | | | |
| 9월 | 강수일 | 04일 | 05일 | 06일 | 23일 | | | | | | | | 120mm | |
| | 강수량 | 4 | 80 | 35 | 1 | | | | | | | | | |
| 10월 | 강수일 | 02일 | 03일 | 04일 | 09일 | 10일 | 13일 | | | | | | 117mm | |
| | 강수량 | 4 | 38 | 47 | 17 | 10 | 1 | | | | | | | |
| 11월 | 강수일 | 11일 | 12일 | 13일 | 15일 | 22일 | 28일 | 29일 | | | | | 48mm | |
| | 강수량 | 1 | 21 | 2 | 1 | 2 | 15 | 6 | | | | | | |

다. 토양수분 센서(토양수분함량, 온도) 모니터링 분석

- Test-bed 구축 후 토양수분함량 모니터링 중에 캠벨사의 TDR식 토양수분센서와 PLC 프로그램상 호환성에 결함이 발견되며 모니터링이 중단되었음
- 안정적이며 지속적인 토양수분함량 모니터링을 위해 PLC 프로그램과 호환성에 문제가 없는 센서로 변경하였으며, 변경된 토양수분센서는 A사의 TDR식 토양수분센서로 기존에 사용하던 캠벨사의 토양수분센서와 같은 측정 방식이며 설치 위치도 기존과 동일하게 점적관개 지점 사이에 수직으로 설치하였음



[그림 5-53] 토양수분센서 변경

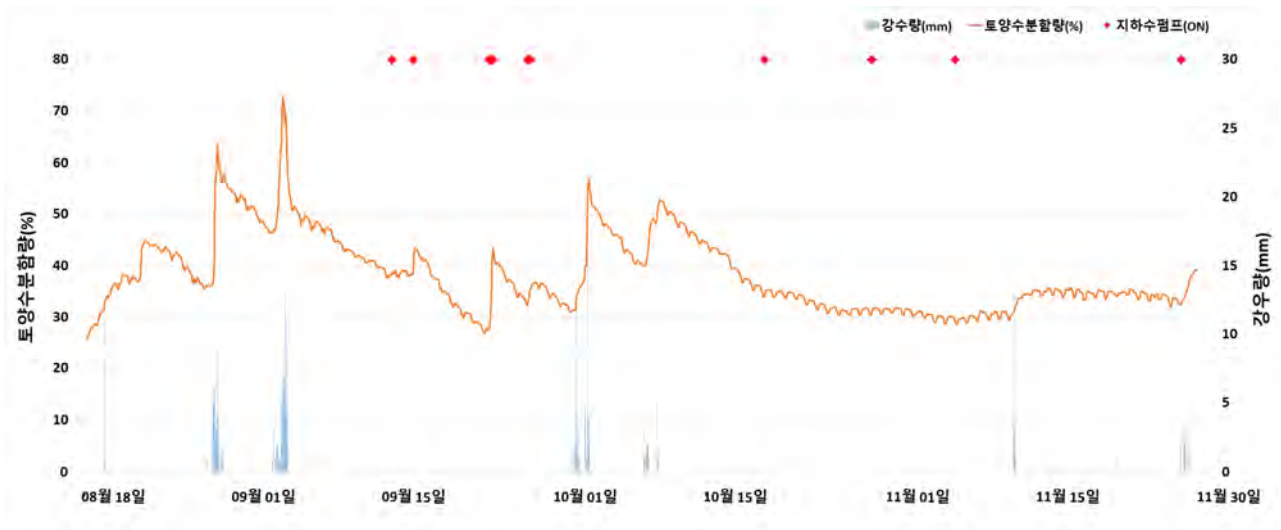
[표 5-39] 변경된 토양수분센서 사양

| 구분 | 토양수분센서 사양 |
|-----------------|-------------------|
| 제조사 | AUTOMATA |
| 모델명 | AQUA-TEL-TDR |
| 측정 | 체적수분함량(%), 온도(°C) |
| 체적수분함량(%) 측정범위 | 0 ~ 100% |
| 온도(°C) 정확도/측정범위 | ±2°C / -60 ~ 85°C |
| 크기 | φ19mm × 680mm (L) |
| 무게 | 0.45kg |

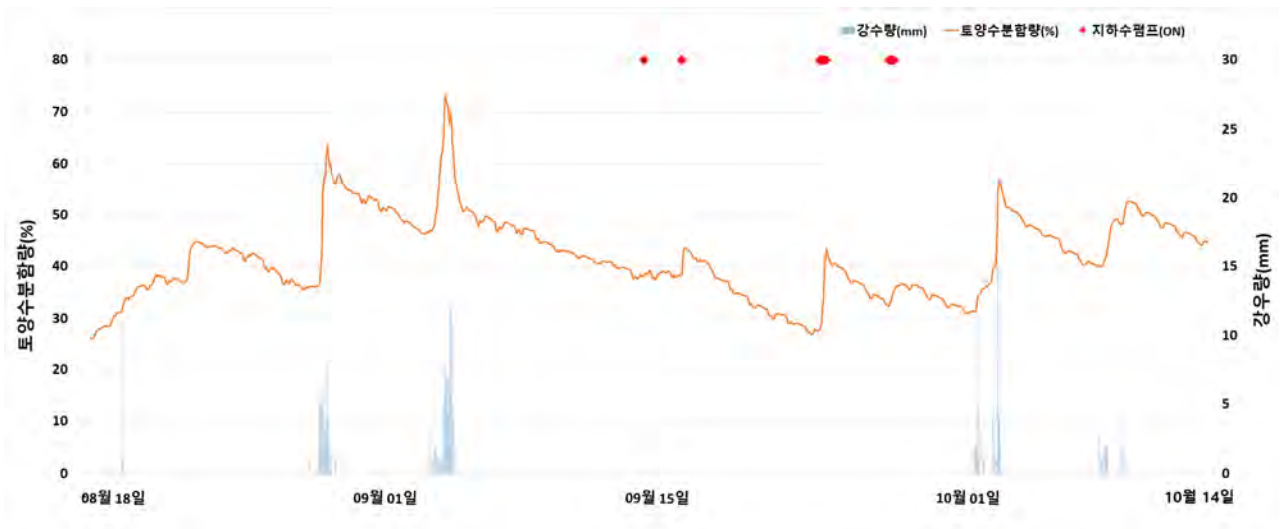


[그림 5-54] 토양수분센서 재설치

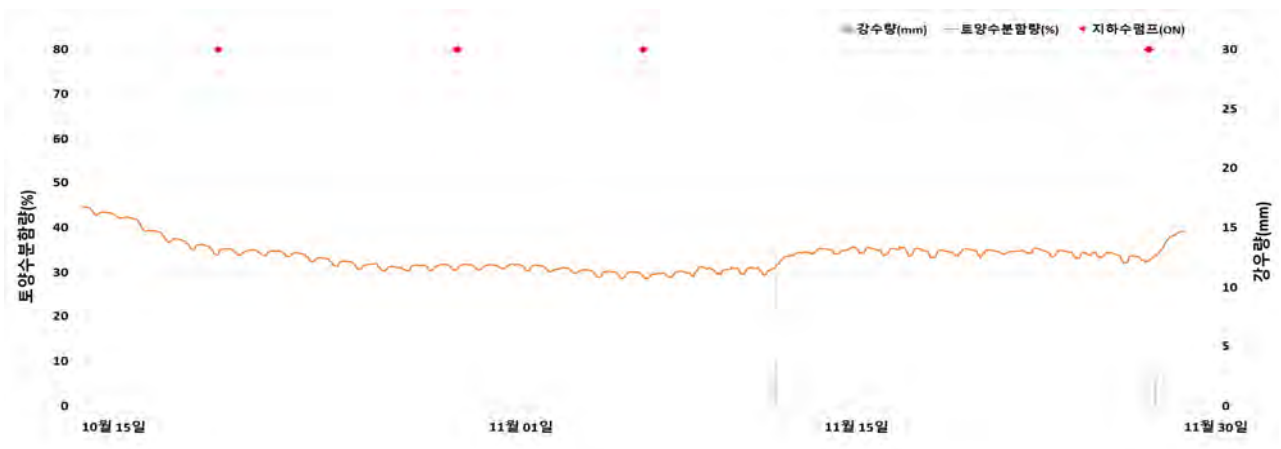
- 우리나라는 4계절이 뚜렷해 작물의 생육기에는 강우나 관수에 의한 토양수분 증가와 소비로 인한 감쇄 현상이 뚜렷하나, 비생육기에는 토양수분의 증가 및 감소 경향이 기상 조건에 의해 다양하게 반응함
- 8월 18일부터 10월 14일까지 토양수분함량 분석 결과 강우 시 토양수분함량은 10~20% 이상 증가하였으며, 특히 8월 30일과 9월 5일에는 강수량이 50mm 이상으로 토양수분함량이 20% 이상 증가함. 지하수 관개 시 토양수분함량은 영농인의 경험적 관개시간에 따라 적게는 5%에서 많이는 10% 이상 증가한 것으로 분석되었음
- 10월 15일 이후부터는 토양수분함량 값이 관수를 해도 증가하지 않고 전체적으로 조금씩 줄어드는 경향을 보였는데, 이는 대부분 사과나무의 경우 10월 중순부터 2월 말까지 비생육기이며 이때는 늦가을~초겨울로 지온과 기온이 낮아지면서 수목의 뿌리 수분흡수가 저하되기 때문에 강수에 의한 토양수분이 충전될 수는 있으나 기온이 낮은 경우 토양 내 토양수분의 이동이 어려워 토양수분 센서가 인식하지 못하는 것으로 판단됨
- 2차년도에 진행한 토성실험 결과 센서가 측정된 토양수분함량 값은 10% 정도 과대 산정되어 센서 측정값에 대한 보정이 필요할 것으로 판단됨



[그림 5-55] 8월 18일~11월 말 토양의 토양수분함량 변화 분석

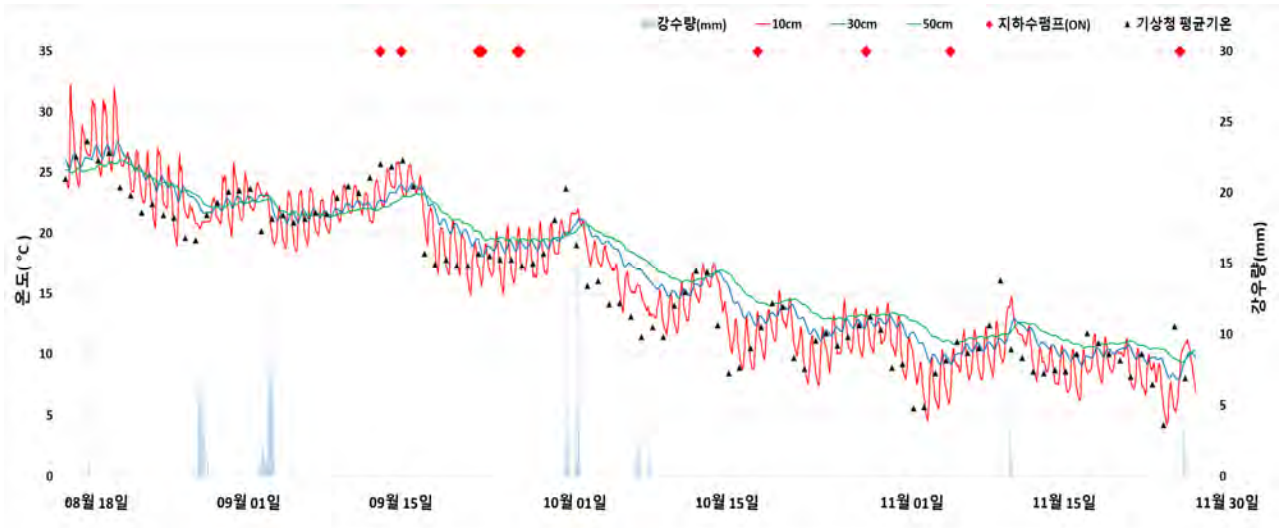


[그림 5-56] 생육기간(8월 18일~10월 14일)동안 토양수분함량 변화



[그림 5-57] 비생육기간(10월 15일~11월)동안 토양수분함량 변화

- Test-bed 토양의 온도변화는 토양깊이 10cm, 30cm, 50cm를 모니터링하였음
- 온도변화는 홍성기상관측소에서 관측된 평균온도와 비교하였을 때, 8월 중순 늦여름부터 11월 말 겨울철로 갈수록 전체적으로 온도가 내려가고 있음
- 표면과 가까운 토양깊이 10cm 온도변화는 하루 일교차에 의한 대기 온도변화에 따른 영향을 많이 받는 것으로 판단되며, 반면 토양깊이 30cm, 50cm는 일변화에 의한 영향은 거의 없었으며 강수에 의한 영향도 미미함



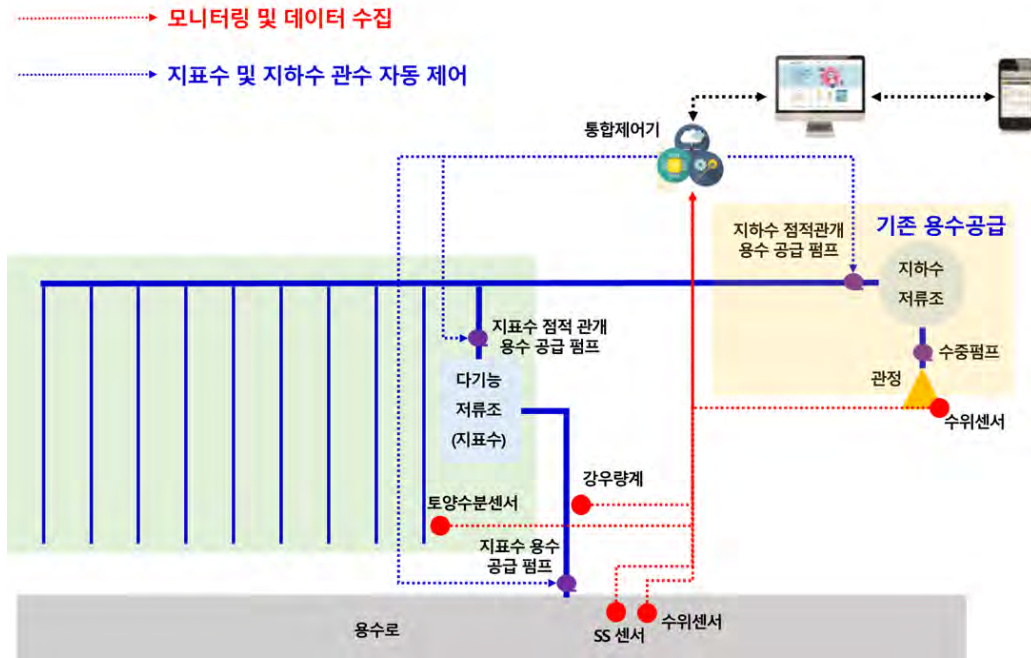
[그림 5-58] Test-bed 발 토양의 깊이별 온도변화

제 9 절 ICT기반 다기능 저류조의 운용방안

- ICT기반 자동 관수시스템 및 다기능 저류조의 관리 및 운영은 지표수를 활용한 밭 관개용수 공급이 목적으로 적정한 유지관리 및 운영방안이 필요함

1. 자동 관수시스템 운영

- ICT기반 자동 관수시스템은 지표수 우선 활용을 목적으로 밭 관개용수를 공급하기 위한 자동 및 원격 제어 시스템으로 밭의 실시간 토양수분함량 측정을 위한 토양수분센서 및 지표수 취수를 위한 수위계 및 부유물질(SS)센서 그리고 자동 용수공급을 위한 펌프 자동 제어 밸브(수동 제어함 포함)를 설치함
- 안정적인 용수공급을 위해 지하수 관정에도 수위계, 펌프 자동 제어 밸브(수동 제어함 포함) 그리고 밭의 토양수분함량에 영향을 줄 수 있는 강우량 측정을 위한 강우량계도 설치하였으며, 설치한 센서들의 모니터링 및 펌프 제어를 위한 통합 제어반을 설치하였음
- ICT기반 자동 관수시스템은 지표수 취수 위치에 설치된 수위 및 부유물질(SS)센서가 설정된 수위 및 수질 범위에 도달하면 자동으로 지표수 용수공급 펌프가 작동하여 다기능 저류조에 용수가 공급됨. 저류조 내부 설정 수위에 도달하거나, 수위 및 수질이 설정값을 만족하지 못할 시에는 지표수 용수공급펌프는 자동 중지됨
- 밭에 설치된 토양수분센서가 토양수분함량을 실시간으로 기록하여 설정된 기준값에 도달하면 다기능 저류조의 용수공급 펌프가 자동 작동하여 관개용수를 공급함. 일정 관개시간 이후, 토양수분함량이 설정된 기준값에 도달하면 관개용수 공급을 자동 중지함
- 지표수에 유량이 부족하거나 저류조 내에 수량이 부족할 때는 지하수 관정 펌프가 가동되어 관개용수 공급에 차질이 없게 공급됨
- ICT기반 자동 관수시스템은 사용자의 경험에 따라 관수를 위한 토양수분함량 기준값 설정이 변경 가능하며, 펌프를 자동/수동 조작이 가능하여 유동적인 선택이 가능함
- 자동 및 원격 제어 시스템은 제어함, PC, 모바일에서 로그인을 통해 사용이 가능하며, 실시간으로 센서 모니터링이 가능함



[그림 5-59] ICT기반 자동 관수 시스템



제어함 화면



모바일 원격 화면

[그림 5-60] 자동 및 원격제어 시스템 화면

- 자동 관수 시스템은 지표수 취수가 주요 목적으로 지표수 특성상 부유물질 및 이물질로 인한 막힘현상이 생길 수 있어 지표수 용수공급 펌프 작동시 막힘 문제가 생기지 않도록 유의해야함
- 여름철 집중강우기(7월~9월)에는 특히 지표수 관측을 위해 설치한 부유물질(SS)센서 및 수위계 유실에 주의해야하며, 전기 설비의 누수로 인한 전력차단이 우려되므로 주기적인 모니터링으로 데이터를 확인해야함
- 부유물질(SS)센서 및 수위계는 측정 센서부에 이물질이 붙을 수 있어 주기적으로 청소가 필요함
- 겨울철에는 관수를 위해 설치한 펌프가 동파로 인한 파손이 일어나지 않도록 펌프를 잠가 놓거나 펌프 내 남아있는 물을 제거해야함

2. 다기능 저류조 운영

- ICT기반 다기능 저류조는 저수지, 하천, 용수로에 지표수를 취수하여 발관개용수로 사용하는 것으로 농업용 수질 기준에 준하는 수질을 목표로 하는 것이 바람직함
- 특히 지표수 특성상 부유물질 및 이물질로 인한 관개장치 막힘현상 또는 작물에 이물질이 묻지 않도록 유의해야함
- 저류조 내부는 부유하지 않도록 관리해야 하며 청소 주기에 따라 청소를하여 저류조 내부 수질을 유지하도록 함
- 소규모 저류조의 경우 수량과 수질을 수시로 모니터링이 어려움으로 주기적으로 수량 및 수질을 체크해야함
- 다기능 저류조 내부에는 수질개선을 위한 수처리 시설 및 유기물, 영양염류 처리를 위한 UV 램프를 포함함
- 여름철에는 저류조 내부에 녹조가 생기기 쉬움으로 비사용시 저류조 내 물을 비워두어야 하며, 집중강우기(7월~9월)에는 펌프 등 취수시설이 유실되지 않도록 주의해야함. 기온 및 습도가 높아 저류조 내부에 세균번식, 모기, 파리 등의 유충번식 발생 우려가 있어 위생관리가 이루어 져야함
- 겨울철에는 저류조가 외부에 설치 시 수온관리 및 미사용 시에는 동파가 생기지 않도록 내부에 물을 비워두거나, 이에 대비를 해야함

[표 5-40] 다기능 저류조 유지관리 점검내용 및 주기

| 시설 | 점검내용 | 점검주기 | | | 청소 주기 | 비고 |
|------|--------------------------------|------|----|----|----------|---|
| | | 매주 | 매월 | 1년 | | |
| 취수설비 | 1. 취수장소의 퇴적물 및 오물점검 | ○ | | | 1 개월 | 청소주기는 주변조건에 따라 변화 |
| | 2. 집수장수 주변으로부터의 유입 또는 유출 점검 | ○ | | | | |
| | 3. 취수장치(펌프)의 손상 점검 | | ○ | | | |
| | 4. 송수관로 누수 점검 | | | ○ | | |
| 침전조 | 1. 침전조 내의 침전물 및 부유물 점검 | ○ | | | 1 개월 | |
| | 2. 곤충발생 상황 점검 | | ○ | | | |
| | 3. 구조물 손상 점검 | | | ○ | | |
| 여과조 | 1. 여재상태 및 필터 상태 점검 | | ○ | | 1 개월 | |
| | 2. 여재장치 손상점검 | | | ○ | | |
| 저류조 | 1. 침전물 점검 | ○ | | | 1 개월 | 청소주기는 취수장소, 침전조, 여과조, 구조물의 유지관리 상태에 따라 변화 |
| | 2. 경보장치 작동상태 확인 | | ○ | | | |
| | 3. 구조물 손상 점검 | | | ○ | | |
| | 4. 급수펌프의 작동 점검 | | ○ | | | |

참고문헌

- 고재경, 김희선 2009. 경기도 기후변화 취약성 평가 연구, 경기개발연구원
- 관계부처 합동, 2020, 2018년 국가가문정보통계집
- 국가통계포털, 농림어업조사 : 연령 및 성별 농가인구
- 국가통계포털, 농림어업조사 : 연령 및 성별 농가인구
- 국가통계포털, 농림어업조사 : 행정구역(시군구)별 농가, 농가인구
- 국립산림과학원, 2006, 수목식재지의 토양분석과 판독 및 조치방법
- 국립환경과학원, 2012. 지자체 기후변화 적응 세부시행계획 수립 지원을 위한 기후변화 부문별 취약성 지도, 환경부
- 국토교통부, 2018, 토지의 적성평가에 관한 지침
- 국토교통부, 2019. 기후변화 대비 수자원 적응기술개발” 과제(3세부과제 “기후변화 대비 유역관리 적응 기술”)의 6차년도 보고서
- 국토부, 2016, 조정설계기준
- 기후변화대비수자원적응기술개발연구단, 2020, 기후변화에 따른 유역건전성 및 수자원취약성 평가를 위한 가이드라인, 환경산업기술원, 15page
- 김다운, 정용, 박무중, 윤재영, 김상단, 최민하, 2011. 기후변화를 고려한 수자원 분야의 취약성 분석, 한국습지학회, Vol. 13, No. 1, pp. 25-33
- 김연주, 2010. 기후변화 취약성 지수분석을 통한 국가적응역량 제고방안 모색 정책보고서, 한국환경정책평가연구원
- 김은화, 2010, 정규지상관측자료를 이용한 기후변화 취약성 지수 산정, 부산대학교 석사학위 청구논문, 26-30page.
- 농림수산식품부, 2008, 농업용수 급배수 적정관리를 위한 수로유량 관측기술 개발 연구
- 농림축산식품부, 2017, 농림축산식품통계연보
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사 2010, 새만금지역 용수활용방안연구
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 2020, 농업생산기반정비통계연보
- 농어촌연구원 2018, 발지대를 고려한 적정 용수 확보방안 연구
- 농진청, 2012, 기후변화에 따른 주요 작물별 재배적지 변동 연구 최종 보고서
- 농촌진흥청 국립농업과학원 2019, 토양 작물 지역에 따른 발작물 물사용 기술
- 농촌진흥청, 2013, IT를 이용한 시설재배지 관개시스템 개발 연구
- 농촌진흥청, 2015, 농업환경변화 대응 작물근권 및 지하수위 기준 설정
- 농촌진흥청, 2017, 냉해종류와 대책

- 농촌진흥청, 2017, 발작물 재배를 위한 소규모 관개시스템 설계 기술 연구
- 농촌진흥청, 2018, 영상분석을 이용한 발작물 생육 분석기술 개발 연구
- 농촌진흥청, 2019, 적외선 영상을 이용한 노지 사과, 복숭아 스마트 관개기술 연구
- 명수정, 김지영, 신상희, 안병욱, 2009. 기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응 방안 연구, 한국환경정책·평가연구원
- 박형근 외, 2017, IoT 기반 단위농가의 스마트 물관리 시스템 구축 및 적용, 韓國農工學會誌 : 전원과 자연, p. 45~52
- 서울대학교 2013, 하수처리수의 농업용수 간접재이용시스템 개발과 적용
- 유가영과 김인애, 2008. 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안, 한국환경정책·평가연구원
- 유승환, 이상현, 최진용, 2014, 한국의 발작물 생산에서의 물발자국 산정, 한국농공학회지 56.3 (2014): 65-74.
- 윤석규, 허승오, 김승희, 박서준, 김정배, 최인명, 2009, FAO Penman-Monteith 공식을 이용한 수원지역포도 수체 증발산량 예측, 한국농림기상학회지 11.3 (2009): 111-117.
- 이건형, 2001, 미생물학적 위해성 평가. 한국미생물학회지, 37(2), pp.101-108
- 이문환, 정일원, 배덕효, 2011 기후변화에 따른 국내 홍수 취약성 평가, 한국수자원학회, Vol. 44, No. 8, pp. 653-666
- 이한필, 윤춘경, 정광욱, 손장원, 2009, 하수의 농업적 재이용에 따른 논 담수 내 미생물 위해성 평가, 수질보전 한국물환경학회지, 25(1), pp. 63-69
- 통계청, 2019 인구주택총조사 보도자료 집계결과
- 한국농어촌공사, 2017. 논외 타작물재배를 위한 생산기반 개선기술 개발연구 보고서
- 한국농어촌공사, 2018, 발작물 용수확보를 위한 수운유지 및 수처리 기능을 포함한 저류조 설치·운영 방안 개발 및 검증(II)
- 한국농어촌공사, 수리시설물 모의조작 프로그램(HOMWRS)
- 한국수자원공사, 2019, 2018 지하수조사연보
- 한국환경정책·평가연구원, 2011. “물 재이용을 통한 도시하천 물순환개선 정책방향”, 한국환경정책평가연구원 연구보고서
- 한화진, 안소은, 2006, 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 2 연구보고서, 한국환경정책평가연구원
- 행정안전부(2012). 풍수해 취약성 평가시스템 개발(II): 홍수취약성지수기반 평가 시스템 개발
- 홍은미 외, 2011, 침엽수 산림에서의 토양수분 감쇄특성 분석, 한국농공학회논문집, Vol. 53, No. 4, pp.1-9
- 홍은미 외, 2012, 잣나무림에서의 시기별 토층별 토양수분 특성분석, 한국농공학회논문집, Vol. 54, No. 4, pp.105~114

- 환경부(2013). 지자체 취약성 평가 지원 최종보고서
- 환경부, 2022 개정, 수질오염공정시험기준
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Asano, T., Leong, L. Y. C., Rigby, M. G., Sakaji, R. H., 1992, Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data, *Water Science and Technology*, 26(7-8), pp. 1513-1524
- APHA, 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20th ed.), American Public Health Association, Washington
- Burmaster, D. E. and Anderson, P. D., 1994, Principles of good practice for use of Monte Carlo techniques in human health and ecological risk assessment, *Risk Analysis*, 14(4), pp. 477-481
- Chu, T.C., 2002. Selecting plant location via a fuzzy TOPSIS approach. *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, Vol. 20, pp. 859-864.
- Chung, E.S., and Lee, K.S., 2009. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multi criteria decision making techniques. *J. Environ. Manage.*, Vol. 90, No.3, pp. 1502-1511.
- Finkel, A. M., 1990, Confronting uncertainty in risk management, *Resources for the Future*, Centre for Risk Management, Washington, DC
- Haas, C. N., Rose, J. B., and Gerba, C., 1999, Quantitative microbial risk assessment, Wiley, New York
- Hass, C. N., Rose, J. B., Gerba, C. and Regli, S., 1993, Risk assessment of virus in drinking water, *Risk Analysis*, 13, pp. 545-55
- Hong, R., J. Park, S. Jang, H. Lee and I. Song, 2022. Optimization of storage tank installation locations for pipeline water supply using genetic algorithm. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 64.6: 43-53.
- Hsu, Shiang-Kueen, 1995. Shortage indices for water-resources planning in Taiwan. *Journal of Water Resources Planning and Management* 121.2: 119-131.
- Hwang, C.L., and Yoon, K., 1981. Multiple attributes decision-making methods and applications. Springer, Heidelberg.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Jun, K.S., Chung, E.S., Sung J.Y., and Lee K.S., 2011. Development of spatial water resources vulnerability index considering climate change impacts. *Sci. Tot. Environ.*, Vol. 409, No. 24, pp.

5228-5242.

- Jung KW, Yoon CG, An YJ, Jang JH, Jeon JH, 2005a, Microbial risk assessment in treated wastewater irrigation on paddy rice plot, *Korea J Limnol*, 38(2), pp. 225-236
- Jung, K. W., Yoon, C. G., Jeon, J. H., and Ham, J. H., 2004, Analysis of Indicator Microorganism Concentration in the Rice Cultural Plot after Reclaimed Water Irrigation, *Korean J. Limnol.*, 37(1), pp. 112-121
- Kevin McGarigal. 2015. FRAGSTATS HELP
- Kim, G., Park, C.S., and Yoon, K.P., 1997. Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement. *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 50, No. 1, pp. 23-33.
- Lai, Y.J., Liu, T.Y., and Hwang, C.L., 1994. TOPSIS for MODM. *European Journal of Operational Research*, Vol. 76, No. 3, pp.486-500.
- Lee, K.S., and Chung, E.S., 2007. Development of integrated watershed management schemes for an intensively urbanized region in Korea. *J. Hydro-Environ. Res.*, Vol. 1, No. 2, pp. 95-109.
- McGarigal, K and B. Mark. 1995. FRAGSTATS:Spatial Pattern Analysis Program for QuantifyingLandscape Structure. USDA Forest Service, GeneralTechnical Report PNW-GTR-351, Pacific NorthwestResearch Station, Portland, Oregon pp.86-103
- National Institute of Agricultural Sciences (NAAS), 2017. Estimation of crop factor and standard evapotranspiration calculation method for field crops. (in Korean)
- R.S. Ayers and D.W. Westcot., 1985, Water quality for agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Shannon, C. E., and Weaver, W., (1949). *The mathematical theory of communication*, Urbana, IL: University of Illinois Press.”
- Shih, H.S., Shyur, H.J., and Lee, E.S., 2007. An extension of TOPSIS for group decision making. *Math. Comput. Model.*, Vol. 45, No. 4, pp. 801-813.
- UNDP, 2003, *The Adaptation Policy Framework*, New York: UNDP-GEF
- Yoon, C. G., Jung, K. W., Jeon, J. H. and Ham, J. H., 2003, Guidelines and Optimun Treatment for Agriculture Reuse of Reclaimne Water, *Korean Journal of Limnology*, 36(3), pp. 356-368

(2) 정량적 연구개발성과

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

| 성과지표명 | 연도 | | 1단계 (2020~2021) | 2단계 (2022) | 계 | 가중치 (%) |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------|---------------|----|------------|
| | 전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾ | 논문 SCI | 목표(단계별) | 1 | 1 | 2 |
| 실적(누적) | | | 1 | 2 | 3 | |
| 논문 비SCI | | 목표(단계별) | 2 | 1 | 3 | |
| | | 실적(누적) | 6 | 2 | 8 | |
| 특허 출원 | | 목표(단계별) | 1 | | 1 | 10 |
| | | 실적(누적) | 1 | | 1 | |
| 특허 등록 | | 목표(단계별) | | 1 | 1 | 10 |
| | | 실적(누적) | 1 | 1 | 2 | |
| 학술발표 | | 목표(단계별) | 4 | 2 | 6 | 15 |
| | | 실적(누적) | 13 | 11 | 24 | |
| 연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾ | 기술이전 | 목표(단계별) | | 1 | 1 | 20 |
| | | 실적(누적) | | 1 | 1 | |
| | 제품화 | 목표(단계별) | | 1 | 1 | 20 |
| | | 실적(누적) | | 1 | 1 | |
| | 인력양성 | 목표(단계별) | 2 | 1 | 3 | 10 |
| | | 실적(누적) | 6 | 1 | 7 | |
| | 정책활용 | 목표(단계별) | | 1 | 1 | 10 |
| | | 실적(누적) | | 1 | 1 | |
| | 홍보 (전시) | 목표(단계별) | | 1 | 1 | 5 |
| | | 실적(누적) | 11 | 3 | 14 | |
| | 수상 | 목표(단계별) | | | | |
| | | 실적(누적) | 1 | | 1 | |
| | 기타 | 목표(단계별) | | | | |
| 실적(누적) | | | | | | |
| 계 | | | 10 | 10 | 20 | 100 |
| | | | 40 | 23 | 63 | |

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 국명 | 발행기관 | SCIE 여부 (SCIE/비 SCIE) | 게재일 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|----|---|--------------------|------|------------|------|--------------|--------------------------------|-----------|-------------------|-----|
| 1 | 밭 공간분포와 개별·집단관정 이용을 고려한 밭용수 공급 경제성 분석 | 한국지리 정보학회 지 | 장성주 | 23권 3호 | 한국 | 한국지리 정보학회 | 비SCI | '20.09.07 | 2287-6952 | 100 |
| 2 | SWAT을 이용한 유역간 물이동량에 따른 영산강유역의 하천 유량 및 수질 변동 분석 | 한국수자 원학회논 문집 | 김용원 | 53권 12호 | 대한민국 | 한국수자 원학회 | 비SCI | '20.12 | ISSN 1226-6280 | 50 |
| 3 | 시설재배를 고려한 미래 농지이용 변화와 기후변화가 관계 필요수량에 미치는 영향 평가 | 한국지리 정보학회 지 | 손무빈 | 23권 4호 | 대한민국 | 한국지리 정보학회 | 비SCI | '20.12 | ISSN 2287-6952 | 50 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|--|------------|---------|-------------|-----------------|------|-----------|----------------|-----|
| 4 | Design, manufacture and field test of a surface water storage tank providing irrigation water to upland crops | Korean Journal of Agricultural Science | 신형진 | 47권 4호 | 대한민국 | 충남대학교 농업과학 연구 | 비SCI | '20.12 | ISSN 2466-2410 | 50 |
| 5 | Development of a Parcel-Level Land Boundary Extraction Algorithm for Aerial Imagery of Regularly Arranged Agricultural Areas | Remote sensing | Rokgi Hong | 13(6) | SWITZERLAND | Remote sensing | SCIE | '21.03.18 | 2072-4292 | 100 |
| 6 | 폭염과 하천 수질의 공간적 평가 | 한국수자원학회 논문집 | 이지완 | 54(9) | 대한민국 | 한국수자원학회 | 비SCI | '21.09 | 1226-6280 | 100 |
| 7 | 토지피복지도를 이용한 저수지 수계구역 농경지 면적 및 변화 추이 분석 | 한국농공학회 논문집 | 권재린 | 63(6) | 대한민국 | 한국농공학회 | 비SCI | '21.11.30 | 1738-3692 | 100 |
| 8 | 기상 및 비상급수 빅데이터를 활용한 시 기반 가뭄재해 예측 기법 | 농업생명과학연구 | 오영록 | 56(1) | 대한민국 | 경상대학교 농업생명과학연구원 | 비SCI | 22.02.17 | 1598-5504 | 50 |
| 9 | Evaluation of Agricultural Water Supply and Selection of Deficient Districts in Yeongsan River Basin of South Korea Considering Supply Priority | water | Sehoon Kim | 14, 298 | SWITZERLAND | MDPI | SCIE | 22.01.19 | 2073-4441 | 50 |
| 10 | 유전자 알고리즘을 이용한 관수 저류조의 공간배치 최적화 | 한국농공학회 논문집 | 홍록기 | 64(6) | 대한민국 | 한국농공학회 | 비SCI | 22.11.30 | 1738-3692 | 100 |
| 11 | A Strategy to Quantify Water Supply of an Agricultural Reservoir for Integrated Water Management Policy | Sustainability | 이재남 | 14 | SWITZERLAND | MDPI | SCIE | 22.12.01 | 2071-1050 | 50 |

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭 | 발표자 | 발표 일시 | 장소 | 국명 |
|----|--------------------|-------------------------|----------------|-------------|------|
| 1 | 2020 한국동공학회 학술발표회 | 권재린, 박진석, 송인홍 | 2020.10.16 | 서울대학교 | 대한민국 |
| 2 | 2020 한국동공학회 학술발표회 | 홍록기, 박진석, 장성주, 송인홍 | 2020.10.16 | 서울대학교 | 대한민국 |
| 3 | 2020 한국동공학회 학술발표회 | 홍주표, 장성주, 송인홍 | 2020.10.16 | 서울대학교 | 대한민국 |
| 4 | 2020 한국동공학회 학술발표회 | 김황희, 오리온, 추연재 | 2020.10.16 | 서울대학교/온라인 | 대한민국 |
| 5 | 2020 토목학회 학술발표회 | 이지완, 김세훈, 신형진, 김성준 | 2020.10.21.~23 | 제주신화월드/온라인 | 대한민국 |
| 6 | 2020 토목학회 학술발표회 | 김세훈, 한대영, 이지완, 김성준 | 2020.10.21.~23 | 제주신화월드/온라인 | 대한민국 |
| 7 | 2020 토목학회 학술발표회 | 신형진, 도종원, 이재남, 이광야, 강문성 | 2020.10.21.~23 | 제주신화월드/온라인 | 대한민국 |
| 8 | 2021 한국수자원학회 학술발표회 | 박진석, 장성주, 송인홍 | 2021.06.03 | 광주 김대중컨벤션센터 | 대한민국 |

| | | | | | |
|----|---|--|------------|------------------|------|
| 9 | 2021한국수자원학회 학술발표회 | 김세훈, 이지완, 정충길, 김원진, 김성준 | 2021.06.04 | 광주 김대중컨벤션센터 | 대한민국 |
| 10 | 2021한국수자원학회 학술발표회 | 오영록, 이규민, 신형진, 전경수 | 2021.06.04 | 광주 김대중컨벤션센터 | 대한민국 |
| 11 | 2021한국수자원학회 학술발표회 | 이규민, 김진수, 신형진, 전경수 | 2021.06.04 | 광주 김대중컨벤션센터 | 대한민국 |
| 12 | 2021 한국농공학회 학술발표회 | 추연재, 김황희, 오리온, 박성기 | 2021.11.05 | 쑈비치 진도/온라인 | 대한민국 |
| 13 | 2021 한국농공학회 학술발표회 | 신형진, 이재남, 이기원, 최은혁, 이규상 | 2021.11.05 | 쑈비치 진도/온라인 | 대한민국 |
| 14 | 2022년 한국수자원학회 학술발표회 | 김세훈, 이지완, 신형진, 김원진, 김성준 | 2022.05.19 | 부산항국제전시컨벤 션센터 | 대한민국 |
| 15 | 2022년 한국수자원학회 학술발표회 | 이규민, 김진수, 전경수, 강두선, 신형진 | 2022.05.19 | 부산항국제전시컨벤 션센터 | 대한민국 |
| 16 | 2022년 한국수자원학회 학술발표회 | 신형진, 이규민, 이재남, 정기문, 하창용, 이규상 | 2022.05.19 | 부산항국제전시컨벤 션센터 | 대한민국 |
| 17 | 2022년 한국수자원학회 학술발표회 | 신형진, 이재남, 황선아, 옥정훈, 이기원, 박찬기, 임경재 | 2022.05.19 | 부산항국제전시컨벤 션센터 | 대한민국 |
| 18 | 2022 한국농공학회 학술발표회 | 김세훈, 이지완, 이용관, 신형진, 김성준 | 2022.10.13 | 대구 인터볼고 호텔 | 대한민국 |
| 19 | 2022 한국농공학회 학술발표회 | 추연재, 김황희, 오리온, 박성기 | 2022.10.13 | 대구 인터볼고 호텔 | 대한민국 |
| 20 | 2022 대한토목학회 컨벤션 | 신형진, 이재남, 하창용, 명우호, 정찬덕, 이규상 | 2022.10.20 | 부산항국제전시컨벤 션센터 | 대한민국 |
| 21 | PAWEES2022 International Conference | 홍록기, 박진석, 장성주, 이혁진, 송인홍 | 2022.11.17 | 일본 후쿠오카 | 일본 |
| 22 | PAWEES2022 International Conference | 하창용, 신형진, 이재남, 이규상 | 2022.11.17 | 일본 후쿠오카/온라인 | 일본 |
| 23 | PAWEES2022 International Conference | 신형진, 이재남, 하창용, 이규상, 임경재 | 2022.11.17 | 일본 후쿠오카/온라인 | 일본 |
| 24 | 2022 KAGIS 추계학술대회 및 IAGi 국제심포지움 | 신형진, 이재남, 하창용, 김세훈, 이규민, 김황희 | 2022.11.04 | 제주대학교 아라컨벤션홀 | 대한민국 |

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재) | 국명 | 출원 | | | | 등록 | | | 기여율 | 활용 여부 |
|----|--|------|--------------|----------------|-------------------------|----------|--------------|---------------------|-----------------------|-----|----------|
| | | | 출원인 | 출원일 | 출원 번호 | 등록 번호 | 등록인 | 등록일 | 등록 번호 | | |
| 1 | 밭 지대 용수 확보를 위한 다기능 저류조 | 대한민국 | | | | | 한국농어 촌공사 | 2020년 05월 29일 | 제 10-2118 948 호 | 100 | |
| 2 | 작물 성장을 촉진하는 관개용수 확보를 위한 ICT 기반의 저류조 자동 취수 시스템 | 대한민국 | (주)콘택이 엔지 | 2021.10 .22 | 10-2021 -014196 2 | - | (주)콘택이 엔지 | 2022년 08월 23일 | 제10-243 6897호 | 100 | |

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

| 번호 | 제품화 | 방어 | 전용실시 | 통상실시 | 무상실시 | 매매/양도 | 상호실시 | 담보대출 | 투자 | 기타 |
|----|-----|----|------|------|------|-------|------|------|----|----|
| 1 | √ | | | | | | | | | |

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명 | 출시/제작일 | 제작 업체명 | 설치 장소 | 이용 분야 | 사업화 소요 기간 | 인증기관 (해당 시) | 인증일 (해당 시) |
|----|-----------------------|---------|----------|-------|--------------------|-----------|-------------|------------|
| 1 | ICT기반 지표수 활용 관수제어 시스템 | 2023.01 | (주)콘택이엔지 | 예산 | 지표수를 활용한 발 관개용수 공급 | | | |

□ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 이전 유형 | 기술 실시 계약명 | 기술 실시 대상 기관 | 기술 실시 발생일 | 기술료 (해당 연도 발생액) | 누적 징수 현황 |
|----|----------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------|----------|
| 1 | 자체실시 | ICT기반 지표수 활용 관수제어 시스템 | (주)콘택이엔지 | 2023.01 | 2,963,632 | 0 |

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

[사회적 성과]

□ 정책활용 내용

| 번호 | 구분 (제안/채택) | 정책명 | 관련 기관 (담당 부서) | 활용 연도 | 채택 내용 |
|----|------------|-----------------|-------------------------------|-------|-----------------|
| 1 | 제안 | 다기능 저류조 용수공급시스템 | 한국농어촌공사 (제주지역본부 농업용수통합광역화추진단) | 2022 | 다기능 저류조 용수공급시스템 |

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

| 번호 | 구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서) | 활용 구분 (신규/개선) | 설계 기준/설명서/지침/안내서 명칭 | 반영일 | 반영 내용 |
|----|-----------------------|---------------|---------------------|-----|-------|
| | | | | | |

□ 전문 연구 인력 양성

| 번호 | 분류 | 기준 연도 | 현황 | | | | | | | | | | | |
|----|----|-------|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|--|
| | | | 학위별 | | | | 성별 | | 지역별 | | | | | |
| | | | 박사 | 석사 | 학사 | 기타 | 남 | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 | |
| 1 | 학사 | 2020 | | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | |
| 2 | 박사 | 2020 | 1 | | | | 1 | | 1 | | | | | |
| 3 | 석사 | 2020 | | 2 | | | 2 | | 2 | | | | | |
| 4 | 석사 | 2021 | | 1 | | | 1 | | 1 | | | | | |
| 5 | 박사 | 2021 | 1 | | | | 1 | | 1 | | | | | |
| 6 | 석사 | 2022 | | 1 | | | 1 | | 1 | | | | | |

□ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|----|-------|-----------|-----------------------------|------------|
| 1 | 기술기사 | 학술지-방재저널 | 뉴스 미디어를 이용한 현장 폭염 정보 생산 | 2020.08. |
| 2 | 기술기사 | 학술지-전원과자원 | 우리나라 농업용수의 현황과 적정 수질관리의 필요성 | 2021.11. |
| 3 | 지방일간지 | 광주매일신문 | '발 농사' 적기 용수 공급 원활해진다 | 2021.08.05 |

| | | | | |
|----|--------|-------------|--|------------|
| 4 | 지방일간지 | 일반경제신문 국민매일 | 밭 관개용수 저류조 시스템 개발안 2022년 도출 | 2021.08.05 |
| 5 | 지방일간지 | 물산업신문 | 한국농어촌공사, 밭 관개용수 확보를 위한 스마트 저류조 시스템 개발 | 2021.08.06 |
| 6 | 지방일간지 | 충청신문 | 농어촌공사, 최첨단 용수공급 시스템 개발 나서 | 2021.08.06 |
| 7 | 지방일간지 | 굿모닝충청 | 농어촌공사 다기능 저류조 시스템 개발 시작 | 2021.08.06 |
| 8 | 지방일간지 | 농수축산신문 | 농어촌공사, ICT 활용 다기능 저류조 용수 공급 시스템 개발 연구 | 2021.08.09 |
| 9 | 지방일간지 | 경제신문 이투데이 | 가뭄에도 발농사 '여유작작', ICT 활용 물문제 해결한다 | 2021.08.09 |
| 10 | 지방일간지 | 머니투데이 | 농어촌공사, 밭 관개용수 확보 스마트 저류조 시스템 개발 나서 | 2021.08.05 |
| 11 | 기타 | 일요서울 | 농어촌공사, 밭 관개용수 확보 스마트 저류조 시스템 개발 나선다 | 2021.08.05 |
| 12 | 세미나 발표 | 한국농공학회 | 디지털농업전문위원회 세미나-ICT기반 밭관개용수 확보 다기능 저류조 용수공급시스템 개발 | 2022.06.29 |
| 13 | 기술기사 | 학술지-전원과자원 | ICT기반 밭관개용수 확보를 위한 다기능 저류조 용수공급시스템 개발 | 2022.11. |
| 14 | 기술정보지 | 세계농업과 물 | 인공신경망(LSTM)과 생육정보를 이용한 오이 수확량 예측모델 개발 | 2022.06 |

□ 포상 및 수상 실적

| 번호 | 종류 | 포상명 | 포상 내용 | 포상 대상 | 포상일 | 포상 기관 |
|----|------------------------------|---------|--|-------|-------------|--------|
| 1 | 한국농공학회 2020년 학술발표회, 논문 발표 수상 | 우수논문발표상 | Development of a Landcover Edge Detection Algorithm through Image Processing | 홍록기 | 2020.10.16. | 한국농공학회 |

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

2단계에서 추진 예정인 홍보 성과에 대해 1단계에서 매체에 홍보할 기회가 있어 조기 성과를 달성할 수 있었음

2) 목표 달성 수준

| 추진 목표 | 달성 내용 | 달성도(%) |
|---|--|--------|
| ○ 발관개용수 공급 레질리언스 평가 지표 개발 | ○ 발관개용수 공급 레질리언스 평가 지표 개발 - 발관개용수 취약성 및 회복력 평가를 위한 지표 개발 - 발관개시설물에 대한 통합 취약성 및 회복력 지수 적용과 기술 고도화 - 발관개용수 공급 개선 가이드라인 제시 | ○100 |
| ○ 지표/지하수를 이용한 다기능 저류조 발용수 공급 집산화 방안 개발 | ○ 지표/지하수를 이용한 다기능 저류조 발용수 공급 집산화 방안 개발 - 농촌용수구역 단위 전직전환 규모 및 패턴 분석 - 농촌용수구역 단위 전직전환 패턴에 따른 지표/지하수의 발용수 공급 방안 도출 - 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조 집산화 방법 도출 | ○100 |
| ○ 레질리언스를 고려한 다기능 저류조 요소기술 개발 | ○ 레질리언스를 고려한 다기능 저류조 요소기술 개발 - 용수공급체계 분석 및 다기능 저류조 요소기술 개발 - 레질리언스를 고려한 지속가능한 다기능 저류조의 설계 - 레질리언스를 고려한 다기능 저류조의 검증 | ○100 |
| ○ 최적 관개용수 공급 및 물절약 집산화 다기능 저류조 시스템의 효과 검증 및 실증화 | ○ 최적 관개용수 공급 및 물절약 집산화 다기능 저류조 시스템의 효과 검증 및 실증화 - 센싱기술을 이용한 온습도 토양수분 실시간 모니터링 시스템 개발 - ICT 활용 원격 자동 관수시스템 구축 - 최적 관개용수 공급 및 물절약 집산화 저류조 시스템의 효과 및 실증화 | ○100 |

4. 목표 미달 시 원인분석

- 해당사항 없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

[기술적 측면]

- 용수구역단위 전직 추이 분석 결과는 기존 논 관개를 위해 설계된 저수지 수량의 효율적 활용방안 마련에 기초자료 제공
- 용수공급시스템과 수질개선기술의 융합을 통하여 기존에 없던 새로운 기술을 개발함으로써 최근 대두되는 다목적 수요에 부합하고 다기능 저류조의 선진화 및 첨단화를 야기
- 데이터 기반의 지능형 의사결정을 통해 저투입고효율의 안정적 농축산물 생산이 가능한 스마트팜 구현
- 원격·자동으로 작물 생육환경을 적정하게 유지·관리가 가능한 지능화된 재배시스템 구축
- PC 또는 모바일을 통해 온·습도, 기상상황 등을 모니터링하고 원격 자동으로 관수관리로 정밀 농업 발달에 따른 자원 효율화 가능
- 스마트팜을 통해 폭우, 폭염 등 환경변화 요인을 최소화하여 안정적이며 지속적인 생산이 가능한 환경 조성
- 용수의 계절별 특성을 고려한 단일·복합용수 적용을 통해 기후적응능력(극한기후(한발) 대비) 및 용수의 안정적인 수질 확보

[경제적·산업적 측면]

- 농업 수자원 관리를 위한 토탈 솔루션을 제공함으로써 다원화된 수자원관리를 일원화하고 효율성 제고하여 기존시장의 경쟁력을 극대화 하고 블루오션 시장을 개척
- 스마트 장비를 사용함으로써 적은 인력으로 넓은 면적의 경작지를 관리할 수 있어 인건비 절감
- 작물 수확량이 증가하고 물과 에너지 비용 절감
- 노동력·에너지·양분 등을 종전보다 덜 투입하고도 농산물의 생산성과 품질 제고 및 재료비, 인건비 절감

[사회적 측면 등]

- 기능개선을 통해 별도의 추가설치 및 비용이 최소화하여 다기능 저류조에 수질개선 기술을 추가할 수 있으며, 오염총량 관리제도 상 지자체에서 T-P 1kg/년 감소 시 아파트 한동을 올릴 수 있는 개발권을 부여받게 됨
- 농업과 ICT 기술의 접목을 통한 신사업 기회 마련 및 시장 수요 대응과 농업 관리 서비스의 질 향상 기대
- 사용자 중심의 최적화된 한국형 스마트팜 모델 개발을 통한 현장적용 보급 확산을 통한 농촌 삶의 질 개선
- 시장 수요에 대응하고, 농업 부문 종사자의 농장 관리 서비스 질 향상

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 발 관개용수 취약성 및 회복력 평가기술은 광역적으로 원천히 물리적인 평가방법의 개발 및 평가기술의 개발 및 가이드라인 제시를 통해 지자체 등에서 활용 가능
- 용수구역의 전작화 패턴에 따라 제안된 발 용수공급 방안 목록은 안정적 발 용수공급을 위한 시스템 설계의 가이드라인 제시
- 농업용수관련 사업 시 레질리언스 고려에 대한 가이드라인 제공
- 수자원 및 하천관리를 위한 토탈 솔루션으로 활용 가능
- 가뭄 피해 저감 대책으로 활용
- 정책자료 및 영농기술정보 제공 활용
- ICT 산업의 적용 영역 확대
- 정부의 스마트팜 확산 사업에 활용
- 과거 경험적 영농기술의 승계 방식을 넘어 4차 산업혁명의 핵심기술인 초지능, 초연결, 초실감, 초신뢰등을 활용하여 농촌 현안 문제 해결의 핵심 기술로 활용
- 스마트팜 분야 활용 : ICT기반 다기능 저류조 시스템의 Test-bed 구축에 따른 효과 검증 및 문제점 보완 후 스마트팜 분야에 활용
- 기술이전 : 지표수 및 지하수 활용이 가능한 ICT기반 다기능 저류조 시스템 기술을 관련업체 기술이전 실시
- 친환경농법 : 농업에 필요한 영양물질(인, 질소)을 일정수준 유지하여 비료사용량 절감 가능하며, 처리수내 잔류오존으로 오존농법 효과 기대

< 연구개발성과 활용계획표 >

| 구분(정량 및 정성적 성과 항목) | | 연구개발 종료 후 5년 이내 |
|--------------------|-----|-----------------|
| 사업화 | 매출액 | 215백만원 |

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

| 구분(정량 및 정성적 성과 항목) | | 연구개발 종료 후 5년 이내 | | | | |
|---------------------|--------------|-----------------|--------|--------|--------|---------|
| | | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
| 국외논문 | SCIE | | | | | |
| | 비SCIE | | | | | |
| 국내논문 | SCIE | | | | | |
| | 비SCIE | | | | | |
| 특허출원 | 국내 | | | | | |
| | 국외 | | | | | |
| 특허등록 | 국내 | | | | | |
| | 국외 | | | | | |
| 인력양성 | 학사 | | | | | |
| | 석사 | | | | | |
| | 박사 | | | | | |
| 사업화 | 시제품개발 | | | | | |
| | 상품출시 | | | | | |
| | 기술이전 | | | | | |
| | 공정개발 | | | | | |
| | 매출액(단위 : 천원) | 15,000 | 20,000 | 30,000 | 50,000 | 100,000 |
| | 기술료(단위 : 천원) | | | | | |
| 비임상시험 실시 | | | | | | |
| 임상시험 실시 (IND 승인) | 의약품 | 1상 | | | | |
| | | 2상 | | | | |
| | | 3상 | | | | |
| | 의료기기 | | | | | |
| 진료지침개발 | | | | | | |
| 신의료기술개발 | | | | | | |
| 성과홍보 | | | | | | |
| 포상 및 수상실적 | | | | | | |
| 정성적 성과 주요 내용 | | | | | | |

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농업기반및재해대응기술개발사업 ICT기반 발관개 용수 확보 다기능 저류조 용수공급시스템 개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 농업기반및재해대응기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.