

발간등록번호

11-1543000-002604-01

농업생산기반시설의 기후변화영향 안정성 평가 및 관리 기술 개발 최종보고서

2018. 12. 31.

주관연구기관 / 한국농어촌공사 농어촌연구원

협동연구기관 / 건국대학교 산학협력단

(주)콘텍이엔지

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

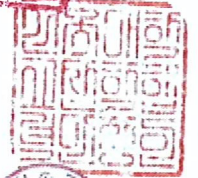
본 보고서를 “농업생산기반시설의 기후변화영향 안정성 평가 및 관리 기술 개발”
(개발기간 : 2016.05.19. ~ 2018.12.31.) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 3. 25.

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 (대표자) 장충선



협동연구기관명 : 건국대학교 산학협력단 (대표자) 송창선



(주)콘택이엔지 (대표자) 박성기



참여기관명 : 경상대학교 산학협력단 (대표자) 정종일



공주대학교 산학협력단 (대표자) 윤준상

(주)유일기연 (대표자) 이재혁



(주)상봉이엔씨 (대표자) 차동화



주관연구책임자 : 김해도

협동연구책임자 : 김선주, 정상경

참여기관책임자 : 유 찬, 박찬기, 이재혁, 김재원

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	316034-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2016.05.19.~ 2018.12.31	단 계 구 분	-
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농생명산업기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	농업생산기반시설의 기후변화영향 안정성 평가 및 관리 기술 개발			
	세부 과제명	세 부 : 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가 연구 제1협동 : 농업생산기반 시설의 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발 제2협동 : 농업생산기반 수리시설의 기후변화 대응 보수/보강을 통한 성능 개선 및 유지관리 기술 개발 제1위탁 : 기후변화에 대한 농업생산기반시설 적응방안 연구 제2위탁 : 기후변화 시나리오에 의한 농업용수량 분석 제3위탁 : 농업생산기반 시설물의 유지관리 방안 개발			
연구책임자	김해도	해당단계 참여연구원 수	총: 40명 내부: 25명 외부: 15명	해당단계 연구개발비	정부: 800,000천원 민간: 268,000천원 계: 1,068,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 40명 내부: 25명 외부: 15명	총 연구개발비	정부: 800,000천원 민간: 268,000천원 계: 1,068,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국농어촌공사 농어촌연구원			참여기업명: 건국대학교 (주)콘택이엔지 (주)상봉인앤씨	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 경상대학교 공주대학교 (주)유일기연			연구책임자: 유 찬 박찬기 이재혁	
※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반				

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	8	3									

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요 약	보고서 면수
<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화에 의한 농업용수·기반시설의 홍수 및 가뭄 대비 취약성 지표 개발 - 기후변화에 의한 농업용수·기반시설의 홍수 및 가뭄 대비 취약성 평가 - 기후변화에 대한 농업생산기반시설의 적응방안 연구 	346
<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업생산기반 시설의 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 농업용수 이용실태 현황조사 및 분석 - 농업용수 수요/공급 효율성 분석 기법 개발 - 기후변화 시나리오에 의한 수문량 및 농업용수량 변화 분석 - 기후변화 시나리오에 따른 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발 	199
<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업생산기반시설의 기후변화 대응 보수/보강 및 유지관리 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 시설물 보수 재료 기술현황 조사 및 기준 설정 - 시설물 재해대비 보수/보강 판단 수준 결정 방법 개발 - 시설물 성능개선용 보수재료 개발 및 현장 적용성 평가 - 시설물 성능개선 및 재해대응 유지관리 기술(방안) 제시 	95

〈요약문〉

연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업·농촌분야 기후변화 규정 입법화로 농업용수·농업생산 기반시설에 대한 실태조사, 영향·취약성평가 시행이 5년 주기로 법제화됨에 따라 평가지표의 설정 및 실태조사방법을 도출함 ○ 기후변화 취약성 평가는 기후변화의 부정적인 영향값을 낮추거나 제거할 수 있는 기술·정책의 유무로서 농업용수의 효율적 이용 기술과 농업생산기반시설의 보수·보강 및 성능개선 기술을 개발 함 				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 강우의 시간적 이동(농업용저수지 수질 영향), 공간적 이동(용수부족), 강우강도 이동(집중호우), 증발산량 증가(농업용수 수요량 증가) - 농업용수, 기반시설 영향유발 인자(기후노출) 및 영향인자(민감도) 설정 - 이수, 치수, 수질, 시설분야 실태조사 범위, 대상설정 및 세부계획 수립 - 시험지구 대상 기후변화 안전성 평가 수행 ○ 농업생산기반 시설의 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화 시나리오에 의한 미래 농업용수량 산정 - 농업용수 물질약을 위한 물관리 기술 제시 ○ 농업생산기반시설의 기후변화 대응 보수/보강 및 유지관리 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화 취약 시설대상 보수재료 성능 평가 및 시험시공 실시 - 기후변화 안정성 평가와 연계된 보수보강 매뉴얼 작성 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업분야 기후변화 실태조사 및 영향·취약성평가에 활용(법정기준) <ul style="list-style-type: none"> - 농업용수, 농업생산기반시설 분야 실태조사에 활용 - 농업용수, 농업생산기반시설 분야 영향평가 및 취약성평가 지표로 활용 ○ 농업용수 농업생산기반시설 분야 기후변화 취약성 저감기술로 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 농업용수 이용 고도화 활용방안(취약성 저감기술) - 농업생산기반시설 보수·보강을 위한 성능개선 방안 활용(취약성 저감기술) ○ 기상이변에 대비한 피해저감 및 사전 예방으로 재해 대처 능력 향상 <ul style="list-style-type: none"> - 농업용수, 농업생산기반 시설물의 위험관리 및 운영 효율성 기대 				
국문핵심어 (5개 이내)	기후변화	영향·취약성	농업생산 기반시설	성능개선	탄력성
영문핵심어 (5개 이내)	Climate change	vulnerability	Infrastructure	Improvement	resilience

< 목 차 >

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발 목적	3
제 2 절 연구개발의 필요성	4
제 3 절 연구개발 범위	5
제 2 장 연구수행 내용 및 결과	9
제 1 절 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가 연구	11
1. 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 홍수 및 가뭄 대비 취약성 지표 개발	11
2. 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 홍수 및 가뭄 대비 안정성 평가	153
3. 기후변화에 대한 농업생산기반시설의 적응방안 연구	233
제 2 절 농업생산기반 시설의 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발	294
1. 농업용수 수요공급 효율성 분석 기법 개발	294
2. 농업용수 계측 기법 개발	342
3. 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발	398
4. 기후변화 시나리오에 따른 농업용수 취약성 평가 기법 개발	418
제 3 절 농업생산기반 수리시설의 기후변화 대응 보수/보강을 통한 성능 개선 및 유지관리 기술 개발	484
1. 농업수리시설물 관련 현황 수집, 분석	484
2. 농업생산기반시설물, 국내 보수재료 기술현황 조사 및 개발 보수재료의 기준 설정	503
3. 농업생산기반시설물 성능개선용 보수재료 개발 및 성능평가	507
4. 재해대응 보수·보강을 위한 농업수리시설물 상태평가 기준 도출	530
5. 개발 보수재료 현장 적용성 평가	541
6. 개발 보수재료 관련 지침 제시	550
제 3 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	571
제 1 절 연구 목표	573
제 2 절 목표 달성도	574
제 3 절 목표 미달성 시 원인 및 차후대책	582
제 4 장 연구결과의 활용 계획 등	583
참고 문헌	587

제1장

연구개발과제의 개요

- 제 1 절 연구개발 목적
- 제 2 절 연구개발의 필요성
- 제 3 절 연구개발 범위

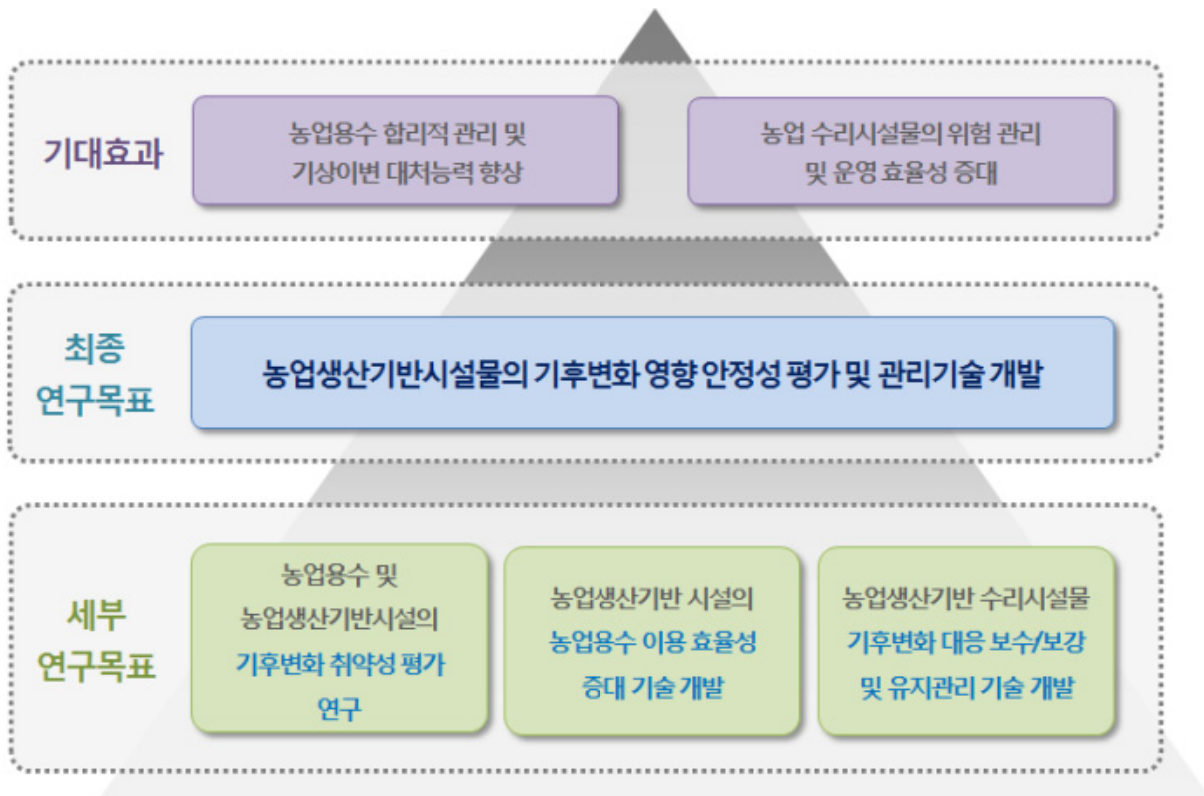
제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목적

본 연구의 목적은 농업용수·농업생산기반시설의 기후변화 영향·취약성 평가를 위한 지표설정 및 실태조사방법 등을 연구하고, 대응기술로 농업용수의 효율적 이용기술과 농업생산기반시설의 보수·보강 및 기능개선 기술을 개발하는 데 있다.

- 농업용수, 농업생산기반시설의 기후변화 영향·취약성 평가 연구
- 농업용수의 효율적 이용기술 등 기후변화 취약성 저감기술 개발
- 농업생산기반시설의 보수·보강 및 기능개선 등 시설 취약성 저감기술 개발

농업·농촌분야의 기후변화 규정 입법화로 농업용수·농업생산기반시설에 대한 실태조사, 영향·취약성평가 시행이 5년 주기로 법제화됨에 따라 평가지표의 설정 및 실태조사방법의 도출이 필요하고, 기후변화 취약성 평가는 기후변화의 부정적인 영향 값을 낮추거나 제거할 수 있는 기술·정책의 유무로서 농업용수의 효율적 이용기술과 시설의 보수·보강 및 성능개선 기술을 개발하여 기후변화 취약성 평가에 이용하고자 한다.



제 2 절 연구개발의 필요성

지구온난화와 엘니뇨 현상 등의 기후변화로 인하여 세계적인 가뭄, 홍수, 한파, 혹서 등의 재해 및 기상이변이 속출하고 있다. 기후변화의 영향과 심각성은 수자원, 생태계, 산림, 보건, 농업 및 사회기반시설 등 다양한 분야에서 관측 혹은 전망되고 있는데, 특히 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 4차 보고서(2007)에서는 미래 기후변화로 인한 영향 중 가장 취약한 부분으로 기후시스템 변화에 따른 강수패턴의 변화와 이로 인한 가용 수자원의 감소를 선정하였다.

기후변화는 국내의 농업영농환경의 변화를 가져와 안전한 영농을 위협하고 있으며, 농어촌 용수와 농업생산기반시설의 적정규모 및 이용방법에 영향을 미치고 있다. 최근 기후변화로 인한 물 부족이 발생하고 가뭄이 장기화되어 농작물 피해가 빈번히 발생함에 따라 기후변화에 대응한 농어촌용수의 안정적인 공급 대책에 대한 요구가 증가하고 있다. 농업생산기반시설은 작물 필요수량을 강우만으로는 보충할 수 없기 때문에 추가수량을 인위적으로 공급하기 위한 시설로서 강우가 시설규모 결정의 기준이기 때문에 기후변화에 가장 민감한 시설이다. 기후변화 영향은 수자원, 산림, 농업 등 여러 분야에서 전망되고 있는데, 특히 가장 영향이 많이 부분은 강우패턴의 변화로 인한 영향이다. 강우패턴변화는 강우의 공간적 이동(shift)뿐만 아니라 강우강도 및 강우기간의 이동을 의미하며, 강우의 이동영향은 기존에 설치된 농업생산기반시설의 효율적인 운영과 이용에 영향을 미치고 있다.

미국, 영국, 일본 등 주요 선진국에서는 기후변화 관련 법적, 제도적 근거를 마련하여 이미 자국들의 기후변화 적응 프로그램을 시행하고 있으며, 우리나라도 기후변화에 대비하기 위해 체계적이고 현실적인 적응 전략 도출을 위한 필요 기술을 개발함으로써 농촌용수 뿐만 아니라 수자원 관리 기술 및 시설물의 적응 역량을 강화하기 위한 프로그램이 만들어 지고 있다.

기후변화가 농업·농촌·임업 및 농어촌용수와 농업생산기반시설에 미치는 영향을 심층적으로 실태조사하여 선제적 대응을 위해 5년 주기로 기후변화 영향·취약성평가를 추진하도록 기후변화 영향·취약성 평가와 관련한 법적, 제도적 근거를 최근에 마련되었다. 이를 위해 농촌진흥청과 산림청에서는 소관분야를 위임하고 농어촌용수 및 농업생산기반시설 분야는 한국농어촌공사가 위탁하는 방식으로 제도화 되었다. 기후변화 영향평가는 평가지표의 설정 및 실태조사방법 도출이 필요하며, 취약성평가는 기후변화의 부정적인 영향을 낮추거나 제거할 수 있는 기술·정책의 유무를 적용하여 평가하는 과정으로 기후변화 대응 정책·기술개발을 위해 지속적인 연구가 필요한 상황이다. 이에 본 연구에서는 가뭄, 홍수 등 기상 재해에 대응하고 한정된 농촌용수의 합리적 관리를 위한 농업생산기반시설물의 기후변화에 따른 영향 분석 및 안정성 평가 기술을 확보하고 이에 적합한 보수·보강 방안, 유지관리 기술 등을 제시하여 기존의 농업생산기반 수리시설물의 효율성을 증대시키고자 하는데 있다.

제 3 절 연구개발 범위

1. 연구대상

○ 농업용수 및 농업생산기반시설

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

○ 기후변화

기후변화 요인은 강수의 변동부터 온도, 습도, 일조시간, 용설 등 매우 다양한데 연구대상인 농업용수·농업생산기반시설에 영향을 미치는 기후변화 요인은 강수의 이동(shift) 및 증발산량의 변동 여부이다. 농업생산기반시설에 의한 공급량 기준은 강우 공급량을 제외한 공급수량이기 때문에 강우패턴의 변화가 기후변화 요인 중에 가장 큰 기후변화 영향요인이다. 작물 필요수량을 수요량이라고 하는데 수요량식의 가장 큰 요인은 증발산량으로 기후변화 요인에서 고려해야 하는 사항이다.

2. 시간적 범위

농업용수, 농업생산기반시설에 미치는 기후변화 영향·취약성 평가는 농업·농촌분야 기후변화 규정에 따라 2018~2020(1주기)와 2021~2025(2주기)로 설정된다.

기후변화 영향·취약성 평가방법은 현재를 기준으로 영향이 미치는 대상을 실태조사하여 5년간의 변화량을 수집하여 평가한다. 연구의 시간적 범위는 실태조사 및 영향·취약성 평가지표를 개발하기 위해 기후변화 시나리오에 따라 과거 및 미래 기후자료를 생성하여 연구에 이용한다.

3. 공간적 범위

농업용수·농업생산기반시설은 전국에 분포되어 있으며 효율적인 관리를 위해 전국을 511개소의 농업용수구역으로 구분한다. 농업생산기반시설 중 농업용저수지는 시군, 한국농어촌공사 관리저수지를 모두 합하면 17,956개소로, 공사관리기준으로 용수원시설은 관리저수지 3,395개소, 양수장 3,555 등 총 13,884개소이고, 용·배수로의 개소수는 38,138개소 등 시설 개소수가 너무 많기 때문에 개별 시설물을 대상보다는 구역으로 구분하여 기후변화 영향·취약성 평가가 가능하다.

4. 연구의 범위

기후변화 기상이변으로 인하여 가뭄 및 홍수 등의 재해가 발생하고 있으며 이에 따른 기후변화가 농업·농촌에 미치는 영향을 심층적으로 조사 및 분석하여 기후변화에 선제적으로 대응하기 위한 농업용수 및 농업생산기반시설의 취약성평가를 위한 실태조사 및 영향평가 방법 개발이 필요하고, 기존 농업용수의 관리 기법의 개선이 필요하며, 노후화된 농업생산기반 시설물의 성능개선이 절실한 실정이다. 농식품부 및 전문기관의 의견에 따라 RFP와 목적은 같고 농업·농촌분야 기후변화 규정 연구에 초석이 될 수 있게 농업생산기반 수리시설물의 재해대비 안정성 평가기술 개발을 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가연구로 변경하고 그 외 항목도 맞게 다음과 같이 수정하였다. 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성을 평가하기 위한 평가지표 등 평가방안을 연구하고, 농업생산기반 수리시설물의 농업용수 이용의 효율성을 증대시키고, 기후변화 대응을 위한 성능개선 및 유지관리 기술을 제시하여 기존 농업생산기반 수리시설물의 효율성을 증대시키기 위한 연구를 수행하기 위하여 연구의 범위는 다음과 같다.

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
1 차 년 도 (2016)	농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가 연구 (위탁 : 기후변화에 대한 농업생산기반시설 적응 방안 연구)	○ 기후변화 취약성 평가지표 개발	○ 기후변화 취약성 평가지표 개발을 위한 기법 조사 - 기후변화 취약성 평가지표 개발 기법 조사 비교 ○ 기후변화 취약성 평가지표의 도출 - 농업용수 및 농업생산기반시설과 관련된 기후변화 취약성 평가지표 개발
		○ 기후변화에 대한 취약성 지표선정을 위한 해외 연구결과 수집 및 분석	○ 기후변화 취약성 지표선정 자료수집 - 국제기구 보고서 및 관련논문 ○ 지표선정 자료 분석 및 정리 - 대응정책 정리 및 국제적인 취약성 평가규범 및 평가 지표
	농업생산기반 시설의 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발 (위탁 : 기후변화 시나리오에 의한 농업용수량 분석)	○ 농업용수 수요공급 효율성 분석 기법 개발	○ 분석 대상지구 선정 - 다양한 수원공을 가지는 대표 용수구역 선정 ○ 농업용수 수요대비 공급 효율 분석 - 수요량 대비 공급량을 분석하여 수요공급 효율성 분석 기법 개발
		○ 농업용수 이용실태 현황조사 및 분석	○ 분석 대상지구 기초 자료 조사 - 수리시설물 및 수요공급량 현황 조사 ○ 농업용수 이용실태 분석 - 대상지구의 수원공 운영 현황 및 관개 용수 공급 형태 분석
	농업생산기반 수리시설의 기후변화 대응 보수/보강을 통한 성능 개선 및 유지관리 기술 개발 (위탁 : 농업생산기반 시설물의 유지관리 방안 개발)	○ 농업수리시설물, 국내 보수재료 기술현황 조사 및 개발 보수재료의 기준 설정	○ 수리시설물 및 보수재료 기술현황 조사 - 보수재료 개발에 필요한 기초자료 수집 ○ 개발 보수재료의 기준 설정 - 현황자료 분석, 물성시험 결과를 활용 보수재료 요구성능, 사용재료 선정
		○ 농업수리시설물 관련 현황 수집, 분석	○ 농업수리시설물 현황 수집분석 - 시설물 현황 및 설계기준 등 자료 수집 ○ 농업수리시설물 보수보강 관련 자료 분석 - 시설물 파손 및 보수보강 사례 등 수집

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
2 차 년 도 (2017)	농업용수 및 농업생산 기반시설의 기후변화 취약성 평가 연구 (위탁:취약성 조사평가를 위한 전문가 의견조사)	○ 기후변화 영향인자를 고려한 취약성 평가 기법 산정	○ 기후변화가 농업용수·농업생산기반시설에 미치는 영향 분석 - 농업용수 농업생산기반시설은 강우패턴변화 영향으로 강우의 공간적이동, 강우강도 및 강우기간이동으로 구분하고, 강우의 이동은 기존에 설치된 농업생산기반시설의 효율적인 운영과 이용에 영향 ○ 이수, 치수, 수질, 시설물별 영향·취약성 지표 설정 - 이수(수요량, 공급량), 치수(홍수량변화, 홍수배제능력변화) - 수질(수질등급변화), 시설물(안전성, 효율성, 내구성) ○ 영향·취약성 지표별 실태조사 방법 분석 - 이수, 치수, 수질, 시설분야에 대한 실태조사 범위 및 대상을 설정하고 실태조사 세부계획 수립함 - 기후노출에 해당하는 기후변화자료의 산정방법을 제시함
		○ 기후변화 영향취약성 지표의 정량적평가	○ 기후변화 영향·취약성 평가방법 분석 - 설계홍수량변화와 시설의 홍수배제능력의 변화를 연도별로 비교하는 치수안전도 분석방법을 제시함 - 시설안전도는 피해발생 개소수와 피해액에 대한 스케일 조정법에 의한 표준화로 평가방법을 제시함 ○ 시험지구 기후변화 영향·취약성 평가 - 기후변화 취약성 저감을 위한 필요정책 및 기술 분석 - 기존 정책, 기술의 취약성 저감정도 분석
		○ 농업용수 계측 기법 개발	○ 농업용수 수요·공급 실태 및 계측시설 분석 - 대상지구의 수원공 운영 현황, 관개 용수 공급 형태 분석 ○ 농업용수 수요량 대비 공급량 차이 요인 분석 - 공급량 조사 및 수요공급 효율성 분석
		○ 기후변화 시나리오에 의한 수문량 변화 분석	○ 수원공별 농업용수 계측 기법 개발 - RCP 4.5/8.5 시나리오 자료 구축 ○ 기후변화 시나리오를 적용하여 대상 지구의 수문량 변화 산정 - 기후변화 시나리오에 따른 미래 수문량 변화를 일별, 월별, 연도별 분석
	농업생산기반 시설의 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발 (기후변화 시나리오에 의한 수문량 변화 분석)	○ 농업수리시설물 성능개선용 보수재료 개발 및 성능평가	○ 개발 보수재료의 최적 배합비 도출 - 배합시험 및 통계적 개념/방법 이용 사용재료 적정혼입율, 최적배합비 도출 ○ 규격화된 성능시험법에 의한 역학적, 내구 성능 평가/검증 - 규격화된 성능시험법에 의한 역학적, 내구성능 평가/검증
	농업생산기반 수리시설의 기후변화 대응 보수/ 보강을 통한 성능 개선 및 유지관리 기술 개발 (재해대응 보수·보강을 위한 농업수리시설물 상태평가 기준 도출)	○ 재해대응 보수보강을 위한 농업수리시설물 상태평가 기준도출	○ 농업수리시설물 손상유형 분석 - 파손사례 선행연구 결과를 활용 시설물별 손상유형 분류 ○ 농업수리시설물 상태평가 기준 도출 - 재해대비 시설물 보수·보강 판단을 위한 상태평가 항목/기준 선정

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
3 차 년 도 (2018)	농업용수 및 농업생산기반 시설의 기후변화 취약성 평가 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업생산기반시설의 기후변화 노출 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 농업생산기반시설의 기후변화 안정성 평가 ○ 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화에 따른 농업생산기반의 취약성 평가 분석
	(위탁:농업생산기반시설물의 기후변화 적응성 평가)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업생산기반시설물의 기후변화 적응성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 취약성 조사 및 평가 결과 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 농업생산기반시설의 적응성 평가항목 수립 ○ 기후변화 적응성 평가방안 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 적응성 평가기법 선정 및 우선순위 도출방안 수립
	농업생산기반 시설의 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기후변화 시나리오에 따른 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존의 농업용수 절감 방법 고찰 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 농업용수 절감 방법 비교 분석 ○ 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 효율성 제고를 위한 농업생산기반 시설물의 운영 및 관리 방법 개발
	(위탁:기후변화 시나리오에 의한 농업용수량 변화 분석)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기후변화 시나리오에 의한 수문량 변화 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용수량 산정 방법 고찰 <ul style="list-style-type: none"> - 수원공별 농업용수량 산정 방법 비교 분석 ○ 미래 농업용수량 변화 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화 시나리오 적용에 따른 수원공별 농업용수량 변화 산정
	농업생산기반 수리시설의 기후변화 대응 보수/보강을 통한 성능 개선 및 유지관리 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업수리시설물 성능개선용 보수재료 현장적용성 평가 및 관련 지침 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발 보수재료 현장적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - Test Bed, Mock-up 시험을 통한 보수재료 성능 검증/보완 ○ 개발 보수재료 관련 지침 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 시방서, 품질관리 및 유지관리 지침서 작성
	농업수리시설물 성능개선 및 재해대응 유지관리 기술(방안) 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업수리시설물 성능개선 및 재해대응 유지관리 기술(방안) 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설물별 보수.보강 공법 체계화 <ul style="list-style-type: none"> - 재해대비 시설물별 보수.보강시 활용 가능한 공법 조사/분류 ○ 농업시설물 유지관리 기술(방안)제시 <ul style="list-style-type: none"> - 재해대응 시설물 상태평가, 보수.보강 등 유지관리방안 제시

제2장

연구수행 내용 및 결과

- 제 1 절 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화
취약성 평가 연구
- 제 2 절 농업생산기반 시설의 농업용수 이용 효율성
증대 기술 개발
- 제 3 절 농업생산기반 수리시설의 기후변화 대응
보수/보강을 통한 성능 개선 및 유지관리
기술 개발

제 2 장 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가 연구

1. 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 홍수 및 가뭄 대비 취약성 지표 개발

가. 기후변화취약성 평가지표 분석

(1) 기후변화 취약성 평가지표 개발을 위한 기법 조사

‘취약성(vulnerability)’의 개념은 자연재해나 사회과학분야의 연구들을 통해 이미 오래전부터 우리에게 잘 알려진 내용이다. ‘취약성’은 지난 수십년 동안 위해성(risk) 문제를 다루면서 사용되어 왔는데, 분야별로 아주 다양한 의미로 사용되고 있고, 동일 분야라고 해도 학자의 관점에 따라서도 그 의미를 다르게 해석하고 있는 경우가 종종 있다. 또한 취약성은 다양한 분야에서 다양한 시점을 기준으로 사용되는 용어이기 때문에 취약성이란 하나의 단어에 이들의 모든 의미를 포함하기는 불가능하다는 의견도 있다(Kasperson et al, 2005). 따라서 각 분야별로 적절한 정의를 내려 사용하는 것이 더 합리적일 수도 있는데, 원래 지리학(geography) 그리고 자연재해(natural hazard) 분야에서 취약성이란 용어를 처음으로 사용한 것으로 보이며(Fussel, 2007), Timmermann(1981)에 의해서 ‘취약성’이란 용어가 공식적으로 사용하기 시작하였는데, 이때는 그 의미가 매우 광범위하여 특별한 특징이 없이 단지 ‘피해지역’을 지칭으로 하는 정도의 의미로만 사용된다. Liverman(1990)은 취약성의 의미에는 회복성(resilience), 한계성(marginality), 감수성(susceptibility), 적응성(adaptability), 취약성(fragility) 그리고 위험(risk)등으로 취약성을 정량화할 수 있는데 그 뒤에 노출(exposure), 민감도(sensitivity), 적응력(coping capacity), 임계상황(criticality) 등의 용어들이 추가되어 현재까지 이들 용어들이 혼재되어 사용되고 있음을 언급하고 있다. 기후변화 문제에 대한 인식과 취약성 개념¹⁾의 적용은 일반적 취약성 개념의 발전에 비해 그 역사가 짧음. 1990년대 초반부터 기후변화에 대한 전 세계적인 관심이 증대됨으로 인해 기후변화 취약성 개념에 대한 이론이 발전하기 시작하였으며, 자연재해를 관리하는 분야에서의 취약성 개념과 자주 비교되고 있다.

환경과 수자원에 대해 취약성 개념을 적용해 생각한 것도 1992년 “International Conference of Water and Environment” 에서야 시작되었다(Fischer et al. 2007). 따라서 근래의 취약성 평가의 필요성이 대두되면서 기존의 위해성 평가와의 의미 해석을 두고 혼란이 야기되고 있는 실정이다. 자연재해에 대한 취약성은 그 원인이 자연현상에 기인한 것이며, 그 대응은 과거의 이력에 근거하여 관련기반시설을 개선 혹은 보강함으로써 가능한 것이다. 그러나 기후변화에 대한 취약성은 그 원인이 인간의 산업 활동에 의해 야기되었으며, 그 적응능력이 미래에 발생

1) 취약성을 평가하는 대상은 크게 자연재해, 빈곤문제 그리고 기후변화 3가지 영역으로 보고 있다(Downing & Patwardhan, 2004).

할 것으로 예상되는 기후변화 혹은 기상이변에 의해 그 수준이 결정된다는 차이가 있다.

기후변화의 원인은 향후 인간의 산업 활동의 기초가 바뀌면 그 영향이 줄어들 수도 있고 그렇지 않으면 계속적으로 증가 할 수도 있는 것이다. 물론 관련기반시설의 개선 및 보강을 통해서도 취약성을 감소시킬 수도 있다. 그래서 자연재해에 대한 취약성 판정은 해석시점에서는 고정된 인자들인 취약성(vulnerability)과 위해가능성(hazard potential)의 곱으로 계산되고, 그 결과에 따라서 확인되는 위해(hazard)에 효과적으로 대응할 수 있는 응급상황에 대비한 체계를 갖추는 것으로 과정이 완료될 수 있다. 그러나 기후변화에 대한 취약성 판정은 기후변화에 따른 적응대책으로는 응급상황에 대한 대응뿐만 아니라 변화하는 기후에 대상 시스템을 적응시키는 것까지를 포함하는 차이가 있다. 기후변화에 따른 취약성은 IPCC (2007b)에서 “기후변화에 의한 악영향(기후변동과 이상기후 등)에 대한 감수성 혹은 적응력의 정도(degree)를 나타내는 것으로서 특성(character), 크기(magnitude), 기후변동의 정도(rate of climate variation) 그리고 노출되는 시스템의 민감도와 적응성에 따라 다르게 나타난다.”로 정의하고 있다. 즉 취약성이란, 미래 배출 추세의 예측에서 시작된 기후 시나리오에 근거하여 생물·물리적 시스템이 반응하는 정도와 이에 따른 적응 옵션들을 밝혀내는 일련의 평가 결과를 의미하며, 기후변화가 시스템에 노출(exposure)되는 정도, 생물·물리적 시스템이 반응하는 정도 및 사회경제적 시스템이 이에 대응하는 적응능력을 모두 포괄하는 개념이다. 한편 취약성 개념을 실제에 적용하기 위해서는 정량화할 수 있는 척도(measure)와 조사법(assessment method)이 필요하다. 그러나 취약성이란 직접적으로 측정할 수 있는 양이 아니며, 정량화하기 위해 그 기준을 설정하는 것도 어려운 작업이다. 보통은 설정된 지표를 대상으로 조사와 민감도 분석을 통해 취약성을 결정하는 과정을 적용하고 있지만, 기반시설들(infrastructures)을 대상으로 하는 경우에는 특히 예상되는 기후 변화 시나리오들에 대해서 수리학적 모델들(hydrological models)을 적용해 위해성(risk) 관점에서 취약성을 결정하고자 하는 시도들도 있다(Fussel and Klein, 2006). 기후변화에 의한 이상 기상(extreme event)이나 각종 자연재해의 발생은 향후 지속적으로 그 정도가 더 심해질 것으로 예상도된다.(IPCC, 2014) 이에 대한 대비를 서둘러야 할 상황이지만, 사회, 경제, 농업 등 국가의 모든 분야에서 거의 동시에 대응해야 하기 때문에 제한된 예산 안에서 효과적인 대응을 위해서는 정확한 취약성 조사가 이루어져야 한다. 미국의 경우에는 연방전체에 79,000개의 댐(Dam²⁾)과 26,000마일(약 41,600km)의 운하가 존재하는데 이 중 노후 혹은 손상된 수리구조물의 보수와 보강을 위해서 2028년까지 \$485billion(약 60조원)에서 거의 1.2trillion(약 1,400조원)의 예산이 필요한 것으로 산정된 바 있다(U.S. GAO, 2008). 또한 ‘Great Plain’에서 기후변화에 대한 취약성 조사항목에 이전에 기후변화에 의한 경험이력을 포함하여 수행하였는데³⁾ 그 조사결과에서는

2) 전통적인 댐 외에도 물을 저류할 수 있는 제방, 보 등도 포함

3) 기존 영향이력을 조사항목에 포함하는 방식을 ‘Ricardian Approach’ 라고 함

기후변화에 의한 영향을 받았던 지역의 적응성이 그렇지 않는 지역에 비해서 상대적으로 높은 사례가 있었다(Polsky and Easterly, 2001). 물론 이러한 결과들이 지역에 따라서는 정량적인 상관성을 보이는 것이 아니기 때문에 지역별로 좀 더 세심한 추가 조사가 필요하다고 보고 판단해야 한다(Iisd, 2007).

우리나라는 2010년 4월부터 시행되고 있는 「저탄소 녹색성장기본법」 제48조에 따라, 「국가 기후변화 적응대책(2011~2015)」이 발표된 이후에 지자체와 산업분야별로 취약성 평가가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기후변화에 대한 부문별 영향 및 취약성에 관한 정량적 분석 연구는 상대적으로 적은 편이며 특히 농업생산기반분야에서는 기후변화 영향·취약성 측면의 조사를 수행할 수 있는 충분한 자료나 기반들이 갖추어 있지 못한 실정이다. 한편 기존의 취약성 평가를 위한 연구들은 조사범위가 주로 국가전역(광역자치단체(시·도)간의 비교평가)을 단위로 행해진 경우가 많았다. 그러나 지자체 단위로 기후변화에 대한 구체적인 적응전략을 수립하기 위해서는 전반적인 분포보다는 구체적인 취약시설을 파악해야 할 필요성이 제기되었다. 특히 농업생산기반 시설 분야의 경우에는 관리시설의 종류와 개수가 너무 광범위하기 때문에 우선 시설별로 기후변화에 대한 위험유형을 파악하고, 각 시설의 기후변화에 대한 위험도 진단을 실시할 필요가 있다(명수정 등, 2010). 따라서 농업생산기반시설의 기후변화 영향·취약성 조사와 평가를 위한 지표설정을 위하여, 기존 국내외 연구 성과들을 정리하였다. 또한 농업생산기반시설 분야의 기후변화에 대한 위험유형과 진단방법에 대한 내용을 함께 정리하였다.

(2) 취약성 조사 방법

(가) 지표(indicator)를 이용한 취약성 조사방법

지표를 이용하는 조사방법은 실제로 발생하는 문제들이 다양한 복잡성을 내포하고 있는데, 이를 관리 가능한 정도의 간단한 숫자나 설명 혹은 기호 등으로 정보로 압축하면서도 유의미하게 해석이 가능하기 때문에 복잡한 생각이나 의견을 각종 계획에 반영하거나 제 3자를 대상으로 정보를 전달하는데 효과적인 수단이 될 수 있다. 기후변화와 관련되어서는 IPCC(2007a)에서 채택된 체계에 따른 취약성 조사를 실시하는 것이 최근에 일반화되어 있고, 본 연구에서도 이 체계를 중심으로 분석하였다. IPCC(2007a)에서 채택된 조사법은 기후변화에 대한 기반시설의 노출 민감성과 적응력을 측정해서 그 결과를 취약성 지수(VI; vulnerability index) 형태로 취합해 하는 방식이다. 이 방법은 지표의 선정과 가중치의 부여, 조사축적의 변화에 따른 자료의 이용 가능 여부 혹은 신뢰성(혹은 검정의 어려움) 등의 문제들로 그 적용에 어려움이 있다(Luers et al., 2003). 그러나 아직까지 광범위하게 사용되고 있음. 취약성은 전후상황(context)과 축적(scale)에 많이 의존한다. 따라서 이들의 원인과 의미를 명확한 설명하고 그리고 그 안에 내포되어 있는 고유의 불확실성을 알려주어야 한다.

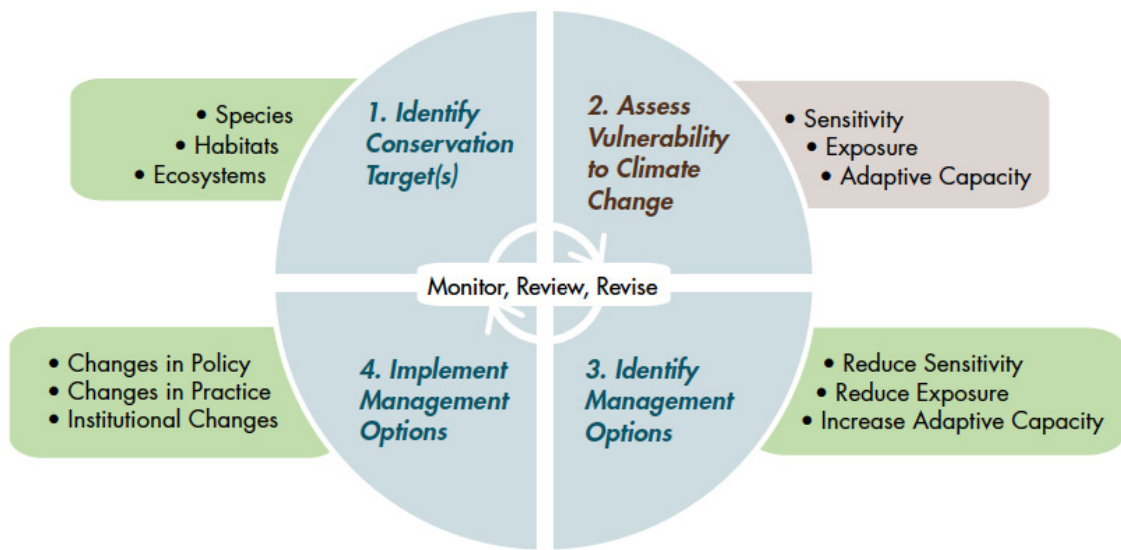
① 취약성조사 계획의 수립 시 고려사항

취약성 조사 자체는 독립된 성격을 가지지만 보통은 다른 상위의 계획에 포함되어 향후 예상되는 사업을 수립하는데, 중요한 자료를 제공하게 되는 경우가 많음. 예를 들면, U.S. NWF⁴⁾ (2011)에서는 ‘자연자원의 보전과 관리방안’에 대한 정책이 기후변화에 대한 적응방안의 수립이 요구되어, 우선 취약성 조사를 실시하기 위한 조사법 지침을 제시한 바 있다. 그러나 이 사업의 최종적인 목표는 적응전략을 수립하는 것. 즉 적응전략 수립을 위해서는 기후변화에 따른 충격, 위험요소 그리고 그와 관련된 불확실성을 먼저 이해할 필요가 있다. 취약성 조사는 적응전략 수립에 필요한 기본적인 2가지 종류의 정보를 제공할 수 있다.

- (1) 예상된 기후변화에 가장 큰 타격 받을 것 같은 분야들을 구별
- (2) 그 분야들이 특히 취약한 원인

(1)번 정보는 관리책임자들이 보전사업의 우선순위 결정을 가능하게 해주며, (2)번 정보는 적절한 관리 및 보전대책을 개발하는 기본적인 자료를 제공해 줄 수 있다. 다음 (그림1-1)은 U.S. NWF에서 제안한 기후변화 적응전략 수립을 위한 기본체계를 나타낸 것이다. 그림에서는 전략 수립을 위해서는 우선

- ① 보전대상 선정
- ② 취약성 조사 실시 : 기후변화에 취약한지 그리고 그 영향이 지속될지 여부를 결정
- ③ 관리방안을 선정 : 기술적, 경제적, 법류적인 고려 필요
- ④ 실행 : 모니터링 실시



(그림 1-1) 기후변화적응전략의 개발 개념도 (U.S. NWF, 2010)

4) U.S. National Wildlife Federation

② 취약성조사의 단계

취약성조사의 기본단계는 다음과 같다(U.S. NWF, 2010).

㉠ 목표와 범위의 설정

- Identify audience, user requirements, and needed products
- Engage key internal and external stakeholders
- Establish and agree on goals and objectives
- Identify suitable assessment targets
- Determine appropriate spatial and temporal scales
- Select assessment approach based on targets, user needs, and available resources

㉡ 관련 자료수집 및 전문가 파악

- Review existing literature on assessment targets and climate impacts
- Reach out to subject experts on target species or systems
- Obtain or develop climatic projections, focusing on ecologically relevant variables and suitable spatial and temporal scales
- Obtain or develop ecological response projections

㉢ 취약성의 구성성분 조사

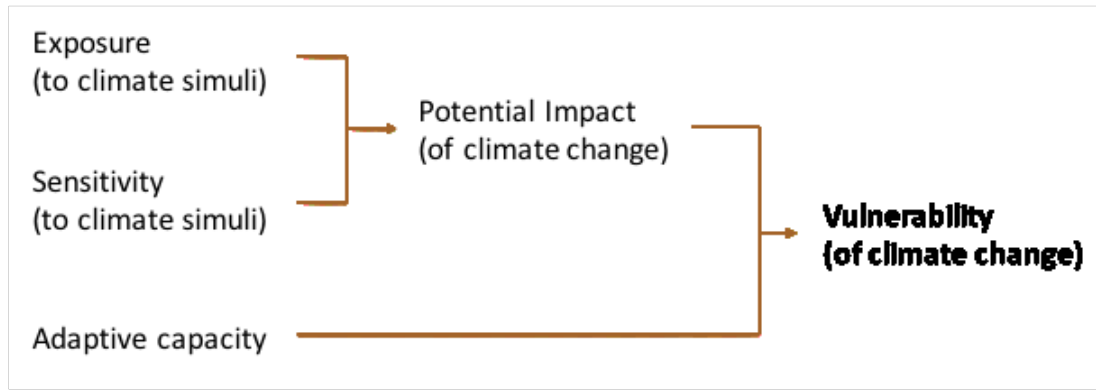
- Evaluate climate sensitivity of assessment targets
- Determine likely exposure of targets to climatic/ecological change
- Consider adaptive capacity of targets that can moderate potential impact
- Estimate overall vulnerability of targets
- Document level of confidence or uncertainty in assessments

㉣ 조사결과의 적응계획에 활용

- Explore why specific targets are vulnerable to inform possible adaptation responses
- Consider how targets might fare under various management and climatic scenarios
- Share assessment results with stakeholders and decision-makers
- Use results to advance development of adaptation strategies and plans

③ 취약성의 구성성분

노출(exposure), 민감도(sensitivity) 및 적응성(adaptive capacity)에 대한 내용이다. 이 3가지 성분은 기본적으로 [그림 1-2]와 같은 상호관계를 갖고 있다(IPCC, 2007b).



(그림 1-2) 취약성 구성성분과 상호관계

이들을 정량화하기 위해서는 일반적으로 다음과 같은 절차를 따른다.

- ㉠ identify determinants of the components
- ㉡ select suitable set of indicators
- ㉢ establish/describe functional relationship of the indicators to the vulnerability
- ㉣ calculate indicator values/scores and evaluate them
- ㉤ aggregate the indicators in the form of an index

이 과정에서 지표의 선정은 조사의 목적, 축적, 시스템의 형태, 조사자의 개인적 취향, 자료의 접근성에 따라서 달라짐. 특히 지표선정 시에는 자료수집의 용이성은 물론 해석이 간단하고 조사 대상 지역이 바뀌어도 지속적으로 조사가 가능하여야 한다.

- ㉠ 노출 : 기후변화의 정도와 이와 관련된 문제점이 어느 정도인지를 표현하는 척도로서, 정도(degree), 기간(duration) 그리고 범위(extent) 등으로 나눌 수 있으며, 기본적으로 미래에 대한 예측값을 입력값으로 사용하는데, 보통의 경우에는 과거의 역사적 기록들을 통계적 기법으로 해석해서 예측값을 추출하여 사용하고 있음.
- ㉡ 민감도 : 기후관련 자극에 의해 시스템이 영향⁵⁾을 받는 정도로서 여기에는 부정적인 영향과 긍정적인 영향을 모두 포함. 민감도는 기후에 대한 노출과 이로 인한 영향 사이의 투입-반응(dose-response) 관계를 나타냄. 민감한 시스템은 기후 변화에 대한 반응성이 높기 때문에 약간의 기후변화에도 예민하게 반응하게 됨. 따라서 민감도를 이해할 때 시스템이 기후 영향에 의해 변화를 나타내기 시작하는 임계점(threshold)이 중요한 의미를 가짐(Australian Government, 2005). 시스템의 민감도에 영향을 미치는 토지이용, 자연 및 정주환경 등은

5) 이때 영향에는 직접적인 영향과 간접적인 영향이 있다. 평균기온의 변화로 작물생산이 감소하는 직접적인 영향과 해수면 상승에 의해 해안 침수 빈도가 증가하여 발생하는 피해와 같은 간접적인 영향을 말한다(IPCC, 2007b).

넓은 의미의 사회, 경제, 문화, 정치, 환경적 조건을 반영하기 때문에 이들 요인 중 일부는 적응역량을 결정하는 요인과 유사함(명수정 등, 2010).

㉔ 적 용 : 적응능력은 어떤 시스템이 극한 기후현상을 포함한 기후변화에 대응하고 잠재적인 피해를 완화하며, 기후변화로 발생하는 기회를 활용할 뿐만 아니라 그 결과에 대처하는 정도를 의미함. 또 적응능력은 시스템이 기후변화의 영향으로부터 얼마나 빨리 회복할 수 있는가를 나타내므로 사회, 경제 및 환경적 요소가 중요함. 적응능력이 낮은 시스템은 기후변화의 작은 영향에도 취약한 반면, 적응능력이 높은 시스템은 기후변화에 쉽게 영향을 받지 않으면서도 회복력 또한 빠름. 적응능력은 관리능력, 재정, 기술, 정보 관련 자원에 대한 접근성, 인프라, 제도, 정치적 영향력, 인적 네트워크 등에 의해 영향을 받기 때문에 국가나 지역사회마다 다르며, 동일 한 지역 내에서도 집단이나 개인에 따라 다름(Smith & Wandel, 2006).

이들 구성성분들에 대한 지표선정과 자료수집 그리고 표준화와 과정을 저친 후에는 최종적으로 취약성 지표(VI)를 산정한다 [식 1-1] (유가영 등, 2008). 이 식에서 취약성 지표의 값이 클수록 취약성은 작아지게 된다.

$$VI = \frac{Avg(Sensitivity, Exposure) + Adaptivecapacity}{2} \quad \text{[식 1-1]}$$

이 식에 의하면 민감도 지수와 기후노출 지수에는 적응능력 지수보다 낮은 가중치가 주어지는 것으로 되어 있다. 이는 기후노출과 시스템의 민감도가 합쳐져 잠재영향을 가져오게 되며, 잠재영향이 적응 능력과 합쳐져 취약성-탄력성 지수가 계산되기 때문이다. Smith와 Pilifosova(2003)는 취약성의 평가를 다음과 같이 [식 1-2]로 나타내기도 하였다. 즉 취약성평가 시 시간과 적용대상범위의 크기가 중요한 변수가 될 수 있음을 나타낸 것이다.

$$V^s = f(E^s, A^s) \quad \text{[식 1-2]}$$

여기서, V_{it}^s = 시간 t에서 기상변동 s에 대한 시스템 i의 취약성(vulnerability)

E_{it}^s = 시간 t에서 기상변동 s에 대한 시스템 i의 노출(exposure)

A_{it}^s = 시간 t에서 기상변동 s에 따른 시스템 i의 적응성(adaptive capacity)

④ 대리변수(Proxy)

농업생산기반시설의 항목을 구분해서 각각의 요소를 다음 <표 1-1>과 같이 정의하였다.

<표 1-1> 대리변수의 종류와 정의

대응 변수	정 의
기후노출	기후변화 영향을 대신할 수 있는 변수(일반적으로 기후요소)
민감도	기후노출 영향정도의 크기를 조절하는 변수(사회, 경제적 통계 자료)
적응능력	기후변화 영향을 감소시킬 수 있는 변수(사회, 경제적 통계 자료)

· 대응변수를 기반으로 취약성은 다음과 같은 관계식으로 표현할 수 있음.

$$\text{취약성} = \text{기후변화 영향(기후노출, 민감도)} - \text{적응능력}$$

외국의 경우에는 1990대 초반부터 본격적인 기후변화에 따른 영향을 정량화하기 위한 노력이 시작. Eastman 등 (1997)은 UNDP (United Nations Development Programme)프로젝트로서 서부 아프리카 지역에 대한 작물 피해위험, 시장접근 및 대응전략 등의 자료를 가지고 IDRISI기반의 취약성 평가를 실시하고 있다. WEP (World Food Programme, 1998)은 VAM (Vulnerability Analysis and Mapping)프로젝트를 통해 식량 수급과 관련한 국가별, 지역별 재해취약지구를 분석하고 GIS Mapping이 가능하도록 Framework를 만들어 전 세계적으로 적용하고 있다. Granger et al.(1999)은 자연재해에 대한 지역취약성을 ‘임의의 재해 요소 혹은 그러한 요소들의 집합에 의해 일어나는 손실의 정도’라 정의한 바 있다. Mileti(2001)는 취약성이란 재해의 충격에 따른 저항, 복구, 기상측면에서의 역량(capacity)이라고 주장. Bender(2002)는 국가 혹은 지역 단위의 재해취약성평가 기술의 개발과 그 적용에 있어 괴리가 존재하게 되는데 이는 행정경계가 주요한 방재정책수행 기준인 것을 간과하기 때문이라고 주장하였다. 지표 혹은 대응변수들은 주제나 지역에 따라서 달라질 수 있다. <표 1-2>는 Moss 등(2001)에 의해서 제시된 지표의 예. 이 연구는 기존의 취약성의 개념을 확장하여 생물물리적인 민감도와 사회경제적인 적응능력의 함수로 정의하고 취약성-탄력성 지표 원형모형 (Vulnerability-Resilience Indicator Prototype model, VRIP model)평가방법론을 적용하여 기후변화에 대한 전 세계 국가들의 분야별 (sector) 취약성을 비교 및 분석하였다. VRIP모형은 크게 민감도 부문과 적응능력 부문으로 구성되는데, 부문별로 대리변수를 선정하여 1990년의 세계은행과 1990년의 미국자료를 기준으로 취약성 지표를 계산하였다. Gbetibouo and Ringler(2009)는 농업의 기후변화 취약성 평가를 위한 지표를 선정하여 표준화 작업을 거쳐 각각 지역별 노출, 민감도 및 적응능력 분포를 분석한 후 주성분 분석을 통해 가중치를 부여하여 남아프리카 농업 분야의 기후변화 취약성과 취약지역 파악을 위한 취약성 지수를 산정하였다 <표 1-4>.

<표 1-2> Indicators, sectors, proxies and sources(Moss et al., 2001)

Indicator	Sector	Proxy	Source
Sensitivity	Settlement/ infrastructure	Sea level rise resulting in number of people at risk	Delft Hydraulic 1933
		%Population with access to safe water	World Bank 1988
		%Population with access to sanitation	World Bank 1988
	Food Security	Cereal production/agricultural land	World Bank 1988 & FAOSTAT98
		Animal protein demand per capita	World Bank 1988 & FAOSTAT98
	Human Health	Birth rate	World Bank 1988
		Life expectancy	World Bank 1988
	Ecosystem	% Managed land	FAOSTAT98
		Fertilizer use/area cropland	World Bank 1988
	Water Resources	Water sensitivity, based on availability and consumption	World Resources 1994-95
Coping- Adaptive Capacity	Economic Capacity	GDP per capita	World Bank 1988
		Income distribution equity	World Bank 1988, Deininger and Squire 1996, 1998 & www.worldbank.org/research/rowth/dddeisqu.htm
	Human and Civic Resources	%Population in the workforce	World Bank 1988
		Illiteracy	World Bank 1988
	Environmental Capacity	%Non-managed land	FAOSTAT98
		SO2 emission	GEIA, Benkovitz et al. 1991
		Population density	World Bank 1988

Ford and Smith(2004)는 취약성의 개념적 모델을 개발하고 캐나다 북극지역의 기후 위험과 대응전략을 측정하는 분석적 접근방법을 제시하였으며, 사례연구 등을 통해 현재 위험 노출 정도를 상세히 보고하고 미래위험 노출 정도와 적응능력의 특성을 분석하였다. Wehbe등(2005)은 농업 부문의 기후변화 취약성을 평가하는 방법론을 제안. 이 연구에서도 기후변화의 취약성을 민감도와 적응능력의 함수로 보고, 농업 부문에서의 적응능력은 그 시스템의 지속 가능성과도 연관이 있다고 판단하였으며 농업 부문의 적응능력이 가지는 특성으로 유연성, 안정성, 자원에의 접근성 등으로 정리하였다. Brooks등(2005)은 국가 수준의 취약성을 구성하는 여러 변수들을 종합하여 경험적인 연구 방법 및 델파이서베이(Delphi survey)를 통해 주요한 변수를 추출하고, 제안된 주요 취약성 지표들을 종합(Composite)한 후 5분위 수(Quintile)를 계산하는 방법으로 표준화하여 10% 유의수준에서 사망률과 유의하고 높은 상관성을 가진

취약성의 주요 대리변수들을 선정. 여기서 선정된 주요 변수들은 대부분 경제적 측면의 변수들(특히 GDP)과 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났다 <표 1-5>.

Moss 등(2001)의 연구결과는 이후에 수행된 많은 연구들에 지대한 영향을 끼쳤다. 그러나 이 지표는 국가 간 취약성 비교에는 적합하지만 한 국가 내의 지역별 취약성 비교에는 그렇지 않은 것으로 알려졌다. 즉, 우리나라의 농업생산기반시설 기후변화 취약성 평가를 위한 지표의 개발이 필요하다.⁶⁾ 실제 우리나라에서 수행된 많은 연구에서 Moss(2002)에 의해 선정된 지표들의 기본 형태가 적용되었다. 명수정 등(2009)은 전문가 설문 방법으로 미래 기후변화 시나리오에 따라 평균기온 상승, 홍수, 가뭄, 혹서 및 태풍에 대한 사회기반시설의 노출정도를 5단계로 구분하여 취약성 평가를 실시하였다 <표 1-6>. 김은화 (2010)는 기후변화 취약성 계산에 필요한 민감도, 적응능력 지수를 계산하기 위하여 사회·경제적 자료를 지역별로 수집하였고, 기후노출 지수에 따른 기후변화 취약성 정도를 알아보기 위해 12개의 지표를 이용하여 기후변화가 미치는 영향이 가장 민감할 것이라 예상되는 농업, 임업, 생태계 등 세 분야에 대해 지역별 기후노출 지수를 산정하였다 <표 1-7>. 고재경 (2009)은 기초 지자체에 활용 가능한 취약성 평가 지표를 도출하기 위해 경기도 31개 시·군을 대상으로 문헌연구와 취약성 평가 사례를 분석하고 전문가 회의, 통계분석, AHP 설문조사 및 GIS분석 등을 활용하여 홍수, 가뭄, 해수면상승, 폭염 등 기후변화 영향을 발생시키는 기후자극을 중심으로 평가지표를 구성하여 지자체의 민감도와 적응능력을 종합적으로 평가하였다 <표 1-8>. 유가영 등 (2008)은 우리나라 16개 시·도를 대상으로 취약성을 평가하기 위해 UNDP (2005), Brooks 등 (2005) 및 Moss 등(2001) 등의 연구에서 사용한 민감도와 적응능력을 IPCC (2007b)의 개념들에 따라 기후에 대한 노출, 시스템의 민감도 정도 및 시스템이 이에 대응할 수 있는 적응능력의 함수 등 세 범주로 구성하여 취약성의 개념으로 사용하였다. 기존의 연구들에서 적용된 바 있는 대리변수 항목들의 비교를 통해 총 33개의 대리변수 (Proxy variables)를 선정하여 표준화 과정을 거쳐 VRI를 나타내었으며 각 대리변수에 대한 주성분 분석을 통해 지역별 공통 지표 및 지역별 차이를 보이는 요소를 도출하였다 <표 1-9>. 한편 농업생산기반시설에 대한 지표설정 시에는 다음과 같은 외국의 사례도 참고가 될 것이다. <표 1-10>은 수자원 분야에서 취약성 지표로서 사용 가능한 인자들과 기능적 관계를 표시하였다(Shrestha et al., 2014). 그러나 개별 입력자료는 그 데이터 단위나 범위가 서로 달라 단계별로 통합된 분석을 하기 위해서는 자료의 표준화가 필요하므로 평가항목들 간의 연산을 위하여 자료의 표준화 과정을 거쳤다. 일반적인 표준화 방법은 <표 1-11>과 같다. 기후변화는 모든 인간 경제 활동에 영향을 미칠 것이며 특히, 농업부문에 미치는 영향은 가장 예민하고 취약하다(환경부, 2011).

6) 우리나라에서 시행중인 「국가 기후변화 적응대책(2011~2015)」도 기본적으로 기후변화의 영향이 지역의 생태환경에 따라 다르게 나타나고 인간 사회에 있어서도 영향이 다르므로, 각 지역에 따라 적응전략도 달라져야 한다는 점에 초점을 두고 있는 것이며, 따라서 지자체가 자체적으로 기후변화 적응대책을 작성하도록 하고 있다.

세계의 농업은 기후자원에 절대적으로 의존하고 있기 때문이고 기후변화의 작물 생산성에 대한 영향이 국지적, 지역적, 국가적 수준에서 일어날지라도 결과적으로는 세계적 권역에 영향을 미치게 된다. 결국 작물의 수량은 온도, 강수량 같은 기상요인과 한해, 홍수, 태풍, 해일과 같은 극한 상황 들의 빈도에 의해서 결정된다. 최근 기후변화와 관련된 농업부문 연구는 주로 작물(특히, 벼)의 생산성과 관련된 기후변화의 영향에 관한 연구들이 대부분을 차지하고 있다. 한편 현재 국내에서 이루어지고 있는 영향 및 취약성 평가는 대부분이 국가 수준에서 활용될 수 있는 것들이며, 지자체에서 활용하기에는 적절한 방법론 및 이들에 대한 적절한 대응변수의 선정방법에 대한 연구가 향후 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

농업생산기반시설의 경우에는 노출자료로 활용되는 인자가 기상(온도, 강수량, 습도, 풍속, 복사열 등)과 수문 분야이다. 여기서 중요한 것은 이러한 자료들의 평균이나 극한값(최소 혹은 최대) 중 어느 것을 사용할 수 있는지 또한 자료들의 측정주기로 측정될 수 있기 때문에 어떤 주기가 취약성 조사에 적절한지 등을 잘 결정해야 한다.

국내 농업분야에 대한 취약성 평가의 경우 박기욱 등 (2006)은 우리나라 지역별 농업가뭄을 평가하기 위해 농업용저수지 저수율, 표준강수지수, 평년강우비율 및 무 강우일수 등 4가지 지표를 사용하여 농업가뭄의 시작 시기와 심도를 판단하여 가뭄대책 수립을 위한 농업가뭄 단계를 설정하였다. 장민원 (2006)은 농업가뭄에 영향을 미치는 토지이용, 수자원함양, 지형도양, 농업기상, 농업생산기반 등의 인자들에 대한 주성분 분석을 시행함으로써 시·군단위의 농업가뭄 취약성 평가를 수행하고 농업가뭄취약성지수(Drought Vulnerability Index for Paddy, DVIP)를 제안하였다. 환경부(2011) 연구결과에서는 이수 및 치수에 대한 취약성 평가를 위한 대리변수의 선정근거 및 관계를 다음 <표 1-12>와 <표 1-13>같이 제시하였다.

<표 1-14>는 수질 및 수생태계에 대한 취약성 평가를 위한 대리변수 선정근거 및 관계를 제시한 자료이다. 한국환경정책평가연구원(2009)에서는 여름철보다 겨울철의 수온 상승이 뚜렷한 것을 예상하였는데, 기온상승은 수온상승을 유발하며, 용존산소 등과 같은 물리, 화학, 생화학적 수질항목에 영향을 미칠 수도 있다고 판단하였다. 농경지 토양침식에 대한 취약성 평가를 위한 대리변수의 선택 근거 및 관계는 <표 1-15>에 나타내었으며, 장기적인 기후변화에 대한 내용으로서 벼 생산성에 대한 취약성 평가를 위한 대리변수의 선택 근거 및 관계는 <표 1-16>과 같다.

㉔ 농·수산분야 기후변화 적응대책 주요 결과

- 농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 개정을 통해 농림, 임업분야 기후변화 영향·취약성 평가 및 실태조사 법적 근거 마련
- 농업용 고해상도 기후변화 시나리오 자료 생산, 주요 작물 생산성 평가 및 가축종류별 기후변화 영향 평가 기술 고도화

- 기후변화 적응 품종·재배기술 개발 및 기후변화 전망을 반영한 재배시설 설계기준 개선·첨단온실 보급 확대
- 기후변화 영향을 고려한 중장기 농촌용수개발계획 수립('14.12) 및 가뭄 상습지 농촌용수개발 추진

㉔ 물관리 분야 기후변화 적응대책 주요 결과

- 신규 도시 또는 단지 설계에 저영향개발(LID) 기술 도입 및 시범사업 운영을 통한 물순환 관리체계 구축 및 확대
- 댐건설장기계획(2012~2021)에 기후변화 대응, 수자원의 효율적 활용 및 안전도 제고 등 중장기 정책 방향 제시
- 농어촌지역의 효율적인 수자원관리를 위해 '농어촌용수 이용합리화 계획' 수립('14.12) 통한 가뭄지역 중심의 농촌용수개발지원으로 농촌용수의 안정적 확보·공급 기반마련
- 전국 주요하천 실시간 수문조사 실시 및 자동화 확대('13~'15)를 통한 하천관리 및 운영 기술 선진화 추진
- 지역별 홍수방어기준 시행 의무화('13)를 통한 하천정비 및 홍수 저류공간 확대, 댐, 제방 등 수방시설물 안정성 검토 및 국가하천의 홍수 위험지도 제작
- 상습침수 농경지 배수개선사업 지속추진, 수리시설 개보수 확대 등 기상변동성 피해 대응 농업시설 개보수 농경지 침수 및 가뭄 대응 위한 물관리 기반 보강

㉕ 산림/생태계 분야 기후변화 적응대책 주요 결과

- 장기생태변화 연구 및 국가 기후변화 생물지표 전국 모니터링 시범실시 등 기후변화에 따른 장기 생태변화 모니터링 기반 마련
- 생태계자원의 서식지 보호 지역 지정 확대 및 DB 구축 및 생물자원의 체계적 관리를 위한 지표종 선정 및 유전자원 보존정책 확대 등 기후변화 취약 서식지·생물종 보호대상 지정 및 관리로 생물자원의 체계적 관리기반 확대
- 산림병해충 발생원인 및 확산과정 분석, 소나무재선충의 생물·유전특성 및 발병 시스템 연구 수행 및 산림병해충 통합관리시스템 구축 등 산림병해충 통합관리시스템 구축·고도화로 산림병해충 예찰 및 방제 체계 강화

㉖ 시사점 도출

- 저탄소녹색성장기본법(2013)에 따라 국가단위 기후변화 적응대책을 국내에서 처음으로 수립한 것이 가장 큰 의의 점임
- 평가방법론은 하향식 방법론(모델 및 통계적 분석 활용)과 상향식 방법론(대응변수를 활용)을 절충한 방식이며, 보건, 산림, 물관리, 생태계, 농업, 해양/수산, 재해의 7분야에 대하여 평가를 실시함

- 주요성과는 국가차원의 기후변화 적응 추진 기반체계 마련하였고, 중앙부처 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립·시행으로 부문별/지역별 기후변화 적응기반을 구축 지원하였으며, 광역 및 기초 지자체별 기후변화 취약성 지도 및 평가도구 개발·제공하여 기후변화 적응정책의 과학적 근거 및 활용기반을 마련함
- 농업분야 취약성평가는 농촌진흥청을 중심으로 농경지 토양침식, 재배·사육시설의 붕괴, 벼와 사과, 가축의 생산성으로 세분화하여 진행

(나) 제2차 국가 기후변화 적응대책

제1차 국가 기후변화 적응대책의 이행정도를 평가·분석하고 이를 보완하여 제2차 국가 기후변화 적응대책을 작성하였다. 기후변화 영향을 감안한 5년 단위 연동계획(Rolling Plan)이 핵심적인 사항으로 정부 및 지자체 세부시행계획 수립을 위한 기본계획(Master Plan)을 수립하였다. 「녹색성장 국가전략」 및 「제2차 녹색성장 5개년 계획」, 「기후변화대응 기본계획」 등 관련계획과 기후변화 적응력을 강화하기 위한 국정과제를 고려하여 20개의 관계부처가 참여하여 수립하였다⁷⁾.

<표 1-3> 부처별 기후변화 관련 계획

구분	관련 계획
안전처	폭염대응종합대책(매년), 풍수해저감종합계획(5년단위, 지자체)
기상청	기후업무발전종합계획('15~'19), 기상업무발전기본계획('12~'16), 기상산업진흥 기본계획('11~'15) 등
미래부	5차 국가정보화기본계획('13~'17), 3차 과학기술기본계획('13~'17), 2차 우주개발진흥기본계획('12~'16) 등
농림부	농림축산 기후변화대응기본계획('11~'20)
농진청	6차 농업과학기술 중장기 연구개발계획('13~'22), 기후변화대응 농업기술개발 2단계 중장기계획 등('14~'23) 등
환경부	환경보건종합계획('11~'20), 물환경관리기본계획('06~'15), 자연환경보전기본계획('06~'15) 등
보건부	국민건강증진종합계획('11~'20), 감염병의 예방 및 관리에 관한 기본계획('13~'17), 응급의료기본계획('13~'17) 등
산림청	5차 산림기본계획('13~'17), 2차 백두대간보호기본계획('16~'25), 2차 산림생물다양성 기본계획('13~'17), 1차 탄소흡수원 증진 종합계획('15~'19), 산림유전자원 보호구역 관리 기본계획 등
해수부	2차 연안정비 기본계획('10~'19), 기후변화 해양수산분야 종합대책('08), 해양수산 R&D 중장기계획('14~'20), 3차 전국항만기본계획('11~'20) 등
국토부	국토종합계획('11~'20), 수자원장기종합계획('11~'20) 등
산업부	2차 에너지기본계획(20년 계획) 등

자료 : 관계부처합동(2015)

7) 기획재정부, 교육부, 미래창조과학부, 외교부, 통일부, 국방부, 행정자치부, 문화체육관광부, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 보건복지부, 환경부, 고용노동부, 국토교통부, 해양수산부, 국민안전처, 기상청, 농촌진흥청, 산림청, 문화재청

제2차 국가 기후변화 적응대책은 크게 과학적 위험관리, 안전한 사회건설, 산업계 경쟁력 강화, 지속가능한 자연자원관리, 국내외 이행 기반 마련, 5가지 정책부문을 분류하여 세부 과제들을 제시하였다. 세부추진과제는 총 341개로, 2020년까지의 총 예산은 522,852.1억 원을 투입하는 것으로 하였다. 이 중 과학적인 기후변화 위험관리 체계 마련에 대한 과제 수가 94개(27.57%)로 가장 많았으며, 다음으로는 국내외 적응정책 이행기반 마련에 관한 과제 수가 78개(22.87%)로 나타났다. 반면 예산의 경우, 과제 수는 적으나 기후변화를 활용한 산업계 경쟁력 강화와 기후변화에 안전한 사회 건설에 대한 예산이 각각 236,809.7억 원(45.29%), 188,262.2억 원(36.01%)로 가장 높은 비중을 차지하고 있다.

① 기본체계

- IPCC AR5의 기후변화 가속화 전망, UN 지속가능발전목표와 新기후체제에서 적응의 중요성 강조, 최근 가뭄과 이상고온 현상에 따른 국민의 관심·우려를 반영한 실효성 있는 적응대책 마련
- 「제1차 국가기후변화 적응대책(’11~’15)」 추진으로 마련된 국가-광역-기초 지자체 적응대책 체계 안에서 기후변화 적응력을 강화하기 위한 국정과제를 수행
- 중점추진과제
 - 기후변화 감시 및 예보시스템 구축 및 기후 시나리오 개발 및 활용기반 마련
 - 생태계 및 건강영향 모니터링 및 취약성 통합평가 및 사회·경제적 리스크관리
 - 기후변화 적응정보 제공시스템 마련

② 주요 세부추진계획

- ㉠ 과학적인 기후변화 위험관리 체계 마련을 위한 정책방향별 중점과제 추진계획
- 다분야 변화의 다차원 관측·감시·예측체계 구축 등
 - 전지구의 대기, 해양, 지권, 빙권 등 다분야 변화의 다차원(지상·해상·항공·위성) 관측-감시-예측체계 구축(환경부, 미래부, 해수부, 기상청)
 - 이상기후 대응 선진예보 서비스체계 구축(기상청, 산림청)
 - 녹조, 미세먼지, 오존 등 이상환경 장기예보 체계 구축(환경부)[신규]
- 한국형 기후 시나리오 개발 및 활용기반 마련
 - 한국형 부문별 기후시나리오 고도화(해수부, 환경부, 기상청, 산림청)
 - 한국형 통합 기후영향 시나리오·모델 개발 및 안정화(환경부, 미래부)
 - 기후 시나리오 활용기반 구축 및 강화(해수부, 환경부, 기상청)[신규]



(그림 1-3) 제2차 국가 기후변화 적응대책 총괄 체계

- 기후변화로 인한 생태계 및 건강 영향 모니터링
 - 부문별 기후변화 생물종 및 생태계 모니터링 강화
 - 생물서식기반 모니터링 체계 구축 및 변동 조사
 - ICT 기반의 기후변화 영향 모니터링 체계 구축
 - 기후변화로 인한 생태계 위해생물 및 감염병 모니터링
 - 기후변화 건강영향 감시·평가 및 예측체계 구축

- 기후변화 취약성 통합평가 및 사회·경제적 리스크관리
 - 기후변화 영향·취약성 통합평가 체계 구축(환경부)
 - 상세화된 한반도 기후변화 취약성 평가 지도 작성·배포(환경부)
 - 부문별 기후변화 영향·취약성 평가 추진(농식품부, 농진청, 해수부, 환경부, 산림청, 산업부, 기상청, 복지부)
 - 국가 기후변화 경제·사회·환경 리스크 관리체계 구축
 - 시설물 기후변화 리스크 점검체계 마련

- 기후변화 적응정보 제공시스템 마련
 - 부문별 기후변화 영향 예측정보 생산 및 수요자 맞춤형 서비스 제공(농진청, 해수부, 국토부, 문체부, 환경부, 복지부, 안전처, 기상청, 산림청, 문화재청)
 - 적응정보 공동활용 DB 생성·확산 및 활용체계 구축(환경부)
 - ICT 기술 활용한 기후변화 영향 정보생산 및 사용자 활용중심 시스템 개발(환경, 미래)

- ㉔ 기후변화에 안전한 사회 건설
 - 기후변화 취약계층 보호·지원
 - 기후변화 취약계층 보호를 위한 관리망 운영
 - 기후변화 취약계층 이용시설의 기후회복력 진단·평가
 - 기후변화 취약계층 지원사업의 지역단위 통합관리·운영
 - 지역기반의 기후변화 취약계층 민간협력 지원사업 활성화

 - 기후변화 건강피해 예방 및 관리강화
 - 공중보건 위기관리 대응력 향상을 위한 정책 추진
 - 지역기반 기후변화 영향의 선제적 환경보건 정책 추진
 - 건강 적응정책의 공동편의 강화

 - 기후변화 취약지역·취약시설 피해 최소화
 - 안전한 국토기반 조성을 위한 재해예방사업 추진
 - 연안도시 재해 대응방안 마련
 - 기후변화 대응 시설 설치 확대
 - 교통시설의 자연재해 저감 대책 마련

 - 재난·재해 관리 시스템 강화
 - 도시의 기후변화 적응력 향상을 위한 방재기능 강화
 - 기후변화 대응 시설물 설계기준 강화
 - 산불, 산사태, 홍수 등 자연재해 피해 저감 및 복구 기술 개발
 - 재해피해예방 공동대응체계 마련 및 재난안전관리 시스템 구축·운영

- ㉕ 기후변화를 활용한 산업계 경쟁력 강화
 - 1·2·3차 산업의 기후변화 적응력 강화
 - 기후변화에 안정적인 식량 수급 체계 마련
 - 산업계 역량강화 및 적응산업 육성 지원
 - 관광 등 3차 서비스 산업 기후변화 적응 지원

○ 산업별 적응인프라 확대

- 기후변화 대응 안정적 용수이용을 위한 수자원 확보 및 공급체계 마련
- 농업용수 안정적 공급 기반 마련
- 에너지 공급 안정성 확보
- 재해대비 기반시설 관리강화

○ 기후변화 적응 기술개발

- 식량자원 기후변화 영향 모니터링 기술 개발
- 농작물 재배기술 및 농업시설 관리기술 개발
- 기후변화 대응 가축·수산업 관리기술 개발
- 기후변화 적응 유망수종 및 재배기술 개발
- 기후변화 질환 대응기술 개발
- 참여기반 국민생활 관련 기후변화 적응연구 발굴 및 추진
- 기후변화 대응 물관리 기술개발
- 기후난민 기술적 지원 프로그램 연구
- 도시지역 기후변화 피해저감 및 업사이클 고부가 가치화 기술개발

③ 시사점 분석

○ 기후변화 적응 근거법인 녹색성장기본법은 기후변화 적응의 개략적인 사항만을 다루어 적응 원칙·체계·내용 등 세부사항에 대한 수정·보완 및 개선 필요

- 기후변화 적응 재원 부족으로 관련기관의 참여도가 낮고 기후변화 적응사업 발굴 및 추진에 한계
- 대부분의 대책은 지자체 적응대책 수립 지원에 초점을 두어 다양한 부문별 적응 촉진 및 협업 추진에 한계
- 기후변화 적응 확산에 효과적으로 역할을 할 수 있는 모범사례의 발굴이 필요하고 기후변화 적응에 대한 적절한 접근법과 선택·평가방법의 개발이 필요함

○ 기후변화 적응정책의 실효성 있는 행동강령이 필요

- 기후변화 적응 개념, 기본원칙, 리스크평가·취약성평가, 기후변화 컨설팅 국가 및 지방 적응 자문기구 조직 등 관련 근거규정을 세부적으로 마련하여 기후변화 적응대책 및 세부시행 계획 시행의 실효성 제고를 위한 정책추진이 필요함

○ 지자체(광역시, 기초)는 녹색법 시행령 제38조에 따라 국가의 기후변화 적응대책에 따른 소관사항에 대하여 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립·시행

- 16개 광역시·도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016) 수립('12.12) 및 세종특별자치시 수립('14.9)으로 17개 광역시·도 수립 완료

- 226개 전국 기초지자체 중 33개 지역에 대하여 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립 시범사업('12~'13) 시행하였고 현재 193개 기초지자체가 세부시행계획을 수립완료 또한 계획 중('14~)에 있음
- 부문별 매뉴얼의 경우, 건강, 재난/재해, 해양/수산, 농업, 산림, 생태계, 물관리, 7가지 부문으로 분류되어 있음
- 농업 부문의 경우, 농업기반 시설 악화 및 시설 붕괴 분야, 재배적지 변화 분야, 병해충 및 잡초 확산 분야, 수량 감소 및 품질저하 분야로 세부분야로 나누어 영향 및 취약성 평가방법에 대하여 상향식 평가 방법과 하향식 평가방법으로 나누어 제시함
- 산림 부문 역시 상향식과 하향식으로 구분하여 평가방법을 제시하고 있으며 세부분야는 산림생태계 분야와 산림재해 분야, 임업 분야로 분류됨

<표 1-4> Vulnerability indicators and variables(Gbetibouo and Ringler, 2009)

Determinants of vulnerability	Component indicators	Description of the indicator
Exposure	Extreme climate events: floods/droughts	Frequency of droughts or floods
	Change in climate	Change in temperature Change in precipitation
	% Irrigated land	Percentage of irrigated land
Sensitivity	Land degradation index	Combined soil degradation and veld or vegetation degradation
	% Small-scale farming operations	Percentage
	Rural population density	Total rural population/area
	Crop diversification index	Percentage of snow area under x crops/number of x crops
Adaptive capacity	Farm organization	Number of farmers members of organized agriculture
	Literacy rate	Proportion of persons aged 15 years or older who are able to read and write
	HIV prevalence	Percentage of people infected by HIV
	Access to credit	Amount of credit received
	Farm income	Net farm income
	Percentage of people below poverty	Proxy unemployment rate
	Farm holding size	Average farm size
	Share agricultural GDP	Percentage
	Farm assets	Total value of farm assets
	Infrastructure index	Computation of infrastructure index

<表 1-5> Potential proxies for national-level vulnerability to climate change (Brooks et al.,2005)

Category	Variable	Proxy
Economy	national wealth	GDP per capita(US\$PPP)
	Inequality	GINI coefficient
	Economic autonomy	Debt payments(% GNI, averaged over decadal periods)
	National wealth	GINI (total, PPP)
Health and nutrition	State support for health	Health expenditure per capita(US\$PPP) Public health expenditure(% of GDP)
	Burden of ill health	Disability adjusted life expectancy
	General health	Life expectancy at birth
	Healthcare availability	Maternal mortality per 100,000
	Removal of economically active population	AIDS/HIV infection(% of adults)
	Nutritional status	Calorie intake per capita
	General food availability	Food production index (annual change averaged over 1981-90 and 1991-99)
	Access to nutrition	Food price index (annual change averaged over 1981-90 and 1991-99)
Education	Educational commitment	Education expenditure as % of GNP Education expenditure as % of government expenditure
	Entitlement to information	Literacy rate (% of population over 15) Literacy rate (% of 15-24 year olds) Literacy ratio (female to male)
Infrastructure	Isolation of rural communities	Roads (km, scaled by land area with 99% of population)
	Commitment to rural communities	Rural population without access to safe water(%)
	Quality of basic infrastructure	Population with access to sanitation(%)
Governance	Conflict	Internal refugees (1000s) scale by population
	Effectiveness of policies	Control of corruption
	Ability to deliver services	Government effectiveness
	Willingness to invest in adaptation	Political stability Rule of law
	Barriers to adaptation	Regulatory quality
	Participatory decision making	Voice and accountability
	Influence on political process	Civil liberties Political rights
Geography and demography	Coastal risk	km of coastline (scaled by land area) Population within 100km of coastline(%)
	Resource pressure	Population density
Agriculture	Dependence on agriculture	Agricultural employees (% of total population) Rural population (% of total) Agricultural employees (% of male population) Agricultural employees (% of female population)
	Agricultural self-sufficiency	Agricultural production index (1985, 1995)
Ecology	Environmental stress	Protected land area (%) Forest change rate (% per year) % Forest cover Unpopulated land area
	Sustainability of water resources	Groundwater recharge per capita Water resources per capita
Technology	Commitment to and resources for research	R&D investment(% GNP)
	Capacity to undertake research and understand issues	Scientists and engineers in R&D per million population

<표 1-6> 조사지표 (명수정 등, 2010)

구분	상위요소	하위요소	세부항목 (입력자료)
민감도	재해취약성	재해이력	기반시설 재해 이력(기반시설물 피해비용), -인명피해 (인명피해) 재해발생건수 (재해발생건수)
		홍수 취약성	홍수취약지 (홍수범람구역), -수해취약지 (수해 취약지역), -상습 침수피해 (상습침수지구)
	자연·사회적 요소	자연적 특성	해안선 (해안선길이), -해발고도 (수치표고모델), -하천 (하천면적)
		토지이용적 특성	하천부지점용 (하천부지 점용면적), -시가화 면적 (토지피복도)
		사회적 취약성	노후주택 (노후단독주택), -노령인구 (65세 이상 인구), -인구밀도 (인구밀도), -취학전 아동(취학전 아동수 (6세미만))
	노출	기반시설	교통시설
에너지시설			발전소 (발전설비용량)
하천시설			제방 (제방면적)
시설환경			주거시설 (주택수), -국립공원 (국립공원면적), -교육시설 (초·중·고등학교 개수), -산업단지 (산업단지 면적비율), -환경기초시설 (환경기초시설용량)
기후		홍수	호우경보수준의 강우횟수(호우경보수준의 강우횟수), -강우강도 (총강우량/강우일수) 100년 빈도 홍수량(기후 시나리오를 통한 미래의 홍수 전망)
		태풍	태풍 발생빈도 (태풍 발생빈도)
적응역량	경제적·제도적 역량	경제적 능력	GRDP (GRDP), -재정자주도 (재정자주도)
		제도적 역량	공무원(인구 1,000명당 지자체 공무원 수) 재해관리 역량(기관 역량 /재해 예방 /재해 대비/재해 대응)
	물리적 역량	녹지 보급률	녹지 보급률 (공원면적)
		하천 개수율	하천개수율 (하천개수율)
		도로망 보급률	도로망보급률 (도로연장)
		상하수도	상수도보급률 (상수도보급률), -(우수)배수로 (하수관거연장), -하수도보급률 (하수도보급률)
		의료시설	의료시설(건강보험 적용인구/ 응급의료기관수/ 보건소,보건지소, 보건진료소 인력 및 개소/종합병원,병원 개소, 의료인력)
		인터넷 보급률	인터넷 보급률 (인터넷 이용률)

<표 1-7> 기후노출지표(김은화 등, 2010)

지 표	변 수	
기후노출	연속적인 무강수일의 최대값 (일) 일 최대 강수량 (mm)(연평균) 일 최고기온 (°C)(연평균) 일 강수량이 80mm이상인 날 횟수 (연평균) 일 최고기온이 33°C 이상인 날 횟수 (연평균) 일 최저기온이 25°C 이상인 날 횟수 (연평균) 평균 영하일수 (연평균) 시간 최대풍속 14m/s이상 있는 날 횟수 (연평균) 실효습도 35% 이하인 날 평균 (연평균) 시간오존농도 100pph이상인 날 횟수 (연평균) 8시간 누적 오존농도 60ppb/8hr이상인 날 횟수 (연평균) 시간 미세먼지 농도 100 /m3이상인 날 횟수 (연평균)	
민감도	국토면적	10m이하 저지대 면적, 총 인구 중 농작 인구 (%), 총 인구 중 축산 종사 인구 (%), 지역당 곡물 생산 (M/T), 면적당 축산물 생산 (M/T)또는 축산 생산 지표, 국토이용면적 중 제방사용면적률 (%)
	국토면적	국토면적당 산림축적 (km3/km2), 경작지당 비료사용량 (ton/ha), 10m이하 저지대 면적, 국토면적 중 산림면적 (%) 관리되는 토지율 (%), 지역 평균 경사도 (deg)
	생태계	10m이하 저지대 면적, 경작지당 비료사용량 (ton/ha), 국토면적 중 산림면적 (%), 관리되는 토지율 (%), 지역 평균 경사도 (deg)
적응능력	GDP, 단위면적당 SO2 배출량 (ton), 재정자립도, (1+2차 산업)/(1+2+3차 산업) 인구밀도 (명/km2), 인구당 공무원수, 교육지출 (GNP에 대한 %), 관리되지 않는 토지율 성인 문자 해독률, 취학률 (%)	

<표 1-8> 기후변화 취약성 지표(고재경 등, 2009)

구분	항목	지표	측정변수	
기후노출	강수량	호우	호우일수	80mm이상/일 강수일수
			1일 최대강수량	일 최대강수량
			강수강도지수	연간 총 강수량/총 강수일수
		가뭄	연속 무강수일수 평균	연속 무강수일수 평균
			연속 무강수일수 최대값	연속 무강수일수 최대값
	기온 (혹서)	열대야 일수	일 최저기온 25°C 이상인 날 횟수	
		일최고기온 33°C 이상 일수	일 최고기온 33°C 이상 일수	
		열파지속지수	일 최고기온이 평년 일평균 대비 5°C 초과 한 날이 5일 초과하여 지속되는 기간의 최대값	
	해수면 상승	해수면 상승률	해수면 상승률	
	민감도	지리적 특성 및 토지이용	생태적 민감지역	멸종위기종 수
가뭄 취약지역			경작지 면적/전체 면적	
홍수 취약지역			홍수범람구역 면적/전체면적, 하천부지 점용면적/전체 면적	
연안침수 취약지역			표고 1미터 이하 면적/전체 면적	
인구적 특성		인구밀도	인구수/전체 면적	
		65세 이상 인구비율	65세 이상 인구 수/전체 인구	
		사회적 취약 인구	독거노인 인구/전체 인구, 기초생활수급자 인구/전체 인구	
		기후민감 질환자 비율	호흡기질환 환자 수/전체 인구, 매개체질환 환자 수/전체 인구	
기반시설 /산업		사회기반시설	교통 및 공급시설 면적/전체 면적	
		산업단지	산업단지 면적/전체 면적	
	건물	1970년대 이전 건축 단독주택수/전체 주택수		
적응능력	경제적 능력	GRDP	GRDP	
		경제성장률	최근 5년간 GRDP 증가율	
		재정자립도	지방세+세외수입/일반회계 예산	
	물적 인프라	녹지 면적	공원 면적/인구 수	
		하천개수율	하천개수 연장 (km)/요개수 연장 (km)	
		의료시설 확보율	전체 인구/병원 병상수 의료기관 종사자수/전체 인구 보건소 인력/전체 인구, 종합의료시설 수	
		깨끗한 물에 대한 접근성	상수도 보급 인구수/전체 인구, 하수도 보급 인구수/전체 인구, 지하수 이용량/개발가능량	
		통신	휴대폰 보유 가구수/전체 가구, PC 보급 가구수/전체 가구, 인터넷 전용통신 가입 가구수/전체 가구	
	사회적 자본	민관 파트너십	기후변화에 대한 민관 파트너십 인식	
		시민의 기후변화 대응 역량	기후변화 대응을 위한 시민 실천 정도, 재난관리 교육 및 홍보 수준, 건강생활실천교육 이수자/전체 인구	
		공동체 의식	자원봉사자수/전체 인구, 지역자율방재단 구성 및 운영 수준	
	제도적 역량	기후변화에 대한 지자체장의 관심	재난관리에 대한 지자체장의 관심, 기후변화 적응에 대한 지자체장의 관심	
		사전예방 시스템	재난안전선 전달체계, 예경보시스템 운영, 재난예방시스템 관리	
		적응 담당 인력	공무원 수/전체 인구, 장기요양보험급여대상자/요양보호사	
		정책대응수준	기후변화 적응정책 수준에 대한 인식, 기후변화 관련 제도 및 정책 기반, 재난관리 정책 수준	

<표 1-9> 기후변화 취약성 지표의 대리변수 선정 (유가영 등, 2008)

항목	세부사항	대리변수	
기후 노출	호우	호우자료	일 강수량이 80mm이상인 날 평균 일 강수량이 80mm이상인 날의 최고값 1일 동안의 최대강수량 (mm)
	가뭄	연속적인 무강수일수의 최대값 (일)	
	혹서	열파자료	일 최고기온이 33°C 이상인 날의 횟수 (평균) 일 최고기온이 33°C 이상인 날의 횟수 (최고값) 일 최저기온이 25°C 이상인 날의 횟수 (평균) 일 최저기온이 25°C 이상인 날의 횟수 (최고값)
민감 도	인간정주 / 기반시설	상수도 인구 (%), 하수도 보급률 (%), 단위면적당 도로길이 (km/km ²) 국토이용면적 중 제방사용면적률 (%), 1일 1인당 급수량 (ℓ)	
		저수율	1월~12월 저수율 평균 (%) 3월~10월 저수율 평균 (%) 4월~6월 저수율 평균 (%)
	해안선 길이 (m)		
	생태계	관리되는 토지율 (%), 경작지당 비료사용량 (ton/ha) 국토면적 중 산림면적 (%), 국토면적당 산림축적 (km ³ /km ²)	
	농업	총인구 중 농작인구 (%) 농작지당 곡물생산 (M/T)	
	보건 /복지	출산율 (birth/woman), 기대여명, -인구당 응급의료기관 수 (개/백만 명) 인구당 건강보험 적용인구, 인구당 보건소 인력 인구중 기초생활수급자 (%), 독거노인비율 (%)	
적응 능력	경제적 능력	GDP(백만 원) 재정자립도 (%)	
	거버넌스	인구당 공무원수	
	교육	성인문자해독률 (%), 의무교육적령아동취학률 (%) 지역 내 총생산에 대한 교육지출 (%)	
	환경역량	인구밀도 (명/km ²), 단위면적당 SO ₂ 배출량 (ton), 관리되지 않은 토지율 (%)	
	산업구조	(1+2산업)/(1+2+3차 산업) × 100(%)	

<表 1-10> Possible indicators and their functional relationships with vulnerability(Shrestha et al., 2014)

Component	Indicator	Proxy For	Functional Relationship
Exposure	Change in P, Tmax, and Tmin from base year value(%)	Extent of CVC	↑ ↓
	No. of flood/drought event	Extreme climate events	↑
	Elevation(masl)	Risk of inundation	
	Population density(persons/km ²)	Potential loss in society from climate change impacts	↑
Sensitivity	P > 80mm(day)	No. of extreme events	↑
	Maximum P (mm)	Extent of extreme events	↑
	Total P in rainy season(mm)	Potential to harm from flooding	↑
	Annual runoff(m ³ /capita)	Population pressure on WR	↓
	CV of precipitation	Reliability of available WR	↑
	Water exploitation (as % of available WR)	Exploitation pressure on WR	↑
	Areas without irrigation coverage(%)	Expected pressure on WR from future irrigation water use	↑
	Population without access to water supply and sanitation	Further need of basic services to buffer against CVC	↑
	Groundwater availability(m ³)	Available WR to cope with emergency needs	↓
	Fertilizer use (kg/ha)	State of health of th WR system	↑
	Waste water discharge(as % of total WR)	state of health of th WR system	↑
	Hydroelectric installed capacity (MW)	River flow alternations upstream from man-made structures	↑
Adaptive capacity	Area under vegetation and wetlands (%)	Degree of natural condition in term of ecosystem functioning	↓
	GDP/capita	Access to technology and other sources useful for adaption	↓
	Population below poverty line (%)	Capacity to go for adaption options	↓
	Nonagricultural employment (%)	Capacity of economic wealth through income diversification	↓
	Adult literacy rate (%)	Knowledge and awareness to cope with CVC	↓
	Economically active population (%)	Human capitak available for adaption	↓
	Water governance status	Capacity for the mangement of various problems of WR	↓
<p>Note: WR is water resources, CV is coefficient of variation, P is precipitation, Tmin and Tmax are minimum and maximum temperatures, masl is meters above mean sea level, CVC is climate variability and change, MW is megawatt, GDP is gross domestic product, and ↑/↓ is vulnerability increase/decrease with increase in indicator value</p>			

<표 1-11> 일반적인 표준화 방법(명수정 등, 2010)

구 분	설 명
순위매기기 (ranking)	지표의 값들에 순위를 매기는 방법으로, 단순하고 간단하지만 많은 정보를 알려주지 못하는 어려움이 있다.
Z-스코어 방법	가장 보편적으로 사용되고 있는 방법으로, 모든 자료들을 평균은 0, 표준편차는 1이 되도록 만드는 방법이다. 자료의 수치가 그 분포의 평균으로부터 표준편차 의 몇 배 정도나 떨어져 있는지를 표준화된 확률변수인 Z 값으로 나타낸다.
스케일 재조정 (re-scaling)	표준편차보다 지표의 범위에 기반을 둔 변환 방법으로 지표들을 표준화하여 이것들이 모두 동일한 범위(0~1)를 갖도록 만든다.
기준선과의 차이 (distance to reference country)	기준으로 하는 대리지표에 대한 측정지표의 비율을 이용하는 방법이다.
범주 스케일 (categorical scales)	각 자료를 범주값(categorical score)으로 대입하는 방법으로, 우선 범주를 선택하고, 각 범주를 점수화하여 모든 자료들이 범주에 해당되는 지정 점수를 할당받게 된다.
평균 상위 및 하위 지표 (indicators above or between the mean)	평균값 부근에 위치하는 경계값 p를 임의로 정하여 이 p값의 상위와 하위 지표들을 고려하는 방법이다. 장점은 매우 간편하고 이상치에 의한 영향을 받지 않는 것이며, 단점은 경계값 수준의 임의성과 절대적 수준의 정보가 누락될 수 있다는 것이다.
순환지표 (cyclical indicators)	비즈니스 경향 조사를 수행하는 연구기관에서 주로 사용하는 지표로서, 시계열 자료를 이용하여 순환지표로 계산한다. 계산은 자료들이 시계열 분포를 이룰 때 시간의 평균값을 뺀 뒤, 평균과의 차이에 대한 절대값의 시간평균으로 나눔으로써 변환이 이루어진다.
연간차이 백분율	수년 동안의 자료가 이용 가능할 때만 사용 가능한 방법이다.
자연적 구분법 (Natural Breaks)	데이터 값이 자연스러운 방식으로 그룹화되는 방법으로 데이터 상에 나타난 본래 패턴 및 그룹 특성을 토대로 구분될 수 있는 점을 식별하며, 이 분류점을 기준으로 나눈다.
정규비율법 (Quantile)	각 그룹이 동일한 데이터 개수를 포함하는 방법으로 데이터의 분포곡선이 선형인 경우에 사용하기 적합하다. 데이터는 각 그룹 내에 설정된 데이터 개수에 따라 그룹화 되므로 유사한 데이터들이 서로 다른 클래스에 배치되거나, 반대로 서로 다른 데이터가 동일한 그룹에 포함될 수 있다.
등간격법 (Equal interval)	속성값 범위를 동일한 크기의 하위범위(subrange)로 나누는 방법이다. 가령 0부터 300까지의 속성값을 포함하는 데이터가 있다면, 각 클래스는 1-100의 범위를 가진 0-100, 101-200, 201-300 세 개의 클래스로 나눈다.
표준편차 (Standard Deviation)	평균값을 기준으로 속성값의 변이를 보여주는 방법으로 평균값에서 표준편차를 더하거나 빼서 그룹의 분기점을 만든다.

<표 1-12> 이수에 대한 취약성 평가를 위한 대리변수의 선정근거 및 관계(환경부, 2011)

기 후 노 출			
위험 (예상된 기후의 영향)	대리 변수	기후노출과의 관계	통계자료 수집 가능여부
	이수기 강수량 이수기 강우일수 연속무강우일수 평균 연최대 연속무강우일수	수자원 시스템의 변화를 초래 강우량의 급격한 증가와 감소는 수자원 함양에 부정적 영향을 초래	기상청 한국수자원공사
	민 감 도		
위험 (예상된 기후의 영향)	대리 변수	민감도와의 관계	통계자료 수집 가능여부
	총 인구 인구밀도 농경지 면적비율 지하수, 하천수 이용량 공업용수, 농업용수, 생활용수	인구와 토지사용에 따라 수자원 능력에 많은 차이가 발생함 상수도 보급에 따라 가뭄에 영향을 미칠 수 있음	기상청 한국수자원공사
적 응 능 력			
적응	대리 변수	적응능력과의 관계	통계자료 수집 가능여부
	상수도 보급율 지하수 가용량 단위면적당 저수지 저수용량 단위면적당 물 재이용량 단위 면적당 이수공무원수	가뭄 피해 예산에 따라서 적응 능력이 달라짐 물 재이용량 정도에 따라 가뭄 시 영향력이 달라짐	한국수자원공사 산림청 통계청

<표 1-13> 치수에 대한 취약성 평가를 위한 대리변수의 선정근거 및 관계(환경부, 2011)

	기후노출		
	대리변수	기후노출과의 관계	통계자료 수집 가능여부
위험 (예상된 기후의 영향)	일최대강우량 여름철 강수량 80 mm 이상 강우일수 연최대연속강우일수 강우강도지수 3일 최대 강우량	수자원 시스템 변화 초래 강우량의 급격한 증가와 감소는 수자원 함양에 부 정적 영향을 초래	기상청 한국수자원공사
	민감도		
	대리변수	민감도와와의 관계	통계자료 수집 가능여부
	총인구 인구밀도 유역평균경사 홍수취약지역 최근 10년간 홍수피해액 최근 10년간 홍수피해인구 불투수면 비율	인구와 토지형태에 따라 수자원 능력에 많은 차이 발생함 홍수 피해 인구에 따라 유역 미치는 영향 다를 수 있음	기상청 한국수자원공사
적응	적응능력		
	대리변수	적응능력과의 관계	통계자료 수집 가능여부
	최근 10년 간 홍수 피해 복구비 최근 10년 간 홍수 예방 예산 면적 당 치수 공무원수 하천개수율 빗물펌프장 배수능력 저수지의 홍수조절능력	홍수 피해 예산에 따라서 적응 능력이 달라짐 치수관리 공무원수에 따라 홍수 시 영향력이 달라짐	한국수자원공사 산림청 통계청

<표 1-14> 수질 및 수생태계에 대한 취약성 평가를 위한 대리변수 선정근거 및 관계(환경부, 2011)

	기후노출		
	대리 변수	기후노출과의 관계	통계자료 수집 가능여부
위험 (예상 된 기후의 영향)	호우일수(80mm/년) 일강수량이 80mm 이상인 날 평균 일강수량이 80mm 이상인 날의 최고값 일최대강수량 연속 무강수 일수 평균 연속 무강수 일수 최대값 일최고기온이 33°C이상인 날의 횟수(평균) 일최고기온이 33°C이상인 날의 횟수(최고값) 일최저기온이 25°C이상인 날의 횟수(평균) 일최저기온이 25°C이상인 날의 횟수(최고값)	강수량이 과도한 경우, 부유물이나 오염 물질이 하천으로 유입될 가능성이 큼 무강수 기간이 길수록 하천의 수질상태 악화 가능성 큼 기온은 유출량 및 수온에 영향을 미치는 중요한 인자임. 즉 수질을 지배하는 요소 이므로 기온의 변화는 매우 중요	기상청
	민감도		
	대리 변수	민감도와 관계	통계자료 수집 가능여부
	유역 별 가축별 두수 유역 단위면적당 비료 사용량 유역 단위면적당 농약 사용량 멸종 위기종 서식처 위협받는 종의 수 생물 종의 다양성 유역 단위면적당 용수 수요량(톤/km ²) 갈수기 유량 관리되는 토지율(%) 보호지역(%) 산림 변화율(연간 %) 유역경사도(평균) 불투수면적율(%) 하천개수율(%)	유역내 가축분뇨가 수생태계에 미치는 영향 농약 사용이 수생태계에 미치는 영향 비료 사용이 수생태계에 미치는 영향 갈수기 유량이 풍부할수록 서식처 개선 기후변화로 인한 멸종 위기종 서식지 변화 관리되는 토지의 비율이 클수록 생태계 교란 용수수요량 정도에 따라 기후변화 민감도 변화 보호지역인 경우 수질과 수생태 양호 인간에 의해 생태계가 교란된 정도 갈수기 유량이 풍부할수록 보호지역 산림 오염물의 유입 촉진 유역경사는 침투 시간 지배정도 불투수면적이 많을수록 수질악화 가능성 큼 수생태 교란정도 평가	국가통계포털 e-나라지표 국가통계포털 e-나라지표 국가통계포털 기상청 국가통계포털 국가통계포털 환경통계포털 국가통계포털 국가통계포털 국가통계포털
적응	적응능력		
	대리 변수	적응능력과의 관계	통계자료 수집 가능여부
	인구밀도 하수처리시설 용량/인구 하수처리율 축산폐수처리 시설용량 인구당 공무원수 수질환경개선 예산비율(지방/국고) 하수도보급률(%) 유역면적별 댐용량 지하수이용현황 도로연장(%) 관리되지 않은 토지율(%)	인구밀도가 높을수록 기후변화에 적응하기 어려움(자원 조달측면) 처리용량 클수록 수질개선 처리율이 높을수록 수질 개선 축산폐수처리 시설용량이 클수록 수질 개선 공무원인력이 많을수록 수질개선 기대 기후변화영향에 따른 해결 능력의 평가 하수도보급률 관리수량이 변화 단위면적당 유량확보 가능성 기후변화 영향 대비 교통망의 분포 생태계 교란을 유발하지 않는 정도	국가통계포털 국가통계포털 국가통계포털 e-나라지표 국가통계포털 환경부 국가통계포털 국가통계포털 국가통계포털 국가통계포털

<표 1-15> 농경지 토양침식에 대한 취약성 평가를 위한 대리변수의 선택 근거 및 관계

위험 (예상 된 기후 의 영향)	기후노출		
	대리변수	기후노출과의 관계	통계자료 수집 가능여부
	연평균 강수량 일강수량이 80mm 이 상인 날의 횟수	연평균 강수량이 높은 곳은 토양 침식이 높을 수 있음 일강수량이 80mm 이상이 되면 토양침식은 매우 높아짐	기상청
위험 (예상 된 기후 의 영향)	민감도		
	대리변수	민감도와 관계	통계자료 수집 가능여부
	작물별 농경지 면적 농경지 경사도 토성 또는 토양특성 농경지 식생피복도 농경지 면적당 농민수 농민 연령계급별 분포	작물에 따라서 농경지 식생피복율이 다르며, 결과적으로 토양 침식에도 차이를 나타냄 농경지의 경사도가 크면 토양침식 가능성은 높아짐 토성에 따라서 침식의 정도가 다를수 있음(연구자료 검토 필요) 농경지의 식생피복도가 높으면 토양침식의 가능성이 낮아짐 농경지 면적당 농민수가 많으면 민감도가 낮아짐 농민의 연령분포에서 활발한 노동력을 가진 20-40사이의 분포비 율이 높으면 민감도가 낮고, 유아 및 80세 이상의 노령층이 많으면 민감도가 커짐	기상청 통계청 환경부 농촌진흥청
적응	적응능력		
	대리변수	적응능력과의 관계	통계자료 수집 가능여부
	농기계 보유현황 농가 인터넷 보급률 농경지 면적당 관련 공 무원 수	농기계가 보급률이 높으면 적응 능력이 높음 농가 인터넷 보급률이 높으면, 학력 및 정보 수집 능력이 높다고 판단되며, 이것은 또한 적응 능력을 향상시킴 농경지 면적당 관련 공무원의 수가 많으면, 적응능력이 높아짐	농촌진흥청 통계청 지방자치단체

<표 1-16> 벼 생산성에 대한 취약성 평가를 위한 대리변수의 선택 근거 및 관계

위험 (예상 된 기후 의 영향)	기후노출		
	대리변수	기후노출과의 관계	통계자료 수집 가능여부
	이앙후 45일 간의 기온, 일조 시간 및 기온교차 벼의 출수전 30일 간의 기온, 일조시간 및 기온교차 벼의 출수후 40일 간의 기온, 일조시간 및 기온교차 일강수량이 80mm 이상인 날의 횟수	이앙후 45일간, 출수전 30일간, 출수후 40일 간의 기온, 일조시간 및 기온교차는 벼의 수량과 상관성이 높음 이앙후 45일간의 기온, 일조시간 및 기온교차와 벼 수량과의 관계식은 아래와 같다. $Y=914.4(1-\exp(0.09 \times \text{기온}))$ $Y=954.6(1-\exp(0.2129 \times \text{일조시간}))$ $y=845.5(1-0.0073(\text{기온교차}-10.08))$	기상청
위험 (예상 된 기후 의 영향)	민감도		
	대리변수	민감도와 관계	통계자료 수집 가능여부
	벼 품종별 재배면적	벼 품종에 따라서 기온, 일조시간, 기온교차 등의	통계청

	벼 재배지의 경지정리 비율 벼 재배면적당 농민수 벼 재배농민 연령계급별 분포	기상인자에 대한 민감도에서 차이를 나타냄 벼 재배지의 경지정리 비율이 높으면, 상대적으로 기후변화에 대한 민감도가 약할 수 있음 농경지 면적당 농민수가 많으면, 민감도가 낮아짐 농민의 연령분포에서 활발한 노동력을 가진 20-40 사이의 분포비율이 높으면 민감도가 낮고, 유아 및 80세 이상의 노령층이 많으면 민감도가 커짐	농어촌공사 농촌진흥청
적응	적응능력		
	대리변수	적응능력과의 관계	통계자료 수집 가능여부
	농기계 보유현황 농민 학력수준 농가 인터넷 보급률 벼 재배면적당 관련 공무원 수 농민 연간 소득현황 지자체 품종 보유현황	면적당 농민수가 많으면, 적응능력이 높아짐 농민의 연령분포에서 활발한 노동력을 가진 20-40사이의 분포비율이 높으면 적응 능력이 가장 높고, 유아 및 80세 이상의 노령층이 많으면 적응 능력이 낮음 농기계가 보급률이 높으면, 적응 능력이 높음 농민의 학력수준이 높으면, 적응능력이 높음 농가 인터넷 보급률이 높으면, 정보수집 능력이 높다고 판단되며, 이것은 또한 적응 능력을 향상시킴 면적당 관련 공무원의 수가 많으면, 적응능력이 높아짐 다양한 품종을 보유하고 있으면, 적응능력이 높아짐	농촌진흥청 통계청 지방자치단체

(3) 위험도 조사 및 진단 방법론

(가) 위험도 조사의 필요성

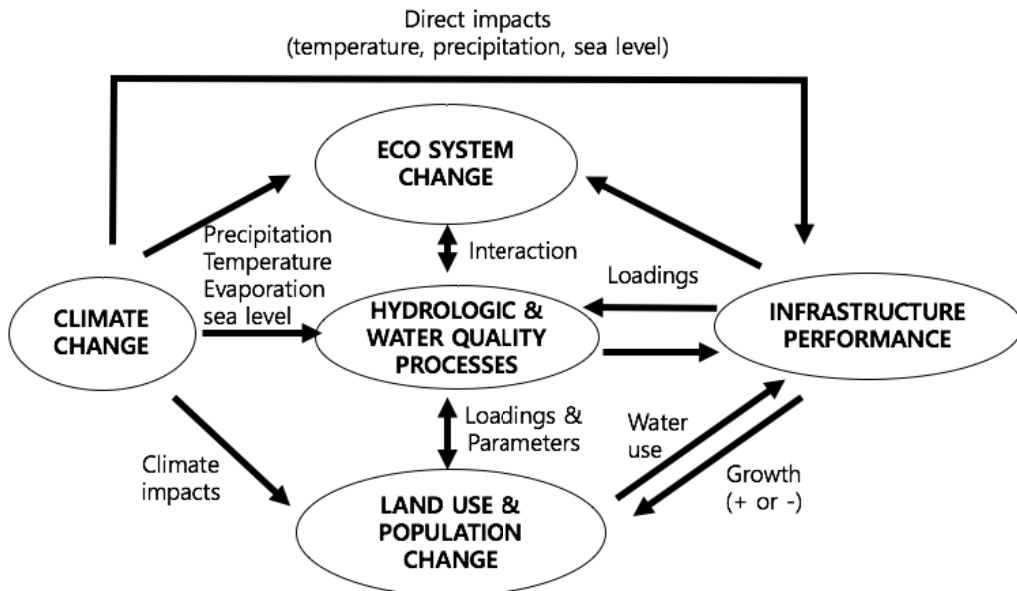
최근 기후변화로 발생하는 자연재해와 연관된 불확실성을 고려 할 수 있는 해석기법에 대한 수요가 급격히 증가. 농업생산기반시설에 관련된 위험 요소들은 일반적으로 빈도수가 작고 낮은 발생확률을 가지고 있으며, 시간에 따라 변동하는 특징을 가지고 있다. 또한 피해양상이 매우 복잡하며 그 원인은 다양한 요소들로 구성되어 있기 때문에 주로 이론적으로 해석하는데, 많은 어려움이 있음. 따라서 경험적인 방법들이 주로 사용된다. 한편 우리나라는 기후변화에 대한 취약성 연구가 오래되지 않았으며, 아직까지 지표를 이용한 방법으로 접근하고 있기 때문에, 기후변화에 대한 부문별 영향 및 취약성에 관한 정량적 분석이 부족한 문제점이 있다. 앞서 지표 중심의 기후변화 취약성 평가는 우리나라 전역에 어떻게 분포되어 있는지를 보여 주었다. 그러나 지역차원에서 기후변화에 대한 구체적인 적응전략을 수립하기 위해서는 전반적인 분포를 넘어 구체적인 취약시설을 파악하여야 한다. 이를 위해 먼저 시설별로 기후변화에 대한 위험유형을 파악하고, 각 시설의 기후변화에 대한 위험도 진단을 실시하여야 한다. 한국농어촌공사 농어촌연구원(2015)에서는 관리 중인 농업용 저수지들에 대해서 기상변화에 능동적으로 대처하기 위해서 국내외 저수지 위험도 평가 방안을 종합적으로 검토하여 국내 저수지에 적합한 “위험도 기반 중대규모 저수지(1종) 안전관리 의사결정 시스템 구축을 위한 위험도 평가방안 수립 및 해석”을 위한 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 위험도 해석기반의 확률·통계학적 수공구조물 안정성 평가기법을 기반으로 하는 종합적인 위험도를 해석하고자 하였는데, 제안된 위험도 평가

과정은 ① 저수지의 수위빈도곡선을 생성하는 단계로서 강우 모의발생, 유출 양상불 시나리오 도출, 여수로 운영에 따른 빈도-수위 곡선을 도출, ② 저수지 붕괴에 따른 피해액을 산정 단계 (저수지 붕괴 시나리오 개발, 홍수파 모의, 피해액 산정 모델의 개발포함) (그림 1-4)

1. 강우-유출 모의 : 강우(PMP) 양상불 시나리오 도출 •정상성 강우 모의 발생기법(기후변화 미고려) •비정상성 강우 모의 발생기법(기후변화 고려)
2. 강우-유출 불확실성 평가 : 유출(PMF) 양상불 시나리오 도출 • 강우-유출모형을 이용한 유출량 구축 • 강우-유출모형 매개변수 불확실성 정량화
3. 초기 저수지 운영모의 : 빈도-수위곡선 유도(Gate 파괴 가정) • 저수지 수위의 불확실성 고려 • 여수로 방류능력 불확실성 고려
4. 저수지 붕괴모의 및 피해액 산정 : 파괴모드별 Annual Damage Cost 산정 • 저수지 월류에 따른 붕괴 시나리오 • 저수지 붕괴에 따른 홍수파 모의 • 저수지 하류 피해액 산정

(그림 1-4) 수문학적 위험도 평가기법 분석절차
(한국농어촌공사 농어촌연구원, 2015)

기후변화가 사회기반시설에 미치는 영향(혹은 상호작용)은 다음 (그림 1-5)와 같이 나타낼 수 있다(Grayman et al., 2008).

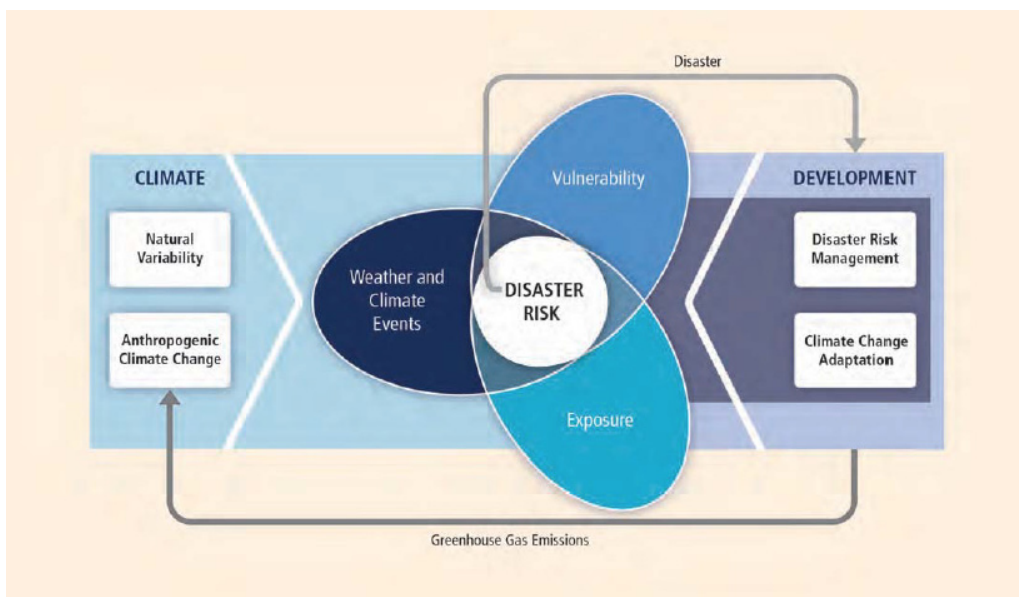


(그림 1-5) 기후변화와 사회기반시설의 상호작용 개념도(Grayman et al., 2008)

그림에서는 기후변화에 대한 기반시설의 영향은 직접적인 영향(온도, 강수량, 해수면 변화)와 간접적인 영향으로 나눌 수 있는데, 간접적인 영향은 생태계, 수계 그리고 토지이용과 인구의 변화가 기반시설의 성능에 영향을 줄 수 있다는 사실을 설명한다. 이러한 영향을 정량적인 방법으로 평가하기 위해서는 적절한 모델을 선정하여 평가해야 하고, 모델 내에는 그림에서와 같은 기후변화 예측 그리고 그 예측 값에 대한 수문 및 수질, 생태계, 그리고 인구와 토지이용 변화를 예측해 줄 수 있는 모듈들이 포함되어 있어야 한다. 또한 모델 선택 시에는 다음 사항을 주의 깊게 고려해야 한다.

- 적용 공식
- 공간 및 시간적 범위와 정밀도
- 모듈간의 상호과정
- 신뢰성

IPCC(2012)에서도 기후변화에 대한 재해 위험성에 중점을 두고 별도의 연구를 진행하여 그 결과를 발표하였다. 이 보고서에서는 SREX(the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation)의 관리를 위한 방안 등에 대해서 그 정의와 구성성분, 그리고 향후 대응방안 등에 대해서 다루고 있다(그림 1-6).



(그림 1-6) SREX의 개념도(IPCC, 2012)

위 그림은 재해위험(disaster risk)이 기상과 기후변화에 대한 노출과 민감도에 따라서 어떻게 영향을 받는지를 설명하는 개념도인데, 재해를 일으키는 기상이변 혹은 다른 기상현상들의 발생에 영향을 주는 자연적인 현상으로서의 기후변화와 인공적인 원인에 의한 기후변화를 평가하였다. 이 보고서에서는 개발과 재해 사이의 상호관계도 언급하고 있다. 그러나 지역별

혹은 구조물별 재해위험을 판정하는데 실제 적용을 위한 구체적인 방안이나 절차 등과 같이 자세한 내용은 다루지 않고 이에 대해서는 필요한 국가 혹은 분야별로 별도의 연구가 수행되어야 할 필요성이 있다. 우리나라에서는 앞서 농어촌공사(2015) 외에도 명수정 등(2010)이 선진사례 및 국내의 선행연구 사례를 검토하여 기후변화 부문별, 지역별 취약성을 위한 표준화된 취약성 방법론을 개발하여 발표. 본 장에서는 명수정 등(2010)의 연구결과를 중심으로 위험도 조사 및 진단에 관한 내용을 정리하였다.

(나) 사회기반시설의 기후변화 영향과 위험도

기후변화로 인해 사회기반시설에 야기될 수 있는 위험은 여러 가지가 있다. 특히, 기후변화의 사상 중 홍수와 태풍과 같은 이벤트성의 자연재해는 기반시설에 가시적인 피해를 초래할 가능성이 높다. 농업분야에서는 이러한 요소 외에도 가뭄 등이 추가로 고려가 가능하다. <표 1-17>은 URS(2010)에서 지역단위 사회기반시설의 기후변화에 대한 위험도 진단을 위해 선정한 유형별 핵심항목을 나타낸 사례이다.

<표 1-17> 사회기반시설의 기후변화에 대한 유형별 핵심 위험(명수정 등, 2010)

부문	취약 사회기반시설	핵심 위험
에너지	연료 처리·저장·수송	증가된 폭풍과 해수면 상승, 해일에 따른 연료공급 기반시설 의 홍수
	발전시설(화석,원자력,재생가능에너지) 및 오염통제와 오염감소	증가된 강우량과 해수면 상승으로 인한 화석 및 핵발전소의 홍수 증가된 기온으로 인한 화석연료 발전소의 효율성 손실 증가된 폭풍으로 인한 재생에너지의 효율성 손실과 피해
	에너지 배분	증가된 기온, 강우, 폭풍에 따른 에너지 배분 네트워크의 수용 능력 감소
수송	도로	증가된 강우 또는 폭풍에 의한 홍수 더욱 습한 겨울과 건조한 여름에 따른 증가된 강우와 또는 폭풍에 의한 세굴
	철도	증가된 강우나 폭풍에 의한 홍수 증가된 강우나 폭풍에 의한 교량 세굴 더욱 습한 겨울과 건조한 여름으로 인한 제방의 습도 변동 증가된 기온에 의한 지하철의 과열
	항만	항만에서 해수면 상승을 유발하는 높은 조수와 폭풍해일 폭풍 증가에 따른 항만의 강풍
	공항	폭풍 증가에 따른 공항의 강풍
물	물 공급, 처리 및 기반시설	변화된 강우패턴과 가뭄에 따른 공급 안전성의 감소 증가된 강우와 폭풍해일에 따른 침수
	오수차집, 오수처리	증가된 강우와 폭풍해일에 따른 하수 범람 증가된 강우와 폭풍해일에 따른 침수 강우패턴과 가뭄시기 변화에 따른 오염사고 증가

실제 이러한 항목들로 특정지역에 적용한 사례가 캐나다 PIEVC의 경우. 여기서는 사례지를 대상으로 사회기반시설에 대한 기후변화 취약성 평가를 통해 시설군 별로 미래의 기후변화에 대한 사회기반시설의 취약성에 대해 <표 1-18>과 같은 결론을 내림. 캐나다의 경우에는 우리나라 보다 겨울기후가 혹독하기 때문에 혹한기에 대한 내용이 상대적으로 많은 특징을 가지고 있다.

<표 1-18> PIEVC의 취약성 평가 시설군별 주요 결론(명수정 등, 2010)

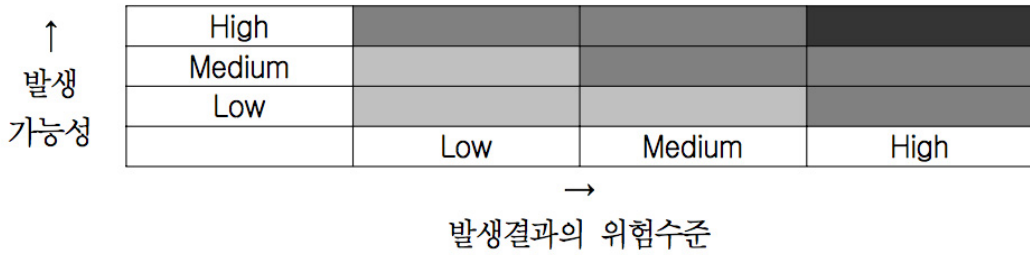
시설군	결론
수자원시설	사례 연구 지역의 댐 구조물과 방파제는 갈수록 홍수에 취약할 것으로 예상된다. 특히 초원지대에서 취수시설은 가뭄에 취약할 수 있음 강풍, 특히 토네이도는 다양한 사회기반시설을 위협하는 요인임. 강풍과 토네이도의 발생 가능성은 낮지만 일단 발생할 경우 극심한 피해가 예상됨 얼음폭풍우는 수자원 시설의 가동에 필요한 전력공급 시스템의 취약성을 높일 가능성이 높음 Placentia지역의 경우 해수면 상승과 폭풍해일의 결합이 가장 중요한 위험요소인 것으로 드러남. 전문가 및 이해관계자 워크숍에 참여했던 대부분의 전문가들은, 캐나다 연안에 위치하는 사회기반시설의 대부분이 유사한 위험에 노출되어 있으며 이 분야에 대한 추가 연구가 필요하다는 점에 동의함
수처리시설	밴쿠버 시의 각종 하수관거와 정화조는 폭우에 취약한 것으로 밝혀짐 Placentia 사례연구의 결과와 유사하게 연안에 위치한 수처리 시설은 폭풍해일에 취약한 것으로 조사됨
도로 및 부속시설	Quesnell 교량의 경우 결빙 부착과 동결 해동의 주기적인 발생이 취약성을 증가시키는 가장 중요한 요인임 Sudbury시의 도로 시스템에서는 폭설이 취약성 증가에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀짐
건물	Ottawa 소재 건물의 경우 눈과 바람의 변화에 가장 높은 취약성을 보임. 냉방 시스템은 습도의 변화에 가장 취약한 것으로 조사됨

자료: Canadian Council of Professional Engineer, 2008.

(다) 사회기반시설의 위험도 진단 방법론

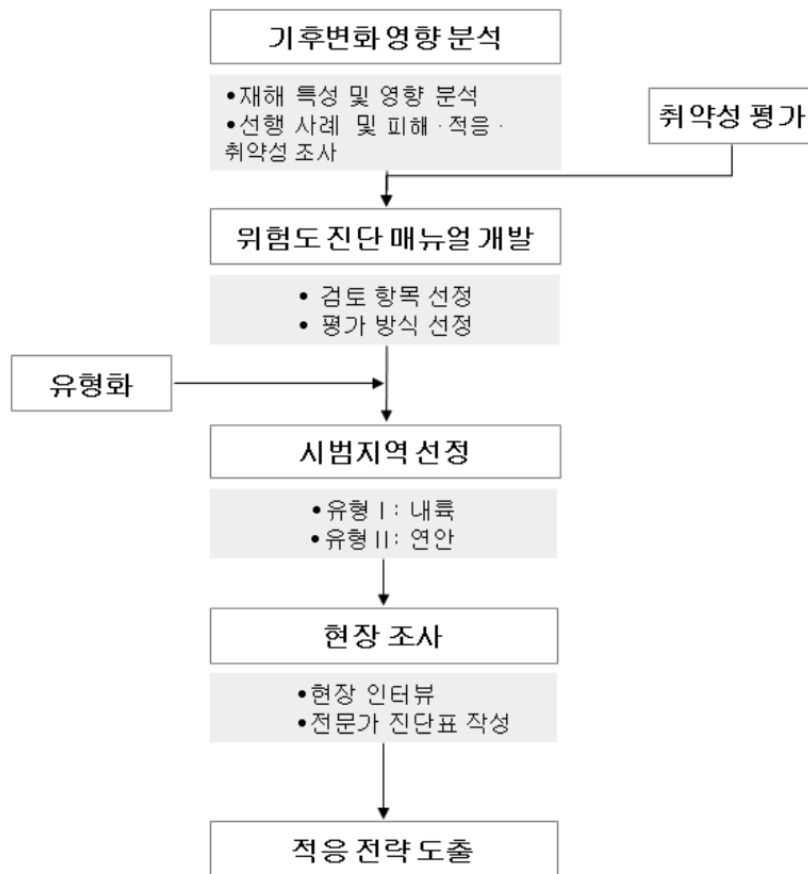
위험도는 사회학이나 경영학, 기상, 교통, 통신 등 여러 분야에서 오래 전부터 폭넓게 쓰이고 있다. 도시지역의 경우 여러 인적 재난에 대해 재난 취약도와 피해 가능성 및 대처능력 등을 정량적으로 표현하여 재난 위험도를 평가. 이는 해당지역의 재난에 대한 위험 정도를 종합평가하는 것으로 이를 통해 재난관리 지표로 활용될 수 있다. 위험은 일반적으로 그 대상 유형에 따라 잠재적인 위험성과 상대적인 안정성을 분석하여 정량적으로 위험도를 산정하는데 그 특성에 따라 여러 평가기법을 적용. 일반적으로 기반시설의 위험도는 사고로 인해 나타날 수 있는 피해결과를 그러한 사고의 발생확률과 사고결과 심각한 정도로 평가한다⁸⁾. 위험도는 (그림 1-7)과 같이 특정 사상이나 그러한 사상들의 조합이 발생할 가능성과 그러한 사상이 발생했을 경우 그 결과는 얼마나 위험할 것인가의 관계로 표현한다.

8) 이는 앞서 농어촌공사 농어촌연구원(2015)에서 수행한 연구에서 채택한 연구방법과 유사한 방법이다.



(그림 1-7) 위험도 진단을 위한 진단표의 기본 개념

따라서 위험도는 체크리스트와 같은 평가표를 활용하여 평가할 수 있는데, 명수정 등(2010)은 위험도 진단표를 활용하여 사회기반시설의 기후변화 위험도 진단법을 설계하였다. 이 연구에서는 위험도 진단에서 다루는 기반시설을 정주지 중심의 시설로 정하였으며, 대상 기후변화 사상은 홍수와 태풍에 대하여 적용. 위험도 진단에 필요한 진단표는 물리적인 취약성과 같은 구조적인 접근보다는 전문가 현장조사를 바탕으로 각 기반시설물의 항목별 위험도를 진단표에 표시하여 종합적으로 위험도가 진단되도록 하였다.



(그림 1-8) 기반시설의 기후변화 위험도 진단 절차

(라) 기후변화의 기반시설 영향 선정

명수정 등(2010)에 의한 연구에서는 위험도 진단은 교통시설, 통신시설, 에너지시설, 수자원시설, 시설환경, 기타 등의 6개의 대분류 기반시설 항목과 28개의 기후변화로 인한 기반시설의 영향으로 구성하였으며, ‘발생 가능성’과 발생했을 경우 ‘발생결과의 위험수준’, 그리고 그러한 영향의 발생을 예방하기 위해 필요할 것으로 예상되는 ‘필요 적응조치’로 구성(그림 1-9) 하였다.

기후변화가 사회기반시설에 미칠 수 있는 영향은 선행연구 및 과거 재해발생 사례 등에서 나타난 영향을 조사하여 기반시설별로 정리하였으며, 수자원시설의 경우에는 상수시설과 하수 시설 그리고 하천시설로 구성. 예를 들어, 기후변화로 인한 하천시설의 변화는 ‘유출수의 배수와 범람 피해’와 ‘제방의 침식·붕괴’로 구성하였다.

기반시설	용수 및 태풍		대상 지역 ()					의견	
	기반시설의 영향	발생 가능성	발생결과의 위험수준	필요 적응 조치					
		A-F단계	1-5단계	경보수	보수	중중보수	재건설		대체
교통 시설	도로	도로 파손 ¹⁾ 도로 단절 (침수 포함)							
	철도	철도 파손 철도 운행에 영향							
	교량	교량 파손 교량 단절 (침수 포함)							
	지하철 역사	지하철 역사 침수							
통신시설	지하통신시설 피해 ²⁾ 지상통신시설 피해								
에너지시설	변전소 침수 전송시설 피해								
수자원 시설	상수시설	침수와 저장에 영향 물관급 파이프의 성능저하 및 파손·단수							
	하수시설	하수도판의 성능저하 및 파손 강과 바다에 미처리 하수 유출							
	하천시설	유출수의 배수와 범람 피해 제방의 침식·붕괴							
시설 환경	주거시설	주거시설의 파손 주거시설의 침수							
	환경	시설의 파손							
	기초시설	폐기물 유출 및 침출수 파다 발생							
	외포시설	병원 건물 파손 병원 라이프라인의 파손							
기타	교육시설	학교 건물 파손 학교 라이프라인의 파손							
	산업단지	산업단지 건물 파손 산업단지 라이프라인의 파손							
	해안구조물	해안방조제의 침식·붕괴							

1) 물리적으로 파손되어 안전성이 떨어짐
2) 기능저하, 단절, 침수, 유출

(그림 1-9) 기반시설 위험도 진단을 위한 진단표

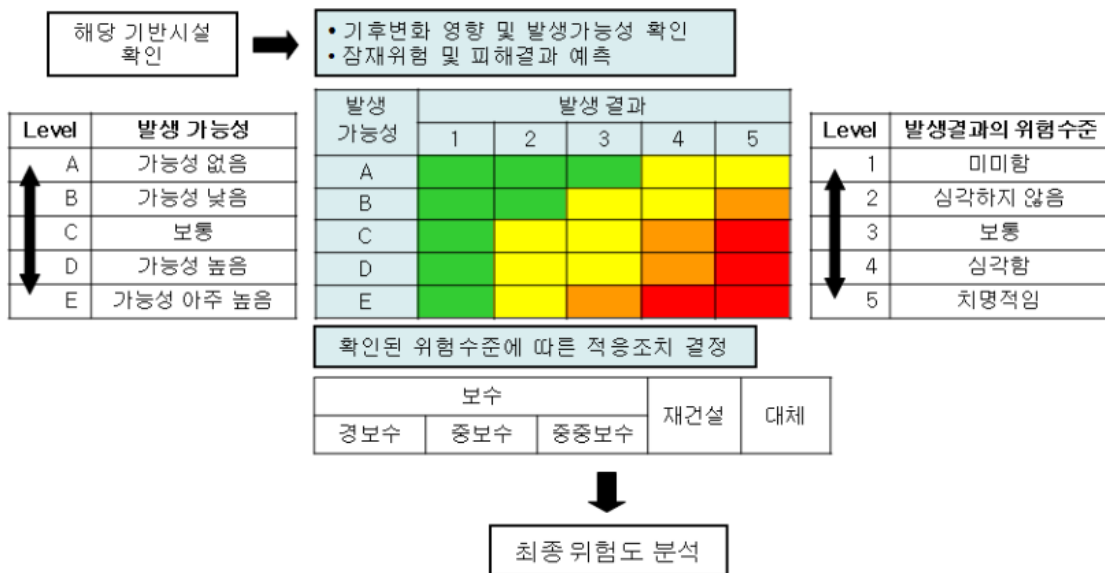
* 위험도 진단의 문항 요소들은 매트릭스 형태로 구성하였으며 각 문항요소는 5단계로 표현 (위험도는 각 단계로 갈수록 점차 높아짐).

- ‘발생 가능성’은 ‘발생 가능성 없음’부터 ‘발생 가능성 아주 높음’ 까지를, ‘발생결과의 위험수준’ 은 ‘미미함;에서 ‘치명적임’까지로 5단계로 구분.
 - ‘예상 적응조치’는 ‘경보수’, ‘중보수’, ‘중중보수’, ‘재건설’, ‘대체’와 같이 기반시설의 기후 변화 대응에 필요할 것으로 예상되는 적응조치를 5단계로 나눔
- 각 단계는 유지관리 혹은 경미한 보수나 보강작업이 필요한 경우로 기반시설의 0~10% 정도의 보수·보강이 필요하면 ‘경보수’, 기반시설의 손상 및 서비스 손실로 상당한 보수·보강을 요구하는 경우로 기반시설의 10~20% 정도의 보수·보강이 필요하면 ‘중보수’, 기반시설의 부분적 손실로 심각한 수준의 보수가 필요한 경우로 기반시설의 20~50% 정도의 보수·보강이 필요하면 ‘중중보수’, 기반시설의 영구적인 손실로 다시 건설해야 하는 경우와 기반시설의 절반 이상 정도의 보수·보강이 필요한 경우 또는 보수·보강에

드는 비용이 다시 짓는 것보다 클 경우는 ‘재건설’, 기반시설 기능의 영구적 손상으로 인해 현재의 기반시설과 동일한 기능을 하는 다른 기반시설로 대체해야 하는 경우는 ‘대체’로 구분

(마) 위험도 진단

기후변화 위험도는 전문가에 의한 현장조사를 기반으로 진단하는데, 명수정 등(2010)은 대상 지역의 특성을 고려한 유형별 기후변화 적응방안 모색을 위해 내륙과 연안으로 유형화하여 사례지역을 정하여 위험도 진단하였다. 위험도 진단은 대상지역의 진단에 참여하는 전문가 및 선정지역 현지 전문가 그룹이 함께 현장조사에 참여하여 진단하는데, 기반시설의 기후변화 잠재 위험도 도출 과정은 (그림 1-10)와 같다.



(그림 1-10) 기반시설의 기후변화 잠재 위험도 도출 과정

일반적으로 위험도 지수는 발생가능성과 발생결과의 위험수준에 대한 함수로 하는 경우가 많으나, 명수정 등(2010)은 위험도 진단목적이 기후변화 적응전략 도출을 위한 것이므로 필요한 적응조치에 대한 변수도 포함하였으며 이 또한 위험도를 증가시키므로 이를 곱하는 방식으로 [식 1-3]과 같이 위험도 산정공식을 정하였다.

$$P = E \times R \times N \quad \text{[식 1-3]}$$

- P : 잠재 위험도
- E : 발생 가능성
- R : 발생결과의 위험수준
- N : 필요 적응조치

명수정 등(2010)의 연구에서는 발생 가능성, 발생결과의 위험수준, 예상 적응조치는 각각 5단계의 값을 갖기 때문에 최종적으로 나오는 값은 1-125점 사이의 값을 갖게 됨. 위험도는 대상지별로 다른 범위의 결과를 가지게 되므로 대상지별 결과 값을 통한 직접적인 비교는 어려움이 있을 수 있다⁹⁾. 따라서 최종 위험도 값의 지역별 비교를 용이하게 하기 위하여 각 대상 지역 내에서 모든 항목을 다시 0-1 범위의 값으로 표준화하여 지역별, 기반시설별 위험도를 도출하는 방법을 사용하였다. 이상의 내용에 따르면 한국농어촌공사(2015)의 연구에서는 기후변화에 따른 저수지의 안정성 평가를 지반공학적 관점에서 저수지의 붕괴확률과 피해규모를 산정하여 평가하는 모델을 제안하였고, 명수정 등(2010)이 제안한 위험도 진단(혹은 평가)방법론은 6개의 대분류 기반시설 항에 대해서 기후변화로 인한 기반시설의 영향을 28개의 목으로 구성하였으며, ‘발생 가능성’과 발생했을 경우 ‘발생결과의 위험수준’, 그리고 그러한 영향의 발생을 예방하기 위해 필요할 것으로 예상되는 ‘필요 적응조치’로 구성하여 취약성 평가를 실시한 차이가 있다. 그러나 명수정 등(2010)의 연구에서도 진단항목의 결정에서는 물리적인 취약성과 같은 구조적인 접근보다는 전문가의 현장조사에 의해 결정된 것이 농어촌공사의 연구방법과 차이가 있다. 따라서 기반 시설과 같은 구조물의 경우는 기존의 한국농어촌공사(2015)의 연구결과를 확장하여 보다 객관적으로 구조물 자체의 물리적 취약성을 조사 지표에 반영할 수 있는 방안에 대한 고려도 필요할 것으로 판단된다.

(4) 국외 기후변화 영향·취약성 평가 사례

(가) 미국의 기후변화 영향·취약성 평가

① 기후변화 대책 추진 개요

기후변화적응 대책위원회(Interagency Climate Change Adaptation Task Force, ICCATF; 2009)

분야별 기후변화 영향평가 및 기관별 대응전략을 수립하기 위한 대책위원회로서 미국의 기후변화 영향 및 취약성 조사·연구·평가를 담당하고 있다. 지역별·분야별 영향평가결과를 바탕으로 국가차원의 통합보고서를 작성하고 있다. 미국의 기후변화 국가적응전략 수립과 IPCC 국가보고서의 자료로 활용되고 있다.

- 지역별 평가는 지역별(20개 지역으로 구분) 기후변화에 따른 주요 영향 발생 등에 초점을 맞추며 지역별로 주요한 2~3개의 이슈에 대한 정량적 분석을 수행함
- 지역별 조사는 지역조정자(Regional Coordinator)와 기후변화 영향평가 지원기관(Agency Contact)이 참여하여 기후변화 영향조사를 수행하고 적응대책을 수립하기 위한 기후변화 영향평가팀과 자체적인 전략개발을 위한 조정위원회가 있음

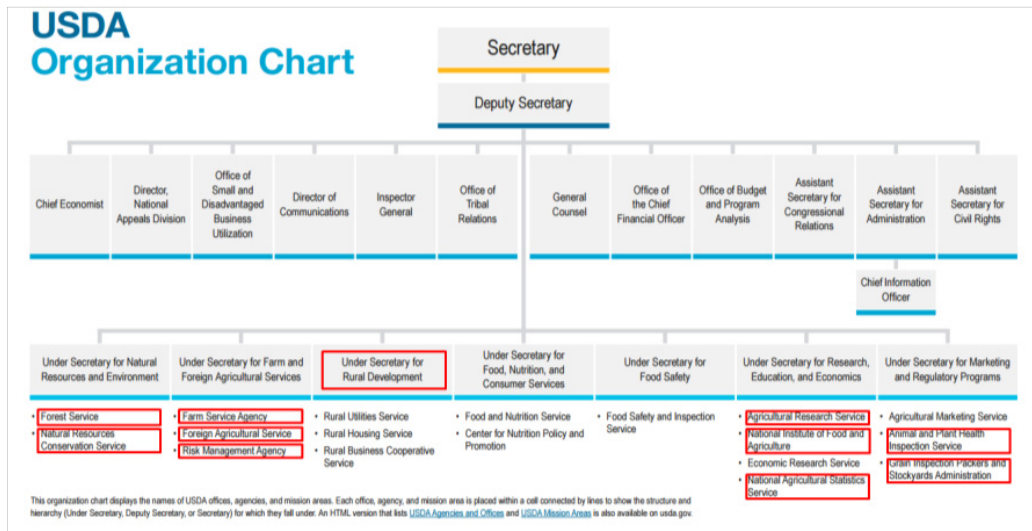
9) 현장조사에 참여한 전문가 중 일부는 지역의 전문가로서 해당 지역의 위험도 진단에만 참여하였으며, 진단 시 주관성이 개입될 여지가 있으므로 이를 최대한 배제하고 객관적인 비교가 가능하도록 하였다.

- 분야별 평가는 농업, 연안 해역, 해양자원, 산림, 건강/보건, 수자원 등 국가적 차원에서 기후변화로 인하여 발생하는 사회경제적 영향에 초점을 두며, 각 지역별 중요 분야의 경우, 추가적인 평가를 실시함
- 국가별 평가는 지역별 평가와 분야별 평가로 진행된 기후변화 영향평가결과를 종합하여 국가차원의 통합보고서를 작성함. 이 보고서에는 향후 25~100년간의 기후변화 영향과 이에 대한 적응대책 등이 포함됨

② 기후변화 영향·취약성 대응 정책

지구변화연구법(Global Change Research Act, 1990년 제정, 2012년 개정)에 근거한 기후변화 영향평가 및 적응대책 수립 연구프로그램이다. 다양한 연구기관 및 정부부처들이 기후변화가 자국의 자연환경 및 사회경제적 환경에 미치는 영향에 대하여 연구를 진행중에 있다.

- 미국농무성 농업연구서비스(USDA ARS) 기후변화 영향·취약성 적응계획
 - USDA 산하 기관들이 농업·산림부문 기후변화 적응계획을 수립함
 - USDA 농업연구팀(Agricultural Research Service)의 기후변화 적응 프로그램
 - 산림청 기후변화 프로그램(Forest Service Global Change Research Program)
 - 연구의 범위는 축산 및 보호, 농작물 생산 및 보호, 천연자원 및 지속 가능한 농업 시스템, 영양과 식품 안전, 품질의 4가지 프로그램 영역으로 분류된 18개의 프로그램으로 구성되며, 이 프로그램 내에는 800개의 프로젝트가 서로 연계됨



(그림 1-11) USDA 조직도

자료 : USDA 홈페이지, *붉은색 : USDA 기후변화 적응계에서 기관별 적응계획을 수립한 11개 기관

- 프로그램을 수행하기 위하여 향후 5년간의 전략계획을 수립하여 연구를 수행하고 있으며, 전략계획에는 연구 수행 시 주요 고려사항과 각 프로그램의 목표와 목표 및 성과의 측정, 실행 가능한 전략 등이 포함됨

농업·농촌 부문 대응정책 경우, USDA를 중심으로 11개의 USDA 산하 기관들이 농업·산림 부문 기후변화 적응계획을 수립하고 정책을 이행하고 있다. 기후변화 적응계획에는 농업 관련 부문의 상세한 취약성 평가와 함께 기후변화에 대응하기 위한 농업 생산, 식량 안보, 농촌 개발, 임업 및 자연 자원 보전 등에 대한 USDA의 역할 및 기후변화 탄력성을 위한 구체적인 대책과 행동들을 포함하고 있다.

- 기후변화로 인한 농업부문의 연구 프로그램으로는 산하기관 중 USDA 농업연구팀 (Agricultural Research Service)의 농업연구 국가프로그램 212(Agricultural Research Service National Program 212)와 산림청(US Forest Service)의 산림청 지구변화연구 프로그램(Forest Service Global Change Research Program, FSGCRP)이 있음
 - 농업연구 국가프로그램은 크게 축산 및 보호, 농작물 생산 및 보호, 천연자원 및 지속 가능한 농업 시스템, 영양과 식품 안전, 품질의 4가지 프로그램 영역으로 분류된 18개의 프로그램으로 구성되며, 이 프로그램 내에는 800개의 프로젝트가 서로 연계되어 있음
 - 프로그램을 수행하기 위하여 향후 5년간의 전략계획을 수립하여 연구를 수행하고 있으며, 전략계획에는 연구 수행 시 주요 고려사항과 각 프로그램의 목표와 목표 및 성과의 측정, 실행 가능한 전략 등이 포함됨
 - 이러한 프로그램은 농업 분야의 문제 중 국가적 우선순위가 높은 사항에 대한 해결책을 개발하기 위한 것으로, 전략계획의 목표의 구성은 REE (Research, Education, and Economics) 실행계획 및 USDA 전략계획 목표의 구성 요소와 일치함
 - 산림청 지구변화연구프로그램은 과학적 영향평가와 조사프로그램 등을 통하여 기후 변화로 인해 발생하는 산림생태계의 문제와 영향의 정도, 대응대책 등에 대하여 연구·분석하고 있음



(그림 1-12) ARS 전략계획 상의 5년간 국가프로그램 실행 흐름

자료 : USDA ARS(2012)

㉔ 농업부문 기후변화 적응대책

○ 농업, 농촌 및 산림에 관한 사항은 농무성(USDA)의 기술보고서를 통해 제공

- 농업 부문 기술 보고서에 기후변화에 대한 농업의 취약성(현재, 미래 25~90년) 평가 내용이 포함되어 있음

○ 농업부문 기술보고서 주요 내용

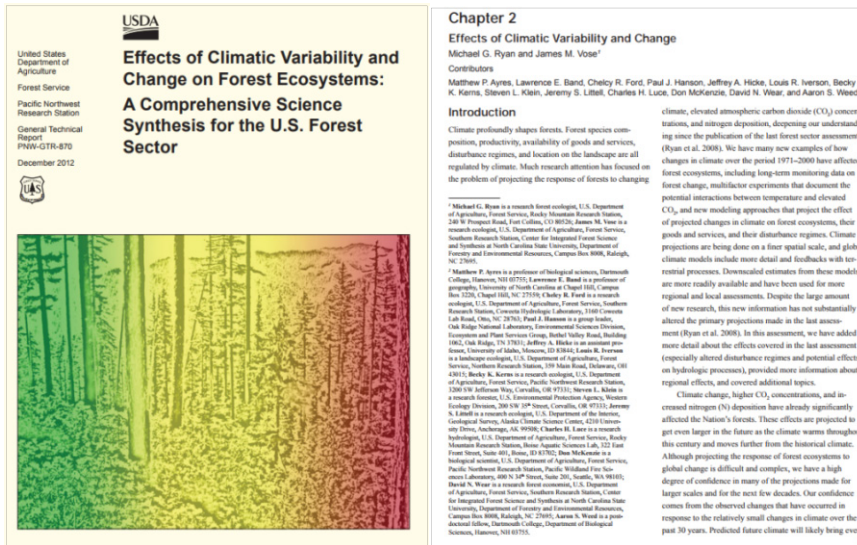
- 작물 및 모든 생산 시스템은 대기 중 이산화탄소 증가, 기온 상승, 강수량 패턴의 변화 등 기후변화에 의해 어느 정도 영향을 받음
- 가축 생산 시스템은 온도 스트레스에 취약하며 생산비용 증가, 생산성 감소 및 극단적인 경우, 사망을 초래함
- 기후변화는 대부분의 작물과 가축에 전반적인 악영향을 미칠 것으로 예상함
- 기후변화는 잡초, 질병 및 해충과 관련된 압력을 변화시키고, 꽃가루 매개자 수명주기의 잠재적인 변화와 함께 성장 및 수확량에 영향을 미칠 것임
- 농업은 토양의 질, 수질, 수량 관리를 포함하여 생산성을 지원하는 광범위한 생태계 프로세스에 의존하는데, 기후변화를 포함한 여러 가지 스트레스 요인은 이러한 생태계의 능력을 저하시킴
- 농업 토양 및 수자원에 대한 주요 단기 기후변화의 영향은 강우 및 관개 농업을 위한 수자원 가용성의 지역적 및 계절적 변화뿐만 아니라 극한 강수 현상을 통한 토양 침식 증가 가능성을 포함함
- 기후변화에 대한 농업의 취약성은 기후변화 영향을 완화하기 위한 대응전략을 수립하여 기후변화 리스크를 최소화 필요가 있음



(그림 1-13) Climate change and agriculture in the united states

㉔ 산림 부문 기술 보고서(USDA Forest Service, 2012)

기후변화와 관련된 현재 산림자원 현황과 기후변화로 인해 영향을 받을 수 있는 산림생태계 및 사회경제 현상 간 상호 관계, 적응 및 완화 전략, 각 평가 지역별의 산림 부문의 핵심 이슈, 미래의 예측·평가 등을 포함하고 있다. 기후변화가 산림에 미치는 영향을 구체적 사례를 통해 영향·취약성을 설명하고 있다. 미국 지역별로 기후변화 영향 정도가 다르기 때문에 지역별 기후 변화 영향성을 설명하였다.



(그림 1-14) Effects of climatic variability and change on forest ecosystems

○ 산림 부문 기술 보고서 주요내용

- 알래스카

- 알래스카숲은 지역적으로나 세계적으로 중요하며, 교란 체제의 변화는 온실 가스 배출과 변화된 표면 에너지 공급량을 통해 지구 기후 시스템에 직접적인 영향을 미침
- 일부 숲(도시, 농촌)은 지역 사회에 근접해 있고, 다양한 생태계 서비스를 제공하기 때문에 숲의 기후 관련 변화는 사회적 결과를 초래함
- 알래스카 내륙에서 기후 변화의 가장 중요한 영향은 영구 동토층 해빙(permafrost thawing)과 산불형(fire regimes)의 변화임
- 중남부 알래스카는 인구 증가와 변화하는 교란 체제(곤충, 산불, 침입 종)로 인해 기후 변화에 민감함
- 알래스카 남동부에서 온난화는 주로 강수에 대한 영향을 통해 산림 생태계에 영향을 미침

- 북서부

- 지배적인 산림 종의 분포에 대한 광범위한 변화가 예상됨. 산림 회복은 점차적인 온난화로 인하여 빠르게 변화할 것임

- 화재지역과 산불로 인해 소비되는 바이오매스가 크게 증가하여 생태계 구조 및 기능, WUI의 자원가치의 변화와 화재진압 및 연료관리에 대한 지출로 이어짐
- 고온, 고밀, 낮은 우량식물의 조합은 딱정벌레와 다른 곤충에 대한 취약성을 증가시켰고 일부 건조한 산림에서는 이로 인한 사망률이 높음

- 남서부

- 주로 다년간의 가뭄과 같은 극한 기후에 의해 촉진된 교란 과정은 단기 및 장기적 측면에서 숲의 기후 변동·변화에 막대한 영향을 미침
- 피논 소나무(Pinyon pine) 이외의 다른 종들에서의 잎마름병(diebacks)은 널리 퍼지지 않지만, 남서부 전역에서 거대한 화재 및 곤충 발생의 빈도와 공간적 범위는 증가하는 것으로 보임
- 대부분의 저지대에서 산림 생산성 감소와 함께 화재 및 곤충으로 인한 교란이 증가하면 대부분의 산림 생태계에서 탄소 저장량이 감소함. 화재-곤충 스트레스 복합체는 많은 저지대 숲을 유년목(younger age classes)으로 계속 유지하게 됨
- 화재 증가와 뒤이은 강수량 증가는 침식과 하류 침전물 공급을 증가시킬 수 있음

(나) 캐나다 기후변화 영향·취약성 평가

① 기후변화 대책 추진 개요

2008년 캐나다 정부는 국가단위의 기후변화와 적응에 관한 과학적 평가를 실시하였다.(From Impact to Adaptation : Canada in a Changing Climate) 2014년도에는 2008년도의 평가를 개선하여 두 번째 보고서(Canada in a Changing Climate : Sector Perspectives on Impacts and Adaptation) 발간하였다. 이 보고서는 2012년 말까지 출간된 문헌들을 바탕으로 부문별 기후변화 영향 및 적응을 평가하고 이를 통한 새로운 정보 및 지식에 초점을 두고 있다.



(그림 1-15) 캐나다 위험분석 과정

자료 : Government of Canada(2014)

- 평가보고서에서는 과학적 문헌을 중심으로 하는 이러한 평가방법론이 실제적인 적응 행동을 과소평가하는 결과를 낳을 수 있음을 언급함
- 문헌분석 내용을 통하여 산림분야를 포함한 다양한 분야에서 기후변화와 적응 의사 결정 시 항상 존재할 관련 불확실성을 다루기 위해 다음 그림 과 같이 리스크 평가를 기반으로 한 적응 관리 접근법을 사용하고 있음을 설명함
- 평가된 부문은 자연자원, 식량생산, 산업, 생물다양성 및 보호지역, 보건, 물과 교통 기반시설 6가지이며, 이 중 산림은 자연자원 부문의, 농업은 식량생산 부문의 세부 부문으로 포함되어있음
- 산림 부문과 농업 부문의 경우 CCFM (Canadian Council of Forest Ministers)의 산림 기후변화 취약성 평가와 AAFC (Agriculture and Agri-Food Canada)의 Land Suitability Rating System (LSRS)을 소개함

CCFM의 산림 기후변화 취약성 평가는 캐나다 산림 분야와 관련하여 기후변화로 인한 위험을 최소화하기 위한 방안으로 2008년부터 2012년까지 12개의 시범지역을 대상으로 시행되었다.

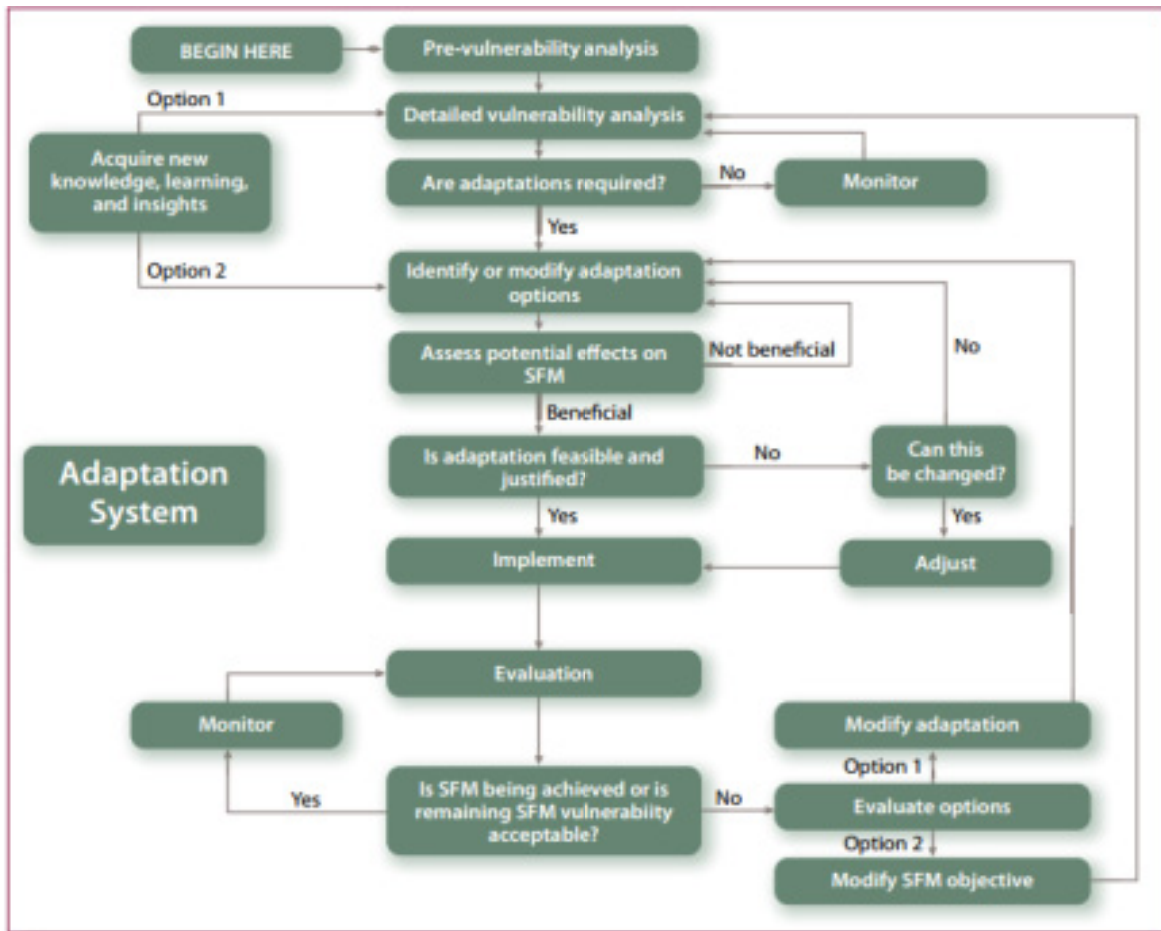
- CCFM는 기후변화에 대한 캐나다의 주요 수종의 취약성과 잠재적 적응 옵션의 확인 하고, 기후변화에 대한 고려사항이 지속가능한 산림 관리(SFM)의 모든 측면에 통합될 수 있도록 다양한 도구 및 접근법, 지식·정보를 개발하여 캐나다 산림부문 회원에게 제공함
- 기후변화에 지속가능한 산림 관리를 적극적이고 효과적으로 적용하기 위해서는 캐나다의 숲에 미치는 기후변화 영향의 다양성, 이 변화로 인한 의사결정의 불확실성, 적응전략을 구현할 수 있는 능력에 대한 이해가 필요함. 이를 위해 널리 사용되는 방법론으로 취약성 평가가 있음
 - 컨텍스트 제공(C1) : 분석 및 의사결정 환경을 제공. 이는 첫째, 평가의 목표와 설계가 관리 시스템과 일관성을 유지하도록 보장하며, 둘째, 취약성과 평가의 적응 부분 간의 명확하고 직접적인 연관성을 보장하며, 셋째, 조직이 평가를 완료하는데 필요한 능력을 갖추고 있음을 확인함
 - 현재 기후 및 산림 조건 설명(C2) : 현재의 기후, 최근의 기후 변화, 현재의 기후가 산림과 산림 과정에 미치는 영향, 그리고 산림 관리자가 현재의 기후 및 관련 산림 조건에 적응한 방식에 대한 설명
 - 미래 기후 및 산림 조건의 시나리오 개발(C3) : 기후 변화가 장래에 미칠 수 있는 영향 (또는 잠재적 인 영향의 범위)에 대한 이해·예측 필요
 - 현재 및 미래 기후에 대한 SFM의 취약성 평가(C4) : 현재 및 미래 기후에 대한 SFM의 취약성을 평가하는 첫 번째 부분은 현재의 기후 및 산림 조건(C2에서 수행됨)과 C3에서 생성된 산림 영향 시나리오가 각각 어떻게 영향을 미칠지 고려하는 것임. 또한 분석은 공간 단위(예 : 숲이 우거진 환경)와 시간 경과에 따른 변화(예 : 현재, 2020 년대,

- 2050 년대, 2080 년대)에 대한 응답의 차이를 고려해야함
- 적응 옵션 개발 및 개선(C5) : 조직·기관이 영향결과 및 적응역량 평가를 사용하여 적응 옵션을 알리고 개발하고 조정하는 통합적 프로세스
 - 적응을 위한 구현 및 주류 옵션(C6) : (1)적응의 효과성; (2) 기술적 타당성 및 비용 편익; (3) 실행 가능성 및 경제적 타당성; (4) 모니터링 (5) 필요한 경우, 적응 프로그램/관리 목표 수정; (6) 새로운 지식, 학습 및 통찰력에 따라 주기적인 취약성 재평가

<표 1-19> CCFM 기후변화 적응 계획에 포함된 취약성평가 사례분석 내용

사례 조사명	지역	중심내용
Vanderhoof 커뮤니티 취약성 평가	Vanderhoof, BC	지역 산림 경제에 대한 산 소나무 딱정벌레(the mountain pine beetle)의 심각한 영향을 조사 기후변화로 인한 광범위한 지역의 사회경제적 영향을 해결하기 위한 커뮤니티 중심 프로젝트
San Jose Watershed RAC (BC RAC)	Williams Lake, BC	유역의 공동체에 중요한 세 가지 이슈 : 산 소나무 딱정벌레(the mountain pine beetle)의 영향, 산불형(fire regimes)의 변화, 기후변화
West Kootenay 기후취약성 및 탄력성 프로젝트	West Kootenay region, BC	기후변화가 생태계 서비스에 미치는 영향, 생태계가 취약한지의 여부 및 탄력성을 향상시키는 관리 옵션의 확인
Alberta 환경·지속 가능한 자원개발 기후 변화적응프레임워크	Edmonton, AB	기존 정부 차원의 사업 계획 및 위험 관리 시스템과 결합할 수 있도록 고안된 적응 프레임워크 개발
섬의 산림 취약성 평가(Prairie RAC)	Island Forests, central Saskatchewan	가뭄, 화재 및 곤충으로 인한 boreal 숲의 남쪽 가장 자리에 있는 숲의 취약성 이해를 목적
Clay Belt 취약성 평가	Northeast Ontario	지역 내 취약지역 및 잠재적 적응 옵션 파악, 기후 변화를 고려한 산림 자원 관리 계획에 대한 잠재적 지원 확인
Lake Simcoe 유역 취약성 평가	Lake Simcoe, ON	환경 영향 중심의 취약성 평가 전문가가 참여하여 자연자원, 적응계획 자원, 인프라 자산에 대한 현재와 미래의 취약성을 평가 이와 더불어 Simcoe 호수 유역에 대한 기후변화 적응 전략 지원을 위한 적응 권장 사항 도출
Le Burdon Model 숲 프로젝트	Le Bourdon Model Forest, QC	온대 - 아한대 생물체 전이에 걸쳐 기후 변화에 따른 산림 식물의 변화
Quebec RAC 프로젝트	Quebec	퀘벡의 Tembec 생태계 기반 산림 관리 프로젝트 (Abitibi 지역) TRIAD 프로젝트(Mauricie 지역 및 Laurentian Wildlife Reserve 프로젝트 (Laurentide 지역))의 3가지 생태계 기반 산림 관리 프로젝트에 대한 기후 변화 취약성 평가

자료 : Johnston, M.H. and Edwards(2013)



(그림 1-16) 기후변화 적응을 위한 의사결정 프레임워크

② 기후변화 영향·취약성 대응 정책

2008년 기후변화 영향취약성에 대한 평가이후 캐나다의 기후변화 적응능력 향상을 위한 계획들(전략, 프레임워크, 지침 등)이 수립되고 이와 관련한 적응 활동 수가 크게 증가하였다.

- 캐나다 지역 적응 협의체(Regional Adaptation Collaboratives, RCA)는 캐나다 정부가 기후변화 적응을 위하여 조성한 기금을 바탕으로(3년간 3천만 달러 투자) 지방 및 지역 이해관계자와 협력하여 프로그램을 실행하고 있음
- 2007~2011년 동안 지역적응협력 기후변화 프로그램(Regional Adaptation Collaborative Climate Change Program)을 통하여 캐나다의 6개지역을 대상으로 기후변화에 따른 가뭄증가 및 산림·농업자원 변화 등에 대한 적응프로그램 실행
- 초기 RCA의 성과를 기반으로 2012~2016년 RCAⅡ를 구성하여 추가적인 5개 지역 대상으로 기후변화 대응을 지원하고, 초기 RCA의 성과를 고도화하고자 함

<표 1-20> 캐나다 6개 지역별 기후변화 대응 중점 대상

RCA 성과	중점 부문
Preparing for Climate Change : Securing British Columbia's Water Future	수자원 할당 및 사용 산림 및 어장 관리 홍수예방 지역사회 적응
Prairie Regional Adaptation Collaborative	수자원 수요와 공급 가뭄 및 홍수 대책 산림 및 초지 생태계 서비스
Ontario Regional Adaptation Collaborative	극한기후 리스크 관리 수자원 관리 지역사회 발전 계획
Quebec Regional Adaptation Collaborative	건조환경(건축물) 수자원 관리 임업, 농업, 관광 및 여가활동
Atlantic Climate Adaptation Solutions Project	홍수와 연안지역에 대한 계획 수립 지하수 보호 전문가 능력 제고
Northern Regional Adaptation Collaborative	Nunavut 주 광산지역의 기후변화 취약성 평가 북부지역 탐사 및 채굴에 대한 우수사례 배포

자료 : Natural Resource Canada(2011)

○ 시사점 도출

- 대부분의 적응능력을 키우기 위한 많은 시도들은 평가되지 않았고 과학적 문헌의 연구 내용들도 종합되지 못했음
- 기후변화 위험 및 취약성을 줄이기 위해 취해진 조치를 추적하고 측정하기 위한 합의된 방법이 아직 존재하지 않아 부문 간 의미 있는 비교가 어려움
- 캐나다의 경우, 뚜렷한 연방정부 차원의 기후변화 관련 대응정책이 부재하였으나 최근 파리 협정의 체결과 미국과의 기후변화 대응 공조 이후 연방정부의 역할 강화를 위하여 노력하겠다는 의지를 보이고 있음

(다) 호주 기후변화 영향·취약성 평가

① 기후변화 대책 추진 개요

호주는 정책결정자들이 기후변화로 인한 기회와 위험을 파악하고 이를 통하여 정책 및 계획 실행의 우선순위를 하는 것을 돕기 위하여 리스크 관리 프레임워크에 대한 가이드라인을 제공하고 있다. 리스크 관리 프레임워크 가이드라인은 AGO (2006)의 기후변화 영향 및 리스크 관리 프레임워크를 기반으로 하고 있다.

<표 1-21> 리스크 관리의 단계 설명

단계	설명
맥락 설정	평가 대상 조직 및 평가 범위 정의 조직의 목적을 명확히 하는 것 이해 관계자와 그들의 목적과 관심사를 식별 조직의 목표에 대한 리스크를 평가할 수 있는 성공 기준 수립 프로세스의 구조화를 위한 조직의 핵심 요소(주요 책임 영역 등) 개발 평가를 위한 관련 기후 변화 시나리오 결정
리스크 식별	기후변화가 각 조직의 핵심 요소에 미치는 영향을 기술하고 목록화
리스크 분석	각 특정 리스크를 다루기 위한 통제, 관리 체제 및 대응 사전 검토 기존 통제의 범위와 효과를 고려하여 조직의 목표 및 성공 기준에 대한 각 리스크의 결과를 평가 확인된 리스크의 가능성에 대한 판단 분석에 사용된 각 기후변화 시나리오에 대한 조직의 리스크 수준 결정
리스크 평가	판단과 측정을 재확인 리스크를 심각도 측면에서 순위 매기기 사소한 리스크를 선별하여 이에 대한 관심은 낮춤 보다 자세한 분석이 권장되는 리스크를 식별
리스크 조치	리스크 및 그 결과를 관리 또는 적응하기 위한 관련 옵션 식별 최적의 옵션을 선택하고, 이를 앞으로의 계획에 통합하고 구현
의소소통과 컨설팅	기후변화 전문 지식을 제공하거나 조직의 활동이 기후변화에 어떻게 영향을 받는지에 대한 이해 제공(기후변화에 대한 조직의 민감도 정보) 조치 요구사항에 따라 조치를 취하거나 제재 할 수 있는 권한을 가짐 프로세스에 참여하고 실행을 관리하는 데 필요한 인원 및 기타 자원을 확보하여 프로세스 자체가 원활하게 진행되도록 보장
모니터링과 검토	기후변화 시나리오 업데이트 또는 기후변화 영향에 대한 새로운 정보의 통합을 포함하여 분석 및 평가를 최신 상태로 유지 리스크를 줄이거나 더 자세한 분석을 수행하기 위한 조치활동을 수행하는 것을 포함하여 프로세스에서 진행되는 조치에 대한 진행상황을 검토 생산된 문서, 회의 개최, 계획 검토 등을 통해 프로세스 자체가 시기 적절하고 비용 효율적인 방식으로 구현되도록 함

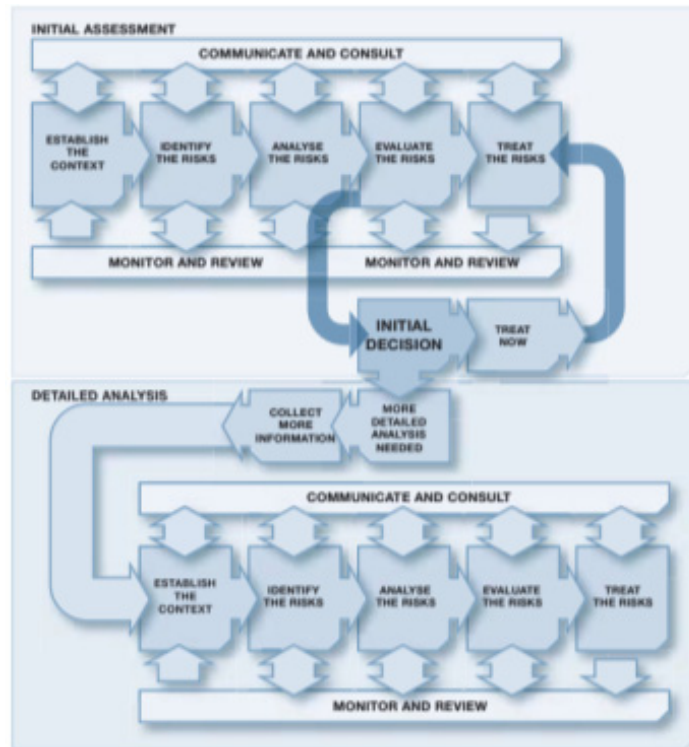
자료 : AGO (2006)

리스크 평가는 이용할 수 있는 기후변화 관련 정보를 바탕으로 하며, 가이드라인은 사용자가 참고할 수 있도록 CISRO 및 DECCW의 보고서와 같이 호주의 기후변화 관련 과학적 정보를 제공하는 자료를 부문별로 제공하고 있다.

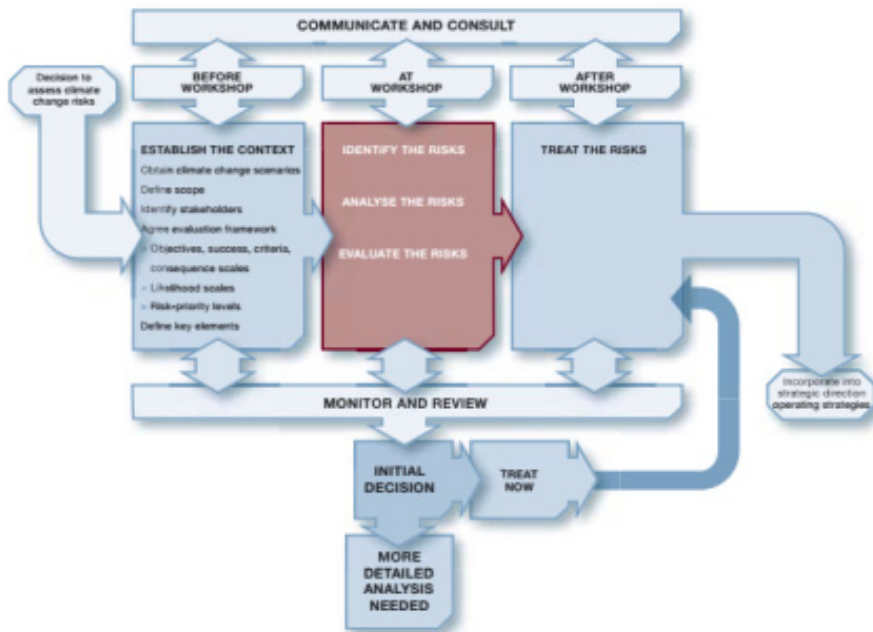
- CSIRO (2011)의 과학적 문헌을 통한 호주의 기후변화 영향 분석
 - 인간 활동이 기후에 미치는 영향, 이미 발생한 변화, 미래에 예측되는 변화, 미래의 변화를 줄이고 현재 불가피한 변화와 함께 살기 위한 방법 등에 대해 설명한 과학적 문헌을 엄격히 상호 검토(peer-reviewed)하여 작성한 보고서
 - 호주가 직면한 기후변화의 영향과 기회, 적응방안에 대하여 설명하고 있으며 이 중, 농업과 산림에 대한 영향과 취약성, 적응 방안이 포함되어 있음

- A Greenhouse Office (2006)의 기후변화 리스크 관리 프레임워크
 - 호주의 공공 및 민간 부문 조직의 리스크 관리 및 기타 전략 계획 활동에 기후변화 영향을 통합하기 위한 지침임
 - 이 지침은 리스크 관리를 위하여 공공 및 민간 부문에서 널리 사용되는 호주 및 뉴질랜드 위험 관리 표준(AS / NZS 4360 : 2004)과 일치함

- 호주 및 뉴질랜드 리스크 관리 표준(AS / NZS ISO 31000 : 2009)
 - 우선순위가 높은 문제부터 접근하기 위하여 이 지침은 사용자에게 리스크 평가에 대한 2단계 접근 방식을 권장함
 - 초기 평가를 통해 리스크를 신속하게 파악하고 선별한 후 명확하게 요구하는 리스크에 대한 조치계획 수립 및 구현
 - 상세 분석은 조치가 요구되는지 또는 어떤 형태의 조치를 채택해야 하는지를 결정하기 위해 추가 정보가 필요한 경우에 사용됨
 - 초기 평가단계는 대부분 사용자가 최소한의 노력으로 최대한의 이익을 창출 할 수 있도록 하는 단계로, 상대적으로 간단한 기후변화 정보와 직접적인 리스크 관리 접근법을 통해 중요한 통찰력이 창출되어 조기 및 효과적인 행동을 유도 할 수 있도록 함
 - 초기 평가를 수행하는 가장 효율적인 방법은 워크숍이라 할 수 있으며 이에 초기 평가 프로세스는 다음 세 가지 단계를 따라 진행됨
 - 워크숍 개최 전 : 평가 과정에서 사용되는 기후 변화 시나리오를 결정하고 평가의 범위와 이해관계자를 정의(평가 프레임워크 확립)
 - 리스크 워크숍 : 리스크를 식별, 분석, 평가하도록 설계된 집중적인 활동



(그림 1-17) 리스크 관리의 단계 (AGO, 2006)



(그림 1-18) 워크숍을 통한 초기 평가(AGO, 2006)

초기평가에서 리스크를 평가하기 위하여 사용되는 평가 프레임워크는 발생할 수 있는 리스크의 발생결과의 정도, 발생결과를 겪을 가능성의 정도, 이 영향과 가능성을 통해 우선순위를 매길 수단으로 구성되어 있다.

Rating	Recurrent risks	Single events
Almost certain	Could occur several times per year	More likely than not - Probability greater than 50%.
Likely	May arise about once per year	As likely as not - 50/50 chance.
Possible	May arise once in ten years	Less likely than not but still appreciable - Probability less than 50% but still quite high.
Unlikely	May arise once in ten years to 25 years	Unlikely but not negligible - Probability low but noticeably greater than zero.
Rare	Unlikely during the next 25 years	Negligible - Probability very small, close to zero.

(그림 1-19) 리스크 가능성 기준(AGO, 2006)

호주정부는 지방정부가 기후변화 리스크 평가와 적응계획을 수립·수행할 수 있도록 예산을 지원하였다.

- 지방정부 지원에 앞서, 해당 지역의 기후변화 특성을 파악하고 기후변화에 의한 영향 및 그에 따른 리스크에 대한 연구가 선행됨
- 1단계 : 해안지역 및 도시지역에 위치한 60개 지방정부를 대상으로 33개 정책 지원
- 2단계 : 1단계 성과를 보완하기 위하여 농촌지역에 위치한 30개 지방정부를 대상으로 7개 정책 지원(87.4만 AUD)

Likelihood	Consequences				
	Insignificant	Minor	Moderate	Major	Catastrophic
Almost certain	Medium	Medium	High	Extreme	Extreme
Likely	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely	Low	Low	Medium	Medium	Medium
Rare	Low	Low	Low	Low	Medium

(그림 1-20) 지방정부 단위에서의 결과의 정도 및 리스크 우선순위 기준(AGO, 2006)

No	Key element	Driver	Impacts (event)	Risk Priority Rating							SUM
				Claremont	Cottesloe	Peppermint Grove	Nedlands	Subiaco	Cambridge	Mosman Park	
1	Environmental water quality	All	Changes in groundwater levels, flood plains and increased peak flows leading to decline in water quality.	3	4	4	4	3	2	3	23
2	Biodiversity (introduced and native biodiversity; including bushland and landscaped gardens)	All	Shifts in distributions of plant and animal species.	4	3	3	4	3	2	3	22
3	Biodiversity (introduced and native biodiversity; including bushland and landscaped gardens)	All	Increases in ecological disturbances and reduced ecosystem resilience to stress.	4	3	3	4	2	2	3	21
4	Community/workplace health	Extreme events	Health impacts due to exposure to extreme weather, e.g. heatwaves, hail, flooding.	2	3	3	4	3	3	3	21
5	Vector management (Subiaco mosquitoes)	Increase in temperature and decrease in rainfall	Increase in geographical range and seasonality of vector-borne diseases and the possibility for an expansion of receptive zones.	2	4	4	4	2	2	3	21
6	Stormwater/drainage	Extreme events	More intense rainfall resulting in inflow and infiltration into wastewater networks.	2	3	3	4	3	3	2	20
7	Coastal and estuarine infrastructure	Sea level rise and extreme events	Increased erosion and/or exceedance of seawalls, jetties and other coastal defences.	2	3	3	4	3	3	2	20

(그림 1-21) 지역별 기후변화 리스크 평가 예시 : WESROC 지역

자료 : WESROC (Western Suburbs Regional Organisation of Council, 2010)

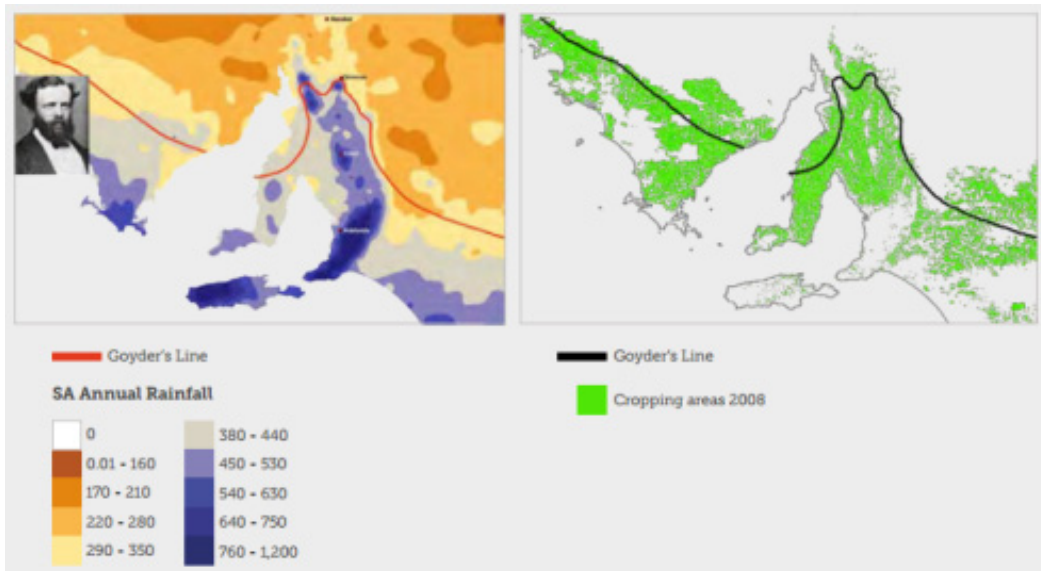
② 기후변화 영향·취약성 대응 정책

호주는 환경 및 에너지부(Department of Environment and Energy) 총괄로 국가 기후변화 적응 프레임워크(National Climate Change Adaptation Framework, NAF)를 수립하고 있다. NAF는 2007년 채택되었으며, 국가적 차원에서 기후변화 적응을 위한 아젠다가 명시되어 있다. 세부 실행계획의 경우, 해당 부처 및 담당 기관에서 별도의 관련 계획을 수립하여 추진중에 있다. 국가 기후변화 적응 프레임워크 하에 2015년에 호주 정부는 국가 기후 탄력성 및 적응 전략을 발표하였으며, 이 때, 국가의 기후변화 주요 리스크는 IPCC 및 CSIRO의 연구결과를 바탕으로 도출하였다.

○ 호주의 기후변화 주요 리스크

- 이 전략은 호주가 지역 사회, 경제 및 환경의 이익을 위해 기후 리스크를 관리하는 방법을 제시

- 효과적인 적응대책 실행과 탄력성 구축을 위한 일련의 원칙을 제시하고 미래에 대한 정부의 비전을 설명
- 기후변화에 대한 효과적인 대응은 지역적 특성과 상황에 따라 다르므로 호주 정부는 민간과 지방정부의 자체적 조치·정책과 리스크 관리 계획 등을 훼손하지 않도록 노력함
- 이를 위해 이 전략은 호주 및 아시아·태평양 지역뿐만 아니라 호주 공동체내 공공 및 민간 조직의 적응 행동을 강조함
- 적응대책에 포함된 농업·임업·수산업 부문의 과제는 다음과 같음
 - 농업인의 탄력성을 위한 농업 경쟁력 백서(Agricultural Competitiveness White Paper)
 - 국가 가뭄 프로그램(National Drought Program) 개혁에 관한 정부 간 합의
 - 정확한 여러 주(multi-week) 및 계절 예측 개발(기상청)
 - 기후 탄력성을 가진 농업 관리를 위한 CSIRO의 연구



(그림 1-21) 호주 북부의 연 강수량(좌)과 재배지역(우)을 강한 상관관계

자료 : Climate Council(2016); Uday Nidumolu

호주는 국가 기후변화 적응 프레임워크를 바탕으로 국가 농업 및 기후변화 실행계획(National Agriculture and Climate Change Action)이 수립되고 다양한 농업·임업 분야의 정책들이 시행되고 있다. 지역발전 프로그램을 연계하여 국가 농업 및 기후변화 실행계획을 수립함으로써 농업시스템의 복원력 강화, 자연자원 관리 능력배양, 병해충의 악영향 감소 등의 전략을 제시하며, 개별 농가 수준에서도 기후 예측시스템, 인공위성영상 등의 첨단정보를 활용하여 기후변화에 대응하고 있다. 또한 Farming Future initiative의 일환으로 CCRP는 기후변화로 인한 농업생산성 문제에 대처하기 위하여 2008년부터 2012년까지 이루어져 있다. 이를 통하여 46.2백만 달러가 투자되어 50개 이상의 연구가 이루어졌으며, 이들 연구는 주로 온실가스 배출을 줄이기 위한 기술 개발과 농장의 실천전략 및 토양 관리 등의 내용이다.

(라) 일본 기후변화 영향·취약성 평가

① 기후변화 대책 추진 개요

기후변화의 완화 및 적응을 위하여 일본은 기후변화 영향평가를 위한 글로벌 환경연구프로젝트인 S-4 프로젝트와 S-8 프로젝트를 진행 중에 있다. S-4 프로젝트는 기후변화 영향에 대한 정보 구축 및 전반적 이해를 높여 지구온난화 메커니즘을 규명하는 것이 목표이다. S-8 프로젝트는 일본 전역에 대한 기후변화 영향평가와 함께 지방정부 및 아시아·태평양 지역의 개발도상국에 대한 적응전략 발전을 목표로 하고 있다. 2010년부터 시작된 S-8 프로젝트를 통하여 영향과 적응, 완화 사이의 상관성을 고려한 종합적 정책 평가 지원 연구를 수행하고 있다. 일본 전역에 발생 가능한 기후변화 영향의 분야간 상호 복합적인 피해를 전망하고 완화 및 적응 고려한 종합적 정책 수립을 지원하고 있다.

<표 1-22> S-4과 S-8 프로젝트의 비교

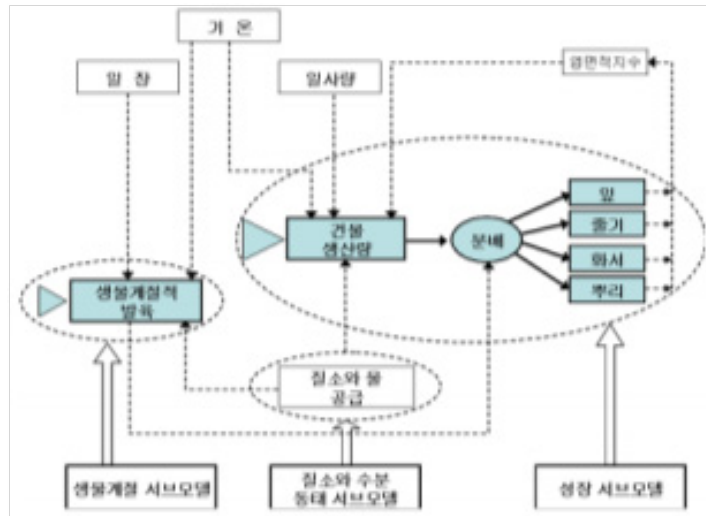
구 분	S-4	S-8
목표지역	일본을 포함한 아시아 지역	일본(국가 및 지역)을 포함한 아시아·태평양 지역
목표부문	수자원 산림, 농업, 해안, 인간, 보건	수자원 산림, 농업, 해안, 인간, 보건
연구기간	1차 : 2005 ~ 2007 2차 : 2008 ~ 2009	1차 : 2010 ~ 2012 2차 : 2013 ~ 2014
공통점	일본 전역에 관한 취약성평가 및 영향평가 실시	
차이점	S-8에서는 일본 지방정보 및 아시아·태평양 지역의 기후변화 적응 전략에 관한 계획 발전 도모	

자료 : 전성우 외(2010)

일본 농림수산성은 농업환경기술연구소가 수행한 온난화 영향 시뮬레이션(100년에 4~5℃ 상승 가정, CERES-Rice(수도 생육·수량 예측 모델) 활용)을 통한 작목별 영향분석 결과를 활용하고 있다. 기온 및 강수량 등 기후요소 변화에 따른 작물생산 예측의 정량적 평가를 위하여 분산된 과학적 기술을 통합·지원하는 통합 평가모형(Integrated Assessment Model, IAM)이 활용되고 있으며, 장기간에 걸쳐 시간을 고려한 동학적 모형이 주를 이루고 있다. 대표적인 기후-작물 통합모형으로 CERES 모형과 최적화 모형이 있다.

- CERES-Rice 모형은 기상, 토양, 품종특성 모수 및 재배관련정보를 이용하여 기후변화에 따른 작물생산의 중장기 예측모형으로 2030~2100년의 쌀 생산량 예측에 널리 활용되고 있음
- 이 모형은 크게 벼의 발육단계를 예측하는 생물계절 모형(phenology-sub model), 벼의

건물 생산 및 식물체 각 기관으로의 분배를 모의하는 성장부문 모형, 질소 공급을 다루는 질소-수분의 동태적 부문모형 등으로 나누어짐



(그림 1-22) CERES-Rice 모형의 개념도

자료 : 박정규 외(2003)

		2010	1°C 2030	2050	3°C 2070	4°C 2090
수도	일본 지역의 고온장해 발생			CO ₂ 증가로 15% 증수 통목 이상 0~10% 감수 이식일 최적화 5~25% 증수 CO ₂ 증가로 병입률 증가	CO ₂ 증가로 13% 증수 통목 이상 8~15% 감수 복해로 13% 증수	
대두				CO ₂ 증가로 28% 증수	고온으로 6~10% 감수 CO ₂ 증가와 고온 수확(98~116%)	
사과					복해로 적지화 추산지의 일부 변경	
쌀			일부해 연인지역 적지화	전통 경하지역 적지화	남동부 연인지역 적지화 추산지의 일부 변경	
축산			생산량 저하가 서일본에서 점차 확대	15% 이상 저하되는 지역이 1할	동북 이상 생산량 저하	북서 생산량 1.5배 증가 미동해 부가는 북서지역 지역 1.5배 증가

(그림 1-23) 일본의 기온상승에 따른 농축산부문 영향

자료 : 일본 농림수산성(2008)

② 기후변화 영향·취약성 대응 정책

일본은 1998년 온실가스의 배출량을 삭감하기 위하여 중앙정부, 지방자치단체, 기업 등의 책임과 시책을 정한 「지구온난화 대책 추진법」을 제정하고 내각에 지구온난화 대책 추진본부를 설립하였다. 이 법은 2008년 개정되었으며, 온실가스 산정·보고·공표 제도 재검토, 탄소가스 배출

억제에 대한 지침 제공 및 대책 추진, 지구온난화 방지활동 추진 관련 검토 등에 대한 내용을 담고 있다. 2008년 일본 환경성은 기후변화 적응에 대한 연구 성과들을 종합하여 “기후변화에 대한 현명한 적응”이라는 기후변화 적응보고서를 발표하였다. 현명한 기후변화 적응이라는 정책기조에 따라 기후변화 완화 및 적응을 위해 지구환경연구프로젝트를 통해 기후변화 영향 평가와 기후변화 적응정책을 수립, 시행하고 있다.

일본 농림수산성의 경우, 기후변화에 대한 대응전략으로써 식량공급 대책과 물 관련 대책에 중심을 두고 있다. 생태계 부문의 경우, 동식물의 서식지 보전 및 증대, 토지 및 물 관리, 자연보호구 설계 및 관리·운영과 관련한 적응대책들이 포함되어 있다. 농업분야의 지구온난화 적응 대책은 기후변화 적응과 관련된 주요 품목별 전국단위 조사 및 연구기관의 기술개발 결과를 바탕으로 현재의 적응대책 및 향후의 대응대책을 “품목별 적응대책 보고서·일정표” 형식으로 제시하였다. 2007년 발간된 품목별 지구온난화 대응대책 보고서의 경우, 농업생산 현장에서 활용될 수 있는 적응수단과 단기·중장기 연구개발 과제를 제시하였다.

국가산림자원데이터베이스(NFRDB)를 구축하여 모든 산림정보가 수집하여 연구수행 및 산림계획, 산림 평가에 활용하고 있다. 국가산림자원데이터베이스의 목표는 기후변화협약 및 교토의정서 대응 통계자료를 구축하고 산림정보의 수집하여 이를 산림 계획 및 산림의 다기능 평가 등에 활용하는 것이다. 또한 교토의정서 상에서 요구하는 온실가스 통계(면적, 생산량, 확장계수, 용적밀도 등 흡수량 산정)와 1990년 이후 이루어진 사업의 이력, 보조사업 등 산림경영 관련 정보, 불확실성 평가를 위한 데이터 등에 대한 필요성을 인지함에 따라 국가산림자원데이터베이스 구축연구 역시 수행하고 있다.

<표 1-23> 일본의 생태계 부문 적응 전략

구분	대응전략
동·식물의 서식지 보전 및 증식	자연보호구·보전구역을 연결하는 통로·동식물의 확산·이동로 확보 지연이식의 도입 및 저항성 품종으로의 전환 멸종위기종과 민감종의 서식지역 확대 인공사육에 의한 번식과 서식지 재생에 의한 특정종 보호 및 종 생태와 행동에 관한 기초 연구 추진 철새의 기착지·번식지 보호·보전
토지 및 물관리	생태계·생물다양성 손실과 지속 불가능한 이용을 가져오는 대책 배제 폭넓은 토지·물 관리 프로그램 입안, 토질·수질 악화 억제 산림관리 침입종의 배제와 구제 병충해, 침입종 등 악영향 검출을 위한 지역주민의 감시 모니터링 철저한 배수대책 및 불경기 파종기술 도입
자연보호구 설계, 관리 및 운영	위도·고도에 따른 환경조건 변화를 고려한 자연식생 유지 및 보호구 주위 완충지대 설치 재래종 개체군 및 개체군간의 유전자다양성 보전

자료 : 한국과학기술한림원(2010)

<표 1-24> 품목별 기후변화 영향 및 적응대책 예시(일본, 농림수산성)

품목	기후	영향	적응대책		
벼	고온장해	백미숙립	고온내성 품종 육성 이앙기 연기, 적절한 낱알수 억제·유도, 재배밀도 조정 시비관리 개선		
		동할립			
		고온불임			
	병해충	방귀벌레류	성페로몬트랩에 의한 발생 예측		
사과	착색기 고온	착색발량(과육연 화, 저장성 저하)	쓰가루, 후지 등에서 착색 우량 계통 선택		
복숭아	성숙기 고온	밀증상· 과육갈변병	조색품종으로의 전환 적정착과나 적정수확 염수 토양, 지초 관리		
포도	착색기 고온	착색불량	ABA (Abscisic Acid) 처리와 환장박피 처리기술		
감귤류	여름 고온	착색불량 및 부피과	반사 멀칭 자재에 의한 수광 개선 기술 방장착과 등에 의한 큰 열매 억제 부피과 발생하기 어려운 품종 육성 식물조절제에 의한 부피과 경감기술		
				생리적 낙과	지베렐린처리에 의한 생리낙과 억제 기술
				감귤그린병	LAMP법을 이용한 신속진단법
두류	여름·가을 고온	가뭄피해	지하수위 조절시스템 개발		

자료 : 일본 농림수산성(2008); 농촌경제연구원(2009), 재인용



(그림 1-24) 일본 국가삼림자원 DB 체계

자료 : 한국과학기술한림원(2010); 강원발전연구원(2009)을 재인용

나. 기후변화가 농업·농촌·산림에 미치는 영향 분석

(1) 농업·농촌 분야 기후변화 영향·취약성

(가) 농업·농촌 분야 피해 분야 분석

농업·농촌 분야의 기후변화 피해유형은 한파, 대설, 가뭄, 집중호우 등 이상기상에 의한 작물과 농업시설 및 농촌지역 주민에게 영향을 미치고 있다.

- (한파) 평년대비 기온 하강에 따른 노지과수 동해 피해
- (대설) 평년대비 일부지역 집중폭설에 의한 비닐하우스 등 농업시설 피해
 - 847.5ha(비닐하우스 214.7 인삼밭 569.4 과수 44.7 축산 2.1, 농작물시설 16.6), 2013
- (가뭄) 평년대비 장마전선의 이상거동에 따른 농업가뭄지역 발생
 - 강수량(13년/평년, mm) : 제주 26/356, 고산 10/272, 서귀포 21/453, 성산 19/464
- (집중호우) 일부지역에서만 집중호우가 발생하여 농작물 침수 및 농경지 유실·매물, 농업시설 파손, 가축 폐사 등의 피해 발생
 - 농작물 침수 2,192ha, 농경지 유실·매물 574ha, 수리시설 161개소, 비닐하우스 6.7ha, 인삼재배시설 3.8ha, 가축 128,549마리 폐사 등, 2013

<표 1-25> 2016년 농업·농촌 분야 폭염 및 가뭄 피해

작물	피해면적 (ha)	피해수준별 (ha)		
		30% 미만	30~50% 미만	50% 이상
소계	16,599.7	8,164.7	4,950.9	3,484.1
벼	6525.9	1552.0	2848.4	2125.5
밭작물	3416.0	1407.4	950.0	1058.6
채소	1188.7	956.7	199.2	32.8
과수	3352.9	2701.0	503.5	148.4
특작	2036.6	1491.9	433.2	111.5
기타	71.0	49.2	14.4	7.4

자료 : 관계부처합동(2016)

<표 1-26> 2016년 농업·농촌 분야 호우 피해

구분	피해면적 (ha)	피해수준별 (ha)		
		30% 미만	30~50% 미만	50% 이상
계	271.7	129.2	30.7	111.8
벼	10.1	7.3	1.0	1.8
전작	24.8	15.6	5.6	3.6
채소	72.6	22.1	4.0	46.5
과수	4.1	2.5	1.0	0.6
특작	157.8	79.8	18.7	59.3
기타	2.3	1.9	0.4	-

자료 : 관계부처합동(2016)

농업·농촌 분야에서 기후변화 피해유형은 강우, 폭설, 태풍 등 이상 현상뿐만 아니라 저온, 고온, 강풍의 이상변화에도 많은 피해를 야기한다.

- (저온) 과수 개화기간에 저온현상으로 배와 사과 등 과수 꽃눈의 저온 피해 및 이상 저온과 늦서리로 인한 보성녹차 잎의 탈색 등 피해
- (고온) 과수 개화기간에 고온현상으로 과수의 조기개화 현상
 - 3월 기온이 평년(5.9℃)보다 1.8℃상승('73년 이후 최고)하여 개화시기가 사과 5~7일, 배·복숭아 7~15일 빨라짐

<표 1-27> 2014년도 농업·농촌 분야 이상저온 피해

구분	피해면적 (ha)	피해수준별 (ha)		
		30% 미만	30~50% 미만	50% 이상
총계	3,571	1,397	844	1,330
소계	3,498	1,381	807	1,310
배	2,704	898	695	1,111
복숭아	75	29	13	33
사과	657	438	83	136
포도	14	6	0	8
자두	28	3	14	11
매실	16	5	0	11
기타	4	1	2	1

자료 : 관계부처합동(2014)

<표 1-28> 2016년 농업·농촌 분야 강풍 피해

구분	계	농작물 (ha)					농업·축산 시설물 (ha)					
		소계	과수	채소	특작	기타	소계	하우스	인삼	과수	버섯	기타
계	966.3	353	63.5	149.3	126.4	8.7	613.3	165.6	419	9.58	0.4	18.63
대전	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.1	-	-	-	-
경기	33.3	7.8	-	-	-	7.8	25.5	10.5	14.0	0.6	-	0.4
강원	366.8	129.9	9.5	72.5	46.5	0.1	236.9	48.6	183.4	4.4	0.05	0.4
충북	103.4	21.0	0.6	11.3	9.1	-	82.4	15.9	65.0	1.3	0.02	0.1
충남	59.5	26.2	-	26.2	-	-	33.3	5.4	25.2	1.3	0.03	1.4
전북	26.7	-	-	-	-	-	26.7	1.0	25.0	0.7	-	0.03
전남	35.0	35.0	35.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
경북	287.3	119.8	18.4	26.0	70.8	0.8	167.5	46.6	106.0	0.08	0.3	14.5
경남	54.2	13.3	-	13.3	-	-	40.9	37.5	0.4	1.2	-	1.8

자료 : 관계부처합동(2016)

기후변화 영향으로 인한 농업·농촌 분야 피해는 7개 이상기후 현상과 13개 분야의 피해가 반복적으로 발생하고 있다.

- 폭염, 가뭄, 태풍(강풍 및 호우), 집중호우, 폭설, 한파 및 이상저온, 우박 등의 이상기후 현상이 원인
- 농작물 고사, 침수, 동해, 파괴, 과실 일소, 과수 낙과, 착과 불량, 파괴, 가축 폐사, 축사 파괴 및 침수, 농업 시설물 파손, 농경지 유실 및 매몰, 수리시설 파손 등 피해 발생

(나) 농업·농촌 분야 기후변화 실태조사 세부계획

농업·농촌 분야 기후변화 영향·취약성 평가는 ① 기상·기후의 이상 변화, ② 재배적지·생산성 변화, ③ 돌발 및 외래병해충·잡초 이상발생 및 피해, ④ 농업생태계의 생물다양성 및 생물계절 변화, ⑤ 기타 로 구분하여 기후변화 실태조사 세부계획을 수립하였다.

① 기상·기후의 이상변화

㉞ 농업기상 장기모니터링에 따른 기후변화량 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 농업에 미치는 기상·기후의 이상변화에 대한 영향평가를 위해서는 다양한 농업생태계에서 장기적인 미기상 관측이 요구됨
- 농업생태계의 미기상 감시 및 이들 정보의 분석·활용 연구 필요
- 농업기상재해 최소화를 위해서는 상세한 기후예측정보 생산과 더불어 농업생태계를 대상으로 기후추정 모델링 연구가 선행되어야 함
- 기후변화량의 시·공간적 추정 모델링 연구가 필요

○ 과제의 개요

- 농업생태계의 장기적인 기상 감시 및 기후변화량 영향평가
- 농업기후 : 온도, 강수량, 일조시간 등
- 영향평가 방법 : 기준 값에 대한 당해연도의 변화량
- 기준값 : 30년 평균, 10년 평균
- 농업생태계의 기후 변화량의 시·공간 정보생산 연구
- 농업기후 정보 생산 및 변화량 분석 모듈 생산
- 공간해상도 및 범위 : 30~270m의 격자해상도, 전국 범위
- 웹-GIS 기반의 농업기후 변화량 분석 정보열람 체계 구축

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 농업생태계의 기상 감시 및 기후변화량에 따른 영향평가
 - 농업생태계의 물질플럭스 관측 및 계절 분석
 - 물질플럭스 : 에너지(현열, 잠열, 복사), CO₂, H₂O 등

- 분석 : 생태계순교환량(NEE), 생태계호흡량(Re), 총일차생산량(GPP) 등
- 농업생태계의 기상 감시 및 기후 실태조사
- 농업기상관측 및 연계지점 확대 : ('16) 190 → ('17) 200
- 조사항목 : 기온, 강수량, 일조시간, 풍속 등 9개 요소
- 농업생태계의 기후 변화량에 따른 영향평가
 - 영향평가 방법 : 기준 (30년 혹은 10년 평균)에 대한 해당연도의 변화량
- 농업생태계 기후 변화량의 시·공간 정보생산 연구
 - 농업기후정보 생산 및 변화량 분석 모듈 개발
 - 공간 해상도 및 범위 : 30~270m 격자 해상도, 전국(시군구)
 - 시간 해상도 및 범위 : 1년(365일), 최근 10년, 최근 30년
 - 웹-GIS 기반의 기후 변화량 분석 정보 열람 체계 구축
 - 표출 형태 : 지도, 표, 시계열, 그래프
 - 표출 자료 : 이상기상 자료, 이상기상 변화량 분석 자료

㉔ 주요작물의 기후생산력지수 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 현재 적산온도, 무상기간, 작물 재배기간 등 기후학적 지표를 이용하여 농업분야의 기후 변화 영향을 평가하고 있음
- 작물 생육이나 생산성과 연관되지 않는 기후지표로 농업분야의 기후변화 영향을 평가하기에는 다소 미흡함
- 작물의 생산성 특성을 고려한 기후생산력지수의 개발과 이를 이용한 기후변화 영향 평가가 필요함

○ 과제의 개요

- 주요 작물의 기후생산력지수 개발
 - 대상작물 : 벼 등
 - 기상요소 : 기온, 강수량, 습도, 일조시간, 일사량, 풍속 등
 - 분석내용 : 기상 요소와 작물 요소간의 상관성 분석
- 주요 작물의 기후생산력지수를 이용한 작물별 기후변화 영향 평가
 - 주요 작물별 표준 기후생산력지수값 도출
 - 년(30년 평균) 혹은 최근 10년 평균 자료의 대표 값
- 작물별 표준 기후생산력 지수값과 해당연도의 기후생산력지수와 비교를 통한 영향평가
 - 기후 조건(3) : 과거기후, 현재기후, 미래기후

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 기후요소와 작물 생육관련 요소와의 상관성 도출
 - 대상작물 : 벼 등

- 기상요소 : 기온, 강수량, 습도, 일조시간, 일사량, 풍속 등
- 농과원, 기상청, 식량원 AWS 관측 자료 활용
- 작물 생육요소 : 생물계절(출수기, 등숙기 등), 생산량 등
- 통계청 국가통계자료, 농촌진흥기관 생육조사 자료 활용 등
- 분석방법 : 상관분석, (다중)회귀분석 등 통계적 방법 활용
- 주요 작물의 기후생산력지수 개발 및 검증
 - 기후생산력지수 개발 : 기후요소와 작물 생육 요소간 최적변수 선정
 - 기후요소와 작물요소의 최적 변수간 관계식 도출
 - 교차검증을 통한 기후생산력지수의 신뢰성 확보
- 주요 작물의 기후생산력지수를 이용한 작물별 기후변화 영향평가
 - 표준 기후생산력지수값 설정 : 작물별 농업기후지표의 평년 혹은 최근 30년 자료의 대표 값 이용
- 기후조건(과거 기후, 현재 기후, 미래 기후)에 따른 작물별 기후생산력지수의 변화량 분석

㉔ 이상기상 발생 실태 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 농업에 미치는 기상·기후의 이상변화에 대한 영향평가를 위해서는 다양한 농업생태계에서 장기적인 기상관측이 요구됨
 - 농업생태계의 기상 감시 및 이들 정보의 분석·활용을 통한 영향 및 취약성 평가 필요
- 최근 기후변화에 따른 고온, 저온, 일조부족 등 국지적 이상기상의 빈발로 농업·농촌의 기상재해 피해가 커지고 있음
 - 이상기상의 시·공간적 추정 모델링 연구가 필요

○ 과제의 개요

- 농업생태계 내 이상기상 변화량의 시·공간 정보 생산 연구
 - 이상기상 정보 생산 및 변화량 분석 모듈 개발
 - 공간해상도 및 범위 : 30~270m의 격자해상도, 전국 범위(시군구)
 - 웹-GIS 기반의 이상기상 변화량 분석 및 정보열람 체계 구축
 - 표출 형태 : 지도, 표, 시계열, 그래프
- 농업생태계의 이상기상 변화량에 따른 영향평가
 - 이상기상 : 고온, 저온, 다조, 과조, 호우, 강풍 등
 - 영향평가 방법 : 기준 값에 대한 당해 연도의 변화량, 기준값 : 30년 평균, 10년 평균

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 농업생태계 내 이상기상 변화량의 시·공간 정보 생산 연구
 - 이상기상 정보 생산 및 변화량 분석 모듈 개발
 - 웹-GIS 기반의 이상기상 변화량 분석 및 정보열람 체계 구축
- 농업생태계의 이상기상 변화량에 따른 영향평가

- 이상기상 : 고온, 저온, 다조, 과조, 호우, 강풍 등
- 영향평가 방법 : 기준 값에 대한 해당연도의 변화량

② 식량작물의 재배 적지 및 생산성 변화 분야

㉔ 식량작물의 재배적지 한계이동선 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 벼의 경우 고지대와 북부지방으로 재배가능 지역이 확대될 것으로 추정되며, 맥류의 경우 맥종별로 재배가능 지역이 북상할 것으로 전망
- 기후변화에 따라 주요 식량작물의 생산성뿐만 아니라 적지의 변동을 감안한 작목의 재배치를 통한 식량작물 생산·수급 대응이 필요

○ 과제의 개요

- (벼) 기상자료 활용 벼의 재배가능 지역 확대 또는 기간 평가
 - 벼 안전출수 한계온도(출수 후 적산 800℃) 발생날짜의 공간적 변화, 안전출수 한계 온도는 벼가 정상 등숙을 할 수 있는 온도를 의미함
 - 조생 또는 만생종을 기준으로 한 안전출수 날짜를 만족시키는 이앙기의 온도를 통한 재배가능 지역의 시간·공간적 변화 평가
- (맥류) 동계온도 변화에 따른 맥종별 재배가능 지역 변화 평가
 - 1월 평균온도 또는 최저온도에 따른 맥종별 재배가능 지역 평가, 맥종별 내한성이 차이에 따른 재배적지 변동 평가 방법임

○ 그 간의 추진현황

- 벼의 극한기 실험을 통해 벼의 안전출수 한계온도 재결정(2014, 식량원)
 - 기존 안전출수 한계 온도인 출수 후 적산 760℃를 800℃로 재결정
 - 안전출수 800℃를 만족시키는 지역별 안전출수 날짜 결정
- 1월 평균온도에 따른 보리의 종류별 재배한계선 결정(2015, 전남대)
 - 1981~2010년 평년 값에 근거한 1월 평균 온도 등고선 제시
 - 기후변화에 따른 1월 평균온도 등고선 제시로 재배한계 변화선 제시

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 기상학적 재배적지 변동을 관찰하기 위한 기상자료 수집('16~'20)
 - 기상청 78개 종관 기상관측 지점의 온도 자료 수집
- 벼 및 맥류에 대한 재배적지 변동 수치지도 작성('20)
 - 각 지점별 수집 온도자료를 활용한 벼, 맥류 재배적지 변동 결정
 - 지점별로 결정된 자료를 내삽하여 수치 지도형 자료로 변환

㉕ 식량작물의 적응·비적응 생산량 변화율 실태 조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 벼는 우리나라의 주요 식량작물로서 기후변화에 따른 벼의 적응여부는 국가 식량안보를 결정하는 중요한 문제임

○ 과제의 개요

- 주요 지점에 대한 벼의 수량과 품질 변동 모니터링
 - 1980~1990년대 육성품종과 최근 육성품종의 포장재배 비교 평가
 - 수량성 변동 뿐 만 아니라 경제적 측면에서 품질 변동 모니터링, 과거 재배품종의 생산성 변화율을 통해 기후변화 영향 실태조사를 추진하고, 이에 대응한 최근 육성 품종의 생산성 변동의 차이를 품종을 통한 적응 정도를 산출
 - 철원, 화성, 안동, 나주에서 적응 2품종, 비적응 2품종 재배시험

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 모니터링 과제 수행을 통한 수량 및 품질 장기 관찰('16~'20)
 - 지역별 과거 품종(기준품종)과 현재 품종(적응품종)간의 수량 및 품질 차이 관찰
 - '21년 5년간의 실태조사 및 변동 내용에 따른 영향평가 추진
- 식량작물의 적응·비적응 생산량 변화율 실태조사 및 영향평가
 - 대상 : 벼, 밭작물(신품종, 기존품종), 기준값(10년 수량, '06~'15), 적응·비적응 생산량 영향평가는 신품종 및 고정품종의 차이로 평가
 - 적응·비적응 생산량 실태조사 및 영향·취약성평가 추진

㉔ 식량작물의 저온요구도 실태조사 및 영향·취약성 평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화에 따른 온도 상승으로 맥류의 재배면적 확대를 기대할 수 있으나 과성이 강한 맥류의 경우는 온도 춘화일수 미확보로 이삭이 생기지 않는 좌지현상이 발생할 수 있음, 과성 : 맥류는 생육초기 일정기간의 저온환경이 필요로 하는 정도, 좌지현상 : 유효 춘화 일수를 만족시키지 못하여 이삭이 생기지 못하는 현상
- 과성이 약한 맥류의 경우는 온도상승으로 일찍 유수가 분화될 수 있어 봄철 저온으로 동사하는 취약성이 발생
- 따라서, 춘화가능 시점과 일수에 대한 변동사항을 모니터링하여 이에 대응한 맥종으로의 전환 또는 춘파로 재배형태를 변경하는 정책이 필요

○ 과제의 개요

- 기상자료를 활용한 춘화일수 변동 모니터링
 - 기상자료 : 기상청 종관 기상자료(평균, 최저, 최고)
 - 최적 춘화온도 일수 : 11~12월 사이 최적 춘화온도 0~7℃ 발생일수
 - 유효 춘화일수 : 11~12월 사이 유효 춘화일수, 유효 춘화개시 시일과 종료일, 월동 전 춘화처리가 완료되어야 한다고 가정
- 각 지점별 최적 춘화일수 및 유효 춘화일수 수치지도 생성

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 기상자료를 이용한 맥류(보리, 밀)에 대한 유효 춘화일수 평가

- 맥종별 유효 춘화일수 변화에 따른 재배 안정성 평가, 유효 춘화일수를 만족시키지 못하면 이삭이 생기지 못하는 좌지현상이 발생하여 수확이 불가능해짐
- 맥류(보리, 밀)의 저온요구도 영향·취약성 평가
 - 기준범위(시, 군 단위), 기준년도(10년 기상자료, '06~'15)
 - 각 지점별 최적 춘화일수 및 유효 춘화일수 수치지도 생성

㉔ 벼 신품종 재배 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화에 따라 재배지역과 재배가능 품종이 변화되기 때문에 신품종 재배 실태조사를 통해 간접적으로 기후변화 영향평가 가능
- 과거 품종이 최신 품종으로 갱신되는 비율과 속도를 통해 농가 단위에서의 기후변화 적응 정도를 일정부분 추정할 수 있음
- 농촌지원국 품종별 재배면적 조사 자료에 대한 법적 근거 확보

○ 과제의 개요

- 벼의 품종 재배 면적 자료를 활용한 신품종의 면적비율 변동 조사
 - 농촌지원국에 매년 조사되는 시·군별 품종 면적비율 결과 활용, 신품종일수록 기후 변화에 적응된 품종일 수 있어 품종 변동을 통해 기후변화에 대한 영향과 적응을 간접적으로 평가할 수 있음
 - 2015년 현재 재배 중인 품종 대비 신품종 재배 면적비율 변화

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 기후변화 대응 벼 신품종 재배면적 실태조사 : 시군구, 1년주기
 - 기준 값(2015년 재배면적), 영향평가(신품종 면적/기존품종 재배면적)
- 현재 농촌지원국에서 시행하고 있는 재배면적 조사자료 활용

㉕ 이상기상에 따른 식량작물 피해량 실태조사 및 영향·취약성 평가

○ 배경 및 필요성

- 정부에서는 매년 관계부처 협동으로 2010년부터 이상기후 보고서를 작성하여 각 분야 별로 취약성을 평가하고, 이를 극복하기 위한 기초 자료로 활용
- 기후변화 영향평가는 장기간 발생하는 기후학적 추세에 따른 것이나 기후변화의 단기적 변동사항인 이상기상에 따른 식량작물의 영향을 평가하는 것이 경제적 측면에서 중요함

○ 과제의 개요

- (벼) 각종 재해(조·풍해, 침·관수해)에 따른 피해량 실태조사 및 평가
 - 재해보험손해 평가자료 피해 면적과 피해량 수집
 - 농림부 피해조사 면적 통계 및 식량원 자체 피해조사 자료 수집
 - 지역별 피해빈도와 피해정도를 통한 취약성 평가지표 개발

- (밭작물) 고구마, 옥수수, 봄감자, 가을감자, 콩 피해량 실태조사
 - 재해보험손해 평가자료 피해 면적과 피해량 수집
 - 농림부 피해조사 통계 및 지원국, 식량원 자체 피해조사 자료 수집
 - 지역별 작물의 피해빈도 및 정도를 통한 취약성 평가지표 개발

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 이상기상에 따른 벼, 밭작물 피해량 실태조사
 - 대상 : 논작물(벼, 맥류), 밭작물(고구마, 옥수수, 감자, 콩 등)
 - 영향평가(피해량 분석 값/생육 기준치), 영향의 대응능력 평가
- 이상기상에 따른 작목별 피해면적과 피해량 영향·취약성평가
 - 재해보험손해 평가 자료로부터 피해면적 및 피해량 영향평가
 - 벼·밭작물에 대한 피해 면적 및 피해량 현장 조사자료 활용

③ 원예·특용작물의 재배 적지 및 생산성 변화 분야

㉔ 원예·특용작물의 재배적지 한계 이동선 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 지구온난화로 인한 환경 변화는 원예·특용작물의 재배적지 변동을 초래하고 있어 지속 가능한 농업을 위해 실태 파악 및 영향평가가 필요
- 원예·특용작물의 재배적지 변동 예측기술은 기후변화에 선제적으로 대응할 수 있는 농업정책의 기반자료로 이용됨
 - 현장 수요에 부응한 맞춤형 기후변화 대응 정책수립 가능

○ 과제의 개요

- 원예·특용작물의 재배적지 요인 적용 재배지 변동 영향평가(2016~2020)
 - 기후변화 시나리오 적용 원예·특용작물의 재배적지 예측지도 개선
- 원예·특용작물의 재배적지 이동선 실태조사 및 영향평가(2020)
 - 기후변화에 취약한 원예·특용작물의 재배지 변동 실태조사

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 원예·특용작물의 재배적지 요인 적용 재배지 변동 영향평가(2016~2020)
 - 대상작물 : 주요 원예·특용작물
 - 조사항목 : 작목별 생산성, 품질, 생육단계, 생리장해 발생을 등
 - 조사방법 : 기후변화 시나리오 적용 원예·특용작물의 재배적지 지도 개선
- 원예·특용작물의 재배적지 이동선 실태조사 및 영향평가(2020)
 - 조사지역 : 전국 단위
 - 대상작물 : 주요 원예·특용작물 중 고온에 취약한 작목
 - 조사항목 : 지역별 작물 재배농가 증감수, 재배면적, 기상자료 등

㉔ 원예작물의 적응·비적응 생산량 변화율 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화로 인한 재배환경 변화는 농작물 생산성을 위협
 - 지속가능한 농업발전 정책 수립과 더불어 기후변화에 따른 농작물의 생산성 변화에 대한 영향평가가 중요
 - 채소의 총 생산액은 약 9조 6천억 원으로(2014년 농림축산식품부 주요통계) 산업적으로 규모가 큰 편임, 배추는 지난 수년간 기후변화에 따른 이상기상 발생으로 생산성에 큰 영향을 받았으며, 이에 대한 지속적인 실태조사가 시급한 실정임
- 기후변화로 인한 재배환경 변화는 농작물 생산성을 위협하고 있으며, 지속 가능한 농업 정책 수립을 위해서는 작물의 기후 영향평가가 시급
 - 과수는 영년생 작물로 노지재배가 대부분이므로 기후변화 영향이 가장 큰 작목임
- 적응·비적응 품종의 생산성 및 품질 적응성 실태조사를 통하여 기후변화에 선제적으로 대응할 수 있는 정책자료 제공이 필요
 - 기후변화 대응 농업현장 수요에 부응한 맞춤형 정책수립이 가능

○ 과제의 개요

- 주요 채소의 성장·생산량 변화 실태조사 및 영향평가
 - 적응·비적응 품종으로 주산지에서 성장 및 생산량 실태조사
 - 재배 환경인자들과 채소 작물 성장 및 생산량 상관성 분석
- 기후변화에 따른 과수의 적응·비적응 실태 조사 및 영향평가
 - 기후변화에 따른 생산성 변화 실태 및 기상과의 연관성 분석, 농림축산식품 통계자료 활용, 단위면적당 생산량(단수, kg/10a) 변화를 분석하고, 기상과 생산성과의 연관성 분석
 - 기후변화에 따른 과실 품질변화 실태조사 및 영향평가, 적응·비적응 품종 과실 품질 변화 실태 및 신품종 이용에 따른 적응정도 실태 조사

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 배추의 생육상·생산량 변화 실태조사 및 영향평가
 - 2개 지역에서 적응 및 비적응 배추 각 1품종 대상 성장 조사
- 기후변화에 따른 과수의 적응·비적응 실태조사 및 영향평가
 - 기후변화에 따른 생산성 변화 실태조사 및 영향평가
 - 기후변화에 따른 과실 품질변화 실태조사 및 영향평가

㉕ 과수의 저온요구도 실태조사 및 영향·취약성 평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화로 인한 겨울철 기온 상승은 온대 과수의 휴면에 필요한 저온 부족 현상을 유발할 수 있음
 - 저온 부족에 의한 휴면타파 불량은 개화량 및 수량 감소의 원인이 됨

- 우리나라 주요 과수의 휴면타파 시기 변동 실태조사 및 기후변화 시나리오에 근거한 영향평가로 대책기술 개발과 정책방향 설정이 가능

- 과수의 품종 육성방향, 인위적 휴면타파 기술의 근거자료 제시

○ 과제의 개요

- 주요 과수의 휴면타파 시기 변동 실태조사 및 영향평가
 - 사과, 배, 포도, 복숭아 주 재배 품종의 휴면타파시기 실태조사, 10년(2006~2015) 저온값을 기준으로 저온요구도 영향·취약성 평가
- 주요 과수의 저온요구도 구명 및 휴면타파 시기 추정모델 개발
 - 전국적으로 적용 가능한 휴면타파 시기 추정모델 개발 및 검증
- 미래 기후변화 시나리오 기반의 저온요구도 영향·취약성 평가
 - 미래 기후조건에서 생리적 휴면타파와 저온요구도 관련성 분석
 - 미래 기후조건에서 공간적 휴면타파의 영향·취약성 평가

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 주요 과수의 저온요구도 충족 시기(휴면타파시기) 변동 실태조사
 - 과수의 휴면 개시 및 종료 시기 평가 기법 개발
 - 기존 개발 함수식 적용 기상분석을 통한 저온요구도 충족시기 변동 분석
 - 사과, 배, 포도, 복숭아 주 재배 품종의 휴면타파시기 실태조사
- 주요 과수의 저온요구도 구명 및 휴면타파 시기 추정모델 개발
 - 저온요구도 평가를 위한 적합모델 선정 및 함수식 개발, 검증
- 미래 기후변화 시나리오 기반의 저온요구도 영향·취약성 평가
 - 미래 기후조건에서 생리적 휴면타파 영향 평가
 - 휴면타파 시기 추정모델 활용, 미래기후 조건에서 공간적 휴면타파 영향·취약성 평가

㉔ 아열대 작물의 재배 실태조사 및 환경적응성 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 지구 온난화로 인한 재배환경 변화는 작물의 재배적지 변동을 초래하고, 이로 인해 농작물 재배지 북상 변동 등으로 새로운 작물 도입이 필요
 - 우리나라 연평균 온도 증가율 : 전국 평균 1.5℃, 제주도 1.6℃
 - 기후온난화로 북상 중인 제주도의 주요작물 : 월동배추(남해안), 겨울감자(김제), 한라봉(남해안, 전북 등 중부지방) 등
- 기후 온난화를 기회로 활용하기 위해서는 새로운 열대 및 아열대 작물을 이용한 새소득 작목 개발이 필요
 - 열대 및 아열대 작물의 경우, 기능성 성분을 이용한 가공품, 새로운 요리, 기호식품 등 6차 산업으로 성장할 가능성이 큼
- 새로운 열대 및 아열대 작물이 성공적인 재배로 이어지기 위해서는 다양한 유전자원 수집과 동시에 기후환경 적응성 검토가 필요

- 농촌진흥청에서는 다양한 아열대 유전자원을 지속적으로 수집
 - 수집된 유전자원의 재배 가능성을 판단하기 위해서는 우선 대상 작물의 생리·생태적 특성과 기후·환경 조건의 적합 여부를 검토 필요
- 과제의 개요
- 열대·아열대 작물의 재배 실태조사 및 영향평가
 - 열대·아열대 작물의 원산지 및 국내 재배지 실태조사
 - 열대·아열대 작물의 온도 적응성 평가
 - 지역별 적응성 검토를 위한 유전자원 온도 적응성 평가
- 세부 추진계획(2016~2020)
- 열대·아열대 작물의 재배 실태조사 및 영향평가
 - 조사지역 : 북부, 중부, 남부, 지역
 - 조사항목 : 재배면적, 품목 및 품종, 재배 작형, 품질 및 수량 등
 - 열대·아열대 작물의 온도 적응성 평가
 - 저온 적응성 검토 : 가온, 무가온, 온도구배 하우스 등 이용
- ㉞ 이상기상에 따른 원예작물의 피해량 실태조사 및 영향·취약성 평가
- 배경 및 필요성
- 이상기상에 따른 원예작물 피해량 실태조사 및 영향·취약성평가 시급
 - 이상기상 발생 빈도가 증가함에 따라 채소류의 피해가 증가
 - 고온, 가뭄, 저온, 집중강우 및 일조부족 등에 의한 채소 생산량 감소와 더불어 생리 장애가 많아 상품성 저하, 고온과 가뭄이 4주 이상 지속할 경우, 배추의 생체중 66% 감소, 일조 부족은 고추, 토마토, 애호박, 오이 등 수확량 감소 및 품질저하 초래
 - 환경스트레스에 의한 생리적 반응과 대사물질 관련된 연구 필요
 - 집중호우, 폭설 등 극한기후 증가로 인한 농업피해 증가 전망
 - 폭염 발생빈도 및 지속기간 증가, 극한강수 현상의 빈도 및 강도 증가
 - 온도 상승 경향에도 불구하고 최근 10년간 겨울철 한파 발생빈도 증가
 - 극한기후, 이상기상 발생빈도 및 피해 실태에 대한 자료 구축과 더불어 영향·취약성 평가를 통한 적응대책 수립이 필요
- 과제의 개요
- 이상기상에 따른 원예작물의 피해량 실태조사 및 영향·취약성평가
 - 채소작물의 환경스트레스에 따른 피해 양상 및 전사조절 기작의 생화학적 연구
 - 채소작물의 환경스트레스별 피해경감 물질 탐색 및 개발
 - 채소작물의 환경스트레스별 생리대사 물질 탐색 및 증진 연구
 - 과수의 이상기상 피해량 실태조사 및 영향·취약성 평가('18~'20)
 - 정부 통계자료 및 시군 현장조사를 통한 피해량 실태 조사
 - 통계자료, 현장조사, 문헌을 통한 취약성 평가 지표 개발

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 채소 환경스트레스에 따른 피해량 실태조사 및 영향·취약성 평가
 - 환경 스트레스에 따른 피해기작 및 피해양상 구명, 온도(고온, 저온), 수분(가뭄, 침수), 일조부족시 생육 및 수량 감소, 환경 스트레스별 피해양상 및 생리장해 발생정도
 - 환경 스트레스별 피해경감 물질 탐색 및 개발, 기존 생합성제재 처리에 따른 피해경감 연구, 피해경감을 위한 새로운 물질 개발 및 처리효과 구명
 - 환경 스트레스에 따른 전사조절 기작의 생화학적 연구, 온도, 토양 수분, 일조 부족시 스트레스 반응 관여 유전자 탐색, 환경 스트레스 신호전달 전사인자, ubiquitin E3 ligase를 중심으로 기능 연구
 - 채소작물의 환경스트레스별 생리대사 물질 탐색 및 증진연구, 환경스트레스별 관련 호르몬, 당 대사물질 비교 검색, 기능성분 변화 및 증진 기술 개발
- 과수 이상기상 피해량 실태조사 및 영양·취약성 평가
 - 정부 통계자료 및 시군 현장조사를 통한 피해량 실태 조사, 농업재해보험연감(농림부), 재해연보(국민안전처) 등 통계자료 수집, 농촌진흥청(재해대응과) 및 원예원 자체 피해 조사 자료 수집
 - 통계자료, 현장조사, 문헌을 통한 취약성 평가 지표 개발, 실태조사 자료 및 이상기상 연구결과 자료 분석을 통한 취약성 평가지표 개발

④ 축산·사료작물의 적지 및 생산성 변화 분야

㉞ 기후변화 가축 스트레스 지수, 생산성변화 실태조사 및 영향·취약성 평가

○ 배경 및 필요성

- 급격한 기후 변화 및 기상재해가 빈발하는 상황 속에서 지속가능한 축산 실현을 위해 영향 예측을 통한 대응전략 구축이 필요
 - 기후변화·이상기상으로 가축 생산성 및 축산물 품질 저하 야기, (한우) 26℃ 이상 상승시 사료섭취량 10~35%, 1등급 이상 출현율 2.7% 감소, (젓소) 27℃ 이상 상승시 사료섭취량 7~12%, 산유량 20~30% 감소, (돼지) 27℃ 이상 상승시 비육돈 사료섭취량 5~30%, 증체량 15~30% 감소, (닭) 30℃ 이상 상승시 사료섭취량 30%, 산란율 12%, 난중 13% 감소
 - 효율적인 기후변화 대응기술 개발 및 정책 수립을 위해 축산 생산기반에 관한 기후 변화 실태조사 및 영향·취약성 평가가 시급

○ 과제의 개요

- 기후변화에 따른 가축스트레스 지수, 생산성 변화에 관한 실태조사 및 영향·취약성 평가
 - (조사대상) 한우, 젓소, 돼지, 닭
 - (수행방법) 행정통계 등 관련 자료 이용 등의 간접조사 및 축산농가 설문·실측 등의 직접조사 병행 추진

- (조사항목) 가축 스트레스 지수 및 생산성 변화량
- 세부 추진계획(2016~2020)
 - 기후변화에 따른 가축 스트레스 지수 변화량 실태조사
 - 기상자료 적용 가축 스트레스 지수 산출 및 월·연도별 최대값·최소값·평균값 등의 변화량 비교 조사
 - 기후변화에 따른 가축 생산성 변화 실태조사
 - 행정통계 등 관련 자료 이용 가축 생산성 등 변화 비교 및 분석, 농림축산식품통계 연보, 축산물생산비, 도축검사보고, 축산물등급판정 통계 등
 - 기후 조건별 선정 축산 농가의 가축 생산실태(증체·산유·산란·번식 등) 정밀 실측 조사 및 분석
 - 기후변화에 따른 가축 스트레스 지수 및 생산성 변화 영향·취약성 평가
 - 축산분야 기후변화 관련 대응개발 기술의 조사, 비교, 분류, DB화 및 적용 능력 평가
 - 가축 스트레스 지수 및 생산성 변화에 대한 기후변화 영향·취약성 평가
- ㉔ 기후변화 초지(사료작물)의 적지·생산성변화 실태조사 및 영향평가
- 배경 및 필요성
 - 기후변화 및 기상재해로 인한 농업생태 악화로 인한 사료작물의 생산성 및 품질 저하 등의 문제 야기
 - 기후변화 신시나리오(RCP 8.5)에 따르면 한반도 평균 기온이 2010년 5.7℃상승, 폭염, 가뭄 등 극한기후도 증가될 전망
 - 고온, 가뭄, 건조 등 이상기상으로 인하여 사료작물의 기상재해 피해가 증가될 전망, 사료작물의 안정적 확보를 위해 적지 한계 이동성 변화, 생산량 및 재배환경 변화 실태조사와 더불어 영향·취약성 평가 필요
- 과제의 개요
 - 기후변화에 따른 초지(사료작물)의 적지·생산성 변화 실태조사, 지표 개발 및 영향평가
 - (조사대상) 이탈리아라이그라스 등 사료작물
 - (수행방법) 기후요소와 사료작물 생육인자 간의 상관성 분석 및 사료작물 재배농가 현장조사를 통한 실태·영향평가 등
 - (조사항목) 목초·사료작물 생산성 변화(생육상태, 수확량 등)
- 세부 추진계획(2016~2020)
 - 목초·사료작물의 재배적지 한계이동선 실태조사 및 영향평가
 - 작물 재배기간에 5년 주기로 북방한계선 변동 실태조사 실시, 기후요소와 사료작물 생육인자 간의 상관성 분석 및 재배농가 영향평가 등
 - 목초·사료작물에 대한 재배적지 한계 이동선 변화와 기후환경, 최적 생육조건, 재배 환경과의 관련성 분석

- 사료작물의 재배환경 조건에 따른 생육·수확량 등 상관 분석
- 사료작물의 최적 생육조건 확립 및 적지 한계 이동선 변화조사
- 기후 조건별 선정 지역의 사료작물 재배 현황 실태조사

㉔ 이상기상 가축·초지(사료작물)의 피해량 실태조사 및 영향·취약성 평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화 및 이상기후로 인한 폭염, 건조, 열대야 등의 기상재해 빈발로 인해 가축과 초지(사료작물)의 피해가 지속적으로 증가
 - 2015년 폭염 기간(5월 25일~8월 17일) 동안 폭염으로 857농가에서 가축 2,533천두/수 폐사(2015년 이상기후보고서)
 - 2015년 폭염, 설해, 풍수재해 등 기상재해에 의한 가축재해보험 지급건수 934건, 지급 금액 11,132백만원(2015년 농업재해보험결과보고서), 효율적인 기후변화 대응정책 수립과 기술개발을 위해 축산·초지의 이상기상 피해량 변화 실태조사 및 영향·취약성 평가 필요

○ 과제의 개요

- 이상기상에 따른 가축·초지(사료작물)의 피해량 실태조사
 - (범위·시기) 전국 시군구 축사 및 농경지, 사육·재배기간 5년
 - (조사대상) 한우, 젓소, 돼지, 가금(닭·오리), 목초·사료작물
 - (수행방법) 행정통계 등 관련 자료 이용 등의 간접조사 및 농가 설문·실측 등의 직접 조사 병행 추진
 - (조사항목) 가축, 초지(사료작물) 피해량, 재해보험손해평가 자료, 언론보도 자료, 직접 조사 자료를 이용
- 이상기상에 따른 가축·초지(사료작물) 피해량 영향·취약성 평가
 - 2015년 피해량을 기준으로 5년 동안의 피해 분석 값을 평가

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 이상기상에 따른 가축 피해량 실태조사 및 영향·취약성 평가
 - 5년 주기 전국의 시군구 축사 실태조사 및 2015년 피해량 기준으로 영향·취약성평가를 추진
 - 폭염, 건조, 설해, 풍수재해 등 기상재해 통계자료 분석에 의한 가축 피해량 실태조사 및 영향·취약성 평가
- 이상기상에 따른 목초·사료작물의 피해량 실태 및 영향·취약성 평가
 - 5년주기 전국 시군구 목초·사료작물 실태조사 및 2015년 피해량 기준으로 영향·취약성 평가를 추진
 - 폭염, 건조, 설해, 풍수재해 등 기상재해 통계자료 분석에 의한 가축 피해량 실태조사 및 영향·취약성 평가

⑤ 돌발·외래 병해충 및 잡초의 이상 발생과 피해 분야

㉠ 비래 병해충의 밀도·보복변동률 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화에 따른 농작물 병해충의 발생양상이 다양화와 더불어 내성 또는 저항성 변화에 대응하기 위하여 주요 작물의 병해충 영향, 취약성 평가로 새로운 적응대책 수립이 중요

- 관계부처 합동으로 “제2차 국가기후변화적응대책(’16~’20)”을 수립하여 기후변화 적응 연구개발 확대 등 능동적으로 대처하고 있음
- 그러나, 기후변화 적응대책 수립을 위한 실태 및 영향·취약성 평가에 관한 자료 확보는 미흡한 실정이고, 지속 가능하고 체계적인 수행을 위해서는 법적, 제도적인 뒷받침이 필요한 실정임

○ 과제의 개요

- 지역 및 시기별 벼 비래 병해충의 비래량 변화 실태조사 표준화와 더불어 기후변화 영향·취약성평가 기준 마련

- 기후변화에 따른 병해충의 시기별, 지역별 비래량의 조사·분석
- 가뭄·폭염·기류 등 환경 변화에 따른 전년대비 발생면적 및 피해량 산정 표준화 및 지표화로 영향평가 기준 값 제시
- 지역(지대)별 비래 병해충의 발생패턴, 발생면적, 피해율 분석에 따른 발생예측 및 취약성 평가지도 작성으로 비래 근원지의 발생 해충 정보 분석과 취약성 평가

- 향후 기후변화에 대한 영향을 평가하여 해충 비래 대응대책 제시

- 조사방법 표준화, 평가지표 제시 및 기후 영향평가 기준 마련
- 벼 비래해충 발생 실태 및 영향평가 추진 체계

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 비래 병해충의 비래량 실태조사 방법 확립

- 대상해충 : 벼멸구, 흰등멸구, 애멸구, 흑명나방, 멸강나방
- 조사내용 : 비래해충의 정기 모니터링, 시기별 지역별 비래량 분석
- 실태조사 : 전국 단위의 비래 병해충 밀도 및 보독 변동률 조사

- 기후변화에 따른 벼 비래 병해충의 발생 영향평가 기법 개발

- 대상해충 : 벼멸구, 흰등멸구, 애멸구, 흑명나방, 멸강나방
- 분석방법 : 전년 대비 발생면적 및 피해량
- 조사내용 : 비래시기별 피해량 분석
- 영향평가 : 최근 3년 평균(’13~’15) 값을 기준으로 평가

- 지역별 비래 병해충의 발생패턴 분석을 통한 취약성 평가기법 개발

- 대상해충 : 벼멸구, 흰등멸구, 애멸구, 흑명나방, 멸강나방
- 비래 병해충 영향평가에 대한 적응 및 대응능력 평가

㉔ 남방계 해충의 월동 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화에 따라 농작물 병해충의 발생양상이 다양화와 더불어 내성 또는 저항성 변화에 대응하기 위한 주요 작물의 병해충 영향, 취약성 평가로 새로운 적응대책 수립이 시급
 - 국가적으로 관계부처 합동으로 제2차 국가 기후변화 적응대책(2016~2020)을 수립하여 기후변화 적응 연구 확대 등으로 능동적으로 대처하고 있음
 - 그러나 적응대책 수립을 위한 기후변화 실태와 영향·취약성 평가에 관한 자료 확보는 미흡한 실정이며, 지속 가능하고 체계적인 수행을 위해서는 법적·제도적인 뒷받침이 필요한 실정임

○ 과제의 개요

- 남방계 해충의 월동을 변화 실태조사 방법 표준화, 기후변화 영향평가 기준 설정과 영향·취약성평가 방법 제시
 - 기후변화에 따른 해충의 지역별 월동을 변화 분석
 - 가뭄·폭염·냉해 등 환경 변화에 따른 전년대비 남방계 해충의 발생면적, 피해량 산정 표준화 및 지표화로 영향평가 기준값 제시
 - 지역(지대)별 남방계 해충의 발생패턴, 발생면적, 피해율 분석에 따른 발생예측 및 취약성 평가지도 작성
- 향후 기후변화 영향을 평가하여 남방계 해충의 발생, 피해대책 제시
 - 조사방법 표준화, 평가지표 제시 및 기후 영향평가 기준 마련
 - 남방계 해충의 발생 실태 및 영향평가 추진 체계 확립

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 기후변화 대응 남방계 해충의 월동 실태조사
 - 조사지역 : 각 도별 해안지, 평야지, 중산간지, 산간지 각 지대별 3개 지역 이상에서 남방계 해충의 밀도 조사
 - 조사지점 : 각 해충의 주요 월동처 및 주요 농작물
 - 대상해충 : 배추 즙나방, 풀색노린재, 볼록총채벌레, 담배거세미나방 등
 - 조사방법 : 월동 기간은 월동처에 1개월 단위로 월동태 조사, 월동 후 기간(주요 작물에서 10일 간격으로 밀도 조사)
 - 기후변화에 따른 남방계 해충의 시기별, 지역별 월동률 조사, 남방계 해충 분포변화, 활동시기 모니터링 및 지표 기준값 제시
- 기후변화 대응 남방계 해충의 영향평가 기법 개발
 - 가뭄·폭염·냉해 등 환경 변화에 따른 전년대비 발생면적과 피해량 산정 표준화 및 지표화 추진
- 지역별 남방계 해충의 발생패턴 분석을 통한 취약성 평가기법 개발
 - 지역(지대)별 남방계 해충의 발생패턴, 발생면적, 피해율 분석에 따른 발생예측 및 취약성 평가지도 작성
 - 평가 항목의 추출 및 검토 후 기후변화 모니터링 프로토콜 제시

㉔ 돌발 병해충의 확산·피해 실태조사 및 영향·취약성평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화에 따라 농작물 병해충의 발생양상이 다양화, 작물 병해충의 내성 또는 저항성 변화에 대응하기 위한 주요 작물의 병해충 영향, 취약성 평가로 새로운 적응대책 수립이 시급
 - 국가적으로 관계부처 합동으로 ‘제2차 국가 기후변화 적응대책(2016~2020)’을 수립하여 기후변화 적응 연구개발 확대 등 능동적으로 대처하고 있음
 - 그러나, 적응대책 수립을 위한 기후변화 실태와 영향·취약성 평가에 관한 자료 확보는 미흡한 실정이며, 이에 관련한 모든 업무를 지속적이고 체계적으로 수행하기 위해서는 법적, 제도적인 뒷받침이 필요한 실정임

○ 과제의 개요

- 돌발 병해충의 확산면적 및 피해율 실태조사 방법 표준화, 기후변화 영향평가 기준 설정과 영향·취약성평가 제시
 - 기후변화에 따른 돌발 병해충의 발생실태 및 연도별 확산면적 조사
 - 가뭄·폭염·냉해 등 환경 변화에 따른 전년대비 돌발병해충 해충의 발생면적, 피해량 산정 및 지표화로 영향평가 기준값 제시
 - 지역(지대)별 돌발병해충의 발생패턴, 발생면적, 피해율 분석에 따른 발생예측 및 취약성 평가지도 작성
- 향후, 기후변화 영향을 평가하여 돌발 병해충의 발생 및 피해대책 제시
 - 조사방법 표준화, 지표 기준값 제시 및 기후 영향평가 기준 마련
 - 돌발 병해충의 발생 실태조사 및 영향평가 추진 체계 확립

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 돌발 병해충의 지역별 발생소장 및 피해율 실태조사
 - 대상해충 : 미국선녀벌레, 갈색날개매미충, 꽃매미, 갈색여치, 먹노린재 등
 - 조사시기 : 월동기, 약충기 2회, 성충기
 - 조사방법 : 각 도내 시군별 1개 포장 이상을 선정하고, 육안 및 예찰 요강에 따라 조사(발생의 정도를 무, 소, 중 다, 심 및 밀도 조사)
 - 조사내용 : 돌발 해충의 시기별 발생밀도 및 피해율, 지역별 신문제 해충발생 유무 돌발병해충 분포변화, 활동시기 모니터링 및 지표기준값 제시
- 기후변화 대응 돌발 병해충의 영향·취약성평가 기법 개발
 - 가뭄·폭염·냉해 등 환경 변화에 따른 전년 대비 발생면적 및 피해량 산정 표준화와 지표화 기준 제시
- 지역별 돌발 병해충의 발생패턴 실태조사 및 영향·취약성 평가
 - 지역(지대)별 돌발해충의 발생패턴, 발생면적, 피해율 분석에 따른 발생예측 및 취약성 평가 지도 작성
 - 평가 항목의 추출 및 검토 후 기후변화 모니터링 프로토콜 제시

⑥ 농업생태계의 생물다양성 및 생물계절 변화

㉠ 논 생태계의 수서 생물다양성·생물계절 변화 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화 체제에서 지속가능한 농업을 위해 농업생태계 내 서식하는 생물 군집의 생태계 서비스에 대한 영향 평가기준 필요
 - 객관적인 장기자료의 확보를 위해 과학적으로 검증된 평가항목과 모니터링 프로토콜을 통한 장기모니터링 시스템 구축이 시급
- 논 생태계 서식 수서생물군의 조절서비스 재조명뿐 아니라, 기후변화에 따른 서비스 기능 평가를 통해 논 생태계의 안정적인 관리방안 마련 필요
 - 생태계 서비스 : 자원공급, 지원, 조절 및 문화서비스 등

○ 과제의 개요

- 논 서식 수서생물의 생물다양성 및 생물계절 변화 실태조사 표준화, 기후변화 영향평가 기준 설정과 영향·취약성평가 제시
 - 수서생물 모니터링을 통한 기능 생물군의 생물다양성 변동 분석
 - 수서 기후지표종의 분포 변화 모니터링을 통한 생물계절 변동 분석
 - 생물다양성 분야 기후변화 실태조사를 통한 영향평가 기준값 제시
- 향후 기후변화에 대한 영향을 평가하여 생태적 차원의 대응대책 제시
 - 조사방법 표준화, 지표 기준값 제시 및 기후 영향평가 기준 마련
 - 논 생태계 수서생물 기후변화 실태 및 영향평가 추진 체계

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 논 수서생물 모니터링을 통한 기능 생물군의 생물다양성 변동 분석
 - 논 수서생물 실태조사지 선정(5개 지점 이상) 및 방법 표준화
 - 조사지 환경특성 분석, 서비스 기능군 분류 및 다양성 모니터링
- 수서 기후지표종의 분포 변화 모니터링을 통한 생물계절 변동 분석
 - 수서생물 유인 자동관측 시스템 개발
- 생물다양성 분야 기후변화 실태조사 및 영향평가 기준값 제시
 - 수서생물 다양성 모니터링 결과 및 모니터링 기준값 적용 검증

㉡ 논 생태계의 거미류·해충류 생물다양성 지수 변화 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화 체제에서 지속가능한 농업을 위해 농업생태계 내 서식하는 생물 군집의 생태계 서비스에 대한 영향 평가기준 필요
 - 객관적인 장기자료의 확보를 위해 과학적으로 검증된 평가항목과 모니터링 프로토콜을 통한 장기모니터링 시스템 구축이 시급

- 기온상승에 따라 농업생태계 내 주요 해충군의 세대수 증가가 예측
 - 농업생태계에서 해충군의 천적인 거미류는 부정적인 영향이 큰 것으로 보고되어 장기적으로 해충방제 전략에 장애요인으로 작용
- 효율적 해충의 방제전략 수립을 위해 해충과 천적 거미류의 장기 모니터링 시스템 구축이 필요
 - 거미류는 농업생태계 내 최상위 포식자로 기온상승에 따른 이들의 포획행동 변화는 해충·절지동물 군집 전체의 발생에 영향을 줌

○ 과제의 개요

- 논 생태계의 거미류 및 해충류 생물다양성지수 변화 실태조사 표준화, 기후변화 영향 평가 기준 설정 및 영향·취약성평가 제시
 - 논 생태계 내 절지동물 실태조사 종합 및 현황 분석
 - 기후변화에 따른 생물다양성 변동 기준값의 범위 제시
 - 생물다양성 모니터링 프로토콜 및 생물다양성 영향평가 항목 제시
 - 기후변화 영향을 모니터링할 수 있는 지표종의 제시
- 향후 기후변화 모니터링 지표종 개발 및 영향·취약성평가 자료 제시
 - 기후변화에 따른 생물다양성 지표 기준값 및 프로토콜 표준화
 - 논 생태계 거미류 및 해충류 기후변화 실태·영향평가 추진 체계

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 논 생태계의 절지동물 실태조사, 종목록 작성, 발생분석 및 종합평가
 - 고정 조사지 5지역 선정, 매년 신규 2지역 추가 1년 조사
- 기후변화에 따른 거미류 및 해충류 생물다양성 변동 기준값의 범위 제시
 - 생물다양성 모니터링 기준값 적용을 위한 연간, 지역간 변동 검증
- 생물다양성 모니터링 프로토콜 및 생물다양성에 영향평가 항목 제시
- 논 거미류·해충류의 실태 분석 및 영향·취약성평가 자료 제시

㊤ 농업생태계의 양서류 다양성 및 생물계절 변화 실태 조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화 체제에서 지속가능한 농업을 위해 농업생태계 내 서식하는 생물 군집의 생태계 서비스에 대한 영향 평가기준 필요
 - 객관적인 장기자료의 확보를 위해 과학적으로 검증된 평가항목과 모니터링 프로토콜을 통한 장기모니터링 시스템 구축이 시급
- 기후변화로 인해 양서류의 번식기, 유생 발달기 등 생물계절 형질이 변화됨에 따라 많은 양서류의 개체군 감소와 종의 멸종이 예측
- 온난화에 따른 농법의 변화는 양서류의 번식시기에 영향을 미칠 수 있으므로 양서류는 농업생태계 기후변화 지표종으로 중요하게 인식

- 양서류는 피부로 호흡할 수 있는 변온동물로 육상 및 수상환경에 동시에 살아가고, 기후환경에 의해 분포범위가 결정됨

○ 과제의 개요

- 기후변화에 따른 양서류 다양성, 생물계절 변화 실태조사 표준화와 더불어 영향평가 기준 설정 및 영향·취약성평가 자료 제시
 - 기후변화에 따른 양서류 모니터링 프로토콜 제시
 - 도롱뇽, 두꺼비, 북방산개구리의 첫 출현일 기준 값 제시
 - 수원청개구리의 첫 출현일 기준 값 제시, 분포범위 및 개체군 동태 분석
 - 환경요인을 고려한 양서류의 첫 출현일 모니터링 평가항목 제시
- 향후, 기후변화 모니터링 지표종 개발 및 영향·취약성평가 자료 제시
 - 기후변화에 따른 양서류 생물다양성 지표 기준 값 및 프로토콜 제시
 - 농업생태계의 양서류 기후변화 실태·영향평가 추진 체계

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 기후변화에 따른 양서류 모니터링 프로토콜 제시
 - 도롱뇽, 두꺼비, 북방산개구리의 현지 시각조사
 - 수원청개구리의 현지 청각조사
- 도롱뇽, 두꺼비, 북방산개구리의 첫 출현일 기준 값 제시
 - 양서류 첫 출현날짜 기준 값 검증
- 수원청개구리의 첫 출현일 기준값 제시, 분포범위 및 개체군 동태 분석
 - 양서류 첫 출현날짜 기준 값 검증
- 환경요인을 고려한 양서류의 첫 출현일 모니터링 평가항목 제시
- 기후변화에 따른 농업생태계 양서류의 영향·취약성평가

㉞ 농업생태계 식생과 주요 화분매개곤충의 디커플링 실태조사 및 영향평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화 체제에서 지속가능한 농업을 위해 농업생태계 내 서식하는 생물 군집의 생태계 서비스에 대한 영향 평가기준 필요
 - 객관적인 장기자료의 확보를 위해 과학적으로 검증된 평가항목과 모니터링 프로토콜을 통한 장기모니터링 시스템 구축이 시급
- 농업생태계에서 나비, 벌 등 식물의 수분을 주로 매개하는 화분매개 곤충의 분포지역과 활동시기 변화는 농업생산 뿐 아니라 농업생태계에 전반적인 교란을 유발할 수 있음
- 기후변화에 따른 개화시기 변화, 향기 성분(화분매개곤충에 대한 유인물질) 및 화밀량 변화가 벌류의 방화 행동뿐 아니라 활동시기 불일치에 미치는 영향에 대한 연구가 필요함

○ 과제의 개요

- 식생과 주요 화분매개곤충의 디커플링 실태조사 표준화, 기후변화 영향평가 기준 설정 및 기후변화 영향·취약성평가 자료 제시

- 기후변화에 따른 아까시나무의 생물·생태학적 특성 분석
- 아까시나무 식생지역 및 월동기 주요 화분매개곤충 종다양성 조사
- 꿀벌의 방화 시기와 아까시나무 개화기의 디커플링 기준값 및 모니터링 프로토콜 제시
- 환경요인을 고려한 디커플링에 영향 모니터링 평가 항목의 제시
- 향후 기후변화 모니터링 지표종 개발 및 영향·취약성평가 자료 제시
 - 기후변화에 따른 식생과 주요 화분매개곤충의 생물다양성 지표 기준값 및 모니터링 프로토콜 제시
 - 농업생태계의 양서류 기후변화 실태·영향평가 추진 체계

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 기후변화에 따른 아까시나무의 생물·생태학적 특성 분석
 - 조사지역의 기상환경, 아까시나무와 주요 밀원식물 환경 조사
 - 아까시나무 현황조사, 계절별 아까시나무의 생리(개화시기, 화밀량 및 향기 성분)와 꿀벌 봉사 조사
- 아까시나무 식생지역 및 월동기 주요 화분매개곤충 종 다양성 조사
- 꿀벌의 방화시기와 아까시나무 개화기의 디커플링 기준 값 및 모니터링 프로토콜의 제시
- 환경요인을 고려한 디커플링에 영향 모니터링 평가항목의 제시
- 기후변화에 따른 식생과 주요 화분매개곤충의 영향·취약성평가

⑦ 농업환경 영향평가

㉞ 강우에 따른 농경지 토양의 침식량 실태조사 및 영향·취약성평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화에 따른 집중호우 빈도 증가에 따라 토양침식이 심화
 - 기후변화의 영향으로 여름철 강우량의 증가 및 강우사건별 강우강도의 증가가 예상되며, 이에 따른 토양침식 증가가 우려됨
- 농업의 지속성과 흙의 생태적 환경적 기능을 보전하면서 건전한 수자원을 확보하기 위해 토양침식 우심지역의 영농현장, 정책적 실행이 필요
 - 환경보전적 농업경영을 위해 토양의 개량 보전에 관한 사업 등 (농지법 제21조)
 - 농경지 표토 침식 현황조사 등(토양환경보전법 제6조의 2), 기후변화에 따른 강우 침식성과 토양 침식위험성의 실태조사 및 환경영향 평가가 필요

○ 과제의 개요

- 기후변화에 따른 농경지의 토양침식 위험성 취약성 평가
 - 30년 평년과 조사기간 비교를 통한 강우침식성 취약성 평가
 - 30년 평년과 조사기간 비교를 통한 토양침식 위험성 취약성 평가
 - 농경지 토양의 강우침식성 및 토양침식 위험성 지도 작성

- 토양침식 위험성 평가를 위한 한국형 평가인자 DB 구축
 - 기후변화에 따른 RUSLE 강우침식성 인자 실태조사 및 DB 구축
 - 주요 발작물 생물계절 변동에 따른 피복도 실태조사 및 식생피복인자 DB 구축, 인공 강우기를 이용하여 극한 강우 시 피복조건별 토양유실 발생량 평가
- 농경지 토양침식 우심지역의 토양유실량 현장조사 및 기후영향평가
 - 토양침식 우심 시군 대표 농경지에서 토양유실량 직접 조사, 경사도, 토성 및 재배 작형 등을 고려한 토양유실 시험포장 조성 필요

○ 세부 추진계획(2016~2020)

- 농경지 식생피복 변동에 따른 주요 재배 작형 식생피복인자 평가('16~'20)
 - 경사지 라이시미터 이용한 물 유출량 및 토양 유실량 분석
 - 경사지 라이시미터 이용한 식생피복인자 산정
 - 인공강우기 이용 다양한 강우강도, 피복도별 유실량 및 유출량 평가
- 기후변화에 따른 전국 강우침식성 인자 실태조사('16~'20)
 - 강우침식성 인자 평가를 위한 기상자료의 수집
 - EI10, EI30, EI60, R factor 등 강우침식성 인자 산정프로그램 개발과 연도별 DB 구축
- 토양침식 평가를 위한 주요 발작물 재배면적 및 피복도 실태조사('17~'20)
 - 시군별 주요 발작물의 재배 면적 산출방법 구축
 - 주요 발작물의 지역별 시기별 피복도 및 엽면적 지수 조사
- 농경지 토양침식 우심지역 토양유실량 현장조사('17~'20)
 - 기존 자료에 의거한 토양침식 우심 시군의 선정(2개 시군 이상)
 - 토양침식 우심 시군 대표 농경지에서 토양유실량 직접조사
- 기후변화에 따른 농경지의 토양침식 위험성 취약성 평가('20)
 - 기준기간과 조사기간 비교를 통한 강우침식성 영향평가
 - 토양침식 위험성 지도 작성 및 토양침식 위험성에 대한 취약성 평가

㉔ 기후변화·기상이상에 따른 농경지 양분유출 및 환경영향평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화에 따른 기온과 강수량 변화는 가뭄과 홍수의 빈도 증가
 - 작물생산을 위한 가용 수자원의 감소 및 수질 저하를 초래
- 농업 환경에 영향을 미치는 '양분유출' 및 '농업용수 수질'에 대한 평가와 더불어 기후 변화 영향·취약성평가 자료 제시가 필요
 - 양분유출(필지·소유역 단위), 농업용수 수질(지역·국가 단위)

○ 과제의 개요

- 필지·소유역 단위의 농경지 양분유출 예측 및 기후변화량 영향평가
 - 농업 생태계의 농경지 양분유출 측정 및 모형을 이용한 예측, 농업생태계(논, 밭, 과수원), 양분유출(필지 및 소유역 단위)

- 필지 및 소유역 단위의 농경지 양분유출에 대한 기후변화 영향 분석
- 지역 및 국가단위의 농업용수 수질에 대한 환경영향 평가
 - 농업용수(하천수, 지하수)의 수질 측정 및 시계열 분석
 - 농업용수 수질과 환경인자의 상관성 분석
- 세부 추진계획('16~'20)
 - 농경지 양분유출 모니터링 및 모형 기반의 양분유출 예측 시스템 구축
 - 농경지 양분유출 측정 및 모형을 이용한 양분유출 예측, 농업생태계(논, 밭, 과수원), 양분유출(필지단위, 소유역 단위)
 - 농경지 양분유출에 대한 기후변화량 영향평가
 - 중·장기 기후변화 시나리오를 이용한 농경지 양분유출 예측, 기후변화 시나리오 : 계절 예측 시나리오(중기), 기후변화 시나리오(장기) 등
 - 기후변화 영향을 고려한 농경지의 최적관리기술 효과 분석
 - 기후변화 영향 최소화를 위한 필지 단위의 최적관리기술 개발, 농업생태계(논, 밭, 과수원), 적용범위(필지단위)
 - 지역 및 국가단위의 농업용수 수질에 대한 환경영향 평가
 - 농업용수 수질과 환경인자의 상관성 분석, 농업용 하천수(300지점; 3회/년), 농업용 지하수(200지점; 2회/년)
 - 농경지 양분유출 및 농업용수 수질에 대한 영향·취약성평가
 - 농경지(논, 밭) 양분유출 및 농업용수(하천수, 지하수) 수질은 10년 평균('06~'15) 값을 기준으로 평가

(2) 임업·산림분야 기후변화 영향·취약성

(가) 임업·산림분야 피해 분석

산림, 임업분야의 기후변화 피해유형은 집중호우, 강수량부족 등 기후변화에 의한 산사태, 수종의 멸종 및 나무생장변화와 산불피해 등의 영향을 미치고 있다.

- (집중호우) 집중호우에 의한 산사태, 임도, 계류보전 피해 발생
- (강수량 부족) 가뭄으로 인해 단풍 시기가 늦춰지거나 단풍 색상의 선명도 감소 및 건조 피해로 인한 고사



(그림 1-25) 경기도 여주군 산사태 현장

자료 : 관계부처합동(2013)

<표 1-29> 과거 건조일수 및 산불건수

구분		계	1월	2월	3월	4월	5.1-15	5.16-6.15
15년	건조일수	90	18	17	27	9	4	15
	산불건수	511	16	41	250	50	21	133
최근 10년	건조일수	71.7	21.4	13.8	14.4	14.6	6	1.5
	산불건수	319	36	46	93	102	23	19

자료 : 관계부처합동(2015)

산림, 임업분야의 기후변화 피해유형은 강우외에도 이상고온, 이상저온에 따라 소나무, 낙엽송, 구상, 가문비, 유실수, 산나물류 등 산림식물의 고사 피해 발생하고 있다.

- (이상고온) 3~4월 이상고온(40년전(1968~1975년) 대비 평년 기온이 1.0℃ 상승)으로 인해 산림식물의 개화시기가 평균 14일 빨라짐,

기후변화 영향으로 인한 임업·산림 분야 피해는 4개 이상기후현상과 9개 분야의 피해가 반복적으로 발생한다.

- 이상고온, 가뭄, 태풍(강풍 및 호우), 집중호우 등의 이상기후 현상이 원인
- 산림식물 고사, 침엽수 고사, 산불발생, 산사태 발생, 임도 손실, 사방댐 파괴, 계류보전 피해, 개화시기 변동, 식물계절 변동 등 피해 발생



(그림 1-26) 춘천 낙엽송 조림지(왼쪽)와 동해 소나무림(오른쪽) 피해지

자료 : 관계부처합동(2016)

(나) 임업·산림 분야 기후변화 실태조사 세부계획

농업·농촌 분야 기후변화 영향·취약성 평가는 ① 산림지역의 이상기상 발생, ② 산림자원 및 산림생태계 변화, ③ 임산물 생산성 변화, ④ 산불, 산사태 및 산림병해충 발생, ⑤ 임업생태계의 생물다양성, 침입종 및 기후변화 취약종, ⑥ 기타로 구분하여 기후변화 실태조사 세부계획을 수립하였다.

① 산림지역 이상기상 발생

산악지역 기상특성 및 중·단기 기후변화예측 세부분야를 수립하여 기후변화 실태조사계획을 수립함

② 산림자원 및 산림생태계 변화

㉠ 기후변화 취약 상록침엽수종의 변화 모니터링

○ 배경 및 필요성

- 이상고온과 가뭄의 영향으로 주요 상록침엽수종의 고사 피해 발생
 - 소나무림(울진 금강소나무림 등), 낙엽송조림지(춘천 일대), 아고산 일대 멸종위기 상록침엽수림(구상나무, 가문비나무, 분비나무 등)
- 기후변화에 따른 피해 저감 및 적응 관리를 위한 영향 평가 및 변화 예측 기술 개발 필요
 - 분포변화 예측 및 잠재적지 선별을 통해 보전·복원 기술 지원
 - 입지환경, 산림구조, 산림병해충(소나무재선충병 등) 등의 요인을 고려하여 기후변화가 상록침엽수림 변화에 미치는 영향 평가
 - 피해 위험성 예측 모델 개발을 통해 경보 시스템 구축 필요
- 기후변화 영향 평가를 위해 기존에 구축한 모니터링 조사구를 활용하여 지속적인 변화 모니터링 필요
 - 아고산 상록침엽수림 : 지리산, 계방산(2015년 구축), 설악산, 덕유산, 태백산(2016), 백운산(2017) 기타 아고산 일대 상록침엽수림(2017년 산림청 조사사업 결과 반영)
 - 소나무림 : 울진 금강소나무림(2015), 소나무재선충피해지(2017)
 - 낙엽송 조림지 : 춘천 일대 피해지('17)

○ 세부사업 내용

- 대상지역 및 수종 : 아고산 상록침엽수림(구상, 가문비나무 등), 소나무, 낙엽송

- 입지환경, 분포, 임분구조, 병충해 유무, 건강성, 고사율, 미기후특성 조사
- 상록침엽수림의 기후변화 영향분석 및 기후변화 시나리오 변화 예측모델 개발

㉔ 기후변화 산림기후대별 산림수문 변화 모니터링 기반 구축 및 평가

○ 배경 및 필요성

- 기후변화 및 도시화·산업화로 물 부족이 심화됨에 따라 맑은 물의 지속가능한 확보를 위한 산림수자원의 보전 및 증진 필요성 증대
- 가뭄 장기화, 돌발홍수 빈발 등 기후변화 심화에 따라 산림수자원 부문 취약성 평가를 위한 산림수문 변화 장기 모니터링 및 기반 구축 필요
- 우리나라는 남북이 길고 백두대간 및 여러 정맥이 분포하는 지형적 특성으로 인해 지역별 기후, 산림대 등 생태환경에 큰 차이를 보임

○ 세부사업내용

- 산림수문 모니터링 시험지 선정 및 신규 시험지 설치 : 4개소(2018)
 - 산림기후대, 임상, 권역 등을 고려하여 총 10개소 확보
 - 기존 전국 산림수자원 모니터링 시험지 활용 : 6개소

㉕ 위성영상을 활용한 식물계절 및 생산성 변화 모니터링

○ 배경 및 필요성

- 중장기적인 기후변화와 이상기상 발생에 따른 전국 단위에서의 산림식물계절(개엽, 개화, 낙엽 등) 변화에 대한 모니터링 필요
- 산림 생산성은 산림생태계 내의 다양한 바이오매스(목재, 비목재 임산물 등) 자원 생산량과 직결되어 있고, 해당 산림생태계의 건강성 및 생태계 서비스의 지표인 동시에 생물권과 대기권을 연결하는 탄소순환과정을 평가할 수 있는 요소
- 위성영상 분석 기법 적용을 통해 현장조사의 한계를 보완하여 기후변화에 따른 산림 식물계절과 산림생산성 변화추이 산출 필요

○ 세부사업 내용

- 위성영상 분석을 통한 식물계절과 산림생산성(순일차생산성) 변화 모니터링
- 식물계절 및 산림생산성 변화의 기후변화 영향 평가

③ 임산물 생산성 변화

㉖ 단기소득임산물의 기후변화 영향실태조사 및 취약성 평가 기술 개발

○ 배경 및 필요성

- 단기소득임산물의 생산량은 가뭄 등 이상기상 및 장기적 기후변화에 따라 변함
- 이상기상 등 임산물 자연재해피해의 보상 지원 대책 마련을 위한 취약성 평가 및 변화 예측이 필요함
- 기후변화에 따른 단기소득임산물의 생산량 예측 기술 미비

○ 세부사업 내용

- 대상 수종: 버섯류(표고), 유실수류, 산림약용자원식물 등 단기소득임산물
- 지역별 작물의 월별 성장, 생산량, 투자비용 및 미기후특성 분석
- 이상기상 등 기후변화로 인한 임산물 재해 보상보험 지원 변화 분석 및 예측

- 단기소득임산물 생산량의 기후변화 영향 분석 및 기후변화 시나리오에 따른 생산량 변화 예측모델 개발

④ 임업생태계 산림생물다양성, 침입종 및 기후변화 취약종

㉠ 단기소득임산물의 기후변화 영향실태조사 및 취약성 평가 기술 개발

- 기후변화로 인한 남방계종의 북상과 북방계종의 쇠퇴, 외래종 침입 등 산림생물다양성의 크게 영향을 받음
- 기후변화에 따른 산림곤충의 종구성, 분포, 풍부도 등의 변화는 전체 산림의 생물다양성 변화 초래
- 한국산 남방계나비는 지난 60년간 연간 1.5km 북상
- 광릉숲에서 과거 연구와 비교해 본 결과 코토쿠빨개미가 사라짐, 기온 상승으로 인한 곤충의 수목가해 증가
- 흡즙성, 천공성 곤충의 월동생태가 변화함.
- 솔나방의 세대수 증가에 의한 수목피해 증가, 생물곤충변화는 생태계서비스의 쇠퇴 초래
- 기후변화에 따른 곤충분포와 풍부도 변화에 대한 예측 필요
- 변화와 영향에 대한 선제적 예측 및 저감방안 강구 필요

○ 세부연구내용

- 대상지 : 전국 300개지점(국립산림과학원에서 기 구축한 지점)
- 대상종 : 개미, 거미, 딱정벌레, 절지동물 등
- 조사기간 : 매년 5월에서 6월사이
- 조사규모 : 100지점 × 10트랩 × 연 1회
- 조사방법 : 함정트랩(플라스틱 컵), 설치 후 10일 뒤에 회수하여 정리
- 분류, 동정하여 출현종별로 개체수 기록
- 평가방법 : 온도구간별 풍부도를 산정하고 기후변화 시나리오를 이용하여 분포와 풍부도 변화 예측

㉡ 기후변화에 따른 산림동물 밀도 변화 조사

○ 배경 및 필요성

- 백두대간 고산지대를 포함한 산림에 정기적으로 도래하는 산림성 조류는 산림생태계의 건전성 유지에 중요
- 고산수종의 구과(毬果) 형성 등에 관여하는 산림성조류의 주기적 모니터링 미비
- 야생동물의 잠재적 질병 매개체 역할을 하는 산림동물의 밀도변화에 대한 기후변화 영향 실태조사 필요

○ 세부사업 내용

- 산림동물 밀도 변화 조사

- 조사대상지 : 설악산, 오대산, 태백산, 소백산, 속리산, 덕유산, 지리산 7개 지역별 3개 고정 조사구(총 21개 구역)
- 조사항목 : 밀도(마리수/ha)
- 조사규모 : 봄, 여름, 가을(연속 3일, 4박 5일), 연 3회

(3) 농업용수·농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성

(가) 농업용수 이용현황 분석

농촌용수개발은 주곡 자급기반 확충을 위해 대·중규모개발, 대단위농업종합개발, 소규모개발, 지표수 보강개발, 서남해안간척개발 등을 통하여 논 용수 위주의 개발에 치중하여 왔다. 그러나 쌀 생산 과잉에 의한 재고 증가가 누적되고 있고 이와 아울러 국제적으로 DDA 협상, FTA 추진 등 대외 여건변화에 따라 국제 농산물 시장개방 폭이 크게 증대될 것으로 예상된다. 국내의 쌀 값이 크게 하락할 경우 쌀 생산의 포기로 휴경지가 증가하게 되고 한번 훼손된 농지는 다시 농지로 전환되기가 거의 불가능 한 점을 감안 할 때 향후 쌀 생산정책은 식량안보를 위한 자급기반은 유지하면서 수급과 가격안정을 감안한 적정생산을 유도하는 방향으로 추진될 전망이다. 수리시설을 양적 확대개발 위주로 추진하여 2017년 기준 총 수원공수(한국농어촌공사 관리시설)는 13,569개소, 수혜면적은 530천ha, 용배수로는 34,000km의 농업용수 공급시설을 가지고 있다. 그러나 개발을 단위시설 또는 단위사업별 추진하여 기존 수자원을 지역간 용수 수급 불균형이 나타나고 있으며 이를 해소하기 위한 연계 수자원 관리 등 농업용수를 효율적으로 활용할 수 있는 이용체계가 미흡하고 시설단위별 급수관리를 할 수밖에 없어 유역 또는 수계단위의 체계적인 급수관리가 필요한 실정이다. 용수이용 실태를 보면 지금까지는 논 용수 위주로 이용되어 왔으나 최근 식생활 패턴 변화에 의한 밭작물 수요증가로 밭 용수 공급요구가 확대되고 있고 농촌지역의 생활환경 개선이 요구됨에 생활용수, 공업용수, 환경용수 등 농업 외의 타목적 용수수요가 증가하고 있다. 논 용수의 경우 단위당 생산량 증가에 의한 용수량 증가 및 기계화영농, 직파재배 등 영농방식 변화로 인한 단위 용수 사용량이 증가하고 있어 농촌용수 증가에 적극적인 대책이 필요하다. 또한 농촌지역의 수자원도 용수개발의 유무, 용수확보량 등에 따라 지역별 또는 유역별로 편중되어 있고 부존량의 분포도 큰 편차를 보이고 있어 지역에 따라 가뭄상습지가 상존하는 등 영농에 어려움을 겪고 있는 지역이 많다. 따라서 이러한 용수수급 불균형을 해소하고 향후 물 부족 사태에 대비하기 위해 농촌용수이용합리화 계획의 용수구역별로 수계단위 또는 유역단위별로 용수수급상황 검토를 통하여 부족수량을 체계적으로 개발하고 기 개발된 용수의 효율적인 이용·배분 및 관리체계를 구축할 수 있는 시스템이 필요하며 기존 용수원의 리모델링 사업과 함께 대체수자원의 개발이 필수적이다.

① 농업용수 사업현황 분석

농촌용수 개발사업의 종류는 대·중규모 개발사업, 소규모 개발사업, 지표수보강개발사업, 대단위 농업개발사업, 서남해안 간척개발사업, 한밭대비용수개발사업, 밭기반정비사업, 농촌농업 생활용수개발사업 등 8가지로 대표된다. 현재 국내에서 시행하고 있는 농촌용수 개발 사업의 종류 및 사업범위로서 지금까지 농촌용수 개발사업이 많이 진척되었으나 지구별 또는 단위사업별로

개발이 이루어짐에 따라 수리시설별 용수공급체계간의 연계가 없으며, 소규모 위주의 용수개발이 주로 시행되어 지역단위(대단위) 용수공급 계획이 부재하고 농업진흥지역 위주의 사업이 아니라 급수면적확대 위주의 개발사업으로 인해 실제 용수가 지역별로 편중되는 현상이 발생하여 많은 노력에도 불구하고 여전히 용수가 부족한 지역이 발생하고 있다.

<표 1-30> 농촌용수개발 사업의 종류

사업명	사업목적	사업범위
대·중규모 개발사업	수혜면적 50ha이상의 가뭄상습지역에 수리시설을 설치하여 농촌용수를 확보·공급	<ul style="list-style-type: none"> · 대규모 : 수혜면적 3,000ha이상 · 중규모 : 수혜면적 50 ~ 3,000ha미만 · 가뭄상습지역 특별대책지구
소 규모 개발사업	수혜면적 50ha미만의 가뭄상습지역에 수리시설을 설치하여 농촌용수를 확보·공급	<ul style="list-style-type: none"> · 저수지, 양수장, 용수로 등을 설치하여 농촌용수확보·공급 · 사업범위 : 수혜면적 50ha미만
지 표 수 보 강 개발사업	기존수리시설에 의한 수리답 중 농업용수가 부족한 지역에 시설을 확장·보강 또는 재개발	<ul style="list-style-type: none"> · 저수지 더쌓기, 양수장 규모확장, 재개발 및 용수재이용 시설 등을 설치하여 부족수량 확보·공급
대 단 위 농 개발사업	대규모 하천수계를 중심으로 용수개발, 경지정리, 배수개선, 간척 등의 각종 농업생산기반 정비	<ul style="list-style-type: none"> · 15지구(162천ha) 완공 · 7지구(121천ha)시행중
서남해안 간 척 개발사업	서남해안에 산재되어 있는 간석지와 유희토지를 우량농지로 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 근해의 간석지에 방조제를 축조 및 농경지 조성 및 수자원 확보
한발대비 용수개발 사업	매년 반복되는 가뭄발생지역의 당면 영농을 위한 긴급용수대책	<ul style="list-style-type: none"> · 하천굴착, 간이용수원개발, 양수급수에 따른 유류대 및 전기료 지원
밭 기 반 정비사업	개발여건이 양호한 채소류 주산단지 및 집단화된 밭을 대상으로 용수개발, 농로개설 등 생산기반구축	<ul style="list-style-type: none"> · 용수원개발 및 이용시설 설치 · 경작로 정비 · 밭 경지정리
농촌농업 생활용수 개발사업	상수도 공급이 어려운 전국 면지역 농촌 자연 마을에 암반관정을 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 암반관정개발 및 저수조, 송·급수관로 등 이용시설 설치

자료 : 농촌용수 공급체계 재편계획(농림부, 2003)

② 농지이용현황

농지는 보전하여야 할 것과 비농업목적으로 이용하여야 할 것을 구분하여 보다 이용을 효율화 하기 위해 1990년도에 「농어촌발전특별조치법」을 제정하여 농업진흥지역제도를 도입하였다. 농업진흥지역은 농업의 토대 및 항구적인 농업생산기지의 건설, 농지자원의 효율적 이용과 보전, 농업의 생산성 향상을 위해 집단화된 우량농지를 대상으로 지정하였으며, 1994년 제정된 「농지법」에 계승되어 오늘에 이르고 있다. 농업진흥지역 지정현황은 2008년말 기준 1,033천ha로 1992년 최초 지정시(10,008천ha) 대비 25천ha(2.5%)가 증가하였으며, 이중 진흥구역이 925천ha 이고 보호구역이 108천ha이다. 이를 지목별로 구분하면 논이 716천ha, 밭이 90천ha, 과수원 및 기타가 144천ha으로 농업진흥지역 지정현황 및 지목별 농업진흥지역 현황은 다음과 같다.

<표 1-31> 농업진흥지역 지정현황(면적단위 : 천ha)

지 정 면 적			농 지 면 적					비농지 면 적
계	진흥구역	보호구역	소계	답	전	과수	기 타	
1,058	944	114	997	708	86	9	194	62

<표 1-32> 농업진흥지역 지정(면적단위 : ha)

도 별	전체 농지 (A)	지 정 면 적			대 비(%) (B/A)
		계(B)	진흥구역	보호구역	
합 계	1,947,420.6	1,058,925	944,428.7	114,496.5	54.4
경 기	226,315.6	116,937.4	111,447.9	5,489.5	51.7
강 원	132,393.9	48,527.7	46,231.8	2,295.9	36.7
충 북	133,171.8	57,193.5	50,244.4	6,949.2	42.9
충 남	252,979.5	181,400.8	158,660.9	22,740.0	71.7
전 북	218,147.8	143,086.6	127,442.7	15,643.9	65.6
전 남	326,344.5	232,363.8	200,243.3	32,120.5	71.2
경 북	317,421.7	158,731.2	139,665.0	19,066.2	50.0
경 남	193,026.4	96,330.1	87,797.6	8,532.5	49.9
제 주	53,363.9	-	-	-	0
특·광역시	94,255.5	24,353.9	22,695.1	1,658.8	25.8

(나). 농업생산기반시설 현황 분석

① 농업수리시설 분석

우리나라의 농업용수 공급을 위한 수리시설은 기본적으로 저수지 중심 관개체계로 구성되어 있는 반면에 우리와 유사한 일본은 하천수 이용 중심으로 농업용수 공급원을 가지고 있다. (표 1-33)에서 보는 바와 같이 우리나라 수리시설물에서 관개하는 논의 면적을 시설물별로 살펴보면 2014년말 수리답 중 58.6%는 저수지, 25.7%는 양수장·양배수장·배수장, 8.7%는 보, 5.4%는 관정을 통해 물 공급이 이루어지고 있으며, 결국 하천(소하천 포함) 취수로 볼 수 있는 양수장, 양·배수장, 배수장 그리고 취입보 관개를 합치면 하천 취수 비중은 전체 수리답의 약 34.4%를 차지하고 있다. 또한 전체 농경지 중에서 농어촌공사 관할 구역을 대상으로 볼 경우에는 용수 공급면적의 65.9%가 저수지에 의해 관개되고 있음을 알 수 있다.

<표 1-33> 수리시설별 수리답 면적(단위 : 개소, ha, %)

구분	저수지	양수장	양배 수장	배수장	보	집수 암거	관정	기타 시설	계	
시 군	개 소 수	14,022	3,272	19	242	13,946	2,359	22,670	-	56,530
		24.8	5.8	0.0	0.4	24.7	4.2	40.1	-	100.0
	수 리 답 면 적	103,122.3	28,743.4	385.8	-	55,270.7	7,321.4	40,364.5	4,802.3	240,010.4
		43.0	12.0	0.2	-	23.0	3.1	16.8	2.0	100.0
공 사	개 소 수	3,379	3,494	105	758	4,152	308	1,413	-	13,609
		24.8	25.7	0.8	5.6	30.5	2.3	10.4	-	100.0
	수 리 답 면 적	337,684.7	136,976.2	26,981.6	-	10,511.4	401.3	32	-	512,587.2
		65.9	26.7	5.3	-	2.1	0.1	0.0	-	100.0
계	개 소 수	17,401	6766	124	1,000	18,098	2667	24,083	-	70,139
		24.8	9.6	0.2	1.4	25.8	3.8	34.3	-	100.0
	수 리 답 면 적	440,807.0	165,719.6	27,637.4	-	65,782.1	7,722.7	40,396.5	4,802.3	752,597.6
		58.6	22.0	3.7	-	8.7	1.0	5.4	0.6	100.0

자료: 농림축산식품부, 농업생산기반정비사업통계연보, 2015

농지면적 중 수리답 면적은 (표 1-34)에서 보는 바와 같이 1995년 906,828 ha에서 2008년 831,553 ha, 2014년 752,598 ha로 줄었고 전체 논 면적은 같은 기간 1,205,867 ha에서 1,045,991 ha, 933,615 ha로 감소함으로써 수리답 비율은 75.2%에서 79.5%, 80.6%로 계속 증가하였다. 수리답은 수리시설의 관리주체에 따라 한국농어촌공사 관할구역과 시군 관할구역으로 구분되는데, 농어촌공사 관할구역의 수리답 면적은 1995년 504,318 ha에서 2007년 532,436 ha로 증가추세를 나타내다가 2014년 512,587 ha로 감소한 반면, 시·군 관할구역의 수리답 면적은 2014년까지 지속적인 감소추세를 보여주고 있다. 수리답 전체 면적에서 차지하는 농어촌공사 관할 구역 수리답의 비중은 1995년 75.2%에서 2014년 80.6%로 증가하였다.

<표 1-34> 수리상태별 답면적(단위: ha, %)

구분	총 답면적	수리답				수리불안전답	
		계	공사관할	시군관할	비율	면적	비율
1995	1,205,867	906,828	504,318	402,510	75.2	299,039	24.8
2000	1,149,041	880,444	520,355	360,089	76.6	268,597	23.4
2001	1,146,082	881,228	522,521	358,707	76.9	264,854	23.1
2002	1,138,408	880,365	525,201	355,164	77.3	258,043	22.7
2003	1,126,723	877,539	526,582	350,957	77.8	249,184	22.2
2004	1,114,950	869,822	526,598	343,224	78.0	245,128	22.0
2005	1,104,811	866,958	527,151	339,807	78.5	237,853	21.5
2006	1,084,024	859,040	532,295	326,745	79.2	224,984	20.8
2007	1,069,932	848,276	532,436	315,840	79.3	221,656	20.7
2008	1,045,991	831,553	530,008	301,545	79.5	214,438	20.5
2009	1,010,287	806,475	520,795	285,680	79.8	203,812	20.2
2010	984,140	787,986	516,538	271,448	80.1	196,154	19.9
2011	959,914	772,108	517,375	254,733	80.4	187,806	19.6
2012	966,076	778,362	524,554	253,808	80.6	187,714	19.4
2013	963,876	777,280	526,691	250,589	80.6	186,596	19.4
2014	933,615	752,598	512,587	240,011	80.6	181,017	19.4

자료: 농림축산식품부(2015), 농업생산기반정비사업통계연보

농업용수가 공급되는 수리답 면적은 한발빈도 평년을 기준으로 한 것으로서 10년 이상 빈도의 한발에 견딜 수 있는 수리답은 2014년 561,387.8 ha로 전체 수리답 면적 752,597.6 ha의 74.6%를 차지하며, 평년 빈도의 수리답이 119,380.8 ha로 15.9%, 3년 빈도 수리답 비중은 5.7%, 5년 빈도 수리답 비중은 2.7%, 7년 빈도 수리답 비중은 1.1%이다. 수리시설 유형별로 한발빈도의 비중을 살펴보면 양배수장의 경우 10년 빈도의 한발에 견디는 수리답 비중이 90%를 넘고, 저수지와 양수장은 그 비중이 각각 78.3%와 89.0%를 차지하며, 보·집수암거·관정은 33.1~39.8%로서 우리나라의 농업용수 관개시스템은 저수지 중심으로 이러한 물 공급 시스템 구성은 주작물이 논벼의 물이용 패턴에 기인하고 있다.

수리시설의 경과연수별 분포는 <표 1-36>에서 보는 바와 같이 방조제를 포함하여 총 70,139개의 수리시설 중 건립된 지 30년 미만이 28,611개소(40.8%), 30~50년이 11,641개소(16.6%), 50년 이상이 19,215개소(27.4%)로 나타났다. 저수지는 총 17,401개소 중 70.7%인 12,305개소가 건립된 지 50년 이상 노후화된 시설이었으며, 양수장·배수장·양배수장·관정은 53.3~90.8%가 30년 미만이였다.

<표 1-35> 한발빈도별 관개 면적(단위: ha, (%))

구분	계	평년	3년	5년	7년	10년 이상
저수지	440,807.6	66,985.5	20,948.3	5,385.8	2,227.8	345,259.6
양수장	165,719.6	11,575.1	3,319.7	1,396.9	1,897.9	147,530.0
양배수장	27,367.4	343.7	-	89.6	713.5	26,220.6
배수장	-	-	-	-	-	-
보	65,782.1	21,189.6	10,587.3	4,486.3	3,323.9	26,195.0
집수암거	7,722.7	2,661.7	1,942.0	244.0	104.6	2,770.4
관정	40,396.5	12,027.2	5,931.7	8,819.3	227.4	13,390.9
기타시설	4,802.3	4,598.0	99.0	-	84.0	21.3
합계	752,597.6	119,380.8	42,828.0	20,421.9	8,579.1	561,387.8
	100	15.9	5.7	2.7	1.1	74.6

자료: 농림축산식품부(2015), 농업생산기반정비사업통계연보

<표 1-36> 수리시설 유형별·경과연수별 현황(단위: 개소)

구분	계		30년 미만 ('85~'14)		30년 이상 ('65~'84)		50년 이상 ('46~'64)		45년 이전		수혜면적 (ha)
	시설 수	%	시설 수	%	시설 수	%	시설 수	%	시설 수	%	
계	70,139	100	28,611	40.8	11,641	16.6	5,418	7.7	13,797	19.7	752,597.6
저수지	17,401	100	757	4.4	3,788	21.8	3,321	19.1	8,984	51.6	440,807.0
양수장	6,766	100	3,605	53.3	1,247	18.4	222	3.3	95	1.4	165,719.6
양배수장	124	100	77	62.1	80	16.1	7	5.6	6	4.8	27,637.4
배수장	1,000	100	908	90.8	80	8.0	9	0.9	3	0.3	-
취입보	18,098	100	2,748	15.2	4,332	23.9	1,805	10.0	3	-	65,782.1
집수암거	2,667	100	238	8.9	1,019	38.2	50	1.9	98	3.7	7,722.7
관정	24,083	100	20,278	84.2	1,235	5.1	4	-	15	0.1	40,396.5

자료: 농림축산식품부(2015), 농업생산기반정비사업통계연보

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

② 농업생산기반시설의 노후화 분석

농업용수의 공급은 용수로를 통해 이뤄지고 있으며 우리나라의 용수로는 제형 토공수로, 제형 콘크리트라이닝수로, 직사각형 콘크리트개거, 원형 및 직사각형 콘크리트 관개수로, 마제형 터널수로, 원형 강관수로, 원형 PE관수로 등 그 재질과 형상이 다양하다. 신설수로 설치 시 또는 노후화된 수로의 개보수 과정에서 토공수로가 점차 구조물화 수로로 전환되고 있으며 농업용수로의 구조물화 비율은 용수간선이 64.1%, 용수지선이 55.3%, 용수지거가 43.7%로 평균 52.7%로서 여전히 토공 용수로는 55,775 km(47.3%)가 남아있다. (표 1-37)은 농업용수로의 구조물화 현황을 나타낸 것으로 1945년 이전부터 현재까지의 우리나라 농업용수 수원공의 연도별 설치현황에 의하면 설치 후 30년 이상 경과된 수원공시설이 평균 44%나 된다. 따라서 이들 수원공으로부터 분기된 용수로의 설치연도가 수원공과 비슷하다고 볼 때 전체용수로의 절반 이상이 노후화된 것으로 추정되며, 특히 주 수원공인 저수지의 경우 1964년 이전에 설치되어 50년 이상 경과된 시설은 70.7%나 되며 용수로는 거의 전부가 상당히 노후화 된 상태이다.

<표 1-37> 농업용수로의 구조물화 현황

구 분		계		한국농어촌공사 관할		시·군 관할	
		연장(m)	비율(%)	연장(m)	비율(%)	연장(m)	비율(%)
계	계	117,887,936	100	64,193,649	100	53,694,287	100
	토공	55,775,415	47.3	25,932,900	40.4	29,842,515	55.6
	구조물	62,112,521	52.7	38,260,749	59.6	23,851,772	44.4
용수간선	계	30,962,144	100	17,154,270	100	13,807,874	100
	토공	11,117,241	35.9	3,777,939	22.0	7,339,302	53.2
	구조물	19,844,903	64.1	13,376,331	78.0	6,468,572	46.8
용수지선	계	37,194,761	100	18,485,761	100	18,709,000	100
	토공	16,640,685	44.7	6,219,122	33.6	10,421,563	55.7
	구조물	20,554,076	55.3	12,266,639	66.4	8,287,437	44.3
용수지거	계	49,731,031	100	28,553,618	100	21,177,413	100
	토공	28,017,489	56.3	15,935,839	55.8	12,081,650	57.0
	구조물	21,713,542	43.7	12,617,779	44.2	9,095,763	43.0

자료: 농림축산식품부(2015), 농업생산기반정비사업통계연보

관리가 보다 열악한 시군 관리의 농업용수로는 그 노후도와 개보수의 필요성이 더욱 클 것으로 볼 수 있는데 이들 노후화된 농업용수로는 매년 꾸준히 개보수를 하고 있으나 매년 영농기 전에 반복적으로 준설과 수초제거를 하여야 영농급수가 가능하며 집중호우 또는 태풍 시 수로 제방 붕괴로 농경지 유실 매몰 등 재해발생의 주요 원인으로 작용하고 있다. 농업용수의 공급 방식은 과거와 현재 양적 질적으로 모두 크게 달라지는 데다 물관리의 고도화가 요구되기 때문에 이에 대한 수로조직의 개선이 필요하다. 이러한 상황에서 관리지역 용수로의 효율적

관리와 물사용 경향의 변화 및 수요량의 증가에 대응하기 위하여 용수로 조직에 대한 관리실태, 시설물 현황 및 문제점을 살펴보면 관개효율과 수로손실에 영향을 미칠 토공 구조물구간, 수초구간, 토사매몰구간, 분수문과 제수문의 수와 위치, 인위적 또는 노후화 파손, 수로의 흐름을 방해하는 용수로 내 임의설치 장애물의 위치 및 내용 등이 있다. 현장의 수로는 수초발생, 토사 퇴적, 토사유입, 오물퇴적, 파손 및 외수유입 지점이 다수 산재해 있고, 지구별 차이 없이 토공수로에서는 거의 모든 구간에서 수초가 번성하고, 토사의 퇴적 및 수로의 파손은 지구의 개발 또는 이용에 따라 크게 영향을 받는다. 용수간선의 주요 문제점은 강우 시 인접지역에서 발생되는 유출수가 용수로로 유입되는 경우와 지반침하 노후화 등의 문제로 인한 균열 등 파손, 수로 수위를 상승시키기 위해서 농민이 임의로 설치한 장애물, 수로에 방치된 쓰레기 오물 등 대부분의 용수호가 통수장애의 문제점을 가지고 있으며, 이와 같은 원인 등으로 인해 물손실이 막대하게 발생되므로 통수에 영향을 주는 수초, 토사 등의 퇴적, 각종 오물 등의 문제 해결을 위한 지속적인 수로의 유지관리가 요구된다.

(다) 농업용수·농업생산기반시설의 기후변화 여건분석

① 농업용수 관리여건 변화

우리나라의 경지구분은 논과 밭으로 구성되어 있으며 경지가 1,729,982 ha로 논이 966.075 ha (56.5%)이고, 밭이 763,905 ha(43.5%)로 되어 있다.

- 1인당 논 면적은 약 0.02 ha이고 밭면적은 0.016 ha 있지만 실제 쌀이 경작되는 논 면적은 약 854천 ha로서 경지면적의 50% 정도에 지나지 않으며, 이로부터 4,220천톤 (현백율 92.9%, 9분도 기준)을 생산함
- 하지만 1인당 쌀소비량 71.2 kg/년(2011년 기준)을 고려하면 1인당 주식으로 필요한 쌀은 3,560천 톤으로서 여전히 쌀이 남을 수 있는 결과를 얻을 수 있음

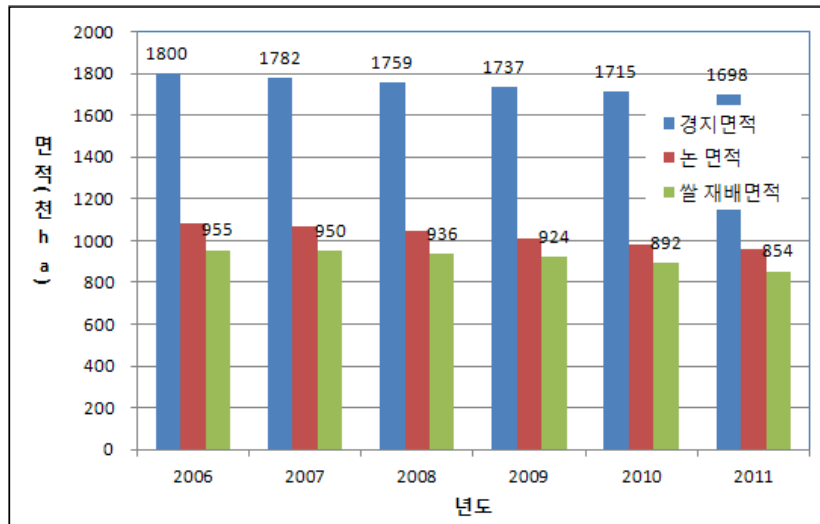
최근 논을 타 작물 재배지로 전환할 수 있는 주변 환경요인이 매우 커지고 있는데 농지의 타 용지로의 전용은 2005년부터 2010년까지 활발하게 이루어졌으나 2010 이후 농지전용면적은 점차 감소되고 있는 상황이다. 식량 증대의 절대적인 요구와 농산물 시장개방 확대, 기후변화 등 향후 예상되는 여러 가지 식량안보 위협에도 불구하고 농지전용 규모가 상당하여 경지면적 감소가 꾸준히 이루어지고 있으며, 농지전용의 경우 최근 공용·공공용시설 및 공익시설로의 전용 면적이 줄면서 연간 농지전용 면적 규모는 감소하는 추세이다. 또한 농지전용이 단일 방향으로만 이루어질 뿐 그 반대 방향인 농지로의 전환이 잘 이루어지지 않는 비가역적인 특성이 있음을 고려할 때 향후 전체 농지의 규모는 계속 감소할 것으로 예상된다.

한국농촌경제연구원(KREI)에 따르면 경지면적은 도시개발 등으로 지속적으로 감소하여 2020년에는 158.8만 ha 수준이 될 것으로 전망되고 있으며(김정호, 2012), 곡물자급률 32%를 가정했을 때 필요 농지규모가 2020년 175.2만 ha임을 감안할 경우 중장기적으로 약 16.4만 ha가 부족한 상황이다. 하지만 일정수준 이상의 전용이 지속되어 우량농지 보전에 문제가 되고 있으며, 이미 잘 정비된 농업용수 공급 수리 시설도 용도가 줄어들고 있는 실정이며, 농업용수의 다목적 용수로의 전용이 어렵고, 농업생산성 향상을 위한 용수공급시설의 고도화가 이루어지지 않고 있어 향후 식량자급률 향상이 어려울 수도 있다.

<표 1-38> 전국 논밭별 경지면적

(단위: ha)

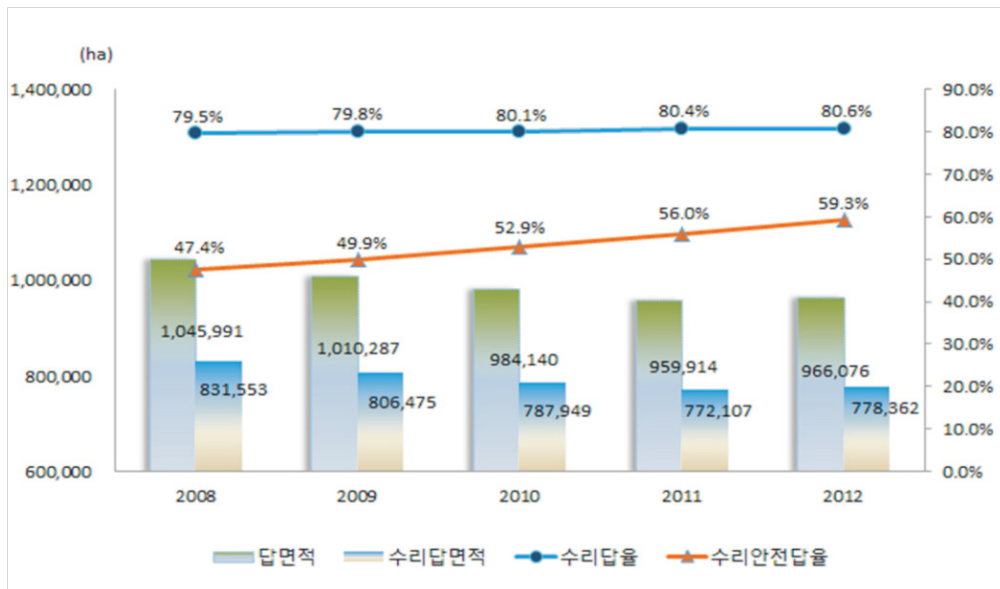
연도	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
계	2,239,692	2,195,822	2,144,415	2,108,812	1,985,257	1,888,765	1,824,039
논	1,276,599	1,306,789	1,324,932	1,345,280	1,205,867	1,149,041	1,104,811
밭	963,093	889,033	819,483	763,532	779,390	739,724	719,228
연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
계	1,800,470	1,781,579	1,758,795	1,736,798	1,715,301	1,698,040	1,729,982
논	1,084,024	1,069,932	1,045,991	1,010,287	984,140	959,914	966,076
밭	716,446	711,647	712,804	726,511	731,161	738,126	763,905



(그림 1-27) 우리나라 경지 면적과 논 면적, 쌀 재배 면적의 변화 추이

농업생산기반정비사업통계연보에 따르면 논 면적은 966천 ha이고, 수리답 면적은 778천 ha로서 수리답면적을 논 면적으로 나눈 수리답율은 80.6% 이다. 한밭빈도10년 이상 관개 면적인 수리안전답 면적은 573천 ha로서 수리안전답 면적을 논 면적으로 나눈 수리안전답율은 59.3%로 나타나고 있다. 이에 따른 논 면적 및 수리답 면적은 약간 감소 추세를 보이고 있으며, 이의 추이를 살펴보면 논 면적은 2010년에 984천 ha에서 2011년 960천ha, 2012년 966천 ha로 나타

났으며, 수리답 면적은 2010년에 788천 ha, 2011년 772천 ha, 그리고 2012년에 778천 ha로 조사되었다. 수리답율은 2010년 80.1%, 2011년 80.4% 그리고 2012년에 80.6%로 증가 추세에 있으며, 수리안전답율은 2010년 52.9%, 2011년 56.0%, 그리고 2012년 59.3%로 역시 증가 추세에 있다. 기후변화는 인간의 활동에 의하여 초래되는데, 인간의 경제활동과 인구의 증가는 토지이용변화를 가져오게 된다. 즉 기후변화 시나리오에 의한 기상자료의 생성은 특정시나리오에 의한 인간의 활동과 토지이용변화를 가지고 이루어지게 되므로 온실가스 배출 시나리오에 나타난 사회·경제적 가정에 따라 모의된 전지구 규모의 토지이용변화 결과를 바탕으로 국내의 미래 토지피복 변화를 공간적으로 예측하고 이와 같은 시나리오로 생성된 미래 기상자료를 가지고 농업수자원 수요량을 예측하는 것이 바람직하다. 특히 기후변화 시나리오에 따라 농지의 변화량이 달라지며 이는 결국 전체 농업수자원 수요량에 영향을 주게 된다.



(그림 1-28) 우리나라 답면적 및 수리답율

한국농촌경제연구원의 농업전망에 따르면 <표 1-39>에서 볼 수 있듯이 2014년도 쌀 재배 면적은 833천ha이며 2023년에는 769천ha로 7.7%로가 줄어드는 것으로 전망하고 있는데 매년 0.77%의 쌀 재배면적이 감소 될 것으로 예상된다.

<표 1-39> 쌀 재배면적 전망

연도	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23
재배면적 (천ha)	833	831	819	812	804	796	787	780	774	769
단수 (kg/10a)	508	501	503	505	507	509	511	513	515	517

자료 : 한국농촌경제연구원(2014). 농업전망

오윤경 등(2011)은 Dyna-CLUE (Conversion of Land Use and its Effects) 모형을 이용하여 지역 특성에 맞는 토지피복변화 경향을 분석하였다. 이 연구에서는 전지구 규모의 통합모형인 AIM 모델에서 산출된 OECD 지역의 토지이용변화 결과와 경기도 지역의 사회·물리적 특성을 결합하여 구성된 지역 규모의 기후변화 시나리오를 활용하였으며 농업진흥구역 및 그린벨트, 상수원 보호구역, 국토환경성 평가 국토환경성 평가 1 등급 지역의 변화제한 조건을 시나리오 별로 차등 적용하여 경기도 지역의 향후 30년간의 토지이용변화를 예측하였다. 이 연구의 결과로 나타난 토지이용변화를 살펴보면 시가화면적의 경우, A1B 시나리오에서만 15.7%로 크게 증가하는 것으로 나타났고, 다른 시나리오에서는 거의 변화가 없는 것으로 모의되었다. 논면적은 30년 동안 약 10.7~14.1% 감소하는 것으로 나타났으며, 밭 면적은 13.7~21.6% 증가하는 것으로 나타났다. 산림면적은 세 시나리오 모두 큰 변화를 보이지 않았고 환경지향 시나리오인 B1 시나리오에서 3.8% 정도 증가하는 것으로 보고되었다.

② 기후변화와 벼의 재배 기간 및 생산량 변화

기후변화에 의한 온도 상승은 작물의 생육기간을 단축시키거나 재배가능 기간이 길어지고 증발산량의 변화는 생산량의 변화로 이어 질 수 있다. 서울대학교와 한국농어촌공사 농어촌연구원(2011)의 연구에 의하면 작물의 생육가능 기간이 최대한 20일 정도 길어져 벼의 이앙시기와 수확시기의 조정이 가능한 것으로 나타났다. 이 연구에서는 국립기상연구소에서 지역 기후모델(MM5)과 PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model)을 기반으로 하여 제공하는 2000년부터 2100년까지의 10 km 해상도의 한반도 기후변화 시나리오(CICC, 2011)를 바탕으로, 8개 기상측후소의 1981년부터 2010년(기준기간)까지의 기상관측자료를 추계학적 기상발생기인 LARS-WG (Long Ashton Research Station Weather Generator) 모형을 통하여 검보정을 실시하고, 기상청에서 제공하는 기후변화시나리오를 바탕으로 2011~2040년(2025s), 2041~2070년(2055s), 2071~2100년(2085s)의 미래 기상자료를 생성하고, 이를 기반으로 벼의 생육기간을 평가하였다. 이 연구에서는 논벼의 필요 용수량은 작부시기에 따라 변하게 되므로, 먼저 기후변화로 인한 지역별 작부시기 변화를 바탕으로 용수공급시기를 판단할 필요가 있다. 본 연구에서는 논벼의 생육기간 동안의 적산온도를 적용하여 이앙기, 출수기, 수확기를 추정하였는데 <표 1-40>에서 보는 바와 같이 향후 90년 동안 중부지방은 26일 남부지방은 20일 이상 이앙기가 늦어질 수 있음을 보여 주었다.

이태석 등(2012)이 수행한 연구에서는 기후변화에 의한 벼의 소비수량과 생산량의 관계를 제시하였는데, CERES-Rice 작물생육모형을 이용하여 기후변화가 미래 논벼의 소비수량과 생산량에 미치는 영향을 분석하였으며 SRES A1B, A2, B1 시나리오에 대하여 CGCM 결과를 LARS-WG 모형으로 상세화한 후, 농촌진흥청과 국립식량과학원에서 제시하는 표준영농법에 의해 논벼의 소비수량과 생산량을 모의하였다.

<표 1-40> 기후변화에 따른 벼 생육기간의 변화

Season	Central region			Southern region		
	Transplanting date	Heading date	Harvesting date	Transplanting date	Heading date	Harvesting date
1995s (1980~2009)	05-21	08-20	10-06	06-01	08-31	10-11
2025s (2010~2039)	06-01	08-25	10-11	06-06	08-31	10-16
2055s (2040~2069)	06-11	08-31	10-16	06-16	09-05	10-21
2085s (2070~2099)	06-16	08-31	10-21	06-21	09-05	10-25

생육기간, 생육기간 내에서 최고기온 32 ℃ 이상을 기록한 날의 수, 평균기온, CO₂ 농도 등 미래 작물 생육환경의 변화를 살펴본 결과, 평균기온의 상승으로 생육기간은 감소하고 생육기간 동안 최고기온이 32 ℃ 이상인 날의 수는 많아졌으며 CO₂ 농도의 경우 IPCC SRES database 에서 제공하는 수치에 따라 2100년에는 A1B, A2, B1 시나리오 별로 각각 789.0 ppm, 911.6 ppm, 522.6 ppm까지 증가할 것으로 예측된 결과를 제시하였다. 이로 인한 벼의 생산량은 기준 년도의 벼 생산량은 450.7 kg/10 ha로 나타났고 각각의 시나리오별로 생산량의 변화 추세는 A1B, A2, B1 순으로 -0.4 %, 3.0 %, -5.8 %(2025s), 3.9 %, 3.1 %, 3.7 %(2055s), 17.5 %, 9.7 %, 4.4%(2085s) 증가하였다. 생산량의 경우 후기로 갈수록 증가하는 경향을 보였으며, A1B 시나리오에서 가장 크게, B1 시나리오에서 가장 작게 증가하는 것으로 보고되었다. 이는 기후변화로 인한 기온 상승으로 벼의 발육을 빠르게 하여 등숙기간을 단축시켰으며, 고온으로 인한 임실을 저하를 유발하여 생산량을 감소시키는 원인이 되지만, 대기 중 CO₂ 농도의 증가는 생산량을 증가시키는 원인이 되고, 이로 인해 벼의 생육기간은 단축되고, 소비수량은 감소하지만 생산량은 증가한 것으로 판단된다고 제시하였다.

③ 기후변화에 따른 농업용수량 변화

기후변화에 따른 논에서의 증발산량 및 필요수량을 추정하여 관개용수량의 변화를 평가하려는 연구가 미래 기상자료를 바탕으로 다양하게 수행되어 왔다. 홍은미 등(2009)은 기상자료와 국립기상연구소에서 제공하는 A2 시나리오에 따른 기후변화 예측 결과를 바탕으로 LARS-WG 추계학적 일 기상 생성모형을 이용하여 미래의 90년간의 일별 기상자료를 모의하여, 미래 기후 변화 추이를 살펴보고 이에 따른 관개 기간 동안의 논벼의 작물증발산량을 산정하였으며, 논벼의 작물 증발산량이 현재보다 증가할 것으로 예측하였다. 정상욱 등은(2009)은 A2 및 B2 시나리오 결과를 활용하여 HadCM3 GCM 모형 자료를 이용, 통계적 규모축소화(downscaling) 방법의

일종인 kriging 방법을 사용하였으며 낙동강 권역의 농업용수 수요량을 분석한 결과, 유효강수량의 증가량이 증발산량의 증가량 보다 크기 때문에 단위용수량 및 관개요구량의 미래 시나리오에 대한 추정치가 감소할 것으로 예측하였다. 또한 정상옥(2010)은 AquaCrop 3.1 모형을 이용하여 기후변화에 따른 벼 증발산량과 생산량 변화를 평가하고 그 값이 증가하는 것으로 예측하였다.

이태석 등(2012) 이 CERES-Rice 작물생육모형을 이용하여 수행한 연구에서는 논벼의 소비수량은 후기로 갈수록 감소하는 것으로 예측되어, 벼의 증발산량도 작물의 생육에 대한 고려가 함께 고려되었을 때와 고려되지 않았을 때 서로 상반된 결과가 나타날 수 있음을 보여 주고 있다. 이와 같은 연구는 주로 기후변화에 따른 증발산량 및 필요수량, 관개용수의 평균적인 변화를 주로 다루었을 뿐, 관개시설의 설계기준이 되는 한발기준 10년 빈도 논용수 수요량 및 단위용수량에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 또한 기후변화에 따른 기상자료 산출시 자주 활용되고 있는 전지구기후모델(Global Climate Model, GCM) 및 지역기후모델(Regional Climate Model, RCM)의 해상도는 수십 km에서 수백 km이기 때문에, 상대적으로 유역 크기가 작은 농업용저수지에 적용하기에는 일부 한계가 있는 것이 사실이다. 국립기상연구소의 지역기후모델(MM5)과 PRISM을 기반 1 km 해상도의 한반도 기후변화 시나리오를 사용하여, 유승환 등(2012)은 전국 주요 저수지를 대상으로 논용수 수요량과 단위용수량에 대한 평가를 실시하였다. 이 연구에서는 증발산량과 유효수량, 침투량 등을 고려하고 이앙기와 본답기를 구분하여 기후변화 영향을 평가하였는데 작물증발산량의 경우, 기준기간과 비교하여 모든 지구에서 증가하는 추세를 나타내어 8개 지구의 평균 증가 비율은 2025s에 2.4%, 2055s에 5.9%, 2085s에 9.3%이었다. 유효수량은 지역에 따라 시기별로 변화 경향의 차이가 있었지만 대부분 지역에서 증가하는 경향을 나타내었으며 평균 증가 비율은 4.7%(2025s) 7.0%(2055s) 및 6.7%(2085s)이었다. 논용수 수요량의 경우, 기준기간과 비교하여 원남(충북) 및 고흥(충남) 지구는 2055s 시점으로 증가하는 경향을, 대포(전남)와 마북(경북) 지구는 2085s에서 증가하는 경향을 나타냈었고, 마둔(경기) 지구와 남성(경남) 지구는 지속적으로 증가하는 경향을, 원창(강원)과 인교(전북) 지구는 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었는데, 이 연구에서는 유효수량의 증가가 작물증발산량 증가보다 상대적으로 크게 증가하기 때문인 것으로 보고하였고, 8개 지구의 평균 변화 비율은 각각 -2.4%(2025s) -0.2%(2055s) 및 3.2%(2085s)로 나타나 기후변화가 반드시 논용수량의 수요 증가로 귀결되지 않음을 보여 주었다. 즉 벼의 생육시기가 지금과 같다는 전제로 평가한 경우 유효수량이 대부분 증가하지만 생육시기의 변화를 고려하면 유효수량이 감소하는 추세를 보여 주었는데 기후변화 요인을 강우로 한정하여 평가한 결과와 벼의 생육 환경을 고려하여 평가한 결과가 서로 다른 수 있음을 보여 주는 예라고 할 수 있다.

다. 기후변화 실태조사 및 영향·취약성 평가 지표개발

(1) 기후변화 관련 법령 및 영향·취약성 평가 요소 분석

(가) 기후변화 관련 법령

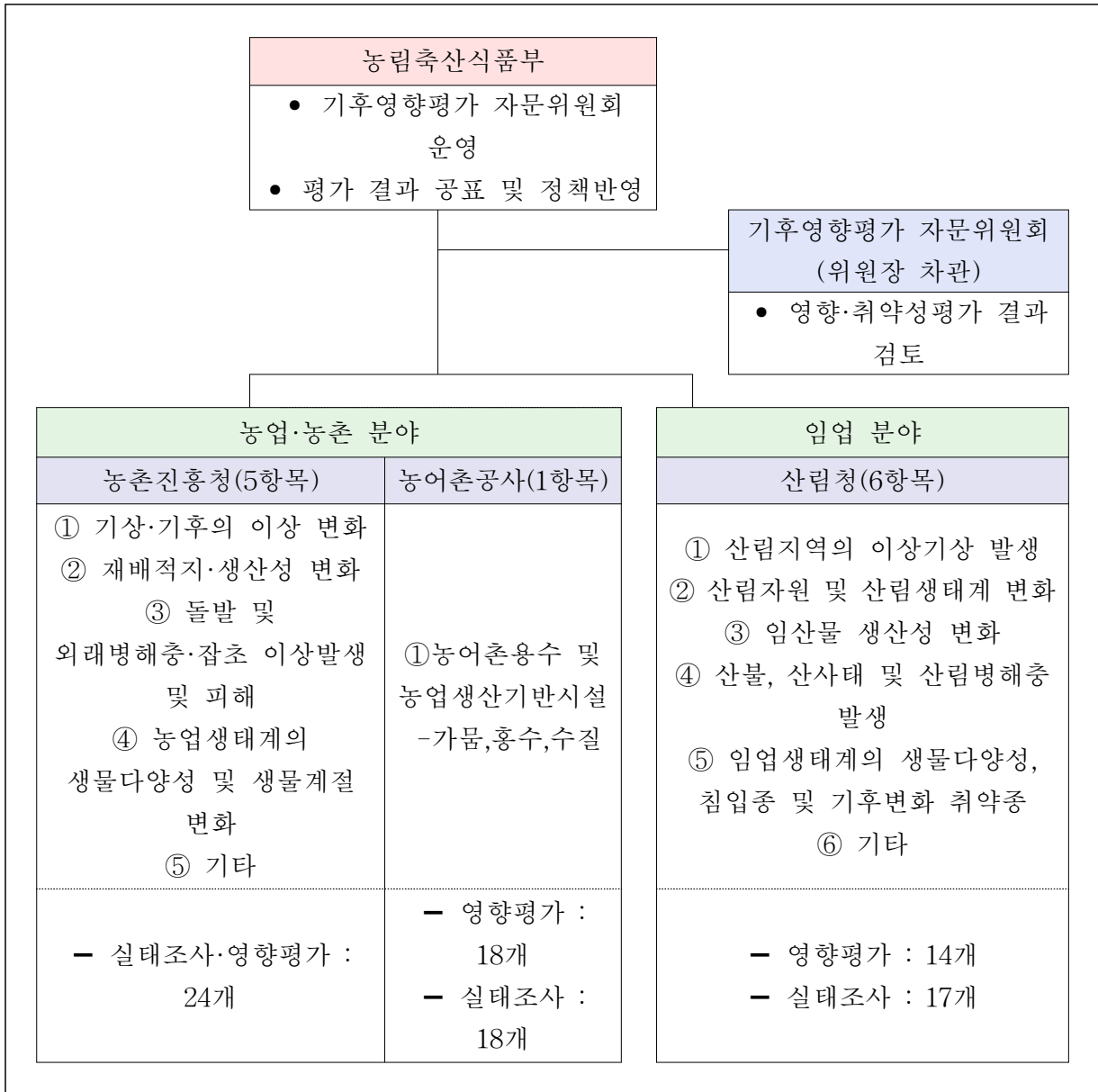
농업분야는 기후 의존적인 특성으로 인해 기후변화에 취약하므로 선제적인 대응을 위해 국가 차원의 영향·취약성 평가를 추진하였다.

- 「저탄소 녹색성장 기본법」을 근거로 동법에 농업분야 기후변화 영향평가 구체화 규정이 입법되어 「농업·농촌 및 식품산업기본법」 제47조의 2가 신설됨
- 평가업무를 전문기관에서 추진하도록 위임·위탁 규정이 「농업·농촌 및 식품산업기본법」 시행령 제19조의 2 신설됨

<표 1-41> 기후변화 관련 법

「저탄소 녹색성장 기본법」
제48조(기후변화 영향평가 및 적응대책의 추진) ③ 정부는 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 기후변화로 인한 생태계, 생물다양성, 대기, 수자원·수질, 보건, 농·수산식품, 산림, 해양, 산업, 방재 등에 미치는 영향 및 취약성을 조사·평가하고 그 결과를 공표하여야 한다.
「농업·농촌 및 식품산업기본법」
제47조의2(기후변화에 따른 농업·농촌 영향 및 취약성 평가) ① 농림축산식품부장관은 농업·농촌의 지속가능한 발전을 위하여 지구온난화 등 기후변화가 농업·농촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성을 5년마다 조사·평가(이하 "기후영향평가등"이라 한다)하여 그 결과를 공표하고 정책수립의 기초자료로 활용하여야 한다.
시행령 제19조의2(기후변화에 따른 농업·농촌 영향 및 취약성 평가 등에 관한 권한 및 업무의 위임·위탁) ① 농림축산식품부장관은 법 제47조의2제5항에 따라 다음 각 호의 사항에 관한 권한 중 농업·농촌 분야(임업 분야 및 「농어촌정비법」 제2조제3호 및 제6호에 따른 농어촌용수 및 농업생산기반시설 분야는 제외한다)에 관한 권한을 농촌진흥청장에게 위임한다.

- 해당법령의 근본 취지는 기후변화가 농업·농촌에 미치는 영향을 심층적으로 실태조사하여 기후변화에 선제적으로 대응할 수 있도록 5년 주기로 기후변화 영향평가와 취약성 평가의 추진임
- 이를 위해 전문분야의 특성을 잘 반영하고 평가방법의 일관성과 법적 안정성을 위해 운영체계는 농림축산식품부가 총괄하면서 농촌진흥청과 산림청에서는 소관 분야를 위임하고 농어촌용수 및 농업생산기반시설 분야는 한국농어촌공사가 위탁 방식으로 구성함



(그림 1-29) 기후변화 실태조사 및 영향평가 운영체계

- 평가대상은 농업식품기본법 시행규칙 제5조에 명시된 2개분야(농업·농촌, 임업), 12개 항목(작물재배 적지 및 생산성 변화 등)으로서 농림축산식품부에서는 「기후영향평가 자문위원회」 운영을 통해 결과공표 및 정책을 반영하고 담당기관은 선제적으로 실태 조사를 하여 5년간의 축적된 자료를 활용하여 영향평가를 시행한다는 내용임

<표 1-42> 용어 정의

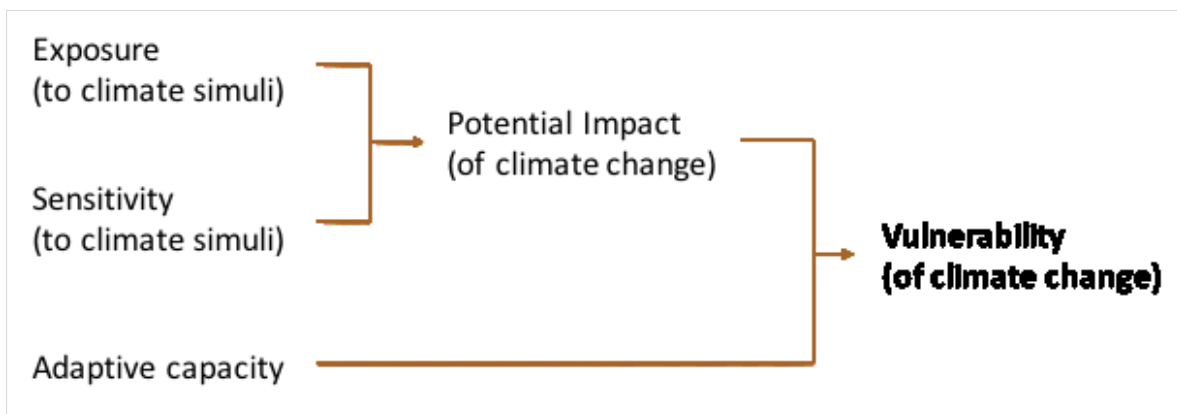
구 분	정 의
기후변화	인위적인 활동으로 인하여 온실가스의 농도가 변하면서 상당 기간 관찰되어 온 자연적인 기후변동에 추가적으로 일어나는 기후체계의 변화
이상기상	과거에 경험한 기상상태와 크게 차이가 나는 기상현상으로, 현재로부터 최소 25년~최대 30년 전 까지의 기후 평균값과 비교하여 범위를 벗어나는 기상(요소) 값
실태조사	기후변화 또는 이상기상으로 야기된 현상을 조사하는 것을 말하며, 실태조사는 규칙 제5조2제3항에서 규정한 직접조사와 간접 조사의 방법을 통하여 실시
영향평가	기후·기상 인자가 안정화된 현재의 농업생산시스템(적지, 생산성, 병해충, 생물 다양성 등)에 변화를 일으키는 영향값을 산출 하는 것이다. 즉, 현재 상태를 기준으로 하여 기후변화에 따른 영향값 차이를 평가
취약성	기후변동과 극한현상을 포함한 기후변화의 부정적 영향에 대해 민감하게 반응 하거나 대처할 수 없는 정도
취약성평가	기후변화의 부정적 영향값을 낮추거나 제거할 수 있는 기술·정책의 유무 및 해당 기술·정책이 영향값 조절에 기여하는 정도를 차감하여 평가

「농촌진흥청 고시 제2016-16호」를 통해 기후변화가 농업에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성 조사·평가에 관한 기준을 마련하였고, 관련된 용어를 다음 표와 같이 정의함

(나) 기후변화 취약성 평가 요소 및 접근방법

취약성 평가는 기후변화 저감을 위한 장기 목표를 설정할지 아니면 취약한 지역이나 부문을 파악할지 또는 적응 전략을 개발할 것인지 등 평가목적에 따라 평가 방법, 필요한 정보, 과정의 설계, 시공간적인 단위, 불확실성에 대한 고려, 기후 이외의 요인 등이 달라진다.

취약성 평가의 목적은 크게 기후영향평가, 적응정책의 자원배분을 위한 취약부문 및 지역 파악, 적응정책 개발을 위한 적응 대안 분석으로 나눌 수 있다. 기후변화 취약성을 구성하는 요소로서 노출(exposure), 민감도(sensitivity) 그리고 적응성(adaptive capacity) 3가지 성분은 기본적으로 다음 그림과 같은 상호관계를 갖는다.



(그림 1-30) 기후변화 취약성 구성성분과 상호관계

출처 : IPCC 보고서, 2007

- 이 과정에서 지표의 선정은 조사의 목적, 축적, 시스템의 형태, 조사자의 개인적취향, 자료의 접근성에 따라서 달라지며, 특히 지표선정 시에는 자료수집의 용이성은 물론 해석이 간단하고 조사대상 지역이 바뀌어도 지속적으로 조사가 가능하여야 함
- 노출(exposure)은 기후변화의 정도와 이와 관련된 문제점이 어느 정도인지를 표현하는 척도로서, IPCC(2012)는 “사람, 생계수단, 환경 서비스 및 자원, 기반시설이나 경제적, 사회적 또는 문화적 자산이 악영향을 받을 수 있는 장소에 존재하는 것”으로 정의하고 있음. 정도(degree), 기간(duration) 그리고 범위(extent) 등으로 나눌 수 있으며, 기본적으로 미래에 대한 예측값을 입력값으로 사용하는데, 보통의 경우에는 과거의 역사적 기록들을 통계적 기법으로 해석해서 예측값을 추출하여 사용하고 있음
- 민감도(sensitivity)는 기후관련 자극에 의해 시스템이 영향을 받는 정도로서 여기에는 부정적인 영향과 긍정적인 영향을 모두 포함됨. 민감도는 기후노출로 인한 영향 사이의 투입-반응(dose-response) 관계를 나타내며 민감한 시스템은 기후변화에 대한 반응성이 높기 때문에 약간의 기후변화에도 예민하게 반응하게 됨. 따라서 민감도를 이해할 때 시스템이 기후 영향에 의해 변화를 나타내기 시작하는 임계점이 중요한 의미를 갖게 됨. 시스템의 민감도에 영향을 미치는 토지이용, 자연 및 정주환경 등은 넓은 의미의 사회, 경제, 문화, 정치, 환경적 조건을 반영하기 때문에 이들 요인 중 일부는 적응역량을 결정하는 요인과 유사함
- 적응능력(adaptive capacity)은 어떤 시스템이 극한 기후현상을 포함한 기후변화에 대응하고 잠재적인 피해를 완화하며, 기후변화로 발생하는 기회를 활용할 뿐만 아니라 그 결과에 대처하는 정도를 의미함. 적응능력은 시스템이 기후변화의 영향으로부터 얼마나 빨리 회복할 수 있는가를 나타내므로 사회, 경제 및 환경적 요소가 중요함. 적응능력이 낮은 시스템은 기후변화의 작은 영향에도 취약한 반면, 적응능력이 높은 시스템은 기후변화에 쉽게 영향을 받지 않으면서도 회복력 또한 빠르며 적응능력은 관리능력, 재정, 기술, 정보 관련 자원에 대한 접근성, 인프라, 제도, 정치적 영향력, 인적 네트워크 등에 의해 영향을 받기 때문에 국가나 지역사회마다 다르며, 동일 한 지역 내에서도 집단이나 개인에 따라 달라짐

(다) 취약성 평가 접근방법

취약성 평가의 목적이 취약성 유발요인에 관한 정보를 제공하여 어디에 적응 대책이 필요하고 효과적일 수 있는지 파악하는데 도움을 주는 것이라면, 취약성 결정요인에 대한 분석을 명료하고 상세하게 수행하는 것이 중요하다. 그러므로 특정 관심사에 구체적으로 부합하는 결정요인을 확인하는 것뿐만 아니라 앞서 언급한 일반적인 결정요인 중 어느 것이 타당한지에 대해서도

신중하게 고려해야 한다. 다양한 결정 요인들이 어떻게 상호작용하여 취약성에 영향을 미치는지를 보여주는 다양한 개념적 모델을 표현하는 접근방법으로 3가지의 방법이 있다.

- 첫째, 위험-위해(Risk-hazard, RH) 모델의 목표는 "위험의 영향을 위험한 사건에 대한 노출과 노출된 대상의 민감성의 함수로 이해하는 것" 임
- 둘째, 압박-해소(Pressure-and-release, PAR) 모델은 "위험을 변동, 스트레스 요인 또는 스트레스에 노출된 취약성의 함수로 명시적으로 정의함
- 셋째, 확장된 취약성(Expanded vulnerability, EV)모델은 "서로 연결된 인간-환경 시스템에 주목하는데 곧 이 시스템의 취약성과 지속 가능성은 인간의 하부시스템과 생물물리적 하부시스템 사이의 시너지효과에 기초함. 왜냐하면 이것들은 다양한 시공간적(아울러 기능적) 범위에서 작동하는 프로세스에 영향을 받기 때문임

본 연구에서 추진하는 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 지표는 세 번째 확장된 취약성 모델을 기반으로 취약성 평가에 접근하였다.

- 현재 경험하는 기후의 상태가 기후변화 시나리오에 따른 환경변화에 대응하는 작물, 생태계, 물순환, 기반시설 등의 반응은 이익일 수도, 피해일 수도 있음
- 따라서 환경변화가 작물, 생태계, 물순환, 기반시설에 미치는 영향에 대한 조사가 필요하고, 기후변화 시나리오를 예측하고 그것을 적용하였을 때의 영향·취약성 평가를 수행하는 것도 중요하지만, 기후변화 시나리오에서 예측한 내용과 예측한 시점의 현실과의 일치성을 비교분석하는 것이 필수적임
- 실태조사는 현재의 상태에 대하여 조사하는 것을 의미하고, 영향평가는 현재 사용되는 시나리오를 적용할 경우에 나타날 수 있는 미래의 이익/피해를 의미하여, 취약성 평가는 대응(적응)책을 적용할 경우 남아있을 미래의 피해를 나타내는 것임

(2) 기후변화 평가지표 분석

(가) 이수관련 영향평가 기법 분석

① SPI (Standardized Precipitation Index)

Mckee et al. (1993, 1995)이 강수량이 부족하면 용수 공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량, 토양함유수분, 하천유출량 등에 각기 다른 영향을 미친다는 가정으로부터 개발하였다.

- SPI는 특정한 시간에 대한 계산 시간단위를 3, 6, 9, 12개월 등과 같이 설정하고, 시간단위별로 강수 부족량을 산정하여 개개의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 방법

- 시간단위로 산정된 SPI는 농업적 측면에서 해갈을 위한 강수량 계산 등에 사용될 수 있고 장기 시간단위로 산정된 SPI는 수자원의 공급관리를 위한 계획 등에 사용함

<표 1-43> SPI에 의한 가뭄의 분류기준

가뭄지수의 범위	수분상태
2.0 이상	Extremely wet
1.5 ~ 2.0	Very wet
1.0 ~ 1.5	Moderately wet
-1.0 ~ 1.0	Near normal
-1.5 ~ -1.0	Moderate dry
-2.0 ~ -1.5	Severely dry
-2.0 이하	Extremely dry

② SPEI (Standardized Precipitation evapotranspiration Index)

SPI는 기온과 관련된 변수를 고려하지 않기 때문에 기후변동으로 인한 강수, 증발산 등의 물수지 변화를 고려할 수 없다는 한계점이 있다. 최근에 SPI와 유사하지만 기후변동으로 인한 강수 변화뿐만 아니라 증발산량의 변동성이 미치는 영향을 반영할 수 있는 새로운 개념의 가뭄지수인 SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010) 개발되었다.

SPEI는 임의의 월 i 에서 강수와 Thornthwaite 모형(Thornthwaite, 1948; Thornthwaite & Mother, 1955) 등을 이용해서 PET를 계산한다.

③ SDI (Streamflow Drought Index)

Nalbantis (2008)는 하천수 가뭄지수인 SDI (Streamflow Drought Index)를 제안하였는데, 월 유량으로 가뭄의 심도와 지속기간을 구분해 내는 방법으로써, Sung and Chung (2014a, b)도 이와 유사하게 임계수준 방법과 결합하여 하천수 부족량을 산정하는 방법을 제안하였다.

④ WADI (Water supply Drought Index)

WADI는 실제 용수 공급에 따른 가뭄을 정의하기 위해 개발된 가뭄지수이다. WAMIS (Water Resources Management Information System), RIMS (Rural Infrastructure Management System), GIMS (national Groundwater Information Management and Service center) 및 가뭄정보시스템에서 제공하는 SPI 등 총 6개 요소(취수원수위, 지하수 수위, 농업용 저수지 저수율, 댐유입량, 하천수위 및 유량)를 대상으로 하고 있다. 각 요소별로 가용자료의 표준화를 실시한 후, 각 표준화 결과의 순서를 정하여 중첩하므로써 해당일의 가뭄지수를 공간적으로 표현하는 지수이다.



(그림 1-31) WADI에 의한 수문학적 가뭄지수

출처: 한국수자원학회, 수자원정책 비전 제3호

⑤ PDSI (Palmer Drought Severity Index)

Palmer (1965)는 가뭄을 “장기간의 이상 습윤 부족”이라 정의하였는데 이러한 가뭄의 정의를 통해 Palmer는 가뭄의 심도를 수분의 부족량과 부족기간의 함수로 나타내었는데, 통계적으로 시간과 공간의 일관된 비교를 통해 얻어지는 가뭄지수 개발하였다. PDSI는 강수량과 기온 자료 뿐만 아니라 지역적 유효토양수분량에 근거하여 산정된 입력 자료들로부터 증발산량, 함양량, 유출량 및 손실 량을 포함하여 물수지방정식의 모든 기본적인 사항들이 결정된다.

<표 1-44> PDSI에 의한 가뭄 분류기준

가뭄지수의 범위	수분상태
4.0 이상	Extremely wet
3.0 ~ 4.0	Very wet
2.0 ~ 3.0	Moderately wet
1.0 ~ 2.0	Slightly wet
-1.0 ~ 1.0	Near normal
-2.0 ~ -1.0	Mild drought
-3.0 ~ -2.0	Moderate drought
-4.0 ~ -3.0	Severe drought
-4.0 이하	Extreme drought

⑥ SWSI (Surface Water Supply Index)

SWSI는 용설을 반영하지 못하는 PDSI의 한계점을 보완하는 과정에서 개발되었다. 필요자료로는 강수, 하천유출, 저수지 저수량, 용설량 등이 있으며, PDSI에 비해 많은 수문인자를 고려하기 때문에 수문학적 가뭄에 대한 지표를 제공한다.

<표 1-45> SWSI에 의한 가뭄의 분류기준

가뭄지수의 범위	수분상태
3.0 ~ 4.0	Abundantsupply
1.0 ~ 3.0	Above normal supply
-1.0 ~ 1.0	Near normal supply
-3.0 ~ -1.0	Moderate drought
-4.0 ~ -3.0	Severe drought

⑦ MSWSI (Modified SWSI)

SWSI (Surface Water Supply Index, Shafer and Dezman, 1982)는 용설량, 저류량, 하천유량, 강수량을 입력인자로 하여 가뭄을 평가하는데 기존의 개발된 가뭄지수중 가장 수문학적으로 가뭄을 평가하는 가뭄지수이다. 복잡한 지형조건과 다양한 물공급 특성의 우리나라의 수문학적 가뭄을 평가하기 위하여 권형중 등(2006)은 SWSI를 보완한 MSWSI (Modified SWSI)를 제시하였다. 우리나라에서 관측되고 있는 수문인자 중 수문학적 가뭄평가에 사용이 가능한 인자로서 강수량, 댐유입량, 하천유량, 지하수위를 선정 후 SWSI 산정식을 기본으로 하여 우리나라의 실정에 맞는 입력인자를 사용해야 한다.

<표 1-46> MSWSI에 의한 가뭄의 분류기준

가뭄지수의 범위	수분상태
0 이상	Normal
-1.18 ~ 0	Mild
-1.18 ~ -2.29	Moderate
-2.29 ~ -3.47	Extreme
-3.47 이하	Exceptional

⑧ CMI (Crop Moisture Index)

CMI지수는 주요 작물재배지역의 단기간의 수분공급량을 반영하여 토양의 수분조건을 평가하기 위해 개발되었다. 수분의 변화 상태에 빠르게 반응하고 지역과 시간으로 가중되어 일반적으로 서로 다른 지역에서의 수분상태를 비교하는데 사용한다. 필요자료는 온도, 강수량 등이며, 성장하는 곡물에 영향을 주는 단기간 수분상태를 관측하기 위해 제안하였는데 장기간의 가뭄 관측의 적용에는 한계가 있다.

<표 1-47> CMI에 의한 가뭄의 분류기준

가뭄지수의 범위	수분상태
3.0 이상	Excessively wet
2.0 ~ 2.9	Wet
1.0 ~ 1.9	Abnormally moist
-0.9 ~ 0.9	Favorably moist
-1.0 ~ -1.9	Abnormally dry
-2.0 ~ -2.9	Excessively dry
-3.0 이하	Severely dry

⑨ SMI (Soil Moisture Index)

SMI지수는 가뭄이 가지는 다양한 특성을 세 가지의 특성치로 구분하며 기본수준(truncation level)에 대한 부족분에 대한 지속기간(duration; D), 크기(magnitude; M), 강도(severity; S)로 분류하고 있다. 강수량, 기온, 풍속, 습도, 토양물리 특성자료 이용하여 식생에 영향을 주는 가뭄을 판단하기 위한 지표로서 SMI지수를 총 4단계로 구분하고 다른 가뭄지수들과 달리 강수가 많은 상태인 습윤한 상태는 가뭄지수 0이라 표현된다. SMI의 Severity의 나뉨은 확률에 기인하여 구분된다.

<표 1-48> SMI에 의한 가뭄의 분류기준

가뭄지수의 범위	수분상태
-	Normal
0.30 이하	Mild
0.30 ~ 0.70	Moderate
0.70 ~ 0.95	Extreme
0.95 이상	Exceptional

⑩ RDI (Real-time Drought Index)

RDI는 수요량과 실시간(일별) 공급량에 의한 불균형으로부터 물부족량을 산정하기 위해 개발. 필요자료로는 하천유량, 저수지 저수량, 댐 저수량, 생활·농업·공업용수 등 용수별 수요량 공급량만을 고려한 다른 수문학적 가뭄지수와 달리 수요량이 고려되며, 행정구역별/생활·농업·공업용수 용수별 수문학적가뭄 지수산정이 가능한 지표이다.

<표 1-49> RDI에 의한 가뭄의 분류기준

가뭄지수의 범위	수분상태
$0 \geq \text{Shortage rate}$	Normal
$0 < \text{Shortage rate} \leq 0.25$	Moderate
$0.25 < \text{Shortage rate} \leq 0.50$	Severe
$0.50 < \text{Shortage rate} \leq 0.75$	Extreme

(나) 치수관련 영향평가 기법 분석

① PSR (Pressure-State-Response) 모형

압력지수(Pressure), 현상지수(State), 대책지수(Response)를 이용한 홍수위험도평가 방법으로 경제협력개발기구(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD, 1991)에서 개발하여 국제기구나 각국의 지표설정에 주로 활용하고 있다. PSR 모형은 홍수 피해 특성을 분석하여 사회, 경제 및 여타 사항간의 상호 연관된 관계를 인과 관계로 파악하여 평가 가능하며 실제 침수면적 DB를 이용하여 비교한다.

<표 1-50> PSR 모형에 따른 홍수위험도 평가방법(OECD, 1991)

평가지표	평가기준	대체 변수 예
압력지수 (Pressure)	유역의 홍수피해에 대한 물리·환경적 압력을 평가하기 위한 수단 지표 값이 클수록 해당 지역의 홍수피해 대상이 재해에 취약	수문 특성/유역 특성 인문·산업·경제 홍수 피해 위험지역
현상지수 (State)	유역의 홍수에 노출되어 있는 수준 판단 및 홍수 피해 현황을 파악	홍수 피해 밀도/사망자수 피해자수 침수면적밀도
대책지수 (Response)	홍수 재해 발생 시 이에 대응할 수 있는 능력을 판단하기 위한 기준 지역 간의 비교를 바탕으로 지역별 대응능력의 분포를 파악하고 상대적으로 대응 능력이 미흡한 지역 파악 가능 해당 지역에 대한 대책수립 기초자료로 이용 가능	재정자립도 치수시설 현황 홍수대책현황



(그림 1-32) PSR모형을 이용한 홍수피해등급 산정

② DPSIR (Driving force-Pressure-State-Impact-Response)

추진력(Driving force), 압력(Pressure), 상태(State), 영향(Impact), 반응(Response)지표를 이용한 홍수위험 평가방법이다. OECD에서 개발한 PSR 모형을 개선하여 1999년 EEA (European Environmental Agency)가 제안한 모형으로 기존의 PSR 모형에서는 복잡한 생태학적 과정과 인간 환경의 상호 인과관계를 포함하지 못 하는 점을 인간의 행복은 환경의 질과 관계가 있고 사회의 활동과 경제적 압력은 환경과 인간의 행복에 영향을 친다는 개념을 추가하여 추진력과 영향으로 반영하였다. DPSIR 모형은 지표화의 지속가능성을 위하여 개발되었으며, 추진력-압력-상태-영향-반응으로 구분한다.

<표 1-51> DPSR 모형에 따른 홍수위험도 평가방법(EEA, 1999)

평가지표	평가기준	대체변수 예
추진력 (Driving force)	환경에 영향을 미치는 사회-경제적 요소 홍수와 직접적인 관계가 없더라도 잠정적인 영향을 주는 인자	인구/자원 사용량 교육수준/거주자 수
압력 (Pressure)	환경의 상태에 직접적으로 영향을 미치는 자연적인 요소 사회, 경제, 환경 분야별로 치수·방재의 필요성을 요구하는 인자	주요사회기반시설 지역개발 계획
상태 (State)	환경의 질과 자연자원의 양을 정량적으로 측정 압력으로 인해 변화하거나 영향을 받을것으로 예상되는 인자 홍수·재해에 의해 예상되는 상태 또는 상태의 변화가 예상되는 인자	도시지역비율 범람 위험지역 빈도별 홍수위
영향 (Impact)	환경의 상태가 인간, 동물, 생화학적 과정에 미치는 영향임 상태에 발생하는 홍수·재해로 인하여 야기되는 영향을 나타내는 인자	인명피해 홍수 피해액 홍수발생빈도
반응 (Response)	환경의 변화에 대한 사회의 반응으로 환경개선을 위한 다양한 활동 홍수 등의 재해에 대한 분야별 치수·방재 대응 인자	저수지 건설 제방增高

③ 물 안보지수

물 안보지수는 지속가능한 물이용을 물 안보 측면에서 DPSIR 구조에 따라 지표를 구성하였으며, 가중치를 계산하여 통합한 뒤 물이용을 평가하는 지수이다. 수자원이용의 세부분야로 물 관련 재해경감, 물분쟁, 안정적 물공급을 위한 지역격차 해소, 친수환경조성, 물재이용을 검토한 뒤 이를 반영하여 물 안보지표를 구성한다.

<표 1-52> 물안보 평가 지표

구분	요인	압력	상태	영향	반응
사회	출생률 기대수명	인구 인구밀도			
경제		전체 에너지 사용량 중 수력발전 및 재이용가능한 에너지 생산비율			1인당 GDP
환경		식량생산지수	1인당 물이용 가용량	하수도시설 설치비율 해수면 1m 상승으로 영향받는 인구	수원 공급처 증가비율 과학공학논문수

④ PFD (Potential Flood Damage) 지수

홍수피해잠재능(PFD)은 특정 치수단위구역의 홍수에 대한 잠재적인 홍수피해의 취약정도를 나타내는 지수로서 홍수에 의한 잠재적인 피해 정도를 나타내는 잠재성 요소(인구, 재산, 도시화율, 사회기반시설)와 홍수피해가 발생할 가능성 및 이에 대한 방어능력 정도를 나타내는 위험성 요소(홍수피해액, 확률강우량, 하천개수율, 홍수조절용량)로 구성하고 있다. 대상구역의 빈도별 홍수위 자료를 이용하여 빈도별 침수면적을 산정하고 침수면적비를 이용하여 잠재위험도 산정한다.

<표 1-53> PFD 산정을 위한 구성요소

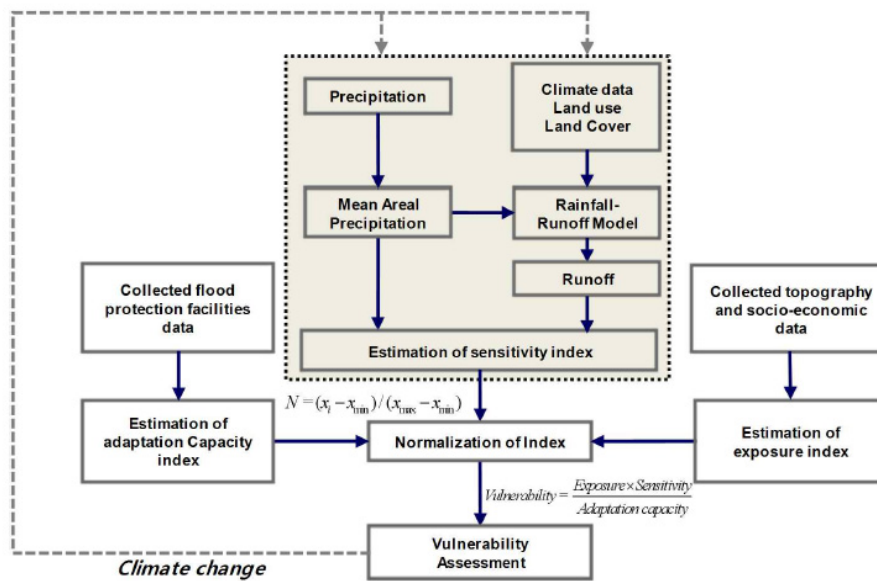
요 소	세 부 항 목	
잠재성, F_{PO}	인구, F_{PD} 재산, F_{PF} 도시화율, F_{RUB} 사회기반시설(도로, 철도, 교량), F_{SOC}	
위험성, F_{RI}	가능성	홍수피해액, F_{FD} 확률강우량, F_{PR}
	방어능력	외수방어능력(제방 개수율), F_{CI} 댐 및 저수지, F_{DAM} 내수방어능력(배수펌프장), F_{PUMP}

⑤ FVI (Flood Vulnerability Index)

홍수 취약성 지수(FVI)는 노출과 민감도의 곱을 적응능력으로 나눈 값을 취약성으로 정의한다. 동일한 적응능력에 대해 기후에 대한 민감도가 높을수록, 노출정도가 심할수록 취약성이 증가되는 것을 표현하는 지수이다.

<표 1-54> Flood Vulnerability Index

Index	Component	Indicator	Description
Sensitivity	Meteorology	PN80	Number of days that 1-day precipitation is more than 80 mm (days)
		PXID	1-day maximum precipitation (mm/day)
	Hydrology	MDF	1-day maximum runoff (m^3/sec)
Exposure	Topography	ELEV	Average dlevation (m)
	Socio-Economic	POP	Population per unit area ($Person/km^2$)
		ASA	Asset per unit area (Won/m^2)
Adaptation Capacity	Flood Protection Facilities	CI	The ratio of secured bank stability (%)
		PUMP	Drainage capacity of pump ($m^3/minute$)
		DFC	Flood control capacity of dams (10^6m^3)



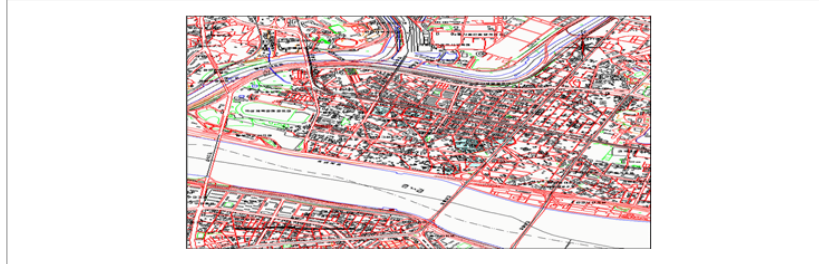
(그림 1-33) FVI 방법 절차

⑥ FDVI (Flood Damage Vulnerability Index)

홍수피해 취약성지수(FDVI)는 홍수피해에 영향을 미치는 정도를 나타내는 민감도 지표인 기상·수문학적 지표와 홍수 피해에 대한 방어 능력 부족을 나타내는 적응능력 지표인 지형·사회·경제적 피해지표의 관계적 특성을 고려하여 산정된 지수이다. 기상·수문학적 지표로는 연 최대강우량, 지형적 피해지표로는 침수면적, 사회적 피해지표로는 인명피해, 경제적 피해지표로는 재산피해로 선정한다. 침수면적은 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS) 침수실적조사 자료를 이용한다.

일반 현황			
위치	서울특별시 성동구 성수동2가	단위유역코드	10181
관련 하천	중랑천	발생시기	1998.07.31 ~ 1998.08.18
호우종류	집중호우	토지이용	주택지
피해 현황			
침수면적(ha)	0.07	침수심(m)	0~1
침수시간(hr)	0~12	침수형태(m)	시설물 용량부족
침수원인	우수관거의 용량미달로 배수불량		

● 위치도



(그림 1-34) 침수시적조사(WAMIS)

홍수피해 취약성 지수는 연최대강우량과 유형별 홍수피해의 관계분석을 통하여 구분된 홍수피해 특성에 대한 홍수피해 취약성 등급의 평균으로 산정하는데 홍수피해 취약성 등급(Flood Damage Vulnerability Rating, FDVR)은 유형별 홍수피해 정도(Low, Moderate, Severe)를 기준으로 연최대강우량의 크기별(Low, Normal, Heavy)로 가중치를 주어 1부터 9까지 등급 구분, 높은 등급 일수록 취약성의 정도가 높은 것을 의미한다.

⑦ 수자원장기종합계획

수자원 이용과 관련해서는 수자원장기종합계획의 물이용종합계획 기본방향(국토교통부, 2011)을 통해 전 국토에 대한 수자원 계획을 구축하고 있으며, 물이용뿐 아니라 하천환경의 생태성, 기후변화 대응, 공유하천의 물 안보 등에 대해 다루고 있다. 수자원장기종합계획 내에서의 수자원 이용에 부정적인 영향을 미치는 홍수의 영향을 평가하기 위한 지표인 홍수위험도와, 하천환경의 질적 평가를 수행하기 위한 지표인 하천환경평가지표를 개발하여 일부 유역을 대상으로 수행하였다. 홍수 위험도는 기상, 수문지형, 사회경제, 홍수방어 인프라를 반영하여 통합적인 위험도를 평가함으로써 지역별로 홍수피해의 특성을 평가하여 지역별 치수대책을 차별하여 적용하였으며, 수자원장기종합계획에서는 기상, 수문지형, 사회경제, 홍수방어 취약성으로 구성된 지표를 기준으로 평가항목을 구축하였다. 하천환경 평가지표는 하천의 자연도, 수질, 서식환경, 친수성을 종합적으로 고려하여 평가할 수 있도록 함으로써 하천환경 현황 파악 및 관리·개선 목표 수립하기 위해 구축되었으며, 하천자연도, 생물서식처, 친수성, 수질로 구성된 지표를 기준으로, 각 지표내의 평가항목을 구축하여 합산한 뒤 점수화하여 5등급으로 구분하였다.

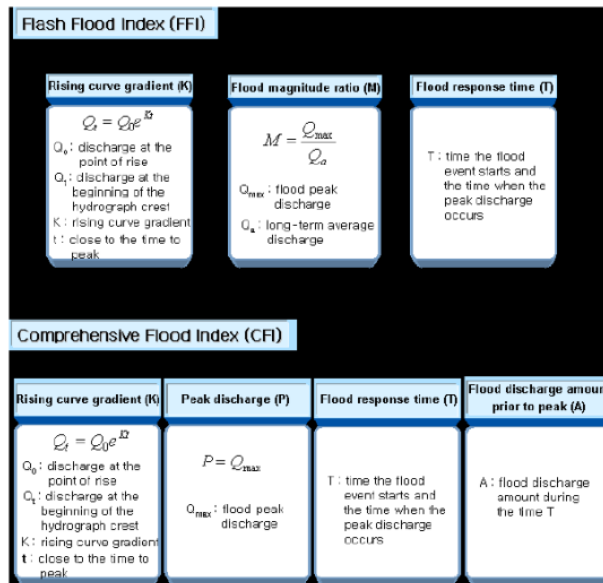
<표 1-55> 홍수 위험 지표 및 평가항목

지표	평가항목
기상	극한강우사상 빈도, 일강우사상 빈도
수문지형	홍수위험지역, 홍수피해규모지표, 불투수율, 유역경사도
사회경제	인구밀도, 재정자립도, 의존인구비율
홍수방어 취약성	제방정비율, 배수펌프장 개소수

자료 : 국토교통부(2011), 수자원장기종합계획

⑧ CFI (Comprehensive Flood Index)

유출곡선으로 표현되는 홍수유출의 특성을 홍수수문곡선의 상승률, 첨두유량, 홍수 응답시간, 첨두발생 전 홍수용적 등 4가지의 특성인자로 표현하는 지표이다. 특성인자의 분포함수를 표준 정규분포함수로 변환하여 특성지수를 산정한다. 종합홍수지수(Comprehensive Flood Index, CFI)는 기존 돌발홍수지수(Flash Flood Index, FFI)의 문제점을 보완한 것으로 홍수심도를 유역별로 상대평가 가능하다.



(그림 1-35) FFI vs CFI

⑨ NFI (New Flood Index)

국지돌발홍수예측에 적용하기 위하여 새로운 홍수지수(New Flood Index)를 개발 2개의 시범 지구 구축한 지수이다. 새로운 홍수지수 NFI는 2년빈도 홍수량으로 가정된 한계유량을 초과하는 홍수사상에 대하여 첨두홍수량비, 상승부경사, 초과홍수지속시간 등, 홍수유출수문곡선의 특성을 이용한 3 가지 상대심도계수의 기하학적평균값으로 산정한다.

㉑ 침투홍수량비

$$M = \frac{Q_p}{Q_b}$$

Q_b = 한계유량, Q_p = 침투유량, M = 홍수심도

- 침투홍수량비 M 값은 유역의 침수위험 가능성이 있는 한계유량에 대한 발생한 홍수의 상대비를 의미

㉒ 상승부경사

$$K = \frac{\ln(Q_t/Q_0)}{t}$$

K = 상승부경사, Q_0 = 상승부 곡선의 초기유량값

Q_t = 침투홍수 발생시간 t 근처에서의 홍수량값

$$K = \frac{(Q_p - Q_b)/A}{T_p - T_s}$$

Q_b = 한계유량, Q_p = 침투유량, T_s = 한계유량 이상 홍수가 발생한 때의 시간

T_p = 침투홍수량 발생시점, A = 유역의 배수면적, K = 평균기울기

㉓ 초과홍수지속기간

$$D = T_e - T_s, \quad T_e = \text{종료시간}$$

D = 초과홍수 지속시간, T_s = 한계유량 이상으로 홍수가 발생한 때의 시간

㉔ 새로운 홍수지수(NFI)

$$RS_i = \frac{S_i - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}}$$

S_i = i 번째 홍수사상 심도계수, S_{\max} = 각 심도계수의 분석기간의 기왕 최대값

S_{\min} = 한계유량에서의 최소값, $NFI = RM^\alpha \times RK^\beta \times RD^\gamma$, NFI = 홍수지수

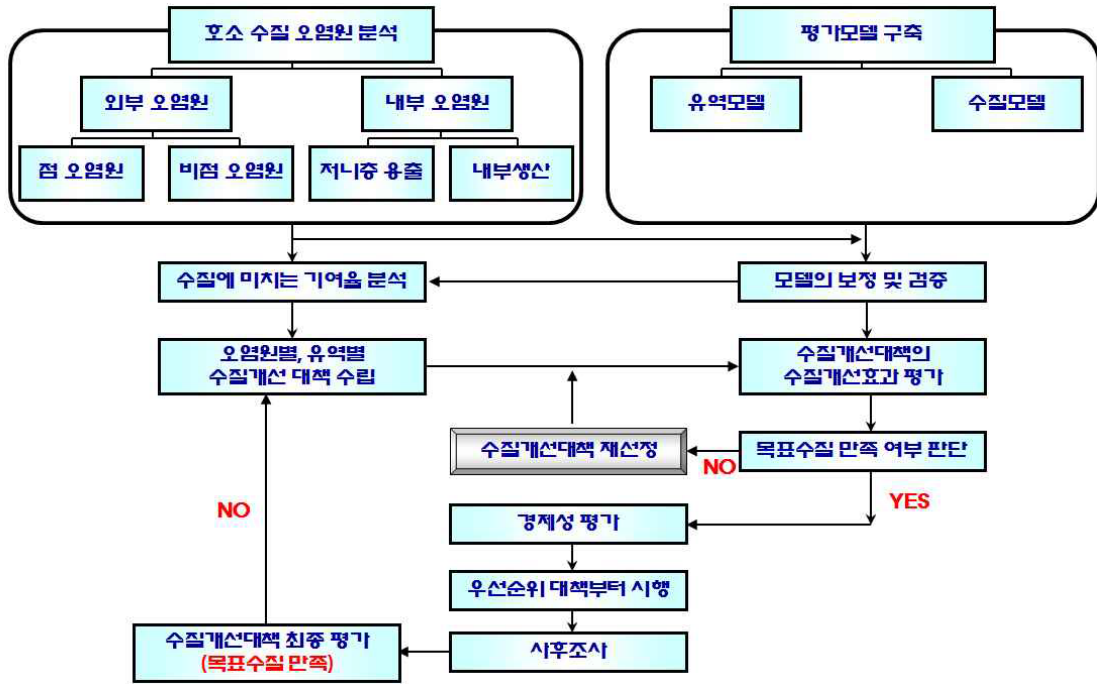
RM, RK, RD = 상대심도계수, α, β, γ = 상대심도계수에 대한 가중계수

- NFI 와 1~6시간 동안 각각의 지속시간별 최대강우량과의 상관분석을 통하여 시범유역 별 강우 특성과 홍수특성간의 관계를 분석

(다) 수질관련 영향평가 기법 분석

① 외부오염원 분석법

호소나 수체로 유입되는 오염부하를 산정하는 과정은 다음과 같다.



(그림 1-36) 오염부하 분석과정

오염원단위를 이용하여 유역의 오염원을 분석하고 여기에 수체로 유달되는 비율을 고려하는 방법과 유역 수질모델을 이용하여 수체로 유입되는 부하량을 산정하는 방법으로 구분된다.

○ 원단위를 이용하는 방법

- 인구, 축산, 산업, 토지 등의 배출 오염원별로 발생부하량 및 배출부하량을 산정하는 방법임
- 유역의 배출 오염원별 영향을 파악할 수 있고 타 유역과의 상대적인 오염 부하량을 파악할 수 있음
- 그러나 비점오염원의 영향을 고려하는데 한계가 있고 발생에서 배출로의 이송효율을 계산하는데 있어 많은 비율을 적용하고 있으나 학술적으로 검증되지 않은 단점이 있고, 강우조건에 따라 배출부하량에 차이가 발생하는 등의 문제점이 있음

○ 실측을 이용하는 방법

- 유량 및 수질을 실측을 이용하여 오염부하를 평가하는 방법으로 오염부하 방법중 가장 정확한 방법임
- 그러나 모든 유역에서 수질 및 실측을 실시할 수 없는 등의 시간과 비용이 과하게 소비되는 한계가 있음
- 또한 수질오염총량관리제에서는 약 8일 간격으로 유량 및 수질을 동시에 측정하여

오염부하를 정확히 판단 할 수 있으나 대부분의 측정의 경우 본류의 단위유역 말단에서만 측정을 하여 지류하천의 오염부하 평가에는 어려움이 있음

○ 유역 모델법

- 비점오염원의 영향을 고려하기 위하여 HSPF, SWAT, SWMM 등의 수질모델을 사용하는 방법임
- 유역을 대상으로 강우-유출 현상을 시뮬레이션 한 후 이에 침식, 오염물의 축적과 유출과 같은 수직변화요소를 고려해 줌으로써 오염물의 발생과 이동을 파악할 수 있음
- 하지만 모델링의 구조가 매우 복잡하며, 모델의 구동을 위해 많은 자료의 입력이 필요하며 인자가 방대한 어려움이 있고, 각종인자 값을 모델의 보정을 위해 수정하는 과정에서 많은 시간과 노력이 드는 단점이 있음
- (HSPF) U.S.EPA에서 개발된 방식으로 복잡한 유역에서 광범위한 오염물질에 대한 수문과 수질을 모의하기 위해 개발됨. 광범위한 수질과정의 장기 모의가 가능하도록 구조화된 모듈로 구성되어 있어, 자료를 직접적으로 접근할 수 있는 시계열관리시스템과 유사하게 개발되어 자료관리에 있어 시간과 노력을 절약할 수 있음
- (SWMM) Metcalf and Eddy, Water Resource Engineers 및 Florida 대학의 공동연구로 도시지역의 수문학적 순환과정에서의 유량과 수질 과정을 모의하기 위해 개발됨. 여러개의 모듈 혹은 블록으로 구성되어 있음. 이를 통해 우수관거, 합류식 관거, 자연 배수 시스템 등을 모의 할 수 있음. 1981년 Transport 블록을 확장 보완하기 위해 구조물의 월류, 배수 등의 계산이 가능한 Extran 블록을 포함시켜 보완해 줌으로써 도시유역내의 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표 흐름, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 그 비용계산 등의 모의에 이용할 수 있음
- (SWAT) 미국농업연구소 USDA ARS의 Jeff Arnold 박사에 의해 대규모의 복잡한 유역에서 장기간의 다양한 종류의 토양과 토지 이용, 관리상태에 따른 물 및 농업화학 물질의 거동모의를 위해 개발됨. 이 모델은 전체적으로 유역부분과 하천, 저수지 부분으로 나누어 모의를 실시함. 서로 다른 유역의 표면 특성의 반영을 위해 대상유역을 여러 개의 소유역으로 나누고, 소유역 내에서 유사한 특성을 갖는 수문반응단위로 세분하여 모의함. 수문반응단위에서 수문지식에 따라 강우량, 침투량, 증발산량, 표면 유출량을 산정하고, 토양침식의 경우 MUSLE를 통해 계산하여 인, 질소와 같은 화학 물질의 이동량을 모의함

② 수질평가방법

목표수질 달성여부 평가 방법에는 일정기간동안 측정된 수질자료를 대상으로 평균수질을 산정하는 연 평균 수질법과 과거 3년 평균 수질법이 있다. 하지만 단순히 수질자료만으로 평가하는 이 방법들은 극심한 가뭄이나 홍수와 같은 특이조건에 의한 수질 영향을 고려 할 수 없어 오염부하지속곡선(LDC)를 이용하는 방법이 주로 이용된다.

○ 연평균 수질법(하천, 호소)

- 환경부 장관이 고시한 “중권역별 수질 및 수생태계 목표기준과 달성기간”의 하천 및 호소지점에서, 환경기준 중 사람의 건강보호기준 전항목과 생활환경기준 중 생물화학적 산소 요구량(BOD) 및 화학적 산소 요구량(COD)을 평가함
- 하천의 경우 수질측정망의 중권역 대표지점별 수질측정 자료의 연간 산술평균값으로 하며, 호소의 경우 수질측정망 중 해당 호소 내 모든 측정지점의 연간 산술평균값으로 함. 자연재해, 인근지역공사 등에 의해 일시적으로 나타난 특이측정값과 275일 이상 유지되는 저수위보다 낮은 수위에서 측정된 하천의 수질자료는 제외함

$$\text{평균수질} = \frac{\text{연간측정수질(측정수질1+측정수질2+...)}}{\text{연간측정횟수}}$$

○ 과거 3년 평균 수질법(하천)

- 48일 간격으로 연간 30회 이상 측정된 자료를 통해 아래의 식을 통해 평가수질을 산정하여 수질변동을 확인함. 측정수질은 산정시점으로부터 과거 3년간 측정된 자료를 이용함

$$\text{평균수질} = e^{\left(\frac{\text{변환평균수질} + \text{변환분산}}{2}\right)}$$

$$\text{변환평균수질} = \frac{\ln(\text{측정수질1}) + \ln(\text{측정수질2}) + \dots}{\text{측정횟수}}$$

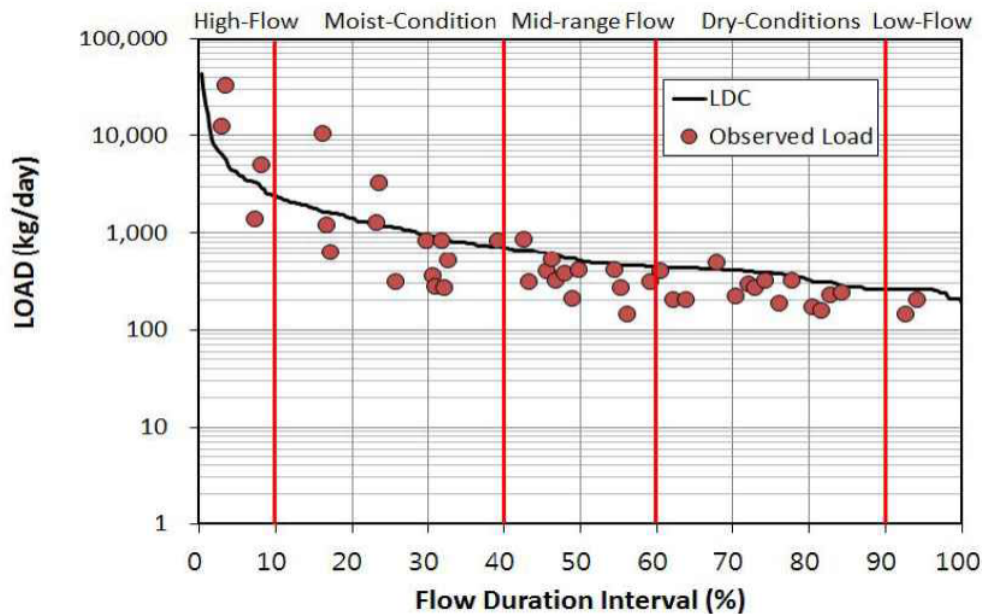
$$\text{변환분산} = \frac{\ln(\text{측정수질}) - \text{변환평균수질}^2 + \dots}{\text{측정횟수} - 1}$$

○ 오염부하지속곡선

- 다양한 유량 조건의 수질 모니터링 자료를 이용하여 부하지속곡선에 해당 관측 수질 및 유량자료를 도식하여 전체 유량규모에 대한 분포를 확일 할 수 있으며, 이를 이용하여 하천 및 유역관리를 위한 최적의 유량 및 수질 모니터링 계획을 수립하기 위한

방안을 제시하는데 활용할 수 있음. 일유량 자료를 이용하여 유황곡선을 작성한 후 이를 바탕으로 기준 부하지속곡선 또는 허용 부하지속곡선을 작성함. 이 곡선 상에 실제 측정된 관측 부하량을 도시하여 오염부하 지속곡선을 구할 수 있음

- 오염부하지속곡선은 다음의 세 가지 과정을 통해 작성함. 첫째로 일유량 자료를 이용하여 유황곡선을 작성함. 두 번째로 이전의 유황곡선을 바탕으로 기준 부하지속곡선 또는 허용 부하지속곡선을 작성함. 기준 오염부하는 단위 유역별로 설정된 목표수질에 유황곡선의 유량을 곱하고 안전율 10%를 고려하여 계산한다(부하=유량×목표수질×환산계수). 마지막으로 이 곡선 상에 실제 측정된 관측 부하량을 도식함으로써 작성할 수 있음. 아래의 [그림 3-9]에서 실선은 기준 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)이고 붉은 점은 측정된 값을 도시한 것으로 관측치가 LDC 위에 있는 경우, 관측시 기준수질을 초과하였음을 의미하고, 아래에 있으면 관측 시에 기준수질을 만족함을 의미함



(그림 1-37) 오염부하 지속곡선

(라) 시설관련 영향평가 기법 분석

기후변화분야에서 취약성 개념은 1990년대 초반부터 이론이 발전하기 시작하였고, 취약성은 기후변화라는 외부적인 스트레스가 인간이라는 시스템의 구성요소에 의해 야기된 것이고, 이런 외부적인 스트레스는 인간의 노력 여하에 따라 더 커질 수도 있고 더 작아질 수도 있다고 간주한다. 기후변화에 따른 취약성 감소를 위해서는 시스템에 가해지는 외부 스트레스를 인간의

노력으로 줄일 수도 있고(완화 및 적응활동), 또한 시스템의 내적인 부분의 대응능력을 강화 시킴으로써도 가능하다. 기후변화 취약성 조사 및 평가에서는 평가대상이 시공간적으로 역동적(dynamic)이다. 기후의 평균적 변화 및 변이를 나타내는 기후변화는 과거 통계자료에 기인한 확률로 계산되는 것이 아니라, 미래의 알려지지 않은 어떤 상황에서 위해(hazard)로 변화될 수 있다. IPCC (1996)에 의하면 취약성은 온실가스의 미래 배출 추세의 예측에서 시작된 기후 시나리오에 근거하여 생물·물리적 시스템이 반응하는 정도와 이에 따른 적응 옵션들을 밝혀 내는 일련의 평가결과이다. 기후변화 취약성은 추상적 개념이므로 직접적으로 측정하거나 관찰 될 수가 없다. 그리 하여 취약성 지표 연구에서는 취약성의 개념 틀을 잘 반영할 수 있는 대리 변수(proxy variable)를 이용해야 한다. Moss 등 (2001)은 취약성의 개념을 보다 더 확장하여 생물물리적인 민감도와 사회경제적 적응능력의 함수로 정의하고 취약성 평가를 수행. 전 세계를 대상으로 하여 국가별 기후변화 취약성을 비교 분석하는 목적을 가지고 개발하였다. 한편 Brooks 등 (2005)은 국가 수준의 취약성을 구성하는 여러 변수들을 종합하여 주요한 변수를 추출하려는 목적을 가지고 연구를 수행. 취약성을 구성하는 주요한 변수들을 파악하기 위하여 국가차원의 기후변화 취약성을 대표한다고 볼 수 있는, 기후위험에 노출됨으로 인해 발생한 초과사망률 자료¹⁰⁾를 사용하였다. 이 자료를 통한 사망률 자료와 기존에 제안되었거나 전문가 판단에 의해 추가된 많은 취약성을 구성하는 대리변수들 간의 통계적 관계를 분석함으로써 경험적 방법에 의하여 취약성 지표를 구성하는 주요 대리변수들을 추출하였다. Wehbe 등 (2005)은 농업 부분의 기후변화 취약성을 평가하는 방법론을 제안. Moss 등 (2001)의 연구가 GDP나 인구 증가, 복지 등 국가 수준의 전반적인 적응능력을 대표하는 지표를 사용한 데에 반해, Wehbe 등 (2005)은 농업부분의 적응능력을 표현할 수 있는 보다 구체적인 지표를 사용한다. Wehbe 등 (2005)은 농업부분에서의 적응능력은 그 시스템의 지속가능성 특성과의 연관이 있다고 가정. 이 연구에서는 농업부분 적응능력이 가지고 있는 특성으로 다음의 세 가지를 정리하였다.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) 유연성 : 교란이 왔을 때 그 시스템의 역할을 유지할 수 있는 능력이며, 부분적으로 자원과 시스템의 다양성과 관련 있음 2) 안정성 : 기후나 비기후적인 쇼크의 빈도와 강도, 그리고 시스템의 의사결정 환경에 영향을 주는 불확실성의 정도 3) 자원への 접근성 : 기후변이에 대해 대응하고 회복하는 데 매우 중요함 |
|--|

10) 미국 방재청(US Office of Foreign Disaster Assistance)에서 개발된 응급상황 데이터베이스(EM-DAT)라는 국가전산망을 통해 기후재해와 관련된 질병이나 쇼크로 인한 사망 자료를 수집. 이 전산망에서 정의한 자연재해는 10명 혹은 그 이상의 사람이 사망하거나, 100명 혹은 그 이상의 사람이 다치거나, 국제적 보조를 요청하거나 국가 응급상황으로 공표할 수 있는 상황을 말함

한편 Brooks 등 (2005)의 연구에서는 추출된 대리변수와 기후위험에 따른 사망률 자료 간의 상관성을 계산하여 10% 유의수준에서 사망률과 유의한 상관성을 가진 대리변수들이 취약성 지표의 주요 구성요소로 선정하여 델파이기법의 설문조사로 각 분야 전문가들의 의견을 청취하여 반영하였다. 선정된 주요 취약성 지표들을 종합(composite)하기 위해서는 서로 다른 단위를 가진 대리변수들의 5분위 수(quintile; 참고로 quantile은 4분위 수)를 계산하여 가장 낮은 5분위 수를 가진 지역에는 '1'을 부여하고 가장 높은 5분위 수를 가지는 지역에는 '5'를 부여하여 표준화를 실시하였다. 만약 상관성이 음수면 값을 역으로 부여, 또는 '0~1' 사이에 놓이도록 표준화하거나 혹은 정규화 하는 방법 등이 있다.

정리된 주요 취약성 지표는 다음의 [식 1-4]와 같은 방식으로 산술평균하여 종합 취약성 지표를 계산하는데 만약 제안된 각각의 취약성 지표들이 서로 다른 가중치를 갖는다면 가중치 부여와 관련된 기준설정의 문제가 발생한다.

$$VRI = \frac{Avg.[Sensitivity + exposure] + Adaption}{2} \quad [\text{식 1-4}]$$

취약성지표의 산정방식은 [식 1-5]와 같다고 가정하면, 취약성지표 산정방식을 다음 (그림 1-38)과 같이 행렬로 표현이 가능하다.(Pandey et al., 2014)

	지표1	지표2	·	j	·	n
1지역	X_{11}	X_{12}	·	X_{1j}	·	X_{1n}
2지역	X_{21}	X_{22}	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
i	X_{i1}	·	·	X_{ij}	·	X_{in}
·	·	·	·	·	·	·
m	X_{m1}	·	·	·	·	X_{mn}

(그림 1-38) 취약성지표 계산을 위한 행렬

$$VRI = \sum_{j=1}^n (w_j \times x_{ij}) \quad [\text{식 1-5}]$$

여기서, w_j : j-번째 지표의 가중값(weight)

x_{ij} : I-번째 대상의 j-번째 지표의 표준화된 값

[식 1-5]에서 가중값, w_j 은 취약성의 중요도에 따라서 다르게 부여할 수 있으며, 모든 지표들이 종합적인 취약성 지표값에 동일한 정도의 영향을 준다고 한다면 가중값을 부여할 필요는 없다. 그러나 지표 중에 특별히 영향이 큰 지표가 있다면, 그 지표에 대해서는 가중값을 부여해야 하는데, 가중값을 부여하는 방법은 i) 전문가들의 추천값을 사용하거나, ii) 통계적인 기법¹¹⁾을 사용하는 경우가 있다. 통계적기법을 이용하는 방법은 다음 [식 1-6]을 이용하여 가중값을 구하면 됨. 이식은 가중값이 표준편차(standard deviation)의 역으로 비례한다고 가정하여 특정한 지표 값이 다른 지표들의 값에 과도한 영향을 주지 않도록 고려한 공식임 (Iyengar & Sudarshan, 1982; Pandey et al., 2014; Singh et al., 2015)

$$w_j = \frac{1}{(SD_i \times \sum_{j=1}^n (\frac{1}{SD_i}))} \quad \text{[식 1-6]}$$

여기서, SD_i : i-번째 표준편차

한편 참조기준 설정 방법 중의 하나로는 Brooks 등 (2005)의 사례에서 사망률과 상관성이 높은 지표에 더 높은 가중치를 부여하는 방법을 제시하였다. 여러 취약성 지표들이 서로 완전 독립적인 경우는 없으므로 만약 높은 상관성을 가진 지표에 높은 가중치를 부여했을 경우 그 지표의 중요성이 과대평가될 수 있는 위험이 존재할 수 있기 때문이다.

한편 취약성 지표 값들을 종합하여 조사 대상 지역별 취약성 분포를 제대로 표현할 수 있는가에 대한 검증이 필요하다. 그러나 기후변화 취약성이라는 것을 직접적으로 측정이나 추정 불가하다. 다만, 개념적으로 어떤 형태로든지 취약성의 지표가 될 만한 자료를 찾아 이를 취약성이라고 정의하고 있다. 비록 기후변화 취약성과 정확히 일치하지는 않지만, 어떤 자연재해에 따른 피해 정도, 즉 자연재해에 대한 취약성이라 말할 수 있는 통계자료는 존재한다.

유가영과 김인에 (2008)는 Moss 등 (2001)의 취약성 지표를 그대로 활용하여 우리나라 지역별 취약성 분포를 파악하였는데, 이때 소방방재청에서 집계하는 ‘자연재난에 의한 사망자수 집계 통계(1986~2006)¹²⁾’를 자연재난 취약성을 표현하는 자료로서, 기후변화 취약성과 일부 공통되는 부분을 가진다고 보고, VRI¹³⁾와 자연재해 통계자료를 비교·분석함으로써, 지표의 타당성을 검증하였다. 이 결과에서 VRI와 자연재해에 따른 사망자수 간의 관계는 선형이 아니고, 보통은 지수함수¹⁴⁾의 형태로 나타난다. 그리고 대리변수 중 적응능력 부분의 환경역량이 과대평가되거나,

11) 대부분 지표들은 다변량(multivariate) 성질을 가지므로, 통계학에서 잘 알려져 있는 다변량 분석을 실시하여 구하면 됨.

12) 국가재난정보센터(<http://safekorea.go.kr/dmtd/index.jsp>). 자료 의 시간적 범위는 까지

13) 취약성-탄력성 지표(vulnerability-resilience indicator)

14) ‘tipping point’ 혹은 ‘threshold of hockey stick’이라고도 함. tipping point란 기후변화에 따른 영향이 마치 하키 채처럼 정도가 약할 때는 큰 영향을 가져오지 않다가, 어느 시점을 초과하게 되면, 그 영향이 지수함수적으로 늘어나 매우 큰 부정적 영향을 초래하게 되는데, 이때 영향이 매우 커지기 시작하는 시점을 말하는 것

기후노출 부분이 과소평가되는 결과들이 나타났는데, 이 경우에는 VRI 산정식(식 1)에서 부여한 가중치(민감도 0.5, 기후노출 0.5, 적응능력 1)를 다시 조정할 필요가 있다.

종합 취약성 지표의 계산결과는 단순히 순위를 정하는 방법이 많이 사용되고 있지만, 만약 취약성의 정도를 세분화해서 표현하고자 한다면, 통계학에서 다음 [식 1-7]와 같은 밀도함수식을 가지는 ‘베타분포(β -distribution)’ 이용할 수 있다.

$$f(z) = \frac{z^{a-1}(1-z)^{b-1}}{\beta(a,b)}, 0 < z < 1, \text{ and } a, b > 0 \text{ [식 1-7]}$$

$$\text{여기서, } \beta(a,b) = \int_0^1 x^{a-1}(1-x)^{b-1} dx \text{ 는 베타함수}$$

[식 1-7]에서 $(0, Z_1), (Z_1, Z_2), (Z_2, Z_3), (Z_3, Z_4), (Z_4, Z_l)$ 구간을 정의하는데, 이들은 선형 관계를 가지며, 따라서 각 구간은 20%의 확률을 가지는 것으로 가정하면, 각 구간들을 취약성의 정도를 다양하게 표현하는데 이용한다.

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Less vulnerable | if $0 < \text{VRI} < Z_1$ |
| 2. Moderately vulnerable | if $Z_1 < \text{VRI} < Z_2$ |
| 3. Vulnerable | if $Z_2 < \text{VRI} < Z_3$ |
| 4. Highly vulnerable | if $Z_3 < \text{VRI} < Z_4$ |
| 5. Severely vulnerable | if $Z_4 < \text{VRI} < Z_l$ |

물론 현재 수준에서 가중값을 정확하게 조정하고 [식 1-7]를 이용하여, 취약성 지표값을 활용하여 취약성의 정도를 세밀하게 설명하기는 어려운 문제이며, 이를 위해서는 지표를 보다 현실적으로 선정하는 작업부터 선행 되어야 할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 농업생산기반시설물의 재해발생 현황에 대한 보다 정확한 자료관리와 자료집적 그리고 이러한 자료들을 취약성조사 및 분석에 활용할 수 있는 시스템의 구축에 대해서도 검토가 필요하다.

(3) 기후변화 영향·취약성 평가지표 설정

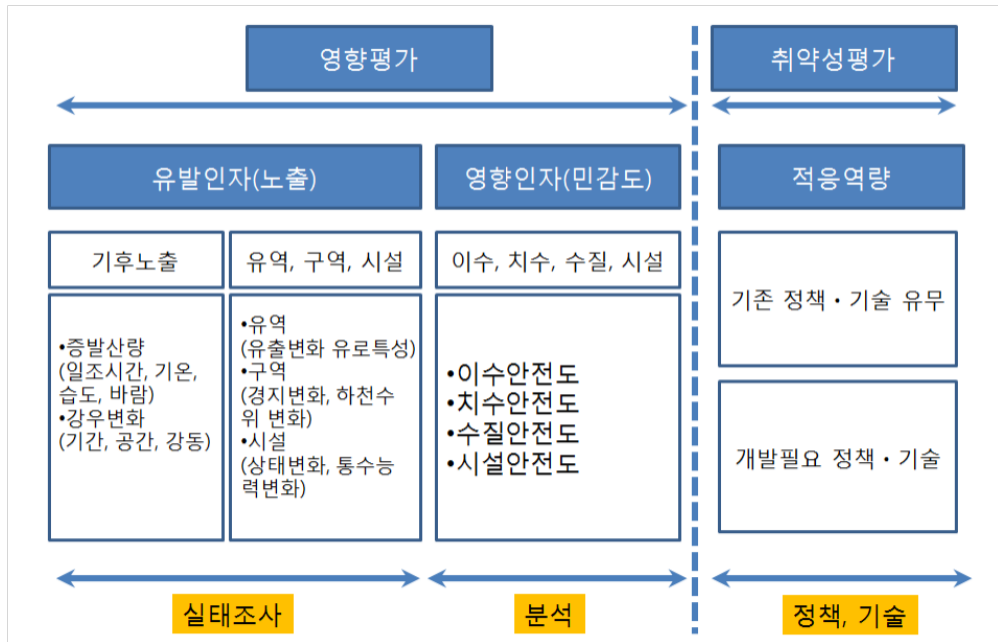
(가) 기후변화 영향·취약성 평가 구분

① 실태조사 및 영향·취약성 평가의 연계성

기후변화 영향·취약성평가 및 실태조사 영역은 과학적 근거 기반의 판단과 정책 기반의 판단으로 구분해야 한다. 과학적 근거 기반의 판단은 실태조사를 바탕으로 기후변화 노출 및 대상의

변화를 유발시키는 요인의 통합평가 된 영향평가를 의미하고, 정책 기반의 판단은 영향평가를 기반으로 정책 대응과 역량이 통합평가 된 취약성평가를 의미한다.

기후변화 영향·취약성 평가, 실태조사의 영역은 유발인자인 기후노출 및 유역, 구역 및 시설에 대한 조사의 방향성을 구분하였다. 농업용수, 농업생산기반시설의 영향 취약성 평가를 위한 별도의 기상자료 수집은 오랜 기간의 객관적인 검증이 필요하기 때문에 현재 이용 가능한 자료는 기상청자료로 이용 가능하지만 영향·취약성의 대상에 대해 특화된 기상정보와 현상 자료를 수집하고 민감도로 활용되어야 할 것이다.



(그림 1-39) 기후변화 영향·취약성 평가, 실태조사의 영역 구분

기후변화 시나리오를 포함한 공통 활용 영역의 변수를 도출한 후 상세화된 기상자료를 구축·활용하여 효과적인 영향·취약성 평가방법을 구성하였다. 기상청이 제공하는 국가 표준 시나리오 및 각 분야별 공통 활용 영역의 기상 변수 DB를 통합 관리해야 한다. 그리고 공통 활용 영역 변수는 특화된 기상정보 수집과 기상청 기상정보를 통합하여 상세화된 기상 자료 구축해야 한다. 기후변화 시나리오는 가장 높은 해상도에서 활용 가능한 변수를 가공하여 공통 활용해야 한다.

실태조사를 통해 특화된 기상정보를 수집하고 이를 영향·취약성 평가에 활용해야 한다. 기상청 기상정보 자료는 일반화된 대표지점의 측정을 위한 자료이므로 농업·농촌 분야 영향·취약성 평가를 위한 방법으로 특화된 기상정보를 수집해서 활용해야하며, 농업·농촌 분야(용수 및 생산기반시설)는 저수지 관리, 농업용수의 효율적 공급 등에 특화된 기상정보를 수집해야 한다.

분야별로 구분된 기후변화 리스크에 대해 전문성 있는 조사와 DB를 바탕으로 영향·취약성 평가의 시행이 필요하다. 기후변화 리스크가 발생할 수 있는 대상에 대한 조사와 DB에 바탕을

둔 과학적 근거 기반의 영향·취약성 평가를 시행하는데 기후변화 리스크가 발생할 수 있는 농업·농촌 분야의 다양한 대상을 고려한 영향·취약성 평가를 위해 주기적인 실태조사를 시행하고 전문적 DB를 구축, 관리가 필요하다.

영향·취약성 평가의 결과는 통합적으로 공표하여 농업·농촌 분야 적응 정책 수립에 활용하도록 제도화가 필요하다. 분야별로 특화된 실태조사 결과와 영향·취약성 평가의 결과는 시·군·구 단위에서 통합적으로 공표해야 한다. 공표된 영향·취약성 평가의 결과는 국가 수준의 적응정책 수립과 지자체 단위의 적응정책 수립에 활용된다.

② 기후변화 영향·취약성 평가 대상별 특성

농업·농촌 분야의 기후변화 영향·취약성 평가를 수행하기 위해서는 분야별로 전문화된 특화 기상 항목 구축 필요하다. 세계기상기구(WMO)의 기상관측지침에 따르면 기상관측소는 다양한 목적(실시간 예보, 물관리, 농업 등)에 따라 구축될 수 있으며, 국내 기상관측표준화법에서도 동일한 기준을 따름, 현재 대기오염실태, 교통안전을 위한 교량과 터널 출입구 기상관측은 이미 별도로 시행중이다. 현재 기상관측소 간 평균 거리는 약 25km로는 우리나라 전체의 일기예보 하기에는 충분하나 농업·농촌 분야 영향·취약성 평가를 위해서는 부족한 상황이다. 상세한 변화 전망, 비조사 항목, 극한기상발생 및 장기변화 특성 오인 가능성 등의 문제 발생, 기후변화 리스크 분석 결과 각 분야별로 세분화된 기상 관측자료가 필요하다.

- 농업·농촌 분야(용수 및 생산기반시설 제외) : 기온, 고온, 저온, 다중, 과중, 폭우, 호우, 강풍
- 임업·산림 분야 : 기온, 강수량, 습도, 바람(풍속, 풍향) 등
- 농업·농촌 분야(용수 및 생산기반시설) : 강수량, 증발산량, 풍향, 풍속, 기온, 습도, 일조 등



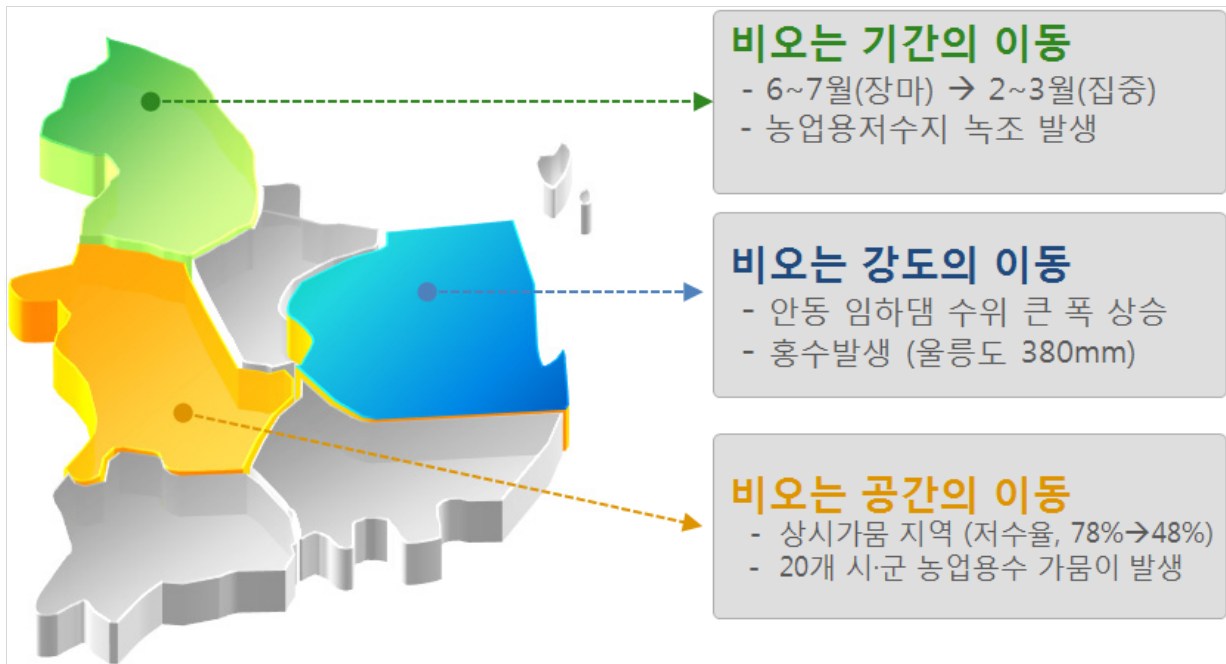
(그림 1-40) 농업농촌 산림분야 기후변화 영향·취약성 평가대상 구분

(나) 기후변화 영향·취약성 평가지표 설정

① 기후변화 영향·취약성 지표 분야 도출

기후변화 영향은 수자원, 산림, 농업 등 여러 분야에서 전망되고 있는데, 특히 가장 영향이 많이 부분은 강우패턴의 변화로 인한 영향이다. 강우패턴변화는 강우의 공간적 이동(shift)뿐만 아니라 강우강도 및 강우기간의 이동을 의미하며, 강우의 이동영향은 기존에 설치된 농업생산 기반시설의 적정규모 및 효율적인 이용에 영향을 미치고 있다. 기후변화가 농업용수와 농업 기반시설에 미치는 영향은 다음과 같다.

- 강우의 시간적 이동에 따른 농업용저수지 수질 영향
- 강우의 공간적 이동에 따른 용수부족(충남 지역)
- 강우강도의 이동에 따른 집중호우로 인한 재해지역 발생
- 증발산량 증가에 따른 농업용수 공급량 증가



(그림 1-41) 기후변화가 농업용수·농업생산기반시설에 미치는 영향

기후변화 영향평가 규정 입법화(농업·농촌 및 식품산업기본법 47조)에 따라 기후변화가 농업·농촌·산림에 미치는 영향을 심층적으로 실태조사하여 선제적 대응을 위해 5년 주기로 기후변화 영향평가와 취약성평가의 추진중에 있으며 농어촌용수 및 농업생산기반시설 분야는 한국농어촌 공사가 위탁시행중에 있다.

기후변화 영향·취약성 평가 순서는 다음과 같다.

(마스터플랜) 산림청, 농촌진흥청 및 공사 분야 총괄 실행 계획 수립

(실태조사) 농업용수구역(511구역) 대상 이수, 치수, 수질, 시설 분야

(영향평가) 5년간의 변화치 / 기준치

(취약성평가) 관련농업정책, 관련기술개발 적용후 취약성 평가

(결과공표) 농림축산식품부 장관

분야 (시행 규칙)	항목	실태조사			영향평가		취약성평가		
		조사대상/분석대상	공간 범위	시기	평가지표	종합평가	관련 농업정책	관련 기술개발	종합 평가
농업 기상 & 유역 & 구역 농업 용수 & 농업 생산 이수	중발산량 일조시간, 기온, 습도, 바람)	용수 구역	365일 1년	중발산량	5년간 변화치 / 기준치	-	-	-	
	강우변화(기간, 공간, 강도) ※ 기존 관측소 대비 대표지역 강우 (유역, 2) 유출변화 : 면적, 경사, 방향성, 형상, 토지이용 - 유로특성 : (구역 3) 실태조사 경지면적변화(논 → 밭)	용수 구역	년중, 1년	강우변화	5년간 변화치 / 기준치	-	-	-	
	하천 갈수위 변화(양수장지점) 토양변화(논 → 밭 변화에 따른 토양 변화) (수질 1) 수온, TOC(COD), TP (시설 3) 저수지 홍수위, 제한수위 변화(내한능 력, 부족기간) 시설노후상태(저수지, 여수로, 취수시 설, 수로) 용수로, 배수로 통수능력 변화	용수 구역	년중, 1년	유역구역변화	5년간 변화치 / 기준치	-	-	-	
	수요량 분석(필요수량)	용수 구역	1회 /1년	수요량 변화량	5년간 변화치 / 기준치	이수 영향 기간	이수 영향 기간	이수 영향 기간	

(그림 1-42) 농업용수, 농업생산기반시설의 영향, 취약성평가 순서

② 유발인자(기후노출) 설정

「실태조사 - 영향·취약성 평가」가 적절하도록 대상 지표 설정하였다. 농업용수 및 농업생산기반시설은 기후노출 인자중 강우변화(이동, 기간, 강도) 및 증발산량의 변화가 영향인자중 이수과 치수, 수질 및 시설에 모두 영향을 미친다. 비 기상노출의 경우는 유역의 변화, 구역(농경지)의 변화 및 시설의 상태 및 통수능력의 변화가 영향인자인 이수, 치수, 수질 및 시설에 영향을 미친다. 기후노출 에 의한 변화뿐만 아니라 지형 및 시설의 상태변화에 따라서 영향 범위가 넓어져 유발인자로 「기후, 유역, 구역, 시설」 항목을 설정하였다.

(유발인자) 기후, 유역, 구역, 시설

(기후) 상류지역, 수혜구역

- 강우변화 (시간, 공간, 강도), 증발산량(일조시간, 기온, 습도, 바람)

(유역) 상류지역

- 유출변화(면적, 경사, 방향성, 형상, 토지이용), 유로특성(형상, 조도)

(구역) 수혜구역

- 경지면적변화(감소면적, 논→밭), 하천갈수위 변화(양수장)

(시설) 농업생산기반시설

- 시설상태변화(제방, 여수로, 취수시설), 통수능력변화(용수로·배수로)



(그림 1-43) 기후변화가 농업용수·농업생산기반시설에 미치는 요인 도출

③ 영향인자(민감도) 설정

유발인자(노출)에 의해 영향을 받을 것으로 예상되는 항목을 구분하여 영향인자(민감도)를 설정하였다. 영향인자는 이수항목으로 이수안전도(수요량변화, 공급량변화), 치수안전도(홍수량변화, 홍수배제능력 변화), 수질안전도(수질등급 변화) 및 시설안전도(효율성 변화, 내구성변화)로 구분하여 설정하였다.

<표 1-56> 농업용수 및 농업생산기반시설의 실태조사, 영향 및 취약성 평가 항목

분야 (시행 규칙)	항목	실태조사			영향평가		취약성평가		
		조사대상/분석대상	공간 범위	시기	평가지표	종합 평가	관련 농업 정책	관련 기술 개발	종합 평가
농업 용수 & 농업 생산 기반 시설	농업 기상 & 유역 & 구역	증발산량(일조시간, 기온, 습도, 바람)	용수 구역	365일, 1년	증발산량	5년간 변화치 / 기준치	-	-	-
		강우변화(기간, 공간, 강도) ※ 기존 관측소 대비 대표지역 강우	용수 구역	년중, 1년	강우 변화	5년간 변화치 / 기준치	-	-	-
		(유역, 2) - 유출변화 : 면적, 경사, 방향성, 형상, 토지이용 - 유로특성 : 형상, 조도 (구역 3) - 경지면적변화(논 감소면적, 2모작 면적, 논→밭) - 하천 갈수위 변화(양수장지점) - 토양변화(논→밭 변화에 따른 토양변화) (수질 1) - 수온, TOC(COD), TP (시설 3) - 저수지 홍수위, 제한수위 변화 (내한능력, 부족기간) - 시설노후상태 (저수지, 여수로, 취수시설, 수로) - 용수로, 배수로 통수능력 변화	용수 구역	년중, 1년	유역·구역변화	5년간 변화치 / 기준치	-	-	-
	이수	수요량 분석(필요수량)	용수 구역	1회 /1년	수요량 변화량	이수 안전도	5년간 변화치 / 기준치	이수 영향 저감 정책	이수 영향 저감 기술
		공급량 분석(유출, 저류, 공급)	용수 구역	1회 /1년	공급량 변화량		5년간 변화치 / 기준치		
	치수	저수지 홍수량 분석 수혜구역 홍수량 분석	용수 구역	1회 /1년	홍수량 변화량	치수 안전도	5년간 변화치 / 기준치	치수 영향 저감 정책	치수 영향 저감 기술
		저수지 홍수배제능력 분석 저수지 배수하천 홍수배제능력 분석 수혜구역 홍수배제능력 분석	용수 구역		홍수배제 능력 변화량		5년간 변화치 / 기준치		
	수질/ 환경	수질등급 변화 분석	용수 구역	4회 /1년	수질 변화량	수질 안전도	5년간 변화치 / 기준치	수질 영향 저감 정책	수질 영향 저감 기술
	시설	설계기준(규모) 대비 현재 이용 상황 분석 (제방, 여수로, 취수시설, 수로)	용수 구역		시설물의 효율성	시설 안전도	5년간 변화치 / 기준치	시설 영향 저감 정책	시설 영향 저감 정책
		설계수명 대비 현재 내구성 상태 분석 (제방, 여수로, 취수시설, 수로)	용수 구역		시설물의 내구성		5년간 변화치 / 기준치		

(4) 기후변화 영향·취약성 지표의 실태조사 방법

(가) 실태조사 범위 및 대상

① 농어촌용수구역

농어촌용수의 효율적인 개발·이용 및 보전 등을 위하여 농어촌용수의 체계적 개발 및 이용, 수질에 대한 관리계획 수립을 위해 2002년 물관리 부처간 정보공유를 원활히 하기 위해서 “물관리정보 표준실무회의”에서 재설정 도시구역 포함 511개소에 달하는 농어촌용수구역을 설정하였다.

<표 1-57> 농어촌용수구역 현황

6개 권역	대권역	농어촌용수구역
한강	4	한강(100), 안성천(10), 한강서해(19), 한강동해(12)
낙동강	6	낙동강(100), 태화강(4), 형산강(4), 회야강(4), 낙동강동해(12), 낙동강남해(22)
금강	4	금강(52), 삽교천(10), 금강서해(14), 새만금(18)
영산강	4	영산강(20), 탐진강(3), 영산강남해(9), 영산강서해(23)
섬진강	2	섬진강(29), 섬진강남해(35)
제주도	1	제주도(11)
계	21	511

② 실태조사 대상

조사대상은 용수, 시설과 관련된 기후, 유역, 구역, 시설의 변화 항목으로 유발인자(기후, 유역, 구역, 시설)와 영향인자(이수, 치수, 수질, 시설)로 구분하여 세부조사 항목을 5개 항목으로 구성하였다.

(기후) 저수지상류지역, 수혜구역(2)

- 강우변화 : 시간, 공간, 강도
- 증발산량 : 일조시간, 기온, 습도, 바람

(유역) 저수지상류지역(2)

- 유출변화 : 면적, 경사, 방향성, 형상, 토지이용
- 유로특성 : 형상, 조도

(구역) 수혜구역(3)

- 경지면적변화(논 감소면적, 2모작면적, 논 → 밭)
- 하천 갈수위 변화(양수장지점)
- 토양변화(논 → 밭 변화에 따른 토양변화)

(수질) 저수지 수면(1)

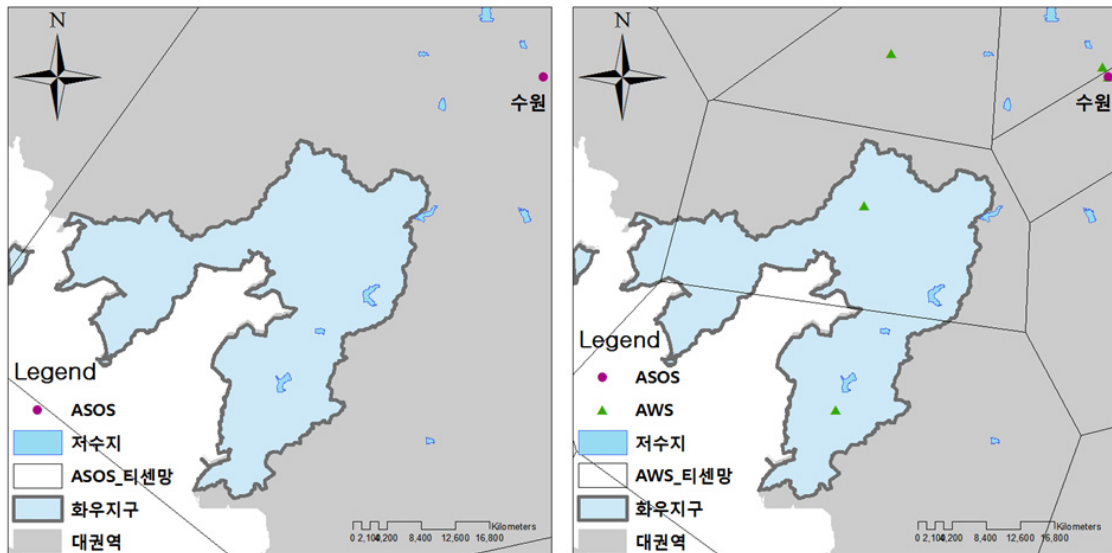
- 수온, TOC, TP

(시설)저수지 제방, 수혜구역내 시설(2)

- 저수지 수위변화 (제제안전성)
- 용수로, 배수로 통수능 변화

③ 기상자료 실태조사

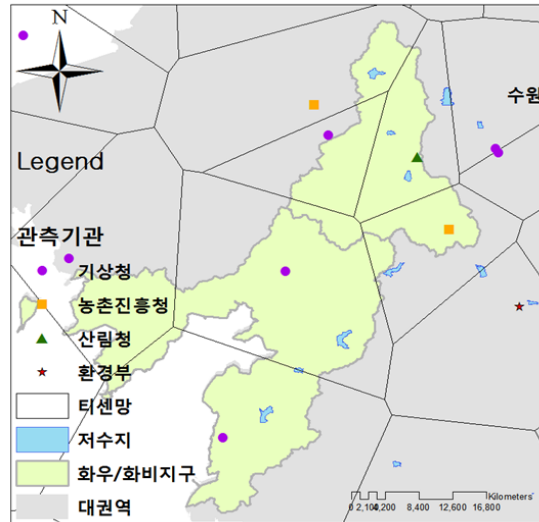
현재 국내에서 설치된 기상청 관측자료인 고정기상관측소(ASOS)는 62개소이며 기상청 자동관측소(AWS)는 450개소이다. 농업용수구역과 기상관측소의 지형적 관계는 티센망도를 작성하여 영향범위를 설정하는데 고정기상관측소만 이용시와 고정기상관측소와 자동관측소를 합친 티센망도는 다음 (그림 1-26)과 같다.



(그림 1-44) 농업용수구역 대비 기상청 ASOS(좌) 위치도 및 ASOS+AWS(우) 티센망

고정기상관측소(ASOS)만 이용시 기후영향을 구분하는 테센망도의 규모가 매우 크에 따라 자동관측소(AWS)를 포함한 테센망도를 이용하는 방법이 필요하다. 산림청과 농업진흥청에서는 소관분야의 기후변화 및 이상기후를 감지하기 위해 산림기상과 농업기상에 관한 자료를 구축하고 있으며 자동관측소(AWS)를 각각 156개소, 192개소를 운영하고 있다. 환경부에서는 자동관측소를 43개소 이용하고 있으며, 산림기상 및 농업기상에서는 운영하는 자동관측소를 모두 이용하는 경우는 다음[그림 3-17]과 같이 테센망도가 구축되어 있다.

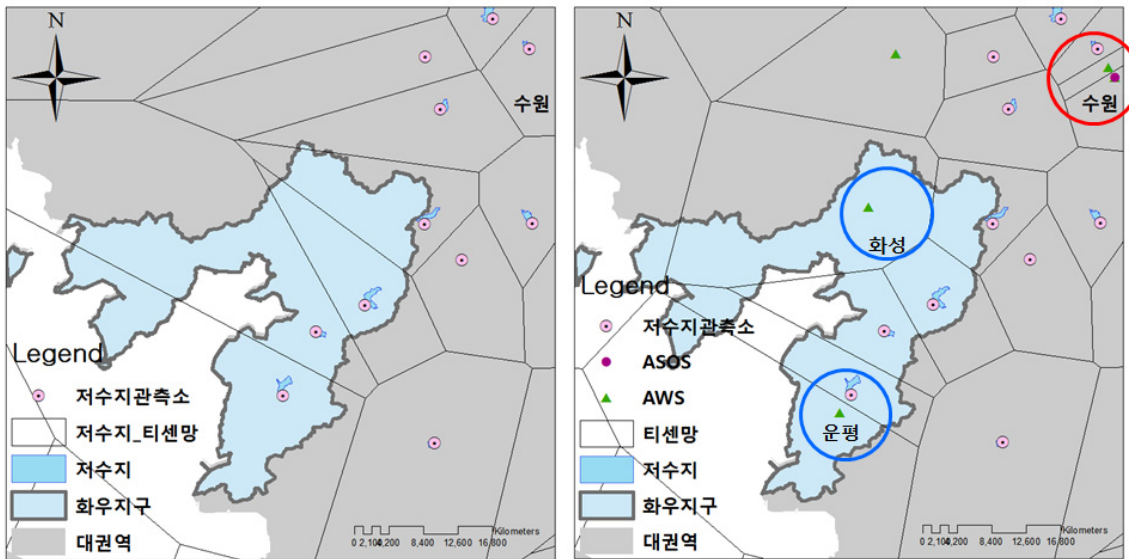
기후변화 영향·취약성평가 대상 용수구역내에는 3개에서 5개 정도의 농업용저수지가 포함되어 있으며, 용수구역간의 기후노출 자료를 획득하기 위해 가장 좋은 방법은 각 저수지에 기상자동관측시설을 배치하는 것이다.



(그림 1-45) 기상청 및 각 기관별 관측소를 모두 이용시 티센망도

ASOS(62개소)+기상청AWS(450개소)+산림기상AWS(156개소)+농업기상AWS(192개소)+환경부(43개소)

농업용저수지에는 저수율을 확인하기 위해 계측기설(저수위 계측)이 설치되어 있으며 이와 연동하여 강우관측시설을 설치하여 측정하는 것이 기후노출을 확인하는데 가장 이상적인 방법이다.



(그림 1-46) 저수지관측소(공사 3,335개소, 좌) 및 기상청(ASOS+AWS)+저수지관측소 티센망

(그림 1-46)에서와 같이 저수지에서 강우자료를 관측할 경우와 기상청 고정관측소 및 자동 관측소 및 저수지에서 강우자료를 관측할 경우를 모두 합할 경우 매우 조밀한 형태의 티센망도의 구성이 가능하다.

(나) 영향인자별 기후변화 실태조사 세부계획

실태조사 목적은 법(농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 제47조 2항)에 따라 한국농어촌공사에 위탁된 농업·농촌분야(농어촌정비법 제2조제3호 및 제6에 따른 농어촌용수 및 농업생산기반 시설분야 한정)에 대해 기후변화에 대한 영향·취약성 평가를 위한 효율적 실태조사를 수행하는 것을 목적으로 한다.

분야	항목	실태조사			영향평가		취약성평가		
		조사대상	공간 범위	시기	평가지표	종합평가	관련 농업정책	관련 기술개발	종합 평가
농업용수 & 생산기반 시설	(기후, 2) - 증발산량(일조시간, 기온, 습도, 바람) - 강우변화(기간, 공간, 강도)	용수 구역	365일/1년	증발산량	5년간 변화치 / 기준치	-	-	-	
		용수 구역	연중, 1년	강우변화	5년간 변화치 / 기준치	-	-	-	
	(유역, 2) - 유출변화: 면적, 경사, 방향성, 형상, 토지이용 - 유로특성: 형상, 조도 (구역 3) - 경지면적변화(논 감소면적, 2모작면적, 논 → 밭) - 하천 갈수위 변화(양수장지점) - 토양변화(논 → 밭 변화에 따른 토양변화) (수질 1) - 수온, TOC(COD), TP (시설 3) - 저수지 홍수위, 제한수위 변화(내한능력, 부족기간) - 시설노후상태(저수지, 여수로, 취수시설, 수로) - 용수로, 배수로 통수능력 변화	용수 구역	연중, 1년	유역·구역 변화	5년간 변화치 / 기준치	-	-	-	

(그림 1-47) 농업용수, 농업생산기반시설 기후변화 실태조사 항목

한국농어촌공사에서는 기후변화 실태조사의 한국농어촌공사에 위임된 농어촌용수 및 농업생산기반시설 분야에 대해 현재 수립 중에 있는 기후변화에 대한 농어업·농어촌분야의 효율적 실태조사 및 영향·취약성 평가를 위한 마스터플랜과 보조를 맞추고 기후변화가 미치는 영향 및 취약성을 5년마다 조사·평가·공표하기 위한 플랫폼을 구축하기 위한 조사·분석·관리방안 수립하는 용역을 진행 중에 있으며, 수립용역에서 수행중인 조사항목 정리한 내용이다.

<표 1-58> 농어촌용수 및 농업생산기반시설 분야 조사항목

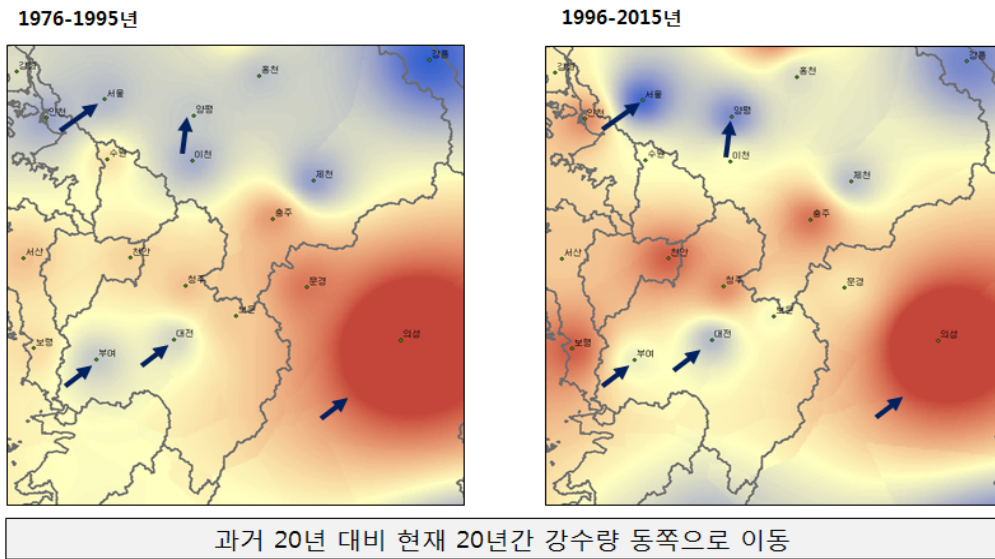
구분	분야	항목
농어촌용수구역	기상기후 이상변화	기온, 일조시간, 풍속, 습도
		강수량 (기간, 강도, 양)
	농업용수 변화	기준(작물)증발산량
		유효우량(또는 무효강수량) - 일정비율법 또는 여유고법
		강수량 대비 유효우량 비율
		필요수량 (순용수량)
		단위용수량
		논/밭 용수수요량
	이수피해 발생	가뭄 대책 (피해) 면적 (비율) 및 예산
	치수피해 발생	홍수 대책 (피해) 면적 (비율) 및 예산
저수지	저수지 유역 및 수혜구역 변화	저수지 유역 토지이용변화
		수혜구역 면적 변화
	이수	기간별 관리단계별(관개기간, 비관개기간) 저수지 유입량 (TANK model 추정량)
		특정(주요)시기 저수량 (이양시기 직전, 관개종료 후) (측정자료)
		가뭄 대책 단계별 관리수위 발생 일수
		방류량 변화(조용수량) (추정, 측정자료, 지사 내 일지)
		방류기간변화(시점,일자,종점) (단, 정량화가 불가능)
	용수 부족 민원 발생 건수	
	치수	홍수 관리 수위 (예: 저수율 95% 이상) 발생 일수
		호우 및 집중 강우 발생 일수
		침수 피해 민원 발생 건수
		현 계획홍수량/ 설계당시 설계홍수량
	수질/환경	녹조발생 일수
		수온
		수질 (T-P, COD, TOC 등)

① 수요량 및 공급량 변화량 실태조사 세부계획

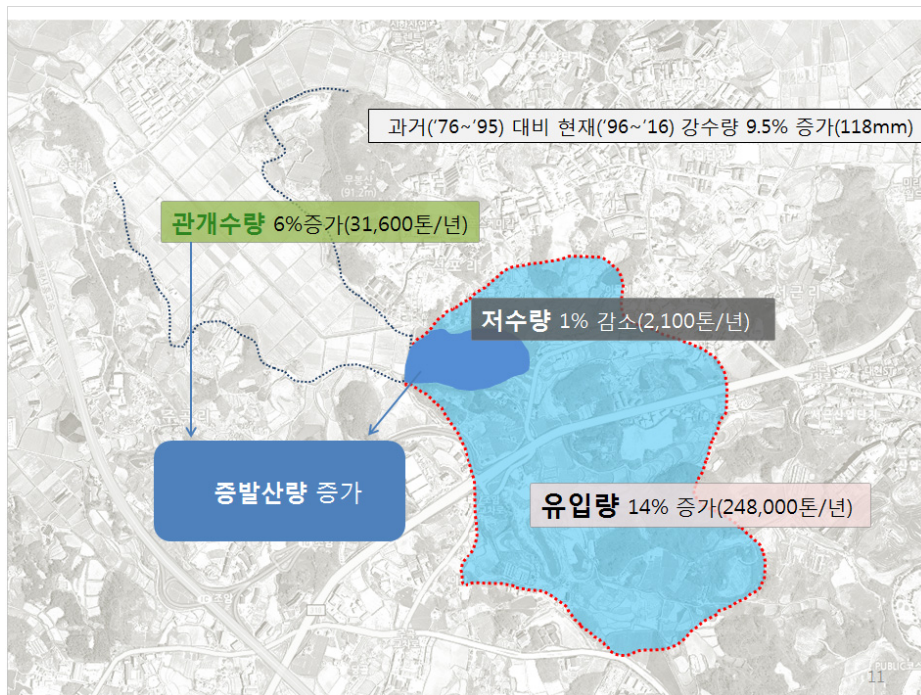
○ 배경 및 필요성

- 농업용수 공급기준은 강우를 기준으로 농업기반시설의 규모를 결정하기 때문에 기후 변화에 가장 취약한 부분은 강우패턴의 변화에 의한 영향임
- 기후변화로 인해 강우의 공간적 이동에 따라 용수부족지역이 발생하고 있음(충남 서남해안 지역)

- 증발산량 증가에 따른 농업용수 공급량이 증가되고 있음



(그림 1-48) 강우의 공간적 이동(동→서)에 따른 서남해안지역 가뭄발생 사례



(그림 1-49) 증발산량 증가에 따른 관개수량 증가 사례(농업용수 공급량)

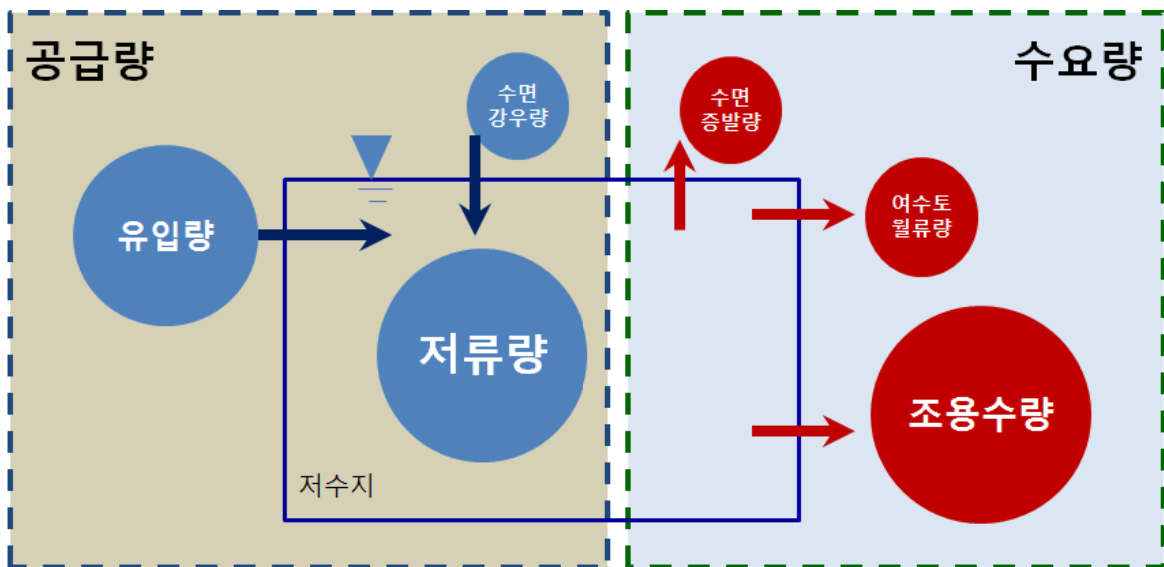
○ 과제의 개요

- 이수안전도 변화량(수요량 및 공급량 변화량) 영향·취약성 평가

이수안전도(Water Reliability)

용수 수요량(Demand)을 충족시킬 수 있는 물 공급량(Yield)의 안정성 지표로서 저수지에서 가뭄년(Failure) 이 발생하지 않는 확률(Probability of no-failure reservoir operation)

- 기준년도 이수안전도 분석
 - 장기간의 저수지 모의운영을 통한 물수지 분석
 - 분석년 중 물부족이 발생하지 않는 년(충족년)의 비율(이수안전도, %)
 - 이수안전도를 가뭄발생 재현기간(year)으로 환산
- 이수안전도에 영향을 미치는 유발인자 조사 및 분석
 - 수요량변화요인 : 조용수량, 수면증발량, 저류량
 - 공급량변화요인 : 유역유입량, 수면강우량, 여수토월류량
- 기후변화로 인한 수요량, 공급량 변화요인
 - 조용수량, 수면증발량(증발산량, 증발량), 유역유입량, 수면강우량(강우량)



(그림 1-50) 이수안전도 영향평가를 위한 물수지

○ 그간 추진상황

- 농업용수 합리화 계획
 - 농어촌용수의 효율적인 개발·이용 및 보전 등을 위하여 농어촌용수구역에 대한 농어촌용수 이용 합리화계획을 수립하여 추진
 - 농어촌용수구역별 지형정보자료 작성
 - 농어촌용수구역 상황 및 농업용수 수요량 분석

- 세부 추진계획('16 ~ '20)
 - 용수구역별 기준년도(설계시점, 2016) 이수안전도 분석
 - 유역유입량, 수면강우량 등 연도별 공급량 변화요인 조사
 - 조용수량 및 수면증발량 등 연도별 수요량 변화요인 조사
 - 기후변화에 따른 이수안전도 변화량 영향·취약성 평가
- 전략과제의 평가 지표 및 프로토콜

분 야	이수	
지표명	이수안전도 변화량	
평가 개요	평가대상	농업용수구역내 농업용저수지(공사 관할)
	기준범위	농업용수구역
	기준년도	향후 5년('16~'20)
평가 방법	용수구역별 기준년도(설계시점, 2016) 이수안전도 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 연간 한번만 있어도 물부족년(failure) - 이수안전도(F)와 물부족 재현기간(T)과의 관계 - $F = 1-1/T$ (비초과확률) 유역유입량, 수면강우량 등 연도별 공급량 변화요인 조사 조용수량 및 수면증발량 등 연도별 수요량 변화요인 조사 기후변화에 따른 이수안전도 변화량 영향·취약성 평가	

② 홍수량 변화 실태조사 세부계획

- 배경 및 필요성
 - 농업생산기반시설의 주요시설인 농업용저수지는 대부분 농업용수 공급의 단일목적댐으로 건설되어 홍수조절기능이 없음
 - 전국 17,000여 개소 중 수문설치 저수지는 1% 미만으로 홍수량 조절 불가
 - 농업용수 공급기준은 강우를 기준으로 농업기반시설의 규모를 결정하기 때문에 기후변화에 가장 취약한 부분은 강우패턴의 변화에 의한 영향임
 - 강우강도의 이동에 따른 집중호우로 인한 재해지역 발생
 - 설계홍수량보다 많은 수량이 저수지로 유입되어 제방이 파괴되는 경우 발생(16. 10. 울산시 태풍차과 피해)
 - 설계홍수량보다 많은 수량이 경지정리지역에 유입되어 배수로 범람
 - 기후변화에 따른 홍수 등 자연재해 사전예방 및 시설 안전성 확보를 위해 기존 농업생산기반시설의 신속한 치수능력 향상 필요



대부분의 농업용저수지가 홍수조절 기능이 없어 오히려 비 피해를 키웠다는 지적

(2016. 10. 울산시 태풍차파 피해)



(그림 1-51) 강우의 강도 이동에 따른 홍수 및 재해발생 사례

○ 그간 추진상황

- 상습침수 농경지의 조기 해소를 위해 배수개선사업의 지속적인 추진
- 준공이후 홍수량 증가에 따른 대형농업기반시설 홍수배제능력 부족으로 시설 안전성 저하 및 상·하류부 대규모 침수피해 우려
 - 기준강화(정형화→안전성 위주)로 치수능력확대사업 확대

<표 1-59> 홍수배제능력 부족 농업생산기반시설 현황

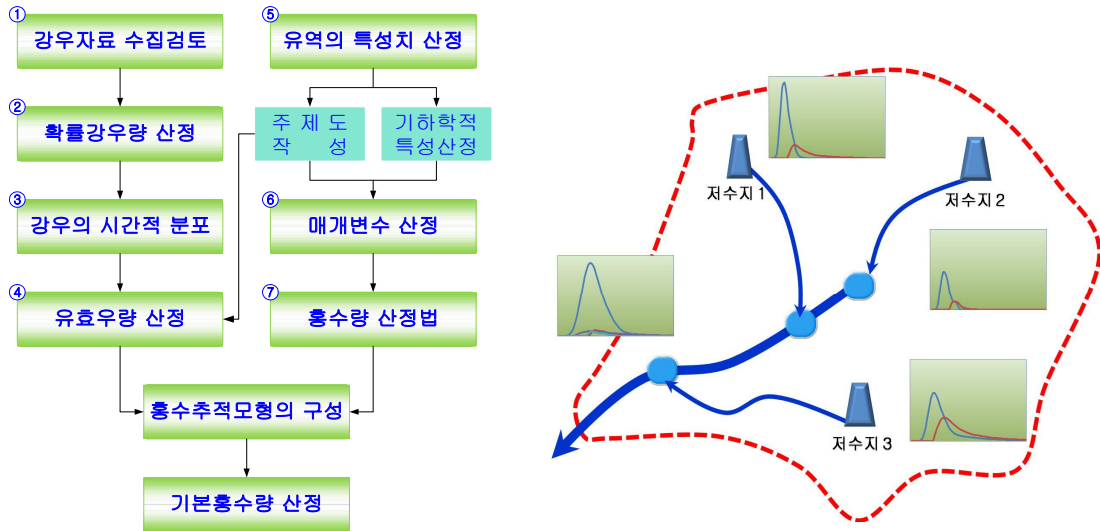
시설명	위 치		최초 준공	홍수량(m³/s)		
	시도	시군		설계	현재	증감(%)
흥덕저수지	전북	고창	1914	478	1,327	849(178%)
동화저수지	전북	남원	1999	751	1,453	702(93%)
남양호 배수갑문	경기	화성	1973	1,000	2,349	1,349(135%)
금강호 배수갑문	전북	군산	1990	13,000	14,320	1,320(10%)

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 용수구역별 기준년도(설계시점, 2016) 치수안전도 분석
 - 개별저수지 치수능력 및 수계단위 치수능력 분석
- 연도별 강우-유출 모형에 의한 방법으로 용수구역별 홍수량 변화요인 조사
 - 강우자료를 빈도분석하여 확률 강우량을 산정한 후 단위도 개념을 기반으로 강우-유출모형에 적용하여 확률홍수량을 산정

○ 홍수량 산정 과정

- 강우분석(강우지속기간, 확률강우량, 강우의 시간적 분포)
- 유효우량 산정(유효우량 주상도, SCS 유출곡선지수법)
- 홍수량산정(유역특성치, 매개변수)
- 하도추적



(그림 1-52) 확률강우량-홍수량 산정방법(좌) 및 수계단위 치수능력

- 연도별 저수지에 대한 치수안전도 영향·취약성 평가
 - 체체높이와 여유고를 고려한 저수지 최고수위를 비교검토
 - 저수지 배수하천 홍수배제능력 검토
 - 수혜구역의 홍수배제능력 분석(배수개선사업 대상지구)

○ 전략과제의 평가 지표 및 프로토콜

분 야	치수	
지표명	치수안전도 변화량	
평가 개요	평가대상	농업용수구역내 농업용저수지(공사 관할)
	기준범위	농업용수구역
	기준년도	향후 5년('16~'20)
평가 방법	용수구역별 기준년도(설계시점, 2016) 치수안전도 분석 연도별 강우-유출 모형에 의한 방법으로 용수구역별 홍수량 변화요인 조사 - 강우자료를 빈도분석하여 확률 강우량을 산정한 후 단위도 개념을 기반으로 강우-유출모형에 적용하여 확률홍수량을 산정 연도별 저수지에 대한 치수안전도 영향·취약성 평가	

③ 농업용수 수질 실태조사 세부계획

○ 배경 및 필요성

- 강수량의 변동폭은 지속적으로 증가하고 있으며, 연평균 강수량은 최저 754mm(1939년)에서 최고 1,861mm(2003년)까지 변화폭이 크게 나타남
- 농업생산기반시설 규모결정의 기준인 강수량의 변동은 물 공급측면 뿐만 아니라 홍수관리 및 농업용수 수질관리에도 취약한 원인이 되고 있음
- 수자원 확보 측면에서도 설치년도가 오래 될수록 장기간에 걸친 호내 토사 퇴적으로 인한 내용적 감소로 가뭄시 급격하게 저수율이 감소하며, 오염물질 농축 등에 따른 수질오염 우려가 높음
- 강우의 시간적 이동에 따른 농업용저수지 수질 영향
- 기후변화에 대응한 농촌지역 맑은 물 및 생태환경 보전으로 쾌적한 농촌 환경 조성 등 기존 농업생산기반시설의 수질능력 향상 필요



(그림 1-53) 강우의 계절적 이동에 따른 농업용저수지 영향 사례

○ 그간 추진상황

- 농업용수 수질측정망 운영
 - 전국 주요 농업용 호소(저수지·담수호)를 농업용수 수질측정망으로 지정하고 수질오염 현황과 변화 추이를 종합적으로 파악하여, 향후 농업용수 수질관리 정책수립 및 수질개선사업 추진을 위한 기초자료 확보
 - 농업용수 수질측정망 조사시설은 주요 저수지·담수호 950개소이며, 환경부 호소

수질측정망 조사시설 중 농업용 호소 25개소(저수지 15개소, 담수호 10개소)를 포함하여 전체 975개소 농업용 호소의 수질을 분석 및 평가

농업용수 수질측정망 조사내용

- 수질조사 횟수 : 년 4회
- 자료 및 환경조사(시설제원, 오염원 및 환경기초시설 등) : 년 1회
- 농업용수 수질측정망 조사대상 시설 : 950개소
- 조사항목 : 환경정책기본법 시행령(수질환경기준) 의거 주요 항목 선정
- 현장조사 : 물시료 채취 및 투명도, 수온, pH, DO, EC 등 5개 항목
- 실내분석 : COD,SS,T-N,T-P,Chl-a,Cu,Pb,Cd,As,Hg,CN,Cr6+,Cl-,TOC 등 14개 항목

○ 세부 추진계획('16~'20)

- 용수구역별 기준년도(설계시점, 2016) 수질안전도 분석
 - 농업용저수지의 기후영향에 따른 수량변동과 관련된 수질변화 추이 조사
 - 수질항목 : 수온, TOC(COD), TP
- 기후변화(강우, 햇볕, 온도) 에 따른 수질변동에 대한 수질안전도 분석
 - 기준년도 대비 수질변동에 따른 수질안전도 분석

○ 전략과제의 평가 지표 및 프로토콜

분 야	수 질	
지표명	수질안전도 변화량	
평가 개요	평가대상	농업용수구역내 농업용저수지(공사 관할)
	기준범위	농업용수구역
	기준년도	향후 5년('16~'20)
평가 방법	용수구역별 기준년도(설계시점, 2016) 수질안전도 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 농업용저수지 수량변동과 관련된 수질변화 추이 조사 - 수질항목 : 수온, TOC(COD), TP 기후변화(강우, 햇볕, 온도)에 따른 수질변동에 대한 수질안전도 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 기준년도 대비 수질변동에 따른 수질안전도 분석 	

④ 시설물 기후변화 실태조사 세부계획

○ 배경 및 필요성

- 농업생산기반시설은 농업용저수지, 양배수장, 용배수로 등 농업과 관련된 모든 시설물로서 기후변화에 대한 대책은 없는 상황임

- 준공연도별 비율(저수지)은 1945년 51.7%, 1946년~1963년 17.7%, 1964년~1983년 25.7%, 1984년이후 4.9%
- 최근 여름에는 계속된 폭염과 5월부터 6월까지 이어진 강수량 부족 현상으로 전국 대부분의 지역의 저수율 부족으로 농, 밭작물들이 말라가는 피해로 가뭄에 대한 사회적 관심이 크게 고조되었으며 이에 대한 대책이 시급한 실정임
- 가뭄발생 빈도는(1904년~2000년) 0.36회/년에서 (2000년~2015년) 0.67회/년으로 86% 증가하고 있음



(그림 1-54) 가뭄으로 저수지의 물부족 및 용수부족에 의한 메마른 논

- 또한 기후변화로 인한 집중호우로 저수지 붕괴 등 시설물의 파손이 일어나고 있으며, 기후변화로 인한 농업생산기반시설 파손의 대책마련이 필요함



(그림 1-55) 집중호우로 인한 저수지 붕괴

○ 그간 추진상황

- 농업생산기반시설에 대해서 안전점검, 안전진단, 정밀안전진단 과정은 현재의 상태로 서의 진단을 통해 시설의 안전도를 파악함(기후변화에 의한 요인은 고려하지 않음)

- 기후변화에 대한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구(2009)
- 지방자치단체의 사회기반시설 기후변화 적응 실태조사 및 적응강화방안 연구(2010)
- 사회기반시설의 경우 정책평가연구원 및 지자체 등에서 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 농업생산기반시설의 경우 연구가 미흡
- 세부 추진계획('16~'20)
 - 농업생산기반시설 취약성평가의 경우 농업기상, 이수, 치수 등 실태조사 전체항목과 연계한 평가가 이루어져야 함
 - 현장조사 및 설문조사를 통한 실태조사 실시
 - 실태조사 결과를 통한 기후변화와의 상관관계 검증
 - 델파이기법 등 다양한 기법 활용으로 가중치 산정
 - 가중치와 기후변화와의 상관관계(영향평가) 분석결과를 연계취약성평가

실태조사 중 현장조사						
시설명 (시설관리기관)	00저수지(00지사)					
제원	<ul style="list-style-type: none"> • 제고: 00m, 제장: 00m, 구조: 0000 • 복통구조: 0000, 복통규격: 00m, 통수량: 0,000m³/sec • 여수로방수로 <ul style="list-style-type: none"> - 홍수량: 0,000m³/sec, 구조: 0000, 규모: 0000 - 방수로 평균폭: 0000m, 방수로 연장: 0000m 					
계수량	구분	계수량(계수율)				
	20XX년	0,000천m ³ (00.0%)				
	20XX년	0,000천m ³ (00.0%)				
	20XX년	0,000천m ³ (00.0%)				
	20XX년	0,000천m ³ (00.0%)				
급수면적	0.0만m ² (플분축면적 0.0천m ²)					
설치현황	착공일:	0000년 00월 00일				
	준공일:	0000년 00월 00일				
안전점검결과	점검일자	점검결과(등급)				
	20XX.X.XX					
	20XX.X.XX					
	20XX.X.XX					
	20XX.X.XX					
수결현황	검사일자	COD(5이하)	T-N (1.0이하)	T-P (0.1이하)	SS(15이하)	수온
	20XX.X.XX					
	20XX.X.XX					
	20XX.X.XX					
	20XX.X.XX					

<현장조사 체크리스트>

기후변화 인식현황 조사			
안녕하십니까?			
이번에 한국농어촌공사(이하 공사)에서는 기후변화 취약성평가를 위한 실태조사를 실시하고 있습니다.			
기후변화가 심화됨에 따라 기후변화 적응 필요성이 증대되고 있으며, 이와 함께 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 취약성 평가 및 적응능력 향상에 대한 요구가 높아지고 있습니다.			
이에, 공사에서는 실태조사의 일환으로 전문가 및 관리기관의 기후변화 인식 및 적응능력에 대한 설문조사를 진행하오니, 적극적인 참여 부탁드립니다.			
응답하신 내용은 “통계법 제33조 비밀의 보호”에 의거 철저히 비밀이 보장되며 연구자료로만 사용되게 됩니다. 바쁘시더라도 기후변화 취약성평가를 위한 실태조사 중 본 설문조사에 응답하여 주시기 부탁드립니다.			
응답자 기본정보			
기업명	응답자연령	① 20-25세	② 26-30세
		③ 31-35세	④ 36-40세
		⑤ 41-45세	⑥ 46-50세
		⑦ 51-55세	⑧ 55세 이상
기업규모	① 공공기관 ② 대기업 ③ 중소기업 소속부서명		
응답자 성명	연락처	Office:	
		C.P:	
근속기간 [해당기관]	① 3년 이하 ② 3-5년 ③ 5-10년 ④ 10-15년 ⑤ 15-20년 ⑥ 20년 이상		
기업의 기본정보			
종업원수	① 100명 미만 ② 100-200명 ③ 200-400명 ④ 400-600명 ⑤ 600-800명		
	⑥ 800-1000명 ⑦ 1000명 이상		
지역	① 서울 ② 인천 ③ 경기 ④ 강원 ⑤ 대전 ⑥ 충북 ⑦ 충남 ⑧ 광주 ⑨ 전북		
	⑩ 전남 ⑪ 대구 ⑫ 울산 ⑬ 경북 ⑭ 경남 ⑮ 부산 ⑯ 제주		

<기후변화 전문가 설문조사지>

(그림 1-56) 기후변화 실태조사 및 전문가 설문조사지

2. 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 홍수 및 가뭄 대비 안정성 평가

가. 농업용수 기후변화 영향·취약성 평가방법 분석

(1) 이수안전도 평가 방법 분석

기존 농업용저수지의 효율적 이용을 위해 설계시와 비교하여 변화된 자연·사회 환경을 고려하여 농업용저수지 능력의 재평가가 필요하다. 그러나 각 저수지별로 용수공급능력 산정방법이 상이하여 동일한 기준으로 파악하는데 어려움이 있지만 이에 일관된 기준을 통해 수자원현황을 진단하고, 효율적인 활용을 해나갈 수 있다. 일관된 평가 기준 중 용수공급시설이 용수 수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안정성 정도를 이수안전도라고 한다. 이수분야의 수자원 안전성 평가 지표에는 크게 물 공급의 안정성, 가뭄시 물부족량, 물부족지역 비율을 들 수 있다.이수의 안전성은 최악의 갈수기 동안 용수공급을 보장할 수 있는 보장공급량 기준과 전체 분석기간 중 일정기간동안 물 부족을 허용하는 신뢰도 기준으로 나눌 수 있다.(권태영, 2014)

<표 1-60> 이수 안정도 지표의 종류 및 개념

지표	정의 및 개념	지표 산정방법	특징
물공급 안정성	현재의 가용수자원으로 어느 정도의 가뭄까지 견딜 수 있는가, 혹은 현재의 가뭄이 어느 정도인가를 물공급의 안정성과 관련하여 평가 급수 제한 없이 6개월 이상 안정적으로 물을 공급할 수 있는 경우 물공급 안전도가 확보되어 있는 것으로 가정	공급가능일수, 제한급수율, 제한급수일수의 평균	장점 : 기존의 지표들로는 표현할 수 없는 특정 시점이나 단기간의 물 공급 안정성을 나타낼 수 있음. 가뭄 심도에 따른 물공급 안정성의 변화과정을 표현할 수 있음 단점 : 평상시의 물수요에 대비한 물공급의 안정성을 나타내는 지표로는 한계가 있고, 지역의 물공급가능량의 산정이 어려움
가뭄시 물부족량	물 수요에 대비한 갈수기 기준의 물 공급능력	(가뭄년 기준 물공급가능량)/ (용수수요)×100 (%)	장점 : 갈수기를 고려한 수자원 수급상황을 평가할 수 있으며, 이 지표를 통해 수자원 개발의 필요성과 목표를 설정할 수 있음 단점 : 기후특성이 나라마다 다르기 때문에 국가 간 비교가 어렵고, 용도에 따른 물 이용 우선순위의 설정이 필요함
물부족 지역 비율	가뭄에 물 부족량을 물 수요에 대비한 가용 수자원량을 기준으로 산정	(가용수량 or 공급시설 부족지역면적)/ (전체면적)×100 (%)	장점 : 물의 가용능력 뿐만 아니라, 공급시설의 능력까지 고려하여 물 부족 지역을 평가할 수 있어 물 부족 유형별 정책 목표를 설정할 수 있음 단점 : 가뭄시 물부족량과 중복성이 있고, 공급시설의 과보족 여부를 정확하게 평가하는데 한계가 있음

출처: 국회입법조사처 (2011)

보장공급량 기준에 의한 평가는 특정한 갈수기에 의해 용수공급량이 결정되어 분석기간이 길수록 보다 심한 갈수기가 포함될 가능성이 커 용수공급량의 축소가 생겨 수자원의 효율적 이용에 어려움이 있을 수 있다. 반면 신뢰도기준에 의한 평가는 분석기간이 길수록 높은 정확도로 용수공급량을 산정할 수 있어 최근 농업용저수지 계획에서는 대부분 신뢰도 기준의 이수안전도를 적용한다.

(가) 통계적 지표

일반적으로 사용되는 통계적 이수안전도 지표에는 Hashimoto 등 (1982)이 제안한 신뢰도, 회복도, 취약도가 있다.

○ 신뢰도

- 신뢰도란 주어진 계획 기간 동안 정상적으로 용수공급을 수행할 수 있는 확률로 용수수요량을 공급할 수 있는 확실성, 용수공급 부족의 발생빈도로 표시함

$$\alpha = \text{Prob}[X_t \in S]$$

α : 신뢰도, S : 용수수요의 충족상태

- 이는 운영 및 평가 단위에 따라 발생신뢰도(HR), 기간신뢰도(TR), 공급신뢰도(SR)로 구분할 수 있음

$$\text{HR}(\%) = \left[1 - \frac{T_{s1}}{T_{n1}}\right] \times 100(\%)$$

HR : 발생신뢰도, T_{s1} : 용수부족년수, T_{n1} : 총 분석년수

$$\text{TR}(\%) = \left[1 - \frac{T_{s2}}{T_{n2}}\right] \times 100(\%)$$

TR : 기간신뢰도, T_{s2} : 용수부족기간수, T_{n2} : 총 분석기간수

$$\text{SR}(\%) = \left[1 - \frac{Q_s}{Q_p}\right] \times 100(\%)$$

SR : 공급신뢰도, Q_s : 공급부족량, Q_p : 계획공급량

○ 회복도

- 회복도란 용수공급을 할 수 없는 상황이 발생했을 때 이로부터 얼마나 빠르게 회복하는지를 나타내는 지표임. Hashimoto 등 (1982)은 조건 확률로 회복도를 정의함

$$\gamma = \text{Prob}[X_{t+1} \in \text{NF} | X_{t+1} \in \text{F}]$$

γ : 회복도, F : 실패상태

- 반면 Moy 등 (1986)은 용수부족사상 중 최대 연속 용수부족기간이 저수지운영방법 비교에 더 합리적이라 판단하여 다음과 같이 제시함

$$\gamma = \max_j d(j)^{-1}$$

: 회복도, $d(j)$: 용수부족기간

○ 취약도

- 취약도란 용수공급을 실패했을 경우 부족량의 심도를 판단할 수 있는 지표를 말함
- Hashimoto 등 (1982)이 제안한 취약도는 정상적인 용수공급을 할 수 없는 상황이 발생했을 경우 부족량의 심도를 나타냄
- 이를 통해 실패가 얼마나 심각할 것인지를 알아보는 지표로 사용할 수 있음

$$v = \sum_{j \in F} s_j e_j$$

v : 취약도, s_j : 실패상태의 심각성, e_j : 실패지속기간 중 부족심도가 큰 값일 확률

- 이 지표는 사상별 최대값의 평균으로 값을 나타낸 반면 Moy등(1986)은 최대 부족량을 기준으로 지표값을 산정함

$$v = \max_j v(j)$$

v : 취약도, $v(j)$: 실패지속기간 중 부족량

- 위 두 지표를 통한 취약도는 차원을 갖는 지표임
- 이에 비해 McMahan 등(2005)는 평균 취약도를 기본계획공급량으로 나눈 값으로 산정함

$$v' = \frac{\sum_{k=1}^{fs} \max(v(j))}{fs}$$

$$v = \frac{v'}{D}$$

v : 취약도, v' : 평균취약도, fs : 실패사상의 수, D : 실패기간동안 기본계획공급량

(나) 경험적 지표

통계적 지표는 물 부족으로 인한 피해규모를 평가하는데 한계가 있어 피해사례를 바탕으로 산정한 경험적 용수 이용 지표를 사용할 필요가 있다. 경험적 용수 지표로는 SI, DPD, GSI 등이 있다.

○ SI (Shortage Index)-미공병단

$$SI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{AWD}{DAWS} \right)^2$$

N : 표본년의 수

AWD : 연간 물 부족량

DAWS : 연간 기본계획공급량

○ DPD (Water Deficit Per Day)-일본수자원개발공단

$$DPD = \sum [DDR(\%) \times NDCD]$$

DDR : 일 물부족률

NDCD : 물 부족 지속기간

○ GSI (GeneralizedShortage Index)-Hsu

$$GSI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{DPD_{a_i}}{100 \times DY_i} \right)^k$$

k : 상수

DY_i : I 번째 해의 날짜수

DPD_{a_i} : i 번째 년의 DPDs의 합

- 경험적 지표는 통계적 지표와 달리 피해유발기준과 물 부족사상의 지속기간, 크기를 상대적으로 비교할 수 있는 것이 장점이 있음

<표 1-61> 이수안전도 평가 지표와 방법

통계적 이수 안전도 지표	신뢰도	주어진 계획 기간 동안 정상적으로 용수공급을 수행할 수 있는 확률
	회복도	용수공급을 할 수 없는 상황이 발생했을 때 이로부터 얼마나 빠르게 회복하는지를 나타내는 지표
	취약도	정상적인 용수공급을 할 수 없는 상황이 발생 했을 경우 부족량의 심도 $v = \sum_{j \in F} s_j e_j$ v : 취약도 s _j : 실패상태의 심각성 e _j : 실패지속기간 중 부족심도가 큰 값일 확률
경험적 이수 안전도 지표	SI (Shortage Index) -미공병단	$SI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{AWD}{DAWS} \right)^2$ N : 표본년의 수 AWD : 연간 물 부족량 DAWS : 연간 기본계획공급량
	DPD (Water Deficit Per Day) -일본수자원 개발공단	$DPD = \sum [DDR(\%) \times NDCD]$ DDR : 일 물부족률 NDCD : 물 부족 지속기간
	GSI (Generalize dShortage Index) -Hsu	$GSI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{DPD_{a_i}}{100 \times DY_i} \right)^k$ k : 상수 DY _i : I 번째 해의 날짜 수 DPD _{a_i} : i 번째 년의 DPDs의 합

(2) 치수안전도 평가 방법 분석

전 세계적으로 기후변화와 집중호우, 급격한 도시화 등으로 인하여 지역적으로 빈번하게 물 부족 또는 홍수피해가 발생하였으며, 이로 인해 많은 인명피해와 재산피해가 보고되었다. 이를 복구하기 위해서 막대한 국가예산이 투입되고 있음. 이러한 문제를 해결하고 한정된 수자원의 효율적인 활용을 위하여 많은 지원과 관련 정책이 수립되어야 한다.

<표 1-62> 치수안정성 지표의 종류 및 개념

지표	정의 및 개념	특징	지표의 중요성
치수 안전도	특정지속기간 동안 특정 크기의 호우에 대한 유역별 치수안전도를 종합 평가하는 지수	장점 : 호우, 태풍 기간 동안 홍수소통능력, 홍수 안전 면적, 홍수저류능력 등 종합적 상황을 지표화함 단점 : 신설 지표로 자료 구축이 부족함	각 유역의 치수 안전도를 대략적 수치로 평가 가능함
홍수범람 위험지역 비율	시간당 100mm의 강우로 월류에 의한 침수가 발생 가능한 지역의 비율	장점 : 침수위험 지역 거주상황을 지표화 가능 단점 : 지표 산정에 전문지식이 필요해 추가연구가 필요함	홍수범람위험지역은 직관적으로 이해가 쉬운 지표로 국민에 홍보에 유리
상습침수 피해면적	홍수시 상습적으로 침수가 발생된 피해지역의 면적 비율	장점 : 직관적으로 이해하기 쉽고, 홍수 시 상습침수지역의 투자하고 성과 평가가 가능 단점 : 세부지표 산정을 위한 기초자료의 취득의 어려움	상습 침수피해지역에 대해 정책이나 대응이 용이
홍수예방 투자비율	치수투자비를 활용하여 치수정책의 방향을 제시하기 위한 지표	장점 : 연도별 GDP 대비 치수투자비를 산정하여 다른 분야의 투자비와 비교도 가능함 단점 : 투자자료가 기관별로 상이하고, 지방단위의 사업비 투자 자료가 부족함	국가 간 치수투자의 비교가 가능하고 홍수피해 예방을 위한 노력 평가
홍수저류능력	홍수기의 일평균 유출량을 유역 내 저류가능공간에 채우는데 걸리는 시간	장점 : 유역의 홍수저류능력을 쉽게 표현하는 지표로 천변저류지용량도 포함가능 단점 : 소형 농업용저수지의 저류용량이 미반영	홍수저류능력은 1차 예방책으로 기초자료가 됨

출처: 국회입법조사처 (2011)

이수 및 치수 대책 수립을 위하여 어느 지역이 취약하고 우선순위를 선정하기 위한 방법 중 하나로 지표 또는 지수를 개발하고 있다. 국제기구나 국외에서 개발된 지표들은 국가별 현황 및 특성을 분석하기 위해 개발된 것들이 대부분이며, 국가 간 비교를 통하여 지원이 필요한 나라를 선별하고 국제적인 지원을 위한 목적으로 개발된 지표들이 주를 이루고 있다.

우리나라의 홍수 위험성은 1일 강수량 100mm이상의 집중호우 발생 횟수가 과거에 비해 2.7배 이상 증가하고, 100년 빈도 홍수량이 20% 증가로 현재 100년 및 200년 빈도의 홍수에 견딜 수 있도록 설계된 제방의 홍수방어 능력이 1/2로 감소되며, 아울러 집중호우로 인한 토석류와 산사태 등 토사재해 발생도 증가할 것으로 전망되었다. 물의 지표 유출량은 미래로 갈수록 증가할 것으로, 지하수 함양량은 줄어들 것으로 전망됨. 기후변화로 인한 홍수와 가뭄이 빈번해지겠으며, 특히 가뭄은 봄철과 겨울철에 심화 될 것으로 예측함. 가을철(9~11월) 태풍의 한반도 출현빈도는 뚜렷한 변화가 없지만 강도는 더욱 강해질 것으로 전망되었다.

(가) 홍수안전도 지표(FRI, Flood Risk Index)

홍수 안전도 지표는 OECD에서 환경평가를 구조적으로 측정하고자 고안한 모형의 PSR 구조를 이용하여 개발되었다. FRI는 홍수에 대한 압력 현상 대책지표로 구성, 사회적 합의나 이론적 연구를 통해 도출된 가중치가 부여된 각 주제별 지표 값의 곱으로 산정된다. 10년 단위로 산술 평균하여 분석하고 GIS를 이용하여 계급구간을 나누는 Quantile 기법을 적용하여 5개 계급구간으로 나누고 있다.

산정절차는 1) 시군별, 지수별 자료 수집, 2) 증권역별, 행정구역별 자료 구축, 3) 지표면계체계 적용, 4) 표준화 및 가중치 부여, 5) 증권역별, 행정구역별 FRI 산정, 6) FRI 산정결과 분석의 순으로 진행이 된다. 이를 바탕으로 개별지표 및 중간지표 분석, 치수특성평가지수상정 및 분석, 입력-현상-대책 상호관계 분석, 연도별 대표유형 변화를 분석한다.

(나) 치수안전도 지표(FSI, Flood Safety Index)

홍수량, 홍수위의 산정 및 치수경제성 해석에 내재하는 불확실성을 포함하고 인구의 밀집성, 토지이용도, 사회기반시설의 중요도 등을 고려하여 호우 및 홍수로 인한 피해에 대한 현재 상황에서 자산방어 수준을 평가하는 지표이다. 즉 홍수에 의해 발생할 수 있는 잠재적 피해정도와 실제 홍수가 발생할 가능성과 이에 대한 방어능력의 수준으로 평가하는 지표이다.

○ 홍수피해 지표(FDI, Flood Damage Index)

- 홍수 피해 지표는 피해를 유발하는 인자별로 평가가 가능하다는 장점이 있음
- 홍수 인자는 자연적 요인, 사회적 요인, 정책적 요인, 시설적 요인으로 구분됨

- 자연적 요인에는 연강우량과 하천 밀도가, 사회적 요인에는 인구밀도, 제조업생산액, 불투수 지역의 면적이, 정책적 요인에는 재정자립도, 제방연장, 하천관리 인력 등이, 시설적 요인으로는 총 주택수, 투수지역의 면적, 관공서 및 주요 기관의 수 등을 고려함

○ 서울시 안전도 지수

- 홍수피해에 대한 서울시 안전도 평가를 위해 홍수피해의 주요 원인을 분석 후 지역 안전도 평가 요인 및 인자를 선택하였고 자료의 계량화와 표준화 함
- 가중치는 경력 3년 이상의 전문가들의 설문조사를 통하여 산정하였고 GIS tool을 이용하여 평가 결과의 가중합을 통한 중첩으로 위험성과 저감성 요소를 조합하여 홍수재해에 대한 지역안전도평가를 수행함

UNCSD는 취약성/피해성/대응성을 고려하여 Driving force - State-Response를 활용하여 지수 지표를 개발하였다. 취약성에는 홍수범람위험지역비율, 시간당 100mm 강우시 침수가 발생할 수 있는 지역의 비율, 상습침수피해면적(홍수시 상습적으로 침수가 발생된 피해지역의 면적 비율)을 고려하였다. 피해성은 홍수피해액(연도별 각 권역의 홍수피해액)과 홍수인명피해자수(권역별 전체인구 중 홍수로 인한 사망자 수)을 이용한다. 대응성은 홍수예방투자비율(GDP 대비 지수분야에 투자되고 있는 예산의 비율), 하천정비율(외수 및 내수침수에도 안전한 하도의 비율), 홍수저류능력(홍수기 유출량 중 댐 및 저류지가 저류할 수 있는 저류용량의 비율)을 평가하는 항목이다.

<표 1-63> 치수안전도 지표의 종류와 장/단점 분석

구분	산정방법	장점	단점
홍수 위험지수 FRI	1. 압력(P) - (확률)강우량, 초과강우발생횟수, 인구밀도, 도시화, 자산밀도, 경사, 저지대율, 사회기반시설, 불투수지, 임상, 고도, 녹지면적 2. 현상(S) - 홍수피해, 침수면적, 우심피해횟수, 사망자수, 피해자수 3. 대책(R) - 하수도 보급율, 우수관로길이, 댐 및 저수지, 중계펌프장, 홍수예보시스템, 치수사업투자, 복구비, 기상관측소밀도, 재정자립도	치수상태를 계량화하고 홍수 피해의 해결의 우선순위를 부여하는 척도로 이용가능 지역 치수사업에서 홍수 대응 지역, 유역의 현상 상태, 자연적인 요인에 의한 치수사업의 압력, 정부의 대응 정책 평가에 유용한 수단	명확한 수치를 제시하거나 상태에 대한 전체적인 결과를 표현하는데는 한계가 있음
치수 안전도 지표 FSI	$FSI = (1 - \frac{L_T}{P}) \times 100(\%)$ $L_T = \text{기대 연 피해비용}$ $P = \text{치수단위구역의 총 자산액}$	기존의 하천중심의 선 개념 치수계획을 유역 측면에서 홍수량 부담하는 면 개념으로 평가하여 지역단위의 종합적인 치수사업계획 마련에 유용함	수리/수문 분석, 경제 분석이 요구되고, 사회/경제적 기상학적 변화 등 고려할 요소가 많음
홍수 피해 잠재능 PFD	$PFD = F_{PO}^{\alpha_1} \times F_{RI}^{\alpha_2}$ $= [\beta_1 F_{PD} + \beta_2 F_{PF} + \beta_3 F_{RUB} + \beta_4 F_{SOC}]^{\alpha_1}$ $\times [\beta_5 F_{FD} + \beta_6 F_{PR} + \beta_7 F_{CI} + \beta_8 F_{DAM} + \beta_9 F_{PUMP}]^{\alpha_2}$ $- \beta_i \text{는 가중치 } (\beta_i = \frac{\alpha_i}{\sum \alpha_i},$ $\alpha_i = N_i \times mag_i \times \gamma_i)$ (N_i 는 각 계급별 도수, mag_i 는 계급, γ_i 는 지수별 중요도를 고려한 초기값) 잠재 요소 F_{PO} : 인구 F_{PD} , 재산 F_{PF} , 도시화율 F_{RUB} , 사회기반시설 F_{SOC} 위험성 요소 F_{RI} : 홍수피해액 F_{FD} , 확률강우량 F_{PR} , 하천개수율 F_{CI} , 댐 및 저수지 F_{DAM} , 배수펌프장 F_{PUMP}	특정 치수단위구역의 홍수에 대한 잠재적인 홍수피해의 취약정도를 나타내는 지수로서 홍수에 의한 잠재적인 피해 정도를 나타내는 지수 홍수에 의한 잠재적인 피해 정도를 나타내는 잠재성요소와 홍수피해가 발생할 가능성 및 이에 대한 방어능력 정도를 나타내는 위험성 요소로 구성.	전문가의 주관적인 면이 포함되어 전문가에 따라 그 값이 다를 수 있음
홍수 피해 지표 FDI	$FDI_i = \sum_{j=1}^n (W_j \times Z_{ij})$ $Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \mu_j}{\sigma_j}$ FDI_i : i지역에 대한 홍수피해지표, W_j : 가중치, Z_{ij} : 표준화 값 표준화 값(Z-score) : $Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \mu_j}{\sigma_j}$ X_{ij} : i 지구 j인자 값, μ_j 와 σ_j : 평균치와 표준편차	홍수피해의 요인(자연, 사회, 정책, 시설)별 분석이 가능함	명확한 수치나 전체적인 상태를 나타내는데 한계가 있음

(3) 수질안전도 평가 방법 분석

(가) 농업용수 수질측정망을 이용한 수질안전도 평가

농업용 호소(저수지·담수호)를 농업용수 수질측정망으로 지정하고 수질 오염 현황과 변화 추이를 종합적으로 파악중에 있다.

- 농업용수 수질측정망 조사시설은 저수지·담수호 950개소이며, 환경부 호소 수질측정망 조사시설 중 농업용 호소 25개소(저수지 15개소, 담수호 10개소)를 포함 하여 전체 975개소 농업용 호소의 수질을 분석 및 평가중에 있음, 용수구역별 기준년도(설계 시점, 2016) 수질안전도 분석
- 기후영향에 따른 수량변동과 관련된 수질변화 추이 조사
- 수질항목 : 수온, TOC (COD), TP
- 기후변화(강우, 햇볕, 온도)에 따른 수질변동에 대한 수질안전도 분석
- 기준년도 대비 수질변동에 따른 수질안전도 분석, 수질평가기준

<표 1-64> 하천 생활환경기준

등급		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 떠있지 않을 것	2.0 이상	0.5 이하		
매우 나쁨	VI		10 초과	11 초과	8 초과		2.0 미만	0.5 초과		

<표 1-65> 호소 생활환경기준

등급		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)	클로로 필-a (Chl-a) (mg/m ³)	대장균군 (균수/100mL)	
										총 대장균 군	분원성 대장균 군
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) 수질안전도 평가 사례

공사관리 농업용 호소 수질전수조사 보고서(2015, 한국농어촌공사)에 작성한 기상변화에 따른 수질영향을 분석한 사례이다.

○ 기상변화에 따른 수질영향(2015년도)

- 농업용저수지는 다음해 안정적 농업용수 공급을 위해 영농기 이후에는 방류를 거의 하지 않아 갈수기 호순환율은 매우 낮은 실정으로 본격적인 영농기가 시작되는 5월 까지의 수질은 기온과 저수율에 의한 영향을 비교적 많이 받음

- 전년 여름철 가뭄 및 태풍의 직접 영향이 없어 영농기 이후에도 평년 대비 낮은 저수율이 지속되었으나, 갈수기에는 평년대비 강수량이 증가하였으며, 1차 조사시 저수율이 92%('14년 1차 83%)로 전년대비 다소 높은 상태를 보였음
- 3월 전반에는 전국 대부분 지역에 한파주의보가 발효되었으나, 후반에는 일최고기온과 일최저 기온의 극값을 기록하였으며, 큰 일교차로 인해 호소내 상·하층이 혼합되는 봄철 전도현상이 급격하게 진행됨
- 이른 더위가 시작된 4월에는 일조량 증가에 따른 수온이 큰 폭으로 상승하면서 호내 조류 발생여건이 평년에 비해 빠르게 조성되는 등 전반적인 수질관리 여건은 매우 열악한 상태에서 영농기가 시작되었음
- 본격적인 영농기가 시작되는 5월에도 맑은 날씨가 계속되면서 일조량 증가, 평년 대비 높은 수온 등으로 조류 번성여건이 조성되었으며, 이앙기 농업용수 수요 증가에 따른 저수율 급감으로 농업용 호소의 수질오염도가 가중되는 경향을 보였음
- 5월 중순부터 7월 중순까지 평년 강수량 대비 65% 이하의 강수분포와 영농기 용수 수요 증가로 저수율이 급감하여 호소정체, 오염물질 농축, 조류 발생 등 수질관리에 있어 열악한 환경여건이 장기간 지속되었음
- 영농기 용수공급 수요가 증가하여 저수율이 급감하는 6월의 강수량 평년비는 65% 미만으로 저수율 저하에 따른 호소 부영양화가 심화됨
- 일반적으로 7월은 장마의 영향으로 저수율이 빠르게 회복되는 시기이나 금년에는 평년에 비해 늦은 시기에 마른장마의 형태로 나타나 제주도 및 남부 일부 지역을 제외하고 적은 강수량을 보여 장기 가뭄에 따른 다소 낮은 저수율을 보였음
- 태풍의 간접영향 및 저기압의 영향으로 많은 강수분포를 보인 제주 및 남부지방을 제외하고 강수량 평년비가 64% 수준에 불과하여 저수율은 평년 대비 약 20% 낮은 수준으로 열악한 수질관리여건이 지속되었음
- 9월 강수량은 평년 대비 40% 정도로 매우 적은 수준을 보였으며, 3개년 연속 태풍의 직접적 영향이 없어 저수지 물갈이(flushing) 등을 통한 자연적 수질개선은 이루어지지 않았고, 큰 일교차로 인해 호소내 상·하층이 혼합되는 추계 전도현상이 급격하게 진행되었음
- 10월 남부지방을 중심으로 태풍의 간접 영향으로 평년대비 많은 수준을 보여 평년 저수율 수준을 회복하였으나, 중부지방 및 서해중부 이북지역에서는 여전히 낮은 저수율로 인한 호순환 정체 등으로 평년에 비해 높은 수질 오염도를 보였음

(4) 시설안전도 평가방법 분석

(가) 기후변화 영향·취약성 지표 간 관련성 분석

농업생산기반시설들의 기후변화에 대한 취약성 조사 및 검토를 위해서는 적절한 지표의 설정이 필요한데, 이를 위해서 보통은 관리하고 있는 농업생산기반시설들의 개소수 혹은 연장, 사용 연수 등의 자료를 분석하여 취약여부를 판단하고 있는 실정이다.

농업생산기반시설의 구조물의 종류, 개소수, 설치지역 등과 관련되어 자료를 수집하여 분석하는 것이 필요하며, 이를 위해서 한국농어촌공사 주요사업 중 하나인 농업용수와 수리시설 관리와 관련된 자료들을 정리하면 다음 <표 1-66>~<표 1-69>와 같다.(한국농어촌공사 본사 자료)

<표 1-66> 한국농어촌공사 관리구역 수리시설물 연도별 현황(2008~2013)

구분	단위	2008	2009	2010	2011	2012	2013
수혜면적	ha	532,436	530,008	520,795	516,538	517,375	524,554
수원공수	개소	13,145	13,176	13,327	13,374	13,435	13,497
저수지		3,326	3,333	3,363	3,356	3,372	3,372
양수장		3,302	3,314	3,342	3,377	3,415	3,440
양배수장		104	104	105	106	105	105
배수장		612	621	630	652	681	700
보		4,132	4,141	4,160	4,155	4,152	4,158
집수암거		331	323	324	320	318	318
관정		1,338	1,340	1,403	1,408	1,392	1,404
용·배수로	km	98,061	97,874	98,543	98,628	98,690	98,864
용수로		63,110	63,221	63,270	63,333	63,377	63,446
토 공		29,656	29,144	28,281	27,433	27,056	26,468
구조물		33,454	34,077	34,989	35,900	36,321	36,978
배수로		34,951	34,653	35,273	35,295	35,313	35,418
토 공		28,775	28,294	28,276	28,057	27,889	27,746
구조물		6,176	6,359	6,997	7,238	7,424	7,672

<표 1-66>는 한국농어촌공사 본사자료를 참고한 것이며, [표 3-27]~[표 3-29]는 도본부별 자료를 수집하여 정리한 것이다.

<표 1-67> 지역본부별 수리시설물 유지관리 개소수

시설별	저수지	양배수장	취입보	집수암거	관정	방조제	계
경기	121	350	134	53	187	19	864
충남	221	501	415	29	102	20	1,288
충북	94	122	239	14	66	-	535
전남	1,045	746	854	-	-	189	2,834
전북	416	578	623	23	238	20	1,898
경남	625	742	761	56	138	-	2,322
경북	667	749	654	105	295	-	2,470
합계	3,189	3,788	3,680	280	1,026	248	12,211

<표 1-68> 한국농어촌공사 지역본부별 용배수로 관리현황

(단위 : km)

지역본부	시설별	계	토공	구조물
경기	계	12,340	9,725	2,615
	용수로	7,681	5,438	2,243
	배수로	4,659	4,287	372
충남	계	15,460	9,251	6,208
	용수로	9,346	4,479	4,867
	배수로	6,113	4,771	1,341
충북	계	8,459	6,635	1,824
	용수로	5,210	3,656	1,554
	배수로	3,249	2,979	270
전남	계	19,321	10,604	8,717
	용수로	11,567	4,336	7,231
	배수로	7,754	6,368	1,486
전북	계	15,798	8,109	7,689
	용수로	10,080	3,838	6,242
	배수로	5,718	4,271	1,447
경남	계	11,325	5,798	5,527
	용수로	7,176	2,611	4,565
	배수로	4,149	3,187	962
경북	계	11,595	5,693	5,902
	용수로	8,903	3,837	5,066
	배수로	1,856	1,856	-
합계	계	94,298	55,815	38,482
	용수로	59,963	28,195	31,768
	배수로	33,498	27,719	5,878

<표 1-69> 본 연구에서 사용한 지역본부들의 농업용수공급 관리면적 현황

시설별	관 리 면 적 (ha)			공사관리 비율(%)
	계	공사관리	시·군 관리	
저 수 지	548,584	360,198	188,314	66
양 수 장	184,459	91,218	93,256	49
양배수장	132,383	93,234	39,093	70
배 수 장	96	80	16	83
취 입 보	70,674	10,385	60,275	15
집수암거	11,286	1,163	10,102	10
관정	34,601	60	35,541	-
기타	10,903		10,903	-
계	992,988	556,339	437,500	

그러나 본사자료와 지역본부의 자료 간에 통계자료의 연도와 집계항목에 조금씩의 차이가 있어서, 본 연구에서는 항목이 공통적으로 집계되어 공시되어 있는 경기, 충청남도, 충청북도, 경상남도, 경상북도, 전라남도, 전라북도 도본부의 자료들을 사용하였다. 유지관리 개소수 자료에서 양수장 및 배수장이 별도로 집계되던 경우에는 양배수장에 합산하여 정리하였으며, 집수정은 집수암거에 합산하여 함께 정리하였다. 또한 지사별 관련 통계자료는 그 양이 방대하여 본문에서는 수록하지 않고 분석에 사용하였다.

한편 위 자료들에서는 시설물들의 준공연도에 대한 자세한 내용이 수록되어 있지 않아 본 연구에서는 준공연도는 별도로 고려하지 않았으며, 차기년도 연구에서는 구조물별 사용연수를 고려하는 방안도 포함하여 민감도와 적응성평가를 실시할 계획이다.

이상의 자료들을 가지고 도본부별 유지관리 중인 구조물들의 기후변화 취약성을 Moss et al.(2003), 유가영 등(2008), 명수정 등(2010)에서 소개한 스케일 조정법(Re-scaling) 혹은 Z-스코어(Z-score) 방법으로 각 구조물별 우선순위를 파악해 보면 다음 <표 1-70>~<표 1-72>와 같다. 분석 시 용배수로는 그 측정단위가 연장(km)인 관계로 별도로 분석하여 <표 1-72>에 수록하였다.

취약성 조사를 위해서는 다양한 지표가 모두 포함되어야 하겠지만, 기후인자를 제외고, 수리 구조물을 노출 혹은 적응성인자라고만 가정하고 구조물간 평가결과의 비교를 목적으로 이 분석을 실시하였다.

<표 1-70> 스케일 조정법에 의한 도본부별 수리시설물 취약성 우선순위

시설별	저수지	양배수장	취입보	집수암거	관정	방조제	평균	우선순위
경기	0.0284	0.3636	0.0000	0.5048	0.6339	0.1005	0.2719	6
충남	0.1335	0.6045	0.3903	0.2762	0.3458	0.1058	0.3093	5
충북	0.0000	0.0000	0.1458	0.1333	0.2237	0.0000	0.0838	7
전남	1.0000	0.9952	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.6659	2
전북	0.3386	0.7273	0.6792	0.2190	0.8068	0.1058	0.4794	4
경남	0.5584	0.9888	0.8708	0.5333	0.4678	0.0000	0.5699	3
경북	0.6025	1.0000	0.7222	1.0000	1.0000	0.0000	0.7208	1

<표 1-71> Z-스코어 법에 의한 도본부별 수리시설물 취약성 우선순위

시설별	저수지	양배수장	취입보	집수암거	관정	방조제	합계	우선순위
경기	-0.966	-0.802	-1.452	0.372	0.398	-0.240	-2.690	6
충남	-0.677	-0.168	-0.410	-0.315	-0.438	-0.225	-2.234	5
충북	-1.044	-1.759	-1.062	-0.744	-0.792	-0.518	-5.919	7
전남	1.701	0.860	1.216	-1.144	-1.441	2.244	3.437	2
전북	-0.114	0.155	0.361	-0.486	0.899	-0.225	0.588	4
경남	0.489	0.843	0.872	0.458	-0.084	-0.518	2.059	3
경북	0.610	0.872	0.475	1.859	1.459	-0.518	4.759	1

<표 1-72> 용배수로에 대한 분석결과

용배수로	스케일조정법	우선순위	Z-스코어	우선순위
경기	0.3573	4	-0.3134	4
충남	0.6445	3	0.5512	3
충북	0.0000	7	-1.3891	7
전남	1.0000	1	1.6212	1
전북	0.6757	2	0.6449	2
경남	0.2639	6	-0.5948	6
경북	0.2887	5	-0.5200	5

수리시설물에 대한 스케일조정법, Z-스코어법에 따른 계산결과에서는 지역본부간 순위가 모두 동일하게 나타났으며, 경북-전남-경남-전북-충남-경기-충북의 순으로 나타났으며, 저수지의 경우에는 전남, 양배수장은 경북, 취입보는 전남, 집수암거와 관정은 경북, 방조제는 전남, 용배수로의 경우에는 전남의 순위가 높게 나타났다.

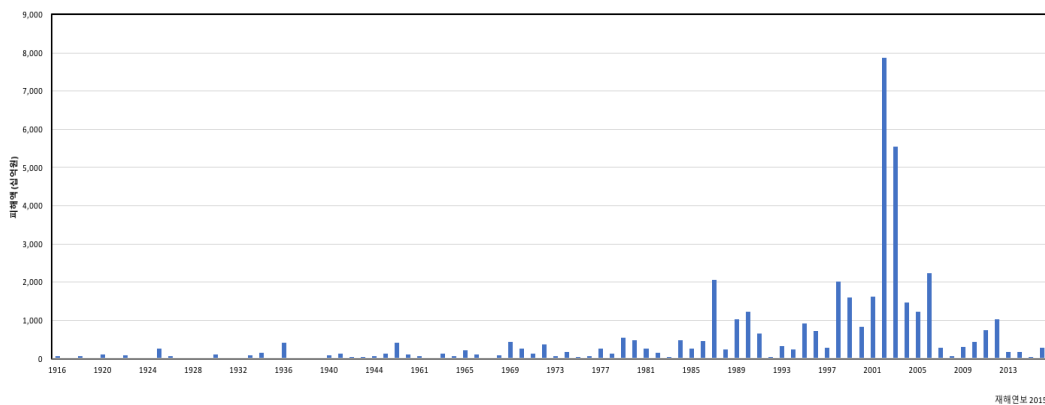
이들의 계산결과에는 구조물의 사용 연수, 규모 그리고 도본부별 관리역량 등의 대한 자료가 누락된 단순한 결과이지만, 관리역량은 도본부간 유사하다고 가정하고 일부 구조물의 경우에는

사용연수 파악이 어렵거나 규격이나 규모파악이 불가능한 시설들이 다수 포함되어 있어 본 연구에서는 가장 기본적인 유지관리개소 혹은 연장을 기본으로 분석을 실시하였다.

한편 이 분석결과들의 신뢰정도 혹은 정확성을 판단하기 위해서 최근의 기상이변에 따른 이들 시설에서의 재해발생 빈도 혹은 규모, 피해액 등의 자료를 찾아서 비교해 볼 필요가 있다.

우리나라 자연재해 관련 자료는 그 동안 내무부, 행정안전부, 소방방재청의 기관 등에서 제공하는 최근 30년 정도의 재해관련 통계자료를 수집 활용하였으며, 특히 농업생산기반시설과 관련된 자료는 농림축산식품부의 관련 통계연보, 한국농어촌공사의 재해 극복 사례집 그리고 본사 및 각 도본부, 지사별 자료를 수집하여 분석에 활용하였다.

중앙재난안전대책본부와 소방방재청(2015, 2016) 자료에 의하면 우리나라에서 자연재해로 인해 발생한 연도별 피해액¹⁵⁾은 (그림 1-57) 같다.



(그림 1-57) 연도별 자연재해에 의한 피해액

※ 중앙재난안전대책본부, 소방방재청, 2015, 2016, 재해연보

1980년 이후부터 자연재해에 의한 피해규모가 증가되고 있음을 알 수 있으며, 2000년대 들어 오면서 이러한 경향은 더 뚜렷하게 나타나고 있다는 사실을 알 수 있다. 특히 2002년과 2003년의 피해발생 규모는 이전에는 유래가 없는 매우 큰 규모였다는 사실을 알 수 있다.

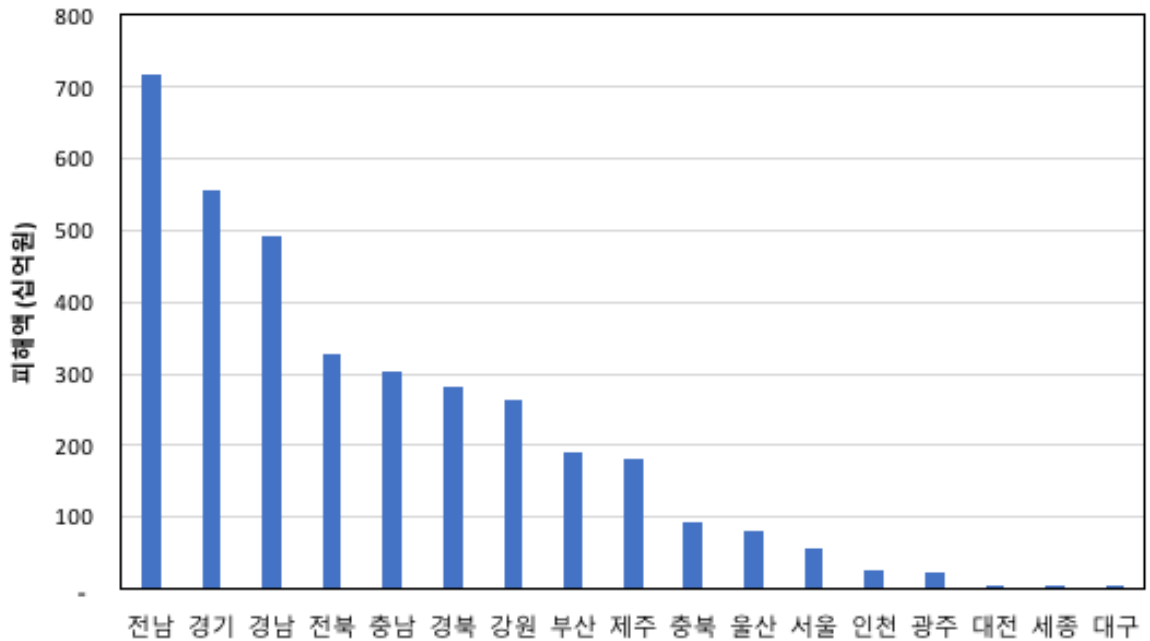
한편 최근 10년간의 자연재해에 의해 발생한 전체 피해액을 시도별 순위로 정리하여 (표 1-73)과 (그림 1-57)에 나타내었다.

10년간 시도별 피해액은 전라남도(7,176억원), 경기도(5,563억원), 경상남도(4,934억원) 등의 순이었으며, 전라남도의 피해액은 4순위의 전라북도의 2배 이상이고, 11위의 울산광역시에 비해서는 10배, 15위 이하의 지자체들 보다는 100배 이상 크게 피해가 발생된 것으로 나타나서 지역 간 차이가 크다는 사실을 알 수 있다.

15) 2015, 2016년 화폐가치 기준으로 산정

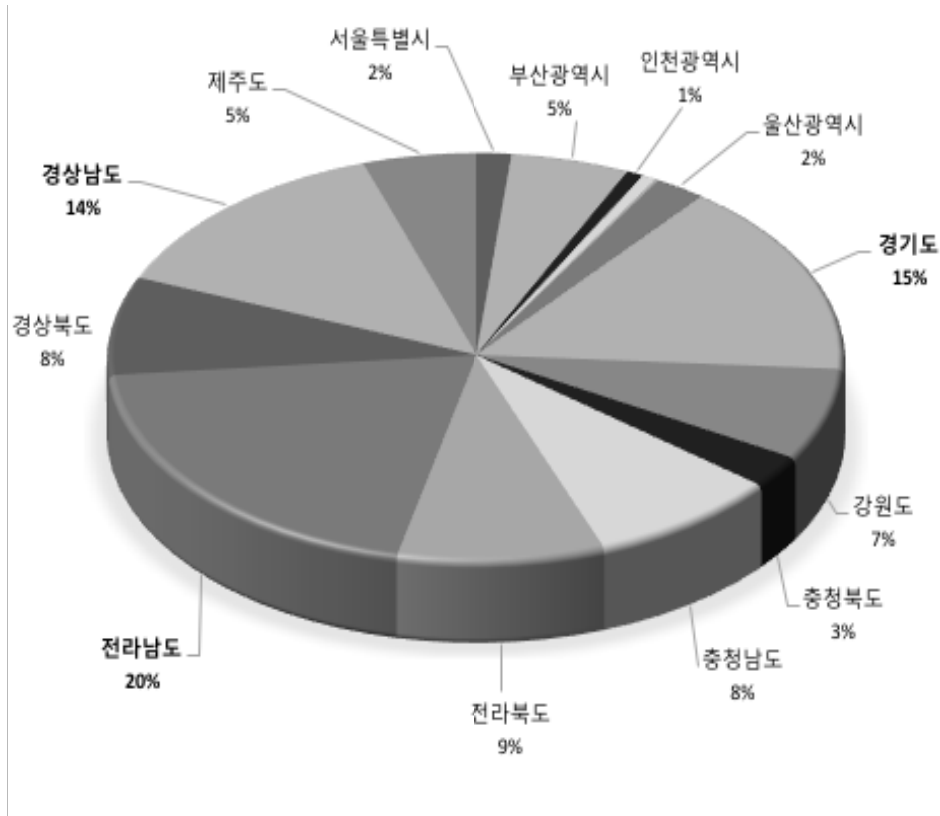
<표 1-73> 최근 10년간 시도별 자연재해 피해액 순위와 표준화(Re-scaling) 결과

순위	지자체	합 계 (천원)	표준화
1	전라남도	717,646,961	1.00000
2	경기도	556,377,698	0.77504
3	경상남도	493,468,115	0.68728
4	전라북도	327,445,684	0.45568
5	충청남도	301,969,733	0.42015
6	경상북도	280,394,977	0.39005
7	강원도	262,956,185	0.36572
8	부산광역시	189,665,579	0.26349
9	제주도	181,991,073	0.25278
10	충청북도	92,271,065	0.12763
11	울산광역시	80,225,300	0.11082
12	서울특별시	55,950,176	0.07696
13	인천광역시	26,514,605	0.03590
14	광주광역시	22,413,083	0.03018
15	대전광역시	5,752,405	0.00694
16	세종시	1,070,582	0.00040
17	대구광역시	780,472	-



(그림 1-58) 최근 10년간 전국 시도별 자연재해 피해액 비교

최근 10년간 전국 시도별 피해액을 전체 피해액에 대한 비율로 나타낸 것이 다음 (그림 1-58)과 같다. 전남(20%)-경기(15%)-경남(14%)-전북-경북·충남-강원-제주·부산-충북 등의 순으로 피해발생이 컸으며, 상위 3개 시도가 전체 피해액의 절반(49%) 정도를 차지하여 나머지 시도와의 차이가 뚜렷하였다.



(그림 1-59) 최근 10년간 전국 시도별 재해 피해액 비율

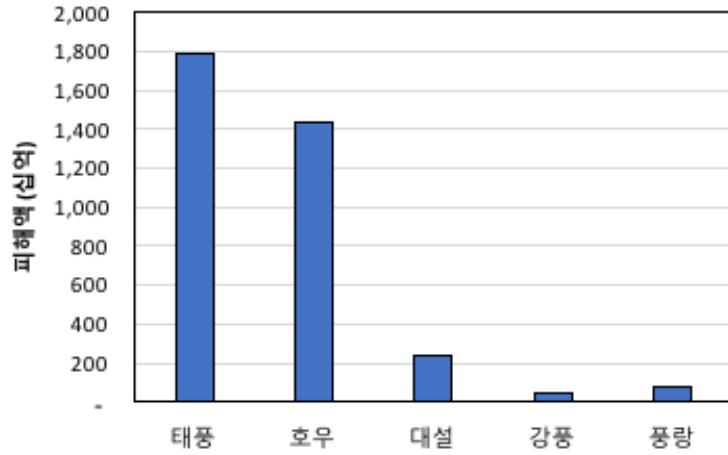
한편 최근 10년간 자연재해 발생원인을 태풍, 호우, 대설, 강풍, 풍랑별로 구별하여 정리한 자료는 다음 (그림 1-59)과 같다. <표 1-74>에 의하면 태풍에 의한 피해가 가장 크게 나타났으며, 그 다음은 호우에 의한 피해발생이 크게 나타났다는 사실을 알 수 있다.

최근 10년간 연도별 원인별 자연재해로 인한 피해발생의 특징은 (그림 1-60)와 같이 2011년에 집중호우와 2012년에 태풍으로 인한 피해가 크게 발생되었으며, 2016년에는 지진으로 인한 피해액이 처음으로 기록되었다. 원인별 피해액의 비율을 나타낸 (그림 1-61)에 따르면, 태풍(50%)과 호우(40%)가 전체의 90%를 차지하면서 대부분의 자연재해의 원인이 되고 있다는 사실을 알 수 있다. 상대적으로 대설이나 강풍, 풍랑에 의한 피해는 크지 않았다는 사실을 알 수 있다.

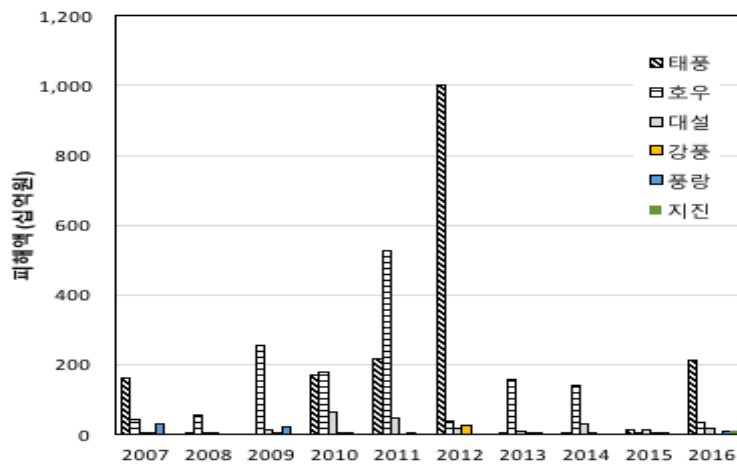
<표 1-74> 최근 10년간 원인별 - 연도별 피해현황 (2007~2016)

연도	비고	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	합 계
태풍	가	179,284,078	880,616	0	170,971,109	202,765,546	925,809,247	1,583,983	4,986,405	13,159,821	214,464,271	1,713,905,076
	나	160,869,065	857,693	0	172,506,416	218,314,109	1,003,715,099	1,689,784	5,291,295	13,404,137	214,464,271	1,791,111,869
호우	가	48,470,636	59,641,789	262,260,684	179,153,452	490,034,303	35,447,924	148,227,993	134,017,089	1,190,561	35,886,806	1,394,331,237
	나	43,492,016	58,089,213	254,904,366	180,762,236	527,611,345	38,430,828	158,128,802	142,211,454	1,212,664	35,886,806	1,440,729,730
대설	가	8,293,462	3,738,111	13,147,669	65,712,554	44,559,138	18,772,023	10,631,889	30,553,216	12,783,241	18,688,655	226,879,958
	나	7,441,606	3,640,801	12,778,882	66,302,647	47,976,042	20,351,669	11,342,040	32,421,368	13,020,565	18,688,655	233,964,275
강풍	가	7,667,463	1,144,840	7,238,827	172,704	0	24,638,803	873,858	89,103	3,820,390	0	45,645,988
	나	6,879,906	1,115,038	7,035,780	174,255	0	26,712,131	932,227	94,551	3,891,317	0	46,835,205
풍랑	가	36,920,546	0	24,784,549	6,973,700	277,665	0	41,392	0	327,383	8,302,366	77,627,601
	나	33,128,283	0	24,089,350	7,036,323	298,957	0	44,157	0	333,461	8,302,366	73,232,897
지진	가	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,019,717	11,019,717
	나	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,019,717	11,019,717
합계	가	280,636,185	65,405,356	307,431,729	422,983,519	737,636,652	1,004,667,997	161,359,115	169,645,813	31,281,396	288,361,815	3,469,409,577
	나	251,810,876	63,702,745	298,808,378	426,781,877	794,200,453	1,089,209,727	172,137,010	180,018,668	31,862,144	288,361,815	3,596,893,693

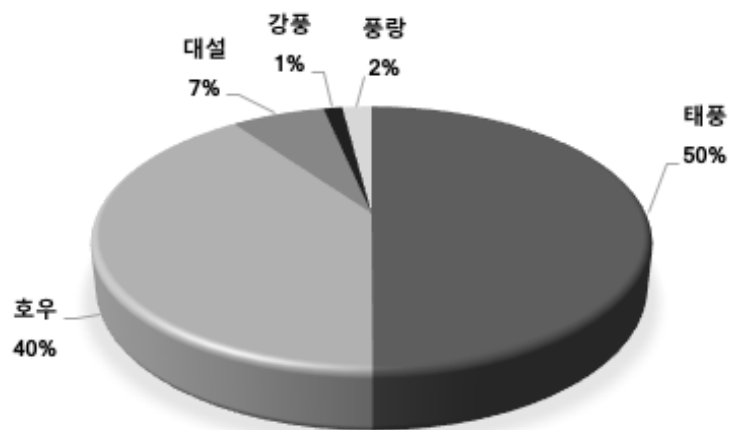
주) 1. (가)줄의 피해액은 2016년도 환산가격 기준 임, (나)줄의 피해액은 당해년도 가격 기준 임



(그림 1-60) 최근 10년간 자연재해 원인별 피해액

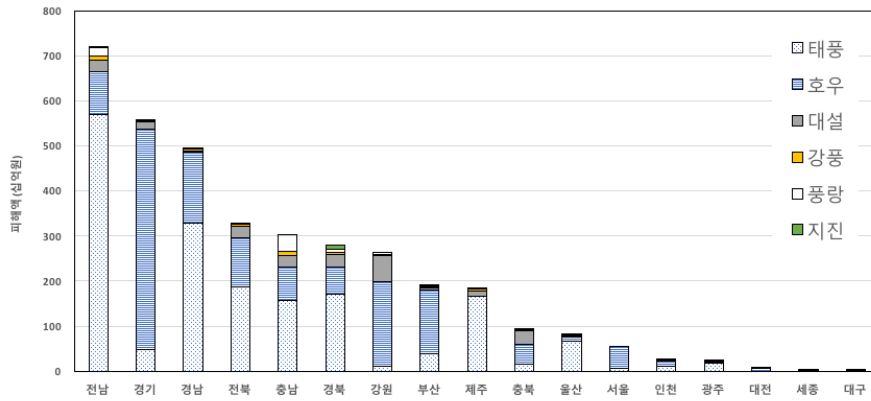


(그림 1-61) 최근 10년간 연도별 원인별 자연재해 피해액



(그림 1-62) 최근 10년간 자연재해 원인별 피해액의 비율

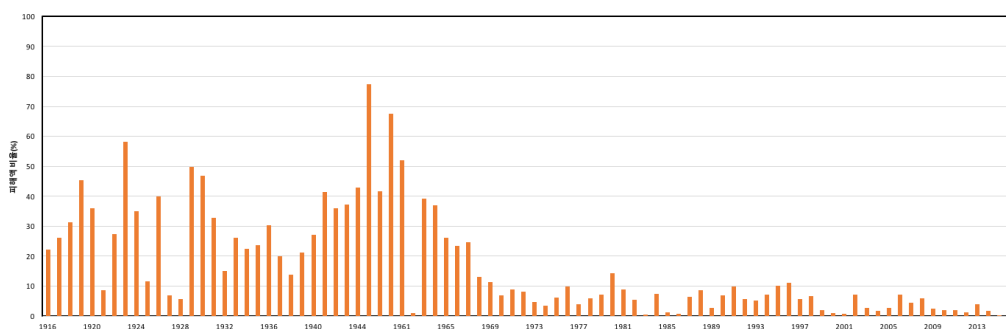
(그림 1-62)은 시도별 원인별 자연재해에 의한 피해액을 비교한 것이다. 전라남도, 경상남도, 전라북도, 충청남도, 경상북도, 제주도 그리고 울산광역시 등 남부지방에서는 주로 태풍에 의한 피해가 상대적으로 크게 발생된 것으로 나타났다.



(그림 1-63) 최근 10년간 시도별 원인별 자연재해에 의한 피해액

한편 경기도, 강원도, 부산광역시, 충청북도, 서울특별시 그리고 등에서는 호우가 주요 원인이 된 피해가 많이 발생된 것으로 나타났다. 경기도, 강원도, 충청북도, 서울특별시는 중부지방이라 태풍보다는 호우의 영향이 크다는 사실은 알 수 있었지만, 부산광역시의 경우에는 남부 해안가에 위치하고 있으면서 태풍보다는 호우에 의한 피해가 컸던 것으로 나타나는 특징을 보였다. 한편 지금까지 살펴본 재해연보의 피해액은 건물, 선박, 공공시설, 농경지, 농작물 등의 세부항목으로 구별하여 각각의 자료를 취합 및 합산하여 산정함. 이중 농업분야와 관련된 항목은 농경지와 농작물이 있으나, 농작물 항목의 자료는 연속성이 결여되어 농경지 피해액을 근거로 농업분야 피해액을 상대적으로 평가하고자 한다.

농경지와 관련된 피해액은 전체 피해액에 대해서 다음 (그림 1-64)와 같다. 1968년 이전까지는 대부분의 자연재해에 의한 피해는 농업분야에서 발생된 것으로 나타났으며, 1958년에는 전체 피해액의 77%가 농경지 피해와 관련된 것으로 나타났다.



(그림 1-64) 연도별 자연재해에 의한 피해액 중 농경지 관련 피해액의 비중

※ 중앙재난안전대책본부, 소방방재청, 2015, 2016, 재해연보

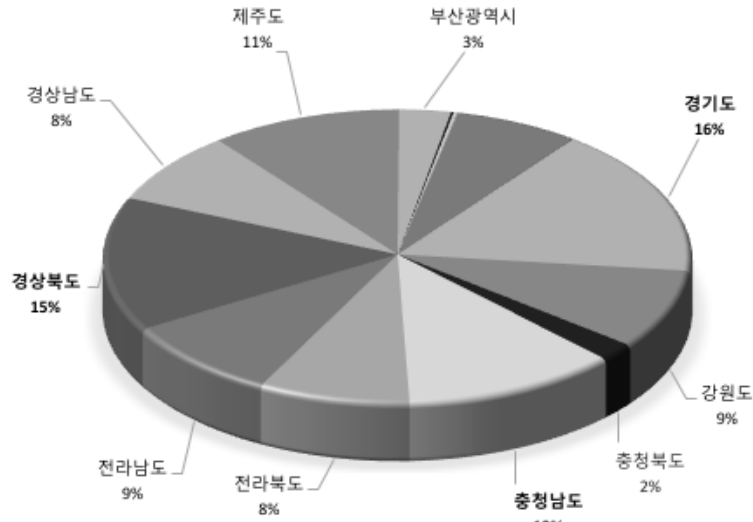
그러나 그 이후에는 점차 감소되고 있는 추세이며, 2000년대 들어서는 2002, 2006 그리고 2008년을 제외하고는 5% 미만으로서 대부분은 1~3% 수준으로 전체 피해액에서 차지하는 비율은 상대적으로 낮은 편이다. 따라서 우리나라의 경우에 자연재해에 의한 피해는 농업분야

외에 사회기간시설이나 주거지역에서 주로 발생된다고 판단되며, 반대로 농업분야의 적응성은 다른 분야에 비해서 상대적으로 높은 것이라는 추측도 가능하다고 판단된다.

최근 10년간 전국 시도별 자연재해에 따른 발생 피해액 중 농경지의 피해액은 <표 1-75>와 <그림 1-76>에 정리하였다. (그림 1-65)에 의하면 경기(16%)-경북(15%)-충남(12%)-제주(11%)-전남-강원-전북-경남 등의 순으로 나타나 앞서 전체 피해액에 따른 순위와는 다르게 나타났다. 또한 이러한 결과는 앞서 한국농어촌공사의 유지관리 수리시설 개소수 만을 대상으로 스케일 조정법이나 Z-스코어법으로 계산해서 얻어진 경북-전남-경남-전북-충남-경기-충북의 순서와는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

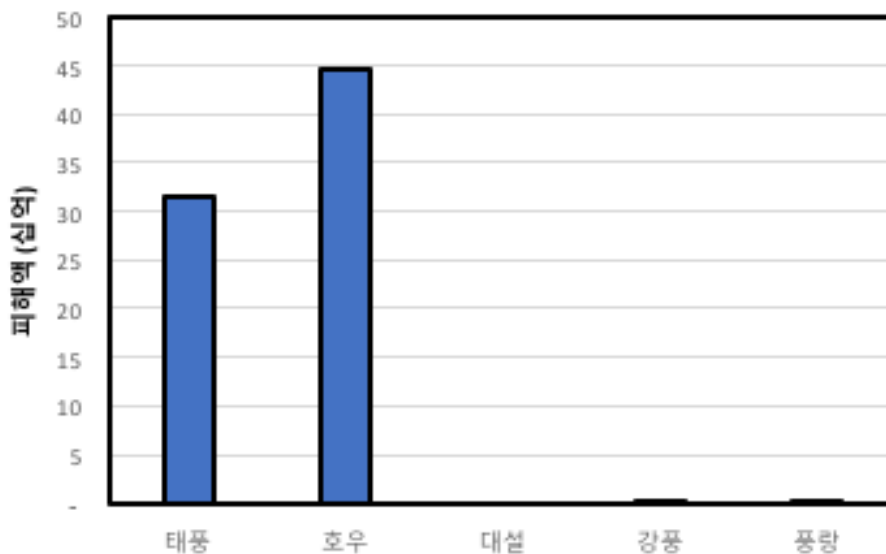
<표 1-75> 시도별 농경지 피해액 순위와 표준화 결과

순위	지자체	피해액(천원)	표준화
1	경기도	12,553,990	1.00000
2	경상북도	11,301,073	0.90012
3	충청남도	9,045,131	0.72027
4	제주도	8,116,471	0.64623
5	전라남도	6,826,222	0.54337
6	강원도	6,733,195	0.53596
7	전라북도	6,353,502	0.50569
8	경상남도	6,186,139	0.49234
9	울산광역시	5,334,634	0.42446
10	부산광역시	2,231,806	0.17710
11	충청북도	1,511,437	0.11967
12	광주광역시	115,883	0.00841
13	인천광역시	110,267	0.00797
14	대전광역시	71,705	0.00489
15	세종시	45,223	0.00278
16	서울특별시	32,290	0.00175
17	대구광역시	10,343	-



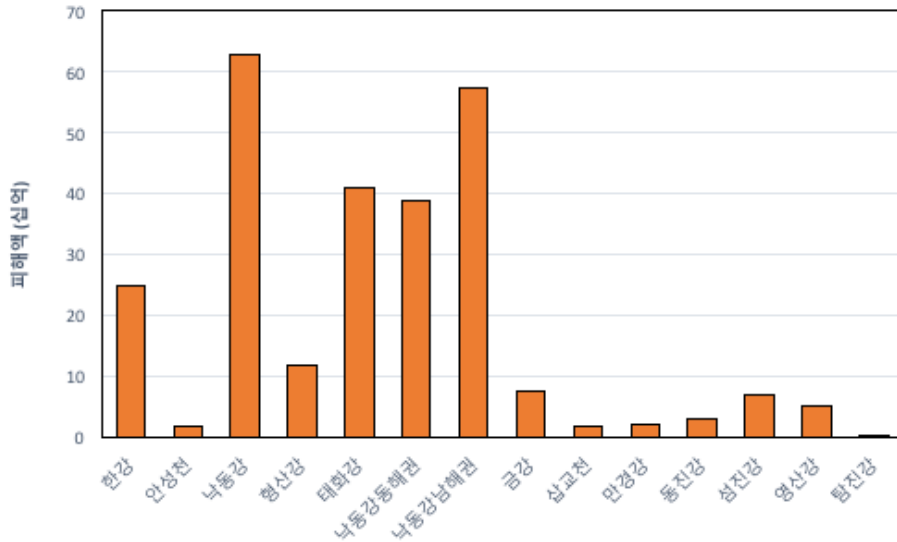
(그림 1-65) 최근 10년간 전국 시도별 전체 피해액 중 농경지 피해액이 차지하는 비율

농경지 피해액을 기준으로 시도별 차이를 알아보면 1순위인 경기도의 피해액은 8위인 울산광역시의 약 2배, 11위인 충청북도와는 10배, 16위와 17위인 서울특별시 혹은 대구광역시와는 약 100배 이상 큰 것으로 나타나, 지역 간 차이가 큰 것으로 나타났다. 또한 자연재해 발생 원인별 피해발생은 농경지의 경우에는 호우와 관련된 피해가 가장 크고, 태풍으로 인한 피해 규모는 2번째인 것으로 나타났다. 한편 농경지의 경우에는 호우와 태풍에 의한 피해가 전체의 90%로 대설, 강풍, 풍랑에 의한 피해발생은 상대적으로 작은 수준이다.

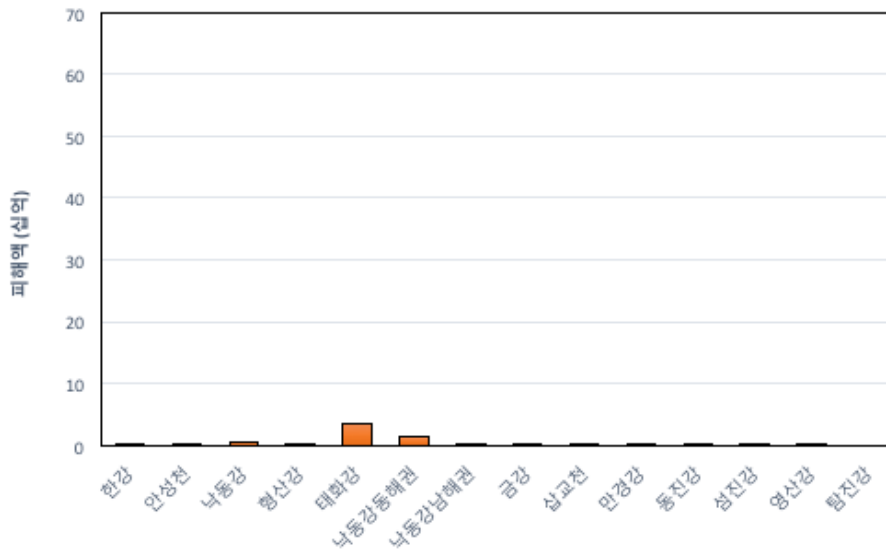


(그림 1-66) 최근 10년간 농경지의 자연재해 원인별 피해액

농경지 피해의 경우에는 상위 3개 시도 외에도 제주도(11%), 강원도(9%), 경상남도(8%), 전라북도(8%) 등 상대적으로 고르게 피해가 발생되어 앞서 살펴보았던 전체 피해액을 기준으로 했을 경우 [(그림 1-66) 참조]와는 다른 경향을 보였다. 또한 대부분 광역시는 그 피해가 미미한 것으로 나타났으며, 충청북도의 피해가 상대적으로 낮은 것도 특징적이다. 한편 참고적으로 최근 10년간 수계별 - 시설별 피해액을 정리해 보면 다음 (그림 1-67)과 같다.



(그림 1-67) 최근 10년간 수계별 피해현황(2007~2016)



(그림 1-68) 최근 10년간 수계별 농경지 피해현황(2007~2016)

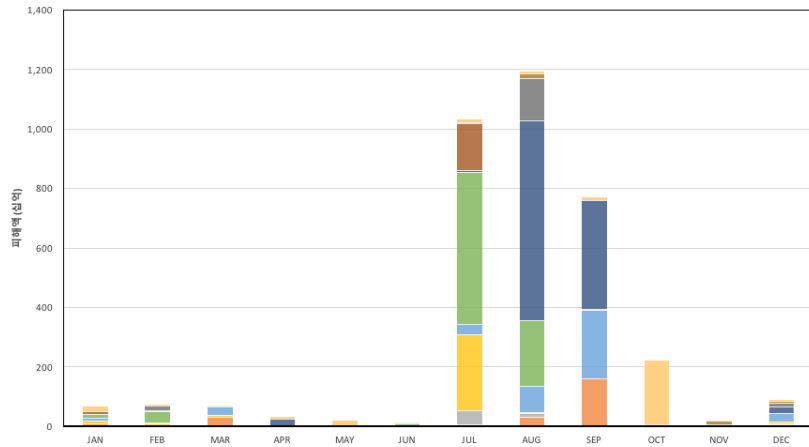
10년간 수계별 피해현황은 낙동강(624억원), 낙동강 남해권(571억원), 태화강(407억원), 낙동강 동해권(387억원) 그리고 한강(247억원)의 순으로 나타나 태화강을 제외하면 피해가 주로 낙동강 수계에서 집중해서 발생되었다는 사실을 알 수 있다.

농경지의 경우에도 태화강(34억원), 낙동강 동해권(15억원), 낙동강(5억원), 낙동강 남해권(2.4억원) 그리고 섬진강(1.6억원)으로 나타나 순위에 변동이 있으나 주로 태화강과 낙동강수계에서

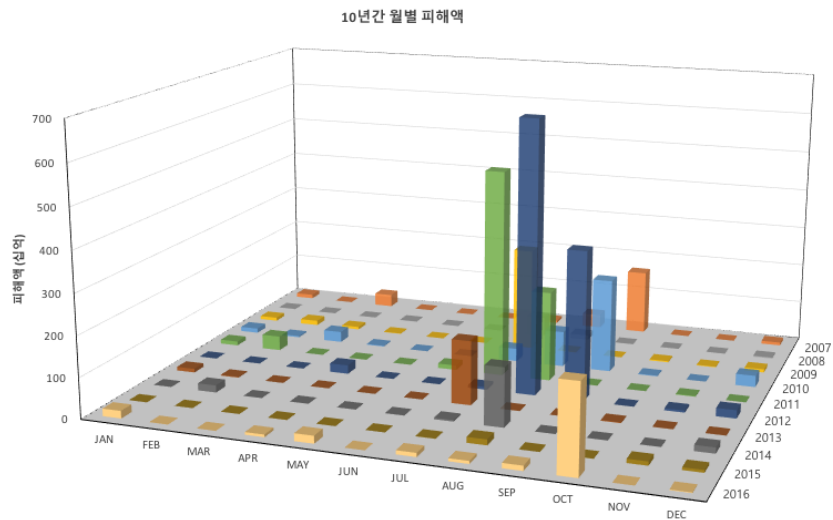
발생되고 있어 이 지역 수계 주변의 농경지들이 향후 기후변화에 취약할 수 있다고 판단된다. 한편 호남지역의 평야지대와 관계되는 금강, 동진강, 만경강, 영산강 수계에서의 피해액은 상대적으로 낮게 나타나서 이 지역 수계들의 적응성은 상대적으로 양호하다고 판단된다.

최근 10년간 월별 - 연도별 피해현황을 (그림 1-69)은 최근 10년간 월별 피해현황 그리고 (그림 1-70)는 최근 10년간 월별 - 연도별 피해현황을 나타낸 것이다. 그림에서 피해는 주로 7월~9월에 집중되고 있다는 사실을 알 수 있으며, 2015년과 2016년은 상대적으로 피해발생이 적었다는 사실을 알 수 있다.

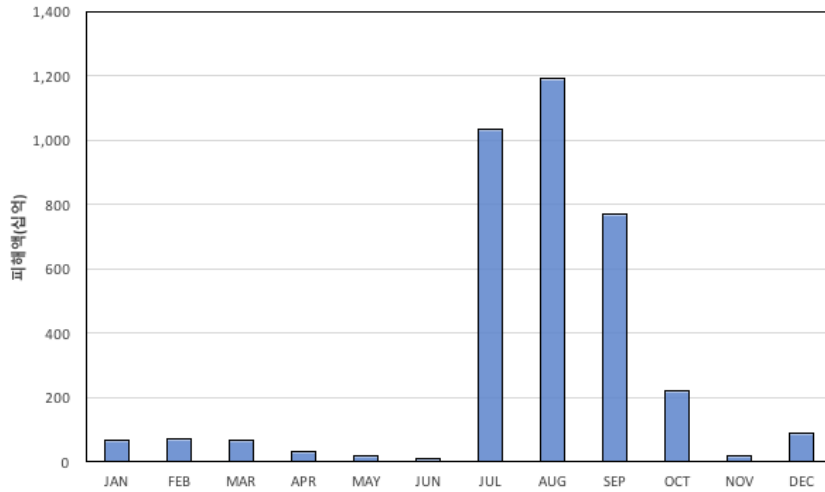
최근 10년간 월별 - 시설별 피해현황을 나타낸 것으로 (그림 1-71)는 최근 10년간 월별 피해현황 그리고 (그림 1-72)은 최근 10년간 월별 - 농경지 피해현황을 나타낸 것이다. 시설물 및 농경지의 피해도 주로 7월~10월에 집중되고 있다는 사실을 알 수 있다.



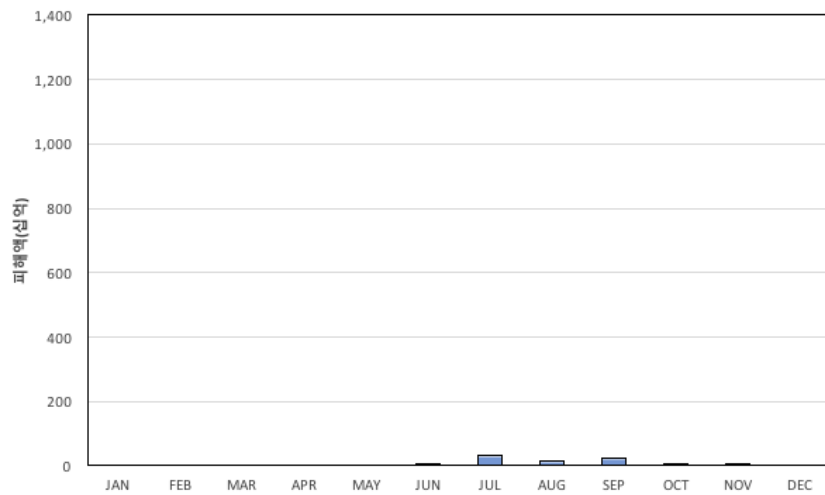
(그림 1-69) 최근 10년간 월별 피해현황(2007~2016)



(그림 1-70) 최근 10년간 월별, 연도별 피해현황(2007~2016)



(그림 1-71) 최근 10년간 월별 피해현황(2007~2016)

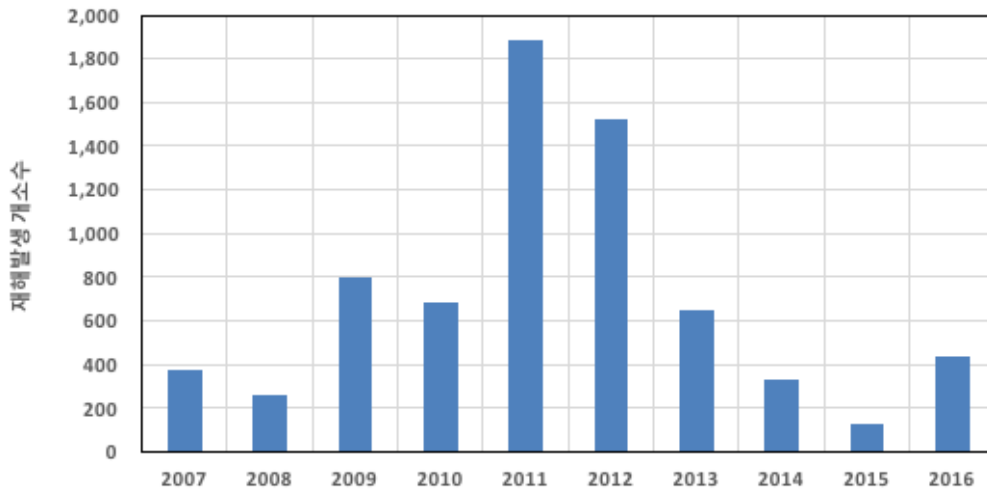


(그림 1-72) 최근 10년간 월별 농경지 피해현황(2007~2016)

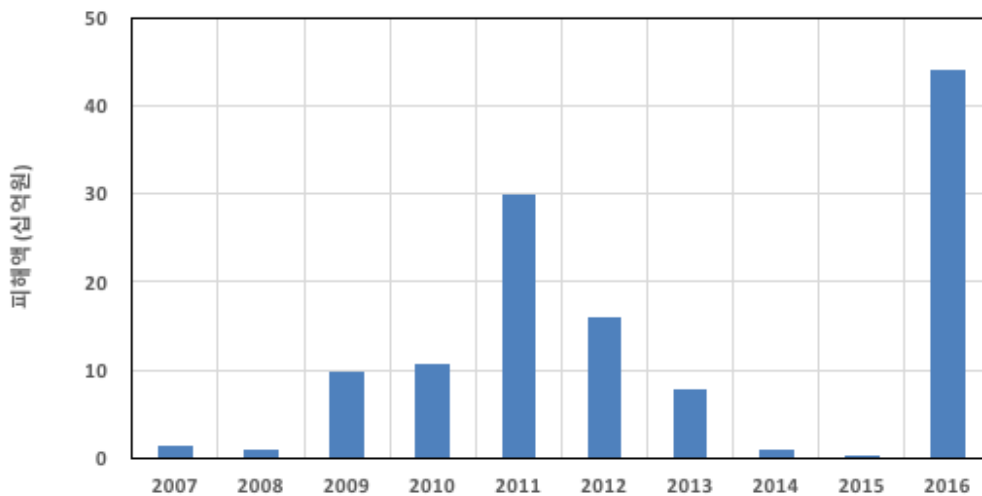
한편 한국농어촌공사의 자연재난(풍수해·가뭄) 극복 사례집(2011, 2013, 2014, 2015, 2016)에서 수집된 농업기반시설에 대한 최근 10년간 재해피해 발생사례를 정리하면 다음 <표 1-76>과 (그림 1-73) 그리고 (그림 1-74)와 같다. 최근 10년간 자연재해에 의한 농업기반시설의 피해발생 개소수는 7,79개소, 피해액은 1,224억 원으로 집계되고 있다. 피해 개소수는 2011년(1,882개소)과 2012년(1,524개소)에 가장 많았으나, 2016년에는 피해 개소수는 440개소로 매우 작았으나 피해액은 440억 원으로 가장 많았던 것으로 나타났다.

<표 1-76> 최근 10년간 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해발생 통계

연도	개소	피해액(천 원)
2007	377	1,500,000
2008	265	1,000,000
2009	801	9,900,000
2010	683	10,700,000
2011	1882	30,000,000
2012	1524	16,000,000
2013	648	7,800,000
2014	330	1,100,000
2015	129	400,000
2016	440	44,000,000
합계	7,079	122,400,000



(그림 1-73) 최근 10년간 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해 개소수



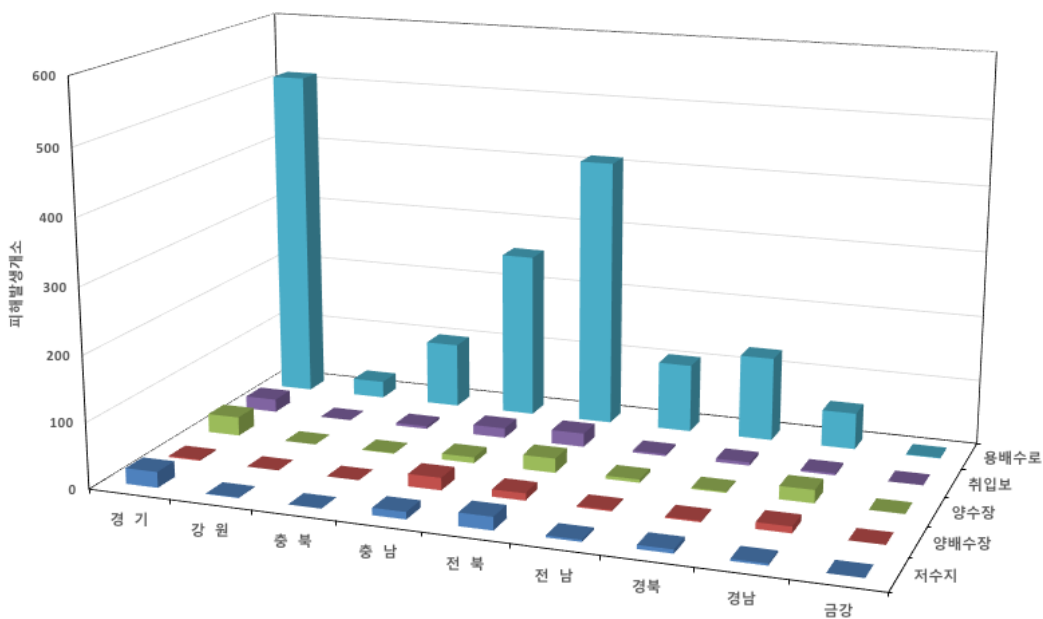
(그림 1-74) 최근 10년간 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해액

농업기반시설의 피해현황분석을 위한 연고별 - 지역 본부별, 시설물별의 자세한 사항은 자료 수집의 어려움으로 2011, 2013, 2014, 2015, 2016년도의 최근 5~6년간의 자연재난(풍수해·가뭄) 극복 사례집의 자료만을 대상으로 앞서 정리한 재해연보 자료와 비교 정리하였다.

<표 1-77>과 (그림 1-75)은 지역본부별 - 시설별 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해 개소수를 정리한 것이다. 경기도(594개소), 전라북도(490개소), 충청남도(308개소) 순으로 발생개소수가 많았다. 시설별 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해액은 경기도(114억원), 전라북도(63억원), 충청남도(41억원) 그리고 경상남도(35억원) 순으로 나타났다.

<표 1-77> 지역본부별 시설별 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해 개소수

지역본부	저수지	양배수장	양수장	취입보	용배수로	기타	합계
경 기	24	2	29	20	513	6	594
강 원	1	0	0	0	26	0	27
충 북	0	0	1	4	100	0	105
충 남	11	19	9	15	254	0	308
전 북	20	11	22	21	412	4	490
전 남	3	2	5	3	105	3	121
경 북	6	2	2	5	129	0	144
경 남	3	10	20	3	56	0	92
금 강	0	0	0	0	1	0	1
합 계	68	46	88	71	1,596	13	1,882



(그림 1-75) 지역본부별 시설별 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해 개소수

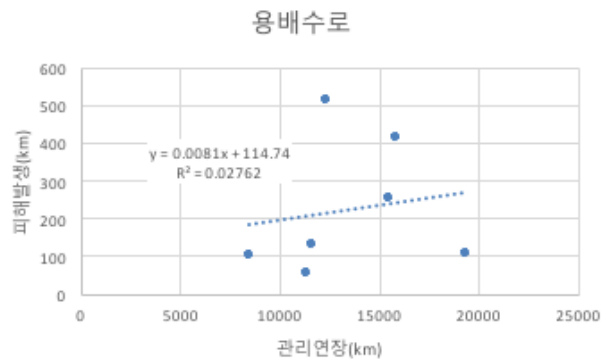
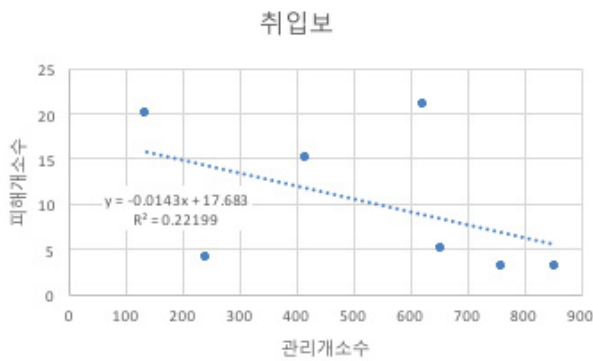
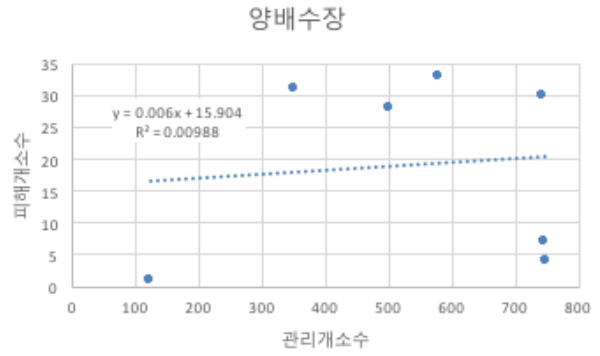
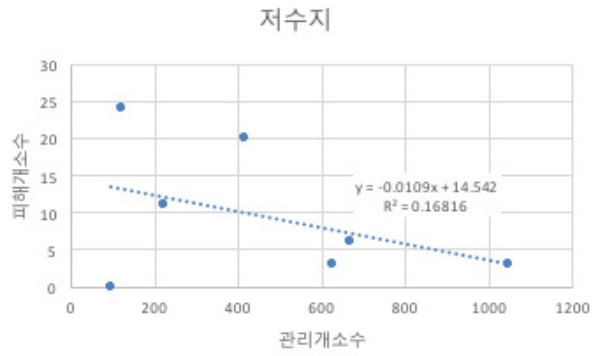
시설별 피해 개소수를 살펴보면, 용배수로(1,596개소)가 전체피해 발생개소수의 85%정도를 차지하고 있어, 주로 피해가 용배수로에서 집중적으로 발생되고 있음을 알 수 있었으며, 나머지 시설들의 피해발생 개소수에는 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 피해액도 용배수로(149억원), 취입보(63억원), 저수지(55억원) 순으로 나타나 용배수로에서 피해액이 다른 시설물의 3배이상 높은 것으로 나타났다.

피해액이 가장 많이 발생되었던 용배수로에서 발생한 피해는 1,596km인데, 한국농어촌공사(2013년 기준)에서 관리하고 있는 전체 용배수로 길이가 98,864km이므로 5~6년간 전체관리 용배수로의 1.6%정도에서 피해가 발생된 것으로 나타났다.

저수지에서 발생한 피해는 68개소인데, 한국농어촌공사(2013년 기준)에서 관리하고 있는 전체 저수지가 3,372개소이므로 관리 저수지 전체의 2.0%정도에서 피해가 발생된 것으로 나타났다. 양배수장에서 발생한 피해는 46개소인데, 한국농어촌공사(2013년 기준)에서 관리하고 있는 양배수장, 배수장, 양수장이 전체 4,245개소이므로 전체의 1.1%정도에서 피해가 발생된 것으로 나타났다. 취입보에서 발생한 피해는 71개소인데, 한국농어촌공사(2013년 기준)에서 관리하고 있는 양배수장, 배수장, 양수장이 전체 4,158개소이므로 전체의 1.1%정도에서 피해가 발생된 것으로 나타났다. 따라서 최근까지 한국농어촌공사(2013년 기준)에서 관리하고 있는 수리 시설물에서 자연재해 발생비율은 1.0~2.0% 정도 인 것으로 나타났다. 이 결과를 앞서 정리 하였던 도본부별 유리관리 수리시설물의 개소수와 <표 1-78> 재해발생 개소수의 관계를 정리 해 보면, 다음 (그림 1-76)과 같다.

<표 1-78> 지역본부별 유지관리 수리시설의 개소수 및 재해발생 개소수

도본부	저수지		양배수장		취입보		용배수로	
	관리개소 수	피해개소 수	관리개소 수	피해개소 수	관리개소 수	피해개소 수	관리연장	피해연장
경기	121	24	350	31	134	20	12340.17	513
충남	221	11	501	28	415	15	15460	254
충북	94	0	122	1	239	4	8459	100
전남	1045	3	746	7	854	3	19321	105
전북	416	20	578	33	623	21	15798	412
경남	625	3	742	30	761	3	11325	56
경북	667	6	749	4	654	5	11595	129
합계	1045	67	749	134	854	71	19321	1569



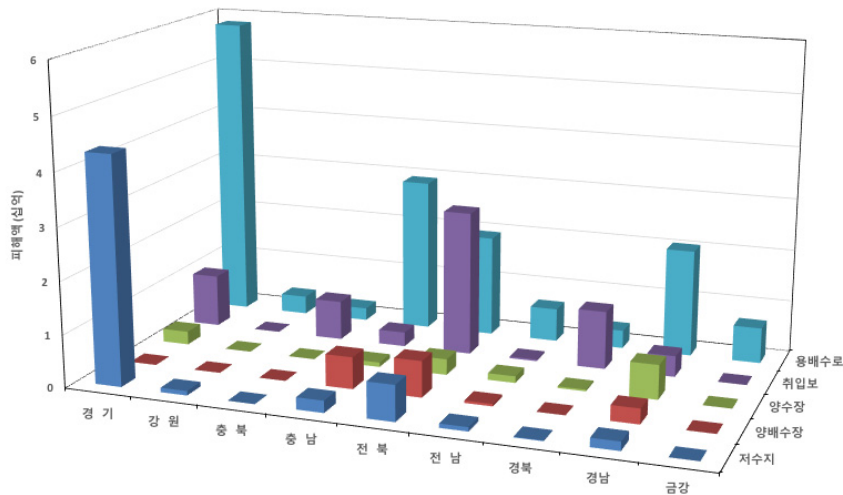
(그림 1-76) 지역본부별 시설별 관리개소수와 피해발생 개소수의 관계

(그림 1-76)의 결과를 보면 유지관리 개소수와 피해발생 개소수 사이에는 상관성이 매우 낮은 것으로 나타나고 있음

한편 <표 1-79>에서는 수리시설물별 발생 피해액을 정리하였는데, 피해발생 개수의 평균 피해액을 살펴보면, 취입보(89백만원/개소), 저수지(81만원/개소), 양배수장(35백만원/개소)인데 반하여, 용배수로는 (9.4백원/개소)로 주요시설물 중에 가장 낮게 나타남

<표 1-79> 지역본부별 시설별 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해액 (단위: 천원)

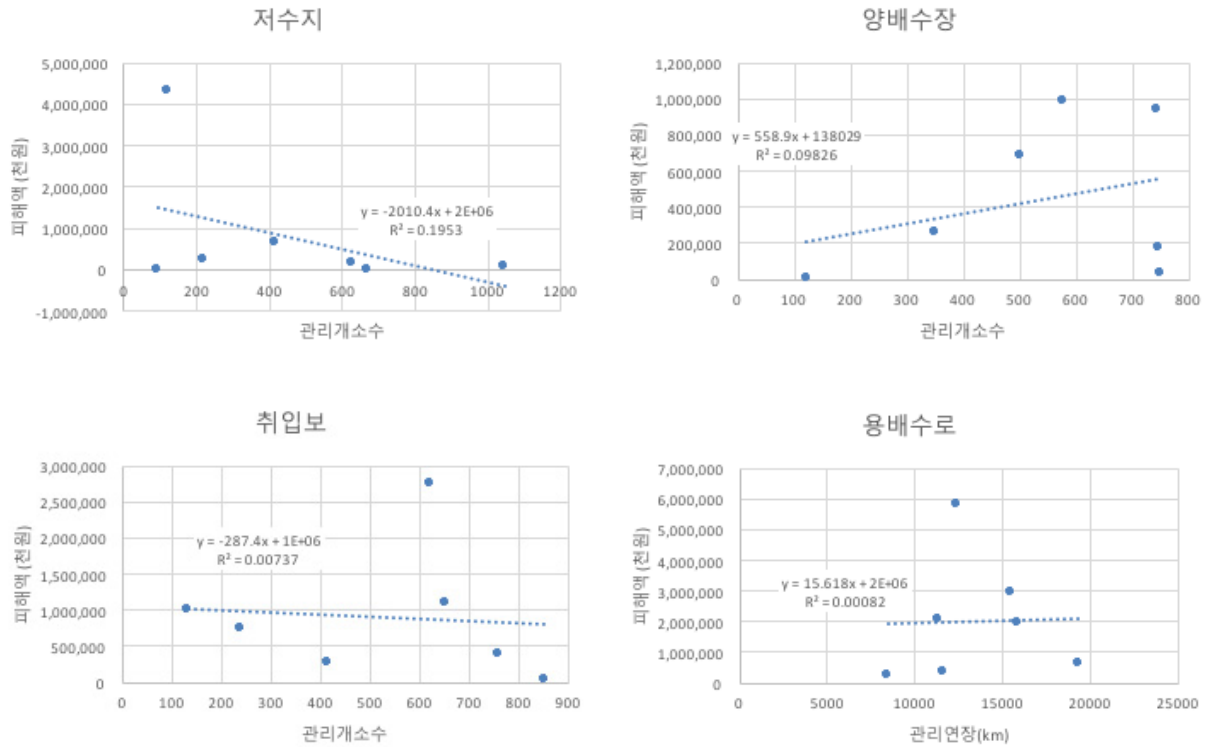
지역본부	저수지	양배수장	양수장	취입보	용배수로	기타	합계
경기	4,318,802	3,000	253,594	1,004,704	5,830,333	30,940	11,441,373
강원	84,084	-	-	-	351,749	-	435,833
충북	-	-	963	752,312	240,419	-	993,694
충남	228,211	605,122	85,740	274,257	2,928,559	-	4,121,889
전북	677,995	686,898	301,583	2,750,708	1,936,462	4,000	6,357,646
전남	79,192	45,000	126,738	31,732	637,319	40,720	960,701
경북	11,917	-	31,000	1,107,190	346,455	-	1,496,562
경남	167,803	291,150	652,512	399,427	2,045,192	-	3,556,084
금강	-	-	-	-	680,000	-	680,000
합계	5,568,004	1,631,170	1,452,130	6,320,330	14,996,488	75,660	30,043,782
평균	81,882.41	35,460.22	16,501.48	89,018.73	9,396.30	5,820.00	15,963.75



(그림 1-77) 지역본부별 시설별 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해액

<표 1-80> 지역본부별 유지관리 수리시설의 개소수 및 재해발생 피해액

도본부	저수지		양배수장		취입보		용배수로	
	관리개소	피해액 (천원)	관리개소	피해액 (천원)	관리개소	피해액 (천원)	관리연장	피해액 (천원)
경기	121	4,318,802	350	256,594	134	1,004,704	12,340	5,830,333
충남	221	228,211	501	690,862	415	274,257	15,460	2,928,559
충북	94	-	122	963	239	752,312	8,459	240,419
전남	1,045	79,192	746	171,738	854	31,732	19,321	637,319
전북	416	677,995	578	988,481	623	2,750,708	15,798	1,936,462
경남	625	167,803	742	943,662	761	399,427	11,325	2,045,192
경북	667	11,917	749	31,000	654	1,107,190	11,595	346,455
합계	1,045	5,483,920	749	3,083,300	854	6,320,330	19,321	13,964,739



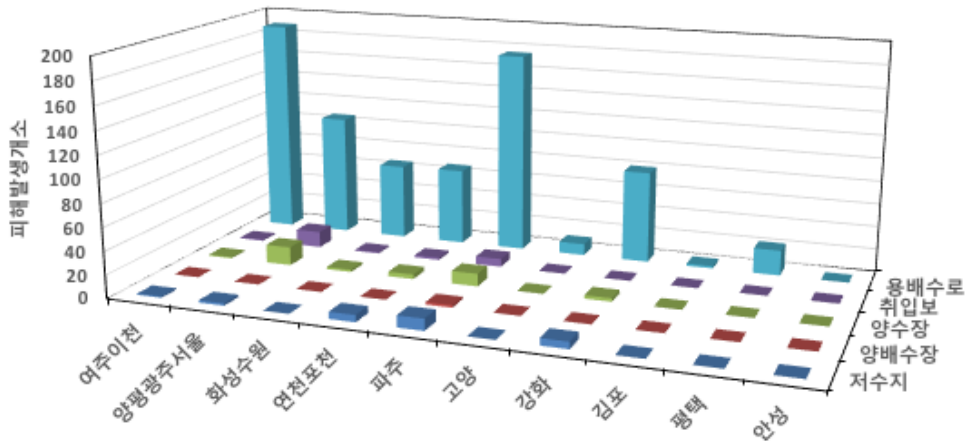
(그림 1-78) 지역본부별 시설별 관리개소수와 피해발생 개소수의 관계

도본부별 유리관리 수리시설물의 개소수와 [표 3-40] 재해에 의한 피해액의 관계를 정리해보면, 다음 (그림 1-78)와 같다. 앞서 살펴보았던 유지관리 개소수와 피해발생 개소수 사이의 관계와 마찬가지로 피해액과의 상관성도 매우 낮은 것으로 나타나고 있다. 물론 본 분석에서 사용된 농업생산기반시설의 피해자료가 최근 5년 정도의 자료를 이용하고 있기 때문에 아직 분석의 신뢰성이 높지는 않지만 지표조사과정에서 단순히 관리 개소수만을 대상으로 고려하는 것은 문제의 소지가 발생할 수 있다는 판단된다. 예를 들면, 경상남도에는 발생개소는 많지 않았으나, 피해액은 높게 나타나서 개소당 피해액(38백만원/개소)이 다른 지역본부들 보다 높았던 것으로 나타났다. 특히 두 번째로 높았던 경기도(19백만원/개소)의 두배 정도를 나타내었다.

그 주요 원인으로는 경상남도의 용배수로 피해개소수는 경기도의 1/10 수준이지만 피해액 발생은 1/3수준으로 높았던 것으로 나타났으며, 개소당 피해액이 36백만원으로 경기도(11백만원/개소)의 3배이상이었으며, 경상남도의 평균 개소당 피해액 38백만원의 95% 수준으로 나타나서 경상남도의 주요 피해원인은 용배수로에서 발생됨을 알 수 있었다. 따라서 기후변화에 따른 농업기반시설들의 자연재해에 대한 취약성은 지역본부별 그리고 관리 시설물의 종류와 개수에 따라서 다르게 나타날 것으로 예상된다. 앞서 우리나라의 자연재해는 농경지 피해는 호우에 의한 원인이 제일 높았으며, 경기도, 강원도, 충청남도, 충청북도 등의 중부권도 호우에 의한 피해 발생이 많다는 특성이 있음을 나타냈는데, 실제로 농업생산기반 시설물의 피해는 용배수로에서 발생 개소수가 가장 많았으며, 경기도와 충청남도에서 발생개소수가 가장 많았던 것으로 나타

났다. 따라서 현재의 가용 가능한 자료들을 최대한 활용하여 취약성 분석 시 이러한 특성이 반영될 수 있도록 지표선정 시 반영할 필요가 있고, 이와 관련된 특징을 고려한 조사방법의 개발과 가중치(weighting value) 부여방법의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

한편 한국농어촌공사 각 지사별 재해발생 현황에 대한 자료를 정리하면 다음과 같다. 경기도 본부의 경우는 (그림 1-79)과 <표 1-81>와 같고, 주요 재해발생 시설은 용배수로로 나타났으며, 피해액도 주로 용배수로에서 많이 발생되고 있음을 나타내었다.

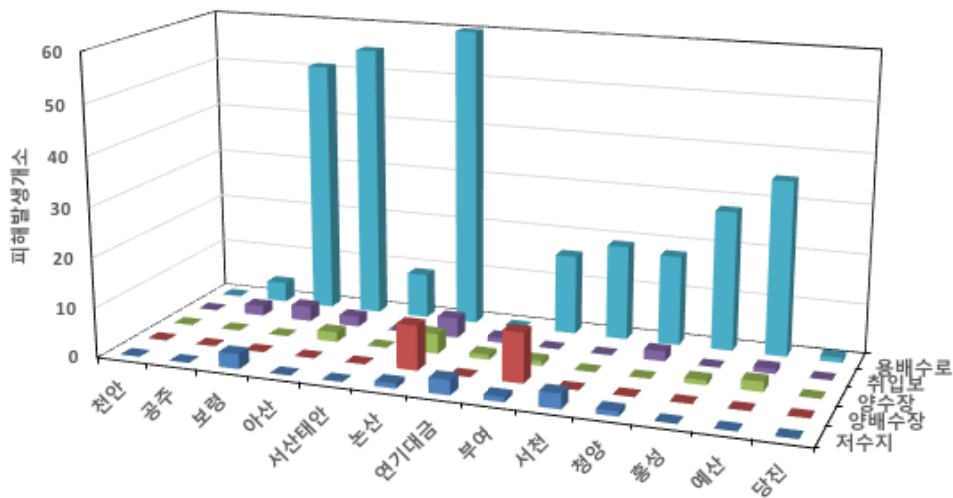


(그림 1-79) 경기도본부 지사별-시설물별 재해발생 개소수(2011년, 2013년)

<표 1-81> 경기지역본부 지사별 주요시설물 피해발생(2011년, 2013년)

시설별	저수지			양배수장			취입보			용배수로		
	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률
여주이천	1	9	11.1%		48	0.0%	1	17	5.9%	189	735.31	25.7%
양평광주서울	2	9	22.2%		26	0.0%	14	23	60.9%	106	397.33	26.7%
수원		24	0.0%		41	0.0%	1	25	4.0%	66	1,364.94	4.8%
연천포천	6	14	42.9%		29	0.0%	2	8	25.0%	67	925.73	7.2%
파주	10	14	71.4%	2	45	4.4%	7	35	20.0%	175	1,813.89	9.6%
고양					5	0.0%				10	437.51	2.3%
강화	6	14	42.9%		24	0.0%				80	771.65	10.4%
김포		1	0.0%		28	0.0%		1	0.0%	2	1,436.82	0.1%
평택		18	0.0%		67	0.0%		10	0.0%	22	3,068.72	0.7%
안성		18	0.0%		37	0.0%		15	0.0%	0	1,388.27	0.0%
합계	25	121	20.7%	2	350	0.6%	25	134	18.7%	717	12340.17	5.8%

용배수로 피해발생은 여주이천(189/735km), 파주지사(175/1,813km)에서 제일 높았으며, 용배수로 유지관리 길이에 대한 재해발생 비율은 양평광주서울지사가 26.7%(106/397km)로 여주이천 25.6%, 강화 10.4%(80/771km)가 높게 나타났다. 연천포천지사(6/14개소), 파주지사(10/14개소)의 저수지에서 자연재해로 피해를 입었으며, 상대적으로 관리개소에 비하여 피해발생 개소수가 높은 것으로 나타났다. 양평광주서울지사(16/26개소), 파주지사(11/45개소)의 경우에는 양배수장의 피해 발생도 상대적으로 높게 났으며, 취입보의 피해 발생개수도 양평광주서울지사(14/23개소), 파주지사(7/35개소)에서 다른 지사보다 높은 피해발생수를 보였다. 충청도본부의 경우는 (그림 1-80), <표 1-82>와 같고, 주요 재해발생 시설은 경기지역본부와 마찬가지로 용배수로로 나타났으며, 피해액도 주로 용배수로에서 많이 발생되고 있음을 나타내었다.



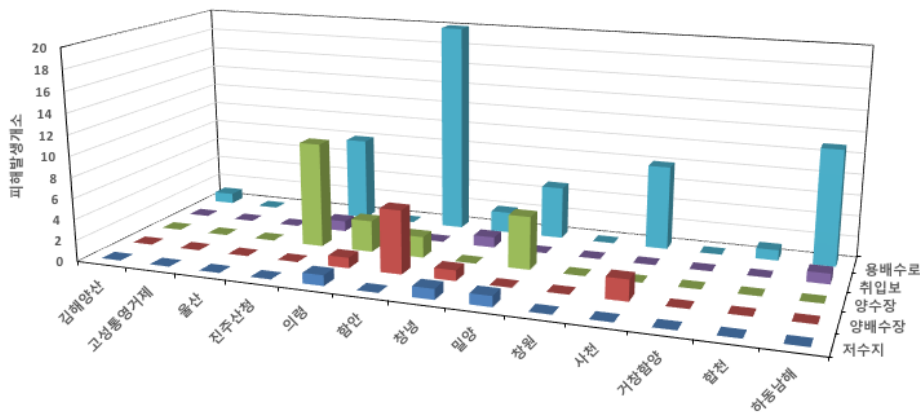
(그림 1-80) 충남본부 지사별-시설물별 재해발생 개소수(2011년, 2013년)

<표 1-82> 충남지역본부 지사별 주요시설물 피해발생(2011년, 2013년)

시설별	저수지			양배수장			취입보			용배수로 (km)		
	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고	관리연장	발생률
공주		12	0.0%		28	0.0%		51	0.0%		418	0.0%
보령		21	0.0%		14	0.0%	2	31	6.5%	4	673	0.6%
아산	3	24	12.5%		40	0.0%	3	40	7.5%	51	948	5.4%
서산		9	0.0%	2	19	10.5%	2	8	25.0%	55	1,436	3.8%
논산		16	0.0%		40	0.0%		52	0.0%	9	1,114	0.8%
연기.대금	3	7	42.9%	1	50	2.0%	1	12	8.3%		721	0.0%
부여	1	8	12.5%	10	21	47.6%		14	0.0%	16	1,438	1.1%
서천	3	29	10.3%		35	0.0%		51	0.0%	19	1,114	1.7%
청양	1	11	9.1%		44	0.0%	2	36	5.6%	18	558	3.2%
홍성		32	0.0%	1	27	3.7%		45	0.0%	28	299	9.4%
당진		10	0.0%	2	51	3.9%	1	6	16.7%	35	2,891	1.2%
예산		18	0.0%		52	0.0%		18	0.0%	1	1,998	0.1%
합계	12	221	5.4%	25	501	5.0%	15	415	3.6%	296	16,542	1.8%

용배수로 피해발생은 논산(60/1,848km), 아산(55/1,430km), 보령(51/948km)에서 제일 높았으며, 용배수로 유지관리 길이에 대한 재해발생 비율은 홍성지사가 9.4%(28/299km), 보령지사 5.5%가 정도이다. 저수지의 경우에는 연기·대금지사(3/7개소), 보령지사(3/24), 서천지사(3/29)에서 3회 발생되었으며, 연기·대금지사는 재해발생 비율이 42.9%로 매우 높게 나타났다. 양배수장의 피해 발생은 부여지사(10/21개소), 논산지사(9/80)으로 높게 났으며, 발생비율도 논산지사는 47.6%로 매우 높게 나타났다. 취입보의 피해 발생개수도 논산지사(4/51개소)에서 가장 높게 나타났으나, 발생비율은 아산지사 25.0%, 당진지사(1/6개소)가 16.7%로 다른 지사보다 높게 나타났다.

경남도본부의 경우는 (그림 1-81)와 <표 1-83>과 같고, 주요 재해발생 시설은 경기지역본부와 마찬가지로 용배수로로 나타났으며, 피해액도 주로 용배수로에서 많이 발생되고 있음이 나타났다.



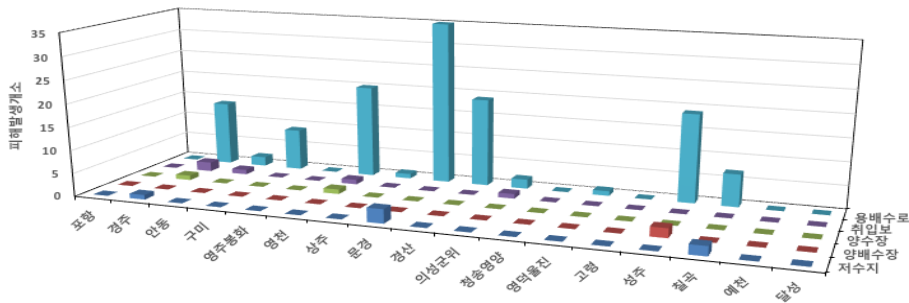
(그림 1-81) 경남도본부 지사별-시설물별 재해발생 개소수(2011년, 2013년)

<표 1-83> 경남지역본부 지사별 주요시설물 피해발생(2011년, 2013년)

지사별	저수지			양배수장			취입보			용배수로 (km)		
	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고	관리연장	발생률
김해·양산지사		15	0.0%		91	0.0%		1	0.0%	1	1,890	0.1%
고성·통영·거제		45	0.0%		37	0.0%		172	0.0%		577	0.0%
울산지사		85	0.0%		43	0.0%		91	0.0%		318	0.0%
진주·산청지사		69	0.0%	10	124	8.1%	1	74	1.4%	8	1,031	0.8%
의령지사	1	36	2.8%	4	70	5.7%		33	0.0%		906	0.0%
함안지사		16	0.0%	8	74	10.8%		70	0.0%	20	936	2.1%
창녕지사	1	47	2.1%	1	70	1.4%	1	4	25.0%	2	1,017	0.2%
밀양지사	1	38	2.6%	5	63	7.9%		58	0.0%	5	884	1.6%
창원지사		16	0.0%		44	0.0%		54	0.0%		802	0.0%
사천지사		69	0.0%	2	26	7.7%		47	0.0%	8	578	1.4%
거창·함양지사		54	0.0%		7	0.0%		67	0.0%		574	0.0%
합천지사		64	0.0%		54	0.0%		22	0.0%	1	713	0.1%
하동·남해지사		71	0.0%		39	0.0%	1	68	1.5%	11	1,099	1.0%
계	3	625	0.5%	30	742	4.0%	3	761	0.4%	56	11325	0.5%

용배수로 피해발생은 함안지사(20/936km), 하동·남해지사(11/1,099km)에서 제일 높았는데, 다른 지사들에 비해 피해발생 개소수가 작은 편이었으며, 재해발생 비율도 함안지사가 2.1%로 가장 높게 나타났다. 저수지의 경우에는 의령지사(1/36개소), 창령지사(1/47), 밀양지사(1/38)에서 1회 발생된 것으로 나타났다. 양배수장의 피해발생은 진주산청지사(10/124개소), 함안지사(8/74개소) 순이었으며, 발생비율은 함안지사 10.8%, 진주산청지사 8.1% 수준으로 나타났다. 취입보의 피해 발생개수는 진주산청지사(1/74개소), 창녕지사(1/4개소), 하동·남해지사(1/68개소)로 나타났다.

경북도본부의 경우는 (그림 1-82)과 <표 1-84>와 같고, 주요 재해발생 시설은 다른 지역 본부와 마찬가지로 용배수로로 나타났으며, 피해액도 주로 용배수로에서 많이 발생되고 있음이 나타났다.



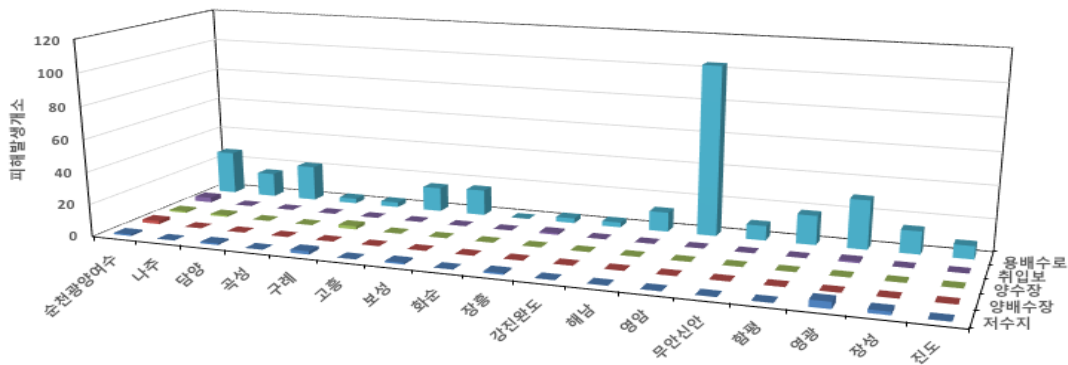
(그림 1-82) 경북도본부 지사별-시설물별 재해발생 개소수 (2011년, 2013년)

<표 1-84> 경북지역본부 지사별 주요시설물 피해발생 (2011년, 2013년)

지사별	저수지			양배수장			취입보			용배수로 (km)		
	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고	관리연장	발생률
포항·울릉		59	0.0%		54	0.0%		26	0.0%		692	0.0%
경주지사	1	76	1.3%	1	97	1.0%	2	58	3.4%	14	964	1.5%
안동지사		22	0.0%		39	0.0%	1	4	25.0%	2	558	0.4%
구미·김천		26	0.0%		65	0.0%		7	0.0%	9	950	0.9%
영주·봉화		8	0.0%		19	0.0%		119	0.0%		171	0.0%
영천지사		93	0.0%	1	27	3.7%	1	66	1.5%	20	575	3.5%
상주지사		25	0.0%		58	0.0%		16	0.0%	1	1,458	0.1%
문경지사	3	27	11.1%		21	0.0%		35	0.0%	35	981	3.6%
경산·청도		47	0.0%		25	0.0%		28	0.0%	19	444	4.3%
의성·군위		71	0.0%		111	0.0%	1	76	1.3%	2	846	0.2%
청송·영양		61	0.0%		30	0.0%		71	0.0%		1,037	0.0%
영덕·울진		27	0.0%		35	0.0%		56	0.0%	1	428	0.2%
고령·달성		37	0.0%		59	0.0%		23	0.0%		489	0.0%
성주·칠곡		7	0.0%	2	15	13.3%		2	0.0%	19	684	2.8%
칠곡지부	2	43	4.7%		30	0.0%		40	0.0%	7	425	1.6%
경천지사		25	0.0%		25	0.0%		8	0.0%		408	0.0%
달성지부		13	0.0%		39	0.0%		19	0.0%		485	0.0%
합계	6	667	0.9%	4	749	0.5%	5	654	0.8%	129	11,595	1.1%

경북도본부의 피해발생 개소수는 다른 지사와 비교했을 때 높지 않았으며, 용배수로의 경우는 문경지사(35/981km, 3.6%), 영천지사(20/575km, 3.5%) 정도로 나타났다. 저수지는 문경지사(3/27개소, 11.1%), 칠곡지부(2/43개소, 4.7%), 경주지사(1/76개소, 1.3%) 수준으로 나타났다. 양배수장은 성주칠곡지사(2/15개소, 13.3%), 영천지사(1/27개소, 3.7%), 경주지사(1/97개소, 1.0%) 수준으로 나타났다. 취입보는 경주지사(2/58개소, 3.4%), 안동지사(1/4개소, 25%), 영천지사(1/66개소, 1.5%), 의성군위(1/76개소, 1.3%) 로 나타났다.

전남도본부의 경우는 (그림 1-83)와 <표 1-85>와 같고, 주요 재해발생 시설은 대부분 용배수로에서 나타났으며, 피해액도 주로 용배수로에서 많이 발생하였다.



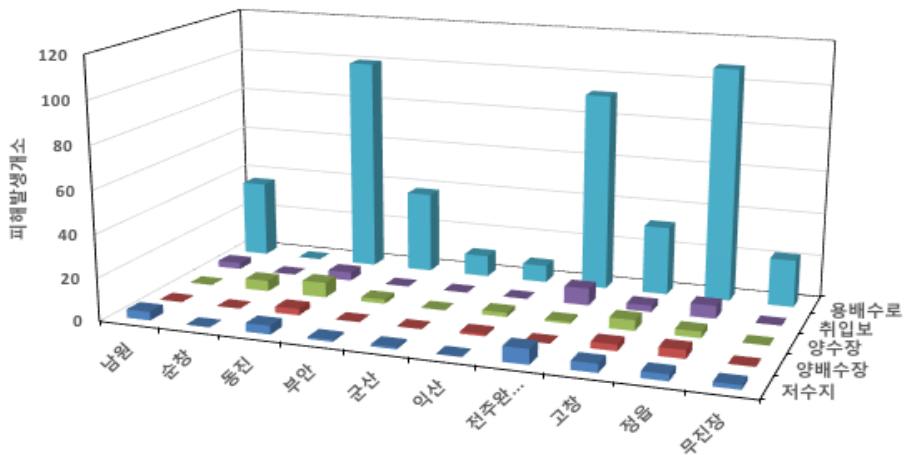
(그림 1-83) 전남도본부 지사별-시설물별 재해발생 개소수(2011년, 2013년)

<표 1-85> 전남지역본부 지사별 주요시설물 피해발생(2011년, 2013년)

지사별	저수지			양배수장			취입보			용배수로 (km)		
	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고	관리연장	발생률
광주		55	0.0%		34	0.0%		10	0.0%		1,118	0.0%
순천광양여수	1	48	2.1%	3	31	9.7%	3	55	5.5%	32	852	3.8%
나주		162	0.0%	1	95	1.1%		57	0.0%	95	2,820	3.4%
담양	1	47	2.1%		42	0.0%		70	0.0%	43	951	4.5%
곡성		45	0.0%		32	0.0%		81	0.0%	32	612	5.2%
구례	2	49	4.1%	2	20	10.0%		42	0.0%	22	461	4.8%
고흥		46	0.0%		46	0.0%		55	0.0%	46	643	7.2%
보성	1	25	4.0%		22	0.0%		37	0.0%	23	744	3.1%
화순		41	0.0%		25	0.0%		121	0.0%	25	784	3.2%
장흥	1	34	2.9%		26	0.0%	1	33	3.0%	27	658	4.1%
강진		27	0.0%		36	0.0%		73	0.0%	36	886	4.1%
해남완도		88	0.0%		84	0.0%		49	0.0%	84	2,041	4.1%
영암		139	0.0%		79	0.0%		36	0.0%	79	1,977	4.0%
무안신안		80	0.0%		54	0.0%		8	0.0%	54	905	6.0%
함평		36	0.0%		30	0.0%		23	0.0%	30	692	4.3%
영광	4	41	9.8%		36	0.0%	1	29	3.4%	40	1,626	2.5%
장성	2	50	4.0%		7	0.0%		57	0.0%	9	975	0.9%
진도		34	0.0%		47	0.0%		18	0.0%	47	576	8.2%
합계	12	1,047	1.1%	6	746	0.8%	5	854	0.6%	724	19,321	3.7%

전남도본부의 피해발생 개소수의 경우, 용배수로는 나주지사(95/2,820km, 3.3%), 해남완도지사(84/2,041km, 4.1%), 영암지사(79/1,977km, 4.0%) 정도로 나타났다. 저수지는 영광지사(4/41개소, 9.8%), 구례지사(2/49개소, 4.1%), 장성지사(2/50개소, 4.0%) 등의 수준으로 나타났다. 양배수장은 순천광양여수지사(3/31개소, 9.7%), 구례지사(2/20개소, 10.0%), 나주지사(1/97개소, 1.1%) 수준으로 나타났다. 취입보는 순천광양여수지사(3/55개소, 5.5%), 장흥지사(1/33개소, 3.0%), 영광지사(1/29개소, 3.4%) 수준으로 나타났다.

전북도본부의 경우는 (그림 1-84)와 <표 1-86>과 같고, 주요 재해발생 시설은 다른 지역 본부와 마찬가지로 용배수로로 나타났으며, 피해액도 주로 용배수로에서 많이 발생되고 있음이 나타났다.

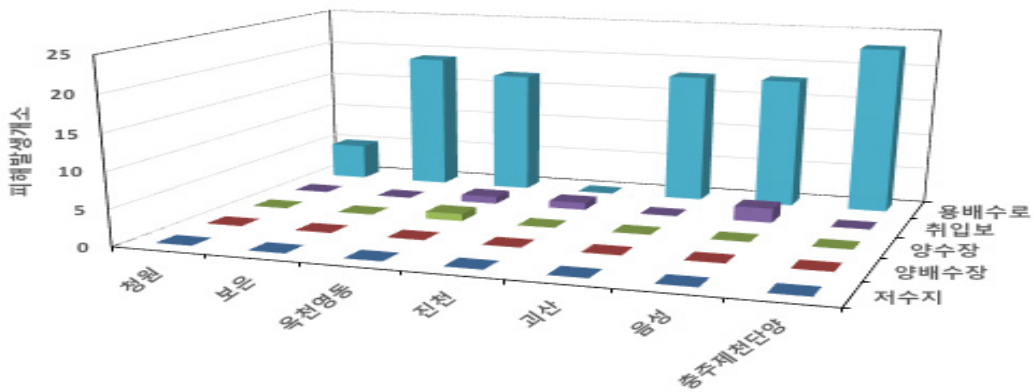


(그림 1-84) 전북도본부 지사별-시설물별 재해발생 개소수(2011년, 2013년)

<표 1-86> 전북지역본부 지사별 주요시설물 피해발생(2011년, 2013년)

지사별	저수지			양배수장			취입보			용배수로 (km)		
	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고	관리연장	발생률
남원	4	76	5.3%		18	0.0%	3	75	4.0%	36		
순창		35	0.0%	5	44	11.4%		61	0.0%			
동진	4	21	19.0%	10	106	9.4%	4	13	30.8%	100		
부안	1	22	4.5%	2	66	3.0%		3	0.0%	38		
군산	1	25	4.0%		132	0.0%				10		
익산		26	0.0%	3	110	2.7%		38	0.0%	8		
전주·완주	7	87	8.0%	1	30	3.3%	8	190	4.2%	92		
고창	4	33	12.1%		32	0.0%	3	54	5.6%	32		
정읍	3	29	10.3%	7	37	18.9%	6	54	11.1%	108		
무진장	2	62	3.2%		3	0.0%		135	0.0%	22		
총계	26	416	6.3%	28	578	4.8%	24	623	3.9%	446	15,798	2.8%

충북도본부의 경우에는 지사별 용배수로 자료가 공시되어 있지 않아 지사별 용배수로 피해 발생 현황분석은 불가하였다. 그러나 전체 용배수로 15,798km에서 446km구간에 피해가 발생해 2.8%의 피해발생을 나타내었는데, 이는 다른 지사들의 중간정도 수준으로 판단되었다. 저수지는 전주완주(7/87개소,8.0%), 남원(4/76개소,5.3%), 동진(4/21개소,19.0%), 고창(4/33개소,12.1%), 정읍(3/29개소,10.3%) 등 상대적으로 높게 나타났다. 양배수장은 동진(10/106개소, 9.4%), 정읍(7/37개소, 18.9%), 순창지사(5/44개소, 11.4%) 수준으로 나타났다. 취입보는 전주완주(8/190개소, 4.2%), 정읍(6/54개소,11.1%), 동진(4/13개소, 30.8%), 남원(3/75개소, 4.0%), 고창(3/54개소, 5.6%) 수준으로 나타났다. 충북도본부의 경우는 (그림 1-85)와 <표 1-87>와 같고, 주요 재해발생 시설은 주로 용배수로로 나타났으며, 피해액도 용배수로에서 많이 발생되고 있음을 나타냈다.



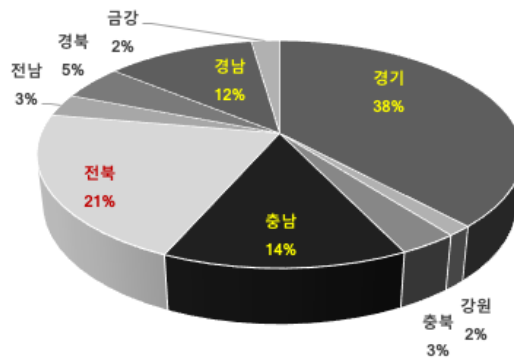
(그림 1-85) 충북도본부 지사별-시설물별 재해발생 개소수(2011년, 2013년)

<표 1-87> 충북지역본부 지사별 주요시설물 피해발생(2011년, 2013년)

시설별	저수지			양배수장			취입보			용배수로 (km)		
	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고수	관리수	발생률	사고	관리연장	발생률
본부					1						90	
청원		17			39			23		5	999	0.5%
보은		19			38			53		19	652	2.9%
옥천.영동		47		1	30	3.3%	1	126	0.8%	17	670	2.5%
진천		11			14		1	37	2.7%		2,768	0.0%
괴산		-			-			-		18	939	1.9%
음성		-			-		2	-	%	18	1,081	1.7%
충주제천단양		-			-			-		23	1,260	1.8%
합계	-	94	-	1	122	-	4	239	-	100	8,459	1.2%

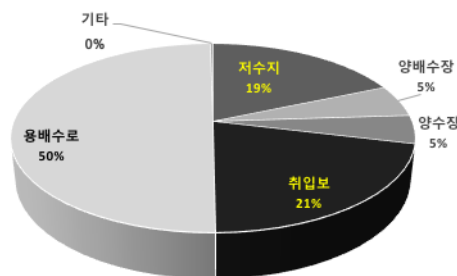
(나). 조사지표의 적정성 판정

앞서 언급했던 내용들을 정리하여 지표로서의 활용성을 파악하고자 하였다. 우선 기상현상 중 농업생산기반과 관련되어 재해발생 가능성이 높은 태풍과 호우에 대한 지표로서 기후 노출 부분에 ‘태풍영향회수’ 및 ‘호우발생회수(80mm)’의 추가가 필요할 것으로 판단되었다. (그림 1-86)과 같이 도본부별로 피해규모 차이가 크게 발생하고 있는 이유도 경기와 충남, 전북은 주로 호우에 의한 피해이고, 경남, 경북, 전남은 주로 태풍에 의한 피해가 발생되기 때문으로 판단되었다.



(그림 1-86) 도 본부별 피해발생비율

또한 (그림 1-87)과 같이 유지관리시설물의 개소수 보다는 시설물의 종류에 따른 재해발생 차이가 큰 것으로 나타났고, 따라서 주로 피해가 발생되고 있는 ‘용배수로(연장)’, ‘취입보(개소수)’, ‘저수지(개소수)’ 등이 조사지표에 포함되어야 할 것으로 판단되었다.



(그림 1-87) 시설별 피해발생비율

한국농어촌공사 지역본부별 - 유지관리 수리시설별 피해발생 개소수와 피해액에 대해서 스케일-재조정(re-scaling) 방법에 의한 표준화 계산을 실시하여 그 결과를 <표 1-88>과 <표 1-89>에 정리하였고, Z-스코어(Z-score) 방법에 의한 표준화 계산결과는 <표 1-80>과 <표 1-91>에 정리하였다.

<표 1-88> 도본부별 유지관리 시설들 피해 개소수의 표준화(Re-scaling method)

시설별	저수지	양배수장	양수장	취입보	용배수로	기타
경기	1.0000	0.1053	1.0000	0.9524	1.0000	1.0000
강원	0.0417	0.0000	0.0000	0.0000	0.0488	0.0000
충북	0.0000	0.0000	0.0345	0.1905	0.1934	0.0000
충남	0.4583	1.0000	0.3103	0.7143	0.4941	0.0000
전북	0.8333	0.5789	0.7586	1.0000	0.8027	0.6667
전남	0.1250	0.1053	0.1724	0.1429	0.2031	0.5000
경북	0.2500	0.1053	0.0690	0.2381	0.2500	0.0000
경남	0.1250	0.5263	0.6897	0.1429	0.1074	0.0000
금강					0.0000	

<표 1-89> 도본부별 유지관리 시설들 피해액의 표준화(Re-scaling method)

시설별	저수지	양배수장	양수장	취입보	용배수로	기타
경기	1.0000	0.0044	0.3886	0.3653	1.0000	0.7598
강원	0.0195	0.0000	0.0000	0.0000	0.0199	0.0000
충북	0.0000	0.0000	0.0015	0.2735	0.0000	0.0000
충남	0.0528	0.8809	0.1314	0.0997	0.4809	0.0000
전북	0.1570	1.0000	0.4622	1.0000	0.3034	0.0982
전남	0.0183	0.0655	0.1942	0.0115	0.0710	1.0000
경북	0.0028	0.0000	0.0475	0.4025	0.0190	0.0000
경남	0.0389	0.4239	1.0000	0.1452	0.3229	0.0000
금강					0.0786	

<표 1-90> 도본부별 유리관리 시설들 피해 개소수의 표준화(Z-score method)

시설별	저수지	양배수장	양수장	취입보	용배수로	기타	합계
경기	1.712	-0.547	1.616	1.323	1.877	1.833	7.815
강원	-0.828	-0.838	-0.988	-1.056	-0.846	-0.681	-5.237
충북	-0.939	-0.838	-0.898	-0.580	-0.432	-0.681	-4.368
충남	0.276	1.931	-0.180	0.728	0.429	-0.681	2.504
전북	1.270	0.765	0.988	1.442	1.312	0.995	6.772
전남	-0.607	-0.547	-0.539	-0.699	-0.404	0.576	-2.220
경북	-0.276	-0.547	-0.808	-0.461	-0.270	-0.681	-3.043
경남	-0.607	0.619	0.808	-0.699	-0.678	-0.681	-1.238
금강					-0.986		-0.986

<표 1-91> 도본부별 유지관리 시설들 피해 개소수의 표준화(Z-score method)

시설별	저수지	양배수장	양수장	취입보	용배수로	기타
경기	2.863	-0.112	1.073	1.023	3.187	1.518
강원	0.001	-0.122	-0.075	-0.099	0.187	-0.352
충북	-0.055	-0.122	-0.070	0.741	0.126	-0.352
충남	0.099	1.959	0.313	0.207	1.598	-0.352
전북	0.403	2.240	1.290	2.973	1.055	-0.110
전남	-0.002	0.033	0.499	-0.064	0.344	2.110
경북	-0.047	-0.122	0.066	1.137	0.185	-0.352
경남	0.058	0.879	2.878	0.347	1.115	-0.352
금강					0.367	

기존의 연구방법들은 각 도본부별로 각각의 구조물의 표준화 값의 합의 평균값으로 순위를 정하여 취약성 평가하는 방법으로 결과정리를 하였지만, 농업생산기반시설에서 용배수로는 다른 시설들에 비하여 그 피해발생액이 전체 피해액의 50%에 달하고 길이(km) 단위로 표시되어 단순히 스케일 조정법에 의한 표준화 결과를 평균적으로 적용하면, 이러한 특성이 평가에 반영되지 못하는 문제점이 있다. 오히려 Z-스코어에 의한 표준화 결과를 합산하여 그 결과를 적당한 구간으로 나누어 취약성 정도를 판별하는 방법이 더 현실성이 있을 것으로 판단되었다.

이상의 자료들을 정리하여 유지관리 중인 수리시설물별 자연재해에 따른 피해발생 개소수와 피해액에 근거하여 한국농어촌공사 지사별 순위를 정리하면 <표 1-92>~<표 1-95>와 같다. 각 표는 시설물별로 저수지, 양배수장, 취입보 그리고 용배수로로 나누어서 정리하였으며, 각 표에서는 지사 간 상대적인 비교와 가중치를 고려하기 위하여 발생 개소수와 피해액에 대한 스케일 조정법에 의한 표준화 분석결과도 함께 수록 하였다.

<표 1-92> 한국농어촌공사 지사별 수리시설물 피해발생 개소수 및 피해액 순위(저수지)

순위	도본부	지사	개소수	표준화	순위	도본부	지사	피해액 (천원)	표준화
1	경기	파주	10	1.000	1	경기	파주	3,030,039	1.000
2	전북	전주완주임실	7	0.667	2	경기	연천포천	967,753	0.319
3	경기	강화	6	0.556	3	전북	전주완주임실	359,888	0.119
4	경기	연천포천	5	0.444	4	경기	양평광주서울	246,370	0.081
5	전북	동진	4	0.333	5	전북	정읍	135,857	0.045
6	전북	고창	4	0.333	6	전북	고창	134,719	0.044
7	충남	보령	3	0.222	7	경남	창녕	87,023	0.029
8	충남	서천	3	0.222	8	강원	홍천춘천	84,084	0.028
9	경북	문경	3	0.222	9	충남	연기대금	80,000	0.026
10	경기	양평광주서울	2	0.111	10	경기	강화	73,640	0.024
11	충남	연기대금	2	0.111	11	전남	구례	57,000	0.019
12	전북	정읍	2	0.111	12	충남	보령	54,743	0.018
13	전남	구례	2	0.111	13	경남	의령	50,000	0.016
14	경북	칠곡	2	0.111	14	충남	부여	38,102	0.013
15	경기	여주이천	1	0.000	15	전북	동진	35,371	0.012
16	강원	홍천춘천	1	0.000	16	충남	서천	35,120	0.012
17	충남	논산	1	0.000	17	경남	밀양	30,780	0.010
18	충남	부여	1	0.000	18	전남	순천광양여수	22,192	0.007
19	충남	청양	1	0.000	19	충남	논산	20,000	0.007
20	전북	부안	1	0.000	20	경북	문경	11,260	0.004
21	전북	군산	1	0.000	21	전북	부안	8,000	0.003
22	전북	무진장	1	0.000	22	전북	군산	4,000	0.001
23	전남	순천광양여수	1	0.000	23	경기	여주이천	1,000	0.000
24	경북	경주	1	0.000	24	경북	경주	657	0.000
25	경남	의령	1	0.000	25	충남	청양	246	0.000
26	경남	창녕	1	0.000	26	전북	무진장	160	0.000
27	경남	밀양	1	0.000					

<표 1-93> 한국농어촌공사 지사별 수리시설물 피해발생 개소수 및 피해액 순위(양배수장)

순위	도본부	지사	개소수	표준화	순위	도본부	지사	피해액 (천원)	표준화
1	충남	논산	13	1.000	1	경남	진주산청	604,559	1.000
2	경기	양평광주서울	12	0.917	2	전 북	정읍	602,160	0.996
3	충남	부여	10	0.750	3	충 남	논산	328,500	0.543
4	경남	진주산청	10	0.750	4	충 남	부여	325,622	0.538
5	경기	파주	9	0.667	5	경남	함안	222,300	0.367
6	경남	함안	8	0.583	6	전 북	고창	207,471	0.343
7	전북	동진	7	0.500	7	전 북	동진	147,478	0.243
8	전북	정읍	7	0.500	8	경기	파주	128,830	0.213
9	전북	고창	6	0.417	9	전 남	구례	97,616	0.161
10	경남	밀양	5	0.333	10	전 남	순천광양여수	68,122	0.112
11	경기	연천포천	4	0.250	11	경기	양평광주서울	65,659	0.108
12	전북	순창	4	0.250	12	경남	의령	35,000	0.057
13	경남	의령	4	0.250	13	경남	창녕	35,000	0.057
14	경기	강화	3	0.167	14	경기	연천포천	34,292	0.056
15	전북	익산	3	0.167	15	충 남	연기대금	30,000	0.049
16	전남	순천광양여수	3	0.167	16	경북	경주	30,000	0.049
17	경기	화성수원	2	0.083	17	경남	사천	26,150	0.043
18	충남	아산	2	0.083	18	전 북	익산	25,872	0.042
19	충남	예산	2	0.083	19	경남	밀양	20,653	0.034
20	전북	부안	2	0.083	20	경기	강화	17,915	0.029
21	전남	광주	2	0.083	21	경기	화성수원	9,000	0.014
22	전남	구례	2	0.083	22	전 남	광주	6,000	0.009
23	경북	성주	2	0.083	23	전 북	부안	5,100	0.008
24	경남	사천	2	0.083	24	충 남	예산	4,000	0.006
25	경기	여주이천	1	0.000	25	충 남	아산	2,740	0.004
26	강원	옥천영동	1	0.000	26	경북	영천	1,000	0.001
27	충남	연기대금	1	0.000	27	강 원	옥천영동	963	0.001
28	전북	전주완주임실	1	0.000	28	경기	여주이천	898	0.001
29	경북	경주	1	0.000	29	전 북	전주완주임실	400	0.000
30	경북	영천	1	0.000					
31	경남	창녕	1	0.000					

<표 1-94> 한국농어촌공사 지사별 수리시설물 피해발생 개소수 및 피해액 순위(취입보)

순위	도본부	지사	개소수	표준화	순위	도본부	지사	피해액 (천원)	표준화
1	경기	양평광주서울	11	1.000	1	전북	정읍	1,170,742	1.000
2	전북	전주완주임실	8	0.700	2	전북	전주완주임실	1,075,721	0.919
3	전북	정읍	6	0.500	3	경북	안동	979,250	0.836
4	경기	파주	5	0.400	4	경기	파주	680,880	0.581
5	충남	논산	4	0.300	5	강원	진천	600,000	0.512
6	전북	동진	4	0.300	6	전북	고창	497,545	0.425
7	충남	보령	3	0.200	7	경남	창녕	345,299	0.295
8	전북	고창	3	0.200	8	경기	화성수원	178,963	0.153
9	전남	순천광양여수	3	0.200	9	강원	옥천영동	149,512	0.127
10	경기	연천포천	2	0.100	10	경기	양평광주서울	142,553	0.122
11	강원	음성	2	0.100	11	충남	논산	120,010	0.102
12	충남	공주	2	0.100	12	경북	의성군위	100,000	0.085
13	충남	아산	2	0.100	13	충남	공주	64,000	0.054
14	충남	청양	2	0.100	14	경남	진주산청	53,542	0.045
15	경북	경주	2	0.100	15	충남	청양	45,459	0.039
16	경기	여주이천	1	0.000	16	전남	순천광양여수	31,732	0.027
17	경기	화성수원	1	0.000	17	충남	연기대금	30,000	0.025
18	강원	옥천영동	1	0.000	18	경북	영천	20,000	0.017
19	강원	진천	1	0.000	19	충남	보령	11,816	0.010
20	충남	연기대금	1	0.000	20	경북	경주	7,940	0.007
21	충남	예산	1	0.000	21	전북	동진	6,700	0.005
22	경북	안동	1	0.000	22	강원	음성	2,800	0.002
23	경북	영천	1	0.000	23	충남	예산	2,100	0.002
24	경북	의성군위	1	0.000	24	경기	여주이천	2,000	0.001
25	경남	진주산청	1	0.000	25	충남	아산	872	0.000
26	경남	창녕	1	0.000	26	경남	하동남해	586	0.000
27	경남	하동남해	1	0.000	27	경기	연천포천	308	0.000

<표 1-95> 한국농어촌공사 지사별 수리시설물 피해발생 개소수 및 피해액 순위(용배수로)

순위	도본부	지사	개소수	표준화	순위	도본부	지사	피해액 (천원)	표준화
1	경기	파주	117	1.000	1	경기	양평광주서울	2,496,438	1.000
2	경기	여주이천	114	0.974	2	경기	파주	1,246,896	0.499
3	전북	정읍	107	0.914	3	경남	하동남해	1,142,579	0.457
4	전북	동진	100	0.853	4	충남	논산	997,841	0.399
5	전북	전주완주임실	92	0.784	5	경기	여주이천	820,236	0.328
6	경기	양평광주서울	70	0.595	6	전북	정읍	729,725	0.291
7	경기	화성수원	66	0.560	7	충남	서산태안	600,000	0.239
8	경기	연천포천	63	0.534	8	경기	연천포천	507,079	0.202
9	충남	논산	60	0.509	9	경기	화성수원	483,552	0.193
10	경기	강화	51	0.431	10	충남	부여	443,522	0.177
11	충남	보령	49	0.414	11	경남	밀양	358,553	0.143
12	충남	아산	42	0.353	12	강원	홍천춘천	310,669	0.123
13	전북	부안	37	0.310	13	전북	전주완주임실	277,664	0.110
14	경북	문경	35	0.293	14	전남	순천광양여수	259,850	0.103
15	전남	광주	29	0.241	15	전북	동진	255,651	0.101
16	전북	고창	25	0.207	16	전북	고창	237,999	0.094
17	강원	충주제천단양	23	0.190	17	충남	보령	195,480	0.077
18	경기	평택	22	0.181	18	충남	서천	181,946	0.072
19	전북	무진장	22	0.181	19	경남	진주산청	181,266	0.071
20	경북	영천	20	0.164	20	경남	창녕	168,844	0.067
21	경남	함안	20	0.164	21	전북	익산	165,634	0.065
22	강원	보은	19	0.155	22	충남	공주	146,000	0.057
23	충남	서천	19	0.155	23	전남	영광	109,900	0.043
24	충남	홍성	19	0.155	24	충남	예산	109,600	0.043
25	전남	영암	19	0.155	25	전북	군산	105,000	0.041
26	경북	경산	19	0.155	26	경기	평택	101,695	0.040
27	경북	성주	19	0.155	27	경남	함안	101,150	0.039
28	강원	괴산	18	0.147	28	충남	청양	100,618	0.039
29	강원	음성	18	0.147	29	강원	옥천영동	91,670	0.036
30	충남	청양	18	0.147	30	전북	부안	89,800	0.035
31	충남	예산	18	0.147	31	충남	홍성	83,511	0.032
32	강원	옥천영동	17	0.138	32	경기	강화	78,437	0.030
33	충남	부여	15	0.121	33	경북	구미	76,400	0.029
34	강원	철원	14	0.112	34	경기	김포	73,000	0.028
35	경북	경주	14	0.112	35	전남	영암	66,208	0.025

순위	도본부	지사	개소수	표준화	순위	도본부	지사	피해액 (천원)	표준화
36	전남	고흥	13	0.103	36	전북	남원	63,900	0.024
37	강원	홍천춘천	12	0.095	37	전남	고흥	63,429	0.024
38	전남	순천광양여수	12	0.095	38	경북	경산	59,000	0.022
39	전남	영광	12	0.095	39	충남	아산	55,041	0.021
40	전북	남원	11	0.086	40	경북	문경	54,556	0.021
41	경남	하동남해	11	0.086	41	강원	충주제천단양	52,481	0.020
42	전북	군산	10	0.078	42	전남	무안신안	50,000	0.019
43	충남	서산태안	9	0.069	43	경남	김해양산	50,000	0.019
44	경북	구미	9	0.069	44	경북	의성군위	47,000	0.018
45	경기	고양	8	0.060	45	강원	음성	42,434	0.016
46	전북	익산	8	0.060	46	강원	철원	41,080	0.015
47	전남	진도	8	0.060	47	경북	영덕울진	40,000	0.015
48	경남	진주산청	8	0.060	48	경북	안동	28,000	0.010
49	경남	사천	8	0.060	49	강원	괴산	27,426	0.010
50	경북	칠곡	7	0.052	50	경북	영천	26,000	0.009
51	전남	보성	6	0.043	51	경기	고양	23,000	0.008
52	강원	청원	5	0.034	52	경남	사천	22,800	0.008
53	경남	밀양	5	0.034	53	전남	진도	20,652	0.007
54	충남	공주	4	0.026	54	경남	합천	20,000	0.007
55	경기	김포	2	0.009	55	전남	광주	19,876	0.007
56	전남	구례	2	0.009	56	강원	보은	18,720	0.006
57	전남	강진완도	2	0.009	57	전남	보성	15,870	0.005
58	경북	안동	2	0.009	58	충남	당진	15,000	0.005
59	경북	의성군위	2	0.009	59	전남	구례	13,000	0.004
60	경남	창녕	2	0.009	60	전남	강진완도	12,000	0.004
61	충남	당진	1	0.000	61	전북	무진장	11,089	0.003
62	전남	무안신안	1	0.000	62	강원	청원	7,688	0.002
63	전남	함평	1	0.000	63	경북	경주	7,499	0.002
64	경북	상주	1	0.000	64	전남	함평	6,534	0.001
65	경북	영덕울진	1	0.000	65	경북	상주	5,000	0.001
66	경남	김해양산	1	0.000	66	경북	칠곡	3,000	0.000
67	경남	합천	1	0.000					

나. 시험지구 기후변화 안정성 평가

(1) 시험지구 안전성 평가 계획

기후변화 안정성을 평가하기 위하여 노출(유발인자) 조사와 민감도(영향인자)를 분석하였다. 기후변화 안정성 평가 대상은 농업생산기반시설(저수지)로서 시설대상의 평가과정을 통해 직관적인 평가의 효과를 기대하였다. 안정성 평가 세부계획은 다음과 같다.

□ 기후변화 안정성 평가 세부계획

○ 안정성 평가대상 : 농업생산기반시설

- 시설단위 기후변화 영향성 평가

※ 농업용수 : 농업용수구역(유역) 단위의 기후변화 영향·취약성 평가

- 농업용수 구역(유역)을 대상으로 하는 평가는 검증이 매우 어렵고, 고려인자가 많음

- 기후변화 영향평가의 구체적인 사항 도출이 목적

○ 평가방법 : 기준년도 대비 비교년도 비교 분석

- 기준년도 : 2000년 (토지이용현황도 작성, 국토교통부)

- 비교년도 : 2007년, 2014년 (토지이용현황도 작성, 환경부)

※ 준공년도를 기준년도로 설정시 자료구득(토지이용 등)이 어려움

○ 노출(유발인자) : 문헌조사, 현장조사

- 기상요인 : 기상청자료(ASOS, AWS)

- 비 기상요인 : 토지이용변화, 유입량, 내용적, 통수능력, 수혜면적

○ 민감도(영향인자) : 이수안전도

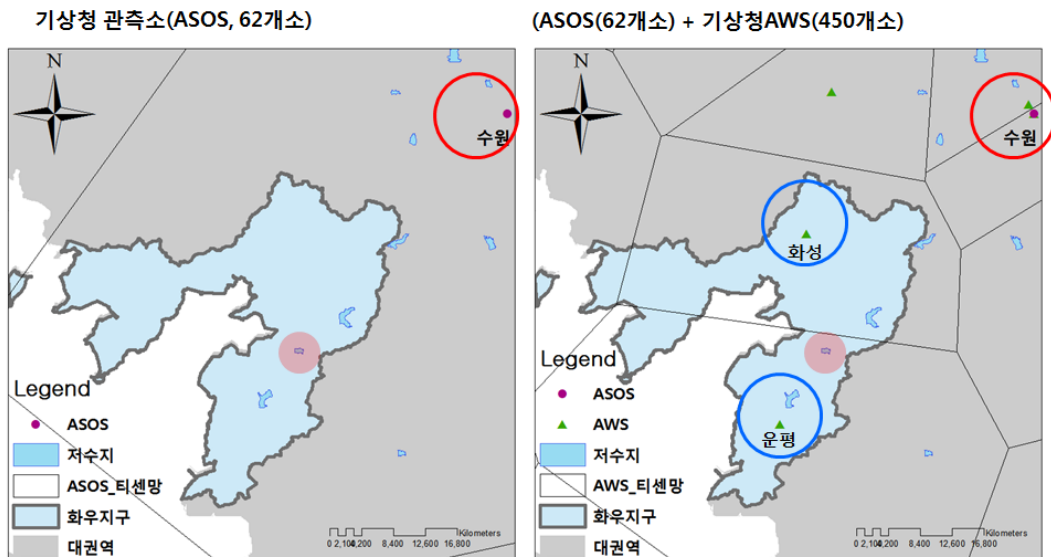
- 노출(유발인자)로 인한 민감도(영향인자) 분석

○ 시험지구 : 버들저수지

(2) 기상자료 조사 및 분석

농업생산기반시설은 기상자료에 의해 규모가 결정되어 지며 기후변화로 인한 농업용수 농업생산기반시설의 영향·취약성 분석을 위해 시험지구를 대상으로 기상자료를 수집·분석하였다. 기상청은 기상관서의 자동기상관측장비(ASOS)와 무인으로 운영되는 자동기상관측장비(AWS)를 이용하여 지상기상관측업무를 수행하고 있으며, 종관기상관측장비(ASOS)는 주로 지방청과 기상대에 설치되어 기상상태를 관측하고 국제전문의 작성 및 통계표 작성과 같은 관측업무를 자동으로 처리하고 있다. 관측방법은 기압, 기온, 풍향, 풍속, 습도, 강수량(0.1mm, 0.5mm), 강우유무, 일사량, 일조시간, 지면온도, 초상온도 등 11개 요소를 자동관측하고, 5개요소(시정, 운량, 운형, 증발량, 지중온도)는 수동으로 관측하고 있다. AWS는 ASOS와 유사한 장비로 습도대신에 이슬점온도를 관측하고, 강수량센서로는 0.5 mm 전도형 강수량계를 사용하고 일사를

관측하지 않는다는 점이 다르다. AWS는 기상관측소가 없는 곳에 설치되어 집중호우, 우박, 뇌우, 돌풍 등과 같은 국지적인 악기상 현상을 실시간으로 감시하고 있고, 특히 산악지역이나 섬처럼 사람이 관측하기 어려운 곳에 설치되어 집중 호우와 같은 돌발 악기상을 감시하며, 관측된 자료는 수치예보모델의 초기 입력 자료로 사용한다. 시험지구인 버들저수지 지배 관측소는 수원기상대 종관관측시스템이며, 시험지구와 가장 인접한 운평 자동관측시스템의 강우, 증발 등 기상자료를 수집하였다.



(그림 1-88) 시험지구 기상관측소 위치도

- 수원기상대 종관관측시스템(ASOS) 자료 수집
 - 수집기간 : 1967~2017(50개년)
 - 수집항목 : 강수량, 증발, 기온, 습도, 일조, 풍속
- 운평 자동관측시스템(AWS)
 - 수집기간 : 1997~2017(20개년)
 - 수집항목 : 강수량

기후변화의 노출분석에서 가장 중요한 인자는 정확한 강우패턴의 파악인데 농업생산기반시설에는 강우계가 설치되어 있지 않기 때문에 지배관측소인 수원기상대와 시설과 가장 인접한 운평관측소간의 자료비교를 통해 강우의 패턴을 파악하였다. 수원관측소와 시험지구간의 물리적 거리는 25km 정도이고, 운평관측소와 시험지구간의 물리적인 거리는 5km 정도로 수원관측소와 운평관측소의 강수량 자료를 비교하였다.

- 비교기간 : 2001~2017(16개년)
- 비교항목 : 년(월)강수량, 파우일수

<표 1-96> 수원기상대 월 강수량 (2001~2017)

단위 : mm

년월	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	42.2	31.8	10.4	17.8	5.7	38.6	9.3	13.6	7.9	26.9	11.3	9.9	23.1	9.9	17.5	4.6	19.4
2	47.4	3.2	46.2	42.6	15	19.5	15.1	8.7	26.8	56.7	49.8	0.7	53.4	16.5	22.7	52.6	22.5
3	15.1	35.7	28.3	14.4	25.6	6.9	135.3	55.9	59.5	78.7	23.4	43.1	48.2	10.9	12.5	54.8	9
4	12.9	152.4	182	63.8	85.6	59.9	24.2	42.2	45	58.6	186.4	125.5	69.5	55.7	99.2	79.2	52.5
5	13.8	77	85.5	125.2	89.6	133.2	146.7	92.7	102.4	100.7	74.2	16.5	129	64.4	32.6	156.4	22.5
6	222.3	52	159	135.7	160.8	156.7	74.2	198.4	118.8	116.1	391.5	100.8	69.6	68.1	30.2	37.4	27.6
7	469.7	257.8	341.9	382	251.7	754.7	269.7	540.8	766	206.8	794.3	572.3	405.9	264	225.8	317.7	684.5
8	144.7	487.3	293.7	157.4	357.5	66.4	295	217.2	207.1	372.8	315.1	426.2	157	290.9	71	73	359.7
9	12.1	31.3	271.5	183.4	315.2	21.9	268.8	101.9	56.3	375.9	32.8	241	183.6	92	6.9	67.8	26.1
10	58.1	73.8	30.6	2	70.2	18	18.3	35.6	64.5	30	38.4	98.6	5.4	85.4	67.4	99.1	28.7
11	14.2	12.2	51.6	67.5	38.8	61.6	57.1	18.5	68.2	18.1	46.3	66.5	61.9	44.2	115	17.4	37.6
12	14.7	17.2	14.1	25.2	12	25.3	11.3	17.4	18.7	29.3	12.4	47.2	33.6	27.1	49.3	63.4	38.5
합계	1,067	1,232	1,515	1,217	1,428	1,363	1,325	1,343	1,541	1,471	1,976	1,748	1,240	1,029	750	1,023	1,329

<표 1-97> 수원기상대 과우일수 (2001~2017)

단위 : 일

년월	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	10	10	5	6	5	6	7	4	5	9	6	7	7	4	8	5	9
2	8	4	8	9	4	6	3	3	3	11	3	4	8	4	7	11	7
3	7	7	9	6	6	6	14	8	7	14	4	8	8	5	5	2	4
4	5	7	10	8	8	10	8	11	5	11	9	8	10	8	12	9	7
5	7	10	5	14	7	7	12	8	9	8	8	5	7	9	6	8	7
6	11	6	11	8	10	14	12	12	9	10	13	3	9	7	9	8	8
7	14	13	20	18	13	24	16	16	13	12	19	16	25	12	14	16	21
8	8	22	19	8	17	9	19	14	8	23	16	17	9	16	9	5	15
9	1	6	9	13	12	5	22	9	6	14	7	13	9	5	5	4	4
10	7	10	7	2	6	2	7	6	4	4	7	6	3	5	7	9	5
11	6	6	14	9	8	10	6	6	8	6	8	13	12	9	16	14	12
12	8	9	6	6	7	8	12	11	10	8	8	10	8	13	8	10	10
합계	92	110	123	107	103	107	138	108	87	130	108	110	115	97	106	101	109

<표 1-98> 운평관측소 월 누가우량 (2001~2017)

단위 : mm

년 월	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	41.5	41.5	5.5	15.5	0	36.5	8.5	11	12	7.5	1.5	2	3.5	2	6.5	1.5	10
2	32	1.5	34.5	27.5	0	19.5	18.5	5.5	15.5	12	6.5	0	9	6	5.5	46.5	19.5
3	9	33	18	8	22	4.5	108.5	42.5	63	19.5	6.5	9.5	21.5	8	6	42	3.5
4	7	131.5	178.5	81.5	57	50.5	24	39	39.5	14.5	38.5	27	17	14	37	72.5	29.5
5	18.5	102.5	128	131.5	59	96.5	104.5	30	94	25	32.5	4.5	30.5	21.5	10.5	139.5	30
6	211	48	210	146	135	154.5	66.5	137	71	27	78	20.5	16.5	22.5	22	19	14.5
7	500	277	345	321.5	344	740	257	426.5	428.5	116	180	143.5	114.5	90	85	273.5	434
8	186.5	534	260	123.5	220	60	213.5	151.5	204.5	164.5	82.5	153	68.5	99.5	65	24	331.5
9	14	33	274.5	188	261.5	15.5	271	89	30	93	12.5	86	51	34	14.5	36.5	27
10	59	74.5	41	3.5	51	17.5	24.5	27.5	55.5	10.5	8.5	77.5	2	14.5	24	77.5	16
11	16.5	17.5	47	69	26	69.5	20	13	72	7	9	64.5	31.5	15.5	33	14.5	29
12	13	7.5	17	23	9.5	27.5	12	14.5	21	9	5	17	9	16.5	13.5	54.5	32
합계	1,108	1,302	1,559	1,139	1,185	1,292	1,129	987	1,107	506	461	605	375	344	323	802	977

<표 1-99> 운평관측소 강우일수 (2001~2017)

단위 : 일

년 월	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	7	9	3	5	0	4	3	3	3	4	2	4	3	4	6	2	3
2	6	2	5	4	0	3	2	3	2	8	2	0	6	3	6	7	5
3	4	6	6	3	4	2	11	6	6	11	3	7	6	7	4	2	2
4	4	7	10	8	7	7	6	9	3	8	8	8	9	5	12	8	3
5	4	11	7	13	7	6	8	6	8	8	8	2	7	7	6	6	5
6	11	8	11	6	10	10	10	11	8	8	10	2	5	6	5	2	6
7	14	11	19	16	8	21	12	15	11	10	18	11	16	9	12	13	18
8	7	20	17	8	16	6	14	11	8	23	16	13	7	16	8	2	15
9	1	6	10	10	8	4	21	5	7	14	5	11	9	6	3	4	4
10	5	9	6	2	6	2	6	5	5	3	6	6	3	4	7	10	4
11	6	4	9	9	5	7	6	6	6	2	6	12	12	8	17	9	8
12	4	5	4	2	5	6	8	7	8	7	4	7	6	12	9	8	6
합계	73	98	107	86	76	78	107	87	75	106	88	83	89	87	95	73	79

<표 1-100> 동일 년도간 년 강우량 차이

단위 : mm

관측소	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
수원	1,067	1,232	1,515	1,217	1,428	1,363	1,325	1,343	1,541	1,471	1,976	1,748	1,240	1,029	750	1,023	1,329
운평	1,108	1,302	1,559	1,139	1,185	1,292	1,129	987	1,107	506	461	605	375	344	323	802	977
차이	41	70	44	79	243	71	197	356	435	965	1,515	1,143	866	685	428	222	352

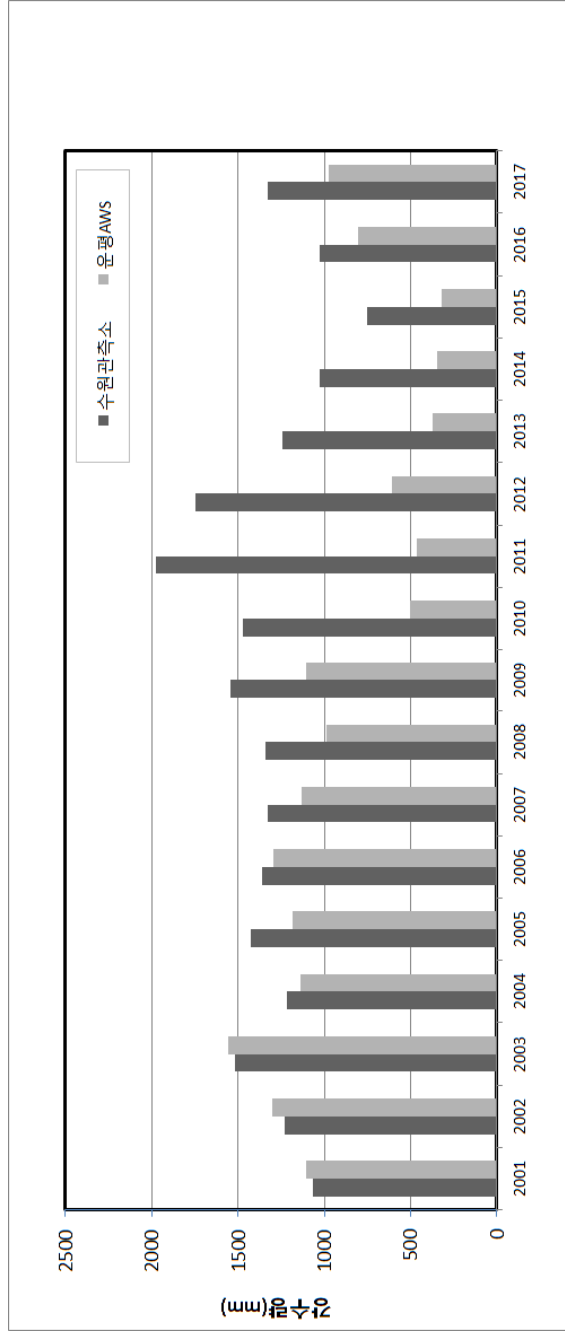
<표 1-101> 2011년도 월강수량중 최대강수량

단위 : mm

관측소	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
수원	6.7	48.5	11.5	136.0	35.5	166.5	190.0	102.5	16.5	20.5	26.0	4.0
운평	1.0	6.0	3.0	27.5	14.0	23.5	34.0	40.5	4.5	3.0	4.0	2.0

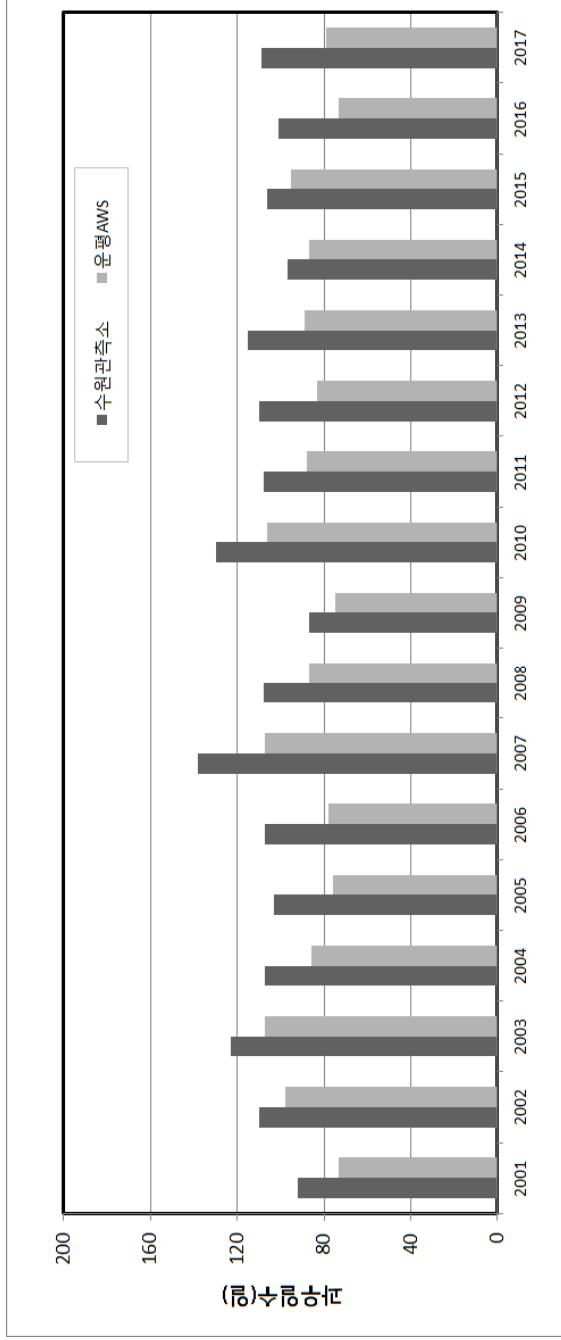
○ 수원기상대, 운평관측소 년 강수량 비교 결과

- 수원기상대와 운평관측소의 년 최대강수량 발생년도가 달랐음
 - 수원기상대 년 최대강수량 발생년도 : 2011년(1,976mm)
 - 운평관측소 년 최대강수량 발생년도 : 2003년(1,559mm)
 - 수원기상대 년 최소강수량 발생년도 : 2015년(750mm)
 - 운평관측소 년 최소강수량 발생년도 : 2015년(323mm)
- 동일년도간의 비교에서는 2011년도에 1,559mm(최대) 차이가 발생하였고, 2002년도에 70mm(최소)의 차이가 발생하였음



(그림 1-89) 년도별 기상관측소 강수량 비교

- 수원기상대, 운평관측소의 과우일수 비교 결과
 - 수원기상대와 운평관측소의 과우일수 발생년도가 달랐음
 - 수원기상대 년 최대과우일수 발생년도 : 2007년(138일)
 - 운평관측소 년 최대과우일수 발생년도 : 2003년(107일)
 - 수원기상대 년 최소과우일수 발생년도 : 2009년(87일)
 - 운평관측소 년 최소과우일수 발생년도 : 2016년(73일)
 - 동일년도간의 비교에서는 2008년도에 31일(최대) 차이가 발생하였고, 2014년도에 10일(최소) 의 차이가 발생하였음
- 년도별로 관측소의 위치에 따라 강수량 차이가 발생함에 따라 가장 크게 발생한 2011년도에 대해 일 강수량 자료를 비교분석함
 - 수원기상대, 운평관측소의 2011년도 월강수량중 가장 큰 일강수량을 비교함



(그림 1-90) 년도별 기상관측소 과우일수 비교

(3) 농업생산기반시설 자료조사 및 분석

(가) 시험지구 현황조사

○ 버들저수지

- 설치년도(준공일자) : 1945.12.31.
- 관리지사 : 화성수원지사
- 수원공구분 : 주수원 (2종)

○ 버들저수지 면적

- 유역면적 296ha (2,960,000m²)
- 만수면적 : 15.3ha
- 홍수면적 : 15.9ha
- 관개면적 : 85.5ha (수리안전답 : 85.5ha) , 준공면적 : 96ha

※ 준공면적(96ha) 대비 관개면적(85.5ha) : 10.5ha 감소

○ 저수량

- 총저수량 : 284,600m³(유효저수량 : 283,700m³, 사수량 900m³)
- 유효저수량 변화부분은 확인할 수 없음(내용적 측정 필요)
- 단위저수량 332mm(RIMS 280mm)



(그림 1-91) 버들저수지 전경



(그림 1-92) 버들저수지 방류부



(그림 1-93) 버들저수지 취수시설

○ 수리시설

- 버들1 용수간선
 - 길이 : 2324.77m
 - 분수문 : 7개소
 - 방수문 : 1개소

번호	구조물		특점 (No)		특점간 연장 (m)	상 폭/ 문비 폭 (m)	하 폭/ 문비 높이 (m)	높이/ 문비 연수 (m/연)	단 면 전 심 (m)	지 름 (mm)	구 배 (1:X)	용 수 량 (m³/s)	배 수 량 (m³/s)	단 면 기 울 기		관 할 지 사	비 고	사 건
	명칭	구분	시점	종점										내 측	외 측			
1	개거		0+0	46+24	2,324.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
2	분수문		28+41	28+41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
3	분수문		36+27	36+27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
4	분수문		19+10	19+10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
5	분수문		5+44	5+44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
6	분수문		10+12	10+12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
7	분수문		12+44	12+44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
8	분수문		17+6	17+6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
9	방수문		14+41	14+41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
합계					2,324.77													

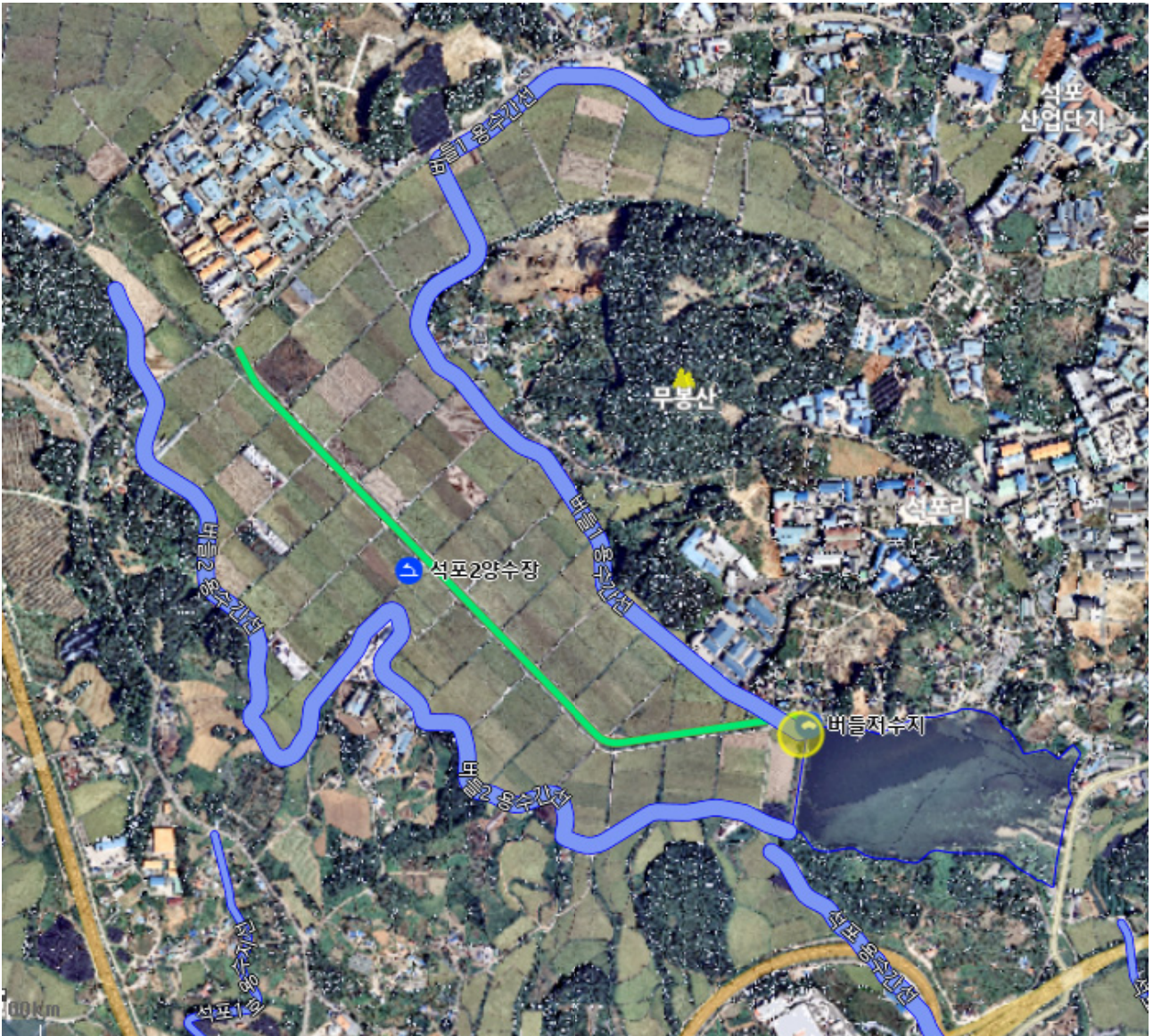
(그림 1-94) 버들1 용수간선 재원

- 버들2 용수간선

- 길이 : 2847.62m
- 분수문 : 6개소
- 방수문 : 3개소

번호	구조물		특점 (No)		특점간 연장 (m)	상 폭/ 문비 폭 (m)	하 폭/ 문비 높이 (m)	높이/ 문비 연수 (m/연)	단 면 전 심 (m)	지 름 (mm)	구 배 (1:X)	용 수 량 (m³/s)	배 수 량 (m³/s)	단 면 기 울 기		관 할 지 사	비 고	
	명칭	구분	시점	종점										내 측	외 측			
1	개거		0+0	56+47	2,847.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
2	방수문		52+18	52+18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
3	분수문		49+4	49+4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
4	분수문		39+15	39+15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
5	분수문		35+47	35+47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
6	분수문		18+14	18+14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
7	분수문		15+26	15+26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
8	방수문		35+46	35+46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
9	방수문		6+1	6+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
10	분수문		12+33	12+33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	화성,수원		
합계					2,847.62													

(그림 1-95) 버들2 용수간선 재원



(그림 1-96) 버들1, 2 용수간선 위치도

- 석포2양수장

- 시설종별 : 3종 (보조수원)
- 준공일 : 1993.12.31.
- 수혜면적 : 20ha
- 최대양수량 : 0.216m³/sec
- 1일 운전시간 : 8시간
- 펌프제원 : 2개조

(구경)250mm, (수량)7.98m³/min, (실양정)3m, (회전수)1750rpm

(구경)200mm, (수량)4.98m³/min, (실양정)3m, (회전수)1750rpm

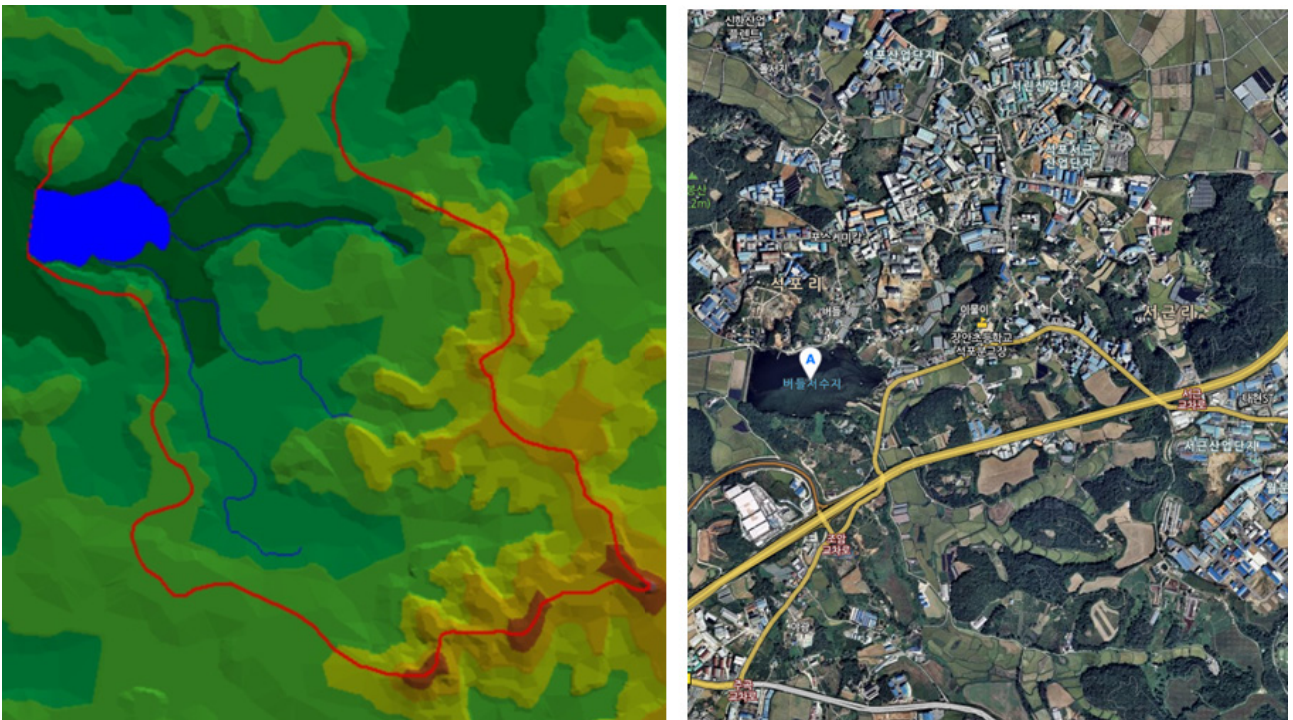


(그림 1-97) 석포2 양수장 전경

(나) 시험지구 자료분석

○ 버들저수지 유역도

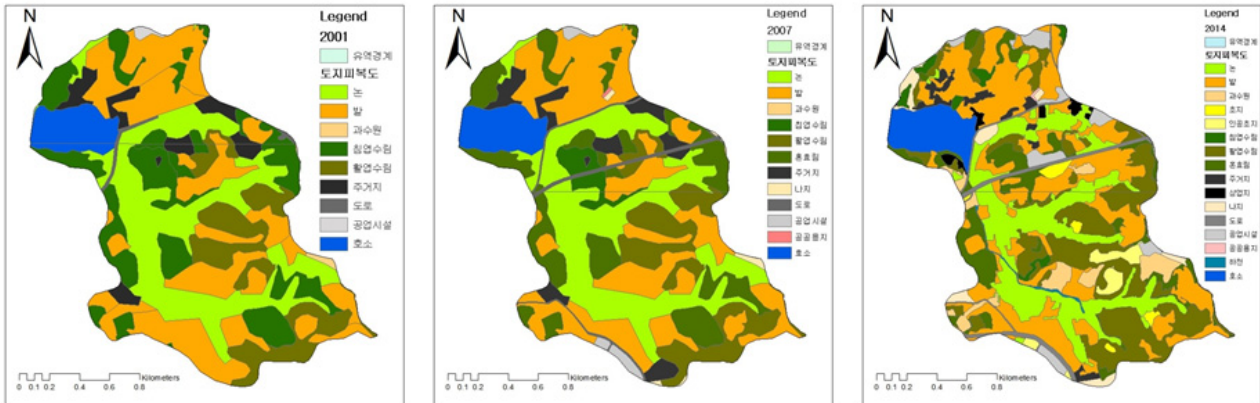
- 버들저수지가 위치해 있는 수치지도(1:25,000)를 활용하여 유역도를 작성함



(그림 1-98) 버들저수지 유역도

○ 버들저수지 유역 토지이용현황도

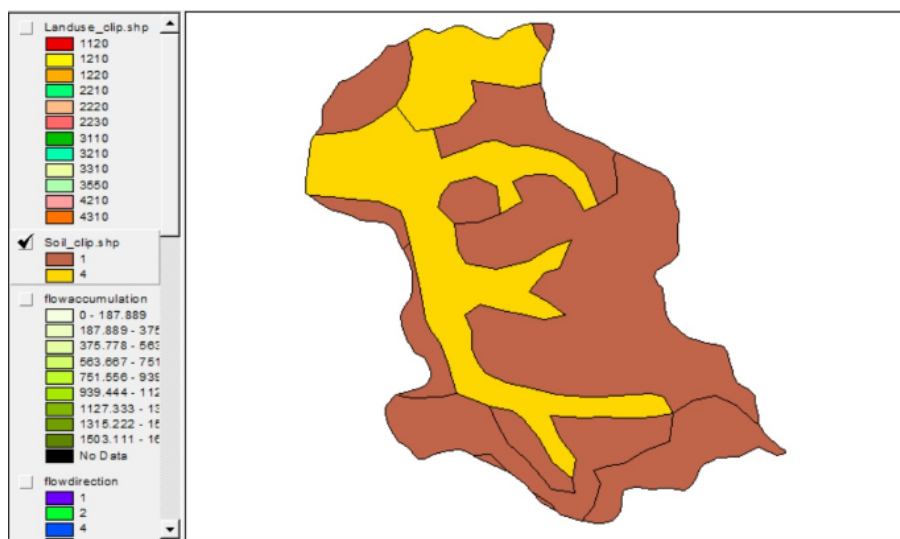
- 버들저수지 유역도를 경계로 2001년 기준으로 작성된 토지이용현황도와 2007년, 2014년의 토지이용현황도를 각각 작성함



(그림 1-99) 버들저수지 토지이용현황도

○ 버들저수지 유역 토양도

- 버들저수지 유역도를 경계로 하여 토양도를 작성함



(그림 1-100) 버들저수지 토양도

○ 버들저수지 수질자료

- 버들저수지 수질자료는 한국농어촌공사 수질관리망 자료를 이용함
- 수집기간은 2011년 ~ 2018년까지로 년도별 4회(3월, 5월, 8월, 11월) 측정함
- 수집자료는 농어촌공사 기반시설관리시스템(RIMS)에서 수집함
- 수질항목 : pH, COD, TN, TP, SS

<표 1-102> 버들저수지 수질자료

년	pH	COD	T-N	T-P	SS
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
2011(년 평균)	8.55	13.3	3.51	0.218	22.8
2012(년 평균)	8.45	14.03	3.765	0.287	32.63
2013(년 평균)	7.78	12.93	4.049	0.204	27
2014(년 평균)	8.55	11.03	1.54	0.096	15.75
2015(년 평균)	8.48	17.35	1.409	0.135	30.46
2016(년 평균)	8	16.5	1.879	0.194	36.93
2017(년 평균)	7.8	13.85	2.611	0.112	23.18
2018(년 평균)	8.5	14.8	2.23	0.122	37
Mar-11	8.2	16.4	3.812	0.198	34.7
May-11	9	17.2	4.984	0.282	13.3
Aug-11	7.5	4.8	3.228	0.092	16.8
Nov-11	9.5	14.8	2.016	0.298	26.4
Mar-12	8.9	12	4.776	0.384	33.5
May-12	8.4	20.3	3.768	0.355	43
Aug-12	8.4	12.3	2.556	0.202	26.5
Nov-12	8.1	11.5	3.96	0.206	27.5
Mar-13	8.2	12	5.411	0.167	25.5
May-13	7.7	18.8	3.638	0.244	25
Jul-13	7.4	10.5	5.137	0.166	19.5
Oct-13	7.8	10.4	2.008	0.237	38
Mar-14	8.7	10.64	1.297	0.041	15
May-14	9.2	15.26	1.557	0.144	19
Aug-14	8.2	8.6	2.01	0.135	13.33
Oct-14	8.1	9.6	1.296	0.064	15.67
Mar-15	9.2	18.1	1.9	0.117	25.33
May-15	8.3	21.3	1.518	0.149	30.33
Aug-15	7.9	15.2	0.953	0.133	39.5
Nov-15	8.5	14.8	1.263	0.139	26.67
Mar-16	7.9	16.8	3.307	0.438	73
May-16	8.2	16.8	2.409	0.129	25
Aug-16	7.7	18	0.572	0.066	24
Nov-16	8.2	14.4	1.227	0.143	25.7
Feb-17	8	14.8	2.062	0.068	21.8
May-17	7.7	14.8	2.161	0.078	18.5
Aug-17	7.9	10.6	5.057	0.21	26.4
Nov-17	7.6	15.2	1.162	0.092	26
Mar-18	8.5	14.8	2.23	0.122	37

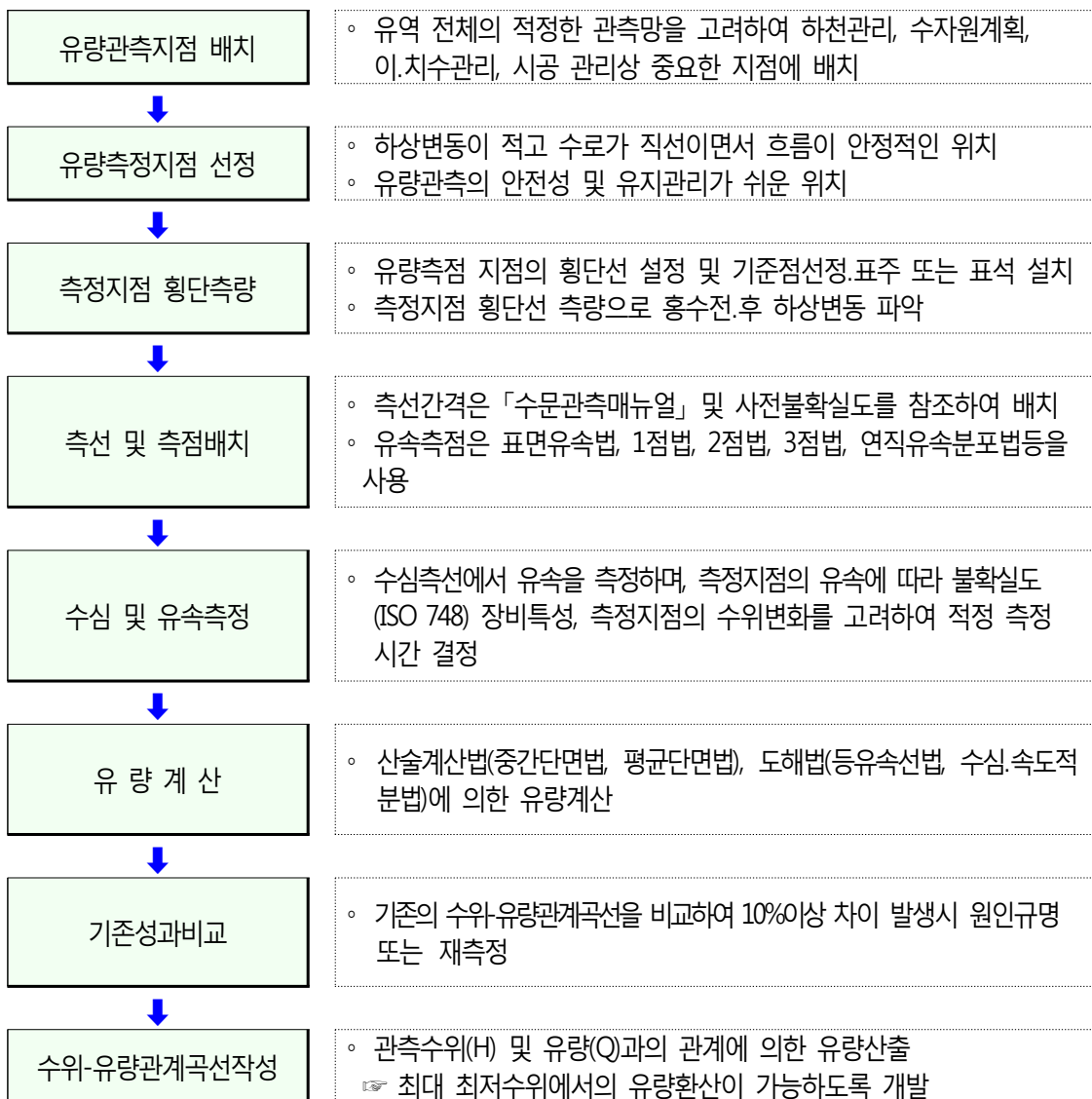
(4) 시험지구 현장계측 및 분석

(가) 저수지 유입량 유량 측정

○ 버들저수지 유역 유입량자료 계측

- 버들저수지로 유입되는 지천의 수위로부터 유량을 추정할 수 있는 '수위유량관계식'을 개발하기 위해 수행됨
- 계측기간 2018. 07. 4 ~ 2018. 10. 19
- 하천에서 제한된 횡수의 유량측정을 수행하여 유량측정결과와 해당지점의 하천수위와의 관계로부터 수위-유량관계곡선(Rating curve)을 작성하여 이후 관측된 수위로부터 연속적인 유량을 산출함

<표 1-103> 유량측정 절차(국토교통부 수문관측매뉴얼, 2004)



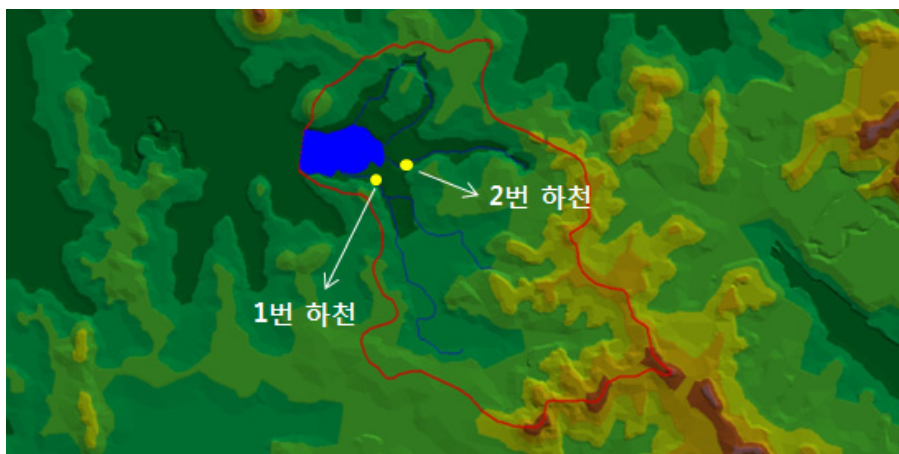
○ 버들저수지 유입하천 수위계측기 설치

- 물이 흐르는 곳을 제외한 대부분의 단면에 대부분 수초가 형성되어 있음
- 태풍이나 집중호우로 인해 유량이 급격히 증가한다면 다를 수 있으나, 최근의 홍수기 강수량을 볼 때 일부 단면으로만 흐름이 유지되고 있음



(그림 1-101) 버들저수지 유입하천 현황

- 버들저수지 총 4개의 유입하천이 있으며, 4개중에 가장 큰 2개소에서 수위계측기를 설치하여 유량을 관측함



(그림 1-102) 버들저수지 유입하천 위치도

- 1번 하천 특성 및 유량조사 방안

- 수초로 인해 제내지 내부에 새로운 제방이 형성된 상태로, 전체 단면 중 좌안으로부터 수위상승을 고려한 새로운 단면을 대상으로 하나의 측선에 대한 유속 조사를 결정함



(그림 1-103) 버들저수지 1번 유입하천 수위계 설치 단면

- 2번 하천 특성 및 유량조사 방안

- 관측지점은 하류에서의 하폭 감소와 수초 등 장애물로 인해 배수영향이 있을 것으로 우려했으나, 하도경사가 충분하고 예상보다 빠른 유속이 관측되어, 정상적인 흐름에 영향이 없음을 확인함
- 장마가 시작되기 전에는 약간의 수초가 보이기도 하였으나, 1회나 2회의 강우로 인한 수위 및 유속의 증가로 대부분의 하폭이 말끔하게 확보되어 있음을 확인함
- 유량조사 단면은 약 4 m의 하폭 전체에 고정단면과 유사한 흐름이 유지되고 있음



(그림 1-104) 버들저수지 1번 유입하천 수위계 설치 단면

(나) 저수지 유입량 유량측정 결과

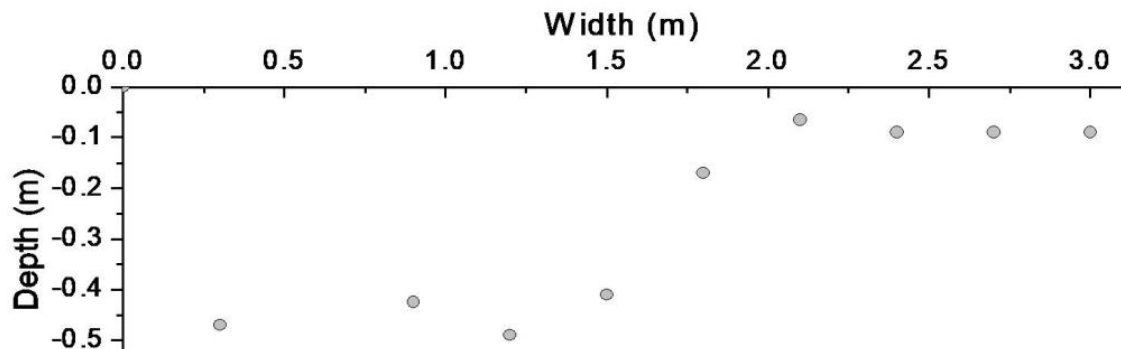
① 1번 하천 수위-유량 관계

○ 지형 조사 결과

- 유량을 산정하기 위해서는 수심과 유속이 필요한데 어느 일정 수위를 가정하고 수심을 조사함으로써, 다양한 변동 수위에 대한 각 측선의 수심을 확보할 수 있음



(그림 1-105) 조사단면 수심확보를 위한 지형 조사



(그림 1-106) 수심 조사 결과 (좌안 시점)

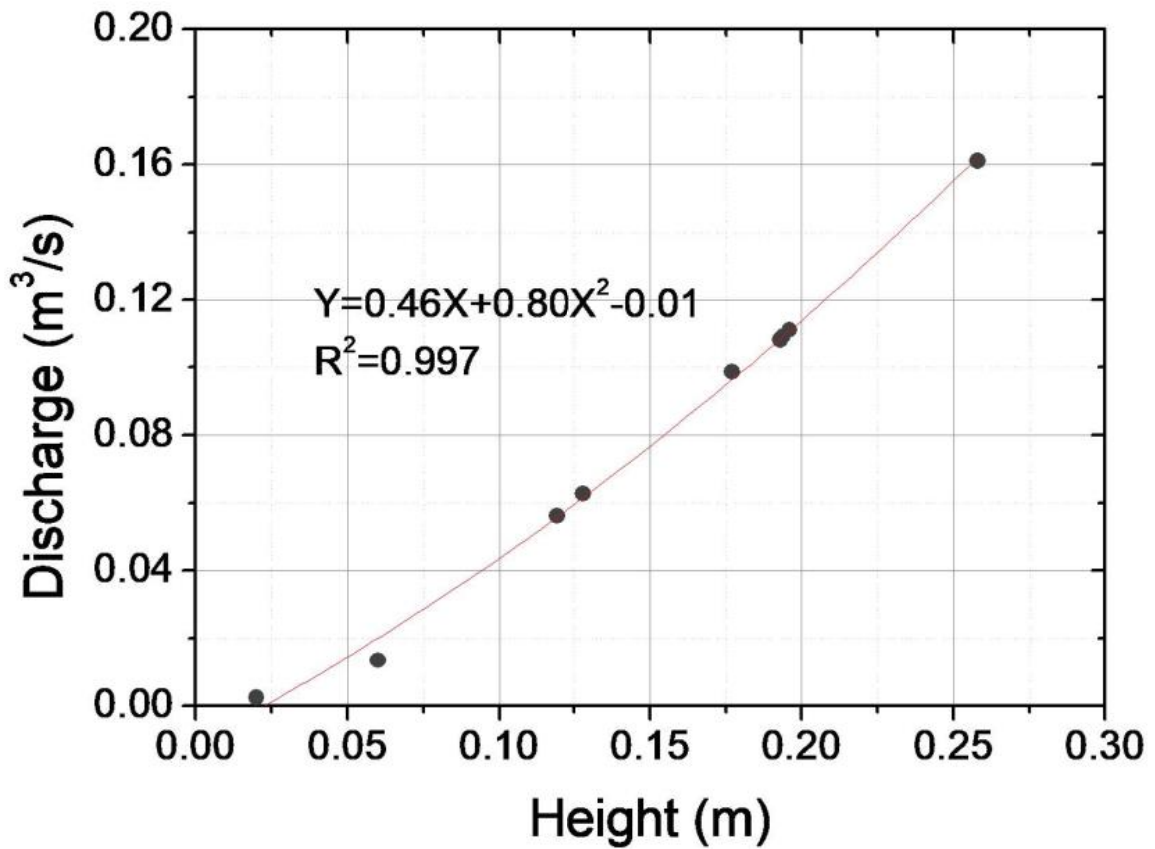
○ 유량 산정

- 9개의 수위-유량 자료를 관계식 산정에 활용함
- 수위는 0.02 m를 시작으로 0.25 m까지 변동함
- 대응 수위에 대해 유량은 0.0025 m³/s로부터 0.16 m³/s까지 변동함
- 1번하천 수위-유량 관계식

$$Y = 0.46X + 0.80X^2 - 0.01$$

<표 1-104> 조사시간 수위 및 유량

Time	Height	Discharge
18-8-24 9:13	0.02	0.00252
18-8-27 12:42	0.119	0.056347
18-8-27 15:27	0.128	0.062719
18-8-28 17:14	0.177	0.098747
18-8-28 17:18	0.196	0.111187
18-8-28 17:20	0.194	0.109328
18-8-28 17:24	0.193	0.108167
18-8-28 17:51	0.258	0.161095
18-9-3 18:23	0.06	0.0135



(그림 1-107) 수위-유량 관계 산정 결과

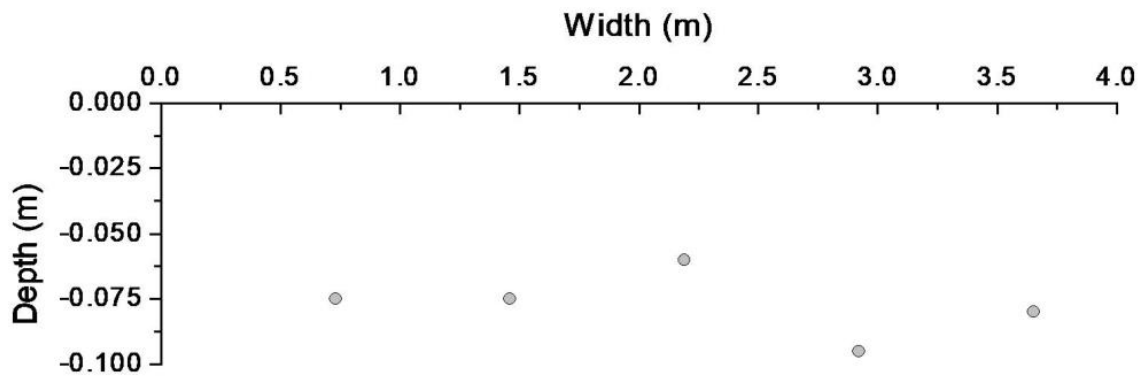
② 2번 하천 수위-유량 관계

○ 지형 조사 결과

- 유량산정을 위해 전체하폭을 5개의 단면으로 구분하여 수심을 조사하였으며, 유속관측은 2개 단면의 중앙부를 대상으로 수행함



(그림 1-108) 비강우시 조사단면에서의 수심 조사



(그림 1-109) 수심 조사 결과 (우안 시점)

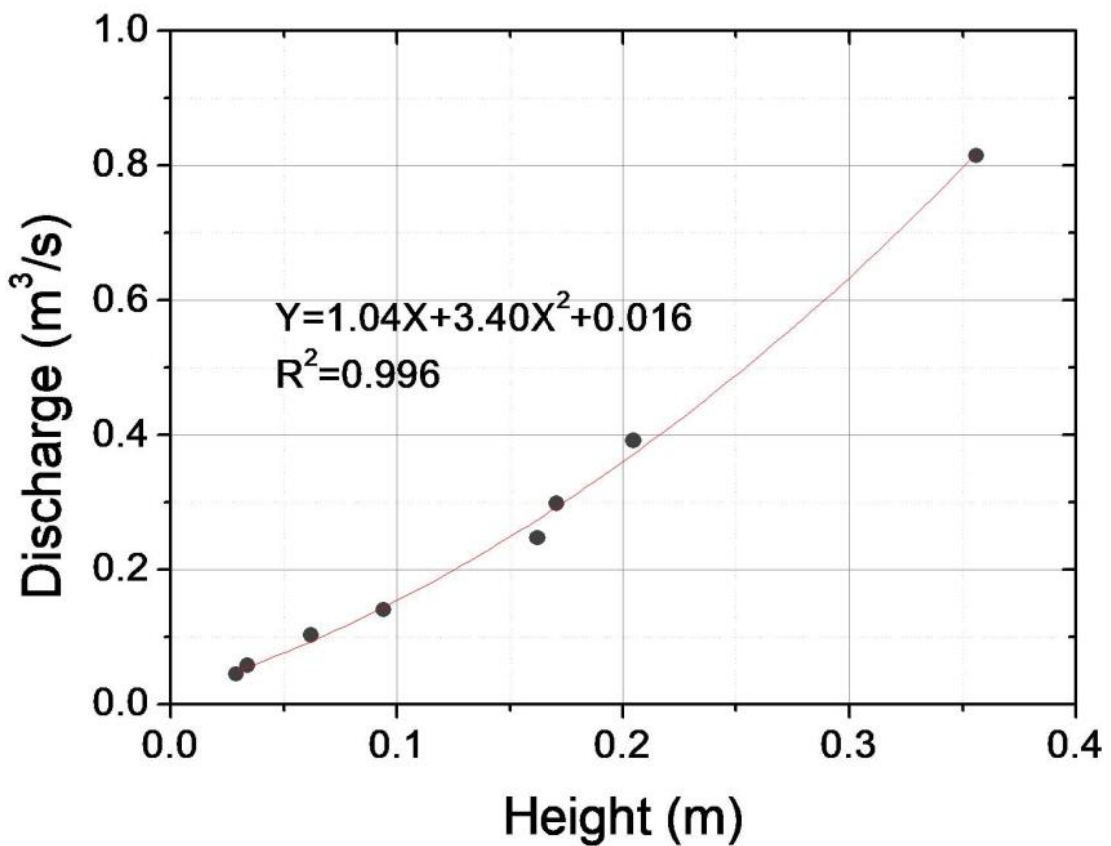
○ 유량 산정

- 8개의 수위-유량 자료를 관계식 산정에 활용함
- 수위는 0.029 m를 시작으로 0.356 m까지 변동함
- 대응 수위에 대해 유량은 0.045 m³/s로부터 0.81 m³/s까지 변동함
- 2번 하천 수위-유량 관계식

$$Y = 1.04X + 3.40X^2 + 0.016$$

<표 1-105> 조사시간 수위 및 유량

Time	Height	Discharge
18-8-28 14:33	0.356	0.814724
18-8-28 15:10	0.162	0.247163
18-8-28 15:13	0.205	0.391335
18-8-28 16:07	0.171	0.298344
18-8-28 16:40	0.094	0.140328
18-9-3 18:42	0.034	0.057707
18-9-3 19:35	0.029	0.044775
18-9-3 22:54	0.062	0.10274



(그림 1-110) 수위-유량 관계 산정 결과

(나) 저수지 내용적 측정

○ 기존자료 : 한국농어촌공사 농업기반시설 관리시스템(RIMS) 등록자료

○ 내용적 측정 : 2018. 6. 에 작성한 내용적 측량결과 자료 활용

※ 내용적측정은 "드론의 공사사업활용성 검토 및 시범적용(농어촌연구원, 2018)"과제로 수행함



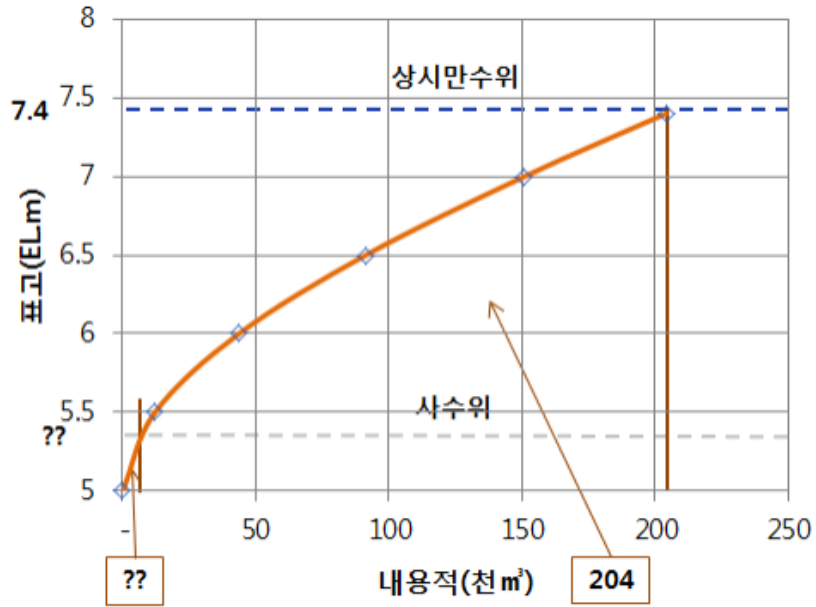
(그림 1-111) 농업기반시설(RIMS) 내용적 측량사진

<표 1-106> 농업기반시설 관리시스템(RIMS) 내용적

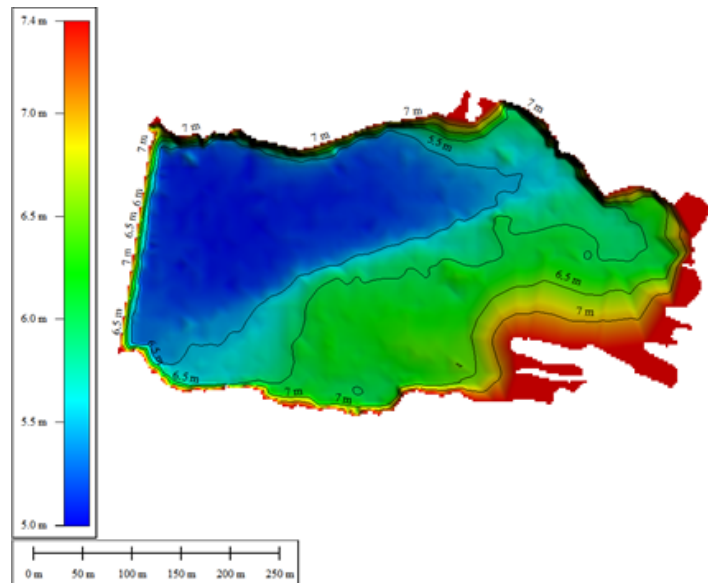
순번	표고 (EL.m)	고차(m)	면적(m ²)		내용적(m ³)		저수율 (%)	비고
			표고별	평균	구간별	누가		
1	4.5	0	12,655	6,327	0	908	0	사수위
2	5	0.5	44,470	28,562	16,070	16,979	5.67	
3	5.5	0.5	71,593	58,032	29,448	46,427	16.05	
4	6	0.5	98,715	85,154	42,205	88,632	30.92	
5	6.5	0.5	119,934	109,324	54,005	142,637	49.96	
6	7	0.5	141,153	130,544	64,826	207,463	72.82	
7	7.4	0.4	150,863	146,008	58,993	266,456	93.61	
8	7.53	0.13	153,291	152,077	18,121	284,577	100	만수위, 평수위
9	8.03	0.5	159,095	156,193	78,325	362,902	127.61	

○ 기존자료 총저수량 : 284,600m³

- 벼들저수지 내용적 측량 결과 총저수량 : 204,000m³



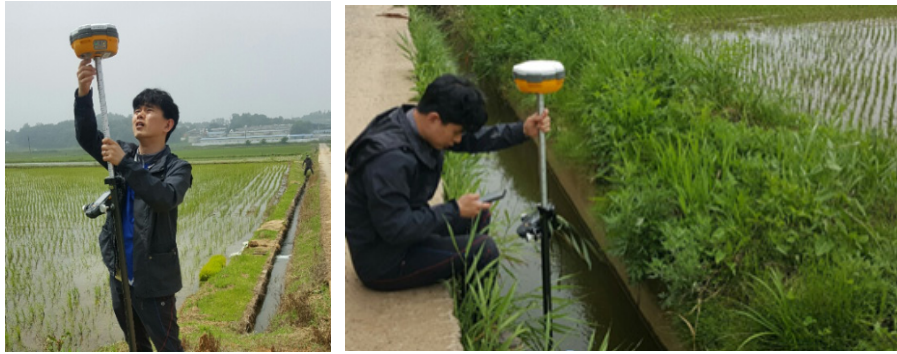
(그림 1-112) 버들저수지 내용적 분석



(그림 1-113) 버들저수지 내용적 곡선

(다) 기반시설(용수로) 통수능력

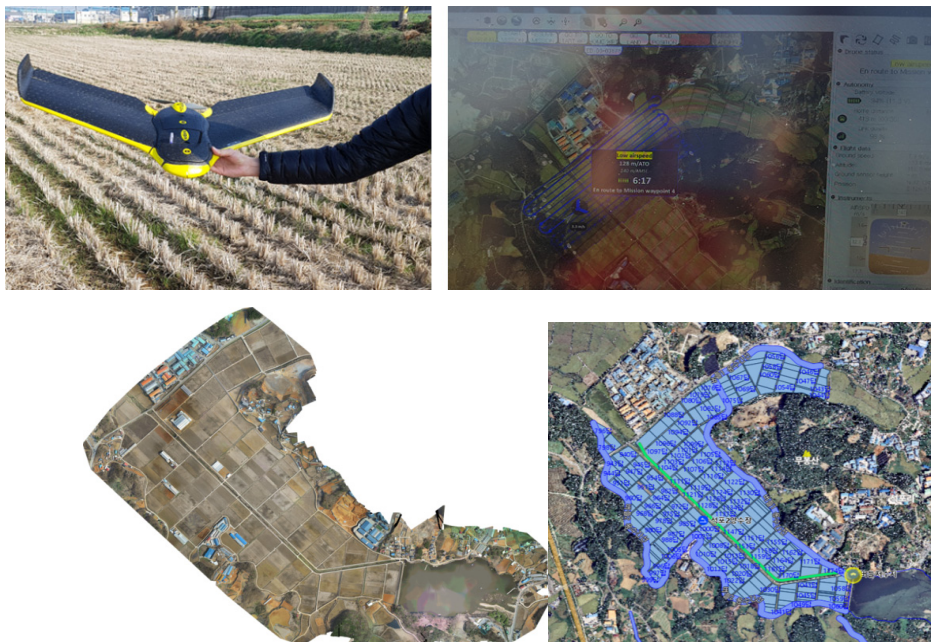
- 농업용수 공급수량에 영향을 미치는 용수로 통수능력 조사
 - 기준 설계통수능력 대비 현재 통수능력 분석
 - 분석결과 기존 용수로에 용수공급이 원활히 공급됨
 - 중간 분기점별 분수문 역할이 없어 필요이상의 용수가 공급됨



(그림 1-114) 용수로 통수능력 조사

(라) 농경지(수혜)면적 변화량 조사

- 농업용수 공급수량에 영향을 미치는 수혜면적 변화량조사
 - 드론측량을 통해 변화량 분석



(그림 1-115) 수혜면적 변화량 조사

- 당초 수혜면적 : 96ha (준공시 관개면적)
- 관리 수혜면적 : 85.5ha (관리 관개면적)
- 조사 수혜면적 : 73.8ha (일부관개지역이 논 → 기타 로 변경됨)

다. 시험지구 기후변화 노출 분석

(1) 강우변화량 분석

기후변화 영향평가 방법은 5년을 단위로 계획되어 있기 때문에 강우패턴의 변화가 농업생산 기반시설에 얼마큼 영향을 미치는지 파악하기 위해 시험지구를 대상으로 기후변화 노출인 강우패턴의 변화에 대해 어떻게 영향을 미치는지 분석하였다.

□ 5년 단위 월별, 분기별 평균 강수량 및 강우기여율 분석

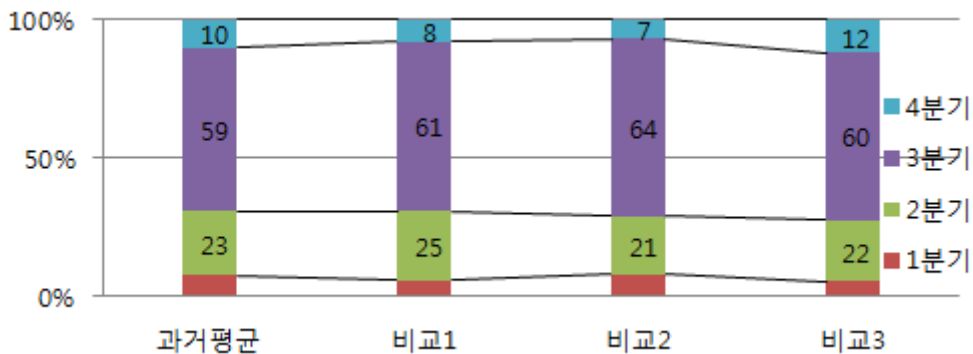
○ (기준) 1,292mm 대비 (비교1)1,292mm, (비교2)1,408mm, (비교3) 1,349mm

○ 강우분석 항목

- 기간이동 : 월별, 분기별 강수량 비교
- 공간이동 : 인접 강우 관측소간의 상대적 비교
- 강도이동 : 홍수기 최대강수량 비교

○ 강우의 기간이동 분석결과

- 과거평균 대비 총강수량은 많아지고 있음
- 5년단위 분기별 강수량은 과거평균과 비슷한 분포를 보이고 있음
- (2분기 강수량) 과거평균 대비 유사함 (3분기 강수량) 과거평균 대비 증가함



(그림 1-116) 5년 단위 분기별 강우분포율(%)

<표 1-107> 분기별 강수량 비교

단위 : mm

분기	과거평균	비교1	비교2	비교3
1분기	98	76	112	71
2분기	302	324	294	303
3분기	760	791	904	816
4분기	132	100	98	160
합계	1,292	1,292	1,408	1,349

* 과거평균(1967~2000), 비교1(2001~2005), (비교2)2006~2010, (비교3)2011~2015

- 2분기(4~6월) : 과거평균(23%) 대비 비교1(25%), 비교2(21%), 비교3(22%) 나타남
- 5년단위 구간별 강우 기간이동에 대해서는 변화폭 반영이 잘 안됨

- 1년 단위 4월, 7월 월평균강우량, 강우기여율 분석결과 변화폭이 상당히 큼

5년 기간 중 최대, 최소

월별	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
4월 강우량(mm)	13	152	182	64	86	60	24	42	45	59	186	126	70	56	99
4월 기여율(%)	1	12	12	5	6	4	2	3	3	4	9	7	6	5	13
7월 강우량(mm)	470	258	342	382	252	755	270	541	766	207	794	572	406	264	226
7월 기여율(%)	44	21	23	31	18	55	20	40	50	14	40	33	33	26	30

(그림 1-117) 1년단위 4 분기별 강우 기여율

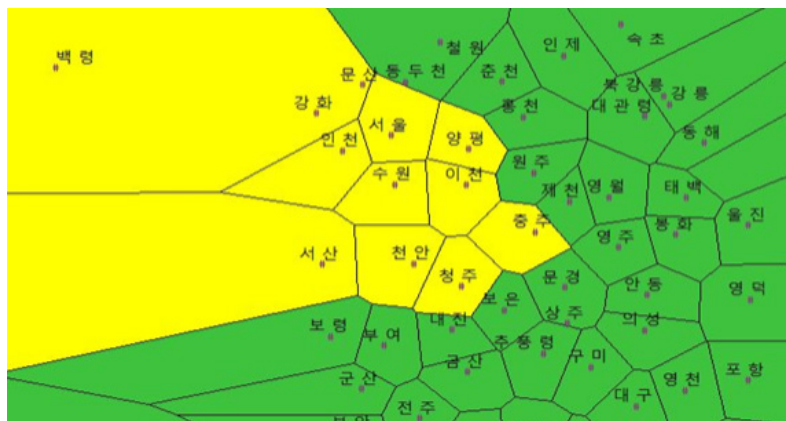
- 월별 평균강우량 구간 간 T-TEST(검정) 결과

- 기준 -비교1 : 7월 평균강우량 차이 발생(P=0.012) * P<0.05 이면 차이가 남
- 비교2-비교3 : 4월 평균강우량 차이 발생(P=0.025)

월별 강우량 비교	분석법	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
1967~2000(기준) 2001~2005(비교1)	평균값(비율, %)	1967~2000 2001~2005	1.900 1.422	2.048 2.320	3.707 2.914	6.376 6.215	7.275 6.687	10.039 9.000	24.329 32.958	23.493 18.677	10.402 9.773	4.548 3.957	3.985 3.832	1.899 2.245
	등분산검정 (f-test)	p-value	0.060	0.205	0.994	0.141	0.564	0.132	0.423	0.244	0.559	0.078	0.349	0.130
	등분산 여부								이분산					
	평균비교검정 (t-test)	p-value	0.268	0.637	0.283	0.909	0.640	0.625	0.012	0.143	0.784	0.630	0.862	0.419
	유의성 여부							자이가 남						
2001~2005(비교1) 2006~2010(비교2)	평균값(비율, %)	2001~2005년 2006~2010년	1.817 1.378	2.460 1.763	1.832 4.818	7.367 3.254	5.950 8.248	11.592 9.495	27.306 35.954	22.097 16.420	11.749 11.739	3.707 2.316	2.798 3.173	1.323 1.442
	등분산검정 (f-test)	p-value	0.430	0.521	0.007	0.010	0.407	0.364	0.329	0.561	0.821	0.173	0.899	0.953
	등분산 여부				이분산	이분산								
	평균비교검정 (t-test)	p-value	0.590	0.487	0.130	0.126	0.212	0.520	0.384	0.376	0.999	0.293	0.746	0.706
	유의성 여부													
2001~2005(비교1) 2011~2015(비교3)	평균값(비율, %)	2001~2005년 2011~2015년	1.817 1.259	2.460 2.299	1.832 2.052	7.367 8.171	5.950 5.141	11.592 8.367	27.306 32.284	22.097 18.143	11.749 8.022	3.707 5.061	2.798 6.153	1.323 3.048
	등분산검정 (f-test)	p-value	0.269	0.867	0.296	0.477	0.862	0.873	0.204	0.549	0.499	0.443	0.066	0.014
	등분산 여부													이분산
	평균비교검정 (t-test)	p-value	0.476	0.883	0.722	0.764	0.712	0.435	0.376	0.531	0.487	0.524	0.212	0.120
	유의성 여부													
2006~2010(비교2) 2011~2015(비교3)	평균값(비율, %)	2006~2010년 2011~2015년	1.378 1.259	1.763 2.299	4.818 2.052	3.254 8.171	8.248 5.141	9.495 8.367	35.954 32.284	16.420 18.143	11.739 8.022	2.316 5.061	3.173 6.153	1.442 3.048
	등분산검정 (f-test)	p-value	0.737	0.634	0.055	0.042	0.320	0.290	0.035	0.986	0.372	0.044	0.052	0.012
	등분산 여부				이분산	이분산			이분산			이분산	이분산	이분산
	평균비교검정 (t-test)	p-value	0.837	0.569	0.133	0.025	0.125	0.743	0.682	0.741	0.523	0.185	0.260	0.174
	유의성 여부				자이가 남									

○ 강우의 공간이동 분석결과

- 수원 강우관측소 인접 인천, 서울, 양평, 이천, 충주, 청주, 천안, 서산(8개소)에 강우가 이동했는지 여부 분석



- 월별 평균강우량 구간간 T-TEST(검정) 결과 강우 공간이동 유의성 없음 (P>0.05)

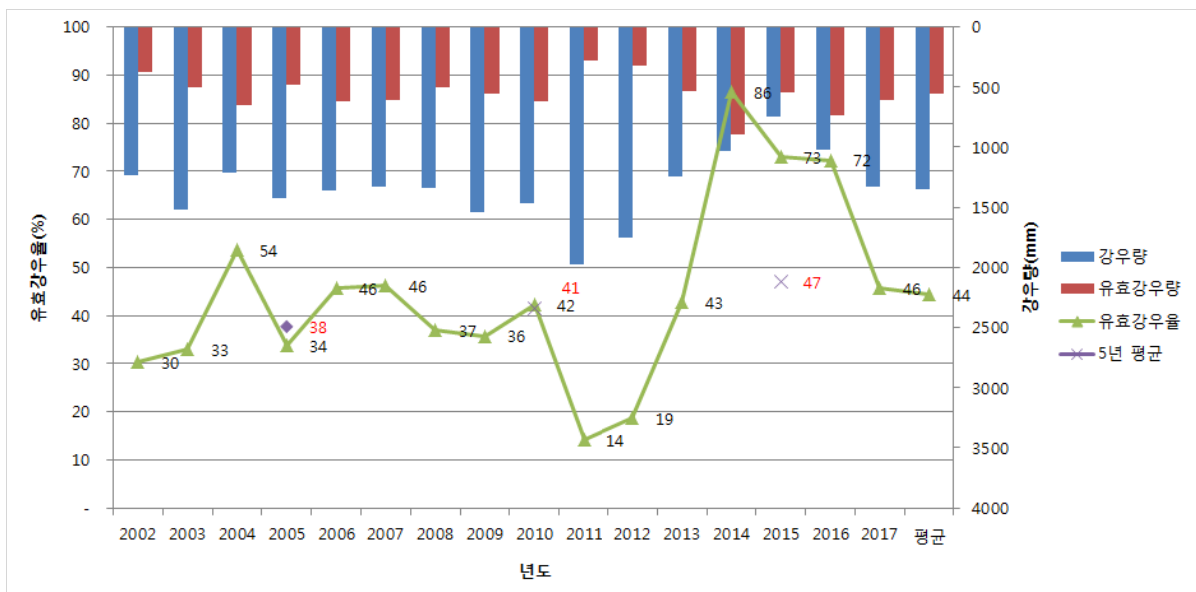
	수원	인천	서울	양평	이천	충주	청주	천안	서산	t	p-value	n
수원	1											9
인천	0.783888	1								18.0935	1.000	
서울	0.795807	0.872981	1							19.5100	1.000	
양평	0.049661	0.054718	0.057819	1						0.1691	0.129	
이천	0.043845	0.045143	0.047756	0.873365	1					0.1467	0.113	
충주	0.056777	0.053270	0.056265	0.674598	0.767835	1				0.1972	0.151	
청주	0.598865	0.507156	0.504372	0.040681	0.035589	0.049302	1			7.0066	1.000	
천안	0.041946	0.041183	0.042989	0.646706	0.743887	0.794660	0.039752	1		0.1396	0.107	
서산	0.044398	0.040599	0.047357	0.046129	0.047953	0.037995	0.055619	0.049096	1	0.1488	0.114	

(2) 농업생산기반시설에 영향을 미치는 강우기여율 분석

농업생산기반시설인 농업용저수지는 강우발생시 유역으로부터의 유출과 저수지수면으로 공급되는 직접강우에 의해 수위가 상승되고 수위가 만수위에 도달하면 물넘이를 통해 하천으로 방류된다. 강우기여율이란 저수지가 수위가 만수위가 아닐 때 발생한 강우량의 비율을 의미한다. 강우변화 분석만으로는 기반시설에 미치는 영향의 객관화가 부족하여 강우가 농업생산기반시설에 미치는 영향 정도의 직접 요인으로 강우량 대비 저수지 저수율을 분석하였다.

□ (수원관측소) 강우량 대비 저수율 비교

- 년도별 만수위가 아닐 때 내린 강우량(저수지에 유효한 강우량)
- 강우변화량에 대한 민감도 분석결과
 - 2001~2010 : 강우기여율 38 ~41%
 - 2011~2017 : 강우기여율 47%



(그림 1-118) 농업생산기반시설에 영향을 미치는 강우기여율

- 강우기여율이 높을수록 저수지에 농업용수가 부족함을 나타냄
- 강우기여율이 30~40% 정도일 때는 농업용수 공급이 풍부하였음을 나타내고 있으나 2014년도의 경우는 86%까지 강우 기여율이 높아 짐
- 실제 가뭄 발생시기는 2014~2016년도 이었으며 「강우-강우기여율」이 기후변화에 대한 민감도 분석이 영향지표로 이용할 수 있음을 보여줌

(3) 농업생산기반시설에 영향을 미치는 증발산량 변화량

시험지구 지배관측소인 수원관측소 기상자료를 이용하여 수정 Penman, Penman-Monteith 증발산량 산정 공식을 이용하여 기후변화 노출분석을 수행하였다.

□ (수원관측소) 강우량 대비 유효우량 변화량(공급량), 소비수량 변화량(수요량) 분석

○ 자료수집 및 분석기간

- 기상자료수집 : 수원(ASOS), 운평(AWS)
- 분석기간설정 : 기준(1967~2000), (비교1)2001~2005, (비교2)2006~2010, (비교3)2011~2015

○ 년도별 유효우량 및 소비수량 산정 결과

- 유효우량 : 강우에 의한 직접공급량 (공급량 : 유효우량 + 인공적으로 공급하는 수량)
- 소비수량 : 논에서 소비되는 수량 (수요량 : 증발산량 + 침투량 + 재배관리용수량)

년도	강우량 (mm)	유효우량 (mm)	Penman (mm)	P. Monteith (mm)	실제증발산량 (mm)	소비수량(mm)
2001	1,067	413	700	238	765	1,547
2002	1,232	499	668	234	716	1,495
2003	1,515	710	617	188	660	1,449
2004	1,217	558	680	220	746	1,533
2005	1,428	605	669	212	715	1,498
비교1	1,292	557	667	218	721	1,505
2006	1,363	547	673	217	732	1,522
2007	1,325	580	612	186	657	1,444
2008	1,343	670	638	201	688	1,480
2009	1,541	531	646	217	706	1,490
2010	1,471	656	599	166	651	1,448
비교2	1,408	597	633	197	687	1,477
2011	1,976	615	598	176	645	1,434
2012	1,748	530	686	219	746	1,531
2013	1,240	591	635	196	693	1,487
2014	1,029	560	674	229	719	1,501
2015	750	298	718	257	775	1,555
비교3	1,349	519	662	215	716	1,502

○ 강우량 대비 유효우량 관계

- 유효우량 비율 : (과거 300~400mm) 대비 최소(298, 2015), 최대(615, 2011)
- 유효우량 작아지면 인위적 공급수량이 많아 저야함

○ 강우량 대비 소비수량 관계

- 증발산량 비율 : (과거 440~550mm) 대비 최소(645, 2011), 최대(775, 2015)
- 증발산량이 커지면 인위적 공급수량 많아 저야함

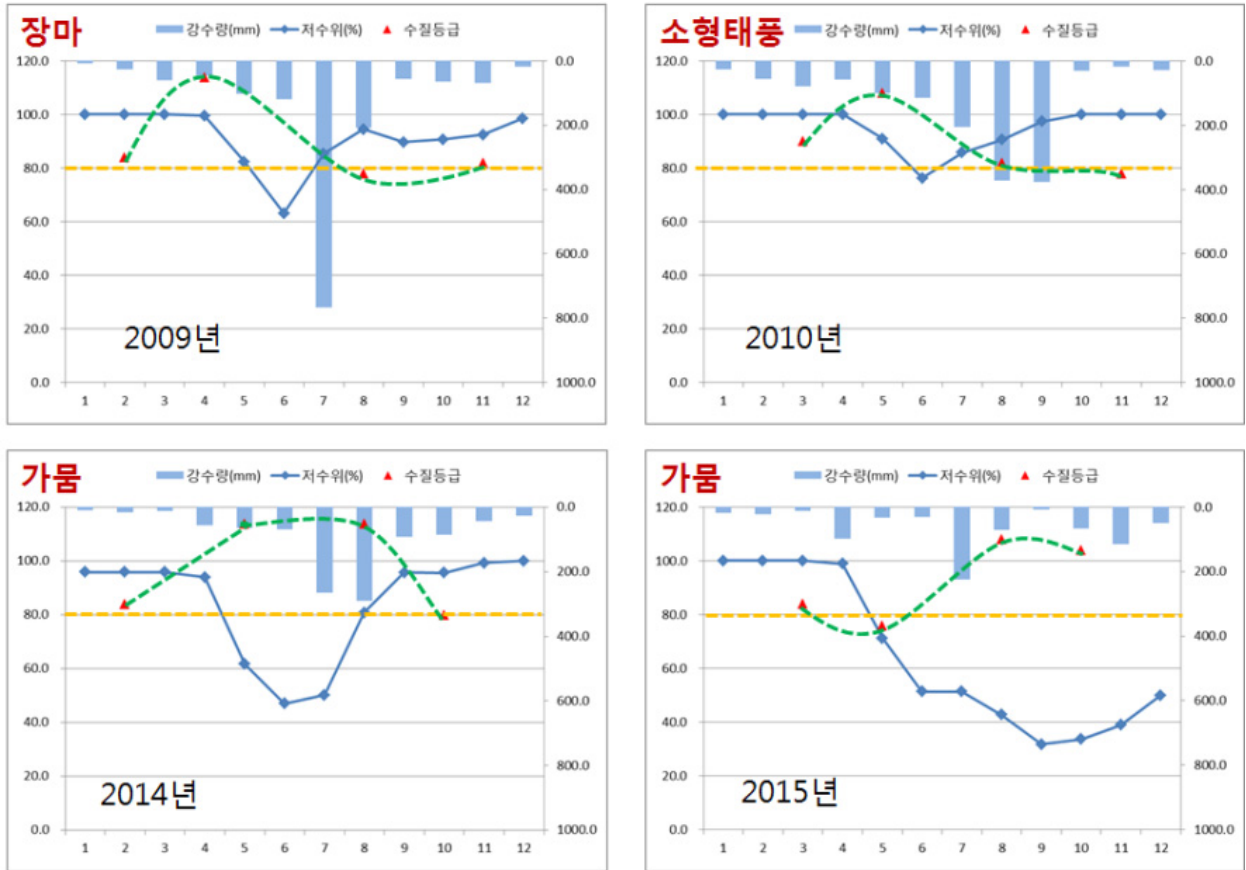


(4) 농업생산기반시설에 영향을 미치는 수질 변화량

버들저수지 수질관측망 자료를 활용하여 강우량 대비 저수지 수질변동성을 분석하였다.

○ 강우량 대비 저수지 수질 관계

- 분석결과 강우량의 변동에 매우 영향이 많음을 보여줌
- 실제 2009년도에 장마영향으로 수질등급이 좋아졌고, 태풍이 발생한 2010년도는 태풍 발생이후 수질등급이 좋아졌음
- 가뭄이 발생한 2014년과 2015년에 수질등급이 수질기준을 초과하는 상태로 나타남
- 「강우량-수질」 변화량은 농업용수 공급수량에 영향을 미치는 인자로 기후변화에 대한 민감도 분석의 영향지표로 이용할 수 있음을 보여줌



(그림 1-119) 버들저수지 년도별 강우-수질상태 변화량

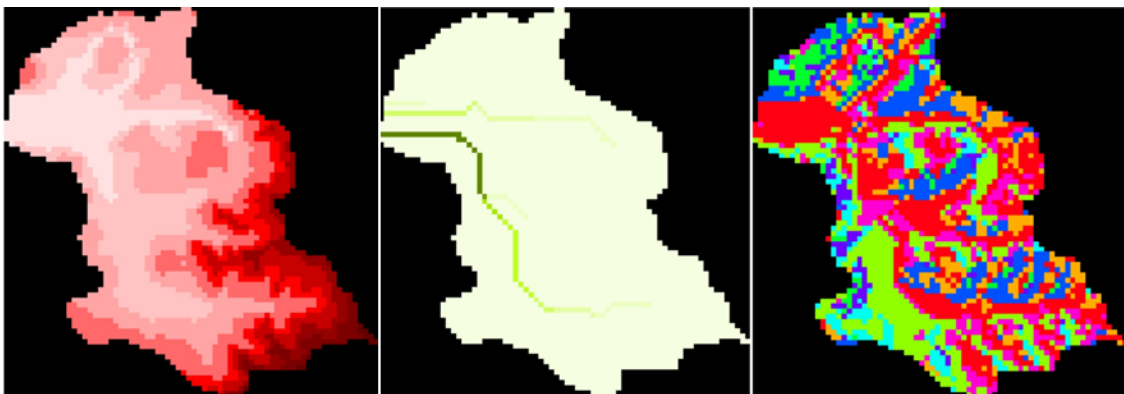
(5) 농업생산기반시설에 영향을 미치는 유역상황 변화량

강우발생시 저수지로 유입되는 과정은 「강우 → 유역 → 저수지」로서 기후변화로 인한 저수지 유입량 변화량과 홍수발생시 유역으로부터의 직접유출량(홍수량) 변화량을 분석하였다.

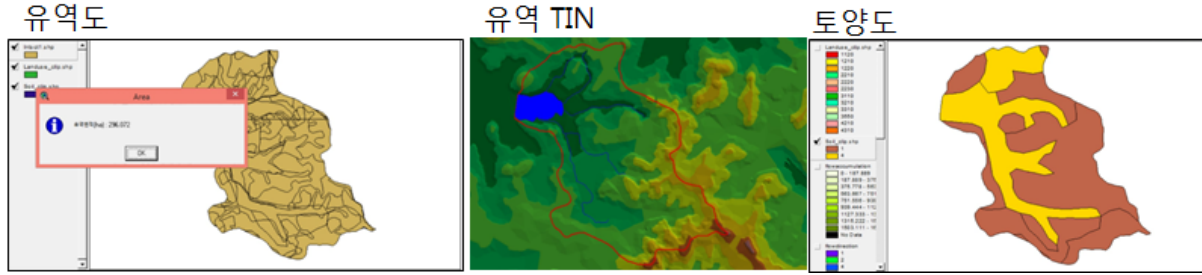
○ 분석자료 생성

- 기준, 비교 년도별 토지이용도 작성

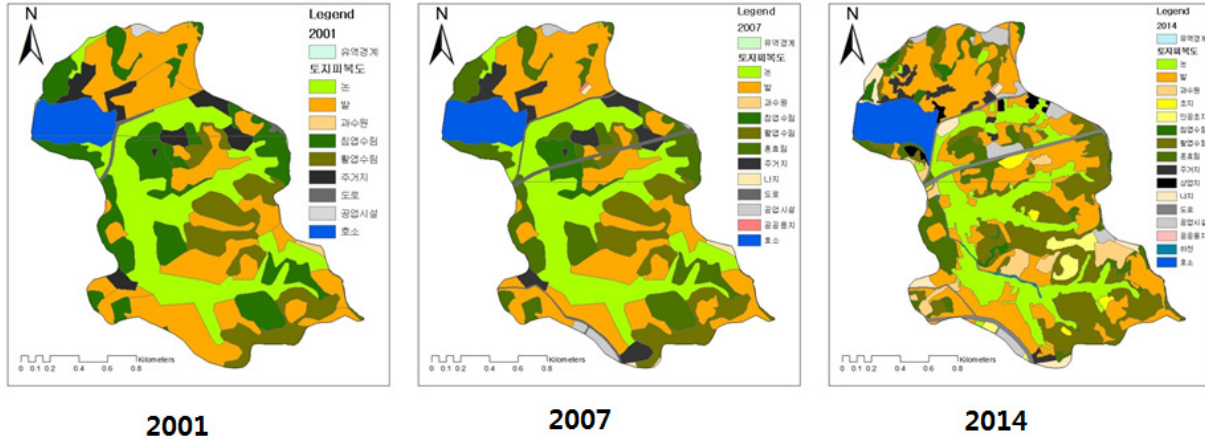
* 토지이용 자료수집 : 기준(2001, 국토부), 비교 1(2007, 환경부), 비교 2(2014, 환경부)



(그림 1-120) DEM을 이용한 물흐름도 작성



(그림 1-121) 유역 하천 추출 및 토양도 추출



(그림 1-122) 년도별 유역 토지이용도 추출

○ 저수지 유입량 변화량

- 유입수문곡선 : TANK 모형(임야, 논, 밭)
- 유입량 실측을 통한 모형 매개변수 검정

* 유입량 자료조사 : 유입하천수위 자동수위계 2개소 운영

- 토지이용 변화별 유입량 모델링(2014년도 기준)
- 분석결과

- 2001→ 2007 : 임야 줄고 밭(대지) 많아짐 : 유출량 비슷하거나 조금 감소
- 2007→ 2014 : 논 줄고 밭(대지) 많아짐 : 유출량 많아짐
- 저수지 유입량은 많아 졌으나 저수지 내용적이 줄어들어 이수측면 안전성이 취약함

토지이용변화(%)

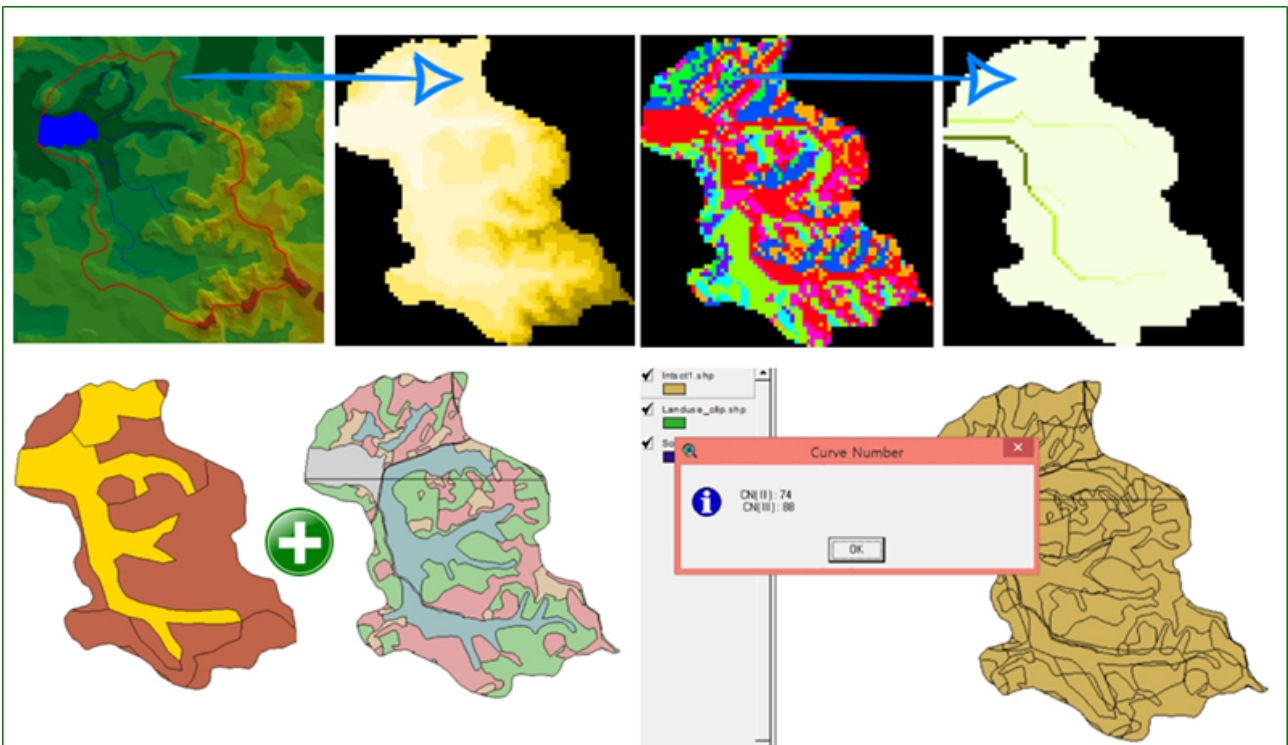
년도	유역 면적(ha)	소유역 1	소유역 2	소유역 3
		65.3	43.5	187.2
2001	논	3	33	30
	밭(대지)	50	10	31
	임야	47	57	39
2007	논	3	33	30
	밭(대지)	48	9	28
	임야	47	58	42
2014	논	1	22	22
	밭(대지)	42	27	32
	임야	57	51	46

유출량변화(천m³)

년도	전체	소유역 1	소유역 2	소유역 3
		65.3	43.5	187.2
2014	1,625	506	190	929
2014	1,608	505	188	916
2014	1,791	505	249	1,037

○ 저수지 홍수량 변화량

- 토지이용자료별 직접유출곡선지수(CN) 산정을 통해 홍수시 직접유출량 변동성 파악
- 분석결과 (직접유출율)
 - 2001, CN(AMC-III) : 88 , 2007, CN(AMC-III) : 89, 2014, CN(AMC-III) : 90
- 유출량이 과거에 비해 많아진 것으로 파악됨
 - * 논, 임야 비율이 줄고 밭, 대지 비율이 커짐
- 토지이용변화에 따라 직접유출률이 커짐에 따라 치수측면에서 홍수에 취약함



3. 기후변화에 대한 농업생산기반시설의 적응방안 연구

가. 농업생산기반시설의 적응성 평가항목 수립

기후변화에 대한 대책들이 실행되지 않는다면, 향후 지구상의 모든 국가들은 심각한 환경적 변화에 의해서 농업, 건강, 해수면상승, 노동력부족, 질병전염 등과 같은 다양한 사회-경제적 분야에서 위기에 직면할 수 있다. 그러므로 지역에서 따른 기후변화에 대한 취약성을 판단할 수 있어야 하고, 그 다음 단계로 그 하부 영역들에 대한 취약성 정도가 파악 되어야 한다.

이러한 측면에서 농업분야에 대한 취약성 분석 이후에는 농업 세부분야에 대한 취약성 정도가 파악되어야 하는데 농업생산기반시설들은 농업의 세부분야이기도 하지만 국가기간시설의 하나라는 측면에서도 그 중요성이 간과되어서는 안 된다.

일반적인 토목 구조물들은 사회기간시설로서 주로 토사와 시멘트 콘크리트로 축조되고 장기간 운용되는 것이 일반적이므로 최근의 기후변화 현상에 대해서 직접적인 영향을 받는 대상이 되고 있다. 특히 농업생산기반시설물들은 주로 수리시설물들이기 때문에 기후변화에 따른 강우량 변화, 태풍, 폭염, 한발 등의 이상 기상현상에 가장 민감하게 영향을 받는 구조물이다.

한편 기상이변 현상에 대해서 기존의 농업생산기반시설물들이 견딜 수 있는 능력은 여러 가지 용어로 표현이 가능하지만 ‘적응성(adaptability)’이라는 용어를 많이 사용하고 있다.

적응성의 정확한 의미는 1) 우선 기후변화 조건에서 기존의 각종 농업생산기반시설물들이 큰 기능적 손상을 입지 않고 견딜 수 있는 능력과 2) 향후 기후변화의 영향을 완화하기 위한 정책적 혹은 사회적 수단의 개발을 말하는 것이다(Fenech et al., 2004).

즉 적응성 평가항목들은 주로 현재의 상태와 향후 기후변화에 따른 영향을 최소화 할 수 있는 사회, 경제, 자연생태계 요소들을 정량화하여 취약성 평가과정에 이를 반영하는 것이다. 그러나 기후변화에 따른 영향을 완화하기 위한 수단의 개발은 국가적 차원의 문제이다. 따라서 본 연구에서는 최근의 기후변화 현상에 대한 기존 농업생산기반시설물들의 적응성을 평가하는 방안을 분석하였다.

기후변화가 농업생산기반시설물에 영향을 미치는 형태는 1) 점진적인 기상현상의 변화로 의한 영향과 2) 이상 기상현상의 발생의 변동성이 커지고 그로 인한 가능성이 증가하는 경우이다 (Aldu & Maciver, 2004). 그러나 현재까지 미래 기후변화가 기존 시설물들에 미치는 영향의 정도를 예상하기에는 이와 관련된 지식이 매우 제한적이며 자료가 많이 부족하다.

기후변화가 기존 시설물들에 미칠 수 있는 영향은 1) 안정성, 2) 기상재해의 가능성, 3) 미래 설계기준과 시공법, 그리고 4) 시설물 노화현상 촉진 구분할 수 있다. 그러나 미래 기후변화에 대한 예측과정에는 많은 불확실성이 내제되어 있으며 이는 지역적으로도 다르게 나타날 것이다.

따라서 기존 시설물들의 적응성을 판별하기 위해서는 현재 수준에서 가용한 자료들을 최대한 활용하여 비교적 근사하게 예측이 가능한 평가방안을 수립하는 것이 중요하다.

농업생산기반시설물은 사회간접기반 시설물로서 적응성 판정을 위해서는 다음과 같은 사항들을 충분히 고려할 필요하다.

- 사회간접자본시설들은 공용연수가 김(50~60년)
- 각 기존 시설물들의 상태가 일정하지 않은 문제점
- 기존 구조물들에 대한 점검과 보수가 모든 구조물들이 일률적으로 이루어지지 못함
- 구조물 자체의 안전성과 별개로 구조물의 설치위치도 적응성 평가에 중요한 요소
- 주변의 토지이용상황이 구조물의 적응성에 영향을 미침

(1) 이상기후가 농업생산기반시설들에 미치는 영향

이상기상(weather extreme)에 의한 시설물들의 적응성을 판정하는 하는 일은 간단하지 않은 작업이다. 우선 이상기상의 정확한 기준설정이 어렵다. 기상요인들이 강우와 강설, 풍속, 기온, 습도, 일조량, 자외선(UV)량 등으로 다양한데 이러한 기상요인들은 구조물에 동상(frost depth penetration), 동결-융해, 습윤-건조, 화학적 풍화작용 등을 일으킬 수 있다.

기상요인에 의한 구조물의 손상은 급작스러운 경우도 있지만, 대부분은 서서히 진행되다가 파괴에 도달하는 과정을 거친다. 특히 대부분의 구조물은 수분과 접촉하는 부위에서 구조물의 노후화 혹은 손상 가능성이 높다. 특히 구조물에 수분이 장기간 저류되는 경우에는 그 정도가 더 심해질 수 있다. 따라서 기상인자별로 그 노출량이 얼마인 경우에 시설물에 얼마만큼의 손상을 야기하는지, 재산상의 피해를 어떻게 정량화 해야 하는지에 대한 명확한 기준을 정하기가 곤란하기 때문이다. 따라서 단순히 ‘일강우량이 얼마 이상인 경우의 특정 시설물의 기후변화에 대한 적응성을 구한다’는 설정은 사실상 그 해답을 찾기가 어렵다. 그 보다는 기후변화의 특징, 시설물의 이력 및 현재의 관리상태 등의 자료들은 모두 고려하여야만 시설물의 적응성 판정이 가능할 것으로 판단된다. 우리나라는 여름철 우기와 6~9월 태풍의 영향을 받는 시기에 현저하게 강우량이 증가하게 되고, 이 기간 동안 농업생산기반시설들의 피해가 집중되고 있다. 또한 다음 <표 1-108>과 <표 1-109>는 2011년부터 2016년까지 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 시설물들에 대한 자연재해 피해자료를 정리한 것이다. 이 표들에서는 이상기후에 의한 우리나라 농업생산기반시설물들의 피해 특성을 파악할 수 있다.

<표 1-108> 지역본부별 시설별 자연재해에 의한 농업시반시설의 피해 개소수 (2011~2016)

지역본부	저수지		양배수장		취입보		용배수로	
	관리개소	피해개소	관리개소	피해개소	관리개소	피해개소	관리연장 (km)	피해개소
경 기	121	24 (19.8%)	350	31 (8.9%)	134	20 (14.9%)	12,340	513 (4.2%)
충 북	94	0 (0.0%)	122	1 (0.9%)	239	4 (1.7%)	8,459	100 (1.2%)
충 남	221	11 (5.0%)	501	28 (5.6%)	415	15 (3.6%)	15,460	254 (1.6%)
전 북	416	20 (4.9%)	578	33 (5.7%)	623	21 (3.4%)	15,798	412 (2.6%)
전 남	1,045	3 (0.3%)	746	7 (0.9%)	854	3 (0.4%)	19,321	105 (0.5%)
경 북	667	6 (0.9%)	749	4 (0.5%)	654	5 (0.8%)	11,595	129 (1.1%)
경 남	625	3 (0.5%)	742	30 (4.0%)	761	3 (0.4%)	11,325	56 (0.5%)
합 계	3,189	67 (2.1%)	3,788	134 (3.5%)	3,680	71 (1.9%)	94,298	1,596 (1.7%)

(* 강원도, 제주도와 금강사업단 자료는 미포함)

시설별 피해 개소수는 용배수로(1,596km)가 전체피해 발생개소수의 85%정도를 차지하고 있어, 주로 피해가 용배수로에서 집중적으로 발생되고 있음을 알 수 있었으며, 나머지 시설들의 피해발생 개소수에는 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 지역별로 발생비율을 보면 대부분의 시설들이 지역별로 관리시설들의 1% 미만으로 피해가 발생되고 있는 것으로 나타나고 있다. 물론 시설물별로 전체평균은 1.7%~3.5%까지 나타나고 있지만, 이는 피해가 많이 발생되고 있는 지역들에서 발생비율이 상대적으로 높게 나타나고 있기 때문에 평균값을 높인 것으로 판단된다. 피해액도 용배수로(149억원), 취입보(63억원), 저수지(55억원) 순으로 나타나 용배수로에서 피해액이 다른 시설물의 3배이상 높은 것으로 나타났다. 피해액이 가장 많이 발생되었던 용배수로의 피해는 1,596km인데, 7개 도본부에서 관리하는전체 용배수로 길이가 94,298km이었으므로 5~6년간 전체관리 용배수로의 1.7%정도가 피해를 입은 것으로 볼 수 있다. 한편 저수지는 7개 도본부에서 관리하고 있는 전체 저수지 3,189 (전체는 3,372)개소 중에서 67개소가 피해를 입어 관리 저수지 전체의 2.1%정도에서 피해가 발생된 것으로 나타났고, 양배수장은 7개 도본부에서 관리중인 양배수장, 배수장, 양수장 전체 3,788(전체는 4,245)개소 중 134개소로 3.5%정도, 취입보는 7개 도본부에서 관리중인 전체 3,680개소 중 71개소 전체의 1.9%정도에서 피해가 발생된 것으로 나타났다.

즉 최근까지 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 수리시설물에서 자연재해에 의한 피해발생 비율은 전체 관리시설의 1.7~3.5% 정도 인 것으로 나타났는데, 여기서 적응성의 정도를 이 정도 평균값을 기준으로 낮음, 보통, 높음으로 구분해도 되는 것인가 아니면 앞서 언급한 바와 같이 피해발생 개소수의 비율이 관리중인 시설수의 1%미만이면 적응성의 기준으로 설정이 가능한 지에 대한 검토가 필요하다. 이 기준설정은 적응성 평가에서 매우 중요한 값으로 제공될 수 있다. 그러나 이를 결정하기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 관련 자료가 아직은 제한적이라서 명확한 기존의 통계학적인 방법으로는 한계가 있어 다른 대안을 고려해야 한다.¹⁶⁾

<표 1-109> 지역본부별 유지관리시설물 개소수 및 재해발생 피해액 (2011~2016) (단위: 천원)

도본부 (합계액)	저수지		양배수장		취입보		용배수로	
	피해개소	피해액 (1개소당)	피해개소	피해액 (1개소당)	피해개소	피해액 (1개소당)	피해연장 (km)	피해액 (1km당)
경기 (11,441,373)	24	4,318,802 (179,950)	31	256,594 (8,277)	20	1,004,704 (50,235)	513	5,830,333 (11,365)
충북 (240,419)	0	-	1	963	4	752,312 (188,078)	100	240,419 (2,404)
충남 (2,928,559)	11	228,211 (20,747)	28	690,862 (24,674)	15	274,257 (18,284)	254	2,928,559 (11,530)
전북 (1,936,462)	20	677,995 (33,900)	33	988,481 (299,54)	21	2,750,708 (130,986)	412	1,936,462 (4,700)
전남 (637,319)	3	79,192 (26,397)	7	171,738 (24,534)	3	31,732 (10,577)	105	637,319 (6,070)
경북 (346,455)	6	11,917 (1,986)	4	31,000 (7,750)	5	1,107,190 (221,438)	129	346,455 (2,686)
경남 (2,045,192)	3	167,803 (55,934)	30	943,662 (31,455)	3	399,427 (133,142)	56	2,045,192 (36,521)
합계	67	5,483,920 (81,850)	134	3,083,300 (23,010)	71	6,320,330 (89,019)	1,596	13,964,739 (8,750)

(* 강원도, 제주도와 금강사업단 자료는 미포함)

<표 1-110>은 발생 개소수를 기준으로 한 것인데, 경기지역본부는 저수지, 양수장, 용배수로에서 피해 발생건수 1위가 가장 많았으며, 양배수장은 충청남도본부, 취입보는 전북도본부가 1위로

16) 자세한 내용은 '다. 적응성평가기법 선정 및 우선순위 도출방안 수립'에서 자세히 다루기로 한다.

나타났다. 피해액을 기준으로 하면, 경기도본부는 저수지와 용배수로에서만 1위로 나타났으며, 전북도본부가 취입보뿐만 아니라 양배수장에서 1위로 나타났다. 양수장 피해액은 경남도본부가 1위인 것으로 나타나 피해 개소수를 기준으로 했을 때와는 차이를 보였다. 그러나 전체적으로 경기, 전북, 충남, 경남지역에 피해가 집중되고 있다는 사실을 알 수 있다.

<표 1-110> 도본부별 유지관리 시설들 피해 개소수의 표준화(Re-scaling method)

시설별	저수지	양배수장	양수장	취입보	용배수로
경기	1.0000	0.1053	1.0000	0.9524	1.0000
강원	0.0417	0.0000	0.0000	0.0000	0.0488
충북	0.0000	0.0000	0.0345	0.1905	0.1934
충남	0.4583	1.0000	0.3103	0.7143	0.4941
전북	0.8333	0.5789	0.7586	1.0000	0.8027
전남	0.1250	0.1053	0.1724	0.1429	0.2031
경북	0.2500	0.1053	0.0690	0.2381	0.2500
경남	0.1250	0.5263	0.6897	0.1429	0.1074

<표 1-111> 도본부별 유지관리 시설들 피해액의 표준화(Re-scaling method)

시설별	저수지	양배수장	양수장	취입보	용배수로
경기	1.0000	0.0044	0.3886	0.3653	1.0000
강원	0.0195	0.0000	0.0000	0.0000	0.0199
충북	0.0000	0.0000	0.0015	0.2735	0.0000
충남	0.0528	0.8809	0.1314	0.0997	0.4809
전북	0.1570	1.0000	0.4622	1.0000	0.3034
전남	0.0183	0.0655	0.1942	0.0115	0.0710
경북	0.0028	0.0000	0.0475	0.4025	0.0190
경남	0.0389	0.4239	1.0000	0.1452	0.3229

따라서 기후변화에 따른 농업생산기반시설물들의 적응성을 평가하기 위해서 적용해야 할 항목들을 선별하는 작업이 매우 중요하며, 이를 위해서 우선 지난 2년간의 연구결과들에 근거해서 기상인자들 중에서는 강우량의 지역별 특성과 최근의 변동성을 분석하여 지역별 상대적인 차이 등을 반영할 수 방안의 수립이 필요하다. 또한 기상인자 중에서 태풍의 영향을 정량화할 수 있는 방안의 수립 그리고 시설물별 적응성 평가방안의 수립도 필요한 사항이다.

(2) 강수량이 농업생산기반시설들에 미치는 영향

앞에서 언급한 바와 같이 기후변화로 인해 기존 시설물들에 영향을 줄 수 있는 대표적인 인자는 강수량이다. 그런데 강수량의 특징을 나타낼 수 있는 인자들도 상대적으로 너무 많다. 즉, 시강우량, 일강우량, 강우강도, 강우지속시간, 강우일수 등으로 실제로 어떤 인자를 사용할지를 결정하는 것도 용이한 작업은 아니다. 다만 최근 위해성조사들에서는 일강우량 기준으로 80mm/day 이상인 일수를 많이 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서도 최근 30(1988~2017)년간 기상관측자료가 확보되어 있는 기상관측소 54개소[그림 1-123 참조]의 일강수량 자료를 정리/분석하여, 이를 기상관측소가 소재한 광역시도별로 평균값(혹은 최대값)을 구하여 [표 1-112]에 정리하였다. 특히 표에서는 해당지역의 기상관측소들의 최대 일강우량, 평균 일강우량, 강우량 구간별(10mm이하, 10~20mm 이하, 50~80mm 이하, 80~300mm 이하, 300~500mm 이하 그리고 500mm 이상으로 구분) 발생 일수를 조사하여 평균값을 정리하였으며, 특히 마지막 칸에는 일강우량 80mm/day 이상 발생일수를 합산하여 30년간 총 일강우 발생일수에 대한 비율을 구하여 정리하였다.

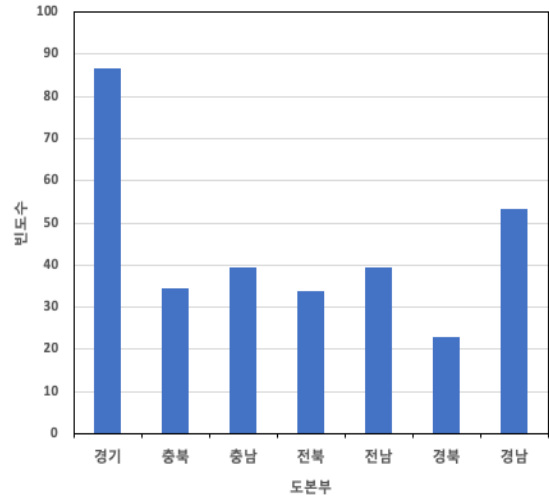
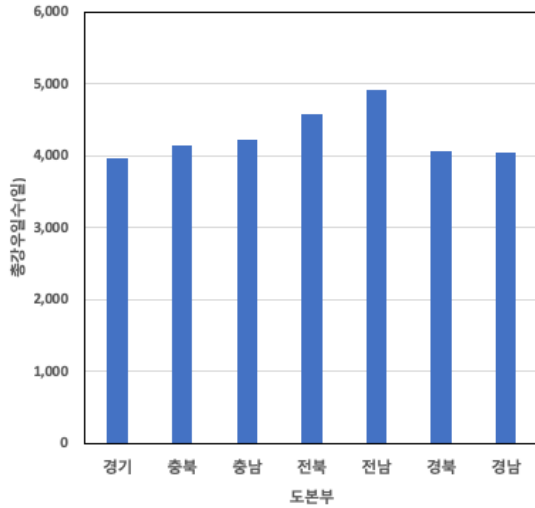


(그림 1-123) 기상관측소 위치도

<표 1-112> 광역 지역별 일강수량 평균값 분석 결과 (1988년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일)

도본부	총강우일수	최대 일강수량 (mm/day)	평균 일 강수량 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수							80mm이상 발생회수 (비율)
					10mm 이하	10 ~ 20 이하	20 ~ 50 이하	50 ~ 80 이하	80~300 이하	300~ 500 이하	500 이상	
경기	3937.7	343.0	10.5	544.1	3013.5	387.3	373.3	112.8	85.5	1.2	0.0	86.7 (2.2%)
충북	4153.6	304.0	9.5	376.3	3152.4	424.4	414.8	127.8	34.4	0.2	0.0	34.6 (0.8%)
충남	4227.8	264.6	9.3	387.2	3247.5	413.8	392.2	133.3	39.2	0.2	0.0	39.3 (0.9%)
전북	4580.0	420.0	9.4	348.0	3267.0	459.3	418.3	135.4	33.3	0.4	0.0	33.7 (0.7%)
전남	4913.0	404.0	10.1	442.7	3043.4	419.1	401.1	150.1	38.6	1.0	0.0	39.6 (0.8%)
경북	4062.0	516.4	9.2	324.3	2879.8	412.9	393.0	119.3	22.7	0.1	0.1	22.9 (0.6%)
경남	4041.0	439.0	12.4	586.3	2609.6	417.7	465.9	174.0	52.4	1.1	0.0	53.5 (1.3%)

표에서는 지역별로 지난 30년간 일강우 발생일수가 가장 많은 지역은 전남 4,913회로서 1년을 365일로 가정했을 때, 총10,950일 중 일강우 발생비율은 44.9%이었다. 그 다음으로 전북(4580회)과 충남(4227.8회)의 순으로 나타났다[(그림 1-124) 참조].



(그림 1-124) 30년간 지역별 총강우일수 (그림 1-125) 30년간 일강수량 80mm이상 일수

그러나 일강우량이 80mm/day 이상인 경우에는, 경기지역이 86.7회로서 가장 많았으며, 경기지역에 위치한 기상관측소들의 평균 총 일강우발생일수가 3973.7회이므로 일강우량이 80mm/day 이상 발생하는 일수는 총 일강우발생일수의 2.2% 수준으로 나타났다.

그 다음으로 경남 53.5회(1.3%), 전남 39.6회(1.2%) 그리고 충남 39.3(1.3%) 순으로, 단순히 총 일강우발생일수의 결과와는 다른 경향을 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향들이 기존에 기상재해의 영향으로 지역별로 발생된 피해들과 어떠한 관련성을 가지는지를 살펴보는 것은 앞서 언급한 시설물들의 적응성을 평가하는 인자로서 활용성을 살펴보는 중요한 과정이 될 것이다.

다음 <표 1-113>은 최근 10년간 지자체별 자연재해에 의한 피해액을 표준화하여 그 순위로 나타낸 것이다. <표 1-114>은 최근 5년간 한국농어촌공사 관리 시설물들 대상으로 자연재해에 의한 피해액과 그 표준화값을 지역본부별로 정리한 것이다. 이 표들에서는 전남, 경기, 경남, 충남 그리고 전북지역 등이 피해가 컸던 지역으로 포함되었다. 이는 앞서 살펴본 총일강우발생일수와 일강우량 80mm/day이상 발생일수에서 상위에 있었던 지자체의 자료와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 총일강우발생일수가 높았던 경북, 충북지역은 이들 지역보다는 하위에 있었

으며, 일강우량 80mm/day 이상 발생일수의 비율(이하 '80DP%'로 표기)이 이들 지역들의 특성을 조금 더 유사하게 반영하는 것으로 판단되었다. 충북지역은 이 비율이 높았지만 실제 피해발생은 매우 낮았던 것으로 나타났는데, 이는 관리시설물의 개수가 상대적으로 적었기 때문으로 판단된다.

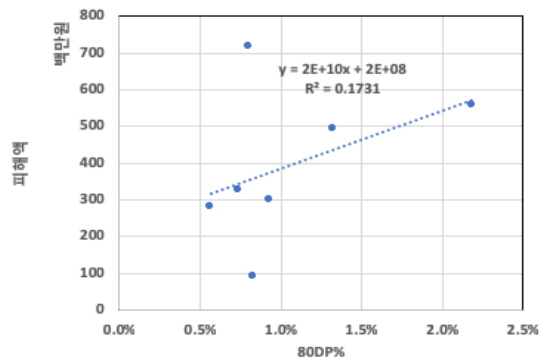
<표 1-113> 최근 10년간 시도별 자연재해 피해액 순위와 표준화(Re-scaling) 결과

순위	지자체	합 계 (천원)	표준화
1	전라남도	717,646,961	1.00000
2	경기도	556,377,698	0.77504
3	경상남도	493,468,115	0.68728
4	전라북도	327,445,684	0.45568
5	충청남도	301,969,733	0.42015
6	경상북도	280,394,977	0.39005
7	강원도	262,956,185	0.36572
8	부산광역시	189,665,579	0.26349
9	제주도	181,991,073	0.25278
10	충청북도	92,271,065	0.12763
11	울산광역시	80,225,300	0.11082
12	서울특별시	55,950,176	0.07696
13	인천광역시	26,514,605	0.03590
14	광주광역시	22,413,083	0.03018
15	대전광역시	5,752,405	0.00694
16	세종시	1,070,582	0.00040
17	대구광역시	780,472	-

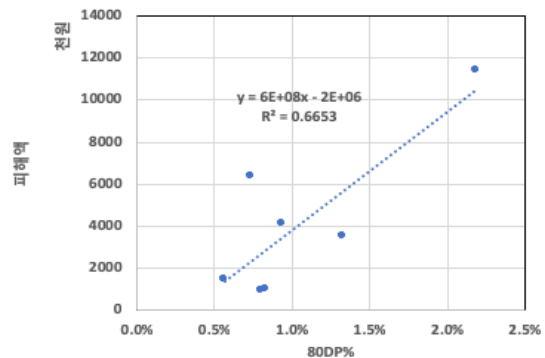
<표 1-114> 한국농어촌공사 최근 5년간 도본부별 자연재해 피해액 및 표준화 결과

순위	시설별	합계(천원)	표준화 ¹⁷⁾
1	경기	11,441,373	0.586
2	전북	6,357,646	0.504
3	충남	4,121,889	0.274
4	경남	3,556,084	0.322
5	경북	1,496,562	0.079
6	충북	993,694	0.046
7	전남	960,701	0.227
8	금강사업단	680,000	0.079
9	강원	435,833	0.015

다음 (그림 1-126)과 (그림 1-127)은 앞서 정리하였던 일강우량 80mm/day 이상 발생 일수의 비율(80DP%)와 최근 10년간 전국단위 시도별 자연재해 피해액 그리고 한국농어촌공사 최근 5년간 도본부별 자연재해 피해액의 상관성을 살펴본 것이다. 최근 10년간 전국단위 자료는 일강우량 80mm/day 이상 발생일수의 비율(80DP%)과의 상관성이 매우 낮았으나, 한국농어촌공사 최근 5년간 도본부별 자연재해 피해액과 일강우량 80mm/day 이상 발생일수의 비율(80DP%)간의 상관성은 상대적으로 많이 높아지는 것으로 나타났다.



(그림 1-126) 80DP%와 피해액 관계
(전국단위)



(그림 1-127) 80DP%와 피해액 관계
(한국농어촌공사)

이상에서 총일강우발생일수에 대한 일강우량 80mm/day이상 발생일수의 비율은 기상이변에 따른 시설물의 피해발생과 가 조합되고 추가적으로 태풍, 폭설 등의 기상현상이 더해진 결과라고 판단된다. 기상관측소별로 일강수량 80mm/day이상 일수와 비율을 기준으로 자료를 정리한 것이 <표 1-115>이다. 표에서는 서울, 양평, 남해, 수원, 거제, 강화, 인천, 이천, 산청 등의 순으로 나타났으며, 이들 지역은 대부분 일강우 발생일수 중 80mm/day이상인 일수의 비율이 2.0%이상 되는 지역들이다. 이들 지역들의 특징은 남해안과 서해안 연안이나 선지역이 많이 포함되어 있는데, 서울, 과주, 이천, 산청은 내륙지역이라는 것이다. 보통 연안이나 섬 지역들은 강수량이 많은 것이 일반적인데, 내륙지역들은 그 경향이 일정하지 않아 특별한 관련성을 찾기가 어렵다. 그런데 과주, 이천, 산청지역은 2차년도 연구결과에서 분석한 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 시설물들 중에서 자연재해에 의한 피해를 많이 입은 지사지역들과 거의 일치하고 있다. 즉 80mm/day 이상의 강우가 발생하는 회수에 비례해서 그에 기인한 피해도 크게 발생하고 있다는 사실을 말해 주고 있는 것이다.

각 광역시도별 기상관측소의 자료는 다음 <표 1-115> ~ <표 1-127>에 정리하였다.

17) 시설물별 표준화값의 평균값

<표 1-115> 기상관측소별 일강수량 분석 결과 (1988년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일)

관측소 명	총 강우 일수	최대 일강수량 (mm/day)	평균 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수						80mm 이상		
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상	발생회수	비율(%)
서울	4344	332.8	10.3	563.9	3327	416	385	114	100	2	0	102	2.3%
양평	3795	346.0	11.4	610.0	2830	366	383	125	89	2	0	91	2.4%
남해	3617	410.0	15.1	834.1	2401	423	490	216	85	2	0	87	2.4%
수원	4176	333.2	9.9	502.8	3209	404	368	110	84	1	0	85	2.0%
거제	3519	387.5	16.4	885.1	2263	408	533	232	80	3	0	83	2.4%
강화	3779	481.0	10.6	617.8	2878	339	365	114	82	1	0	83	2.2%
인천	3972	260.8	9.5	451.1	3049	414	339	90	80	0	0	80	2.0%
이천	3776	304.0	11.0	519.0	2788	385	400	124	78	1	0	79	2.1%
산청	3740	332.5	13.7	756.8	2579	417	487	181	74	2	0	76	2.0%
부산	3819	439.0	12.4	614.8	2694	405	481	181	56	2	0	58	1.5%
창원	3708	268.0	12.6	606.0	2584	425	459	183	57	0	0	57	1.5%
장흥	4094	328.0	11.0	522.3	3014	451	420	152	56	1	0	57	1.4%
안도	4229	353.5	11.1	513.8	3098	428	452	197	53	1	0	54	1.3%
서산	4388	274.5	8.9	404.8	3461	373	368	135	51	0	0	51	1.2%
제천	3963	276.5	10.9	482.5	2911	419	446	140	47	0	0	47	1.2%
통영	3808	273.2	12.1	508.0	2669	400	511	182	46	0	0	46	1.2%
진주	3704	318.0	12.6	557.3	2557	435	485	182	44	1	0	45	1.2%
장수	4419	189.5	10.3	377.6	3243	509	470	154	43	0	0	43	1.0%
보령	4312	361.5	8.6	387.3	3393	409	361	97	41	1	0	42	1.0%

관측소 명	총 강우 일수	최대 일강우량 (mm/day)	평균 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수							80mm 이상	
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상	발생회수	비율(%)
고산	4680	240.3	7.6	261.3	3684	476	397	81	42	0	0	42	0.9%
부여	3867	257.0	10.6	432.0	2861	403	410	152	41	0	0	41	1.1%
여수	3861	308.9	11.5	498.7	2751	435	458	177	39	1	0	40	1.0%
대전	4622	233.0	9.1	380.8	3560	443	437	142	40	0	0	40	0.9%
남원	4166	218.0	9.9	367.2	3109	453	425	140	39	0	0	39	0.9%
합천	3494	288.5	11.3	474.9	2490	411	409	146	38	0	0	38	1.1%
영주	3908	259.5	10.5	422.7	2877	421	427	146	37	0	0	37	0.9%
부안	3978	250.5	9.4	347.9	3017	422	386	116	37	0	0	37	0.9%
울산	4041	417.8	9.8	428.4	3001	436	449	118	35	2	0	37	0.9%
해남	4253	303.0	9.2	382.2	3277	411	393	135	36	1	0	37	0.9%
충주	4007	263.0	9.6	389.5	3037	406	407	123	36	0	0	36	0.9%
청주	4374	293.0	8.8	353.7	3386	427	403	122	36	0	0	36	0.8%
광주	4913	335.6	8.6	357.8	3828	486	403	160	34	2	0	36	0.7%
군산	4447	310.0	8.5	354.8	3489	396	397	131	32	2	0	34	0.8%
천안	4028	273.5	9.3	383.1	3083	405	373	134	33	0	0	33	0.8%
고흥	2503	404.0	11.7	563.6	1755	305	306	105	31	1	0	32	1.3%
밀양	3749	216.5	10.0	375.1	2755	418	409	136	31	0	0	31	0.8%
임실	4260	234.0	9.7	338.4	3191	482	414	142	31	0	0	31	0.7%
거창	3729	253.0	10.7	409.0	2713	417	412	157	30	0	0	30	0.8%
보은	4101	407.5	9.7	367.9	3071	436	425	139	29	1	0	30	0.7%

관측소 명	총 강우 일수	최대 일강우량 (mm/day)	평균 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수							80mm 이상	
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상	발생회수	비율(%)
정음	4346	420.0	9.3	352.4	3294	476	404	142	29	1	0	30	0.7%
봉화	3831	250.0	9.6	357.1	2858	418	407	119	29	0	0	29	0.8%
금산	4150	188.0	9.4	335.2	3127	450	404	140	29	0	0	29	0.7%
문경	3866	161.0	10.3	356.2	2835	414	419	170	28	0	0	28	0.7%
울진	4062	197.7	8.9	311.2	3090	441	393	110	28	0	0	28	0.7%
포항	4033	516.4	9.1	394.6	3056	436	405	109	25	1	1	27	0.7%
추풍령	4323	280.0	8.4	287.9	3357	434	393	115	24	0	0	24	0.6%
영천	3694	159.0	9.0	285.4	2771	416	386	99	22	0	0	22	0.6%
전주	4580	249.5	8.6	297.5	3526	477	432	123	22	0	0	22	0.5%
목포	4521	206.5	7.8	260.2	3581	418	376	125	21	0	0	21	0.5%
구미	3737	221.0	9.0	305.0	2840	366	403	109	19	0	0	19	0.5%
대구	3870	225.8	8.6	289.0	2940	438	362	112	18	0	0	18	0.5%
영덕	3704	296.0	9.1	328.4	2781	398	391	117	17	0	0	17	0.5%
안동	3895	170.7	8.3	250.9	2996	410	365	108	16	0	0	16	0.4%
의성	3507	215.5	8.9	266.5	2634	384	365	113	11	0	0	11	0.3%

<표 1-116> 경기도 지역 일강수량 평균값 분석 결과 (1988년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일)

경기	총강우일수	최대 일강수량 (mm/day)	평균 (mm/day)	본산	구간별 강우발생 회수							80mm이상 발생회수 (비율)
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상	
이천	3776	304.0	11.0	519.0	2788	385	400	124	78	1	0	79.0 (2.1%)
강화	3779	481.0	10.6	617.8	2878	339	365	114	82	1	0	83.0 (2.2%)
양평	3795	346.0	11.4	610.0	2830	366	383	125	89	2	0	91.0 (2.4%)
수원	4176	333.2	9.9	502.8	3209	404	368	110	84	1	0	85.0 (2.0%)
인천	3972	260.8	9.5	451.1	3049	414	339	90	80	0	0	80.0 (2.0%)
서울	4344	332.8	10.3	563.9	3327	416	385	114	100	2	0	102.0 (2.3%)
합계	3937.7	343.0	10.5	544.1	3013.5	387.3	373.3	112.8	85.5	1.2	0.0	86.7 (2.2%)

<표 1-117> 충청북도 지역 일강수량 평균값 분석 결과 (1988년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일)

충북	총강우일수	최대 일강수량 (mm/day)	평균 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수							80mm이상 발생회수 (비율)
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상	
보은	4101	407.5	9.7	367.9	3071	436	425	139	29	1	0	30.0 (0.7%)
제천	3963	276.5	10.9	482.5	2911	419	446	140	47	0	0	47.0 (1.2%)
추풍령	4323	280.0	8.4	287.9	3357	434	393	115	24	0	0	24.0 (0.6%)
충주	4007	263.0	9.6	389.5	3037	406	407	123	36	0	0	36.0 (0.9%)
청주	4374	293.0	8.8	353.7	3386	427	403	122	36	0	0	36.0 (0.8%)
합계	4153.6	304.0	9.5	376.3	3152.4	424.4	414.8	127.8	34.4	0.2	0.0	34.6 (0.8%)

<표 1-118> 충청남도 지역 일강수량 평균값 분석 결과 (1988년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일)

충남	총강우일수	최대 일강수량 (mm/day)	평균 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수							80mm이상 발생회수 (비율)
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상	
천안	4028	273.5	9.3	383.1	3083	405	373	134	33	0	0	33.0 (0.8%)
금산	4150	188.0	9.4	335.2	3127	450	404	140	29	0	0	29.0 (0.7%)
부여	3867	257.0	10.6	432.0	2861	403	410	152	41	0	0	41.0 (1.1%)
보령	4312	361.5	8.6	387.3	3393	409	361	97	41	1	0	42.0 (1.0%)
서산	4388	274.5	8.9	404.8	3461	373	368	135	51	0	0	51.0 (1.2%)
대전	4622	233.0	9.1	380.8	3560	443	437	142	40	0	0	40.0 (0.9%)
합계	4227.8	264.6	9.3	387.2	3247.5	413.8	392.2	133.3	39.2	0.2	0.0	39.3 (0.9%)

<표 1-119> 전라북도 지역 일강수량 평균값 분석 결과 (1988년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일)

전북	총 강우일수	최대 일강수량 (mm/day)	평균 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수							80mm이상 발생회수 (비율)
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상	
장수	4419	189.5	10.3	377.6	3243	509	470	154	43	0	0	43.0 (1.0%)
남원	4166	218.0	9.9	367.2	3109	453	425	140	39	0	0	39.0 (0.9%)
정읍	4346	420.0	9.3	352.4	3294	476	404	142	29	1	0	30.0 (0.7%)
임실	4260	234.0	9.7	338.4	3191	482	414	142	31	0	0	31.0 (0.7%)
부안	3978	250.5	9.4	347.9	3017	422	386	116	37	0	0	37.0 (0.9%)
군산	4447	310.0	8.5	354.8	3489	396	397	131	32	2	0	34.0 (0.8%)
전주	4580	249.5	8.6	297.5	3526	477	432	123	22	0	0	22.0 (0.5%)
합계	4580.0	420.0	9.4	348.0	3267.0	459.3	418.3	135.4	33.3	0.4	0.0	33.7 (0.8%)

<표 1-120> 전라남도 지역 일강수량 평균값 분석 결과 (1988년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일)

전남	총 강우일수	최대 일강수량 (mm/day)	평균 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수							80mm이상 발생회수 (비율)
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상	
고흥	2503	404.0	11.7	563.6	1755	305	306	105	31	1	0	32.0 (1.3%)
해남	4253	303.0	9.2	382.2	3277	411	393	135	36	1	0	37.0 (0.9%)
완도	4229	353.5	11.1	513.8	3098	428	452	197	53	1	0	54.0 (1.3%)
장흥	4094	328.0	11.0	522.3	3014	451	420	152	56	1	0	57.0 (1.4%)
여수	3861	308.9	11.5	498.7	2751	435	458	177	39	1	0	40.0 (1.0%)
목포	4521	206.5	7.8	260.2	3581	418	376	125	21	0	0	21.0 (0.5%)
광주	4913	335.6	8.6	357.8	3828	486	403	160	34	2	0	36.0 (0.7%)
합계	4913.0	404.0	10.1	442.7	3043.4	419.1	401.1	150.1	38.6	1.0	0.0	39.6 (1.0%)

<표 1-121> 경상북도 지역 일강수량 평균값 분석 결과 (1988년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일)

경북	총 강우일수	최대 일강수량 (mm/day)	평균 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수							80mm이상 발생회수 (비율)	
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상		
영천	3694	159.0	9.0	285.4	2771	416	386	99	22	0	0	0	22.0 (0.6%)
구미	3737	221.0	9.0	305.0	2840	366	403	109	19	0	0	0	19.0 (0.5%)
의성	3507	215.5	8.9	266.5	2634	384	365	113	11	0	0	0	11.0 (0.3%)
영덕	3704	296.0	9.1	328.4	2781	398	391	117	17	0	0	0	17.0 (0.5%)
문경	3866	161.0	10.3	356.2	2835	414	419	170	28	0	0	0	28.0 (0.7%)
영주	3908	259.5	10.5	422.7	2877	421	427	146	37	0	0	0	37.0 (0.9%)
봉화	3831	250.0	9.6	357.1	2858	418	407	119	29	0	0	0	29.0 (0.8%)
안동	3895	170.7	8.3	250.9	2996	410	365	108	16	0	0	0	16.0 (0.4%)
울진	4062	197.7	8.9	311.2	3090	441	393	110	28	0	0	0	28.0 (0.7%)
포항	4033	516.4	9.1	394.6	3056	436	405	109	25	1	1	1	27.0 (0.7%)
대구	3870	225.8	8.6	289.0	2940	438	362	112	18	0	0	0	18.0 (0.5%)
합계	4062.0	516.4	9.2	324.3	2879.8	412.9	393.0	119.3	22.7	0.1	0.1	0.1	22.9 (0.6%)

<표 1-122> 경상남도 지역 일강수량 평균값 분석 결과 (1988년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일)

경남	총 강우일수	최대 일강수량 (mm/day)	평균 (mm/day)	분산	구간별 강우발생 회수							80mm이상 발생회수 (비율)
					10mm 이하	10~20 이하	20~50 이하	50~80 이하	80~300 이하	300~500 이하	500 이상	
통영	3808	273.2	12.1	508.0	2669	400	511	182	46	0	0	46.0 (1.2%)
남해	3617	410.0	15.1	834.1	2401	423	490	216	85	2	0	87.0 (2.4%)
거제	3519	387.5	16.4	885.1	2263	408	533	232	80	3	0	83.0 (2.4%)
진주	3704	318.0	12.6	557.3	2557	435	485	182	44	1	0	45.0 (1.2%)
산청	3740	332.5	13.7	756.8	2579	417	487	181	74	2	0	76.0 (2.0%)
합천	3494	288.5	11.3	474.9	2490	411	409	146	38	0	0	38.0 (1.1%)
밀양	3749	216.5	10.0	375.1	2755	418	409	136	31	0	0	31.0 (0.8%)
거창	3729	253.0	10.7	409.0	2713	417	412	157	30	0	0	30.0 (0.8%)
창원	3708	268.0	12.6	606.0	2584	425	459	183	57	0	0	57.0 (1.5%)
울산	4041	417.8	9.8	428.4	3001	436	449	118	35	2	0	37.0 (0.9%)
부산	3819	439.0	12.4	614.8	2694	405	481	181	56	2	0	58.0 (1.5%)
합계	4041.0	439.0	12.4	586.3	2609.6	417.7	465.9	174.0	52.4	1.1	0.0	53.5 (1.4%)

<표 1-123> 지사별 피해액 순위

순위	도본부	지사	피해액(천원)	표준화
1	경 기	파주	5,094,145	1.000
2	경 기	양평광주서울	2,951,020	0.579
3	전 북	정읍	2,638,484	0.518
4	전 북	전주완주임실	1,713,673	0.336
5	경 기	연천포천	1,509,432	0.296
6	충 남	논산	1,466,351	0.287
7	경 남	하동남해	1,143,165	0.224
8	전 북	고창	1,077,734	0.211
9	경 북	안동	1,007,250	0.197
10	경 남	진주산청	839,367	0.164

<표 1-124> 저수지 피해액 상위 지사명

순위	도본부	지사	피해액(천원)	표준화
1	경 기	파주	3,030,039	1.000
2	경 기	연천포천	967,753	0.319
3	전 북	전주완주임실	359,888	0.119
4	경 기	양평광주서울	246,370	0.081
5	전 북	정읍	135,857	0.045
6	전 북	고창	134,719	0.044
7	경 남	창녕	87,023	0.029
8	강 원	홍천춘천	84,084	0.028
9	충 남	연기대금	80,000	0.026
10	경 기	강화	73,640	0.024

<표 1-125> 양배수장 피해액 상위 지사명

순위	도본부별	지사	피해액(천원)	표준화
1	경 남	진주산청	604,559	1.000
2	전 북	정읍	602,160	0.996
3	충 남	논산	328,500	0.543
4	충 남	부여	325,622	0.538
5	경 남	함안	222,300	0.367
6	전 북	고창	207,471	0.343
7	전 북	동진	147,478	0.243
8	경 기	파주	128,830	0.213
9	전 남	구례	97,616	0.161
10	전 남	순천광양여수	68,122	0.112

<표 1-126> 취입보 피해액 상위 지사명

순위	도본부별	지사	피해액(천원)	표준화
1	전 북	정읍	1,170,742	1.000
2	전 북	전주완주임실	1,075,721	0.919
3	경 북	안동	979,250	0.836
4	경 기	파주	680,880	0.581
5	강 원	진천	600,000	0.512
6	전 북	고창	497,545	0.425
7	경 남	창녕	345,299	0.295
8	경 기	화성수원	178,963	0.153
9	강 원	옥천영동	149,512	0.127
10	경 기	양평광주서울	142,553	0.122

<표 1-127> 용배수로 피해액 상위 지사명

순위	도본부별	지사	피해액(천원)	표준화
1	경 기	양평광주서울	2,496,438	1.000
2	경 기	파주	1,246,896	0.499
3	경 남	하동남해	1,142,579	0.457
4	충 남	논산	997,841	0.399
5	경 기	여주이천	820,236	0.328
6	전 북	정읍	729,725	0.291
7	충 남	서산태안	600,000	0.239
8	경 기	연천포천	507,079	0.202
9	경 기	화성수원	483,552	0.193
10	충 남	부여	443,522	0.177

(3) 태풍이 농업생산기반시설들에 미치는 영향

우리나라의 중부지역은 주로 호우가 원인이 되어 농업생산기반시설들에서 피해가 발생되었으며, 남부지역에서는 태풍이 주 원인이 되어 피해가 발생되고 있다. 다음 <표 1-128>은 태풍연구센터(<http://www.typhoon.or.kr>)에서 제공하는 1951~2015년까지 태풍의 발생이력을 정리한 것이며, ()안의 수는 우리나라에 영향을 미친 태풍의 개수를 별도로 표기한 것이다.

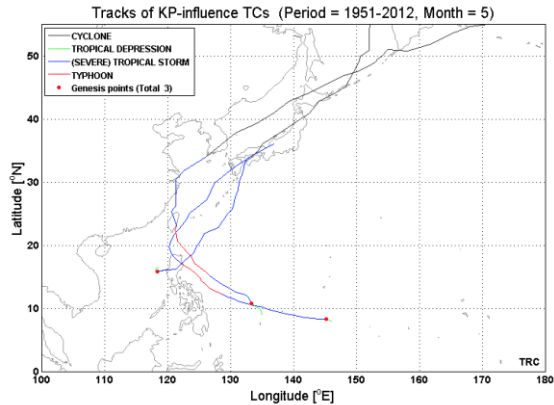
<표 1-128> 태풍 발생이력 (1951~2015) (출처: 태풍연구센터, <http://www.typhoon.or.kr>)

월 연도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합 계
1951		1	1	2	1	1	3	3(1)	2(1)	4(1)	1	2	21(3)
1952						3(1)	3(1)	5(1)	3(1)	6	3	4	27(4)
1953		1			1	2(1)	1(1)	6(1)	3	5	3	1	23(3)
1954			1		1		1	5(1)	5(2)	4	3	1	21(3)
1955	1	1	1	1		2	7(2)	6	4(1)	3	1	1	28(3)
1956			1	2		1	2	5(1)	6(3)	1	4	1	23(4)
1957	2			1	1	1(1)	1	4(1)	5	4	3		22(2)
1958	1			1	1	4	7	5	5(1)	3	2	2	31(1)
1959		1	1	1			2(2)	5(1)	5(4)	4	2	2	23(7)
1960				1	1	3	3(1)	10(2)	3	4	1	1	27(3)
1961	1		1		2(1)	3	4(1)	6(1)	6(1)	4(1)	1	1	29(5)
1962		1		1	2		5(1)	8(2)	4(1)	5	3	1	30(4)
1963				1		4(1)	4(1)	3(1)	5	4		3	24(3)
1964					2	2	7(3)	5(1)	6	5	6	1	34(4)
1965	2	1	1	1	2	3	5(1)	5(2)	8	2	2		32(3)
1966				1	2	1	4	10(2)	9(1)	4	3	1	35(3)
1967		1	2	1	1	1	7(1)	9	9	4	3	1	39(1)
1968				1	1	1	3(1)	8(1)	3(1)	5	5		27(3)
1969	1		1	1			3	4	3(1)	3	2	1	19(1)
1970		1				2	3(2)	6(2)	5	5	4		26(4)
1971	1		1	3	4	2	8	5(2)	6(1)	4	2		36(3)
1972	1				1	3	6(2)	5(1)	5(1)	5	3	2	31(4)
1973							7(2)	5(1)	2	4	3		21(3)
1974	1		1	1	1	4	4(2)	5(1)	5(1)	4	4	2	32(4)
1975	1						2(1)	4(1)	5	5	3	1	21(2)
1976	1	1		2	2	2	4(3)	4(2)	5(1)	1	1	2	25(6)
1977			1			1	3	3(1)	5(1)	5	1	2	21(2)
1978	1			1		3(1)	4	8(2)	5(1)	4	4		30(4)

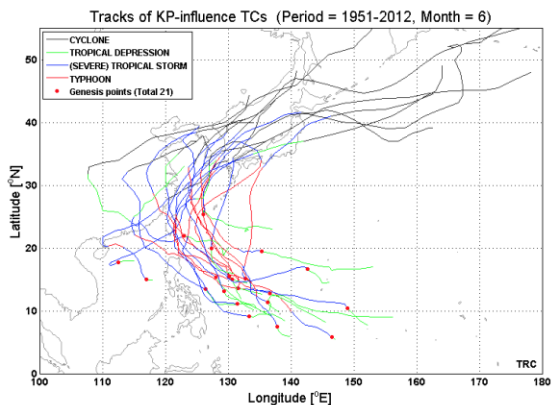
월 연도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합 계
1979	1		1	1	2		4	2(2)	6	3	2	2	24(2)
1980				1	4	1	4(1)	2(1)	6(1)	4	1	1	24(3)
1981			1	2		3(2)	4(1)	8	4(2)	2	3	2	29(5)
1982			3		1	3	3	5(3)	5(1)	3	1	1	25(4)
1983						1	3	5	2(1)	5	5	2	23(1)
1984						2	5(1)	5(1)	4(1)	7	3	1	27(3)
1985	2				1	3(1)	1	8(3)	5	4(1)	1	2	27(5)
1986		1		1	2	2(1)	3	5(1)	3(1)	5	4	3	29(3)
1987	1			1		2	4(2)	4(1)	6	2	2	1	23(3)
1988	1				1	3	2	8	8	5	2	1	31(0)
1989	1			1	2	2(1)	7(1)	5	6	4	3	1	32(2)
1990	1			1	1	3(1)	4(1)	6	4(2)	4	4	1	29(4)
1991			2	1	1	1	4(1)	5(2)	6(2)	3	6		29(5)
1992	1	1				2	4	8(1)	5(1)	7	3		31(2)
1993			1			1	4(2)	7(1)	5(1)	5	2	3	28(4)
1994				1	1	2	7(2)	9(2)	8	6(1)		2	36(5)
1995				1		1	2(1)	6(1)	5(1)	6	1	1	23(3)
1996		1		1	2		5(1)	6(1)	6	2	2	1	26(2)
1997				2	3	3(1)	4(1)	6(2)	4(1)	3	2	1	28(5)
1998							1	3	5(1)	2(1)	3	2	16(2)
1999				2		1	4(1)	6(2)	6(2)	2	1		22(5)
2000					2		5(2)	6(2)	5(1)	2	2	1	23(5)
2001					1	2	5	6(1)	5	3	1	3	26(1)
2002	1	1			1	3	5(3)	6(1)	4	2	2	1	26(4)
2003	1			1	2(1)	2(1)	2	5(1)	3(1)	3	2		21(4)
2004				1	2	5	2(1)	8(3)	3(1)	3	3	2	29(5)
2005	1		1	1		1	5	5(1)	5	2	2		23(1)
2006					1	1	3(1)	7(1)	3(1)	4	2	2	23(3)
2007				1	1		3(2)	4	5(1)	6	4		24(3)
2008				1	4	1	2(1)	4	5	1	3	1	22(1)
2009					2	2	2	5	7	3	1		22(0)
2010			1				2	5(2)	4(1)	2			14(3)
2011					2	3(1)	4(1)	3(1)	7	1		1	21(3)
2012			1		1	4	4(2)	5(2)	3(1)	5	1	1	25(5)
2013	1	1				4(1)	3	6(1)	8	6(1)	2		31(3)
2014	2	1		2		2	5(3)	1	5	2(1)	1	2	23(4)
2015	1	1	2	1	2	2(1)	4(2)	3(1)	5	4	1	1	27(4)
65년 평균	0.4	0.2	0.4	0.7	1.0 (0.0)	1.8 (0.2)	3.8 (1.0)	5.5 (1.1)	5.0 (0.8)	3.8 (0.1)	2.3	1.2	26.2 (3.2)

월 연도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합 계
30년 평균	0.4	0.2	0.3	0.7	1.1 (0.0)	1.8 (0.3)	3.7 (1.0)	5.4 (1.0)	5.1 (0.7)	3.5 (0.1)	2.1	1.1	25.4 (3.2)
10년 평균	0.4	0.2	0.4	0.5	1.4 (0.0)	1.9 (0.3)	3.2 (1.2)	4.3 (0.8)	5.2 (0.4)	3.4 (0.2)	1.5	0.8	23.2 (2.9)

태풍은 5월~10월 사이에 우리나라에 영향을 미치는 것으로 나타나고 있으며, 주로 7월, 8월 그리고 9월에 대부분 영향을 미치고 있는 것으로 나타나고 있다(아래의 그림들¹⁸⁾ 참조). 태풍은 우리나라에 1951년부터 2015년까지 총 200회 이상 영향을 준 것으로 나타났다. 이는 매년 3.2개 정도의 태풍이 우리나라에 영향을 주고 있는 것이며, 최근 10년간은 그 회수가 2.9개로 감소된 것으로 나타나 근래에 극심해 지고 있는 폭염현상과의 관계를 예상할 수도 있다. 우리나라에 영향을 주는 태풍의 경로는 대부분 적도지역에서 생성되어 북상하면서 제주도 혹은 그 부근을 통과하여 서해안과 남해안 지역으로 상륙하는 경로와 대한해협을 지나 동해상으로 빠져 나가는 경로로 대별되고 있다. 이때 주로 전라남도, 경상남도, 전라북도 지역에 큰 피해를 주는 것을 알 수 있다.

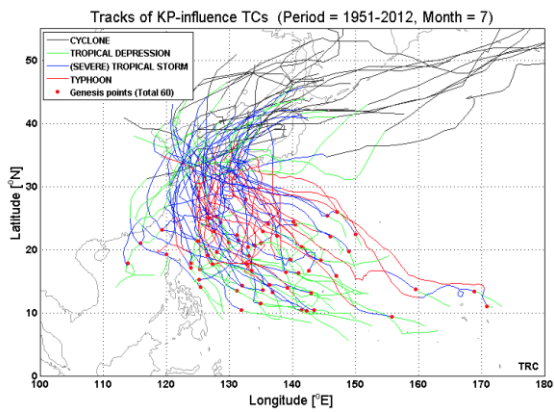


(그림 1-128) 5월 태풍발생이력(1951-2009)

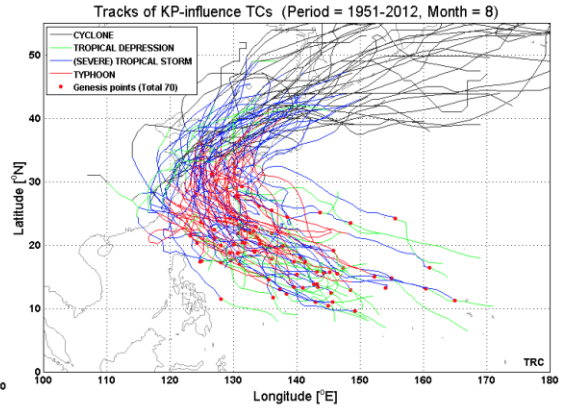


(그림 1-129) 6월 태풍발생이력(1951-2009)

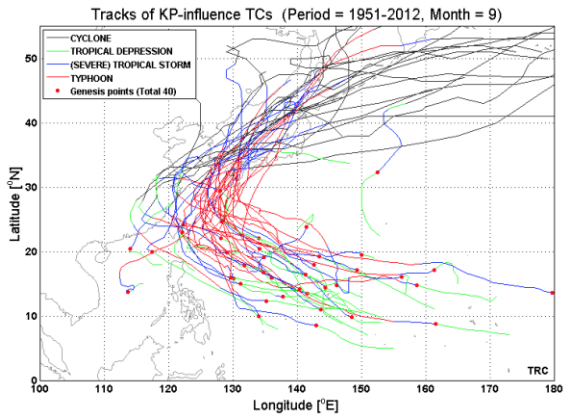
18) 태풍연구센터(<http://www.typhoon.or.kr>)



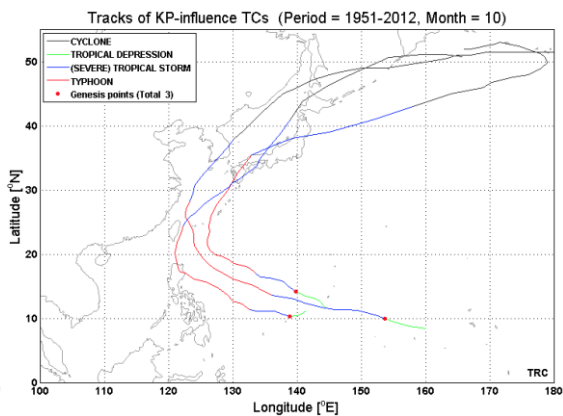
(그림 1-130) 7월 태풍발생이력(1951-2009)



(그림 1-131) 8월 태풍발생이력(1951-2009)



(그림 1-132) 9월 태풍발생이력(1951-2009)



(그림 1-133) 10월 태풍발생이력(1951-2009)

그런데, 최근 우리나라의 태풍영향은 폭염의 영향으로 점차 줄어들고 있는 추세이며, 태풍의 영향은 주로 강풍과 파도(혹은 해일) 그리고 폭우로 인한 것이데, 폭우에 의한 영향은 앞서 살펴보았던, 강우량에 의한 영향에 포함되어 있다고 할 수 있어서 별도로 태풍에 의한 폭우의 영향을 고려할 필요는 없는 것으로 판단된다. 파도 혹은 해일의 영향은 주로 해안에 설치된 시설물들이 대상이 될 텐데, 농업생산 기반시설물 중에서는 방조제와 같은 시설이 될 것이다. 그러나 아직까지 파도와 해일에 의한 중대한 손상이 발생한 사례는 많지 않고 방조제의 경우에는 일부 지사에 해당하는 특이한 사례이므로 여기서는 자세히 다루지 않기로 한다. 태풍에 의한 피해 중 강우와 함께 큰 피해를 주는 것은 강풍일 것이다. 강풍에 대한 내용은 다음절 ‘강풍에 의한 영향’에서 별도로 자세히 살펴보기로 한다.

(4) 바람이 농업생산기반시설들에 미치는 영향

풍속의 경우에는 기존의 건축물 설계기준에서는 설계풍압을 고려하여 설계하는데, 이때 풍압은 건축물의 형상, 높이, 사용재료 등에 따라서 다르게 되며, 지역별로 기본 풍속도 다르게 나타나고 있다. 다음 (그림 1-134)와 (그림 1-135)는 건축구조기준과 도로교 설계에서 사용하고 있는 지역별 기본풍속들을 정리한 것이다.

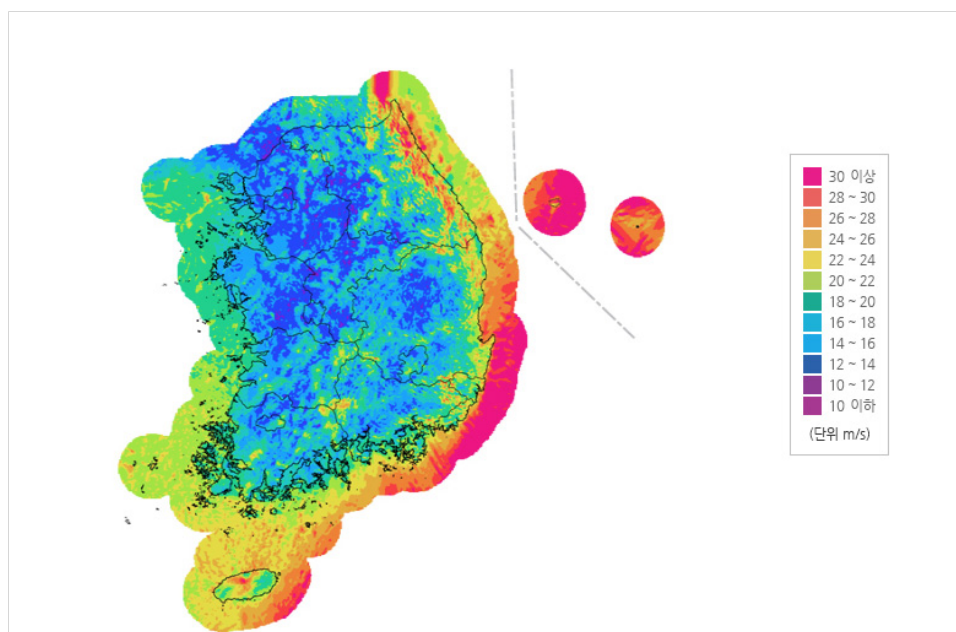
지역		v_b (m/s)
서울특별시 인천광역시 경기도	용진	30
	인천, 강화, 안산, 시흥, 평택	28
	서울, 김포, 구리, 수원, 군포, 오산, 화성, 의왕, 부천, 고양, 안양, 파천, 광명, 의정부, 동두천, 양주, 파주, 포천, 남양주, 가평, 하남, 성남, 광주, 양평, 용인	26
	안성, 연천, 여주, 이천	24
강원도	속초, 양양, 강릉, 고성	34
	동해, 삼척, 홍천, 정선, 인제	30
	양구	26
	철원, 화천, 춘천, 횡성, 원주, 평창, 영월, 태백	24
대전광역시 충청남도 충청북도	서산, 태안	34
	당진	32
	서천, 보령, 홍성, 청주, 청원	30
	예산, 세종, 대진, 공주, 부여	28
	아산, 계룡, 진천	26
	천안, 증평, 청양, 논산, 금산, 음성, 충주, 제천, 단양, 괴산, 보은, 영동, 옥천	24
부산광역시 대구광역시 울산광역시 경상남도 경상북도	울릉(독도)	40
	부산	38
	포항, 경주, 기장, 통영, 거제	36
	양산, 김해, 남해, 울산, 울주	34
	영덕, 고성	32
	울진, 창원, 사천, 영천	30
	청송, 대구, 경산, 청도, 밀양, 하동	28
	영양, 군위, 칠곡, 성주, 달성, 함안, 고령, 창녕, 진주	26
	봉화, 영주, 예천, 문경, 상주, 추풍령, 안동, 의성, 구미, 김천, 의령, 거창, 산청, 함천, 함양	24
광주광역시 전라남도 전라북도	완도, 해남	36
	진도, 여수, 고흥, 신안, 무안, 장흥	34
	목포, 부안, 영암, 강진	32
	영광, 함평, 나주	30
	익산, 김제, 순천, 고창, 광양	28
	광주, 보성, 완주, 전주, 장성	26
	무주, 진안, 장수, 임실, 정읍, 순창, 남원, 담양, 곡성, 구례	24
제주도	서귀포, 제주	44

(그림 1-134) 건축구조기준(국가건설기준센터.2018)

구분	지역	지명	기본풍속(m/s)
I	내륙	서울, 대구, 대전, 춘천, 청주, 수원, 추풍령, 전주, 익산, 진주, 광주	30
II	서해안	서산, 인천	35
III	서남해안 남해안 동남해안	군산 여수, 충무, 부산 포항, 울산	40
IV	동해안 제주지역 특수지역	속초, 강릉 제주, 서귀포 목포	45
V		울릉도	50

(그림 1-135) 도로교 설계기준(한계상태 설계법) : 일반교량편, 2016(국가건설기준센터, 2016)

각 그림에서는 지역에 따라서 기준풍속이 24~44m/s로 범위가 넓고 설계기준별로 적용하는 기준풍속도 다르다는 것을 알 수 있다(건축구조기준, 2018¹⁹); 도로교설계기준, 2016²⁰). 한편 기상청에서는 풍력-기상자원지도를 제공하고 있는데, 1km 해상도로 공간적인 변동성이 큰 바람 정보를 상세하게 바람에 관한 다양한 통계적인 정보와 함께 제공하고 있다. 따라서 풍력발전 사업 및 풍력 에너지 사용자에게 유용한 정보가 될 것이다. 풍력-기상자원지도에서 제공하는 최대풍속의 분포는 (그림 1-136)과 같다²¹).



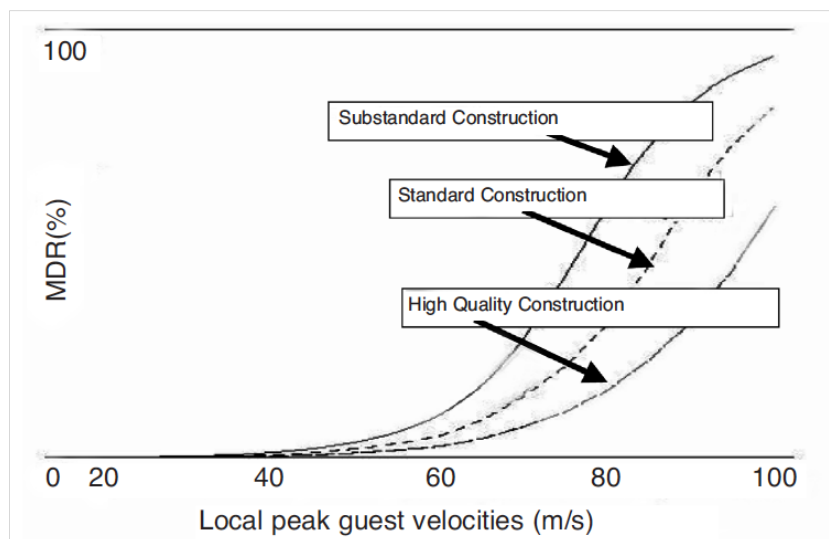
(그림 1-136) 우리나라 최대풍속 (2018년 12월, 50m 기준)

19) 건축구조기준, 2018. 설계기준, 45p. 국가건설기준센터(<http://www.kcsc.re.kr/Cstd/List/2#>)

20) 도로교 설계기준(한계상태 설계법), 2016. 일반교량편, 3-26p. 국가건설기준센터(<http://www.kcsc.re.kr/Cstd/List/2#>)

21) 기상청, 기상자원지도(http://www.greenmap.go.kr/02_data/data01_2_1.do#2#1#2)

2018년 12월까지 남한과 제주도, 남서해안의 도서 지역을 포함하며, 7.5 m/s 이상의 풍속은 강원도 태백산맥, 경남·북 동해안, 남해안, 제주도와 주변 해상에서 나타난다. 반면 내륙의 대부분 지역에서는 5.0 m/s이하를 나타낸다. 해상풍의 경우, 강원도 동해안과 서해안은 풍속이 6.5-7.0 m/s를 보이고 남해안은 7.5 m/s 이상의 강한 풍속이 나타난다. 울릉도와 독도는 계산 시간의 한계 때문에 현재의 지도에서는 제외되었다. 한편 풍속과 같은 기상요인들을 사용하는데, 주의해야 할 사항들이 있다. 이상기상에 의한 피해발생 과정이 단순히 기준값을 초과했는지 초과하지 않았는지 만의 문제가 아니라는 것이다. (그림 1-137)은 Swiss Re(1997)에서 발표한 연구결과로서 풍속의 변화에 따른 피해정도를 나타낸 것이다.



(그림 1-137) Relative mean marginal building damages (%) as a function of peak wind gust velocities for varying quality of construction. The results indicate, for example, that a 20 meter per second increase in wind speed can increase damages by 65%(Swiss Re, 1997)

그림에서는 우선 같은 풍속이라도 구조물의 시공[안전성]정도에 따라서 피해규모가 달라지며, 풍속이 증가함에 따라서 각 구조물이 받는 피해 정도가 급격히 증가하고 있다는 것이다. 보통시공(standard construction)의 조건에서는 대략 풍속이 40m/s에서 60m/s로 증가했을 때, 구조물의 피해가 2%에서 10%정도로 나타났지만, 풍속이 60m/s에서 80m/s로 증가하게 되면 그 피해가 10%에서 75%로 급격히 확대되는 것으로 나타났다. 즉, 기상요인들의 변화에 따른 영향(피해)의 크기가 선형으로 비례하지 않고 고유의 모델을 가지고 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 적용성평가를 위한 항목선정에서 이러한 특성을 반영하여야 할 것으로 판단된다. 그런

데 대부분의 농업생산기반시설물들은 높이가 높지 않은 구조로 되어 있어 상대적으로 강풍에 의한 적응성이 다른 분야의 시설물들에 비해서는 크다고 볼 수 있으므로 적응성 평가과정에 강풍에 의한 영향은 미미하다고 판단된다. 이상의 내용을 정리하면, 앞서 태풍으로 인한 영향 중 폭우에 의한 여향이 가장 클 것으로 예상되는데, 이는 강우량 자료에 포함되고, 파도 그리고 강풍에 의한 영향은 적응성 평가에 미치는 영향이 작을 것 같아 포함시키지 않는 것으로 한다.

(5) 시설물의 노후정도에 대한 고려

앞서 언급한 바와 같이 각종 시설물들은 그 축조시기와 재료 등이 상이하며, 그 중요도에 따른 시공법에 차이가 있다. 따라서 시설물들의 이러한 특성을 반영하여 적응성을 판단하는 작업은 현재로서는 매우 어려운 작업이다. 또한 시대별로 설계기준과 시방서 등에서 차이가 있었으므로 이러한 모든 내용을 적응성 평가에 반영하기란 쉽지 않은 작업이다. 따라서 이러한 다양한 특성을 되도록 적인 수의 인자를 사용하여 반영할 수 있도록 하는 방안을 찾는 것이 필요하다. 우리나라 농업생산기반시설물들은 과거 일제 강점기부터 설치가 시작되어 1세기 이상의 역사를 가지고 있다. 따라서 대부분의 구조물이 준공시기가 50년이상된 노후 구조물들이 많은 문제점을 가지고 있다. 한국농어촌공사에는 이러한 구조물들에 대한 정보를 ‘농어촌 알리미 서비스’에서 제공하고 있다. ‘농어촌 알리미 서비스’에서는 이밖에도 시설물에 대한 안전진단 및 안전점검결과 등도 함께 제공하고 있어, 시설물들에 대해서 별도의 자료를 수집하기 보다는 이 자료들을 정리하여 적응성 인자로서 사용성을 분석하는 것이 효율적이다. <표 1-129>는 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 시설물들을 준공 연도별로 정리한 것이다. 표에서는 구조물별(저수지, 양배수장, 취입보, 방조제)로 1988년 이후에 준공된 시설물과 1988년 이전(30년 경과)에 준공된 시설물, 1968년 이전(50년 경과)에 준공된 시설물로 분류해 집계해 보았다. 분석대상 관리 시설물 중 준공 후 30년~49년 경과된 시설물이 약 34%, 50년 이상된 시설물이 약 35%정도로서 약 69%정도가 준공후 30년이 경과된 것으로 나타나고 있다. 시설물별로는 양배수장이 최근 30년 이내에 준공된 시설물의 비율이 약 63.2%로 높았으나, 나머지 시설물들은 준공 30년이상된 시설물들이 대부분인 것으로 나타나고 있다. 저수지가 약 88.5%, 취입보가 약 87%, 방조제 약 95%가 준공 후 30년 이상 경과된 노후 시설물로 파악되었다.

<표 1-129> 한국농어촌공사 관리 농업생산기반시설의 준공연도별 분류

지역	저수지				양배수장				취입보				방조제				총계			
	관리 수	1968 이전	1988 이전	1988 이후	관리 수	1968 이전	1988 이전	1988 이후	관리 수	1968 이전	1988 이전	1988 이후	관리 수	1968 이전	1988 이전	1988 이후	관리 수	1968 이전	1988 이전	1988 이후
경기	112	67	31	14	366	17	139	210	161	44	95	22	19	17	2	-	658	145	267	246
충북	183	115	46	22	240	16	78	146	533	206	291	36	-	-	-	-	956	337	415	204
충남	230	149	44	37	807	50	250	507	423	68	302	53	26	15	8	3	1,486	282	604	600
전북	415	323	46	46	630	46	141	443	623	247	314	62	8	7	1	-	1,676	623	502	551
전남	1,048	826	144	78	753	52	215	486	850	301	361	188	77	61	11	5	2,728	1,240	731	757
경북	648	473	84	91	765	43	341	381	659	239	352	68	-	-	-	-	2,072	755	777	540
경남	651	453	111	87	782	52	179	551	757	249	416	92	11	8	3	-	2,201	762	709	730
합계	3,287	2,406	506	375	4,343	276	1,343	2,724	4,006	1,354	2,131	521	141	108	25	8	11,777	4,144	4,005	3,628
비율		73.2%	15.4%	11.4%		6.4%	30.9%	62.7%		33.8%	53.2%	13.0%		76.6%	17.7%	5.7%		35.2%	34.0%	30.8%

따라서 이러한 특성을 반영하여 구조물의 노후화정도(혹은 내구성)를 평가할 수 있는 방안을 수립하는 것은 기후변화에 대한 시설물들의 적응성을 평가하는 과정에 매우 중요한 요소이다. 또한 한국농어촌공사에서 자체관리 농업생산기반시설물들 중에서 다음 <표 1-130>에 해당하는 시설물들에 대해서 외부전문가들과 함께 안전진단을 실시하여 그 결과를 제공하고 있는데, 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 시설물 중 안전진단대상 저수지, 양배수장 그리고 방조재의 현황은 <표 1-131>와 같다.

<표 1-130> 한국농어촌공사 관리 농업생산기반시설 안전진단 대상 기준

- 1종 : 저수지 30만톤 이상, 양배수장 2,000마력 이상, 국가관리방조제(하구둑)
- 2종 : 1종 이외의 저수지, 양배수장 1,000 마력 이상, 지방관리방조제
- 3종 : 수로교(1.1×1.1m이상), 수로터널(2R=1.8m이상), 개거(저폭 5m이상)

<표 1-131> 한국농어촌공사 관리 농업생산기반시설 안전진단 대상 종별 분류

지역	저수지				양배수장/양수장/배수장				방조제			
	관리 시설수	종별			관리 시설수	종별			관리 시설수	종별		
		1종	2종	3종		1종	2종	3종		1종	2종	3종
경기	112	79	33	0	366	10	16	340	19	16	3	0
충북	183	102	81	0	238	2	6	230	0	0	0	0
충남	230	138	92	0	811	26	51	734	25	16	9	0
전북	415	138	277	0	621	9	18	594	8	1	7	0
전남	1048	259	789	0	751	8	27	716	77	33	44	0
경북	676	223	453	0	740	15	28	697	0	0	0	0
경남	651	191	460	0	782	38	58	686	11	6	5	0
합계	3,315			0	4,309				140			0

한편 안전진단 결과는 (그림 1-138)과 같이 그 정도에 따라서 A등급 ~ E등급까지 분류하여 관리하고 있다. 안전진단의 기준에 의하면 안전진단 등급 'A'는 최상의 상태, 등급 'B'와 'C'는 기능에 문제가 없으며, 약간의 보수가 필요한 상태 그리고 등급 'D'와 'E'는 긴급보수보강을 요하거나, 시설물의 사용을 금하거나 개축해야하는 정도의

상태로 나누고 있다. 이 안전진단 결과에는 시설물들에 대한 기능수행의 지속성 여부와 시설물이 주변 환경에 미칠 수 있는 영향등을 종합적으로 고려하여 결정된 등급이므로 시설물들의 내구성 혹은 노후도에 대한 중요한 정보들이 포함되어 있다고 볼 수 있다²²⁾. 따라서 이 안전진단 등급은 각 구조물들의 적응성평가에 중요한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

✓ 진단결과					
표시	상태	기준	표시	상태	기준
A	우수	문제점이 없는 최상의 상태	D	미흡	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수 보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
B	양호	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태	E	불량	주요부재에 대한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태
C	보통	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태			

(그림 1-138) 한국농촌공사 관리 농업생산기반시설 안전진단 분류

<표 1-132> 한국농어촌공사 관리 농업생산기반시설 안전진단 결과 (2018년 12월 현재)

시설구분	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급	총계(수)
전국	30	193	1,450	550	0	2,223
경기지역본부	5	11	75	10	0	101
강원지역본부	2	12	45	7	0	66
충북지역본부	2	16	104	20	0	142
충남지역본부	4	22	131	34	0	191
전북지역본부	4	26	179	66	0	275
전남지역본부	5	34	433	226	0	698
경북지역본부	3	54	214	100	0	371
경남지역본부	5	18	267	87	0	377
제주지역본부	0	0	2	0	0	2

22) 자체 안전점검 결과도 제시하고 있으나, 안전진단의 경우에는 외부전문가들도 포함하여 실시하는 것적응성평가를 위한 자료로서 안전점검보다는 더 적합한 자료 판단. 적응성 평가 시에는 안전진단 대상 시설물의 경우는 민감성에 대한 값을 추가하여 보완할 필요가 있음.

최근의 안전진단결과를 요약한 것이 <표 1-132>와 같다. 이 결과에 의하면 한국농어촌공사의 관리시설물 중 안전진단 대상은 2,223개소 인데, 등급 ‘A’는 30개소로서 진단대상의 약 1.5%, 등급 ‘B’와 ‘C’는 진단대상의 약73.9%, 긴급보수보강을 필요로 하는 정도의 등급인 ‘D’에 속하는 시설물은 550개소로서 진단대상의 약 24.7%로 나타났다(‘E’등급은 없음). 그러나 ‘긴급보수보강을 요하거나, 시설물의 사용을 금하거나 개축해야하는 정도의 상태’를 말하는 ‘D’와 ‘E’ 등급 시설물이 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 약 25% 정도인데, 앞서 최근 5~6년간 자연재해에 의해 피해가 발생한 시설물들이 전체 관리시설물의 1~3% 내외라는 사실과는 다소 차이가 있으며, 또한 이러한 피해가 모두 ‘D’와 ‘E’ 등급의 시설물에서 발생하지 않았다는 부분도 염두에 두고 자료를 활용할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 추가적으로 한국농어촌공사에서는 관리 중인 저수지 시설들 중에서 유사시 위험성이 큰 1종 저수지들에 대해서 위험대응 매뉴얼을 제공하고 있다²³⁾. 저수지시설들은 유사시 큰 피해를 발생시킬 수 있기 때문에 이는 적응성을 높이는 적절한 조치로 판단된다. 다음의 <표 1-133> ~<표 1-140>은 지역본부 및 지사별 안전진단등급 결과들을 정리한 것이다.

<표 1-133> 경기지역본부 관리 농업생산기반시설 안전진단 결과 (2018년 12월 현재)

시설구분	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급	총계(수)
경기지역본부	5	11	75	10	0	101
여주.이천지사	2	1	2	3	0	8
양평.광주.서울지사	0	2	6	1	0	9
화성.수원지사	2	1	17	0	0	20
연천.포천지사	0	0	10	1	0	11
파주지사	0	2	9	0	0	11
강화지사	1	3	12	0	0	16
김포지사	0	0	1	0	0	1
평택지사	0	1	4	3	0	8
안성지사	0	1	14	2	0	17

23) 농어촌 알리미 서비스(www.alimi.or.kr/dataview/a/selectDisasterReservoirRiskResponse.do)

<표 1-134> 강원지역본부 관리 농업생산기반시설 안전진단 결과 (2018년 12월 현재)

시설구분	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급	총계(수)
강원지역본부	2	12	45	7	0	66
홍천.춘천지사	2	4	19	2	0	27
원주지사	0	2	10	3	0	15
강릉지사	0	2	9	2	0	13
영북지사	0	2	1	0	0	3
철원지사	0	2	6	0	0	8

<표 1-135> 충북지역본부 관리 농업생산기반시설 안전진단 결과 (2018년 12월 현재)

시설구분	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급	총계(수)
충북지역본부	2	16	104	20	0	142
보은지사	0	2	9	4	0	15
충주.제천.단양지사	2	3	14	4	0	23
청주지사	0	2	11	1	0	14
진천지사	0	1	8	0	0	9
괴산.증평지사	0	4	17	1	0	22
음성지사	0	2	18	2	0	22
옥천.영동지사	0	2	27	8	0	37

<표 1-136> 충남지역본부 관리 농업생산기반시설 안전진단 결과 (2018년 12월 현재)

시설구분	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급	총계(수)
충남지역본부	4	22	131	34	0	191
세종.대전.금산지사	1	0	3	0	0	4
천안지사	0	1	11	5	0	17
청양지사	0	6	11	5	0	22
홍성지사	0	1	6	1	0	8
공주지사	0	2	8	0	0	10
논산지사	1	2	12	9	0	24
부여지사	0	2	5	1	0	8
서천지사	0	2	3	0	0	5
보령지사	0	1	22	3	0	26
예산지사	1	1	9	1	0	12
서산.태안지사	0	3	22	5	0	30
당진지사	0	0	8	1	0	9
아산지사	1	1	11	3	0	16

<표 1-137> 전북지역본부 관리 농업생산기반시설 안전진단 결과 (2018년 12월 현재)

시설구분	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급	총계(수)
전북지역본부	4	26	179	66	0	275
남원지사	0	3	25	6	0	34
순창지사	0	3	21	7	0	31
동진지사	0	1	7	1	0	9
군산지사	0	1	8	6	0	15
익산지사	0	0	8	1	0	9
전주.완주.임실지사	3	5	38	16	0	62
고창지사	0	3	17	8	0	28
정읍지사	0	2	14	10	0	26
부안지사	0	1	11	2	0	14
무진장지사	1	7	30	9	0	47

<표 1-138> 전남지역본부 관리 농업생산기반시설 안전진단 결과 (2018년 12월 현재)

시설구분	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급	총계(수)
전남지역본부	5	34	433	226	0	698
순천.광양.여수지사	0	3	25	9	0	37
강진지사	0	2	18	3	0	23
무안.신안지사	0	0	45	14	0	59
곡성지사	0	2	9	16	0	27
구례지사	0	2	17	12	0	31
고흥지사	0	0	29	8	0	37
보성지사	1	0	17	5	0	23
화순지사	0	3	22	4	0	29
장흥지사	1	2	21	7	0	31
해남.완도지사	0	3	46	17	0	66
영암지사	2	0	42	39	0	83
영광지사	0	2	22	11	0	35
진도지사	0	1	17	8	0	26
나주지사	0	3	46	32	0	81
담양지사	0	3	12	11	0	26
함평지사	0	2	14	12	0	28
장성지사	1	3	20	9	0	33
광주지사	0	3	11	9	0	23

<표 1-139> 경북지역본부 관리 농업생산기반시설 안전진단 결과 (2018년 12월 현재)

시설구분	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급	총계(수)
경북지역본부	3	54	214	100	0	371
청송.영양지사	0	4	14	12	0	30
안동지사	1	1	9	2	0	13
칠곡지사	0	1	14	4	0	19
구미.김천지사	0	1	13	4	0	18
예천지사	0	2	8	7	0	17
영주.봉화지사	0	5	2	0	0	7
달성지사	1	3	4	0	0	8
의성.군위지사	0	5	22	7	0	34
영덕.울진지사	0	8	9	4	0	21
포항.울릉지사	0	5	19	7	0	31
경주지사	0	8	27	13	0	48
영천지사	0	4	18	20	0	42
경산.청도지사	0	3	26	10	0	39
고령지사	1	1	8	4	0	14
성주지사	0	1	5	0	0	6
상주지사	0	2	10	1	0	13
문경지사	0	0	6	5	0	11

<표 1-140> 경남지역본부 관리 농업생산기반시설 안전진단 결과 (2018년 12월 현재)

시설구분	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급	총계(수)
경남지역본부	5	18	267	87	0	377
김해.양산. 부산지사	0	1	2	0	0	3
고성.통영. 거제지사	0	5	24	6	0	35
울산지사	0	2	31	12	0	45
진주.산청지사	0	1	43	10	0	54
의령지사	1	1	19	5	0	26
함안지사	0	1	8	3	0	12
창녕지사	0	1	19	2	0	22
밀양지사	0	2	15	8	0	25
창원지사	0	0	11	4	0	15
사천지사	1	1	22	10	0	34
거창.함양지사	1	2	25	9	0	37
합천지사	2	0	12	7	0	21
하동.남해지사	0	1	36	11	0	48

(6) 관리시설수에 대한 고려

시설물 관리개소수에 의한 영향을 알아보기 위하여 지역본부별 관리시설수와 안전진단대상 시설물의 종별 개소수 그리고 각 종별이 차지하는 비율을 정리하여 아래의 <표 1-141>에 나타내었다.

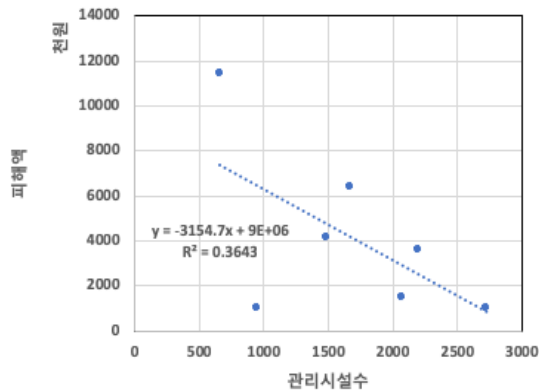
<표 1-141> 지역본부별 관리시설수와 종별 개소수 및 비율

지역	관리 시설수	1종		2종		3종		1종 + 3종	
		시설수	비율	시설수	비율	시설수	비율	시설수	비율
경기	658	105	16.0%	52	7.9%	501	76.1%	606	92.1%
충북	954	104	10.9%	87	9.1%	763	80.0%	867	90.9%
충남	1,489	180	12.1%	152	10.2%	1,157	77.7%	1,337	90.0%
전북	1,667	148	8.9%	302	18.1%	1,217	73.0%	1,365	81.9%
전남	2,727	300	11.0%	860	31.5%	1,567	57.5%	1,867	68.5%
경북	2,075	238	11.5%	481	23.2%	1,356	65.3%	1,594	76.8%
경남	2,201	235	10.7%	523	23.8%	1,443	65.6%	1,678	76.2%
합계	11,771	1,310	11.1%	2,457	20.9%	8,004	68.0%	9,314	79.1%

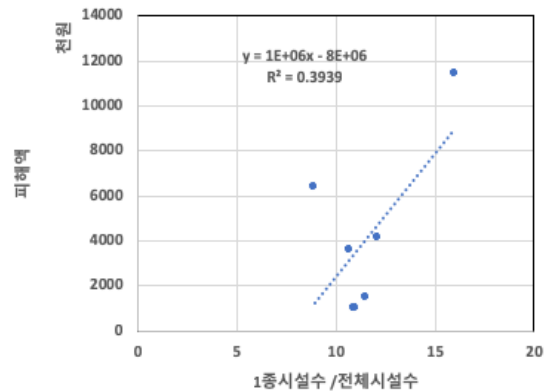
전체 관리개소수에 대한 1종 시설수는 작게는 충북의 104개에서 전남의 300개까지 지사별로 차이가 큰 것으로 나타났다. 이는 2종과 3종 시설수에서는 더 큰 차이를 보이고 있었다. 비율로 살펴보면 1종 시설수 비율은 8.9%(전북) ~ 16%(경기)의 범위를 보였으며, 2종 시설수 비율은 7.9%(경기) ~ 31.5%(전남)의 범위를 보였으며, 3종 시설수 비율은 57.5%(전남) ~ 80.0%(충북)의 범위를 보이는 것으로 나타났다.

자연재해에 의한 피해금액이 높았던 경기는 1종 시설물 비율과 3종 시설물 비율이 매우 높게 나타났으며, 전남은 전2종, 3종 시설물 비율이 높게 나타났다. 전북과 충남은 1종, 2종 시설물의 비율이 상대적으로 높지는 않은 것으로 나타났다. 한편 피해발생 개소수와 전체 관리개소수와는 2차년도에 살펴 본바와 같이 큰 관련성이 없었다. 따라서 이번 연도에는 안전진단등급에 따른 종별 개소수의 비율과 피해발생액과의 관련성을 분석해 보았다. 그 결과는 [그림 1-139]~[그림 1-42]와 같았다.

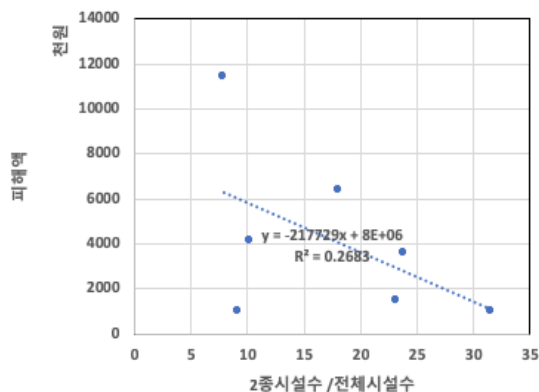
그림에서 전체 관리개소수, 2종 관리개소수는 피해액과 반비례의 관계를 나타내서 관련성이 매우 희박할 것으로 예상되었으며, 1종과 3종 관리개소수가 피해액과 정비례의 관계를 나타내었으며, 특히 1종 관리개소수와 피해액 사이의 관계가 가장 좋았던 것으로 나타났다. 물론 자료의 상관성 형태가 단순 선형으로 분석하기에는 무리가 있어 보였지만, 자료들이 충분하지 않아 다른 경우와 상대적인 비교 목적으로 분석하였다. 따라서 관리시설수 중에서도 1종 관리시설수가 피해액과 상관성이 1종+3종 관리시설수 보다는 약간 좋은 것으로 나타났다. 그러나 1종 개소의 비율은 경기(16.0%)가 가장 높게 나타났으며, 충남(12.1%)이 두 번째로 나타나서 모두 비율이 20% 미만이었다. 그러나 지사별 비율은 20% 이상인 경우가 많은데, 일단 16%이상은 적응성이 낮은 것으로 간주하였다.



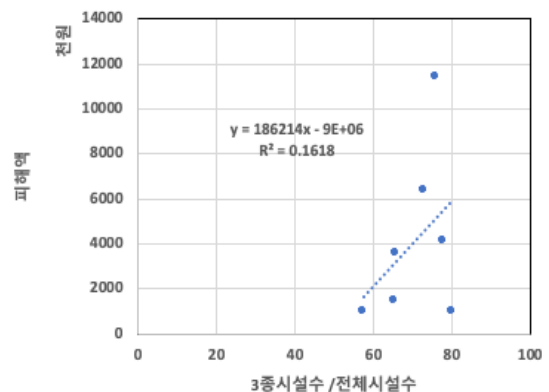
(그림 1-139) 전체관리시설수와 피해발생액의 관계



(그림 1-140) 1종 관리시설수의 비율과 피해발생액의 관계

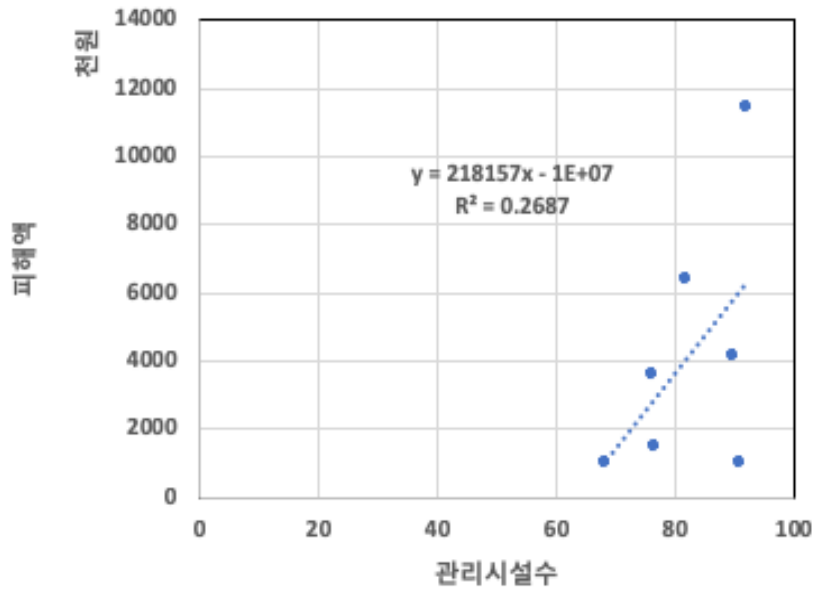


(그림 1-141) 2종 관리시설수의 비율과 피해발생액의 관계



(그림 1-142) 3종 관리시설수의 비율과 피해발생액의 관계

(그림 1-143)은 앞서 피해발생액과 양의 상관성을 보였던 1종과 3종 시설물수 비율을 합산하여 분석한 결과인데, 1종 시설물수 비율만을 고려한 경우보다 상관성이 높지는 않은 것으로 나타났으며, 모두 비율이 86%이상으로 나타나 너무 높은 구간 값만 있어 적용이 어렵다고 판단되었다.



(그림 1-143) 1종+3종 관리시설수의 비율과 피해발생액의 관계

나. 적응성평가기법 선정 및 우선순위 도출방안 수립

본 연구에서는 농업용 생산기반 구조물에 대한 기후변화에 대한 취약성 조사 및 평가방법 그리고 실제 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 각종 농업생산기반 시설들의 피해현황에 대해서 알아보고 구조물별, 지사별 우선순위 등을 산정하였다. 그러나 이러한 자료들은 최근에 정리되어 축적되기 시작해서 통계적인 기법으로서 예측모델을 적용하기에는 어려움이 있고, 조사항목이나 계량방법 등에서도 추가적으로 보완 및 지속적인 자료의 축적이 무엇보다도 중요하다. 또한 앞서 농업생산기반 시설물들의 기후변화에 대한 적응성을 분석(판정)하기 위해 적용할 수 있는 인자들을 확인했다. 적응성의 기준 값은 기후변화에 따른 각 영향인자들이 그 기준값 직전과 직후에 큰 변화가 발생하는 값이다. 강우량 같은 경우에는 일회 지속 강우강도가 50mm 이상이거나, 일 최고기온이 28℃ 이상인 경우 등이다.

그러나 현재까지 자료만을 이용하여 이를 완전히 구별해 내기는 매우 어려운 문제이다. 앞서 언급한 것과 같이 농업생산기반시설들은 주로 강우와 태풍의 영향을 크게 받는 것으로 나타나고 있으며, 여러 가지 시설물들이 있고 또 그 중에서 주요 피해가 발생되고 있는 시설물은 용배수로 이다.

그러나 용배수로는 관리연장과 피해발생 여부가 큰 상관성을 가지고 있지 않았다. 오히려 앞서 살펴본 바와 같이 안전진단대상 1종 시설물의 경우는 관리개소수와 피해발생액과 사이에 관련성이 있는 것으로 나타났다. 즉 용배수로는 시설물의 노후화도 관련이 있겠지만 강우발생 특성에 더 영향을 받을 가능성이 크다는 판단을 하였다. 따라서 우선은 이러한 요인별 특성들을 우선적으로 반영하여 시설물의 적응성을 판별하는 방법을 정하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 조건하에서 향후 기후변화에 대응한 농업생산기반시설의 취약성을 판단하고 나아가서 적응성 판단을 위한 기법들에 대해서 소개하고자 한다.

(1) 취약성 지수 산정방법(construction of vulnerability index)

취약성 분석을 위해서는 노출, 민감 그리고 적응성을 평가할 수 있는 각각의 인자들에 대해서 정량화한 후 합산한 후 가중치(weight value)를 부여하여 취약성 여부를 평가하고 있다. 여기서 가중치를 부여하는 방법에는 zmrp ‘일정 가중치 부여법(unweighting method)’과 ‘가중치 부여법(unequal weighting method)’으로 나눌 수 있다. 이에 대해서 간단히 설명해 보면 다음과 같다.

(가) 일정 가중치 부여법

① 단순 평균법

일정 가중치 부여법은 다음 식을 이용하여 정규화된 값들을 단순히 평균을 구하면 된다.

$$VRI = \frac{\sum_j x_{ij} + \sum_j y_{ij}}{K} \quad [\text{식 1-8}]$$

여기서, K : 항목수, x_{ij} : 적응성에 긍정적인(+) 지표 중 I-구역의 j-지표의 표준화된 값, y_{ij} : 적응성에 부정적인(-) 지표 중 I-구역의 j-지표의 표준화된 값을 말한다.

예를 들어 한국농어촌공사에서 지사단위로 농업생산기반시설물의 적응성을 판별하다면, 다음 <표 1-142>와 같은 항목들에 대해서 $x_{ij} = \{\text{강우량} + \text{관리대상 구조물의 종류} + \text{수량} + \text{평가등급}\}$ 그리고 $y_{ij} = \{\text{구조물 관리인원} + \text{예산}\}$ 이 된다.

<표 1-142> 취약성평가항목 예

취약성 평가항목	취약성 증감
일강우 80mm이상 발생회수 (%)	↑
1종 관리개소수의 비율 (%)	↑
관리	↑
" 수량 (개)	↑
" 평가등급	↑
구조물당 관리인원 (명)	↓
" 관리예산 (원)	↓

이 방법은 기존의 자료들이 충분히 제공되지 않을 경우에 단순하게 적용시킬 수 있는 장점을 가지고 있지만, 장래의 예측에 있어서 적용성은 떨어지는 문제점이 있다.

② Patnalk & Narain 법

이 방법은 대표 지표들을 대상으로 그 내용을 세분화하는 것으로서 앞서 평균법에서 예를 들었던 지표들을 다음 <표 1-143>과 같이 세분화 할 수 있을 것이다.

<표 1-143> 세부 취약성평가항목 예

취약성 평가항목	세부항목	취약성 증감
기상인자	연평균강우량 (mm)	↑
	80mm이상 강우회수 (회)	↑
	연평균 태풍영향 일수 (일)	↑
	평균 일일 온도차 (도)	↑
	
관리면적 (ha)		↑
관리대상 구조물	저수지 수	↑
	양배수장 수	↑
	취입보 수	↑
	용배수로 연장 (km)	↑
	
관리대상 구조물 평가등급	평가등급 D	↑
	평가등급 E	↑
	
구조물당 관리인원	현장 관리인원	↓
	현장 조사인원	↓
	기술사/박사급 인력	↓
" 관리예산 (원)	인건비	↓
	경비	↓
	재료비	↓

각 항목별로 평균값을 구하고 전체적인 취약성은 다음 식과 같이 산정한다.

$$VRI = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (AI_i)^\alpha \right]^{\frac{1}{\alpha}}}{n} \quad [\text{식 1-9}]$$

여기서, n : 취약성 조사항목이고 $\alpha = n$ 이다.

이 방법은 단순 평균법의 단점을 보완하기 위하여 가용한 자료들을 모두 취약성 분석에 활용했다는 것이며, 따라서 분석결과에 대한 신뢰정도를 단순 평균법 보다는 높여 준다는 장점이 있다.

(나) 가중치 부여법

지표를 다음 (그림 1-144)와 같이 행렬로 표현했을 때, 취약성 지표는 다음 [식 1-10]와 같이 산정할 수 있다(Pandey et al., 2014).

	지표1	지표2	•	j	•	n
1지역	X_{11}	X_{12}	•	X_{1j}	•	X_{1n}
2지역	X_{21}	X_{22}	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
i	X_{i1}	•	•	X_{ij}	•	X_{in}
•	•	•	•	•	•	•
m	X_{m1}	•	•	•	•	X_{mn}

(그림 1-144) 취약성지표 계산을 위한 행렬

$$VRI = \sum_{j=1}^n (w_j \times x_{ij}) \quad [\text{식 1-10}]$$

여기서, w_j : j-번째 지표의 가중값(weight)

x_{ij} : i-번째 대상의 j-번째 지표의 표준화된 값

위 (식 2)에서 가중값, w_j 은 취약성의 중요도에 따라서 다르게 부여할 수 있으며, 가중값을 부여하는 방법은 i) 전문가들의 추천값을 사용하거나, ii) 통계적인 기법²⁴⁾을 사용하는 경우가 있다. 통계적기법을 이용하는 방법은 다음 [식 1-11]을 이용하여 구하면 되는데, 이 식은 가중값이 표준편차(standard deviation)의 역으로 비례한다고 가정하여 특정한 지표 값이 다른 지표들의 값에 과도한 영향을 주지 않도록 고려한 식이다(Iyengar & Sudarshan, 1982; Pandey et al., 2014; Fernandez et al., 2015; Singh et al., 2015; Kumar et al., 2016).

$$w_j = \frac{\sqrt{\sigma^2}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\sigma^2}} \quad [\text{식 1-11}]$$

여기서, σ_i^2 : i-번째 표준편차

24) 대부분 지표들은 다변량(multivariate) 성질을 가지므로, 통계학에서 잘 알려져 있는 다변량 분석을 실시하여 구하면 됨.

한편 참조기준 설정 방법 중의 하나로는 Brooks 등 (2005)의 사례에서 사망률과 상관성이 높은 지표에 더 높은 가중치를 부여하는 방법을 제시한 바 있다. 한편 취약성 지표 값들을 종합하여 조사 대상 지역별 취약성 분포를 제대로 표현할 수 있는가에 대한 검증이 필요하다. 그러나 기후변화 취약성이라는 것을 직접적으로 측정이나 추정이 불가하다. 다만 개념적으로 어떤 형태로든지 취약성의 지표가 될 만한 자료를 찾아 이를 취약성이라고 정의한다. 비록 기후변화 취약성과 정확히 일치하지는 않지만, 어떤 자연재해에 따른 피해 정도, 즉 자연재해에 대한 취약성이라 말할 수 있는 통계자료는 존재한다. 유가영과 김인애 (2008)는 Moss 등 (2001)의 취약성 지표를 그대로 활용하여 우리나라 지역별 취약성 분포를 파악하였는데, 이때 소방방재청에서 집계하는 ‘자연재난에 의한 사망자수 집계 통계(1986~2006)²⁵⁾’를 자연재난 취약성을 표현하는 자료로서, 기후변화 취약성과 일부 공통되는 부분을 가진다고 보고, VRI²⁶⁾와 자연재해 통계자료를 비교·분석함으로써, 지표의 타당성을 검증하였다. 위의 결과에서 VRI와 자연재해에 따른 사망자수 간의 관계는 선형이 아니고, 보통은 지수함수²⁷⁾의 형태로 나타난다. 그리고 대리변수 중 적응능력 부분의 환경역량이 과대평가되거나, 기후노출 부분이 과소평가되는 결과들이 나타났는데, 이 경우에는 VRI 산정식 [식 1-8]에서 부여한 가중치(민감도 0.5, 기후노출 0.5, 적응능력 1)를 다시 조정할 필요가 있다. 종합 취약성 지표의 계산결과는 단순히 순위를 정하는 방법이 많이 사용되고 있지만, 만약 취약성의 정도를 세분화해서 표현하고자 한다면, 통계학에서 다음 [식 1-12]와 같은 밀도함수식을 가지는 ‘베타분포 (β -distribution)’ 이용할 수 있다.

$$\int(Z) = \frac{z^{-1}(1-z)^{b-1}}{\beta(a,b)}, 0, z, 1, \text{ and } a, b > 0 \text{ [식 1-12]}$$

여기서, $\beta(a, b) = \int_0^1 x^{a-1}(1-x)^{b-1} dx$ 는 베타함수

(식 4)에서 $(0, Z_1), (Z_1, Z_2), (Z_2, Z_3), (Z_3, Z_4), (Z_4, Z_l)$ 구간을 정의하는데, 이들은 선형관계를 가지며, 따라서 각 구간은 20%의 확률을 가지는 것으로 가정하면, 각

25) 국가재난정보센터(<http://safekorea.go.kr/dmtd/index.jsp>)

26) 취약성-탄력성 지표(vulnerability-resilience indicator)

27) ‘tipping point’ 혹은 ‘threshold of hockey stick’이라고도 함. tipping point란 기후변화에 따른 영향이 마치 하키 채처럼 정도가 약할 때는 큰 영향을 가져오지 않다가, 어느 시점을 초과하게 되면, 그 영향이 지수함수적으로 늘어나 매우 큰 부정적 영향을 초래하게 되는데, 이때 영향이 매우 커지기 시작하는 시점을 말하는 것

구간들을 취약성의 정도를 다양하게 표현하는데 이용한다.

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1. Less vulnerable | if $0 < VRI < Z_1$ |
| 2. Moderately vulnerable | if $Z_1 < VRI < Z_2$ |
| 3. Vulnerable | if $Z_2 < VRI < Z_3$ |
| 4. Highly vulnerable | if $Z_3 < VRI < Z_4$ |
| 5. Severely vulnerable | if $Z_4 < VRI < Z_5$ |

물론 현재 수준에서 가중값을 정확하게 조정하고 (식 4)를 이용하여, 취약성 지표를 활용하여 취약성의 정도를 세밀하게 설명하기는 어려운 문제이며, 이를 위해서는 지표를 보다 현실적으로 선정하는 작업부터 선행 되어야 할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 농업생산기반시설물의 재해발생 현황에 대한 보다 정확한 자료관리와 자료집적 그리고 이러한 자료들을 취약성조사 및 분석에 활용할 수 있는 시스템의 구축에 대해서도 검토가 필요하다.

(다) 다변량 통계기법(multivariate statistical techniques)

취약성 지수의 구성에서 자료는 보통은 다변량(multivariate)이기 때문에 지표들의 가중치를 구하거나 지역을 분류하기 위해서는 다변량 통계분석을 적용하는 것이 가능하다.

① 주성분들(principle components)

PCA 는 고차원의 자료에서 패턴을 인식하는 다변량분석법이다. 일단 자료에 숨겨진 패턴을 찾았다면, PCA는 정보의 손실을 최소화 하면서 자료의 차원 수를 줄일 수 있도록 도와준다. 이것은 선형대수학(linear algebra)에서는 원자료(original data)의 선형변환이다. PCA는 고차원의 공간에서 그보다 낮은 차원의 공간에 표시 해 주는 선형변환 계산을 가능하게 해준다. 원자료에서는 변수들이 상호관계를 가질 수 있는데, PCA는 그것들을 상관관계가 없는 조합으로 변환시키도록 도와준다. 주성분 계산을 위한 주요 과정은 아래와 같다.

- (i) 자료를 행렬(X)형태로 정렬하라. 보통은 열(row)은 지역(M) 그리고 행(column)은 지표(indicators, K) 순으로 배열한다. 여기서 X 는 $M \times K$ 의 크기를 갖는다.

- (ii) 각각의 변수들의 경우 평균(\bar{X})을 계산하고, $X-\bar{X}$ 를 계산하라. 이 계산으로 새로운 행렬이 만들어지며, 여기서 각 행의 요소들을 합하면 그 값은 '0'이 된다.
- (iii) 다음 식을 이용하여 공분산(covariance)을 계산하라. 이 계산으로도 새로운 행렬이 만들어 지는데, 이 행렬의 대각요소들이 각 변수들의 변동이고, 비대각(off-diagonal)요소들은 각각의 변수 간에 공분산이다.

$$\frac{(X-\bar{X})^T(X-\bar{X})}{M} \quad [\text{식 1-13}]$$

- (iv) 공분산행렬의 고유값(eigen value)과 고유벡터(eigen vector)를 계산하라.
- (v) 고유값을 내림차순(descending)으로 배열하라. 가장 높은 고유값에 해당하는 고유벡터가 자료들 중에서 첫 번째 주성분이 된다. 그 다음이 두 번째, 세 번째 주성분이 된다. 이 과정을 거쳐 주성분들이 구분이 이루어지면, 이 주성분들 중에서 일정수준 이상의 주성분들은 이후 분석에서 사용된다. 그 이유는 각각의 고유값은 분산의 지분(?)을 나타내고 다음 식과 같은 조건에 포함되는 m 개의 고유값은 보관한다. 이때 보통 적용하는 기준값은 MINEIGEN 기준이다. 이 값은 고유값 > 1 인 모든 성분들을 보관한다.

$$\frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^K \lambda_i} > \text{Threshold level (normally 90 or 95\%)} \quad [\text{식 1-14}]$$

- (vi) 고유벡터는 각 측정에서 값을 재계산하기 위해서 사용될 수 있다.

② 클러스터 분석(cluster analysis)

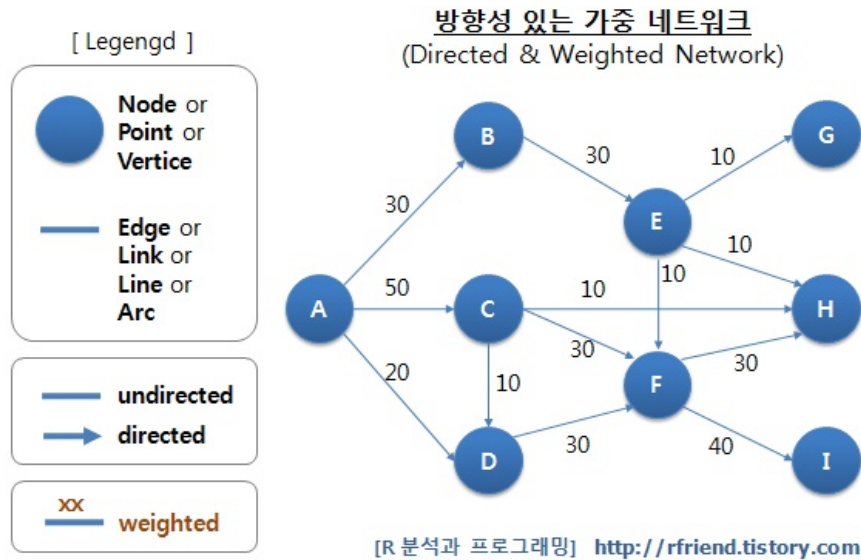
앞서 설명한 주성분분석법 등에서 지표들의 연산은 직접적이고 명확한 결과를 주는 장점이 있다. 그러나 다른 종류의 자료들을 조합하는 과정에서는 일부 정보의 손실을 가져올 수 있는 단점도 있다. 분석대상인 인자들 사이에 상호간섭으로 조합지수들이 가려진다. 클러스터분석은 주성분분석의 단점을 보완해 줄 수 있다고 한다(Gbetibouo and Ringler, 2009). 클러스터분석은 유대정도(the degree of association)가 강한

대상을 가운 클러스터에 집단화한다. 클러스터법은 계층적(hierarchical) 혹은 비계층적(non-hierarchical)으로 분류할 수 있다.

(라) 기타 방법들(Shang & Hossen, 2013)

① The Bayesian Network(BN)

BN은 점(node, point or vertice)과 선(edge, link, line or arc) 그리고 조건부 확률 분포(conditional probability distribution)로 구성된 DAG(directed acyclic graph)²⁸⁾를 말한다.



(그림 1-145) Bayesian Network의 예

(출처 : <http://rfriend.tistory.com/220>, 접속일 2018년 12월)

조건부확률은 한 사건A가 발생한다는 전제조건 하에서 다른 사건 B가 일어날 확률로써 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

28) 유향 비순환 그래프(혹은 유향 비사이클 그래프, 방향 비순환 그래프, 방향 비사이클 그래프, 방향성 비사이클 그래프)는 방향 순환이 없는 무한 유향 그래프이다. 즉, 무한히 많은 꼭짓점(vertice)과 간선(edge)으로 구성되며 각 간선은 하나의 꼭짓점에서 다른 꼭짓점으로 방향을 있는데 이때 꼭짓점 v에서 시작하여 끝내 다시 v로 돌아가지 않는 비순환, 다시 말해 위상 정렬이 있는 유향 그래프이다. 이러한 DAG는 각기 다른 종류의 수많은 정보를 모델링할 수 있는 특징이 있다. 예를 들면, 스프레드시트에서 각 셀은 꼭짓점으로, 하나의 셀의 공식이 다른 셀의 값을 사용하는 것은 간선으로 간주 할 수 있다. 즉, DAG의 위상정렬을 사용하면 스프레드시트가 변경될 때 모든 셀의 값을 업데이트할 수 있도록 할 수 있다. (출처: https://ko.wikipedia.org/wiki/유향_비순환_그래프)

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \quad [\text{식 1-15}]$$

조건부확률분포에서 분포는 함수를 나타낸다. 따라서 어떤 확률변수 $X=x$ 와 $Y=y$ 가 있다고 한다면, X 를 전제로 한 Y 의 확률분포 함수는 $f(y|x)$ 같이 나타낼 수 있다.

$$f(y|x) = \frac{f(x, y)}{f_X(x)} \quad [\text{식 1-16}]$$

$f_X(x)$ 주변확률분포(marginal probability distribution). BN은 베이즈의 법칙(Bayes's rules)과 조건부확률분포를 이용해, DAG 전체 구성에서 선행지점의 정보를 이용한 후속지점의 발생확률을 예측하게 된다. 최근의 빅데이터(big data)를 이용한 머신러닝(machine learning)연구에서 많이 사용하는 방법 중 하나이다.

그러나 이 방법은 우선 확률분포를 사용하기 위해서는 변수들의 상호관계를 분석할 수 있는 충분한 자료를 확보하거나 사전에 그 분포를 알아야만 하는 단점이 있다. 더불어서 이 네트워크 작성을 위해서는 전문적인 지식과 많은 시간이 필요하다.

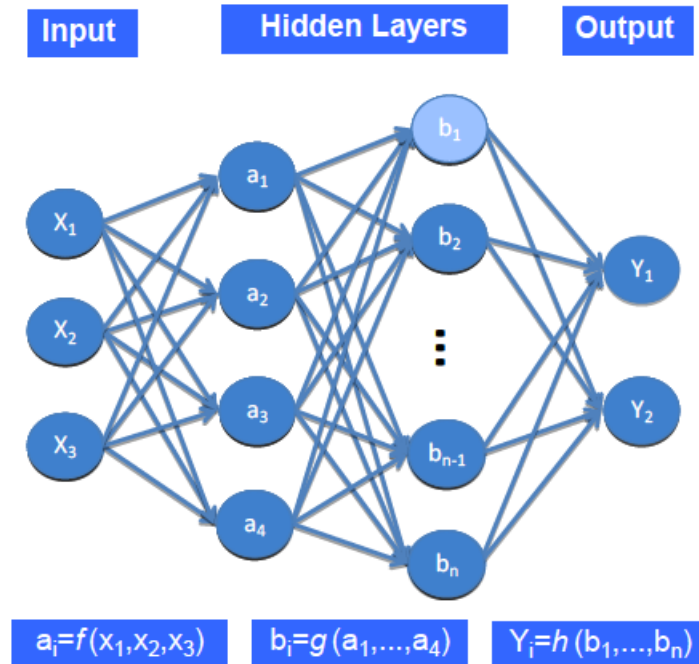
따라서 이러한 조건을 만족하지 못하는 경우에는 사용이 제한되고, 보통은 소규모의 시스템에 적용하는 경우가 많지만, 현재 관련 연구들이 급속하게 늘어나고 있어 향후에는 그 사용이 많아질 것으로 예상된다.

② Artificial Neural Networks (ANN)

ANN은 변수간의 상관관계를 인간의 신경전달조직(neural network)과 유사한 방식으로 학습하기 위하여 사용된다. 신경조직은 수많은 뉴런(neuron)들이 있으며, 이 뉴런들은 어떤 방식들에 의해서 연결되어 있으며, 이때 뉴런 사이의 입력과 출력 사이에는 다중의 숨겨진층(hidden layer)이 존재할 수 있다.

이때 함수간의 관계는 최우도산정(maximum likely estimation, MLE), 최대사후 확률(maximum a posteriori probability, MAP) 혹은 역전파(back propagation)²⁹⁾ 법등을 이용하여 나타내는데, 이를 위해서는 충분한 학습자료가 요구된다. 이 방법은 형태인식(pattern recognition), 예측(prediction) 그리고 분류(classification) 등의 작업에서 활용될 수 있다.

29) 입력신호에 대해서 출력신호가 주어질 때, 회로망의 출력신호와와의 차의 제곱을 줄이는 방향으로 각 뉴런간의 시냅스 결합 효율을 변화시키는 것으로서, 일종의 최급강하법이며, 확률강하법이라고도 한다. (출처: [Daum백과] [역전법](#) - [컴퓨터 정보 용어대사전](#), 한국사전연구소)



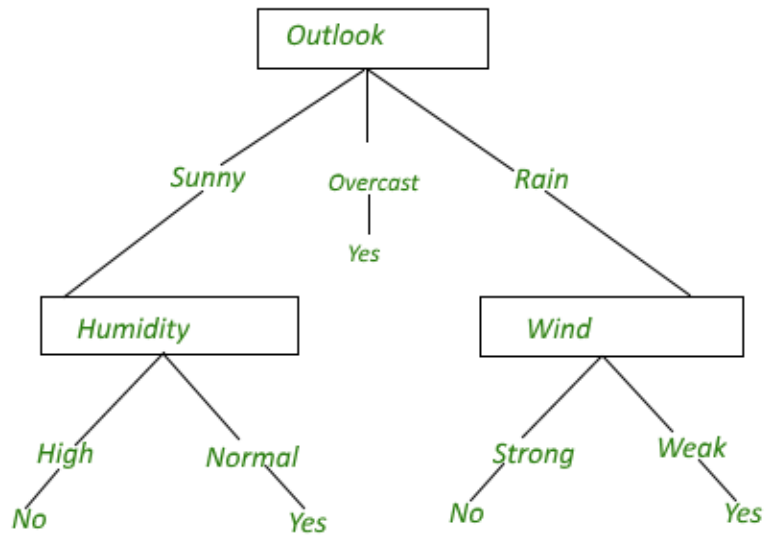
(그림 1-146) ANN 개념도

(출처: Shang & Hossen. 2013, 21p)

ANN의 정확성을 높이기 위해서는 대단히 많은 양의 학습자료가 필요한 단점이 있다. 즉 ANN은 기존에 축적된 자료가 많은 경우에는 그동안 연구되지 않았던 혹은 그 관계가 분명하지 않았던 사례들에 대해서 학습을 통하여 구명해 낼 수 있는 경우에 적절하게 사용될 수 있는 방법이다.

③ Decision Tree (DT)

DT 모델은 어떤 결정과정을 임의의 규칙에 근거해서 나뉘어가는 형태로 표현하여 수월하게 작업을 진행하기 위하여 사용한다. 이 모델은 분류와 결정을 위해 대상의 속성을 사용한다. 여기서 속성은 필요한 자료들을 분석하여 규칙을 만들면서 설정할 수도 있고, 기존의 자료가 충분하지 않더라도 전문가의 자문등을 받아 수행할 수 있다. DT 모델의 간단한 예로서, ‘야외에서 테니스를 칠 것인가?’ 여부를 결정하기 위해서서 아래 (그림 1-147)과 같은 모델을 만들어 사용할 수 있다는 것이다. 또한 그림에서와 같이 DT 모델은 결정과정의 흐름을 명확하게 확인할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 다른 모델들은 결정과정을 명확하게 파악하기 어려운 구조를 가지고 있다.

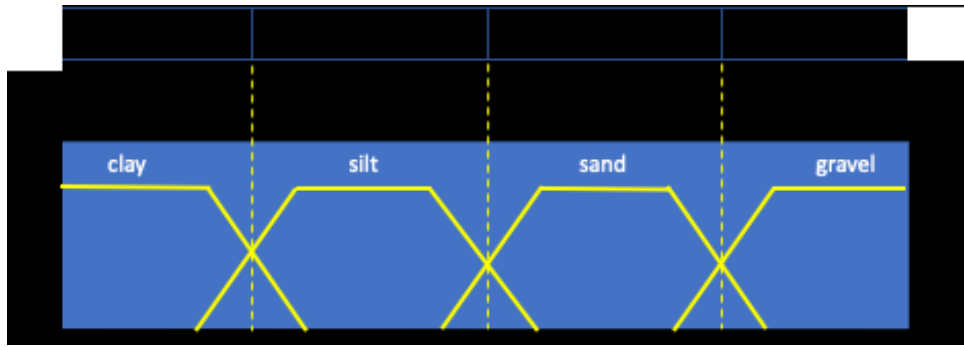


(그림 1-147) Decision Tree의 개념도

(출처: <https://www.geeksforgeeks.org/decision-tree>)

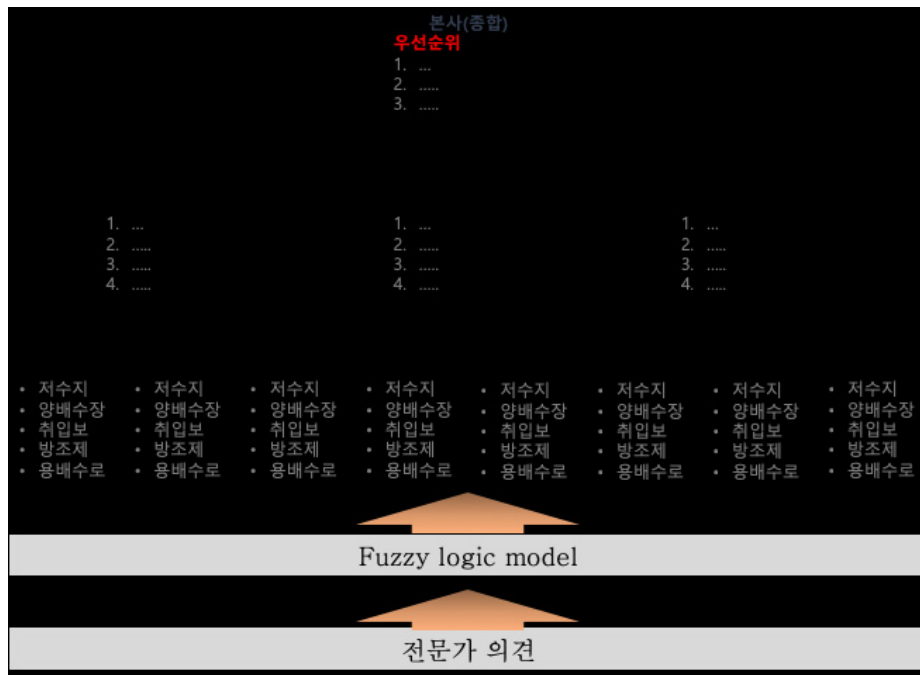
(마) Fuzzy logic을 이용한 방법

퍼지논리(fuzzy logic)는 자료가 부족하거나 부정확한 자료에 의존하여 위해성 조사 및 판정을 해야 하는 경우에 적용할 수 있는 방법이다. 즉, 최근의 기후변화의 영향으로 각종 자연재해가 빈번하게 발생되고 있는 상황에서 기존의 자료가 부족한 상태에서 관행적인 확률론적 이론을 적용할 수 없는 어려움이 있다. 이런 경우에는 퍼지논리의 개념을 적용하여 위해성 조사와 최종 결정을 내릴 수 있다는 것이다(Shang & Hossen, 2013). 위해성 조사에서 가장 많이 사용되고 있는 정량적인 모델은 전통적인 확률론적인 모델(probability model)이다. 대상들은 수치적인 값들로 측정이 되고, 확률적인 공간들의 집합이 서로 배타적이라면, 각각 대상들은 오직 한 집합에 속하게 된다(Werro, 2008; Ponce-Cruz&Ramírez-Figueroa, 2009). 그러나 퍼지이론에서 퍼지 집합(fuzzy set)은 배타적이지 않다(). 즉 집합들 간에 서로 중복을 허용한다. 예를 들면, 우리나라 산업규격에 의하면 흙 입자들은 자갈, 모래, 실트, 점토가 아래의 (그림 1-148)처럼 그 경계가 (배타적으로) 명확하게 규정되어 있다. 그러나 실제로 그 경계 전후의 흙 입자들의 성질이 명확하게 구분되어 지는 것은 아니다. 즉, 경계 부근의 흙 입자들은 어느 정도(degree)는 서로 공통의 성질을 가지는 특성을 보일 것으로 예상할 수 있다. 그러나 경계에서 멀어지는 경우에는 각각의 흙의 종류에 따른 구별되는 특별한 성질만을 가지는 흙이라고 구별할 수 있을 것이다.



(그림 1-148) 퍼지집합의 개념도 (Demicco & Klir, 2004)

퍼지논리를 이용한 농업생산기반 시설물들의 적응성 분석기법은 전체적으로는 다음과 [그림 1-149]와 같은 상향식(bottom-up)으로 구성할 수 있다. 처음에는 지사별로 관리시설물에 대한 적응성을 분석하고 이 결과를 다시 도 분부차원에서 ‘수집/분석/우선순위화’하고 이 결과를 최종적으로 본사에서 수집하여 향후 기후변화에 대한 적응성 자료로 활용할 수 있을 것이다.

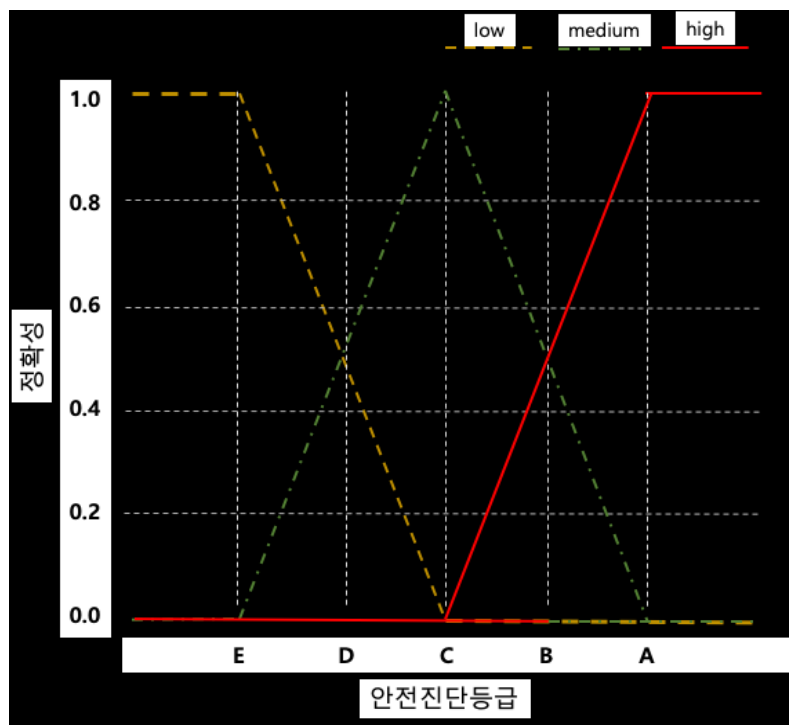


(그림 1-149) 농업생산기반 시설물들의 적응성 분석기법 체계도

그림에서 ‘Fuzzy logic model’은 평가인자(evaluation indicators), 멤버쉽함수(membership function, MF) 그리고 추정규칙(inference rule)이 필요하다. 평가인자를 정량화하기 위해서는 표준척도(same measure)가 필요한데, 시설물들 같은 경우에는

기상이변 발생 시의 ‘사고 시설물수’ 혹은 ‘손실(loss)액’정도가 될 수 있을 것이다. 만약 지사에서 관리하고 있는 시설물들 마다 기상이변에 따른 ‘피해발생 분포’가 주어지고 퍼지논리 모델을 이용하여 손실액의 분포를 추정할 수 있다면, 그 척도는 피해발생 분포의 ‘99.5th-percentile(200년 빈도)’과 같이 제시될 수 있을 것이다. 그런데 아직까지 이러한 분포는 충분히 제공되고 있지 못하다.

대신 일반적으로 적용 가능한 모델은 아래와 같은 자료의 신뢰성을 정규화하는 방식으로 자료를 정량화 할 수 있는 것이다. 즉, 아래의 (그림 1-150)과 같이 어떤 시설물의 안전진단등급에 따라서 기상이변에 따른 적응성을 정량화할 수 있다. 이때 특정 분위수(percentile)에서 값들을 기상이변 발생 시에 발휘될 것으로 예상되는 적응성을 나타내는 기준으로 사용할 수 있다.



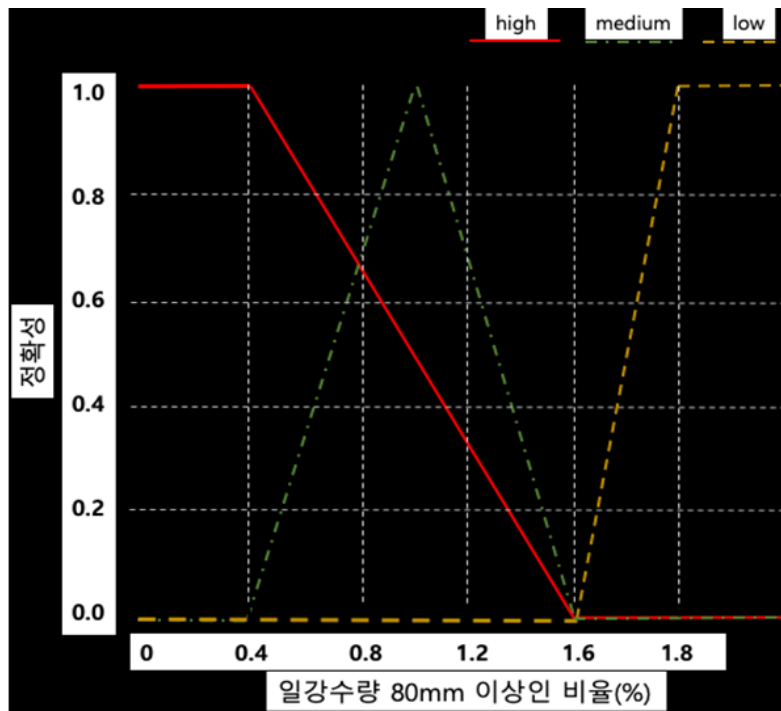
(그림 1-150) 시설물의 안전진단등급에 근거한 적응성 평가 MF의 예

이와 같은 MF는 시설물의 안전진단등급을 기준으로 다음과 <표 1-144>와 같이 설명할 수 있다.

<표 1-144> 안전진단등급에 대한 MF의 예

- DSS A 이면 적응성은 high
- DSS B, C 이면, 적응성은 medium
- DSS E 이면, 적응성은 low

여기서 적응성의 정도(high, medium 그리고 low)를 결정하는 것은 기존에 축적된 자료가 많으면, 그 자료들을 통계적 기법으로서 분석하여 반영하면 된다. 그러나 충분한 자료가 확보되어 있지 않은 경우에는 전문가의 의견을 반영하여 결정할 수 있다. 이때 복수의 전문가에게 의견을 구하여 결정하는 것이 바람직하고, 만약 전문가들 사이에 의견이 일치하지 않는 경우에는 평균 혹은 중간 값을 적용할 수 있다. 한편 MF는 관련 자료들이 지속적으로 수집되어 조금 더 개선된 모델이 나온다면 수정해서 이용할 수 있다. 물론 자료가 충분히 축적된 이후에는 일반적인 통계학적 모델들을 사용하여 수정 할 수 있다. 이러한 MF는 다양한 인자들에 대해서 수립할 수 있다. 앞서 살펴본 안전진단등급 외에 일강수량, 준공시기, 태풍의 영향 등의 인자들에 대해서 각각의 MF를 작성할 수 있다. 일강수량의 경우에는 전체 일강우일수 중 80mm 이상인 일수의 백분율(80DP%)을 기준으로 다음과 같이 MF를 작성할 수 있다.

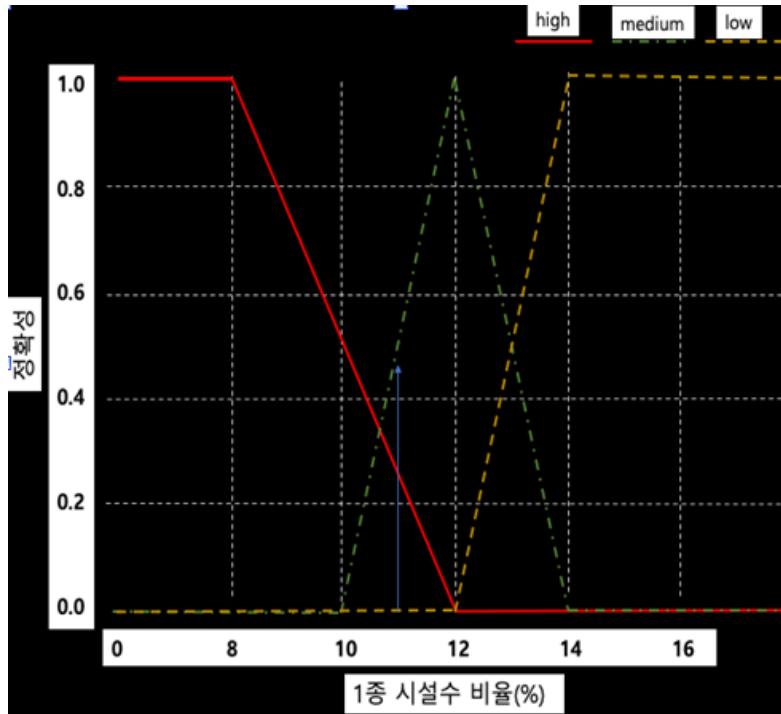


(그림 1-151) 전체 일강우일수 중 80mm 이상인 일수의 비율(80DP%)에 근거한 적응성 평가 MF의 예

<표 1-145> 전체 일강우일수 중 80mm 이상인 일수의 백분율 자료에 대한 MF의 예

<ul style="list-style-type: none"> · 80DP% ≤ 0.5 적응성은 high · 0.5 < 80DP% ≤ 1.5이면, 적응성은 medium · 1.75 < 80DP% 이면, 적응성은 low
--

또한 앞서 언급되었던 평가인자들 중 전체 관리개소수 중 1종및2종 시설물수의 비율(12NS%)에 대한 MF를 작성할 수 있다.



(그림 1-152) 전체 관리시설수 중 1종 시설수의 비율(12NS%)에 근거한 적응성 평가 MF의 예

<표 1-146> 전체 관리개소수에 대한 1종 시설수의 비율(12NS%)에 대한 MF의 예

<ul style="list-style-type: none"> · $12NS\% \leq 12\%$ 적응성은 high · $9.0 < 12NS\% \leq 15.0\%$이면, 적응성은 medium · $10.0\% < 12NS\%$ 이면, 적응성은 low
--

각각의 인자들에 대해서 MF가 작성되면, 인자들 간에 관계는 추론규칙(inference rules)을 만들어 수립할 수 있다. 추론규칙의 예를 들어 설명하면, 앞에서 언급했던 인자들 중에서 일강수량(80DP%)과 안전진단등급(DSS)의 관계가 적응성에 미치는 영향은 다음과 같이 논리적으로 기술할 수 있다.

<표 1-147> 추론규칙의 적용 예

80DP%가 낮고, 12NS%가 높고 그리고 DSS가 낮으면, 시설물의 적응성은 매우 높다.
80DP%가 낮고, 12NS%가 낮고 그리고 DSS가 낮으면, 시설물의 적응성은 높다.
80DP%가 높고, 12NS%가 높고 그리고 DSS가 낮으면, 시설물의 적응성은 보통 이다.
80DP%가 높고, 12NS%가 낮고 그리고 DSS가 높으면, 시설물의 적응성은 보통 이다.
80DP%가 높고, 12NS%가 높고 그리고 DSS가 높으면, 시설물의 적응성은 보통 이다.
...
80DP%가 높고, 12NS%가 낮고 그리고 DSS%가 높으면, 시설물의 적응성은 낮다.

여기서 “80DP%가 낮고, DSS가 높고 그리고 12NS%가 보통”인 경우에 대해서 추론규칙을 실제 사례를 들어 알아보기로 한다. 실제 사례는 2011년 8월 5일 한국 농어촌공사 전남지역본부, 순천광양여수지사, ‘운천저수지 폐통관 누수 응급복구 및 향구복구 사례’로서, 운천저수지는 전라남도 순천시 별량면 운천리에 위치하고 있으며, 수혜면적 236.3ha(유역면적 639ha)규모의 저수지이다. 폐통관 누수발생 시점은 ’11. 08. 05(금) 12:50경으로서 시설 노후로 인한 폐통관(일명 막창) 파손으로 누수 피해가 발생하여 주변 농경지 침수가 발생하였다.



(그림 1-153) 운저수지 폐통관 누수 피해 전경

사고가 발생한 운천저수지는 안전진단등급(DSS) ‘C’ 이었으며, 일강우량 자료는 주변의 여수기상대 자료에 의하면, 사고발생 당일에는 강수발생이 없었으나 4일전인 2011년 8월 1일에 124mm의 일강수량을 기록하였으며, 여수기상대의 80mm이상 강수발생 비율(80DP%)은 1.0%(0.0)인 것으로 나타났다(다음 그림들 참조). 또한 앞서 1중 관리시설수 비율(12NS%)은 11.0%로 나타나서 이를 적용해 보기로 한다.

◆ 시설물현황

■ 시설명 : 운천저수지

- 소재지 : 전라남도 순천시 별량면 운천리
- 제체길이 : 163 m
- 제체높이 : 12.5 m
- 총저수량 : 1,031.37 천㎥
- 현재 저수율 : 98.3 %
- 수해면적 : 236.3 ha(만㎥)

■ 시설관리

- 지사 : 순천.광양.여수지사

■ 설치현황

- 착공일 : 1968-11-28
- 준공일 : 1970-11-30

■ 안전점검결과

- 점검일자 : 2018-09-13
- 점검결과 : C

■ 시설이력

시설관리구분	시작일	종료일
저수지준설	2006-07-07	2006-07-07

■ 급수예고

급수일자	급수간선	급수지역
2018-09-13	운천1간선	운천동

■ 수질현황

농업용수수질기준	검사일자	COD(5이하)	T-N(1.0이하)	T-P(0.1이하)	SS(15이하)
측정값	2018-06-04	5	0.633	0.018	0.9

■ 저수지정보

수해면적(ha)	만수면적(ha)	홍수면적(ha)	유역면적(ha)	홍수빈도(년)	한발빈도(년)
236.3	22.1	23.1	639	100	10

■ 사진이미지

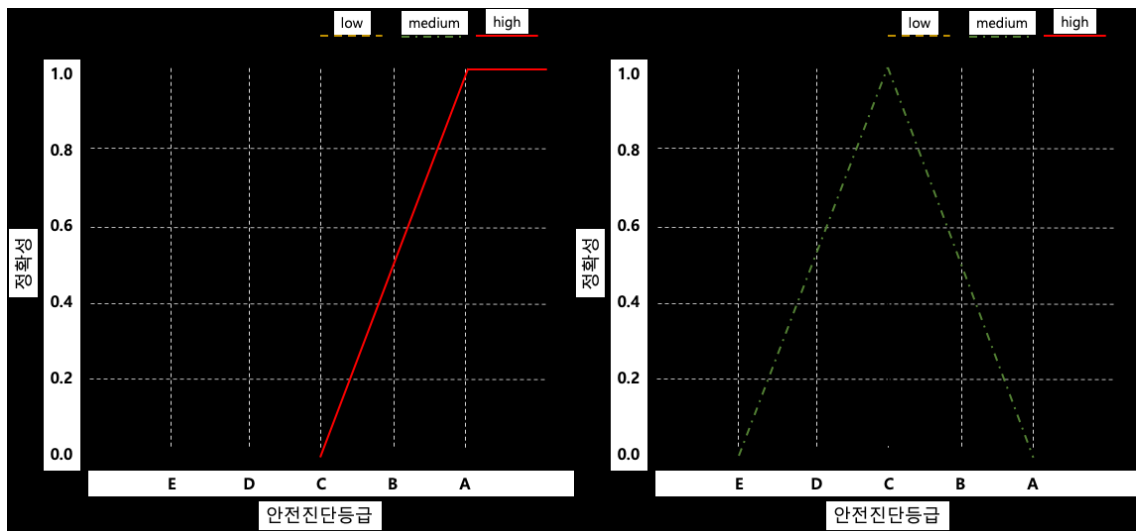


■ 지도이미지

지도
스카이뷰

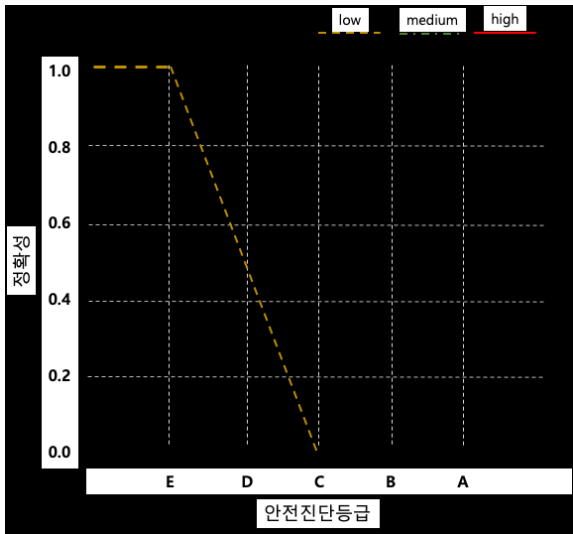


(그림 1-154) 운천저수지 시설물 현황

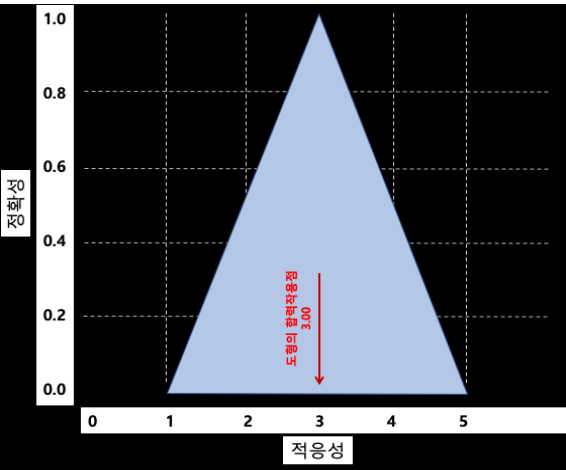


(그림 1-155) 운천저수지 안전진단등급이 높을 가능성 점수

(그림 1-156) 운천저수지 안전진단등급이 보통일 가능성 점수

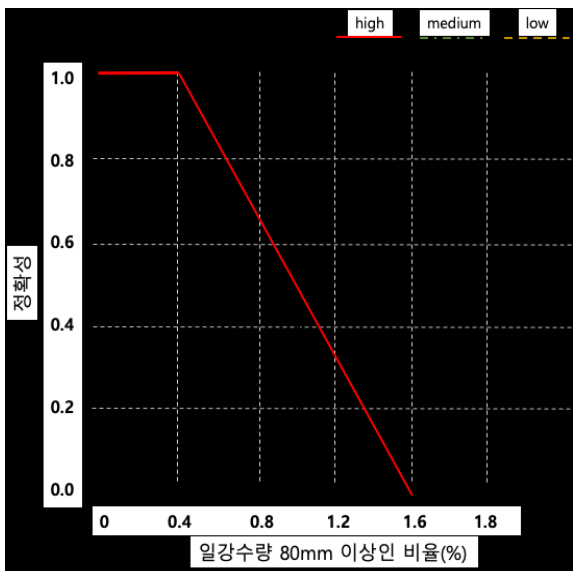


(그림 1-157) 운천저수지 안전진단등급이 낮을 가능성 점수

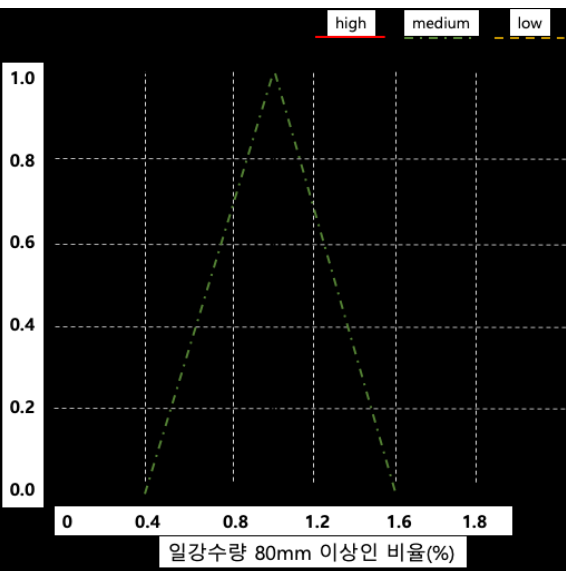


(그림 1-158) 운천저수지 안전진단등급의 점수합계

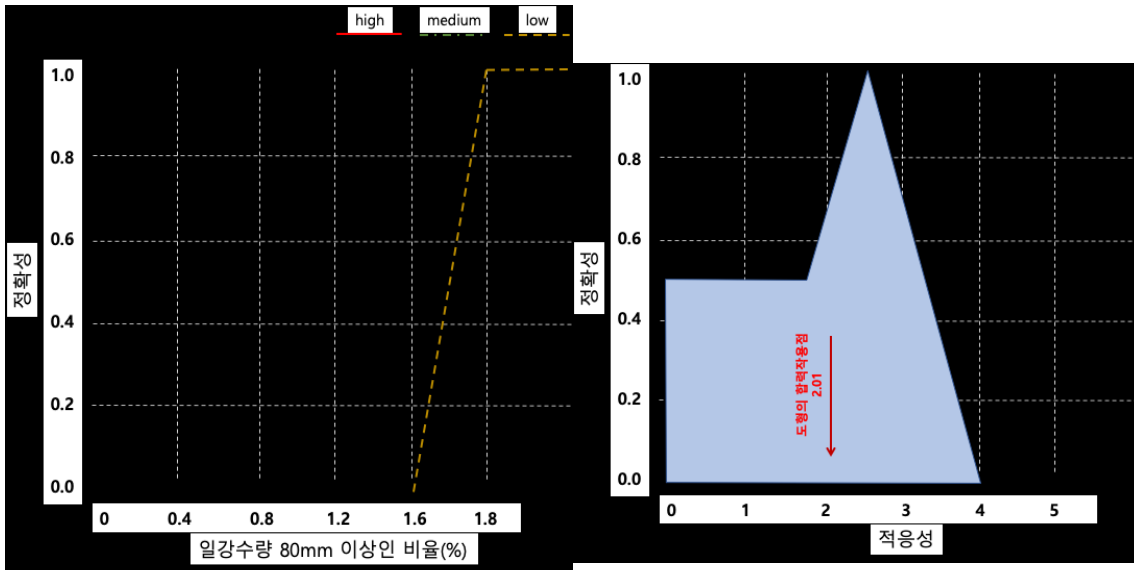
따라서 운천저수지의 안전진단등급이 높을 가능성은 0, 보통일 가능성은 1.0, 낮을 가능성은 0 이다. 이들 각각은 퍼지집합으로서 이들을 합산해서 정량화(defuzzification)해야 한다. (그림 1-158)은 (그림 1-155)부터 (그림 1-157)까지 합산한 그림이다. 그림 속에는 도형의 합력작용점이 운천저수지의 안전진단등급에 따른 적용성평가 점수이다. 이 점수는 모든 안전진단등급 'C'인 시설물에 동일하게 적용할 수 있다.



(그림 1-159) 운천저수지 80DP%이 높을 가능성 점수



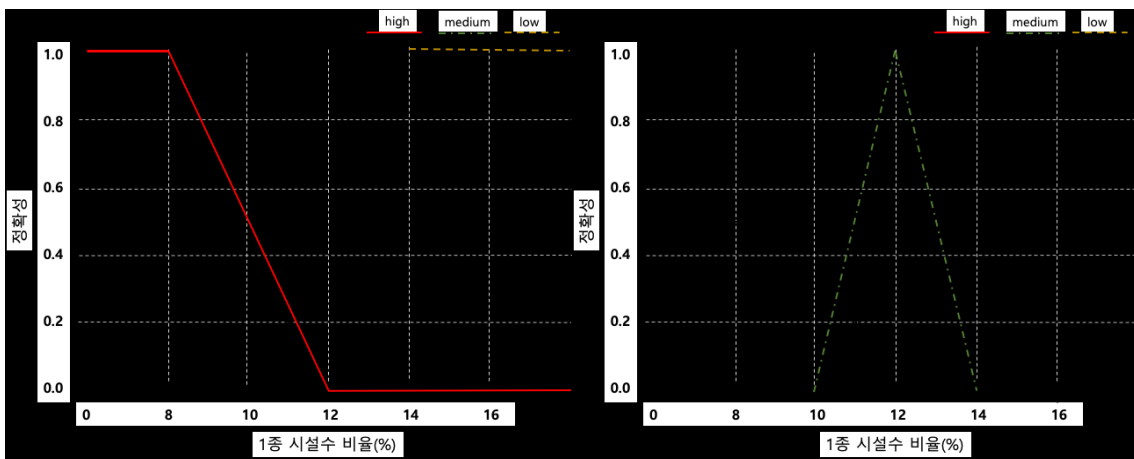
(그림 1-160) 운천저수지 80DP%이 보통일 가능성 점수



(그림 1-161) 운천저수지 80DP%이
낮을 가능성 점수

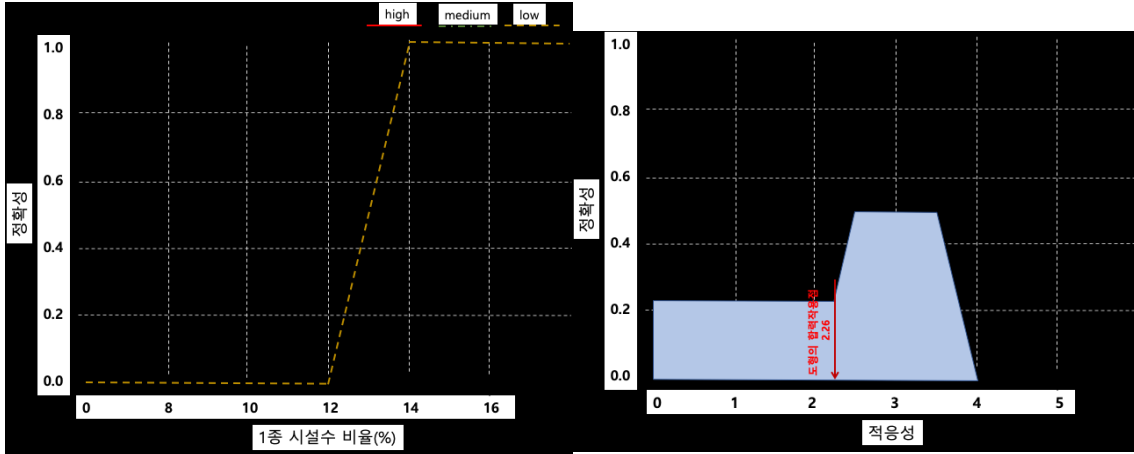
(그림 1-162) 운천저수지 80DP%의
점수합계

운천저수지의 80DP%이 높을 가능성은 0.50, 보통일 가능성은 1.0, 낮을 가능성은 0 이다. (그림 1-162)는 (그림 1-159)부터 (그림 1-161)까지 합산한 그림이다. 그림 속에는 도형의 협력작용점이 운천저수지의 80DP%에 따른 적응성평가 점수이다.



(그림 1-163) 운천저수지 12NS%가
높을 가능성 점수

(그림 1-164) 운천저수지 12NS%가
높을 가능성 점수



(그림 1-165) 운천저수지 12NS%가 높을 가능성 점수

(그림 1-166) 운천저수지 12NS%의 점수합계

운천저수지의 12NS%가 높을 가능성은 0.21, 보통일 가능성은 0.5, 낮을 가능성은 0 이다. (그림 1-166)은 (그림 1-163)부터 (그림 1-165)까지 합산한 그림이다. 그림 속에는 도형의 합력작용점이 운천저수지의 12NS%에 따른 적응성평가 점수이다.

이렇게 각 항목별로 산정된 적응성평가 점수는 평균, 최소값, 중간값 등을 채용하면 되는데, 일반적으로 평균값을 가장 많이 활용한다. 따라서 운천저수지의 적응성평가 지수는 다음과 같다.

$$\frac{DSS+80DP\%+12NS\%}{3} = \frac{3.00+2.01+2.26}{3} = 2.423 \quad [\text{식 1-17}]$$

이 결과는 최종적으로 적응성 기준(adaption measure)에 의거해서 분류가 이루어져야 하며, 아직까지 명확한 사례는 없지만 일반적으로 다음 <표 1-148>과 같은 기준을 사용한다면, 운천저수지의 적응성은 보통에 가까운 시설물이라고 할 수 있다.

<표 1-148> 적응성 평가표

적응성 점수	평 가
4.1 ~ 5.0	매우 우수
3.1 ~ 4.0	우 수
2.1 ~ 3.0	보 통
1.1 ~ 2.0	심 각
0.0 ~ 1.0	매우 심각

제 2 절 농업생산기반 시설의 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발

1. 농업용수 수요공급 효율성 분석 기법 개발

가. 효율성 분석을 위한 수요 및 공급량 산정 방법 고찰

최근 기후변화로 인한 농업환경이 많이 변화하고 있으나, 기존의 농업용수 산정 방법은 기후변화 인자를 반영하지 않고 있다. 기후변화 인자에는 작물계수의 변화와 벼 생육시기 변화로 인한 작부시기 변화 등이 포함된다. 작물계수의 경우 기존의 농업용수 산정모델인 HOMWRS에서는 농업용수개발 필요수량 산정기준(농업진흥공사, 1980) 및 작물 소비수량 산정방법의 정립(농업진흥공사와 서울대 농업개발연구소, 1986) 연구를 통해 1982-1986년간의 5개년 동안 전국 9개 시험포장에서 벼의 생육기별 증발산량을 실측한 작물계수 및 Penman식을 기본으로 하여 제안된 순별 작물계수를 적용하고 있다. 밭작물의 작물계수의 경우에는 Penman-Monteith 공식을 적용한 작물계수를 사용하고 있으며, FAO(1998)에서 제안한 작물계수를 기반으로 하고 있다.

기존에 사용되고 있는 작물계수는 1980년대 혹은 1990년대에 제안된 값을 사용하고 있으므로 현재의 우리나라의 기후변화 현상을 반영하지 못하고 있다. 또한 최근에는 세계적으로 모든 작물의 증발산량 계산에 Penman-Monteith공식을 활용하고 있는 추세이다. 따라서 최근의 우리나라 기후변화 현상을 반영한 작물계수의 적용과 FAO에서 추천한 Penman-Monteith공식의 적용을 고려할 필요가 있다. 기존 농업용수 물수지 분석 방법은 기후변화에 따른 벼 생육시기 변화로 인한 작부시기의 변화를 반영하지 못하고 있다. 작부시기는 기후변화의 영향과 더불어 지역별, 영농패턴(단모작, 이모작 여부)에 따라 편차가 발생하기 때문에 이를 고려하여 최근 여건을 반영하여야 한다.

현재 농업용수 수요량 산정에 사용되는 HOMWRS의 경우 우리나라를 중·남부 지역으로 구분하여 작부시기를 제시하고 있으며, 남부지역의 작부시기를 중부지역의 작부시기를 10일 정도 늦추어 제시하고 있다. 기존의 작부시기는 이앙재배의 경우 작부시기를 묘대기간, 이앙 기간, 본답기간 등으로 구분되어 있으나, 현재 못자리 재배가 많이 감소한 관계로 농업용수 수요량 산정에서 묘대기 및 묘대정지기의 의미가 많이 감소한 상태이다. 따라서 최근 농진청(2017b)의 연구결과를 반영하여 작부시기의 변화를 고려하고 현재의 영농패턴의 변화를 반영하여 묘대기 및 묘대

정지기를 논 작부시기에서 제외하고 농진청(2017b)에서 사용하는 작부시기와 동일한 용어로 통일할 필요가 있다.

<표 2-1> 기존 논 작부시기(한국농어촌공사, 2010)

구 분		묘대기	묘대정지기	이앙기	본답기
기존	중부지역	4.17-4.20	4.17-5.31	5.21-6.10	6.11-9.11
	남부지역	4.27-4.30	4.27-6.10	6.1-6.20	6.21-9.21

농업수자원의 수요량 및 공급량을 예측하기 위해서 문제시 되는 것은 작물의 증발산량, 적정 침투량, 작물계수, 회귀수량 등의 정확한 산정이며, 이때 관개지역 물수지에 가장 중요한 인자는 농업용수를 공급하는 관개면적 인자이다(김일정, 2014).

최근 쌀수급 변화에 따른 논 면적의 급격한 감소로 최근 10년간 연평균 벼 재배 면적의 감소율은 2.4% 정도이며, 2017년에는 3.1%가 감소하였다. 또한 1인 가구와 쌀 대체 식품 증가로 인해 1인당 쌀 소비량의 감소로 최근 10년 연평균 감소율은 2.4%, 2017년 1인당 연간 쌀 소비량은 60.4kg으로 쌀 소비량은 지속적인 감소가 예견된다.

따라서 최근의 식생활변화에 따른 쌀 생산량 감소에 의한 논면적 감소와 고부가 가치 작물재배에 따른 밭경지 면적 증가, 논경지의 밭작물 및 시설 재배 활용 비율이 증대하고 있으나 기존의 농업용수 수요량 산정방법에는 경지면적 자료를 과거에 구축된 통계연보 자료에 기반하여 적용하고 있어 현재 경지면적에 대한 현장 여건 변화를 고려하지 못하고 있기에 이에 대한 개선이 필요하다.

현재 농업용수 물수지 분석 모형으로 사용되고 있는 HOMWRS의 경우에 작부 시기를 묘대기, 묘대정지기, 이앙기, 본답기의 4기간으로 구분하여 농업용수를 산정하고 있다. 최근 묘대기 및 묘대정지기의 경우 최근 직관장에서 육묘를 직접 구매하는 형식이 증대됨에 따라 논에서의 못자리 재배가 많이 감소한 상태이다. 따라서 농업용수 수요량 산정에서 못자리 용수의 의미가 크지 않은 상태이므로 수요량 산정에 이러한 용수 감소요소를 고려할 필요가 있다. 또한 최근 기후변화 및 영농 패턴의 변화에 따라 심수, 천수, 간단담수, 비담수 등 다양한 담수심의 적용과 논에서의 이모작, 3모작에 따른 필지당 벼 외에 작물 필요수량 증대, 작물 생산량 증대,

품질 확보, 친환경 영농재배 증가, 농작업 효율 향상 등을 위한 단위면적당 물이용 수량이 증대하고 있으나 이를 고려하지 않고 있어 수요량 산정에 단위용수요 증가 요소를 반영한 개선이 필요하다.

현재 우리나라 농업용수 손실량은 35% 정도로 추정하고 있다(농림부, 1998). 농업용수 손실은 크게 수로손실과 관리손실로 구분되며 수로손실은 증발산, 침투량, 누수의 합으로 나타내고, 관리손실은 배분관리용수, 관리자 부실 및 사용자 부실에 의한 손실로 나타낸다. 수로의 누수는 구조물 수로의 노후화로 인한 누수발생과 흙수로 누수에 기인한 물손실이 대부분이며, 배분관리용수는 용수의 원활한 배분을 위하여 여분으로 공급하는 수량으로, 배분관리 용수의 종류에는 수로 수위 유지용수, 배분 균등화 용수, 수질보전용수 등이 포함된다. 농업용수 수요량 산정에 반영되는 수로손실은 농업생산기반정비사업 계획설계기준 수로편 (농림부, 2004)을 기반으로 일반적인 송수손실률을 송수손실수량(증발 & 침투)으로 콘크리트의 경우 5~10% 손실율을 적용하고, 배분관리용수량은 개·관수로 조용수량의 경우 5-10%를 적용하고 있다. 송수손실율은 수로의 포장형식 및 상태, 수로주변 지하수위, 유하거리 등에 의해 좌우된다.

<표 2-2> 일반적 송수손실률 (농림부, 2004)

구 분	용수간선	용수지선	용수지거
콘크리트	5 ~ 10%		
점토질	15%	10%	5%
양토	16 ~ 22%	11 ~ 17%	6 ~ 12%
사질토	25%	20%	15%

수로노후화에 의한 송수손실수량 증대와 수요 및 공급자 측면에서의 물관리 관행에 따른 용수사용 과다와 관리부실에 의한 배분관리용수량의 증대 요소 등 시설관리용수량의 현장여건의 고려도 수요량 산정에 반영하지 않고 있으므로 이에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

(1) 농업용수 공급량 산정 방법 고찰

합리화계획에서 채택하고 있는 농업용수 공급량 산정기법은 미래 수요량에 기반한

물수지 분석에 의한 공급량 분석이 아닌 2012년 현재시점에서의 수리시설의 용수 공급능을 적용하고 있어 미래 농업용수 공급가능량을 제시하지 않고 있다. 따라서 향후 합리화계획에서 목표연도의 농업용수 공급량 산정을 위해서 내한능력 10년 빈도 기준으로한 수요량 대비 물수지분석을 통한 공급량 산정기법으로 개선할 필요가 있다.

앞서 언급한 바와 같이 현재의 합리화계획에서는 농업용수 공급량 산정이 미래 예측 수요량에 기반한 물수지 분석을 실시에 의한 공급량 분석이 아닌 2012년 현재시점에서의 수리시설의 용수공급능을 적용하고 있어 회귀수량을 전혀 고려하고 있지 않고 있다. 따라서 향후 농업용수 회귀수량에 대한 정량적인 조사와 연구를 통해 농업용수 공급량 산정에 반영할 필요가 있다. 기존의 농업용수 공급량은 주수원공의 용수공급능을 고려하고 있어서 보조수원공의 역할이 고려되지 않고 있다. 실제 주수원공과 보조수원공에서 공급하는 수혜면적의 구분이 불분명하여 보조수원공이 담당하는 공급량은 거의 반영이 되지 않고 있다. 따라서 향후에는 주수원공과 더불어 보조수원공에서 공급하는 용수공급량을 파악하여 이를 농업용수 공급량 산정에 반영이 필요한 것으로 나타난다.

마지막으로 농업용수 공급량 산정에서 고려해야 할 부분이 장래 물관리 변화요소 부분이다. 현재 정부는 물관리 일원화를 추진하여 통합 물관리 체제하에서 수자원을 관리하는 계획을 수립하고 있다. 통합 물관리 체제하에서는 생활·공업·농업용수를 포함하는 유역단위 물관리체제하에 운영되며, 수계연결 등으로 농업용수의 잉여수량을 타용도로 사용할 가능성이 높다.

나. 분석 대상지구 선정 및 현황 조사

농업수자원의 산정 방법을 도출하고 적용을 위한 대표 시험지구는 다양한 농업용수량의 계측이 수행되고 있는 지역으로 선정하였다. 농업수자원 중 가장 중요한 인자인 수요량 및 공급량 산정을 위해서는 저수지 상류로부터 수혜구역까지를 포함한 물수지 분석이 필수적으로 선행되어야 한다. 농업용 저수지의 물수지 분석 및 검증을 위해서는 저수지 상류 유역으로부터 유입되는 유입량, 저수지 내의 저수량, 저수지 하류인 수혜구역으로의 공급량 등과 같은 농업용수량 인자의 계측 자료가 확보되어야 한다.

또한, 범용적인 수요량 및 공급량 산정 방법을 도출하기 위해서는 단일 저수지

유역이 아닌 관개시설 및 물 관리 방식이 다양한 지구로서 대표 시험지구를 선정하였다. 본 연구에서는 이상의 선정 기준을 근거로 양질의 시계열 관측자료가 확보되어 있는 이동지구를 대표 시험지구로 선정하였다. 이동지구는 이동저수지, 용덕저수지, 미산저수지를 포함하고 있으며, 2006년부터 “농촌용수 종합시험지구 운영”을 통하여 3개소 저수지에 대한 유입량, 저수량, 공급량 등을 관측하고 있다.



(그림 2-1) 분석 대상지구

이동지구는 우리나라 대표 농업용수 시험지구이로서, 농업수리시설의 종류와 규모가 다양할 뿐만 아니라 수요/공급량 산정 방법을 개선하는 시험지구으로써의 대표성을 가지기에 적합한 것으로 사료된다. 행정구역으로는 경기도 남동부인 용인시 이동면, 남사면 일원이며 서쪽은 경기도 오산시, 남쪽은 평택시, 안성시 그리고 북쪽은 용인시와 인접하고 있다. 시험지구의 주요 수원공인 이동저수지의 유역은 9,300ha로서 상류 유역에 용덕저수지(유역면적 1,246ha)와 미산저수지(유역면적 444ha), 노곡저수지(유역면적 191ha) 3개 저수지가 있다. 2개의 유입하천으로 유역에서의 유출량이 유입되고 있으며 이동저수지의 방류수는 진위천을 통하여 평택호로 유출되고 있다.

이동지구의 관개는 저수지 4개소와 양수장 3개소를 통해 이루어지며 관개면적은 용덕저수지 261ha, 미산저수지 199ha이며 이동저수지는 3,426ha인데 용수간선인 진위간선으로부터 급수되며 일부는 원암양수장(관개면적51ha)과 은산양수장(관개면적 1,102ha)에서 양수되어 급수되고 있다. 시험지구의 농업수리시설 관리는 한국농촌공사

경기도본부 산하의 평택지사와 안성지사에서 담당하고 있으며 미산, 노곡저수지와 미산 관개지구는 안성지사(공도지소)에서 관할하고 그 이외의 지역은 평택지사(송탄지소)에서 관할하고 있다. 농업용수 현장 관측항목은 강우량, 하천수위, 저수지 수위와 관개지구의 용·배수로 수위이며 이들 관측항목에 대해 각각의 계측기가 설치, 운영 중에 있다.

<표 2-3> 이동지구 저수지 현황

구 분		저 수 지 명		
		이 동	용 덕	미 산
면적 (ha)	유역	9,300	1,250	442
	관개	2,063	261	199
저수량 (천 m ³)	유효저수량	17,200	1,003	1,698
저수위 (m)	만수위	11.70	9.50	16.50
	홍수위	14.19	10.50	19.00
제당 (m)	높이	17.5	13.4	25.0
	길이	660	299	251
	여수토형식	텐터게이트	물넘이	물넘이
기타	위치(경기)	용인 이동	용인 이동	안성 양성
	관리기관	평택지사 송탄지소	평택지사 송탄지소	안성지사 공도지소

<표 2-4> 이동지구 양수장 현황

양수장명	위 치	준공년도	관개면적	수원공	시설규모	
					HP×mm	대수
은 산	평택시 진위면 은산리	76	1,286 ha	이동저수지	50×250 700×850	1 3
원 암	용인시 남사면 원암리	71	47 ha	이동저수지	40×300	1
덕 성	용인시 이동면 덕성리	60	10 ha	용덕저수지	20×150	1

<표 2-5> 이동지구 유역 특성

구 분	수문관측	유역면적 (ha)	토지이용 (ha)			
			임야	논	밭	기타
용 덕	저수위	1,241	1,132 (91.2%)	46 (3.7%)	24 (2.0%)	39 (3.1%)
미 산	저수위	439	398 (90.7%)	- (-)	11 (2.5%)	30 (6.8%)
이 동	저수위	9,440	6,859 (72.7%)	1,490 (15.8%)	371 (3.9%)	720 (7.6%)
덕성교	하천수위	4,244	3,440 (81.0%)	505 (12.0%)	135 (3.0%)	164 (4.0%)
재인교	하천수위	1,600	1,220 (76.0%)	238 (15.0%)	63 (4.0%)	79 (5.0%)
미산교	하천수위	262.4	235.0 (89.5%)	0.9 (0.3%)	6.0 (2.3%)	20.6 (7.8%)
목방교	하천수위	1112.8	984.0 (88.4%)	14.7 (1.3%)	94.7 (8.5%)	19.4 (1.7%)

농업용수 현장 관측항목은 강우량, 하천수위, 저수위와 관개지구의 용수로 수위이며 이들 관측항목에 대해 각각의 관측기기를 현장에 설치하여 농업용수 관측망이 구성되었다. 강우관측지점은 총 4개소로써 시험지구의 상류유역에 3개소(용덕지점, 미산지점, 이동지점) 그리고 관개지역에 1개소(은산지점) 설치되었고, 강우관측지점의 우량계 형태는 데이터로거(data logger)자체 내장된 전도형 자기우량계로 관측지점의 지점강우량을 측정하고 있다.

저수위 관측은 총 3개소로서 시험지구의 주수원공인 이동저수지와 이동저수지 상류에 위치한 용덕저수지, 미산저수지에 수위계가 설치되어 있다. 저수위관측지점의 수위계 형태는 원격제어 가능한 자동저수위 계측기를 개발하여 취수탑이 있는 용덕저수지와 이동저수지에는 초음파식 수위계가 설치되었고 사통형태인 미산저수지는 압력식 수위계가 설치되었다.

하천수위관측은 4개소로서 시험지구의 주수원공인 이동저수지로 유입하는 주요 하천지점 2개소에 수위계가 설치되었고, 용덕저수지에서 방류되어 이동저수지로 유입하는 하천의 수위관측은 덕성교 지점에, 미산저수지에서 방류되어 이동저수지로 유입하는 하천의 수위관측은 재인교 지점에 설치되어 있다. 관개지역의 수로수위 관측은 총 22개소로서 주요 용수로 간·지선에 13개소에 수위계가 설치되었고, 수로수위 관측지점의 수위계 형태는 센서 네트워크 방식의 자동수위관측기를 설치, 운영하고 있다.

<표 2-6> 이동지구 농업용수량 계측 현황

구 분	지점명	세 부 내 용
수량관측	용 덕	- 위 치 : 용덕저수지 취수탑 - 형 식 : 전도형 자기수량계
	미 산	- 위 치 : 미산저수지 사통부 - 형 식 : 전도형 자기수량계
	이 동	- 위 치 : 이동저수지 관리자 - 형 식 : 전도형 자기수량계, 자동강우관측기(CDMA 방식)
	은 산	- 위 치 : 은산양수장 인입수로부 - 형 식 : 전도형 자기수량계
수위관측 (저수위)	용 덕	- 위 치 : 용덕저수지 취수탑 - 형 식 : 초음파식 수위계 (신규 CDMA 방식)
	미 산	- 위 치 : 미산저수지 사통 - 형 식 : 압력식 수위계 (신규 CDMA 방식)
	이 동	- 위 치 : 이동저수지 취수탑 - 형 식 : 초음파식 수위계 (신규 CDMA 방식)
	노 곡	- 위 치 : 노곡저수지 사통 - 형 식 : 압력식 수위계 (신규 CDMA 방식)
수위관측 (하천수위)	덕 성	- 위 치 : 덕성교 (용덕저수지 유출하천) - 형 식 : 초음파식 수위계(신규 CDMA 방식)
	재 인	- 위 치 :재인교 (미산저수지 유출하천) - 형 식 : 초음파식 수위계(신규 CDMA 방식)
	미 산	- 위 치 : 미리내 마을 입구(미산저수지 유입유출하천) - 형 식 : 초음파식 수위계(신규 CDMA 방식)
	묵 방	- 위 치 : 묵방교 (용덕저수지 유입유출하천) - 형 식 : 초음파식 수위계(신규 CDMA 방식)
수위관측 (수로수위)	용 덕	- 위 치 : 용덕저수지 급수시점 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)
	미 산	- 위 치 : 미산저수지 급수시점 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)
	이 동	- 위 치 : 이동저수지 급수시점 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)
	방 아	- 위 치 : 방아지선 시점부 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)
	원 암	- 위 치 : 원암양수장 토출수로 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)
	남사1, 2	- 위 치 : 진위간선 남사지점, 남사지선부 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)
	은산1, 2	- 위 치 : 진위간선 은산지점, 은산지선부 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)
	진 원	- 위 치 : 진원간선 시점부 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)
	5호1, 2	- 위 치 : 진위간선 5호지점, 5호지선부 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)
	은산포장	- 위 치 : 진위간선 은산포장 - 형 식 : 초음파식 수위계 (센서네트워크(Zigbee) 방식)

다. 농업용수 효율성 분석을 위한 수요 및 공급량 산정 방법 개발

(1) 수요량 산정 방안 제시

본 절에서는 수요량 및 공급량 산정 방안을 제시하는 것으로서, 수요량 및 공급량을 산정하기 위해 사용되는 입력 인자를 정확하게 산정하여 적용하는 것이 필수적이다. 수요량 및 공급량은 저수지 상류의 유입량과 하류부 수혜구역의 필요수량 등을 이용하여 물수지 분석으로서 산정되는데, 특히 수혜구역의 월별 필요수량은 관개용수 공급량 산정에 가장 큰 영향을 미치는 인자이다. 수혜구역의 필요수량 산정을 위해서는 평야부의 유효수량, 담수심, 증발산량, 경지면적, 재배방식 등의 자료가 사용되는데, 특히 경지면적의 경우에는 경년별로 변화되는 면적을 적용하지 못하고 동일한 면적을 적용하고 있어 매년 산정된 필요수량은 불확실성이 내포되어 있다. 따라서, 본 연구에서는 관행적으로 사용되는 경지면적 자료를 대신하여, 최신 통계자료, 위성영상 혹은 항공사진 등에서 추출한 경지면적을 적용함으로써 경지면적의 변화가 물수지 분석 결과에 미치는 영향을 분석할 뿐만 아니라 회귀수량의 변화에 따른 수요량 및 공급량의 변화를 분석하였다. 입력인자의 변화 및 공급량 산정 방법에 따른 물수지 분석 결과를 바탕으로 범용적으로 적용 가능한 수요/공급량 산정 방법을 개선하고자 하며, 이를 위하여 수요량 산정 방법은 ① 기후변화 요소를 고려한 수요량 산정, ② 경지면적 변화를 고려한 수요량 산정 방안을 제시하고자 한다.

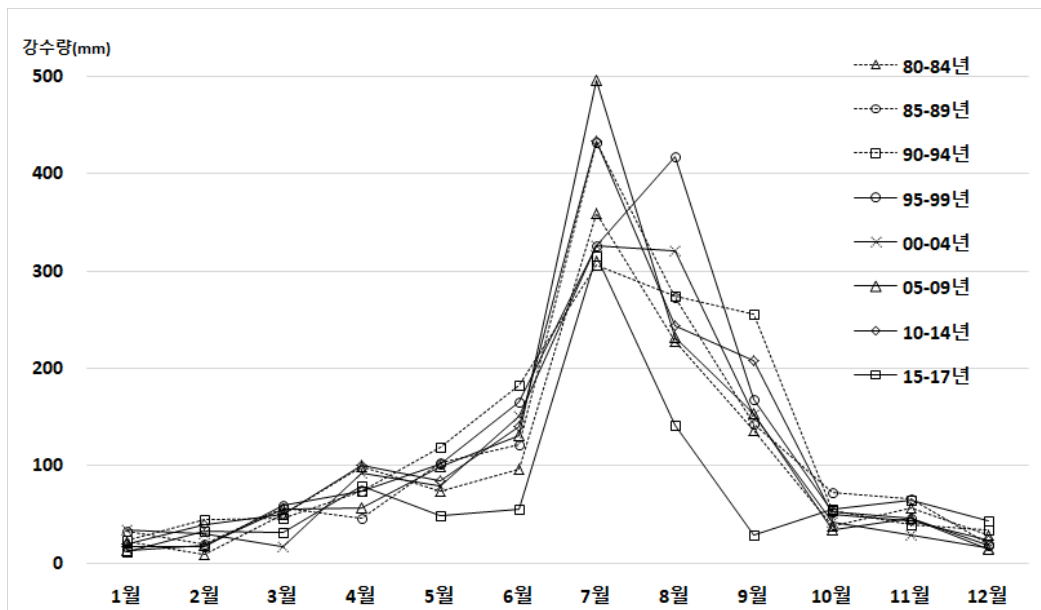
(가) 기후변화를 고려한 수요량 변화 분석

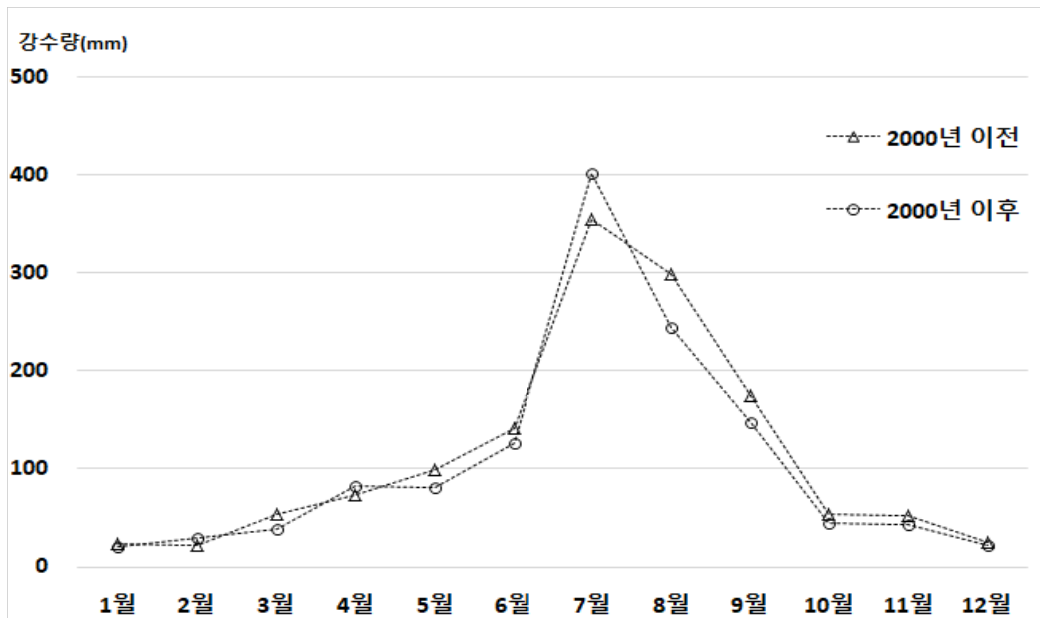
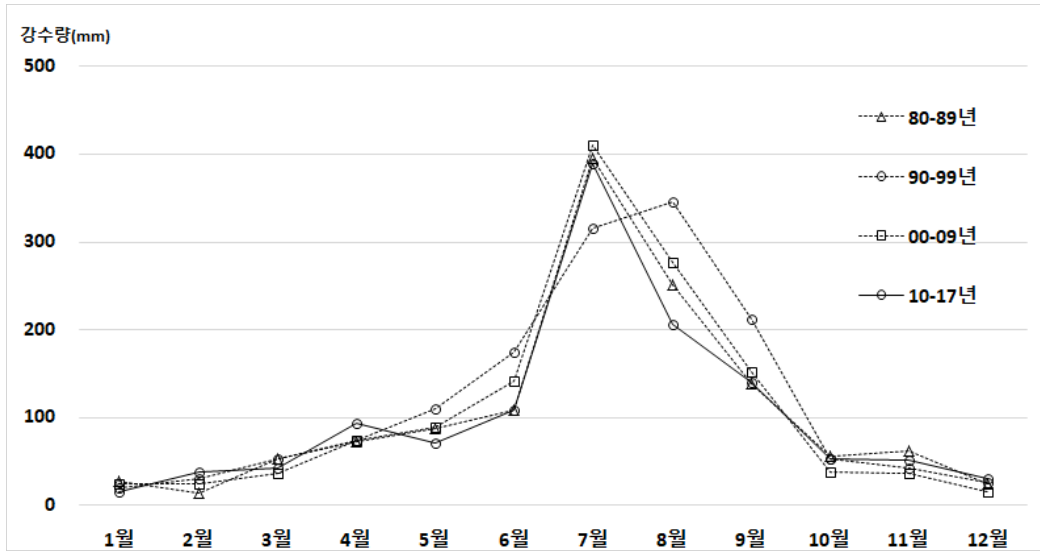
기후변화를 고려한 수요량 산정을 위하여 과거로부터 현재까지 수혜구역의 필요수량에 영향을 미치는 기상 인자의 변화 패턴을 분석하고, 최근 기후변화로 인한 영농방식 즉, 작부시기의 변화를 반영하여 필요수량의 변화를 검토하였다. 필요수량의 변화 요인으로는 물관리 방식, 포장여건의 변화, 작부시기의 변경 등으로 변화되는데 특히, 작부시기의 변경은 필요수량의 변화뿐만 아니라 농업용 저수지의 관개용수 공급 물관리에 영향을 미치는 주요인 인자이다 (농림부, 1997, 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구).

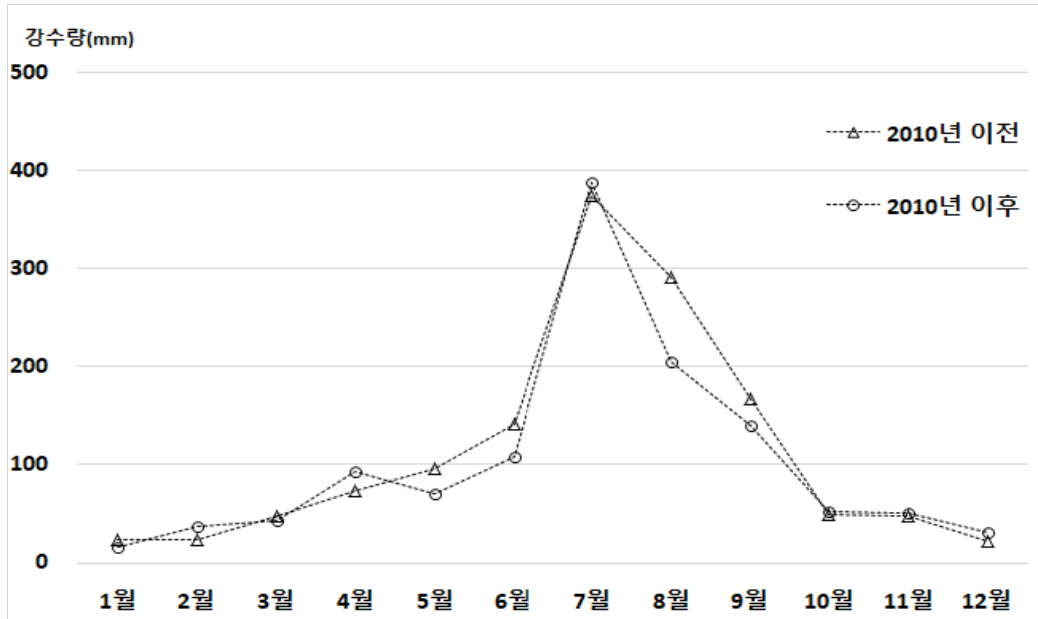
작부시기의 변경 요인으로는 논·밭윤환 또는 답리작의 도입 및 폐지에 따른 영농작물의 혼합, 조기이앙 등으로, 작부시기의 변경에 따라 필요수량에 고려해야 할 점은 물관리에 따른 침투량 변화와 기상조건의 변화에 따른 증발산량의 변화 보다 물관리 변화에 따른 침투량의 변화가 크다. 침투량은 중간 낙수를 전후하여 크게

달라지므로 관개기간과 관개시기에 있어서 작부시기별 필요수량이 변경되며 그에 따라 농업용 저수지의 관개용수 공급의 변경이 필수적이다. 수혜구역에서의 필요수량 결정 요소로는 증발산량, 침투량 및 감수심, 유효수량 및 배수량, 재배관리수량, 시설관리수량 등이 주요 결정 요소이며, 이 중에 증발산량 및 유효수량은 기후변화에 민감하게 변화되는 인자로 분석되고 있다.

증발산량의 경우에는 필지에서 수면 증발과 답면의 증발의 합을 의미하는데 벼 재배에 필요한 전체 필요수량의 약 80% 이상을 차지하고 있으며, 우리나라의 경우 일반적으로 약 800~900mm의 양으로 알려져 있다 (농림부, 1997). 이에 본 절에서는 필요수량 변화에 영향을 미치는 주요 기후변화 인자인 강수량 및 기온 인자의 변화 패턴을 분석하고, 기후변화에 따른 작부시기 변화 시나리오를 적용하여 필요수량의 변화를 분석하고자 한다. 기후변화 인자는 1980년부터 2017년까지 약 35년 이상의 시계열 자료를 수집하였고, 기후변화 패턴을 분석하기 위하여 연도별 및 월별 강수량 및 기온 인자의 변화를 분석하였다.

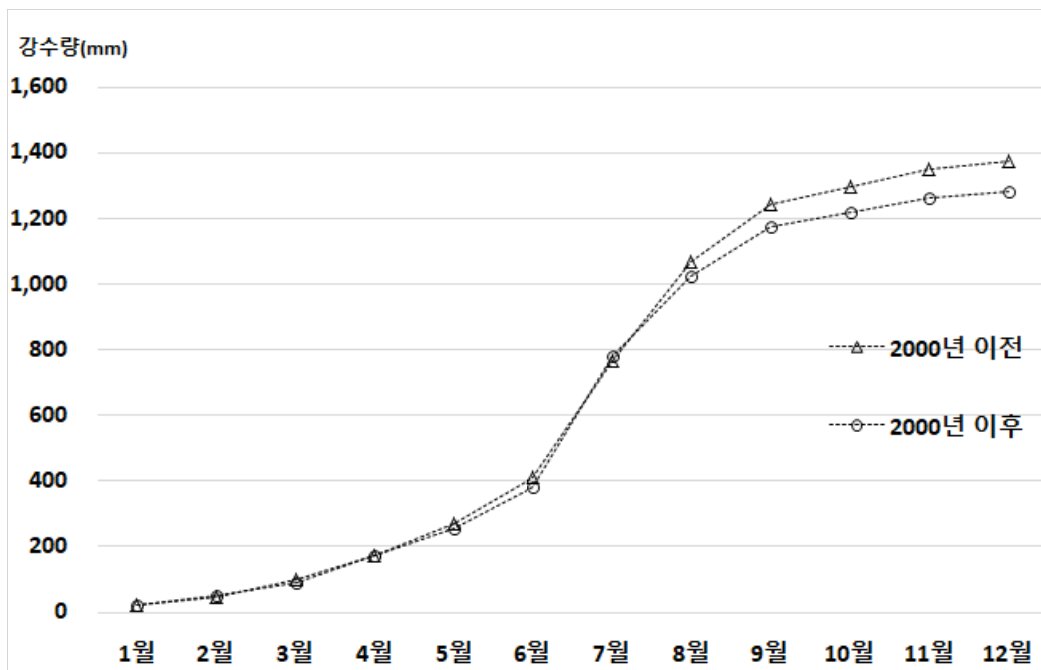
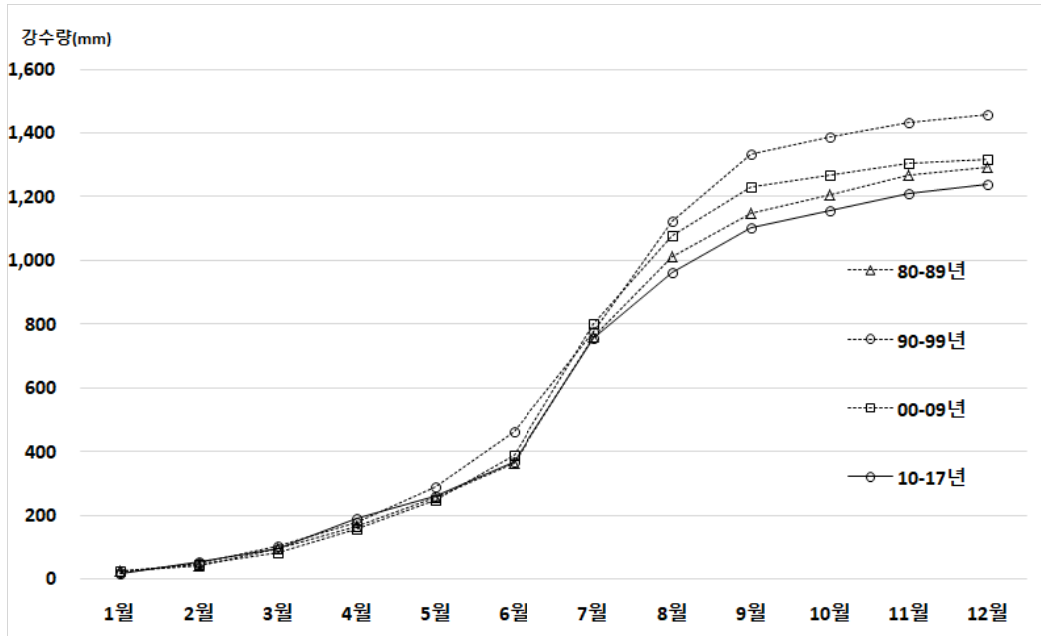






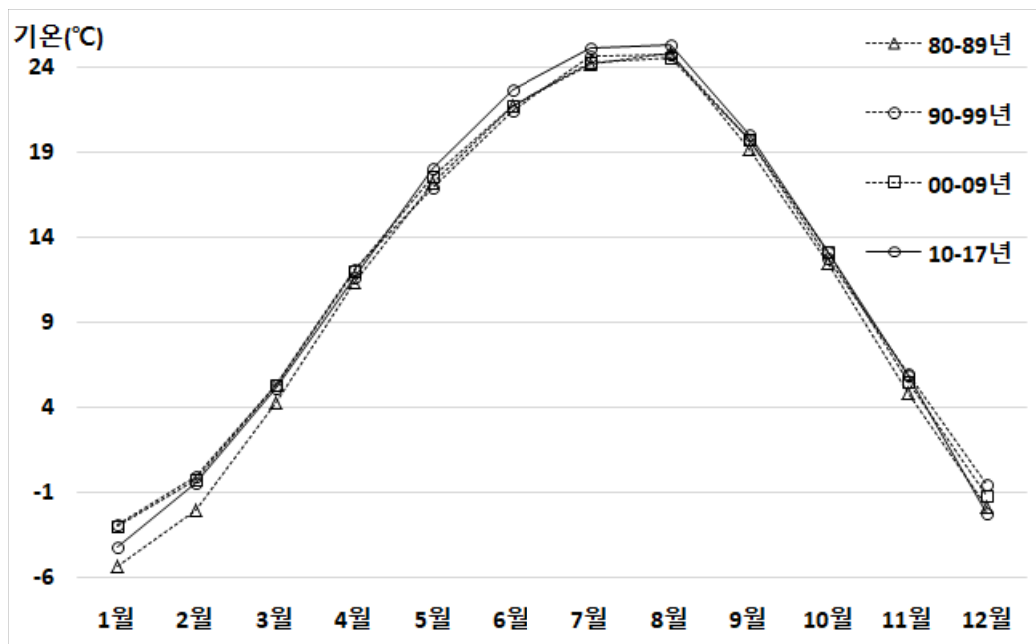
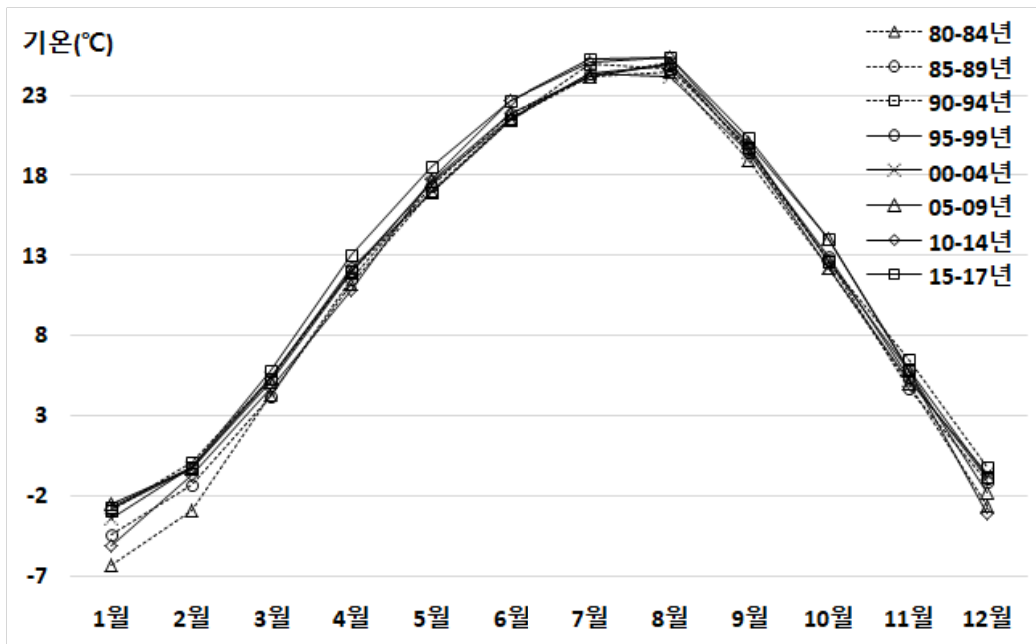
(그림 2-2) 월별 강수량 변화 패턴 (이천관측소)

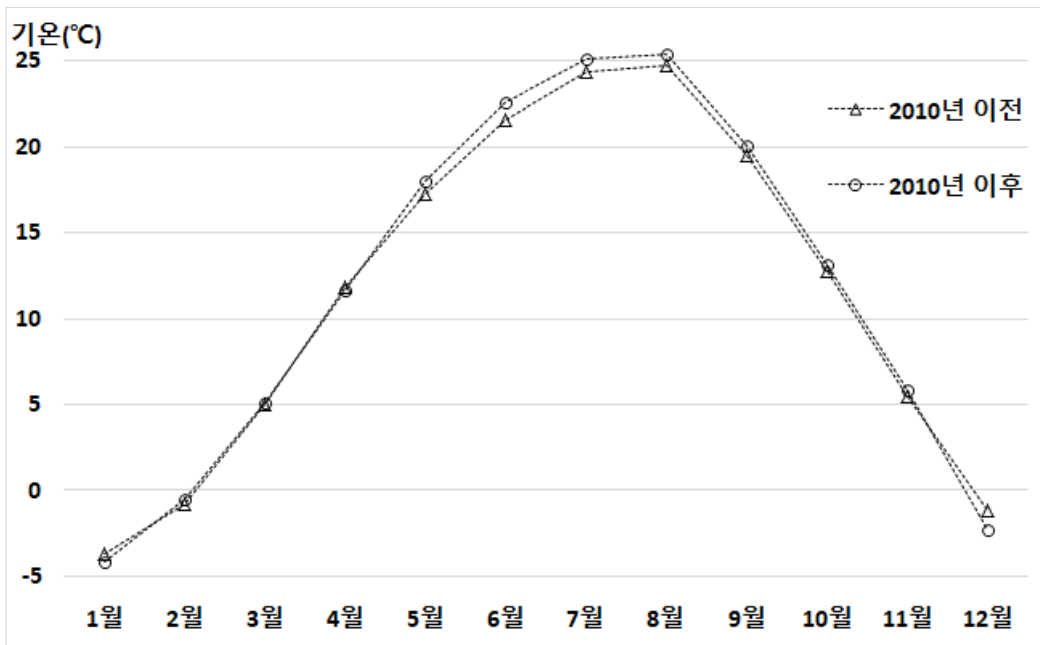
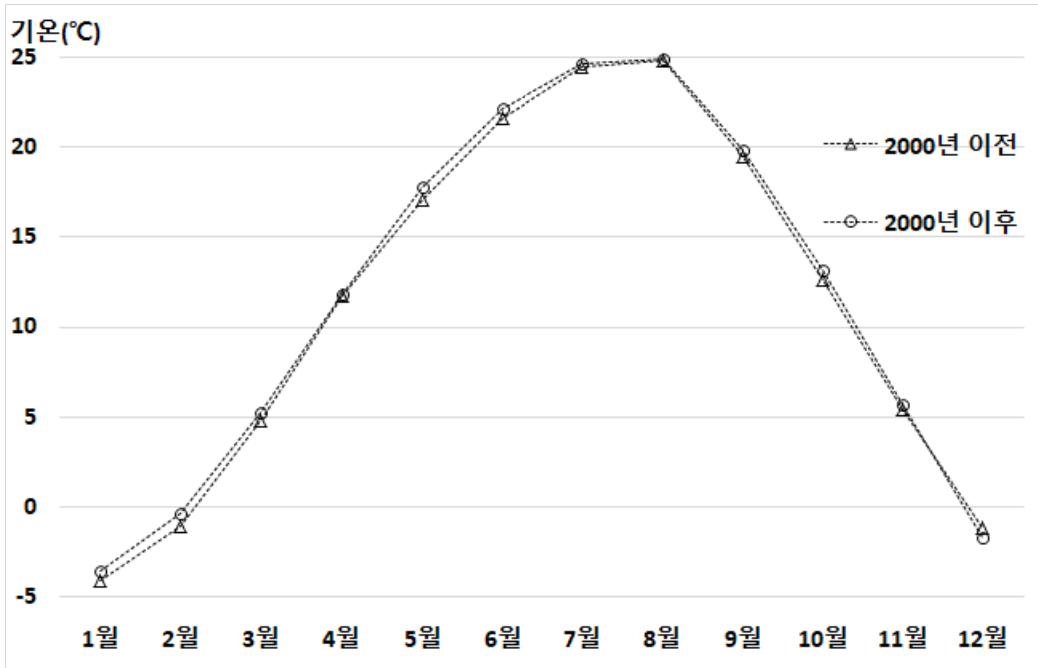
월별 강수량 변화는 10월부터 이듬해 3월까지 1분기 및 4분기 즉, 겨울철의 강수량의 편차는 약 15mm 내외로 다른 계절보다는 상대적으로 적은 편차를 보이고 있으며 8월에 약 80mm로 큰 편차를 보이고 있다. 1980년대부터 5년 단위로 월평균 강수량을 분석한 결과, 5월의 강수량은 2000년 이전에는 약 73~118mm의 범위를 가지고 있으며 2000년 이후에는 약 48~99mm의 범위를 나타내어 최근 5월의 강수량이 감소되는 경향을 나타내고 있다. 6월의 경우 역시 2000년 이전에는 약 96~182mm의 범위를 나타내다가 2000년 이후에는 약 55~150mm의 범위를 나타내어 최근 6월의 강수량이 감소되는 경향을 나타내고 있어, 농업용 저수지 운영에 있어 관개용수 공급량이 가장 많이 필요한 5월과 6월에 강수량이 감소되는 경향을 보이고 있다. 2010년을 기준으로 전·후의 월별 강수량 변화를 살펴본 결과, 2000년 기준과 동일하게 5월 및 6월의 강수량이 감소되는 경향을 나타내고 있고, 7월의 강수량은 유사한 값을 보이며 8월과 9월의 강수량은 감소되는 경향을 보이고 있다.



(그림 2-3) 누적 강수량 변화 패턴 (이천관측소)

강수량과 동일한 방법으로 1980년부터 현재까지 월 평균기온의 변화를 분석하고자 5년 간격, 10년 간격, 2000년 전·후, 2010년 전·후로 나누어 경향을 분석하였다.





(그림 2-4) 월별 평균기온의 변화 패턴 (이천관측소)

<표 2-7> 관개기 월 평균기온의 연도별 변화

년도	4월	5월	6월	7월	8월	9월
80-84년	11.3	17.1	21.6	24.2	24.5	18.9
85-89년	11.5	17.4	21.8	24.1	25.1	19.5
90-94년	12.0	17.0	21.4	25.0	24.7	19.8
95-99년	12.2	16.9	21.4	24.4	24.9	19.7
00-04년	12.0	17.6	21.5	24.4	24.2	19.4
05-09년	11.9	17.6	21.8	24.1	25.0	20.0
10-14년	10.8	17.8	22.6	25.1	25.4	19.9
15-17년	13.1	18.5	22.7	25.2	25.4	20.4
max	13.1	18.5	22.7	25.2	25.4	20.4
min	10.8	16.9	21.4	24.1	24.2	18.9
Ave	11.9	17.5	21.9	24.6	24.9	19.7
StDev	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4

월 평균기온의 연도별 변화를 살펴본 결과, 모든 월에서 평균기온이 다소 증가하는 추세를 나타내고 있으며, 15년에서 17년 평균값이 모두 최대치를 기록하고 있음. 4월의 경우에는 80년대 11.3에서 최근 13.1로 1.8도 상승하였고, 5월은 17.1에서 18.5로 1.4도, 6월과 7월은 1.1도, 8월은 0.9도, 9월은 1.5도 상승하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 강수량 및 평균기온의 변화에 따라 작부시기의 변화가 예상되고, 작부시기의 변화는 수혜구역의 필요수량 변화 및 농업용 저수지의 물관리 변화 즉, 수요량 및 공급량 변화를 초래할 것이다. 따라서, 기후변화에 따른 작부시기 변화를 반영한 필요수량 변화를 검토하기 위하여 기본 중부지방 작부시기에서 이전 7일 및 14일, 이후 7일 및 14일을 변화시켜 필요수량을 산정하고 검토하였다.

이동지구는 중부지방에 해당되며 중부지방의 작부시기 기본값은 묘대기 4월 17일 ~ 5월 31일, 묘대정지기 4월 17일 ~ 4월 20일, 이양기 5월 21일 ~ 6월 10일, 본답기 6월 11일 ~ 9월 11일로 모의되고 있다. 중부지방의 기본 작부시기에서 시나리오 1은 전체적인 작부시기를 2주 (14일)을 단축시키고 시나리오 2는 1주(7일)을 단축시켰으며, 시나리오 3은 기본 작부시기를 사용하였고, 시나리오 4는 기존 작부시기에서 1주 (7일) 연장시키고 시나리오 5는 2주(14일)을 연장시켜 필요수량의 변화를 분석하였다.

작부시기의 변화를 1주일에서 2주일 단축 및 연장의 기준은 기후변화로 인한 남부 지방의 작부시기를 중부지방에 반영한 것으로, 남부지방의 작부시기는 중부지방의 작부시기보다 전체적으로 10일이 늦은 시기이므로 일주일 간격으로 단축 및 연장한 작부시기를 반영하였다. 중부지방의 작부시기와 관련된 기타 고정 인자로서 최대 및 최소 담수심은 각각 80mm 및 20mm, 최소방류량은 4mm/ha, 묘대면적비율은 5%, 모자리정지 및 이앙용수량은 140mm를 사용하였다.

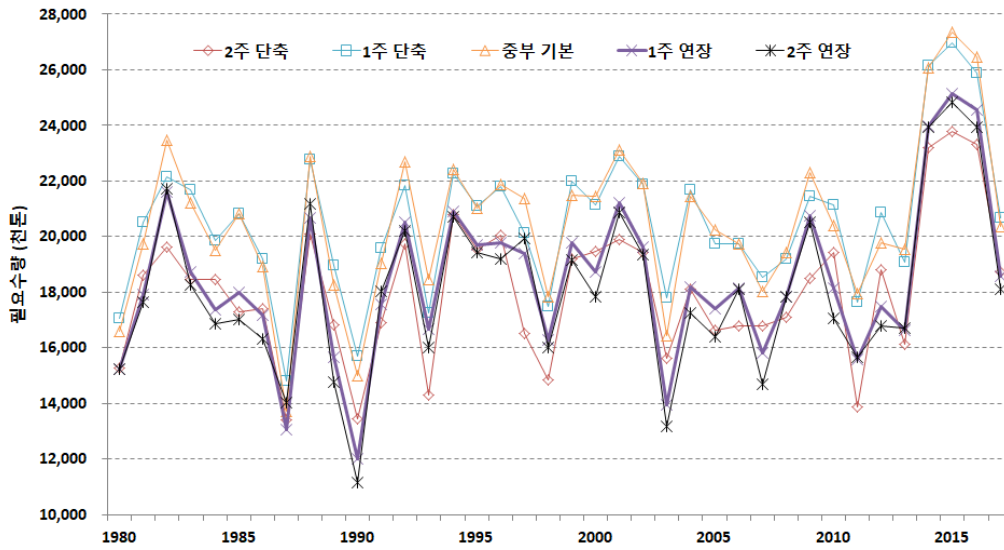
<표 2-8> 기후변화에 따른 작부시기 변화 시나리오

시나리오	작부시기	시작일	종료일
S-1 (-14일)	묘대기	4월 03일	5월 17일
	묘대정지기	4월 03일	4월 06일
	이앙기	5월 07일	5월 26일
	본답기	5월 27일	8월 27일
S-2 (-7일)	묘대기	4월 10일	5월 24일
	묘대정지기	4월 10일	4월 13일
	이앙기	5월 14일	6월 03일
	본답기	6월 04일	9월 04일
S-3 (기본값)	묘대기	4월 17일	5월 31일
	묘대정지기	4월 17일	4월 20일
	이앙기	5월 21일	6월 10일
	본답기	6월 11일	9월 11일
S-4 (+7일)	묘대기	4월 24일	6월 06일
	묘대정지기	4월 24일	4월 27일
	이앙기	5월 28일	6월 17일
	본답기	6월 18일	9월 18일
S-5 (+14일)	묘대기	5월 01일	6월 13일
	묘대정지기	5월 01일	5월 04일
	이앙기	6월 05일	6월 24일
	본답기	6월 25일	9월 25일

기후변화에 따른 작부시기 변화 시나리오가 반영된 수혜구역의 필요수량 변화를 모의하고 기본 작부시기 대비 변화된 작부시기를 적용한 필요수량을 검토하였다.

<표 2-9> 작부시기 변화에 따른 필요수량 모의 결과

연도	작부시기 변화에 따른 필요수량 (천톤)				
	S-1 (2주 단축)	S-2 (1주 단축)	S-3 (중부 기본)	S-4 (1주 연장)	S-5 (2주 연장)
1980	15,289	17,075	16,598	15,223	15,233
1981	18,630	20,522	19,732	17,924	17,641
1982	19,613	22,164	23,463	21,608	21,726
1983	18,452	21,698	21,201	18,746	18,257
1984	18,445	19,861	19,496	17,353	16,852
1985	17,290	20,844	20,830	17,992	17,017
1986	17,421	19,191	18,904	17,176	16,334
1987	13,393	14,823	13,734	13,074	14,012
1988	20,077	22,771	22,898	20,681	21,189
1989	16,820	18,980	18,246	15,672	14,769
1990	13,454	15,687	14,996	12,014	11,165
1991	16,906	19,576	19,027	17,575	18,017
1992	19,730	21,834	22,699	20,505	20,214
1993	14,317	17,265	18,440	16,677	16,024
1994	20,797	22,281	22,428	20,892	20,722
1995	19,542	21,113	21,026	19,693	19,409
1996	20,052	21,811	21,883	19,767	19,205
1997	16,510	20,134	21,363	19,397	19,943
1998	14,858	17,490	17,844	16,275	16,007
1999	19,178	21,994	21,476	19,785	19,157
2000	19,451	21,134	21,443	18,723	17,840
2001	19,898	22,887	23,109	21,210	20,852
2002	19,411	21,865	21,914	19,631	19,350
2003	15,630	17,799	16,453	13,943	13,187
2004	18,117	21,662	21,434	18,201	17,257
2005	16,633	19,727	20,258	17,407	16,400
2006	16,767	19,744	19,752	18,159	18,123
2007	16,774	18,530	18,014	15,812	14,699
2008	17,103	19,182	19,438	17,854	17,836
2009	18,498	21,447	22,318	20,749	20,496
2010	19,413	21,152	20,395	18,163	17,072
2011	13,886	17,626	17,947	15,584	15,678
2012	18,823	20,862	19,793	17,499	16,789
2013	16,137	19,074	19,560	16,634	16,704
2014	23,182	26,153	26,082	23,971	23,940
2015	23,792	26,955	27,350	25,140	24,826
2016	23,325	25,867	26,454	24,563	23,936
2017	18,739	20,667	20,341	18,567	18,092
Max	23,792	26,955	27,350	25,140	24,826
Min	13,393	14,823	13,734	12,014	11,165
Ave	18,062	20,512	20,483	18,417	18,052
StDev	2,527	2,591	2,853	2,847	2,935



(그림 2-5) 작부시기 변화에 따른 필요수량 변화

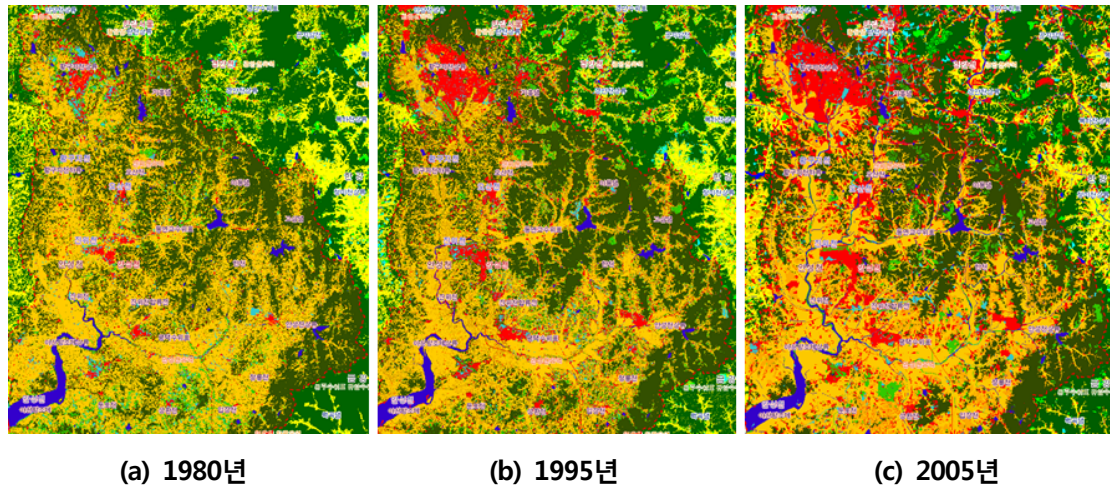
작부시기 변화에 따른 필요수량 모의 결과, 1980년부터 2017년까지 연평균 필요수량은 약 18백만톤부터 20.5백만톤의 범위를 나타내고 있으며, 시나리오 5 즉, 중부지방 기본 작부시기에서 14일 연장된 경우에 18,052천톤으로 가장 적게 모의되었고, 시나리오 2 즉, 중부지방 기본 작부시기에서 7일 단축된 경우 20,512천톤으로 가장 크게 모의되었다. 모든 연도에서 필요수량이 최대로 요구되는 시나리오는 S-2와 S-3으로서 중부지방의 기본 작부시기와 7일 단축시킨 시나리오에서 필요수량이 최대치가 발생되었고, 시나리오 S-1 및 S-5에서 즉, 작부시기를 14일 단축 및 연장시킨 시나리오에서 최소치를 나타내었다.

모든 연도의 S-2 및 S-3 시나리오에서 최대 필요수량이 발생한 것은 현재 중부지방 작부시기를 적용한 경우 다른 시나리오보다 최대 필요수량이 발생한다는 의미이며, S-5 시나리오에서 최소 필요수량의 발생 횟수가 가장 많은 것은 남부지방의 작부시기와 유사한 경우 최소 필요수량이 요구되는 것으로 판단할 수 있다. 즉, 기후변화 시나리오에 따른 작부시기 변화를 고려할 때, 중부지방의 작부시기가 기후변화로 인하여 남부지방의 작부시기로 변화될 경우 현재보다 필요수량이 감소되고, 이를 바탕으로 수요량 산정시 실제 작부시기의 적용이 필수적이라 판단된다.

(나) 경지면적 변화를 고려한 수요량 변화 분석

수혜구역의 정확한 필요수량 산정을 위해서는 경지면적의 변화를 추정하는 것이

필수적이며, 본 절에서는 연도별 위성영상으로부터 시험지구의 경지면적 및 논/밭 면적을 추출하였다. 연도별 경지면적 추출을 위한 토지피복도는 국가수자원관리 종합정보시스템에서 제공하는 1980년부터 현재까지 5년 간격으로 제공하는 자료를 사용하였으며, 시험지구의 수혜구역에 대한 면적을 연도별로 추출하였다.

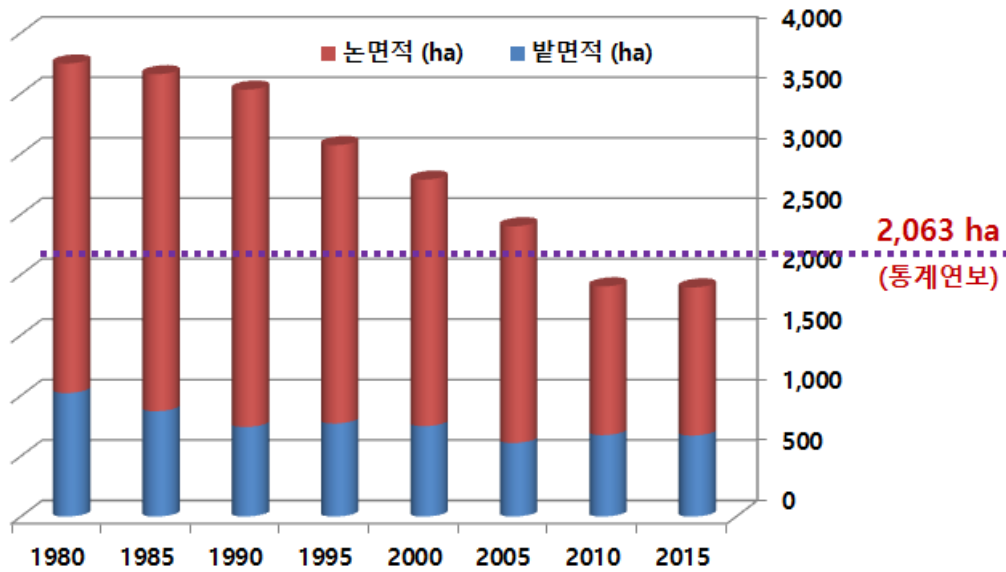


(그림 2-6) 연도별 토지피복 변화

현재, RAWRIS (농촌용수종합정보시스템)에서 제공하는 이동저수지 수혜면적은 2,063ha (논면적 1,421ha, 밭면적 642ha)로서 이동저수지 공급량을 산정하기 위한 기초자료로 사용되고 있는 실정이다. 하지만, 1980년대부터 현재까지의 위성영상으로부터 추출한 수혜면적은 약 3,700ha부터 1,900ha까지 줄어들고 있는 것을 확인하였으며, RAWRIS에서 제공하는 수혜면적인 2,063ha는 2005년부터 2010년 사이의 수혜면적과 유사한 값을 나타내고 있다.

<표 2-10> 연도별 수혜면적 변화 추이

년도		논면적 (ha)	밭면적 (ha)	합계 (ha)
RAWRIS 제공 면적		1,421	642	2,063
위성 영상 추출면적	2015	1,225	670	1,895
	2010	1,230	674	1,904
	2005	1,792	609	2,401
	2000	2,039	748	2,787
	1995	2,302	770	3,072
	1990	2,790	741	3,531
	1985	2,786	872	3,658
1980	2,725	1,022	3,747	



(그림 2-7) 위성영상으로부터 추출한 연도별 경지면적 변화

경지면적의 변화가 물수지 분석 즉, 수요 및 공급량 산정에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기존의 RAWRIS에서 제공하는 수혜면적을 연도별로 동일하게 적용(시나리오-1)함과 동시에 위성영상으로부터 추출된 경년 경지면적 변화를 적용(시나리오-2)하여 물수지 분석을 수행하였다. 물수지 분석은 한국농어촌공사에서 개발한 HOMWRS (수리시설모의조작시스템)을 이용하였으며, 연도별 기상자료는 기상청에서 제공하는 일 기상자료를 사용하였고, 그 밖의 입력인자는 HOMWRS에서 제공하는 기본인자를 사용하였다.

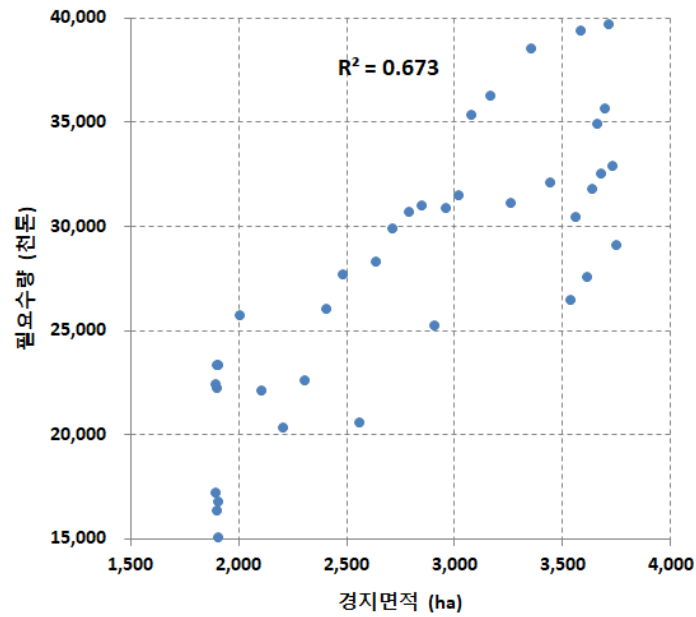
1980년부터 현재까지 물수지 분석을 통하여 수요량 및 공급량 산정에 가장 중요한 인자인 수혜구역의 필요수량을 모의하였다. RAWRIS에서 제공하는 수혜면적을 연도별로 동일하게 적용한 경우의 필요수량 변화보다 위성영상으로부터 추출한 연도별 수혜면적을 적용한 필요수량 변화의 폭이 큰 것을 확인하였다. 즉, 동일한 면적을 적용한 경우에는 연도별 4월부터 9월까지의 필요수량은 약 20백만톤 내외의 범위로 산정된 반면, 연도별 면적을 적용한 경우에는 경지면적의 변화에 따라 약 15백만톤에서 28백만톤의 범위로 산정되었다.

특히, RAWRIS에서 제공하는 수혜면적과 유사한 면적을 나타내는 2005년부터 현재까지의 필요수량 산정 결과, 필요수량의 변동 추이는 비슷하나 2010년 이전에는 변화된 면적을 적용한 경우가 동일한 면적을 적용한 경우보다 많게 산정되었으나 2010년 이후에는 반대의 결과를 나타내고 있다.

<표 2-11> 연도별 필요수량 산정 결과

년도	필요수량 (천톤)			년도	필요수량 (천톤)		
	시나리오 - 1 (①)	시나리오 - 2 (②)	②-①		시나리오 - 1 (①)	시나리오 - 2 (②)	②-①
1980	15,491	27,146	11,655	1999	20,369	31,049	10,680
1981	18,628	32,918	14,290	2000	20,333	30,733	10,400
1982	22,351	39,759	17,408	2001	22,001	29,929	7,928
1983	20,097	35,718	15,621	2002	20,813	28,334	7,521
1984	18,391	32,603	14,212	2003	15,351	20,643	5,292
1985	19,721	34,964	15,244	2004	20,326	27,738	7,412
1986	17,804	31,842	14,037	2005	19,155	26,051	6,896
1987	12,632	21,629	8,997	2006	18,652	22,619	3,967
1988	21,780	39,439	17,659	2007	16,916	20,397	3,482
1989	17,140	30,520	13,379	2008	18,332	22,165	3,833
1990	13,896	24,530	10,634	2009	21,209	25,752	4,543
1991	17,924	32,168	14,243	2010	19,294	23,385	4,090
1992	21,581	38,585	17,004	2011	16,847	15,096	-1,750
1993	17,338	31,198	13,860	2012	18,684	16,798	-1,887
1994	21,326	38,331	17,005	2013	18,458	16,418	-2,039
1995	19,922	35,392	15,469	2014	24,953	22,305	-2,649
1996	20,775	31,545	10,770	2015	26,238	23,395	-2,843
1997	20,255	30,919	10,664	2016	25,333	22,468	-2,866
1998	16,743	25,295	8,552	2017	19,236	17,275	-1,961

통계연보에서 제공하는 경지면적을 연도별로 동일하게 적용한 결과에 비하여 경년 변화 경지면적을 적용한 경우 필요수량의 차이가 크게 발생되었으며, 이는 1980년에 약 37백ha인 경지면적이 2015년에는 약 19백ha로 약 2배 가량 감소하여 연도별 필요수량의 차이가 큰 것으로 모의되었다. 특히, 2011년 이후에는 통계연보 경지면적보다 경년변화 경지면적이 168ha 줄어들어 필요수량이 약 1.8백만톤에서 2.8백만톤이 감소되는 것으로 산정되었다.



(그림 2-8) 경지면적 변화와 필요수량과의 상관 분석

경년변화 경지면적을 스플라인 보간을 통하여 산정된 연도별 경지면적 자료와 필요수량 모의 결과와의 상관성을 살펴본 결과, 상관계수 0.67을 가지는 정비례의 상관성을 나타내고 있으며, 기온 및 습도와 같은 기후상황에 따라 필요수량의 변화가 발생함에도 불구하고 경지면적 변화와 필요수량의 변화 상관성이 매우 유의한 수준인 것으로 확인되었다. 이러한 경지면적 변화와 필요수량과의 상관 관계 및 경지면적 변화에 따른 필요수량의 변화 등을 고려할 때, 현재 수요량 산정시 일률적으로 적용되고 있는 통계연보의 경지면적을 변경시킬 경우 필요수량이 달라지는 것을 확인하였으며, 따라서 수요량 산정 대상지구의 정확한 경지면적을 조사하여 물수지 분석에 적용하는 것이 필수적이라 사료된다.

(2) 공급량 산정 방안 제시

농업용 저수지는 유역으로부터 유출되는 지표수를 이용하여 농업용수를 공급하는 수원공으로서, 일반적으로 저수지로부터 공급되는 농업용수는 작물이 필요로 하는 필요수량과 관리 및 수로손실량의 합으로 정의되고 있다. 수혜구역에서 필요로 하는 농업용수를 일별로 모두 공급하는 것이 아니라, 기상조건이나 저수량 등을 고려하여 관개계획을 수립하고 이에 따라 공급량을 결정한다. 수원공으로부터의 실제 공급량은 취수된 용수가 공급되는 용수 간선에서 직접적인 유량 계측을 통하여

획득할 수 있으나, 대부분의 용수 간선에서 계측이 이루어지지 못하는 실정이며 저수율과 같은 과거 운영 자료로부터 간접적으로 추정하고 있다.

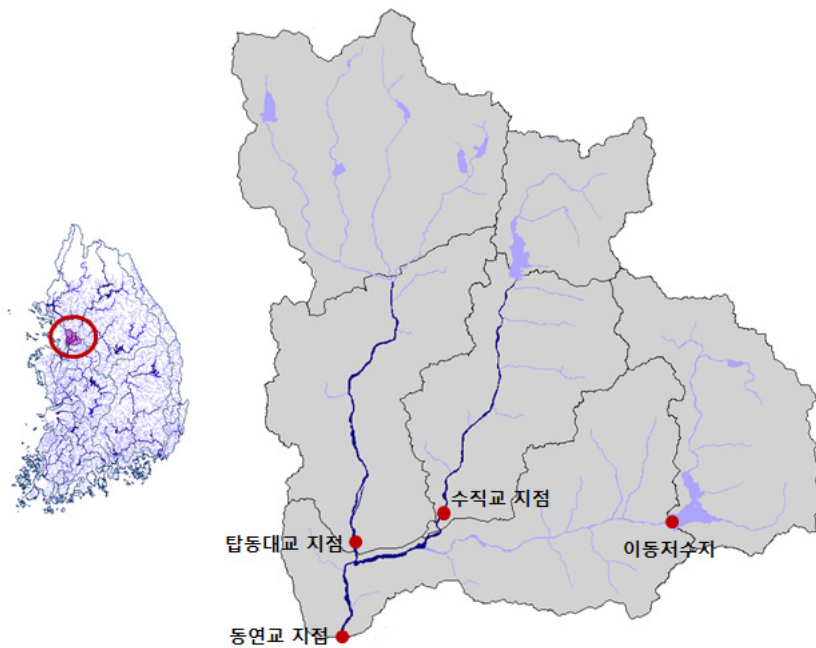
본 연구에서는 공급량 산정 방법 분석으로서 ① 유역단위 물수지 분석 및 회귀 수량을 고려한 산정 방법 분석, ② 수원공별 물수지 분석 및 회귀수량을 고려한 산정 방법 분석, ③ 실측치 기반의 단위면적당 평균 공급량 산정 방법 분석을 통하여 세가지 공급량 산정 방법을 비교하여 공급량 산정 방안을 제시하였다.

<표 2-12> 농업용수 공급량 산정 방안 제시

공급량 산정 방법		적용 연도	세부 내용	
① 번 유역단위 물수지	회귀율 5%	2010 ~ 2017	<ul style="list-style-type: none"> - 유역단위 물수지를 통한 농업용수 공급량 산정 - 저수지 하류 하천의 유량 계측 자료 및 유역 유출량, 저수지 무효방류량 자료를 이용한 물수지 - 회귀율 5%, 15%, 35%를 적용하여 저수지로부터의 공급량 추정 	
	회귀율 15%			
	회귀율 35%			
② 번 수원공별 물수지	②-1번 전체 저수지 물수지	회귀율 0%	<ul style="list-style-type: none"> - 수원공별 물수지 분석을 통한 농업용수 공급량 산정 - 양수장을 고려하지 않고 저수지 물수지 분석만 수행 - 회귀율 0%, 15%, 35%를 적용한 공급량 추정 	
		회귀율 15%		
		회귀율 35%		
	②-2번 양수장 고려 물수지	회귀율 0%		<ul style="list-style-type: none"> - 수원공별 물수지 분석을 통한 농업용수 공급량 산정 - 양수장을 고려하여 2개의 양수장 및 저수지를 각각 물수지 분석 - 회귀율 0%, 15%, 35%를 적용한 공급량 추정
		회귀율 15%		
		회귀율 35%		
③ 번 실측치 기반	유량 계측	2001 ~ 2017	<ul style="list-style-type: none"> - 실측치 기반의 농업용수 공급량 산정 - 저수지로부터 공급되는 간선수로의 시점부에서 수위 관측 - 수위-유량 곡선식으로부터 공급량 산정 	

(가) 유역단위 물수지 분석에 의한 공급량 산정 방법 분석

일반적으로 농업용 저수지의 공급량은 물수지 분석을 이용하여 하류측 수혜구역의 필요수량과 저수지 상류유역으로부터의 유입량과의 관계를 이용하여 공급량을 추정하는 실정이다. 수원공으로부터 관개용수 공급량을 정확하게 산정하기 위해서는 간선 용수로 초입부의 수로 유량을 계측하는 것이 필수적이지만, 대부분의 농업용 저수지 지구에서는 계측이 이루어지지 못하는 실정이다. 따라서, 물수지 분석에 의한 공급량 산정 혹은 수혜구역의 필요수량으로부터 회귀수량과 관리수량을 더하여 공급량 계획하고 있는 실정이며, 본 절에서는 공급량 추정을 위하여 하천 유량 계측 자료를 이용하여 농업용 저수지가 포함된 유역단위 물수지 분석을 통하여 공급량을 산정하는 방법을 검토하였다.



(그림 2-9) 대상지구 유역 네트워크

이동저수지의 공급량을 추정하기 위하여 저수지 하류측의 하천 유량 계측 자료와 수혜구역의 필요수량 및 저수지의 무효방류량 모의 자료를 이용하여 저수지의 공급량을 추정하였다. 이동저수지 하류측에는 진위천 본류에서 유량을 계측하고 있는 동연교 지점과 탐동대교 지점, 수직교 지점의 시계열 일 유량자료와 저수지 하류측 유역의 유출 모의자료를 사용하였다. 이동저수지로부터 공급된 관개용수 공급량을 추정하기 위하여 국토부에서 관측하고 있는 동연교, 탐동대교, 수직교 지점의 유량

계측자료를 이용하였으며, 동연교 지점에서의 시계열 유량자료로부터 탑동대교와 수직교 지점의 유량자료를 제외시키고 이동저수지 하류측의 유역 유출량 및 이동저수지로부터 방류된 무효방류량을 제외시켜서 최종적으로 이동저수지 취수탑으로부터의 공급량을 산정하였다. 저수지로부터의 공급량은 수혜구역에서 사용되고 회귀되는 수량이 동연교 지점으로 유출이 되므로 회귀수량을 5%, 15%, 35%로 가정하여 저수지 공급량을 추정하였다.

동연교 지점과 수직교 지점은 1996년부터 유량 계측을 시작하였으며, 탑동대교 지점은 2010년부터 계측을 시작하여 저수지의 연평균 공급량을 추정하기 위한 시계열 자료는 2010년부터 2017년까지의 유량 계측자료를 사용하였다. 유역단위 물수지 분석으로부터 저수지 공급량 추정을 위해서 다음과 같은 식을 사용하였고, 공급량으로부터의 회귀수량 비율을 통하여 최종 공급량을 추정하였다.

$$\begin{aligned}
 \sum Q_s &= \sum Q_r \times (100 / 5) && \text{회귀율 5\%} \\
 &= \sum Q_r \times (100 / 15) && \text{회귀율 15\%} \\
 &= \sum Q_r \times (100 / 35) && \text{회귀율 35\%}
 \end{aligned}
 \tag{식 2-1}$$

$$\sum Q_r = \sum (Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_w - Q_u) \tag{식 2-2}$$

여기서, Q_s 는 저수지 공급량, Q_r 은 회귀수량, Q_1 은 동연교 지점 유량, Q_2 는 탑동대교 지점 유량, Q_3 은 수직교 지점 유량, Q_w 는 저수지 하류측 유역 유출량, Q_u 는 저수지 무효방류량이며, 공급량 및 유출량의 유하시간 및 도달시간에 의한 불확실성을 축소시키기 위하여 연단위 공급량으로 추정하였다. 동연교, 탑동대교, 수직교 지점의 유량을 시계열 일단위 계측자료를 사용하였고, 저수지 하류측 유역의 유출량은 수정 3단 탱크 모형인 DIROM 모형으로 산정하였고, 저수지의 무효방류량은 HOMWRS 모형의 물수지 분석으로부터 산정하였다.

<표 2-13> 유출량 계측 자료 (국토부 수위관측소)

연도	연강수량 (mm)	동연교 (Q1) (천톤)	탐동대교 (Q2) (천톤)	수직교 (Q3) (천톤)
2010	1,429	795,220	179,734	343,550
2011	2,045	1,203,870	277,872	509,198
2012	1,559	942,110	210,088	429,347
2013	1,366	830,936	160,939	407,879
2014	791	490,326	82,665	284,584
2015	841	528,106	79,825	316,204
2016	870	528,213	92,152	295,795
2017	1,011	703,468	145,568	377,957

동연교 지점의 물수지를 통하여 저수지 공급량을 추정하기 위해서 하류측 유역 유출량과 저수지 무효방류량을 산정해야하는데, 동일한 기간으로 저수지 하류측의 유역 유출량을 모의하였고 무효방류량은 저수지 물수지 분석을 통하여 일 방류량을 산정하여 연 방류량 자료로 정리하였다.

<표 2-14> 이동저수지 무효방류량 및 하류측 유역 유출량 모의 결과

연도	연강수량 (mm)	저수지 무효방류량 (Qu) (천톤)	하류측 유역유출량 (Qw) (천톤)
2010	1,429	97,372	170,592
2011	2,045	157,588	255,566
2012	1,559	110,171	188,594
2013	1,366	93,592	164,198
2014	791	33,691	84,539
2015	841	36,565	90,035
2016	870	40,692	94,450
2017	1,011	59,955	115,493

동연교 지점의 하천 유출량은 2011년도 2,045mm의 강수량에 대하여 1,203백만톤으로 가장 많은 유출량이 계측되었고 2015년도 841mm의 강수량에 대하여 528백만톤으로 가장 적은 유출량이 계측되었다. 탑동대교 지점과 수직교 지점 역시 2011년도에 278백만톤과 509백만톤으로 가장 많은 유출량을 나타내었고, 2015년도에 528백만톤과 80백만톤으로 가장 적은 유출량을 기록하였다.

이상과 같이 하천유출량 계측자료 (동연교, 탑동대교, 수직교 지점)와 저수지 하류측의 유역 유출량 모의자료, 저수지 물수지 분석에 의한 무효방료량 모의자료를 이용하여 식 2-1 및 2에 의하여 저수지로부터의 관개용수 연단위 공급량을 추정하였다. 유역단위 물수지 분석에 의하여 공급량을 추정한 결과, 회귀율 5% 가정에서는 약 73백만톤부터 109백만톤의 범위로서 평균 89백만톤을 공급한 것으로 추정되었다. 회귀율 15%와 35% 가정에서는 각각 24백만톤부터 36백만톤, 10백만톤부터 15백만톤의 범위에서 평균 30백만톤과 13백만톤을 공급량 것으로 추정되었다.

<표 2-15> 유역단위 물수지 분석에 의한 공급량 산정

연도	회귀수량 (Qr) (천톤)	공급량 (Qs)		
		회귀율 5%	회귀율 15%	회귀율 35%
2010	3,973	79,468	26,489	11,353
2011	3,645	72,900	24,300	10,414
2012	3,910	78,200	26,067	11,171
2013	4,328	86,563	28,854	12,366
2014	4,848	96,951	32,317	13,850
2015	5,477	109,543	36,514	15,649
2016	5,125	102,494	34,165	14,642
2017	4,496	89,929	29,976	12,847
Max.		109,543	36,514	15,649
Min.		72,900	24,300	10,414
Ave.		89,506	29,835	12,787

(나) 수원공별 물수지 분석 및 회귀수량을 고려한 공급량 산정 방법 분석

앞서 기술된 수리시설물 모의조작시스템 (HOMWRS)를 이용하여 유역으로부터의 유출량 및 수혜구역의 필요수량을 산정하여 유역단위의 물수지 분석을 통하여 공급량을 산정하였다. 이때, 공급량 산정에서 회귀수량의 조건에 따라 공급량의 변화를 분석하고자, 기상조건에 따라 결정되는 수혜구역의 필요수량은 고정하고, 회귀율을 변화시킴으로서 공급량의 모의 결과를 비교하였다. 회귀율의 변화 시나리오는 회귀율이 없는 0% (시나리오 - 1), 일반적인 농업용수구역의 물수지 분석에서 적용하고 있는 15% (시나리오 - 2), 수자원장기종합개발계획에서 적용하고 있는 35% (시나리오 - 3)와 같이 세가지의 회귀율 시나리오를 적용하여 공급량 변화를 검토하였다.

수원공별 물수지 분석을 통한 공급량 산정 방법은 다음과 같이 ① 양수장을 고려하지 않고 저수지 물수지 분석을 3가지 회귀율 시나리오로서 수행하여 농업용수 공급량을 산정, ② 2개소 양수장을 고려하여 저수지 및 양수장의 공급량을 각각 산정하여 총 공급량을 산정하는 방법으로 분석을 수행하였다. 다음 표는 양수장을 고려하지 않은 저수지 물수지 분석을 통하여 산정된 공급량을 회귀율 시나리오별로 나타내고 있다.

<표 2-16> 회귀율 변화에 따른 저수지 공급량 산정 결과

연도	필요수량 (천톤)			공급량 (천톤)		
	S - 1 (0%)	S - 2 (15%)	S - 3 (35%)	S - 1 (0%)	S - 2 (15%)	S - 3 (35%)
1980	16,598	16,599	16,601	12,834	14,715	17,222
1981	19,732	19,739	19,748	16,001	18,256	21,263
1982	23,463	23,485	23,506	19,791	22,534	26,192
1983	21,201	21,209	21,219	17,479	19,961	23,271
1984	19,496	19,500	19,502	15,742	18,022	21,060
1985	20,830	20,839	20,850	17,107	19,526	22,751
1986	18,904	18,908	18,914	15,164	17,324	20,204
1987	13,734	13,737	13,740	9,977	11,337	13,149
1988	22,898	22,908	22,917	19,160	21,882	25,510
1989	18,246	18,249	18,252	14,493	16,542	19,275
1990	14,996	14,998	15,000	11,231	12,883	15,085
1991	19,027	19,030	19,034	15,274	17,489	20,442
1992	22,699	22,711	22,725	18,977	21,626	25,158
1993	18,440	18,441	18,443	14,680	16,836	19,710
1994	22,428	22,435	22,444	18,704	21,338	24,850
1995	21,026	21,036	21,049	17,315	19,705	22,893
1996	21,883	21,888	21,893	18,142	20,708	24,130
1997	21,363	21,367	21,372	17,612	20,178	23,599
1998	17,844	17,846	17,847	14,081	16,138	18,881
1999	21,476	21,479	21,482	17,720	20,286	23,707
2000	21,443	21,448	21,455	17,701	20,170	23,461
2001	23,109	23,121	23,136	19,409	22,060	25,594
2002	21,914	21,924	21,935	18,187	20,723	24,103
2003	16,453	16,457	16,462	12,702	14,488	16,870
2004	21,434	21,438	21,443	17,685	20,194	23,538
2005	20,258	20,265	20,272	16,521	18,852	21,960
2006	19,752	19,753	19,755	15,993	18,296	21,367
2007	18,014	18,020	18,027	14,277	16,307	19,013
2008	19,438	19,440	19,441	15,678	17,908	20,881
2009	22,318	22,325	22,332	18,574	21,223	24,754
2010	20,395	20,397	20,400	16,641	19,023	22,197
2011	17,947	17,950	17,954	14,190	16,194	18,866
2012	19,793	19,803	19,815	16,075	18,271	21,198
2013	19,560	19,562	19,565	15,803	18,107	21,179
2014	26,082	26,113	26,146	22,428	25,522	29,647
2015	27,350	27,378	27,410	23,685	26,979	31,370
2016	26,454	26,473	26,494	22,769	25,975	30,249
2017	20,341	20,351	20,364	16,639	18,867	21,837
Max	27,350	27,378	27,410	23,685	26,979	31,370
Min	13,734	13,737	13,740	9,977	11,337	13,149
Ave	20,483	20,490	20,499	16,748	19,117	22,275
StDev	2,853	2,859	2,865	2,875	3,262	3,779

1980년부터 2017년까지 물수지 분석 결과, 대상지구의 강수량은 약 800mm부터 2,300mm까지 분포하였으며, 평균 1,332mm의 강수량에 대하여 유역으로부터의 연유입량은 약 57백만톤부터 약 200백만톤의 범위를 나타내었고 평균 107백만톤이 유입되는 것으로 분석되었다. 관개용수 공급량은 시나리오 1의 경우 논관개 공급량은 약 9백만톤부터 약 21백만톤의 범위를 나타내었고 평균 16백만톤, 밭관개 공급량은 약 0.2백만톤부터 2백만톤의 범위로서 평균 1백만톤으로 산정되었다. 시나리오 2의 경우 논관개 및 밭관개 공급량은 시나리오 1과 동일한 값으로 산정되었으나 회귀수량이 약 1.4백만톤부터 3.3백만톤의 범위로서 평균 2.4백만톤이 공급되어 총 공급량은 11백만톤부터 27백만톤으로서 평균 19백만톤이 공급되는 것으로 산정되었다. 시나리오 3의 경우 역시 논관개 및 밭관개 공급량은 시나리오 1과 동일한 값으로 산정되었으나 회귀수량이 약 3.2백만톤부터 7.7백만톤의 범위로서 평균 5.5백만톤이 공급되어 총 공급량은 1백만톤부터 31백만톤으로서 평균 22백만톤이 공급되는 것으로 산정되었다.

이상과 같이 양수장을 고려하지 않은 농업용 저수지 수원공의 물수지 분석을 통하여 농업용수 공급량을 산정하였고, 이와 비교를 위하여 2개소 양수장의 공급량 및 양수장 수혜구역을 제외한 저수지 공급량을 각각 산정하여 공급량 변화를 분석하였다. 이동저수지 하류측의 은산 양수장은 1976년에 준공하여 50HP x 250mm 1기, 700HP x 850mm 3기의 규모로서 1,286ha의 수혜구역에 농업용수를 공급하고 있으며, 원암 양수장은 1971년에 준공하여 40HP x 300mm 1기의 규모로서 47ha의 수혜구역에 농업용수를 공급하고 있다.

즉, 이동지구 총 수혜구역에서 양수장 2개소의 수혜구역을 제외하고 회귀율 시나리오를 적용하여 이동저수지 물수지 분석을 통한 공급량을 산정하고, 양수장 지구는 회귀율 시나리오를 적용하지 않고 수혜구역의 필요수량을 모두 공급하는 것으로 가정하여 필요수량을 공급량으로 산정하였다. 농업용 저수지 및 양수장의 수원공별 공급량 산정 결과와 양수장을 고려하지 않은 저수지 물수지 분석으로만 산정된 공급량과 비교하였으며, 다음 표는 수원공별 공급량 산정 결과를 나타내고 있다.

농업용 저수지 및 양수장의 수원공별 공급량을 산정한 결과, 은산 양수장은 1,286ha의 수혜구역에 대한 공급량은 약 6백만톤부터 15백만톤의 범위로서 평균 10백만톤을 공급하는 것으로 모의되었고, 원암 양수장은 47ha의 수혜구역에 대하여 약 0.3백만톤부터 0.7백만톤의 범위로서 평균 0.5백만톤을 공급하는 것으로 산정되었다. 양수장 수혜구역을 제외한 수혜구역에 대한 이동저수지의 공급량은 시나리오 1의 경우에는 약 3백만톤부터 8백만톤의 범위로서 평균 5.8백만톤을 공급하는 것으로 모의되었다. 시나리오 2의 경우에는 약 4백만톤부터 9백만톤의 범위로서 평균 6.6백만톤, 시나리오 3의 경우에는 약 5백만톤부터 10백만톤의 범위로서 평균 7.7백만톤을 공급하는 것으로 모의되었다.

<표 2-17> 수원공별 공급량 산정 결과

연도	양수장 공급량 (천톤)			저수지 공급량 (천톤)		
	은산 양수장	원암 양수장	합 계	S - 1 (0%)	S - 2 (15%)	S - 3 (35%)
1980	8,002	415	8,417	4,418	5,063	5,924
1981	9,976	497	10,473	5,527	6,302	7,334
1982	12,339	605	12,944	6,847	7,789	9,045
1983	10,898	547	11,445	6,034	6,886	8,023
1984	9,815	503	10,318	5,425	6,207	7,251
1985	10,666	533	11,199	5,908	6,738	7,846
1986	9,454	476	9,931	5,233	5,975	6,964
1987	6,221	300	6,520	3,457	3,924	4,546
1988	11,946	600	12,546	6,614	7,549	8,795
1989	9,036	452	9,488	5,005	5,709	6,647
1990	7,002	364	7,367	3,864	4,431	5,188
1991	9,523	488	10,012	5,263	6,023	7,037
1992	11,832	584	12,416	6,561	7,471	8,684
1993	9,153	475	9,628	5,052	5,792	6,779
1994	11,661	581	12,242	6,462	7,366	8,572
1995	10,795	527	11,322	5,992	6,813	7,908
1996	11,311	566	11,877	6,265	7,146	8,321
1997	10,981	566	11,546	6,065	6,946	8,121
1998	8,779	454	9,233	4,848	5,554	6,496
1999	11,048	566	11,614	6,106	6,987	8,162
2000	11,036	544	11,580	6,121	6,968	8,099
2001	12,101	585	12,685	6,723	7,634	8,848
2002	11,339	559	11,898	6,289	7,160	8,321
2003	7,920	394	8,313	4,389	5,002	5,820
2004	11,026	553	11,580	6,106	6,967	8,116
2005	10,300	514	10,814	5,706	6,507	7,574
2006	9,971	508	10,479	5,514	6,305	7,359
2007	8,902	448	9,349	4,928	5,625	6,554
2008	9,775	492	10,267	5,411	6,177	7,198
2009	11,581	584	12,165	6,410	7,319	8,532
2010	10,376	525	10,901	5,741	6,558	7,649
2011	8,847	442	9,289	4,901	5,589	6,507
2012	10,022	484	10,506	5,569	6,323	7,328
2013	9,853	508	10,361	5,442	6,233	7,288
2014	13,983	682	14,665	7,763	8,825	10,242
2015	14,767	726	15,493	8,192	9,323	10,831
2016	14,196	707	14,903	7,866	8,967	10,435
2017	10,374	491	10,865	5,774	6,539	7,559
Max	14,767	726	15,493	8,192	9,323	10,831
Min	6,221	300	6,520	3,457	3,924	4,546
Ave	10,442	522	10,965	5,784	6,597	7,682
StDev	1,793	86	1,878	997	1,130	1,308

<표 2-18> 물수지 분석 방법에 따른 회귀율 시나리오별 공급량 산정 결과

연도	양수장을 고려한 수원공별 물수지 분석에 의한 공급량 (천톤)			양수장을 고려하지 않은 저수지 물수지 분석에 의한 공급량 (천톤)		
	S - 1 (0%)	S - 2 (15%)	S - 3 (35%)	S - 1 (0%)	S - 2 (15%)	S - 3 (35%)
1980	12,834	13,480	14,341	12,834	14,715	17,222
1981	16,001	16,775	17,808	16,001	18,256	21,263
1982	19,791	20,733	21,989	19,791	22,534	26,192
1983	17,479	18,331	19,468	17,479	19,961	23,271
1984	15,742	16,525	17,569	15,742	18,022	21,060
1985	17,107	17,938	19,045	17,107	19,526	22,751
1986	15,164	15,906	16,895	15,164	17,324	20,204
1987	9,977	10,444	11,067	9,977	11,337	13,149
1988	19,160	20,095	21,341	19,160	21,882	25,510
1989	14,493	15,197	16,135	14,493	16,542	19,275
1990	11,231	11,798	12,554	11,231	12,883	15,085
1991	15,274	16,035	17,049	15,274	17,489	20,442
1992	18,977	19,887	21,100	18,977	21,626	25,158
1993	14,680	15,420	16,407	14,680	16,836	19,710
1994	18,704	19,608	20,814	18,704	21,338	24,850
1995	17,315	18,136	19,230	17,315	19,705	22,893
1996	18,142	19,023	20,198	18,142	20,708	24,130
1997	17,612	18,493	19,668	17,612	20,178	23,599
1998	14,081	14,787	15,729	14,081	16,138	18,881
1999	17,720	18,601	19,776	17,720	20,286	23,707
2000	17,701	18,549	19,679	17,701	20,170	23,461
2001	19,409	20,319	21,533	19,409	22,060	25,594
2002	18,187	19,058	20,219	18,187	20,723	24,103
2003	12,702	13,316	14,134	12,702	14,488	16,870
2004	17,685	18,547	19,695	17,685	20,194	23,538
2005	16,521	17,321	18,389	16,521	18,852	21,960
2006	15,993	16,784	17,838	15,993	18,296	21,367
2007	14,277	14,974	15,904	14,277	16,307	19,013
2008	15,678	16,444	17,465	15,678	17,908	20,881
2009	18,574	19,484	20,697	18,574	21,223	24,754
2010	16,641	17,459	18,549	16,641	19,023	22,197
2011	14,190	14,878	15,796	14,190	16,194	18,866
2012	16,075	16,829	17,834	16,075	18,271	21,198
2013	15,803	16,594	17,650	15,803	18,107	21,179
2014	22,428	23,490	24,907	22,428	25,522	29,647
2015	23,685	24,816	26,324	23,685	26,979	31,370
2016	22,769	23,870	25,338	22,769	25,975	30,249
2017	16,639	17,404	18,424	16,639	18,867	21,837
Max	23,685	24,816	26,324	23,685	26,979	31,370
Min	9,977	10,444	11,067	9,977	11,337	13,149
Ave	16,748	17,562	18,646	16,748	19,117	22,275
StDev	2,875	3,008	3,185	2,875	3,262	3,779

양수장을 고려한 수원공별 물수지 분석에 의한 공급량 및 양수장을 고려하지 않은 전체 물수지 분석에 의한 공급량을 산정한 결과, 시나리오 1 (회귀율 0%)의 경우에는 약 10백만톤부터 24백만톤의 범위로서 평균 17백만톤으로 동일하게 산정되었다. 시나리오 1은 회귀율이 없는 것으로 가정한 경우로서, 은산 양수장 및 원암 양수장의 수원공이 이동저수지이므로 각각의 수혜구역에 회귀수량 없이 동일한 관개수량이 공급되어 수원공별 물수지와 전체 물수지에 의한 공급량이 동일하게 산정되었다. 시나리오 2 (회귀율 15%)의 경우에는 수원공별 물수지에 의한 공급량은 약 10백만톤부터 25백만톤의 범위로서 평균 약 18백만톤으로 산정되었고, 전체 물수지에 의한 공급량은 약 11백만톤부터 27백만톤의 범위로서 평균 약 19백만톤으로 산정되었다. 시나리오 3 (회귀율 35%)의 경우에는 수원공별 물수지에 의한 공급량은 약 11백만톤부터 26백만톤의 범위로서 평균 약 19백만톤으로 산정되었고, 전체 물수지에 의한 공급량은 약 13백만톤부터 31백만톤의 범위로서 평균 약 22백만톤으로 산정되었다. 시나리오 1은 회귀율이 없는 경우로서 수원공별 물수지와 전체 물수지 분석에 의한 공급량이 동일하게 산정되었으나, 시나리오 2와 3은 회귀율을 각각 15%와 35%를 적용한 경우로서 수원공별 물수지 분석에 의한 공급량이 전체 물수지 분석에 의한 공급량보다 각각 8.1%와 16.3% 감소되는 결과를 나타내고 있다.

수원공별 물수지 분석에 의한 공급량이 전체 물수지 분석에 의한 공급량보다 감소되는데, 이는 양수장 물수지 분석시에는 회귀율을 고려하지 않은 공급량을 산정하고 저수지 물수지 분석시에는 회귀율이 고려된 공급량이므로 수원공별 물수지 분석에 의한 공급량이 감소되는 것으로 판단된다. 이와 같이 물수지 분석 방법에 따라 공급량 산정 값이 달라지게 되는 것을 확인하였으며, 양수장을 고려하지 않은 일반적인 물수지 방법으로 공급량을 산정하고 저수지 운영계획을 수립하는 기존의 공급량 산정 방법을 수원공별 물수지 분석에 의하여 공급량을 산정하는 방법으로 개선하는 검토가 필요할 것으로 사료된다.

(다) 실측치 기반의 단위 면적당 평균 공급량 산정 방법 분석

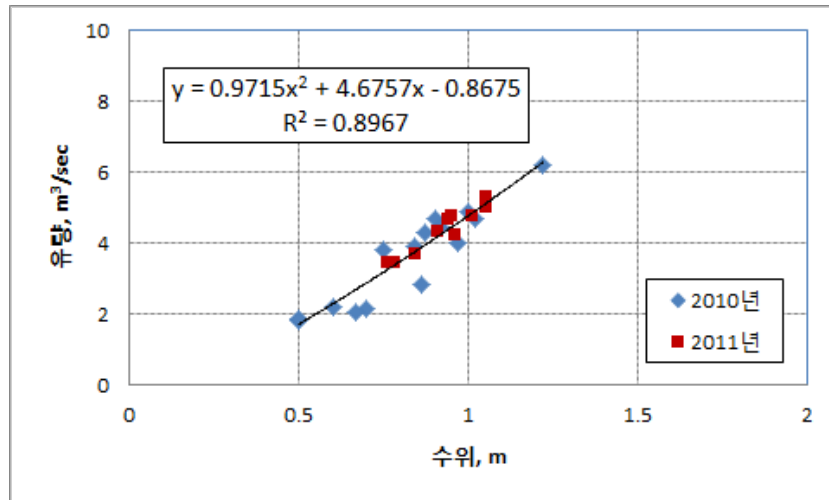
물수지 분석 및 모의에 의한 공급량 추정 방법은 물수지 분석을 위한 다양한 매개변수 및 인자의 불확실성이 내포되어 있고, 실제 저수지 운영 상황을 모형에서 구현하기 어려운 실정으로 정확한 공급량 산정 보다는 공급량을 추정하는 실정이다. 본 절에서는 이동저수지에서 간선 수로를 통하여 실제 공급된 용수량을 계측한 자료를

토대로 수혜구역의 단위 면적당 평균 공급량을 산정하였다.

이동지구는 이동저수지로부터 3개의 용수간선을 통하여 공급하고 있으며, 이동저수지 직하류에 진위간선에서 진원간선, 문곡간선으로 연결되어 관개용수를 공급하고 있다. 본 연구에서 사용된 공급량 측정자료는 이동저수지 직하류의 진위간선 시점에서 측정된 수로 수위자료로부터 수위-유량곡선식을 이용하여 산정된 유량자료를 사용하였고, 자료의 신뢰성을 확보하기 위하여 농촌용수 종합시험지구 운영 - 수자원(2011, 농식품부) 연구에서 측정된 2001년부터 측정된 공급량 자료를 사용하였다. 공급량 측정 자료로 사용된 진위간선의 이동시점은 이동저수지로부터 관개용수가 공급되는 시작지점으로, 폭 2.26m 수로에 수위관측시설이 설치되어 있으며, 유량이 크고 유속이 상당히 높아 부자법으로 유량측정이 실시되었다 (농촌용수 종합시험지구 운영 - 수자원, 2011, 농식품부). 이동시점의 수로수위는 집중호우가 발생한 날짜를 제외하고 대부분 0.7m ~ 1.0m를 유지하는 것으로 측정되었고, 이동시점의 수위-유량 관계식은 2010년도와 2011년도의 성과를 토대로 도출되었고, 콘크리트 수로로서 연도별 단면 변화가 없으므로 기타 년도에 적용이 가능할 것으로 판단된다.



(그림 2-10) 진위간선의 이동시점 수위관측시설



(그림 2-11) 이동시점 수위-유량관계식

이동시점의 관측된 수위자료를 바탕으로 수위-유량 관계식을 이용하여 2001년부터 2017년까지의 공급량 자료를 산정하였다.

<표 2-19> 이동시점의 계측 공급량

연도	공급량 (천톤)	연도	공급량 (천톤)
2001	29,841	2012	25,537
2002	20,271	2013	24,689
2003	27,326	2014	27,824
2004	29,898	2015	26,428
2005	26,422	2016	29,571
2006	32,491	2017	23,549
2007	22,497	Max	32,491
2008	12,607	Min	12,607
2009	30,375	Ave	25,639
2010	26,225	StDev	4,822
2011	20,318		

(라) 세가지 공급량 산정 방법 비교·분석

앞서 제시된 세가지 공급량 산정 방안을 분석하였는 바, ① 유역단위 물수지 분석을 통한 농업용수 공급량 산정 방법, ② 수원공별 물수지 분석을 통한 농업용수 공급량 산정 방법, ③ 실측치 기반의 수혜구역 단위면적당 평균 공급량 산정 방법으로

나누어 공급량을 산정하고 세가지 방법을 비교하였다.

① 유역단위 물수지 분석을 통한 공급량 산정 방법은 유역의 하천에서 실측하고 있는 하천 유량자료를 바탕으로 저수지 무효방류량 및 하류측 유역 유출량 모의 자료를 이용하여 저수지로부터의 관개용수 공급량을 산정하였다. ② 수원공별 물수지 분석을 통한 농업용수 공급량 산정 방법은 ②-1 양수장을 고려하지 않고 저수지 수원공의 물수지 분석을 통하여 관개용수 공급량을 산정, ②-2 저수지와 양수장을 각각 물수지 분석을 통하여 관개용수 공급량을 산정하였다. ③ 실측치 기반의 수혜구역 단위면적당 평균 공급량 산정 방법은 저수지 간선수로의 시점에서 수로의 유량을 계측하여 직접 농업용수 공급량을 산정하는 방법으로 이를 수혜구역으로 나누어 단위면적당 공급량을 산정하였다.

여기서 ①번 및 ②번 방법에서 공급량 산정을 위한 회귀수량을 고려하였는데, ①번 방법에서는 회귀율을 5%, 15%, 35%로 고려하였고 ②번 방법에서는 회귀율을 0%, 15%, 35%로 고려하여 각각의 공급량을 산정하였다. 각 방법에서 회귀율을 다르게 적용한 이유는 ①번 방법의 경우 하천 유량 계측자료와 모의자료로부터 관개용수 공급량의 회귀수량을 추정하여 회귀수량으로부터 회귀율을 적용하여 공급량을 역추정하는 방법으로서, 회귀율이 0%일 경우 공급량의 추정이 불가능하므로 5%부터 35%까지의 범위로 공급량을 산정하였다. ②번 방법에서는 기상자료를 이용하여 물수지 분석 모의를 통하여 수원공별 공급량을 추정하는 방법으로서, 농업용수 물수지 분석에서 일반적으로 사용되는 회귀율 15%, 수자원장기종합개발계획에서 사용하고 있는 회귀율 35%를 적용하였고, 회귀율을 고려하지 않은 상태에서의 공급량 모의를 위해서 회귀율 0%를 적용하여 공급량을 산정하였다.

이때, ①번 방법은 하천 유량 계측치가 동일하게 구축되어 있는 시기인 2010년부터 2017년도까지의 공급량을 산정하였으며, ②번 방법은 모의에 의한 공급량 산정 방법으로서 기상자료가 구축되어 있는 1980년부터 2017년까지 공급량을 산정하였고, ③번 방법은 농촌용수 종합시험지구 운영 (2011, 농식품부) 연구를 통하여 공급량 계측시 시작된 2001년부터 2017년까지의 공급량을 산정하였다. 각각의 공급량 산정 방법의 비교를 위하여 ③번 방법인 실측치 기반의 공급량이 실제 저수지로부터 공급량 관개용수 공급량이므로 ①번 및 ②번 방법으로 산정된 공급량을 ③번 방법의 실측치 공급량과 비교하였다.

<표 2-20> ①번 방법 및 ③번 방법에 의한 공급량의 비교

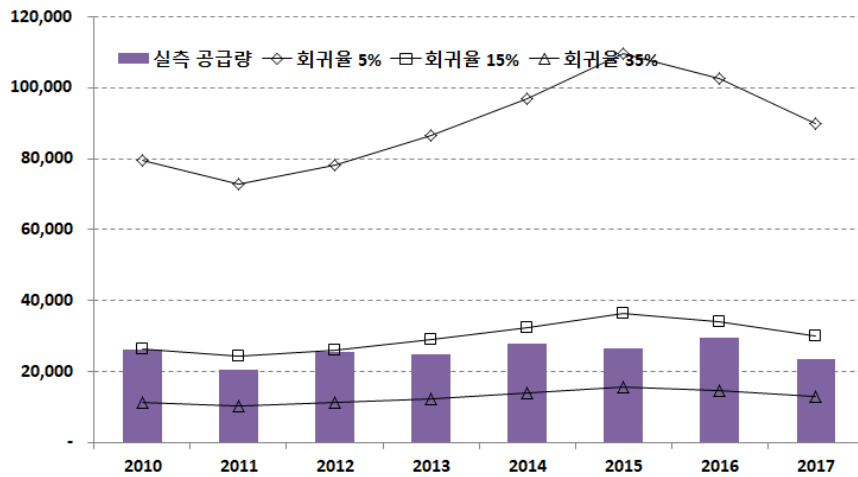
연도	①번 방법 (유역단위 물수지) (천톤)			③번 방법 실측 공급량 (천톤)
	회귀율 5%	회귀율 15%	회귀율 35%	
2010	79,468	26,489	11,353	26,225
2011	72,900	24,300	10,414	20,318
2012	78,200	26,067	11,171	25,537
2013	86,563	28,854	12,366	24,689
2014	96,951	32,317	13,850	27,824
2015	109,543	36,514	15,649	26,428
2016	102,494	34,165	14,642	29,571
2017	89,929	29,976	12,847	23,549
Max	109,543	36,514	15,649	32,491
Min	72,900	24,300	10,414	12,607
Ave	89,506	29,835	12,787	25,639

<표 2-21> ②-1번 방법 및 ③번 방법에 의한 공급량의 비교

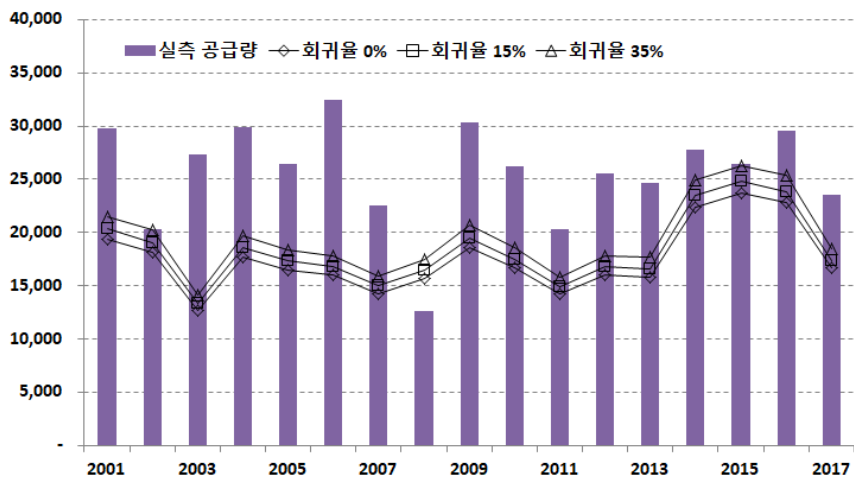
연도	②-1번 방법 (전체 물수지) (천톤)			③번 방법 실측 공급량 (천톤)
	회귀율 0%	회귀율 15%	회귀율 35%	
2001	19,409	20,319	21,533	29,841
2002	18,187	19,058	20,219	20,271
2003	12,702	13,316	14,134	27,326
2004	17,685	18,547	19,695	29,898
2005	16,521	17,321	18,389	26,422
2006	15,993	16,784	17,838	32,491
2007	14,277	14,974	15,904	22,497
2008	15,678	16,444	17,465	12,607
2009	18,574	19,484	20,697	30,375
2010	16,641	17,459	18,549	26,225
2011	14,190	14,878	15,796	20,318
2012	16,075	16,829	17,834	25,537
2013	15,803	16,594	17,650	24,689
2014	22,428	23,490	24,907	27,824
2015	23,685	24,816	26,324	26,428
2016	22,769	23,870	25,338	29,571
2017	16,639	17,404	18,424	23,549
Max	23,685	24,816	26,324	32,491
Min	12,702	13,316	14,134	12,607
Ave	17,392	18,234	19,358	25,639

<표 2-22> ②-2번 방법 및 ③번 방법에 의한 공급량의 비교

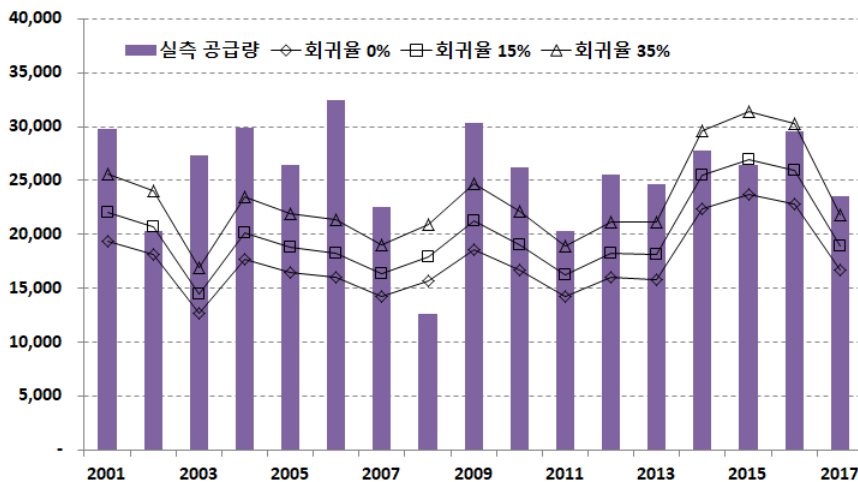
연도	②-2번 방법 (양수장 고려 수원공별 물수지) (천톤)			③번 방법 실측 공급량 (천톤)
	회귀율 0%	회귀율 15%	회귀율 35%	
2001	19,409	22,060	25,594	29,841
2002	18,187	20,723	24,103	20,271
2003	12,702	14,488	16,870	27,326
2004	17,685	20,194	23,538	29,898
2005	16,521	18,852	21,960	26,422
2006	15,993	18,296	21,367	32,491
2007	14,277	16,307	19,013	22,497
2008	15,678	17,908	20,881	12,607
2009	18,574	21,223	24,754	30,375
2010	16,641	19,023	22,197	26,225
2011	14,190	16,194	18,866	20,318
2012	16,075	18,271	21,198	25,537
2013	15,803	18,107	21,179	24,689
2014	22,428	25,522	29,647	27,824
2015	23,685	26,979	31,370	26,428
2016	22,769	25,975	30,249	29,571
2017	16,639	18,867	21,837	23,549
Max	23,685	26,979	31,370	32,491
Min	12,702	14,488	16,870	12,607
Ave	17,392	19,845	23,116	25,639



(그림 2-12) ①번 방법 및 ③번 방법에 의한 공급량



(그림 2-13) ②-1번 방법 및 ③번 방법에 의한 공급량



(그림 2-14) ②-2번 방법 및 ③번 방법에 의한 공급량

유역단위 물수지 분석에 의한 공급량 산정 결과와 실측 공급량과 비교한 결과, 회귀율 5%로 산정된 공급량은 실측 공급량보다 약 3배 이상 과대 산정 되었으며 회귀율 35%로 산정된 공급량은 실측 공급량 약 2배 가량 다소 적게 산정되었고 회귀율 15%로 산정된 공급량이 실측 공급량에 가장 유사하게 산정된 것을 확인 하였다. 양수장을 고려하지 않고 전체 수혜구역에 대한 저수지 수원공의 물수지 분석에 의한 공급량 산정 결과와 실측 공급량과 비교한 결과, 2002년과 2015년에는 유사한 값을 나타내었고, 2008년을 제외하고 모두 실측값보다 과소 산정되었는데, 이는 이동저수지의 일반적인 공급 운영을 필요수량 대비 약 1.5 ~ 2배를 공급하기 때문으로 사료된다 (농촌용수 종합시험지구 운영, 2011, 농식품부). 양수장을 고려한 수원공별 물수지 분석에 의한 공급량 산정 결과와 실측 공급량과 비교한 결과, 양수장을 고려하지 않고 전체 물수지 분석에 의한 결과보다 실측값과 유사한 거동을 나타내고 있다. 이는 실제 저수지 공급 운영이 수혜구역의 필요수량보다 약 1.5 ~ 2배 이상으로 공급하고 있어, 공급량이 증가하는 회귀율 35% 시나리오에서 실측 공급량과 근접하는 값을 나타내고 있는 것으로 사료된다.

라. 수요대비 공급 효율 분석

앞서 다양한 방법으로 산정된 수요량 및 공급량 산정 결과를 바탕으로 필요수량 대비 공급량의 비율로 물이용 효율을 분석하였다. 필요수량은 중부지방의 기본 작부시기와 통계연보에서 제공하는 수혜구역 면적을 적용한 필요수량 산정결과를 이용하였고, 공급량은 세가지 공급량 산정 방법 (유역단위 공급량 산정방법, 수원공별 공급량 산정방법, 실측 공급량)으로 산정된 공급량을 이용하여 수요대비 공급 효율을 분석하였다.

2010년부터 2017년까지의 수요대비 공급 효율을 분석한 결과, 유역단위 공급량 산정방법에 의한 공급량은 필요수량 대비 약 50%에서 최대 약 400%까지 공급되는 것으로 나타났으며, 회귀율 5%를 적용한 경우 모든 년도에서 약 370% 이상의 초과 공급이 되었으며, 회귀율 35%를 적용한 경우 100% 미만의 효율을 나타내었고, 회귀율 15%를 적용한 경우에 약 120%의 공급 효율을 나타내는 것으로 분석되었다. 수원공별 공급량 산정방법에 의한 공급량은 필요수량 대비 약 80%에서 최대 약 110%를 나타내고 있으며, 양수장을 고려하고 회귀율 35%를 적용한 경우에 100%를 초과하고 나머지 경우에는 모두 100% 미만을 나타내고 있다. 이에 반하여 실측

공급량은 필요수량 대비 96%에서 129%를 나타내고 있어 유역단위 공급량 산정 방법의 회귀율 15%를 적용한 경우와 양수장을 고려한 수원공별 물수지 분석방법의 회귀율 35%를 적용한 공급 효율이 실측 공급 효율과 가장 유사한 효율을 나타내고 있다.

<표 2-23> 수요 대비 공급효율 산정 결과

연도	1. 유역단위			2. 수원공별						실 측 공급량
				2.1 전체 물수지 (저수지)			2.2 수원공별 물수지 (양수장 고려)			
	회귀율 5%	회귀율 15%	회귀율 35%	회귀율 0%	회귀율 15%	회귀율 35%	회귀율 0%	회귀율 15%	회귀율 35%	
2010	389.7	129.9	55.7	81.6	85.6	91.0	81.6	93.3	108.8	128.6
2011	406.2	135.4	58.0	79.1	82.9	88.0	79.1	90.2	105.1	113.2
2012	395.1	131.7	56.4	81.2	85.0	90.1	81.2	92.3	107.1	129.0
2013	442.6	147.5	63.2	80.8	84.8	90.2	80.8	92.6	108.3	126.2
2014	371.7	123.9	53.1	86.0	90.1	95.5	86.0	97.9	113.7	106.7
2015	400.5	133.5	57.2	86.6	90.7	96.3	86.6	98.6	114.7	96.6
2016	387.4	129.1	55.3	86.1	90.2	95.8	86.1	98.2	114.3	111.8
2017	442.1	147.4	63.2	81.8	85.6	90.6	81.8	92.8	107.4	115.8

마. 수요량 및 공급량 산정 개선 방향 제언

(1) 수요량 산정 방법 개선 방안

농업용수는 국가 차원에서의 수자원 수요 및 공급 전망을 예측하는데 있어 생활용수 및 공업용수와 더불어 매우 중요한 수자원으로 인식되고 있고, 생·공용수와 달리 복잡한 기작으로 농업용수의 수요 및 공급이 이루어지고 있어 용수량의 계측이 어려운 상황에서 여러 가지 모형이나 이론들을 통해서 추정하고 있는 실정이다. 농업용수의 추정을 위해서는 물수지 분석이 필수적으로 선행되어야 하는데, 물수지 분석은 수자원이나 농업용수의 장기종합계획을 위한 기본적인 분석과정으로, 장래 안정된 용수수급 전망을 검토하고 댐 및 저수지 등의 새로운 수자원 개발을 계획하는데 매우 중요한 역할을 하고 있다 (이승욱 등, 2005).

이는 용수 수요량과 공급가능량을 비교하는 단순한 과정이지만, 추정을 통하여 자연의 물순환을 다루는 분석으로서 다양한 불확실성을 내포하고 있다. 즉, 자연 유량, 회귀유량, 용수 수요량 등에서 많은 불확실성이 내포되어 있을 뿐만 아니라 우리나라의 경우 관측자료의 오차 또한 크기 때문에 물수지 분석을 실시한 각종 보고서마다 서로 다른 상이한 결과를 보여주고 있어 국민적 공감대를 얻지 못하는 실정이다 (이승욱 등, 2005).

선진국에서의 물수지 분석에 의한 불확실성을 최소화하고 수요 전망을 예측하는 연구를 살펴보면, Marholein 등 (2002)은 기후변화 영향을 고려하기 위해 TARGET 모형을 이용하여 네델란드 남부지역에 대한 물순환 흐름을 분석하였고, Asselt (2000)은 기후변화, 사회변화, 경제적 변화, 환경적 변화, 수자원 변화 등을 고려한 다양한 시나리오 접근방법인 PRIMA (Pluralistic fRamework for Integrated uncertainty Management and Risk Analysis) 모형을 제시하였다. 기후변화와 더불어 도시화 및 산업화로 인한 농촌의 경지면적 감소와 농업용수 수요량의 상관관계를 우리나라와 농업 환경이 유사한 일본의 사례를 통해 파악할 수 있는데, 1975년 일본의 경지면적은 5,572천ha(논 3,171천ha, 밭 2,402천ha)였으나, 지속적으로 감소하여 2007년에는 4,650천ha(논 2,530천ha, 밭 2,120천ha)로 20% 감소한 것으로 나타났다.

일본의 농업용수 변화를 살펴보면 1975년 농업용수 총량은 570억^m, 논용수 560억^m, 밭용수 7억^m으로 논용수로 농업용수량의 98%를 차지하고 있었으나, 2006년에는 농업용수 총량 547억^m 중 논용수가 515억^m, 밭용수가 28억^m으로 논용수는 감소하고 밭용수가 크게 증가한 것을 확인할 수 있다. 따라서, 현실적으로 계측이 불가능한 농업용수 수요량을 합리적으로 추정하기 위해서는 기후변화 및 경지면적의 변화를 고려하는 것이 필수적이라 사료된다.

김보업 (2016)은 기후변화 시나리오를 적용하여 충청남도 농업용수 수요량 변화를 예측하였는데, APEC 기후변화센터에서 생성한 RCP 4.5 및 8.5 자료를 이용하여 추정한 결과, RCP 4.5 조건에서 2025년의 수요량은 2,165백만톤/년, RCP 8.5 조건에서 2,220백만톤/년으로 추정되었고, 기존 충청남도의 수자원장기종합개발계획의 수요량 추정 결과와 뚜렷한 차이점이 나타나지 않는 것으로 분석되었다. 이 연구에 따르면, 기후변화가 예측되는 작부시기, 작물계수 등의 인자를 고려하지 못하여 과거 기상 관측자료로 추정한 수자원장기종합개발계획의 수요량과 차이점이 나타

나지 않았으며, 영농방식별 작부시기와 작물계수 등의 인자의 고려가 필수적임을 고찰하고 있다.

양소혜 (2007)는 금호강 유역의 경지면적 전망을 통하여 농업용수 수요를 전망하였는데, 과거 10년간의 토지이용변화 자료를 바탕으로 선형 회귀분석을 통하여 2005년 이후 경지면적은 매년 0.56%씩 감소하여 2030년에는 총 5,350ha가 감소할 것으로 예상되었다. 경지면적의 감소로 인하여 농업용수 수요량은 2005년 이후 매년 0.68%씩 감소하여 2030년에는 총 22,534천톤이 감소할 것으로 전망하고 있다. 이 연구에 따르면, 농업용수 수요량은 경지면적의 변화가 가장 큰 영향을 미치기 때문에 해당 유역의 경지면적을 정확히 파악하는 것이 우선시되어야 하며, 한발빈도별로 농업용수 수요량을 산정하여 앞으로의 물부족에 대한 충분한 대비가 이루어져 할 것으로 고찰하고 있다. 또한, 현재 경지면적 및 농업용수 수요·공급에 관한 자료는 국가수자원관리종합정보 홈페이지를 통해 통합되는 과정에 있으나 여전히 지자체 및 관련공사들로 나뉘어 조사·관리되고 있기 때문에 유역별, 수계별로 자료를 정확히 파악하기는 쉽지 않으며, 앞으로 부족한 가용 수자원량에 따른 농업용수의 효율적인 개발과 관리를 위해 보다 정확한 농업용수 자료의 분석을 통한 농업용수 수요량 추정이 요구되는 것으로 제안하였다.

본 연구에서는 농업용수 수요량 추정을 위해서 기후변화 및 경지면적 변화를 고려하여 수요량을 추정하였으며, 기후변화에 따른 작부시기 변화 시나리오를 적용하여 필요수량을 추정한 결과 중부지방의 작부시기가 남부지방의 작부시기로 변화될 경우 필요수량이 감소하였으며, 위성영상으로부터 추출한 경지면적을 적용한 경우 역시 과거로부터 현재까지 필요수량이 감소되는 경향을 보이고 있어, 향후 농어촌용수이용합리화계획 수립과 같은 농업용수 수요량 추정시 현실적인 작부시기 및 경지면적의 적용이 필수적임을 제안하고자 한다.

(2) 공급량 산정 방법 개선 방안

농업용수 공급량을 산정하기 위해서는 수원공에서의 실제 공급량을 계측하는 것이 가장 정확한 방법이나 이를 위해서는 막대한 예산이 투입되어야 하며 계측 자동화 설비 역시 구축하기에 용이하지 못한 실정이다. 따라서, 실제적으로 효율적인 하천 관리와 국가 수자원 계획의 수립을 위해서는 용수 공급량의 대부분을 차지하고 있는 농업용수 공급량에 대한 정확한 추정이 필요하다.

임상준 등 (2000)은 한강수계의 농업용수 공급량 조사 방법을 개발하였는데, 수계 규모에서의 논벼 재배를 위해 공급되는 농업용수를 추정하기 위하여 개발하였으며 한강 유역의 과거 5개년에 대한 농업용수 공급량을 추정하였다. 이 연구에 따르면, 저수지의 공급량을 DIROM 모형을 이용하여 산정하였고, 양수장의 경우에는 연간 양수량으로부터 일별 양수율을 적용하여 추정하였고, 취입보의 경우에는 설계취수량과 관개지구의 조용수량 및 하천유량을 비교하여 이들 중의 최소 유량으로 산정하였으며, 관정의 경우에는 조용수량에 대한 설계 채수량 및 6시간 양수 패턴을 적용하여 계산하고 있다.

농업용수는 전체 수자원 공급량의 상당 부분을 차지하고 있음에도 불구하고 생·공용수와 달리 그 이용 범위가 광범위하게 산재되어 있으며, 기상조건 등에 따라 변화하기 때문에 실제 공급량의 추정에 어려움이 있다. 특히, 현장 계측을 통한 공급량의 직접적인 조사는 현실적으로 불가능하므로, 수원공의 관리기관에서 보유하고 있는 운영자료 등을 이용하여 간접적으로 추정할 수 있는 표준화된 조사 방법의 개발 및 적용이 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 공급량 산정 방법으로서 ① 유역단위 물수지 분석에 의한 공급량 산정, ② 수원공별 물수지 분석에 의한 공급량 산정, ③ 실측치 기반의 공급량 산정 방법으로 나누어 제시하였으며, 각 방법의 장·단점을 분석하여 전국단위로 확대 적용하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

<표 2-24> 공급량 산정 방법 및 전국 확대 적용 방안 제시

공급량 산정 방법	산정 세부 방법	전국 확대 적용 방안
① 번 유역단위 물수지	<ul style="list-style-type: none"> - 유역단위 물수지를 통한 농업용수 공급량 산정 - 저수지 하류 하천의 유량 계측 자료 및 유역 유출량, 저수지 무효방류량 자료를 이용한 물수지 - 회귀율 5%, 15%, 35%를 적용하여 저수지로부터의 공급량 추정 	<ul style="list-style-type: none"> - 농업용수 공급량 산정을 위한 공간적인 분석 단위 수립 - 농업용수 수원공이 포함된 수계단위의 하천 유출량 계측자료의 확보 및 신뢰성 검증 - 농업용 저수지의 무효방류량 추정을 위한 물수지 분석 기법의 정립 - 저수지 하류측 유역 유출량 산정을 위한 모의 기법 정립
② 번 수원공별 물수지	<ul style="list-style-type: none"> - 수원공별 물수지 분석을 통한 농업용수 공급량 산정 - 저수지, 양수장, 취입보, 관정 등의 수원공별 물수지 - 회귀율 0%, 15%, 35%를 적용한 공급량 추정 	<ul style="list-style-type: none"> - 용수구역 단위의 농업용수 수원공 분포 현황 및 운영 현황 파악 - 수원공별 해당 수혜구역 분할 및 면적 정립 - 저수지, 양수장, 취입보, 관정 등의 수원공별 물수지 기법 정립 - 수원공별 회귀율 및 하천 유지 유량 등의 정량화 기법 개발
③ 번 실측치 기반	<ul style="list-style-type: none"> - 실측치 기반의 농업용수 공급량 산정 - 저수지로부터 공급되는 간선수로의 시점부에서 수위 관측 - 수위-유량 곡선식으로부터 공급량 산정 	<ul style="list-style-type: none"> - 실측치 기반의 공급량 산정을 위한 전국 용수구역 수혜지역의 수문, 기상, 지형, 영농방식 등을 고려한 용수구역 분류 - 분류된 용수구역 중 공급량 계측을 위한 대표 용수구역 선정 - 대표 용수구역에 대한 공급량 계측 및 단위면적당 공급량 산정 - 단위면적당 공급량을 이용한 전국 수혜구역의 공급량 산정

유역단위 물수지 분석에 의한 농업용수 공급량 산정 방법은 하천유량 계측 자료와 유역유출 및 무효방류량의 모의 자료를 이용하여 물수지 분석을 수행하는 방법으로서, 용수구역과 하천 유출량 계측 지점과의 적절한 분포를 위한 분석 단위의 수립이 선행되어야 한다. 또한, 하천 유출량 계측 자료의 신뢰성 검증이 필요하며, 유역 유출이나 무효방류량과 같은 모의 자료를 사용하므로 유출 모의 및 물수지 모의와 같은 방법의 정립 역시 필요하다.

수원공별 물수지 분석에 의한 농업용수 공급량 산정 방법은 전국 용수구역의 수원공의 분포나 운영 현황의 파악이 필수적이며, 각 용수구역에 대한 물수지 분석 기법이 정립되어야 한다. 저수지 물수지 분석의 경우에는 한국농어촌공사에서 개발한 HOMWRS 모형으로 분석하여 공급량 추정이 가능하지만, 양수장이나 취입보, 관정 등의 수원공에 대한 물수지 분석 기법 혹은 공급량 산정 기법의 정립되지 못한 실정이다. 특히, 양수장의 경우에는 상류 저수지로부터의 용수공급을 받는 경우와 인근 하천으로부터의 공급에 따라 용수구역 단위의 물수지 결과가 상이하게 되므로 양수장의 운영 형태나 실적의 파악이 우선되어야 한다.

또한, 취입보의 경우에는 취입보 수원공으로부터 관개용수가 공급되는 수혜구역의 파악이 선행되어야 하며, 하천수를 사용하는 취입보의 유입 및 공급에 대한 물수지 분석 기법의 정립이 필요하다. 실측치 기반의 농업용수 공급량 산정 기법은 공급량 산정을 위한 가장 정확한 방법으로 인식되지만, 수원공별 용수간선 시점에서의 유량 계측이 필수적이며 이를 위해서는 막대한 예산과 기간이 소요되는 문제가 있는 실정이다. 따라서, 용수구역별로 영농방식이나 물공급 운영 형태, 기상 및 수문 조건들을 고려하여 용수구역을 분류하고, 대표 용수구역에 대한 공급량 계측을 통하여 수혜구역의 단위면적당 공급량을 산정하여 전국으로 확대함으로써 공급량 산정이 가능할 것으로 사료된다.

2. 농업용수 계측 기법 개발

가. 기존 농업용수 정량화 기법 고찰

농업용수 이용량은 보통의 논과 밭, 그리고 시설농업에서 사용량을 구분하여 산정한다. 논과 밭의 용수이용량을 산정하기 위해서는 유효수량, 증발산량, 침투량 등의 인자를 측정이나 계산에 의해 산정한다. 이들 인자를 기초로 순용수량과 조용수량 등 필요수량을 산정한다. 또한, 필요수량에 기초하여 저수지나 양수장을 설계한다. 시설농업에서는 작물이 소비하는 수량보다 관리 목적상 소비하는 수량이 많을 수 있으므로 논과 밭의 관계와는 달리 별도로 용수수요량을 산정한다. 농업용수 수요량이 산정되면 이에 대응할 수 있는 공급량이 확보되어야 한다.

수요량 및 공급량 조사 방법에서 가장 문제시 되고 있는 것은 적정 침투량, 작물 계수, 관리 용수량 (손실수량), 유효수량, 회귀 수량에 대한 정의이다. 또한, 생태적, 공익적 기능에 대한 가치부여, 그리고 이에 따른 설계 기준의 재정립을 통하여 농업용수 정량화 및 표준화가 가능할 것이다. 따라서 기존의 연구동향을 분석하여 농업용수 정량화 방법과 문제점을 고찰하고자 한다.

최광준 등 (2013)은 제주도의 농업형태가 식량작물 및 노지 과수원 중심에서 시설원예, 특작, 노지채소 중심으로 빠르게 전환되어 농업용수의 공급은 용수수요를 충족시키지 못하는 문제점(송성호 등, 2012)해소를 위해 제주도 권역별 농업용수 수요량 산정에 대한 연구를 하였다. 제주도의 농업용수 개발현황과 시기별, 지역별 물이용 특성의 차이 등을 분석하고 향후 2020년 작물재배 면적 추정에 따른 권역별 농업용수 필요수량을 산정하여 농업용수 공급 대책 방안 수립을 제시하였다.

박갑순 (2002)은 용수공급실적 및 물수지 분석에 의한 농업용수 이용량 산정 합리화 방안을 연구하였는데, 수리답의 경우 한밭 빈도별로 원단위를 적용하지 않고 전체 면적에 대하여 동일한 원단위를 적용하는 것은 잘못된 방법으로 인식하고, 이를 보완하여 저수지의 운영실적과 물수지 분석을 이용하여 plotting position에 의한 빈도별 용수량에 의한 방법과 양수장의 공급실적과 실측된 증발산량, 유효수량, 침투량 및 환원율을 적용한 방법을 사용하여 논용수량을 산정하였다. 그 결과, 예당 저수지는 조용수량 196억톤, 광역용수량 116억톤, 환원수량 80억톤으로 산정되었고, 대평양수장은 조용수량 195억톤, 광역용수량은 117억톤, 환원수량은 78억톤으로 산정되었다. 환원수의 개념을 도입하지 않는다면 우리나라의 전체 농업용수 이용량은

235억톤으로 추정되지만, 환원수의 개념을 도입하여 용수량을 산정한 결과 약 156억톤으로 산정되었다. 이와 같이 많은 양을 차지하고 있는 환원수량에 대하여 산정 방법을 정립할 필요가 있고 그 기능에 대한 연구의 필요성을 언급하였다.

이용직 (2005)은 논 관개용수량 산정을 위한 실험적 연구에서 논 관개용수 공급 현황 조사와 공급량 추정을 통하여 얻은 실제공급량과 기존의 설계시 적용되고 있는 기준에 의한 필요수량 산정결과를 비교·분석하고 물관리 현황을 잘 반영할 수 있도록 제반 필요수량 산정요소를 재정립함으로써 논 관개용수량 산정 방법을 제시하였다. 본 연구의 결과는 물관리 현장에서 실제 발생하고 있는 용수 공급량을 모의 발생할 수 있으므로 물가두기, 이앙시기 등을 현장조건에 맞추어 조정하면 물관리 연간계획 수립, TM/TC 운용계획 등에 적용할 수 있다. 또한, 개보수사업 및 물관리 자동화 등을 통한 시설관리손실 저감 효과, 절수방법의 적용 효과, 가뭄대책의 효과 등을 계상하는데 유용하게 이용될 것이다. 본 연구는 제한된 자료를 이용하여 특정 지역에 적용성을 검토한 것으로, 지역별 세분화된 조사의 필요성을 제안하였고 기후여건에 따른 잠재증발산량 산정의 재정립 역시 시급한 문제로 언급하고 있다.

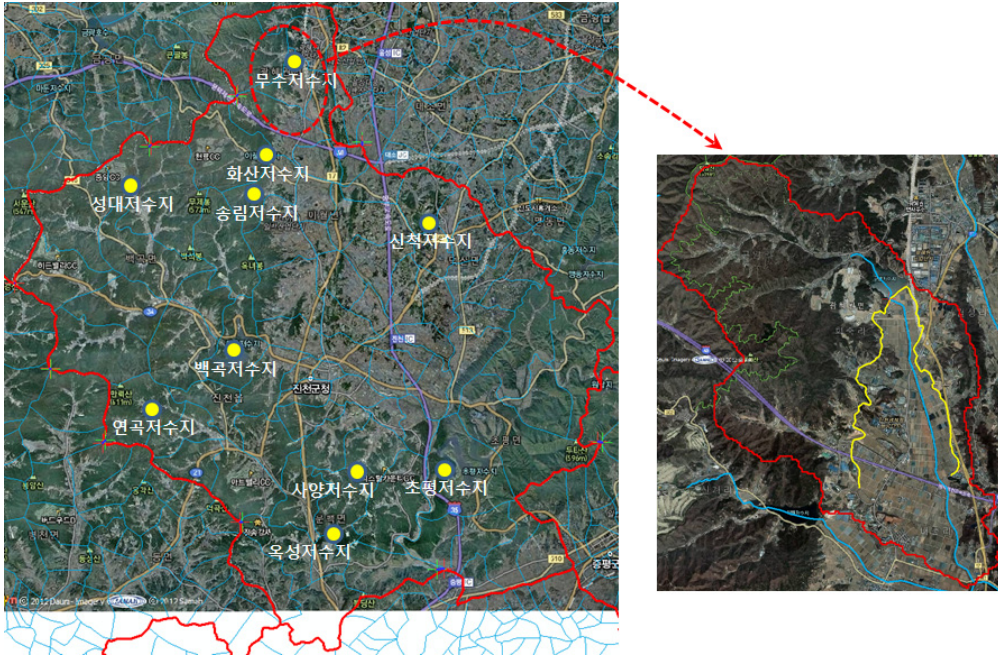
남원호 (2013)는 확률론 기반 농업용 저수지의 용수공급 지속가능성 및 운용성 평가 연구에서, 농업용 저수지의 합리적인 운용 및 관리, 용수공급능력에 대한 정량적인 평가를 위하여 공급량과 수요량의 특성 및 불확실성을 분석하고 확률론 및 신뢰성 해석기법을 활용한 용수공급 취약성 및 지속가능성 평가 모형을 개발·적용하였다. 특히, 실시간 계측자료를 이용하여 효율적인 용수공급 운용개선을 위한 현재 용수공급 취약성을 평가하였는바, 실시간 저수위 자료를 활용한 용수공급 취약성 평가는 관개기간 동안 시기별 공급가능량 및 수요예측량의 발생 확률을 활용함으로써 단기 기상 시나리오의 부재로 인한 저수지 운영 예측에 대한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 제시되었다. 향후 단기 기상자료가 제공된다면 동일한 방식으로 공급량 확률에 적용하여 용수공급 취약성 특성 곡선과 비료함으로서 현재 수위에 따른 저수지 운영에 대한 의사결정지원 도구로서 활용될 것으로 제안하고 있다.

나. 분석 대상지구 선정 및 현황 조사

(1) 분석 대상지구 선정

본 연구에서는 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 수요/공급량 정량화 및 최적 수문 계측망 구축기법을 개발하였다. 농업용 저수지를 수원으로

하며 수문 계획망이 기 설치되어 있고 추가적인 수문 계획망을 구축한 충청북도 진천군 내의 무수저수지(舊 구암저수지)와 그 관개지구인 금곡간선, 회죽간선을 대상지구로 선정 하였다.



(그림 2-15) 대상지구 위치도

무수저수지는 충청북도 진천군 광혜원면 구암리에 있는 농업 관개용 저수지로 서부는 고도의 구릉성 산지이며 남부는 진천군 이월면과 연속된 진천평야의 일부이다.

무수저수지 제당 형식은 중심점토형이다. 제언의 높이는 16.5m, 길이는 407m이고, 홍수량은 78.8m³/s, 일류 수심은 1.1m이다. 물넘이 형식은 측구식으로 길이는 65m, 언체 높이는 3.5m이다. 취수 시설 형식은 박스형으로 단면 1.2m, 연장 60m이다. 취수 시설 형식은 취수탑으로 취수량 0.60m³/s, 연장 32.9m이다. 유역 면적은 857ha, 만수 면적은 23.2ha, 홍수 면적은 24.1ha, 수해 면적은 219ha이다. 신규 개발 면적은 239ha, 순 관개 면적은 239ha, 관개 면적은 336ha, 구역 면적은 336ha, 인가 면적은 290ha, 준공 면적은 336ha, 수리안전담 면적은 284ha이다. 총저수량은 137만 m³, 유효 저수량은 132만 m³이다. 만수위는 119m이고 홍수위는 120m이다. 무수 저수지 관리는 한국농어촌공사 진천지사에서 관리하고 있으며 무수 저수지의 제원은 다음과 같다.

<표 2-25> 무수저수지 현황

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



(그림 2-16) 무수저수지(전경 및 물넘이)



(그림 2-17) 무수저수지 관개지구

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

구암천 유역내 최근 3개년 최고 기온은 38.3℃이고 최저 기온은 -26.5℃이며, 연평균 기온은 11.3℃로 전국 연평균 기온 12.5℃에 비하면 낮은 것으로 나타난다. 연평균 상대습도는 59.7% - 79.3%로 나타났으며 최소상대습도를 비교했을 때 건조기인 1 - 4월 사이에는 상대습도가 13.9% - 21.6%를 나타낸 반면 다습기인 6 - 9월에는

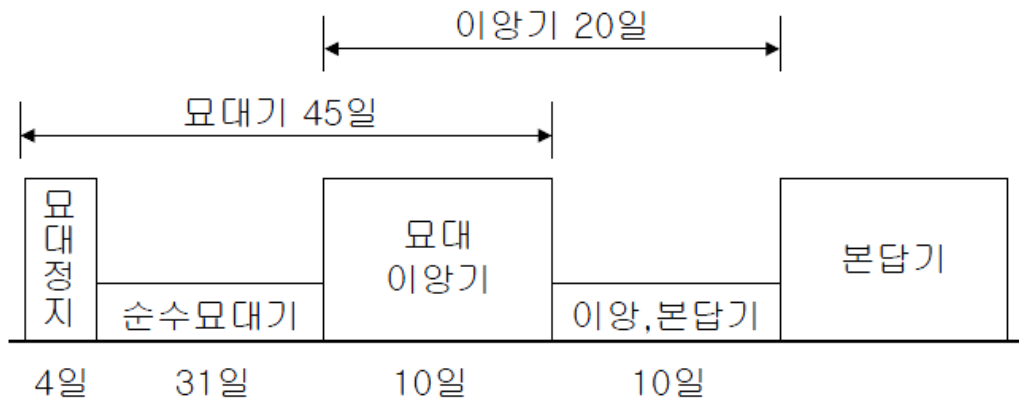
25.3% - 38.5%로 조사되어 여름철에 고온다습하고 겨울철에 한랭건조한 우리나라의 기상특성이 본 유역에서도 잘 나타나고 있음을 알 수 있다. 연평균 풍속은 1.1㎞이고 최대풍속은 15.4㎞로 나타났다.

(2) 물관리 현황 조사

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

벼 이앙재배 작부시기는 크게 묘대기, 이앙기, 그리고 본답기로 나눌 수 있는데 이러한 시기는 농업용수의 수요와 공급에 기준이 된다. 작부시기를 현행 설계기준과 2003년 조사 설계처에서 조사한 자료와 대상 지구에서 조사한 자료를 비교해 보면 다음과 같다.

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



(그림 2-18) 작부시기

<표 2-26> 작부시기 대비표(설계기준 대비)

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

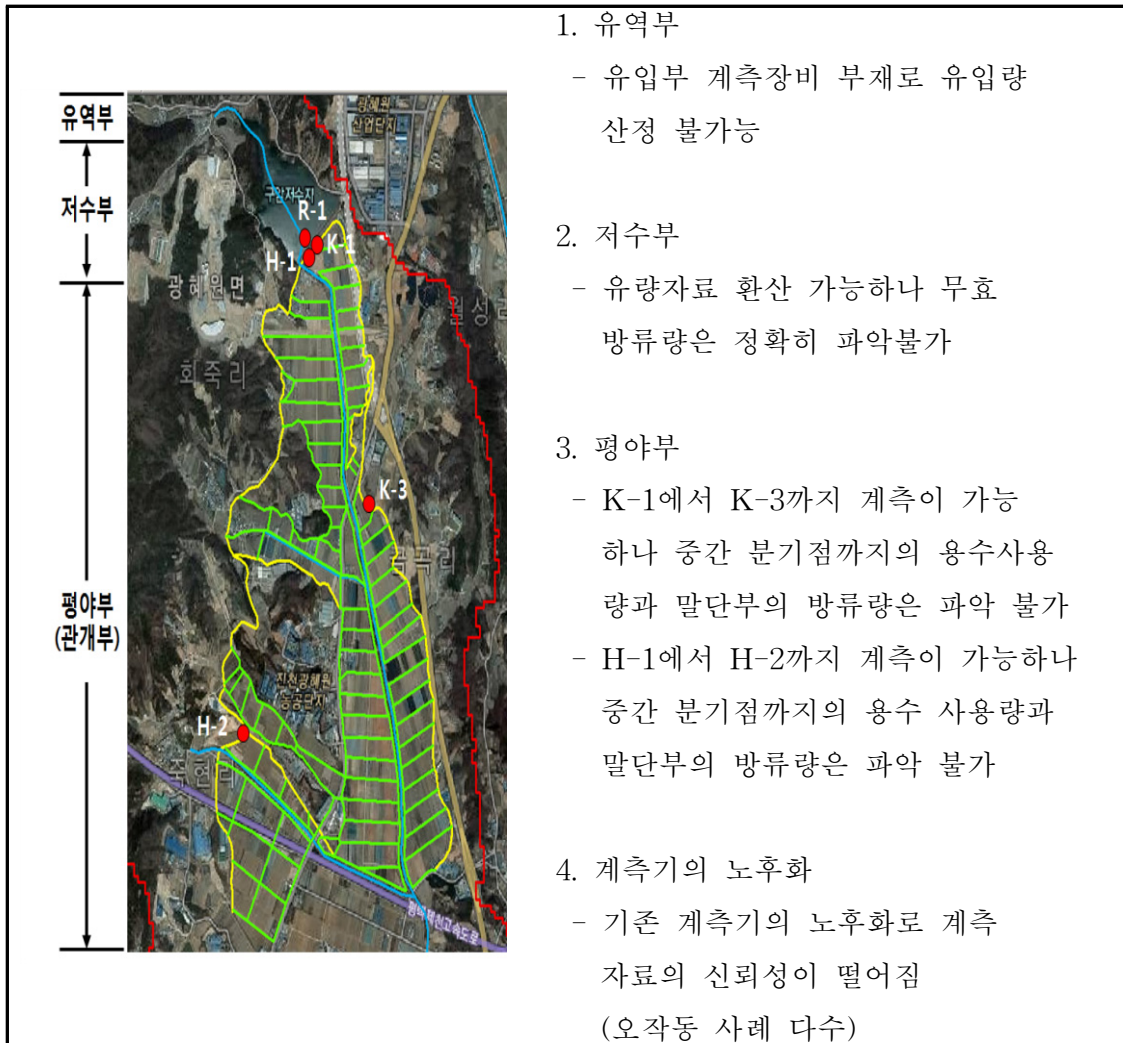
무수저수지는 중·소규모 저수지로써 지류하천이 많지 않고 용수로가 교적 단순한 형태로 되어 있다. 대상지구의 농업용수 물관리 관측항목은 강우량, 하천수위, 저수지 수위와 관개지구의 용·배수로 수위이며 이들 관측항목에 대해 각각의 관측기기가 금곡, 회죽간선 현장에 설치되어 있다. 대상지구의 강우 관측계는 무수저수지 취수탑에 설치되어 있다. 강우관측지점의 우량계 형태는 데이터로거(data logger) 자체 내장된 전도형 자기우량계로써 관측지점의 지점강우량을 측정하도록 되어있다.

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



(그림 2-19) 대상지구 기존 계측기 설치 현황

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



(그림 2-20) 대상지구 물관리 현황의 문제점

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

다. 모의 및 실측에 의한 농업용수 정량화 기법 개발

(1) 농업용수 계측을 위한 수위계측망 구축

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

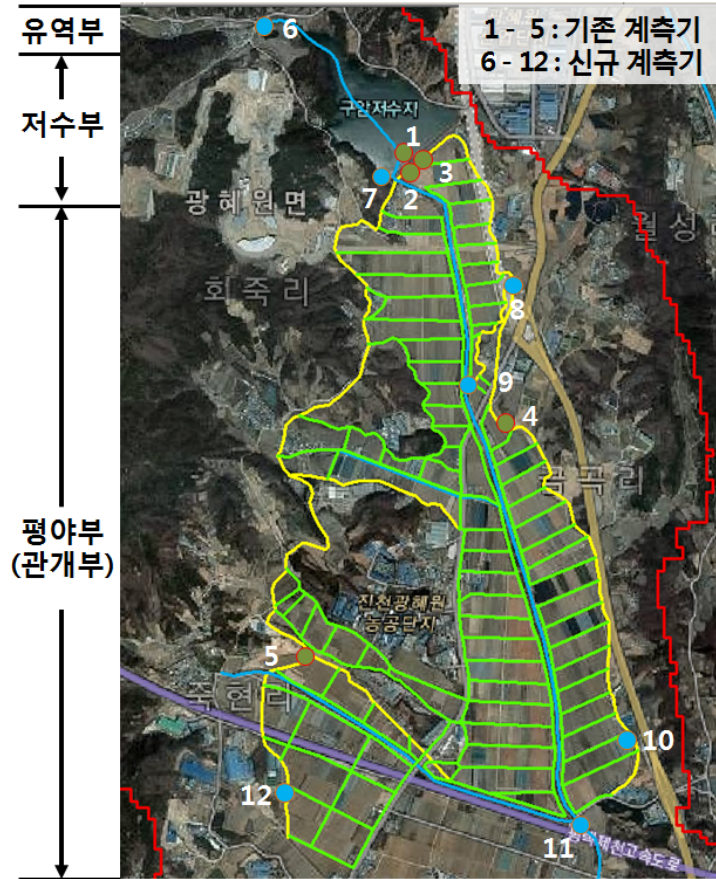
대상지구 수문자료 구축은 용수계통도, 준설 카드 도면, 2007년부터 현재까지 실시한 무수저수지 운영일보(저수위, 회죽간선 방수문, 금곡간선 방수문), 2007년부터 현재까지 기타간선 운영일보(금곡방수문, 만덕방수문 수위)등을 이용하였다. 강우 및 기상자료는 대상지구와 인접한 이천관측소(약 25km)의 일별자료를 이용하여 기온, 상대습도, 일사량, 풍속, 최고·저 온도 등을 이용하고 Penaman-Monteith 방정식을 통하여 증발산량을 산정 하였다. 계측 및 분석 기간은 수위 계측지점 신설 시점인 2015년 1월부터 2017년 12월까지로 선정하였으며 유량을 그래프로 나타내었다.



(그림 2-21) 대상지구 기존 계측망

본 연구는 기존 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 수요/공급량의 정량화를 위하여 경제적 가치를 고려한 최적 수위계측 지점 설계 기법을

개발하고자한다. 이에 대상지역의 물관리 현황의 단점을 보완하며 물이용 불확실성을 해소하고자 유역부, 저수부 및 평야부(관개부)에 걸쳐 수위계측 지점을 신설 및 운영하였다.



(그림 2-22) 수위계측 지점 신설

대상지구를 유역부, 저수부 및 평야부(관개부)로 나누어 기존 계측기에 의한 물관리 현황은 다음과 같다. 유역부는 무수저수지 내 유입부 계측 장비의 부재로 유입량 산정이 불가능 하며, 저수부는 회죽·금곡 간선 시점부 계측을 통해 용수 사용량을 파악 할 수 있으나 무효방류량은 정량화 하기에 어려움이 있는 것으로 나타난다.

평야부의 경우 금곡간선과 금곡 방수문에서 계측이 가능하지만 중간 분기점까지의 용수 사용량과 금곡간선 말단부의 방류량 파악은 불가능하며 회죽 간선 또한 중간 분기점까지 용수 사용량과 말단부의 방류량 파악이 불가능 하였다. 기존 계측기를 통해 정량적인 물수지 분석이 불가능한 것은 아니지만 정확성 및 신뢰도가 매우 떨어져 아래와 같이 계측기를 추가하여 수위계측 지점 신설이 필요한 것으로 판단

된다. 신규 계측기 선정 및 설치에 대한 내용을 유역부, 저수부, 평야부 순으로 구분하여 나타내면 다음과 같다. 저수지 여수로의 무효방류량 측정을 위해서 자동수위 측정기 (SLM-FAR15)를 설치하였으며, 관개수로의 공급량 측정을 위하여 자동수위 측정기 (SLM-FAR15) 및 수로유량측정기 (SFM-500)을 설치하였다.



(그림 2-23) 수위계측 지점 상세도

<표 2-27> 계측기 선정 및 설치

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

(2) 모의에 의한 농업용수 산정

(가) 수문 모형에 의한 유입량 산정

대상지구의 유입량 산정을 위한 기존의 방법은 유입 부분의 실측 없이 HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System, 수리시설물 모의조작 시스템)를 이용하여 TANK 모형을 기반으로 한 DIROM 모형으로 산정하고 있다.

유역에 대한 강우-유출 현상의 모의발생을 위해서 여러 가지의 수문모형이 있지만 우리나라에서 많이 이용되고 있는 장기유출량 추정모형으로는 Tank (Suwagara, 1967)모형과 가지야마 월 수수량 공식이 있다. 탱크(Tank)모형은 Suwagara에 의하여 단일 탱크의 선형시스템(linear system)모형의 개념에서 출발된 것으로 탱크를 직렬 또는 병렬로 연결하여 유역의 지표유출, 중간유출, 기저유출을 각 성분별로 재현할 수 있도록 개념화한 것이다.

우리나라에서는 관개용 저수지의 일별유입량 모의발생(김현영, 1987)연구에서 소유역에 적합하도록 3단 직렬 탱크모형을 사용한 바 있는데, 실측 유출량 자료로 모형을 보정해야만 사용할 수 있는 매개변수를 유역면적, 토지 이용별 면적 등에 의한 회귀식을 유도하여 무게측 유역에서 사용할 수 있도록 하므로써 무게측 유역에서 사용할 수 없는 탱크모형의 단점을 보완한 바 있다.

가지야마 월 수수량 공식은 우리나라 중·대하천의 24개 지점에서 측정된 1916년부터 1927년까지의 유출량 자료로부터 월유출량 추정을 위하여 유도한 공식이다. 이 공식은 유역내의 수문환경의 특성이나 강우의 양상에 따른 유출변화를 전혀 고려하지 않으므로 추정의 정확성을 기대하기 어려운 모형임에도 불구하고 각종 수자원개발에 이용되고 있는 실정이다.

HOMWRS에서는 김(1987)에 의해 관개용 저수지의 일별 유입량 모의발생(DIROM)연구에서 적용하였던 수정 탱크(Tank)모형을 이용하여, 일별유입량을 산정할 수 있도록 하였고 가지야마 월 수수량 공식의 적용을 통하여 순별 유입량도 산정하고 있다.

수정 탱크(Tank)모형의 강우-유출 관계는 다음과 같으며 1단 탱크는 유출의 성분중 지표유출을 개념화한 것이고 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다. 수정 탱크(Tank)모형의 유역 유출량은 일별 강우량으로부터 다음 식에 의하여 산정한다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (\text{식 2-3})$$

여기서 Q_{ij} = t일의 총유출량(mm), i = 탱크의 번호, j = i 탱크의 유출공의 수, $ST_{i,t}$ = i 탱크의 저류수심(mm), H_{ij} 는 i 탱크의 j 번째 유출공의 높이(mm) 및 A_{ij} 는

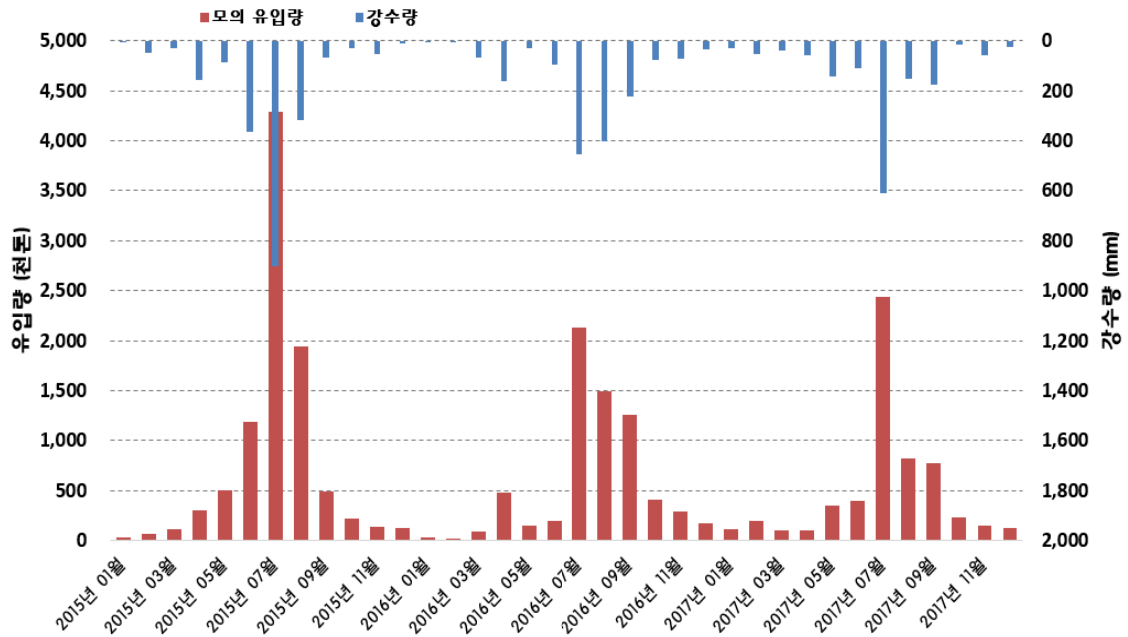
유출공의 단면적(무차원)을 나타낸 것이다. 또한 저류수심 $ST_{i,t}$ 는 단위시간 t 에 따라 다음과 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - E_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (\text{식 2-4})$$

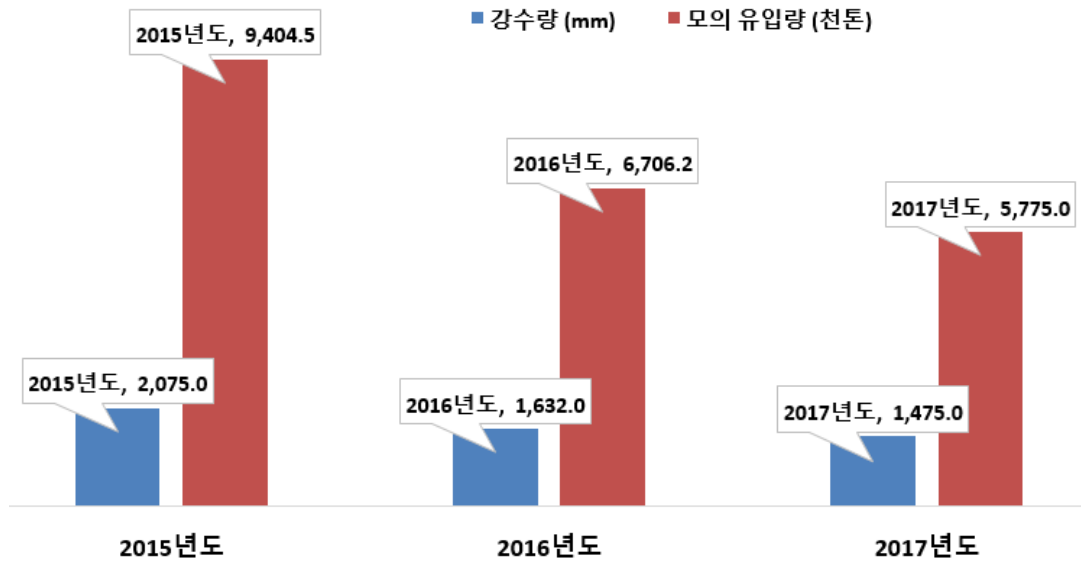
여기서 $ST_{i,t-1}$ = t-1일의 i 번째 탱크의 수심(mm), R_t = t일의 강수량(mm), E_t = 증발량(mm), $Q_{i,t-1}$ 은 i 번째 탱크의 t-1일의 유출량이다. 침투량 $I_{i,t}$ 는 다음 식과 같이 계산하며, B_i 는 i 번째 탱크 삼투공의 침투계수이다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (\text{식 2-5})$$

수리시설물 모의조작 시스템을 이용하여 대상지구의 저수지 유입량을 산정한 결과는 다음과 같다.



(그림 2-24) 유입량 모의 결과



(그림 2-25) 연도별 강수량 및 모의 유입량

<표 2-28> 월별 강수량 및 모의 유입량

월	강수량 (mm)	모의 유입량 (천 톤)
2015년 01월	3.0	29.8
2015년 02월	51.0	69.7
2015년 03월	30.0	115.9
2015년 04월	158.0	298.8
2015년 05월	88.0	502.2
2015년 06월	365.0	1,184.2
2015년 07월	903.0	4,288.1
2015년 08월	318.0	1,944.1
2015년 09월	68.0	491.4
2015년 10월	29.0	220.8
2015년 11월	53.0	136.4
2015년 12월	9.0	123.1
2016년 01월	6.0	32.5
2016년 02월	1.0	13.7
2016년 03월	67.0	89.2
2016년 04월	160.0	479.5
2016년 05월	31.0	153.2
2016년 06월	98.0	195.3
2016년 07월	457.0	2,128.7
2016년 08월	404.0	1,496.3
2016년 09월	223.0	1,252.9
2016년 10월	78.0	404.3
2016년 11월	73.0	289.6
2016년 12월	34.0	171.0
2017년 01월	30.0	112.0
2017년 02월	53.0	190.0
2017년 03월	40.0	99.5
2017년 04월	60.0	101.7
2017년 05월	145.0	353.4
2017년 06월	112.0	390.7
2017년 07월	609.0	2,436.5
2017년 08월	155.0	825.9
2017년 09월	175.0	770.1
2017년 10월	14.0	225.8
2017년 11월	57.0	146.9
2017년 12월	25.0	122.5

HOMWRS에 의한 저수지 유입량 모의 결과, 2015년도에는 2,075 mm의 가장 많은 강수량으로 인하여 약 9백4십만톤의 유입량이 모의되었고 2016년도에는 강수량 1,643 mm, 유입량 약 6백7십만톤, 2017년도에는 강수량 1,475 mm, 유입량 약 5백8십만톤으로 모의되었다. 월별 유입량을 살펴보면 2015년도 7월에 약 4백3십만톤으로 가장 많은 유입량이 모의되었고, 2016년 2월에 약 14천톤으로 가장 적은 유입량이 모의되었다. 일반적으로 강수량이 많은 여름철에 유입량이 증가하는데 모든 년도에서 7월에 가장 많은 유입량이 모의되었다.

(나) 물수지 분석에 의한 저수량 산정

대상지구의 저수량 산정을 위한 기존의 방법은 유입 부분의 실측 및 여수로 물넘이로의 무효방류량 실측 없이 HOMWRS를 이용하여 저수지 물수지 분석에 의하여 저수량을 추정하고 있다. 또한, 계측된 저수위 자료와 저수위-내용적 곡선을 이용하여 추정하는 방법이 있으나 토사 퇴적 및 준설의 반복으로 인하여 저수위-내용적 곡선의 신뢰도가 저하되고 있는 실정이다.

일반적으로 저수지 물수지 모형에서는 계산된 유입량 및 필요수량 자료를 이용하여 주어진 시간 단위별로 저수량의 변화를 추정하기 위하여 다음과 같이 연속 방정식을 사용한다.

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

(식 2-6)

여기서 S_{t-1} = t-1 일의 저수량, I_t = 유입량, U_t = 지하수 유입량, P_t = 수면 강수량, R_t = 방류량, O_t = 여수로 월류량, E_t = 수면증발량, G_t = 지중침투량, D_t = 제방침투량 등이다.

저수지의 물수지 인자들 중에서 가장 중요한 요소는 유입량 I_t 와 논에서의 필요수량 및 기타 용수수요량에 의해 결정되는 방류량 R_t 이다. 유입량은 앞에서 언급한 바와 같으며 방류량은 논에서의 필요수량과 농어촌생활용수, 소수력 발전용수 등이 포함된다. 또한 필요할 경우 하천유지용수, 관개수로의 정상 흐름을 유지시키기 위한 최소방류량 등이 포함될 수 있다. 저수지의 통관 방류량은 아니지만 저수량이 여유가 있고 관개구역이 지구외에 있을 경우에는 양수장 설치에 의한 펌핑량도 고려해야 한다.

기타 손실량은 지하수 유입량 U_t , 지중침투량 G_t 및 제방침투량 D_t 등 실측이 거의 불가능한 요소 및 실측은 불가능하지만 정량화가 가능한 요소로 구분할 수 있다. 지하수 유입량은 수문 관측지점에서 지표수로 측정되거나 그 변화가 월단위 이상이기 때문에 순 단위 또는 일 단위의 물수지 계산에 있어서는 고려하지 않는 것이 보통이며, 지중침투량 및 제방침투량은 누수를 방지하기 위하여 지수벽을 설치하는 등의 방법으로 차단 효과를 거둘 수 있고 실제 그 양이 매우 적거나 단기간의 물수지에 영향을 미치는 정도가 적으므로 HOMWRS에서는 고려하지 않는다.

저수지의 수면상에 내리는 수면강우량 P_t 및 수면 증발량 E_t 은 다음과 같이 산정하였다. 수면 강우량은 단위 모의조작 기간 동안의 강수량(mm)과 저수지의 수면적에 단위환산계수를 곱하므로써 계산할 수 있으며 수면 증발량은 기상관측소의 증발계 증발량에 Veihmeyer(1964)의 Pan 계수를 적용하여 다음과 같이 산정한다.

$$P_t = C \times R_t \times A_f$$

(식 2-7)

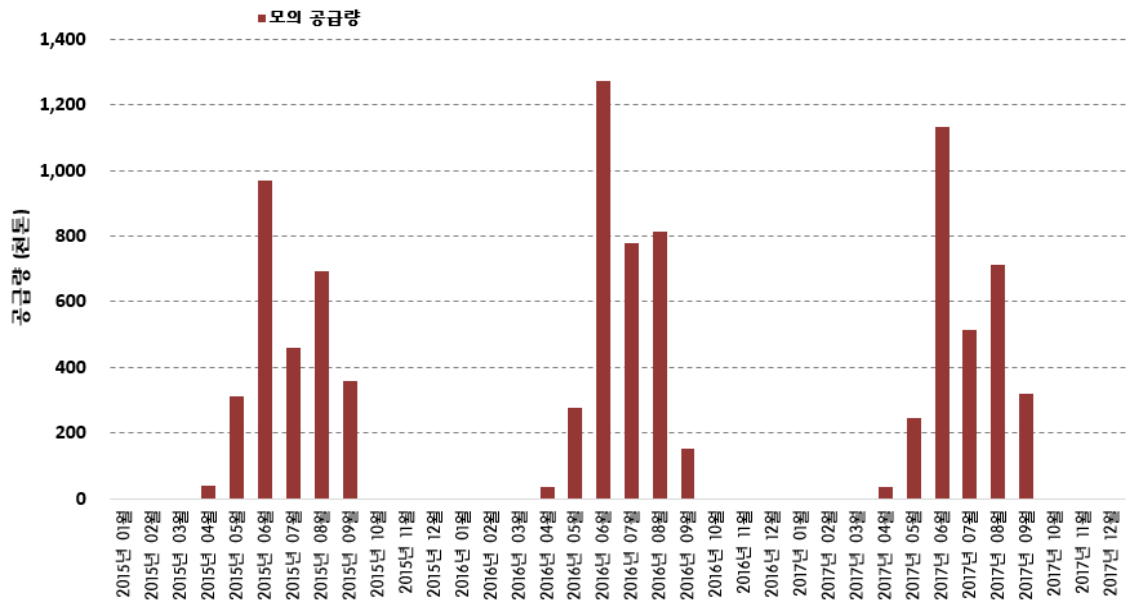
$$E_t = C \times A_f \times E_v \times P_c$$

(식 2-8)

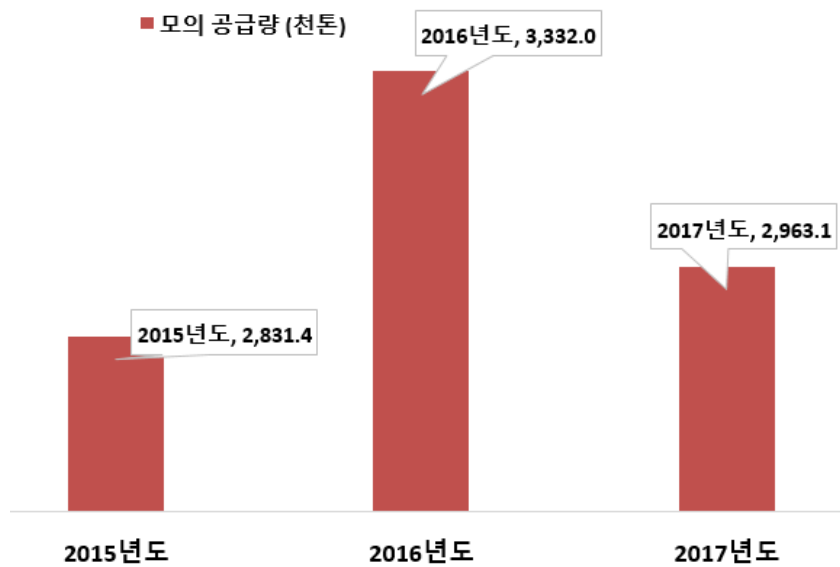
여기서, P_t 및 E_t 는 각각 수면 강수량 및 수면 증발량을 나타내며 C 는 단위환산 계수, A_f 는 저수지 수면적, R_t 와 E_v 는 각각 해당 관측소의 강수량 및 증발계 증발량을 P_c 는 증발계의 Pan 계수를 나타내고 있다.

한편 저수지에 대한 여수토 월류량 O_t 는 여수토의 제원에 따른 방류량을 시간적으로 계산하여야 하나 농업용저수지의 일반 여수토가 자연월류식이므로 시간별 변화를 무시하고 저수지의 저수량이 여수토의 제정고 이상일 경우 그 이상되는 저수량은 모두 월류하는 것으로 가정한다.

다음은 모의에 의하여 산정된 공급량, 무효방류량, 저수량을 나타내고 있다.

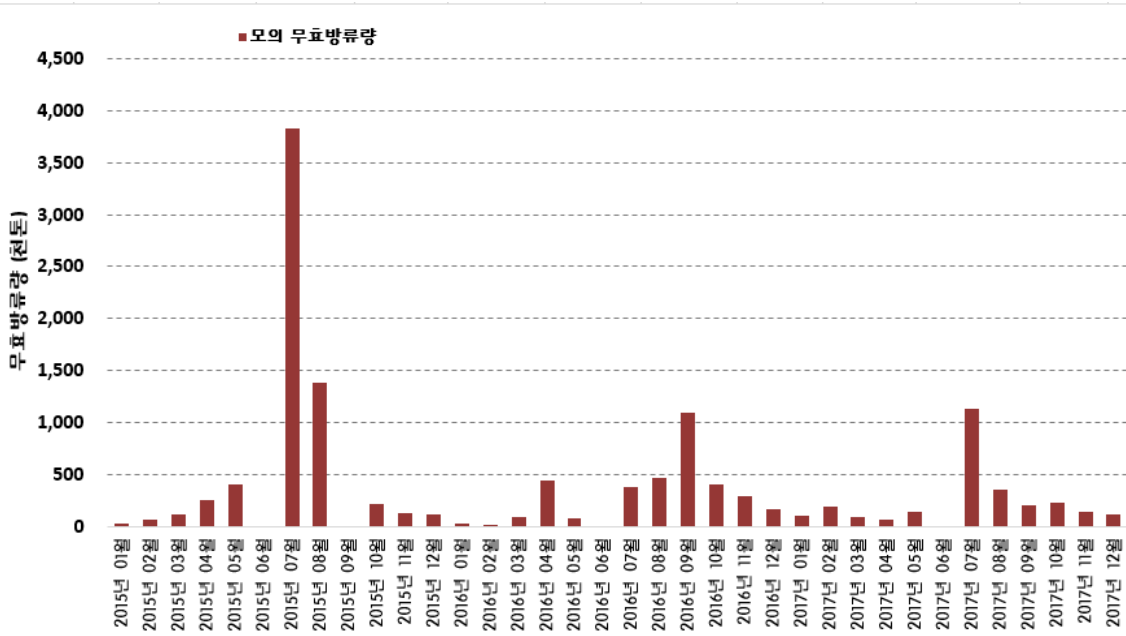


(a) 월별 모의 공급량

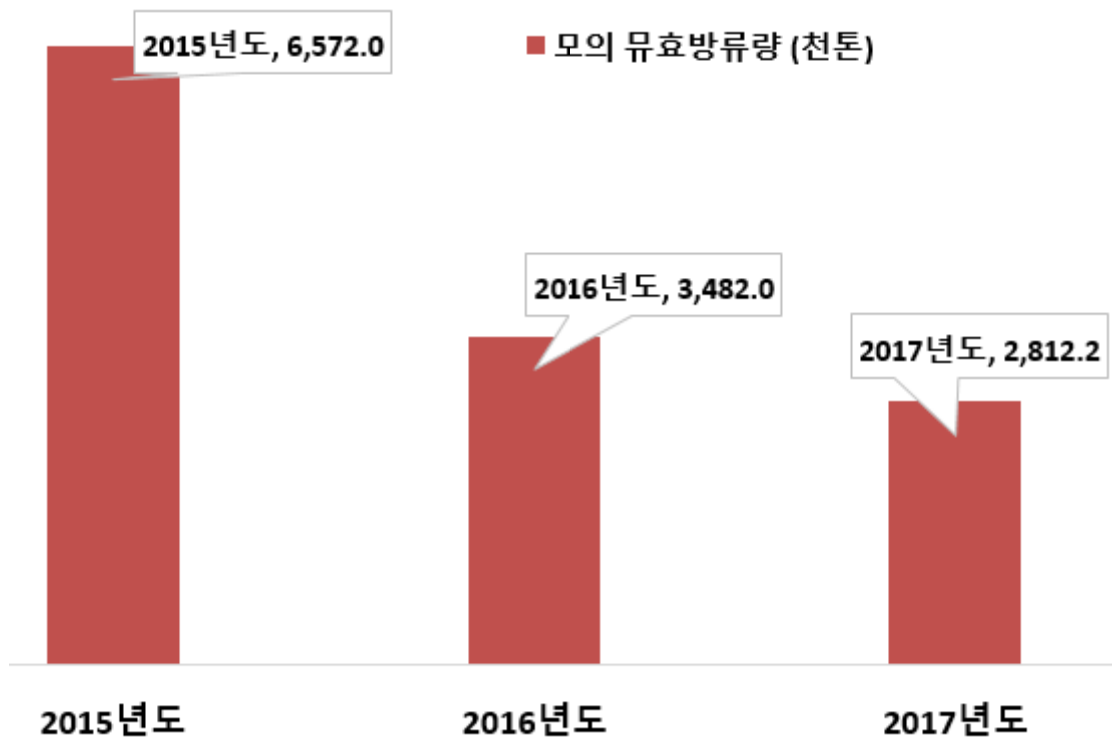


(b) 연도별 모의 공급량

(그림 2-26) 공급량 모의 결과

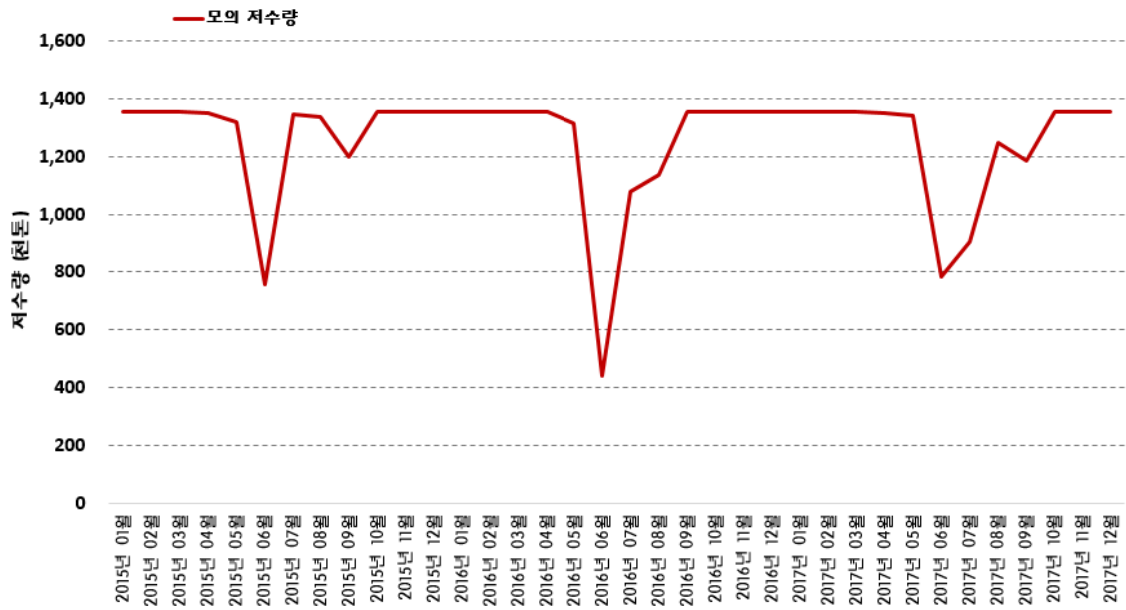


(a) 월별 모의 무효방류량

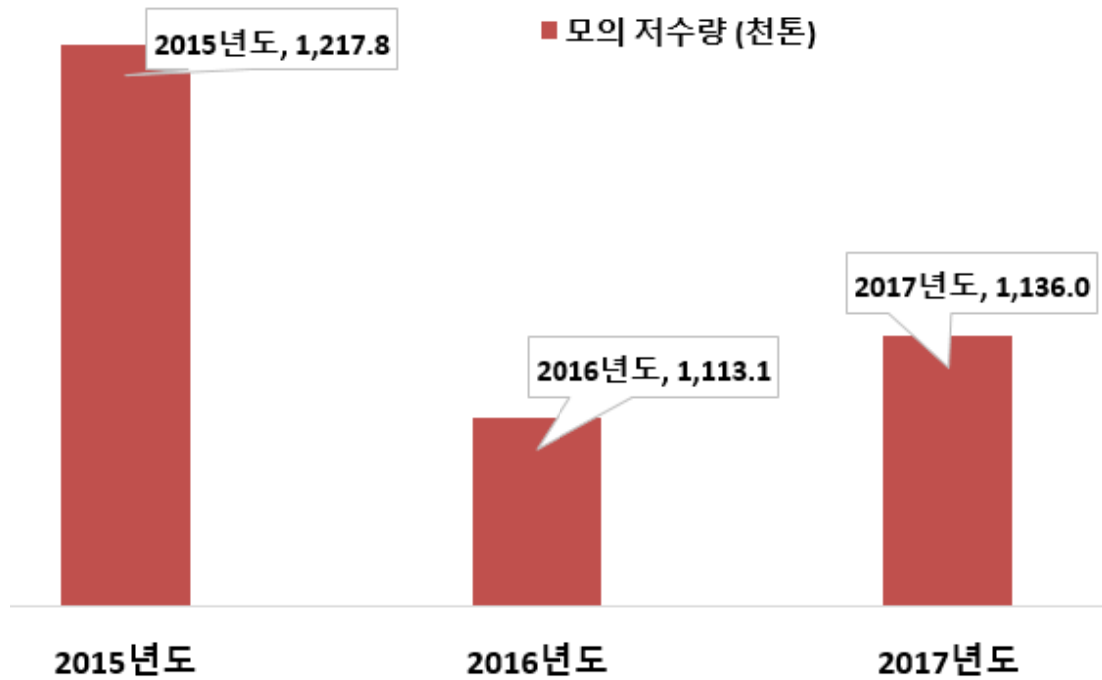


(b) 연도별 모의 무효방류량

(그림 2-27) 무효방류량 모의 결과



(a) 월별 모의 저수량



(b) 연도별 모의 저수량 (4월-9월)

(그림 2-28) 저수량 모의 결과

<표 2-29> 월별 모의 공급량, 무효방류량, 저수량

월	공급량 (천톤)	무효방류량 (천톤)	저수량 (천톤)
2015년 01월	-	29.8	1,354.2
2015년 02월	-	69.0	1,354.1
2015년 03월	-	115.9	1,354.2
2015년 04월	-	260.7	1,351.5
2015년 05월	312.6	408.8	1,320.1
2015년 06월	968.5	0.0	757.0
2015년 07월	460.6	3,823.7	1,344.2
2015년 08월	692.0	1,378.4	1,334.9
2015년 09월	359.6	5.4	1,198.9
2015년 10월	-	220.8	1,354.2
2015년 11월	-	136.4	1,354.2
2015년 12월	-	123.1	1,354.2
2016년 01월	-	32.5	1,354.2
2016년 02월	-	13.7	1,354.2
2016년 03월	-	89.1	1,354.2
2016년 04월	36.7	443.0	1,353.2
2016년 05월	275.4	85.4	1,313.5
2016년 06월	1,272.1	0.0	442.1
2016년 07월	780.0	380.7	1,077.6
2016년 08월	813.7	473.9	1,137.9
2016년 09월	154.1	1,098.8	1,354.1
2016년 10월	-	404.3	1,354.2
2016년 11월	-	289.6	1,354.2
2016년 12월	-	171.0	1,354.2
2017년 01월	-	112.0	1,354.2
2017년 02월	-	190.0	1,354.2
2017년 03월	-	99.5	1,354.2
2017년 04월	36.7	65.2	1,351.2
2017년 05월	245.2	148.5	1,339.0
2017년 06월	1,134.0	0.0	786.1
2017년 07월	514.3	1,138.4	905.8
2017년 08월	714.3	353.2	1,247.0
2017년 09월	318.6	210.2	1,187.1
2017년 10월	-	225.8	1,354.2
2017년 11월	-	146.9	1,354.2
2017년 12월	-	122.5	1,354.2

HOMWRS 모형에 의하여 공급량, 무효방류량, 저수량을 모의한 결과, 무수저수지는 우리나라의 일반적인 논관개 시기와 동일하게 4월부터 9월까지 관개용수량을 공급하고 있으며, 2015년도에는 총 2백83만톤을 공급하였고 2016년도에는 3백33만톤으로 가장 많은 공급량을 나타내었고 2017년도에는 2백96만톤의 공급량이 모의되었다. 매년 6월에 가장 많은 공급량을 보이고 있는데 2016년 6월에 1백27만톤으로 가장 많이 모의되었다.

무효방류량은 여수로 제방 이상으로 저수위가 상승되었을 경우 발생하게 되는데, 강수량 및 유입량이 가장 많이 발생된 2015년도에 6백57만톤으로 가장 많은 무효방류량을 나타내었고 2016년도에는 3백45만톤, 2017년도에는 2백81만톤의 무효방류량이 모의되었다. 일반적으로 강수량이 많이 발생된 7월에 무효방류량이 가장 많이 발생되고 있으며, 2012년도에는 공급량이 다른 년도에 비하여 상대적으로 감소한 9월에 무효방류량이 가장 많이 모의되었다. 또한, 매년 6월에는 유입량에 비하여 공급량이 많이 발생하여 무효방류량이 없는 것으로 모의되었다.

저수량은 비관개기에는 1백35만톤을 유지하고 있으며 관개가 시작되는 4월부터 저수량이 감소하고 관개가 끝나는 10월부터 다시 1백35만톤을 유지하고 있다. 관개기인 4월부터 9월의 평균 저수량을 살펴보면, 강수량 및 유입량이 가장 많이 발생된 2015년도에 1백22만톤으로 가장 많은 저수량을 나타내었고 2016년도에는 1백11만톤, 2017년도에는 1백14만톤의 저수량이 모의되었다. 매년 가장 많은 공급량이 모의된 6월에 저수량이 가장 많이 감소하는데 2015년 6월에는 75만톤, 2016년 6월에는 44만톤, 2017년 6월에는 77만톤으로 유입량이 다른 년도에 비해 상대적으로 적고 공급량이 많은 2016년도에 6월에 가장 적은 저수량이 모의되었다.

(3) 실측에 의한 농업용수 산정

(가) 수위계측망을 이용한 유입량 산정

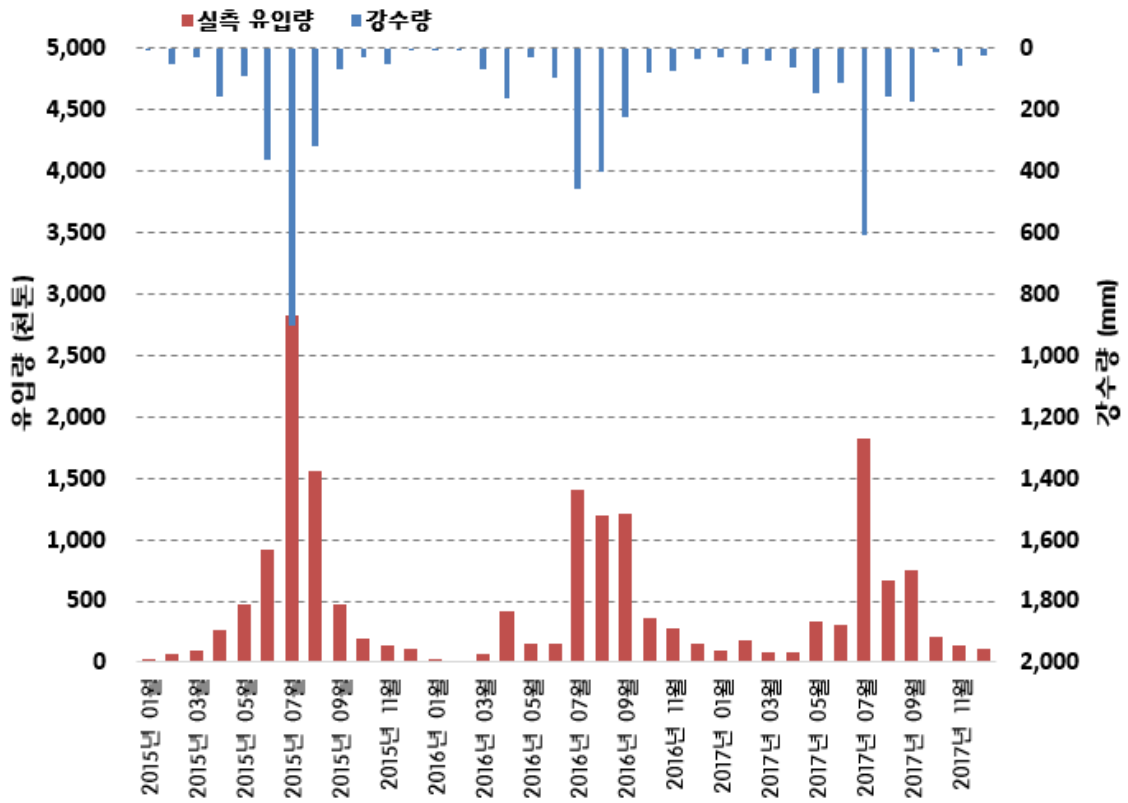
대상지구에 신설 수위계측 지점을 운영함으로써 무수저수지 유입 하천에 실시간 수위 계측이 가능하며, 현장조사에 의하여 도출된 수위-유량 곡선식을 이용하여 시계열 저수지 유입량 자료를 확보하였다. 저수지 유입 하천은 구암천으로서 수위계 설치지점의 하폭은 약 20m 이며, 하천 저수량 확보를 위해 좌·우안에 옹벽이 설치되어 있고 하천을 횡단하는 고정보가 설치되어 있다.

따라서, 유량 측정을 위한 하천 단면이 일정하게 유지되어 신뢰성 있는 유량 계측이

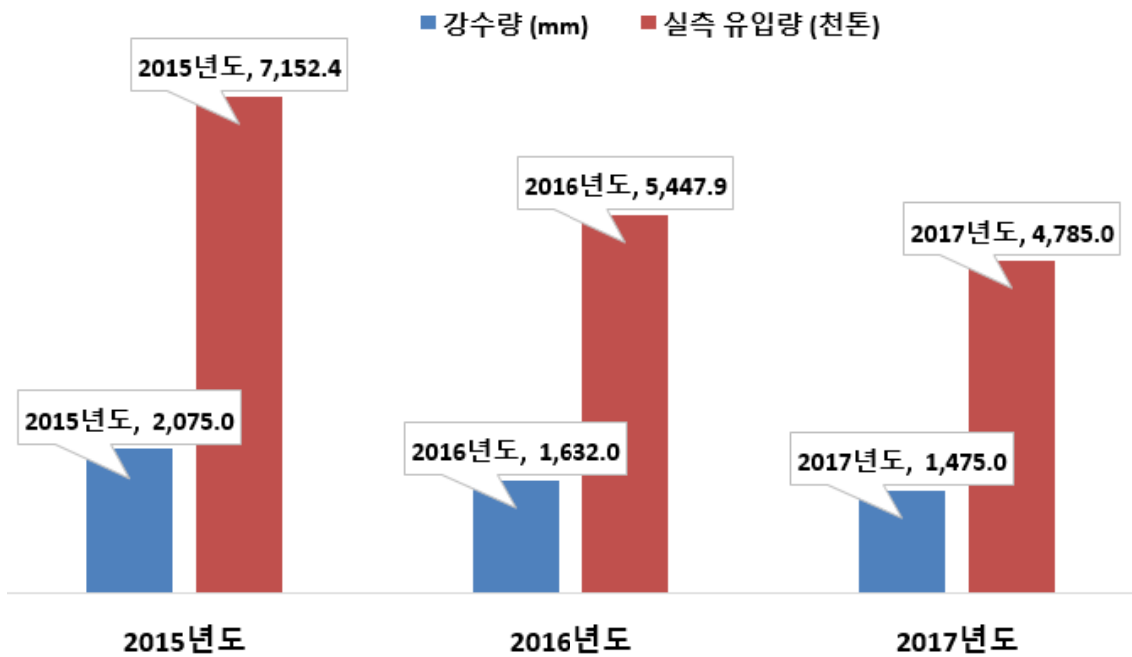
가능한 지점이다. 홍수기를 제외한 시기에는 고정보 유출구로 하천 유량이 배출되므로 유량 계측이 용이하며 유출 단면이 일정하여 계측 자료의 정확성이 제고될 수 있다. 홍수기에는 봉부자를 이용하여 유속을 측정하였으며, 홍수기 이외의 시기에는 고정보 유출부에서 프로펠러 유속계를 이용하여 측정하였다.

						
수위계 설치지점		수위계 설치지점 상류				
위치	N 36°59'03.37"		E 127°25'24.58"			
현장 사진						
유량 관측	보 유출구 A1		보 유출구 A2			
	평균 유속 (m/s)	면적(m ²)	유량(m ³ /s)	평균 유속 (m/s)	면적(m ²)	유량(m ³ /s)
	0.704	0.102	0.072	0.118	0.120	0.014
	계					0.086

(그림 2-29) 무수저수지 유입부 하천유량조사



(그림 2-30) 유입량 실측 결과



(그림 2-31) 연도별 강수량 및 실측 유입량

<표 2-30> 월별 강수량 및 실측 유입량

월	강수량 (mm)	실측 유입량 (천 톤)
2015년 01월	3.0	26.8
2015년 02월	51.0	66.2
2015년 03월	30.0	92.7
2015년 04월	158.0	257.0
2015년 05월	88.0	477.1
2015년 06월	365.0	923.7
2015년 07월	903.0	2,830.1
2015년 08월	318.0	1,555.3
2015년 09월	68.0	476.7
2015년 10월	29.0	198.7
2015년 11월	53.0	133.7
2015년 12월	9.0	114.5
2016년 01월	6.0	29.3
2016년 02월	1.0	13.0
2016년 03월	67.0	71.4
2016년 04월	160.0	412.4
2016년 05월	31.0	145.5
2016년 06월	98.0	152.3
2016년 07월	457.0	1,404.9
2016년 08월	404.0	1,197.0
2016년 09월	223.0	1,215.3
2016년 10월	78.0	363.9
2016년 11월	73.0	283.8
2016년 12월	34.0	159.0
2017년 01월	30.0	100.8
2017년 02월	53.0	180.5
2017년 03월	40.0	79.6
2017년 04월	60.0	87.5
2017년 05월	145.0	335.7
2017년 06월	112.0	304.7
2017년 07월	609.0	1,827.4
2017년 08월	155.0	660.7
2017년 09월	175.0	747.0
2017년 10월	14.0	203.2
2017년 11월	57.0	144.0
2017년 12월	25.0	113.9

신설 수위계측 지점 운영에 의한 저수지 유입량 실측 결과, 모의 유입량에 비해 비교적 적게 실측되었으며 2015년도에는 2,075 mm의 가장 많은 강수량으로 인하여 약 7백15십만톤의 유입량이 실측되었고 2016년도에는 강수량 1,643 mm, 유입량 약 5백45십만톤, 2017년도에는 강수량 1,475 mm, 유입량 약 4백79십만톤으로 실측되었다. 월별 유입량을 살펴보면 2015년도 7월에 약 2백83십만톤으로 가장 많은 유입량이 실측되었고, 2016년 2월에 약 13천톤으로 가장 적은 유입량이 모의되었다. 일반적으로 강수량이 많은 여름철에 유입량이 증가하는데 모의 결과와 마찬가지로 2017년도 7월에 가장 많은 유입량이 실측되었다.

(나) 수위계측망을 이용한 저수량 산정

저수지 저수량을 추정하기 위한 가장 기본적인면서 용이한 방법은 저수위-내용적 곡선을 이용하는 방법이다. 하지만, 저수위는 취수탑 지점에서 계측하는데 저수지 상류로부터 하류까지 혹은 좌안으로부터 우안까지 수위가 일정하지 않으므로 취수탑의 설치 위치에 따라 저수량의 산정이 상이하게 된다. 또한, 유역으로부터 유하되는 퇴적사에 의하여 내용적이 변화되어 기존에 계측된 저수위-내용적 곡선을 적용할 경우 저수량이 과대 산정되는 문제점을 내포하고 있다.

따라서, 저수지 저수량을 추정하는 가장 합리적인 방법은 저수지로의 유입 및 관개 지역으로의 유출량을 산정하고 저수지 물수지 분석에 의하여 추정하고 있다. 저수지 물수지 분석으로 저수량을 추정하기 위해서는 유역으로부터 저수지로 유입되는 유입량, 강우시 저수지에 저류되는 강우량, 저수지 하부면에서 발생하는 침투량, 저수지 수표면에서 발생하는 증발량, 관개시 공급되는 관개용수량, 물넘이로 월류되는 무효방류량 등의 정량화가 필수적이다.

이러한 필수적인 요소들 중에 지하수 함양량이나 침투량 등은 정량적인 계측이 매우 어려운 반면, 유입량이나 관개용수량, 무효방류량 등은 정량적인 계측이 가능한 요소들이다. 하지만, 기존 저수지에서의 전형적인 물수지 분석 방법에서는 정량적인 계측 없이 추정값을 사용하고 있어 정확한 저수량 산정이 이루어지지 못하는 실정이다.

본 연구에서는 신설 수위계측 지점 운영에 의한 저수지 유입량, 관개용수량, 무효방류량을 계측하여 저수량 추정을 위한 물수지 분석의 정확도를 제고하고자 한다. 아래 그림은 관개용수량 및 무효방류량 계측을 위한 수위계 설치 지점을 나타내고

있다. 무효방류량 계측을 위해서 여수로 물넘이 측벽부에 수위계를 설치하였으며, 관개용수량 계측을 위해서 취수탑으로부터 취수된 용수량이 분기되는 두 개의 간선 초입부에 수위계를 설치하였다.



수위계 설치 지점



설치지점 하류부

(그림 2-32) 무효방류량 계측을 위한 물넘이 수위계 설치

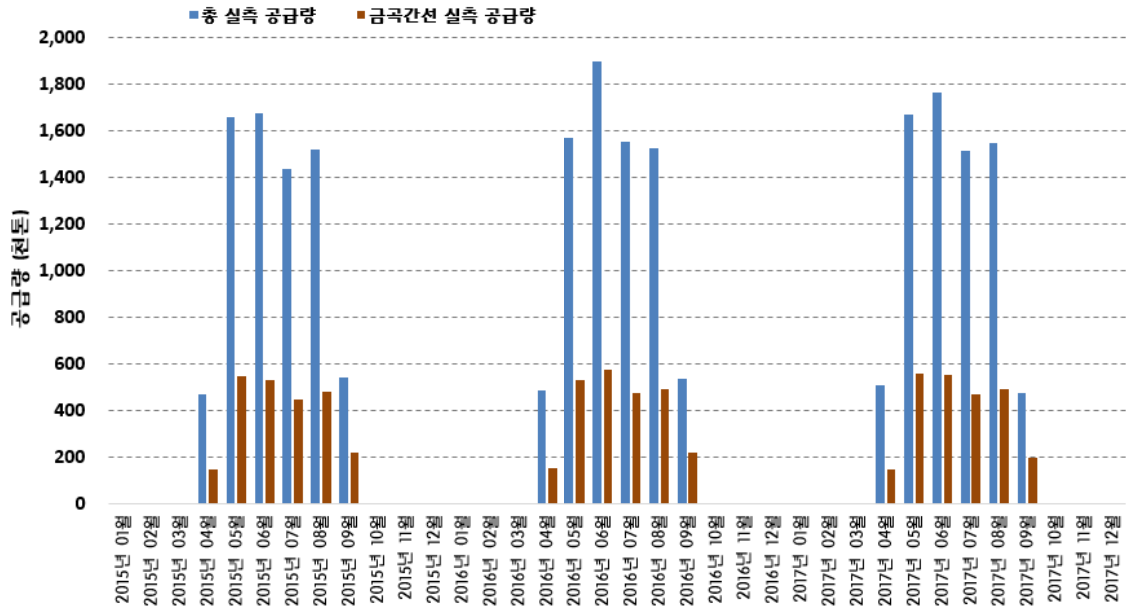


회죽 간선 유입부

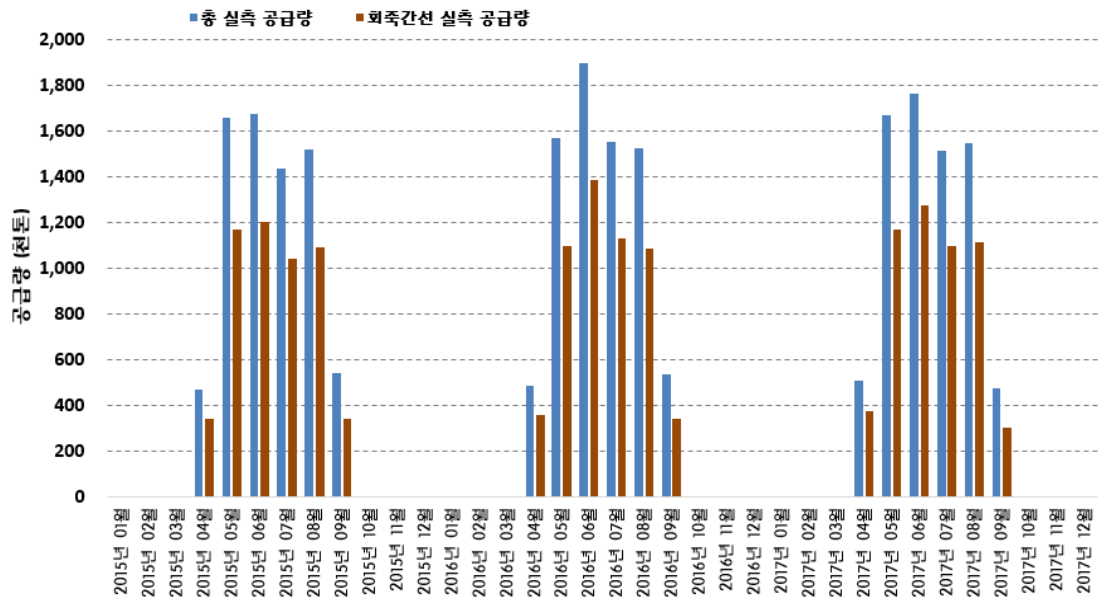


금곡 간선 유입부

(그림 2-33) 공급량 계측을 위한 수위계 설치

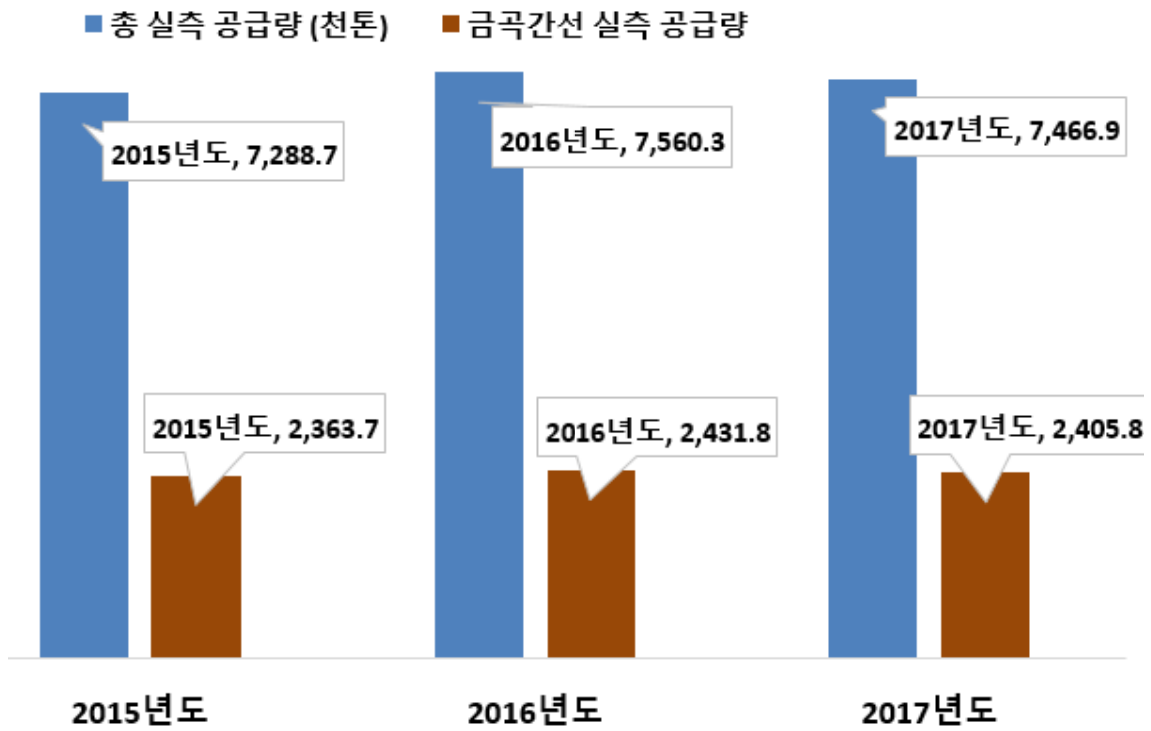


(a) 금곡 간선

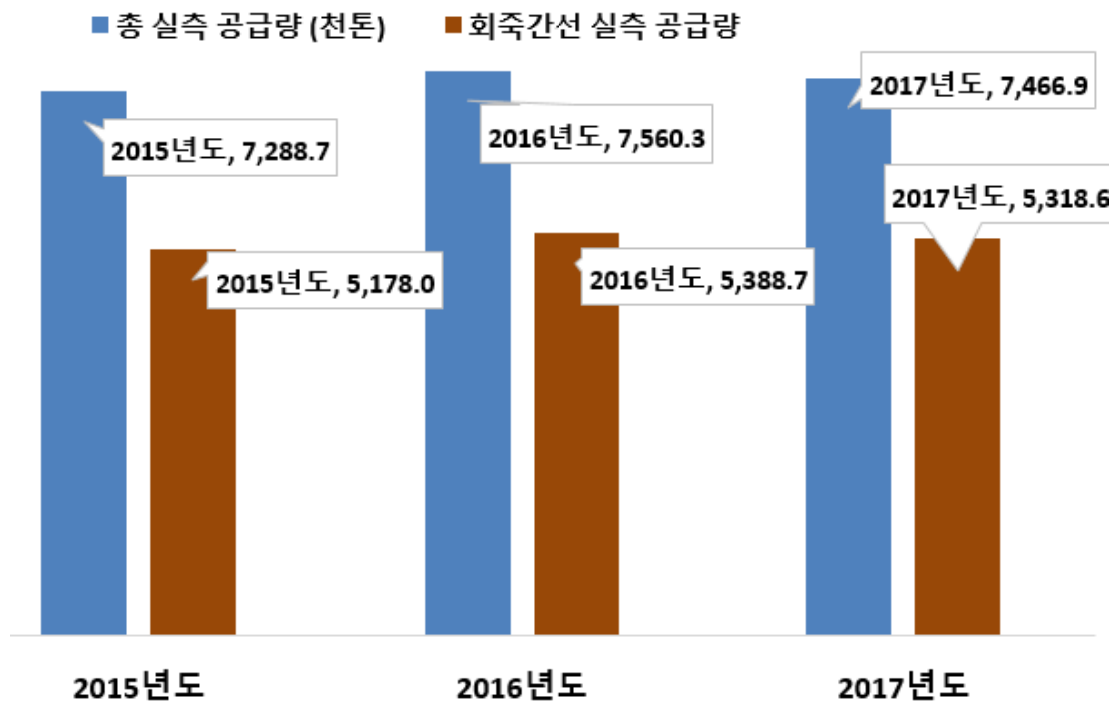


(b) 회주 간선

(그림 2-34) 공급량 실추 결과

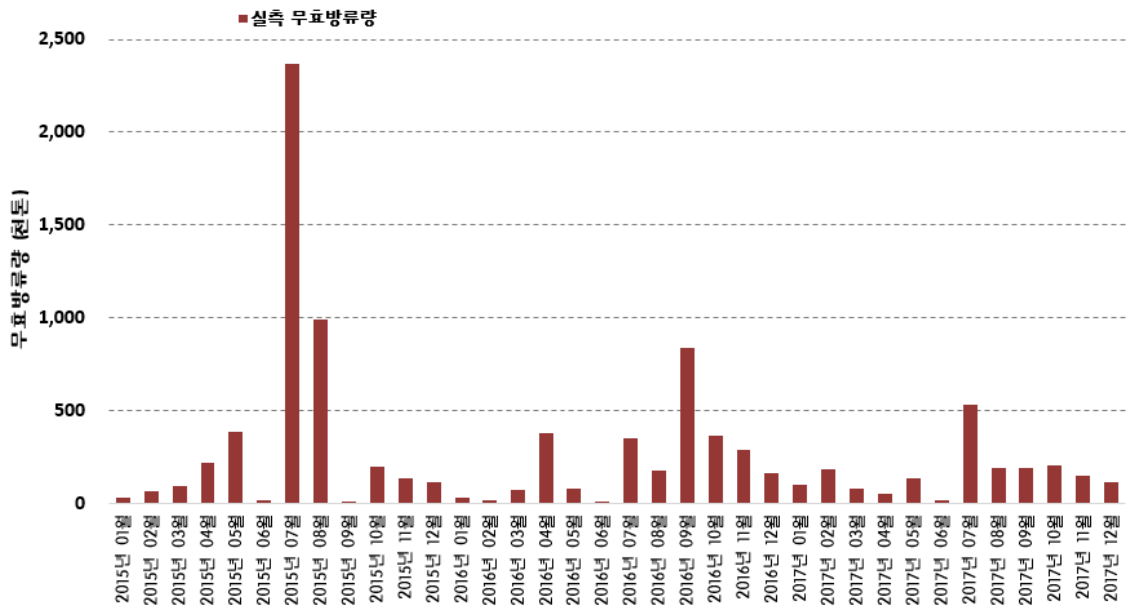


(a)

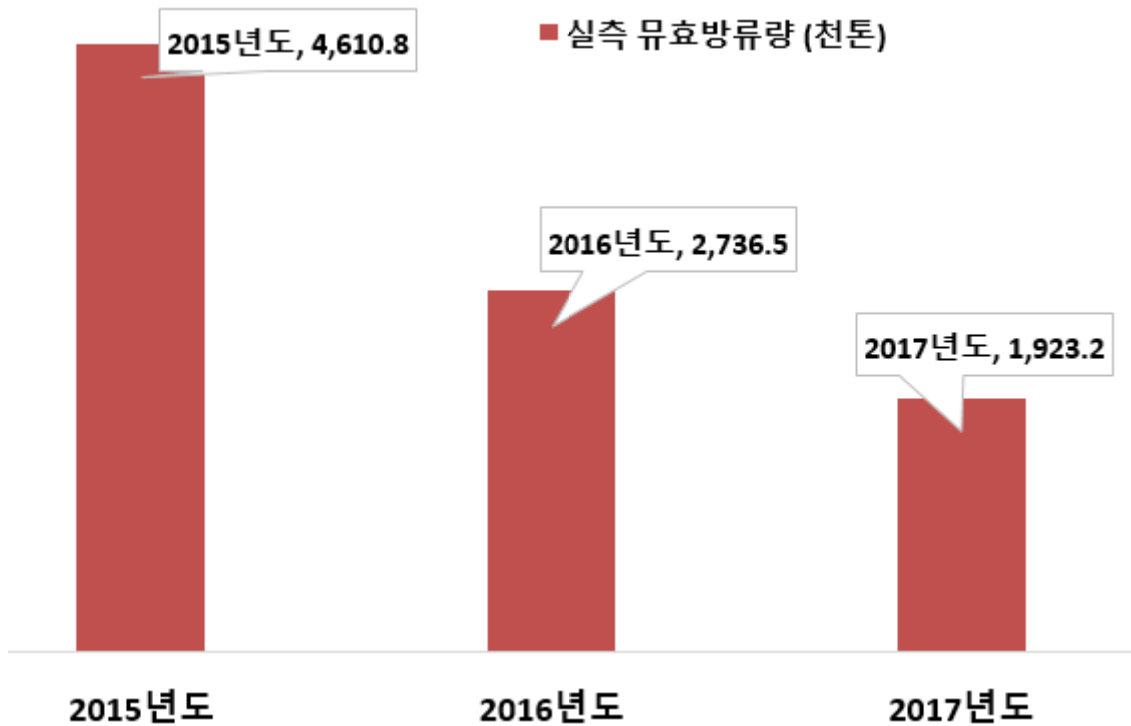


(b) 회죽 간선

(그림 2-35) 연도별 실측 공급량



(그림 2-36) 무효방류량 실측 결과



(그림 2-37) 연도별 실측 무효방류량

<표 2-31> 월별 실측 공급량

월	총 공급량 (천 톤)	금곡 간선		회죽 간선	
		공급량 (천 톤)	비율 (%)	공급량 (천 톤)	비율 (%)
2015년 01월	0.0	0.0	-	0.0	-
2015년 02월	0.0	0.0	-	0.0	-
2015년 03월	0.0	0.0	-	0.0	-
2015년 04월	467.8	145.0	31.0	338.3	72.3
2015년 05월	1,658.0	547.4	33.0	1,169.2	70.5
2015년 06월	1,674.0	528.4	31.6	1,202.1	71.8
2015년 07월	1,434.4	444.6	31.0	1,037.4	72.3
2015년 08월	1,516.7	479.2	31.6	1,088.7	71.8
2015년 09월	537.9	219.1	40.7	342.2	63.6
2015년 10월	0.0	0.0	-	0.0	-
2015년 11월	0.0	0.0	-	0.0	-
2015년 12월	0.0	0.0	-	0.0	-
2016년 01월	0.0	0.0	-	0.0	-
2016년 02월	0.0	0.0	-	0.0	-
2016년 03월	0.0	0.0	-	0.0	-
2016년 04월	486.7	148.1	30.4	354.4	72.8
2016년 05월	1,567.9	528.1	33.7	1,096.3	69.9
2016년 06월	1,898.3	573.1	30.2	1,386.6	73.0
2016년 07월	1,552.9	475.3	30.6	1,128.5	72.7
2016년 08월	1,522.6	489.4	32.1	1,085.6	71.3
2016년 09월	531.8	217.9	41.0	337.3	63.4
2016년 10월	0.0	0.0	-	0.0	-
2016년 11월	0.0	0.0	-	0.0	-
2016년 12월	0.0	0.0	--	0.0	-
2017년 01월	0.0	0.0	-	0.0	-
2017년 02월	0.0	0.0	-	0.0	-
2017년 03월	0.0	0.0	-	0.0	-
2017년 04월	507.5	147.8	29.1	375.5	74.0
2017년 05월	1,665.3	559.1	33.6	1,166.0	70.0
2017년 06월	1,763.0	548.1	31.1	1,273.6	72.2
2017년 07월	1,512.4	468.1	31.0	1,094.3	72.4
2017년 08월	1,546.8	489.5	31.6	1,109.7	71.7
2017년 09월	471.9	193.2	41.0	299.3	63.4
2017년 10월	0.0	0.0	-	0.0	-
2017년 11월	0.0	0.0	-	0.0	-
2017년 12월	0.0	0.0	-	0.0	-

<표 2-32> 월별 실측 무효방류량

월	무효방류량 (천톤)
2015년 01월	26.8
2015년 02월	65.5
2015년 03월	92.7
2015년 04월	218.9
2015년 05월	383.7
2015년 06월	14.0
2015년 07월	2,365.7
2015년 08월	989.6
2015년 09월	7.0
2015년 10월	198.7
2015년 11월	133.7
2015년 12월	114.5
2016년 01월	29.3
2016년 02월	13.0
2016년 03월	71.3
2016년 04월	375.9
2016년 05월	77.7
2016년 06월	3.0
2016년 07월	350.0
2016년 08월	174.6
2016년 09월	835.0
2016년 10월	363.9
2016년 11월	283.8
2016년 12월	159.0
2017년 01월	100.8
2017년 02월	180.5
2017년 03월	79.6
2017년 04월	51.0
2017년 05월	130.8
2017년 06월	15.0
2017년 07월	529.3
2017년 08월	188.0
2017년 09월	187.1
2017년 10월	203.2
2017년 11월	144.0
2017년 12월	113.9

본 대상지구는 저수지로부터 수혜지역 가운데로 유하되는 하천을 중심으로 좌측은 회죽간선, 우측은 금곡간선으로 나뉘어 관개용수량을 공급하고 있다. 회죽간선의 수혜면적은 236 ha이고 금곡간선의 수혜면적은 약 100 ha로 연도별로 공급량의 약 31%가 금곡간선으로 공급되고 약 69%가 회죽간선으로 공급된다. 2015년도에는 총 공급량 7백29만톤 중 2백36만톤이 금곡간선으로 공급되었고 5백18만톤이 회죽간선으로 공급되었다. 2016년도에는 총 공급량 7백56만톤, 금곡간선 2백43만톤, 회죽간선 5백39만톤이 공급되었고 2017년도에는 총 공급량 7백47만톤, 금곡간선 2백41만톤, 회죽간선 5백32만톤이 공급되었다. 연도별 공급량이 7백29만톤에서 7백56만톤으로 비슷한 공급량을 나타내고 있는데 이는 대상 저수지의 전형적인 운영 형태를 매년 유지하고 있기 때문이다.

무효방류량은 2015년도에 4백61만톤이 방류되었고, 2016년도에는 2백74만톤, 2017년도에는 1백92만톤이 방류되어 강수량 및 유입량이 가장 많이 발생되었던 2015년도에 가장 많은 무효방류량이 실측되었다. 월별 무효방류량을 살펴보면, 2016년에는 7월에 900 mm 이상의 강수량으로 인하여 유입량이 증가하여 2백37만톤의 가장 많은 무효방류량이 발생하였다. 2016년에는 7월의 강수량과 유입량이 가장 많이 발생하였음에도 불구하고 9월에 83만톤으로 가장 많은 무효방류량이 발생하였는데, 이는 7월에 비하여 상대적으로 적은 양을 공급하여 무효방류량이 더 많이 발생한 것으로 분석되었다. 2017년도에는 609 mm의 가장 많은 강수량이 발생한 7월에 53만톤으로 가장 많은 무효방류량이 실측되었다. 매년 6월에 가장 적은 무효방류량이 방류되는데 이는 6월의 유입량에 비하여 상대적으로 큰 공급량이 발생하여 2015년 6월에는 14천톤, 2016년 6월에는 3천톤, 2017년 6월에는 15천톤으로 가장 적은 무효방류량이 실측되었다.

(4) 모의 및 실측에 의한 농업용수 산정 결과 비교

(가) 유입량 산정 결과 비교

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

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

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

장 등 (2005)은 홍수조절용 저수지의 예비방류 시행을 충분히 효과적으로 시행하고 강우 강우종료 후에도 충분한 이수용량이 확보되도록 실시간 강우자료를 이용한 저수지 유입량 예측모형을 개발하였다. 사전예보(기상청 등)에 의한 총 예상 강우량과 선행강우량, 현재 저수지 수위를 입력 자료로 저수지 유입 총량과 수위변화량을 계산하여 홍수조절용 저수지의 초기수위저하 및 하류 하도의 홍수방어를 사전에 대비할 수 있는 자료를 제시하였다.

홍수 유입량 예측모형을 예당저수지에 적용한 결과, 1995년부터 1999년까지의 집중호우에 대하여 예측 정확도는 실측값과 비교하여 신뢰 수준에 있어 홍수 조절을 위한 예비 방류량을 결정하는데 매우 유용하게 사용이 가능하다. 하지만, 개발된 예측모형은 홍수유입량을 예측하는데 국한되어 있어 평상시 유입량 예측에는 사용이 불가능하다.

김 등 (2002)은 저수지 유입량 예측을 위한 신경망 모형의 특성 연구에서 신경망

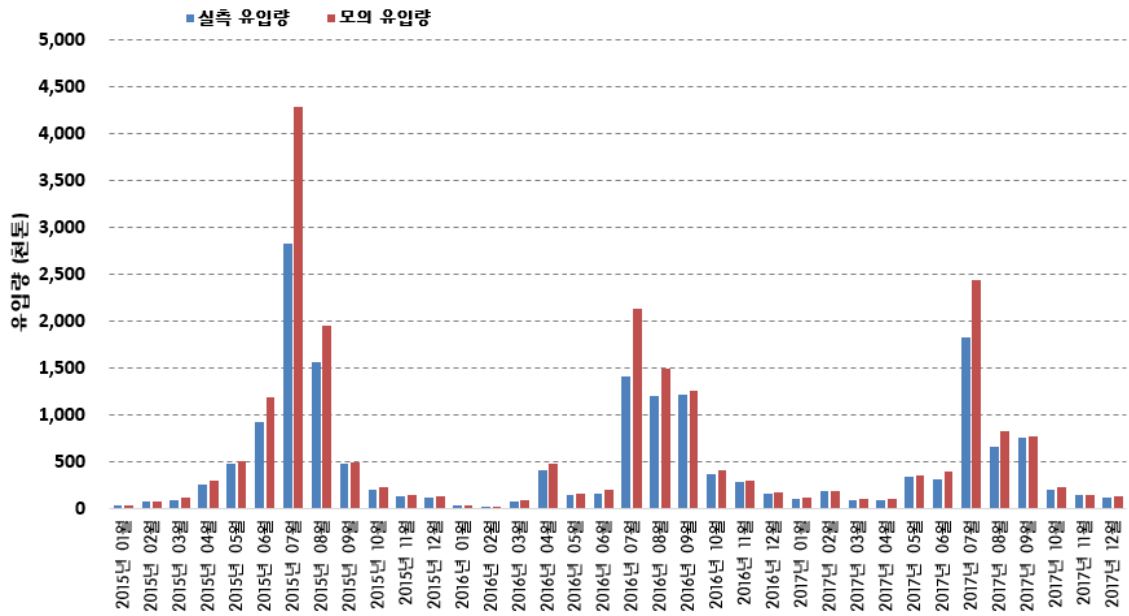
모형을 이용하여 시간별 유입량을 예측하고 신경망 모형의 적정 구조를 제시하였다. 신경망 모형에서 학습자료의 침투유량 규모보다 더 큰 유량이 예측된 경우에는 과소평가의 가능성이 있으므로 학습자료의 침투유량보다 클 경우에는 과소평가를 고려해야만 한다. 또한, 학습 자료의 개수가 작을 경우에는 예측의 정확도가 현저하게 저하되는 우려가 있어 방대한 양의 자료 수집을 필요로 하는 문제점이 야기된다.

맹 등 (2009)은 빈도분석에 의한 저수지 유입량 산정 연구에서 이상기후에 대응하고 수자원의 사용상황, 갈수의 발생 빈도, 지속기간에 따라 안정적인 용수 공급을 목표로, 다목적댐 운영에 있어서 갈수에 대한 수문자료의 특정 확률분포 적용에 대한 이론적 근거 및 빈도분석의 신뢰성을 부여하고 지속적인 분석의 효율성을 정립하였다. 하지만, 특정 저수지에 대한 월평균유입량 자료를 사용하여 누가 시작월 및 누가 개월별로 구성된 누가 월평균유입량에 대한 갈수빈도분석을 수행함에 있어서 최적의 분포를 선정할 때는 유입량 자료의 누가 개월을 고려해야 하는 문제점이 발생하고 있다.

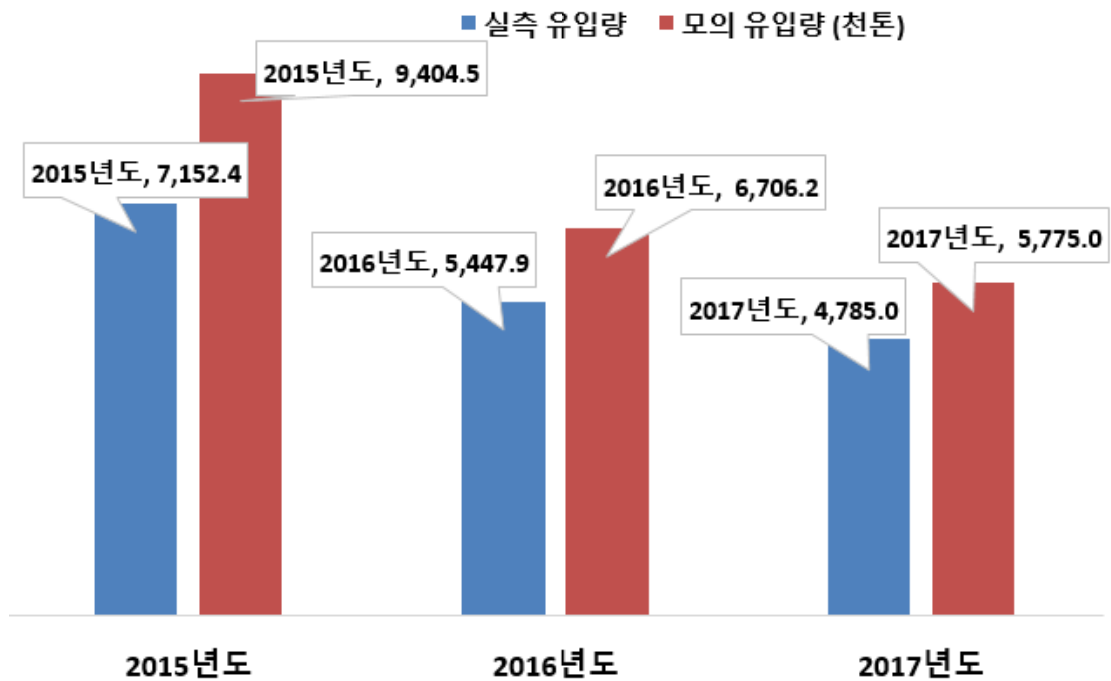
저수지 유입량 예측을 위한 선행 연구를 살펴본 결과, 예측 모형의 매개변수의 불확실성 혹은 확률 분석에 의한 불확실성 등이 내재되어 있으며 국한된 지역에서 개발되어 범용적인 적용의 한계점 등이 나타나고 있다. 국내 약 18,000개소의 저수지의 관리를 위하여 저수지 수위 및 관개수로의 수위 계측을 위한 사업이 진행되고 있는 바, 저수지 운영을 위한 필수 자료인 저수지 유입량 계측을 위한 사업이 시급한 실정이다.

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

다음은 HOMWRS에 의한 모의 및 신설 수위계측 지점 운영에 의한 계측 유입량을 비교한 것이다.



(a) 월별 유입량



(b) 연도별 유입량

(그림 2-38) 모의 및 실측 유입량 비교

<표 2-33> 월별 유입량 비교 (천톤)

월	실측 유입량 ①	모의 유입량 ②	유입량 편차 ① - ②	비율 (%) (①-②)/①×100
2015년 01월	26.8	29.8	-3.0	-11.1
2015년 02월	66.2	69.7	-3.5	-5.3
2015년 03월	92.7	115.9	-23.2	-25.0
2015년 04월	257.0	298.8	-41.8	-16.3
2015년 05월	477.1	502.2	-25.1	-5.3
2015년 06월	923.7	1,184.2	-260.5	-28.2
2015년 07월	2,830.1	4,288.1	-1,458.0	-51.5
2015년 08월	1,555.3	1,944.1	-388.8	-25.0
2015년 09월	476.7	491.4	-14.7	-3.1
2015년 10월	198.7	220.8	-22.1	-11.1
2015년 11월	133.7	136.4	-2.7	-2.0
2015년 12월	114.5	123.1	-8.6	-7.5
2016년 01월	29.3	32.5	-3.3	-11.1
2016년 02월	13.0	13.7	-0.7	-5.3
2016년 03월	71.4	89.2	-17.8	-25.0
2016년 04월	412.4	479.5	-67.1	-16.3
2016년 05월	145.5	153.2	-7.7	-5.3
2016년 06월	152.3	195.3	-43.0	-28.2
2016년 07월	1,404.9	2,128.7	-723.8	-51.5
2016년 08월	1,197.0	1,496.3	-299.3	-25.0
2016년 09월	1,215.3	1,252.9	-37.6	-3.1
2016년 10월	363.9	404.3	-40.4	-11.1
2016년 11월	283.8	289.6	-5.8	-2.0
2016년 12월	159.0	171.0	-12.0	-7.5
2017년 01월	100.8	112.0	-11.2	-11.1
2017년 02월	180.5	190.0	-9.5	-5.3
2017년 03월	79.6	99.5	-19.9	-25.0
2017년 04월	87.5	101.7	-14.2	-16.3
2017년 05월	335.7	353.4	-17.7	-5.3
2017년 06월	304.7	390.7	-86.0	-28.2
2017년 07월	1,827.4	2,436.5	-609.1	-33.3
2017년 08월	660.7	825.9	-165.2	-25.0
2017년 09월	747.0	770.1	-23.1	-3.1
2017년 10월	203.2	225.8	-22.6	-11.1
2017년 11월	144.0	146.9	-2.9	-2.0
2017년 12월	113.9	122.5	-8.6	-7.5

<표 2-34> 연도별 유입량 비교 (천톤)

년 도	실측 유입량 ①	모의 유입량 ②	유입량 편차 ① - ②	비 율 (%) (①-②)/①×100
2015년도	7,152.4	9,404.5	-2,252.1	-31.5
2016년도	5,447.9	6,706.2	-1,258.3	-23.1
2017년도	4,785.0	5,775.0	-990.0	-20.7
합 계	17,385.4	21,885.7	-4,500.3	-25.9

모의 및 실측 유입량을 비교한 결과, 모의 유입량이 2015년도에는 약 32%, 2016년도에는 약 23%, 2017년도에는 약 21%로 실측 유입량보다 과다 산정되었으며, 전체 모의 기간에 걸쳐 평균 26% 가량 많이 산정되어 있다.

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

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

(나) 저수량 산정 결과 비교

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

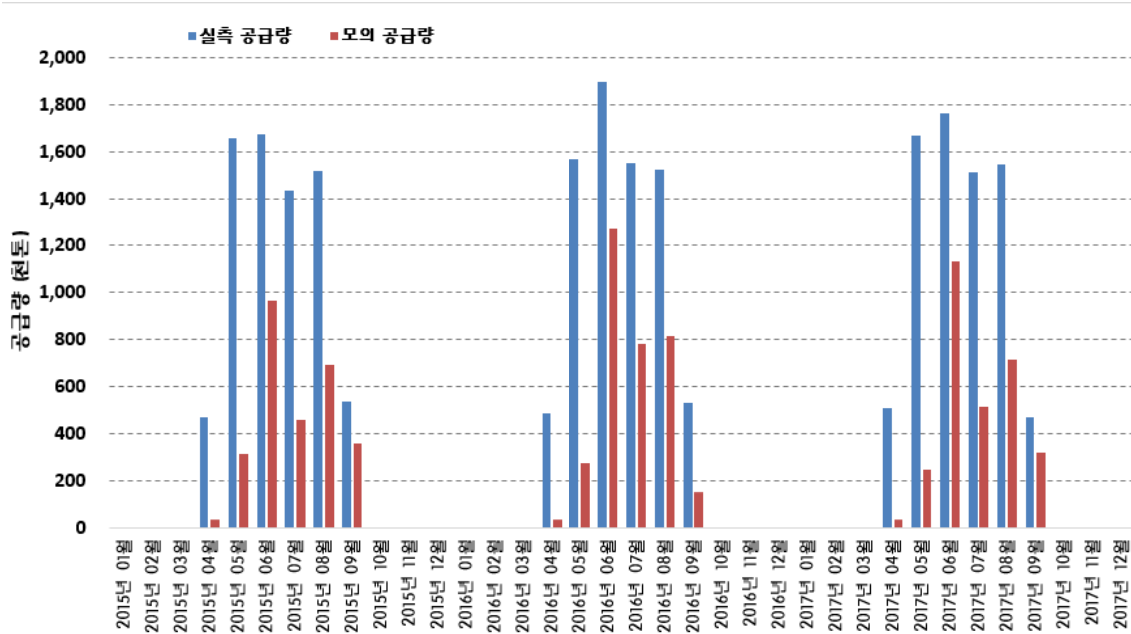
장 등 (2011)은 저수지 저수량 추정을 위하여 위성 SAR 자료의 활용성을 연구하였는데, 광범위한 지역을 촬영한 위성영상을 이용하여 저수면적으로 추출하고 저수량을 추정하는 기술이 있다면 현장 실측을 대체하거나 적어도 보완할 수 있는 대안이 될 것이다. 또한 저수위별 수표면적 자료를 축적함으로써 저수지별 수위-내용적 관계를 갱신할 수 있는 기회를 만들 수도 있다. 그러나 기상과 이수에 따라 변화하는 저수량에 대응하는 위성영상을 광학영상에만 의존하여 확보하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 전천후 센서인 SAR 위성영상을 이용하여 정기적인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

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

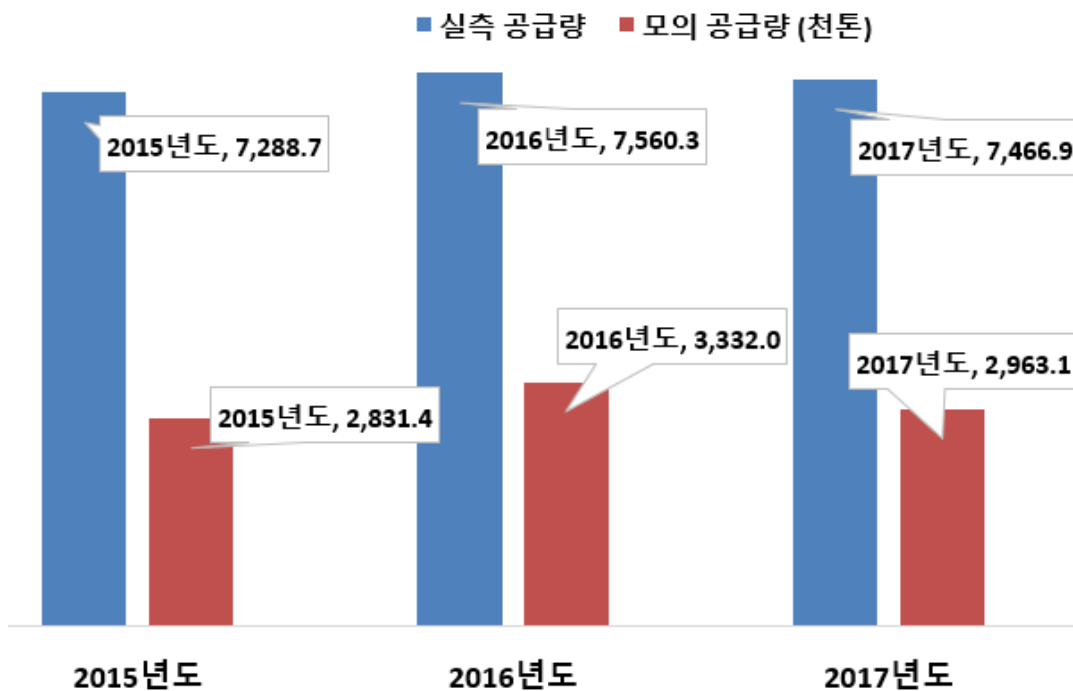
안 등 (2007)은 기상인자가 농업용 저수지 저수량에 미치는 영향을 연구하였는데, 안성천 유역내 금광 및 고삼저수지를 대상으로 기상자료를 이용하여 상관분석을 실시하고 상관성이 있는 기상인자를 추출하였다. 기상인자 중 강수 인자가 가장 큰 영향을 미치고 있으며 관개기에 46 - 56%로 높은 기여율을 나타내었고, 비관개 시기에는 21 - 38%로 저수율의 변화를 잘 설명하지 못하였다. 이는 관개기에 강수량에 의한 유입량 변화가 저수량에 영향을 미치고 있으며, 이 연구에 의하여 관개기에 정확한 유입량의 계측이 저수량 추정에 중요함을 역설할 수 있다.

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

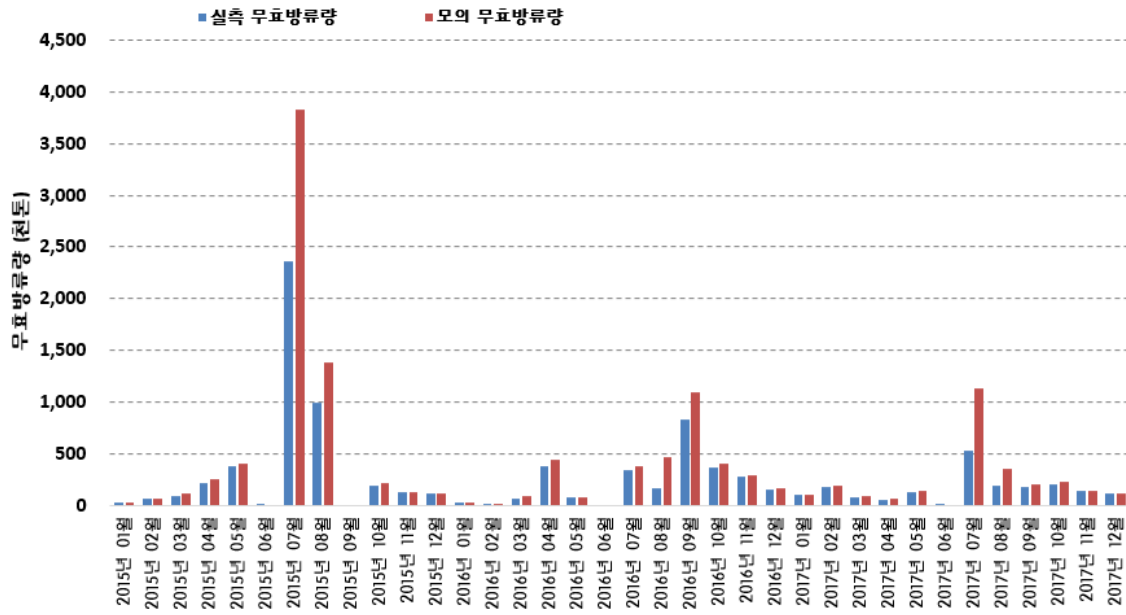
이러한 연구에서 알 수 있듯이 농업용 저수지의 정확한 저수량 추정은 저수지 운영에 매우 중요한 요소이며, 정확한 저수량을 산정하기 위해서는 저수지 유입량, 관개를 위한 공급량, 무효방류량의 계측이 필요함을 언급하고 있다. 모의에 의한 저수량과 실측 유입량, 공급량, 무효방류량을 이용하여 산정된 저수량을 비교·분석하여 신설 수위계측 지점 구축의 필요성을 고찰하고자 한다.



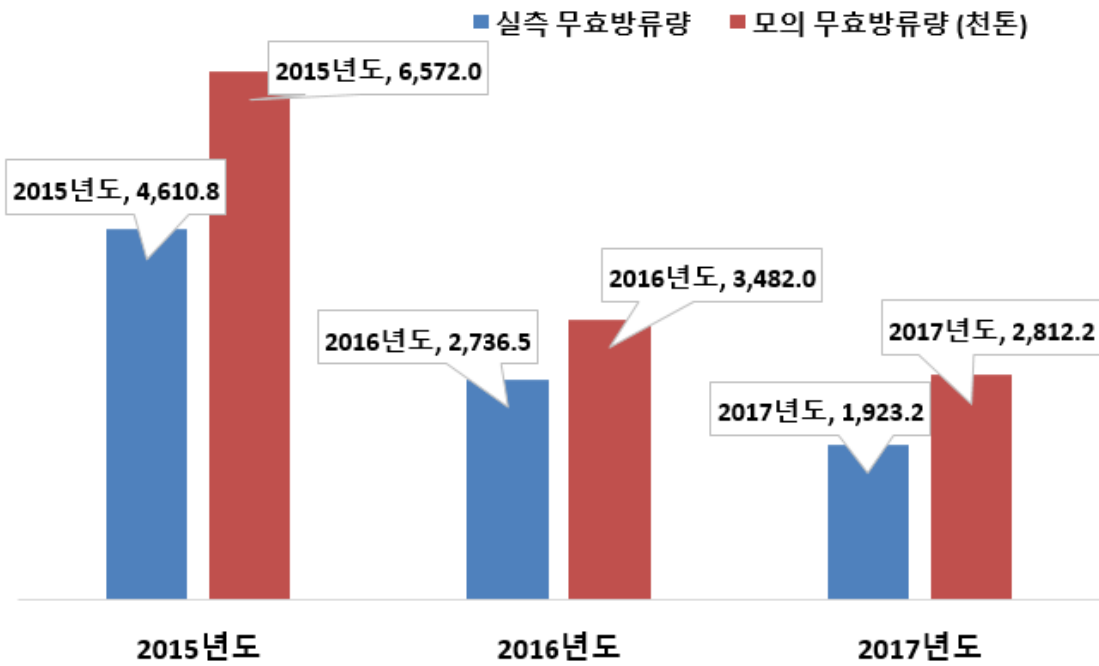
(그림 2-39) 월별 모의 및 실측 공급량 비교



(그림 2-40) 연도별 모의 및 실측 공급량 비교



(그림 2-41) 월별 모의 및 실측 무효방류량 비교



(그림 2-42) 연도별 모의 및 실측 무효방류량 비교

<표 2-35> 월별 공급량 비교 (천톤)

월	실측 공급량 ①	모의 공급량 ②	공급량 편차 ① - ②	비율 ① / ②
2015년 01월	0.0	0.0	0.0	-
2015년 02월	0.0	0.0	0.0	-
2015년 03월	0.0	0.0	0.0	-
2015년 04월	467.8	38.1	429.7	12.3
2015년 05월	1,658.0	312.6	1,345.4	5.3
2015년 06월	1,674.0	968.5	705.5	1.7
2015년 07월	1,434.4	460.6	973.8	3.1
2015년 08월	1,516.7	692.0	824.7	2.2
2015년 09월	537.9	359.6	178.3	1.5
2015년 10월	0.0	0.0	0.0	-
2015년 11월	0.0	0.0	0.0	-
2015년 12월	0.0	0.0	0.0	-
2016년 01월	0.0	0.0	0.0	-
2016년 02월	0.0	0.0	0.0	-
2016년 03월	0.0	0.0	0.0	-
2016년 04월	486.7	36.7	450.0	13.3
2016년 05월	1,567.9	275.4	1,292.5	5.7
2016년 06월	1,898.3	1,272.1	626.2	1.5
2016년 07월	1,552.9	780.0	772.9	2.0
2016년 08월	1,522.6	813.7	708.9	1.9
2016년 09월	531.8	154.1	377.7	3.5
2016년 10월	0.0	0.0	0.0	-
2016년 11월	0.0	0.0	0.0	-
2016년 12월	0.0	0.0	0.0	-
2017년 01월	0.0	0.0	0.0	-
2017년 02월	0.0	0.0	0.0	-
2017년 03월	0.0	0.0	0.0	-
2017년 04월	507.5	36.7	470.8	13.8
2017년 05월	1,665.3	245.2	1,420.1	6.8
2017년 06월	1,763.0	1,134.0	629.0	1.6
2017년 07월	1,512.4	514.3	998.1	2.9
2017년 08월	1,546.8	714.3	832.5	2.2
2017년 09월	471.9	318.6	153.3	1.5
2017년 10월	0.0	0.0	0.0	-
2017년 11월	0.0	0.0	0.0	-
2017년 12월	0.0	0.0	0.0	-

<표 2-36> 월별 무효방류량 비교 (천톤)

월	실측 무효방류량 ①	모의 무효방류량 ②	무효방류량 편차 ① - ②	비율 (%) (①-②)/②×100
2015년 01월	26.8	29.8	-3.0	-10.0
2015년 02월	65.5	69.0	-3.5	-5.1
2015년 03월	92.7	115.9	-23.2	-20.0
2015년 04월	218.9	260.7	-41.8	-16.0
2015년 05월	383.7	408.8	-25.1	-6.1
2015년 06월	14.0	0.0	14.0	-
2015년 07월	2,365.7	3,823.7	-1,458.0	-38.1
2015년 08월	989.6	1,378.4	-388.8	-28.2
2015년 09월	7.0	5.4	1.6	29.6
2015년 10월	198.7	220.8	-22.1	-10.0
2015년 11월	133.7	136.4	-2.7	-2.0
2015년 12월	114.5	123.1	-8.6	-7.0
2016년 01월	29.3	32.5	-3.3	-10.0
2016년 02월	13.0	13.7	-0.7	-5.0
2016년 03월	71.3	89.1	-17.8	-20.0
2016년 04월	375.9	443.0	-67.1	-15.2
2016년 05월	77.7	85.4	-7.7	-9.0
2016년 06월	3.0	0.0	3.0	-
2016년 07월	350.0	380.7	-30.7	-8.1
2016년 08월	174.6	473.9	-299.3	-63.1
2016년 09월	835.0	1,098.8	-263.8	-24.0
2016년 10월	363.9	404.3	-40.4	-10.0
2016년 11월	283.8	289.6	-5.8	-2.0
2016년 12월	159.0	171.0	-12.0	-7.0
2017년 01월	100.8	112.0	-11.2	-10.0
2017년 02월	180.5	190.0	-9.5	-5.0
2017년 03월	79.6	99.5	-19.9	-20.0
2017년 04월	51.0	65.2	-14.2	-21.8
2017년 05월	130.8	148.5	-17.7	-11.9
2017년 06월	15.0	0.0	15.0	-
2017년 07월	529.3	1,138.4	-609.1	-53.5
2017년 08월	188.0	353.2	-165.2	-46.8
2017년 09월	187.1	210.2	-23.1	-11.0
2017년 10월	203.2	225.8	-22.6	-10.0
2017년 11월	144.0	146.9	-2.9	-2.0
2017년 12월	113.9	122.5	-8.6	-7.0

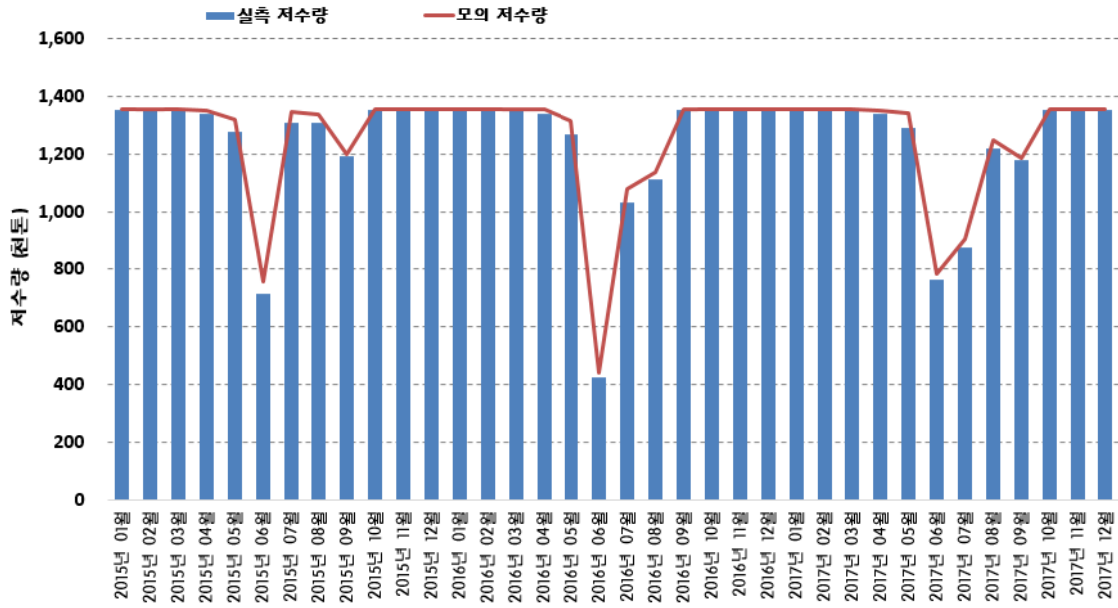
<표 2-37> 연도별 공급량 비교 (천톤)

년 도	실측 공급량 ①	모의 공급량 ②	공급량 편차 ① - ②	비 율 (%) ① / ②
2015년도	7,288.7	2,831.4	4,457.3	2.6
2016년도	7,560.3	3,332.0	4,228.3	2.3
2017년도	7,466.9	2,963.1	4,503.8	2.5
합 계	22,316.0	9,126.5	13,189.5	2.4

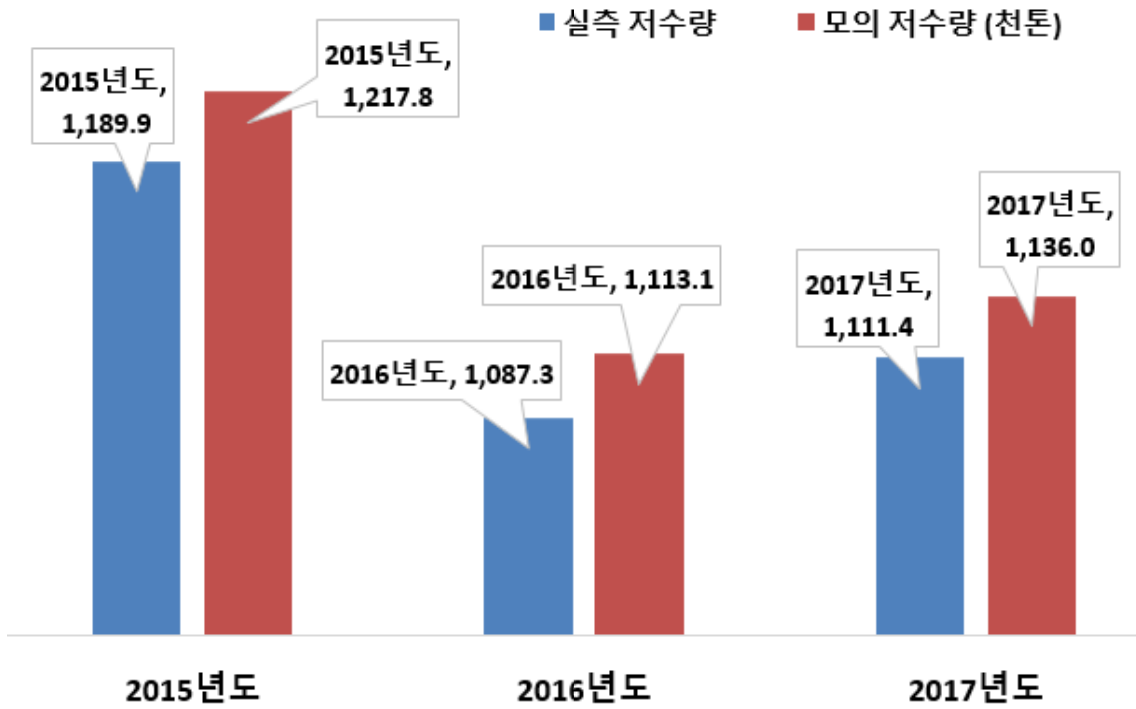
<표 2-38> 연도별 무효방류량 비교 (천톤)

년 도	실측 무효방류량 ①	모의 무효방류량 ②	무효방류량 편차 ① - ②	비 율 (%) (①-②)/②×100
2015년도	4,610.8	6,572.0	-1,961.2	-29.8
2016년도	2,736.5	3,482.0	-745.5	-21.4
2017년도	1,923.2	2,812.2	-889.0	-31.6
합 계	9,270.5	12,866.2	-3,595.7	-27.9

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



(그림 2-43) 월별 모의 및 실적 저수량 비교



(그림 2-44) 연도별 모의 및 실적 저수량 비교 (4월-9월)

<표 2-39> 월별 저수량 비교 (천톤)

월	실측 저수량 ①	모의 저수량 ②	저수량 편차 ① - ②	비율 (%) (①-②)/②×100
2015년 01월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2015년 02월	1,351.4	1,354.1	-2.7	-0.2
2015년 03월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2015년 04월	1,336.6	1,351.5	-15.0	-1.1
2015년 05월	1,278.2	1,320.1	-41.8	-3.2
2015년 06월	716.9	757.0	-40.1	-5.3
2015년 07월	1,307.8	1,344.2	-36.4	-2.7
2015년 08월	1,307.2	1,334.9	-27.7	-2.1
2015년 09월	1,192.7	1,198.9	-6.3	-0.5
2015년 10월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2015년 11월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2015년 12월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2016년 01월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2016년 02월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2016년 03월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2016년 04월	1,337.6	1,353.2	-15.7	-1.2
2016년 05월	1,267.2	1,313.5	-46.3	-3.5
2016년 06월	424.2	442.1	-17.9	-4.0
2016년 07월	1,030.1	1,077.6	-47.5	-4.4
2016년 08월	1,113.5	1,137.9	-24.4	-2.1
2016년 09월	1,351.0	1,354.1	-3.1	-0.2
2016년 10월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2016년 11월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2016년 12월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2017년 01월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2017년 02월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2017년 03월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2017년 04월	1,336.8	1,351.2	-14.4	-1.1
2017년 05월	1,291.9	1,339.0	-47.1	-3.5
2017년 06월	764.8	786.1	-21.4	-2.7
2017년 07월	875.2	905.8	-30.7	-3.4
2017년 08월	1,220.2	1,247.0	-26.7	-2.1
2017년 09월	1,179.8	1,187.1	-7.3	-0.6
2017년 10월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2017년 11월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2017년 12월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2

<표 2-40> 연도별 저수량 비교 (4 - 9월) (천톤)

년 도	실측 저수량 ①	모의 저수량 ②	저수량 편차 ① - ②	비 율 (%) (①-②)/②×100
2015년도	1,189.9	1,217.8	-27.9	-2.3
2016년도	1,087.3	1,113.1	-25.8	-2.3
2017년도	1,111.4	1,136.0	-24.6	-2.2
평 균	1,129.5	1,155.6	-26.1	-2.3

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

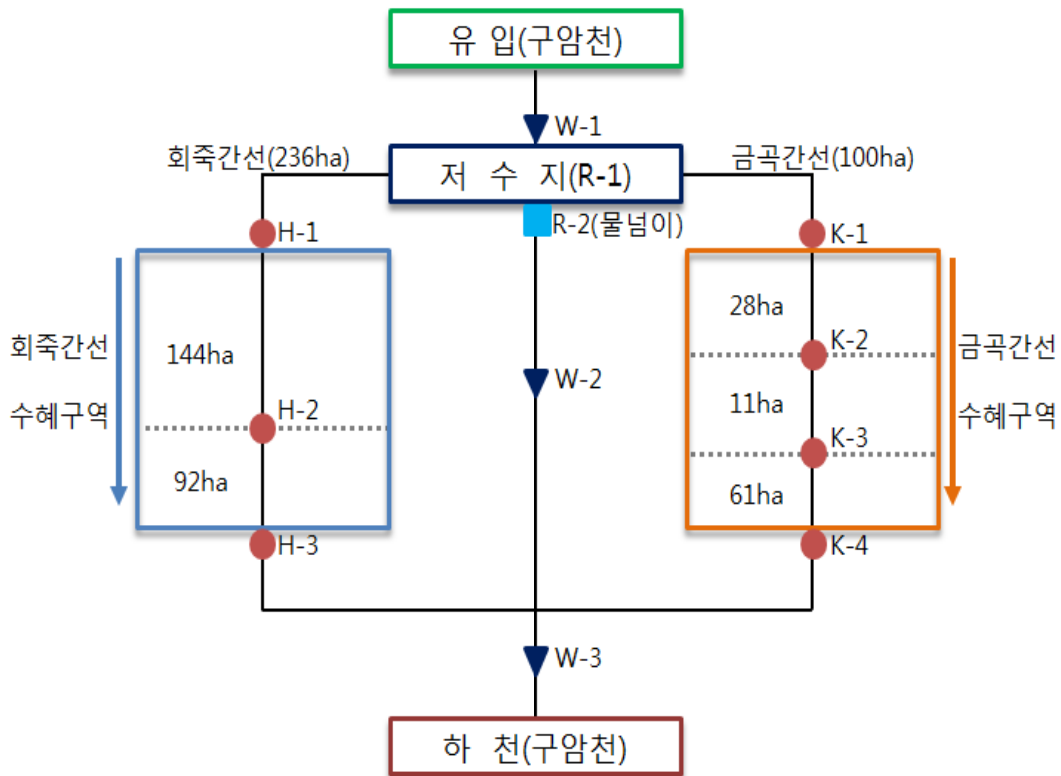
모의 저수량이 실측값을 이용하여 산정된 저수량보다 다소 많게 추정되는 원인은, 저수지 물수지 분석의 가장 중요한 요소인 저수지 유입량, 관개용수량, 무효방류량의 추정 값이 실측값과 상이하게 모의되기 때문이다. 즉, 유역으로부터의 유입량이 신설 수위계측 지점 운영으로 계측된 유입량보다 과다 산정되고, 관개용수량은 수혜지역의 필요수량과 동일한 값으로 산정되기 때문에 실제 관개용수량보다 과소 산정되기 때문에 모의 저수량이 과다 산정되고 있다. 특히, 비관개시기 보다 관개시기에 더욱 과다 산정되는 경향을 보이고 있어 효율적인 저수지 운영을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

(5) 수위계측망을 이용한 농업용수 정량화

(가) 조용수량 및 손실수량 정량화

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

HOMWRS 모형에 의한 대상지구의 전형적인 관개용수량 산정은 실제 물공급 형태를 고려하지 못하여 신뢰성 있는 관개용수량 산정이 불가능 하였다. 하지만, 수위계측 지점 운영함으로서 유역으로부터 저수지로의 유입량, 공급량, 관개수로 유입부 및 중간부, 말단부의 유량을 측정함으로서 조용수량 및 손실수량의 산정이 가능하다. 다음 그림은 대상지구의 수위계측 지점 구축 모식도 이다.



(그림 2-45) 수위계측 지점 모식도

관개지구 내에서 실제로 소비되는 조용수량은 작물의 소비수량인 순용수량과 손실수량의 합을 의미하는데, 각 간선의 유입부 공급량에서 말단부 유량을 감하여 산정이 가능하고, 손실수량은 산정된 조용수량에서 순용수량을 감하여 산정할 수 있다. 여기서 작물이 소비하는 순용수량은 현실적으로 실측이 불가능하므로 모의에 의한 필요수량을 순용수량으로 사용하였다. 다음 표는 수위계측 지점 실측값을 이용한 수혜구역별 조용수량 산정과 조용수량에서 순용수량을 감한 손실수량을 산정한 것이다.

<표 2-41> 수해구역별 조용수량 산정 (천톤)

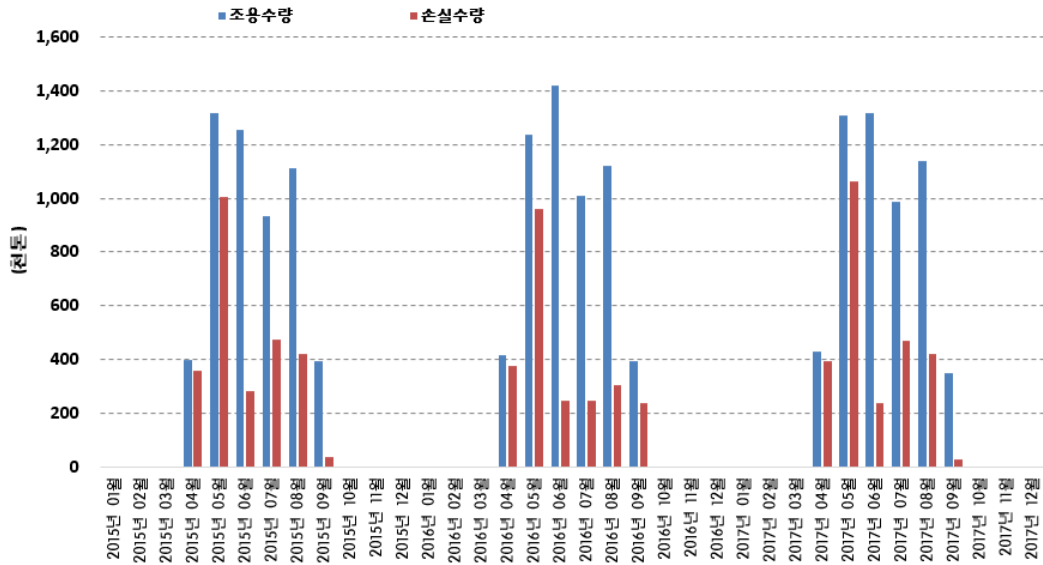
월	금곡 간선			회죽 간선		
	유입부 (K1)	말단부 (K4)	조용수량 (K1-K4)	유입부 (H1)	말단부 (H3)	조용수량 (H1-H3)
2015년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015년 04월	145.0	25.6	119.4	338.3	59.2	279.2
2015년 05월	547.4	167.1	380.3	1,169.2	231.6	937.7
2015년 06월	528.4	140.7	387.7	1,202.1	336.4	865.7
2015년 07월	444.6	161.5	283.1	1,037.4	385.5	651.8
2015년 08월	479.2	134.2	345.0	1,088.7	320.3	768.5
2015년 09월	219.1	64.1	155.0	342.2	101.0	241.2
2015년 10월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015년 11월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015년 12월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016년 04월	148.1	26.1	121.9	354.4	61.9	292.5
2016년 05월	528.1	170.7	357.4	1,096.3	216.5	879.8
2016년 06월	573.1	152.2	420.9	1,386.6	387.3	999.2
2016년 07월	475.3	172.7	302.5	1,128.5	421.0	707.5
2016년 08월	489.4	136.7	352.7	1,085.6	319.6	766.0
2016년 09월	217.9	63.8	154.0	337.3	99.4	237.8
2016년 10월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016년 11월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016년 12월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017년 04월	147.8	26.2	121.6	375.5	65.9	309.7
2017년 05월	559.1	180.7	378.4	1,166.0	236.4	929.6
2017년 06월	548.1	146.3	401.7	1,273.6	357.9	915.7
2017년 07월	468.1	170.1	298.0	1,094.3	407.4	686.9
2017년 08월	489.5	136.8	352.7	1,109.7	325.7	784.0
2017년 09월	193.2	56.4	136.8	299.3	88.2	211.1
2017년 10월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017년 11월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017년 12월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

<표 2-42> 수해구역별 손실수량 산정

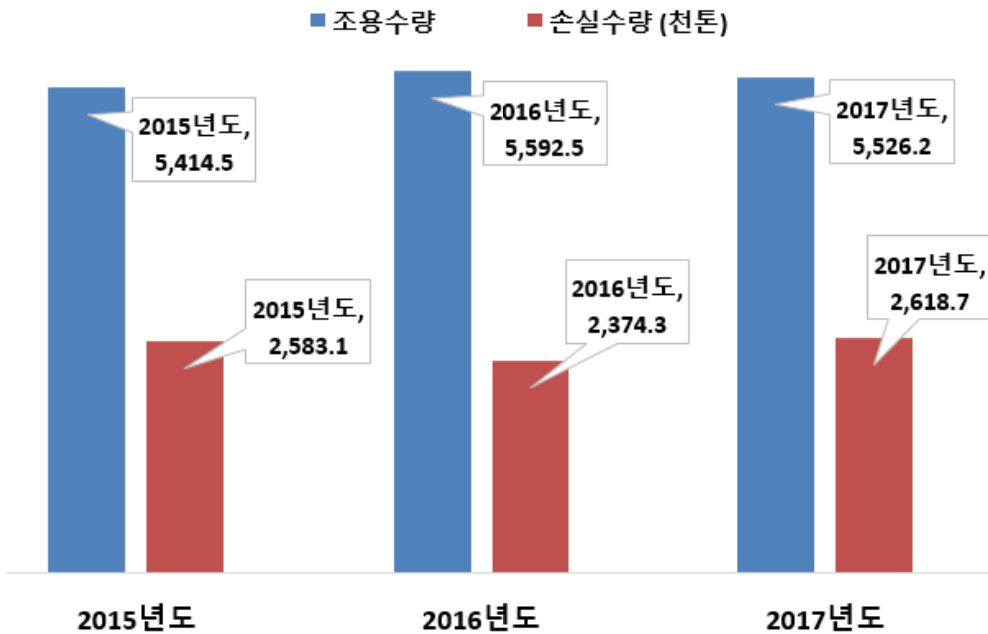
월	금곡 간선			회죽 간선		
	조용수량	손실수량	손실율 (%)	조용수량	손실수량	손실율 (%)
2015년 01월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2015년 02월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2015년 03월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2015년 04월	119.4	104.2	87.2	279.2	256.3	91.8
2015년 05월	380.3	255.2	67.1	937.7	750.1	80.0
2015년 06월	387.7	0.3	0.1	865.7	284.6	32.9
2015년 07월	283.1	98.8	34.9	651.8	375.5	57.6
2015년 08월	345.0	68.2	19.8	768.5	353.3	46.0
2015년 09월	155.0	11.1	7.2	241.2	25.4	10.5
2015년 10월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2015년 11월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2015년 12월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2016년 01월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2016년 02월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2016년 03월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2016년 04월	121.9	107.3	88.0	292.5	270.5	92.5
2016년 05월	357.4	247.3	69.2	879.8	714.6	81.2
2016년 06월	420.9	10.9	2.6	999.2	236.0	23.6
2016년 07월	302.5	5.5	1.8	707.5	239.5	33.8
2016년 08월	352.7	27.2	7.7	766.0	277.8	36.3
2016년 09월	154.0	92.4	60.0	237.8	145.4	61.1
2016년 10월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2016년 11월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2016년 12월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2017년 01월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2017년 02월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2017년 03월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2017년 04월	121.6	106.9	87.9	309.7	287.6	92.9
2017년 05월	378.4	280.3	74.1	929.6	782.5	84.2
2017년 06월	401.7	3.7	0.9	915.7	235.3	25.7
2017년 07월	298.0	92.3	31.0	686.9	378.3	55.1
2017년 08월	352.7	67.0	19.0	784.0	355.4	45.3
2017년 09월	136.8	9.4	6.8	211.1	19.9	9.5
2017년 10월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2017년 11월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2017년 12월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-

<표 2-43> 연도별 조용수량 및 손실수량 (천톤)

년 도	조용수량	손실수량	손실율 (%)
2015년도	5,414.5	2,583.1	47.7
2016년도	5,592.5	2,374.3	42.5
2017년도	5,526.2	2,618.7	47.4
평 균	5,511.1	2,525.4	45.8



(그림 2-46) 월별 조용수량 및 손실수량



(그림 2-47) 연도별 조용수량 및 손실수량

수위계측 지점 운영을 통하여 실측된 공급량, 관개수로 유입부 및 말단부 유량을 이용하여 대상지구의 조용수량 및 손실수량을 산정한 결과, 조용수량은 공급량의 약 73%로 산정되었고 손실율은 평균 46%로 나타났다. 2015년도에는 조용수량 5백41만톤, 손실수량 2백58만톤으로 산정되었고, 2016년도에는 조용수량 5백59만톤, 손실수량 2백37만톤, 2017년도에는 조용수량 5백53만톤, 손실수량 2백62만톤으로 평균 조용수량은 5백51만톤, 손실수량은 2백53만톤으로 산정되었다.

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

(나) 회귀수량 정량화

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

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

$$R_F = R_1 + R_2 = \frac{D_{out}}{D_{in}} + \frac{P}{D_{in}}$$

(식 2-9)

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

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

<표 2-44> 회귀수량 산정 (천톤)

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

회귀수량 산정결과 신속회귀율이 평균 28.4%, 지연회귀율이 24.3%로 산정되었고 공급량이 가장 많은 6월과 7월에 회귀수량이 약 100만톤에 이르고, 4월과 5월에는 각각 18만톤과 24만톤으로 산정되었다. 회귀율을 살펴보면 회귀수량이 상대적으로 많이 산정된 5월과 6월에 각각 55%와 65%로 산정되었고 회귀수량이 상대적으로 적은 4월과 5월에 각각 35%와 45%를 나타내고 있다.

3. 농업용수 이용 효율성 증대 기술 개발

가. 기존 농업용수 이용 효율성 증대 방안 고찰

(1) 물이용 효율화에 대한 정책 방향

농업용수의 효율적 관리에 대하여서는 다양한 정책 방향이 제언되었다. 농업용수 이용 효율성 증대방안을 고찰하고자 국내 농업용수 배분 및 이용 현황을 진단해 보고, 향후 국내 농업용수 이용 효율화 방안의 방향성을 제시하고자 한다.

OECD(2010)에서는 기후변화 등으로 인해 농업용수의 지속가능한 관리가 더욱 중요해지고 있으며, 다음과 같은 정책 방향을 제시한 바 있다. 첫 번째 농업용수 자원 관리의 복잡성과 다양함에 대한 이해 제고, 두 번째 농업 부문 물관리를 위한 제도 및 재산권 강화, 세 번째 최소한 총 공급비용을 반영하는 농업용수 이용료 보장, 네 번째 농업, 물, 에너지, 환경 정책 간 통합 정책 개선, 다섯 번째 기후변화와 기후변동 영향에 대한 농업의 복원력 강화, 마지막으로 수자원 관리 개선을 위한 지식 및 정보 부족 해결 등이 있다.

한국도 농업용수 이용에 있어서 다양한 수문학적 요소, 용수원의 형태(지표수와 지하수, 빗물 등), 법적 요소와 관리주체의 상이함, 사유재와 공유재의 동시 성격 등으로 인한 농업용수 관리에 대한 복잡성에서 예외가 아니다. 현재 진행 중인 물관리 일원화나 ‘물관리 기본법’ 제정 논의는 농업용수뿐만 아니라 국가 전체 용수에 있어서 이러한 복잡성과 다양함을 체계화하여서 용수 이용의 효율성을 제고하고자 하는 노력이기도 하다. 그러므로 농업용수도 장기적으로는 물관리 일원화 시스템 안에서 수량과 수질을 함께 관리할 필요가 있으며, 이것은 통합적 농업용수 자원 관리, 더 나아가 농업환경 자원 관리와 국가 차원에서 전체 용수의 효과적 관리로 나아가는 방안이 될 것이다.

그러나 농업용수의 경우에는 상대적으로 수질이 유량보다 중요한 역할을 하지 않아서 물관리 일원화의 주요목적 중 하나인, 환경부에서 수량과 수질을 함께 관리 한다는 취지에 농업인이 동의하기 힘든 부분이 있으며, 농업인이 현행 농업용수 관리에 있어서 관리주체에 상관없이 불만족도가 낮기 때문에 농업용수 관리 및 이용 체계 전환에 대한 정책 요구도도 낮을 것을 예상할 수 있다. 그러나 농업이 수질에 있어서 비점오염원으로 작용하고 있고, 전문가들은 현행 농업용수 관리에 있어서 상대적으로 개선의 필요성을 나타내는 점을 본다면 장기적인 측면에서 이러한

물관리 일원화 논의를 피해가기는 어려울 것이다. 그리고 농업용수 자원 관리의 복잡성은 농업용수, 수리권, 수리시설의 소유주와 관리의무 주체에 대한 농업인, 현장 관리주체, 전문가 인식의 차이에서도 드러나며, 이러한 인식 차이의 발생은 농업용수 자원 관리의 복잡성에 대한 농업인의 상대적으로 낮은 인식을 나타내는 것이기도 하다.

그러므로 대내외 용수 여건 변화 및 현재 농업용수 이용의 비효율적 측면과 제도적 한계 인식도 제고 측면에서, '교육 기제'를 활용한 농업용수 효율화 방안이 다른 정책에 비하여서 선행될 필요가 있을 것이다.

OECD(2010)에서는 용수의 비효율적 배분과 용수 거래를 제한하는 요소로 복잡한 제도를 제시한다. 그리고 대부분 OECD 회원국의 용수 소유권은 가격이 아닌 양으로 배분되고 있기 때문에 경제적 효율성과 환경적 효과성 면에서 재배분이 필요하며, 재배분에 있어서 신축적인 용수소유권 정립이 필요함을 강조하였다. 그리고 용수 재배분에 있어서 용수시장이 해결책이 될 수 있음을 명시하였다. 단, 이러한 권리 재정립과 용수시장의 활용은 용수 계획과 관리가 제대로 기능하기 위한 전제조건이며, 관개 체계 아래에서는 수리권 관리와 용수 수송 및 가격 설정이 대개 공적 영역에서 이루어진다고 분석하였다. 그리고 이 때에도 수혜자부담원칙에 따라서 용수 이용에 이러한 공적 용수 수송의 한계비용이 반영되어야 한다고 강조하고 있다.

OECD에서는 용수시장이 용수의 효율적 배분을 돕는 기제로 작동할 수 있음을 의미하였는데 이는 농업인 간 용수거래나 농업인-비농업인 간 용수 거래의 가능성이 존재한다는 점에서 장기적인 농업용수 이용의 효율화 방안으로 검토할 필요가 있다. 특히 현재 농업용수가 할당되고 있고, 농업용수와 타 용수 간 배분 자체를 바꾸기가 어렵다면 사회적으로 효율적인 농업용수 이용에 있어서 재배분은 매우 중요하며, 용수시장은 이러한 재배분을 효과적으로 할 수 있는 정책 수단이 될 수 있다.

OECD에 따르면 회원국의 이용료 부과와 용수시장 활용은 지표수를 중심으로 구성되어 있었고, 지하수는 주로 이용허가와 규제를 따라 이용되고 있었다. 그러나 불완전한 규제는 지하수 이용 비용을 증가시키고 지하수의 지속가능한 이용을 저해하는 요소이므로, 장기적으로 지하수에도 부피에 근거한 관리와 이용료 부과가 필요하다고 강조하였다. 이러한 방향성은 한국의 농업용 지하수 이용에도 동일하게 적용 가능할 것으로 사료된다.

OECD(2010) 보고서는 많은 나라에서 농업용수 이용료가 총공급비용만을 회수

하는 수준임을 지적하고 있다. 그러나 한국의 경우에는 농업용 지표수에 대한 실질적 이용료가 면제되고 있고, 농업용 지하수에 대하여서도 이용부담금이 면제되고 있어서 총 공급비용 조차 회수할 수 없는 구조이다. 지자체 관리구역의 한국농어촌공사 편입이나 노후화 시설의 유지관리비용 상승 등과 함께 한국농어촌공사의 유지관리 비용이 증가하는 추세가 유지된다면, 사용자부담원칙이나 수혜자부담원칙과 같이 농업용수의 실사용자인 농업인에게 적어도 유지관리비용은 부과하는 방향으로 정책이 나아가야 할 것이다.

그러나 국내에서는 농업용수 이용료 부담에 농업인이 강한 거부감을 가지고 있어 이용료 징수가 실질적으로 이루어지기 힘든 상황이다. 이런 점에서 농업인에게 직접적인 이용료를 부과하는 정책보다 농업용수 사용 비용을 인식하게 만드는 직간접적 정책 수단이 먼저 도입되어야 할 것이다. 용수절감량에 대한보상금 지급과 같은 정책은 ‘물값’에 대한 농업인의 인식을 변화시킬 수 있다는 점에서 선제적으로 도입을 검토할 수 있다. 농업용수의 실질적인 이전 여부와 상관없이, 단독적으로 농업용수절감에 대한 보상 지급이나 휴경 보상금에 물값을 포함시키는 것, 상호 준수프로그램 활동 속에 농업용수 절감을 포함시켜 보상금을 지불하는 방식 등을 고려 가능할 것이다.

다음은 농업용수의 지식 및 정보 부족 해결과 이해당사자 간 자원 관리의 복잡성 및 다양성에 대한 이해도를 높이고 이용 효율성을 증대하기 위한 방안으로 교육 기제, 시장 기제 및 공동체 등을 대상으로 방안을 구분하여 제시하였다.

(2) 농업용수 이용 효율성 증대를 위한 교육 기제 활용 방안 제시

(가) 물절감 교육 이수

물절감 교육 이수는 직접적인 농업용수절감을 가져오는 방안이라기보다 농업인의 농업용수 및 영농활동 여건 변화에 대한 이해도 제고를 통하여서 물절감 행동으로 유도하는 간접적인 대응 방안으로 이해해야 한다.

효과적인 물절감 교육 프로그램이 정착하려면 관련 전문가 집단 섭외부터 프로그램 설계, 농업인의 프로그램 참여를 독려해야 하며 이 과정에서 발생하는 비용은 정부가 부담할 가능성이 크다.

농업인 대부분은 평소 용수절감 노력을 하지 않으며 가뭄이 발생하였을 때에도 일정 농업인은 용수절감 노력을 하지 않는 것으로 나타난다. 이러한 농업인의 행동

변화를 가져올 수 있는 것이 물질감 교육 이수일 것이지만, 농업인이 선호하는 정책은 아닌 것으로 조사되어, OECD(2010)에서 농업인의 교육 수요가 존재한다는 부분과는 상충된다. 그러나 현장 관리주체와 전문가 인식조사에서는 허가수리권체제 전환 대응의 선행 우선순위로 허가수리권체제로의 전환에 대한 충분한 홍보 및 물질감 교육을 각 첫 번째와 두 번째로 선택하여서, 필요성에 대한 의견을 보여 주어서 그 필요성을 낮게 평가할 수는 없다.

물질감에 대한 교육 이수는 그 효과가 단기적으로 나타나기보다 농업인의 단계적 인식 변화를 거쳐서 서서히 나타날 가능성이 크며, 특히 농업인이 선호하는 정책 대응이 아니라는 점에서 교육 프로그램을 구축하여도 초기 농업인의 참여를 이끄는 것이 어려울 것으로 예상된다. 그렇기 때문에 물질감 관련 교육 프로그램을 단발성 행사가 아닌 주기적인 프로그램화가 되어야 하며, 고령화된 농업인의 특성에 맞춘 콘텐츠를 개발할 필요가 있다. 일례로, 최경숙 외(2016)에서는 농업인의 가뭄대응을 위한 체험식 물교육 프로그램 시범사업을 실시하고, 그 결과 수리계 조직 시 농업인의 가입의사가 증가하는 것을 보인 바 있다. 특히 이러한 교육 이수 프로그램은 농업용수 자원 관리의 복잡성과 다양성에 대한 이해도를 높이는 방법이 될 수 있어, 여타 다른 물이용 효율화방안 도입에 앞서 선제적으로 마련될 필요가 있는 방안이다.

(나) 용수절감 영농법 도입 및 R&D 투자 확산

용수절감 영농법 도입은 직접적으로 영농활동에서 사용하는 지표수 및 지하수의 사용량을 줄이는 방안으로, 농업 내·외부 농업용수 수요가 증가하였을 때 절감량을 직접적으로 이전하거나, 경합관계에 있는 용수사용의 가용량을 증가시킬 수 있는 대응 방안이다.

강석만 외(2016)에서는 농업용수의 체계적 관리를 위한 농업용수 관리 기술 개발 연구의 중요성을 명시하며 한국농어촌공사가 수로의 물 손실 저감 방안, 물 절약형 농업수로 설계와 관련 물 지킴 작성 등 농업용수를 절약하기 위한 관리기술 개발과 계획 수립을 해오고 있음을 명시하였다. 기존의 농업용수 관리 노하우 및 인프라 체계, 전문인력을 갖추었다는 점에서 용수절감 영농법 개발 및 R&D 투자에서 한국농어촌공사가 지속적으로 중요한 역할을 할 것을 기대할 수 있다. 그러나 이러한 역할은 기술적 측면의 가능성이 크므로 실제 용수절감 영농법의 확산을 위해서는

한국농어촌공사뿐만 아니라 지역 거버넌스나 중앙정부의 지원을 활용할 필요가 있다.

농업인 조사에서는 농업인은 효과적 용수절감 대응 방안에서 용수절감 영농법 도입에 비중 있는 응답을 하였으며, 쌀전업농 여부와 관계없이 선호도가 현장 관리주체 및 전문가와 비교하였을 때 높은 편이었다. 즉, 농가 수용성이 상대적으로 높은 대응 방안으로 볼 수 있다. 이것은 OECD(2010)에서 농업인이 기술적 조언과 수용 가능한 영농법에 대한 교육을 요구한다고 지적한 점과 유사하다.

단, 용수절감 영농법의 용수절감 목표 달성에 대한 비용효과성에 대한 추가 고민이 필요한데, 새로운 영농법 개발을 위해서는 R&D 투자가 선행될 필요가 있으므로, 이러한 영농법 도입에서는 단순 행정비용뿐만 아니라 내재되어 있는 연구개발 비용도 함께 사회적 비용으로 고려할 필요가 있다. 그러나 이러한 R&D 투자가 궁극적으로 지식 및 정보 부족의 해결책이 된다는 점에서는 장기적 관점에서 장려할 필요가 있다. 영농법 도입과 R&D 투자 확산은 농업용수절감이라는 단일 정책 목표 달성에서 바라보기보다 농업환경보전이라는 더 큰 맥락에서 이해할 때에 좀 더 비용효과성 있는 방안이 될 수 있다.

(다) 물절감 수리시설 설치

개량물꼬 설치, 점적관개 도입등과 같은 물절감 수리시설 설치도 농업용수 사용량을 직접적으로 절감하고 농업인과 비농업인의 수요 증가에 농업용수 이전이나 가용용수량 증가를 통하여서 효율적 용수 배분을 도울 수 있는 방안이다. 이러한 수리시설에는 논에서 활용 가능한 개량물꼬나 밭과 시설원예 등에서 활용 가능한 점적관개 도입을 고려할 수 있다.

해당 방안은 농업인과 현장 관리주체가 선호한 정책 수단으로, 전문가에게서는 큰 선호는 받지 못하였으나 ‘용수절감 영농법 도입’보다는 선호하는 정책 수단으로 조사되었다.

직접적인 농업용 지표수 및 지하수 이용량을 절감한다는 점에서 앞서 제시한 용수절감 영농법 도입과 그 정책 효과는 비슷할 것으로 보이나, 장기간 R&D를 통하여서 개발해야 하는 영농법에 비하여서 단기간에 실행 가능한 정책 수단으로 볼 수 있다. 단, 절감시설 설치에 대한 초기비용과활용에 대한 주기적 관리비용이 추가로 발생하게 되며, 이러한 비용은 정부와 농업인의 부담이 될 가능성이 크다.

정부와 농업인 간 부담에 대한 비율은 해당 지역, 작목, 시설의 종류 등에 따라서 다양한 조합이 나올 수 있을 것이다.

물절감 수리시설 설치와 용수절감 영농법 설치는 단기적·장기적 정책 목표를 대상으로 상호보완이 가능한 정책 수단으로 생각되며, 향후 정책 수단 간 비용효과성 분석에 있어서 정책 수단의 보급에 필요한 시간을 함께 고려할 필요가 있다.

(라) 물 이용량 계측기 설치

물 이용량 계측기 설치에 앞서 제시한 두 방안에 비하여서 직접적인 농업용수 절감 효과는 없지만, 효과적인 농업용수절감을 위하여서 갖추어야 하는 인프라에 대한 투자로 이해 가능하며, 그런 점에서 농업 내·외부 농업용수 수요 충족에 간접적으로 효과가 있는 방안으로 이해 가능하다. 초기 시설 설치 비용과 주기적 유지·관리 비용이 발생할 것이며, 이러한 비용 부담은 정부와 농업인에게 부담될 가능성이 크다.

쌀전업농 외 농가에서는 상대적으로 지하수 활용 비중이 높고, 지하수의 경우 사용량 계측이 논 농업용수보다 수월하기 때문에 상대적으로 물 이용량 계측기 설치가 현실성 있는 농업용수절감 방안이 될 수 있을 것이다. 게다가 지하수의 경우에는 정확한 계측기가 존재하지 않더라도 관정사용에 소요된 전기 소비량을 근거로 이용량 역추적이 가능하므로, 쌀전업농보다 좀 더 자신의 농업용수 사용량 정보 공유에 거부감이 적을 수 있다.

논의 경우에는 수로를 함께 공유함으로써 개별 필지에 들어간 용수량을 계측하기가 어렵다는 점에서 현실적 제약이 존재하며, 계측기 설치를 물 이용료 부과를 위한 사전 정책으로 오인하는 농업인이 많아서, 계측기 설치에 대한 현장 농업인의 저항이 예상된다. 이와 관련하여서는 수로를 공유하는 필지들의 수로와 수원 사이의 접점에 계측기를 설치하고, 개별 농업인이 아닌 공동체를 대상으로 계측을 실시하는 것이 하나의 대안이 될 수 있을 것이다.

(3) 농업용수 이용 효율성 증대를 위한 시장 기제 활용 방안 제시

농업용수 이용 효율성 증대를 위한 시장 기제 활용방안으로는 OECD(2015)에서 제시한 용수자원 배분 건전성 체크 리스트와 국내 농업용수 현황을 비교해 활용 방안을 제시하고 자 한다.

OECD(2015)에서 제시한 용수 배분 건전성에서 한국 농업용수는 다양한 부분에서 건전성이 떨어진다고 볼 수 있으며, 향후 시장 기제를 활용한 농업용수 재배분 및 이용에 있어서는 여기서 낮다고 평가된 건전성 항목을 높이도록 노력해야 할 것이다. 농업용수 재배분 및 이용에 있어서 낮다고 평가된 항목은 다음과 같으며 활용방안을 제시하면 다음과 같다.

(가) 용수 이용료 부과

앞서 강조하였듯이, 국내 농업인의 용수 이용료에 대한 부담은 거의 존재하지 않는다. 공사 관리구역인 경우에는 용수 이용료 및 관리비용이 면제되고 있으며, 지자체에서도 정부 자체 예산으로 관리를 하기 때문에 비용 부담은 거의 없다. 수리계를 통한 비용 부담도 2015년 기준 10a당 최저 0원에서 최고 1만 1,990원, 평균 13원이 부과되고 있어 실질적인 부담이 없다고 볼 수 있다(2016, 농림축산식품부·한국농어촌공사). 개인 관정의 경우에는 지하수 이용에 대한 개인 비용이 발생하기는 하지만, 농업용 관정은 지하수이용부담금이 면제되고, 일부 지자체에서는 농업용 관정 사용에 필요한 전기세를 지원하고 있어서 농업인은 실제 사용량에서 발생하는 사회적 비용보다 적은 비용을 부담하고 있다.

이러한 이유로, 용수 이용료 부과는 농업용수 관리 측면에서 계속 논의되어 오는 주제이지만 농업인의 거부감이 심각한 분야이기도 하다. 허가수리권체제 전환 논의와 맞물려서 취수부담금 부과에 관한 논의도 제기되고 있지만 실질적인 이용료가 없는 상황에서 높은 정책적 저항이 예상되며, 이에 따라 실질적인 취수부담금은 면제하되, 수리권 허가 및 등록을 실시하자는 절충안이 제시되기도 하였다.

용수절감 영농법 도입이나 물절감 수리시설 설치 등의 방안이 직접적으로 농업용수 이용량에 영향을 미치는 방안이라면, 용수 이용료 부과는 가격 기제를 통하여서 농업용수 이용량에 직접적인 영향을 미치는 방안이다. 이용료가 실질적인 용수시장의 잠재가격을 반영하려면 용수의 공급과 수요에서 발생하는 한계비용과 한계편익에 대한 정확한 계측이 필요하지만, 국내에서는 용수이용량조차 계측이 되지 않아 장기적인 관점에서 풀어나가야 하는 주제이기도 하다.

관리주체에서 발생하는 유지·관리비용만이라도 이용료도 징수하자는 의견도 존재하며, 이 경우에는 관리비용에 대한 정확한 자료가 있으므로 이용료 설정이 비교적 수월할 수 있다.

용수 이용료 부과에 대한 필요성은 현장 관리주체와 전문가가 인정하지만 객관적인 자료의 부족과 농업인의 저항을 고려할 때에 단기적으로는 실현가능성이 낮은 정책 수단이다. 장기적인 관점에서 다양한 자료 구축과 논의를 거쳐서 제도의 정착을 도울 필요가 있으며, 이용료 부과 시스템 구축은 정부 측면에서 비용 투자가 필요할 것이다.

(나) 용수 이전과 절감 보상금 지급

사회적으로 효율적인 용수 배분이라는 측면에서는 농업인의 농업용수절감에 대한 인센티브 제공도 정책 목표를 달성할 수 있는 수단이며, 이 경우에는 농업인이 긍정적으로 반응하고 있어 실현가능성은 더 높을 수 있다. 게다가 앞서 언급한 이용료 부과에 대한 높은 저항을 생각한다면, 농업용수 이전 여부를 떠난 절감량 보상금 지급은 농업인에게 물값을 인식시킬 수 있는 방안이 될 수 있다. 편익을 고려하지 않은 비용부담 측면에서 본다면 이용료 부과는 농업인에게 비용을 일부분이나 모든 부분 부과하는 형태이나, 보상금 지급은 정부 부담을 증가시키는 방안이다.

이용료 부과는 농업인의 수용성은 낮지만, 관리주체와 전문가가 그 필요성을 크게 공감하고 있어서 장기적으로는 이용료 부과에 대한 논의는 피할 수 없을 것으로 보인다. 현재로서 현실적인 방안은 교육 기제 활용 방안을 통하여서 농업인 참여형 용수 관리의 필요성을 제고하고 자발적으로 절감 영농법에 참여하도록 하고, 이에 대한 보상금을 지급함으로써 '물값'과 물의 가치에 대하여서 농업인이 인식하도록 하는 것이다. 이와 더불어서 농업인에게 물관리 일원화, 허가수리권체제 전환, '물관리기본법' 제정 등, 농업용수를 둘러싼 대외적 여건 변화에 대한 농업인 이해 제고를 위한 홍보 및 교육이 이루어진 이후에야, 이용료 부담에 대한 논의를 시작할 수 있을 것이다.

(다) 수리권 거래제도 활용

농업용수에 대한 대내외적 수요가 증가하면서 물이용에 대한 경합이 심화되고 있으며 이것은 사회적으로 비효율적인 용수 분배 측면에서의 물부족을 발생시킬 가능성이 크다. 이런 점에서 수리권 거래제도의 활용은 용수 활용에 대한 한계편익이 낮은 곳에서 높은 곳으로 자원의 이동을 도와 사회적 균형을 달성하도록 하는 기제가 될 수 있다.

김종원 외(2000)는 수리권 거래 조건으로, (1) 용수사용별 가치 차이 존재, (2) 법, 정부·하부구조, 행정체계 등의 적절한 구성과 제삼자 영향이나 환경·생태계 영향의 포함 범위의 명확화를 통한 예측 가능성 확보, (3) 물의 공유자원적 성격을 고려한 형평성 확보를 제시하였다.

향후 한국에서 적용이 상대적으로 수월한 수리권 거래제도는 일시적 거래제도이다. 일시적 거래제도는 가뭄과 같은 극한상황에서 활용이 가능하며, 특히 농업인의 위험 회피적 성향을 고려한다면, 농업인 간 옵션계약이 가능할 것으로 기대할 수 있다.

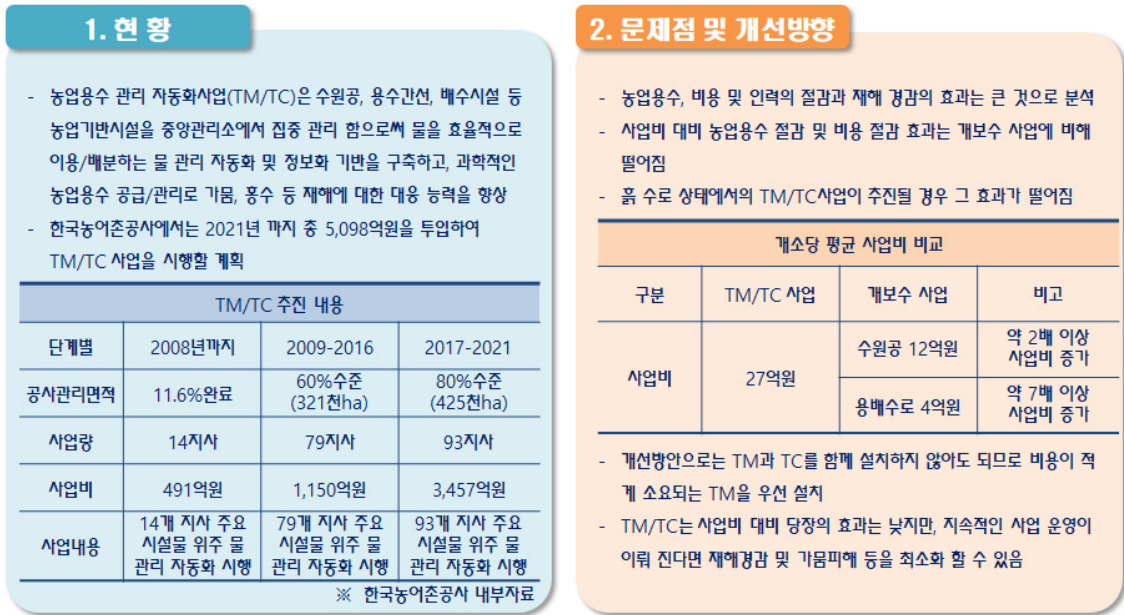
(4) 농업용수 이용 효율성 증대를 위한 제언

기후변화에 따른 농업용수 이용 효율성 증대 방안을 도출하기 위하여 기존 문헌 사례 분석을 통하여 이수 대책을 도출하였다. 농업용수에 대한 물절약 및 가뭄극복과 같은 이수 대책은 기상학적인 물부족 현상이 발생하더라도 농업용수 측면에서의 피해는 발생하지 않도록 하기 위해 수립하고 있다 (이용직, 2001). 즉, 기상 상황과 관계없이 농업용 저수지의 저수량 및 수혜구역에 충분한 물이 공급될 수 있는 대책을 의미하며, 일반적으로 장기적인 대책과 단기적인 대책으로 구분할 수 있다. 장기적인 대책은 미래에 발생할 수 있는 피해 즉, 기후변화에 따른 이수 대책으로서 물부족 현상에 대비하여 미리 대책을 수립하는 것을 말하여, 단기적인 대책은 현재 발생하고 있거나 가까운 시일에 발생할 것을 예측하여 수립하는 대책을 의미한다.

장기적인 대책으로는 농업용 수자원의 추가확보, 수로시설의 정비, 경지의 정비, 물관리자동화시스템 구축 등의 하드웨어적인 대책으로 나눌 수 있는데, 농업용 수자원의 추가확보를 위해서는 농업용 저수지 등의 수리시설물의 신규개발이나 저수지 증고와 같은 확장 등에 의한 수자원의 확보가 시행되어야 한다 (이용직, 2011). 수로시설의 정비 측면에서는, 수로 시설의 낙후로 인하여 수원공에서 확보되어 있는 물을 수혜구역으로 보내기 위해 수로를 통해 운반되는 과정에서 상당량의 물이 손실되고 있는 실정이며, 수로시설의 정비를 통하여 일반적으로 인식되고 있는 약 20 ~ 40%의 손실량을 저감시켜 새로운 수원공의 확보 못지 않게 수로의 정비가 중요한 것으로 제시되고 있다.

경지의 정비 측면에서는, 논 작물에 비해서 상대적으로 물 수요량이 감소되는 밭작물로의 변환을 통하여 이수적인 대책을 수립할 수 있는데, 고소득/고품질 밭작물

생산을 위한 받기반 정비 사업의 확대가 필요한 것으로 제시되고 있다. 하드웨어적인 대책으로 대표적인 것이 물관리자동화시스템의 구축으로서, 원격제어 및 계측기술을 이용하여 수혜구역에 산재되어 있는 수로의 수위를 파악하면서 필요한 수량 만큼 공급하여 용수를 보다 절약할 수 있는 대책으로 인식되고 있다.

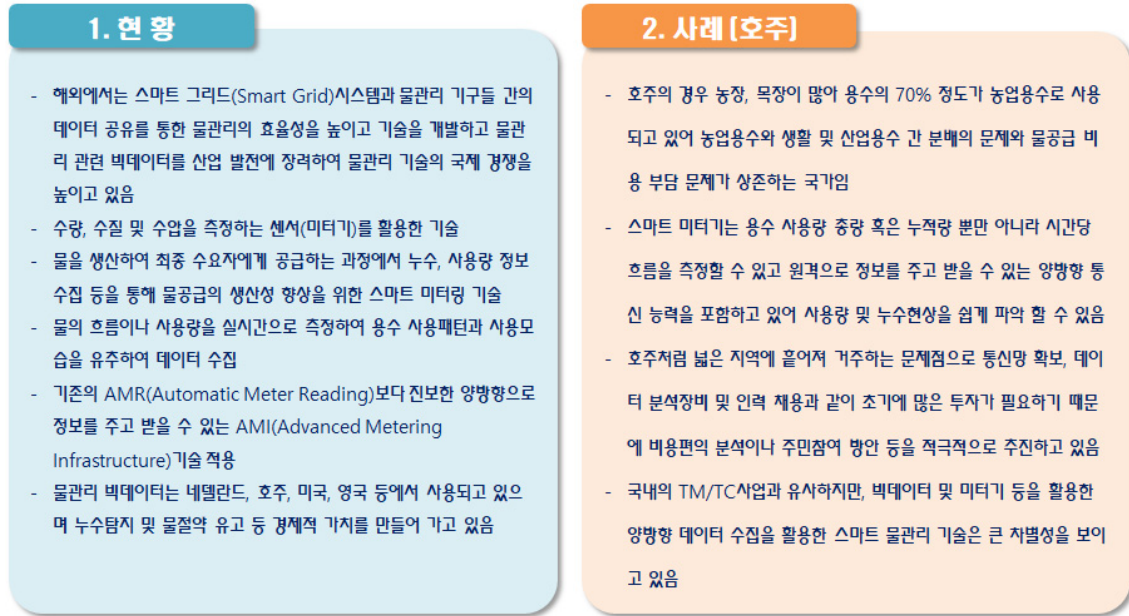


(그림 2-48) 기존 물관리자동화시스템의 현황 및 개선점

한오현 (2016)은 가뭄극복을 위한 물이용 효율화 및 시설개선 방안에 대하여 제안하였는데, 물이용 효율을 제고하기 위해서는 용수로의 구조물화, 물관리자동화시스템 구축의 확대, 개보수사업의 체계적인 관리를 제시하였다. 물이용 효율 증대를 위한 하드웨어적인 방법으로서 저수지 준설이나 저수지 증고 등을 통한 용수확보가 필요하며, 대체 수자원 개발을 위해서는 해수담수화, 빗물관리, 용수재이용, 지하댐, 인공강우 등의 방안을 제시하고 있다.

최진용 등 (2015)은 기후변화 대응을 위한 농업가뭄 대책을 제시하였는데, 구조적인 가뭄 대책으로 용수공급능력을 향상시키는 방안으로서, 지속적인 준설, 저수지 증고를 통한 유효저수량 증대, 지표수 및 지하수를 활용한 보조수원공 개발, 받기반정비 사업의 확대 등으로 제시하고 있다. 이러한 구조적인 방안을 추진하기 위해서는 기후변화를 고려한 농업가뭄의 재평가, 저수지 및 양수장의 내한능력 재평가, 수리시설 보수 및 보강을 위한 계획 수립 등의 과제가 선행되어야 할 것이다.

선진국의 경우에는 물절약을 통한 이수 대책으로서 스마트 그리드를 적용한 물관리 시스템을 구축하여 빅데이터를 기반으로 효율적인 물관리 및 스마트 미터링 기술을 적용하고 있다.



(그림 2-49) 구조적 대책 관련 해외 사례

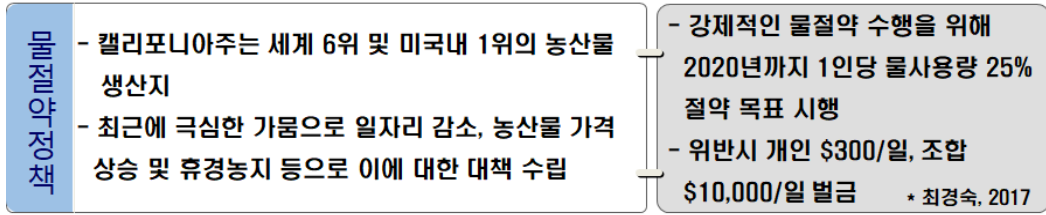
이상과 같이 이수 대책을 위한 구조적인 방안에 대하여 국·내외 사례를 조사한 결과, 대부분 농업용수의 추가적인 확보 및 대체수원공 개발과 같은 구조적인 방안을 제시하고 있다.

기후변화에 따른 농업용수 이용 효율성 증대 방안 도출을 위한 비구조적인 대책은 크게 용수의 다목적 이용, 법정계획의 개편, 기후변화 평가, 농업용수 관리, 인식변화의 필요, 가뭄대책, 물절약 정책 등으로 나누어지며, 아래와 같은 대책들이 제시되고 있다.

법정계획개편의 경우에는 농어촌정비법 제15조의 용수이용 합리화계획에 수요량 예측이 명시되어 있으나, 최근 개정이 이루어지지 않고 있으며 기후변화가 고려되지 못한 문제가 있어 기후변화 및 취약성 예측이 포함된 합리화 계획의 조속한 수립이 필요한 것으로 제시되었다. 한국거버넌스학회 (2012)에서는 기후변화 현상이 발생하더라도 지역, 지형, 인구 등에 따라 그 영향이 다르게 나타나므로 기후변화 취약성 평가 지표 개발을 통하여 적절한 대응 정책이 필요함을 제시하였다. 농업용수관리

측면에서는 현재 가용 용수량의 부족보다는 비효율적인 배분 문제가 더 크며, 농업 용수의 무분별한 이용으로 인하여 지하수가 고갈되는 등의 문제를 제기하여, 물이용 효율성 제고를 고려한 수요 관리가 필요함을 제시하였다 (한국농촌경제연구원, 2017). 농업인이 인식변화 측면에서는 용수 절약 및 관리에 대한 농업인의 인지도가 낮으며 거부감을 나타내고 있어 현장에서 농업인이 수행 가능한 용수절감 영농법을 개발하고 자율적 수행 및 인지도가 높은 정책 도입이 필요함을 제시하였다.

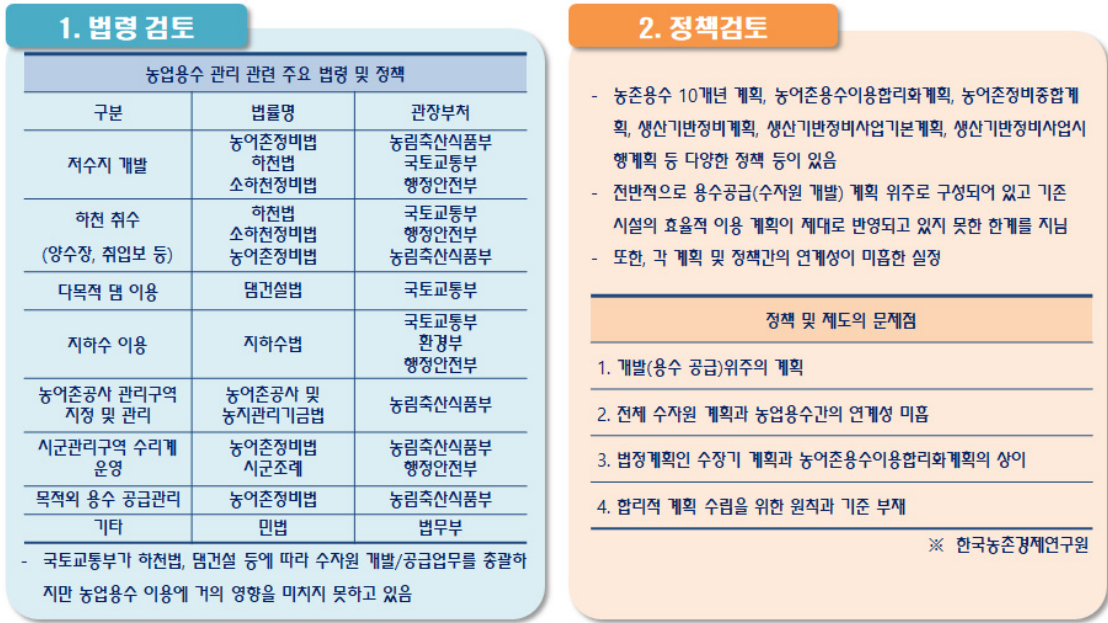
다목적이용 <ul style="list-style-type: none"> - 논면적 감소로 인한 여분의 농업용수 발생 - 발관개, 원예 및 환경관련 용수의 수요 증가 - 기존의 농업용수를 다목적으로 사용함으로써 신규 개발비를 절약하는 방법 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 1992년부터 지속적인 농업용수 재편대책사업 실시 - 수익면적 3,000ha이상 등의 채택 기준을 선정하여 효율성 제고 <p>* 일본사례, 1992</p>
법정계획개편 <ul style="list-style-type: none"> - 농어촌정비법 제15조(농어촌용수 이용 합리화계획)에 범위설정 및 구체적 지침은 규정되어 있음 - 하지만, 제대로 수립된 적이 없으며 2002년 이후 개정 및 재수립 추진중 - 기후변화를 고려한 계획 개선 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 독농이기사업, 기후변화, 재해 취약성 등이 포함된 농어촌용수 이용 합리화 계획의 조속한 수립 필요 <p>* 수자원학회, 2012</p>
수요관리 <ul style="list-style-type: none"> - 현재의 농업용수 공급/관리 문제점은 가용용수량의 부족 보다 비효율적 배분이 밀접한 연관이 있음 - 특히, 농업용수의 무분별한 이용은 지하수 사용으로 연결되어 공공재의 비극을 일으키고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 용수 효율성 제고를 위해 농업용수 이용 및 관리를 소득 안정 차원이 아닌 물이용 효율성 제고로 시점을 전환하고 수요관리 필요 <p>* 한국농촌경제연구원, 2017</p>
인식변화필요 <ul style="list-style-type: none"> - 가뭄시 농업인의 용수절약 노력이 없다는 응답이 28%, 평상시 노력을 하지 않는다는 응답이 91% - 농업용수 관리참여에 농업인은 인지도가 낮으며, 거부감을 보이고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 농업인이 수행 가능한 용수절감 영농법 도입과 공동체 내 용배수 시기 자율적 조정 등 수행 및 인지도가 높은 정책 도입 필요 <p>* 한국농촌경제연구원, 2017</p>
가뭄대책추진 <ul style="list-style-type: none"> - 정부는 2017년 가뭄대비를 위해 2016년부터 관정 739공, 양수장 106개소 등 용수원 개발 - 저수율이 낮은 저수지 58개소에 약 1,148만톤의 물을 채워넣는 가뭄대책추진(약 369억원) 	<ul style="list-style-type: none"> - 향수 가뭄이 심화될 경우 가뭄대책비(93억원)를 추가지원 - 통합물관리 상황반과 농업가뭄대책 상황실로 가뭄해소 대응 <p>* 정부보도자료, 2017</p>



(그림 2-50) 비구조적 대책 관련 국내·외 사례

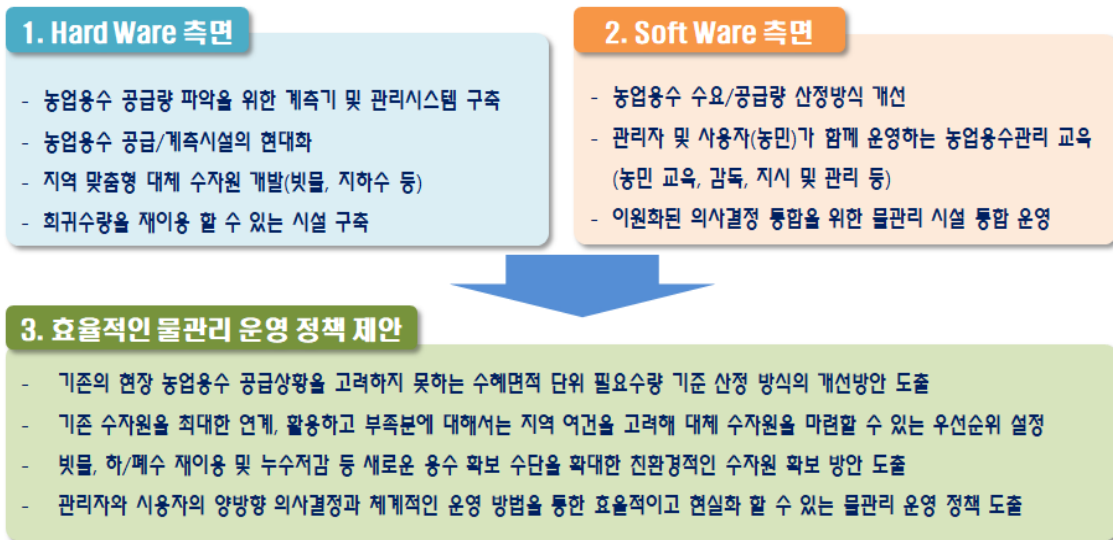
그 밖의 비구조적인 대책으로서, 가뭄예측 및 인지 능력의 향상 기술 개발과 가뭄 장기예측능력 향상을 통한 물관리 요소 기술 및 관개기 개서 전 저수율 예측 기술 개발, 기후변화를 고려한 극한 가뭄 발생 평가와 농업용수 수급계획의 수립 등이 있다 (최진용 등, 2015). 농업부분의 가뭄 대응을 위한 정부 정책으로는 계획적이고 다각적인 농업용수 확충, 물 복지 소외지역에 대한 지속적인 용수 개발, 물이용 효율화 및 기존 수리시설 기능 개선, 상시적인 가뭄대응 체계로의 전환 등을 제시하고 있다.

물 이용 효율성 증대를 위한 법령을 검토한 결과, 농어촌정비법, 하천법, 지하수법, 농어촌공사 및 농지관리기금법 등이 있으며, 관장 부처로는 농림축산식품부, 국토교통부, 행정안전부 등에서 시행하고 있다. 관련 정책을 검토한 결과, 농촌용수 10개년 계획, 농어촌용수이용합리화계획, 농어촌정비종합계획, 생산기반정비계획, 생산기반정비사업기본계획, 생산기반정비사업시행계획 등 다양한 정책 등이 있다. 전반적으로 용수공급(수자원 개발) 계획 위주로 구성되어 있고 기존 시설의 효율적 이용 계획이 제대로 반영되고 있지 못한 한계를 지니고 있으며 또한, 각 계획 및 정책간의 연계성이 미흡한 실정이다.



(그림 2-51) 비구조적 대책 관련 법령 및 정책

이상의 구조적/비구조적 대책을 종합하여 다음과 같이 하드웨어 및 소프트웨어 측면에서의 대책을 제시하고자 하며, 다음과 같이 효율적인 물관리를 위한 운영 정책을 제언하고자 한다.



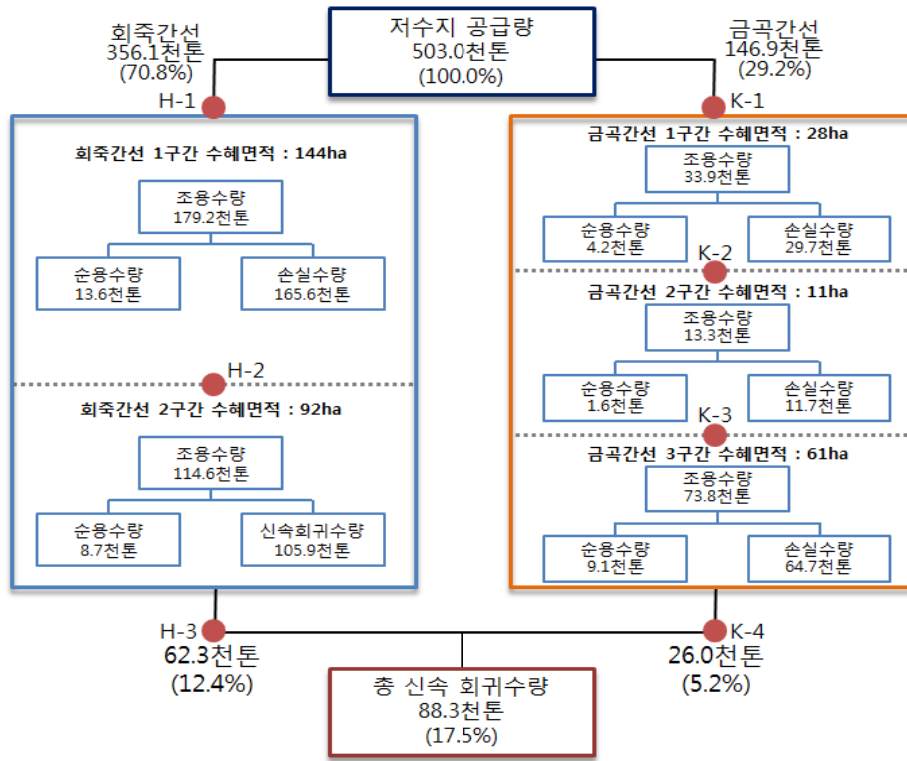
(그림 2-52) 농업용수 이용 효율성 증대를 위한 제언

나. 농업용수 절감을 통한 이용 효율성 증대 기술 개발

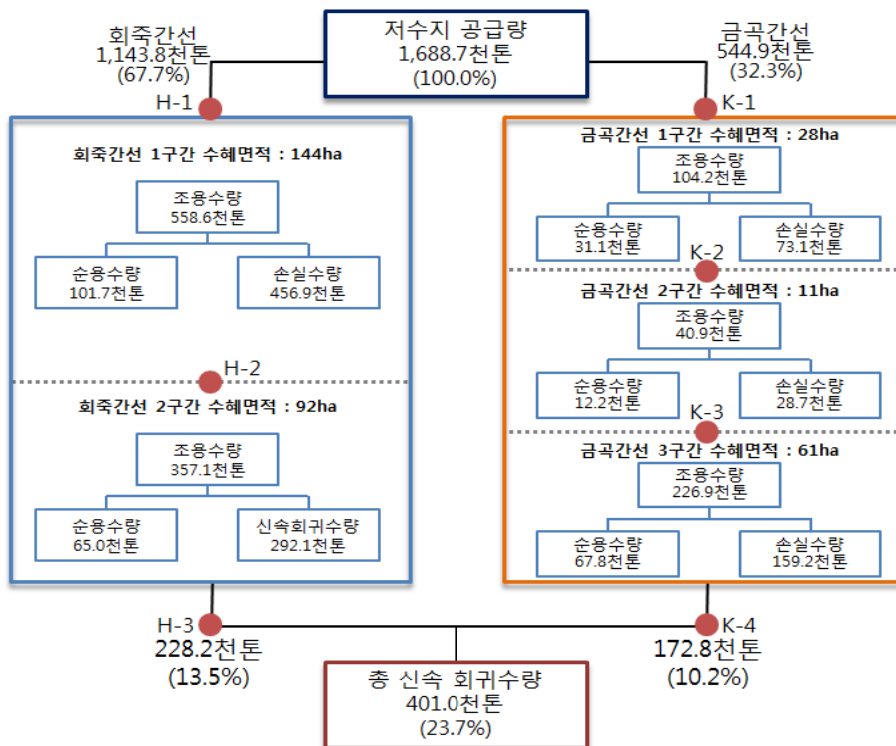
앞서 농업용수량 정량화를 위한 수위계측 지점의 구축·운영을 통하여 대상지구의 농업용수량을 산정하였고, 산정된 농업용수량을 이용하여 용수절감효과를 분석하고자 한다. 다음 표는 대상지구의 월별 농업용수량을 산정한 결과이며, 월별 농업용수량을 대상지구 구간별 도식적으로 표현하였다.

<표 2-45> 수위계측 지점 운영을 통한 농업용수 산정

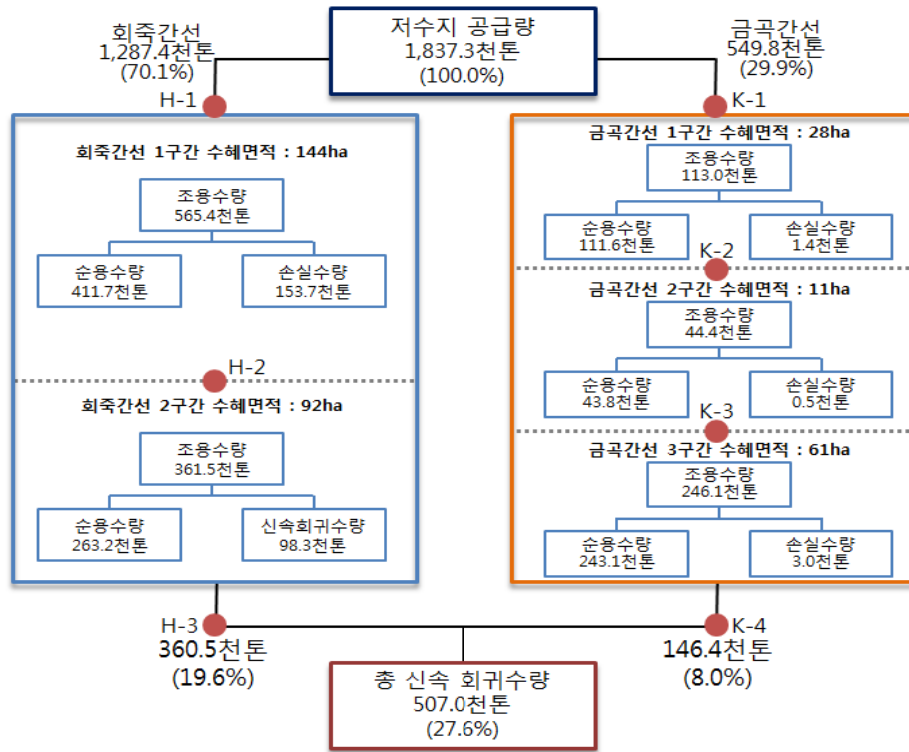
항 목	연평균 농업용수량 (천톤)					
	4월	5월	6월	7월	8월	9월
유입량	252.3	319.5	460.3	2,020.8	1,137.7	813.0
저수량	1,337.0	1,279.1	635.3	1,071.0	1,213.7	1,241.1
무효방류량	215.2	197.4	10.7	1,081.7	450.7	343.0
공급량	487.3	1,630.4	1,778.4	1,499.9	1,528.7	513.9
조용수량	414.8	1,287.7	1,330.3	976.6	1,123.0	378.7
순용수량	37.2	277.7	1,073.4	580.0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



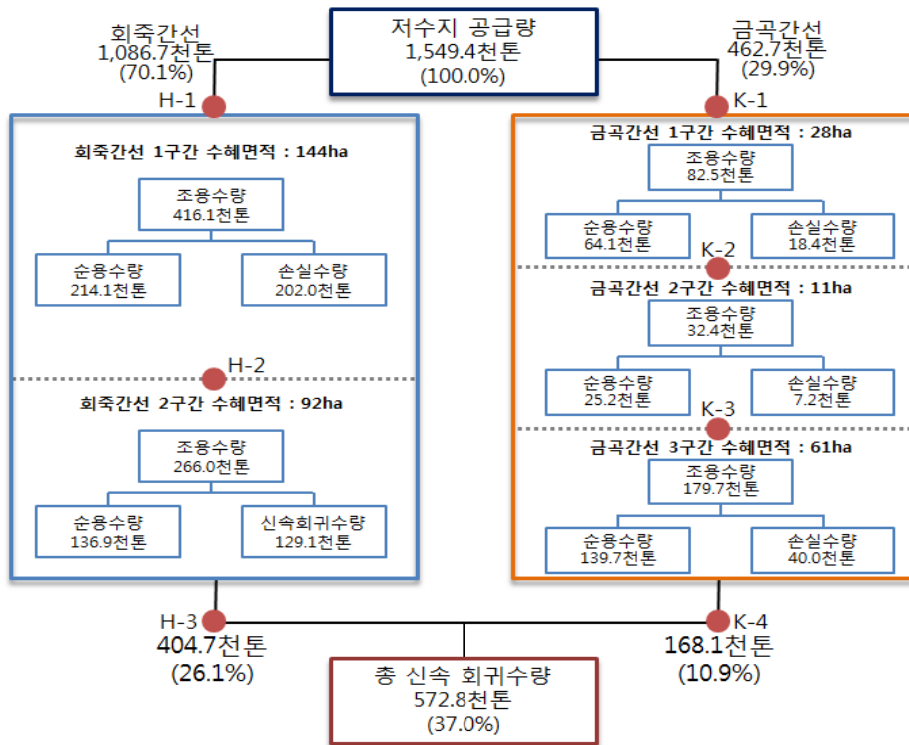
(a) 4월



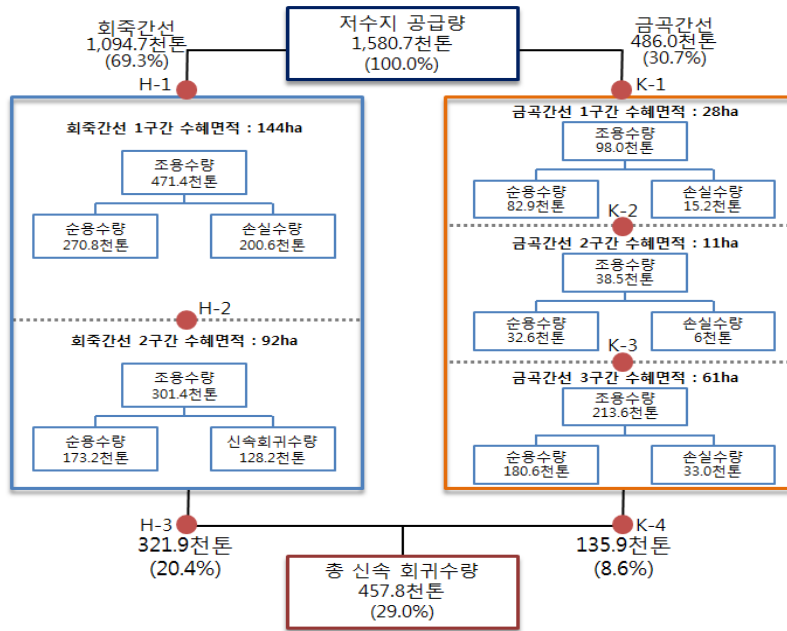
(b) 5월



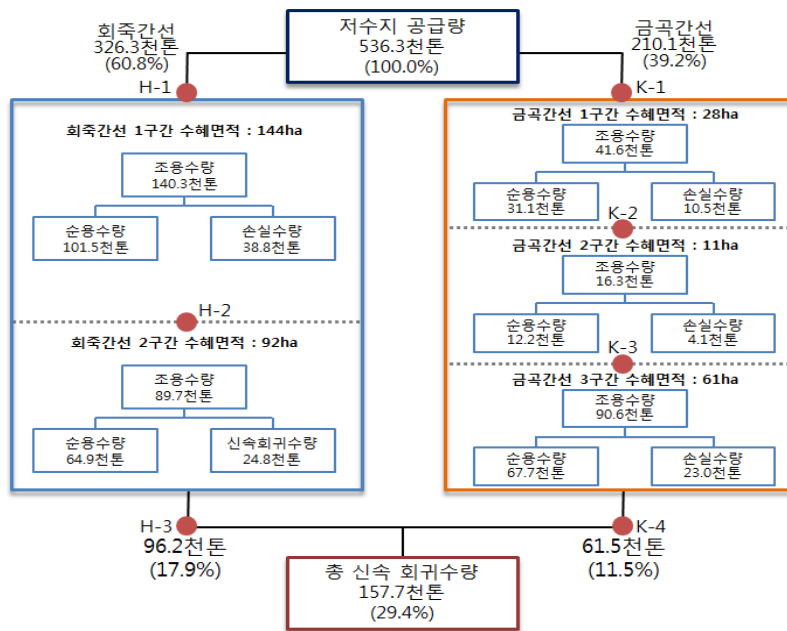
(c) 6월



(d) 7월



(e) 8월



(f) 9월

(그림 2-53) 월별 농업용수량 산정 결과

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

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

$$SW_y = \sum SW_m \quad RR_m > 10\%$$

$$SW_m = (LW_m \times 0.5) + (RW_m \times (RR_m - 10\%))$$

$$RR_m < 10\%$$

$$SW_m = LW_m \times 0.5$$

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

손실수량과 회귀수량의 용수절감효과를 통하여 용수절감량을 분석한 결과, 2015년도에는 23.4%, 2016년도에는 21.5%, 2017년도에는 23.3%의 용수절감율이 산정되었는데, 평균 공급량 7백 44만톤 중 약 23%인 1백69만톤의 용수절감효과를 나타내고 있다. 용수절감율은 4월에 약 40%로서 가장 큰 절감율이 산정되었고 9월에 약 10% 정도로 가장 작은 절감율이 산정되었다. 용수절감량은 공급량이 상대적으로 많은 5월부터 8월까지 약 1백50만톤 내외로 증가하고 있으며 4월 및 9월에는 약 50만톤 내외의 절감량을 나타내고 있다.

<표 2-46> 연도별 용수절감량 (천톤)

년 도	공급량	용수절감량	용수절감율 (%)
2015년도	7,288.7	1,704.5	23.4
2016년도	7,560.3	1,626.4	21.5
2017년도	7,466.9	1,741.5	23.3
평 균	7,438.7	1,690.8	22.7

<표 2-47> 월별 용수절감효과 (천톤)

월	공급량	용수절감량	용수절감율 (%)
2015년 01월	0.0	0.0	-
2015년 02월	0.0	0.0	-
2015년 03월	0.0	0.0	-
2015년 04월	467.8	186.6	39.9
2015년 05월	1,658.0	559.7	33.8
2015년 06월	1,674.0	226.3	13.5
2015년 07월	1,434.4	384.4	26.8
2015년 08월	1,516.7	297.1	19.6
2015년 09월	537.9	50.3	9.4
2015년 10월	0.0	0.0	-
2015년 11월	0.0	0.0	-
2015년 12월	0.0	0.0	-
2016년 01월	0.0	0.0	-
2016년 02월	0.0	0.0	-
2016년 03월	0.0	0.0	-
2016년 04월	486.7	195.5	40.2
2016년 05월	1,567.9	540.1	34.4
2016년 06월	1,898.3	218.1	11.5
2016년 07월	1,552.9	283.0	18.2
2016년 08월	1,522.6	239.1	15.7
2016년 09월	531.8	150.6	28.3
2016년 10월	0.0	0.0	-
2016년 11월	0.0	0.0	-
2016년 12월	0.0	0.0	-
2017년 01월	0.0	0.0	-
2017년 02월	0.0	0.0	-
2017년 03월	0.0	0.0	-
2017년 04월	507.5	204.3	40.3
2017년 05월	1,665.3	596.0	35.8
2017년 06월	1,763.0	208.7	11.8
2017년 07월	1,512.4	391.1	25.9
2017년 08월	1,546.8	298.8	19.3
2017년 09월	471.9	42.7	9.0
2017년 10월	0.0	0.0	-
2017년 11월	0.0	0.0	-
2017년 12월	0.0	0.0	-

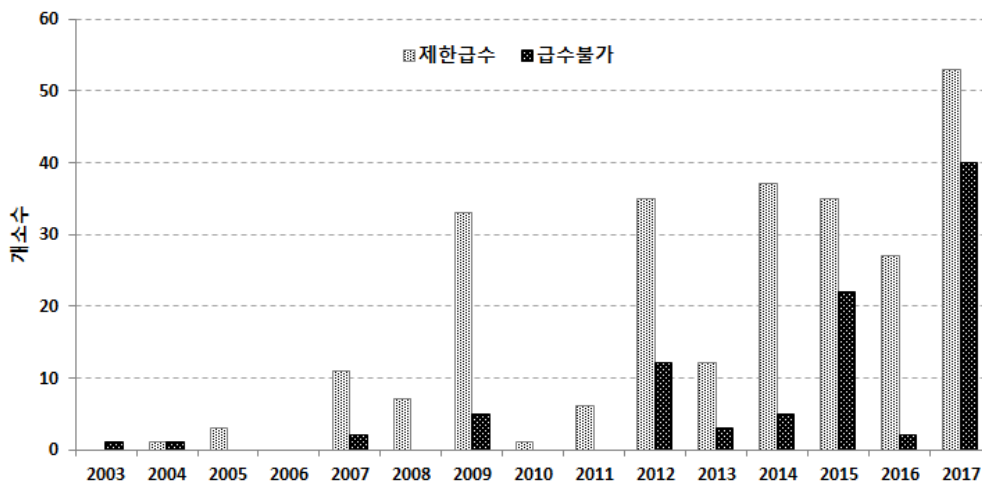
4. 기후변화 시나리오에 따른 농업용수 취약성 평가 기법 개발

가. 분석 대상지구 선정 및 현황 조사

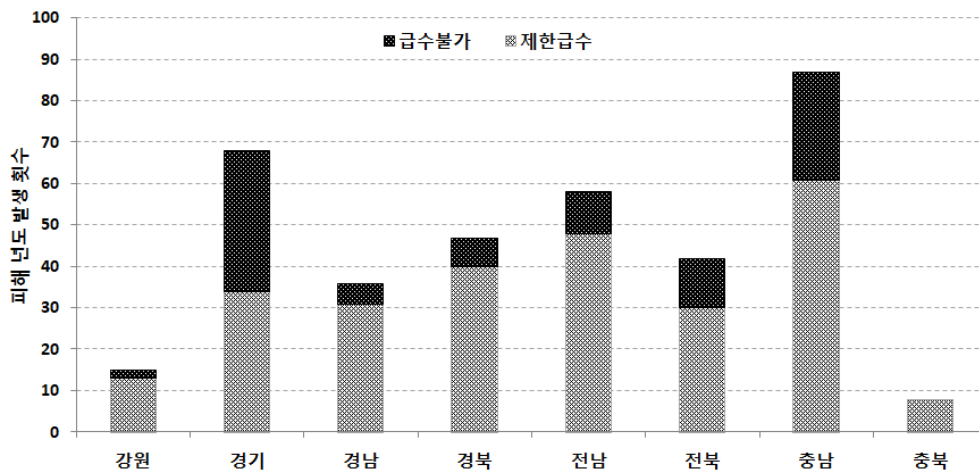
(1) 분석 대상지구 선정

농업용수 취약성 평가를 위한 대상지구는 취약성 평가에 사용되는 인자의 범용적인 적용이 가능하도록 도별로 분포하여 선정하였으며, 최근 15년 동안 제한급수 및 급수불가 피해가 발생된 지구로 선정하였다. 한국농어촌공사에서 관리하는 농업용 저수지 중 도별로 제한급수 및 급수불가 피해가 발생된 사례를 조사한 결과, 강원도 지역에서는 송강저수지 외 11개소 저수지에서 피해가 발생되었고, 경기도 지역에서는 고구저수지 외 32개소, 경남지역에서는 가북저수지 외 18개소, 경북지역에서는 대비저수지 외 24개소, 전남지역에서는 서산저수지 외 35개소, 전북지역에서는 고수저수지 외 24개소, 충남지역에서는 경천저수지 외 40개소, 충북지역에서는 삼기저수지 외 5개소 저수지에서 제한급수 및 급수불가 피해가 발생되었다.

최근 15년 동안 피해사례를 년도별로 살펴보면 2003년도에는 경북지역의 안심저수지에서 급수불가 피해가 발생되었고, 2004년도에는 경기지역의 원당저수지에서 급수불가, 전북지역의 화정저수지에서 제한급수 피해가 발생되었고, 2005년도에는 경기지역의 효촌저수지 외 2개소, 2006년도에는 피해가 발생한 사례가 없으며, 2007년도에는 경기, 경남, 전남, 충남지역에서 13개소, 2008년도에는 경남, 전남, 전북, 충북지역에서 7개소, 2009년도에는 강원지역을 제외한 전국에서 38개소, 2010년도에는 경북지역의 조성저수지 1개소, 2011년도에는 6개소, 2012년도에는 전국에 걸쳐 47개소, 2013년도에는 경상도와 전라도 지역을 중심으로 15개소, 2014년도에는 전국적으로 42개소, 2015년도에는 57개소, 2016년도에는 29개소, 2017년도에는 전국적인 가뭄으로 인하여 93개소에 제한급수 및 급수불가 피해가 발생하여 가장 많은 저수지에서 피해가 발생하였다.



(그림 2-54) 연도별 제한급수 및 급수불가 피해 현황



(그림 2-55) 도별 제한급수 및 급수불가 피해 현황 (최근 15년)

이와 같이 피해 상황을 조사한 결과를 바탕으로 농업용수 취약성 평가 및 인자 결정을 위한 대상지구로서 제한급수 및 급수불가 피해 저수지 중 낮은 저수율을 기록한 저수지를 중심으로, 다양한 유역배출 및 단위저수량 조건이 포함될 수 있도록 도별로 5개소 저수지 유역을 대상 지구로 선정하였다.

선정된 대상 지구는 도별로 5개소로서 총 30개의 저수지 유역을 대상 지구를 선정하였으며, 모두 제한급수 및 급수불가 피해가 발생했던 지구로 선정되었다. 경기지역 대상 지구의 유역 면적은 약 270ha부터 약 4,800ha까지 분포하고 있으며, 수혜면적은 180ha부터 약 1,900ha까지 분포하고 있고, 유효저수량은 약 1.4백만톤부터 12백만톤까지 분포하고 있다. 강원지역 대상 지구의 유역면적은 1,500ha부터 약 2,100ha까지 분포하고 있으며, 수혜면적은 약 120ha부터 약 800ha까지 분포하고 있고, 유효저수량은 약 1.2백만톤부터 3.7백만톤까지 분포하고 있다.

경남지역 대상 지구의 유역면적은 약 240ha - 1,400ha, 수혜면적은 150ha - 670ha, 유효저수량은 약 1.1백만톤 - 2.6백만톤까지 분포하고 있다. 경북지역 대상 지구의 유역면적은 약 840ha - 2,700ha, 수혜면적은 180ha - 660ha, 유효저수량은 약 1.6백만톤 - 3.6백만톤까지 분포하고 있다. 전남지역 대상 지구의 유역면적은 약 530ha - 1,000ha, 수혜면적은 150ha - 340ha, 유효저수량은 약 1.3백만톤 - 3.5백만톤까지 분포하고 있다. 전북지역 대상 지구의 유역면적은 약 400ha - 10,800ha, 수혜면적은 190ha - 8,400ha, 유효저수량은 약 1.1백만톤 - 57.7백만톤까지 분포하고 있다. 충남지역 대상 지구의 유역면적은 약 680ha - 1,600ha, 수혜면적은 230ha - 660ha, 유효저수량은 약 1.2백만톤 - 3.3백만톤까지 분포하고 있다. 충북지역 대상 지구의 유역면적은 약 1,000ha - 3,700ha, 수혜면적은 160ha - 930ha, 유효저수량은 약 1.8백만톤 - 8.7백만톤까지 분포하고 있다.

도별로 선정된 40개소의 대상 지구 중 도별 3개소씩 24개소는 잠재 인자를 이용하여 취약성

지표를 산정하고 인자의 민감도 분석을 통한 대표 인자를 결정하기 위하여 사용되며, 도별로 2개소씩 16개소는 대표 인자의 신뢰성 검증을 위하여 사용하였다.

<표 2-48> 대상지구 선정 현황

도 별	저수지명	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)	유효저수량 (천톤)
경남	하이	740	167	2,594
	덕암	470	150	1,130
	향양	450	150	1,177
	감동	1,400	327	1,214
	산남	243	671	1,341
경북	만운	2,311	416	3,594
	창평	1,850	187	2,733
	임고	2,684	206	3,180
	조성	1,855	663	3,296
	안심	839	180	1,577
전남	도갑	774	146	1,429
	울치	1,006	281	3,551
	둔전	711	228	1,316
	봉암	528	291	1,769
	해원	901	342	1,621
전북	고수	1,600	399	3,341
	구림	1,154	238	1,127
	광곡	392	185	1,339
	경천	6,840	7,738	25,346
	대아	10,757	8,382	57,688
충남	수룡	708	269	1,285
	풍전	1,110	655	2,621
	신송	680	269	1,285
	산수	1,617	639	3,316
	봉림	745	230	2,217
충북	삼기	1,050	410	2,812
	원남	3,655	852	8,690
	용곡	1,246	157	1,814
	추평	1,610	488	4,555
	용당	2,873	927	6,831

(2) 대상지구 취약성 현황 분석

한국농어촌공사(2012)에서 발간한 가뭄백서에 의하면 저수율 50% 미만 및 단위저수량 200mm 이하일 때 가뭄이 발생한 것으로 판단하고 관개용수 확보 및 급수 대책을 마련하며, 저수율 20% 미만일 때 제한급수를 시작하고, 저수율 10% 미만일 때 급수불가 피해가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 본 연구의 대상지구는 모두 제한급수 및 급수불가 피해가 발생된 지역으로 선정되었으며, 2012년부터 2017년도까지 저수율 분석을 통하여 취약성 현황을 분석하였다.

<표 2-49> 경남지역 대상지구의 연도별 최저 저수율 현황

연도	대상지구 (저수지 명)				
	하이	덕암	항양	감동	산남
2017	6.7	46.2	49.4	7.2	1.5
2016	26.3	45.5	60.3	42.2	15.6
2015	31.1	55.6	70.2	28.0	76.9
2014	21.8	62.8	51.6	19.1	65.2
2013	21.8	57.3	75.3	23.1	43.6
2012	42.0	37.1	58.3	24.4	37.5
2011	60.0	71.0	74.0	39.6	52.8
2010	60.0	68.5	65.0	36.3	55.5
2009	18.0	36.7	6.0	7.6	43.0
2008	18.0	59.0	18.0	32.4	44.1
2007	52.0	3.0	54.4	55.2	54.9
2006	60.0	70.8	72.0	64.4	60.0
2005	67.4	71.3	58.2	37.0	58.7
2004	62.2	75.6	52.0	50.7	61.2
2003	92.1	86.4	88.2	89.7	60.0
2002	54.0	37.4	66.2	34.0	55.0

경남지역 대상지구의 경우에는 2017년도에 하이, 감동, 산남저수지에서 모두 10% 이하의 저수율을 나타내어 급수불가 피해가 발생하였고, 2009년도에는 항양 및 감동 저수지에서 급수불가, 2007년도에는 덕암저수지에서 급수불가 피해가 발생하였다.

<표 2-50> 경북지역 대상지구의 연도별 최저 저수율 현황

연도	대상지구 (저수지 명)				
	만운	창평	임고	조성	안심
2017	40.7	73.3	40.4	0.0	16.8
2016	29.0	33.8	61.3	41.5	19.4
2015	18.2	17.7	49.8	24.2	46.4
2014	38.8	16.1	54.5	23.8	69.1
2013	72.1	58.1	5.6	3.9	48.1
2012	15.0	5.5	29.6	31.4	56.5
2011	3.5	39.6	58.1	52.9	72.8
2010	66.0	71.7	54.6	17.4	69.2
2009	62.0	76.9	36.8	18.1	16.3
2008	57.2	71.1	60.0	50.0	58.6
2007	62.9	54.0	60.0	31.6	59.6
2006	68.2	59.0	59.5	52.3	52.9
2005	71.0	77.6	70.0	38.0	61.0
2004	46.8	73.9	75.3	46.0	50.0
2003	84.4	85.8	87.0	73.0	4.0
2002	57.7	60.4	58.0	45.3	40.0

경북지역 대상지구의 경우에는 2017년 조성저수지에서 사수위 이하로 저수위가 저하되어 저수율이 0%를 기록하였고, 2013년도, 2012년도, 2003년도에는 저수율이 10% 이하로 저하되어 급수불가 피해가 발생되었고 또한, 2004년도부터 2008년도를 제외하고 대부분의 년도에서 저수율 20% 이하를 기록하여 제한급수 피해가 발생되었다.

<표 2-51> 전남지역 대상지구의 연도별 최저 저수율 현황

연도	대상지구 (저수지 명)				
	도갑	울치	둔전	봉암	해원
2017	6.2	19.4	0.0	24.4	6.4
2016	10.4	27.4	20.5	58.0	19.2
2015	16.5	43.5	14.7	55.6	37.3
2014	19.8	42.1	37.6	61.8	49.3
2013	20.4	54.2	26.9	39.2	35.9
2012	20.4	33.2	42.6	47.7	32.1
2011	19.3	40.0	51.6	24.5	50.4
2010	33.5	60.8	61.0	61.5	67.0
2009	12.9	40.5	51.4	47.0	52.5
2008	26.5	34.5	50.0	60.5	35.0
2007	50.0	70.0	48.0	50.0	50.5
2006	62.5	55.0	52.9	69.0	42.7
2005	55.0	65.0	52.1	64.2	51.0
2004	45.0	67.5	65.0	52.6	68.5
2003	50.0	70.0	86.5	72.0	86.5
2002	34.0	58.0	31.8	38.5	35.0

전남지역 대상지구의 경우에는 2002년부터 2008년을 제외하고 최근 년도에는 모두 20% 이하의 저수율을 기록하여 제한급수 피해가 발생하였고 특히, 2017년도 둔전저수지에서는 저수율 0%를 기록하여 급수불가 피해가 발생하였으며, 대부분의 저수지에서는 제한급수 피해가 발생하였다.

<표 2-52> 전북지역 대상지구의 연도별 최저 저수율 현황

연도	대상지구 (저수지 명)				
	고수	구림	광곡	경천	대아
2017	39.0	7.8	22.3	31.3	16.5
2016	28.5	40.8	43.7	25.2	29.2
2015	32.9	35.3	2.6	25.1	6.5
2014	12.1	28.4	23.4	32.0	16.7
2013	5.7	51.2	39.5	63.3	23.3
2012	22.5	21.7	38.3	27.4	15.3
2011	55.4	56.0	42.0	62.1	51.1
2010	55.3	60.1	58.9	65.9	40.8
2009	60.1	5.7	31.5	15.5	14.5
2008	46.8	53.0	60.2	39.7	41.9
2007	49.2	36.8	41.7	40.5	49.8
2006	51.4	25.2	45.0	40.7	46.8
2005	63.8	83.5	54.7	66.6	50.5
2004	52.6	65.7	59.9	58.7	52.0
2003	72.9	72.9	56.9	77.0	54.2
2002	44.0	66.3	47.0	6.9	13.3

전북지역 대상지구의 경우에는 2017년도 구림저수지에서 급수불가 피해가 발생하였고, 2015년도 광곡 및 대아저수지에서 급수불가 피해가 발생하였다. 또한, 2013년도, 2009년도, 2002년도에 고수, 구림, 경천저수지에서 각각 저수율이 10% 미만을 기록하여 급수불가 피해가 발생하였다.

<표 2-53> 충남지역 대상지구의 연도별 최저 저수율 현황

연도	대상지구 (저수지 명)				
	수룡	풍전	신송	산수	봉림
2017	0.3	2.3	2.1	0.5	2.8
2016	62.3	20.9	15.7	9.0	27.3
2015	45.5	24.9	24.8	15.8	19.0
2014	63.7	22.9	59.9	38.3	12.1
2013	73.4	44.9	74.0	58.6	40.8
2012	11.9	19.7	33.7	0.7	9.8
2011	58.6	48.1	61.6	47.1	42.3
2010	71.1	34.8	48.1	56.2	70.8
2009	52.8	29.0	47.3	39.8	18.7
2008	74.9	49.0	64.0	49.3	33.8
2007	68.9	25.4	43.0	10.7	20.8
2006	69.8	55.0	58.5	35.4	48.8
2005	54.3	51.8	64.6	49.2	50.3
2004	59.6	55.7	70.1	65.6	63.9
2003	69.5	60.3	75.0	65.0	79.4
2002	47.9	38.4	38.8	34.0	53.9

충남지역 대상지구의 경우에는 2017년도에는 모든 저수지에서 저수율 10% 미만을 나타내고 있어 급수불가 피해가 발생하였고, 2012년도 산수저수지에서는 저수율 0.7%를 기록하여 역시 급수불가 피해가 발생하였다. 2010년 이전에는 2007년도만 제외하고 모두 20% 이상의 저수율을 기록하여 제한급수 피해는 발생하지 않았으나 대부분의 저수지에서 50% 이하의 저수율을 나타내고 있다.

<표 2-54> 충북지역 대상지구의 연도별 최저 저수율 현황

연도	대상지구 (저수지 명)				
	삼기	원남	용곡	추평	용당
2017	17.6	24.2	43.8	39.4	30.4
2016	19.5	32.8	47.3	53.9	52.0
2015	24.8	18.5	38.1	46.9	38.4
2014	28.0	23.3	34.5	49.1	39.6
2013	48.5	50.9	71.0	76.1	53.3
2012	29.5	41.0	27.4	30.4	25.1
2011	53.6	66.2	51.1	17.0	43.0
2010	49.8	52.5	60.6	58.7	53.6
2009	30.9	31.5	41.2	40.0	49.6
2008	29.6	42.7	11.3	45.0	12.6
2007	57.0	57.0	57.1	44.6	70.6
2006	64.0	61.7	62.0	55.0	52.9
2005	40.3	51.8	66.5	55.6	46.6
2004	50.4	68.6	76.6	62.3	53.3
2003	65.8	63.5	71.7	54.2	60.2
2002	50.7	27.2	49.2	22.2	17.4

충북지역 대상지구의 경우에는 대부분의 타 지역에서 피해가 발생한 2017년도에 삼기저수지만 급수불가 피해가 발생하였으나, 모든 저수지에서 50% 이하의 저수율을 기록하였다. 충북지역의 경우에는 급수불가 피해는 발생하지 않았으며, 2011년도에 추평저수지, 2008년도에 용곡저수지, 2002년도에 용당저수지에서 제한급수 피해가 발생하였다.

나. 농업용수 취약성 분석 기법 개발

(1) 취약성 분석을 위한 사용 인자 선정

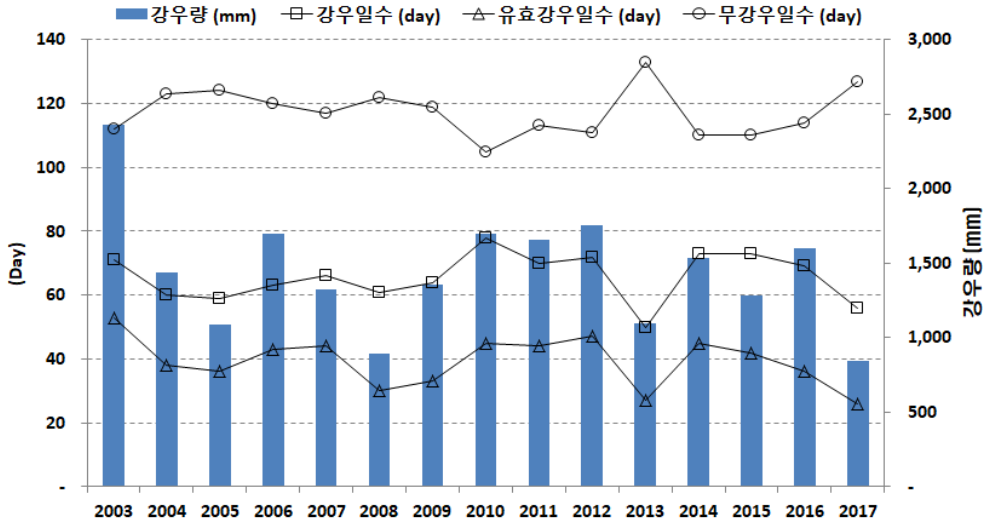
취약성 분석을 위한 인자를 강수변화, 기후변화, 저수지 변화, 수혜구역 변화 인자로 분류하여 강수변화 항목은 농업용 저수지 유입량 및 수혜구역의 유효수량 및 필요수량 등에 영향을 미치는 인자로서 농업용수 취약성 평가에 가장 중요한 변수이며 강수량, 강우일수, 유효강우일수, 무강우일수의 4개의 변수로 구성하였다. 기후변화 항목은 저수지 수면증발이나 상류유역의 증발산량, 수혜구역의 증발산량 산정 등에 영향을 미치는 인자로서 증발산량 산정을 위한 필수요소인 평균기온, 상대습도, 일조시간, 평균풍속의 4개의 변수로 구성하였다.

저수지 변화 항목은 수혜구역의 관개용수 공급에 직접적인 영향을 미치는 인자로서 저수지의 저수율은 농업용수 취약성을 평가하는 척도가 되며 유입량, 저수율, 관개용수량의 3개의 변수로 구성하였다. 수혜구역 변화 항목은 수혜구역의 필요수량 충족 여부에 따라 농업용수 취약성의 변화가 예상되는 항목으로서 필요수량, 경지면적, 관개일수, 유효수량의 4개의 변수로 구성하였다. 강우와 기후 변수들은 모두 기상청에서 제공하는 관측자료를 사용하였고, 저수지 및 수혜구역 인자는 HOMWRS 모형을 사용한 추정자료이며, 경지면적은 수자원장기종합개발계획에서 채택하고 있는 경지면적 전망(2009, 농촌경제연구원)의 2.8% 감소 추이를 적용하였다.

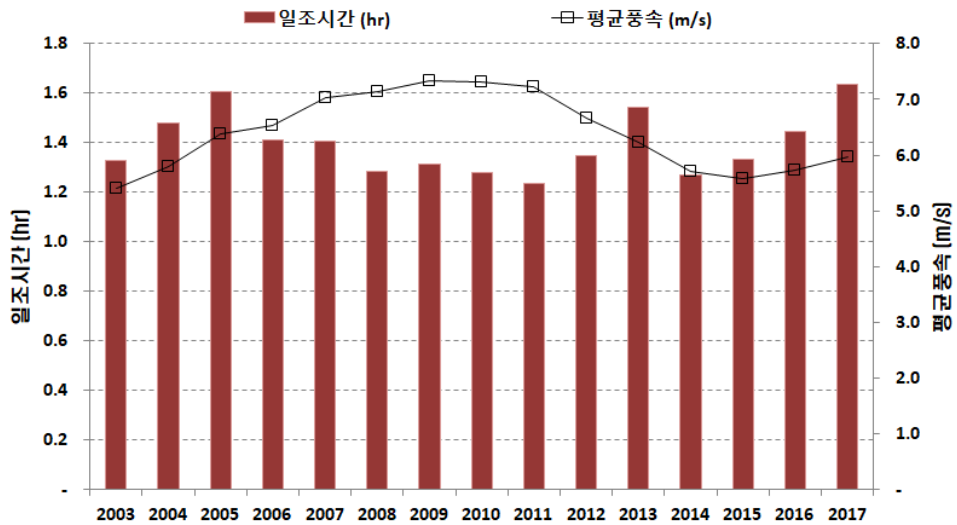
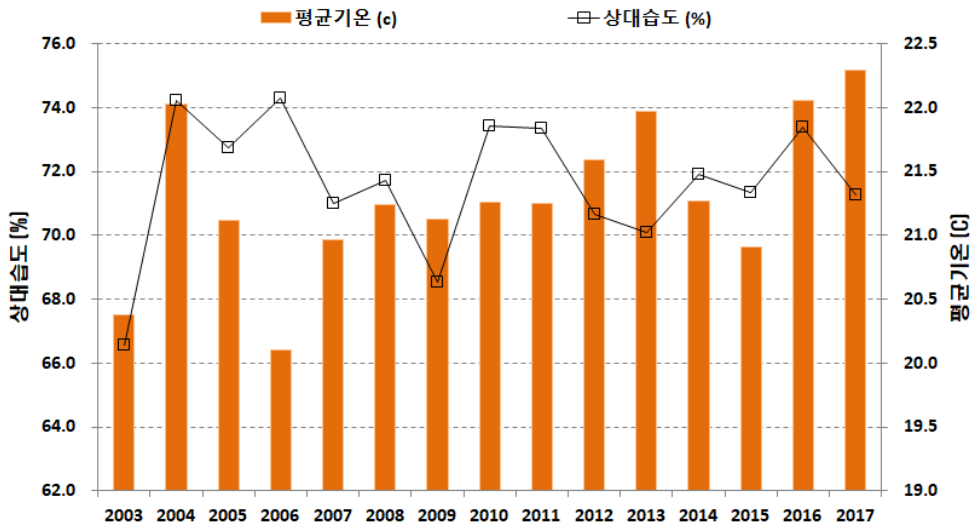
이와같이 선정된 가용 인자에 대하여 2002년부터 2017년까지 대상지구 자료를 수집하였으며, 인자와의 상관분석을 위하여 실측 저수율 자료를 추가적으로 수집하였다. 대상지구의 저수율 자료는 통계분석의 효율성 및 신뢰성을 고려하여 순별로 수집하였으며, 가용 인자 역시 수집된 일 자료를 순별 자료로 정리하였다. 농업용 저수지의 경우 일반적으로 관개기인 4월부터 9월까지 관개용수 공급을 위해 운영하고 있으며, 비관개기에는 취수탑 보수 혹은 사출공 보수, 준설 등과 같은 유지관리를 위해 인위적으로 담수 혹은 배수하고 있어, 농업용수 취약성 평가의 신뢰성을 제고하기 위하여 4월부터 9월까지의 관개기 자료를 이용하여 취약성 평가에 사용되는 인자 선정을 위한 통계분석을 수행하였다.

<표 2-55> 가용 인자 선정 현황

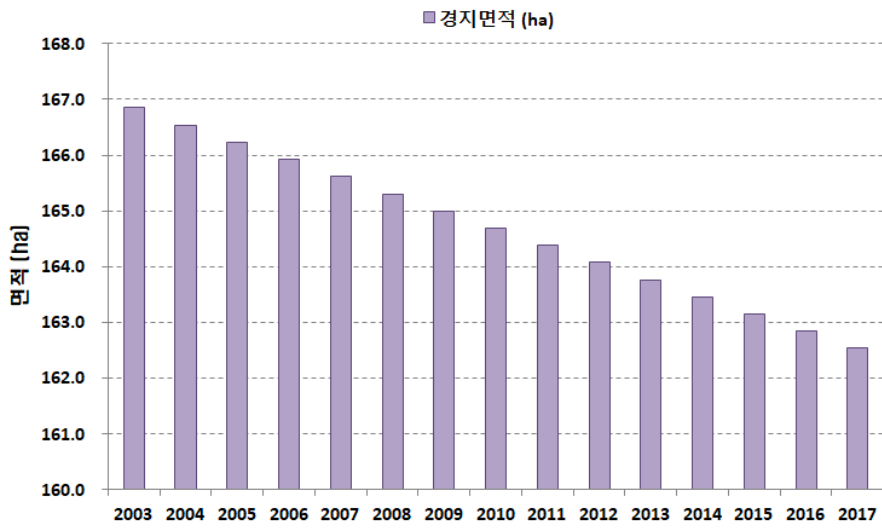
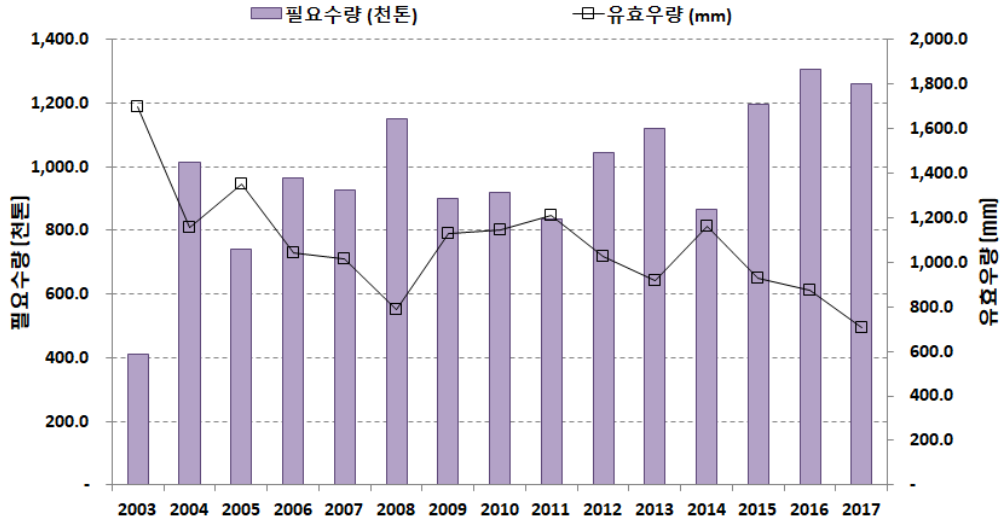
항목	가용 인자	단위	세부 내용
강우	강우량	mm	분석시간 단위별 강우량 순별, 월별, 관개기 강우량 합계
	강우일수	day	분석시간 단위별 강우 발생 일수 순별, 월별, 관개기별 일수 합계
	유효강우일수	day	일강우 5mm 이상 강우 발생 일수 순별, 월별, 관개기별 일수 합계
	무강우일수	day	분석시간 단위별 무상우 발생 일수 순별, 월별, 관개기별 일수 합계
기후	평균기온	℃	분석시간 단위별 평균기온 순별, 월별 평균
	상대습도	%	분석시간 단위별 상대습도 순별, 월별 평균
	일조시간	hr	분석시간 단위별 일조시간 순별, 월별 평균
	평균풍속	m/s	분석시간 단위별 평균풍속 순별, 월별 평균
저수지	유입량	ton	분석시간 단위별 저수지 유입량 순별, 월별, 관개기 합계
	저수율	%	분석시간 단위별 저수지 저수율 순별, 월별, 관개기 평균
	관개용수량	ton	분석시간 단위별 저수지 공급량 순별, 월별, 관개기 합계
수혜 구역	필요수량	ton	분석시간 단위별 수혜구역의 필요수량 순별, 월별, 관개기 합계
	경지면적	ha	연도별 경지면적 변화 경지면적 감소율 적용 (2009, KREI)
	유효우량	mm	분석시간 단위별 수혜구역의 유효우량 순별, 월별, 관개기 합계



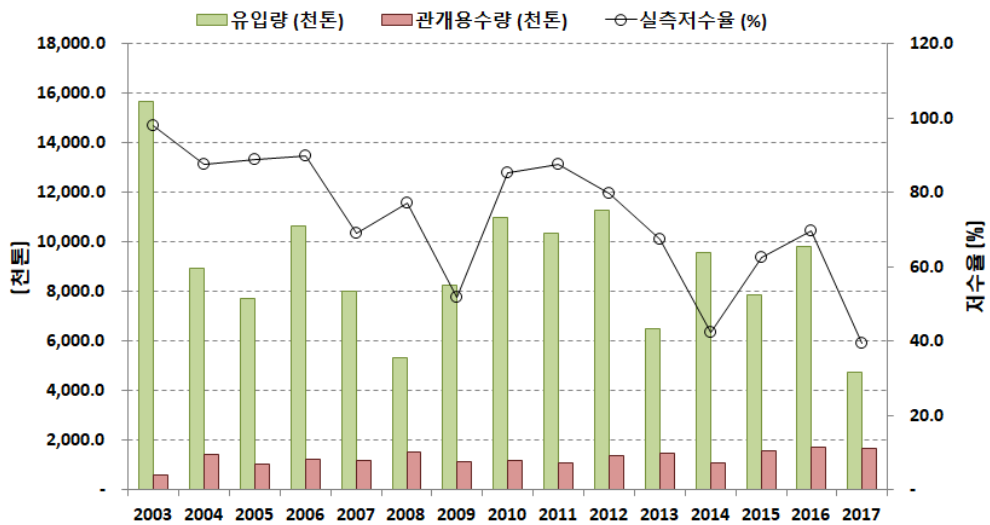
(그림 2-56) 강우인자 수집 예시



(그림 2-57) 기후인자 수집 예시



(그림 2-58) 수혜구역 인자 수집 예시



(그림 2-59) 저수지 인자 수집 예시

(가) 가용 인자에 대한 기초 통계 분석

농업용수 취약성 분석에 사용 가능한 가용 인자를 2002년부터 2017년까지 약 15년 자료를 조사 및 수집하여 기초 통계분석을 수행하였다. 저수율 자료는 대상지구별로 수집하였고, 강우 및 기후자료는 대상지구에서 가장 인접한 기상관측소 자료를 사용하였다. 인자들에 대한 간단한 기초 통계량 분석을 통해 각 대상지구별 인자 분포를 쉽게 파악할 수 있으며 표에서도 알 수 있듯이 각 인자들의 범위와 단위가 상이하기 때문에 직접적으로 비교·분석할 수 없다. 따라서 유역단위 수자원 취약성을 평가할 수 있는 기능별 지표를 구축된 인자들을 이용하여 개발하고 분석할 필요가 있다.

경남지역 순별 강우인자의 경우 강우량은 약 0 ~ 520mm의 분포로서 평균 약 70mm의 강우량을 나타내었고, 강우일수는 평균 4일, 유효강우일수는 평균 2일, 무강우 일수는 평균 6일을 나타내었다. 기후인자의 경우 평균기온은 약 10 ~ 29도의 분포로서 평균 21도를 나타내었고, 상대습도는 평균 70%, 일조시간은 평균 6시간, 평균풍속은 1.5m/s를 기록하였다. 수혜구역 인자의 경우 필요수량은 약 0 ~ 1,370천톤의 분포로서 평균 약 210톤, 경지면적은 감소 추이에 따라 약 145 ~ 671ha의 분포를 보였고, 유효우량은 평균 38mm를 나타내었다. 저수지 인자의 경우 유입량은 약 3 ~ 3,400천톤의 분포로서 평균 약 300천톤을 나타내었고, 관개용수량은 평균 약 200천톤, 저수율은 약 75%를 기록하였다. 경북지역 순별 평균 통계량은 강우인자의 경우 강우량 48.6 ~ 53.2mm, 강우일수 3.7 ~ 4.0일, 유효강우일수 1.7 ~ 2.0일, 무강우일수 6.2 ~ 6.5일을 나타내었다. 기후인자의 경우 평균기온 18.0 ~ 21.4도, 상대습도 67.9 ~ 72.0%, 일조시간 5.9~6.3시간, 평균풍속 1.4 ~ 1.7m/s의 분포를 나타내었다. 수혜구역 인자의 경우 필요수량 88.1 ~ 342.2천톤, 경지면적은 177.5 ~ 644.8ha, 유효우량 30.2 ~ 33.5를 나타내었고, 저수지 인자의 경우 유입량은 285.4 ~ 1,058.7천톤, 관개용수량 99.0 ~ 332.1천톤, 저수율은 65.7 ~ 79.9%의 범위를 나타내었다.

전남지역 순별 평균 통계량은 강우인자의 경우 강우량 56.6 ~ 67.2mm, 강우일수 3.6 ~ 3.7일, 유효강우일수 1.9 ~ 2.0일, 무강우일수 6.4 ~ 6.6일을 나타내었다. 기후인자의 경우 평균기온 20.7 ~ 21.0도, 상대습도 76.3 ~ 77.1%, 일조시간 6.0 ~ 6.1시간, 평균풍속 2.3 ~ 3.2m/s의 분포를 나타내었다. 수혜구역 인자의 경우 필요수량 77.3 ~ 175.0천톤, 경지면적은 144.0 ~ 337.3ha, 유효우량 33.7 ~ 38.0를 나타내었고, 저수지 인자의 경우 유입량은 333.3 ~ 474.6천톤, 관개용수량 74.4 ~ 165.2천톤, 저수율은 59.9 ~ 75.0%의 범위를 나타내었다. 전북지역 순별 평균 통계량을 산정한 결과, 강우량은 58.9 ~ 61.1mm, 평균기온은 19.6 ~ 21.3도, 필요수량은 82.8 ~ 3,815.6천톤, 유입량은 1,679.2 ~ 33,909.1천톤을 나타내었고, 충남지역의 경우에는 대상 지구의 지배 기상관측소가 모두 서산관측소로 동일하여 강우량은 57.1mm, 평균기온은 19.9도, 필요수량은 113.3 ~ 318.9천톤, 유입량은 323.6 ~ 752.2천톤을 나타내었다.

<표 2-56> 경남지역 가용 인자의 기초 통계량 (순별)

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			하이	덕암	향양	감동	산남
강우 인자	강우량 (mm)	Max	502.5	462.2	522.8	393.0	387.5
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	80.4	60.8	71.3	53.9	67.9
		Stdev	89.9	74.9	92.2	60.0	74.1
	강우 일수 (day)	Max	10	10	10	9	10
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	3.6	3.9	3.9	3.6	3.7
		Stdev	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1
	유효강우 일수 (day)	Max	9	8	8	7	8
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	2.2	2.0	2.0	2.0	2.1
		Stdev	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6
	무강우 일수 (day)	Max	11	11	11	11	11
		Min	0	0	0	1	0
		Ave	6.5	6.3	6.3	6.6	6.5
		Stdev	2.2	2.1	2.2	2.0	2.1
기후 인자	평균 기온 (°C)	Max	29.5	29.4	28.5	29.9	29.5
		Min	10.3	9.9	9.6	9.4	10.9
		Ave	21.3	21.2	20.6	21.5	21.4
		Stdev	4.6	4.7	4.6	4.8	4.5
	상대 습도 (%)	Max	88.0	85.1	86.7	84.5	92.6
		Min	39.5	42.7	39.6	41.9	42.4
		Ave	71.6	69.2	70.2	67.7	71.1
		Stdev	9.8	9.4	10.2	8.4	9.8
	일조 시간 (hr)	Max	11.3	10.4	11.1	10.7	11.9
		Min	1.4	0.3	0.7	0.5	0.8
		Ave	6.2	5.8	5.9	5.7	6.0
		Stdev	2.1	2.2	2.2	2.1	2.3
	평균 풍속 (m/s)	Max	2.5	2.6	3.7	2.8	3.0
		Min	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5
		Ave	1.4	1.3	1.5	1.5	1.9
		Stdev	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			하이	덕암	향양	감동	산남
수혜 구역 인자	필요 수량 (천톤)	Max	345.1	345.1	293.1	671.3	1,370.8
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	77.6	77.6	69.7	162.9	318.8
		Stdev	93.3	93.3	83.8	185.0	377.7
	경지 면적 (ha)	Max	167.0	150.0	150.0	327.0	671.0
		Min	162.4	145.9	145.9	318.0	652.5
		Ave	164.7	147.9	147.9	322.5	661.7
		Stdev	1.3	1.2	1.2	2.6	5.4
	유효 수량 (mm)	Max	116.4	129.8	123.0	122.9	118.1
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	41.9	35.3	36.8	34.9	39.1
		Stdev	36.2	35.7	35.7	34.4	35.3
저수지 인자	유입량 (천톤)	Max	3,031.8	3,031.8	1,817.0	3,461.6	1,179.0
		Min	19.5	19.5	9.8	24.0	2.5
		Ave	502.9	502.9	259.9	589.4	189.1
		Stdev	521.3	521.3	324.4	626.3	206.8
	관개 용수량 (천톤)	Max	337.4	302.1	293.1	665.0	1,350.8
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	72.1	69.3	67.6	158.3	308.1
		Stdev	92.8	85.0	83.7	185.1	380.2
	실측 저수율 (%)	Max	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Min	6.7	3.0	6.0	7.2	0.0
		Ave	73.1	81.8	80.1	74.5	76.2
		Stdev	25.5	18.7	21.2	25.3	16.8

<표 2-57> 경북지역 가용 인자의 기초 통계량 (순별)

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			만운	창평	임고	조성	안심
강우 인자	강우량 (mm)	Max	306.0	341.0	279.0	297.0	334.0
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	48.6	53.2	49.2	51.7	50.6
		Stdev	54.9	57.8	54.8	61.6	60.7
	강우 일수 (day)	Max	9	10	9	9	9
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	3.7	4.0	3.7	3.7	3.7
		Stdev	2.1	2.2	2.0	2.1	2.0
	유효강우 일수 (day)	Max	8	9	7	9	6
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	1.9	2.0	1.9	1.8	1.7
		Stdev	1.6	1.7	1.4	1.6	1.4
	무강우 일수 (day)	Max	11	11	11	11	11
		Min	1	0	1	1	1
		Ave	6.5	6.2	6.5	6.4	6.5
		Stdev	2.1	2.2	2.0	2.1	2.0
기후 인자	평균 기온 (°C)	Max	29.3	25.8	29.1	29.6	30.8
		Min	8.6	5.7	9.4	10.0	10.4
		Ave	20.5	18.0	20.6	21.2	21.4
		Stdev	4.8	4.9	4.8	4.6	4.6
	상대 습도 (%)	Max	92.7	90.5	86.9	93.1	91.4
		Min	39.2	29.9	42.0	34.8	43.2
		Ave	69.2	72.3	68.3	67.9	72.0
		Stdev	11.4	10.4	9.6	11.8	10.6
	일조 시간 (hr)	Max	11.7	10.5	10.9	11.3	12.8
		Min	1.3	1.1	1.1	0.0	0.5
		Ave	6.2	5.9	6.3	6.1	6.2
		Stdev	2.3	2.2	2.1	2.2	2.2
	평균 풍속 (m/s)	Max	2.9	2.1	3.0	2.9	3.4
		Min	1.0	0.5	0.9	0.6	1.4
		Ave	1.6	1.3	1.7	1.4	2.4
		Stdev	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			만운	창평	임고	조성	안심
수혜 구역 인자	필요 수량 (천톤)	Max	871.4	372.5	437.0	1,383.0	368.2
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	226.2	88.1	119.1	343.2	104.2
		Stdev	244.0	99.2	122.6	385.3	111.0
	경지 면적 (ha)	Max	416.0	187.0	206.0	663.0	180.0
		Min	404.6	181.9	200.3	644.8	175.0
		Ave	410.3	184.4	203.2	653.8	177.5
		Stdev	3.3	1.5	1.6	5.3	1.4
	유효 수량 (mm)	Max	124.5	128.8	129.1	119.8	121.8
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	31.5	33.5	31.8	31.9	30.2
		Stdev	33.2	33.3	33.8	34.0	33.2
저수지 인자	유입량 (천톤)	Max	6,059.1	5,214.8	7,478.6	5,512.5	1,935.4
		Min	32.2	12.2	28.1	24.6	9.4
		Ave	863.8	809.7	1,058.7	745.6	285.4
		Stdev	963.5	899.9	1,147.5	869.2	345.4
	관개 용수량 (천톤)	Max	852.1	366.1	421.2	1,367.0	366.1
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	211.6	82.4	107.6	332.1	99.0
		Stdev	243.4	98.8	121.5	385.0	110.8
	실측 저수율 (%)	Max	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Min	3.5	5.5	5.6	0.0	4.0
		Ave	72.8	76.5	79.9	65.7	77.5
		Stdev	21.3	23.3	21.1	24.0	21.4

<표 2-58> 전남지역 가용 인자의 기초 통계량 (순별)

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			도갑	울치	둔전	봉암	해원
강우 인자	강우량 (mm)	Max	440.5	440.5	377.9	377.9	377.9
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	56.6	56.6	67.2	67.2	67.2
		Stdev	68.0	68.0	71.8	71.8	71.8
	강우 일수 (day)	Max	10	10	10	10	10
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7
		Stdev	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2
	유효강우 일수 (day)	Max	9	9	8	8	8
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0
		Stdev	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	무강우 일수 (day)	Max	11	11	11	11	11
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	6.6	6.6	6.4	6.4	6.4
		Stdev	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2
기후 인자	평균 기온 (°C)	Max	28.9	28.9	29.1	29.1	29.1
		Min	8.3	8.3	9.5	9.5	9.5
		Ave	20.7	20.7	21.0	21.0	21.0
		Stdev	5.1	5.1	4.8	4.8	4.8
	상대 습도 (%)	Max	91.8	91.8	97.8	97.8	97.8
		Min	57.7	57.7	48.8	48.8	48.8
		Ave	76.3	76.3	77.1	77.1	77.1
		Stdev	7.3	7.3	9.7	9.7	9.7
	일조 시간 (hr)	Max	11.7	11.7	11.5	11.5	11.5
		Min	0.7	0.7	0.4	0.4	0.4
		Ave	6.1	6.1	6.0	6.0	6.0
		Stdev	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	평균 풍속 (m/s)	Max	4.1	4.1	5.4	5.4	5.4
		Min	1.1	1.1	1.5	1.5	1.5
		Ave	2.3	2.3	3.2	3.2	3.2
		Stdev	0.6	0.6	0.9	0.9	0.9

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			도갑	울치	둔전	봉암	해원
수혜 구역 인자	필요 수량 (천톤)	Max	286.2	557.2	480.0	604.3	695.2
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	77.3	153.2	128.0	156.9	175.0
		Stdev	84.5	163.2	132.6	168.8	196.7
	경지 면적 (ha)	Max	146.0	281.0	228.0	291.0	342.0
		Min	142.0	273.3	221.7	283.0	332.6
		Ave	144.0	277.1	224.8	287.0	337.3
		Stdev	1.2	2.2	1.8	2.3	2.7
	유효 우량 (mm)	Max	117.8	117.8	116.9	116.9	116.9
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	33.7	33.7	38.0	38.0	38.0
		Stdev	33.2	33.2	34.9	34.9	34.9
저수지 인자	유입량 (천톤)	Max	2,342.9	3,110.5	2,208.3	1,729.9	2,398.9
		Min	7.5	11.9	8.3	5.8	25.0
		Ave	352.8	458.6	425.7	333.3	474.6
		Stdev	399.1	520.5	432.5	338.9	466.7
	관개 용수량 (천톤)	Max	282.2	543.2	455.3	581.1	682.9
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	74.4	143.2	110.1	140.6	165.2
		Stdev	84.4	162.5	131.7	168.1	197.6
	실측 저수율 (%)	Max	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Min	6.2	0.2	0.0	1.5	6.4
		Ave	59.9	74.2	72.8	70.5	75.0
		Stdev	23.4	22.3	25.5	21.9	23.6

<표 2-59> 전북지역 가용 인자의 기초 통계량 (순별)

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			고수	구림	광곡	경천	대아
강우 인자	강우량 (mm)	Max	577.5	577.5	470.2	394.2	394.2
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	59.3	59.3	61.1	58.9	58.9
		Stdev	75.4	75.4	73.3	72.7	72.7
	강우일수 (day)	Max	10	10	10	10	10
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	3.8	3.8	4.1	4.0	4.0
		Stdev	2.1	2.1	2.3	2.3	2.3
	유효강우일수 (day)	Max	9	9	9	8	8
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	2.1	2.1	2.2	2.1	2.1
		Stdev	1.6	1.6	1.8	1.8	1.8
	무강우일수 (day)	Max	11	11	11	11	11
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	6.3	6.3	6.1	6.2	6.2
		Stdev	2.1	2.1	2.3	2.3	2.3
기후 인자	평균기온 (°C)	Max	29.7	29.7	27.8	28.3	28.3
		Min	8.3	8.3	6.2	7.3	7.3
		Ave	21.3	21.3	19.6	20.1	20.1
		Stdev	5.1	5.1	5.1	5.0	5.0
	상대습도 (%)	Max	89.1	89.1	86.6	90.4	90.4
		Min	47.5	47.5	53.7	49.3	49.3
		Ave	69.0	69.0	72.3	69.2	69.2
		Stdev	9.2	9.2	7.7	8.8	8.8
	일조시간 (hr)	Max	11.4	11.4	10.7	10.9	10.9
		Min	0.9	0.9	0.8	1.3	1.3
		Ave	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0
		Stdev	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2
	평균풍속 (m/s)	Max	2.9	2.9	2.8	2.3	2.3
		Min	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7
		Ave	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2
		Stdev	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			고수	구림	광곡	경천	대아
수혜 구역 인자	필요 수량 (천톤)	Max	810.5	482.3	368.5	15,713.6	17,007.4
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	194.3	115.1	82.8	3,521.1	3,815.6
		Stdev	223.9	133.3	97.6	4,171.8	4,523.8
	경지 면적 (ha)	Max	399.0	238.0	185.0	7,738.0	8,382.0
		Min	388.0	231.5	179.9	7,525.1	8,151.4
		Ave	393.5	234.7	182.4	7,631.1	8,266.2
		Stdev	3.2	1.9	1.5	61.8	66.9
	유효 우량 (mm)	Max	121.3	121.3	128.2	137.4	137.4
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	35.5	35.5	37.0	35.5	35.5
		Stdev	35.4	35.4	36.4	35.4	35.4
저수지 인자	유입량 (천톤)	Max	5,455.9	3,922.8	1,679.2	21,283.0	33,909.1
		Min	33.5	25.7	6.1	210.8	323.5
		Ave	749.5	538.4	202.6	3,369.6	5,439.7
		Stdev	915.6	659.0	241.0	3,925.6	6,317.4
	관개 용수량 (천톤)	Max	798.8	476.5	362.4	15,636.3	16,937.6
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	185.7	110.8	78.4	3,478.2	3,767.7
		Stdev	223.1	133.1	97.5	4,173.4	4,520.7
	실측 저수율 (%)	Max	100.0	100.0	100.0	100.0	94.9
		Min	5.7	5.7	2.6	15.5	6.5
		Ave	75.0	77.2	74.6	67.8	49.9
		Stdev	21.2	21.2	23.0	21.3	18.9

<표 2-60> 충남지역 가용 인자의 기초 통계량 (순별)

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			수룡	풍전	신송	산수	봉림
강우 인자	강우량 (mm)	Max	421.5	421.5	421.5	421.5	421.5
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1
		Stdev	70.1	70.1	70.1	70.1	70.1
	강우일수 (day)	Max	10	10	10	10	10
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
		Stdev	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
	유효강우일수 (day)	Max	7	7	7	7	7
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
		Stdev	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	무강우일수 (day)	Max	11	11	11	11	11
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
		Stdev	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
기후 인자	평균기온 (°C)	Max	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6
		Min	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
		Ave	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9
		Stdev	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
	상대습도 (%)	Max	97.7	97.7	97.7	97.7	97.7
		Min	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5
		Ave	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6
		Stdev	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
	일조시간 (hr)	Max	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
		Min	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
		Ave	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
		Stdev	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
	평균풍속 (m/s)	Max	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
		Min	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
		Ave	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
		Stdev	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			수룡	풍전	신송	산수	봉림
수혜 구역 인자	필요 수량 (천톤)	Max	565.1	1360.9	565.1	1320.5	478.7
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	135.9	318.9	136.3	307.6	113.3
		Stdev	148.2	359.6	148.7	351.5	126.8
	경지 면적 (ha)	Max	269.0	655.0	269.0	639.0	230.0
		Min	261.6	637.0	261.6	621.4	223.7
		Ave	265.3	645.9	265.3	630.2	226.8
		Stdev	2.1	5.2	2.1	5.1	1.8
	유효 우량 (mm)	Max	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
		Stdev	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3
저수지 인자	유입량 (천톤)	Max	2,278.8	3,362.7	2,142.6	4,842.8	2,218.2
		Min	12.4	9.5	3.7	17.3	5.8
		Ave	325.0	510.9	323.6	752.2	337.9
		Stdev	415.4	623.2	397.6	908.0	413.8
	관개 용수량 (천톤)	Max	550.2	1,339.8	550.2	1,307.1	470.5
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	125.6	305.8	125.6	298.4	107.4
		Stdev	147.8	359.9	147.8	351.1	126.4
	실측 저수율 (%)	Max	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Min	0.3	2.3	2.1	0.5	2.8
		Ave	82.1	66.9	73.2	72.5	70.7
		Stdev	18.0	28.2	23.9	26.4	26.2

<표 2-61> 충북지역 가용 인자의 기초 통계량 (순별)

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			삼기	원남	용곡	추평	용당
강우 인자	강우량 (mm)	Max	391.7	330.0	330.0	416.1	416.1
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	61.3	58.0	58.0	56.2	56.2
		Stdev	70.5	66.9	66.9	67.2	67.2
	강우일수 (day)	Max	11	10	10	10	10
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	4.0	3.8	3.8	3.9	3.9
		Stdev	2.4	2.3	2.3	2.4	2.4
	유효강우일수 (day)	Max	10	8	8	8	8
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0
		Stdev	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7
	무강우일수 (day)	Max	11	10	10	10	10
		Min	0	0	0	0	0
		Ave	6.2	6.4	6.4	6.2	6.2
		Stdev	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4
기후 인자	평균기온 (°C)	Max	27.9	29.9	29.9	28.9	28.9
		Min	6.9	9.4	9.4	7.7	7.7
		Ave	19.6	21.5	21.5	20.6	20.6
		Stdev	4.9	4.8	4.8	5.0	5.0
	상대습도 (%)	Max	90.0	86.0	86.0	85.2	85.2
		Min	44.9	39.4	39.4	45.4	45.4
		Ave	71.8	64.2	64.2	67.1	67.1
		Stdev	10.5	10.9	10.9	10.0	10.0
	일조시간 (hr)	Max	11.4	11.5	11.5	11.4	11.4
		Min	0.9	0.9	0.9	0.5	0.5
		Ave	6.2	6.0	6.0	5.9	5.9
		Stdev	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2
	평균풍속 (m/s)	Max	2.5	2.4	2.4	2.9	2.9
		Min	0.7	1.1	1.1	0.8	0.8
		Ave	1.3	1.7	1.7	1.6	1.6
		Stdev	0.3	0.2	0.2	0.4	0.4

가용 인자		기초 통계	대상지구 (저수지 명)				
			삼기	원남	용곡	추평	용당
수혜 구역 인자	필요 수량 (천톤)	Max	837.3	1,849.9	343.5	1,019.4	1,938.8
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	178.5	437.1	82.8	242.4	463.5
		Stdev	218.9	493.7	91.1	276.4	524.4
	경지 면적 (ha)	Max	410.0	852.0	157.0	488.0	927.0
		Min	398.7	828.6	152.7	474.6	901.5
		Ave	404.3	840.2	154.8	481.3	914.2
		Stdev	3.3	6.8	1.3	3.9	7.4
	유효 우량 (mm)	Max	130.8	121.0	121.0	123.3	123.3
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	37.1	35.4	35.4	34.3	34.3
		Stdev	36.4	36.3	36.3	35.5	35.5
저수지 인자	유입량 (천톤)	Max	3,322.3	11,359.0	3,694.7	5,379.7	9,383.6
		Min	18.4	40.7	9.9	20.0	45.9
		Ave	520.5	1,750.7	560.4	745.9	1,301.4
		Stdev	584.6	1,962.4	644.0	878.7	1,512.9
	관개 용수량 (천톤)	Max	829.0	1,814.2	334.3	1,006.0	1,910.9
		Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Ave	172.6	412.7	76.0	232.6	441.9
		Stdev	218.5	490.7	90.4	275.7	523.8
	실측 저수율 (%)	Max	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Min	17.6	18.5	11.3	17.0	12.6
		Ave	69.5	76.3	79.1	75.9	77.7
		Stdev	24.6	22.1	17.4	19.7	20.2

(나) 취약성 인자 선정을 위한 다중회귀 분석

앞서 문헌 분석을 통하여 농업용수 취약성에 직·간접적으로 영향을 미치는 가용 인자 14개를 우선적으로 선정하였다. 이러한 가용 인자들을 모두 사용하는 것이 아니라 통계분석을 통하여 농업용수 취약성 평가에 유의한 영향을 미치는 취약성 인자를 선정하게 된다. 취약성 인자들은 동일한 가용 인자를 이용한 것도 있으며, 필요시 중복 사용하여 조합한 것으로 가능한 최대한 많은 취약성 인자를 고려하고자 하였다. 즉, 취약성 인자 선정을 위한 통계분석 방법은 다중회귀분석을 사용하였으며, 목적변수는 농업용수 취약성을 대표할 수 있는 실측 저수율 자료를 사용하였으며, 독립변수는 실측 저수율 자료를 제외한 가용인자 13개를 사용하였다.

다중회귀분석에서 가용인자인 독립변수들 중 공선성 통계량인 VIF (variance inflationfactor)와 공차한계 (tolerance)를 이용하여 다중공선성(multicollinearity) 문제가 있는 독립변수들은 제외시켜 분석을 진행하였다. 다중공선성이란 독립변수들 간에 상당히 높은 상관관계가 발생하는 것으로 회귀모형의 기본 가정은 독립변수들 간에는 상관관계가 없다는 것인데, 이를 무시한 것이 되어버리고 분석결과 역시 무의미하게 된다 (송지준, 2011). 일반적으로 VIF가 10이상, 공차한계가 0.1이하일 경우 다중 공선성에 문제가 있다고 해석한다. 참고로 더빈 왓슨 (durbin-watson)의 통계량은 잔차에 대한 독립성을 알아보기 위해 실시하는 것으로 기준 값은 정상분포곡선을 나타내는 2가 되며 0에 가까울수록 양의 상관관계, 4에 가까울수록 음의 상관관계를 의미한다. 다음 표는 도별 대상지구의 다중회귀분석 결과를 나타내고 있다.

대상지구별로 다중회귀 분석을 통한 통계량을 살펴본 결과, 경남지역 가용 인자들의 독립변수는 목적변수인 실측 저수율과의 상관계수는 0.2에서 0.4의 범위를 나타내었으며, 독립변수는 목적변수를 2%에서 25% 정도를 설명하고 있다. 일반적으로 다중회귀분석에서 상관계수는 0.5 이상, 조정 결정계수는 20% ~ 30% 범위 이상이면 독립변수와 목적변수간의 유의성이 있는 것으로 알려져있으며, 경남지역에서는 감동 저수지를 제외한 대상지구에서는 사용된 변수들만으로 저수율 변화를 설명하기에 무리가 있음을 확인하였다.

경북지역의 경우에는 경남지역보다 상관계수와 결정계수가 높게 산정되었는데, 조성 저수지의 경우 상관계수 0.6으로 35%의 설명력을 가지고 있는 것으로 나타났다. 전남지역의 경우에는 해원 저수지의 상관계수 0.5로 28% 정도 설명하고 있으며, 전북지역의 경우에는 고수 저수지와 구림 저수지가 각각 상관계수 0.5 이상으로 약 30% 정도의 설명력을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 충남지역의 경우에는 신송 저수지에서 상관계수 0.5 이상으로 약 26% 정도로 설명하고 있으며, 충북지역의 경우에는 원남 저수지와 용당 저수지에서 상관계수 0.5 이상으로 약 30% 정도로 목적변수를 설명하고 있다.

<표 2-62> 대상지구별 다중회귀 분석 결과

다중회귀 통계량	경남 지역				
	하이	덕암	항양	감동	산남
다중상관계수 (R)	0.375	0.334	0.333	0.514	0.207
결정계수 (R2)	0.140	0.112	0.111	0.265	0.043
조정된 결정계수 (A-R2)	0.121	0.091	0.091	0.248	0.021
표준오차	23.920	17.820	20.242	21.977	16.648
	경북 지역				
	만운	창평	임고	조성	안심
다중상관계수 (R)	0.306	0.275	0.367	0.603	0.425
결정계수 (R2)	0.094	0.075	0.135	0.364	0.180
조정된 결정계수 (A-R2)	0.073	0.054	0.115	0.349	0.162
표준오차	20.487	22.669	19.848	19.330	19.622
	전남 지역				
	도갑	율치	둔전	봉암	해원
다중상관계수 (R)	0.469	0.298	0.469	0.453	0.543
결정계수 (R2)	0.220	0.089	0.220	0.205	0.294
조정된 결정계수 (A-R2)	0.202	0.068	0.202	0.187	0.278
표준오차	20.867	21.534	22.818	19.745	20.013
	전북 지역				
	고수	구림	광곡	경천	대아
다중상관계수 (R)	0.549	0.566	0.482	0.421	0.474
결정계수 (R2)	0.301	0.320	0.232	0.177	0.225
조정된 결정계수 (A-R2)	0.285	0.305	0.215	0.159	0.207
표준오차	17.959	17.682	20.408	19.535	16.790
	충남 지역				
	수룡	풍전	신송	산수	봉림
다중상관계수 (R)	0.472	0.531	0.436	0.468	0.496
결정계수 (R2)	0.223	0.282	0.190	0.219	0.246
조정된 결정계수 (A-R2)	0.205	0.265	0.172	0.201	0.229
표준오차	16.014	24.151	21.713	23.619	22.997
	충북 지역				
	삼기	원남	용곡	추평	용당
다중상관계수 (R)	0.472	0.535	0.556	0.401	0.590
결정계수 (R2)	0.223	0.286	0.309	0.161	0.348
조정된 결정계수 (A-R2)	0.205	0.269	0.293	0.142	0.334
표준오차	21.891	18.880	14.652	18.271	16.494

대상지구의 다중회귀분석 결과, 충분한 설명력이 확보된 지구는 도별로 1개소 혹은 2개소로 나타났으나, 농업용 저수지의 인위적인 운영 및 물수지 분석에서의 불확실성을 고려할 때, 독립변수와 목적변수 상이의 유의성이 있다고 판단되는 일반적인 기준을 적용하기에 무리가 있는 것으로 판단되며, 대부분의 저수지에서 10% 이상의 설명력을 확보하고 있어 선정된 취약성 인자의 활용성이 확보된 것으로 사료된다. 다음 표는 대상지구별 선정된 취약성 인자의 다중회귀분석 계수를 정리한 것이다.

<표 2-63> 선정된 취약성 인자의 다중회귀분석 계수 (경남지역)

대상 지구	인자	비표준화계수		통계량 (t)	유의확률 (p)
		B	표준오차		
하이	강우량	-0.180	0.051	-3.545	0.0005
	유효강우일수	2.055	1.781	1.154	0.2495
	무강우일수	1.135	1.250	0.908	0.3648
	평균기온	-1.101	0.409	-2.696	0.0075
	필요수량	0.015	0.023	0.632	0.5277
	유입량	0.042	0.008	5.094	0.0000
덕암	강우량	-0.006	0.031	-0.195	0.8459
	유효강우일수	-0.278	1.183	-0.235	0.8141
	무강우일수	0.235	0.842	0.279	0.7805
	평균기온	-1.053	0.322	-3.266	0.0012
	필요수량	0.002	0.017	0.094	0.9255
	유입량	0.009	0.004	2.487	0.0135
향양	강우량	-0.107	0.041	-2.599	0.0099
	유효강우일수	1.173	1.396	0.840	0.4016
	무강우일수	1.009	0.948	1.064	0.2882
	평균기온	-1.195	0.380	-3.143	0.0019
	필요수량	0.006	0.022	0.271	0.7867
	유입량	0.044	0.011	3.877	0.0001
감동	강우량	-0.157	0.061	-2.587	0.0102
	유효강우일수	2.245	1.641	1.368	0.1725
	무강우일수	2.423	1.082	2.239	0.0260
	평균기온	-2.474	0.388	-6.374	0.0000
	필요수량	0.005	0.011	0.480	0.6317
	유입량	0.025	0.005	4.774	0.0000
산남	강우량	-0.115	0.079	-1.468	0.1432
	유효강우일수	0.910	1.223	0.744	0.4576
	무강우일수	-0.016	0.776	-0.021	0.9832
	평균기온	-0.042	0.288	-0.145	0.8847
	필요수량	0.004	0.004	1.032	0.3028
	유입량	0.053	0.027	1.957	0.0514

<표 2-64> 선정된 취약성 인자의 다중회귀분석 계수 (경북지역)

대상 지구	인자	비표준화계수		통계량 (t)	유의확률 (p)
		B	표준오차		
만운	강우량	-0.176	0.063	-2.804	0.0054
	유효강우일수	1.472	1.606	0.917	0.3602
	무강우일수	0.239	0.927	0.258	0.7965
	평균기온	-0.499	0.383	-1.303	0.1938
	필요수량	-0.009	0.008	-1.109	0.2683
	유입량	0.011	0.003	3.560	0.0004
창평	강우량	-0.176	0.073	-2.402	0.0170
	유효강우일수	2.255	1.550	1.455	0.1469
	무강우일수	1.400	1.000	1.400	0.1626
	평균기온	-0.356	0.406	-0.878	0.3810
	필요수량	-0.009	0.020	-0.460	0.6462
	유입량	0.014	0.004	3.365	0.0009
임고	강우량	-0.184	0.057	-3.248	0.0013
	유효강우일수	3.242	1.603	2.022	0.0442
	무강우일수	1.402	0.887	1.581	0.1151
	평균기온	-1.309	0.360	-3.637	0.0003
	필요수량	0.011	0.015	0.767	0.4440
	유입량	0.010	0.002	4.323	0.0000
조성	강우량	-0.275	0.054	-5.076	0.0000
	유효강우일수	2.967	1.548	1.917	0.0563
	무강우일수	0.566	0.893	0.634	0.5268
	평균기온	-2.566	0.370	-6.938	0.0000
	필요수량	-0.002	0.005	-0.494	0.6215
	유입량	0.022	0.003	6.799	0.0000
안심	강우량	-0.214	0.057	-3.781	0.0002
	유효강우일수	1.601	1.545	1.036	0.3011
	무강우일수	0.387	0.851	0.454	0.6501
	평균기온	-1.107	0.360	-3.073	0.0023
	필요수량	-0.026	0.016	-1.615	0.1076
	유입량	0.038	0.009	4.308	0.0000

<표 2-65> 선정된 취약성 인자의 다중회귀분석 계수 (전남지역)

대상 지구	인자	비표준화계수		통계량 (t)	유의확률 (p)
		B	표준오차		
도갑	강우량	-0.284	0.060	-4.743	0.0000
	유효강우일수	5.502	1.561	3.523	0.0005
	무강우일수	2.508	0.958	2.617	0.0094
	평균기온	-1.368	0.363	-3.770	0.0002
	필요수량	0.018	0.023	0.769	0.4428
	유입량	0.056	0.009	5.957	0.0000
울치	강우량	-0.184	0.063	-2.899	0.0041
	유효강우일수	3.784	1.614	2.345	0.0198
	무강우일수	2.259	0.988	2.287	0.0230
	평균기온	-0.748	0.375	-1.997	0.0469
	필요수량	0.009	0.012	0.731	0.4653
	유입량	0.027	0.008	3.594	0.0004
둔전	강우량	-0.287	0.072	-3.967	0.0001
	유효강우일수	1.125	1.756	0.641	0.5221
	무강우일수	-0.038	1.030	-0.037	0.9704
	평균기온	-2.127	0.386	-5.507	0.0000
	필요수량	0.017	0.015	1.089	0.2770
	유입량	0.059	0.011	5.379	0.0000
봉암	강우량	-0.199	0.066	-3.011	0.0029
	유효강우일수	0.533	1.518	0.351	0.7257
	무강우일수	0.546	0.892	0.612	0.5408
	평균기온	-1.976	0.334	-5.917	0.0000
	필요수량	0.013	0.010	1.223	0.2222
	유입량	0.055	0.013	4.248	0.0000
해원	강우량	-0.245	0.054	-4.525	0.0000
	유효강우일수	1.448	1.540	0.940	0.3481
	무강우일수	-0.143	0.904	-0.158	0.8745
	평균기온	-2.465	0.340	-7.242	0.0000
	필요수량	0.014	0.009	1.549	0.1226
	유입량	0.048	0.007	6.489	0.0000

<표 2-66> 선정된 취약성 인자의 다중회귀분석 계수 (전북지역)

대상 지구	인자	비표준화계수		통계량 (t)	유의확률 (p)
		B	표준오차		
고수	강우량	-0.152	0.042	-3.634	0.0003
	유효강우일수	2.917	1.300	2.244	0.0257
	무강우일수	1.199	0.825	1.453	0.1475
	평균기온	-2.109	0.308	-6.845	0.0000
	필요수량	0.003	0.007	0.424	0.6721
	유입량	0.019	0.003	6.031	0.0000
구림	강우량	-0.154	0.042	-3.690	0.0003
	유효강우일수	3.021	1.280	2.361	0.0190
	무강우일수	1.401	0.813	1.724	0.0858
	평균기온	-2.036	0.304	-6.706	0.0000
	필요수량	-0.003	0.012	-0.284	0.7769
	유입량	0.027	0.004	6.009	0.0000
광곡	강우량	-0.276	0.060	-4.585	0.0000
	유효강우일수	2.251	1.384	1.627	0.1050
	무강우일수	0.848	0.906	0.936	0.3501
	평균기온	-1.634	0.344	-4.743	0.0000
	필요수량	-0.007	0.018	-0.413	0.6801
	유입량	0.103	0.017	5.996	0.0000
경천	강우량	-0.159	0.043	-3.675	0.0003
	유효강우일수	2.000	1.334	1.500	0.1349
	무강우일수	0.773	0.877	0.881	0.3789
	평균기온	-1.108	0.348	-3.180	0.0016
	필요수량	0.000	0.000	-0.033	0.9736
	유입량	0.004	0.001	5.847	0.0000
대아	강우량	-0.134	0.037	-3.641	0.0003
	유효강우일수	3.678	1.145	3.211	0.0015
	무강우일수	3.094	0.753	4.109	0.0001
	평균기온	-0.559	0.300	-1.865	0.0633
	필요수량	0.000	0.000	0.055	0.9561
	유입량	0.002	0.000	6.352	0.0000

<표 2-67> 선정된 취약성 인자의 다중회귀분석 계수 (충남지역)

대상 지구	인자	비표준화계수		통계량 (t)	유의확률 (p)
		B	표준오차		
수룡	강우량	-0.168	0.052	-3.240	0.0013
	유효강우일수	-0.730	1.253	-0.582	0.5608
	무강우일수	-1.359	0.678	-2.005	0.0460
	평균기온	-1.301	0.263	-4.956	0.0000
	필요수량	-0.004	0.009	-0.446	0.6558
	유입량	0.038	0.008	4.514	0.0000
풍전	강우량	-0.236	0.067	-3.543	0.0005
	유효강우일수	0.634	1.887	0.336	0.7373
	무강우일수	-0.760	1.022	-0.744	0.4577
	평균기온	-2.454	0.402	-6.098	0.0000
	필요수량	-0.003	0.006	-0.521	0.6029
	유입량	0.039	0.007	5.346	0.0000
신송	강우량	-0.198	0.064	-3.081	0.0023
	유효강우일수	1.598	1.698	0.941	0.3476
	무강우일수	-0.828	0.919	-0.902	0.3680
	평균기온	-1.413	0.362	-3.905	0.0001
	필요수량	-0.016	0.013	-1.276	0.2032
	유입량	0.040	0.011	3.628	0.0003
산수	강우량	-0.232	0.060	-3.834	0.0002
	유효강우일수	1.250	1.846	0.677	0.4987
	무강우일수	-0.691	0.999	-0.692	0.4897
	평균기온	-1.873	0.396	-4.732	0.0000
	필요수량	-0.004	0.006	-0.613	0.5403
	유입량	0.023	0.005	5.033	0.0000
봉림	강우량	-0.262	0.063	-4.170	0.0000
	유효강우일수	0.255	1.798	0.142	0.8874
	무강우일수	-1.550	0.973	-1.594	0.1121
	평균기온	-1.693	0.385	-4.401	0.0000
	필요수량	-0.016	0.016	-1.003	0.3169
	유입량	0.057	0.010	5.511	0.0000

<표 2-68> 선정된 취약성 인자의 다중회귀분석 계수 (충북지역)

대상 지구	인자	비표준화계수		통계량 (t)	유의확률 (p)
		B	표준오차		
삼기	강우량	-0.185	0.054	-3.417	0.0007
	유효강우일수	3.719	1.514	2.456	0.0147
	무강우일수	1.834	0.961	1.908	0.0575
	평균기온	-1.469	0.398	-3.690	0.0003
	필요수량	-0.014	0.009	-1.564	0.1189
	유입량	0.028	0.006	4.538	0.0000
원남	강우량	-0.205	0.049	-4.184	0.0000
	유효강우일수	1.361	1.463	0.930	0.3533
	무강우일수	0.559	0.938	0.597	0.5512
	평균기온	-0.896	0.361	-2.478	0.0138
	필요수량	-0.011	0.004	-3.110	0.0021
	유입량	0.009	0.002	5.640	0.0000
용곡	강우량	-0.161	0.040	-3.977	0.0001
	유효강우일수	1.108	1.139	0.973	0.3314
	무강우일수	0.697	0.727	0.959	0.3387
	평균기온	-1.305	0.280	-4.663	0.0000
	필요수량	-0.036	0.015	-2.434	0.0156
	유입량	0.021	0.004	5.320	0.0000
추평	강우량	-0.201	0.052	-3.878	0.0001
	유효강우일수	2.874	1.328	2.165	0.0313
	무강우일수	0.728	0.754	0.966	0.3351
	평균기온	-0.680	0.322	-2.112	0.0356
	필요수량	-0.013	0.006	-2.117	0.0352
	유입량	0.013	0.004	3.592	0.0004
용당	강우량	-0.219	0.044	-4.958	0.0000
	유효강우일수	3.142	1.199	2.621	0.0093
	무강우일수	0.620	0.680	0.911	0.3630
	평균기온	-1.684	0.291	-5.785	0.0000
	필요수량	-0.005	0.003	-1.874	0.0621
	유입량	0.011	0.002	6.054	0.0000

비표준화계수 B는 1에서 멀어질수록 독립변수 목적변수의 변화에 관계가 있음을 의미하며, 0에 가까울수록 관계가 없는 것을 의미한다. 표준오차는 0에 가까울수록 유의한 것으로 설명할 수 있으며, t 통계량은 0.8에서 멀어질수록 목적변수를 설명할 확률이 높아지며, 유의확률 p는 인자가 목적변수를 설명할 때 발생할 수 있는 오류를 의미하는 것으로 알려져있다.

경남지역의 경우 대부분의 필요수량과 유입량을 제외하고 대부분의 인자에서 비표준화계수가 1을 넘어 목적변수와 관계가 있는 것으로 나타났고, 전남 저수지에서는 무강우일수와 평균기온이 저수율을 설명할 때 각각 98%와 88%의 오류를 범할 수 있는 확률로 나타나 다소 높은 유의확률을 가지고 있다. 경북지역의 경우 무강우일수 인자가 만운 저수지와 안심 저수지에서 오류를 범할 확률이 각각 79%와 65%로 나타나 다소 높은 유의확률을 가지고 있으며 대부분의 인자에서 관계가 있는 것으로 확인되었으며 특히, 유입량 인자는 t 통계량이 3.5 이상이며 유의확률이 0%에 가까워 저수율의 변화를 설명하는 확률이 가장 높은 것으로 나타났다.

전남지역의 경우에는 무강우일수 유의확률이 둔전 저수지에서 97%, 해원 저수지에서 87%로 나타난 것을 제외하고 대부분의 인자가 오류를 범할 확률이 낮은 것으로 나타났다. 전북지역의 경우에는 대부분의 저수지에서 필요수량 인자의 유의확률이 높게 나타났으며, 필요수량을 제외한 인자는 설명력이 확보된 것으로 판단된다. 충남지역의 경우에는 유효강우일수 인자가 풍전 저수지와 봉림 저수지에서 유의확률이 각각 73%와 88%를 나타냈고, 충북지역의 경우에는 모든 인자의 유의확률이 낮아 목적변수에 대한 설명력이 확보된 것으로 분석되었다.

앞서 선정된 가용 인자와 농업용수 취약성을 대표하는 인자인 실측 저수율과의 다중회귀 분석을 통하여 취약성 인자를 선정하였다. 총 24개의 가용 인자 중 농업용수 취약성에 영향을 미치는 변수로서 6개의 취약성 인자 즉, 강수량, 평균기온, 무강우일수, 유효강우일수, 저수지 유입량, 수혜구역 필요수량으로 선정하였다.

<표 2-69> 다중회귀분석을 이용한 취약성 인자의 선정 현황

순번	취약성 인자	단위	상세 내용
1	강수량	mm	분석시간 단위별 강수량 순별, 월별, 관개기 강수량 합계
2	평균기온	℃	분석시간 단위별 평균기온 순별, 월별 평균
3	무강우일수	day	분석시간 단위별 무강우 발생 일수 순별, 월별, 관개기별 일수 합계
4	유효강우일수	day	일강우 5mm 이상 강우 발생 일수 순별, 월별, 관개기별 일수 합계
5	유입량	ton	분석시간 단위별 저수지 유입량 순별, 월별, 관개기 합계
6	필요수량	ton	분석시간 단위별 수혜구역의 필요수량 순별, 월별, 관개기 합계

강우량은 농업용수 취약성 평가에 가장 중요한 변수로서, 저수율에 영향을 미치는 저수지 유입량 및 수혜구역의 필요수량에 영향을 미치는 유효우량 등의 변화에 가장 민감한 변수이다. 강우량 변수에 대한 전국 평균 다중회귀 통계량을 볼 때, B값은 -0.191, 표준오차는 0.055, t 통계량은 -3.479, 유의확률 p는 0.035로서 농업용수 취약성 대표 인자인 저수량을 설명하는데 매우 유의한 변수로 판단된다. 유효강우일수는 5mm/day 이상의 강우량이 발생한 일수로서, 일반적으로 수혜구역의 최소 담수심을 5mm로 설정하고 있는데 유효강우일수가 많을수록 농업용수 취약성이 저감되는 것으로 사료된다. 유효강우일수 변수에 대한 전국 평균 다중회귀 통계량을 볼 때, B값은 1.970, 표준오차는 1.488, t 통계량은 1.354, 유의확률 p는 0.289로서 농업용수 취약성 대표 인자인 저수량을 설명하는데 매우 유의한 변수로 판단된다.

무강우일수는 강우가 발생하지 않은 일수로서, 무강우일수가 증가할수록 농업용수 취약성은 높아지는 것으로 반비례의 관계에 있으며, 무강우일수 변수에 대한 전국 평균 다중회귀 통계량을 볼 때, B값은 0.683, 표준오차는 0.902, t 통계량은 0.754, 유의확률 p는 0.373으로서 유의한 변수로 판단된다. 평균기온은 수혜구역의 증발산량에 영향을 미치는 변수로서, 평균기온이 높아질수록 증발산량이 증가하여 수혜구역의 필요수량이 증가하므로 농업용수 취약성이 증가하는 비례 관계에 있으며, 평균기온 변수에 대한 전국 평균 다중회귀 통계량을 볼 때, B값은 -1.420, 표준오차는 0.351, t 통계량은 -4.068, 유의확률 p는 0.054로서 목적변수를 설명하는데 있어 오차를 범할 확률이 거의 0%에 가까운 변수이다.

필요수량은 수혜구역에서 직접적으로 소비되는 수량으로서, 필요수량이 증가하면 저수지의 공급량 역시 증가되고 저수율이 감소되어 농업용수 취약성이 증가하는 반비례 관계에 있으며, 필요수량 변수에 대한 전국 평균 다중회귀 통계량을 볼 때, B값은 -0.002, 표준오차는 0.011, t 통계량은 -0.342, 유의확률 p는 0.447로서 목적변수를 설명하는데 오류를 범할 확률이 44.7%로서 다소 높지만 농업용수 취약성을 평가하는데 있어 필수적인 인자로 판단되어 취약성 인자로 선정하였다. 유입량은 저수지의 저수율에 직접적인 영향을 미치는 인자로서, 유입량이 증가하면 저수율도 증가하며 수혜구역에 공급할 수 있는 수량이 확보되어 농업용수 취약성이 저감되는 반비례 관계에 있으며, 유입량 변수에 대한 전국 평균 다중회귀 통계량을 볼 때, B값은 0.032, 표준오차는 0.007, t 통계량은 4.854, 유의확률 p는 0.002로서 목적변수를 설명하는데 있어 오차를 범할 확률이 거의 0%에 가까운 변수이다. 또한, t 통계량이 4 이상으로서 목적변수를 올바르게 설명하는 확률이 매우 높은 변수이다.

이상과 같이 14개의 가용 인자를 이용하여 실측 저수율을 목적 변수로하여 다중회귀분석을 실시하여 목적변수와 유의한 6개의 취약성 인자 즉, 강수량, 평균기온, 무강우일수, 유효강우일수, 유입량, 필요수량으로 선정하였으며, 취약성 인자를 표준화하고 및 가중치를 부여하여 대상 지구에 대한 취약성 평가를 수행하였다.

(2) 취약성 인자의 표준화 분석

취약성 지표 개발을 위하여 구축한 기초자료와 가공한 자료 들은 서로 다른 단위와 성질을 가지고 있다. 이러한 여러 변수들을 집계하여 하나의 지표로 결합하는 과정에서 반드시 이루어져야 하는 단계 중 하나가 표준화 과정이다. 자료의 표준화는 선정된 인자의 크기와 단위에 따른 편차문제를 해소하기 위하여 반드시 필요한 과정이라 할 수 있다. 표준화 방법은 수자원분야 뿐만 아니라 경제, 환경 및 의료분야 지표 등 거의 모든 영역에서 이용되고 있다. 이러한 표준화는 지표의 목표와 자료의 특성 등에 따라 다양하게 제시되고 있으며, 개발자는 지표의 구조 및 선정기준 등 여러 가지를 고려하여 표준화 방법을 선정한다. Nardo 등(2005)은 다양한 표준화 방법들을 9가지의 표준화 방법으로 정리하여 제시하였다.

순위산정(ranking) 방법은 가장 단순하고, 간단한 방법으로 자료들을 순서대로 나열하여 자료의 순위를 매기는 방법이다. 그러나 자료의 비율척도와는 상관없이 서열척도의 등간격으로 점수를 환산하여 많은 정보를 얻기는 쉽지 않다. Z-스코어(z-score) 방법은 가장 많이 사용되고 있는 방법으로 모든 자료들을 평균은 0, 표준편차는 1이 되도록 만드는 방법이다. 자료의 수치가 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는지를 표준화된 확률변수인 Z값으로 나타낸다. 그러나 평균치 이하의 점수는 음수 값으로 산정되므로 별도의 처리가 필요하다. 기존 연구에서는 분포의 확률밀도함수를 이용하여 구간별 평가 점수를 다시 부여하는 방법(윤하연, 1999)을 이용하거나 Z-스코어의 값을 동일한 범위인 0~1 사이의 값을 갖도록 초과확률을 이용하여 산정하고 있다 (백승협 등, 2011).

스케일 재조정(re-scaling) 방법도 Z-스코어 방법과 같이 보편적으로 많이 사용되고 있는 표준화 방법 중 하나이다. 스케일 재조정 방법은 표준편차보다 지표의 범위에 기반을 둔 변환 방법으로 값을 0~1 범위를 갖도록 한다. 하지만 지표 자료의 극한값(최저, 최고)은 신뢰할 수 없는 이상치가 될 수도 있어서 이러한 요인들이 변환된 지표들에게 왜곡된 효과를 줄 수도 있다.

기준선과의 차이(distance to reference country) 방법은 세부지표에 대한 측정지표의 비율을 이용하는 방법으로, 하나의 기준 값을 정하여 표준화한다. 이 방법은 스케일 재조정 방법과 유사하게 자료의 값이 몰려있는 경우 같은 비율로 환산하여 변환된 표준화 값에 왜곡된 효과를 줄 수 있다. 범주 스케일(categorical scales) 방법의 경우 우선 자료의 범주를 정하고, 각 범주를 점수화하여 모든 자료들이 범주에 해당되는 지정 범주 값을 할당한다. 이 방법의 경우 계산된 지표가 시간에 따라 어떤 작은 변화를 한다 하더라도 이러한 변화과정이 결과에 큰 영향을 미치지 않는다는 장점이 있지만 범주를 정한 사이의 값들은 동일한 점수를 받게 되어 자료의 특성을 반영하기 어렵다. 평균 상·하위 지표(indicators above or between the mean) 방법은 평균값 부근 에 위치하는 경계 값을 임의로 정하여 이 값의 상위와 하위 지표들을 고려하는 방법이다. 이 방법은 매우 간편하고 이상치에 의한 영향을 받지 않는다는 장점이 있지만, 경계

값 수준의 임의성과 절대적 수준의 정보가 누락될 수 있다는 단점이 있다(한국환경정책·평가연구원, 2008).

순환지표(cyclical indicators)는 대부분의 비즈니스 경향 조사를 수행하는 연구기관에서 사용되는 지표로서, 시계열 자료를 이용하여 순환지표로 계산한다. 계산은 자료들이 시계열 분포를 이룰 때 시간의 평균값을 뺀 뒤, 평균과의 차이에 대한 절대값의 시간평균으로 나눔으로써 변환이 이루어진다(Nilsson, 2000). 이는 잘못된 신호의 결과물에 대한 위험요인을 줄여 경제 활동에서 보다 나은 순환예측을 얻기 위해 행해지는 방법이다(한국환경정책·평가연구원, 2008). 연간차이 백분율(percentage of annual differences over consecutive years) 방법은 수년 동안의 자료가 이용 가능할 경우 연도별 시계열 경향성을 보기 위한 것으로는 좋은 방법이겠지만 매년 발생하지 않는 홍수피해 밀도, 복구비 등과 같은 자료와 경사 및 고도와 같이 연도별 변화가 거의 없는 자료에 적용하기에는 무리가 있다.

<표 2-70> 취약성 지표 산정을 위한 인자의 표준화 방법 (Nardo 등, 2005)

표준화 방법	산정식
순위산정 (ranking)	$I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$
Z-스코어 (z-score)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^t = \bar{c}}{\sigma_{qc}^t = \bar{c}}$
스케일 재조정 (re-scaling)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^{t_0})}{\max_c(x_q^{t_0}) - \min_c(x_q^{t_0})}$
기준선과의 차이 (distance to reference country)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc}^{t_0} = \bar{c}}$ or $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t_0} = \bar{c}}{x_{qc}^{t_0} = \bar{c}}$
범주 스케일 (categorical scales)	$I_{qc}^t = \begin{cases} 25 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{25th}\} \text{percentile} \\ 50 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{50th} - p^{25th}\} \text{percentile} \\ 75 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{75th} - p^{25th}\} \text{percentile} \\ 100 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{100th} - p^{25th}\} \text{percentile} \end{cases}$
평균 상·하위 지표 (indicators above or below the mean)	$I_{qc}^t = \begin{cases} 1 & \text{if } w > (1+p) \\ 0 & \text{if } (1-p) \leq w \leq (1+p) \\ -1 & \text{if } w < (1-p) \end{cases}$ where $w = x_{qc}^t / x_{qc}^{t_0} = \bar{c}$
순환지표 (cyclical indicators(OECD))	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E(x_{qc}^t))}$
의견균형 (balance of opinions(EC))	$I_{qc}^t = \frac{100}{N_e} \sum_e^{N_e} sgn_e(x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1})$
연간차이 백분율 (percentage of annual differences over consecutive years)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t}$

농업용수 취약성 지표 산정을 위하여 선정된 인자들의 표준화 분석을 수행하였는데, 본 연구에서는 앞서 제시된 다양한 표준화 방법들 중에서 기존 연구에서 가장 많이 사용되고 있는 Z-스코어 방법과 스케일 재조정 방법을 사용하였고, 인자의 특성에 맞는 표준화 방법을 선정하기 위하여 순위산정 방법과 범주 스케일 방법의 4가지 표준화 방법을 적용하여 분석하였다.

<표 2-71> 표준화 방법에 따른 인자의 순별 평균 (경남지역)

대상 지구	표준화 방법	표준화 (0 ~ 1)					
		강수량	평균 기온	무강우 일수	유효강우 일수	유입량	필요 수량
하이	Z-Score	0.32	0.54	0.57	0.39	0.34	0.56
	Re-Scaling	0.32	0.54	0.57	0.39	0.34	0.56
	Categorical Scale	0.28	0.56	0.60	0.41	0.30	0.57
	Rank	0.49	0.50	0.51	0.46	0.50	0.49
덕암	Z-Score	0.32	0.55	0.50	0.40	0.34	0.56
	Re-Scaling	0.32	0.55	0.50	0.40	0.34	0.56
	Categorical Scale	0.28	0.56	0.53	0.42	0.30	0.57
	Rank	0.49	0.50	0.50	0.47	0.50	0.49
향양	Z-Score	0.29	0.53	0.52	0.40	0.31	0.56
	Re-Scaling	0.29	0.53	0.52	0.40	0.31	0.56
	Categorical Scale	0.26	0.54	0.58	0.42	0.28	0.28
	Rank	0.26	0.54	0.58	0.42	0.28	0.59
감동	Z-Score	0.34	0.53	0.51	0.43	0.32	0.58
	Re-Scaling	0.34	0.53	0.51	0.43	0.32	0.58
	Categorical Scale	0.30	0.53	0.56	0.46	0.29	0.60
	Rank	0.49	0.50	0.51	0.47	0.50	0.49
산남	Z-Score	0.33	0.51	0.53	0.44	0.33	0.52
	Re-Scaling	0.33	0.51	0.53	0.44	0.33	0.52
	Categorical Scale	0.29	0.52	0.57	0.48	0.29	0.53
	Rank	0.49	0.50	0.50	0.48	0.50	0.49

<표 2-72> 표준화 방법에 따른 취약성 인자 순별 평균 (경북지역)

대상 지구	표준화 방법	표준화 (0 ~ 1)					
		강수량	평균 기온	무강우 일수	유효강우 일수	유입량	필요수량
만운	Z-Score	0.33	0.53	0.52	0.40	0.33	0.60
	Re-Scaling	0.33	0.53	0.52	0.40	0.33	0.60
	Categorical Scale	0.29	0.53	0.55	0.42	0.29	0.62
	Rank	0.49	0.50	0.50	0.46	0.50	0.49
창평	Z-Score	0.35	0.52	0.54	0.42	0.31	0.59
	Re-Scaling	0.35	0.52	0.54	0.42	0.31	0.59
	Categorical Scale	0.31	0.53	0.58	0.42	0.27	0.61
	Rank	0.50	0.50	0.51	0.47	0.50	0.49
임고	Z-Score	0.33	0.52	0.55	0.42	0.32	0.62
	Re-Scaling	0.33	0.52	0.55	0.42	0.32	0.62
	Categorical Scale	0.29	0.53	0.58	0.44	0.28	0.64
	Rank	0.50	0.50	0.52	0.47	0.50	0.49
조성	Z-Score	0.34	0.52	0.52	0.39	0.30	0.59
	Re-Scaling	0.34	0.52	0.52	0.39	0.30	0.59
	Categorical Scale	0.30	0.53	0.55	0.39	0.26	0.61
	Rank	0.49	0.50	0.51	0.46	0.50	0.49
안심	Z-Score	0.31	0.51	0.54	0.42	0.30	0.60
	Re-Scaling	0.31	0.51	0.54	0.42	0.30	0.60
	Categorical Scale	0.26	0.53	0.58	0.43	0.26	0.63
	Rank	0.50	0.50	0.50	0.47	0.50	0.49

<표 2-73> 표준화 방법에 따른 취약성 인자 순별 평균 (전남지역)

대상 지구	표준화 방법	표준화 (0 ~ 1)					
		강수량	평균 기온	무강우 일수	유효강우 일수	유입량	필요수량
도갑	Z-Score	0.29	0.53	0.49	0.37	0.33	0.59
	Re-Scaling	0.29	0.53	0.49	0.37	0.33	0.59
	Categorical Scale	0.25	0.53	0.52	0.38	0.29	0.59
	Rank	0.49	0.50	0.49	0.47	0.50	0.49
울치	Z-Score	0.29	0.53	0.49	0.37	0.33	0.60
	Re-Scaling	0.29	0.53	0.49	0.37	0.33	0.60
	Categorical Scale	0.25	0.53	0.52	0.38	0.29	0.61
	Rank	0.49	0.50	0.49	0.47	0.50	0.49
둔전	Z-Score	0.29	0.52	0.39	0.50	0.31	0.59
	Re-Scaling	0.29	0.52	0.39	0.50	0.31	0.59
	Categorical Scale	0.25	0.53	0.42	0.54	0.28	0.61
	Rank	0.49	0.50	0.47	0.50	0.50	0.49
봉암	Z-Score	0.29	0.52	0.14	0.84	0.31	0.58
	Re-Scaling	0.29	0.52	0.14	0.84	0.31	0.58
	Categorical Scale	0.25	0.53	0.15	0.84	0.28	0.60
	Rank	0.49	0.50	0.18	0.80	0.50	0.49
해원	Z-Score	0.29	0.52	0.51	0.38	0.31	0.55
	Re-Scaling	0.29	0.52	0.51	0.38	0.31	0.55
	Categorical Scale	0.25	0.53	0.55	0.41	0.28	0.57
	Rank	0.49	0.50	0.50	0.46	0.50	0.49

<표 2-74> 표준화 방법에 따른 취약성 인자 순별 평균 (전북지역)

대상 지구	표준화 방법	표준화 (0 ~ 1)					
		강수량	평균 기온	무강우 일수	유효강우 일수	유입량	필요수량
고수	Z-Score	0.31	0.54	0.52	0.39	0.30	0.57
	Re-Scaling	0.31	0.54	0.52	0.39	0.30	0.57
	Categorical Scale	0.27	0.56	0.56	0.43	0.27	0.57
	Rank	0.50	0.50	0.50	0.46	0.50	0.49
구림	Z-Score	0.31	0.54	0.52	0.39	0.30	0.56
	Re-Scaling	0.31	0.54	0.52	0.39	0.30	0.56
	Categorical Scale	0.27	0.56	0.56	0.43	0.26	0.57
	Rank	0.50	0.50	0.50	0.46	0.50	0.49
광곡	Z-Score	0.33	0.52	0.51	0.41	0.33	0.57
	Re-Scaling	0.33	0.52	0.51	0.41	0.33	0.57
	Categorical Scale	0.29	0.52	0.54	0.44	0.30	0.59
	Rank	0.50	0.50	0.49	0.47	0.50	0.49
경천	Z-Score	0.33	0.52	0.53	0.43	0.31	0.52
	Re-Scaling	0.33	0.52	0.53	0.43	0.31	0.52
	Categorical Scale	0.29	0.53	0.57	0.45	0.27	0.53
	Rank	0.50	0.50	0.50	0.48	0.50	0.49
대아	Z-Score	0.33	0.52	0.53	0.43	0.31	0.55
	Re-Scaling	0.33	0.52	0.53	0.43	0.31	0.55
	Categorical Scale	0.29	0.53	0.57	0.45	0.27	0.56
	Rank	0.50	0.50	0.50	0.48	0.50	0.49

<표 2-75> 표준화 방법에 따른 취약성 인자 순별 평균 (충남지역)

대상 지구	표준화 방법	표준화 (0 ~ 1)					
		강수량	평균 기온	무강우 일수	유효강우 일수	유입량	필요수량
수룡	Z-Score	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.60
	Re-Scaling	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.60
	Categorical Scale	0.28	0.53	0.58	0.40	0.25	0.62
	Rank	0.49	0.50	0.51	0.46	0.50	0.49
풍전	Z-Score	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.58
	Re-Scaling	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.58
	Categorical Scale	0.28	0.53	0.58	0.40	0.25	0.60
	Rank	0.49	0.50	0.51	0.46	0.50	0.49
신송	Z-Score	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.61
	Re-Scaling	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.61
	Categorical Scale	0.28	0.53	0.58	0.40	0.25	0.64
	Rank	0.49	0.50	0.51	0.46	0.50	0.49
산수	Z-Score	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.59
	Re-Scaling	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.59
	Categorical Scale	0.28	0.53	0.58	0.40	0.25	0.61
	Rank	0.49	0.50	0.51	0.46	0.50	0.49
봉림	Z-Score	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.60
	Re-Scaling	0.32	0.53	0.55	0.39	0.30	0.60
	Categorical Scale	0.28	0.53	0.58	0.40	0.24	0.63
	Rank	0.49	0.50	0.51	0.46	0.50	0.49

<표 2-76> 표준화 방법에 따른 취약성 인자 순별 평균 (충북지역)

대상 지구	표준화 방법	표준화 (0 ~ 1)					
		강수량	평균 기온	무강우 일수	유효강우 일수	유입량	필요 수량
삼기	Z-Score	0.34	0.54	0.52	0.45	0.32	0.55
	Re-Scaling	0.34	0.54	0.52	0.45	0.32	0.55
	Categorical Scale	0.31	0.56	0.56	0.46	0.27	0.55
	Rank	0.50	0.50	0.51	0.48	0.50	0.49
원남	Z-Score	0.33	0.52	0.53	0.41	0.32	0.57
	Re-Scaling	0.33	0.52	0.53	0.41	0.32	0.57
	Categorical Scale	0.30	0.52	0.57	0.42	0.28	0.59
	Rank	0.49	0.50	0.50	0.47	0.50	0.49
용곡	Z-Score	0.33	0.52	0.53	0.41	0.31	0.58
	Re-Scaling	0.33	0.52	0.53	0.41	0.31	0.58
	Categorical Scale	0.30	0.52	0.57	0.42	0.27	0.60
	Rank	0.49	0.50	0.50	0.47	0.50	0.49
추평	Z-Score	0.34	0.52	0.53	0.39	0.32	0.57
	Re-Scaling	0.34	0.52	0.53	0.39	0.32	0.57
	Categorical Scale	0.30	0.53	0.57	0.40	0.28	0.58
	Rank	0.49	0.50	0.50	0.46	0.50	0.49
용당	Z-Score	0.34	0.52	0.53	0.39	0.32	0.57
	Re-Scaling	0.34	0.52	0.53	0.39	0.32	0.57
	Categorical Scale	0.30	0.53	0.57	0.40	0.28	0.58
	Rank	0.49	0.50	0.50	0.46	0.50	0.49

(3) 취약성 인자의 가중치 분석

가중치 산정 방법으로는 지표 및 지수에 사용되는 객관적인 관측자료 및 기초 통계자료를 종합하거나 또는 정성적인 분석자료를 종합하여 산정할 경우 각각의 변수 또는 세부지표나 항목 간의 상대적 중요도, 즉 가중치를 고려하게 된다. 가중치를 산정하는 방법은 조사 목적, 항목의 중요도, 구성 체계 및 설문조사의 용이성 등에 따라 적용하는 방법이 매우 다양하다. 대표적인 가중치 산정방법으로는 척도표시법, 순위척도법, 전문가에 의한 점수할당법, 델파이법, 계층분석법, 다중회귀분석법, 요인분석법, 엔트로피 방법 등이 있다.

척도표시법은 의견조사를 통하여 각 속성들의 중요도를 5점 또는 7점 척도로 표시하고, 그 결과를 통계적으로 분석하여 가중치를 산정하는 방법이다. 비교적 간단한 방법이긴 하지만 속성들의 상대적 중요도를 파악하기 어려울 뿐만 아니라 조사내용의 표현방법에 따라 다른 결과를 초래할 수 있다는 한계가 있다.

순위척도법은 여러 속성들에 대한 선호도 순위를 정하게 하고 그 우선순위의 결과를 토대로 통계적으로 분석하여 선호도가 가장 높은 대안을 선정하는 방법으로 비교적 단순한 방법이다. 그러나 순위자체는 우선도를 나타내는 것일 뿐 가중치나 상대적 중요도를 의미하는 것은 아니다. 즉, 우선순위에 따라 부여하는 점수 자체가 임의적일 수 있다는 단점이 있다.

점수할당법은 각 속성들이 종합평가치에 어느 정도 중요한가를 전문가들이 합계 100점을 가지고 각 속성에 분배해 주되, 보다 중요한 속성에는 많은 점수를 주고 덜 중요한 속성에는 점수를 조금만 분배해주는 방법이다. 객관적인 사실에 기초하여 전문가들의 분석과 판단에 의하여 점수를 분배하는 과정에서 상대적 중요도가 반영되며 신속하게 가중치를 도출할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 판단해야 하는 속성의 수가 많아지면 판단이 어려워지고, 각 속성의 측정단위, 상한과 하한, 과제 내용 등을 구체적으로 고려하지 못하는 한계점이 있다.

델파이법은 계획안에 대한 다수의 전문가 집단을 구성하고, 설문을 실시하여 응답을 집계하는 방식으로 합의에 도달하지 못한 사항에 대해서는 다시 설문을 작성하여 전회응답 결과와 함께 전문가 집단에 보내 재응답시키며 합의에 도달할 때까지 이를 반복(피드백)하게 된다. 델파이 기법의 적용은 서로 누가 어떤 의견을 내는지 모르는 고립성, 의견이 수렴될 때까지 반복조사를 실시하는 반복성, 반복실시 때마다의 조사결과를 요약하여 응답자에게 제시하는 환류성 등의 특징이 있다. 확보된 전문가를 통하여 손쉽게 반복설문을 통하여 가중치를 얻을 수 있다.

계층분석법은 다기준 의사결정 시 의사결정자의 경험이나 지식이 주어진 문제에 사용되는 데이터 못지않게 중요하다는 전제를 가지고 다수와 전문가의 의견을 반영하여 가중치를 결정하는 방법으로 많이 사용된다. 이 방법은 먼저 설문의 목적을 정확히 명기하고, 이를 해결할 수 있는 대안 또는 문제를 계층화하고, 각 속성의 가중치는 상대적 중요도로 결정되며 이는 설문을 기반으로 속성 또는 지표간의 쌍대비교를 통하여 결정된다. 계층분석법은 문제를 계층

별로 분해해서 관찰하고, 구성요소간의 복잡한 관계를 간단한 구조를 사용하여 분석이 가능하다는 특징이 있다. 그러나 사전 설문이 필요하며 설문에 따른 대안이나 설문 요소가 변경되면 재설문을 하는 등 부수적인 작업이 많고, 조사방법이 까다로워 긴 시간이 필요하다.

다중회귀분석법은 각 대안들의 프로필을 보여주고, 100점 만점으로 대안별 총점을 매겨 그 점수와 프로필에 대한 인자간의 상호관계를 회귀분석을 통하여 가중치를 산정하는 방법이다. 이 방법은 응답자들의 저항감은 없으나 신뢰성 있는 회귀식을 얻기 위해서는 다수의 프로필을 준비해야 하며, 프로필의 체계적 설계와 세심한 구성이 필요하다.

요인분석법은 다수 변수들 간의 상관관계를 분석하여 변수들의 바탕을 이루는 공통차원들로서 이 변수들을 설명하는 다변량 분석기법 중 하나이다. 다수의 변수들을 정보손실을 최소화하면서 소수의 요인들로 축약하는 것이라 할 수 있다. 이 방법은 종속변수와 독립변수가 없으며, 모든 변수들 간의 관계를 분석함으로써 변수들의 토대를 이루는 요인을 발견하는 것으로 분석결과로부터 모집단의 특성에 관한 추정을 하는 추계통계기법이 아닌 기술통계기법이다. 요인분석을 통하여 나오는 요인부하량(factor loading)은 각 변수와 해당 요인간의 상관관계 계수이며, 각 요인에 속하는 요인부하량의 총합에 대한 각 변수들의 요인부하량의 상대적 비율로 가중치를 산정할 수 있다. 요인분석은 관측변수 자료의 통계학적 성질에 의거하여 가중치를 산정하기 때문에 지수작성은 요인분석에 의거하여 더욱 합리적인 방법으로 구축하는 것이 가능하다 (문춘걸과 나성린, 2002).

엔트로피 방법은 주관적인 판단요소가 들어가지 않고, 측정된 자료만을 가지고 수리적 방법에 의하여 가중치를 도출하는 비교적 객관적인 기법이다. 이 방법은 비교적 간단한 방법으로 수, 신호 또는 기호들로 구성된 통신신호를 분석하는 정보이론에서 시작되었다. 정보이론이란 각 속성의 빈도수를 기반으로 응집도가 높은 속성을 발견하여 가중치를 높게 부여하는 방법이다. 각 자료들의 점수 차이가 크면 엔트로피 값이 작아지고, 점수 차이가 작으면 엔트로피 값이 커지기 때문에, 엔트로피를 계산함으로써 각 속성의 가중치를 정해줄 수 있다. 가중치 산정에 주관적인 판단을 제외한 자료만의 정보를 이용하여 객관적인 기법이긴 하지만, 자료의 특성에 따라서 가중치가 극적으로 배분되어 가중치가 매우 낮은 속성을 사용하지 않는 것과 같은 결과를 제시할 수도 있기 때문에 적용에 신중을 기해야 한다.

<표 2-77> 가중치 산정 방법의 장·단점

방법	장점	단점
척도 표시	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 간단하여 적용이 용이함 	<ul style="list-style-type: none"> • 상대적 중요도 파악이 어려움 • 질문의 표현방법에 따른 상이한 결과 가능
순위 척도	<ul style="list-style-type: none"> • 선호도를 반영한 절차의 단순성 • 비교적 간단하여 적용이 용이함 	<ul style="list-style-type: none"> • 속성간의 상대적 중요도 파악 곤란 • 순위에 따른 점수가 임의적일 수 있음
점수 할당	<ul style="list-style-type: none"> • 전문가를 통한 상대적 중요도 파악 • 객관성 확보가능 및 신속·용이함 	<ul style="list-style-type: none"> • 항목이 많으면 배점이 어려워짐 • 속성의 특성을 구체적으로 고려하지 못함
델파이	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 전문가의 의견 수렴 가능 • 독립성, 반복성, 환류성, 객관성 제고 	<ul style="list-style-type: none"> • 회전속도가 느리고 장기간 소요 • 설문지에 의한 의견진술이므로 설문지 방법의 본래적인 한계점 내포
계층 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 지표의 결과를 숫자로 나타내어 인자들의 영향을 상대적 크기로 표시 가능 • 대안별 종합적인 비교·검토 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 조사방법이 까다롭고, 장시간 소요 • 전문가집단으로 조사 대상을 한정하는 것이 바람직함
다중 회귀	<ul style="list-style-type: none"> • 응답자들의 저항감이 없음 • 여러 분야에서 자주 사용되는 통계기법 	<ul style="list-style-type: none"> • 신뢰성을 위하여 다수의 프로파일 준비 필요 • 프로파일의 설계와 구성에 민감함
요인 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 자료를 이용하여 객관적인 기술통계 기법을 활용한 가중치 산정방법 • 관측변수 자료의 통계학적 성질에 의거하여 합리적인 가중치 산정 	<ul style="list-style-type: none"> • 통계프로그램을 이용하여 요인분석 선행 • 신뢰성을 높이기 위하여 충분한 자료 가 구축되어야 함
엔트로피	<ul style="list-style-type: none"> • 자료를 이용한 객관적 가중치 산정 가능 • 비교적 계산이 간단하여 적용이 용이함 	<ul style="list-style-type: none"> • 인자의 속성정보 구축 선행 • 자료의 특성에 따라 극적인 가중치 산정

가중치 부여 방법의 경우 전문가들의 의견을 통하여 가중치를 선정하는 방법과 자료의 통계적인 방법을 통하여 가중치를 부여하는 방법으로 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 전문가들의 의견을 통하여 가중치를 선정하는 방법의 경우 설문자의 주관적 판단이 가중치 산정에 많은 영향을 주고, 설문의 항목이 많은 경우 일관성을 유지하기 어려운 문제가 있다. 또한 전문가 선택의 어려움, 전문가들의 수, 관심분야 및 관점에 따른 상이한 결과 도출, 전문가들의 주관성이 많이 포함되어 오관에 의한 분석결과의 왜곡을 가져올 수 있다는 문제점 등을 고려하여 전문가들의 의견을 통한 방법은 제외하였다.

주관성이 배제된 가중치 부여방법으로 연구에서는 3가지 방법을 적용하였다. 첫번째는 동일 가중치 부여방법, 두 번째는 김태일(1999), 강민구 등(2008)의 연구에서 활용한 요인분석 가중치 부여방법, 마지막으로 장대원(2010), 이정호 등(2011)의 연구에 활용된 엔트로피 개념을 이용하여 가중치 부여방법에 따른 결과를 비교 및 분석하여 제시하였다.

요인분석 방법에 의한 가중치를 결정하기 위하여 SPSS 통계 프로그램을 사용하였으며, 실측 저수율 자료를 목적변수로하여 6개의 취약성 인자의 가중치를 산정하였다. 요인분석은 모집단 자료의 개수가 방대할수록 분석의 신뢰도가 높아지는 점을 감안하여 대상지구의 자료를 모두 사용하여 분석하였다. 요인분석에 의한 취약성 인자별 가중치 산정 결과, 강수량은 0.18, 평균 기온은 0.15, 무강우일수는 0.16, 유효강우일수는 0.17, 유입량은 0.18, 필요수량은 0.17으로 산정되어 가중치의 합계가 1이 되는 것을 확인하였다.

엔트로피 방법은 도별로 가중치를 산정하였으며, 경남지역의 경우 강수량은 0.102, 평균기온은 0.097, 무강우일수는 0.276, 유효강우일수는 0.324, 유입량은 0.097, 필요수량은 0.104로 산정되어 가중치의 합계가 1이 되는 것을 확인하였다. 동일 가중치 부여방법은 6개의 취약성 인자에 동일한 가중치를 부여하는 방법으로서 동일한 0.1667 가중치를 사용하였다. 다음 표는 요인분석 방법 및 엔트로피 방법으로 부여된 취약성 인자별 가중치 산정 결과를 나타내고 있다.

<표 2-78> 가중치 부여 방법에 의한 도별 가중치 산정 결과

가중치 산정 방법	도 별	가중치					
		강수량	평균 기온	무강우 일수	유효강우 일수	유입량	필요 수량
엔트로피	경남	0.1018	0.0970	0.2761	0.3241	0.0966	0.1044
	경북	0.1142	0.1102	0.2529	0.2959	0.1095	0.1173
	전남	0.1261	0.1213	0.2495	0.2567	0.1181	0.1284
	전북	0.1299	0.1259	0.2285	0.2584	0.1248	0.1324
	충남	0.1019	0.0951	0.2712	0.3457	0.0864	0.0998
	충북	0.1106	0.1044	0.2585	0.3089	0.1024	0.1152
요인 분석		0.1773	0.1608	0.1588	0.1701	0.1733	0.1596
동일 가중치		0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667

(4) 농업용수 이용 취약성 분석

표준화 및 가중치 분석 결과를 이용하여 농업용수 취약성 지표를 산정하였고, 취약성 지표와 실측 저수율 자료를 비교하여 취약성 지표가 실제 농업용수 취약성을 평가하는 여부를 판단하여 적용성을 평가하였다. 취약성 평가 인자의 표준화 및 가중치 부여를 한 후 이를 종합하여 간단한 숫자로 표현되는 지수 산정에 있어 집계방법은 다양하게 제시가 되어있지만 주로 자주 사용되는 것은 누적더하기(총합)와 누적곱하기(총승)이라 할 수 있다. 누적더하기는 표준화를 거친 지표 값에 가중치를 곱한 후 합산 함으로써 지수를 산정하는 방법이며, 산정결과의 범위가 좁게 나타나는 경향이 있다. 누적곱하기는 각 표준화된 지표 값에 가중치를 지수화하고 곱함으로써 지수를 산정하는 방법이며, 산정결과의 범위가 넓게 나타난다는 장점이 있으나 표준화된 지표 값이 0인 경우 종합된 지수 값이 0이 된다. 따라서 누적곱하기를 사용할 경우에는 표준화된 지표 값이 0이 아닌 경우에 주로 이용되며 표준화 방법에 따라 적용 여부가 결정된다고 할 수 있다.

본 연구에서는 누적더하기 방법에 의해 분야별 지수를 산정하였고, 지수 산정결과를 분위법(quantile)을 적용하여 5개의 등급구간으로 분류하였으며 0~20%를 1등급, 20~40% 구간을 2등급, 40~60%를 3등급, 60~80%를 4등급, 나머지 취약성이 가장 높은 구간을 5등급으로 나누었고, 이때, 취약성지수의 값이 작을수록 취약하다는 것을 의미한다. 다음 표는 취약성 인자별 표준화 및 가중치 산정 결과를 이용한 취약성 지표 산정 결과이다.

$$VI = \sum_{i=1}^n (P_i \times W_i) \quad (\text{식 2-10})$$

여기서, VI는 취약성 지표, P_i 는 취약성 인자(강수량, 평균기온, 무강우일수, 유효강우일수, 유입량, 필요수량), W_i 는 각 취약성 인자의 가중치를 의미한다.

<표 2-79> 동일가중치 방법에 의한 취약성 지표 산정 결과 (하이저수지)

연도	순별 취약성 지표 평균값				순별 취약성 지표 최소값			
	Z-S	R-S	C-S	R	Z-S	R-S	C-S	R
2003	0.42	0.42	0.41	0.46	0.22	0.22	0.17	0.22
2004	0.44	0.44	0.44	0.45	0.30	0.30	0.28	0.32
2005	0.40	0.40	0.39	0.41	0.19	0.19	0.11	0.26
2006	0.45	0.45	0.45	0.40	0.25	0.25	0.22	0.20
2007	0.43	0.43	0.43	0.39	0.31	0.31	0.22	0.18
2008	0.43	0.43	0.43	0.35	0.31	0.31	0.33	0.13
2009	0.45	0.45	0.44	0.40	0.24	0.24	0.17	0.16
2010	0.47	0.47	0.46	0.42	0.27	0.27	0.28	0.18
2011	0.46	0.46	0.47	0.42	0.27	0.27	0.17	0.24
2012	0.48	0.48	0.48	0.40	0.35	0.35	0.39	0.23
2013	0.47	0.47	0.47	0.41	0.26	0.26	0.17	0.16
2014	0.47	0.47	0.45	0.41	0.28	0.28	0.22	0.26
2015	0.46	0.46	0.46	0.41	0.27	0.27	0.22	0.22
2016	0.52	0.52	0.55	0.44	0.36	0.36	0.33	0.26
2017	0.47	0.47	0.47	0.40	0.32	0.32	0.28	0.27

※ Z-S: Z-score 방법; R-S: Re-scaling 방법; C-S: Categorical scale 방법; R : Ranking 방법

<표 2-80> 엔트로피 가중치 방법에 의한 취약성 지표 산정 결과 (하이저수지)

연도	순별 취약성 지표 평균값				순별 취약성 지표 최소값			
	Z-S	R-S	C-S	R	Z-S	R-S	C-S	R
2003	0.45	0.45	0.47	0.49	0.26	0.26	0.22	0.30
2004	0.45	0.45	0.46	0.50	0.29	0.29	0.28	0.33
2005	0.43	0.43	0.44	0.48	0.23	0.23	0.18	0.31
2006	0.47	0.47	0.48	0.50	0.30	0.30	0.25	0.38
2007	0.45	0.45	0.47	0.49	0.31	0.31	0.26	0.28
2008	0.44	0.44	0.44	0.45	0.29	0.29	0.32	0.13
2009	0.46	0.46	0.45	0.47	0.32	0.32	0.22	0.21
2010	0.46	0.46	0.46	0.50	0.26	0.26	0.25	0.26
2011	0.47	0.47	0.49	0.51	0.32	0.32	0.22	0.41
2012	0.47	0.47	0.50	0.49	0.30	0.30	0.35	0.31
2013	0.46	0.46	0.46	0.49	0.31	0.31	0.20	0.30
2014	0.47	0.47	0.48	0.49	0.31	0.31	0.28	0.29
2015	0.46	0.46	0.47	0.50	0.29	0.29	0.26	0.36
2016	0.49	0.49	0.52	0.51	0.30	0.30	0.27	0.32
2017	0.46	0.46	0.46	0.48	0.32	0.32	0.29	0.36

<표 2-81> 요인분석 가중치 방법에 의한 취약성 지표 산정 결과 (하이저수지)

연도	순별 취약성 지표 평균값				순별 취약성 지표 최소값			
	Z-S	R-S	C-S	R	Z-S	R-S	C-S	R
2003	0.42	0.42	0.42	0.48	0.21	0.21	0.16	0.24
2004	0.43	0.43	0.44	0.50	0.29	0.29	0.27	0.37
2005	0.39	0.39	0.38	0.46	0.19	0.19	0.11	0.31
2006	0.45	0.45	0.45	0.48	0.25	0.25	0.21	0.33
2007	0.42	0.42	0.42	0.48	0.31	0.31	0.22	0.22
2008	0.42	0.42	0.42	0.44	0.30	0.30	0.32	0.16
2009	0.45	0.45	0.44	0.47	0.23	0.23	0.16	0.18
2010	0.47	0.47	0.45	0.51	0.27	0.27	0.28	0.25
2011	0.46	0.46	0.47	0.50	0.26	0.26	0.16	0.31
2012	0.47	0.47	0.48	0.50	0.35	0.35	0.37	0.33
2013	0.46	0.46	0.46	0.50	0.26	0.26	0.16	0.28
2014	0.46	0.46	0.45	0.49	0.29	0.29	0.22	0.33
2015	0.46	0.46	0.46	0.51	0.27	0.27	0.22	0.34
2016	0.51	0.51	0.54	0.55	0.35	0.35	0.32	0.35
2017	0.46	0.46	0.46	0.50	0.32	0.32	0.27	0.41

가중치 부여 방법인 동일가중치, 엔트로피, 요인분석에 의한 방법에 의하여 표준화 방법별 취약성 지표를 산정하였고, 연도별로 순별 취약성 지표의 평균값 및 최소값을 추출하였다. 경남지역의 하이저수지의 경우 2017년에 급수불가, 2009년과 2008년에 제한급수 실적을 기록하였는데, 이러한 제한급수 및 급수불가 실적을 표현하는 각 조건별 취약성 지표 산정 방법을 확인하여 취약성 지표를 산정하였다. 또한, 취약성 지표와 저수율과의 거동을 분석하여 농업용수 취약성을 가장 적절하게 표현할 수 있는 산정 방법을 결정하여 대상지구별 취약성 지표를 산정하였다.

실측 저수율 자료와 제한급수 및 급수불가 실적을 이용하여 각 조건별 취약성 지표를 비교한 결과, 요인분석 가중치 부여 방법과 범주 스케일 표준화 방법으로 산정된 취약성 지표의 순별 최소값이 2017년도 0.27, 2009년과 2008년에 각각 0.16과 0.32를 나타내어 농업용수 취약성을 가장 적절하게 표현하는 것으로 분석되었다. 따라서, 기존의 연구에서도 가장 많이 사용되었고 그 신뢰성이 검증된 요인분석 가중치 부여 방법과 범주 스케일 표준화 방법으로 대상지구별 취약성 지표를 산정하였다.

<표 2-82> 취약성 지표 산정 결과 (경상도 지역)

연도	경남					경북				
	하이	덕암	향양	감동	산남	만운	창평	임고	조성	안심
2003	0.159	0.217	0.159	0.217	0.212	0.343	0.284	0.221	0.287	0.287
2004	0.267	0.107	0.169	0.213	0.280	0.172	0.237	0.165	0.290	0.172
2005	0.106	0.219	0.159	0.107	0.159	0.280	0.112	0.224	0.175	0.172
2006	0.212	0.212	0.265	0.218	0.224	0.280	0.162	0.284	0.231	0.175
2007	0.219	0.107	0.269	0.216	0.219	0.290	0.290	0.035	0.287	0.221
2008	0.318	0.216	0.213	0.220	0.216	0.216	0.216	0.216	0.216	0.216
2009	0.159	0.212	0.159	0.266	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
2010	0.275	0.213	0.227	0.160	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328
2011	0.159	0.160	0.220	0.106	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212
2012	0.373	0.278	0.266	0.372	0.318	0.318	0.318	0.318	0.318	0.318
2013	0.159	0.159	0.265	0.213	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270
2014	0.220	0.212	0.163	0.220	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212
2015	0.216	0.213	0.219	0.270	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110
2016	0.319	0.267	0.270	0.319	0.372	0.372	0.372	0.372	0.372	0.372
2017	0.272	0.159	0.212	0.212	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343

<표 2-83> 취약성 지표 산정 결과 (전라도 지역)

연도	전남					전북				
	도갑	율치	둔전	봉암	해원	고수	구림	광곡	경천	대아
2003	0.172	0.112	0.218	0.290	0.277	0.159	0.159	0.220	0.216	0.216
2004	0.172	0.277	0.218	0.290	0.168	0.216	0.216	0.217	0.220	0.220
2005	0.231	0.168	0.162	0.112	0.172	0.266	0.266	0.265	0.274	0.274
2006	0.231	0.165	0.158	0.280	0.231	0.213	0.213	0.213	0.159	0.213
2007	0.221	0.220	0.327	0.274	0.277	0.216	0.216	0.213	0.269	0.269
2008	0.216	0.216	0.216	0.216	0.216	0.213	0.213	0.224	0.054	0.213
2009	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.265	0.265	0.212	0.106	0.212
2010	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328	0.322	0.322	0.216	0.265	0.265
2011	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.226	0.226	0.225	0.326	0.326
2012	0.318	0.318	0.318	0.318	0.318	0.319	0.319	0.212	0.323	0.323
2013	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.320	0.282	0.265	0.265	0.265
2014	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.167	0.167	0.213	0.270	0.270
2015	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.265	0.265	0.212	0.159	0.159
2016	0.372	0.372	0.372	0.372	0.372	0.266	0.266	0.324	0.267	0.267
2017	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.220	0.220	0.220	0.265	0.265

<표 2-84> 취약성 지표 산정 결과 (충청도 지역)

연도	충남					충북				
	수룡	풍전	신송	산수	봉림	삼기	원남	용곡	추평	용당
2003	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.166	0.159	0.159	0.106	0.113
2004	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.265	0.163	0.163	0.169	0.169
2005	0.320	0.326	0.320	0.326	0.326	0.160	0.159	0.159	0.226	0.226
2006	0.110	0.106	0.110	0.110	0.110	0.226	0.220	0.220	0.113	0.113
2007	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.159	0.213	0.213	0.167	0.167
2008	0.269	0.269	0.269	0.269	0.269	0.269	0.213	0.213	0.265	0.265
2009	0.213	0.212	0.213	0.213	0.213	0.223	0.213	0.213	0.159	0.159
2010	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.322	0.265	0.265	0.265	0.265
2011	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.213	0.318	0.318	0.318	0.318
2012	0.319	0.319	0.319	0.319	0.319	0.320	0.327	0.327	0.221	0.221
2013	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.212	0.212
2014	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.281	0.166	0.166	0.266	0.266
2015	0.106	0.106	0.212	0.106	0.265	0.265	0.269	0.319	0.265	0.265
2016	0.323	0.270	0.372	0.372	0.372	0.267	0.267	0.267	0.319	0.319
2017	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.265	0.168	0.168	0.213	0.213

경남지역의 감동저수지의 경우에는 2017년에 급수불가와 2014년에 제한급수 실적이 있으며, 취약성 평가 지표는 각각 0.21과 0.22를 나타내고 있다. 경북지역의 조성저수지의 경우에는 2017년과 2013년에 급수불가, 2010년과 2009년에 제한급수 실적이 있으며, 안심저수지의 경우에는 2017년과 2016년, 2009년에 제한급수, 2003년에 급수불가 실적이 있으며, 취약성 지표는 이러한 물부족 상황을 반영하고 있다. 전남지역의 봉암저수지는 2017년과 2009년에 급수불가 실적이 있으며, 해원저수지는 2017년에 급수불가, 2016년에 제한급수 실적을 나타내고 있으며, 전북지역의 경천저수지는 2009년에 제한급수, 2002년에 급수불가, 대야저수지는 2017년, 2014년, 2012년, 2009년, 2002년에 제한급수, 2015년에 급수불가 실적이 있다.

충남지역의 산수저수지는 2017년, 2016년, 2012년에 급수불가, 2015년, 2007년에 제한급수, 봉림저수지는 2017년, 2012년에 급수불가, 2015년, 2014년, 2009년에 제한급수 실적이 있으며, 충북지역의 추평저수지는 2011년에 제한급수, 용당저수지는 2008년과 2002년에 제한급수의 실적이 있다. 이러한 제한급수 및 급수불가 실적에 대해서 취약성 평가 지표를 평균한 결과 대부분의 지표가 0.2 이하로 산정되어 농업용수 취약성을 적절하게 표현하고 있으며, 선정된 가중치 부여 방법, 표준화 방법, 취약성 인자의 적용성이 검증된 것으로 사료된다.

다. 기후변화 시나리오에 따른 농업용수 취약성 예측

(1) 기후변화 시나리오 자료 수집 및 가공

선정된 6개의 인자를 도별로 산정된 표준화 및 가중치 분석 결과를 적용하여 미래 기후변화 시나리오에 의한 농업용수 취약성을 평가하고자 한다. 이를 위하여 미래의 인자 자료 구축이 선행되어야 하며, 강우량 및 평균기온, 무강우일수, 유효강우일수 인자는 기후변화 시나리오 자료로부터 수집이 가능하고, 유입량 및 필요수량 인자는 저수지 물수지 모의를 통하여 예측하였다.

최근 인간 활동에 따른 대기 중 온실 가스 농도의 증가로 인하여 기후가 눈에 띄게 변화되고 있으며, 자연 생태계 및 인간·사회·경제 활동에 큰 영향을 미칠 가능성이 있다. 지난 100년간 우리나라 기온은 1.8℃가 상승해 전지구 기온상승보다 2배나 높은 수치를 보였으며, 1971년 이후 최근 40년간 1.4℃가 상승하여 최근 들어 기온상승 속도가 더 빨라지고 있다(기상청, 2011b). 기후변화와 그 영향에 대하여 과학적인 증거들을 제시하고 기후변화 문제를 해결하기 위한 조치를 마련하고자 기후 변화에 관한 정부 간 협의체 (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)가 1988년 설립되었고 1990년 1차보고서를 시작으로 지속적으로 기후변화 평가보고서를 발간하고 있다.

IPCC의 주요 작업 중 하나는 온실가스 배출 또는 농도 시나리오에 따른 잠재적인 미래기후 변화 시나리오를 개발하고 기후변화 대응 전략을 평가하는 것이라 할 수 있다. 여기서 미래 기후변화 시나리오란 온실가스, 에어로졸, 토지이용 상태 등의 변화와 같이 인간활동에 따른 인위적인 원인에 의한 기후변화가 언제, 어디서, 어떻게 일어날 지를 예측하기 위해 기후변화 예측모델(지구시스템 모델)을 이용하여 계산한 미래기후(기온, 강수, 습도, 바람 등)에 대한 예측 정보를 말한다.

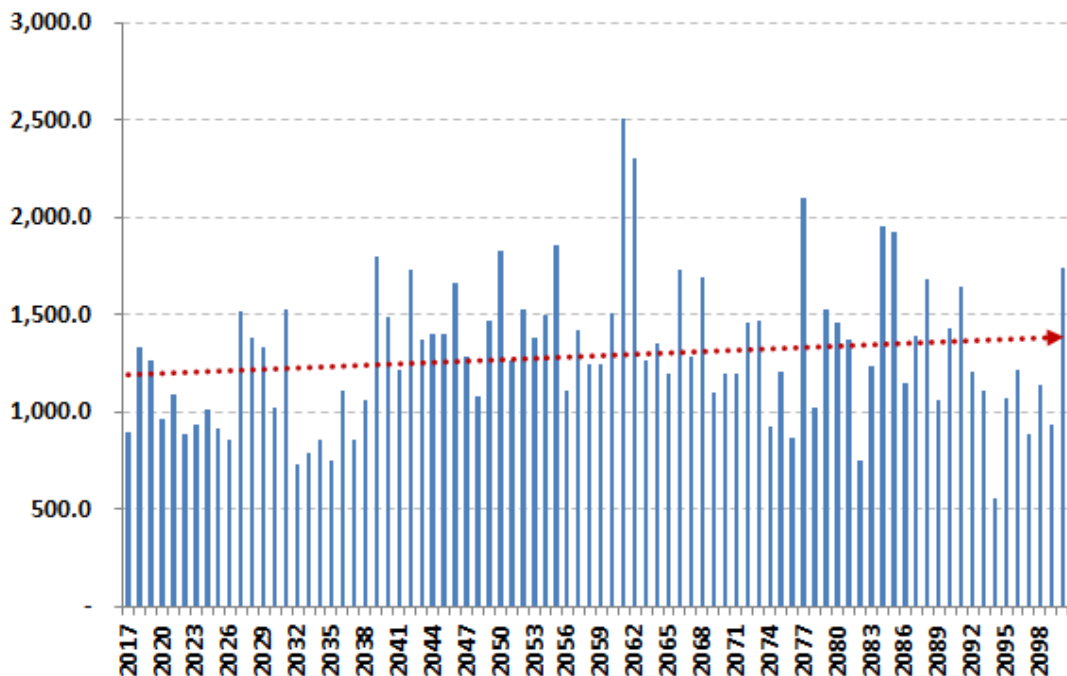
기후변화에 따른 대응 및 적응 정책을 효율적으로 지원하기 위해 과학적 근거에 기반을 둔 국가차원의 통일된 미래 기후변화 자료를 사용하는 것이 필요함에 따라 국가표준기후변화 시나리오를 개발하게 되었다. 기후변화 시나리오는 IPCC 1차 보고서에서 제시한 SA90(Scientific Assessment 1990)을 시작으로 IS92(IPCC scenarios 1992), 3차 및 4차보고서의 SRES(Special Report on Emission Scenario) 온실가스 시나리오가 발표되었다. 5차평가보고서에서는 새로운 온실가스 시나리오인 대표농도 경로(RCP, Representative Concentration Parthways)를 제공하고 있다. SRES는 인위적인 기후변화 요인 중에서 온실가스와 에어로졸의 영향에 의한 강제력만 포함하였다면, RCP는 토지이용변화에 따른 영향까지 포함하고 있다. RCP 시나리오는 IPCC 5차 평가보고서에서 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였으며, 하나의 대표적인 복사강제력에 대하여 사회·경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 대표(representative)라는 표현을 사용한다. 그리고 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를

강조하기 위해 경로(pathways)라는 의미를 포함한다.

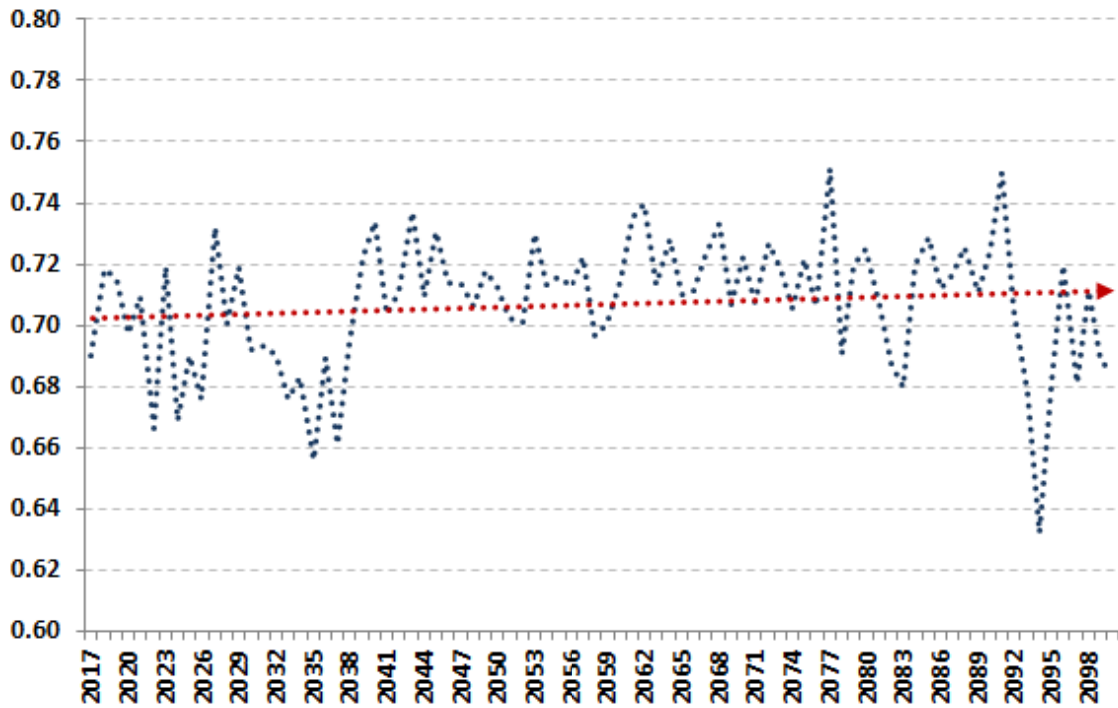
RCP 시나리오 숫자의 의미는 복사강제력 즉, 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 의미하는 양으로서 단위는 W/m^2 으로 태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1%에 해당된다 (기상청, 2011a). 1910년대부터 2000년대까지의 우리나라의 기온은 1.8℃ 상승하였으며, 강수량은 약 17%가 증가하였다. 이러한 기후변화를 완화하기 위한 노력 없이 현재 추세대로 온실가스를 계속 배출한다는 RCP 8.5 시나리오에 따르면, 21세기말(2070~2090년)에 한반도 평균기온은 6℃ 상승, 강수량은 20.4% 증가가 예상하고 있다(기상청, 2012).

강수의 증가 추세는 기온에 비하여 약하게 나타나고 봄철과 겨울철 강수량이 크게 나타나며 겨울철의 증가 추세가 다른 계절에 비하여 월등히 높게 나타난다(기상청, 2011b). 특히 남해안 일부 지역 및 중북부 지역의 강수량이 현재의 두 배 이상으로 증가할 것으로 전망하였다.

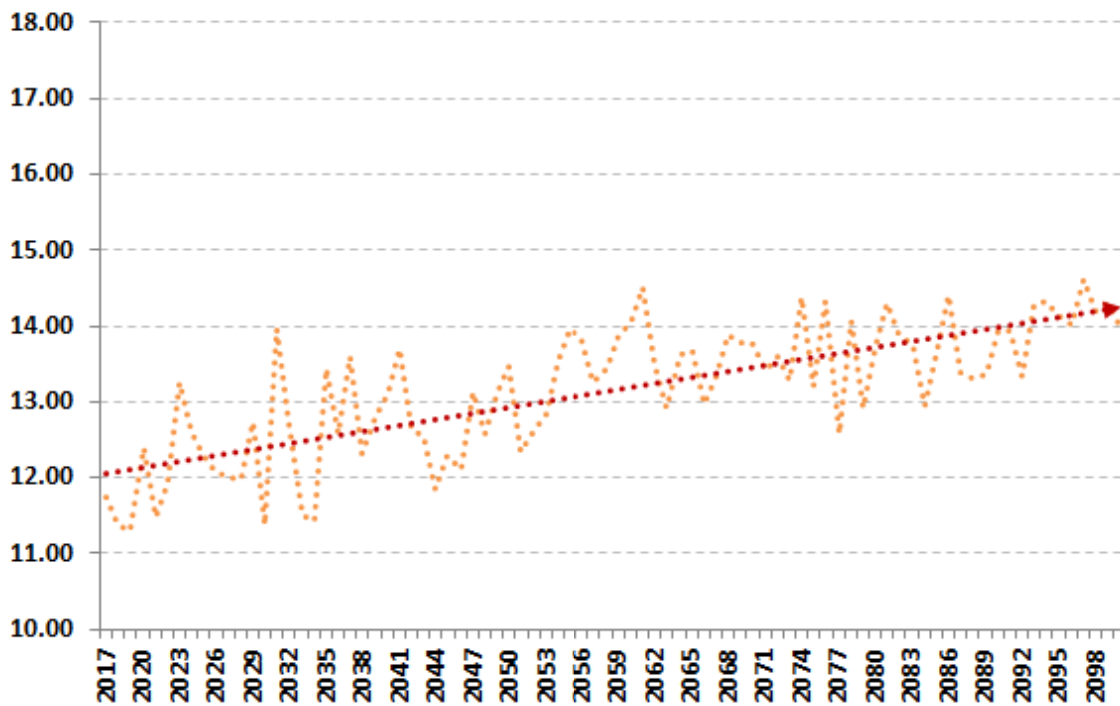
미래의 취약성 평가를 위하여 RCP 4.5 시나리오를 활용하였으며, 이 시나리오는 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우로 4차보고서에서 주로 사용한 SRES A1B에 비하여 온실가스 농도가 높은 고배출 시나리오라 할 수 있다. 따라서, RCP 4.5 시나리오를 활용하여 강수량, 평균기온, 무강우일수, 유효강우일수 인자를 구축하였고, 기후변화 시나리오 자료에서 제공하는 기후자료를 이용한 물수지 모의를 통하여 유입량 및 필요수량 인자를 구축하였다.



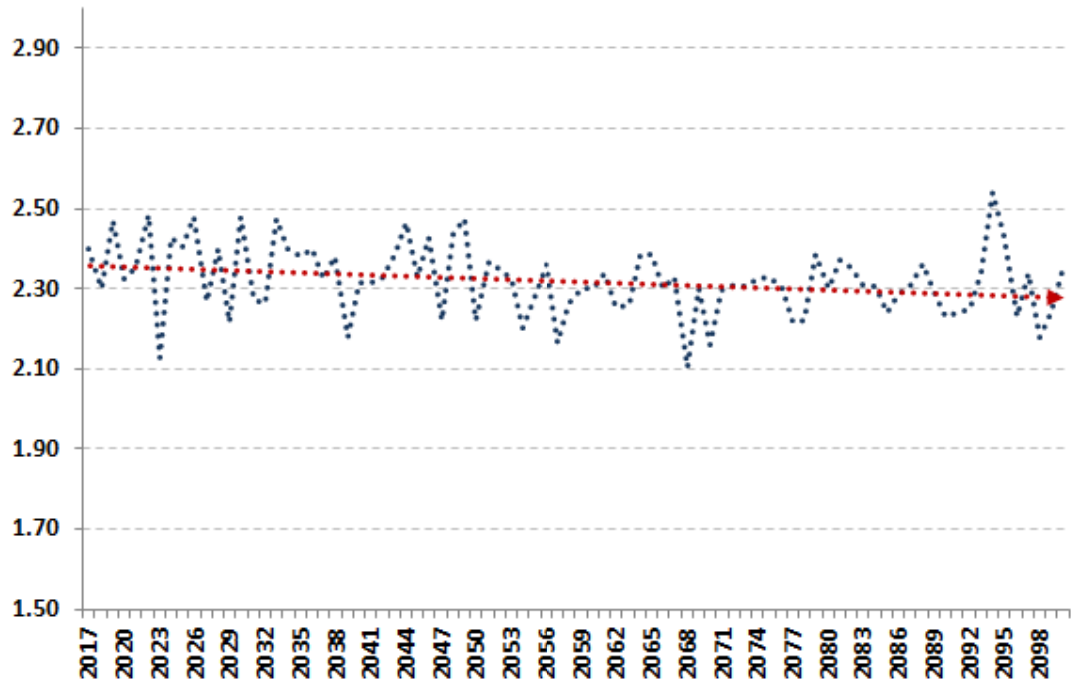
(a) 강우량 (mm)



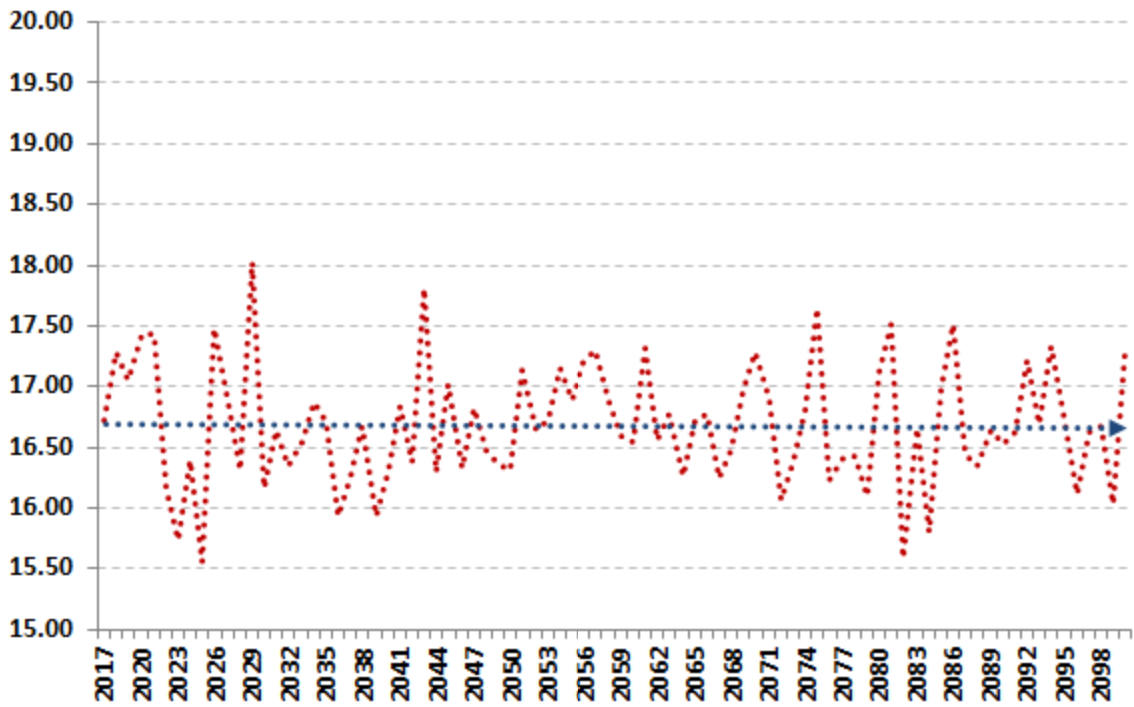
(b) 상대습도 (%)



(c) 평균기온 (°C)



(d) 평균풍속 (m/s)



(e) 일조시간 (hr)

(그림 2-60) 기후변화 시나리오 자료 수집 (RCP 4.5)

(2) 현재 대비 기후변화 추이 분석

최근 기후변화의 영향으로 집중호우나 가뭄 등의 극치 기상의 발생빈도가 증가하고 있으며, 특히 우리나라와 같은 몬순기후 지역의 경우 연 강수량의 60-70%가 여름에 집중되고, 강우의 계절적 변동성이 점차 증가하는 추세이다. 또한, 강수일수는 감소함에도 강우강도는 증가함에 따라 강수량 증가로 인한 인명과 재산 피해가 급증하고 있다. 2006년 기상청은 집중호우의 발생빈도를 가늠하는 1시간 최다 강수량 50mm이상의 기록횟수를 분석한 결과 지난 30년간의 자료를 살펴보면 1977-1986년 143회, 1987-1996년 159회, 1997-2006년 254회로 최근 10년간 집중호우 발생 횟수가 크게 증가 하였다고 발표 하였다(국토해양부, 2008).

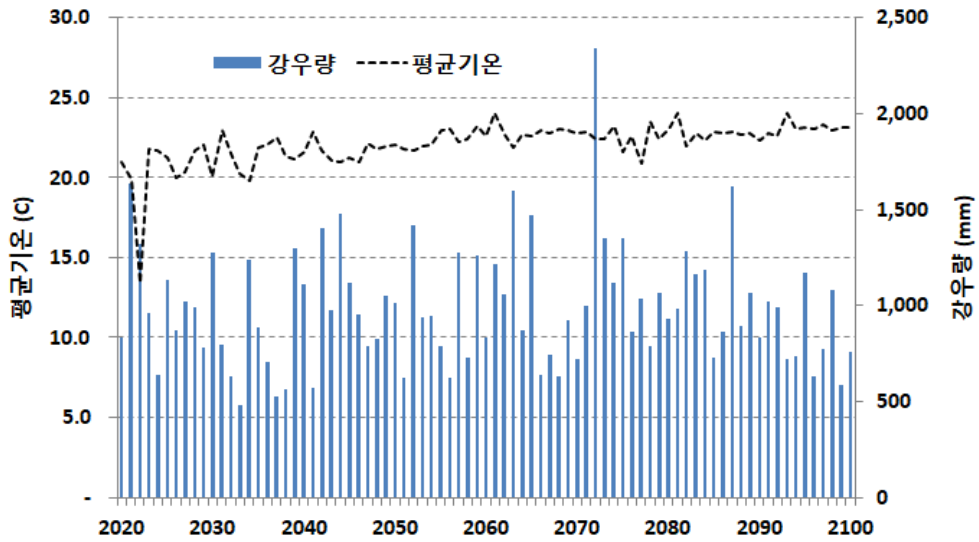
우리나라에서 1916년부터 통계작성이 시작된 이래 기상이변에 따른 연간 재산피해액이 가장 컸던 10년 중 6년이 2001년 이후에 발생하였는데 태풍 ‘루사’ 등의 영향을 받았던 2002년이 7조7,948억원으로 피해가 가장 컸고, 다음으로는 태풍 ‘매미’ 등의 영향을 받았던 2003년이 5조 4,972억원의 피해를 초래하였다.

기후변화의 영향에 가장 민감한 분야 중 하나가 바로 농업분야로 기후변화는 농산물 시장의 교란을 초래하게 되는데, 한 예로 2010년 1월 서울을 강타한 폭설로 인해 근교 채소류의 하나인 붉은 상추의 수확작업이 이루어지지 못해 경매가격이 하루에 64.5% 폭등하는 현상이 발생 하였다 (삼성경제연구소, 2010). 기상청 2010에 따르면 우리나라는 21세기 말에 기온의 경우 30년 (1971~2000년) 평균 대비 4℃ 상승, 강수량은 17% 증가하고, 저온현상은 빈도가 감소하는 반면 극한고온현상 빈도가 증가하며 강수량 증가추세와 더불어 호우 빈도도 증가될 것으로 전망됨에 따라 기상재해에 따른 농업생산의 피해 또한 증가할 것으로 예상하였다.

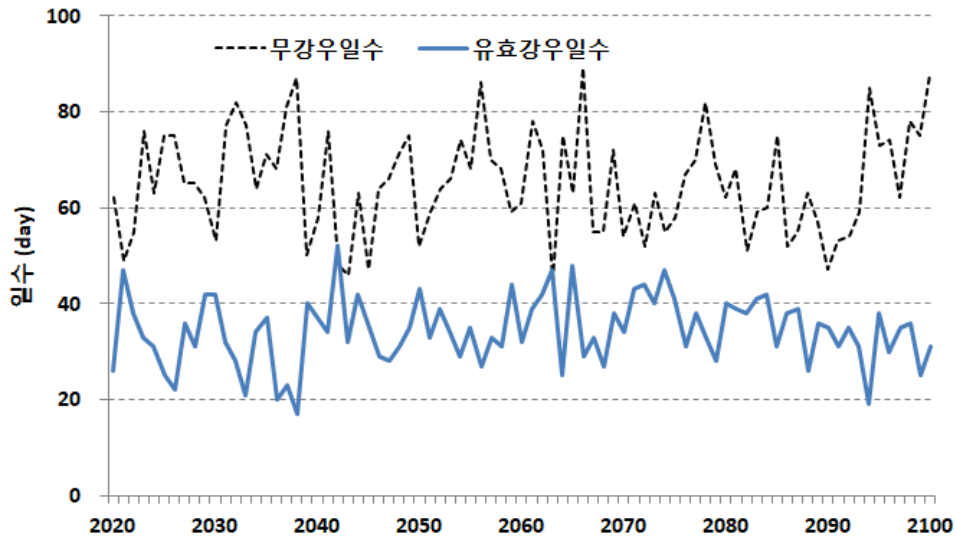
(3) 기후변화에 따른 인자 변화 예측

미래 농업용수 취약성을 평가하기 위하여 기후변화 시나리오 자료를 수집하였고, 기후변화 시나리오 자료를 이용하여 물수지 분석을 수행함으로써 2100년까지의 인자 변화를 예측하였다. 즉, 강우량, 평균기온, 무강우일수, 유효강우일수는 기후변화 시나리오 자료로부터 구축하였고, 유입량 및 필요수량은 대상지구에 대한 물수지 분석으로부터 추정하였다.

미래 농업용수 취약성 평가를 위한 대상 지구는 농업용수 취약성 평가 지표의 적용성을 검증한 전라도 4개 저수지를 대상으로 하였고, 각각의 대상 지구에 대해서 미래 인자의 변화를 예측 하였다. 전남지역의 봉암 및 해원저수지의 기상청 지배관측소로서 완도 기상관측소의 자료를 사용하였고, 전북지역의 경천 및 대아저수지는 금산 기상관측소의 기후변화 예측 자료를 사용 하였다. 기후변화 시나리오 자료를 이용하여 2020년부터 2100년까지의 인자 변화를 예측하였다.

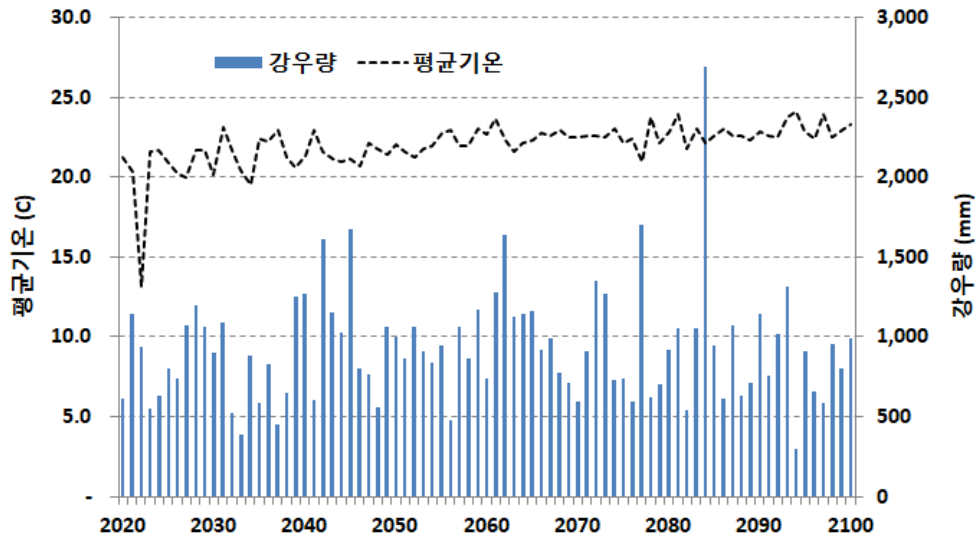


(a) 강우량 및 평균기온

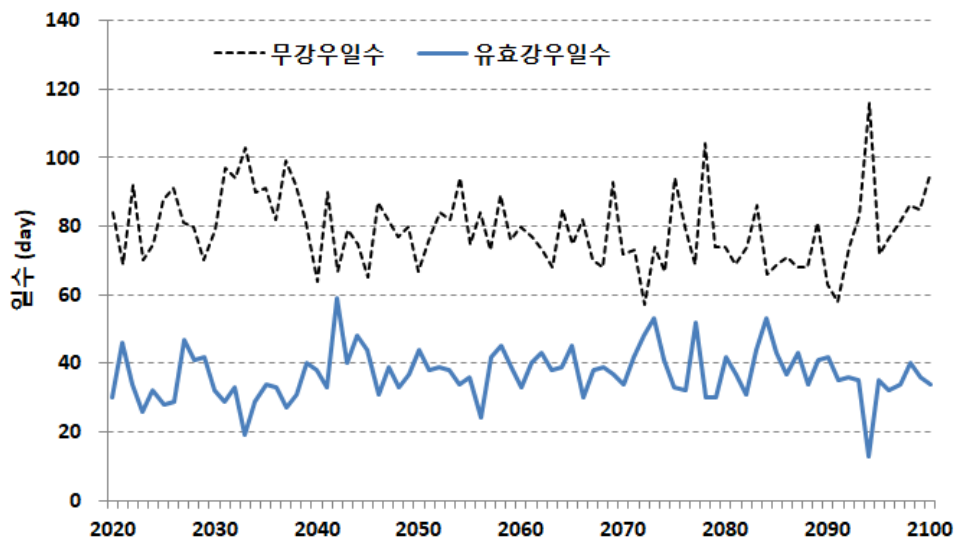


(b) 무강우일수 및 유효강우일수

(그림 2-61) 강우인자 관련 미래 인자 구축 (완도 기상관측소)

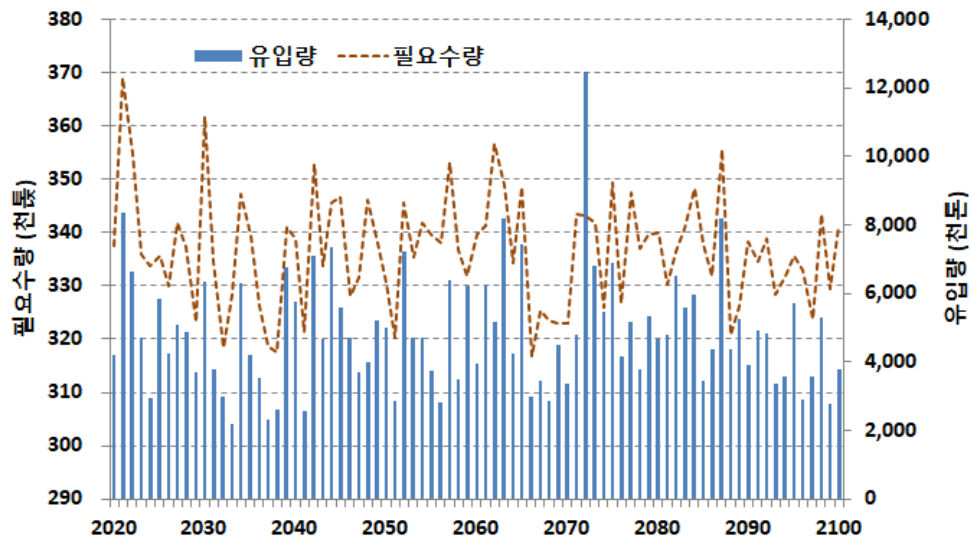


(a) 강우량 및 평균기온

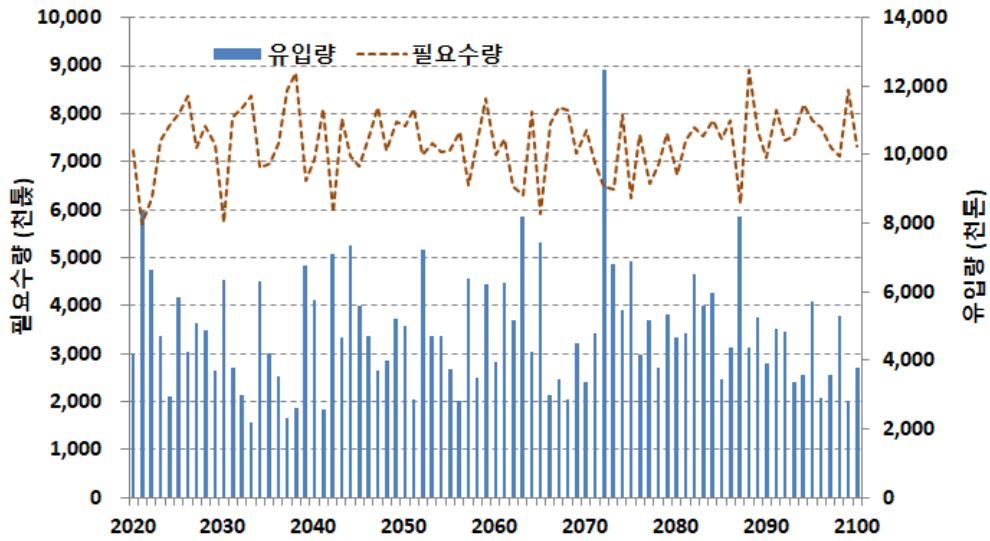


(b) 무강우일수 및 유효강우일수

(그림 2-62) 강우인자 관련 미래 인자 구축 (금산 기상관측소)

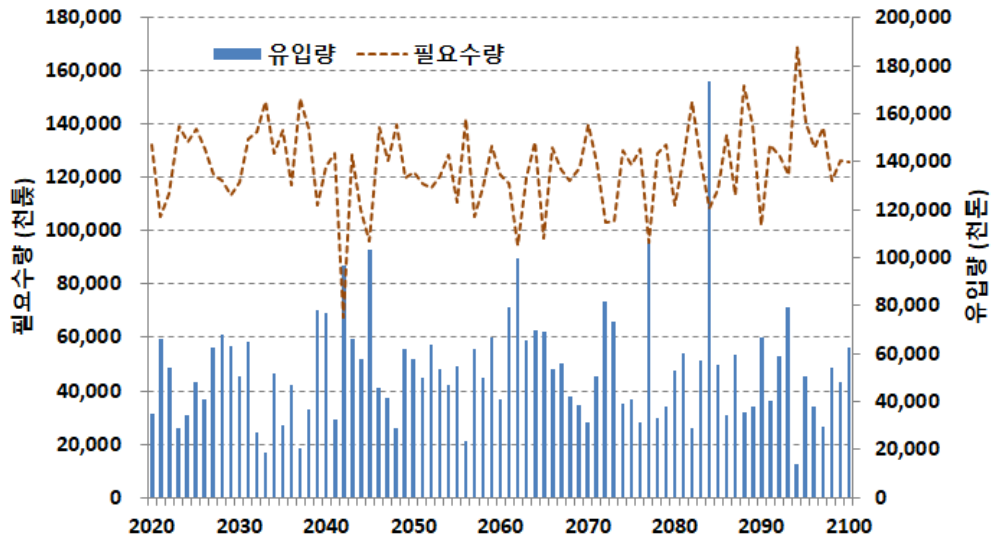


(a) 봉암저수지

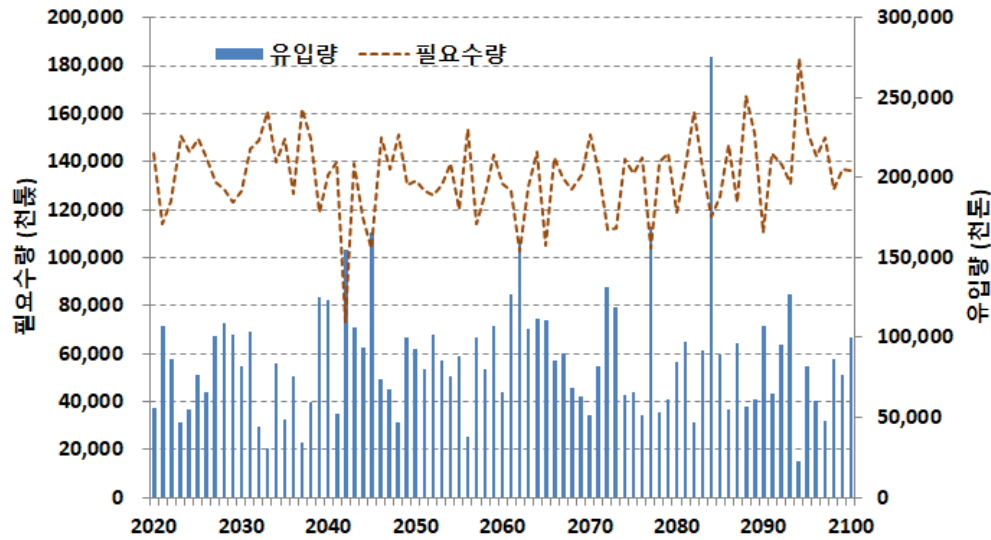


(b) 해원저수지

(그림 2-63) 전남지역 미래 인자 구축



(a) 경천저수지



(b) 대아저수지

(그림 2-64) 전북지역 미래 인자 구축

기후변화 시나리오 자료를 이용하여 2020년부터 2100년까지의 미래 인자 변화를 예측한 결과, 강수량은 약 300mm - 2,700mm로서 평균 약 930mm - 990mm를 나타냈고, 평균기온은 약 13도에서 24도의 범위로서 평균 약 22도로 예측되었다. 무강우일수는 45일에서 116일의 범위로서 평균 65일에서 80일의 범위로 나타났고, 유효강우일수는 13일에서 59일의 범위로서 평균 34일에서 37일로 예측되었다.

유입량은 유역면적이 10,757ha로 가장 큰 전북지역의 대아저수지에서 평균 약 86백만톤으로 산정되었고, 528ha로 유역면적이 가장 작은 전남지역의 봉암저수지에서 평균 약 4.9백만톤으로 예측되었다. 필요수량은 수혜면적이 8,382ha로 가장 큰 전북지역의 대아저수지에서 평균 약

135백만톤으로 산정되었고, 291ha로 유역면적이 가장 작은 전남지역의 봉암저수지에서 평균 약 0.3백만톤으로 예측되었다.

<표 2-85> 미래 인자 예측에 대한 기초 통계량

인자	기초 통계	전남		전북	
		봉암	해원	경천	대아
강우량 (mm)	Max	2,338.1	2,338.1	2,688.1	2,688.1
	Min	479.9	479.9	300.5	300.5
	Ave	988.8	988.8	930.2	930.2
	Stdev	312.3	312.3	353.0	353.0
평균기온 (°C)	Max	24.1	24.1	24.2	24.2
	Min	13.4	13.4	13.2	13.2
	Ave	22.1	22.1	22.0	22.0
	Stdev	1.4	1.4	1.4	1.4
무강우 일수 (day)	Max	89.0	89.0	116.0	116.0
	Min	45.0	45.0	57.0	57.0
	Ave	65.2	65.2	79.3	79.3
	Stdev	10.9	10.9	11.0	11.0
유효강우 일수 (day)	Max	52.0	52.0	59.0	59.0
	Min	17.0	17.0	13.0	13.0
	Ave	34.4	34.4	37.0	37.0
	Stdev	7.1	7.1	7.4	7.4
유입량 (천톤)	Max	12,493.6	18,530.7	173,201.1	275,096.6
	Min	2,181.9	3,089.2	13,974.2	22,491.8
	Ave	4,870.3	6,984.5	53,560.3	86,239.1
	Stdev	1,707.3	2,528.1	23,405.1	37,254.5
필요수량 (천톤)	Max	369.0	8,911.4	169,077.7	183,062.0
	Min	316.9	5,708.4	67,659.0	73,207.0
	Ave	336.7	7,396.7	124,264.6	134,555.7
	Stdev	10.6	704.4	15,404.6	16,693.9

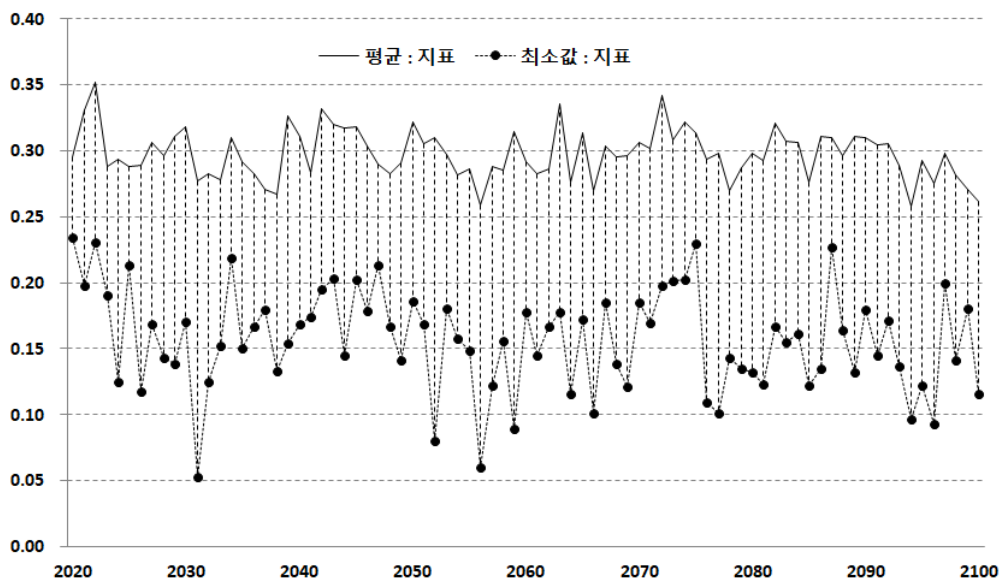
(4) 농업용수 취약성 평가

기후변화가 농업용수 취약성에 미치는 주요 요인으로는 기온 상승과 강수량 증가로 크게 나누어 볼 수 있다. 기후변화로 인한 농업용수의 영향에 있어서 주요 요인은 증발산량과 유효우량이라는 두 가지 측면에서 살펴볼 수 있는데, 증발산량의 증가는 농업용수의 증가, 유효우량의 증가는 농업용수의 감소 원인이 된다.

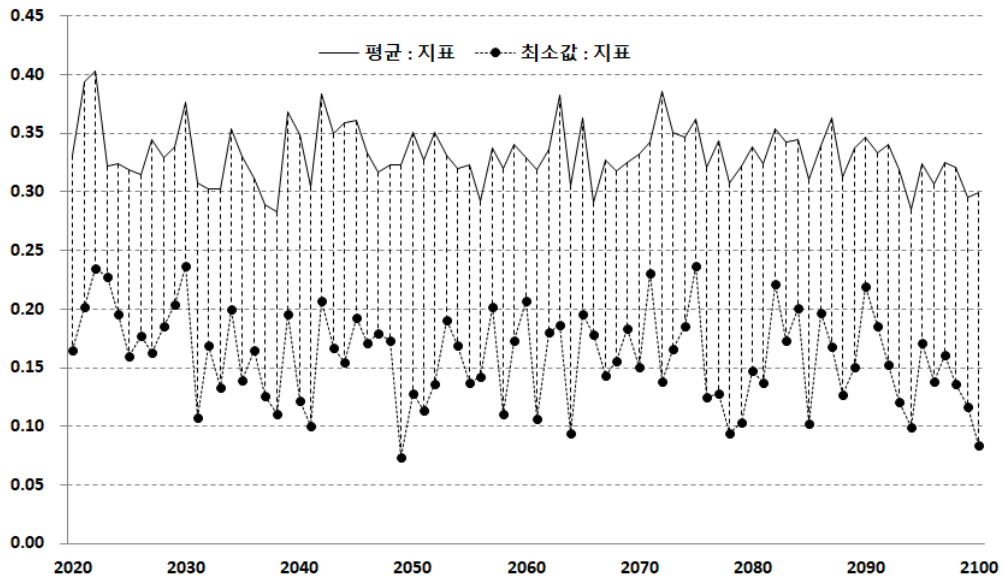
증발산량의 변화 요인으로는 기온 상승, 일사량의 변화 등이고, 유효우량의 변화 요인으로는 강수량의 변화, 계절별 강우 편차 및 강우 강도의 변화 등으로 볼 수 있다. 위 두 요인이 직접적인 요인이라고 한다면, 간접적인 요인으로 온도 상승으로 인한 생육기간의 변화, 작물계수의 변화, 품종 및 영농방식 변화 등이 있을 수 있고, 사회, 경제적 요인으로 인한 농지감소 등도 미래 농업용수에 영향을 미칠 수 있다.

지구온난화에 따른 기온상승, 강수량의 규모, 빈도 및 패턴의 변화는 수문순환과 유출량 변화 등 수자원의 변화에 직접적인 영향을 줄 것으로 판단된다. 기후변화에 따른 기온상승은 증발산량 증가의 원인이 되며, 강수량이 증가한다 할지라도 집중호우와 증발산량의 증가로 인하여 토양수분 및 유출량의 잦은 변화가 예상되어 총 용수 수요량의 47%를 차지하는 농업용수에도 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 즉, 홍수, 농업가뭄 등의 재해 증가로 인하여 관개기의 농업용수의 안정적 공급과 관리의 어려움이 예상되어 결과적으로 농업용수의 안정성을 위협받을 수도 있다.

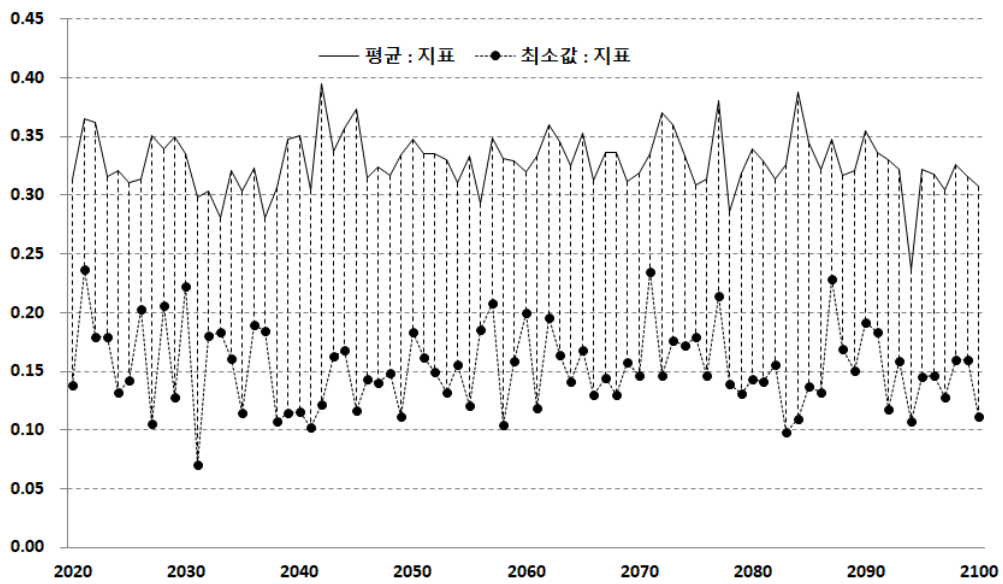
본 연구에서는 미래 농업용수 취약성 평가를 위해서 앞서 분석 방법인 요인분석 가중치 부여 방법과 범주 스케일 표준화 방법을 통해서 미래 농업용수 취약성 평가 지표를 산정하고, 향후 기후변화에 따른 농업용수 취약성 변화 거동을 분석하고자 한다.



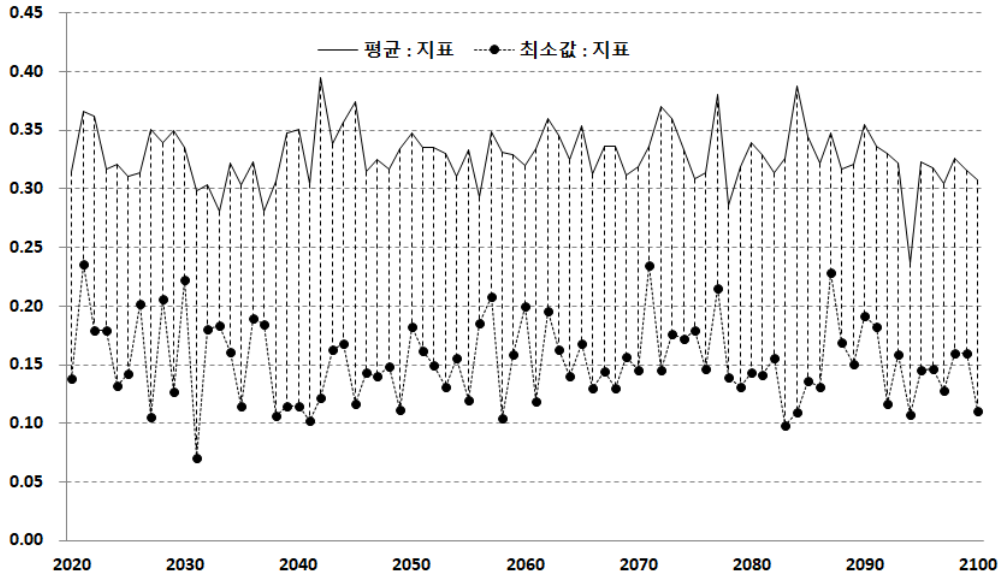
(a) 봉암저수지



(b) 해원저수지



(c) 경천저수지



(d) 대아저수지

(그림 2-65) 미래 농업용수 취약성 지표 산정 (2020 - 2100년)

대상지구에 대하여 미래 농업용수 취약성 지표를 산정한 결과, 봉암저수지의 경우에는 2100년 까지 연평균 0.298로 산정되었고, 순별 최소값에 대한 평균은 0.156으로 나타났다. 특히, 2031년, 2052년, 2056년, 2059년, 2094년, 2096년에는 지표값이 0.1 미만으로 농업용수 취약성이 매우 심각한 년도로 예측되었다. 해원저수지의 경우에는 2100년까지 연평균 0.332로 봉암저수지보다 다소 높게 산정되었고, 순별 최소값에 대한 평균은 0.160으로 나타났다. 특히, 2049년, 2064년, 2078년, 2094년, 2100년에는 지표값이 0.1 미만으로 5개년도에서 농업용수 취약성이 매우 심각한 년도로 예측되었다.

전북지역의 경우에는 경천저수지와 대아저수지의 예측된 취약성 지표가 매우 유사한 거동을 나타내고 있는데, 2100년까지 연평균 0.329로 산정되었고, 순별 최소값에 대한 평균은 0.153으로 나타났다. 전북지역의 경우는 2031년과 2083년도에 지표값이 0.1 미만으로 나타나 2개 년도에서 농업용수 취약성이 매우 심각할 것으로 예측되었다. 미래의 농어촌용수 수요와 관리는 영농환경 변화, 토지이용의 변화 그리고 기상변화에 따른 작물필요수량 변화를 포함한 여러 요인이 함께 고려되어야 하며, 다양한 시나리오에 기반한 대응 방안을 마련해야 할 것으로 사료된다.

<표 2-86> 취약성 지표 범위별 해당 년도 수

지표	전남		전북	
	봉암	해원	경천	대아
0.1 미만	6개년	5개년	2개년	2개년
0.10 ~ 0.15	29개년	27개년	41개년	41개년
0.15 ~ 0.20	34개년	34개년	29개년	29개년
0.2 초과	11개년	14개년	8개년	8개년

라. 농업용수 취약성 저감 방안 제시

현재까지 기후변화에 대응하기 위한 수자원 분야 연구는 수문학을 바탕으로 한 공학적 접근 방식에 편중되어 왔다. 그러나 기후변화의 주된 원인이 인간활동과 밀접한 관련이 있다고 증명된 현재로서 공학적 대응방안 연구만으로 적응정책을 마련하기는 쉽지 않다. 그럼에도 불구하고 우리나라는 아직까지 기후변화 대응 측면에서의 물 관련 법제도 분석이 제대로 이행되지 않고 있다. 이러한 경향은 기후변화에 대응한 수자원 분야의 정책수단이나 장기발전계획이 적절히 수립되지 못하는 주된 요인으로 작용한다. 따라서 기후변화가 수자원에 미치는 광범위한 영향에 적응하고 불확실성에 대비하기 위해서는 공학적 접근방식의 대응 연구와 동시에 법제도적 여건 분석과 대응책 마련이 요구된다.

미국은 기후변화 대응 법제도적 여건을 마련함과 동시에 기후변화 대응 전략 수립과 일관된 물관리 전략을 수립하고 있다. 2008년 미국 EPA는 기후변화 대응 국가 물 전략 수립을 통해 기후변화에의 적응 및 저감 노력, 연구성과 향상, 교육훈련 강화 등을 추진하고 있다. 최근 미국 CCSP는 미국내 농업, 토지이용, 수자원, 생물다양성에 미치는 기후변화 효과에 대한 평가를 수행하였다. 동 연구에서는 수자원 분야 영향평가 능력 향상을 위한 우선 방안으로 통합적인 수자원 정보관리의 보완·확대를 강조하고 있다. 특히 미국 캘리포니아 주는 2005~2010년간 법제적 개혁을 통한 기후변화 대응 물 계획을 보완하면서 통합 수자원관리 정책을 강화하고 있다.

영국은 2009년 국가수자원전략을 수립하면서 기존의 지역, 유역, 그리고 물 회사의 수자원관리 계획을 새로이 마련하였다. 영국의 물관리 전략은 기후변화 적응과 지속가능한 수자원관리 이행, 그리고 유역의 수질개선을 통한 더 나은 물환경 조성을 목표로 하고 있다. 새로운 유역계획은 EU의 물 관리지침 (WFD, 2000)의 수질개선 목표와 병행되게 수립되어 정책추진의 일관성을 갖추고 있다. 이렇듯 영국의 물관리계획은 상하위 계획간, 중앙 및 지방간 연계성을 갖추고

있어서 기후변화 대응 물관리 정책의 추진력과 일관성을 갖춘 것으로 판단된다. 또한 실천계획 이행에 있어서 각 유역 및 지방의 이해관계자 참여가 활발히 이루어지는 점은 안정적 정책 추진의 기반이라 할 수 있다.

일본은 수계별 수자원계획에 근거한 유역관리를 이행하고 있으나 우리나라처럼 물관리체계는 다원화되어 있다. 상대적으로 통합물관리 부분에서는 다소 취약한 일본은 통합수법 제정 노력과 동시에 기후변화에의 대응방안으로 통합수자원관리를 적극 검토하고 있다. 국토교통성 수자원부가 작성한 2008년판, 2009년판 일본의 수자원 보고서에서는 기후변화에 대비하는 종합 대책으로서 통합수자원관리 체계의 도입과 추진을 강조하고 있다.

기후변화는 농업용수를 이용하는 작물과 영농에 영향을 줄 수 있으며, 기온 상승에 따른 작물소비수량의 증가를 가져올 수 있다. 또한 강우 강도와 시기적 공간적 분포에 변화가 있어 논에서 이용되는 유효우량에도 변화가 있을 수 있음을 살펴보았다. 한편 국가적으로는 농경지의 감소가 예측되는 가운데 농업용수의 수요는 감소될 가능성도 있다. 이와 같이 미래 농업수자원의 수요는 작물소비수량, 유효우량, 농경지, 영농방식의 변화 그리고 작물의 재배시기와 종류의 변화를 고려하여 다각적으로 살펴볼 필요가 있음을 알 수 있다.

기후변화는 농업수자원 수요관리에 다양하게 영향을 주는 것을 알 수 있다. 토지이용 변화, 온도 상승, 강우량 증가와 같은 여러 요인들이 농업수자원 수요의 여러 요소에 복합적으로 작용하며, 농업수자원의 수요에 증가, 감소 및 관리 위험 요인으로 관여한다. 기후변화가 농업수자원 수요 증가에 다양하게 영향을 주는 것과 같이 대책도 용수 공급시설의 확대보다는 효율적이고 공급의 유연성을 확보할 수 있는 물관리 대책이 보다 강화되어야 할 것이다. 기후변화에 대비한 농업수자원의 관리는 기본적으로 국가의 식량의 안정적 공급과 직접적인 관련이 있음을 살펴볼 때 매우 중요한 사안임을 인식해야 한다. 따라서 이를 유지하고 관리하는데 있어서 많은 연구와 영향 평가가 이루어져야 하며, 대응 대책 수립에 지속적으로 노력해야 한다.

제 3 절 농업생산기반 수리시설의 기후변화 대응 보수/보강을 통한 성능 개선 및 유지관리 기술 개발

1. 농업수리시설물 관련 현황 수집, 분석

가. 농업수리시설물 현황

(1) 전국 농업생산기반시설물 현황

기후변화 및 각종 재해로부터 노후화된 농업생산기반시설물의 체계적이고 효율적인 유지관리 방안을 마련하기 위한 현재 농업생산기반시설물의 현황 조사 실시하였다. 조사방법은 한국농어촌 공사 통계연보를 통해 저수지, 양배수장, 취입보 등 농업생산기반시설물현황 파악하였으며, 그 결과 <표 3-1>과 같이 저수지, 양(배)수장, 보, 집수암거, 관정 등으로 구분되며, 총 71,189 개소로 조사되었으며, 시군관리는 총 57,422개소, 공사관리는 13,767개소로 조사되었다. 수리 시설별 수혜면적을 조사한 결과 시군관리는 224,361ha로 조사 되었으며, 공사관리는 498,785.4ha로 조사 되어 총 747,795.3ha로 조사되었다.

<표 3-1> 농업생산기반시설 현황

구분	합계		시군관리		공사관리	
	개소수	수리답면적(ha)	개소수	수리답면적(ha)	개소수	수리답면적(ha)
계	71,189 (100%)	747,795.3 (100%)	57,422 (100%)	224,361.0 (100%)	13,767 (100%)	498,785.4 (100%)
저수지	17,313 (24.3%)	440,281.1 (60.9%)	13,910 (24.2%)	102,720.3 (45.8%)	3,403 (24.7%)	337,560.8 (67.7%)
양(배)수장	8,233 (11.6%)	181,947.1 (25.2%)	3,760 (6.5%)	28,340.7 (12.6%)	4,473 (32.5%)	153,606.4 (30.8%)
보	18,107 (25.4%)	58,337.4 (8.1%)	13,951 (24.3%)	50,988.3 (22.7%)	4,156 (30.2%)	7,349.1 (1.5%)
집수암거	2,670 (3.8%)	7,144.5 (1.0%)	2,361 (4.1%)	6,880.4 (3.1%)	309 (2.2%)	264.1 (0.1%)
관정	24,866 (34.9%)	35,436.3 (4.9%)	23,440 (40.8%)	35,431.3 (15.8%)	1,426 (10.4%)	5.0 (0.001%)

또한 농업생산기반시설물의 노후화 상태를 확인하기 위해 경과연수별 시설현황을 파악한 결과 <표 3-2>와 같이 1945년 이전 준공 시설물은 13,614개소, 건설된 지 50년 이상(1946년~1966년 준공) 시설물은 6,511개소, 건설된 지 30년 이상(1967년~1986년 준공)이 22,337개소 건설된 지 30년 이내(1987년 ~2016년)시설물이 28,727개소 조사 되었으며, 30년 이상 노후화된

시설물은 42,462개소 (59.6%)로 과반수이상으로 조사되었으며, 이러한 노후화된 시설물은 시간이 지날수록 늘어날 것으로 분석된다.

<표 3-2> 경과연수별 농업생산기반시설 현황

구분	합계	1945년 이전준공	50년 이상 (1946~1966년)	30년 이상 (1967~1986년)	30년 이내 (1987~2016년)
계	71,189 (100%)	13,614 (100%)	6,511 (100%)	22,337 (100%)	28,727 (100%)
저수지	17,313 (24.3%)	8,861 (65.1%)	3,842 (59.0%)	3,926 (17.6%)	684 (2.4%)
양(배)수장	8,233 (11.6%)	97 (0.7%)	307 (4.7%)	3,135 (14.0%)	4,694 (16.3%)
보	18,107 (25.4%)	4,543 (33.4%)	2,270 (34.9%)	8,901 (39.8%)	2,393 (8.3%)
집수암거	2,670 (3.8%)	98 (0.7%)	82 (1.3%)	2,300 (10.3%)	190 (0.7%)
관정	24,866 (34.9%)	15 (0.1%)	10 (0.2%)	4,075 (18.2%)	20,766 (72.3%)

(2) 지역별 농업생산기반시설물 현황

서울특별시 농업생산기반시설물 현황조사 결과 지자체에서 관리하는 시설물은 없었으며, 농어촌공사에서 관리하는 시설물은 양수장 1개소이며, 주수원공의 수혜면적은 양배수장 166ha로 분석되었다.

<표 3-3> 서울특별시 농업생산기반시설물 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	1	(100.0%)	166	(100.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	1	(100.0%)	166	(100.0%)
저수지	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
양수장	1	(100.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	1	(100.0%)	-	(0.0%)
양배수장	-	(0.0%)	166	(100.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	166	(100.0%)
배수장	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
보	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
집수암거	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
관정	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)

부산광역시 농업생산기반시설물 현황조사 결과 지자체관리 시설물은 총 275개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 105개소(38.2%)로 수원공중에 가장 많았으며, 저수지는 92개소(33.5%)로 관정 다음으로 많은 수를 차지하였다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물은 지자체관리 개소수보다 적었으며, 양수장이 18개소(64.3%)로 가장 많은 수를 보였다. 또한 지자체관리 중 수원공 별 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적이 199.3ha (48.8%)로 가장 넓은 면적에서 혜택은 받는 것으로 조사 되었으며, 농어촌공사에서는 양수장의 혜택을 받는 면적이 1,708.2ha로 전체 면적의 60.7%를 차지하는 것으로 조사 되었다.

<표 3-4> 부산광역시 농업생산기반시설물 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	303	(100.0%)	3,223.8	(100.0%)	275	(100.0%)	408.7	(100.0%)	28	(100.0%)	2,815.1	(100.0%)
저수지	97	(32.0%)	435.9	(13.5%)	92	(33.5%)	199.3	(48.8%)	5	(17.9%)	236.6	(8.4%)
양수장	29	(9.6%)	1,734.2	(53.8%)	11	(4.0%)	26	(6.4%)	18	(64.3%)	1,708.2	(60.7%)
양배수장	3	(1.0%)	870.3	(27.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	3	(10.7%)	870.3	(30.9%)
배수장	2	(0.7%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	2	(7.1%)	0	(0.0%)
보	66	(21.8%)	183.4	(5.7%)	66	(24.0%)	183.4	(44.9%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
집수암거	1	(0.3%)	0	(0.0%)	1	(0.4%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)
관정	105	(34.7%)	0	(0.0%)	105	(38.2%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)	0	(0.0%)

대구광역시 농업생산기반시설물 현황조사 결과 지자체에서 관리하는 시설물이 486개소로 농어촌공사에서 관리하는 시설물 94개소 대비 월등히 많은 것으로 조사되었으나, 시설물별 수혜면적은 시설물 개소와는 반대로 농어촌공사에서 관리하는 면적이 월등히 넓은 것으로 분석되었다. 지자체에서 관리하는 수원공의 개소수는 관정이 191개소 (39.3%)로 가장 많은 수를 차지하였으며, 저수지는 177개소 (36.4%)로 관정다음으로 많은 수를 차지하였다. 또한 농어촌공사에서 관리하는 수원공의 개소수는 양수장이 29개소 (30.9%)로 가장 많은 수를 차지하였으나, 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적이 가장 넓은 1,366.2ha (67%)로 조사되었다.

<표 3-5> 대구광역시 농업생산기반시설물 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	580	(100.0%)	3,261.6	(100.0%)	486	(100.0%)	1,224.2	(100.0%)	94	(100.0%)	2,037.4	(100.0%)
저수지	199	(34.3%)	2,356.2	(72.2%)	177	(36.4%)	990.0	(80.9%)	22	(23.4%)	1,366.2	(67.1%)
양수장	70	(12.1%)	808.8	(24.8%)	41	(8.4%)	137.6	(11.2%)	29	(30.9%)	671.2	(32.9%)
양배수장	4	(0.7%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	4	(4.3%)	-	(0.0%)
배수장	30	(5.2%)	-	(0.0%)	23	(4.7%)	-	(0.0%)	7	(7.4%)	-	(0.0%)
보	60	(10.3%)	60.8	(1.9%)	36	(7.4%)	60.8	(5.0%)	24	(25.5%)	-	(0.0%)
집수암거	21	(3.6%)	14	(0.4%)	18	(3.7%)	14	(1.1%)	3	(3.2%)	-	(0.0%)
관정	196	(33.8%)	21.8	(0.7%)	191	(39.3%)	21.8	(1.8%)	5	(5.3%)	-	(0.0%)

인천광역시 농업생산기반시설물 현황조사 결과 지자체에서 관리하는 시설물은 468개로 조사되었으며, 그 중 관정의 수가 398개소(85.0%)로 가장 많은 수를 차지하였다. 농어촌공사관리 시설물은 총 94개소로 양수장이 45개소(47.9%)로 가장 많은 수로 조사되었으나 저수지의 수혜면적이 5,619.2(82.4%)로 가장 넓은 지역을 관할하고 있는 것으로 조사되었다.

광주광역시 농업생산기반시설물 현황조사 결과 지자체에서 관리하는 시설물이 331개소로 농어촌공사에서 관리하는 시설물 100개소 대비 월등히 많은 것으로 조사되었으나, 시설물별 수혜면적은 시설물 개소와는 반대로 농어촌공사에서 관리하는 면적이 월등히 넓은 것으로 분석되었다. 지자체에서 관리하는 수원공의 개소수는 관정이 183개소 (55.3%)로 가장 많은 수를 차지하였으며, 저수지는 84개소 (25.4%)를 차지하였다. 또한 농어촌공사에서 관리하는 수원공의 개소수는 저수지가 52개소 (52.0%)로 가장 많은 수를 차지하였으나, 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적이 가장 넓은 3,074.5ha (87.2%)로 조사되었다.

<표 3-6> 광주광역시 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	431	(100.0%)	6,064.1	(100.0%)	331	(100.0%)	2,537.9	(100.0%)	100	(100.0%)	3,526.2	(100.0%)
저수지	136	(31.6%)	4,556.8	(75.1%)	84	(25.4%)	1,482.3	(58.4%)	52	(52.0%)	3,074.5	(87.2%)
양수장	55	(12.8%)	722	(11.9%)	22	(6.6%)	364	(14.3%)	33	(33.0%)	358	(10.2%)
양배수장	1	(0.2%)	7.8	(0.1%)	1	(0.3%)	7.8	(0.3%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
배수장	1	(0.2%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	1	(1.0%)	-	(0.0%)
보	43	(10.0%)	261.1	(4.3%)	33	(10.0%)	167.4	(6.6%)	10	(10.0%)	93.7	(2.7%)
집수암거	8	(1.9%)	32	(0.5%)	8	(2.4%)	32	(1.3%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
관정	187	(43.4%)	484.4	(8.0%)	183	(55.3%)	484.4	(19.1%)	4	(4.0%)	-	(0.0%)

대전광역시 농업생산기반시설물 현황조사 결과 총 개수는 388개소이며, 이중 364개소가 지자체 관리, 24개소가 농어촌공사관리로 이루어져 있다. 지자체에서 관리하는 시설물 중 관정이 231개소 (63.5%)로 가장 많은 수를 차지하였으나, 수혜면적은 보가 공급하는 면적이 388.6ha(42.3%)로 가장 넓었다. 농어촌공사가 관리하는 시설물은 관정이 13개소(54.2%)로 가장 많았으나, 저수지의 수혜면적이 274.9ha(70.6%)로 가장 넓었다.

<표 3-7> 대전광역시 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	388	(100.0%)	1,307.3	(100.0%)	364	(100.0%)	918.1	(100.0%)	24	(100.0%)	389.2	(100.0%)
저수지	16	(4.1%)	350.1	(26.8%)	13	(3.6%)	75.2	(8.2%)	3	(12.5%)	274.9	(70.6%)
양수장	25	(6.4%)	206.2	(15.8%)	21	(5.8%)	91.9	(10.0%)	4	(16.7%)	114.3	(29.4%)
양배수장	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
배수장	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
보	97	(25.0%)	388.6	(29.7%)	93	(25.5%)	388.6	(42.3%)	4	(16.7%)	-	(0.0%)
집수암거	6	(1.5%)	9.4	(0.7%)	6	(1.6%)	9.4	(1.0%)	0	(0.0%)	-	(0.0%)
관정	244	(62.9%)	353	(27.0%)	231	(63.5%)	353	(38.4%)	13	(54.2%)	-	(0.0%)

울산광역시 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 1,119개소로 조사되었으며, 그 중 저수지는 348개소, 관정이 385개소 등으로 조사되었다. 지자체가 관리하는 시설물 중 관정 268개소 (30.8%), 저수지 261개소 등으로 조사되었으며, 시설물 중 수리시설별 면적이 가장 넓은 면적을 차지하는 시설물은 저수지로 1,211.7ha(40.4%)를 차지하는 것으로 조사되었다. 농어촌공사가 관리하는 시설물은 보가 89개소, 저수지가 87개소로 가장 많은 개소로 조사하였으며, 저수지의 수혜면적이 2,463.6ha(85.4%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-8> 울산광역시 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	1,119	(100.0%)	5,884.1	(100.0%)	871	(100.0%)	3,000.5	(100.0%)	248	(100.0%)	2,883.6	(100.0%)
저수지	348	(31.1%)	3,675.3	(62.5%)	261	(30.0%)	1,211.7	(40.4%)	87	(35.1%)	2,463.6	(85.4%)
양수장	145	(13.0%)	674.6	(11.5%)	107	(12.3%)	518.7	(17.3%)	38	(15.3%)	155.9	(5.4%)
양배수장	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
배수장	3	(0.3%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	3	(1.2%)	-	(0.0%)
보	272	(24.3%)	508	(8.6%)	183	(21.0%)	508	(16.9%)	89	(35.9%)	-	(0.0%)
집수암거	66	(5.9%)	306.5	(5.2%)	52	(6.0%)	42.4	(1.4%)	14	(5.6%)	264.1	(9.2%)
관정	285	(25.5%)	719.7	(12.2%)	268	(30.8%)	719.7	(24.0%)	17	(6.9%)	-	(0.0%)

세종특별자치광역시 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 487개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 301개소, 보가 88개소 등으로 조사되었다. 지자체관리 시설물 중 관정의 수는 283개소 (63.5%)로 가장 많았으며, 시설물별 수혜면적은 보의 595.4ha(45.3%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 수는 지자체가 관리하는 시설물의 개수와 확연한 차이를 보였으며, 관정의 수와 양수장의 수가 각각 18개소(43.9%), 14개소(34.1%)로 조사되었으며, 수혜면적은 양수장의 혜택을 받는 면적이 879.6ha(64.8%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-9> 세종특별자치광역시 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	487	(100.0%)	2,670.1	(100.0%)	446	(100.0%)	1,313	(100.0%)	41	(100.0%)	1,357.1	(100.0%)
저수지	38	(7.8%)	821.3	(30.8%)	37	(8.3%)	343.8	(26.2%)	1	(2.4%)	477.5	(35.2%)
양수장	24	(4.9%)	950.5	(35.6%)	10	(2.2%)	70.9	(5.4%)	14	(34.1%)	879.6	(64.8%)
양배수장	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
배수장	5	(1.0%)	-	(0.0%)	1	(0.2%)	-	(0.0%)	4	(9.8%)	-	(0.0%)
보	88	(18.1%)	595.4	(22.3%)	84	(18.8%)	595.4	(45.3%)	4	(9.8%)	-	(0.0%)
집수암거	31	(6.4%)	120.4	(4.5%)	31	(7.0%)	120.4	(9.2%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
관정	301	(61.8%)	182.5	(6.8%)	283	(63.5%)	182.5	(13.9%)	18	(43.9%)	-	(0.0%)

경기도 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 4,416개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 2,137개소, 보가 1,088개소 등으로 조사되었다. 지자체 관리 시설물 중 관정의 수는 1,958개소(54.7%)로 가장 많았으며, 시설물별 수혜면적은 관정이 관할하고 있는 4,507.1ha(28.7%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 수는 지자체에서 관리하는 시설물의 개수인 3,578개소와 확연한 차이를 보였으며, 관정의 수와 양수장의 수가 각각 179개소(21.4%), 323개소(38.5%)로 조사되었으며, 수혜면적은 양수장의 혜택을 받는 면적이 26,638.9ha(51.8%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-10> 경기도 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	4,416	(100.0%)	67,099.2	(100.0%)	3,578	(100.0%)	15,679.3	(100.0%)	838	(100.0%)	51,419.9	(100.0%)
저수지	349	(7.9%)	21,630.7	(32.2%)	248	(6.9%)	2,762.5	(17.6%)	101	(12.1%)	18,868.2	(36.7%)
양수장	500	(11.3%)	29,105.4	(43.4%)	177	(4.9%)	2,466.5	(15.7%)	323	(38.5%)	26,638.9	(51.8%)
양배수장	8	(0.2%)	5,576.8	(8.3%)	2	(0.1%)	65	(0.4%)	6	(0.7%)	5,511.8	(10.7%)
배수장	56	(1.3%)	-	(0.0%)	11	(0.3%)	-	(0.0%)	45	(5.4%)	-	(0.0%)
보	1,088	(24.6%)	4,793.1	(7.1%)	951	(26.6%)	4,392.1	(28.0%)	137	(16.3%)	401.0	(0.8%)
집수암거	278	(6.3%)	1,486.1	(2.2%)	231	(6.5%)	1,486.1	(9.5%)	47	(5.6%)	-	(0.0%)
관정	2,137	(48.4%)	4,507.1	(6.7%)	1,958	(54.7%)	4,507.1	(28.7%)	179	(21.4%)	-	(0.0%)

강원도 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 6,292개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 1,500개소, 보가 3,942개소로 시설수가 가장 많았으나 수리시설별 수혜면적은 저수지 14,353.8ha(46.2%)으로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 지자체 관리 시설물 중 보의 수는 3,772개소(64.9%)로 가장 많았으며, 시설물별 수혜면적 역시 보의 수혜면적이 9,267.4ha(58.8%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 수는 지자체에서 관리하는 시설물의 개수인 5,809개소와 확연한 차이를 보인 483개소였으며, 보의 수가 가장 많은 170개소(35.2%)로 조사되었으며, 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적인 12,466ha(81.6%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-11> 강원도 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	6,292	(100.0%)	31,048.5	(100.0%)	5,809	(100.0%)	15,767.1	(100.0%)	483	(100.0%)	15,281.0	(100.0%)
저수지	317	(5.0%)	14,353.8	(46.2%)	238	(4.1%)	1,887.8	(12.0%)	79	(16.4%)	12,466.0	(81.6%)
양수장	415	(6.6%)	3,447.1	(11.1%)	320	(5.5%)	2,205.4	(14.0%)	95	(19.7%)	1,242.0	(8.1%)
양배수장	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)
배수장	19	(0.3%)	-	(0.0%)	5	(0.1%)	-	(0.0%)	14	(2.9%)	-	(0.0%)
보	3,942	(62.7%)	10,841.1	(34.9%)	3,772	(64.9%)	9,267.4	(58.8%)	170	(35.2%)	1,574.0	(10.3%)
집수암거	99	(1.6%)	418.9	(1.3%)	89	(1.5%)	418.9	(2.7%)	10	(2.1%)	-	(0.0%)
관정	1,500	(23.8%)	1,987.6	(6.4%)	1,385	(23.8%)	1,987.6	(12.6%)	115	(23.8%)	-	(0.0%)

충청북도 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 4,524개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 1,266개소, 보가 1,892개소로 시설수가 가장 많았으나 수리시설별 수혜면적은 저수지 25,237.0ha(63.7%)으로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 지자체 관리 시설물 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 보로 그 수는 1,358개소(39.9%)이며, 시설물별 수혜면적 역시 보의 수혜면적이 4,459.3ha(39.0%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 수는 1,122개소로 조사되었으며, 시설물 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 양수장으로 209개소(18.6%)로 조사되었으며, 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적인 22,098ha(78.4%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-12> 충청북도 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	4,524	(100.0%)	39,598.9	(100.0%)	3,402	(100.0%)	11,427.2	(100.0%)	1,122	(100.0%)	28,172.0	(100.0%)
저수지	761	(16.8%)	25,237.0	(63.7%)	579	(17.0%)	3,139.0	(27.5%)	182	(16.2%)	22,098.0	(78.4%)
양수장	413	(9.1%)	6,706.6	(16.9%)	204	(6.0%)	1,205.9	(10.6%)	209	(18.6%)	5,501.0	(19.5%)
양배수장	8	(0.2%)	381.1	(1.0%)	1	(0.0%)	10.1	(0.1%)	7	(0.6%)	371.0	(1.3%)
배수장	29	(0.6%)	-	(0.0%)	4	(0.1%)	-	(0.0%)	25	(2.2%)	-	(0.0%)
보	1,892	(41.8%)	4,661.3	(11.8%)	1,358	(39.9%)	4,459.3	(39.0%)	534	(47.6%)	202.0	(0.7%)
집수암거	155	(3.4%)	198.1	(0.5%)	126	(3.7%)	198.1	(1.7%)	29	(2.6%)	-	(0.0%)
관정	1,266	(28.0%)	2,414.8	(6.1%)	1,130	(33.2%)	2,414.8	(21.1%)	136	(12.1%)	-	(0.0%)

충청남도 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 6,654개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 1,266개소로 가장 많은 수를 차지하였으며, 그 다음으로 보가 1,504개소로 많았다. 하지만 수리시설별 수혜면적은 저수지 56,932.4ha(49.5%)으로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 지자체 관리 시설물 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 관정으로 그 수는 2,664개소(52.1%)이며, 시설물별 수혜면적 역시 관정의 수혜면적이 5,008.6ha(20.9%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 수는 1,543개소로 조사되었으며, 시설물 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 양수장으로 587개소(38.0%)로 조사되었으며, 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적인 49,742.0ha(54.6%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-13> 충청남도 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적 (ha)		개소수		수리시설별 면적 (ha)		개소수		수리시설별 면적 (ha)	
계	6,654	(100.0%)	115,062.0	(100.0%)	5,111	(100.0%)	23,980.1	(100.0%)	1,543	(100.0%)	91,082.0	(100.0%)
저수지	898	(13.5%)	56,932.4	(49.5%)	674	(13.2%)	7,190.5	(30.0%)	224	(14.5%)	49,742.0	(54.6%)
양수장	892	(13.4%)	42,206.4	(36.7%)	305	(6.0%)	5,001.0	(20.9%)	587	(38.0%)	37,205.0	(40.8%)
양배수장	6	(0.1%)	3,927.2	(3.4%)	1	(0.0%)	-	(0.0%)	5	(0.3%)	3,927.0	(4.3%)
배수장	199	(3.0%)	-	(0.0%)	11	(0.2%)	-	(0.0%)	188	(12.2%)	-	(0.0%)
보	1,504	(22.6%)	5,666	(4.9%)	1,090	(21.3%)	5,458.6	(22.8%)	414	(26.8%)	207.0	(0.2%)
집수암거	400	(6.0%)	1,321.4	(1.1%)	366	(7.2%)	1,321.4	(5.5%)	34	(2.2%)	-	(0.0%)
관정	2,755	(41.4%)	5,008.6	(4.4%)	2,664	(52.1%)	5,008.6	(20.9%)	91	(5.9%)	-	(0.0%)

전라북도 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 7,129개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 2,400개소로 가장 많은 수를 차지하였으며, 그 다음으로 저수지가 2,238개소로 많았다. 수리시설별 수혜면적은 저수지 92,774.7ha(83.7%)으로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 지자체 관리 시설물 5,209개소 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 관정으로 그 수는 2,157개소(41.4%)이며, 시설물별 수혜면적은 저수지 수혜면적이 11,868.7ha(55.3%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 수는 1,920개소로 조사되었으며, 시설물 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 양수장으로 546개소(28.4%)로 조사되었으며, 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적인 80,906ha(90.4%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-14> 전라북도 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적 (ha)		개소수		수리시설별 면적 (ha)		개소수		수리시설별 면적 (ha)	
계	7,129	(100.0%)	110,839.5	(100.0%)	5,209	(100.0%)	21,454.9	(99.6%)	1,920	(100.0%)	89,464.0	(100.0%)
저수지	2,238	(31.4%)	92,774.7	(83.7%)	1,819	(34.9%)	11,868.7	(55.3%)	419	(21.8%)	80,906.0	(90.4%)
양수장	767	(10.8%)	2,412.2	(2.2%)	221	(4.2%)	1,622.8	(7.6%)	546	(28.4%)	789.0	(0.9%)
양배수장	13	(0.2%)	7,269.9	(6.6%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	13	(0.7%)	7,270.0	(8.1%)
배수장	67	(0.9%)	-	(0.0%)	13	(0.2%)	-	(0.0%)	54	(2.8%)	-	(0.0%)
보	1,418	(19.9%)	4,283.2	(3.9%)	796	(15.3%)	3,784.9	(17.6%)	622	(32.4%)	498.0	(0.6%)
집수암거	226	(3.2%)	345.0	(0.3%)	203	(3.9%)	345.0	(1.6%)	23	(1.2%)	-	(0.0%)
관정	2,400	(33.7%)	3,754.5	(3.4%)	2,157	(41.4%)	3,754.5	(17.5%)	243	(12.7%)	-	(0.0%)

전라남도 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 9,950개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 3,818개소로 가장 많은 수를 차지하였으며, 그 다음으로 저수지가 3,207개소로 많았다. 수리시설별 수혜면적은 저수지 95,047.2ha(69.8%)으로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 지자체 관리 시설물 7,218개소 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 관정으로 그 수는 3,656개소(50.7%)이며, 시설물별 수혜면적은 저수지 수혜면적이 28,181.7ha(61.6%)로 가장 넓은 것으로 조사 되었다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 수는 2,732개소로 조사되었으며, 시설물 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 저수지로 994개소(36.4%)로 조사되었으며, 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적인 66,866.0ha(72.3%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-15> 전라남도 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	9,950	(100.0%)	136,228.7	(100.0%)	7,218	(100.0%)	45,782.0	(100.0%)	2,732	(100.0%)	92,547.0	(100.0%)
저수지	3,207	(32.2%)	95,047.2	(69.8%)	2,213	(30.7%)	28,181.7	(61.6%)	994	(36.4%)	66,866.0	(72.3%)
양수장	868	(8.7%)	28,795.8	(21.1%)	269	(3.7%)	5,229.5	(11.4%)	599	(21.9%)	23,566.0	(25.5%)
양배수장	3	(0.0%)	143.6	(0.1%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	3	(0.1%)	144.0	(0.2%)
배수장	156	(1.6%)	-	(0.0%)	39	(0.5%)	-	(0.0%)	117	(4.3%)	-	(0.0%)
보	1,670	(16.8%)	4,313.3	(3.2%)	826	(11.4%)	4,445.0	(9.7%)	844	(30.9%)	1,968.0	(2.1%)
집수암거	228	(2.3%)	793.4	(0.6%)	215	(3.0%)	793.4	(1.7%)	13	(0.5%)	-	(0.0%)
관정	3,818	(38.4%)	7,135.4	(5.2%)	3,656	(50.7%)	7,132.4	(15.6%)	162	(5.9%)	3.0	(0.0%)

경상북도 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 16,483개소로 조사되었으며, 그 중 저수지가 5,490개소로 가장 많은 수를 차지하였으며, 그 다음으로 관정이 5,339개소로 많았다. 수리시설별 수혜면적은 저수지 68,627.9ha(63.2%)으로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 지자체 관리 시설물 14,094개소 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 관정으로 그 수는 5,048개소(35.8%)이며, 시설물별 수혜면적은 저수지 수혜면적이 25,350.5ha(57.2%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 수는 2,389개소로 조사 되었으며, 시설물 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 저수지로 655개소(27.4%)로 조사되었으며, 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적인 43,277.0ha(71.1%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-16> 경상북도 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	16,483	(100.0%)	108,533.4	(100.0%)	14,094	(100.0%)	44,327.5	(100.0%)	2,389	(100.0%)	60,862.0	(100.0%)
저수지	5,490	(33.3%)	68,627.9	(63.2%)	4,835	(34.3%)	25,350.5	(57.2%)	655	(27.4%)	43,277.0	(71.1%)
양수장	1,840	(11.2%)	22,991.4	(21.2%)	1,223	(8.7%)	6,459.0	(14.6%)	617	(25.8%)	16,532.0	(27.2%)
양배수장	8	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	(0.0%)	8	(0.3%)	-	(0.0%)
배수장	124	(0.8%)	-	(0.0%)	41	(0.3%)	-	(0.0%)	83	(3.5%)	-	(0.0%)
보	3,179	(19.3%)	11,910.8	(11.0%)	2,546	(18.1%)	10,858.2	(24.5%)	633	(26.5%)	1,053.0	(1.7%)
집수암거	503	(3.1%)	1,345.8	(1.2%)	401	(2.8%)	1,345.8	(3.0%)	102	(4.3%)	-	(0.0%)
관정	5,339	(32.4%)	3,657.5	(3.4%)	5,048	(35.8%)	314.0	(0.7%)	291	(12.2%)	-	(0.0%)

경상남도 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 11,849개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 3,893개소로 가장 많은 수를 차지하였으며, 그 다음으로 저수지가 3,179개소로 많았다. 수리시설별 수혜면적은 저수지 47,385.4ha(59.3%)으로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 지자체 관리 시설물 9,766개소 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 관정으로 그 수는 3,793개소(38.8%)이며, 시설물별 수혜면적은 저수지 수혜면적이 17,560.1ha(55.3%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 농어촌공사에서 관리하는 시설물의 수는 2,093개소로 조사되었으며, 시설물 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 보로 670개소(32.0%)로 조사되었으며, 수혜면적은 저수지의 혜택을 받는 면적인 29,825.0ha(59.7%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다.

<표 3-17> 경상남도 농업생산기반시설 현황

구분	합계				시군관리				공사관리			
	개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)		개소수		수리시설별 면적(ha)	
계	11,849	(100.0%)	79,889.3	(100.0%)	9,766	(100.0%)	31,726.3	(100.0%)	2,093	(100.0%)	49,963.0	(100.0%)
저수지	3,179	(26.8%)	47,385.4	(59.3%)	2,620	(26.8%)	17,560.1	(55.3%)	559	(26.7%)	29,825.0	(59.7%)
양수장	937	(7.9%)	14,581.6	(18.3%)	539	(5.5%)	2,232.9	(7.0%)	398	(19.0%)	12,349.0	(24.7%)
양배수장	72	(0.6%)	4,947.9	(6.2%)	14	(0.1%)	313.0	(1.0%)	58	(2.8%)	6,435.0	(12.9%)
배수장	363	(3.1%)	-	(0.0%)	99	(1.0%)	-	(0.0%)	264	(12.6%)	-	(0.0%)
보	2,784	(23.5%)	7,771.3	(9.7%)	2,114	(21.6%)	6,419.2	(20.2%)	670	(32.0%)	1,352.0	(2.7%)
집수암거	621	(5.2%)	682.6	(0.9%)	587	(6.0%)	682.6	(2.2%)	34	(1.6%)	-	(0.0%)
관정	3,893	(32.9%)	4,520.5	(5.7%)	3,793	(38.8%)	4,518.5	(14.2%)	110	(5.3%)	2.0	(0.0%)

제주특별자치도 농업생산기반시설 현황조사 결과 총 21개소로 조사되었으며, 그 중 관정이 12개소로 가장 많은 수를 차지하였으며, 그 다음으로 저수지가 4개소로 많았다. 수리시설별 수혜면적은 양수장이 3ha(60.0%)으로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 지자체 관리 시설물 4개소 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 보로 그 수는 2개소(50.0%)이며, 시설물별 수혜면적은 양수장 수혜면적이 3.0ha(60.0%)로 가장 넓은 것으로 조사되었다. 공사에서 관리하는 시설물의 수는 17개소로 조사되었으며, 시설물 중 가장 많은 수를 차지하는 시설물은 관정으로 12개소(70.6%)로 조사되었다.

<표 3-18> 제주특별자치도 농업생산기반시설 현황

구분	합계		시군관리		공사관리	
	개소수	수리시설별 면적(ha)	개소수	수리시설별 면적(ha)	개소수	수리시설별 면적(ha)
계	21 (100.0%)	5.0 (100.0%)	4 (100.0%)	5.0 (100.0%)	17 (100.0%)	- (0.0%)
저수지	4 (19.0%)	2 (40.0%)	1 (25.0%)	2.0 (40.0%)	3 (17.6%)	- (0.0%)
양수장	3 (14.3%)	3 (60.0%)	1 (25.0%)	3.0 (60.0%)	2 (11.8%)	- (0.0%)
양배수장	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)
배수장	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)
보	2 (9.5%)	- (0.0%)	2 (50.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)
집수암거	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)
관정	12 (57.1%)	- (0.0%)	- (0.0%)	- (0.0%)	12 (70.6%)	- (0.0%)

용수로 및 배수로 현황을 살펴보면 용수로 현황은 총 117,457,170m로 흠수로 53,440,251m, 구조물 64,016,919m로 조사되었으며, 흠수호가 가장 많이 설치되어 있는 지역은 전라남도로 10,633,278m로 19.9%를 차지하였으며, 구조물 용수호가 가장 많이 설치되어 있는 지역도 전라남도로 11,958,443m로 18.7%를 차지하였다.

배수로 현황은 총 연장 68,420,264m로 조사 되었으며, 흠수로 46,067,422m, 구조물 22,352,842m로 조사 되었다. 흠수호가 가장 많이 설치되어 있는 지역은 용수로와 동일한 전라남도로 11,078,869m이며 배수로 전체의 24.0%를 차지하는 것으로 조사되었으며, 구조물이 가장 많이 설치되어 있는 지역은 충청남도로 5,868,780m로 26.3%를 차지하는 것으로 조사되었다. 용수로와 배수로 현황조사 결과는 <표 3-19>과 <표 3-20>에 제시하였다.

<표 3-19> 용수로 현황

구분	계 (m)				간선 (m)		지선 (m)		지거 (m)	
	흙수로		구조물		흙수로	구조물	흙수로	구조물	흙수로	구조물
부산광역시	89,373	(0.2%)	94,143	(0.1%)	56,447	32,672	29,934	7,330	2,992	54,141
대구광역시	184,077	(0.3%)	469,560	(0.7%)	49,182	157,272	125,773	252,908	9,122	59,380
인천광역시	320,318	(0.6%)	603,320	(0.9%)	4,700	105,980	44,779	183,867	270,839	313,473
광주광역시	660,606	(1.2%)	372,790	(0.6%)	171,176	182,437	199,346	123,656	290,084	66,697
대전광역시	72,404	(0.1%)	62,454	(0.1%)	21,089	26,956	15,380	13,148	35,935	22,350
울산광역시	114,144	(0.2%)	347,905	(0.5%)	41,980	118,299	56,848	120,236	15,316	109,370
세종특별 자치시	500,675	(0.9%)	184,753	(0.3%)	87,929	57,265	153,195	76,310	259,551	51,178
경기도	5,734,268	(10.7%)	6,039,659	(9.4%)	940,479	1,739,370	1,335,645	1,300,667	3,458,144	2,999,622
강원도	2,914,579	(5.5%)	3,912,177	(6.1%)	860,332	1,355,950	963,133	1,348,689	1,091,114	1,207,538
충청북도	3,314,623	(6.2%)	3,174,212	(5.0%)	619,977	1,346,204	415,060	753,243	2,279,586	1,074,765
충청남도	8,012,845	(15.0%)	10,304,297	(16.1%)	1,070,078	2,628,884	2,419,930	2,995,980	4,522,837	4,679,433
전라북도	5,430,317	(10.2%)	7,802,635	(12.2%)	609,425	1,480,520	1,587,594	3,077,491	3,233,298	3,244,624
전라남도	10,633,278	(19.9%)	11,958,443	(18.7%)	1,058,471	2,561,366	3,940,636	4,653,075	5,634,171	4,744,002
경상북도	10,408,843	(19.5%)	11,176,802	(17.5%)	3,790,002	5,358,952	3,206,839	4,047,976	3,412,002	1,769,874
경상남도	5,049,901	(9.4%)	7,468,264	(11.7%)	1,191,597	2,781,090	1,406,959	1,898,329	2,451,345	2,788,845
제주특별 자치도	-	(0.0%)	45,505	(0.1%)	-	9,174	-	-	-	36,331
계	53,440,251	(100%)	64,016,919	(100%)	10,572,864	19,942,391	15,901,051	20,852,905	26,966,336	23,221,623

<표 3-20> 배수로 현황

구분	계(m)				간선(m)		지선(m)		지거(m)	
	흙수로		구조물		흙수로	구조물	흙수로	구조물	흙수로	구조물
부산광역시	46,420	(0.1%)	37,938	(0.2%)	21,881	11,559	21,328	8,717	3,211	17,662
대구광역시	170,428	(0.4%)	161,545	(0.7%)	21,568	21,219	102,192	73,348	46,668	66,978
인천광역시	702,470	(1.5%)	313,721	(1.4%)	24,810	25,156	162,393	104,079	515,267	184,486
광주광역시	578,725	(1.3%)	151,563	(0.7%)	74,961	29,585	209,135	84,496	294,629	37,482
대전광역시	31,550	(0.1%)	41,760	(0.2%)	8,709	20,321	390	11,607	22,451	9,832
울산광역시	45,361	(0.1%)	20,476	(0.1%)	24,893	7,466	6,966	5,711	13,502	7,299
세종특별 자치시	668,541	(1.5%)	157,579	(0.7%)	122,066	73,166	231,863	61,672	314,612	22,741
경기도	4,492,758	(9.8%)	1,856,702	(8.3%)	596,037	427,449	866,723	531,490	3,029,998	897,763
강원도	1,644,285	(3.6%)	1,475,757	(6.6%)	510,228	382,172	594,339	487,817	539,718	605,768
충청북도	3,511,863	(7.6%)	988,189	(4.4%)	177,864	211,704	598,182	358,430	2,735,817	418,055
충청남도	7,477,033	(16.2%)	5,868,780	(26.3%)	1,025,105	799,216	1,751,122	1,915,743	4,700,806	3,153,821
전라북도	6,213,244	(13.5%)	2,697,442	(12.1%)	642,038	203,389	1,830,484	1,065,219	3,740,722	1,428,834
전라남도	11,078,869	(24.0%)	3,421,829	(15.3%)	1,406,393	480,235	3,388,421	1,223,482	6,284,055	1,718,112
경상북도	4,474,869	(9.7%)	2,858,299	(12.8%)	1,622,956	1,141,196	1,472,938	1,155,507	1,378,975	561,596
경상남도	4,931,006	(10.7%)	2,301,262	(10.3%)	848,235	718,494	1,468,927	733,456	2,613,844	849,312
제주특별 자치도	-	(0.0%)	-	(0.0%)	-	-	-	-	-	-
계	46,067,422	(100.0%)	22,352,842	(100.0%)	7,127,744	4,552,327	12,705,403	7,820,774	26,234,275	9,979,741

(나) 농업수리시설물 보수·보강 관련 자료 분석

① 보수 및 보강공법 조사

구조물 결함에 따른 보수·보강은 보수재료와 공법 선정할 때 내하력, 내구성, 기능 및 미관 등을 검토하여 결정하며 이때 중요한 것은 구조물의 결함발생 원인에 대한 정확한 추정이며 이를 통해 적절한 공법을 선정할 수 있도록 하고 또한, 적절한 보수재료를 선택하여야 한다. 따라서 시설물 관련 제반자료, 진단 시 수행한 각종 상태평가 및 안전성평가 결과를 기초로 하여 결함발생 원인에 대한 정확한 추정 후 보수·보강공법을 선택하여야 하며 손상유형에 따른 대표적인 보수·보강공법을 조사하였다.

㉓ 균열

콘크리트 균열보수공법에는 표면처리공법, 주입공법, 충전공법 및 침수성 방수제 도포공법 등이 있으며 균열기준은 구조물의 중요도, 특성 등에 따라 다양하므로 구조물의 특성 및 균열 현상 등을 고려하여 적절한 보수공법을 사용해야 한다. 콘크리트 균열의 보수목적과 균열상태에 따른 보수공법은 <표 3-21>와 같다.

<표 3-21> 콘크리트 균열의 보수공법

구 분	균열현상 및 원인		균열 폭 (mm)	보 수 공 법				
				표면처리 공법	주입공법	충전공법	침투성 공법	기타
방수 성	철근부식 미발생시	균열 폭 변동이 작음	0.2 미만	○	△		○	
			0.2 ~ 1.0	△	○	○		
		균열 폭 변동이 큼	0.2 미만	△	△		○	
			0.2 ~ 1.0	○	○	○	○	
내구 성	철근부식 미발생시	균열 폭 변동이 작음	0.2 미만	○	△	△		
			0.2 ~ 0.9	△	○	○		
			1.0이상		△	○		
		균열 폭 변동이 큼	0.2 미만	△	△	△		
			0.2 ~ 0.9	△	○	○		
			1.0이상		△	○		
	철근부식		-					□
	염 해		-					□
	반응성 골재		-					□
	주1) 균열 폭 3.0mm 이상의 균열은 구조적인 결함을 수반하는 일이 많으므로 여기에 표시하는 보수공법 뿐만 아니라 구조내력의 보강을 포함하여 실시하는 일이 보통이다. 주2) ○ : 적당 △ : 조건에 따라 적당 □ : 기타							

㉔ 백태

노후화된 콘크리트 표면에 생기는 백색의 결정으로 콘크리트중의 황산칼슘, 황산마그네슘, 수산화칼슘 등이 물에 녹아 침출되어 공기 중의 탄산가스와 화합한 것이다. 이 현상은 모세관 공극을 감소하도록 물-시멘트비와 단위수량을 작게하면 억제 가능하다. 즉, 수밀성이 약한 콘크리트나 모르타르에 물이 새어나면서 탄산칼슘이 표면에 퇴적하여 나타나는 현상이다. 탄산칼슘은 시멘트 경화체와 대기가나 물속의 이산화탄소로 형성된다. 그 대책으로는 물을 억제하는 대책 등으로 콘크리트를 완전히 건조시킨 후 백태를 제거하고 폴리머 모르타르 등으로 마감한다. 백태의 제거방법은 모래방사 등에 의해 제거하도록 한다.

㉕ 누수

누수로 인한 손상이 발생한 경우의 보수보강공법은 도수공법, 흠파기공법, 지수공법, 뿔어붙임 및 도포공법, 방수판, 방수시트, 배면주입공법, 수위저하공법 등이 있다. 누수에 대한 보수보강공법의 목적으로는 누수에 의한 농업생산기반시설의 기능개선 등이며, 누수의 발생 상황을 정확히 조사하여 공법의 효과, 시공성, 경제성 및 내구성을 고려하여 안전하게 시행할 수 있어야 한다. 누수에 대한 보수보강공법은 <표 3-22>과 같다.

<표 3-22> 누수 보수 및 보강공법

요인 분류	누수상태	선 상				면 상				비 고
	누수량	소 량		다 량		소 량		다 량		
	내공단면여유	유	무	유	무	유	무	유	무	
선상 대책 공법	도수공법	○	-	○	-	△	-	△	-	
	흠파기공법	-	○	○	○	-	○	-	○	•U, V 커트 공 •면상대책공법의 전처리로서도 시행
	지수공법	△	△	-	-	-	-	-	-	•누수량이 물방울 형성 정도이고 범위가 한정되는 경우 적용 가능
내구성	뿔어붙임공법	-	-	-	-	○	-	○	-	•철망, 앵커 및 도수공의 병용 필요
	도포공법	-	-	-	-	△	△	-	-	•누수 정도가 경미할 때에만 적용
	방수관	-	-	-	-	-	-	○	-	
	방수시트	-	-	-	-	○	-	○	-	•내부라이닝 개축 등을 행할 경우
배면주입공법		-	-	○	○	-	-	○	○	•토피가 작고 지표수와 우수가 배면공동을 통하여 직접 안으로 유입하는 경우
수위저하공법		-	-	○	○	-	-	○	○	•지하수위가 높은 상태에서 용수나 열차 하중의 반복 하중에 의한 지반재료의 배출
주) ○ : 적용 가능한 공법 △ : 경우에 따라 적용할 수 있는 공법										

㉔ 재료 열화

재료열화 현상은 시간의 경과에 따른 노후화로 인식되고 있지만 누수와 관련된 것이 많고 그 밖의 유해수, 동해, 염해 등의 외적 요인이 작용하는 경우도 있다. 또한 내적 요인으로는 콘크리트의 시멘트 량이 부족한 경우, 간혹 나타나는 골재의 알칼리 골재반응, 황산이온 영향 등 여러 요인에 의하여 재료열화 현상이 나타난다. 재료열화 조사는 어느 요인으로 그리고 어느 범위까지 노후화 됐는지를 정확히 조사하여 적절한 대책공법을 선택할 수 있어야 하므로 매우 중요하다. 일반적인 재료열화 현상별 원인과 보수공법은 <표 3-23>와 같다.

<표 3-23> 재료열화 보수공법

노후화 현상	원인	구분	영향인자	억제대책
철근 부식	염해	내적요인	•콘크리트 내부 허용 Cl-량 초과	•해사세척에 의한 Cl- 제거
		외적요인	•제설제 살포 또는 해안환경에 의한 염화물 침입	•표면을 기밀성 도료로 도장
	중성화	내적요인	•콘크리트 W/C, 공극이 큼	•적정의 W/C 선정
		외적요인	•대기의 CO2 농도증가로 중성화가 철근 깊이까지 도달	•기밀성 도료로 표면 도장
균열 박리	알칼리 골재 반응	내적요인	•알칼리 반응성 골재를 사용할 때 시멘트 중의 K2O가 다량 함유	•반응성 골재의 사용제한 저알칼리성시멘트를 사용
		외적요인	•콘크리트가 습윤상태에 있음.	•콘크리트를 건조상태로 보존, 수밀성 도장
	건조 수축	내적요인	•단위수량이 높음	•단위수량이 적은 무수축시멘트 사용
		외적요인	•콘크리트의 건조속도가 빠름	•초기양생을 충분히 실시

㉔ 동해

콘크리트 내부공극에 있는 수분이 동결하여 체적이 약 9%정도 증가함으로써 발생하는 체적 팽창과 이에 기인한 압력의 발생 및 이동에 의한 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 수분이 동결상태로 지속되는 경우는 동해가 쉽게 일어나지 않으나, 온도 변화에 의하여 얼음의 용해와 동결이 반복되었을 시 콘크리트 동해가 발생하는 것이다. 동해를 입은 콘크리트의 조직은 매우 이완되어 있어 내구성이 상당히 저하된다. 따라서 균열주입과 표면처리공법 정도로는 적절한 보강이 안되는 경우가 많으므로, 열화 된 콘크리트 부를 파취한 후 단면복구공법을 실시해야 하며, 철근이 부식된 경우는 철근의 방청 처리까지 실시해야한다.

(다) 소결

저수지, 양(배)수장, 보, 집수암거, 관정 등 농업생산기반시설의 총 개소수는 71,189개소로 조사 되었으며, 시설물은 시군관리, 공사관리로 구분되어 시군관리 시설물 총 개소수 57,422개소, 공사관리 시설물 총 13,767개소로 조사되었다.

용수로와 배수로를 조사한 결과 용수로의 연장은 총 117,457,170m로 흙수로 53,440,251m, 구조물 64,016,919m로 조사되었으며 배수로의 연장은 68,420,264m로 조사되었으며, 흙수로 46,067,422m, 구조물 22,352,842m로 조사되었다.

농업생산기반시설 노후화 상태를 확인하기 위해 1945년 이전 준공 시설물은 13,614개소, 건설된 지 50년 이상(1946년~1966년 준공) 시설물은 6,511개소, 건설된 지 30년 이상(1967년~1986년 준공)이 22,337개소 건설된 지 30년 이내(1987년~2016년)시설물이 28,727개소 조사되었으며, 30년 이상 노후화된 시설물은 42,462개소 (59.6%)로 과반수이상으로 조사 되었다.

보수 및 보강공법에 대한 조사는 손상유형에 따른 공법을 조사하였으며, 대표적 손상유형인 균열, 백태, 누수, 재료열화, 동해에 대한 조사를 실시하였다. 균열에 대한 보수공법은 균열포에 의해 결정되며, 표면처리공법, 주입공법, 충전공법, 침투성 공법으로 구분된다. 또한 백태는 주로 물에 의한 손상이므로 물을 억제하는 대책을 실시해야 한다. 누수에 의한 손상에서는 선상대책공법, 배면주입공법, 수위저하공법 등이 있다. 자료열화에 대한 보수공법으로는 철근 부식에 대한 노후화 및 균열 박리에 대한 노후현상으로 구분하여 보수를 실시하는 것으로 조사 되었다. 또한 농업생산기반시설에서 가장 중요시하고 있는 동해에 대한 보수공법은 균열 주입과 표면처리공법을 적용하는 경우가 있으나, 단면복구공법을 적용하는 경우도 있다.

2. 농업생산기반시설물, 국내 보수재료 기술현황 조사 및 개발 보수재료의 기준 설정

가. 농업생산기반시설물 및 보수재료 기술현황 조사

(1) 보수재료의 기본조건

농업생산기반시설물과 같이 노후화된 콘크리트 구조물에 효과적으로 사용할 수 있는 보수재료의 종류는 다양하지만, 주로 사용되는 보수재료는 원래의 콘크리트와 동일한 물성을 지닌 무기계가 많이 쓰이고 있다. 최근에는 무기계 및 유기계재료의 장점을 최대한 활용하기 위하여 폴리머 또는 라텍스등의 유기계 재료를 시멘트와 믹싱하여 사용되고 있으며, 유기계재료로만 이루어진 보수재료가 균열주입에서 접착제 재료까지 다양하게 사용되고 있다. 이러한 보수재료가 노후화된 농업생산기반시설물에 적절히 적용되기 위해서는 우선적으로 기존 콘크리트와의 부착력, 수축성, 열팽창성, 내구성 등이 보수재료의 중요한 특성으로 분류되고 있다. 따라서 보수공사의 품질을 향상시키기 위해서는 이러한 재료의 특성을 사전에 철저히 분석한 후에 구조물의 종류 및 특성에 따라 적절한 보수재료를 사용하는 것이 중요하다. 따라서 보수재료 선정 시 <표 3-24>과 같은 특징을 검토하여야한다.

<표 3-24> 농업생산기반시설 보수재료 선정시 특징

구분	세부내용
부착성	• 단면복구재의 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 기존콘크리트와 거동의 일체성을 확보하기 위해서는 기존콘크리트와 단면복구재의 부착력이 중요하다.
치수 안정성	• 기존의 콘크리트구조물과 확실히 접합시키기 위해서는 경화 중, 경화 후에 수축을 일으키지 않는 재료가 필요하다. 일반적으로 보수재료는 기존콘크리트보다 많이 수축함으로 수축을 최대한 줄일 수 있는 재료를 선택하여야 한다.
열팽창 계수	• 콘크리트 구조물의 표면온도는 여름에 직사일광을 받은 면에서는 60°C 이상 달하는 경우도 있으므로 모든 계절의 온도차를 고려한 재료를 선정할 필요가 있다. 특히 보수면적이 얇거나, 길거나 또는 덧씌우기 경우에는 부피 팽창으로 인하여 접착부분과 강도가 낮은 재료에서 하자가 발생할 수 있다.
탄성계수	• 매우 다른 탄성계수를 가진 재료가 아래위에 놓이게 되면 낮은 탄성계수의 재료에 변형이 일어나며, 이 두 재료의 부착방향으로 평행하게 하중이 가해지면 높은 탄성계수를 가진 재료 쪽으로 하중이 전달되어 탄성계수가 높은 재료에서 파괴가 일어나게 된다.
투수성	• 기존 콘크리트로부터 발생하는 수분이 보수재료와의 계면에 집중되어 표면피복재 등의 접착성을 저해하므로, 콘크리트와 유사한 투수성을 갖는 재료를 사용하는 것이 필요하다.
전도성	• 노출철근을 보수하는 경우는 전도성을 갖는 재료로 복구하는 것이 요구된다. 비전도성 재료를 사용하게 되면 보수를 하지 않는 부위의 철근과의 사이에 매크로셀이 형성되어 그 부분의 부식을 촉진시키는 결과가 되기 때문에 주의하여야 한다.

(2) 보수재료의 종류

콘크리트 보수에서는 많은 재료가 사용되고 있기 때문에 우선 사용되고 있는 보수재료의 종류와 적용성에 관해 정리하고 보수재료의 선정순서를 검토해야 한다. 환경과 시공 혹은 내구연한 등의 설계조건을 명확하게 하고, 보호성능, 내구성능 등을 고려하여 선정하여야 한다. <표 3-25>는 현재 사용되고 있는 보수재료를 공법별로 구분하여 조사하였다.

<표 3-25> 보수재료의 종류

종류	종별	구성
단면복구재 (패칭재)	폴리머시멘트 모르타르	•가넷혼입폴리머, 아크릴계, 실리카계
	폴리머 모르타르	•에폭시레진모르타르
	시멘트 모르타르 콘크리트	•시멘트, 골재, 콘크리트용 화학혼화제 등을 사용한 보통 시멘트모르타르 또는 콘크리트
	기타	•수중경화용에폭시, 에폭시수지계
도포함침재	침투성 흡수방지재	•실리콘계, 에폭시수지계, 실란계, 변성실란모노머
	침투성 고화재	•실리카계, 에폭시수지계, 규산화합물
	무기질 침투성 방수재	•실리콘계
	침투성 알칼리성 부여재	•실리카계, 실란계, 알카리금속염, 변성실란모노머
	도포형 방청재	•실란계, 수성폴리머 에멀전
균열주입재	에폭시수지주입재	•주입용 에폭시수지
	시멘트슬러리 주입재	•수용성 무기질계
	실링재	•에폭시수지계, 아크릴계, 우레탄계, 건식실링재, 습식실링재, 수중실링재, 폴리에스테르수지계, 고분자메타크릴에이트모노머, 속타입실링재
	균열누수지수재	•우레탄계, 터보셀, 규산화합물, 폴리시록산계
	기타	•습윤면주입재, 습윤면실링용, 철판보강실링용, 균열누수제, 크랙보수, 보강용건식주입재, 크랙보수.보강용 건식주입재, 크랙보수.보강용 습식주입재, 조인트 봉합제
철근방청 처리재	폴리머 시멘트계	•SBR계, 아크릴수지계, 방청제 첨가등
	합성 수지계	•에폭시계, 아크릴계, 우레탄계등 수지프라이머 또는 도료
콘크리트 표면피복재	침투성 흡수방지재	•실리콘계, 실링계, 아크릴계, 변성폴리에스테르수지계 등
	도료	•아크릴수지계, 아크릴우레탄수지계, 아크릴실리콘수지계, 불소수지계등 도료
	건축용 마감도재	•시멘트계, 폴리머시멘트계, 규산질계, 합성수지에멀전계, 합성수지용 제계, 두꺼바름용 마감도재, 복층마감도재 등
	도막방수재	•아크릴 고무계, 우레탄계 지붕 및 외벽도막방수재
	성형품	•알루미늄 등의 금속, GRC등의 피부패널(2중벽용) 폴리머 시멘트 모르타르 및 폴리머 함침 콘크리트제의 영구거푸집 등

나. 개발 보수재료의 기준 설정

현재 농업생산기반시설은 30년 이상 노후화된 시설물이 59.6%이며 노후화 시설물이 점차 증가하고 있고, 노후화된 시설물 중 농번기 이후 보수해도 되는 경우와 시설물의 노후화가 심각하거나 인위적인 파손이 발생하여 긴급보수를 필요로 하는 시설물이 존재할 것으로 판단되기 때문에 일반보수와 긴급보수 2가지로 구분하여 보수재료를 개발할 필요가 있다.

본 연구를 통해 개발하고자 하는 보수재료의 기준을 설정하기 위해 KS 규정 및 상용화된 보수재료의 시험성적을 검토하여 농업생산기반시설에 적용될 보수재료의 품질 기준에 적합 여부를 확인하였다.

콘크리트 구조물 보수 관련 KS규정인 KS F 4042(콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르)를 조사한 결과 역학적 특성으로는 압축강도 20N/mm²이상, 휨강도 6.0N/mm²이상, 부착강도 1.0N/mm²이상, 내구성능으로는 내알칼리성, 물흡수계수, 습기투과저항성 등으로 조사되었으나, 물의 접촉이 많고, 농번기와 동절기와 같이 동결과 융해가 반복되는 농업생산기반시설물에 적용하는 것은 다소 미흡하다 판단된다.

<표 3-26> KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르

시험항목		품질기준
휨강도(N/mm ²)		6.0 이상
압축강도(N/mm ²)		20.0 이상
부착강도(N/mm ²)	표준조건	1.0 이상
	온냉반복 후	1.0 이상
내알칼리성(N/mm ²)		압축강도 20.0 이상
물흡수계수(kg/(m ² h0.6))		0.5 이하
습기투과저항성(Sd)		2m 이하
길이변화율(%)		± 0.15이하
투수량(g)		20.0 이하
염화물 이온 침투 저항성(Coulombs)		1,000 이하
중성화 저항성(mm)		2.0 이하

상용중인 보수재료의 시험성적을 확인한 결과 <표 3-26>과 같이 동결융해에 대한 시험성적은 누락된 것으로 조사되었으나, 강도 측면에서는 KS규정을 월등히 상회하는 결과를 보였다. 기존의 보수재료들은 일반 콘크리트 구조물이 대상이므로 동결융해저항성 시험결과가 누락되었다 판단되나 본 연구는 농업생산기반시설물에 대한 보수재료 이므로 동결융해에 대한 저항성 시험결과를 추가 하는 것이 바람직하다 판단되어 동결융해저항성시험 기준을 추가하여

보수재료의 기준을 설정하였다. 또한 농로 등에 사용될 긴급보수용 콘크리트 보수재료를 개발하기 위한 기준을 제시하였다.

<표 3-27> 상용중인 일반보수재료 시험성적

시험항목	구분	KS규정	A사	B사	C사	평균
휨강도 (N/mm ²)		6.0 이상	8.0	17.4	9.1	11.5
압축강도 (N/mm ²)		20.0 이상	45.0	65.8	48.6	53.1
부착강도 (N/mm ²)	표준조건	1.0 이상	1.5	2.1	1.6	1.7
	온냉반복후	1.0 이상	1.3	1.9	-	1.6
내알칼리성 (N/mm ²)		압축강도 20.0 이상	45.0	62.7	-	53.9
물흡수계수(kg/(m ² h ^{0.6}))		0.5 이하	0.2	0.27	-	0.2
투수량(g)		20.0 이하	3.0	5.2	-	4.1
중성화 저항성 (mm)		2.0 이하	2.0	1.6	-	1.8
습기투과저항성 (Sd)		2 이하	0.8	1.5	-	1.2
염화물 이온 침투 저항성(Coulombs)		1,000 이하	800.0	812	-	806.0
길이변화율(%)		± 0.15이하	0.0	-0.11	-	-0.1

<표 3-28> 보수재료의 기준 선정

시험항목	품질기준		
	일반보수재료(Mortar)	긴급보수재료(Concrete)	
플로우		170±5mm	-
휨강도 (N/mm ²)	재령 4시간	-	3.5 이상
	재령 28일	10.0 이상	4.5 이상
압축강도 (N/mm ²)	재령 4시간	-	21.0 이상
	재령 28일	50.0 이상	35.0 이상
쪼갠강도 (N/mm ²)	재령 28일	-	4.2 이상
부착강도 (N/mm ²)	표준조건	1.0 이상	-
	온냉반복후	1.0 이상	-
내알칼리성 (N/mm ²)		20.0 이상	-
물흡수계수(kg/(m ² h ^{0.6}))		0.5 이하	-
습기투과저항성(Sd)		2m 이하	-
길이변화율(%)		± 0.15이하	-
투수량(g)		20.0 이하	-
염화물 이온 침투 저항성(Coulombs)		1,000 이하	2,000 이하
중성화 저항성(mm)		2.0 이하	-
동결융해 저항성	잔여강도	80%이상	-
	상대동탄성계수	-	80%이상

다. 소결

보수재료를 사용함에 있어 기본적인 조건은 기존 콘크리트와의 일체 거동 확보를 위한 부착성, 기존 콘크리트와의 접합을 위한 수축을 최소화하기 위한 치수안정성, 계절별 온도차이가 심하므로 온도차를 고려한 열팽창계수와 그 외 탄성계수, 투수성, 전도성을 고려하여 선정하여야 한다.

보수재료의 기본조건을 고려한 보수재료의 종류는 단면복구재, 도포함침재, 균열주입재, 철근 방청처리재, 콘크리트 표면피복재로 구분하며, 단면복구재로는 폴리머시멘트 모르타르, 폴리머 모르타르로 분류된다. 또한 도포함침재는 침투성 고화재, 도포형 방청재 등이 사용되며, 균열주입재로는 실링재, 에폭시수지주입재 등이 사용되는 것으로 조사 되었으며, 철근방청처리재로는 폴리머시멘트계, 합성수지계, 콘크리트표면피복재로는 도막방수재 등이 사용되는 것으로 조사 되었다.

보수재료의 종류를 조사하여 본 연구의 보수재료는 노후화가 심화된 농업생산기반시설을 대상으로 보수를 실시해야 하므로 단면복구재로 선정하였으며, 보수재료 개발을 위한 기준정립을 위해 KS규정 및 사용제품을 조사 분석하였다. 그 결과 KS규정으로는 KS F 4042 “콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르”의 품질기준을 조사한 결과 물의 접촉이 많고, 농번기와 동절기와 같이 동결과 용해가 반복되는 농업생산기반시설물에 적용하는 것은 다소 미흡하다 판단하였다. 또한 상용제품을 조사 분석한 결과 역시 동결용해에 대한 고려를 하지 않은 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서의 개발 보수재료는 KS규정과 기존 상용제품 및 동결용해 등을 고려하여 기준을 마련하였다.

3. 농업생산기반시설물 성능개선용 보수재료 개발 및 성능평가

가. 개발 보수재료의 최적 배합비 도출

(1) 일반보수재료 성능평가

(가) 기본 배합비 도출

① 개요

보수재료 개발을 위하여 농업시설생산기반시설 및 부재의 종류 혹은 그것들이 놓여있는 여러 환경조건, 발생 가능한 손상 종류, 손상 및 결함으로 초래되는 유해정도 등을 조사하여 구조물의 열화원인 및 서비스 수준 상태 등을 분석하였다.

또한 기존 보수재료의 경우 노후화된 단면이 클 경우 공사시간 단축을 위해 뿔칠장비를 활용한 경우가 많아 본 연구의 보수재료도 뿔칠 장비 사용을 기준으로 하였으며, 시험성적기준을 참고하여 보수재료의 목표성능기준 <표 3-28> 및 주재료를 <표 3-29>과 같이 결정하였으며

보수재료의 최적배합비 도출에 앞서 기본재료인 시멘트, 규사의 적정 사용량 및 기본 배합비를 도출 하고자 한다.

시멘트 : 모래비는 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법) 시멘트 : 모래비 1:2.45로 제시되어 있으나, 다양한 비율에 따른 역학적 성능을 검증하기 위해 1:1.5, 1:2, 1:3으로 결정하였다.

<표 3-29> 개발 보수재료의 구성재료 및 배합비

구성재료	규격 및 성분	배합비
시멘트	1종 보통 포틀랜드 시멘트	시멘트: 규사 = 1 : 1.5, 1 : 2, 1 : 3
모래(규사)	5호사	

② 시험항목 및 방법

㉠ 흐름시험

KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 준하여 흐름시험을 실시하였다. 각각의 모르타르 혼합(건비빔)을 동일하게 3분을 실시하고 적정량의 물을 첨가한 뒤 믹싱을 3.5분으로 동일하게 실시하였다.



(그림 3-1) 흐름시험

㉡ 압축강도 시험

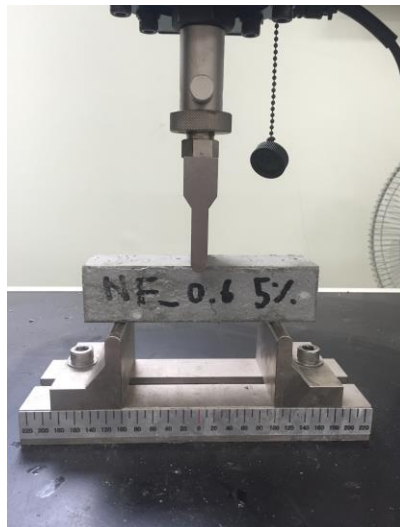
압축강도 시험은 KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 준하여 압축강도 시험을 실시하였다. 각 제품별로 50mm 입방체 공시체를 제작 1일 후 탈형하여 2일동안 수중 양생시킨 뒤 나머지 재령동안 기건 양생을 실시하였다. 압축강도는 7일, 28일 재령을 측정하였다.



(그림 3-2) 압축강도 시험

㉔ 휨강도

휨강도 시험은 KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 준하여 휨강도 시험을 실시하였다. 40×40×160mm 공시체를 제작 1일 후 탈형하여 2일간 수중 양생시킨 뒤 재령 28일의 휨강도 측정을 실시하였다. (그림 3-3)은 휨강도 시험을 하는 모습이다.



(그림 3-3) 휨강도 시험

③ 시험결과

㉔ 흐름시험 결과

흐름시험 결과는 <표 3-30>과 같으며, 모든 배합에서 기준치인 170±5mm를 만족하였으나, 시멘트모래비 1:1.5와 1:3에서는 표면마무리가 보통이었으나, 1 : 2에서 양호한 것으로 분석되었다.

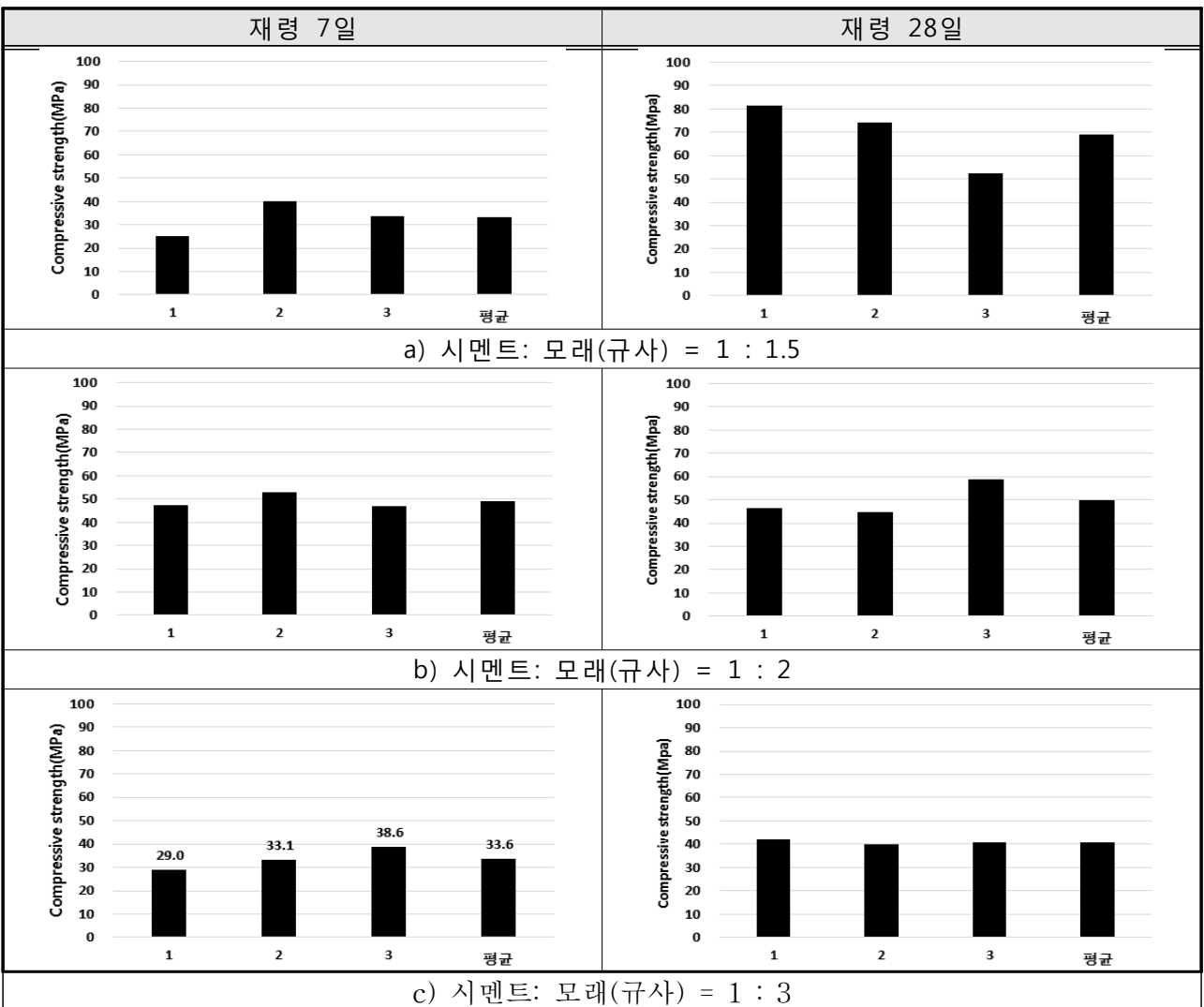
<표 3-30> 흐름 시험 결과

시멘트: 모래 비율	W/C	Flow	표면마무리
1 : 1.5	31%	165mm	보통
1 : 2	36%	175mm	양호
1 : 3	37%	175mm	보통

㊤ 압축강도 시험 결과

압축강도 시험결과는 <표 3-31>과 같으며, 모든 배합에서 기준강도인 20MPa를 월등히 상회하는 것으로 분석되었다. 재령 7일 강도에서는 시멘트 : 모래비=1 : 1.5는 평균 33.1MPa, 1 : 2는 49.0MPa, 1 : 3에서는 33.6MPa로 모든 배합에서 기준값을 상회 값을 보였으며, 시멘트모래비 1 : 2에서 가장 높은 강도를 보였으며, 재령 28일에서는 시멘트 : 모래비=1 : 1.5는 평균 69.2MPa, 1 : 2는 50.0MPa, 1:3에서는 40.9MPa로 모든 배합에서 기준값을 상회 값을 보였으나, 재령 7일과는 다르게 시멘트모래비 1:1.5에서 가장 높은 강도를 보였다.

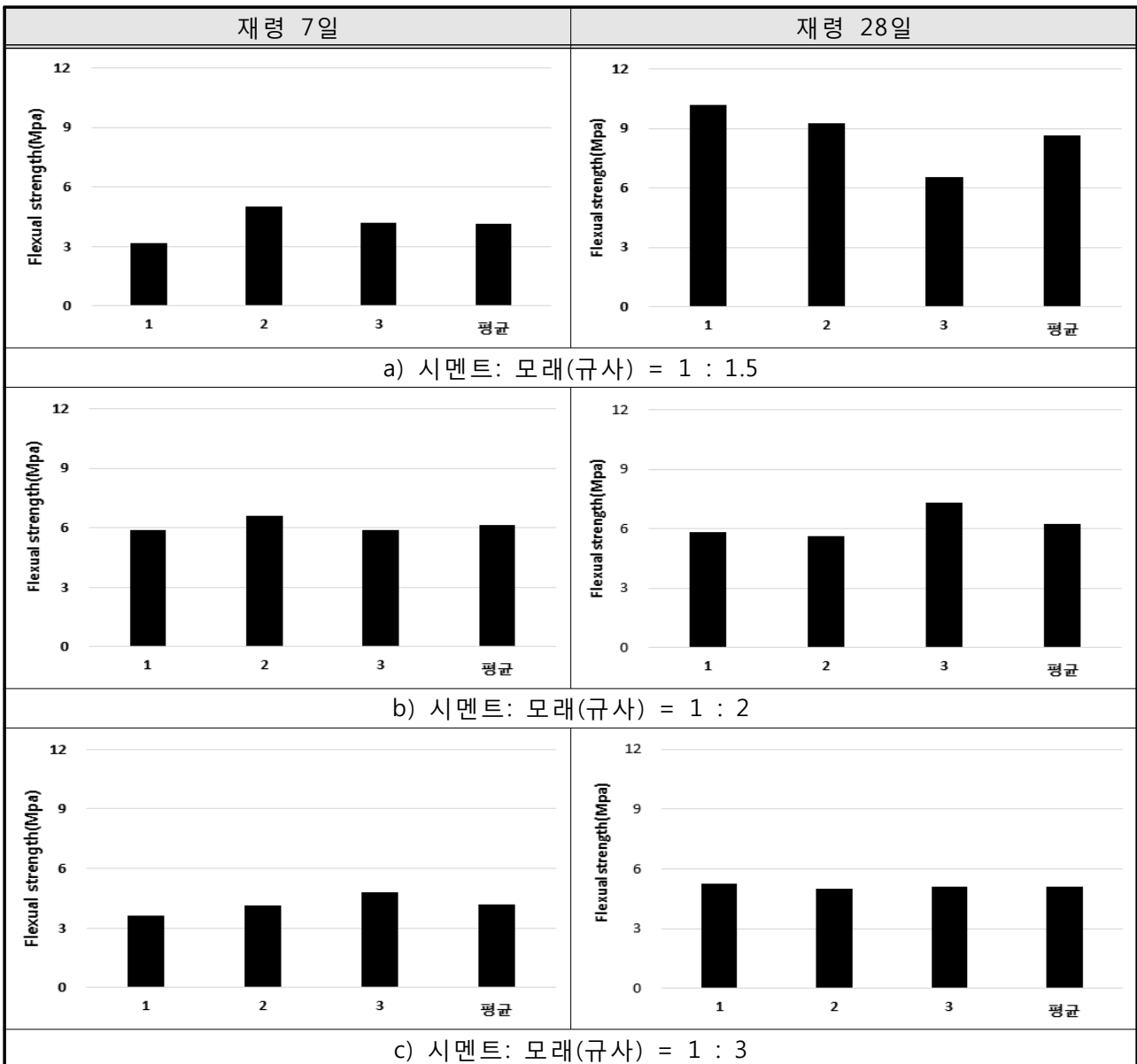
<표 3-31> 압축강도 시험결과



㉔ 휨강도 시험 결과

재령 7일과 재령 28일에서 휨강도 시험을 실시하였으며, 그 결과는 <표 3-32>와 같으며, 재령 7일 강도에서는 시멘트:모래비= 1:1.5는 평균 4.1MPa, 1:2는 6.1MPa, 1:3에서는 4.2MPa로 모든 배합에서 기준 값을 상회 값을 보였으며, 시멘트:모래비 1:2에서 가장 높은 강도를 보였다. 또한 재령 28일에서는 시멘트:모래비= 1:1.5는 평균 8.7MPa, 1:2는 6.2MPa, 1:3에서는 5.1MPa로 모든 배합에서 기준값을 상회 값을 보였으나, 재령 7일과는 다르게 시멘트:모래비 1:1.5에서 가장 높은 강도를 보였다.

<표 3-32> 휨강도 시험결과



시멘트, 모래비 결정을 위한 기본배합 시험결과 재령 28일에서 시멘트:모래비 1:1.5에서 압축 강도 및 휨강도 모두 가장 높은 값을 보였으나, 흐름시험결과와 종합한 결과 시멘트:모래비 1:2를 최적배합비 도출을 위한 배합비로 결정하였다.

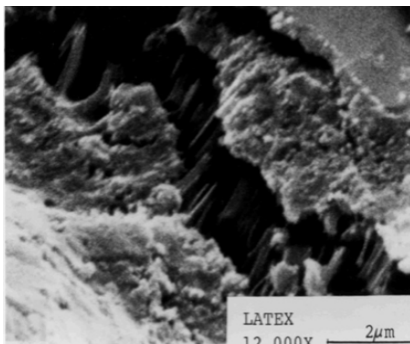
(가) 최적배합비 도출

기본 배합비 도출에서는 시멘트와 규사의 비를 조절하여 흐름시험결과 및 압축강도, 휨강도 등 역학적 성능 평가를 실시하여 기본 배합비인 시멘트 : 모래비 = 1 : 2 도출하였다.

최적배합비 도출에서는 콘크리트 또는 모르타르 혼입 시 폴리머디스퍼전의 불베어링 효과로 굳지 않은 모르타르(콘크리트)의 유동성이 향상되고 시멘트가 수화하는 과정에서 그 조직 속에 시멘트 수화물과 폴리머 필름과의 강고한 복합체를 형성하고 폴리머 필름막에 의해 흡수저항성이 증가함으로써 염화물 이온의 내부확산 장벽을 만들어 염화물 이온의 이동 억제 및 물, 산소 확산, 중성화 억제 등에 대한 저항성이 높은 경화체를 만들 수 있는 라텍스와 시멘트 페이스트와 결합력을 증가시켜 소성수축 균열을 줄일 수 있는 나일론 섬유를 첨가하여 특성변화를 분석하여 라텍스 및 폴리머의 적정 혼입율 및 사용량을 결정하기 위한 실험을 실시하여 최적배합비를 도출하였다.

① 재료

일반 보수재료 개발을 위해 섬유보강재 및 라텍스를 혼입한 실험을 실시하였으며, 섬유보강재 (나일론 섬유) 및 라텍스의 효과를 평가하기 위하여 첨가비율을 다르게 하였으며, 섬유보강재 형상은 (그림 3-4)와 같다.



a) 라텍스 개질 콘크리트



b) 섬유보강재

(그림 3-4) 라텍스 및 섬유보강재

② 배합설계

나일론 섬유는 권장사용량인 $0.6 \sim 2.0 \text{kg/m}^3$ 중 0.6kg/m^3 , 0.9kg/m^3 , 1.2kg/m^3 3가지 혼입량을 선정하였으며, 라텍스는 문헌조사 및 경제성을 고려하여 5%, 7%, 10% 3가지 혼입률을 선정하여 실험을 실시하였다.

시멘트 : 규사비는 기본 배합비에서 도출된 1 : 2비율을 선정하였으며, 나일론섬유, 라텍스 등을 혼입한 배합비는 <표 3-33>와 같다.

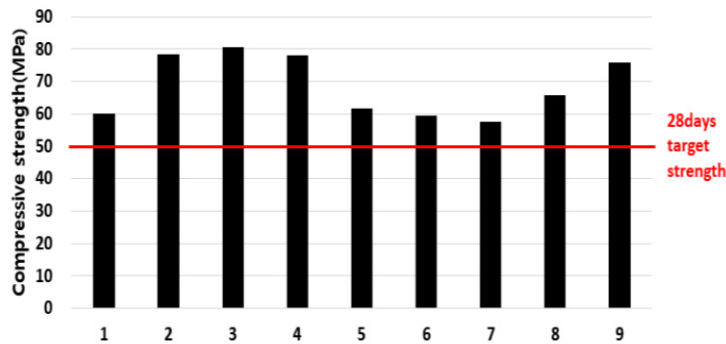
<표 3-33> 섬유보강재(나일론섬유) 및 라텍스 혼입한 배합

NO.	시멘트 : 규사 (C : S)	나일론섬유(NF) (kg/m ³)	라텍스 (C × %)
1	1 : 2	0.6	5%
2			7%
3			10%
4		0.9	5%
5			7%
6			10%
7		1.2	5%
8			7%
9			10%

③ 시험결과

㉠ 압축강도

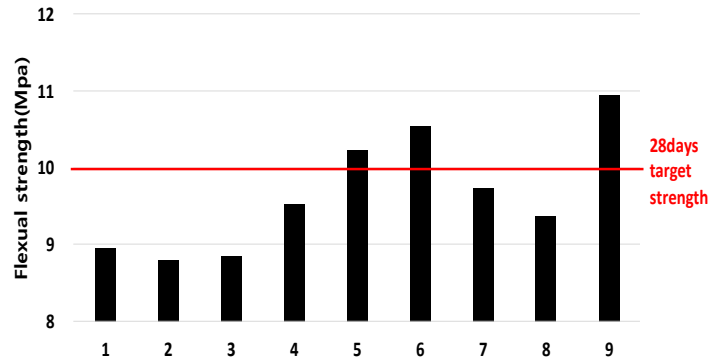
일반보수재료에 보강섬유 및 라텍스 혼입률에 따른 압축강도 시험결과는 (그림 3-5)와 같으며, 재령 28일의 목표 압축강도 50MPa는 섬유 및 라텍스 혼입률에 관계없이 모든 배합에서 기준 값을 만족시켰으며, 섬유혼입량 0.9kg/m³에서는 라텍스 혼입률이 높을수록 압축강도가 감소하는 것으로 분석되었다.



(그림 3-5) 압축강도 시험결과

㉡ 휨강도

일반보수재료에 보강섬유 및 라텍스 혼입률에 따른 휨강도 시험결과는 (그림 3-6)와 같으며, 재령 28일의 목표 휨강도 10.0MPa를 만족하는 배합은 나일론 섬유 0.9kg/m³을 혼입한 배합 중 라텍스 7%와 9%를 혼입한 배합과 나일론 섬유 1.2kg/m³을 혼입한 배합 중 라텍스 10% 혼입한 배합이었으며, 섬유혼입량 0.6kg/m³와 1.2kg/m³에서는 경향없는 것으로 분석되었으나, 섬유혼입량 0.9kg/m³에서는 라텍스 혼입률이 높을수록 휨강도가 증가하는 것으로 분석되었다.



(그림 3-6) 휨강도 시험결과

㉔ 종합결과

압축강도 시험결과 나일론 섬유혼입량 0.6kg/m³ 배합과 나일론 섬유혼입량 1.2kg/m³ 배합에서는 라텍스 혼입률이 증가할수록 압축강도가 증가하였으나, 나일론 섬유혼입량 0.9kg/m³ 배합에서는 라텍스 혼입률이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향을 보였으며, 휨강도시험결과에서는 나일론 섬유혼입량 0.6kg/m³ 배합에서는 재령 28일의 목표강도를 만족하지 못하였으며, 나일론 섬유혼입량 0.9kg/m³ 배합에서는 라텍스 혼입률 7%와 9%에서 목표 강도를 만족하였다. 또한 나일론 섬유혼입량 1.2kg/m³ 배합에서는 라텍스 혼입률 10%에서만 목표 강도를 만족하는 결과를 얻었다.

압축강도 및 휨강도의 역학적 특성 및 경제성을 고려하여 내구성능시험을 실시할 배합을 나일론 섬유혼입량 0.9kg/m³ 배합의 라텍스 혼입률 7%로 결정하였다.

(다) 기존 상용화 보수재료와의 비교분석

본 절에서는 개발한 보수 모르타르의 성능을 평가하기 위하여 도출된 최적배합비에 의해 실내에서 시편을 제작하고 역학적 시험(압축강도, 휨강도) 및 내구성능(염소이온 침투저항성, 동결융해 저항성, 내약품성 시험)을 실시하여 그 결과를 현재 국내에서 상용중인 2가지의 프리믹스 타입의 보수용 모르타르 제품(A, B)과 비교·분석하였다.

① 시험계획

개발한 보수 모르타르는 <표 3-34>의 최적배합비에 의해 목표 흐름값인 170±5mm를 만족하는 배합을 실시하고 역학적 특성 및 내구성능을 평가하는데 필요한 시험체를 제작하였으며 성능비교를 위한 두가지 프리믹스 형태의 보수용 모르타르는 각 제조사에서 제시하고 있는 배합비에 따라 배합을 실시하여 시험체를 제작하였다.

<표 3-34> 개발 보수모르타르의 최적배합비

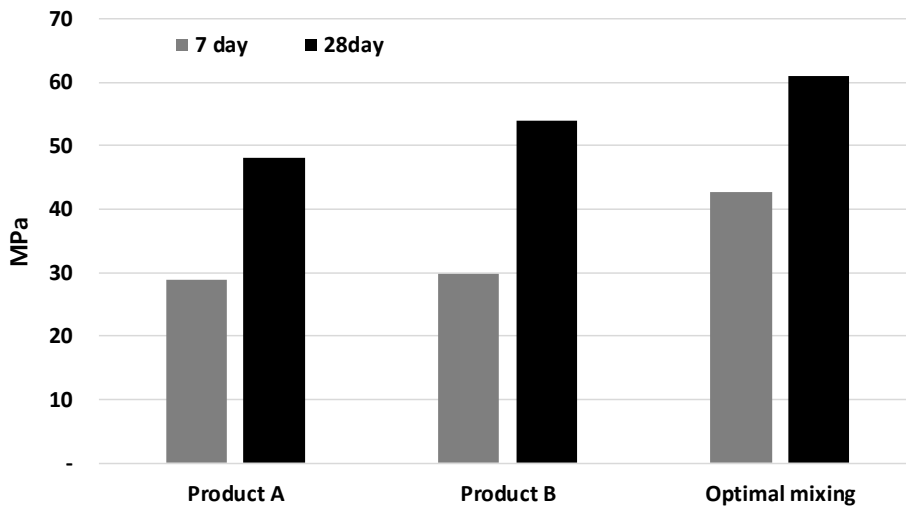
시멘트 : 규사	나일론 섬유	라텍스
1 : 2	0.9 kg/m ³	7%

② 실험방법 및 시험결과

㉠ 압축강도시험 방법 및 결과

압축강도 측정은 KS L 5105에 따라 50×50×50mm의 입방체 몰드를 3개씩 제작하여 7일, 28일 재령에서 압축강도를 측정 하였다.

개발한 보수 모르타르의 압축강도 시험결과는 <그림 3-7>에 정리하였으며 최적배합 및 제품 B의 경우는 재령 28일에서의 목표기준강도인 50MPa를 만족시켰으나, 제품 A의 경우 목표기준 강도인 50MPa에 미치지 못하였으며, 최적배합의 압축강도가 가장 높은 값을 나타내었다. 따라서 본 연구를 통하여 도출된 개발한 보수 모르타르의 최적배합의 보수재료로써 강도특성은 매우 우수한 것으로 판단된다.

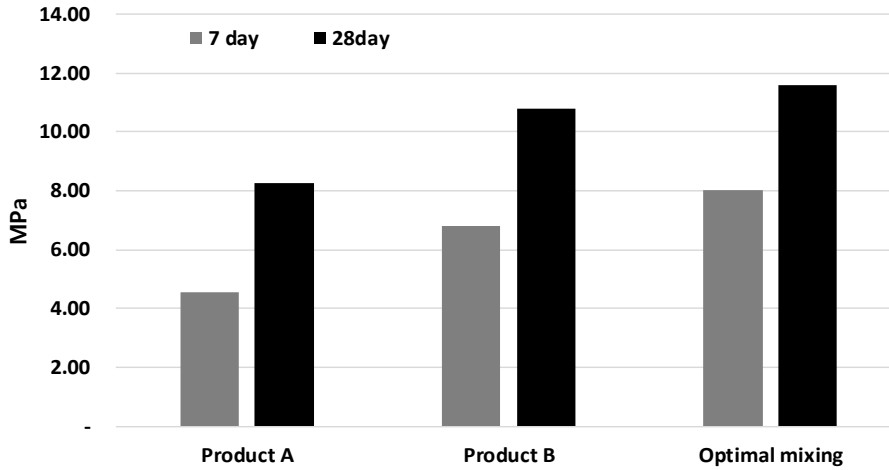


(그림 3-7) 압축강도 시험결과

㉡ 휨강도시험 방법 및 결과

휨강도 측정은 KS F 2476에 따라 40×40×160mm의 입방체 몰드를 3개씩 제작하여 재령 7일, 28일의 휨강도를 측정 하였다.

(그림 3-8)에서 보듯이 휨강도 역시 압축강도 시험결과와 마찬가지로 최적배합과 제품 B의 배합에서 목표기준강도인 10MPa를 만족하는 결과를 보여주었으나, 제품 A에서는 목표기준 강도를 만족하지 못하는 결과를 얻었다.

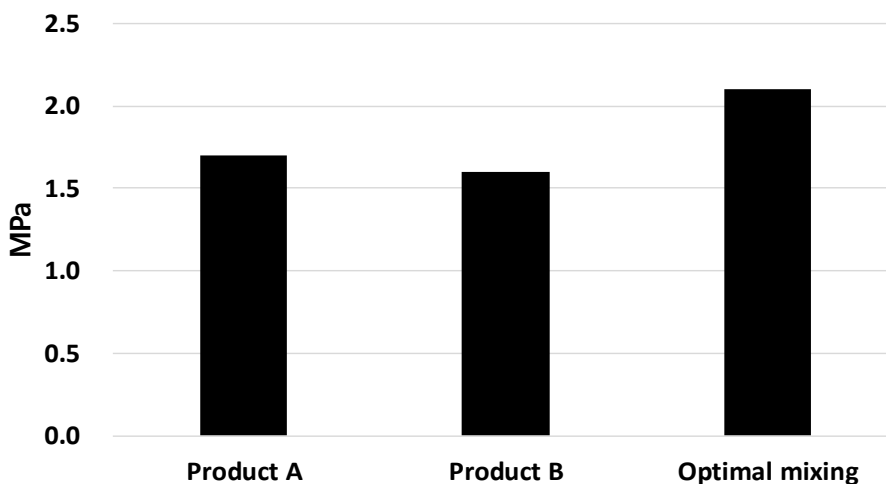


(그림 3-8) 휨강도 시험결과

㉔ 부착강도시험 방법 및 결과

KS L 5105에 따라 배합한 모르타르를 70×70×20mm의 밀판으로 이용할 공시체를 제작하여 온도 20±3℃, 습도 80%이상의 상태에서 24시간 양생 후 탈형을 하고 이후 6일 동안 20±2℃의 물속에서 양생하였다. 다시 양생실에서 온도 20±2℃, 상대습도 60±10%의 조건으로 7일을 양생시킨다. 총 14일 동안 양생 후 KS L 6003(연마지)에서 규정하는 150번 연마지를 사용하여 사용면을 충분히 연마한다. 그 후 라텍스 개질 모르타르를 약 5mm의 두께로 도포하여 14일간 기건양생 시킨다. 그 후 중앙에 40mm×40mm크기로 절단한 후 에폭시 수지를 이용하여 어테치먼트를 부착한 후 KS F 4042에 따라 부착강도를 측정하였다.

(그림 3-9)는 부착강도 시험결과로, 모든 배합에서 기준목표강도인 1MPa를 만족시켰으나, 최적배합의 경우 상용제품에 비해 부착성능이 우수한 것으로 나타나 향후 현장 적용 시 기존 콘크리트와의 일체화 거동이 좀 더 유리하고 보수면의 박리 및 탈락을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

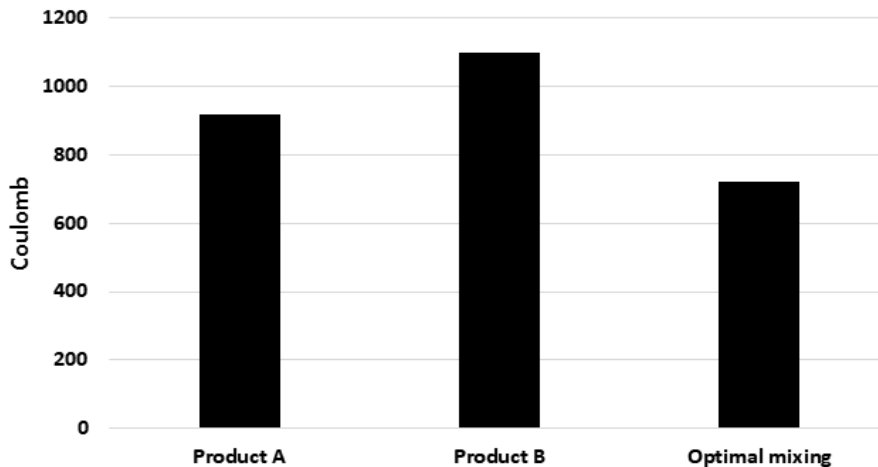


(그림 3-9) 부착강도 시험결과

㉔ 염소이온투과저항성시험 방법 및 결과

모르타르 및 콘크리트의 투수성을 간접적으로 확인할 수 있는 염소이온 침투저항성 시험은 ASTM C 1202(Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Ion Penetration)에 준하여 실시하였다. $\Phi 100 \times 200 \text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 온도 $20 \pm 1^\circ \text{C}$ 와 습도 $60 \pm 5\%$ 의 항온항습실에서 기건양생을 28일 실시한 후 시편을 50mm두께로 자른다. 시편을 진공 데시케이터안에 시편을 넣고 데시케이터를 완전히 봉한 후 3시간동안 진공펌프를 작동시켜 진공상태를 유지한다. 3시간 후 시편이 잠길 정도의 물을 붓고 1시간정도 진공펌프를 작동시켜 진공상태를 유지 시킨 후 진공펌프의 작동을 멈춘 후 18 ± 2 시간동안 시편을 담가 놓는다. 그 후 염소이온 침투저항성시험에 사용되는 A.V Cell을 이용하여 공시체를 고정하고 A.V Cell의 (+)전극에는 0.3mol의 NaOH용액을 채우고 (-)전극에는 3%의 NaCl 용액을 채운 후 공시체에 직류 60V를 공급하여 6시간동안 전류값을 측정하였다.

(그림 3-10)은 염소이온 침투저항성 시험 결과로 제품 A의 경우 대략 900Coulomb으로 기준인 1000Coulomb이하를 만족하였으나 제품 B의 경우 1100Coulomb으로 목표 성능을 만족하지 못하였다. 본 연구의 최적배합 모르타르는 720Coulomb으로 목표성능을 만족하면서 기존 제품에 비해 우수한 투수저항성을 보이고 있었으며, 이는 라텍스 혼입으로 인한 시험체 내부의 구조가 치밀화되어 수분의 침투를 억제하였기 때문인 것으로 판단된다.

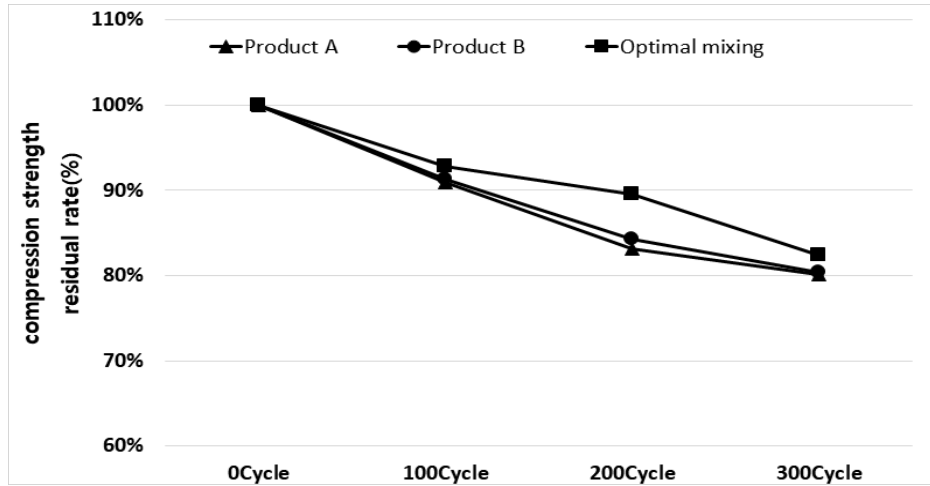


(그림 3-10) 염소이온투과저항성 시험 결과

㉕ 동결융해저항성시험 방법 및 결과

겨울철 동결과 융해가 반복되는 환경에서 제품의 내구성을 알아보기 위하여 KS F 2456(급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항성 시험 방법)에 준하여 실험을 실시하였다. 동결·융해 시험을 실시하기 위하여 $50 \times 50 \times 50 \text{mm}$ 의 공시체를 3개씩 준비하여 100Cycle 마다 중량변화 및 압축강도 감소율을 측정하였다.

동결융해 반복 후 사이클 당 압축강도 변화는 (그림 3-11)에 나타내었다. 최적배합을 포함한 모든 배합에서 동결융해 저항성 시험 기준인 300Cycle 동결융해 후 압축강도 잔존율 80%이상을 만족하였다. 최적배합에서 가장 좋은 압축강도 잔존율 82.3%을 보였으며 이러한 결과로 본 연구에서 도출한 적정배합의 내동결융해성은 보수재료로써 우수한 성능을 갖는 것으로 판단된다.

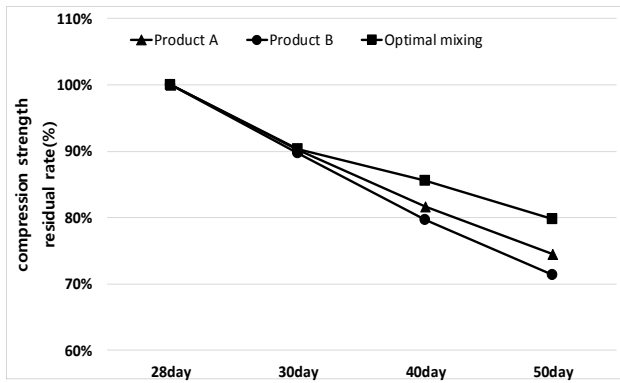


(그림 3-11) 동결융해저항성시험결과

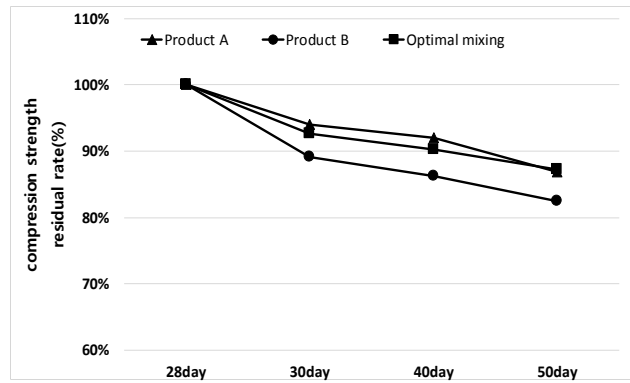
㉞ 내약품성시험 방법

50×50×50mm의 입방체 공시체를 제작하여 1일 후 탈형한 후 재령 28일간 기건 양생을 실시하였다. 그 후 CaCl₂, NaSO₄, H₂SO₄의 약품에 침지하여 침지 후 재령 30일, 40일, 50일 후의 압축강도를 평가하기 위하여 KS L 5105에 준하여 측정하였다.

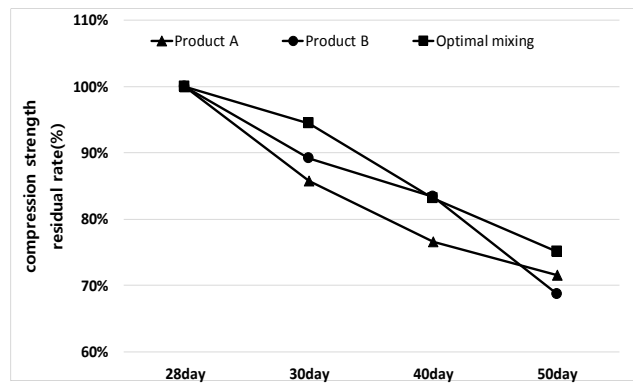
내약품성 시험 결과는 (그림 3-12), (그림 3-13) 및 (그림 3-14)에 제시하였다. 10% Na₂SO₄ 용액에서는 기존제품의 경우 압축강도 잔존율이 80%미만으로 떨어졌으나, 최적배합에서는 80%를 웃도는 결과를 얻었다. 10% CaCl₂용액에서의 압축강도 잔존율을 모든 배합에서 압축강도 잔존율이 80%를 초과하는 결과를 보였다. 5% H₂SO₄용액에서는 모든 배합에서 압축강도 잔존율이 80%미만으로 낮았으나, 최적배합에서 가장 높은 잔존율 75.0%를 보였다. 내약품성 시험결과 대체적으로 최적배합은 기존 제품과 비슷한 성능을 갖는 것으로 나타났다.



(그림 3-12) 강도잔존율 측정결과(Na₂SO₄)



(그림 3-13) 강도잔존율 측정결과(CaCl₂)

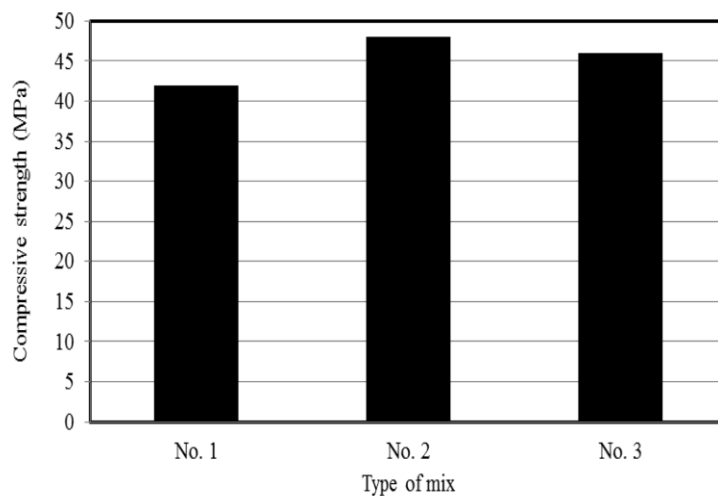


(그림 3-14) 강도잔존율 측정결과(H₂SO₄)

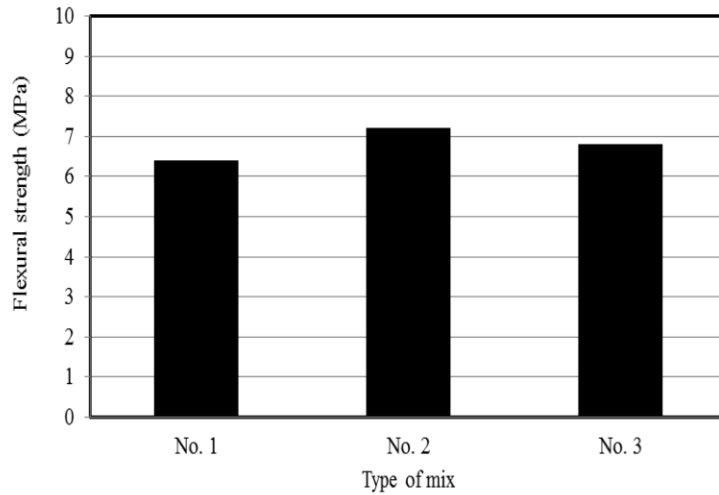
(2) 긴급보수재료 성능평가

(가) 속경성 결합재료 성능 평가

농업생산기반시설물의 긴급보수재료를 개발하기 위한 기본배합으로 초속경시멘트와 규사를 혼합한 속경성 결합재료의 압축강도는 KS F 2405, 휨강도시험은 KS F 2408에 따라 실시하였다. 그 결과는 (그림3-15), (그림 3-16)와 같다.



(그림 3-15) 속경성 결합재료의 압축강도 시험결과



(그림 3-16) 속경성 결합재료의 휨강도 시험결과

시험결과 No. 2 배합이 가장 우수한 결과를 나타내어, 본 연구에서는 No. 2 배합을 이용하여 콘크리트에 적용성을 평가하였다.

(나) 콘크리트 부재 성능 검토

① 재료

시멘트 페이스트와의 결합력을 높여 수축 저감이 가능한 섬유보강재와 역학적 성능 및 내구성 향상을 위해 나노실리카를 혼입한 긴급보수재료 개발을 위한 실험을 실시하였다.

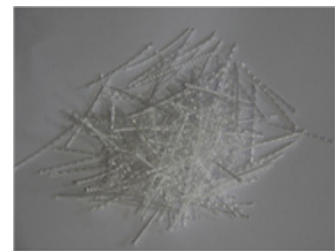
섬유보강재의 효과를 평가하기 위하여 마섬유, PVA섬유 및 구조용 섬유를 적용하였으며 형상은 (그림 3-17)과 같다.



a) 마섬유



b) PVA섬유



c) 구조용 섬유

(그림 3-17) 섬유보강재 형상

② 배합설계

내구성 측면에서 콘크리트 구조물에 사용수명 저하에 가장 큰 영향을 미치는 투수성을 ASTM C1202 시험방법인 염소이온투과량 시험결과를 기본으로 28일 양생 기준 2,000 Coulombs 이하를 목표로 설정하였으며, 보강섬유로 구조용섬유, PVA섬유 및 천연마섬유를 체적비로 0.10%를 첨가하였다.

나노실리카를 시멘트 중량의 0%, 1%, 2%, 3% 및 4%를 치환하여 나노실리카 첨가에 따른 영향을 평가하였으며, 본 연구의 배합비는 <표 3-35> ~ <표 3-37>에 제시 하였다.

<표 3-35> 섬유보강재(마섬유) 및 나노실리카 혼입한 배합

W(물)	초속경 결합재	G(자갈)	Latex (수용액)	L(고형분)	마섬유	나노실리카
5.45	56.45	34.16	1.97	0.93	0.05	0
5.45	55.89	34.16	1.97	0.93	0.05	0.56
5.45	55.32	34.16	1.97	0.93	0.05	1.13
5.45	54.76	34.16	1.97	0.93	0.05	1.69
5.45	54.19	34.16	1.97	0.93	0.05	2.26

<표 3-36> 섬유보강재(PVA섬유) 및 나노실리카 혼입한 배합

W(물)	초속경 결합재	G(자갈)	Latex (수용액)	L(고형분)	PVA섬유	나노실리카
5.45	56.45	34.16	1.97	0.93	0.05	0
5.45	55.89	34.16	1.97	0.93	0.05	0.56
5.45	55.32	34.16	1.97	0.93	0.05	1.13
5.45	54.76	34.16	1.97	0.93	0.05	1.69
5.45	54.19	34.16	1.97	0.93	0.05	2.26

<표 3-37> 섬유보강재 (구조용섬유) 및 나노실리카 혼입한 배합

W(물)	초속경 결합재	G(자갈)	Latex (수용액)	L(고형분)	구조용 섬유	나노실리카
5.45	56.45	34.16	1.97	0.93	0.39	0
5.45	55.89	34.16	1.97	0.93	0.39	0.56
5.45	55.32	34.16	1.97	0.93	0.39	1.13
5.45	54.76	34.16	1.97	0.93	0.39	1.69
5.45	54.19	34.16	1.97	0.93	0.39	2.26

③ 시험방법

속경성 보수재료의 특성을 평가하기 위하여 압축강도, 휨강도, 쪼개짐 인장강도, 염소이온투과저항성, 동결융해저항성, 마모저항성 및 충격저항성을 평가하였으며, 시험기준은 압축강도

시험은 KS F 2405, 휨강도시험은 KS F 2408, 쪼개짐 인장강도 시험은 KS F 2423에 따라 실시하였다. 또한 염소이온투과시험은 ASTM C 1202-94에 따라 실시하였으며, 마모시험은 ASTM C 944, 충격저항성 시험은 ACI 440 위원회 기준, 급속동결융해저항성 시험은 KS F 2456에 따라 실시하였다.



<압축강도>



<할렬인장강도>



<염소이온투과시험>



<휨강도>



<쪼개짐 인장강도>



<충격저항성시험>



<염분침투시험>



<동결융해시험>



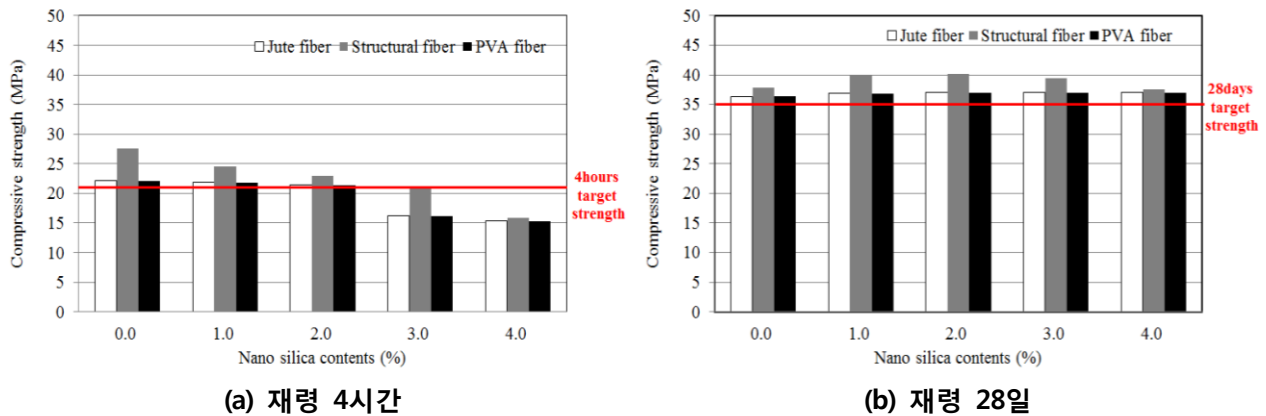
<마모시험>

(그림 3-18) 초속경 보수재료 시험모습

④ 시험결과
 ㉞ 압축강도

속경성 보수재료에 보강섬유 종류 및 나노실리카 치환율에 따른 압축강도 시험결과는 (그림 3-19)과 같다. 시험결과 재령 4시간의 목표 압축강도 21MPa는 섬유 종류에 관계없이 나노실리카 치환율 2%까지 만족시켰으며 나노실리카 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하고 있는 것으로 분석되었으며, 초속경결합재는 $3CaO.SiO_2$ 가 활발한 반응으로 수화를 촉진시켜 CSH겔과 CSA의 반응에 의한 침상결정의 Ettringite가 생성되어 초기에 강도가 증진되는데, 나노실리카가 초속경결합재를 치환함으로써 $3CaO.SiO_2$ 성분이 감소함에 따라 초기에 압축강도 발현이 저하되는 현상이 발생하였다.

보강섬유의 종류에 따른 영향을 살펴보면 구조용 섬유를 적용한 경우가 가장 큰 압축강도를 나타냈으며, PVA섬유를 적용한 경우가 마섬유를 적용한 경우보다 압축강도가 약간 크게 나타났으나 거의 유사한 값을 나타내었다. 재령 28일 압축강도를 살펴보면 목표로 한 35MPa는 모든 배합에서 만족하는 결과를 보였다.



(그림 3-19) 압축 강도 시험 결과

㉟ 휨강도

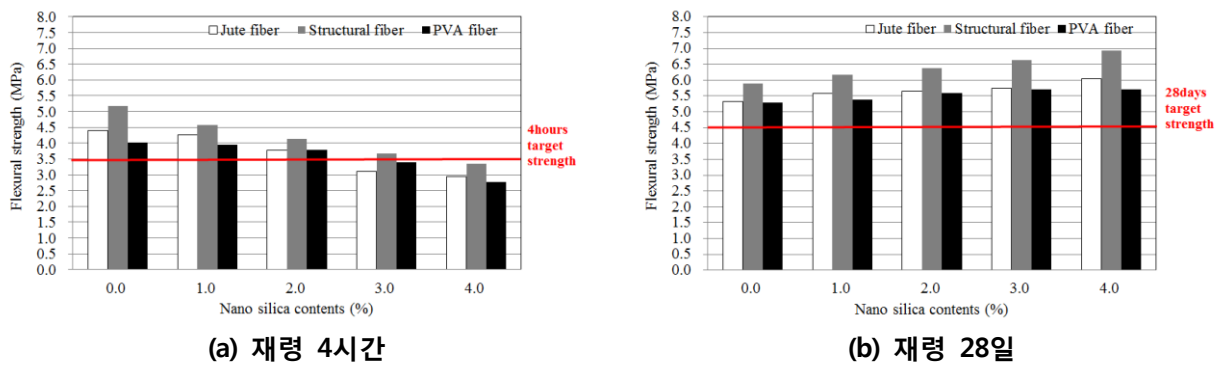
보강섬유 종류 및 나노실리카 치환율에 따른 휨강도 시험결과는 (그림 3-20)과 같으며, 시험결과 재령 4시간의 목표 휨강도 3.5MPa은 섬유 종류에 관계없이 나노실리카 치환율 2%까지만 만족시켰다.

나노실리카치환율이 증가할수록 휨강도는 감소하였으며, 초속경결합재는 $3CaO.SiO_2$ 가 활발한 반응으로 수화를 촉진시켜 CSH겔과 CSA 의 반응에 의한 침상결정의 Ettringite가 생성되어 초기에 강도가 증진되는데, 나노실리카가 초속경 결합재를 치환함으로써 $3CaO.SiO_2$ 성분이 상대적으로 감소함으로써 초기에 강도 발현이 저하되는 현상이 발생하였다.

보강섬유의 종류에 따른 영향을 살펴보면 구조용 섬유를 적용한 경우가 가장 큰 휨강도를

나타냈으며, PVA섬유를 적용한 경우가 천연마섬유를 적용한 경우보다 휨강도가 약간 크게 나타났으나 거의 유사한 값을 나타내었다. 다만 천연마섬유의 주성분은 셀룰로스과 소량의 리그닌(lignin)을 포함되어 있으며, 이 리그닌은 콘크리트의 강도 지연시키는 효과가 있다. 따라서 휨강도의 발현 지연현상이 발생하였음. 재령 28일 휨강도를 살펴보면 목표로 한 4.5MPa는 모든 배합에서 만족하는 결과를 확인할 수 있다.

일반적으로 라텍스, 보강섬유는 압축강도 보다는 휨강도 증가에 영향 미치므로 전체적으로 재령 28일 강도는 목표로 한 기준강도 4.5MPa를 모두 만족시켰다. 나노 실리카 치환율에 따른 휨강도 시험결과는 치환율이 증가할수록 휨강도는 약간 증가하거나 거의 동일한 결과를 나타냈으며, 나노실리카는 포졸란 반응과 미소공극을 채우는 필러의 작용으로 콘크리트의 성능을 향상시킨다. 따라서 장기강도의 경우 치환율이 증가함에 따라 포졸란 반응으로 인한 효과와 미소공극을 채우는 필러 역할을 하여 휨강도 약간 증가하는 결과를 보였다.

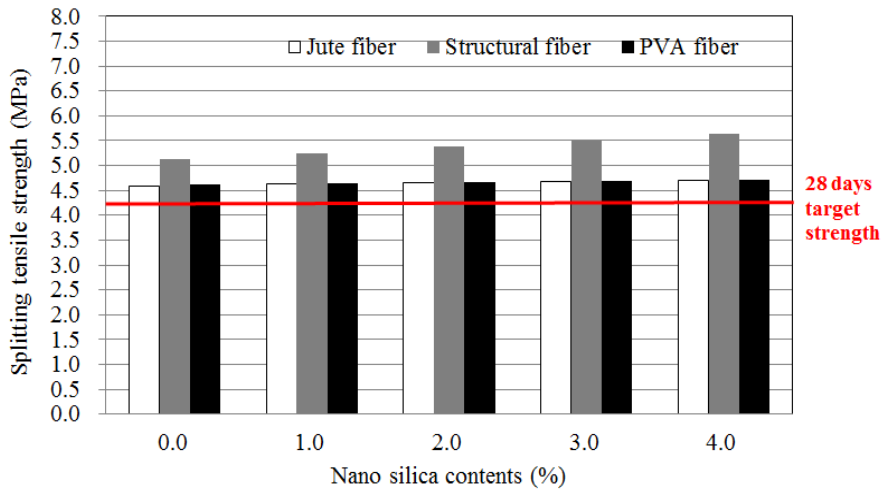


(그림 3-20) 휨 강도 시험 결과

㉔ 쪼개짐인장강도

보강섬유 종류 및 나노실리카 치환율에 따른 쪼개짐 인장강도 시험결과는 (그림 3-21)에 제시하였으며, 시험결과 재령 28일의 목표 압축강도 4.2MPa를 모두 만족시키는 결과를 보여주었다. 라텍스, 보강섬유의 첨가는 압축강도 보다는 인장강도에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 따라서 라텍스 및 보강섬유를 첨가하면 쪼개짐 인장강도는 증가한다.

나노실리카의 치환율에 따른 쪼개짐 인장강도는 치환율이 증가함에 따라 강도가 약간 증가하였는데 이와 같은 이유는 나노실리카는 콘크리트에 첨가되어 포졸란 반응과 필러로서 미소공극을 충전 함으로써 강도를 증가시키는 것으로 판단된다. 특히 포졸란 반응으로 인하여 장기강도를 증가시키는 효과가 있음. 보강섬유의 종류에 따른 영향을 살펴보면 쪼개짐 인장강도는 구조용 섬유가 가장 크고 천연마섬유보다는 PVA 섬유가 약간 크게 나타났으나 큰 차이가 발생하지는 않았다.



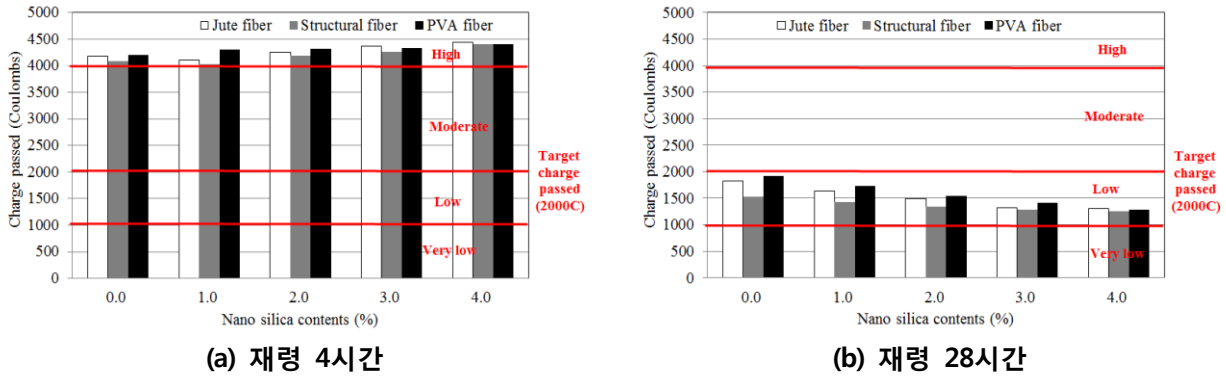
(그림 3-21) 쪼개짐 인장 강도 시험 결과

㉔ 염소이온투과저항성시험

보강섬유 종류 및 나노실리카 치환율에 따른 염소이온투과저항성 시험결과는 (그림 3-22)와 같으며, 시험결과 재령 4시간에는 모든 배합에서 4000C이상의 투과 양을 나타냈으며, 이와 같은 결과는 압축강도의 발현이 충분하지 않기 때문인 것으로 판단된다. 특히 나노실리카의 치환율 1%에서는 약간 감소하였으나 2%이상에서는 치환율이 증가할수록 염소이온투과량이 증가하는 결과를 보였다. 또한 모든 배합에서 ASTM 의 투수성기준인 높음(High)의 결과를 나타냈으며, 재령 28일 염소이온투과량 시험결과를 살펴보면 모든 배합에서 목표로 한 2,000C보다 낮은 값을 나타내었다.

본 연구에서는 라텍스 및 보강섬유가 첨가되면 콘크리트 조직을 밀실화하기 때문에 염소이온투과량이 감소하는 것으로 판단되며, 나노실리카는 콘크리트에 첨가되어 포졸란 반응과 미소공극을 채우는 필러효과를 발휘하기 때문에 콘크리트 조직을 치밀하게 하여 투수성을 감소시키는 것으로 판단된다.

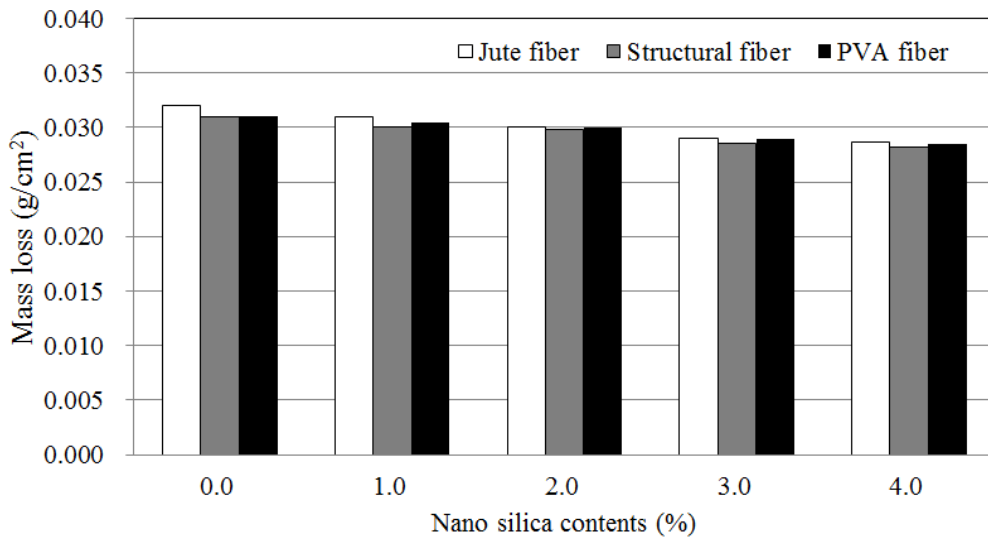
보강섬유의 종류에 따른 영향을 살펴보면 구조용 섬유를 적용한 경우가 가장 우수한 결과를 보였다. 천연마섬유를 적용한 경우 보다는 PVA 섬유를 사용한 경우 염소이온투과량이 감소하는 결과를 보였으며, 이와 같은 결과는 천연마섬유는 천연섬유로 초기에 리그닌 성분의 함유에 따른 강도 지연 현상으로 PVA 섬유를 첨가한 경우보다 투과량이 증가하였다. ASTM 기준에 따른 결과를 살펴보면 재령 28에서는 모든 배합에서는 낮음(Low)를 나타냈다.



(그림 3-22) 염소이온 투과 시험 결과

㉓ 마모저항성

보강섬유 종류 및 나노실리카 치환율에 따른 마모저항성 시험결과는 (그림 3-23)과 같으며, 시험결과 나노실리카의 치환율이 증가할수록 콘크리트 표면의 마모량은 감소하는 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 나노실리카는 콘크리트에 첨가되어 포졸란 반응과 미소공극을 채우는 필러효과를 발휘하여 콘크리트 조직을 치밀하게 하는 것으로 판단된다. 따라서 마모저항성이 향상되는 결과를 보였다. 또한 섬유보강재의 종류에 따른 마모시험결과를 보면 구조용 섬유가 가장 우수한 저항성을 나타내었으나 섬유 종류에 대한 영향은 크지 않았다.



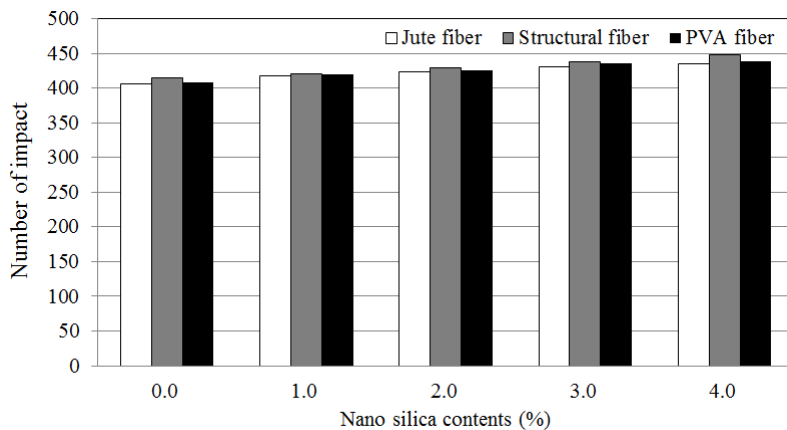
(그림 3-23) 마모 저항성 시험 결과

㉔ 충격저항성

보강섬유 종류 및 나노실리카 치환율에 따른 충격저항성 시험결과는 (그림 3-24)과 같으며, 시험결과 나노 실리카의 치환율이 증가할수록 충격저항성이 증가하는 결과를 나타냈다. 즉 파괴를 발생시키기 까지 타격횟수가 증가하고 있다.

이와 같은 결과는 나노실리카는 콘크리트에 첨가되어 포졸란 반응과 미소공극을 채우는 필러효과를 일반적으로 보강섬유를 사용한 배합은 충격하중이 재하 될 때 보강섬유의 가교, 인발, 분리, 파괴 등의 작용으로 휨 인성과 에너지 흡수능력을 증가시키기 때문에 충격에 대한 저항성이 증가되었다.

섬유종류에 따른 영향을 살펴보면 구조용 섬유를 적용한 경우가 가장 우수하며, PVA 섬유와 천연마섬유를 적용한 배합순으로 나타내었으나, PVA 섬유와 천연마섬유는 거의 동등한 충격 저항성을 나타내었다.



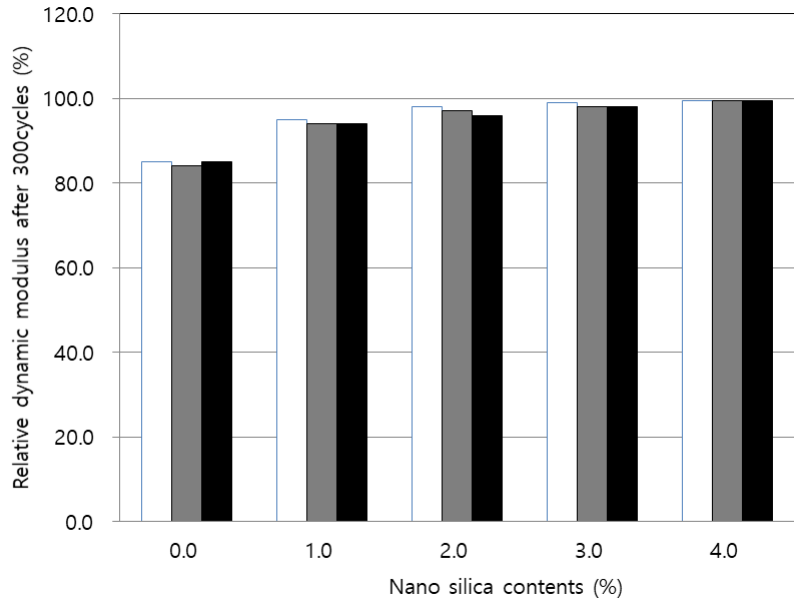
(그림 3-24) 충격 저항성 시험 결과

㉔ 동결융해저항성 시험

300회 반복 후에 상대동탄성 시험결과는 (그림 3-25)과 같다. 시험결과 섬유의 종류에 따른 크게 나타나지 않았다. 다만 나노실리카의 첨가율이 증가할수록 상대동탄성계수는 증가하고 있어 동결융해 반복에 대한 저항성이 증가하는 것을 알 수 있다.

나노실리카의 첨가율이 4%가 되면 상대동탄성계수는 모든 배합에서 약 99% 이상을 나타내어 동결융해에 대한 영향이 거의 나타나지 않았다.

이와 같은 결과는 나노실리카가 미세공극 충전효과 및 포졸란성 재료로서 장기강도 발현에 효과가 있어 동결융해 반복이 진행되는 동안에도 수화반응이 진행됨으로써 강도의 감소를 억제하는 효과가 있기 때문이다.

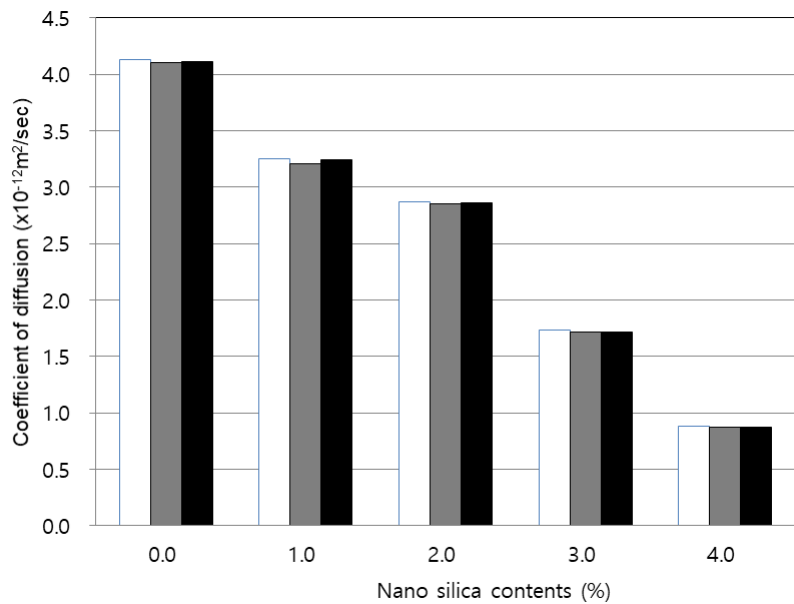


(그림 3-25) 300cycles 후에 상대 동탄성 계수 시험결과

㉠ 염분침투저항성 시험

염분침투저항성시험결과는 (그림 3-26)와 같은 나노실리카의 첨가율이 증가할수록 염화물확산 계수는 감소하고 있음. 또한 섬유 종류에 대한 영향은 크게 나타나지 않고 거의 유사한 결과를 나타냈다. 섬유의 종류에 대한 영향이 거의 없는 것은 섬유보다는 나노실리카의 첨가율이 더 보수재료의 염분침투 저항성에 영향을 미치고 있다는 것이다.

따라서 나노실리카는 매우 작은 입자를 가지고 있고 보수재료의 미세공극 및 균열을 채우는 효과가 있어 염화물의 침투 및 확산을 억제하는 효과가 있다는 것을 알 수 있다.



(그림 3-26) 염화물 확산계수 시험결과

나. 소결

본 연구에서의 개발 보수재료는 일반 보수재료와 긴급보수재료 2가지로 구분하여 개발하였으며, 일반보수재료는 농번기 이후 보수 가능한 시설물을 대상으로 사용할 보수재료이며, 긴급보수재료는 노후화가 심각하여 단시간 내에 파손이 우려되거나 인위적인 파손에 의해 긴급한 보수가 필요로 하는 경우를 대비하는 보수재료이다.

일반보수재료는 시멘트와 규사를 사용하여 다양한 비율을 적용하여 시공성 검증을 위한 흐름 시험, 경화된 콘크리트의 역학적 특성을 알아보기 위한 압축강도 및 휨강도 시험을 실시하여 기본 배합비 시멘트 : 규사 = 1 : 2로 결정하였다.

최적배합비를 도출하기 위해 부착성능 및 내구성능 향상 등을 고려한 혼화재료로 라텍스와 섬유보강재(나일론 섬유)를 선정하여 압축강도, 휨강도 등 역학적 특성을 알아보았다. 시멘트 규사비 1 : 2에 나일론 섬유 0.6~1.2kg/m³, 라텍스 5~10%를 혼입하여 시험을 실시하여 최적 배합비를 나일론섬유 0.9kg/m³ 혼입, 라텍스 7%로 선정하였다.

선정된 최적배합비를 사용하여 사용제품과 비교분석을 하였다. 역학적 특성으로 압축강도 및 휨강도 시험, 내구성능평가로 동결융해저항성시험, 내약품성시험, 염소이온투과저항성시험을 실시하였다. 그 결과 개발 보수재료의 성능이 사용제품과 비교하여 비슷하거나 우수한 성능을 보였다. 따라서 일반보수재료는 보수재료로써 성능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

긴급보수재료는 초속경 결합재에 성능에 미치는 보강섬유 종류 및 나노실리카에 따른 영향을 평가하였음. 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

나노실리카 치환율에 따른 압축강도 및 휨강도 시험결과 재령 4시간 강도는 나노실리카 치환율이 증가할수록 감소하였으며, 이와 같은 결과는 나노실리카가 초속경결합재를 치환함으로써 3CaO.SiO₂ 성분이 상대적으로 감소함으로써 초기에 압축강도 발현이 저하되는 현상이 발생하였다. 재령 4시간 목표 압축강도 21MPa, 목표 휨강도 3.5MPa는 나노실리카 치환율 2%까지 만족시켰다.

나노실리카 치환율에 따른 재령 28일 압축강도, 휨강도 및 쪼개짐 인장강도는 마이크로 실리카 치환율이 증가할수록 포졸란 반응효과와 미소공극을 채우는 필러효과로 인하여 콘크리트 조직의 치밀화로 강도가 증가하였다. 그러나 결과 값의 차이는 크지 않았음. 또한 재령 28일 목표 압축(35MPa), 휨강도(4.5MPa) 및 쪼개짐 인장강도(4.2MPa)는 모두 만족하였다.

보강섬유 종류에 따른 압축, 휨강도 및 쪼개짐 인장강도 시험결과 구조용 섬유를 적용한 경우가 가장 크게 나타났으며, PVA 섬유, 천연마섬유를 혼입한 순으로 나타났다.

염소이온투과시험 결과 나노실리카의 치환율이 증가할수록 염소이온투과량은 감소하였다. 또한 모든 배합에서 목표 기준인 재령 28일 2,000 Columbs 이하를 만족하였으며, 보강섬유의 종류에 따른 영향은 구조용 섬유를 적용한 경우가 가장 작게 나타났으며, PVA 섬유, 천연마섬유를 혼입한 순으로 나타났다.

마모 및 충격시험결과 나노실리카의 치환율이 증가할수록 마모저항성과 충격저항성이 증가하는 결과를 보였으며, 보강섬유의 종류에 따른 영향은 구조용 섬유를 적용한 경우가 가장 큰 저항성을 보여주었으며, PVA 섬유, 천연마섬유를 혼입한 순으로 나타났다.

동결융해반복 및 염분침투저항성 시험결과 섬유의 종류에 따른 영향은 크지 않았으나 나노실리카의 첨가율에는 영향을 받았다. 즉 나노실리카의 첨가율이 증가할수록 저항성 증가하는 효과를 나타내었다.

4. 재해대응 보수·보강을 위한 농업수리시설물 상태평가 기준 도출

가. 농업수리시설물 손상유형 분석

(1) 농업생산기반시설 노후원인

농업생산기반시설의 노후손상에는 다양한 유형을 보이고 있으나, 일반 콘크리트 구조물과 비슷한 경향을 보이고 있다. 일반적으로 손상유형에는 균열, 철근부식, 박리박락, 콜드조인트, 백화, 표면부식, 누수, 고드름 및 측빙, 단차, 침식 및 공동, 골재 노출 등이 발생하는 것으로 분석되었다.

이러한 노후손상원인 중 대표적인 원인을 <표 3-38>에 제시하였다. 주요 노후손상원인은 동결 융해, 염해, 중성화(탄산화), 화학적 침식, 마모(침식), 건조수축, 온·습도의 변화 등이 있다.

<표 3-38> 농업생산기반시설 내구성 저하요인

내구성 저하요인	세부내용
동결융해	•콘크리트 중의 수분이 외부온도의 저하에 의하여 동결과 융해의 반복 작용으로 균열이 발생하거나 표면부가 박리하여 콘크리트 표면층에 가까운 부분으로부터 파괴되어 콘크리트의 성능이 저하되어 가는 현상.
염해	•콘크리트 중에 염화물이 존재하여 강재(철근이나 PC강재 등)가 부식함으로써 콘크리트 구조물에 손상을 끼치는 현상을 말하며, 이때 염해는 염화물에 의한 강재의 부식 자체도 문제가 되지만 강재의 염화물 부식에 의한 철근콘크리트 구조물의 손상이 더욱 큰 문제가 됨.
중성화(탄산화)	•수산화칼슘이 탄산화되는 것을 말하는데, 탄산화는 시멘트의 수화생성물이 이산화탄소와 반응하여 탄산화합물 및 그 밖의 물질로 분해되는 현상이라 할 수 있으며, 중성화는 시멘트 경화체의 알칼리성이 저하 되는 현상.
화학적 침식	•콘크리트의 시멘트 수화물이 어떤 종류의 화학물질(부식성 물질)과 반응하여 용출됨에 의하여 조직이 다공화 되거나 반응에 의하여 팽창을 일으켜 구조물의 성능이 저하하는 현상.
마모(침식)	•콘크리트 수리구조물의 마모는 댐, 수로 구조물 등에서 보이는 공동 등에 의한 마모 혹은 빙하에 의한 구조물의 마모 등이 있으며, 마모의 진행은 크게 3단계로 구분하여 사용되고 있음. - 제1단계 : 표면에 가까운 미세입자의 많은 모르타르 층이 마모 - 제2단계 : 표층부가 마모된 후 굵은골재가 노출하여 굵은골재 자체의마모 발생 - 제3단계 : 굵은골재의 박리가 발생
건조수축	•외부 환경으로 콘크리트 속에서 수분의 급격한 건조에 따라 모세관 공극 내에 생기는 모세관 장력, 부압으로 인한 수축에 기인하여 발생하는 균열을 건조수축균열.
온도, 습도 변화	•콘크리트의 온도가 상승하면 팽창하고, 온도가 하강하면 지체 없이 수축하는데, 콘크리트가 구속되어 온도변화에 의한 팽창과 수축이 자유로이 일어나지 못하면 체적변화에 따라 인장, 압축, 전단 등의 응력이 발생하여 균열, 박리 등이 발생

(2) 농업생산기반시설물별 손상유형 분석

문헌을 참조하여 농업생산기반시설물 중 배수갑문, 양·배수장, 수로교, 암거, 개거 등을 조사 분석에 대한 손상유형을 분석하였다.

(가) 배수갑문

배수갑문은 간척지, 관계지 등 방조제로 인해 해수와 내수가 차단된 지역에서 내수를 바다 쪽으로 배수하기 위한 목적으로 설치하는 시설물을 말하며, 배수갑문은 홍수 시 배수가 가능하여야 하고 외수위가 높아졌을 때 바깥의 물이 안으로 들어오지 못하게 막는 역할을 한다. 설치 위치는 지군의 최저부에 설치하여 가급적 넓은 면적을 지배할 수 있게 한다.

배수갑문의 주요 노후손상유형은 배수갑문 주위의 콘크리트에서의 균열, 박리박락, 표면부식, 골재노출이 나타났으며, 철근이 노출되고 부식되었다. 세부내용은 <표 3-39>에 제시하였다.

<표 3-39> 배수갑문 손상 유형

대분류	중분류	소분류
배수갑문부	콘크리트	균열
		표면박리·박락
		표면부식
		골재노출
	철근	노출 및 부식

(나) 양수장·배수장

양수장은 하천수나 호수 등 수면이 관개지역보다 낮아서 자연관개를 할 수 없는 경우에 양수기를 설치하여 물을 퍼 올려 농업용수로 사용하기 위한 일종의 수원공시설이며, 배수장은 물을 빼내기 위한 설비를 갖추어 놓은 장소 또는 건물을 말한다.

양배수장의 노후손상은 옥내외로 구분되며, 옥내에서는 주로 균열 누수, 백화, 표면부식 등이 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 옥외에서도 옥내외 비슷한 균열, 누수, 표면부식 등이 발생하는 것으로 조사되었다. 세부내용은 <표 3-40>에 제시하였다.

<표 3-40> 양배수장 손상 유형

대분류	중분류	소분류	대분류	중분류	소분류
옥내	벽체	균열	옥외	벽체	균열
		누수			누수
		백화			백화
		표면부식			표면부식
		표면박리박락			표면박리박락
	바닥	균열		옥상	균열
		표면부식			누수
		표면박리박락			표면박리박락
	천장	균열			표면박리박락
		누수			표면부식
		철근노출 및 부식			
	기둥, 보	균열			

(다) 수로교

수로교는 사전적의미로 발전·관개·수도 등의 용수로나 운하 등을 통하게 하기 위해 만들어지는 교량으로 수도에 의한 것을 수도교라 하며, 통수(通水) 부분의 구조에는 여러 가지가 있으나 보통은 관(管)이나, 암거(暗渠), 개거(開渠) 등이 사용되며, 관일 경우에는 관로교라고도 한다.

수로교의 손상유형은 상부구조와 하부구조로 나누어지며 상부구조에는 개거바닥부 및 벽체, 신축이음부로 구분하였으며, 손상유형은 균열, 누수, 표면박리박락, 지수관 부식으로 분류된다. 또한 하부구조에는 교각두부와 교각부로 나누고 백화, 골재 및 철근노출, 표면부식 등으로 분류된다. 세부내용은 <표 3-41>에 제시하였다.

<표 3-41> 수로교 손상 유형

대분류	중분류	소분류	대분류	중분류	소분류
상부구조	개거바닥부 및 벽체	균열	하부구조	교각두부	균열
		누수			백화
		표면박리·박락			표면박리·박락
		표면부식			골재노출
		백화			표면부식
		골재노출			철근노출 및 부식
		철근노출 및 부식			
	신축이음부	균열		교각	균열
		누수			누수
		지수관부식			표면박리·박락
		골재노출			백화
		표면박리·박락			골재노출
		철근노출 및 부식			표면부식
					철근노출 및 부식

(라) 암거

암거는 일반적으로 도로·철도의 하부에 자유수면의 기울기를 가지고 물을 흐르게 할 경우 설치하는 시설물이다. 용배수로나 수로교보다는 경제적인 경우 지반표고가 높지만 터널로는 시행할 수 없을 경우 수로상을 다른 목적으로 이용하는 경우 등에 암거를 설치한다.

암거 노후손상 유형은 유입부·유출부 및 암거부로 나누어 각각의 부위에 대하여 균열, 표면 박리박락, 등으로 구분하여 손상을 유형화 시켰다. 세부내용은 <표 3-42>에 제시하였다.

<표 3-42> 암거 손상 유형

대분류	중분류	소분류
암거	유입부·유출부	균열
		표면박리·박락
		표면피복의 침식
		골재 및 철근노출
	암거부	균열
		이음부누수
		백화
		표면부식 박리·박락
		철근노출 및 부식

(마) 개거

개거는 자유수면을 가지고 물이 흐르는 하천·운하·용수로 등의 뚜껑이 없는 수로를 개거 또는 개수로 라고 한다.

개거의 손상유형은 개거바닥부 및 벽체, 신축이음부로 나누어지며, 개거바닥부 및 벽체에서는 균열, 누수, 표면박리·박락, 측벽토압으로 인한 벽체전도 등이 주로 일어나며, 신축이음부에서는 지수관부식, 표면박리박락 등이 일어나는 것으로 조사되었다. 개거의 손상유형은 <표 3-43>에 제시하였다.

<표 3-43> 개거 손상 유형

대분류	중분류	소분류	대분류	중분류	소분류
개거	개거바닥부 및 벽체	균열	개거	신축이음부	균열
		누수			누수
		표면박리·박락			지수관부식
		표면부식			골재노출
		백화			표면 박리·박락
		골재노출			철근노출 및 부식
		측벽토압으로 인한 벽체전도			
		골재 및 철근노출			

나. 농업수리시설물 상태평가 기준 도출

현재 시행되고 있는 농업생산기반시설(저수지, 방조제, 양·배수장 등)의 상태평가를 위한 안전점검 및 정밀안전진단은 시설물의 노후도 및 손상정도에 따른 시설물의 상태를 평가하고 이에 따른 관리대책을 수립하고 있지만 기후변화에 따른 영향을 고려하지 않고 있어 향후 급격한 기후변화로 인한 농업생산기반시설의 파손 및 급격한 노후화에 대한 대책 마련을 위해 기후변화 영향을 고려할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 농업생산기반시설물의 상태평가를 위해 취약성평가 실시하여 기존의 안전점검 또는 정밀안전진단 등 상태평가 등급과 함께 시설물에 대한 상태평가의 기준을 도출하였다.

(1) 기존 농업생산기반시설 상태평가 기준

기존 농업생산기반시설 관리규정의 “농업생산기반시설 안전점검표”에 제시되어 있는 상태평가 결과표를 살펴보면 정밀점검 또는 정밀안전진단을 통해 시설물의 상태만을 조사하여 운용이 가능한 상황인지 보수보강 또는 개축이 필요한 상황인지 평가하며, 평가기준은 A~E등급으로 총 5등급으로 구분되어 있다. (그림 3-27) ~ (그림 3-28)는 시설물별 상태평가 기준 및 결과 서식을 보여주는 표이다.

【붙임 2】 ○○저수지 상태평가 결과

1. 평가기준

시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령 제11조의5(안전등급 기준)의 '별표 3의2'에 따라 아래와 같이 A,B,C,D,E의 5단계로 구분하여 평가등급을 부여.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2. 평가결과

분야별	구 분	점 검 항 목	상태평가 및 등급					평가	비 고
			A	B	C	D	E		
토 목	제 재	사석 및 석축							
		토공							
	수 문	여수문 구조물							
		방수로 구조물							
		통 관 구조물							
기 계	홍수량								
	문비								
전 기	권양기								
	변전소 및 옥내전기								
기 타									
총 합 평 가									

a) 저수지 상태평가 결과

【붙임 2】 ○○양·배수장 상태평가 결과

1. 평가기준

시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령 제11조의5(안전등급 기준)의 '별표 3의2'에 따라 아래와 같이 A,B,C,D,E의 5단계로 구분하여 평가등급을 부여.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2. 평가결과

분야별	구 분	점 검 항 목	상태평가 및 등급					평가	비 고
			A	B	C	D	E		
토 목	건 물	구조물							
		토공							
	흡입수로	구조물(알거, 개거등)							
		토공(인수로등)							
	수 문	흡입수조 구조물							
		제수장치 구조물							
	수 문	토출수조 구조물							
기 계	갈수(량)위 홍수위								
	양수기								
전 기	변전소 및 옥내전기								
기 타									
총 합 평 가									

b) 양배수장 상태평가 결과

(그림 3-27) 기존 저수지 및 양배수장 상태평가표

【붙임 2】 ○○취입보 상태평가 결과

1. 평가기준
 시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령 제11조의5(안전등급 기준)의 '별표 3의2'에 따라 아래와 같이 A,B,C,D,E의 5단계로 구분하여 평가등급을 부여.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2. 평가결과

분야별	구 분	점 검 항 목	상태평가 및 등급					비 고
			A	B	C	D	E	
토 목	연 체	구조물						
		에이프린 (플판이)						
	호안공	구조물						
		토공						
	수 문	홍수량						
침사지	구조물							
기 계	취수문	문비						
		권양기						
	배사문	문비						
권양기								
기 타								
	총 합 평 가							

c) 취입보 상태평가 결과

【붙임 2】 ○○○○ 상태평가 결과

1. 평가기준
 시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령 제11조의5(안전등급 기준)의 '별표 3의2'에 따라 아래와 같이 A,B,C,D,E의 5단계로 구분하여 평가등급을 부여.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2. 평가결과

1) 용수로
 가) 흙 수로(위치 : Na ~ Na₆)

분야별	점 검 항 목	상태평가 및 등급					비 고
		A	B	C	D	E	
제 체	수로제체의 균열상태						
	수로제체의 침하상태						
	수로 내 세굴 및 퇴적상태						
사 면	누수상태						
	사면 보호(잔디 등)상태						
라이닝	라이닝표면 균열 및 누수상태						
	총 합 평 가						

d) 평야부 상태평가 결과

(그림 3-28) 기존 취입보 및 평야부 상태평가표

이러한 “농업생산기반시설 관리규정”은 시설물의 상태조사 후 평가 결과를 도출하므로 기후 변화로 인한 재해에 취약여부를 판단할 수 없다. 또한 「농업·농촌 및 식품산업기본법」 제47조의 2(기후변화에 따른 농업·농촌 영향 및 취약성 평가)에 명시되어 있는바와 같이 시설물에 대한 기후변화에 대한 취약성평가를 실시하여야 한다. 따라서 기존의 정밀점검 또는 정밀안전진단 평가결과 도출시 농업생산기반시설에 대한 취약성평가를 추가해야 될 것으로 판단되어 농업생산기반시설에 대한 취약성평가를 실시하였다.

(2) 농업생산기반시설 상태평가를 위한 취약성평가

기존의 시설물에 대한 상태평가에 기후변화에 대한 영향을 고려하기 위해 조사항목, 표준화 방법, 취약성평가 등급 등을 제시하여 기후변화 취약성평가를 실시하였다

(가) 실태조사 항목 선정 및 선정사유

농업생산기반시설의 기후변화 영향 및 취약성평가에 대한 실태조사항목을 제시하였으며, 세부 내용은 <표 3-44>와 같으며, 농업생산기반시설에서는 효율성과 내구성이 가장 중요한 요소이므로 두가지로 분류하여 조사항목을 선정하였다. 효율성과 내구성은 농업생산기반시설과 밀접한 연관이 있으나, 기후변화를 고려할 경우 가뭄보다 홍수에 영향을 많이 받으므로 실태조사항목은 홍수위주의 항목으로 선정하였다. 또한 <표 3-44>에서 제시한 실태조사항목에 대한 선정사유는 <표 3-44>에 제시하였다.

<표 3-44> 기후변화 영향 및 취약성평가 실태조사항목 선정사유

구분		선정사유
공통	연강수량	•연 강수량이 많아질수록 범람의 우려로 인한 수문개방으로 버려지는 물이 많아 효율저하
	시간당 최대강수량	•시간당 최대강수량이 많아질수록 범람의 우려로 인한 수문개방으로 버려지는 물이 많아 효율 저하
효율성	경지면적	•경지면적이 클수록 용수 공급효율 저하
	용배수로 길이	•용배수로 길이가 길면 누수 등 손실량이 많이 효율 저하
	지역 내 시설수	•지역 내 시설수는 거쳐가는 시설이 많을수록 효율저하
내구성	사용연수 30년 이상 시설수	•사용연수 30년 이상 시설수는 노후화된 시설이 많아지므로 시설 내구성 저하
	관리인원당 시설수	•관리인원당 시설수는 1인이 관리하는 시설이 많을수록 관리업무량 증가로 노후화가 빠르게 진행될 수도 있음

기후변화 영향평가 방법은 (그림 3-29)에 제시되어 있으며, 과거 통계자료를 통해 평년(30년) 대비 최근 5년 동안의 변화치를 살펴보는 것으로써 “5년간의 변화치/기준치”의 식으로 산정하여 “1”에 가까울수록 기후변화에 대한 영향이 없는 것으로 판단하며, “1”에서 멀어질수록 기후변화에 대한 영향이 큰 것으로 판단하여 취약성평가를 실시한다.

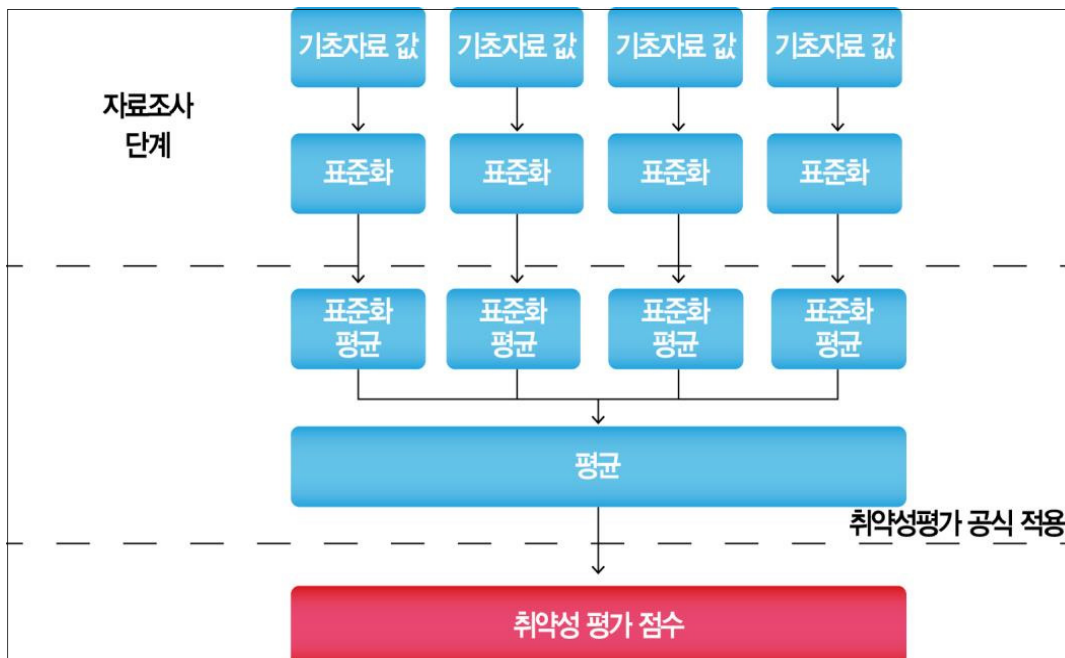
분야 (시행 규칙)	항목	실태조사		영향평가		취약성평가			
		조사대상/분석대상	공간 범위	시기	평가지표	종합 평가	관련 농업 정책	관련 기술 개발	종합 평가
농업 용수 & 농업 생산 기반 시설	치수	저수지 홍수량 분석	용수 구역	1회 /1년	홍수량 변화량	치수	5년간 변화치 기준치	치수 영향 저감 정책	치수 영향 저감 기술
		수해구역 홍수량 분석	용수 구역		홍수배 제 능력 변화량	안전도	5년간 변화치 기준치		
	수질/ 환경	저수지 홍수배제능력 분석	용수 구역					수질 영향 저감 정책	수질 영향 저감 기술
		저수지 배수하천 홍수배제능력 분석	용수 구역						
시설	수질/ 환경	수질등급 변화 분석	용수 구역	4회 /1년	변화량	안전도	5년간 변화치 기준치	수질 영향 저감 정책	수질 영향 저감 기술
		설계기준(규모) 대비 현재 이용 상황 분석 (제방, 여수로, 취수시설, 수로)	용수 구역		시설물의 효율성	시설	5년간 변화치 기준치		
		실태조사			영향평가				
		설계수명 대비 현재 내구성 상태 분석 (제방, 여수로, 취수시설, 수로)	용수 구역		시설물의 내구성	안전도	5년간 변화치 기준치		

(그림 3-29) 기후변화 실태조사 및 영향평가 방법

(나) 기후변화 취약성평가 방법

① 기후변화 취약성 평가 방법론

본 연구에서의 취약성평가의 방법은 (그림 3-30)과 같으며, 기초자료 조사과정, 표준화과정, 취약성평가 과정 3단계로 구분하였으며, 표준화 방법에 대한 내용은 <표 3-45>와 같으며, 표준화 방법은 모든 자료를 동일한 범위를 갖도록 하기 위해 스케일 재조정법을 사용하였다.



(그림 3-30) 취약성평가 절차

<표 3-45> 표준화 및 취약성점수 산정식

표준화 식	$\text{표준화식} = \frac{\text{대상평가지표의 값} - \text{평가지표값 중 최소값}}{\text{평가지표값 중 최대값} - \text{평가지표값 중 최소값}}$
취약성점수 산정식	취약성점수 = 항목별 표준화 평균 × 100

<표 3-46> 표준화 방법

구분	설명
순위매기기(ranking)	• 지표의 값들에 순위를 매기는 방법으로, 단순하고 간단하지만 많은 정보를 알려주지 못함
Z-스코어 방법	• 가장 보편적으로 사용되고 있는 방법으로, 모든 자료들을 평균은 0, 표준편차는 1이 되도록 만드는 방법 • 자료의 수치가 그 분포의 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는지를 표준화된 확률변수인 Z 값으로 나타냄
스케일재조정 (re-scaling)	• 표준편차보다 지표의 범위에 기반을 둔 변환 방법으로 지표들을 표준화하여 이것들이 모두 동일한 범위(0~1)를 갖도록 만들
기준선과의 차이 (distance to reference country)	• 기준으로 하는 대리지표에 대한 측정지표의 비율을 이용하는 방법
범주 스케일 (categorical scales)	• 각 자료를 범주 값(categorical score)으로 대입하는 방법으로, 우선 범주를 선택하고, 각 범주를 점수화하여 모든 자료들이 범주에 해당되는 지정 점수를 할당받게 됨
기타	• 자연적 구분법, 정규비율법, 등간격법, 표준편차, 순환지표, 연간차이 백분율, 평균상위 및 하위 지표 등

② 기후변화 취약성 평가 등급산정

취약성 평가 등급은 4가지 타입, 0~100점의 범위 내에서 선정하였으며, I 등급은 0~25점, II 등급은 26~50점, III 등급은 51~75점, IV 등급은 76~100점으로 등급 및 점수가 낮을수록 취약성이 낮은 것으로 선정하였다. (단, 적응능력이 우수하여 취약성 점수가 음수로 산정 될 경우 1등급으로 대체함)

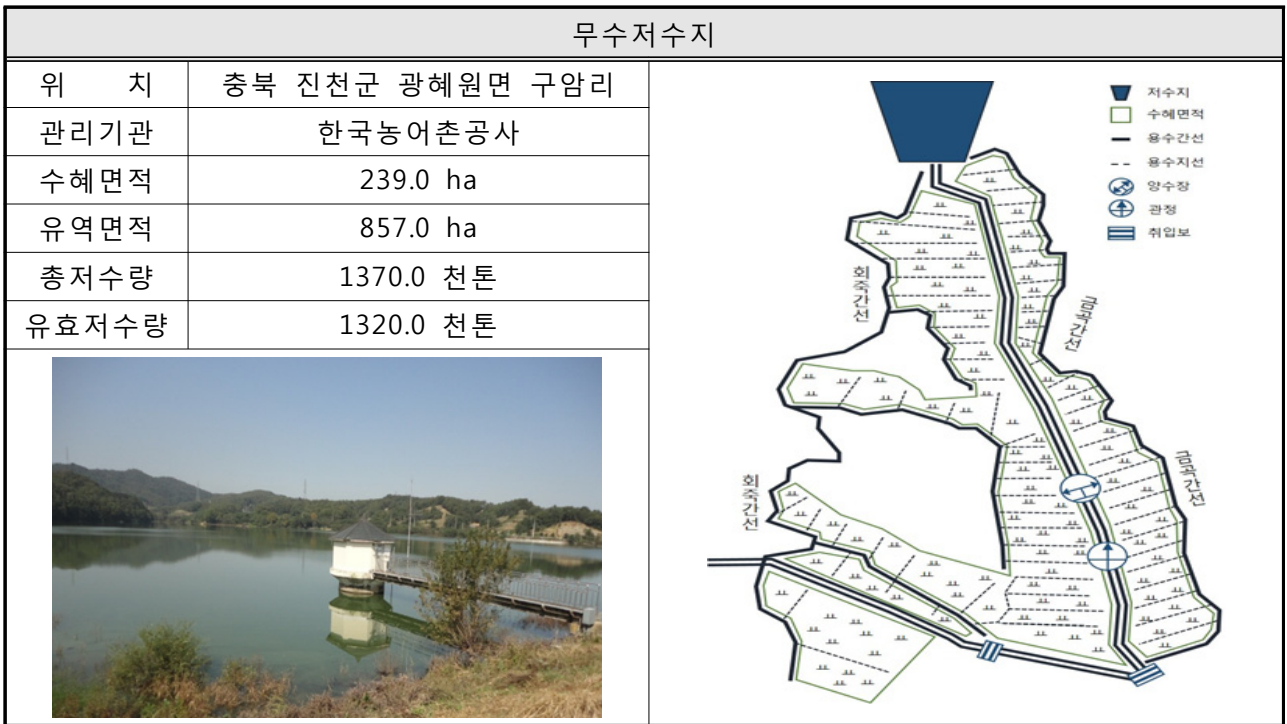
<표 3-47> 취약성 평가 등급

등급	점수	내용	등급	점수	내용
I 등급	0 ~ 25점	• 취약성 매우 낮음	III 등급	51 ~ 75점	• 취약성 높음
II 등급	26 ~ 50점	• 취약성 낮음	IV 등급	76 ~ 100점	• 취약성 매우 높음

(다) 기후변화 취약성평가 결과

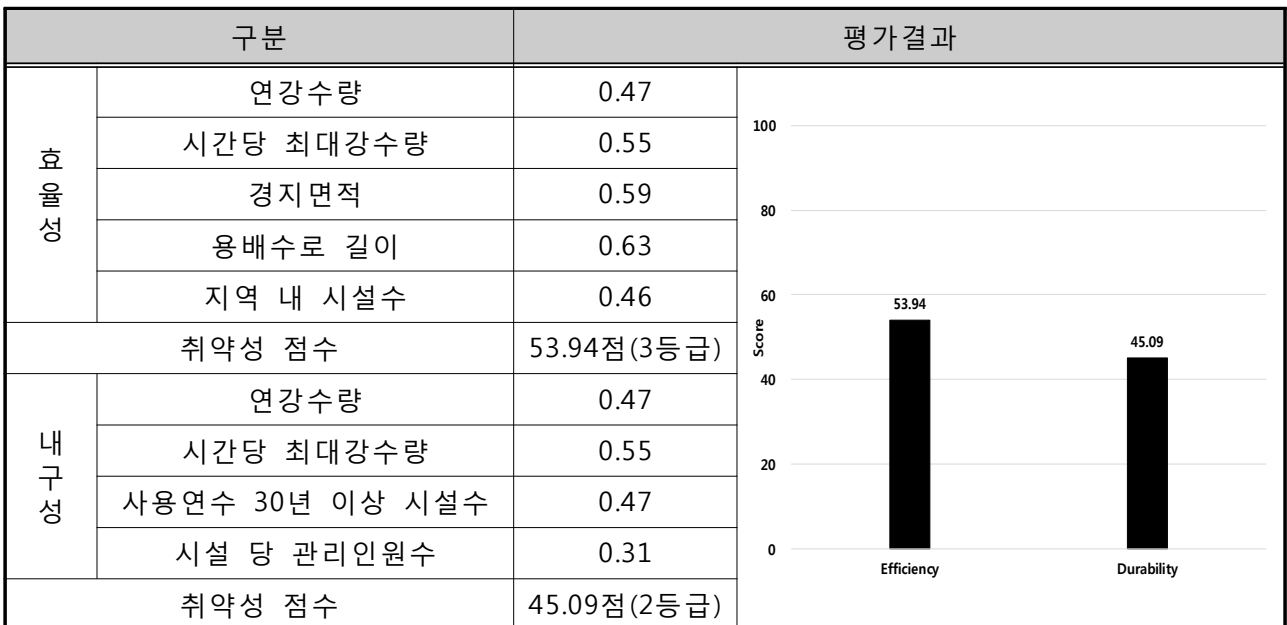
기후변화 취약성평가 지역선정은 실태조사 시설물에 대한 자료수집 및 접근이 용이한 진천군(무수저수지)으로 선정하였으며, 기후변화 실태조사 및 영향평가를 실시하였으며, 실태조사항목에 대한 단위의 일원화 및 취약성평가를 위해 표준화를 실시하였다.

<표 3-48> 대상지구



각 항목에 대한 표준화의 평균값을 취약성평가 <표 3-44>에 제시된 수식에 의해 취약성평가 점수를 산출하였으며, 그 결과는 <표 3-49>제시하였으며, 효율성면에서 취약성 점수는 53.95점으로 3등급(취약성 높음), 내구성면에서 취약성 점수는 45.09점으로 3등급(취약성 낮음)으로 산정되었다.

<표 3-49> 기후변화 취약성평가 결과



(3) 농업생산기반시설 상태평가 기준 도출(안)

기존의 시설물 상태평가 결과에 취약성평가결과를 추가하여 재해에 대응하기 위해 별도의 기준을 마련하였다. 대표시설물인 저수지와 양배수장의 상태평가 기준은 (그림 3-31)에 제시하였다. 등급마다 기후변화 취약성평가 결과를 추가하여 A등급은 기후변화에 대한 취약성 낮음, B등급은 기후변화로 인한 취약성은 낮으나 개보수가 필요한 상태, C등급은 기후변화에 대한 대응이 미흡하여 보수보강 또는 기능개선이 필요한 상태, D등급은 기후변화로 인하여 붕괴 등의 위험이 감지되어 긴급한 보수보강이 필요한 상태, E등급은 D등급과 같이 기후변화로 인하여 붕괴 등의 위험이 감지되어 사용을 금지하고 긴급한 보수보강이 필요한 상태로 기준을 도출하였다.

【붙임 2】 ○○저수지 상태평가 결과

1. 평가기준

시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령 제11조의5(안전등급 기준)의 '별표 3의2'에 따라 아래와 같이 A,B,C,D,E의 5단계로 구분하여 평가등급을 부여.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태 <i>기후변화에 대한 취약성 낮음</i>
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 <i>기후변화로 인한 취약성은 낮으나 개보수가 필요한 상태</i>
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태 <i>기후변화에 대한 대응이 미흡하여 보수보강 또는 기능개선이 필요한 상태</i>
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태 <i>기후변화로 인하여 붕괴 등의 위험이 감지되어 긴급한 보수보강이 필요한 상태</i>
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태 <i>D등급과 같이 기후변화로 인하여 붕괴 등의 위험이 감지되어 사용을 금지하고 긴급한 보수보강이 필요한 상태</i>

2. 평가결과

분야별	구 분	점 검 항 목	상태평가 및 등급					비 고	
			A	B	C	D	E		평가
토 목	제 체	사석 및 석축							
		토공							
	방수로	구조물							
		구조물							
	통 관	구조물							
수 문	홍수방								
기 계	문비	관양기							
		변전소 및 옥내전기							
전 기									
기 타									
총 합 평 가									

a) 저수지 상태평가 결과

【붙임 2】 ○○양·배수장 상태평가 결과

1. 평가기준

시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령 제11조의5(안전등급 기준)의 '별표 3의2'에 따라 아래와 같이 A,B,C,D,E의 5단계로 구분하여 평가등급을 부여.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태 <i>기후변화에 대한 취약성 낮음</i>
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 <i>기후변화로 인한 취약성은 낮으나 개보수가 필요한 상태</i>
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태 <i>기후변화에 대한 대응이 미흡하여 보수보강 또는 기능개선이 필요한 상태</i>
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태 <i>기후변화로 인하여 붕괴 등의 위험이 감지되어 긴급한 보수보강이 필요한 상태</i>
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태 <i>D등급과 같이 기후변화로 인하여 붕괴 등의 위험이 감지되어 사용을 금지하고 긴급한 보수보강이 필요한 상태</i>

2. 평가결과

분야별	구 분	점 검 항 목	상태평가 및 등급					비 고	
			A	B	C	D	E		평가
토 목	건 물	구조물							
		토공							
	흡입수로	구조물(암거, 개거등)							
		토공(인수로등)							
	흡입수조	구조물							
	계수장치	구조물							
	도출수조	구조물							
수 문	갈수(람)위 홍수위								
기 계		양수기							
전 기		변전소 및 옥내전기							
기 타									
총 합 평 가									

b) 양배수장 상태평가 결과

(그림 3-31) 재해대응 농업생산기반시설 상태평가표

다. 소결

농업생산기반시설 노후 원인은 동결융해, 염해, 중성화, 화학적 침식, 마모, 건조수축, 온습도의 변화 7가지로 분류되며, 농업생산기반시설별(배수갑문, 양배수장, 수로교, 암거, 개거) 손상 유형을 분석한 결과 공통적으로 발견되는 손상은 균열, 표면박리박락, 표면부식, 골재노출, 철근 노출 및 부식, 누수, 백화, 지수판 부식, 표면피복 침식, 이음 누수 등 10가지로 조사되었다.

시설물별 손상유형을 살펴보면 ① 배수갑문은 균열, 표면부식, 골재노출 등이 발생하며, ② 양배수장은 균열, 누수, 철근노출, 표면부식 등이 발생하는 것으로 분석되었다. ③ 수로교는 지수관의 부식, 백화, 누수 등이 발생하며, ④ 암거의 경우 이음부의 누수, 백화, 균열 등이 발생하며, ⑤ 개거는 지수관 부식, 벽체전도 등이 발생하는 것으로 분석되었다.

농업수리시설물의 상태평가를 위해 기존의 상태평가기준을 조사하였다. 그 결과 농업생산 기반시설 관리규정에 제시되어 있었으며, 평가기준은 A~E등급으로 총 5등급으로 분류 되었다. 이는 시설물의 안전관리에 관한 특별법에 준하는 등급산정방식이며, 기후변화를 고려하지 않은 시설물의 자체상태만을 조사하여 도출한 결과이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 상태평가기준과 기후변화에 대한 취약성평가를 추가하기로 결정하였다. 취약성평가를 위해 「농업·농촌 및 식품산업기본법」 제47조의 2(기후변화에 따른 농업·농촌 영향 및 취약성 평가)에 준하여 실태 조사, 영향평가를 실시하였으며, 실태조사는 내구성 및 효율성으로 구분하였다. 실태조사 항목은 연강수량, 시간당 최대강수량, 경지면적, 용배수로 길이, 지역내 시설수, 30년 이상 시설수, 관리 인원 당 시설수 등을 선정하였으며, 취약성평가 대상지역은 무수저수지가 설치되어 있는 진천군 으로 선정하였다. 그 결과 내구성 측면에서는 45.09점(취약성 낮음), 효율성측면에서는 53.94점(취약성 높음)의 결과를 얻었다. 이러한 취약성평가 결과를 기존의 상태평가기준에 추가하여 새로운 농업생산기반시설 상태평가 기준을 제안하였다.

5. 개발 보수재료 현장 적용성 평가

가. 재해대비 시설물별 보수·보강 시 활용 가능한 공법 조사/분류

(1) 건설신기술 보수보강공법 조사

건설신기술을 중심으로 현재 국내에서 적용되고 있는 콘크리트 구조물 보수공법을 조사하였으며, 조사방법은 현재 건설교통부에 등록되어 있는 건설신기술 중 보수보강공법을 국토교통과 학기술진흥원 홈페이지에서 조사 분석 하였으며 조사기간은 건설신기술 보호기간 시작시점 2018년까지 이다.

분석결과 현재 건설신기술로 지정된 기술은 현재 849건으로 이중 보수공법에 대한 건설신 기술은 79건으로 조사 되었으며, 그 중 구조물에 대한 보수공법은 35건으로 중 44.3%를 차지 하는 것으로 분석되었다.





<표 3-50> 건설신기술 보수공법 현황

구분	합계	하수관로	구조물	도로	맨홀	교량	사면	옥상	기타
개수	79	22	35	5	9	5	1	1	1
비율	100%	27.8%	44.3%	6.3%	11.4%	6.3%	1.3%	1.3%	1.3%

보수공법에 대한 건설신기술 중 농업생산기반시설에 활용 가능한 신기술의 상세내용을 조사 정리하여 <표 3-51>에 제시하였다.

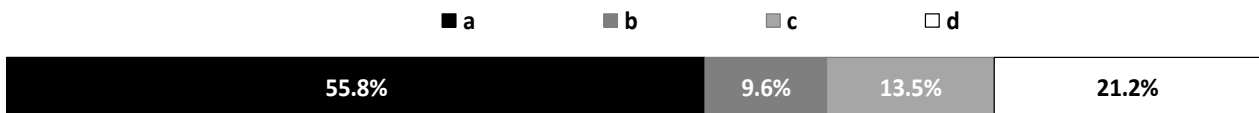
<표 3-51> 건설신기술 목록

<p>신기술명 / 번호</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 염분제거제, PVA섬유혼입 보수모르타르와 아크릴계 표면코팅제를 이용한 콘크리트 구조물 보수공법 / 제 840호 	
<p>신기술 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 염분제거제로 오염된 콘크리트에서 염분을 추출하고 PVA섬유혼입 보수모르타르를 이용하여 단면복구하고 표면코팅제로 마감하여 미세균열 발생을 억제하고 내구성능을 향상시키는 콘크리트 구조물 보수공법이다. 	
<p>신기술명 / 번호</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 탄성 저장관과 스마트 밸브가 일체화된 주입포트와 이동식 주입기를 이용한 콘크리트구조물의 균열보수 주입공법(TPS공법) / 제 822호 	
<p>신기술 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 라텍스의 탄성에 의해 주입 압력이 조절되는 라텍스 재질의 탄성 저장관과 균열 내부의 공기는 배출시키지만 주입보수액의 역류를 차단하는 일방향 판 형태의 스마트 밸브가 일체화된 주입포트 및 배터리 방식의 이동식 주입기를 이용한 콘크리트 구조물의 균열보수 주입공법이다. 	
<p>신기술명 / 번호</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 이산화탄소와 염소이온 고정 고알칼리 유기계 방청제, 방청표면피복재 및 방청단면복구재를 사용한 철근콘크리트구조물 보수공법(BNB 공법) / 제 750호 	
<p>신기술 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 이산화탄소(CO2)와 염소이온(Cl-)을 화학적으로 고정하는 고알칼리 유기계 방청제(아미노알콜 유도체 이용), 방청표면피복재 및 방청단면복구재를 사용하는 철근콘크리트구조물 보수공법으로,탄산화 및 염해에 의하여 피복 콘크리트가 손상되었거나 철근이 부식하여 콘크리트가 박리·박락한 철근콘크리트구조물을 보수하는 기술이다.(BNB공법 : Busik and Bangsik 공법) 	

<p>신기술명 / 번호</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 황마섬유 혼입 폴리머 모르타르와 나노메탈 함유 표면보호재를 항온정량배합 분사장비로 시공하는 보수·보호 공법 (ECOTECT공법) / 제 642호 	
<p>신기술 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 단면보수 모르타르의 초기건조수축 균열 저감과 모르타르 양생시 급격한 수분증발로 인한 계면 부착력 저하의 문제를 개선시키기 위해 천연재료인 황마섬유가 혼입된 폴리머 모르타르를 이용하여 단면을 보수하고, 콘크리트 구조물의 내구성 증진 및 유해물질 침투를 방지하기 위해 나노메탈 미분이 함유된 표면보호재를 항온 정량 배합 분사 장비로 균일하게 분사하여 내구성을 확보하는 콘크리트 보수공법이다. 	
<p>신기술명 / 번호</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 친환경 모르타르와 급결제용 날개식 이중 분사장치 및 원추형 노즐로 구성된 스프레이 장비를 이용한 콘크리트 구조물 급속 보수공법 / 제 576호 	
<p>신기술 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래그, 실리카흙 및 건설폐기물인 순환골재를 활용하고, 타설 초기의 부착력을 확보하기 위해서 알카리프리 급결제로 응결시간을 촉진하며, 급결제 사용에 따른 초기강도의 감소현상을 저감시키기 위해서 알카리 무기염계를 이용한 친환경 모르타르를 사용한다. 또한, 스퀴즈 펌프를 이용한 모르타르용 스프레이 장비에 급결제를 투입할 수 있는 날개식 이중 분사장치를 설치하고, 압축공기가 유입되는 내부의 흠을 부채꼴의 나선형태로 특화한 원추형 노즐로 구성함으로써 일정한 압력으로 모르타르의 타설이 가능한 콘크리트 구조물의 급속 보수공법이다. 	

(2) 특허 등 지식재산권 보수보강공법 조사

지식재산권에 대한 보수보강공법에 대한 조사를 실시하여 보수보강과 관련 있는 지식재산권은 총 244건으로 조사되었으나, 농업생산기반시설과 연관 있는 지식재산권은 총 52건으로 조사되었다. 최종 정리된 52건을 4가지로 분류가 가능하였으며, ㉠ 몰탈, 콘크리트, 석회, 마그네시아, 시멘트 등과 같은 조성물 29건, ㉡ 피복 또는 코팅 조성물에 관한 기술 5건 ㉢ 수중구조물의 기초, 축제 등에 관한 기술 7건, ㉣ 건축물의 균열보수 또는 보강에 관한 기술 11건 등으로 분류가 가능하였다.



(그림 3-32) 특허 보수공법 현황

보수공법에 대한 지식재산권 중 농업생산기반시설에 활용 가능한 신기술의 상세내용을 조사 정리하여 <표 3-52>에 제시하였다.

<표 3-52> 지식재산권 목록

지식재산권명 / 등록번호	수변구조물의 보수 보강 공법 / 10-1531799
지식재산권 내용	<ul style="list-style-type: none"> 수변구조물의 제방을 보수 보강하는 공법에 있어서: 상기 제방의 내제사면에 사석을 제거하고 고르게 다져서 평탄화 작업을 한 다음, 상기 사면의 흙이 응집하도록 안정화 하는 기초단계; 상기 사면의 하단에 누수를 차단하고, 압밀과 내진을 견디도록 지수벽을 구축하는 매설단계; 상기 사면의 표면에 누수를 차단하고, 붕괴를 방지하도록 차수층을 형성하는 지수단계; 상기 차수층의 표면에 미끄러짐을 방지하고, 유실을 방지하도록 보호층을 형성하는 성토단계; 및 상기 보호층의 표면에 침식과 붕괴를 방지하고, 난류를 억제하도록 피복층을 형성하는 피복단계;을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.
지식재산권명 / 등록번호	단면이 결손된 콘크리트 또는 철근콘크리트 구조물의 접착력 및 접착내구성 향상을 위한 단면 복구 보수공법 / 10-1480919
지식재산권 내용	<ul style="list-style-type: none"> 단면이 결손된 콘크리트 또는 철근콘크리트 구조물의 접착력 및 접착내구성 향상을 위한 단면복구 보수공법에 관한 것으로, 그 목적은 콘크리트 또는 철근콘크리트 결손표면과 단면복구재의 계면접착력 및 접착내구성을 강화시켜 단면이 결손된 철근 콘크리트 구조물의 보수 후, 잔존 수명동안 재보수에 대한 유지관리 비용을 절감할 수 있는 단면이 결손된 콘크리트 또는 철근콘크리트 구조물의 접착력 및 접착내구성 향상을 위한 단면복구보수공법

지식재산권명 / 등록번호	용수로 보수보강 및 방수공법 / 10-1437420
지식재산권 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 농업용수로 등 용수로 보수보강 및 방수공법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 표면처리 및 프라이머가 도포된 콘크리트의 농업용수로 등 용수로에 하지면 및 상도와 부착력이 우수하고 크랙 대응력이 높아 크랙, 파손 및 핀홀, 연결부위 메꿈용으로 방수성이 우수한 유기규소폴리머 몰탈제 단독으로 강도보강제로 시공하거나, 콘크리트 표면상태에 따라 유기규소폴리머계 몰탈제, 우레탄계 침투성 프라이머 또는 에폭시 수지계 프라이머에 유리섬 유나 탄소섬유를 함침하는 강도보강층과, 우수한 신율, 탄성율, 방수성, 방오성, 내마모성, 내구성, 접착력을 가지며 환경오염을 유발하지 않는 환경 친화적인 중도층과, 내구성, 내마모성, 내크랙성을 가지며, 표면의 낮은 마찰저항 및 낮은 표면장력으로 표면 오염물 적층이 없고 오염원은 쉽게 제거될 수 있는 상도층을 순차적으로 적층함으로써 물길을 인위적으로 경작지 등에 공급하기 위한 농업용수로나 각종 배수로의 내구성을 향상시켜 풍화나 자외선 및 침식 등에 의해 자연적인 조건에 의해 수로용 블럭의 내부 면이 파손되는 것을 방지하는 물론, 이로 인한 누수현상을 방지하고 용수로의 이물질 오염이나 침적을 방지하여 물의 흐름을 원활하게 할 수 있도록 하는 농업용수로 등 용수로 보수보강 및 방수공법
지식재산권명 / 등록번호	하이브리드 보수 모르타르를 이용한 철근 콘크리트의 보수방법 / 10-0736884
지식재산권 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 철근 콘크리트를 보수하는 방법에 있어서, 철근 콘크리트의 손상 부위를 제거하고 균열 처리 및 흡수성 방지제를 도포하는 전처리를 수행하는 단계와, 철근의 녹을 제거하고 방청 처리를 하는 단계, 수용성 신구 콘크리트 접착제를 도포하는 단계, 보수 모르타르의 배합 방식을 적용하여 보수 모르타르의 두께가 설정 두께 이하 또는 이상인지에 따라 뿔어 붙이기 공법 또는 라파폼 거푸집 공법을 적용하는 단계, 상기 뿔어 붙이기 공법 적용하에서 보수 모르타르를 시공하고, 중성화 및 염해 방지를 위한 표면 처리를 실시하여 미장 마감에 따른 양생을 수행하는 단계 및, 상기 라파폼 거푸집 공법 적용하에서 설치된 라파폼 거푸집에 모수 모르타르를 충전하고, 양생을 실시하여 라파폼 거푸집 제거후에 중성화 및 염해 방지를 위한 표면 처리를 수행하는 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.
지식재산권명 / 등록번호	콘크리트 구조물의 보수공법 및 이 보수공법에 사용되는 자동화장치 / 10-1376090
지식재산권 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 손상된 콘크리트 구조물의 표면을 정리하는 표면 전처리단계, 상기 콘크리트가 탈락되어 노출된 철근의 녹을 제거하고 방청제를 도포하는 방청단계, 상기 구조물 및 철근의 표면에 접착제를 도포하는 단계, 상기 접착제를 도포한 표면 상부로 충전재를 충전하는 단계 및 상기 충전재를 보호 양생하는 단계를 포함하며, 상기 표면 전처리단계는 상기 구조물의 표면을 연삭하는 연삭단계와, 상기 연삭 공정시 발생하는 분진을 흡입할 수 있는 흡입단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

나. Test Bed, Mock-up 시험을 통한 보수재료 성능 검증/보완

(1) 개요

실험실의 실내시험만으로 결정된 배합을 가지고 역학적 특성 및 내구성능 평가를 하기에는 시공현장의 환경적인 변수가 많아 스프레이 타설 장비를 이용한 현장작업의 조건을 100% 만족시킬 수 없다. 특히 스프레이 타설 장비를 이용한 뿔칠 작업 시 압력에 의한 보수재료의 공극의 감소에 의해서 기존 콘크리트 구조물과의 부착성능 등의 증가를 추가적으로 달성할 수 있는 반면 타설 시 재료의 단위중량의 차이에 의한 재료분리의 발생으로 성능감소가 발생할 수 있는 가능성 등을 동시에 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 스프레이 타설 장비를 이용하여 개발된 보수재료의 현장 적용성을 검토하고자 실제 농수로 및 취입보 등 실제 운용중인 노후화된 농업생산기반시설물의 단면복구 시험시공을 실시하였다.

(2) 현장별 시공물량

본 연구에서 개발된 보수재료의 시험시공을 위한 현장명 및 현장별 시공물량은 <표 3-53>에 제시 되었다. 당진시 및 부안군은 개거의 단면보수, 청주시는 수로교 보수, 당진시 나산지구는 취입보의 보수공사를 실시하였다.

<표 3-53> 현장별 시공물량

현장명	시공물량
당진 대촌용수간선(개거) 단면보수, 보강공사	<ul style="list-style-type: none"> • L=10m, b=1.5m, h=1.0m (35m² / 0.7m³)
부안청호제 중앙용수간선(개거) 단면보수공사	<ul style="list-style-type: none"> • L=10m, b=1.5m, h=1.2m (39m² / 0.78m³)
청주 동부간선 제1호 수로교 보수보강공사	<ul style="list-style-type: none"> • L=10m, b=2.5m, h=1.2m (69m² / 1.38m³)
당진 나산지구 수리시설개보수사업(취입보)	<ul style="list-style-type: none"> • 단면보수 : 1.345m × 79.000m =106.225m² • 철근노출 단면보수 : 0.576m × 79.000m =45.504m² • 보상부 : 1.000m × 79.000m =79.000m² • 합계 : 106.225m² + 45.504m² + 79.000m² =231.000m²(6.93m³)

(3) 시험시공 결과

시험시공의 시공방법은 워터젯 장비를 이용하여 열화부 제거 후 개발보수 모르타르를 이동식 믹서를 활용하여 믹싱 후 뿔칠(스프레이) 장비를 활용하여 뿔칠 작업 후 보수면을 인력으로 마무리하였다.

부안 개거 단면보수공사에서는 모르타르를 뿔칠 시 분사되는 재료의 탈락 및 리바운드량이 적었으며, 시공 마무리면이 양호하였다. 청주 수로교 보수공사에서는 부안 대비 리바운드량이 많아 물의 양을 조절하여 리바운드량을 저감시켰으며, 마무리면은 부안과 마찬가지로 양호한 상태를 보였다. 당진의 개거 단면보수공사에서는 리바운드량이 상당하여 물의 양을 조절하였으며, 뿔칠 장비의 잦은 사용으로 인한 장비의 고장으로 일부분 인력으로 모르타르를 타설하였다. 그러나 시공완료 후 표면은 양호한 상태였다. 당진시 나산지구 취입보 단면보수공사에서는 리바운드량이 적었으며, 시공 후 마무리면을 관찰한 결과 마무리면의 양호한 상태를 보였다. 향후 보수재료 적용 시설물에 대한 균열 및 탈락 여부를 조사할 필요가 있을 것으로 판단된다. <표 3-54>~<표 3-55>은 시공전중 후 사진이다.

<표 3-54> 부안군 및 청주시 시험시공 현장

부안청호제 중앙용수간선(개거)단면보수공사	
	
시공 전	열화부 치핑
	
모르타르 타설	시공완료
청주 동부간선 제1호 수로교 보수보강공사	
	
시공 전	열화부 치핑
	
모르타르 타설	시공완료

<표 3-55> 당진시 개거 및 취입보 시험시공 현장

당진 대촌용수간선(개거) 단면보수, 보강공사	
	
시공 전	열화부 치핑
	
모르타르 타설	시공 완료
당진 나산지구 수리시설개보수사업	
	
시공 전	열화부 치핑
	
모르타르 타설	시공 완료

다. 소결

시설물별 보수보강 시 활용 가능한 공법을 조사하였다. 건설신기술과 지식재산권(특허)에 보수보강 관련 내용의 현황을 조사하였으며, 대표적인 보수보강공법에 대한 내용을 기술하였다.

건설신기술에서 제시하고 있는 보수보강공법 현황은 총 849건의 건설신기술 중 79건으로 조사되었고 그중 35건 44.3%가 구조물에 대한 보수공법이었다. 구조물 외 보수보강공법 중에는 하수관로가 22건으로 가장 많은 공법을 적용하고 있었으며, 맨홀이 9건으로 하수관로 다음으로 많은 수를 차지하는 것으로 조사 되었다.

특허에 명시되어 있는 보수보강공법을 조사한 결과 ① 몰탈, 콘크리트, 석회, 마그네시아, 시멘트 등과 같은 조성물 29건, ② 피복 또는 코팅 조성물에 관한 기술 5건 ③ 수중구조물의 기초, 축제 등에 관한 기술 7건, ④ 건축물의 균열보수 또는 보강에 관한 기술 11건 등으로 분류가 가능하였다.

개발 보수재료를 사용하여 실제 보수공사 현장에 적용하는 현장 적용성 평가를 실시하였다. 당진 2개소, 부안 1개소, 청주 1개소 총 4개소의 현장에서 개발 보수재료를 적용하였다. 현장 적용성 평가 결과는 부안현장의 경우 리바운드량이 적고, 마무리면이 양호 하였으며, 청주현장은 리바운드량이 다소 많이 발생하여 현장환경에 맞게 물의 양을 조절하였다. 또한 당진(개거)현장의 경우 뿔칠 장비의 잦은 고장으로 인하여 인력타설을 실시하였으며, 당진(취입보)현장은 리바운드량이 적고, 마무리면이 양호한 상태를 보였다.

향후 시설물에 대한 균열 및 탈락 여부 조사 등 보수재료의 성능을 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

6. 개발 보수재료 관련 지침 제시

가. 재해대응 시설물 상태평가, 보수·보강 등 유지관리방안 제시

(1) 기존 안전진단 등 유지관리방안

기존의 안전점검 및 정밀안전진단을 포함한 유지관리방안은 <표 3-56>과 같이 시설물의 상태만을 평가하여 등급을 나누고 그에 맞는 보수 보강을 실시하여 재해에 대한 대응이 미흡하였다. 이상기후 등으로 인한 재해에는 상태평가만으로는 대응을 할 수 없을 것이라 판단되어 본 연구에서는 기후변화에 대응 가능한 유지관리방안이 필요하므로 이에 맞는 유지관리 방안을 제안하였다.

<표 3-56> 기존 안전점검 및 정밀안전진단 시기

관련법		대상시설	검사방법	검사시기		검사기관
시설물 안전 관리에 관한 특별법	법 제6조 령 제6조	1,2종 시설물	안전점검			
			정기점검	반기 1회		관리주체
			긴급점검	필요시		진단기관
			정밀점검	A등급	3년에 1회	진단기관
	B·C등급	2년에 1회				
	D·E등급	1년에 1회				
법 제7조 령 제9조	1,2종 시설물	정밀안전진단	필요시		진단기관	
	준공후 10년 경과 1종시설	정밀안전진단	A등급	6년에 1회	진단기관	
			B·C등급	5년에 1회		
D·E등급	4년에 1회					
농어촌 정비법	법 제18조 령 제26조	농업생산 기반시설	안전점검 및 정밀안전진단			
	농업생산 기반 시설관리 규정 제 14조 제 15조 제 16조	농업생산 기반시설 1,2,3종 시설	안전점검 - 정기점검 - 긴급점검 - 정밀점검	분기 1회 이상 이상징후가 있을 때 보수 필요시		관리주체 관리주체 관리주체
		농업생산 기반시설 1,2종시설	정밀안전진단	준공 후 10년 이상 지난 농업생산기반시설에 대하여 5년에 1회		전문기관
건설기술 관리법	법 제 26조의 2 령 제95조	건설공사	안전점검 - 자체안전점검 - 정기안전점검 - 정밀안전점검 - 초기점검 - 공사재개전 안전점검	매일 공정진행 차수별 필요시 준공전 공사재개전		수급인 등 건설안전점검기관 건설안전점검기관 건설안전점검기관 건설안전점검기관

(2) 유지관리방안 제안

기존 시설물 상태만을 고려하여 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하여 재해 대응에 미흡했던 유지관리방안을 「농업·농촌 및 식품산업 기본법 시행령」 제47조의 2의 “농업·농촌의 지속 가능한 발전을 위하여 지구온난화 등 기후변화가 농업·농촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성을 5년마다 조사·평가한다.”의 내용을 반영하여 지역별, 시설물별 취약성평가 후 안전 점검 또는 정밀 안전진단을 실시하여 상태평가 등급을 활용하여 보수 또는 보강 등 안전조치를 실시하는 방안을 제안하였다. <표 3-57>이 기후변화 취약성평가를 포함한 안전점검 및 정밀안전 진단 시기(제안)이며, (그림 3-33)은 기후변화 취약성평가를 고려한 유지관리체계(제안)이다.

기타 유지관리방안은 6.2 시방서, 품질관리 및 유지관리 지침서 작성 중 나. 품질관리 및 유지관리 지침서에 “기후변화에 따른 농업생산기반시설 유지관리 매뉴얼”을 제시하였다.

<표 3-57> 안전점검 및 정밀안전진단 시기(제안)

관련법		대상시설	검사방법	검사시기	검사기관
제안		관련지역	기후변화 취약성평가	5년에 1회	관리주체
농어촌 정비법	법 제18조 령 제26조	농업생산 기반시설	안전점검 및 정밀안전진단		
	농업생산 기반 시설관리 규정 제 14조 제 15조 제 16조	농업생산 기반시설 1,2,3종시설	안전점검 - 정기점검 - 긴급점검 - 정밀점검	분기 1회 이상 이상징후가 있을 때 보수 필요시	관리주체 관리주체 관리주체
		농업생산 기반시설 1,2종시설	정밀안전진단	준공 후 10년 이상 지난 농업생산기반시설에 대하여 5년에 1회	전문기관



(그림 3-33) 농업생산기반시설 유지관리 체계도

나. 소결

기존 안전점검 및 정밀안전진단 시기 또는 내용이 시설물의 상태평가에 국한 되어 기후변화 및 재해에 대응하기에는 미흡할 것으로 판단되어 취약성평가에 대한 내용을 추가하여 유지관리 방안은 제안하였다. 5년마다 취약성평가를 하고 그 결과를 정밀점검 및 정밀안전진단 시기를 포함하여 새로운 상태점검 및 유지관리방안을 마련하여 기후변화 및 재해 대응이 가능하도록 유지관리 매뉴얼을 작성하였다. 농업수리시설물의 보수에 시공에 관해 재료, 시공장비, 품질관리 등이 포함되어 있는 시방서를 작성하여 체계적인 보수공사가 가능하도록 하였다.

다. 시방서, 품질관리 및 유지관리 지침서 작성

(1) 시방서

**농업생산기반시설(콘크리트구조물)
단면보수공사 시방서**

2018. 12

 **한국농어촌공사**

제 1 장 콘크리트 단면복구공사

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방서는 농업생산기반시설 중 콘크리트구조물의 단면복구공사에 적용되며, 콘크리트 단면복구공사의 시공에 관하여 규정한다.

1.2 작업 계획서

시공자는 현장에서 공사를 시작하기 전에 작업에 관한 세부적인 공사 계획서를 작성, 제출하여 감독관의 승인을 받은 후 시공에 입하여야 한다.

- 1) 세부공정계획서
- 2) 현장시공 상세도면
- 3) 시공 상태 검측계획서
- 4) 품질관리 계획서(시공순서 및 방법, 자재관리, 작업환경, 품질보증기간, 관리시험계획)

1.3 관련규정

본 조항에서 열거한 모든 관련 규정은 본 시방서의 해당 조항의 일부로서 시방서 본문에서 언급한 내용 이외에 추가적인 시방이 필요한 경우에 적용한다. 관련 규정의 적용 내용은 해당 시방서 조항과 관련된 내용에 한하여 적용한다.

- KS F 2476 폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법
- KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르
- KS L 5105 - 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법
- KS L 5109 - 수경성 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기계적 혼합방법

2. 자재

2.1 제품개요

농업생산기반시설 콘크리트 구조물 보수 몰탈인 본 제품은 현장에서 물만 혼합하여 사용할 수 있도록 포틀랜드시멘트, 규격화된 골재(규사), 보강용 섬유로 구성된 혼합몰탈이며, 방수 및 방청 효과가 높은 SB라텍스와 물을 혼합하여 높은 강도 발현과 고내구성의 보수재료이다. 제품의 세부 재료의 품질기준은 다음 2.2 재료의 품질기준과 같다.

2.2 재료의 품질기준

1) 시멘트

시멘트는 KS L 5201에 적합한 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한다. 다음 표는 포틀랜드 시멘트의 물리적 성능을 나타낸 것이다.

분말도 (cm^3/g)	응결시간(비커시험)		압축강도(MPa)		
	초결(분)	종결(시간)	3일	7일	28일
2,800 이상	60 이상	10 이하	12.5 이상	22.5 이상	42.5 이상

2) 잔골재

잔골재는 인조규사를 사용하며, 화학적 성질은 다음표를 만족시키는 것으로 한다.

시험항목	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	계
결과치	96.0	2.0	0.1	0.5	0.2	0.2	0.2	100

※ 오차범위 : $\pm 10\%$ 이내

3) SB라텍스

SBR 라텍스의 사용은 유통기한이 지나지 않은 것으로 다음 표와 같은 성질을 만족하는 것을 사용한다.

고형분 함유량(%)	pH	표면장력(dyne/cm)	평균입자크기(\AA)	동결-융해 안정성	색상
46~53	8.5~12.0	50이하	1,400~2,500	응고량 : 0.1%이하	유백색

4) 섬유

섬유의 사용은 다음 표와 같은 성질을 만족하는 것을 사용한다.

비중	직경	길이	녹는점	자외선저항성	산/알칼리저항성
1.13~1.16	Max. 35 μ m	6~9mm	Min. 210 $^{\circ}$ C	우수	우수

4) 물

물은 기름, 산, 유기불순물, 혼탁물 등 폴리머모르타르나 철근에 나쁜 영향을 미치는 유해물질을 함유하거나 바닷물을 사용할 수 없으며, 수질이 의심스러운 경우에는 감독원의 승인을 받아야 한다.

2.3 제품종류 및 사용량

제품명	포장	도포량
폴리머모르타르	25 kg/포	1 m^3 도포시 사용량(T=30mm) : 56kg 1포 사용시 도포 면적(T=30mm) : 0.443 m^2
SB라텍스(JAPT-9002)	20 kg/Can	

2.4 폴리머몰탈 물성

시험종류	적용기준	시험기준	시험결과
압축강도(MPa)	KS F 4042	20 이상	61.6
휨강도(MPa)		6.0 이상	10.2
부착강도(MPa)		1.0 이상	1.5
동결융해저항성(%)		잔여강도 80% 이상	81.3 %
염소이온투과시험 (Coulombs)		1,000 이하	912.0

※ 시험조건에 따라 다소 차이가 있을 수 있습니다.

3. 시공장비

3.1 세척장비(워터젯)

세척장비는 콘크리트 구조물의 열화된 부위를 세척 및 이물질 제거를 목적으로 하는 장비로써 15MPa 이내의 압력을 사용한다.

3.2 계량 및 혼합장비

시공현장에서 가장 중요하게 고려되어야하는 인적요인에 대한 품질변동, 혼합수의 첨가가 일률적으로 이루어지지 못함으로써 품질편차가 크게 발생한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 강제식믹서를 이용하여 배합하는 방법을 도입·적용한다.

3.3 스프레이장비

스프레이 장비는 펌프형식으로 모노펌프 7.5HP(5.5kw)이상 최대 토출량은 2.4m³/h이어야 한다. 또한 최대 이송 거리는 50m 이상으로 한다. 콤프레서는 10HP이상의 장비를 이용하여 시공한다.

4. 시 공

4.1 조 사

농업생산기반시설물의 열화상태 및 열화요인, 시공계획의 작성 등을 안전진단 보고서 및 유지관리 지침서를 참조하여 필요하다고 판단되는 사항을 조사한다.

1) 일반적인 조사

구조물의 용도, 구조물의 연령 및 열화내용 및 종류 등의 요소를 조사

2) 시공환경 조사

장비 진출입의 용이, 시공장비의 위치, 자재의 보관, 기타 현장주변의 제반환경 조사

4.2 열화단면 처리

1) 열화부분의 제거

열화된 부분을 워터젯을 활용하여 처리하거나 기타 적절한 공법을 채택하여 제거한다.

2) 청소 및 물 뿌리기

가. 열화된 단면을 고압수(10~15MPa)를 이용하여 먼지나 이물질을 제거하거나 고압의 공기를 이용하여 완전히 제거한다.

나. 단면에 부착력을 향상시키기 위하여 청소 후 보수 모르타르를 작업하기 직전에 물을 뿌린다.

4.3 배 합

농업생산기반시설물용 폴리머모르타르는 SB라텍스에 의한 공기연행이 활발해 지므로 AE제는 사용하지 않는다. SB라텍스는 고흡분과 물의 혼합물질로 라텍스에 포함된 물의 양을 고려하여 실제 사용될 물을 조절 할 수 있다.

1) 시방배합

감독관이 승인한 폴리머 모르타르 재료를 사용하여 시방배합을 정하며, 이를 토대로 감독관 입회하에 현장배합을 결정한다.

2) 현장 배합

폴리머 모르타르의 시방배합을 실시하고 그 결과를 감독관에게 제출하여 감독관과 협의를 통하여 현장 배합을 결정한다. 단 SB라텍스의 비율을 조절할 수 있으나 라텍스의 고흡분 및 성질은 조절할 수 없다.

4.4 라텍스 보수재료의 스프레이를 이용한 보수

1) 재료확인 및 제품저장

- 가. 재료의 보관상태 및 제품포장 파손 유무를 확인한다.
- 나. 제품의 제조일자 등을 확인한다.
- 다. 재료는 품목별로 구분하여 저장한다.

2) 제품 취급시 주의사항

- 가. 본 제품은 반드시 밀봉하여 직사광선이 단지 않고 건조한 곳에 보관하여야 한다.
- 나. 본 제품은 얼지 않도록 하며 용기는 밀폐시켜 상온에 보관한다.
- 다. 본 제품을 개봉하였을 때 굳은 재료는 사용하지 않는다.
- 라. 비 오는 날이나 습도가 높은 날(RH 85%이상), 대상면 온도가 5℃ 이하 35℃ 이상 이면 작업을 피한다.
- 마. 부득이 동절기(5℃ 이하)에 시공을 해야 할 경우 임시로 가설 난방 등으로 작업장온도를 5℃ 이상을 유지하도록 한다.
- 바. 제품의 용도 외에 사용은 금한다.
- 사. 작업 중 또는 작업 후 제품과 접촉한 피부는 깨끗이 씻는다.
- 아. 본 제품의 폐기는 시공한 업체에서 환경부 처리규정에 준하여 폐기한다.

3) 열화단면 처리

- 4.2절에 따라 워터젯을 이용하여 이물질을 제거한다..

4) 장비의 설치

- 가. 본 제품을 사용하기 위한 기본장비는 모르타르믹서, 고압펌프, 콤프레셔 등이 있으며, 주위에 동력이 없을 경우 발전기를 추가 설치하여야 한다.
- 나. 작동방법이나 세척 및 장비 유지관리에 대해서는 장비사양에 따른다.
- 다. 펌프와 노즐과의 높이는 되도록 수평을 유지한다.
- 라. 모르타르 호스내에 원활한 압송을 위하여 호스내부를 적셔 놓는다.
- 마. 펌프 및 믹서의 회전방향이 맞는지 확인한다.

5) 뿔칠 시공

- 가. 비비기를 마친 라텍스 개질 보수 모르타르를 뿔칠 장비의 자체 믹서에 투입한다.
- 나. 뿔칠 장비의 뿔칠 압송 속도를 조정하여 뿔칠 속도 및 압력을 조절한다.
- 다. 콤프레셔에서 압송되는 압축공기를 뿔칠 장비 노출에 연결하여 압축공기와 폴리머 모르타르가 함께 분사되도록 한다.
- 라. 콘크리트 보수면에 수직하게 분사한다.

6) 스프레이 시공시 주의 사항

- 가. 스프레이 작업자는 반드시 작업복, 작업화, 보안경, 마스크를 착용후 시공한다.
- 나. 스프레이 작업은 고압분사에 의해 이루어지므로 안전사고에 대한 대책을 취해야 한다.
- 다. 소음 발생에 대한 대책을 마련해야 한다.

7) 스프레이 시공 후 표면 처리 및 양생

- 가. 시공 후 표면은 즉시 평탄작업이 가능하며 시공시 연결부위나 열화단면과의 분리 등에 주의 하여야 한다.
- 나. 표면처리시간은 온도 및 습도의 영향을 고려하여 조정한다.
- 다. 표면처리는 헤라, 흙손 등을 이용하여 표면을 매끄럽게 한다.

5. 품질관리 및 검사

5.1 재료관리

- 가. 본 제품은 ①설계도서와 주문서와의 일치여부 확인 ②제품 포장의 손상여부 확인 ③보존조건 명세서 확인 ④제조일자 및 보존기간 확인 등을 확인하고 사용해야 한다.
- 나. 배합수는 산이나 모르타르의 품질에 영향을 줄 수 있는 이물질등이 없어야 한다.

5.2 배합관리

- 가. 폴리머 모르타르는 물/시멘트 비, 시공온도, 교반속도 등에 따라 품질의 차이가 발생하므로 강제식믹서의 상태를 사전에 점검해야 한다.
- 나. 대기온도와 사용되는 보수재료의 온도 및 물의 온도를 수시로 체크해야 한다.
- 다. 계량오차 범위를 벗어날 수 있으니 수시로 계량 오차범위를 체크해야 한다.

5.3 품질시험

- 가. 품질시험은 재령 28일에 부착강도, 압축강도시험을 실시하여 시험결과를 공사감독관에게 서면으로 제출하여 확인 받아야 한다.
- 나. 부착강도시험은 KS F 4042(콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르)에 따라 시험을 실시한다.
- 다. 감독자는 현장에 상주하여 시공면 준비, 배합, 비비기, 스프레이 시공, 표면 마무리 등 시공의 전반적인 과정을 조사하여야 한다.

**기후변화에 따른 농업생산기반시설
유지관리 매뉴얼**

2018. 12.

농업생산기반시설의 유지관리 매뉴얼

제1장 총 칙

1. 목적

- 이 「매뉴얼」은 「농업·농촌 및 식품산업 기본법」 제 47조의 2(기후변화에 따른 농업·농촌 영향 및 취약성평가에서 정하는 기후변화에 따른 취약성평가 및 「농업생산기반시설 관리규정」 제4장 안전점검 및 정밀안전진단에서 정하는 농업생산기반시설의 관리·점검·안전진단·안전조치에 관한 세부적인 기준과 실시방법·절차 등에 필요한 사항을 정하여 농업생산기반시설의 기후변화에 대한 기능유지 및 안전성을 확보하는 것을 목적으로 한다.

2. 적용범위

- 이 매뉴얼은 「농업생산기반시설 관리규정」에 따라 국가 또는 지방자치단체 등이 시행한 농업생산기반시설 지의 관리·점검·안전조치에 적용한다.

3. 용어의 정의

- “기후변화”란 인위적인 활동으로 인하여 온실가스의 농도가 변하면서 상당 기간 관찰되어 온 자연적인 기후변동에 추가적으로 일어나는 기후체계의 변화를 말한다.
- “실태조사”란 기후변화 또는 이상기상으로 야기된 현상을 조사하는 것을 말한다.
- “영향평가”란 기후·기상 인자가 안정화된 현재의 농업생산시스템(적지, 생산성, 병해충, 생물다양성 등)에 변화를 일으키는 영향값을 산출 하는 것이다. 즉, 현재 상태를 기준으로 하여 기후변화에 따른 영향값 차이를 평가하는 것을 말한다.
- “취약성”이란 기후변동과 극한현상을 포함한 기후변화의 부정적 영향에 대해 민감하게 반응하거나 대처할 수 없는 정도를 말한다.
- “취약성평가”는 기후변화의 부정적 영향값을 낮추거나 제거할 수 있는 기술·정책의 유무 및 해당 기술·정책이 영향값 조절에 기여하는 정도를 차감하여 평가하는 것을 말한다.
- “농업생산기반시설”이란 농업생산기반정비사업으로 설치되거나 그 밖에 농지보전이나 농업생산에 이용되는 저수지, 양수장, 관정(우물) 등 지하수 이용시설, 배수장, 취입보(농업용수를 관리하기 위해 설치한 보), 용수로, 배수로, 유지(웅덩이), 도로, 방조제, 제방(둑) 등의 시설물 및 그 부대시설과 농수산물의 생산·가공·저장·유통시설 등 영농시설을 말한다.
- “농업생산기반1종시설”(이하 “1종 시설”이라 한다)이란 농어촌정비법 제2조 제6호의 규정에 따른 농업생산기반시설(이하 “시설”이라 한다) 중 다음 각 목의 시설을 말한다.
 - 저수지 : 총저수용량 50만톤 이상인 시설
 - 양수장·배수장 : 단위시설(1개소)당 2,000마력 이상인 시설
 - 방조제 : 방조제관리법 제3조의 규정에 따라 결정된 국가관리 방조제
 - 하구둑

- “농업생산기반2중시설”(이하 “2중 시설”이라 한다)이란 농어촌정비법 제2조 제6호의 규정에 따른 시설 중 다음 각 목의 시설을 말한다.
 - 저수지 : 총저수용량 50만톤 미만인 시설
 - 양수장·배수장 : 단위시설(1개소)당 1,000마력 이상 2,000마력 미만인 시설
 - 방조제 : 방조제관리법 제3조의2의 규정에 따라 결정된 지방자치단체 관리 방조제
- “농업생산기반3중시설”(이하 “3중 시설”이라 한다)이란 농어촌정비법 제2조 제6호의 규정에 따른 시설 중 1중 시설 및 2중 시설 이외의 양수장, 배수장, 취입보, 지하수이용시설, 용수로, 배수로 및 그 부대시설을 말한다.
- “시설관리자”란 시설을 관리하고 있는 시장, 군수, 구청장(이하 “시장·군수”라 한다), 한국농어촌공사 사장, 기타의 자를 말한다.
- “유지관리”란 완공된 시설의 기능을 보전하고, 시설 이용자의 편의와 안전을 도모하기 위하여 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하는 등 시설의 기능 유지보전에 필요한 활동을 하는 것을 말한다.
- “안전점검”이란 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구 등으로 시설의 결함 등을 조사하는 행위를 말한다.
- “정밀안전진단”이란 안전점검을 한 결과 시설의 물리적·기능적 결함을 발견하고, 그에 대한 조치를 신속하고 적절하게 하기 위하여 시설의 구조적 안정성 및 결함의 원인 등을 조사, 측정 및 평가하여 보수, 보강 등의 방안을 제시하는 것을 말한다.
- “안전관리”란 시설의 안전을 위한 안전점검, 정밀안전진단, 유지·개수·보수, 사용 제한, 철거 등 모든 행위로서 제5호의 유지관리 업무 중 시설의 안전관리에 관한 사항을 포함한다.
- “개보수”란 노후 시설이나 제 기능을 다하지 못하는 시설을 개량·보수하여 재해위험을 해소하고 기능을 회복시키거나 개선하는 것을 말한다.
- “위탁관리”란 시설의 효율적 관리 및 안전을 위하여 시설의 전부(단위시설) 또는 일부(부분시설)를 시설관리자 이외의 자에게 관리하게 하는 것을 말한다.
- “안전진단 전문기관”이란 시설물의 안전관리에 관한 특별법 제9조에 의하여 등록된 안전진단을 전문적으로 하는 기관을 말한다.

제2장 농업생산기반시설의 관리

1. 기후변화 취약성평가

1.1 취약성평가를 위한 실태조사

- 농업생산기반시설의 기후변화 영향 및 취약성평가에 대한 실태조사항목 <표 1>과 같으며, 이외 필요시 조사항목에 대한 추가 또는 삭제 할 수 있다.

효율성	내구성
연강수량	연강수량
시간당 최대강수량	시간당 최대강수량
경지면적	사용연수 30년이상 시설수
용배수로 길이	관리인원당 시설수
지역내 시설수	

<기후변화 영향 및 취약성평가 실태조사항목>

1.2 기후변화 영향평가

- 기후변화 영향평가 방법은 <그림 1>에 제시되어 있으며, “5년간의 변화치/기준치”의 값으로 결정된다. 그 값이 1.0이면 기후변화에 대해 영향이 없는 것으로 판단할 수 있다.

분야 (시행 규칙)	실태조사			영향평가			취약성평가		
	조사대상/분석대상	공간 범위	시기	평가지표	종합 평가	관련 농업 정책	관련 기술 개발	종합 평가	
농업 용수 & 농업 생산 기반 시설	치수 저수지 홍수량 분석 수해구역 홍수량 분석 저수지 배수하천 홍수배제능력 분석 수해 수질/환경 수질등급 변화 분석	용수 구역	1회 /1년	홍수량 변화량	치수	5년간 변화치 기준치	수영 저감 정책	수영 저감 기술	
			4회 /1년	홍수배제 능력 변화량	안전도	5년간 변화치 기준치	수질 저감 정책	수질 저감 기술	
시설	설계기준(규모) 대비 현재 이용 상황 분석 (제방, 여수로, 취수시설, 수로) 설계수명 대비 현재 내구성 상태 분석 (제방, 여수로, 취수시설, 수로)	용수 구역		시설물의 효율성	시설	5년간 변화치 기준치	시설 영양 정책	시설 영양 정책	
				시설물의 내구성	안전도	5년간 변화치 기준치	시설 영양 정책	시설 영양 정책	

<기후변화 실태조사 및 영향평가 방법>

1.3 기후변화 취약성평가

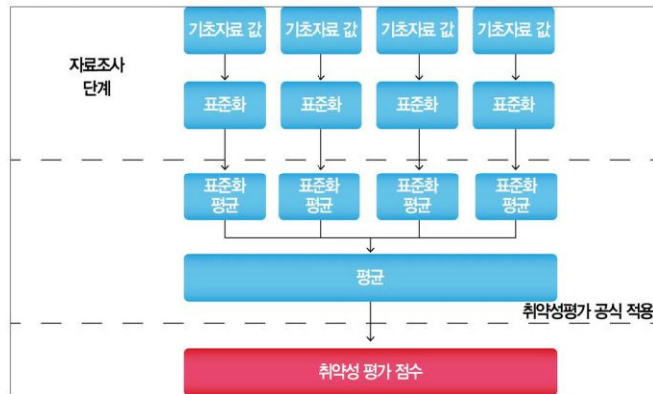
(1) 표준화(스케일 재조정법)

- 실태조사를 통해 수집된 자료를 동일 단위 및 범위로 맞추기 위해 표준화 방법 중 스케일 재조정법을 실시한다.

$$\text{표준화식} = \frac{\text{대상평가지표의 값} - \text{평가지표값 중 최소값}}{\text{평가지표값 중 최대값} - \text{평가지표값 중 최소값}}$$

(2) 기후변화 취약성평가

- 취약성평가의 방법은 기초자료 조사과정, 표준화과정, 취약성평가 과정 3단계로 구분되며, 실태조사를 통한 기초자료 값의 표준화, 기초자료 표준화된 값들의 평균들은 효율성, 내구성으로 구분되며, 그 값들이 평균을 취약성평가 공식에 적용하여 취약성평가 점수를 산정한다. 취약성점수 산정식은 “취약성점수 = 항목별 표준화 평균 × 100” 와 같다.



<취약성평가 절차>

(3) 기후변화 취약성평가 등급

- 취약성 평가 등급은 4가지 타입, 0~100점의 범위 내에서 결정되며, I 등급은 0~25점, II 등급은 26~50점, III 등급은 51~75점, IV 등급은 76~100점으로 등급 및 점수가 낮을수록 취약성이 낮은 것으로 한다.(단, 적응능력이 우수하여 취약성 점수가 음수로 산정 될 경우 I등급으로 대체한다.)

<취약성 평가 등급>

등급	점수	내용	등급	점수	내용
I 등급	0~25점	• 취약성 매우 낮음	III 등급	51~75점	• 취약성 높음
II 등급	26~50점	• 취약성 낮음	IV 등급	76~100점	• 취약성 매우 높음

2. 농업생산기반시설의 유지관리 계획 수립

2.1 농업생산기반시설의 안전관리 계획 수립

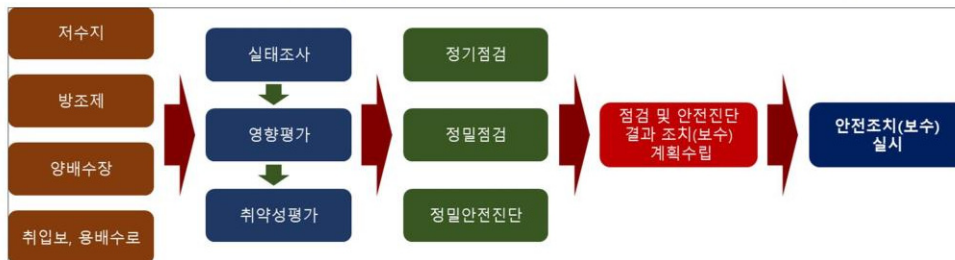
- 시설관리자는 기후변화에 대한 취약성평가 및 시설의 안전관리계획을 5년마다 수립하되, 「농업·농촌 및 식품산업 기본법 시행령」 제19조의 2, 「농업분야 기후변화 실태조사 및 영향·취약성평가 기준」, 「재난 및 안전관리기본법」 제22조에 따른 국가안전관리기본계획과 연계 되도록 하여야 한다.

2.2 유지관리 대상

- 농업생산기반시설의 유지관리 대상은 기후변화 취약성평가 결과 및 안전점검 실시 후 취약하다 판단되는 농업생산기반시설 전반에 대한 것이다.

2.3 유지관리 체계

- 농업생산기반시설의 유지관리는 농업생산기반시설 준공 후 관리대장의 기록 → 기후변화 취약성평가 → 점검 및 안전 진단(정기·수시) → 점검 및 안전진단결과 조치계획 → 안전조치 등의 순으로 실시한다.
- 농업생산기반시설의 유지관리는 필요한 사업별로 점검 체크리스트 등에 따라 실시한다.



<농업생산기반시설 유지관리 체계도>

2.4 농업생산기반시설 설계도서 등의 관리

- 농업생산기반시설 시설관리자는 농업생산기반시설 관리대장 및 설계도서, 점검 및 안전진단, 안전조치 등과 관련된 자료를 보존하여야 한다.
 - 기후변화 취약성평가 결과 : 지역별 기후변화 실태조사, 영향평가, 취약성평가 결과에 대한 사항
 - 농업생산기반시설 관리대장 : 농업생산기반시설 지정·해제 등 기본현황, 사방시설 상세제원, 시공 및 점검·안전진단 등 유지관리 이력
 - 설계도서 : 농업생산기반시설 설계의 종·평면도, 단면도, 구조물도, 수리·수문계산서, 공사사방서 등 농업생산기반시설의 유지관리에 필요한 준공 설계도서
 - 시공관련 : 농업생산기반시설과 관련된 일반현황(시행정, 시공위치, 계약현황, 사업비, 타당

- 성평가, 시설도면 등), 사진(공사현장 및 시설물의 정면·측면, 주요공종) 등
- 점검 및 안전진단 : 하자보수 점검결과·조치, 점검·안전진단 및 안전조치 등
- ※ 안전조치(보완·개량 등) 등으로 농업생산기반시설의 구조가 변경된 사항은 관리대장에 그 내용을 기재
- 안전조치 : 점검·안전진단 결과 농업생산기반시설의 구조 결함에 따른 보완·개량 등
- ※ 안전조치 경위, 기간, 시행자(감독, 시공자 등), 적용공법 등 안전조치에 관한 자료

2.5 시설관리 담당자의 지정

- 시설관리자는 기후변화 취약성평가에 대한 기본 지식이 있어야 하며, 영향평가 및 취약성평가를 실시할 수 있어야 한다.
- 시설관리자는 시설물마다 시설관리 담당자를 지정하여야 한다.
- 시설관리자는 시설별 또는 지구별로 2인 이상의 시설관리 담당자를 지정 할 수 있으며 또한 1인을 수개의 시설관리 담당자로 지정할 수 있다.

2.6 시설관리 담당자의 임무

- 시설관리 담당자는 시설관리자를 보조하여 다음 각 호의 업무를 수행하여야 한다.
 - 기후변화에 대한 실태조사 수행 및 기후변화 실태조사 결과를 통해 기후변화 영향평가, 취약성평가에 대한 업무
 - 농지 및 시설 방재 세부계획 수립 및 집행에 관한 업무
 - 시설관리규정의 준수 및 이행
 - 시설의 일상관리 및 기록 유지와 보고
 - 수질오염 등 공해의 확인 및 보고
 - 기타 시설유지 및 안전관리에 필요한 사항

2.7 시설의 위탁관리

- 시설관리자는 자체 능력으로 기후변화 취약성평가 및 당해 시설물의 적정한 관리가 곤란하다고 판단되는 경우에는 시·도지사와의 미리 협의하여 위탁 관리를 할 수 있다.
- 위탁관리의 업무 범위와 수수료 등에 관한 필요한 사항은 시설관리자와 수탁관리자간에 협약 또는 계약 체결에 의한다.

제3장 농업생산기반시설의 안전점검

3.1. 점검 종류

- 정기점검 : 농업생산기반시설의 유지관리를 위해 분기별로 1회이상으로 점검이 필요한 시설에 대하여 실시하되, 영농기 전에는 반드시 실시한다.
- 정밀점검은 정기점검 또는 긴급점검을 실시한 결과, 시설의 기능 유지 및 안전상 재해 위험이 있어 시설물 보수가 필요한 때 실시하되, 필요시 1종·2종 시설은 정밀점검을 생략하고 정밀안전진단을 실시할 수 있다.
- 하자점검 : 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률」 시행령 제60조 및 「지방자치 단체를 당사자로 하는 계약에 관한 법률」 시행령 제69조의 규정에 따른 하자담보책임기간 내에 있는 농업생산기반시설에 대한 침하·균열 및 누수 등의 발생여부를 점검한다.

3.2. 안전점검 실시 방법 및 내용

- 정기점검은 기후변화 취약성평가 결과, 시험가동, 육안검사 등을 통해 평상시 농업생산기반시설의 기후변화에 대한 취약성점수 및 시설 자체의 기능 상태를 확인하고 판단한다.
- 정밀점검은 기후변화 취약성평가 결과 및 정기점검에서 발견할 수 없는 결함상태를 발견하기 위하여 면밀한 육안검사와 필요한 측정 및 시험을 실시하여 결함부위 등 주요부위에 대한 외관조사도 작성과 시설물 상태평가를 실시하고 결함에 대한 보수·보강 방법 등을 제시한다.
- 긴급점검은 재해나 사고 등에 의해 필요하다고 판단할 때 사용제한 또는 사용금지의 필요여부 등을 결정하기 위한 것으로, 필요시 정밀점검 또는 정밀안전진단 실시여부를 결정한다.

3.3 안전점검 결과 처리

- 안전점검 결과의 자체 보고 및 결재
- 전산 시스템 입력
 - RIMS(농업기반시설관리시스템) 입력
 - FMS(시설물정보관리종합시스템) 입력 : 시특법 1, 2종 시설
- 안전점검 실시결과 제출
- 제출처 : 자연재해대책법 제4조 2항에서 정한 관할 시·군·구본부장 및 관계 중앙행정기관의 장

제4장 안전조치

4.1 시설 사용제한 등

- 시설관리자는 기후변화 취약성평가 결과 및 정밀점검, 정밀안전진단 결과에 따라 구조상 공공의 안전에 미치는 영향이 증대하여 긴급 조치가 필요한 때에는 당해시설의 복구 시까지 사용의 제한 및 금지와 철거 등의 조치를 하여야 한다.
- 시설관리자는 제1항의 규정에 의하여 사용의 제한 및 금지와 철거를 하는 경우에는 미리 수혜농민과 시설이용자 및 관련자에게 그 사실을 통지하여야 하며, 시장·군수 또는 시·도지사과 농림축산식품부장관에게 보고하여야 한다.
- 시설관리자는 시설의 안전관리에 필요하면 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 조치를 할 수 있다.
 - 농업생산기반시설이 설치된 구역의 출입을 제한하기 위한 시설물의 설치
 - 농업생산기반시설의 안전관리에 지장을 줄 수 있는 행위나 도구의 사용을 제한하기 위한 표지의 설치
- 시설관리자는 시설의 효용을 해칠 우려가 있는 상류 유역에 시설물 설치의 제한 또는 금지 등 적절한 조치를 하여 줄 것을 관계 행정기관의 장이나 지방자치단체의 장에게 요청할 수 있다.

4.2 시설 개보수

- 시설관리자는 기후변화 취약성평가 및 안전점검 또는 정밀안전진단을 실시한 결과 결함이 발견된 시설에 대해서는 손상된 부분을 원상복구하고 개보수 등의 조치를 하여야 하며, 시설의 개수·보수계획은 안전점검 또는 정밀안전진단결과를 토대로 수립하여야 한다.
- 시설의 개보수계획 수립을 위하여 조사설계를 하여야 할 경우에는 1종 시설, 2종 시설 및 3종 시설에 대하여는 안전점검 또는 정밀안전진단 후에 실시한다.
- 시설관리자가 시설의 개보수 사업을 시행하는 경우에는 농어촌정비법에 의한다.
- 개보수 사업은 피해규모와 시급성을 고려하여 다음 각 호의 순위에 따라 시행한다.
 - 급격한 기후변화 또는 그 외 시설물의 안전 또는 기능상실이 긴박하여 재해발생시 막대한 인명피해 또는 재산피해가 예상되는 시설
 - 급격한 기후변화로 인하여 시설물의 안전 또는 기능상실이 예상되며 재해발생시 막대한 인명피해 또는 재산피해가 예상되는 시설
 - 급격한 기후변화로 인하여 시설물의 기능저하 또는 상실로 과도한 유지관리비가 예상되는 시설

제5장 평가기준

5.1 농업생산기반시설 관리규정 안전등급

- 시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령 제11조의5(안전등급 기준)의 ‘별표 3의2’에 따라 아래와 같이 A,B,C,D,E의 5단계로 구분하여 평가등급을 부여하여야 한다.
- 시설물의 안전관리에 관한 특별법은 시설물 자체의 상태에 대한 안전등급으로 구분되어 지나 기후변화에 대응하기 위해 기후변화 취약성평가 결과를 반드시 반영하여 등급을 산정하여야 한다.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	<ul style="list-style-type: none"> • 문제점이 없는 최상의 상태 • 기후변화에 대한 취약성 낮음 등급
B (양호)	<ul style="list-style-type: none"> • 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 • 기후변화로 인한 취약성은 낮으나 개보수가 필요한 상태
C (보통)	<ul style="list-style-type: none"> • 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태 • 기후변화에 대한 대응이 미흡하여 보수보강 또는 기능개선이 필요한 상태
D (미흡)	<ul style="list-style-type: none"> • 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태 • 기후변화로 인하여 붕괴 등의 위험이 감지되어 긴급한 보수보강이 필요한 상태
E (불량)	<ul style="list-style-type: none"> • 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태 • D등급과 같이 기후변화로 인하여 붕괴 등의 위험이 감지되어 사용을 금지하고 긴급한 보수보강이 필요한 상태

5.2 사업시행지침 상의 수리시설 개보수 사업 중 우선순위

선정기준	우선순위
<ul style="list-style-type: none"> • 재해위험 등 개보수가 필요한 저수지, 양·배수장 등 수원공 시설 및 평야부 중요 구조물 • 재해시 하류지역 피해, 시설 노후정도 및 규모 등을 감안, 신규지구 선정 • 배수개선 등 타 사업계획이 수립되었거나, 시행하는 것이 효과가 높은 지역은 개보수 대상에서 제외 	<ul style="list-style-type: none"> • 정밀안전진단결과 D·E등급 시설 또는 집중호우시 홍수배제능력이 부족한 시설 • 자연재해대책법에 의한 재해위험지구로 개보수가 시급한 시설 • 정밀안전진단결과 C등급 이내 시설물 중 주요부분이 D인 시설 • 안전점검결과 재해취약시설로 지적된 시설 • 기타 재해위험 또는 시설노후 등 기능저하로 개보수가 시급한 시설 • 기후변화 취약성평가 결과 매우위험 등급을 획득한 상태

제3장

목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1 절 연구 목표

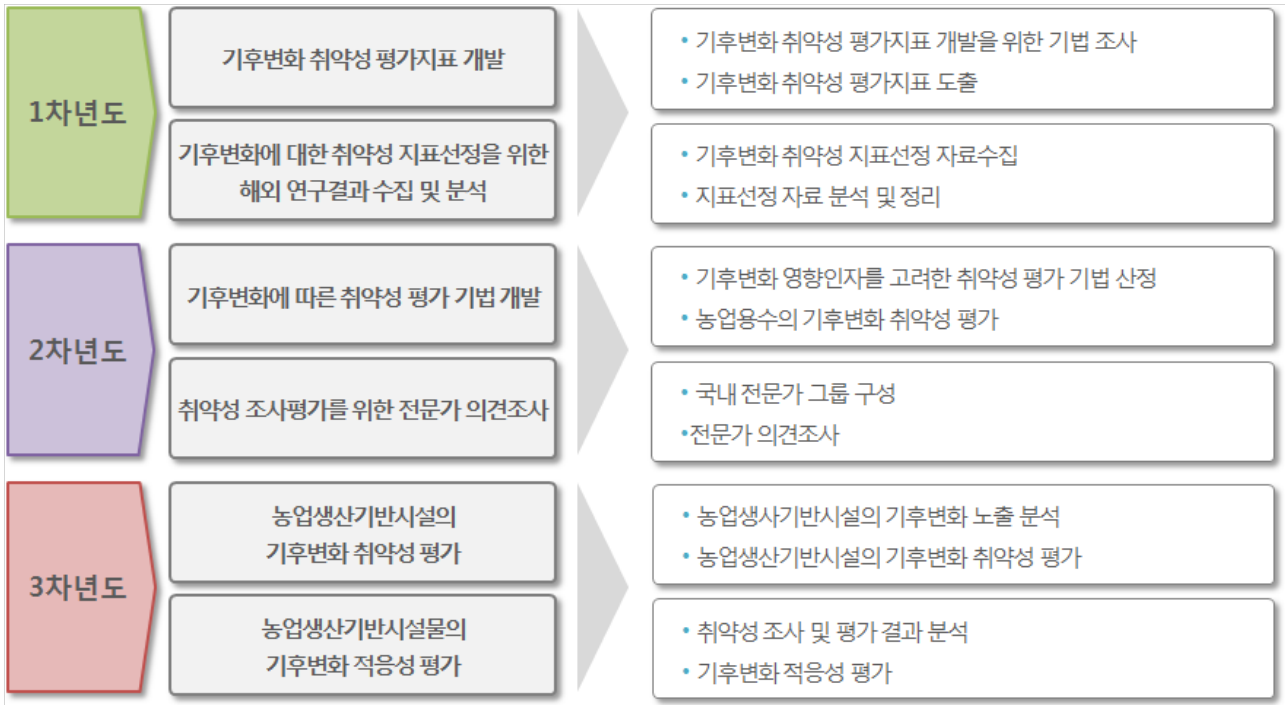
제 2 절 목표 달성도

제 3 절 목표 미달성 시 원인 및 차후대책

제 3 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1 절 연구 목표

농업·농촌분야 기후변화 규정 입법화로 농업용수·농업생산기반시설에 대한 실태조사 및 영향·취약성평가 시행이 5년 주기로 법제화됨에 따라 농업생산기반시설의 기후변화 안정성 평가 방법 도출과 함께 성능개선 및 유지관리기술의 개발을 연구개발 목표로 설정하였다. 이를 위해 1차년도에는 기후변화 취약성 평가지표 개발을 위해 기후변화에 취약성 지표선정과 관련된 국내외 연구결과를 수집·분석하였다. 2차년도에서는 취약성 평가지표를 이용한 평가기법에 대한 연구를 수행하였고, 3차년도에 농업생산기반시설을 대상으로 기후변화 노출 분석 및 취약성 평가를 수행하였다.



기후변화 취약성 평가는 기후변화의 부정적인 영향값을 낮추거나 제거할 수 있는 기술·정책의 유무로서 농업용수의 효율적 이용기술과 시설의 보수·보강 및 성능개선 기술을 개발하여 기후변화 취약성 평가에 이용하고자 연구참여 기관별로 연구업무를 구분하여 주관기관에서는 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 취약성 평가 연구를 중점 수행하였고, 협동기관에서는 농업용수 이용 효율성 증대 기술개발 및 농업생산기반시설물의 기후변화 대응 보수/보강 및 유지관리 기술의 확보를 위해 중점추진하였다.



제 2 절 목표 달성도

1. 연구과제 기술개발 개요

기후변화로 인한 농업생산기반시설 안정성평가 및 관리기술 개발을 목표로 ① 농업생산기반 수리시설물 재해대비 안정성 평가기술 개발, ② 농업생산기반시설의 이용 효율성 증대기술 개발 및 ③ 농업생산기반시설 보수·보강 및 유지관리기술 개발 과제를 수행하여 다음과 같이 대표적인 연구결과를 도출 하였다.

- (1) 농업용수, 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 평가지표 개발
 - 강우의 공간, 시간, 강도 이동에 따른 농업생산기반시설 변화요인
 - 농업용수·농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 지표설정
 - 기후변화 영향평가를 위한 실태조사 항목 수립
- (2) 농업용수·기반시설의 홍수 및 가뭄 대비 안정성 평가
 - 시설대상 기준년 대비 비교년 노출(유발인자) 조사와 민감도(영향인자) 분석
- (3) 농업생산기반시설을 활용한 농업용수 이용 효율성 증대 방안
 - 기후변화 시나리오에 의한 미래 농업용수량 산정
 - 농업용수 물질약을 위한 물관리 기술 및 정책 제시
- (4) 기후변화 대응을 위한 보수보강 재료 개발 및 매뉴얼 작성
 - 기후변화 취약 시설대상 보수재료 성능 평가 및 시험시공 실시
 - 기후변화 안정성 평가와 연계된 보수보강 매뉴얼 작성

2. 연구 성과

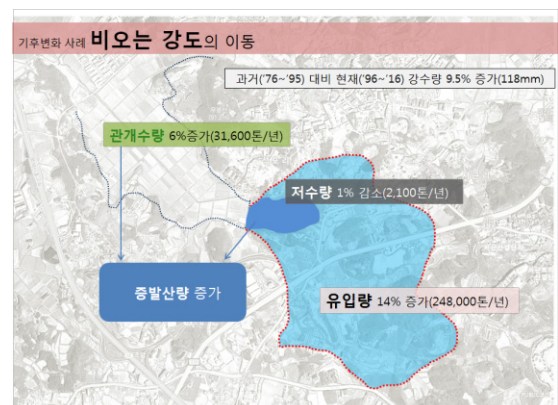
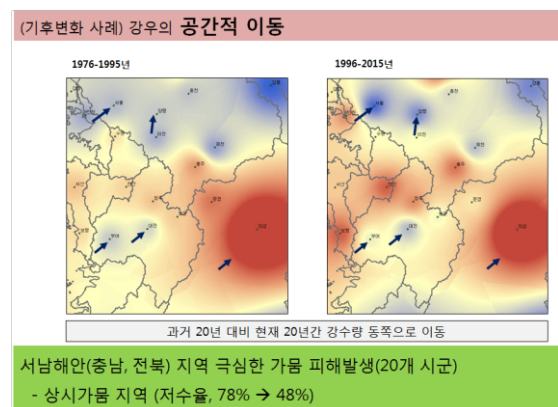
특허의 경우 당초 3건의 특허 등록을 목표로 하여 연구기간 내에 특허 3건을 모두 출원 및 등록하였다. 논문의 경우 당초 SCI 3편과 비SCI 2건을 목표로 하여 연구기간 내에 SCI 3건과 비SCI 4건 등 당초성과를 초과 달성하였다. 학술발표는 당초 정량적 성과목표로 6건 인데 연구 과제 실용화를 목표로 연구와 관련한 요소기술에 대해 국내 권위 있는 학회학술발표에 23건을 발표하였다. 기술거래는 당초 1건을 계획하였는데 연구종료 후 참여기업 1곳과 전용기술 실시 계약을 맺었다. 제품화는 당초 2건, 고용창출은 2건의 목표로 연구를 진행하였으며 연구결과 2건의 제품화와 2명의 고용창출에 성공하였다. 정책 활용은 당초 5건으로 목표를 수립하였으며 연구가 원활히 진행되어 2차년도에 기후변화 관련 수행기관에 2건의 정책활용과 3차년도에 4건의 정책활용 등 총 6건의 정책 활용 성과를 창출하였다. 홍보전시 실적은 당초 목표에 1건을 설정하였는데 2017년도 지리산에서 개최한 한국농어촌공사 사업계획 워크샵 등 6건의 연구과제 홍보를 도모하였다. 또한 인력양성 분야는 당초에 1건을 설정하였고 원활한 연구진행을 통해 연구과정 중에 석사 1명을 배출하였다.

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과		교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시		
																			SC I
최종 목표		3		1		2	5		2			3	2	6		1	5	1	
1차 년도	계 획								2					1					
	실 적								2				1	7					
2차 년도	계 획		1									1	1	2				2	
	실 적	3	1									3	2	9		1	2	3	
3차 년도	계 획		2		1		2					2	1	3		1	3	1	
	실 적		2		1	378	2						2	7			4	3	
합 계	계 획		3		1		2		2			3	2	6		1	5	1	
	실 적	3	3		1	378	2		2			3	5	23		1	6	6	
종료 1차년도 소 계							5												
합 계		3		1		2	5		2			3	2	6		1	5	1	

3. 세부 연구 결과

가. 농업용수, 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 평가지표 개발

- 강우의 공간, 시간, 강도 이동에 따른 농업생산기반시설 변화요인
 - 농업용수 공급기준이 강우로 결정되는데 기후변화 인한 강우패턴변화로 기존 농업생산기반시설의 적정규모 및 이용방법이 달라짐
- 기후변화가 농업용수·시설 안정성에 미치는 사례도출 및 조사
 - 강우의 시간적(계절적) 이동에 따른 농업용저수지 수질 영향
 - 강우의 공간적 이동에 따른 용수부족(충남 지역)
 - 강우의 강도의 이동에 따른 집중호우로 인한 재해지역 발생
 - 증발산량 증가에 따른 농업용수 공급량 증가



- 농업용수·농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성 지표설정
 - 「실태조사 - 영향·취약성 평가」가 적정하도록 대상 지표 설정
 - 농업용수 및 농업생산기반시설은 기후노출 인자중 강우변화(이동, 기간, 강도) 및 증발산량의 변화가 영향인자중 이수과 치수, 수질 및 시설에 모두 영향을 미침
 - 비 기상노출의 경우는 유역의 변화, 구역(농경지)의 변화 및 시설의 상태 및 통수능력의 변화가 영향인자인 이수, 치수, 수질 및 시설에 영향을 미침

- 기후노출 에 의한 변화뿐만 아니라 지형 및 시설의 상태변화에 따라서 영향범위가 넓어져
유발인자로 「기후, 유역, 구역, 시설」 항목을 설정함
- 기후노출(유발인자) 기후, 유역, 구역, 시설
 - (기후) 상류지역, 수혜구역 : 강우변화 (시간, 공간, 강도), 증발산량(일조시간, 기온, 습도, 바람)
 - (유역) 상류지역 : 유출변화(면적, 경사, 방향성, 형상, 토지이용), 유로특성(형상, 조도)
 - (구역) 수혜구역 : 경지면적변화(감소면적, 논→밭), 하천갈수위 변화(양수장)
 - (시설) 농업기반시설 : 시설상태변화(제방, 여수로, 취수시설), 통수능력변화(용수로·배수로)
- 유발인자(노출)에 의해 영향이 예상되는 항목을 구분하여 영향인자(민감도)를 설정함
 - 영향인자는 이수안전도(수요량변화, 공급량변화), 치수안전도(홍수량변화, 홍수배제능력
변화), 수질안전도(수질등급 변화) 및 시설안전도(효율성 변화, 내구성변화)로 구분

• (유발인자) 기후, 유역, 구역, 시설

(기후) 상류지역, 수혜구역

- 강우변화 (시간, 공간, 강도), 증발산량(일조시간, 기온, 습도, 바람)

(유역) 상류지역

- 유출변화(면적, 경사, 방향성, 형상, 토지이용), 유로특성(형상, 조도)

(구역) 수혜구역

- 경지면적변화(감소면적, 논 → 밭), 하천갈수위 변화(양수장)

(시설) 농업생산기반시설

- 시설상태변화(제방, 여수로, 취수시설), 통수능력변화(용수로 · 배수로)

• (영향인자) 이수, 치수, 수질, 시설

항목	세목		영향평가
이수	수요량 변화	공급량 변화	이수안전도
치수	홍수량 변화	홍수배제능력 변화	치수안전도
수질	수질등급 변화		수질안전도
시설	효율성 변화	내구성 변화	시설안전도

○ 기후변화 영향평가를 위한 실태조사 항목 수립

- 공간적 범위 : 전국 511개 농어촌용수구역 및 주요 농업기반시설물
- 시간적 범위 : 2017~2020년까지 조사하여 다른 분야와 연계
- 조사항목 : 이수·치수·수질 등 3개 분야 18개 항목

(기후) 저수지상류지역, 수혜구역(2)

- 강우변화 : 시간, 공간, 강도
- 증발산량 : 일조시간, 기온, 습도, 바람

(유역) 저수지상류지역(2)

- 유출변화 : 면적, 경사, 방향성, 형상, 토지이용
- 유로특성 : 형상, 조도

(구역) 수혜구역(3)

- 경지면적변화(논 감소면적, 2모작면적, 논 → 밭)
- 하천 갈수위 변화(양수장지점)
- 토양변화(논 → 밭 변화에 따른 토양변화)

(수질) 저수지 수면(1)

- 수온, TOC, TP

(시설)저수지 제방, 수혜구역내 시설(2)

- 저수지 수위변화 (제체안전성)
- 용수로, 배수로 통수능 변화

나. 농업용수·기반시설의 홍수 및 가뭄 대비 안정성 평가

○ 안정성 평가대상 : 농업생산기반시설

- 시설단위 기후변화 영향성 평가

※ 농업용수 : 농업용수구역(유역) 단위의 기후변화 영향·취약성 평가

- 농업용수 구역(유역)을 대상으로 하는 평가는 검증이 매우 어렵고, 고려인자가 많음
- 기후변화 영향평가의 구체적인 사항 도출이 목적

○ 평가방법 : 기준년도 대비 비교년도 비교 분석

- 기준년도 : 2000년 (토지이용현황도 작성, 국토교통부)

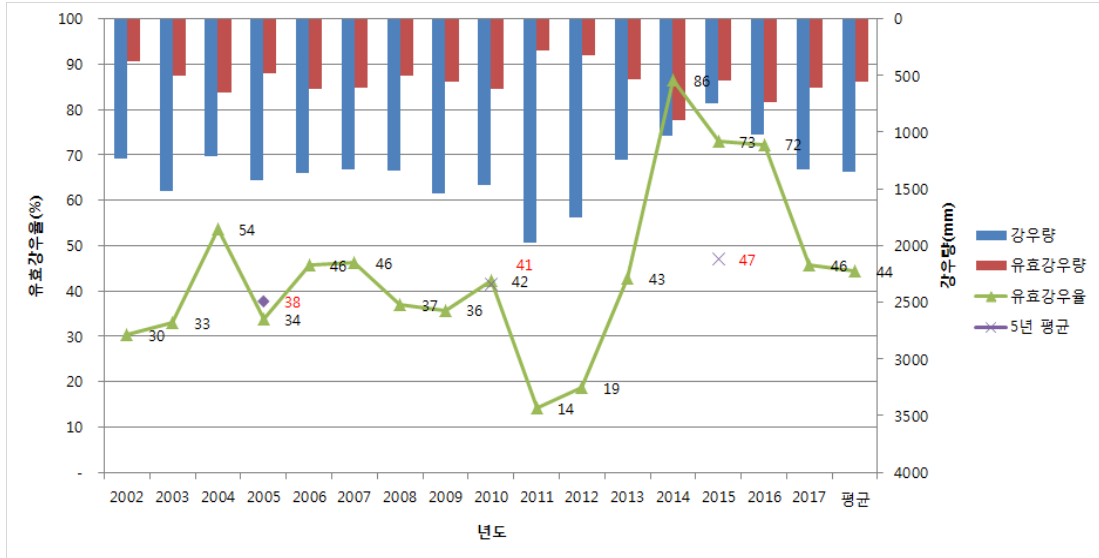
- 비교년도 : 2007년, 2014년 (토지이용현황도 작성, 환경부)

※ 준공년도를 기준년도로 설정시 자료구득(토지이용 등)이 어려움

○ 노출(유발인자) : 문헌조사, 현장조사

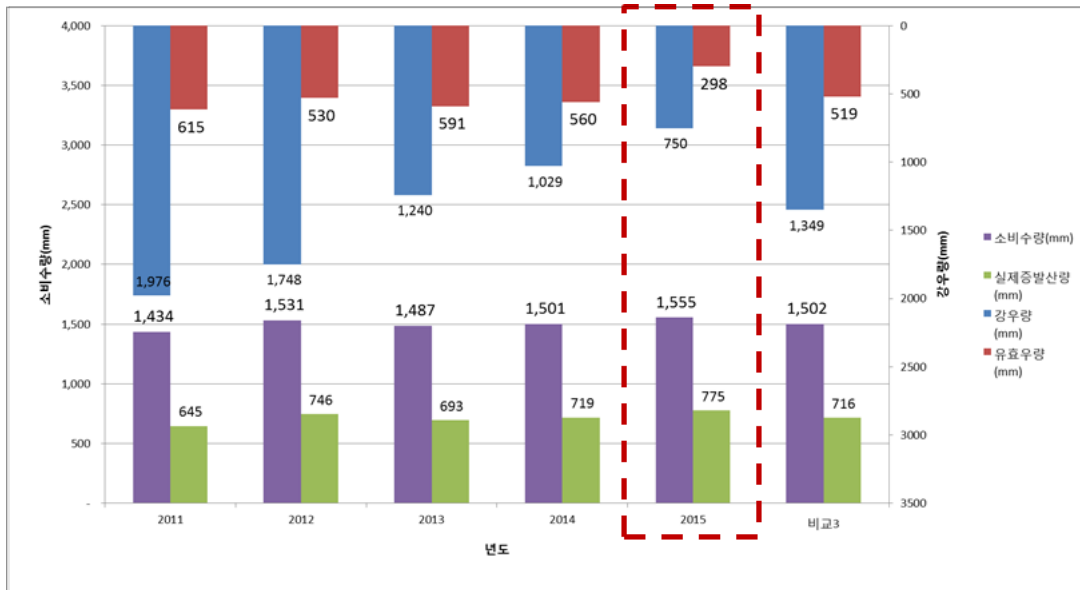
- 기상요인 : 기상청자료(ASOS, AWS)

- 비 기상요인 : 토지이용변화, 유입량, 내용적, 통수능력, 수해면적
- 민감도(영향인자) : 이수안전도
- 노출(유발인자)로 인한 민감도(영향인자) 분석
- 시범지구 : 벼들저수지
- 안정성 평가 결과
- 강우가 농업생산기반시설에 미치는 영향 분석(강우량 대비 저수율 비교)
- * 만수위가 아닐 때 내린 강우량 분석(저수지에 유효한 강우량)



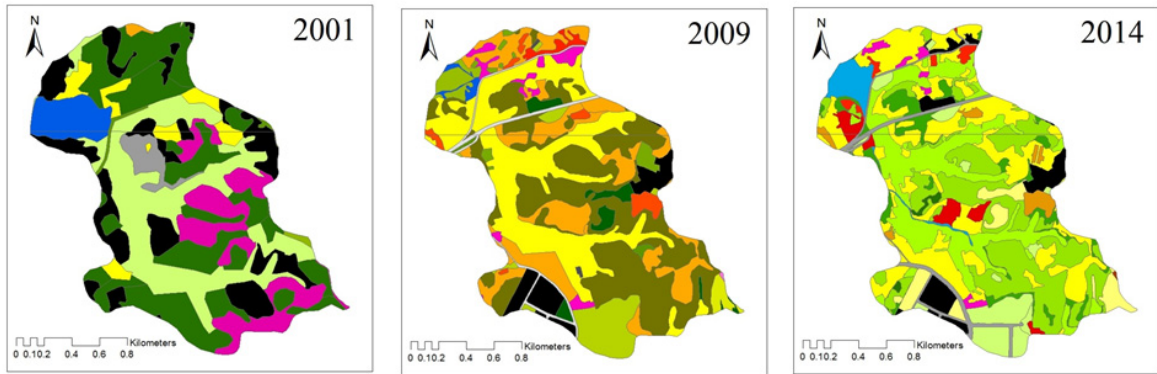
- 강우량-유효우량” 및 “강우량-소비수량” 관계 분석

* 유효우량 작아지고, 증발산량이 커지면서 인위적 공급수량 많아져 가뭄에 취약함



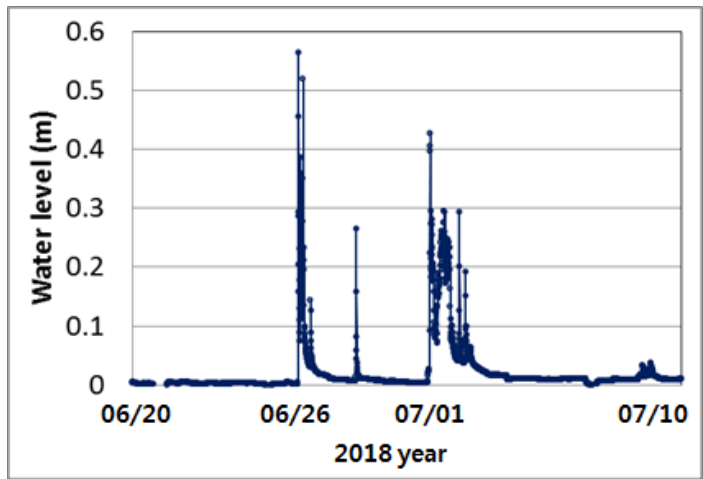
- 저수지 유입량에 영향을 주는 유역 토지이용 변동성 분석

* 임야, 논이 줄고 밭(대지)가 많아지면서 직접유출률이 커져 홍수에 취약해짐



- 저수지 유입량 변동성 분석을 위한 유입량 실측

* 저수지 유입량 실측을 통한 유입수문곡선 모델링 방법 도출



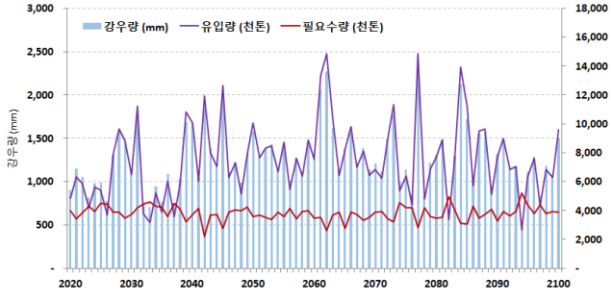
- 저수지 수심측량을 활용한 내용적 및 드론을 활용한 수혜면적 변동성 분석

* 내용적 측량 및 드론측량 결과

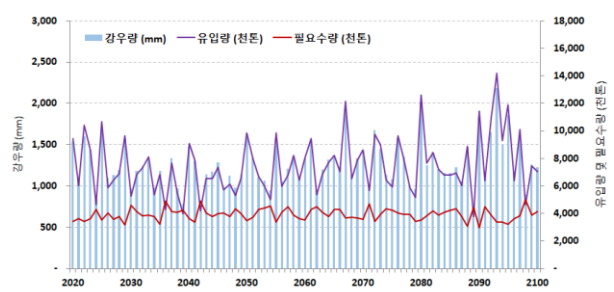


다. 농업생산기반시설을 활용한 농업용수 이용 효율성 증대 방안

- 기후변화 시나리오에 의한 미래 농업용수량 산정
 - RCP 4.5, 8.5 별 충북 무수저수지 유입량, 필요수량 산정

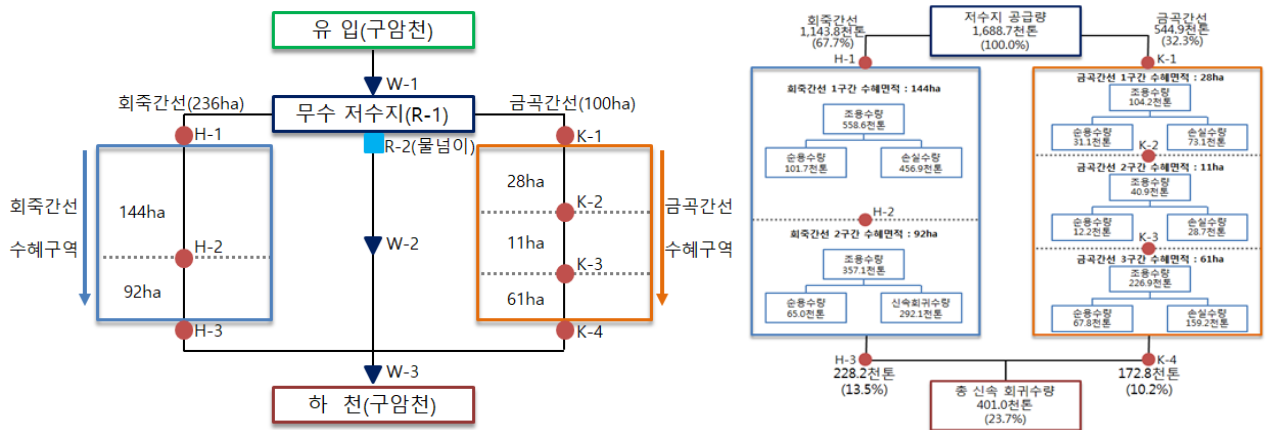


(a) RCP 4.5 시나리오 적용시



(b) RCP 8.5 시나리오 적용

- 농업용수 물절약이 가능한 S/W 측면의 물관리 기술 제시
 - 농업수자원 수문조사 방안(유입, 저수, 공급, 수로수위, 회귀수량 등)
 - 농업수자원 수문조사 결과를 바탕으로 한 물 절약 방안
- * 농업용수 도수과정에서의 손실 및 회귀수량 절감 방안



* 농업용수 계측 네트워크를 활용한 용수절감 가능량

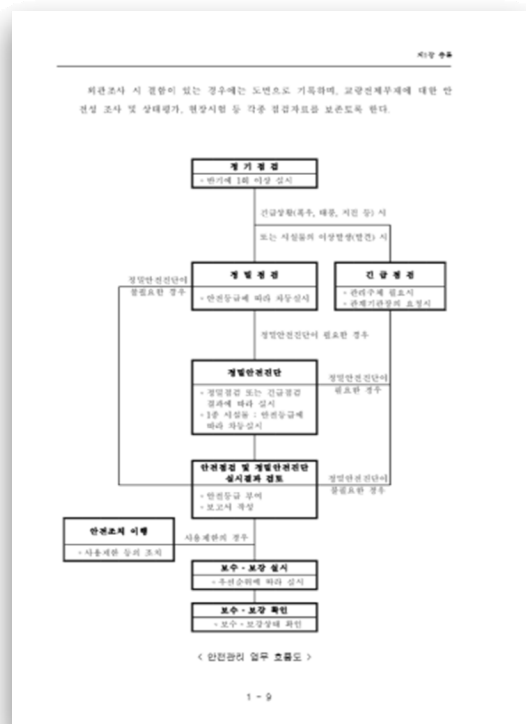
년 도	실제공급량(천 m³)	용수절감 가능량(천 m³)	용수절감율(%)
2015	7,288.7	1,704.5	23.4
2016	7,560.3	1,626.4	21.5
2017	7,466.9	1,741.5	23.3
평 균	7,438.7	1,690.8	22.7

라. 기후변화 대응을 위한 보수보강 재료 개발 및 매뉴얼 작성

- 농업생산기반시설 피해현황 분석('10~'16 풍수해 피해자료 분석) 을 통한 기후변화 재해 안정성 평가 실시
- 기후변화 취약 시설대상 보수재료 성능 평가 및 시험시공 실시
 - 보수재료 역학적 성능평가 및 내구성능 평가 수행 및 시험시공



- 기후변화 안정성 평가와 연계한 보수보강 매뉴얼
 - 기후변화 재해안정성평가 결과 및 시설 피해현황 등을 고려한 보수보강 매뉴얼 작성



제 3 절 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 해당 사항 없음

제4장

연구결과의 활용 계획 등

- 1.1 연구 배경 및 목적
- 1.2 연구 내용 및 추진방법
- 1.3 기대효과 및 활용방안

제 4 장 연구결과의 활용 계획 등

본 연구에서는 기후변화가 농업용수·농업생산기반시설에 미치는 영향을 분석하여 농업용수 구역내 이수, 치수, 수질 및 시설측면의 기후변화 영향인자 사례도출을 통한 기후변화 영향 평가에 대한 정량화 방안을 제시하였다. 이에 기후변화의 직접 유발인자(기후노출) 및 기후변화의 직접 영향인(민감도) 도출하여 이를 이수, 치수, 수질 및 시설물 지표로 설정하였다. 그리고 농업용수, 농업생산기반시설 이수, 치수 수질, 시설에 대한 실태조사방법을 도출하여 실제 시범지역을 대상으로 기후변화 유발인자를 조사하고 영향인자를 분석한 결과를 제시하였다. 본 연구 과정 중 “농업·농촌, 산림, 농업생산기반시설 기후변화 마스터플랜수립(2017)”에 연구결과가 활용되었고, “농업용수 및 농업생산기반시설 기후변화 영향평가 실태조사 사전자료(2017)”로 연구결과가 활용되었다. “기후변화 실태조사 사업”은 농림수산식품부 주관으로 한국농어촌공사에서 2018년부터 본격적으로 시행하고 있는 사업이다. 본 사업에서 지속적으로 본 연구 결과가 활용될 것으로 예상된다.

- 농업·농촌, 산림 및 농업생산기반시설 기후변화 마스터플랜 수립(2017)
(결과활용) 마스터플랜에 기후변화 평가지표(기후노출지표 및 민감도 지표) 제공
(활용부서) 한국환경정책평가연구원(KEI), 마스터플랜 수립기관
- 기후변화 실태조사 시범구축(2017)
(결과활용) 실태조사 시범구축을 위한 세부계획(실태조사 세부계획방법) 제공함
(활용부서) 서울대학교, 기후변화 실태조사 시범구축 기관

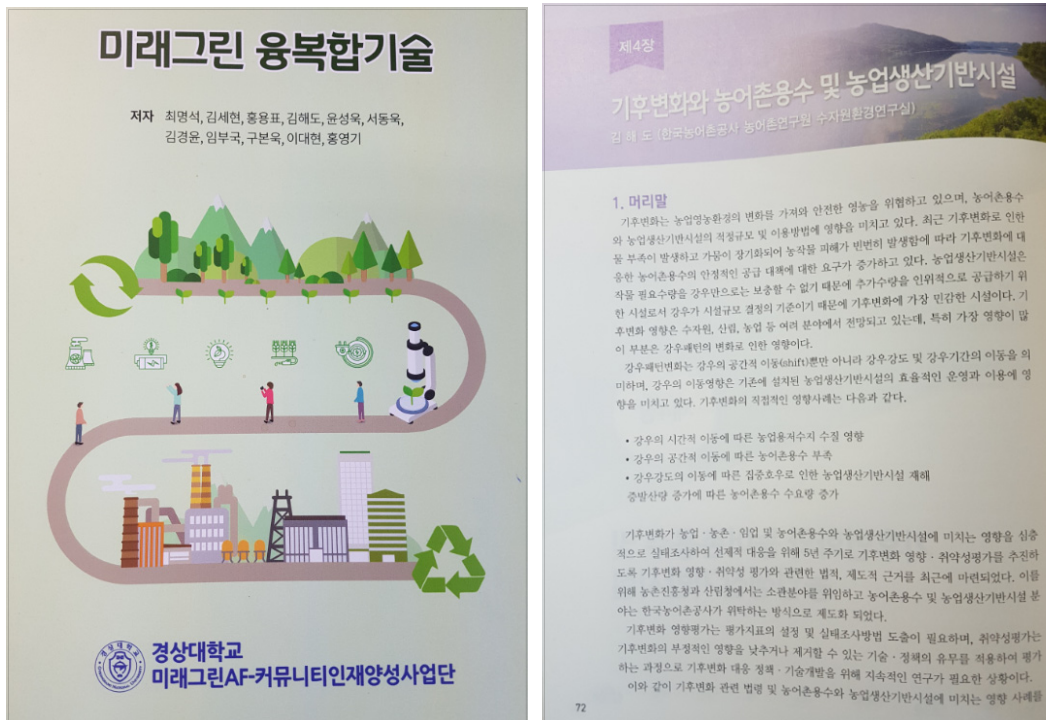
한편, 연구결과를 활용하여 2017년도 지자체 기후변화 적응대책 역량강화 상반기 정기교육(KEI 개최)에 ‘농업부문 기후변화 적응’을 주제로 지자체 기후변화 공무원을 대상으로 농업용수, 농업기반시설의 기후변화 영향분석 결과를 교육하였고, 국립경상대학교(미래그린 AF 커뮤니티 인재양성사업단 개최) 학생을 대상으로 ‘농업생산기반시설의 기후변화 대응’을 주제로 교육과 교재로 연구결과가 활용되었다. 또한 한국농어촌공사(인재개발원 개최) 직원을 대상으로 “기후변화 대비 위기대응 교육과정”에서도 연구결과를 활용하여 2회 교육하는 등 대 국민을 대상으로 농업용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 영향의 중요성을 홍보할 수 있는 교육에 본 연구결과가 활용될 것으로 판단된다.

- 2017년 지자체 기후변화 적응대책 역량강화 상반기 정기교육(2017.6.29)
- (주최/주관) 환경부 지구환경협력과 / KEI 국가기후변화적응센터

- '농업부문 기후변화 적응 (김해도 연구책임자)

○ 국립경상대학교 미래그린 AF세미나 특강 및 교육교제 출간 (2017.9.22.)

- (주최/주관) 미래그린 AF커뮤니티 인재양상사업단



취약성 평가는 기후변화 영향을 저감할 수 있는 기술 및 정책과 연관되어 있다. 주요 연구 성과는 기후변화 평가지표 설정 및 실태조사 방법을 도출하는 한편, 기후변화의 부정적인 영향 값을 낮추거나 제거할 수 있는 기술인 농업용수의 효율적 이용기술과 농업생산기반시설의 보수·보강 및 성능개선 기술을 개발하였다. 특히 농업용수 및 농업생산기반시설에 대한 홍수 및 가뭄 취약성평가 지표를 개발하여 기후변화에 대한 용수 및 시설물의 취약성 여부를 판단할 수 있게 되었으며, 이를 활용하여 안전진단시 추가하여 기후변화에 대한 시설물의 상태평가가 가능하도록 하였다. 또한 노후화된 시설물의 보수보강을 위해 보수재료(모르타르 및 콘크리트) 개발을 완료하였다. 개발된 기후변화 안정성평가를 활용하여 시설물의 안전점검시 기후변화 취약성항목 추가가 가능하며, 개발보수재료를 통해 시설물의 기후변화에 대한 대응능력을 향상시켜 시설물의 내구연한 증대 및 급격한 기후변화로 인한 재해에 대한 안정성을 확보할 수 있다. 더욱이 농업수리시설물 외 일반 콘크리트 시설물에도 안정성 평가를 실시하며, 개발 보수재료로 다양한 콘크리트 시설물에 활용이 가능하다

참고문헌

참고문헌

- 강민구, 박두호(2010), “통합지표를 이용한 국가 수자원 평가 기법 제안”, 대한토목학회지, 58(9), pp. 110-118.
- 강민구, 이광만(2006), “수자원의 지속가능성 평가 지수 개발 과 구성 요소의 중요도 평가”, 한국수자원학회논문집, 39(1), pp. 59-68.
- 강민구, 이광만, 김정곤(2005), “통합지수를 이용한 유역의 수자원 지속가능성 평가”, 한국수자원학회 2005년도 학술발표회 논문집, pp. 507-511.
- 강민구, 이광민, 고익환, 정찬용(2008), “요인분석을 이용한 수계 관리 맥락에서 유역관리 상태를 평가하기 위한 통합지수 개발”, 한국수자원학회 논문집, 41(3), pp. 277-291.
- 건설교통부(2001), 수자원장기종합계획(2001-2021), 건설교통부.
- 건설교통부(2007), 물이용특성평가체계 연구, 건설교통부.
- 건설부, 1990, 재해년보
- 건설부, 1989, 재해년보
- 건설부, 1988, 재해년보
- 건설부, 1987, 재해년보
- 건설부, 1986, 재해년보
- 건설부, 1985, 재해년보
- 고재경, 김희선(2009), 경기도 기후변화 취약성 평가 연구, 경기개발연구원.
- 국가건설기준센터. 2018. 건축구조기준
- 국가건설기준센터. 2016. 일반교량편. 3-26p.
- 국가기술표준원, 2017, KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타
- 국가도시방재연구센터, 2013. 도시 기후변화 재해취약성분석 매뉴얼(VER 3.0)
- 국가법령정보센터, 2017, 농업생산기반시설 관리규정
- 국립환경과학원, 2008. 지자체 기후변화 취약성 현황에 기초한 적응대책 수립 가이드라인 개발
- 국립환경과학원(2012), 지자체 기후변화 적응 세부시행계획 수립 지원을 위한 기후변화 부문별 취약성 지도 - 물 관리·해양/수산(양식)·재해(기반시설), 환경부·국립환경과학원.
- 국토교통과학기술진흥원, 건설신기술현황
(<https://www.kaia.re.kr/portal/newtec/nList.do?menuNo=200821>), 2018년 11월 10일 접속
- 국토교통부, 2017, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침
- 국토해양부(2008), 국가수자원 관리지표 설정 보고서, 한국수자원공사.
- 국토해양부(2009), 하천환경특성평가체계 연구, 국토해양부.
- 국토해양부(2010), 수자원 평가 세부지표 확대 연구, 국토해양부.
- 국토해양부(2011), 수자원장기종합계획(2011-2020), 국토해양부.

- 권정노, 김종구, 유선재(2000), “하계 금강하구 주변해역의 수질특성과 수질변동 요인분석”, 한국해양환경공학회지, 3(4), pp. 3-22.
- 기상청, 기상자원지도. 2018년 12월 초 접속
- 기상청(2011a), IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011, 기상청.
- 기상청(2011b), 기후변화 시나리오 이해 및 활용사례집, 기상청.
- 기상청(2012), 기후변화 시나리오를 알면 미래가 보인다, 기상청.
- 기후변화행동연구소, 2010. 지방자치단체의 사회기반시설 기후변화 적응 실태조사 및 적응 강화 방안 연구
- 김성재 외, 2012. 기후변화에 따른 농업생산기반 재해 취약성 평가를 위한 대리변수 선정, 한국관개배수논문집, p33~42
- 김연주 등(2014), 지속가능한 물이용을 위한 지표 개발 및 적용 방안 연구(I), 한국환경정책·평가원.
- 김영규, 정은성, 이길성, 김연주(2013), “홍수 취약성 평가를 위한 그룹 의사결정 접근법”, 한국수자원학회논문집, 46(2), pp. 99-109.
- 김정훈, 김영오(2003), “홍수피해잠재능 개선방안”, 대한토목학회 2003년 학술발표회 논문집, pp. 2373-2378.
- 김호석, 송영일, 김이진, 임영신(2007), 환경평가와 지속가능발전지표 연계운영 방안에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원.
- 농림수산식품부, 한국농어촌공사, 2013 풍수해.가뭄 극복 사례집
- 농림수산식품부, 한국농어촌공사, 2011 풍수해.가뭄 극복 사례집
- 농어촌 알리미 서비스. <https://www.alimi.or.kr/>. 2018년 12월 초 접속
- 농업기반공사, 2005, 농업기반 수리구조물의 노후손상현상과 보수보강공법의 체계화 연구
- 내무부, 중앙재해대책본부, 1996, 재해연보
- 내무부, 중앙재해대책본부, 1995, 재해년보
- 내무부, 중앙재해대책본부, 1994, 재해년보
- 내무부, 중앙재해대책본부, 1993, 재해년보
- 내무부, 중앙재해대책본부, 1992, 재해년보
- 내무부, 중앙재해대책본부, 1991, 재해년보
- 명수정, 김지영, 신상희, 안병옥, 2010, 기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구 II, 한국환경정책·평가연구원, 181page
- 문춘걸, 나성린(2002), “요인분석에 의거한 국가별 정보화지수의 측정”, 한국응용경제학회, 1(2), pp. 89-114.
- 박태선, 김광목, 이승복(2004), 자연형하천정비를 위한 하천환경특성 분석 연구, 국토연구원.
- 박태선, 김광목, 윤양수, 이승복(2005), 홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구, 국토연구원.

- 박형서, 김상욱, 이순자, 장은교, 김광구(2007), 공공사업 갈등지표 설정과 활용방안 연구- 공공사업 입지관련 갈등유발요인 분석 및 지표체계 구축-, 국토연구원.
- 박효선, 최계운(2014), “복잡한 해안지역에서의 RCP 기후변화 시나리오 적용성 평가”, 한국 위기관리논집, 10(2), pp. 215-230.
- 백승협, 최시중(2013), “이수평가지수 개발을 통한 유역별 물이용 특성 평가”, 한국습지학회지, 15(3), pp. 367-380.
- 백승협, 최시중, 홍승진, 김동필(2011), “홍수관련 지표 산정을 위한 표준화 및 가중치 비교 연구”, 한국습지학회지, 13(3), pp. 411-426.
- 백승협(2016), “유역별 이수 및 치수 취약성 지수의 개발”, 인천대학교 박사학위 논문, pp. 48-53.
- 서울시정개발연구원(2006), 서울시 지역안전도 평가모형 개발연구 : 홍수재해를 중심으로, 서울시정개발연구원.
- 소방방재청(2011), 도시홍수 위험성 평가 및 통합관리방안 개발, 소방방재청.
- 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2012, 재해연보
- 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2011, 재해연보
- 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2010, 재해연보
- 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2009, 재해연보
- 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2008, 재해연보
- 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2007, 재해연보
- 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2006, 재해연보
- 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2005, 재해연보
- 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2004, 재해연보
- 손민우, 성진영, 정은성, 전경수(2011), “기후변화를 고려한 홍수취약성지표의 개발”, 한국수자원학회논문집, 44(3), pp. 231-248.
- 송지준(2011), 논문작성에 필요한 SPSS/AMOS 통계분석방법, 21세기사.
- 심규철(2005), “국지성 집중호우 대책”, 위험관리지, 삼성방재연구소.
- 안재현, 강두선, 윤용남(2007), “치수단위구역 설정 및 홍수피해잠재능 산정의 개선 방안 연구”, 한국수자원학회지, 40(11), pp. 42-49.
- 양정석, 김일환(2013), “낙동강 유역의 기후변화를 고려한 경향성 분석과 Delphi 기법을 이용한 가뭄 취약성 지수 개발”, 대한토목학회논문집, 33(6), pp. 2245-2254.
- 원광재, 성장현, 정은성(2015), “SAWT 모형과 TOPSIS 기법을 이용한 우리나라 물이용 취약성 평가”, 한국수자원학회논문집, 48(8), pp. 647-657.
- 원광재, 정은성, 김연주, 홍일표(2014), “국가 별 수자원 취약성 지수의 산정”, 한국수자원학회 논문집, 47(2), pp. 183-194.
- 유가영, 김인에. 2008. 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안. 한국환경정책·평가연구원
- 윤하연(1999), 인천광역시 환경지표의 개발과 적용, 인천발전연구원.

- 이동률, 최시중(2005), “수자원관리 혁신을 위한 IWRM”, 한국수자원학회지, 38(5), pp. 66-72.
- 이승중, 김영오, 이재형, 이윤영(2006), “유역 치수안전도를 위한 홍수피해잠재능의 개선”, 한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집, pp. 226-230.
- 이영준(2002), 요인분석의 이해, 석정.
- 이정호, 전환돈, 박무중(2011), “하수관망 내 모니터링 지점 선정 기법”, 한국방재학회논문집, 1(3), pp. 229-235.
- 임광섭, 이동률, 최시중(2010), “홍수지표의 인과관계를 이용한 홍수위험지수 개발”, 대한토목학회논문집, 30(1), pp. 61-70.
- 임창수, 신재기(2002), “삼교호유역의 수질자료를 이용한 군집분석 및 요인분석”, 한국수자원학회 논문집, 35(2), pp. 149-159.
- 장대원(2010), 홍수방어대안 선정을 위한 위험관리지수의 개발 및 적용, 인하대학교 대학원 박사 논문, 인하대학교.
- 장옥재, 김영오(2009), “지역회귀분석을 이용한 홍수피해위험도 산정”, 한국방재학회논문집, 9(4), pp. 71-80.
- 정은성, 이길성(2007), “다기준 의사결정기법을 이용한 공간위험 순위산정”, 한국수자원학회 논문집, 40(12), pp. 969-983.
- 정은성, 이길성, 박경신(2008), “다기준 의사결정기법을 이용한 대안평가지수 개발”, 한국수자원학회논문집, 41(1), pp. 87-100.
- 정지웅 외, 2010. 수자원 기후변화 취약성 평가모형의 공간 및 유역규모별 적용 연구, 한국기후변화학회지, p.21~30
- 중앙재난안전대책본부, 소방방재청, 2016, 재해연보
- 중앙재난안전대책본부, 소방방재청, 2015, 재해연보
- 중앙재난안전대책본부, 소방방재청, 2014, 재해연보
- 중앙재난안전대책본부, 소방방재청, 2013, 재해연보
- 채미옥, 오용준(2003), “토지적성평가의 지표추출 및 지표별 가중치 분석방법 고찰”, 대한지리학회 논문집, 38(5), pp. 725-740.
- 최시중, 이동률(2005), “지속가능한 수자원 개발과 관리를 평가하기 위한 지표”, 한국수자원학회 논문집, 38(9), pp. 779-790.
- 최충익(2004), “패널모형에 의한 도시지역 수해결정요인 분석”, 대한국토·도시계획학회지, 139, pp. 49-67.
- 태백시(2009), 발원지 고장 태백시 가뭄백서, 태백시.
- 태풍연구센터, 태풍 발생이력 (1951 ~ 2015), <http://www.typhoon.or.kr>, 2018년 12월 초 접속
- 통계청(2011), 장래인구추계: 2010년~2060년, 보도자료, 통계청.
- 통계청(2014), 장래인구추계 시도편: 2013-2040, 보도자료, 통계청.
- 특허청, 특허정보넷 키프리스(<http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp#>), 2018년 11월 10일 접속

- 한국농어촌공사, 2018, 농어촌용수 및 농업생산기반시설 기후변화 영향·취약성평가를 위한 실태(시범)조사 및 관리방안 수립
- 한국농어촌공사, 2017, 농업생산기반정비통계연보
- 한국농어촌공사, 2017, 2016 자연재난 극복 사례집
- 한국농어촌공사, 2016, 2015 풍수해.가뭄 극복 사례집
- 한국농어촌공사, 2015, 2014 풍수해 및 가뭄극복 사례집
- 한국농어촌공사, 2014, 2013 풍수해.가뭄 극복 사례집
- 한국농어촌공사, 본사 홈페이지, 주요사업, 농어촌용수 및 수리시설 유지관리 (http://www.ekr.or.kr/Kkrpub/cms/index.krc?MENU_MST_ID=20443), 2017년. 8월 30일 접속
- 한국농어촌공사, 강원지역본부 홈페이지, 주요사업, 농업기반시설 유지관리, 농업용수 공급 면적 및 수리 시설물 현황 (<http://kangwon.ekr.or.kr/>), 2017년. 8월 30일 접속
- 한국농어촌공사, 경기지역본부 홈페이지, 주요사업, 농업기반시설 유지관리, 농업용수 공급 면적 및 수리 시설물 현황 (<http://gyeonggi.ekr.or.kr/>), 2017년. 8월 30일 접속
- 한국농어촌공사, 경남지역본부 홈페이지, 주요사업, 농업기반시설 유지관리, 농업용수 공급 면적 및 수리 시설물 현황 (<http://gyeongnam.ekr.or.kr/>), 2017년. 8월 30일 접속
- 한국농어촌공사, 경북지역본부 홈페이지, 주요사업, 농업기반시설 유지관리, 농업용수 공급 면적 및 수리 시설물 현황 (<http://gyeongbuk.ekr.or.kr/>), 2017년. 8월 30일 접속
- 한국농어촌공사, 전남지역본부 홈페이지, 주요사업, 농업기반시설 유지관리, 농업용수 공급 면적 및 수리 시설물 현황 (<http://jeonnam.ekr.or.kr/>), 2017년. 8월 30일 접속
- 한국농어촌공사, 전북지역본부 홈페이지, 주요사업, 농업기반시설 유지관리, 농업용수 공급 면적 및 수리 시설물 현황 (<http://jeonbuk.ekr.or.kr/>), 2017년. 8월 30일 접속
- 한국농어촌공사, 충남지역본부 홈페이지, 주요사업, 농업기반시설 유지관리, 농업용수 공급 면적 및 수리 시설물 현황 (<http://chungnam.ekr.or.kr/>), 2017년. 8월 30일 접속
- 한국농어촌공사, 충북지역본부 홈페이지, 주요사업, 농업기반시설 유지관리, 농업용수 공급 면적 및 수리 시설물 현황 (<http://chungbuk.ekr.or.kr/>), 2017년. 8월 30일 접속
- 한국수자원학회(2008), 국가수자원지표개발-지표의 개념 및 이용, 한국수자원학회.
- 한국시설안전공단, 2013, 소규모 댐·저수지 안전성평가 및 보수·보강방안 연구
- 한국시설안전공단, 2011, 시설물의 보수·보강 방법 및 수준결정에 관한 연구(콘크리트 교량, 터널)
- 한국시설안전공단, 2009, 보수·보강기술 인증기준에 관한 연구
- 한국환경정책·평가연구원(2008), 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안, 한국환경정책·평가연구원.
- 한국환경정책·평가연구원, 2009. 기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응 방안 연구 I II
- 한국환경정책·평가연구원, 2010. 지자체 기후변화 적응능력 평가를 위한 지표체계 개발 및 시범적용

- 한우석 외, 2012. 기후변화에 따른 홍수에 대한 지자체 기반시설 취약성 평가 방법 제시, 한국 기후변화학회지, p25~37
- 행정자치부, 중앙재해대책본부, 2003, 재해연보
- 행정자치부, 중앙재해대책본부, 2002, 재해연보
- 행정자치부, 중앙재해대책본부, 2001, 재해연보
- 행정자치부, 중앙재해대책본부, 2000, 재해연보
- 행정자치부, 중앙재해대책본부, 1999, 재해연보
- 행정자치부, 중앙재해대책본부, 1998, 재해연보
- 행정자치부, 중앙재해대책본부, 1997, 재해연보
- 홍일표, 정은성, 김영규, 전상묵(2011), 물안보 확보를 위한 전 지구적 전략과 사례 및 우리나라의 대응체계, 국제수문개발계획(IHP) 제7단계 제4차년도, 국토해양부/한국수자원학회.
- 환경부(2001), 국가 지속가능발전지표 개발 및 활용방안 연구, 환경부.
- 환경부, 2012. 기초지자체 적응 세부시행계획 수립 시범사업 지원을 위한 기후변화 취약성 연구
- 환경부, 2014. 한국 기후변화 평가보고서-기후변화 영향 및 적응-
- Aall, C. (2005), "The Concept of Indicators", Paper presented at a seminar within the EUproject Capacity building to enable the incorporation of urban sustainability parameters in spatial urban development and planning policy practices through the use of indicators (URBANGUARD), Nicosia. Cyprus. 8-9 August 2005.
- Alcamo, J., Petra D., Frank K. and Stefan S. (1997), Global Change and Global Scenarios of Water Use and Availability: An Application of Water GAP1.0. Kassel, Germany: Centre for Environmental Systems Research, University of Kassel.
- Alcamo, J., Thomas H. and Thomas R. (2000), World Water in 2025: Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century, Kassel World Water Series Report No. 2, Center for Environmental Systems Research, Germany: University of Kassel.
- Aldu, H. & D. Maciver, 2004. CITIES AND COMMUNITIES: THE CHANGING CLIMATE AND INCREASING VULNERABILITY OF INFRASTRUCTURE, Fenech, A., D. MacIver, H. Auld, R. Bing Rong and Y. Yin (Eds). Climate Change: Building the Adaptive Capacity. Meteorological Service of Canada, Environment Canada. Toronto, Ontario, Canada. 254~288p.
- Alex. B. McBratney, Inakwu O.A. Odeh. 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. Geoderma 77. 85-113
- Allan, T. (1997), Virtual water: a long-term solution for water short Middle Eastern economies, Water Issues Group, University of London.

- Baeck, S. H., Choi, S. J., Choi, G. W. and Lee, D. R. (2014), “A study of evaluating and forecasting watersheds using the flood vulnerability assessment index in Korea”, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 5(3), pp. 208–231.
- Balica S. F. and Wright, N. G. (2010), “Reducing the complexity of the Flood Vulnerability Index”, *Environmental Hazard*, 9(4), pp. 321–339.
- Bowen, R. E. and Riley, C. (2003), “Socio-economic indicators and integrated coastal management”, *Ocean & Coastal Management*, 46, pp. 299–312.
- Brooks, N., W.N. Adger, and P.M. Kelly. 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*. 15: 151–163.
- Calow, R. C., MacDonald, A. M., Nicol, A. L., Robins, N. S. and Kebede, S. (2002), *The struggle for water: drought, water security and rural livelihoods*, Groundwater Systems and Water Quality Programme Commissioned Report CR/02/226N. British Geological Survey Technical Report. Wallingford, UK.
- Connor R. F. and Hiroki K. (2005), “Development of a method for assessing flood vulnerability”, *Water Science & Technology*, 51(5), pp. 61–67.
- Esty, D. C., Srebotnjak, T., Goodall, M., Andonov, B., Campbell, K., Gregg, K., Kim, C., Li, Q., Martinez, M., Townsend, J., Zhang, B., Levy, M., Sherbinin, A., Anderson, B., Saltelli, A., Saisana, M., Nardo, M. and Dahl, A. (2005), *2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship*, Yale University and Columbia University.
- Moss, R. H., E. L., Brenkert, A. L., Malone, 2001. *Vulnerability to climate change : a quantitative approach*. Prepared for the US Department of Energy.
- European Environment Agency (1999), *Environmental indicators: Typology and overview*, EEA, Copenhagen, Denmark.
- European Environment Agency (2014), *Digest of EEA indicators 2014*, Publications Office of the European Union.
- Falkenmark, M. Lundqvist, J. and Widstrand, C. (1989), “Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development”, *Natural Resources Forum*, 13(4), pp. 258–267.
- Fenech, A., D. MacIver, H. Auld, R. Bing Rong & Y. Yin, 2004. *CLIMATE CHANGE: BUILDING THE ADAPTIVE CAPACITY*, Fenech, A., D. MacIver, H. Auld, R. Bing Rong and Y. Yin (Eds). *Climate Change: Building the Adaptive Capacity*. Meteorological Service of Canada, Environment Canada. Toronto, Ontario, Canada. 3~18p.

- Foxon, T. J., Mcilkenney, G., Gilmour, D., Oltean-Dumbrava, C., Souter, N., Ashley, R., Butler, D., Pearson, P., Jowitt, P. and Moir, J. (2002), “Sustainability criteria for decision support in the UK water industry”, *Journal of Environmental Planning and Management*, 45(2), pp. 285-301.
- Gallopin, G. C. and Rijsberman, F. R. (2000), “Three Global Water Scenarios”, *International Journal of Water*, 1(1), pp. 16-40.
- Gbetibouo G.A and Ringler. C. 2009. “Mapping South African Farming Sector Vulnerability to Climate Change and Variability” A Subnational Assessment. International food policy research institute, EPTD Discussion Paper 00885.
- Gleick, P. H. (1996), “Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs”, *Water International (IWRA)*, 21, pp. 83-92.
- Gleick, P. (2000), *The World’s Water: The Biennial Report on Freshwater Resources 2000-2001*, Island Press. Washington DC.
- Hoff, H. (2009), “Global water resources and their management”, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2), pp. 141-147.
- International Institute for Sustainable Development, 2007. *Indicators of Adaptive Capacity to Climate Change for Agriculture in the Prairie Region of Canada*
- IPCC, 1996, Revision of the “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC Expert Group Scoping Meeting Report, Geneva, Switzerland
- IPCC, 2014. 기후변화2014 종합보고서(정책결정자를 위한 요약보고서)
- Iyengar, N.S. and P. Sudarshan, 1982, A Method of Classifying Regions from Multivariate Data, *Economic and Political Weekly*, Vol. 17, No. 51 (Dec. 18, 1982), pp. 2047-2052
- Jesinghaus, J. (1999), “Beyond delusion: Science and Policy Dialogue on Designing Effective Indicators of Sustainable Development, Case study: The European environmental pressure indices project”, Paper Prepared for the Workshop,
- Kailan Shang & Zakir Hossen. 2013. *Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making*. CAS/CIA/SOA Joint Risk Management Section.
- Mallari, Alyosha Ezra C. 2016. *Climate Change Vulnerability Assessment in the Agriculture Sector: Typhoon Santi Experience*, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 216, p.440~451
- Mario Andres Fernandez1, Santiago J. Bucaram & Willington Renteria. 2015. *Assessing local vulnerability to climate change in Ecuador*, SpringerPlus (2015) 4:738DOI 10.1186/s40064-015-1536-z
- Moss, R.H., A.L. Brenkert and E.L. Malone, 2001, *Vulnerability to climate change - A Quantitative approach*, PNNL-SA-33642, U.S. Department of Energy

- Patnaik & Narayanan, 2005, Vulnerability and Climate Change: An Analysis of the Eastern Coastal Districts of India, Human Security and Climate Change: An International Workshop, Asker
- Ponce-Cruz, P. & F. D. Ramírez-Figueroa. 2009. Intelligent Control Systems with LabVIEW. Springer. 9-46
- Singh, N.P., C. Bantilan, K. Byjesh, S. Nedumaran, 2015, Climate Change Challenges and Adaptations at Farm-level Case Studies from Asia and Africa, 244 Pages, CABI Climate Change Series.
- Steemers K. 2003. Towards a Research Agenda for Adapting to Climate Change. Building Research & Information, 31 (3-4), 291-301
- Swiss Re. 1997. Tropical Cyclones. 201_9678, Swiss Reinsurance Company, Zurich, Switzerland
- Suresh Kumar, A. Raizada, H. Biswas, S. Srinivas & B. Mondal, 2016, Assessment of vulnerability to climate change: A case study of Karnataka, Indian Journal of Soil Conservation, Vol. 44, No. 3, pp 314-320
- U.S. Agency for International Development, 2014. CLIMATE CHANGE AND AGRICULTURAL INFRASTRUCTURE IN UGANDA
- Webhe, 2005, Social Methods for Assessing Agricultural Producers' Vulnerability to Climate Variability and Change based on the Notion of Sustainability, AIACC Working Paper No.19 September 2005
- Werro, N., 2008. Fuzzy Classification of Online Customers. the University of Fribourg neither. a doctoral dissertation 9-32

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.