

318060-03

순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 적용 연구
선제적 가뭄대응을 위한 ICT, 빅데이터 기반

2021

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호(○)
첨단생산기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003542-01

선제적 가뭄대응을 위한 ICT, 빅데이터 기반
순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 적용 연구

2021.06.03.

주관연구기관 / 한경대학교 산학협력단
협동연구기관 / 충남대학교 산학협력단
협동연구기관 / (주) 수리이엔씨
협동연구기관 / 한국농어촌공사

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

제출문

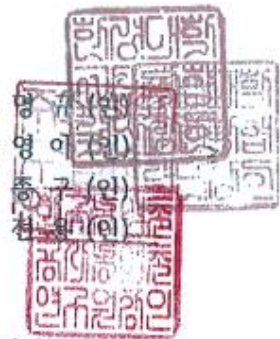
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 "선제적 가뭄대응을 위한 ICT, 빅데이터 기반 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 적용 연구"(개발기간 : 2018.07.31 ~ 2020.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021.06.03

주관연구기관명 : 한경대학교 산학협력단 (대표자) 정영규(인)
협동연구기관명 : 충남대학교 산학협력단 (대표자) 손영이(인)
협동연구기관명 : ㈜수리이앤씨 (대표자) 고보성, 정종구(인)
협동연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 (대표자) 유천환(인)



주관연구책임자 : 김 한 중 (한경대학교 산학협력단)
협동연구책임자 : 안 현 옥 (충남대학교 산학협력단)
협동기관책임자 : 고 보 성 ((주) 수리이앤씨)
협동기관책임자 : 이 광 야 (한국농어촌공사 농어촌연구원)

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

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	318060-03	해 당 단 계 연 구 기 간	3	단 계 구 분	3/3
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	선제적 가뭄대응을 위한 ICT, 빅데이터 기반 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 적용 연구			
연구책임자	김한중	해당 단계 참여연구원 수	총: 32명 내부: 32명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 400,000천원 민간: 134,000천원 계: 534,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 97명 내부: 97명 외부: 0명	총 연구개발비	정부: 1,000,000천원 민간: 335,000천원 계: 1,335,000천원
연구기관명 및 소속부서명	주관연구기관 : 한경대학교 산학협력단 협동연구기관 : 충남대학교 산학협력단 협동연구기관 : (주) 수리이엔씨 협동연구기관 : 한국농어촌공사			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 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	
								생명정 보	생물자 원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

- 기상이변에 따른 가뭄의 상습화와 농촌용수 수요증가에 대비할 수 있는 가뭄대책의 수립을 통한 용수부족 문제에 대한 근본적인 해소의 필요성 증가
- 이를 위해 기존 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 4차 산업기술을 적용한 순환형 농업용수 관리 시스템을 개발하였고 현장 실증화를 수행
- 가뭄이 극심했던 충남 대서, 풍전저수지와 경기 마둔저수지를 현장 실증화 사례지구로 선정한 후 현황분석과 수리네트워크분석을 수행하여 순환형 농업용수 관리 시스템을 개발
- 사례지구의 강우빈도, 강수시나리오를 구축하여 순환형 농업용수 공급 가능량을 예측하였고, 관개패턴에 따른 들녘단위 물부족 구역판단과 물부족 해소를 위한 대응방안의 선제적 수립 가능하도록 시스템을 구축
- 일 2000톤의 농업용수공급이 가능한 ICT기반 이동형 양수장치를 개발하여 가뭄 발생시 일 3ha의 들녘에 농업용수공급이 가능한 장치를 개발

보고서 면수

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>○ 기존 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 4차산업 기술을 적용한 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 현장 적용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 구축 및 기초분석 - 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 적용 및 검증 - 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축 및 기초분석 - 순환형 농업용수 네트워크 모형 적용 및 성능개선 - 들녘단위 농업용수 최적 운영방안 제시 - 농업용수 모니터링 센서 및 장치 개발 - 합리적 물공급 판단을 위한 의사결정지원 기술 및 시스템 개발 - IoT, ICT, 빅데이터를 이용한 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 - 테스트베드를 통한 현장실증 및 최적 현장 적용 기술 개발 - 무방류 순환형 관개 시스템의 규격화 및 표준화 방안 제시 - 가뭄대응 최적 용수공급 도출을 위한 현황 모니터링 및 분석 				
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축 ○ 현장 모니터링을 위한 계측기 설치 및 모니터링 시스템 개발 ○ 모니터링 자료를 활용한 원격제어 시스템 구축 ○ 순환형 농업용수 관리를 위한 이동식 양수장치 개발 ○ 순환형 농업용수 공급 가능량 관리 기준 및 운영방안 제시 ○ 기계학습을 통한 농업용수 공급 모형 구축 ○ 순환형 농업용수 관리 의사결정지원시스템 개발 ○ 통합된 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 ○ 정량적 성과 : 특허출원 4건, 특허등록 3건, SCI 4편, 국내등재지 4편, 학술발표 19건, 인력양성 2인, 기술이전 1건, 정책건의 1건, 언론홍보 7건, 제품화 2건, 고용창출 1인 				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업용 저수지 수위, 기상정보, 보조 수원으로 사용될 수 있는 하천, 관정, 저류지의 계측 및 분석결과를 통해서 물공급 관리자는 현재의 상황을 정확하게 인지하고 물공급 관리기준에 따라 언제 어디서 얼마만큼 공급할 것인지를 판단할 수 있는 체계를 제공하여 가뭄에 대한 사전대응 가능 ○ 농업용 저수지와 같은 주수원공의 공급만으로 부족이 예상될 경우 최적 관리기준에 의거하여 공급을 위해 확보수량을 분석하는 기술로 산출된 수량을 용수가 필요한 곳에 효과적으로 공급할 수 있는 자치의 개발 등으로 농업가뭄 대응능력의 제고 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	4차산업	가뭄예방	농업용수	순환효율	의사결정
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>					

〈 목 차 〉

제 1장. 연구개발과제의 개요	1
제 1절. 연구개발의 필요성	1
1. 연구개발의 개요	1
2. 주요 연구개발 내용	6
3. 연구개발 대상의 국내·외 현황	15
제 2절. 연구개발의 목표 및 내용	25
1. 연구개발의 목표 및 내용	25
2. 연차별 개발목표 및 내용	25
3. 평가의 착안점 및 기준	36
제 3절. 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계	38
1. 연구개발의 추진전략·방법	38
2. 연구개발 추진체계	41
3. 연구 추진 일정	42
제 4절. 연구개발 결과의 활용방안 및 기대효과	45
1. 연구개발 결과의 활용방안	45
2. 기대성과 및 파급효과	45
제 2장. 연구수행 내용 및 결과	47
제 1절. 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 구축 및 기초조사	47
1. 농업용수 공급 및 관리 현황조사	47
2. 관개지구특성, 용수특성, 양수특성 등을 고려한 테스트베드 선정	53

3. 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형 구축 및 기초 분석	79
4. 순환형 농업용수 공급 가능량 분석	111
제 2절. 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축	117
1. 들녘단위 용수배분 기준 및 기존 사례 조사	117
2. 순환형 농업용수 네트워크 모형 기초 이론 구축	129
3. 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축	154
제 3절. 순환형 농업용수 관리시스템 구성요소 개발방안 도출 및 테스트베드 모니터링	174
1. 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 활용현황 조사	174
2. IoT, ICT, 빅데이터를 이용한 농업용수 관리시스템 현황 분석	192
3. 테스트베드 현장실증을 위한 필요 센서 및 장치 구성방안 도출	212
4. 테스트베드 현장 모니터링을 위한 계측기 설치 및 모니터링 시스템 개발	219
5. 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 목록 분석	238
제 4절. 가뭄대응 양수저류 추진 현황 조사 및 분석	248
1. 국내외 지역별 양수저류 추진 현황 자료 수집 및 조사	248
2. 지역별 양수저류 추진 지구 대상 가뭄상황 및 양수시기 조사 분석	280
제 5절. 순환형 농업용수 공급가능량 산정모형 적용 및 검증	308
1. 순환형 농업용수 공급가능량 산정 의사결정요소 분석	308
2. 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 테스트베드 적용 및 검증	312
3. 최적 농업용수 배분에 따른 경제효과 분석	368
제 6절. 들녘단위 최적 용수배분 기준 도출	378
1. 들녘단위 모의 시나리오 및 자료구축	378
2. 농업용수 네트워크 모형 앙상블 모의분석	419
3. 시범지역 관측 데이터 비교 및 검증	439

제 7절. 순환형 농업용수 관리 시스템 구성요소 개발 및 테스트베드 적용성 검증	442
1. 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 비용 분석	442
2. 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치의 적용	459
3. 순환형 농업용수 분석 시스템 개발	465
4. 모니터링 자료를 활용한 원격제어 시스템 구축	524
5. 순환형 농업용수 관리를 위한 이동식 양수장치 개발	527
제 8절. 농업용수 관리 현황 조사 및 분석	537
1. 전국 농업용수 관리 현황 조사 및 분석	537
2. 평시 및 가뭄시 들녘별 용수공급 관행 조사 및 분석	570
3. 지역별 및 시기별 필요용수량 및 용수공급 비교 및 분석	601
4. 양수저류 대상지구 우선순위 선정을 위한 요소 비교 분석	617
제 9절. 순환형 농업용수 공급가능량 관리기준 및 운영방안 제시	627
1. 순환형 농업용수 공급가능량 관리기준 및 운영방안 제시	627
2. 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 기술개발	650
3. 순환형 농업용수 관리시스템의 표준화 방안	653
제 10절. 효율적인 양수저류 방법 제시 및 가뭄대응기술 경제성 평가	667
1. 효율적인 양수저류 방법 제시	667
2. 가뭄대응기술 경제성 평가	698
제 11절. 순환형 농업용수 관리시스템 개발	703
1. 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치의 유지관리	703
2. 순환형 농업용수 관리 분석 시스템 개발	704
3. 순환형 농업용수 관리를 위한 이동식 양수장치 개발	725
4. 이동식 양수장치 시스템의 운영	731

제 12절. 효율적 농업용수 및 양수저류 관리 기준 분석	735
1. 최적 용수공급 관리기준 마련을 위한 자료수집 및 분석여부	735
2. 효율적 농업용수 관리를 위한 관련 자료수집 및 분석여부	757
3. 효율적 양수저류 관리를 위한 관련 기준 조사 및 분석 여부	785
제 13절. 요약 및 결론	807
제 3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	814
1. 목표	814
2. 목표 달성여부	814
3. 차후대책	816
제 4장. 연구결과의 활용 계획	816
붙임. 참고문헌	817
붙임. 부록	822
<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서	

<표 차례>

[표 1-1-1] 최근 농업가뭄 피해 현황	3
[표 1-1-2] 한국농어촌공사 출범 전후 농업수리시설 관리 상황	16
[표 1-1-3] 히라타키 순환관개지구 용수관리특성	19
[표 1-1-4] 한국과 일본의 농업용수 관리	22
[표 1-2-1] 테스트베드 선정 절차	26
[표 2-1-1] 사용 용도별 수자원 이용현황	47
[표 2-1-2] 전국 시도별 농업용수 공급시설 현황	51
[표 2-1-3] 준공년도별 수원공 현황	53
[표 2-1-4] 준공년도별 수혜면적	55
[표 2-1-5] 유효저수량 규모별 저수지 개소수	56
[표 2-1-6] 유효저수량 규모별 지역별 저수지 현황	57
[표 2-1-7] 수혜면적 규모별 저수지 개소수	58
[표 2-1-8] 수혜면적 규모별 지역별 저수지 현황	60
[표 2-1-9] 농업용 저수지 유형 분류	61
[표 2-1-10] 유형화 분류에 따른 지역별 저수지 분포	62
[표 2-1-11] 1차 테스트베드 선정 결과	73
[표 2-1-12] 테스트베드 대상지구의 일반현황	75
[표 2-1-13] 시범지구 유역면적 및 토지피복비율	85
[표 2-1-14] 마둔권역, 대사권역, 풍전권역 양수저류 공급가능량 분석결과	116
[표 2-2-1] 한국농어촌공사 출범 전후 농업수리시설 관리 상황	117
[표 2-2-2] 국가·지방하천 우수사용 허가현황	119
[표 2-2-3] 일본의 경지면적 변화	120
[표 2-2-4] 히라타키 순환관개지구 용수사용특성	126
[표 2-2-5] SWMM 모형의 특징	131
[표 2-2-6] 네트워크 모형의 노드에 따른 세부내용	150
[표 2-2-7] 네트워크 모형의 영역 개념	150

[표 2-2-8] 순환형 농업용수 네트워크 모형 내 지형 요소 모델링	151
[표 2-3-1] 농업수리시설물 자동수위측정기 설치 및 운영 지침	220
[표 2-3-2] 마둔 지구 계측장치 현황	224
[표 2-3-3] 마둔 저수지 저수율 조회자료	236
[표 2-3-4] 마둔 저수지 일별 공급량 및 누적 공급량 조회자료	236
[표 2-3-5] 수위측정 방식별 특성 비교	239
[표 2-3-6] 관수로 유량계의 종류별 특성	240
[표 2-3-7] 배수펌프 선정기준 및 장단점	241
[표 2-3-8] 수중축류펌프와 입축축류펌프 장·단점 비교	243
[표 2-3-9] 관종별 특성 비교	244
[표 2-3-10] 양수장 계측 및 감시제어 항목	245
[표 2-4-1] 최근 2개년(2017~2018년) 지역본부별 양수저류 추진실적	254
[표 2-4-2] 지역본부별 양수저류 추진 대상저수지 및 수혜면적 비교	255
[표 2-4-3] 2017년과 2018년 지역본부별 양수저류 추진실적 비교	257
[표 2-4-4] 2017년 지역본부별 양수저류 추진실적	258
[표 2-4-5] 2017년 지사별 양수저류 추진실적	259
[표 2-4-6] 2018년 지역본부별 양수저류 추진실적	269
[표 2-4-7] 2018년 지사별 양수저류 추진실적	270
[표 2-4-8] 전국 및 시도별 강수량 현황	280
[표 2-4-9] 2017년 논 물 마름 발생 면적	283
[표 2-4-10] 2017년 밭 시듦 발생 면적	283
[표 2-4-11] 2017년 시기별 지역본부별 양류저류 추진실적	284
[표 2-4-12] 전국 및 시도별 강수량 현황	291
[표 2-4-13] 전국 및 시도별 저수율 현황	291
[표 2-4-14] 전국 및 시도별 강수량 현황	293
[표 2-4-15] 전국 및 시도별 저수율 현황	293
[표 2-4-16] 2018년 논 물 마름 발생면적	296
[표 2-4-17] 2018년 밭 시듦 발생면적	296

[표 2-4-18] 태풍 솔릭 전후 저수율 및 강수량 비교	297
[표 2-4-19] 2018년 시기별 지역본부별 양류저류 추진실적	298
[표 2-5-1] 순환형 농업용수 관리 모의를 위한 사용자 입력자료	311
[표 2-5-2] 대상지역 기상자료 관측소 현황	312
[표 2-5-3] 대상지 유역 및 수혜구역 제원	313
[표 2-5-4] 마둔저수지 비관개기 연도별 저수변화량	320
[표 2-5-5] 마둔저수지 관개기 연도별 저수변화량	320
[표 2-5-6] 마둔저수지 저수위하강기 연도별 저수변화량	321
[표 2-5-7] 강우-유입량 회귀식 계수	323
[표 2-5-8] 회귀식과 유출모형 유입량의 상관분석 결과	326
[표 2-5-9] 저수지별 유출량 상관분석 결과값	328
[표 2-5-10] 대상지 양수시설 현황	329
[표 2-5-11] 비관개기간 저수지 유입량 분석	334
[표 2-5-12] 마둔저수지 양수량에 따른 저수량 회복 소요일수	335
[표 2-5-13] 대사저수지 양수량에 따른 저수량 회복 소요일수	336
[표 2-5-14] 풍전저수지 양수량에 따른 저수량 회복 소요일수	337
[표 2-5-15] 저수지별 최대 공급유량 및 공급일수	343
[표 2-5-16] 관개기 순환형 농업용수 관리 모의분석 설정변수	343
[표 2-5-17] 농업용수 외부효과 분류	371
[표 2-5-18] 농업생산기반정비사업 중 저수지 및 양수장 축조비용 비교	373
[표 2-5-19] 마둔저수지 관행적 관개에 따른 용수사용량	375
[표 2-5-20] 마둔저수지 수문조작 관개에 따른 용수사용량	376
[표 2-5-21] 관행적 용수공급과 수문조작 용수공급의 농업용수 비교	377
[표 2-6-1] 마둔저수지 관개수량기초분석	409
[표 2-6-2] 대사저수지 관개수량기초분석	410
[표 2-6-3] 풍전저수지 관개수량기초분석	411
[표 2-6-4] 모의추적 저수율의 NSE 및 R^2	418
[표 2-6-5] 대상저수지의 추정 관개관행	418

[표 2-6-6] 고정수문 개도율 추정	421
[표 2-6-7] 대상 저수지 전체 관개만족도(TSIS)	432
[표 2-6-8] 마둔저수지 간선 및 지선의 수위유량 관계식	440
[표 2-7-1] 수위계 방식별 특성 비교	447
[표 2-7-2] 유량계 방식별 특성 비교	452
[표 2-7-3] 농업수리시설물 자동수위측정기 설치 및 운영 지침	456
[표 2-7-4] 수위 계측장치 비교	457
[표 2-7-5] 수위 계측장치 비용	457
[표 2-7-6] 유량 계측장치 비교	458
[표 2-7-7] 유량 계측장치 비용	458
[표 2-7-8] 계측장치 설치 위치 및 종류	460
[표 2-7-9] 네트워크의 구성요소	474
[표 2-7-10] 네트워크 구성요소의 분석	475
[표 2-7-11] 네트워크 구성요소에 적용 모델요소	476
[표 2-7-12] 관개 네트워크 구성요소의 속성값	481
[표 2-7-13] 수로네트워크 관련 엔터티 분석	490
[표 2-7-14] 모의 관련 엔터티 분석	491
[표 2-7-15] 공통정보 관련 엔터티 분석	492
[표 2-7-16] 일반적인 무선송수신 방식 비교	524
[표 2-7-17] 펌프 선정기준 및 장단점	533
[표 2-7-18] 이동식 양수장치의 양수기 사양	534
[표 2-8-1] 용도별 수자원 이용현황	538
[표 2-8-2] 연도별 농업용수 관련 정책 변화	539
[표 2-8-3] 농가인구 및 고령화 추이	540
[표 2-8-4] 농업부문 주요 지표 추이	540
[표 2-8-5] 시설재배 면적 변화 추이	541
[표 2-8-6] 논 시설면적면적 증가 따른 용수수요 변화 추이	541
[표 2-8-7] 기후변화 시나리오 따른 우리나라 기온 및 강수량 변화 전망	542

[표 2-8-8] 최근 10년간 우리나라 농업가뭄 발생 현황	543
[표 2-8-9] 연도별 수리상태 담면적 현황	546
[표 2-8-10] 월 평균기온, 편차 및 역대 최고/최저 순위	547
[표 2-8-11] 월 강수량, 평년비 및 역대 최다 순위	547
[표 2-8-12] 지역별 연 평균기온, 연 강수량 최고 및 최다 순위	548
[표 2-8-13] 연도별 수리답 및 수리안전답 현황	549
[표 2-8-14] 연도별 수리답 총 면적 현황	550
[표 2-8-15] 연도별 수리답 비율 현황	550
[표 2-8-16] 연도별 수리안전답 총 면적 현황	551
[표 2-8-17] 연도별 수리안전답 비율 현황	551
[표 2-8-18] 한발빈도 주요 저수지 대상 논물마름 발생 지역 분석 현황	560
[표 2-8-19] 10년 이상 한발빈도 저수지 대상 논물마름 발생 지역 분석 현황	562
[표 2-8-20] 물꼬 관리 시 주요 작업 현황	567
[표 2-8-21] 논 농사에서 물꼬관리 투하되는 노동력 비율 분포	567
[표 2-8-22] 논 여건 따른 단보당 관행물꼬 관리시간 비교	568
[표 2-8-23] 연도별 1인당 관리면적 변화	568
[표 2-8-24] 지역별 비닐피복 못자리 설치 적기	578
[표 2-8-25] 지역별 기계이앙 적기	578
[표 2-8-26] 가뭄극복 3대 운동	583
[표 2-8-27] 간단관개 장·단점 비교	593
[표 2-8-28] 윤환관개 장·단점 비교	594
[표 2-8-29] 작물 생육시기별 관개수 염분 한계농도	598
[표 2-8-30] 작물 생육시기별 염분농도 반응	598
[표 2-8-31] 지역별 물 채우기 실적	599
[표 2-8-32] 지역별 직접 급수 실적	599
[표 2-8-33] 지역별 하수처리수 재이용 실적	600
[표 2-8-34] 시도별 논용수 공급 현황	602
[표 2-8-35] 시도별 시설별 논용수 공급 현황	603

[표 2-8-36] 2018년 지역별 필요용수량 및 수혜면적 현황	604
[표 2-8-37] 2018년 전국 시기별 필요용수량 현황	605
[표 2-8-38] 2018년 행정구역별·시기별 필요용수량 현황	606
[표 2-8-40] 최근 3개년 지역별 농업용수 사용량 및 수혜면적 현황	608
[표 2-8-41] 2018년 지역별 농업용수 공급 현황	609
[표 2-8-42] 2018년 전국 시기별 농업용수 공급 현황	610
[표 2-8-43] 2018년 지역별 및 시기별 농업용수 공급 현황	611
[표 2-8-44] 2018년 지역별 필요용수량 및 용수공급량 현황	613
[표 2-8-45] 2018년 시기별 필요용수량 및 용수공급량 현황	614
[표 2-8-46] 우선지원 대상 선정기준	618
[표 2-8-47] 2019년 양수저류 설치 대상지 분석	619
[표 2-8-48] Case 분석 결과	619
[표 2-8-49] 가중치 5점 이상 현황 분석	620
[표 2-8-50] 가중치 6점 이상 현황 분석	620
[표 2-8-51] 가중치 7점 이상 현황 분석	621
[표 2-8-52] 가중치 8점 이상 현황 분석	621
[표 2-8-53] 경기지역 수요조사 분석	622
[표 2-8-54] 강원지역 수요조사 분석	622
[표 2-8-55] 충북지역 수요조사 분석	623
[표 2-8-56] 충남지역 수요조사 분석	623
[표 2-8-57] 전북지역 수요조사 분석	625
[표 2-8-58] 전남지역 수요조사 분석	625
[표 2-8-59] 전남지역 수요조사 분석	626
[표 2-8-60] 천수만지역 수요조사 분석	626
[표 2-9-1] 저수지 현황	627
[표 2-9-2] 저수지별 필요수량	627
[표 2-9-3] 장기유출모형 적용 유역구분	628
[표 2-9-4] 남산취입보 하천제원	629

[표 2-9-5] 마둔저수지 소유역 월단위 일평균 유출량	630
[표 2-9-6] 대사저수지 소유역 월단위 일평균 유출량	630
[표 2-9-7] 풍전저수지 소유역 월단위 일평균 유출량	631
[표 2-9-8] 마둔저수지 지점별 유역면적 및 내용적 곡선	633
[표 2-9-9] 대사저수지 지점별 유역면적 및 내용적 곡선	634
[표 2-9-10] 풍전저수지 지점별 유역면적 및 내용적 곡선	635
[표 2-9-11] 마둔저수지 소유역의 장기유출모형 적용에 따른 내용적 변화 결과	636
[표 2-9-12] 대사저수지 소유역의 장기유출모형 적용에 따른 내용적 변화 결과	637
[표 2-9-13] 가용수량 산정을 위한 모의조건	638
[표 2-9-14] 가용수량 산정을 위한 모의시나리오	638
[표 2-9-15] 마둔저수지 시나리오 1 모의 결과	638
[표 2-9-16] 마둔저수지 시나리오 1 모의 결과 직접대응 가용수량 분석	640
[표 2-9-17] 마둔저수지 시나리오 2 모의 결과	641
[표 2-9-18] 마둔저수지 시나리오 2 모의 결과 직접대응 가용수량 분석	642
[표 2-9-19] 마둔저수지 시나리오 3 모의 결과	644
[표 2-9-20] 마둔저수지 시나리오 3 모의 결과 직접대응 가용수량 분석	645
[표 2-9-21] 마둔저수지 시나리오 4 모의 결과	647
[표 2-9-22] 마둔저수지 시나리오 4 모의 결과 직접대응 가용수량 분석	648
[표 2-9-23] 순환형 농업용수 관리시스템의 용수관리 업무영역 구분	653
[표 2-9-24] 순환형 농업용수 관리시스템의 용수관리 업무 분류체계	658
[표 2-9-25] 용수관리 정보 표준화 대상	659
[표 2-9-26] 순환형 농업용수 관리시스템의 지형요소	664
[표 2-10-1] 마둔저수지 관개기 강우 시나리오	670
[표 2-10-2] 대사저수지 관개기 강우 시나리오	671
[표 2-10-3] 풍전저수지 관개기 강우 시나리오	672
[표 2-10-4] 마둔저수지 비관개기 강우 시나리오	673
[표 2-10-5] 대사저수지 비관개기 강우 시나리오	674
[표 2-10-6] 풍전저수지 비관개기 강우 시나리오	675

[표 2-10-7] 마둔저수시 시나리오기반 필요 양수저류량	676
[표 2-10-8] 대사수시 시나리오기반 필요 양수저류량	683
[표 2-10-9] 풍전저수시 시나리오기반 필요 양수저류량	690
[표 2-10-10] 살수차 사용료	698
[표 2-10-11] 이동식 양수장치 경제성 평가	702
[표 2-11-1] 센서 및 장치 유지관리 항목	703
[표 2-11-2] 메뉴의 구성	706
[표 2-12-1] 일본의 경지면적 변화	739
[표 2-12-2] 일본의 농업용수 변화	741
[표 2-12-3] 미국의 수자원 현황	742
[표 2-12-4] 전국 시도별 농업용수 공급시설 현황	750
[표 2-12-5] 한국농어촌공사 수리시설물 현황	751
[표 2-12-6] 한국농어촌공사 농업용수리시설물 경과년수 현황	752
[표 2-12-7] 전국 연도별 담면적 현황	753
[표 2-12-8] 시도별·연도별 수리담면적 현황	754
[표 2-12-9] 시도별·연도별 수리안전담면적 현황	755
[표 2-12-10] 시도별·연도별 수리불안전담면적 현황	756
[표 2-12-11] 농가호수 및 인구동향	757
[표 2-12-12] 연도별 국토 토지이용 현황	759
[표 2-12-13] 최근 10년간 전국 경지면적 변화	760
[표 2-12-14] 농가호수, 농가인구 동향 및 전망	761
[표 2-12-15] 농업용수 목표연도 경지면적	762
[표 2-12-16] 수리담 면적 및 수리답을 변화	762
[표 2-12-17] 시나리오별 밭 면적 변화전망	763
[표 2-12-18] 밭 시설·과수재배면적 변화전망	763
[표 2-12-19] 농업용수 공급량 산정	764
[표 2-12-20] 전력사용량을 이용한 공급량 산출	765
[표 2-12-21] 연도별 농업용수 공급량	765

[표 2-12-22] 시도별 저수지 농업용수 공급량	767
[표 2-12-23] 2015년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량	772
[표 2-12-24] 2016년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량	773
[표 2-12-25] 2017년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량	774
[표 2-12-26] 2018년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량	775
[표 2-12-27] 2019년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량	776
[표 2-12-28] 연도별 · 시도별 양 · 배수장 농업용수 공급량	777
[표 2-12-29] 2015년 양 · 배수장 농업용수 공급량	778
[표 2-12-30] 2016년 양 · 배수장 농업용수 공급량	779
[표 2-12-31] 2017년 양 · 배수장 농업용수 공급량	780
[표 2-12-32] 2018년 양 · 배수장 농업용수 공급량	781
[표 2-12-33] 2019년 양 · 배수장 농업용수 공급량	782
[표 2-12-34] 주수원공 양 · 배수장 농업용수 공급량	783
[표 2-12-35] 주수원공 양 · 배수장 취수원 분류	784
[표 2-12-36] 2018~2020년 용수확보대책 수립 내용	786
[표 2-12-37] 2018년 시도별 양수저류 실적 비율	787
[표 2-12-38] 2018년 대상저수지별 양수저류 실적	787
[표 2-12-39] 2018년 양수저류 목표량 대비 실적	788
[표 2-12-40] 시도별 양수저류 실적 비율	789
[표 2-12-41] 2019년 대상저수지별 양수저류 실적	789
[표 2-12-42] 2019년 양수저류 목표량 대비 실적	790
[표 2-12-43] 2020년 시도별 양수저류 실적 비율	791
[표 2-12-44] 2020년 대상저수지별 양수저류 실적	791
[표 2-12-45] 2020년 양수저류 목표량 대비 실적	792
[표 2-12-46] 1월 양수저류 효과분석	801
[표 2-12-47] 1월 마둔저수지 양수저류 효과분석	801
[표 2-12-48] 1월 대사저수지 양수저류 효과분석	801
[표 2-12-49] 2월 양수저류 효과분석	802

[표 2-12-50] 2월 마둔저수지 양수저류 효과분석	802
[표 2-12-51] 2월 용암저수지 양수저류 효과분석	802
[표 2-12-52] 3월 양수저류 효과분석	803
[표 2-12-53] 3월 동송저수지 양수저류 효과분석	803
[표 2-12-54] 3월 연제저수지 양수저류 효과분석	803
[표 2-12-55] 4월 양수저류 효과분석	804
[표 2-12-56] 4월 동송저수지 양수저류 효과분석	804
[표 2-12-57] 4월 연저수지 양수저류 효과분석	804
[표 2-12-58] 5월 양수저류 효과분석	805
[표 2-12-59] 5월 서산수지 양수저류 효과분석	805
[표 2-12-60] 6월 양수저류 효과분석	806
[표 2-12-61] 6월 연수지 양수저류 효과분석	806
[표 2-12-62] 7월 양수저류 효과분석	806
[표 2-12-63] 7월 마둔지 양수저류 효과분석	806

<그림 차례>

[그림 1-1-1] 2017년 평년대비 강수량 및 저수율	1
[그림 1-1-2] 2013년 이후 평년대비 연강수량 분포도	2
[그림 1-1-3] 순환형 농업용수 관리의 개념	4
[그림 1-1-4] 순환형 농업용수 공급가능량 산정모형 개념도	6
[그림 1-1-5] 농업용수 최적 운영 방안 도출을 위한 연구 흐름도	9
[그림 1-1-6] 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 흐름	11
[그림 1-1-7] 순환형 농업용수 관리 시스템 개념도	12
[그림 1-1-8] 고정형 및 이동형 양수저류 장치 활용 및 원격제어 개념도	13
[그림 1-1-9] 가뭄 대응을 위한 양수저류 시설	14
[그림 1-1-10] 일본 비와호 인근 (a) 코노하마 순환관개지구 개요, (b) 관개기 물수지 분석 ...	18
[그림 1-1-11] 일본 비와호 인근 코노하마지구	18
[그림 1-1-12] (a) 히라타키 조사대상지구, (b) 순환관개지구 모식도	19
[그림 1-1-13] (a) 농업용수 배수 억제 시설, (b) 자동급수전 모식도	20
[그림 1-1-14] 일본의 농업수리시설 건설 및 유지관리체계	21
[그림 1-1-15] 카스미가우라 용수관리사업 일러스트 맵	23
[그림 1-1-16] 카스미가우라 용수관리사업 전체 개요도	23
[그림 1-1-17] 네팔의 관개수로 용수공급	24
[그림 1-2-1] 순환형 농업용수 관리 시스템 적용을 위한 테스트베드 선정	26
[그림 1-2-2] 들녘단위 최적 용수배분 산정을 위한	27
[그림 1-2-3] 농업용수 관리 시스템 예시	28
[그림 1-2-4] 양수저류 추진 유형	28
[그림 1-2-5] 농업용수 공급가능량 산정 의사결정요소 분석	29
[그림 1-2-6] 들녘단위 최적 용수배분 기준 도출 개념도	30
[그림 1-2-7] 순환형 농업용수 관리 원격제어 시스템 개념도	31
[그림 1-2-8] 이동식 양수저류 장치	31
[그림 1-2-9] 농업용수 이용량 추이 분석 예시	32

[그림 1-2-10] 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 시스템 예시	33
[그림 1-2-11] 효율적인 양수저류 방법 제시 및 가뭄대응기술 경제성 평가	34
[그림 1-2-12] 순환형 농업용수 관리 시스템의 구성	35
[그림 1-2-13] 가뭄단계별 대응 지침	35
[그림 1-3-1] 과제의 추진체계	38
[그림 1-3-2] 과제의 성과 및 위험관리	38
[그림 1-3-3] 세부목표 및 연차별 연구 흐름도	39
[그림 1-3-4] 석포지구 (a)양수저류 계획평면도 (b)양수장을 통한 농업용수 공급	40
[그림 2-1-1] 우리나라 수자원 총량 및 이용현황	47
[그림 2-1-2] 전국단위 경작면적 및 필요수량 변화	48
[그림 2-1-3] 도단위 경작면적 및 단위면적당 필요수량 변화	49
[그림 2-1-4] 광역시도별 농업용수 공급시설 개소수	52
[그림 2-1-5] 농업용수 공급시설 종류별 개소수	52
[그림 2-1-6] 준공년도별 수원공 현황	53
[그림 2-1-7] 주수원공 및 보조수원공별 준공년도	54
[그림 2-1-8] 준공년도별 수혜면적	54
[그림 2-1-9] 유효저수량 규모별 저수지 개소수	55
[그림 2-1-10] 수혜면적 규모별 저수지 개소수	58
[그림 2-1-11] 수혜면적 규모별 지역별 저수지 비율	59
[그림 2-1-12] 지역별 평균 수혜면적	59
[그림 2-1-13] 단위저수량과 유역배율에 의한 유형화 결과	61
[그림 2-1-14] 지역별 양수장 설치 현황	63
[그림 2-1-15] 지역별 양수장 시설 구분 현황	64
[그림 2-1-16] 지역별 양수장 하천수량 현황	65
[그림 2-1-17] 지역별 양수장 가동시기 현황	66
[그림 2-1-18] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 유역면적	67
[그림 2-1-19] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 수혜면적	68
[그림 2-1-20] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 유역배율	69

[그림 2-1-21] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 유효저수량	70
[그림 2-1-22] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 일양수량	71
[그림 2-1-23] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 유효저수량 대비 일양수량 비율	72
[그림 2-1-24] 최종 테스트베드 지역 및 수리현황도	74
[그림 2-1-25] 경기도 안성시 마둔저수지 저수량	76
[그림 2-1-26] 충청남도 홍성군 대사저수지 저수량	77
[그림 2-1-27] 충청남도 서산시 풍전저수지 저수량	77
[그림 2-1-28] 테스트베드 대사지구의 양수저류 실적	78
[그림 2-1-29] DIROM 개념도	80
[그림 2-1-30] 안성시청 및 서산 AWS 강우자료	83
[그림 2-1-31] 시범지구 토지피복 분석결과	84
[그림 2-1-32] 마둔저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 계측치 비교	86
[그림 2-1-33] 마둔저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교	87
[그림 2-1-34] 대사저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 계측치 비교	88
[그림 2-1-35] 대사저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교	89
[그림 2-1-36] 풍전저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 계측치 비교	90
[그림 2-1-37] 풍전저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교	91
[그림 2-1-38] 마둔권역 DIROM 모의에 따른 하천 유입량 결과	92
[그림 2-1-39] 대사권역 DIROM 모의에 따른 하천 유입량 결과	93
[그림 2-1-40] 풍전권역 DIROM 모의에 따른 하천 유입량 결과	94
[그림 2-1-41] 안성시청, 천안 및 서산 AWS 강우자료	96
[그림 2-1-42] 시범지구 유역 분석결과	97
[그림 2-1-43] 시범지구 DEM 분석결과	98
[그림 2-1-44] 시범지구 토지피복 분석결과	99
[그림 2-1-45] 시범지구 토양도 분석결과	100
[그림 2-1-46] 시범지구 HRU 분석결과	101
[그림 2-1-47] 마둔저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 계측치 비교	103
[그림 2-1-48] 마둔저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교	103

[그림 2-1-49] 대사저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 계측치 비교	105
[그림 2-1-50] 대사저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교	105
[그림 2-1-51] 풍전저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 계측치 비교	107
[그림 2-1-52] 풍전저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교	107
[그림 2-1-53] 마둔권역 SWAT 모의에 따른 하천 유입량 결과	108
[그림 2-1-54] 대사권역 SWAT 모의에 따른 하천 유입량 결과	109
[그림 2-1-55] 풍전권역 SWAT 모의에 따른 하천 유입량 결과	110
[그림 2-1-56] SWAT 분석에 의한 마둔권역 월단위 일평균 하천 유입량	111
[그림 2-1-57] SWAT 분석에 의한 대사권역 월단위 일평균 하천 유입량	112
[그림 2-1-58] SWAT 분석에 의한 풍전권역 월단위 일평균 하천 유입량	113
[그림 2-1-59] DIROM 모형분석에 의한 마둔권역 월단위 일평균 하천 유입량	114
[그림 2-1-60] DIROM 모형분석에 의한 대사권역 월단위 일평균 하천 유입량	115
[그림 2-1-61] DIROM 모형분석에 의한 풍전권역 월단위 일평균 하천 유입량	116
[그림 2-2-1] 일본의 경지면적 변화	121
[그림 2-2-2] 용수이용현황에 따른 관개지구 블록화	122
[그림 2-2-3] 광역 농업용수 반복이용 조사지역	123
[그림 2-2-4] 비와호 인근 (a) 코노하마 순환관개지구 개요, (b) 관개기 물수지 분석	124
[그림 2-2-5] 비와호 인근 코노하마 순환관개지구 전경	124
[그림 2-2-6] 코노하마 순환관개지구 전경 사업전후 물이용 상황 개념도	125
[그림 2-2-7] 코노하마 순환관개지구의 용수재이용	125
[그림 2-2-8] (a) 아오모리현 히라타키지구, (b) 순환관개지구 모식도	126
[그림 2-2-9] 히라타키 순환관개지구 생육시기별 수질변화	127
[그림 2-2-10] 카스미가우라 용수관리사업 전체 개요도	128
[그림 2-2-11] SWMM 모형의 홍수유출 개념도	130
[그림 2-2-12] SWMM 모형의 전체 구성도	132
[그림 2-2-13] SWMM 모형의 모듈	133
[그림 2-2-14] SWMM 모형의 모듈과 수리네트워크 구성요소와의 관계도	133
[그림 2-2-15] 관거에서 발생하는 개수로 흐름(위)와 관수로 흐름	135

[그림 2-2-16] Preissmann Slot 기법의 개념도	136
[그림 2-2-17] SWMM의 Conduits모듈에서 선택가능한 수로단면 형상	136
[그림 2-2-18] SWMM 수리해석모듈의 노드와 링크 연결 개념도	140
[그림 2-2-19] 오리피스에 의한 계산식 및 모식도	141
[그림 2-2-20] 위어의 계산식 및 모식도	141
[그림 2-2-21] SWMM 모형의 입출력구조	142
[그림 2-2-22] SWMM 모형의 INP 입력파일예시	143
[그림 2-2-23] SWMM 모형의 GUI 화면 구성	144
[그림 2-2-24] Conduit 모듈 컨트롤 화면 예시	145
[그림 2-2-25] Junction 모듈 컨트롤 화면 예시	146
[그림 2-2-26] 수원공 및 분기점 모델링 개념도	152
[그림 2-2-27] 관개 블록 및 유말공 모델링 개념도	153
[그림 2-2-28] 여러 구조물이 배치된 단면의 구축방안	153
[그림 2-2-29] 대사저수지 전경	154
[그림 2-2-30] 대사저수지 용수로 현황	155
[그림 2-2-31] 대사저수지 현장조사 사진	156
[그림 2-2-32] 대사저수지 간선수문 위치	156
[그림 2-2-33] 대사저수지 #1 수문	157
[그림 2-2-34] 대사저수지 #2 수문	157
[그림 2-2-35] 대사저수지 용수로 네트워크 모델링 결과	158
[그림 2-2-36] 자료구축 대상지역 간선·지선수로, 분기점 및 용수블록 현황	159
[그림 2-2-37] 좌표가 반영될 수 있도록 현장조사 전 도상작업 실시	160
[그림 2-2-38] 입력자료 구축을 위한 현장조사 반영 도면	161
[그림 2-2-39] 농업용수 네트워크 모형 입력자료 구축을 위한	162
[그림 2-2-40] 현장조사 반영 CAD 도면으로부터	162
[그림 2-2-41] 경사 단순화 영향 파악을 위한 용수로 모식도	163
[그림 2-2-42] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 1	164
[그림 2-2-43] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 2	165

[그림 2-2-44] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 3	166
[그림 2-2-45] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 4	167
[그림 2-2-46] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 5	168
[그림 2-2-47] 수로폭에 따른 모형의 민감도 분석	169
[그림 2-2-48] 논의 개수 단순화 민감도 분석을 위한 네트워크 구조	170
[그림 2-2-49] 논의 개수 단순화 민감도 분석을 위한 네트워크 구조 경사도	170
[그림 2-2-50] 논 단순화에 대한 민감도 분석	171
[그림 2-2-51] 논의 거리 단순화 민감도 분석을 위한 네트워크 구조	172
[그림 2-2-52] 논 거리 단순화에 대한 민감도 분석	173
[그림 2-3-1] 부자식 수위계	174
[그림 2-3-2] 정전용량식 수위계	175
[그림 2-3-3] 초음파식 수위계	175
[그림 2-3-4] 초음파 수위계에 의한 수로 수위 관측	176
[그림 2-3-5] 초음파 수위계에 의한 담수심 관측	176
[그림 2-3-6] 레이더식 수위계	177
[그림 2-3-7] 압력식 수위계	178
[그림 2-3-8] 프로펠러식 유속계	180
[그림 2-3-9] 전자식 유속계	180
[그림 2-3-10] 도플러식 유속계 원리 및 형태	181
[그림 2-3-11] 표면 유속계 원리 및 형태	181
[그림 2-3-12] 다채널 유량측정기	182
[그림 2-3-13] 다채널 유량측정기	183
[그림 2-3-14] 레이더 유량측정기	183
[그림 2-3-15] 스피들식 수문	185
[그림 2-3-16] 재키식 수문	185
[그림 2-3-17] 일반전기사용 자동수문	186
[그림 2-3-18] 태양광 사용 동력식 수문	186
[그림 2-3-19] IoT 저전력 자동수문	187

[그림 2-3-20] 수동형 물꼬	188
[그림 2-3-21] 자동형 물꼬	188
[그림 2-3-22] 대형증발팬에 장착된 부력식 수위계	189
[그림 2-3-23] 자동급배수장치	190
[그림 2-3-24] 전원공급시스템과 강수량계 설치	190
[그림 2-3-25] 강수량계 종류	191
[그림 2-3-26] IoT Ecosystem 개념도	192
[그림 2-3-27] IoT 스마트 홈 개념도	193
[그림 2-3-28] 홈cctv 맘카2	193
[그림 2-3-29] IoT를 이용한 전자제품 예시	193
[그림 2-3-30] Automated Checkout	194
[그림 2-3-31] Smart Shelves	194
[그림 2-3-32] 웨어러블 디바이스	195
[그림 2-3-33] 무인 자동차	195
[그림 2-3-34] 전자책	196
[그림 2-3-35] 스마트 헬스케어	196
[그림 2-3-36] 사물 인터넷	196
[그림 2-3-37] 빅데이터	197
[그림 2-3-38] 모바일 결제 서비스	197
[그림 2-3-39] 스마트 TV	197
[그림 2-3-40] 2018 ICT 10대 이슈 전망	198
[그림 2-3-41] 빅데이터의 3대 요소	199
[그림 2-3-42] 산업별 빅데이터 활용 사례	200
[그림 2-3-43] ZARA의 빅데이터 활용	200
[그림 2-3-44] 빅데이터를 이용한 DNA 염기서열 분석	201
[그림 2-3-45] 빅데이터 시장 전망 추이	201
[그림 2-3-46] RIMS 메인 화면	202
[그림 2-3-47] RIMS 시스템 구성도	203

[그림 2-3-48] RIMS 농업기반시설	204
[그림 2-3-49] RIMS 농업기반시설	205
[그림 2-3-50] RAWRIS 시스템 구성도	206
[그림 2-3-51] TOMS 메인 화면	207
[그림 2-3-52] TOMS 상세 화면	207
[그림 2-3-53] TOMS 시스템 구성도	207
[그림 2-3-54] 범부처 가뭄예경보 구성도	209
[그림 2-3-55] ADMS 분석 시스템	210
[그림 2-3-56] 농업가뭄관리시스템 정보연계 구성도	211
[그림 2-3-57] 고정식 양수 저류조 구성도	212
[그림 2-3-58] 원격제어장치 모듈 모식도	213
[그림 2-3-59] 원격제어장치 외함 외형도	214
[그림 2-3-60] 멀티컨트롤러 외형도	214
[그림 2-3-61] 원격제어장치 내부 결선도	215
[그림 2-3-62] 원격제어장치 통신 구성도	216
[그림 2-3-63] 이동식 양수저류장치 구성도	217
[그림 2-3-64] 자동호스 릴	218
[그림 2-3-65] 대사지구 계측기 설치 위치	222
[그림 2-3-66] 대사지구 양수장 설치 수위계	222
[그림 2-3-67] 대사지구 양수장 토출관로 설치 유량계	222
[그림 2-3-68] 마둔 지구 관개네트워크, 양수시설, 계측장치 설치 위치	223
[그림 2-3-69] 순환형 물관리 모니터링 시스템 메인화면	225
[그림 2-3-70] 순환형 물관리시스템 계측 및 양수장 가동 자료 모니터링 시스템 구성	226
[그림 2-3-71] 마둔저수지 수위변화	227
[그림 2-3-72] 계측자료 조회 조건 설정	228
[그림 2-3-73] 마둔 양수장 공급량	228
[그림 2-3-74] 관개수로 수위 계측자료(마둔간선 취입부)	229
[그림2-3-75] 관개수로 수위 계측자료(마둔간선 시점부)	229

[그림 2-3-76] 관개수로 수위 계측자료(오산지선 취입부)	230
[그림 2-3-77] 관개수로 수위 계측자료(오산지선 시점부)	230
[그림 2-3-78] 관개수로 수위 계측자료(오산지선 종점부)	231
[그림 2-3-79] 관개수로 수위 계측자료(농촌지선 시점부)	231
[그림 2-3-80] 관개수로 수위 계측자료(농촌지선 종점부)	232
[그림 2-3-81] 관개수로 수위 계측자료(중리지선 시점부)	232
[그림 2-3-82] 관개수로 수위 계측자료(중리지선 종점부)	233
[그림 2-3-83] 관개수로 수위 계측자료(오촌지선 시점부)	233
[그림 2-3-84] 관개수로 수위 계측자료(오촌지선 종점부)	234
[그림 2-3-85] 관개수로 수위 계측자료(신기지선 시점부)	234
[그림 2-3-86] 관개수로 수위 계측자료(신기지선 종점부)	235
[그림 2-3-87] 수중측류(사류)펌프 설치 예시	243
[그림 2-4-1] 비와호 순환형 농업용수 시스템 시범지구 위치도	249
[그림 2-4-2] 비와호 순환형 농업용수 시스템 운영체계와 시설위치도	249
[그림 2-4-3] 비와호 순환형 농업용수 시스템 시설현황	250
[그림 2-4-4] 차바현 산부군 순환형 농업용수 시스템 지구 현황	251
[그림 2-4-5] 호주 기후현황	252
[그림 2-4-6] 2018년 호주 NSW주 가뭄피해 사진	252
[그림 2-4-7] 농업용수 재사용의 수자원 가치	253
[그림 2-4-8] 최근2개년 지역본부별 양수저류 대상저수지	256
[그림 2-4-9] 최근2개년 지역본부별 양수저류 대상저수지 수혜면적	256
[그림 2-4-10] 최근2개년 지역본부별 양수저류 추진실적	257
[그림 2-4-11] 2017년 지역본부별 양수저류 대상저수지 및 양수저류 실적 그래프	258
[그림 2-4-12] 경기도 안성시 금광·마둔저수지 수계현황	266
[그림 2-4-13] 금광·마둔저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황	266
[그림 2-4-14] 덕우·기천저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황	267
[그림 2-4-15] 풍전저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황	268
[그림 2-4-16] 2018년 지역본부별 양수저류 대상저수지 및 양수저류 실적	269

[그림 2-4-17] 다개·갈전저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황	277
[그림 2-4-18] 나주호 양수저류 계획평면도 및 시설현황	278
[그림 2-4-19] 가산·마홀저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황	279
[그림 2-4-20] 전국 및 주요 도별 저수율 그래프	281
[그림 2-4-21] 평년대비 강수량 및 저수율 지도	282
[그림 2-4-22] 2017년 강수량 분석	282
[그림 2-4-23] 2017년 시기별 지역본부별 양수저류 대상저수지	285
[그림 2-4-24] 2017년 시기별 지역본부별 양수저류 추진실적	285
[그림 2-4-25] 경기도·충청남도 저수율-양수시기-강수량 그래프	286
[그림 2-4-26] 화성시·안성시 저수율-양수시기-강수량 그래프	287
[그림 2-4-27] 서산시·홍성군 저수율-양수시기-강수량 그래프	288
[그림 2-4-28] 덕우·마둔저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프	289
[그림 2-4-29] 풍전·대사저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프	290
[그림 2-4-30] 전국 및 주요 도별 저수율 그래프	292
[그림 2-4-31] 평년대비 강수량 및 저수율 지도	292
[그림 2-4-32] 전국 및 주요 도별 저수율 그래프	294
[그림 2-4-33] 장마이후 강수량, 저수율, 밭 가뭄 관련 지도	295
[그림 2-4-34] 평년대비 저수율 지도 및 밭 가뭄 현황지도	297
[그림 2-4-35] 2018년 시기별 지역본부별 양수저류 대상저수지	299
[그림 2-4-36] 2018년 시기별 지역본부별 양수저류 추진실적	299
[그림 2-4-37] 2018년 경기도·충청남도 저수율-양수시기-강수량 그래프	300
[그림 2-4-38] 2018년 전라남도·경상남도 저수율-양수시기-강수량 그래프	301
[그림 2-4-39] 2018년 서산시·예산군 저수율-양수시기-강수량 그래프	302
[그림 2-4-40] 2018년 나주시·경주시 저수율-양수시기-강수량 그래프	303
[그림 2-4-41] 2018년 울주군·밀양시 저수율-양수시기-강수량 그래프	304
[그림 2-4-42] 2018년 풍전·예당저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프	305
[그림 2-4-43] 2018년 나주호·보문저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프	306
[그림 2-4-44] 2018년 다개·가산저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프	307

[그림 2-5-1] 농업가뭄 재해 빈도 증가	308
[그림 2-5-2] 선제적 가뭄대비를 위한 농업농촌용수 확보방안	308
[그림 2-5-3] 순환형 농업용수의 이용 및 의사결정 요소 항목	309
[그림 2-5-4] 순환형 양수저류 농업용수의 이용 예시1	310
[그림 2-5-5] 순환형 양수저류 농업용수의 이용 예시2	310
[그림 2-5-6] 순환형 양수저류 농업용수의 이용 예시3	310
[그림 2-5-7] SWMM 모형 기반 순환형 농업용수 관리시스템	311
[그림 2-5-8] 순환형 농업용수 관리시스템 모의 예시	311
[그림 2-5-9] 대상 저수지 및 기상관측소 위치	313
[그림 2-5-10] 경기 안성 마둔저수지	314
[그림 2-5-11] 충남 홍성 대사저수지	314
[그림 2-5-12] 충남 서산 풍전저수지	314
[그림 2-5-13] 마둔저수지 연도별 저수율 현황	315
[그림 2-5-14] 대사저수지 연도별 저수율 현황	315
[그림 2-5-15] 풍전저수지 연도별 저수율 현황	316
[그림 2-5-16] 마둔저수지 2008-2009년 저수변화량 및 유출량	316
[그림 2-5-17] 마둔저수지 2009-2010년 저수변화량 및 유출량	317
[그림 2-5-18] 마둔저수지 2010-2011년 저수변화량 및 유출량	317
[그림 2-5-19] 마둔저수지 2011-2012년 저수변화량 및 유출량	317
[그림 2-5-20] 마둔저수지 2012-2013년 저수변화량 및 유출량	318
[그림 2-5-21] 마둔저수지 2013-2014년 저수변화량 및 유출량	318
[그림 2-5-22] 마둔저수지 2014-2015년 저수변화량 및 유출량	318
[그림 2-5-23] 마둔저수지 2015-2016년 저수변화량 및 유출량	319
[그림 2-5-24] 마둔저수지 2016-2017년 저수변화량 및 유출량	319
[그림 2-5-25] 마둔저수지 2017-2018년 저수변화량 및 유출량	319
[그림 2-5-26] 마둔저수지 시기별 유출량 및 저수위 감소량	321
[그림 2-5-27] 강우-유입 회귀식 산정을 위한 월별 추세선 분석	322
[그림 2-5-28] 저수지 유입량 추정 비교	323

[그림 2-5-29] 연도별 유입량 산정값의 비교	325
[그림 2-5-30] 회귀식과 유출모형 유입량의 상관분석	326
[그림 2-5-31] 마둔저수지 유출량 상관분석	327
[그림 2-5-32] 대사저수지 유출량 상관분석	327
[그림 2-5-33] 풍전저수지 유출량 상관분석	328
[그림 2-5-34] 마둔저수지 월별 누적강수량 및 비관개기 비교	330
[그림 2-5-35] 대사저수지 월별 누적강수량 및 비관개기 비교	330
[그림 2-5-36] 풍전저수지 월별 누적강수량 및 비관개기 비교	331
[그림 2-5-37] 마둔저수지 월별 누적유출량	332
[그림 2-5-38] 대사저수지 월별 누적유출량	332
[그림 2-5-39] 풍전저수지 월별 누적유출량	332
[그림 2-5-40] 마둔저수지 비관개기 누적유출량	333
[그림 2-5-41] 대사저수지 비관개기 누적유출량	334
[그림 2-5-42] 풍전저수지 비관개기 누적유출량	334
[그림 2-5-43] 마둔저수지 양수량에 따른 저수량 변화추세	335
[그림 2-5-44] 대사저수지 양수량에 따른 저수량 변화추세	336
[그림 2-5-45] 풍전저수지 양수량에 따른 저수량 변화추세	337
[그림 2-5-46] 경기 안성 마둔저수지	338
[그림 2-5-47] 충남 홍성 대사저수지	338
[그림 2-5-48] 충남 서산 풍전저수지	338
[그림 2-5-49] 마둔저수지 수로네트워크 계측기 설치 및 오차발생인자	339
[그림 2-5-50] 마둔저수지 수로네트워크 계측자료 모니터링	339
[그림 2-5-51] 마둔저수지 수로네트워크	340
[그림 2-5-52] 마둔저수지 간선, 지선별 수혜면적 및 용수계통도	340
[그림 2-5-53] 대사저수지 수로네트워크	341
[그림 2-5-54] 대사저수지 간선, 지선별 수혜면적 및 용수계통도	341
[그림 2-5-55] 풍전저수지 수로네트워크	342
[그림 2-5-56] 풍전저수지 간선, 지선별 수혜면적 및 용수계통도	342

[그림 2-5-57] 설정변수에 따른 모의시나리오	343
[그림 2-5-58] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과1	344
[그림 2-5-59] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황1	344
[그림 2-5-60] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과2	345
[그림 2-5-61] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황2	345
[그림 2-5-62] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과3	346
[그림 2-5-63] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황3	346
[그림 2-5-64] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과4	347
[그림 2-5-65] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황4	347
[그림 2-5-66] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과5	348
[그림 2-5-67] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황5	348
[그림 2-5-68] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과6	349
[그림 2-5-69] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황6	349
[그림 2-5-70] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과7	350
[그림 2-5-71] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황7	350
[그림 2-5-72] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과8	351
[그림 2-5-73] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황8	351
[그림 2-5-74] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과1	352
[그림 2-5-75] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황1	352
[그림 2-5-76] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과2	353
[그림 2-5-77] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황2	353
[그림 2-5-78] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과3	354
[그림 2-5-79] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황3	354
[그림 2-5-80] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과4	355
[그림 2-5-81] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황4	355
[그림 2-5-82] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과5	356
[그림 2-5-83] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황5	356
[그림 2-5-84] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과6	357

[그림 2-5-85] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황6	357
[그림 2-5-86] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과7	358
[그림 2-5-87] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황7	358
[그림 2-5-88] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과8	359
[그림 2-5-89] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황8	359
[그림 2-5-90] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과1	360
[그림 2-5-91] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황1	360
[그림 2-5-92] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과2	361
[그림 2-5-93] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황2	361
[그림 2-5-94] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과3	362
[그림 2-5-95] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황3	362
[그림 2-5-96] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과4	363
[그림 2-5-97] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황4	363
[그림 2-5-98] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과5	364
[그림 2-5-99] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황5	364
[그림 2-5-100] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과6	365
[그림 2-5-101] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황6	365
[그림 2-5-102] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과7	366
[그림 2-5-103] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황7	366
[그림 2-5-104] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과8	367
[그림 2-5-105] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황8	367
[그림 2-5-106] 농업용수 비용과 가치 개념	369
[그림 2-5-107] 농업용수의 외부효과 분류	371
[그림 2-5-108] 독높이기 및 간이양수장 사업의 비용분석	374
[그림 2-6-1] SWMM 모듈과 도수부 수리 네트워크 모델링 관계도	378
[그림 2-6-2] Preissmann Slot기법의 개념도	379
[그림 2-6-3] 적용가능한 수로단면형상	380
[그림 2-6-4] 관개수로망 모형 상에서의 노드과 링크 연결	381

[그림 2-6-5] 오리피스에 의한 계산식 및 모식도	384
[그림 2-6-6] 위어의 계산식 및 모식도	385
[그림 2-6-7] 마둔저수지 관개지구 수리네트워크 모형	386
[그림 2-6-8] 대사저수지 관개지구 수리네트워크 모형	387
[그림 2-6-9] 풍전저수지 관개지구 수리네트워크 모형	388
[그림 2-6-10] 서산 및 천안 기상관측소 일강우량	389
[그림 2-6-11] 서산 및 천안 기상관측소 잠재증발산량	390
[그림 2-6-12] 저수지 물수지모형	391
[그림 2-6-13] 3단 Tank모형 개념도	395
[그림 2-6-14] 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식	396
[그림 2-6-15] 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식	397
[그림 2-6-16] 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식	397
[그림 2-6-17] 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식	398
[그림 2-6-18] ONE 모형의 모식도	399
[그림 2-6-19] 마둔저수지 유입량 추정결과	400
[그림 2-6-20] 대사저수지 유입량 추정결과	401
[그림 2-6-21] 풍전저수지 유입량 추정결과	401
[그림 2-6-22] 마둔저수지 연용수공급량 추정	402
[그림 2-6-23] 대사저수지 연용수공급량 추정	402
[그림 2-6-24] 풍전저수지 추정 연용수공급량	403
[그림 2-6-25] 마둔저수지 추정 순용수공급량	404
[그림 2-6-26] 대사저수지 추정 순용수공급량	405
[그림 2-6-27] 풍전저수지 추정 순용수공급량	406
[그림 2-6-28] 회귀수와 관계회귀율	407
[그림 2-6-29] 마둔저수지 연도별 관계회귀율 (2001~2015)	408
[그림 2-6-30] 대사저수지 연도별 관계회귀율 (2001~2015)	408
[그림 2-6-31] 풍전저수지 연도별 관계회귀율 (2001~2015)	408
[그림 2-6-32] HOMWRS와 ARWS의 작부시기	413

[그림 2-6-33] 개미군집알고리즘 개념도	414
[그림 2-6-34] 마둔저수지 최적화 알고리즘을 이용하여 추적한 저수율 추적결과	415
[그림 2-6-35] 마둔저수지 HOMWRS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과	415
[그림 2-6-36] 마둔저수지 ARWS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과	415
[그림 2-6-37] 대사저수지 최적화 알고리즘을 이용하여 추적한 저수율 추적결과	416
[그림 2-6-38] 대사저수지 HOMWRS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과	416
[그림 2-6-39] 대사저수지 ARWS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과	416
[그림 2-6-40] 풍전저수지 최적화 알고리즘을 이용하여 추적한 저수율 추적결과	417
[그림 2-6-41] 풍전저수지 HOMWRS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과	417
[그림 2-6-42] 대사저수지 ARWS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과	417
[그림 2-6-43] 대사저수지 필지별 면적	419
[그림 2-6-44] 대사저수지 필지별 용수분배기준 및 고정수문	420
[그림 2-6-45] 마둔저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2001-2006)	423
[그림 2-6-46] 마둔저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2007-2012)	424
[그림 2-6-47] 마둔저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2013-2015)	425
[그림 2-6-48] 대사저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2001-2006)	426
[그림 2-6-49] 대사저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (207-2012)	427
[그림 2-6-50] 대사저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2013-2015)	428
[그림 2-6-51] 풍전저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2001-2006)	429
[그림 2-6-52] 풍전저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2007-2012)	430
[그림 2-6-53] 풍전저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2013-2015)	431
[그림 2-6-54] 마둔저수지 앙상블 모의 분석 결과	433
[그림 2-6-55] 마둔저수지 A지점 앙상블 모의 분석 결과	434
[그림 2-6-56] 마둔저수지 B지점 앙상블 모의 분석 결과	434
[그림 2-6-57] 마둔저수지 C지점 앙상블 모의 분석 결과	434
[그림 2-6-58] 대사저수지 앙상블 모의 분석 결과	435
[그림 2-6-59] 대사저수지 A지점 앙상블 모의 분석 결과	436
[그림 2-6-60] 대사저수지 B지점 앙상블 모의 분석 결과	436

[그림 2-6-61] 대사저수지 C지점 앙상블 모의 분석 결과	436
[그림 2-6-62] 풍전저수지 앙상블 모의 분석 결과	437
[그림 2-6-63] 풍전저수지 A지점 앙상블 모의 분석 결과	438
[그림 2-6-64] 풍전저수지 B지점 앙상블 모의 분석 결과	438
[그림 2-6-65] 풍전저수지 C지점 앙상블 모의 분석 결과	438
[그림 2-6-66] 마둔저수지 들녘단위 수리네트워크 모의 및 계측 유량 비교	440
[그림 2-7-1] 부표식 수위계	444
[그림 2-7-2] 압력식 수위계	445
[그림 2-7-3] 음파식 수위계	446
[그림 2-7-4] 초음파식 수위계	446
[그림 2-7-5] 프로펠러식 유속계	448
[그림 2-7-6] 전자식 유속계	449
[그림 2-7-7] 도플러식 유속계 원리 및 형태	449
[그림 2-7-8] 표면 유속계 원리 및 형태	450
[그림 2-7-9] 외벽부착식 유속계 원리 및 형태	450
[그림 2-7-10] 레이더 유량측정 절차 및 형태	451
[그림 2-7-11] 수문의 종류	453
[그림 2-7-12] 풍전저수지 및 모월저수지 용수간선도	459
[그림 2-7-13] 계측자료 데이터 전송 시스템 구성도	460
[그림 2-7-14] 모니터링 화면	464
[그림 2-7-15] 계측자료 조회 화면	464
[그림 2-7-16] RIMS 메인 화면	465
[그림 2-7-17] RIMS 시스템 구성도	466
[그림 2-7-18] RIMS 상세정보 조회 화면	466
[그림 2-7-19] 농촌용수종합정보시스템(RAWRIS) 메인화면	467
[그림 2-7-20] 농촌용수종합정보시스템(RAWRIS) 구성도	468
[그림 2-7-21] 용수시설통합운영관리시스템(TOMS) 메인화면	469
[그림 2-7-22] 용수시설통합운영관리시스템(TOMS) 구성도	470

[그림 2-7-23] 농업가뭍관리시스템(ADMS) Web 메인화면	471
[그림 2-7-24] 농업가뭍관리시스템(ADMS) 연계 구성도	472
[그림 2-7-25] 농업용수 공급 및 배수 네트워크 체계 개념도	473
[그림 2-7-26] 네트워크 구성 모델링	476
[그림 2-7-27] Orifice 유출의 자유유출과 수중유출	477
[그림 2-7-28] 분기점의 지형요소 및 네트워크 수리모형	478
[그림 2-7-29] 포장(논)에서의 물수지	479
[그림 2-7-30] 포장(논) 물수지 개념	479
[그림 2-7-31] 포장(논)의 네트워크 모델링	480
[그림 2-7-32] 유말공 지형요소 및 네트워크 수리모형	480
[그림 2-7-33] 농업기반시설관리시스템(RIMS) 수로 구성도	482
[그림 2-7-34] 수로의 좌표 및 표고 측정	483
[그림 2-7-35] DEM과 수로중심선 중첩에 의한 지반고 추출	483
[그림 2-7-36] 수로 바닥고 추정	484
[그림 2-7-37] 측정지점 간 수로 바닥고 추정	484
[그림 2-7-38] 시범지구 네트워크 구축 결과	485
[그림 2-7-39] 시범지구 네트워크 시스템 반영 결과	486
[그림 2-7-40] 순환형 농업용수 관리 분석시스템의 구성	487
[그림 2-7-41] Tank 모형의 개념도	489
[그림 2-7-42] 논리적 구성 ERD	493
[그림 2-7-43] 물리적 구성 ERD	494
[그림 2-7-44] 원격제어장치 모듈 모식도	525
[그림 2-7-45] 원격제어장치 내부 결선도	526
[그림 2-7-46] 고정식 양수장치 원격제어 및 이동형 양수장치 활용 개념도	527
[그림 2-7-47] 이동형 양수장치 구성 및 활용 개념도	528
[그림 2-7-48] 기존 양수장치 RTU 구성	529
[그림 2-7-49] 구축된 양수장치 RTU 구성	530
[그림 2-7-50] 현장 제어반 표출 화면	530

[그림 2-7-51] 이양재배시 작물 재배 기간	532
[그림 2-7-52] 이동식 적재함 바닥	535
[그림 2-7-53] 이동식 적재함 전인장치	535
[그림 2-7-54] 고압호스 권양기	536
[그림 2-8-1] 우리나라 수자원 이용현황	537
[그림 2-8-2] 최근 농업용수 수질기준(Ⅳ등급) 초과 현황	544
[그림 2-8-3] 담 총면적 대비 수리담 비율	549
[그림 2-8-4] 지역별 수리담을 현황(2007~2016)	550
[그림 2-8-5] 지역별 수리안전담을 현황(2007~2016)	551
[그림 2-8-6] 수리안전담-가뭄발생 면적 연계 현황	552
[그림 2-8-7] 수리불안전담-가뭄발생 면적 연계 현황	553
[그림 2-8-8] 이수안전 분석 대상 저수지 분석 현황	554
[그림 2-8-9] 전국 저수지 이수안전 분석 결과	555
[그림 2-8-10] 지역별(도별) 이수안전 분석결과	558
[그림 2-8-11] 평년·5년·10년 한발빈도 지역 분석 현황	558
[그림 2-8-12] 평년이하 및 5년 한발빈도 지역 분석 현황	559
[그림 2-8-13] 최근 3개년 논 가뭄 발생 지역 분석 현황	559
[그림 2-8-14] 경기도 안성시 금광저수지 저수율-강수량 분석	560
[그림 2-8-15] 충청남도 보령시 청천저수지 저수율-강수량 분석	561
[그림 2-8-16] 충청남도 서천군 동부저수지 저수율-강수량 분석	561
[그림 2-8-17] 경기도 용인시 기흥저수지 저수율-강수량 분석	562
[그림 2-8-18] 강원도 철원군 토교저수지 저수율-강수량 분석	563
[그림 2-8-19] 경상북도 경주시 덕동저수지 저수율-강수량 분석	563
[그림 2-8-20] 흙수로 전경	564
[그림 2-8-21] 잡초로 인한 통수저해 사례	565
[그림 2-8-22] 비탈면이 붕괴된 토공수로 전경	565
[그림 2-8-23] 인력으로 조작되고 있는 분수문 전경	569
[그림 2-8-24] 관개구역에서의 용수 흐름도	576

[그림 2-8-25] 관행 심수관개 이양재배 생육기별 물관리	579
[그림 2-8-26] 논두렁 다지기 전경	584
[그림 2-8-27] 비닐갈기 피복 전경	584
[그림 2-8-28] 벧집 피복 전경	585
[그림 2-8-29] 논물가두기 전경	585
[그림 2-8-30] 양수장비 및 송수호스 점검 및 정비 전경	585
[그림 2-8-31] 수로 청소 전경	586
[그림 2-8-32] 파손된 수리 시설물 전경	586
[그림 2-8-33] 분수문 전경	586
[그림 2-8-34] 농업용수 지원센터 용수공급 전경	587
[그림 2-8-35] 관정점검(양수장비) 전경	587
[그림 2-8-36] 집단못자리 설치 전경	589
[그림 2-8-37] 논 물가두기 전경	589
[그림 2-8-38] 수초 제거 전경	589
[그림 2-8-39] 용·배수로 물꼬관리 전경	590
[그림 2-8-40] 한국농어촌공사 재난안전상황실 전경	590
[그림 2-8-41] 건담직파 시행 전경	591
[그림 2-8-42] 전국 저수율 현황 모니터링 전경	592
[그림 2-8-43] 집단 못자리 운영 전경	592
[그림 2-8-44] 간단관개 추진 체계도	593
[그림 2-8-45] 배수로용수 재이용 체계도	593
[그림 2-8-46] 유회관개 및 관개방식에 따른 물절약 효과도	594
[그림 2-8-47] 간척농지 용수공급 및 관리 전경	597
[그림 2-8-48] 2018년 지역별 필요용수량 및 수혜면적 그래프	604
[그림 2-8-49] 2018년 시기별 필요용수량 그래프	605
[그림 2-8-50] 시기별 지역별 필요용수량 현황	607
[그림 2-8-51] 최근 3개년 지역별 농업용수 사용량 현황	608
[그림 2-8-52] 최근 3개년 지역별 수혜면적 현황 그래프	609

[그림 2-8-53] 2018년 시기별 농업용수 공급 현황 그래프	610
[그림 2-8-54] 2018년 지역별 및 시기별 농업용수 공급 현황	612
[그림 2-8-55] 2018년 지역별 필요용수량 및 용수공급량 현황 그래프	613
[그림 2-8-56] 2018년 시기별 필요용수량 및 용수공급량 비교 그래프	616
[그림 2-9-1] 저수지별 필요수량과 공급수량 비교	627
[그림 2-9-2] 소유역별 관개기 유입수량 산정	629
[그림 2-9-3] 남산취입보	629
[그림 2-9-4] 마둔저수지 순환용수 판단을 위한 소하천 유역	632
[그림 2-9-5] 대사저수지 순환용수 판단을 위한 소하천 유역	634
[그림 2-9-6] 풍전저수지 순환용수 판단을 위한 소하천 유역	635
[그림 2-9-7] 마둔저수지 시나리오 1 모의 결과	639
[그림 2-9-8] 마둔저수지 시나리오 1 모의 결과	639
[그림 2-9-9] 마둔저수지 시나리오 1 결과 지점별 가용수량	640
[그림 2-9-10] 마둔저수지 시나리오 2 모의 결과	641
[그림 2-9-11] 마둔저수지 시나리오 2 모의 결과	642
[그림 2-9-12] 마둔저수지 시나리오 2 결과 지점별 가용수량	643
[그림 2-9-13] 마둔저수지 시나리오 3 모의 결과	644
[그림 2-9-14] 마둔저수지 시나리오 3 모의 결과	645
[그림 2-9-15] 마둔저수지 시나리오 3 결과 지점별 가용수량	646
[그림 2-9-16] 마둔저수지 시나리오 4 모의 결과	647
[그림 2-9-17] 마둔저수지 시나리오 4 모의 결과	648
[그림 2-9-18] 마둔저수지 시나리오 4 결과 지점별 가용수량	649
[그림 2-9-19] 의사결정 지원요소 항목 분석 및 요소별 의사결정 인터페이스	651
[그림 2-9-20] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과 예시	652
[그림 2-9-21] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황 예시	652
[그림 2-10-1] 마둔저수지 대상 저수지 저수율 추적	668
[그림 2-10-2] 대사저수지 대상 저수지 저수율 추적	668
[그림 2-10-3] 풍전저수지 대상 저수지 저수율 추적	669

[그림 2-10-4] 2015년 마둔저수지 관개만족도	699
[그림 2-10-5] 2015년 마둔저수지 A지점 포장담수심	700
[그림 2-10-6] 2015년 마둔저수지 B지점 포장담수심	700
[그림 2-10-7] 2015년 마둔저수지 C지점 포장담수심	700
[그림 2-10-8] 2015년 마둔저수지 D지점 포장담수심	700
[그림 2-10-9] 이동식 양수장치 적용 후 관개만족도	701
[그림 2-11-1] SWAT 모형의 물수지	705
[그림 2-11-2] 순환형 농업용수 관리시스템 메인 화면	706
[그림 2-11-3] 마둔저수지 시점부 강우 측정 정보	708
[그림 2-11-4] 대사저수지 시점부 강우 측정 정보	709
[그림 2-11-5] 풍전저수지 시점부 강우 측정 정보	709
[그림 2-11-6] 저수율 정보 조회 화면	710
[그림 2-11-7] 수로유량 정보 조회 화면	710
[그림 2-11-8] 기상자료 정보 조회 화면	711
[그림 2-11-9] DIROM 유입량 분석 화면	712
[그림 2-11-10] SWAT 유입량 분석 화면	712
[그림 2-11-11] 단기분석 설정 화면	713
[그림 2-11-12] 단기분석 기본 설정 화면	714
[그림 2-11-13] 윤번관개 설정 화면	714
[그림 2-11-14] 윤번관개 상세 설정 화면	715
[그림 2-11-15] 단기분석 수문 개도 설정 화면	715
[그림 2-11-16] 단기분석 수문 개도 추가 화면	716
[그림 2-11-17] 단기분석 저수지 설정 화면	716
[그림 2-11-18] 단기분석 관개 설정 화면	717
[그림 2-11-19] 단기분석 양수장 설정 화면	717
[그림 2-11-20] 단기분석 사용자 설정 추가 화면	718
[그림 2-11-21] 단기분석 농업용수 분석 결과 화면	718
[그림 2-11-22] 단기분석에 따른 분석 결과 지도 화면	719

[그림 2-11-23] 단기분석 결과 지점별 데이터 조회 화면	719
[그림 2-11-24] 관개기 동안의 장기 농업용수 분석 설정 화면	720
[그림 2-11-25] 관개기 동안의	721
[그림 2-11-26] 분석을 위한 강우 적용 화면	721
[그림 2-11-27] 적용된 강우 상세정보 화면	722
[그림 2-11-28] 중장기분석 상세설정 화면	722
[그림 2-11-29] 관개기 동안의 중장기 농업용수 분석 결과 화면	723
[그림 2-11-30] 목표담수심 대비 공급된 담수심 GIS 기반 표출 화면	723
[그림 2-11-31] 가용수량 분석 결과 화면	724
[그림 2-11-32] 분석결과 조회 화면	724
[그림 2-11-33] 이동식 적재함 외관	725
[그림 2-11-34] 이동식 양수장치 시스템 운영 절차	731
[그림 2-11-35] 이동식 양수장치 시스템 시연 결과	732
[그림 2-11-36] 이동식 양수장치 시연	732
[그림 2-11-37] 이동식 양수장치 언론 홍보	733
[그림 2-11-38] 이동식 양수장치 현장 업무지원 모바일 시스템	734
[그림 2-12-1] 논용수의 반순별 변화	737
[그림 2-12-2] 전국 논용수의 경년변화	738
[그림 2-12-3] 일본의 경지면적 변화	740
[그림 2-12-4] 일본의 수자원이용현황	740
[그림 2-12-5] 미국의 수자원이용 변화	742
[그림 2-12-6] 과거 30년 및 최근 3년 연평균 일평균기온	744
[그림 2-12-7] 과거 30년 및 최근 3년 연평균 폭염일수	744
[그림 2-12-8] 과거 30년 및 최근 3년 연평균 강수량	745
[그림 2-12-9] 과거 30년 및 최근 3년 무강우일수	746
[그림 2-12-10] 과거 30년 및 최근 3년 기준증발산량	746
[그림 2-12-11] 과거 30년 및 최근 3년 논외 필요수량	747
[그림 2-12-12] 과거 30년 및 최근 3년 밭외 필요수량	748

[그림 2-12-13] 행정구역별 농업용수 공급시설 개소수	751
[그림 2-12-14] 전국 농업용수 공급시설 종류별 개소수	751
[그림 2-12-15] 담 총면적 대비 수리담 비율	753
[그림 2-12-16] 벼 재배면적 및 논벼 단수추이	757
[그림 2-12-17] 쌀 소비 동향	758
[그림 2-12-18] 쌀 재고 동향	758
[그림 2-12-19] 연도별 전국 경지면적 변화	760
[그림 2-12-20] 2015~2019년 시설별 농업용수 공급량	766
[그림 2-12-21] 연도별 농업용수 공급량	766
[그림 2-12-22] 연도별 농업용수 공급량	767
[그림 2-12-23] 경기 공급량-강수량 현황	768
[그림 2-12-24] 강원 공급량-강수량 현황	768
[그림 2-12-25] 충북 공급량-강수량 현황	769
[그림 2-12-26] 충남 공급량-강수량 현황	769
[그림 2-12-27] 전북 공급량-강수량 현황	770
[그림 2-12-28] 전남 공급량-강수량 현황	770
[그림 2-12-29] 경북 공급량-강수량 현황	771
[그림 2-12-30] 경남 공급량-강수량 현황	771
[그림 2-12-31] 2015년 월별 저수지 농업용수 공급량	772
[그림 2-12-32] 2016년 월별 저수지 농업용수 공급량	773
[그림 2-12-33] 2017년 월별 저수지 농업용수 공급량	774
[그림 2-12-34] 2018년 월별 저수지 농업용수 공급량	775
[그림 2-12-35] 2019년 월별 저수지 농업용수 공급량	776
[그림 2-12-36] 시도별 양·배수장 농업용수 공급량	777
[그림 2-12-37] 2015년 양·배수장 농업용수 공급량	778
[그림 2-12-38] 2016년 양·배수장 농업용수 공급량	779
[그림 2-12-39] 2017년 양·배수장 농업용수 공급량	780
[그림 2-12-40] 2018년 양·배수장 농업용수 공급량	781

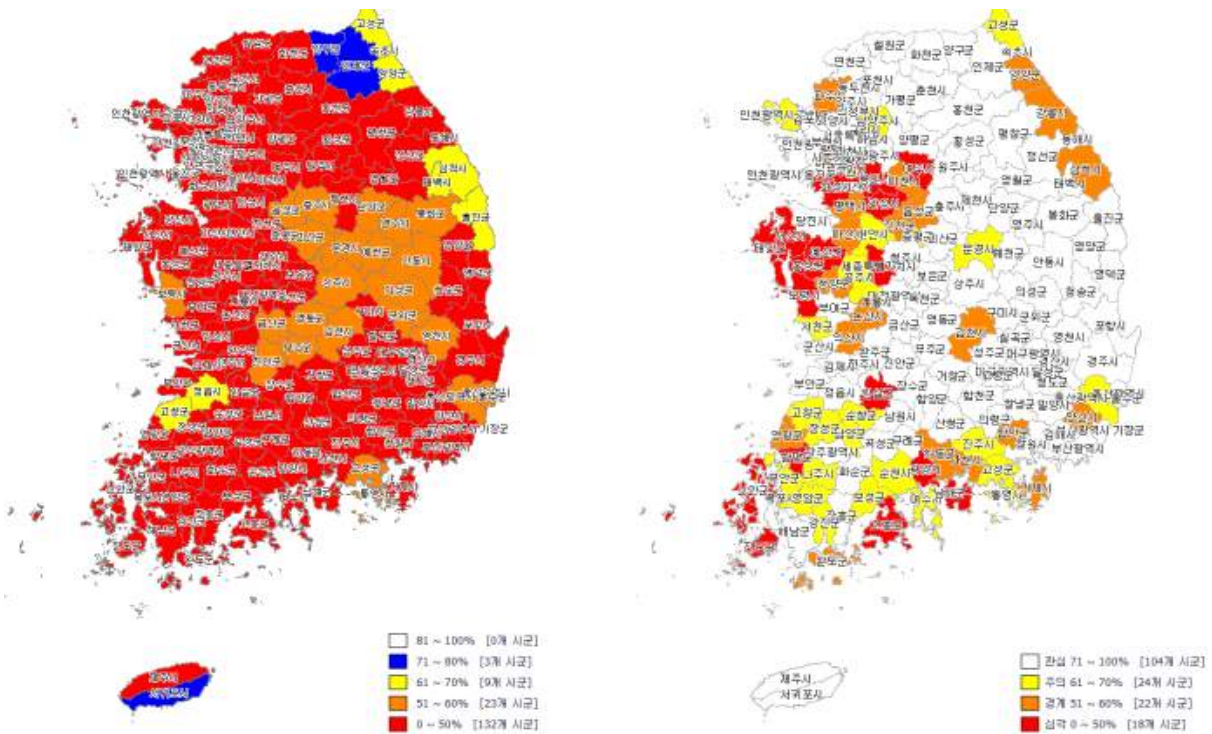
[그림 2-12-41] 2019년 양·배수장 농업용수 공급량	782
[그림 2-12-42] 2018년 대상저수지별 양수저류 실적 그래프	787
[그림 2-12-43] 2018년 양수저류 목표량 대비 실적 그래프	788
[그림 2-12-44] 2019년 대상저수지별 양수저류 실적 그래프	789
[그림 2-12-45] 2019년 양수저류 목표량 대비 실적 그래프	790
[그림 2-12-46] 2020년 대상저수지별 양수저류 실적 그래프	791
[그림 2-12-47] 2020년 양수저류 목표량 대비 실적 그래프	792
[그림 2-12-48] 2020년 영농이후 경기지역 저수율 현황	793
[그림 2-12-49] 2020년 경기지역 월별 양수저류 실적	793
[그림 2-12-50] 2020년 영농이후 강원지역 저수율 현황	794
[그림 2-12-51] 2020년 강원지역 월별 양수저류 실적	794
[그림 2-12-52] 2020년 영농이후 충북지역 저수율 현황	795
[그림 2-12-53] 2020년 충북지역 월별 양수저류 실적	795
[그림 2-12-54] 2020년 영농이후 충남지역 저수율 현황	796
[그림 2-12-55] 2020년 충남지역 월별 양수저류 실적	796
[그림 2-12-56] 2020년 영농이후 전북지역 저수율 현황	797
[그림 2-12-57] 2020년 전북지역 월별 양수저류 실적	797
[그림 2-12-58] 2020년 영농이후 전남지역 저수율 현황	798
[그림 2-12-59] 2020년 전남지역 월별 양수저류 실적	798
[그림 2-12-60] 2020년 영농이후 경북지역 저수율 현황	799
[그림 2-12-61] 2020년 경북지역 월별 양수저류 실적	799
[그림 2-12-62] 2020년 영농이후 경남지역 저수율 현황	800
[그림 2-12-63] 2020년 경남지역 월별 양수저류 실적	800

제 1장. 연구개발과제의 개요

제 1절. 연구개발의 필요성

1. 연구개발의 개요

- 기상이변에 따른 가뭃의 상습화와 농촌용수 수요증가에 대비할 수 있는 가뭃대책의 수립을 통한 용수부족 문제에 대한 근본적인 해소가 필요하다.
- 2017년 6월까지 누적강수량 224mm로 평년대비 48% 수준이었으나 장마 이후 8.31일 기준 773mm로 평년대비 75% 수준을 보였다.
- 73년 기상관측 이래 2017년 6월까지 강수량 최저 수준으로 경기 남부, 충남 서북부, 전남 남부지역 등 가뭃이 발생하였다.
- 2017년 6월 30일 기준 전국 평균 저수율은 36%로 평년대비 62% 수준으로 저조하였으나 8월 31일 기준 67%로 평년대비 90%로 유지하였다.
- 2017년 상반기에는 전례없는 강수량 부족으로 경기 남부, 충남 서북부, 전남 남부지역에 가뭃이 발생하였으며 장마철 강우의 지역적 편차로 전남, 경북, 경남의 일부 남부지역에 가뭃이 지속되었다.

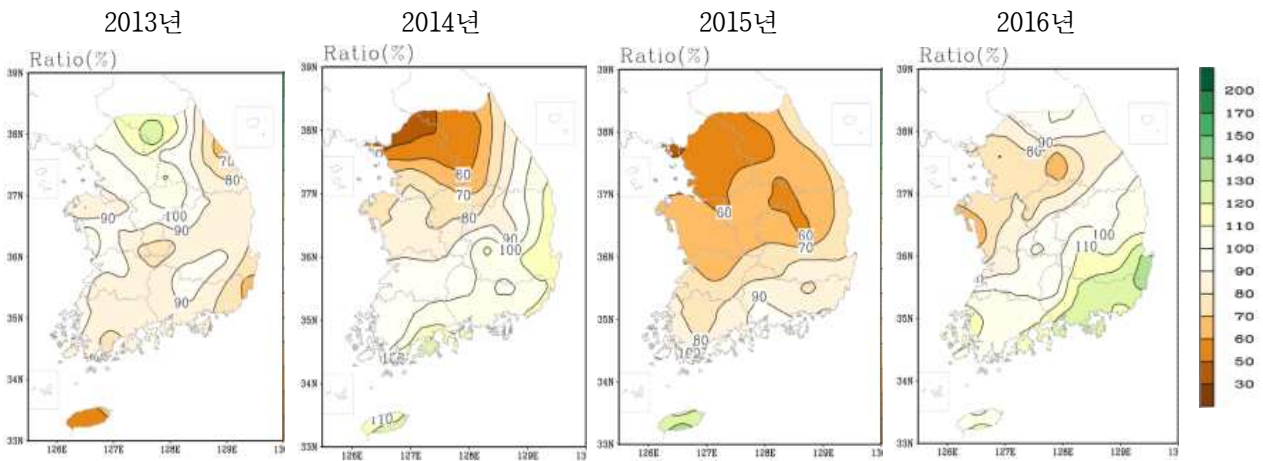


(a) 평년대비 강수량 지도('17.6.30)

(b) 평년대비 저수율 지도('17.6.30)

[그림 1-1-1] 2017년 평년대비 강수량 및 저수율(한국농어촌공사)

- 최근의 가뭄은 발생주기가 빨라지고 지역별 강수편차가 확대되는 추세이다.
- '73년 기상관측 이후 5~7년 주기로 전국적 가뭄이 반복되었고, 최근 지역적 가뭄 발생 빈도가 점차 심화되고 있다.
- * (중부지방 연평균 보통가뭄일수) 13일('70년대) → 48일('10년 이후)
- * '13년은 중남부지역, '14~'16년은 중부지역, '15년은 전국적으로 강수량 부족
- '00~'10년동안 농업가뭄은 6회 발생하였고, '12년 이후에는 매년 발생하는 등 가뭄의 발생 빈도가 점차적으로 증가하는 추세이다.
- 지구온난화에 따라 강수패턴이 집중호우 형태를 보여 국지적 가뭄 증가하였다.
- '13년 이후에는 북태평양 고기압 위치변화에 따른 지역적 강수 편중, 태풍 감소, 여름철 강수량 부족 등으로 매년 국지적 가뭄 발생하였다.
- * (한반도 영향 8월 연간 태풍의 수) '90년대 1.1개→'00년대 1.0개→'10년대 0.8개
- * (장마) '13~'16년은 장마전선이 남부에 편중, 올해는 중부에 장마강수가 집중
- 또한, 지형적 특성에 따라 강수량의 지역적 편차가 발생하였다.
- * 충남 동부지역은 서쪽에서 유입되는 수증기가 계룡산을 타고 상승하면서 비구름대를 형성하여 강수량이 많으나, 충남 서부지역은 지형이 낮은 해안가에 위치하여 강수가 적음
- 특히, 최근 중부지역 강수량이 크게 감소하는 등 지역적 편차가 확대되었다.
- * 연강수량 기준 강수부족 횟수('73년~) : 중부 7~10회 vs 남부 6~8회



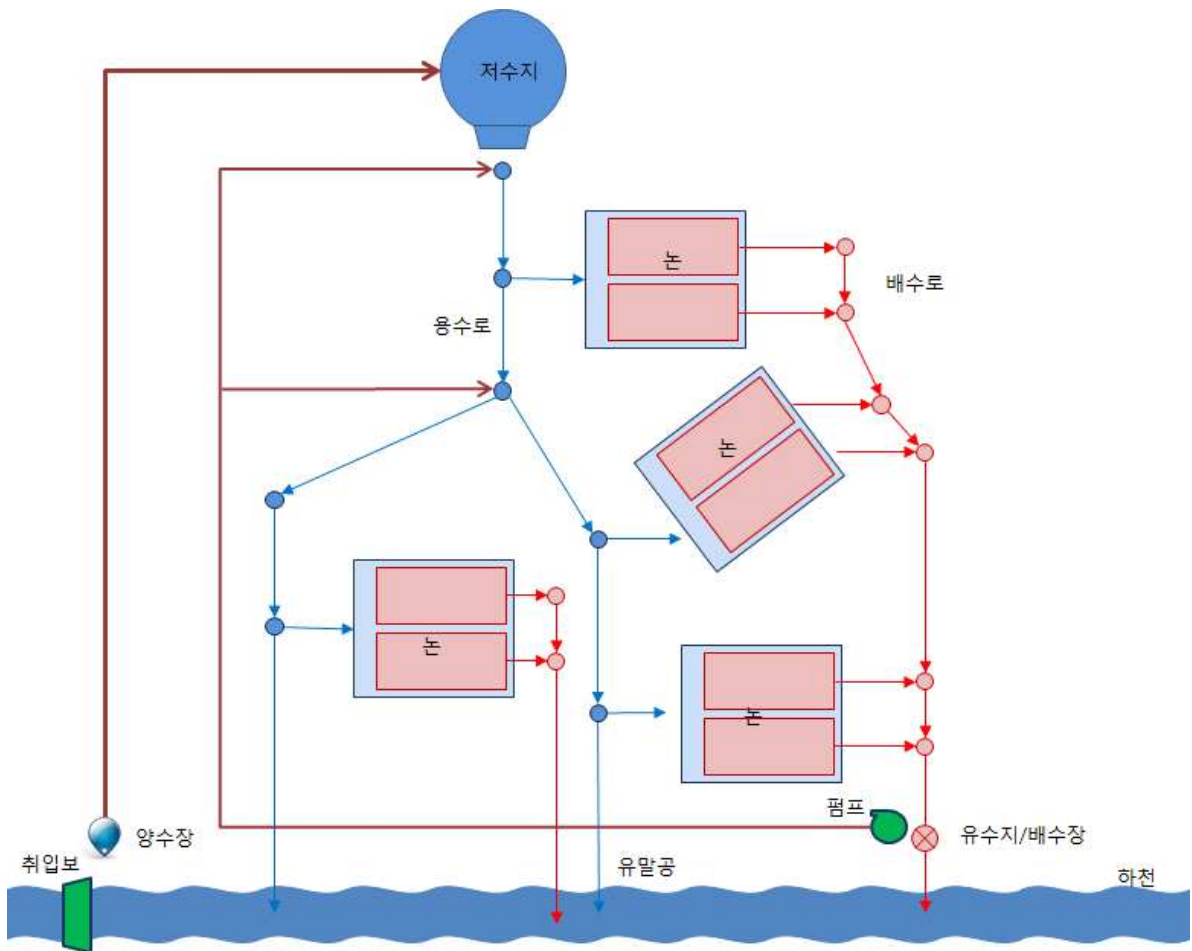
[그림 1-1-2] 2013년 이후 평년대비 연강수량 분포도

- 향후 기후변화로 인하여 가뭄 발생 가능성은 더욱 증가할 것으로 전망되며 가뭄에 따른 피해 방지를 위한 노력이 필요하다.

[표 1-1-1] 최근 농업가뭄 피해 현황

연도	가뭄시기	가뭄지역	피해 현황
2012	5~6월	서울, 인천, 경기, 충남	<ul style="list-style-type: none"> • 평년강우량의 31% 수준 (충남 경우 19% 수준) • 저수율(6월) 39% 수준 • 가뭄면적 11,500ha(논 물마름 5,000, 밭작물 시듦 6,500) • 충남, 전북 및 전남 지역 가뭄 극심 • 가뭄대책비(국비) 595억원 투입
2013	6~7월	전남, 경북, 경남, 제주	<ul style="list-style-type: none"> • 장마전선 내륙정체에 따른 남부지역 강수량 부족 • 가뭄면적 7,368ha(논 물마름 3,056, 밭작물 시듦 4,303) • 제주지역 1,700억원 농작물 피해 추정 • 가뭄대책비(국비) 145억원 투입
2014	5~7월	경기, 강원	<ul style="list-style-type: none"> • 평년강우량 65% 수준 • 저수율 51% 수준 • 임진강 유량부족과 강수부족 등으로 경기 북부 지역 모내기 곤란 (논 물마름 5,173ha) • 7월 인천, 경기, 강원지역 평균 저수율 35%, 6~7월 강수량 평년의 33% • 가뭄대책비(국비) 125억원 투입
2015	6~9월	인천, 경기, 강원, 충북, 경북	<ul style="list-style-type: none"> • 평년강우량 72% 수준 • 가뭄면적 7,358ha(논 물마름 2,822, 밭작물 시듦 4,536) • 5개 시도, 39개 시군 농경지 가뭄 극심 • 가뭄대책비(국비) 919억원 투입
2016	8~9월	충남, 전남북 경북, 제주	<ul style="list-style-type: none"> • 여름철 폭염, 6~8월 기간 평년강우량 62% 수준 • 가뭄면적 39,826ha(논 물마름 10,241, 밭작물 시듦 29,585) • 9개 시도, 102개 시군 농경지 가뭄 극심 • 가뭄대책비(국비) 369억원 투입
2017	5~7월	경기, 강원, 충북, 충남, 전남, 경북, 경남, 제주	<ul style="list-style-type: none"> • 평년강수량의 49% 수준 • 가뭄면적 9,457ha(논 물마름 7,780, 밭작물 시듦 1,677) • 가뭄대책비 440억원 지원

- 가뭄 대응 또는 진행상황에서 농업용수 부족을 해결할 수 있는 방안으로는 하천 등에서 농업용저수지로 양수하여 저류시켜 이용하는 방법이나 농업용저수지 등의 수원으로부터 농경지에 공급된 물이 배수로 등을 통하여 하천으로 방류되는 것을 저류하여 재이용하는 순환형 물관리 방법이 있다.
- 농업용저수지와 같은 주 수원공의 공급만으로 부족이 발생할 경우 이를 해결하기 위한 양수저류나 순환형 물관리를 적용하기 위해서는 부족량을 파악하여 공급에 필요한 수량을 분석하는 기술, 보조 수원공에서 공급가능한 수량을 분석하는 기술, 산출된 수량을 필요한 곳에 효과적으로 공급할 수 있는 실행 기술의 개발, 개발된 기술의 현장 적용성을 평가하여 보완할 수 있는 방안이 필요하다.



[그림 1-1-3] 순환형 농업용수 관리의 개념

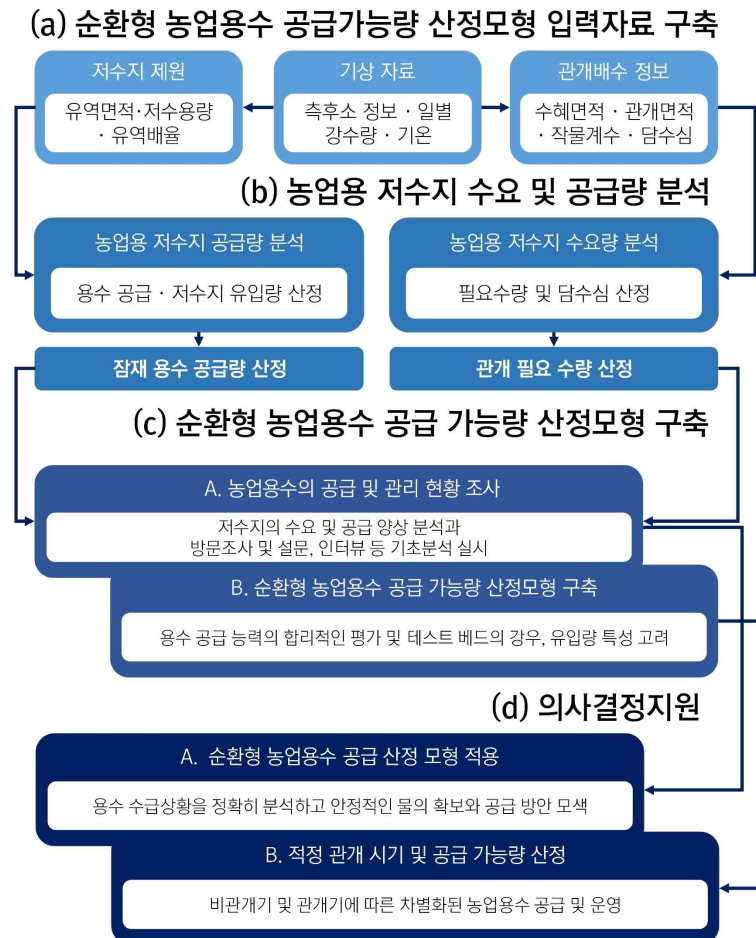
- 식량의 자급기반, 농지의 다면적/공익적 기능 유지, 농촌용수 회귀수의 환경용수 기능을 위해 농촌용수의 안정적인 개발 및 보전체계 구축이 필요하다.
- 효과적인 농촌용수관리를 위해서는 농촌수자원시스템과 농촌유역을 통합 관리하여 관개 지구의 관행적물관리 환경을 반영한 농촌용수 수요에 대한 적절한 양을 공급해야 한다.

- 적정 농촌용수를 공급하기 위해서는 관개지구의 필요수량뿐만 아니라 저수지, 하천, 지하수 등과 같은 수원들의 현재 및 미래 상황을 고려해야 한다. 농촌유역의 적정 용수를 관리하기 위해서는 관련 요소들의 상태를 시간별로 모의하고 이들 종합하여 의사결정을 지원할 수 있는 시스템이 필요하다.
- 저수지의 경우, 가뭄기에는 절수관개를 통하여 저류량을 확보하며, 홍수기에는 예비방류를 통하여 홍수관리를 실시한다. 유입유량과 저류량에 따라 방류량이 결정되므로 저수지 상태 예측이 저수지 운영 의사결정의 중요한 부분이다. 저수지 유입량 및 저류량은 장·단기 기상정보를 활용하여 예측되며, 합리적이고 정확한 예측이 필요하다.
- 사회-경제시스템, 기후, 사회적 선호도 등의 변화에 따라 관개면적, 작부체계, 물 관리 방식, 유입량 등도 변한다. 수리시설물의 노후화로 인하여 누수가 발생하고 배분관리 상태가 불량해져 관리 손실량도 증가함. 정확한 수요량을 추정하기 위해서는 관개지구에서 발생하는 변화를 주기적으로 모니터링하여 실제 물관리에 반영할 필요가 있다.
- 보조 수원공으로 사용될 수 있는 요소로는 용수로 말단의 무효방류량, 배수로 유출량, 지하수 관정이나 하천의 유량 등이며, 이러한 요소의 가능수량을 파악하기 위해서는 수위, 유속, 수질을 계측하고 물수지분석 모형에 의한 수량추정이 가능해야 한다.
- 저비용·고효율 순환형 용수관리 시스템 및 장치 개발이 필요하며, 이를 위해서는 수원에서 사용처까지 농업용수를 모니터링 할 수 있는 센서와 효과적인 물공급을 위한 장치 개발, 펌프, 관로, 저수지, 수로 현황 모니터링 자료를 기상자료와 연계한 원격제어가 가능하도록 IoT, ICT, 빅데이터를 이용한 순환형 용수관리 시스템 개발, 합리적 물공급 판단을 위한 의사결정지원 기술 및 시스템 개발이 요구된다.
- Test-bed 운영으로 개발된 기술의 현장 적용성을 평가할 수 있는 체계가 필요하며, 이를 위해서는 센서 및 장치의 Test-bed를 통한 현장실증 및 최적 현장 적용 기술 개발, 가뭄대응 기술의 적용시 경제성 분석 기술, 표준화된 방안의 도출로 일관성 있는 분석과 적용이 가능하도록 현장 검증이 요구된다.

2. 주요 연구개발 내용

가. 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 구축 및 기초 분석

- 합리적인 수자원 계획을 위해서는 용수의 수급 상황을 정확히 분석하여 충족한 물의 확보와 안정적인 공급 방안이 필요하다. 농업용 저수지는 일반적으로 비관개기에는 저수지의 담수에 치중하고 관개기에는 농업용수를 공급하는 것을 목적으로 한다. 농업용수의 효율적인 운영 및 관리를 위해서는 저수지의 수요 및 공급 양상을 파악하여 용수공급 능력의 합리적인 평가 방안이 필수적으로 선행되어야 한다.
- 본 연구에서는 테스트베드를 선정하여 농업용수의 공급 및 관리 현황을 방문조사 및 설문, 인터뷰 등을 토대로 실시하였다. 테스트베드의 강우 특성, 유입량 등을 고려하여 농업용수 공급 취약시기, 공급 가능량 등의 기초 분석을 실시. 또한 테스트베드의 수로부, 양수관 등에 계측장치를 설치하여 용수공급 자료를 지속적으로 구축할 예정이며, 이를 실공급량 분석과 모형의 검보정에 활용하고자 한다. 이를 토대로 테스트베드의 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형을 구축하고 적정 관개 시기 및 공급 가능량을 산정하도록 한다.



[그림 1-1-4] 순환형 농업용수 공급가능량 산정모형 개념도

나. 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 적용 및 검증

- 저수지 운영기법(Reservoir Operation Method, ROM)은 최적화 기법과 모의 기법으로 구분되며, 최적화 기법은 선형계획법(Linear Prograning, LP)과 동적계획법(Dynamic Prograning, DP)을 이용하여 부가되는 여러 가지의 설명 조건을 최적화시킴으로써 저수지의 최적 운영을 기하고자 하는 방법이지만, 시간별 운영에 따른 상태 변수의 다원화로 많은 계산과정이 필요하며, 실무적으로 접근이 어렵다.
- 모의 운영기법은 일반적으로 최적해를 얻기는 어려우나 상세하고 복잡한 문제를 다루기에 적합한 방법으로 그 이론이 간단하고 실무적으로 접근하기 쉬워 실시간 저수지 운영 방안으로 많이 채택되고 있다.
- 본 연구에서는 다양한 농업용수 공급 가능량 산정 모형을 검토하고 합리적 용수공급량 산정이 가능한 모형을 토대로 의사결정지원이 가능토록 하며, 테스트베드 적용 및 검증을 실시한다.
- 순환형 농업용수 공급에 따라 발생하는 이익과 손실을 직접 편익과 간접 편익으로 구분하여 제시하고자 한다.

다. 최적 용수배분을 위한 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축

- 농업용수의 최적 배분을 합리적으로 고려하기 위해서는 기존의 정상류 기반의 농업용수 공급 모형으로는 한계가 존재한다.
- 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 수문의 개폐, 물꼬관리 높이 등을 물리적으로 고려할 수 있는 농업용수 네트워크 모형을 구축한다.
- 본 연구에서 구축할 농업용수 네트워크 모형은 1차원 비정상 흐름을 수리학적인 모형(1D Dynamic wave)으로 고려하여 농업용수로 및 배수로 망을 보다 현실적으로 고려하고자 한다.
- 개별 용수로 및 배수로는 노드를 연결하는 링크로 고려하고 용수로 간의 수문, 펌프, 위어 등은 노드로 고려하여 순환형 농업용수 네트워크 시스템을 모델링 하고자 한다.
- 농업용수 네트워크 모형 적용을 위해 용수로 길이, 경사, 조도 등과 수문 및 양수펌프 제원 등 측정 또는 자료수집이 필요하다.
- 순환형 농업용수 네트워크 모형을 시범지구에 적합하도록 구축하고 관측된 수위-유량 등의 데이터를 이용해 모형을 검증한다.
- 모형의 검증과정을 통해 모델링 상의 다양한 가정 및 매개변수 등을 조정하여 모형

을 성능을 개선하고자 한다.

- 기존의 모형의 일단위 시간 간격에 비해 보다 조밀한 시/분 단위 계산을 수행할 수 있도록 모형을 구축한다.
- 순환형 농업용수 네트워크 모형의 구축을 위해서는 많은 양의 데이터가 필요할 것으로 예상되며 이는 적용에 있어서 단점으로 작용할 가능성이 존재한다.
- 이러한 단점을 개선하기 위하여 수로망 또는 그 외 수리구조물들의 모형상 단순화 작업을 통해 상세히 구축된 모형과의 성능을 비교하여 단순화할 수 있는 입력자료를 단순화하고자 한다.

라. 들녘단위 농업용수 최적 운영방안 제시

- 가뭄상황에 대하여 다수의 시나리오를 기반으로 하여 농업용수 네트워크 모형의 앙상블 모의를 수행하고자 한다.
- 앙상블 모의 수행 결과에 대하여 농업용수 관리 측면에서 분석하고자 한다.
- 앙상블 모의 수행 결과 및 분석결과를 활용하여 입출력을 단순화한 기계학습을 통한 농업용수 공급 모형을 구축하고자 한다.
- 농업용수 공급모형에 의한 농업용수 최적 운영방안을 제시하고자 한다.
- 농업용수 관행적 운영시와 비교하여 최적분배기술 적용 시 발생하는 경제효과 분석을 하고자 한다.

마. 효율적인 양수저류 방법 제시

- 시나리오 기반 순환형 수리네트워크 모형의 결과를 바탕으로 효율적인 양수저류 방법론을 도출하고자 한다.
- 수리학적 분석과 관측자료를 바탕으로 효율적인 양수저류 방법을 제시하고자 한다.
- 강우시나리오별 최적의 양수량 및 양수시기를 제시하고자 한다.
- 지역(수원공) 특성을 반영한 최적장비 조합(이동형, 고정형)을 제시하고자 한다.



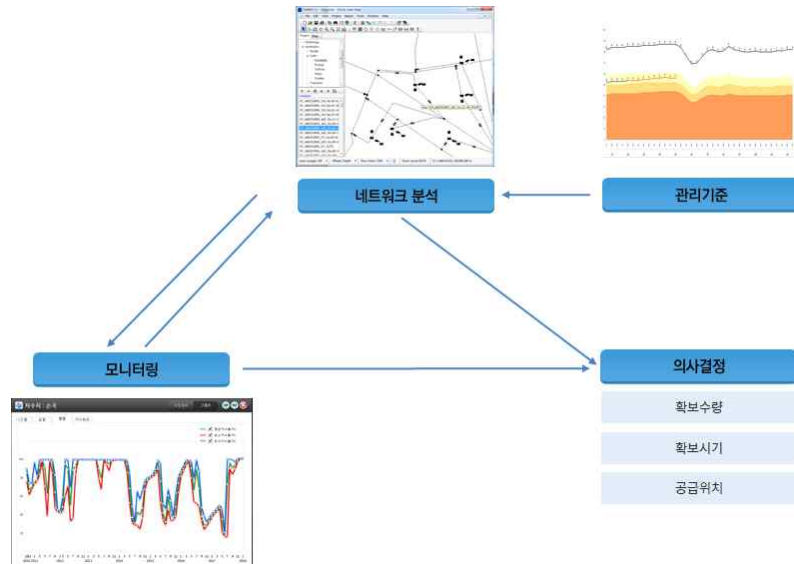
[그림 1-1-5] 농업용수 최적 운영 방안 도출을 위한 연구 흐름도

바. 농업용수 모니터링 센서 및 장치 개발(수원에서 사용처까지)

- 농업용수를 효과적으로 관리하기 위해서는 우선 물이 공급되는 수원지에서 농경지와 하천으로 배수되는 전체적인 과정의 모니터링이 필요하고 이러한 모니터링에는 저수지 수위, 용수로와 배수로의 수위와 유속, 관개지구 말단부의 저류시설의 수위, 수질 등의 종합적인 관측이 요구된다.
- 배수로 저류시설, 하천, 관정 등으로부터 농경지에 필요한 수량을 공급하는 경우 하천의 수위와 관정의 양수능력 등을 파악할 수 있도록 센서에 의한 계측과 농경지 수량 공급을 위해 필요한 장치인 펌프, 관로 등을 효율적으로 활용할 수 있는 기술 개발이 필요하다.
- 현재 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 활용 현황을 조사하여 농업용수의 합리적 관리를 위해 요구되는 모니터링 센서 및 장치의 개발방안을 도출하고자 한다.
- 가뭄의 발생은 고정된 지역에서 지속적으로 발생하지 않고 가뭄 상황에 따라 지역적 변동이 발생할 수 있기 때문에 순환형 물관리 장치가 이러한 지역적 가뭄발생 가변성을 반영할 수 있도록 이동이 가능한 형태로 모니터링, 제어, 의사결정지원이 가능한 기능이 탑재된 이동식 양수저류 장치 시작품을 개발하고자 한다.

사. 합리적 물공급 판단을 위한 의사결정지원 기술 및 시스템 개발

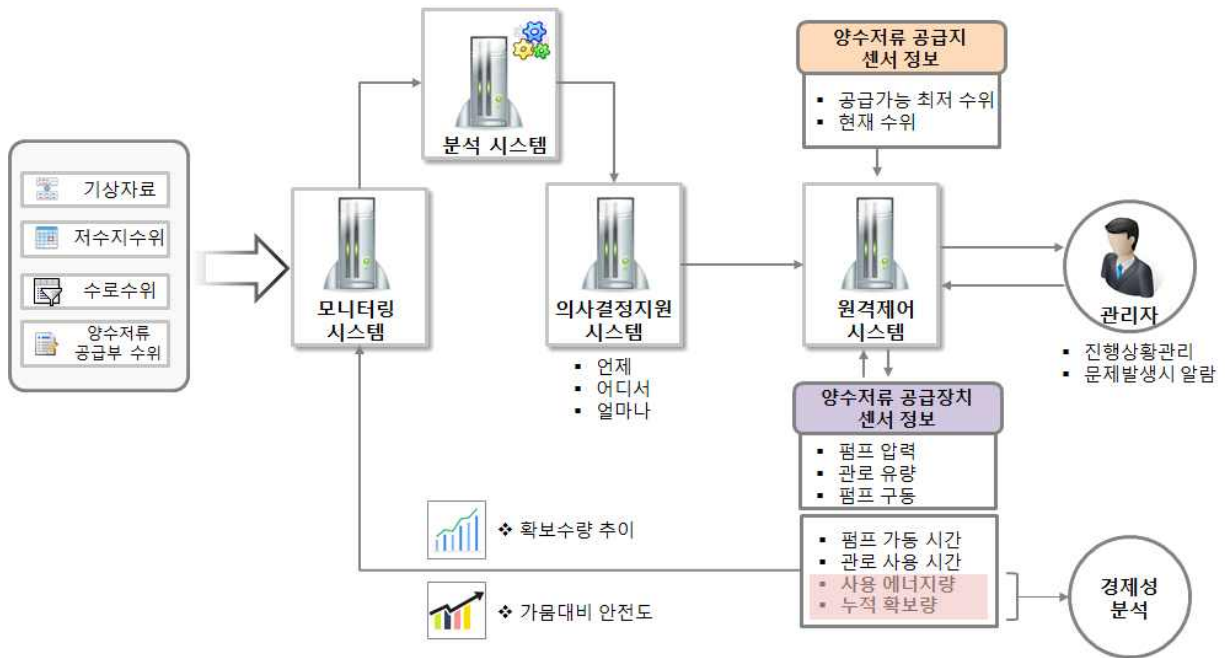
- 물공급 관리자는 현재의 상황을 모니터링 체계에 의해서 인지하고 설정된 공급기준에 의거하여 물을 언제, 얼마만큼 공급할 것인지를 판단할 수 있는 정보를 필요로 하며, 이를 위해서 저수지 수위, 기상정보, 보조 수원으로 사용될 수 있는 하천이나 관정, 저류지 등의 계측자료와 모델링 과정을 통해서 분석된 결과를 관리기준과 대비하여 제공할 수 있는 의사결정지원시스템을 구축해야 한다.
- 저수지 공급능력에 의해 산출된 공급 필요수량을 만족시킬 수 있는 공급가용수량의 파악을 위해서 관측자료 및 모델링을 통한 분석 대상 영역별 가용수량 산정 방안을 도출한다.
- 공급 필요수량과 공급 가용수량의 관계에서 도출된 순환형 농업용수 관리 설계수량 및 저수지나 수로부의 목표지점 설정에 따른 용수공급 영향을 분석한다.
- 활용가능한 관측정보와 모델링 결과 그리고 관리기준에 따라 순환형 농업용수 관리를 실행할 수 있는 의사결정지원시스템을 개발하고자 한다.



[그림 1-1-6] 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 흐름

아. IoT, ICT, 빅데이터를 이용한 순환형 농업용수 관리 시스템 개발

- 양수저류사업 과정에서 펌프의 제어나 관로의 상태 등을 파악하기 위해서 많은 인력과 노력이 투입되고 있는데 센서-장치-관리자가 연계되어 상황을 효과적으로 파악하여 제어할 수 있는 시스템 개발이 필요하다.
- 농업용수 관리를 위해 활용되고 있는 IoT, ICT, 빅데이터를 이용한 시스템 현황 분석이 필요하다.
- 양수저류나 순환형 농업용수 관리를 위한 구성요소인 펌프, 관로, 저수지, 수로 현황 모니터링 자료를 활용한 원격제어 시스템을 구축하며, 이를 위해서 펌프가동을 위한 하천이나 저류지의 수위, 펌프 가동 및 중단이 가능한 센서, 관로의 압력을 측정하여 정상적인 작동 상황인지를 관리자가 인지할 수 있는 상호 소통이 가능한 연계 시스템으로 개발하고자 한다.
- 기상자료, 저수지 수위 등의 계측자료와 연계하여 관리자가 현장의 상황을 인지하고 원격제어 시스템을 효율적으로 활용할 수 있는 운영방안을 도출하고자 한다.



[그림 1-1-7] 순환형 농업용수 관리 시스템 개념도

자. 테스트베드를 통한 현장실증 및 최적 현장 적용 기술개발

- 개발된 기술을 현장에 적용하여 효과적으로 운영하기 위해서는 시범 테스트베드를 선정하여 적용성을 평가하는 과정이 필요하며, 이를 위해서 기존에 양수저류 사업이 시행되고 있는 지구(펌프나 관로 등이 설치된 지역을 선정)에 센서를 부착하여 정보를 추출하고 이를 토대로 관리자와 센서 및 장치가 연계된 형태로 구동될 수 있는 상황을 재현하여 성능을 검증하고자 한다. 테스트베드 현장실증을 위해서 시범 지구로 선정된 지구의 현황 및 특성을 파악하여 필요 센서 및 장치 구성방안 도출. 모니터링, 원격제어, 의사결정지원 기능이 통합된 순환형 농업용수 관리 시스템을 현장에 적용하여 개발된 기술의 적용성을 평가하고자 한다.
- 고정형 양수저류 장치 및 가뭄발생의 지역적 가변성을 고려하여 개발한 이동식 양수저류 장치와 순환형 농업용수 관리시스템을 연동하여 현장 적용의 적용성을 확립하고 운영방안 제시하고자 한다. 고정형 양수저류 장치는 기존의 취수원에서 저수지까지 PE관로가 매설되어 있는 송수관로 및 양수장으로 구성되며, 장치의 시점부터 종점까지 원격 제어 및 CCTV 등을 통한 모바일에 의한 감시가 가능한 방안 도출하여 적용하고자 한다.
- 이동형 양수저류 장치는 기존 고정형 양수저류 장치의 송수관로 중간에서 직접 용수로로 공급하거나 저류지 등의 취수원에서 지근 거리의 용수로에 공급하는 데 활용되며 모바일에 의해 필요한 정보를 관리자가 취득하고 관리에 활용할 수 있도록 구성하고자 한다. 기존 인력집중형 농업용수 관리에서 센서-장치-관리자의 연계를 통한 운영이 가능하도록 순환형 용수관리 시스템 활용을 통한 현장 최적 적용 방안을 도출하고자 한다.



[그림 1-1-8] 고정형 및 이동형 양수저류 장치 활용 및 원격제어 개념도

차. 무방류 순환형 관개 시스템의 규격화 및 표준화 방안 제시

- 양수저류나 순환형 농업용수 관리를 위한 사업의 추진에 있어서 사업전반에 걸쳐 합리적이고 일관된 계획수립과 관리를 위해서는 소요되는 센서, 장치 등의 현장특성인 양정, 수량, 관로길이 등에 따른 비용의 산출과 센서와 펌프, 관로 등의 내구연한대비 사용시간과 이들의 운영에 소요되는 에너지에 대한 종합적 파악이 요구된다.
- 양수저류 사업이나 순환형 농업용수 관리를 위한 소요비용 산출을 위해 센서 및 장치 목록 DB 설계하고 비용추산을 위한 방안을 도출하고자 한다. 대상 영역별 필요 센서 및 장치의 다양한 조합에 따른 비용분석을 통해 지역 특성이 반영된 최적의 결과 도출이 가능하고 지역간 비교가 가능하도록 구성하고자 한다.
- 순환형 농업용수 관리에 활용된 센서 및 장치 유지관리 및 순환형 농업용수 관리 실행을 위한 장치 구동에 소요되는 에너지를 파악하여 관리할 수 있는 방안을 도출하고자 한다.

카. 가뭄대응 최적 용수공급 도출을 위한 현황 모니터링 및 분석

- 국내 연도별 가뭄발생에 따른 가뭄대책 추진 사례 자료수집 및 현장 조사를 통하여 기존 양수저류 추진 문제점, 개선사항 및 보완점 도출이 필요하다. 지역별 양수저류 실시 지구를 구분하여 가뭄상황(강우량, 저수율 등) 조사 및 양수저류 실시 시기 조사 분석을 통한 시사점 도출에 따른 최적 양수시기 도출에 분석자료를 반영하고자 한다.



[그림 1-1-9] 가뭄 대응을 위한 양수저류 시설

- 전국 농업용 저수지 대상 운영 기준 자료 조사를 통하여 비효율적이고 개선 필요 부문 도출 및 최적 용수공급 관리기준 마련에 필요한 분석자료를 제공하고자 한다. 지역별 및 연도별 농업용수 필요수량 자료 수집 및 분석을 위하여 전국 시군별 및 수원공별 사용량 자료 수집 및 조사 후 효율적 농업용수 관리 기준 마련에 필요 분석자료를 도출하고자 한다.

3. 연구개발 대상의 국내·외 현황

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

(1) 기술현황

- 농어촌연구원(2016)은 ICT와 농업용 관수로의 기술융합을 통해 저류형, 저압형의 관수로 시스템과 관로 유지관리 효율을 증대시키기 위해 IT 기술을 이용한 관파손 감지시스템, ICT 기반 관수로 운영관리시스템, IoT 기반 양수장 운영관리시스템 등을 개발하여 한국형의 첨단 농촌용수 스마트 관수로시스템을 개발하였다.
- 농어촌연구원(2007)은 실제 물관리가 일어나는 곳을 말단포장으로서 급수물꼬의 개폐에 따라 농업용수의 공급과 단절이 이루어지고 있는 사실에 착안하여 급수물꼬를 논외 담수심에 따라 자동으로 개폐시키는 자동물꼬, 논외 담수심과 수로의 유황상황을 체크하여 정보전달을 수행하는 수로수위측정 및 담수심 측정장치, 논외 물을 공급하는 태양광 전동수문, 수로의 수압을 일정하게 형성시켜 용수공급을 원활하게 해주며 항상 수위를 일정하게 유지하면서도 하류방향으로 물을 공급해주는 무동력 자동수문을 포함한 용수공급시스템을 개발하였다.
- 박종훈(2017)은 관리자의 경험보다 ICT 및 IoT를 활용한 모니터링과 수로 네트워크 해석 등을 통한 과학적, 경제적 물분배를 하는 용수관리를 활용하여 저수지, 양수장 등 농업용 수원과 개수로와 관수로로 구성된 용수로(용수간선, 용수지선, 용수지거) 시설, 수로내 유량의 분수, 제어시설, 그리고 포장 등에서 수리시설의 저비용 고효율 기능개선 방안을 목적으로 물관리를 수요자 요구방식, 준 수요자 요구방식, 공급자 주도방식으로 구분하고 이들 시나리오에 따라 관개모의가 가능한 4차원적 물관리시스템(4-Dimensional Agricultural Water Management System, 4-DAWM)을 개발하였다.

(2) 시장현황

- 수리이앤씨(2017)는 농업용수를 관리하기 위한 지역의 수로계통 주요지점에 현장의 용수공급 정보 취득을 위한 수위, 유량, 영상 등 계측장치를 설치하며, 농업용수 정보의 센싱, 클라우드, 빅데이터 등 ICT 기술과 물관리 기술을 융합하여 농업용수 관리를 위한 분석과 관리에 적용하기 위한 정보를 도출하여, Web/Mobile을 이용하여 대국민에게 분석된 정보와 결과를 제공할 수 있는 시스템을 구축하였다.

(3) 지식재산권현황

- 한성전자산업개발(2005)에서 출원한 농업용수 관리시스템은 수원지와 몽리지(수혜지) 및 용수로의 필요한 위치에 측정장치를 설치하고 설치된 측정장치들과 통신네트워크를 통하여 해당 장소들의 수위와 강수량 등을 자동으로 파악하여 농업용수를 적재 적소에 자동적으로 공급할 수 있게 하는 관리시스템을 제공하였다. (특허 등록번호 1004659300000)
- 마인드윈(2014)에서 출원한 농업용수 활용을 위한 지하수 관정 통합운영관리시스템 및 방법은 농업용수를 공급하는 저수조에 설치된 수위 및 유량을 측정하는 모니터링 단말기를 통해 측정정보를 수신하여 농업용수의 필요 여부를 판단하여 알람을 제공하고 농업용수 활용을 위한 지하수 관정 통합관리 방법을 제공하였다. (특허 등록번호 1015204390000)
- 아이에스테크놀로지와 수리이엔씨(2013)에서 출원한 지능형 농업용수 관리시스템 및 그 일별 관개수량의 관리방법은 관개배수공학, 수리학 및 정보통신기술을 이용한 농업용수 관리시스템에 관한 것으로, 관개조직을 노드(Node)와 링크(Link)로 구분하여 모델링하고 농업용수의 정확한 수요예측을 거쳐 균등분배를 통한 체계적인 용수공급을 수행함으로써 용수의 과잉사용과 무효방류에 따른 용수의 과다손실을 방지할 수 있는 관리 시스템 및 관리방법을 제공하였다.(특허 출원번호 1020130109696)

(4) 기타현황

- 우리나라의 농업용수 및 수리시설 유지관리는 농지개량조합과 지방자치단체에 의해 이루어져왔으나 한국농어촌공사가 설립되면서 그 체계가 한국농어촌공사와 지방자치단체로 변하게 되었다.
- 이러한 변화에 따른 농업용 수리시설의 관리주체에 관한 내용은 다음의 표와 같다. (김홍상·심재만, 2005)

[표 1-1-2] 한국농어촌공사 출범 전후 농업수리시설 관리 상황

분 류	이 전	이 후
수리시설의 관리 주체	조합관리	공사관리
관리 지역의 범위	지역단위 관리	전국 차원의 관리
농업용수 이용 부담	농업인 조합비 납부	국가보조
수시시설 및 부지 소유권	농민(조합) 소유	국가(한국농어촌공사) 소유

- 한국농어촌공사의 관리 지역 내 농업인 참여는 자문형태로써 각급 대의회를 통해 이루어지고 있으나, 말단 수로 관리(예: 용배수로 준설, 수초 제거 등)에 대한 농업인들의 직접 참여는 줄어들고 있으며 농업용수에 대한 비용 부담에서도 한국농어촌공사 출범 이후 관리비용을 정부가 대신하고 있다.
- 지자체 관리 지역 내에서 농민 참여는 수리계를 중심으로 물 배분이나 유지 관리 등의 노역이나 비용 부담 등과 같은 부분에서 제한적으로 이루어지고 있다.
- 실질적인 물꼬관리 등의 수리시설물의 관리가 인력에 의해 수행되기 어려우며, ICT 기술을 활용하여 이러한 수리시설물의 관리를 자동화할 필요가 있다.

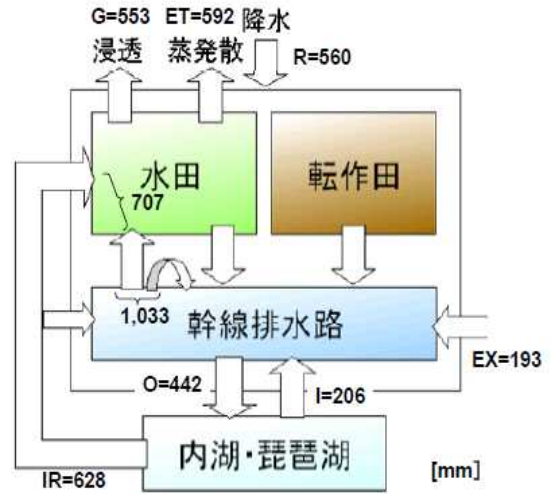
나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

(1) 기술현황

- 일본에서는 농업용수 사용을 효율적으로 하기 위해 일찍부터 농업용수의 반복이용과 순환관개를 시행하고 있다.
- Mizutani 등(1980)은 시기별 필요용수량을 농업용수 재이용과 연관지어 산정하는 방법론을 개발하였다.
- Hashimoto 등(2013)은 농업용수 반복이용지역을 대상으로 물배분양 및 수질을 정량화 하려는 연구를 수행하였다.
- Samura 등(2004)은 농업용수 반복이용지역을 대상으로 용수의 재이용이 수질환경에 어떻게 기여하고 있는지를 평가하였다.
- Nakamura 등(2004)은 비와호 지역인근의 순환관개 지구를 대상으로 관개기의 물수지와 질소 및 인 등의 수지를 분석하였다.
- Nakamura 등(2004)은 순환관개를 실시함으로써 약 65%의 농업용수 유출을 삭감할 수 있었으며, TN은 43%, TP는 58%의 유출을 삭감한 것으로 분석하였다.
- Takehide (2008)은 Nakamura 등(2004)과 동일한 관개지구를 대상으로 관개시스템과 물질수지를 분석하였다.
- Kuda 등(2007)은 히라타키 순환관개지구를 대상으로 물수지와 오염물질수지를 분석하였다.

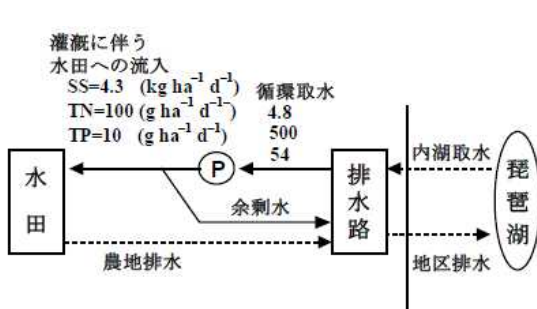


(a)

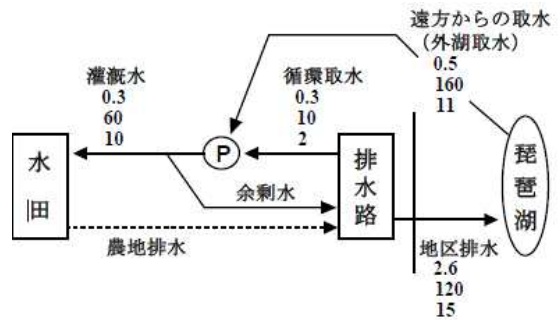


(b)

[그림 1-1-10] 일본 비와호 인근 (a) 코노하마 순환관개지구 개요, (b) 관개기 물수지 분석 (Nakamura 등, 2004)

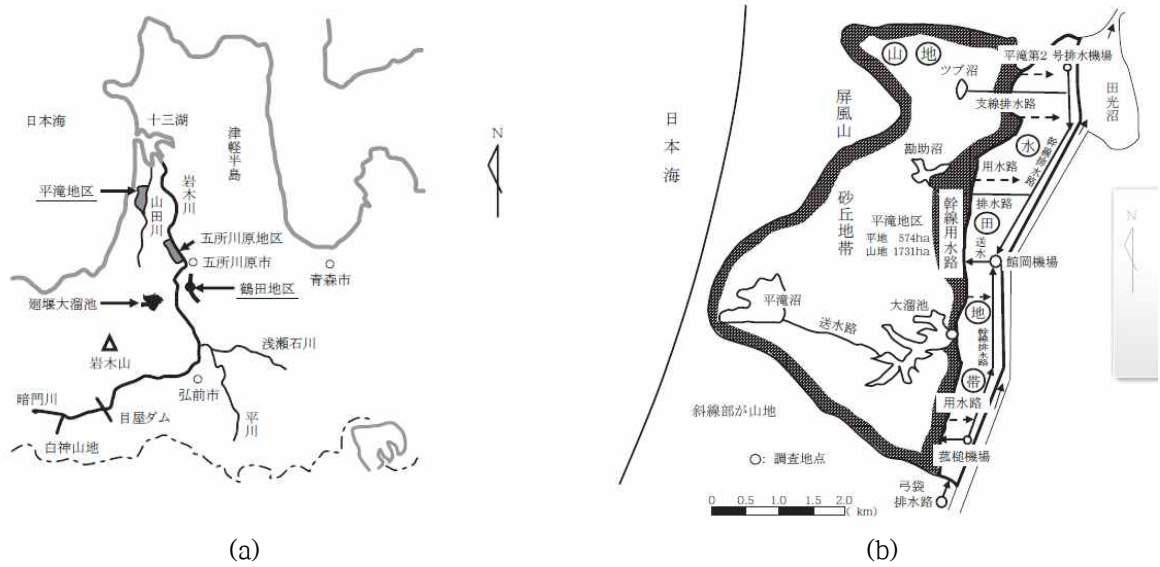


(a)



(b)

[그림 1-1-11] 일본 비와호 인근 코노하마지구 (a) 순환관개 시스템, (b) 역수관개 시스템 (Takehide, 2008)



[그림 1-1-12] (a) 히라타키 조사대상지구, (b) 순환관개지구 모식도 (Kuda 등, 2007)

- Kuda 등(2007)이 1994년~2005년 기간 동안 조사지역을 대상으로 용수관리특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

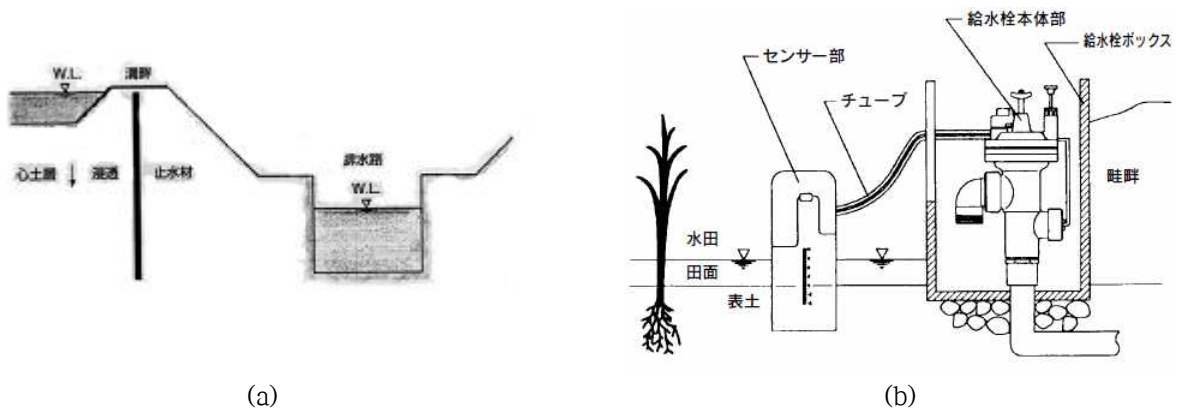
[표 1-1-3] 히라타키 순환관개지구 용수관리특성 (Kuda, 2007)

年 度	用水充足率 (%)	循環灌溉率		ポンプ依存率 (%)	降雨量 (mm)
		用水 (%)	排水 (%)		
1994	95	87	82	88	330
1995	96	76	67	79	435
1996	96	82	76	86	322
1997	97	71	75	85	412
1998	95	75	65	80	582
1999	96	81	78	85	290
2000	95	77	71	82	337
2001	95	81	73	86	360
2002	95	81	68	86	521
2003	95	82	72	87	432
2004	97	81	76	84	289
2005	96	81	77	85	245
平均	96	80	73	84	380

注) 用水充足率 = (灌溉期間中の全用水量 - 全流入量) / 全用水量 × 100
 循環灌溉率 (用水) = 地区内再利用量 / 全用水量 × 100
 循環灌溉率 (排水) = 地区内再利用量 / 全排水量 × 100
 ポンプ依存率 = ポンプ用水量 / 全用水量 × 100

(2) 시장현황

- 일본 시가현에서는 비와호수 인근의 농업지구에 대해 비와호수에 흘러드는 영양염류의 삭감을 목표로 농업용수 재이용 시설 및 절수시설 정비 등의 사업을 진행하고 있다.
- 구체적인 사업내용은 배수로 수문 및 용수로 정비, 자동급수전의 설치, 농업용수배수 억제 시설 설치, 퇴수 재이용 장치 설치, 경지정리를 통한 적절한 수위 관리 등이 있다.



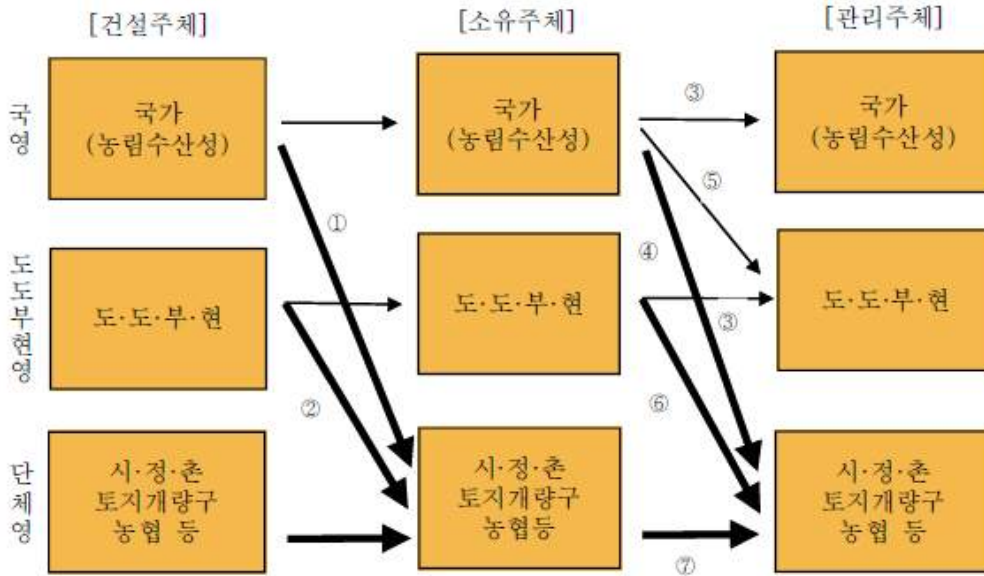
[그림 1-1-13] (a) 농업용수 배수 억제 시설, (b) 자동급수전 모식도

(3) 지식재산권현황

- 李钦源(2016)이 출원한 一种用于农业喷灌的环保高效水循环系统(농용관개를 위한 환경 친화적 효율적 물 순환 시스템)은 주파수 변환 물 펌프를 통해 물 자원의 재활용을 가능하게 하여 공급된 농업용수의 이용률을 향상시키고 효율적으로 용수를 제공하는 농업용수 순환 시스템을 제공하였다. (특허 출원번호 201610051202)
- XI'AN KUOLI MACHANICAL AND ELECTRICAL TECHNOLOGY CO., LTD(2012)이 출원한 一种农田灌溉用供水系统(농용관개를 위한 급수 시스템)은 실시간 검측이 가능한 유량 제어밸브, 유량감지부, 클럭 회로, 관개용수량과 용수 시간이 설정된 파라미터 설정부, LAN 접속기 및 디스플레이부를 통해 데이터 처리하여 제어하고 경로의 유량 변화 상황 및 각 분기 파이프(branched pipe)가 관개 시설(irrigation equipment)의 용수 수요에 대응하는 브랜치 흐름 검출부를 구비하여 관개 시설의 주요 파이프라인과 물 요구의 플로우 변화 상황에 따라 상응하게 제어되는 시스템을 제공하였다. (특허 출원번호 201210448591)

(4) 기타현황

- 일본의 농업수리시설물은 ‘토지개량법’에 의해 건설주체, 소유주체, 관리주체를 명확히 구분하고, 주체간의 관계에 대해서도 명확히 규정하고 있다.



- 주 ① 토지개량법 제94조의 3에 의한 양여(조건부 양여)
 ② 조례에 의한 양여(지방자치법)
 ③ 토지개량법 제85조에 의한 직할관리
 ④⑤ 토지개량법 제94조의 6에 의한 관리위탁
 ⑥ 토지개량법 제94조의 10 또는 조례에 의한 관리위탁
 ⑦ 토지개량법 제57조에 의한 관리(조성주체의 관리의무)

[그림 1-1-14] 일본의 농업수리시설 건설 및 유지관리체계

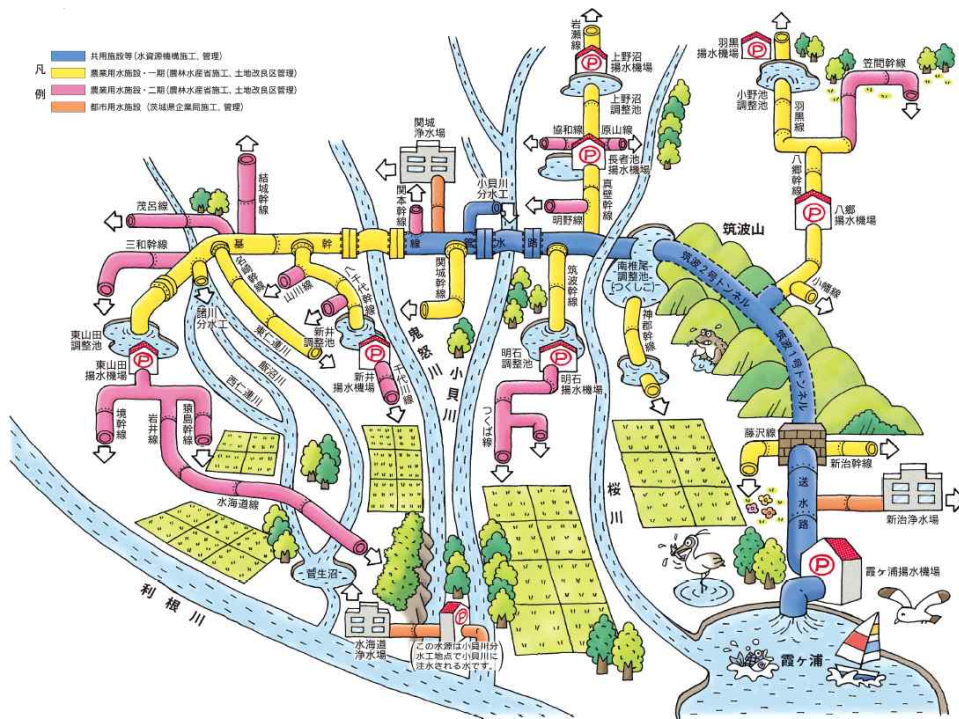
- ‘토지개량구’를 통해 농업인 또는 농업용수 이용자가 참여하여 각 지역별로 조직을 이루고 농업용수를 담당하고 있다.
- 이러한 토지개량구는 토지개량시설의 유지 관리를 담당하고 있으며 농업인들로 구성된 공공조합으로써 과거 한국의 농업인 조직인 농지개량조합으로 이해할 수 있다.
- 일부 규모가 크고 공적 성격이 강한 관개시설들은 중앙정부나 지방정부에서 관리되고 있으나, 대부분의 관개시설은 토지개량구에 의해서 관리되고 있다.
- 토지개량구의 회원인 농민들은 시설 운영 및 유지보수를 위한 비용의 일부를 지불하기도 하고 노동력을 제공하기도 하는데 이러한 참여형 농업용수 관리는 농업용수의 원활한 공급을 돕고 있다. (조진훈·김해도, 2010)
- 일본 농업수리시설의 유지관리는 농업인과 농업인 조직이 주도적인 역할을 담당하고, 국가와 지방자치단체는 보조적인 역할을 맡고 있다.

- 농업용수의 관리에 있어서 일본과 한국의 정책결정 과정의 차이는 다음 표와 같다.
(남궁근, 2012)

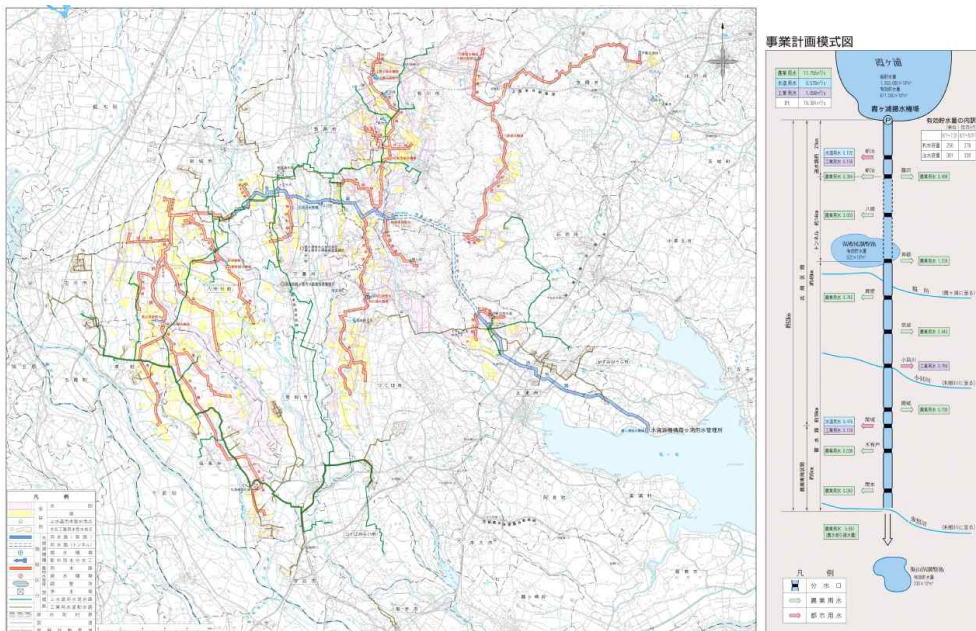
[표 1-1-4] 한국과 일본의 농업용수 관리

분 류	한 국	일 본
주요 행위자	한국농어촌공사	지방자치단체 JWC, 농민, 농민 조직
정책결정	중앙정부 주도	농민 주도
정책결정 시 농민 역할	농민 자문	농민 발의 및 참여
비용부담	국가	농민과 국가 분담

- 일본의 대규모 순환형 농업용수 구축사례로서 이바라키현의 카스미가우라 용수망이 있다.
- 대상지역은 평균강수량이 연간 1200mm 정도로 적은 편이며, 강우분포가 균일하지 않아 많은 농업지역이 물부족에 시달렸다.
- 1980년부터 1994년까지 15년에 걸쳐 사업비 895억 엔을 투자하여 카스미가우라 용수관리사업 공사를 완료하였다.
- 사업의 수혜지역은 약 19,300 ha로 논 10,900ha, 밭 8,400ha에 달한다.
- 계획 농업용수량으로서 최대 용수량은 17.76 m^3/s , 평균용수량은 하기 8.58 m^3/s , 동기 1.26 m^3/s 이다.



[그림 1-1-15] 카스미가우라 용수관리사업 일러스트 맵



[그림 1-1-16] 카스미가우라 용수관리사업 전체 개요도



[그림 1-1-17] 네팔의 관개수로 용수공급

제 2절. 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구개발의 목표 및 내용

가. 최종목표

- 기존 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 4차산업 기술을 적용한 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 현장 적용

나. 세부목표

- 순환형 농업용수 공급 의사결정지원기술 개발
- 가뭄대응에 효율적인 농업용수 확보 방안 제시
- 선제적 가뭄대응 및 합리적 물공급 판단을 위한 순환형 농업용수 관리 시스템 개발
- 가뭄대응 최적 용수공급 도출을 위한 현황 모니터링 및 분석

2. 연차별 개발목표 및 내용

가. 1차년도 연구개발목표 및 내용

(1) 1차년도 연구개발 목표

- 주관연구기관(한경대학교) : 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형 구축 및 기초 분석
- 제1협동연구기관(충남대학교) : 들녘 단위 최적 용수배분 산정을 위한 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축
- 제2협동연구기관(주식회사 수리이앤씨) : 순환형 농업용수 관리 시스템 구성요소 개발 방안 도출 및 테스트베드 모니터링
- 제3협동연구기관(한국농어촌공사) : 가뭄대응 양수저류 추진 현황 조사 및 분석

(2) 1차년도 개발 내용 및 범위

(가) 주관연구기관(한경대학교 산학협력단)

- 농업용수 공급 및 관리 현황 조사
- 관개지구특성, 용수특성, 양수특성 등을 분석하여 테스트베드 선정

[표 1-2-1] 테스트베드 선정 절차

테스트베드 운영 목적		선제적 가뭄대응 기술의 개발과 현장적용을 통해 개발된 시스템의 현장 적용성의 보완 및 확장
단계	구분	주요내용
I	관개지구 특성	농어촌공사 관리저수지 중 수위특성을 검토하여 1차 테스트 베드 후보지 선정 (3000개 중 300개 선정)
II	용수계통 특성	1차 후보지 중 한국농어촌공사 RIMS의 용수계통도 및 GIS 분석을 통해 2차 적정 테스트베드 후보지 선정 (300개 중 30개 선정)
III	양수저류지구 특성 및 운영예산	2차 후보지 중 저수지 운영, 관개실적, 이수현황 등을 고려하여 최종 테스트베드 선정 (30개 중 최종 테스트베드 선정)



4차 산업 기술과 연계하여 효율적으로 수자원 활용이 가능한 테스트베드의 최종 선정

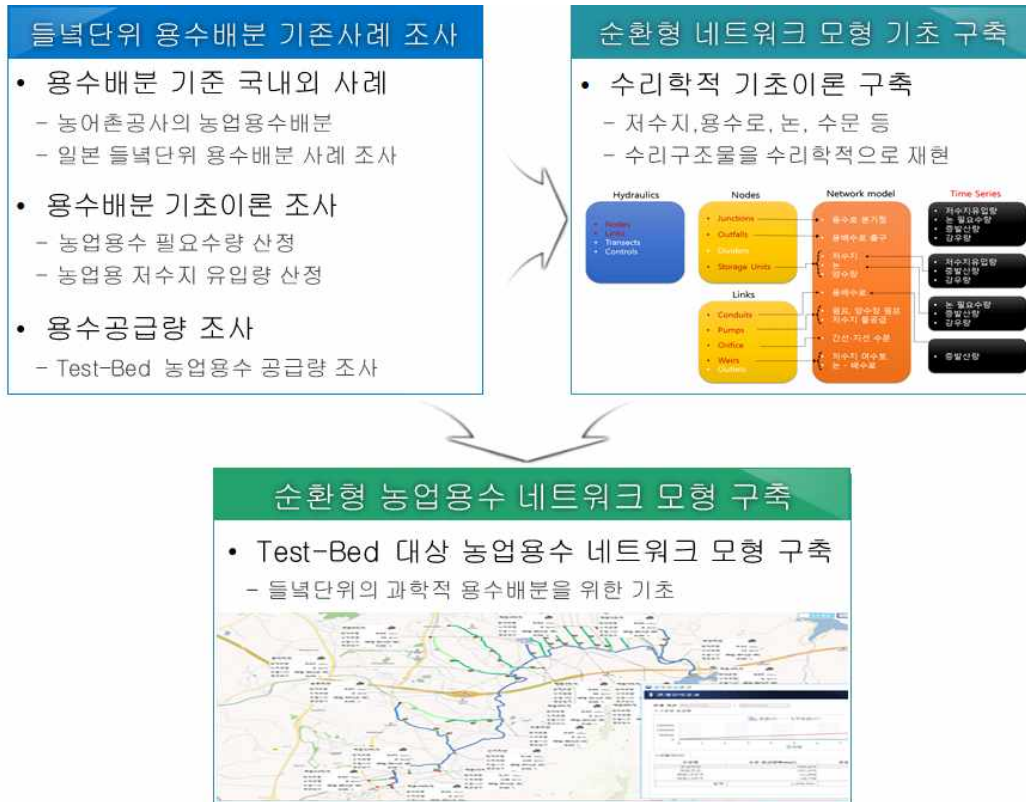
- 순환형 농업용수 공급 가능량 분석
- 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형 구축 및 기초 분석



[그림 1-2-1] 순환형 농업용수 관리 시스템 적용을 위한 테스트베드 선정

(나) 제1협동연구기관(충남대학교 산학협력단)

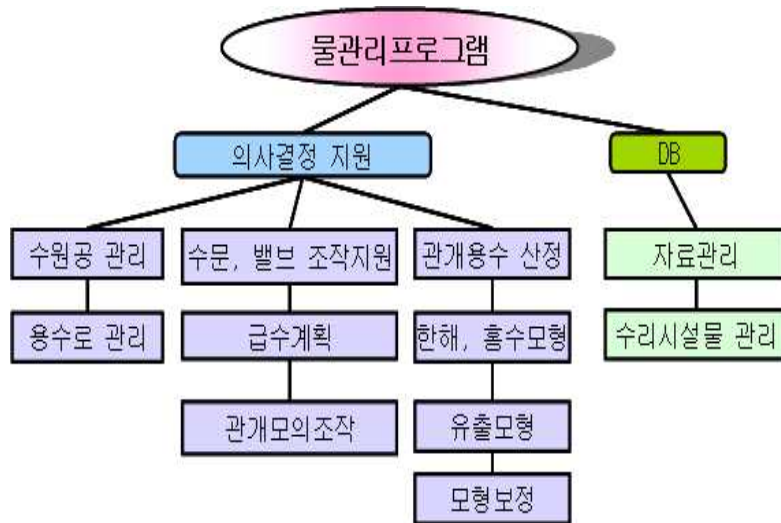
- 들녘단위 용수배분 기준 기존 사례 조사
- 순환형 농업용수 네트워크 모형 기초 이론 구축
- 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축



[그림 1-2-2] 들녘단위 최적 용수배분 산정을 위한 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축

(다) 제2협동연구기관(주식회사 수리이엔씨)

- 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 활용 현황 조사
- IoT, ICT, 빅데이터를 이용한 농업용수 관리시스템 현황 분석
- 테스트베드 현장실증을 위한 필요 센서 및 장치 구성방안 도출
- 테스트베드 현장 모니터링을 위한 계측기 설치 및 모니터링 시스템 개발
- 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 목록 분석



[그림 1-2-3] 농업용수 관리 시스템 예시
(TM/TC 운영 프로그램 시스템 구성도)

(라) 제3협동연구기관(한국농어촌공사)

- 국내외 지역별 양수저류 추진 현황 자료 수집 및 조사
- 지역별 양수저류 추진 지구 대상 가뭄상황 및 양수시기 조사·분석



(a) 하천 이용 양수저류 (b) 관정 이용 양수저류 (c) 배수로 이용 양수저류 (d) 복합시설 이용 양수저류

[그림 1-2-4] 양수저류 추진 유형

나. 2차연도 연구개발목표 및 내용

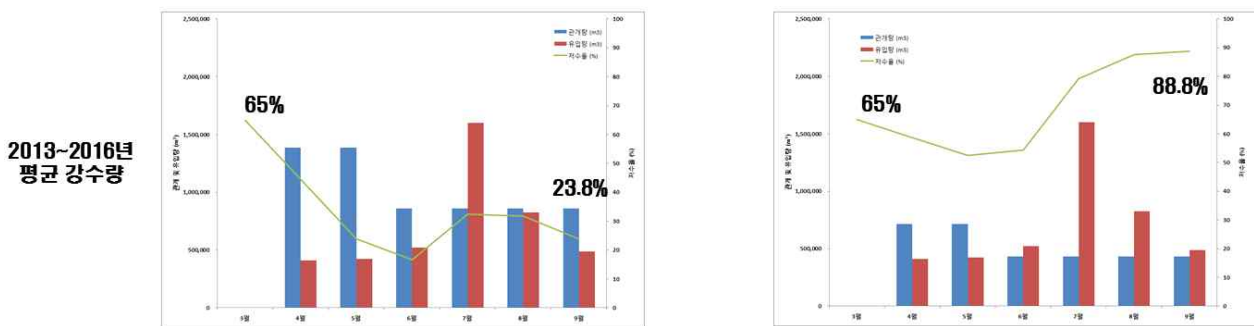
(1) 2차연도 연구개발 목표

- 주관연구기관(한경대학교 산학협력단) : 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형 적용 및 검증
- 제1협동연구기관(충남대학교 산학협력단) : 들녘 단위 최적 용수배분 기준 도출
- 제2협동연구기관(주식회사 수리이앤씨) : 순환형 농업용수 관리 시스템 구성요소 개발 및 테스트베드 적용성 검증
- 제3협동연구기관(한국농어촌공사) : 농업용수 관리 현황 조사 및 분석

(2) 2차연도 개발 내용 및 범위

(가) 주관연구기관(한경대학교 산학협력단)

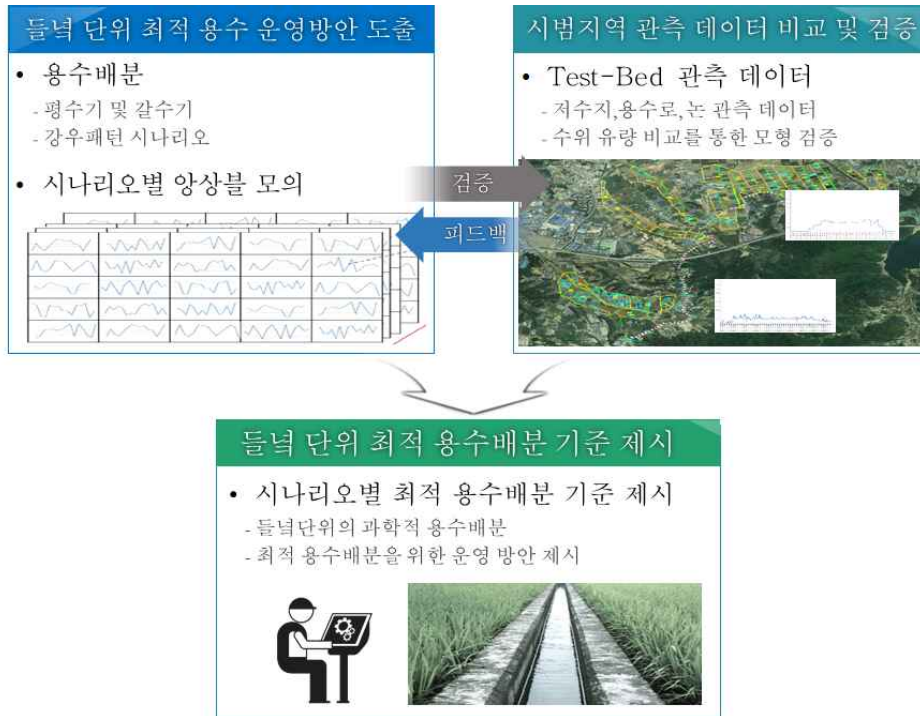
- 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 의사결정요소 분석
- 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형 테스트베드 적용 및 검증
- (테스트베드를 대상으로 유량 및 수위센서를 설치 운영하여 실공급량 파악과 모형의 검보정 자료로 구축)



[그림 1-2-5] 농업용수 공급가능량 산정 의사결정요소 분석 (좌) 관행통수, (우) 순환통수

(나) 제1협동연구기관(충남대학교 산학협력단)

- 가뭄 및 평시 강우 패턴 시나리오 구축
- 농업용수 네트워크 모형 앙상블 모의분석
- 시범지역 관측 데이터 비교 및 검증



[그림 1-2-6] 들녘단위 최적 용수배분 기준 도출 개념도

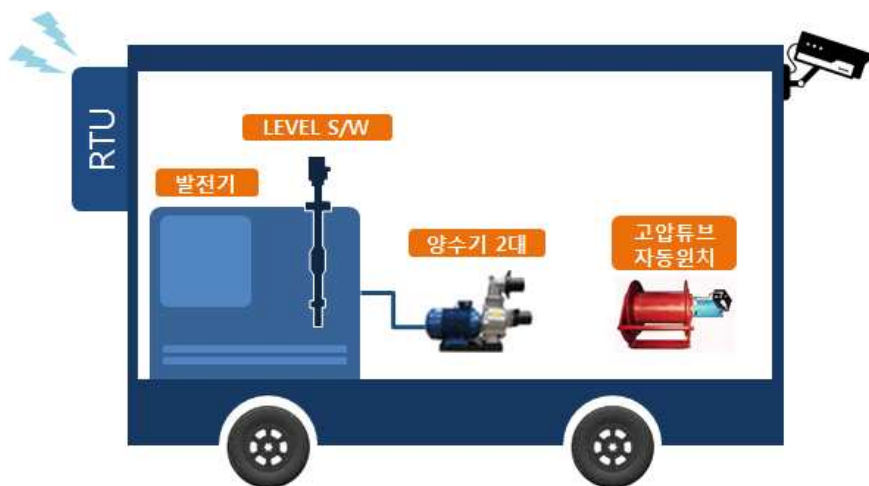
(다) 제2협동연구기관(주식회사 수리이엔씨)

- 대상 영역별 필요 센서 및 장치 조합에 따른 비용 분석
- 펌프, 관로, 저수지, 수로 현황 모니터링 자료를 활용한 원격제어 시스템 구축



[그림 1-2-7] 순환형 농업용수 관리 원격제어 시스템 개념도

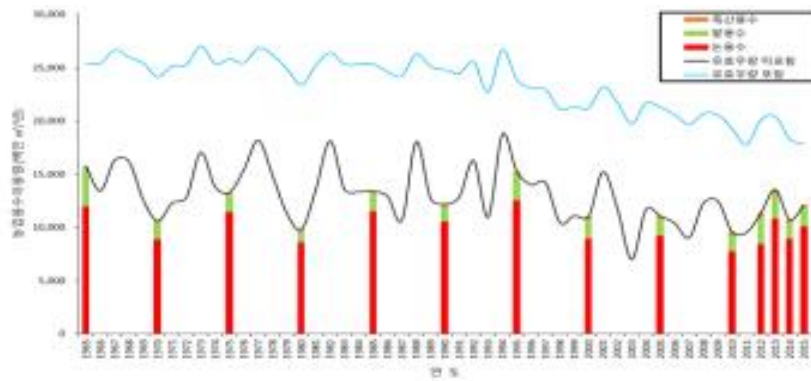
- 순환형 농업용수 관리를 위한 이동식 양수장치 시작품 개발
- 농업용수 모니터링 센서 및 장치 시작품 적용성 검증



[그림 1-2-8] 이동식 양수저류 장치(안)

(라) 제3협동연구기관(한국농어촌공사)

- 전국 농업용수 관리 현황 조사 및 분석
- 평시, 가뭄시 들녘별 용수 공급 관행 조사 및 분석
- 지역별 및 시기별 필요 용수량 및 용수공급 비교·분석
- 양수저류 대상지구 우선순위 선정을 위한 요소 비교 분석



[그림 1-2-9] 농업용수 이용량 추이 분석 예시

다. 3차년도 연구개발 목표 및 내용

(1) 3차년도 연구개발 목표

- 주관연구기관(환경대학교 산학협력단) : 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 기술 개발
- 제1협동연구기관(충남대학교 산학협력단) : 효율적인 양수저류 방법 제시 및 가뭄대응기술 경제성 평가
- 제2협동연구기관(주식회사 수리이엔씨) : 순환형 농업용수 관리 시스템 테스트베드 적용을 통한 최적 운영 방안 제시
- 제3협동연구기관(한국농어촌공사) : 효율적 농업용수 및 양수저류 관리 기준 분석

(2) 3차년도 개발 내용 및 범위

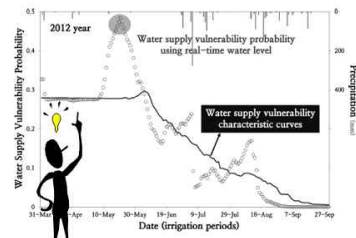
(가) 주관연구기관(환경대학교 산학협력단)

- 순환형 농업용수 공급 가능량 관리 기준 및 운영 방안 제시
- 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 기술 개발
- 순환형 농업용수 관리 시스템의 표준화 방안 제시

순환형 농업용수 공급가능량 관리 기준 및 운영 방안 제시



순환형 농업용수 관리 의사결정지원 기술 개발



순환형 농업용수 관리 시스템의 표준화 방안 제시

[그림 1-2-10] 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 시스템 예시

(나) 제1협동연구기관(충남대학교 산학협력단)

- 효율적인 양수저류 방법 제시
- 가뭄대응기술 경제성 평가



[그림 1-2-11] 효율적인 양수저류 방법 제시 및 가뭄대응기술 경제성 평가

(다) 제2협동연구기관(주식회사 수리이엔씨)

- 기상자료와 연계한 원격제어 시스템 운영방안 도출
- 합리적 물공급 판단을 위한 순환형 농업용수 관리 의사결정지원시스템 개발
- 모니터링, 원격제어, 의사결정지원 기능이 통합된 순환형 농업용수 관리 시스템 개발
- 순환형 농업용수 관리 시스템 활용을 통한 테스트베드 현장 최적 적용 방안 도출
- 순환형 농업용수 관리 활용 센서 및 장치 유지관리 방안 도출



[그림 1-2-12] 순환형 농업용수 관리 시스템의 구성

(라) 제3협동연구기관(한국농어촌공사)

- 최적 용수공급 관리 기준 마련을 위한 자료 수집 및 분석
- 효율적 농업용수 관리를 위한 관련 자료 수집 및 분석
- 효율적 양수저류 관리를 위한 관련 기준 조사 및 분석
- 양수저류 대상지구 우선순위 요소 도출 및 적용



[그림 1-2-13] 가뭄단계별 대응 지침(한국농어촌공사)

3. 평가의 착안점 및 기준

구분 (연도)	세부과제	가중 치	평가의 착안점 및 기준
1차 년도 (2018)	(주관기관) 순환형 농업용수 공급가능 량 산정 모형 구축 및 기초 분석	30%	<ul style="list-style-type: none"> 농업용수 공급 및 관리 현황 조사 여부 순환형 농업용수 공급가능량 분석 여부 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 구축 및 기초 분석 여부
	(제1협동) 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축 및 기초 분석	15%	<ul style="list-style-type: none"> 국외 순환형 농업용수 관리 현황 조사 여부 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축 여부 순환형 농업용수 네트워크 모형 기초 분석 여부
	(제2협동) 순환형 농업용수 관리 시스 템 구성요소 개발 방안 도 출 및 테스트베드 모니터링	49%	<ul style="list-style-type: none"> 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 활용 현황 조사 여부 IoT, ICT, 빅데이터를 이용한 농업용수 관리시스템 현황 분석 여부 테스트베드 현장실증을 위한 필요 센서 및 장치 구성방안 도출 여부 테스트베드 현장 모니터링을 위한 계측기 설치 및 모니터링 시스템 개발 여부 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 목록 분석 여부
	(제3협동) 가뭄대응 양수저류 추진 현 황 조사 및 분석	6%	<ul style="list-style-type: none"> 국내외 지역별 양수저류 추진 현황 자료 수집 및 조사 여부 지역별 양수저류 추진 지구 대상 가뭄상황 및 양수시기 조사·분석 여부
2차 년도 (2019)	(주관기관) 순환형 농업용수 공급가능 량 산정 모형 적용 및 검증	30%	<ul style="list-style-type: none"> 순환형 농업용수 공급가능량 산정 의사결정요소 분석 여부 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 테스트베드 적용 및 검증 여부 최적 농업용수 배분에 따른 경제 효과 분석 여부
	(제1협동) 순환형 농업용수 네트워크 모형 적용 및 성능 개선	15%	<ul style="list-style-type: none"> 순환형 농업용수 네트워크 모형 시범지구 적용 및 검증 여부 테스트베드 적용을 통한 순환형 농업용수 네트워크 모형 성능 개선 여부
	(제2협동) 순환형 농업용수 관리 시스 템 구성요소 개발 및 테스 트베드 적용성 검증	49%	<ul style="list-style-type: none"> 펌프, 관로, 저수지, 수로 현황 모니터링 자료를 활용한 원 격제어 시스템 구축 여부 순환형 농업용수 관리를 위한 이동식 양수장치 시작품 개 발 여부 농업용수 모니터링 센서 및 장치 시작품 적용성 검증 여부 대상 영역별 필요 센서 및 장치 조합에 따른 비용 분석 여부
	(제3협동) 농업용수 관리 현황 조사 및 분석	6%	<ul style="list-style-type: none"> 전국 농업용수 관리 현황 조사 및 분석 여부 평시, 가뭄시 들녘별 용수 공급 관행 조사 및 분석 여부 지역별 및 시기별 필요 용수량 및 용수공급 비교·분석 여부

3차 년도 (2020)	(주관기관) 순환형 농업용수 공급가능 량 산정 모형 적용 및 검증	30%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 순환형 농업용수 공급가능량 관리 기준 및 운영 방안 제시 여부 ◦ 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 기술 개발 여부 ◦ 순환형 농업용수 관리 시스템의 표준화 방안 제시 여부
	(제1협동) 들녘단위 농업용수 최적 운 영방안 제시	15%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 농업용수 네트워크 모형 앙상블 모의분석 여부 ◦ 농업용수 최적 운영방안 제시 여부 ◦ 농업용수 최적분배 기술 경제성 평가 여부
	(제2협동) 순환형 농업용수 관리 시스 템 테스트베드 적용을 통한 최적 운영방안 제시	49%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 모니터링, 원격제어, 의사결정지원 기능이 통합된 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 여부 ◦ 순환형 농업용수 관리 시스템 활용을 통한 테스트베드 현장 최적 적용 방안 도출 여부 ◦ 순환형 농업용수 관리 활용 센서 및 장치 유지관리 방안 도출 여부
	(제3협동) 효율적 농업용수 및 양수저 류 관리 기준 분석	6%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 최적 용수공급 관리 기준 마련을 위한 자료 수집 및 분석 여부 ◦ 효율적 농업용수 관리를 위한 관련 자료 수집 및 분석 여부 ◦ 효율적 양수저류 관리를 위한 관련 기준 조사 및 분석 여부

제 3절. 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계

1. 연구개발의 추진전략·방법

가. 연구개발 추진전략

- 본 연구의 최종목표인 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 4차산업 기술을 적용한 순환형 농업용수 관리시스템 개발 및 현장 적용을 위하여 다음과 같이 추진전략을 수립한다.



[그림 1-3-1] 과제의 추진체계



[그림 1-3-2] 과제의 성과 및 위험관리

- (산학공동연구) 농업 관개·배수 관련 전공자 및 경험을 보유한 한경대학교 및 충남대학교 연구팀과 ICT 기술을 활용한 각종 농업·농촌지역 적용 경험을 보유한 중소기업 그리고 국내의 농어촌 관련 사업 수행 공공기관인 한국농어촌공사와의 협력을 통해 연구목표를 달성하고자 한다.
- 과제의 효율적인 연구 및 목표 달성을 위하여 다음과 같은 연구주제별·연차별 연구계획을 수립하여 각 연구가 상호 유기적으로 수행될 수 있도록 진행한다.



[그림 1-3-3] 세부목표 및 연차별 연구 흐름도

나. 테스트베드 구축 방안

- 본 연구는 순환형 농업용수 관리에 적용되는 기술로 실제 현장에서 적용하여 시스템의 안정성, 알고리즘의 안정성 및 실제 영농활동에서 적용성을 검증할 필요가 있으며, 연구기간 동안 지속적인 시스템의 개선을 통하여 최적의 연구결과 및 성과품을 개발할 필요가 있는 연구이다.
- 따라서 본 연구에서는 연구의 시작년도부터 테스트베드를 구축하여 다양한 조건에 대한 시뮬레이션 및 적용성을 평가하고자 한다.
- 테스트베드는 농업용수 공급현황이 체계적으로 관리되고 있어 시스템 개발 전반에 필요한 시공간 자료의 확보가 가능한 지구로 양수저류 등의 가뭄극복 사례가 존재하는 지역을 2개소 이상 선정할 계획이다.
- 또한 저수위 정보, 펌프 가동 정보, 저류지 수위 정보 등 연구 추진에 필요한 계측 정보를 모니터링을 실시하는 지구 또는 추가적인 모니터링을 통하여 지구 전체의 순환형 농업용수 관리 정보를 획득할 수 있어야 한다.



(a)



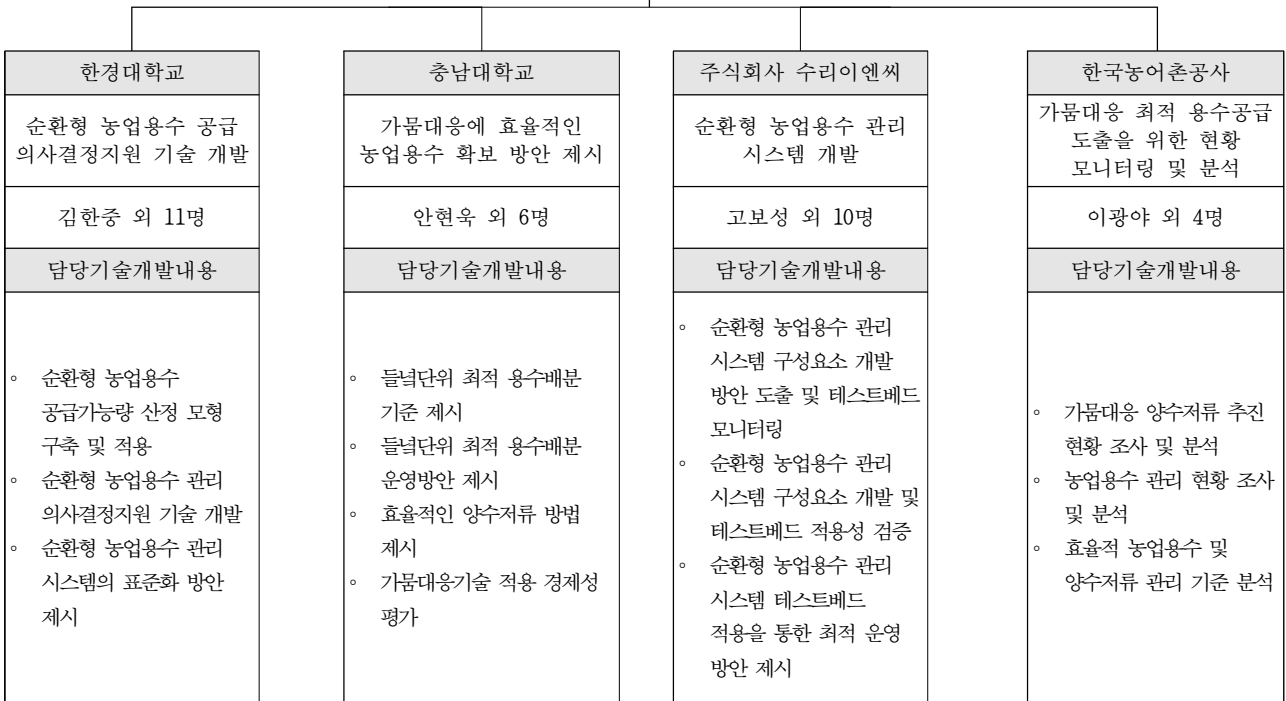
(b)

[그림 1-3-4] 석포지구 (a)양수저류 계획평면도 (b)양수장을 통한 농업용수 공급

2. 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	선제적 가뭄대응을 위한 ICT, 빅데이터 기반 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 적용 연구	김한중 외 총 34명

기관별 참여 현황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기업		
중견기업		
중소기업	1	11명
대 학	2	19명
국공립(연)		
출 연 (연)		
기 타	1	5명



3. 연구 추진 일정

1차년도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	테스트베드 농업용수 공급 및 관리 현황 조사					■	■	■							15,000	김한중 (한경대학교)
2	테스트베드 순환형 농업용수 공급가능량 분석							■	■	■					20,000	김한중 (한경대학교)
3	테스트베드 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 구축 및 기초 분석								■	■	■	■	■		45,000	김한중 (한경대학교)
4	국외 순환형 농업용수 관리 현황 조사					■	■	■							6,000	안현욱 (충남대학교)
5	순환형 농업용수 네트워크 모형 구축							■	■	■	■				20,000	안현욱 (충남대학교)
6	순환형 농업용수 네트워크 모형 기초 분석									■	■	■			15,000	안현욱 (충남대학교)
7	농업용수 관리시스템 현황 분석					■	■	■							31,000	고보성 (수리이엔씨)
8	테스트베드 현장실증을 위한 센서 및 장치 구성 방안 도출							■	■	■	■				50,000	고보성 (수리이엔씨)
9	계측기 설치 및 모니터링 시스템 개발								■	■	■	■	■		50,000	고보성 (수리이엔씨)
10	양수저류 현황 자료 수집 및 조사					■	■	■	■	■					5,000	이광야 (한국농어촌 공사)
11	양수저류 지구 가뭄 상황 및 양수시기 조사·분석								■	■	■	■	■		10,000	이광야 (한국농어촌 공사)

2차년도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	순환형 농업용수 공급가능량 산정 의사결정요소 분석	■	■	■	■										20,000	김한중 (한경대학교)
2	순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 테스트베드 적용 및 검증				■	■	■	■	■	■	■	■	■		90,000	김한중 (한경대학교)
3	최적 농업용수 배분에 따른 경제 효과 분석										■	■	■		50,000	김한중 (한경대학교)
4	순환형 농업용수 네트워크 모형 시범지구 적용 및 검증	■	■	■	■	■	■	■	■	■					40,000	안현욱 (충남대학교)
5	시범지구 적용을 통한 순환형 농업용수 네트워크 모형 성능 개선					■	■	■	■	■	■	■	■		42,000	안현욱 (충남대학교)
6	원격제어시스템 구축						■	■	■	■	■	■	■		70,000	고보성 (수리이엔씨)
7	이동식 양수장치 개발	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		120,000	고보성 (수리이엔씨)
8	모니터링 및 제어 시스템 적용성 검증									■	■	■	■		72,000	고보성 (수리이엔씨)
9	들녘별 용수 공급 관행 조사 및 분석	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		15,000	이광야 (한국농어촌 공사)
10	필요용수량 및 용수공급 비교·분석			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		15,000	이광야 (한국농어촌 공사)

3차년도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	순환형 농업용수 공급가능량 관리 기준 및 운영 방안 제시	■	■	■	■	■	■								50,000	김한중 (한경대학교)
2	순환형 농업용수 관리 의사결정지원 기술 개발						■	■	■	■	■	■	■		80,000	김한중 (한경대학교)
3	순환형 농업용수 관리 시스템의 표준화 방안 제시									■	■	■	■		30,000	김한중 (한경대학교)
4	자가학습형 농업용수 공급 모형 구축	■	■	■	■	■	■	■	■						30,000	안현욱 (충남대학교)
5	농업용수 최적 운영방안 제시							■	■	■	■	■	■		32,000	안현욱 (충남대학교)
6	농업용수 최적분배 기술 경제성 평가								■	■	■	■	■		20,000	안현욱 (충남대학교)
7	순환형 농업용수 관리 의사결정지원시스 템 개발	■	■	■	■	■	■								100,000	고보성 (수리이엔씨)
8	통합 순환형 농업용수 관리 시스템 개발			■	■	■	■	■	■						90,000	고보성 (수리이엔씨)
9	시스템 테스트베드 현장 최적 적용 도출								■	■	■	■	■		72,000	고보성 (수리이엔씨)
10	최적 용수공급 관리 기준 마련을 위한 자료 수집 및 분석	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		15,000	이광야 (한국농어촌 공사)
11	효율적 양수저류 관리 기준 조사 및 분석					■	■	■	■	■	■	■	■		15,000	이광야 (한국농어촌 공사)

제 4절. 연구개발 결과의 활용방안 및 기대효과

1. 연구개발 결과의 활용방안

- 농업용 저수지 수위, 기상정보, 보조 수원으로 사용될 수 있는 하천, 관정, 저류지의 계측 및 분석 결과를 통해서 물공급 관리자는 현재의 상황을 정확하게 인지하고 물공급 관리기준에 따라 언제, 어디서, 얼마만큼 공급할 것인지를 판단할 수 있는 체계를 제공함으로써 가뭄에 대한 사전대응 계획에 활용할 수 있다.
- 양수저류 과정에 센서-장치-관리자가 연계되도록 원격제어 및 알람 기능이 탑재된 시스템의 개발로 효율적이고 안정적인 양수저류사업 시행 및 운영관리에 활용할 수 있다.
- 모니터링, 제어, 의사결정지원 기능이 탑재된 이동식 양수저류 장치 개발로 시공간적 가변성을 갖는 가뭄발생 상황의 위기관리 대응에 활용할 수 있다.
- 가뭄시 관리자가 ICT 기반의 최적 운영 방안의 참고자료로 활용이 가능하며 또한 신속한 대응이 가능할 것으로 기대된다.

2. 기대성과 및 파급효과

가. 기대성과

- 농업용 저수지와 같은 주 수원공의 공급만으로 부족이 예상될 경우 최적 관리기준에 의거하여 공급을 위하여 확보해야 할 수량을 분석하는 기술, 산출된 수량을 용수가 필요한 곳에 효과적으로 공급할 수 있는 장치의 개발 등으로 농업가뭄 대응능력을 제고할 수 있다.
- 모니터링, 분석, 제어, 의사결정지원 과정이 통합된 순환형 농업용수 관리시스템의 개발로 농업가뭄에 대한 사전대응 계획 수립 및 가뭄 상황에 대한 합리적이고 효과적인 대책 추진에 기여할 수 있다.

나. 파급효과

(1) 기술적 측면

- 지역 및 기상 특성을 반영한 가뭄대응 계획에 활용할 수 있는 기술의 확보로 체계적이고 일관된 대책마련이 가능하고, 모니터링과 제어가 가능한 이동식 양수저류

장치 등의 개발로 가뭄발생의 시공간적 변동성에 대한 대응능력을 제고할 수 있다.

- 기존의 수문조작 및 부정류 흐름을 고려하기 어려운 농업용수 공급모형의 한계를 극복하는 수리적으로 발전된 순환형 농업용수 모형으로 활용할 수 있다.
- 자가학습형 인공지능을 농업용수 관리 분야에 도입함으로써 시너지 효과를 기대할 수 있다.

(2) 경제적 · 산업적 측면

- 양수저류나 순환형 농업용수 관리에 소요되는 센서, 장치 등의 현장 특성에 따른 비용의 산출과 센서, 펌프, 관로 등의 규격과 잔존 내구연한, 운영에 소요되는 에너지에 대한 종합적인 관리와 판단이 가능한 기술의 개발로 예산의 최적 운용이 가능하다.
- 최적의 농업용수 공급을 하여 물질약을 함으로서 기존의 양수펌프 사용량을 줄일 수 있으며, 또한 가뭄 시 투자되는 시설구축비용에 비하여 적은 비용으로 큰 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

(3) 사회적 측면

- 가뭄에 대한 사전대응 계획 수립과 가뭄 상황시 적용이 가능한 기술의 개발로 가뭄에 의한 피해 경감과 농업생산성 확보로 생활에 필수적인 농업생산물의 안정적인 공급이 가능하다.
- 관행적으로 관리되었던 농업용수공급에 대하여 보다 과학적이고 합리적인 방안을 제시함으로써 사회신뢰성 향상에 도움이 될 수 있다.

제 2장. 연구수행 내용 및 결과

제 1절. 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 구축 및 기초조사

1. 농업용수 공급 및 관리 현황조사

가. 농업용수의 일반적 특징

- 농업용수는 자연적으로 발생하는 강우를 그대로 이용하여 농지에 공급되는 형태로 생활용수 및 공업용수와는 다른 특징을 가지고 있다.
- 또한 작물생장에 중요한 영향을 미치기 때문에 작물 생육시기에 맞는 적절한 수량을 공급하여야 한다.
- 국내 농업용수 수요량은 총 사용량의 약 61%를 차지하고 있는 매우 중요한 자원이다.

[표 2-1-1] 사용 용도별 수자원 이용현황

구분	계	생활·공업·농업용수			하천유지용수	비고
		소계	생활	공업		
이용량 (억 m ³ /년)	372	251	76	23	152	121
%	-	100	30	9	61	-

출처 : 수자원장기종합계획 (국토교통부, 2016)

【 우리나라 수자원 이용현황 】



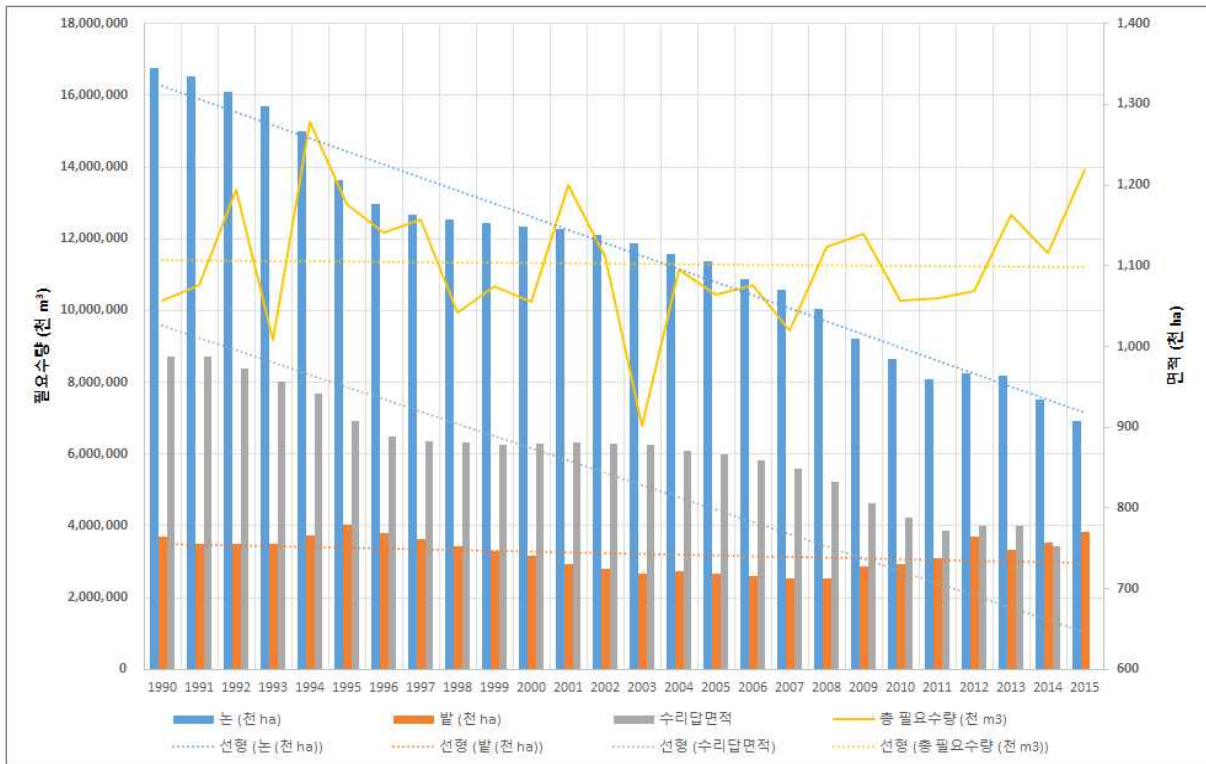
[그림 2-1-1] 우리나라 수자원 총량 및 이용현황

출처 : 수자원장기종합계획 (국토교통부, 2016)

- 농업용수는 강우를 직접 이용하기 때문에 기상여건에 따라 농업용수량이 달라지는데 일반적으로 9월 말부터 이듬해 4월 말까지 용수공급이 없고 농번기인 4월 말부터 9월 말까지 용수공급이 급증한다.
- 또한 갈수년의 용수수요량은 풍수년의 용수수요량보다 매우 높게 나타난다. 이는 자연강우를 직접 사용하는 농업용수의 전형적인 특징으로 용수가 필요한 시기에 강우가 발생할 경우 농업용 수리시설물에서 용수를 공급하지 않아도 되기 때문이다.
- 따라서 기후 변화 및 악화는 농업용수 확보 및 운용에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

나. 농업용수 공급현황 분석

- 농업용수 공급현황 분석을 위하여 1990년도부터 2015년까지 전국단위의 농경지 면적, 수리답 면적, 필요수량을 분석하였다.
- 분석결과 전국단위 경작면적 중 논 및 수리답의 경우 해당면적이 지속적으로 감소하는 반면, 필요수량의 경우 경작면적과 상관없이 꾸준한 수량을 나타내고 있다.



[그림 2-1-2] 전국단위 경작면적 및 필요수량 변화 (1990년-2015년)

- 도단위 수리답 관개계획 파악을 위해 필요수량(한국농어촌공사, RAWRIS), 강수량(기상청), 경지면적(통계청)자료를 분석하였다.



[그림 2-1-3] 도단위 경작면적 및 단위면적당 필요수량 변화 (1990년-2015년)

- 2000년을 기준으로 전국 강수량 평균은 1,291 mm에서 2015년 969.75 mm로 약 25% 감소하였다.
- 이를 도단위로 살펴보면, 강원도(1,155[00년]→758 mm[15년]), 경기도(1,329[00년]→751 mm[15년]), 경상남도(1,547[00년]→1,325 mm[15년]), 경상북도(913[00년]→920 mm[15년]), 전라남도(1,177[00년]→1,042 mm[15년]), 전라북도(1,637[00년]→814 mm[15년]), 충청남도(1,425[00년]→816 mm[15년]), 충청북도 (1,358[00년]→757 mm [15년])로 감소하였다.
- 통계청 자료를 토대로 1990년도에서 2015년도 비 경작면적 추이를 살펴본 결과 강원도, 경기도, 경상남도, 경상북도, 충청북도의 경작면적이 감소되는 경향을 보였다.
- 반면, 전라남도와 전라북도, 충청남도는 감소되는 폭이 상대적으로 작은 것으로 나타났다.
- 이를 도단위로 살펴보면, 강원도 (43.6% 감소), 경기도(51.4% 감소), 경상남도(50.9%

감소), 경상북도(47.8% 감소), 전라남도(15.2% 감소), 전라북도(23.6% 감소), 충청남도(16.6% 감소), 충청북도(46.0% 감소)가 감소하였다.

- 도별 필요수량 총량을 산출한 결과 1990년도에 비해 2015년도 도별 필요수량 총량은 1.2배에서 1.7배정도 증가하였다.
- 이를 전국적으로 단위면적당 필요수량으로 환산한다면 1990년 평균 7,260 m³/ha/y에서 2015년 16,720 m³/ha/y로 약 2.4배 증가하였다.
- 경작면적이 상대적으로 낮은 비율로 감소한 전라남도, 전라북도, 충청남도의 단위면적당 필요수량은 1.4-1.8배를 나타내었고 그 외 지역은 2.3-3.6배로 분석되었다.

다. 농업용수 관리 현황

(1) 농업용수 관리조직

- 현재 농업용수의 관리는 한국농어촌공사와 지방자치단체가 이원화하여 관리하고 있다.
- 한국농어촌공사는 우량농지를 중심으로 약 63% (532 천ha)의 농지면적을 관리하며, 수리시설이 미비한 지역 37% (316 천ha)은 지방자치 단체가 관리하고 있다.
- 농업용수 특성상 소규모의 지역별로 분산되어 있으며, 대다수의 시설은 농업용수 공급의 단일 목적으로 이용되고 있어 농업인의 수리권 보전의식이 매우 강하다.
- 농업용수는 작물의 생육에 따라 영농시기 및 지역별로 다양한 관리방식이 적용되고 있으며, 제한된 용수의 효과적 활용을 목적으로 윤환관개 및 간단관개도 적용되고 있다.
- 농업용수는 현지 농업인을 수감원(수리시설관리원)으로 위촉하여 운영하는 등 용수 이용자와 물관리 기관의 역할을 분담하여 체계적으로 실시하고 있다.
- 농업용수의 안정적 확보와 체계적인 개발 및 이용을 위하여 “농업·농촌용수 종합이용계획”을 수립 추진하고 있고, 전국의 농촌지역을 464개 소수계 단위로 구분하여 농촌용수구역을 설정 운영하고 있다.
- 농업용수 공급현황 분석을 위하여 1990년도부터 2015년까지 전국단위의 농경지 면적, 수리답 면적, 필요수량을 분석하였다.
- 분석결과 전국단위 경작면적 중 논 및 수리답의 경우 해당면적이 지속적으로 감소하는 반면, 필요수량의 경우 경작면적과 상관없이 꾸준한 수량을 나타내고 있다.

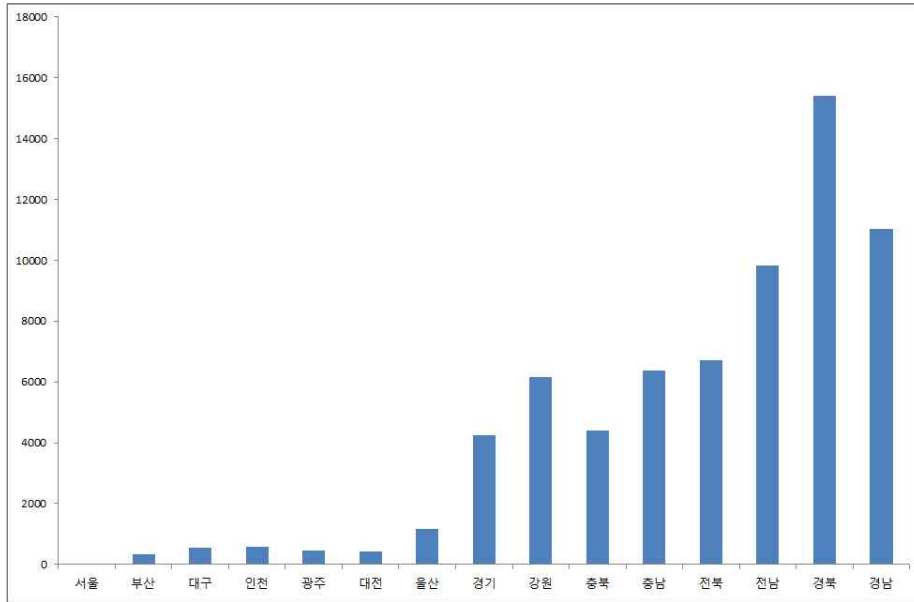
(2) 농업용수 공급시설물

- 농업용수 공급시설물은 크게 지표수를 이용하는 시설과 지하수를 이용하는 시설물로 구분할 수 있고, 지표수를 이용하는 시설로는 저수지, 양수장, 보가 있으며, 지하수를 이용하는 시설로는 집수암거, 관정 등이 있다.
- 농업용수 공급시설물은 전국적으로 67,737개소가 있으며 이중 저수지가 17,649개소 (26%), 양수장 6,359개소 (10%)로 나타났다.
- 시도별로 살펴보면 경상북도에 15,420개소로 농업용수 공급시설수가 가장 많다.

[표 2-1-2] 전국 시도별 농업용수 공급시설 현황

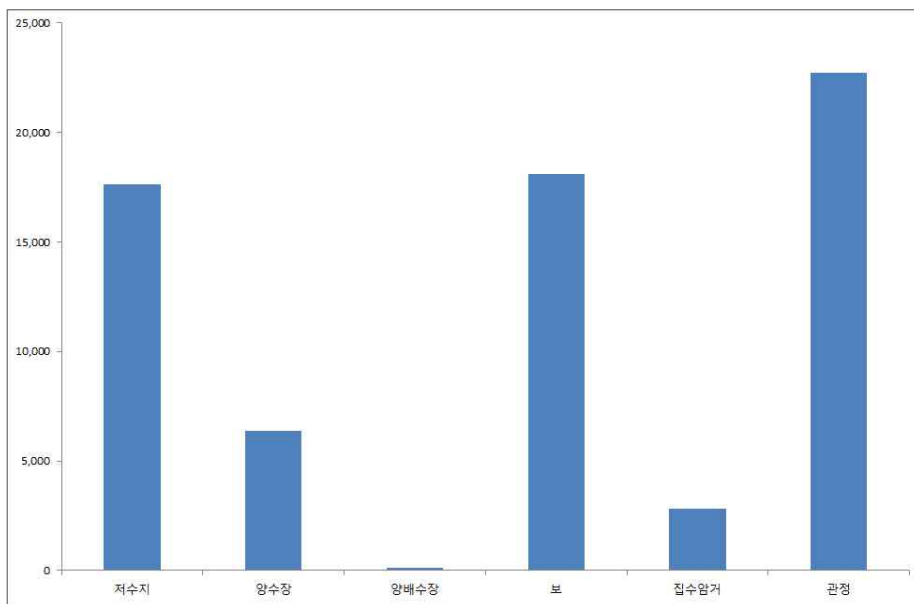
구분	계	저수지	양수장	양배수장	보	집수암거	관정
전국	67,737	17,649	6,359	122	18,088	2,801	22,718
서울	16	-	3	-	-	4	9
부산	332	113	37	2	66	1	113
대구	544	213	76	4	61	22	168
인천	589	37	53	-	3	27	469
광주	466	141	63	-	53	11	198
대전	432	17	27	-	97	14	277
울산	1,155	374	145	-	274	66	296
경기	4,237	402	498	8	1,135	301	1,893
강원	6,168	318	377	-	3,900	111	1,462
충북	4,406	789	419	7	1,915	174	1,102
충남	6,377	939	798	5	1,582	442	2,611
전북	6,727	2,272	661	11	1,412	228	2,143
전남	9,818	3,230	770	3	1,665	209	3,941
경북	15,420	5,581	1,577	7	3,145	574	4,536
경남	11,027	3,219	852	75	2,778	617	3,486
제주	23	4	3	-	2	-	14

출처: 한국수자원공사&한국농어촌공사(2009)



[그림 2-1-4] 광역시도별 농업용수 공급시설 개소수

- 광역시도별 농업용수 공급시설 개소수를 살펴본 결과 경상북도가 15,420개소로 전국에서 가장 많은 것으로 파악되었고, 경상남도 (11,027개) > 전라남도 (9,818개) > 전라북도 (6,727개) 순으로 높게 나타났다.



[그림 2-1-5] 농업용수 공급시설 종류별 개소수

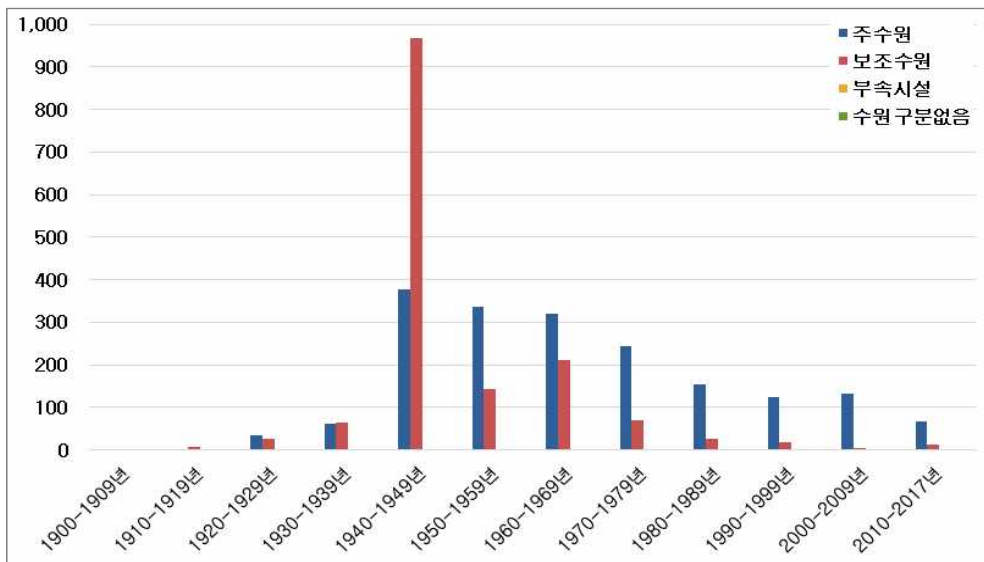
- 농업용수 공급시설로는 관정이 22,718개소로 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 파악되었고 이후 보 (18,088개), 저수지 (17,649개) 등의 순으로 높게 나타났다.
- 위의 그림과 같이 농업용수 공급시설물은 전국적으로 산재되어 있고, 개소수도 많아 농업용수의 공급 및 시설의 유지관리가 어려운 실정이다.

2. 관개지구특성, 용수특성, 양수특성 등을 고려한 테스트베드 선정

가. 농업용 저수지 분석

- 국내 농업용 저수지의 특성을 분석하기 위하여 약 3,400개의 저수지 현황을 준공년도별, 수혜면적, 유효저수량 등으로 분석하였다.

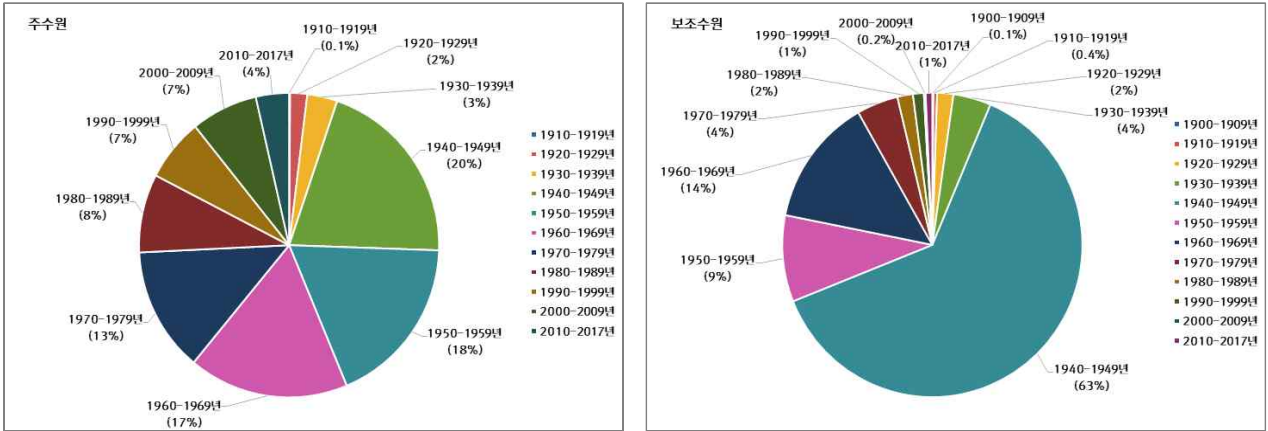
(1) 준공년도별 저수지 현황 분석



[그림 2-1-6] 준공년도별 수원공 현황

[표 2-1-3] 준공년도별 수원공 현황

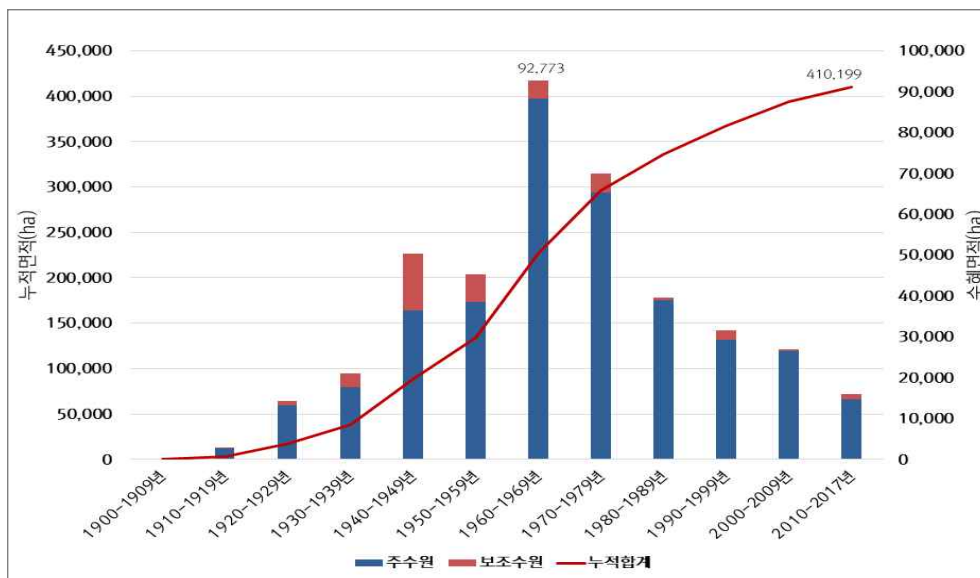
연도	시설구분				총합계
	주	보조	부속시설	수원구분 없음	
1900-1909년	-	2	-	-	2
1910-1919년	2	6	-	-	8
1920-1929년	34	27	-	-	61
1930-1939년	60	63	-	1	124
1940-1949년	376	968	-	1	1,345
1950-1959년	336	142	-	-	478
1960-1969년	319	211	1	-	531
1970-1979년	245	69	-	1	315
1980-1989년	154	26	-	-	180
1990-1999년	123	18	-	1	142
2000-2009년	133	3	-	-	136
2010-2017년	66	11	-	2	79
총합계	1,848	1,546	1	6	3,401



[그림 2-1-7] 주수원공 및 보조수원공별 준공년도

- 2017년 현재 국내 저수지의 주수원공은 1,848개소이며, 보조수원공은 1,546개소로 분석되었다.
- 국내 저수지 중 주수원공은 1940년대부터 1970년대까지 1,250여 개소 (68%)가 준공되었고, 보조수원공은 1940년대 968개 (63%)가 준공되었다.
- 지역별로는 주수원공의 경우 전라남도가 524개소로 가장 많은 것으로 나타났으며, 경상남도 286개소, 경상북도 280개소, 전라북도 229개소 순으로 나타났다.
- 보조수원공은 전라남도 469개소, 경상북도 371개소, 경상남도 273개소, 전라북도 190개소로 파악되었다.

(2) 저수지 연도별 수혜면적 변화



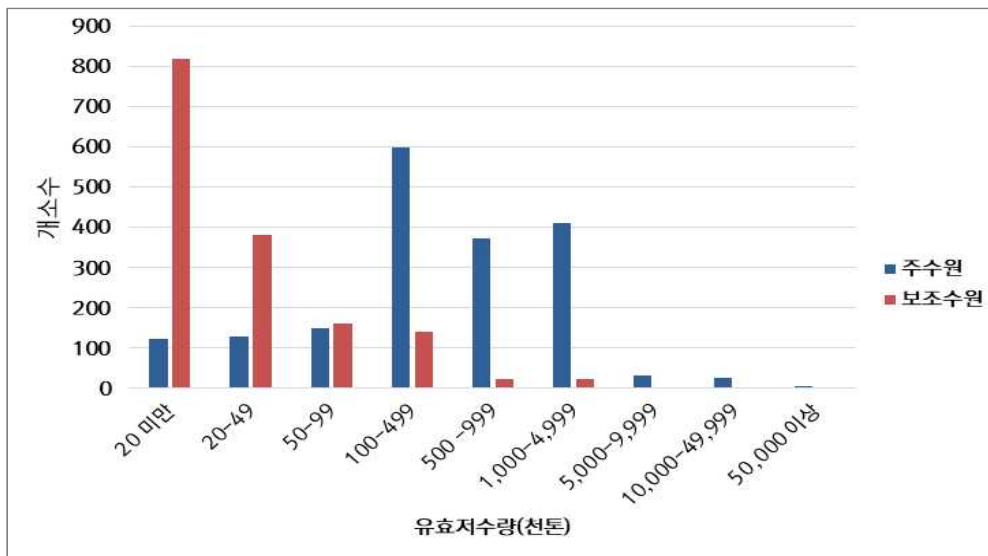
[그림 2-1-8] 준공년도별 수혜면적

[표 2-1-4] 준공년도별 수혜면적

연도	수원 구분		총합계	누적합계
	주수원	보조수원		
1900-1909년	-	23	23	23
1910-1919년	2,749	138	2,888	2,911
1920-1929년	13,259	1,039	14,298	17,209
1930-1939년	17,580	3,365	20,945	38,154
1940-1949년	36,511	13,816	50,327	88,481
1950-1959년	38,590	6,660	45,250	133,731
1960-1969년	88,321	4,452	92,773	226,504
1970-1979년	65,236	4,687	69,923	296,426
1980-1989년	38,863	658	39,522	335,948
1990-1999년	29,277	2,232	31,508	367,456
2000-2009년	26,536	313	26,849	394,305
2010-2017년	14,642	1,253	15,894	410,199
총합계	371,564	38,635	410,199	단위: ha

- 저수지 준공에 의한 수혜면적 변화를 살펴본 결과 1960년대와 1970년대 수혜면적이 높은 것으로 나타났다.
- 이에 따라 1960년대 1970년대 준공된 저수지의 규모가 상대적으로 큰 것으로 판단된다.

(3) 유효저수량 규모별 저수지 개소수



[그림 2-1-9] 유효저수량 규모별 저수지 개소수

[표 2-1-5] 유효저수량 규모별 저수지 개소수

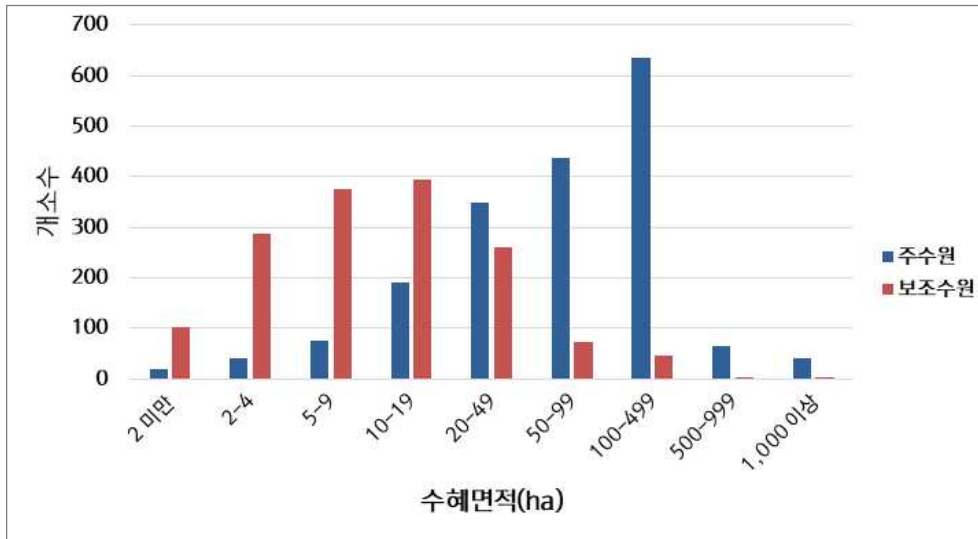
유효저수량 (천톤)	저수지		
	주	보조	총합계
20 미만	124	819	943
20-49	129	380	509
50-99	149	160	309
100-499	600	140	740
500 -999	372	22	394
1,000-4,999	411	22	433
5,000-9,999	33	1	34
10,000-49,999	25	2	27
50,000 이상	5	-	5
총합계	1,848	1,546	3,394

- 국내 저수지의 유효저수량별 개수를 살펴보면 10만톤 미만의 저수지는 약 1,750여 개소이고, 10만톤에서 100만톤미만 규모의 저수지는 1,134개소이며, 100만톤 이상 저수지는 500여 개소이다. (주수원, 보조수원 포함)
- 유효저수량을 기준으로 지역별 분포를 살펴보면 10만톤 미만의 경우 전라남도 (586개소) > 경상북도 (382개소) > 경상남도 (305개소) > 전라북도 (225개소)의 순이며, 10만톤에서 100만톤 미만의 경우도 전라남도 (311개소) > 경상남도 (201개소) > 경상북도 (176개소) > 전라북도 (126개소)의 순으로 나타났다.
- 100만톤 이상의 저수지는 전라남도 (96개소) > 경상북도 (93개소) > 전라북도 (68개소) > 충청남도 (64개소) 순이며, 경상남도, 충청북도, 강원도, 경기도 등도 30여개소 이상으로 파악되었다.

[표 2-1-6] 유효저수량 규모별 지역별 저수지 현황

지역	20 미만		20 - 49		50 - 99		100 - 499		500 - 999		1,000 - 4,999		5,000 - 9,999		10,000 - 49,999		50,000 이상	총합계		
	주	보조	주	보조	주	보조	주	보조	주	보조	주	보조	주	보조	주	보조	주	주	보조	총계
강원도	1	3	1	1	3	-	15	2	20	-	31	-	-	-	2	-	-	73	6	79
경기도	1	6	2	6	3	-	20	5	19	-	30	-	-	-	4	-	-	79	17	96
경상남도	26	190	18	40	12	19	124	18	57	2	45	4	3	-	1	-	-	286	273	559
경상북도	14	211	15	88	18	36	79	30	64	3	78	3	9	-	3	-	-	280	371	651
광주	-	20	-	16	2	7	3	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	5	48	53
대구	-	5	-	3	1	-	4	1	3	-	4	-	1	-	-	-	-	13	9	22
대전	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	3	0	3
부산	-	-	-	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0	5
세종	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	0	1
울산	-	52	-	8	-	6	7	2	9	-	3	-	-	-	-	-	-	19	68	87
인천	-	-	-	-	-	-	3	-	2	-	10	-	1	-	-	-	-	16	0	16
전라남도	58	170	67	152	75	64	152	64	83	12	81	6	3	-	2	1	3	524	469	993
전라북도	14	101	17	53	22	18	80	10	35	1	47	5	6	1	6	1	2	229	190	419
제주	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3
충청남도	10	21	6	1	9	6	65	2	39	2	54	1	5	-	4	-	-	192	33	225
충청북도	-	40	3	12	3	3	44	2	40	1	25	1	5	-	3	-	-	123	59	182
총합계	124	819	129	380	149	160	600	140	372	22	411	22	33	1	25	2	5	1,848	1,546	3,394

(4) 수혜면적 규모별 저수지 개소 수

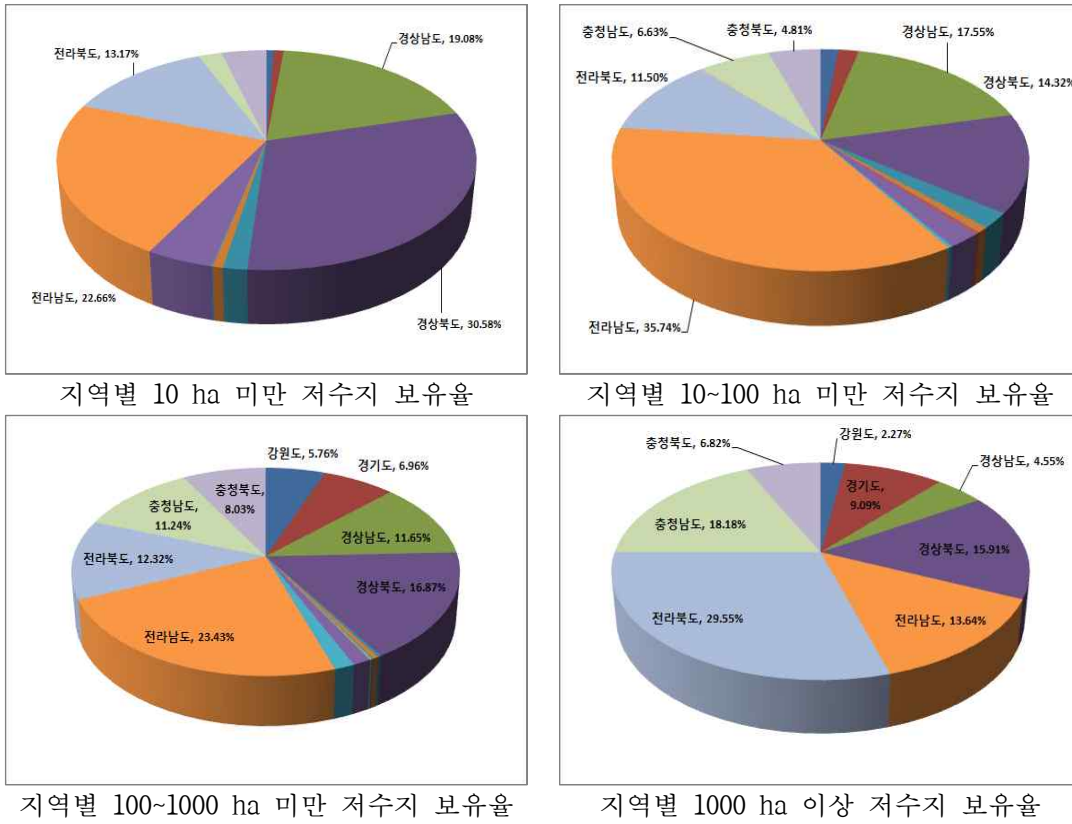


[그림 2-1-10] 수혜면적 규모별 저수지 개소수

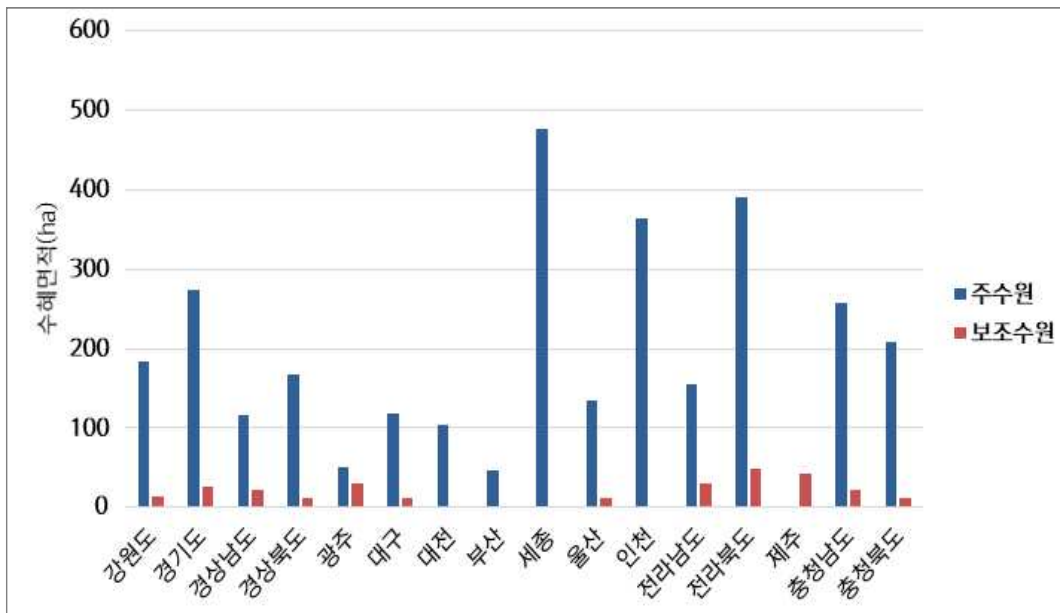
[표 2-1-7] 수혜면적 규모별 저수지 개소수

수혜면적 (ha)	저수지		
	주수원	보조수원	총합계
2 미만	18	102	120
2-4	39	287	326
5-9	75	375	450
10-19	191	395	586
20-49	347	261	608
50-99	437	73	510
100-499	636	45	681
500-999	63	3	66
1,000 이상	40	4	44
총합계	1,846	1,545	3,391

- 국내 저수지의 수혜면적별 개수를 살펴보면 10 ha 미만의 저수지는 896 개소이고, 10 ha에서 100 ha미만 규모의 저수지는 1704개소이며, 100 ha에서 1,000 ha 미만의 저수지는 791개소, 1,000 ha 이상의 저수지는 주수원, 보조수원 포함 44개소로 나타났다.



[그림 2-1-11] 수혜면적 규모별 지역별 저수지 비율



[그림 2-1-12] 지역별 평균 수혜면적

[표 2-1-8] 수혜면적 규모별 지역별 저수지 현황

지역	합계 : 수혜면적 (ha)			평균 : 수혜면적 (ha)		합계 : 유효저수량 (천톤)			평균 : 유효저수량 (천톤)	
	주	보조	합계	주	보조	주	보조	합계	주	보조
강원도	13,185	86	13,271	183	14	112,118	243	112,361	1,536	41
경기도	21,681	459	22,140	274	27	138,721	1,602	140,323	1,756	94
경상남도	33,327	6,084	39,411	117	22	221,905	17,251	239,156	776	63
경상북도	46,963	4,465	51,428	168	12	373,025	22,849	395,874	1,332	62
광주	255	1,409	1,663	51	29	944	5,186	6,130	189	108
대구	1,542	116	1,658	119	13	21,272	334	21,605	1,636	37
대전	315	-	315	105	-	4,833	-	4,833	1,611	-
부산	237	-	237	47	-	828	-	828	166	-
세종	478	-	478	478	-	4,868	-	4,868	4,868	-
울산	2,424	765	3,189	135	11	11,934	1,503	13,437	628	22
인천	5,839	-	5,839	365	-	29,209	-	29,209	1,826	-
전라남도	81,104	14,489	95,593	155	31	598,410	57,910	656,320	1,142	123
전라북도	89,301	9,185	98,487	390	48	609,594	42,782	652,376	2,662	225
제주		130	130	-	43	-	985	985	-	328
충청남도	49,394	734	50,128	257	23	305,701	4,094	309,795	1,592	124
충청북도	25,519	714	26,233	207	12	180,085	4,568	184,653	1,464	77
합계	371,564	38,635	410,199	3,050	287	2,613,447	159,307	2,772,755	23,184	1,305

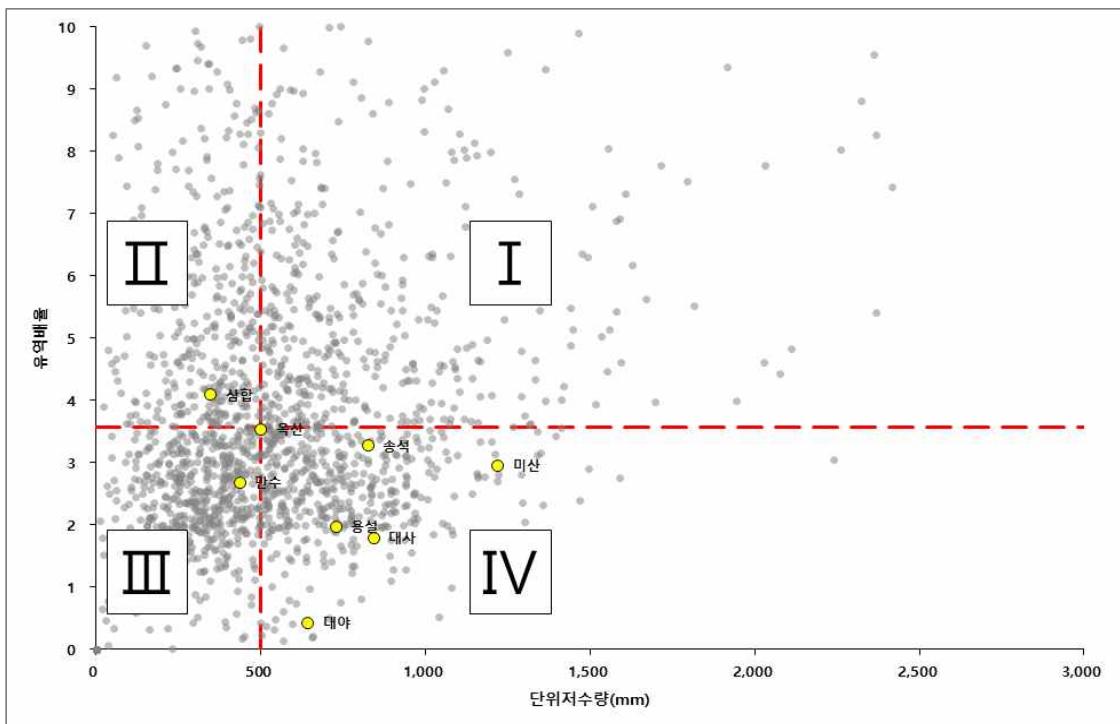
(5) 농업용 저수지 유형 분류

- 농업용저수지의 규모별 유형 분류를 위하여 저수지의 유효저수량과 수혜면적을 반영한 단위저수량과 유역면적과 수혜면적을 고려한 유역배율을 유형 분류의 기준으로 선정하였다.
- 농어촌공사 관리 저수지를 대상으로 단위저수량과 유역배율의 중앙값 (Median)을 선정하였고, 선정된 중앙값을 이용하여 유형을 4분위로 구분하였다.
- 저수지의 유형 분류에 따라 다음의 저수지 특성을 도출할 수 있다.

[표 2-1-9] 농업용 저수지 유형 분류

유형	특성
I	단위저수량과 유역배율이 상대적으로 높은 저수지
II	단위저수량은 상대적으로 낮지만, 유역배율은 높은 저수지
III	단위저수량과 유역배율이 상대적으로 높지 않은 저수지
IV	단위저수량은 상대적으로 높지만, 유역배율은 낮은 저수지

- 연구팀은 총 3,394개 주수원, 보조수원, 부속시설을 분석한 결과 단위저수량은 501.25 mm, 유역배율 3.57의 중앙값을 도출하였다.



[그림 2-1-13] 단위저수량과 유역배율에 의한 유형화 결과

- 유형 분류에 따른 저수지를 살펴본 결과 I 유형의 저수지는 전국적으로 주수원공 518개이고, II 유형의 저수지는 주수원공 405개, III 유형은 주수원공 521개, 보조수원공 1540개, 부속시설 2곳이며, IV 유형의 경우 주수원공 408개로 나타났다.
- 국내 저수지의 유형별 분포는 단위저수량과 유역면적이 상대적으로 낮은 곳이 가장 많은 것으로 파악되었다.
- 유형을 고려한 지역별 저수지 분포는 아래의 표와 같다.

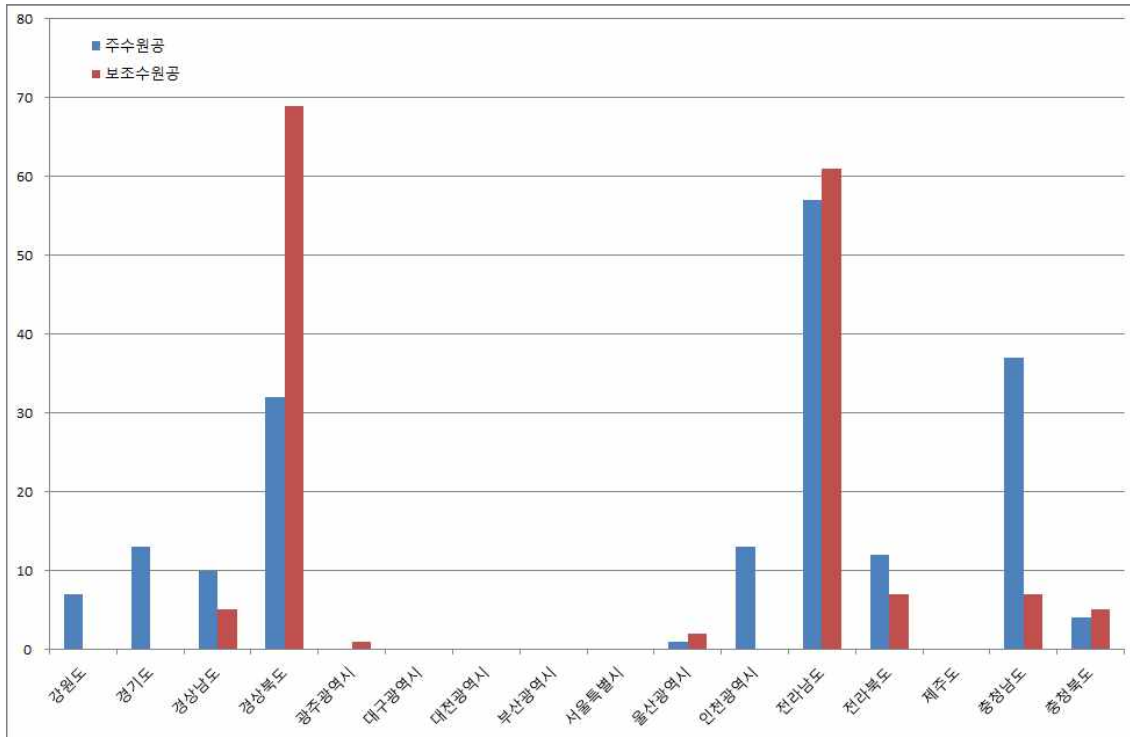
[표 2-1-10] 유형화 분류에 따른 지역별 저수지 분포

지역 \ 유형	유형					합계				
	I	II	III			IV				
	주	주	주	보조	부속	주	주	보조	부속	총계
강원도	46	12	6	6	0	9	73	6	0	79
경기도	20	18	23	17	0	18	79	17	0	96
경상남도	70	77	75	271	1	67	289	271	1	561
경상북도	124	60	39	370	0	56	279	370	0	649
광주	2	0	3	47	0	0	5	47	0	52
대구	10	2	1	9	0	0	13	9	0	22
대전	2	0	1	0	0	0	3	0	0	3
부산	1	3	1	0	0	0	5	0	0	5
세종	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
울산	5	4	6	68	0	4	19	68	0	87
인천	2	3	5	0	1	6	16	0	1	17
전라남도	102	123	201	468	0	99	525	468	0	993
전라북도	49	52	76	190	0	52	229	190	0	419
제주	0	0	0	3	0	0	0	3	0	3
충청남도	36	35	56	32	0	65	192	32	0	224
충청북도	49	16	28	59	0	31	124	59	0	183
총합계	518	405	521	1540	2	408	1852	1540	2	3394

나. 농업용 저수지 양수 현황 분석

- 지역별 농업용 저수지 양수현황 특성을 분석하기 위하여 약 340여개의 양수 현황을 수원공별, 시설, 하천수량, 가동시기, 평균 유역면적, 평균 수혜면적, 평균 유역배율, 평균 유효저수량, 평균 일 양수량, 유효 저수량 대비 일 양수비율을 분석하였다.

(1) 지역별 양수장 설치 수원공 현황

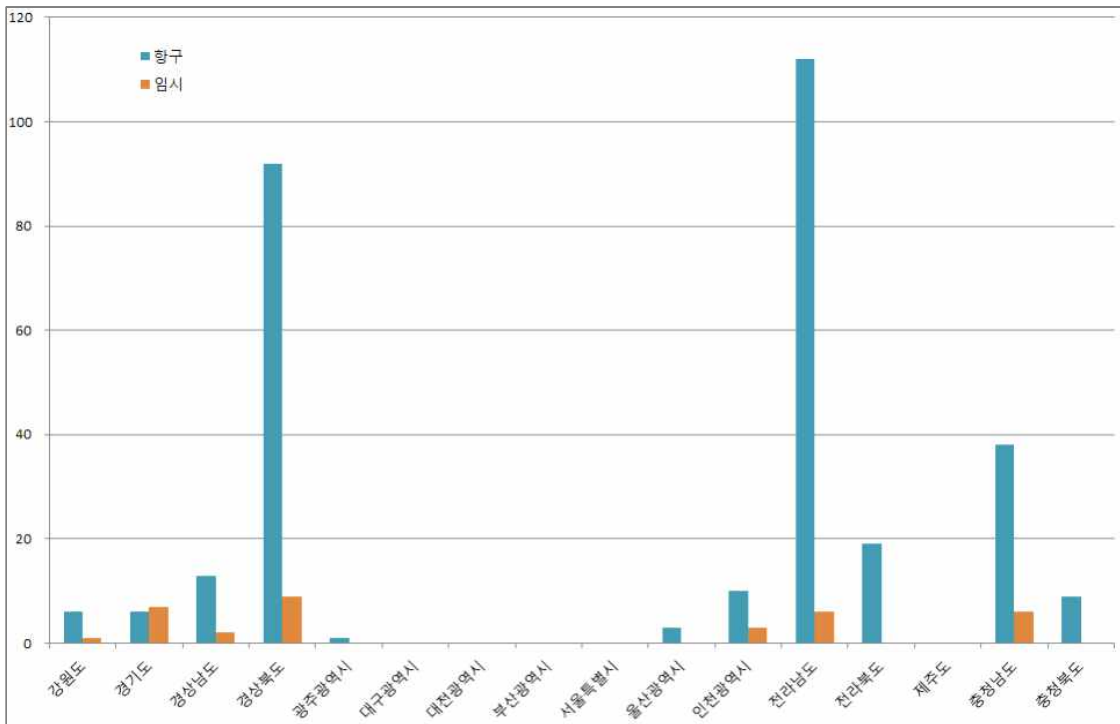


[그림 2-1-14] 지역별 양수장 설치 현황

- 약 340여개 양수시설 중 주수원공에 설치된 양수장은 186개이고, 보조수원공에 설치된 양수장은 157개로 나타났다.
- 지역별로는 전라남도 > 충청남도 > 경상북도 > 경기도 순으로 주수원공에 설치된 양수장 비율이 높게 나타났다.
- 보조수원공에 설치된 양수장의 경우 경상북도와 전라남도에 많이 분포하였고, 그 외 지역은 10개 미만으로 나타났다.

(2) 지역별 양수장 설치 시설구분 현황

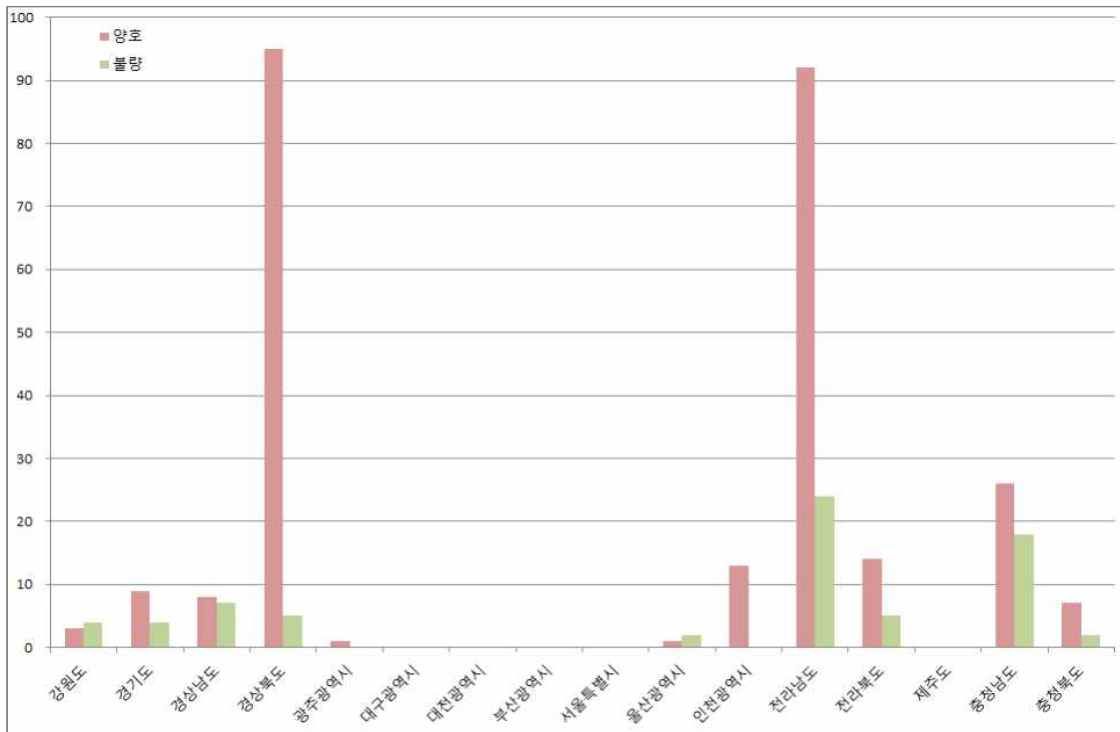
- 약 340여개 양수시설 중 양수시설이 구조물화 되어 상시 가동이 가능한 항구시설은 309개이고, 간이양수장, 수중펌프 등으로 필요시 설치 및 제거가 가능한 임시시설은 34개로 나타났다.
- 지역별로는 전라남도 > 경상북도 > 충청남도 > 전라북도 순으로 항구시설의 비율이 높게 나타났다.
- 임시시설의 경우 지역별로 그 시설수가 10개 미만으로 나타났다.



[그림 2-1-15] 지역별 양수장 시설 구분 현황

(3) 지역별 양수장 하천수량 특성 분석

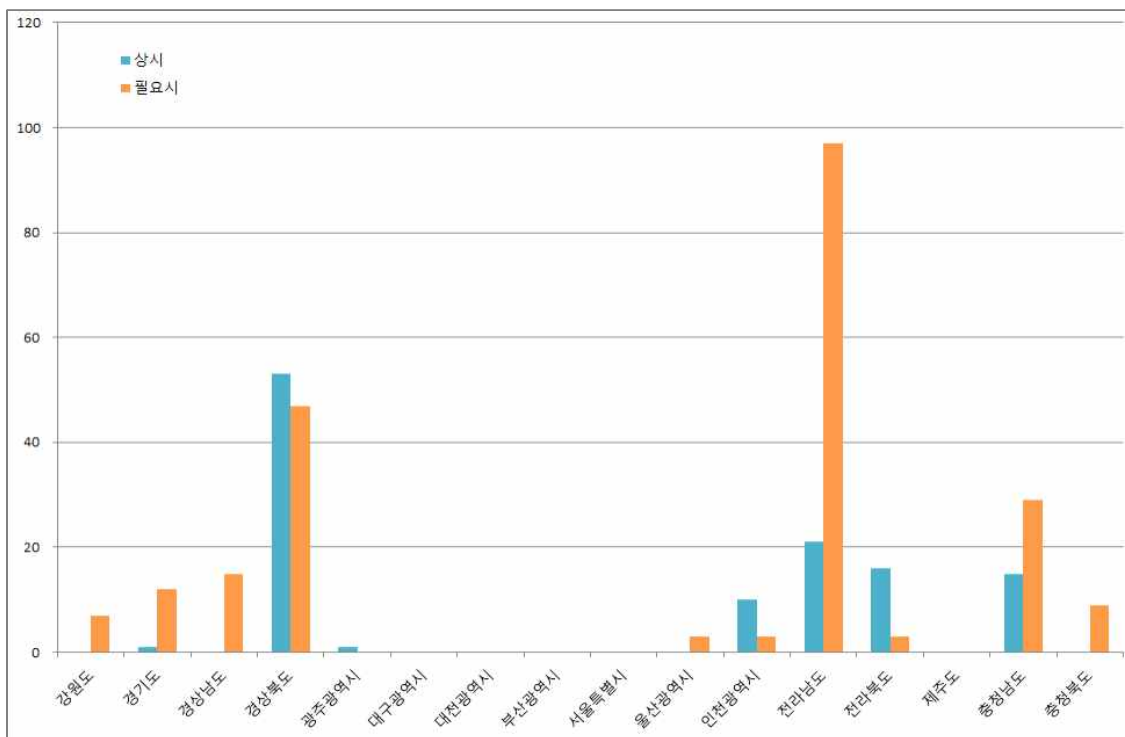
- 약 340여개 양수시설 중 금강, 낙동강 등과 같이 연중 취수할 수 있는 국가하천 및 지방하천 등을 이용하는 시설은 전국적으로 269개소로 나타났고, 강수부족 및 가뭄 등이 발생할 경우 수위 저하로 취수할 수 있는 수량이 현저히 부족해지는 불안정한 하천을 이용하는 시설은 전국적으로 71개소로 나타났다.
- 지역별로는 경상북도 > 전라남도 > 충청남도 > 전라북도 순으로 하천수량이 양호하였다.



[그림 2-1-16] 지역별 양수장 하천수량 현황

(4) 지역별 양수장 가동시기 특성 분석

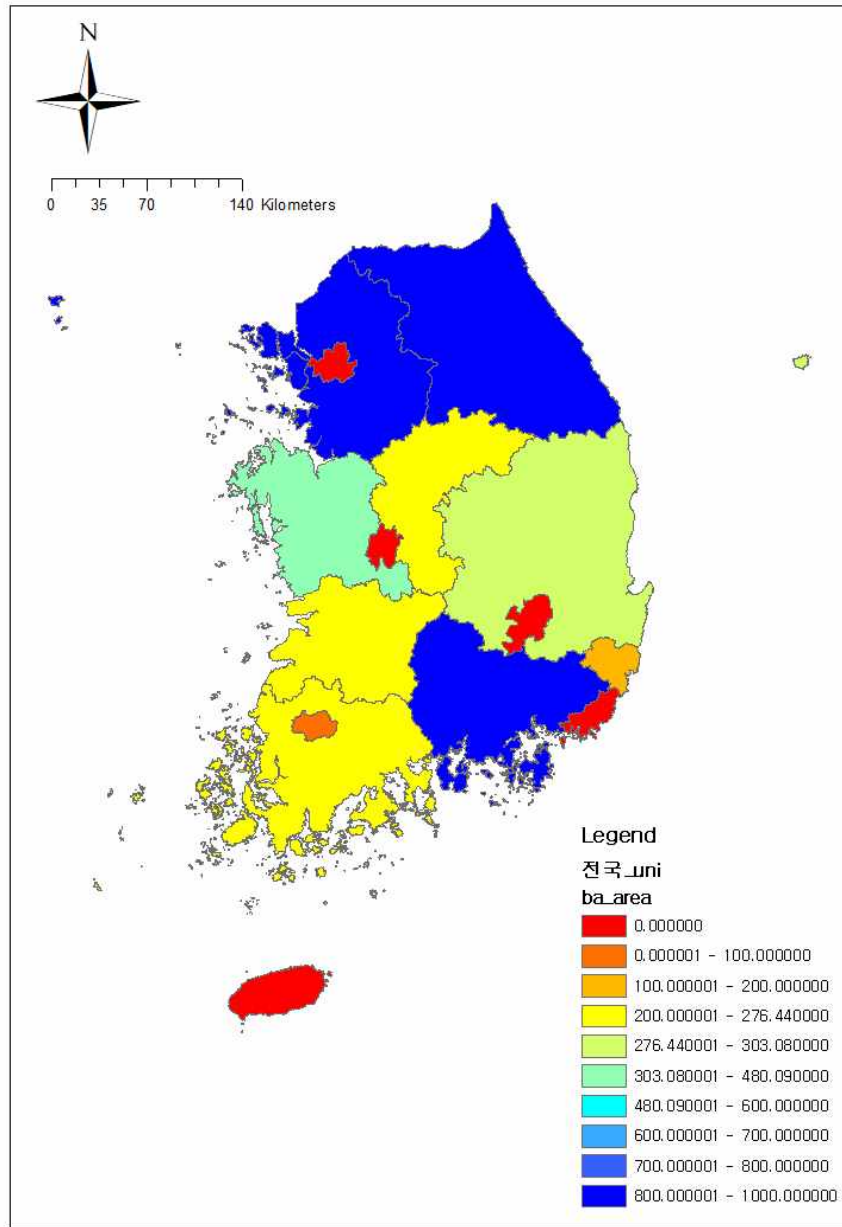
- 약 340여개 양수시설 중 유역배율이 작아 본래 축조 당시부터 양수저류형 시설물이 설치된 저수지는 117개소 이고, 저수지 준공 당시 양수저류 시설이 없었으나, 준공 후 저수량의 부족이 발생하거나 예상될 때 가동을 위해 설치된 시설은 225개소로 나타났다.
- 상시 가동을 하는 시설의 경우 지역별로 경상북도 > 전라남도 > 충청남도 순으로 많이 분포하였고, 필요시에 가동하는 시설의 경우 전라남도 > 경상북도 > 충청남도 > 경상남도 > 경기도 순으로 분포하였다.



[그림 2-1-17] 지역별 양수장 가동시기 현황

(5) 지역별 양수장 평균 유역면적 분석

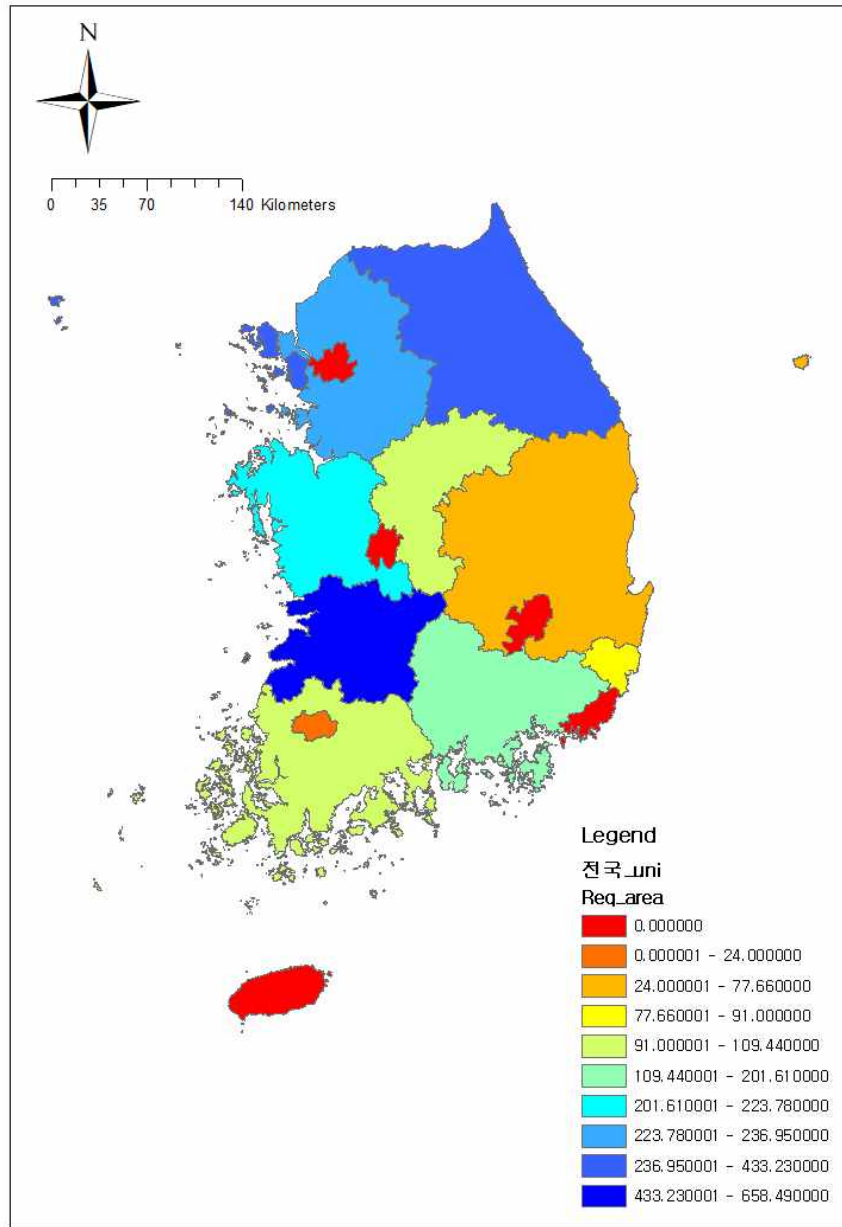
- 전국적으로 양수장이 설치된 수원공의 평균 유역면적은 498.43 ha로 분석되었다.
- 그 중 강원도 > 인천광역시 > 경상남도 > 경기도의 유역면적이 평균적으로 높게 나타났고, 광주광역시, 울산광역시 등의 유역면적은 낮은 것으로 분석되었다.



[그림 2-1-18] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 유역면적

(6) 지역별 양수장 평균 수혜면적 분석

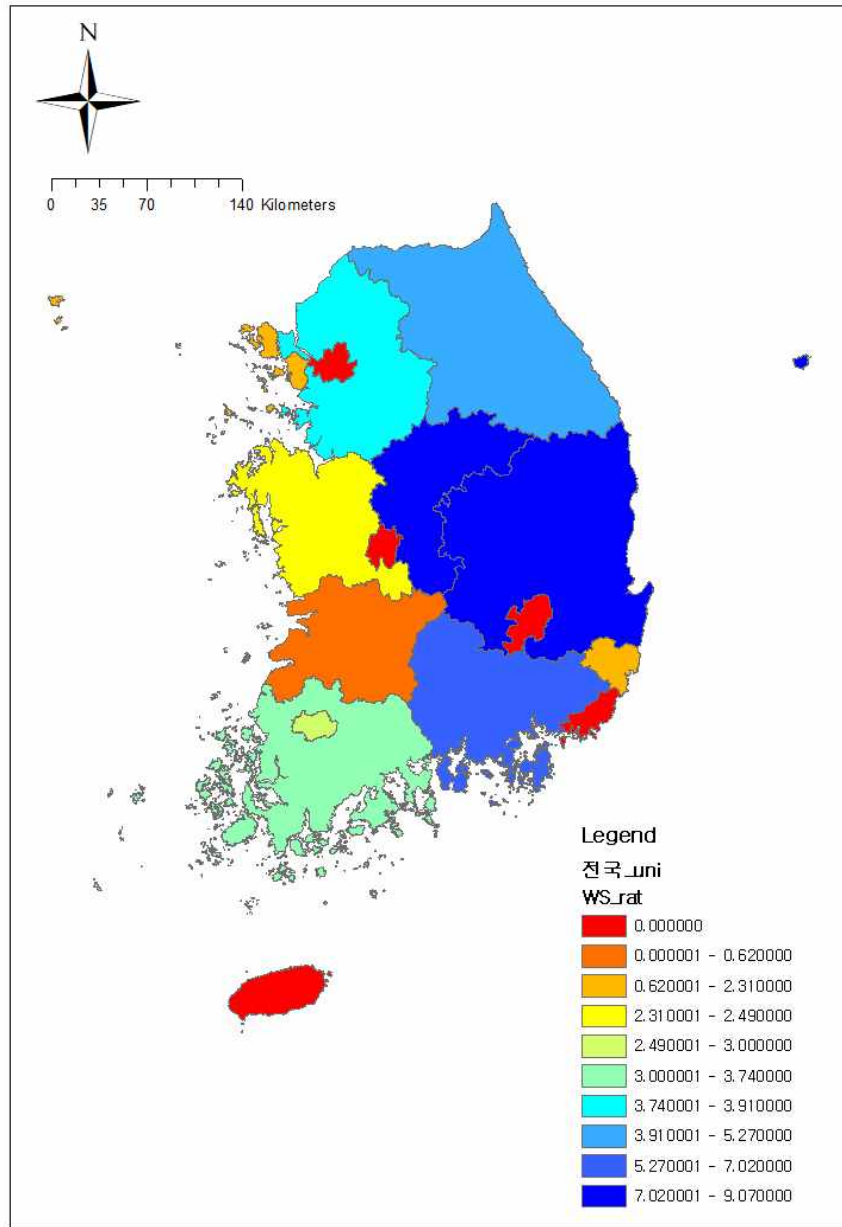
- 전국적으로 양수장이 설치된 수원공의 평균 수혜면적은 231.77 ha로 분석되었다.
- 그 중 전라북도 > 인천광역시 > 강원도 > 경기도의 수혜면적이 평균적으로 높게 나타났고, 광주광역시, 경상북도, 울산광역시 등의 수혜면적은 낮은 것으로 분석되었다.



[그림 2-1-19] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 수혜면적

(7) 지역별 양수장 평균 유역배율 분석

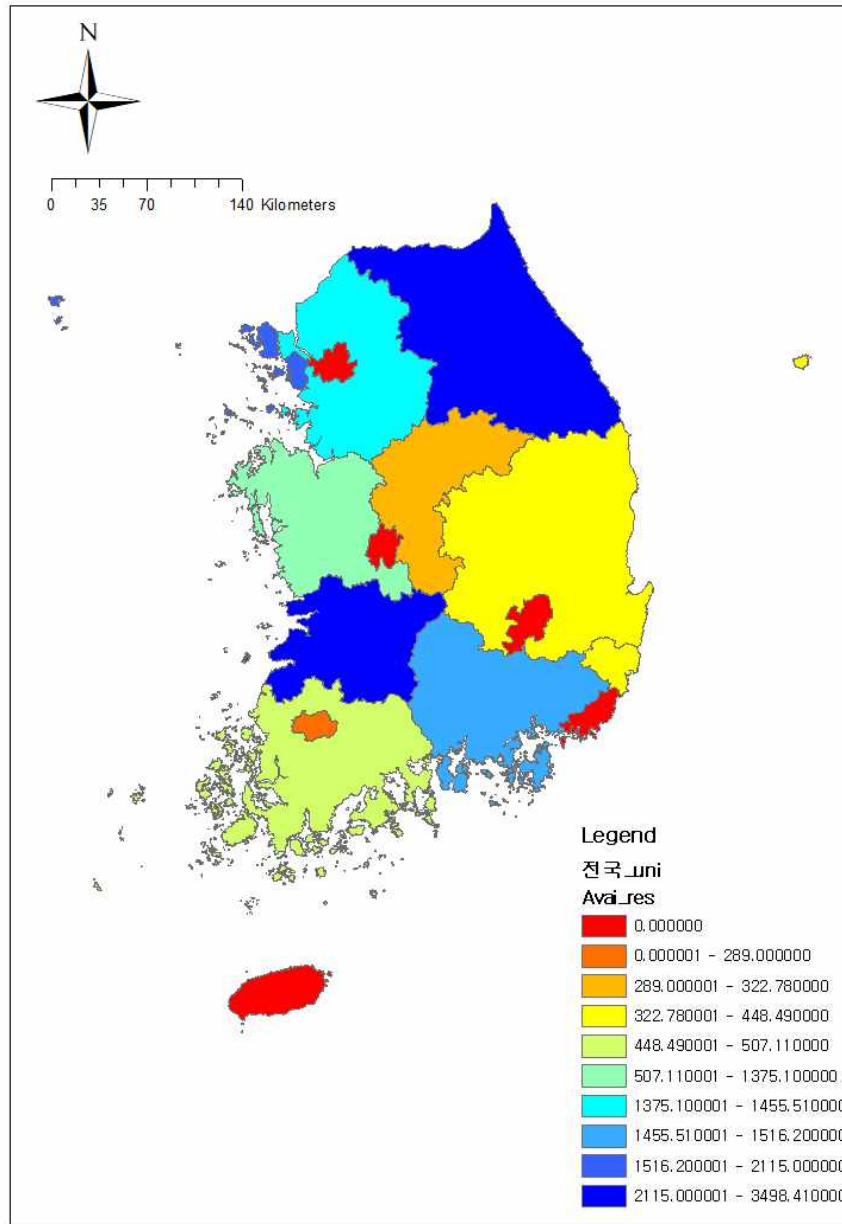
- 전국적으로 양수장이 설치된 수원공의 평균 유역배율은 4.40으로 분석되었다.
- 그 중 경상북도 > 충청북도 > 경상남도 > 강원도의 유역배율이 평균적으로 높게 나타났고, 전라북도, 인천광역시, 울산광역시 등의 유역배율은 낮은 것으로 분석되었다.



[그림 2-1-20] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 유역배율

(8) 지역별 양수장 평균 유효저수량 분석

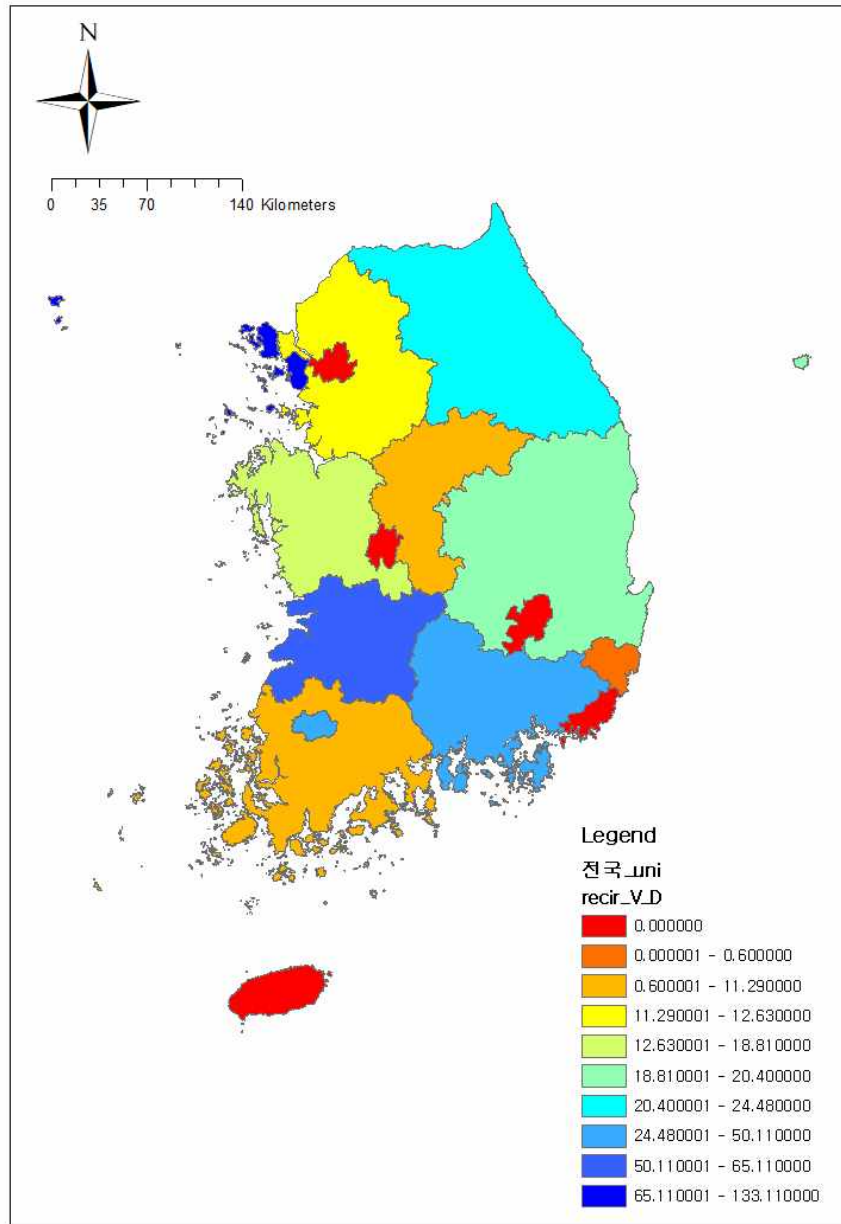
- 전국적으로 양수장이 설치된 수원공의 평균 유효저수량은 1,397.36 천m³으로 분석되었다.
- 그 중 전라북도 > 강원도 > 인천광역시의 유효저수량이 평균적으로 높게 나타났고, 광주광역시, 울산광역시, 전라남도 등의 유효저수량은 낮은 것으로 분석되었다.



[그림 2-1-21] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 유효저수량

(9) 지역별 양수장 평균 일양수량 분석

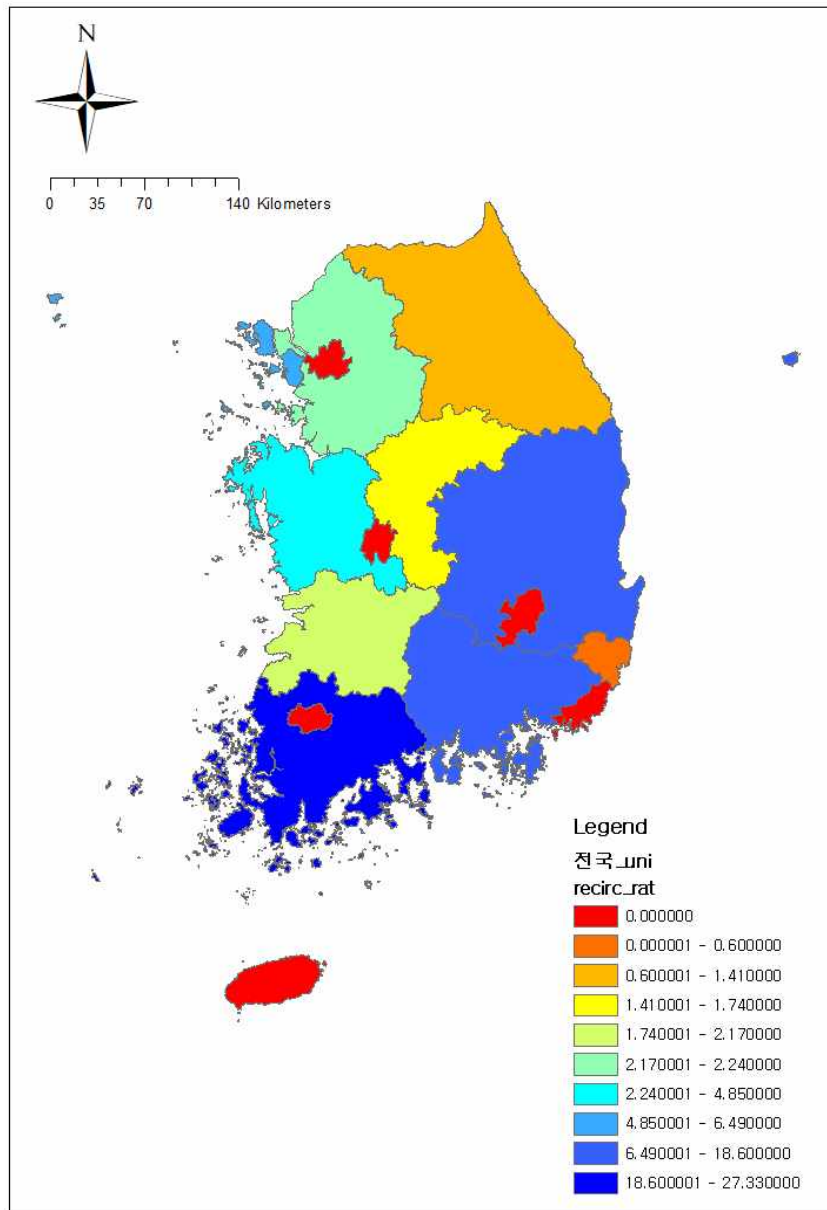
- 전국적으로 양수장이 설치된 수원공의 평균 일양수량은 35.85 천m³으로 분석되었다.
- 그 중 인천광역시 > 전라북도 > 경상남도의 일양수량이 평균적으로 높게 나타났고, 울산광역시, 충청북도 등의 일양수량은 낮은 것으로 분석되었다.



[그림 2-1-22] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 일양수량

(10) 지역별 양수장 평균 유효저수량 대비 일양수량 비율 분석

- 전국적으로 양수장이 설치된 수원공의 평균 유효저수량 대비 일양수량 비율을 분석한 결과 약 7.96%로 나타났다.
- 그 중 전라남도 > 경상남도 > 경상북도의 일양수량 비율이 평균보다 높게 나타났고, 울산광역시, 강원도, 경기도, 충청남도 등은 일양수량 비율이 평균보다 낮은 것으로 나타났다.



[그림 2-1-23] 지역별 양수장 운영 수원공의 평균 유효저수량 대비 일양수량 비율

다. 관개지구의 용수 및 양수 특성을 고려한 테스트베드의 선정

(1) 1차 테스트베드 선정

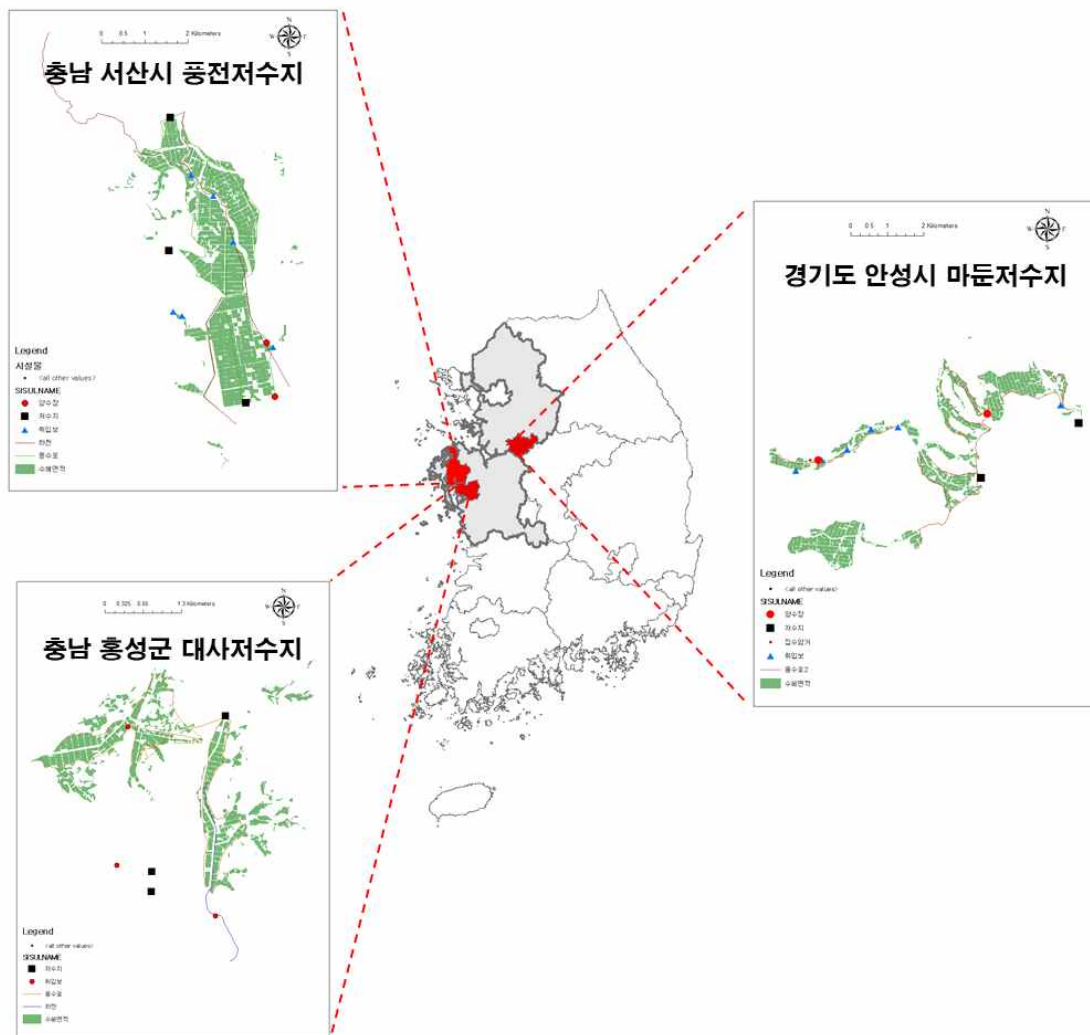
- 본 연구팀은 테스트베드 1차 선정 즉, 도단위 지역선정을 위하여 저수지 특성, 양수 특성을 고려하였고, 이를 토대로 양수장 설치 수원공의 유역배율 평균 (4.54)과 유효저수량 대비 일양수 비율 평균 (7.96)을 모두 만족할 수 있는 지역을 선정하고자 하였다. (광역시 제외)
- 도단위 유역배율 분석결과 유역배율이 전국 평균보다 낮은 곳은 경기도, 전라남도, 전라북도, 충청남도로 나타났다.
- 유효저수량 대비 일양수량 비율의 경우 경기도, 전라북도, 충청남도, 충청북도가 전국 평균에 비해 낮은 곳으로 나타났다.
- 이를 종합하여 테스트베드 1차 지역은 경기도, 전라북도, 충청남도로 선정되어야 하지만 전라북도의 경우 유역배율인 0.62로 본 연구의 목적에 적합하지 않은 것으로 판단하여 최종적으로 경기도, 충청남도 지역으로 선정하였다.

[표 2-1-11] 1차 테스트베드 선정 결과

지역	양수비율	유역배율	선정여부
강원도	1.41	5.27	미선정
경기도	2.24	3.91	선정
경상남도	18.60	7.02	미선정
경상북도	14.16	9.07	미선정
울산광역시	0.60	2.31	미선정
인천광역시	6.49	2.18	미선정
전라남도	27.33	3.74	미선정
전라북도	2.17	0.62	미선정
충청남도	4.85	2.49	선정
충청북도	1.74	8.79	미선정
전국평균	7.96	4.54	-

(2) 최종 테스트베드 선정

- 지구단위 테스트베드 선정을 위하여 경기도, 충청남도 양수시설을 검토하였다.
- 그 결과 경기도의 경우 2016년과 2017년도 가뭄에 의한 영향으로 농업용수 운용이 매우 어려웠던 경기도 안성시 마둔저수지를 대상으로 선정하였고
- 충청남도의 경우도 2016년과 2017년도 극심한 가뭄의 영향을 받은 지역이며, 저수지 공급 유형과 수로급수 유형 등으로 양수 운용하는 지구인 충청남도 홍성의 대사저수지와 충청남도 서산의 풍전저수지를 최종적으로 선정하였다.



[그림 2-1-24] 최종 테스트베드 지역 및 수리현황도

(3) 테스트베드 일반현황

- 최종 테스트베드로 선정된 경기도 안성시 마둔저수지, 충청남도 홍성군 대사저수지, 충청남도 서산시 풍전저수지의 일반현황을 살펴보았다.

[표 2-1-12] 테스트베드 대상지구의 일반현황

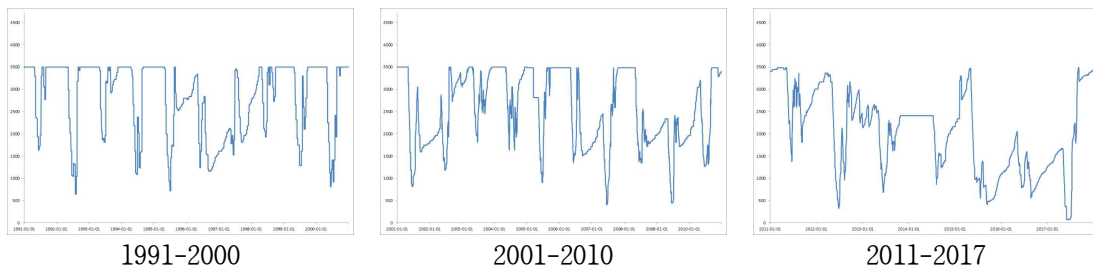
구분	마둔저수지	대사저수지	풍전저수지
위치	경기도 안성시	충청남도 홍성군	충청남도 서산시
수원공구분	주	주	주
유역면적 (ha)	1,240	290	1,110
수혜면적 (ha)	529.5	163	655
유역배율	2.3	1.8	1.7
유효저수량 (천m ³)	4,707	1,376	2,621
양수시설 구분	임시	항구	항구
양수시설명	마둔임시	대사양수저류	풍전간이
양수펌프 규모	수중펌프 22 kW×100mm×9대, 3단양수	수중펌프 55kW×250mm (3단 200mm)×3대, 3단양수	수중펌프 1개소 (30kW×150mm×2대) 취입보 1개소 (L=34m, H=1m)
양수길이 (km)	4	4.8	1.6
일양수량 (m ³ /day)	4,300	4,000	6,000
취수 하천명	조령천	와룡천	둔당천
하천수량	불량	양호	불량
가동시기	필요시	필요시	필요시
설치비재원	공사유지관리비	국고보조금	국고보조금
설치년도	2015	2016	2017

- 경기도 안성시에 위치한 마둔저수지는 주수원공으로 유역면적은 1,240 ha, 수혜면적 529.5 ha, 유역배율은 2.3 이다.
- 마둔저수지의 유효저수량은 4,707 천m³이고, 필요시 설치 및 제거가 가능한 임시 양수장으로 22 kW 9대가 3단으로 양수하는 시설로 양수길이는 4 km이다.
- 충청남도 홍성군에 위치한 대사저수지는 주수원공으로 유역면적은 290 ha, 수혜면적 163 ha, 유역배율은 1.8 이다.

- 대사저수지의 유효저수량은 1,376 천m³이고, 구조물화 되어 있어 상시 가동이 가능한 양수장으로 55 kW 3대가 3단으로 양수하는 시설이며 양수길이는 4.8 km이다.
- 충청남도 서산시에 위치한 풍전저수지는 주수원공으로 유역면적은 1110 ha, 수혜면적 655 ha, 유역배율은 1.7 이다.
- 풍전저수지의 유효저수량은 2,621 천m³이고, 구조물화 되어 있어 상시 가동이 가능한 양수장으로 30 kW 2대가 양수하는 시설이며 양수 길이는 1.6 km이다.
- 마둔저수지는 조령천, 대사저수지는 와룡천, 풍전저수지는 둔당천에서 취수를 하며, 대사저수지는 하천수량이 풍부하지만, 마둔, 풍전저수지의 하천수량은 강수부족 및 가뭄이 발생할 경우 취수가 어려운 것으로 나타났다.

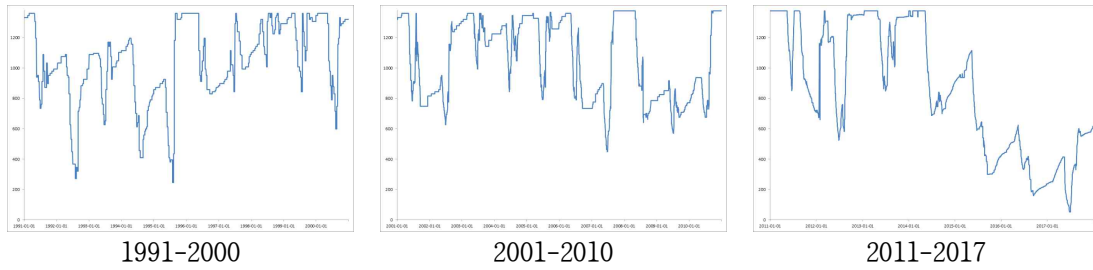
(4) 테스트베드 저수율 분석

- 최종 테스트베드로 선정된 경기도 안성시 마둔저수지, 충청남도 홍성군 대사저수지, 충청남도 서산시 풍전저수지의 저수율 변화를 1991년부터 2017년까지 10년 단위로 살펴보았다.



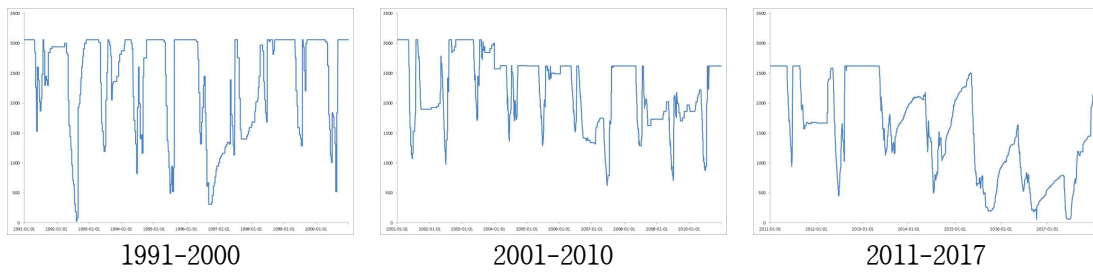
[그림 2-1-25] 경기도 안성시 마둔저수지 저수량 (1991년~2017년)

- 마둔저수지의 경우 농업용수의 공급 및 회복이 2008년까지 원활하였지만, 2008년도 이후부터는 용수공급 후 저수량에 어려움이 발생된 것으로 나타났다. 특히 2012년 이후 평년 저수량을 회복하지 못하는 추세가 이어지고 있다.



[그림 2-1-26] 충청남도 홍성군 대사저수지 저수량 (1991년~2017년)

- 대사저수지의 경우 농업용수의 공급 및 회복이 1990년대 초반 어려움이 발생했지만 이후 원활한 공급 및 회복이 이뤄졌다.
- 반면 2014년 이후에는 용수공급 후 저수량에 어려움이 발생한 것으로 나타났다.

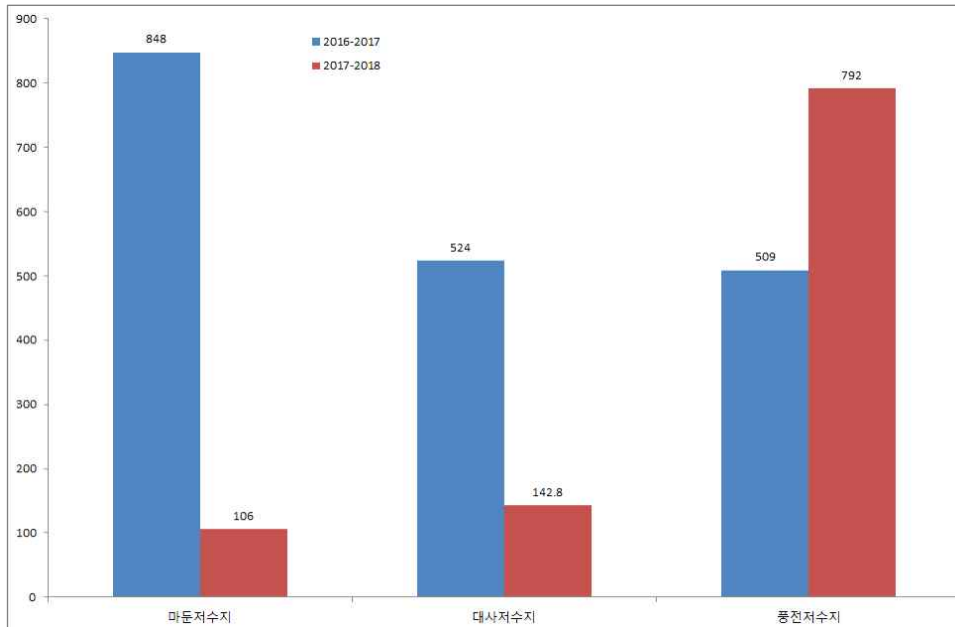


[그림 2-1-27] 충청남도 서산시 풍전저수지 저수량 (1991년~2017년)

- 풍전저수지의 경우 농업용수의 공급 및 회복이 2013년까지 원활하였지만, 2013년도 이후부터는 용수공급 후 저수량에 어려움이 발생한 것으로 나타났다.

(5) 테스트베드 최근 양수저류 실적 분석

- 테스트베드인 마둔저수지, 대사저수지, 풍전저수지의 최근 2년간의 양수저류 실적을 분석하였다.



[그림 2-1-28] 테스트베드 대사지구의 양수저류 실적 (2016-2018년)

- 2016년 11월부터 2017년 9월 말까지의 양수저류 실적 결과 마둔저수지의 양수저류량은 총 848 천m³이고, 대사저수지는 524 천m³, 풍전저수지는 509 천m³으로 나타났다.
- 마둔저수지의 경우 2016~2017년 극심한 가뭄으로 저수율이 2%까지 낮아졌던 곳으로 긴급 한해대책으로 지속적인 양수저류 운용의 결과로 판단된다.
- 2017년 10월부터 2018년 6월 말까지의 양수저류 실적 결과 마둔저수지와 대사저수지는 각 106 천m³, 142.8 천m³의 양수저류를 실시한 반면 풍전저수지는 792 천m³의 양수저류량을 기록하였다. 풍전저수지의 양수펌프는 보의 수위가 일정할 경우 자동으로 구동되는 형태로 지속적인 양수저류의 결과로 판단된다.

3. 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형 구축 및 기초 분석

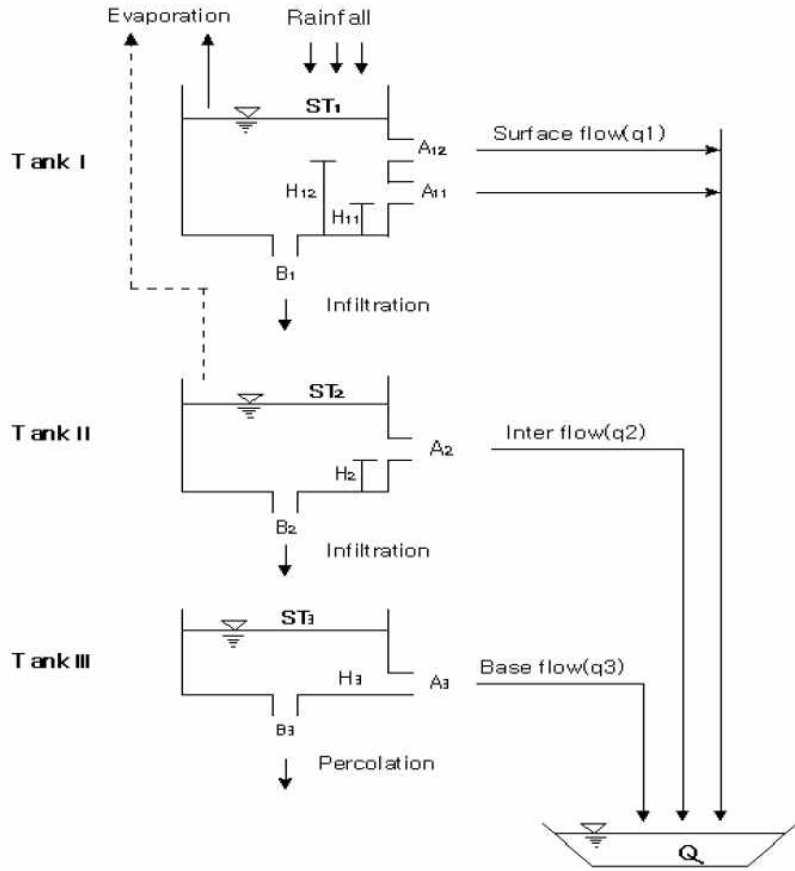
가. 강우유출 모형 소개

- 농업용수 공급 가능량 수립을 위해서는 유역 유출량 파악이 필요하며, 대상지역에서의 직접적인 유출량 측정법이 가장 정확하나 모든 소유역을 동시에 측정하기에는 매우 어렵다. 이와 같이 직접적인 측정법의 대안으로 유출량 산정모형에 의해서 추정이 가능하다.
- 대표적인 유출량 측정모형으로는 Kajiyama 식, DIROM (Daily Irrigation Reservoir Operation Model), DAWAST (Daily Watershed Streamflow Model), SWAT (Storm Water Assessment Tool) 등이 있다.
- Kajiyama 식은 우리나라 하천을 대상으로 개발한 경험공식으로 월별 또는 순별 유출량 산정이 가능하여 일반적으로 사용되는 모형이지만 일별 유출량 산정이 불가능하고 정확도가 낮은 단점이 있다.
- DIROM의 경우 농업용 저수지의 설계 및 관리를 위해서 0.47~140 km² 유역을 대상으로 개발된 모형으로 일별 유출량 모의가 가능하고 소규모 유역에 대한 정확도가 높다.
- DAWAST는 5.8~7,126 km² 규모의 중-대규모 유역을 대상으로 개발된 모형으로 일별 유출량 모의가 가능하고 초기토양수분의 값에 따라 유출량의 변동이 있으며, 정확도도 높은 편이다.
- SWAT 모형은 준분포형 장기-강우유출모형으로 유역이 서로 다른 표면 특성을 반영할 수 있도록 소유역으로 나누고 소유역 내에서 공간적으로 단일한 토양 특성과 토지이용특성을 가진 수문학적 반응단위 세분되어 물의 거동, 유사이동, 영양물질 순환 등 다양한 분석결과가 모의된다.
- 본 연구에서는 농업용수 공급가능량 산정을 위한 유역 유출모형 중 소규모 일별 유출량 모의가 가능하고 소규모 유역 모의 및 공간적 특성 모의가 가능한 DIROM 모형과 SWAT모형을 이용하고자 한다.

나. 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형의 개념

(1) DIROM

- DIROM은 4개 탱크를 직렬로 연결하고 1단 탱크의 유출공수는 2~3개, 나머지 탱크의 유출공 및 침투공의 수는 각 한 개씩으로 구성된 모형으로 유역특성에 맞게 수정이 가능한 장점이 있다. 또한 강우량으로부터 일별 유출량을 얻을 수 있고 입력 자료수가 상대적으로 적어 사용이 용이한 장점이 있다.
- 다음 그림은 DIROM의 구조로 1단 탱크는 유출성분 중 지표 유출을 개념화한 것이며, 2단 및 3단은 각각의 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다.



[그림 2-1-29] DIROM 개념도

- Tank모형에 의한 유출량은 일별 강우량으로부터 아래 식에 의하여 산출된다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{i,j}) A_{ij} \quad (1.1)$$

- Q_{ij} =t일의 총유출량 (mm), i =Tank의 수, j =Tank 유출공 수, ST_i = i Tank의 저류수심 (mm), H_{ij} = i Tank의 j 번째 유출공의 높이 (mm), A_{ij} =유출공의 단면적(무차원)이다.
- 저류수심 ST 는 단위시간 t 에 따라 다음 식과 같이 계산된다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - E_t - I_{i,t} - I_{i,t-1} - Q_{i,t-1} \quad (1.2)$$

- 여기서, $ST_{i,t-1}$ = $t-1$ 일의 i 번째 Tank의 수심 (mm), R_t = t 일의 강우량 (mm), E_t =증발산 (mm), $Q_{i,t-1}$ = i 번째 Tank의 $t-1$ 일의 유출량이다.
- 증발산 $I_{i,t}$ 는 아래의 식 (2-3)과 같이 계산된다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (1.3)$$

- 여기서 B_i = i 번째 Tank의 침투공 단면적(무차원)이다.

(2) SWAT

- SWAT 모형의 수문순환은 지표유출, 중간유출, 침투, 지하수, 수로손실, 증발산 등으로 구성되며, 유역을 구분하여 다양한 토양 및 식생에 대한 증발산을 반영한다. 유역 내에서 발생하는 모든 과정은 물수지 방정식에 근거하여 각 HRU단위로 예측된다.
- SWAT 모형에서 사용하는 물수지 방정식은 아래 식과 같다.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1.4)$$

- 여기서, SW_t 는 day i 에서의 최종 토양수분양 (mm)이고, SW_0 는 day i 의 초기 토양수분양 (mm), R_{day} 는 day i 에서의 강우량 (mm), Q_{surf} 는 day i 에서의 지표면 유출량 (mm), E_a 는 day i 에서의 증발산량 (mm), w_{seep} 은 day i 에서의 침투량 (mm), Q_{gw} 는 day i 에서의 지하수 유출량 (mm)이다.

- SWAT 모형의 일별 지표면 유출량은 식물의 가지, 잎 등의 차단 저류를 고려하는 SCS 방법이 적용되며 아래 식과 같이 적용된다.

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (1.5)$$

- Q_{surf} 는 누가유출량 혹은 초과강우 (mm), R_{day} 는 일강우량 (mm), I_a 는 초기 손실량 ($I_a=0.2S$)(mm), S 는 최대 잠재보유 수량인 저류 매개변수 (mm)이다.
- 저류매개변수는 토지이용, 토양, 토지관리 및 경사에 따라 변하게 되며 이를 반영한 토양수분함량은 아래 식과 같이 정의된다.

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (1.6)$$

CN : 토양의 투수성, 토지이용, 선행토양함수조건의 함수

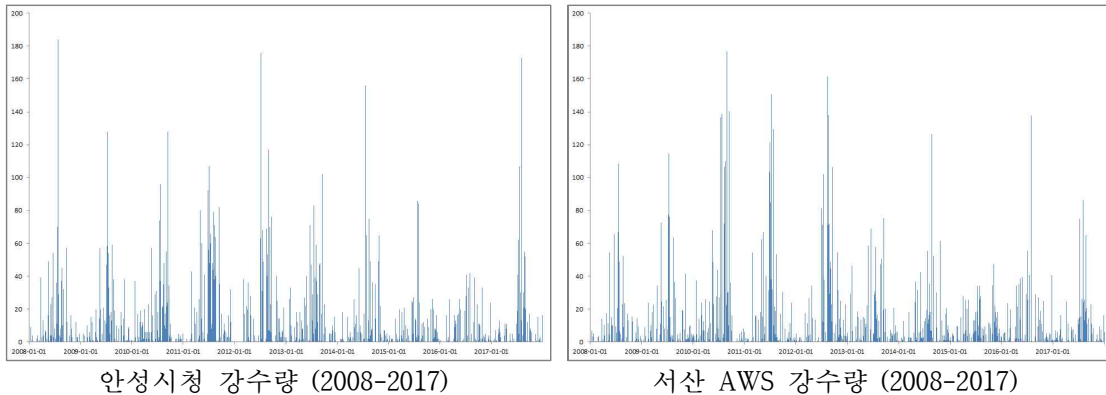
- 일반적으로 유출은 일강우량인 $R_{day} > I_a$ 의 관계가 성립될 경우 발생하지만 실제 토양 특성의 양적인 해석에 어려움이 있기 때문에 SCS는 토양의 침투능을 기준으로 비슷한 호우와 피복상태에 따라 비슷한 유출능을 가지고 있는 토양군으로 분류하여 활용하고 있다.

다. 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형의 구축

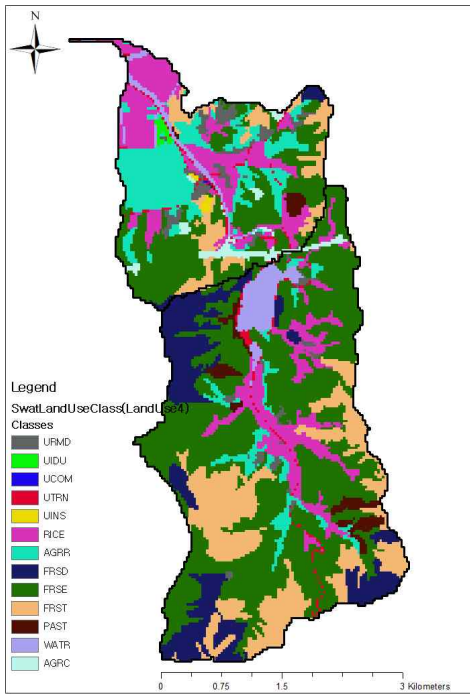
(1) DIROM 모형 구축

(가) 입력자료 구축

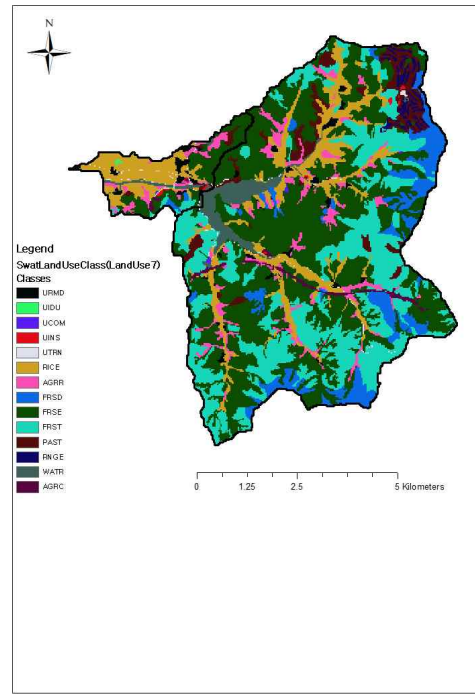
- 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형인 DIROM의 입력자료는 기상자료와 토지 피복자료를 사용하였다.
- 경기도 마둔(금광)권역의 기상 입력자료는 WAMIS의 안성시청 강우자료를 사용하였고, 대사와 풍전권역은 기상청의 AWS 서산(129)자료를 활용하였다. 기상자료의 시간적 범위는 2008년부터 2017년까지 최근 10년 자료를 사용하였다.
- 토지피복자료는 환경부의 토지피복지도를 이용하여 해당유역에 토지이용현황을 산출하여 입력자료로 유역면적, 논면적 비율, 밭면적 비율, 산림면적 비율을 입력하였다.



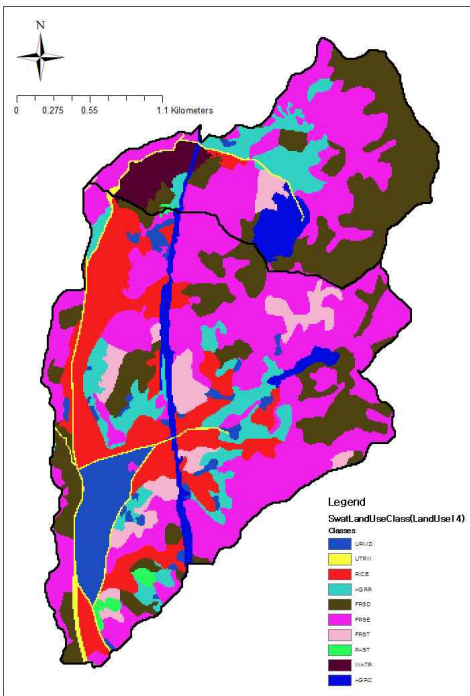
[그림 2-1-30] 안성시청 및 서산 AWS 강우자료(2008-2017)



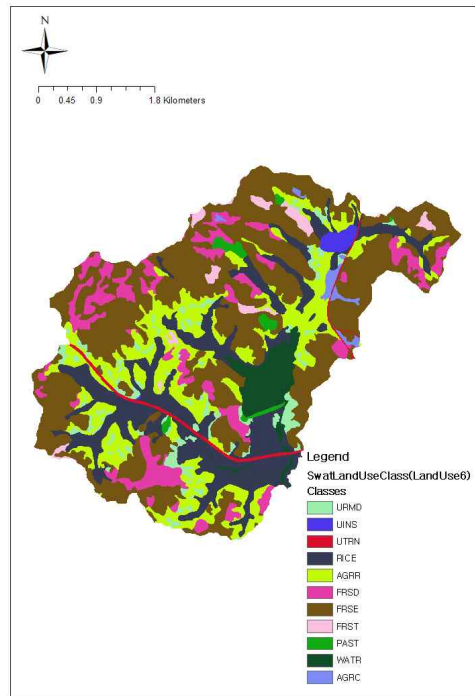
마둔권역 토지피복



금광권역 토지피복



대사권역 토지피복



풍전권역 토지피복

[그림 2-1-31] 시범지구 토지피복 분석결과

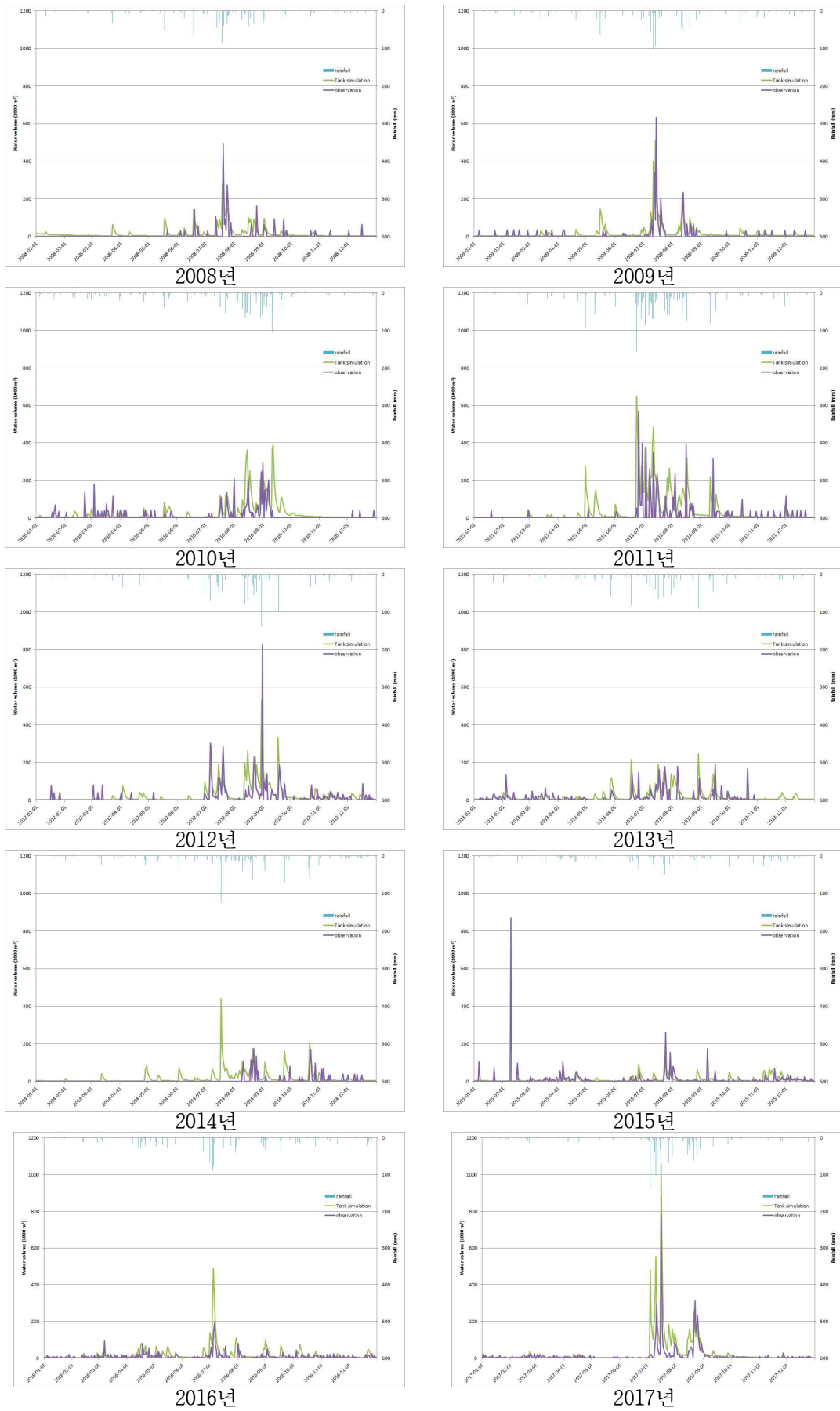
[표 2-1-13] 시범지구 유역면적 및 토지피복비율

구분	마둔권역		금광권역		대사권역		풍전권역		
	저수지	하천	저수지	하천	저수지	하천	저수지	하천	
유역면적 (ha)	1,240	598	4,830	482	290	599	1,110	1,015	
토지 피복 비율 (%)	주거	1.12	5.06	0.98	5.88	0.20	7.43	2.20	6.24
	공공	-	0.48	0.09	0.77	-	-	1.47	0.02
	공업	-	0.68	-	0.33	-	-	-	-
	상업	-	0.05	0.08	0.10	-	-	-	-
	교통	0.98	1.76	0.27	1.74	1.15	1.76	0.47	1.88
	논	8.81	21.44	9.45	39.50	0.71	18.49	11.14	25.68
	밭	3.45	21.28	4.26	9.32	10.20	8.17	14.91	19.60
	활엽수림	13.64	1.22	7.81	1.51	36.37	14.58	7.43	11.69
	침엽수림	48.23	29.63	41.51	28.91	35.97	39.00	49.84	32.88
	혼효림	17.92	10.86	26.11	3.64	2.09	6.47	2.87	0.44
	기타초지	2.38	1.14	5.59	2.58	0.11	0.73	1.46	0.55
	내륙습지	3.13	3.12	2.95	4.75	6.54	0.03	6.66	1.02
기타나지	0.34	3.29	0.92	0.98	6.65	3.34	1.55	-	

- 시범지구 저수지 유역면적은 마둔저수지 1,240 ha, 대사저수지 290 ha, 풍전저수지 1,110 ha이며, 각 권역의 양수장까지의 유역면적은 조령천 (마둔) 598 ha, 월동천 (금광) 482 ha, 와룡천 (대사) 599 ha, 둔당천 (풍전) 1015 ha이다.
- 마둔저수지 토지피복비율은 산림면적 > 논면적 > 밭면적 순으로 높았고, 하천의 경우 산림면적 비율이 높았으며, 논면적과 밭면적 비율은 큰 차이가 없었다.
- 금광저수지 토지피복비율은 산림면적 > 논면적 > 밭면적 순이었고, 하천은 논면적 > 산림면적 > 밭면적 순으로 높았다.
- 대사저수지의 경우 산림면적 > 밭면적 > 논면적 순으로 토지피복비율이 높았으며, 하천의 경우 산림면적 > 논면적 > 밭면적 순으로 높았다.
- 풍전저수지와 하천의 토지피복비율은 산림면적 > 논면적 > 밭면적 순으로 높게 나타났다.

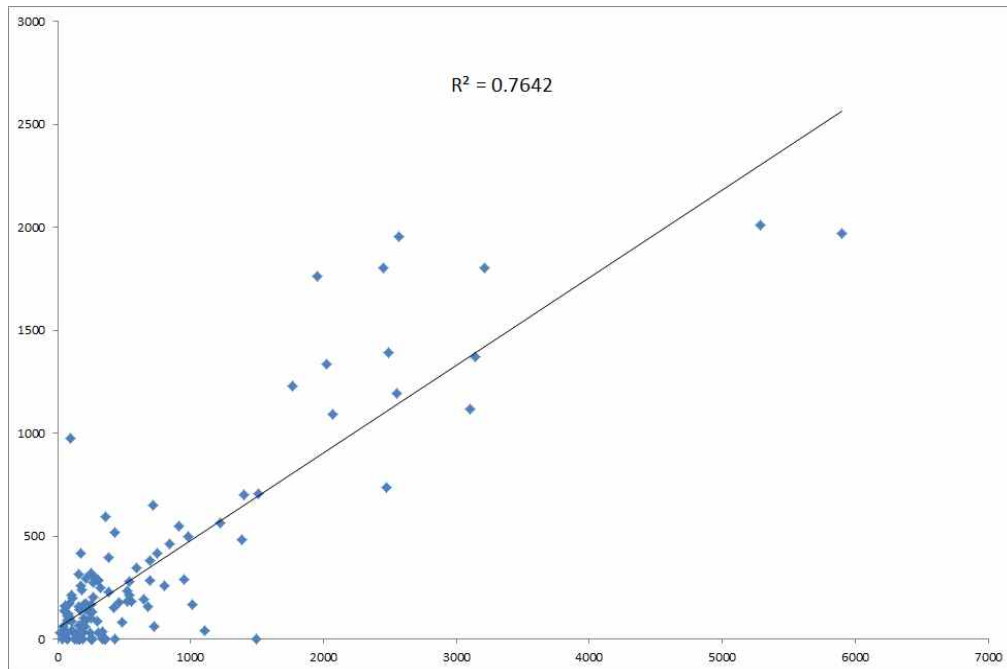
(나) DIROM 모형의 검증

- 모형 유출량과 저수지 계측자료 비교 및 상관성 분석
- 2008년부터 2017년까지의 강우자료와 시범지구 유역면적을 토대로 유출량을 산정하였고, 이에 따른 결과를 저수지 계측자료와 비교하였다.
- 또한 모의된 유출량 결과와 저수지 계측자료를 상관비교를 실시하였다.



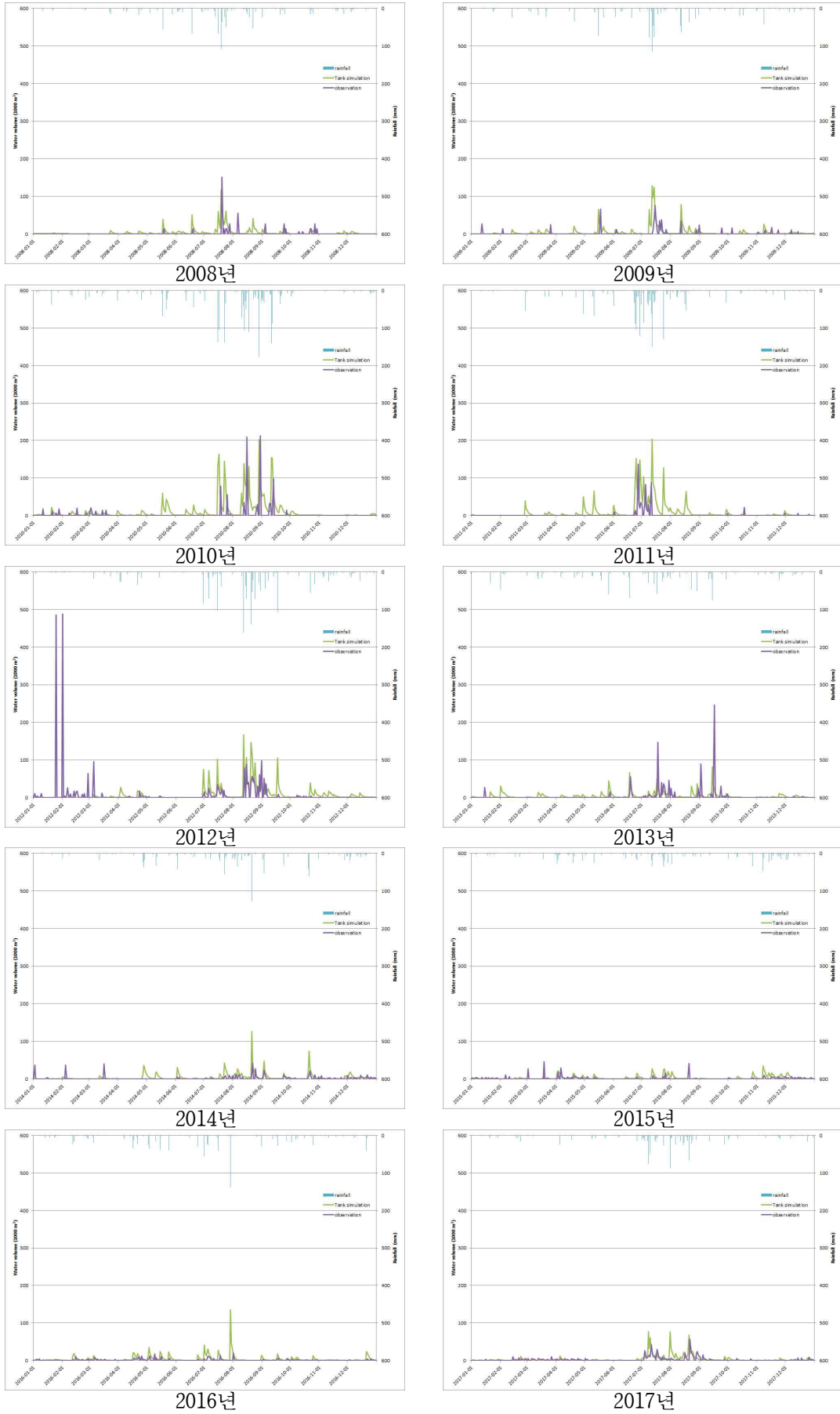
[그림 2-1-32] 마둔저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 계측치 비교

- 마둔저수지의 DIROM 모의결과와 저수지 계측치를 비교하여 그림에 나타내었다. 유출 모형의 특성과 계측장치의 데이터 변동 등의 다양한 변수를 고려한다면, DIROM 모형에 의한 유출량과 저수지 실 유입수량이 어느 정도의 관련성은 있는 것으로 판단된다.
- 반면, 저수지 유역의 토지피복 외 다양한 인위적 환경변화 (배수로, 지형변경 등)의 영향도 매우 클 것으로 판단된다.



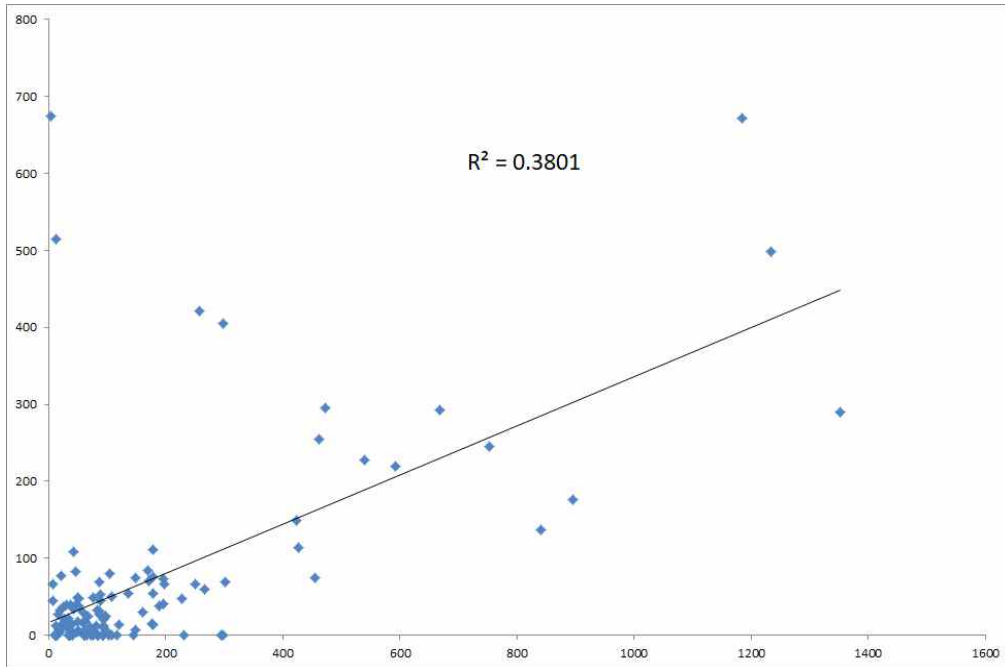
[그림 2-1-33] 마둔저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교

- DIROM 모의결과와 저수지 계측치를 월단위 누적으로 환산하여 상관성을 비교하였다. 그 결과 모의 값과 실제 유입량의 R^2 는 0.7642로 비교적 높게 형성되었다.



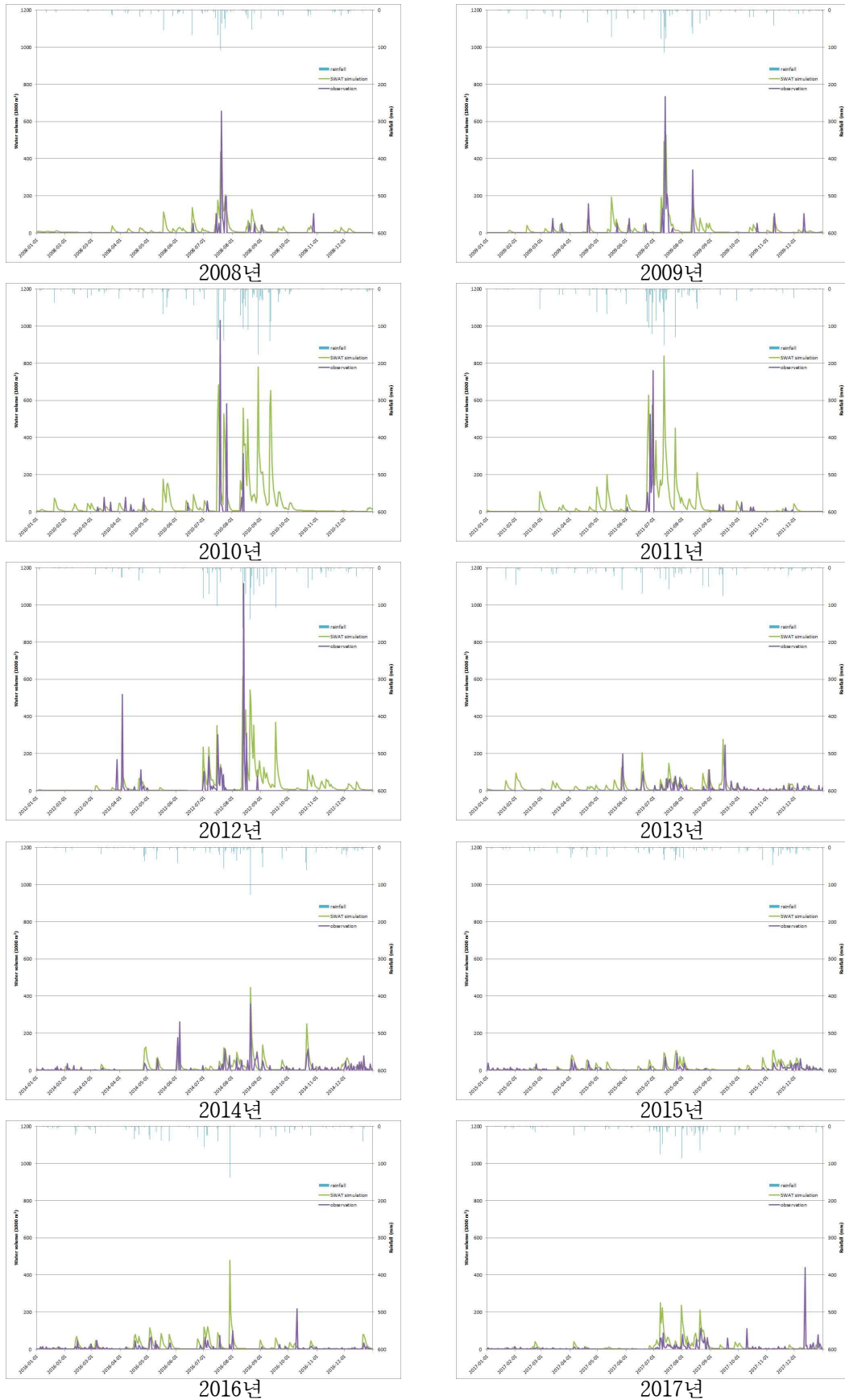
[그림 2-1-34] 대사저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 계측치 비교

- 대사저수지의 DIROM 모의결과와 저수지 계측치를 비교하여 그림에 나타내었다. 모의 기간에 따라 결과값의 차이가 크게 발생하는 경향이 있지만, 단순한 계측상의 오류와 모형과 실제간의 유출 기작의 차이를 고려한다면 DIROM 모형에 의한 유출량과 저수지 실 유입수량이 어느 정도의 관련성은 있는 것으로 판단된다.



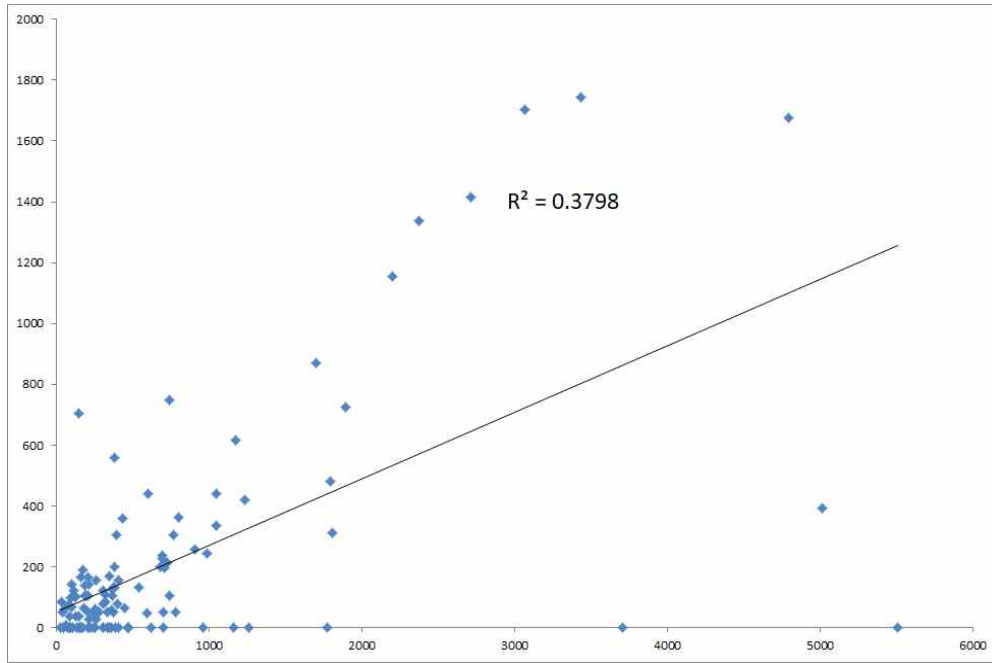
[그림 2-1-35] 대사저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교

- DIROM 모의결과와 저수지 계측치를 월단위 누적으로 환산하여 상관성을 비교하였다. 그 결과 모의 값과 실제 유입량의 R^2 는 0.3801로 나타났다.



[그림 2-1-36] 풍전저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 계측치 비교

- 풍전저수지의 DIROM 모의결과와 저수지 계측치를 비교하여 그림에 나타내었다. 모의 기간에 따라 결과값의 차이가 크게 발생하는 경향이 있다. 이는 강우시기의 월류와 유역 내 다양한 인위적 환경변화 등의 영향을 고려한다면 DIROM 모형에 의한 유출량과 저수지 실 유입수량이 어느 정도의 관련성은 있는 것으로 판단된다.

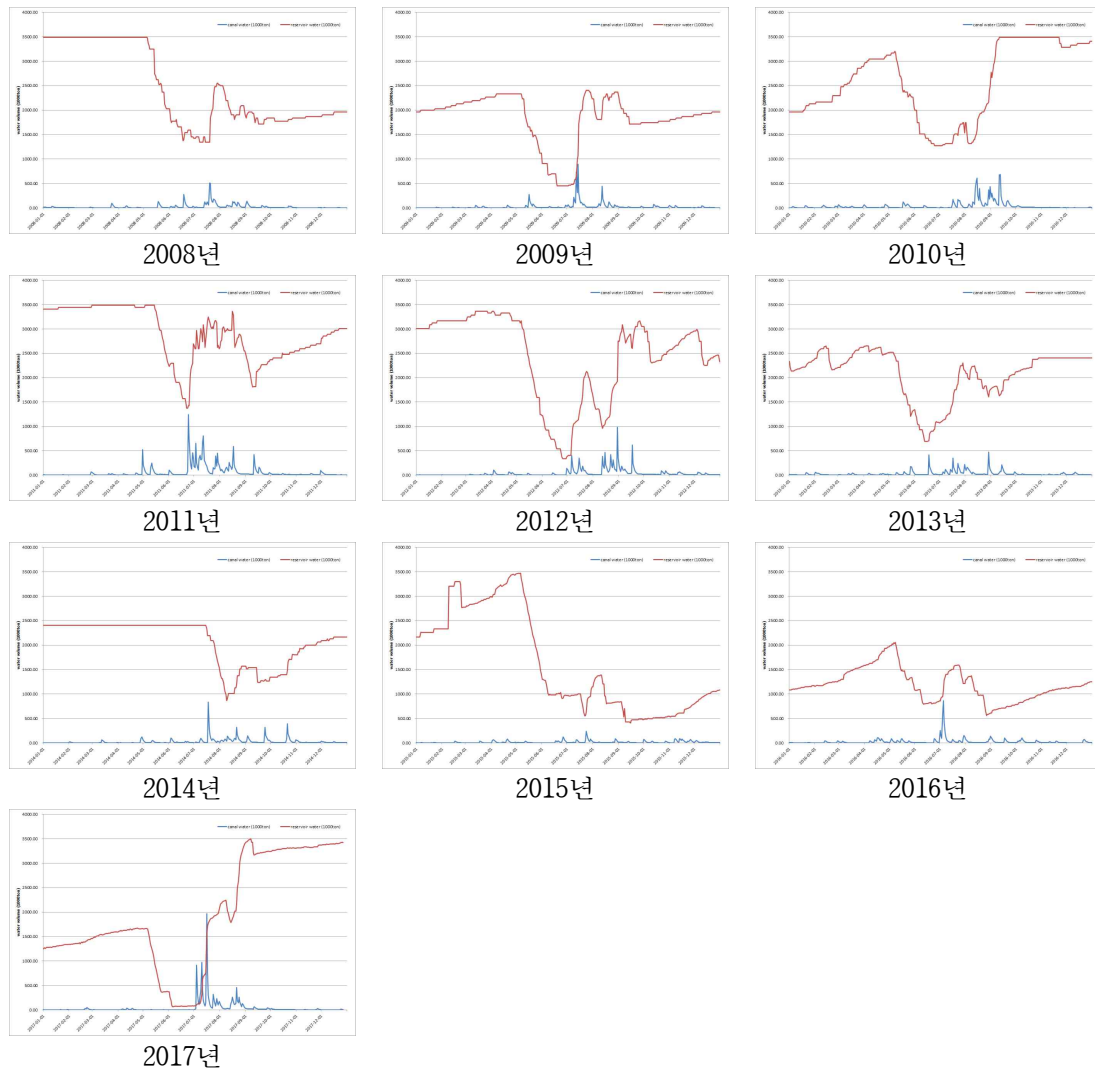


[그림 2-1-37] 풍전저수지 DIROM 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교

- DIROM 모의결과와 저수지 계측치를 월단위 누적으로 환산하여 상관성을 비교하였다. 그 결과 모의 값과 실제 유입량의 R^2 는 0.3798로 나타났다.

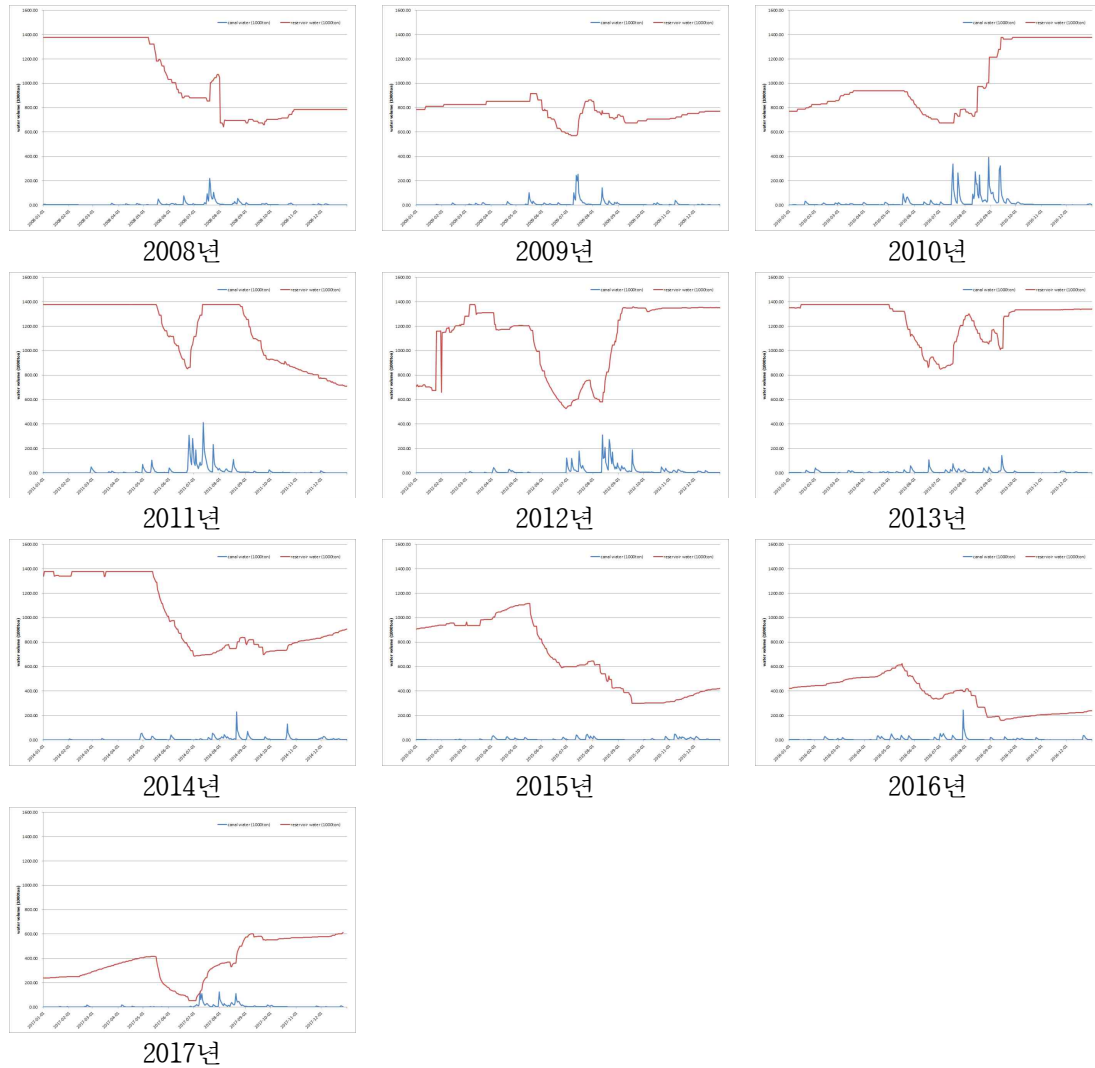
(다) DIROM 모형을 이용한 농업용수 공급 가능량 기초 분석

- 2008년부터 2017년까지의 강우자료와 시범지구 하천의 유역면적을 토대로 일단위 유출량을 산정하였고, 이에 따른 결과를 저수지 계측자료와 비교하였다.



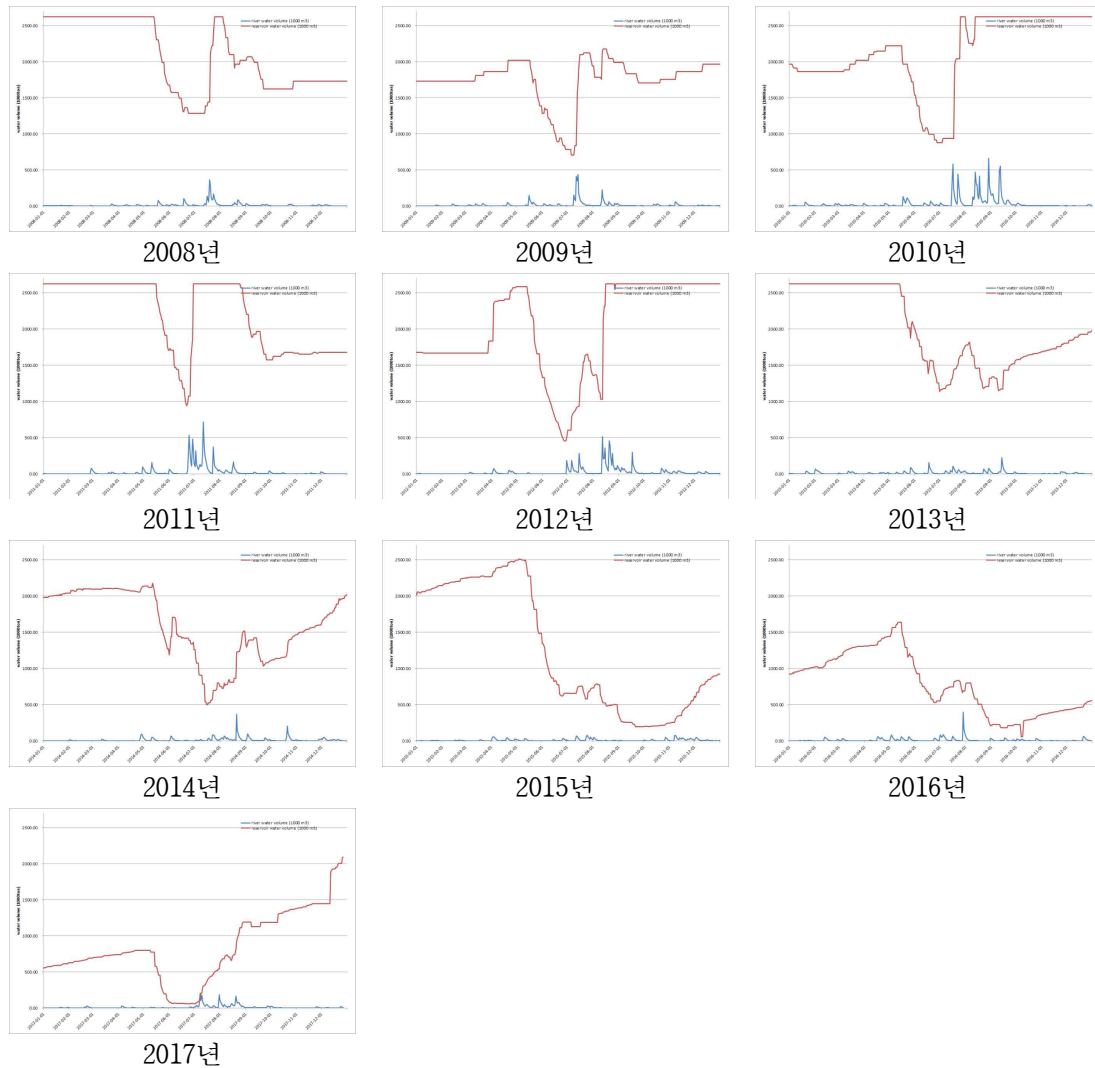
[그림 2-1-38] 마둔권역 DIROM 모의에 따른 하천 유입량 결과

- 마둔권역 하천 유출량을 기간별로 분석한 결과 우기인 7~9월 사이의 유출량이 매우 높고 비 우기시에는 유출량이 매우 미미한 것으로 분석되었다.
- 2014년까지의 저수량을 분석한 결과 관개 공급에 의한 저수량 감소와 강우에 의한 저수량 회복이 원활하였지만 2015년부터는 관개 공급 후 저수량 회복이 매우 어려운 것으로 나타났다.
- 따라서 저수지의 수위 등을 고려하여 하천수를 탄력적으로 활용할 수 있는 방안 마련이 시급할 것으로 판단된다.



[그림 2-1-39] 대사권역 DIROM 모의에 따른 하천 유입량 결과

- 대사권역 하천 유출량을 기간별로 분석한 결과 우기인 7~9월 사이의 유출량이 매우 높고 비 우기시에는 유출량이 매우 미미한 것으로 분석되었다.
- 2014년까지의 저수량을 분석한 결과 관개 공급에 의한 저수량 감소와 강우에 의한 저수량 회복이 원활하였지만 2015년부터는 관개 공급 후 저수량 회복이 매우 어려운 것으로 나타났다.
- 따라서 저수지의 수위 등을 고려하여 관개기 및 비관개기에도 하천수를 탄력적으로 활용할 수 있는 방안 마련이 시급할 것으로 판단된다.



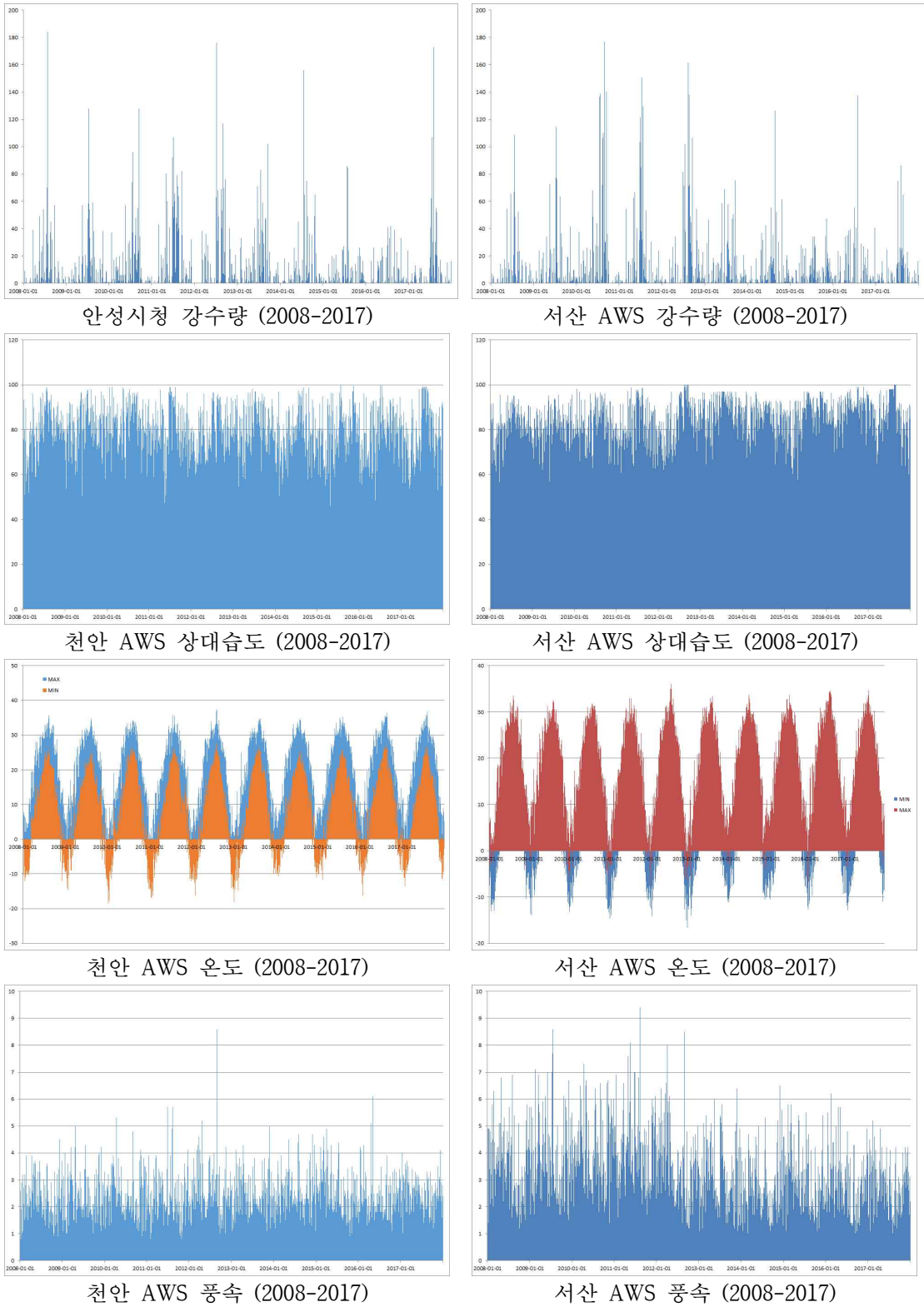
[그림 2-1-40] 풍전권역 DIROM 모의에 따른 하천 유입량 결과

- 풍전권역 하천 유출량을 기간별로 분석한 결과 우기인 7~9월 사이의 유출량이 매우 높고 비 우기시에는 유출량이 매우 미미한 것으로 분석되었다.
- 2014년까지의 저수량을 분석한 결과, 관개 공급에 의한 저수량 감소와 강우에 의한 저수량 회복이 원활하였지만 2015년부터는 관개 공급 후 저수량 회복이 매우 어려운 것으로 나타났다.
- 따라서 저수지의 수위 등을 고려하여 하천수를 탄력적으로 활용할 수 있는 방안 마련이 시급할 것으로 판단된다.

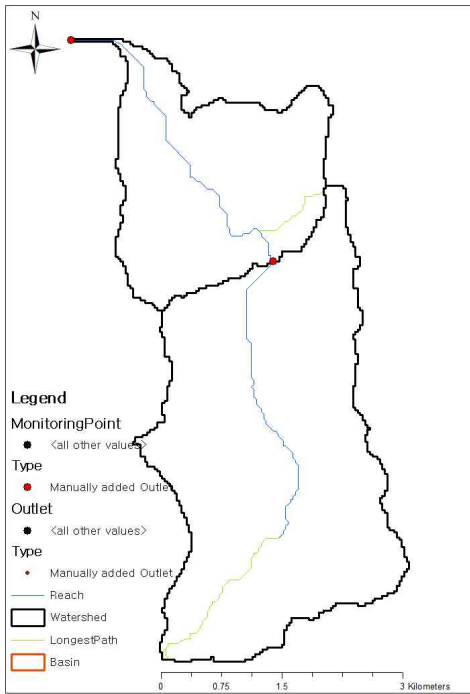
(2) SWAT 모형 구축

(가) 입력자료 구축

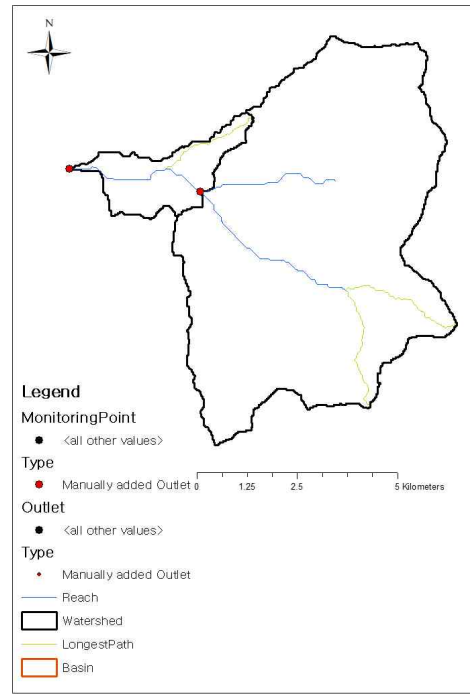
- 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형인 SWAT의 입력자료로는 기상자료와 수치지표고지도, 토양도, 토지이용도를 사용하였다.
- 경기도 마둔권역의 경우 금광저수지 유역의 유출수가 합류하기 때문에 대상지에 포함하였다. 기상 입력자료는 WAMIS의 안성시청 강우자료, 기상청 AWS 천안 (232)의 온도, 상대습도, 일사량, 풍속자료를 사용하였고, 대사와 풍전권역은 기상청의 AWS 서산(129)자료를 활용하였다. 기상자료의 시간적 범위는 2008년부터 2017년까지 최근 10년 자료를 사용하였다.
- 각 유역별 기본도는 1:25,000 NGIS 수치지도와 농촌진흥청의 정밀토양도를 이용하였고, 국토지리정보원의 1:25,000 토지이용도를 이용하였다.



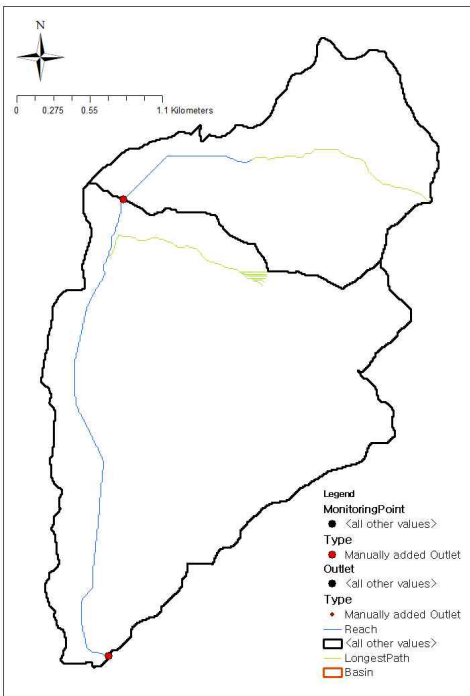
[그림 2-1-41] 안성시청, 천안 및 서산 AWS 강우자료(2008-2017)



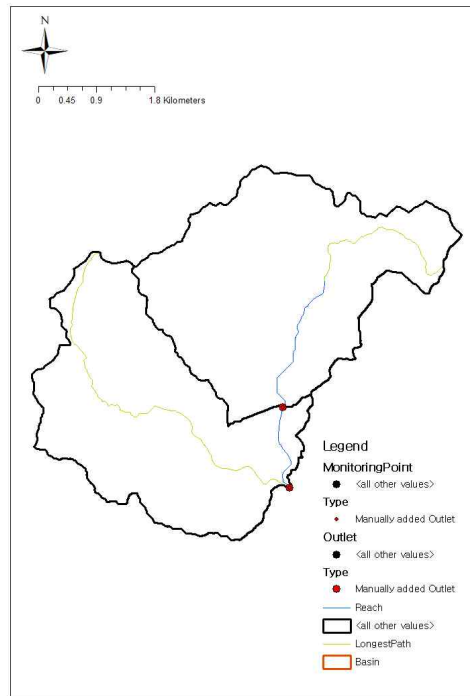
마둔권역 유역



금광권역 유역

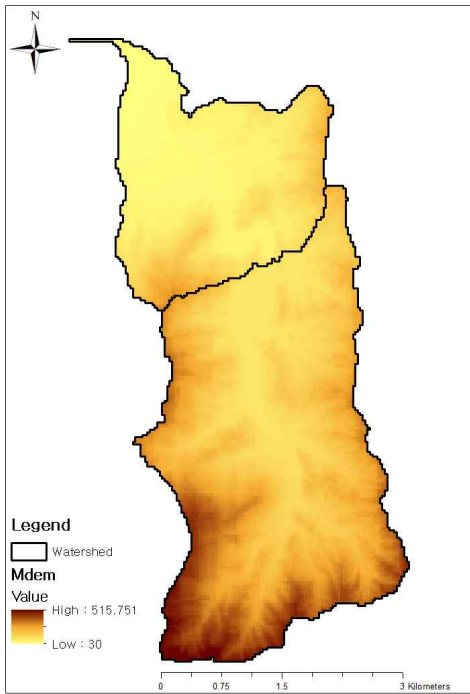


대사권역 유역

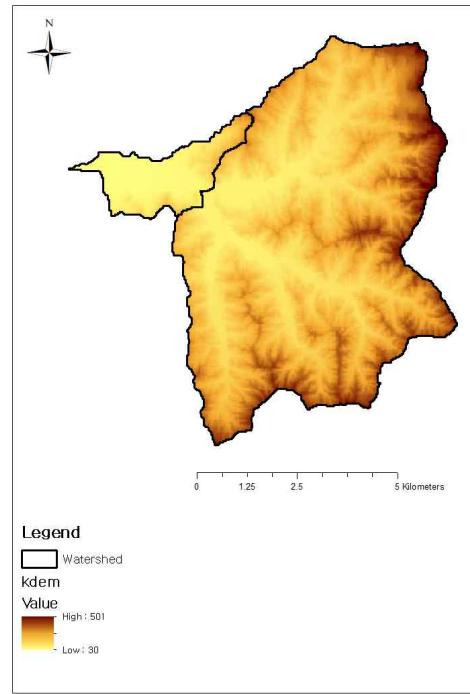


풍전권역 유역

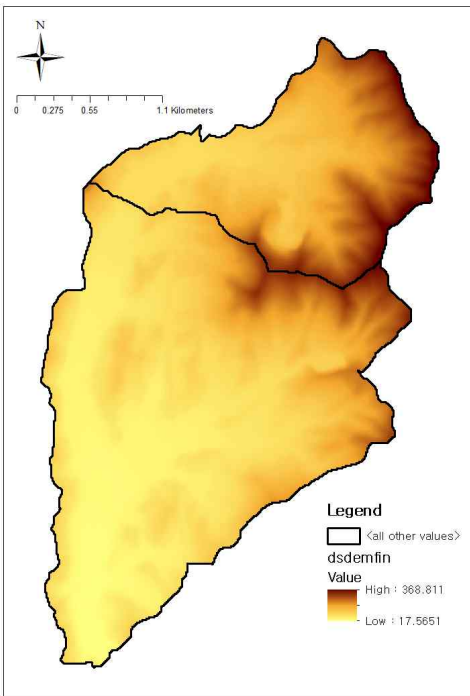
[그림 2-1-42] 시범지구 유역 분석결과



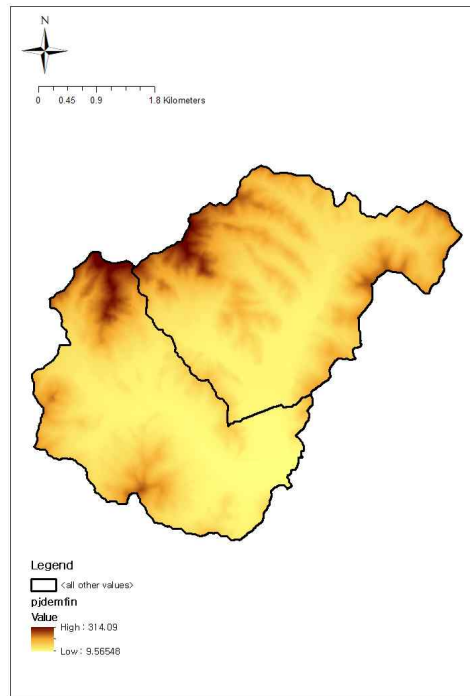
마둔권역 DEM



금광권역 DEM

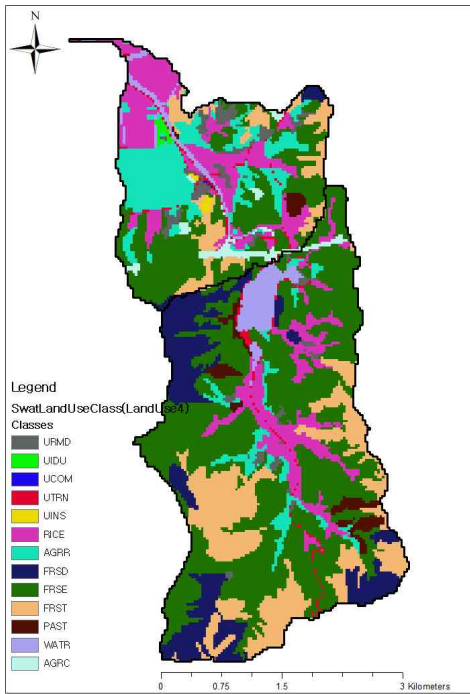


대사권역 DEM

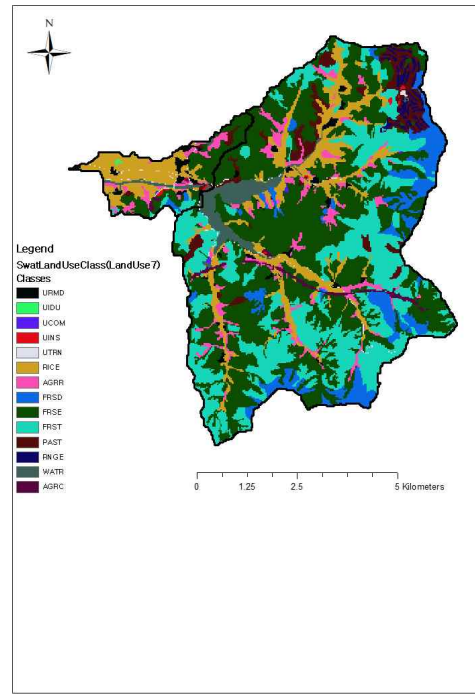


풍전권역 DEM

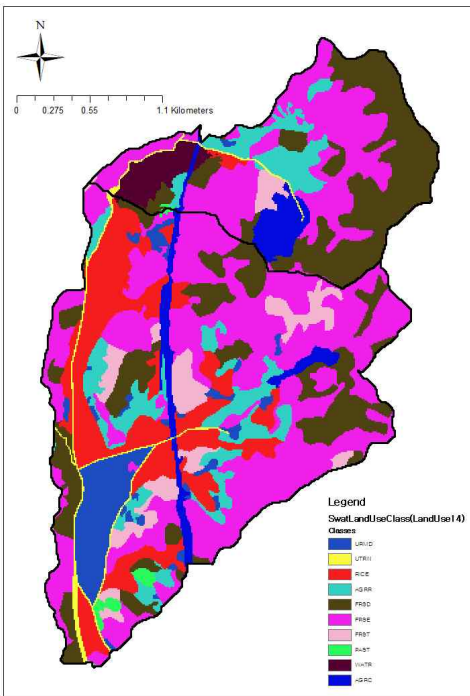
[그림 2-1-43] 시범지구 DEM 분석결과



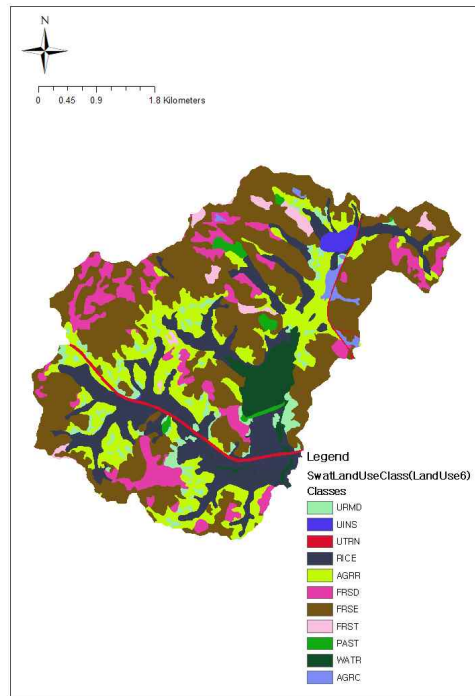
마둔권역 토지피복



금광권역 토지피복

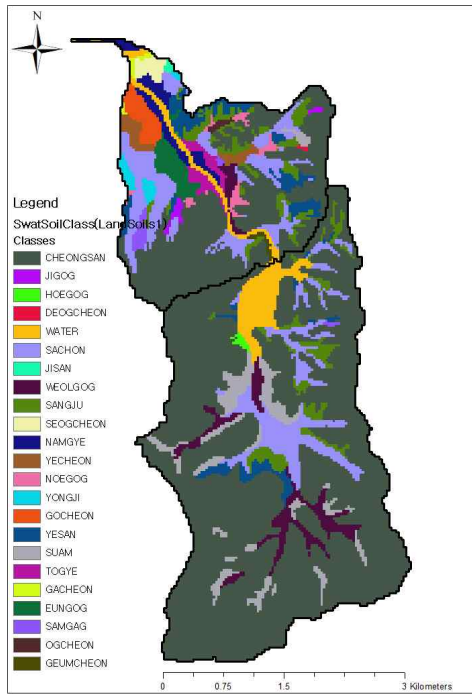


대사권역 토지피복

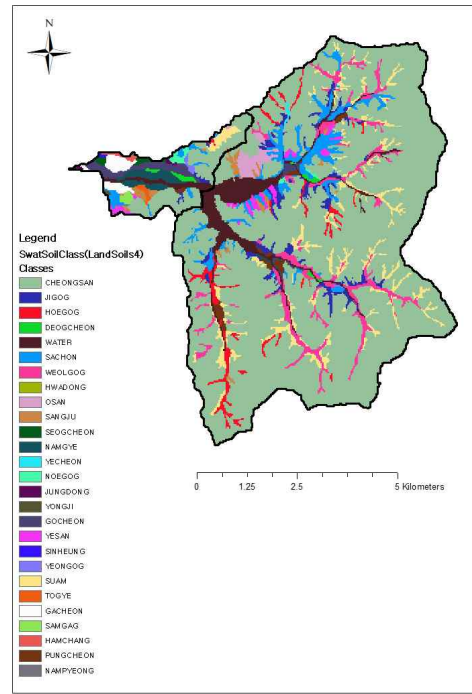


풍전권역 토지피복

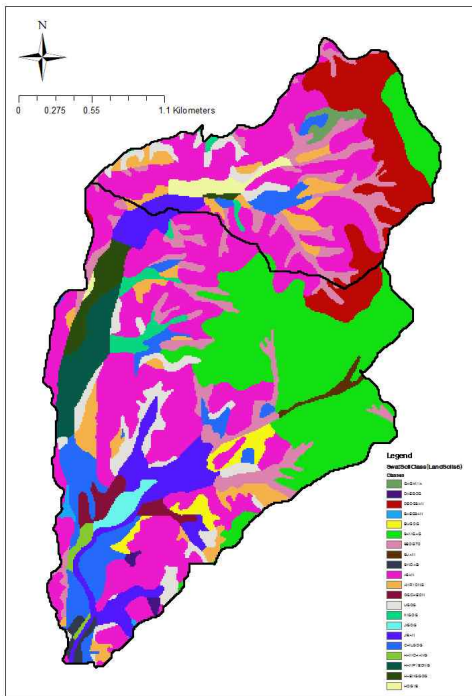
[그림 2-1-44] 시범지구 토지피복 분석결과



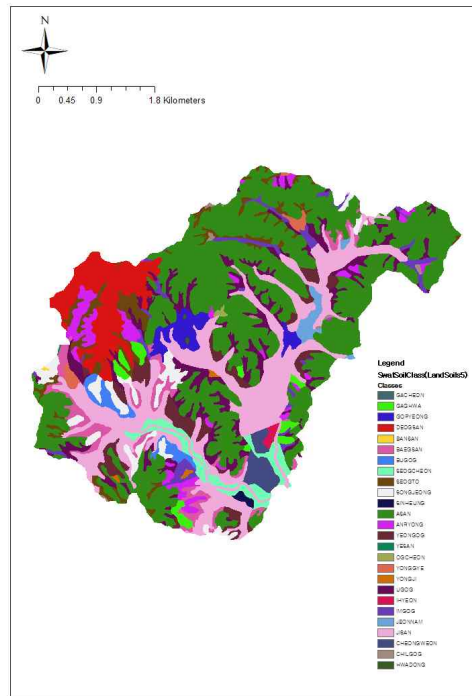
마둔권역 토양도



금광권역 토양도

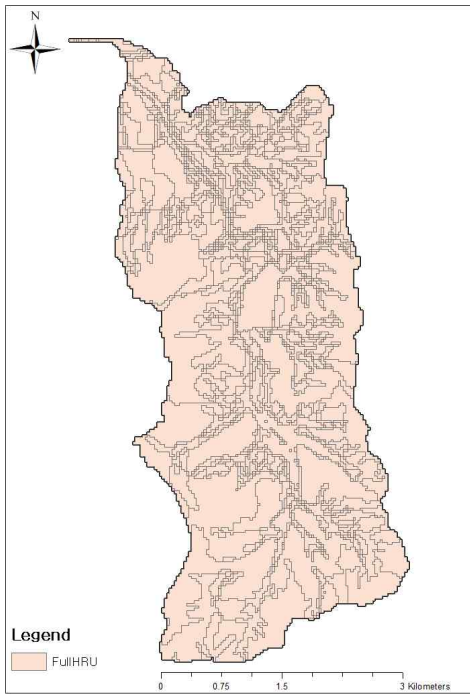


대사권역 토양도

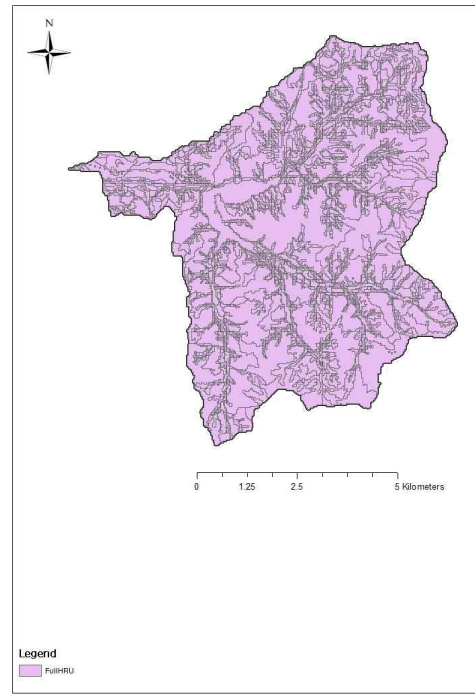


풍전권역 토양도

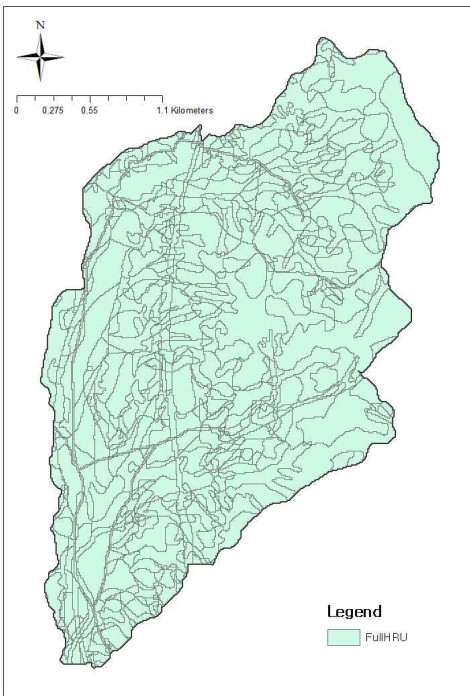
[그림 2-1-45] 시범지구 토양도 분석결과



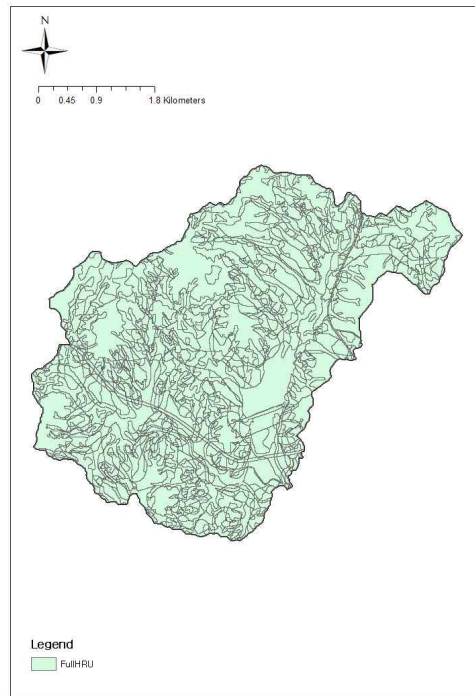
마둔권역 HRU



금광권역 HRU



대사권역 HRU



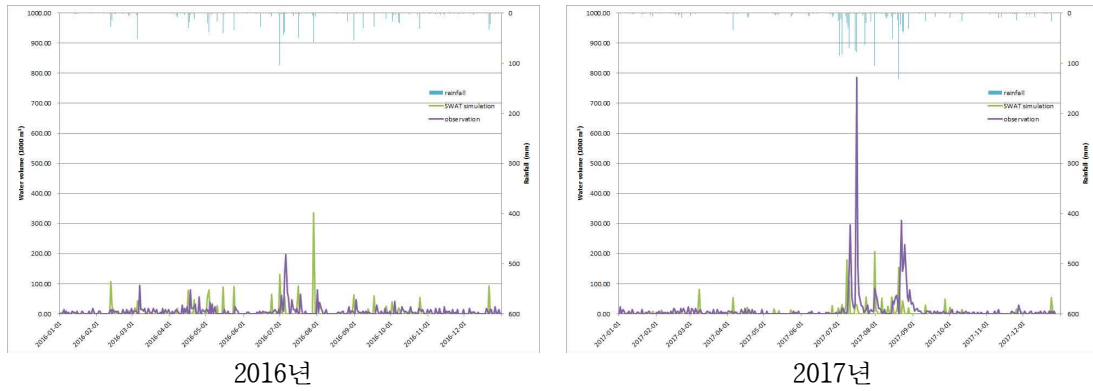
풍전권역 HRU

[그림 2-1-46] 시범지구 HRU 분석결과

(나) SWAT 모형의 검증

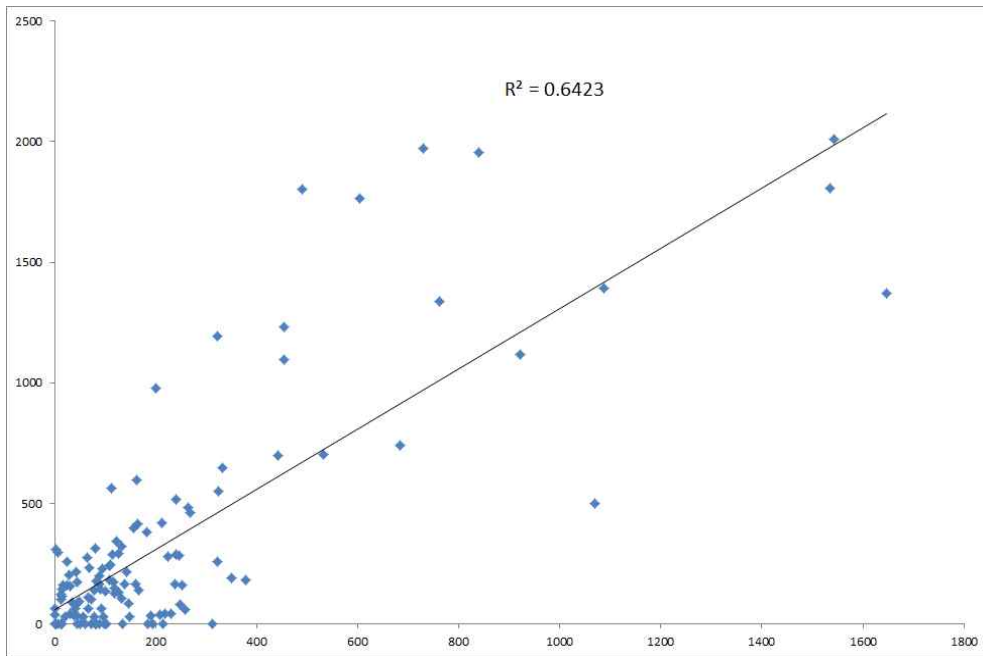
- 2008년부터 2017년까지의 강우자료와 시범지구 유역면적을 토대로 유출량을 산정하였고, 이에 따른 결과를 저수지 계측자료와 비교하였다. 또한 모의된 유출량 결과와 저수지 계측자료를 상관비교를 실시하였다.





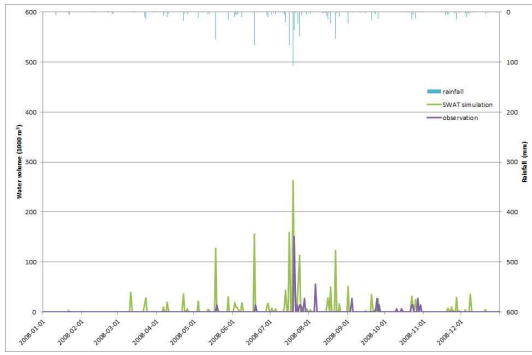
[그림 2-1-47] 마둔저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 계측치 비교

- 마둔저수지의 SWAT 모의결과와 저수지 계측치를 비교하여 그림에 나타내었다. 유출 모형의 특성과 계측장치의 데이터 변동 등의 다양한 변수를 고려한다면, SWAT 모형에 의한 유출량과 저수지 실 유입수량이 어느 정도의 관련성은 있는 것으로 판단된다.
- 반면, 저수지 유역의 토지피복 외 다양한 인위적 환경변화 (배수로, 지형변경 등)의 영향도 매우 클 것으로 판단된다.

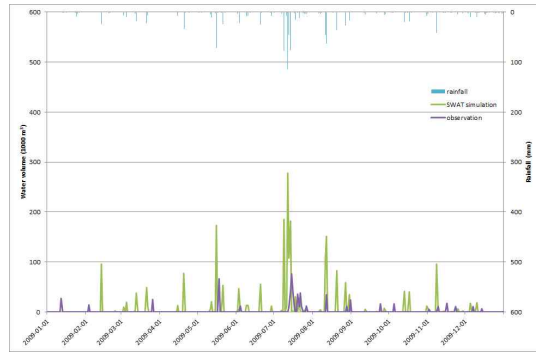


[그림 2-1-48] 마둔저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교

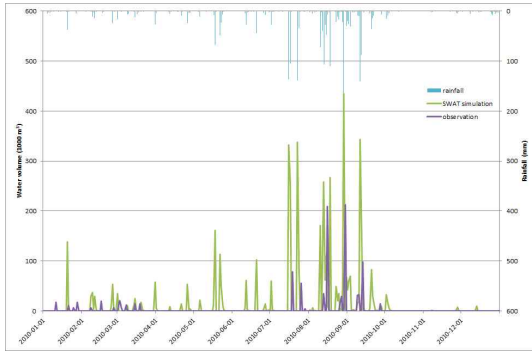
- SWAT 모의결과와 저수지 계측치를 월단위 누적으로 환산하여 상관성을 비교하였다. 그 결과 모의 값과 실제 유입량의 R^2 는 0.6423으로 비교적 높게 형성되었다.



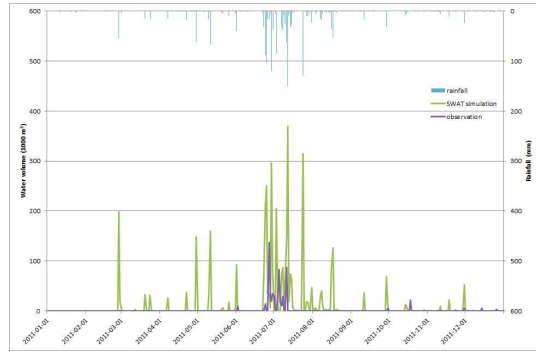
2008년



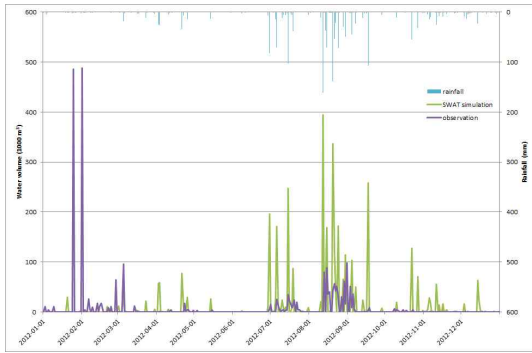
2009년



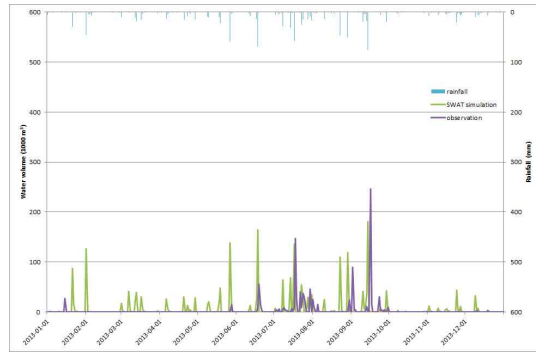
2010년



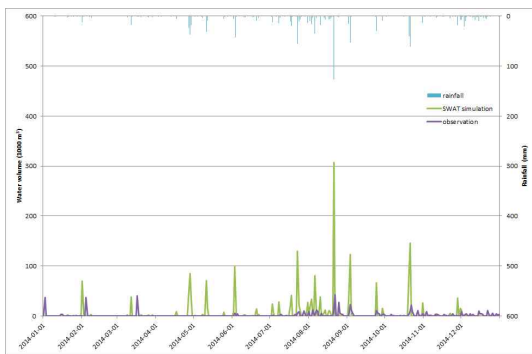
2011년



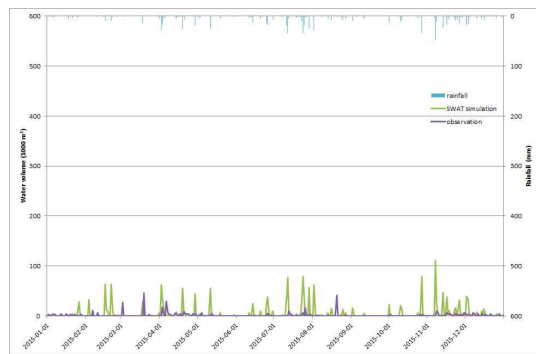
2012년



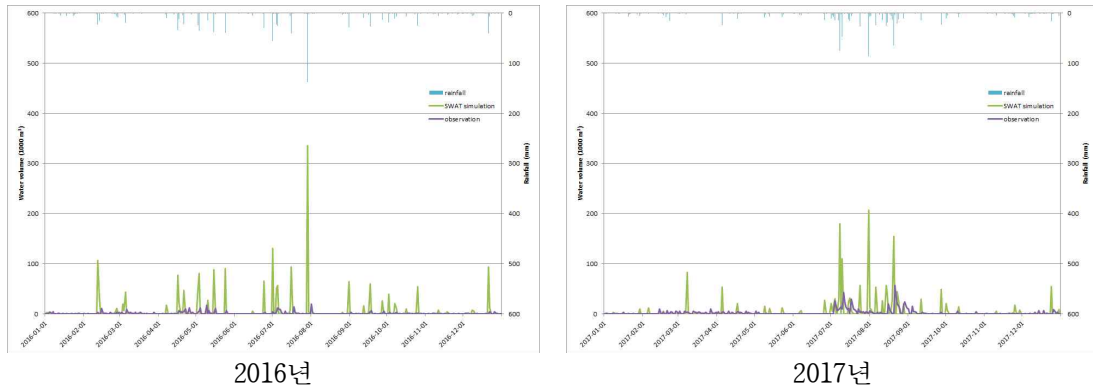
2013년



2014년

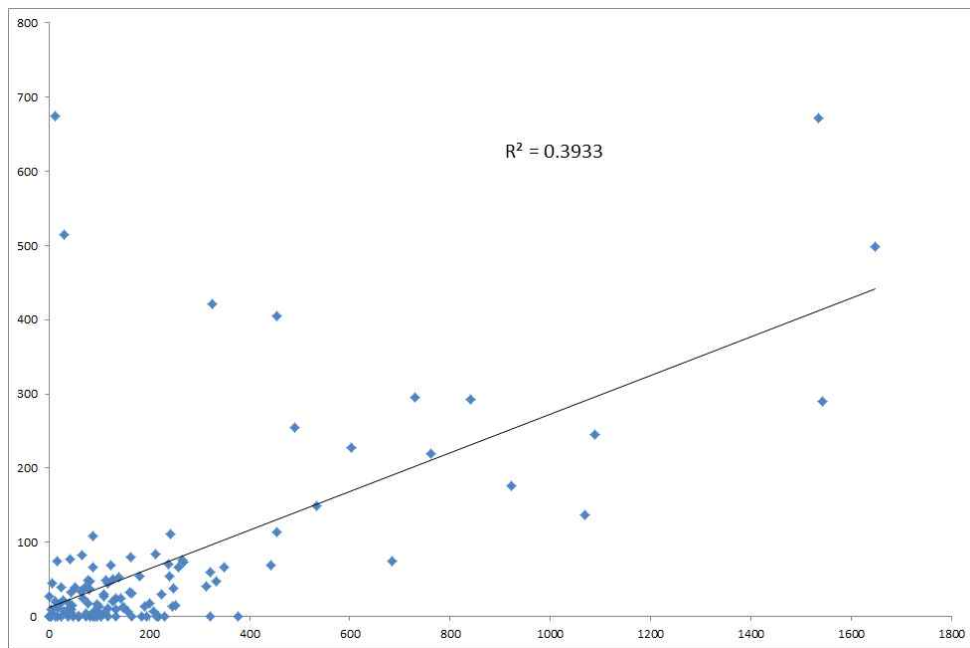


2015년



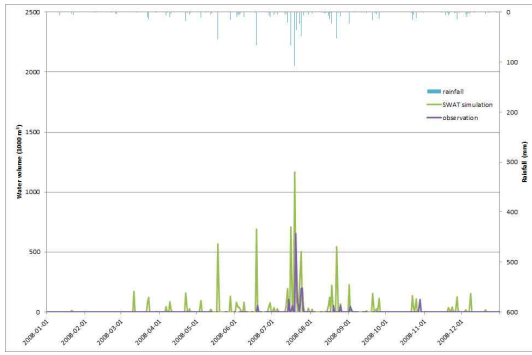
[그림 2-1-49] 대사저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 계측치 비교

- 대사저수지의 SWAT 모의결과와 저수지 계측치를 비교하여 그림에 나타내었다. 전체적으로 SWAT 모의에 의한 유출량이 실제 저수지에 유입되는 물량보다 과하게 산출되었다.
- 대사저수지의 SWAT 모의의 정확성을 확보하기 위해서는 다양한 매개변수 보정과 저수지 수위자료 외 별도의 계측이 동반되어야 할 것으로 판단된다.

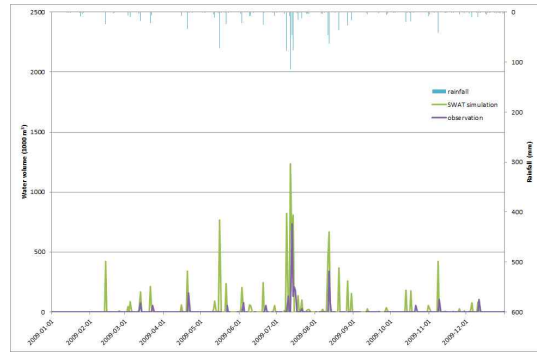


[그림 2-1-50] 대사저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교

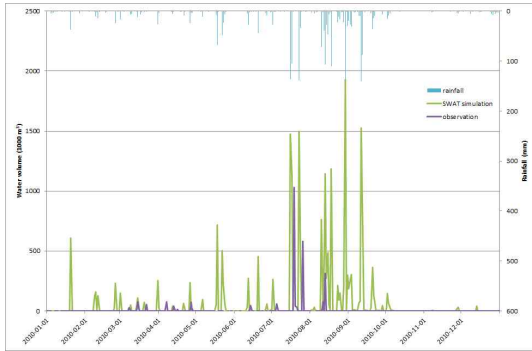
- SWAT 모의결과와 저수지 계측치를 월단위 누적으로 환산하여 상관성을 비교하였다. 그 결과 모의 값과 실제 유입량의 R^2 는 0.3933으로 나타났다.



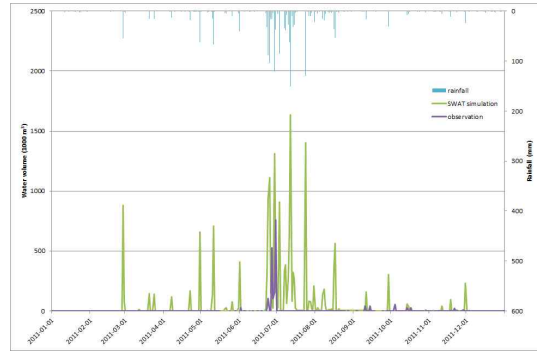
2008년



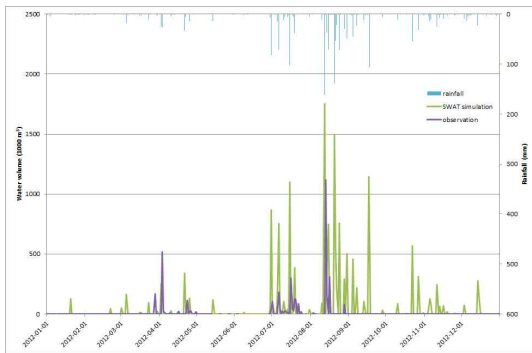
2009년



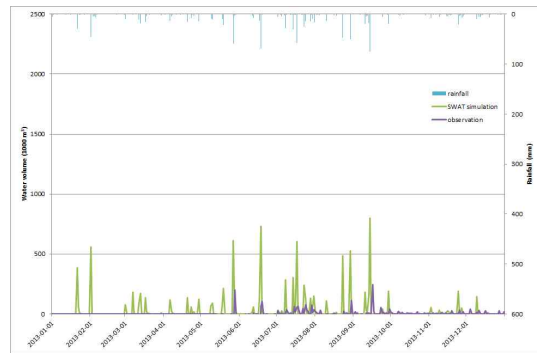
2010년



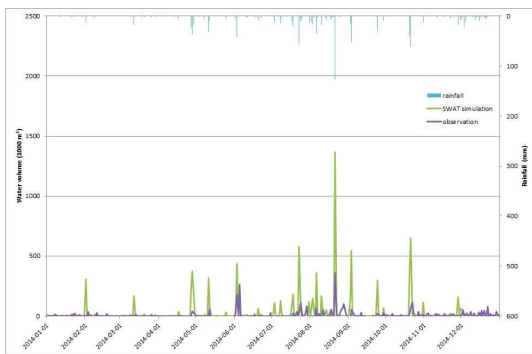
2011년



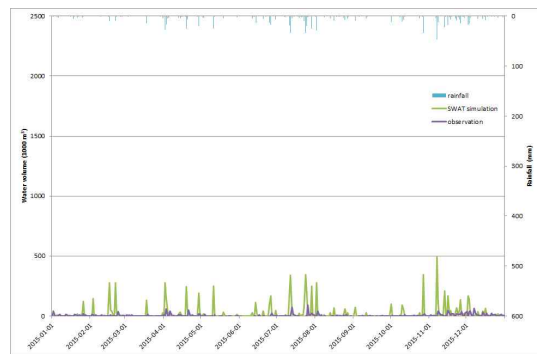
2012년



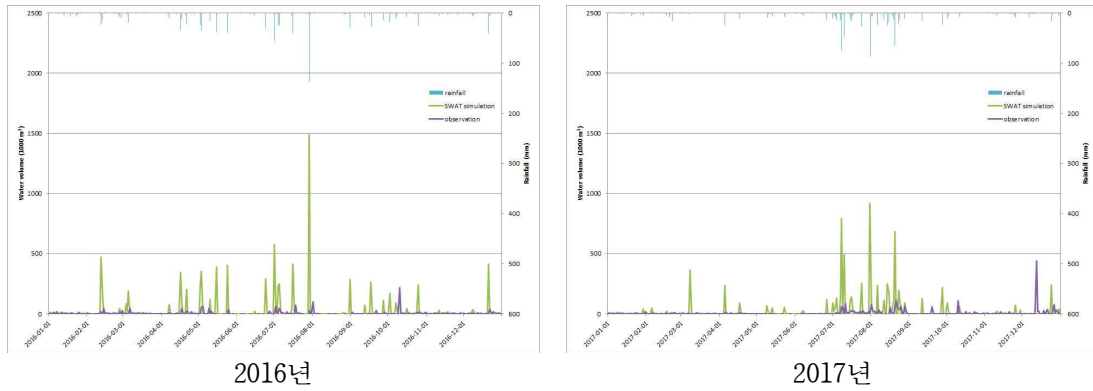
2013년



2014년

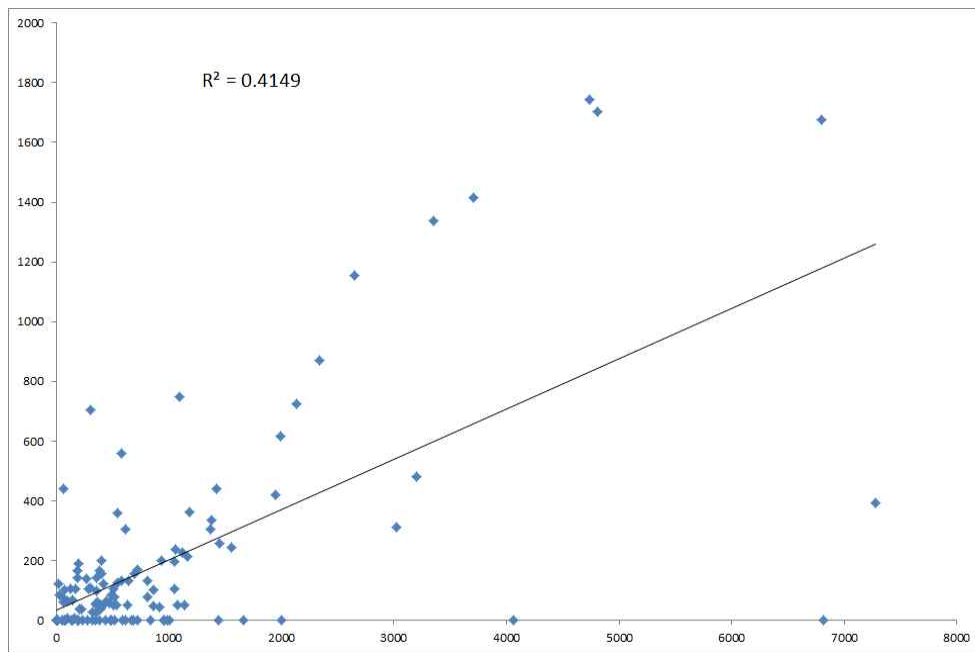


2015년



[그림 2-1-51] 풍전저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 계측치 비교

- 풍전저수지의 SWAT 모의결과와 저수지 계측치를 비교하여 그림에 나타내었다. 모의 기간에 따라 결과값의 차이가 크게 발생하는 경향이 있다. 이는 강우 시기의 월류와 유역 내 다양한 인위적 환경변화 등의 영향을 고려한다면 SWAT 모형에 의한 유출량과 저수지 실 유입수량이 어느 정도의 관련성은 있는 것으로 판단된다.

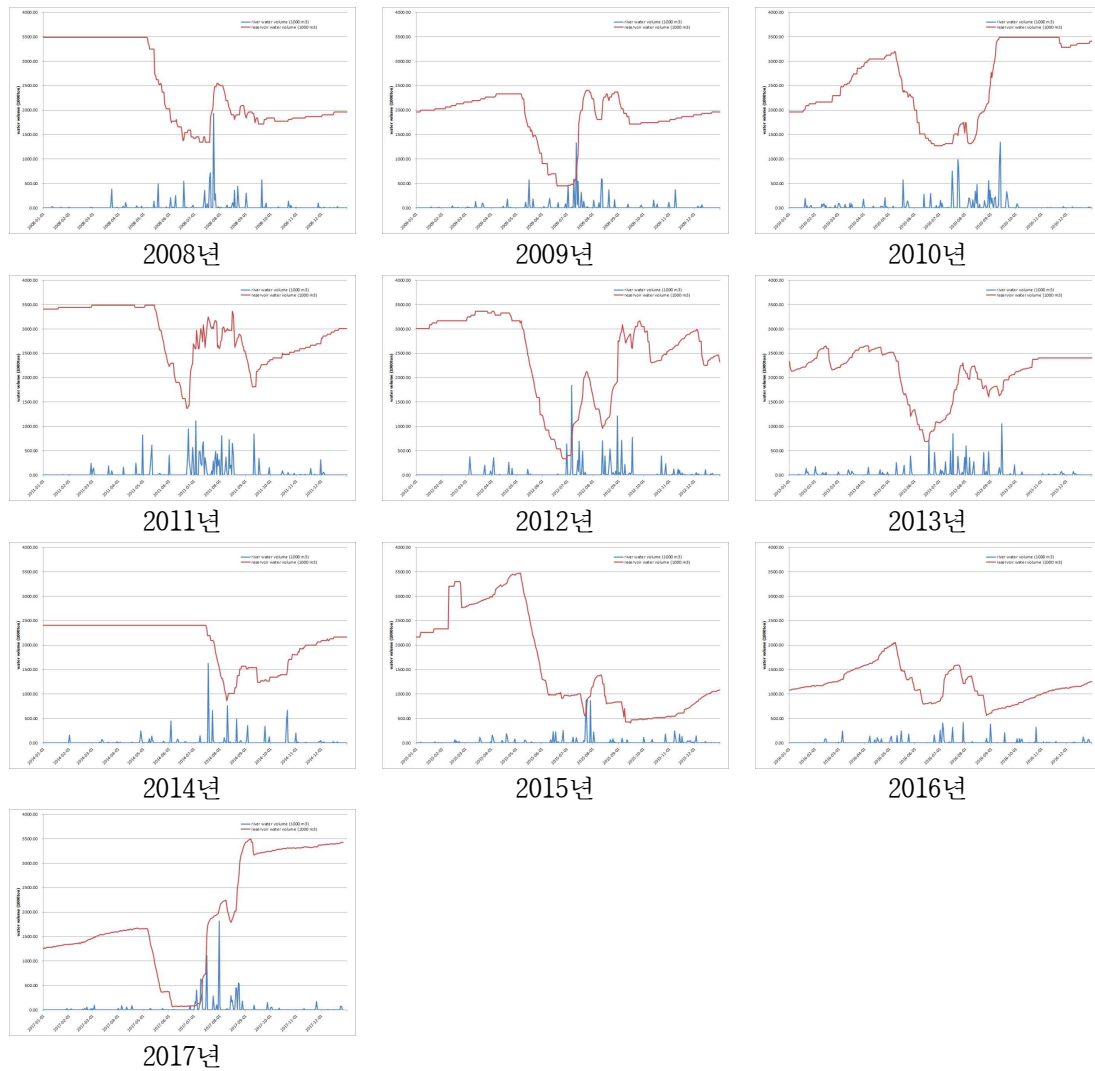


[그림 2-1-52] 풍전저수지 SWAT 모의 결과 및 저수지 유입량 상관비교

- SWAT 모의결과와 저수지 계측치를 월단위 누적으로 환산하여 상관성을 비교하였다. 그 결과 모의 값과 실제 유입량의 R^2 는 0.4149로 나타났다.

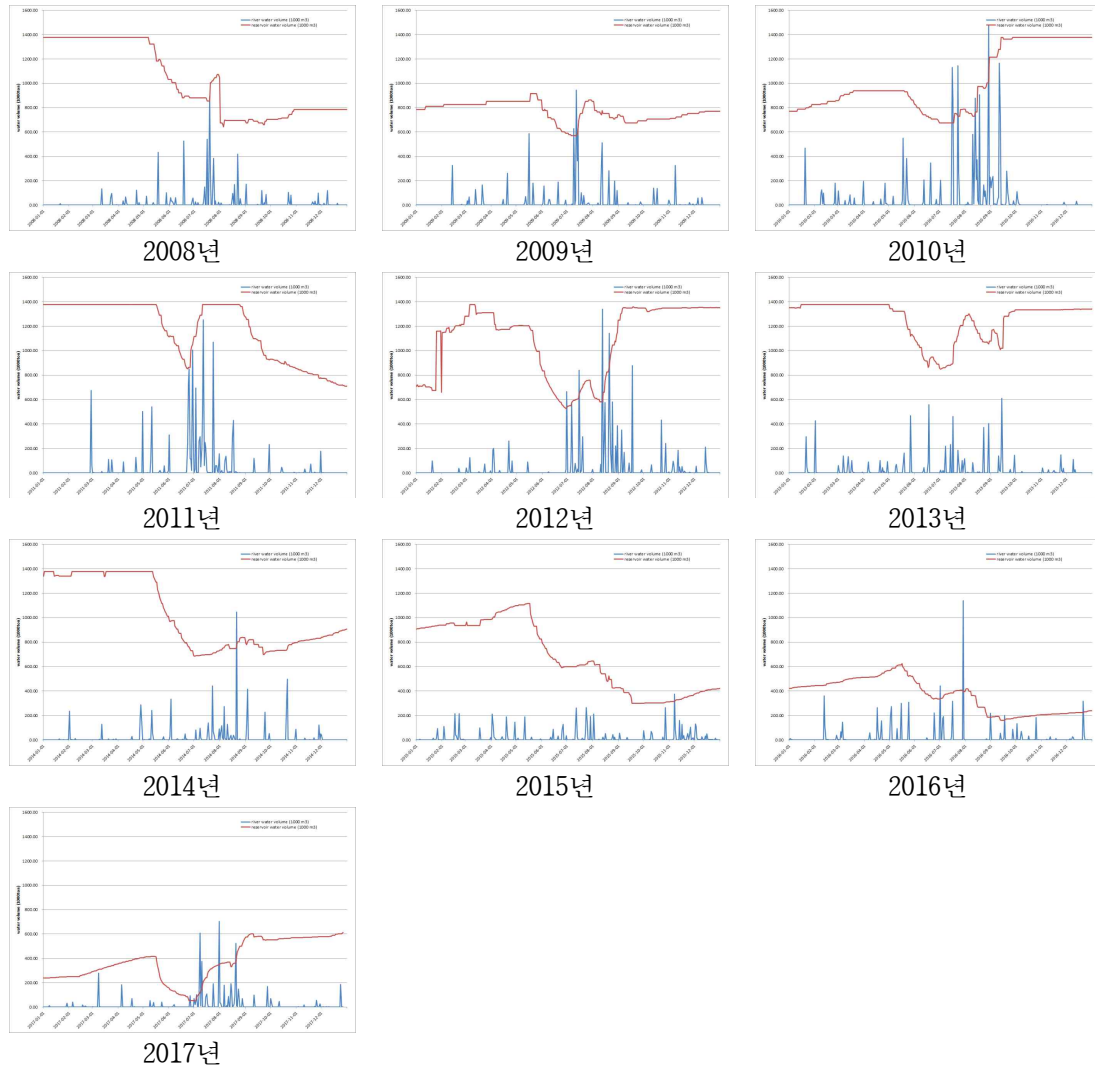
(다) SWAT 모형을 이용한 농업용수 공급 가능량 기초 분석

- 2008년부터 2017년까지의 강우자료와 시범지구 하천의 유역면적을 토대로 일단위 유출량을 산정하였고, 이에 따른 결과를 저수지 계측자료와 비교하였다.



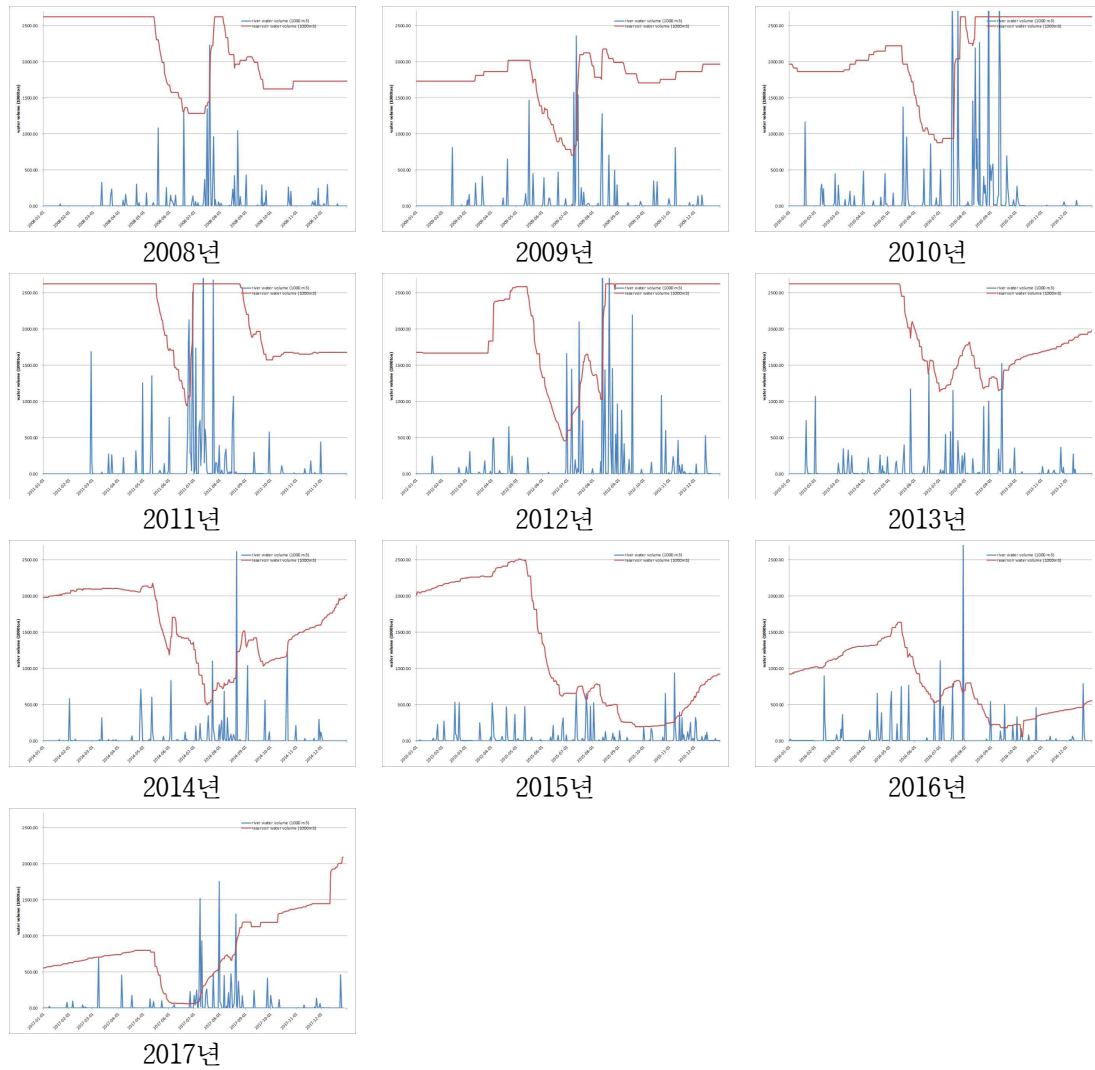
[그림 2-1-53] 마둔권역 SWAT 모의에 따른 하천 유입량 결과

- 마둔권역 하천 유출량을 기간별로 분석한 결과 우기인 7-9월 외 다른 시기에도 지속적인 유출량이 발생되어 하천으로 유입되는 것으로 분석되었다.
- 2014년까지의 저수량을 분석한 결과 관개 공급에 의한 저수량 감소와 강우에 의한 저수량 회복이 원활하였지만 2015년부터는 관개 공급 후 저수량 회복이 매우 어려운 것으로 나타났다. 따라서 저수지의 수위 등을 고려하여 비관개 기간에도 하천수를 지속적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 2-1-54] 대사권역 SWAT 모의에 따른 하천 유입량 결과

- 대사권역 하천 유출량을 기간별로 분석한 결과 우기인 7~9월 외 다른 시기에도 지속적인 유출량이 발생되어 하천으로 유입되는 것으로 분석되었다.
- 2014년까지의 저수량을 분석한 결과 관개 공급에 의한 저수량 감소와 강우에 의한 저수량 회복이 원활하였지만 2015년부터는 관개 공급 후 저수량 회복이 매우 어려운 것으로 나타났다.
- 따라서 저수지의 수위 등을 고려하여 비관개 기간에도 하천수를 지속적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.



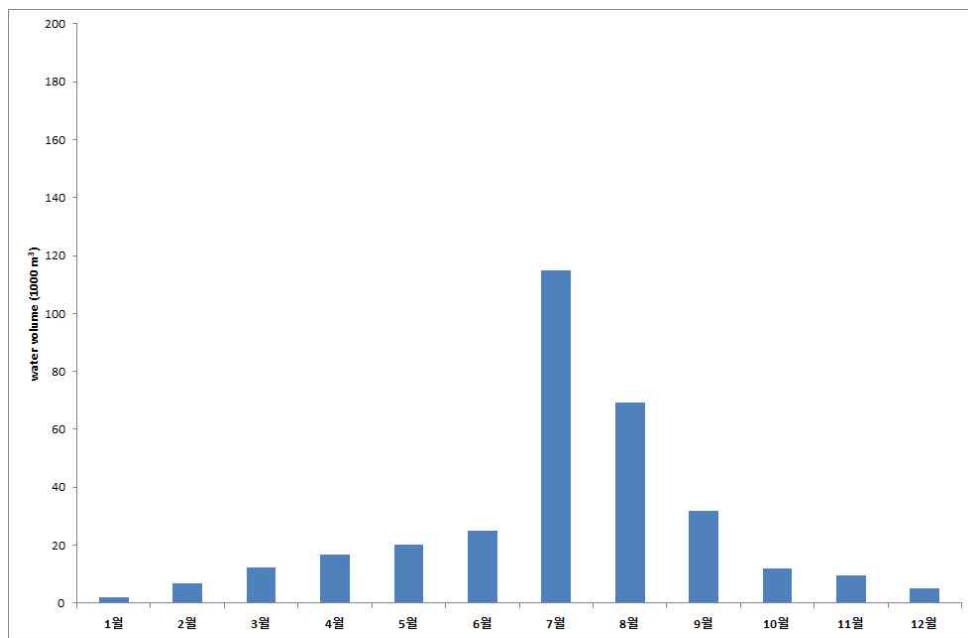
[그림 2-1-55] 풍전권역 SWAT 모의에 따른 하천 유입량 결과

- 풍전권역 하천 유출량을 기간별로 분석한 결과 우기인 7-9월 외 다른 시기에도 지속적인 유출량이 발생되어 하천으로 유입되는 것으로 분석되었다.
- 2014년까지의 저수량을 분석한 결과, 관개 공급에 의한 저수량 감소와 강우에 의한 저수량 회복이 원활하였지만 2015년부터는 관개 공급 후 저수량 회복이 매우 어려운 것으로 나타났다.
- 따라서 저수지의 수위 등을 고려하여 관개기 및 비관개기에도 하천수를 탄력적으로 활용할 수 있는 방안 마련이 시급할 것으로 판단된다.

4. 순환형 농업용수 공급 가능량 분석

가. SWAT 모형에 의한 농업용수 공급 가능량

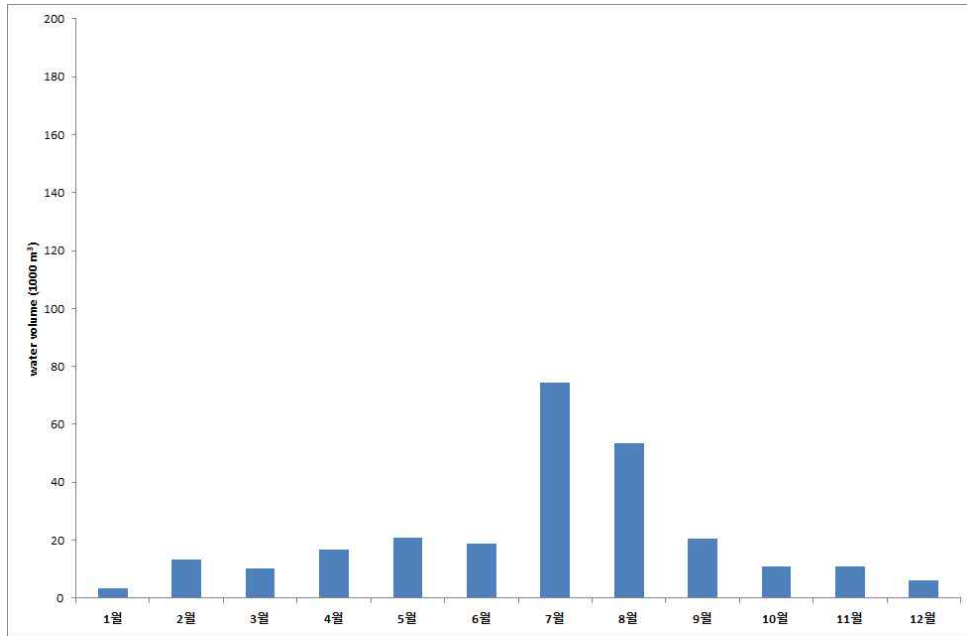
- 농업용수 공급가능량 분석을 위하여 마둔권역(조령천), 대사권역(와룡천), 풍전권역(둔당천)의 하천 유입량을 월단위 일평균으로 산출하였다.
- 이를 위하여 2008년부터 2017년까지의 기상자료를 이용하였고, 각 SWAT 모형과, DIROM 모형으로 분석하였으며, 양수시기인 비관개기간은 5월부터 9월까지이다.



[그림 2-1-56] SWAT 분석에 의한 마둔권역 월단위 일평균 하천 유입량

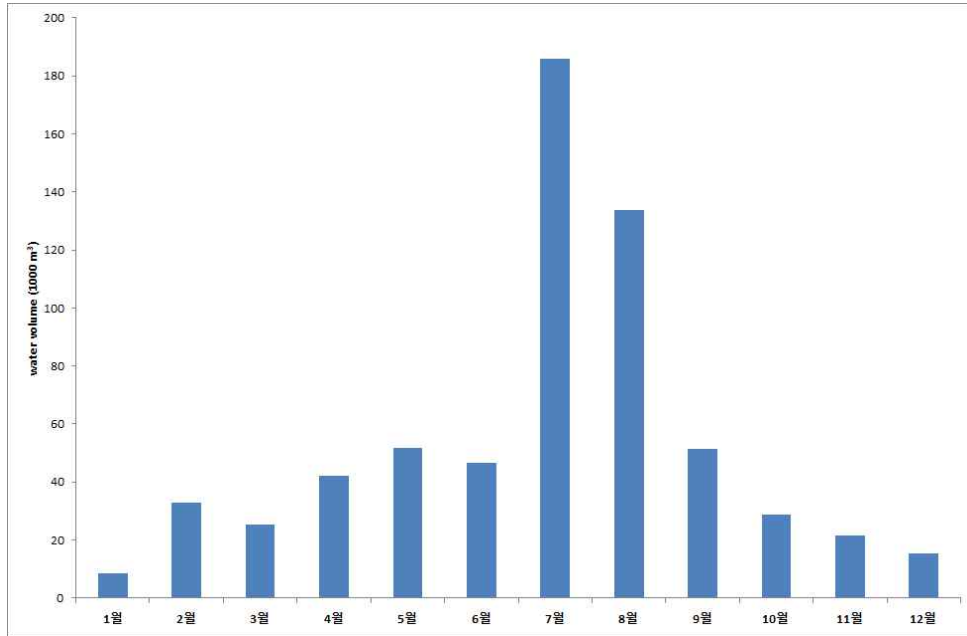
- SWAT 모형을 이용하여 마둔권역 취수보의 월단위 일유입량을 산정한 결과 평균적으로 1월은 1.96 천m³/day, 2월 6.72 천m³/day, 3월 12.44 천m³/day, 4월 16.44 천m³/day, 5월 20.23 천m³/day, 6월 25.18 천m³/day, 7월 114.82 천m³/day, 8월 69.12 천천m³/day, 9월 31.70 천m³/day, 10월 11.99 천m³/day, 11월 9.62 천m³/day, 12월 5.25 천m³/day로 나타났다.
- 마둔권역 하천은 강우에 의해 지배적으로 영향을 받는 곳으로 강우가 집중되는 7, 8, 9월의 유출량이 타 시기보다 월등히 높은 것으로 나타났다.
- 마둔권역 취수보의 양수 가능량을 파악하기 위하여 비관개기간인 10월부터 익년 4월까지의 양수가능량을 분석한 결과 약 1,947 천m³으로 분석되었다.

- 비관개기간 중 지속적인 양수저류를 실시한다면 약 882 천 m^3 의 양수저류가 가능하며, 일 양수량이 매우 적은 1월을 제외한다면 약 756 천 m^3 의 농업용수를 추가적으로 확보하여 유효저수량의 약 16.1%에서 18.8%까지 추가적인 용수사용이 가능할 것으로 판단된다.



[그림 2-1-57] SWAT 분석에 의한 대사권역 월단위 일평균 하천 유입량

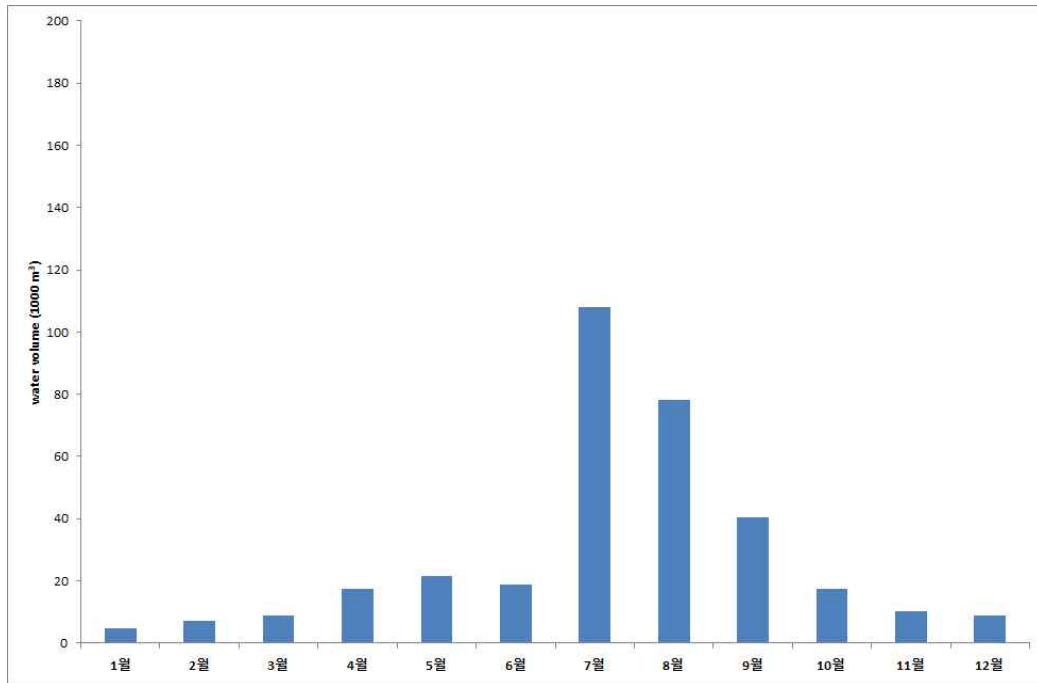
- 대사권역 취수보의 월단위 일유입량을 산정한 결과 평균적으로 1월은 3.37 천 m^3 /day, 2월 13.29 천 m^3 /day, 3월 10.26 천 m^3 /day, 4월 16.81 천 m^3 /day, 5월 20.77 천 m^3 /day, 6월 18.71 천 m^3 /day, 7월 74.57 천 m^3 /day, 8월 53.61 천 m^3 /day, 9월 20.58 천 m^3 /day, 10월 10.91 천 m^3 /day, 11월 11.10 천 m^3 /day, 12월 6.25 천 m^3 /day로 나타났다.
- 대사권역 하천은 강우에 의해 지배적으로 영향을 받는 곳으로 강우가 집중되는 7, 8, 9월의 유출량이 타 시기보다 월등히 높은 것으로 나타났다.
- 대사권역 취수보의 양수 가능량을 파악하기 위하여 비관개기간인 10월부터 익년 4월까지의 양수가능량을 분석한 결과 약 2,160 천 m^3 으로 분석되었다.
- 비관개기간 중 지속적인 양수저류를 실시한다면 약 840 천 m^3 의 양수저류가 가능하며, 일 양수량이 매우 적은 1월을 제외한다면 약 720 천 m^3 의 농업용수를 추가적으로 확보하여 유효저수량의 약 52.3%에서 61%까지 추가적인 용수사용이 가능할 것으로 판단된다.



[그림 2-1-58] SWAT 분석에 의한 풍전권역 월단위 일평균 하천 유입량

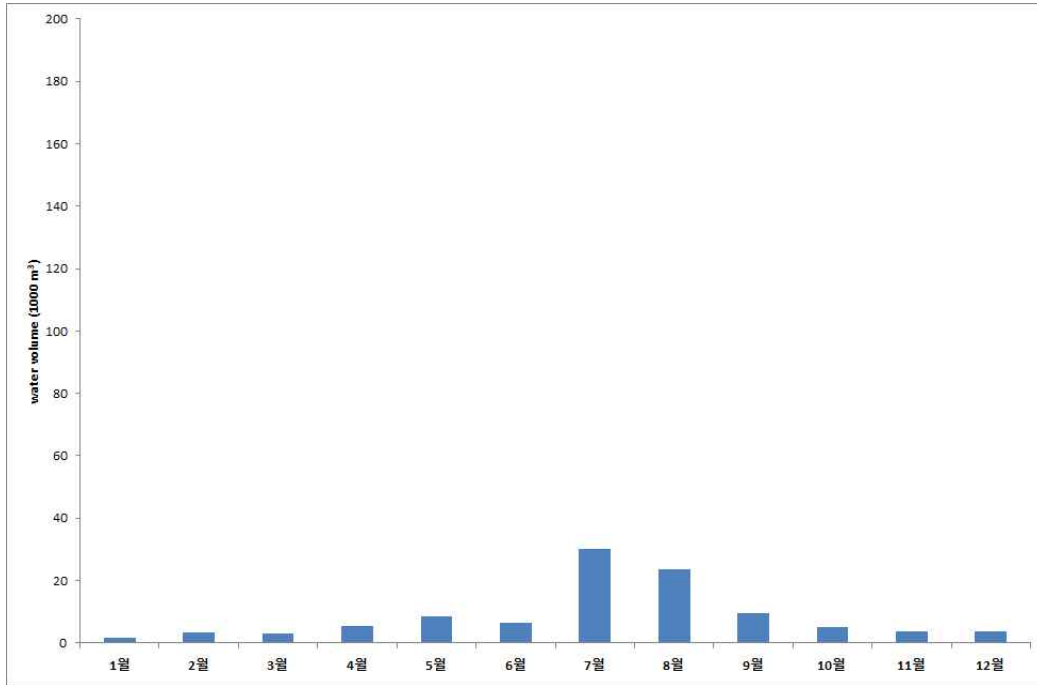
- 풍전권역 취수보의 월단위 일유입량을 산정한 결과 평균적으로 1월은 8.46 천 m³/day, 2월 33.00 천m³/day, 3월 25.47 천m³/day, 4월 42.02 천m³/day, 5월 51.90 천 m³/day, 6월 46.64 천m³/day, 7월 185.86 천m³/day, 8월 133.72 천m³/day, 9월 51.42 천m³/day, 10월 28.70 천m³/day, 11월 21.47 천m³/day, 12월 15.39 천m³/day로 나타났다.
- 풍전권역 하천은 강우에 의해 지배적으로 영향을 받는 곳으로 강우가 집중되는 7, 8, 9월의 유출량이 타 시기보다 월등히 높은 것으로 나타났다.
- 풍전권역 취수보의 양수 가능량을 파악하기 위하여 비관개기간인 10월부터 익년 4월까지의 양수가능량을 분석한 결과 약 5,235 천m³으로 분석되었다.
- 비관개기간 중 지속적인 양수저류를 실시한다면 약 1,260 천m³의 양수저류가 가능하며, 일 양수량이 매우 적은 1월을 제외한다면 약 1,080 천m³의 농업용수를 추가적으로 확보하여 유효저수량의 약 41.2%에서 48.1%까지 추가적인 용수사용이 가능할 것으로 판단된다.

나. DIROM 모형에 의한 농업용수 공급 가능량



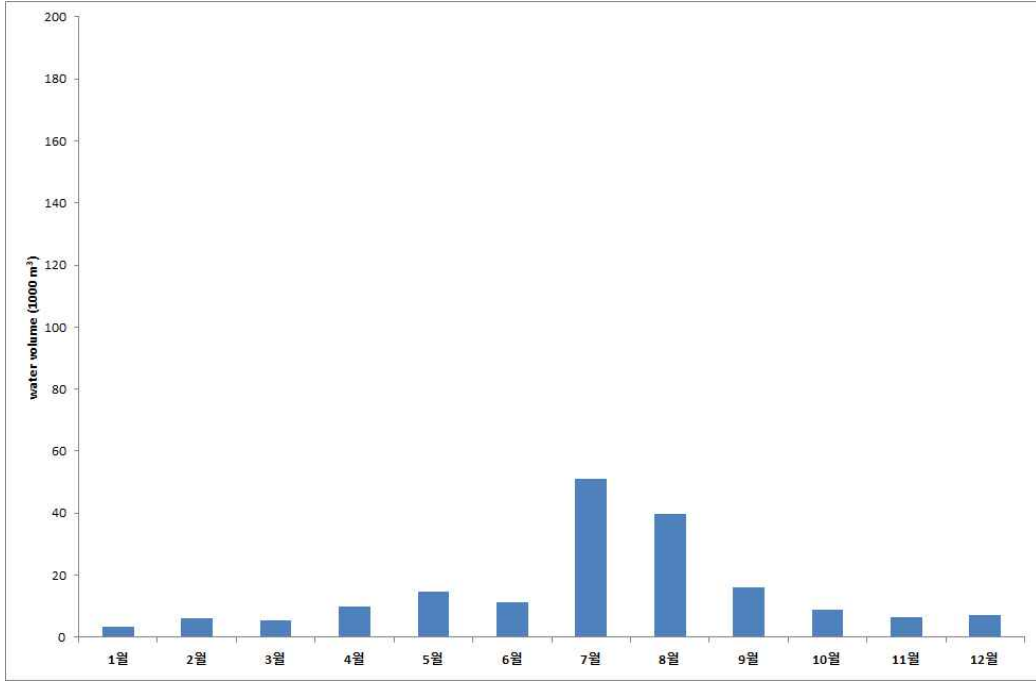
[그림 2-1-59] DIROM 모형분석에 의한 마둔권역 월단위 일평균 하천 유입량

- DIROM 모형을 이용하여 마둔권역 취수보의 월단위 일유입량을 산정한 결과 평균적으로 1월은 4.74 천m³/day, 2월 7.24 천m³/day, 3월 8.90 천m³/day, 4월 17.45 천m³/day, 5월 21.56 천m³/day, 6월 18.72 천m³/day, 7월 107.90 천m³/day, 8월 78.33 천m³/day, 9월 40.42 천m³/day, 10월 17.48천m³/day, 11월 10.30 천m³/day, 12월 8.87 천m³/day로 나타났다.
- 마둔권역 하천은 강우에 의해 지배적으로 영향을 받는 곳으로 강우가 집중되는 7, 8, 9월의 유출량이 타 시기보다 월등히 높은 것으로 나타났다.
- 마둔권역 취수보의 양수 가능량을 파악하기 위하여 비관개기간인 10월부터 익년 4월까지의 양수가능량을 분석한 결과 약 2,249 천m³으로 분석되었다.
- 비관개기간 중 지속적인 양수저류를 실시한다면 약 882 천m³의 양수저류가 가능하며, 일 양수량이 매우 적은 1월을 제외한다면 약 756 천m³의 농업용수를 추가적으로 확보하여 유효저수량의 약 16.1%에서 18.8%까지 추가적인 용수사용이 가능할 것으로 판단된다.



[그림 2-1-60] DIROM 모형분석에 의한 대사권역 월단위 일평균 하천 유입량

- 대사권역 취수보의 월단위 일유입량을 산정한 결과 평균적으로 1월은 1.82 천 m³/day, 2월 3.48 천m³/day, 3월 2.98 천m³/day, 4월 5.42 천m³/day, 5월 8.47 천 m³/day, 6월 6.50 천m³/day, 7월 30.30 천m³/day, 8월 23.78 천m³/day, 9월 9.68 천 m³/day, 10월 5.15천m³/day, 11월 3.62 천m³/day, 12월 3.80 천m³/day로 나타났다.
- 대사권역 하천은 강우에 의해 지배적으로 영향을 받는 곳으로 강우가 집중되는 7, 8월의 유출량이 타 시기보다 월등히 높은 것으로 나타났다.
- 대사권역 취수보의 양수 가능량을 파악하기 위하여 비관개기간인 10월부터 익년 4월까지의 양수가능량을 분석한 결과 약 788 천m³으로 분석되었다.
- 비관개기간 중 대사권역의 양수용량 보다 높은 일 유출량을 기록한 월은 4월과 10월이고, 11월부터 익년 3월까지의 양수를 50%만 운영할 시 약 680 천m³의 양수저류가 가능하며, 일 양수량이 매우 적은 1월을 제외하면 약 720 천m³의 농업용수를 추가적으로 확보하여 유효저수량의 약 34.9%에서 39.2%까지 추가적인 용수사용이 가능할 것으로 판단된다.



[그림 2-1-61] DIROM 모형분석에 의한 풍전권역 월단위 일평균 하천 유입량

- 풍전권역 취수보의 월단위 일유입량을 산정한 결과 평균적으로 1월은 3.23 천 m³/day, 2월 6.25 천m³/day, 3월 5.62 천m³/day, 4월 9.85 천m³/day, 5월 14.77 천 m³/day, 6월 11.16 천m³/day, 7월 51.15 천m³/day, 8월 39.59 천m³/day, 9월 16.01 천 m³/day, 10월 8.84 천m³/day, 11월 6.62 천m³/day, 12월 7.10 천m³/day로 나타났다.
- 풍전권역 하천은 강우에 의해 지배적으로 영향을 받는 곳으로 강우가 집중되는 7, 8월의 유출량이 타 시기보다 월등히 높은 것으로 나타났다.
- 풍전권역 취수보의 양수 가능량을 파악하기 위하여 비관개기간인 10월부터 익년 4 월까지의 양수가능량을 분석한 결과 약 1,425 천m³으로 분석되었다.
- 비관개기간 중 풍전권역의 양수용량보다 높은 일 유출량을 기록한 월은 2월, 4월, 10월, 11월과 12월이고, 1월과 3월까지의 양수를 50%만 운영할 시 약 1,080 천m³의 양수저류가 가능하며, 일 양수량이 매우 적은 1월을 제외하면 약 990 천m³의 농업 용수를 추가적으로 확보하여 유효저수량의 약 37.8%에서 41.2%까지 추가적인 용수 사용이 가능할 것으로 판단된다.

[표 2-1-14] 마둔권역, 대사권역, 풍전권역 양수저류 공급가능량 분석결과

구분	하천유입량(천m ³)		비관개기간 유입량(천m ³)		일양수용량 (m ³ /day)	SWAT분석 공급가능량 (천m ³)	DIROM분석 공급가능량 (천m ³)
	SWAT	DIROM	SWAT	DIROM			
마둔	9,778	10,257	1,947	2,249	4,300	756-882	756-882
대사	7,807	3,150	2,160	788	4,000	720-840	680-720
풍전	19,322	5,405	5,235	1,425	6,000	1,080-1,260	990-1,080

제 2절. 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축

1. 들녘단위 용수배분 기준 및 기존 사례 조사

가. 농어촌공사의 농업용수 배분

- 우리나라의 농업용수 및 수리시설 유지관리는 농지개량조합과 지방자치단체에 의해 이루어져왔으나 한국농어촌공사가 설립되면서 그 체계가 한국농어촌공사와 지방자치 단체로 변하게 되었다.
- 이러한 변화에 따른 농업용 수리시설의 관리주체에 관한 내용은 다음의 표와 같다 (김홍상·심재만, 2005).

[표 2-2-1] 한국농어촌공사 출범 전후 농업수리시설 관리 상황 (김홍상·심재만, 2005)

분 류	이 전	이 후
수리시설의 관리 주체	조합관리	공사관리
관리 지역의 범위	지역단위 관리	전국 차원의 관리
농업용수 이용 부담	농업인 조합비 납부	국가보조
수시시설 및 부지 소유권	농민(조합) 소유	국가(한국농어촌공사) 소유

- 현재 농업용수의 관리는 한국농어촌공사와 지방자치단체로 이원화되어 관리되고 있으며 우량농지를 중심으로 63%를 한국농어촌공사에서 관리하고 수리시설이 빈약한 지역은 지방자치단체에서 관리하고 있다.
- 농업용수 관리체계는 수리시설 규모에 따라 한국농어촌공사 관리지역과 지자체 관리지역으로 이원화되어 있으며, 전체 수리담면적 848천ha 중 532천ha(63%)는 대규모 수리시설 수혜지역을 중심으로 한국농어촌공사에서 관리하고 316천ha(37%)는 지자체에서 관리하고 있다.
- 작물 생육상태에 따라 영농시기 및 지역별로 독특한 물관리방식을 운영하고 있으며 한정된 용수의 효율적 활용을 위한 윤환관개, 간단관개를 실시하고 있다.
- 농업용수는 현지 농업인을 수리시설관리원으로 위촉운영 하는 등 용수이용자와 물 관리기관이 역할을 분담하여 체계적으로 물관리를 실시하고 있다.
- 농업용수의 장기 안정적 확보 및 체계적인 개발·이용을 위해 “농업·농촌용수 종합 이용계획”을 수립하여 추진하고 있으며, 전국의 농촌지역을 464개 소수계단위로 구분한 농촌용수구역을 설정·운영하고 있다.
- 수자원이용량은 1998년 기준 연평균 331억^m이며 이중 농업용수 이용량은 약 158억

- m³로 전체 이용량의 48%를 점유하고 있는데(건설교통부, 2001), 전체 수자원 중 농업용수의 이용량은 거의 절반을 차지하고 있을 정도로 그 비중은 매우 크다.
- 농업용수는 지역적으로 관행수리권이 비교적 광범위하게 인정되어 있다. 그렇기 때문에 새로운 농업용수의 개발은 관행수리권과 마찰의 소지를 가지고 있다.
 - 수자원은 기본적으로 공유재적 성격을 띠고 있다. 공유재는 공동으로 사용하는 잠재적인 사용자를 사용에서 배제하기 어려우면서 특정 사용자의 사용 정도에 따라서 다른 잠재적 사용자의 이용할 수 있는 양이 감소하는 편익 감소성의 특성을 가지고 있다.
 - 수자원의 중요한 부분을 차지하고 있는 농업용수도 기본적으로 배제메카니즘을 합리적으로 마련하기 어렵고, 또한 편익감소성의 특성도 그대로 가지고 있다. 농업용수는 지금까지 많은 경우 관행수리권으로 관행적으로 하천의 용수를 사용해왔다.
 - 그러나 최근 수자원공사나 한국농촌공사처럼 수자원개발에 대한 권한을 가진 기관이 수자원개발을 통해 수자원공급능력을 확대하면서 이의 사용과 관련하여 수자원 수요자간 갈등이 발생하고 있다.
 - 기존에 단일 지역공동체였던 농촌지역에는 최근 자연환경을 중시하는 새로운 인구가 유입되기도 하는 등 용수이용과 관련하여 지역주민 간의 협의를 더욱 요구하는 방향으로 나아가고 있다. 농업용수가 지역용수로서의 역할이 요구된다(김용택·김홍상, 1999)는 점은 농업용수가 보다 다양한 측면에서 활용되어야 할 현실에 있음을 말해 주며, 이를 둘러싸고 관련 이해당사자 간 갈등도 빈번해질 소지가 있음을 의미한다.
 - 용담댐 건설의 경우 이로 인해 대전·충청권은 대청댐으로의 유수 유입량에 대한 문제뿐만 아니라 해당 유역의 건전화에 따른 오염을 걱정하며 이에 대한 대책을 둘러싸고 심각한 갈등을 빚기도 하였다.
 - 전북 고창의 한 지역주민들은 골프장에서 농업용수를 해당기관의 침묵 속에 불법으로 사용하고 있다고 주장하며 한국농촌공사에 이의 시정을 요구하는 민원을 제기하였다. 한국농촌공사 고창지사에서는 농업용수를 공급과 용수량의 사용을 관리하는 입장에서 공급물량분석 및 사용처 확인을 한 후 시행 집행하고 있음을 주장하며 골프장에 대한 용수공급을 위한 허가승인 절차도 법과 규정에 의해 적절하게 처리되었다고 밝혔다. 또한 공산저수지는 내용적과 물리면적에 비해(12배, 보통 타저수지는 1.5~2배) 유역배율이 매우 커 바다로 버려지는 물이 많은 저수지라는 점을 들며, 버려지는 물을 골프장에 공급하여 공사재정에도 도움이 되고 수익금액을 농민을 위한 유지관리 비용으로 활용할 것임을 제시하였다.
 - 경북 고령군 덕곡면의 양어장에 용수를 공급하지 않음에 이에 대한 시정을 요구하는 집단민원이 제기되었다. 그러나 양어장에 대한 용수를 공급하지 않는 것은 농업

인에 대한 기득수리권을 인정하여 물공급을 수립한 것이었다. 양어장에 물을 공급하는 것이 적법한지 여부에 대하여는 그 적법성을 인정하는 것이 타당하지만, 다수 농업인의 공익적 기능을 우선 달성함이 저수지의 목적이라는 점을 설득함으로써 해결되었다.

- 국가 전체적으로 물 배분에 관한 원칙 및 각 개별법에 언급된 물 배분을 조정하거나 중재할 수 있는 물 배분체계가 미흡하다. 현재 하천법에는 유수의 점용허가를 기존의 용수이용자의 피해가 없는 범위내에서 허가할 수 있도록 하고 있지만, 하천 전체의 수계를 고려한 유수의 점용허가를 통한 물 배분체계가 이루어지지 않고 있다. 가장 큰 이유는 물 수지분석에 필요한 기초 수량데이터가 부족하고 다음으로는 농업용수와 같이 기득수리권으로 취수하는 양에 대한 계측이 이루어지지 않는데 있다.
- 한국농어촌공사의 관리지역 내 농업인 참여는 자문형태로써 각급 대의회를 통해 이루어지고 있으나, 말단 수로 관리(예: 용배수로 준설, 수초 제거 등)에 대한 농업인들의 직접 참여는 줄어들고 있으며 농업용수에 대한 비용 부담에서도 한국농어촌공사 출범 이후 관리비용을 정부가 대신하고 있다.
- 지자체 관리지역 내에서 농민 참여는 수리계를 중심으로 물 배분이나 유지관리 등의 노역이나 비용 부담 등과 같은 부분에서 제한적으로 이루어지고 있다.
- 물 배분과 관련된 과거의 정확한 기록은 사용자간 물 배분의 원칙과 기준의 설정에 매우 중요한 요소임에도 불구하고 물 이용 통계의 정확한 산정 등에 대한 투자가 미흡한 실정이다.
- 실질적인 물꼬관리 등의 수리시설물의 관리가 인력에 의해 수행되기 어려우며, ICT 기술을 활용하여 이러한 수리시설물의 관리를 자동화할 필요가 있다.

[표 2-2-2] 국가·지방하천 유수사용 허가현황('90~2001.10)

구분	계		생활용수		공업용수		농업용수		
	건수	허가량	건수	허가량	건수	허가량	건수	허가량	
총계	491	17,404,070	47	582,151	118	3,569,600	326	7,992,319	
국가하천	소계	236	13,636,292	32	5702,087	33	852,365	171	7,081,840
	한강	39	3,494,985	14	2760,635	11	176,585	14	557,765
	낙동강	186	9,802,180	16	2932,102	20	417,780	150	6,452,298
	금강	4	25,432	-	-	1	8,000	3	17,432
	영산강	5	306,350	2	9,350	1	250,000	2	47,000
	섬진강	2	7,345	-	-	-	-	2	7,345
지방하천	소계	255	3,767,778	15	140,064	85	2,717,235	155	910,479
	서울시	-	-	-	-	-	-	-	-
	부산시	2	116	-	-	2	116	-	-
	대구시	-	-	-	-	-	-	-	-
	인천시	-	-	-	-	-	-	-	-

광주시	-	-	-	-	-	-	-	-
대전시	-	-	-	-	-	-	-	-
울산시	4	6,042	-	-	-	-	4	6,042
경기도	50	93,717	2	83,020	47	8,850	1	1,847
강원도	19	52,760	3	6,492	12	34,927	4	11,341
충북도	11	27,827	3	488	5	25,991	3	1,348
충남도	101	2,086,451	3	4,864	5	1,905,200	93	176,387
전북도	35	5,614	-	-	2	5,334	33	280
전남도	7	112,531	-	-	4	40,307	3	72,224
경북도	12	777,685	4	45,200	5	696,015	3	36,470
경남도	14	605,035	-	-	3	495	11	604,540
제주도	-	-	-	-	-	-	-	-

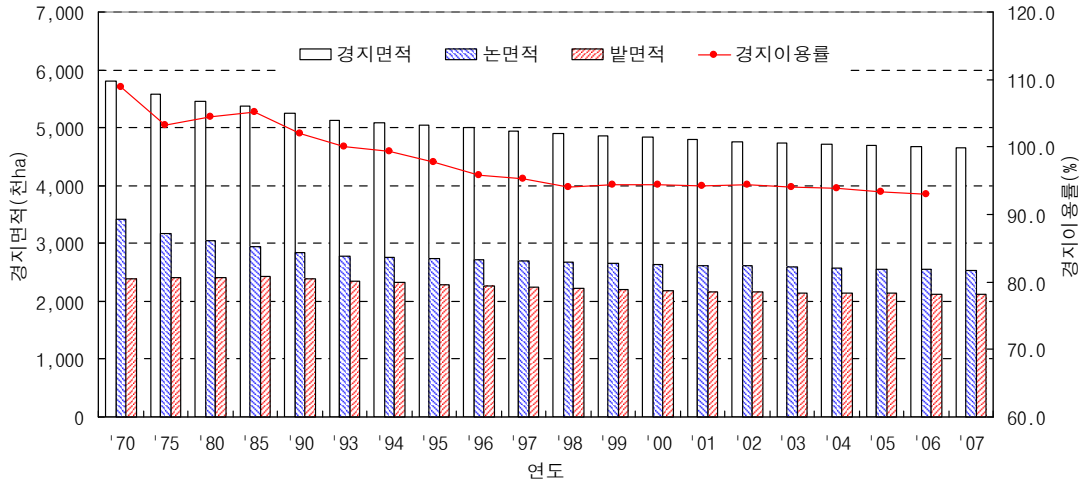
나. 일본 들녘단위 용수배분 사례 조사

(1) 일본의 농업용수 현황

- 일본에서는 경지면적의 감소 및 경작 포기면적의 증가, 그리고 농업종사자의 감소·고령화, 아울러 농업구조의 취약화가 진행되고 있는 상황이다.
- 1970년부터 2007년까지 일본의 경지면적변화는 아래 표와 같으며, 1975년 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.

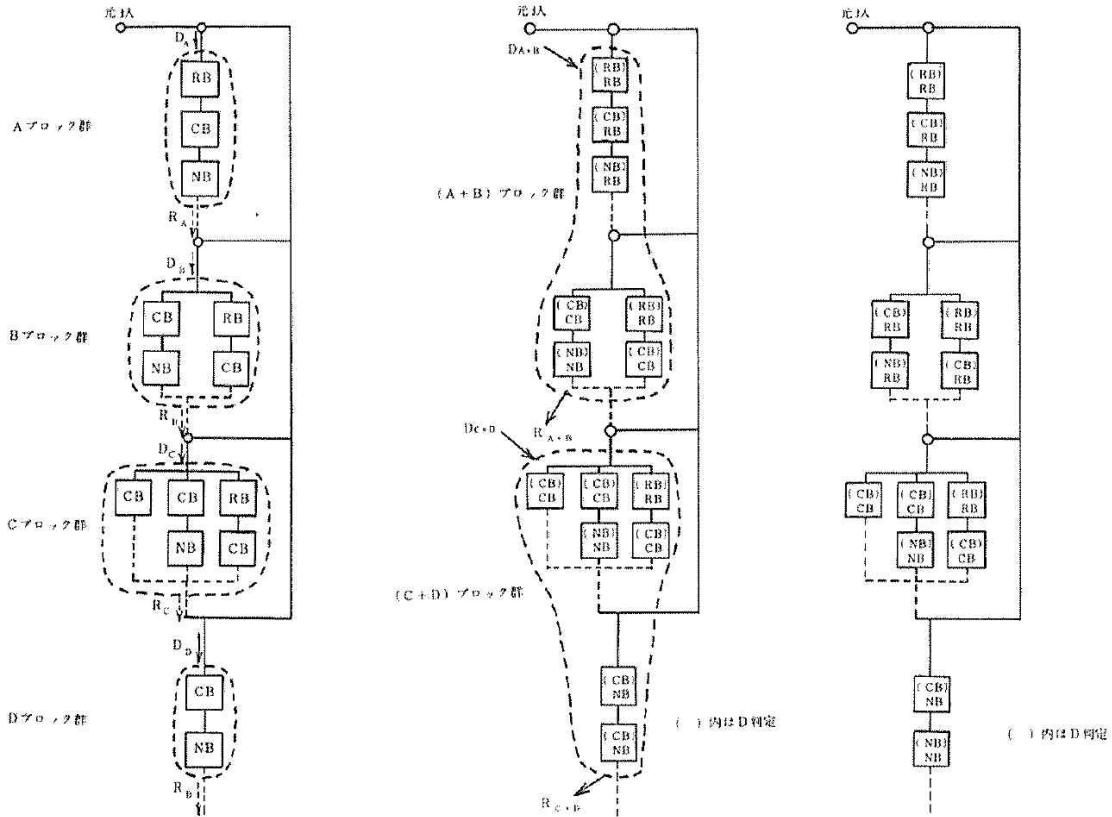
[표 2-2-3] 일본의 경지면적 변화

구분	경지면적 (천ha)	논(천ha)		밭(천ha)		경 지 이용률
		면적	%	면적	%	
1970	5,796	3,415	58.9	2,381	41.1	108.9
1975	5,572	3,171	56.9	2,402	43.1	103.3
1980	5,461	3,055	55.9	2,406	44.1	104.5
1985	5,379	2,952	54.9	2,427	45.1	105.1
1990	5,243	2,846	54.3	2,397	45.7	102.0
1993	5,124	2,782	54.3	2,343	45.7	100.0
1994	5,083	2,764	54.4	2,318	45.6	99.3
1995	5,038	2,745	54.5	2,293	45.5	97.7
1996	4,994	2,724	54.5	2,269	45.4	95.8
1997	4,949	2,701	54.6	2,248	45.4	95.3
1998	4,905	2,679	54.6	2,226	45.4	94.1
1999	4,866	2,659	54.6	2,207	45.4	94.4
2000	4,830	2,641	54.7	2,189	45.3	94.5
2001	4,794	2,624	54.7	2,170	45.3	94.3
2002	4,762	2,607	54.7	2,156	45.3	94.4
2003	4,736	2,592	54.7	2,144	45.3	94.0
2004	4,714	2,575	54.6	2,139	45.4	93.8
2005	4,692	2,556	54.5	2,136	45.5	93.4
2006	4,671	2,543	54.4	2,128	45.6	93.0
2007	4,650	2,530	54.4	2,120	45.6	-



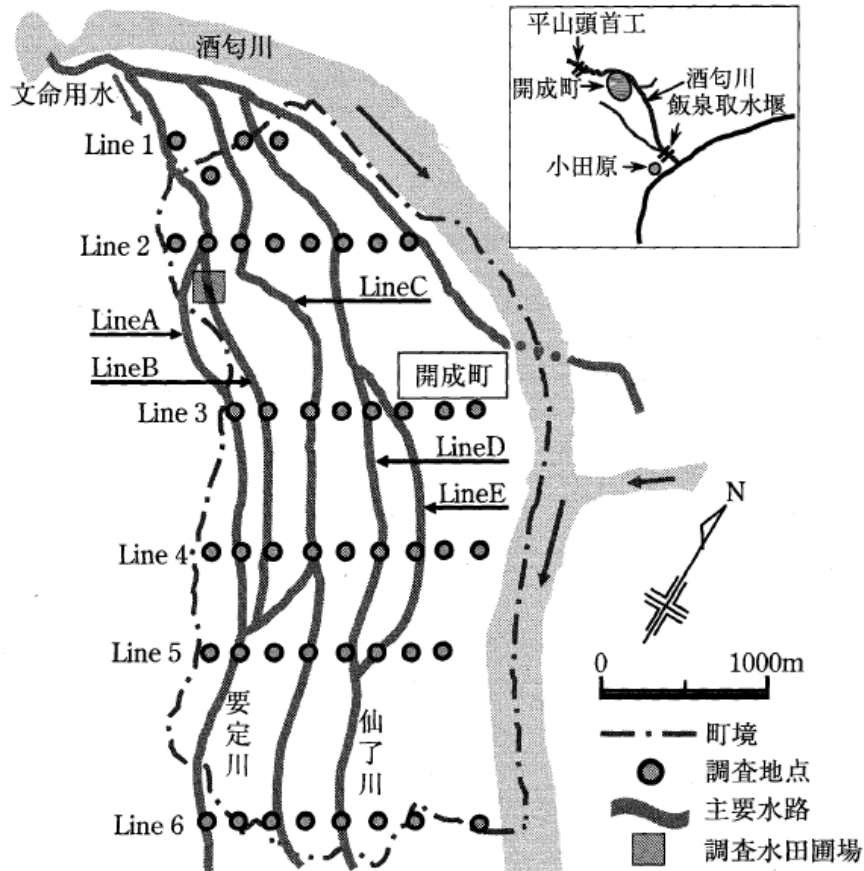
[그림 2-2-1] 일본의 경지면적 변화

- 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^m중 논용수가 515억^m, 밭용수가 28억^m으로 논용수는 감소하고 밭용수가 크게 증가한 것을 알 수 있다.
- 농업용수 총량의 변화를 살펴보면 1975년 ~ 2006년까지 23억^m의 농업용수가 감소하여 약 32개년간 1975년 농업용수량의 약 4%가 감소되었다.
- 32개년간 농업용수의 변화를 경지면적의 변화와 비교해 보면, 경지면적의 경우 약 20%가 감소된데 반하여, 농업용수 총량의 변화는 4% 감소에 그쳐 경지면적 감소에 따라 농업용수량이 큰 변화를 나타내고 있지 않음을 알 수 있다.
- 일본의 전체 수자원이용에 대한 농업용수의 비율을 살펴보면 2006년 총 이용량 831억^m중 생활용수가 157억^m, 공업용수가 126억^m, 농업용수가 547억^m으로 농업용수가 전체 수자원이용량의 65.8%를 사용하는 것으로 나타났다.
- 일본에서는 농업용수 사용을 효율적으로 하기 위해 일찍부터 농업용수의 반복이용과 순환관개를 시행하고 있다.
- Mizutani 등(1980)은 시기별 필요용수량을 농업용수 재이용과 연관지어 산정하는 방법론을 개발하였으며, 용수이용현황에 따라서 관개지구를 다음 그림과 같이 단순화하여 블록화하고 이러한 기준에 따라 용수이용현황 및 용수 재이용 현황을 파악하고자 하였다.



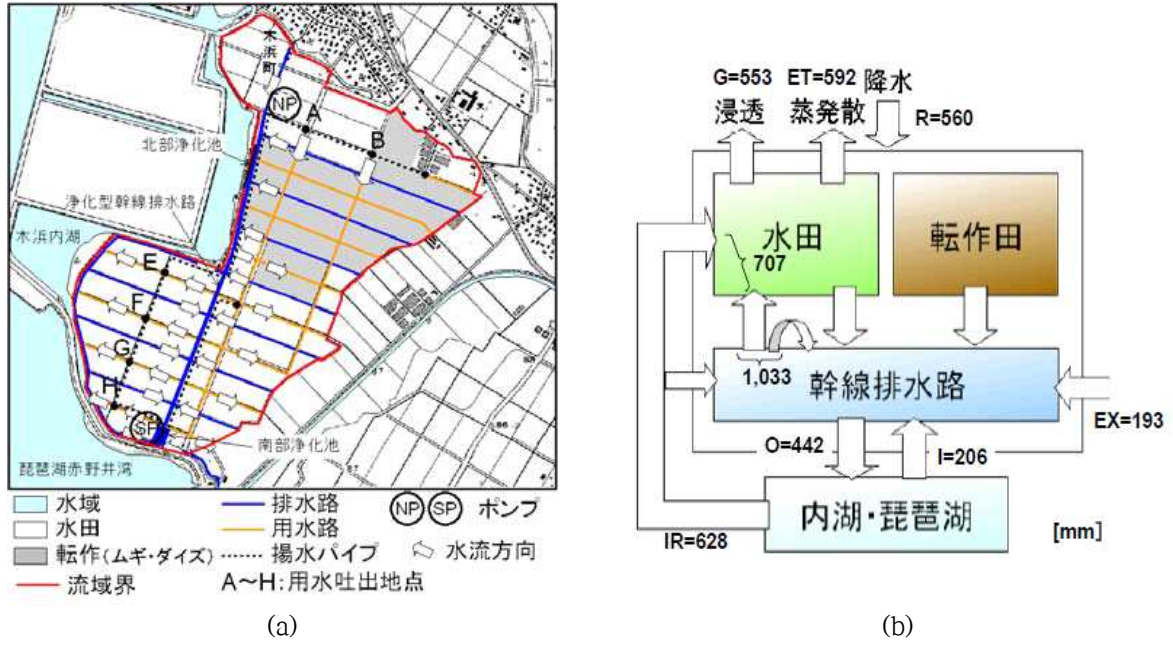
[그림 2-2-2] 용수이용현황에 따른 관개지구 블록화 (Mizutani 등, 1980)

- Hashimoto 등(2013)은 농업용수 반복이용지역을 대상으로 물배분양 및 수질을 정량화 하는 연구를 수행하였다.
- Samura 등(2004)은 다음 그림과 같이 카나가와 현의 광역 농업용수 반복이용지역을 대상으로 용수의 재이용이 수질환경에 어떻게 기여하고 있는 지를 평가하였다.



[그림 2-2-3] 광역 농업용수 반복이용 조사지역 神奈川県開成町 (Samura, 2004)

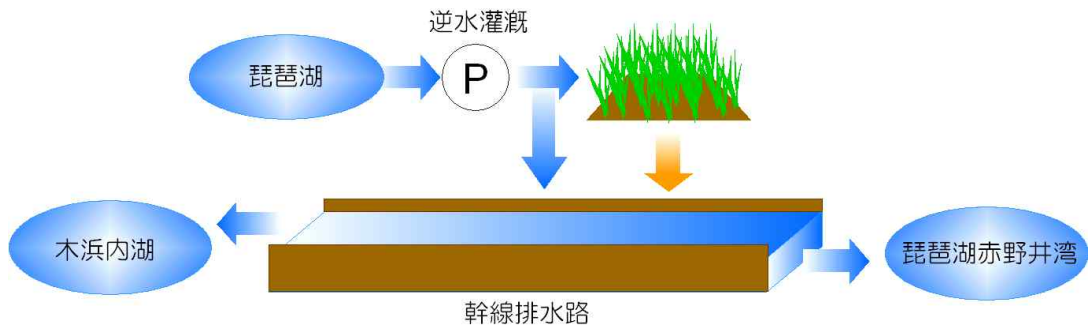
- Nakamura 등(2004)은 비와호 지역인근의 순환관개 지구를 대상으로 관개기의 물수지와 질소 및 인 등의 수지를 아래 그림과 같이 분석하였다.
- Nakamura 등(2004)은 순환관개를 실시함으로써 약 65%의 농업용수 유출을 삭감할 수 있었으며, TN은 43%, TP는 58%의 유출을 삭감한 것으로 분석하였다.
- Takehide (2008)은 Nakamura 등(2004)과 동일한 관개지구를 대상으로 관개시스템과 물질수지를 분석하였다.
- 아래 그림과 같이 코노하마 순환관개지구는 남북으로 간선배수로가 있으며 남북의 수문을 통하여 비와호로 배수되는 시스템을 가지고 있다.
- 관개지구가 속해 있는 시가현에서 2000년대 초반에 추진한 순환관개사업을 통하여 남북의 배수문을 막고 양수기를 설치하여 그림 2-2-5와 같이 비와호로의 방류를 최소화하고 용수를 재이용하는 시스템을 구축하였다.



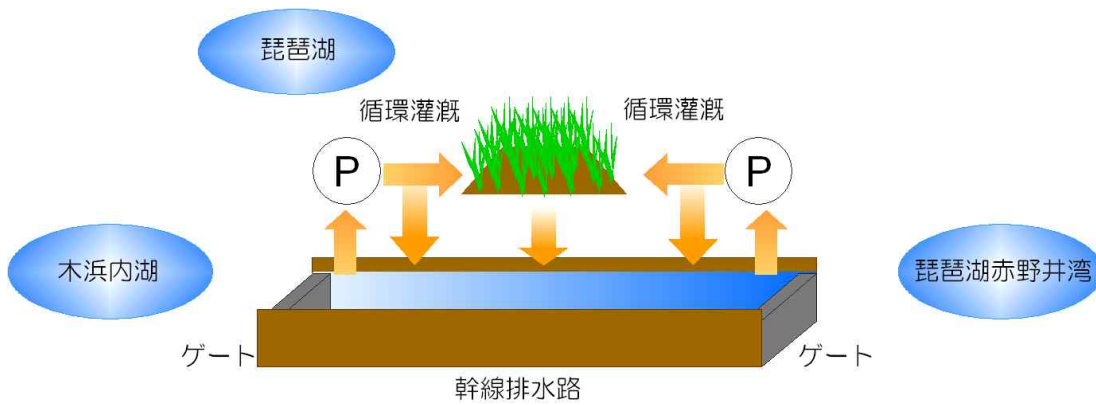
[그림 2-2-4] 비와호 인근 (a) 코노하마 순환관개지구 개요, (b) 관개기 물수지 분석 (Nakamura 등, 2004)



[그림 2-2-5] 비와호 인근 코노하마 순환관개지구 전경



(a) 순환관개사업 시행 전



(b) 순환관개사업 시행 후

[그림 2-2-6] 코노하마 순환관개지구 전경 사업전후 물이용 상황 개념도



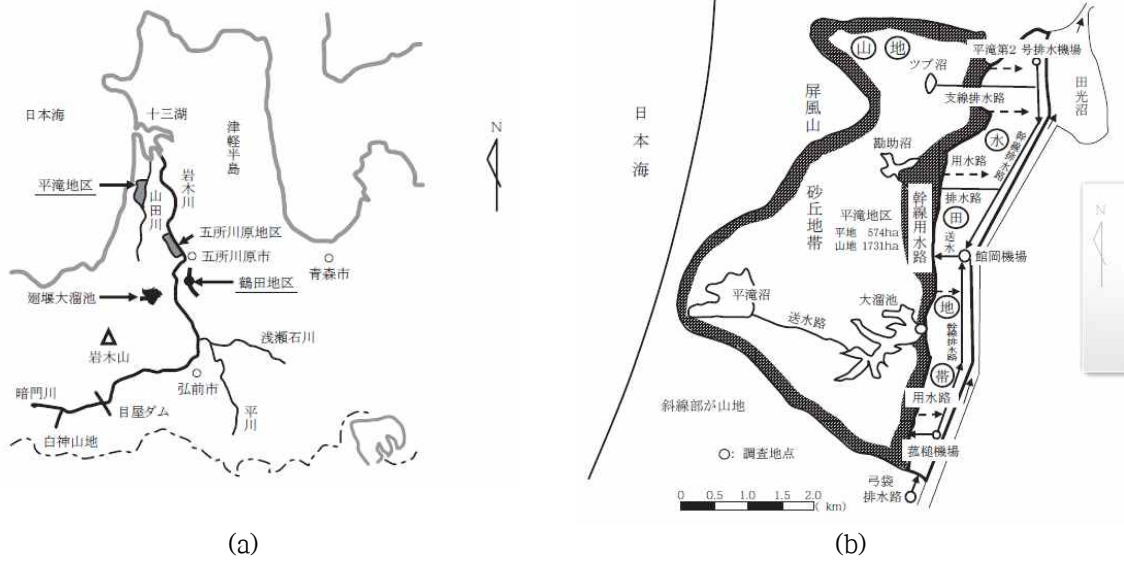
(a)



(b)

[그림 2-2-7] 코노하마 순환관개지구의 용수재이용을 위한 (a) 양수장 및 (b) 수문

- Kuda 등(2007)이 1994년~2005년 기간동안 아오모리현의 히라타키지구(그림 2-2-8)를 대상으로 용수관리 특성을 조사하였으며, 순환관개율 및 양수기 의존률 등을 조사한 결과는 표 2-2-4와 같다.



[그림 2-2-8] (a) 아오모리현 히라타키지구, (b) 순환관개지구 모식도 (Kuda 등, 2007)

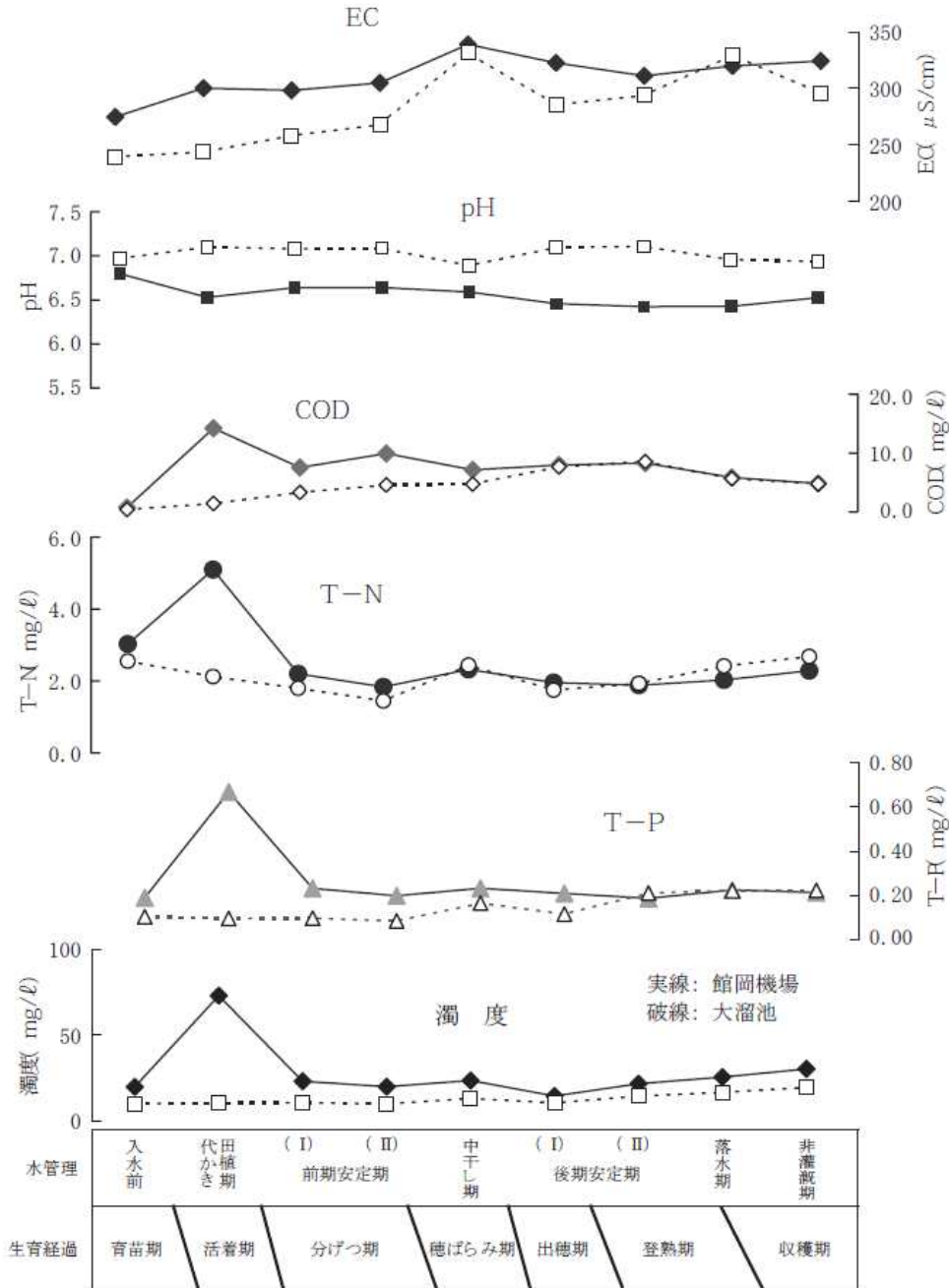
[표 2-2-4] 히라타키 순환관개지구 용수사용특성 (Kuda, 2007)

年 度	用水充足率 (%)	循環灌溉率		ポンプ依存率 (%)	降雨量 (mm)
		用水 (%)	排水 (%)		
1994	95	87	82	88	330
1995	96	76	67	79	435
1996	96	82	76	86	322
1997	97	71	75	85	412
1998	95	75	65	80	582
1999	96	81	78	85	290
2000	95	77	71	82	337
2001	95	81	73	86	360
2002	95	81	68	86	521
2003	95	82	72	87	432
2004	97	81	76	84	289
2005	96	81	77	85	245
平均	96	80	73	84	380

注) 用水充足率 = (灌溉期間中の全用水量 - 全流入量) / 全用水量 × 100
 循環灌溉率 (用水) = 地区内再利用量 / 全用水量 × 100
 循環灌溉率 (排水) = 地区内再利用量 / 全排水量 × 100
 ポンプ依存率 = ポンプ用水量 / 全用水量 × 100

- 조사결과에 의하면 히라타키 순환관개지구의 용수재이용률은 70~80%에 이르고 있으며, 대부분 양수기에 의해 양수가 되어 용수를 재이용하고 있는 것을 알 수 있다.
- 히라타키 순환관개지구의 생육시기별 수질변화는 다음 그림과 같으며, 이양기에 수질변화가 심하여 수질이 악화되어 있는 것을 알 수 있다.

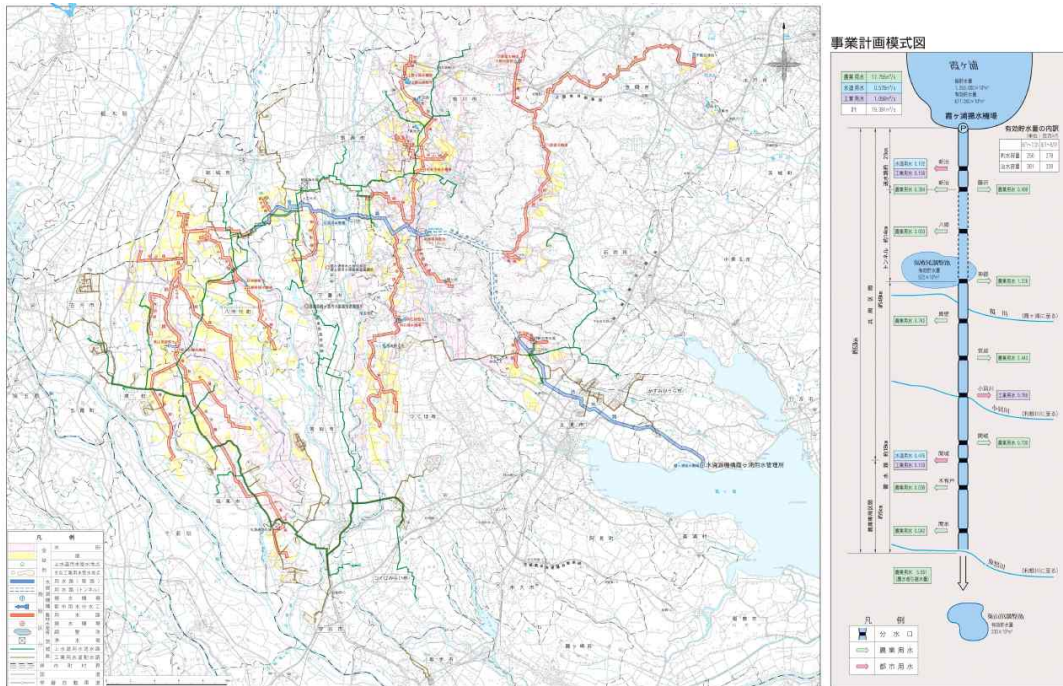
- 연구결과 관개용수를 재이용함으로써 큰 수질오염물질 방류량을 큰 폭으로 줄일 수 있다는 것을 밝혔다.



[그림 2-2-9] 히라타키 순환관개지구 생육시기별 수질변화 (Kuda, 2007)

- 시가현에서는 비와호수 인근의 농업지구에 대해 비와호수에 흘러드는 영양염류의 삭감을 목표로 농업용수 재이용 시설 및 절수시설 정비 등의 사업을 진행하고 있으며, 구체적인 사업내용은 배수로 수문 및 용수로 정비, 자동급수전의 설치, 농업용수배수 억제 시설 설치, 퇴수 재이용 장치 설치, 경지정리를 통한 적절한 수위관리 등이 있다.

- 대규모 순환형 농업용수 구축사례로서 이바라키현의 카스미가우라 용수망이 있다.
- 카스미가우라 용수 대상지역은 평균강수량이 연간 1200mm 정도로 적은 편이며, 강우분포가 균일하지 않아 많은 농업지역이 물부족에 시달렸다.
- 1980년부터 1994년까지 15년에 걸쳐 사업비 895억 엔을 투자하여 카스미가우라 용수관리사업 공사를 완료하였으며, 사업의 수혜지역은 약 19,300 ha로 논 10,900ha, 밭 8,400ha에 달한다. 계획 농업용수량으로서 최대 용수량은 17.76 m³/s, 평균용수량은 하기 8.58 m³/s, 동기 1.26 m³/s이다.

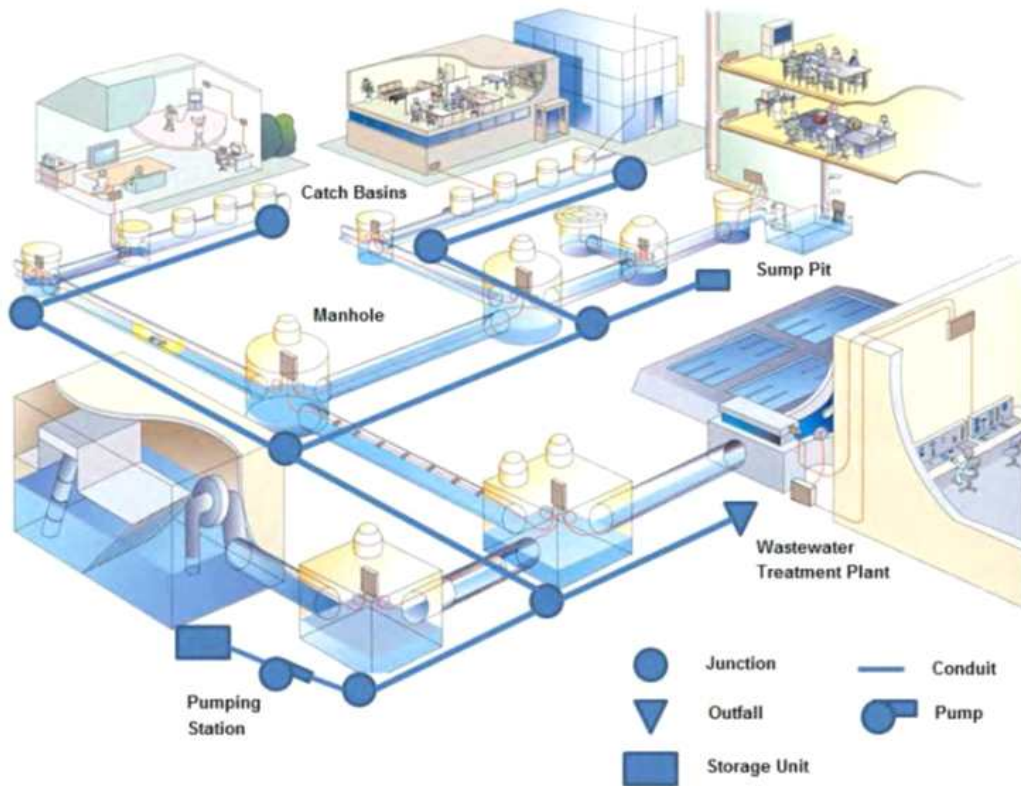
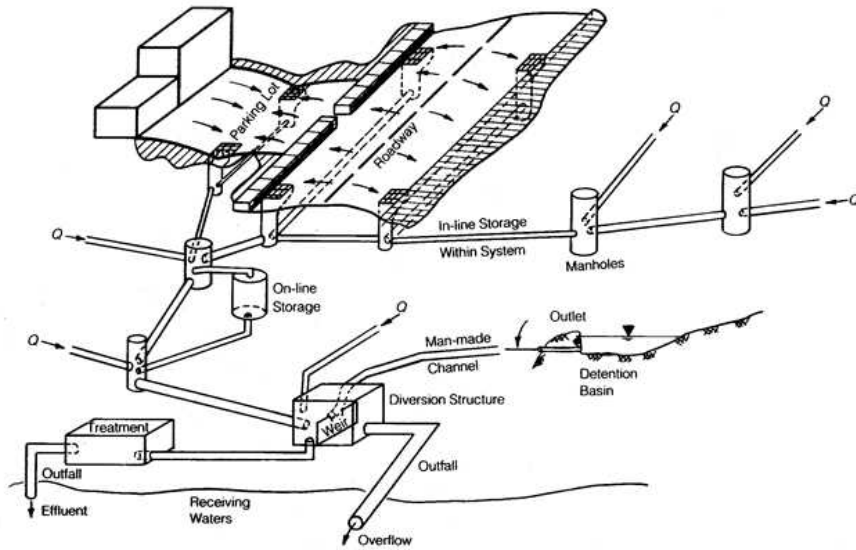


[그림 2-2-10] 카스미가우라 용수관리사업 전체 개요도

2. 순환형 농업용수 네트워크 모형 기초 이론 구축

가. SWMM 모형의 도입

- 농업 관개용수 네트워크는 용수로, 배수로, 수로 분기부, 분수문, 물꼬수문 등으로 구성된다.
- 이 중 용수로 및 배수로로는 개수로 또는 암거로 되어 있으며 대부분의 경우 개수로로 되어 있다.
- 복잡한 용수로 네트워크를 흐르는 용수의 흐름을 정량적으로 분석하기 위해서는 수리해석이 필요하며, 기존에 널리 사용되었던 정상류 기반의 흐름해석은 분기부에서 용수의 분배를 정확히 모의하지 못하는 한계가 있다.
- 본 연구에서는 이러한 정상류 기반의 수리해석의 단점을 극복하기 위해서 부정류 기반의 용수로 네트워크의 해석을 하고자 수리해석모형 SWMM을 도입하였다.
- SWMM 모형은 1971년 미국 환경청(EPA)의 지원 하에 Metcalf & Eddy사에서 Florida 대학 및 Water Resource Engineer사와 공동연구를 하여 도시구역에서 강우-유출 전반의 과정을 모의할 수 있도록 개발되었다.
- SWMM은 1971년 발표된 이후 지속적인 개정을 거쳐 1981년에는 수공구조물로 인한 월류, 배수, 압력류 등의 수리학적 계산이 가능한 EXTRAN 블록이 추가되었다.
- 가장 최신 개정판은 SWMM 5로 미국 환경청 홈페이지에 프로그램과 소스코드 및 사용자 지침서를 제공하는 Open Source 소프트웨어이다.
- SWMM은 도시구역의 홍수유출을 해석하기 위하여 개발되어졌으나, 도시구역이 배수관망 네트워크를 모의하는 기능은 관개수로 네트워크를 모의하는 데에도 활용이 가능하다.
- SWMM 모형의 EXTRAN 블록은 자연하도, 개수로, 관로 등 수로구조물 뿐만 아니라 저류지, 펌프, 오리피스, 위어 등으로 구성된 관개 네트워크를 부정류 흐름으로 해석하는 수리해석 모듈이다.
- EXTRAN 블록에 관개시스템 내의 수로구조물과 논에서의 물수지 해석모형 추가하여 지능형 물관리 시스템의 수리해석에 적용할 수 있다. 따라서 EXTRAN 블록에 관개시스템내의 수로구조물과 논에서의 물수지 해석모형 추가하여 순환형 네트워크 모형의 기본 구축에 사용할 수 있다.



[그림 2-2-11] SWMM 모형의 홍수유출 개념도

- SWMM 모형은 주로 도시구역, 인위적 배수계통을 갖는 소유역 등을 적용대상으로 한다.
- 시간적 모의대상은 단일, 연속강우에 의한 계산이 가능하며, 강우시간간격은 임의로 설정할 수 있다. 연산시간 간격은 강우사상에 대해 임의조절이 가능하다. 공간적 특

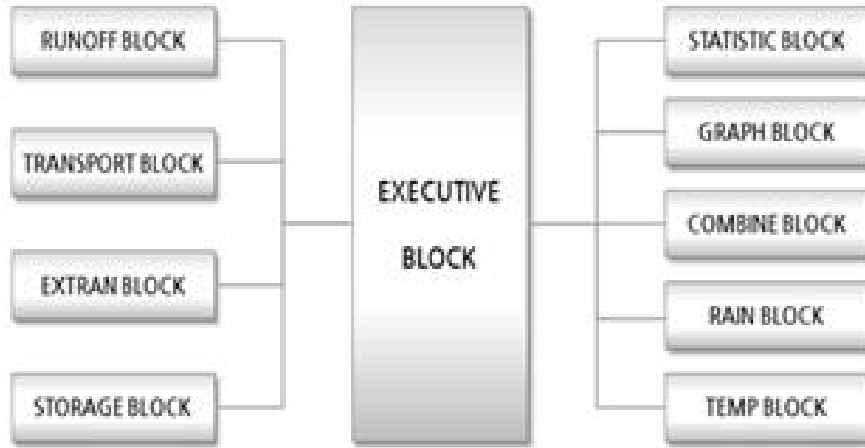
성으로는 작은 배수구역에서 큰 배수구역까지 적용이 가능하다. 물리적 특성으로 유출은 강우와 용설로 발생하고, 지표면유출은 비선형 저류방정식을 사용한다.

- 침투량은 Horton, Green-Ampt, Curve-Number 방법을 사용한다. 수로와 관로에 대해 RUNOFF 블록은 비선형저류방정식, TRANSPORT 블록은 Kinematic 방정식, EXTRAN 블록은 Dynamic 방정식과 연속방정식을, 저류추적방법은 수표면이 평행하다고 가정한 수정 Pulse 방법을 사용한다.
- SWMM모형은 도시구역내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망상에서의 유출량추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이며 세부적인 특징은 표 2-2-5와 같다.

[표 2-2-5] SWMM 모형의 특징

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

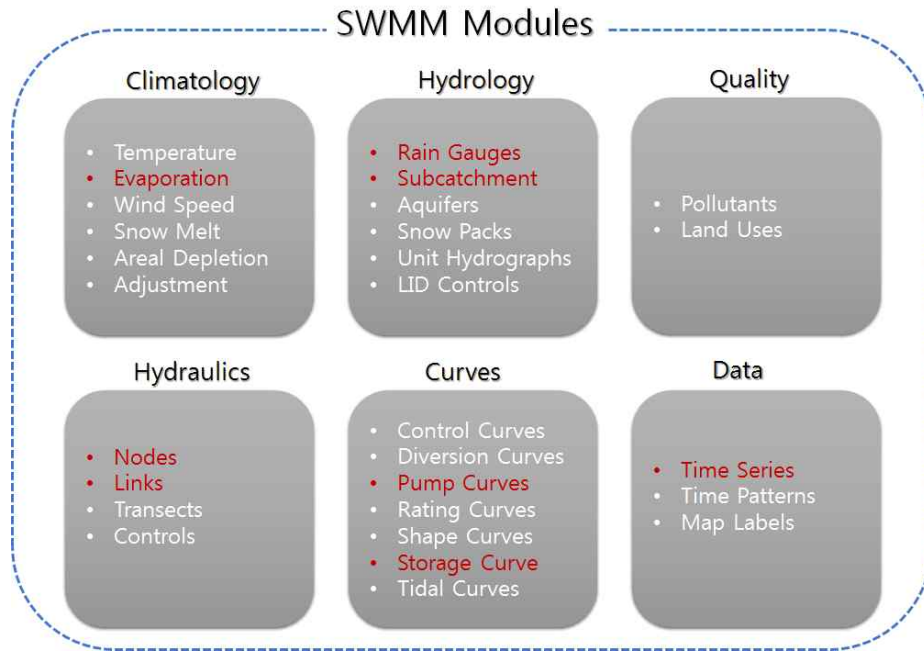
- SWMM 모형의 구성은 5개 실행블록(EXECUTIVE, RUNOFF, TRANSPORT, EXTRAN, STORAGE)과 5개의 보조블록(STATISTIC, GRAPH, COMBINE, RAIN, TEMP)으로 구성되어 있으며, 다수의 부가적인 프로그램들을 포함하고 있다. 그림 2-2-12는 모형의 전체 구성이다.



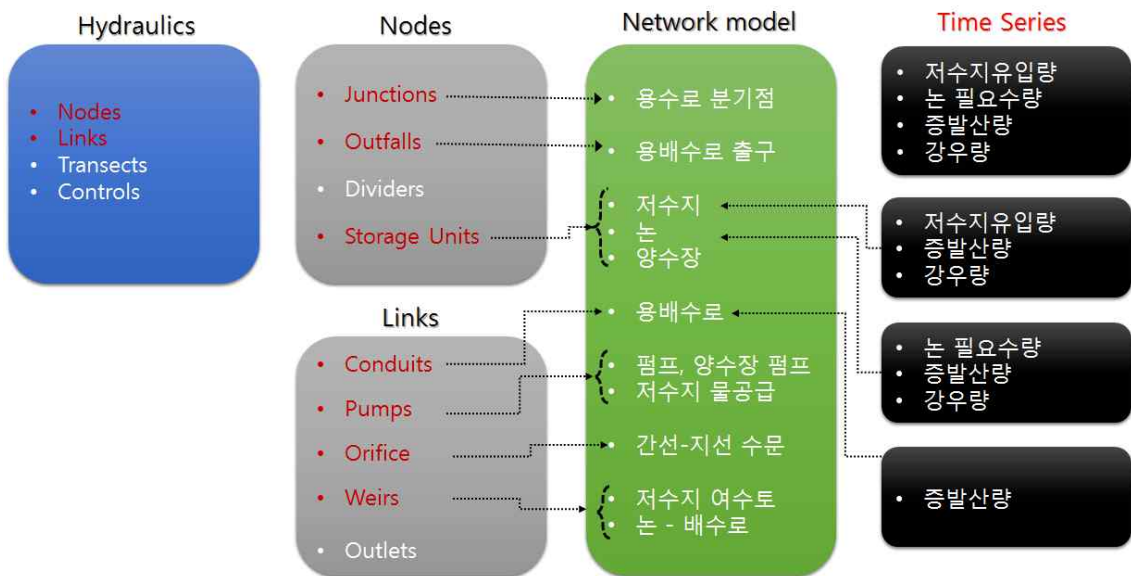
[그림 2-2-12] SWMM 모형의 전체 구성도

(1) SWMM모형을 이용한 수리네트워크 모델링

- 다음 그림은 SWMM의 모듈이며 붉은 글씨로 표시한 모듈들을 사용하여 관계수로의 수리네트워크를 모델링하였다.

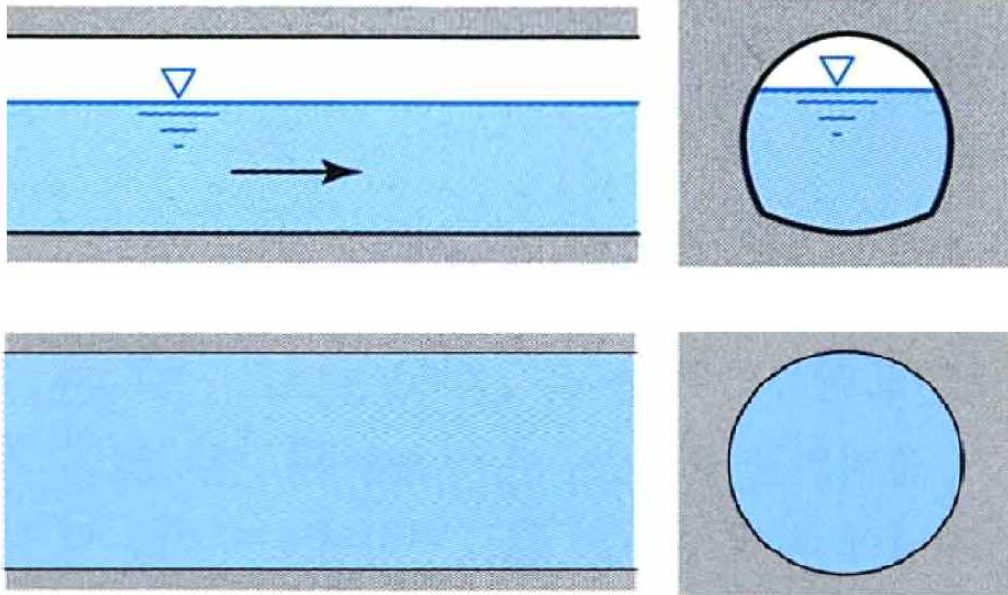


[그림 2-2-13] SWMM 모형의 모듈



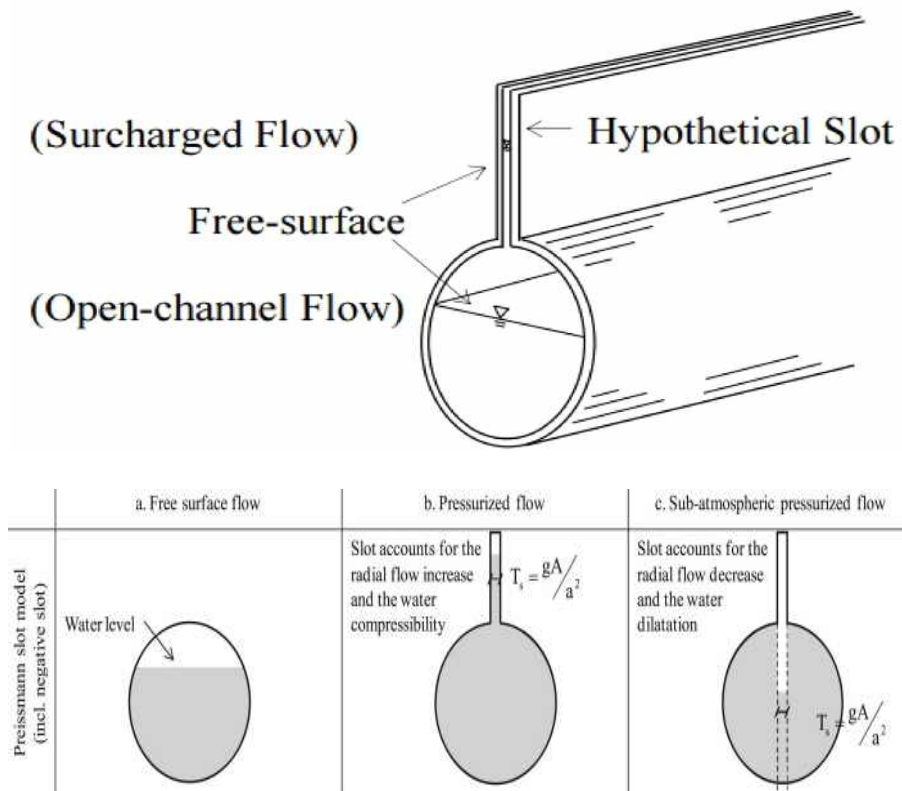
[그림 2-2-14] SWMM 모형의 모듈과 수리네트워크 구성요소와의 관계도

- 모델링을 위한 핵심적인 모듈은 Hydraulics 모듈 중 Nodes와 Links 모듈로 이 모듈들은 각각 Junction, Outfall, Dividers, Storage Units와 Conduit, Pumps, Orifice, Weirs, Outlets라는 세부모듈들을 포함한다.
- Nodes 모듈은 특정지점의 수리구조물들을 모델링하는데 사용되며 Links모듈은 특정지점들 사이를 연결하는 수리구조물들을 모델링 하는데 사용된다.
- 보다 구체적인 관계도는 그림 2-2-14에 도시하였다.
- 용수로 분기점은 Junctions 모듈, 용배수로의 출구는 Outfalls 모듈, 저수지와 논, 양수장은 모두 Storage Units으로 모델링 된다.
- 용배수로는 SWMM의 Conduits 모듈, 펌프 및 저수지의 물공급량은 Pumps 모듈, 용수간선 및 지선의 수문은 Orifice모듈로 모델링 되며, 저수지의 여수토와 논, 배수로는 Weirs모듈로 모델링되었다.
- 각 모듈들의 지배장정식 및 구체적인 계산은 후술하였다.
- 선술한 바와 같이 수리 네트워크 모형에서 차용하고 있는 SWMM 모형의 수리해석기능은 기본적으로 도시구역의 배수관망을 해석하기 위한 것이다.
- 따라서 관망의 해석기능을 개수로에 적용하는 것에 대한 검토가 필요하다.
- SWMM에서 기본적인 수로 네트워크의 해석은 Conduits 모듈 상에서 이루어진다.
- 그림 2-2-15와 같이 관거에서는 기본적으로 개수로 흐름과 관수로 흐름이 혼재되어 발생한다.

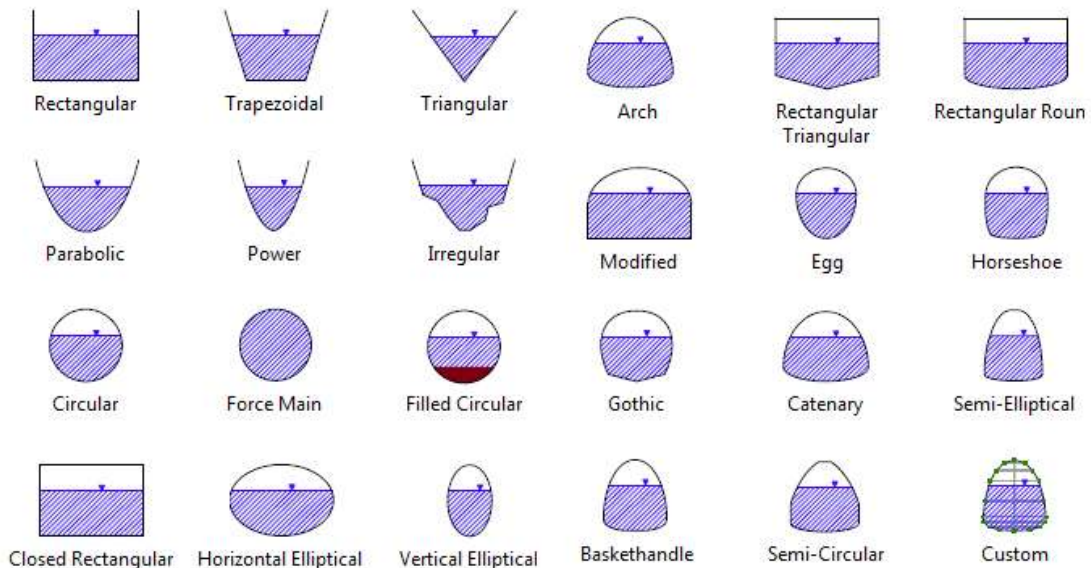


[그림 2-2-15] 관거에서 발생하는 개수로 흐름(위)와 관수로 흐름(아래)

- SWMM 상의 Conduits 모듈에서는 관거에서 발생할 수 있는 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 해석하기 위하여, 개수로 흐름에 대한 지배방정식에 기반한 Preissmann Slot기법을 사용하여 관망을 해석하고 있다.
- Preissmann Slot 기법은 관로 상단에 얇은 Slot이 존재한다고 가정함으로써 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 개수로의 지배방정식으로 표현하고자 하는 기법이다.
- 그림 2-2-16과 같이 관로의 상단에 마찰이 없는 얇은 Slot을 가정하게 되면 관수로의 압력은 Slot의 수위로 해석되어 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 개수로의 흐름에 따라 해석할 수 있게 된다.
- 따라서 SWMM의 수리해석모형은 기본적으로 관수로의 흐름을 계산하기 위해서 개발되었으나 개수로의 흐름을 충분히 계산할 수 있는 능력이 있다고 할 수 있다.



[그림 2-2-16] Preissmann Slot 기법의 개념도



[그림 2-2-17] SWMM의 Conduits모듈에서 선택가능한 수로단면 형상

- 용수로를 표현하는 SWMM의 Conduit요소에서 사용가능한 단면형상은 그림 2-2-17과 같다.
- 다양한 형태의 관수로형상 뿐 아니라, 직사각형, 사다리꼴, 삼각형, 포물선 형태의 개수로 단면형상을 고려할 수 있는 것을 알 수 있다.
- 따라서, 대부분 개수로와 관수로로 되어 있는 농업관개용수 네트워크를 SWMM의 수리해석모듈을 이용하여 충분히 해석할 수 있는 능력이 있다고 본 연구에서는 판단하였다.

(2) 모형의 지배방정식 및 수치계산

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

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{2.1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \tag{2.2}$$

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

$$\frac{Q^2}{A} = V^2 A \tag{2.3}$$

$$\frac{\partial(V^2 A)}{\partial x} = 2A V \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \tag{2.4}$$

- 식(2.3~2.4)을 식(2.2)에 대입하고 정리하면 종속변수 Q, A, V, H 등을 갖는 운동량방정식 식(2.5)를 얻게 된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2A V \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \tag{2.5}$$

- 위 식에 $Q = AV$ 를 대입하고 정리하면 다음식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (2.6)$$

- 위 식에 V 를 곱하고 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (2.7)$$

- 위 식을 식(2.5)에 대입하고 정리하면 다음의 방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (2.8)$$

- SWMM 모형에서는 운동량방정식의 해를 구하기 위해 유한차분법을 사용하며 이를 정리하고, Manning 식으로 마찰경사를 나타내면 다음식과 같다.

$$S_f = \frac{k}{gAR^{4/3}} Q |V| \quad (2.9)$$

- 여기서, k 는 g_n^2 이며, 속도의 절댓값을 사용한 것은 마찰경사를 흐름방향으로 설정하여 마찰력이 항상 흐름방향과 반대가 되도록 설정하기 위함이다.

- 식 (2.9)을 식(2.8)에 대입하고 유한차분법으로 이산화하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t| Q_{t+\Delta t} + 2\bar{V} \left[\frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t + \frac{\bar{V}^2}{L} (A_2 - A_1) \Delta t - g\bar{A} \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \quad (2.10)$$

- $Q_{t+\Delta t}$ 에 대하여 위의 식을 정리하면 다음과 같은 기본방정식을 얻을 수 있다.

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R^{4/3} |V|}} Q_t + 2\bar{V} \left[\frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t + \frac{\bar{V}^2}{V^2} \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - g\bar{A} \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \quad (2.11)$$

- 식(2.11)에서 $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$ 는 시간 t 동안, LINK 양단에서의 가중평균 값을 뜻한다. 식(2.11)에서 미지 값은 $Q_{t+\Delta t}$ 와 H_2, H_1 이며, 변수 $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$ 는 Q와 H로 구성된다. 따라서, 이 방정식을 풀기 위해서는 Q와 H에 대한 방정식 추가로 필요하며, 여기서 NODE에서의 연속방정식을 사용할 수 있다. 노드에서는 링크들 간의 유속관계에서 연속방정식을 만족하여야 하며 이는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q_t \Delta t}{A_s} \quad (2.12)$$

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

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \frac{\sum Q \Delta t}{A_s} \quad (3.13)$$

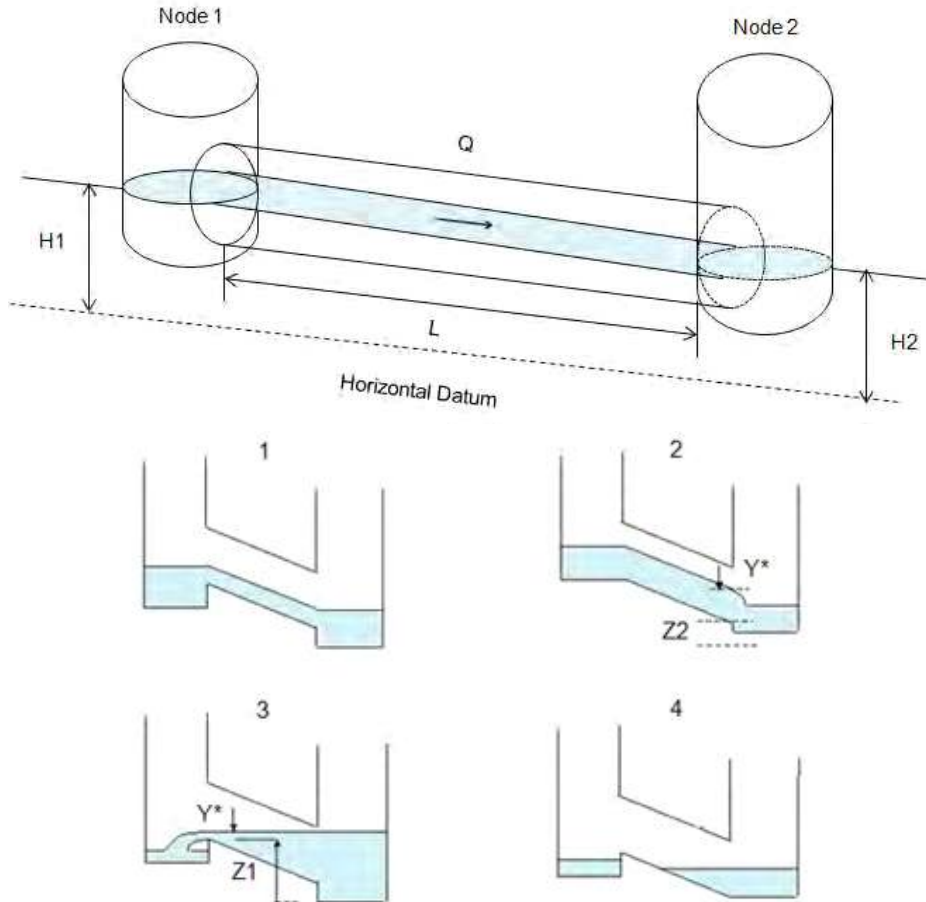
- 식(2.13)에서 A_s 는 NODE에서의 연직단면적 또는 수표면적이다. 식(2.13)와 식(2.11)을 연립하여 계산함으로써 각 계산시간 간격 Δt 에서 NODE의 수심과 LINK의 유량을 계산할 수 있다. 위 방법은 St. Venant방정식의 수치해석 상 시간에 대하여 Explicit 방법을 사용하는 것에 해당하며, 안정적인 계산을 위해서는 CFL조건을 만족시켜야 한다. Link와 Node에서 만족시켜야 하는 CFL조건은 다음과 같다.

$$\text{Link: } \Delta t \leq \frac{L}{(gD)^{1/2}} \quad (2.14)$$

$$\text{Node: } \Delta t \leq C A_s \frac{\Delta H_{\max}}{\sum Q} \quad (2.15)$$

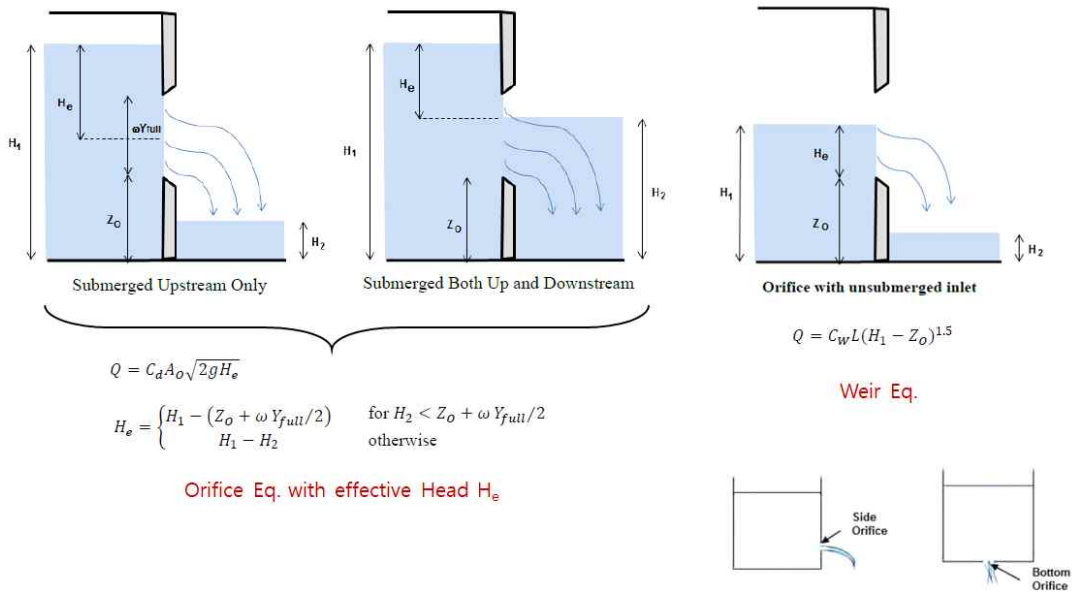
- 여기서, Δt : 연산시간구간(sec), L: 관망내 가장 짧은 관로길이(m), g: 중력가속도 (m/sec²), D: 관로 최대깊이(m)이다.
- 식(2.15)에서, C'는 무차원 상수로 일반적으로 0.1의 값을 갖는다. ΔH_{\max} 는 Δt 구간에서 최대 수위 상승높이, A_s 는 Node 표면적, $\sum Q$ 는 Node로 유입되는 순 유입량이다. 계산시간간격 Δt 는 용수로 내에서 가장 짧은 수로 길이 L에 대하여, 위의 두 안정조건을 만족하도록 결정된다.

- 저수지에서 공급된 유량은 수로네트워크를 따라 이송된다. 수로네트워크는 선술한 바와 같이 노드와 링크로 구성되며 둘의 연결관계는 그림 2-2-18와 같다.
- 수로의 시작점, 분기점, 종점은 노드(Junction)로 표현되며 이들을 잇는 수로는 링크 (Conduit) 요소로 표현된다.

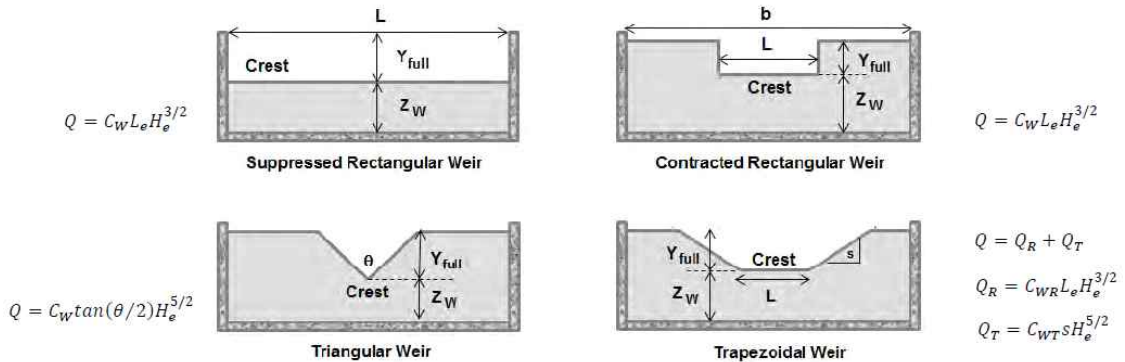


[그림 2-2-18] SWMM 수리해석모듈의 노드와 링크 연결 개념도

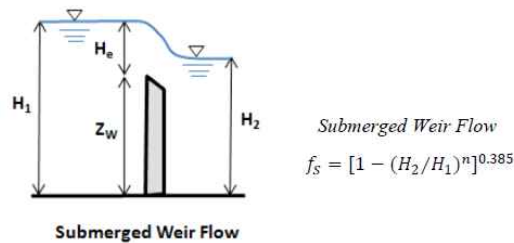
- SWMM 모형에서는 Junction으로의 유입량이 하류측 수로의 소통용량을 초과하는 경우 해당 Junction에서 flooding이 발생하며, 옵션에 따라 월류한 초과유량을 처리하게 된다.
- 하지만 본 연구에서의 모의하고자 하는 상황은 일반적인 농업용수 공급에 관한 모의로 유입량의 수로용량을 초과하여 flooding이 발생하는 상황은 배제하고 모의하여도 무리가 없을 것으로 판단된다.
- 도수로 네트워크 모델링에서 분수문 및 물꼬는 Orifice로, 배수물꼬는 Weir로 표현된다.
- 오리피스스의 경우 상하류의 수심에 따라 오리피스 공식과 위어의 공식을 사용하게 된다.
- 위어의 경우 상류와 하류의 수위가 비슷하게 되면 Submerged Weir공식에 따라 유량이 줄어들게 된다.



[그림 2-2-19] 오리피스스의 계산식 및 모식도



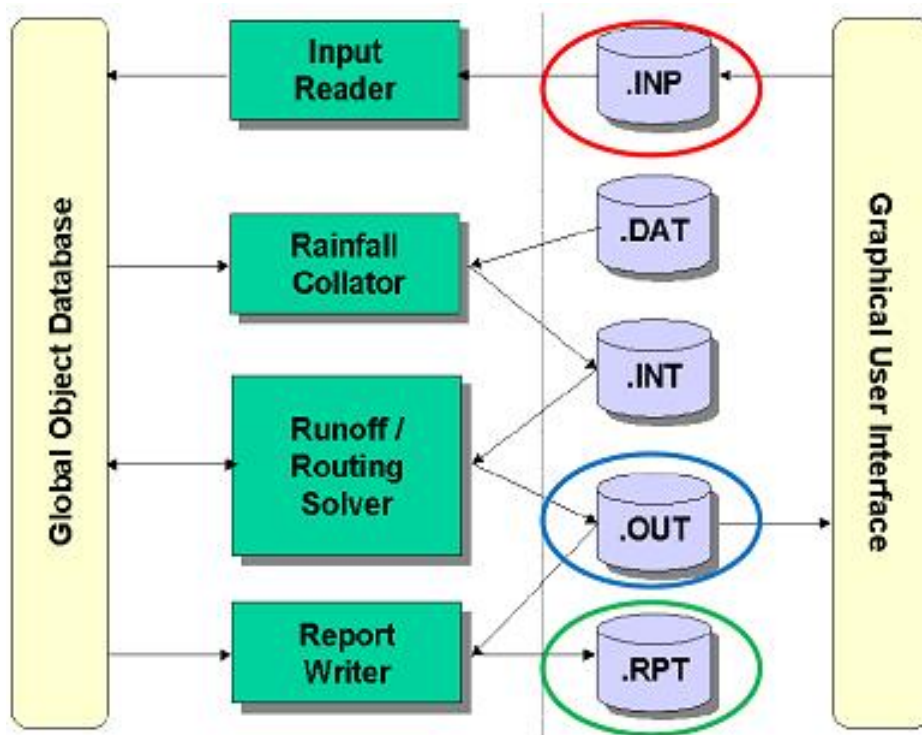
$$H_e = H_1 - (Z_W + (1 - \omega)Y_{full})$$



[그림 2-2-20] 위어의 계산식 및 모식도

(3) SWMM 모형의 입출력

- SWMM 모형의 입출력구조에서 INP 파일은 모형의 전체를 구성하는 파일로서 여기에는 유역, 수로, 절점, 각종 구조물의 제원 및 매개변수, 기상, 입력, 출력, 모델분석 방법, 공간적표현을 위한 좌표 등에 관련된 사항들이 포함되어 있는 메인파일이다.
- 기본적으로 SWMM모형의 입출력 및 데이터 파일을 텍스트 파일 형식으로 되어 있으며 텍스트 에디터를 통하여 내용의 확인 및 수정이 가능하다.
- 부가적으로 강우 또는 기타사항들은 DAT, INT 파일에 기록하여 연계하며 결과는 OUT, RPT 파일에 기록하는 구조로 되어 있다.
- 연속형모의의 시계열자료들은 DAT 파일로 작성하여 입력할 수 있으며, RPT 파일은 전체적인 결과를 2진 파일형식으로 출력결과를 기록한다.
- INP 파일은 각 요소별로 구분하여 모형의 설정이나 매개변수, 제원, 좌표 값 등을 입력할 수 있도록 구성되어있으며, 구성의 규칙을 준수해야 한다.



[그림 2-2-21] SWMM 모형의 입출력구조

- SWMM 모형의 메인 입력파일은 INP파일의 예시를 다음 그림에 제시하였다.

```
[OPTIONS]
;;Option          Value
FLOW_UNITS        CMS
INFILTRATION      CURVE_NUMBER
FLOW_ROUTING      DYNWAVE
LINK_OFFSETS      DEPTH
MIN_SLOPE          0
ALLOW_PONDING     NO
SKIP_STEADY_STATE NO

IGNORE_SNOWMELT   YES
IGNORE_QUALITY    YES
START_DATE        08/24/2018
START_TIME        00:00:00
REPORT_START_DATE 08/24/2018
REPORT_START_TIME 00:00:00
END_DATE          08/24/2018
END_TIME          23:59:59
SWEEP_START       1/1
SWEEP_END         12/31
DRY_DAYS          0
REPORT_STEP       00:15:00
WET_STEP          00:05:00
DRY_STEP          01:00:00
ROUTING_STEP      0:00:15

INERTIAL_DAMPING  NONE
NORMAL_FLOW_LIMITED BOTH
FORCE_MAIN_EQUATION H-W
VARIABLE_STEP    0.75
LENGTHENING_STEP 400
MIN_SURFAREA     1.14
MAX_TRIALS       20
HEAD_TOLERANCE   0.0015
SYS_FLOW_TOL     5
LAT_FLOW_TOL     5
MINIMUM_STEP     0.5
THREADS          1

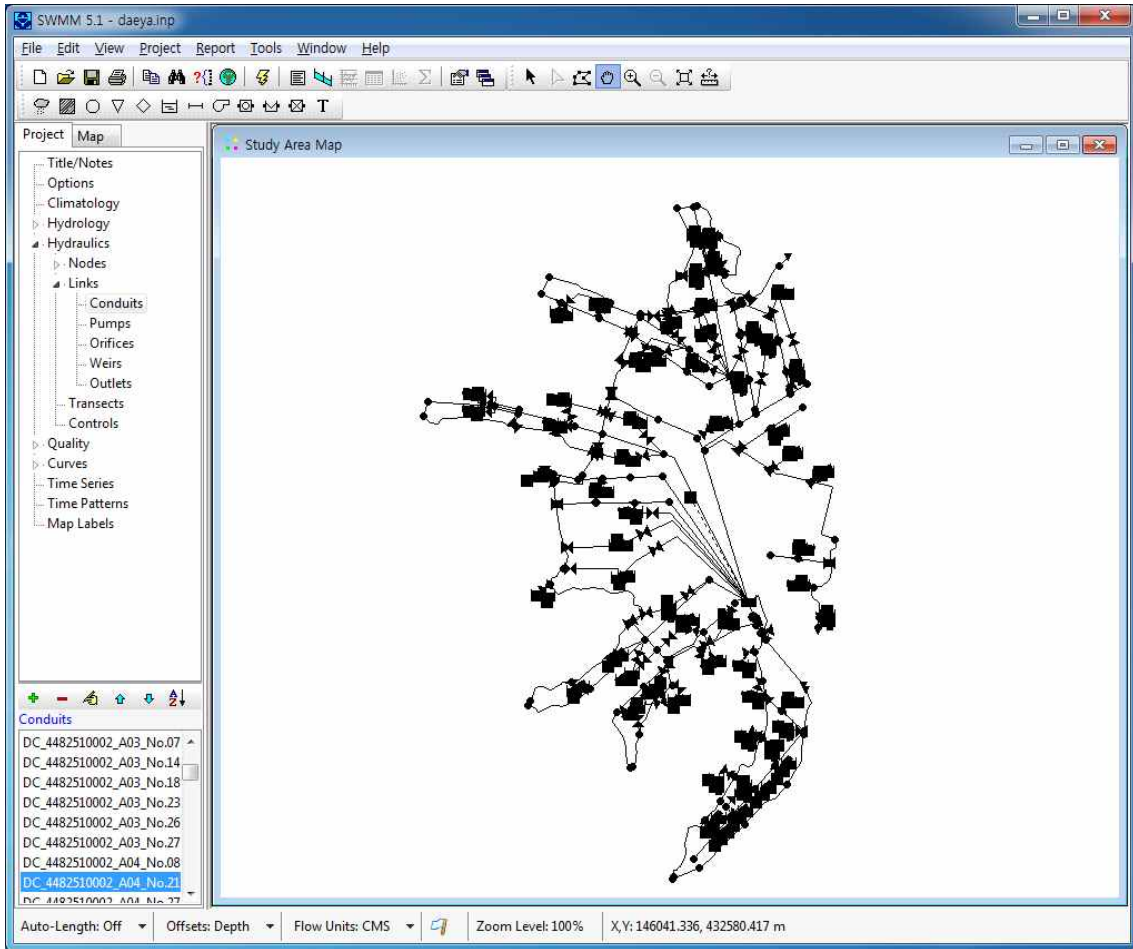
[EVAPORATION]
;;Data Source      Parameters
;;-----
TIMESERIES         EvaporationTime
DRY_ONLY           NO

[RAINGAGES]
;;Name            Format      Interval SCF      Source
;;-----
Gage1              INTENSITY 1:00      1.0      TIMESERIES RainTime
```

[그림 2-2-22] SWMM 모형의 INP 입력파일예시

- 위 그림과 같이 INP 파일을 통하여 각종 옵션 및 수리네트워크의 상태를 정리한 내용을 텍스트의 형태로써 입력하고 수정하는 것이 가능하다.

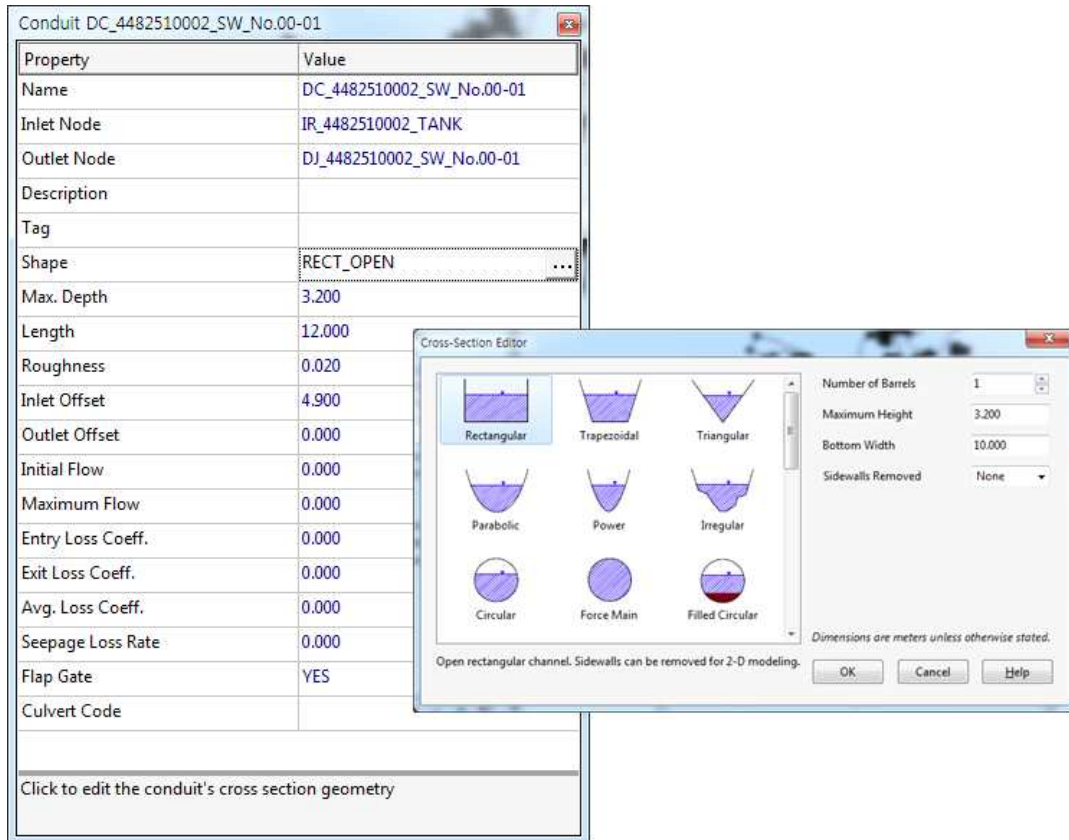
- SWMM 모형의 기본 GUI 화면구성은 다음 그림과 같다.



[그림 2-2-23] SWMM 모형의 GUI 화면 구성

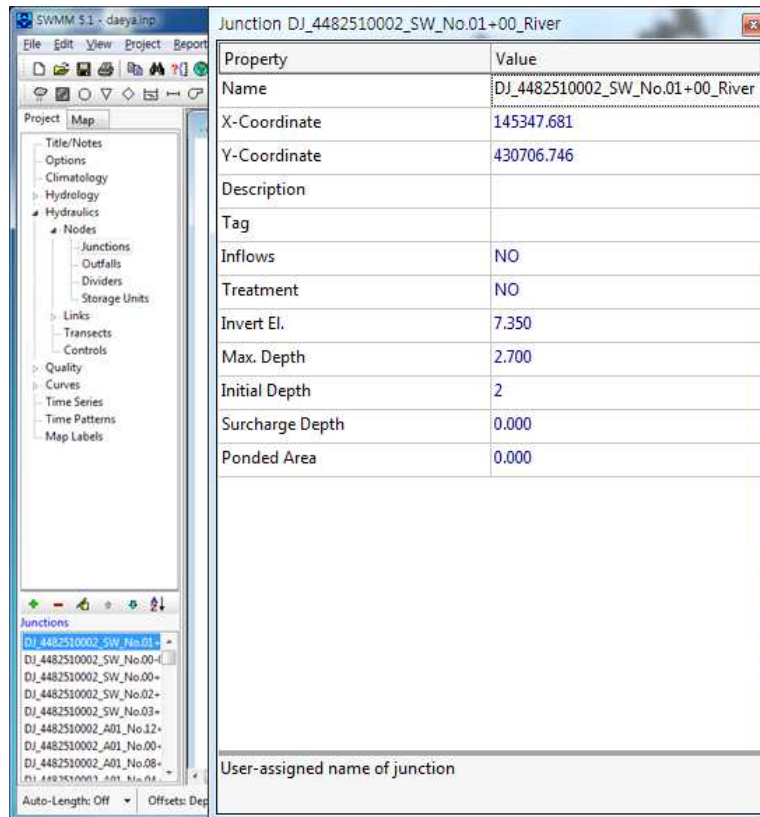
- SWMM 모형의 GUI 화면은 상단에 메뉴 및 도구막대, 좌측상단에는 각각의 요소를 제어하거나 설정하기 위한 탐색기, 좌측하단에는 속성을 나타내는 창이 있다.
- 화면의 중앙에는 모형을 구성하는 요소들을 나타내는 영역이 있으며, 이 부분에 유역이나 수로 등 수리시설물을 표현하게 된다.
- 수리네트워크 모형의 구축은 유역과 관로, 수리구조물을 점, 선, 면으로 나타내며, 때로는 수로와 구조물만을 입력하거나 유역만을 입력하여 모의할 수도 있다.
- 모형에서 드로잉 영역에 표시 가능한 가시적인 요소로는 유역 및 수로시스템을 구성하는 것으로 유역, 절점, 수로, 분기점, 출구, 저류조, 웨어, 오리피스, 펌프 등이 있고, 가시화가 불가능한 요소로는 시계열자료와 각종 매개변수 및 모의옵션 등이 다. 분석결과는 테이블이나 그래프로 표현하거나 수로와 절점, 유역의 중심점에 색상이나 도형의 크기로 표현이 가능하다.

- 다음 그림은 수리네트워크 모델링을 구축하기 위한 Conduit 모듈의 컨트롤 화면이다.
- 수로의 이름, 시작점 및 종점 링크의 이름, 수로단면형상, 수로깊이, 수로길이, 조도 계수, 수로높이, 초기유량, 최대유량, 손실수량계수 등을 설정할 수 있다.



[그림 2-2-24] Conduit 모듈 컨트롤 화면 예시

- 다음 그림은 수리네트워크 모델링을 구축하기 위한 Junction 모듈의 컨트롤 화면이다.
- Junction 모듈은 분기점과 합류점을 모델링 하기 위해 사용되며 x, y 좌표, 최대수심, 초기수심 등을 설정할 수 있다.



[그림 2-2-25] Junction 모듈 컨트롤 화면 예시

나. 순환형 농업용수 네트워크 모형 작성 방법

- 순환형 농업용수 네트워크 모형을 구축하기 위한 초기 작업으로서 현장조사를 통한 INP 입력파일의 작성이 필요하며 이를 위한 절차는 다음과 같다.

- 평면, 종단, 횡단면도가 포함된 사업계획 또는 준공도면을 확보하여 용배수체계, 수로제원, 주요구조물의 위치를 파악하고 도면확보, 검토 및 현장조사계획을 수립한다.
- 주요 용수로의 형태를 파악하여 확보된 도면이 현장상태를 반영하고 있는지 비교한다.
- 현장상태와 동일하다고 판단되는 경우 주요 동선을 따라 분기점, 합류점, 급수부, 유말공 등의 형태를 기록한다.
- 도면에 표시된 수로의 제원과 현장의 상태가 일치하는지 일정한 간격을 두고 검사하고 상이할 경우 기록한다.
- 수로의 조도상태를 간접적으로 추정할 수 있도록 수로 내부의 상태를 조사한다.
- 도면에 표시되지 않은 구조물들을 도면에 표시하고 제원을 측정한다.
- 도면의 좌표 및 좌표체계 확인 일부의 평면 도면의 경우 설계 시 편의를 위하여 도면객체를 임의의 지점으로 이동시키거나 회전시켜 설계를 진행하는 경우가 있다. 모형에 적용되는 자료는 실제 좌표를 반영하고 있어야 하므로 수치지형도와 비교하여 도면에 그려진 객체의 위치가 다를 경우 실제 위치로 이동시키는 작업이 필수적이다.
- 관개 네트워크 모델을 구축하고자 하는 지역은 수리시설물, 수로조직, 포장에 대한 자료가 필요하며, 주요지점과 분기점, 수로규모, 포장규모 및 통수량을 포함한 용수계통도를 작성하고 수로 노선을 노드(Node)와 링크(Link)로 구분한다.
- Junction(주요측점, 단면변화지점, 경사변화지점, 분기점 등)은 노드로, Storage Unit(저수지, 배수조 등)로 구성하고, 링크는 Conduit(개수로, 관수로 등), Pump, Orifice, Weir, Outlet으로 구성하여 INP 입력파일을 작성한다.

(1) 순환형 농업용수 네트워크 모형의 지형요소

- 순환형 농업용수 네트워크 모형에서는 저수지, 양수장, 집수암거, 관정, 취입보 등 수원공에서 취수된 농업용수를 수로조직을 통하여 관개하고자 하는 포장으로 송수

하기 위한 시설물 등 관개시스템의 지형 요소를 모델링 하였다.

- 관개를 위한 모델링의 대상이 되는 지형 요소는 “수원공 → 용수간선 → 용수지선 → 용수지거 → 포장”의 수로조직을 따라 존재하며 각 조직별로 구분하여 구축하였다.
 - 네트워크 모형은 관개에 따른 포장의 농업용수 공급을 분석하기 위하여 구축하므로 용수로로 따라 흐르는 농업용수의 분석이 가능하여야 한다.
 - 흙수로에서의 용수 흐름과 콘크리트 수로에서의 흐름은 유속과 수위의 분석에서 많은 차이가 발생하고 이러한 차이로 인하여 용수의 공급량과 공급시간에 영향을 주게 되므로 용수로에서 용수로 제원, 용수로 구조, 용수로 종류, 용수로 경사, 분기점, 분기 시설물 등 용수로의 흐름에 영향을 주는 지형 요소는 모두 모델링 하였다.
 - 흐름에 영향을 주는 지형 요소를 모델링에 반영하기 위하여 네트워크 모형에서 사용하는 모델에서는 평면적 혹은 종단적 변곡점이 발생하는 위치에 노드를 추가하였다.
 - 이러한 노드는 수원공에서 수로조직으로 용수가 제공되는 시점을 시작으로 중간에 각종 변곡점, 분기점, 제원의 변화지점 등을 노드로 모델링 하여야 하며 최종적으로 포장을 노드의 일종인 하나의 스토리지 형식으로 모델링 하였다.
 - 관개 수로조직은 각 포장에 공급되고 남는 용수는 배수로로 연결하여 퇴수 처리를 하고 있는 것을 고려하여 OutFall 모듈을 통하여 모델링하였다.
 - 모델링에는 이러한 수로조직을 모델을 통한 노드로의 변형과 각 노드를 연결하는 링크로 구성된다. 링크에는 실제 수로를 표현하는 링크와 용수 흐름을 조절하는 수문의 개폐를 위한 Orifice, 논에서 잉여 용수를 배제하기 위하여 설치된 배수 물꼬 등에 사용되는 Weir 등의 요소 기술을 사용한다.
 - 모델을 이용한 수문분석이나 수리해석을 수행하기 위한 가장 중요한 자료로는 지형 요소와 강우자료 또는 물 관련 자료가 있다.
 - 특히 지형 요소는 물의 흐름에 직접적인 영향을 끼치므로 세심히 다루어야 한다. 따라서 모델을 이용한 분석에 가장 시간이 많이 소요 되고 수정이 빈번한 작업이 지형 요소의 모델링이다.
- 첫째로 각 지형요소는 실제의 위치에 해당하는 좌표를 이용하여 모델링이 되어야 한다. 현장의 수로조직과 용수간선에서 용수지선으로 분기, 수로 크기나 재질의 변경, 수문의 위치 등 현장의 구조물과 자연현황의 정확한 위치를 측량 등을 이용하거나 위성영상지도 등을 이용하여 파악하여야 한다.
 - 둘째로 지형요소의 표고값을 측량하여 모델링 하여야 한다. 용수의 공급에서 용수

의 흐름은 위치에너지를 이용한 자연유하를 기본으로 하고 있으며 시설물의 형상이나 설치 환경에 의하여 에너지 손실이 발생하는데 평야부 농업용수의 분석은 이러한 분석내용을 종합하여 특정 포장의 용수공급량과 공급시간의 시뮬레이션을 수행한다.

- 셋째로 용수를 필요로 하는 포장이나 침수를 분석하기 위한 대상 포장을 수로조직과 연계하여 조사하여야 하며 이를 모델링 한다. 평야부에서의 농업용수 분석은 각 포장에서 시기별, 작부체계별, 기상현황을 고려하여 요구되는 용수량을 분석하는 작업이므로 모든 분석의 기초는 포장 면적에 기반하고 있다.
- 넷째 용수의 흐름을 조절하기 위한 시설물의 조사와 모델링이 필요하다. 용수간선에서 용수지선으로 분기하는 지점의 용수 흐름 조절 시설 즉 분수문 또는 배수문의 조사와 용수로에서 포장으로 용수를 공급하는 물꼬의 형태와 각종 정보를 조사하여 모델링 한다. 그 외 용수공급에 필요하며 그 존재로 인하여 용수공급 분석에 영향을 미치는 기타 시설을 조사하여 세부내용을 모델링하였다.

(2) 순환형 농업용수 네트워크 모델링 방안

- 네트워크 모형의 데이터 구조는 현장 시설물, 용수로, 농업용수 등 현장 자료의 모델링, 모델링 된 자료를 모형에 적용하는 과정, 모형에 입력하여야 하는 입력 파일의 작성 등 시스템 운영의 효율성과 업무 지원 역할에 지대한 영향을 미친다.
- 평야부의 관개 용수 흐름은 용수로를 통하여 농업용수가 공급되는데 수원공과 연결된 용수 공급 시점, 용수로의 분기점, 용수공급 말단부 포장, 하천 또는 배수로로 방류되는 유말공 등의 시설물이 존재하고 있으며 이러한 시설물은 노드를 이용하여 모델링을 수행한다.
- 노드를 이용하여 모델링하는 지형요소와 시설물은 저수지, 포장, 유말공, 양수장, 저류지, 연결점 등이 있으며 다음과 같이 지능형 물관리 시스템에서 지형요소 및 시설물의 역할을 모델링하여 물관리 및 흐름분석에 활용하기 위한 노드 종류에 따른 세부 내용을 정리하였다.

[표 2-2-6] 네트워크 모형의 노드에 따른 세부내용

노드	세부 내용
저수지 노드	관개에서는 저수지를 수원공으로 하여 용수를 공급하는 공급 시점 역할을 하는 모델 요소
포장 노드	관개에서는 수원공에서 공급된 용수가 최종 목표지점으로 하는 지점의 역할을 하는 모델 요소
유말공 노드	관개에서 포장에 공급이 완료된 후 남는 용수를 하천 및 배수로로 방류 처리하는 모델 요소로서 관개 방류량과 배수에서 하천으로 연결되는 방류 지점을 의미함
양수장 노드 (펌프 노드)	수원공 일종인 양수장 역할의 모델요소로서 저류지, 펌프 등이 결합하여 양수장 모델을 구성함
저류지 노드	관개시스템에서는 양수장을 통하여 펌핑되는 용수의 임시 저류 시설물로서의 모델 요소
연결점 노드	용수로를 통하여 용수가 흘러갈 때 수로의 제원이 변경 되거나 수로 형식이 변화 그리고 종단 경사의 변화가 나타나는 지점에 적용하는 모델 요소

- 링크란 앞에서 언급한 노드와 노드를 연결하는 역할을 하는 모델 요소이다. 링크는 공급되는 용수의 흐름 방향을 유도하며 손실을 최소화하여야 하고 최종적으로 원하는 노드 점으로 용수를 보내주는 역할을 수행한다.
- 영역은 평야부 용수 분석 모형에서 사용하는 모델 중 용수 분석에 요구되는 속성값 이외에 별도의 속성값을 갖고 있는 지형 요소에 대하여 영역의 개념을 도입하여 모델링을 수행한다.

[표 2-2-7] 네트워크 모형의 영역 개념

영역	내용
저수지 영역	① 저수지의 위치와 저수지 유역을 폴리곤으로 구성하며 이를 저수지 영역으로 설정한다. 저수지 영역에는 저수지 물수지 내용, 저수지 제원, 저수지 데이터 등의 속성값을 관리함
포장 영역	② 포장은 관개 측면에서 종점의 역할을 하는 곳으로 포장 자체의 물수지 속성 등의 정보를 관리함

(3) 순환형 농업용수 네트워크 모형의 요소 정의

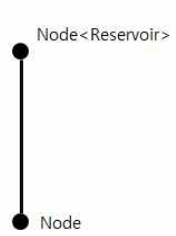
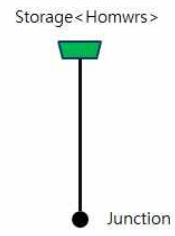
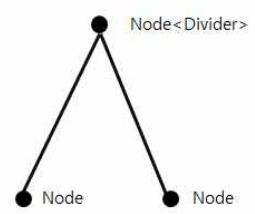
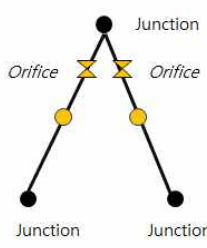
- 농업용수 평야부 관개 모델링을 위하여 지형요소의 표준화와 해당 지형요소에 매칭되는 모델 요소를 선정하고 정의하였다.
- 관개에 관련된 지형요소는 아래의 표와 같이 총 10개가 있으며 각 지형요소에 해당하는 모델요소를 분석하면 다음 표와 같다.

[표 2-2-8] 순환형 농업용수 네트워크 모형 내 지형 요소 모델링

구 분	지 형 요 소	모 델 요 소	비 고
1	수원공 (저수지)	Storage	저수지의 모델링에 적용
2	수원공 (양수장)	Storage	양수장의 모델링에 적용
3	용수로 시점	Junction + Inflow	수원공에서의 공급 용수(Inflow)의 적용
4	용수간선	Conduit	Node와 Node를 연결, 재질이나 구조별 분류
5	분기점	Junction + Orifice	Orifice의 Control 이용 용수의 흐름을 제어
6	용수지선	Conduit	Node와 Node를 연결, 재질이나 구조별 분류
7	용수지거 분기	Junction	용수지선에서 용수지거로의 분기점
8	용수 물꼬	Conduit	용수 공급 시설(관, 제수문 등)
9	포장	Storage	논은 담수심 확인 등의 업무 가능해야 함
10	무효방류 처리	Outfall	용수 공급되고 남아서 무효 방류된 용수 처리

- 수원공 모델은 관개 시 상류 구역에서 유입하는 장기유출량을 산정하고 일별 유입량을 탱크모형을 사용하여 유입량을 계산하였다.
- 수원공 중 저수지 지역은 저수지 내용적과 일별 유입량을 이용하여 저수량을 산정하고 증발량과 침투량을 고려하여 저수지 물수지를 계산하였다.
- 저수지 외 수원공은 양수장 또는 취입보의 경우도 상류 구역의 장기유출량 계산을 통하여 일별 유입량을 계산하였다.
- 산정된 저수량을 기준으로 포장의 필요량을 제외하고 사수위 이상의 저수량을 대상으로 공급량을 산정하였다.

- 모델링은 저수지를 Storage로 처리하며 저수위 변화량은 Storage의 저수위를 계산하며, 하류의 용수로의 시점부를 Node로 처리하여 유량을 흘려보낸다.
- 분기점은 용수간선에서 용수간선 또는 지선으로 분기하거나 용수의 흐름을 제어하기 위한 게이트를 설치하여 용수를 관리한다. 분수문 또는 제수문을 통하여 유량의 흐름을 제어한다.
- 분수문/제수문은 Orifice 모델을 이용하여 모델링을 수행하며 수위에 따라 Weir를 이용하여 모델링하였다.
- 모형 상 Orifice의 개폐를 통하여 용수의 흐름을 제어할 수 있으며 시스템 내에서는 스크립트를 이용하여 자동화를 도모할 수 있도록 하였다.

Case	Model	SWMM <Irrigation>
수원공		
분기점		

[그림 2-2-26] 수원공 및 분기점 모델링 개념도

- 관개블록은 지선 또는 지거를 통하여 용수가 공급되는 논외의 집합으로 본 시스템에서는 Storage로 처리하였다.
- 관개 시에는 용수로에서 공급되는 용수가 논으로 흐르도록 구성된다. 논에서 필지별로 물꼬가 있을 경우 이는 Orifice를 이용하여 이를 모델링하였다.
- 유말공은 관개 시 포장에 공급되고 남은 용수를 하천으로 퇴수 처리하며, Outfall 모델을 이용하여 모델링을 완성하였다.

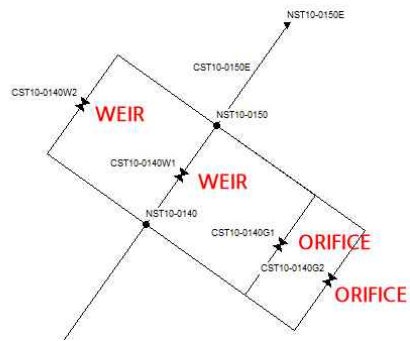
Case	Model	SWMM <Irrigation>
논 연결		
유발공		

[그림 2-2-27] 관개 블록 및 유발공 모델링 개념도

- 용수로에 설치된 물꼬(급수개폐기)를 통해 용수블록으로 용수를 공급하는 경우 오리피스를 적용할 수 있다.
- 논은 여러개의 필지를 묶은 용수블록으로 표현하고 있으므로 가로의 길이가 긴 직사각형의 오리피스로 가정하여 입력하면 문제를 해결할 수 있는 것으로 검토되었다.
- 여러 구조물이 함께 구성된 단면의 경우 동일한 시종점에 대하여 해당 구조물을 중복 입력함으로써 계산이 가능한 것으로 검토되었으며, 모델 구축 시 반영하였다.
- 복합형 물꼬에서 수문을 표현한 오리피스의 형식은 Side보다는 Bottom 형식으로 설정해야 동시에 여러 필지로 용수공급이 가능한 것으로 검토되었으며, 모델 구축 시 반영하였다.



수문 + 웨어 조합 단면



모델 구축방법

[그림 2-2-28] 여러 구조물이 배치된 단면의 구축방안

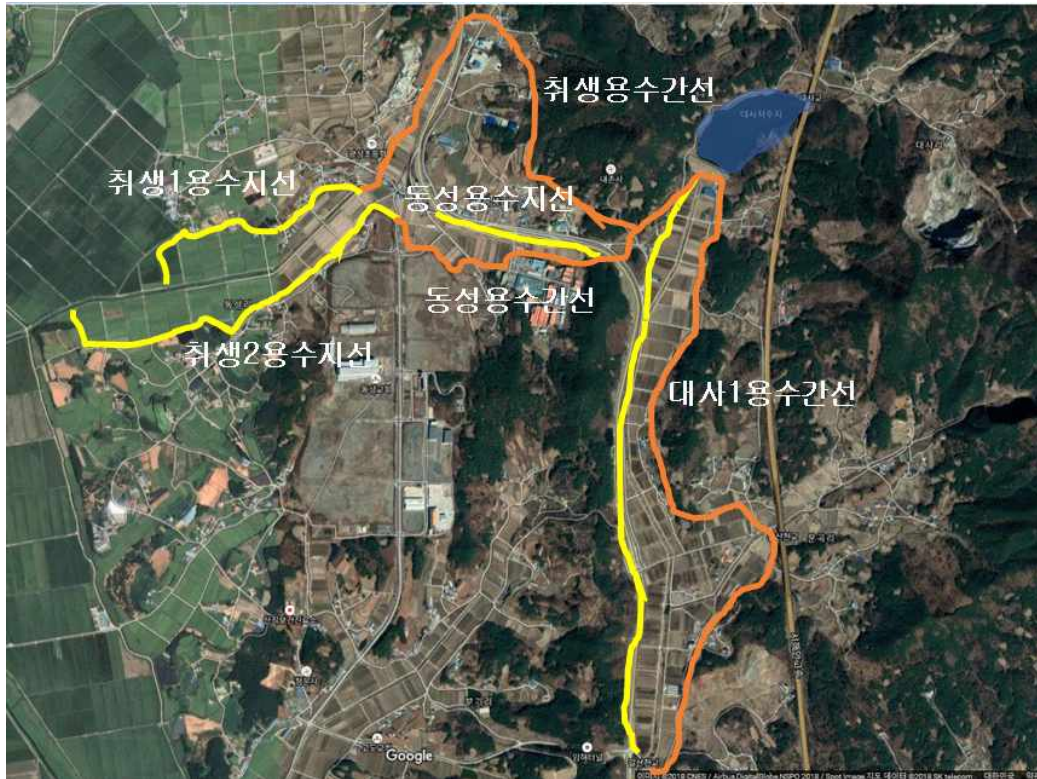
3. 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축

가. 대사 지구 네트워크 모형 구축

- 네트워크 모형 구축에 입력되는 주요 공간자료는 수로(선), 분기/합류점(점), 필지(점), 유역 또는 필지 블록(면) 및 구조물(점 또는 선)로 구분할 수 있으며, 이 자료들을 공간자료로 구축한 후 시스템의 모의기능에 필요한 네트워크 데이터로 작성하여 반영하게 된다.
- 대상지구인 대사저수지는 홍성군 갈산면 대사리 일원에 위치하고 있으며, 1984년에 준공이 완료되었다. 수혜면적은 163ha이며, 유역면적은 290ha이다. 대사저수지의 유효저수량은 1,376.2천m³이다. 대사저수지의 제방은 연장 240m, 높이 21.5m로 되어 있다.
- 확보된 대사저수지 도면이 실제 현장상태를 반영하고 있는지를 비교하고, 용수로에 따라 분기점, 합류점, 급수부, 유말공 등의 형태를 기록하였다. 또한 도면에 표시된 수로의 제원과 현장의 상태가 일치하는지 일정한 간격을 두고 검사하고 상이할 경우에 대해서도 기록한다.



[그림 2-2-29] 대사저수지 전경



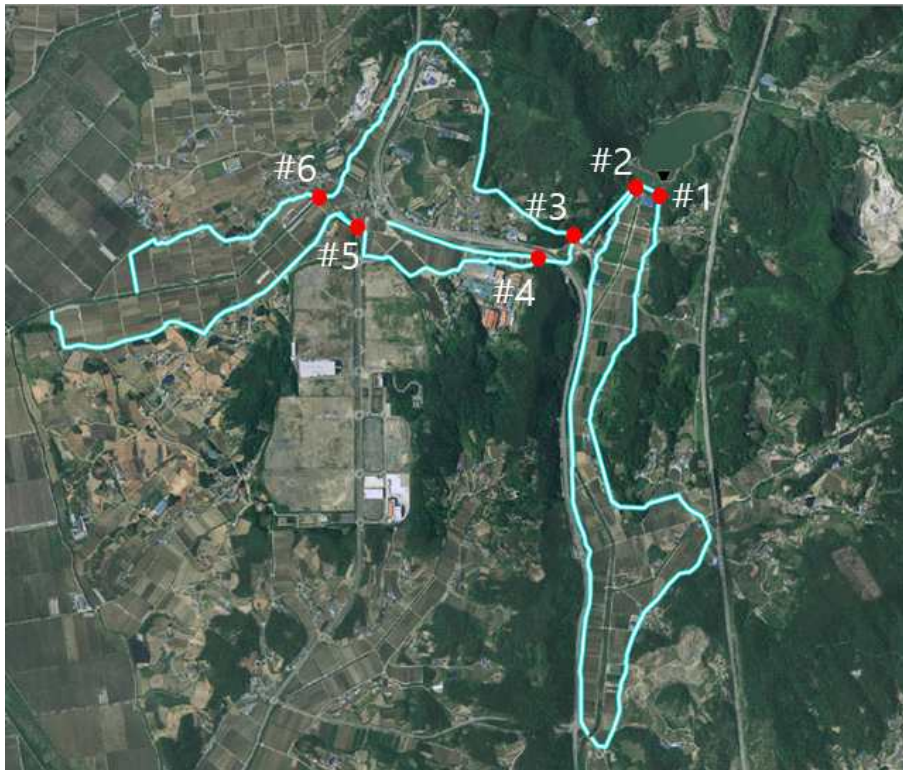
[그림 2-2-30] 대사저수지 용수로 현황

- 대사저수지는 운곡1용수간선, 운곡2용수간선, 취생용수간선, 동성용수간선, 동성용수지선, 취생1용수지선, 취생2용수지선으로 구성되어있다.
- 대사저수지는 유역배율(1.8배)이 작아 강수량이 평균 강수량보다 적을 경우 운곡리·동성리 급수구역 말단부 73ha 농경지의 용수공급이 어려운 상습한해 지역이다.
- 이론적인 상황만 반영한 네트워크 모형 구축이 아닌 실제 저수지의 운영 현황과의 비교를 통해 보완점이나 개선점을 찾기위하여 현장방문을 실시하였다.
- 현장의 수로감시원으로부터 실제 수문 운영 및 관리현황과 수로의 높이, 길이 등의 재원을 파악하였다.



[그림 2-2-31] 대사저수지 현장조사 사진

- 대사저수지의 간선수문 위치는 다음과 같다.



[그림 2-2-32] 대사저수지 간선수문 위치

- 대사저수지 수문은 수로감시원의 말에 의하면 #1(운곡용수간선) ~ #4(동성용수지선) 까지만 수로감시원이 조절을 하고 있으며, #5와 #6은 100% 개방상태로 유지하고 있다.

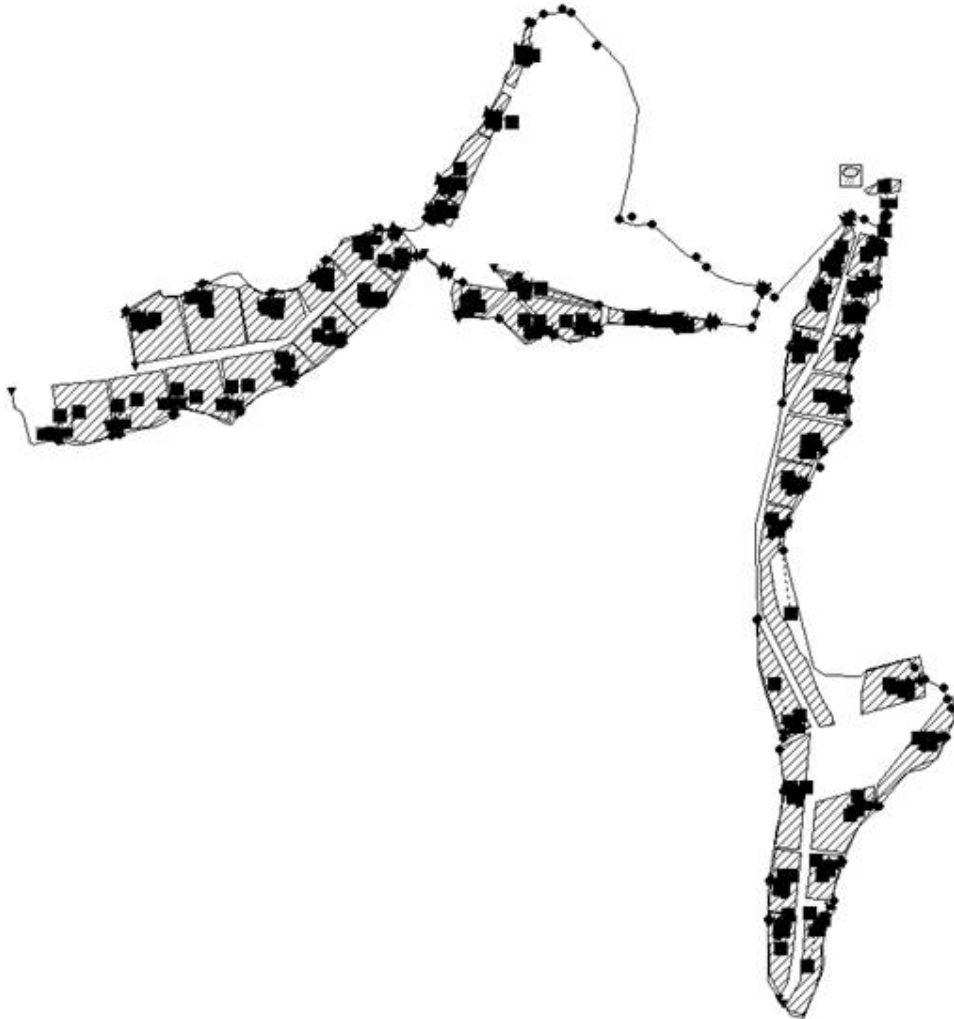


[그림 2-2-33] 대사저수지 #1 수문



[그림 2-2-34] 대사저수지 #2 수문

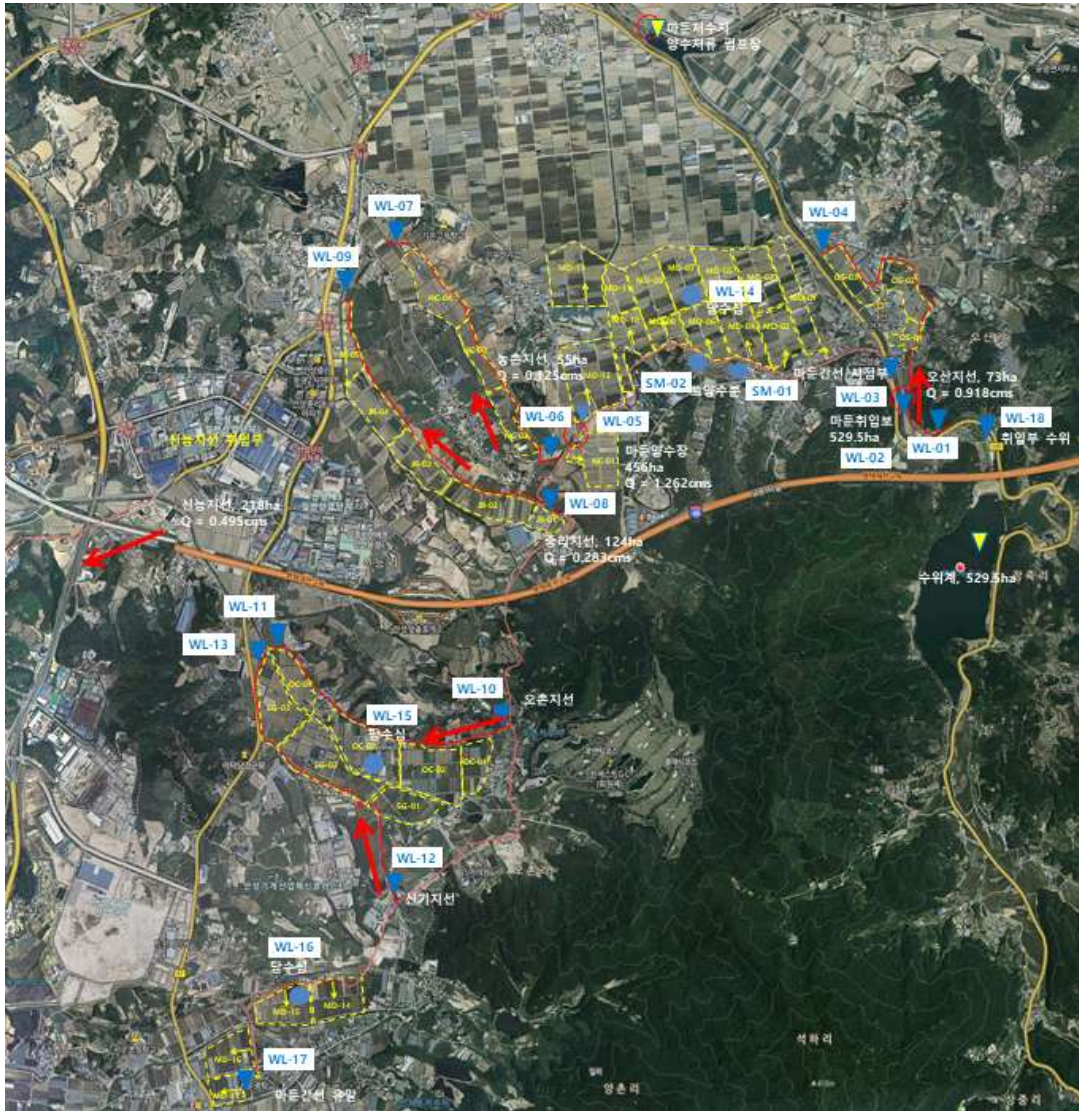
- 설계당시 재원과 현장조사에서의 재원을 비교하며 대사저수지의 전반전 상황을 네트워크 모형으로 구축하는 작업을 실시하였다.



[그림 2-2-35] 대사저수지 용수로 네트워크 모델링 결과

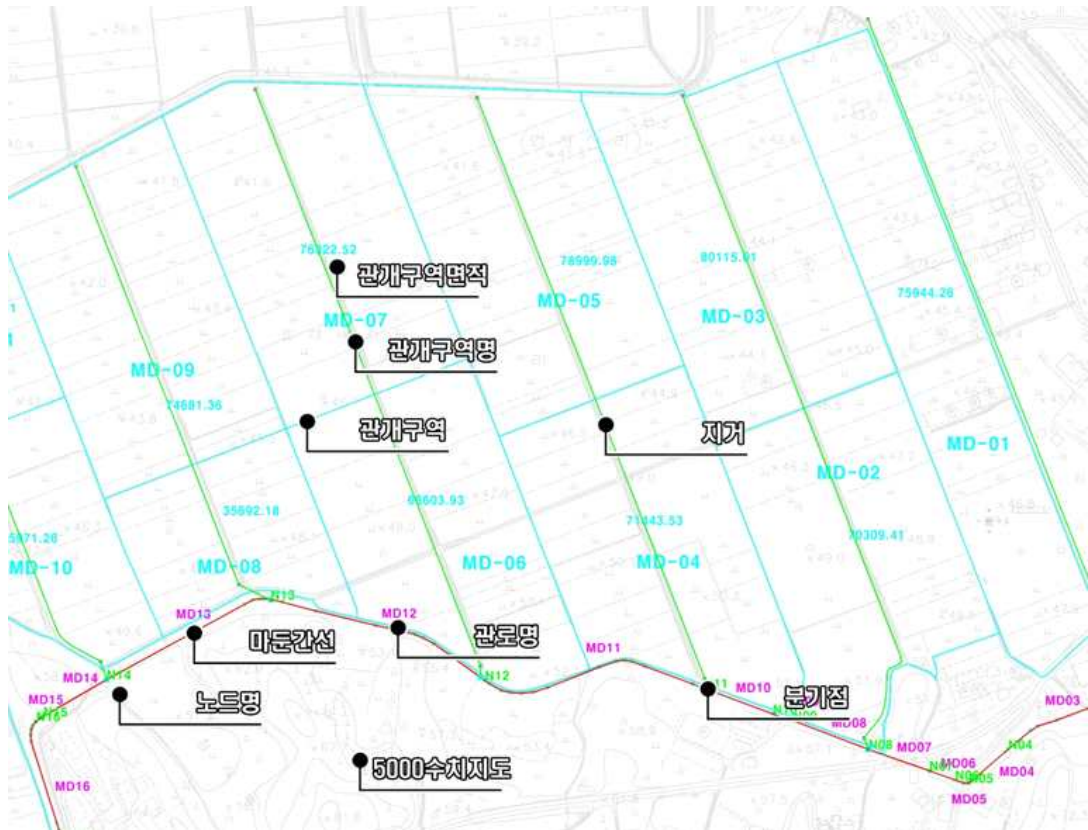
나. 마둔 지구 네트워크 모형 구축

- 네트워크 모형 구축에 입력되는 주요 공간자료는 수로(선), 분기/합류점(점), 필지(점), 구역 또는 필지 블록(면) 및 구조물(점 또는 선)로 구분할 수 있으며, 이 자료들을 공간자료로 구축한 후 시스템의 모의기능에 필요한 네트워크 데이터로 작성하여 반영하게 된다.
- 요구되는 공간자료를 구축하는 과정은 자료원에 따라 달라진다. 실증화 연구를 위한 자료구축은 마둔간선, 오산지선, 농촌지선, 중리지선, 오촌지선, 신기지선의 수로, 구조물(분기), 용수 블록을 대상으로 한다.



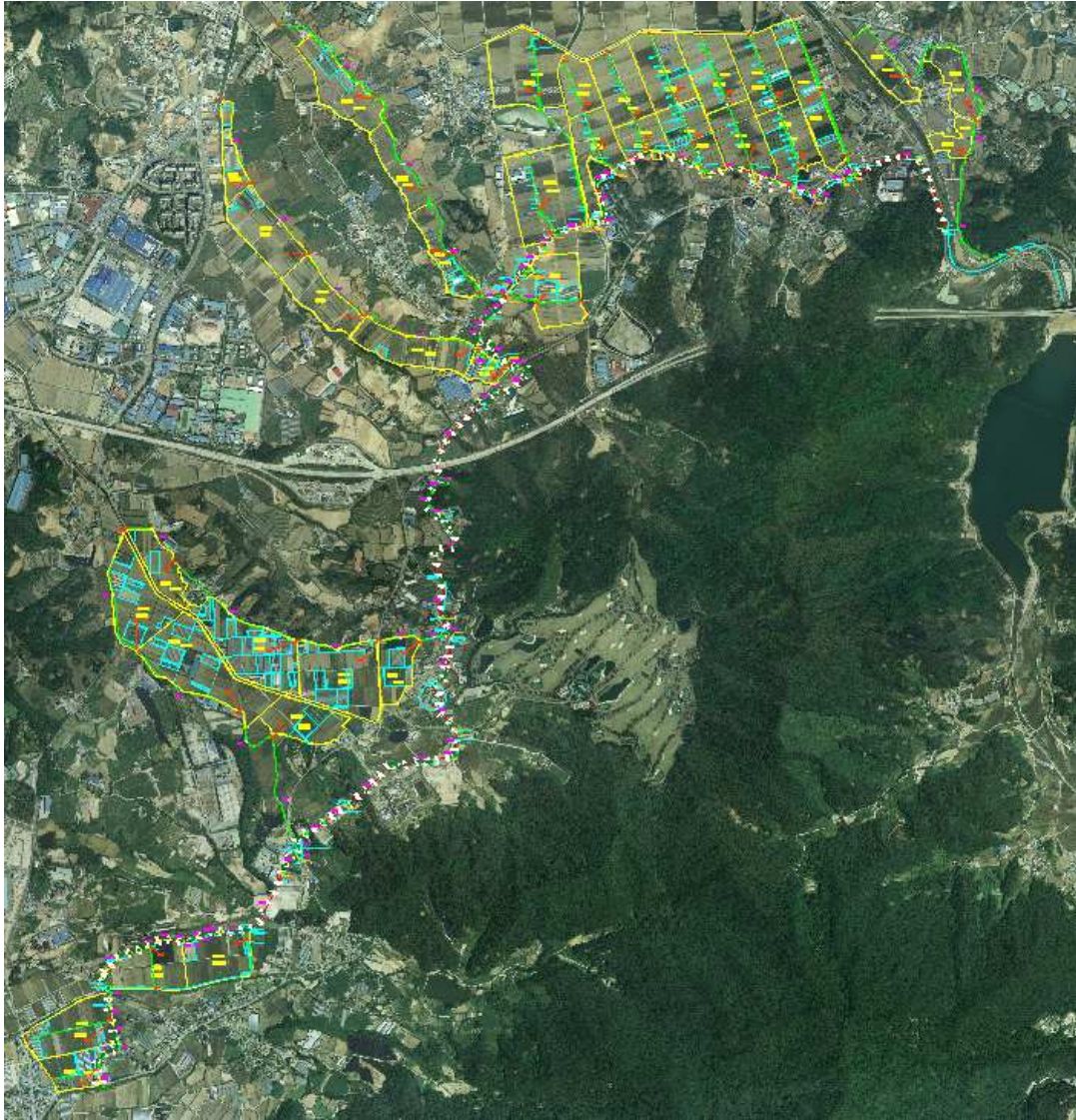
[그림 2-2-36] 자료구축 대상지역 간선·지선수로, 분기점 및 용수블록 현황

- 본 대상지구의 경우 수로 네트워크를 공간자료화 하는데 필요한 간선 및 지선의 평면적인 배치, 단면제원, 종단형태, 각종 시설물의 위치 및 제원 등의 현황을 파악할 수 있는 준공도면 등 설계도서의 확보가 어려우며, 마둔 용수간선 및 해당 지선에 대한 시설물 관리자료와 비교하여 그간의 개보수 등으로 인해 마지막 조사년도인 2006년도의 시설물 현황과 현장의 실제 구조물 현황에 차이가 있는 부분이 다수인 상황이었다.
- 따라서 마둔간선 및 주요 대상 지선에 대한 현장조사를 통해 수로의 제원 및 주요 시설에 대한 위치와 제원을 확인하고 수로 경사의 경우 부득이하게 수치표고모델(DEM)과 수치지형도를 활용하여 추정하는 방법으로 자료를 구축하였다.
- 대상 간선·지선수로, 분기점 및 용수블록을 좌표가 반영될 수 있도록 수치지형도 상에 작도하고, 부호 및 구역에 대한 표기, 항공사진 및 수치지형도 통합을 통해 현장조사용 도면을 작성하였다.



[그림 2-2-37] 좌표가 반영될 수 있도록 현장조사 전 도상작업 실시

- 현장조사를 위해 작성한 수로 및 용수블록 CAD도면에 현장조사결과(수로의 배치, 제원, 형태, 분기점의 위치 및 제원 등) 및 DEM을 이용한 표고추정결과를 반영하여 대상지구의 지능형 물관리 시스템 입력자료 구축을 위한 도면을 작성하였다.

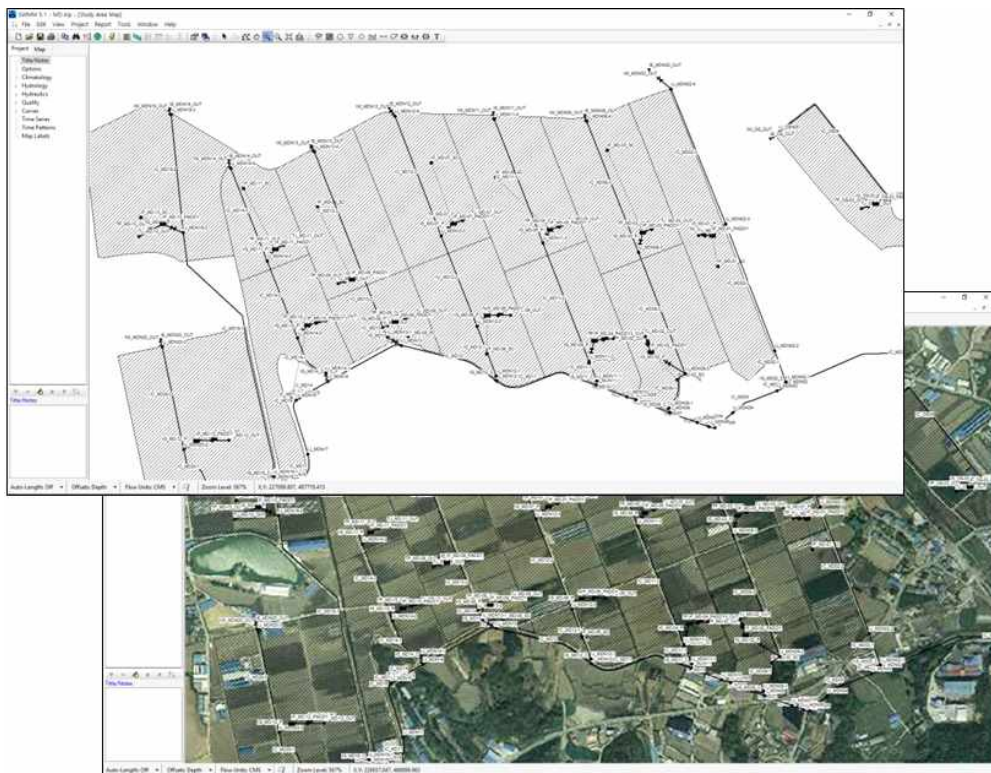


[그림 2-2-38] 입력자료 구축을 위한 현장조사 반영 도면

- 마둔간선 상류부는 MD-01~MD-06 구간으로 현장조사 및 DEM 표고추정결과를 반영하여 종단측점, 분기점, 수로의 바닥표고, 연장, 형식, 분수문 위치 및 크기, 용수블록의 면적, 낙차공 및 급류공의 위치등 모델구축에 필요한 제반정보들이 입력된 것을 나타내고 있다. 이 정보들을 바탕으로 입력규칙에 따라 입력 자료를 최종적으로 구축하였다.



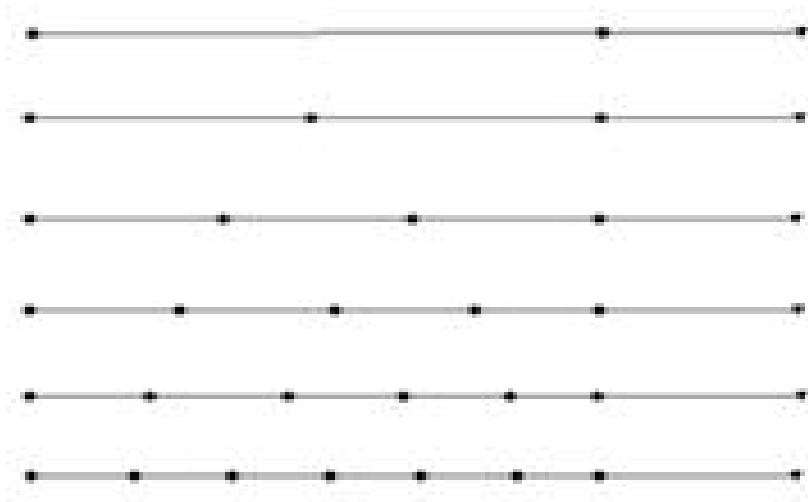
[그림 2-2-39] 농업용수 네트워크 모형 입력자료 구축을 위한 현장조사 반영 도면 (MD-01~MD-06 분기 구간 확대)



[그림 2-2-40] 현장조사 반영 CAD 도면으로부터 농업용수 네트워크 모형 입력자료 구축

다. 농업용수 네트워크 모형 단순화 영향에 대한 연구

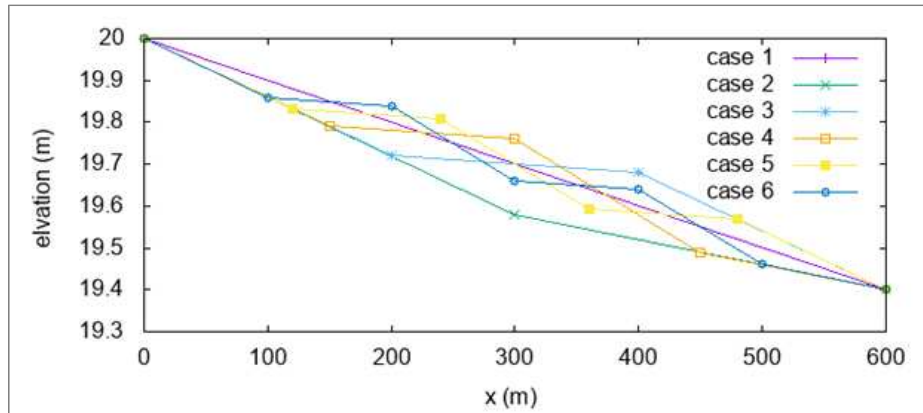
- 실제 수로의 조건을 정확히 네트워크 모형에 옮기는 것에는 한계가 존재하며, 지나치게 단순화 된 모형화는 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 모형화 과정에는 세심한 주의가 필요하다.
- 하지만, 지나친 상세화는 모형의 계산성능에 영향을 미치며, 현장조사 및 입력자료 구축의 난이도가 상승하게 되어 역시 바람직하지 못하다.
- 따라서 농업용수 네트워크 모형의 단순화 작업을 실시하여 보다 간결한 조건만으로도 실제 수로의 흐름을 모의할 수 있는지 검토하는 과정이 필요하다.
- 본 연구에서는 수로네트워크의 단순화 작업에 대한 기초적인 분석을 통해 향후 수로네트워크 모형의 구축을 용이하도록 하였다.
- 첫 번째 분석은 경사의 단순화 영향분석으로 복잡한 경사를 시점과 종점의 경사로 평균하였을 때 네트워크 모형 상 수위 및 유량에서 큰 차이가 발생하는지에 대하여 테스트 하였다.
- 모의 조건은 용수로길이 600m, 용수로 폭 1.5m, 용수공급 0.1m³/s, 공급기간 2hr, 평균 Slope는 1/1000으로, 중간 Slope 조건을 변화시켜 모의결과를 비교하였다.
- 다음 그림과 같이 용수로의 복잡한 경사를 가상으로 표현하기 위하여 0~5개의 Node를 사용하여 경사를 변화시켜 모의를 수행하였다.



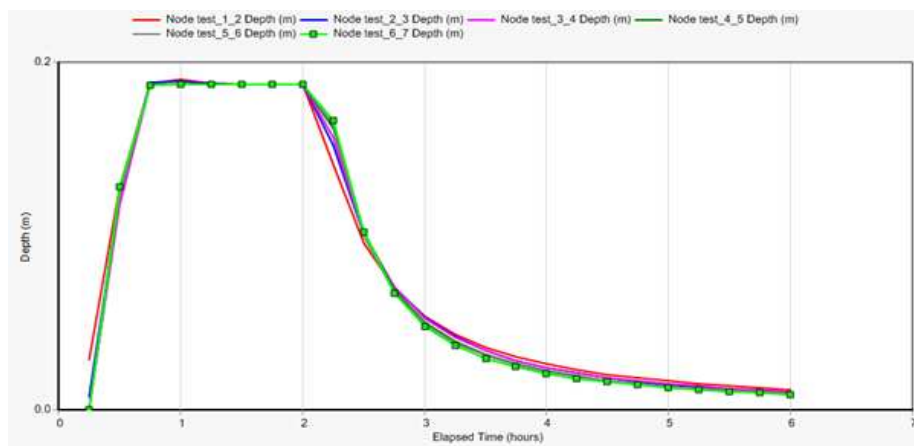
[그림 2-2-41] 경사 단순화 영향 파악을 위한 용수로 모식도

- 평균 경사 1/1000 정도의 상황에서 수로 내부의 복잡한 경사는 무시하고 시점과 종점의 수로 경사도에 따라 모의 결과에는 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다.

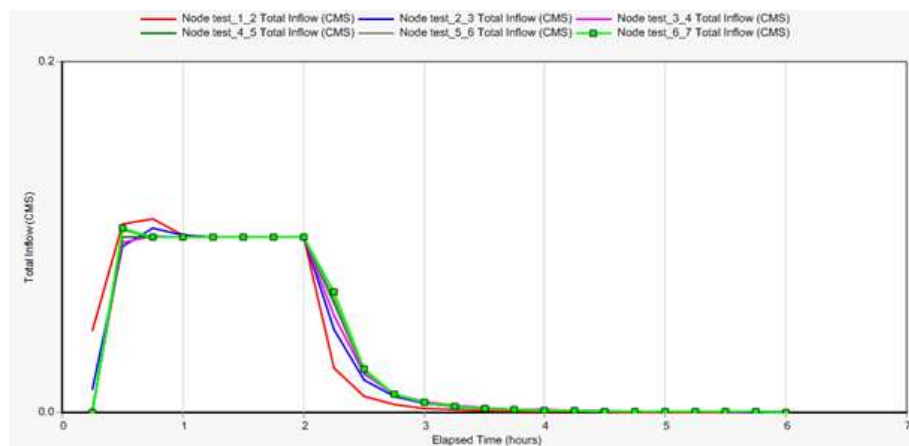
(a) Case별 지형형상



(b) 시간에 따른 수위 변화



(c) 시간에 따른 유량 변화



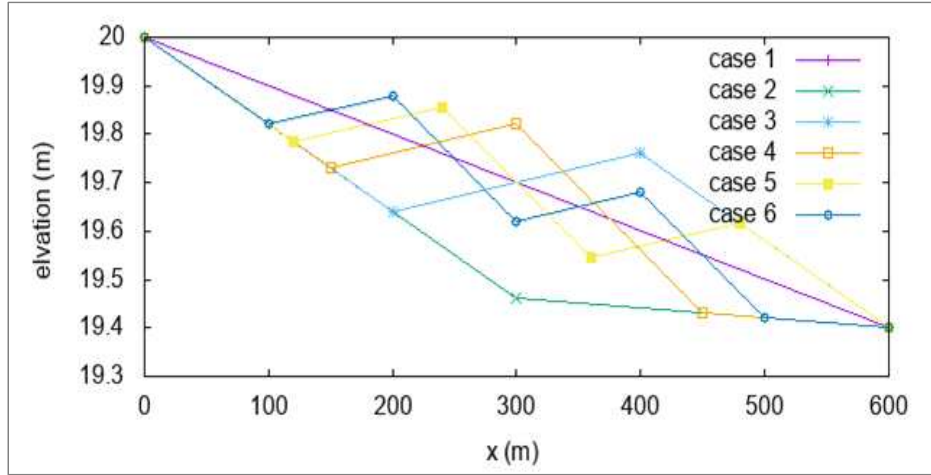
(d) 모의 조건 정리

용수로 총길이	600m
용수로 폭	1.5m
Manning의 조도계수	0.02
평균 Slope	1/1000
용수공급	0.1m ³ /s = 360m ³ /hr
공급기간	2hrs

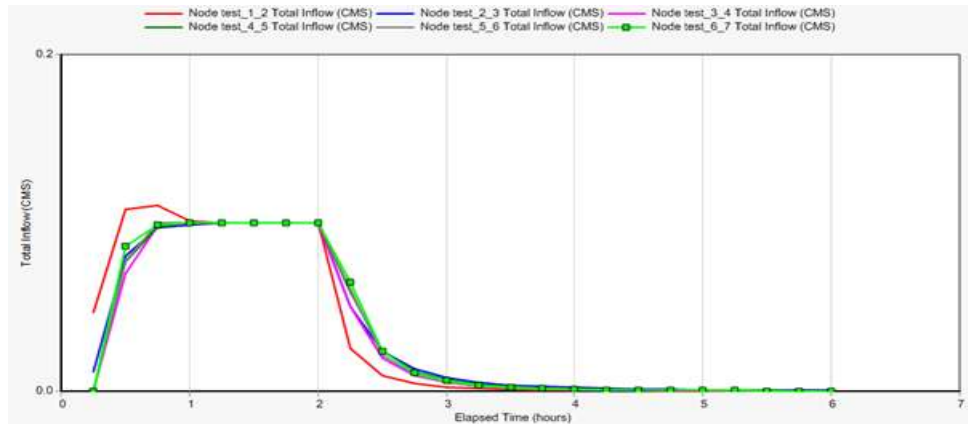
[그림 2-2-42] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 1

- 경사변화 조건을 보다 더 가파르게 한 두 경우에 대한 모의를 실시하였다. 모의 조건은 용수로길이 600m, 용수로 폭 1.5m, 용수공급 0.1m³/s, 공급기간 2hr, 평균 Slope는 1/1000으로, 중간 Slope 조건으로 그 외 조건은 동일하게 모의하였다.

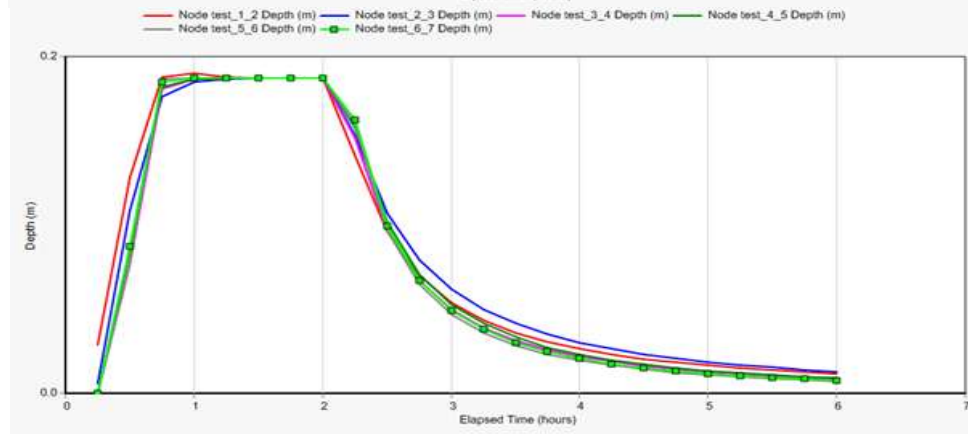
(a) Case별 지형형상



(b) 시간에 따른 수위 변화



(c) 시간에 따른 유량 변화

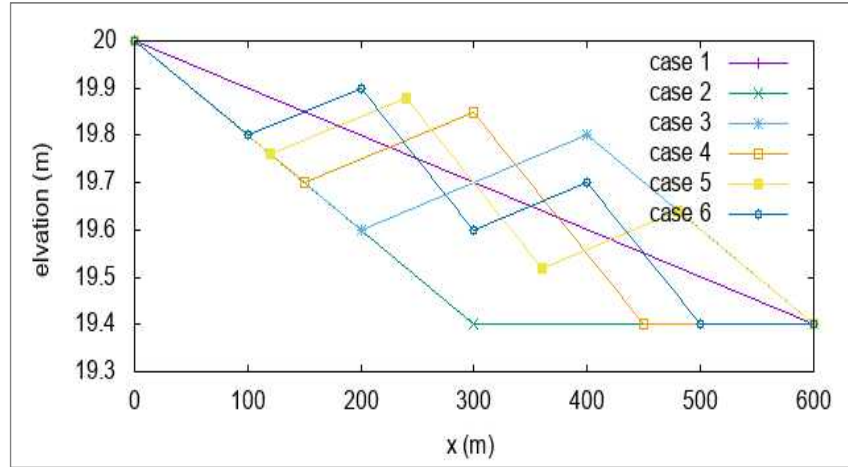


(d) 모의 조건 정리

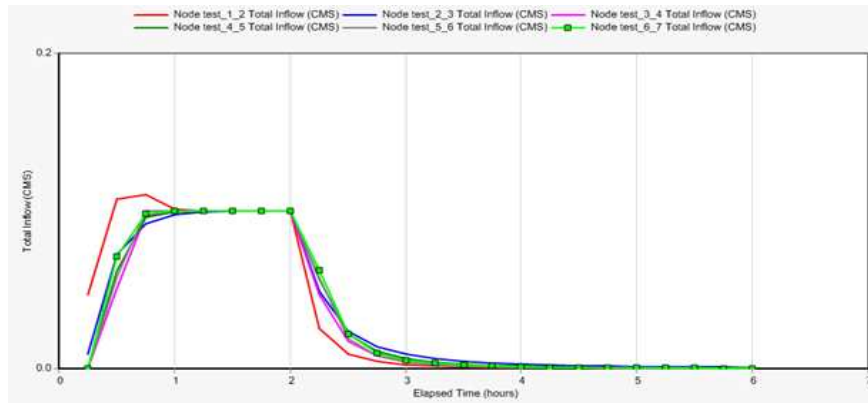
용수로 총길이	600m
용수로 폭	1.5m
Manning의 조도계수	0.02
평균 Slope	1/1000
용수공급	0.1m ³ /s = 360m ³ /hr
공급기간	2hrs

[그림 2-2-43] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 2

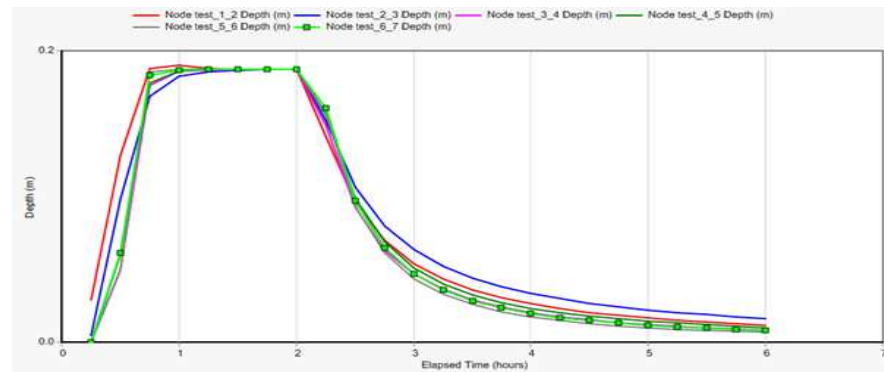
(a) Case별 지형형상



(b) 시간에 따른 수위 변화



(c) 시간에 따른 유량 변화



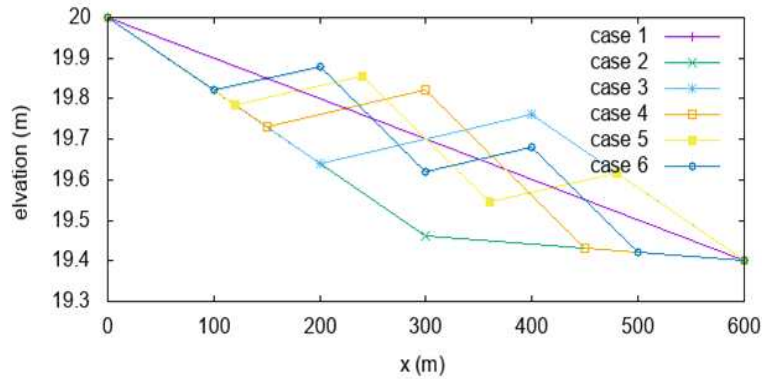
(d) 모의 조건

용수로 총길이	600m
용수로 폭	1.5m
Manning의 조도계수	0.02
평균 Slope	1/1000
용수공급	0.1m ³ /s = 360m ³ /hr
공급기간	2hrs

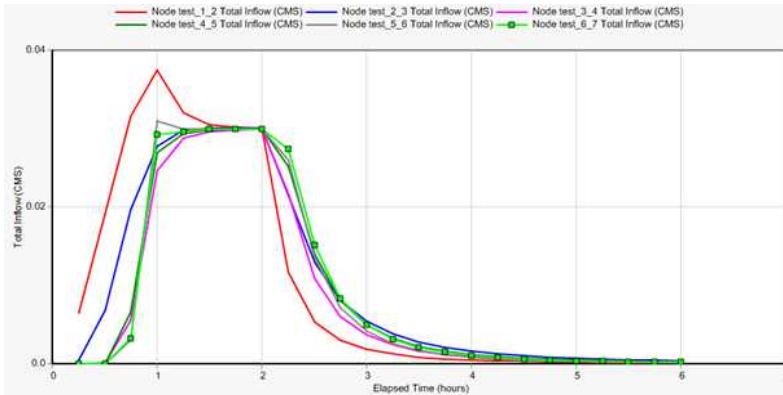
[그림 2-2-44] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 3

- 모형의 지형에 따른 민감도 분석 결과 1/1000 정도의 경사에서는 지형의 변화에 따른 모형의 결과에 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있었으며 세부적인 지형은 농업용수 네트워크 모델링 시 무시할 수 있다는 결론을 내렸다.
- 용수 공급량을 0.003m³/s과 0.02m³/로 증가시켜 지형에 따른 용수로 네트워크 모형의 민감도 분석을 실시하였다. 모의조건은 용수로 총길이 600m, 용수로 폭 1.5m, 평균 Slope 1/1000, 0.003m³/s, 공급기간은 2hrs 로 모의하였다.

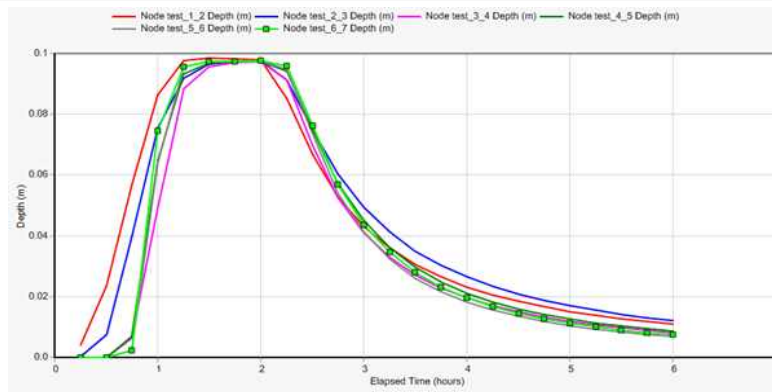
(a)
Case별
지형형상



(b) 시간에
따른 수위
변화



(c) 시간에
따른 유량
변화

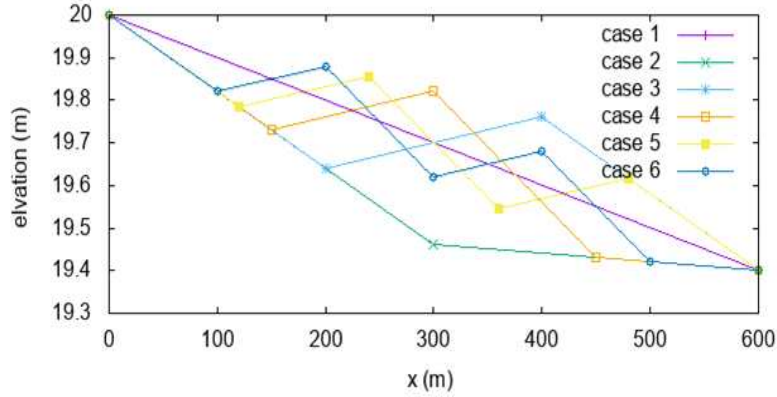


(d) 모의
조건

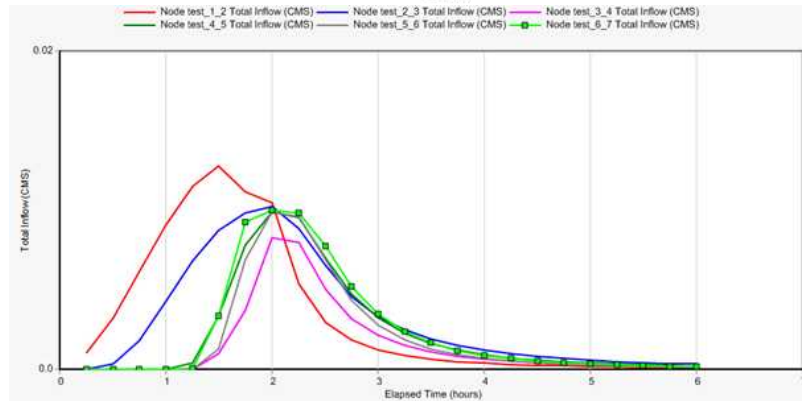
용수로 총길이	600m
용수로 폭	1.5m
Manning의 조도계수	0.02
평균 Slope	1/1000
용수공급	0.03m ³ /s = 108m ³ /hr
공급기간	2hrs

[그림 2-2-45] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 4

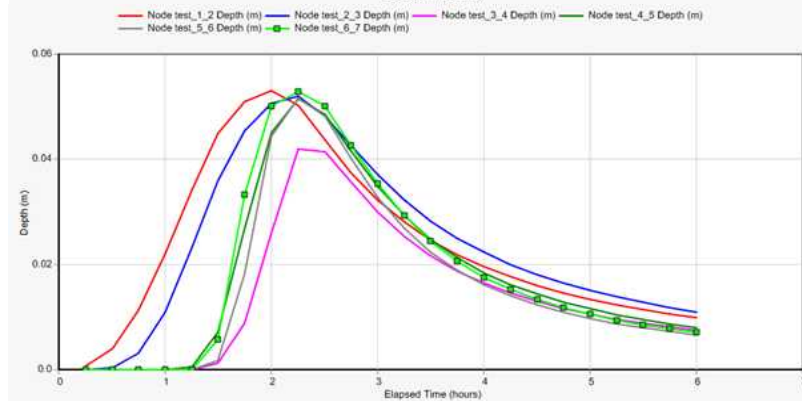
(a) Elevation
- length



(b) 시간에
따른 수위
변화



(c) 시간에
따른 유량
변화



(d) 모의
조건

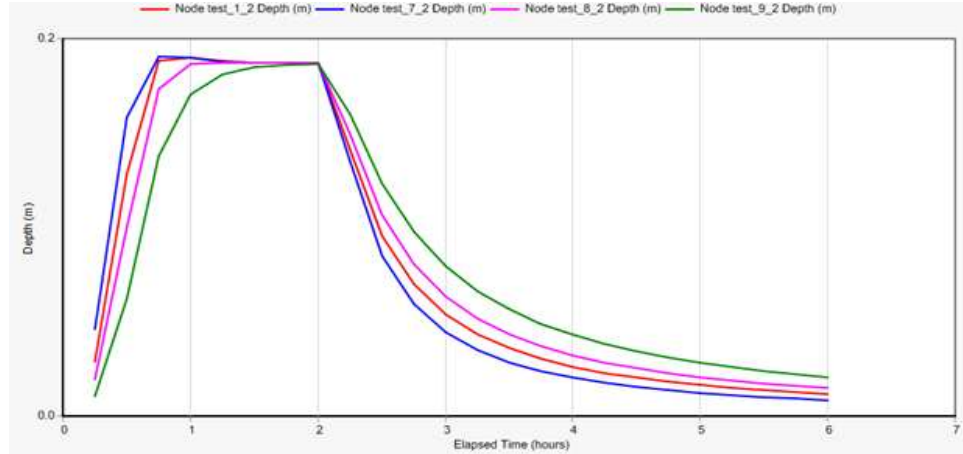
용수로 총길이	600m
용수로 폭	1.5m
Manning의 조도계수	0.02
평균 Slope	1/1000
용수공급	0.01m ³ /s = 36m ³ /hr
공급기간	2hrs

[그림 2-2-46] 수로경사에 따른 모형의 민감도 분석 5

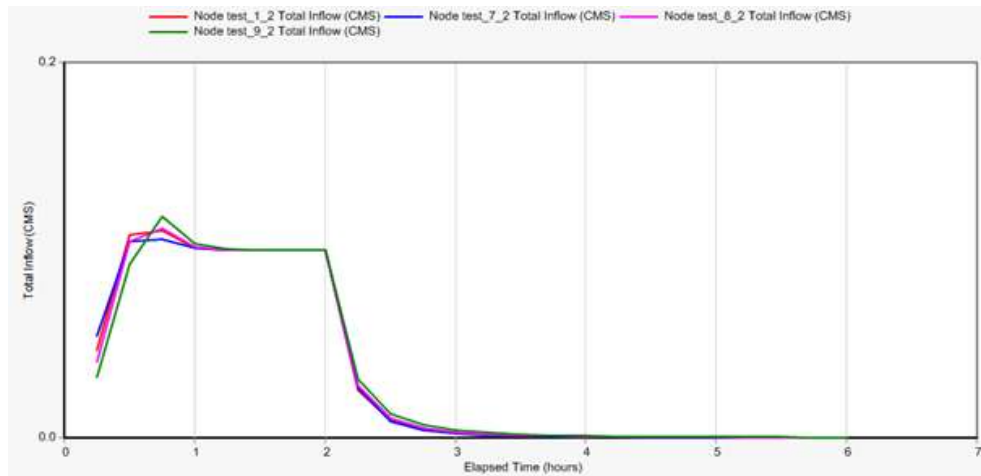
- 용수공급량을 변화시켜 지형에 따른 모의를 실시한 결과 용수공급량이 0.01m³/s (=864m³/day) 이상의 유량 공급 시 초기 1~2시간 가량의 용수공급 차이가 발생할 수 있으나 그 이후의 공급유량은 비슷하게 모의되는 것으로 분석되었다.
- 따라서, 일반적으로 농업용수의 공급은 일단위 이상으로 이루어지는 것을 고려할 때 수로 지형은 간략화하여 모형화하여도 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

- 지형의 단순화 영향의 분석에 이어서 수로폭의 단순화에 따른 민감도 분석을 실시하였다.
- 모의조건은 용수로 총길이 600m, 평균 Slope 1/1000, 0.003m³/s, 공급기간 2hrs에서 용수로 폭을 1m ~ 3m로 변화시켜 모의를 수행하였다.

(a) 시간에 따른 수위 변화



(b) 시간에 따른 유량 변화

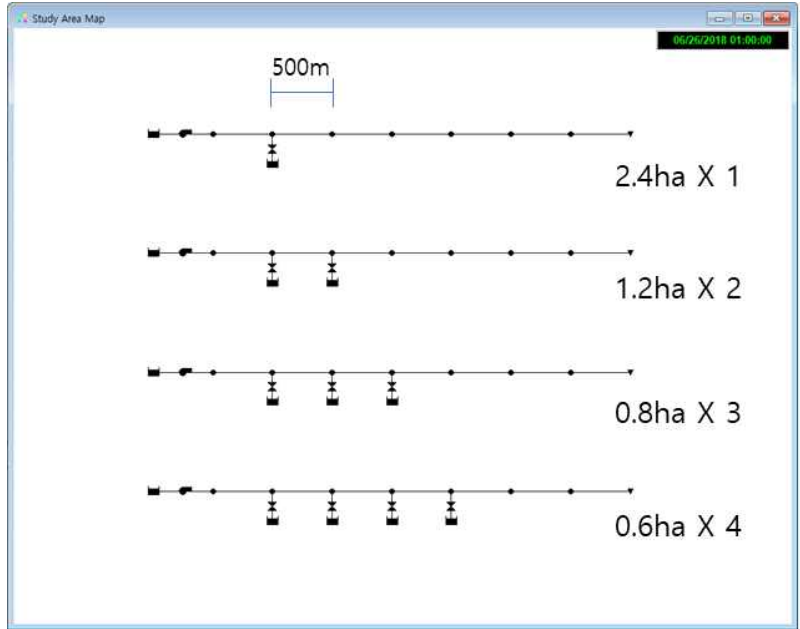


(c) 모의 조건	용수로 총길이	600m
	용수로 폭	1m, 1.5m, 2m, 3m
	Manning의 조도계수	0.02
	평균 Slope	1/1000
	용수공급	0.1m ³ /s = 360m ³ /hr
	공급기간	2 hrs

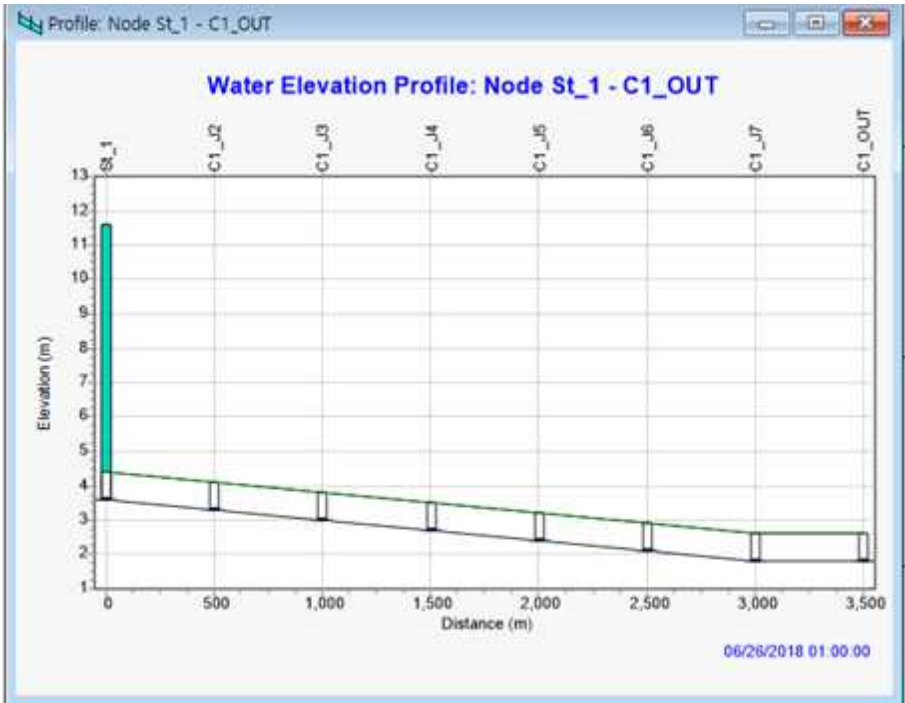
[그림 2-2-47] 수로폭에 따른 모형의 민감도 분석

- 수로폭에 따른 모형의 민감도 분석결과 용수공급수위 및 유량의 변화가 크지 않은 것으로 나타났으며, 실무적으로 1~3m 내외의 수로폭은 단순화시켜 동일 수로폭(ex. 2m 등)을 사용하여도 모의결과에는 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.

- 논을 단순화에 대한 영향력 분석을 실시하였다. 모의조건은 용수로 총길이 1200m, 용수로 단면 0.8m × 0.8m의 사각관수로, 평균 Slope 3/1000, 공급기간은 5일로 설정하였으며, 각 논 사이의 거리는 0km, 1km, 5km, 10km 이다.
- 논을 가장 단순화 하여 하나로 모델링한 경우(가장 위 그림)와 차례대로 2개, 3개, 4개의 요소 모듈을 사용하여 논을 표현한 경우 발생할 수 있는 수위의 차이를 모의하였다.

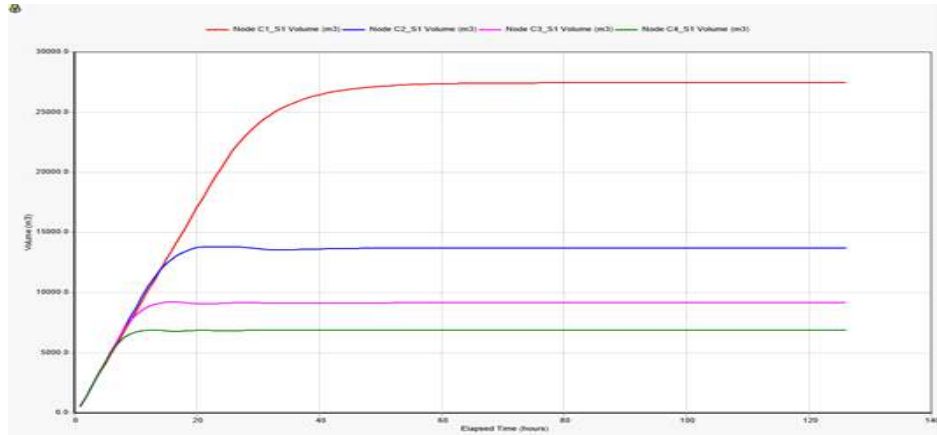


[그림 2-2-48] 논을 개수 단순화 민감도 분석을 위한 네트워크 구조

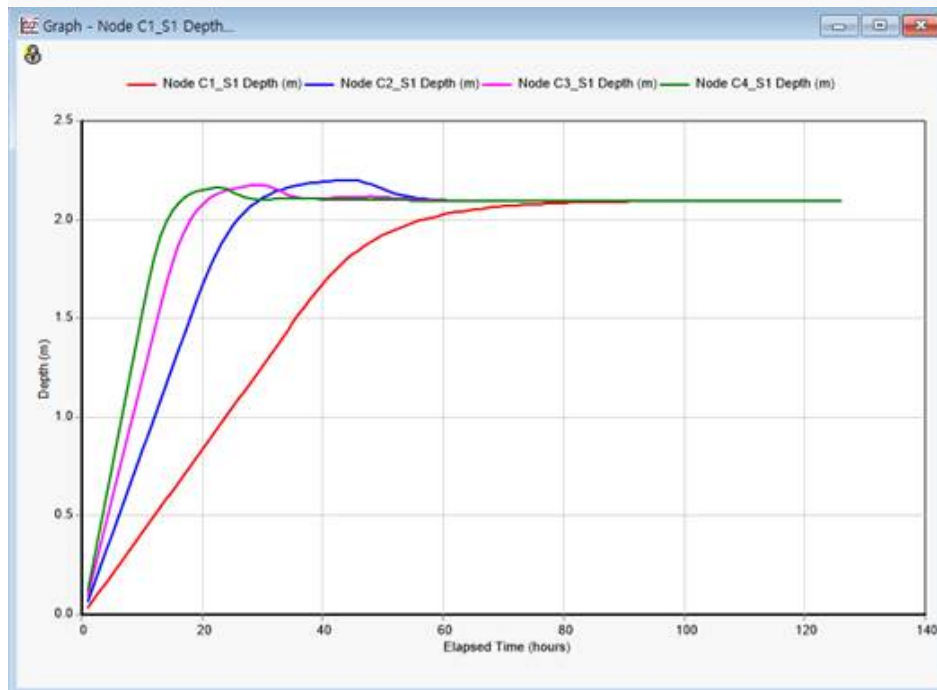


[그림 2-2-49] 논을 개수 단순화 민감도 분석을 위한 네트워크 구조 경사도

(a) 가장 가까운
논의 시간에
따른 유입량
변화



(b) 가장 가까운
논의 시간에
따른 담수심
변화



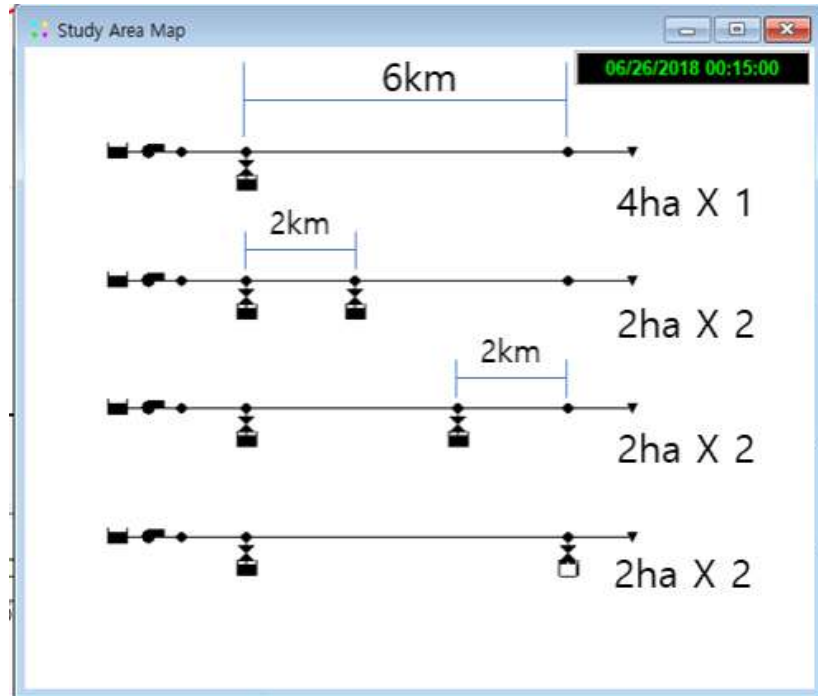
(c) 모의 조건

용수로 총길이	3500m
용수로 단면	0.8m × 0.8m
Manning의 조도계수	0.015
오리피스 단면	(6/논갯수)×0.5
평균 Slope	3/1000
용수공급	0.3m ³ /s = 1080m ³ /hr

[그림 2-2-50] 논 단순화에 대한 민감도 분석

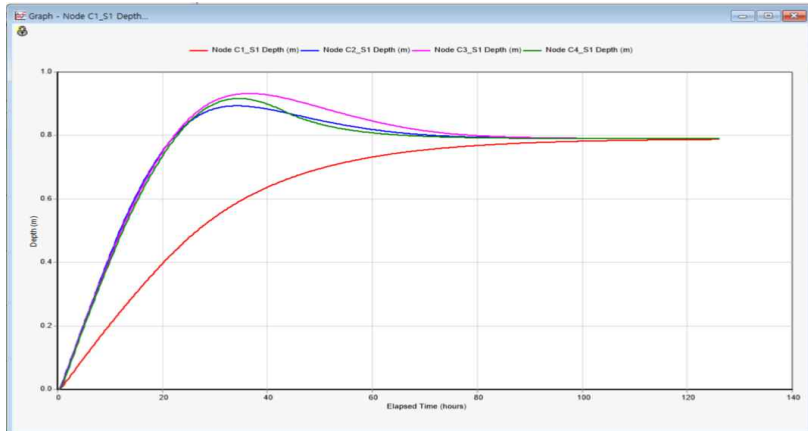
- 용수공급원과 가장 가까운 논의 시간에 따른 담수심과 유입량 변화를 도시하였다. 논 개수에 따른 단순화로 논 면적은 모든 Case에서 2.4ha로 동일시 하였다. Orifice의 단면적은 면적의 합을 동일시키기 위하여 논 개수에 따라 Orifice의 면적을 다르게 주었다. 논 시간에 따른 담수심 변화는 모델링 방법에 따른 차이가 크지 않으며, 따라서 논 개수를 단일화 시켜 모델링 하여도 모의결과에 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

- 용수공급원과 가장 가까운 논외 시간에 따른 담수심 변화를 도식하였다. 각 논과의 거리는 0km(위의 단순화를 이용), 2km, 4km, 6km 총 4가지 경우를 이용하여 거리에 대한 단순화를 분석하였다

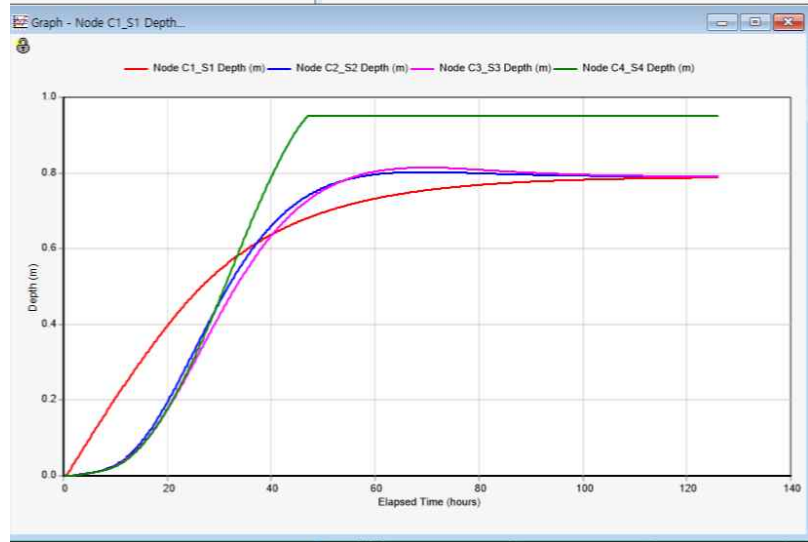


[그림 2-2-51] 논외 거리 단순화 민감도 분석을 위한 네트워크 구조

(a) 가장 가까운
논의 시간에
따른 담수심
변화



(b) 가장 먼
논의 시간에
따른 담수심
변화



(c) 모의 조건

용수로 총길이	6000m
용수로 단면	0.8m × 0.8m
Manning의 조도계수	0.015
오리피스 단면	0.5m × 3m (Case1 : 0.5m × 6m)
평균 Slope	1/2000
용수공급	0.3m ³ /s = 1080m ³ /hr

[그림 2-2-52] 논 거리 단순화에 대한 민감도 분석

- 논 의 거 리 에 따 른 단 순 화 로 가 까 운 곳 의 논 의 담 수 심 은 동 일 한 결 과 값 을 나 타 내 고 있 으 나, 가 장 먼 곳 의 논 의 담 수 심 변 화 를 나 타 낸 (b) 에 서 는 6km 이 상 의 경 우 인 Case4 에 서 는 상 이 한 결 과 값 을 나 타 냈 다.
- 논 의 거 리 에 따 른 담 수 심 변 화 는 모 델 링 방 법 에 따 른 차 이 가 크 지 않 으 나, 6km 이 상 에 서 만 상 이 한 결 과 를 나 타 내 고 있 다. 따 라 서 논 의 거 리 의 단 순 화 모 델 링 에 서 는 6km 이 내 에 서 단 일 화 시 켜 모 델 링 하 여 도 모 의 결 과 에 큰 차 이 가 없 는 것 으 로 판 단 된 다.

제 3절. 순환형 농업용수 관리시스템 구성요소 개발방안 도출 및 테스트베드 모니터링

1. 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 활용현황 조사

가. 수위측정 센서 및 장치

(1) 부자(Float)식 수위계

- Tank내의 액면이 상승함에 따라 부자는 부력을 받아 액면과 동일하게 상승하여 제어위치의 Guide Pipe 내부에 있는 저항 값을 R/I CONVERTER에 의하여 전류신호 (4-20mA)로 변환해서 연속 측정한다.
- 공업 분야의 액체 탱크, 각종 화학탱크 등 여러 분야에 적용이 가능하며 도전율이 나 매체의 조성 변화에는 영향을 받지 않으나 비중변화에는 영향이 있으므로 주의 를 요한다.
- 취부방법 및 접액부의 재질변경으로 광범위하게 사용할 수 있으며, 여러 형태의 탱크에 응용하여 적용가능하고, 폭발성있는 장소에 내압방폭구조로 제작이 가능하다.
- 현장에서 제어위치 변경이 불가능하여 별도의 지시계를 설치해야 하며 측정 Range가 최대 6m이상 제작이 어렵고 측정 Range가 길면 유지보수도 어려워진다.



[그림 2-3-1] 부자식 수위계

(2) 정전용량식 수위계

- 두 개의 절연된 전극사이에 정전용량 C가 전극 면적 S와 전극 사이에 있는 각각 물질이 갖고 있는 고유의 유전율 E에 비례하고 전극의 간격에 d에 반비례하는 성질을 이용하여 측정한다. 모든 종류의 액체, 분립체, 고체 등에 적용이 가능하며 석유화학, 식품산업, 선박, 일반적인 Tank 및 정수장 수위측정용으로 사용하며 Probe를 적

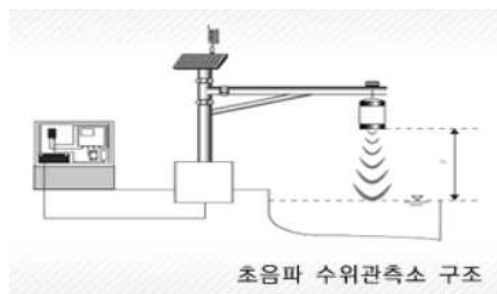
절히 선정하여야한다. 설치가 간단하며, 액체 및 분체 tank위에 설치하여 내용물의 경계면을 연속적으로 검출하는데 부식성에 강한 내성이 있는 재질로 광범위하게 사용한다. 이물질이 많은 액체는 사용이 불가하며, 측정물체가 유동이 심한 Tank에는 Guide Chamber를 설치해야 하고, 온도변화에 따른 오차가 발생할 수 있다.



[그림 2-3-2] 정전용량식 수위계

(3) 초음파식 수위계

- 초음파 수위계로부터 발진하여 측정물질의 표면으로 반사되어 센서에 되돌아오는 음파 Signal을 받아 Microprocessor에서 그 소요되는 거리를 환산하여 측정한다.
- 탱크 또는 개수로뿐만 아니라 저수조의 수위와 체적측정을 위하여 사용된다. 측정 정밀도가 높고 측정범위 조정이 용이하며, 검출기의 재질이 PP 또는 PE 계통으로 내구성이 강하다.
- 측정물의 이물질의 유무에 상관없이 측정이 가능하고 설치가 간단하다. 그러나 빔 각도를 고려하여 센서 설치시 노즐크기를 설정해야 하고, 탱크내부에 가스층이 있는 경우 측정오차가 발생할 소지가 있으므로 주의해야하며 센서측 정빔각도내에 Filling Curtain이 존재하지 않아야한다.
- 수증기가 발생하는 장소에는 오동작 소지가 있고 측정 물체에 거품이 형성되면 오차가 발생된다. 초음파식 수위계는 저수지 수위, 관개수로 수위, 농경지의 담수심 계측 등에 활용되고 있다. 취수탑 방식을 채택하는 저수지 수위측정 과정에 초음파 센서를 장착하여 저수지의 수위변화를 관측하고 수위에 따른 저수지의 내용적 곡선을 적용하여 저수지 저수량을 파악하게 된다.



[그림 2-3-3] 초음파식 수위계

- 저수지에서 농경지로 공급된 용수는 관개수로를 통해서 이동되며, 이 과정에서 다양한 수문(Gate)에 의해서 영향을 받게 된다.
- 이러한 흐름의 변화를 파악하기 위해서 각 수로부의 주요 지점에 수위계를 설치하여 관개수로의 수위변화를 관측하고 유속측정 자료를 이용하거나 매닝식을 이용하여 유량을 산정하는 데 이용된다.



[그림 2-3-4] 초음파 수위계에 의한 수로 수위 관측

- 농경지로 공급된 용수는 증발산 및 지하로의 침투로 인해서 소비되는데 농경지의 적정 담수심을 유지하기 위해서 증발산량이나 침투량에 대한 이론적인 식이나 실험치로부터 도출한 경험치를 이용할 수도 있으며, 현장에서 직접 관측하여 농경지에 공급해야 할 필요수량을 도출하는 데 초음파식 수위계를 이용할 수도 있다.



[그림 2-3-5] 초음파 수위계에 의한 담수심 관측

(4) 레이더식 수위계

- 5.8GHz의 고주파수로 측정체의 표면에 반사되어 되돌아오는 고주파 Signal을 센서 안테나에서 수신되는 시간을 거리로 환산하여 연속 측정한다.
- 각종 화학 탱크 및 댐 수위 측정에 적용이 가능하며 특히 외부 및 내부 환경(바람, 온도, 압력)등의 영향을 받지 않는다.
- 고온 및 고압의 조건에서의 측정이 가능하고, 가스층 및 증기가 존재하는 조건에서도 측정이 가능하다. Head재질이 PVC로 제작되어 주위환경에 부식이 발생하지 않고 설치가 간단하며 현장에서 지시가 가능하다.
- 유지관리가 쉽고 정밀도가 높으며 통신포트를 이용하여 PC에서 동작 상태를 확인할 수 있지만 금액이 고가이다.
- 레이더식 수위계는 취수탑방식의 저수지 수위 측정이나 하천 수위 측정 과정에 초음파 수위계와 더불어 사용되고 있다.

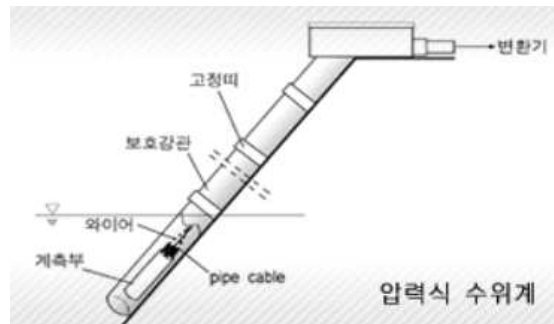


[그림 2-3-6] 레이더식 수위계

(5) 압력식 수위계

- 비중, 대기압, 온도 등에 의한 오차 요인을 제거하여 측정오차를 최소화한 수위계로 측정유체와 센서가 비접촉으로 수명이 길며 설치 및 유지보수가 용이하고 비용이 저렴한 특징이 있다.
- 측정원리는 수주압 측정관에 압축기체(Air Compressor 또는 질소가스)를 이용하여 수심에 해당하는 수주압을 측정하여 수위로 환산하는 시스템으로 측정범위가 매우 크면서도 측정범위 전 구간에서 수위측정 오차를 최소화하였다.

- 용도 및 특징으로서는 갈수기 수위 관측(저수지, 하천)이 가능하다. 이는 동절기에 수면 결빙으로 인해 수위측정이 어려운 지점에서 측정이 가능하다.
- 토사유입이 심한 하천수위관측이나 지하수 수위관측이 가능하므로 지하수공의 깊이와 무관하게 측정이 가능하고 휴대용 지하수 수위 측정도 가능하다.
- 온천 수위측정이나 온천수위 부존량 조사에 적합하고 유체와 센서가 비접촉식으로 수온(최대 150℃)과 성분에 전혀 영향을 받지 않고 수위측정을 할 수 있다.



[그림 2-3-7] 압력식 수위계

- 압력식 수위계의 검출기에는 투입압력식, 공기압식, 소형압력센서식이 있다.
- 투입압력식은 수위의 변화를 수압의 변화로 검출하여 수위를 측정하는 방식의 수위계이다. 이 방식은 위어 등의 상류측 수로내 또는 수위검출조에 압력 검출기를 설치하고 수두에 따른 수압을 받아 신축하는 벨로우즈 및 코일, 스프링 등의 변화량을 전기 신호로 변환, 수위를 계산한다.
- 공기압식은 수위의 변화를 공기압의 변화로 변환하여 수위를 측정하는 방식의 수위계로서 위어 등의 상류측 수로내에 도압관을 삽입하고 최대 유량의 수두에 해당하는 공기압을 연속적으로 보내주면 수위변화에 대하여 그 수두와 같아지게 될 때까지 공기압이 변화하므로 도압관과 연결되어 있는 공기압을 기록계 등으로 기록하여 유량을 측정한다.
- 소형압력센서식은 수위의 변화를 수압의 변화로 검출하여 수위를 측정하는 방식의 수위계로서 소형 수압다이아프램에서 수압을 검출하고 이 압력변화를 수위로 변환한다.

(6) 고정밀 음파식 수위계

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

나. 유속 · 유량측정 센서 및 장치

(1) 프로펠러 유속계

- 프로펠러 유속계는 컵 모양의 휠이나 프로펠러의 회전수를 이용하여 유속을 측정하는 방식으로 회전부의 회전속도와 유속이 비례하도록 설계되어 있어 미리 관계식을 검정하여 회전속도로부터 유속을 구한다.



[그림 2-3-8] 프로펠러식 유속계

(2) 전자 유속계

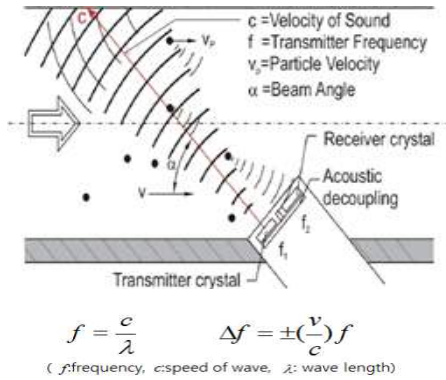
- 패러데이의 전자기 유도법칙을 이용하여 자기장을 이동하는 물에 의해 발생하는 기전력으로써 유속을 측정하는 방식이다.



[그림 2-3-9] 전자식 유속계

(3) 도플러식 유속계

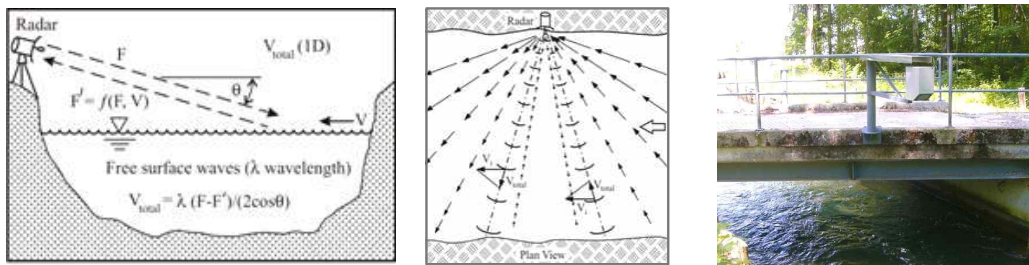
- 도플러식 유속계는 초음파를 수중을 향해서 방사한 경우, 수중의 부유물질 등의 산란체에 의해서 반사되고 도플러 효과에 의해서 반사파의 주파수가 변화한다. 이 주파수의 변화량을 계측하여 이를 다시 입자의 속도로 환산해서 유속을 측정하는 방식이다.



[그림 2-3-10] 도플러식 유속계 원리 및 형태(예시)

(4) 표면 유속계

- 표면 유속계에 의한 유량측정은 측정대상물의 횡단방향으로 일정 간격의 표면유속계를 설치하고 상류방향으로 전자파를 방사한 후 수면에서 반사되는 전자파의 도플러 효과를 이용하여 표면 유속을 측정하는 방식이다.



[그림 2-3-11] 표면 유속계 원리 및 형태(예시)

(5) 다채널 유량측정기

- 수로측면에 송신, 수신센서를 수심별로 설치하여 신호의 시간차에 따른 유속값으로부터 유량을 환산한다. 적용범위는 액체이며 형식은 Transit Time Type(시간차식 유량계)을 사용하였다.
- 작동원리를 보면 구성은 송신용 트랜스듀서, 수신용 트랜스듀서, 컨트롤러(transceiver)로 구성되어 있다.
- 다채널의 트랜스듀서는 도수부 수로 외부에 설치되고, 각각의 트랜스듀서 사이에서 초음파가 송수신되게 된다.
- 유속은 연속방정식을 사용하여 계산된 유량과 두 개의 트랜스듀서 사이의 시간 차이에 비례해서 나오게 된다.

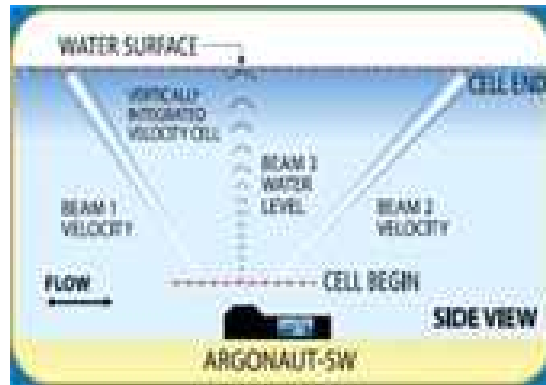


[그림 2-3-12] 다채널 유량측정기

(6) 초음파도플러 자동유량측정(ADCP)

- 수로바닥, 측면에 설치하여 도플러효과를 이용한 유량 측정방식으로 수심별 평균유속 측정 등 정확한 유량 측정이 가능하나 수면아래 설치되어 토사의 영향을 받을 수 있다.
- 도플러란 달리고 있는 기관차가 정지하고 있는 관측자에게 접근할 경우 기관차가 내는 기적의 진동 주파수는 기관차가 관측자를 지나 멀어져 갈 때 에 비해 높게 되는 것과 같은 도플러 효과를 이용하여 유속이나 유량을 측정하는 원리이다.
- 측정 방법은 초음파를 수로내 흐르고 있는 유체중에 방사하면 방사된 초음파는 유체중의 부유물이나 기포로 부터 산란, 반사된다. 이때 기포나 미소한 부유물은 유체와 함께 같은 속도로 이동하고 있는 것으로 볼 수 있으므로 송신과 주파수와 기포나 미소 부유물로 부터 산란, 반사되어 들어온 수신과 주파수는 유체의 속도에 따라 변이가 발생되고, 이를 시간으로 환산하여 유속으로 계산한다.

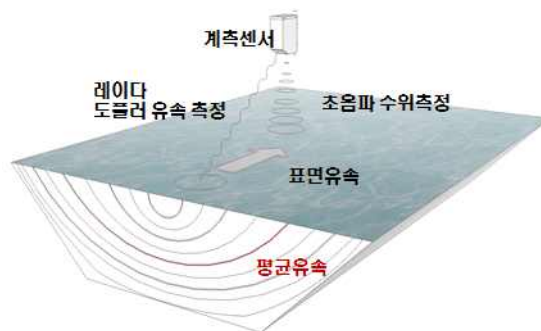
- 초음파 도플러 유량계는 깨끗한 물에 대해서 사용할 수 없으며, 유체중에 어느 정도 크기의 부유물이 있어야 한다. 현재는 부유물의 입자크기가 약 30 μm정도만 되면 사용이 가능하다.



[그림 2-3-13] 다채널 유량측정기

(7) 레이더 유량측정기

- 레이더 자동유량측정기는 초음파 도플러 자동유량측정기와 동일하게 도플러 원리를 이용한 유량측정기로 수면 위에서 레이더를 일정한 각도로 방사하여 되돌아온 신호를 분석하여 표면유속을 측정하고 유량으로 환산하며 비접촉방식으로 유지관리 용이하다.



[그림 2-3-14] 레이더 유량측정기

다. 수로 유량 조절 장치

- 수문은 농업용 관개수로에서 저수지나 양수장으로부터 공급된 용수를 적절하게 제어하여 원활한 분배가 이루어질 수 있도록 인공적으로 설치해놓은 구조물로서 기능과 역할, 그리고 구조적인 특징에 따라 다양한 종류로 나뉠 수 있다.
- 기능에 따라 분류하면 수원공에서 공급된 물을 관리하기 위한 제수문, 분수문, 방수문, 배수갑문 등으로 나뉠 수 있다.
- 제수문(Check gate)은 간선수로나 지선수로에서 흐르는 용수를 분기지에서 분기시킬 때 적정량을 일정한 수위하에서 보낼 수 있도록 물을 막는 역할을 수행한다.
- 분수문은 통상 제수문 앞에서 분기되는 지점에 설치되는 수문으로서 간선이나 지선에서 용수를 취수하여 지선이나 지거로 물을 보내는 역할을 담당한다. 각종 수로의 크기상 제수문보다는 작은 것이 특징이며 제수문과 연동하여 운영을 한다.
- 보통 분수문은 수동식 수문이 많고 이를 제어감시인원이 용수사용시기에 수문의 개도를 적정히 정하여 운영하고 있다.
- 방수문은 수로 내의 송수량이 월류를 초래할 정도로 많을 때나 또는 집중강우와 같이 일시에 많은 물이 유입될 때 방수문하류에서 초과유량에 따른 수로범람, 농경지 침수, 수리시설물 파괴와 같은 피해를 방지하기 위하여 물을 배수로나 하천으로 방류시키는 역할을 주로 행한다. 수로 및 설정 방류량의 다소에 따라 수문의 크기가 달라지기 때문에 수동식과 전동식이 경우에 따라 병행하여 사용되고 있다.
- 배수갑문은 농업용 수문 중 가장 말단에 위치한 것으로서 목적은 최종적으로 사용하고 남은 물을 바다로 방류하는데 있다. 수문의 크기가 크고 대부분 전동식으로 운영된다.
- 동력사용여부에 따라서 분류할 경우 수동식 수문의 경우에는 스프링클식과 잭키식으로 나뉘고, 동력식 수문의 경우에는 일반 상용전원 동력식과 태양광 동력식으로 나뉠 수 있다.
- 수동식 수문은 수문의 개폐를 인력으로 행하는 수문으로서 현재까지 통상적으로 농업용 수로 내에 제작·설치되어 있는 수문이다. 수문의 특성상 개폐를 하는데 많은 힘을 요하기 때문에 주로 작은 크기의 수문(지선급 이하의 수로에 설치되어 있는 수문)을 대상으로 활발히 보급하여 왔다.
- 수동식 수문의 경우에는 전동식 수문에 비해 초기 제작설치비가 싸며 운영과 관리에 있어서도 간편한 점이 장점이다.
- 스프링클식 수문은 스프링클이라는 기어에 직접 수문개폐를 용이하게 할 수 있는 핸들을 달아서 핸들을 돌리는 동작에 의해 수문을 개폐하는 방식을 이용하므로 수문이

움직이는데 드는 힘은 수문비의 중량과 스피들의 핸들까지의 거리가 모멘트로서 작용한다. 단순한 구조와 조작의 간편함이 스피들 수문을 널리 이용하게 한 원인이기도 하지만 개폐시 한꺼번에 많은 힘과 시간을 요하는 단점도 있다.



[그림 2-3-15] 스피들식 수문

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



[그림 2-3-16] 재키식 수문

- 동력식 수문은 수문의 개폐작동을 전기의 힘으로 하는 것으로서 일반전기사용 자동수문과 태양광 자동수문, 그리고 IoT 저전력 자동수문으로 나뉜다.

- 일반전기사용 동력식 수문은 단상(220N Volt) 또는 삼상(380 Volt)의 전기를 인입을 시키고 이를 계산된 용량의 모터를 설치하여 사용한다.



[그림 2-3-17] 일반전기사용 자동수문

- 태양광 사용 동력식 수문은 태양열을 이용하여 전기를 발생시켜 배터리에 축전하고 수문 작동시에는 배터리의 전기를 이용하여 개폐한다.
- 태양열 수문은 태양광의 한계와 배터리 관리의 어려움 및 기상환경에 따른 성능 저하가 발생할 수 있기 때문에 현장 적용시 이에 대한 고려가 필요하다.



[그림 2-3-18] 태양광 사용 동력식 수문

- IoT 저전력 자동수문은 기존 개폐방식을 개선하여 나사산 구조로 된 개폐축이 회전함에 따라 문비와 일체로 조합되어 있는 개폐축 하단의 너트케이스가 상·하로 이동

하면서 문비를 개폐한다.

- IoT 통신 기술과 접목하여 저전력 기반의 컨트롤 박스, 개폐모터, 리미트 스위치, 밀폐형 배터리, 문틀, 문비, 개폐축으로 구성된다.



[그림 2-3-19] IoT 저전력 자동수문

라. 물꼬 제어 장치

- 현재 우리나라에서 사용되는 급수용 물꼬는 수로에서 논으로 PVC파이프 등을 연결한 급수관 형태로 되어 있으며 천이나 비닐 등을 마개로 사용하고 있다.
- 일부에서는 개량형 물꼬를 설계에 반영하고 있으나 수동식으로서 단지 개폐를 위한 마개를 부착시켜 편의성을 증진한 것이다. 최근 개발중에 있거나 일부 경지정리지구에서 사용되는 개량형 급수물꼬로는 밸브형, 마개형 및 자동형 등이 있다.
- 밸브형과 마개형의 경우 급수 차단력이 기존 물꼬에 비해 우수하고 구조가 간단하며 가격이 저렴하다는 장점이 있으나 인력에 의해 작동되므로 농업용수나 노동력의 절감을 기할 수 없는 단점이 있다.



밸브식 물꼬



마개식 물꼬

[그림 2-3-20] 수동형 물꼬

- 자동형의 경우 포장 담수심을 센서·부표 등으로 감지하여 급수를 자동으로 조절함으로써 농업용수 및 물꼬조작 노동력절감과 효율적인 포장급수를 실현할 수 있는 장점이 있으나 이물질 등에 의한 막힘이나 가격 문제는 해결이 필요하다.



[그림 2-3-21] 자동형 물꼬

마. 증발량 측정 센서 및 장치

- 저수지의 물수지를 정밀하게 수행하기 위해서는 강수량, 유입량, 방류량뿐만 아니라 수면에서의 증발량 자료가 필요하다.
- 수면에 증발량 측정을 위한 센서 및 장치를 안정적으로 계류하고, 수면에 설치된 대형증발계의 급·배수를 기준수위에 맞게 자동조절하며, 증발에 의한 수위변동을 정확하게 관측할 수 있는 기술이 요구된다.
- 저수지 수면증발량을 자동으로 관측하기 위해 정밀수위계, 수면증발관측용 대형증발팬, 자동급배수장치, 전원공급시스템, 우량계 등이 필요하다.

(1) 정밀수위계

- 대형증발팬에 채워져 있는 물은 온도, 풍속, 상대습도에 따라 증발과 응결을 반복한다. 증발과 응결에 따른 수위변동은 매우 미세하며 현장 조건에서 이러한 변화를 지속적으로 모니터링하기 위해서는 정밀도와 내구성이 높은 수위계가 필요하다.

(2) 수면증발관측용 대형증발팬

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



[그림 2-3-22] 대형증발팬에 장착된 부력식 수위계

(3) 자동급배수장치

- 대형증발팬에 채워져 있는 물의 양은 증발에 의하여 감소하고 응결 및 강수에 의하여 증가하므로 인위적인 물 채움과 비움이 가능하도록 팬 하부에 밸브를 설치하고 주기적인 제어를 통해 개·폐를 반복하여 저수면과 동일 수위가 되도록 유지하는 것이 중요하다



[그림 2-3-23] 자동급배수장치

(4) 전원공급시스템

- 상시적인 전원이 들어오지 않는 야외에서의 현장관측은 태양광 등을 이용한 전원공급시스템 구축이 매우 중요하다. 효율적이고 안정적인 전원 확보가 전제되어야 결측없는 양질의 자료 생산이 가능하기 때문이다.

(5) 강수량계 설치

- 증발량관측 지점과 동일한 장소에서의 강수량 파악을 위해 우량계를 동일 장소에 설치하며, 전도형, 중량형, 초음파 강수량계를 이용할 수 있다.



[그림 2-3-24] 전원공급시스템과 강수량계 설치

(6) 전도형 강수량계

- 전도형 강수량계는 수수구에 모인 강수가 아래의 계량컵에 낙하하여 계량컵에 소정의 빗물이 차게 되면, 한 쪽으로 기울어지면서 자력식 스위치를 작동시켜 펄스 신호를 발생시키고 계량컵에 채워진 강수는 집수통으로 배출되는 것이다. 이와 같은 동작을 좌우에 설치된 계량컵이 교대로 수행하면서 발생하는 펄스의 수를 카운트하는 방식이다. 전도형 강수량계는 육안관측이 용이하고 히팅장치를 가동하는 동절기를 제외하고는 별도의 전원공급이 필요 없다는 장점이 있으나 높은 강우강도에서 계량컵의 전도 간격이 짧아져 강우 유실량이 증가하고, 어느 한계점 이상이 되면 관측 불능상태가 되는 구조적 한계를 지니고 있다. 낮은 강우강도에서 부분 충전된 계량컵이 전도되지 않아 우량이 측정되지 않거나 차후에 내리는 강우에 의해 전도되어 펄스를 출력하기도 한다.

(7) 중량형 강수량계

- 중량형 강수량계는 로드셀 등의 센서를 통해 중량의 변화에 따른 전기적인 저항 변화를 감지하여 이를 강수량으로 환산하는 원리를 이용하고 있다. 기존의 전도형 강수량계에 비해 정밀도가 우수하나, 바람의 영향으로 측정 오차가 발생하고 유지보수가 까다롭다. 강우측정의 원리상 집수통을 자동으로 비우는 시스템이 적용된 모델이라 할지라도 강제 배수에 소요되는 시간동안 강수량을 측정할 수 없기 때문에 연속적인 측정이 어렵고, 남아있는 물이나 내부의 결빙이 오차로 작용한다.

(8) 초음파 강수량계

- 집중호우 등 급변하는 기후특성에 적합하도록 넓은 강우강도에서 연속적인 측정이 가능한 강수량계로, 초음파 진동자를 이용하여 빗방울의 낙하속도를 측정하고, 유체가 지나는 유로에서 통과 단면적과 유속으로부터 강수량을 계산하는 방식이다. 유지보수 측면에서는 종래의 우량계에서 문제가 되었던 기계적 마찰로 인해 발생하는 오차와 고장을 최소화하였고, 비교측정에 소요되는 시간이 감소한다.



전도형 강수량계



중량형 강수량계



초음파 강수량계

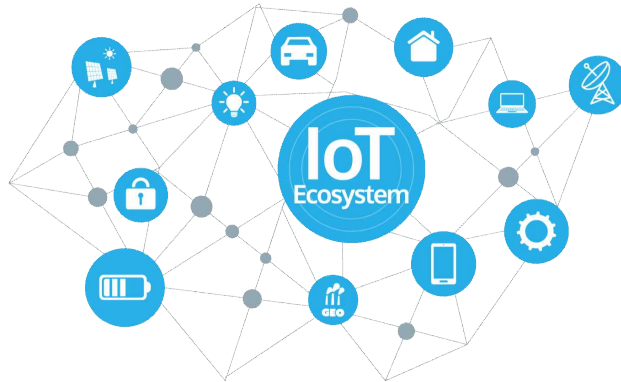
[그림 2-3-25] 강수량계 종류

2. IoT, ICT, 빅데이터를 이용한 농업용수 관리시스템 현황 분석

가. IoT, ICT, 빅데이터 활용사례

(1) IoT 활용사례

- IoT(사물인터넷)는 사물에 센서를 부착해 실시간으로 데이터를 인터넷으로 주고받는 기술이나 환경을 일컫는다. IoT는 사람 · 기기 · 공간 · 데이터 등 모든 것이 네트워크로 연결되어 사람과 사물뿐만 아니라 사물과 사물 사이에서도 데이터를 교환할 수 있는 기능을 보유하고 언제 어디서나 상호 소통할 수 있는 생태계를 말하는 것으로, 산업혁명과 정보화혁명 이후에 도래가 예상되는 초연결혁명 시대에서의 초연결 인터넷을 말하는 것이다. IoT 기술은 이러한 초연결 인터넷을 구축하고 인간에게 서비스가 제공될 생태계를 구성하는 새로운 혁신 기술이다.



[그림 2-3-26] IoT Ecosystem 개념도

- IoT가 제대로 돋보이는 영역은 바로 스마트홈이다. 이에 스마트홈 기술이라고 불리기도 하는데, 기본적으로 온도 조절기를 비롯해 현관의 초인종이나 보안 시스템, 심지어는 아기를 모니터하는데 스마트폰 하나면 모든 게 가능하다. 이처럼 스마트폰과 연결된 집안의 모든 구성품들은 보다 편리하게 가정생활을 즐길 수 있도록 해준다.
- 실제로 이러한 스마트홈 기술은 수요가 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이와 관련해 삼성이나 애플 등 글로벌 스마트폰 제조사들은 가정을 이전보다 훨씬 더 똑똑하게 만들 수 있는 많은 이점을 이용하고 있다. 애플의 경우 전 세계의 모든 아이폰 운영체제 기기에 홈 애플리케이션을 통합시켰으며, 홈킷 이니셔티브를 통해 주요 하드웨어와 가전 업체와의 파트너십도 적극적으로 구축하고 있다.
- 홈 앱은 사용자가 집 앞으로 접근하면 바로 감지해 현관문을 자동으로 열어주는 데, GPS 기능으로 이 작업이 가능하다. 이외에도 조명이나 에어컨 및 다른 제품을 가동 시키는데 스마트폰 버튼 하나면 충분하다.



[그림 2-3-27] IoT 스마트 홈 개념도

- 홈cctv 맘카2는 유플러스에서 선보인 IoT 사례로 양방향 위키토키 가능 제품이다. 스마트폰으로 맘카2가 찍고 있는 화면을 그대로 고화질로 받아볼 수 있으며, 실시간으로 외부에서 스마트폰을 이용해 카메라의 각도 제어도 가능하다. 좌우로 345도, 상하로 110도로 움직일 수 있고 스피커도 내장되어 대화도 가능한 IoT 서비스이다.



[그림 2-3-28] 홈cctv 맘카2

- 냉동/냉장 창고 및 차량의 내부 보관 상태(온도, 습도, CO₂ 등)를 실시간 모니터링을 통해 저장품 품질을 유지하며, 공조설비(냉동기, 히팅설비 등) 상태 모니터링을 통해 설비의 이상/고장 여부를 실시간으로 관리하는 것도 IoT 기술을 이용한 사례이다.



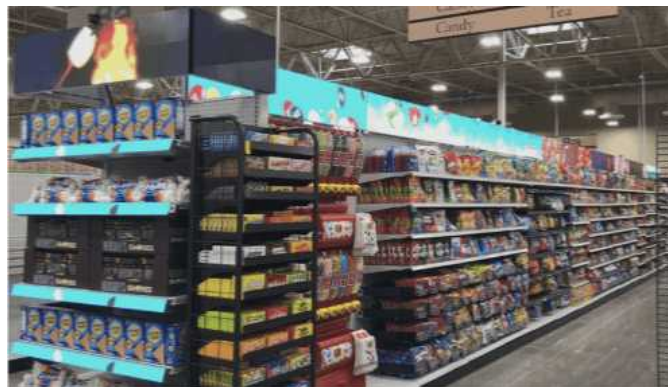
[그림 2-3-29] IoT를 이용한 전자제품 예시

- Automated Checkout은 마트와 IoT가 결합된 사례로 고객이 마트에서 나갈 때 각 물건의 고유 태그를 시스템에서 자동으로 읽을 수 있도록 셋팅하고 체크 시스템은 체크한 제품의 태그를 자동으로 고객의 모바일 페이 어플을 통해서 지불되게 하는 것이다. 또한 특정 단골 고객이 제품 주위에 있을 때 자동으로 특별 할인권을 고객의 모바일을 통해 보낼 수 있는 개별할인도 마트 등에서 적용이 가능한 IoT 사례이다.



[그림 2-3-30] Automated Checkout(amazon go)

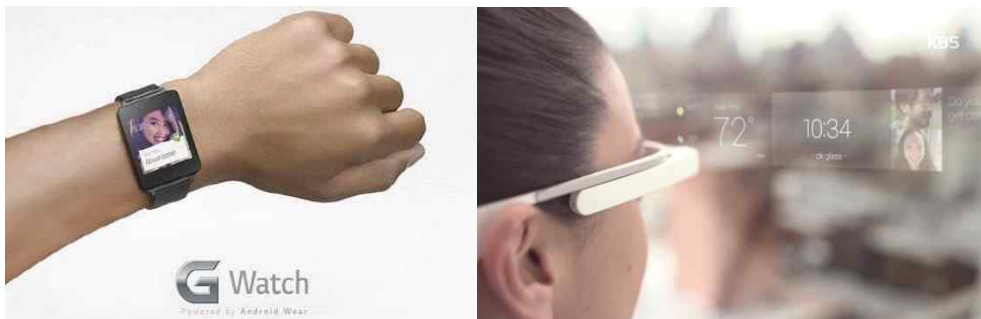
- Smart Shelves는 무게 센서가 결합이 되어 있어서 해당 제품의 재고가 부족하거나, 선반위에 잘못 놓여 있을 때 이것에 대해 실시간으로 알려준다. 이것은 곧 매 시간마다 재고를 체크하고 물건을 재배치하는 데 시간을 쏟지 않아도 되기 때문에 효율적이며, 더욱 정확하게 일을 할 수 있다.



[그림 2-3-31] Smart Shelves

(2) ICT(Information Communication Technology) 활용사례

- ICT는 정보 기술(Information Technology)과 통신 기술(Communication Technology)을 합한 말로, 정보 기기의 하드웨어, 운영, 정보 관리에 필요한 소프트웨어 기술과 이들 기술을 이용하여 정보를 수집, 생산, 가공, 보존, 전달, 활용하는 모든 방법으로서, 자기에서 필요한 자료를 수집하고, 가공하고, 재창출하기 위해서 필요한 과학적 지식과 관련한 학문이다.
- 융복합 산업이 시대의 화두가 되며 ICT가 중요한 의미로 확장되고 있는데 예를 들면 ICT 융합형 인재, ICT 융복합 산업 등의 추구하고 더불어 모든 사물에 컴퓨팅 및 네트워크 기능이 탑재되는 IoT와 밀접한 연관을 가지고 있다.
- ICT는 기반 기술의 속성을 가지고 있어 네트워킹, 컴퓨팅, 센서, 실행 등 타 산업과의 접목이 용이하다.
- 제품 차원의 융합은 기존 제품에 ICT적 기능이 접목되고 강화됨에 따라 기존 제품의 성능이 비약적으로 확대되거나 새로운 제품 카테고리를 형성하는 것을 의미한다. 웨어러블 디바이스(LG GWatch, Google Glasses 등), 무인 자동차 등을 그 예로 들 수 있다.



[그림 2-3-32] 웨어러블 디바이스



[그림 2-3-33] 무인 자동차

- 서비스 차원의 융합은 ICT를 활용하여 이용자에 더 나은 서비스를 제공하고자 교육, 의료 분야 등에서 이루어지고 있다. 전자책, 스마트 헬스케어, 클라우드, 빅데이터 서비스, 사물 인터넷(IoT), 모바일 결제 서비스 등을 그 예로 들 수 있다.



[그림 2-3-34] 전자책



[그림 2-3-35] 스마트 헬스케어



[그림 2-3-36] 사물 인터넷



[그림 2-3-37] 빅데이터



[그림 2-3-38] 모바일 결제 서비스

- 산업 차원의 융합은 통신, 방송 및 컴퓨팅 부문이 점차 디지털 융합을 통하여 상호 연관성이 높아지는 것에 기인하는데 스마트 TV, 디지털 콘텐츠 유통 시장 등을 그 예로 들 수 있다.



[그림 2-3-39] 스마트 TV

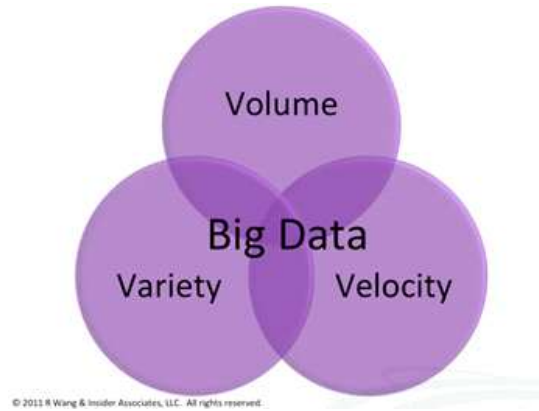
- 정보통신기술진흥센터(IITP)는 2008년부터 매년 ICT 10대 이슈를 선정하여 발표하고 있는데 이는 4차 산업혁명시대의 변화에 선제적으로 대비하기 위한 것이다. 2018년에 ICT 산업에서 중요하게 대두될 10대 이슈는 인공지능, 자율주행차, 사물인터넷, 사이버보안, 디지털 헬스케어, 증강현실, 스마트 팩토리, 핀테크, 블록체인, 5G이다. 2017년도와 비교하면 드론/로봇과 생체인식이 제외되었고 2018년에 핀테크와 5G가 새로이 추가되었다.



[그림 2-3-40] 2018 ICT 10대 이슈 전망

(3) 빅데이터 활용사례

- 빅데이터는 다양한 관점에서 정의할 수 있다. 데이터의 규모에 초점을 맞춘 경우는 기존 데이터베이스 관리도구의 데이터 수집, 저장, 관리, 분석 역량을 넘어서는 데이터로 정의한다.
- 업무 수행 방식에 초점을 맞춘 경우는 다양한 종류의 대규모 데이터로부터 저렴한 비용으로 가치를 추출하고, 데이터의 빠른 수집, 발굴, 분석을 지원하도록 고안된 차세대 기술 및 아키텍처로 정의한다.
- 빅데이터의 3대 요소(3V)를 그림으로 표현하면 다음과 같고 3대 요소 가운데 두 가지 이상의 요소만 충족된다면 빅데이터라고 볼 수 있다.



[그림 2-3-41] 빅데이터의 3대 요소

- 크기(Volume) 관점에서 일반적으로 수십 테라바이트(terabyte) 혹은 수십 페타바이트(petabyte) 이상이 빅데이터의 범위에 해당하고 1 페타바이트는 6 기가바이트 DVD 영화를 17만 4천 편을 담을 수 있는 용량이다.
- 빅데이터는 기존 파일 시스템에 저장하기 어려울 뿐 아니라 데이터 분석을 위해 사용하는 기존 솔루션에서 소화하기 어려울 정도로 급격하게 데이터의 양이 증가하고 있다.
- 이러한 문제를 극복하려면 확장 가능한 방식으로 데이터를 저장하고 분석하는 분산 컴퓨팅 방식으로 접근해야 하는데 현재 분산 컴퓨팅 솔루션에는 구글의 GFS, 아파치의 하둡 등이 있다. 대용량 병렬 처리 데이터베이스로는 EMC의 GreenPlum, HP의 Vertica, IBM의 Netezza, 테라데이터의 Kickfire 등이 있다.
- 속도(Velocity) 관점에서 빅데이터의 특징은 크게 실시간 처리와 장기적인 접근으로 나눌 수 있다.
- 오늘날 디지털 데이터는 매우 빠른 속도로 생성되기 때문에 데이터의 수집, 저장, 분석 등이 실시간으로 처리되어야 하지만 모든 데이터가 실시간 처리만을 요구하는 것은 아니다.
- 수집된 대량의 데이터를 다양한 분석 기법과 표현 기술로 분석해야 하는데, 이는 장기적이고 전략적인 차원에서 접근할 필요가 있다.
- 통계학과 전산학에서 사용하는 데이터 마이닝, 기계 학습, 자연어 처리, 패턴 인식 등이 분석 기법에 해당한다.
- 다양성(Variety) 관점에서 데이터는 정형화 정도에 따라 정형(Structured), 반정형(Semi-Structured), 비정형(Unstructured)으로 구분된다.
- 정형 데이터는 고정된 필드에 저장되는 데이터를 의미하며, 일정한 형식을 갖추고 있다.
- 반정형 데이터는 고정된 필드로 저장되지는 않지만, XML 이나 HTML 같이 메타데이터

이터나 스키마 등을 포함한다. 비정형 데이터는 고정된 필드에 저장되지 않는 데이터를 의미한다.

- 사진, 동영상, 메신저로 주고 받은 대화 내용, 스마트폰에 기록되는 위치 정보, 통화 내용 등이 이에 해당하며 빅데이터는 비정형 데이터도 처리할 수 있어야 한다.
- 스마트폰과 같은 디지털 기기의 보급과 소셜네트워크서비스(SNS)의 부상으로 엄청난 양의 데이터가 생산됨에 따라 빅데이터가 출현하게 되었는데 빅데이터는 기업, 정부, 의료, 교육 분야에서 그 가치가 입증되고 있으며, 빅데이터를 적극적으로 활용하는 기업은 비즈니스 성과를 개선할 수 있음을 보여주고 있다.



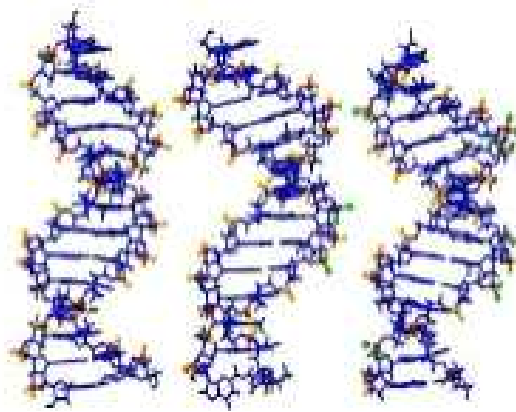
[그림 2-3-42] 산업별 빅데이터 활용 사례

- 글로벌 패션기업인 자라(ZARA)는 빅데이터 분석을 통해 상품 공급 프로세스를 혁신하고 재고 수량을 최적화함으로써 매출과 영업이익을 크게 증대시켰다.



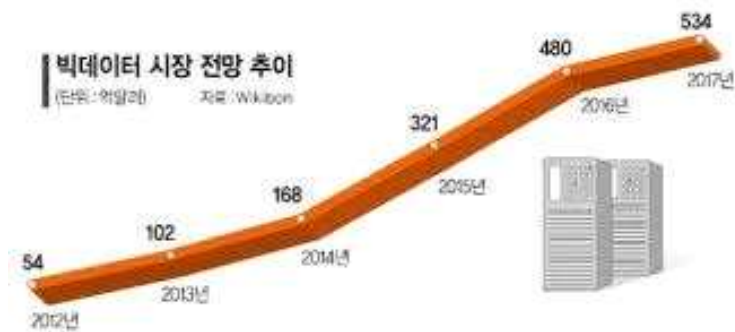
[그림 2-3-43] ZARA의 빅데이터 활용

- 빅데이터는 의료 분야에서도 적용이 확대되고 있는데 최근 일본 IBM과 도호대학은 의료정보를 분석해 미래 질병을 예측할 수 있는 시스템을 개발했다고 발표하였다 (의료 기록에 텍스트 분석 기술을 적용). 인간의 DNA를 구성하는 염기서열 1 쌍당 4 테라바이트의 이미지 데이터가 생성되는 DNA 연구 분야에서도 빅데이터 기술이 활발하게 적용되고 있다.



[그림 2-3-44] 빅데이터를 이용한 DNA 염기서열 분석

- 국가 차원에서도 빅데이터에 대응하기 위한 다양한 정책이 발표되고 있으며(미국 백악관, 일본 총무성과 국가전략회의 등), 빅데이터의 시장은 지속적으로 규모가 확대될 것으로 전망되고 있다.



[그림 2-3-45] 빅데이터 시장 전망 추이

나. 농업용수 관리시스템 현황

(1) 농업기반시설관리시스템(RIMS)

(가) RIMS 구축 사업의 목적

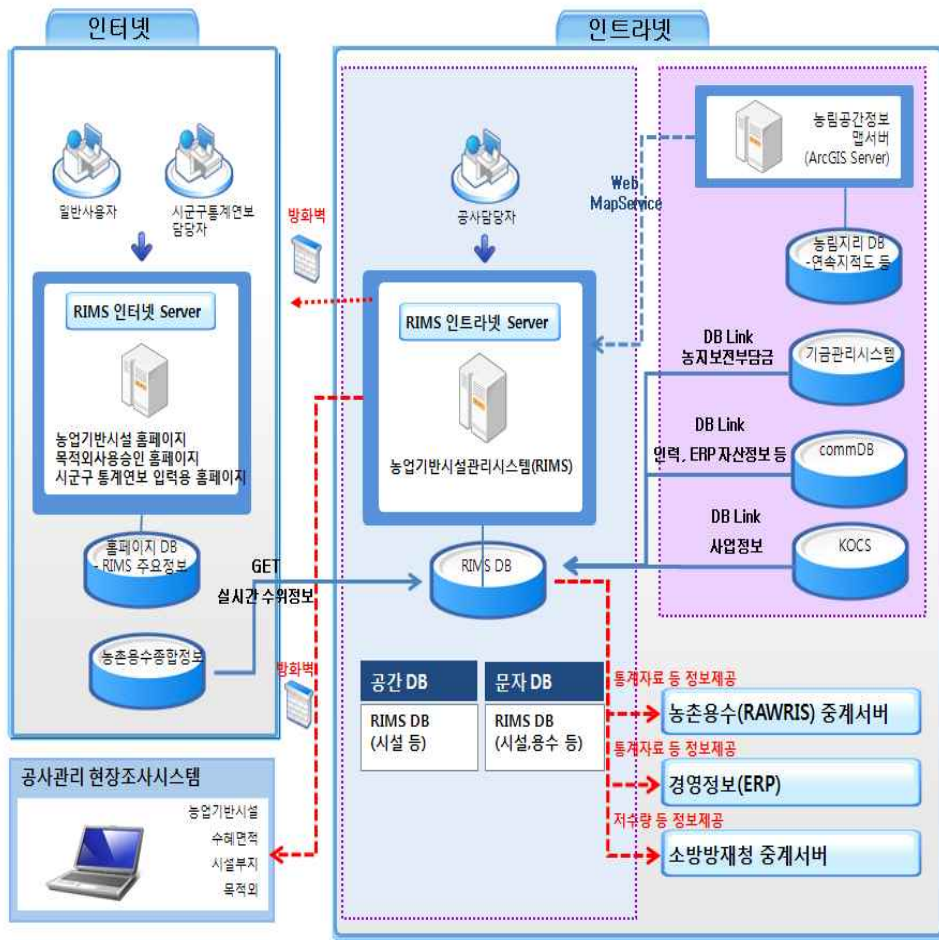
- 농업기반시설 관리 일원화에 대비하여 시스템의 고도화를 추진함으로써 공사 및 지자체 수리 시설물의 효율적 관리를 추진하고, 통계연보 발행의 효율적 지원을 통해 공사 사업홍보 및 주요농정 시책 수립의 정확성을 제고하며, 시스템의 기술환경 개선 및 정보관리 수준 강화로 사용성 및 효율성을 도모하여 체계적이고 종합적인 용수관리를 지원하고자 추진되었다.



[그림 2-3-46] RIMS 메인 화면

(나) RIMS 추진배경 및 필요성

- 2012년 국정감사에서 수리시설의 효율적 관리를 위한 농업기반시설물 일원화 관리에 대한 제도개선 방안을 요구하였고 지자체시설물 관리는 통계연보 발행을 위한 수준으로 관리중이며, 다수의 지자체에서 공사수준의 관리 시스템 개발을 요구하여 지자체 농업기반시설물 관리 일원화를 위해 추진되었다.
- 또한 농업생산기반정비 통계연보를 이용해서 농업생산기반정비사업의 실적을 기록·보존하여 농업기반시설물의 효율적 유지관리와 사업성과 홍보 등 주요 농정시책 수립 자료로 활용할 필요가 있었고 2012년 통계연보 체계를 농어촌정비법 사업체계에 맞추어 재편성함으로써 통계연보 시스템 재개발이 필요하게 되었다.



[그림 2-3-47] RIMS 시스템 구성도

(다) RIMS 주요 역할(기능)

- RIMS의 주요 관리 정보

- 농업기반시설 정보, 농업용수 정보, 목적외 사용 정보, 시설GIS 정보, 재해관리 정보, 통계 연보 정보, 기타자료관리 정보 등

- 농업기반시설 정보

- 저수지, 양(배)수장, 취입보, 집수암거, 관정, 집수정, 방조제, 용배수간지선, 기타시설 기본정보, 위치정보, 면적정보, 사진정보 등 관리
- 저수지, 양(배)수장, 취입보, 집수암거, 관정, 집수정, 방조제, 용(배)수간지선, 기타시설의 상세정보를 조회·수정하는 기능을 제공함
- 시설물의 개보수 이력 및 유지관리 현황 정보 제공



(a) RIMS 농업기반시설



(b) RIMS 농업기반시설 상세

[그림 2-3-48] RIMS 농업기반시설

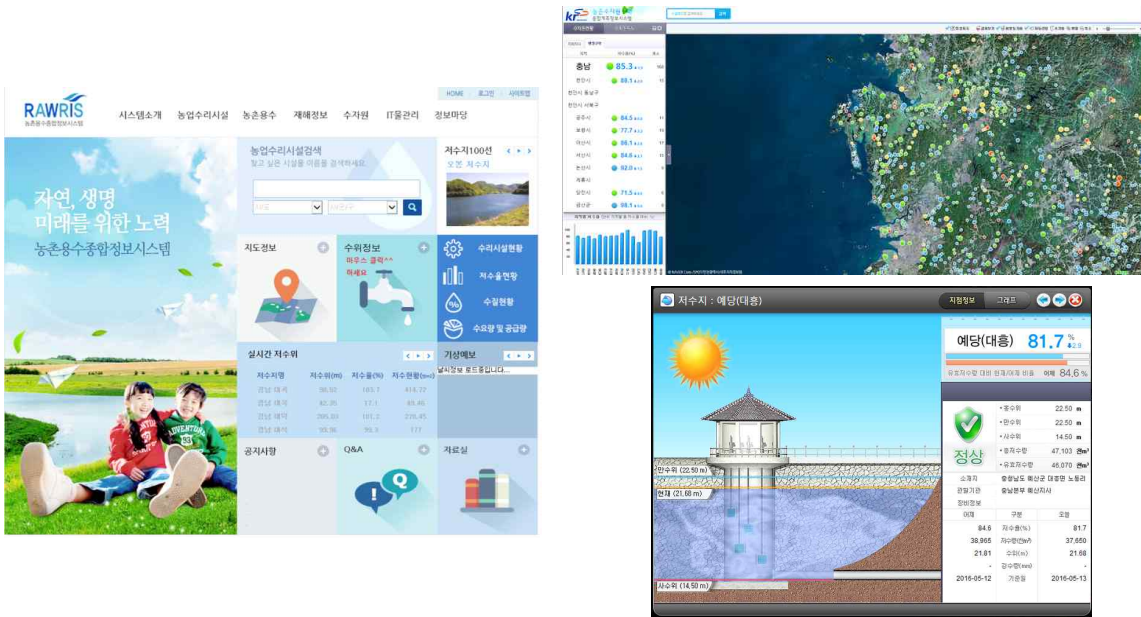
* 접속 URL : <http://rims.ekr.or.kr/>

- 농업용수 정보
 - o 시설물의 저수량 정보를 시설관리에서 제공하고 있음
- 목적외 정보
- 시설GIS정보
 - o GIS를 사용한 시설물 정보의 등록, 수정, 조회 기능을 제공함
 - o GIS를 사용한 안전점검, 정밀안전진단 상태 정보 제공
- 재해관리정보
- 통계연보정보
- 안전 관리 정보
 - o 각 시설별 안전점검, 정밀안전진단 정보를 제공
- 시설물 인허가 정보
- 기타 정보
 - o 시설 등록부, 민원소송자료, 언론보도, 재해예방계획자료 등
 - o 기전시설물, 건축시설물, 기전개보수이력 정보 등

(2) 농촌용수종합정보시스템(RAWRIS)

(가) RAWRIS 구축 사업의 목적

- 국무총리실 주관으로 관련부처(건교부, 환경부, 농림수산식품부 등)가 공동으로 참여하여 「물관리정보화기본계획('99.12.30)」을 확정하고 “국가 물관리정보 유통시스템” 구축을 위해 국토교통부는 수량, 환경부는 수질, 농림축산식품부는 농촌용수 부문 정보시스템을 구축하여 정부의 농촌용수 관련 정책수립 지원을 위한 다양한 정보를 제공해서 농업용수 및 농촌 생활·환경용수 등 지역의 다양한 용수수요 증가와 홍수, 가뭄 등 농촌지역의 재해에 대비하기 위한 정부 정책수립 지원을 위해 추진되었다.



(a) RAWRIS 메인 화면

(b) RAWRIS 상세 화면

[그림 2-3-49] RIMS 농업기반시설

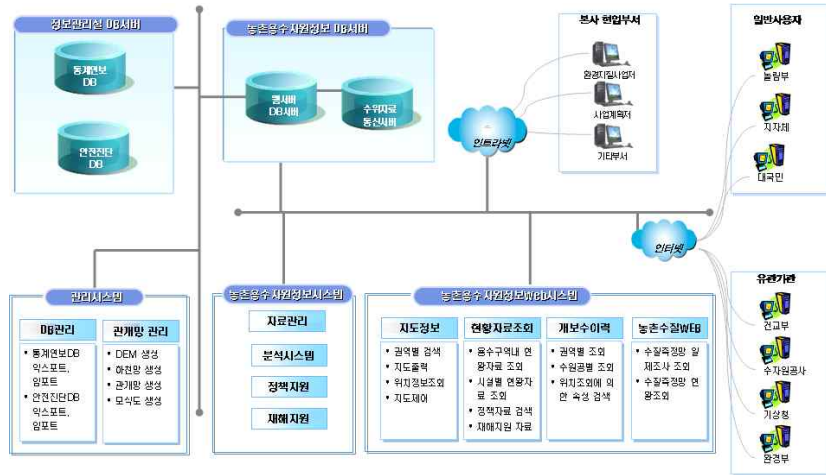
* 접속 URL : <http://rawris.ekr.or.kr/>

(나) RAWRIS 주요 역할(기능)

- 주요 관리 정보
 - 소하천과 수리시설물(수원공 및 평야부)의 관개 정보, 자동 수위계 관리 정보 등을 관리한다.
- 소하천-수원공 네트워크 정보
 - 농촌용수구역내 물 흐름(관개·배수) 특성 분석을 통한 농촌용수 공급량 산정, 가뭄·홍수

등 재해예측 등

- 소하천 표준화 코드 부여, 소하천 속성자료 관리, 분석시스템 등



[그림 2-3-50] RAWRIS 시스템 구성도

- 수리시설물의 기초자료 정보

- 소하천 표준화 코드 부여, 소하천 속성자료 관리, 분석시스템
- 시설, 수질자료, 시·도별 통계원보 자료, 행정구역 자료 등의 갱신 관리

- Web관리되는 GIS 정보

- 농촌공사 지사 및 담당자가 직접 농촌용수 DB/GIS의 최신정보를 입력, 수정, 편집 등이 가능하도록 제공

- Web기반 자동수위계 계측정보

- 자동수위계의 데이터를 검색 및 활용
- 수로, 저수지의 저수율, 통과유량 등을 산정하여 제공

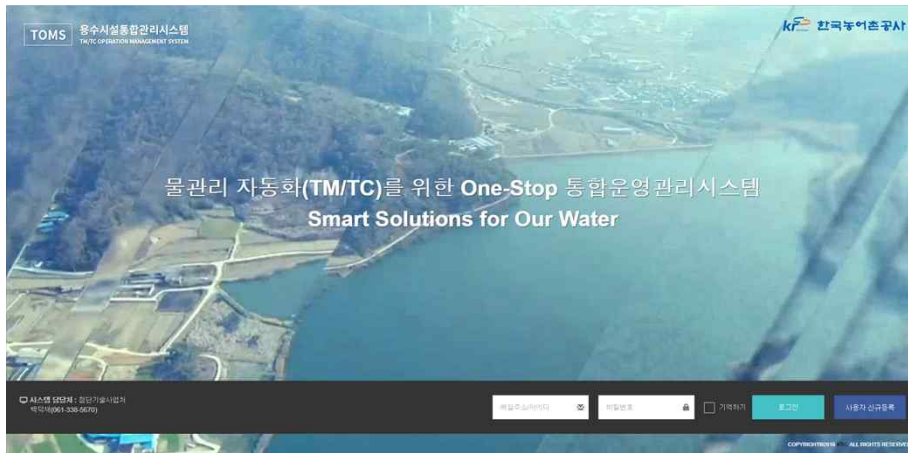
(3) 용수시설통합운영관리시스템(TOMS)

(가) TOMS 구축 사업의 목적

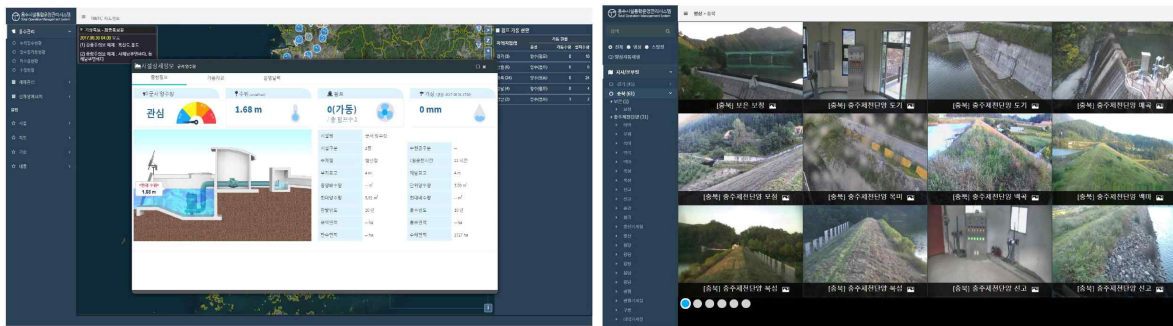
- 전국단위 수리시설 운영정보 통합관리체계 구축을 통해 과학적인 계측정보관리 및 선제적 재해 대응 체계를 마련하고 지구온난화로 인한 기후변화로 기상이변이 발생하고 이로 인한 시설물 안전 및 기상재해에 대한 대응체계를 구축하기 위해서 시스템 표준화 및 데이터 통합관리를 통해 정보의 개방과 소통으로 원활한 공유와 활용이 가능하도록 구축 사업을 진행하였다.

(나) TOMS 추진배경 및 필요성

- 그간 자동화사업의 문제점을 개선하고, 시스템의 활용도 향상을 위한 전국단위 TM/TC 통합운영관리시스템 구축을 추진하고 시스템 표준화 방안 및 활용 극대화를 위한 시스템 적용의 재정립이 요구됨에 따라 이 사업을 추진하였다.



[그림 2-3-51] TOMS 메인 화면



[그림 2-3-52] TOMS 상세 화면



[그림 2-3-53] TOMS 시스템 구성도

(다) TOMS 주요 역할(기능)

- 용수시설통합운영관리시스템
 - TM/TC 데이터 취합 및 표준DB, HMI 통한 데이터 연계
 - 계측기 계측정보, 시설제원정보, 현장 정보등 제공
 - 양수장의 용수공급 운영 정보 제공
 - GIS 기반의 시설물(저수지, 양수장, 취입보 등) 정보 제공
 - 공공데이터포털 연계 기능 제공
 - 재해관리를 위한 수해·한해 현황 정보, 시설 운영 정보 제공
- 영상통합운영관리시스템
 - 현장의 영상정보와 계측자료 정보를 제공
 - 영상정보의 이미지 정보로 변환 제공
- 모바일기반 시설통합운영관리시스템
 - 용수시설 시설정보, 시설별 계측자료 제공
- 광역수계 및 광역물정보프로그램
 - 공사 제공 지역별 주요 광역수계의 관리 및 보고자료 제공
- 수자원종합상황실 자동화 연계
 - 재해대비 양수장, 배수장의 현황 정보(CCTV포함) 실시간 연계 제공

(4) 농업가뭇관리시스템(ADMS)

(가) ADMS 구축 사업의 목적

- 농업·농촌 가뭇관련 각종 기초정보를 수집·생산·통합하고, 가뭇상황 분석 및 향후 전망을 통하여 가뭇 전주기(예방-대비-대응-복구)를 대상으로 선제적·체계적 가뭇관리가 가능하도록 농업가뭇지도제작시스템 고도화 사업을 추진하였다.

(나) ADMS 추진배경 및 필요성

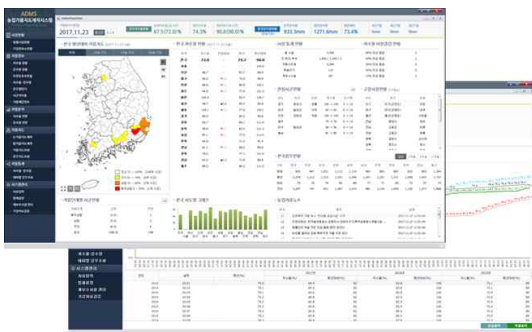
- 2017년 1월부터 범부처 가뭇 예·경보제도 정식 운영 지원방안을 마련할 필요가 있어 가뭇 예·경보를 정식 운영하여 농업가뭇 예·경보 운영을 지원한다.
- 농업분야 대외상황 및 기후변화에 대응하기 위한 통합적 접근이 필요한데 기존 방법인 저수율과 토양수분만으로 농업가뭇을 판단하는데 한계가 나타남에 따라 농업가뭇지도 제작 및 농업가뭇상황 판단 정밀도를 향상 시킬 필요가 있었다.
- 유관기관간 기초자료 시스템 연계 방안을 마련하고 농업 특성을 감안한 농업가뭇기준을 정립하여 효과적인 가뭇 예측과 대책을 추진하며, Web 서비스 시스템 구축을 통해 대국민 가뭇정보 제공이 가능하도록 사업을 추진하였다.



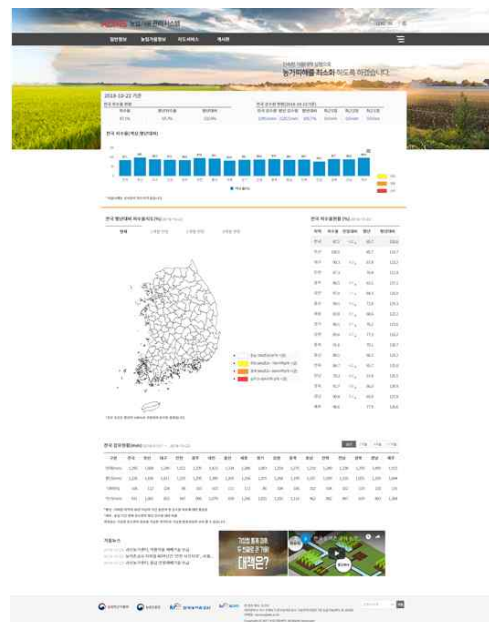
[그림 2-3-54] 범부처 가뭇예경보 구성도

(다) ADMS 주요 역할(기능)

- 저수지 시설의 현황 정보 제공
 - o 시도, 시군, 시설별 저수율 정보 제공
 - o 행정구역별, 지사별 강수량 정보 제공
 - o 시설별 강수량-저수율 분석 정보 제공
- 저수지 현황 및 저수율 예측
 - o 추계학적 모델 적용을 통한 저수율 예측
 - o 강우-유출, 무강우 모델 적용을 통한 저수율 예측
- 강우지도 제공
 - o 기상관측 강수량 정보 기준의 강우지도 제공
- 논·밭 가뭄지도제작, 편집
 - o 가뭄재해 위기 관리매뉴얼 위기수준의 지도제작, 편집
 - o 범부처 가뭄예정보 기준의 지도제작, 편집
- Web 기반의 정보공유 체계
 - o 물절약 교육 콘텐츠 제공
 - o 가뭄현황 정보, 가뭄분석 정보 제공

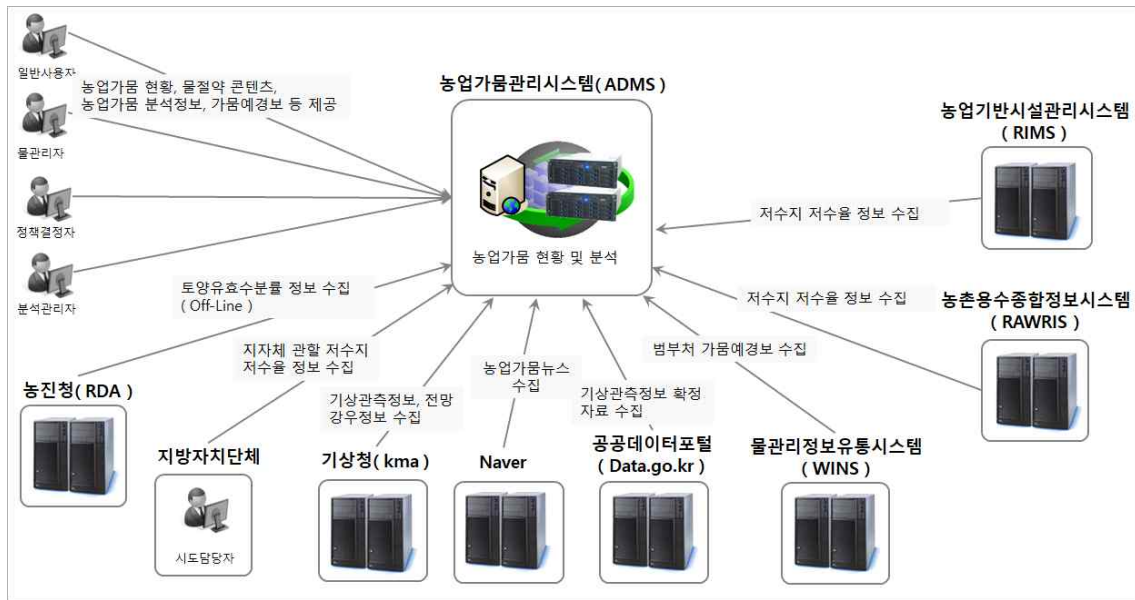


(a) ADMS 분석 시스템



(b) ADMS Web 시스템 화면

[그림 2-3-55] ADMS 분석 시스템

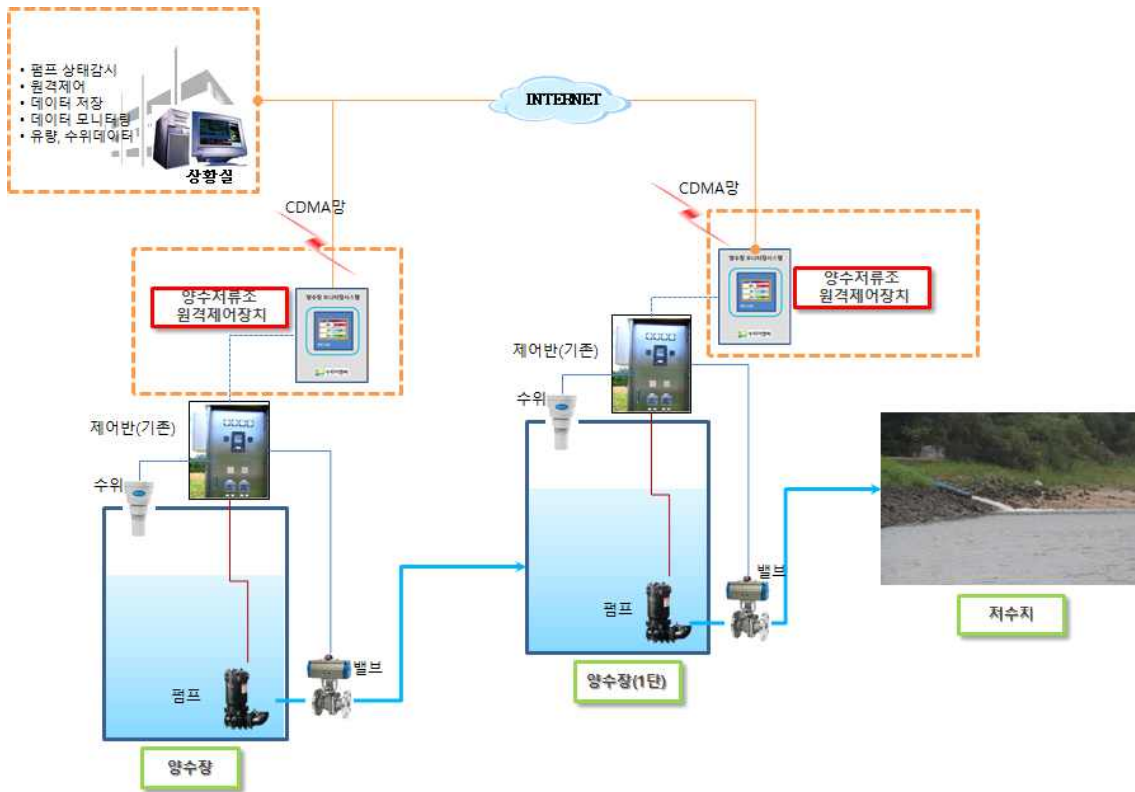


[그림 2-3-56] 농업가뭄관리시스템 정보연계 구성도

3. 테스트베드 현장실증을 위한 필요 센서 및 장치 구성방안 도출

가. 고정형 양수저류 원격제어장치

- 고정형 양수 저류조는 1단 양수 또는 다단 양수로 구성되어 저수지로 양수하여 저류하도록 설치된다.
- 현재 양수 저류조는 원격 자동운전 및 현장 수동운전 방식으로 이루어져 있으며(대다수의 양수 저류조는 현장 수동운전 방식) 펌프의 상태감시, 양수량은 기록되지 않고 있다.
- 양수저류 원격제어장치는 기존 시설물의 현장모니터링 및 원격제어 장치 기능을 수행하는 장치로서 CDMA망 또는 인터넷을 통해서 펌프 상태감시, 원격제어, 데이터 저장 및 모니터링을 위한 원격제어 장치를 개발하고자 한다.

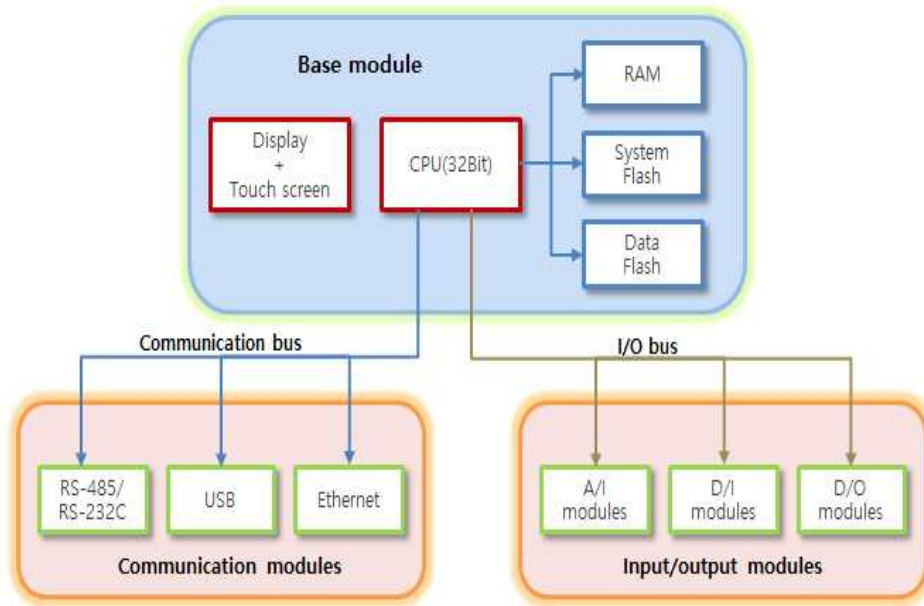


[그림 2-3-57] 고정식 양수 저류조 구성도

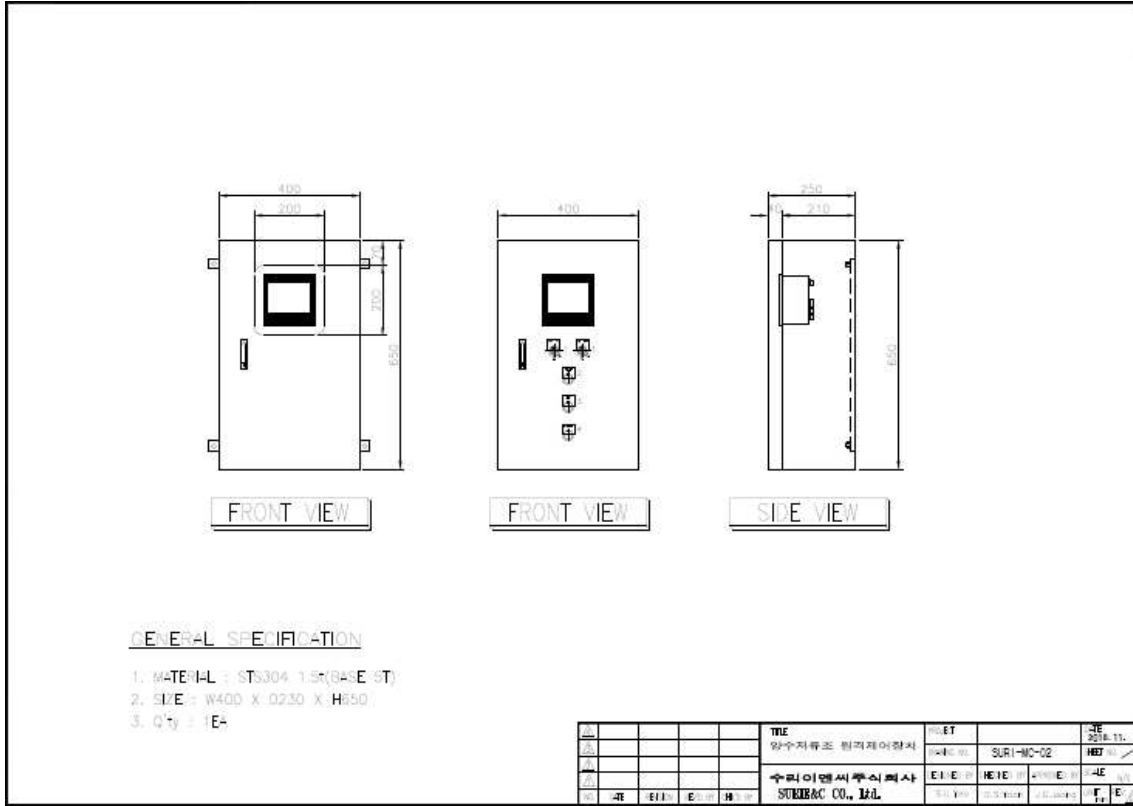
- 양수저류를 위해서 개발된 원격제어장치는 양수저류조의 기존 시설물에 추가 설치되며 기본적인 구성은 다음과 같다. Base 모듈은 연산기능과 표출기능으로 구성되며 표출기능은 터치스크린으로 구성되며 통신모듈은 RS232/485, USB, Ethernet으로 구성되고, 아날로그 입력, 디지털 입출력 모듈로 구성되어 데이터 전송과 펌프의 제

어 및 데이터저장 기능을 수행하게 된다. 이러한 정보는 외부의 원격제어시스템과 연동되어 구동될 수 있도록 구성된다.

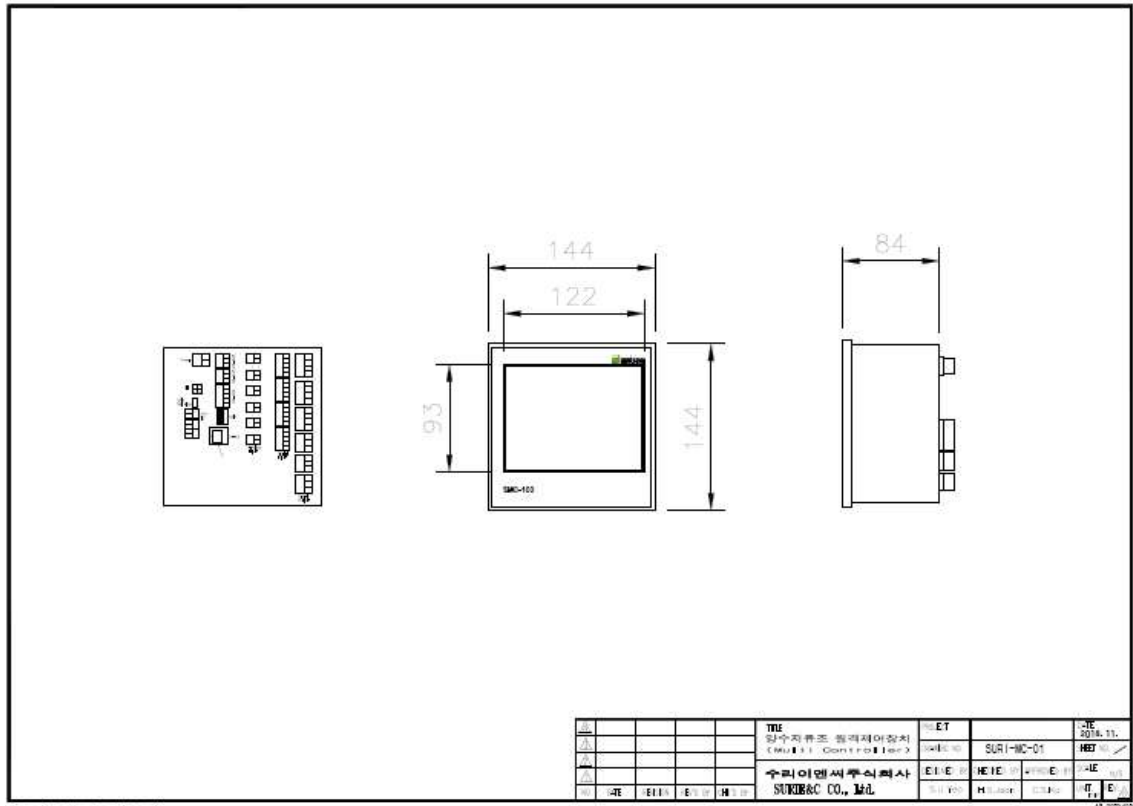
- 원격제어장치는 수위정보를 받아서 펌프의 on/off를 제어하고 펌프의 구동시간, 유량 등의 모니터링 자료를 전송하여 관리자가 손쉽게 현재 상태를 파악할 수 있도록 구성된다.



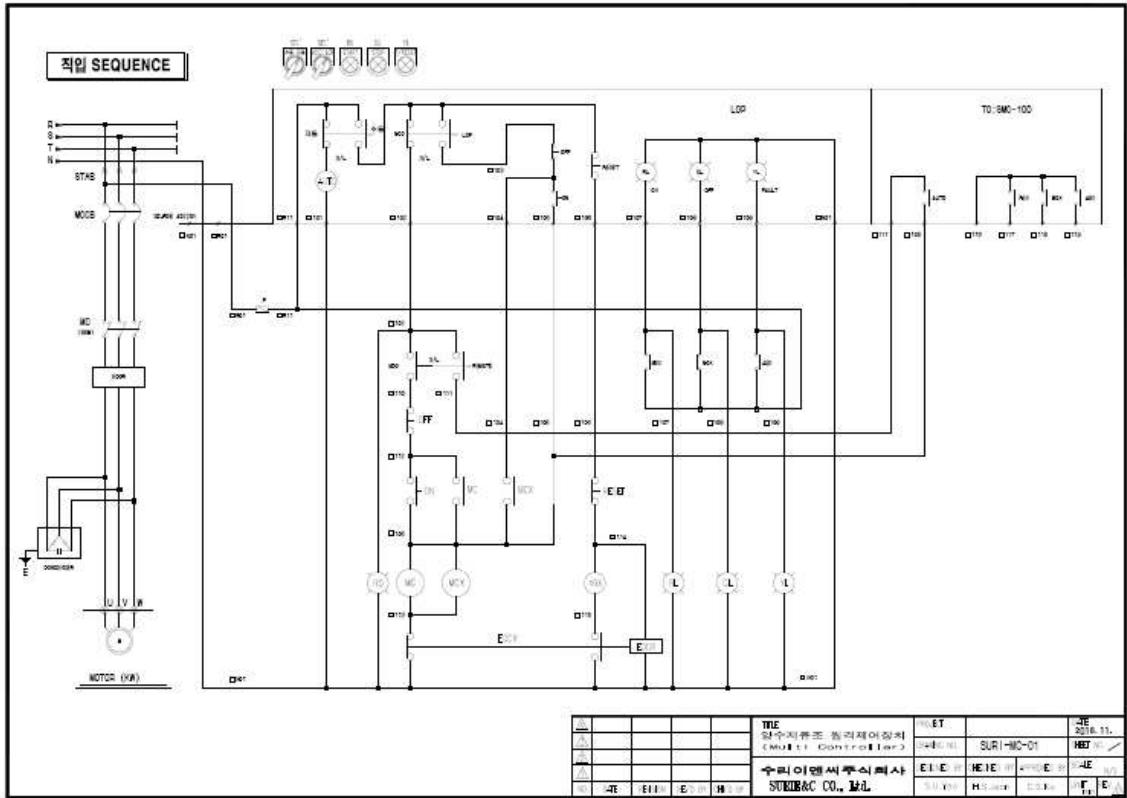
[그림 2-3-58] 원격제어장치 모듈 모식도



[그림 2-3-59] 원격제어장치 외함 외형도

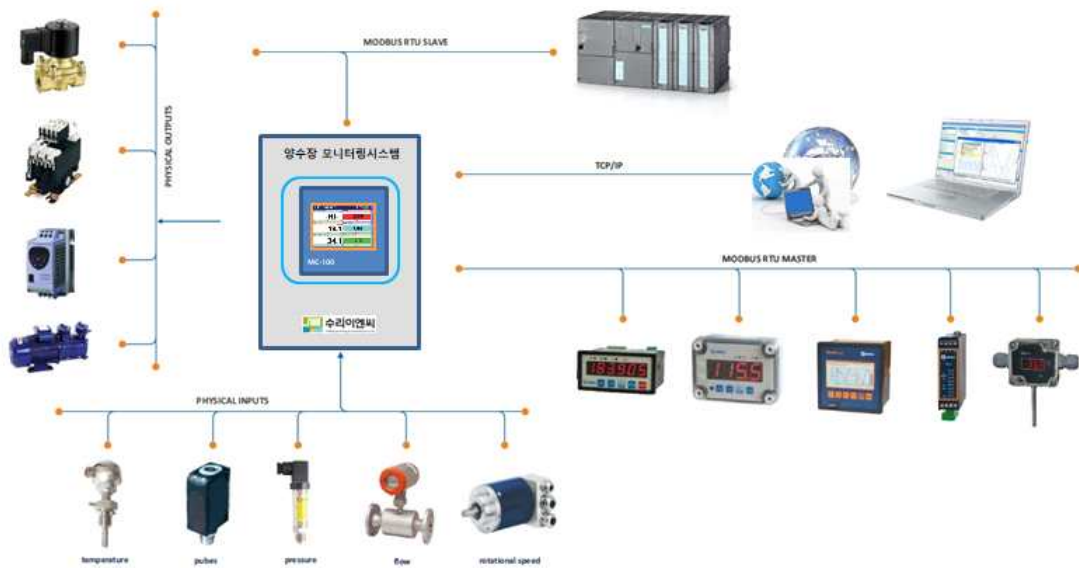


[그림 2-3-60] 멀티컨트롤러 외형도



[그림 2-3-61] 원격제어장치 내부 결선도

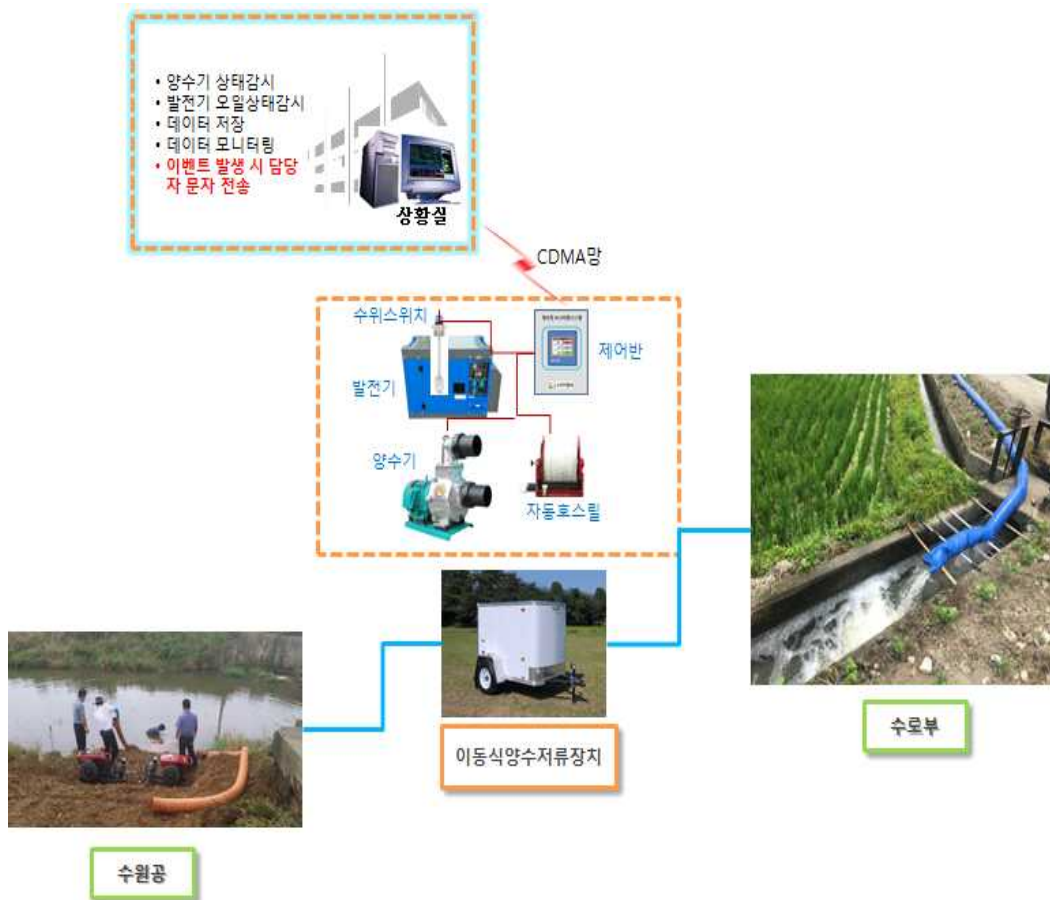
- 원격제어장치의 제원은 다음과 같다.
 - ▶ 표시 : 5.7" LCD 터치 스크린
 - ▶ 전원 : 19~50V DC, 85~260V AC
 - ▶ 디지털 입력 : Max.72point
 - ▶ 디지털 출력 : Max.36point
 - ▶ 아나로그 입력 : Max.15 point
 - ▶ 통신 : RS232/485x1, RS485x2
 - ▶ 저장용량 : 1.5GB
 - ▶ 운영시스템 : Linux
 - ▶ Regulation : PID Function, ON/OFF



[그림 2-3-62] 원격제어장치 통신 구성도

나. 이동형 양수저류 장치

- 이동형 양수저류 장치는 고정형과 같이 안정적인 수원공 확보가 없이 수원공을 찾아 신속하게 이동할 수 있는 구조여야 하며 저수지보다는 수로부에 직접적으로 공급하는 장치이다. 기본적으로 고정형과 유사하지만 추가적으로 전원공급을 위한 발전기와 양수된 용수의 수송을 위한 유연한 고압관로가 추가적으로 필요하다.
- 현장에 설치된 이동형 양수저류장치의 상태를 모니터링하여 발전기의 주유가 필요한 시점을 담당자에게 문자 등을 통해서 바로 알림이 가능하도록 구성한다.
- 제어시스템은 발전기와 양수기의 on/off를 수위정보와 관개수로부의 상황에 따라 제어하고, 이 과정에서 발생하는 자료를 통해서 발전기 및 양수기의 가동시간과 양수량 등의 정보를 전송 및 저장할 수 있도록 한다.
- 기본적으로 이동형 양수저류 장치는 지근거리의 수원에서 관개수로부로 양수되는 경우가 대부분일 것이므로 발전기와 양수기 그리고 제어반, 호스 등이 탑재된 이동식 양수저류 장치는 현장 이동성이 용이한 형태로 구성된다. 일체형의 장치로 차량에 탑재해서 이동시킬 수 있고 현장에 적절하게 위치시켜 고정될 수 있도록 구성된다.



[그림 2-3-63] 이동식 양수저류장치 구성도

- 이동식 양수저류 장치에서 펌프를 통해 양수된 용수를 원하는 지점까지 송수하기 위해서는 고압 송수용 호스가 필요하다. 고압 송수용 호스를 손쉽게 설치하고 사용 후 회수하여 이용하기 위해서 자동호스 릴을 제작하였다.
- 고압송수용 호스(80~100mm)를 대상으로 길이 50m의 송수관로를 자동 및 수동으로 호스를 감을 수 있도록 하였고 롤러가 호스를 눌러 잔수를 제거하는 구조로 제작하였다.



[그림 2-3-64] 자동호스 릴

4. 테스트베드 현장 모니터링을 위한 계측기 설치 및 모니터링 시스템 개발

가. 계측기 설치

(1) 계측 장치의 선정시 고려사항

- 대상 지점의 조건에 맞는 적절한 계측장치를 선정하기 위해서는 지점에 따른 여러 가지의 인자들을 반영하고 각 인자들의 중요도를 고려해야 한다. 수위계측을 위한 장비들로는 초음파 수위계, 레이다 수위계 등이 있고 유량계측 장비들로는 유속계 (current meter), 초음파유량계(acoustic flowmeter)를 비롯하여 다양한 개수로, 관수로 유량계 등이 있다.
- 이들 계측장비 중 현장에 가장 적합한 것을 선정하기 위해서는 정확도, 비용, 계측할 유량 범위, 현장 조건에 적합한 전원 및 통신방식, 계측 항목과 기록 형식, 운영요건, 유사 및 부유물 통과 능력, 주어진 환경에서 장비의 수명, 유지관리요건, 시공과 설치 조건, 문제해결과 보수, 새로운 방법에 대한 사용자 숙달도, 파손 가능성, 주변 환경에 대한 영향 등이 고려되어야 한다.
- 농업수리시설물 자동수위측정기 설치 및 운영 지침은 다음과 같다. 본 연구에서는 양수장의 펌프 제어를 위한 수위계와 펌프로부터 저수지로 토출되는 관수로의 유량을 측정할 수 있는 장치를 이 지침을 참조하여 선정하였다.

[표 2-3-1] 농업수리시설물 자동수위측정기 설치 및 운영 지침(2010년, 농림수산식품부)

- 측정기의 구성은 전원공급장치, 컨트롤러 및 통신장치, 센서, 외함, 지지대 등
- 원격지에서 수위측정기를 조작하고 상태를 진단할 수 있는 양방향 통신이 가능할 것
- 자동수위측정기는 초음파 센서, 압력식 센서, 음파식 센서 또는 검증된 기타 수위측정 센서로부터 데이터를 수집하고, CDMA 무선통신망을 이용하여 중앙운영관리 서버에 접속하여 데이터를 주기적으로 전송할 수 있을 것
- 원격지에서 유지관리가 가능하도록 휴대폰 또는 PDA 등 모바일 장치를 이용하여 현재 수위값, 전송주기, 메뉴설정, 시스템 정상작동 확인 등의 제어기능을 갖출 것
- 원격제어 및 시설물 표준코드는 한국농촌공사의 표준 프로토콜을 사용할 것.
- 수위측정은 장마 기간 또는 장기간의 우기 등 무일조 기간에 대비하여, 별도의 전원공급 없이 최대 20일 이상 정상 작동되어야 하며, 태양광 전원 및 배터리의 상태를 현장과 Web 시스템에서 확인할 수 있어야 하고, 일정 전압 이하에서 운영자에게 경보를 전송할 수 있을 것
- 수위측정기는 측정, 전원, 통신 등 기능별로 모듈화 되어, 문제 발생시 해당 모듈만 교체하는 방식으로 유지보수를 할 수 있어야 하며, 향후 영상 모니터링 등 기능 추가나 확장시 별도의 추가장비 설치 없이 해당 모듈의 추가로 시스템 기능 확장이 가능할 것
- 자동수위측정기는 도난 및 파손 방지를 위해 기기로부터 도난 경보 전송 기능을 할 수 있을 것
- 자동수위측정기는 데이터 전송이 실패하더라도 30일 이상의 데이터를 자체 저장할 수 있을 것

(2) 설치 계측기 내역

- 특징

- ▶ 수위 측정 장치
 - ICH 센서 입력에 의한 좁은 빔 각도로 복잡한 구조물 적용 가능
 - SPDT 6 Relay 확장 및 2중 경로 방지 기능
- ▶ 유량 측정 장치
 - 기존 배관 외벽 위에 클램프 취부형 설치 가능
 - 시간차 방식 및 온도, 점도 자동 보상(ATW) 방식

- 규격

- ▶ 수위 측정 장치
 - 측정 범위/불감지 거리 : 0.3m~10m/0.3m
 - 신호 출력/통신 출력 : 4mA~20mA DC/Modbus, RS-232 · 485
- ▶ 유량 측정 장치
 - Pipe Sizes(Clamp-on transducers) : 0.5 to 300 in. (12.7mm to 7.6m) and larger
 - Flow Accuracy (Velocity) : 0.5% of reading achievable

- 표준 및 부속품

▶ 수위 측정 장치

◦ 변환부 1EA / 센서부(Cable 10m 포함) 1조 / 헤드, 프랜지, 열결봉 1조

▶ 유량 측정 장치

◦ 유량측정 전자지시부 1EA, 초음파변환기 센서 1조 / 동축 케이블 (RG 62 AU) 1식 / 체인 고정형 Clamp Fixture / Couplant

- 대사저수지는 하천으로부터 3단 양수를 통해서 저수지로 유입시키는데 마지막 3단 양수 지점(원으로 표시)에 펌프제어를 위한 수위계와 펌프로부터 저수지로 토출되는 유량을 측정하기 위해서 토출관로에 유량계를 설치하였다.



[그림 2-3-65] 대사지구 계측기 설치 위치



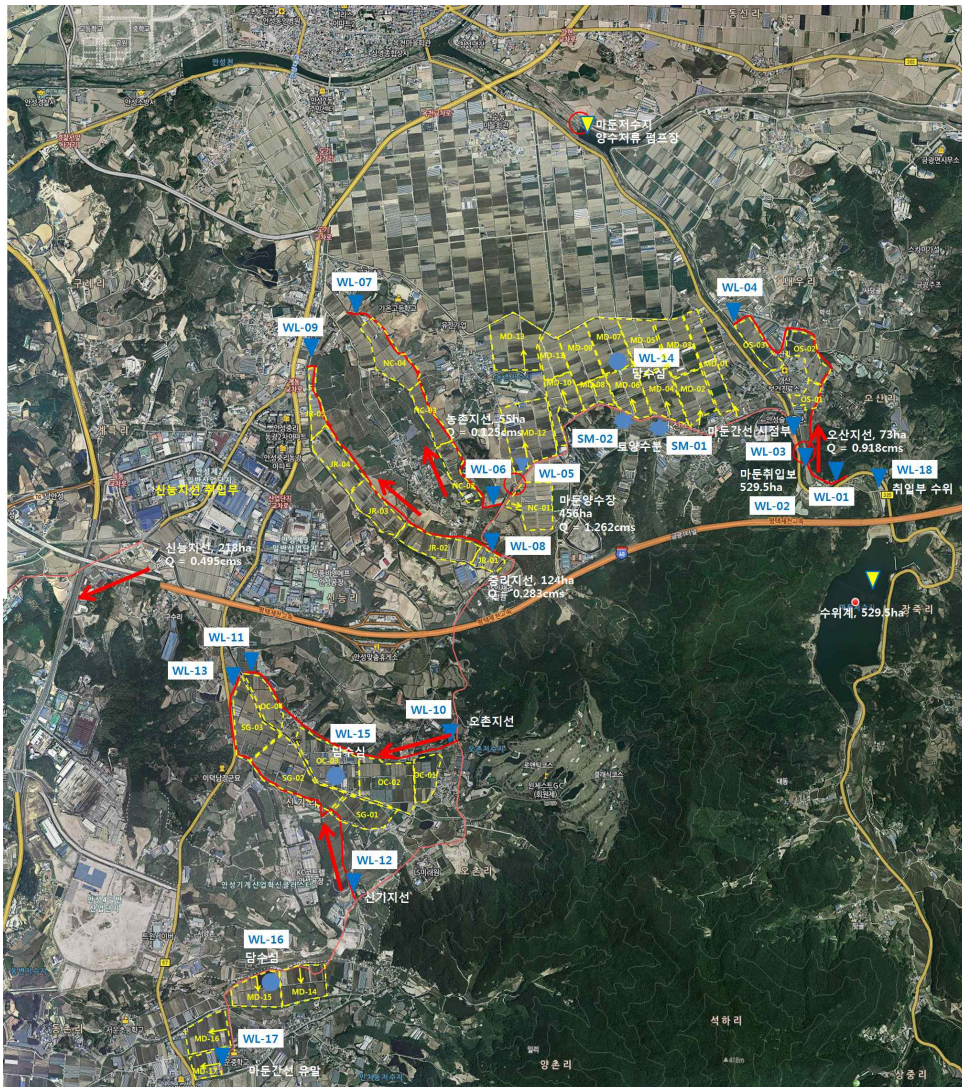
[그림 2-3-66] 대사지구 양수장 설치 수위계



[그림 2-3-67] 대사지구 양수장 토출관로 설치 유량계

나. 모니터링 시스템 개발

- 마둔 지구는 기존 연구에서 설치된 것을 포함하여 총 18개의 수위계의 자료를 취득할 수 있다.
- 저수지, 양수펌프장 수위, 양수장 토출부, 수로부 등 마둔 지구의 관계네트워크, 양수시설, 설치된 계측장치 설치 위치와 정보는 다음과 같다.



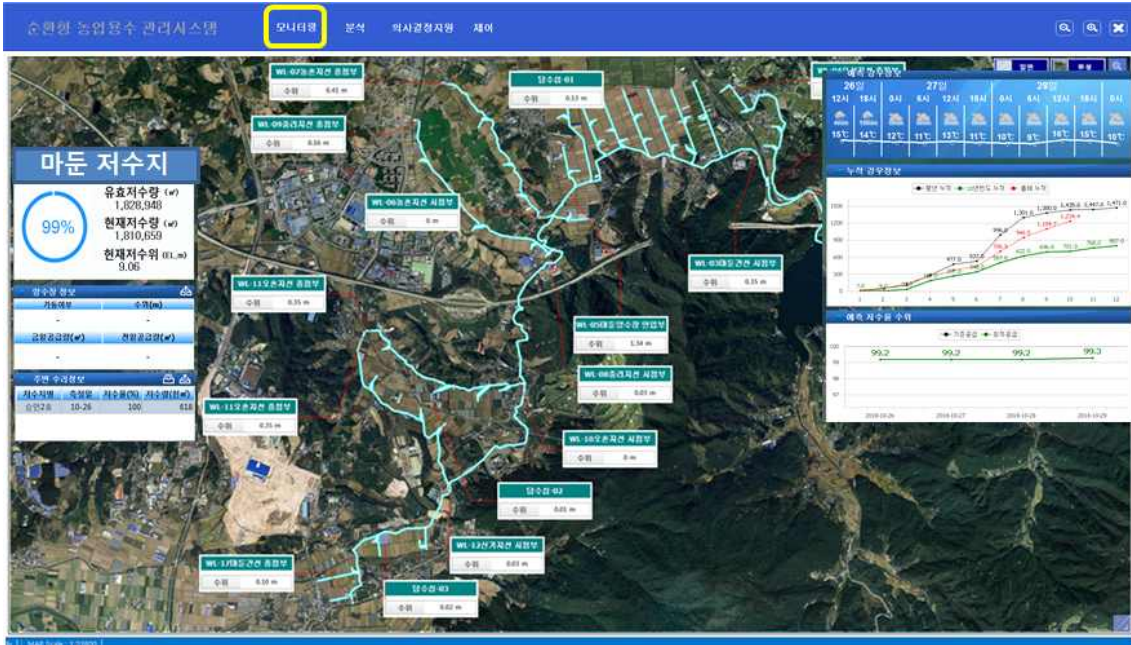
[그림 2-3-68] 마둔 지구 관계네트워크, 양수시설, 계측장치 설치 위치

[표 2-3-2] 마둔 지구 계측장치 현황

번호	명칭	구분	설명	신규/기설	비고
1	WL-01	수위계	오산지선 시점부	신규	
2	WL-02	수위계	마둔간선 취입부	신규	
3	WL-03	수위계	마둔간선 시점부	신규	
4	WL-04	수위계	오산지선 종점부	신규	
5	WL-05	수위계	마둔양수장 인입부	신규	
6	WL-06	수위계	농촌지선 시점부	신규	
7	WL-07	수위계	농촌지선 종점부	신규	
8	WL-08	수위계	중리지선 시점부	신규	
9	WL-09	수위계	중리지선 종점부	신규	
10	WL-10	수위계	오촌지선 시점부	신규	
11	WL-11	수위계	오촌지선 종점부	신규	
12	WL-12	수위계	신기지선 시점부	신규	
13	WL-13	수위계	신기지선 종점부	신규	
14	WL-14	수위계	마둔간선 종점부	신규	
15	WL-15	수위계	오산지선 취입부	신규	
16	기타1	수위계	양수펌프장 수위	기설	
17	기타2	수위계	마둔저수지 저수위	기설	
18	기타3	수위계	마둔양수장 토출부	기설	

(1) 시스템 메인화면

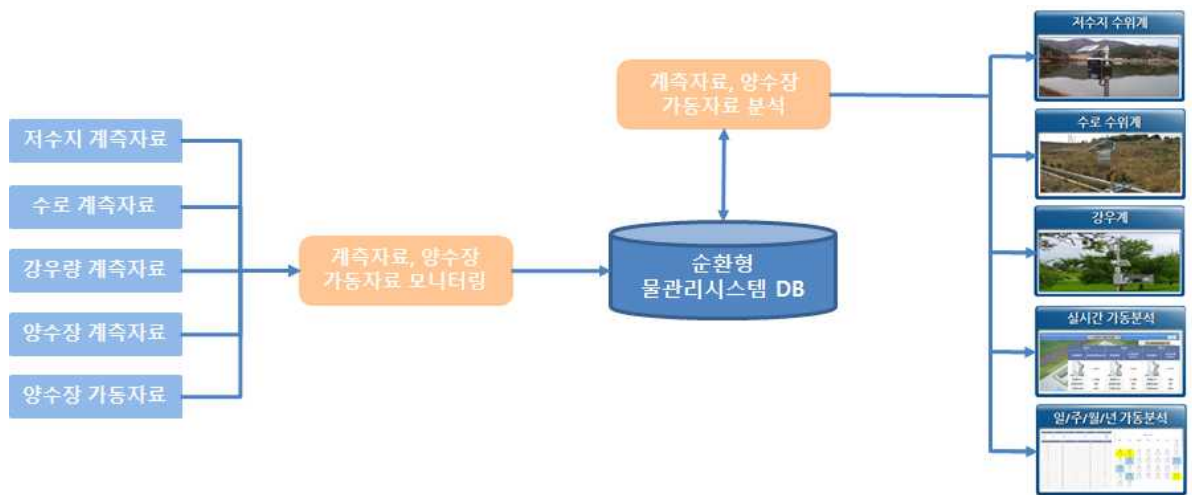
- 모니터링 시스템의 메인화면은 대상지구의 지도와 관개 용수계통을 GIS 기반으로 표시하고 있다.
- 용수로, 계측기 위치, 계측자료(저수지 및 관개수로 수위, 양수장 수위, 유량, 펌프 가동 시간) 등을 실시간으로 제공할 수 있도록 화면을 구성하였다.
- 화면 하단에는 실시간으로 저수율, 저수위 등 저수지 상황을 보여주고 있으며 계측기가 설치된 지점별로 계측값을 조회할 수 있다.



[그림 2-3-69] 순환형 물관리 모니터링 시스템 메인화면

(2) 모니터링 시스템 구성

- 현장에 설치된 계측기를 기반으로 계측자료를 수집하여 표출하여 용수공급에 관련된 저수지, 관개수로, 양수장 가동 등의 상황을 모니터링 할 수 있도록 계측자료의 관리를 효율적으로 할 수 있는 모니터링 시스템은 다음과 같은 내용으로 구성된다.
 - ▶ 대상지구에 설치되는 계측장치의 계측자료는 순환형 물관리시스템 서버의 데이터베이스에 저장
 - ▶ 계측자료의 조회는 다음과 같이 수행
 - 대상지구에 설치된 계측장치 선택
 - 계측장치의 속성자료 조회
 - 수위자료, 유량자료의 경우 기간, 제공형태 등을 선택하여 조회
 - ▶ 강우자료는 지구 내에 강우계가 설치되어 있는 경우 다른 계측자료와 같이 접근할 수 있지만 강우계가 없는 경우에는 대상지역의 지배관측소 기상자료를 이용하여 조회할 수 있도록 구성
- 테스트 베드 대상 지구는 저수지 유역이 모자라 가뭄상황시 양수저류를 실시하는 지구이고 필요시 이동식 양수기를 보조 수원공으로 사용할 경우를 고려하여 양수장 가동상황을 제공할 수 있도록 실시간 가동정보와 양수장 가동정보 통계를 지원하여 업무에 활용할 수 있도록 시스템을 개발하였다.
- 양수장 펌프의 실시간 가동 여부와 가동정보를 시간, 일, 월, 연 단위로 분석하여 정보를 관리하고, 양수장 가동 상태를 감시할 수 있는 계측장치가 설치되어 있는 경우 시스템에서는 이러한 정보를 이용하여 가동여부 및 가동정보를 분석할 수 있다.



[그림 2-3-70] 순환형 물관리시스템 계측 및 양수장 가동 자료 모니터링 시스템 구성

▶ 실시간 가동정보

- 양수장 펌프 가동상태를 모니터링 하는 계측장치가 필요
- 펌프 가동여부를 보여주며 시간당 펌프량, 펌프 인입부 수위, 계측일시, 가동여부를 보여 주고 있음
- 실시간 가동여부에 의한 시간당 펌핑량과 가동시간에 의하여 양수장 가동수량 분석

▶ 시간당 가동정보

- 시간당 가동정보는 계측일시, 인입부 수위, 토출수위, 펌프 가동량 등의 정보를 시간 단위로 제공
- 사용자는 기간 선택, 펌프 선택 등의 설정을 통하여 펌프 가동량 정보를 조회할 수 있음

▶ 일/주/월 가동정보

- 일, 주, 월 단위의 양수장 가동 정보를 제공함
- 제공 정보는 양수량, 가동시간, 강우 상황 등을 분석하여 통계치로 제공

▶ 저수지 및 관개수로 수위

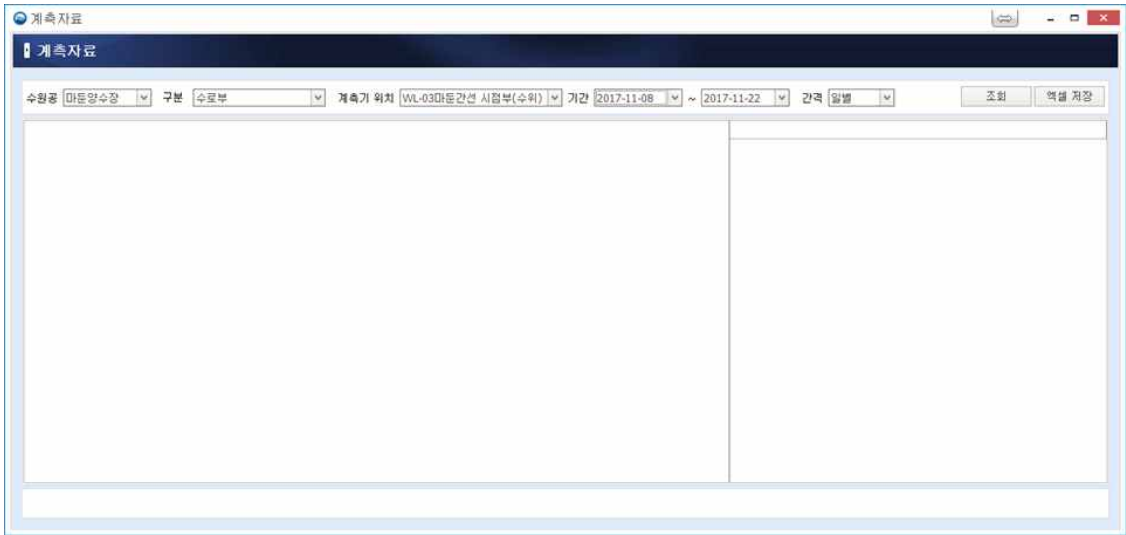
- 일, 주, 월 단위의 저수지 및 관개수로 수위 정보를 제공함



[그림 2-3-71] 마둔저수지 수위변화

(3) 계측자료의 조회

- 수원공은 저수지를 기준으로 조회설정을 할 수 있으며 구분은 수로부, 양수장, 저수지를 구분으로 조회가 가능하며 계측기 위치와 기간 및 간격을 기준으로 조회가 가능하다.
- 수원공의 경우 시험지구 외에 타 지구에는 저수지가 아닌 또는 저수지를 포함한 양수장 등의 추가 수원공이 있을 경우에도 조회가 가능하다.

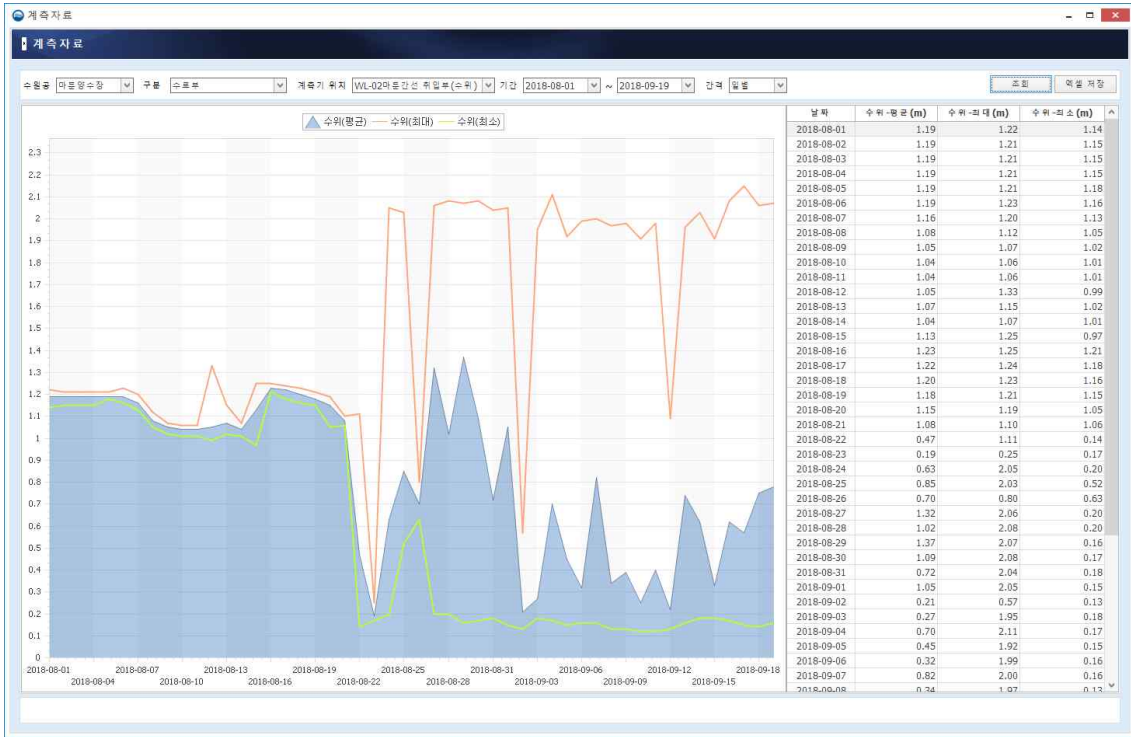


[그림 2-3-72] 계측자료 조회 조건 설정

- 계측자료 조회는 저수지 수위계, 각 수로의 수위계, 유량계(설치된 경우) 등 지구 내에 설치된 계측기와 기간을 설정하면 계측된 자료를 조회할 수 있다.
- (그림 2-3-73)은 마둔 양수장 공급량 자료를 검색한 화면이고 (그림 2-3-74부터 그림 2-3-86)은 마둔 관개수로부에 위치한 계측자료이다.



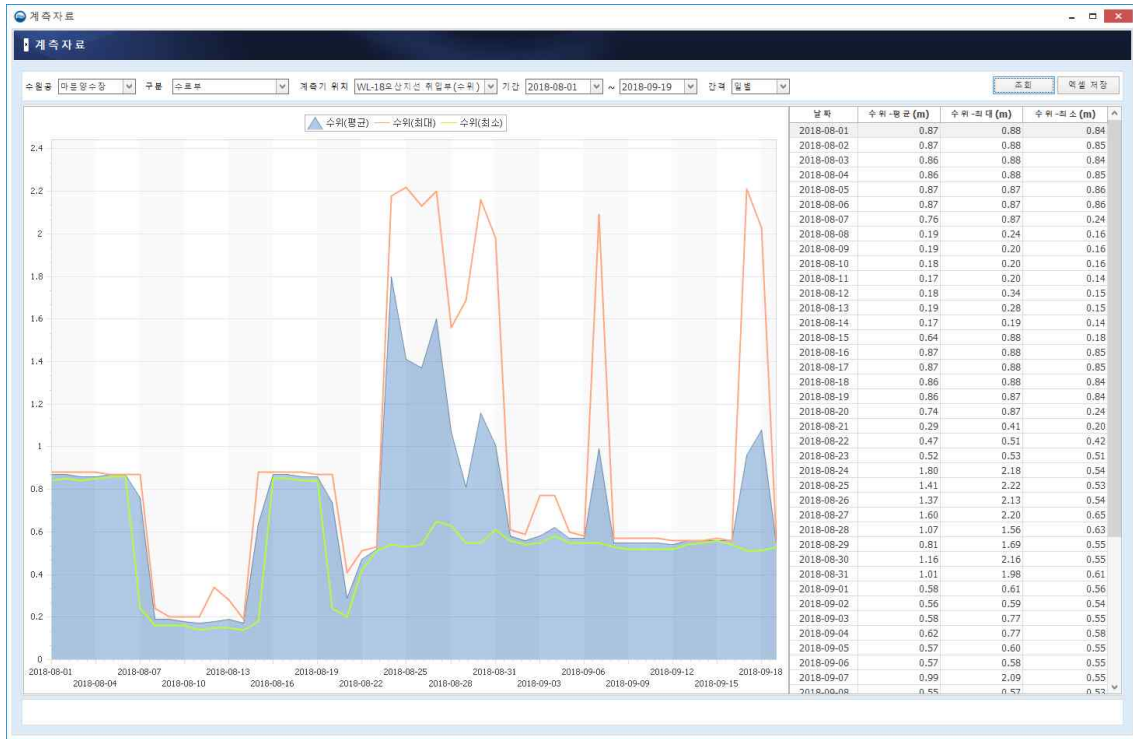
[그림 2-3-73] 마둔 양수장 공급량



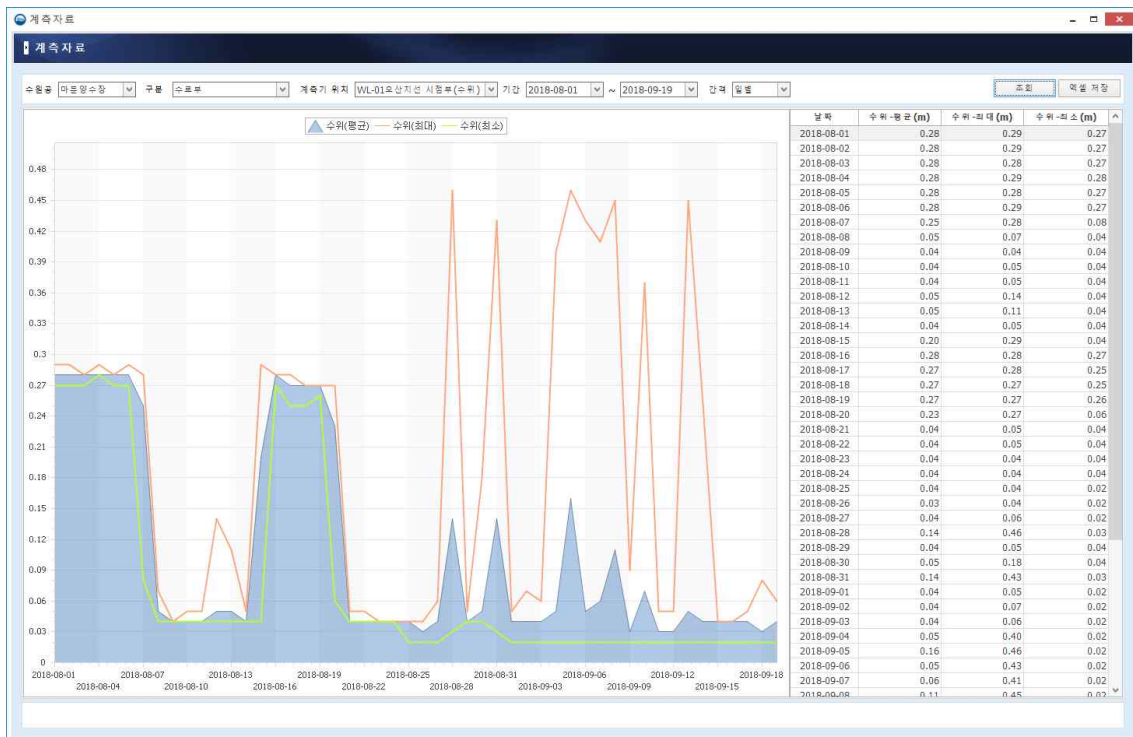
[그림 2-3-74] 관개수로 수위 계측자료(마둔간선 취입부)



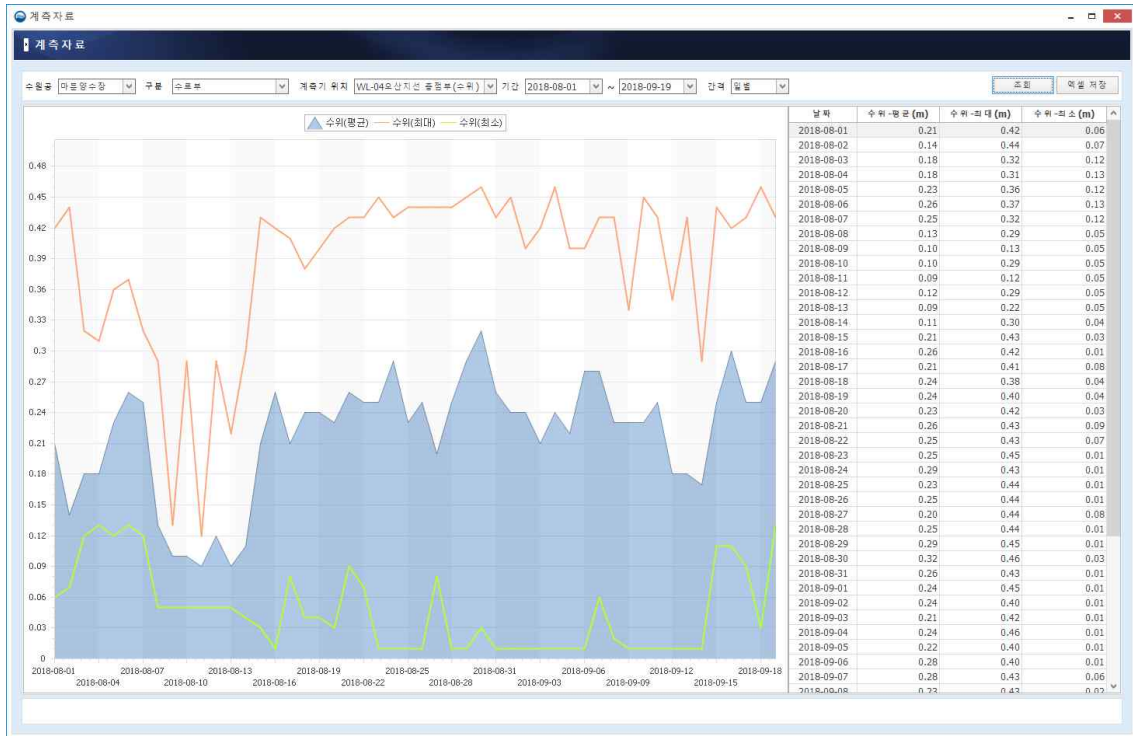
[그림2-3-75] 관개수로 수위 계측자료(마둔간선 시점부)



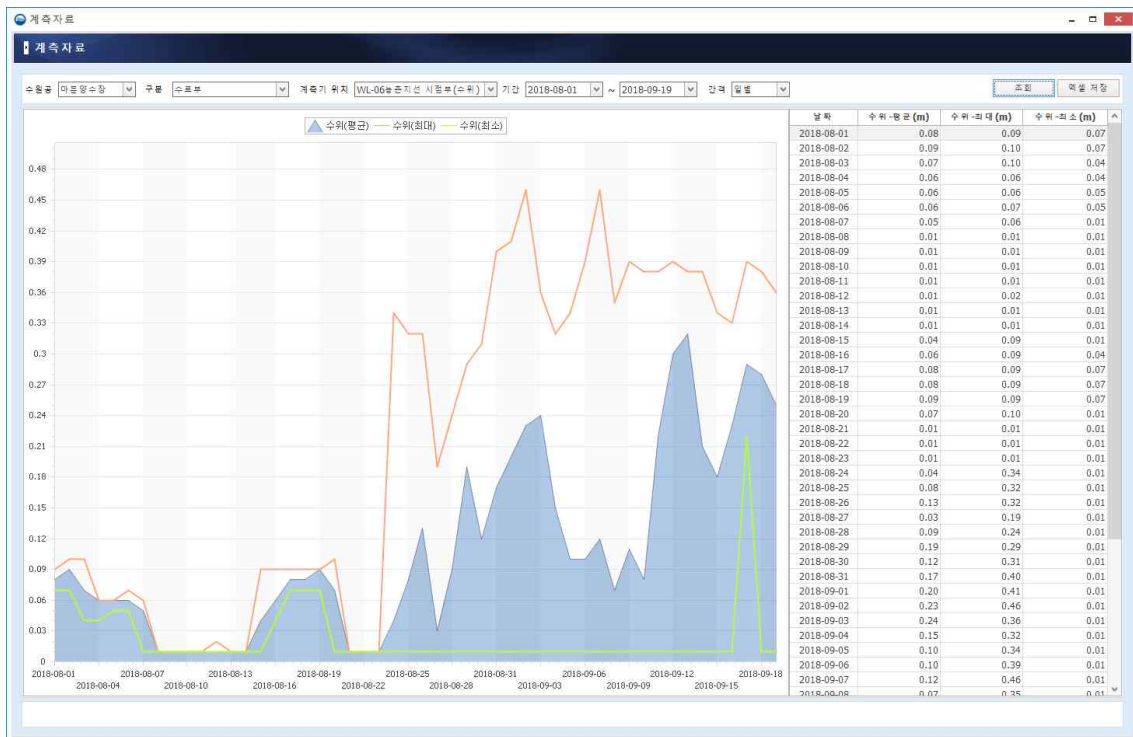
[그림 2-3-76] 관개수로 수위 계측자료(오산지선 취입부)



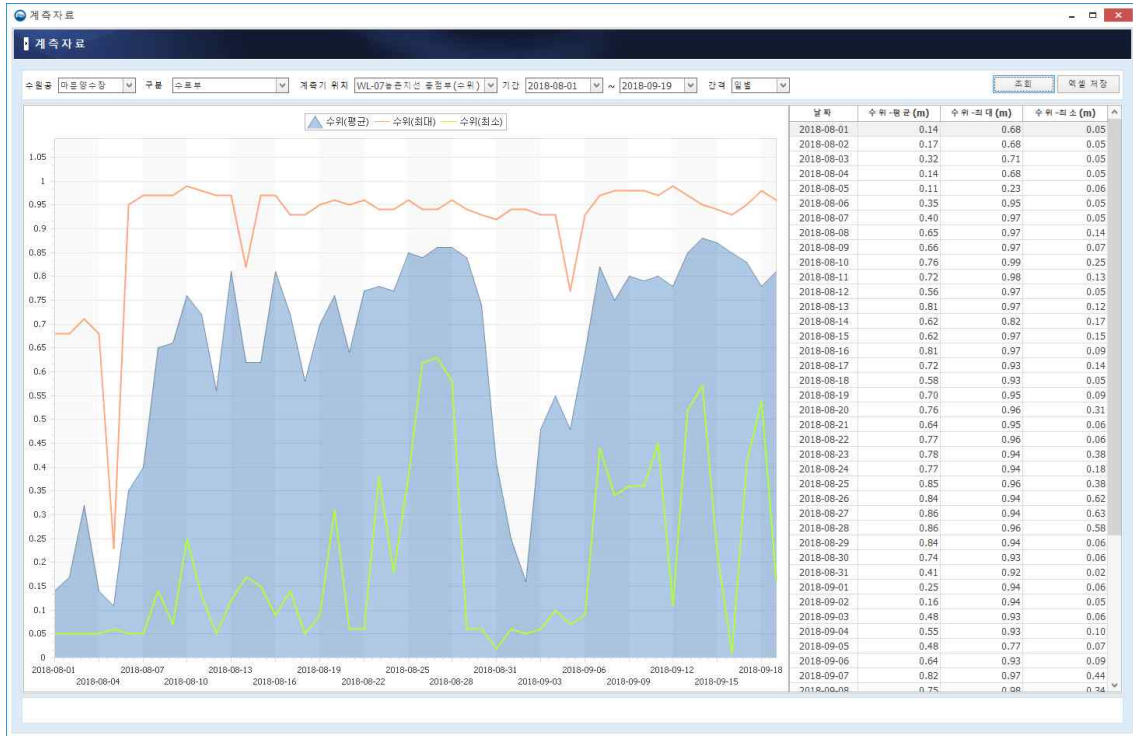
[그림 2-3-77] 관개수로 수위 계측자료(오산지선 시점부)



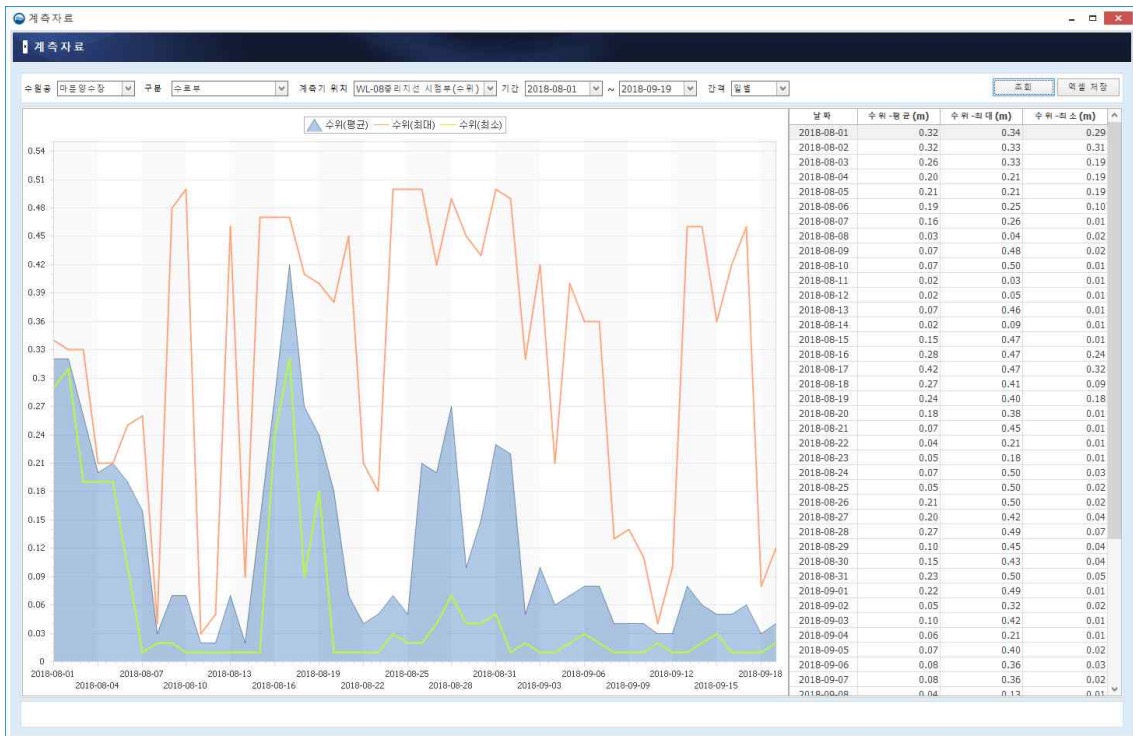
[그림 2-3-78] 관개수로 수위 계측자료(오산지선 종점부)



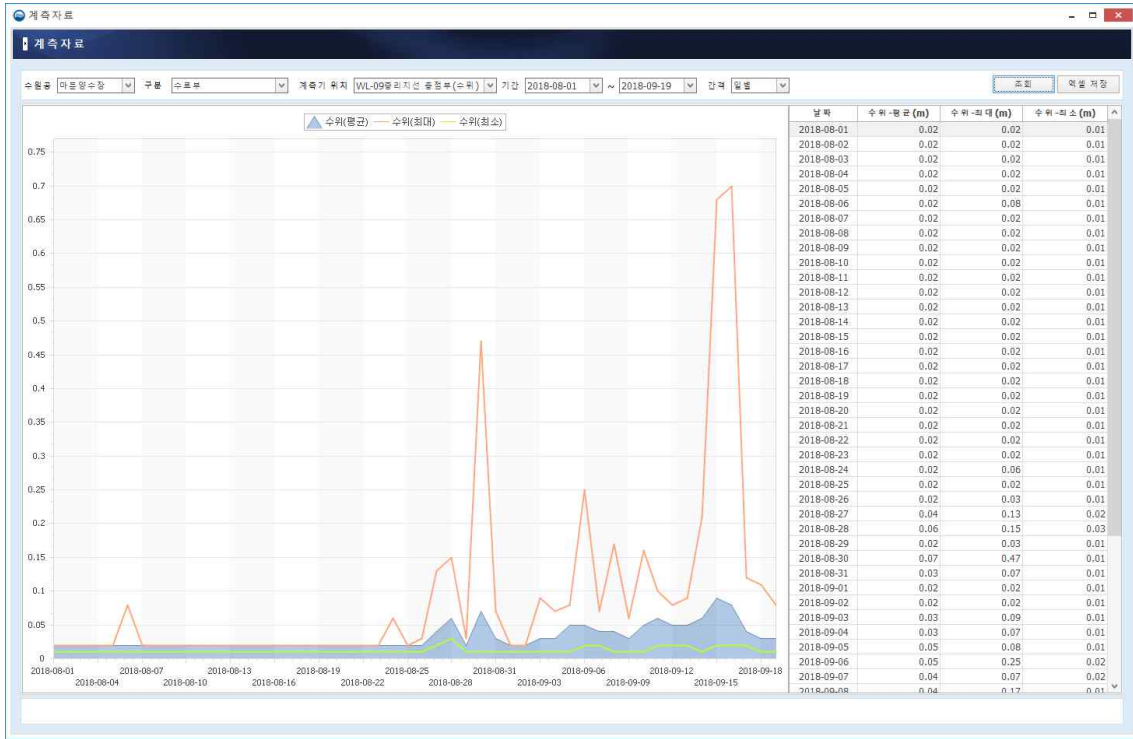
[그림 2-3-79] 관개수로 수위 계측자료(농촌지선 시점부)



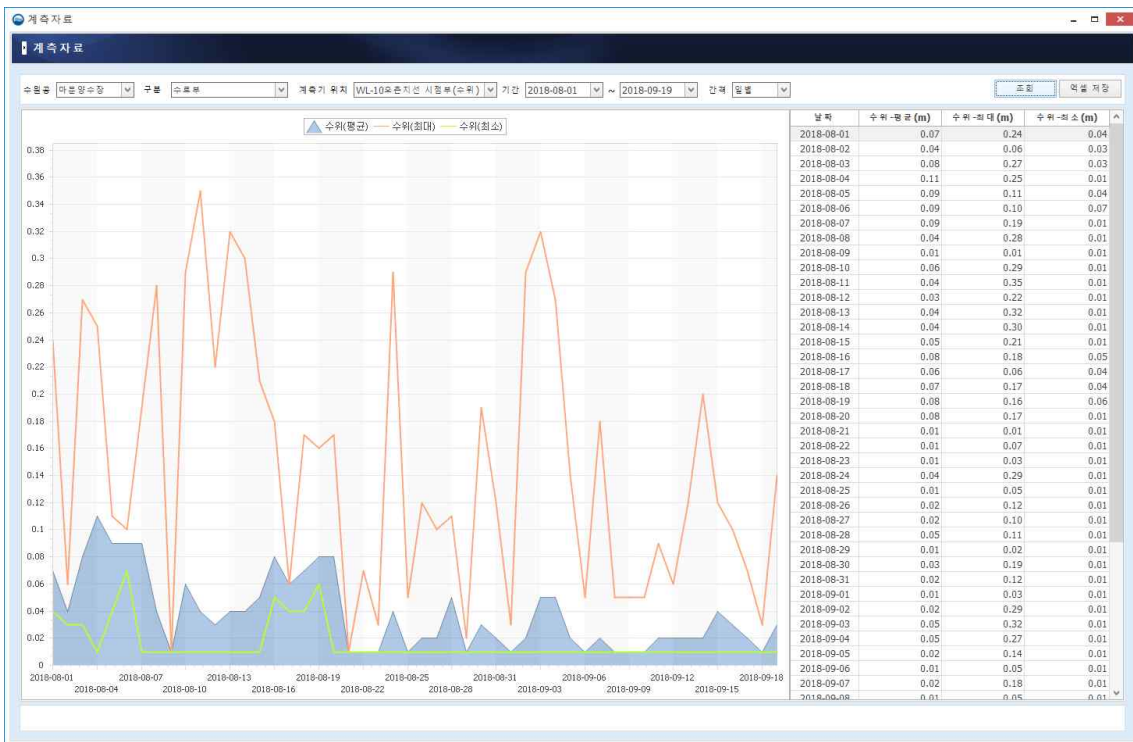
[그림 2-3-80] 관개수로 수위 계측자료(농촌지선 중점부)



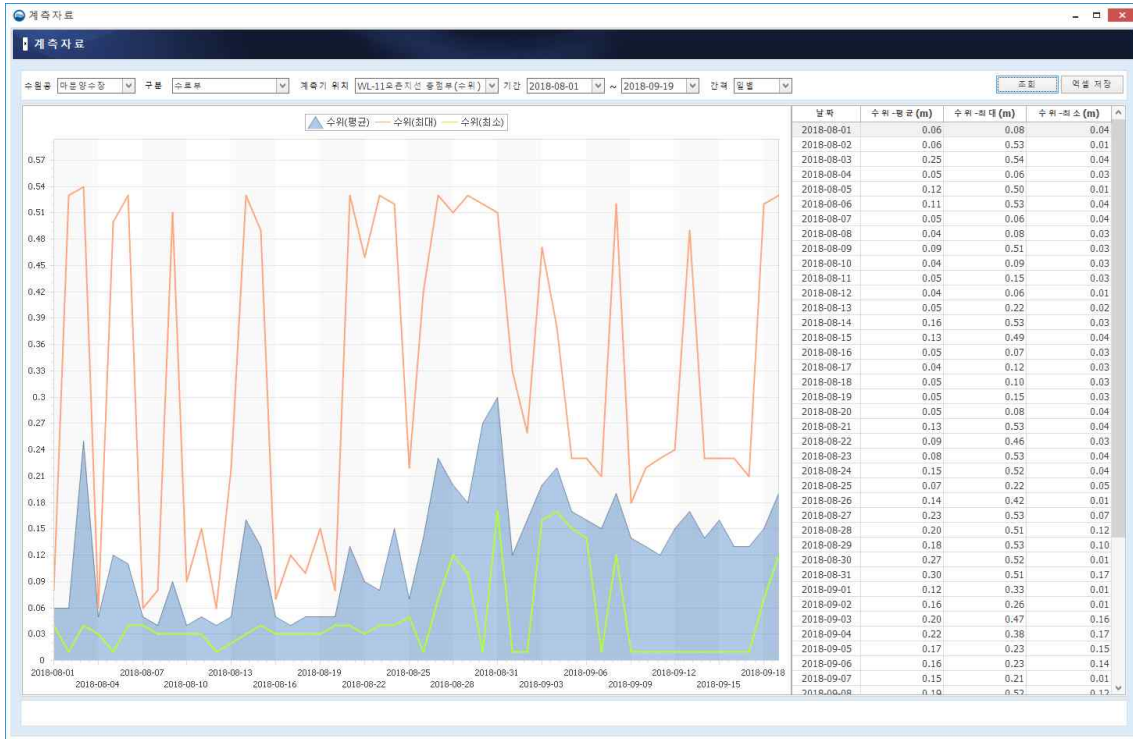
[그림 2-3-81] 관개수로 수위 계측자료(중리지선 시점부)



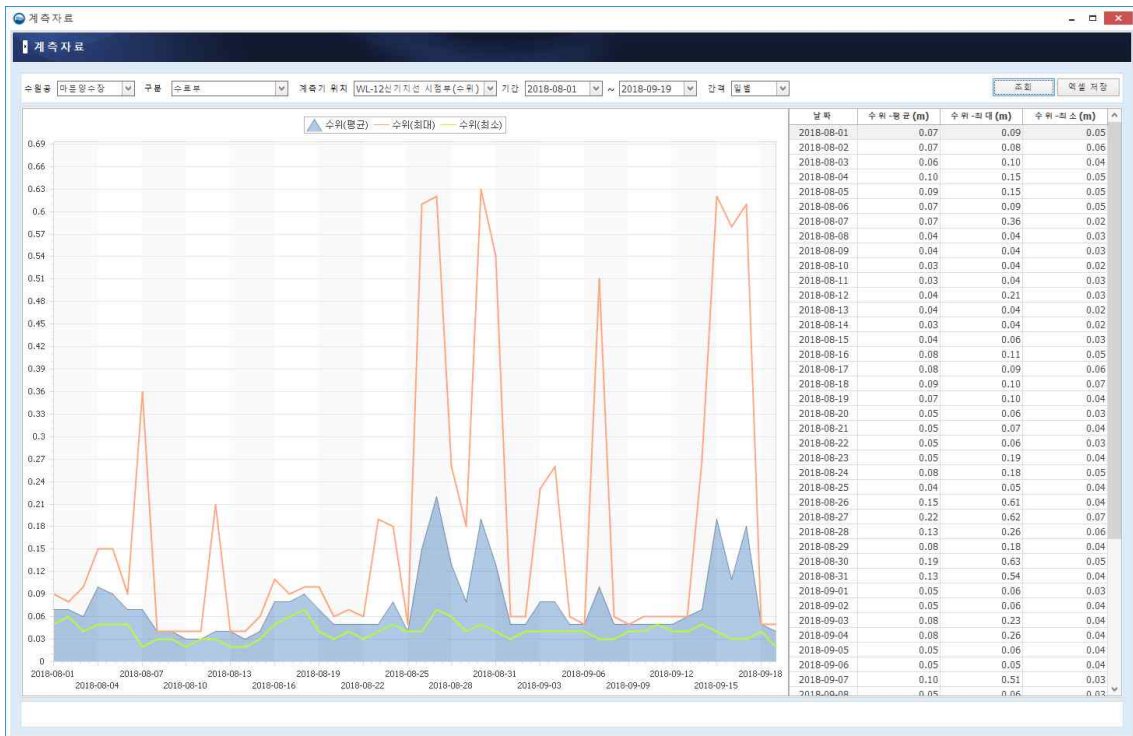
[그림 2-3-82] 관개수로 수위 계측자료(중리지선 종점부)



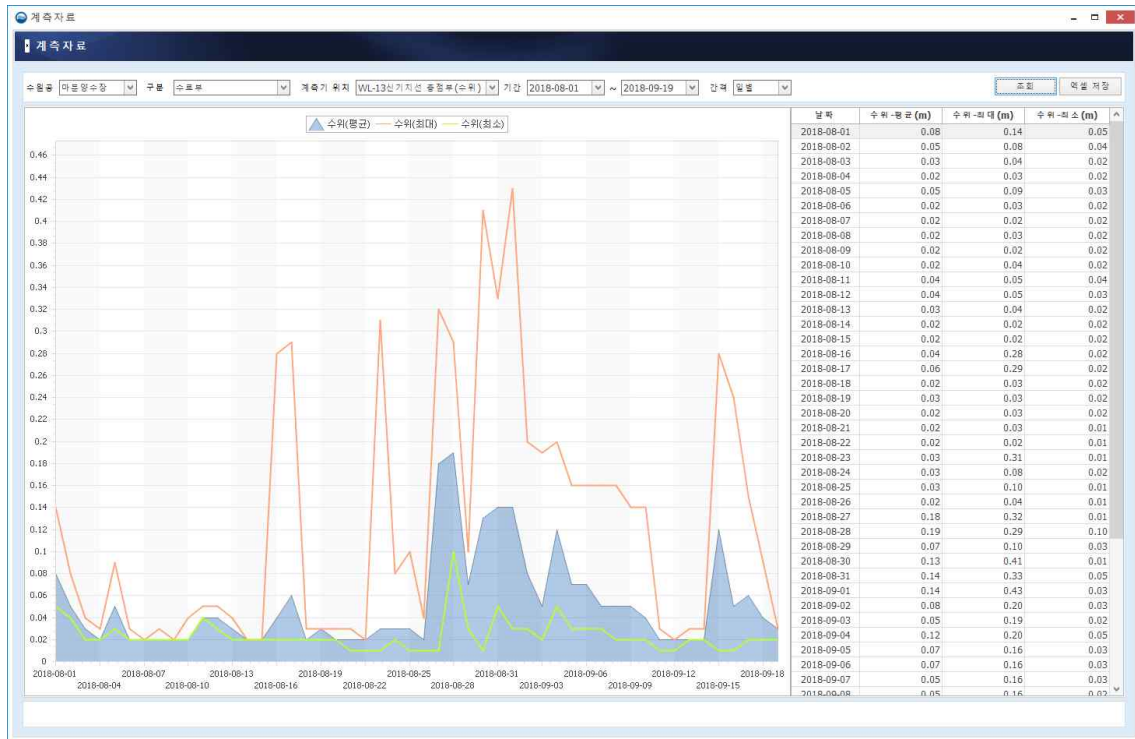
[그림 2-3-83] 관개수로 수위 계측자료(오촌지선 시점부)



[그림 2-3-84] 관개수로 수위 계측자료(오촌지선 종점부)



[그림 2-3-85] 관개수로 수위 계측자료(신기지선 시점부)



[그림 2-3-86] 관개수로 수위 계측자료(신기지선 중점부)

- 조회 결과는 엑셀 형태의 파일로 다운받아 사용이 가능하다 (표 2-3-3과 표 2-3-4).

[표 2-3-3] 마둔 저수지 저수율 조회자료

년월일	저수율(%)	비고
2018년8월1일	39.5	
2018년8월2일	37.2	
2018년8월3일	35.1	
2018년8월4일	33.1	
2018년8월5일	31	
2018년8월6일	28.9	
2018년8월7일	27.3	
2018년8월8일	26.5	
2018년8월9일	26.5	
2018년8월10일	26.5	
2018년8월11일	26.4	
2018년8월12일	26.4	
2018년8월13일	26.7	
2018년8월14일	26.6	
2018년8월15일	26.5	
2018년8월16일	24.4	
2018년8월17일	22	
2018년8월18일	20.1	
2018년8월19일	18.2	
2018년8월20일	16.3	
2018년8월21일	15.4	
2018년8월22일	15.9	
2018년8월23일	15.6	
2018년8월24일	15.9	
2018년8월25일	16.3	
2018년8월26일	16.2	
2018년8월27일	18.2	
2018년8월28일	20.7	
2018년8월29일	22	
2018년8월30일	22.9	
2018년8월31일	30.2	
2018년9월1일	31.3	
2018년9월2일	31.3	
2018년9월3일	34.7	
2018년9월4일	37	
2018년9월5일	38	
2018년9월6일	39.1	
2018년9월7일	39.8	
2018년9월8일	39.8	
2018년9월9일	39.8	
2018년9월10일	40.2	
2018년9월11일	40.7	
2018년9월12일	40.5	
2018년9월13일	41	
2018년9월14일	41.3	
2018년9월15일	41.4	
2018년9월16일	41.5	
2018년9월17일	41.7	
2018년9월18일	41.8	
2018년9월19일	41.9	

[표 2-3-4] 마둔 저수지 일별 공급량 및 누적 공급량 조회자료

년월일	공급량(천톤)	누적 공급량(천톤)
2018년8월1일	110.83	110.83
2018년8월2일	107.27	218.1
2018년8월3일	112.77	330.87
2018년8월4일	108.82	439.69
2018년8월5일	109.2	548.89
2018년8월6일	10.07	558.96
2018년8월7일	0	558.96
2018년8월8일	0	558.96
2018년8월9일	0	558.96
2018년8월10일	0	558.96
2018년8월11일	0	558.96
2018년8월12일	0	558.96
2018년8월13일	0	558.96
2018년8월14일	0	558.96
2018년8월15일	12.33	571.29
2018년8월16일	74.01	645.3
2018년8월17일	74.88	720.18
2018년8월18일	73.72	793.9
2018년8월19일	60.33	854.23
2018년8월20일	82.74	936.97
2018년8월21일	70.9	1007.87
2018년8월22일	5	1012.87
2018년8월23일	4.22	1017.09
2018년8월24일	3.6	1020.69
2018년8월25일	2.2	1022.89
2018년8월26일	2.4	1025.29
2018년8월27일	20.6	1045.89
2018년8월28일	21.5	1067.39
2018년8월29일	20.77	1088.16
2018년8월30일	18.4	1106.56
2018년8월31일	19.42	1125.98
2018년9월1일	46.02	1172
2018년9월2일	45.5	1217.5
2018년9월3일	45.4	1262.9
2018년9월4일	48.3	1311.2
2018년9월5일	50.24	1361.44
2018년9월6일	52.33	1413.77
2018년9월7일	40.6	1454.37
2018년9월8일	42.3	1496.67
2018년9월9일	49.66	1546.33
2018년9월10일	48.32	1594.65
2018년9월11일	41.3	1635.95
2018년9월12일	41	1676.95
2018년9월13일	44.59	1721.54
2018년9월14일	47.33	1768.87
2018년9월15일	49.32	1818.19
2018년9월16일	40.32	1858.51
2018년9월17일	44.32	1902.83
2018년9월18일	40.22	1943.05
2018년9월19일	42.7	1985.75

5. 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 목록 분석

가. 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 목록

- 가뭄 대응 또는 진행상황에서 농업용수 부족을 해결할 수 있는 방안으로는 하천 등에서 농업용저수지로 양수하여 저류시켜 이용하는 방법이나 농업용저수지 등의 수원으로부터 농경지에 공급된 물이 배수로 등을 통하여 하천으로 방류되는 것을 저류하여 재이용하는 순환형 물관리 방법이 있다.
- 보조 수원공으로 사용될 수 있는 요소로는 용수로 말단의 무효방류량, 배수로 유출량, 지하수 관정이나 하천의 유량 등이며, 이러한 요소의 가능수량을 파악하기 위해서는 수위, 유속을 계측하고 물수지분석 모형에 의한 수량추정이 가능해야 한다.
- 농업용저수지와 같은 주 수원공의 공급만으로 부족이 발생할 경우 이를 해결하기 위한 양수저류나 순환형 물관리를 적용하기 위해서는 부족량을 파악하여 공급에 필요한 수량을 분석하는 기술, 보조 수원공에서 공급가능한 수량을 분석하는 기술, 산출된 수량을 필요한 곳에 효과적으로 공급할 수 있는 실행 기술의 개발, 개발된 기술의 현장적용성을 평가하여 보완할 수 있는 방안 필요하다.
- 순환형 농업용수 관리가 필요한 지역으로 선정된 마둔, 대사, 풍전 저수지 지구는 주로 주수원공인 저수지로부터 수혜구역에 용수를 공급하지만 가뭄 상황 등 용수가 부족한 경우에는 양수장으로부터 공급에 일부 의존하고 있다.
- 양수장의 펌프 가동 제어를 위한 수위관측이 필요하고 펌프의 토출량을 측정할 수 있는 관수로 유량계가 요구된다.
- 저수지 수위, 관개수로 수위 등은 기존 설치된 자료를 이용하거나 추가로 필요한 지점이 발생할 경우 수로의 수위와 유속 측정을 통한 유량산정을 수행할 수도 있다.
- 양수장까지 포함된 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치로는 수위계측, 관수로 유량계측, 수로부 수위 또는 유속 계측 센서 및 장치와 이들 센서 및 장치로부터 데이터베이스(순환형 물관리시스템)와 연계되거나 모바일과 연동될 수 있는 제어, 자료취득 등이 가능한 RTU로 구성될 것이다.

나. 펌프 제어를 위한 수위측정 센서 및 장치

- 펌프 제어를 위한 수위측정 방식은 부자식, 정전용량식, 초음파식, 레이더식 수위계가 있으며 본 연구에서는 초음파식 수위계를 사용할 예정(1기 시범설치)이다. 이들 수위계의 측정범위, 주파수, 사용 온도 등 특성은 다음 표와 같다.

[표 2-3-5] 수위측정 방식별 특성 비교

구분	부자(Float)식	정전용량식	초음파식	레이더식
측정범위	0 ~ 6m	0 ~ 20m	0 ~ 15m	0 ~ 70m
측정주파수	-	-	제조회사 별로 다름	5.8 GHz 이상
측정빔각도	-	-	5	12
입력전원	DC24V	DC24V	DC 24V or AC	DC 24V or AC
지시 및 출력	DC4-20mA	DC4-20mA	DC4-20mA/RS232C	DC 4-20mA / Hart/RS232C
사용온도	-20 ~ 80℃	-20 ~ 60℃	-20 ~ 60℃	-40 ~ 400℃
정밀도	±1.5%	±1%	±1%	±15mm
보수점검	Pulley등 가동부분 점검.	Probe의 길이 변경	Spem의 변경.	내부의 프로그램으로 자유로이 변경이 가능
유지보수비용	낮 다	낮 다	보통	보통
설치비용	간단함	간단함	어려움	간단함
구입가격	저 가	중 가	고 가	고 가

다. 펌프 토출유량 측정을 위한 관수로 유량측정 센서 및 장치

- 관수로나 양수장의 펌프 등으로부터 토출된 유량을 계측하기 위해서 관수로 유량을 계측할 수 있는 유량계는 차압식, 면적식, 용적식, 터빈식, 와류식, 전자식, 초음파식이 있으며 본 연구에서는 초음파식 유량계를 사용할 예정(1기 시범설치)이다. 이들 유량계의 이론식, 측정신호, 정확도 등 특성은 다음 표와 같다.

[표 2-3-6] 관수로 유량계의 종류별 특성

구분	차압식	면적식	용적식	터빈식	와류식	전자식	초음파식
주요 측정 유체	액체, 기체, 증기	기체, 증기 점도가 낮은 액체	액체, 기름	동점도가 낮은 액체, 기체	기체, 증기, 액체	전도성 액체	액체, 기체, 증기
이론식	$Q=K\sqrt{\Delta P}$	$Q=KA(A-KIH)$	$Q=K \cdot N$	$Q=K \cdot \omega$	$Q=K \cdot f$	$Q=K \cdot E$	$Q=K\Delta t$
측정신호	차압 (P1-P2)	후로트의 위치 H(높이)	일정용적 및 출력수N	로터 회전수 ω	소용돌이 발생 f	기전력 E	전달속도 시간차 Δt
측정신호와 유량과의 관계	차압의 제곱근에 비례	비례	비례	비례	비례	비례	비례
정확도	$\pm 2\%FSD$	$\pm 3\%FSD$	$\pm 0.5\%FSD$	$\pm 2\%FSD$	$\pm 1\%FSD$	$\pm 0.5\%FSD$	$\pm 1\%FSD$
유량측정비	3:1 ~ 4:1	10:1	20:1	15:1	12:1	33:1	1:5 ~ 1:20
유량계 표준 구경	25A ~ 3000A	15A ~ 200A	10A ~ 400A	15A ~ 600A	15A ~ 600A	15A ~ 3000A	15A ~ 7000A
유체의 최고사용 온도	-40 ~ 650℃	120℃ 이하	120℃ 이하	-500℃ 이하	400℃ 이하	-180℃ 이하	40℃ 이하
측정 유체의 점도	저	200cP이하	저 ~ 고	2 ~ 5cSt	저	고	저
압력손실	크다	작다	크다	크다	작다	없다	없다
배관직관 거리	10 ~ 89D/5D	-	-	15D/5D	12~43D/5D	5D/3D	10D/3D
가격비교	저	저	고	중	중	고	중
제품							

라. 펌프

- 양수장과 배수장에 사용되는 펌프의 종류별로 선정기준과 장단점은 다음과 같다.

[표 2-3-7] 배수펌프 선정기준 및 장단점

구 분	횡축펌프	입축펌프	수중펌프	게이트펌프
선정 기준	<ul style="list-style-type: none"> ○ 펌프, 전기설비가 취대홍수위선 위에 설치 가능한 지구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 펌프실 침수염려가 있는 지구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 홍수위가 높아 배수장이 침수우려가 있는 경우 ○ 자동운전이 꼭 필요한 지구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 홍수위가 높아 배수장이 침수우려가 있고, 자동운전이 꼭 필요한 지구 ○ 내수배제능력이 부족하여 증설해야 할 경우
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 펌프선정에 감속기가 꼭 필요한 경우 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자동운전이 꼭 필요한 지구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 펌프장 구조물 설치가 곤란한 지구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 펌프장 구조물 설치가 곤란한 지구
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해수에 접하여 부식이 우려되는 지구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설치면적을 좁게 할 경우 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 펌프장의 지반이 연약한 지구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설치면적을 좁게 하거나 지반이 연약한 지구
장점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주요부가 수면위에 있으므로 부식이 적고 보수, 유지관리가 용이하다. ○ 건축물의 높이가 낮다. ○ 분해, 조립 및 유지관리가 용이하다. ○ 펌프가격이 저렴하다. ○ 다른 펌프보다 효율이 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설치면적이 적다 ○ 진공이 불필요하고 자동화가 용이하다. ○ 임펠라가 수면하에 있어 공동현상이 발생할 염려가 적다. ○ 원동기 설치위치가 홍수위보다 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설치면적이 적고 구조가 간단하다. ○ 진공이 불필요하고 공동현상이 발생할 염려가 없어 자동화가 용이하다. ○ 전동기가 수중에 있으므로 소음이 적다. ○ 홍수위에 관계없이 하천부 지내에도 설치가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 용지매수가 필요없다. ○ 흡입수조와 배출수조가 하나로 되어 있어 간단한 토목구조이다. ○ 배수로상에 기기를 설치하므로 유지관리가 용이하다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설치면적이 넓다. ○ 공동현상이 발생할 염려가 있으므로 흡입양정의 제한을 받는다. ○ 진공이 필요하므로 자동화가 복잡하다. ○ 홍수위가 높을 경우 원동기 보호대책이 필요하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주요부가 수중에 있으므로 부식우려 및 보수점검이 불편하다. ○ 건물높이가 높다. ○ 횡축에 비하여 가격이 비싸다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 원동기의 수명이 지상용에 비해 짧다. ○ 누전점검 등 보수가 필요하다. ○ 분해점검이 불편하다. ○ 수중모타펌프의 가격이 비싸다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 게이트 차단시에만 펌프가 작동된다.

주) 참고 자료 : 농업생산기반정비사업 설계기준(배수편)(농림수산식품부, 2012.12)

- 테스트베드 지역으로 선정한 마둔, 대사, 풍전 저수지 지구는 수중펌프를 사용하고 있다.
- 수중축류(사류)펌프는 송출량이 매우 크고(보통 100 - 400m³/Min) 전양정이 낮은(보통 20m이하) 경우에 적용되는 펌프로 대규모의 배수시설(빗물 펌프장) 또는 관개용수 공급시설에 적합하다.

- 모터 및 펌프가 일체형으로 되어 수중에 잠수되어 운전되는 펌프이며 그 특징 및 장점은 다음과 같다.

- ▶ 지역적인 집중 호우시 펌프장 전체가 침수되어도 지속적인 운전 가능
- ▶ 동일 송출유량에서 입축펌프에 비해 펌프장 규모가 작아 펌프장 시설을 축소할 수 있고 따라서 펌프장 소형화 실현 가능
- ▶ 비속도가 크기 때문에 저양정에 대해서도 회전속도를 크게 할 수 있으며 모터와 직결형의 간결한 구조임
- ▶ 부하변동에 따른 적응력 우수
- ▶ 구조가 간단하고 취급이 용이하며 가격도 저렴

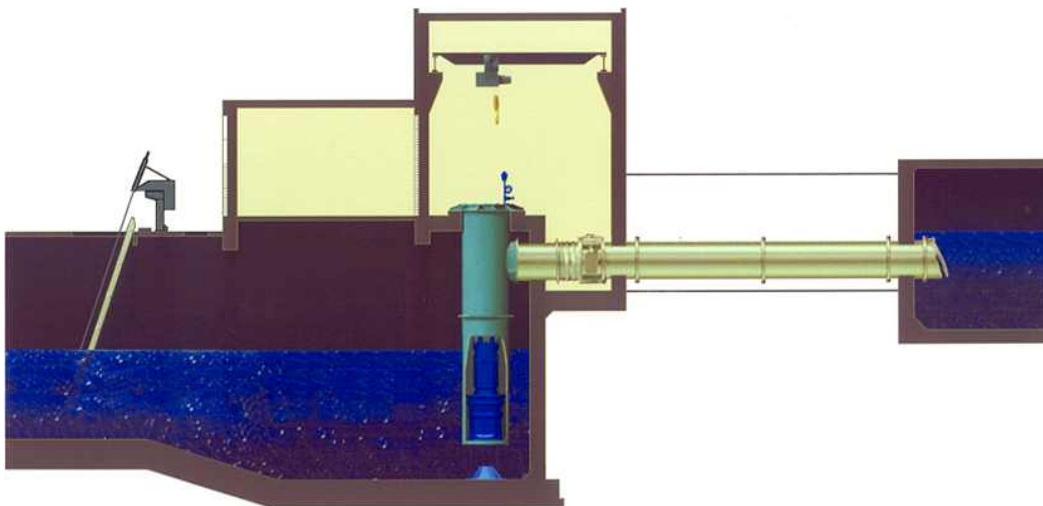
- 이러한 이점으로 인해 선진국에서는 수중펌프의 사용비율이 점점 증대되는 추세이고 국내에서도 그 사용빈도가 증가하고 있다.

- 수중펌프와 입축펌프의 장단점을 비교하면 다음과 같다.

[표 2-3-8] 수중축류(사류)펌프와 입축축류(사류)펌프 장·단점 비교

항목	수중축류(사류)펌프	입축축류(사류)펌프
일반사항	-동일유량의 입축펌프 보다 크기가 작기 때문에 설치 면적 및 부대 비용을 크게 줄일 수 있음. -입축펌프에 비해 부속 배관이 필요 없음. -모터 설치를 위한 상부 건축물이 필요 없음. -펌프가 수중에 설치되어 소음 및 진동 등의 2차 공해를 완전 해결.	-모터 설치를 위한 2층 건축물이 필수적이며 따라서 펌프장 설치 면적이 불필요하게 커지게 됨. -구조 및 부속 배관설비가 복잡하고 중량이 무거워 설치 및 유지보수에 어려움이 많다. (부속배관 : 냉각 및 윤활배관)
펌프효율	-80% 이상	-70% - 75%
적용용도	-우수, 상수원수공급, 관개용수공급 등 대규모의 급, 배수시설에 적용.	-좌와 동일
구조	-모터, 펌프 일체형의 간결한 구조. -모터축이 바로 임펠라와 연결되는 공동축 구조로 안정된 운전을 보장.	-모터와 펌프가 분리되고 연결축의 길이가 길어 Coupling 및 축의 Alignment에 어려움이 많음.
건설비용	-건축비용 및 부대비용이 저렴, (입축펌프 대비 2/3 수준)	-모터 설치를 위한 2층 지상 구조물이 필수적이고 또 많은 면적의 건설부지가 필요하여 펌프장 건설비용이 고가. -축봉 및 베어링 냉각을 위한 부대 배관(냉각 및 윤활계통) 및 부속시설을 필수 설치하는 관계로 부대시설이 필요.
경제성	-펌프장 건설비, 설치비, 운전비, 총 경비 등이 입축펌프에 비해 저렴.	-펌프장 건설비, 설치비, 운전비 등 모든 전반적인 비용면에서 비경제적.
동력전달	-단일축인 관계로 모터 동력이 직접 임펠라에 전달되어 구동되므로 기계적 손실동력이	-모터 동력이 Coupling을 통하여 임펠라에 전달되어 구동되므로

	거의 없음.	축이음 손실동력이 큼. -펌프축이 장축인 관계로 베어링의 기계적 손실과 축봉장치의 누설손실이 크다.
설치방법	-모터, 펌프가 일체형으로 컬럼파이프내에 자중에 의한 설치. (설치 완료 기간 : 1일 이내) -수중에 설치되므로 지상 건축물이 필요없음.	-모터 설치를 위한 지상2층 건축물이 필요. -모터 및 펌프 분리형으로 현장 설치가 필수적이며 설치기간은 보통 4 - 5일 소요.
환경영향	-펌프 및 모터가 수중에 설치되므로 모터 소음 및 진동 등 2차 공해로부터 완전 해방.	-모터가 지상 구조물 위에 설치되고 장축에 의해 펌프가 연결되므로 소음 및 진동이 매우 큼. 따라서 고장 요인이 많음.
유지관리	-입축펌프에 비해 유지관리 및 수리 비용이 저렴함.	-상대적으로 펌프가 크고 관련 부속 배관이 복잡하여 유지관리가 어렵고 보수에 많은 시간이 소요됨.
긴 급 대응 성	-긴급시 별도의 준비작업 없이 즉시 가동이 가능하며 계획유량 이상의 대응량이 유입되어 펌프장이 침수되어도 계속 가동할 수 있음.	-가동전 준비작업이 필요하며 즉시 가동이 불가능함. 1) 냉각수 배관 및 Cooling Pump 점검 및 작동. 2) Oil 및 윤활계통 확인. -계획량 이상의 유량 유입시 모터 부위 및 부속 배관 침수로 펌프운전 불가능. 따라서 집중호우로 인한 긴급 가동시에 운전상 난점이 있어 자칫 무용지물이 될 우려가 있음.
적응성	-BALL BEARING 구조이므로 장시간 정지후 운전하여도 축의 구속현상의 발생할 우려가 없음.	-GREASE TYPE BEARING 구조이므로 장시간 정지후 운전시 부식에 의한 축 구속현상이 발생. 따라서 정기적으로 그리스 주입 및 교체 요함.



[그림 2-3-87] 수중축류(사류)펌프 설치 예시

마. 관로

- 양수저류를 위한 송수관로의 선정을 위해서 다음과 같은 각 관종별 특성을 파악하여 결정한다. 영구적인 시설을 설치할 경우 주로 이용되며, 임시적으로 사용하는 경우에는 고압호스를 사용하는 경우가 많은데 본 연구에서도 이동형 양수저류 장치에 고압호스를 이용할 계획이며 이를 원활하게 설치하고 수거할 수 있는 장치를 시범 개발하였다.

[표 2-3-9] 관종별 특성 비교

형식	폴리에틸렌 피복강관	수도용 고밀도 PE관	유리섬유 강화플라스틱관	덕타일 주철관
형상				
관경	• D80 ~ 3,000mm	• D16 ~ 1200mm	• D150 ~ 3,000mm	• D80 ~ 1,200mm
재질	<ul style="list-style-type: none"> • 강관 • 외면 : 강관 + 분말에폭시 + PE • 내면 : 액상에폭시코팅 	<ul style="list-style-type: none"> • 외면 : 폴리에틸렌수지 • 내면 : HDPE수지 (고밀도 PE) 	<ul style="list-style-type: none"> • 외면, 내면 : 유리섬유 강화 플라스틱관 (유리섬유 + 불포화 폴리에스테르 + 모래) 	<ul style="list-style-type: none"> • 주철관 • 외면 : 주철 • 내면 : 시멘트라이닝/에폭시
접합방법	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜지접합 • 용접접합(기계 및 인력) 	<ul style="list-style-type: none"> • BUTT용착 • 전기용착 소켓접합 • 나사 조임식 	<ul style="list-style-type: none"> • 소켓식 접합 • 유리섬유 커플링 접합 	<ul style="list-style-type: none"> • 조인트 접합 (메카니칼, KP메카니칼, 타이튼)
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 내, 외압 강도가 높음 • 접합시공시 강도 강함 • 내구성이 우수함 • PE 피복으로 부식 강함 	<ul style="list-style-type: none"> • 소구경관 사용시 경제적 • 접합 시공이 간단함 • 내구성이 우수함 • 전식 및 부식에 강함 	<ul style="list-style-type: none"> • 내식성, 내약품성 우수 • 경량 재료로 운반시공 용이 • 접합 및 현장시공 우수 	<ul style="list-style-type: none"> • 시공사례 많음 • 접합부 신축성 좋음 • 내식성, 내약품성 우수
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 고중량으로 인한 시공성 불리 • 현장시공성이 불리 • 다소 고가제품 	<ul style="list-style-type: none"> • 강도가 약함 • 고온에서 쉽게 열화 	<ul style="list-style-type: none"> • 현장절단시 유리섬유 비산먼지 • 폐기물처리비 발생 • 고무링접합으로 시공성 불리 	<ul style="list-style-type: none"> • 급격한 압력시 균열 • 현장시공성 불리 • 부동침하에 약함

바. RTU(Remote Telemetry Unit)

- 양수장은 취수원에서 펌프로 양수하여 관수로 또는 개수로와 연결하여 급수한다. 양수량은 펌프 대수 조절, 회전속도 조절, 제수밸브의 개도에 의해 조절되며 설정프로그램에 의해 조작되어야 한다.
- 양수장의 펌프 제어는 관수로 형식에 따라 수위계 또는 압력계를 설치하고 수위 또는 압력을 관측하여 펌프의 제어목표치인 수위설정제어 또는 유량설정제어에 의해 제어한다.
- 제어목표는 시설의 규모, 제어빈도, 제어정밀도 등을 감안하여 설정한다. 일반적으로

로 반폐쇄식은 설정수위 및 유량제어방식, 폐쇄식은 설정압력 제어방식을 적용하고 있으며, 수동조작 원격제수밸브는 정해진 공급량에 따라 밸브의 개도를 제어한다.

- 용수관리상 필요한 감시제어 항목은 흡수조수위, 토출유량용 제수밸브 개도 등이며 다음과 같다.

[표 2-3-10] 양수장 계측 및 감시제어 항목

항목		감시	조작 및 제어 방식		
			기측	원격	먼거리
흡수조수위	W1	이상상승 이상저하			
펌프	P1 P2	운전 정지 고장	수동조작	수동조작 설정수위제어	수동조작 설정수위
급수조수위	W2	이상상승 이상저하			
송수 유량	Q1 Q2	유량			
제수 밸브	Z1 Z2	개폐 고장	수동조작	수동조작	수동조작

- 감시제어의 결정에는 다음과 같은 제어계획의 기본사항에 유의해야 한다.
- 수동조작 이외의 제어를 도입하는 경우 예비책으로 수동조작도 병행하여 신뢰성 확보에 노력한다.
- 제어는 모든 것을 장치에 일임하는 것이 아니고 제어방식의 교체, 설정치의 변경 등 주요 조작사항에는 관리자가 개입한다.
- 장치의 이상, 수리상의 이상 등이 감지되었을 때 수문, 밸브 등의 개도를 현상으로 유지하고 경보를 발생하여 관리자가 신속한 개입판단을 할 수 있도록 한다.
- 정보처리계가 정지한 경우에도 정보전송계에 의한 필요 최소한의 감시제어가 가능하도록 한다.

- 관리제어시스템의 조작형태는 조작장소 및 수단에 따라 다음과 같이 분류된다.

▶ 기측 수동조작

-관리자가 기측반에서 조작 개폐기를 수동으로 조작하여 수문개도조정 등을 시행하는데 가장 기본적인 조작이다.

-이 조작은 다른 모든 조작에 비하여 우선적으로 다른 제어형태의 백업으로도 사용된다.

▶ 원격수동조작

-현장관리소의 조작반에서 기측과 동시에 조작을 시행한다.

▶ 원격수동 설정치 제어

-현장관리소에서 설치된 단기능의 제어장치로서 개도, 유량, 수위, 압력 등의 설정치(제어 목표치)를 유지하도록 수문 등의 제어를 행한다.

▶ 원격자동 설정치 제어

-현장관리소에 설치된 정보처리장치에 의하여 각종 데이터로부터 제어 목표치를 자동으로 설정하여 수문 등을 제어한다.

▶ 먼거리 수동 조작

-관리자가 중앙관리소에서 피관리소로부터 TM/TC 장치로 보내오는 개도, 유량, 수위, 압력, 기기상태 등을 감시하여 TM/TC 장치에 의한 조작개폐기를 조작하여, 수문의 개폐나 개도조정 등을 행한다.

▶ 먼거리 수동 설정치 제어

-관리자가 현장의 설정치, 제어장치에 수동으로 설정을 하고 TC 장치를 통하여 목표치를 전송한다.

▶ 먼거리 자동 설정치 제어

-중앙관리소의 정보처리장치가 각종 데이터를 처리하여, 목표치를 정해서 설정치 제어장치에 자동으로 설정한다. 예를 들면 용수계통 전체의 운용을 중앙관리소의 정보처리 장치가 파악하여 복수의 설정치 제어장치를 집중관리하는 경우이다.

- 제어시설에 의해 수집된 계측정보는 데이터 처리장치를 통하여 수리수문 데이터의 계산처리, 데이터의 기억, 데이터의 표시 및 기록, 제어를 위한 계산처리(설정수위 및 유량제어), 경보처리 등을 위한 정보처리를 하여 시스템이 관리되도록 활용되어야 한다.
- 이러한 조작권리를 위해서는 데이터처리장치가 소정의 기능을 발휘하도록 소프트웨어가 개발되어야 한다. 이러한 관리시스템과 계측기 및 펌프 등의 장비의 관측자료 및 제어를 위해 RTU가 사용된다.
- RTU는 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템에서 주로 사용되는 용어인데, 원격지에서 데이터를 수집해 전송 가능한 형식으로 데이터를 변환한 뒤 중앙기지국으로 송신하는 장치이다.
- RTU는 또한 주 장치로부터 정보를 수집하고, 주 장치에서 지시되는 일련의 작업 절차를 수행하기도 한다. RTU는 신호 감지 또는 측정을 위한 입력 채널, 제어와 지시 및 경고를 위한 출력 채널 그리고 통신 포트 등을 갖추고 있다.
- RTU는 시스템에서 수신되는 제어 명령을 기반으로 하는 연결된 대상의 상태를 변경하거나 시스템에 전송하는 원격측정(telemetry) 데이터에 의해 분산된 제어 시스템(distributed control system)이나 원방감시제어시스템(SCADA)과 같은 대상(object)과 인터페이스(interface) 가능한 마이크로프로세서 기반의 제어 전자 장비(microprocessor-controlled electronic device)이다.
- RTU는 원격지에서 데이터를 수집해 전송 가능한 형식으로 데이터를 변환한 뒤 상위 대상 시스템으로 송신하며, 또한 데이터를 수신하여 지시되는 일련의 작업 절차를 수행한다.
- 데이터 수집을 위한 신호 감지 또는 측정에 사용되는 입력 채널, 제어와 지시 및 경고를 위한 출력 채널과 통신 포트 등으로 구성된다.
- 이를 통해서 양수장의 수위정보를 받아서 펌프 제어를 수행하고 유량계나 기타 다른 관측 센서 및 장치로부터의 정보 소통에 활용할 계획이다.

제 4절. 가뭄대응 양수저류 추진 현황 조사 및 분석

1. 국내외 지역별 양수저류 추진 현황 자료 수집 및 조사

가. 국외 양수저류 추진현황

(1) 일본

- 일본의 경지면적은 447만ha로 전체 토지의 11.8%로 일본의 농업은 집약적 특징으로 벼농사를 중심으로 한 경작구조가 발달되었으며, 우리나라 농업여건과 비슷하다.
- 이에 비해 기후학적인 특징은 차이가 뚜렷하여 우리나라는 연강수량1,000~1,800mm로 여름에 연강수량의 50~60%가 내려 계절적 강수분포의 차이가 큰 반면, 일본은 연강수량 2,000mm이상으로 연중 강수량이 풍부한 것이 특징이다. 그래서 우리나라의 양수저류는 사전적 가뭄예방을 위한 농업용수 확보의 목적인 반면, 일본의 양수저류는 우리나라와 다소 차이가 있는 점이 특징이다.

(가) 시가현 양수저류 추진현황

- 시가현에 위치한 비와호는 면적 670.3km²(시가현 면적 1/6해당), 수량 270억m³으로 약 4백만년 전에 형성된 자연호수로 세계에서 세 번째로 오래된 호수이며, 시가현·교토·오사카 등 지역의 생활·농업·공업용수의 주공급원으로 농경지 면적은 538km²에 해당된다.
- 일본의 비와호 인근에 설치된 양수저류 시설(순환형 시스템)은 1990년대 비와호의 수질오염에 따른 사회적 문제 심화로 인해 국가적 차원의 종합보전 정비계획(‘99~’50년)이 수립되어 수질개선의 목적으로 설치, 운영 중이며 이와 관련된 연구가 활발히 진행 중이다.



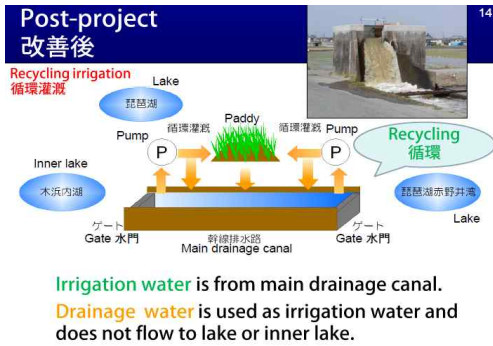
<비와호 수질오염 현황('00)>



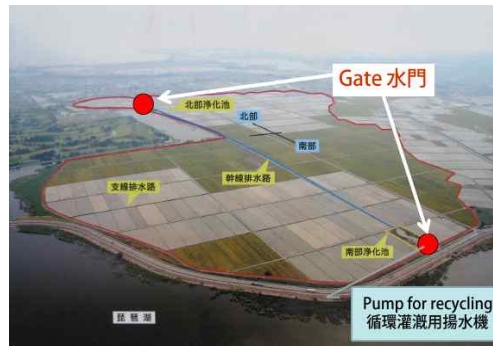
<순환형 시설 설치지구>

[그림 2-4-1] 비와호 순환형 농업용수 시스템 시범지구 위치도

- 순환형 시스템은 비와호에서 공급된 농업용수가 각 농경지에서 사용된 후 하류부 말단에 설치된 배수문으로 비와호, 하천으로의 유출을 차단시키고, 유수지에 집수된 농업용수를 양수시설(양수장)을 통해 상류부로 양수저류 하여 2차, 3차 농업용수를 순환하여 사용하는 시스템이다.



<순환형 시스템 운영체계>



<순환형 시스템 시설 현황>

[그림 2-4-2] 비와호 순환형 농업용수 시스템 운영체계와 시설위치도

- 특징으로는 양수장에 소형제진기를 설치하여 부유물을 제거하여 원활한 양수저류가 가능토록 하였으며, 농경지 필지마다 자동급수기를 설치하여 사용량 측정, 무분별한 농업용수 사용방지 등 효율적 농업용수 관리를 위한 선진적 기술을 적용하고 있다.



<배수문 및 양수장 시설>



<양수장 내 소형제진기 시설>

[그림 2-4-3] 비와호 순환형 농업용수 시스템 시설현황

- 국내 순환형 시스템 개발 시 일본의 선진기술을 벤치마킹하여 농업용수의 재사용을 통한 사전적 가뭄예방효과 이외에 농업용수의 수질개선을 통한 하천의 수질악화 저하 및 자동급수기 설치를 통한 농경지별 필요수량 초과공급을 차단하여 농업용수 절수효과를 기대할 수 있다.

(나) 차바현 양수저류 추진현황

- 차바현 내 경지면적은 127천ha(논 75천ha, 밭 52천ha)로 연중 강수량이 풍부하여 최근 10년 동안 가뭄이 발생하지 않았으나, 도네강 수위 저하(30~40% 이하)에 따른 가뭄발생 예상시 하천법에 따라 도네강 농업용수협의회를 구성하여 용수절약 및 제한 급수 등을 결정하여 시행하고 있다.
- 차바현에서 관개기간동안의 농업용수 관리는 토지개량조합에 위탁하여 관리하고 있으며, 차바현 내 농경지 필요수량은 1ha당 5,000㎥으로 타지역에 비해 습지가 많아 필요수량이 적은편이다. (평균 1ha당 10,000~14,000㎥)
- 농업용수시설(양수장, 수로 등)은 규모, 관리구역이 달라서 각각 담당부서(정부)가 있으며, 물자원 개발기구 예산은 정부보조금, 차바현 예산, 토지개량조합 예산으로 구성되어 농업용수시설의 신규 및 유지관리비용에 사용된다.
- 산부군 요코시바 히카리지역은 연중 7~8월 강수량이 적어 양수저류를 위한 양수장(3단)을 설치하여 도네강의 풍부한 하천을 농업용수로 활용하고 있으며, 해당지역의 주 작물은 벼이며, 일부 밭작물에도 농업용수를 공급하고 있다. 농민은 관개기간 동안 연접한 말단수로만 관리하도록 되어 있으나, 일본농촌의 인구 고령화에 따라 실질적 관리의 어려움으로 토지개량조합에서 대부분 관리하고 있다.

※ 주요시설현황

- 제 1양수장 : 1,200mm×5대, 1,100mm×2대
- 제 2양수장 : 1,200mm×4대
- 제 3양수장 : 1,200mm×3대



<관개지구 시설현황도>



<관리구역 내 관개지구 현황도>

[그림 2-4-4] 차바현 산부군 순환형 농업용수 시스템 지구 현황

(2) 호주

- 호주는 세계에서 6번째로 큰 국토면적을 가지고 있으며, 농지면적은 4,162만ha로 전체 국토의 61%이며, 국토의 70%가 강수량이 적은 건조지대에 해당된다. 호주 서부(40%), 북부(80%)는 열대 기후권에 속하고 그 외 타지역은 온대에 속하며, 연강수량은 평균 1,348mm 수준이다.

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평균기온 (°C)	22.1	22.2	23.8	25.1	26	26.8	27.4	27.5	27	26	24	22.6
최소온도 (°C)	15.8	15.7	17	18.6	20.2	21.8	21.9	22	21.7	20.8	18.5	16.2
최고온도 (°C)	28.5	28.7	30.2	31.7	31.9	31.9	33	33.1	32.4	31.3	29.6	29
평균기온 (°F)	71.8	72.0	74.5	77.2	78.8	80.2	81.3	81.5	80.6	78.8	75.2	72.7
최소온도 (°F)	60.4	60.3	62.6	65.5	68.4	71.2	71.4	71.6	71.1	69.4	65.3	61.2
최고온도 (°F)	83.3	83.7	86.4	89.1	89.4	89.4	91.4	91.6	90.3	88.3	85.3	84.2
강수량 (mm)	38	29	40	66	188	195	180	209	207	138	45	13

[그림 2-4-5] 호주 기후현황

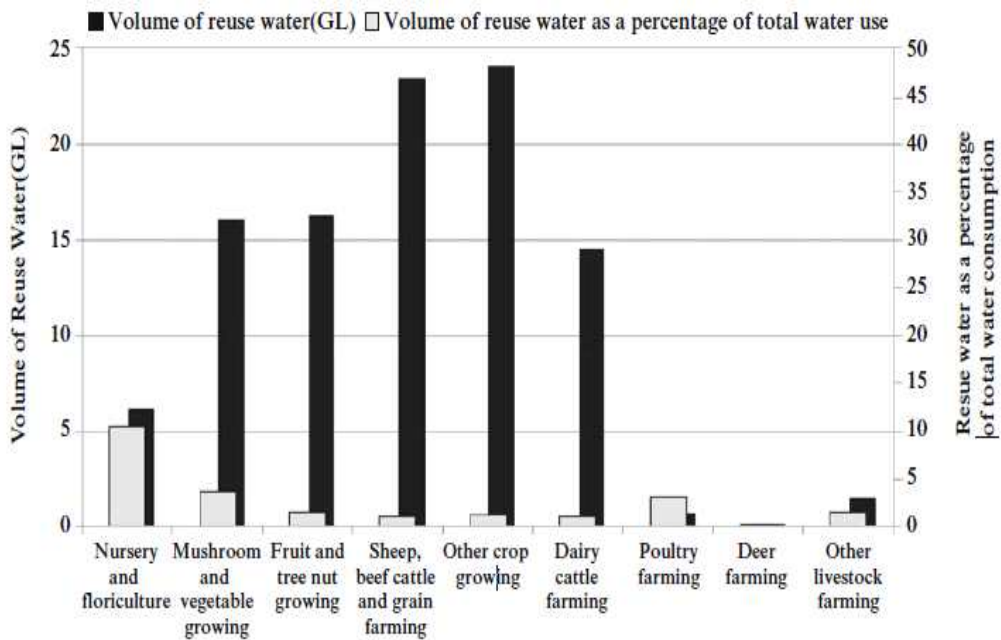
- 최근 기후변화에 따라 가뭄발생이 빈번히 발생하고 있으며, 1902년 최악의 가뭄발생 이후 ‘18년 8월 NSW 주에서는 7월 강수량 10mm를(평균이하 -56.54) 기록하며 100년만의 최악의 가뭄이 발생하였다.

* 호주 전체 농산물 생산량의 25%가량 NSW주 생산



[그림 2-4-6] 2018년 호주 NSW주 가뭄피해 사진

- 호주의 농업용수 사용은 전체 수자원의 65%('15년 기준 98억m³)의 많은 양을 차지하고 있으며, 농업용수의 주수원은 하천, 호수, 취수보, 댐 등으로부터 취수한 지표수이며, 이외에 지하수(복류수, 대수층지하수)와 농지 내외의 재활용수(recycled water) 및 재사용수(reuse water)가 있다.
- 하지만, 강우량의 공간적·시간적 편차가 매우 심하여(총 유출량 10%이내) 가뭄현상이 늘 발생하고 있어 농업용도의 관개수량이 차츰 감소되고 (NSW주 '14년 대비 '15년 관개수량 24% 감소)있으며, 호주 중앙 및 연방정부에서 추진하는 물관리 정책은 공급증대보다는 물절약, 분배 등 수요측면에 초점을 두고 있다.
- 호주 사회 전반적으로 물 절약의 중요성 인식확대로 기존 사용한 수자원(농업·생활·공업용수)의 하천, 해양으로 유출을 막아 재활용수 및 재사용수사용이 증가하고 있으며, 이에 따른 수질악화, 농산물 생산성 저하 등에 대한 연구도 활발히 진행되고 있는 추세이다.



[그림 2-4-7] 농업용수 재사용의 수자원 가치

나. 국내 지역별 양수저류 추진현황

- 한국농어촌공사에 관리하는 저수지 대상 최근 2개년(2017~2018년) 지역별 양수저류 추진현황을 조사하여 분석하였다.
- 최근 2개년(2017~2018년) 전국 양수저류 추진실적은 323개소 저수지에 71,781천^m이다.
- 양수저류 추진한 대상저수지 갯수의 경우 지역본부별로 전남본부 > 충남본부 > 경남본부> 경북본부 > 경기본부 순으로 많았다.
- 양수저류 실적의 경우에는 전남본부 > 전북본부 > 충남본부 > 경북본부> 경기본부 순으로 높았다.
- 전국적으로 양수저류 양은 2017년에는 153개소 저수지에 24,986천^m, 2018년에는 170개소 저수지에 46,795천^m 이다.

[표 2-4-1] 최근 2개년(2017~2018년) 지역본부별 양수저류 추진실적

지역 본부	2017년(A)		2018년(B)		합계(A+B)	
	대상 저수지 (개소)	양수저류 실적 (천 ^m)	대상 저수지 (개소)	양수저류 실적 (천 ^m)	대상 저수지 (개소)	양수저류 실적 (천 ^m)
계	153	24,986	170	46,795	323	71,781
경기	18	4,348	6	2,646	24	6,994
강원	6	1,105	1	1	7	1,106
충북	9	773	5	342	14	1,115
충남	51	9,044	23	5,326	74	14,370
전북	12	4,668	11	10,129	23	14,797
전남	23	1,609	68	17,481	91	19,090
경북	18	2,046	23	6,553	41	8,599
경남	16	1,393	33	4,317	49	5,710

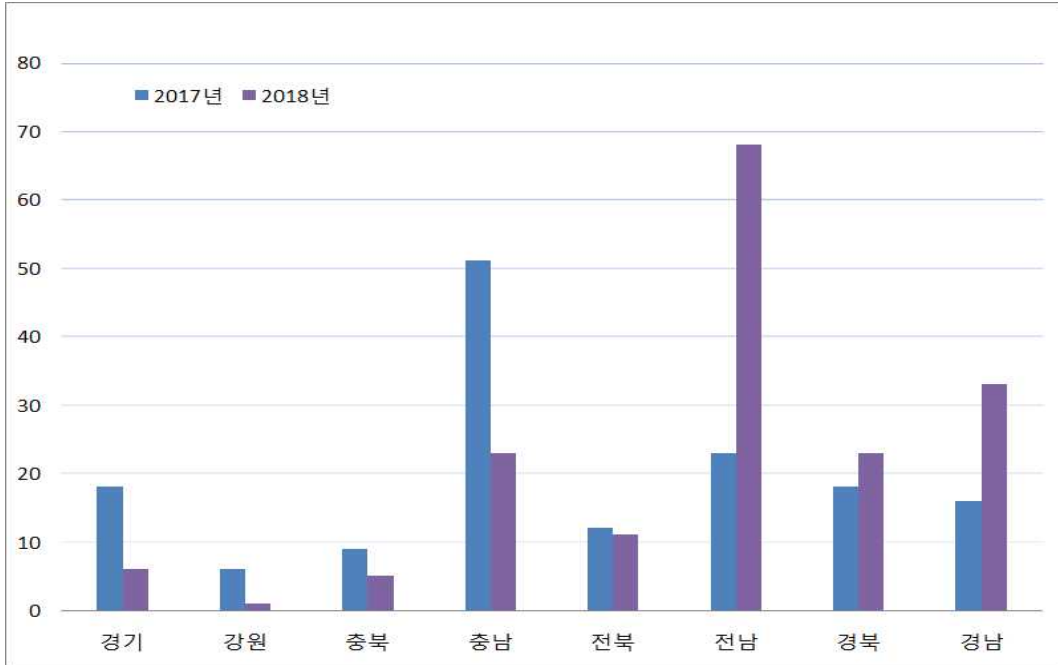
(1) 2017년과 2018년 지역별 양수저류 추진현황 비교

- 최근 2개년(2017~2018년) 전국 양수저류 추진 저수지와 수혜면적을 비교 분석 결과 2018년에는 2017년보다 대상저수지는 17개소(11%), 양수저류로 확보된 농업용수를 공급을 받는 수혜면적은 34,061ha(87%) 증가하였다.
- 지역본부에서는 전남본부가 '18년이 '17년보다 대상저수지는 45개소(196%), 수혜면적은 30,593ha(1,253%)로 크게 증가하였다.

[표 2-4-2] 2017년과 2018년 지역본부별 양수저류 추진 대상저수지 및 수혜면적 비교

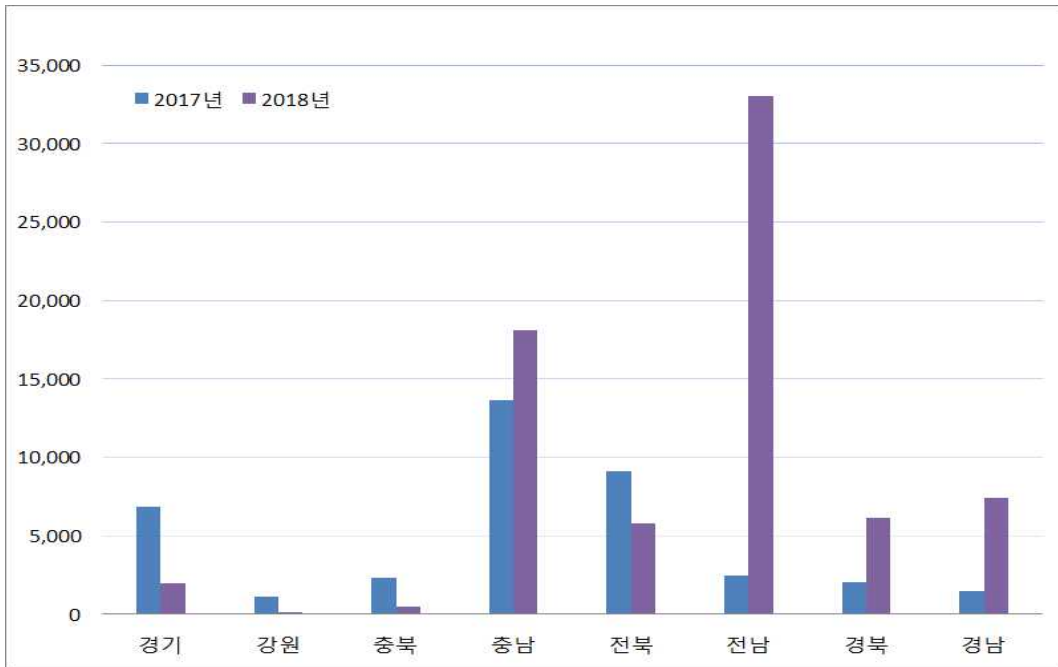
지역 본부	2017년(A)		2018년(B)		증감(B-A)	
	대상 저수지 (개소)	수혜면적 (ha)	대상 저수지 (개소)	수혜면적 (ha)	대상 저수지 (개소)	수혜면적 (ha)
계	153	39,099	170	73,160	17	34,061
경기	18	6,826	6	1,993	-12	-4,833
강원	6	1,112	1	142	-5	-970
충북	9	2,362	5	519	-4	-1,843
충남	51	13,669	23	18,136	-28	4,467
전북	12	9,135	11	5,770	-1	-3,365
전남	23	2,441	68	33,034	45	30,593
경북	18	2,047	23	6,167	5	4,120
경남	16	1,507	33	7,399	17	5,892

- 지역본부별로 살펴보면 2018년에서 전년도 보다 양수저류 추진한 대상저수지의 경우 경기, 강원, 충북, 충남, 전북본부는 감소하였고, 전남, 경북, 경남본부는 증가하였다.



[그림 2-4-8] 최근2개년(2017~2018년) 지역본부별 양수저류 대상저수지

- 양수저류 추진으로 용수공급을 받는 수혜면적의 경우 경기, 강원, 충북, 전북본부는 감소하였고, 충남, 전남, 경북, 경남 본부는 증가하였다.



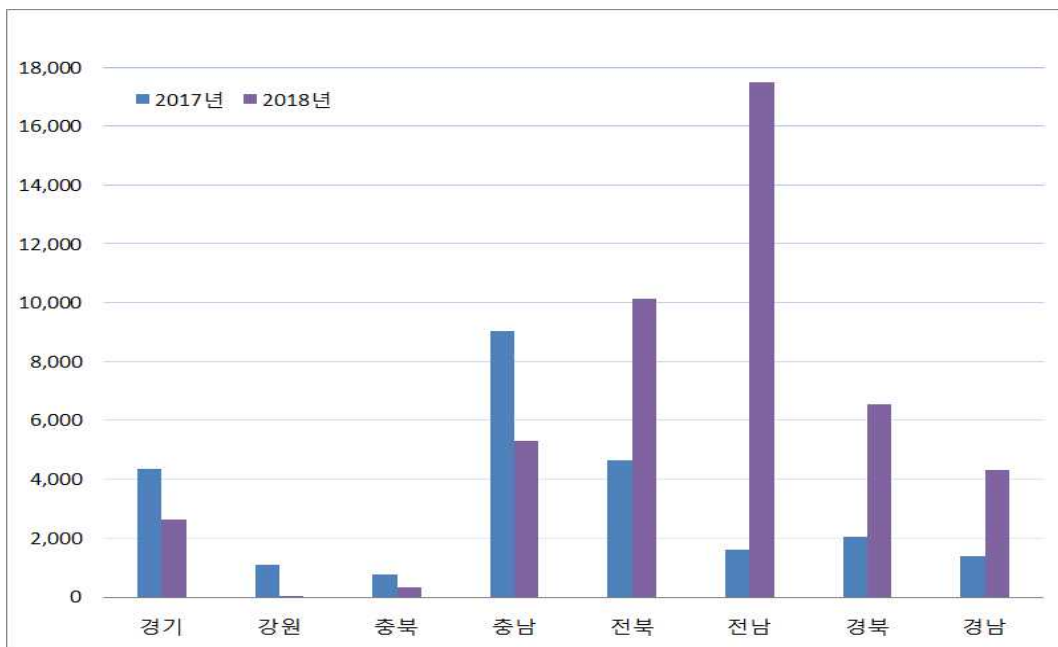
[그림 2-4-9] 최근2개년(2017~2018년) 지역본부별 양수저류 대상저수지 수혜면적

- 최근 2개년(2017~2018년) 전국 양수저류 추진 실적을 비교 분석 결과 2018년에는 2017년보다 21,809천m³(87%) 증가하였다.

[표 2-4-3] 2017년과 2018년 지역본부별 양수저류 추진실적 비교

지역 본부	2017년(A)	2018년(B)	증감(B-A)
	양수저류 실적 (천m ³)	양수저류 실적 (천m ³)	양수저류 실적 (천m ³)
계	24,986	46,795	21,809
경기	4,348	2,646	-1,702
강원	1,105	1	-1,104
충북	773	342	-431
충남	9,044	5,326	-3,718
전북	4,668	10,129	5,461
전남	1,609	17,481	15,872
경북	2,046	6,553	4,507
경남	1,393	4,317	2,924

- 지역본부에서는 전북(117%), 전남(986%), 경북(220%), 경남본부(210%)에서 전년도 보다 크게 증가하였다.



[그림 2-4-10] 최근2개년(2017~2018년) 지역본부별 양수저류 추진실적

(2) 2017년 양수저류 추진현황

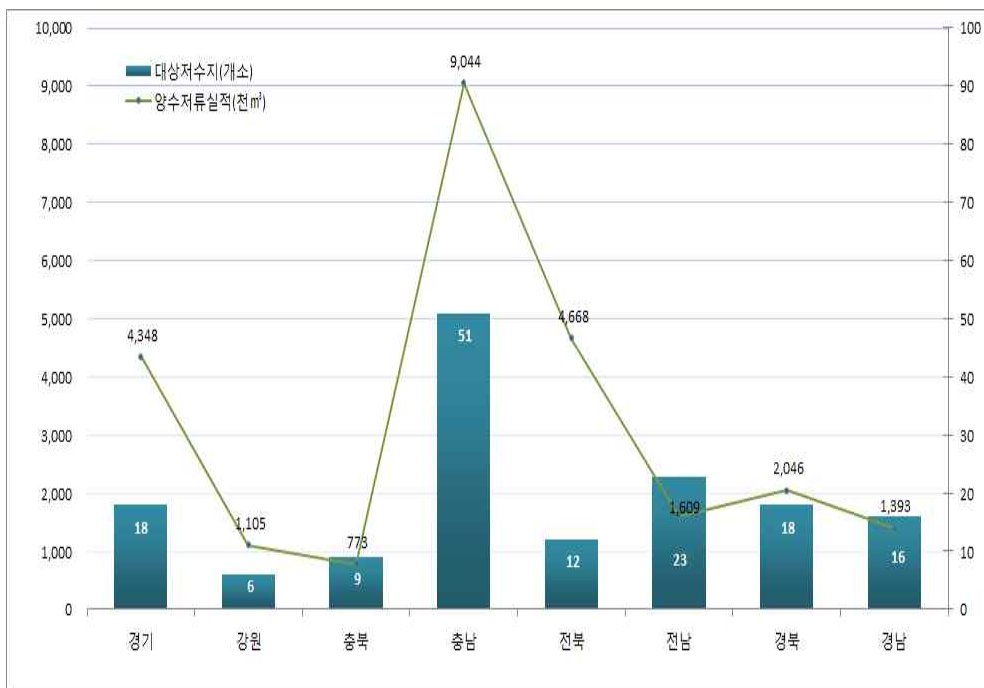
(가) 지역본부별 추진현황

- 한국농어촌공사 관리 저수지 대상으로 2017년에는 ‘16.11월부터 ‘17년 6월까지 저수지 153개소(39,099ha)에 24,986천³를 양수저류를 추진하였다.

[표 2-4-4] 2017년 지역본부별 양수저류 추진실적

지역본부	기간	대상저수지 (개소)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천m ³)
계	-	153	39,099	24,986
경 기	‘16.11.18~ ‘17.6.12	18	6,826	4,348
강 원	‘17.2.24~6.12	6	1,112	1,105
충 북	‘17.4.7~6.12	9	2,362	773
충 남	‘16.11.4~ ‘17.6.12	51	13,669	9,044
전 북	‘17.2.3~6.12	12	9,135	4,668
전 남	‘17.1.13~6.12	23	2,441	1,609
경 북	‘16.12.23~ ‘17.6.12	18	2,047	2,046
경 남	‘17.1.3~3.31	16	1,507	1,393

- 양수저류 실적의 경우에는 충남본부 > 전북본부 > 경기본부 > 경북본부 > 전남본부 순으로 높았으며, 양수저류를 추진한 대상저수지의 경우에는 충남본부 > 전남본부 > 경기본부 > 경북본부 > 경남본부 순으로 많았다.



[그림 2-4-11] 2017년 지역본부별 양수저류 대상저수지 및 양수저류 실적 그래프

(나) 지사별 추진현황

- 2017년에는 한국농어촌공사 관할지사 81개 지사 중 62개 지사(77%)에서 양수저류를 추진하였다.
- 본부별로 살펴보면 경기본부는 관할지사 9개지사 중 8개 지사(89%), 강원본부는 5개 지사 중 4개 지사(80%), 충북은 6개 지사 중 5개 지사(83%), 충남은 11개 지사 중 9개 지사(82%), 전북은 10개 지사 중 8개 지사(80%), 전남은 14개 지사 중 10개 지사(71%), 경북은 14개 지사 중 11개 지사(79%), 경남은 12개 지사 중 7개 지사(58%)에 추진하였다.
- 양수저류 양이 가장 많은 저수지는 전주·완주·임실지사에 경천저수지로 3,166천 m^3 이며, 가장 낮은 저수지는 평택 월곡저수지의외 13개소에서 1천 m^3 이다.

[표 2-4-5] 2017년 지사별 양수저류 추진실적

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m^3)
계	-	153	-	39,099	24,986
	소계	18	-	6,826	4,348
	여주이천	성호(설성)	'17.4.11~6.12	340	220
	양평·광주·서울	어은	'17.4.11~6.12	78	351
경기	화성·수원	서량	'17.4.11~6.12	191	23
		칠리제	'17.3.17~5.12	71	6
		덕우	'17.3.17~5.12	573	264
		기천	'17.4.20~6.12	267	214
		홍부	'17.3.17~5.12	865	236
		보통	'17.3.17~5.12	364	85
	연천·포천	냉정	'17.3.28~6.9	334	1,044
	파주·고양	봉암	'17.3.24~6.9	111	181
	강화	인산	'17.3.24~6.9	259	21
		하점	'17.3.24~6.9	462	54
	평택	월곡	'17.3.24~6.12	23	1
	안성	두창	'17.3.24~6.12	192	249
마둔		'16.11.18~ '17.6.9	530	564	
금광		'16.11.18~ '17.6.9	1,906	748	

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천㎥)
		만수	‘16.11.18~ ‘17.6.9	140	31
		운수	‘16.11.18~ ‘17.6.9	120	56
강원	소계	6	-	1,112	1,105
	홍천·춘천	우두	‘17.6.3~6.12	235	3
	원주	손곡	‘17.6.3~6.12	142	109
		대안	‘17.6.3~6.12	90	4
		계촌	‘17.6.3~6.12	70	95
	강릉	신왕	‘17.2.24~4.14	197	37
	철원	학	‘17.2.24~4.14	378	857
충북	소계	9	-	2,362	773
	충주·제천·단양	송강	‘17.6.5~6.12	235	97
		장저울	‘17.6.5~6.12	40	10
	청주	연제	‘17.6.5~6.12	463	124
	괴산·증평	영수	‘17.4.8~6.12	67	22
		삼기	‘17.4.8~6.12	410	134
	옥천·영동	장연	‘17.4.7~6.12	164	95
	진천·음성	용계	‘17.4.7~6.12	795	242
		용	‘17.4.7~6.12	111	30
		봉전	‘17.4.7~6.12	77	19
충남	소계	51	-	13,669	9,044
	공주·세종·대전	용암	‘17.2.24~6.2	477	53
		경천(양화)	‘17.2.24~6.2	297	47
	아산·천안	어룡	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	60	2
		확정	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	214	13
		천흥	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	206	31
		양전	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	263	20
		입장	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	352	167
		풍년	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	292	167
		신월	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	27	8
		성내	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	334	165
		냉정	‘16.12.30~ ‘17.3.3	326	102

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)
			1		
		가혜	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	593	50
	청양	내지곡	‘17.3.24~5.12	18	5
		아산	‘17.3.24~5.12	20	1
		방한	‘17.3.24~5.12	70	25
		천장	‘17.3.24~5.12	551	337
		수정	‘17.3.24~5.12	53	23
		관산	‘17.1.27~4.29	156	544
		홍성	가곡	‘16.11.4~ ‘17.5.12	201
	대사		‘17.2.17~5.12	163	399
	광천		‘17.1.2~5.12	65	200
	벽정		‘17.1.20~3.3	58	133
	홍양		‘17.1.20~3.3	441	170
	공리		‘16.11.4~ ‘17.5.12	168	304
	부여	마하동	‘16.12.23~’ 17.3.1 0	36	190
	보령	해창	‘16.11.4~ ‘17.1.13	60	108
		내현	‘17.2.17~6.12	130	30
		평리	‘17.2.17~6.12	26	19
		의평	‘16.12.23~ ‘17.6.1 2	26	82
		청천	‘17.2.17~6.12	2,638	156
		황룡	‘17.2.17~6.12	52	58
		장전	‘17.2.17~6.12	135	17
	예산	수철	‘16.12.30~ ‘17.3.3 1	202	96
		방산	‘16.11.4~ ‘17.5.19	266	322
		송석	‘16.12.30~ ‘17.5.1 9	171	261
		여래미	‘16.11.4~ ‘17.5.19	138	332
		산목	‘16.12.30~’ 17.3.3 1	98	295
보강(대리)		‘16.11.4~ ‘17.5.19	71	259	
옥계		‘16.12.30~’ 17.3.3	297	35	

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)
			1		
		봉림	‘16.12.30~’ 17.3.3 1	230	146
		하천	‘17.1.2~5.19	91	199
	서산·태안	풍전	‘17.1.3~5.12	655	467
		고풍	‘17.3.24~5.12	1,294	622
		산수	‘17.3.17~5.12	639	540
		신송	‘17.3.24~5.12	407	501
		마룡	‘16.11.4~ ‘17.6.12	40	221
		신창	‘17.3.24~5.12	189	95
		승언1호	‘17.2.24~6.2	42	42
		승언3호	‘17.2.24~6.2	41	46
		창기	‘17.3.17~6.2	33	52
		당진	순성	‘17.3.24~4.7	257
	전북	소계	12	-	9,135
순창		화양	‘17.5.12~6.12	48	28
군산		대동	‘17.5.12~6.12	68	279
익산		금마	‘17.5.12~6.12	229	46
전주·완주·임 실		지사	‘17.5.12~6.12	23	1
		망우	‘17.5.12~6.12	116	43
		광석	‘17.5.12~6.12	84	54
		경천	‘17.5.12~6.12	7,738	3,166
고창		수동	‘17.2.3~6.9	165	558
		연화	‘17.3.10~4.7	119	324
정읍		용산	‘17.3.10~4.7	390	113
부안		석포	‘17.3.10~4.7	120	40
무진장		대불	‘17.3.10~4.7	35	16
전남	소계	23	-	2,441	1,609
	순천·광양·여	봉계1	‘17.1.13~4.7	85	35

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)
	수	대동	'17.1.13~4.7	39	6
		죽청	'17.1.13~4.7	50	74
		송기	'17.1.13~4.7	21	8
		대룡	'17.1.13~4.7	364	365
	무안·신안	도대	'17.1.13~6.12	19	10
		신흥	'17.1.13~6.12	11	5
	곡성·구례	죽산(석곡)	'17.2.24~6.12	18	1
		운강	'17.2.24~6.12	39	119
		문수	'17.2.24~6.12	332	12
		구만	'17.2.24~6.12	516	15
	해남·완도	삼덕1	'17.1.13~6.12	12	1
	장흥	동촌	'17.2.24~6.12	70	238
		제산	'17.2.24~6.12	203	133
	영광	대안	'17.1.13~6.12	40	103
		천정	'17.1.13~6.12	89	153
	나주	반계	'17.2.24~6.12	43	2
	진도	둔전	'17.1.13~6.12	228	189
	광주·담양·화 순	경상	'17.2.24~6.12	68	68
		대방	'17.2.24~6.12	128	56
	장성·함평	송림	'17.1.13~3.31	33	10
원곡1		'17.1.13~3.31	18	2	
원곡2		'17.1.13~3.31	15	4	
경북	소계	18	-	2,047	2,046
	영덕·울진	화전	'17.1.13~3.31	40	14
		매화	'17.1.13~3.31	176	102
	포항·울릉	달전	'17.2.10~6.12	-	130
	구미·김천	칠창	'17.2.10~6.12	14	1

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)
	경천	신평	'17.1.13~3.31	120	2
	영천	유상	'17.2.10~6.12	101	334
	영주·봉화	대평	'17.1.13~3.31	36	1
		당남	'17.1.13~3.31	23	1
	의성·군위	개천	'17.1.13~3.31	794	160
	경산·청도	연	'17.1.13~4.7	56	302
		삼천	'16.12.23~ '17.1.13	15	106
		신한	'17.1.13~4.21	52	257
		침법	'17.2.24~4.28	37	140
	상주	개운	'17.2.10~6.12	203	453
	고령·달성	중촌	'17.2.24~4.28	28	1
		구시골	'17.2.24~4.28	46	1
		용소	'17.2.24~4.28	85	2
	경천	우본	'17.1.13~3.31	221	39
	소계	16	-	1,507	1,393
경남	고성·통영·거제	남촌윗	'17.2.24~3.31	11	1
		남촌아래	'17.2.24~3.31	32	1
		덕촌1	'17.2.24~3.31	19	1
		하이	'17.2.24~3.31	167	95
	울산	심천	'17.1.13~3.31	75	411
		오룡	'17.1.3~3.17	89	312
	창녕	화전	'17.2.24~3.31	39	2
		길곡	'17.2.24~3.31	43	30
	밀양	승진	'17.2.24~3.31	50	66
		감물	'17.2.24~3.31	104	213
		요고	'17.2.24~3.31	123	1
	서부	대곡	'17.1.13~3.31	54	2

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)
	거창·함양	대덕	'17.1.20~3.17	185	2
		구룡	'17.1.20~3.17	91	73
		대천	'17.1.20~3.17	76	153
	합천	장계	'17.1.13~3.31	349	30

(다) 주요 가뭄지역 양수저류 추진사례

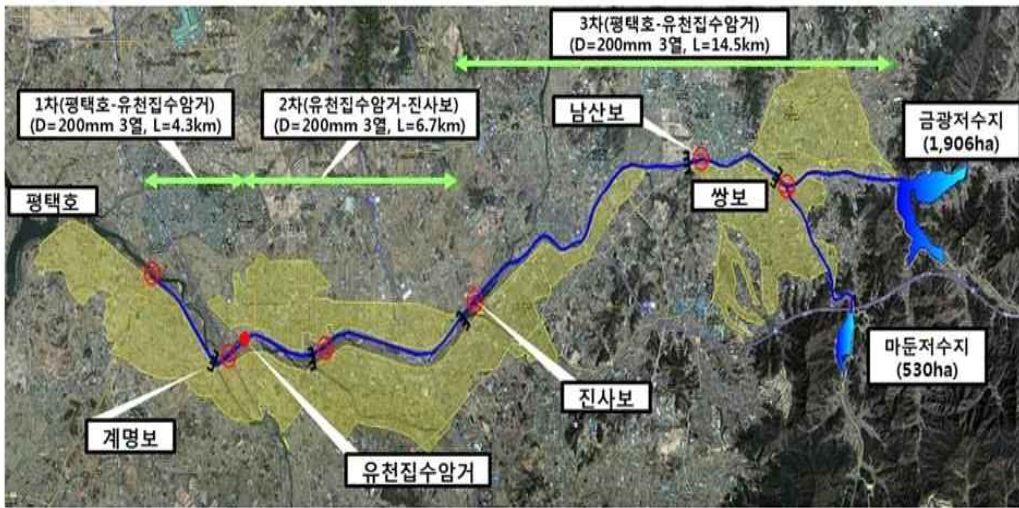
① 경기도 안성시 금광·마둔저수지

○ 금광저수지 용수간선 선제적 직접급수

- 금광1호지선등 3개소(수중펌프150mm) 5.4천 m^3 /일, 엔진펌프 4개소(펌프 250mm) 60천 m^3 /일 급수

○ 마둔저수지 양수저류 및 용수간선 선제적 직접급수(6.1천 m^3 /일 급수)

- 양수저류 3단(4KM) 4.3천 m^3 / 일 , 청용천 하천수 마둔지선에 직접급수(1.8천 m^3 /일)



[그림 2-4-12] 경기도 안성시 금광·마둔저수지 수계현황



양수장 설치



송수호스 설치



송수관로(PE관) 설치



양수저류

[그림 2-4-13] 금광·마둔저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황

② 경기도 화성시 덕우·기천저수지

- 임시관로 14.4km 설치,
(6,400㎥/일 공급)
- * 덕우-기천 송수관로 설치완료
(‘16.12월 설치완료)
- * 1차 임시관로 : 3.9km
화성시보→발안보 송수관로
- * 2차 임시관로 : 4.0km
남양호→화성시보 임시관로
- * 3차 임시관로 : 6.5km
발안보→덕우지 임시관로



화성시보(→발안보) 양수



발안보(→덕우지) 저류



덕우저수지 저류



임시양수시설 설치

[그림 2-4-14] 덕우·기천저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황

③ 충청남도 서산시 풍전저수지

- 보와 양수장 설치 전 수중펌프와 임시고압호스로 양수저류 (1,440m³/일)
- 둔당천에 가동보 및 양수장을 설치하여 양수저류
- 양수장 ⇒ 풍전지로 양수저류 (양수량 6,000m³/일)



가동보 및 양수장설치



청지천 임시고압호스 양대보로 양수저류



풍전저수지 양수저류(임시호수)



풍전저수지 양수저류(항구시설)

[그림 2-4-15] 풍전저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황

(3) 2018년 양수저류 추진현황

(가) 지역본부별 추진현황

- 한국농어촌공사 관리 저수지 대상으로 2018년에는 ‘17.10월부터 ‘18년 8월까지 저수지 170개소(73,160ha)에 46,795천³m를 양수저류를 추진하였다.

[표 2-4-6] 2018년 지역본부별 양수저류 추진실적

지역본부	기간	대상저수지 (개소)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 ³ m)
계	-	170	73,160	46,795
경 기	‘17.10.1~10.31	6	1,993	2,646
강 원	‘18.8.14~8.22	1	142	1
충 북	‘18.2.20~8.22	5	519	342
충 남	‘17.11.1~‘18.8.22	23	18,136	5,326
전 북	‘18.1.23~‘18.8.22	11	5,770	10,129
전 남	‘17.11.11~‘18.8.22	68	33,034	17,481
경 북	‘17.11.1~‘18.8.22	23	6,167	6,553
경 남	‘17.11.1~‘18.8.22	33	7,399	4,317

- 양수저류 실적의 경우에는 전남본부 > 전북본부 > 경북본부 > 충남본부 > 경남본부 순으로 높았다.
- 양수저류 추진한 대상저수지의 경우에는 전남본부 > 경남본부 > 충남본부 > 경북본부 > 전북본부 순으로 많았다.



[그림 2-4-16] 2018년 지역본부별 양수저류 대상저수지 및 양수저류 실적

(나) 지사별 추진현황

- 2018년에는 한국농어촌공사 관할지사 81개 지사 중 49개 지사(60%)에서 양수저류를 추진하였다.
- 본부별로 살펴보면 경기본부는 관할지사 9개 지사 중 4개 지사(44%), 강원본부는 5개 지사 중 1개 지사(20%), 충북은 6개 지사 중 5개 지사(83%), 충남은 11개 지사 중 6개 지사(55%), 전북은 10개 지사 중 3개 지사(30%), 전남은 14개 지사 중 14개 지사(100%), 경북은 14개 지사 중 7개 지사(50%), 경남은 12개 지사 중 9개 지사(75%)에 추진하였다.
- 양수저류 양이 가장 많은 저수지는 나주지사에 나주호로 5,627천³m이며, 가장 낮은 저수지는 원주 손곡저수지 외 2개소에서 1천³m이다.

[표 2-4-7] 2018년 지사별 양수저류 추진실적

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 ³ m)
계	-	170	-	73,168	46,795
경기	소계	6		1,993	2,646
	화성·수원	덕우	'17.12.13~'18.4.23/ '18.7.20~'8.22	573	1,075
	연천·포천	백학	'18.7.23~8.22	136	416
		냉정	'18.7.23~8.22	334	558
	과주	애룡	'17.12.2~'18.3.4	228	464
	안성	두창	'17.11.1~11.30	192	27
마둔		'17.10.1~10.31	530	106	
강원	소계	1		142	1
	원주	손곡	'18.8.14~8.22	142	1
충북	소계	5		519	342
	괴산·증평	매전	'18.8.15~8.22	111	65
	음성	유신	'18.2.20~3.2	107	144
	옥천·영동	누동	'18.7.31~8.6	16	4
		농암	'18.8.14~8.22	217	97
한곡		'18.7.2~8.22	68	32	
충남	소계	23		18,136	5,326

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수해면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)	
	청양	적누	'17.11.1~'18.4.22	164	501	
		천장	'18.7.26~'18.8.22	551	63	
		관산	'18.3.6~'18.4.16	156	194	
	홍성	가곡	'18.3.2~'18.4.22	201	74	
		대사	'18.2.27~'18.4.13	163	143	
		공리	'18.2.27~'18.4.9	168	63	
	부여	두곡	'18.7.25~'18.8.22	22	20	
		마하동	'18.7.23~'18.8.9	36	47	
	보령	수부	'17.11.1~12.4/ '18.7.31~8.22	98	146	
		진죽	'18.7.23~8.8	101	117	
		신송	'18.7.23~8.13	41	149	
		황룡	'17.11.1~'18.4.23/ '18.7.23~8.22	52	65	
		해창	'18.7.23~8.22	60	126	
		내현	'18.7.23~8.22	130	147	
	예산	예당(대흥)	'18.7.9~8.22	6,917	1,814	
	서산·태안	풍전	'17.11.1~'18.4.23/ '18.7.31~8.22	655	930	
		마룡	'18.8.1~8.19	40	6	
		산수	'18.7.23~8.3	639	32	
		신송	'18.7.31~8.12	407	53	
		승언1호	'18.7.23~8.22	42	42	
		승언3호	'18.8.3~8.13	41	15	
		창기	'18.7.23~8.13	33	23	
		대호호	'18.8.10~8.22	7,419	556	
	전북	소계	11	5,771	10,129	
		순창	팔덕	'18.1.23~4.2/ '18.7.31~8.22	510	1,323
			낙덕	'18.7.31~8.22	158	460
군산		미룡	'18.7.23~8.22	1,000	567	
		옥녀	'18.7.23~8.22	392	775	

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수해면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)
		대위	'18.7.23~8.22	230	868
		옥곡	'18.7.23~8.22	477	465
		대동	'18.7.23~8.22	68	93
		부곡	'18.7.23~8.22	66	93
		옥구	'18.7.23~8.22	2,260	4,960
	부안	사산	'18.8.14~8.22	466	150
		우동	'18.7.31~8.22	144	375
전남	소계	68		33,039	17,481
	순천·광양·여수	산수	'18.1.4~4.2	42	16
		오사	'18.1.8~4.2	107	19
	강진	서산	'18.1.3~4.23	376	311
		석문	'18.2.23~4.22	270	11
		봉양	'18.1.23~2.12	146	12
		송월	'18.1.6~2.22	52	17
		월평	'18.1.3~4.23/ '18.7.23~8.21	74	176
	무안·신안	해제2호	'18.1.16~4.3	7	28
		외기2	'18.1.18~2.17	17	110
		광대	'18.1.18~2.17	122	187
		기동	'18.3.7~3.18/ '18.7.23~8.9	92	109
		고서	'18.2.28~4.23	185	204
		탄동	'18.3.8~3.9	108	26
	곡성	죽산(석곡)	'18.7.31~8.21	18	66
		흑석	'18.2.27~4.2/ '18.7.23~8.21	151	473
	구례	백련	'18.7.30~8.21	33	62
		대지	'18.7.31~8.19	231	110
		방광	'18.7.31~8.19	147	102
		천은	'18.7.30~8.20	375	86
고흥	호성	'18.7.30~8.20	30	18	
	하류	'17.12.21~'18.3.19	45	18	
	내봉	'18.1.5~3.21	287	453	

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)
		회룡	‘17.12.21~‘18.3.19	47	22
		덕중	‘17.12.13~‘18.4.30	86	149
		호덕	‘18.1.3~3.19	48	15
		원등	‘18.1.9~5.28	186	122
	보성	대곡	‘18.1.25~4.30	258	65
		신방	‘18.1.13~4.30	107	157
		감동	‘18.1.13~4.30	64	142
		덕산	‘17.12.19~‘18.4.30	60	1,130
		덕촌2	‘18.3.12~4.2	67	33
	장흥	지정	‘18.7.23~8.21	323	249
		수동	‘18.1.16~2.19	429	272
		동촌	‘17.11.20~‘18.3.19	70	137
		서산	‘18.2.27~4.30	169	105
		연지	‘18.2.27~4.23	202	95
		묵촌	‘18.3.12~3.19	16	11
		모령	‘18.7.23~8.21	124	30
	해남·완도	연화	‘18.1.15~2.12	392	855
		구시	‘18.1.5~2.12	465	325
		화원1	‘18.1.8~1.21	192	330
		신덕	‘18.3.12~3.14	429	112
		화원2	‘18.1.8~1.22	117	330
		화원3	‘18.1.8~1.15	51	190
		만안2제	‘17.12.19~‘18.1.15	81	7
		신평	‘17.12.19~‘18.3.16	92	101
	영암	봉호	‘18.1.16~1.19	56	20
		성산	‘18.7.31~8.21	265	44
		성양	‘18.4.12~4.30/ ‘18.7.23~8.21	64	1,375
		도갑	‘18.2.28~3.17	146	1
연소		‘18.1.3~4.30	81	24	

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)	
	영광	대정	'17.12.2~'18.4.23/ '18.7.23~8.12	606	230	
		칠곡	'17.12.2~'18.4.9/ '18.7.24~8.10	61	87	
		남산	'18.1.9~4.2	176	78	
		불갑	'17.11.11~'18.4.9	3,218	595	
		봉양	'17.12.21~'18.4.16	67	358	
	진도	둔전	'18.1.9~3.12/ '18.7.14~8.19	228	57	
		천망	'18.7.31~8.21	146	32	
		송정	'18.7.23~8.21	118	44	
		길은	'18.7.27~8.21	18	28	
		소포2	'18.7.24~8.21	12	47	
		와우	'18.1.15~4.23/ '18.7.23~8.21	20	64	
		봉암	'17.11.11~'18.6.24/ '18.7.23~8.22	398	987	
		대천	'18.7.14~8.21	41	24	
	나주	반계	'18.7.23~8.21	43	129	
		나주호	'18.7.23~8.16	9,054	5,627	
	장성	장성호	'18.7.24~8.5	11,139	6	
		구봉	'18.1.9~1.21	92	26	
	경북	소계	23		6,167	6,553
		구미·김천	광덕	'18.7.7~8.20	124	66
			옥관	'18.7.31~8.22	129	60
			오로	'18.2.1~3.5	181	5
		의성·군위	창평	'18.2.27~3.5	62	16
			고매	'18.2.28~3.5	140	10
조성			'17.10.1~11.16	663	990	
효천			'18.4.24~5.1	107	615	
경주		보문	'18.7.23~8.22	1,082	598	
		하곡	'17.11.1~'18.3.26	976	46	

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)	
		방내	'17.11.13~'18.3.5	69	192	
		심곡	'17.11.1~'18.4.6	1,025	444	
		남사	'17.11.1~'18.4.6	238	193	
		내태	'17.11.20~'18.4.6	115	2,051	
		중방	'17.11.1~'18.3.26	32	25	
		성지	'17.11.1~'18.3.26	134	83	
		개곡	'18.4.24~5.6	106	13	
	영천	삼포	'18.1.16~3.5	15	13	
	경산·청도	문천	'17.11.21~11.24	378	68	
		하신	'18.2.14~4.23	16	13	
		외촌	'17.11.1~'18.5.5	41	47	
		대비	'18.2.1~5.5	195	39	
	고령	중화	'18.7.31~8.22	164	179	
	상주	덕가	'18.7.31~8.12	175	787	
	경남	소계	33		7,401	4,317
		김해·양산·부산	진례	'18.2.14~4.14	242	57
		고성·통영·거제	수양	'18.1.30~2.5	67	2
하이			'18.7.11~8.22	167	47	
용문			'18.8.15~8.22	59	20	
울산		오룡	'18.1.3~3.19/ 18.7.31~8.22	89	127	
		다개	'18.3.6~5.5/ 18.7.12~8.19	142	128	
		고련	'18.1.28~1.29	163	33	
		갈전	'18.3.21~5.14	151	192	
진주·산청		하곡	'18.8.14~8.22	46	2	
		사봉	'18.8.14~8.22	87	2	
		응석	'18.7.23~8.22	156	18	

지역 본부	지사	저수지 시설명	기간 (시작일~종료일)	수혜면적 (ha)	양수저류 실적 (천 m ³)
		동향	'18.7.23~8.22	72	9
		상미	'18.8.14~8.22	73	4
		손향	'18.1.23~3.8	134	47
		대현	'18.7.23~8.22	55	24
	의령	천락	'18.1.26~4.2	129	20
	함안	산정	'18.2.7~3.19	201	9
	밀양	송진	'17.11.1~12.26	50	23
		남전1	'17.12.14~'18.2.5	50	31
		덕곡	'18.1.25~3.19	231	232
		가산	'17.11.18~'18.4.2	682	1,379
		신위양	'18.2.14~3.19/ '18.7.7~8.22	61	145
		감물	'18.1.23~3.5	104	20
		남산	'18.2.22~5.5/ '18.8.21~8.22	97	130
		성만	'18.3.10~5.4	51	121
		초동	'18.3.10~5.4	385	942
		봉대	'17.11.1~'18.1.23	43	16
		마흘	'18.2.21~4.2	86	110
		가례	'18.8.1~8.22	59	33
	거창·함양	지산	'18.4.30~5.5	95	1
	하동·남해	하동	'17.11.20~'18.5.5/ '18.7.23~8.6	2,876	316
		북부	'18.1.23~2.12	79	62
		옥중	'18.2.20~4.2	419	15

(다) 주요 가뭄지역 양수저류 추진사례

① 울산광역시 다개·갈전저수지

- 간이양수장(100HP,200mm) 4개소, 송수 관로200mm×9.0km를 설치하여 양수저류 추진
- 언양천에서 1단양수장~4단양수장을 거쳐 다개·갈전저수지까지 양수 저류



언양천에 양수시설 설치



송수관로



다개저수지 양수저류



갈전저수지 양수저류

[그림 2-4-17] 다개·갈전저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황

② 전라남도 나주시 나주호

○ 양수저류 및 직접급수
(7개소 57.1천 m³/일, 5.20~)

-나주호

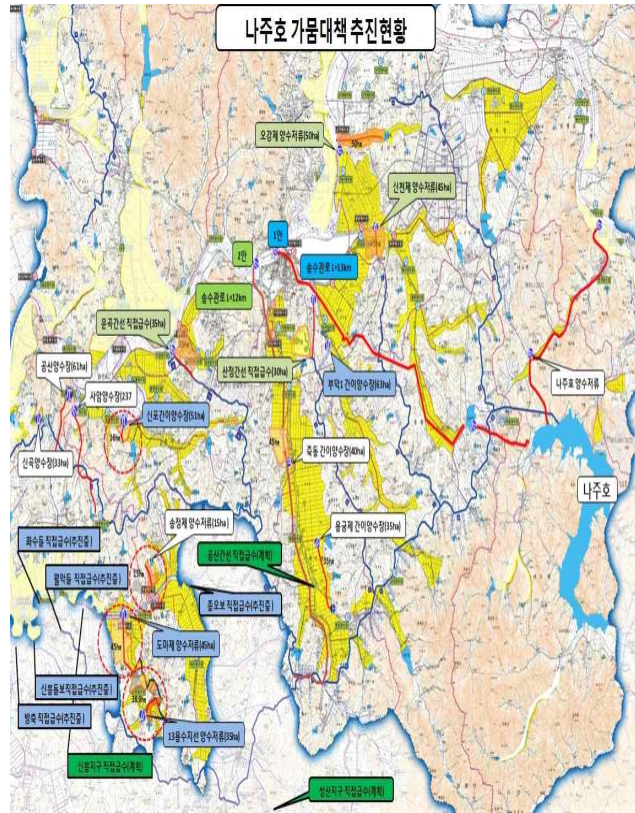
간이양수장(37kw×200mm×1대)

1단(90kw×200mm×1대)

2단설치 나주호

저류(4,320m³/일)

- 6개소 간이양수장 설치하여
직접급수 시행



송학천에서 나주호로 양수저류



나주호 양수저류



고막1용수지선에 직접급수

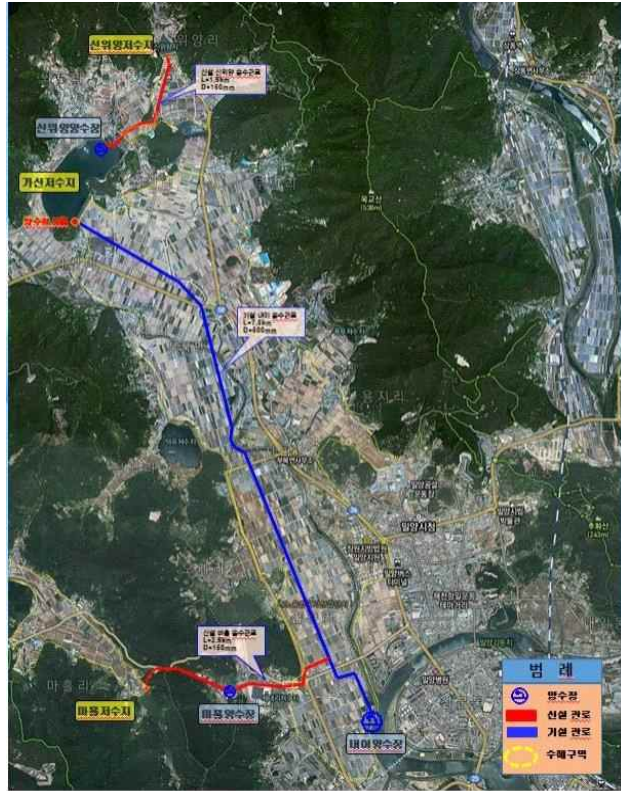


배수로에 간이양수장 설치

[그림 2-4-18] 나주호 양수저류 계획평면도 및 시설현황

③ 경상남도 밀양시 가산·마홀저수지

- 가산저수지 : 내이양수장(취수하천-밀양강)에서 양수저류 (1일 양수량 20천m³) 시행
- 마홀저수지 : 내이양수장(취수하천-밀양강)에서 가산저수지로 연결된 송수관로를 활용 간이양수장 1개소, 송수관로 1.6km 설치하여 양수저류 시행



가산저수지 양수저류 시설인 내이양수장



양수저류(밀양강→내이양수장
→가산저수지)



기설 내이양수장 송수관로
분기점(마홀저수지로 연결)



마홀저수지 양수저류

[그림 2-4-19] 가산·마홀저수지 양수저류 계획평면도 및 시설현황

2. 지역별 양수저류 추진 지구 대상 가뭄상황 및 양수시기 조사 분석

가. 2017년 가뭄상황 및 양수시기 분석

(1) 2017년 가뭄상황

(가) 강수·저수상황

- ‘17.6.30일 기준, 금년 누적 강수량은 219mm로 평년(447mm)의 49%수준이고 특히, 경기도는 168mm(평년의 46%), 충청남도는 189mm(평년의 46%), 전남도는 242mm(평년의 43%)로 매우 적은 상황이다.
- 1973년 기상관측 이래 6월까지 강수량은 최저 수준으로 분석되었다.
- ‘17.6.30일 기준, 전국 평균 저수율은 37%로, 평년(60%)의 62% 수준이며 평년보다 23%p 낮은 상황이며, 경기 30%, 충남 23%로 평년의 50%미만으로 매우 저수율이 낮은 상황이다.
- 특히, 경기 남부, 충남 서북부지역 시군에서 저수상황이 매우 저하 되어 물 부족이 발생하였다. 주요시군 저수율을 살펴보면 안성 9%(평년 46%), 평택 27%(평년 51%), 서산·태안 11%(평년 54%), 홍성 13%(평년 57%), 예산 9%(평년 49%)로 매우 심각한 수준이었다.

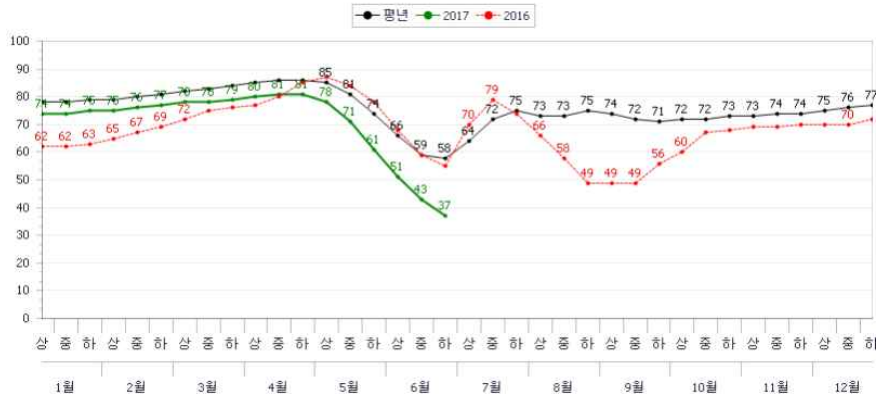
[표 2-4-8] 전국 및 시도별 강수량 현황(‘17.6.30일 기준)

구 분	전국	인천	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
강수량(mm) (금년, 1-6월)	219	174	168	206	215	189	260	242	198	269
평년	464	356	382	406	426	426	461	583	404	568
평년대비	49	51	46	53	53	46	58	43	51	49
저수율(% (‘17.6.30)	37	31	26	40	37	24	36	36	48	44
평년	60	56	54	63	60	56	55	62	64	65
평년대비	62	55	48	64	62	43	66	58	75	68

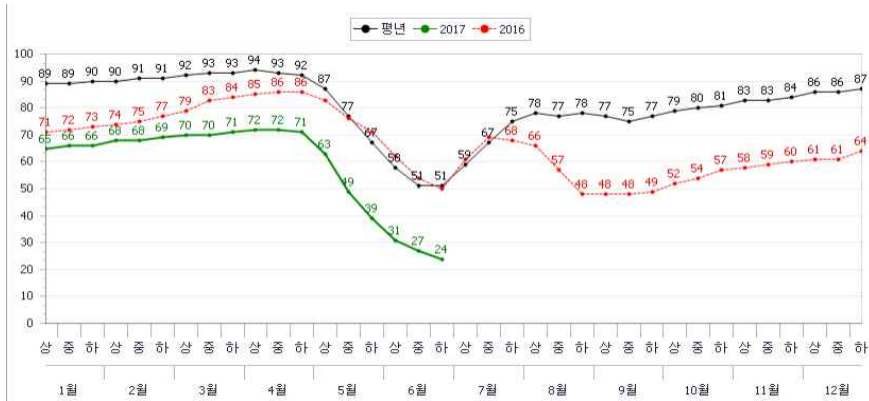
- 저수지 저수율이 농업용수 집중 이용 시기(4월-6월)에 평년보다 매우 적은 강수가 내리면 수리시설(저수지)의 저수율 저하가 되었다. 저수율이 평년대비 60%이하가 지속되면 농업가뭄 시작이 되는 경향을 보인다.

- 전국 및 경기, 충남, 전남지역 평년, '16년·' 17년 저수율 그래프는 아래와 같다.

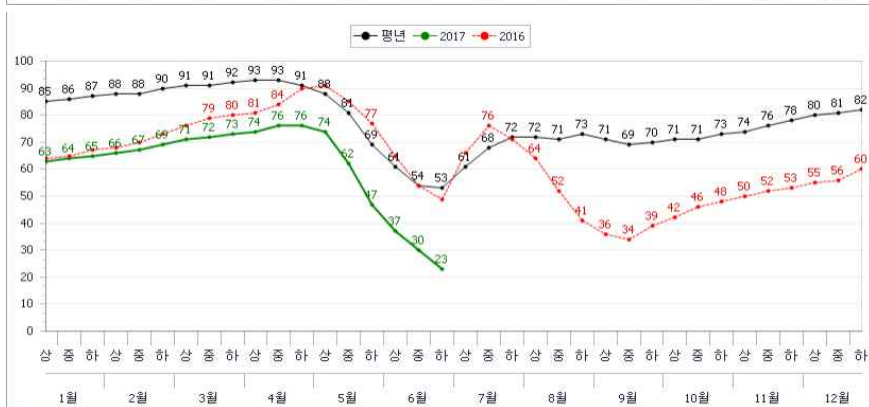
전국



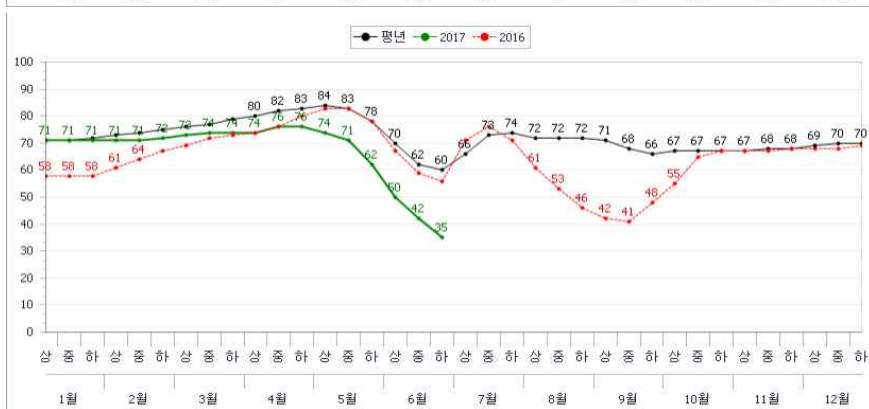
경기도



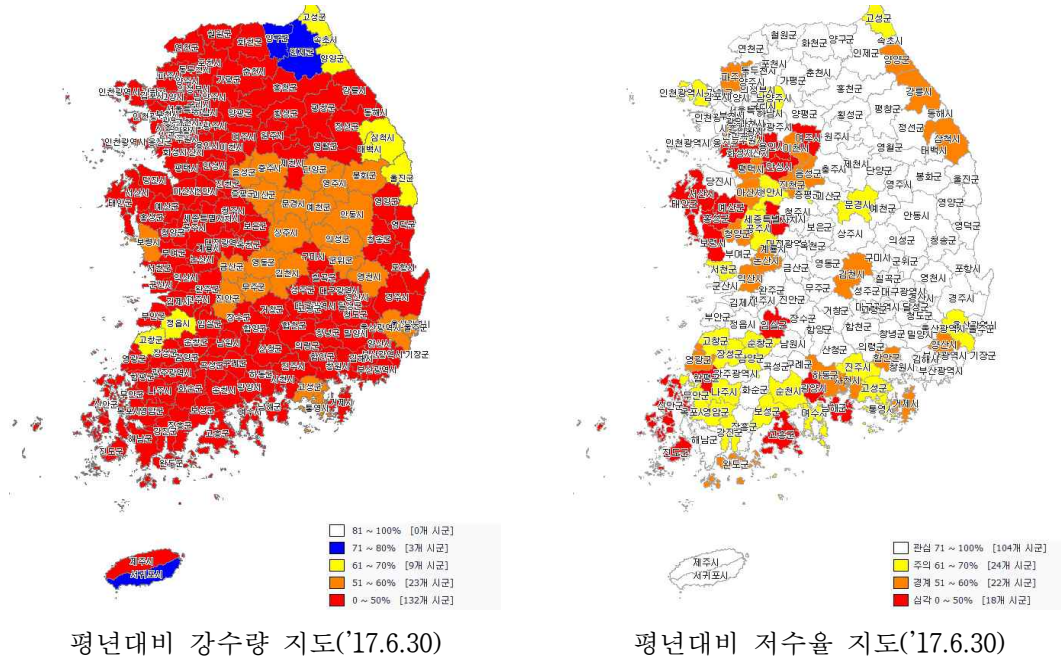
충청남도



전라남도



[그림 2-4-20] 전국 및 주요 도별 저수율 그래프('17.6.30)

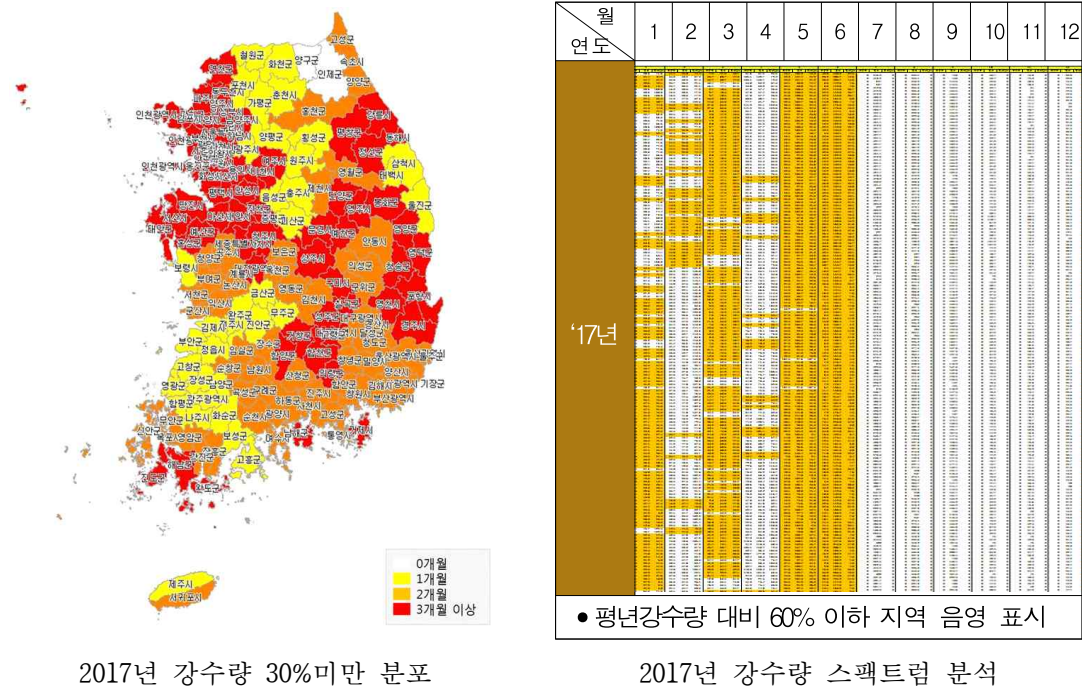


평년대비 강수량 지도('17.6.30)

평년대비 저수율 지도('17.6.30)

[그림 2-4-21] 평년대비 강수량 및 저수율 지도('17.6.30)

- 강수량 분석 결과 금년(1월~6월) 강수는 '73년 이후 역대 1위의 부족년이며, 지역별 강수의 큰 편차가 발생하였다. 시기별로 살펴보면 영농기 직전(1, 3월) 및 영농기 현재(5, 6월) 강수량 낮아 가뭄 발생한 요인으로 분석되어 진다.



2017년 강수량 30%미만 분포

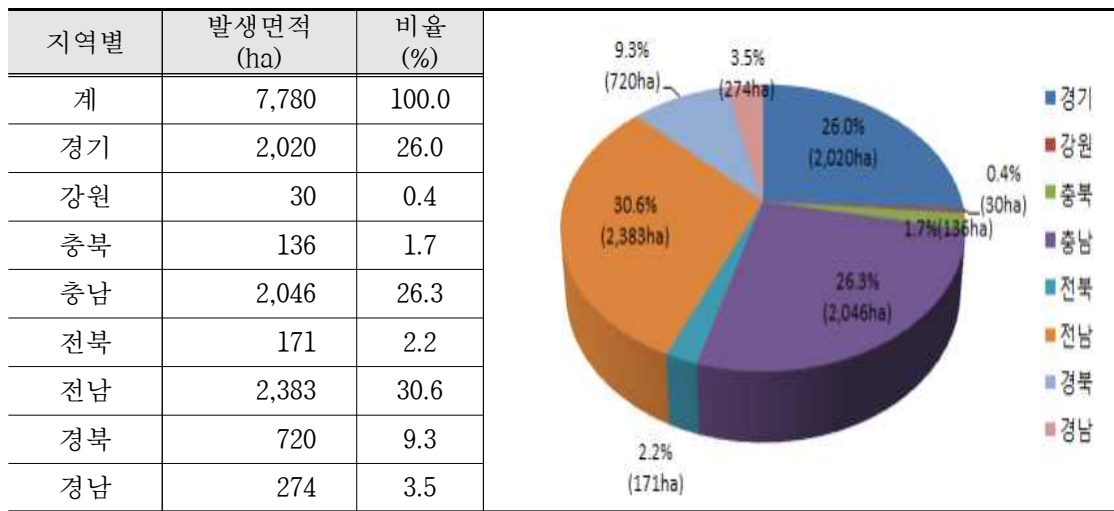
2017년 강수량 스펙트럼 분석

[그림 2-4-22] 2017년 강수량 분석

(나) 가뭄발생 상황

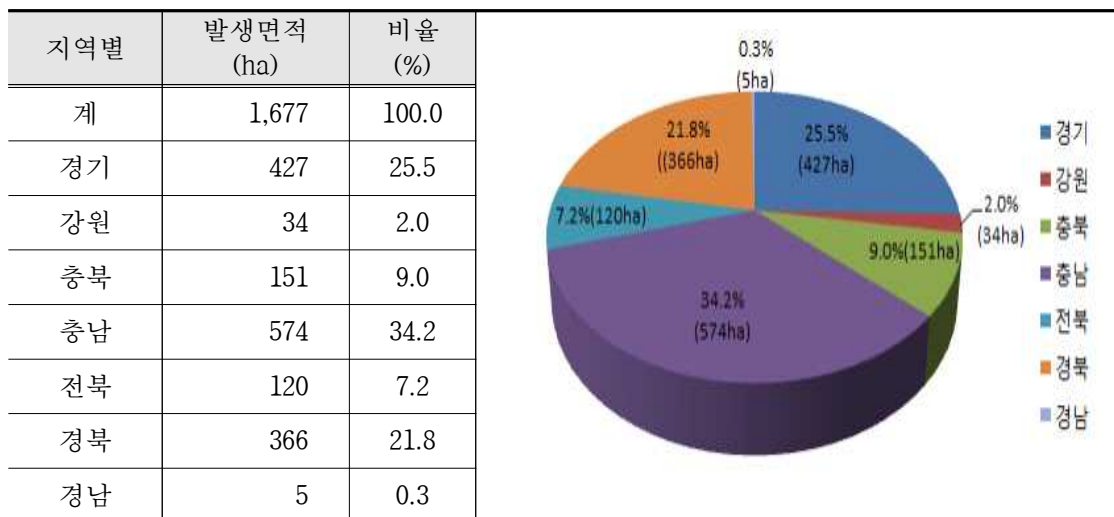
- 2017년 가뭄상황은 상반기 전례 없는 강수량 부족으로 경기도 남부, 충청남도 서북부, 전라남도 남부지역에 가뭄이 발생하였으며, 장마이후에도 장마철 강우의 지역적 편차로 인하여 전라남도, 경상북도, 경상남도 등의 일부 남부지역에서는 가뭄이 지속되었다.
- 금년 전국 가뭄빈도는 60년, 안성 200년, 서산 80년, 울산 20년으로 분석되었다.
- 논 가뭄은 경기도, 충청남도, 전라남도 지역을 중심으로 7,780ha 물 마름 현상이 발생하였다.

[표 2-4-9] 2017년 논 물 마름 발생 면적



- 밭 가뭄은 경기도, 충청남도, 경상북도 지역을 중심으로 1,677ha에 시듦 현상이 발생하였다.

[표 2-4-10] 2017년 밭 시듦 발생 면적



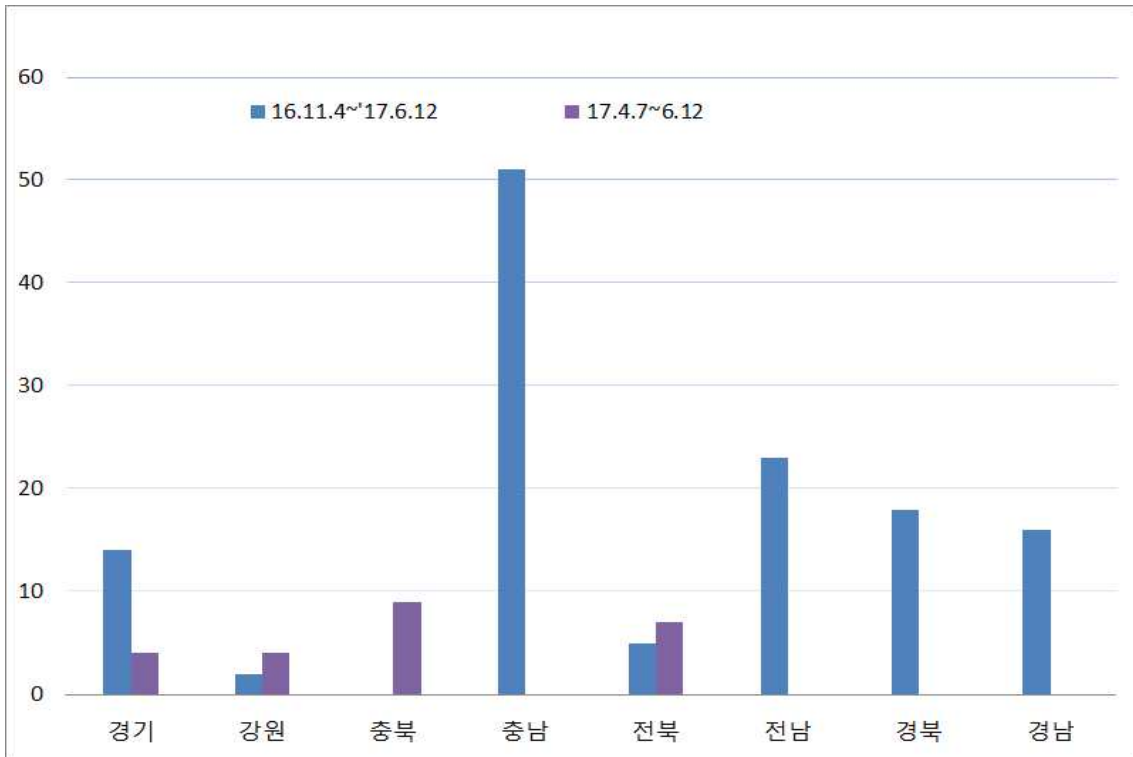
(2) 2017년 양수시기

(가) 가뭄상황 시기별·지역별 양수저류 추진 시기 분석

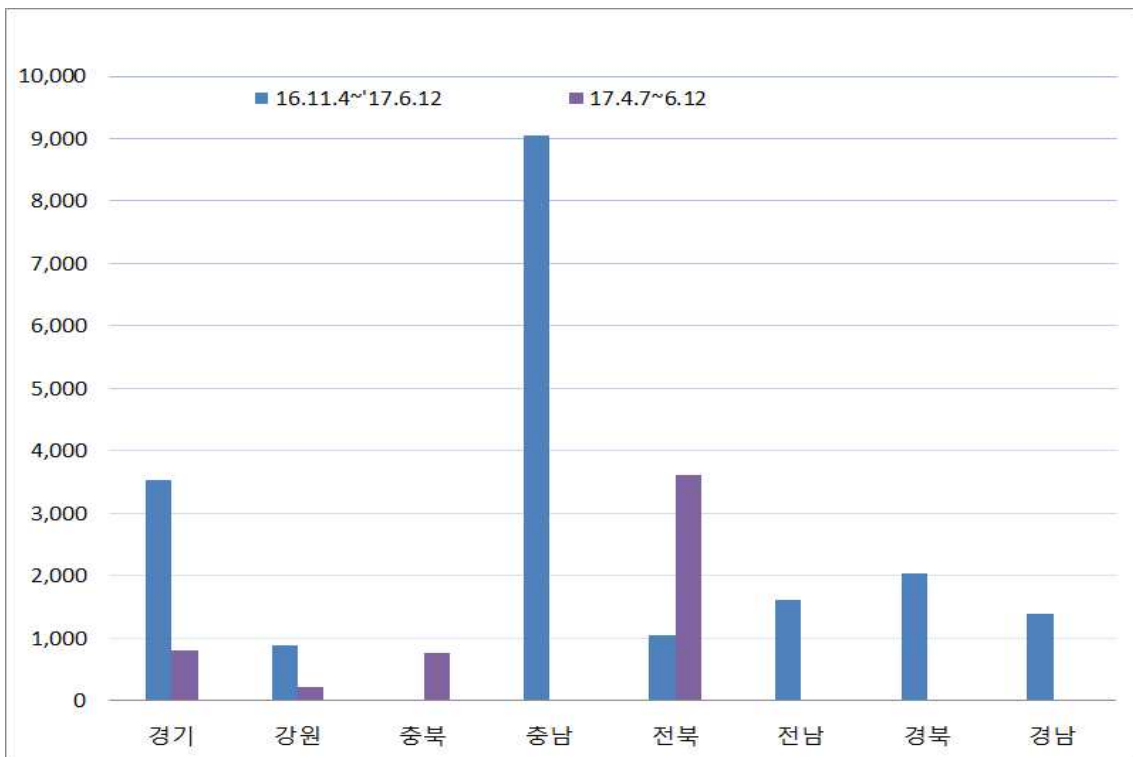
- (1차) ‘16년부터 강수·저수상황이 좋지 않아 영농기 후에도 저수율이 낮아’ 17년 봄 영농기 물 부족이 우려되어 ‘16.11.4~’ 17.6.12일까지 129개소 저수지에 19,577천㎥ 양수저류를 조기에 실시하였다.
- (2차) 전국적으로 농업용수 집중 이용 시기(4월-6월)에 평년보다 매우 적은 강수가 내리면 수리시설(저수지)의 저수율 저하로 물 부족 우려 및 발생하여 ‘17.4.7~6.12일까지 24개소 5,409천㎥ 양수저류를 추진하였다.
- 양수시기는 시작일~종료일 기준이며, 시기 동안 양수저류를 매일 추진하는게 아니라, 취수원 상황과 하천수 사용허가 기간 및 현장상황 등에 따라 추진하였고, 동절기(12~3월초)에는 양수기 및 관로 동파 우려 등으로 양수저류를 대부분 중단하였다.

[표 2-4-11] 2017년 시기별 지역본부별 양수저류 추진실적

지역본부	1차시기(‘16.11.4~’ 17.6.12)		2차시기(‘17.4.7~6.12)	
	대상 저수지 (개소)	양수저류 실적 (천㎥)	대상 저수지 (개소)	양수저류 실적 (천㎥)
계	129	19,577	24	5,409
경 기	14	3,540	4	808
강 원	2	894	4	211
충 북	-	-	9	773
충 남	51	9,044	-	-
전 북	5	1,051	7	3,617
전 남	23	1,609	-	-
경 북	18	2,046	-	-
경 남	16	1,393	-	-



[그림 2-4-23] 2017년 시기별 지역본부별 양수저류 대상저수지



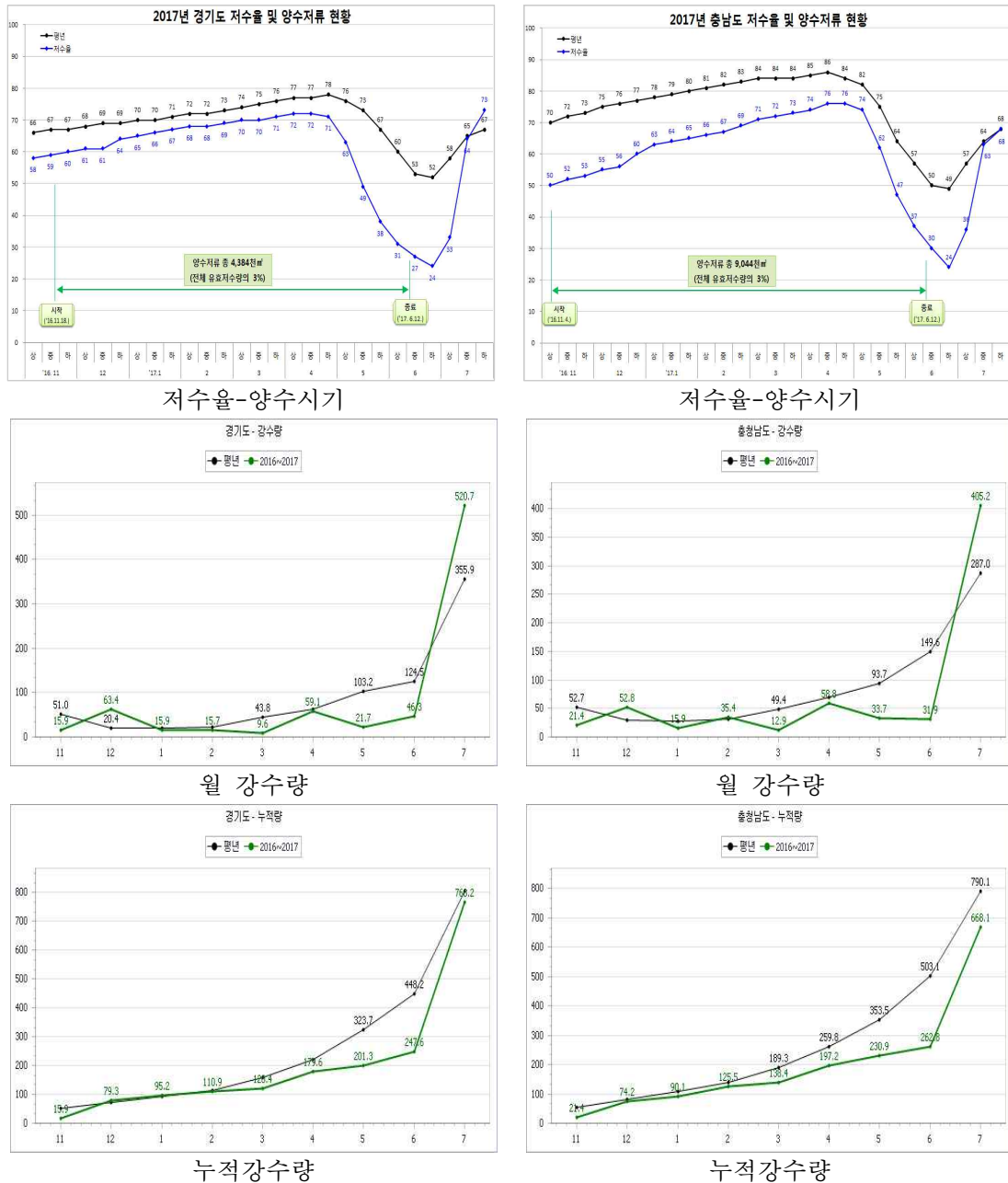
[그림 2-4-24] 2017년 시기별 지역본부별 양수저류 추진실적

(나) 주요 가뭄상황 지역 저수율-강수량-양수시기 분석

- 양수저류를 추진하였던 주요 가뭄상황지역(도-시군) 및 시설들의 집중 추진시기와 저수율-강수량 관계를 분석하였다. 분석결과 양수저류를 추진하기 전과 추진하는 동안에 저수지 저수율은 낮고 강수량은 적은 상황이었다.

① 경기도, 충청남도

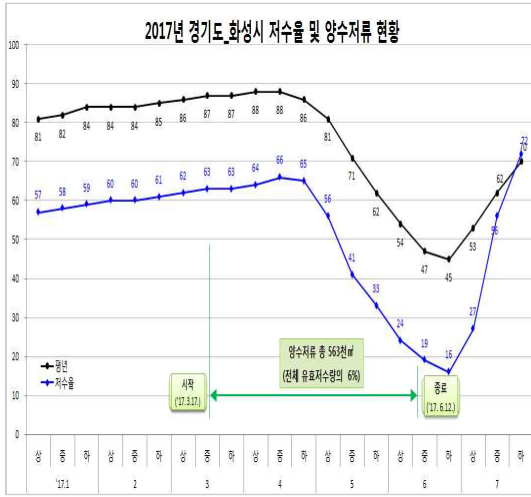
- 경기는 '16.11.18~' 17.6.12, 충남은 '16.11.4~' 17.6.12일까지 양수저류를 실시하였다.



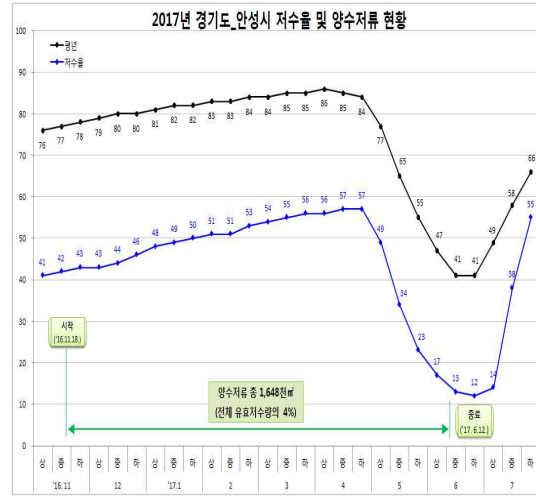
[그림 2-4-25] 경기도 · 충청남도 저수율-양수시기-강수량 그래프

② 경기도 화성시·안성시

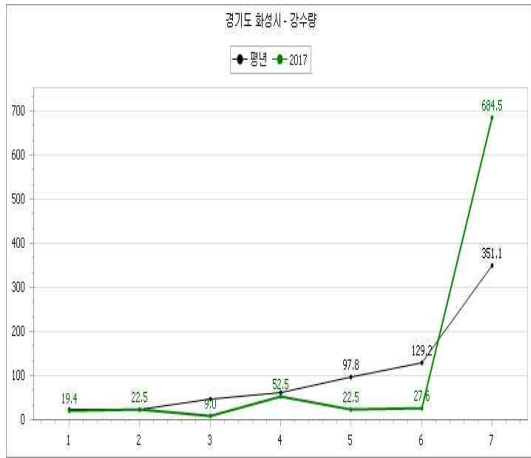
- 화성시는 '17.3.17~6.12, 안성시는 '16.11.18~' 17.6.12일까지 양수저류를 실시하였다.



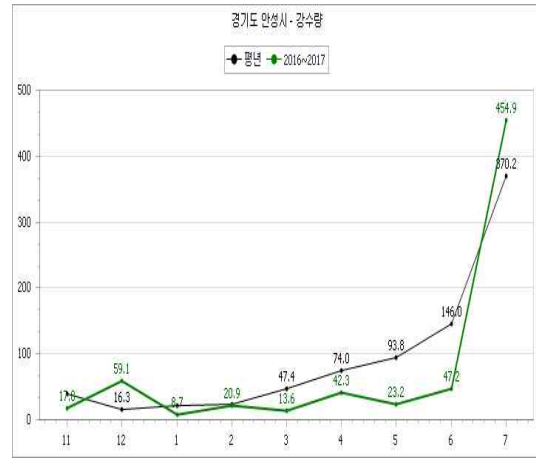
저수율-양수시기



저수율-양수시기



월 강수량



월 강수량



누적강수량

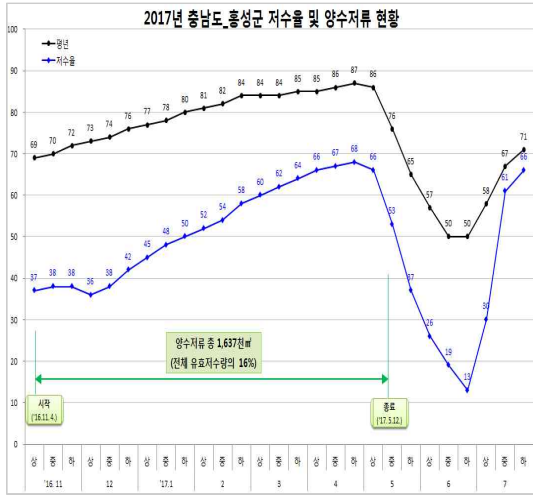
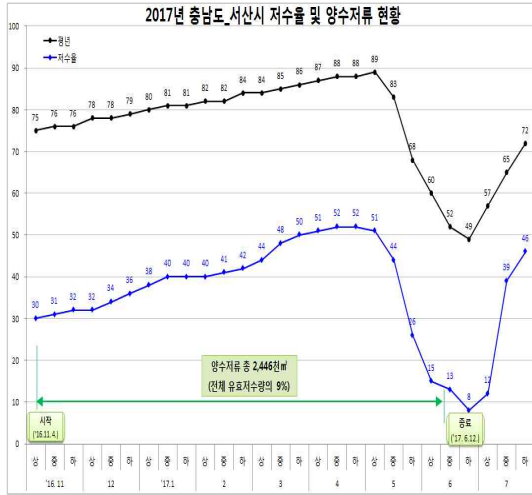


누적강수량

[그림 2-4-26] 화성시·안성시 저수율-양수시기-강수량 그래프

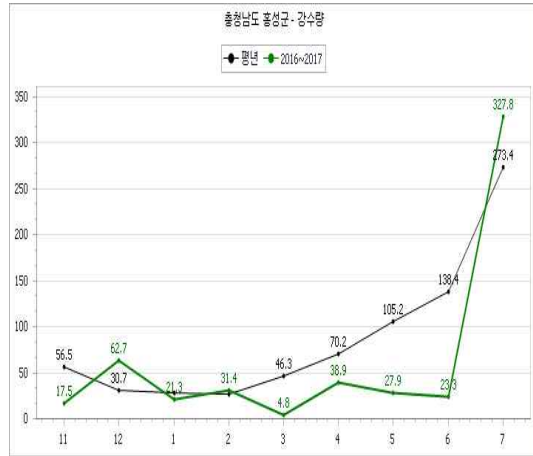
③ 충청남도 서산시·홍성군

- 서산시는 '16.11.4~' 17.6.12, 홍성군은 '16.11.4~' 17.5.12일까지 양수저류를 실시하였다.



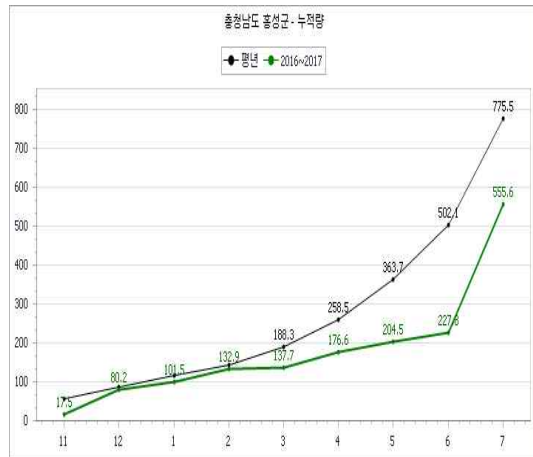
저수율-양수시기

저수율-양수시기



월 강수량

월 강수량



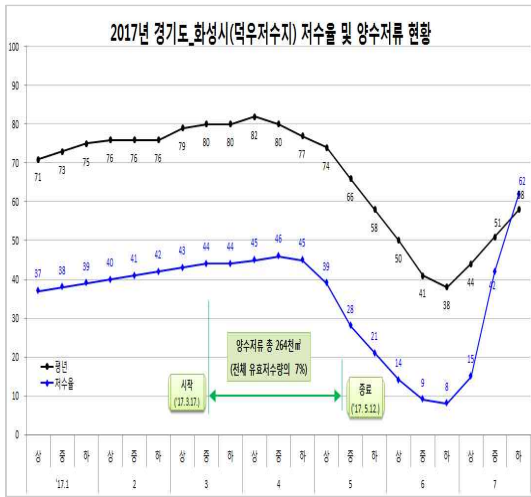
누적강수량

누적강수량

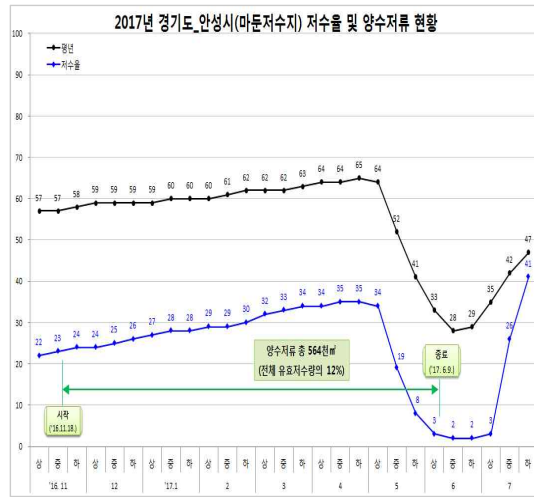
[그림 2-4-27] 서산시·홍성군 저수율-양수시기-강수량 그래프

④ 경기도 화성시 덕우저수지·안성시 마둔저수지

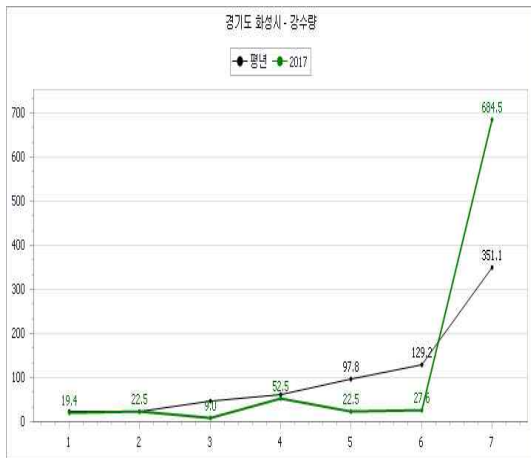
- 덕우저수지는 '17.3.17~5.12, 마둔저수지는 '16.11.18~' 17.6.9일까지 양수저류를 실시하였다.



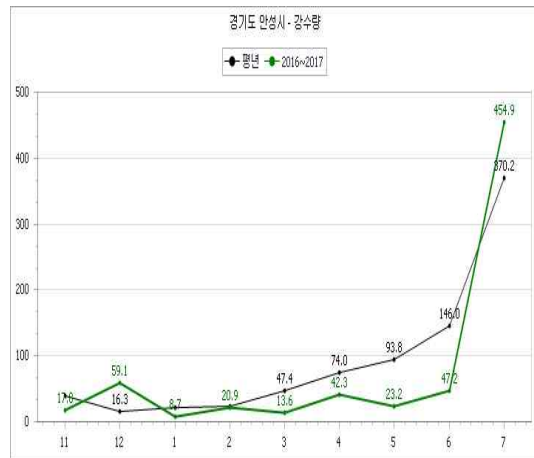
저수율-양수시기



저수율-양수시기



월 강수량



월 강수량



누적강수량

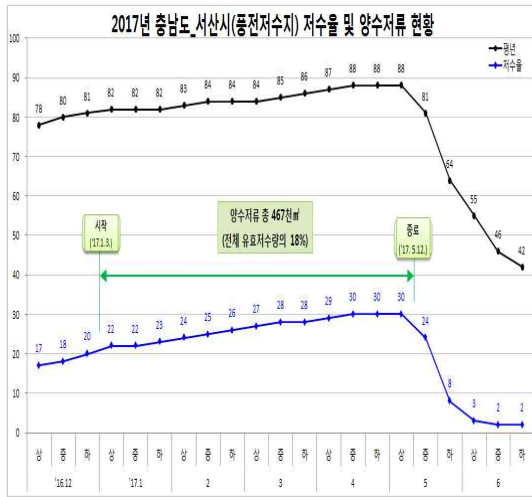


누적강수량

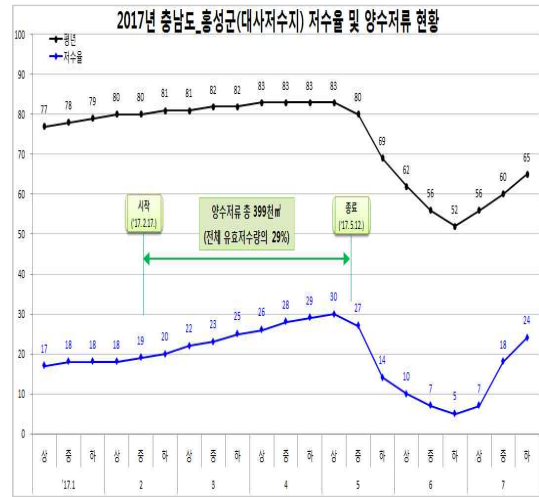
[그림 2-4-28] 덕우·마둔저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프

⑤ 충청남도 서산시 풍전저수지·홍성군 대사저수지

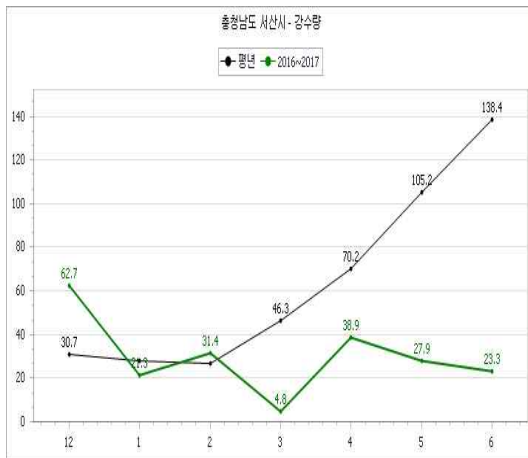
- 풍전저수지는 '17.1.3~5.12, 대사저수지는 '17.2.17~5.12일까지 양수저류를 실시하였다.



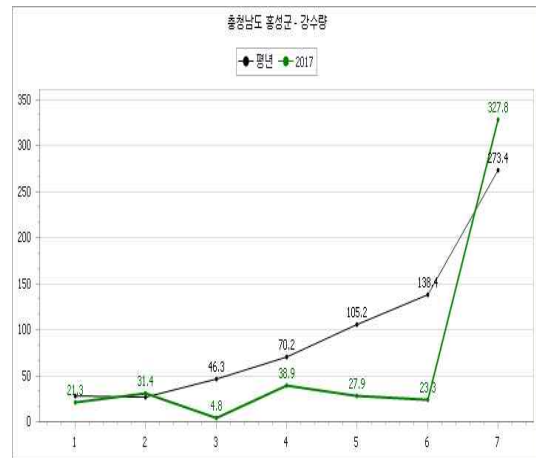
저수율-양수시기



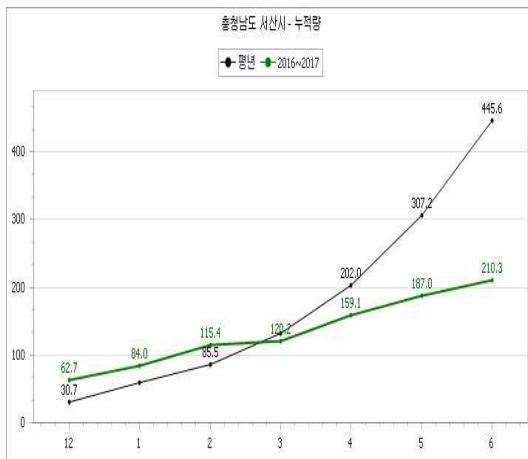
저수율-양수시기



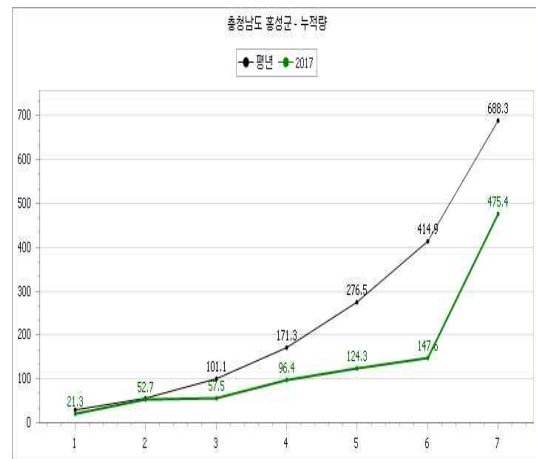
월 강수량



월 강수량



누적강수량



누적강수량

[그림 2-4-29] 풍전·대사저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프

나. 2018년 가뭄상황 및 양수시기 분석

(1) 2018년 가뭄상황

(가) 겨울 가뭄상황

- '18.2.27일 기준, 최근 1년('17.2.28~' 18.2.27) 누적 강수량은 947mm로 평년(1,308 mm)의 72%수준이고 특히, 울산·전남·경남지역은 평년의 52%, 65%, 56%로 매우 적은 강수량이 내렸다.
- 최근 2개월 강수량도 25mm로, 평년(65mm)의 39% 수준으로 적은 상황이다.

[표 2-4-12] 전국 및 시도별 강수량 현황('18.2.27일 기준)

구 분	전국	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
금 년(mm)	24.4	32.5	11.7	7.3	23.3	26.6	42.8	44.1	17.3	27.1
평년대비(%)	39	43	28	12	42	47	57	58	30	38
최근2개월	25.3	32.5	13.6	8.7	25.0	28.2	44.2	44.7	17.4	27.2
평년대비(%)	39	42	31	14	43	47	56	57	29	38
최근 1년	947.2	665.0	1,080.2	1,129.4	1,122.7	988.4	906.0	917.7	813.1	804.3
평년대비(%)	72	52	81	83	88	77	70	65	72	56

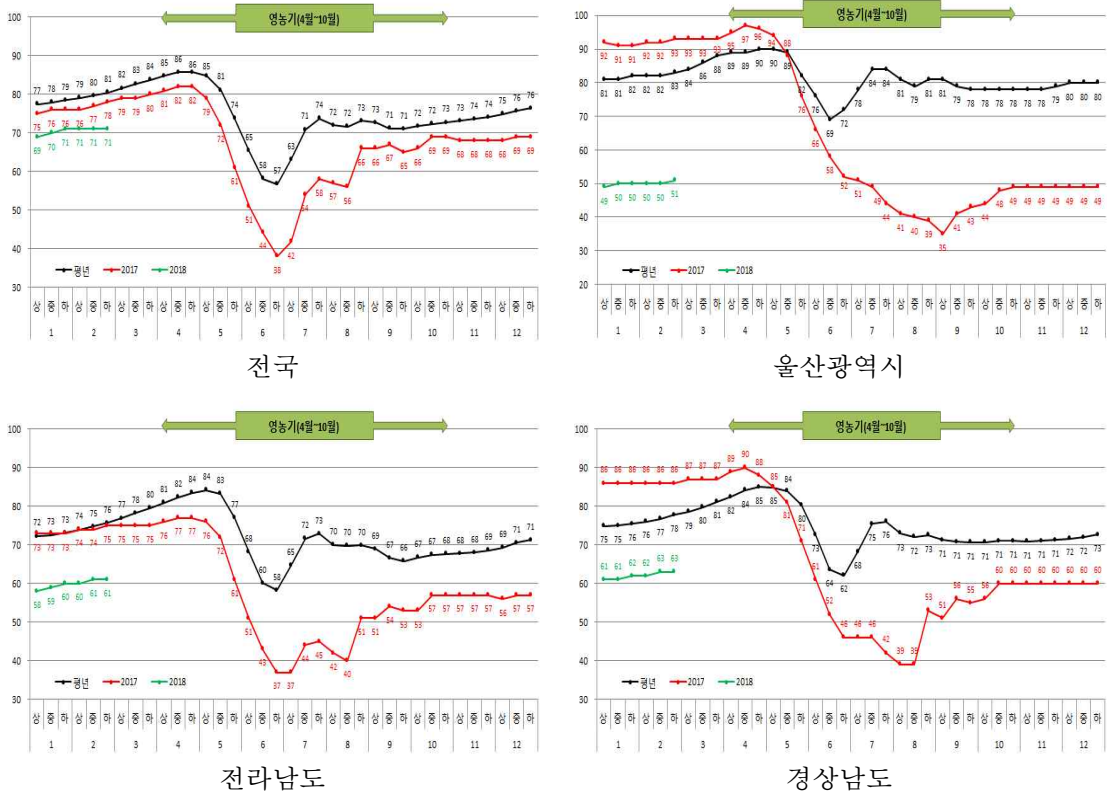
- '18.2.27일 기준, 전국 평균 저수율은 71.2%로, 평년(80.6%)의 88.3% 수준
- 중부지방은 평년과 비슷하거나 높은 수준이나, 울산·전남·경북·경남 등 남부지방 일부 시·군에서는 저수율이 매우 낮았다.

[표 2-4-13] 전국 및 시도별 저수율 현황('18.2.27일 기준)

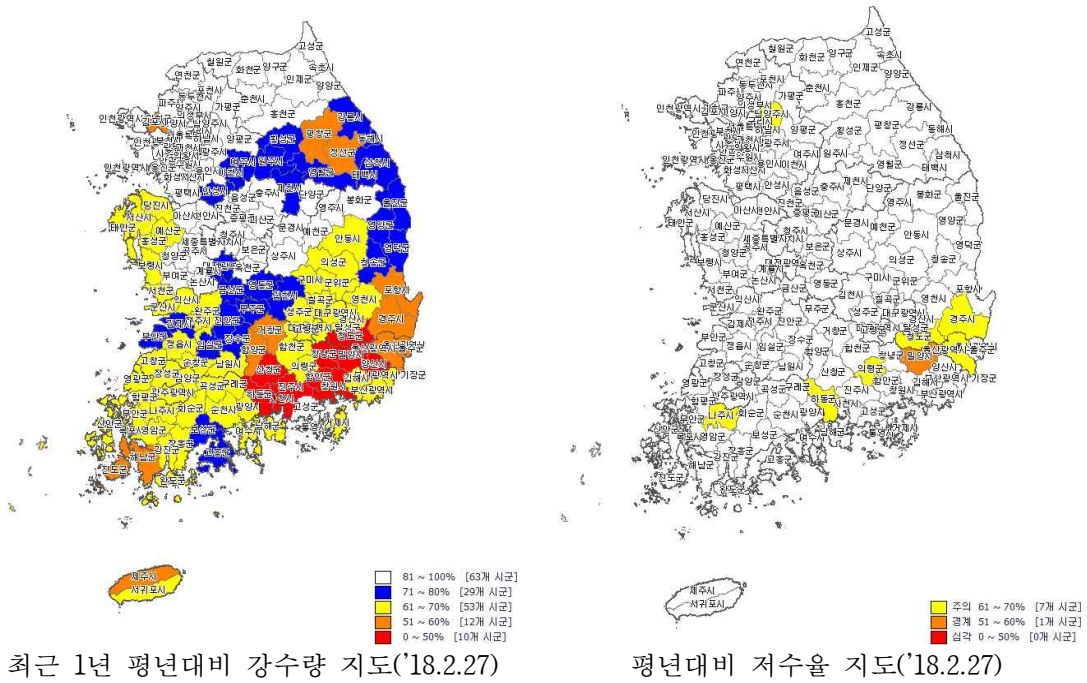
구 분	전국	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
금 년(%)	71.2	51.0	85.0	86.1	92.2	89.4	65.3	61.2	70.9	62.9
전 년(%)	78.2	93.0	70.2	85.8	77.7	70.3	75.0	74.8	88.0	86.5
평 년(%)	80.6	83.3	90.1	88.2	88.5	87.9	77.5	75.9	81.4	77.5
평년대비(%)	88.3	61.2	94.4	97.6	104.2	101.8	84.2	80.6	87.1	81.1

- 울산·전남·경북·전남지역 일부 시·군에서는 '17년부터 ' 18년 2월말까지 연속적으로 평년보다 매우 적은 강수가 내리면서 저수지의 저수율이 낮아 봄철 영농기 물 부족이 우려가 되는 상황이었다.

- 2017년 강수량 빈도 분석결과, 밀양 200년, 울산 50년, 경주 50년으로 분석되었다.
- 전국 및 울산, 전남, 경남지역 평년, '17년·'18년 저수율 그래프는 아래와 같다.



[그림 2-4-30] 전국 및 주요 도별 저수율 그래프('18.2.27)



[그림 2-4-31] 평년대비 강수량 및 저수율 지도('18.2.27.)

(나) 여름(7~8월) 가뭄상황

① 강수·저수상황

- ‘18.8.21일 기준, 금년 누적 강수량은 767mm로 평년(929mm)의 83% 수준이나, 최근 2개월은 329mm로 평년(540mm)의 61% 수준은 매우 적은 수준이었다.
- 특히, 장마이후(7.11~8.21) 강수량은 48mm로 평년(374mm)의 13%로, ‘73년 기상관측 이래 역대 최저수준의 강수량을 나타냈다.

[표 2-4-14] 전국 및 시도별 강수량 현황(‘18.8.21일 기준)

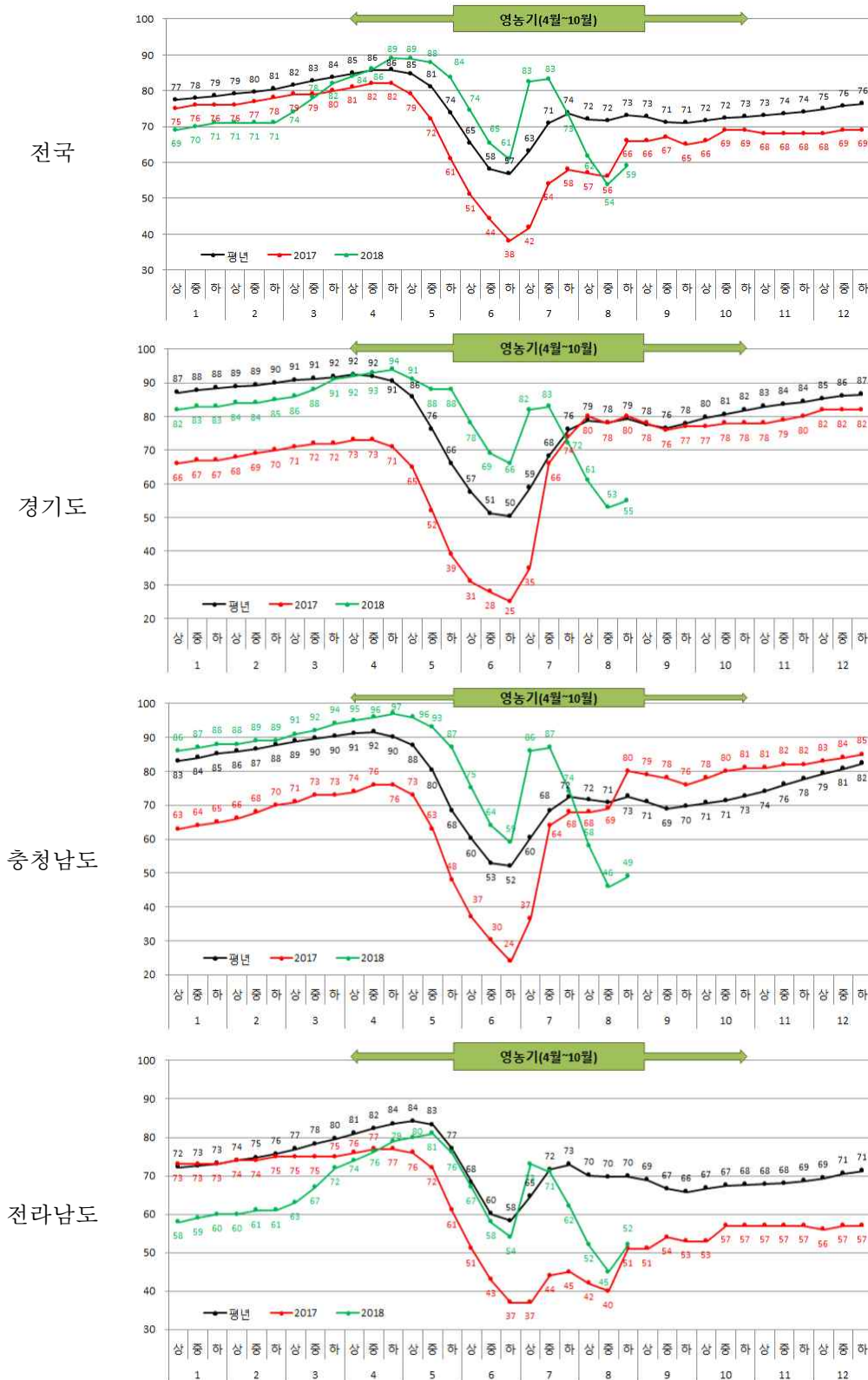
구 분	전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
금 년(mm)	767.2	735.2	818.9	693.9	715.5	717.3	796.1	735.9	852.9
평년대비(%)	83	78	89	75	81	79	77	93	81
최근2개월	328.5	300.3	397.5	307.0	318.3	324.9	294.7	327.4	341.6
평년대비(%)	61	49	70	54	60	62	53	73	59
장마이후 (7.11~8.21)	48.4	39.8	137.9	34.3	12.8	10.5	16.0	59.5	44.2
평년대비(%)	13	9	33	9	3	3	5	19	12

- ‘18.8.21일 기준, 전국 평균 저수율은 49%로, 평년(73%)의 68%로 매우 낮은 상황
- 장마가 끝난 7.11일 85%로 정점을 찍은 이후 유례없는 폭염·무강우 장기화 및 급수기를 맞아 지속적으로 하락하였다.(일평균 약 1%씩 하락)

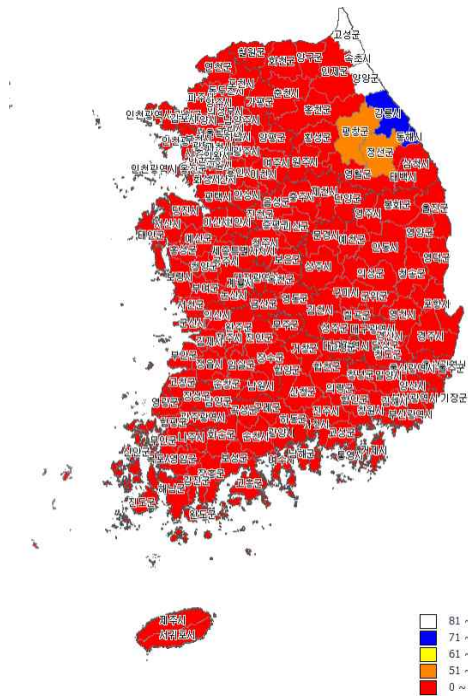
[표 2-4-15] 전국 및 시도별 저수율 현황(‘18.8.21일 기준)

구 분	전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
금 년(%)	49.3	48.1	70.1	53.2	39.7	46.3	41.2	61.1	54.2
전 년(%)	60.8	82.4	94.6	93.5	77.1	54.2	43.2	67.8	45.5
평 년(%)	72.9	79.1	82.8	82.0	73.4	71.4	70.0	75.1	74.4
평년대비(%)	67.6	60.8	84.7	64.9	54.1	64.8	58.9	81.4	72.8

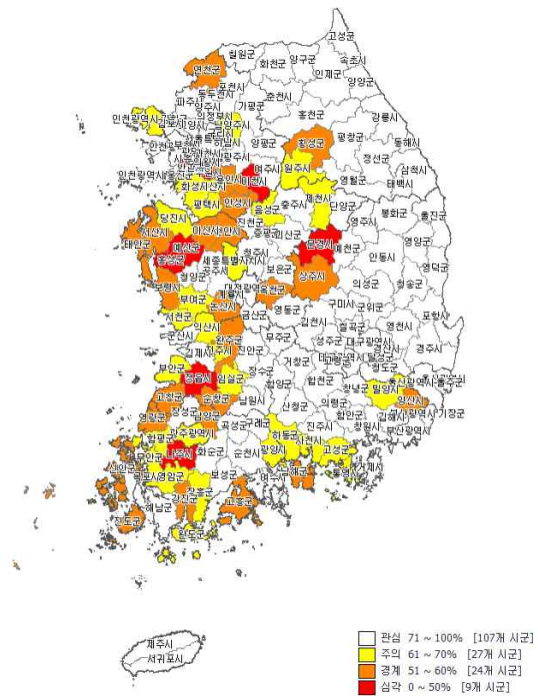
-



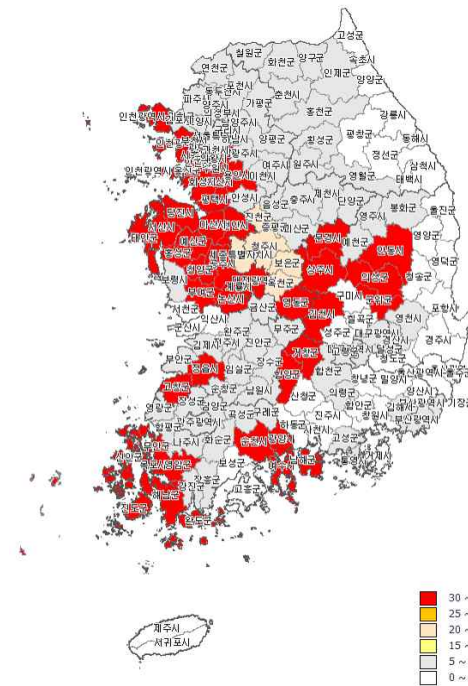
[그림 2-4-32] 전국 및 주요 도별 저수율 그래프('18.8.21)



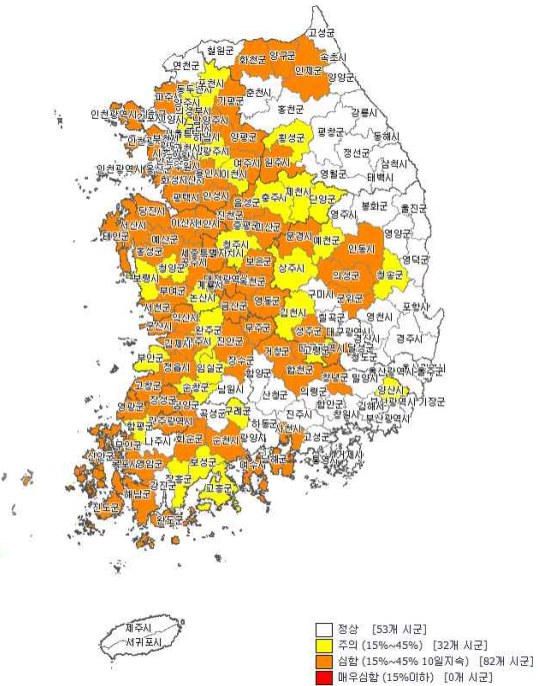
장마이후 평년대비 강수량 지도('18.8.21)



평년대비 저수율 지도('18.8.21)



장마이후 무강우 일수 지도('18.8.21)



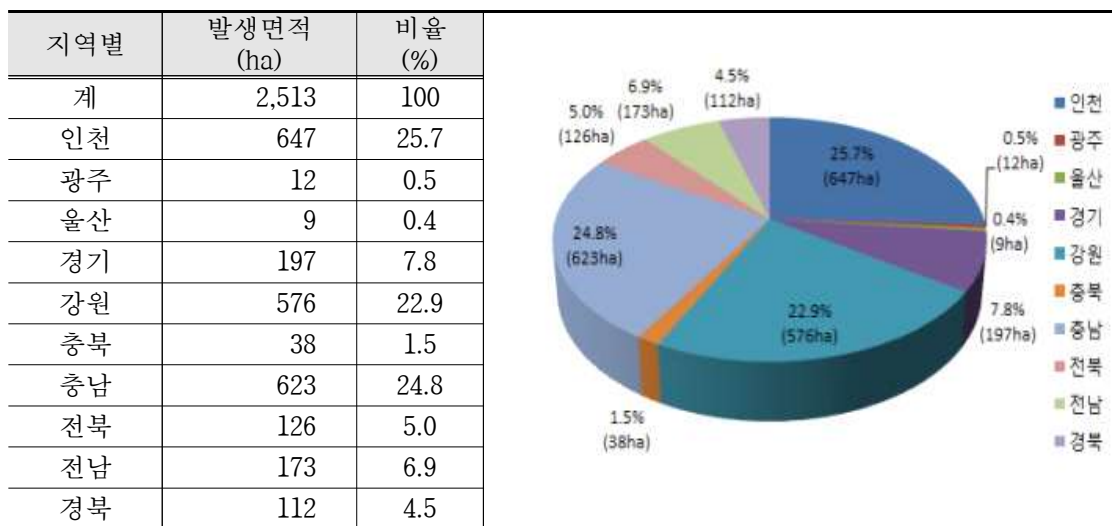
밭 가뭄 현황 지도('18.8.21)

[그림 2-4-33] 장마이후 강수량, 저수율, 밭 가뭄 관련 지도('18.8.21)

② 가뭄발생 현황

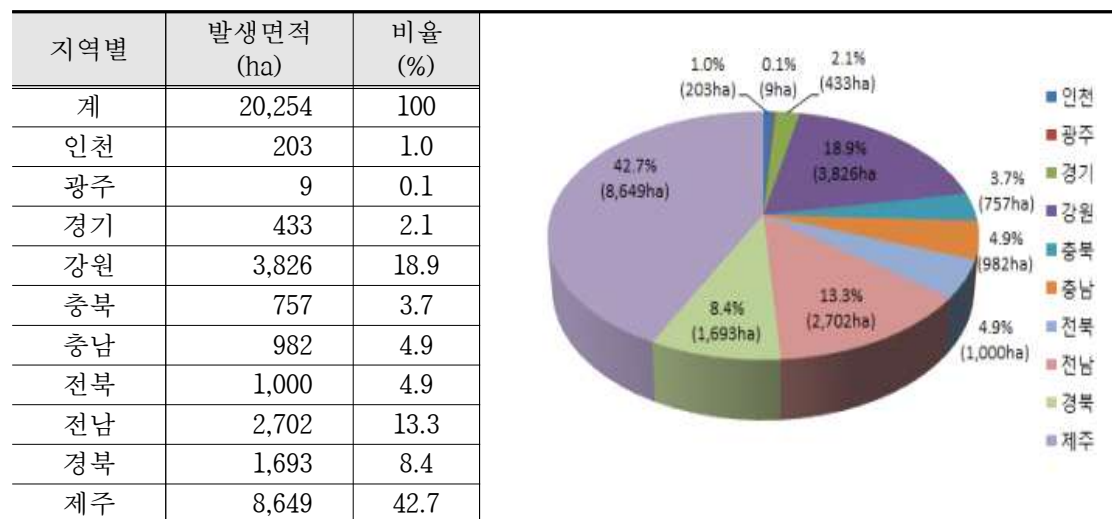
- 전국적으로 장마(7.11일)이후 ‘73년 기상관측 이래 연일 기록적인 최악의 폭염과 무강우 일수 장기화로 인해 벼작물은 많은 양의 물이 필요한 시기(수잉기~출수기)를 맞아 저수율 저하로 물 부족 발생, 밭작물은 토양수분 감소와 지온상승으로 생육저하 발생하였다.
- 장마이후, 50개 시·군에서 무강우 일수가 30일 이상 지속되었다. 논 가뭄은 도서·해안, 천수답 중심으로 국지적 물 부족이 발생하여 2,513ha에 논 물 마름이 발생하였다.

[표 2-4-16] 2018년 논 물 마름 발생면적



- 밭 가뭄은 제주도를 중심으로 관개시설이 부족하거나 없는 지역에서 20,254ha에 시듦 현상이 발생하였다.

[표 2-4-17] 2018년 밭 시듦 발생면적

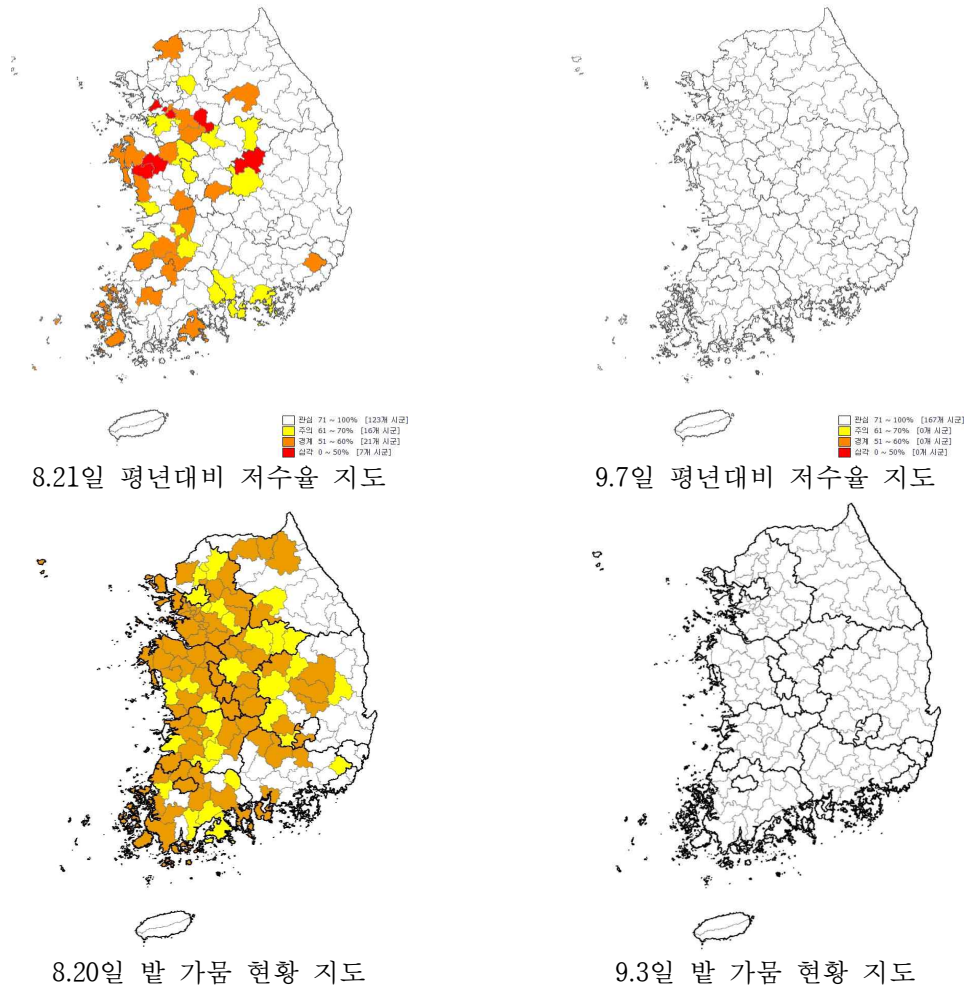


③ 가뭄상황 해소

- 태풍 ‘솔릭’ 이후 지속적으로 내린 강우와 가뭄지역 긴급 급수대책 추진 등으로 천수답, 들녘 말단부, 도서·해안, 천수전 등 국지적 물 부족이 나타난 지역은 물 부족 해소 등 가뭄상황이 해소되었다
- 전국 평균 저수율은 49.3 % → 85.1%(평년 대비 118%)로 35.8% 상승하였다.

[표 2-4-18] 태풍 ‘솔릭’ 전후 저수율 및 강수량 비교(8.21~9.7)

구분		시도									
		전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
강수량(mm) (8.21~9.7)		316.9	251.8	303.6	427.0	344.5	377.5	303.1	254.7	351.2	302.3
저수율 (%)	9.7	85.1	79.0	93.2	93.4	82.3	90.5	74.5	88.2	90.1	80.3
	8.21	49.3	48.1	70.1	53.2	39.7	46.3	41.2	61.1	54.2	66.4
	증감	↑ 35.8	↑ 30.9	↑ 23.1	↑ 40.2	↑ 42.6	↑ 44.2	↑ 33.3	↑ 27.1	↑ 35.9	↑ 13.9



[그림 2-4-34] 평년대비 저수율 지도 및 밭 가뭄 현황지도(가뭄발생 및 해소 비교)

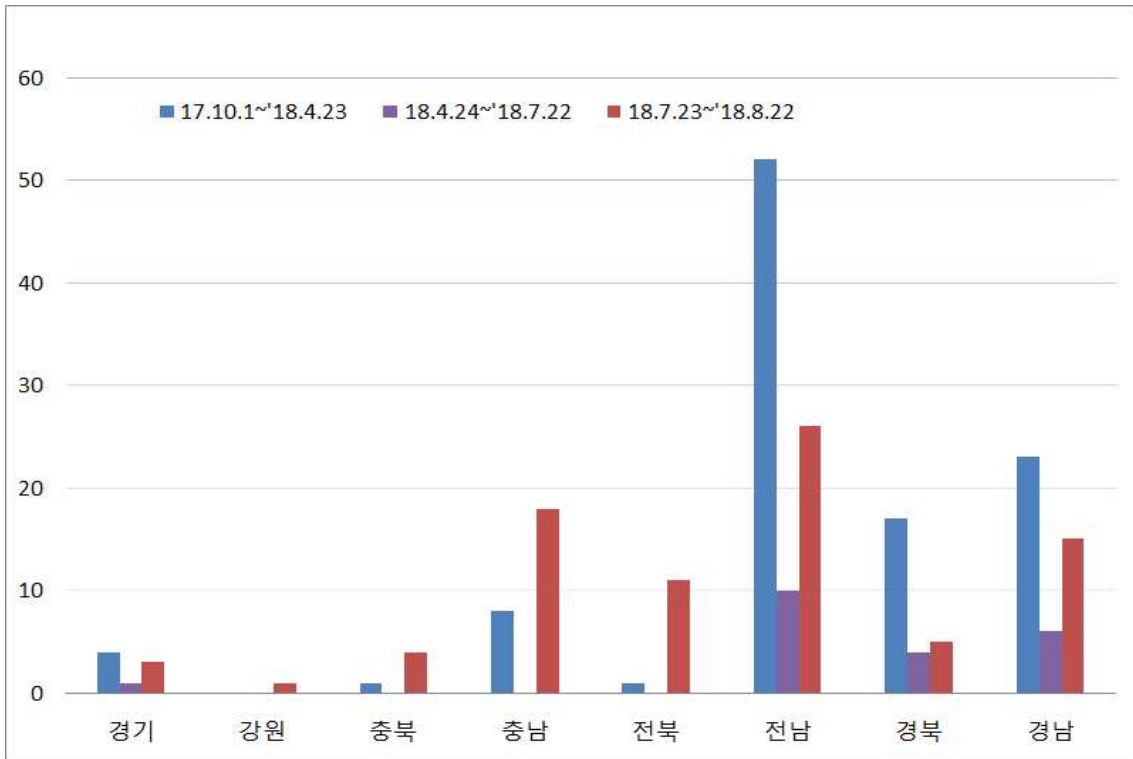
(2) 2018년 가뭄상황 지역 양수저류 추진 시기

(가) 가뭄상황 시기별·지역별 양수저류 추진 시기 분석

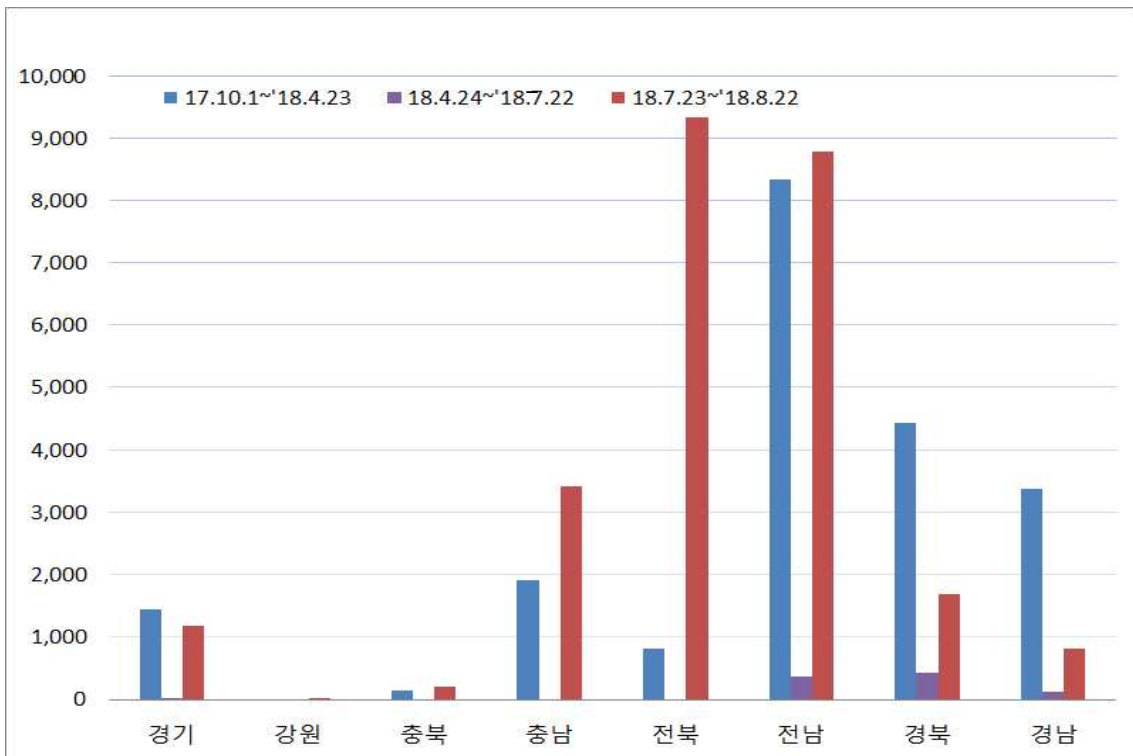
- (1차) ‘17년 강수·저수 상황이 좋지 않아 영농기 마무리 후 ’ 18년 봄 영농기 물 부족 우려, 선제적 용수확보대책을 위해 ‘17.10.1~’ 18.4.22일까지 106개소 저수지에 20,443천㎥ 양수저류를 실시하였다.
- (2차) 선제적 용수확보와 봄철 강우으로 이앙기 용수부족 우려가 대부분 해소가 되었지만 남부지방 일부지역에서 여전히 저수율이 낮아 ‘18.4.24~7.22일까지 21개소 저수지에 946천㎥ 양수저류를 추진하였다.
- (3차) 전국적으로 장마(7.11일)이후 ‘73년 기상관측 이래 연일 기록적인 최악의 폭염과 무강우 일수 장기화로 인해 벼작물은 많은 양의 물이 필요한 시기(수잉기~출수기)를 맞아 저수율 저하로 물 부족 발생하여 ‘18.7.23~8.22일까지 양수저류를 추진하였다.
- 양수시기는 시작일~종료일 기준이며, 시기 동안 양수저류를 매일 추진하는게 아니라, 취수원 상황과 하천수 사용허가 기간 및 현장상황 등에 따라 추진하였고, 동절기(12~3월초)에는 양수기 및 관로 동파 우려 등으로 양수저류를 대부분 중단하였다.

[표 2-4-19] 2018년 시기별 지역본부별 양수저류 추진실적

지역 본부	1차시기(‘17.10.1~’ 18.4.23)		2차시기(‘18.4.24~7.22)		3차시기(‘18.7.23~8.22)	
	대상 저수지 (개소)	양수저류 실적 (천㎥ ³)	대상 저수지 (개소)	양수저류 실적 (천㎥ ³)	대상 저수지 (개소)	양수저류 실적 (천㎥ ³)
계	106	20,443	21	946	83	25,405
경 기	4	1,452	1	19	3	1,175
강 원	-	-	-	-	1	1
충 북	1	144	-	-	4	198
충 남	8	1,903	-	-	18	3,424
전 북	1	805	-	-	11	9,324
전 남	52	8,327	10	376	26	8,778
경 북	17	4,443	4	419	5	1,690
경 남	23	3,369	6	132	15	815



[그림 2-4-35] 2018년 시기별 지역본부별 양수저류 대상저수지



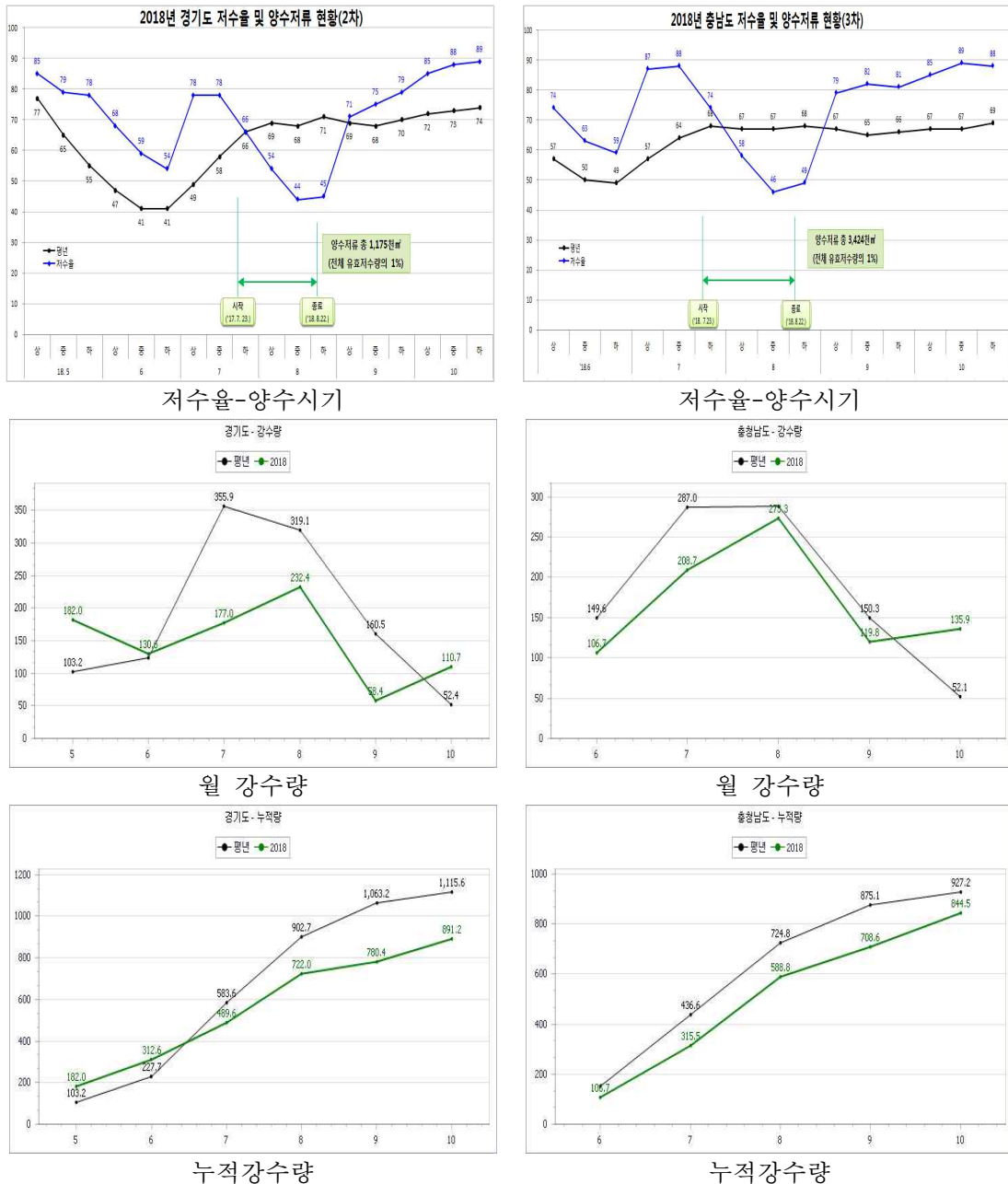
[그림 2-4-36] 2018년 시기별 지역본부별 양수저류 추진실적

(나) 주요 가뭄상황 지역 저수율-강수량-양수시기 분석

- 양수저류를 추진하였던 주요 가뭄상황지역(도-시군) 및 시설들의 집중 추진시기와 저수율-강수량 관계를 분석하였다. 분석결과 양수저류를 추진하기 전과 추진하는 동안에 저수지 저수율은 낮고 강수량은 적은 상황이었다.

① 경기도, 충청남도

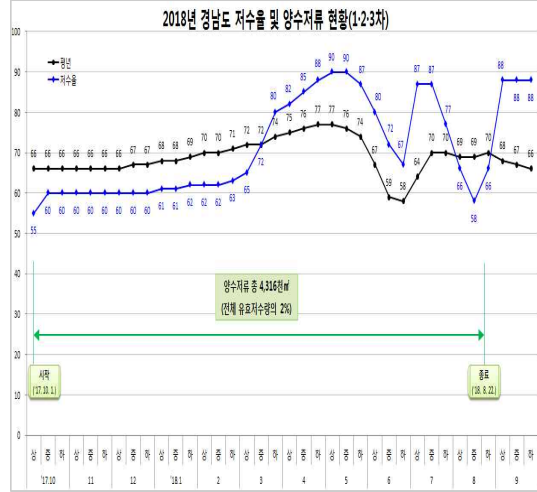
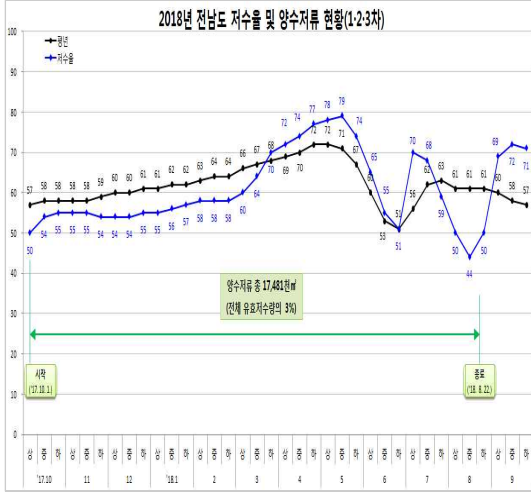
- 경기도는 ‘18.7.20~8.22, 충남은 ‘18.7.23~8.22일까지 양수저류를 실시하였다.



[그림 2-4-37] 2018년 경기도·충청남도 저수율-양수시기-강수량 그래프

② 전라남도 · 경상남도

- 전남은 '17.11.11~' 18.8.22, 경남은 '17.11.1~' 18.8.22일까지 양수저류를 실시하였다.



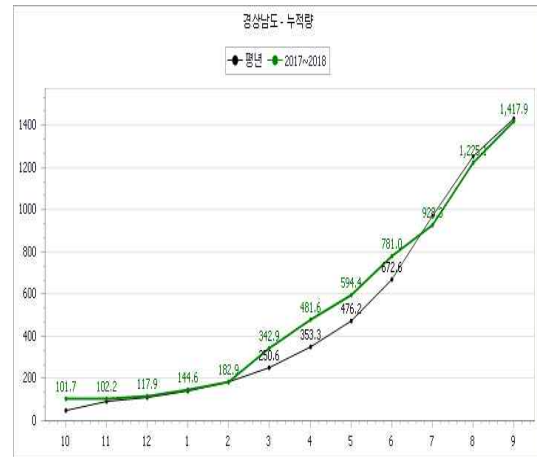
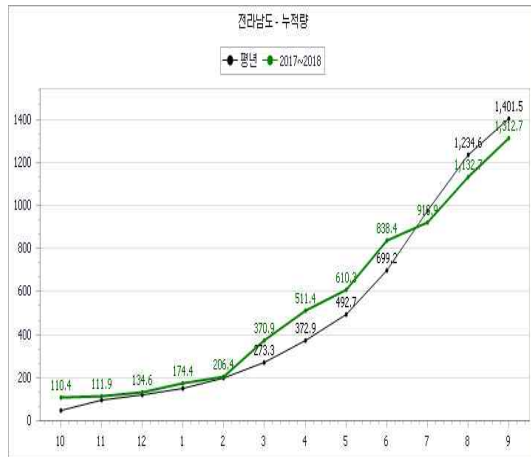
저수율-양수시기

저수율-양수시기



월 강수량

월 강수량



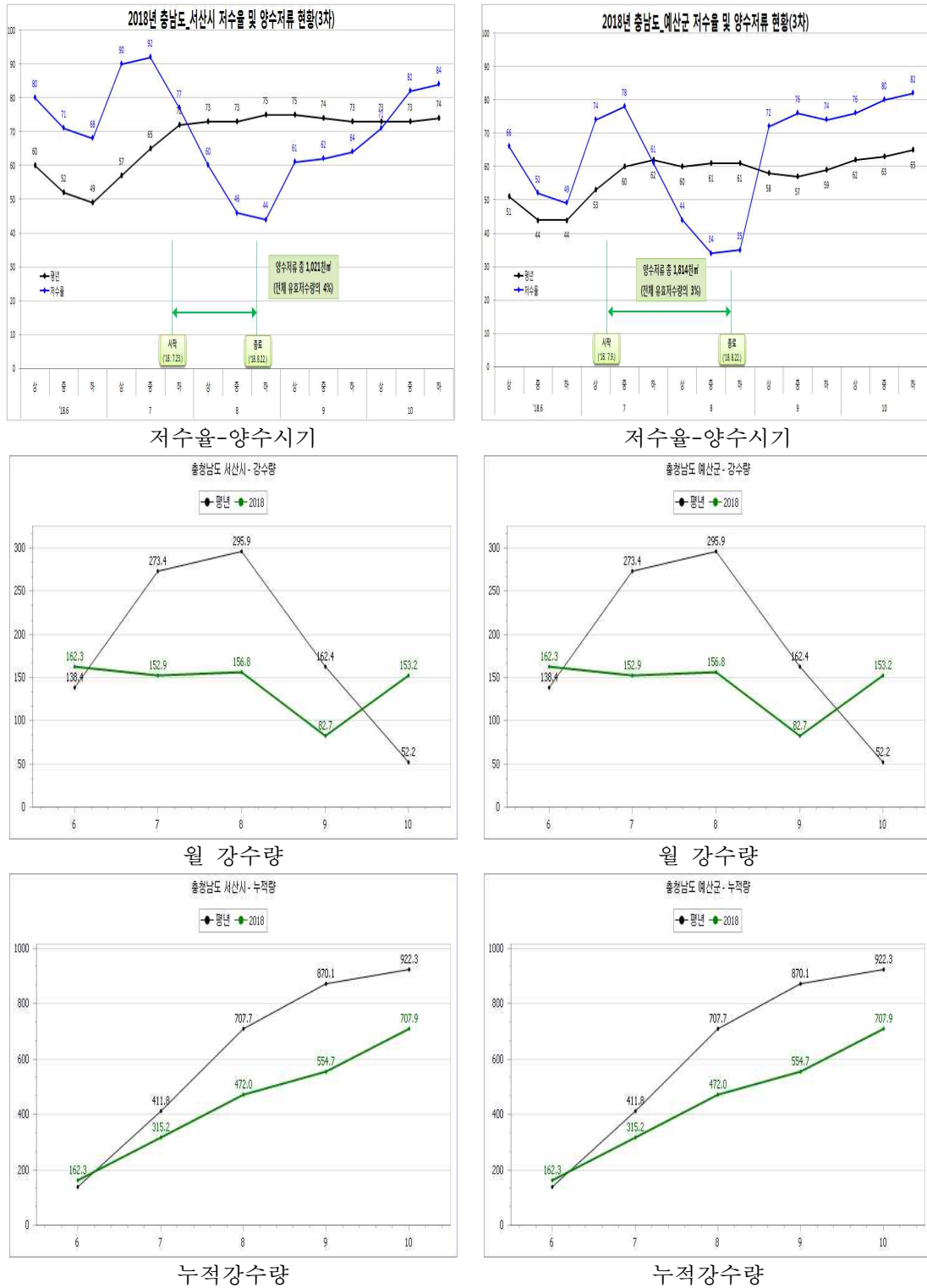
누적강수량

누적강수량

[그림 2-4-38] 2018년 전라남도 · 경상남도 저수율-양수시기-강수량 그래프

③ 충청남도 서산시·예산군

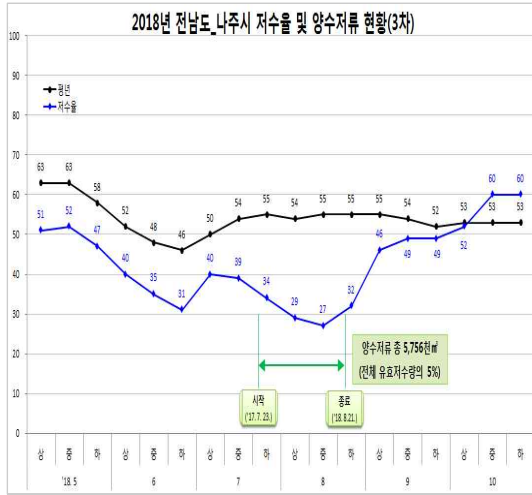
- 서산시는 '18.7.23~' 18.8.22, 예산군은 '18.7.9~8.22일까지 양수저류를 실시하였다.



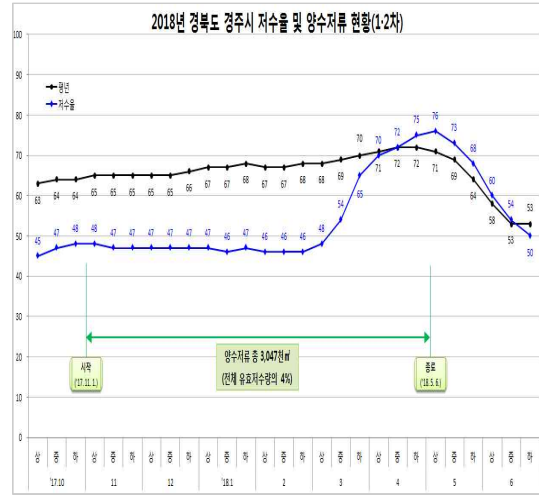
[그림 2-4-39] 2018년 서산시·예산군 저수율-양수시기-강수량 그래프

④ 전라남도 나주시·경상북도 경주시

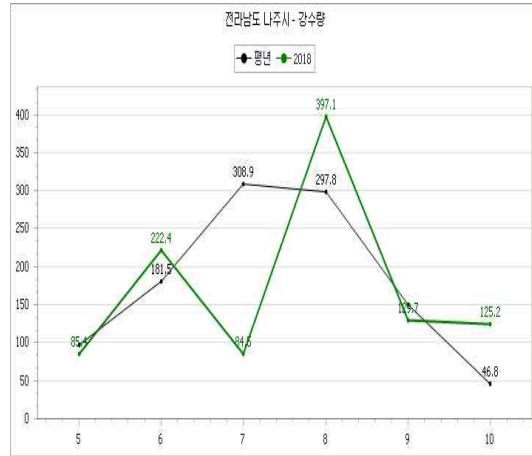
- 나주시는 ‘18.7.23~’ 18.8.21, 경주시는 ‘17.11.1~’ 18.5.6일까지 양수저류를 실시하였다.



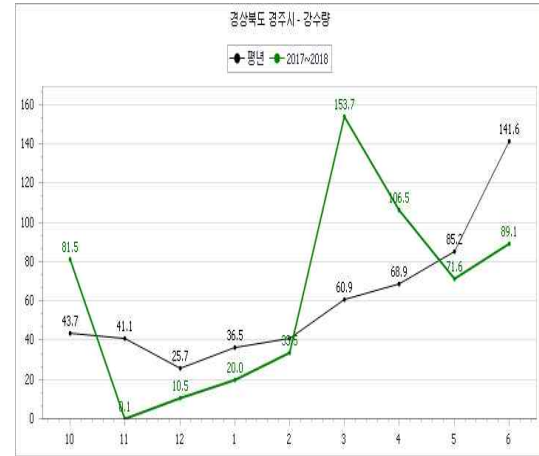
저수율-양수시기



저수율-양수시기



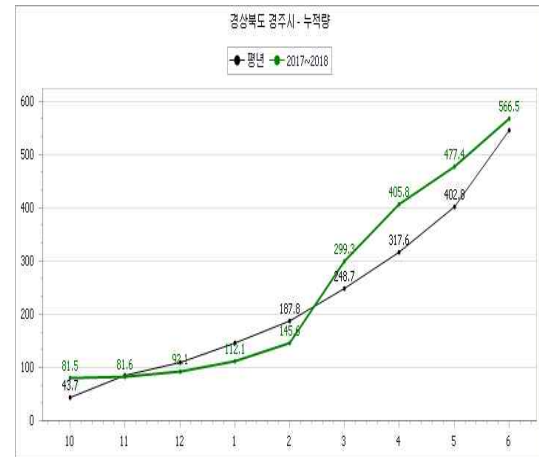
월 강수량



월 강수량



누적강수량

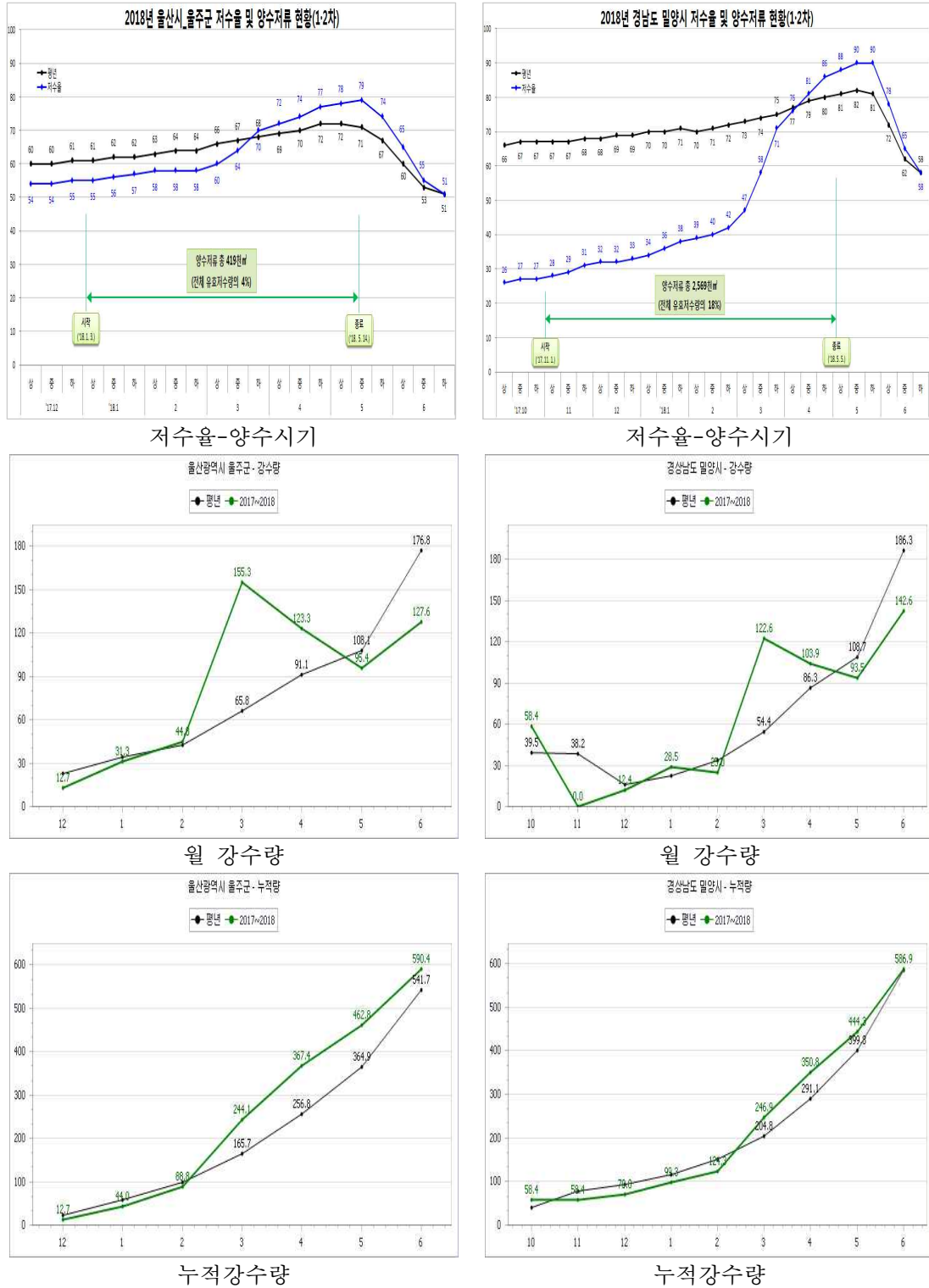


누적강수량

[그림 2-4-40] 2018년 나주시·경주시 저수율-양수시기-강수량 그래프

⑤ 울산광역시 울주군·경상남도 밀양시

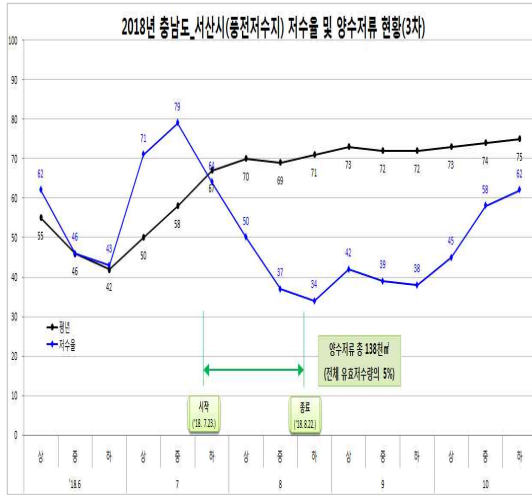
- 울주군은 '18.1.3~' 18.5.14, 밀양시는 '17.11.1~' 18.5.4일까지 양수저류를 실시하였다.



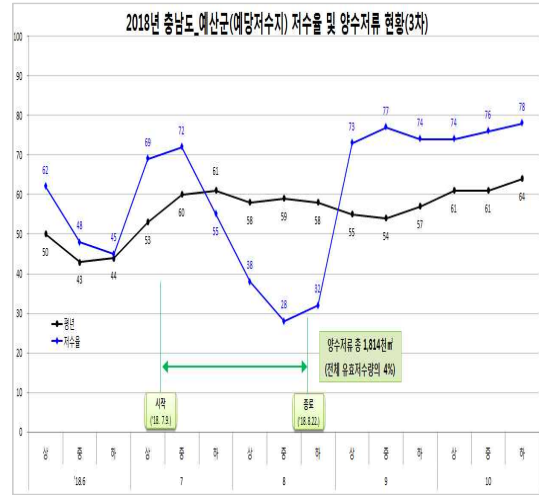
[그림 2-4-41] 2018년 울주군·밀양시 저수율-양수시기-강수량 그래프

⑥ 충청남도 서산시 풍전저수지·예산군 예당저수지

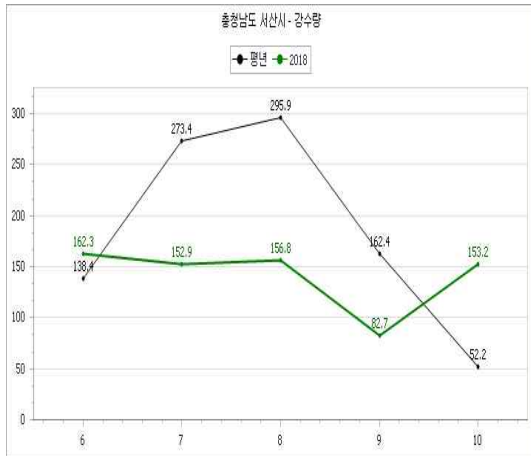
- 풍전저수지는 '18.7.31~8.22, 예당저수지는 '18.7.9~8.22일까지 양수저류를 실시하였다.



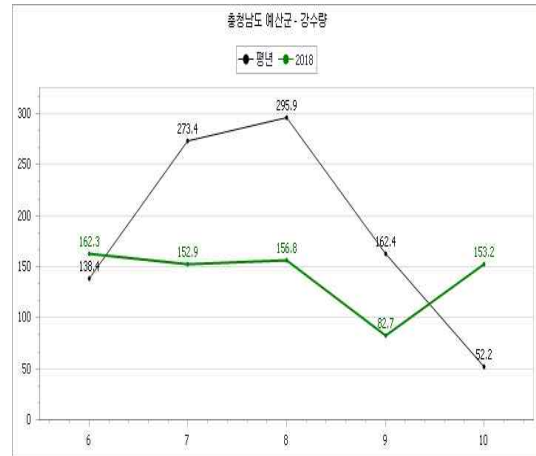
저수율-양수시기



저수율-양수시기



월 강수량



월 강수량



누적강수량

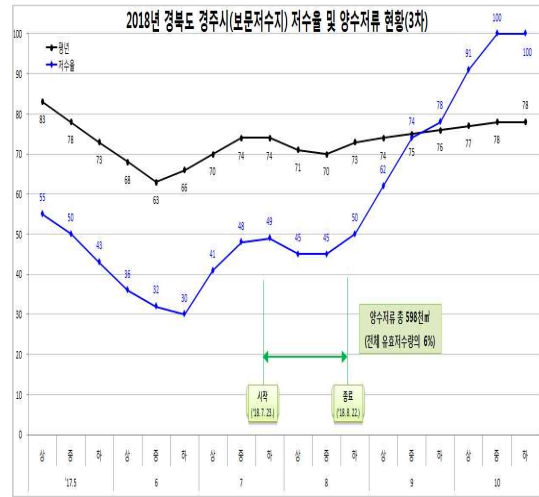
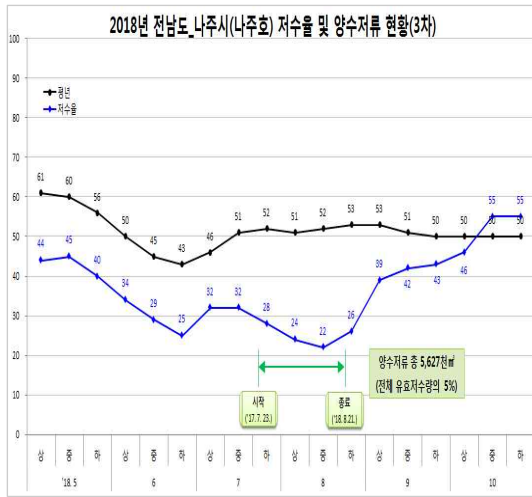


누적강수량

[그림 2-4-42] 2018년 풍전·예당저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프

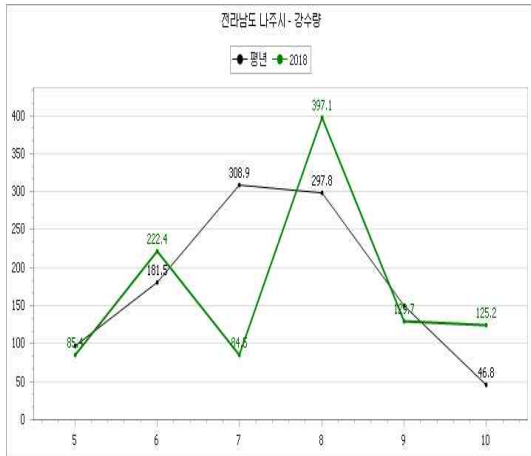
⑦ 전라남도 나주시 나주호 · 경상북도 경주시 보문저수지

- 나주호는 ‘18.7.23~8.21, 보문저수지는 ‘18.7.23~8.22일까지 양수저류를 실시하였다.



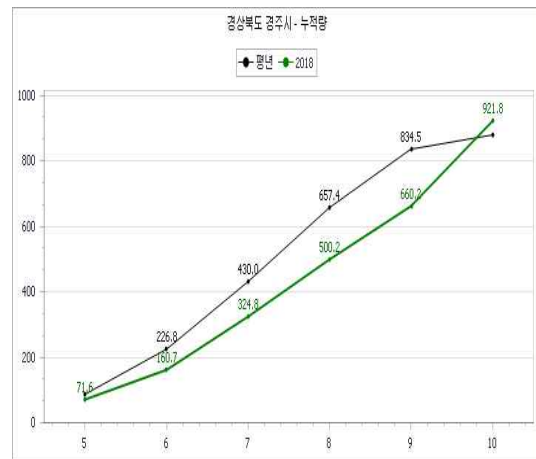
저수율-양수시기

저수율-양수시기



월 강수량

월 강수량



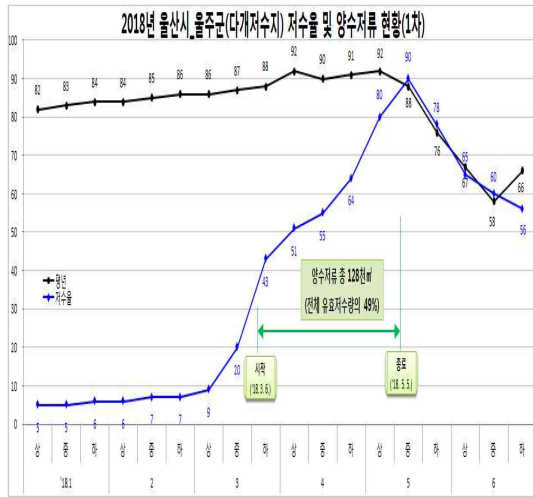
누적강수량

누적강수량

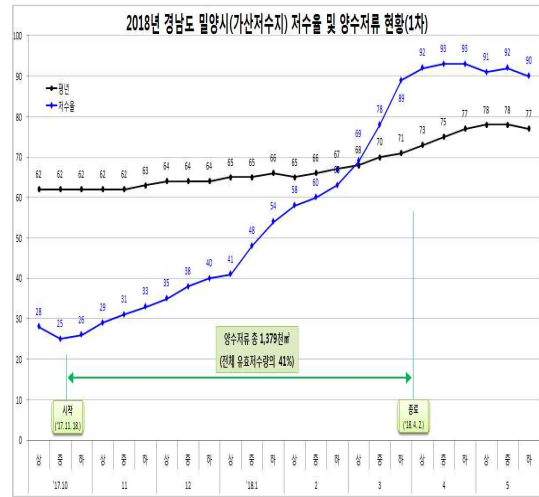
[그림 2-4-43] 2018년 나주호 · 보문저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프

⑧ 울산광역시 울주군 다개저수지 · 경상남도 밀양시 가산저수지

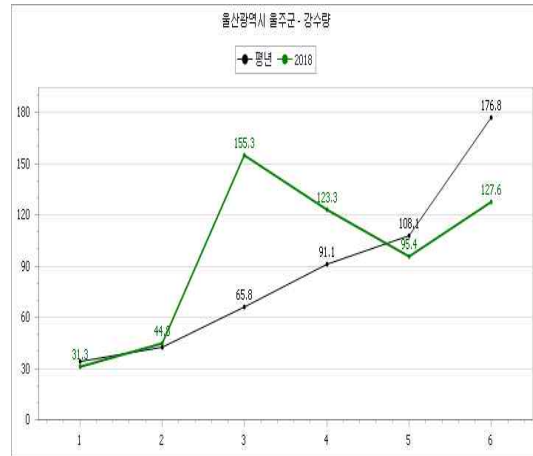
- 다개저수지는 ‘18.3.6~5.5, 가산저수지는 ‘17.11.18~’ 18.4.2일까지 양수저류를 실시하였다.



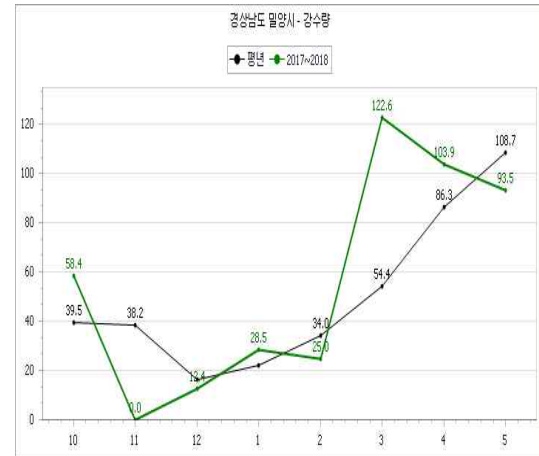
저수율-양수시기



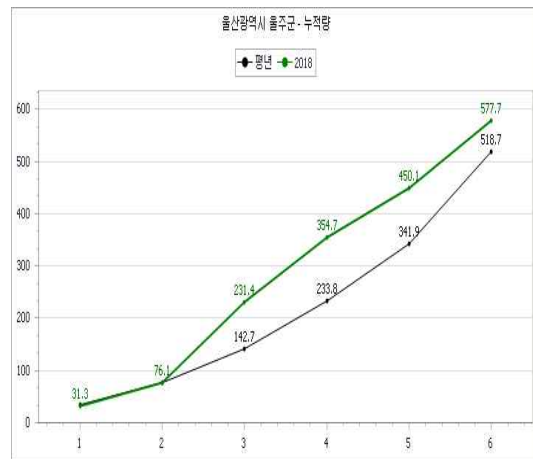
저수율-양수시기



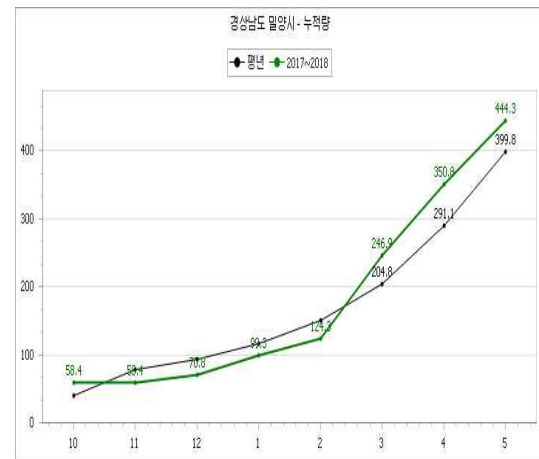
월 강수량



월 강수량



누적강수량



누적강수량

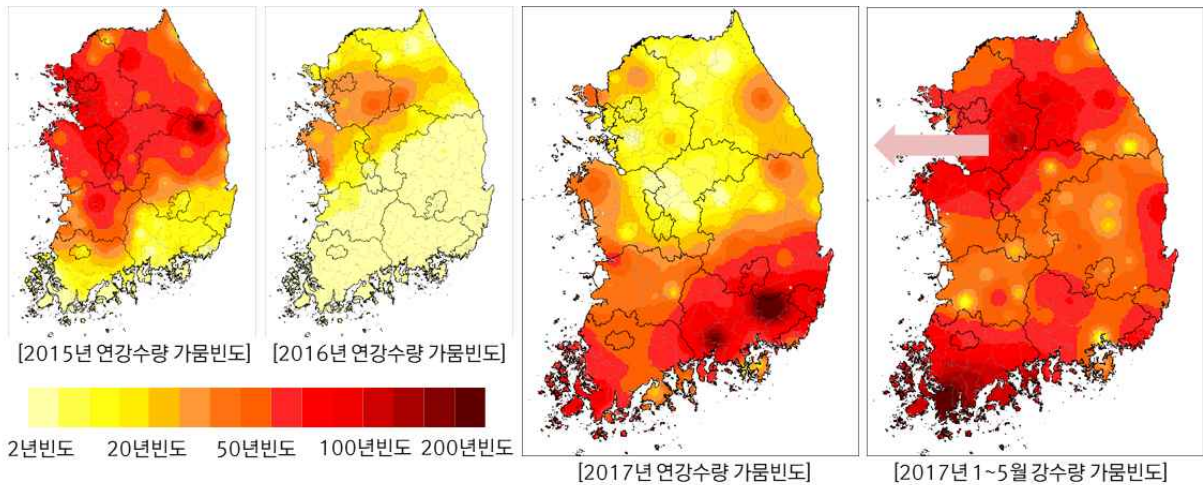
[그림 2-4-44] 2018년 다개 · 가산저수지 저수율-양수시기-강수량 그래프

제 5절. 순환형 농업용수 공급가능량 산정모형 적용 및 검증

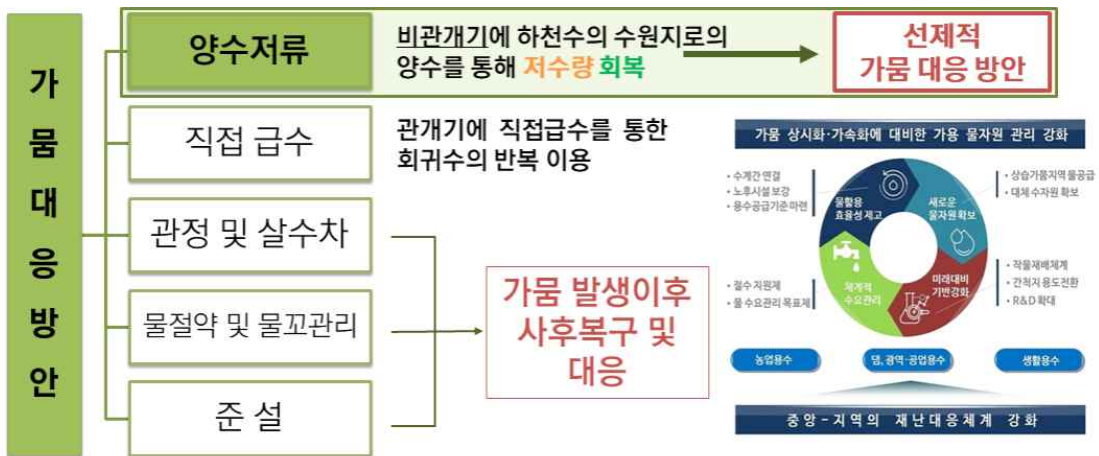
1. 순환형 농업용수 공급가능량 산정 의사결정요소 분석

가. 비관개기 양수저류를 위한 의사결정요소 분석

- 기후변화에 따른 기상영향으로 가뭄의 발생이 빈번해지고 있어 용수 부족 등의 피해가 심화되고 있으며, 가뭄시에 원활한 농업용수 공급을 위해 사전에 확보해야 할 공급가능 용수량을 분석하는 기술과 가뭄대응능력 평가에 대한 연구가 요구되고 있다.
- 가뭄으로 해마다 저수량은 감소하고 있으며 특히 관개기 이전의 시작 저수율이 저조한 지역이 다수 나타나고 있어 가뭄대비 선제적 농업용수의 확보를 위해 비관개기에 양수저류에 영향을 주는 요소들을 분석하였다.

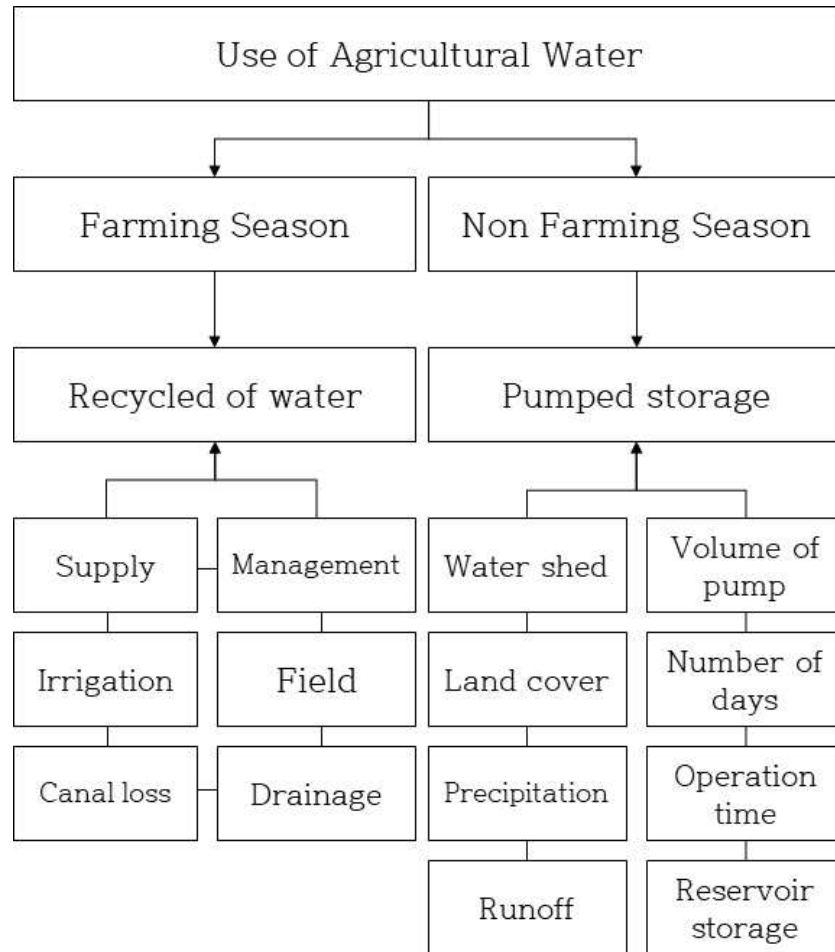


[그림 2-5-1] 농업가뭄 재해 빈도 증가



[그림 2-5-2] 선제적 가뭄대비를 위한 농업농촌용수 확보방안

- 비관개기에는 물부족분에 대비하기 위해 저수지 담수에 집중하는 것이 중요하다. 간접유역 또는 인근 하천으로 유출되는 수량을 분석하여, 양수장을 가동했을 경우 저수율이 회복되는 추세에 따라 적정 양수량을 산정함으로써 물관리 의사결정을 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

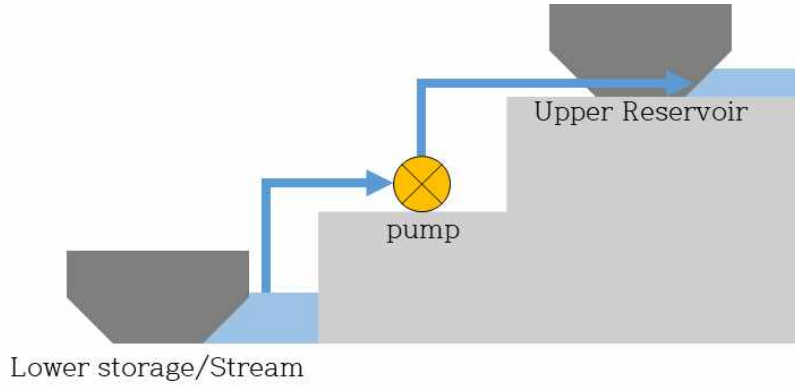


[그림 2-5-3] 순환형 농업용수의 이용 및 의사결정 요소 항목

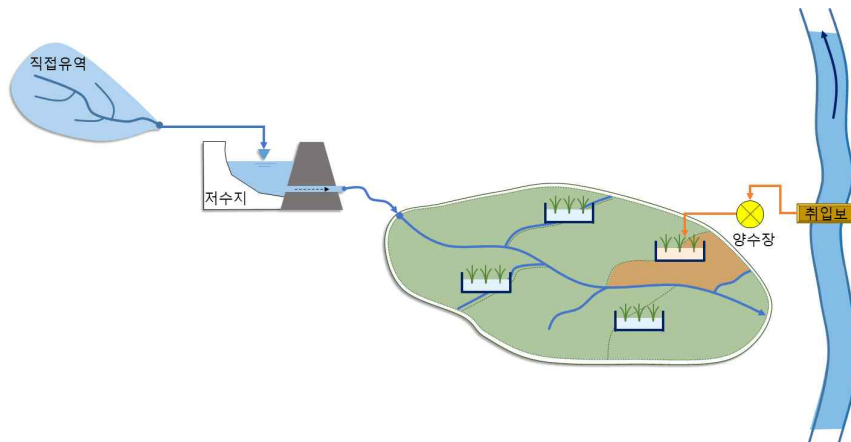
- 비관개기의 농업용수 공급가능량 및 양수저류를 위한 의사결정을 위하여 비관개기 저수지 유입량 추정에 적합한 모형을 선정하고자 그림 6-3과 같이 비관개기 양수저류시 고려할 항목을 구분하였다.
- 비관개기의 저수지 유입량 추정을 위해 유역, 토지이용, 강수 등을 바탕으로 유출량과 양수 가능량, 양수일수, 양수시점, 저수율 변화를 분석할 수 있다.
- 농업용수 공급가능량 수립은 유출량 산정 모형에 의한 간접추정으로 가능하며 본 연구에서는 한국농어촌공사에서 실시간으로 제공하고 있는 저수변화량에 의한 공급 및 유입량을 기본값으로하여 장기유출모형인 Tank 모형과 강우-유입량 회귀식의 상관분석을 통해 비관개기 저수지 유입량 추정에 적합한 것을 선정하였다.

나. 관개기 양수저류 및 직접급수를 위한 의사결정요소 분석

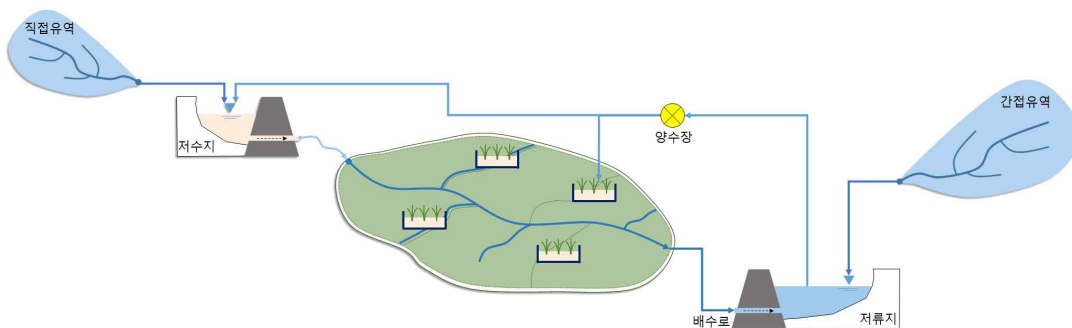
- 관개기에 순환형 농업용수의 사용은 포장과 수로 등에서 목표담수심만큼 공급하고 난 후 퇴수되는 수량이나 범람되어 하천으로 유입되는 수량을 저류 또는 펌프를 이용하여 재사용할 수 있는 가용수량을 산정하는 것을 목적으로 한다.



[그림 2-5-4] 순환형 양수저류 농업용수의 이용 예시1

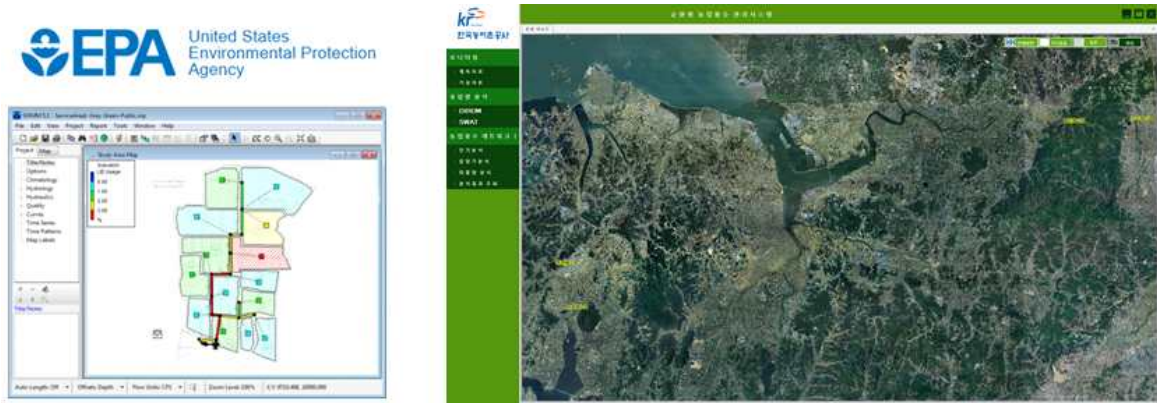


[그림 2-5-5] 순환형 양수저류 농업용수의 이용 예시2



[그림 2-5-6] 순환형 양수저류 농업용수의 이용 예시3

- 농업용수는 수원공에서 용수로로 통해 평야부로 공급되며 분기점, 수문, 물꼬 등의 수로시설로 조절되어 포장에 공급된다. SWMM(Storm Water Management Model) 모형은 미국 환경청(EPA)에서 개발된 유출모델로 불투수층이 많고 하수관거가 잘 갖추어진 도시구역의 유출해석에 유리하다. 용배수로 정비가 되어있고 현대화된 수로 체계를 가진 농업지구의 수원공에서 공급되는 용수의 흐름을 파악하는데 적합할 것으로 판단되며 순환형 농업용수 관리시스템은 SWMM 모형을 기반으로 한다.



[그림 2-5-7] SWMM 모형 기반 순환형 농업용수 관리시스템

[표 2-5-1] 순환형 농업용수 관리 모의를 위한 사용자 입력자료

사용자 입력자료	수집자료	수집기간	자료형태	출처
	저수율	1991-2018	일별	KRC
기상 (강우량, 증발량, 기온, 습도, 일조시간, 풍속)	1991-2018	일별	KMA	



[그림 2-5-8] 순환형 농업용수 관리 시스템 모의 예시

- 순환형 농업용수 관리시스템은 사용자의 입력 자료에 따라 수로를 통해 공급되는 용수의 흐름 모의가 가능하다. 포장별로 목표담수심(mm)을 설정할 수 있고 시간경과에 따라 공급효율, 포장공급율, 저수량, 공급량, 누적공급량 등을 GIS 지도로 확인할 수 있다.
- 수로 네트워크 분석을 통하여 각 포장에 공급된 일수, 전체일수 중 공급된 일수의 비율 등의 분석이 가능하며 이를 통하여 공급이 부족한 지역 등을 도출할 수 있다.

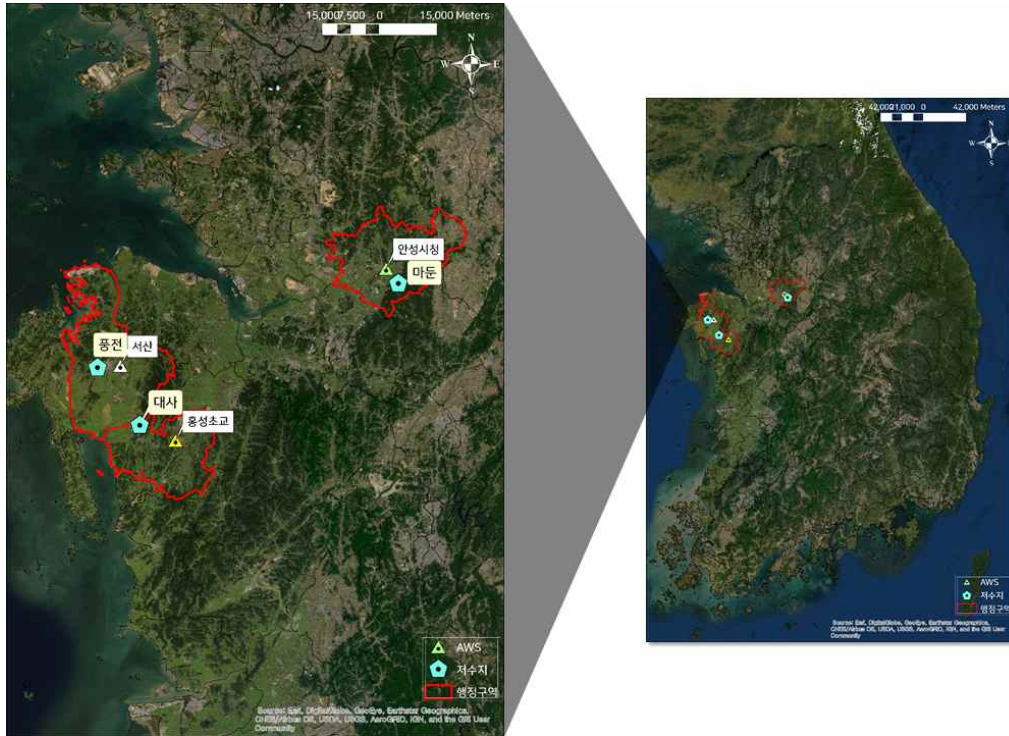
2. 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 테스트베드 적용 및 검증

가. 시범지구 비관개기 양수저류 모형 적용 및 분석

- 비관개기 저수지 유입량 추정을 위하여 경기 지역의 마둔저수지와 충남지역의 풍전, 대사저수지를 대상으로 장기유출모형인 Tank 모형과 강우-유입 관계식을 비교하였다.
- 모의 입력자료로는 표6-2와 같이 대상지와 근접한 AWS와 ASOS의 기상자료를 활용하였다.

[표 2-5-2] 대상지역 기상자료 관측소 현황

대상저수지	마둔	대사	풍전
분류	AWS	AWS	ASOS
대권역	안성천	삼교천	금강서해
관측소 명	안성시(안성시청)	홍성군(홍성초교)	서산
관측 방법	T/M	T/M	보통
관측소 코드	11014020	31014010	32021129
표준유역 코드	110101	310101	320204
관할 기관	환경부	환경부	기상청
주소	경기도 안성시 시청길 25 안성시청	충청남도 홍성군 홍성읍 조양로 43	충청남도 서산시 수석동
경도	127-16-44	126-39-28	126.494
위도	37-00-29	36-35-59	36.777
해발고	65.2	51.3	28.91
관측개시일(일자료)	1927-01-01	1918-07-01	1968-01-01
자료보유기간(시자료)	1980.06.04. 03:00 - 2019~	1969.07.15. 12:00 - 2019~	1998.10.03. 04:00 - 2019~



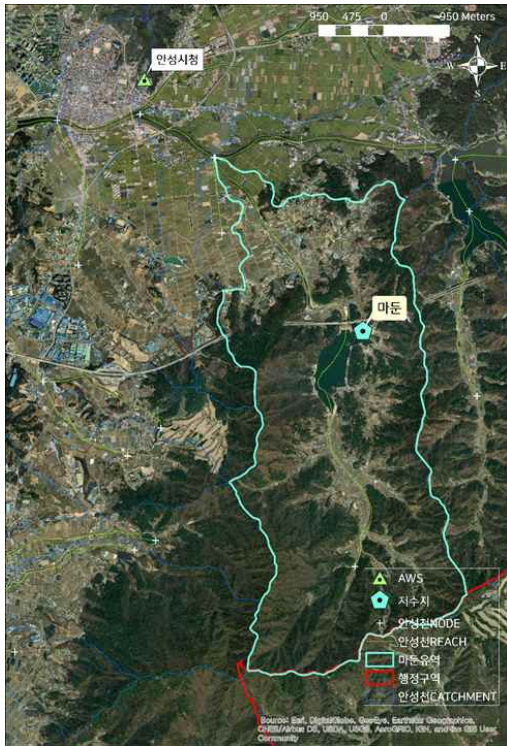
[그림 2-5-9] 대상 저수지 및 기상관측소 위치

[표 2-5-3] 대상지 유역 및 수혜구역 제원

지역	저수지	기상 관측소	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)	유역배율	토지피복율(%)		
						논	밭	산림
경기 안성시	마둔	안성시청 (AWS)	1,240	529.5	2.34	10.5	9.6	61.6
충남 홍성군	대사	홍성초교 (AWS)	290	162.9	1.78	12.2	10.9	67.4
충남 서산시	풍전	서산 (ASOS)	1,110	655.1	1.69	12.2	10.9	67.4

- 경기 안성시에 위치한 마둔저수지는 한국농어촌공사 관할의 주수원공으로 유역배율은 2.34 이며, 토지피복율은 논 10.5%, 밭 9.6%, 산림 61.6%로 구성되어 있다.
- 충남 홍성에 위치한 대사저수지는 유역면적 290 ha, 수혜면적 162.9 ha로 대상지 중 가장 규모가 작은 주수원공이다. 충남 서산에 위치한 풍전저수지는 유역면적 1,110 ha, 수혜면적 655 ha이며, 두 지역의 유역배율은 1.78, 1.69로 보통의 관개저수지가 3~4인 것에 비해 작아 가뭄시 농업용수 공급 부족 등의 문제가 발생할 수 있다.

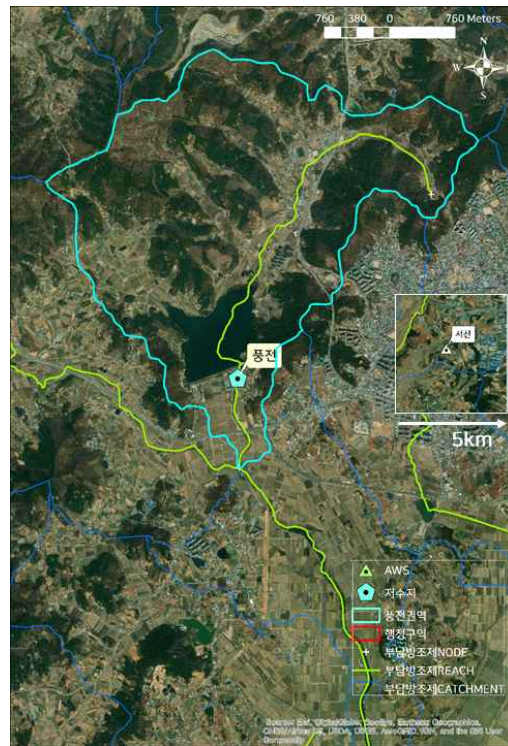
- 대상지의 주변은 주로 산림으로 이루어져 있으며, 유역면적과 수혜면적 크기는 풍전 > 마둔 > 대사 순으로 크며 논과 밭의 비율이 10% 내외로 비슷한 것으로 나타났다.



[그림 2-5-10] 경기 안성 마둔저수지

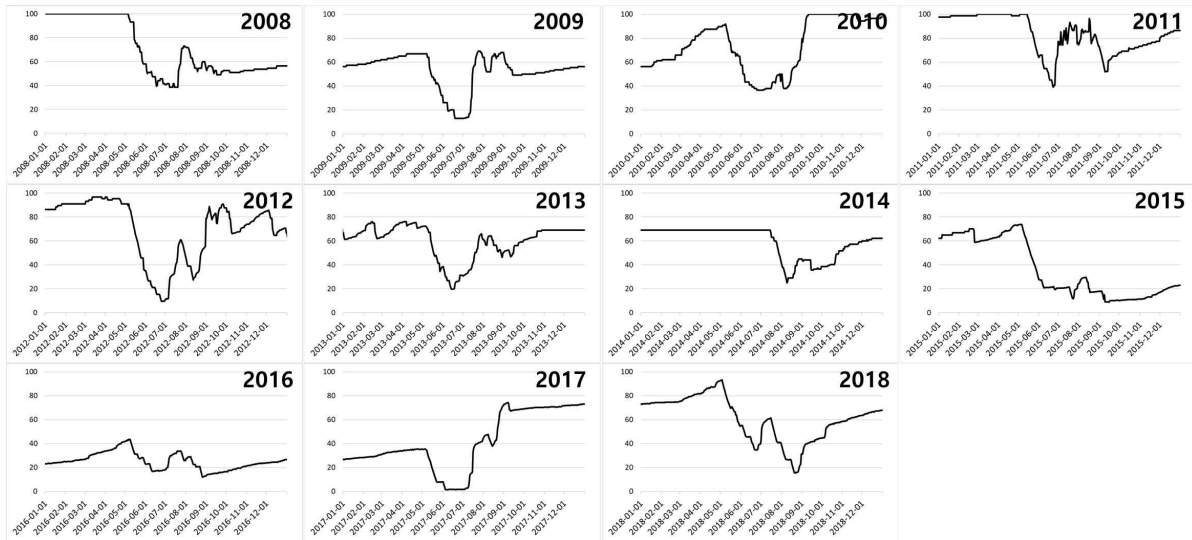


[그림 2-5-11] 충남 홍성 대사저수지

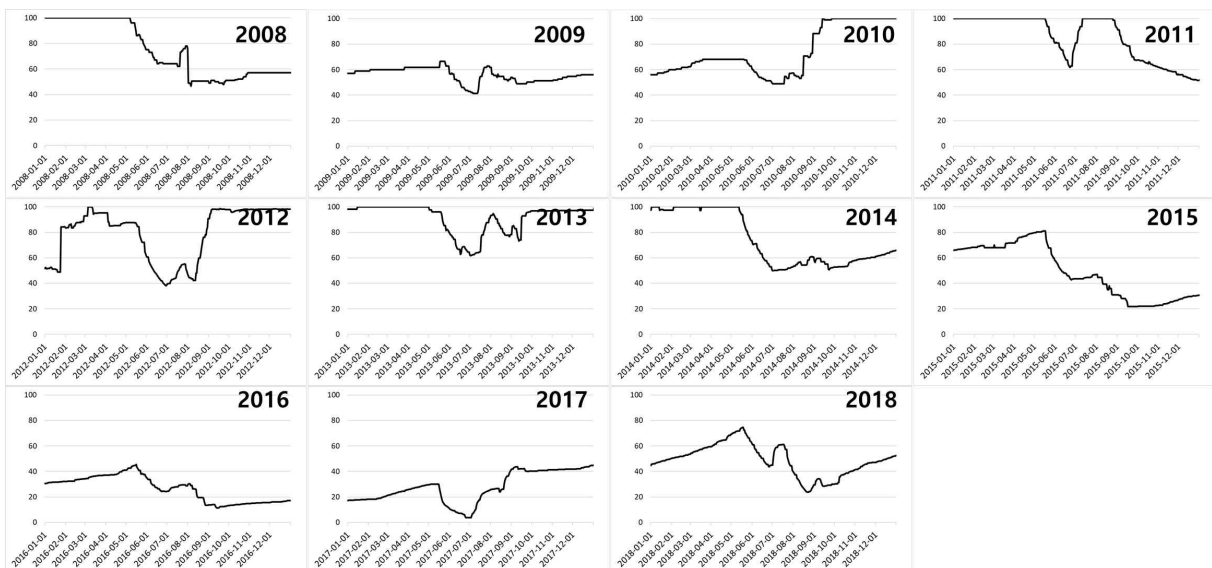


[그림 2-5-12] 충남 서산 풍전저수지

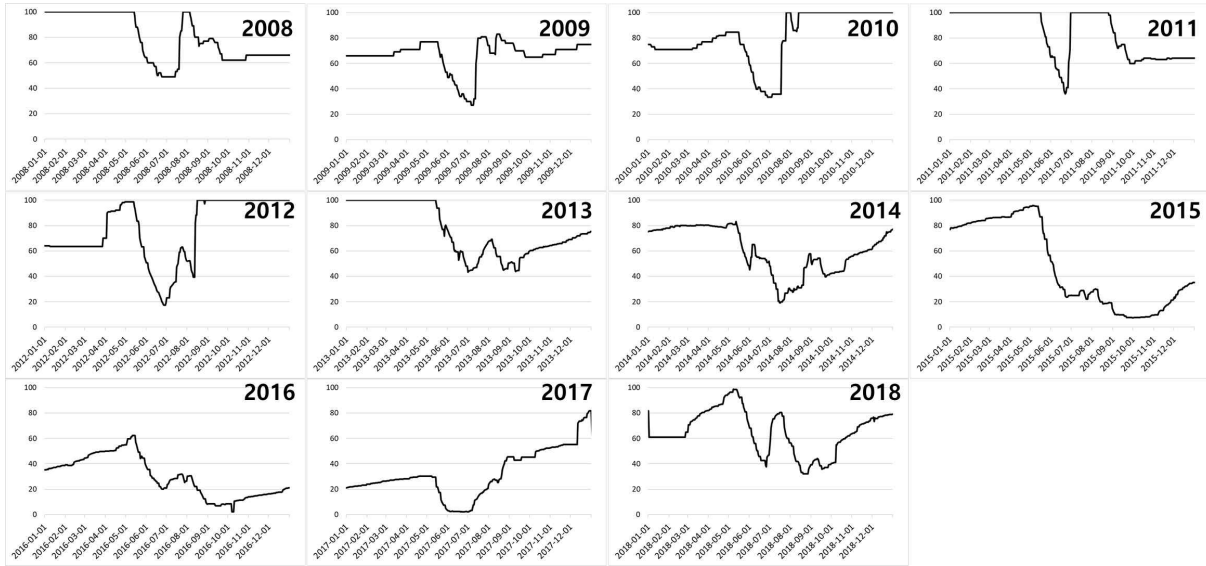
- 최근 10년간 한국농어촌공사 실시간 저수율 현황은 다음과 같다. 마둔저수지의 경우 2015년 겨울부터 저수율이 감소하면서 2016년에 평년저수율의 절반에도 미치지 못하였으며 2017년 관개기에는 저수율이 40% 미만을 밀돌았다.
- 대사저수지의 경우 2015년, 2016년 비관개기의 저수율 회복이 50% 미만에 불과했으며, 풍전저수지의 경우 2016년 10월에 저수율이 사수위 아래로 감소, 2017년 5월 관개기 시작 이후 저수율이 급격하게 감소하였고 강수부족으로 저수율이 회복되지 않았다.



[그림 2-5-13] 마둔저수지 연도별 저수율 현황



[그림 2-5-14] 대사저수지 연도별 저수율 현황

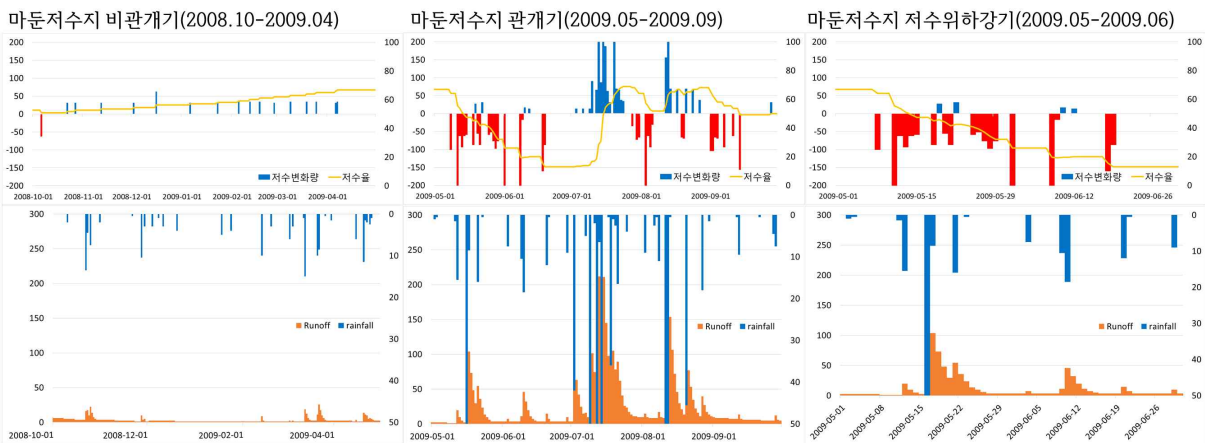


[그림 2-5-15] 풍전저수지 연도별 저수율 현황

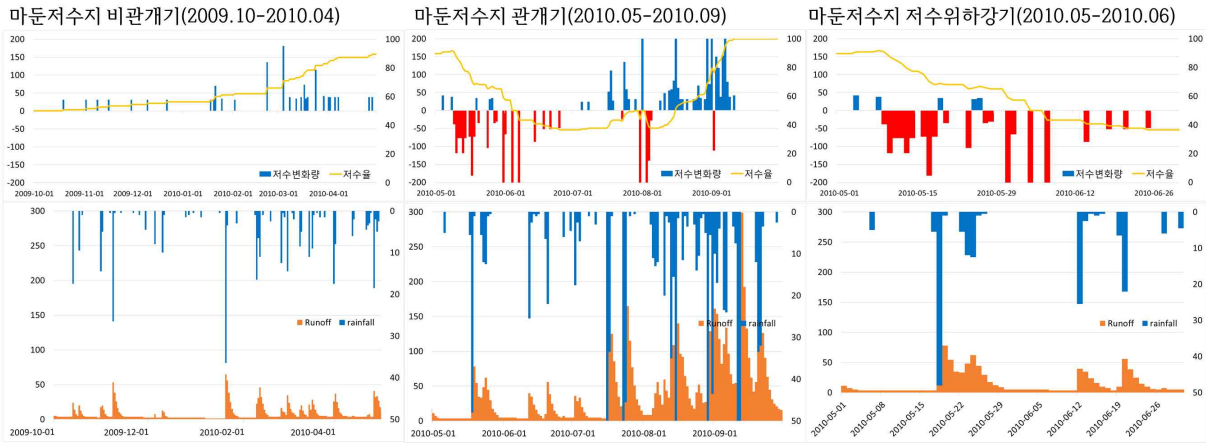
- 실시간 저수율 자료를 바탕으로 저수변화량에 따른 유입량 산정은 현재저수량의 전일대비 변화량으로 증가와 감소치를 각각 유입, 공급량으로 산정하였다.
- 연도별 저수변화량을 비교하기 위하여 10월부터 이듬해 4월까지 비관개기, 5월부터 9월까지 관개기, 농업용수사용량이 급증하는 5월부터 6월까지를 저수위하강기로 구분하여 누적강수량, 유출율, 저수위 감소 및 증가량을 분석하였다.
- 계측값이 안정적으로 수집된 1991년 01월 01일부터 2018년 12월 31일까지 한국농어촌공사 일별 저수율 계측자료를 활용하여 유출량과 전일대비 저수변화량 중 음의 값을 용수 공급량으로 산정하였다.

$$\Delta V = V_{t-1} - V_t \quad \dots\dots\dots(식1)$$

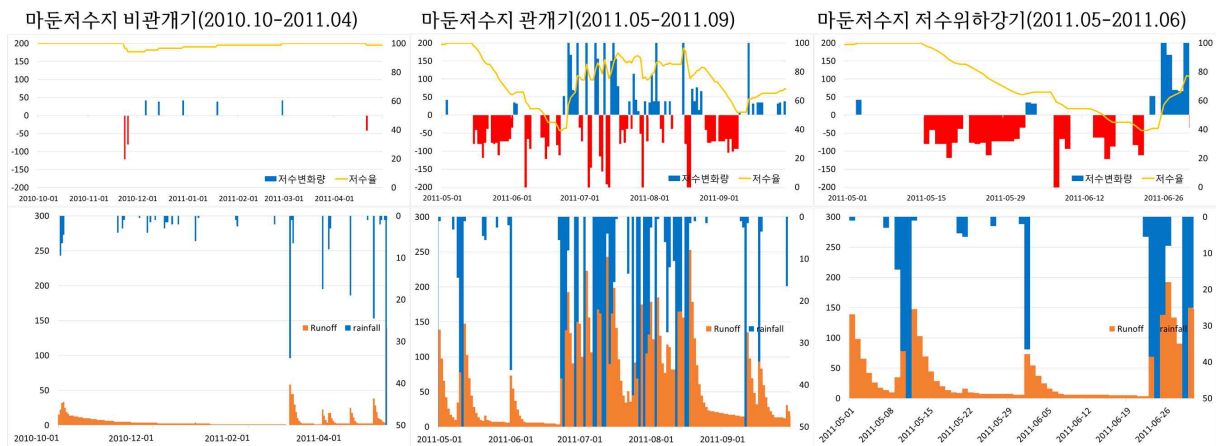
$V = \text{Water storage}(10^3m^3)$
 $t = \text{Observation day}$



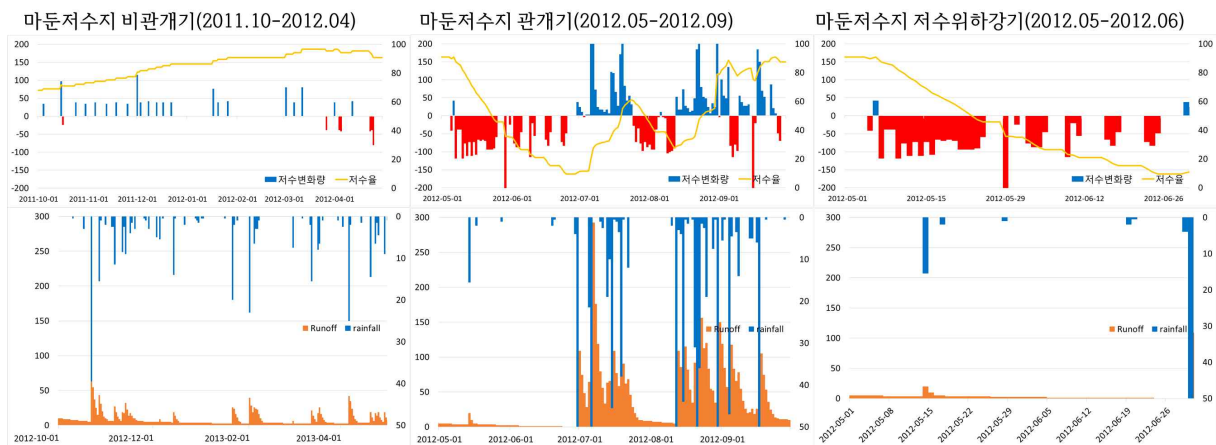
[그림 2-5-16] 마둔저수지 2008-2009년 저수변화량 및 유출량



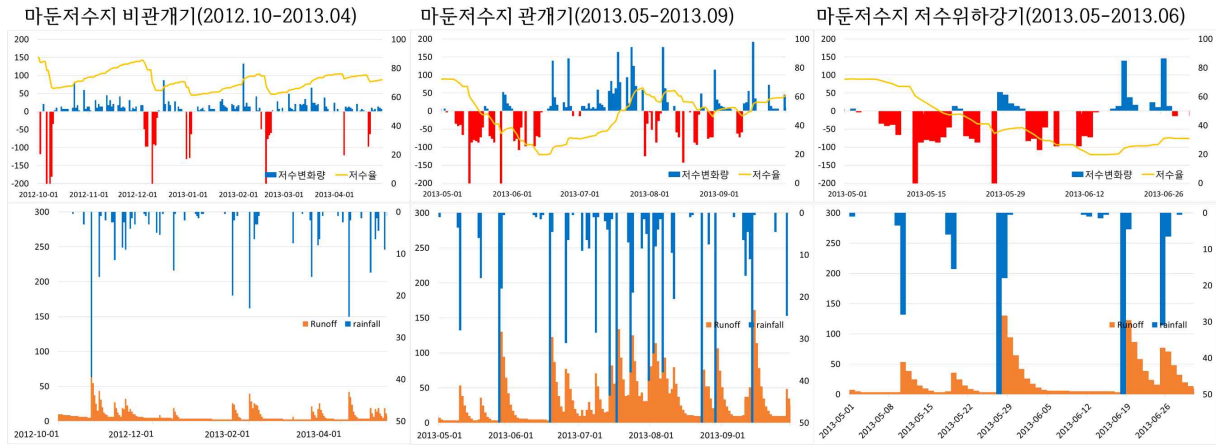
[그림 2-5-17] 마둔저수지 2009-2010년 저수변화량 및 유출량



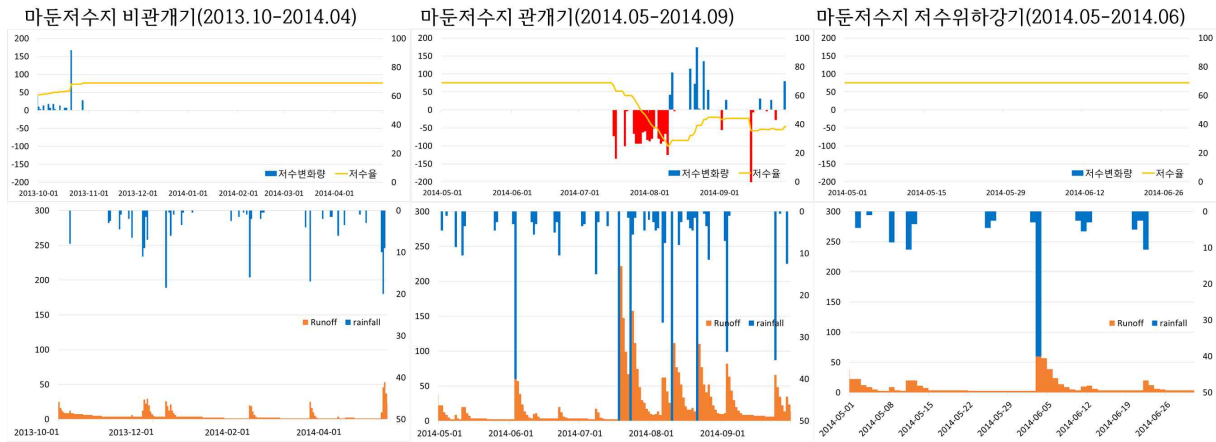
[그림 2-5-18] 마둔저수지 2010-2011년 저수변화량 및 유출량



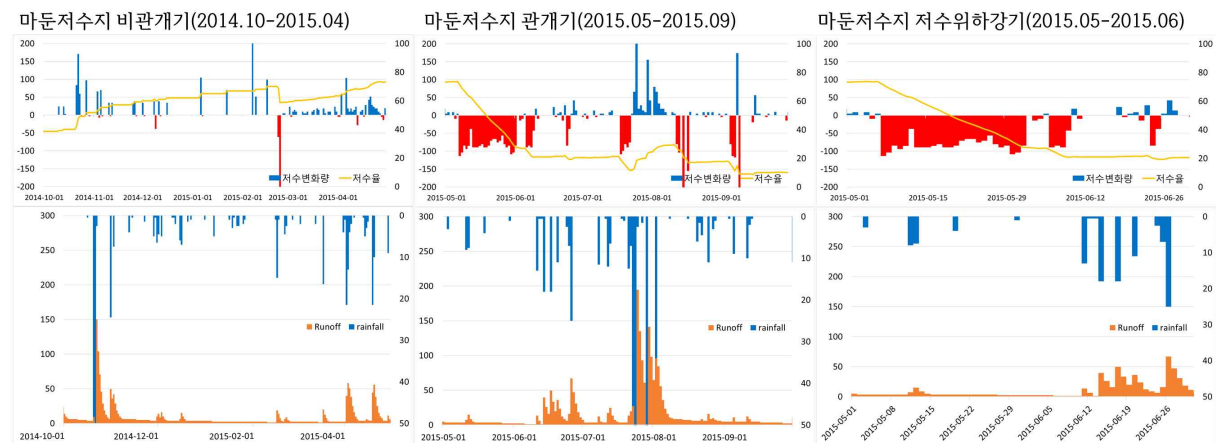
[그림 2-5-19] 마둔저수지 2011-2012년 저수변화량 및 유출량



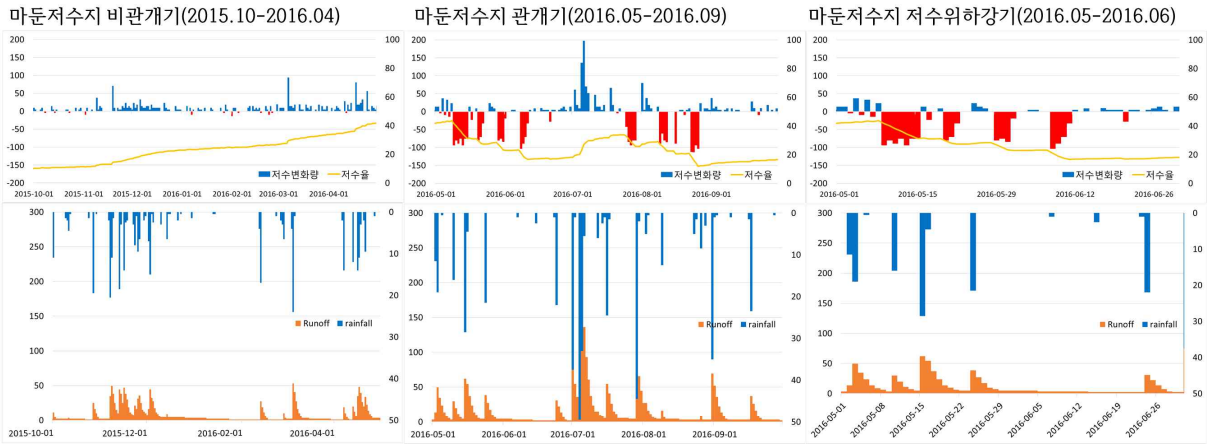
[그림 2-5-20] 마둔저수지 2012-2013년 저수변화량 및 유출량



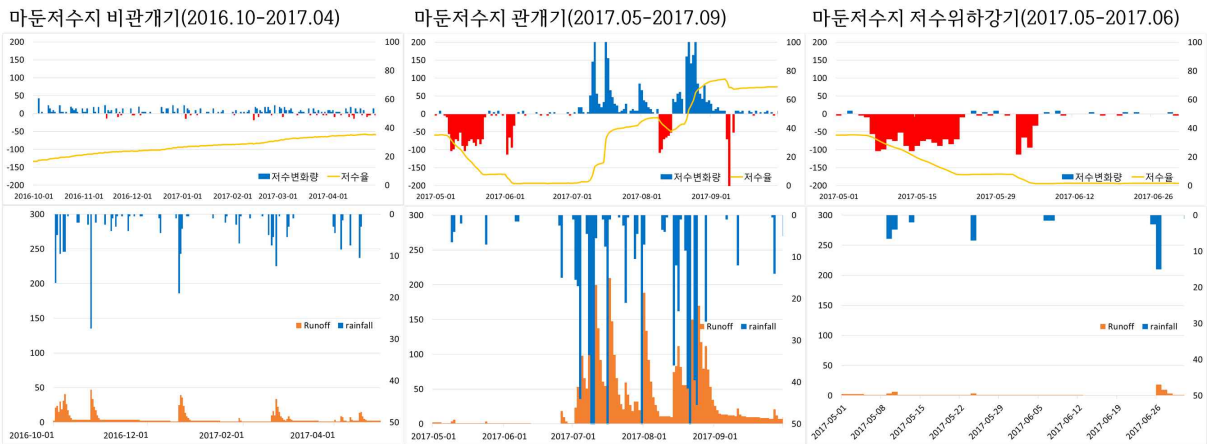
[그림 2-5-21] 마둔저수지 2013-2014년 저수변화량 및 유출량



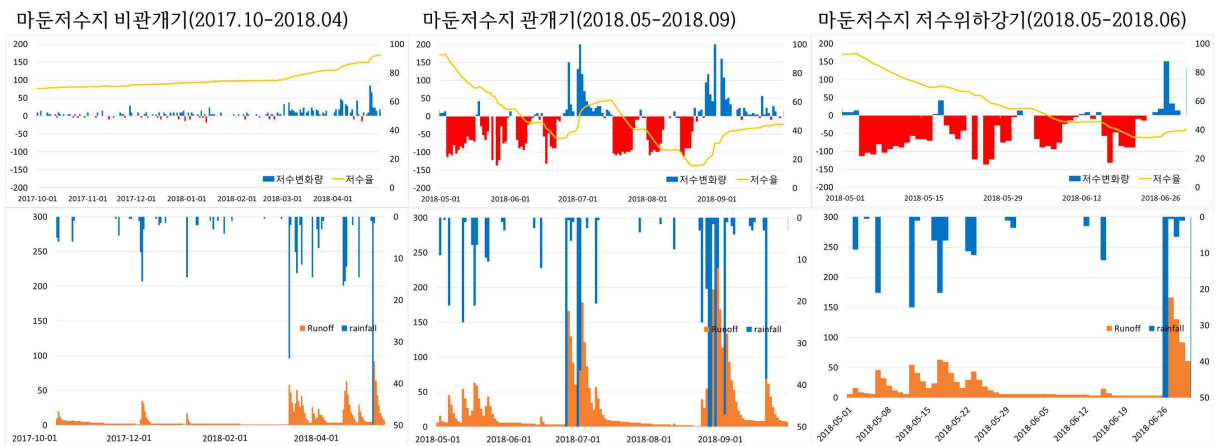
[그림 2-5-22] 마둔저수지 2014-2015년 저수변화량 및 유출량



[그림 2-5-23] 마둔저수지 2015-2016년 저수변화량 및 유출량



[그림 2-5-24] 마둔저수지 2016-2017년 저수변화량 및 유출량



[그림 2-5-25] 마둔저수지 2017-2018년 저수변화량 및 유출량

[표 2-5-4] 마둔저수지 비관개기 연도별 저수변화량

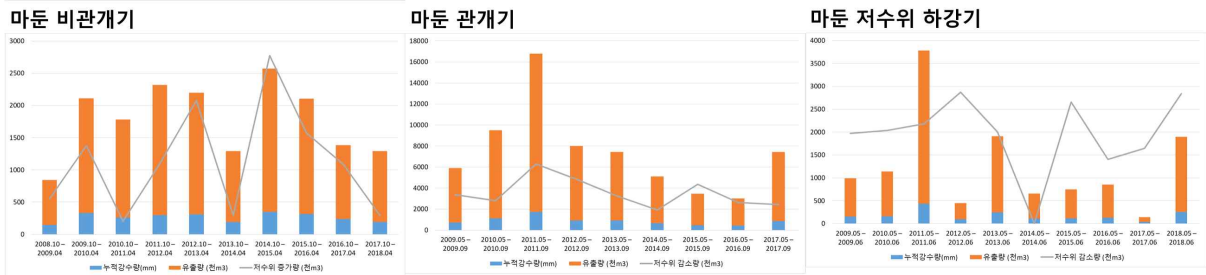
구분	기간	누적강수량 (mm)	유출량 (천m ³)	유출량 (mm)	유출율 (%)	감소 (천m ³)	증가 (천m ³)	비고
비 관 개 기	2008.10 - 2009.04	147	699	56	38%	63	558	495
	2009.10 - 2010.04	330	1,782	144	44%	0	1,380	1,380
	2010.10 - 2011.04	263	1,523	123	47%	244	202	-42
	2011.10 - 2012.04	297	2,024	163	55%	303	1,098	795
	2012.10 - 2013.04	312	1,886	152	49%	2,611	2,074	-537
	2013.10 - 2014.04	192	1,101	89	46%	0.04	296	296
	2014.10 - 2015.04	350	2,223	179	51%	671	2,776	2,105
	2015.10 - 2016.04	319	1,788	144	45%	80	1,572	1,492
	2016.10 - 2017.04	237	1,151	93	39%	207	1,087	880
	2017.10 - 2018.04	306	1,901	153	50%	188	1,304	1,116

[표 2-5-5] 마둔저수지 관개기 연도별 저수변화량

구분	기간	누적강수량 (mm)	유출량 (천m ³)	유출량 (mm)	유출율 (%)	감소 (천m ³)	증가 (천m ³)	비고
관 개 기	2009.05 - 2009.09	736	5,187	418	57%	3,367	2,778	-589
	2010.05 - 2010.09	1,121	8,376	675	60%	2,806	3,168	362
	2011.05 - 2011.09	1,753	15,041	1213	69%	6,282	5,208	-1,074
	2012.05 - 2012.09	920	7,088	572	62%	4,859	4,744	-115
	2013.05 - 2013.09	926	6,525	526	57%	3,249	2,845	-404
	2014.05 - 2014.09	669	4,460	360	54%	1,931	872	-1,059
	2015.05 - 2015.09	464	3,024	244	53%	4,354	1,375	-2,979
	2016.05 - 2016.09	436	2,579	208	48%	2,636	1,455	-1,181
	2017.05 - 2017.09	881	6,572	530	60%	2,443	4,020	1,577
	2018.05 - 2018.09	815	6,209	501	61%	5,089	2,824	-2,265

[표 2-5-6] 마둔저수지 저수위하강기 연도별 저수변화량

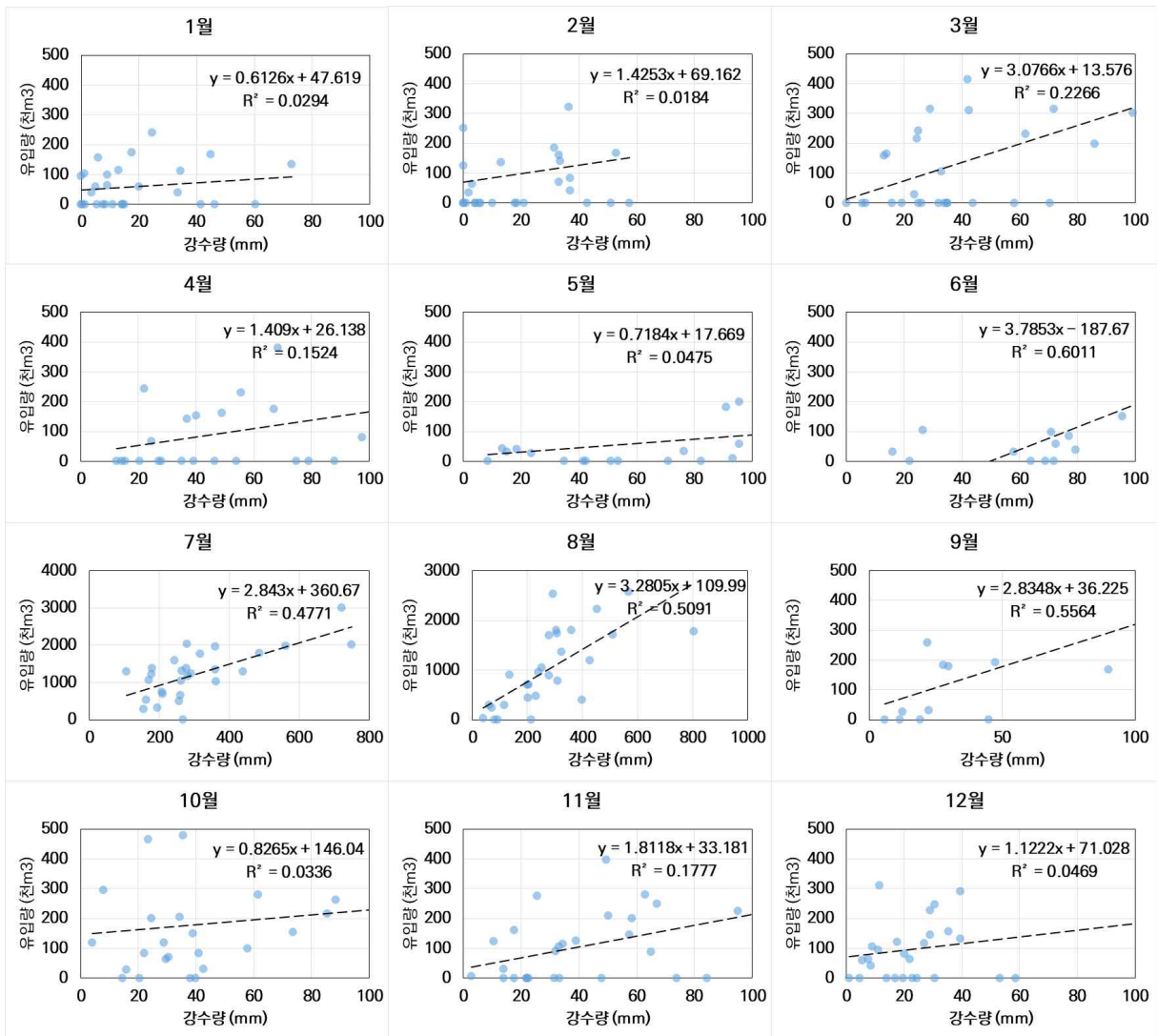
구분	기간	누적강수량 (mm)	유출량 (천m ³)	유출량 (mm)	유출율 (%)	감소 (천m ³)	증가 (천m ³)	비고
저수위하강기	2009.05 - 2009.06	154	837	68	44%	1,973	91	-1,882
	2010.05 - 2010.06	160	983	79	50%	2,036	181	-1,855
	2011.05 - 2011.06	437	3,350	270	62%	2,182	1,436	-746
	2012.05 - 2012.06	98	350	28	29%	2,876	80	-2,796
	2013.05 - 2013.06	250	1,662	134	54%	2,008	579	-1,429
	2014.05 - 2014.06	107	552	45	42%	0	0	0
	2015.05 - 2015.06	119	634	51	43%	2,660	179	-2,481
	2016.05 - 2016.06	128	724	58	46%	1,403	297	-1,106
	2017.05 - 2017.06	40	103	8	21%	1,648	66	-1,582
	2018.05 - 2018.06	251	1,649	133	53%	2,843	344	-2,499



[그림 2-5-26] 마둔저수지 시기별 유출량 및 저수위 감소량

- 마둔저수지의 비관개기 누적강수량은 2014년-2015년 350mm, 2009년-2010년 330mm, 2015년-2016년 319mm 순서로 많았으며 강수량 대비 유출량의 비율은 평균 46%로 나타났다.
- 비관개기에 감소량이 가장 크게 나타난 해는 2012년-2013년으로 2,776 천m³ 감소한 것으로 나타났고, 평균 436 천m³으로 나타났다. 증가량에 비해 감소량이 더 많았던 해는 2010년-2011년 -42 천m³, 2012년-2013년 -537 천m³로 나타났다. 관개기의 평균 유출율은 58%로 나타났으며, 2010년과 2017년을 제외하고 증가량에 비해 감소량이 더 많은 것으로 분석되었다. 저수위하강기에 평균 유출율은 44%로 나타났고, 2012년, 2015년, 2018년에 감소량이 2,000천m³ 이상인 것으로 판단된다.

- 국내 농업용 저수지에서 저수지의 유입량을 직접적으로 관측하는 경우는 거의 없으며, 일단위 유출수문모형을 통하여 강수량으로부터 유입량을 산정하는 것이 일반적이다.
- 본 연구에서는 비관개기의 저수지 유입량 산정을 위해 강우-유입 회귀식을 이용하여 장기유출모형인 Tank 모형과 비교분석하였다.
- 마둔저수지를 대상으로 안성시청(AWS)의 일별 강수 관측 자료와 농업기반관리시설(RIMS)의 저수율 자료를 이용하였으며, 안정적인 계측치가 있는 1991년부터 2018년까지 자료를 수집하였다. 그림 2-27과 같이 연도별로 월별 강수량 합계를 X축, 저수변화량으로부터 산정한 유입량 합계를 Y축으로 분산그래프를 이용하여 추세선을 산출하였다.

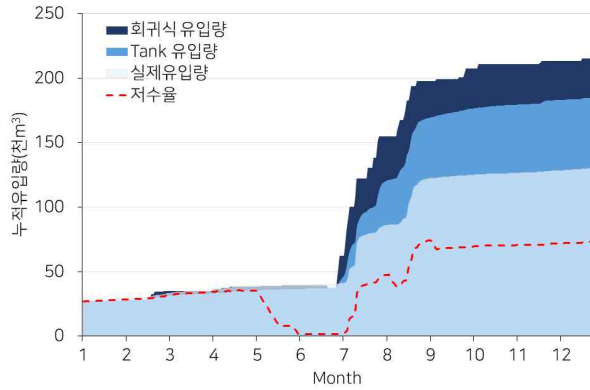


[그림 2-5-27] 강우-유입 회귀식 산정을 위한 월별 추세선 분석

- 추세선을 이용하여 단순회귀식 모형을 산정하였으며, 월별 a, b 값을 도출하였다. 유입량의 단순비교를 위해 2017년 마둔저수지의 저수율과 회귀식, Tank 모형, 실제 유입량 누적값을 비교하였다. 회귀식에 의한 유입량이 가장 많은 것으로 나타났고 Tank 모형으로 산정된 유입량이 실제 유입량과 유사한 것으로 분석된다.

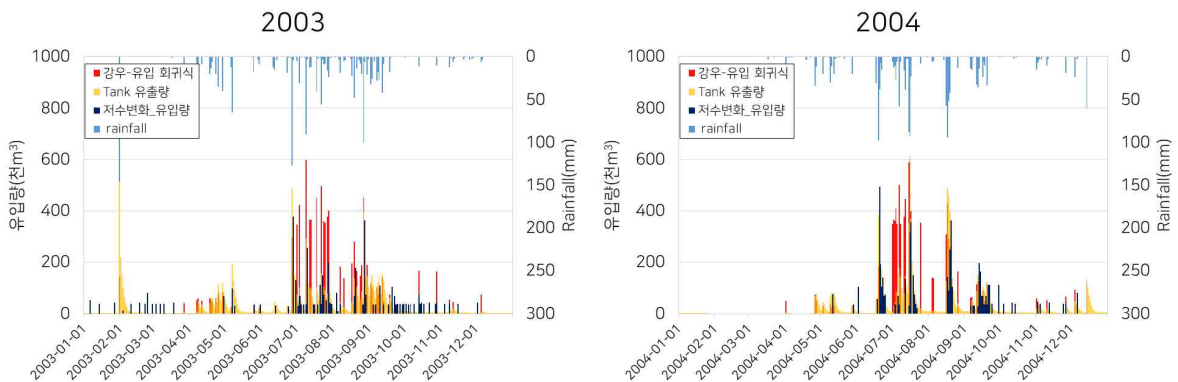
[표 2-5-7] 강우-유입량 회귀식 계수

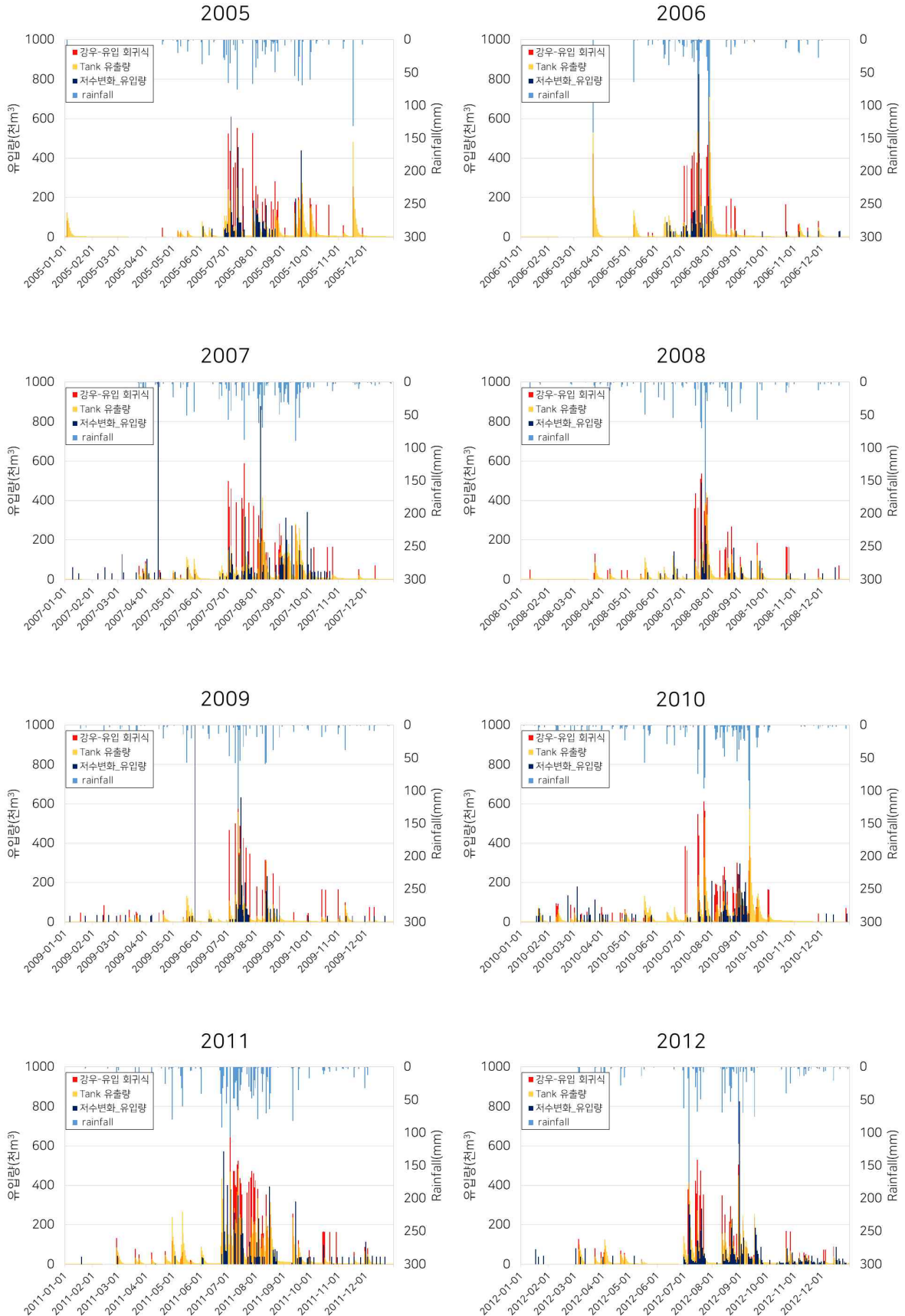
y=유입	a	b
1월	0.612589	47.6192
2월	1.425252	69.16235
3월	3.07665	13.57592
4월	1.408953	26.13752
5월	0.718397	17.66866
6월	3.785263	-187.669
7월	2.842977	360.6706
8월	3.280511	109.9879
9월	2.834835	36.22474
10월	0.826542	146.0413
11월	1.811838	33.18098
12월	1.122203	71.02802

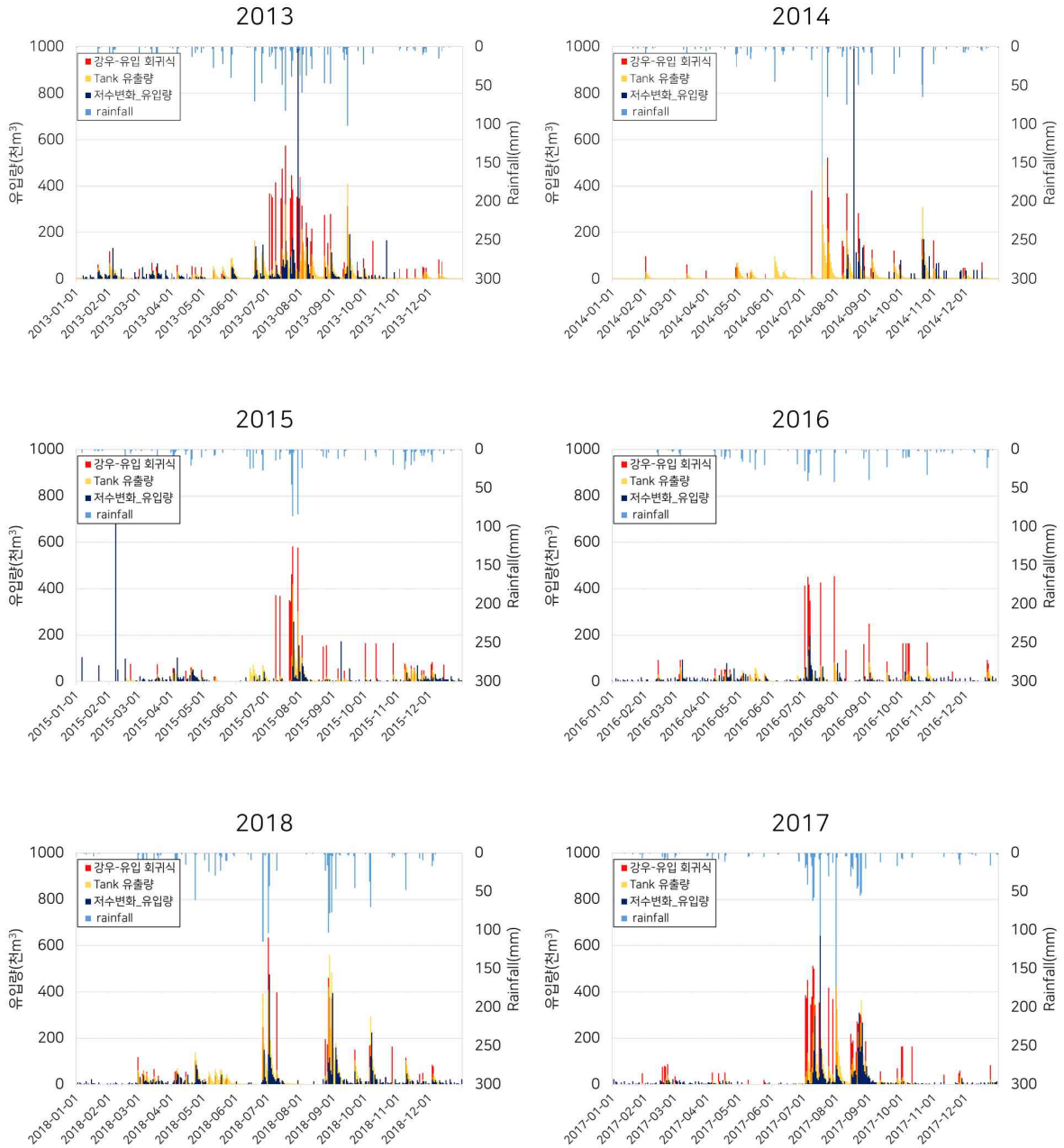


[그림 2-5-28] 저수지 유입량 추정 비교

- 비관개기 유입량 산정에 있어서 Tank 모형의 적용성을 확인하고자 저수지 계측자료와 강우-유입 회귀식 Tank 모형의 비교 및 상관성 분석을 실시하였다.
- 마둔저수지를 대상으로 2003년부터 2018년까지 최근 15년간 일 평균 유입량을 산출하였으며, 저수변화량에 의해 산정된 유입량을 기준으로 회귀식과 Tank 모형의 유입량 상관분석 결과는 다음과 같다.







[그림 2-5-29] 연도별 유입량 산정값의 비교

2018	Column 1 Column 2 Column 3	2012	Column 1 Column 2 Column 3	2006	Column 1 Column 2 Column 3	2000	Column 1 Column 2 Column 3	1994	Column 1 Column 2 Column 3
Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1
Column 2	0.634662	Column 2	0.541653	Column 2	0.518176	Column 2	0.668241	Column 2	0.156081
Column 3	0.43911	Column 3	0.232408	Column 3	0.457357	Column 3	0.072623	Column 3	0.19158
	0.759703		0.724016		0.762471		0.698646		0.719164
2017	Column 1 Column 2 Column 3	2011	Column 1 Column 2 Column 3	2005	Column 1 Column 2 Column 3	1999	Column 1 Column 2 Column 3	1993	Column 1 Column 2 Column 3
Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1
Column 2	0.645176	Column 2	0.452156	Column 2	0.313829	Column 2	0.157383	Column 2	0.01403
Column 3	0.467509	Column 3	0.189458	Column 3	0.094131	Column 3	0.123233	Column 3	0.208695
	0.744803		0.689636		0.571434		0.667148		0.649523
2016	Column 1 Column 2 Column 3	2010	Column 1 Column 2 Column 3	2004	Column 1 Column 2 Column 3	1998	Column 1 Column 2 Column 3	1992	Column 1 Column 2 Column 3
Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1
Column 2	0.497204	Column 2	0.314788	Column 2	0.697923	Column 2	0.127931	Column 2	0.079694
Column 3	0.26564	Column 3	0.143625	Column 3	0.278433	Column 3	0.165793	Column 3	0.009665
	0.678903		0.647479		0.622664		0.602264		0.591591
2015	Column 1 Column 2 Column 3	2009	Column 1 Column 2 Column 3	2003	Column 1 Column 2 Column 3	1997	Column 1 Column 2 Column 3	1991	Column 1 Column 2 Column 3
Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1
Column 2	0.187325	Column 2	0.263326	Column 2	0.322152	Column 2	0.154515	Column 2	0.028359
Column 3	0.02743	Column 3	0.095507	Column 3	0.151094	Column 3	0.221499	Column 3	0.0555
	0.554329		0.714988		0.549492		0.625255		0.662552
2014	Column 1 Column 2 Column 3	2008	Column 1 Column 2 Column 3	2002	Column 1 Column 2 Column 3	1996	Column 1 Column 2 Column 3		
Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1		
Column 2	0.094529	Column 2	0.677642	Column 2	0.812592	Column 2	0.146677		
Column 3	0.018881	Column 3	0.540853	Column 3	0.37318	Column 3	0.060699		
	0.705414		0.760724		0.65533		0.336582		
2013	Column 1 Column 2 Column 3	2007	Column 1 Column 2 Column 3	2001	Column 1 Column 2 Column 3	1995	Column 1 Column 2 Column 3		
Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1	Column 1	1		
Column 2	0.112342	Column 2	0.110783	Column 2	0.650297	Column 2	0.08056		
Column 3	0.007624	Column 3	0.025928	Column 3	0.219945	Column 3	0.015844		
	0.514289		0.611353		0.541919		0.754822		

[그림 2-5-30] 회귀식과 유출모형 유입량의 상관분석

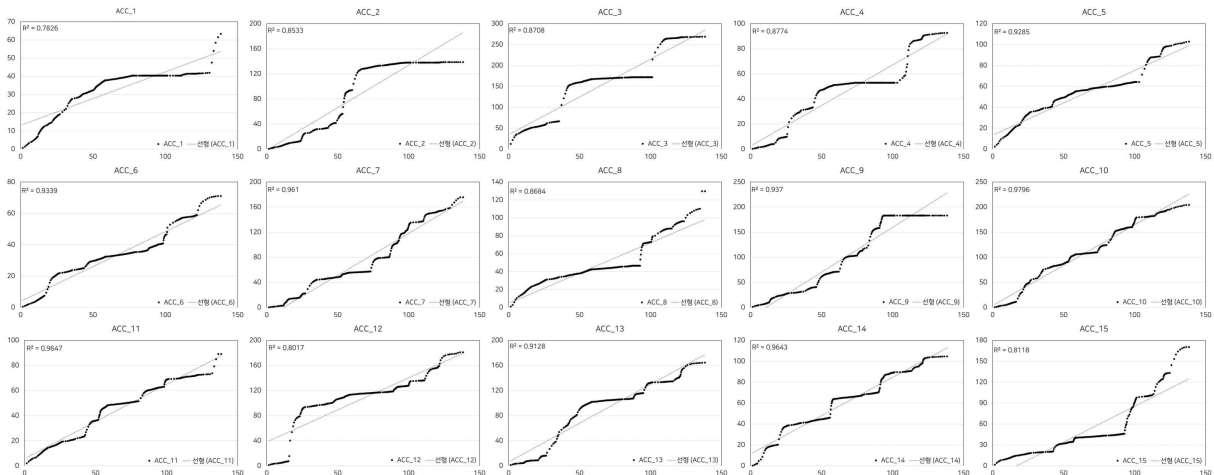
[표 2-5-8] 회귀식과 유출모형 유입량의 상관분석 결과

기간	R ²	
	강우-유입 회귀식	Tank
2003	0.151094	0.322152017
2004	0.278433	0.697922606
2005	0.094131	0.313829406
2006	0.457357	0.518176182
2007	0.025928	0.110783277
2008	0.540853	0.677642039
2009	0.095507	0.263325851
2010	0.143625	0.314788313
2011	0.189458	0.452156163
2012	0.232408	0.541652607
2013	0.007624	0.112341556
2014	0.018881	0.094528859
2015	0.02743	0.187324791
2016	0.26564	0.497204353
2017	0.467509	0.645176076
2018	0.43911	0.634662092
최대	0.54	0.70

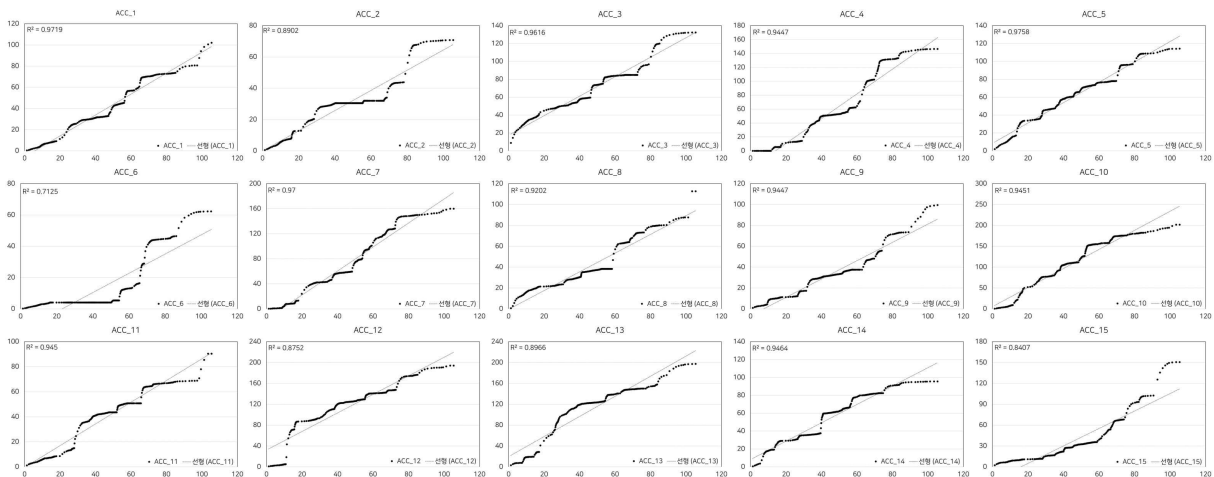
- 비관개기 저수지 저수율 변화 예측을 위하여 장기유출모형인 Tank 모형과 강우-유입 관계식을 비교하여 비관개기 저수지 유입량 산정 모의를 실시하였다.
- 강우-유입 회귀식은 단순 선형식에 의한 추정값이기 때문에 산정된 유입량은 전기 간에 걸쳐 Tank 모형이나 실제유입량보다 많은 것으로 나타났다. Tank 모형은 강우 강도에 따라 유출량의 증가 및 감소의 조절과 증발산량을 고려할 수 있기 때문에 강우-유입 회귀식보다는 Tank 모형으로 산정된 유입량이 비관개기 저수지 유입량

추정에 적합한 것으로 판단된다.

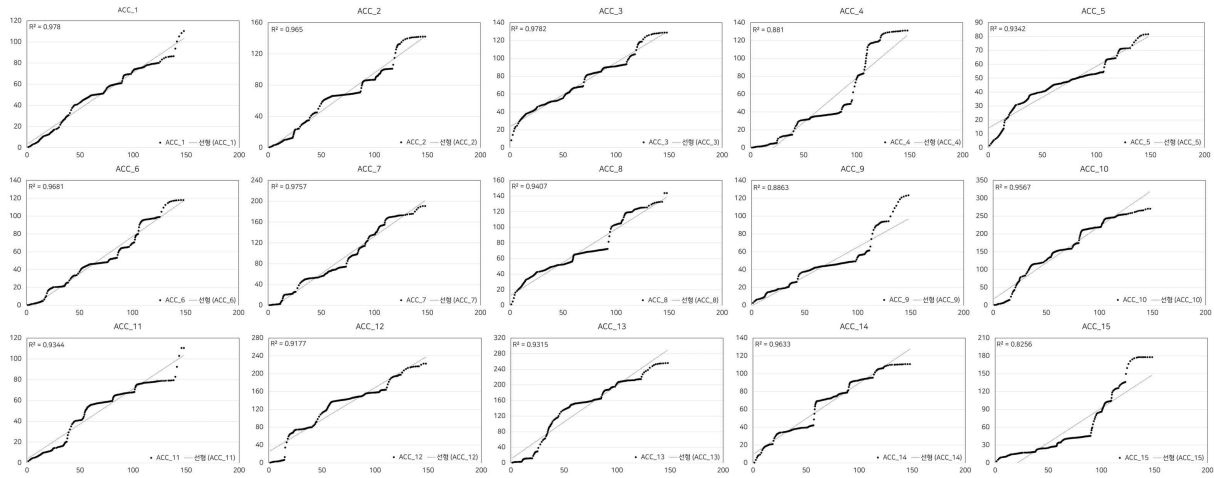
- 강수는 기상영향을 가장 많이 받는 요소로 기후변화에 따라 불규칙성이 빈번해지고 있어 비관개기의 유입량 산정에 있어서 대상지구의 강수 입력자료의 기준점을 마련할 필요가 있다.
- 해당 지역의 강수량 평균값을 활용하여 연도별 강수량으로 모의한 유출량과의 상관성을 비교하여 적용 가능성을 분석하였다.
- 수집자료는 2003년부터 2018년까지 해당 지역의 강수량 평균값을 활용하였으며 각 연도별 강수량으로 모의한 유출량과 상관성을 비교하였다.
- 강수 평균값에서 0.5mm 이하는 무효강우로 처리하였으며 비관개기인 10월부터 이듬해 4월 말까지 강수자료를 입력자료로 사용하였고, Tank 모의로 산출된 유출량을 분석기간동안 누적하여 상관분석을 실시하였다.



[그림 2-5-31] 마둔저수지 유출량 상관분석



[그림 2-5-32] 대사저수지 유출량 상관분석



[그림 2-5-33] 풍전저수지 유출량 상관분석

[표 2-5-9] 저수지별 유출량 상관분석 결과값

기간	마둔저수지	대사저수지	풍전저수지
	R ²	R ²	R ²
2003.10-2004.04	0.78	0.97	0.98
2004.10-2005.04	0.85	0.89	0.97
2005.10-2006.04	0.87	0.96	0.98
2006.10-2007.04	0.88	0.94	0.88
2007.10-2008.04	0.93	0.98	0.93
2008.10-2009.04	0.93	0.71	0.97
2009.10-2010.04	0.96	0.97	0.98
2010.10-2011.04	0.87	0.92	0.94
2011.10-2012.04	0.94	0.94	0.89
2012.10-2013.04	0.98	0.95	0.96
2013.10-2014.04	0.96	0.95	0.93
2014.10-2015.04	0.80	0.88	0.92
2015.10-2016.04	0.91	0.90	0.93
2016.10-2017.04	0.96	0.95	0.96
2017.10-2018.04	0.81	0.84	0.83
평균	0.90	0.92	0.94

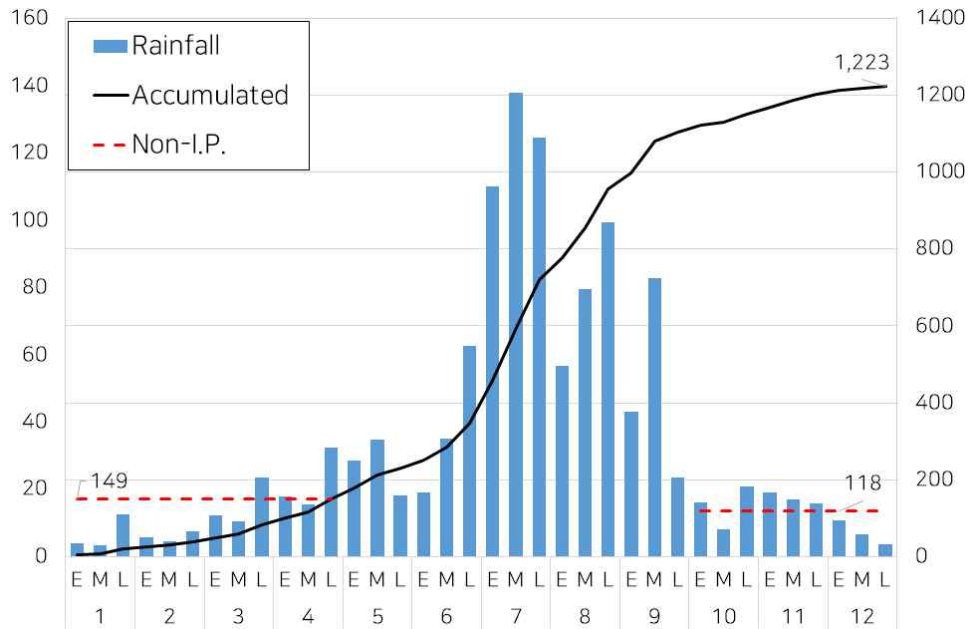
- 각 대상지구별로 평균을 산출한 결과 마둔 0.90, 대사 0.92, 풍전 0.94 이상의 상관 계수가 나타났으며, 비관개기 유출량을 산정하기 위하여 15년 평균의 강수자료를 대표입력자료로 사용 가능할 것으로 판단된다.

- 대사저수지와 풍전저수지의 경우 양수시설이 구조물화 되어 상시 가동이 가능한 항구시설로 되어있고, 마둔저수지는 2015-2017년 극심한 가뭄을 겪은 이후로 한해대책사업의 일환으로 임시양수장이 설치되어 있다.
- 대사저수지는 일 4,000 m³의 양수가 가능한 양수저류시설을 보유하고 있으며 취수는 와룡천에서 실시하고 있다. 마둔과 풍전저수지는 각각 4km, 1.6km의 관로호스를 통해 일 4,300 m³, 6,000 m³의 양수가 가능하지만, 취수를하는 조령천과 둔당천은 수량이 풍부하지 못해 비관개기에 농업용수를 확보할 필요가 있다.

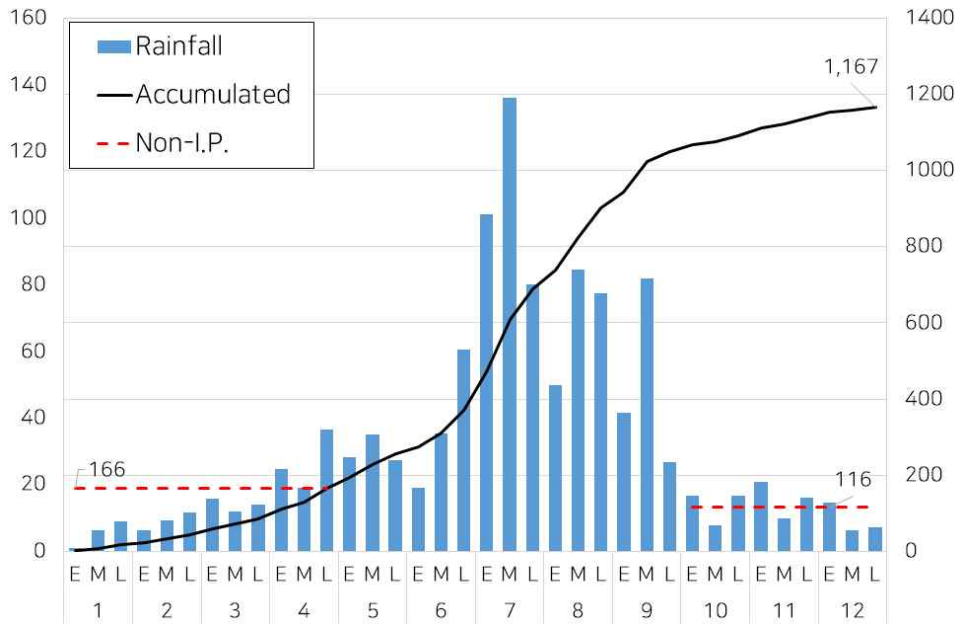
[표 2-5-10] 대상지 양수시설 현황

위치	경기 안성	충남 홍성	충남 서산	
저수지	마둔	대사	풍전	
시설구분	임시	항구	항구	
양수시설	마둔 임시	대사양수저류	풍전간이	
펌프규모	수중펌프 22kw×100mm×9 대, 3단양수	수중펌프 55kw×250mm(3단 200mm)×3대, 3단양수	수중펌프1개소 (30kW×150mm ×2대)	취입보1개소 (L=34m,H=1m)
일양수량(m ³ /day)	4300	4000	6000	
관로호스	송수호스 4km	PE관 4.8km	PE관 1.6km	
취수하천명	조령천(지방2급)	와룡천(지방2급)	둔당천(지방2급)	
하천수량	불량	양호	불량	
가동시기	필요시	필요시	필요시	
설치비 재원	공사유지관리비	국고보조금	국고보조금	
설치년도	2015	2016	2017	

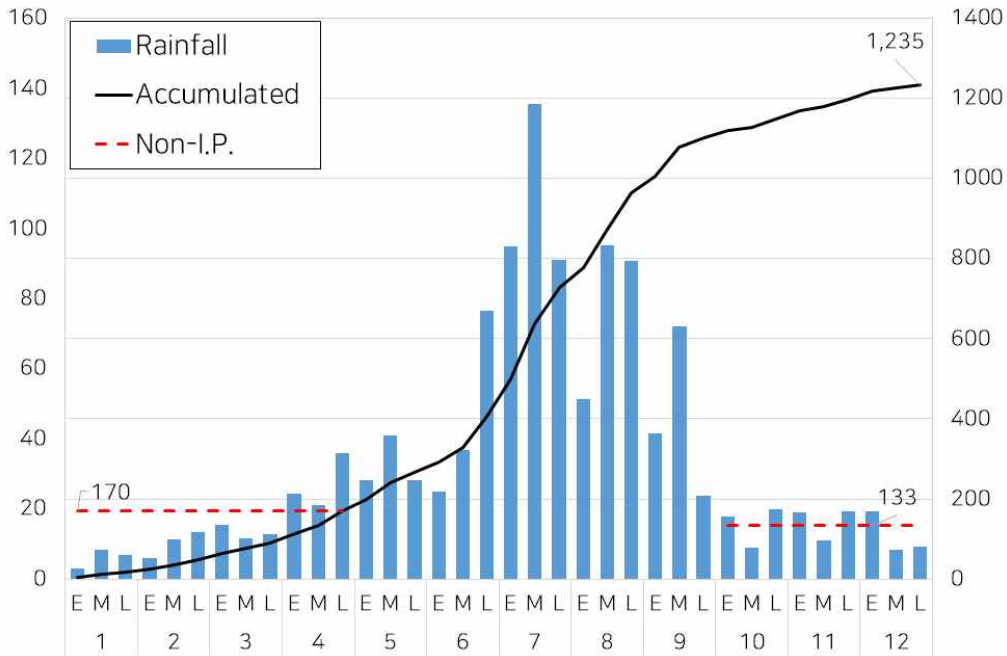
- 비관개기 농업용수 공급가능량을 살펴보기 위하여 앞서 산정한 강수량의 월별 누적치를 비관개기의 누적값과 비교하였다.. 기상자료는 대상지에서 가장 근접한 기상관측소의 자료를 이용하였으며, 마둔저수지는 안성시청(AWS), 대사저수지는 홍성초등학교(AWS), 풍전저수지는 서산 기상관측소(ASOS)의 자료를 이용하였다.
- 마둔저수지의 비관개기 누적강수량은 267 mm로 12개월 누적강수량인 1,223 mm의 20%로 나타났으며, 대사저수지의 비관개기 누적강수량은 282 mm, 풍전저수지는 303 mm로 연누적강수량의 24% 정도밖에 안되기 때문에 비관개기에 양수 가동이 필요할 것으로 판단된다.



[그림 2-5-34] 마둔저수지 월별 누적강수량 및 비관개기 비교

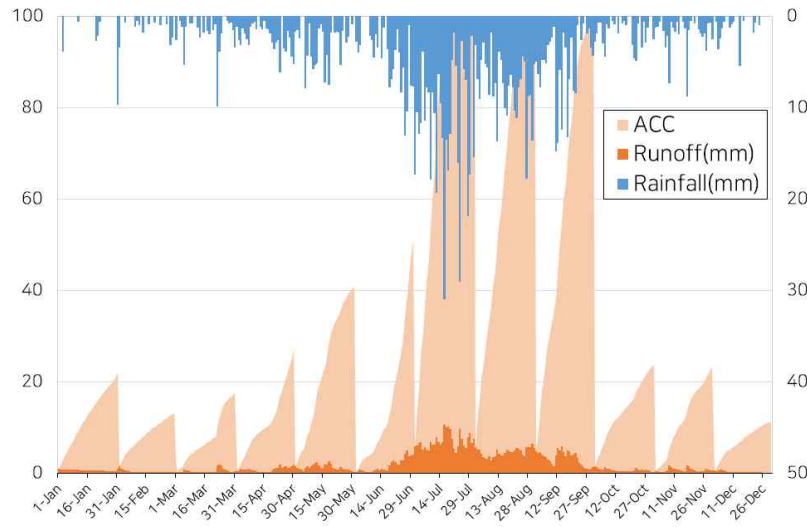


[그림 2-5-35] 대사저수지 월별 누적강수량 및 비관개기 비교

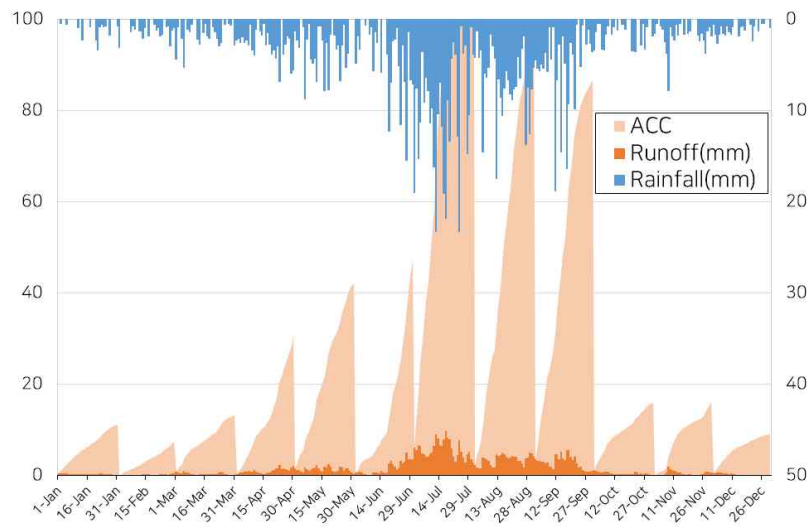


[그림 2-5-36] 풍전저수지 월별 누적강수량 및 비관개기 비교

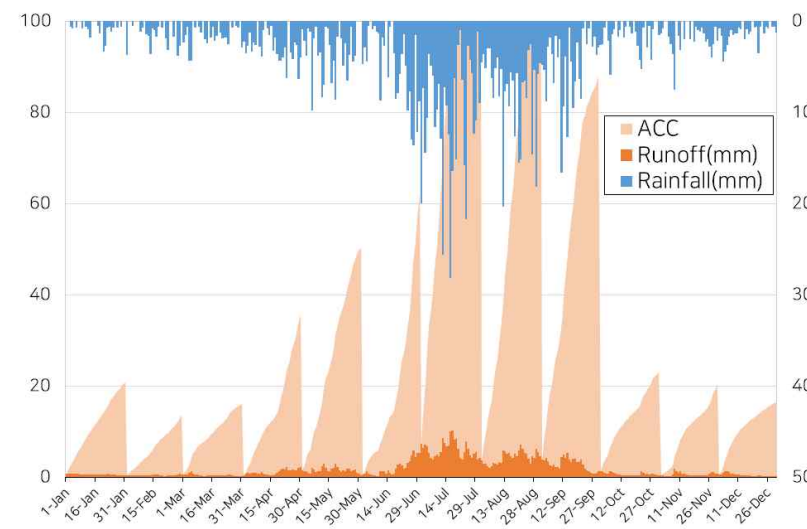
- 2003년부터 2018년까지 15년치의 강수로 산정한 기준 강수량을 입력자료로 Tank 모형 모의 실시하여 월별 유출량을 누적하여 산정하였다.
- Tank 모형을 이용하여 마둔저수지의 월별로 일유입량 누적치를 산정한 결과 1월은 21.9 mm, 2월 13.2 mm, 3월 17.7 mm, 4월 27.2 mm 5월 40.8 mm, 6월 51.1 mm, 7월 218.6 mm, 8월 144.1 mm, 9월 100.5 mm, 10월 23.7 mm, 11월 23.3 mm, 12월 11.4 mm로 나타났다.
- 기준강우에 의하면 대부분의 유출이 7월에서 9월에 100 mm 이상인 것으로 나타났다. 마둔은 강우에 의해 지배적으로 영향을 받는 곳으로 강우가 집중되는 7, 8, 9월의 유출량이 타 시기보다 월등히 높은 것으로 파악된다.
- 대사저수지는 1월은 11.2 mm, 2월 7.5 mm, 3월 13.3 mm, 4월 30.9 mm, 5월 42.1 mm, 6월 47.4 mm, 7월 176.7 mm, 8월 108.3 mm, 9월 86.7 mm, 10월 15.9 mm, 11월 16.1 mm, 12월 9.1 mm로 나타났다.
- 풍전저수지는 1월은 20.9 mm, 2월 13.7 mm, 3월 16.2 mm, 4월 35.8 mm, 5월 50.3 mm, 6월 62.2 mm, 7월 190.5 mm, 8월 136 mm, 9월 87.9 mm, 10월 23.1 mm, 11월 20.4 mm, 12월 16.5 mm 이다.
- 전체적으로 월별 누적 패턴은 비슷한 경향이 나타났으며, 대사는 마둔이나 풍전에 비해 유출량이 적었다. 풍전은 1월부터 3월, 10월부터 12월까지 비관개기의 월별 누적치가 마둔과 비슷한 경향이 나타났다.



[그림 2-5-37] 마둔저수지 월별 누적유출량

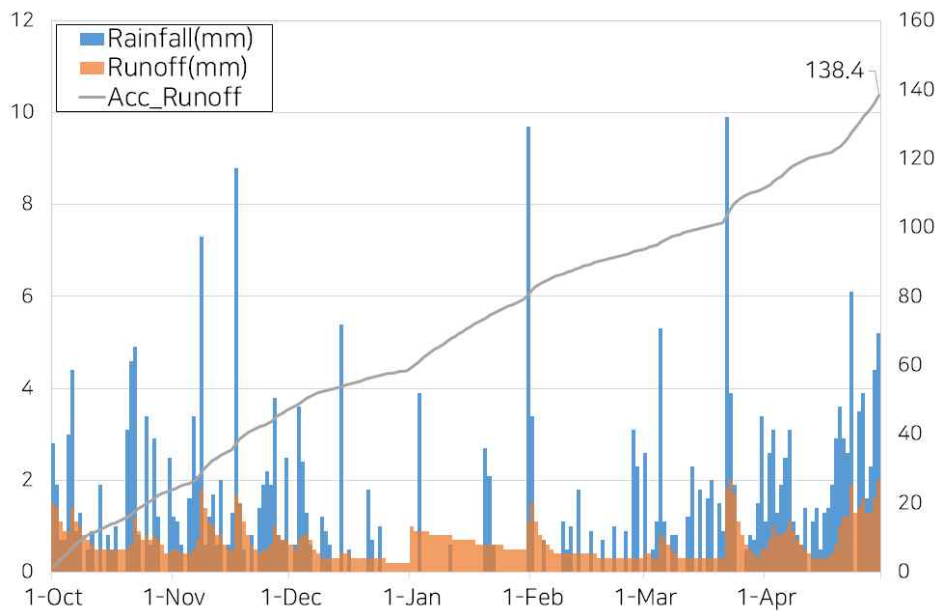


[그림 2-5-38] 대사저수지 월별 누적유출량

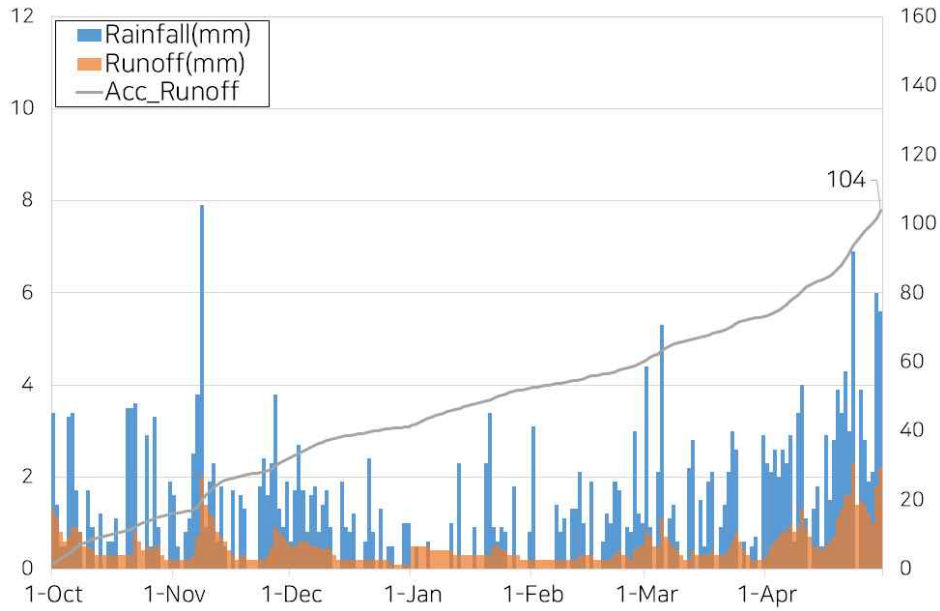


[그림 2-5-39] 풍천저수지 월별 누적유출량

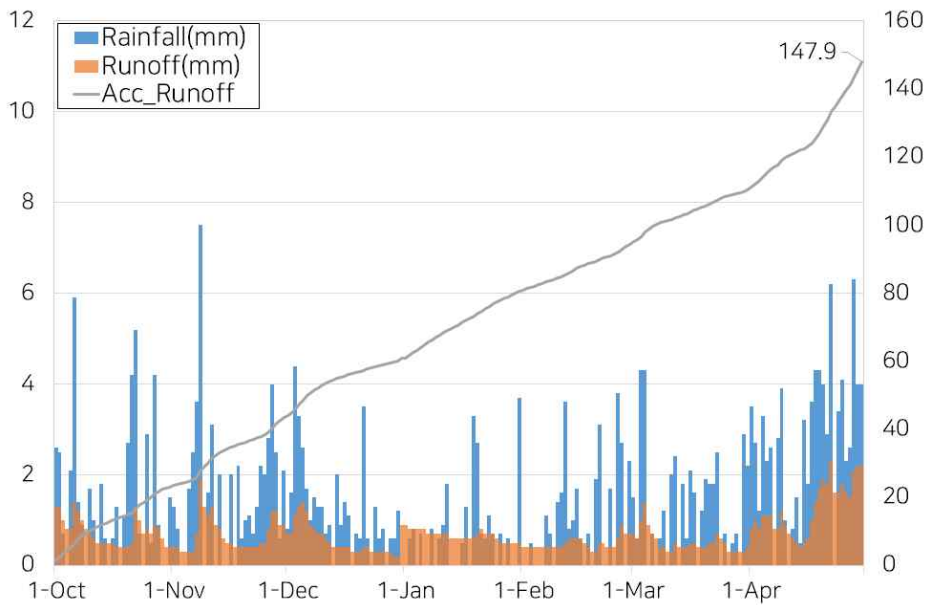
- 비관개기 누적유출량을 파악하기 위하여 10월부터 4월까지 누적강수량과 누적유출량을 아래 그림에 나타내었다. 비관개기간 중 강수에 의한 유출량은 마둔저수지가 138.4 mm, 대사저수지가 104 mm, 풍전저수지가 147.9 mm로 나타났다.
- 별도의 양수시설을 가동하지 않는다면 마둔저수지는 1,716.16 천m³, 대사저수지는 301.6 천m³, 풍전저수지는 1,641.69 천m³의 유입이 발생할 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 비관개기간에 원활한 용수공급이 가능한 적정저수율까지 회복하기 위해 양수량과 시작 저수율을 달리하여 모의를 실시하였다.



[그림 2-5-40] 마둔저수지 비관개기 누적유출량



[그림 2-5-41] 대사저수지 비관개기 누적유출량

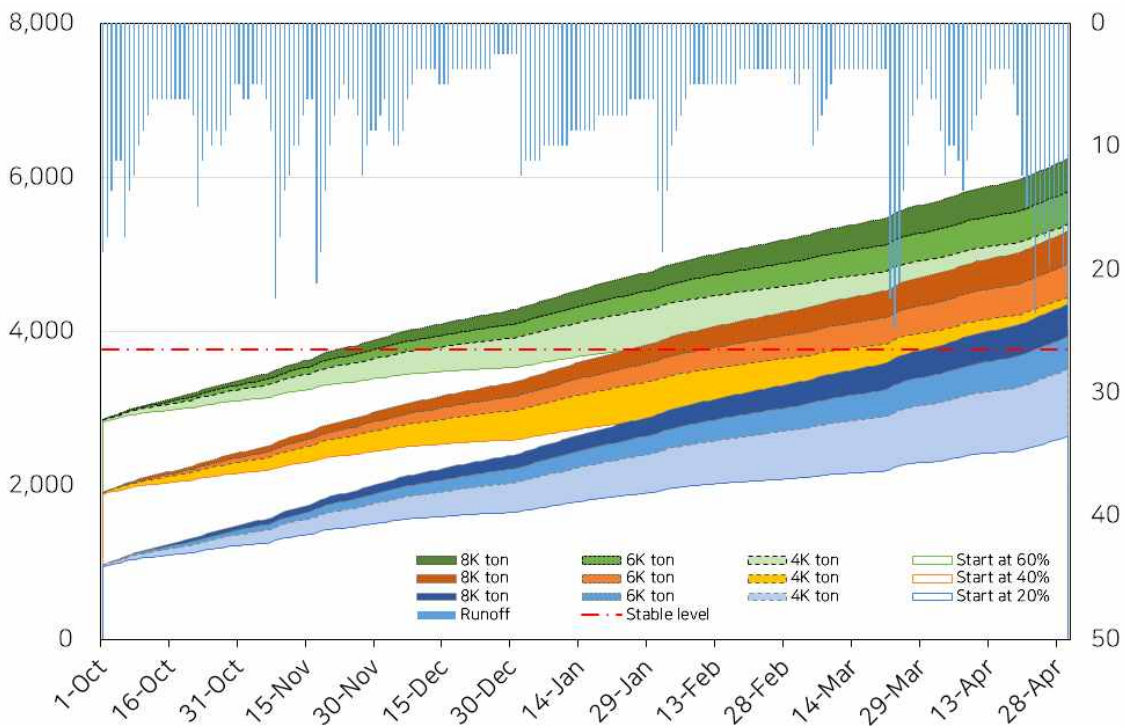


[그림 2-5-42] 풍전저수지 비관개기 누적유출량

[표 2-5-11] 비관개기간 저수지 유입량 분석

구분	누적강수량 (mm)	누적유출량 (mm)	저수지 유입량 (천m ³)
마둔	267.2	138.4	1,716.2
대사	282.7	104.1	301.6
풍전	307.5	148.8	1,641.7

- 실제 저수변화량과 유사한 Tank 모형을 이용하여 최근 15년간의 비관개기 저수량과 양수량, 시작 저수율에 따른 증가 경향을 살펴보았다.
- 2003년부터 2018년까지 15년간의 평균 강수를 바탕으로 Tank 모의를 실시한 결과 경기 안성 마둔저수지는 비관개기인 10월부터 이듬해 4월까지 유역에서 평균 약 1,719 톤의 유출이 발생하며 동절기인 12월에서 2월을 제외하면 약 1,140 톤의 유출이 발생하는 것으로 나타났다.
- 이를 기반으로 양수를 미 실시 했을 때와 4천 톤, 6천 톤, 8천 톤씩 양수했을 때 적정 저수량까지 도달하는데 소요되는 일수를 비교하였다.
- 초기 저수율 20%에서 양수를 실시하지 않은 경우 적정저수량 도달까지 382일이 소요되었으며, 2천 톤씩 양수를 증가했을 때 244일, 207일, 180일로 소요일수가 감소하였다.

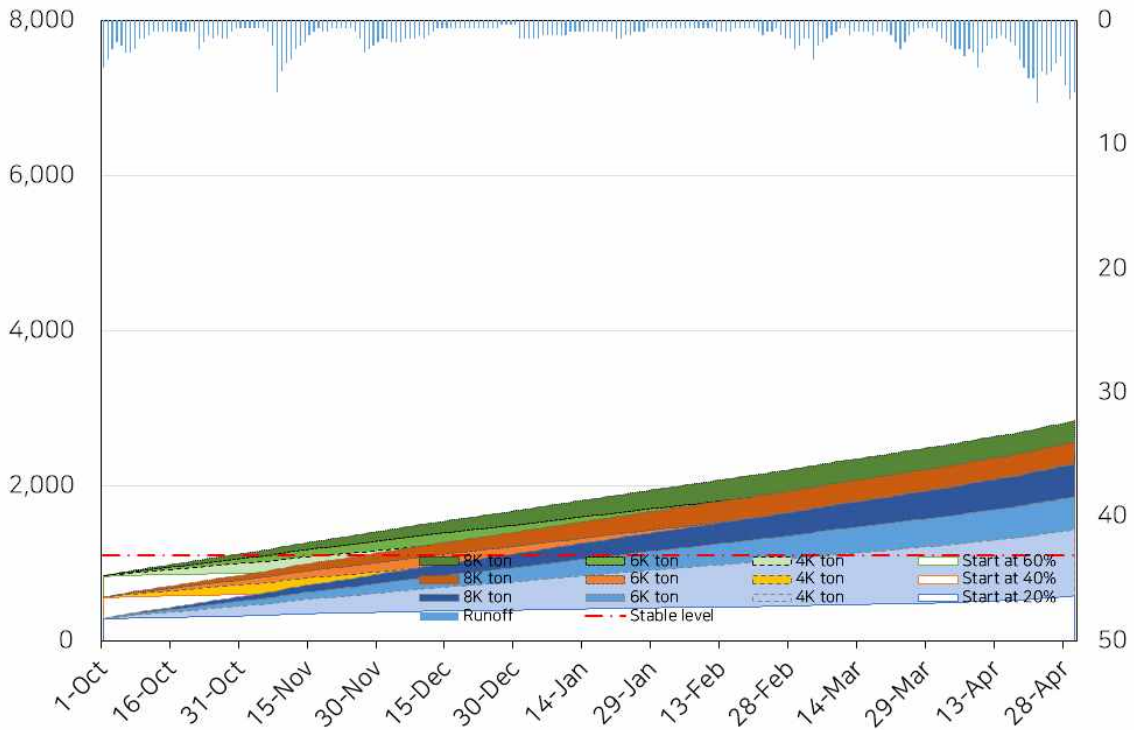


[그림 2-5-43] 마둔저수지 양수량에 따른 저수량 변화추세

[표 2-5-12] 마둔저수지 양수량에 따른 저수량 회복 소요일수

Rate	non-pump	4k ton	6k ton	8k ton
start at 20%	382.1	244.0	207.1	179.8
start at 40%	251.4	160.0	135.8	117.9
start at 60%	120.7	76.0	64.5	56.0

- 충남 홍성의 대사저수지는 비관개기인 10월부터 이듬해 4월까지 유역에서 평균 약 307.4 톤의 유출이 발생하며 동절기인 12월에서 2월을 제외하면 약 224.5 톤의 유출이 발생하는 것으로 나타났다.
- 이를 기반으로 양수를 미 실시했을 때와 4천톤, 6천톤, 8천톤씩 양수했을 때 적정 저수량까지 도달하는데 소요되는 일수를 비교하였다.
- 초기 저수율 20%에서 양수를 실시하지 않은 경우 적정저수량 도달까지 708일이 소요되었으며, 2천 톤씩 양수를 증가했을 때 157일, 113일, 88.7일로 소요일수가 감소하였다.

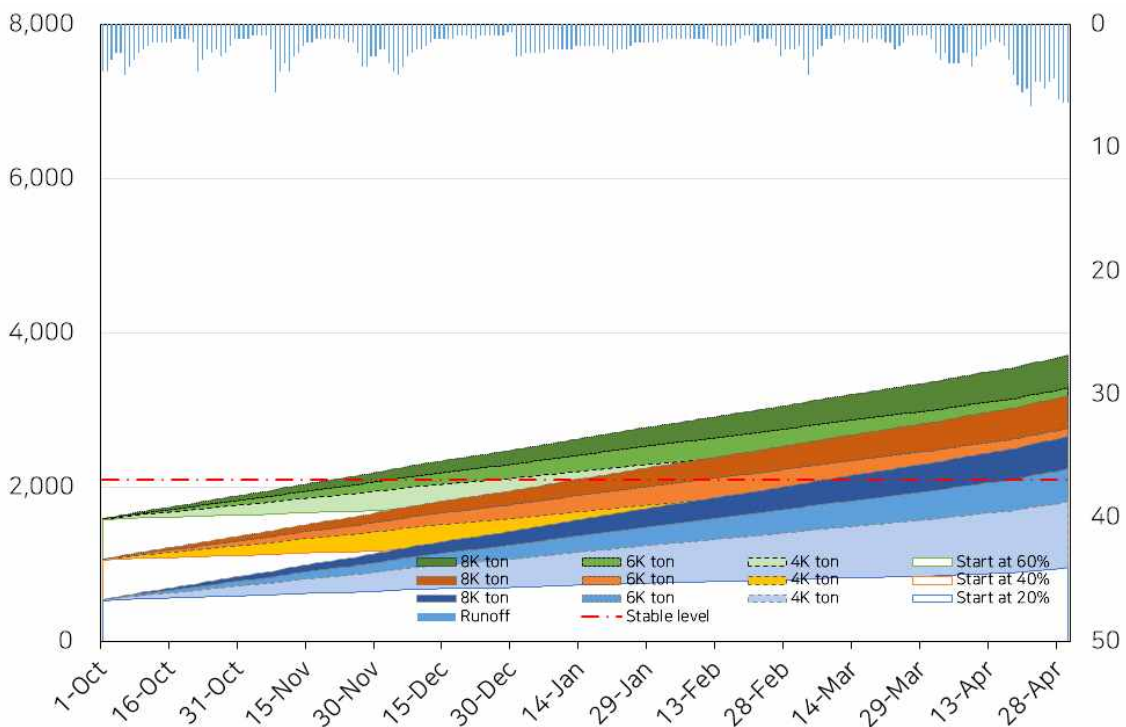


[그림 2-5-44] 대사저수지 양수량에 따른 저수량 변화추세

[표 2-5-13] 대사저수지 양수량에 따른 저수량 회복 소요일수

Rate	non-pump	4k ton	6k ton	8k ton
start at 20%	708.7	157.7	113.6	88.7
start at 40%	469.7	104.2	75.1	58.7
start at 60%	230.6	50.8	36.6	28.6

- 충남 서산의 풍전저수지는 비관개기인 10월부터 이듬해 4월까지 유역에서 평균 약 431.52 톤의 유출이 발생하며 동절기인 12월에서 2월을 제외하면 약 281.3 톤의 유출이 발생하는 것으로 나타났다.
- 이를 기반으로 양수를 미 실시했을 때와 4천톤, 6천톤, 8천톤씩 양수했을 때 적정 저수량까지 도달하는데 소요되는 일수를 비교하였다.
- 초기 저수율 20%에서 양수를 실시하지 않은 경우 적정저수량 도달까지 884일이 소요되었으며, 2천 톤씩 양수를 증가했을 때 270일, 200일, 159일로 소요일수가 감소하였다.



[그림 2-5-45] 풍전저수지 양수량에 따른 저수량 변화추세

[표 2-5-14] 풍전저수지 양수량에 따른 저수량 회복 소요일수

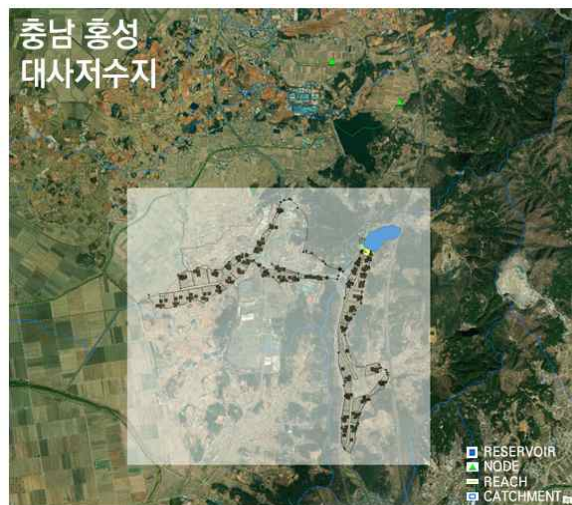
Rate	non-pump	4k ton	6k ton	8k ton
start at 20%	884.3	270.3	200.7	159.6
start at 40%	587.5	179.4	133.2	105.9
start at 60%	290.7	88.4	65.7	52.2

나. 시범지구 관개기 양수저류 및 직접급수 모형 적용 및 분석

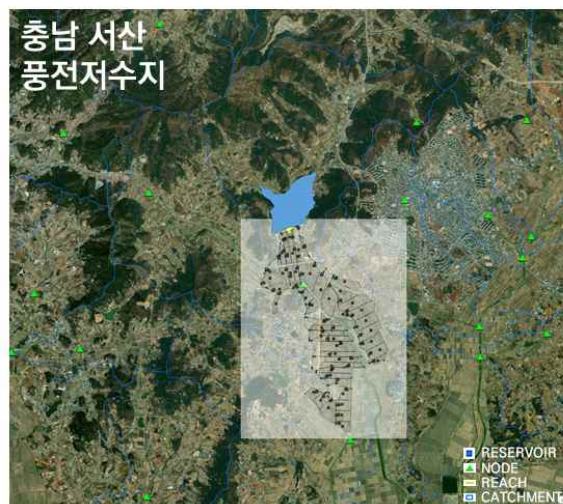
- 농업용수는 물관리자의 경험적 판단으로 운영 및 관리되고 있으며 용수공급의 적정성을 판단하기 매우 어려운 실정이다. 따라서 관개기에 농업용수의 흐름을 모의하여 용수부족 지역과 수량을 추정한다면 가뭄대비 양수저류 및 직접급수를 위한 의사결정의 기초자료로 활용할 수 있다.
- 본 연구에서는 SWMM 모형 기반의 순환형 농업용수이용 관리시스템을 이용하여 모의를 실시하였으며, 수원공에서 공급된 수량, 각 포장에 공급된 포장공급량(관개량), 수로에 흐르는 수로공급량, 수로 또는 포장에서 범람, 퇴수되는 수량을 분석하여 용수부족 지역의 위치와 대응방안을 마련할 수 있다.



[그림 2-5-46] 경기 안성 마둔저수지
수로네트워크

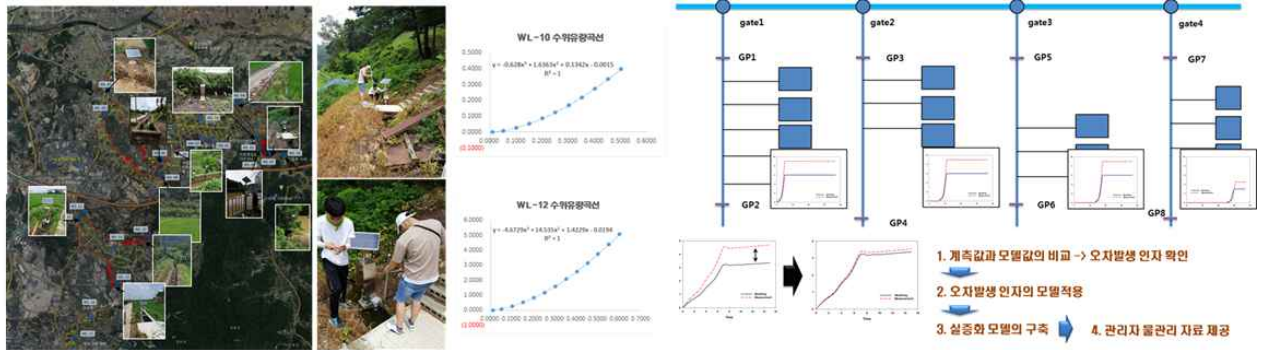


[그림 2-5-47] 충남 홍성 대사저수지
수로네트워크

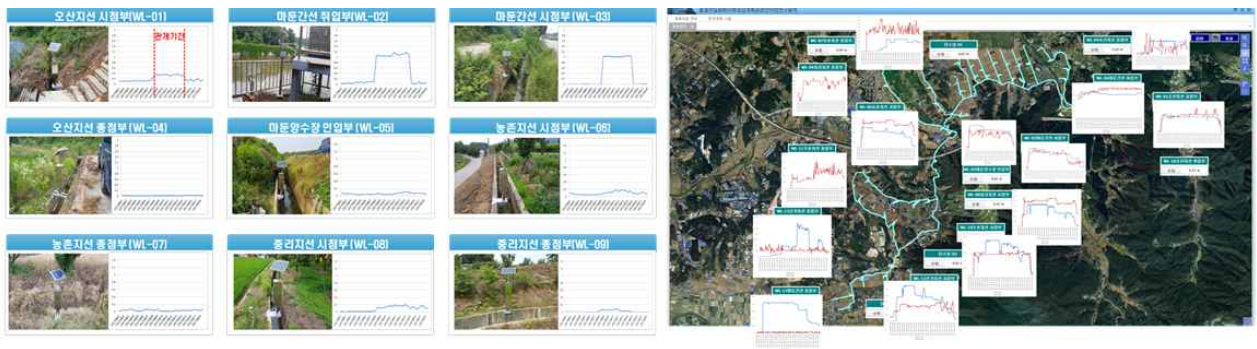


[그림 2-5-48] 충남 서산 풍전저수지
수로네트워크

- ICT 빅데이터 기반으로 개발된 순환형 농업용수 관리시스템의 구축과 계측자료 검보정을 위해 경기 안성의 마둔저수지를 대상으로 농업용 저수지 설계도서를 분석하고, RIMS 관리 마둔저수지 자료를 수집하였다. 이를 통해 마둔저수지 간선 및 지선 현황과 수혜지역을 정의하여 모델링을 위한 현장조사와 수로조직 구축을 위한 관개 블록을 설정하고 기설치된 저수지와 양수장 수위계측기 외에 수로수위와 담수심 측정을 위해 계측기를 신규 설치하여 계측값과 모델값을 비교하였다.
- 오차발생 인자를 확인하여 이를 모델에 적용하기 위해 2018년 8월 관개기간동안 실시된 통수실적을 토대로 관개 시뮬레이션 결과와 비교하였을 때 계측값과 순환형 농업용수 관리시스템 결과의 상관성(R^2)은 0.82로 확인하였다.

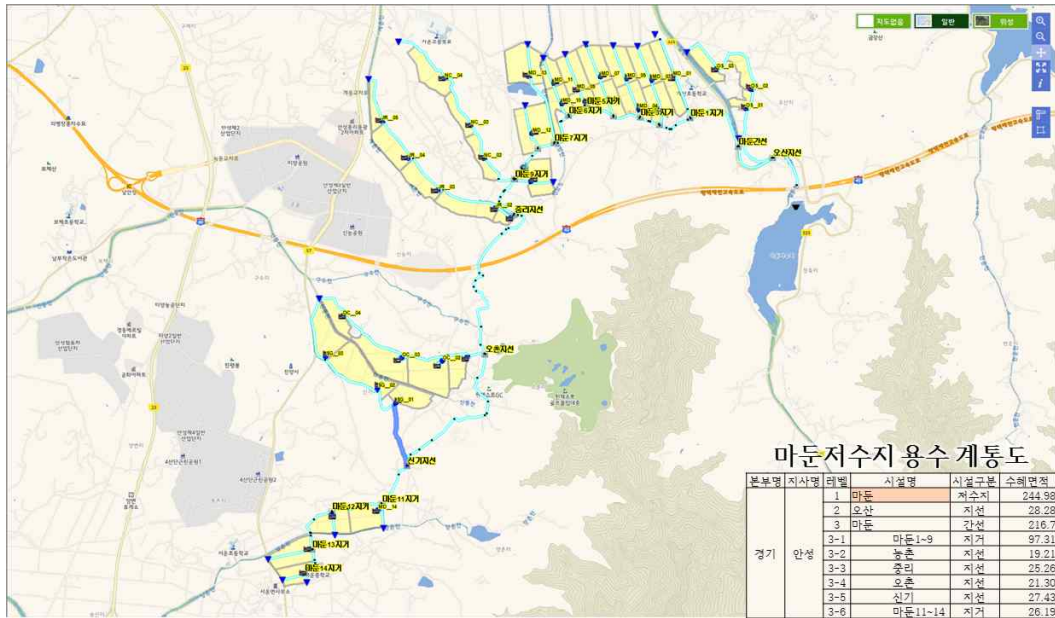


[그림 2-5-49] 마둔저수지 수로네트워크 계측기 설치 및 오차발생인자

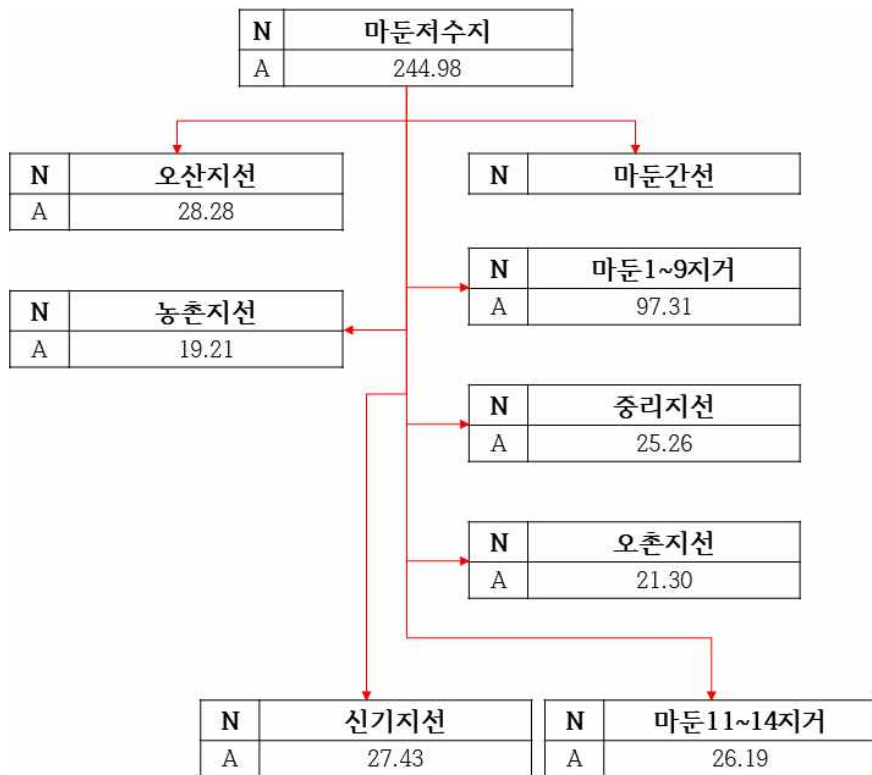


[그림 2-5-50] 마둔저수지 수로네트워크 계측자료 모니터링

- 구축된 마둔저수지의 수혜면적은 총 244.98 ha이며, 1개의 마둔간선과 5개의 지선, 13개의 지거로 이루어져 있다.



[그림 2-5-51] 마둔저수지 수로네트워크

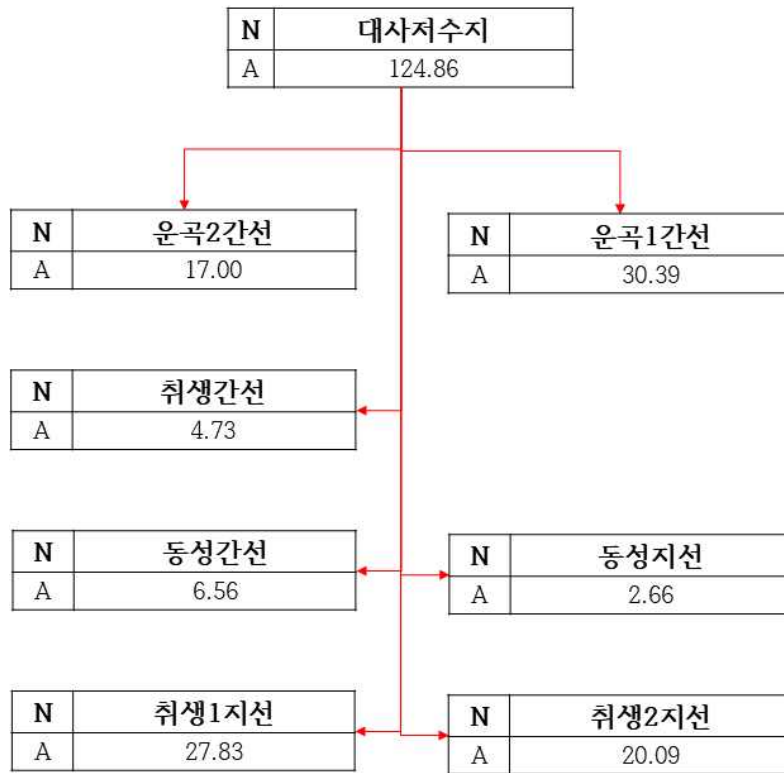


[그림 2-5-52] 마둔저수지 간선, 지선별 수혜면적 및 용수계통도

- 대사저수지의 수혜면적은 총 124.86 ha이며, 운곡1, 운곡2, 취생, 동성 4개의 간선과 동성, 취생1, 취생2 3개의 지선으로 이루어져 있다. 특히 취생1, 취생2 지선의 경우 물꼬의 높이가 높아 취생간선과 동성간선에서 흐르는 물이 대부분 하천으로 유입된다.

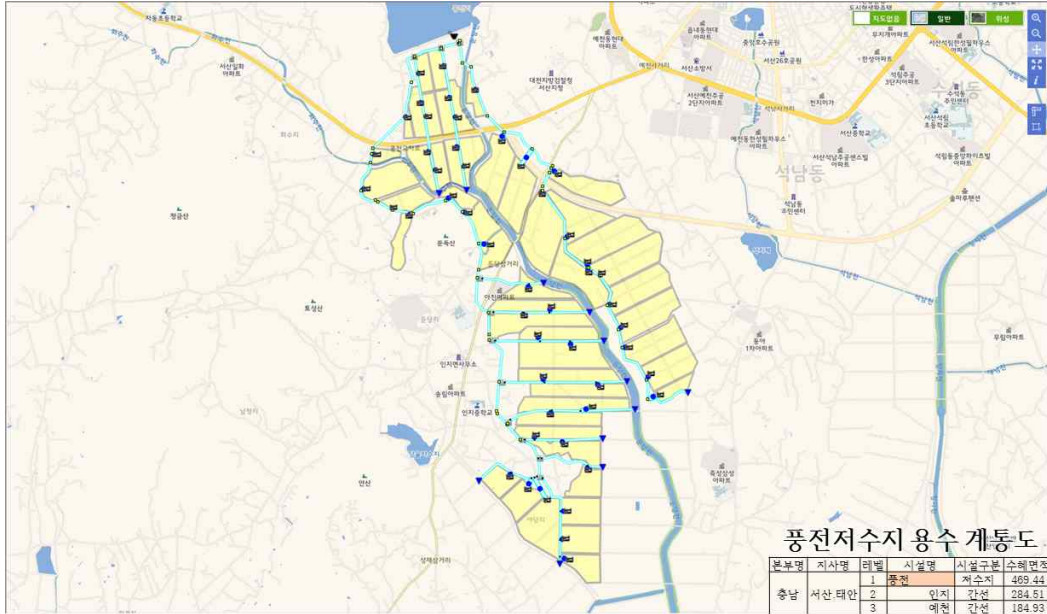


[그림 2-5-53] 대사저수지 수로네트워크

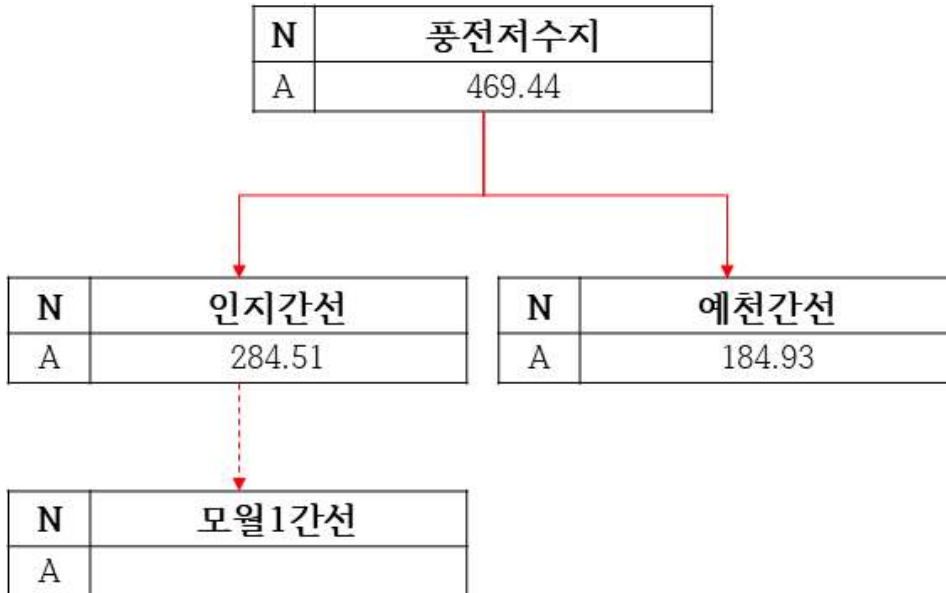


[그림 2-5-54] 대사저수지 간선, 지선별 수혜면적 및 용수계통도

- 대사저수지의 수혜면적은 총 469.44 ha이며, 인지간선과 예천간선의 2개 간선으로 이루어져 있다. 인지간선 말단에 모월1간선이 있으나 수로 폭이 급격히 감소하여 별도의 양수공급이 필요한 지역으로 나타났다.



[그림 2-5-55] 풍전저수지 수로네트워크



[그림 2-5-56] 풍전저수지 간선, 지선별 수혜면적 및 용수계통도

- 저수지별로 공급가능한 최대 공급유량과 공급유량별로 전체 수혜구역의 목표담수심까지 도달하는데 소요되는 일수를 분석하였다. 마둔저수지의 경우 시점부의 수로 크기는 0.4*2.3 m로 최대 공급가능 유량은 0.92 cms이다. 대사저수지의 시점부 수로 크기는 0.12*1.0 m로 최대 공급가능 유량은 1.2 cms이며, 풍전저수지의 시점부 수로 크기는 1.1*1.0 m로 최대 공급가능 유량은 1.1 cms이다..

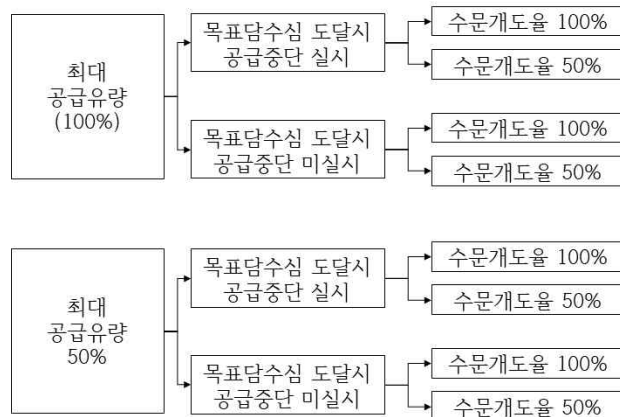
[표 2-5-15] 저수지별 최대 공급유량 및 공급일수

지역	저수지	최대공급유량 (cms)	소요일수		
			1cms	0.75cms	0.5cms
경기 안성	마둔	0.92	1.70	2.27	3.40
충남 홍성	대사	1.2	0.87	1.16	1.73
충남 서산	풍전	1.1	3.26	4.35	6.52

- 관개기의 포장별로 수혜구역으로 공급되는 공급량과 관개량, 퇴수되는 수량의 양과 흐름을 분석하여 해당 저수지의 물수지 분석을 실시하였다. 본 모의를 통하여 퇴수되는 수량을 분석하여 관개기의 이동형 양수장치의 설치위치의 적지와 사용가능한 용수량을 파악할 수 있다.
- 모의분석 시 고정변수는 모의기간(20일), 초기저수율(100%), 목표담수심(60mm), 침투 및 증발량(4mm/day), 연속관개방식으로 동일하게 적용하였으며, 설정변수는 실제 물관리자가 현장여건을 반영할 수 있도록 공급량, 용수공조작, 수문 개도율로 구분하였다.

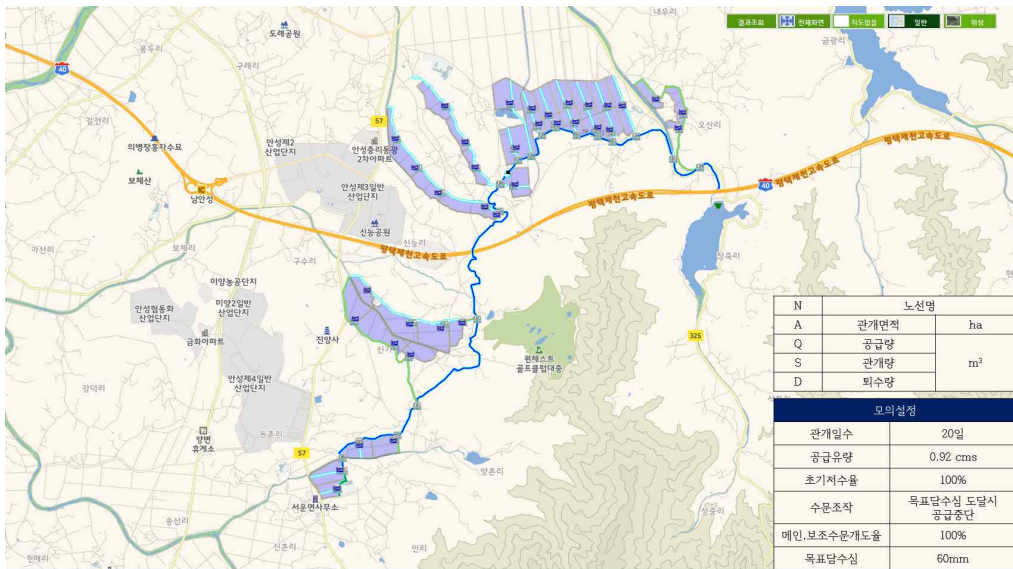
[표 2-5-16] 관개기 순환형 농업용수 관리 모의분석 설정변수

설정변수	구분	
공급유량	최대공급유량 (100%)	최대공급유량 50%
용수 공급 조작	목표담수심 도달시 공급중단	목표담수심 도달시 공급중단 안함
메인,보조수문개도율	100%	50%

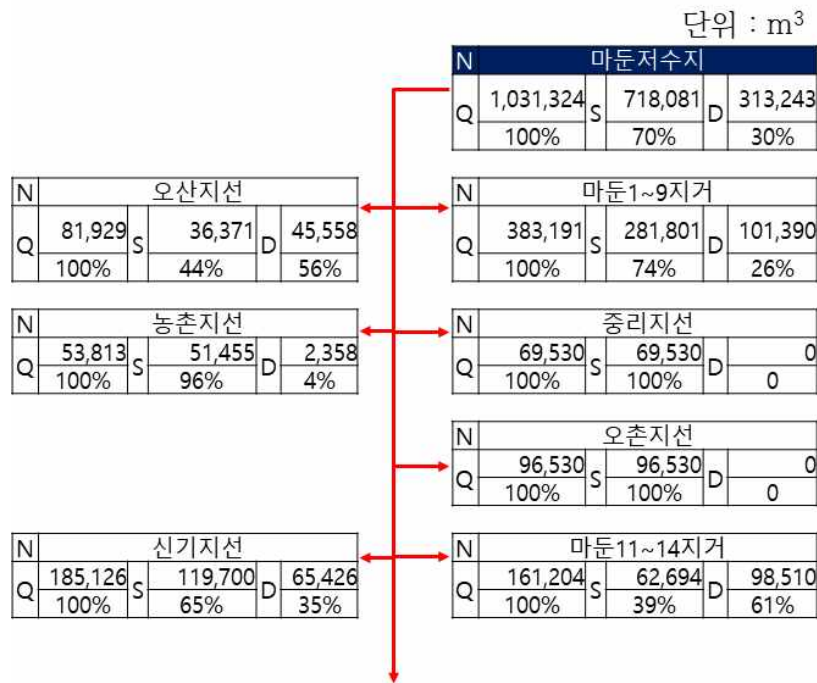


[그림 2-5-57] 설정변수에 따른 모의시나리오

- 모의결과는 공급량 Q, 포장에 공급된 관개량 S, 수로손실 또는 포장에서 배수되는 수량의 합계인 퇴수량 D로 나타내었다.
- 아래의 모의조건에서 마둔저수지의 경우, 공급된 농업용수의 70%가 포장으로 공급 되었으며, 약 30%의 퇴수량이 발생하여 전반적으로 용수가 고르게 공급되는 것으로 모의되었다.
- 말단부인 마둔11~14지거에서 관개량(39%)보다 퇴수량(61%)이 높게 나타났으며 그때의 수량은 98,510 m³으로 약 164 ha의 면적에 양수가 가능할 것으로 판단된다.

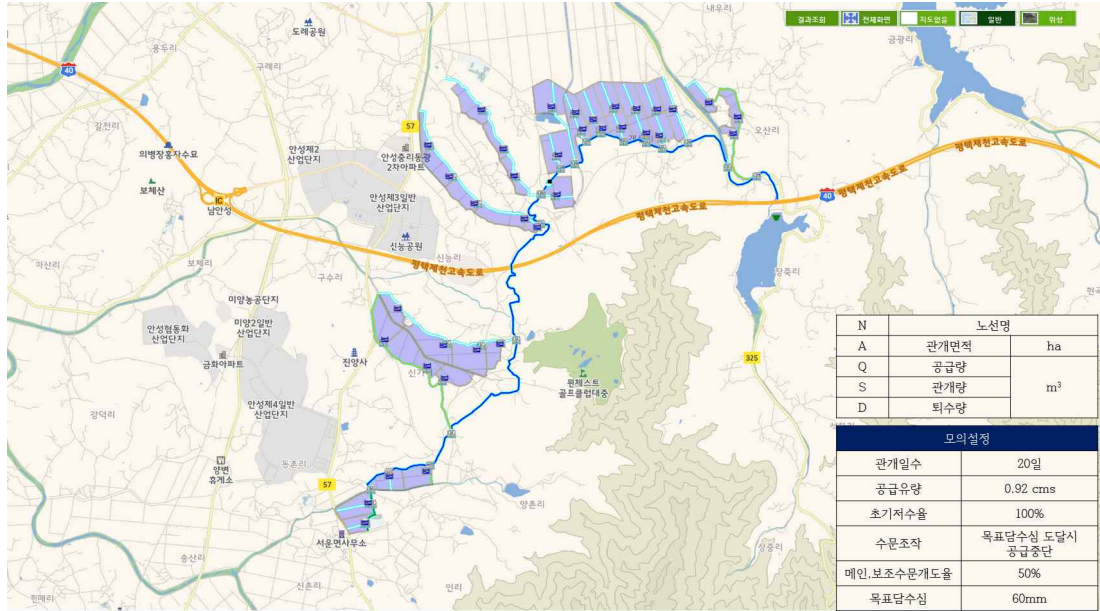


[그림 2-5-58] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과1

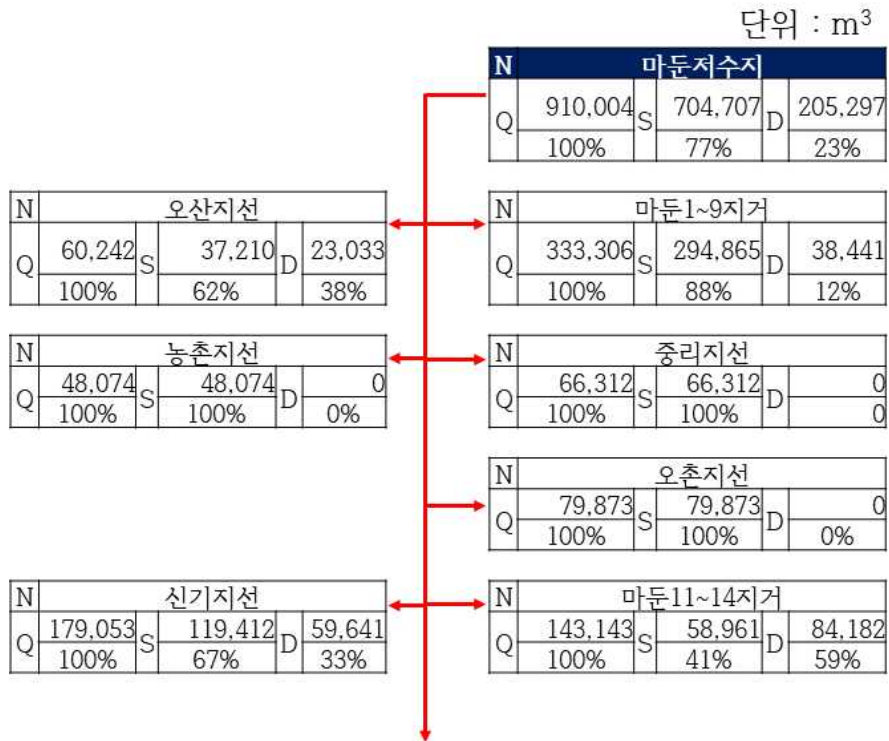


[그림 2-5-59] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황1

- 위와 같은 모의조건에서 수문 개도율을 50% 감소하여 적용한 결과, 공급된 농업용수의 77%가 포장으로 공급되었으며, 23%의 퇴수량이 발생하였다. 유역 말단인 마둔 11~14지거에서 관개량(41%)보다 손실량(59%)이 높게 나타남. 수량은 84,182 m³으로 140 ha의 면적에 양수할 수 있을 것으로 판단된다.

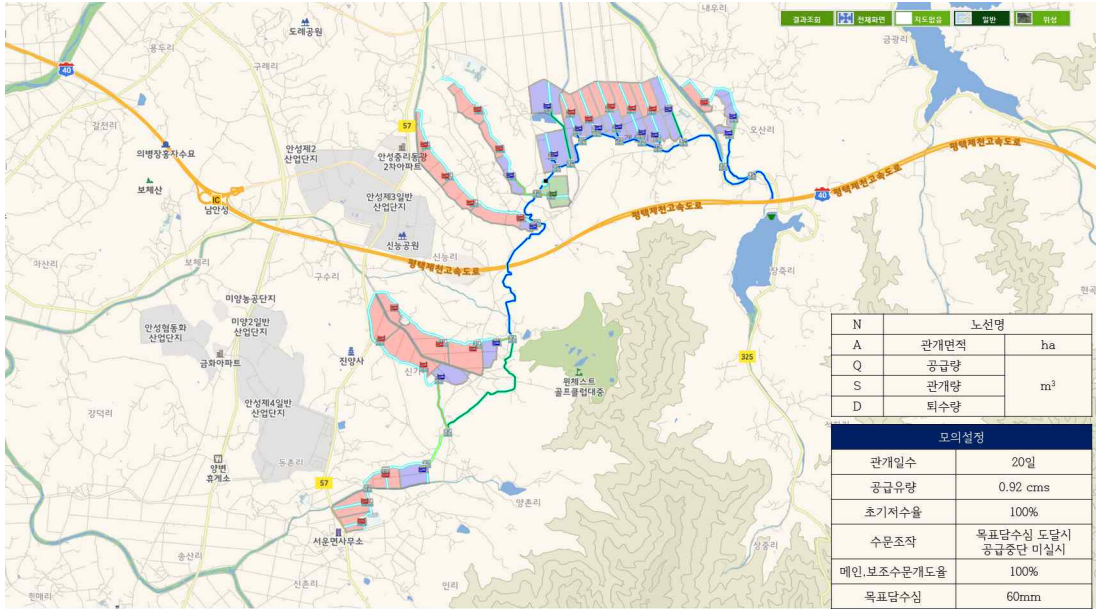


[그림 2-5-60] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과2

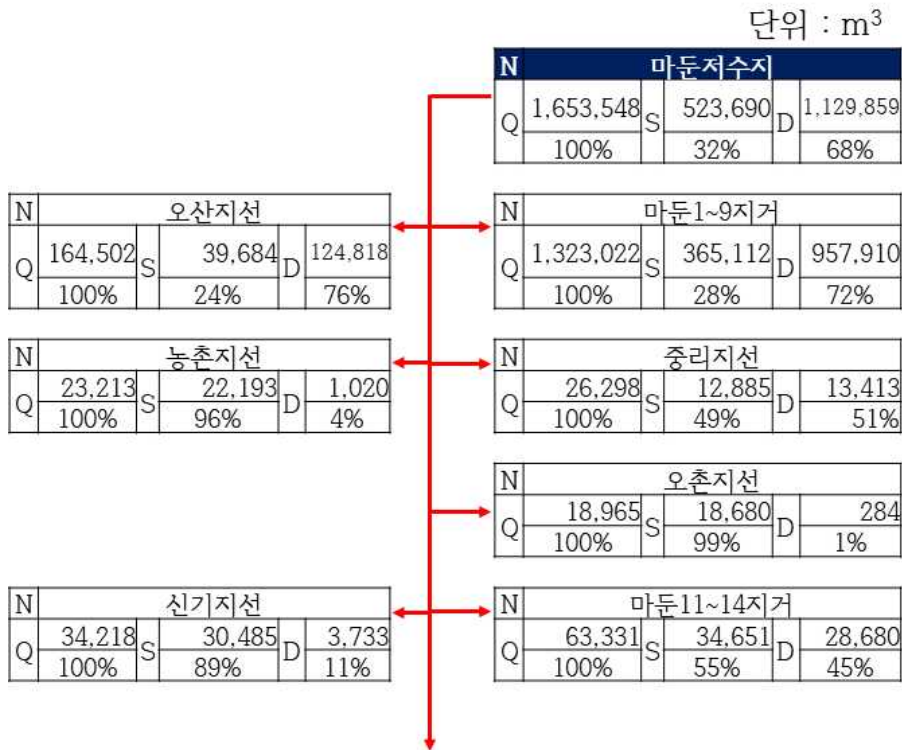


[그림 2-5-61] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황2

- 아래 그림은 목표담수심 도달 시 공급중단을 실시하지 않을 경우를 모의한 결과이며 공급된 농업용수의 32%만 포장으로 공급, 68%의 퇴수량이 발생하였다. 마둔1~9지거, 오산지선 등 수로 상단부에서 70% 이상의 퇴수가 발생하는 것으로 모의되었으며 퇴수량은 1,082,728 m³으로 약 1,804 ha의 면적에 공급할 수 있는 수량이다.

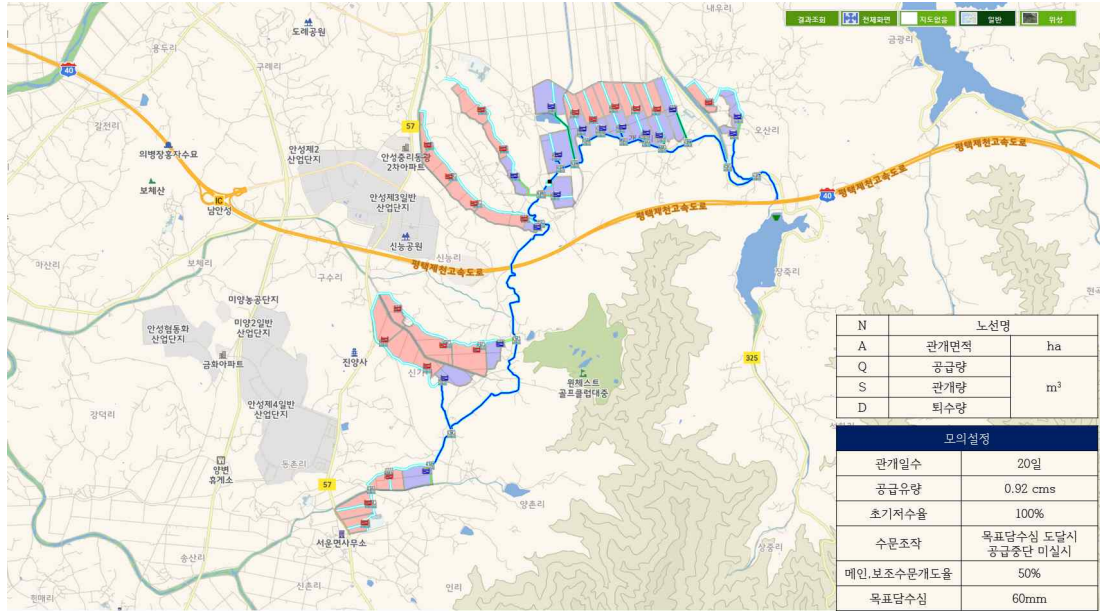


[그림 2-5-62] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과3

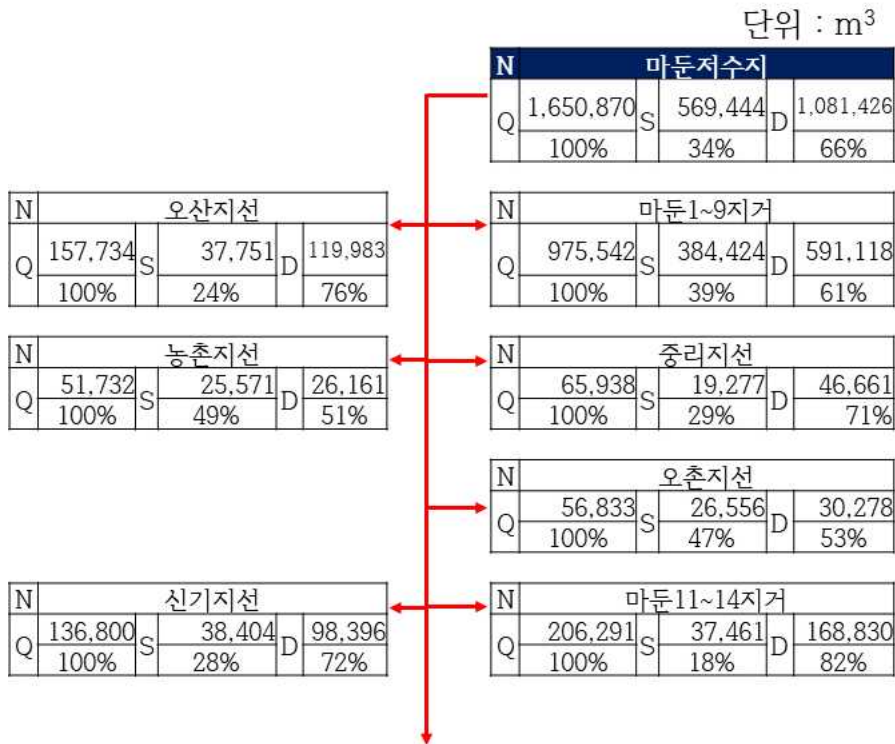


[그림 2-5-63] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황3

- 아래 그림은 목표담수심 도달 시 공급중단을 실시하지 않고 수문 개도율을 50%로 모의한 결과이며 공급된 농업용수의 34%만 포장으로 공급, 66%의 퇴수량이 발생하였다. 오산, 중리, 신기, 마둔11~14 지거에서 70% 이상의 퇴수가 발생하는 것으로 모의되었으며 퇴수량은 433,870 m³이다..

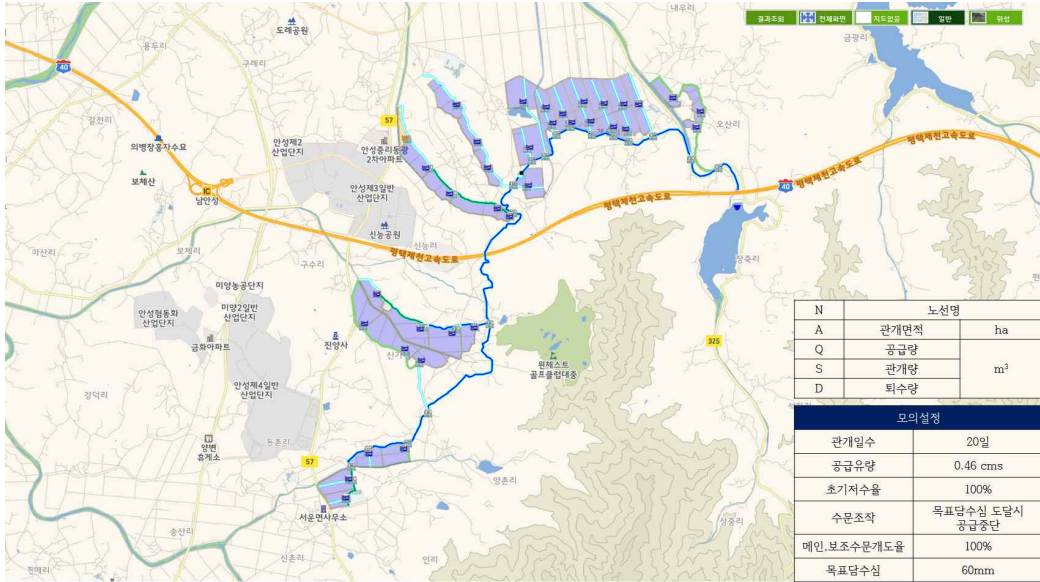


[그림 2-5-64] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과4

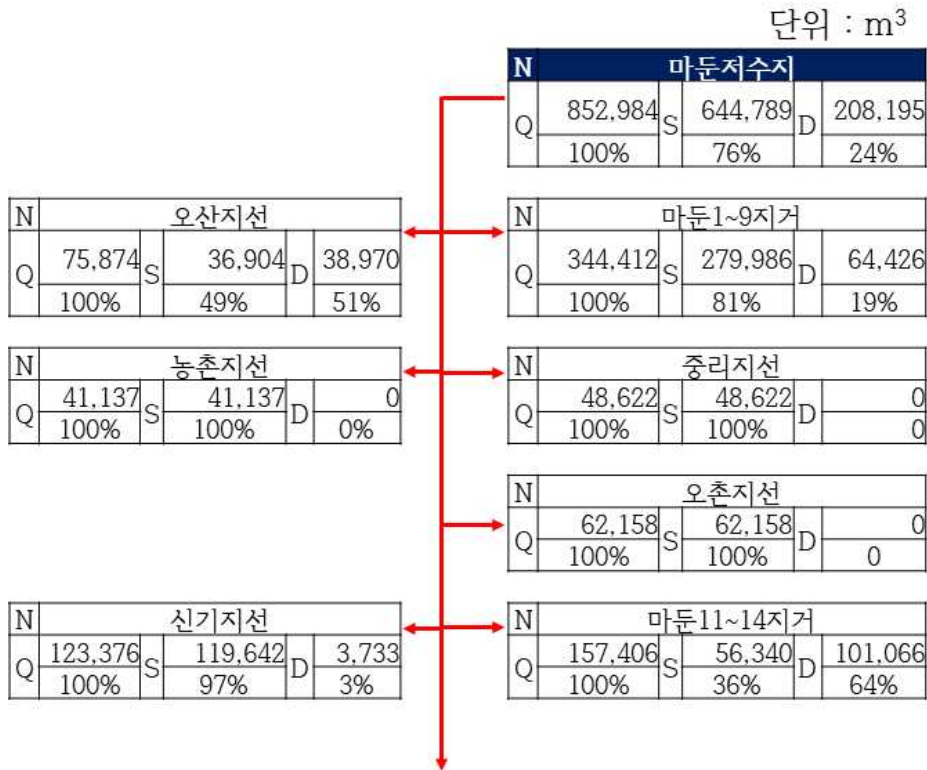


[그림 2-5-65] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황4

- 아래는 모의1의 조건에서 최대공급유량의 50%만 적용하여 모의한 결과이며 공급된 농업용수의 76%가 포장으로 공급되고 24%의 퇴수량이 발생하였다. 말단부인 마둔 11~14 지거에서 관개량(39%)보다 퇴수량(64%)이 높게 나타나 101,066 m³의 양수가 가능할 것으로 판단된다.



[그림 2-5-66] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과5

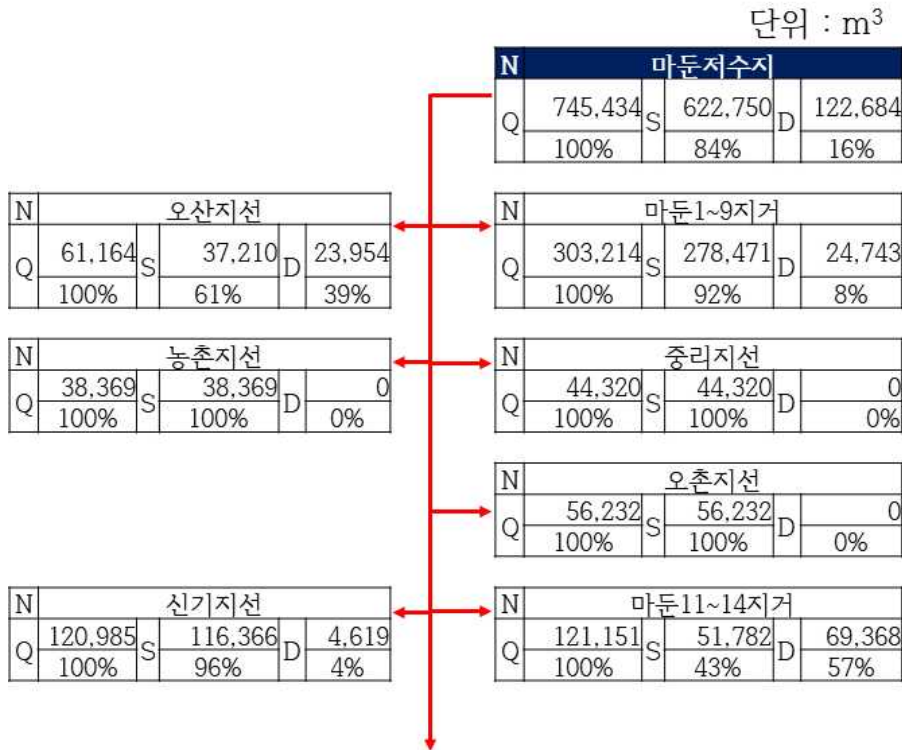


[그림 2-5-67] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황5

- 아래 모의결과는 위의 조건에서 수문 개도율을 50% 감소시켜 적용한 결과이며, 공급된 농업용수의 84%가 포장으로 공급, 16%의 퇴수량이 발생하였다. 말단부인 마둔 11~14 지거에서 57%의 퇴수량이 발생, 69,368 m³의 양수가 가능할 것으로 판단된다.

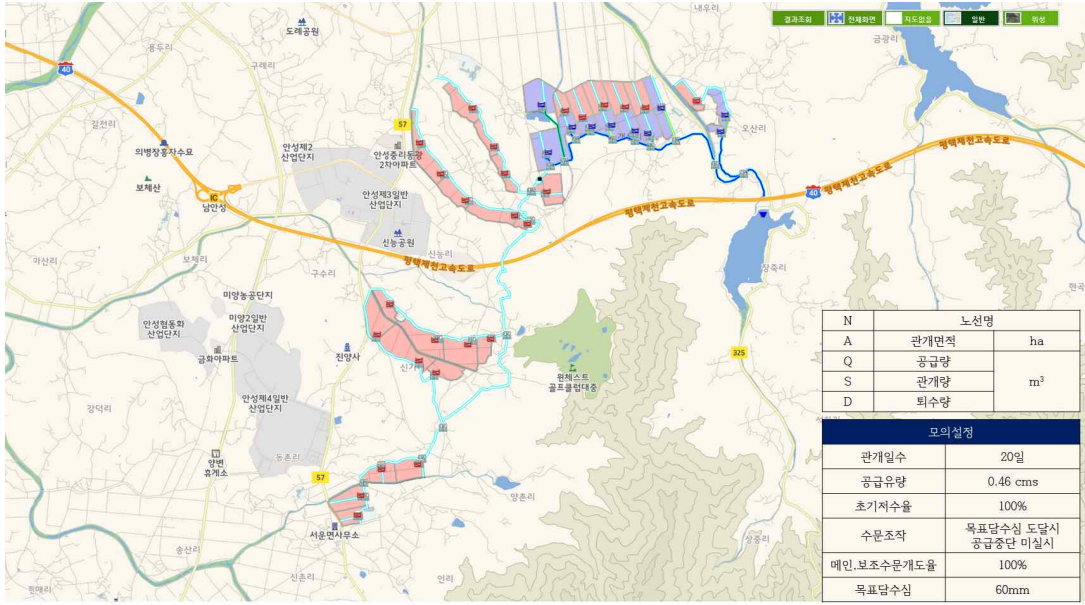


[그림 2-5-68] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과6

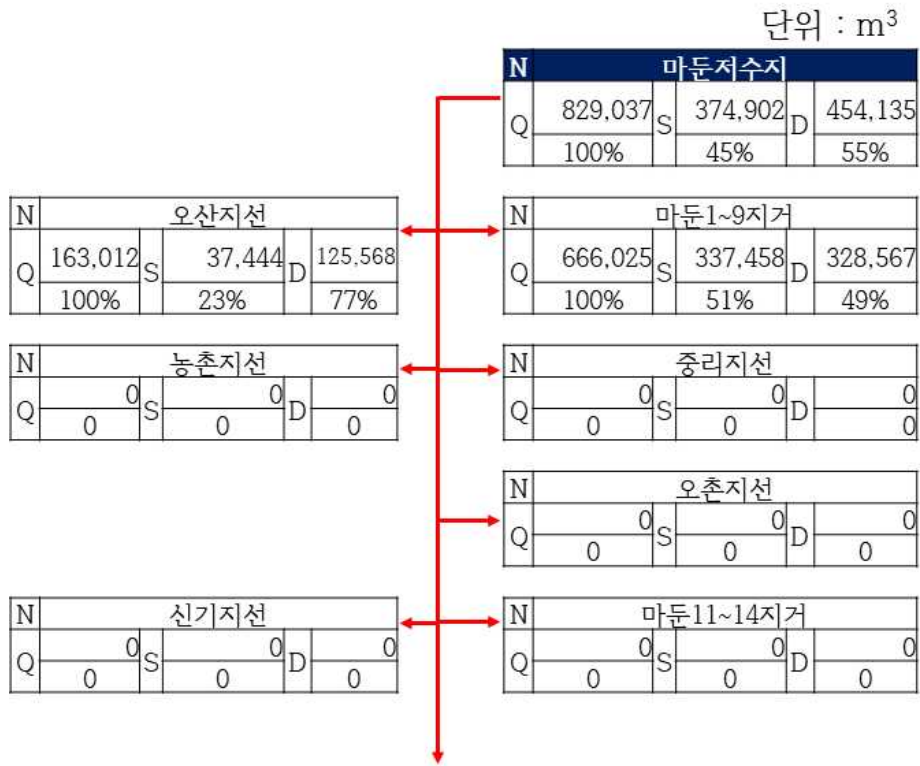


[그림 2-5-69] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황6

- 목표담수심 도달 시 공급중단을 실시하지 않고 수문 개도율 100%를 적용했을 경우, 농업용수의 45%가 포장으로 공급되고, 55%의 퇴수량이 발생하였다. 마둔1~9지거와 오산지선을 제외한 나머지 수로에는 용수공급이 모의되지 않았으며, 오산지선의 퇴수량은 77%로 125,568 m³이다.

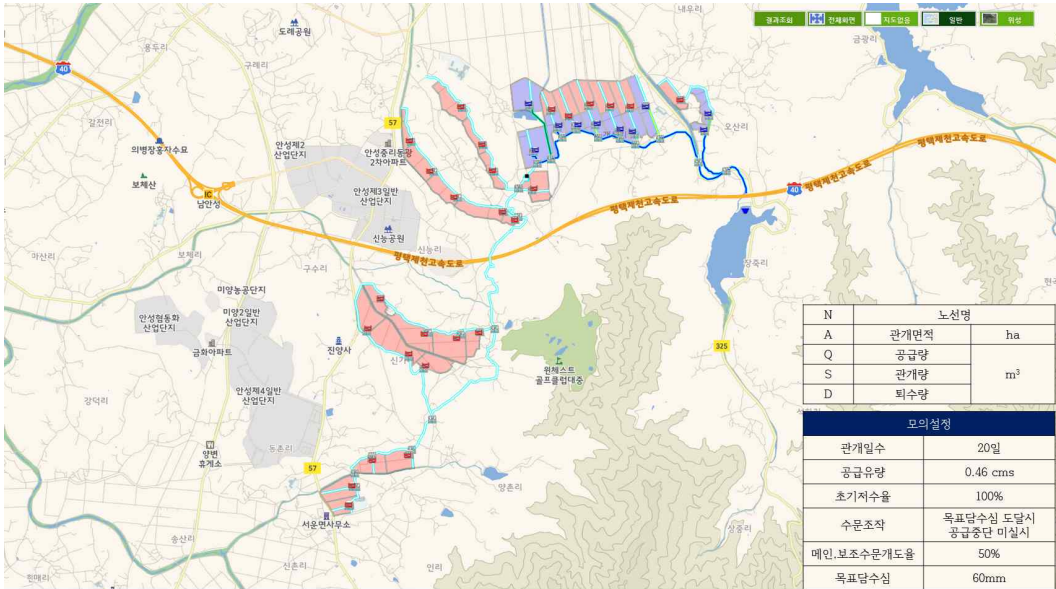


[그림 2-5-70] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과7

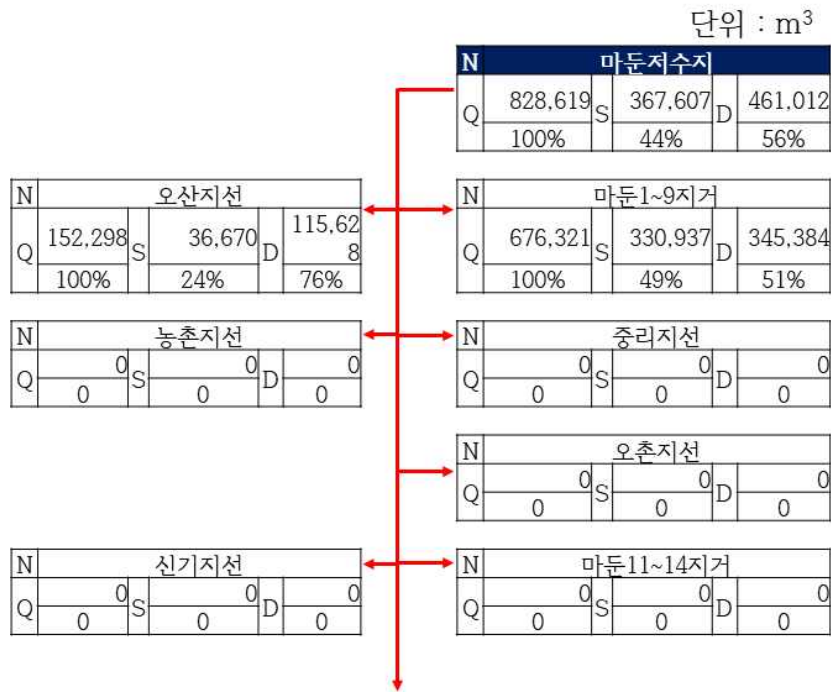


[그림 2-5-71] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황7

- 위의 조건에서 수문개도율 50%를 적용했을 경우, 농업용수의 44%가 포장으로 공급되고, 56%의 퇴수량이 발생하였다. 마둔1~9지거와 오산지선을 제외한 나머지 수로에는 용수공급이 모의되지 않았으며, 오산지선의 퇴수량은 76%로 115,628 m³로 나타났다.



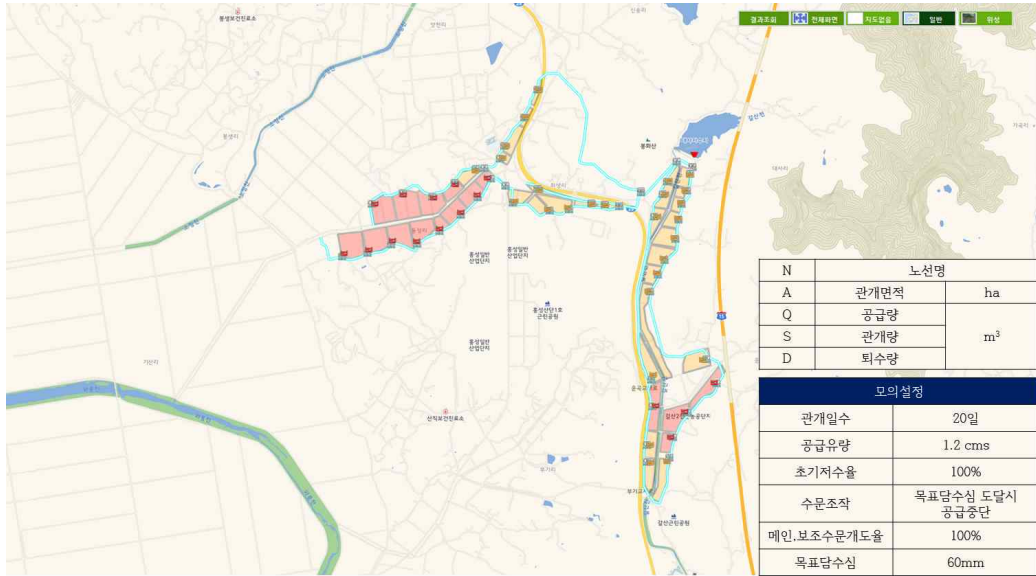
[그림 2-5-72] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과8



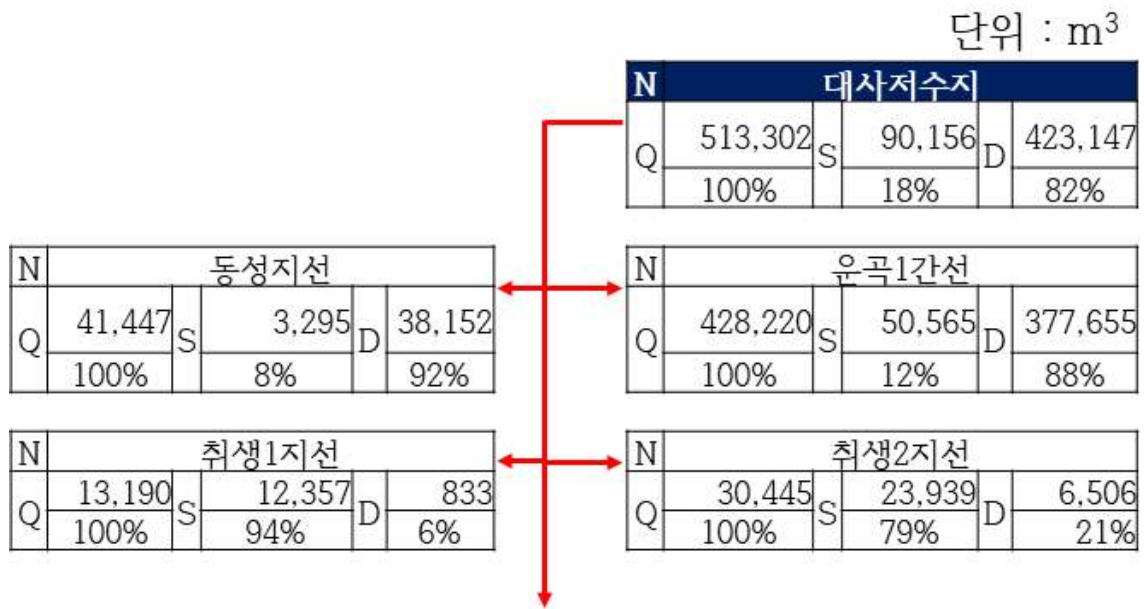
[그림 2-5-73] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황8

- 마둔저수지는 수문조작 관행 여건을 적용되지 않을 경우 말단부까지 용수공급이 원활하지 않은 것을 모의되었으며, 상단부에서 퇴수되는 수량을 양수한다면 말단부의 면적에 목표담수심을 만족할 만큼 공급할 수 있을 것으로 판단된다.

- 아래 그림 같은 모의조건에서 대사저수지 모의를 실시한 결과, 공급된 농업용수의 18%가 포장으로 공급되었으며, 82%의 퇴수량이 발생하여 전반적으로 용수가 고르게 공급되지 않는 것으로 모의되었다.

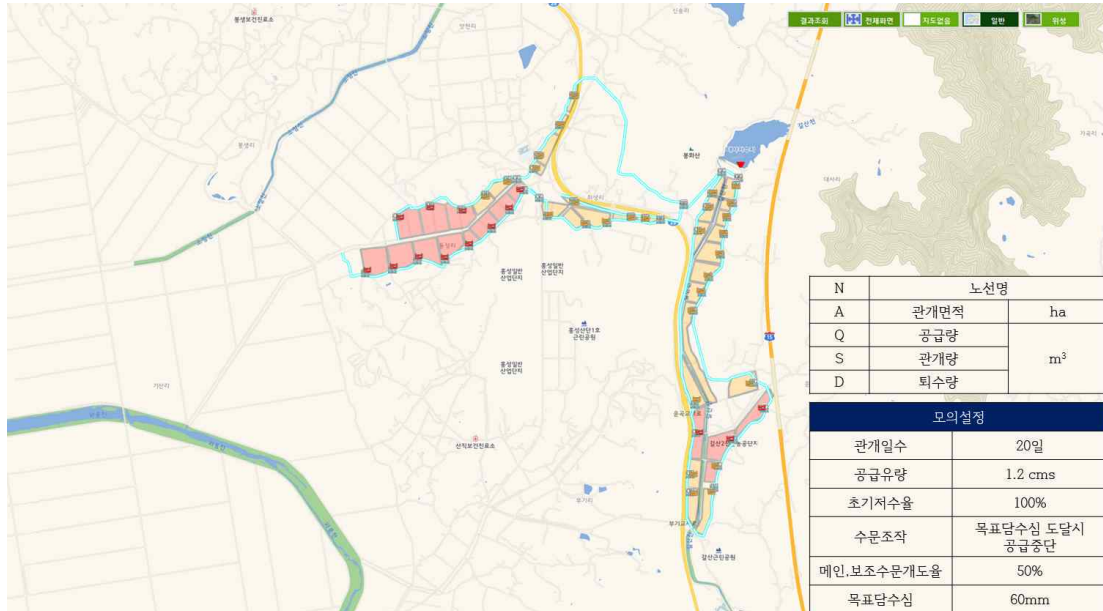


[그림 2-5-74] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과1

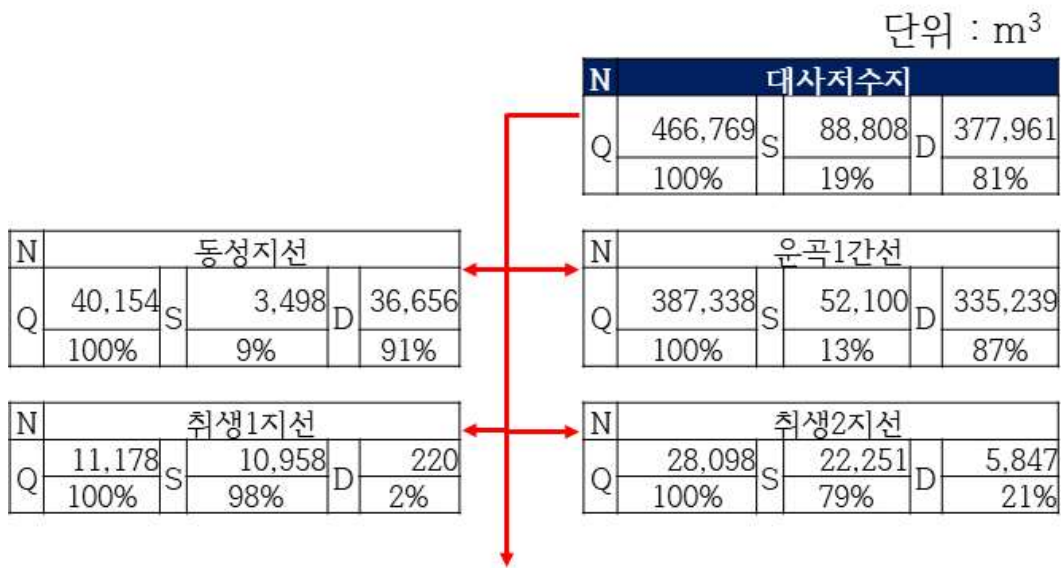


[그림 2-5-75] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황1

- 위와 같은 모의조건에서 수문 개도율을 50% 감소하여 모의한 결과, 공급된 농업용수의 19%가 포장으로 공급되었으며, 81%의 퇴수량이 발생하여 전반적으로 용수가 고르게 공급되지 않는 것으로 모의되었다.

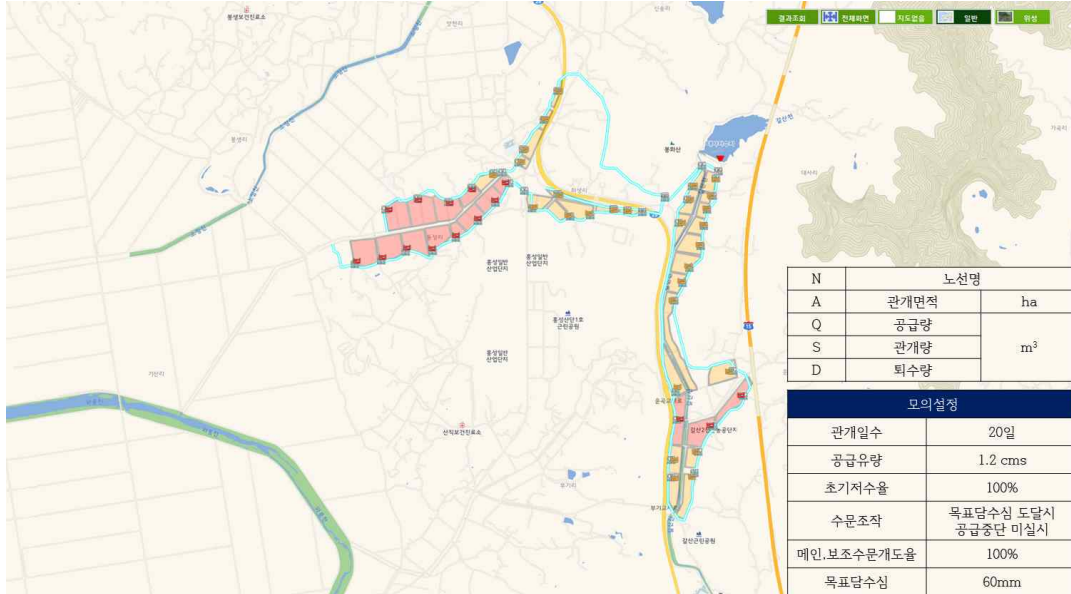


[그림 2-5-76] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과2

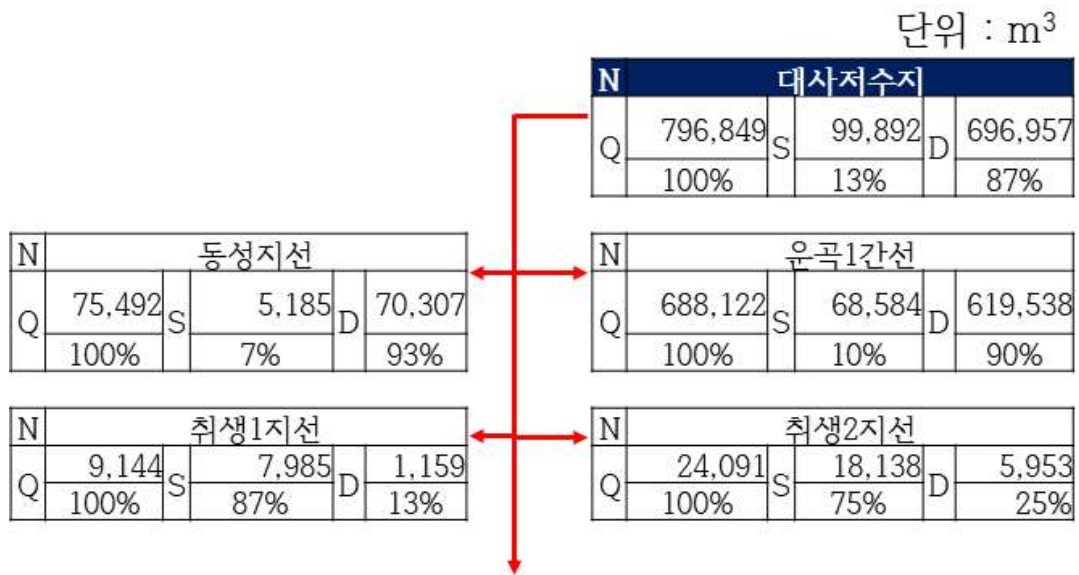


[그림 2-5-77] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황2

- 아래 그림은 목표담수심 도달 시 공급중단을 실시하지 않는 경우를 모의한 결과이며 공급된 농업용수의 13%만 포장으로 공급되었으며, 87%의 퇴수량이 발생하여 전반적으로 용수가 고르게 공급되지 않는 것으로 모의되었다.

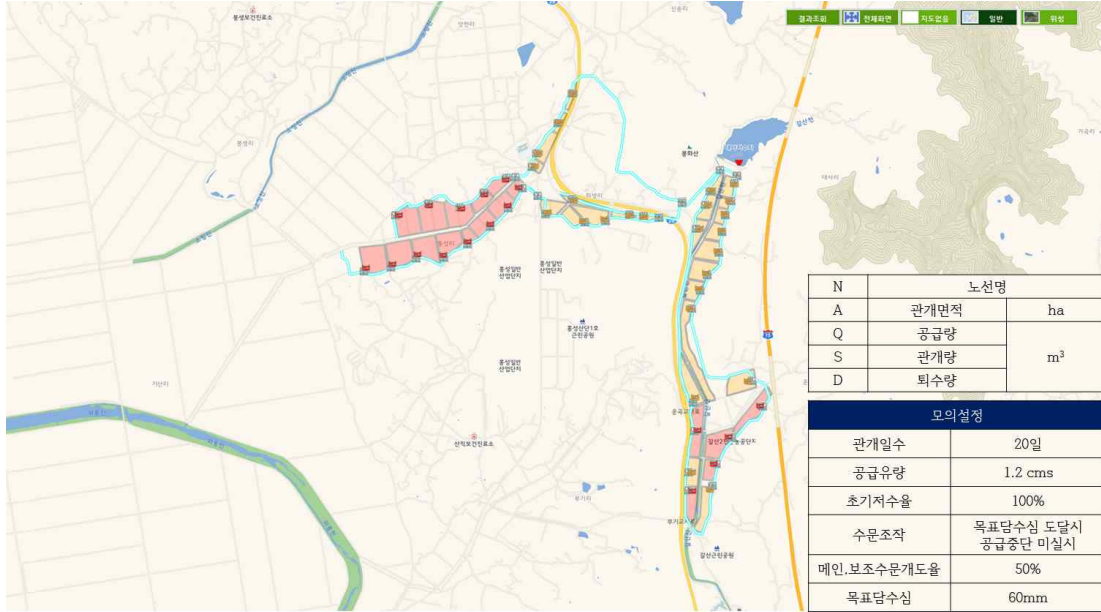


[그림 2-5-78] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과3

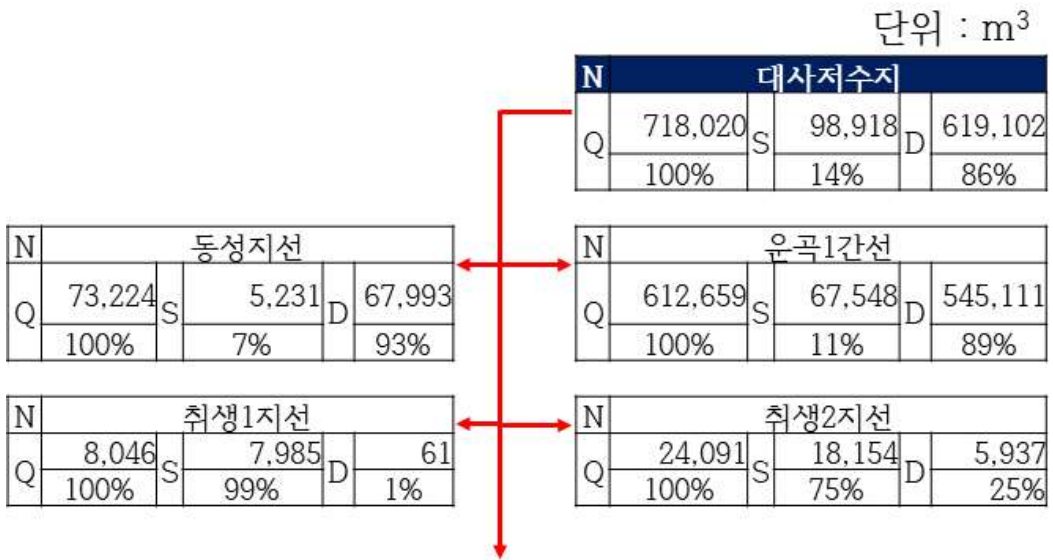


[그림 2-5-79] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황3

- 아래 그림은 목표담수심 도달 시 공급중단을 실시하지 않고 수문 개도율을 50%로 모의한 결과이며 공급된 농업용수의 14%만 포장으로 공급되었으며, 86%의 퇴수량이 발생하여 전반적으로 용수가 고르게 공급되지 않는 것으로 모의되었다.

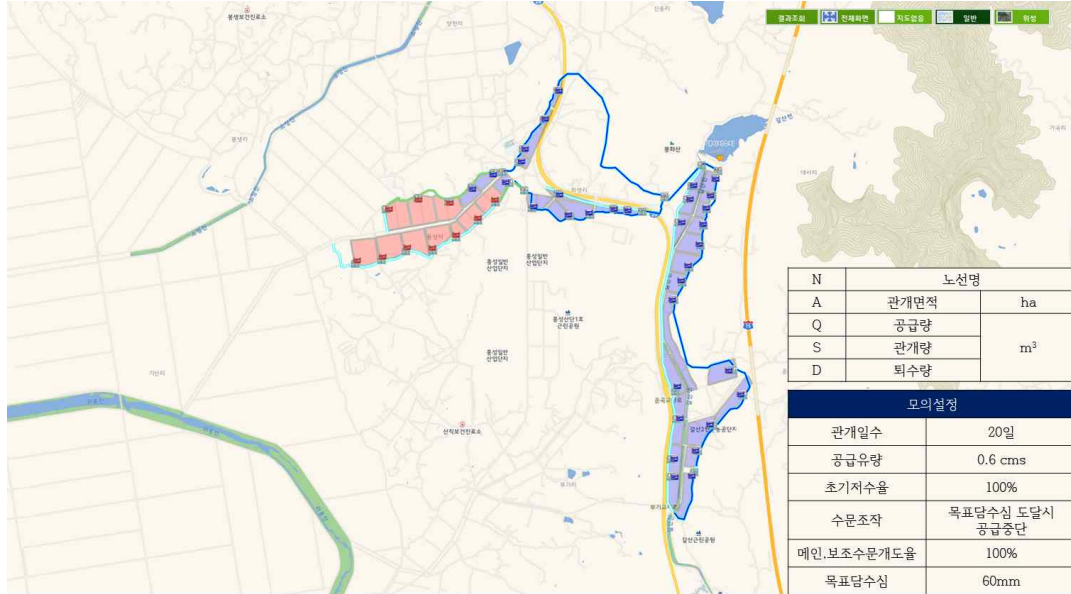


[그림 2-5-80] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과4

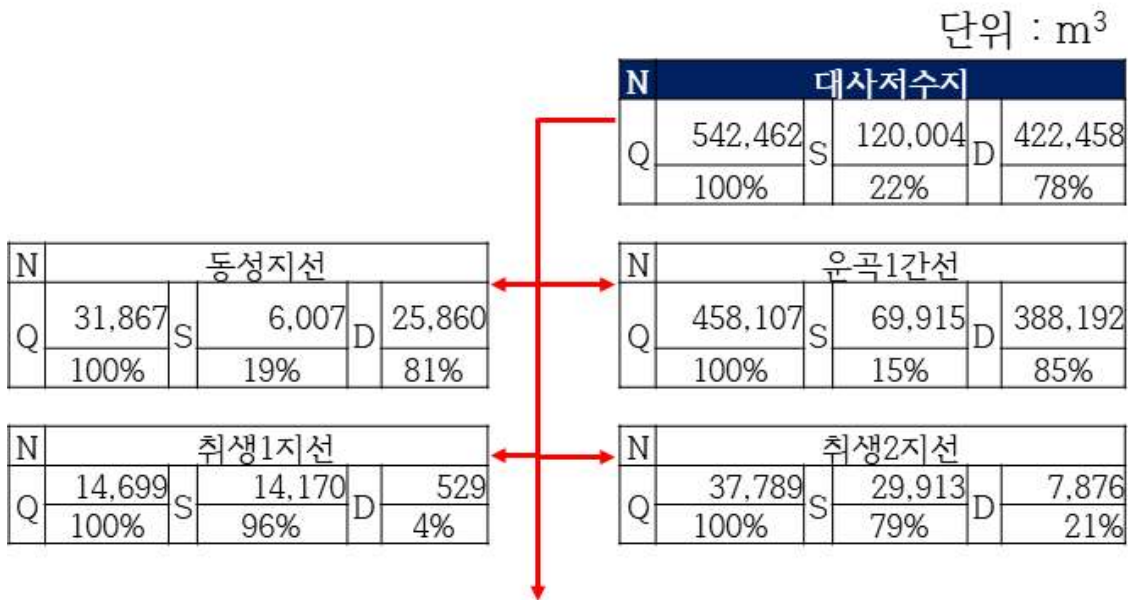


[그림 2-5-81] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황4

- 아래는 모의1의 조건에서 최대공급유량의 50%만 적용하여 모의한 결과이며 공급된 농업용수의 22%가 포장으로 공급되고 78%의 퇴수량이 발생하였다. 동성지선과 운곡1지선에서 81%, 85%의 퇴수량이 발생, 314,052 m³의 양수가 가능할 것으로 판단된다.

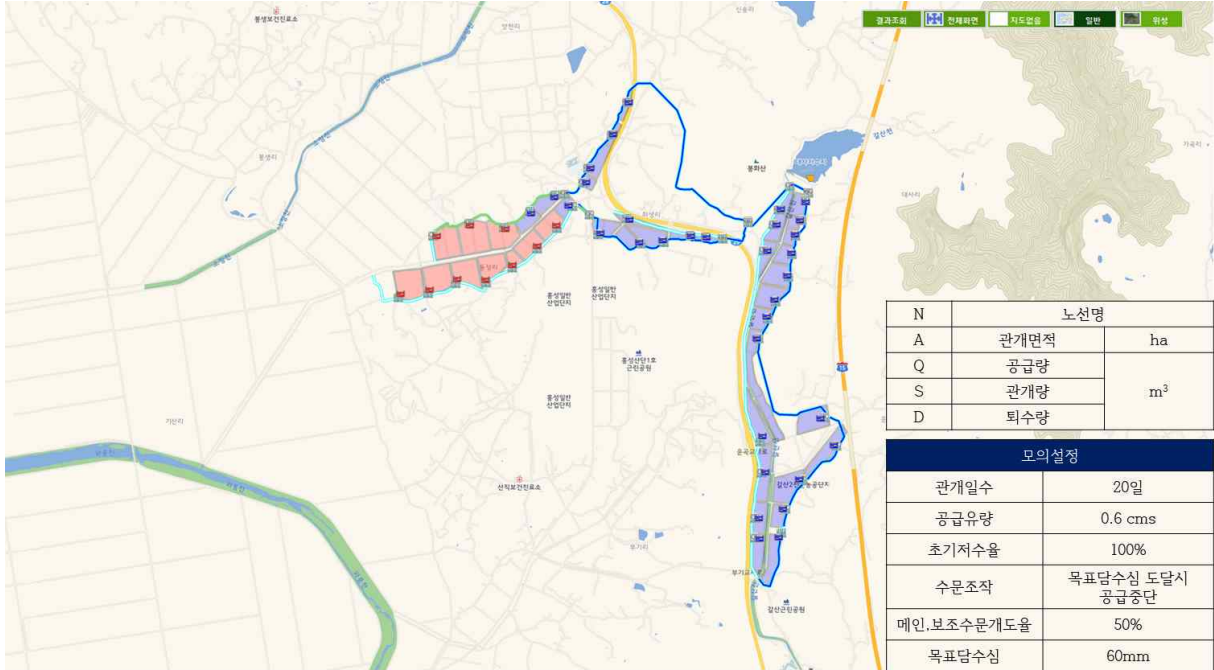


[그림 2-5-82] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과5

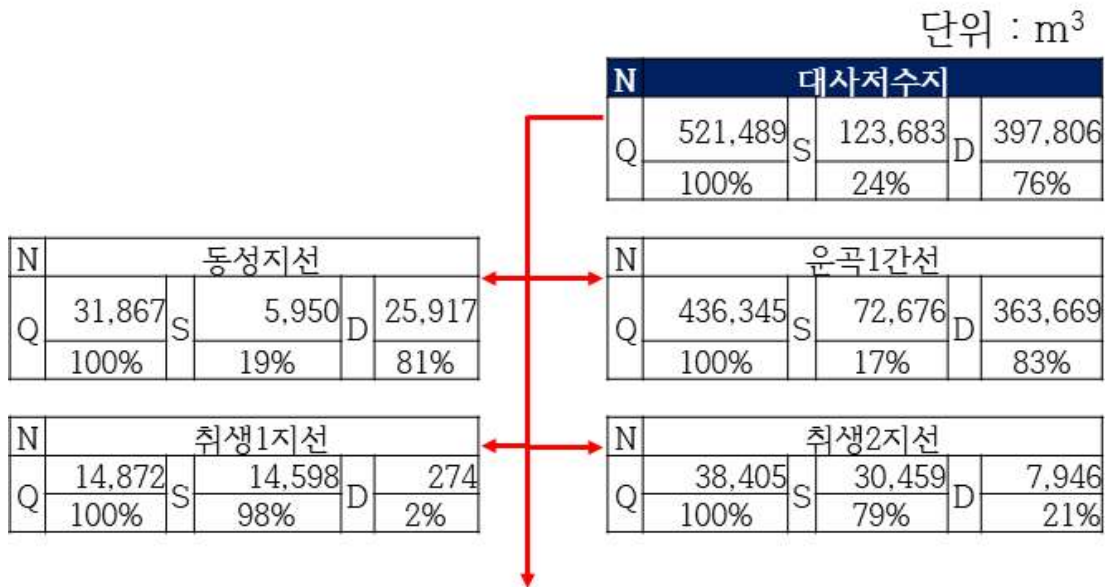


[그림 2-5-83] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황5

- 아래 모의결과는 위의 조건에서 수문 개도율을 50% 감소시켜 적용한 결과이며, 공급된 농업용수의 24%가 포장으로 공급, 76%의 퇴수량이 발생하였다. 동성지선과 운곡1지선에서 81%, 83%의 퇴수량이 발생, 389,917 m³의 양수가 가능할 것으로 판단된다.

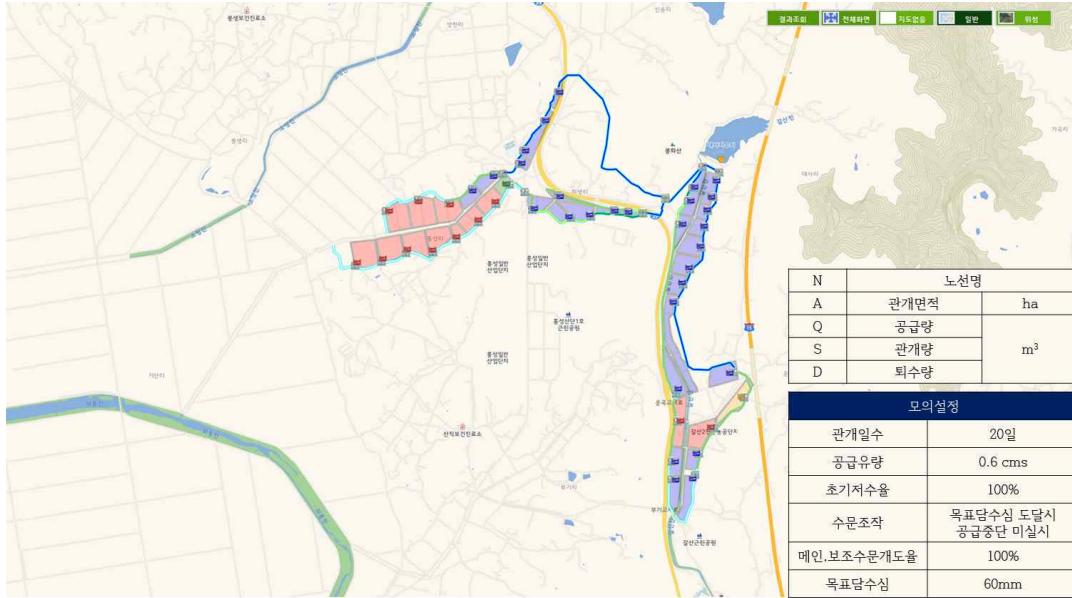


[그림 2-5-84] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과6

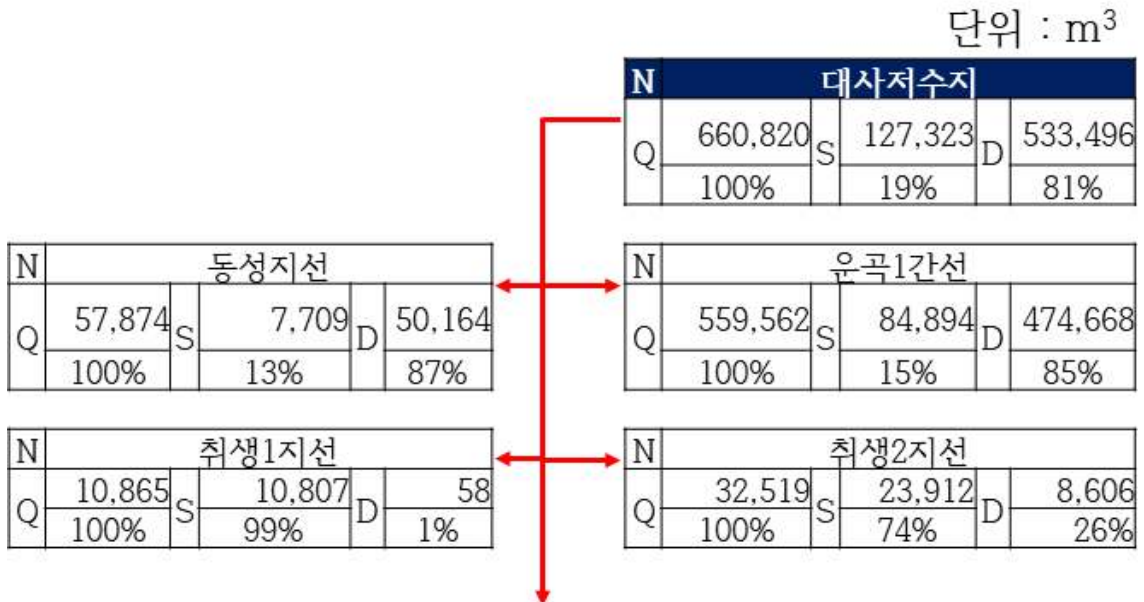


[그림 2-5-85] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황6

- 목표담수심 도달 시 공급중단을 실시하지 않고 수문 개도율 100%를 적용했을 경우, 농업용수의 19%가 포장으로 공급되고, 취생1, 2지선을 제외한 나머지 수로에는 80% 이상 퇴수량이 발생한 것으로 모의되었으며, 말단부 면적의 목표담수심을 만족하는 수량이다.

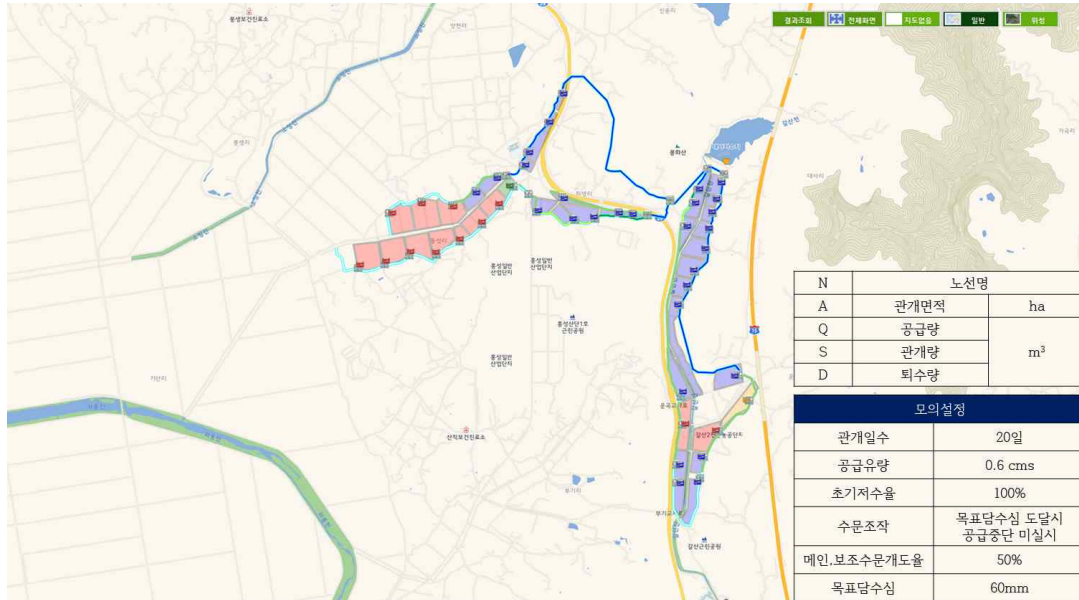


[그림 2-5-86] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과7

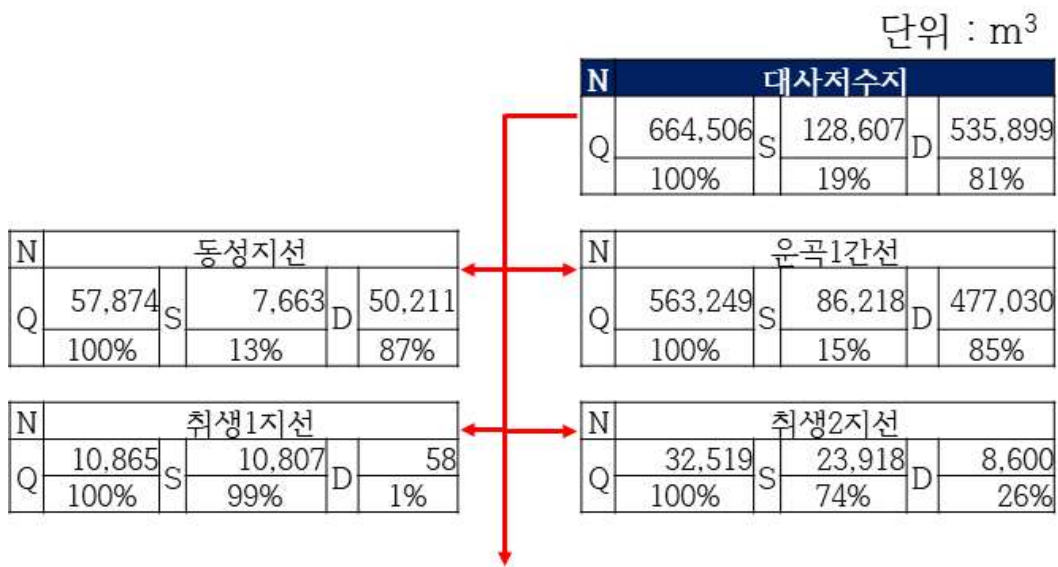


[그림 2-5-87] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황7

- 위의 조건에서 수문개도율 50%를 적용했을 경우, 농업용수의 19%가 포장으로 공급되고, 81%의 퇴수량이 발생하였다. 취생1, 2지선을 제외한 나머지 수로에는 80% 이상의 퇴수량이 발생한 것으로 모의되었으며, 말단부 면적의 목표담수심을 만족하는 수량이다.



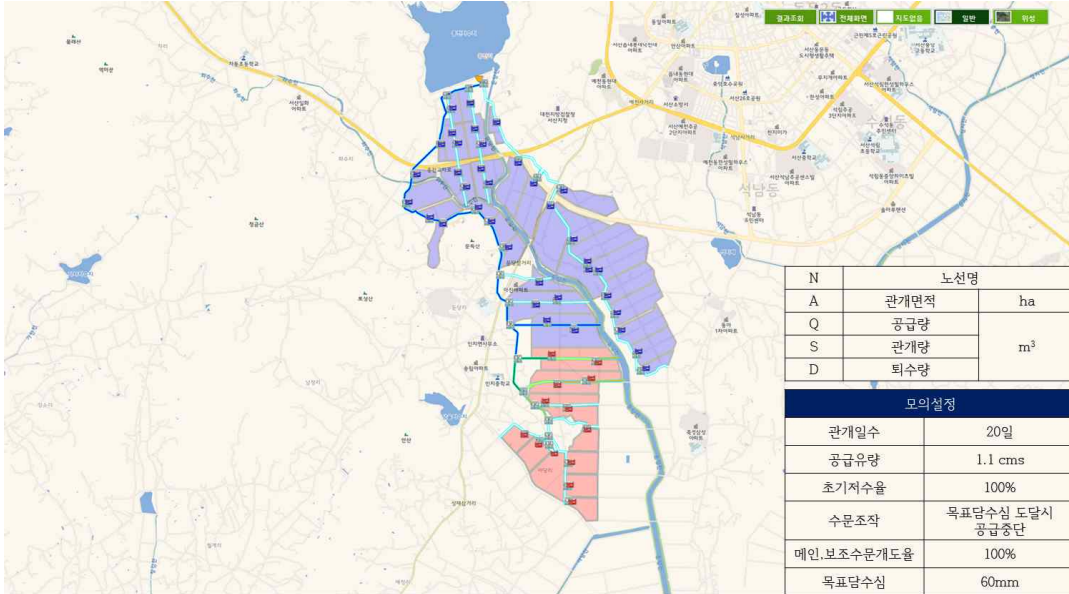
[그림 2-5-88] 모의시나리오에 따른 대사저수지 모의결과8



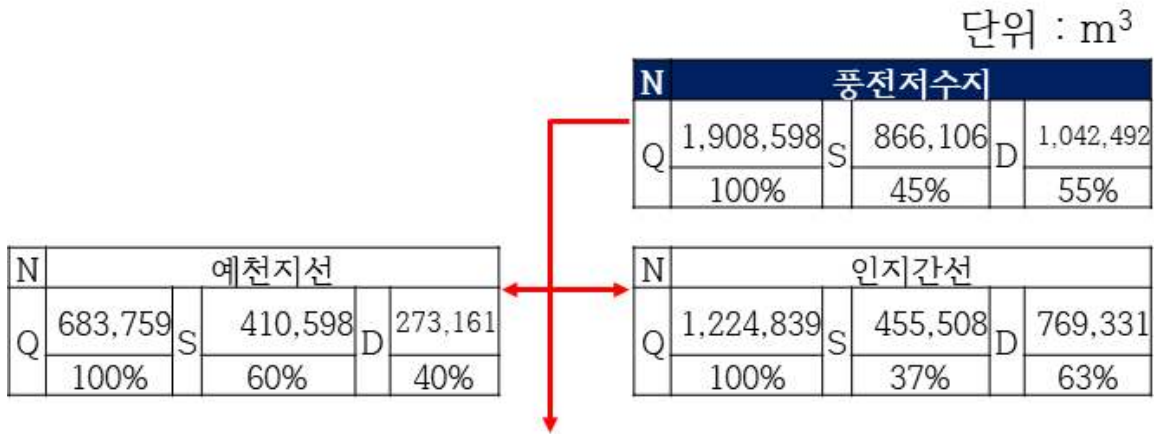
[그림 2-5-89] 대사저수지 수로별 농업용수 모의상황8

- 대사저수지는 운곡1간선의 경우 모든 모의시나리오에서 80% 이상 퇴수량이 발생하는 것으로 모의되었다. 이렇게 발생한 퇴수량은 해당수로의 말단부나 근접한 동성지선의 필요수량을 충분히 만족하는 수량이며 양수또는 양수펌프를 이용하여 공급할 수 있을 것으로 판단된다.

- 아래 그림 같은 모의조건에서 풍전저수지 모의를 실시한 결과, 공급된 농업용수의 45%가 포장으로 공급되었으며, 55%의 퇴수량이 발생하여 상단부의 포장은 용수가 공급되나 말단부는 공급되지 않는 것으로 모의되었다.

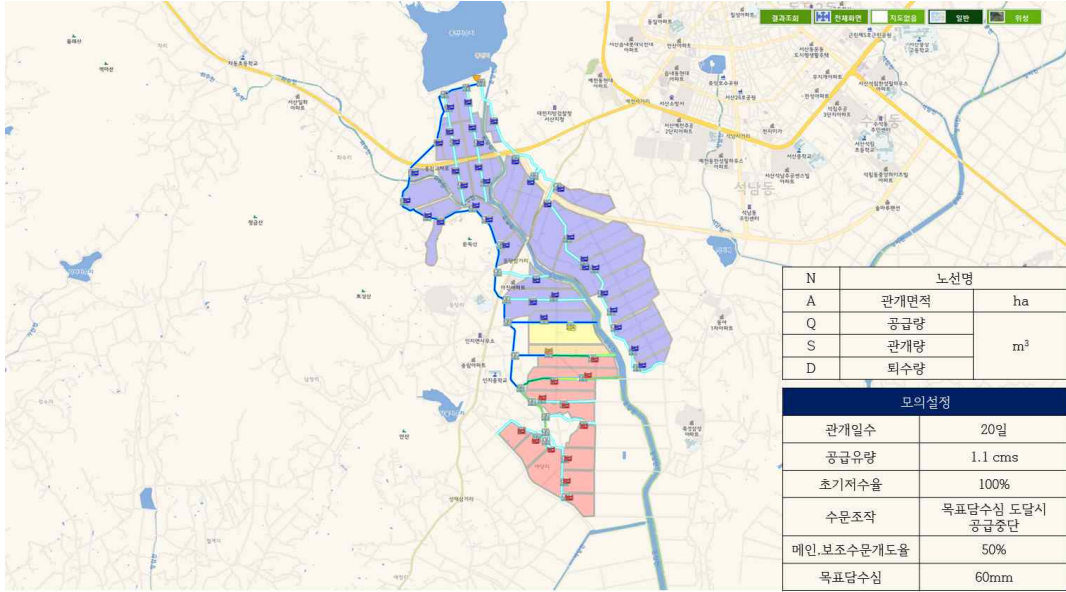


[그림 2-5-90] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과1

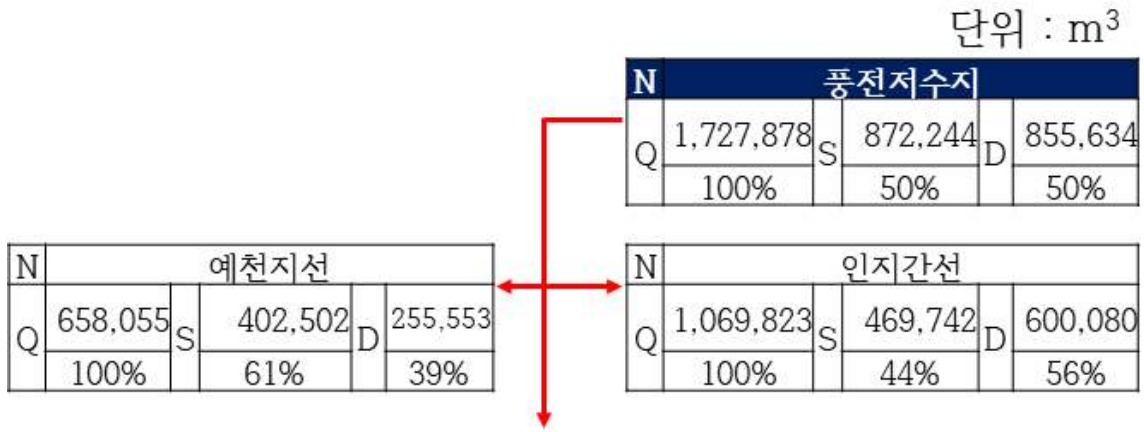


[그림 2-5-91] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황1

- 위와 같은 모의조건에서 수문 개도율을 50% 감소하여 모의한 결과, 공급된 농업용수의 50%가 포장으로 공급되었으며, 50%의 퇴수량이 발생하여 상단부의 포장은 용수가 공급되나 말단부는 공급되지 않는 것으로 모의되었다.

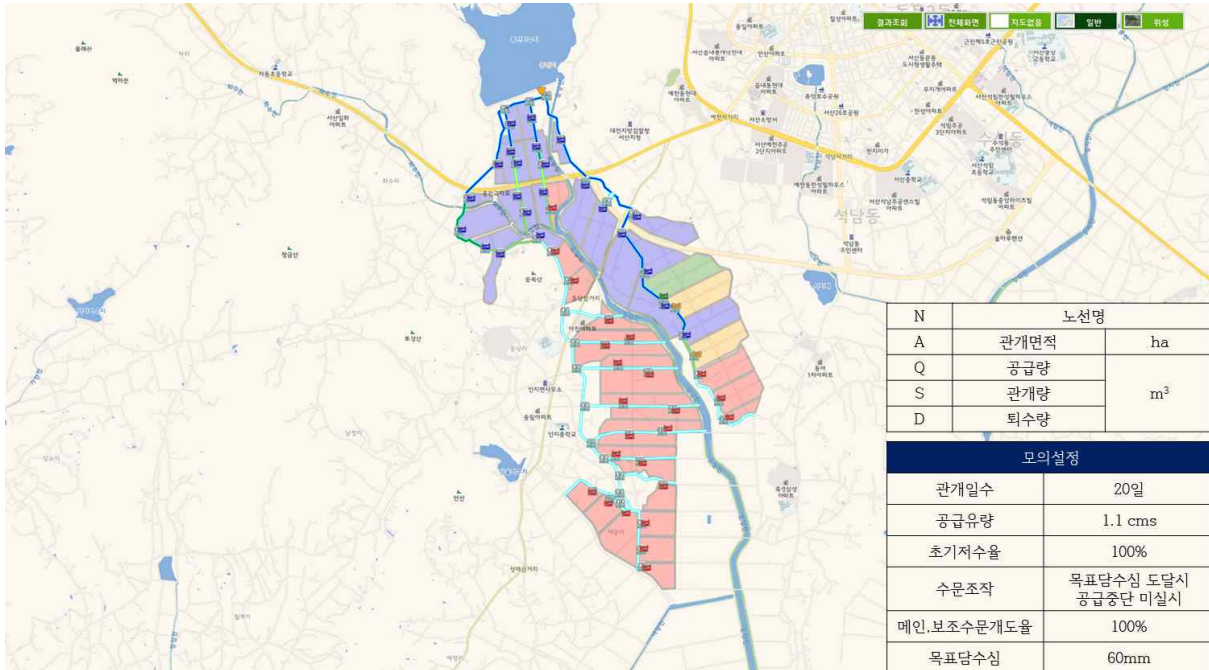


[그림 2-5-92] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과2

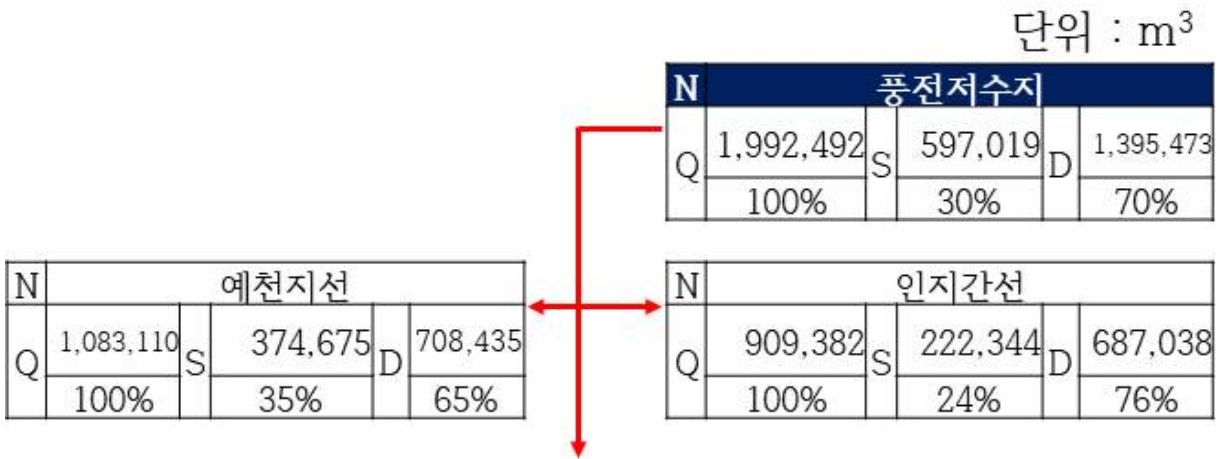


[그림 2-5-93] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황2

- 아래 그림은 목표담수심 도달 시 공급중단을 실시하지 않았을 경우를 모의한 결과이며 공급된 농업용수의 30%만 포장으로 공급되었으며, 70%의 퇴수량이 발생하여 전반적으로 용수가 고르게 공급되지 않는 것으로 모의되었다.

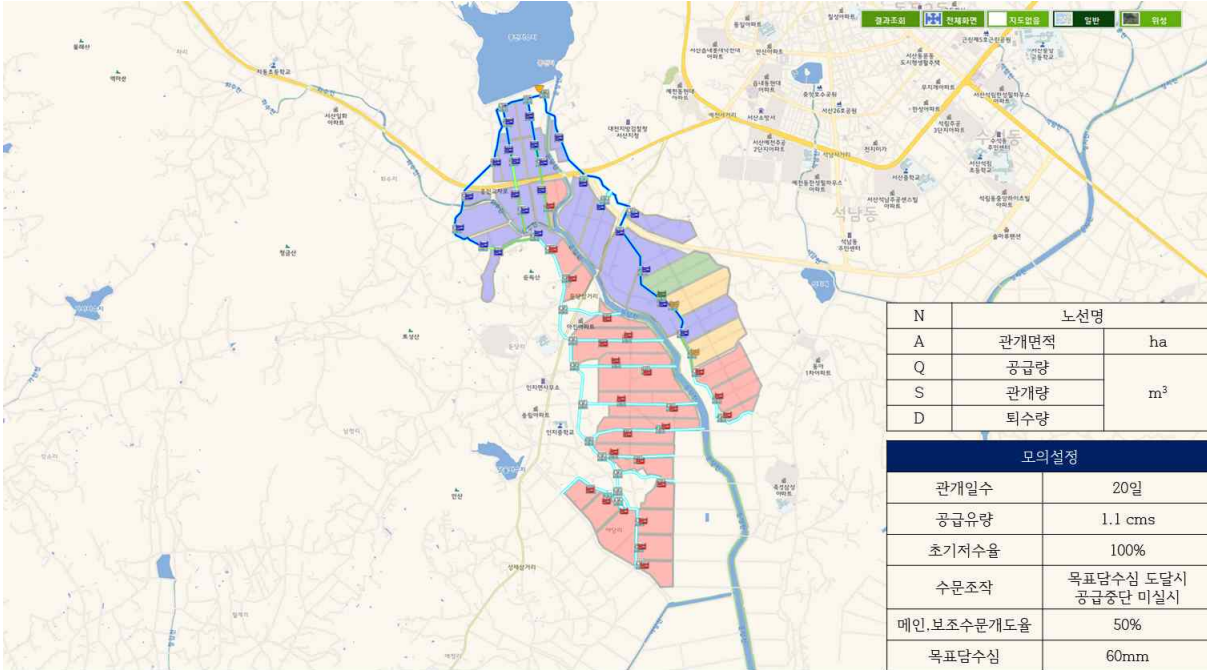


[그림 2-5-94] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과3

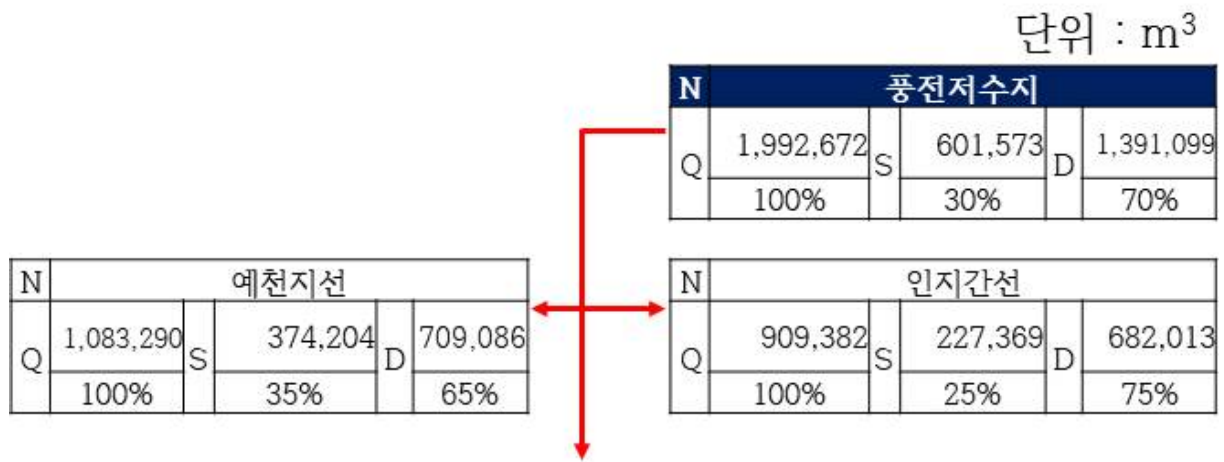


[그림 2-5-95] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황3

- 아래 그림은 목표담수심 도달 시 공급중단을 실시하지 않고 수문 개도율을 50%로 모의한 결과이며 공급된 농업용수의 30%만 포장으로 공급되었으며, 70%의 퇴수량이 발생하여 전반적으로 용수가 고르게 공급되지 않는 것으로 모의되었다.

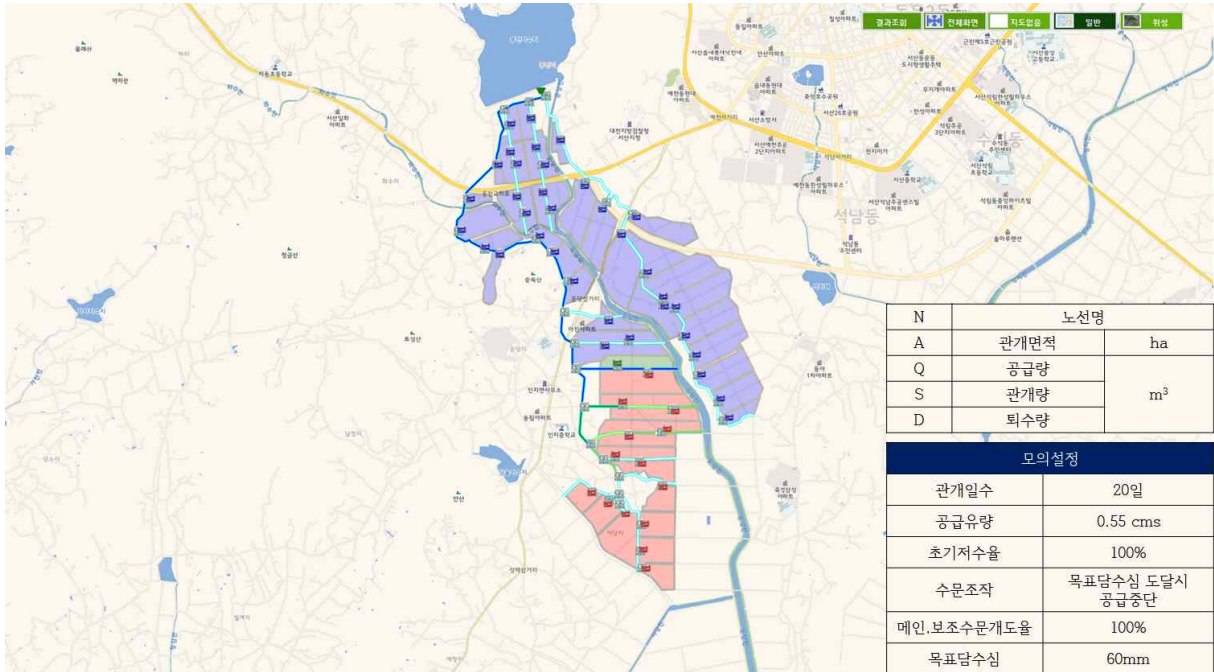


[그림 2-5-96] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과4

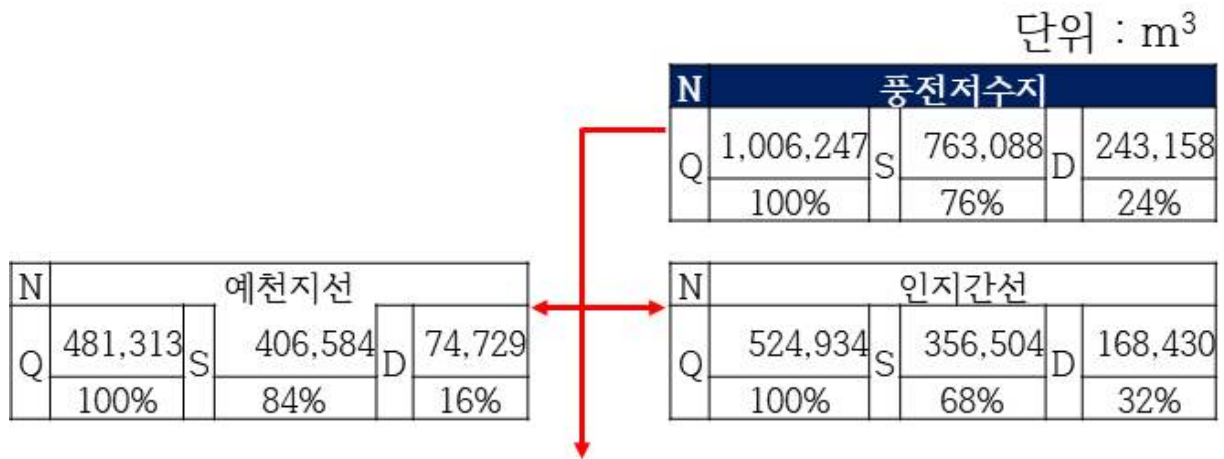


[그림 2-5-97] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황4

- 아래는 모의1의 조건에서 최대공급유량의 50%만 적용하여 모의한 결과이며 공급된 농업용수의 76%가 포장으로 공급되고 24%의 퇴수량이 발생하였다. 예천지선과 인지간선에서 16%, 32%의 퇴수량이 발생, 243,159 m³의 양수가 가능할 것으로 판단된다.

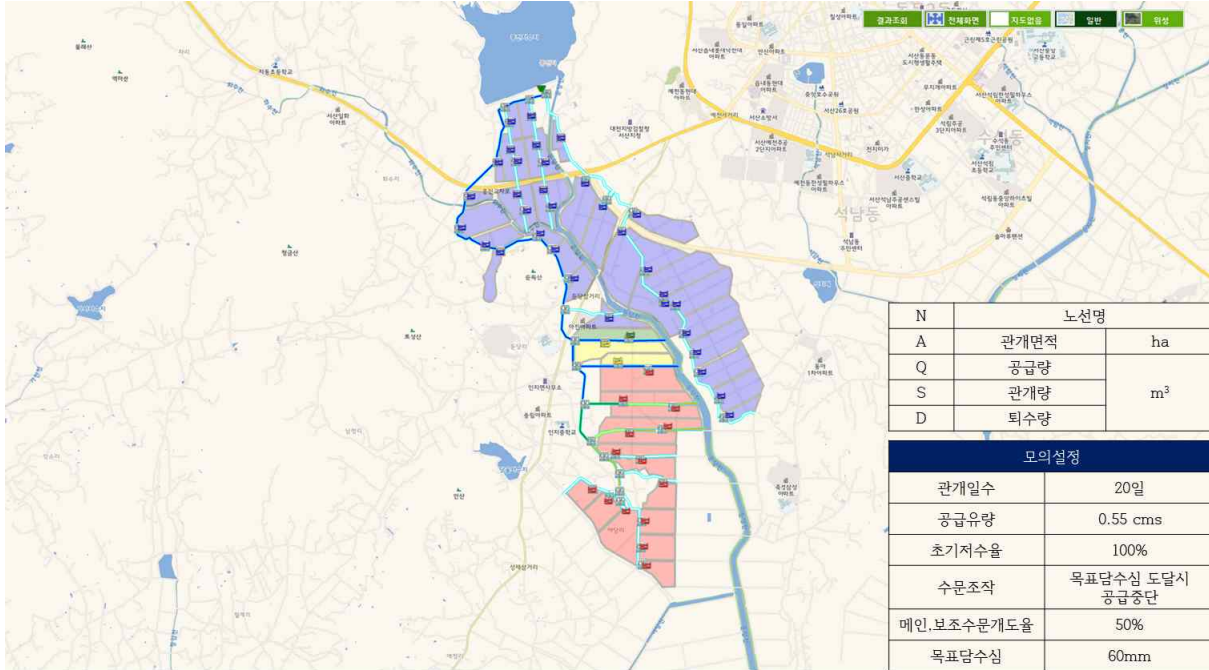


[그림 2-5-98] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과5

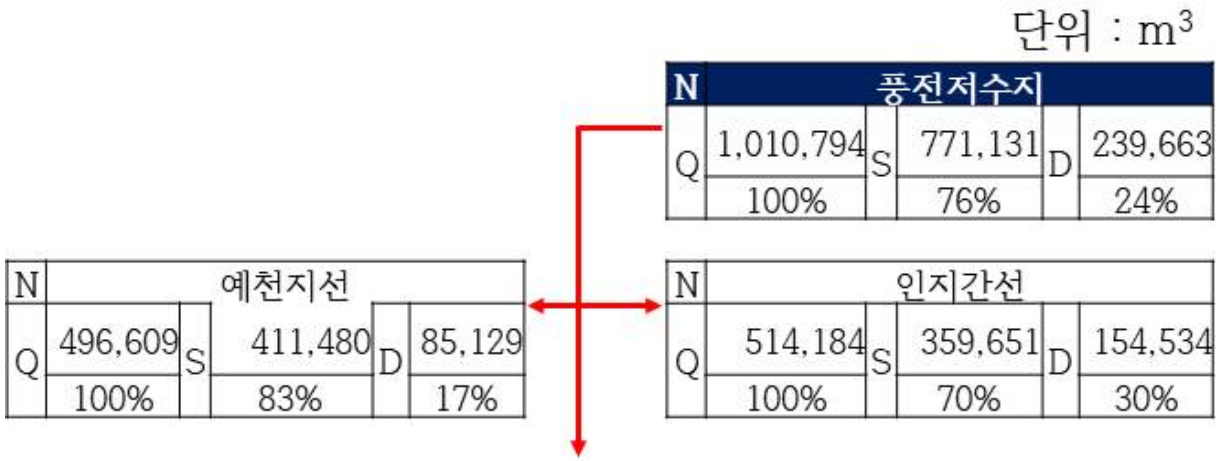


[그림 2-5-99] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황5

- 아래 모의결과는 위의 조건에서 수문 개도율을 50% 감소시켜 적용한 결과이며, 공급된 농업용수의 76%가 포장으로 공급, 24%의 퇴수량이 발생하였다. 말단부의 용수 공급이 원활하지 않은 것으로 모의되었다.

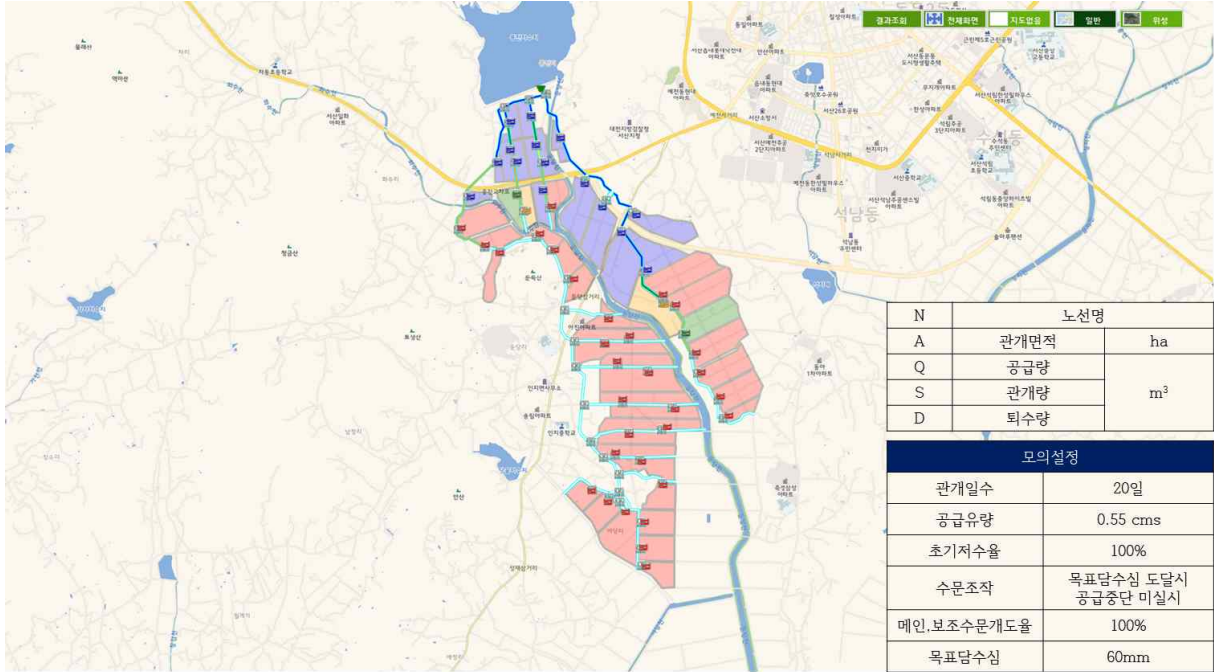


[그림 2-5-100] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과6

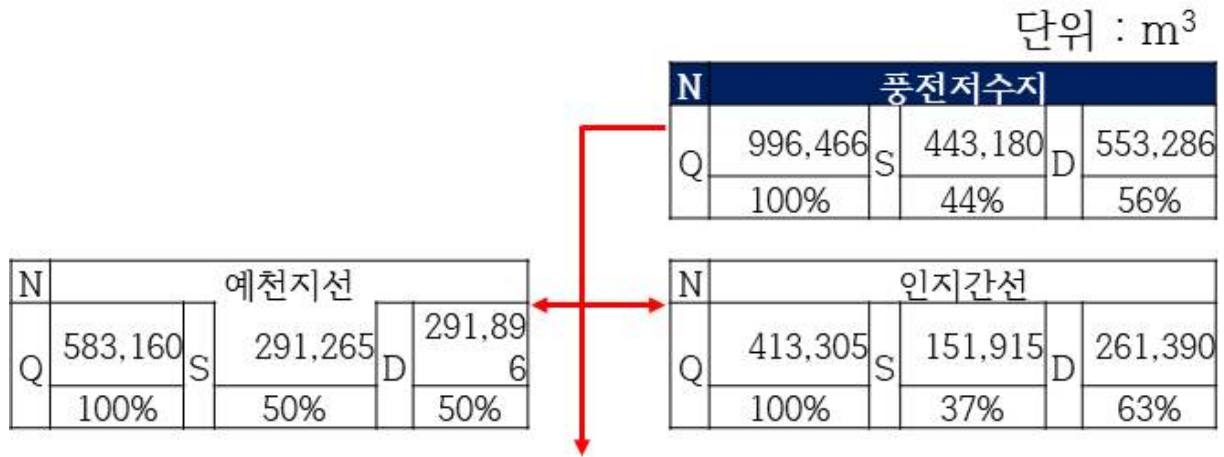


[그림 2-5-101] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황6

- 목표담수심 도달 시 공급중단을 실시하지 않고 수문개도율 100%를 적용했을 경우, 농업용수의 45%가 포장으로 공급되고, 55% 이상 퇴수량이 발생한 것으로 모의되었으며, 말단부 면적의 목표담수심을 만족하지 못하는 수량이다.

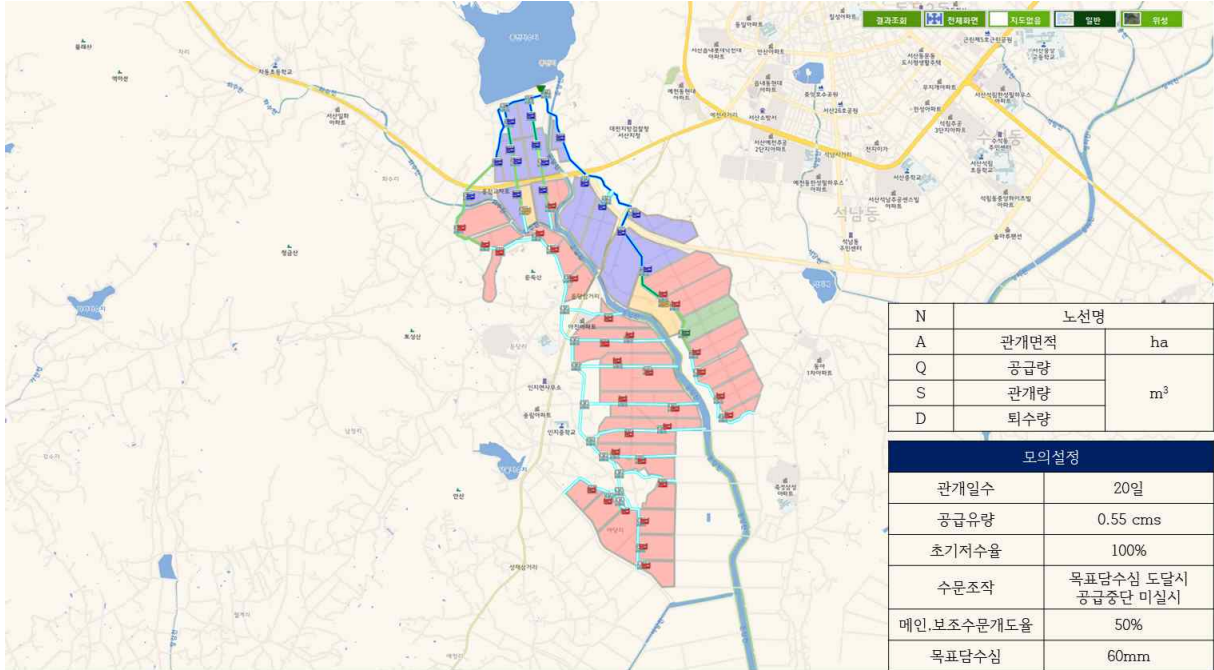


[그림 2-5-102] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과7

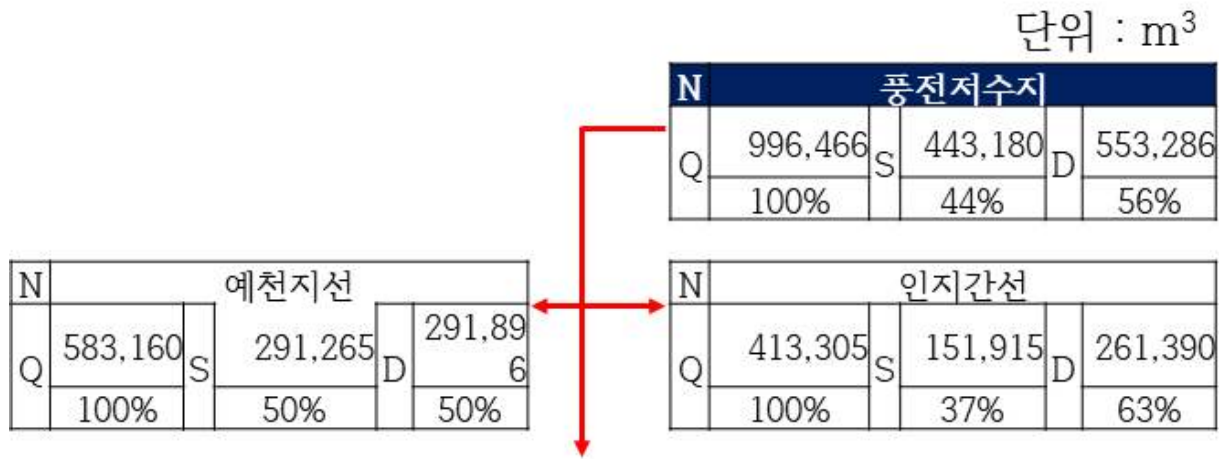


[그림 2-5-103] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황7

- 위의 조건에서 수문개도율 50%를 적용했을 경우, 농업용수의 44%가 포장으로 공급되고 56%의 퇴수량이 발생하였다. 예천지선은 50%의 공급과 퇴수량을 보였으며 인지간선은 63% 이상의 퇴수량이 발생한 것으로 모의되었다.



[그림 2-5-104] 모의시나리오에 따른 풍전저수지 모의결과8



[그림 2-5-105] 풍전저수지 수로별 농업용수 모의상황8

- 풍전저수지는 모의1 조건에서도 말단부 필지에 용수가 원활히 공급되지 않는 것으로 모의되었다. 인지간선은 37%의 공급율과 63%의 퇴수율이 발생하는 것으로 모의되었으며 퇴수되는 수량은 풍전저수지 말단부 면적에 목표담수심을 만족하는데 충분한 것으로 판단된다.

3. 최적 농업용수 배분에 따른 경제효과 분석

가. 농업용수의 가치

- 농업용수는 작물의 생산성 향상 외에도 지하수함량, 하천유지용수의 제공, 대기순화 및 생태계 보전 등의 사회적 문화적 기능을 가지고 있지만 농업용수의 가치는 환경적, 사회적으로 정량화 되어 있지 못한 한계점을 가지고 있다.
- 농업용수의 가치는 고유한 가치와 경제적 가치의 합으로 표현되고 경제적 가치는 사용자 고유가치, 회귀수 가치, 간접사용 가치 및 사회적 목적 가치로 구분할 수 있고, 비용은 가치의 구분에 따라 전체공급비용, 전체경제비용, 전체비용 등 3가지로 구분 가능하다.
- 일반적으로 외부효과 분류는 긍정적 외부효과와 부정적 외부효과로 구분하고, 세부 사항에 대해 경제적 외부효과와 환경적 외부효과로 구분하여 편익과 비용분석을 실시하였다.
- 농업용수의 가치를 평가하기 위해서는 경제적 외부효과와 환경적 외부효과 중 정량적으로 산출이 가능한 범위 내에서 산정하고 이를 긍정적 외부효과와 부정적 외부효과로 구분하여 각각 편익과 비용을 환산하였다.
- 선행연구에 따르면 농업용수의 가치는 부정적 외부효과를 합산·산출하여도 공급으로 인한 편익에 비해 약 28% 이상 높은 것으로 도출됨에 따라 농업생산을 위한 농업용수공급은 이에 따른 부정적 효과를 상쇄하는 것으로 나타났다. 일본의 경지면적은 447만ha로 전체 토지의 11.8%로 일본의 농업은 집약적 특징으로 벼농사를 중심으로 한 경작구조가 발달되었으며 우리나라 농업여건과 비슷하다.

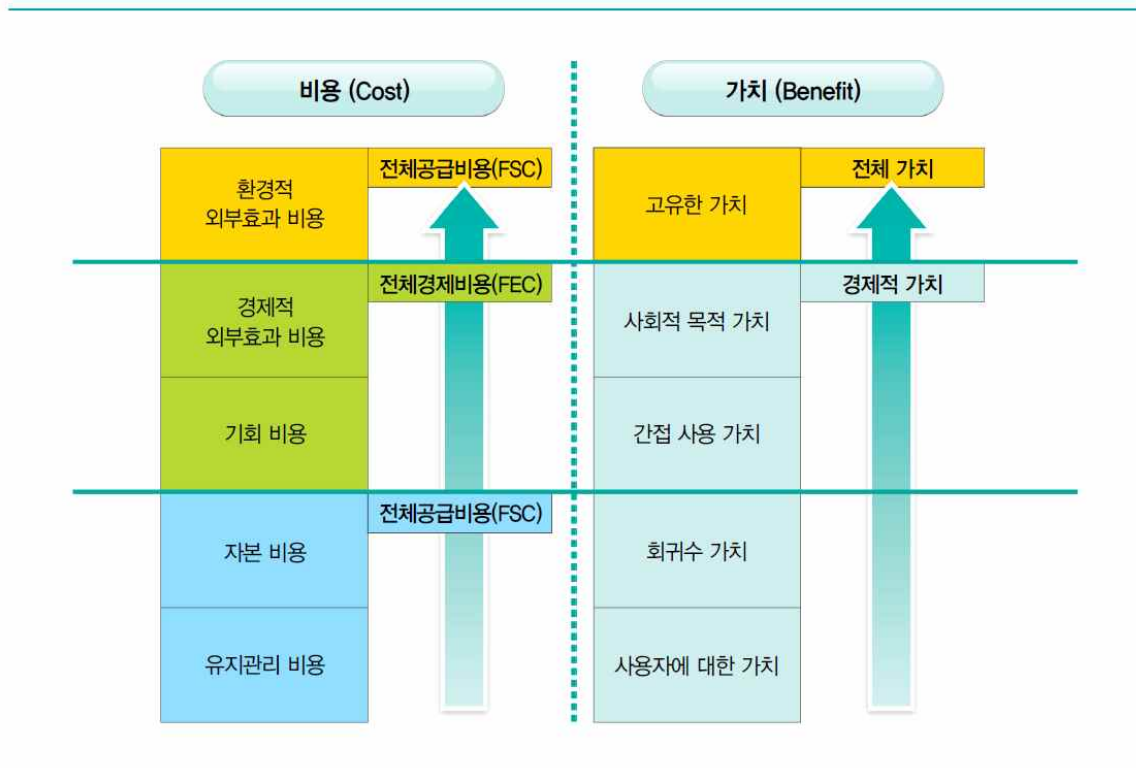
(1) 농업의 다원적 기능 및 외부효과

- 농업의 다원적 기능으로는 “농산물 생산 공급을 통한 식량안보의 확보, 식품의 안전성 유지 등에 추가하여 환경 측면과 농촌의 활력유지 등 사회 문화적 차원에서 보존하고 유지할 가치가 있는 기능”을 칭한다.
- 외부효과라 함은 경제학 용어로 한사람의 행위가 제삼자의 경제적 후생에 영향을 미치는 거래나 활동에 따른 외부비용(이익)을 뜻하는 용어로서, 긍정적 외부효과와 부정적 외부효과가 있다.

- 농업용수는 작물의 생산성 향상 외에도 지하수함량, 하천유지용수의 제공, 대기순화 및 생태계 보전 등의 사회적 문화적 기능을 가지고 있지만 농업용수의 가치는 환경적, 사회적으로 정량화되어 있지 못한 한계점을 가지고 있다.

(2) 농업용수의 가치와 비용 분류

- 수자원 정책에 있어 경제적 역할을 고려할 때 농업수자원의 가치와 비용 사이를 명확히 구별하고 각 항목 간 상호 연관 가능한 방법을 찾는 것이 중요하기 때문에 가치와 비용의 구분이 요구된다.



[그림 2-5-106] 농업용수 비용과 가치 개념 (출처 : 김해도, 2013)

- 위의 그림은 농업용수의 가치를 비용의 개념으로 설명하는 것으로 OECD에서는 농업용수의 가치는 크게 경제적 가치와 고유한 가치의 합으로 설명 가능한 것으로 보고하였다. (OECD, 2006)

- 경제적 가치에 포함된 가치 및 기능은 아래와 같다.

- ☞ 사용자 고유가치 : 생산 활동에 대한 농업용수의 고유가치
 - 농업생산, 식량안보
- ☞ 회귀수 가치 : 지하수함양을 포함한 회귀되는 물의 가치
 - 회귀수의 재이용, 수자원함양
- ☞ 간접사용가치 : 동·식물 서식지 제공 및 타목적 용수의 이용 같은 간접사용에 의한 가치(수질오염에 의한 역기능만큼 삭감)
 - 순기능 : 생태보존, 타목적이용, 대기정화 및 냉각, 토양보존, 폐기
 - 역기능 : 수질오염
- ☞ 사회적 목적 가치 : 홍수조절 및 고용효과와 농촌의 균형적 개발
 - 홍수조절, 지역사회유지, 농촌활력제고, 전통문화, 지역균형발전

- 물의 고유한 가치는 물이 있는 경관의 심미적 가치나 여가특성 등의 농업용수만이 가지고 있는 고유한 가치를 말하지만, 비용의 측면에서는 환경적 외부효과를 말한다.

- ☞ 농업용수의 가치를 비용으로 환산하면 전체공급비용(Full Supply Costs), 전체경제비용(Full Economic Costs), 전체비용(Full Costs) 등으로 구분한다
- ☞ 전체비용은 전체공급비용과 전체경제비용에 환경적 외부효과(Environmental Externality)가 더해진 비용이다
- ☞ 전체공급비용이란 물 소모에 따른 공익기능이나 역기능 또는 기회비용의 고려가 없이 소비자들에게 물을 공급하는 것에 수반되는 비용을 말하는 것으로 유지관리비용과 자본비용으로 구성된다
 - 유지관리비용 : 펌프전력, 노동력, 수리비용 등과 같이 시스템을 유지하기 위한 비용
 - 자본비용 : 댐, 수로 등과 같이 새로운 기반시설에 대한 자본 투자 및 재개발 비용
- ☞ 전체경제비용은 전체 공급이용에서 기회비용(Opportunity Costs)과 경제적 외부효과 비용(Economic Costs of Externality)이 더해진 것이다
 - 기회비용 : 하나의 사용자에게 의해 용수사용 시 발생될 다른 사용자의 기회상실 비용
 - 경제적 외부효과 비용 : 관개로 인한 지하수 함양의 공기능과 수질오염 등의 역기능으로 구성

(3) 농업용수의 외부효과 분류

- 외부효과는 긍정적 효과와 부정적 효과로 구분할 수 있으며 세부적으로는 경제적 외부효과(Economic Cost of Externality)와 환경적 외부효과(Environmental Externality)로 구분하여 가치와 비용으로 구분한다.
- 경제적 외부효과는 상류와 하류에서의 생산자와 소비자에 대한 비용을 포함하는 반면, 환경적 외부효과는 공중보건이나 생태계와 관련있다.
- 또한 생산성향상, 지하수함양, 하천유지용수, 수질정화기능, 수질오염기능으로 구분하여 편익 및 비용의 산출기준을 설정할 수 있다.
- 환경적 외부효과로는 생물다양성기능, 대기순화기능, 온실가스방출기능, 온실가스흡수기능 등으로 구분하여 편익 및 비용 산출 기준을 설정할 수 있다.



[그림 2-5-107] 농업용수의 외부효과 분류

[표 2-5-17] 농업용수 외부효과 분류 (출처 : 김해도, 2013)

외부효과	기능	내용	분류
경제적 외부효과	생산성향상	농업용수 공급에 따른 농업생산성 향상 기여효과	편익
	지하수함양	논에서 침투로 인한 지하수 상승효과	편익
	하천유지용수	농업용수가 농경지 공급후 하천으로 유입된 수량에 대한 공급효과	편익
	수질정화	농경지 내 양분수지(유입수, 유출수 농도차)에 의한 정화효과	편익
	수질오염	농업용수 이용에 따라 발생하는 수질오염 효과	비용
	에너지소모	농업용수 공급에 따른 에너지 소모효과	비용
환경적 외부효과	생물다양성	농업용수 공급으로 인한 생태계가 다양해지는 효과	편익
	기후순화	농업용수의 공급시 잠열효과에 의한 기온저하 효과	편익
	온실가스흡수	농업용수 공급에 따라 작물생육시 발생하는 이산화탄소 흡수효과	편익
	온실가스방출	논에서 농업용수 공급에 따른 메탄가스의발생효과	비용

나. 농업용수 확보를 위한 비용분석

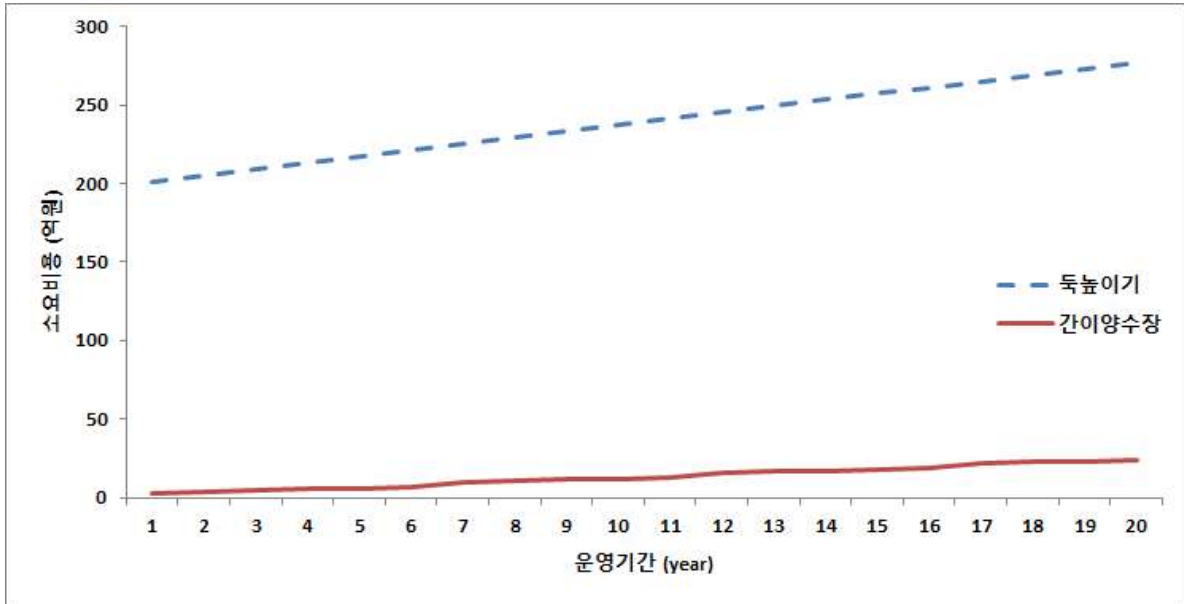
- 한국농어촌공사는 공사관리 지역 내 수리시설(저수지, 양·배수장, 용·배수로, 보 등)을 활용, 영농에 필요한 양질의 용수를 적기에 적량 공급함으로써 농업생산성 향상에 기여하고 대농업인의 영농편의를 지원하는 서비스를 실시하고 있다.
- 이를 위하여 한국농어촌공사는 ‘농업생산기반정비사업’을 매년 실시하고 있으며 세부사업은 ‘다목적농촌용수개발사업’, ‘지표수보강개발사업’, ‘농촌용수이용체계재편사업’, ‘배수개선사업’, ‘경지정리사업’, ‘밭기반정비사업’, ‘대형농업기반시설치수능력확대사업’, ‘수계 농촌용수 공급사업’ 등이 있다.
- 이 중 ‘다목적농촌용수개발사업’은 가뭄상습지역에 저수지, 양수장 등 수원공과 용수로 등의 수리시설물을 설치하여 수자원 확보 및 원활한 용수공급으로 안정적인 영농기반을 구축하는 사업이고, ‘지표수보강개발사업’은 기존의 저수지, 양수장 등 수리시설물의 규모를 확대하여 부족한 농촌용수를 보충 공급하는 사업이다.
- ‘농촌용수이용체계재편사업’은 기 개발된 여유수자원을 효율적으로 활용하여 물 부족지역에 용수를 배분하고, 체계적인 물관리로 농촌지역의 다양한 용수를 공급할 수 있는 종합적인 농촌용수이용 및 관리체계를 구축하기 위한 사업이다.
- 이를 ‘농촌용수이용체계재편사업’은 기 개발된 여유수자원을 효율적으로 활용하여 물 부족지역에 용수를 배분하고, 체계적인 물관리로 농촌지역의 다양한 용수를 공급할 수 있는 종합적인 농촌용수이용 및 관리체계를 구축하기 위한 사업이다.
- 농업용수 확보를 위한 다양한 사업 중 저수지 신규 축조와 양수장 신규구축비용을 비교분석하였다.
- 이를 위해 농업생산기반정비사업 평가보고서와 한국농어촌공사 담당자의 의견을 참고하여 2010년부터 2016년까지 신규로 축조된 저수지 20곳과 양수장 10곳의 사업비용을 분석하였다.

[표 2-5-18] 농업생산기반정비사업 중 저수지 및 양수장 축조비용 비교

저수지명	수혜면적(ha)	총사업비(천원)	양수장지구	수혜면적(ha)	총사업비
창 봉	192.0	24,856,904	백 신	1,704.0	98,168,091
무쇠	432.0	44,834,928	감 곡	798.0	50,910,234
비 룡	1,284.0	80,279,000	부 안	793.0	29,808,070
삼 방	99.1	12,665,300	선 산	1,606.0	53,532,883
도 기	140.0	15,518,000	대 지	714.0	24,730,000
칠 갑	682.0	80,749,000	점 동	2,648.0	131,355,000
본 의	178.0	28,918,000	문 의	203.7	19,364,000
소 향	342.0	43,987,889	산 동	1,309.0	30,469,212
대 불	330.0	33,638,358	상 금	240.0	21,686,904
장 선	872.0	65,640,342	산 성	382.0	29,566,910
죽 계	543.0	42,571,398	현 산	234.0	22,013,000
청 도	486.0	38,778,165			
원 당	80.0	9,553,307			
덕 천	197.0	24,599,000			
성 덕	421.0	44,747,000			
상 오	58.4	7,400,000			
경산성곡	620.0	74,056,412			
영주성곡	403.0	49,534,200			
부 석	347.0	32,946,000			
사 곡	427.0	66,806,000			
단위면적당 사업비	101,073천 원/ha		단위면적당 사업비	48,120천 원/ha	

- 저수지 20곳의 총 수혜면적은 8,133ha이고 총 사업비는 822,080백만원이며, 양수장 10곳의 총 수혜면적은 10,632ha, 총사업비는 511,604백만원으로 나타났다.
- 이를 수혜면적당 비용으로 나타내면 저수지는 ha당 1억원의 사업비가 요구되고, 양수장은 ha당 0.48억원의 사업비가 소요되므로 양수장의 구축비가 저수지에 비해 약 50% 이상 저렴한 것으로 나타났다.
- 저수지의 사업비가 비교적 높은 이유는 양수장에 비해 보상면적 및 보상비가 높기 때문으로 판단된다.
- 2012년 저수지 득높이기 사업지구 6곳의 사업비와 증가수량을 분석한 결과 평균적으로 116.1만^m의 용수 확보를 위해 약 201억원의 사업비가 소요되며, 사업 후 저수지 유지관리 비용을 사업비의 2%를 적용하였다.
- 득높이기 사업의 사업비가 높은 이유는 신규 저수지 축조사업과 동일하게 순공사비의 보상 및 민원해결비용이 큰 비중을 차지하기 때문이다.
- 이에 반해 농업용수 확보 및 직접공급을 위한 간이양수장의 경우 신규 설치비용 약

2억원과 월 운영비 10백만원, 양수장 유지보수비를 설치비의 20%를 적용하였을 때 116.1만m³의 용수 확보 및 공급을 위해 소요되는 비용은 20년동안 약 25억원 미만인 것으로 판단된다.



[그림 2-5-108] 독높이기 및 간이양수장 사업의 비용분석

다. 농업용수관리시스템 적용에 따른 농업용수 절감비용 분석

- 농업용수관리시스템은 농업수리모형으로 들녘단위 용수조작 및 모의가 가능하고 공급량 및 퇴수량에 대한 정량적 분석이 가능하다.
- 이를 통하여 농업용수 관리에 따른 절감효과를 모의하였다.
- 모의를 위하여 마둔저수지를 선정하였으며 70mm의 담수심을 목표로 관행적 용수공급과 수문조작에 의한 용수공급으로 모의하였다.
- 농업용수 절감효과를 분석하기 위하여 농업용수의 가치를 90원/m³으로 설정하여 관행적 용수공급과 수문조작에 의한 용수공급량의 비용분석을 실시하였다.

[표 2-5-19] 마둔저수지 관행적 관계에 따른 용수사용량

수로명	포장면적 (m ²)	수로공급량 (m ³)	포장공급량 (m ³)	배수 및 잔류량 (m ³)	평균담수높이 (m)	손실률 (%) [배수 및 잔류량/ 수로공급량]
오산지선	114,160	66,291	15,760	50,531	0.07	76
마둔1지거	76,944	31,546	9,769	21,777	0.07	69
마둔2지거	152,425	31,989	18,626	13,363	0.07	42
마둔3지거	152,444	32,432	18,719	13,712	0.07	42
마둔4지거	144,927	33,070	17,558	15,512	0.07	47
마둔5지거	112,373	34,876	14,624	20,252	0.07	58
마둔6지거	109,145	36,766	14,010	22,756	0.07	62
마둔7지거	109,643	37,118	13,307	23,811	0.07	64
마둔8지거	128,322	39,380	15,794	23,586	0.07	60
마둔9지거	82,031	26,290	10,525	15,765	0.07	60
농촌지선	159,784	26,259	19,267	6,992	0.07	27
중리지선	238,329	27,298	26,582	717	0.06	3
오촌지선	324,210	34,655	33,549	1,106	0.06	3
신기지선	285,895	194,432	35,663	158,769	0.07	82
마둔11지거	69,713	65,044	8,917	56,127	0.07	86
마둔12지거	69,696	19,556	8,985	10,570	0.07	54
마둔13지거	81,940	15,097	10,393	4,704	0.07	31
마둔14지거	44,600	9,182	5,9710	3,212	0.07	35
합계a/평균b	2,456,581a	859,456a	298,018a	463,263a	0.069b	50b

- 관행적 용수공급에 따른 모의결과 수로 공급량은 859,456m³이고 포장공급량은 298,018m³으로 배수 및 잔류량은 463,263m³으로 나타났다.

- 본 분석을 통해 관행적 용수공급은 포장공급량에 비해 배수 및 잔류량이 약 2배 가까이 많은 것으로 분석되었다.

[표 2-5-20] 마둔저수지 수문조작 관계에 따른 용수사용량

수로명	포장면적 (m ²)	수로공급량 (m ³)	포장공급량 (m ³)	배수 및 잔류량 (m ³)	평균담수높이 (m)	손실률 (%) [배수 및 잔류량/ 수로공급량]
오산지선	114,160	21,045	12,208	8,838	0.07	42
마둔1지거	76,944	13,216	7,942	5,274	0.07	40
마둔2지거	152,425	15,746	14,855	891	0.07	6
마둔3지거	152,444	16,741	14,623	2,118	0.07	13
마둔4지거	144,927	15,273	13,943	1,331	0.07	9
마둔5지거	112,373	16,386	11,699	4,687	0.07	29
마둔6지거	109,145	17,460	11,165	6,295	0.07	36
마둔7지거	109,643	17,181	11,370	5,811	0.07	34
마둔8지거	128,322	18,558	13,344	5,214	0.07	28
마둔9지거	82,031	11,644	8,620	3,024	0.07	26
농촌지선	159,784	18,278	15,677	2,601	0.07	14
중리지선	238,329	32,565	26,153	6,412	0.07	20
오촌지선	324,210	44,935	30,919	14,016	0.07	31
신기지선	285,895	48,782	28,574	20,208	0.07	41
마둔11지거	69,713	25,970	7,347	18,623	0.07	72
마둔12지거	69,696	12,032	7,475	4,558	0.07	38
마둔13지거	81,940	9,778	8,573	1,205	0.07	12
마둔14지거	44,600	6,853	4,828	2,025	0.07	30
합계a/평균b	2,456,581a	429,755a	249,315a	180,441a	0.07b	29b

- 농업용수관리시스템을 이용한 수문조작 용수공급에 따른 모의결과 수로 공급량은 429,755m³이고 포장공급량은 249,315m³으로 배수 및 잔류량은 180,441m³으로 나타났다.
- 본 분석을 통해 수문조작에 의한 용수공급은 관행적 용수공급에 비해 용수절감효과가 매우 큰 것으로 나타났다.
- 관행적 용수공급과 수문조작 용수공급의 수로공급, 포장공급, 배수 및 잔류량을 상호비교하면 아래 표와 같다.

[표 2-5-21] 관행적 용수공급과 수문조작 용수공급의 농업용수 비교

구분	관행적 용수공급	수문조작 용수공급	관행-수문조작 차
수로공급량 (m ³)	859,456	429,755	429,701
포장공급량 (m ³)	298,018	249,315	48,703
배수 및 잔류량 (m ³)	463,263	180,441	282,822
합계	1,620,737	859,511	761,226

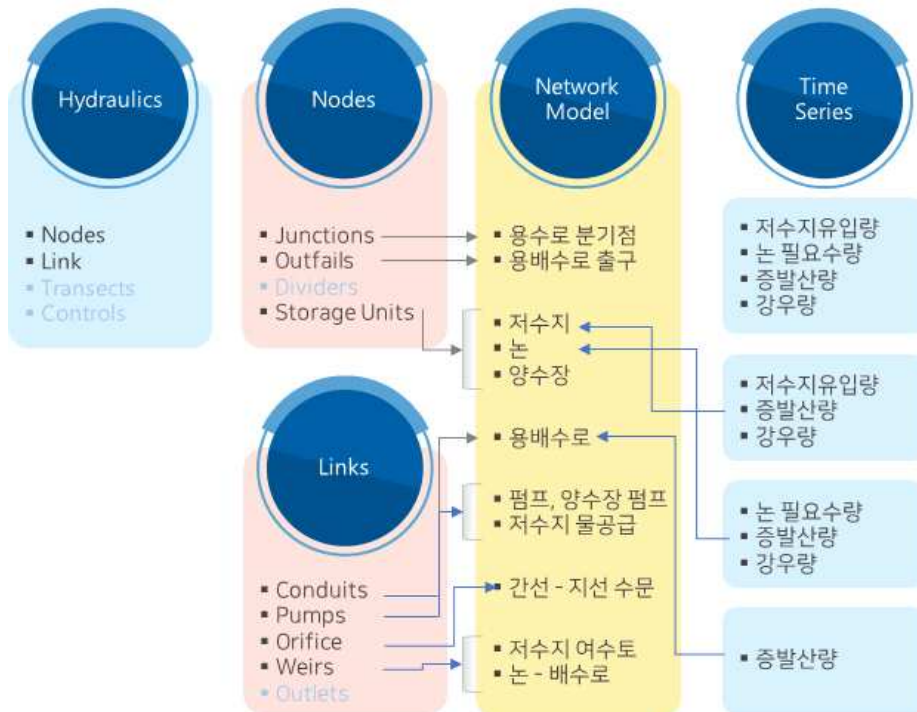
- 관행적 용수공급과 수문조작 용수공급 등을 비교한 결과 수로공급량은 429,701m³의 절감효과와 포장공급에서는 48,703m³, 배수 및 잔류량은 282,822m³으로 총 761,226m³으로 이를 금액으로 환산하면 약 6천8백만원의 절감효과가 나타났다.

제 6절. 들녘단위 최적 용수배분 기준 도출

1. 들녘단위 모의 시나리오 및 자료구축

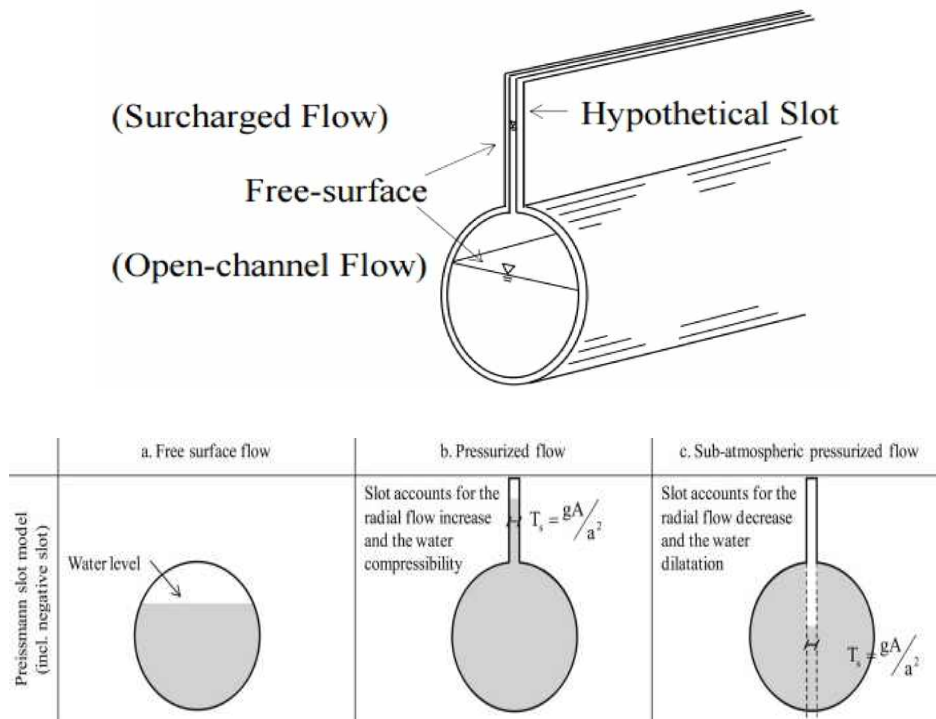
가. 순환형 네트워크 모형

- 종래에 도수부에서 수로를 통과하는데 손실되는 물의 양은 손실율로서 일괄적으로 고려되었으며, 수로의 분기와 형태에 따른 정량적인 물분배의 방법론은 현재까지 찾아보기 어려운 실정이다. 그러나 대부분 개수로로 이루어져 있으며, 수로의 경사가 비교적 급하고, 수로가 길게 뻗어 있는 곳이 많은 국내 관개수로의 특성 상 관리(손실)수량은 평야부의 특성에 따라 달라지며, 또한 물이 말단부까지 도달하지 않는 경우가 많다.
- 이러한 현상을 정량적으로 분석하고 들녘단위의 분석을 위해 본 연구에서는 수리학적 순환형 네트워크 모형을 도입하였다. 따라서, 보고서의 완결성을 위해서 간략하게 순환형 네트워크 모형에 대해서 서술하였다.
- 본 연구에서 사용한 평야부의 수리 모델링은 도시홍수를 모의하기 위하여 개발된 SWMM을 기반으로 코드를 수정하였다. SWMM의 각 모듈 내에 컴포넌트들을 활용하여 관개수로의 각 요소들을 표현하고 용수의 움직임을 모의하였다.



[그림 2-6-1] SWMM 모듈과 도수부 수리 네트워크 모델링 관계도

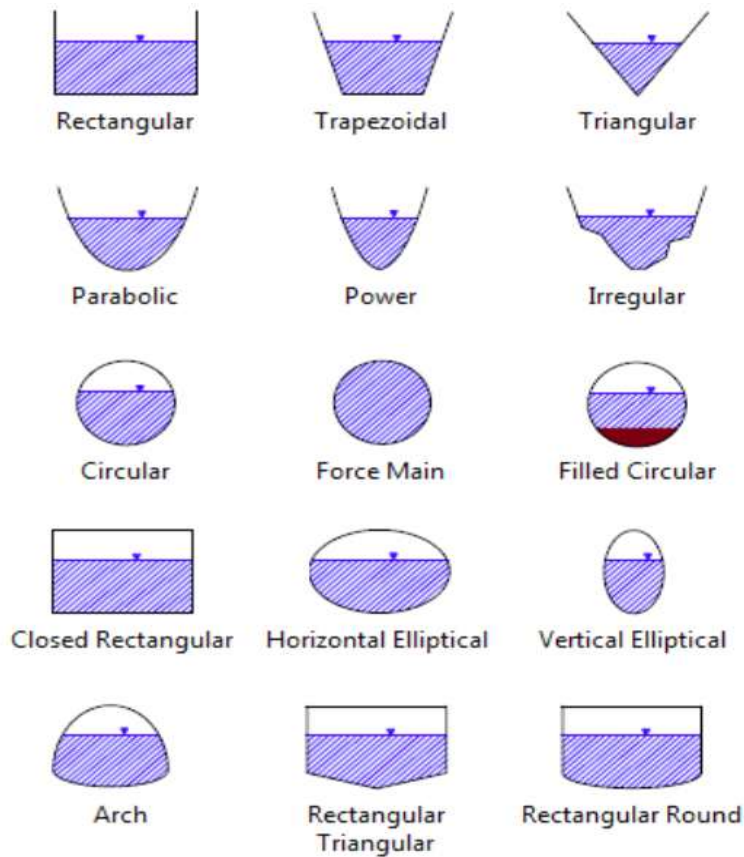
- 용수로 네트워크는 Junction과 Conduit 모듈로 모형화하며, 수문은 Orifice 모듈로 모형화 하였으며, 물꼬는 Weir 모듈로 모형화 하였다. 펌프 및 양수장은 Pump 모듈로서 모형화하였으며, 논은 Storage 모듈로 모형화하여 저수지와 같이 표현하였다. 논에서의 증발산, 침투량, 강우량 등은 물수지에 의하여 고려된다.
- 본 연구에서 사용한 평야부의 수리 모델링은 도시홍수를 모의하기 위하여 개발된 SWMM을 기반으로 코드를 수정하였다.



[그림 2-6-2] Preissmann Slot기법의 개념도

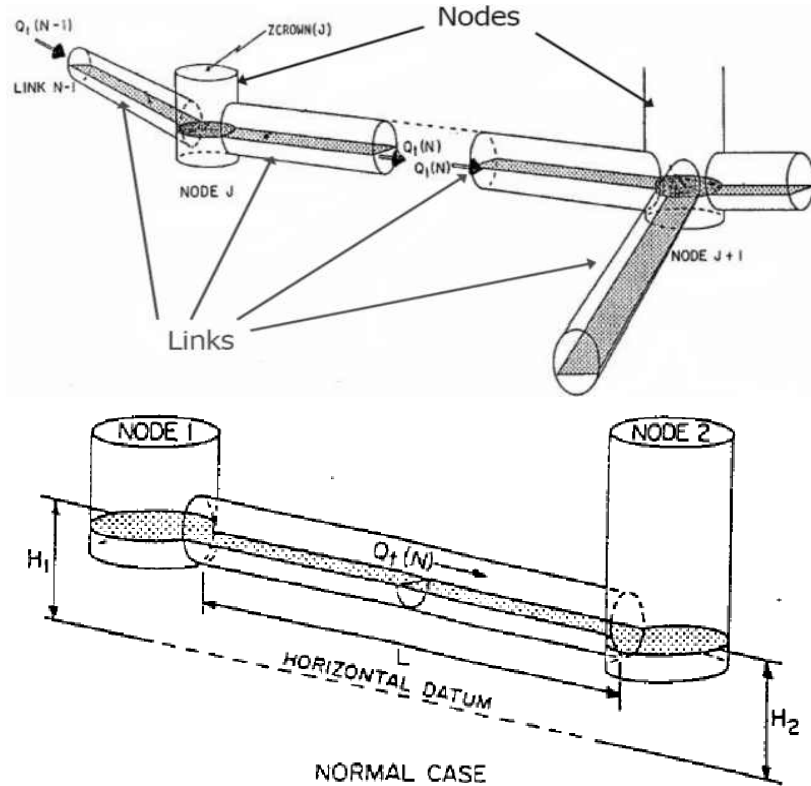
- 수리 네트워크 모형에서 차용하고 있는 SWMM 모형의 수리해석 기능은 기본적으로 도시구역의 배수관망을 해석하기 위한 것이다.
- 따라서 관망의 해석기능을 개수로에 적용하는 것에 대한 타당성이 종종 지적된다.
- 그러나, SWMM에서는 관망에서 발생할 수 있는 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 표현하기 위하여, 개수로 흐름에 대한 지배방정식에 기반한 Preissmann Slot기법을 사용하여 관망을 해석하고 있다(그림 7-2).
- 이 기법에서는 관로 상단에 얇은 Slot을 가정함으로써 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 개수로의 지배방정식으로 표현하고자 하는 기법이다. 따라서 SWMM의 수리해석모형은 기본적으로 개수로를 계산하는 모형이라 할 수 있다.

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



[그림 2-6-3] 적용가능한 수로단면형상

- 저수지에서 공급된 유량은 관개수로망(개수로 및 관수로)을 따라 이송된다.
- 모형상 관개수로망은 노드와 링크 요소로 구성되며, 개념도 상에서는 관수로로 표현되어 있지만, 개수로에서도 같은 개념이 적용된다. 수로의 시작점, 분기점, 종점은 노드(Junction)로 표현되며 이들을 잇는 수로는 링크(Conduit) 요소로 표현된다.



[그림 2-6-4] 관개수로망 모형 상에서의 노드과 링크 연결

- 계산 상 Junction으로의 유입량이 하류측 수로의 소통용량을 초과하는 경우 해당 Junction에서 flooding이 발생하며, 옵션에 따라 월류한 초과유량을 처리하게 된다.
- 하지만 본 연구에서의 모의하고자 하는 상황은 일반적인 농업용수 공급에 관한 모의로 유입량의 수로용량을 초과하여 flooding이 발생하는 상황은 배제하고 모의하여도 무리가 없을 것으로 판단된다.
- 평야부 수로흐름에 대한 기본방정식은 개수로의 일차원 부정류 방정식으로 다음의 연속방정식과 운동량방정식을 사용한다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{6.1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (6.2)$$

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

$$\frac{Q^2}{A} = V^2 A \quad (6.3)$$

$$\frac{\partial(V^2 A)}{\partial x} = 2A V \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (6.4)$$

- 식(6.3~6.4)을 식(6.2)에 대입하고 정리하면 종속변수 Q, A, V, H 등을 갖는 운동량방정식 식(6.5)를 얻게 된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2A V \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (6.5)$$

- 위 식에 Q = AV 를 대입하고 정리하면,

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (6.6)$$

- 이 식에 V를 곱하고 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다..

$$A V \frac{\partial V}{\partial x} = - V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (6.7)$$

- 위 식을 식(6.5)에 대입하고 정리하면 다음의 방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V\frac{\partial A}{\partial t} - V^2\frac{\partial A}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (6.8)$$

- Manning식으로 마찰경사를 나타내면 다음식과 같다.

$$S_f = \frac{k}{gAR^{4/3}} Q|V| \quad (6.9)$$

- 여기서, k는 gn²이며, 속도의 절대값을 사용한 것은 마찰경사를 흐름방향으로 설정하여 마찰력이 항상 흐름방향과 반대가 되도록 설정한다.

- 식(6.9)을 식(6.8)에 대입하고 유한차분법으로 이산화하면 다음식을 얻을 수 있다.

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t| Q_{t+\Delta t} + 2\bar{V} \left[\frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t + \bar{V}^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - g\bar{A} \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \quad (6.10)$$

- Q_{t+Δt}에 대하여 위의 식을 정리한 다음과 같이 LINK에서의 기본방정식을 얻을 수 있다.

- $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$ 는 시간 t 동안, LINK 양단에서의 가중평균 값을 뜻하며, 미지 값은 Q_{t+Δt}와 H₂, H₁이며, 변수 $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$ 는 Q와 H로 구성된다.

- 따라서, 이 방정식을 풀기 위해서는 Q와 H에 대한 방정식 추가로 필요하며, 여기서 NODE에서의 연속방정식을 사용할 수 있다. 노드에서는 링크들 간의 유속관계에서 연속방정식을 만족하여야 하며 이는 다음식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q_i \Delta t}{A_s} \quad (6.11)$$

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

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \frac{\sum Q \Delta t}{A_s} \quad (6.12)$$

- 식(6.10)에서 A_s는 NODE에서의 연직단면적 또는 수표면적이다. 각 계산시간 간격

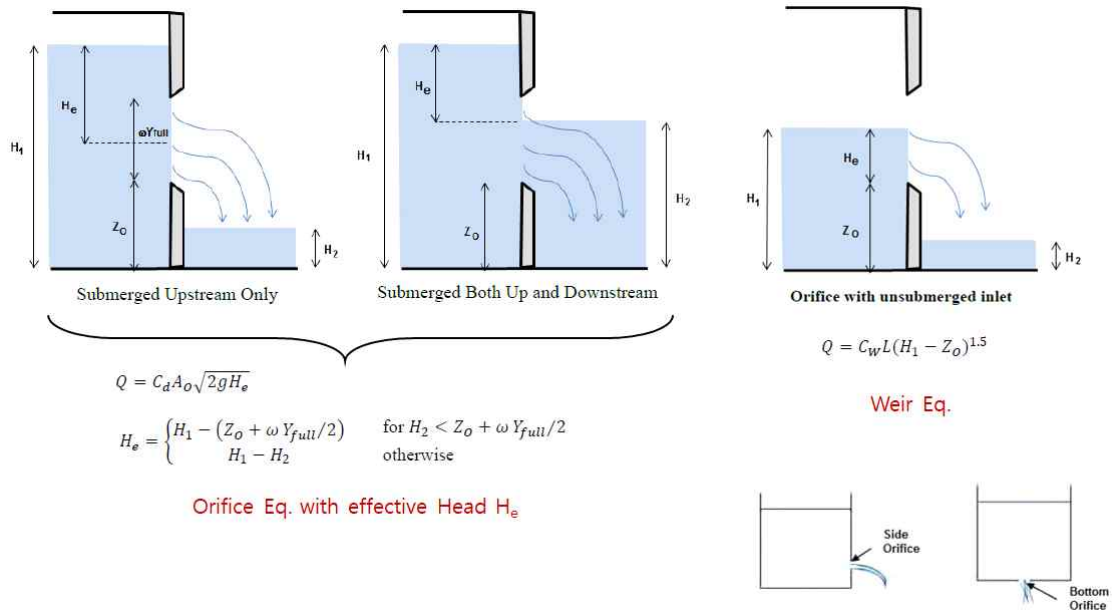
Δt 에서 NODE의 수심과 LINK의 유량을 계산할 수 있다.

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

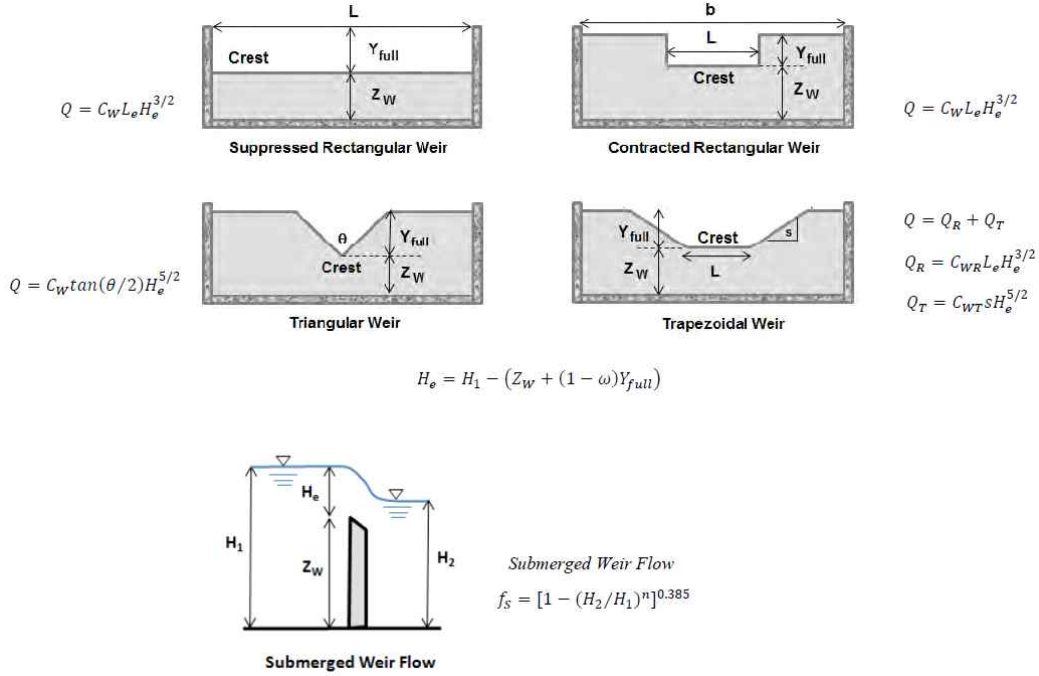
$$\text{Link: } \Delta t \leq \frac{L}{(gD)^{1/2}} \tag{6.13}$$

$$\text{Node: } \Delta t \leq C A_s \frac{\Delta H_{\max}}{\Sigma Q} \tag{6.14}$$

- 여기서, Δt : 연산시간구간(sec), L: 관망내 가장 짧은 관로길이(m), g: 중력가속도 (m/sec^2), D: 관로 최대깊이(m)이다. C'는 무차원 상수로 일반적으로 0.1의 값을 갖는다.
- ΔH_{\max} 는 Δt 구간에서 최대 수위 상승높이, A_s 는 Node 표면적, ΣQ 는 Node로 유입되는 순 유입량이다. 계산시간간격 Δt 는 용수로 내에서 가장 짧은 수로 길이 L에 대하여, 위의 두 안정조건을 만족하도록 결정된다.
- 평야부 모델링에서 분수문 및 물꼬는 Orifice로, 배수물꼬는 Weir로 표현된다.



[그림 2-6-5] 오리피스스의 계산식 및 모식도



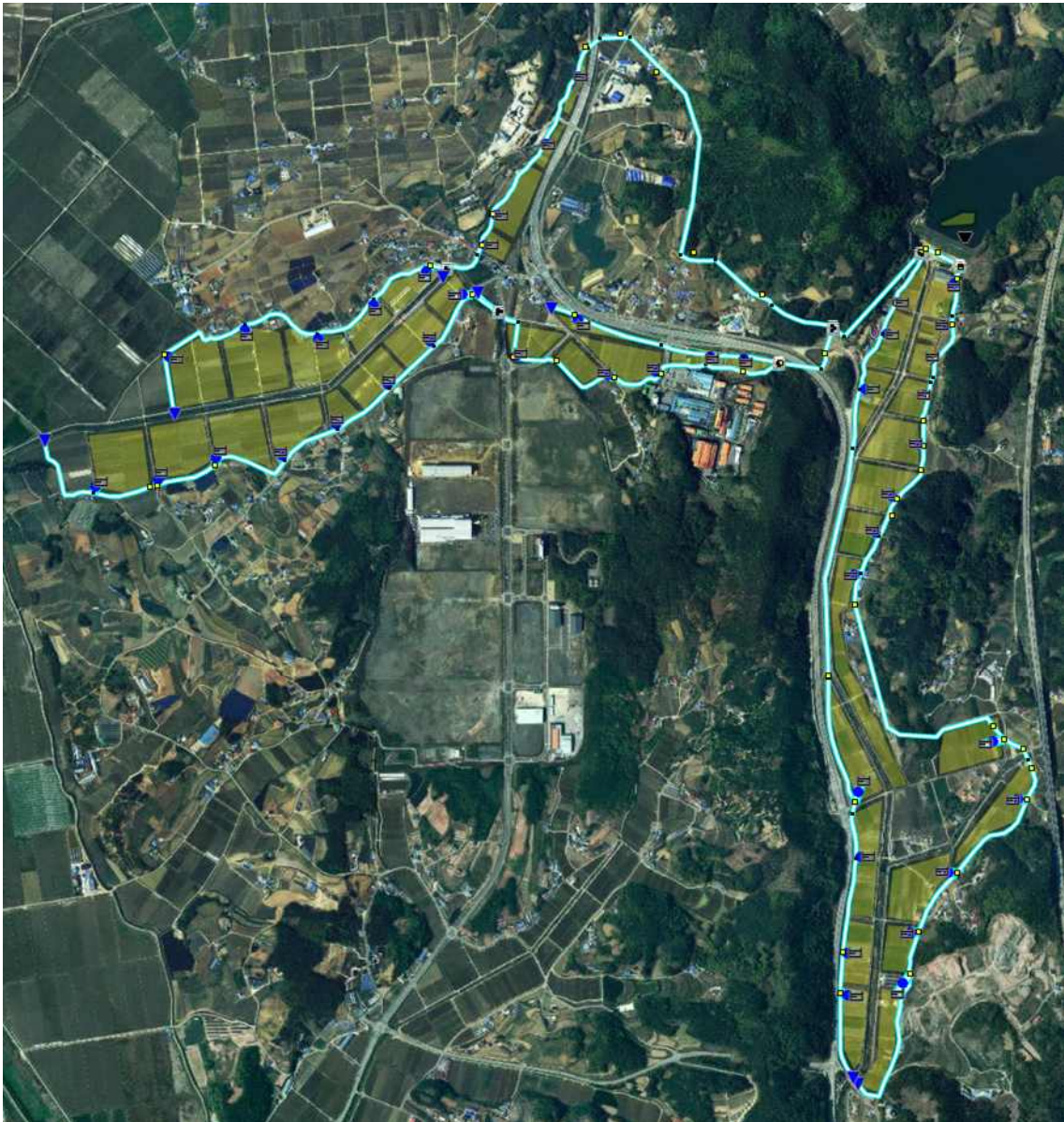
[그림 2-6-6] 위어의 계산식 및 모식도

- 1차년도에 대상지구 중 대사저수지, 마둔저수지 수혜지구를 대상으로 모형을 구축하였으며 2차년도에 풍전저수지 수혜지구에 대하여 순환형 네트워크 모형을 구축하였다.
- 수리 네트워크 모형 구축에 입력되는 주요 공간자료는 수로(선), 분기/합류점(점), 필지(점), 유역 또는 필지 블록(면) 및 구조물(점 또는 선)로 구분할 수 있으며, 이 자료들을 공간자료로 구축한 후 시스템의 모의기능에 필요한 네트워크 데이터로 작성하여 반영하였다.
- 대상지구의 도면을 확보하고 입수한 도면이 실제 현장상태를 반영하고 있는지를 비교하고, 용수로에 따라 분기점, 합류점, 급수부, 유말공 등의 형태를 기록하였다.
- 또한 도면에 표시된 수로의 제원과 현장의 상태가 일치하는지 일정한 간격을 두고 검사하고 상이할 경우에 대해서도 기록하였다.

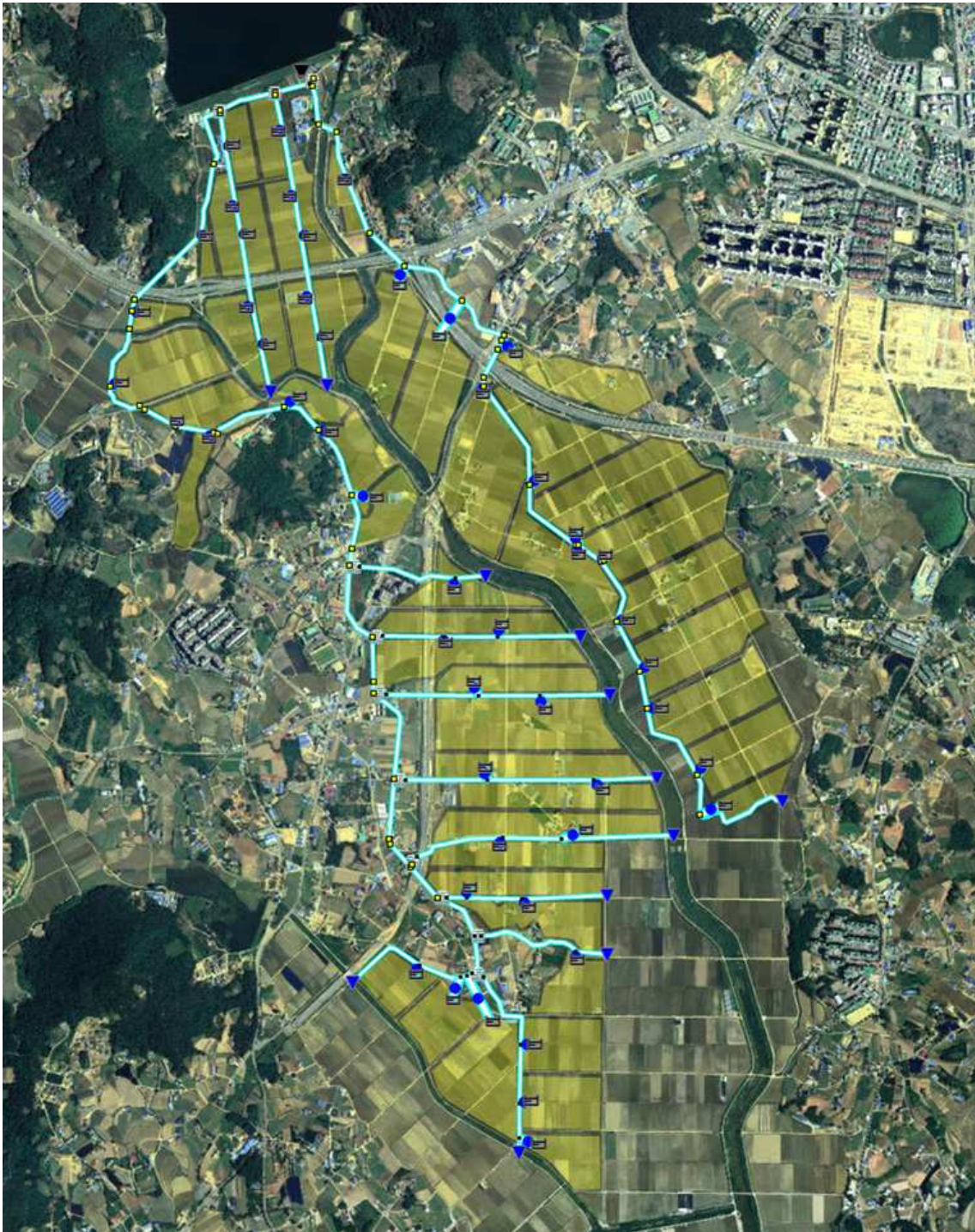
- 구축한 대상지구 저수지들의 네트워크 모형을 다음 그림들에 나타내었다.
- 논은 물그릇형태, 물꼬는 파란색 원, 배수구는 파란색 역삼각형, 분기점은 노란색 원으로 표시하였다.



[그림 2-6-7] 마둔저수지 관개지구 수리네트워크 모형



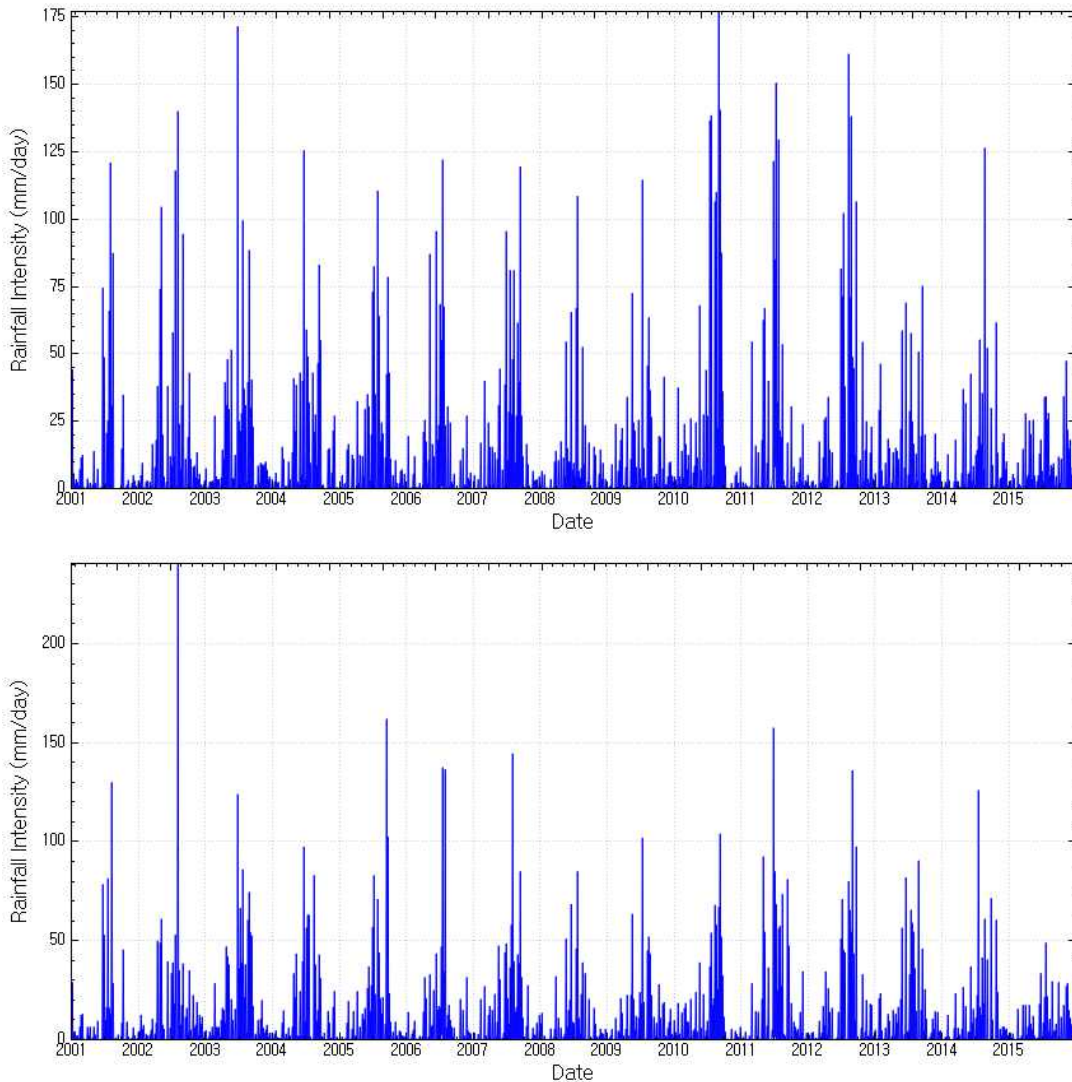
[그림 2-6-8] 대사저수지 관개지구 수리네트워크 모형



[그림 2-6-9] 풍전저수지 관개지구 수리네트워크 모형

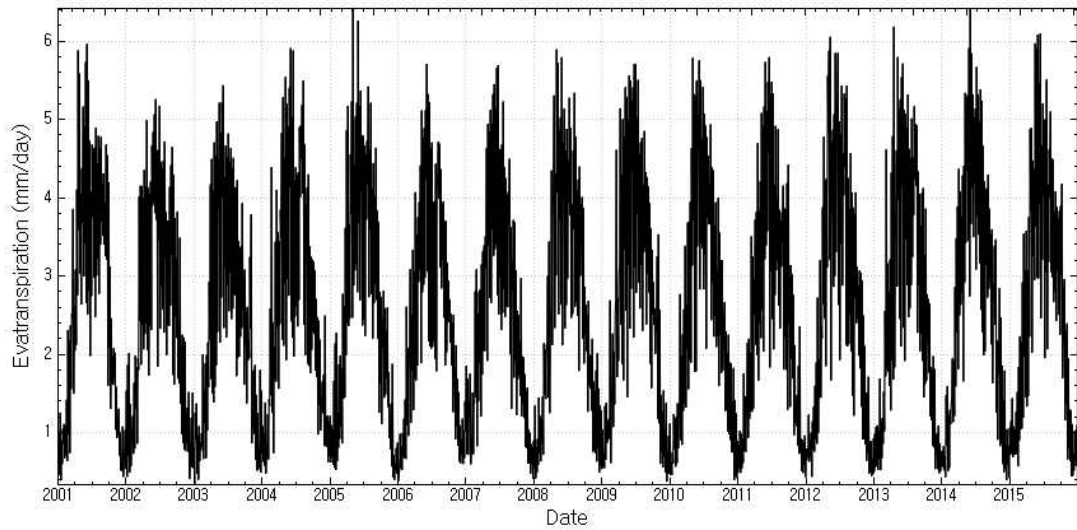
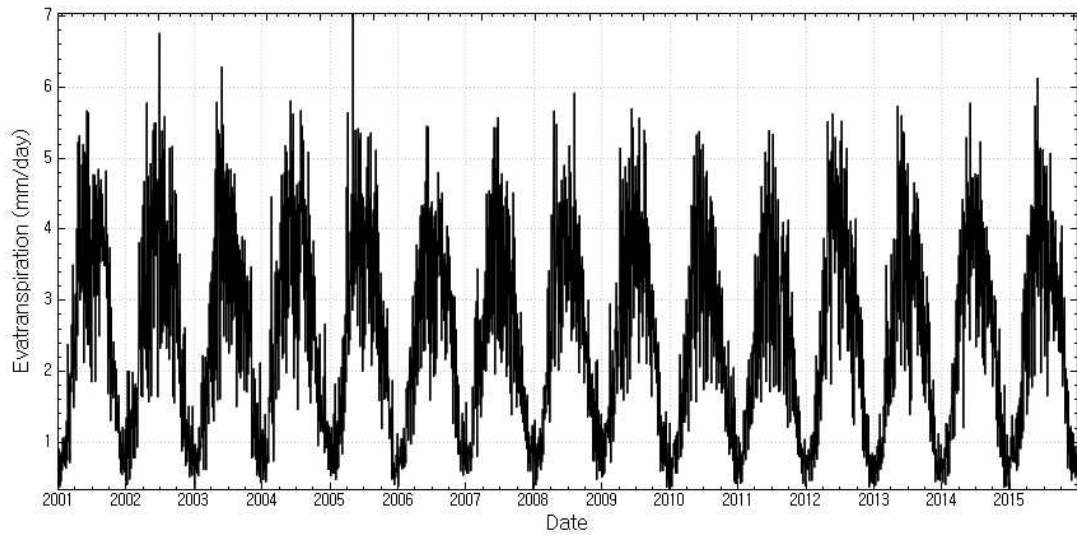
나. 대상지구 관개공급량분석

- 구축한 수리네트워크 모형은 일단위의 수리학적 계산을 하도록 되어 있으며 필요한 자료는 일강우량, 일증발산량, 저수지 관개공급량이다.
- 일강우량, 일증발산량은 관개지구 인근 기상관측소 자료를 사용하였다.
- 풍전저수지 및 대사저수지는 서산기상관측소, 마둔저수지는 천안기상관측소의 자료를 사용하였다.
- 분석대상기간은 2001년~2015년으로 15년간을 대상으로 하였다.
- 서산기상관측소와 천안기상관측소의 대상기간동안의 일강우량은 다음과 같다.



[그림 2-6-10] 서산(위) 및 천안(아래) 기상관측소 일강우량 (mm/day)

- 증발산량은 풍속, 최대최소기온, 습도 등을 사용하여 Penman-Monteith식 (FAO-56)을 사용하여 산정하였다.
- 서산기상관측소와 천안기상관측소의 자료를 활용하여 산정한 기준증발산량은 다음과 같다.

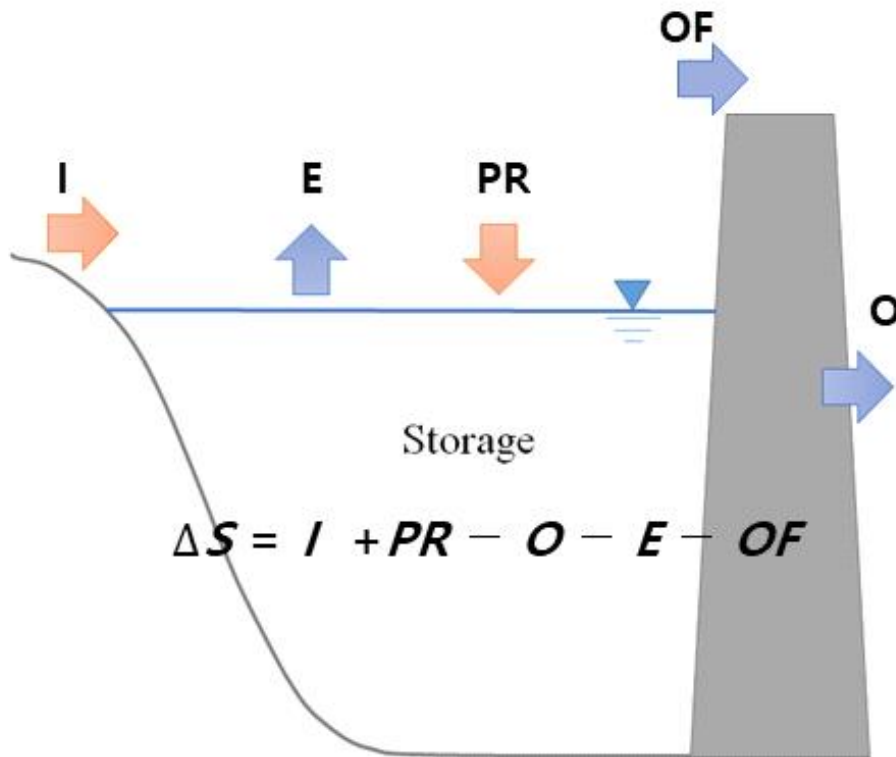


[그림 2-6-11] 서산(위) 및 천안(아래) 기상관측소 잠재증발산량 (mm/day)

- 농업용저수지의 관개공급량은 일반적으로 관측되고 있지 않고 있다.
- 따라서 본 연구에서는 저수지의 물수지식과 저수율자료에 기반하여 농업용수 공급량을 추정하였다.
- 저수지 물수지모형의 간이식은 다음과 같다.

$$\Delta S = I + PR - O - E - OF \tag{6.15}$$

- 여기서, ΔS 는 저수량 차, I 는 유입량, PR 은 수면 강수량, OF 는 물넘이 월류량, E 는 수면 증발량, O 는 관개공급량을 나타낸다.



[그림 2-6-12] 저수지 물수지모형

- 위 식을 관개공급량 O 에 대하여 재정리하면 다음식과 같다.

$$O = I + PR - \Delta S - E - OF \tag{6.16}$$

- 여기서, ΔS 는 공사의 계측자료를 활용하였으며, 월류량 OF 는 만수위 이상의 유입량을 물넘이 월류량으로 결정하였으며, 직접 저수지 유입량 PR 과 저수지 표면 증발량 E 은 기상관측으로부터 얻은 값을 사용하였다.

- 유입량 I는 계측자료 또는 수문모형을 통해 산정할 수 있으나, 현재 대부분의 농업 용저수지에서는 유입량 계측을 하지 않고 있다.
- 따라서, 일단위 유출수문모형을 통하여 강우량으로부터 유입량을 산정하여야 하며, 현재까지 국내에서 사용되고 있는 장기유출 수문모형을 정리하면 다음과 같다.

(1) 3단 Tank모형

- 김현영 등(1998)은 4단 Tank모형을 3단 Tank모형으로 단순화하였으며, 주요 매개변수를 유역의 토지이용특성에 따른 회귀식으로 산정하였다.
- 12개의 유역을 대상으로 4개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도하였으며(김현영 등, 1988), 6개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도하였다(허유만 등, 1993).
- Kim et al., (2000)은 26개의 하천유역을 대상으로 7개의 유역인자를 사용하여 회귀식을 유도하였으며, 안지현 등(2015)은 국내 다목적댐 상류유역 및 하천 수위관측소 유역을 30개를 대상으로 유역면적, 논밭산림비율, 유로연장, 유역평균경사와 같은 4개의 유역인자를 사용하여 회귀식을 유도하였다.
- 다수의 국내연구에 현재까지 활용되고 있으며 (김현준 등, 2012; 이상운 등, 2009; 이용직 등, 2006; 이태호 등, 2011; 최진규 등, 2012) 현재 농어촌공사의 저수지 설계 모형인 HOMWRS에 도입되었다.

(2) DAWAST(DAILY WATershed STreamflow) 모형

- 개념적 집중형 일 유출 모형으로, 노재경(2011)은 토양층을 불포화층과 포화층으로 구분하고 물수지 관계에 의해 토양수분 저류능을 일별로 계산하였다.
- 불포화층의 높이(UMAX), 포화층의 높이(LMAX), 포장용수량 높이(FC), 심층투수계수(CP), 유역증발산계수(CE)의 5개 매개변수를 조정하여 일 유출량을 모의하였다.
- 대청댐 유역 (노재경, 2003), 맹동저수지(노재경, 2011), 대아저수지 (노재경과 이재남, 2008) 등에 적용하였다.
- 변형 모형으로 TPHM(Two-Parametric Hyperbolic Model for daily streamflow simulation) 모형 (김현준, 2001)과 ONE(One parametric New Exponential hydrologic Model)모형 (노재경, 2013)이 있다.

(3) SSARR 모형

- 미국 공병단에서 1956년 개발되어 대유역의 실시간 일예보 등의 목적으로 사용되었다.
- 발안 및 기천저수지(강민구, 2004), 동향 유역(맹승진 등, 2007), 금호강 유역(정지혜, 2014) 등에 적용하였다.

(4) SLURP 모형

- SSARR 모형의 대안으로 사용하기 위하여 1975년 개발(Kite et al., 1994)되었다.
- 초기 집중형 모형 SLURP(Simple Lumped Reservoir Parametric)에서 현재 준분포모형인 SLURP(Semi-distributed Land Use based Runoff Processes)으로 변환되었다.
- 댐이나 저수지의 저류 효과에 대한 분석이 가능하다.
- 안성천에 적용 (김보경 등, 2009)하였다.

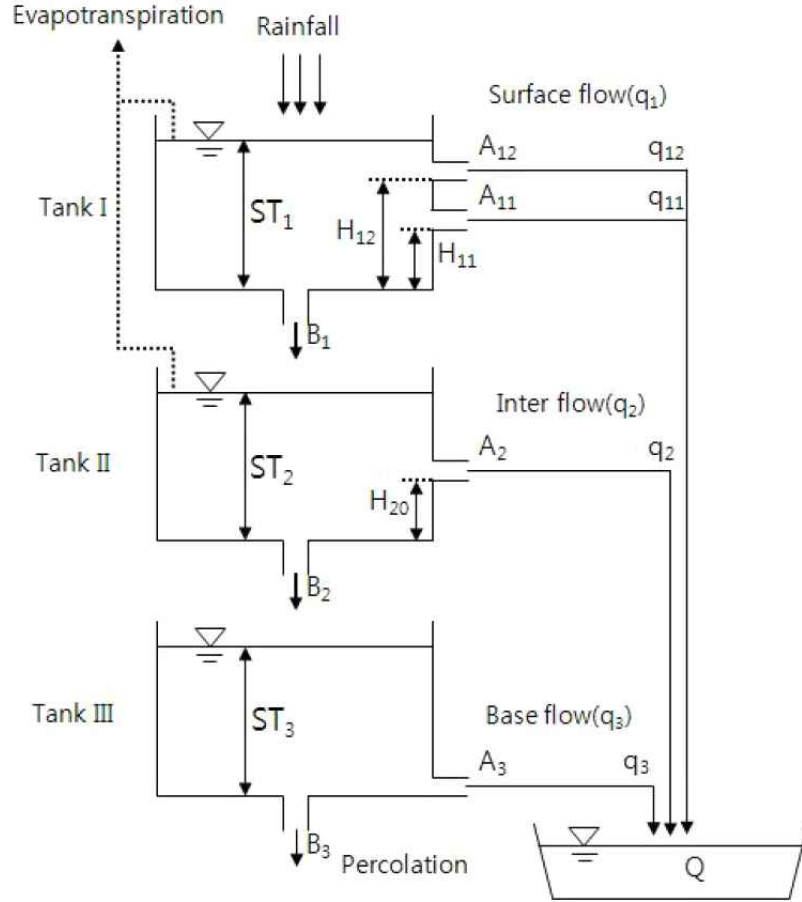
(5) SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형

- 미국 농무성 농업연구소에 의해 개발된 장기 강우-유출모형으로 다양한 토양속성과 토지이용에 따른 유출 영향을 예측하기 위하여 개발(Neitsch et al., 2002) 되었다.
- 고삼 및 금광저수지 (이용준 등, 2008), 충주댐 (정현교 등, 2008) 등에 적용하였다.

(6) 가지야마 모형(공식)

- 중·대하천의 실측 유출량을 바탕으로 유도된 공식으로 월단위 유출량 산정이 가능하다.

- 일반적으로 유출모형의 적용을 위해서는 관측자료를 이용한 매개변수의 보정(calibration)과정이 필수적이거나, 현재 국내 농업용 저수지 유입량 관측자료는 거의 대부분 입수하기 어려워 보정과정을 원활히 수행하기 어렵다. 따라서 이러한 매개변수 조정에 대한 과정이 이미 분석되어 개략적으로라도 매개변수를 추정할 수 있는 모형이 농업용 저수지의 유입량 예측모형으로 적합하며, 위 모형들 중 3단 Tank 모형과 ONE모형이 이에 해당한다.
- 본 연구에서는 이 두 모형을 선정하여 대상지구에 적용하였다.
- Tank모형은 Sugawara(1961)에 의해 개발된 단일 탱크의 선형시스템 모형으로 임의의 집수유역을 여러 개의 탱크로 가상하여 유역의 지표유출, 중간유출, 기저유출을 산정하였다.
- Tank모형은 유역을 일련의 3-4단 류탱크 형태로 개념화시켜 강우-유출 과정을 모형화한 것으로, 일반적으로 상부탱크에서 강우와 증발산 지표유출을 모의하고, 하부탱크에서 지하수유출과정을 모의하며 상부와 하부 간탱크 사이의 물 이동을 통해 침투 중간유출 과정을 개념으로 모의하는 방법을 사용한다.
- Tank 모형은 일반적으로 분포형 모형에 비해 모형의 구조가 간단하고, 유출 해석에 필요한 입력자료 매개변수의 수가 적기 때문에, 계측자료가 충분하지 않거나 미계측유역과 같이 기상 토양, 토지이용 등 유역의 물리 특성에 한 자료 수집이 곤란한 경우 실용적으로 적용할 수 있는 장점이 있다.
- 김현영 등(1988)은 우리나라 유역에 적합하도록 모형을 더욱 단순화하여 수정 3단 TANK 모형을 제시하였다.



[그림 2-6-13] 3단 Tank모형 개념도 (전상민, 2014)

- 1단 탱크는 유출성분 중 지표유출을 개념화한 것이고, 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다. 1단 탱크의 유출공수를 2개로 한 것은 홍수유출시 오차를 1개일 때보다 감소시키기 위한 것이다. 3단 탱크의 유출공 높이를 0으로 한 것은 강우가 없을 경우의 초기 기저유출량을 표현하기 위한 것이며, 또한 저류수심 ST가 항상 유출공의 높이 보다 커야하기 때문이다.
- Tank 모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강우량으로부터 다음식에 의하여 계산된다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \tag{6.17}$$

- 여기서, Q_{ij} 는 일의 총유출량 (mm), i 는 Tank의 수, j 는 Tank의 유출공수, ST_i 는 i 번째 Tank의 저류수심 (mm), H_{ij} 는 i 번째 Tank의 j 번째 유출공의 높이 (mm), A_{ij} 는 유출공의 계수 (무차원), ST 는 단위시간 에 따른 저류수심으로 다음식과 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - ET_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \tag{6.18}$$

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

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \tag{6.19}$$

- 여기서, B_i 는 i 번째 Tank의 침투계수 (무차원)이다. 수정 3단 Tank 모형은 많은 선행연구에 의해 국내 유역에 적용이 용이한 것으로 나타났다.
- Tank모형은 유역을 3-4단의 탱크 구조로 가정하고 관련된 매개변수의 최적화를 통해 유출 현상을 개념적으로 접근하여 해석하는 모델링 기법이기 때문에, 유역의 특성이 크게 변하지 않는다는 가정하에 최적 매개변수가 추정된 해당 유역에서의 유출량은 비교적 정확하게 모의하고 시간적으로 확장할 수 있다.
- 하지만 도시화에 따른 토지이용·식생 및 토양 특성의 변화, 기후변화 등과 같은 유역 내 수문환경의 변화에 따른 유출 변화 해석이 곤란하다는 단점이 있으며 매개변수가 추정되지 않은 타 유역에 대한 유출 해석의 신뢰성 또한 장담할 수 없는 문제가 있다.
- 이러한 단점을 극복하고 Tank 모형의 미계측의 국내 유역에 대한 적용성을 높이기 위해 모형의 매개변수에 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 그 중 대표적인 매개변수 추정식들을 아래 그림에 소개하였다.

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

Regression equations	Correlation a	F-values	Remark
$A11 = -0.00414P + 0.169$	0.996	1302.1	F1, 10= 10.04 (1%)
$B2 = 0.00998P + 0.111$	0.998	4177.5	
$A2 = 0.00657U + 0.163$	0.985	303.2	F1, 10= 4.96 (5%)
$A3 = -0.000267U + 0.00912$	-0.972	155.7	
$* \ln H2 = -0.0934U + 2.0904$	-0.688	8.1	

[그림 2-6-14] 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (김현영과 박승우, 1988)

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

Area, Watershed area (km²); Length, Length of main stream(km); Paddy, Percentage of paddy field(%); Cropland, Percentage of dry cropland field(%); and Forest, Percentage of forest(%).
 *: p < 0.05; **: p < 0.01; ***: p < 0.001.

[그림 2-6-15] 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (강민구 등, 2013)

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

[그림 2-6-16] 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2015)

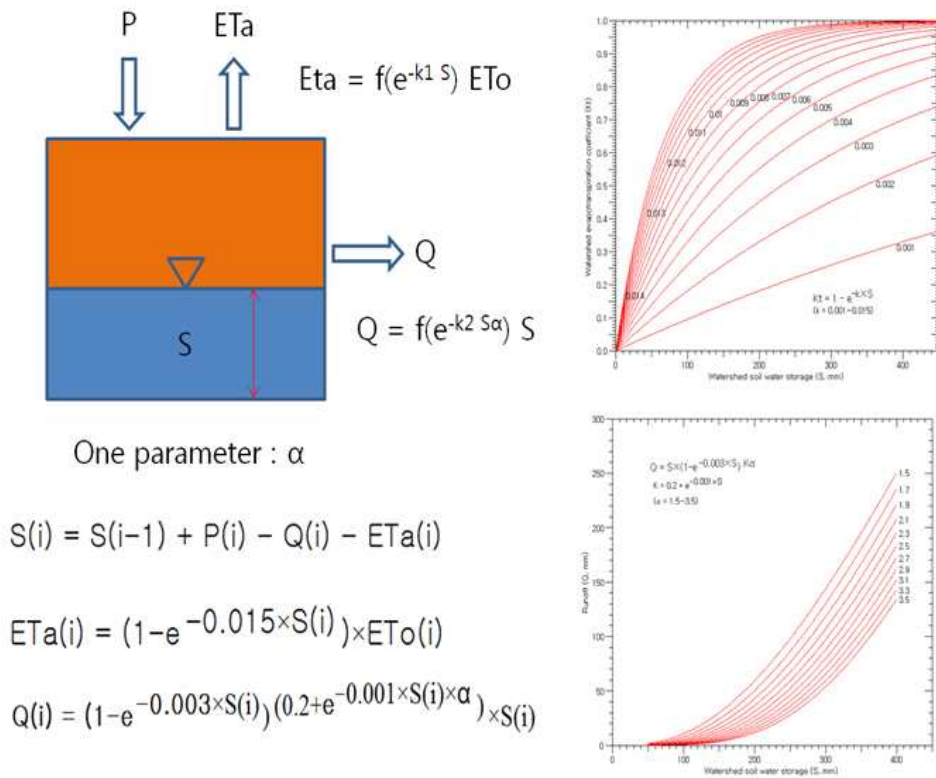
	Parameters	Regression equation
$S \leq 25.0\%$	A11	$0.006Slope - 0.026\ln(Upland) - 0.006\ln(Area) + 0.147$
	A12	$0.032Paddy + 0.024Forest + 0.669\ln(Slope) - 3.889$
	A2	$0.003Paddy + 0.173\ln(Forest) + 0.034\ln(Slope) - 0.792$
	A3	$-0.000209Upland + 0.005\ln(Area) - 0.007\ln(Length) + 0.008$
	B1	$0.005Slope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

[그림 2-6-17] 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2013)

- 본 연구에서는 이 중 매개변수의 숫자가 작아 적용성이 높은 김현영과 박승우(1988)의 회귀식을 이용하여 3단 Tank 모형의 매개변수를 산정하였다.
- One(One parametric New Exponential hydrologic Model)모형은 토양수분 저류량에 따라 하나의 매개변수로 유출량이 비선형으로 변화하는 관계를 구현한 장기유출모형이다.
- 이 모형은 DAWAST 모형과 TPHM모형의 비교연구를 통하여 두 모형의 개선사항을

찾아내고 이를 바탕으로 개발된 모형이다.

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



[그림 2-6-18] ONE 모형의 모식도

- ONE 모형의 모식도는 다음과 같으며, 유역에서 토양 저류량은 연속방정식으로부터 강수량에 의해 증가되고 증발산량과 유출량에 따라 감소된다.

$$S(i) = S(i-1) + P(i) - ET_a(i) - Q(i) \tag{6.20}$$

- 증발산량은 잠재증발산량 또는 계기증발산량과 토양 저류상태에 따라 식 (7.21)에 의해 산정되며, 유출량 산정식은 토양 저류량과 매개변수 α 에 따른 지수함수 형식

으로 표현된다.

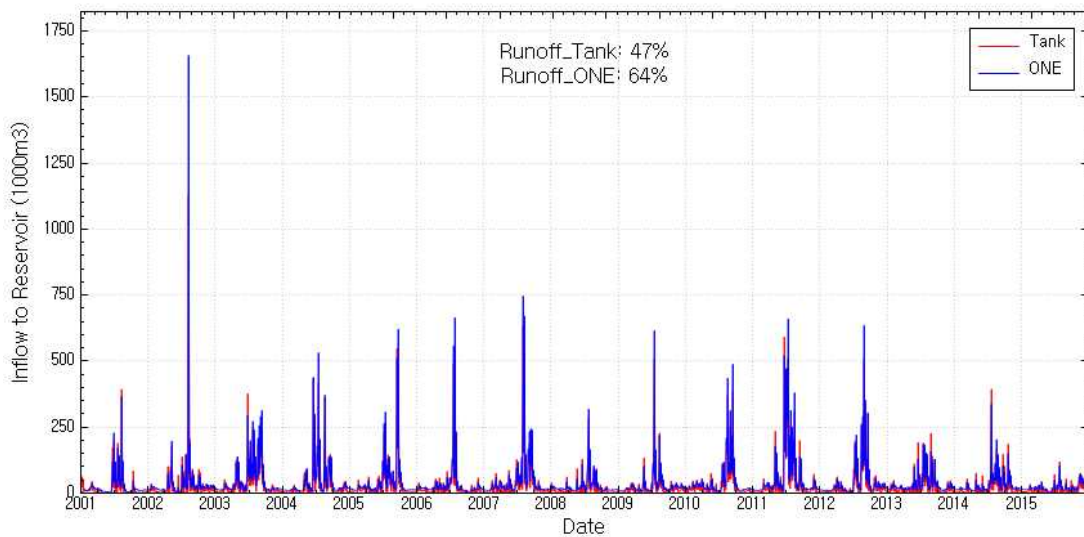
$$ET_a(i) = (1 - e^{-0.015 \times S(i)}) \times ET_a(i) \tag{6.21}$$

$$Q(i) = (1 - e^{-0.003 \times S(i)})^{(0.2 + e^{-0.001 \times S(i) \times \alpha})} \times S(i) \tag{6.22}$$

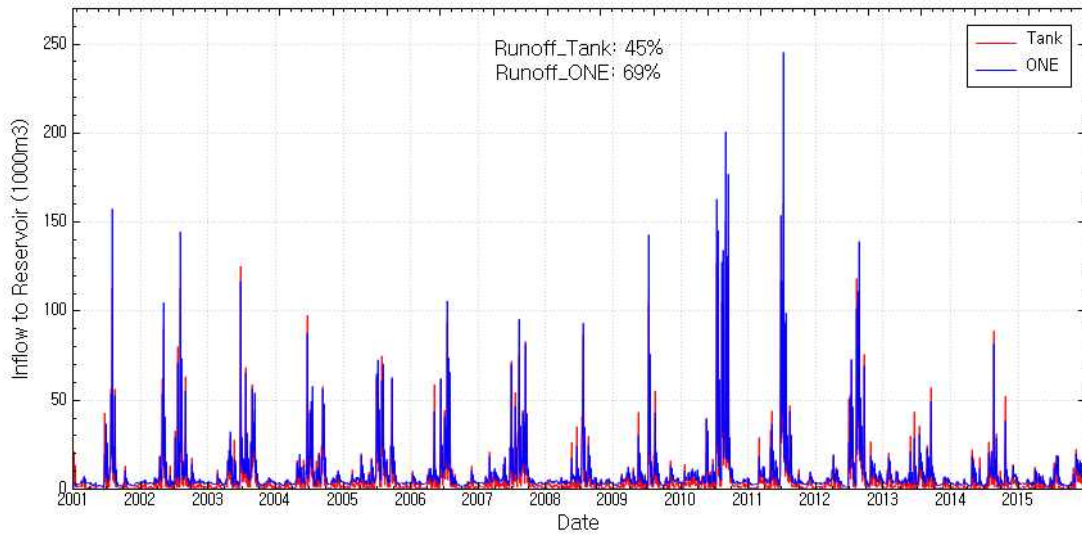
- 이렇게 산정된 유출량과 증발산량은 기존 토양의 저류량을 변화시키며, 변화된 토양 저류상태가 적용되어 일단위로 유출량과 증발산량이 반복하여 계산되는 구조로 구성되어 있다.
- 또한 ONE 모형은 미계측 유역에서 매개변수 α 를 결정할 수 있도록 일반화 공식을 제공하고 있으며, 이 공식은 국내 16개 다목적댐의 연 강수량과 유입량 자료를 이용하여 유도한 공식으로 다음과 같이 표현된다.

$$Qr(i) = 25.22 + 0.0245 \times Pa \tag{6.23}$$

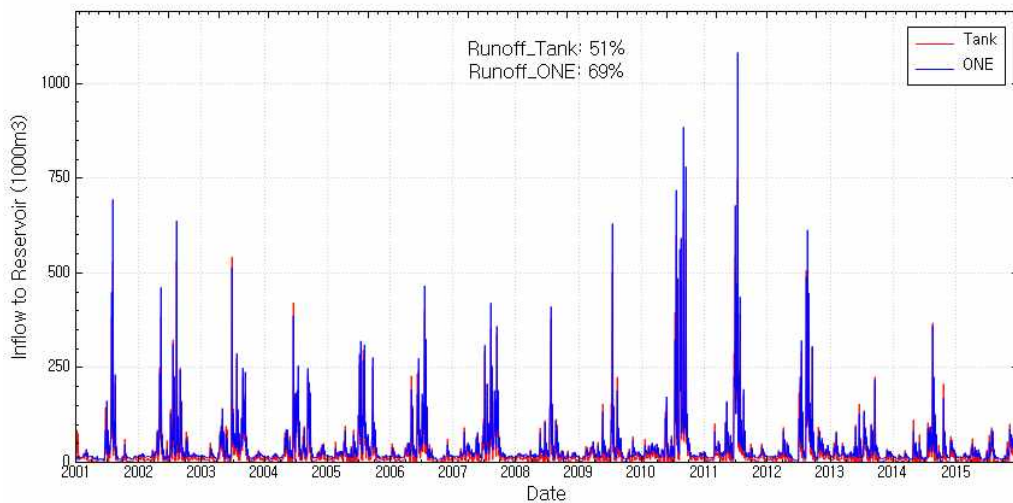
- 연구대상지역에 대하여 3단 Tank모형과 ONE모형에 의해 모의된 저수지 유입량은 다음과 같다.



[그림 2-6-19] 마둔저수지 유입량 추정결과



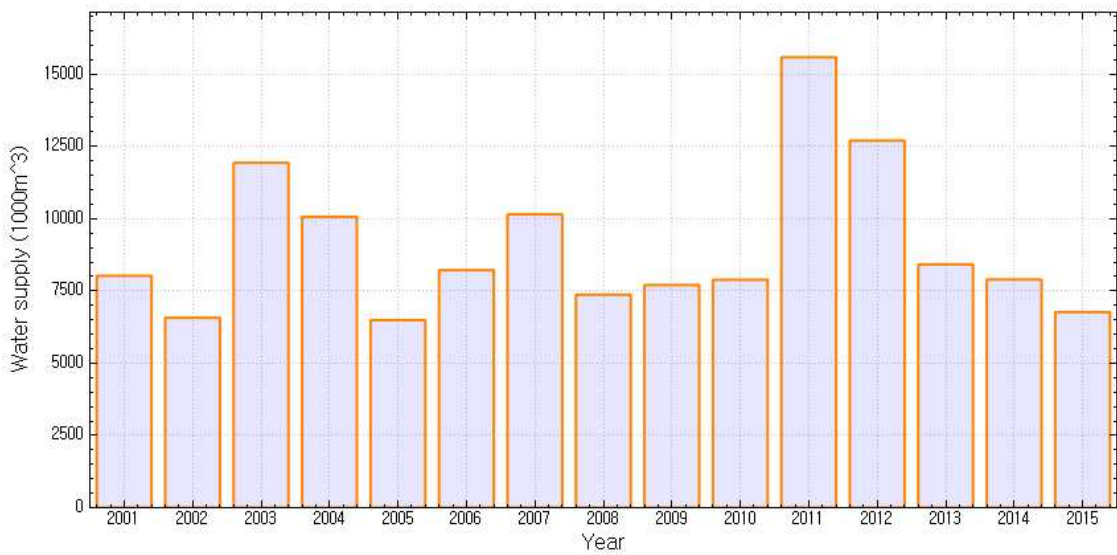
[그림 2-6-20] 대사저수지 유입량 추정결과



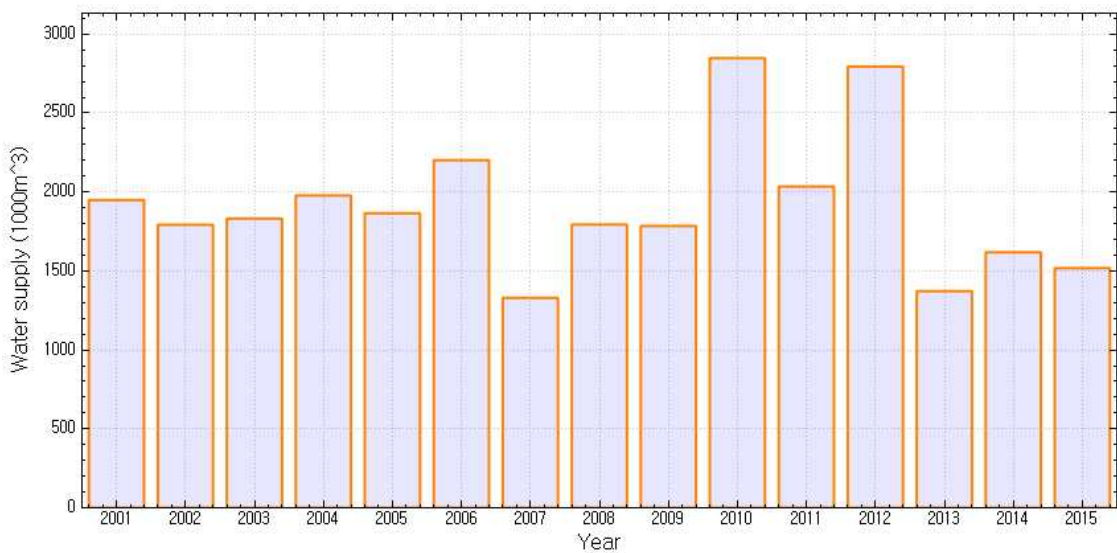
[그림 2-6-21] 풍전저수지 유입량 추정결과

- 3단 Tank모형은 풍전, 대사, 마둔저수지의 분석기간동안의 총 유출율을 각각 51%, 45%, 47%로 추정하였으며, ONE 모형은 69%, 69%, 64%로 추정하였다.
- 전반적으로 3단 Tank모형에 비해 ONE 모의 경우가 저수지 유입량이 많은 것으로 추정하고 있다.
- 현 시점에서 저수지유입량은 관측되지 않고 있기 때문에 모형의 정확도에 대한 직접적인 비교는 어렵다.

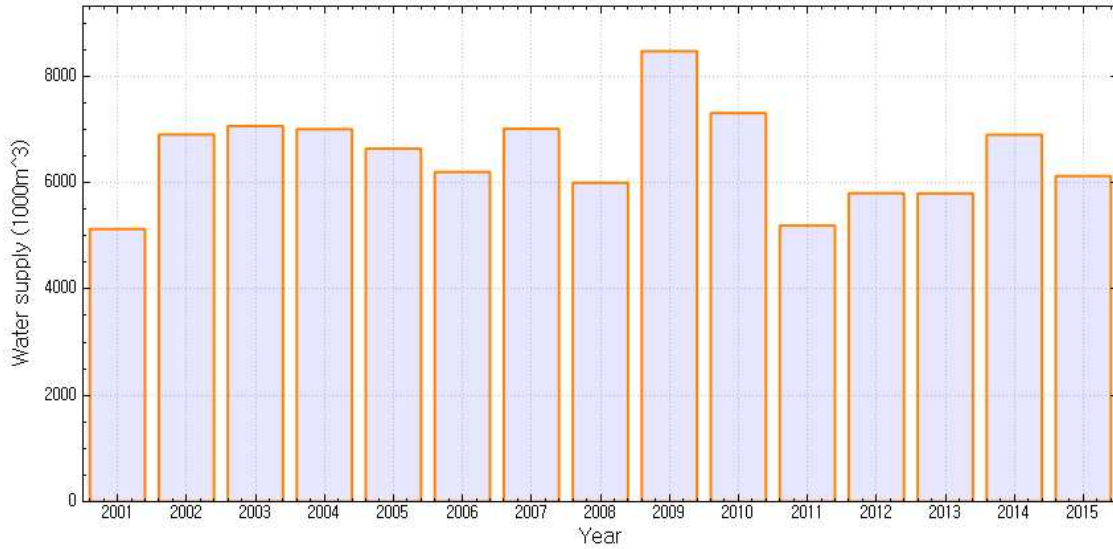
- 본 연구에서는 저수지 저수율 계측자료를 기반으로 간접적으로 모형의 성능을 비교한 결과 3단 Tank모형이 보다 대상저수지의 계측저수율을 보다 유사하게 모의하는 것을 확인하였다.
- 따라서, 본 연구에서는 3단 Tank 모형을 사용하여 저수지 유입량을 추정하였다.
- 저수지 공급량 추정에 적용한 물수지 식은 계측자료가 없는 저수지 유입량 모형의 불확실성을 줄이기 위하여 순단위(10일)로 적용하였다.
- 저수지 물수지모형과 저수율 자료를 이용하여 대상 저수지의 관개용수 연공급량을 다음과 같이 추정하였다.



[그림 2-6-22] 마둔저수지 연용수공급량 추정



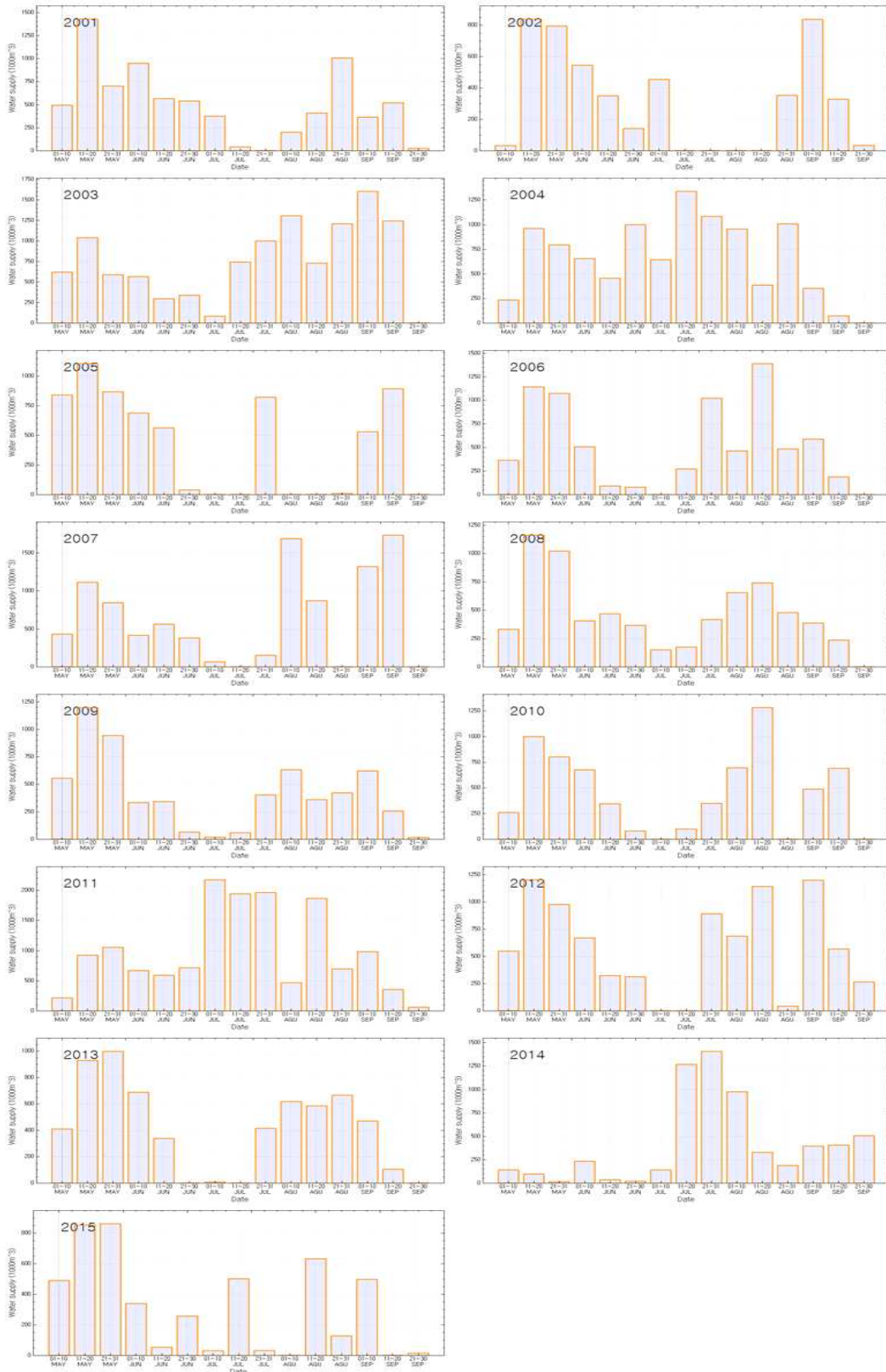
[그림 2-6-23] 대사저수지 연용수공급량 추정



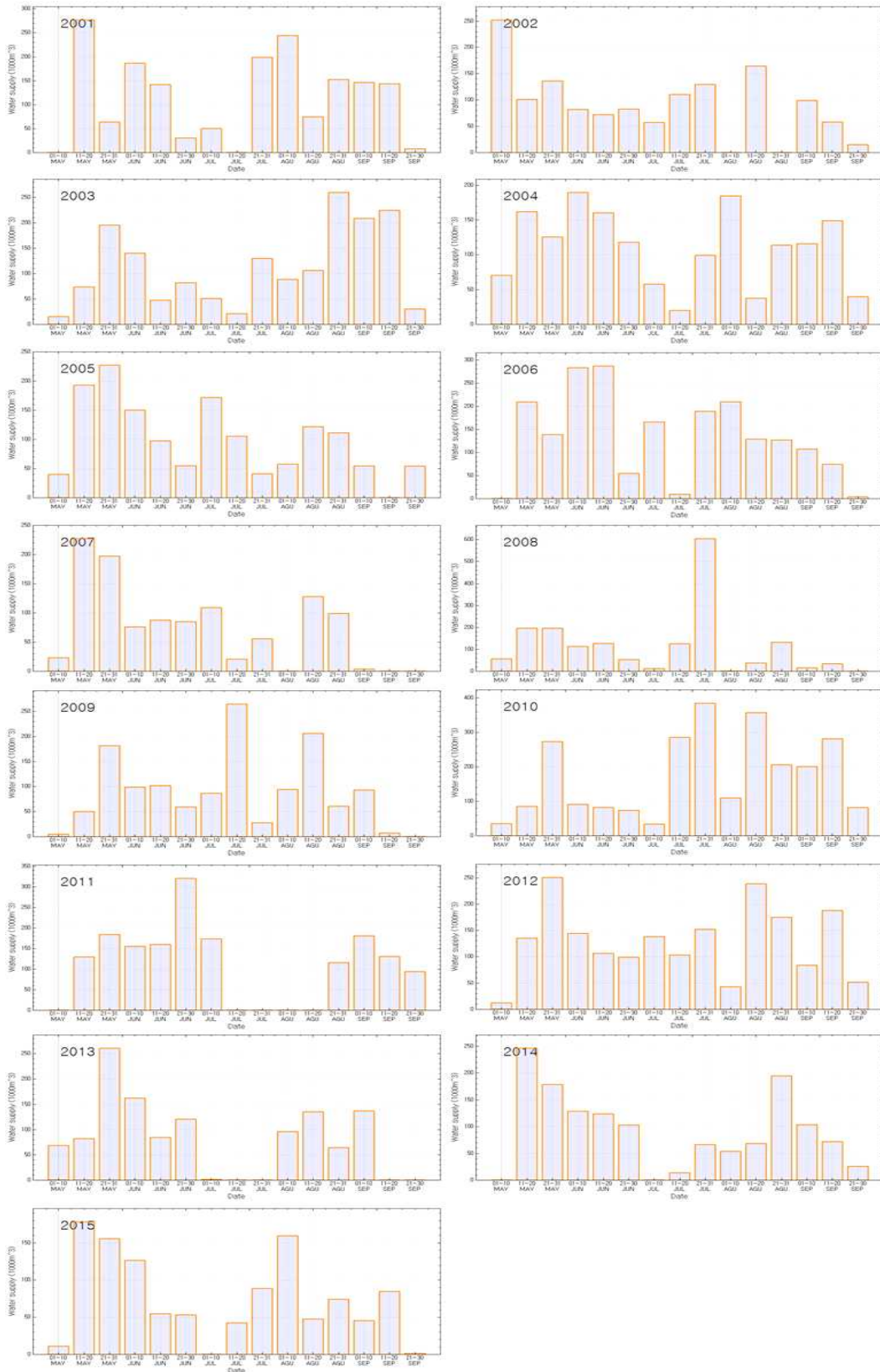
[그림 2-6-24] 풍전저수지 추정 연용수공급량

- 대상저수지들의 연평균 관개공급량은 풍전저수지 6,500 천m³, 대사저수지 1,913 천m³, 마둔저수지 9,048 천m³로 산정되었다.
- 연별 공급량의 편차는 풍전, 대사, 마둔저수지 순이며, 저수지의 관개공급량은 강우 상황과 저수지 저수율 상황에 맞추어 관행에 따라 이루어지고 있으므로, 용수공급량만을 고려하여 일정한 관개공급이 반드시 좋은 운영이라고 해석하기는 어렵다.

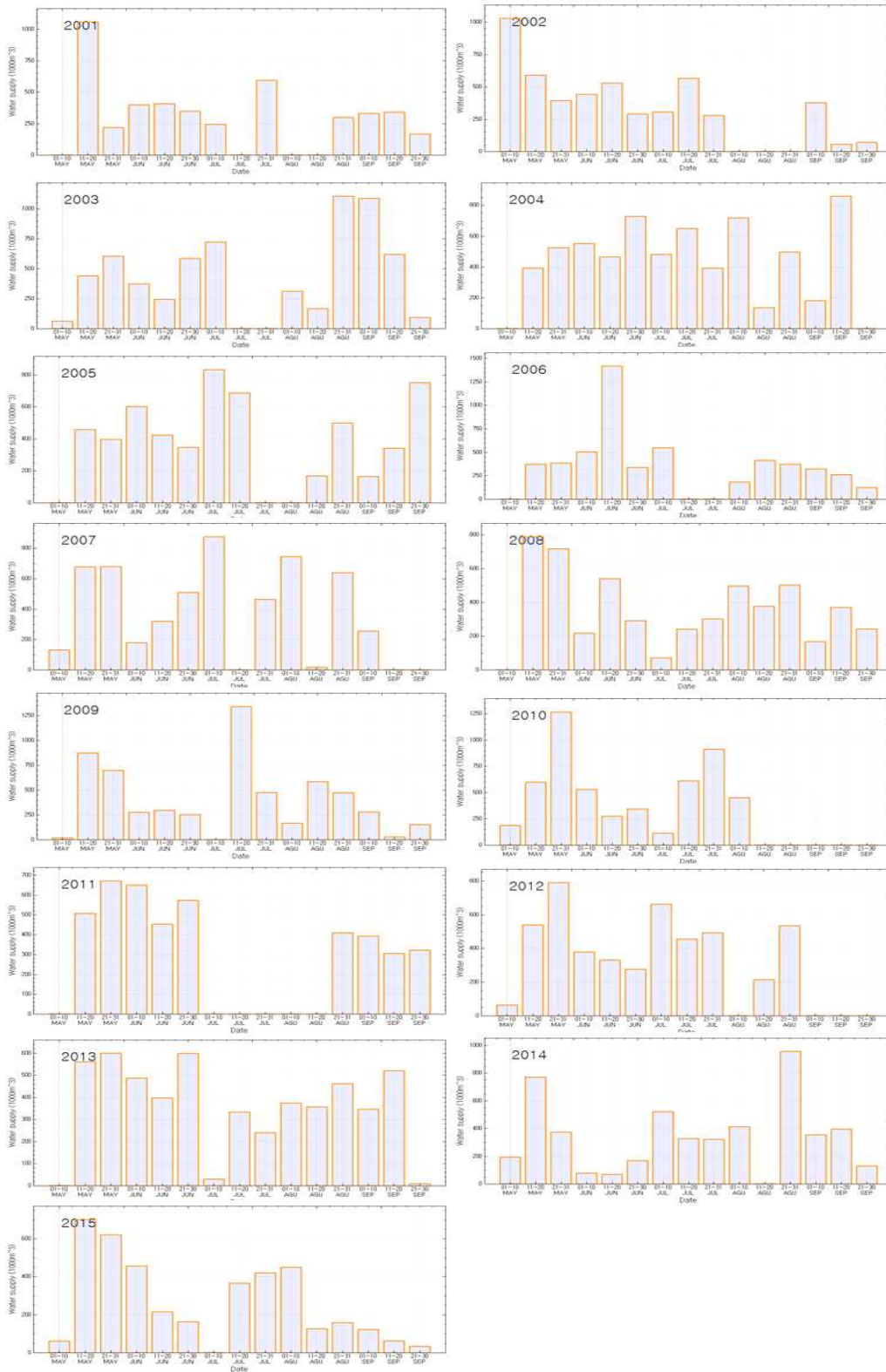
- 대상저수지들의 순별 관개공급량을 다음 그림들에 제시하였다.



[그림 2-6-25] 마둔저수지 추정 순용수공급량

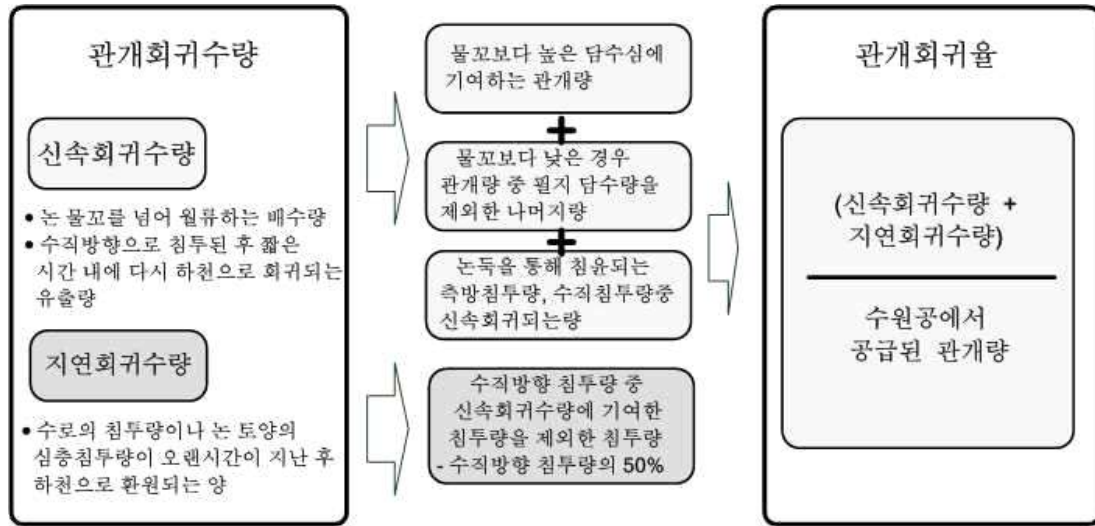


[그림 2-6-26] 대사저수지 추정 순용수공급량



[그림 2-6-27] 풍전저수지 추정 순용수공급량

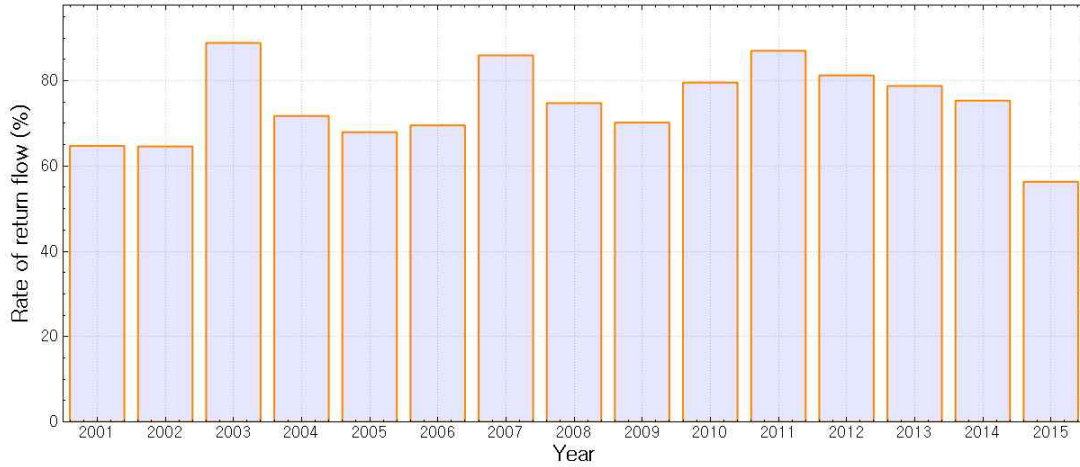
- 산정한 관개공급량을 바탕으로 회귀율을 산정하였다. 회귀수는 아래 그림과 같이 비교적 짧은 시간 내에 하천으로 환원되는 신속회귀수량과 오랜 기간에 걸쳐 하천으로 회귀되는 지연회귀수량으로 나눌 수 있다.



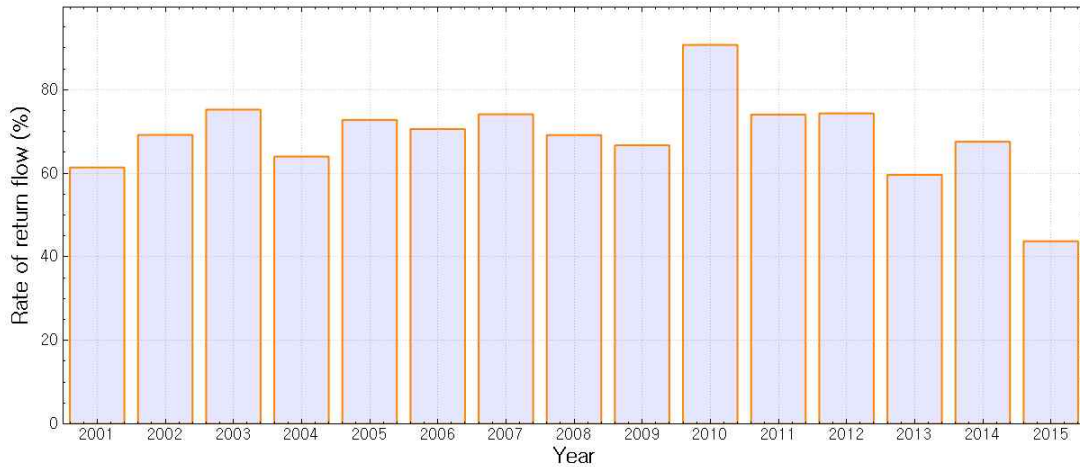
[그림 2-6-28] 회귀수와 관개회귀율

- 신속회귀수량은 논 물꼬를 넘어 월류하는 배수량과 수직방향으로 침투된 후 짧은 시간 내에 하천으로 회귀하는 유출량이며, 지연회귀수량은 수로의 침투량이나 논 토양의 심층침투량이 오랜 시간이 지난 후 하천으로 환원되는 양으로 정의할 수 있다.
- 본 연구에서는 관개지구 단위에서 해당년도 관개기간 동안 관개용수 공급량과 논에서의 소비수량을 간접적으로 추정하여, 관개용수로 사용되지 않은 양을 회귀수량으로 산정하였다.
- 관개회귀율은 회귀수량을 수원(저수지, 양수장)에서 공급된 관개량으로 나눈 값이다.

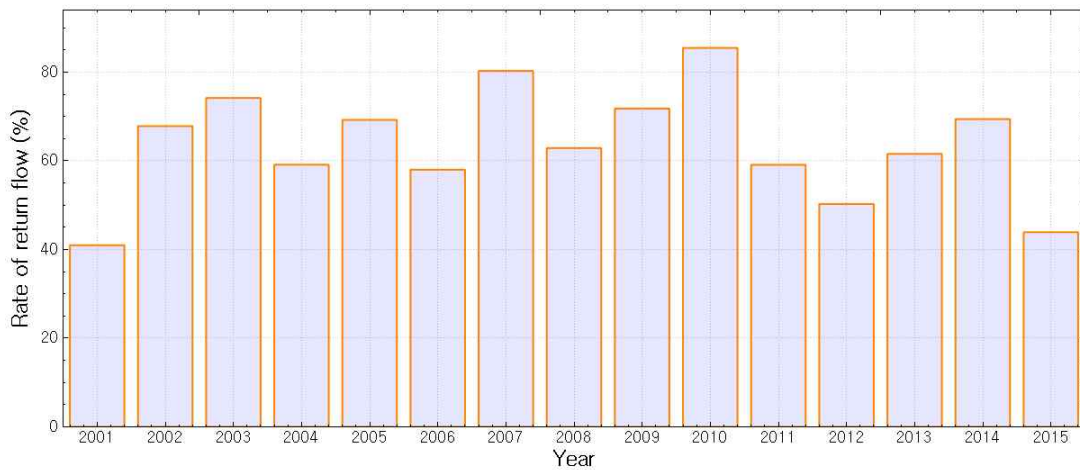
- 대상지구에 대하여 산정한 관개회귀율은 다음 그림과 같다.



[그림 2-6-29] 마둔저수지 연도별 관개회귀율 (2001~2015)



[그림 2-6-30] 대사저수지 연도별 관개회귀율 (2001~2015)



[그림 2-6-31] 풍전저수지 연도별 관개회귀율 (2001~2015)

- 대상지구에 대하여 산정한 연별 관개공급량, 소비량, 유효강우량, 회귀수량을 산정하여 다음 표와 같이 정리하였다.

[표 2-6-1] 마둔저수지 관개수량기초분석

년도	관개공급량 (mm)	관개소비량 (mm)	유효강우량 (mm)	회귀수량 (mm)	회귀율(%)
2001	1515	476	479	746	1038
2002	1240	427	753	864	814
2003	2253	211	863	1086	2042
2004	1900	455	881	874	1445
2005	1225	315	706	1018	910
2006	1552	428	839	607	1124
2007	1916	264	979	917	1652
2008	1391	365	651	661	1026
2009	1454	454	786	654	1000
2010	1489	395	848	918	1094
2011	2943	315	1176	1120	2627
2012	2398	374	815	946	2024
2013	1589	358	543	957	1232
2014	1490	372	644	795	1118
2015	1278	570	485	653	707
평균	1709	385	763	854	1324

[표 2-6-2] 대사저수지 관개수량기초분석

년도	관개공급량 (mm)	관개소비량 (mm)	유효강우량 (mm)	회귀수량 (mm)	회귀율(%)
2001	1515	476	479	746	1038
2002	1240	427	753	864	814
2003	2253	211	863	1086	2042
2004	1900	455	881	874	1445
2005	1225	315	706	1018	910
2006	1552	428	839	607	1124
2007	1916	264	979	917	1652
2008	1391	365	651	661	1026
2009	1454	454	786	654	1000
2010	1489	395	848	918	1094
2011	2943	315	1176	1120	2627
2012	2398	374	815	946	2024
2013	1589	358	543	957	1232
2014	1490	372	644	795	1118
2015	1278	570	485	653	707
평균	1709	385	763	854	1324

[표 2-6-3] 풍전저수지 관개수량기초분석

년도	관개공급량 (mm)	관개소비량 (mm)	유효강우량 (mm)	회귀수량 (mm)	회귀율(%)
2001	783	462	696	763	41.0
2002	1054	339	875	1044	67.8
2003	1078	279	941	887	74.2
2004	1069	437	961	861	59.1
2005	1013	312	941	938	69.2
2006	946	398	918	786	58.0
2007	1070	211	984	993	80.3
2008	915	340	804	673	62.9
2009	1293	365	842	793	71.8
2010	1115	162	1554	1105	85.4
2011	792	324	1413	870	59.1
2012	885	440	987	1151	50.3
2013	885	340	640	804	61.6
2014	1053	322	585	794	69.4
2015	934	524	490	719	43.9
평균	992	350	909	642	64.7

다. 대상지구 용수사용관행 분석

- 관개용수의 최적분배를 위해서는 작부시기 및 용수사용관행 등을 조사하여 반영할 필요가 있으나, 이는 해마다 달라질 수 있으며 기록이 상세하게 남아있는 관개지구는 많지 않은 관계로 조사에 어려움이 있다.
- 본 연구에서는 향후 확장성을 고려하여 저수율을 기반으로 하여 관개지구별로 표준적인 작부시기 및 관행을 추정하는 방법론을 개발하였다.
- 이 과정을 설명하기 위하여 필요수량 기반 공급량 추정방법에 대해서 간략히 서술하였다.
- 논의 필요수량(순용수량)은 증발산량과 침투량을 합하고 논에서 이용되는 유효우량을 감하여 구할 수 있으며, 여기에 시설관리손실을 반영하여 관개용수량을 산정한다.
- 필요수량은 생육기별로 묘대정지기, 묘대기, 묘대이양혼합기, 이양기, 본답기로 구분하여 산정한다.
- 묘대정지기에는 침투량 및 못자리 정지용수가 필요하며 필요수량은 다음 식과 같이 산정한다.

$$Req_t = (I + WR_n / D_n) \times A_n \quad (6.24)$$

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

$$Req_t = (I_t + ET_t) \times A_n \quad (6.24)$$

- 여기서, ET_t 는 기간별 증발산량이며, 본답기 용수량은 다음과 같이 침투량과 증발산량의 합으로 나타낸다.

$$Req_t = (I_t + ET_t) \times A_t \quad (6.25)$$

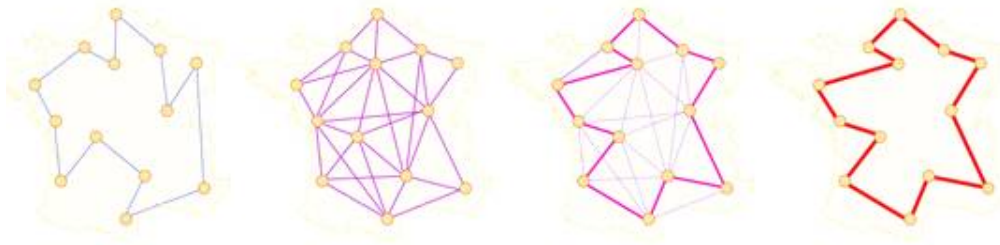
- 여기서, A_t 는 관개면적이며, 용수공급량은 위와 같이 산정한 필요수량에 관리용수량을 더하여 산정하게 된다.

- 따라서 용수공급량은 작부시기, 관리용수량, 묘대면적 등에 의해 결정되게 되나, 이는 지역별로 또는 연도별로 바뀌게 된다.
- HOMWRS와 ARWS에서 표준으로 사용하고 있는 작부시기는 다음 그림과 같다.

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

[그림 2-6-32] HOMWRS와 ARWS의 작부시기

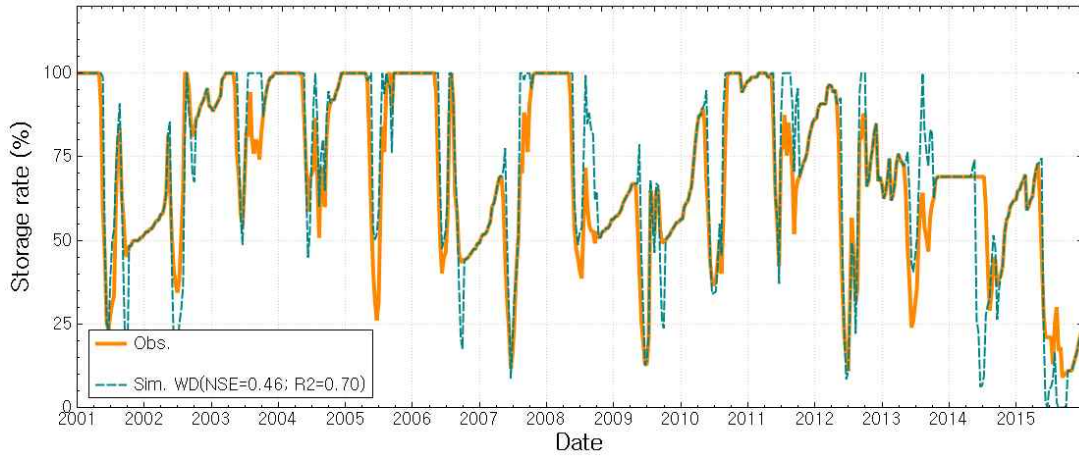
- 위와 같이 산정한 공급량을 저수지의 저수율을 모의로 추적할 수 있으며, 이를 저수율 관측데이터와 비교하여 공급량 추정의 정확도를 산정할 수 있다.
- 이 때 작부시기를 일정한 것으로 보고 작부시기를 현장조사하여 시설관리손실율을 매개변수로 보정할 수도 있고, 작부시기를 조정하여 저수율 모의가 잘 되도록 보정할 수도 있다.
- 실제로 불확실성은 작부시기, 손실율, 묘대면적 등에 모두 존재한다.
- 본 연구에서는 물수지모형과 공급량모형에 의해 모의된 저수율이 실제 관측된 저수율과 잘 일치하도록 작부시기, 손실율 등을 최적화 알고리즘을 통하여 역추정하였다.
- 최적화 알고리즘으로는 개미군집 알고리즘(ACO, Ant Colony Optimization)을 사용하였다. 개미군집 알고리즘은 개미의 집단행동에서 아이디어를 가져온 최적화 알고리즘이다.
- 개미가 개미집에서 먹이로의 경로를 찾을 때, 먹이를 발견한 첫 개미가 페로몬을 남기며 집으로 돌아오게 되며, 다음 개미는 역시 페로몬을 뿌리면서 앞선 개미의 페로몬을 따라 먹이를 찾게 된다.
- 이 때 개미는 앞서간 개미를 그대로 따라가는 것이 아니라 중간중간 희미한 페로몬으로 인해 경로가 조금씩 바뀌기도 하면서 여러 가지 경로를 찾게 된다.
- 오래된 페로몬은 시간이 지나면서 없어지고 결국 최적의 경로에만 페로몬이 남게 되는 원리이다.



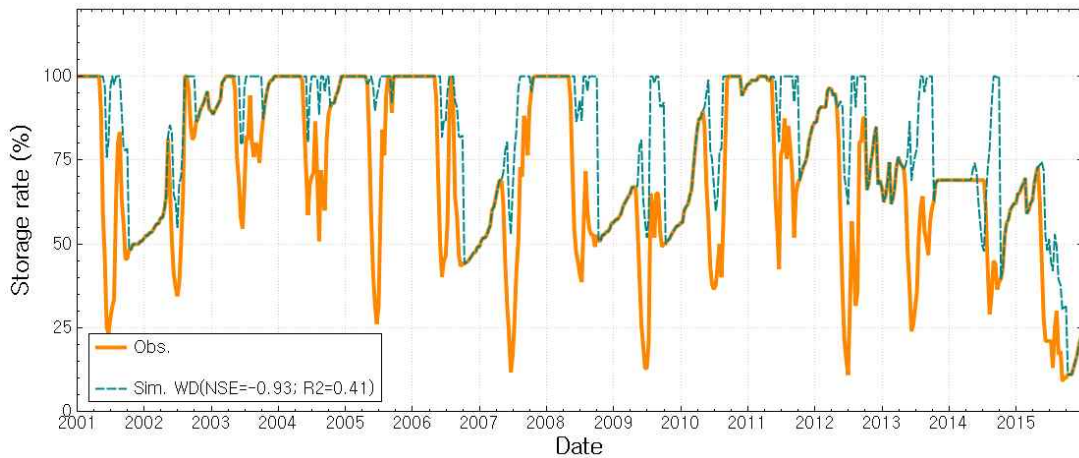
[그림 2-6-33] 개미군집알고리즘 개념도

- 개미 알고리즘에서 개미는 간단한 계산 Agent가 되고, 개미는 돌아다니며 솔루션을 찾는다.
- 각각의 개미는 현재 상태에서 실행가능한 목적함수의 값 $F(x)$ 를 계산한 다음, 그것들 중 한 길로 확률에 따라 이동한다.
- 개미가 변수 x 에서 y 로 이동할 확률은 Attractiveness(움직임의 바람직함)와 Trail(이전의 움직임이 얼마나 효율적이었는지 알려주는 값) 두 가지 값의 조합으로 결정된다.
- Trail은 해당 움직임이 얼마나 바람직한지를 알려주는 값이며, 개미가 자신의 솔루션을 찾았을 때 업데이트되고, 그 솔루션이 얼마나 좋았는지에 따라 값이 증가하고 감소하게 된다.
- 개미군집 알고리즘은 최적의 경로를 찾는 문제에 주로 사용되나 일반적인 글로벌 최적화 알고리즘으로 타 문제에도 범용적으로 활용할 수 있다.
- 최적화의 목적함수는 모의한 저수율과 관측 저수율 데이터의 R^2 error와 NSE(Nash-Sutcliffe Efficiency)의 합으로 하였으며, 최적화 대상은 작부시기 및 못자리용수량, 이양용수량, 손실수량, 묘대면적비(=묘대면적/관개면적), 일침투량으로 하였다.

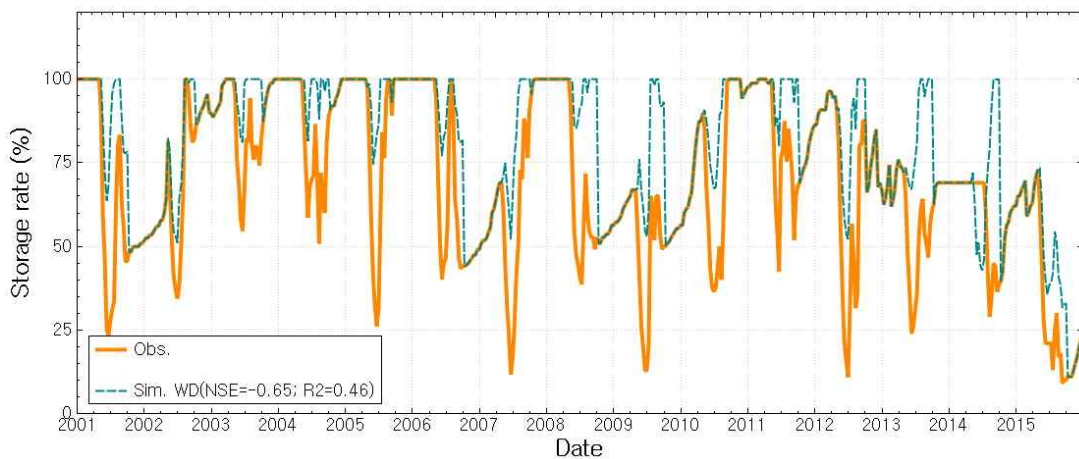
- 추적한 저수지 저수율은 다음 그림과 같으며, 비교를 위해 HOMWRS와 ARWS에서 제시하고 있는 작부시기를 사용한 저수지 저수율 추적 결과도 함께 제시하였다.



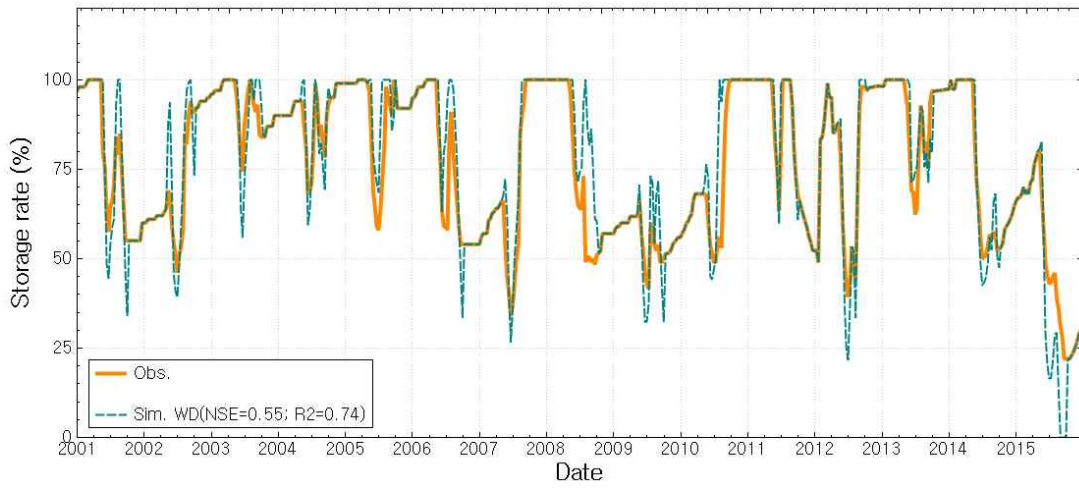
[그림 2-6-34] 마둔저수지 최적화 알고리즘을 이용하여 추적한 저수율 추적결과



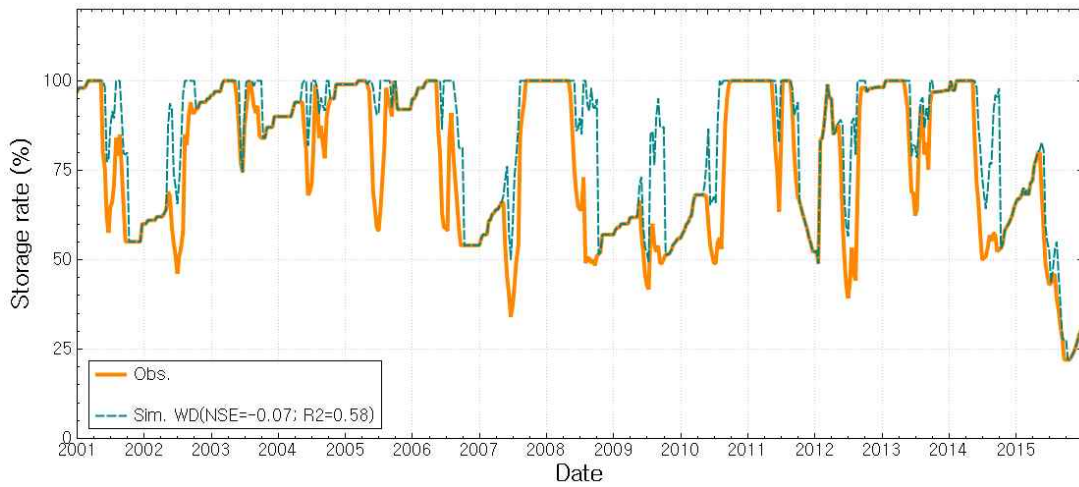
[그림 2-6-35] 마둔저수지 HOMWRS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과



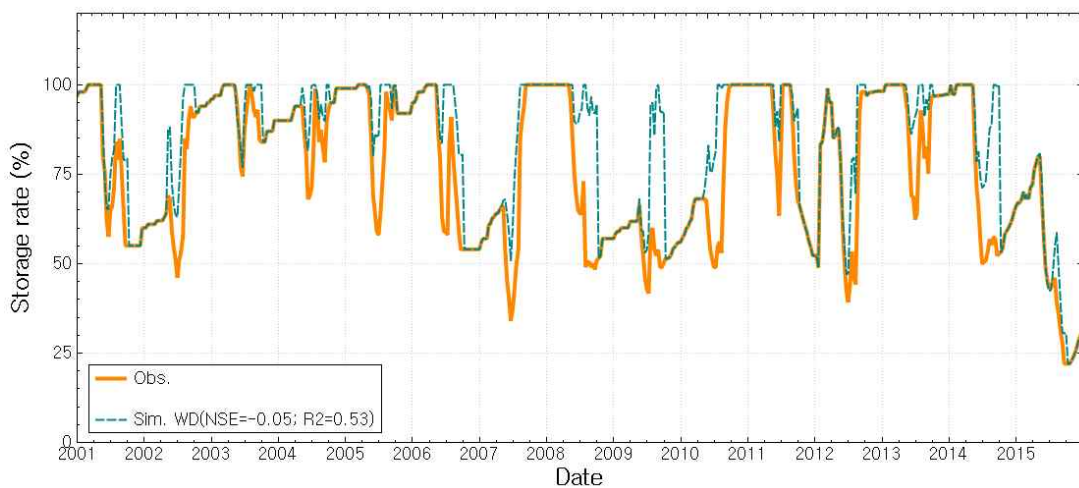
[그림 2-6-36] 마둔저수지 ARWS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과



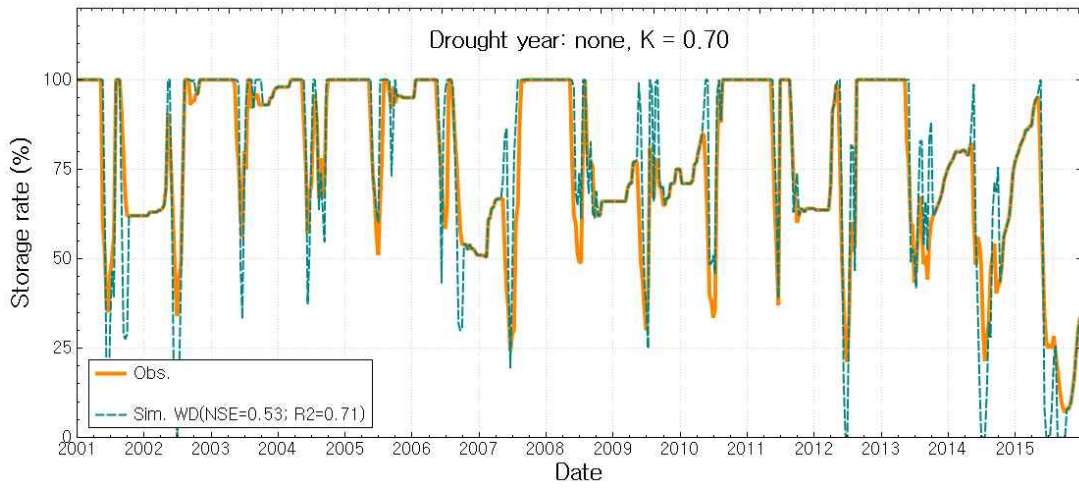
[그림 2-6-37] 대사저수지 최적화 알고리즘을 이용하여 추적한 저수율 추적결과



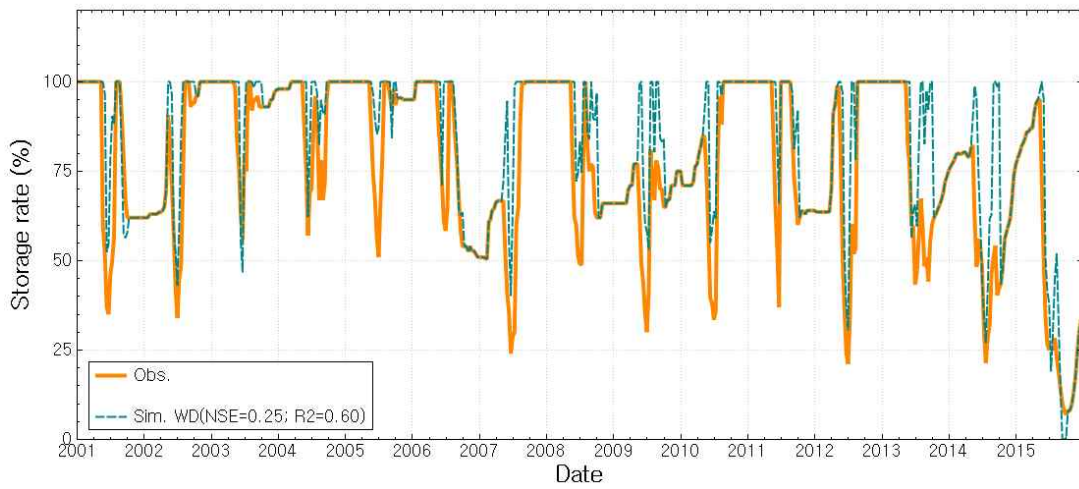
[그림 2-6-38] 대사저수지 HOMWRS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과



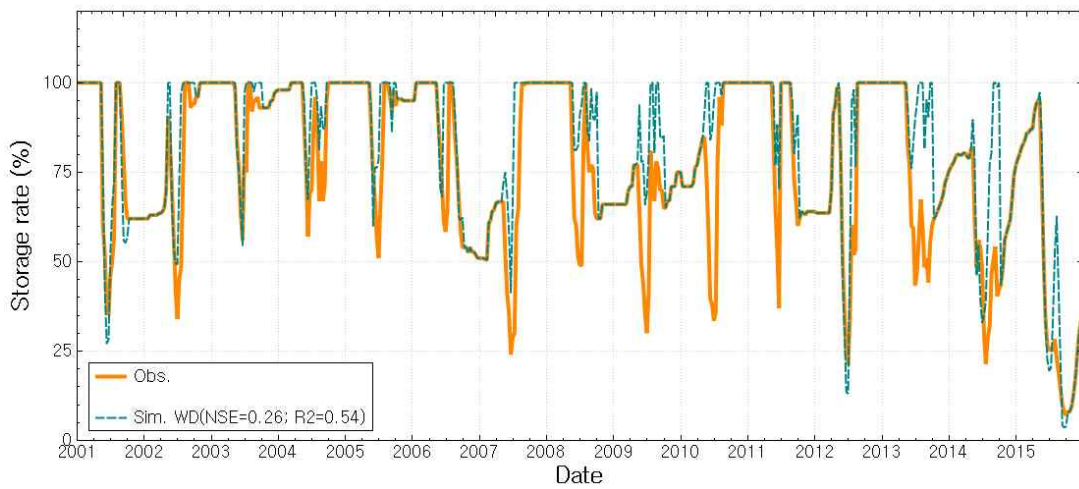
[그림 2-6-39] 대사저수지 ARWS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과



[그림 2-6-40] 풍전저수지 최적화 알고리즘을 이용하여 추적한 저수율 추적결과



[그림 2-6-41] 풍전저수지 HOMWRS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과



[그림 2-6-42] 대사저수지 ARWS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과

- 관측저수율과 모의추적한 저수율의 NSE와 R²를 정리하면 다음 표와 같다.

[표 2-6-4] 모의추적 저수율의 NSE 및 R²

저수지	최적화		HOMWRS		ARWS	
	NSE	R2	NSE	R2	NSE	R2
풍전저수지	0.53	0.71	0.25	0.60	0.26	0.54
대사저수지	0.55	0.74	-0.07	0.58	-0.05	0.53
마둔저수지	0.46	0.70	-0.93	0.41	-0.65	0.46

- 상기 표에서 확인할 수 있듯이 일관적으로 제시하고 있는 참고 관개시기 및 관개관행들에 비해 최적화하여 모의한 저수율이 잘 맞고 있으며, 이는 추정한 관개관행이 보다 더 현실과 가깝기 때문인 것으로 추정된다.
- 위 알고리즘으로 추정한 대상 저수지들의 관개 관행은 다음과 같다.

[표 2-6-5] 대상저수지의 추정 관개관행

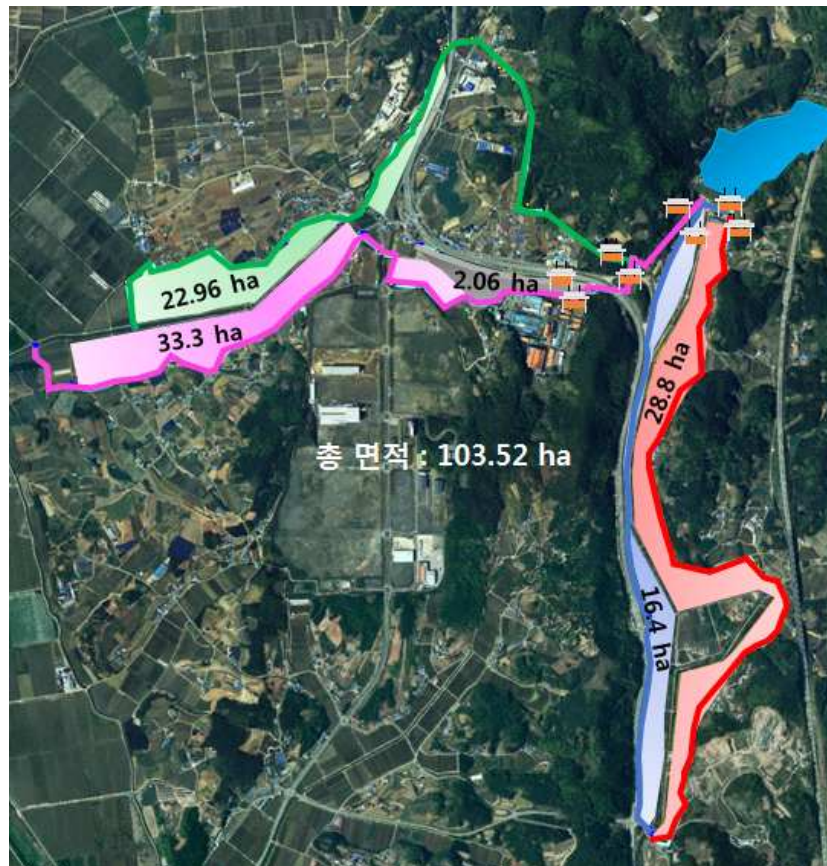
작부시기 및 관개관행	풍전저수지	대사저수지	마둔저수지
묘대기 기간	5/14 ~ 5/21 일	5/13 ~ 5/24 일	5/5 ~ 5/19 일
이앙기 기간	5/24 ~ 6/7 일	5/25 ~ 6/4 일	5/20 ~ 6/1 일
본답기 기간	6/8 ~ 9/11 일	6/5 ~ 9/28 일	6/2 ~ 9/22 일
낙수기 기간	7/1 ~ 7/1 일	6/26 ~ 7/9 일	6/21 ~ 7/10 일
못자리 용수량	3 mm	10 mm	2 mm
이앙용수량	113 mm	136 mm	134 mm
손실수량	46 %	52 %	59 %
묘대면적비 (묘대면적/관개면적)	10 %	12 %	12 %
일침투량	4 mm	4 mm	5 mm

- 위 관개관행은 저수지의 저수율을 재현할 수 있도록 추정한 값으로 실제 관개 관행과 일치하는 지 여부에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

2. 농업용수 네트워크 모형 앙상블 모의분석

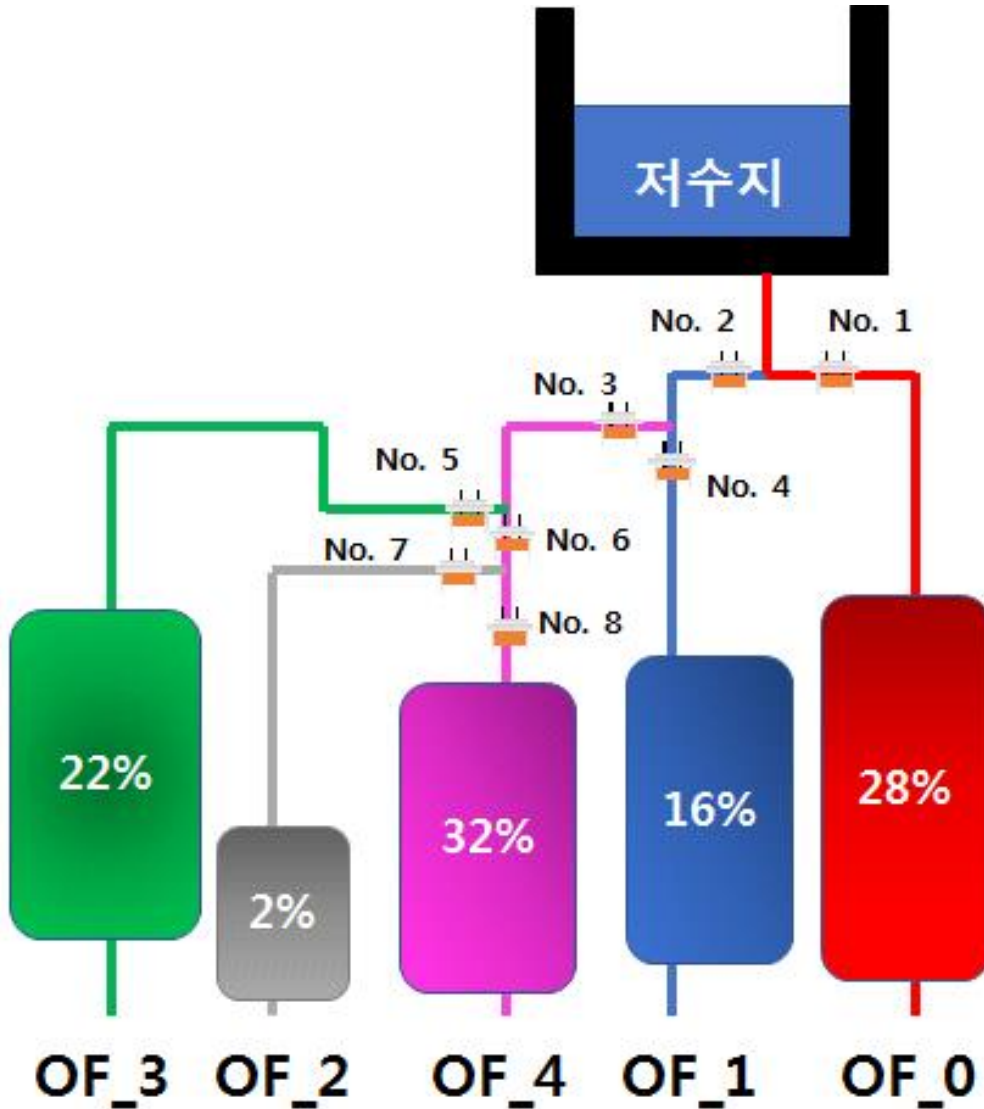
가. 최적용수공급을 위한 고정수문 개도율

- 일반적으로 관개수로의 수문은 관행에 의해서 제어되고 간선수로의 수문은 자주 조작되지 않고 대부분 고정된 상태로 운영된다.
- 통수기 또는 가뭄기 등에는 수문이 전체적으로 조작되는 경향이 있으나 이에 대한 매뉴얼은 없으며, 세부적인 사항은 경험에 의존하고 있는 경우가 대부분이다.
- 본 연구에서는 최적의 수문제어 방법을 도출하기 위한 기초단계로서 고정되어 있는 수문의 최적 개도율을 산정하였다.
- 간선수문(분수문 포함)만을 고려하였으며, 수로의 물배분은 공급하고자 하는 필지의 면적에 비례하는 것이 최적의 물 배분으로 가정하였다.
- 대사저수지의 제어대상인 간선수문과 간선수문에 해당하는 필지의 면적은 다음 그림과 같다.



[그림 2-6-43] 대사저수지 필지별 면적

- 필지면적에 따른 최적 용수분배의 개략도를 다음 그림에 제시하였다.



[그림 2-6-44] 대사저수지 필지별 용수분배기준 및 고정수문

- 위 그림은 수문을 조작하지 않는 이상적인 정상상태(Steady State)에서의 최적 용수 분배라는 점을 유의해야하며, 공급량 분석에 근거하여 용수공급량은 일정하게 0.1 CMS로 가정하고 평야부 모의방법을 사용하여 물 분배가 되도록 Trial-Error 방법을 사용하여 각 지점별 수문개도율을 도출하였다.

- 도출한 수문개도 높이는 다음 표와 같다.

[표 2-6-6] 고정수문 개도율 추정

수문번호	수문높이 (cm)	수문넓이 (cm)	수문개도높이 (cm)
No. 1	80	80	3.5
No. 2	80	80	20
No. 3	80	80	30
No. 4	50	30	24
No. 5	100	100	3
No. 6	80	60	25
No. 7	110	70	10
No. 8	110	100	2

- 위 표에서 도출한 개도높이는 유량의 분배라는 측면에서 도출한 높이이다.
- 하지만 수문개도높이가 지나치게 낮아지는 수문 5, 8번 하류지역은 수위가 충분하지 못해 별도의 조치를 취하지 않으면 원활한 용수공급이 어렵다.
- 따라서, 향후 이러한 하류에서의 용수공급을 원활하게 할 수 있는 필요수위를 제한 조건으로 하여 고정수문의 개도높이를 산정하였다.

나. 앙상블 모의분석을 이용한 관개용수공급 취약지역 탐색

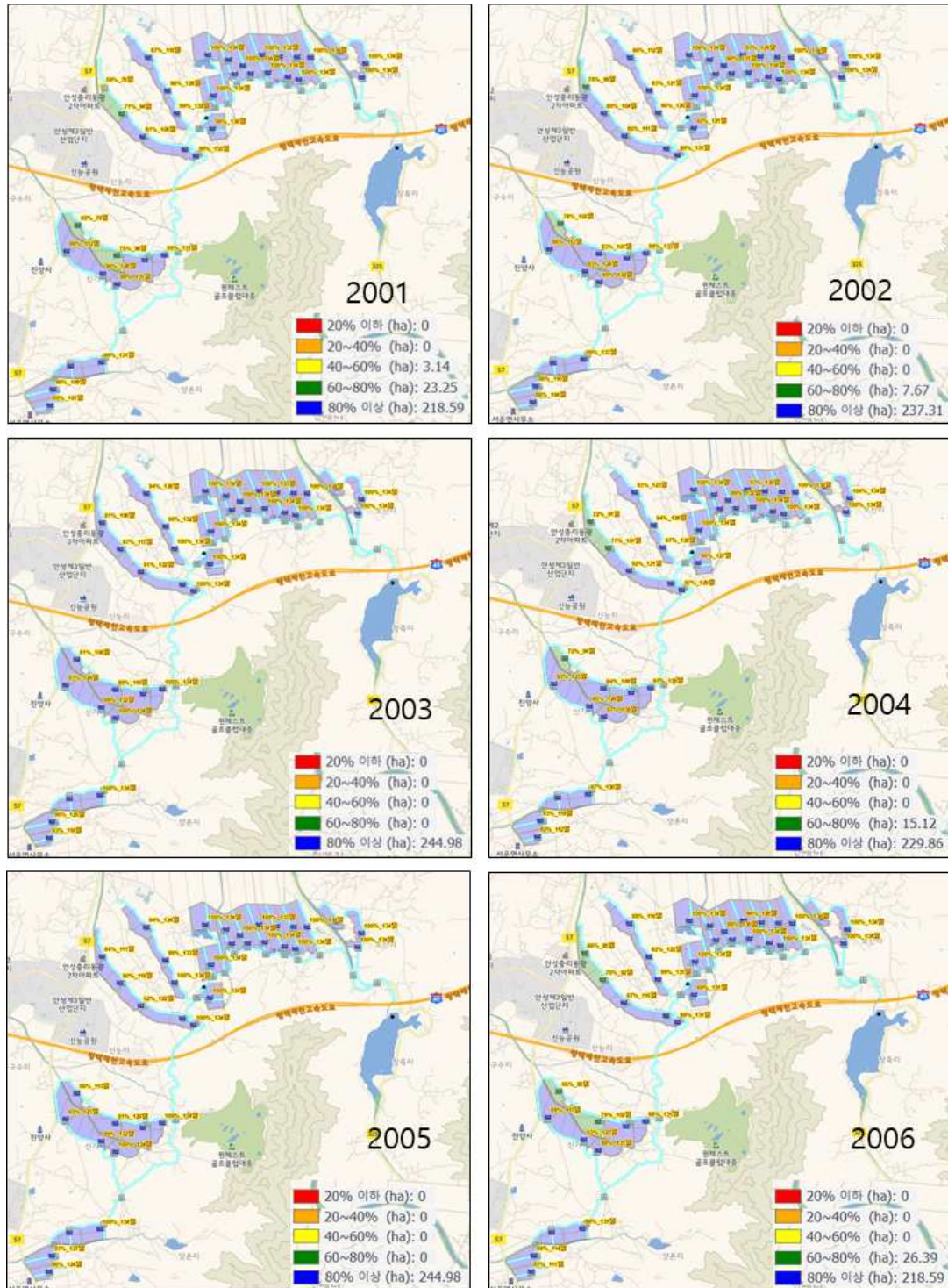
- 일반적으로 공급량 모형을 이용한 모의는 평야부 지역에 수원공으로부터 거리에 관계없이 동시다발적으로 유입되는 것으로 가정하고 있다.
- 현장에서의 용수공급은 수원공으로부터 가까운 거리에 있는 필지는 용수가 풍부하게 공급되는 반면 말단부로 갈수록 용수공급이 원활하지 못해 취약지역이 발생하게 된다.
- 이는 국내 관개수로가 대부분 개수로로 되어있기 때문이며, 말단 물꼬를 각 농민이 직접 관리하는 것과도 깊은 연관이 있다.
- 취약지점의 파악은 가뭄 시 보조 용수공급지역 선정에 중요한 영향을 미치며 최적의 관개용수분배에 필수적으로 고려해야 할 사항이다.
- 본 연구에서는, 2001~2015년 기간동안 앙상블 모의분석을 실시하고, 모의를 통해 취약지점을 선정하였다.
- 세부 설정 사항으로 필지별 목표 담수심은 60mm로 일괄 설정하고 담수심 만족도를 계산하였으며 침투량 및 이양용수량 등은 1절에서 추정된 관개관행을 반영하여 모의하였다.
- 실제 물관리 상황을 반영하고자 목표 담수심 도달 후 12시간 후 수문을 닫는 것으로 가정하였다.
- 본 연구에서는 양수장은 가동하지 않는 상황으로 가정하였다.
- 담수심 평가는 저수지 공급량과 강우로 인한 필지별 유입량의 합산을 기준으로 관개기간 동안을 평가하였다.
- 관개만족도지표(Irrigation Satisfactory Index, ISI)는 각년도의 관개기간동안 산정되며 각 필지에서 다음 식과 같이 산정하였다.

$$ISI_i = \frac{\sum_t D}{\sum_t 60(mm)} \times 100(\%) \quad (6.26)$$

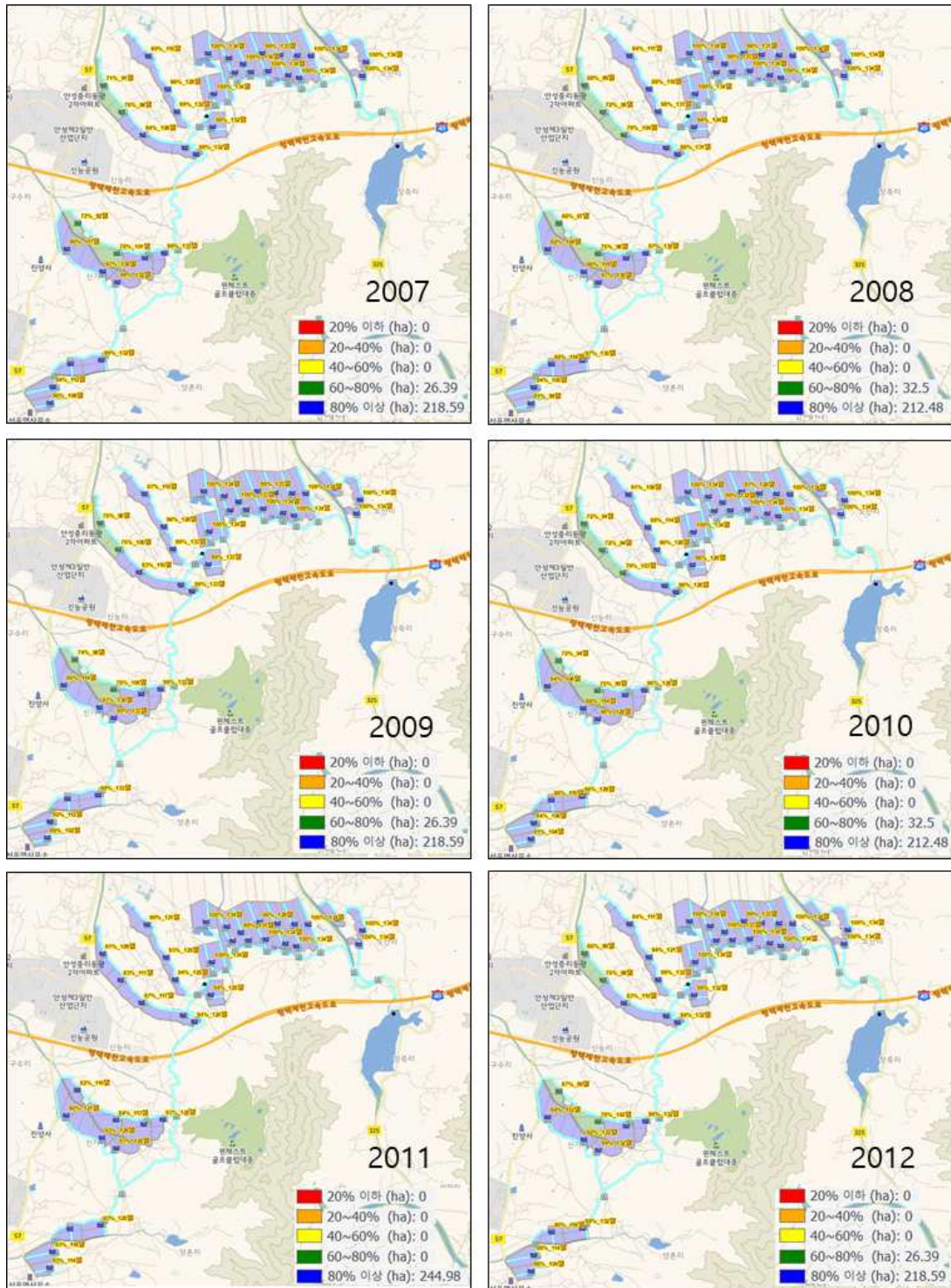
- 여기서, 아래첨자 i는 필지, t는 관개기간 동안 일(day)을 의미한다.
- 전체 관개만족도지표(Total Irrigation Satisfactory Index, TISI)는 각 지구별로 전체 필지를 대표하여 산정되며, 다음 식과 같이 면적평균하여 산정하였다.

$$TISI_i = \frac{\sum_i ISI_i A_i}{\sum_i A_i} \quad (6.27)$$

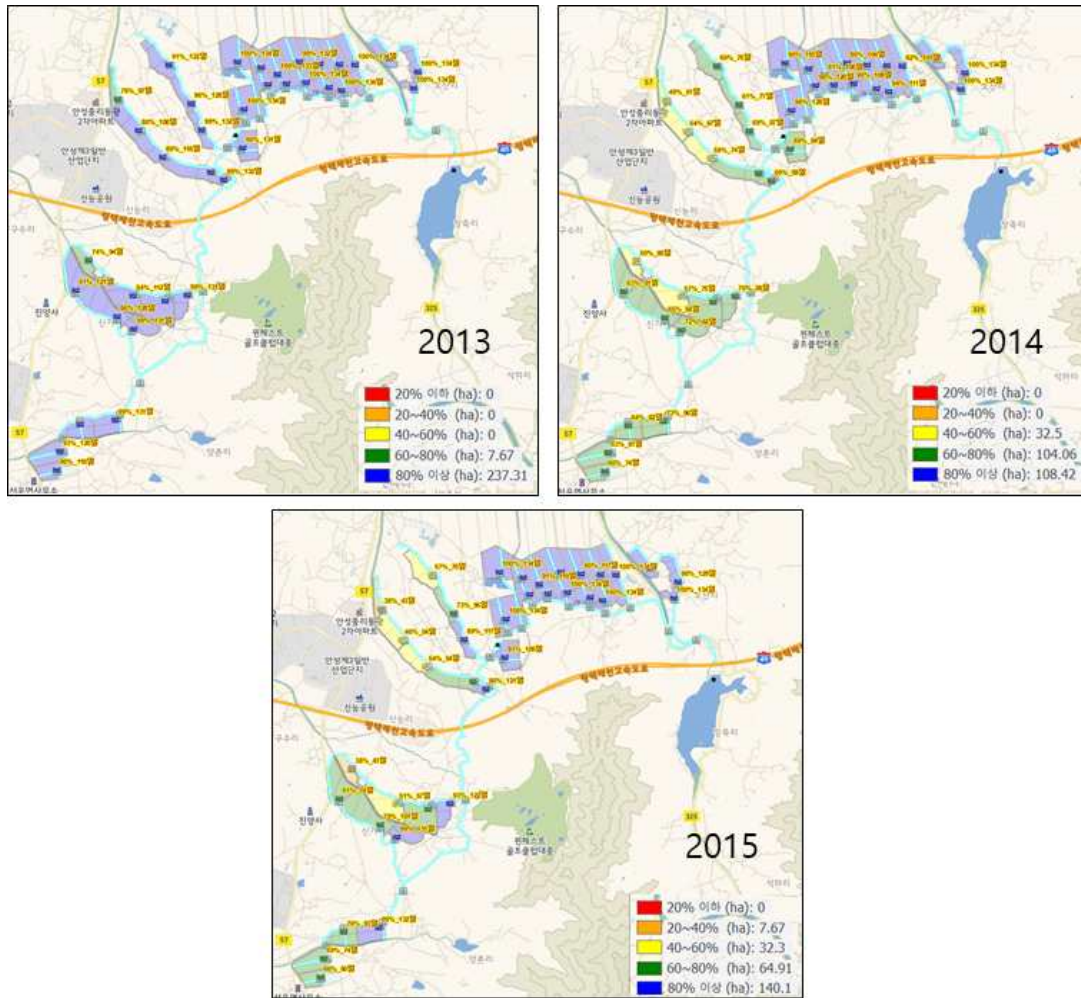
- 마둔저수지의 수리네트워크 모의분석 결과는 다음과 같다



[그림 2-6-45] 마둔저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2001-2006)



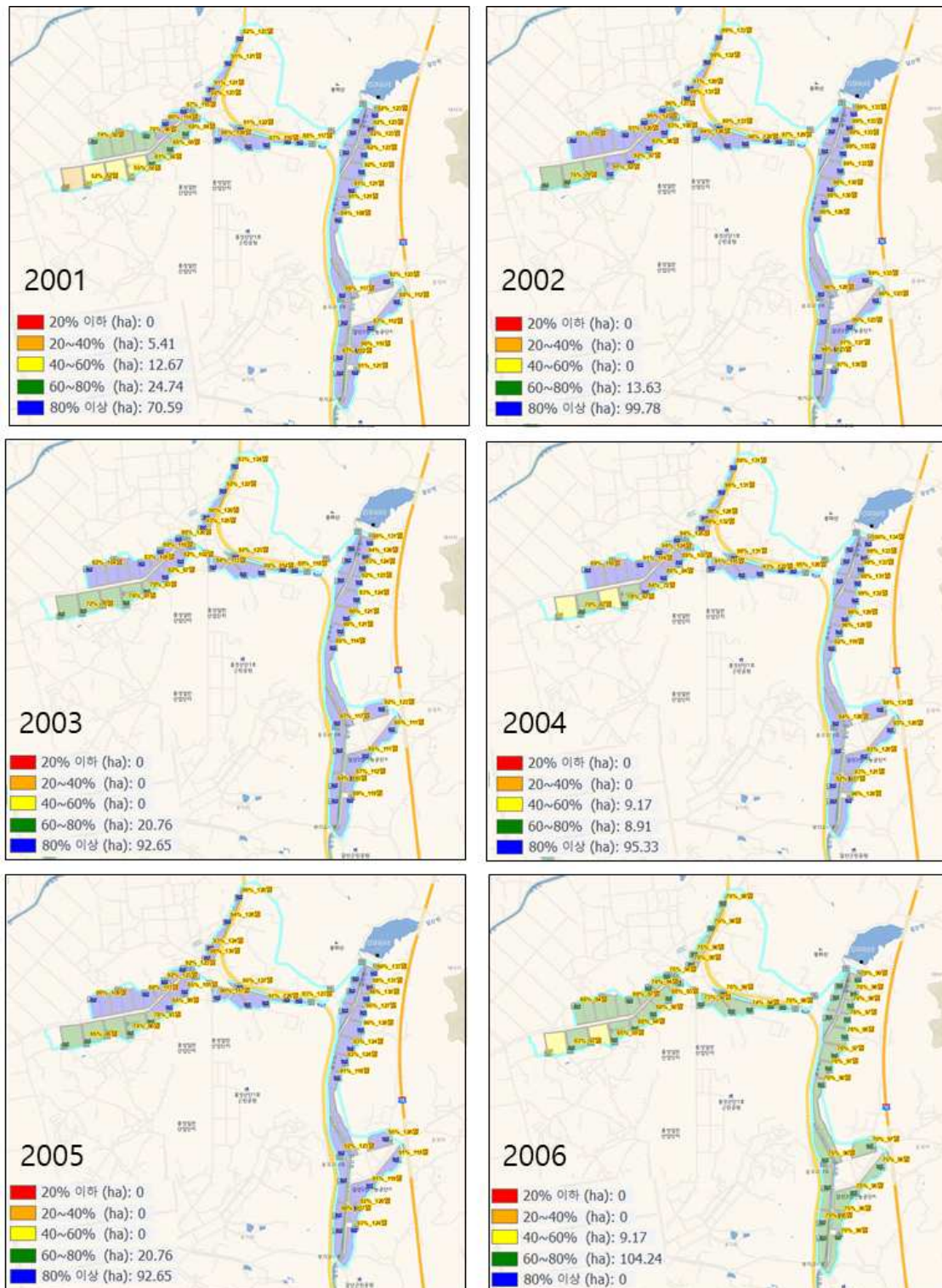
[그림 2-6-46] 마둔저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2007-2012)



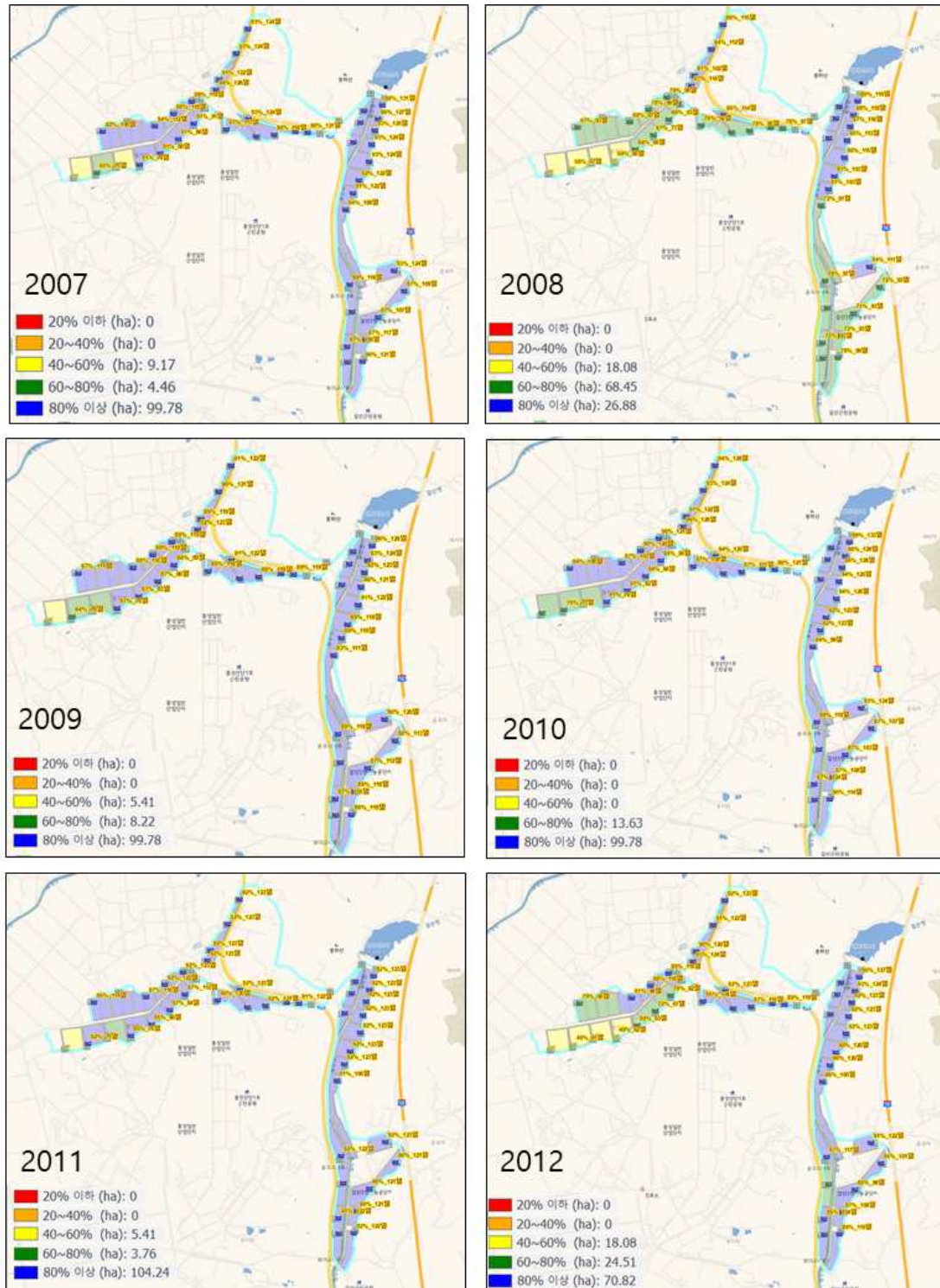
[그림 2-6-47] 마둔저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2013-2015)

- 취약지점이 두드러지게 나타난 년도는 2014, 2015년도이며, 2015년도 기준으로 전체 담수심 만족도를 살펴보면 20~40%는 7.67ha, 40~60%는 32.3ha, 60~80% 만족도는 64.91ha, 80% 이상 만족도를 유지한 면적은 140.1ha 로 나타났다.
- 2015년 취약지점으로 판별되는 지점은 논단위 담수심 만족도 60% 이하로 39.97ha로 나타났다.
- 마둔저수지의 경우 평년의 경우에는 대부분의 지역이 관개만족도 80% 이상으로 양호하게 관개가 이루어진 것으로 분석되었으나, 가뭄년도로 판단되는 2014, 2015년도에는 간선의 말단부에 비해 지선의 말단부가 관개만족도가 낮은 지역으로 나타났다.
- 이는 관개수로의 경사와 분수로의 특성에 따른 것으로 분석된다.

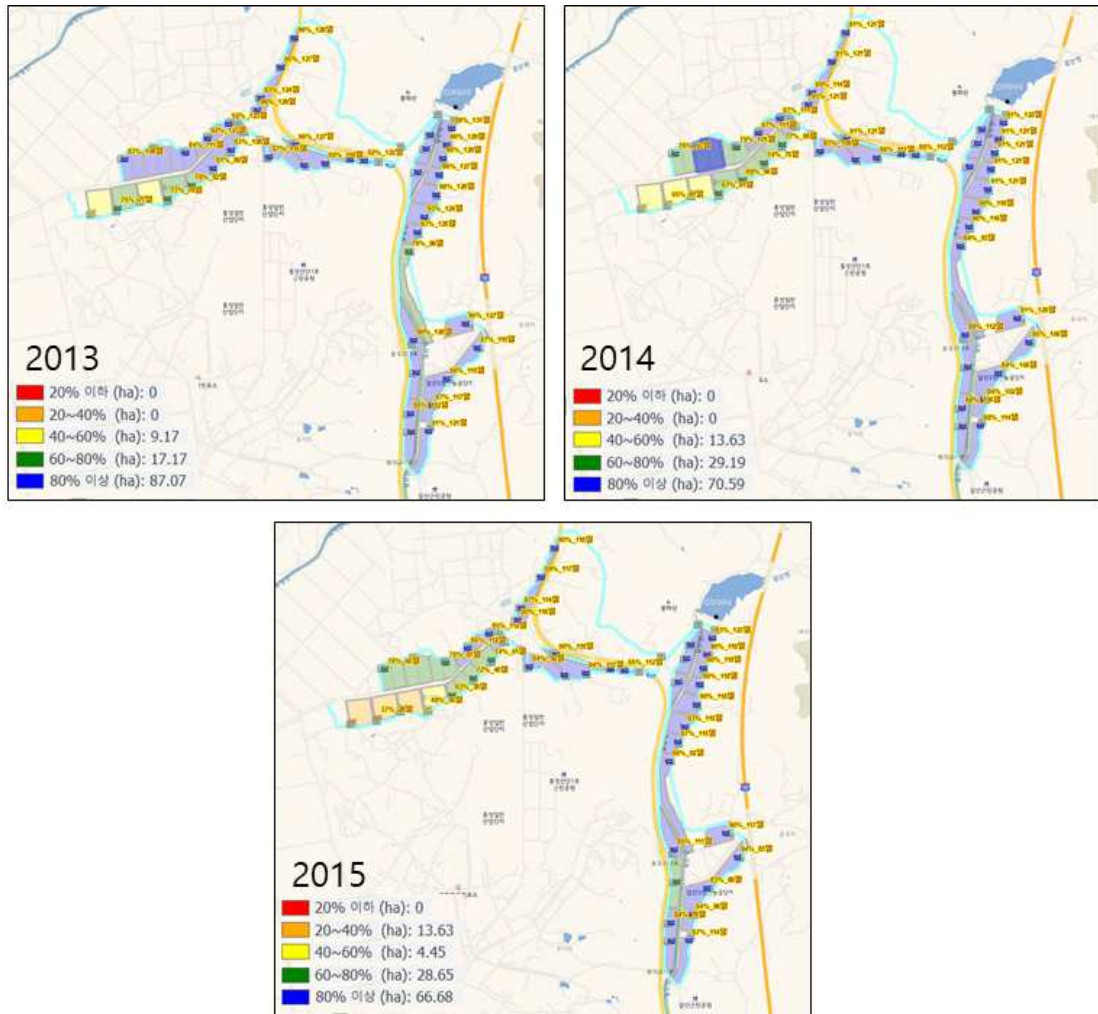
- 대사저수지의 수리네트워크 모의분석 결과는 다음과 같다.



[그림 2-6-48] 대사저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2001-2006)



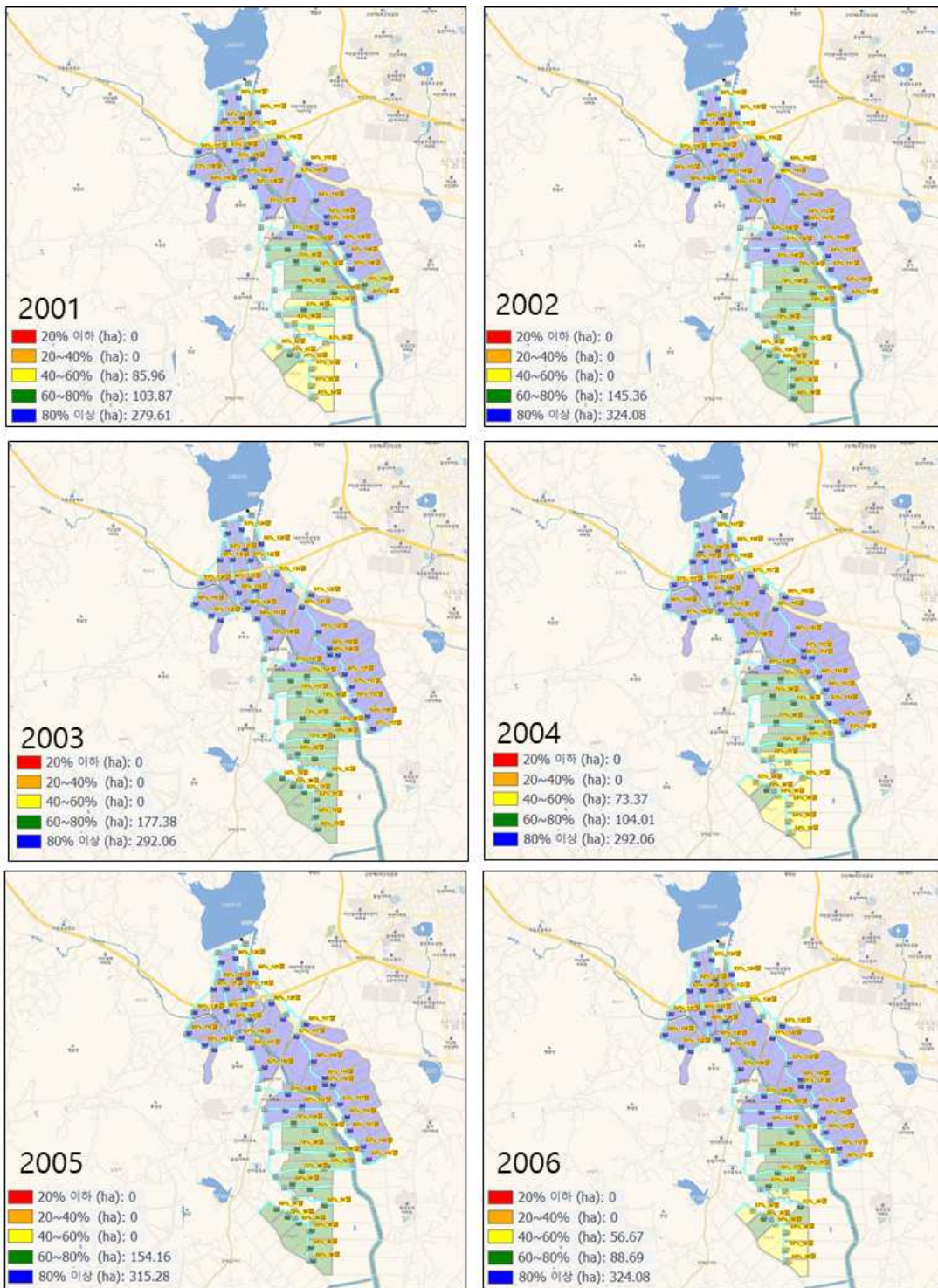
[그림 2-6-49] 대사저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (207-2012)



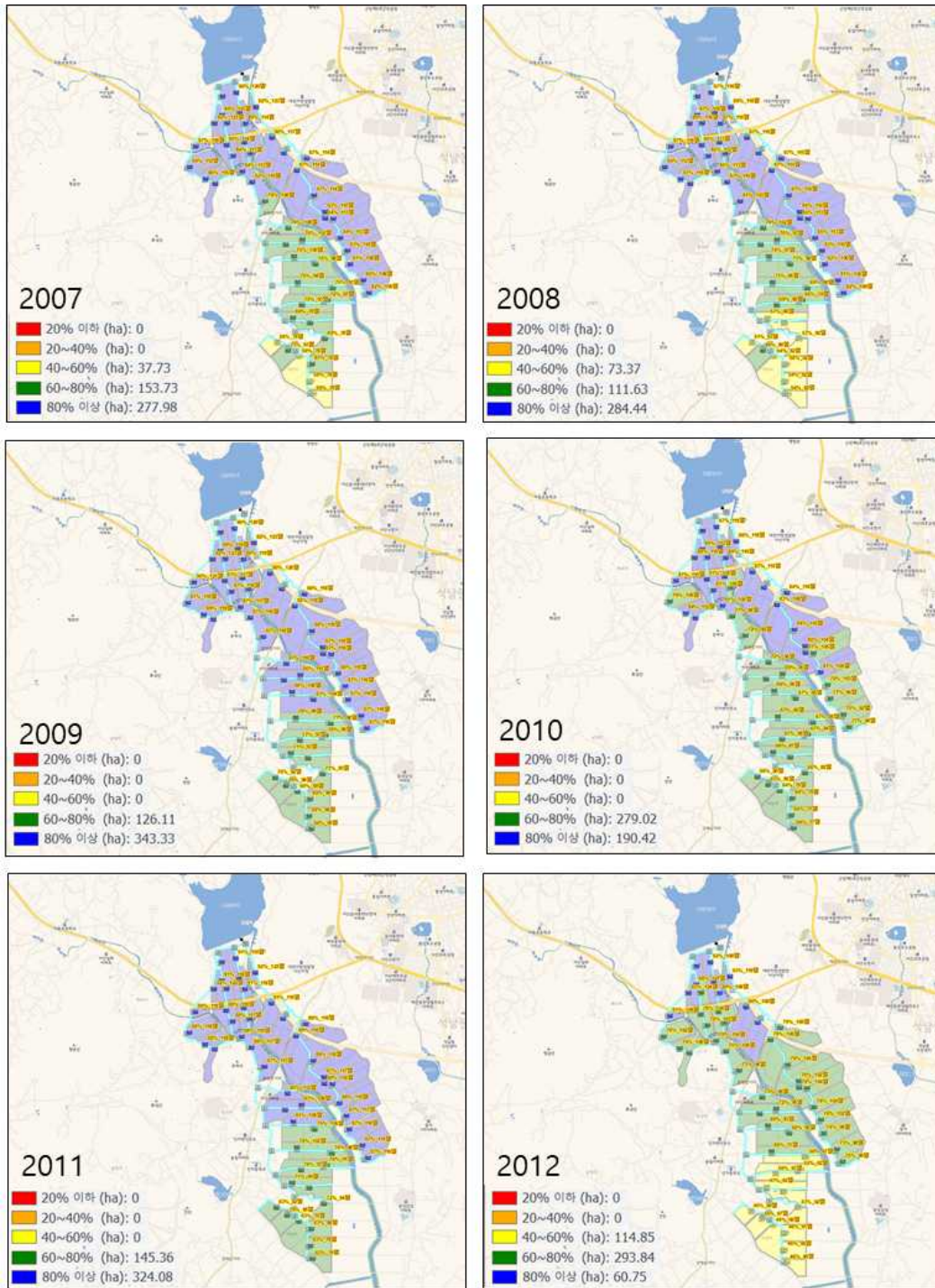
[그림 2-6-50] 대사저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2013-2015)

- 전반적으로 타 지구에 비해 취생1용수지선의 만족도가 매년 타 지역에 비해 떨어지는 경향이 나타났다.
- 해당지역은 거의 매년 60%이하의 관개만족도를 나타내었으며, 안정적인 관개용수공급을 위해서는 주수원공인 저수지에서의 용수공급이외에 양수급수가 필요한 것으로 나타났다.
- 취약지점이 두드러지게 나타난 년도는 2015년도이며, 전체 담수심 만족도를 살펴보면 20~40%는 13.63ha, 40~60%는 4.45ha, 60~80% 만족도는 28.65ha, 80% 이상 만족도를 유지한 면적은 66.68 ha 로 나타났다.
- 2015년 취약지점으로 판별되는 지점은 논 단위 담수심 만족도 50% 이하는 12.97ha로 나타났다. 주요 취약지점이 취생1용수지선의 말단부는, 지선 초입부에 비하여 2015년 기준으로 약 60% 낮은 관개만족도를 나타내었다.

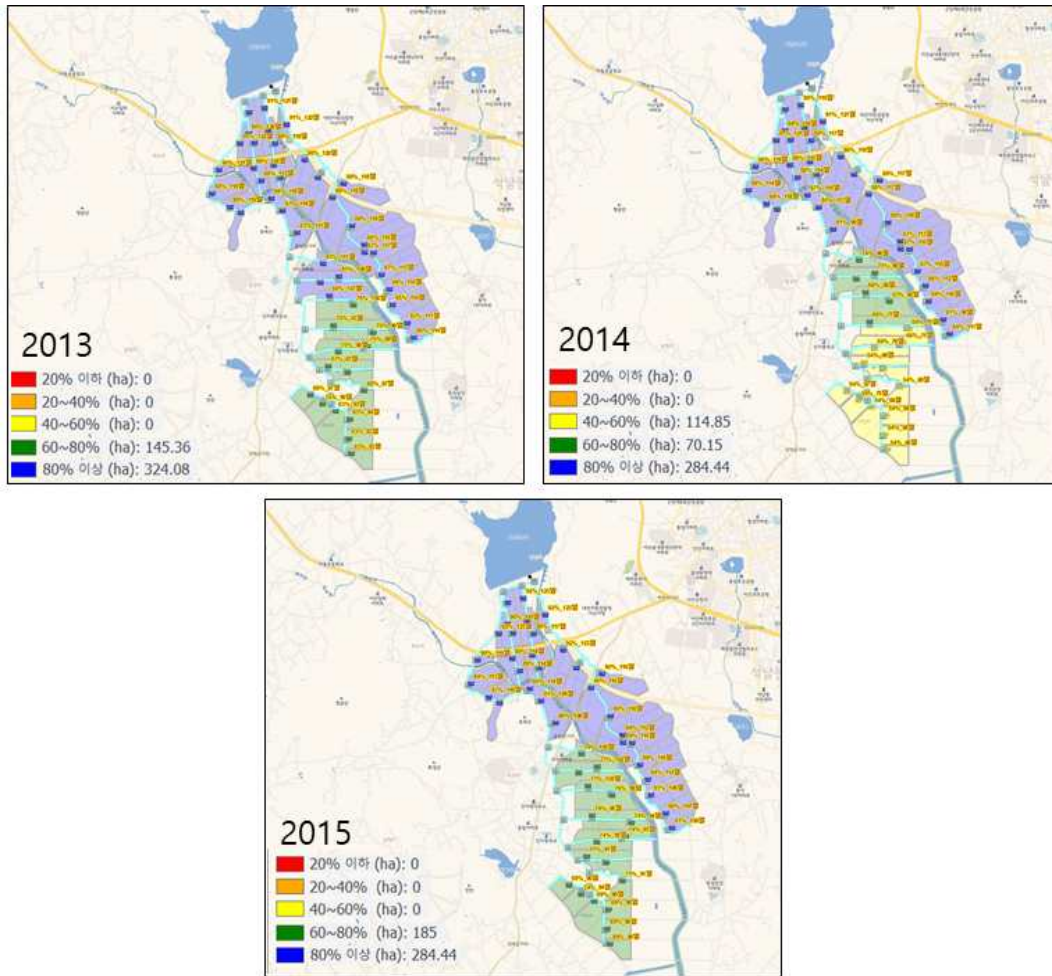
- 풍전저수지의 수리네트워크 모의분석 결과는 다음과 같다.



[그림 2-6-51] 풍전저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2001-2006)



[그림 2-6-52] 풍전저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2007-2012)



[그림 2-6-53] 풍전저수지 수리네트워크 모의분석 결과 (2013-2015)

- 연도별로 관개기간 중 관개만족도를 볼 수 있으며 대부분의 경우 관개지구 상류부는 60%~80% 이상의 만족도를, 말단부는 그 이하의 만족도를 나타내고 있다.
- 전체적 담수심 만족도가 저조한 값을 보여주는 년도는 2012년도 이며, 논 별로 만족도를 살펴보면 40~60%는 114.85ha, 60~80% 만족도는 293.84ha, 80% 이상 만족도를 유지한 면적은 60.75 ha 로 나타났다.
- 용수 취약지점은 말단부에 발생하고 있으며, 114.85ha가 관개만족도 60% 이하의 관개지구로 분석되었다.

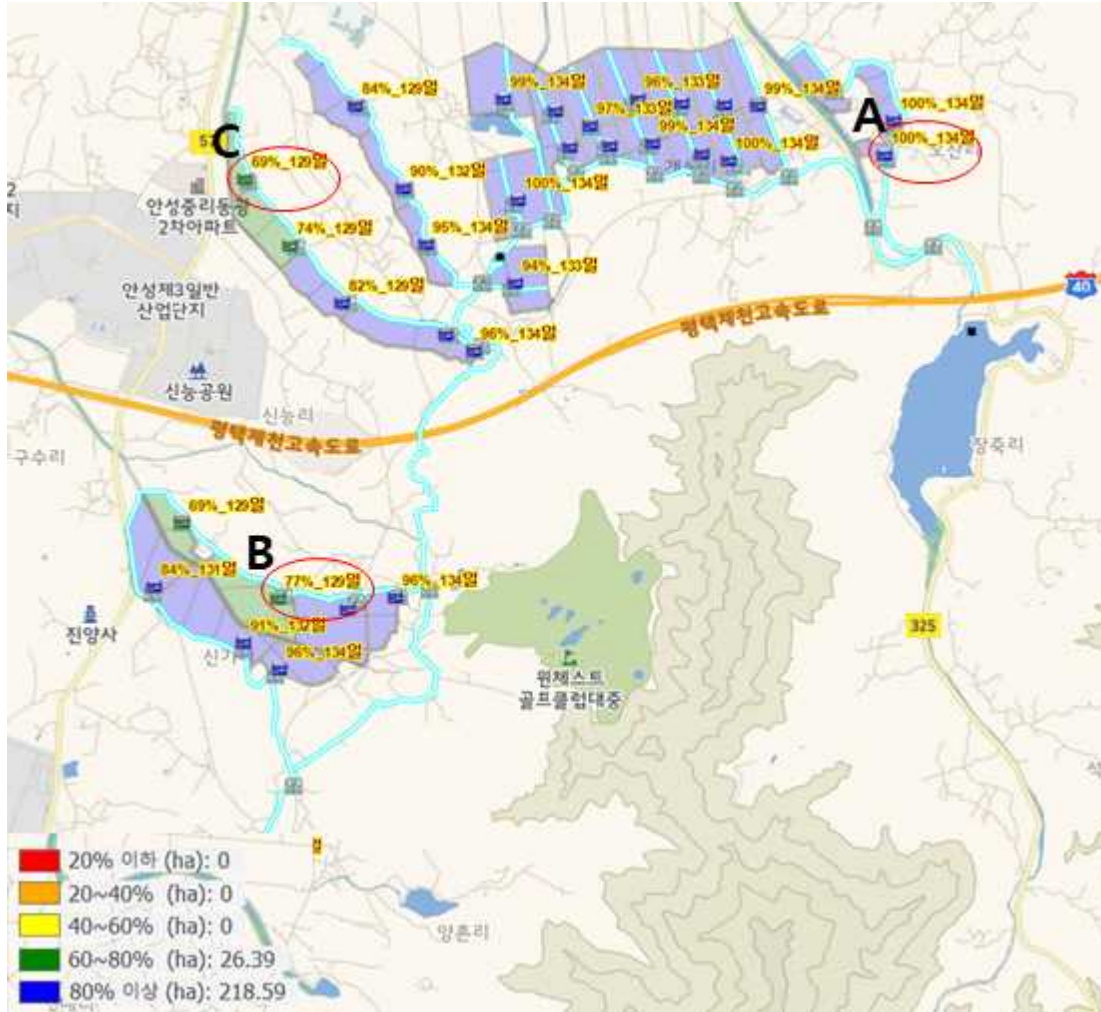
- 대상저수지들의 연도별 전체관개만족도지표(TSIS)를 다음 표에 정리하였다.

[표 2-6-7] 대상 저수지 전체 관개만족도(TSIS)

년도	관개 만족도 (ISI)		
	마둔저수지	대사 저수지	풍전 저수지
2001	93.4%	79.0%	73.7%
2002	93.8%	94.1%	82.6%
2003	97.1%	85.6%	82.6%
2004	94.8%	90.7%	78.3%
2005	97.7%	88.8%	81.7%
2006	93.2%	70.6%	82.3%
2007	95.0%	86.5%	79.8%
2008	92.0%	75.2%	77.7%
2009	94.8%	86.9%	83.8%
2010	91.6%	87.5%	76.4%
2011	94.4%	88.4%	83.4%
2012	93.4%	82.8%	71.7%
2013	95.5%	87.4%	82.3%
2014	75.1%	83.1%	77.3%
2015	82.1%	79.2%	82.2%

- 전체 연도별 담수심 만족도는 모두 70% 이상을 나타내고 있다. 하지만 전술하였듯이 취약필지의 관개만족도는 해당연도에 25%까지도 떨어질 수 있으며, 전체 만족도로 해당 연도를 판단하기엔 무리가 있다는 것을 알 수 있다.
- 풍전저수지는 전체적 담수심 만족도가 약 80%로 나타났으나 40% 이하의 담수심 만족도가 나타나는 구역은 없었다. 비슷한 만족도를 보인 2015년 대사저수지와 비교하여 말단부 담수심 만족도의 차이는 논의 밀집에 의한 차이로 분석된다. 대사 저수지의 경우 담수심 만족도가 2006년이 70.6%로 가장 낮은 만족도를 보이고 있으나, 2015년에 오히려 만족도가 낮은 지점이 확연하게 드러나며, 용수분배 취약지점이 판별되었다. 마둔저수지는 2014년, 2015년 담수심 만족도가 낮은 만족도를 보이고 있으며, 취약지점은 2014년 75.1%에 비해 2015년 82.1%에 40% 이하의 만족도를 보이는 7.67ha 면적을 보이는 것으로 나타났다.

- 다음 그림은 마둔저수지의 15년간 모의의 앙상블 분석결과이다.
- 아래 결과에서 마둔저수지의 전반적인 필지별 관개만족도 분포를 알 수 있다.

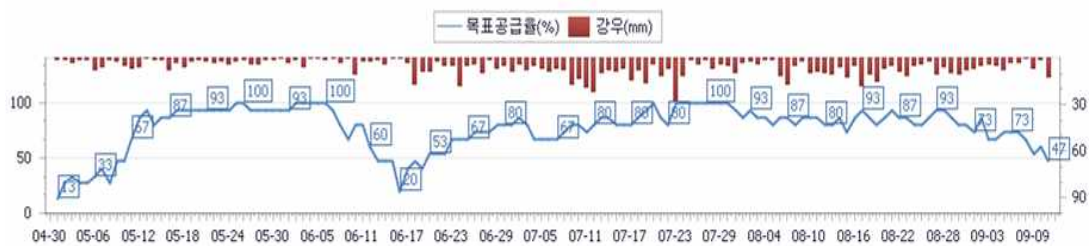


[그림 2-6-54] 마둔저수지 앙상블 모의 분석 결과

- 마둔저수지에서 A, B, C 세지역의 일별 관개만족도를 앙상블 모의로 추적한 결과를 다음 그림에 나타내었다.



[그림 2-6-55] 마둔저수지 A지점 앙상블 모의 분석 결과 (일별 관개만족도)



[그림 2-6-56] 마둔저수지 B지점 앙상블 모의 분석 결과 (일별 관개만족도)



[그림 2-6-57] 마둔저수지 C지점 앙상블 모의 분석 결과 (일별 관개만족도)

- 조사지점 중 A지점은 15년 관개기간동안 관개만족도가 지속적으로 100%를 유지하는 것을 볼 수 있다.
- 이는 저수지 인근 상류지역에 있는 논에서는 용수공급에 대한 걱정이 없는 것으로 분석된다.
- 반면 C지점은 전체적 만족도는 69%로 나타났으며 6월 초순부터 중순까지 60%이하의 낮은 관개만족도가 나타났다.

- 다음 그림은 대사저수지의 15년간 모의의 앙상블 분석결과이다.
- 아래 결과에서 대사저수지의 전반적인 필지별 관개만족도 분포를 알 수 있다.



[그림 2-6-58] 대사저수지 앙상블 모의 분석 결과

- 대사저수지에서 A, B, C 세지역의 일별 관개만족도를 앙상블 모의로 추적한 결과를 다음 그림에 나타내었다.



[그림 2-6-59] 대사저수지 A지점 앙상블 모의 분석 결과 (일별 관개만족도)



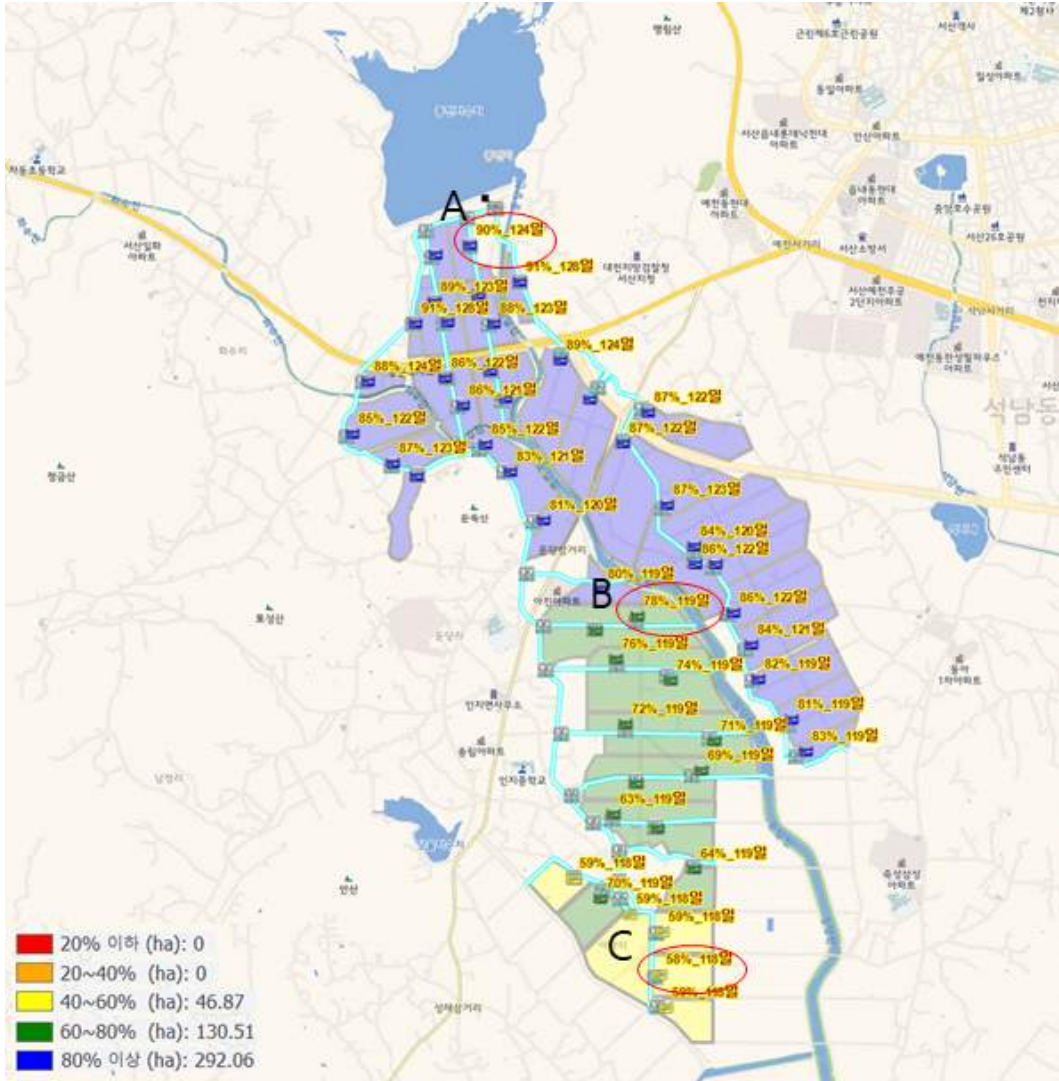
[그림 2-6-60] 대사저수지 B지점 앙상블 모의 분석 결과 (일별 관개만족도)



[그림 2-6-61] 대사저수지 C지점 앙상블 모의 분석 결과 (일별 관개만족도)

- A지점은 15년 관개기간 동안 관개만족도가 94%로 나타났으며 5월 중순 이후 관개기간 동안 관개만족도가 90% 이상 유지되는 것으로 나타났다.
- C지점은 담수심 평균 50%정도의 관개만족도를 보였으며 관개시작 후 6월후순까지 60% 이하의 관개만족도를 나타내었다.
- 대사 저수지에서는 좌측간선인 운곡2용수간선의 취생1용수지선에서 관개만족도가 떨어지는 현상이 집중적으로 발생하고 있으며, 양수급수가 지속적으로 필요한 관개지역인 것으로 분석된다.

- 다음 그림은 풍전저수지의 15년간 모의의 앙상블 분석결과이다.
- 아래 결과에서 풍전저수지의 전반적인 필지별 관개만족도 분포를 알 수 있다.



[그림 2-6-62] 풍전저수지 앙상블 모의 분석 결과

- 풍전저수지에서 A, B, C 세 지역의 일별 관개만족도를 앙상블 모의로 추적한 결과를 다음 그림에 나타내었다.



[그림 2-6-63] 풍전저수지 A지점 앙상블 모의 분석 결과 (일별 관개만족도)



[그림 2-6-64] 풍전저수지 B지점 앙상블 모의 분석 결과 (일별 관개만족도)



[그림 2-6-65] 풍전저수지 C지점 앙상블 모의 분석 결과 (일별 관개만족도)

- 저수지에 가장 인접한 논 A지점은 5/13일 이후 15년 관개기간 동안 담수심 만족도가 대부분 85% 이상을 유지하는 것을 볼 수 있다. 말단부 C 지점은 6월 말까지 담수심 만족도가 60% 이하인 것을 알 수 있다. 대체로 수원공과의 거리에 반비례한 담수심 만족도를 보여주고 있으므로 말단부에 대해서 6월 말 이전까지 펌프나 보조 수원공으로 관개용수를 추가 공급할 필요가 있을 것으로 분석된다.
- 본 연구에서는 대상지역인 풍전저수지, 대사저수지, 마둔저수지 관개지구에 대하여 수리네트워크 모형을 이용하여 앙상블 모의분석을 하고, 이를 바탕으로 정량적인 관개만족도 분포를 도출하였다. 도출된 관개만족도를 이용하여 각 지역별 취약지구를 분석하였다.

3. 시범지역 관측 데이터 비교 및 검증

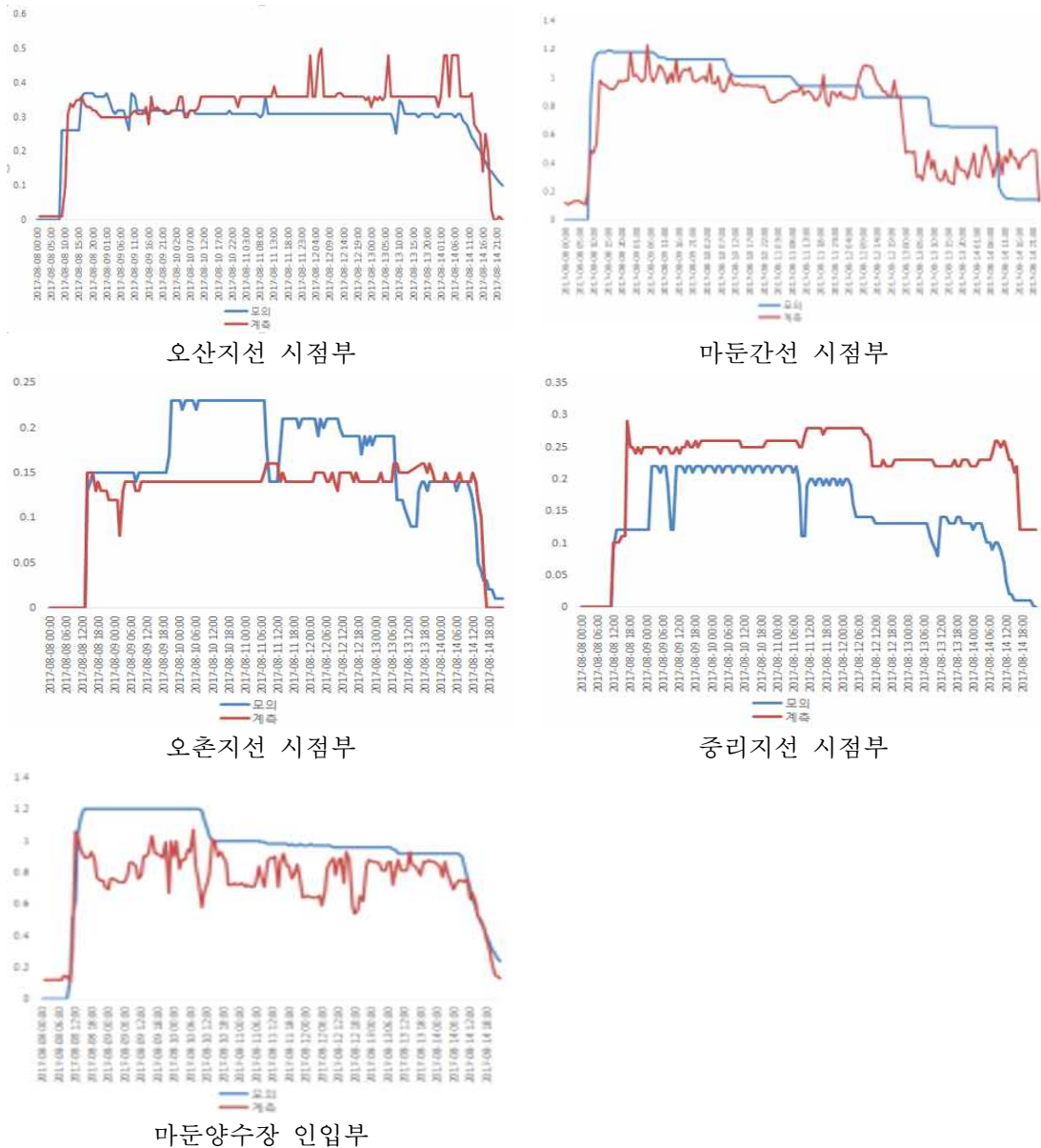
- 시범대상지역 중 풍전저수지, 대사저수지 수혜지역은 본 년도 관개기간 중 계측장비를 설치하여 현재 자료 검토 중이다.
- 시범대상지역 중 마둔저수지 수혜지역에 대하여 과거 측정해 둔 관측데이터를 확보하여 들녘단위 수리 네트워크 모델링을 검증하였다.
- 마둔저수지 수혜구역 내 수로부 x곳에 설치된 초음파 수위계의 자료를 활용하였고, 2017년 8월 8일부터 8월 14일동안 실시된 통수실적을 토대로 분석하였다.
- 수로조직에 의해 통수 시 최초 유입되는 수로는 오산지선으로 시점부 수위는 통수 첫날인 8월 8일 0.1 m 수위를 시작으로 약 0.3~0.35 m의 수위를 8월 14일 통수 종료시 까지 나타내었다. 오산지선 말단부의 경우 8월 9일 0.2 m 수위를 보였고 평균적으로 0.1 m의 수위를 통수기간동안 나타내었다.
- 마둔간선의 경우 통수 첫날인 8월 8일부터 8월 12일 까지 1 m 수위를 나타낸 후 계속적으로 0.5 m 수위가 관찰되었다. 반면 마둔간선 종점부는 수위 계측 값이 나타나지 않았다.
- 농촌지선 시점부와 중리지선 시점부의 수위는 통수 첫날부터 통수 종료시기인 8월 14일까지 0.25 m와 가 지속적으로 계측되었고, 오촌지선 시점부와 신기지선 시점부는 통수기간동안 0.13 m에서 0.15 m를 지속적으로 나타냈다.
- 반면 지선 말단부의 경우 통수시기에 맞춰 지속적인 수위가 측정되었다.
- 8월 8일부터 8월 14일까지 실시된 통수량 및 수위계측 값을 토대로 용수공급량을 지선별로 산출하였다. 이를 위하여 측량 및 유속측정, 수로조사를 실시하였고, 조사된 결과를 토대로 수위유량곡선을 작성하여 수위에 따른 유량을 산출하였다.

- 산출된 수위-유량 관계식은 다음 표와 같다.

[표 2-6-8] 마둔저수지 간선 및 지선의 수위유량 관계식

위치	관계식	R ²
오산지선 시점부	$y=0.2441x^2+0.18322x-0.0031$	0.9992
마둔간선 시점부	$y=-0.2925x^3+0.8217x^2+0.2983x-0.0084$	0.9999
오촌지선 시점부	$y=-0.8891x^3+1.0657x^2+0.2361x-0.0029$	0.9999
중리지선 시점부	$y=-0.9269x^3+1.0904x^2+0.2582x-0.0032$	0.9999

- 위 기간동안 수리네트워크 모델링으로 모의된 각 지점별 유량과 예측된 유량은 다음과 같다.



[그림 2-6-66] 마둔저수지 들녘단위 수리네트워크 모의 및 예측 유량 비교

- 상기 그림과 같이, 오산지선 시점부와 마둔간선 시점부에서 관측된 유량은 매우 유사한 패턴으로 수리 네트워크 모형상에 모의된 것을 알 수 있다.
- 또한 마둔양수장 인입부 지역도 계측값과 유사하게 모의되었다.
- 오촌지선 시점부와 중리지선 시점부에서의 유량은 다소 차이가 확인되나, 유량 공급시기와 중단시기는 매우 일치하고 있다.
- 기본적으로 모형에서의 물꼬조작은 목표 담수심을 설정하여 간단한 룰에 따라 이루어지지만, 현실에서 물꼬는 농민에 의해서 논마다 다르게 조작된다.
- 이러한 물꼬조작을 모두 파악하여 들녘단위 모형으로 재현하는 것은 현실적으로 거의 불가능하다.
- 따라서 이를 고려하면 본 연구에서 시도하고 있는 들녘단위 수리 네트워크 모델링 방법은 현실의 관개수로시설과 논의 포함한 들녘을 충분히 반영하여 모의하고 있다고 판단된다.
- 추후 본 연구에서 계측장비를 설치한 풍전저수지 및 대사저수지 수혜지역의 계측결과를 이용하여 추가적인 검증이 이루어질 계획이다.

제 7절. 순환형 농업용수 관리 시스템 구성요소 개발 및 테스트베드 적용성 검증

1. 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 비용 분석

가. 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 활용 현황

(1) 수위 및 유량 계측 방법

(가) 수위 측정 및 기록

- 유량을 직접 계측하기 위해서는 고가의 계측기기가 필요하기 때문에 일반적으로 수위, 유속 및 통수단면적을 측정하여 수위-유량 관계 곡선을 수립하고 이를 사용하여 측정된 수위를 유량으로 환산한다.

(나) 수위계측기의 유량 선정

- 일반적으로 수위측정기는 흐름조건이 수위-유량 관계 곡선을 수립할 수 있는 곳에 영구적이거나 반영구적으로 설치된다. 측정된 수위와 유량 사이의 관계를 확인한 후에 유도한 수위-유량 관계 곡선으로 관측지점에서 측정된 수위를 유량으로 환산한다.
- 관측지점 부근에 토사가 많이 쌓이거나, 계절적으로 잡초가 무성하게 자라게 되면, 수위-유량 관계가 변화하게 되며 이러한 경우에는 새로운 수위-유량 관계 곡선을 수립해야 하고, 수위-유량 관계가 자주 변할 경우에는 노동력이 많이 소요되므로 플룸을 이용하는 것이 유리하다.
- 또한, 유속이 너무 작거나 수위가 너무 낮은 경우에도 플룸을 사용하는 것이 보다 정확한 유량 자료를 얻을 수 있는 방법이다.

(다) 수위계측장치의 설치에 적합한 지점

- 수위측정기는 완만한 경사와 안정된 바닥을 지닌 수로의 평평한 지점에 설치해야 한다. 또한, 분기점과 같이 흐름이 불안한 곳에서 멀리 떨어져 설치하여야 하며, 흐름이 불안하면 수위-유량 관계에 영향을 미치게 된다.
- 이러한 조건을 지닌 지점을 찾기 힘들면 만족할 만한 지점을 얻기 위한 특별한 조치가 필요하다. 수위 측정 위치는 퇴적이 크게 문제가 되지 않는다면 수위 안정을

위해 수로단면상에서 조금 안쪽으로 떨어진 곳이 바람직하다.

- 낙차공과 같은 조절지점보다 상류에 위치한 수위 관측소에서는 수위-유량 관계가 단순한 곡선으로 나타난다. 하천에서는 통제지점보다 하류에 수위 관측소가 설치되었을 때에는 유량이 증가하거나 감소하는 경우에 서로 다른 수위-유량 관계가 나타나기 때문에 수위-유량 관계가 복잡하게 된다

(라) 유량 측정 및 기록

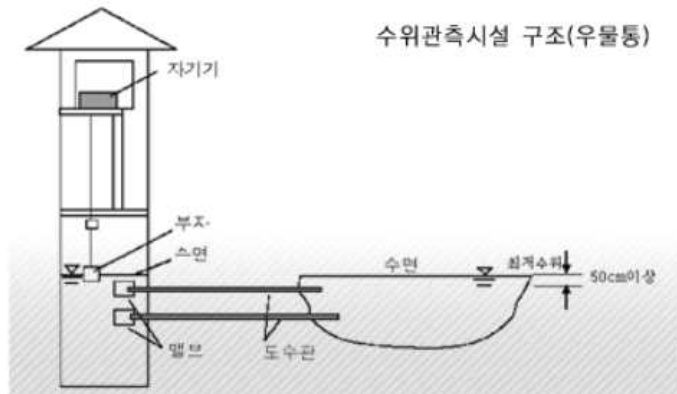
- 유량을 측정하는 방법은 하천이나 수로의 특성, 유량의 크기에 따라 다름 일반 하천의 경우에는 유량 측정은 홍수, 평수, 저수로 나누어 실시되고 이에 따른 수위-유량 관계 곡선을 수립하여 측정되지 않은 수위에 해당되는 유량을 산정한다.
- 일반 하천의 유량 측정은 하천 횡단면과 유속 측정에 의한 방법과 웨어의 월류 수심을 측정하는 방법이 주로 적용한다.
- 소하천 및 인공수로는 단면이 일정하고 유속 변화가 크지 않기 때문에 일반 하천에 적용하는 방법이외에도 웨어나 플럼, 잠류 오리피스, 피토관, 음향유속계 등을 적용할 수 있다.

(2) 수위계측장치의 측정 방식

- 수위계측장치의 수위측정센서는 부표식(Float type), 기포식(bubble type), 압력식(water pressure type), 초음파식(ultrasonic type), 음파식(sonic type) 등이 있으며 이들의 방식별 특성은 다음과 같다.

(가) 부표식 수위계

- 웨어나 플룸 등으로부터 관을 통해 접속된 수위검출조(gage well)에 떠있는 부표(float)의 이동량을 기계적으로 전달하여 적산기구로 전하는 방식의 수위계를 말한다.
- 전달 및 적산기구에 따라 여러 가지 방식이 있는데 대표적인 것으로 무게추(counter weight)식이 있으며 이 방식은 중추에 따라 균형을 유지하면서 상하 운동을 하는 부표의 와이어가 풀리를 회전시키고 이 회전량을 캠풀리에 의하여 유량지시가 되는 방식으로 일반적으로 R/I변환기에서 전류신호로 변환하여 전송하거나 아날로그신호를 디지털신호로 변환하여 BCD부호로 전송한다.
- 부표식 수위계의 경우 수위관측을 위한 관측우물과 도수관의 설치가 필수적이다.



[그림 2-7-1] 부표식 수위계

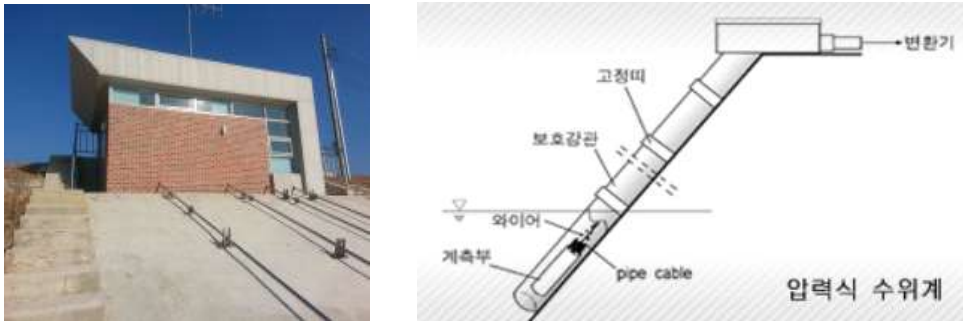
(나) 정전용량식 수위계

- 일반적으로 막대기 모양의 프로브(+전극)와 파도가 있는 수면의 영향을 피하기 위한 방파관(-전극)을 설치하고 수위에 비례하는 전극 사이의 정전용량의 변화를 검출하여 수위를 측정하는 방식의 수위계이다.
- 이 방식은 프로브와 방파관의 전극사이에 콘덴서가 형성되고 전극사이에 가득찬 유

체와 그 수위에 비례하여 변화하는 콘덴서의 정전용량을 검출하여 직류전류로 변환시켜 전기신호로 검출하는 원리이다.

(다) 압력식 수위계

- 수위의 변화에 따라 수중에 설치된 수압부가 받는 수압의 변화를 기계적으로 측정하거나 혹은 감압소자에 의해서 전기신호로 변환하여 수심을 재고 수위를 측정함. 일반적으로 계측부(수압부), 도관부(압력 전달부), 제어부, 기록부 등으로 구성되어 있다.
- 수압의 검출에는 수압에 따라 수정진동자 공진주파수가 변화하는 현상을 이용한 수정식과 반도체 저항의 변화를 전기신호로 변환하는 반도체식이 있으며, 최근에는 수정식이 많이 사용한다.



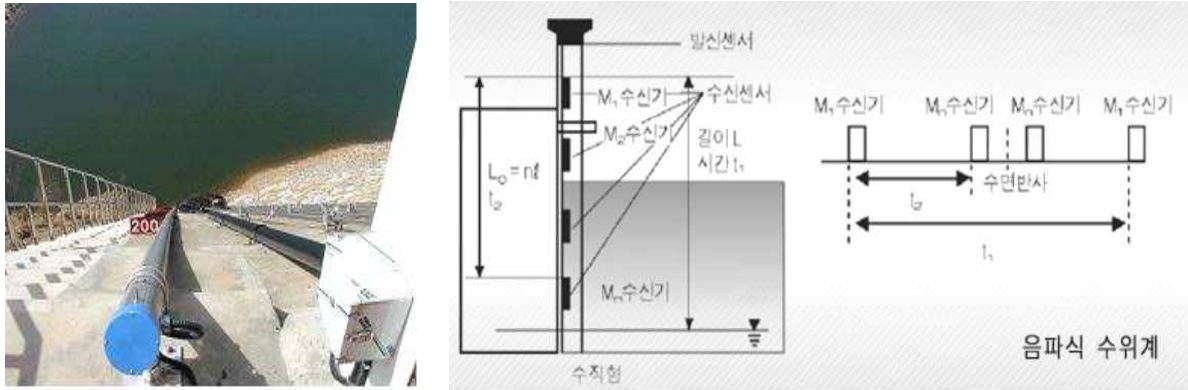
[그림 2-7-2] 압력식 수위계

(라) 음파식 수위계

- 도파관 상부에 설치된 음파발신기로부터 지정된 측정주기로 방사되는 음파를 수신하여 수위를 측정하는 방식이다.
- 음파를 유도하는 도파관에 일정간격(측정범위에 따라 달라지는데, 보통 0.5m~0.6m 간격)으로 수신기(M₁~M_n)를 설치하는데, 방사된 음파는 먼저 수신기 M₁에서 발사음파를 수신하여 출력신호가 발생되고 다음에 2, 3, ..., n 순으로 수신하게 된다.
- t₁값과 t₂값을 시간 간격 측정기로 측정한다면 다음 식에 의하여 M1에서 수면까지의 거리를 구할 수 있다.

$$t_1 = \frac{2L}{C}, \quad t_2 = \frac{L_0}{c}, \quad L = \frac{L_0 t_1}{2t_2}$$

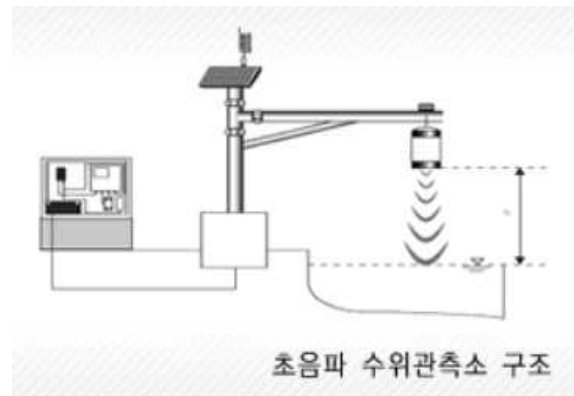
- 여기서, L_0 는 M_n 수신기에서 수신기까지의 거리, C 는 음속, t_1 은 M_1 수신기가 전진파를 수신할 때부터 수면에서 반사된 반사파를 수신할 때까지의 시간, t_2 는 M_1 수신기가 전진파를 수신할 때부터 수신기가 전진파를 수신할 때까지의 시간이다.



[그림 2-7-3] 음파식 수위계

(마) 초음파식 수위계

- 초음파 센서를 수면의 연직상방에 설치하고 초음파가 수면에 닿아서 돌아오기까지의 시간을 측정함으로써 수면과 초음파 센서와의 거리를 계측하는 것으로 수면과 접촉하지 않고 측정할 수 있다는 특징을 가지기 때문에 오염된 물이나 부식성이 있는 액면의 수위측정에도 사용이 가능하다.



[그림 2-7-4] 초음파식 수위계

[표 2-7-1] 수위계 방식별 특성 비교

방 식	부표식	압력식	음파식	초음파식
측정원리	부표에 연결된 와이어의 상승,하강으로 수위측정	수압변화를 감압소자에 의해 전기신호로 변환하여 수위측정	음파발신기로부터 방사되는 음파를 수신하여 수위측정	초음파가 수면에 닿아서 돌아오기까지의 시간을 측정하여 수위측정
측정범위	0~15m	0~30m	0~10m(기본) 0~100m(광폭)	0~30m
정밀도	±1.5%	±0.1%	±5mm	±1.0%
출력신호	BDC부호	4~20mA	4~20mA	4~20mA
장 점	- 장기적으로 안정된 기록 - 구조가 간단하고 신뢰성 높음	- 설치가 간편하고 가격이 저렴 - 수면이 결빙시에도 측정 가능	- 측정범위가 넓고 파의 반사와 대상체의 움직임에 상대적으로 영향이 적음	- 설치가 간편하고 가격이 저렴 - 비접촉 방식으로 유지관리가 용이하며 대상체 성질의 영향이 없음
단 점	- 관측우물, 도수관 등의 시설이 필요 - 시설내 유입토사에 대한 고려 필요 - 10m 이상 측정에서 오차가 큼	- 물의 온도, 부유물질 등의 영향을 받기 쉬움 - 주기적인 센서세척 필요	- 가격이 고가 - 적용사례가 적음	- 습도, 부유물질 등 측정 환경의 영향을 받음

(3) 유량 측정장치의 측정방식

- 유량의 측정은 간접 측정방법의 경우 부표식(Float Type), 기포식(Bubble Type), 압력식(Water Pressure Type), 초음파식(Ultrasonic Type), 음파식(Sonic Type) 등이 있으며 직접 측정방법의 경우 유속계를 이용하는데 유속계의 종류는 프로펠러 유속계(Propeller Current Meter), 전자 유속계(Electromagnetic Flowmeter), 도플러식 유속계(ADCP, Acoustic Doppler Current Profilers), 표면 유속계(Microwave Water Surface Current Meter) 등이 있다.

(가) 프로펠러 유속계

- 프로펠러 유속계는 가장 널리 사용되는 유속계이며 풍속계에서 사용하는 컵 모양의 휠이나 프로펠러의 회전수를 이용하여 유속을 측정하는 방식이다.
- 프로펠러 유속계는 회전부의 회전속도와 유속이 비례하도록 설계되어 있어 미리 관계식을 검정하여 회전속도로부터 유속을 구한다.



[그림 2-7-5] 프로펠러식 유속계

(나) 전자 유속계

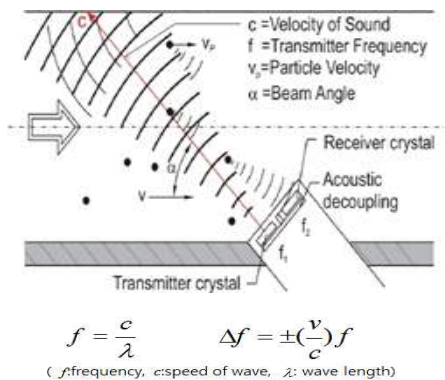
- 패러데이의 전자기 유도법칙을 이용하여 자기장을 이동하는 물에 의해 발생하는 기전력으로써 유속을 측정하는 방식이다.



[그림 2-7-6] 전자식 유속계

(다) 도플러식 유속계

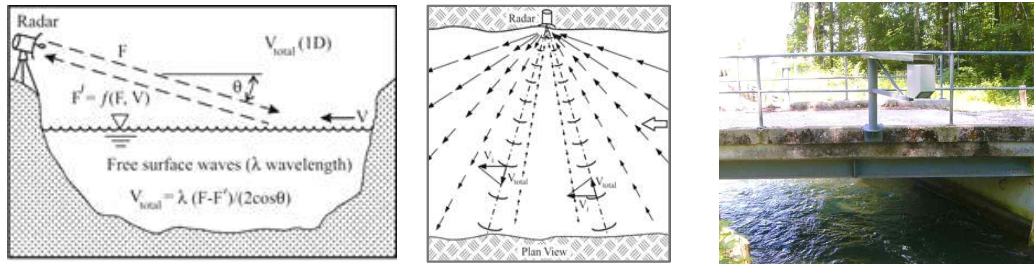
- 도플러식 유속계는 초음파를 수중을 향해서 방사한 경우, 수중의 부유물질 등의 산란체에 의해서 반사되고, 이 때 산란체가 이동하고 있으면, 도플러 효과에 의해서 반사파의 주파수가 변화된다.
- 이 주파수의 변화량을 계측하여 이를 다시 입자의 속도로 환산하여 유속을 측정하는 방식이다.



[그림 2-7-7] 도플러식 유속계 원리 및 형태

(라) 표면 유속계

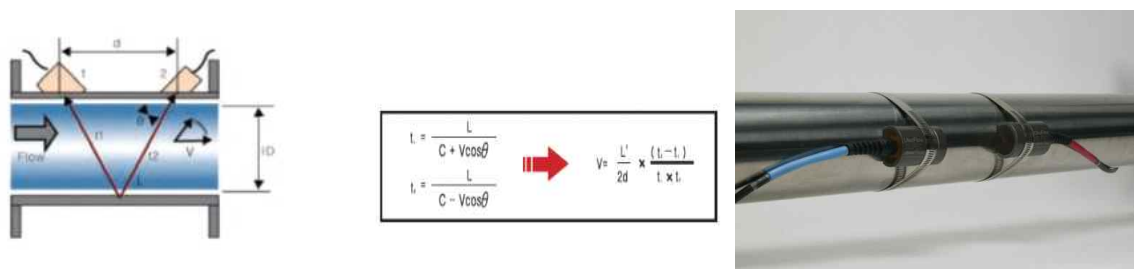
- 표면 유속계에 의한 유량측정은 측정대상물의 횡단방향으로 일정 간격의 표면유속계를 설치하고 상류방향으로 전자파를 방사한 후 수면에서 반사되는 전자파의 도플러 효과를 이용하여 표면 유속을 측정하는 방식이다.



[그림 2-7-8] 표면 유속계 원리 및 형태

(마) 외벽부착식 유속계

- 유체흐름의 순방향과 역방향으로 초음파를 방사하여 도달된 초음파의 파형을 일치시켜 유량을 측정하는 방식으로 상류와 하류의 센서가 초음파를 서로 주고 받으면서 유속에 따라 발생한 시간차를 검출하여 유속을 측정하는 방식이다.



[그림 2-7-9] 외벽부착식 유속계 원리 및 형태

(바) 다채널 유량측정기

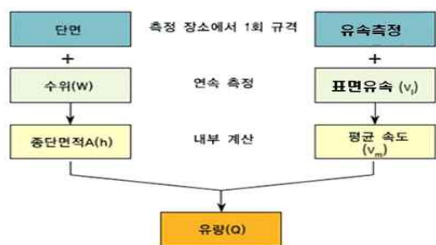
- 적용범위는 액체이며 형식은 Transit Time Type(시간차식 유량계)을 사용. 작동원리를 보면 구성은 송신용 트랜스듀서, 수신용 트랜스듀서, 콘트롤러(transceiver)로 구성되어 있다. 다채널의 트랜스듀서는 도수부 수로 외부에 설치되고, 각각의 트랜스듀서 사이에서 초음파가 송수신된다. 유속은 $Q=A \cdot V$ 의 식을 사용하여 계산된 유량과 두 개의 트랜스듀서 사이의 시간 차이에 비례해서 나오게 된다.

(사) 초음파 도플러 자동유량측정기

- 도플러란 달리고 있는 기관차가 정지하고 있는 관측자에게 접근할 경우 기관차가 내는 기적의 진동 주파수는 기관차가 관측자를 지나 멀어져 갈때에 비해 높게 되는 것과 같은 도플러 효과를 이용하여 유속이나 유량을 측정하는 원리이다.
- 측정 방법은 초음파를 수로내 흐르고 있는 있는 유체중에 방사하면 방사된 초음파는 유체중의 부유물이나 기포로 부터 산란, 반사된다.. 이때 기포나 미소한 부유물은 유체와 함께 같은 속도로 이동하고 있는 것으로 볼 수 있으므로 송신과 주파수와 기포나 미소 부유물로 부터 산란, 반사되어 들어온 수신과 주파수는 유체의 속도에 따라 변이가 발생되고, 이를 시간으로 환산하여 유속으로 계산된다.
- 초음파 도플러 유량계는 깨끗한 물에 대해서 사용할 수 없으며, 유체 중에 어느 정도 크기의 부유물이 있어야 한다. 현재는 부유물의 입자크기가 약 30 μm 정도만 되면 사용이 가능하다.

(아) 레이더 자동유량측정기

- 레이더 자동유량측정기는 초음파 도플러 자동유량측정기와 동일하게 도플러 원리를 이용한 유량측정기로 수면 위에서 레이더를 일정한 각도로 방사하여 되돌아온 신호를 분석, 표면유속으로 환산하는 계측방식이다. 특히 레이더 자동유량측정기는 기존에 다채널유량측정기, 초음파도플러 자동유량측정 방식이 가지는 수면아래에서 측정되는 방식의 토사 영향, 수초영향 등 다양한 유지관리 요소로부터 비접촉방식으로서의 편리성과 관리의 용이성을 제공한다.



[그림 2-7-10] 레이더 유량측정 절차 및 형태

[표 2-7-2] 유량계 방식별 특성 비교

방 식	프로펠러식 유속계(휴대형)	전자 유속계	도플러식유속계	표면유속계	외벽부착식 유속계
측정원리	자전소자에 의한 무접점 방식	물에 의해 발생하는 기전력으로써 유속을 측정하는 방식	도플러 효과를 이용한 방식	수면의 반사파의 시간차 측정 방식	초음파를 이용한 유속 시간차 측정방식
측정범위	0.08~3.5m/s	0.1~6.0m/s	0.2~6.0m/s	0.1~6.0m/s	-0.5~5.0m/s
사용수심	0~1.4m	-	0.2~6.0m	-	
정밀도	±1.0%	±2.0%	±1.0%	±2.0%	±1.0%
유속분포	-	-	가능	-	
장 점	<ul style="list-style-type: none"> - 저유속 측정 가능 - 측정이 간편 - 가격이 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> - 온도, 압력 등의 계측 환경의 영향이 적음 - 수평/수직 설치 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 압력 손실이 없음 - 유속 프로파일링이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 비접촉 방식으로 유지관리가 용이하며 대상체 성질의 영향이 없음 - 구조가 간단 	<ul style="list-style-type: none"> - 현장 적용성이 좋음 - 관의 훼손이 없음
단 점	<ul style="list-style-type: none"> - 유속의 프로파일이 불가 - 복잡한 흐름이나 역류발생 지점에서는 측정이 불가 	<ul style="list-style-type: none"> - 설치조건이 까다로움 - 비전도 측정 불가 - 센서 오염 발생 	<ul style="list-style-type: none"> - 불규칙한 유동시 오차 발생 - 퇴적물의 주기적인 제거 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 표면유속만 측정 - 침전물 발생시 오차 발생 - 저유속 측정 불가 - 가격이 고가 	<ul style="list-style-type: none"> - 가격이 고가 - 관내부의 영향을 많이 받음

(4) 수로 유량 조절 장치

- 수로의 유량은 수문을 통하여 조절하며 수문은 수로에서 물을 저장, 통수, 방수등의 행위를 제어하기 위하여 인공적으로 설치해놓은 구조물로서 그 기능과 역할, 그리고 구조적인 특징으로 다양한 종류로 나눌 수 있다.
- 수문은 그 기능에 따라 수원공에서 공급된 물을 관리하기 위한 제수문, 분수문, 방수문, 배수갑문 등으로 나눌 수 있으며 동력 사용 여부에 따라 수동식 수문과 전동식 수문으로 나눌 수 있으며 또한 작동방식 및 수압에 대한 영향에 따라서 롤러 게이트, 힌지 게이트, 슬라이드 게이트로도 나눌 수 있다.
- 수문은 농업용수를 최초로 공급받는 곳에서부터 최종적으로 다 사용하고 남은 물을 바다로 보내는 곳까지를 상정하여 각 기능별로 구분하여 나뉘며, 급수부는 제수문, 분수문, 방수문, 배수갑문 등으로 나눌 수 있다.



[그림 2-7-11] 수문의 종류

- 제수문은 Check gate라고도 하며 주로 수로가 분기되는 지점에 설치되는 수문으로 제수문의 설치목적은 간선수로나 지선수로에서 흐르는 용수를 분기지점에서 분기시킬때 적정량을 일정한 수위하에서 보낼 수 있도록 물을 막는 역할을 수행한다.
- 분수문은 통상 제수문 앞에서 분기되는 지점에 설치되는 수문으로서 간선이나 지선에서 용수를 취수하여 지선이나 지거로 물을 보내는 역할을 담당한다.
- 각종 수로의 크기상 제수문보다는 작은 것이 특징이며 제수문과 연동하여 운영한다.
- 보통 분수문은 수동식 수문이 많고 이를 제어감시인원이 용수사용시기에 수문의 개도를 적정히 정하여 운영한다.
- 그러나 이 분수문의 경우 용수사용시기에 용수에 대한 농민의 불만으로 인하여 수문의 파괴한다든지 또는 수문개폐를 행하는 스피들을 망가트려 놓는다든지 하는 일이 발생하곤 하는 수문이다.
- 또한 가장 빈번하게 개폐동작을 해야함으로서 운영 및 유지관리에 가장 많은 시간과 노력을 요하는 수문이기도 하다.

- 가장 빈번하게 사용되고 유지관리에 가장 많은 노력이 필요한 분수문을 저비용으로 제작·설치하여 관리운영하며 이를 전동화시켜 원격지에서도 감시·조작을 수행할 수 있도록 하는 것이 필요하다.
- 방수문은 수문의 역할 중 물을 외부로 보내는 대표적인 수문이다. 수로 내의 송수량이 월류를 초래할 정도로 많을 때나 또는 집중강우와 같이 일시에 많은 물이 내려올 때 방수문하류에서 초과유량에 따른 수로범람, 논 침수, 수리시설물 파괴와 같은 피해를 방지하기 위하여 물을 배수로나 하천으로 방류시키는 역할을 한다.
- 이는 비상시에 대비한 시설로서의 의미가 가장 크며 수문의 조작도 그리 빈번하지 않기 때문에 운영과 유지관리를 위한 노력이 다른 종류의 수문보다는 크게 들어가지 않는 수문으로 수로 및 설정 방류량의 다소에 따라 수문의 크기가 달라지기 때문에 수동식과 전동식이 경우에 따라 병행하여 사용되고 있다.
- 배수갑문은 농업용 수문 중 가장 말단에 위치한 것으로서 목적은 최종적으로 사용하고 남은 물을 바다로 방류하는데 수문의 크기가 크고 대부분 전동식으로 운영한다.

나. 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 비용 분석

(1) 센서 및 장치 목록

- 가뭄 대응 또는 진행상황에서 농업용수 부족을 해결할 수 있는 방안으로는 하천 등에서 농업용 저수지로 양수하여 저류시켜 이용하는 방법이나 농업용 저수지 등의 수원으로부터 농경지에 공급된 물이 배수로 등을 통하여 하천으로 방류되는 것을 저류하여 재이용하는 순환형 물관리 방법이 있다.
- 보조 수원공으로 사용될 수 있는 요소로는 용수로 말단의 무효방류량, 배수로 유출량, 관정에 의한 지하수나 하천의 유량 등이며, 이러한 요소의 가능수량을 파악하기 위해서는 수위, 유속을 측정하고 물수지 분석 모형에 의한 수량추정이 가능해야 한다.
- 농업용 저수지와 같은 주 수원공의 공급만으로 부족이 발생할 경우 이를 해결하기 위한 양수저류나 순환형 물관리를 적용하기 위해서는 부족량을 파악하여 공급에 필요한 수량을 분석하는 기술, 보조 수원공에서 공급가능한 수량을 분석하는 기술, 산출된 수량을 필요한 곳에 효과적으로 공급할 수 있는 실행 기술의 개발, 개발된 기술의 현장적용성을 평가하여 보완할 수 있는 방안이 필요하다.
- 순환형 농업용수 관리가 필요한 지역으로 선정된 마둔, 대사, 풍전 저수지 지구는 주로 주수원공인 저수지로부터 수혜구역에 용수를 공급하지만 가뭄 상황 등 용수가 부족한 경우에는 양수장으로부터 공급에 일부 의존한다.
- 양수장의 펌프 가동 제어를 위한 양수 수원인 하천의 수위관측이 필요하고 펌프의 토출량을 측정할 수 있는 관수로 유량계가 요구된다.
- 저수지 수위, 관개수로 수위 등은 기존 설치된 자료를 이용하거나 추가로 필요한 지점이 발생할 경우 수로의 수위와 유속 측정을 통한 유량산정을 수행할 수도 있다.
- 양수장까지 포함된 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치로는 양수장 인입부 하천 수위계측, 관수로 유량계측, 수로부 수위 또는 유속 계측 센서 및 장치와 이들 센서 및 장치로부터 데이터베이스와 연계되거나 모바일과 연동될 수 있는 제어, 자료취득 등이 가능한 RTU로 구성된다.

(2) 센서 및 장치 비용 분석

- 적절한 계측장치를 선정하기 위해서는 지점에 따른 여러 가지의 인자들을 반영하고 각 인자들의 중요도를 고려. 유량계측 장비들로는 유속계(current meter), 초음파유량계(acoustic flowmeter)를 비롯하여 다양한 개수로, 관수로 유량계 등이 있다.
- 이들 계측장비 중 현장에 가장 적합한 것을 선정하기 위해서는 정확도, 비용, 계측할 유량 범위, 현장 조건에 적합한 전원 및 통신방식, 계측 항목과 기록 형식, 운영요건, 유사 및 부유물 통과 능력, 주어진 환경에서 장비의 수명, 유지관리요건, 시공과 설치 조건, 문제해결과 보수, 새로운 방법에 대한 사용자 숙달도, 파손 가능성, 주변 환경에 대한 영향 등이 고려된다.
- 다음은 ‘농업수리시설물 자동수위측정기 설치 및 운영 지침(2010, 농림수산식품부)’의 수위측정기 설치 고려사항이며 이를 바탕으로 선정하여야 한다.

[표 2-7-3] 농업수리시설물 자동수위측정기 설치 및 운영 지침(2010, 농림수산식품부)

<ul style="list-style-type: none"> ■ 측정기의 구성은 전원공급장치, 컨트롤러 및 통신장치, 센서, 외함, 지지대 등 ■ 원격지에서 수위측정기를 조작하고 상태를 진단할 수 있는 양방향 통신이 가능할 것 ■ 자동수위측정기는 초음파 센서, 압력식 센서, 음파식 센서 또는 검증된 기타 수위측정 센서로부터 데이터를 수집하고, CDMA 무선통신망을 이용하여 중앙운영관리서버에 접속하여 데이터를 주기적으로 전송할 수 있을 것 ■ 원격지에서 유지관리가 가능하도록 휴대폰 또는 PDA 등 모바일 장치를 이용하여 현재 수위값, 전송주기, 메뉴 설정, 시스템 정상작동 확인 등의 제어기능을 갖출 것 ■ 원격제어 및 시설물 표준코드는 한국농촌공사의 표준 프로토콜을 사용할 것. ■ 수위측정은 장마 기간 또는 장기간의 우기 등 무일조 기간에 대비하여, 별도의 전원공급 없이 최대 20일 이상 정상 작동 되어야 하며, 태양광 전원 및 배터리의 상태를 현장과 Web 시스템에서 확인할 수 있어야 하고, 일정 전압이하에서 운영자에게 경보를 전송할 수 있을 것 ■ 수위측정기는 측정, 전원, 통신 등 기능별로 모듈화 되어, 문제 발생시 해당 모듈만 교체하는 방식으로 유지보수를 할 수 있어야 하며, 향후 영상 모니터링 등 기능 추가나 확장시 별도의 추가장비 설치 없이 해당 모듈의 추가로 시스템 기능 확장이 가능할 것 ■ 자동수위측정기는 도난 및 파손 방지를 위해 기기로부터 도난 경보 전송 기능을 할 수 있을 것 ■ 자동수위측정기는 데이터 전송이 실패하더라도 30일 이상의 데이터를 자체 저장할 수 있을 것

- 계측하는 목적과 대상에 따라 적용될 수 있는 계측장비를 몇 개의 카테고리로 분류해 보면, 각 방법에 대한 경제성, 수리특성, 유지관리 등에 대해 구체적인 분석을 수행한 결과이며, 관측 대상에 대하여 가장 적절한 계측방법과 장비를 선택한다.
- 순환형 농업용수 관리를 위한 수위 계측장치는 개수로 및 양수장 인입부 하천 수위

에 사용할 수 있는 측정 장비로 부표식 수위계, 압력식 수위계, 음파식 수위계, 초음파 수위계 등이며, 각 방법의 장단점을 고려해서 적절한 장비를 선정하고, 선택의 우선순위는 몇 가지 조건들을 분석하여 결정한다. 이 중 현재 사용량이 많은 음파식 수위계와 초음파 수위계를 비교하면 다음과 같다.

[표 2-7-4] 수위 계측장치 비교

비교항목	음파식 수위계	초음파식 수위계
정확도	높음	보통
비 용	고가	저가
접촉/비접촉	접촉	비접촉
관수로 측정가능	불가	불가
비만관 측정가능	-	-
저유속 측정가능	-	-
유지관리	쉬움	쉬움
시 공	쉬움	쉬움

- 비용과 정확성 등 여러 가지 계측조건을 고려하면 규모가 큰 개수로는 음파식 수위계가 적합하며 대부분의 농업용 수로는 비교적 작은 규모로 음파식 수위계보다는 작은 규모에 적합한 초음파식 수위계를 설치하는 것이 타당하다.
- 농업용 수로 및 양수장 인입부 인근 하천의 수위 계측장치의 비용은 1개소에 12,800 천원이며 구체적 내용은 다음과 같다.

[표 2-7-5] 수위 계측장치 비용

구 분	규 격	단가(천원)	비 고
계		12,800	
수위계	계측거리 10m	3,500	물가정보 참조
컨트롤러 및 통신장치	RTU, 무선모뎀	5,800	
전원장치	태양전원	1,500	
외함 및 현장설치		2,000	

- 순환형 농업용수 관리를 위한 유량 계측장치는 개수로 시점부 및 양수장 토출부에 사용할 수 있는 측정 장비로 전자식 유속계, 표면 유속계, 도플러식 유속계, 외벽부착식 유속계 등이며, 각 방법의 장단점을 고려해서 적절한 장비를 선정하고, 선택의 우선순위는 몇 가지 조건들을 분석하여 결정. 이러한 유량 계측장치를 비교하면 다음과 같다.

[표 2-7-6] 유량 계측장치 비교

비교항목	전자식 유속계	표면 유속계	도플러식 유속계	외벽부착식 유속계
정확도	높음	보통	높음	보통
비용	고가	고가	보통	보통
접촉/비접촉	접촉	비접촉	접촉	비접촉
관수로 측정가능	가능 (별도시설 필요)	불가	가능 (별도시설 필요)	가능
비만관 측정가능	가능	-	가능	가능
저유속 측정가능	가능	불가	가능	가능
유지관리	보통	쉬움	보통	쉬움
시공	어려움	쉬움	보통	보통

- 비용과 정확성 등 여러 가지 측정조건을 고려하면 농업용 수로 시점부 개수로의 유량측정 장비로는 전자식 유속계, 표면 유속계, 도플러식 유속계 등을 적용할 수 있으나 많은 유량이 흐르는 특성상 유지관리 측면에서 비접촉식인 표면유속계가 적합하다. 양수장의 토출부는 유량 측정에 대한 설비가 고려되지 않아 설치가 까다로운데, 이에 적합한 유량측정 장비로는 관을 훼손하지 않으며, 현장 적용성이 좋은 외벽부착식 유속계가 가장 적합하다. 농업용 수로 시점부 및 양수장 토출부의 유량 계측장치의 비용은 1개소에 농업용 수로 시점부는 37,300천원, 양수장 토출부는 22,300천원이며 구체적인 내용은 다음과 같다.

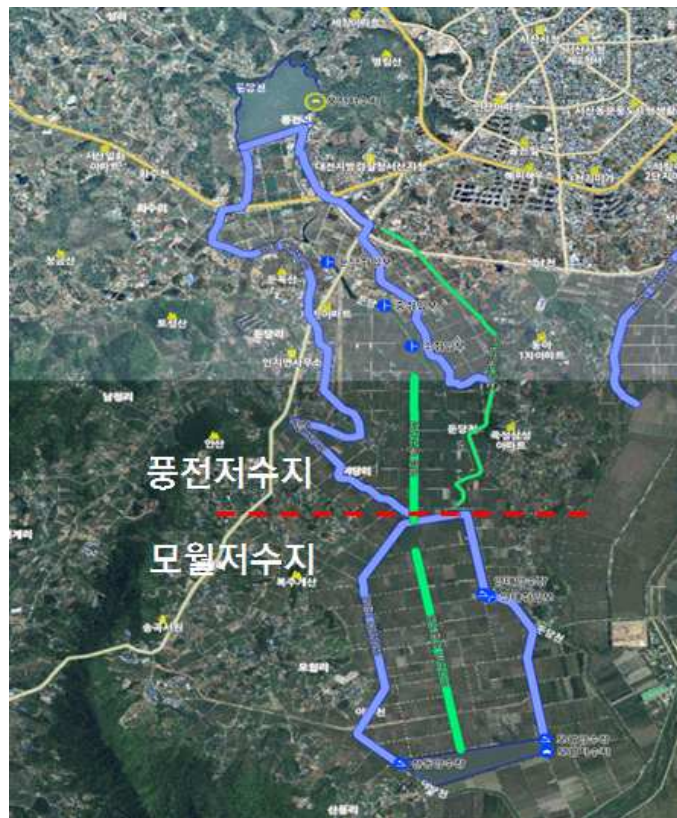
[표 2-7-7] 유량 계측장치 비용

구 분		규 격	단가(천원)	비 고
계	농업용 수로		37,300	
	양수장 토출부		22,300	
유량계	농업용 수로	표면 유량계	28,000	물가정보 참조
	양수장 토출부	외벽부착식 유량계	13,000	
컨트롤러 및 통신장치		RTU, 무선모뎀	5,800	
전원장치		태양전원	1,500	
외함 및 현장설치			2,000	

2. 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치의 적용

가. 설치 위치 선정

- 시범지구인 마둔저수지(경기도 안성시), 대사저수지(충남 홍성군), 풍전저수지(충남 서산시) 중 대사저수지와 풍전저수지에 계측장치를 설치. 이 중 풍전저수지는 모월저수지를 포함하여 선정하였다.
- 모월저수지는 풍전저수지의 보조수원공으로 직접적으로 풍전저수지의 용수를 공급받는 형태는 아니며, 간접적으로 하천을 통하여 양수저류 후 용수를 공급하는 형태이다.



[그림 2-7-12] 풍전저수지 및 모월저수지 용수간선도

- 설치 위치는 풍전저수지 평야부, 대사저수지 평야부, 모월저수지 평야부, 산동양수장에 수위계 2개소, 유량계 3개소를 선정하여 설치하였다.

- 설치 위치와 적용된 계측장치는 다음과 같다.

[표 2-7-8] 계측장치 설치 위치 및 종류

구 분	설치명	계측장치	위 치	비 고
풍전저수지	풍전저수지 시점부	유량계	충청남도 서산시 인지면 풍전리	
대사저수지	대사저수지 시점부	유량계	충청남도 홍성군 갈산면 대사리	
모월저수지	모월 1용수간선 시점부	수위계	충청남도 서산시 인지면 산동리	
산동양수장	펌프 유량	유량계	충청남도 서산시 인지면 산동리	
	하천 수위	수위계	충청남도 서산시 인지면 산동리	

- 신규로 설치된 계측기에서 취득된 정보는 CDMA 통신을 이용하여 연구용 서버로 전송되어 모니터링 시스템에 표출되며, 이는 실시간 계측정보를 사용자에게 제공한다. 또한 순환형 농업용수 분석 시스템에서 분석된 값과 비교를 통하여 연구 정밀도를 검증하는데 이용할 계획이다.



[그림 2-7-13] 계측자료 데이터 전송 시스템 구성도

나. 계측장치 설치

- 풍전저수지 설치 위치 및 설치 결과



설치 위치



설치 결과

- 대사저수지 설치 위치 및 설치 결과



설치 위치



설치 결과

- 모월저수지 설치 위치 및 설치 결과



설치 위치



설치 결과

- 모월저수지의 산동양수장은 모월저수지로 양수저류하는 유량을 측정하기 위한 펌프 유량계 1개소와 양수장의 수원인 무명하천의 하천 수위계 1개소를 선정하여 설치하였다.

- 산동양수장 펌프 유량계 설치 위치 및 설치 결과



- 산동양수장 하천 수위계 설치 위치 및 설치 결과



- 산동양수장 원격제어장치 제어반 설치 결과



설치 전



설치 후

다. 모니터링 시스템 개발

- 모니터링 화면은 대상지구의 지도와 관개 용수계통을 GIS 기반으로 표시한다. 또한 용수로, 계측기 위치, 계측자료 등을 실시간으로 제공할 수 있도록 화면을 구성하였다. 또한 화면 하단에는 실시간으로 저수율, 저수위 등 저수지 상황을 보여주고 있으며 계측기가 설치된 지점별로 계측값을 조회할 수 있다.



[그림 2-7-14] 모니터링 화면

- 수원공을 기준으로 조회설정을 할 수 있으며, 구분은 수로부, 양수장, 저수지를 구분으로 조회가 가능하다. 계측기 위치와 기간 및 간격을 기준으로 조회가 가능하며, 계측자료 조회는 저수지 수위계, 각 수로의 수위계, 유량계 등 시범지구 내에 설치된 계측기를 다음과 같이 해당하는 계측기와 기간을 설정하면 계측된 자료를 조회할 수 있다.



[그림 2-7-15] 계측자료 조회 화면

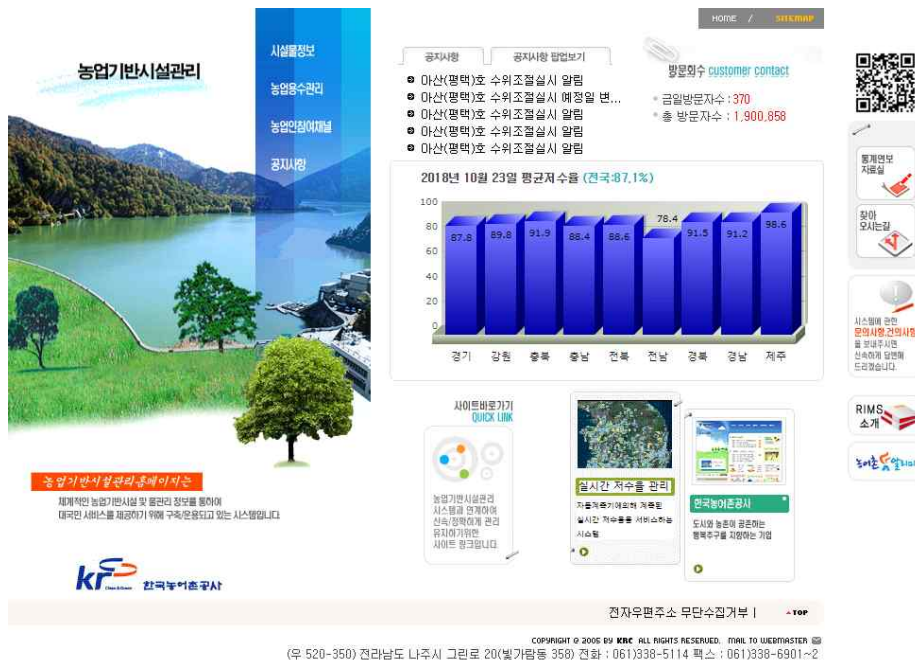
3. 순환형 농업용수 분석 시스템 개발

가. 농업용수 관리시스템 현황

(1) 농업기반시설관리시스템(RIMS)

(가) 구축의 목적

- 농업기반시설 관리 일원화에 대비하여 시스템의 고도화를 추진함으로써 공사 및 지자체 수리 시설물의 효율적 관리를 추진하고, 통계연보 발행의 효율적 지원을 통해 공사 사업홍보 및 주요 농정 시책 수립의 정확성을 제고하며, 시스템의 기술환경 개선 및 정보관리 수준 강화로 사용성 및 효율성을 도모하여 체계적이고 종합적인 용수관리를 지원하고자 추진되었다.

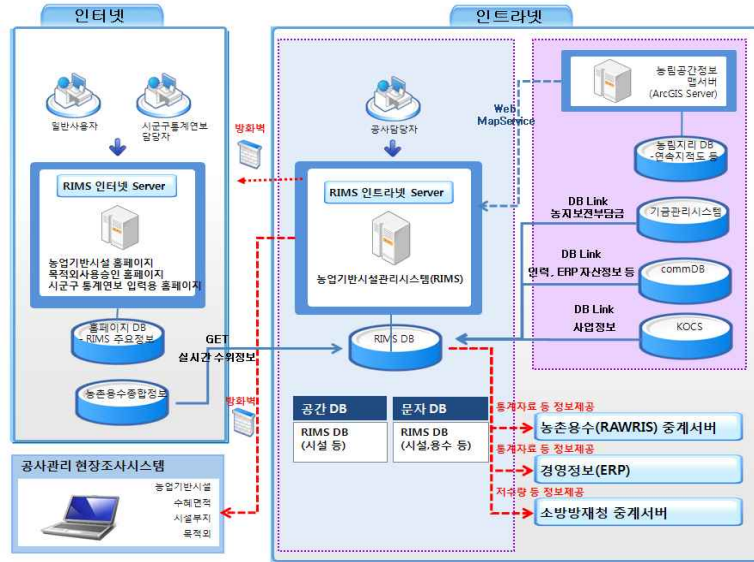


[그림 2-7-16] RIMS 메인 화면

(나) 추진배경 및 필요성

- 2012년 국정감사에서 수리시설의 효율적 관리를 위한 농업기반시설물 일원화 관리에 대한 제도개선 방안을 요구하였고, 지자체시설물 관리는 통계연보 발행을 위한 수준으로 관리 중이며, 다수의 지자체에서 공사 수준의 관리시스템 개발을 요구하여 지자체 농업기반시설물 관리 일원화를 위해 추진되었다.

- 또한 농업생산기반정비 통계연보를 이용해서 농업생산기반정비사업의 실적을 기록·보존하여 농업기반시설물의 효율적 유지관리와 사업성과 홍보 등 주요 농정시책 수립 자료로 활용할 필요가 있었고, 2012년 통계연보 체계를 농어촌정비법 사업체계에 맞추어 재편성함으로써 통계연보 시스템 재개발이 필요하다.



[그림 2-7-17] RIMS 시스템 구성도

(다) 주요 기능

- RIMS의 주요 관리 정보는 농업기반시설 정보, 농업용수 정보, 목적의 사용 정보, 시설GIS 정보, 재해관리 정보, 통계 연보 정보, 기타자료관리 정보 등 이다. 농업기반시설 정보는 저수지, 양(배)수장, 취입보, 집수암거, 관정, 집수정, 방조제, 용배수간지선, 기타시설 기본정보, 위치정보, 면적정보, 사진정보 등 관리하고, 저수지, 양(배)수장, 취입보, 집수암거, 관정, 집수정, 방조제, 용(배)수간지선, 기타시설의 상세정보를 조회·수정하는 기능을 제공한다.



[그림 2-7-18] RIMS 상세정보 조회 화면

(2) 농촌용수종합정보시스템(RAWRIS)

(가) 구축의 목적

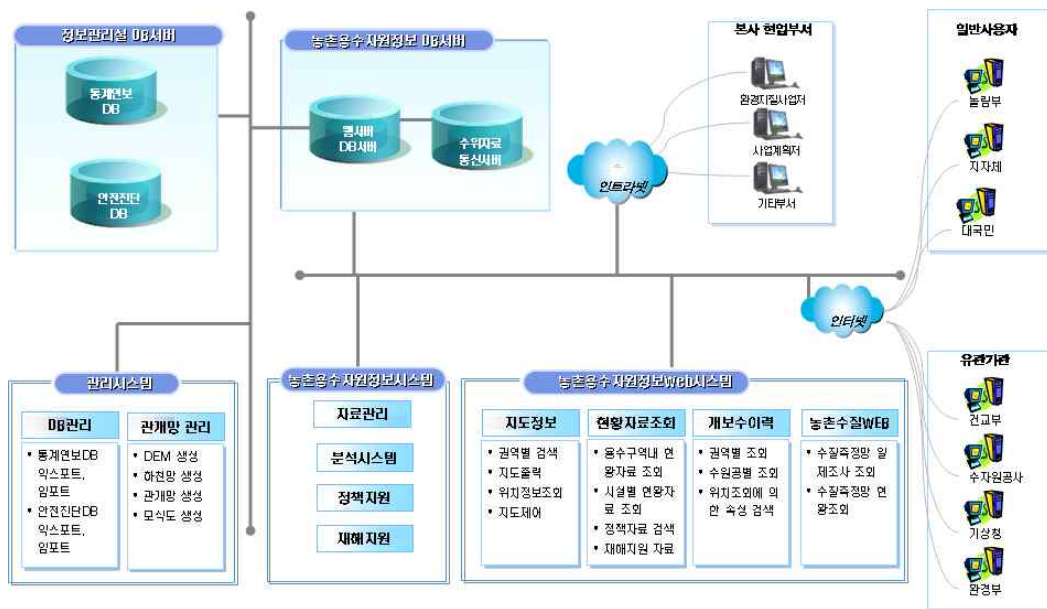
- 국무총리실 주관으로 관련부처(건교부, 환경부, 농림수산식품부 등)가 공동으로 참여하여 「물관리정보화기본계획('99.12.30)」을 확정하고 “국가 물관리정보 유통시스템” 구축을 위해 국토교통부는 수량, 환경부는 수질, 농림축산식품부는 농촌용수 부문 정보시스템을 구축하여 정부의 농촌용수 관련 정책수립 지원을 위한 다양한 정보를 제공해서 농업용수 및 농촌 생활·환경용수 등 지역의 다양한 용수수요 증가와 홍수, 가뭄 등 농촌지역의 재해에 대비하기 위한 정부 정책수립 지원을 위해 추진되었다.



[그림 2-7-19] 농촌용수종합정보시스템(RAWRIS) 메인화면

(나) 주요 기능

- 주요 관리 정보는 소하천과 수리시설물(수원공 및 평야부)의 관계 정보, 자동 수위계 관리 정보 등을 관리한다.
- 소하천-수원공 네트워크 정보는 농촌용수구역내 물 흐름(관계·배수) 특성 분석을 통한 농촌용수 공급량 산정, 가뭄·홍수 등 재해예측 등을 제공한다.
- Web기반으로 자동수위계의 데이터를 검색 및 활용할 수 있으며 수로, 저수지의 저수율, 통과유량 등을 산정하여 제공한다.



[그림 2-7-20] 농촌용수종합정보시스템(RAWRIS) 구성도

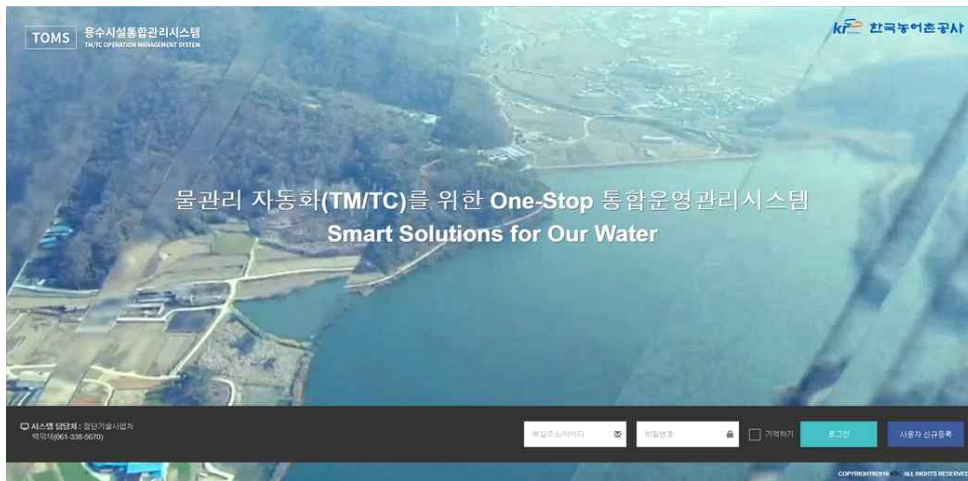
(3) 용수시설통합운영관리시스템(TOMS)

(가) 구축의 목적

- 전국단위 수리시설 운영정보 통합관리체계 구축을 통해 과학적인 계측정보관리 및 선제적 재해 대응 체계를 마련하고, 지구온난화로 인한 기후변화로 기상이변이 발생하고 이로 인한 시설물 안전 및 기상재해에 대한 대응체계를 구축하기 위해서 시스템 표준화 및 데이터 통합관리를 통해 정보의 개방과 소통으로 원활한 공유와 활용이 가능하도록 구축 중인 시스템이다.

(나) 추진배경 및 필요성

- 그간 자동화사업의 문제점을 개선하고, 시스템의 활용도 향상을 위한 전국단위 TM/TC 통합운영관리시스템 구축을 추진하고 시스템 표준화 방안 및 활용 극대화를 위한 시스템 적용의 재정립이 요구됨에 따라 사업을 추진 중에 있다.



[그림 2-7-21] 용수시설통합운영관리시스템(TOMS) 메인화면

(다) 주요 기능

- 용수시설통합운영관리시스템, 영상통합운영관리시스템, 모바일기반 시설통합운영관리시스템, 광역수계 및 광역물정보프로그램, 수자원종합상황실 자동화 연계의 기능을 갖고 있다.
- 용수시설통합운영관리시스템은 TM/TC 데이터 취합 및 표준DB, HMI 통한 데이터 연계, 계측기 계측정보, 시설제원정보, 현장 정보등 제공, 양수장의 용수공급 운영 정보 제공, GIS 기반의 시설물(저수지, 양수장, 취입보 등) 정보 제공, 공공데이터포털 연계 기능 제공, 재해관리를 위한 수해·한해 현황 정보, 시설 운영 정보 제공의 기능으로 구성되어있다.
- 영상통합운영관리시스템은 현장의 영상정보와 계측자료 정보와 영상정보의 이미지 정보로 변환하여 제공한다.
- 모바일기반 시설통합운영관리시스템은 용수시설 시설정보, 시설별 계측자료의 정보를 제공하며 광역수계 및 광역물정보프로그램은 공사 제공 지역별 주요 광역수계의 관리 및 보고자료의 정보를 제공한다.



[그림 2-7-22] 용수시설통합운영관리시스템(TOMS) 구성도

(4) 농업가뭇관리시스템(ADMS)

(가) 구축의 목적

- 농업·농촌 가뭇관련 각종 기초정보를 수집·생산·통합하고, 가뭇상황 분석 및 향후 전망을 통하여 가뭇 전주기(예방-대비-대응-복구)를 대상으로 선제적·체계적 가뭇관리가 가능하도록 농업가뭇지도제작시스템 고도화 사업을 추진 중에 있다.

(나) 추진배경 및 필요성

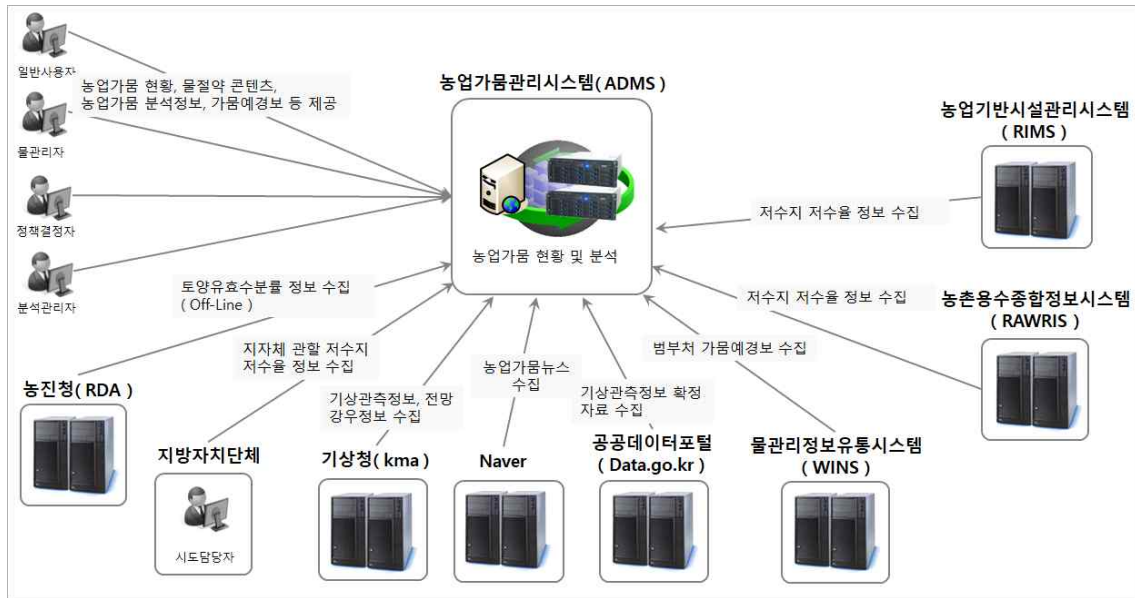
- 2017년 1월부터 범부처 가뭇 예·경보제도 정식 운영 지원방안을 마련할 필요가 있어 가뭇 예·경보를 정식 운영하여 농업가뭇 예·경보 운영을 지원한다.
- 농업분야 대외상황 및 기후변화에 대응하기 위한 통합적 접근이 필요한데 기존 방법인 저수율과 토양수분만으로 농업가뭇을 판단하는데 한계가 나타남에 따라 농업가뭇지도 제작 및 농업가뭇상황 판단 정밀도를 향상 시킬 필요가 있다.
- 유관기관간 기초자료 시스템 연계 방안을 마련하고 농업 특성을 감안한 농업가뭇기준을 정립하여 효과적인 가뭇 예측과 대책을 추진하며, Web 서비스 시스템 구축을 통해 대국민 가뭇정보 제공이 가능하도록 사업을 추진 중에 있다.



[그림 2-7-23] 농업가뭇관리시스템(ADMS) Web 메인화면

(다) 주요 기능

- 저수지 시설의 현황 정보, 저수율 예측 정보, 강우지도 정보, 논밭 가뭄지도 정보를 제공한다.. 저수율 예측은 추계학적 모델을 적용하여 예측하며 예측 시 강우-유출, 무강우 모델의 적용도 가능하다.



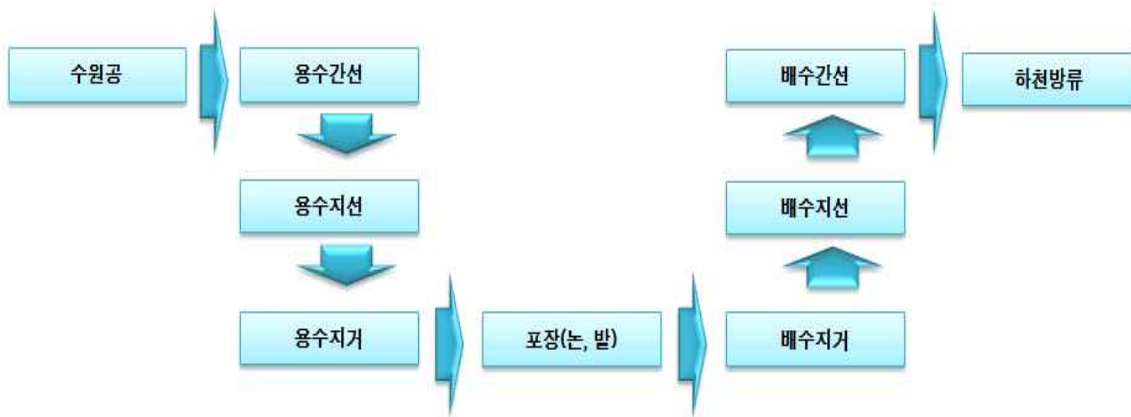
[그림 2-7-24] 농업가뭄관리시스템(ADMS) 연계 구성도

나. 순환형 농업용수 네트워크 구축

(1) 순환형 농업용수 네트워크 구성요소

(가) 네트워크의 구성

- 농촌지역의 농업용수를 저장하거나 공급하는 시설과 경지의 구성(관개 네트워크)은 저수지에서 공급되는 농업용수가 수로를 통하여 운송되며 포장(논)에 농업용수가 공급되는 구조를 가지고 있다.
- 우리나라 일반적인 농촌에서의 농업용수 공급 형태는 수원공만 저수지, 양수장, 취입보, 관정 및 집수정 등 다양한 방법으로 용수를 공급하기 위한 시설을 갖추고 있지만 수원공에서 공급되는 용수는 관개 네트워크 또는 용수계통을 이용하여 공급되는 구조를 가지고 있다.
- 다음의 그림은 농촌지역의 농업용수 공급을 위한 시설과 포장의 모습을 보여주는 사진이며 이러한 네트워크 구조를 개념도로 단순화시켜 작성한 개념도이다.



[그림 2-7-25] 농업용수 공급 및 배수 네트워크 체계 개념도

- 상기 개념도에서 제시된 네트워크 체계는 수원공 → 용수로 → 포장 → 배수로 → 하천 등의 용수의 순환을 보여주고 있으며, 본 연구에서는 이러한 네트워크 바탕에서 모델링을 구축하고 분석을 통하여 시설물 또는 특정 지점의 물수지 산정 결과를 제공한다.
- 수원공에서 용수공급을 위한 취수시설, 용수로 운송을 위한 수로 분기 및 제수, 논에 용수 공급을 위한 시설(물꼬)와 배수 등 각 시설과 시설 별 설치 목적을 달성하기 위하여 부가적으로 설치된 각종 수문(Gate) 또한 모델링 대상이 되며 이러한 시설과 부속 구조물 등으로 이루어진 네트워크 구축을 수행하였다.

(나) 네트워크의 구성 요소

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

[표 2-7-9] 네트워크의 구성요소

구 분	내 용
수원공	- 저수지, 양수장, 취입보, 관정, 집수정 등 농업용수를 공급하기 위하여 유역에 존재하는 수자원을 가두어 농업용수로 저장하는 농업용 시설
용수로	- 수원공에서 공급되는 농업용수를 논, 밭 등의 포장으로 공급하기 위하여 설치된 농업용 수리시설로서 용수간선, 용수지선 그리고 포장에 직접 연결되는 용수지거 등으로 구성
포장	- 작물의 증산, 증발 그리고 토양침투 등의 방법으로 공급된 용수를 소비하는 곳으로 필요한 용수량을 계산하여 수원공으로부터 농업용수를 제공 받는 시설, 배수 물꼬를 통하여 적정 담수심을 유지할 수 있으며 홍수 시 침수된 포장을 빠른 시간에 배수 할 수 있는 시설이 함께 갖추어져 있음
배수로	- 작부체계에 따라 시기적으로 적정 담수심이 필요하며 이러한 담수심을 유지하기 위한 배수시설 역할과 홍수 시 포장의 침수를 방지하기 위하여 배수를 수행하는 농업용시설로서 배수간선, 배수지선 그리고 배수지거 등의 수로조직으로 구성됨
방류 하천	- 포장에서 배제된 농업용수를 최대한 빠른 시간내에 하천에 방류하여 피해를 최소화 하는 역할을 부여한 시설로서 배제하기 위한 물을 임시로 가두어 놓는 저류지, 내외수면의 차를 고려하여 방류할 수 있도록 하는 게이트, 펌프 등의 시설을 운용하는 배수장 등의 시설로 구성됨

- 상기에 서술한 바와 같이 농업용수 분석에서 네트워크의 구성요소는 관개지구의 물 순환을 기초로 하여 분류하면 크게 수원공, 수로, 포장 등으로 구분할 수 있다.
- 3가지 분류에서 각 농업용 수리시설물은 용수공급을 위한 요소로 구성되며 각 요소는 모델링을 위한 모델 요소로 고려할 수 있다.

- 농업용 수리시설물과 각 시설물을 구성하는 모델 요소를 살펴보면 다음과 같다.

[표 2-7-10] 네트워크 구성요소의 분석

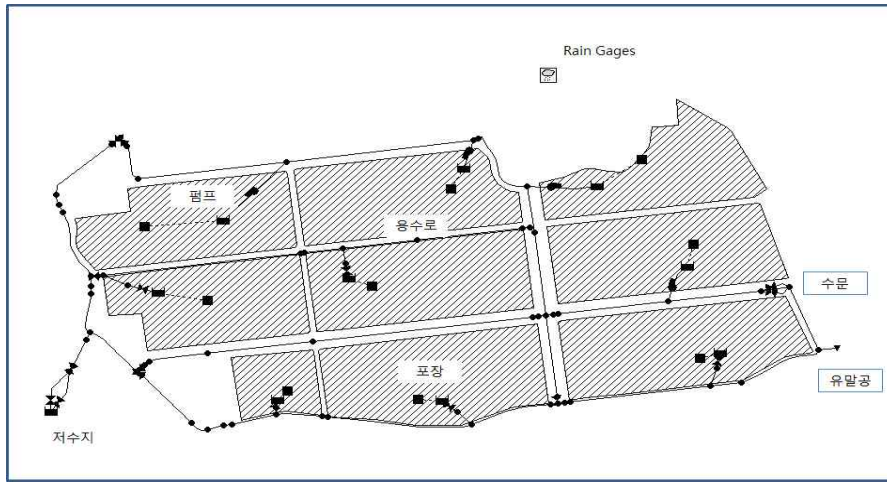
분류	공급시설	구성요소
수원공	저수지	저수지 제원, 취수탑, 사통, 복통, 여수토 등
	양수장	인입부, 토출부, 펌프, 저류지 등
수로	용수로	개수로, 관수로, 암거, 잠관 등
	분기점	제수문, 분수문 등
포장	논	포장, 물꼬 등

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

(다) 수리 및 수문분석(SWMM)의 모델요소

- 미국 환경청에서 개발 제공하고 있는 SWMM을 네트워크 분석의 엔진으로 사용하였으며, SWMM에서 제공하는 모델요소를 이용하여 본 연구의 모델링을 지원할 수 있도록 분석시스템을 구축하였다.
- 네트워크 구성을 위한 모델링 구성요소는 SWMM에서 제공하는 모델요소를 이용하여 적용할 수 있다. SWMM에서 제공하는 모델요소는 수문학 모델요소, 수리학 모델 요소 그리고 각 모델에 필요한 각종 시계열 데이터를 관리하는 요소로 구성되어 있다.
- 관개 네트워크 모델링 중 수문학적 요소를 이용할 경우 사용가능한 모델들로는 강우자료를 관리하는 요소(Rain Gages)와 유역과 관련된 자료를 관리하여 엔진에 전달하는 요소(Subcatchments)로 구성되어 있다.
- 수리학적 모델요소는 네트워크 중 수로계통을 구성하는 용수로, 분수문, 제수문, 물꼬 등을 모델링 하기 위한 요소로서 지점을 모델링 하기 위한 Nodes와 노드와 노드를 연결하는 Links 요소로 구성되어 있다.
- Nodes는 Junctions, Outfalls, Dividers, Storage Units으로 Links는 Conduits, Pumps, Orifices, Weirs, Outlets로 구성되어 있다.

- 시계열자료 모델요소는 분석을 위하여 필요한 수문자료, 기상자료, 제원자료 등 관련곡선 또는 시계열 자료를 이용한 분석에 활용할 수 있는 요소로 구성되어 있다. Curves는 Pump Curves, Storage Curves이며 Time Series는 기상자료, 수위자료가 있다.
- 네트워크를 구성하는 요소를 SWMM 엔진을 이용하여 분석하기 위해서는 각 요소를 SWMM에서 제공하는 모델요소로 표현하여 네트워크 모델링을 수행하고 여기에 수문 및 수리학적 요소를 추가하여 분석을 진행하여야 한다.



[그림 2-7-26] 네트워크 구성 모델링

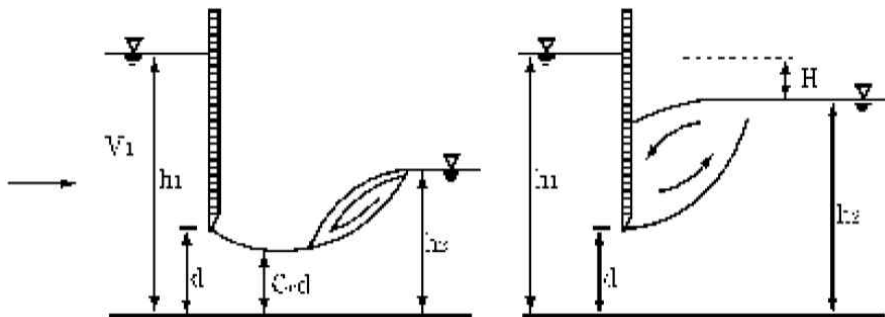
- 네트워크를 구성하는 요소의 모델링을 위하여 적용가능한 모델요소를 적용하여 보면 저수지의 경우 유역에서 유입되는 농업용수의 보관, 필요시 농업용수를 공급하는 시설로의 연계, 저류량의 파악 등의 역할을 할 수 있는 Storage Units를 사용한다.
- 또한 수로의 수위 유지와 공급되는 용수를 제어하기 위한 수문의 경우에는 해당 기능이나 분석을 수행할 수 있는 Weirs 또는 Orifices 등을 사용한다.

[표 2-7-11] 네트워크 구성요소에 적용 모델요소

분 류	공급시설	구성요소	모델요소
수원공	저수지	저수지 제원	Storage Unit
		취수탑(취수문)	Orifice
		사통	Orifice
		복통	Orifice
		여수토	Weir
	양수장	인입부	Storage Unit
		토출부	Storage Unit
펌프		Pump	

분 류	공급시설	구성요소	모델요소
		저류지	Storage Unit
수로	용수로	개수로	Conduit
		관수로	Conduit
		압거	Conduit
		잠관	Conduit
	분기점	제수문	Weir, Orifice
		분수문	Weir, Orifice
포장	논	포장	Storage Unit
		물꼬	Orifice
기타	강우자료	강우 실적 및 예측	Rain Gage
	유역	저수지 유역	Subcatchment
		논 유역	Subcatchment

- 분기점은 용수간선에서 용수간선 또는 지선으로 분기하거나 용수의 흐름을 제어하기 위한 수문을 설치하여 용수를 관리한다. 분수문 또는 제수문을 통하여 유량의 흐름을 제어한다.
- 네트워크의 Orifice(분수문과 제수문)유출의 경우 유량계수는 수문의 종류에 따라 큰 차이가 있으며 수문으로 부터의 유출형태에 따라서 자유유출(수문으로부터의 유출 수맥이 사류로서, 하류의 흐름이 도수 발생 후 연결)과 수중유출(유출수맥이 하류수면 아래로 침입)로 구분한다.

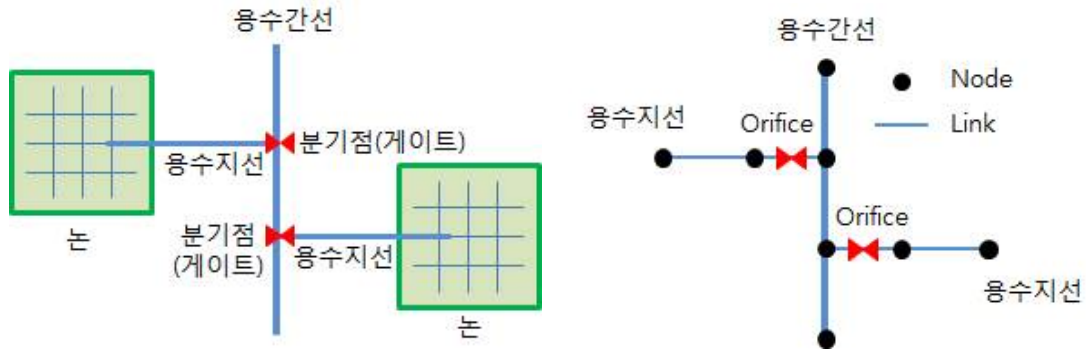


[그림 2-7-27] Orifice 유출의 자유유출(좌)과 수중유출(우)

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

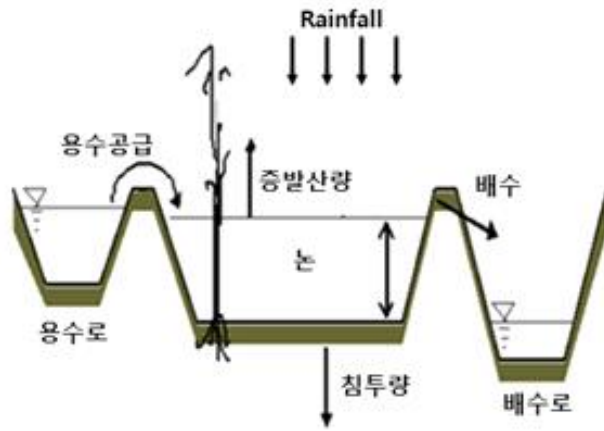
$$Q = C_a \times b \times d \sqrt{2gh_1}$$

- 여기서 Q= 분수량(m³/s), C_a= 수축계수, b, d = 게이트의 내부공간 폭(m), 개도높이(m), h₁= 게이트 상류수심(m), h₂ = 게이트 하류수심에 해당한다.
- 분수문/제수문은 Orifice 모델을 이용하거나 수위에 따라 Weir를 이용하여 모델링을 구축. 네트워크에서는 Orifice의 개폐를 통하여 용수의 흐름을 제어한다.



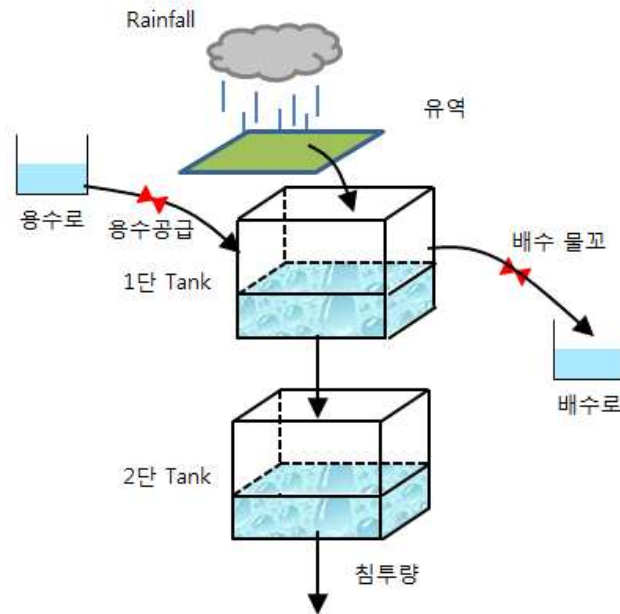
[그림 2-7-28] 분기점의 지형요소(좌) 및 네트워크 수리모형(우)

- 포장(논)은 지선 또는 지거를 통하여 용수가 공급 되는 논 집합으로 관개 네트워크에서는 Storage로 처리한다. 관개 시에는 용수로에서 공급되는 용수가 논으로 흐르도록 구성하였다. 논에서 필지별로 물꼬가 있을 경우 이는 Orifice를 이용하여 모델링한다.
- 포장(논)에서의 물수지는 용수로로부터 논으로 공급되는 유량, 강우에 의해 논에 공급되는 유효우량, 증발산량, 침투량, 배수 물꼬에 의해 배수되는 유량으로 구성한다.



[그림 2-7-29] 포장(논)에서의 물수지

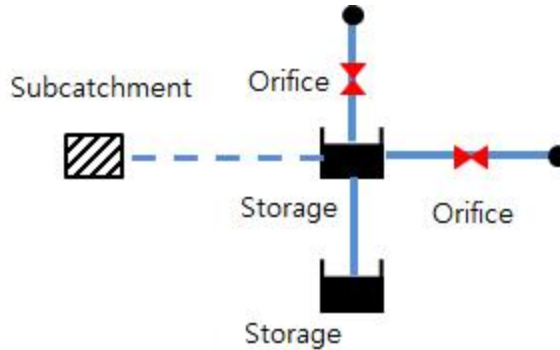
- 포장(논)에서의 담수심 변화를 분석하기 위해서는 포장에서의 물수지 분석이 필요하며, 다음의 그림은 포장에서의 물수지 분석을 위한 구성요소의 개념이다.
- 여기서 포장(논)을 Tank로 구성하였으며 1단 Tank 외에 2단 Tank는 이양기에 포장 담수심 60mm 이상과 추가적으로 공급되어야 하는 공급량(포장 담수심 80mm)을 반영하기 위해서 구성된 요소이다.



[그림 2-7-30] 포장(논) 물수지 개념

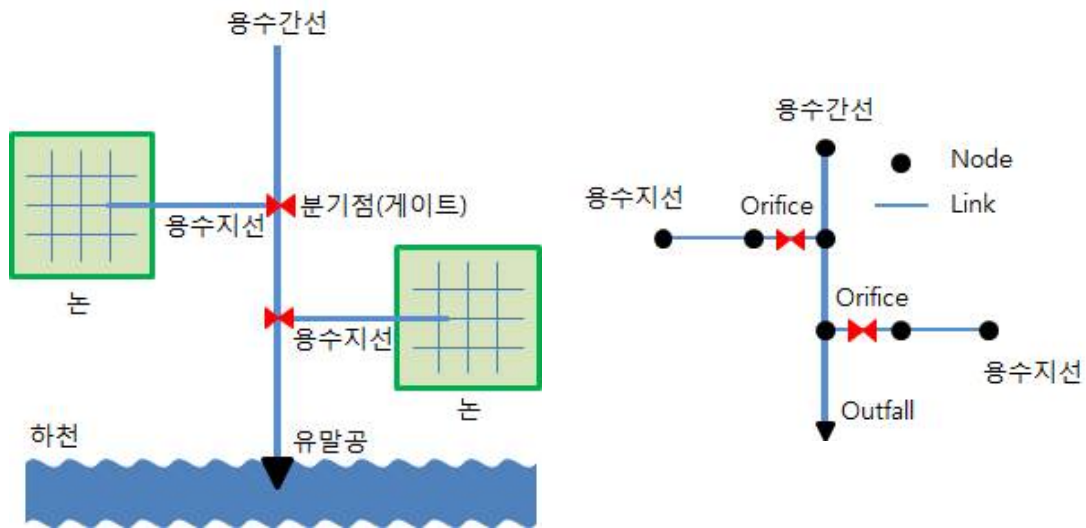
- 포장(논)에서의 물수지 분석은 ‘유입량 - 유출량 = 담수심 증감량’으로 정의할 수 있다. 여기서 유입량은 강우에 의한 유효강우량, 용수로에서 공급되는 공급량으로

구성되고, 유출량은 증발산량, 침투량, 포장에서 배수되는 유출량으로 구성되어 있다. 이를 네트워크에서는 다음과 같이 모델링 하였으며 유역(Subcatchment)은 관개 시 강우에 의해 포장에 공급되는 유효우량을 반영하기 위한 것이다.



[그림 2-7-31] 포장(논)의 네트워크 모델링

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



[그림 2-7-32] 유말공 지형요소(좌) 및 네트워크 수리모형(우)

- 네트워크 구성요소에서 각 구성요소의 속성값은 분석하려는 대상지역의 문헌조사 및 현장조사를 통하여 취득할 수 있으며 조사된 자료를 이용하여 모델링을 완성한다.
- 모델링에 반영된 속성값은 지형자료 성격을 갖는 값의 경우 현장 상황이 변화되기 전까지 1번의 입력으로 완료할 수 있으나 물관리 상황과 같은 성격의 속성값(예: 수로의 수위, 포장의 수위 등)은 물관리 상황에 따라 계속적으로 변화되며 분석시점의 값을 모델링에 반영하여야 한다.

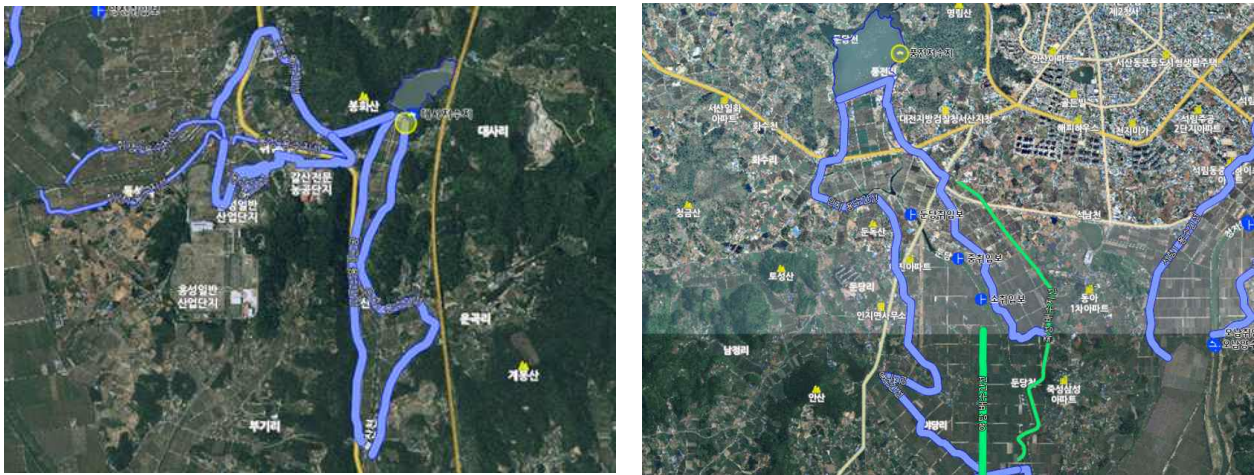
- 저수지 구성요소의 속성값은 모델요소로 Storage Unit를 사용하며 모델요소의 속성 값으로는 유역에서의 유입량, 저수지 초기수위, 수위 변동, 저수지 내용적, 총 저류량, 취수시설 종류 등의 속성값이 분석에 사용된다.
- 논인 경우에는 모델요소로 Storage Unit를 사용하며 물꼬를 통하여 공급되는 농업용수 유입량, 논인 제원, 내용적, 증발산량, 토양침투량, 초기수위, 유출량, 표고, 강우자료 등의 값이 필요하며 분석 전 모델링을 통하여 제공하거나 분석 중 분석된 값을 제공해야 한다.

[표 2-7-12] 관개 네트워크 구성요소의 속성값

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

(2) 농업기반시설관리시스템(RIMS) 자료 조사

- 시범지구 네트워크를 구축하는데 필요한 간선 및 지선의 평면적인 배치, 단면제원, 종단형태, 각종 시설물의 위치 및 제원 등의 현황을 파악할 수 있는 준공도면 등 설계도서의 확보가 어려운 경우 간선 및 주요 대상 지선에 대한 농업기반시설관리시스템(RIMS)의 자료 및 현장조사를 통해 수로의 제원 및 주요 시설에 대한 위치와 제원을 확인하고 수로 경사의 경우 부득이하게 수치표고모델(DEM)과 수치지형도를 활용하여 추정하는 방법으로 자료를 구축하였다.
- 농업기반시설관리시스템(RIMS)는 저수지 및 해당 수혜면적과 수로 네트워크가 GIS 기반으로 구성하였다.
- 네트워크의 제원으로 구조물 형태, 축점간 연장, 상폭/문비폭, 하폭/문비높이, 높이/문비연수, 단면 전심, 지름, 구배, 용수량, 배수량, 단면 기울기 등이 있다. 이를 바탕으로 기본 네트워크를 구축하여 현장조사 전 조사항목 및 필요한 정보를 작성하였다.



[그림 2-7-33] 농업기반시설관리시스템(RIMS) 수로 구성도
(좌) 대사저수지, (우) 풍전저수지

(3) 현장조사

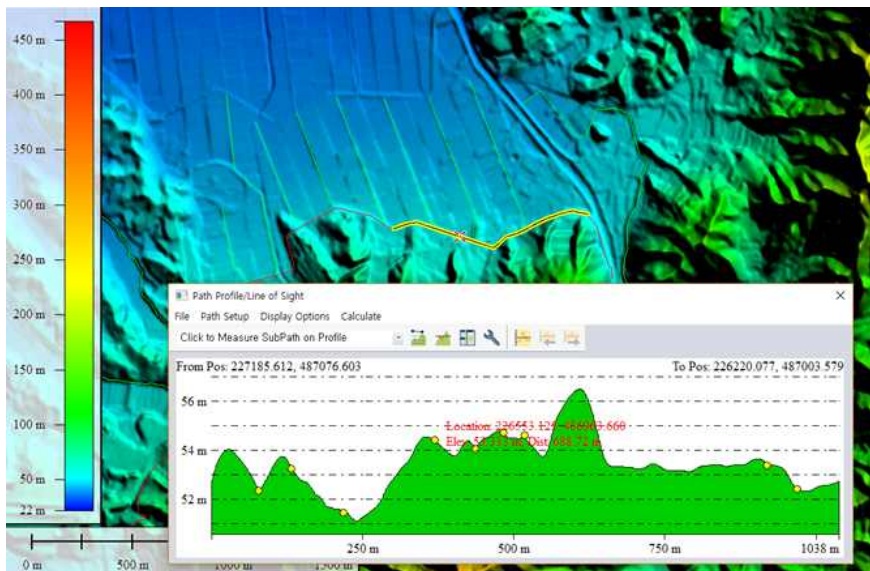
- 시범지구 수로의 노선에 대한 공간적인 정보가 위와 같은 GIS 기반에 표시만 되어 있을 뿐 정확한 좌표와 표고가 없으므로 현장 조사에 앞서 대상 간선·지선수로, 분기점 및 용수 블록을 좌표가 반영될 수 있도록 수치지형도 상에 작도하고, 부호 및 구역에 대한 표기, 항공사진 및 수치지형도 통합을 통해 현장 조사용 도면을 작성하였다.



[그림 2-7-34] 수로의 좌표 및 표고 측정

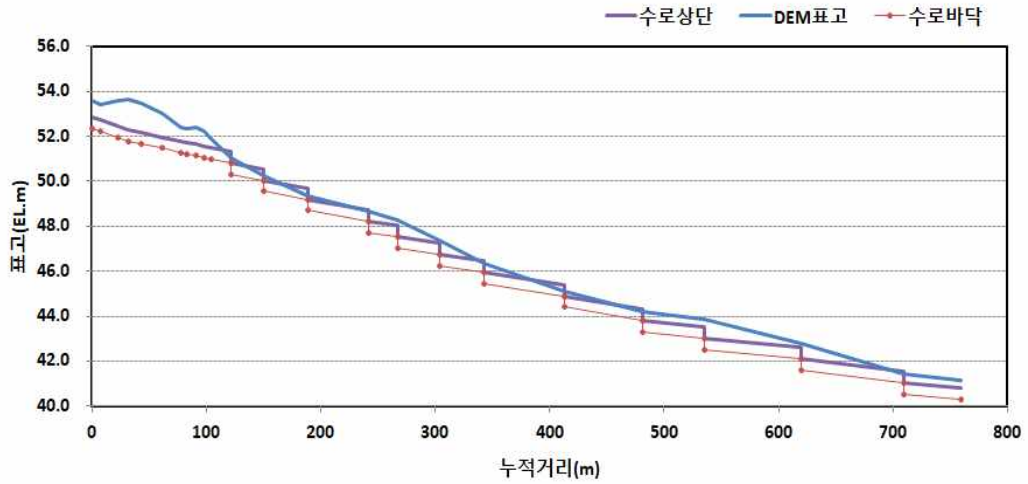
(4) 수로 바닥고 추정

- 수리 계산에 필요한 수로 바닥의 표고를 반영하기 위해서는 설계도서의 종단도면이 요구되나 설계도서의 확보가 어려운 경우 수치표고모델(DEM)과 현장 조사를 통해 확인된 수로의 중심선(현장 조사 전 도상작업 결과를 조사를 통해 보완한 자료)을 중첩하여 수로 중심에 해당하는 현재의 지반고를 추출한 후 현장 조사에서 확인된 경사의 변화 정도를 반영하여 수로의 바닥 표고를 추정하였다.



[그림 2-7-35] DEM과 수로중심선 중첩에 의한 지반고 추출

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



[그림 2-7-36] 수로 바닥고 추정

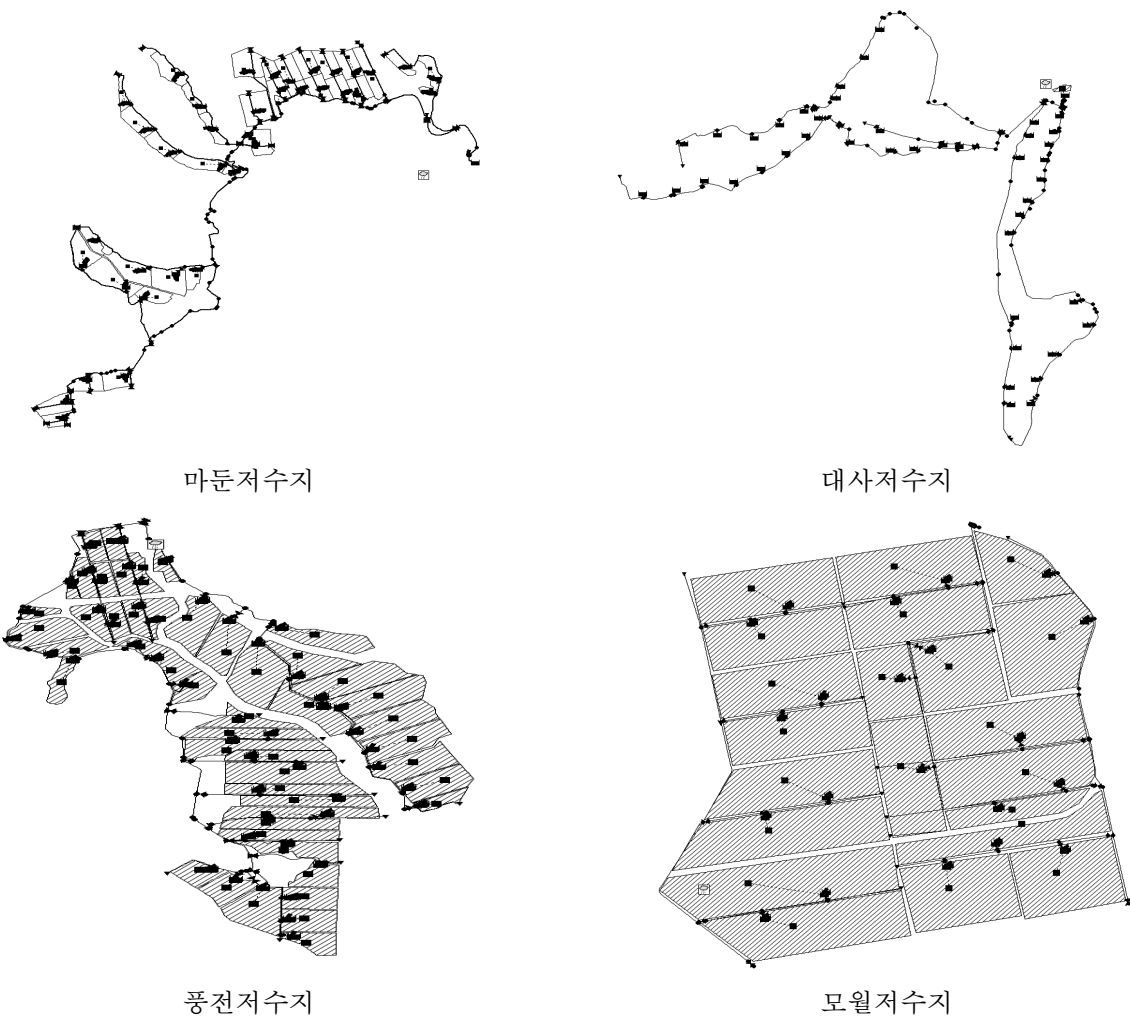
- 또한 GPS 측량장비를 사용하여 주요지점에 대한 표고를 측정한 후 측정지점과 측정지점 사이의 지점은 길이에 비례하여 수로 바닥고를 추정하기는 방법을 병행하였다.



[그림 2-7-37] 측정지점 간 수로 바닥고 추정

(5) 네트워크 및 속성자료 구축

- 현장조사 및 DEM 표고추정결과를 반영하여 종단측점, 분기점, 수로의 바닥표고, 연장, 형식, 분수문 위치 및 크기, 용수블록의 면적, 낙차공 및 급류공의 위치 등 순환형 농업용수 네트워크 구축에 필요한 제반 정보들을 입력한다.
- 시범지구 마둔저수지, 대사저수지, 풍전저수지(모월저수지 포함)에 대한 네트워크 구축 결과는 다음과 같다.



[그림 2-7-38] 시범지구 네트워크 구축 결과

- 구축된 네트워크를 분석이 가능하도록 시스템에 반영한 결과는 다음과 같다.



마둔저수지



대사저수지



풍전저수지



모윌저수지

[그림 2-7-39] 시범지구 네트워크 시스템 반영 결과

다. 시스템 구성 및 기능

- 순환형 농업용수 관리 분석시스템은 순환형 농업용수 관리를 위한 의사결정지원의 사전 분석시스템으로 그 구성은 다음의 그림과 같다.



[그림 2-7-40] 순환형 농업용수 관리 분석시스템의 구성

- 시스템은 크게 모니터링, 유입량 분석, 농업용수 네트워크 분석, 제어로 구성되어 있으며 모니터링은 저수지 저수율, 1~2차년도에 시범지구에 설치된 계측장치 데이터를 실시간으로 조회할 수 있다.
- 유입량 분석은 우리나라에서 많이 이용되고 있는 장기 강우-유출 모형으로 Tank(Suwagara, 1967)모형을 사용하였다.
- Tank 모형은 강수량, 증발산량, 유출량 자료만으로 유출분석이 가능하며, 저류탱크의 수에 따라 단기유출 뿐만 아니라 장기유출분석도 가능하다.
- 일반적으로 일단위 장기유출분석에는 직렬 3단 Tank 모형이 적용되는데, Sugawara(1972)는 많은 일본의 유역들에 적용하여 4단 Tank 모형이 일단위 유출분석에 적합하다.
- 4단 Tank 모형에서 상단의 두 탱크는 빠른 강우-유출 응답을 표현하며, 하단의 두 탱크는 느린 응답을 모의한다 (Yokoo 등, 2001). Tank 모형에서 첫 번째 탱크는 강수에 의해 저류고가 증가하고, 측면 및 바닥 유출공을 통해 유출과 침투를 모의. 하부의 저류탱크들은 상류단 탱크의 바닥 유출공에서 유입되는 유입유량에 지배를 받는다. 4번째 탱크의 경우 세 번째 탱크로부터 유입량을 받으며, 매개변수가 단지 저류고와 유출공 계수 두 개뿐이며, 이 탱크의 저류고는 세 번째 탱크의 침투량에 의해 증가되고 측면 유출공계수와 저류고의 곱으로 계산되는 유출량에 의해서만 감소한다.

- 유역에서 일 유출량은 다음 식에 의해 계산

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

$$\text{for } h(n,t) > H(n)$$

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

$$\text{for } h(n,t) \leq H(n)$$

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

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

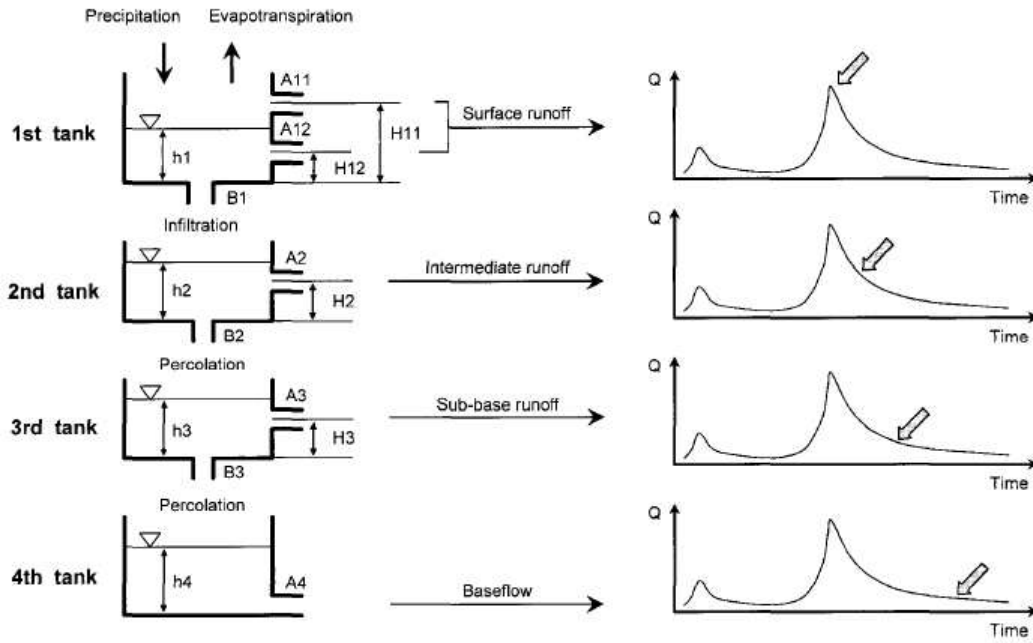
$$\text{for } n=1$$

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

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

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

- 여기서 R은 각 탱크의 측면유출공으로부터의 유출고(mm/day)를 나타내며, I는 하부 단 탱크로의 침투고(mm/day), P는 강수량(mm/day), E는 증발산량(mm/day), Q는 하루 동안 모의유량(m³/sec)이다.
- n은 상부로부터의 탱크 개수, t는 유출계산 시작일로부터 현재까지의 계산 일수를 나타낸다. A(n,x)와 H(n,x)는 n번째 탱크의 x번째 측면유출공계수(1/day)와 유출공높이(mm)를 나타낸다.
- 첫 번째 탱크에서만 x=1, 2이고, 나머지 탱크에서는 x=1이다. B(n)는 하단탱크로의 침투 및 침투공 계수(1/day), h(n,t)는 각 단의 저류고(mm)를 의미하며, A는 5개, B 3개, H 4개, h 4개로 총 매개변수의 수는 16개이다. 각 단의 A, B 및 H는 유출계산 시 변화지 않는 고정매개변수이며, h는 시간에 따른 저류량의 변화를 나타내는 변수로서 계산 시작시점에만 지정하도록 되어 있다.



[그림 2-7-41] Tank 모형의 개념도

- 농업용수 네트워크 분석은 전술하였던 네트워크를 SWMM의 부정류 해석을 통하여 수로에서의 수위, 유속, 도달시간 등 수리학적 해석이 가능하다. 이를 바탕으로 30일 이내의 단기 분석, 180일 이내의 장기분석, 퇴출량 분석 등으로 구성하였고, SWAT 모형에 의한 유입량 분석을 반영하였다.

라. 데이터베이스

(1) 데이터베이스 엔터티 분석

- 시스템을 이용하여 관개지구의 단기분석, 중장기 분석 등을 검토하기 위한 사전 분석을 수행하기 위해서는 모델링 자료, 용수 흐름 조절용 시설 등의 설정 자료 등을 저장 관리하여야 하며 분석 결과를 제공하기 위한 분석자료 또한 관리해야 한다.
- 본 연구를 통하여 개발된 시스템에서는 관리하여야 하는 데이터를 수로 네트워크 부분, 모의 관련 부분 그리고 시스템 분석 시 필요한 공통데이터 부분으로 구분하여 엔터티를 분석 정리하였다. 분석된 각 엔터티는 DBMS를 이용한 정보 관리를 위하여 관계 설정을 하게 되고 이를 바탕으로 엔터티에 대한 자료 정의를 통하여 테이블 명세를 작성하는 데이터베이스 설계를 추진하였다.

(가) 수로 네트워크 관련 엔터티

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

[표 2-7-13] 수로네트워크 관련 엔터티 분석

Seq	분류	Type	Entity Name	내 용
1	수로망	테이블	네트워크 정보	모의를 위한 네트워크 전체정보 테이블
2	수로망	테이블	저수지유역정보	저수지유역에 대한 유입량 분석에 필요한 유역정보 관리
3	수로망	테이블	저수지정보	저수지 명칭, 수해면적, 총저수량, 수위등 정보 관리
4	수로망	테이블	저수지수로정보	저수지의 간선, 지선에 대한 수로 일반정보
5	수로망	테이블	양수장정보	양수저류지구, 양수장지구 등의 양수장 정보 관리
6	수로망	테이블	양수장 상세 정보	모델링 대상지구의 양수장 상세 정보 관리
7	수로망	테이블	저수지_내용적 정보	저수지 유효저수량을 위한 내용적 정보를 관리
8	수로망	테이블	수로정보	모델링에 포함된 수로의 폭, 넓이, 경사도등 상세정보
9	수로망	테이블	수문정보	모델링에 포함된 수문의 이름, 규격 등의 정보 관리
10	수로망	테이블	포장정보	수해대상 농경지의 이름, 면적, 현황 등의 정보

Seq	분류	Type	Entity Name	내 용
11	수로망	테이블	저수지_내용적표	저수지 내용적 정보를 관리
12	수로망	테이블	저수지 공간정보	저수지의 좌표정보를 관리
13	수로망	테이블	수로 공간정보	수로의 좌표정보를 관리
14	수로망	테이블	포장 공간정보	포장의 좌표정보를 관리

(나) 모의 관련 엔터티

- 단기분석 또는 중장기분석을 실행하는 시스템에서 활용되거나 모의결과를 저장 관리하기 위한 엔터티를 아래의 표와 같이 9개로 구분하여 정리하였다. 모의결과를 저장하여 사용자에게 제공하기 위한 결과의 관리, 사용자가 정립한 관개계획의 관리, 물흐름을 조절하기 위한 수문의 관리 정보, 강우정보 그리고 실시간 모의에 사용되는 계측자료와 용수의 공급 또는 배수상태를 보여주기 위한 시계열 계측자료를 관리하기 위한 엔터티 등을 분석하여 데이터베이스를 설계, 개발하였다

[표 2-7-14] 모의 관련 엔터티 분석

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

(다) 분석모형 공통정보 관련 엔터티

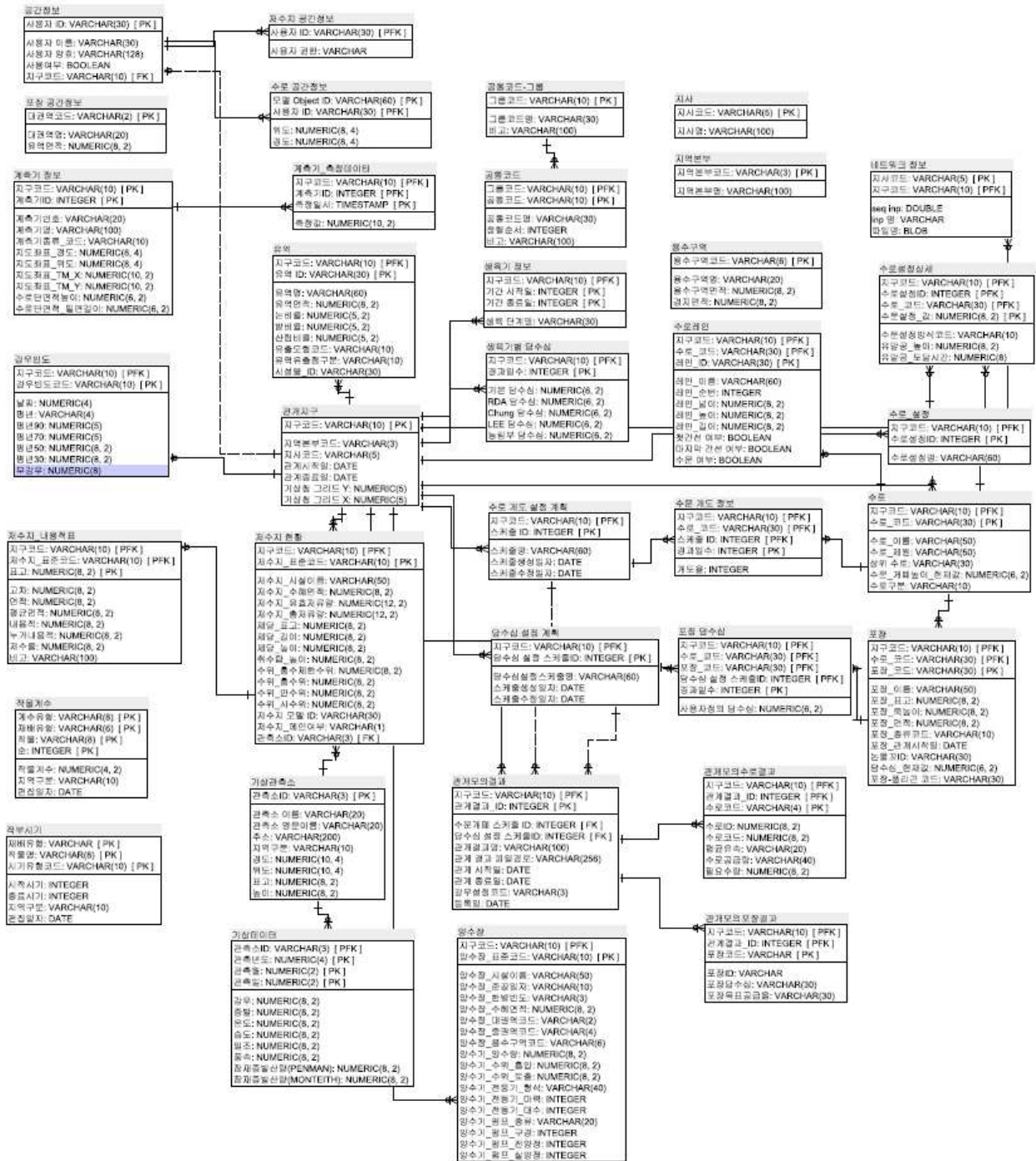
- 분석에 사용되는 정보는 시스템 운영에 필요한 한국농어촌공사 조직관련 정보, 시스템을 사용하는 사용자의 정보와 권한 부여 정보, 시스템에 적용된 작물 경작과 관련된 정보, 국가 물관리표준화 적용을 위한 대권역, 중권역, 용수구역 정보 등 16개 엔터티를 정리하여 데이터베이스로 관리할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

[표 2-7-15] 공통정보 관련 엔터티 분석

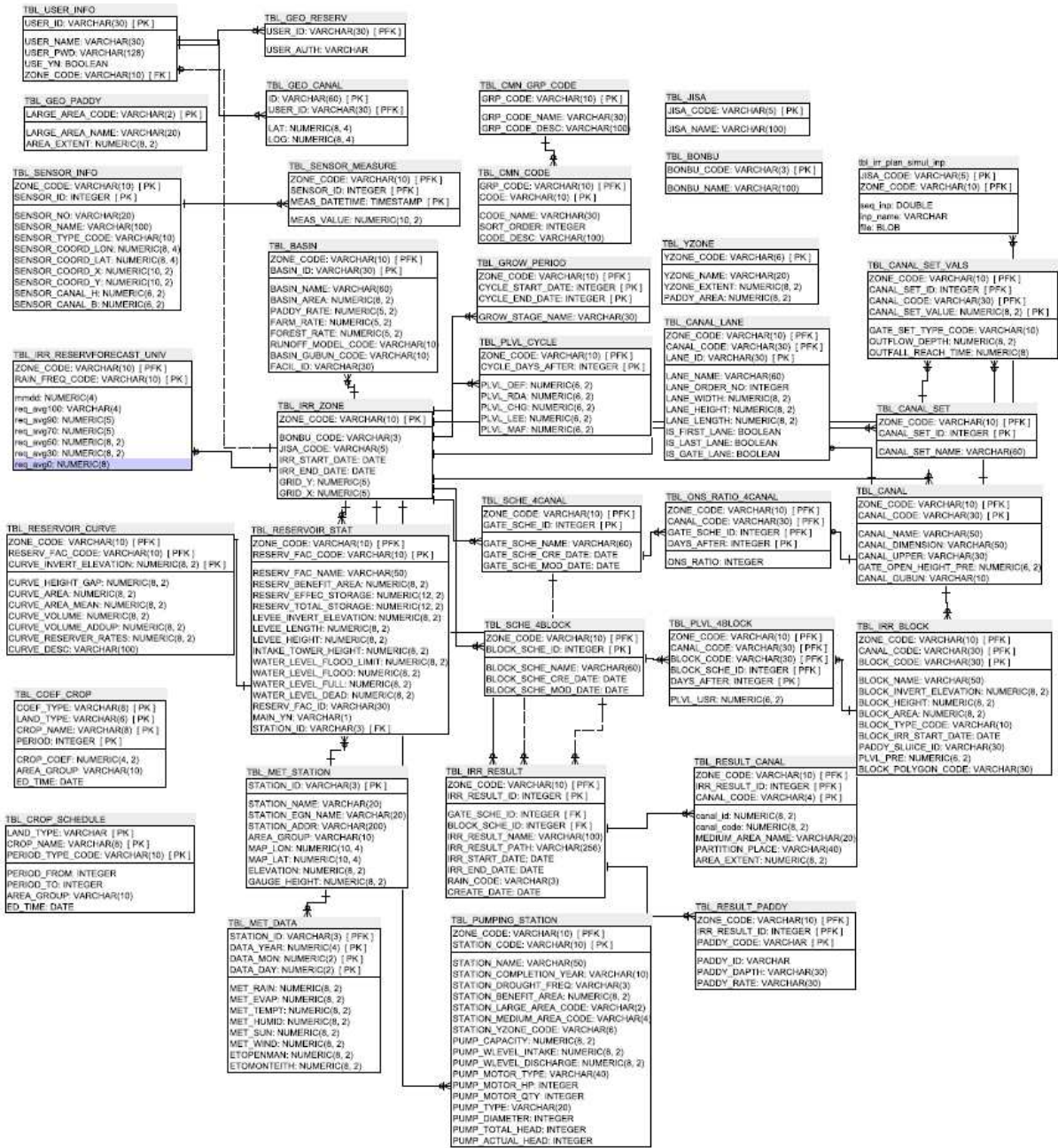
Seq	분류	Type	Entity Name	내 용
1	공통정보	테이블	지역본부	한국농어촌공사 조직 중 지역본부 정보 정의
2	공통정보	테이블	공통코드	시스템 운영 시 필요한 공통코드 정의
3	공통정보	테이블	공통그룹코드	공통코드 중 그룹으로 정의된 코드의 정의
4	공통정보	테이블	작물계수	작물의 필요수량 산정에 필요한 작물의 계수 관리
5	공통정보	테이블	작부시기	지역별 영농시기의 정의
6	공통정보	테이블	생육기 정보	지역별로 정의된 작물의 생육기간 정보 정의
7	공통정보	테이블	분석지구	시스템 분석이나 모델링 그리고 운영의 중심 테이블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

(라) ERD (Entity Relation Diagram) 작성

- 데이터베이스를 설계하기 위한 수로계통 모델링 관련 엔터티와 모의 관련 엔터티 그리고 시스템 운영 및 공통코드 관리를 위한 엔터티를 이용하여 정보 관리 효율성, 정확성을 위하여 ERD를 작성하였다.



[그림 2-7-42] 논리적 구성 ERD



[그림 2-7-43] 물리적 구성 ERD

- 데이터베이스를 관리하기 위한 DBMS(DataBase Management System)는 시스템 설치 시 별도의 제품을 이용하여 설치할 필요가 없으며 DBMS를 설치하면 데이터베이스는 준비가 되고 시스템 사용이 가능하도록 설계하였다.
- 데이터베이스 ERD는 시스템에서 모의하려는 대상지구 엔티티를 기반으로 관계 분석을 실행하기 위한 각종 정보를 연계하고 있다.
- 관계 대상지구는 수원공으로 저수지 또는 양수장을 포함하고 있으며 공급통로로 용수로를 포함하며 공급대상으로 포장을 가지고 있다.

- 또한 포장에 용수를 공급하기 위한 계획을 관리하도록 해야 하며 계획 수립에 따른 수문의 조작, 해당 영농기의 담수심 정보, 계측자료 등 모델링에 필요한 정보로서 대상지구와 함께 관리되어야 한다.
- 모델링 된 정보를 계획의 사전 모의에 의하여 분석결과를 데이터베이스에서 관리하여야 하고 이에 따른 관련 데이터도 관개지구와 분석계획 그리고 모의시간 등의 조건에 따라 관리되도록 데이터베이스를 설계하여 운영할 수 있도록 하였다.

(2) 테이블 명세서 설계

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

(가) 수로계통 관련 엔티티 설계

- 시스템의 운영에 필요한 데이터를 분석하여 모델링과 수로계통에 필요한 데이터를 구분하여 각 엔티티에 속한 항목의 DB 설계를 추진하였다

- 네트워크 정보 명세서

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

- 저수지 유역 엔터티 명세서

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

- 저수지 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_reservoir_stat		저수지 현황	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	reserv_fac_code	저수지 표준코드	C	10	PK				
3	reserv_fac_name	저수지 시설이름	C	50					
4	reserv_benefit_area	저수지 수혜면적	N	8,2					
5	reserv_effec_storage	저수지 유효저류량	N	12,2					
6	reserv_total_storage	저수지 총저류량	N	12,2					
7	levee_invert_elevation	제당 표고	N	8,2					

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_reservoir_stat		저수지 현황	테이블		수로계통				
8	levee_length	제당 길이	N	8,2				m	
9	levee_height	제당 높이	N	8,2				m	
10	intake_tower_height	취수탑 높이	N	8,2				m	
11	water_level_flood_limit	수위 홍수제한수위	N	8,2					
12	water_level_flood	홍수위	N	8,2					
13	water_level_full	만수위	N	8,2					
14	water_level_dead	사수위	N	8,2					
15	reserv_fac_id	저수지 모델 ID	C	30		Y			
16	main_yn	저수지 메인여부	C	1		Y			
17	station_id	관측소 ID	C	4		Y			

- 저수지 수로정보 엔터티 명세서

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

- 양수장 정보 엔터티 명세서

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

- 양수장 상세 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_pumping_station		양수장	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	station_code	양수장 표준코드	C	10	PK				
3	station_name	양수장명	C	50					
4	station_completion_year	준공년도	C	10		Y			
5	station_drought_freq	한발빈도	C	3				년	
6	station_benefit_area	수혜면적	N	8,2				ha	
7	station_large_area_code	대권역코드	C	2					
8	station_medium_ar	중권역코드	C	4					

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_pumping_station		양수장	테이블		수로계통				
	ea_code								
9	station_yzone_code	용수구역	C	6					
10	pump_capacity	양수기 양수량	N	8,2				m ³ /s	
11	pump_wlevel_intake	양수기 수위흡입	N	8,2					
12	pump_wlevel_discharge	양수기 수위토출	N	8,2					
13	pump_motor_type	양수기 전동기형식	C	40					
14	pump_motor_hp	양수기 전동기 마력	I						
15	pump_motor_qty	양수기 전동기 대수	I						
16	pump_type	양수기 펌프종류	C	20					
17	pump_diameter	양수기 펌프 구경	I					mm	
18	pump_total_head	양수기 펌프 전양정	I					m	
19	pump_actual_head	양수기 펌프 실양정	I					m	
20	station_id	양수장 아이디	C	30		Y			

- 저수지 내용적표 엔터티 명세서

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

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_reservoir_curve		저수지 내용적표	테이블		수로계통				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
9	curve_reserver_rates	저수율	N	8,2				%	
10	curve_desc	비고	C	100		Y			

- 수로 정보 엔터티 명세서

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

- 수문 속성정보 엔터티 명세서

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

- 포장정보 엔터티 명세서

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

- 저수지 공간정보 엔터티 명세서

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

- 수로 공간정보 엔터티 명세서

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

- 포장 공간정보 엔터티 명세서

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

(나) 모의 관련 엔터티 설계

- 시스템을 이용한 네트워크 분석을 수행하고 그 결과를 저장하기 위한 모의 관련 엔터티의 명세서를 다음과 같이 설계하였다.

- 관개스케줄 엔터티 명세서

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

- 모의별 수문개도율 엔터티 명세서

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

- 모의별 수문개도 계획 엔터티 명세서

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

- 포장 담수심 관리 엔터티 명세서

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

- 저수율 정보 관리 엔터티 명세서

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

- 생육기별 담수심 기준 엔터티 명세서

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

- 관측소 강우정보 엔터티 명세서

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

- 계측기 정보 엔터티 명세서

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

- 계측기 측정데이터 정보 관리 엔터티 명세서

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

- 관개모의결과 관리 엔터티 명세서

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

- 관개모의수로결과 관리 엔터티 명세서

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

- 관개모의포장결과 관리 엔터티 명세서

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

(다) 분석모형 공통정보 관련 엔터티

- 시스템을 운영하기 위해서는 여러 가지 정보가 필요. 시스템에서 공통으로 사용하는 공통코드, 한국농어촌공사 조직관련 정보, 국가 물관리를 위해서 개발된 대권역, 중권역, 용수구역 등 물관리구역 분할 정보 그리고 농작물의 필요수량을 산정하기 위한 작물계수, 작부시기, 생육기 정보 등을 관리하기 위한 엔터티를 분석하였으며 관련 엔터티 속성을 포함한 명세서를 작성하였다.

- 한국농어촌공사 지역본부 정보 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_bonbu		지역본부	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	bonbu_code	본부코드	C	3	PK				
2	bonbu_name	지역본부명	C	100					

- 공통코드 관리 엔터티 명세서

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

- 공통코드 관리 엔터티 명세서

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

- 작물계수 정보 엔터티 명세서

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

- 작부시기 정보 엔터티 명세서

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

- 생육기 정보 엔터티 명세서

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

- 분석지구 엔터티 명세서

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

- 한국농어촌공사 지사 정보관리 명세서

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

- 기상데이터 관리 엔터티 명세서

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

- 기상관측소 정보 엔터티 명세서

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

- 하천 정보 엔터티 명세서

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

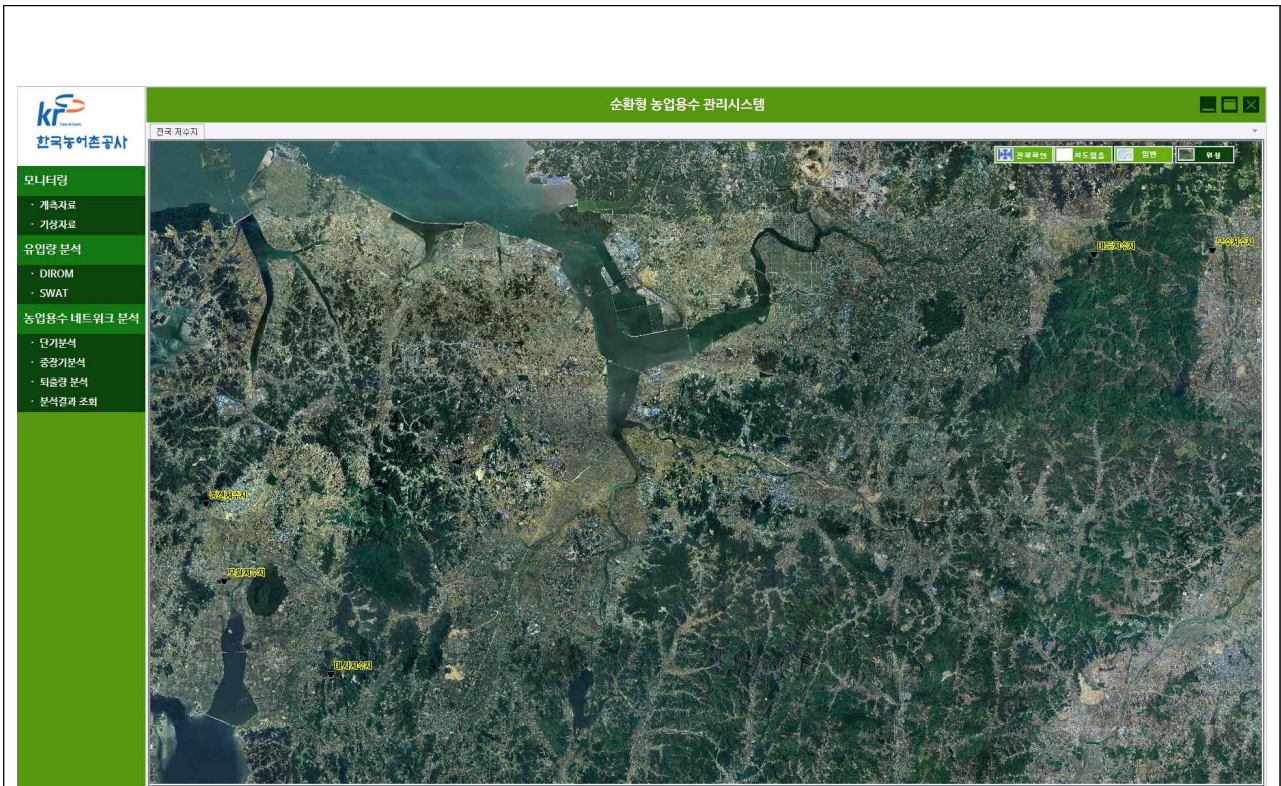
- 강우빈도 엔터티 명세서

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

- 용수구역 정보 엔터티 명세서

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

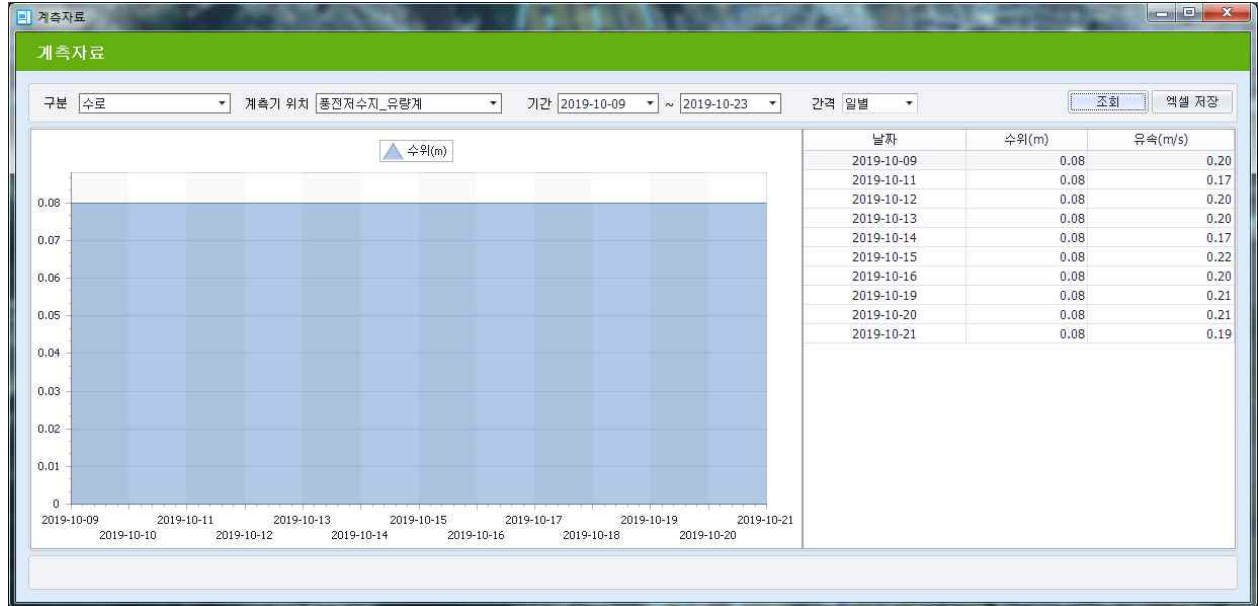
(3) 화면의 정의



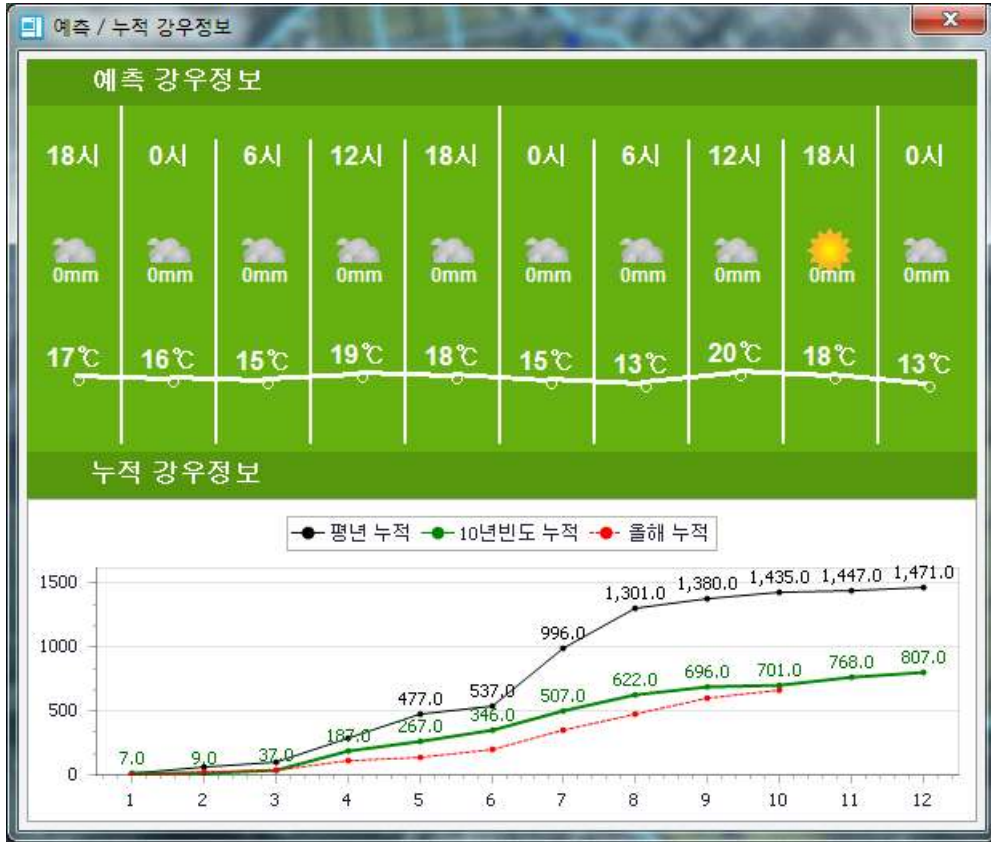
번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	순환형 저수지 선택
2	기능명	순환형 저수지 선택기능
3	화면설명	지도에 대한 기본 조작 기능
4	세부내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 지도를 확대하려면 확대버튼을 마우스 휠을 업 함 2. 지도를 축소하려면 축소버튼을 마우스 휠을 다운함 3. 지도의 전체화면으로 이동하려면 전체화면 버튼을 클릭 4. 원하는 위치로 이동하려면 드래그 5. 저수지의 네트워크를 보기위해서 저수지의 이름을 더블 클릭



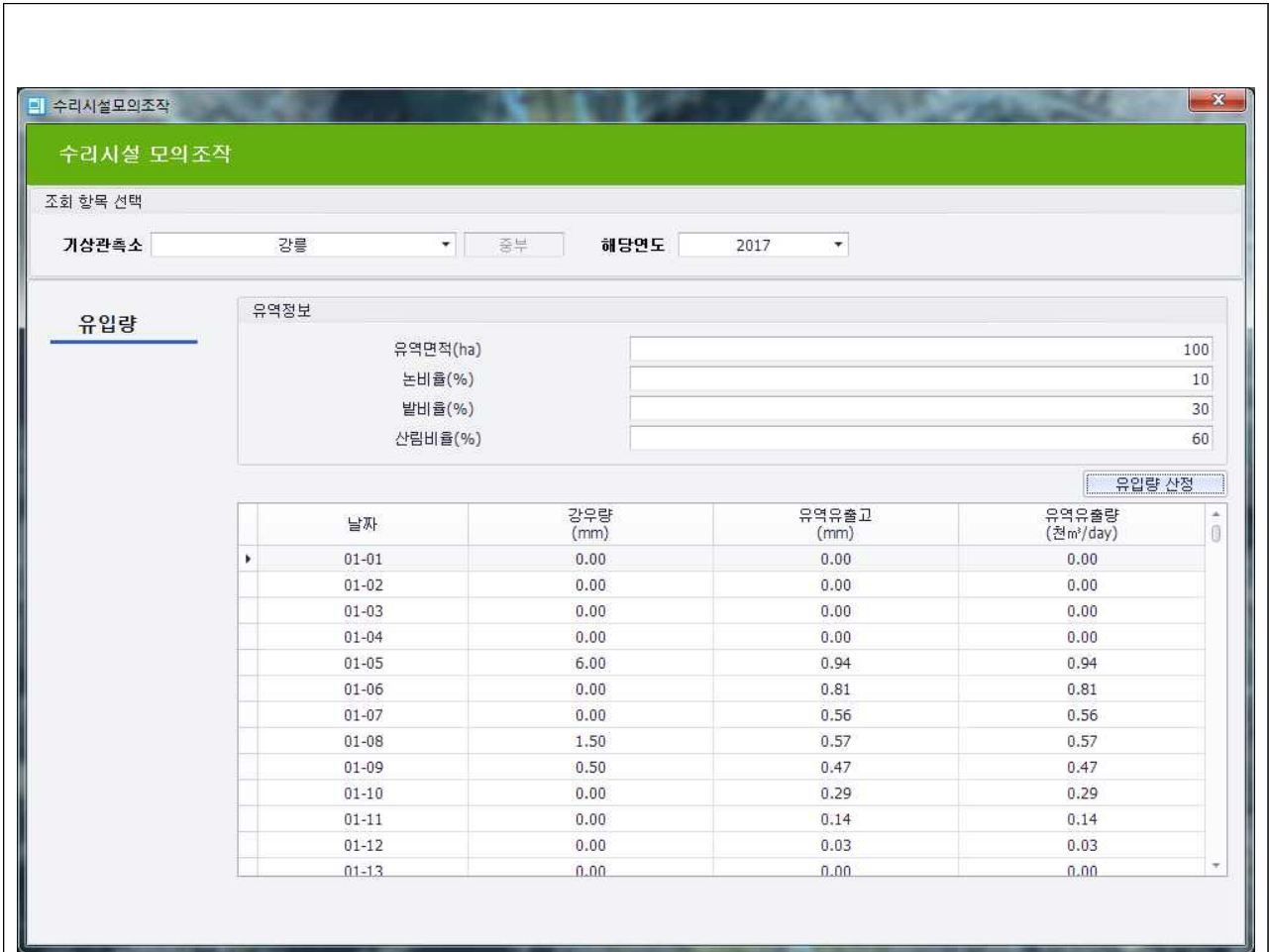
번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	관개 네트워크
2	기능명	지도 기본기능
3	화면설명	지도에 대한 기본 조작 기능
4	세부내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 지도를 확대하려면 확대버튼을 클릭 2. 지도를 축소하려면 축소버튼을 클릭 3. 지도의 전체화면으로 이동하려면 전체화면 버튼을 클릭 4. 원하는 위치로 이동하려면 이동 버튼을 클릭 5. 시설물을 선택하기 위해서 선택버튼을 클릭 6. 시설물정보를 보기위해서 오른쪽 클릭 7. 해당지역의 거리를 알고 싶으면 거리재기 버튼을 클릭 8. 해당지역에 면적을 알고 싶으면 면적재기 버튼을 클릭 9. 계측기 정보를 보기위해서 계측자료를 클릭 10. 기상정보를 보기위해서 기상자료를 클릭 11. 유역 유출량을 보기 위해서 DIROM을 클릭 12. 관개 네트워크 분석을 위해서 단기분석을 클릭 13. 관개 네트워크의 계획 분석을 위해서 중장기분석을 클릭 14. 저장된 분석결과를 보기 위해서 분석결과 조회를 클릭



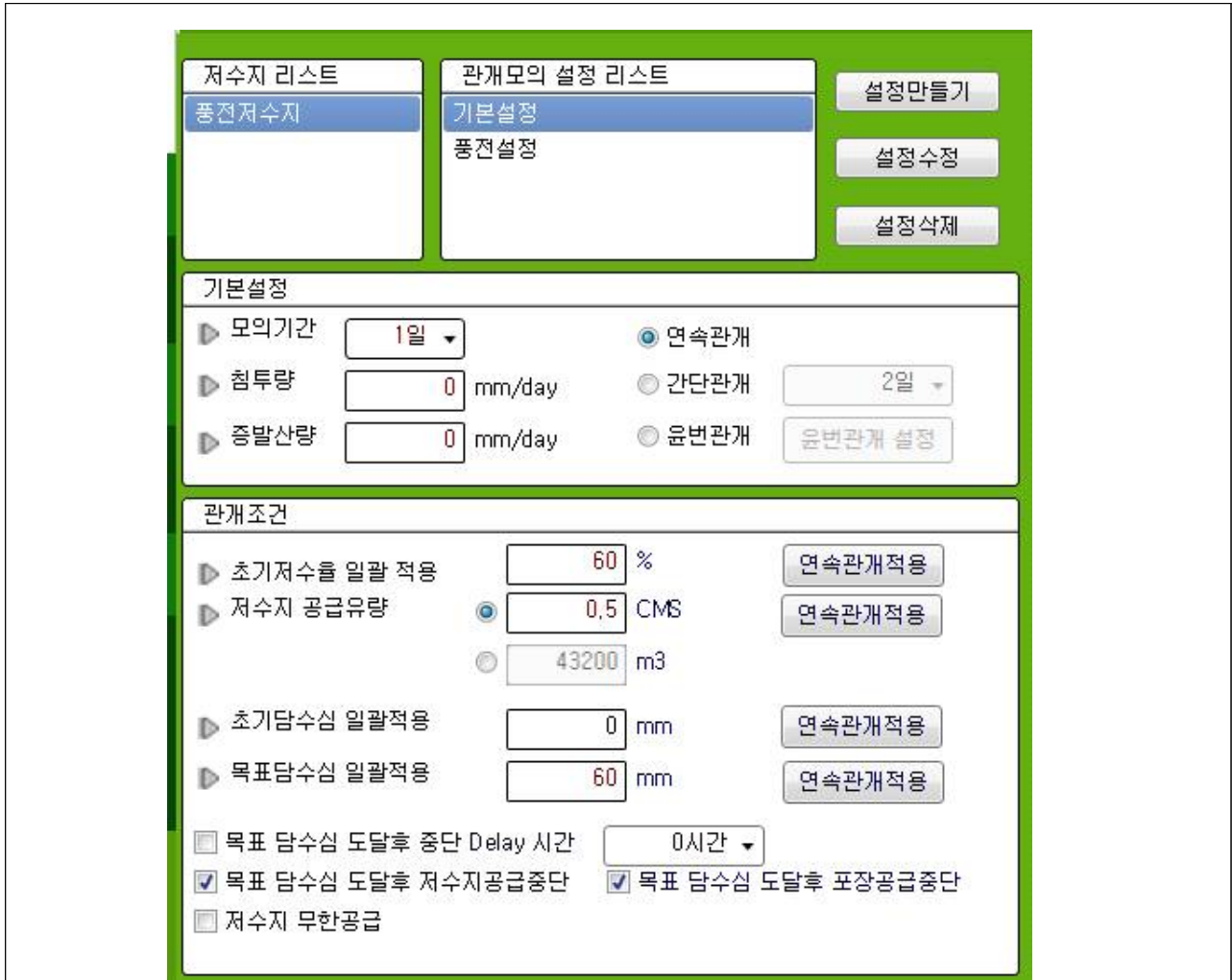
번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	계측자료
2	기능명	계측기정보 조회기능
3	화면설명	기간별 수로, 양수장, 저수지 계측정보 조회기능
4	세부내용	1.저장된 계측정보를 조회하기 위해 구분, 계측기 위치, 기간, 간격을 설정하고 조회를 클릭 2. 조회된 계측정보를 출력하기 위해 엑셀 저장을 클릭



번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	강우정보
2	기능명	강우정보조회
3	화면설명	저수지 위치의 강우정보 확인
4	세부내용	1. 강우정보를 확인하는 날자 기준으로 3일의 강우정보를 확인 2. 평년, 10년 빈도, 올해의 누적 강우를 확인



번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	지역, 연도별 조회
2	기능명	DIROM모형
3	화면설명	지역, 연도별 유역유출량 조회
4	세부내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 조회할 기상관측소와 강우연도를 선택 2. DIROM모형 분석을 위해 유역면적, 논비율, 밭비율, 산림비율을 입력 3. 유입량 산정을 클릭



번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	단기분석
2	기능명	단기분석 세부 설정
3	화면설명	단기분석 설정
4	세부내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 단기분석 설정을 만들기 위해 설정만들기를 클릭 2. 단기분석 설정 수정을 위해 단기분석 설정 리스트에서 수정할 설정을 선택하고 설정수정을 클릭 3. 단기분석 설정 삭제를 위해 단기분석 설정 리스트에서 삭제할 설정을 선택하고 설정삭제를 클릭 4. 단기분석의 기본 설정으로 모의기간, 침투량, 증발산량, 관개방식을 설정 5. 저수지, 포장의 초기 설정과 담수심 도달 후의 설정 6. 전체 저수지, 포장의 설정을 일괄적용하기 위해 관개적용 버튼을 클릭

공급조건

▶ 메인 수문개도를 일괄적용 % 연속관개적용

목표 담수심 도달후 메인수로공급중단

▶ 보조 수문개도를 일괄적용 % 연속관개적용

목표 담수심 도달후 보조수로공급중단

양수저류 공급조건(※ 효율이 0%이면 가동중지)

▶ 효율설정(%) ▶ 가동대수 연속관개적용

▶ 가동시작 저수율(%) ▶ 가동시간 ~

양수장 공급조건(※ 효율이 0%이면 가동중지)

▶ 가동대수 연속관개적용

▶ 효율설정 % 연속관개적용

기타설정

▶ 양수장 가동여부 가동 중지 연속관개적용

▶ 양수장 공급량(cms) 연속관개적용

▶ 초기하천수위(m) 연속관개적용

상세설정보기
모의실행

번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	단기분석
2	기능명	단기분석 세부 설정
3	화면설명	단기분석 설정
4	세부내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 단기분석 설정의 공급 조건으로 수문, 양수저류, 양수장을 설정 2. 수문의 개도율과 양수저류의 양수저류, 양수장의 설정을 전체 적용하기 위해 관개적용 버튼을 클릭 3. 전체 설정이 아닌 저수지, 포장, 수로, 양수저류, 양수장을 하나씩 설정하기 위해 상세설정정보기를 클릭 4. 설정을 완료하고 단기분석을 위해 모의실행을 클릭

중장기분석

관개이름 [201910230520] 중장기분석

관개기간 2019-05-01 ~ 2019-09-11 전체

강우적용 평년(1974) 강우보기 예측강우적용 연도별강우적용

설정적용 기본 Homwrs 계획 사용

초기저수율(%) 100

침투량(mm) 4

미양침투용수(mm) 80

번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	중장기분석
2	기능명	중장기분석 세부 설정
3	화면설명	중장기분석 설정
4	세부내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 중장기분석 기간을 선택 2. 강우를 선택한다. 강우의 정보를 확인하려면 강우보기를 클릭 3. 특정 연도 또는 사용자 입력 강우와 초기저수율 또는 사용자 입력 저수율, 공급유량으로 분석을 하려면 예측강우적용을 체크 4. 연도별로 사용자 저수율 또는 공급유량으로 분석을 하려면 연도별강우적용을 체크 5. 설정적용에서 기간별 관개방식을 선택 6. 기간별 관개방식이 아닌 Homwrs 설정을 적용하려면 Homwrs 계획 사용을 체크 7. 중장기분석의 시작 저수율과 침투량, 침투용수를 설정

장기분석 상세설정
설정 추가

장기계획분석 설정 리스트

- 기본
- 종전

기간별 설정

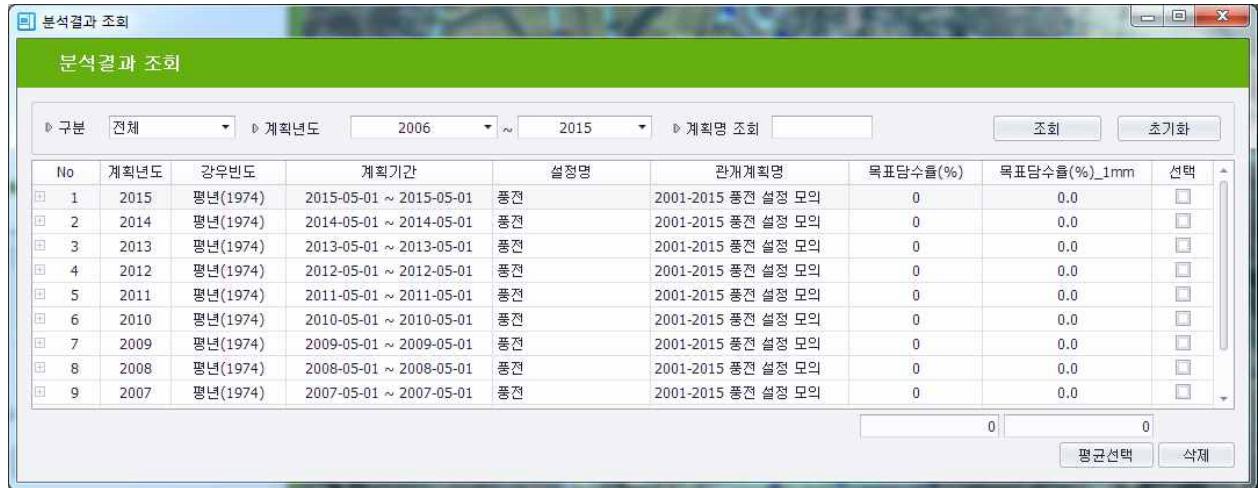
관개방식 선택 기본설정 전면관개 간단관개 윤번관개

시작일자 2019-04-15 ~ 2019-09-10

설정수정
설정삭제
설정만들기

실행

번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	중장기분석
2	기능명	중장기분석 세부 설정
3	화면설명	중장기분석 설정
4	세부내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 새로운 중장기분석 상세설정을 만들려면 설정 만들기를 클릭 2. 상세설정을 수정하려면 설정수정을 클릭 3. 상세설정을 삭제하려면 설정삭제를 클릭 4. 상세설정에서 기간별 설정을 추가하려면 설정추가를 클릭 5. 중장기분석을 시작하려면 실행을 클릭



번호	구분	내용
1	메뉴의 구성	분석결과 조회
2	기능명	저장된 단기, 중장기분석의 분석결과 조회
3	화면설명	저장된 분석결과 조회
4	세부내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전체, 단기분석, 중장기분석별로 조회하기위해 구분을 설정 2. 연도에 맞는 분석결과 리스트를 조회하기위해 계획년도를 설정 3. 계획명이 포함된 분석결과를 조회하기위해 계획명을 조회에 입력하고 조회를 클릭 4. 계획명 조회 결과를 되돌리기 위해 초기화를 클릭 5. 분석결과를 삭제하기 위해 선택에 체크하고 삭제를 클릭 6. 2개 이상 분석결과에의 평균을 보기위해 선택을 체크하고 평균 선택을 클릭

4. 모니터링 자료를 활용한 원격제어 시스템 구축

가. 통신방법의 선정

- 디지털 정보통신기술 발전은 획기적이다. 현재는 휴대전화와 인터넷이 펼쳐 보여주는 정보 혁신의 시대에 살고 있으며, 휴대전화와 인터넷의 결합인 무선 인터넷서비스가 전 세계에 걸쳐 점점 그 활용범위를 넓히고 있다.
- 대한민국은 아날로그 통신방식에서 벗어나 고품질 음성 및 데이터통신이 가능한 CDMA 통신방식을 세계 최초로 상용화하여 기술의 비약적인 발전을 보였다. 이러한 CDMA 데이터 통신방식은 육상뿐 아니라 해양에서도 다양한 활용가치를 보여주고 있는데 비교적 고용량의 환경모니터링 정보와 영상정보 등을 송수신하는데 활용한다.
- CDMA 통신방식은 VHF 혹은 UHF와 같은 아날로그 통신방식과 비교하여 안정적이고 고품질의 실시간 데이터 전송이 가능하면서도 소모전류량이 적어 전원공급이 제한적인 시설에서 효과적이다. 디지털 방식의 통신서비스는 외부 신호의 방해에 대한 저항력이 크기 때문에 자신의 신호와 다른 방해신호가 섞인다고 해도 정확하게 자신의 신호를 재생할 수 있고 에러를 정정할 수 있는 능력을 가진다.

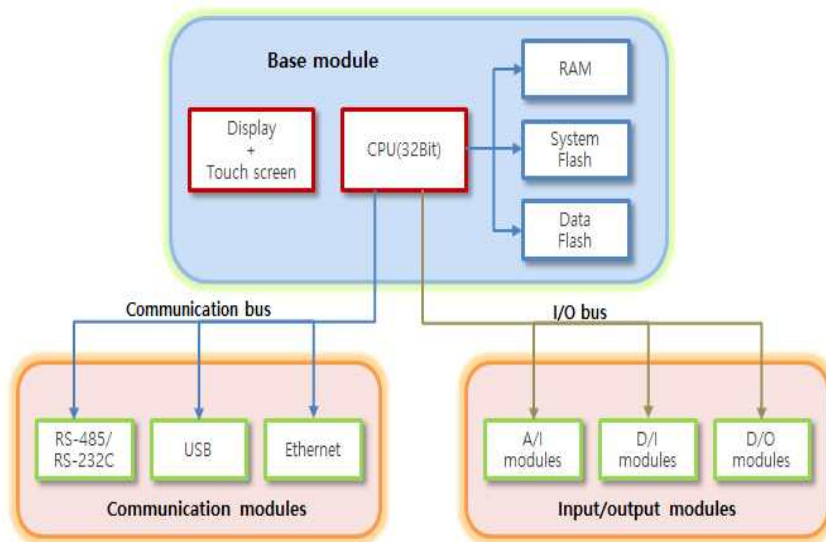
[표 2-7-16] 일반적인 무선송수신 방식 비교

구 분	Radio Frequency Modem	TRS	CDMA	위성통신
통달거리	10~20 km (2W 출력 제한)	광역 (연안역 제한)	광역	광역 (공해상 가능)
속도	19200pbs	9600bps 이하	2.4Mbps 이하	2400bps
전달지연	없음	없음	없음	15분 ~ 수시간
TCP/IP Server-Clients	불가능 (1:1)	불가능 (1:1)	가능 (Multi-clients)	불가능 (1:1)
전송포맷	ASC II /binary	Batch file	Batch file ASC II /binary	e-mail 중계
연속성	양호	불량 (polling 방식)	보통 ~ 양호	불량 (polling 방식, 기상 등 영향)
기기 가격	100만원/set	50만원 이하	50만원 이하	200 ~ 400만원
유지 비용	거의 없음	음성통신 방식 및 통신시간에 좌우, 고가	Packet mode 자료량에 좌우 저렴	매우 고가 연속 모니터링용으로 부적합
편의성	2개 set 필요	간단	간단	복잡

- 하드웨어를 통한 제어가 아니라 소프트웨어에 의해 제어되는 유연성을 가지고 있으며, 어떤 형태의 신호도 전송할 수 있는 확장성을 가지고 있기 때문에 다양한 환경에서 다양한 정보를 사용자가 원하는 방식으로 제공할 수 있다. 뿐만 아니라 통신의 안정성 및 보안성이 우수하다.

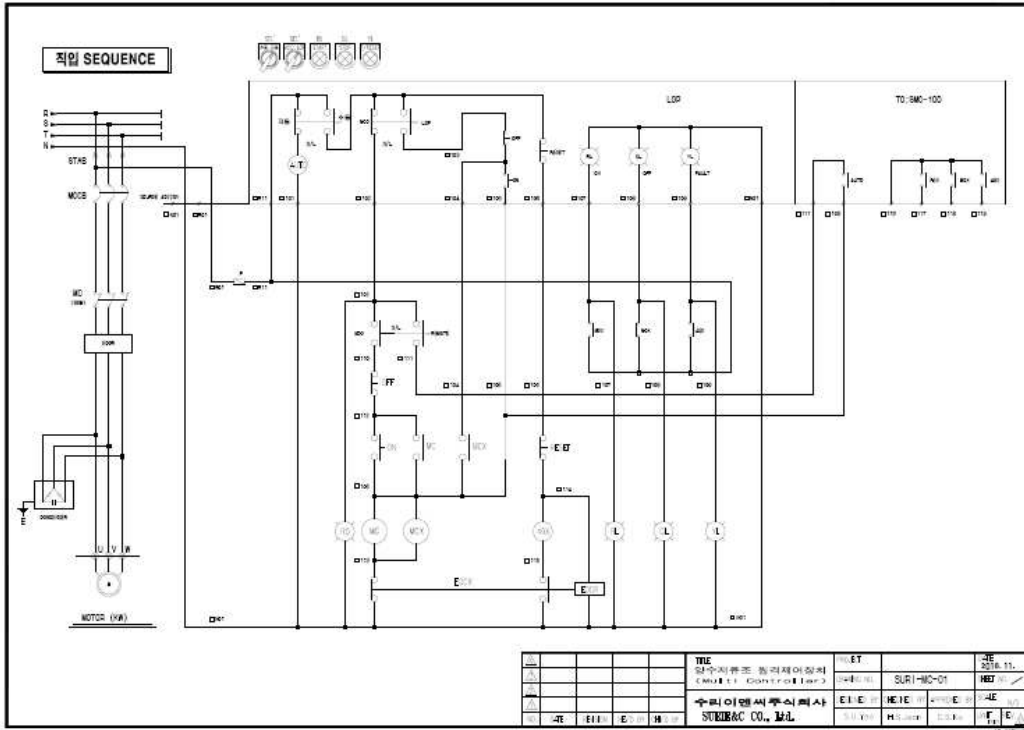
나. 원격제어시스템 구축

- 양수저류를 위한 원격제어장치는 양수저류조의 기존 시설물에 추가 설치되며 기본적인 구성은 다음과 같다. Base 모듈은 연산기능과 표출기능으로 구성되며 표출기능은 터치스크린으로 구성되며 통신모듈은 RS232/485, USB, Ethernet으로 구성되고, 아날로그 입력, 디지털 입출력 모듈로 구성되어 데이터 전송과 펌프의 제어 및 데이터저장 기능을 수행하게 된다. 이러한 정보는 외부의 원격제어시스템과 연동되어 구동될 수 있도록 구성한다.
- 원격제어장치는 수위정보를 받아서 펌프의 on/off를 제어하고 펌프의 구동시간, 유량 등의 모니터링 자료를 전송하여 관리자가 손쉽게 현재 상태를 파악할 수 있도록 구성된다.



[그림 2-7-44] 원격제어장치 모듈 모식도

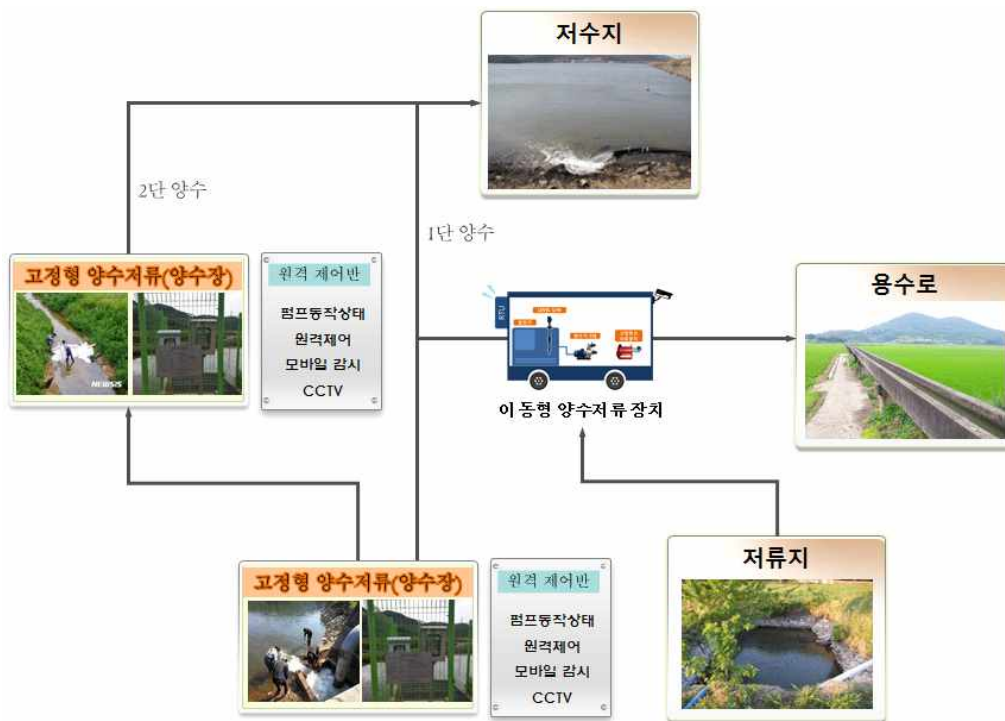
- 원격제어를 위한 장치의 내부 구성은 다음과 같다.



[그림 2-7-45] 원격제어장치 내부 결선도

5. 순환형 농업용수 관리를 위한 이동식 양수장치 개발

- 순환형 농업용수 관리에서 양수저류를 위한 장치를 본 연구에서는 크게 2가지로 구별하였다. 첫째, 기존의 양수장에서 양수저류를 위한 일련의 장치를 고정식 양수장치로 취수원에서 저수지까지 PE관로가 매설되어 있는 송수관로 및 양수장으로 구성하였다. 둘째, 이동형 양수장치는 저류지, 소하천 등의 취수원에서 지근 거리의 용수로에 직접 공급하여 가뭄 발생시 소규모 수혜지역에 공급할 수 있는 이동이 가능한 비영구적 양수장치이다.



[그림 2-7-46] 고정식 양수장치 원격제어 및 이동형 양수장치 활용 개념도

가. 이동형 양수장치의 구성

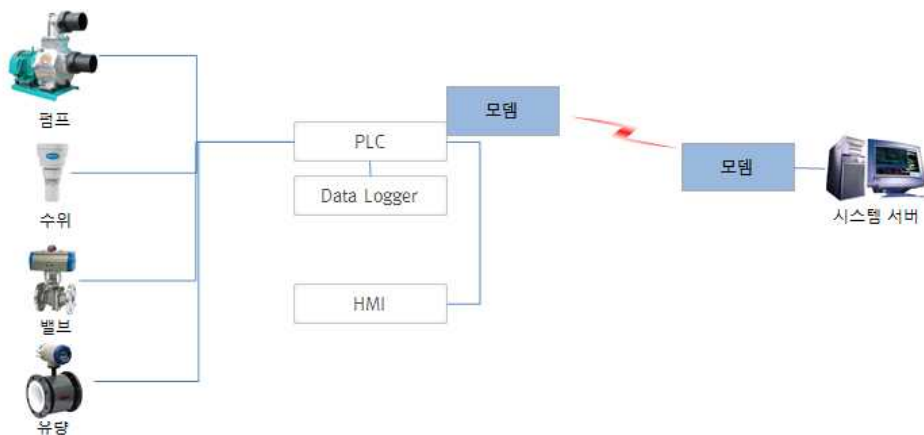
- 이동형 양수장치는 양수기, 고압호스 권양기, 유류 탱크(유류의 양을 체크할 수 있는 레벨게이지 포함), RTU와 이를 포함한 적재함 및 견인장치로 구성되어 있다. 이동형 양수장치는 고정형과 같이 안정적인 수원공 확보가 없이 수원공을 찾아 신속하게 이동할 수 있는 구조여야 하며 저수지보다는 수로부에 직접적으로 공급하는 장치이다. 현장에 설치된 이동형 양수저류장치의 상태를 모니터링하여 발전기의 주유가 필요한 시점을 담당자에게 문자 등을 통해서 바로 알림이 가능하도록 구성하였다.
- 제어시스템은 양수기의 on/off를 수위정보와 관개수로부의 상황에 따라 제어하고, 이 과정에서 발생하는 자료를 통해서 발전기 및 양수기의 가동시간과 양수량 등의 정보를 전송 및 저장할 수 있다.
- 기본적으로 이동형 양수저류 장치는 지근거리의 수원에서 관개수로부로 양수되는 경우가 대부분일 것이므로 양수기, 제어반, 호스 등이 탑재된 이동식 양수저류 장치는 현장 이동성이 용이한 형태로 구성된다.. 일체형의 장치로 차량에 탑재해서 이동시킬 수 있고 현장에 적절하게 위치시켜 고정될 수 있도록 구성하였다.



[그림 2-7-47] 이동형 양수장치 구성 및 활용 개념도

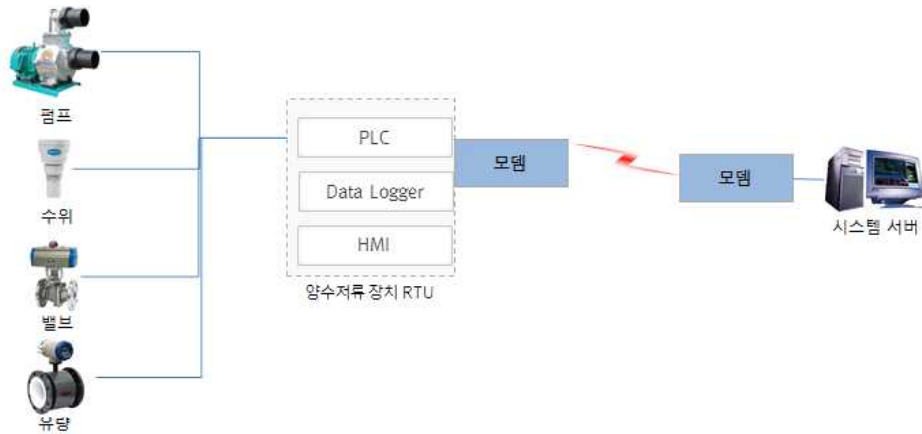
나. RTU

- RTU는 SCADA 시스템에서 주로 사용되는 용어인데, 원격지에서 데이터를 수집해 전송 가능한 형식으로 데이터를 변환한 뒤 중앙기지국으로 송신하는 장치이다. RTU는 또한 주 장치로부터 정보를 수집하고, 주 장치에서 지시되는 일련의 작업 절차들을 수행하기도 한다. RTU는 신호 감지 또는 측정을 위한 입력 채널, 제어와 지시 및 경고를 위한 출력 채널 그리고 통신 포트 등을 갖추고 있다.
- RTU는 시스템에서 수신되는 제어 명령을 기반으로 하는 연결된 대상의 상태를 변경하거나 시스템에 전송하는 원격측정(telemetry) 데이터에 의해 분산된 제어 시스템(distributed control system)이나 원방감시제어시스템(SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition)과 같은 대상(object)과 인터페이스(interface) 가능한 마이크로프로세서 기반의 제어 전자 장비(microprocessor-controlled electronic device)이다. 또 다른 용어로 사용되는 것은 Remote Telemetry Unit이다. RTU는 원격지에서 데이터를 수집해 전송 가능한 형식으로 데이터를 변환한 뒤 상위 대상 시스템으로 송신하며, 또한 데이터를 수신하여 지시되는 일련의 작업 절차들을 수행한다. 데이터 수집을 위한 신호 감지 또는 측정에 사용되는 입력 채널, 제어와 지시 및 경고를 위한 출력 채널과 통신 포트 등으로 구성되어 있다.
- 순환형 농업용수 양수장치의 데이터 수집 및 디스플레이 등의 기능을 수행하기 위해 기존의 PLC, Data Logger, HMI 등으로 별도로 설치하였던 부분을 하나의 통합된 RTU로 본 연구의 양수저류 또는 직접급수에 알맞게 소형화하여 구축하였다.



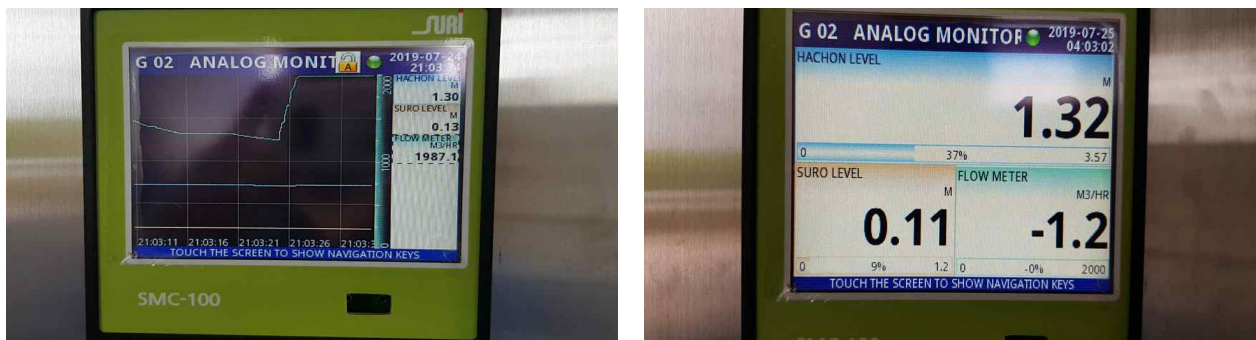
[그림 2-7-48] 기존 양수장치 RTU 구성

- PLC(Programmable Logic Control)은 전통적으로 범용 산업용 제어기로 널리 사용되고 있다. 전기 회로와 유사한 Ladder Diagram이라는 특별한 프로그램 언어로 사용되며 측정 데이터의 수집 및 전송, 장치 제어 등의 기능을 한다.
- 수집된 데이터는 Data Logger에 저장되며 기존에는 장기적으로 누적된 데이터는 오프라인 상태에서 직접 저장된 데이터를 가져와야 했으나 무선으로 시스템을 통하여 단기간 또는 장기간의 데이터를 수신할 수 있다.



[그림 2-7-49] 구축된 양수장치 RTU 구성

- 시스템에서 현장의 데이터와 수신 상태 등을 모니터링 하는 것은 물론이지만 현장에서도 직접 데이터의 수집 상태 및 현재의 데이터를 모니터링하며 특히, 누적된 데이터의 시계열 모니터링으로 현장에서도 다양한 형태로 데이터를 확인할 수 있다.



[그림 2-7-50] 현장 제어반 표출 화면

- 현장 제어반 모니터링 디스플레이에서 표출되는 데이터는 인근 하천의 수위자료, 양수장의 유량자료, 펌프의 상태 등이 있다.

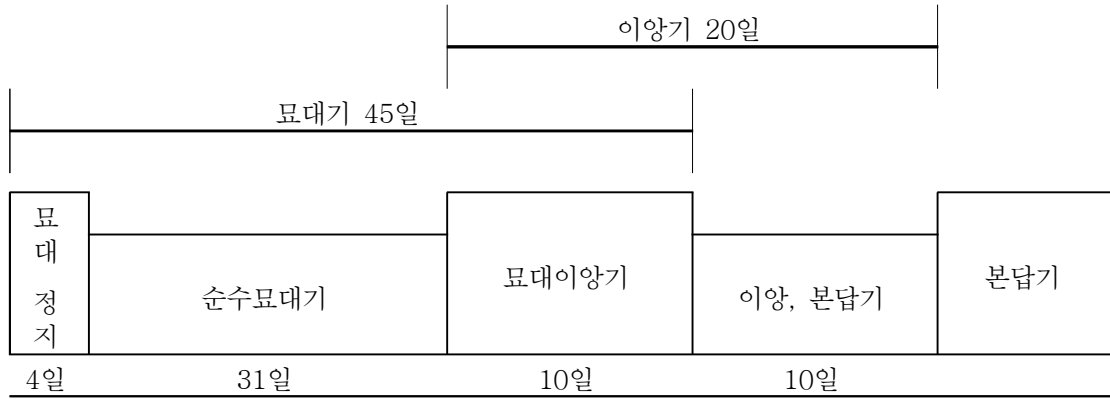
- 또한 현장에서도 양수장 가동을 위한 의사결정지원 자료로 필요수량 자료를 분석하여 표시한다. 시스템에서 분석된 필요수량을 수신하여 표현하는 것이 아니라 사용자가 공급하려는 수혜면적을 입력하면 분석된 결과가 표현한다
- 논에서 벼가 필요로 하는 수량은 다음의 식과 같다. 단위면적당 필요수량은 증발산량과 삼투량을 합하고 논에서 이용되는 유효우량을 감하여 구하게 되며, 삼투량은 토양의 종류, 지하수위 등에 의해 영향을 받으며 증발산량은 작물의 종류 및 당일의 기상여건에 의해 변화하고 유효우량은 강우량의 유무 및 대소에 영향을 받는다.

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

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

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

- 여기서, ET_0 : 잠재증발산량(mm/day), W: 기온과 관련된 하중계수, R_n : 순일사량(mm/day), $f(u)$: 풍속과 관련된 함수, $e_a - e_d$: 평균기온에서 포화수증기압과 공기의 평균실제수증기압과의 차이, C: 주야의 기상조건에 따른 효과를 보정하기 위한 조정계수이다.
- 작부시기는 재배방식별, 지역별로 입력된다. 작부시기는 각 재배양식의 값을 적용하며 이양재배의 경우 현장조사를 통해 작부시기를 적용함. 작부시기는 묘대기정지, 묘대기, 이양기와 본답기로 구분한다.
- 이양재배는 작물의 생장에 따른 시기별로 용수수요량이 달라지게 되며 이를 시기별로 살펴보면 묘대기, 이양기, 본답기 등이 있다. 묘대기는 못자리에서 묘를 키우는 과정이며 이양기는 못자리에서 본답으로 옮겨 심는 과정이고 이때 이양일수는 벼의 재배체계, 씨레질 또는 이양을 위한 작업의 능률 등에 따라 정하며 일반적으로 15~20일 정도이다.



[그림 2-7-51] 이양재배시 작물 재배 기간(농림부, 1998)

- 포장조건 및 수로조건에 대한 자료로는 삼투량(mm/day), 수로손실(%), 최대담수심(mm), 상시관리 담수심(mm) 등에 대한 자료가 필요하다. 삼투량은 작물 소비수량의 구성요소이며 최대담수심 및 최소담수심은 단일필지 논 물수지에 의한 유효수량 및 필요수량을 산정하기 위한 자료이다. 수로손실 자료는 관리용수량을 산정하여 수원공에서 총 필요수량을 결정한다.
- 유효수량은 논에 내린 강우가 관개기간 중에 논에 남아 이용되는 수량으로 강우량, 강우강도, 지세, 흙의 투수성, 비가 오기 전의 토양의 함수량 등에 따라 달라진다. 일반적으로 유효수량은 논에서의 일별 담수심의 변화를 고려하여 결정하며, 일별 담수심의 변화는 단일 필지에서의 물수지식을 이용하여 산정한다.
- 본 연구에서는 60mm 담수심법에 의해 유효수량을 산정하도록 하였다. 밭관개는 윤환블록(Rotation Block)에 따라 간단관개를 하기때문에 유효수량, 관개수량의 계산은 원칙적으로 일계산을 하는 것이 보통이다. 유효수량의 산출방법은 다음과 같다.

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

$$RO = (TRAM - \text{강우 직전의 유효수분량})$$

3) 유효수량 결정

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

다. 양수기

- ‘농업생산기반정비사업 설계기준(배수편)(농림수산식품부, 2012.12)’의 양수장 및 배수장에 사용되는 펌프의 종류별 선정기준과 장단점은 다음과 같다.

[표 2-7-17] 펌프 선정기준 및 장단점

구 분	횡축펌프	입축펌프	수중펌프	게이트펌프
선정 기준	○ 펌프, 전기설비가 최대홍수위선 위에 설치 가능한 지구	○ 펌프실 침수염려가 있는 지구	○ 홍수위가 높아 배수장이 침수우려가 있는 경우 ○ 자동운전이 꼭 필요한 지구	○ 홍수위가 높아 배수장이 침수우려가 있고, 자동운전이 꼭 필요한 지구 ○ 내수배제능력이 부족하여 증설해야 할 경우
	○ 펌프선정에 감속기가 꼭 필요한 경우	○ 자동운전이 꼭 필요한 지구	○ 펌프장 구조물 설치가 곤란한 지구	○ 펌프장 구조물 설치가 곤란한 지구
	○ 해수에 접하여 부식이 우려되는 지구	○ 설치면적을 좁게 할 경우	○ 펌프장의 지반이 연약한 지구	○ 설치면적을 좁게 하거나 지반이 연약한 지구
장점	○ 주요부가 수면위에 있으므로 부식이 적고 보수, 유지관리가 용이하다. ○ 건축물의 높이가 낮다. ○ 분해, 조립 및 유지관리가 용이하다. ○ 펌프가격이 저렴하다. ○ 다른 펌프보다 효율이 높다.	○ 설치면적이 적다 ○ 진공이 불필요하고 자동화가 용이하다. ○ 임펠라가 수면하에 있어 공동현상이 발생할 염려가 적다. ○ 원동기설치위치가 홍수위보다 높다.	○ 설치면적이 적고 구조가 간단하다. ○ 진공이 불필요하고 공동현상이 발생할 염려가 없어 자동화가 용이하다. ○ 전동기가 수중에 있으므로 소음이 적다. ○ 홍수위에 관계없이 하천부 지내에도 설치가능하다.	○ 용지매수가 필요없다. ○ 흡입수조와 배출수조가 하나로 되어 있어 간단한 토목구조이다. ○ 배수로상에 기기를 설치하므로 유지관리가 용이하다.
단점	○ 설치면적이 넓다. ○ 공동현상이 발생할 염려가 있으므로 흡입양정의 제한을 받는다. ○ 진공이 필요하므로 자동화가 복잡하다. ○ 홍수위가 높을 경우 원동기 보호대책이 필요하다.	○ 주요부가 수중에 있으므로 부식우려 및 보수점검이 불편하다. ○ 건물높이가 높다. ○ 횡축에 비하여 가격이 비싸다.	○ 원동기의 수명이 지상용에 비해 짧다. ○ 누전점검 등 보수가 필요하다. ○ 분해점검이 불편하다. ○ 수중모타펌프의 가격이 비싸다.	○ 게이트 차단시에만 펌프가 작동된다.

- 본 연구에서 이동식 양수장치에 적용한 양수기는 흡입구 및 토출구의 직경이 100mm이며 최대 토출량은 1,800 l /min 이며 구체적인 사양은 다음과 같다.

[표 2-7-18] 이동식 양수장치의 양수기 사양

구 분	사 양	비 고
펌 프	흡입구 직경 : 100mm 토출구 직경 : 100mm 총양정 : 26m 최대 흡입 양정 : 8m 최대 토출량 : 1,800L/min	
엔 진	형식 : 4행정, 횡형 수냉식, 단기통, 디젤엔진 배기량 : 673CC 최대출력 : 13Hp/2,400rpm 정격출력 : 10Hp/2,200rpm 사용연료 : 경유 연료탱크용량 : 11L 연료소모량 : 1.8L	
규 격	1,460x425x710(길이x폭x높이)	
건조중량	220kg	

라. 이동식 적재함

- 이동식 적재함의 총중량은 750kg 이하로 설계하였으며, 이는 도로교통법에서 1종 대형면허 또는 1·2종 보통면허는 750kg 이하, 750kg초과 3,00kg이하는 소형견인차면허로 3,000kg 초과는 대형견인차 면허가 있어야 하기 때문에 별도의 견인차 면허가 없이 운전이 가능하다.
- 최소 총 길이 3,550mm, 총 폭 1,610mm이며 화물 적재 부분은 길이 2,000mm, 너비는 1,450mm으로 설계하였다.



[그림 2-7-52] 이동식 적재함 바닥

- 견인장치는 등화관제용으로 8pin의 유럽식 전원소켓을 사용하였으며, 수직하중은 50kg 이상으로 설계하였으며 견인 능력은 1.5T 이상의 연결고리에 2인치 견인볼을 사용하였다.



[그림 2-7-53] 이동식 적재함 견인장치

- 이동식 적재함의 외관은 이동식 양수장치의 구성품(양수기, RTU, 권양기, 유류 탱크 등)을 적재할 수 있으며 총 중량에 부담이 없는 형태로 제작하였다.

마. 유류 탱크

- 양수기 운전을 위한 유류를 적재할 수 있는 유류 탱크를 설치하며, 이 유류 탱크에는 유류의 양을 체크할 수 있는 센서로 현재의 유류의 양을 사용자에게 전달하여 향후 양수의 가능 시간을 현장에서 직접 확인하지 않고도 체크할 수 있도록 한다.

바. 고압호스 권양기

- 이동식 양수저류 장치에서 펌프를 통해 양수된 용수를 원하는 지점까지 송수하기 위해서는 고압 송수용 호스가 필요하다. 고압 송수용 호스를 손쉽게 설치하고 사용 후 회수하여 이용하기 위해서 자동호스 릴을 제작하였다.
- 고압송수용 호스(80~100mm)를 대상으로 길이 50m의 송수관로를 자동 및 수동으로 호스를 감을 수 있도록 하였고 롤러가 호스를 눌러 잔수를 제거하는 구조로 제작하였다.



[그림 2-7-54] 고압호스 권양기

제 8절. 농업용수 관리 현황 조사 및 분석

1. 전국 농업용수 관리 현황 조사 및 분석

가. 농업용수 관리 개요

(1) 연구 추진 방향

- 농업용수 관리의 가장 기본인 수자원 이용현황, 농업용수 대내외적 여건의 변화, 문제점, 농업용수 정책 흐름 등에 대해 파악하고 지역별 수리시설 현황 및 저수지 이수안전도 현황분석을 통해 가뭄 발생과의 연계성 도출로 현재 농업용수의 손실 실태에 대한 전반적인 이해한다.

(2) 농업용수 일반적 특성

- 우리나라 총 수자원 이용량 372억³m³ 중에 농업용수는 152억³m³으로 약 61%에 해당하며 가용 수자원 중에서 차지하는 비용이 가장 크며, 이는 벼농사 특성상 많은 양의 용수를 필요로 한다.



[그림 2-8-1] 우리나라 수자원 이용현황

- 우리나라의 수자원 이용 현황 산정기준은 다음과 같다.
 - 수자원총량은 북한지역에서의 유입량 23억^m이 포함된 수량이다.
 - 이용가능한 수자원량은 강수량을 이용하여 산정한 유출량('86~'15)이며 손실량은 수자원총량에서 이용가능한 수자원량을 제외한 값이다.
 - 홍수기 유출량은 6~9월의 유출량을 산정한다.
 - 댐 용수 공급량은 계획공급량, 지하수 이용량은 연간 실지하수이용량, 하천수 이용량은 총이용량에서 댐용수와 지하수이용량의 차로 산정한다.
 - 바다로의 유실량은 이용가능한 수자원량에서 총이용량을 제외한 값이다.
 - 총이용량 372억^m은 용수 이용량과 하천유지용수로 구성한다.

[표 2-8-1] 용도별 수자원 이용현황

구 분	이용량 (억 ^m /년)	비 율 (%)
생활·공업·농업용수	251	100
- 생활용수	76	30
- 공업용수	23	9
- 농업용수	152	61
하천유지용수	121	-
합 계	372	100

- 농업용수는 강우를 최대한 이용하고 부족수량만 취수하여 용수로 사용하고 있으며, 수리관행에 의한 취수량과 필요수량과는 다른 것으로 실제 취수에 있어서는 수리관행에 지배되는 경우가 크다.
- 이러한 현실은 용수공급에 있어서 관리 손실이 많은 것처럼 보이나, 작물이 이용하는 양과 증발산량, 지하수로 유입되는 침투량을 제외하고는 모든 물이 배수로를 통해 하천으로 환원되어 반복적으로 이용되고 있으며, 논에 담수된 물은 지하수가 되거나, 농업용 수로를 따라 서서히 하천으로 환원되어 하천유황을 평준화하고 주요 함양원이 되는 특성이 있다.
- 논은 강우 시 물을 저류하여 홍수를 조절할 수 있는 기능과 수질의 정화 기능을 가지며, 토양의 침식과 토사유출을 방지하는 국토보전의 기능을 가지는 특성이 있다.
- 강우를 유효수량으로 이용하는 측면에서 지역·문화적인 수리관행에 따라 공공성이 강한 농업용수는 단순히 경작지에 물을 공급한다는 과거 수리관행의 관개 용수에서 축산용수, 생활용수, 공업용수, 농촌관광용수 및 농촌지역 환경관리용수 등 다원적인 기능을 가지고 있다.

(3) 농업용수 여건변화 및 문제점

(가) 농업용수 기능 및 패러다임 전환

- 국가의 법적인 계획과 시행근거로 보면, 농어촌용수는 해당 지역의 기본적인 생활, 경제활동, 건강한 환경 유지에 필요한 물을 확보하여 공급하고, 장기적으로 요구되는 지역 수자원을 전망하여 각종 용수를 법적으로 계획, 확보 및 공급하는 것으로 규정되어 있다.
- 최근 농업용수의 다원적인 기능에 대한 공감대 형성에 따라 작물생육에 필요한 관개용수로만 인식되던 농업용수 개념이 농촌생활 환경개선을 포함하는 다양한 지역용수로서의 포괄적인 개념으로 전환되고 있다.
- 과거에는 식량확보, 농촌근대화 및 농업 경쟁력 제고를 위한 농업용수의 개발이 주를 이루었으나, 2000년대 들어서는 농업용수는 그동안 개발 위주의 사업방향에서 다원적 기능을 향상 및 확대시키는 방향으로 국가정책 변화 진행 중이다.

[표 2-8-2] 연도별 농업용수 관련 정책 변화

연대	주요정책	주요내용
2000년대	기존시설 능력보강 등을 통한 농촌지역 균형 발전 계획 도입	<ul style="list-style-type: none"> - 제3차 농촌용수개발 10개년 계획수립/추진('01 ~ '11) - 농업경쟁력 제고 위한 농촌용수 개발과 농촌지역의 환경보전 개념 도입 - 식량의 자급기반과 농지의 다면적/공익적 기능 유지를 위해 우량농지 중심으로 재해예방과 안전 영농 도모 - 국제 경쟁력 제고를 위해 우량농지에 대한 농촌용수개발사업 조기완료 (사업대상지역을 농업진흥지역으로 축소 조정) - 안정적인 용수공급을 위한 방안으로 계획지표를 수리답율에서 수리 안전답율(이수안전도)로 변경
2010년대	새로운 농어촌용수 패러다임 도입시도	<ul style="list-style-type: none"> - 지역용수 개념의 도입 <ul style="list-style-type: none"> · 수자원 수요증대 만족을 위한 어메니티 제공 · 가뭄대응능력 및 자연재해 보강 · 환경용수 공급 · 용수의 다기능 강화, 지속가능한 농촌지역 기반 구축 - 농촌용수구역별 용수수급 고려 <ul style="list-style-type: none"> · 농촌용수의 지역특성을 고려한 효율적인 수자원개발 - 가뭄대응능력 강화 및 안정적인 용수개발 <ul style="list-style-type: none"> · 가뭄대비 위기관리능력 향상 · 농촌용수구역별 수리안전답율(이수안전도) 향상 - 홍수 등 자연재해 보강 <ul style="list-style-type: none"> · 홍수방어능력 검토 및 보강계획 수립 · 농촌용수구역별 지역적 특성을 고려한 선택적 홍수방어 능력 향상 · 기후변화에 따른 홍수변화 능력 향상

(나) 농촌인구 감소 및 고령화에 따른 효율 감소

- 농가인구 감소 및 농촌 고령화 현상의 급속한 진행에 따른 농촌의 노동력 부족은 결국 우리나라 농업 생산성을 악화시킴과 함께 도시와 농어촌 간의 불균형 심화를 초래하고 있다.

[표 2-8-3] 농가인구 및 고령화 추이

연도	1995	2000	2005	2006	2007
농가인구 (천명)	4,851	4,031	3,434	3,304	3,274
65세이상인구 (천명)	785	876	999	1,018	1,052
65세이상비중 (%)	16.2	21.7	29.1	30.8	32.1
연도	2008	2009	2010	2011	2012
농가인구 (천명)	3,187	3,117	3,063	2,962	2,912
65세이상인구 (천명)	1,060	1,067	973	1,000	1,038
65세이상비중 (%)	33.3	34.2	31.8	33.7	35.6

- 농촌지역의 공동화 현상은 농지의 감소를 야기시킬 뿐만 아니라, 물 사용량 증가와 물 효율 감소로 인하여 쌀 생산비 증가를 초래하여 결국 식량 및 곡물 자급률의 지속적 하락과 더불어 농업소득은 정체되거나 감소되는 실정이다.

[표 2-8-4] 농업부문 주요 지표 추이

구 분	1995	2000	2005	2010	2012
경지면적(천ha)	1,985	1,889	1,824	1,715	1,730
80kg 쌀생산비(천원)	72	85	93	98	117
곡물자급률(%)	29.1	29.7	29.4	27.6	22.8
식량자급률(%)	55.7	55.6	53.4	54.0	45.0
농업소득(천원)	10,469	10,897	11,815	10,098	9,127

(다) 시설농업 증가에 따른 농지이용 다변화 및 지하수 사용량 증가

- 최근 변화된 국민식생활 및 생활패턴의 변화로 4계절 내내 신선채소에 대한 수요가 지속되면서 농가에서는 소득증대의 일환으로 시설농업이 지속적 증대되고 있다.
- 시설재배지는 20년 전보다 약 2배 정도 증가하였고 시설재배 농산물의 상품성 때문에 양호한 수질의 용수를 공급하기 위하여 대부분 지하수 이용하고 있다.

[표 2-8-5] 시설재배 면적 변화 추이

구 분	1990 (A)	2010 (B)	A : B	
			증감	증감률
경 기	8,483	14,889	6,406	75.5
전 국	44,613	91,487	46,874	105.1
구성비	19.0	16.3	△2.7	-

- 시설농업은 큰 강 주변의 넓은 평야 지역에 집약적인 형태로 연중 관개 영농이 이루어지고 있고, 시설농업 소비수량도 다른 밭작물에 비해 많아 지하수 사용량이 증가할 전망이다.
- 수자원장기종합계획 경우, 논에서의 시설농업면적이 2007년 47천ha에서 2020년 61천ha에 이를 것으로 추정하고, 논 시설재배의 단위용수량은 790mm 추정된다.

[표 2-8-6] 논 시설면적면적 증가 따른 용수수요 변화 추이

구 분	2007년	2011년	2016년	2020년
논 시설재배 면적 (천ha)	47	58	60	61
논 시설재배 용수 수요량 (백만m3)	371	456	470	481
단위용수량 (mm)	789	786	783	788

- 시설농업단지 개발 초기에는 용수가 충분하여 지하수의 상시 사용이 가능하였으나 최근에는 지하수 과다 사용으로 지하수 함양률이 낮아져 지하수 용수이용 부족을 초래한다.

(라) 기후변화와 노후시설로 인한 자연재해 증가

- 최근 통계적 예측 가능한 최대 강수량을 넘어서는 강우가 빈번하게 발생하고, 한반도로 접근하는 태풍 수는 줄어든 반면, 하루 100mm 이상의 국지적인 집중호우 발생 횟수는 급증하는 등 호우의 강도와 발생빈도가 증가하고 피해 위험이 크게 증가하였다.
- 기상청 신기후변화 시나리오(RCP: Representative Concentration Pathways)에 따른 지구 전역 및 우리나라 기온, 강수량 변화를 전망함에 따라 우리나라 기후변화에 더욱 취약한 상황에 있는 것으로 예측된다.

[표 2-8-7] 기후변화 시나리오 따른 우리나라 기온 및 강수량 변화 전망

연도	기온변화 (°C)				강수량변화 (%)			
	RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5	
	평균	가능 범위	평균	가능 범위	평균	가능 범위	평균	가능 범위
'01-10	0.7	0.3 ~ 1.1	0.6	0.3 ~ 1.0	1	-4 ~ 7	0	-3 ~ 6
'11-20	1.0	0.6 ~ 1.5	1.0	0.6 ~ 1.5	1	-5 ~ 7	3	-2 ~ 9
'21-30	1.3	0.6 ~ 1.9	1.5	0.7 ~ 2.2	4	-2 ~ 7	3	-4 ~ 10
'31-40	1.7	1.0 ~ 2.2	1.9	1.2 ~ 2.5	8	-4 ~ 21	5	1 ~ 12
'41-50	2.2	1.6 ~ 2.8	2.7	1.8 ~ 3.7	9	-2 ~ 21	11	4 ~ 17
'51-60	2.5	1.4 ~ 3.1	3.3	2.5 ~ 4.0	7	0 ~ 14	14	2 ~ 24
'61-70	2.9	1.8 ~ 3.6	4.0	2.9 ~ 4.8	13	1 ~ 23	10	1 ~ 15
'71-80	2.9	1.7 ~ 3.6	4.7	3.4 ~ 5.8	11	2 ~ 21	17	8 ~ 24
'81-90	3.1	2.0 ~ 3.7	5.3	3.8 ~ 6.5	14	1 ~ 24	17	7 ~ 26
'91-99	3.2	1.7 ~ 3.8	6.0	4.6 ~ 7.1	12	-2 ~ 17	18	5 ~ 29

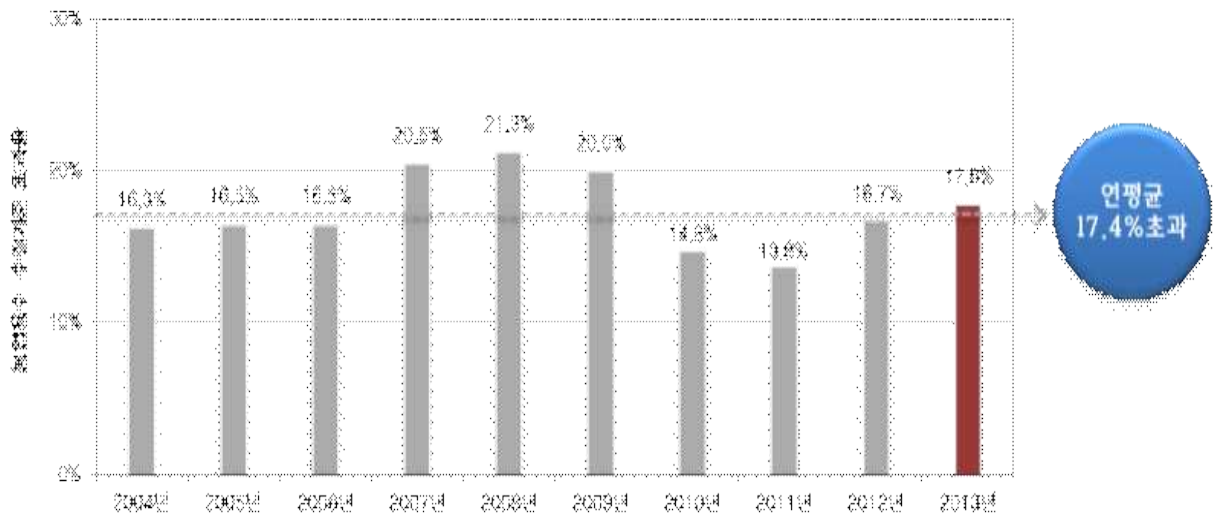
- 우리나라 기후변화로 인한 풍수해와 가뭄해로 인해 농작물 피해 정도가 증가하고 이에 따른 곡물생산 불안정성 증대되었다.
- 우리나라는 대부분의 수리시설이 논 관개에 집중되어 있고 발판개 시설은 미비하기 때문에 기상변화에 직접적으로 노출된 밭작물 대상의 가뭄피해가 자주 발생하고 확대되고 있다.
- 30년 이상 경과된 수리시설 노후화로 가뭄 및 수해 등의 자연재해에 의한 농어촌지역의 피해 증가하였다.
- 전체 논면적 966천ha 중 수리안전답은 573천ha에 불과하고 수리시설 70천개소 중 30년 이상 경과된 노후 시설이 40천 개소(57%)로 가뭄 및 수해 등 자연재해에 취약하다.

[표 2-8-8] 최근 10년간 우리나라 농업가뭄 발생 현황

연도	시기	지역	가뭄발생 상황	강수량	저수율
2008 2009	'08가을- '09겨울	강원, 남부	◦저수율이 낮아 저수지준설, 관정개발 등 가뭄대책 추진	'08.1.1~'09.2.1.기간 전국 1,044mm로 평년(1,349mm)의 77% * 경남은 평년의 66%	'09.2월 전국 58%로 평년 (83%)의 70% * 전북41%, 전남47, 경남32
2012	5월 ~ 6월	인천, 경기, 충남, 전북, 전남	◦가뭄면적 11,500ha (논 물마름 5,000, 밭작물 시듦 6,500)	'12.5.1~6.29.기간 전국 83mm로 평년(268mm)의 31% * 충남은 평년의 19%	'12.6월 전국 40%로 평년 (61%)의 66% * 경기27%, 충남24, 전북36, 전남42
2013	6월 ~ 7월	전남, 경북, 경남, 제주	◦가뭄면적 7,368ha (논 물마름 3,065, 밭작물 시듦 4,303)	'13.7.1~8.23.기간 제주 37mm로 평년(463mm)의 8%, * 전남~경남 평년의 53~64%	'13.8월 전국 64%로 평년(77%)의 83% * 전남52%, 경북63, 경남54
2014	5월 ~ 6월	경기, 강원	◦가뭄면적 5,173ha (논 물마름)	'14.1.1~7.21.기간 전국 438mm로 평년(671mm)의 65%	'14.7월 전국 42%로 평년 (65%)의 65% * 경기38%, 강원44
2015	6월 ~ 7월	인천, 경기, 강원, 충북, 충남, 경북	◦가뭄면적 7,358ha (논 물마름 2,822, 밭작물 시듦4,536)	'15.5~6월 기간 전국 153mm로 평년(261mm)의 59%	'15.7월 전국 50%로 평년 (68%)의 74% * 경기32%, 강원45, 충남 43
2016	8월 ~ 9월	충남, 전북, 전남, 경북, 제주	◦가뭄면적 39,826ha (논 물마름 10,241, 밭작물 시듦 29,585)	'16.6~8월 446mm로 평년(724mm)의 62%	'16.9월 전국 49%로 평년 (76%)의 65% * 충남37%, 전북41, 전남 42
2017	5월 ~ 7월	경기, 충북, 충남, 전남, 경북, 경남	◦가뭄면적 9,457ha (논 물마름 7,780, 밭작물 시듦 1,677)	'17.1~8월 224mm로 평년(459mm)의 49%	'17.6월 전국 37%로 평년 (60%)의 62% * 경기26%, 충남24, 전남36, 경남44
2018	8월	경기, 충남, 전남	◦가뭄면적 22,767ha (논 물마름 2,513, 밭작물 시듦 20,254)	'18.7~8월 445mm로 평년(565mm)의 79% * 7.11일 장마가 끝난 후 8.22일 태풍 솔릭 상륙 전까지 45mm(평년의 13%)	'17.8월 전국 49%로 평년(73%)의 67% * 경기48%, 충남39, 전남41

(마) 농촌지역 도시화 및 영농환경 변화에 따른 수질오염 심화

- 도시, 산업화 및 가축분뇨로 인한 생활하수, 도시 비점오염물질 발생량 증가로 농업용수 수질오염 확산되었다.
- 가축분뇨발생량 138,989㎥/일 대비 처리시설용량은 10,484㎥/일로 7.5%에 불과하다.
- 농경지의 영농환경이 논에서 밭으로 전환됨에 따라 시비량 사용 증가, 질산성질소의 지하침투로 농촌지역의 지표수와 지하수 수질오염 가중되었다.
- 농지에 사용된 질소 중 작물에 흡수되지 않은 질소의 대부분은 농지 밖으로 유출하여 하천이나 지하수로 유입된다.
- 밭은 논에 비하여 토양침식을 받기 쉬워 영양분이 풍부한 표토의 유실(인의 유출)이 되어 호소 부영양화의 원인으로 작용된다.
- 가뭄 시 저수량 부족과 홍수시 비점오염물질의 일시유입 등 가뭄과 홍수의 빈번한 기후변화의 영향으로 호소 수질오염 심화되었다. (농업용수 수질기준인 IV등급 초과율은 17.8%(2013년 기준))
- 환경에 대한 사회적 관심이 증가하고, 호소 생태계 및 친수공간에 대한 수요가 증가하였다.



[그림 2-8-2] 최근 농업용수 수질기준(Ⅳ등급) 초과 현황

(4) 농업용수 관련 정책 변천

(가) 1910~1945년(근대화 농업용수 태동기)

- 일제수탈정책에 따른 토지조사, 미곡증산을 위한 소규모 개발 위주 추진
- 농업용 지하수 개발 5개년 계획 수립

(나) 1946~1950년(광복과 전후 수리시설 복구시기)

- 1950년 농지개혁법 시행
- 인구 증가 및 가뭄에 의한 식량의 절대량 확보 필요성으로 1953년 농업증산 6개년 계획 수립
- 약 158개소 농업용저수지 신설 및 간척공사 시행

(다) 1960년대(수리사업의 질서 확립기-농업생산기반조성 기틀 마련)

- 농경지 확장 5개년 계획 수립
- 1962년 UN 특별기금에 의한 간척 및 개간사업 착수
- 제1차 경제개발 5개년 계획 발표로 제3차 농업증산5개년 계획과 식량증산
- 7개년 계획(1965~1971년, 목표 357천ha) 수립되어 농업부문 식량자급자족을 기본목표로 생산기반정비, 농지확대사업 추진

(라) 1970년대(농촌근대화 도입기)

- 1970년 농촌근대화촉진법 제정하여 기반정비 근대화를 위한 사업시행의 법적근거 마련
- 제3차 경제개발 5개년 계획의 농정 최우선 과제는 식량 증산으로 농업용수 개발, 대단위 농업종합개발사업, 경지정리와 배수개선, 농지 보전과 확대 등 농업생산기반 조성에 주력

(마) 1980년대(농촌종합개발사업 도입기)

- 1980년 전국 수리시설 내한능력조사 실시(수리답율 86%→68%)
- 1986년 농어촌발전 종합대책 발표
- 1981년 제1차 농업용수개발 10개년 계획(1982~1991년) 수립 추진

(바) 1990년대(농업구조개선 농정기-지속적인 농업용수개발 추진)

- 1990년 농어촌발전특별조치법 제정 및 공포로 농업농촌용수 종합이용계획 수립 계기
- 1994년 농어촌정비법 제정공포로 농수산업 경쟁력 향상과 농어촌생활환경 개선 촉진
- 1999년 농업농촌용수 종합이용계획(농촌용수이용합리화계획) 수립

(사) 2000년대(친수환경 기반조성기-농촌지역균형발전)

- 2002년 제3차 농촌용수 10개년계획(2002~2011년) 수립
- 2004년 농업농촌종합대책 발표 이후 농업생산기반정비사업의 신규개발은 억제하고 미완공지구의 마무리와 재해대비시설 및 안전영농시설 정비에 역점을 두는 추진 방향으로 전환
- 농업경쟁력 제고를 위한 농어촌용수 개발과 농촌지역의 환경보전 개념 도입

[표 2-8-9] 연도별 수리상태 담면적 현황

연도	총담면적 (천ha)	수리담		수리안전담	
		면적 (천ha)	비율 (%)	면적 (천ha)	비율 (%)
2000	1,149	880	76.6	421	36.6
2005	1,105	867	78.5	484	43.8
2010	984	788	80.1	520	52.8
2012	966	778	80.5	573	59.3

나. 농업용수 관리 현황

(1) 우리나라 월별 기상 및 저수율 현황

- (기온현황) 2018년(1.1.~12.31.) 평균기온은 13.0℃로 평년(12.5℃)보다 0.5℃ 높아 1973년 이후 최고 10위를 기록하였다.
- 1월, 2월, 10월의 기온은 평년보다 낮았으나 3월~8월까지 6개월 연속 평년보다는 매우 높은 기온으로 나타났다.
- 전국적으로 대체로 기온이 평년과 비슷한 경향을 보였다.
- 평균기온 최고 1위 : 2016년(+1.1℃), 2위 1998년(+1.0℃), 3위 2015년(+0.9℃)
- 순위는 1973년~2018년 기간을 사용하였다 (편차: 평균-평년(1981~201년)).

[표 2-8-10] 월 평균기온, 편차 및 역대 최고/최저 순위

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	2018년
평균(℃)	-2.0	-0.2	8.1	13.3	17.8	22.2	26.8	27.3	20.4	13.0	8.1	1.1	13.0
편차(℃)	-1.0	-1.3	+2.2	+1.1	+0.6	+1.0	+2.3	+2.2	-0.1	-1.3	0.5	-0.4	+0.5
역대 순위	최저 10위	최저 15위	최고 1위	최고 7위	최고 11위	최고 5위	최고 2위	최고 1위	최저 20위	최저 4위	최고 17위	최저 19위	최고 10위

- (강수량 현황) 2018년 한 해 동안의 전국 강수량은 1,386.9mm로 평년(1,207.6~1,446.0 mm)과 비슷하였으며(1973년 이후 최다 16위), 특히 강원 영동과 경상남·북도를 중심으로 강수량이 평년보다 많은 곳이 있었다.

[표 2-8-11] 월 강수량, 평년비 및 역대 최다 순위

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	2018년
월강수량(mm)	21.1	32.5	110.7	133.6	123.7	132.1	172.3	282.1	136.5	164.2	50.5	27.6	1386.9
평년비	39.8	53.6	96.1	91.1	75.3	33.1	3.4	56.5	44.8	100	58.6	61.4	59.2
역대 순위	최소 20위	최다 22위	최다 3위	최다 9위	최다 13위	최소 22위	최소 6위	최다 20위	최다 23위	최다 1위	최다 21위	최다 23위	최다 16위

- 월 강수량은 3~5월과 10월에 평년보다 많았던 반면에 여름철 장마기간인 6~7월은 장마의 빠른 종료로 인해 평년보다 적었다.
- 3월에는 이동성 고기압과 남서쪽 저기압의 영향으로 따뜻하고 습한 남풍 기류가 자주 유입되어 평년보다 기온이 높고 강수량이 많았고, 10월은 5~6일 태풍 콩레이가 상륙하면서, 1973년 이후 전국 강수량이 최다 1위를 기록하였다.

[표 2-8-12 지역별 연 평균기온, 연 강수량 최고 및 최다 순위]

지역	연 평균기온				연 강수량		
	2018년 (℃)	평년 (℃)	평년 편차 (℃)	최고 순위	2018년 (mm)	퍼센타일 (%ile)	최다 순위
서울·인천·경기도	12.4	11.9	+0.5	10	1,196.0	24.9	29
강원도영동	13.2	12.7	+0.5	13	1,688.2	78.4	9
강원도영서	11.3	10.7	+0.6	11	1,298.4	47.5	20
충청북도	11.9	11.3	+0.6	6	1,376.2	66.4	14
대전·세종·충청남도	12.3	12.0	+0.3	11	1,316.6	49.8	21
대구·경상북도	13.2	12.5	+0.7	8	1,330.5	79.7	7
부산·울산·경상남도	13.8	13.4	+0.4	11	1,576.0	74.2	14
전라북도	13.4	13.0	+0.4	13	1,332.2	51.6	22
광주·전라남도	14.2	13.7	+0.5	6	1,424.0	52.1	22
제주도	16.7	16.2	+0.5	10	1,967.9	82.6	11

(2) 수리시설 현황 분석

(가) 연도별 수리답 및 안전답 분석

- 전국 답 총면적 경우, 2007년부터 매년 다소 감소하는 추세이다 (연평균 1.9% 감소).
- 수리답 비율 경우, 매년 다소 증가함으로 나타났다 (연평균 0.3% 증가).
- 수리안전답 비율 경우, 연평균 3.3%씩 증가함으로 나타났다.

[표 2-8-13] 연도별 수리답 및 수리안전답 현황

구 분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
전국 답 총면적(천ha)	1,067	1,046	1,010	984	960	966	964	934	908	896
수리답 면적(천ha)	848	831	806	788	772	779	777	752	734	728
수리답 비율(%)	79.3	79.4	79.8	80.1	80.4	80.6	80.6	80.6	80.8	81.3
수리안전답 면적(천ha)	488	498	504	520	538	573	575	561	549	546
수리안전답 비율(%)	45.6	47.6	49.9	52.9	56.0	59.3	59.7	60.1	60.5	60.9



[그림 2-8-3] 답 총면적 대비 수리답 비율

(나) 지역별 수리답 분석

- 전국 수리답 면적 경우, 전남, 충남, 전북, 경북, 경남, 경기 지역 순으로 높게 분석되었다.

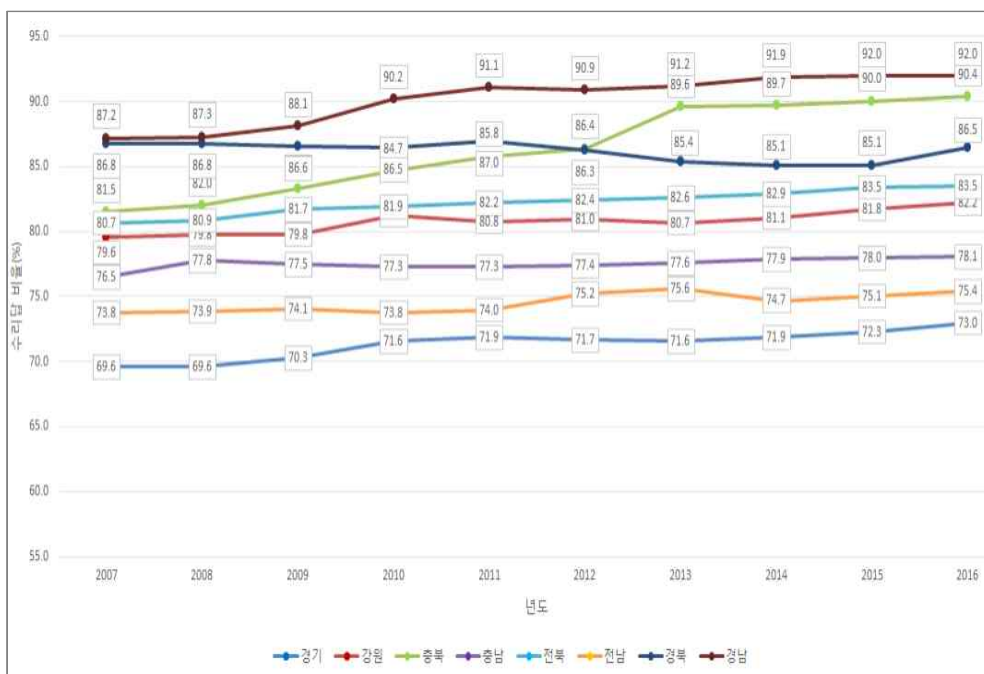
[표 2-8-14] 연도별 수리답 총 면적 현황

구 분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
전국 답 총 면적(천ha)	1,067	1,046	1,010	984	960	966	964	934	908	896
수리답 면적(천ha)	848	831	806	788	772	779	777	752	734	728

- 전국 수리답 비율 경우는 경남, 충북, 경북 전북, 강원, 충남 지역 순으로 분석되었다.

[표 2-8-15] 연도별 수리답 비율 현황

구 분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
전국 답 총 면적(천ha)	1,067	1,046	1,010	984	960	966	964	934	908	896
수리답 비율(%)	79.3	79.4	79.8	80.1	80.4	80.6	80.6	80.6	80.8	81.3



[그림 2-8-4] 지역별 수리답율 현황(2007~2016)

(다) 지역별 수리안전담 분석

- 수리안전담 면적 경우, 전남, 충남, 전북, 경북, 경남, 경기 지역 순으로 분석되었다.

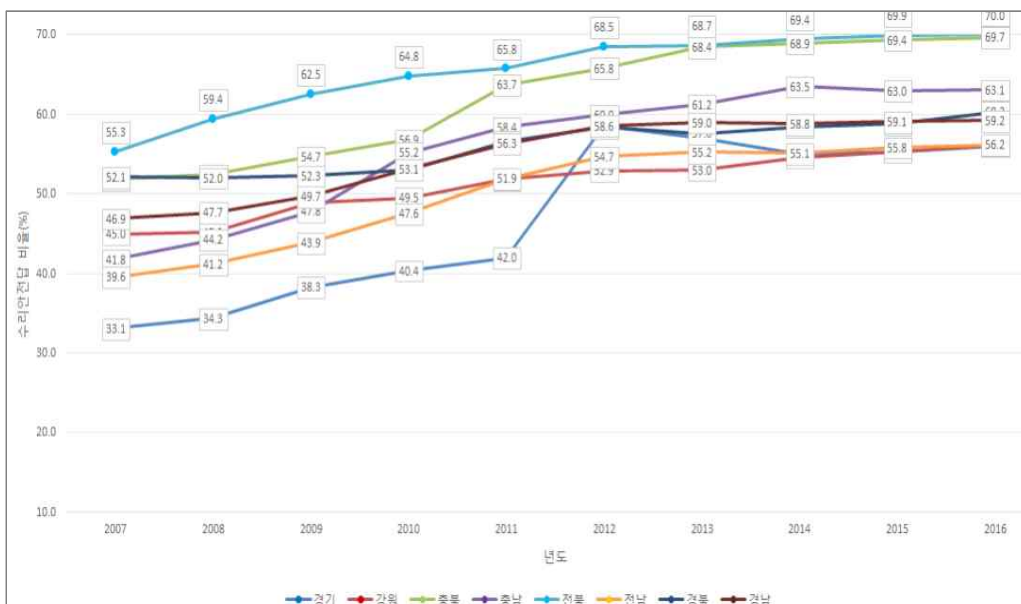
[표 2-8-16] 연도별 수리안전담 총 면적 현황

구 분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
전국 답 총 면적(천ha)	1,067	1,046	1,010	984	960	966	964	934	908	896
수리안전담 면적(천ha)	488	498	504	520	538	573	575	561	549	546

- 전국 수리안전담 비율 경우, 전북, 충북, 충남, 경북, 경남, 전남 지역 순으로 분석되었다.

[표 2-8-17] 연도별 수리안전담 비율 현황

구 분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
전국 답 총 면적(천ha)	1,067	1,046	1,010	984	960	966	964	934	908	896
수리안전담 비율(%)	45.6	47.6	49.9	52.9	56.0	59.3	59.7	60.1	60.5	60.9



[그림 2-8-5] 지역별 수리안전담을 현황(2007~2016)

(3) 수리시설과 가뭄발생 연계성 분석

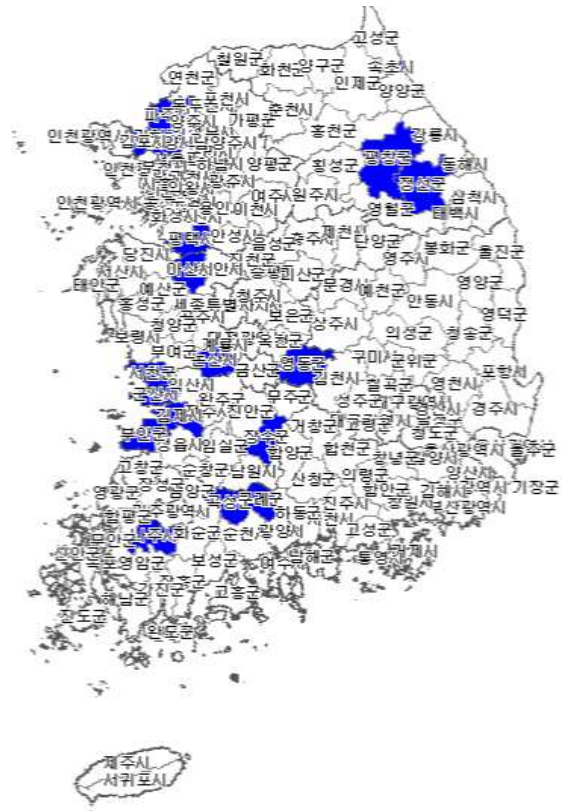
(가) 수리안전답과 가뭄발생 연계성

- 수리안전답이 높은 상위 20개 시·군 대상으로 최근 3개년 논물마름 발생 누적 면적 집계 결과, 총 1,372ha로 분석되었다.

수리안전답 상위 시·군

지역		수리 안전답율 (%)	'16년 발생면적 (ha)	'17년 발생면적 (ha)	'18년 발생면적 (ha)
계			907.3	309.4	155.0
경기	고양시	99.3	0	1.0	0
경기	평택시	98.2	0	14.0	13.0
경기	부천시	97.6	0	0	0
경기	김포시	95.0	0	1.3	0
강원	정선군	94.2	0	0	0
강원	속초시	92.9	0	0	0
경기	하남시	92.3	0	0	0
전북	군산시	90.8	109.0	10.0	0
전북	김제시	90.4	277.4	1.0	12.0
충남	논산시	89.9	25.0	6.0	38.0
전남	나주시	89.2	0	10.0	0
전북	장수군	88.5	131.6	11.0	0
경기	파주시	86.6	0	0	0
강원	평창군	86.5	0	0	0
충북	영동군	85.0	0	6.1	8.0
전북	부안군	84.3	157.3	63.0	12.0
충남	서천군	82.6	188.0	0	72.0
충남	아산시	81.0	8.0	180.0	0
전남	곡성군	80.6	0	0	0
전남	구례군	80.3	11.0	6.0	0

수리안전답-가뭄발생 면적



[그림 2-8-6] 수리안전답-가뭄발생 면적 연계 현황

(나) 수리불안전답과 가뭄발생 연계성

- 수리불안전답이 높은 상위 20개 시·군 대상으로 최근 3개년 논물마름 발생 누적 면적 집계 결과, 5,631ha로 분석되었다.
- 수리안전답이 높은 상위 20개 시·군 경우는 평균 수리답율이 89.3%로 분석되었고, 논 물마름 발생 누적 면적은 1,372ha 이다.
- 수리불안전답율이 높은 상위 20개 시·군 경우는 평균 수리불안전답율이 79.1%이면서, 논 물마름 발생 누적 면적이 5,631ha로 분석되었다.

구 분	수리안전답을 높은 지역	수리불안전답을 높은 지역
수리안전답 및 불안전답율(%)	89.3	79.1
가뭄피해면적 (ha)	1,371.7	5,631.4

수리불안전답 상위 시·군

지 역	수리불안전답율 (%)	'16년 발생면적 (ha)	'17년 발생면적 (ha)	'18년 발생면적 (ha)	
계		3,151.4	1,612.0	868.0	
경기	광주시	98.6	0	13.7	0
경기	안산시	96.3	0	20.0	20.0
전남	목포시	94.2	0	0	0
경기	의왕시	93.9	0	2.0	1.0
경기	수원시	92.9	0	18.0	0
강원	동해시	90.2	0	0	0
경북	군위군	85.0	0	6.0	2.0
경기	이천시	79.4	0	46.1	1.0
전남	신안군	77.1	2,877	986	42
제주	서귀포시	75.0	0	0	0.0
충남	태안군	74.1	30	280.0	168.0
강원	양양군	73.2	0	2.9	0
경기	양평군	72.7	0	93.0	0
경남	양산시	72.3	0	2.0	0
강원	횡성군	71.2	0	7.3	545.0
경기	광명시	70.6	0	0	0
경기	오산시	69.2	0	1.0	0
전북	고창군	65.8	244.4	49.0	85.0
경기	용인시	65.6	0	63.0	1.0
경기	여주시	64.8	0	22.0	3.0

수리불안전답-가뭄발생 면적

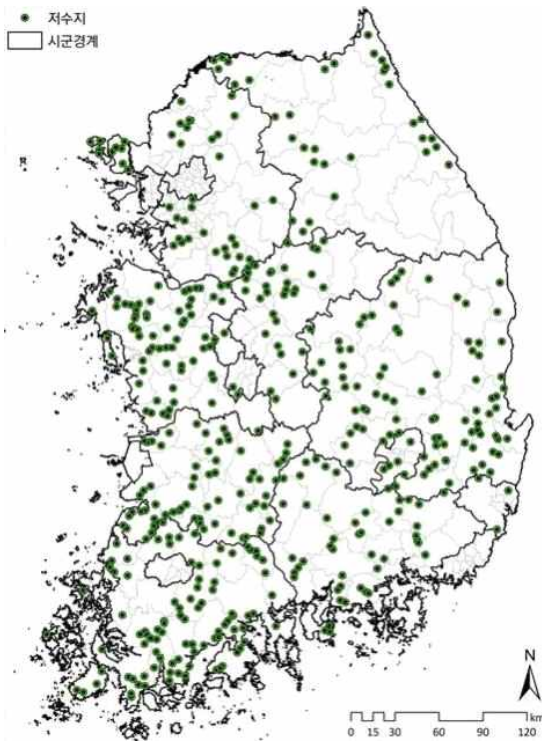


[그림 2-8-7] 수리불안전답-가뭄발생 면적 연계 현황

(4) 이수안전 현황 분석

(가) 이수안전 분석 대상 저수지 개요

- 공사 관할 저수지 중 주수원공이면서 유효저수량 100만톤 이상인 저수지를 시험 지구로 재선정하였으며, 전국적으로 466개 저수지가 이에 해당한다.
- 수혜면적에 따른 유역면적 비로 유역배율을 계산하여 전국 도별로 비교한 결과, 도별 평균 유역배율은 강원도가 7.9로 가장 크고 전라북도가 3.9로 가장 작게 나타났으며, 전국 평균 유역배율은 4.5로 나타났다.



지역	저수지 (개수)	유효저수량 (천m ³)	유역면적 (ha)	유역배율				
				평균	2배 미만	2배-3배	3배-4배	4배 이상
전국	466	2,119,504	867,214	4.5	69	129	95	173
강원도	34	92,072	62,432	7.9	6	11	6	11
경기도	34	118,075	53,171	3.5	1	6	3	24
충북도	50	139,552	66,343	4.2	5	5	10	13
충남도	92	304,031	172,248	6.4	11	21	19	13
경북도	93	499,323	127,399	3.5	17	22	11	16
경남도	66	566,458	188,742	3.6	21	30	21	21
전북도	64	262,251	135,310	3.3	3	18	17	54
전남도	33	137,742	61,569	3.9	5	16	8	21

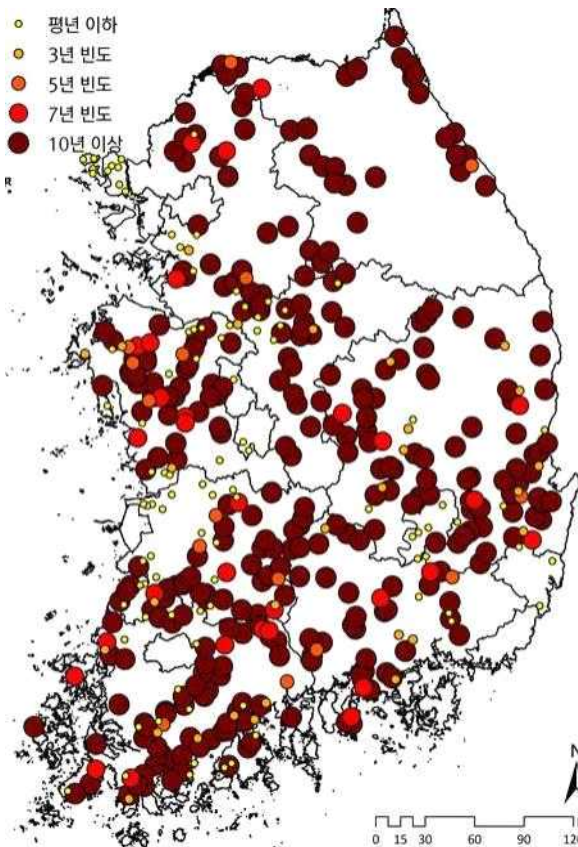
[그림 2-8-8] 이수안전 분석 대상 저수지 분석 현황

(나) 이수안전 분석 결과

- 이수측면에서 설계기준이 되는 한발빈도 경우 내한능력을 나타내므로 수리시설 규모를 결정하는데 있어 매우 중요한 기준이다.

- 현 기상조건을 고려한 저수지 이수안전(한발빈도) 분석 결과는 다음과 같다.

- 유효저수량 100만톤 이상 주수원공 저수지 466개 대상 이수안전 분석
- 전국 대상 평년이하 한발빈도 저수지 72개소로 15% 차지
- 전국 대상 10년이상 한발빈도 저수지 316개소로 68% 차지
- 지역별로는 강원도가 10년이상 한발빈도 저수지 분포율이 가장 높음(91%)
- 한편, 전라북도가 평년이하 한발빈도 저수지 분포율이 가장 높음(30%)

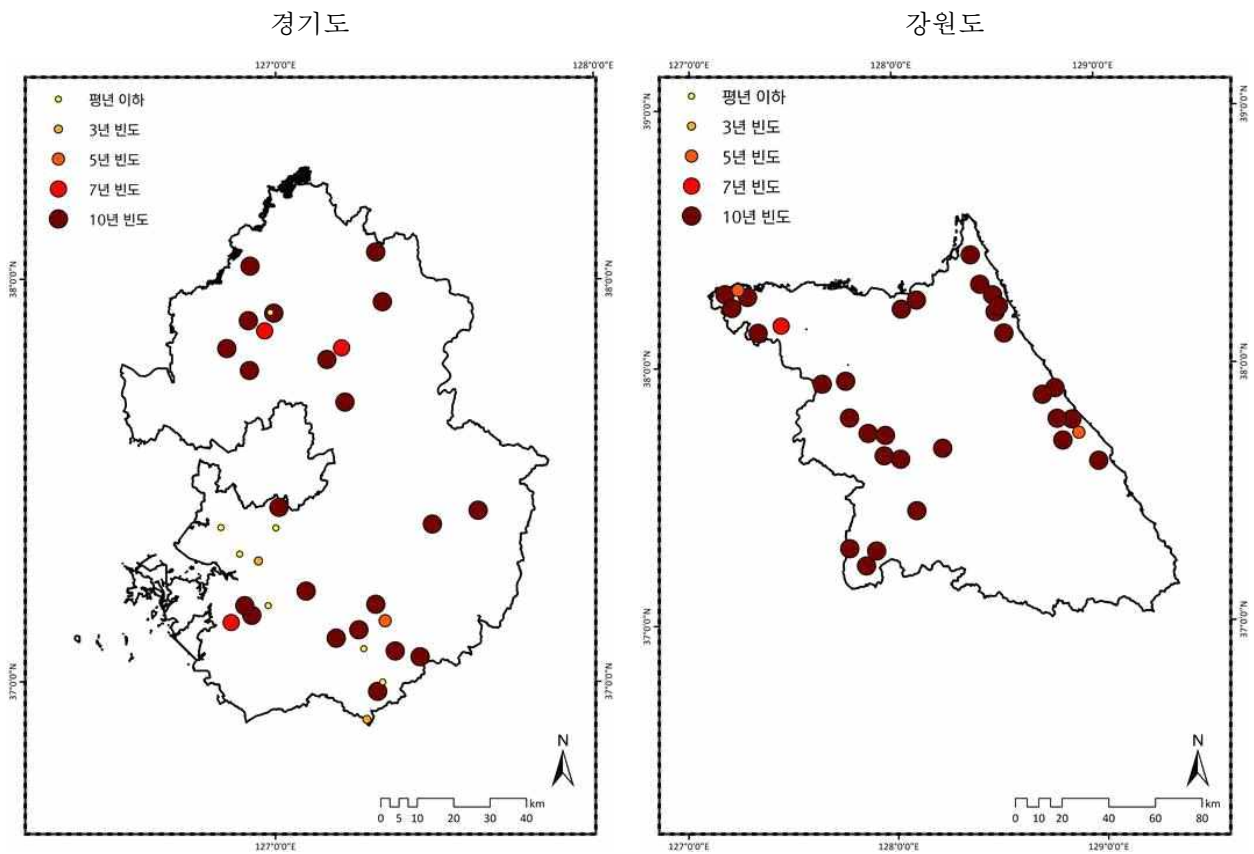


지역	저수지 (개수)	한발빈도 (개소)						
		평년이하		3년 빈도	5년 빈도	7년 빈도	10년이상	
		개소	(%)				개소	(%)
전국	466	72	15	29	16	33	316	68
강원	34	-	-	-	2	1	31	91
경기	34	6	18	2	1	3	22	65
경남	50	3	6	4	2	5	36	72
경북	92	6	7	10	2	7	67	73
전남	93	17	18	7	2	7	60	65
전북	66	20	30	2	3	4	37	56
충남	64	13	20	3	4	6	38	59
충북	33	7	21	1	-	-	25	76

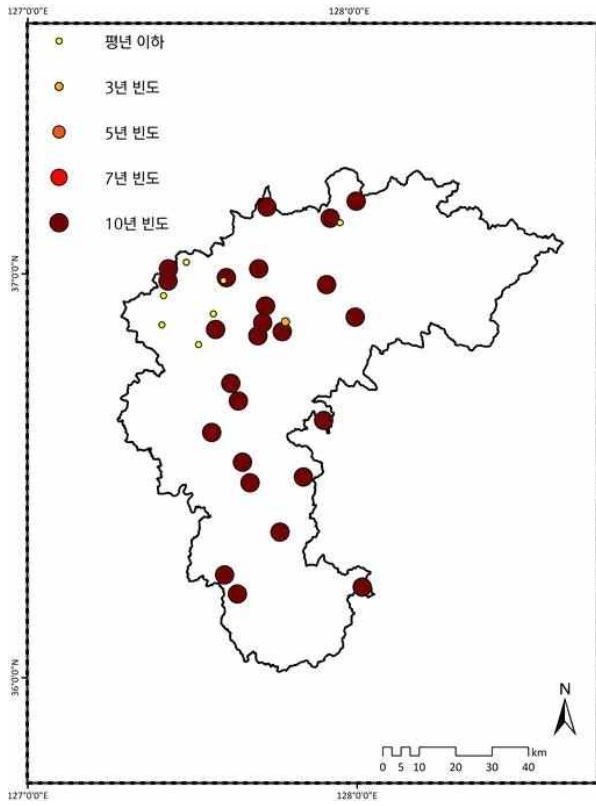
[그림 2-8-9] 전국 저수지 이수안전 분석 결과

- 지역별 이수안전(한발빈도) 분석결과는 아래와 같다.

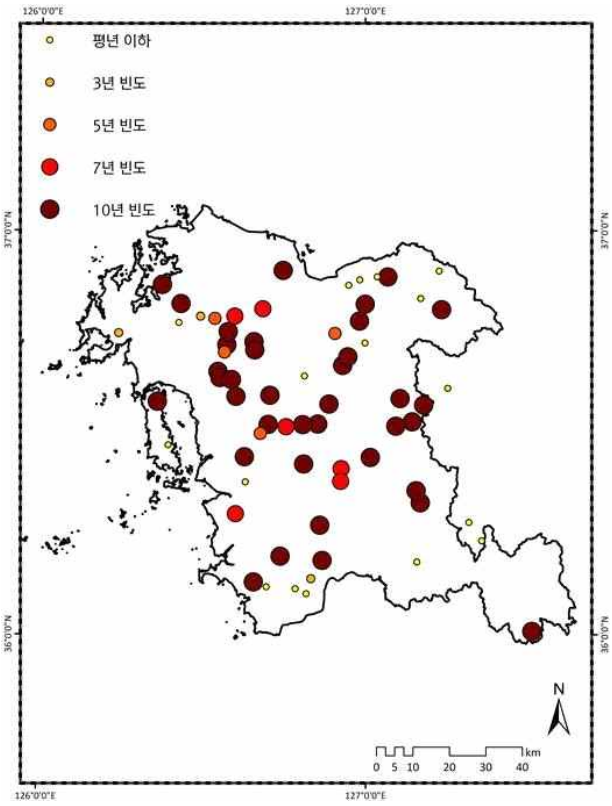
- 공사 관할 유효저수량 100만톤 이상 주수원공 저수지 466개 대상 이수안전 분석
- 전국 대상 평년이하 한발빈도 저수지는 72개소로 15% 차지
- 전국 대상 10년이상 한발빈도 저수지는 316개소로 68% 차지
- 지역별로는 강원도가 10년 이상 한발빈도 저수지 분포율이 가장 높음
- 전라북도 경우, 평년이하 한발빈도 저수지 분포율이 가장 높게 나타남



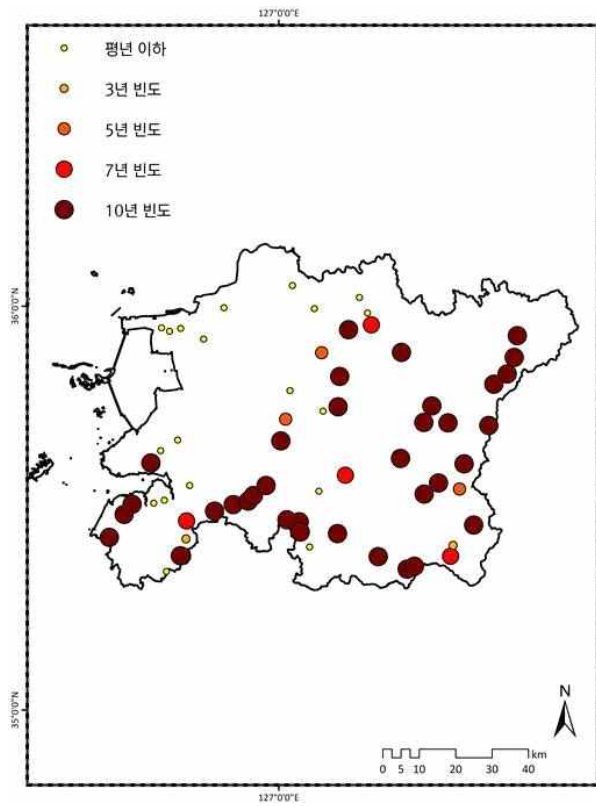
충청북도



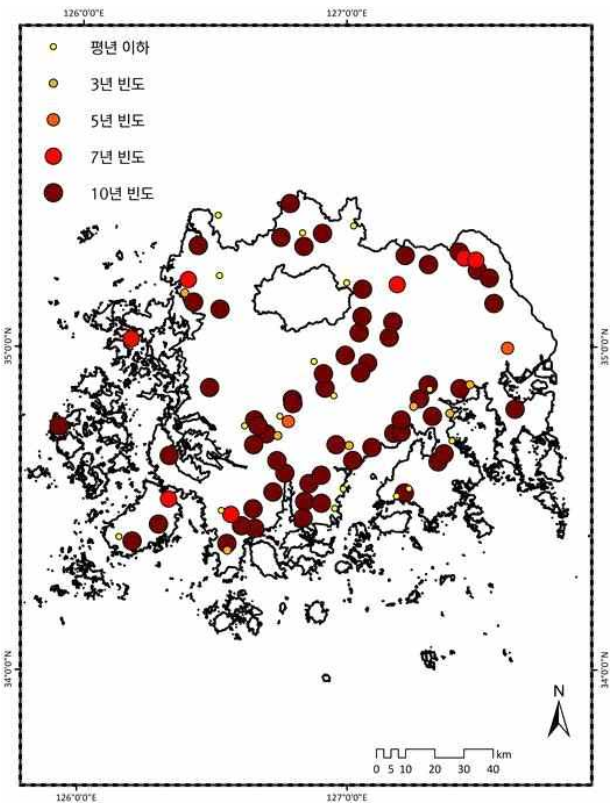
충청남도



전라북도

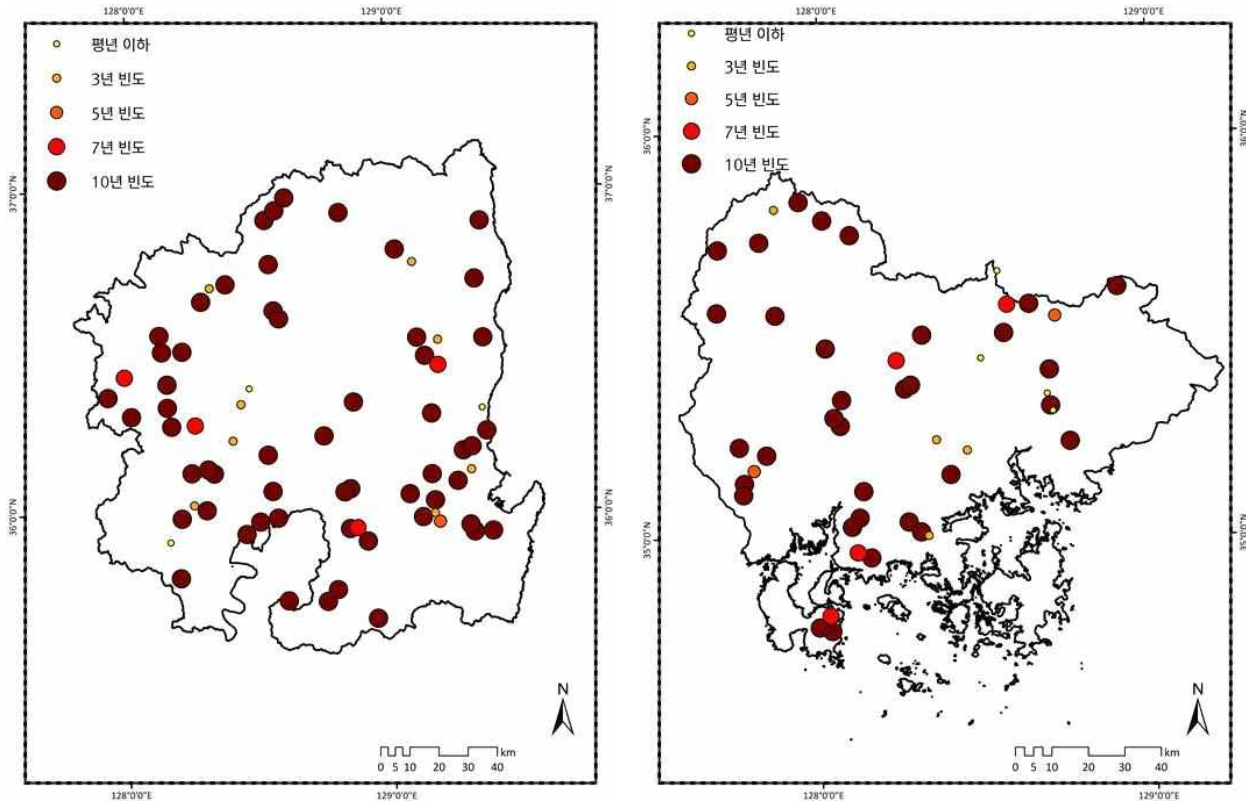


전라남도

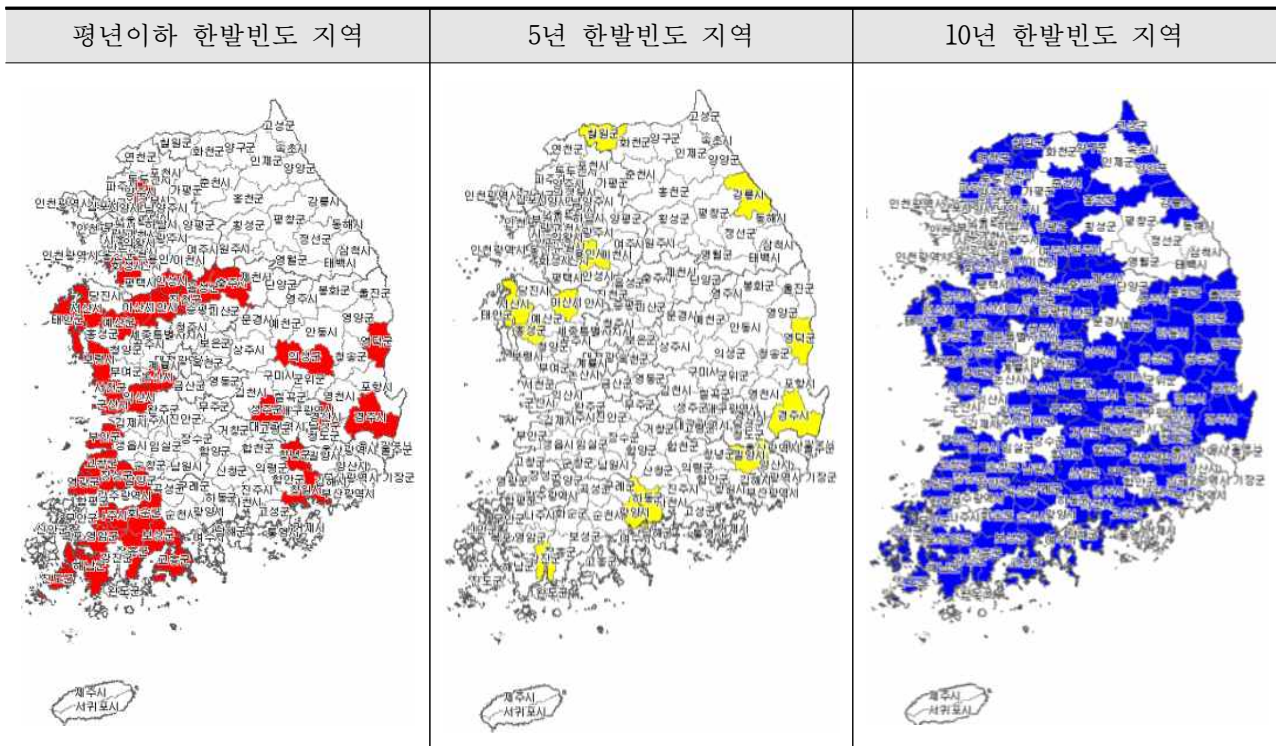


경상북도

경상남도



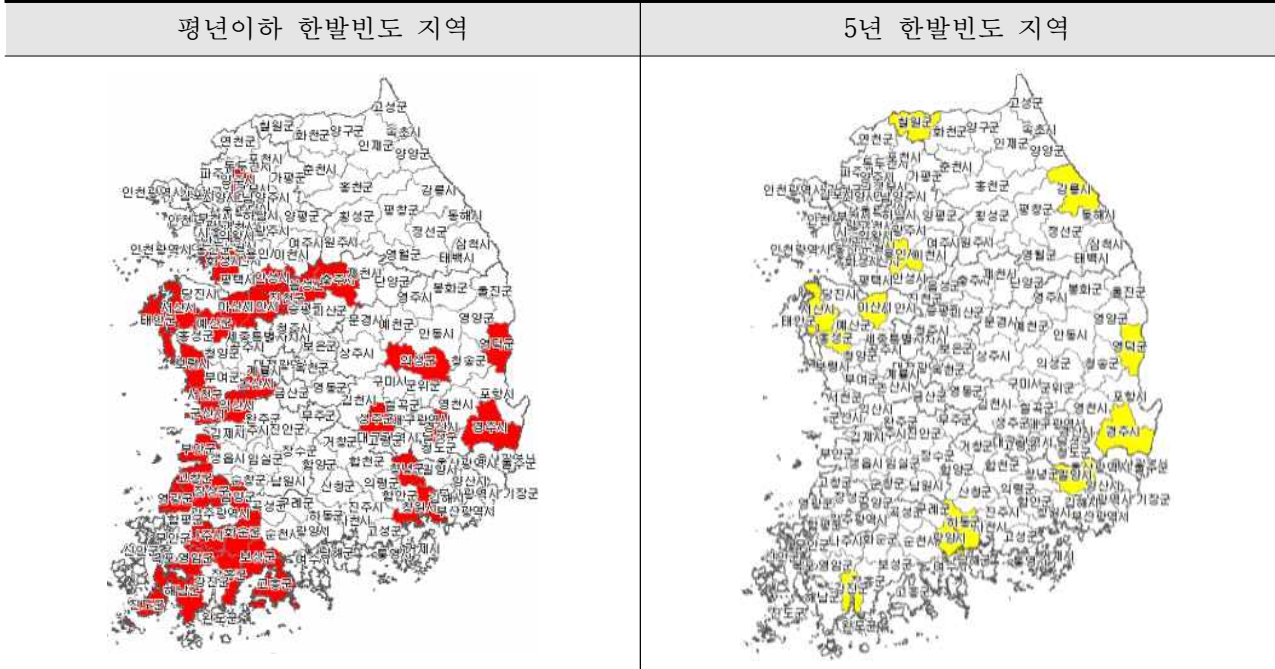
[그림 2-8-10] 지역별(도별) 이수안전 분석결과



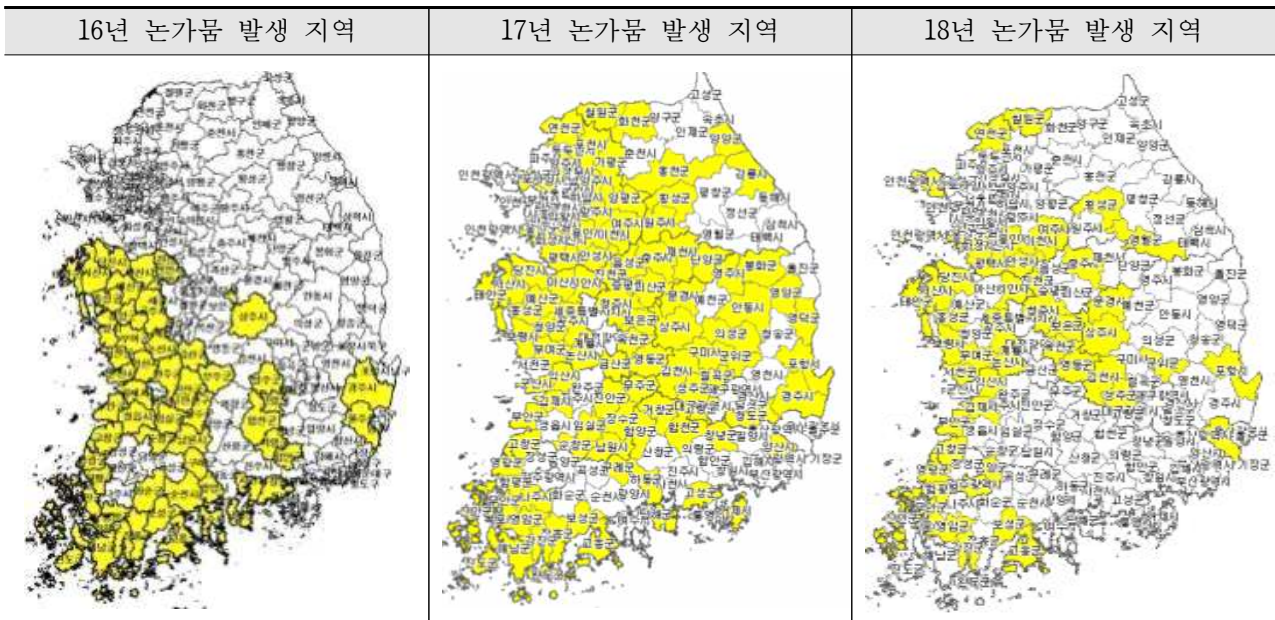
[그림 2-8-11] 평년·5년·10년 한발빈도 지역 분석 현황

(다) 이수안전과 가뭄발생 연계성

- 한발빈도 취약 지역과 가뭄발생 지역 비교 분석 시행하였다.
- 일정기준 이상(유효저수량 100만톤, 주수원공) 저수지 대상으로 가뭄에 취약한 5년 미만 한발빈도에 해당하는 저수지 경우, 전체 466개 중 117개로 약 25%를 차지하였다.



[그림 2-8-12] 평년이하 및 5년 한발빈도 지역 분석 현황

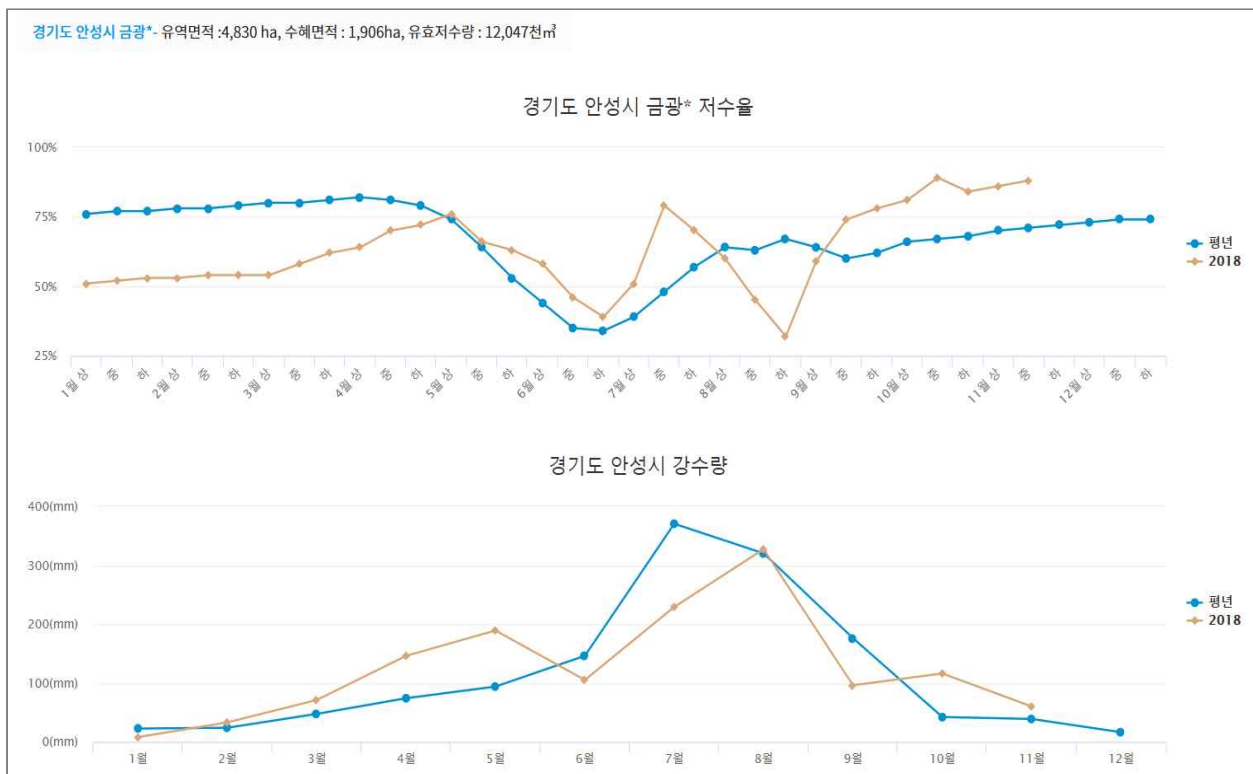


[그림 2-8-13] 최근 3개년 논 가뭄 발생 지역 분석 현황

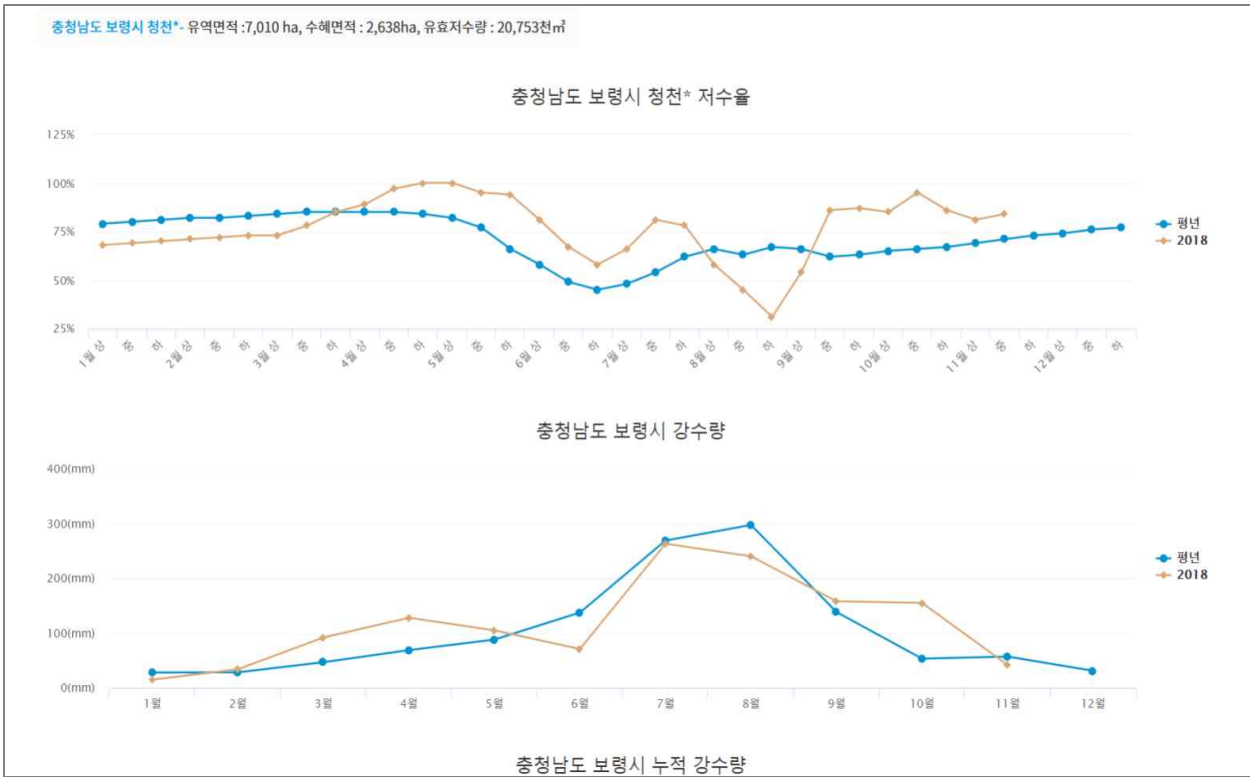
- 평균이하 한발빈도 저수지 지역과 가뭄발생 지역 비교 분석 시행하였다.
- 유효저수량 천만톤 이상, 평년이하 한발빈도 주요 저수지 대상으로 최근 3개년(16~18년) 논물마름 발생 지역 분석 추진하였다.
- 충남 보령군 경우, 최근 3개년간 연속적으로 논물마름 현상이 발생하였으며, 청천저수지 경우 금년 8월 최저 저수율을 기록하였다.

[표 2-8-18] 한발빈도 주요 저수지 대상 논물마름 발생 지역 분석 현황

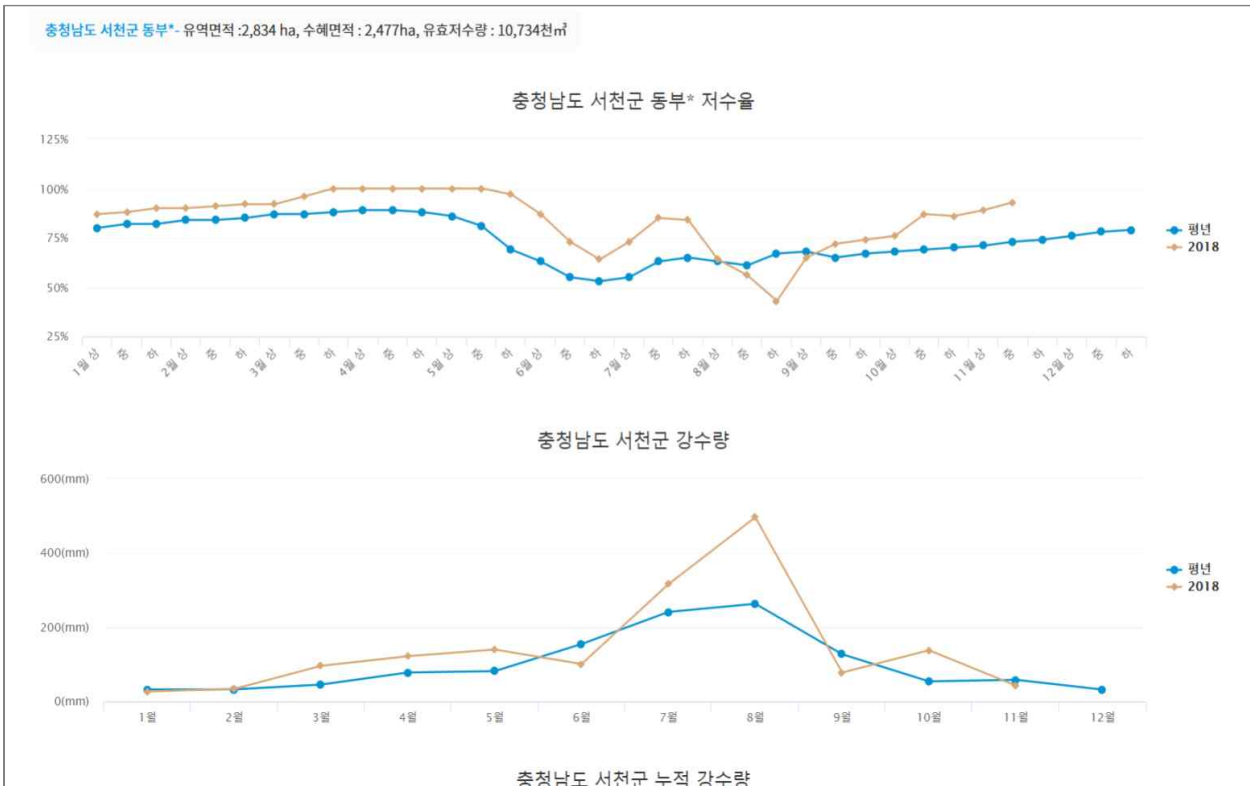
구분	저수지	수혜면적 (ha)	유역배율	유효저수량 (천 m ³)	한발빈도	16년 논가뭄 발생면적 (ha)	17년 논가뭄 발생면적 (ha)	18년 논가뭄 발생면적 (ha)	16~18년 논가뭄 발생면적 (ha)
경기 안성	고삼	2,970	2	15,217	2	0	365.0	48.0	413.0
	금광	1,906	3	12,047	2	0	365.0	48.0	413.0
충남 보령	청천	2,638	3	20,753	2	69.0	285.0	48.0	402.0
충남 서천	동부	2,477	1	10,734	2	188.0	0	72.0	260.0
전남 영광	불갑	3,218	1	15,200	2	619.0	328.0	1.0	948.0



[그림 2-8-14] 경기도 안성시 금광저수지 저수율-강수량 분석



[그림 2-8-15] 충청남도 보령시 청천저수지 저수율-강수량 분석

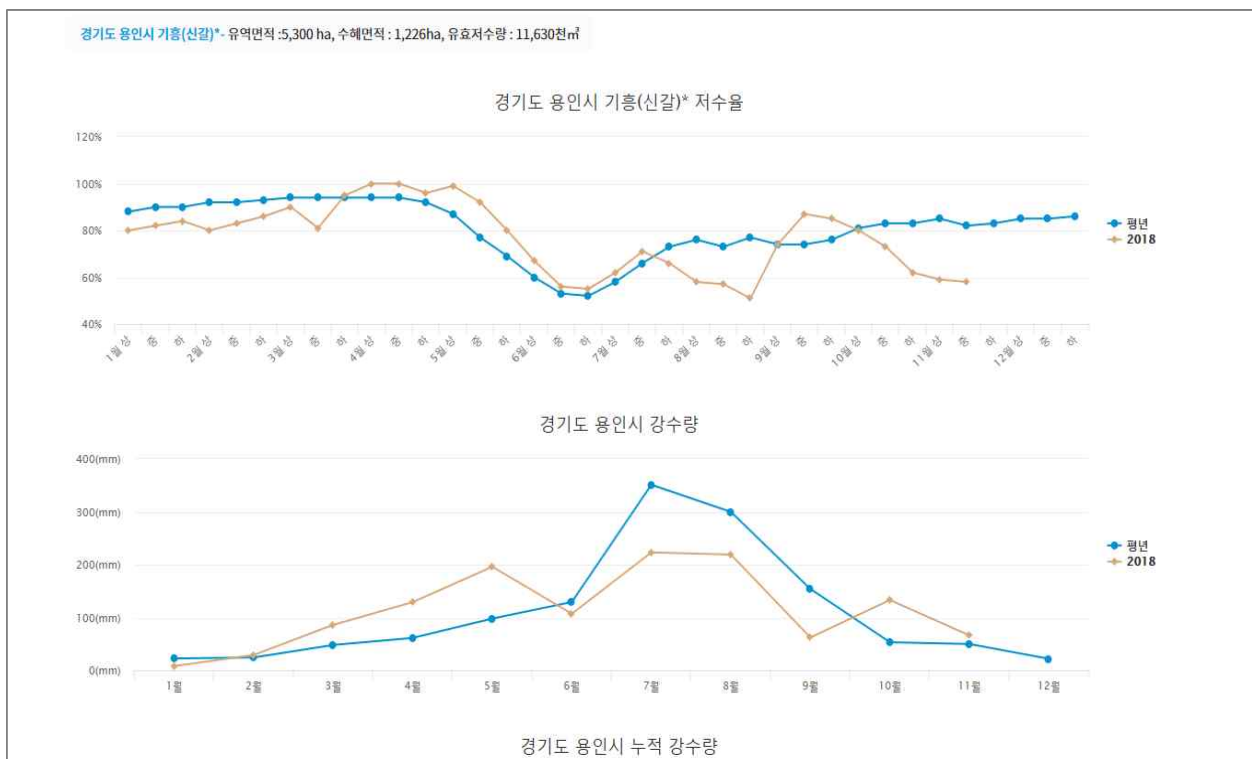


[그림 2-8-16] 충청남도 서천군 동부저수지 저수율-강수량 분석

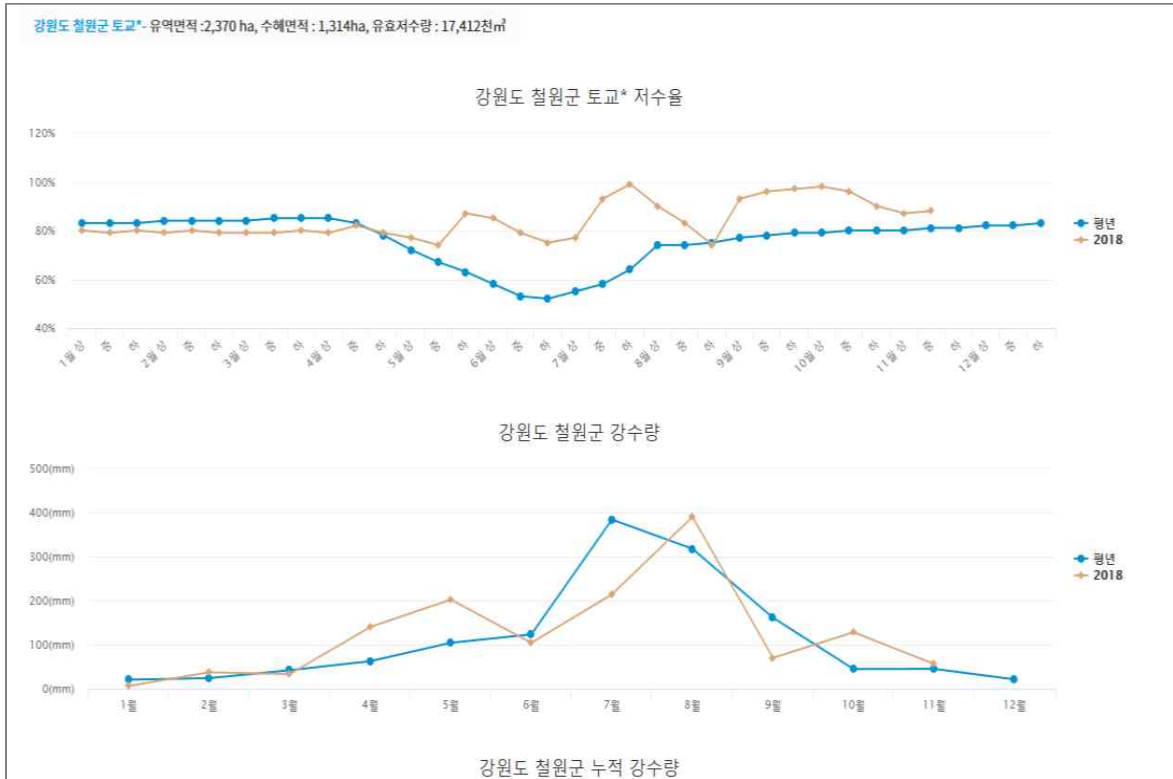
- 10년 이상 한발빈도 저수지와 가뭄발생 지역 비교 분석 시행하였다.
- 유효저수량 천만톤 이상의 10년이상 한발빈도 주요 저수지 대상으로 최근 3개년 (16~18년) 논물마름 발생 지역 분석 추진하였다.
- 강원 철원군 경우, 18년 16ha 가량 논물름 현상이 발생하였으며, 토교저수지 경우, 평년 이상 저수율을 유지하는 것으로 분석되었다.

[표 2-8-19] 10년 이상 한발빈도 저수지 대상 논물마름 발생 지역 분석 현황

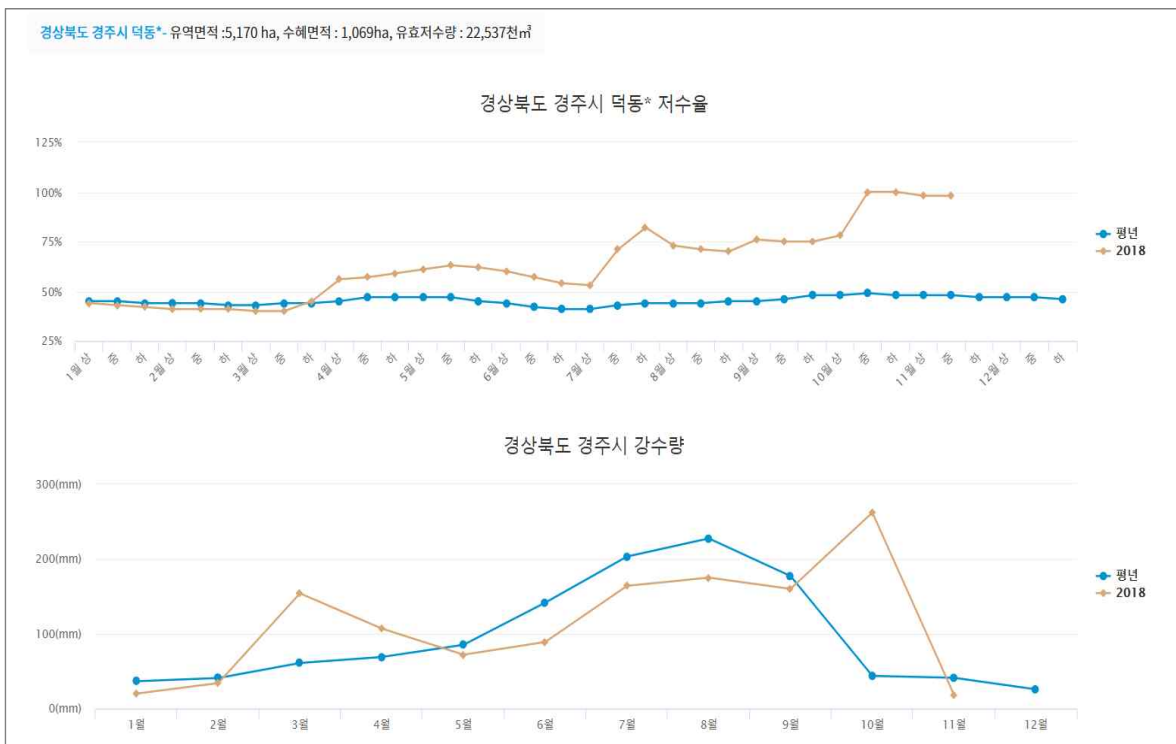
구분	저수지	수혜 면적 (ha)	유역 배율	유효 저수량 (천 m ³)	한발 빈도	16년 논가뭄 발생면적 (ha)	17년 논가뭄 발생면적 (ha)	18년 논가뭄 발생면적 (ha)	16~18년 논가뭄 발생면적 (ha)
경기 용인	이동	2,152	4	20,906	10	0	63.0	1.0	64.0
	기흥	1,226	4	11,630	10	0	63.0	1.0	64.0
강원 강릉	오봉	380	29	12,708	10	0	7.6	0	7.6
강원 철원	토교	1,314	2	17,412	10	0	1.5	16.0	17.5
경북 경주	덕동	1,069	5	22,537	10	7.0	34.0	0	41.0



[그림 2-8-17] 경기도 용인시 기흥저수지 저수율-강수량 분석



[그림 2-8-18] 강원도 철원군 토교저수지 저수율-강수량 분석



[그림 2-8-19] 경상북도 경주시 덕동저수지 저수율-강수량 분석

(5) 농업용수 손실 현황

(가) 구조적 원인 분석

- 수로바닥이나 비탈면에서의 삼투는 수로를 구성하는 수로바닥 및 비탈면 지반토양의 높은 투수성, 낮은 지하수위, 깊은 수심 등 삼투작용으로 인한 물손실 발생한다.



[그림 2-8-20] 흙수로 전경

- 토공과 수로시설물 접합부의 누수는 토공과 콘크리트 등의 구조물의 접촉부에서 발생하는 관공작용에 의한 침투 및 누수로 인한 물손실 발생한다.
- 수로시설물의 노후화에 의한 누수는 라이닝콘크리트, 분수문 제수문 등 수로시설물의 노후화로 인한 파손 균열 등으로 인한 누수 물손실이 발생한다.
- 인력에 의한 수로시설물의 파손에 의한 누수는 물에 대한 농민의 과욕으로 파손된 제수문, 분수문 등 누수로 인한 물손실이 발생한다.
- 수로제방 붕괴로 인한 월류는 빠른 유속으로 인한 토공수로 굴곡부분의 침식, 토공수로의 노후화, 농민의 수로둑 침범에 따른 수로제방 붕괴로 인한 월류 및 누수 물손실이 발생한다.
- 부실시공으로 인한 수로 공작물에서의 누수는 부실시공으로 인한 관이음부의 누수로 인한 물손실이 발생하며, 통수저해에 의한 유속 감소는 수로내의 잡초, 토사 유입, 수로내 붕괴 등에 의한 유속 감소로 인한 삼투손실의 증가 및 월류 등으로 인한 물손실 발생한다.



[그림 2-8-21] 잡초로 인한 통수저해 사례

- 잡초에 의한 증발산은 잡초생육에 따른 증발산으로 인한 물손실이 발생한다.
- 수면증발은 수로 수면증발(삼투손실의 약 5%)에 의한 물손실이 발생한다. 지하동물의 천공에 의한 누수는 땅속에서 서식하는 동물의 흙수로 천공에 의한 누수로 물손실이 발생한다.
- 수로계측기의 미설치 및 수로공작물 자동화 미흡으로 미계측 수로에서의 수량 계측의 곤란과 무효방류로 물손실이 발생한다.
- 수로시설물의 부적절한 설계 및 시공으로 물손실이 발생한다. 우리나라의 농업용수로의 61% 정도가 토공수로이며 투수성이 큰 지반의 경우 라이닝하지 않은 수로에서 삼투에 의한 물손실이 발생한다. 수로시설물의 현대화 부족으로 인력관리에 의한 부적절한 시설물 조작, 구조물의 부실시공 및 수로의 다짐 부족 등에 의한 물손실이 발생한다.



[그림 2-8-22] 비탈면이 붕괴된 토공수로 전경

(나) 비구조적 원인

- (농민의 물 절약의식 부족) 농민들은 농업용수 확보에는 많은 관심을 갖지만 물 절약의식은 부족한 실정이다. 물꼬와 배수물꼬를 동시에 개방하여 논에 담수위를 일정하게 유지하기 때문에 상류부의 물손실로 인하여 말단부 논에서는 용수 공급이 원만히 공급되지 못하는 문제가 발생하고 있다.
- 또한 용수로 말단 및 포장에서 물꼬 및 배수물꼬의 지속적인 개방으로 인한 무효방류로 물손실이 발생한다.
- (관행 물꼬관리 실태조사 사례) 물꼬관리는 논물을 공급하고 배수하는 물꼬관리, 물꼬높이 조절, 물꼬 주변 논두렁에 삽질, 물꼬 주변 풀 뽑기 등의 작업이 필요하다.
- 인력에 의한 수동 물꼬관리를 자동화할 경우 물꼬높이 관리에 소요되는 노동력의 56~62.2%를 절감효과가 있는 것으로 나타났다.
- 물꼬관리에 대한 농민들의 설문조사에 따르면 전체 논농사에 소요되는 노동력 중에서 물꼬관리를 위한 노동력이 약 10~15% 및 20~30%인 것으로 조사되었다.
- 또한 전체 논농사에 소요되는 노동력 중에서 관행물꼬간리에 소요되는 노동력은 16.31%로 나타났으며 자동물꼬설치농가의 경우 21.5%로 다소 높게 나타났다.
- 물꼬관리(시비, 방제 등을 제외한 여타의 관리작업 및 예찰작업 등)에 소요되는 노동시간은 설문조사결과 주거지와 근접한 논인 경우 7.9시간, 주거지와 먼 거리에 있는 논인 경우 11.9시간이었으며, 자동물꼬설치 농가의 경우에는 3.3시간으로 나타났다.
- 주거지와 논과의 거리가 원거리인 경우에는 경지가 멀리 위치하기 때문에 자주 가지 못한다는 심리적인 이유가 있는 것으로 판단된다.

- 또한 물꼬관리 시간은 경지정리가 된 논에서 경지정리가 되지 않은 논보다 물꼬관리에 소요되는 노동시간이 낮게 나타났으며, 평야지에서 경작되는 논의 물꼬관리 시간이 산간지보다 낮은 것으로 분석되었다.
- 계단식 논인 경우에는 평야지의 물꼬관리보다 더 많은 노동시간이 필요한 것으로 분석되었으며, 전체 경작면적이 많은 논인 물꼬관리에 소요되는 시간이 낮은 것으로 나타났다. 이는 전체 영농을 위한 시간이 경작지가 넓을수록 개별 작업에 소요되는 노동력이 낮아지기 때문이다.
- 물꼬관리에 소요되는 노동시간은 농민의 연령이 높고 학력이 높을수록 높게 나타났으나 농민의 영농경력이 많을수록 낮은 것으로 분석되었으며, 또한 원거리에 위치하고 있는 논에 더 많은 노동시간이 투입되는 것으로 나타났다.

[표 2-8-20] 물꼬 관리 시 주요 작업 현황

작업종류	KREI 통신원 조사	자동물꼬설치농가 조사
논물가두기 및 트기	133(31.7)	23(46.0)
물꼬높이의 조절	128(30.5)	5(10.0)
물꼬주변 논두렁에 삼질하기	81(19.3)	5(10.0)
물꼬주변 풀뽑기	61(14.6)	16(32.0)
기타	16(12.0)	1(2.0)
계	419(100.0)	50(100.0)

[표 2-8-21] 논 농사에서 물꼬관리 투하되는 노동력 비율 분포

범위	응답농가수(호)	상대도수(%)
5%이내	14	10.4
5-10%	18	13.3
10-15%	39	28.9
15-20%	5	3.7
20-30%	34	25.2
30-40%	17	12.6
40%이상	8	5.9
계	135	100.0

[표 2-8-22] 논 여건 따른 단보당 관행물꼬 관리시간 비교

구 분	단보당 관행물꼬관리시간	
	최근접 논	최원접 논
경지정리여부		
- 경지정리 된 논	6.13시간(84호)	10.44시간(79호)
- 경지정리 안된 논	13.55(43)	17.14(35)
평야지 위치여부		
- 평야지 논	6.34(49)	8.83(49)
- 중산간 또는 산간 논	8.92(78)	15.16(62)
계단식논 여부		
- 계단식 논	9.17(58)	13.82(41)
- 비계단식 논	7.06(69)	10.85(70)

- (부적절한 관개방식) 논에서의 관개방식은 크게 내리흐름식관개(담수관개), 간단관개 및 윤회관개(순환관개)로 구분한다. 윤회관개는 합리적인 물관리로 농업용수 물질약 뿐만 아니라 수확량 증가에도 영향을 미치는 효율적인 관개방식이지만 현재까지 수로계측기 등 시설 부족, 윤회관개방법의 미숙, 농민의 의식 및 홍보 부족 등으로 농경지에서 내리흐름식 관개방식이 주로 사용되며 농업용수 손실이 발생하고 있다.
- (유지관리요원 및 예산 부족) 농업용수로의 경우 여전히 인력에 의한 시설물 관리로 인해 많은 인력이 필요하지만 제한된 인력으로 인하여 수문 분수공 등을 적절한 시기에 개폐하지 못하여 물손실이 발생하고 있다.
- 또한 수로의 잡초로 인해 통수장애, 증발산 등에 의한 물손실이 발생하고 있다. 효율적인 물관리를 위해서는 물관리 전문인력 양성이 필요하지만, 현재 우리나라의 농업환경 여건상 전문인력 양성 및 공급은 더욱 어려워지고 있다.
- 현재 논외의 경우 농어촌공사에서 수리시설물 및 용수로의 유지관리 및 물관리 등을 운영하고 있으나 1인당 관리면적이 증가하여 수원공, 배수로, 각종 수문 등을 관리해야하기 때문에 유지관리 인력의 부족으로 인하여 수리시설물의 관리소홀로 인한 물손실이 발생하고 있다.

[표 2-8-23] 연도별 1인당 관리면적 변화

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

- (수로시설물의 노후화) 수로시설물의 보수보강이 꾸준히 이루어져 왔으나, 설치 후 경과연수에 따라서 상당 부분의 수로시설물이 노후화 및 파손되어 물손실이 증가하고 있으며, 관리상태가 상대적으로 양호한 농어촌공사에서 관리하는 용수로의 경우에도 약 41% 정도의 용수로가 노후화되어 개보수가 필요한 실정이다.



[그림 2-8-23] 인력으로 조작되고 있는 분수문 전경

- (물관리에 관한 기초연구 및 자료축적 미비) 기존의 부분적인 연구에 따르면 약 30~40%의 용수손실율이 발생하고 있으나 수로 손실, 급수손실, 포장관리손실 등 부분 및 원인별 개별적인 손실을 산정에 관한 연구와 기초자료가 부족하다.
- 또한 용수간선 및 지선 등의 공급수량에 대한 자료가 미계측되었거나 부실한 관계로 체계적인 물관리의 부재로 인하여 물손실이 발생하고 있다.

2. 평시 및 가뭄시 들녘별 용수공급 관행 조사 및 분석

가. 평시 들녘별 용수공급 관리 관행 분석

(1) 연구 추진 방향

- 실제 현장에서의 농업용수의 공급 실태를 파악하기 위해서 평상시 및 가뭄시 등 상황별로 용수공급 관행 조사 추진해야 한다.
- 물관리 및 급수요령을 파악하기 위해 수원공(저수지, 양수장, 취입보 등) 및 평야부(용수로, 분수문, 경작지 등) 등 시설별 용수공급 관행 조사로 실질적인 농업용수 관행 이행해야 한다.

(2) 물관리 개요

(가) 용수공급 기본 목적

- 평시 물관리는 궁극적으로 고품질의 안전농산물 생산을 목표로 하는데, 이를 위해서는 적기에 적량을 공평하게 균등 배분하고 수온과 수질을 보전하여야 하고, 이에 따른 물관리 노력, 급수효율, 관리비 등을 비교 분석 후 최적 방법으로 관리가 되어야 한다.
- 작물의 생육시기별로 필요한 양의 물이 적기에 공급되도록 한다. 급수 시에는 손실량이 최소가 되도록 하여 관개효율을 극대화한다.
- 수혜구역의 상·하류 관개구획이나 구획 내의 필지 간에 서로 급수량이 다른 경우에는 물 분쟁이 발생할 수 있으므로, 동일지구 내에서 골고루 급수가 되도록 사전에 계획하고 감시하여야 한다.
- 개수로 형태의 급수시설물은 허용통수량 이상의 유량이 흘러갈 경우에 제체의 유실이나 월류 등의 사고가 발생하게 되므로, 통수 개시와 종료 시에 안전한 급수가 이루어질 수 있도록 유의하여야 한다.
- 하천은 자연 생태계에서 매우 중요한 역할을 하므로, 건천화 방지·경관유지 등의 기능과 함께 생물의 다양성을 확보하고, 아울러 수질관리의 안전성을 높일 수 있도록 홍수기를 제외한 기간 동안에는 하천유량을 최대화하는 것이 중요하다.
- 저수지 등의 수원공으로 부터 급수하는 경우, 작물의 생육시기가 끝난 후에는 가급적 많은 저수량을 확보할수록 다음 해의 관개에 유리하므로 저수량이 최대한 확보될 수 있도록 저수지 운용이 이루어져야 한다.

(나) 물관리 계획 수립방향

- 전국단위로 광역화된 물관리 체계의 정립을 위하여 각 시설별, 지사별, 지역본부별 수자원(물) 관리 계획을 수립함으로써 지역별 특성을 반영한 현장중심의 맞춤형 물관리를 실현할 수 있다.
- 수자원(물)관리 계획에는 목표, 기본방향, 임무, 조직 및 인력, 관리면적, 농업용수이용자 및 농업인 조직, 시설물 현황, 단계별 물관리 계획, 용수공급계획, 평상시·재해시 물관리 등을 포함하여 계획을 수립해야 한다.
- 용·배수 등 물관리 체계, 담당구역별 급수애로 사항 등을 상세히 명시한 『물관리 매뉴얼』을 작성·운영하여, 지구관리 담당자 변경사항 발생 시에 원활한 인계·인수로 업무의 연속성을 유지하고 민원 또는 긴급한 상황 발생 시에 신속하고 효율적으로 대응할 수 있다.
- 관개기 물관리 업무가 종료되면 용수공급계획대비 용수공급량 실적을 분석하여 문제점을 도출하고 개선 방안을 마련토록 하며, 그 결과는 다음년도 물관리 계획에 반영하는 등 용수 절약을 위한 계획급수를 정착화하여 물관리 전문기관으로서의 위상을 제고할 수 있다.

(다) 물관리 관련 공사 내 조직별 역할 구분

① 본 사

- 유지관리사업 계획수립, 물관리 종합계획 및 배분조정
- 공사관리지역의 편입·제외, 수질조사 및 수질관리 등 총괄
- 수리시설물 관리 및 재난관리, 유지관리부대운영(급수, 시설임대)사업
- 시설물 현대화사업 및 개·보수사업
- 기계·전기·건축분야 유지관리업무 및 물관리자동화(TM/TC)사업
- 지하수 조사·개발·보전·이용 및 관리, 지하수 토양환경 복원

② 지역본부

- 농업기반시설 유지관리
- 수리시설물 관리·정비 및 용수관리 지원
- 지역본부 관내의 물관리 계획 수립
- 물 관리를 효율적으로 수행할 수 있도록 지사간 물관리 조정 및 지원
- 정기적인 자체분석 평가를 통한 문제점 분석 및 개선방안 마련
- 수질조사·개선사업 계획 및 추진

③ 지사

- 구역내 용수관리 및 수리시설물의 점검 및 개보수 등 정비사업
- 공사관리지역의 편입과 제외 등 관리
- 농업용수이용자 명부작성
- 지사 관내의 물관리 계획수립
- 적기·적소에 적량의 용수공급 추진
- 관개효율, 비용 등을 검토·분석하여 가장 경제적인 급수관리 실행
- 물관리 상황 기록·관리 및 D/B화
- 정기적인 자체분석 평가를 통한 문제점 분석 및 개선방안 마련
- 수질조사·개선사업

④ 농업용수이용자

- 절수영농 및 지역실정에 맞는 물관리 계획 수립에 참여
- 공사관리구역내의 용수절약, 시설물 보호에 적극 협조

⑤ 자율관리구

- (시행근거) 한국농어촌공사 및 농지관리기금법 제17조
- 농업용수이용자와 시설관리자의 역할분담을 통한 물관리 효율성 증대
- 급·배수관리 : 수원공 취수, 노선별 배분
- 용·배수로 정비 : 수초제거, 수로준설
- 시설물 수시점검 및 재해시 응급복구
- 수질오염 감시 및 민원 해소

⑥ 운영대의원

- (시행근거) 공사법 제5조, 정관 제19조, 운영대의원회 운영 규정
- 농업인의 참여를 통하여 공사 경영의 원활을 기하여 공사관리지역안의 기반시설 관리의 자율성과 효율성을 제고하여 영농편익에 기여하고 대농업인 서비스 강화를 위한 의견 수렴
- 자격 및 인원 : 농업용수이용자, 1,124명
- (주요임무) 농업기반시설의 유지·관리 및 이용, 농지은행사업 등에 관한 사항, 지사대의원회 및 지역본부장이 요청한 사항, 기타 의장이 요청하는 사항

⑦ 수리시설감시원

- 시행근거 : 수리시설감시원 운영 지침
- 수리시설감시원은 한국농어촌공사로부터 물관리 및 농업생산기반시설물의 감시원으로 위촉받아 일시·간헐적으로 공사로부터 물관리 및 시설물의 점검·정비·조작, 환경 감시활동 및 안전사고 예방을 위한 지도·단속 등의 보조 활동 업무 수행한다.

(3) 평시 수원공 물관리 및 급수요령

- 공급계획에 따라 경작지의 필요수량 공급 원칙으로 한다.
- 가능한 계측기를 이용하여 적량 공급하되 계측시설이 없는 경우는 수문조작 및 양수시간 등에 의하여 유수사용량(공급량)을 산정하여야 한다.
- 물관리 계량화로 용수 적량배분 및 용수수요 다변화에 대처할 용도별 최적 물관리를 실시해야 한다.
- 시설별 농업용수 잉여수량을 조사하여 하천유지수 또는 목적외 용수등으로 활용하는 등 공사의 수익증대방안 강구해야 한다.

(가) 저수지 물관리 관행

- 한정된 수량이므로 유입량을 감안하여 시기별로 공급량 조절 관리한다.
- 계획적인 저수량 관리를 통해 모내기 완료 후 평년수준 저수량 유지한다.
- 저수량이 풍부하고 가뭄우려가 없는 경우에도 용수절약 물관리 실시한다.
- 저수량을 조사하여 각 시기별로 용수 과부족 여부를 수시로 판단한다.
- 저수지는 저수위 관측을 위한 자동수위계(또는 수위표) 설치를 원칙으로 하며, 측정은 1일 1회 이상, 수해 등 비상시에는 수시(필요횟수)로 관측·기록함을 원칙으로 한다.
- 공급량을 측정할 수 있는 계측장비 확보 및 수위조건표 등 설치한다.
- 가뭄 발생시 저수지별 용수공급 가능일수 파악 및 대책 수립한다.
- 저수지 통수상황일지(저수량, 공급량(통수량), 방류량, 기타용수 공급량, 강우량 등) 기록 비치한다.
- 저수지 일일 점검 실시한다.

(나) 양수장 물관리 관행

- 양수시간에 비례하여 동력비가 증가하므로 필요수량만 공급토록 관리한다.
- 용수원인 하천에 수위표를 설치하여 하천 유수 상황파악을 한다.

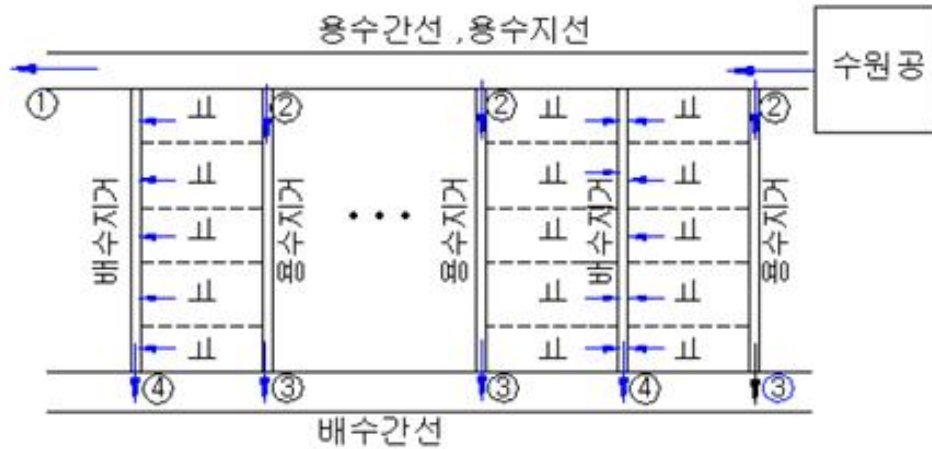
- 양수장 관리일지(공급량, 가동시간, 하천수위, 강우량, 급수실적, 전력 사용량 등) 기록 비치한다.
- 양수기 일일점검 실시한다.

(다) 취입보 물관리 관행

- 취수구 주변에 하천수위 및 취수량 측정용 수위표를 설치하고 운영한다.
- 취수일지(하천수위, 취수량, 취수시간, 급수실적 등) 기록 비치한다.
- 취입보 일일점검 실시한다.

(4) 평시 평야부 물관리 및 급수요령

- 각 노선별, 지역별로 적기·적량이 배분되도록 분배 조절
- 활착기 이후에는 수잉기를 제외하고 간단관개 또는 윤환관개를 실시하여 물 절약으로 관개효율을 높이고 벼의 생육 촉진 도모
- 지역별, 노선별로 급수일자를 조정하여 관리(사전예고 및 홍보)
- 급수애로 지역을 파악하고 원인 분석과 대책 강구
- 급수실적 등 상황을 수원공 관리자나 급수 통제자에게 신속하게 전달
- 용수의 합리적 이용에 관한 농업인 홍보
- 용수로와 각종 구조물 점검 및 기능 유지
- 유효강우를 최대한 이용하여 급수 조절을 통한 용수확보



[그림 2-8-24] 관개구역에서의 용수 흐름도

(가) 분수문 등 각종 수문 물관리 관행

- 간·지선수로의 분수문은 시설관리 담당자나 계절직이 조작하고 지거이하 분수문은 농업인과 협조하여 관리
- 주요 분수문은 용수낭비가 되지 않도록 계측기 또는 조건표 등을 활용하여 적정량 공급

(나) 용수로 물관리 관행

- 수로 내 수초, 토사 등 통수장애요인 제거
- 통수능력이 계획 통수량보다 적을 경우, 원인을 조사하여 대책 수립
- 수로의 종·횡단 등을 점검
- 퇴수(회복수) 재활용 방안을 강구하여 시행

(다) 경작지 물관리 관행

- 급수 불능지역이나 급수 애로지역을 조사하여 대책 강구
- 논물 담수상태에 따라 급·배수 조작
- 못자리 용수는 가능하다면 자연 하천수나 강수를 직접 담수하여 이용하도록 홍보·유도

(5) 평시 시기별 물관리 및 급수요령

(가) 못자리 물관리

- 못자리 시기에는 관리손실(수로손실 등)이 많은 기간이므로 용수로 간·지선 주변에 못자리를 설치하여 용수낭비를 방지(집단못자리 유도)
- 가급적 하천수나 보조수원을 이용하여 못자리를 설치하고, 주수원공의 용수는 이앙기, 본답기에 활용
- 못자리 설치 전에 간·지선별 못자리 설치면적 및 일정 조사

[표 2-8-24] 지역별 비닐피복 못자리 설치 적기

지역별	조 생 종	중 생 종	중만생종
북 부(한강이북)	4.15 ~ 4.30		
중 부(수원)	4.10 ~ 5.5	4.10 ~ 4.30	4.10 ~ 4.25
중남부(대전)	4.10 ~ 5.10	4.10 ~ 5.5	4.10 ~ 4.30
남 부(이리, 대구)	4.5 ~ 5.15	4.5 ~ 5.10	4.5 ~ 5.5
극남부(광주, 진주)	4.1 ~ 5.20	4.1 ~ 5.15	4.1 ~ 5.10

(나) 씨레 및 이앙기 물관리 및 급수요령

- 고품질 쌀 수확은 적기이앙이 매우 중요하므로 모든 관리구역이 적기에 모내기가 완료되도록 관리
- 정상적인 이앙시기 환원운동 추진
- 이앙실적을 매일 파악하여 미진할 경우, 원인분석 및 대책강구 시행

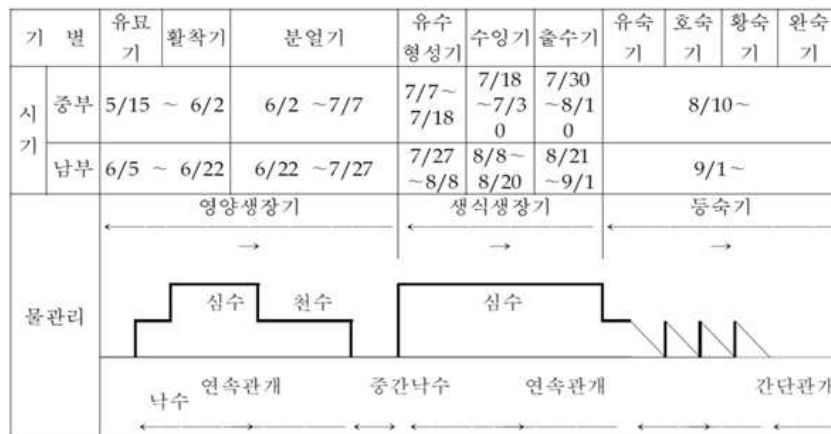
[표 2-8-25] 지역별 기계이앙 적기

지역별	구 분	조 생 종	중 생 종	중만생종
북 부(한강이북)	중 모	5.15 ~ 5.30		
	어린모	5.15 ~ 5.25		
중 부(수원)	중 모	5.10 ~ 6.5	5.10 ~ 5.30	5.10 ~ 5.25
	어린모	5.10 ~ 5.30	5.10 ~ 5.25	5.10 ~ 5.20
중남부(대전)	중 모	5.10 ~ 6.10	5.10 ~ 6.5	5.10 ~ 5.30
	어린모	5.10 ~ 6.5	5.10 ~ 5.30	5.10 ~ 5.25
남 부(이리, 대구)	중 모	5.5 ~ 6.15	5.5 ~ 6.10	5.5 ~ 6.5
	어린모	5.5 ~ 6.10	5.5 ~ 6.5	5.5 ~ 5.30
극남부(광주, 진주)	중 모	5.1 ~ 6.20	5.1 ~ 6.15	5.1 ~ 6.10
	어린모	5.1 ~ 6.15	5.1 ~ 6.10	5.1 ~ 6.5

- 직과적기 : 중부(4.15 ~ 5.20), 남부(4.10 ~ 5.25)
- 지역별 모내기 시기를 기준으로 역산(중모 30일, 어린모 10일 기준)하여 적기에 못 자리 설치
- 상자육묘를 10%더 추가 확보토록 하여 병해충 발생, 기상재해 등으로 인한 모 부족 현상 예방
- 구역별 간·지선별 이양시기·일정 취합 ⇒ 용수공급계획 수립에 반영

(다) 본답 일반급수기 물관리 및 급수요령

- 강우량, 급수실적 등을 조사하여 공급량 조절
- 활착기 이후는 수잉기를 제외하고 간단, 윤환관개를 실시하여 물절약
- 강수 시에는 유효우량을 적극 이용하여 담수(논·배수로 물가두기)
- 용수공급 시기를 농업인이 알 수 있도록 지역별 급수계획을 예고
- 생육단계별 적정 물관리
 - 이양 후부터 제초제 사용 전까지 모 키의 1/2정도 깊이 대기
 - 뿌리내린 후부터 완전 물 댈 때까지 물 걸러대기
 - 헛새끼칠 때 중간 물떼기 반드시 이행지도
 - 출수 후 30 ~ 35일까지(모래논은 벼베기 7일전) 논물대기
- 용·배수로 수초제거 일정 및 계획 수립



[그림 2-8-25] 관행 심수관개 이양재배 생육기별 물관리

나. 가뭄시 들녘별 용수공급 관행 분석

(1) 물관리 개요

(가) 용수공급 기본 목적

- 가뭄을 대비하여 기상(강수량 등)과 저수량 분석, 관정·양수장비 확보 및 점검·정비, 가뭄상습지역 관리 및 저수지·양수장 등 수리시설 신설·보강 등 용수확보대책을 사전에 강구함으로써, 영농에 만전을 기하고 농작물 피해를 최소화해야 한다.
- 지역별 강수량, 저수율 파악 및 정밀 분석
- 논·밭의 토양수분 함량 및 농작물 생육상황 파악
- 시설별·생육단계별로 용수공급 능력을 정밀 분석하여 물 부족이 예상되는 지역 및 가뭄상습지역에 농업용수 확보·공급대책 추진계획을 사전 수립하는 등 가뭄발생시 신속하고 능동적으로 대처하여 가뭄을 효율적으로 극복

(나) 가뭄관리 추진 방향

- 물부족 예상(저수율 50%미만 등)지역을 중심으로 용수확보대책 추진
- 가뭄대책 집중관리지구로 중심으로 체계적인 가뭄대책 추진
- 수해지구 수리시설 조기복구 및 영농급수대책 수립·추진
- 보리, 마늘, 양파 등 월동작물에 대한 용수확보대책 추진
- 농촌용수개발사업 수원공 조기완료 및 부분급수대책 추진

(2) 가뭄시 물관리 및 급수요령

(가) 물부족 예상지역 관리 기준

- 수립 대상
 - 영농기 이전(4월말)까지 평년수준의 비가 오더라도 못자리 및 모내기 농업용수가 부족할 것으로 예상되는 지역
 - 저수율이 50%미만이거나 못자리 및 모내기 용수량인 200mm(단위용수량)에 미치는 못하는 저수지

- 저수지 준설이나 수리시설개보수사업 시행 등으로 저수율이 50% 이하로 낮아진 지역
- 용수확보 대책
 - 강수량, 저수율, 기상전망 등 감안하여 지역실정에 맞는 구체적이고 실현 가능한 세부계획 수립
 - 최소한의 모내기용수 확보를 위한 저수지·논·배수로 물가두기, 간이양수장 설치 등 급수대책 강구
- 저수지 준설 및 개보수사업지구는 공사 조기완료, 담수 추진
- 저수량 부족시 인근 하천수 및 보조수원공, 간이양수시설 최대 활용
- 직파재배 지양, 집단못자리 설치 등 절수영농계획 수립·추진

(나) 가뭄 집중관리지구 관리 기준

- 가뭄대책 집중관리지구 선정 및 관리
 - 수혜면적 5ha이상 집단화된 우량농지
 - 수리시설 미비로 작은 가뭄에도 영농에 지장이 있는 가뭄상습지역
 - 벼의 재배면적이 크고 가뭄대책으로 용수확보 효과가 높은 지역
 - 매년도 가뭄대책 추진에 따라 집중관리지구 용수대책상황을 관리
 - 가뭄대책 집중관리지구별 가뭄대책(용수개발) 추진실태 관리
- 용수확보대책
 - 기상상황을 감안하여 기 수립된 지구별 용수개발계획에 따라 사전 가뭄대책 추진
 - 용수개발계획에 소요되는 장비 및 인력은 사전에 동원 체제 수립
 - 가뭄대책비 지원은 가뭄대책 세부추진계획에 반영된 소요사업비 내역에 따라 지원
 - 집중관리지구는 도상계획을 수립 D/B관리
- 수해지구 수리시설 조기복구 및 영농급수대책 수립
 - 집중호우 및 태풍으로 피해를 입은 수리시설 중에서 영농기 이전까지 완전 복구가 어려운 지구는 시설물 복구 추진계획을 감안하여 영농기 이전 조기 복구 완료
 - 수리시설 피해지역은 영농기이전 조기복구 완료
 - 금년 영농기 이전까지 시설복구가 어려운 지구는 지역여건을 감안하여 별도 급수대

책 강구

- 월동작물에 대한 용수확보대책 수립
 - 해빙기 이후 봄가뭄 시기에 생육하는 보리, 마늘, 양파 등 월동작물에 대한 용수확보 대책 수립
 - 주산단지 위주로 가뭄지역을 파악, 인근 수리시설과 하천수를 이용한 급수대책 강구
- 농어촌용수개발사업 수원공 조기완료 및 부분급수대책 추진
 - 시행중 대·중규모 용수개발, 대단위 농업종합개발, 보강개발사업 용수확보대책 수립
 - 4~5월중 수원공 완료로 부분급수가 가능토록 급수대책 추진
- 기타
 - 저수량이 높은(90%이상) 저수지는 여수토 덧쌓기(마대쌓기), 가물막이 등으로 저수량 추가 확보 ⇒ 기상여건에 따라 해빙기 이후(3월)에 추진
 - 농한기에 시설관리자가 자체적으로 수리시설, 용·배수로, 관정·양수장비 점검 및 정비계획을 수립하여 급수기 전에 정비 완료

(다) 장비 점검 및 정비 관리 기준

- 자체 보유중인 한해 장비에 대해 월 1회 이상 점검·정비 실시
- 양수 장비 보유량이 정수에 미달될 경우, 즉시 확보·보충

(라) 상습가뭄지역 중장기계획 수립 관리 기준

- 용수공급 능력이 부족한 수리시설 확충·보강 및 신규용수원 개발
- 상습가뭄지역을 조사하여 수리시설(저수지, 양수장, 용수로 등)의 신설·확장 등 용수개발 추진

(마) 농민대상 교육홍보 추진

- 이용가능한 모든 물을 가장 효율적으로 활용하기 위한 ‘가뭄극복 3대 운동’을 대대적으로 전개
- 필요한 시기에 필요한 곳에 필요한 양의 물을 가장 효율적으로 공급

[표 2-8-26] 가뭄극복 3대 운동

저수 운동	하천수나 지하수 등을 양수하여 저수지, 저류지, 용·배수로에 저수, 논물가두기 등
절수 운동	물 아껴쓰는 농사짓기(육모상자 보급, 집단못자리 설치, 모내기 및 급수조절), 생활·농업·공업용수 등 용수절약
용수개발 운동	지하수 개발, 지표수 확보, 저수지 준설 등

(3) 가뭄단계별 농업용수 관리 기준

(가) 관심(가뭄대비·계획) 단계

① 물관리 대책

- 봄철 땅이 해빙되면 즉시 논두렁 다지기를 통해 관개기간 동안에 측면으로 유출되는 물손실과 붕괴로 인한 물손실 위험 예방



[그림 2-8-26] 논두렁 다지기 전경

- 흙수로에 비닐 깔기를 시행하여 흙수로 바닥으로 침투되는 물 손실 예방



[그림 2-8-27] 비닐깔기 피복 전경

- 농작물에 피복(덮기)이 가능한 곳은 벧집, 비닐 등으로 토양수분의 증발 최소화



[그림 2-8-28] 벧집 피복 전경

- 논물가두기를 조기에 실시하여 관개용수 절약



[그림 2-8-29] 논물가두기 전경

- 관정, 양수기, 스프링클러 등 가뭄대비에 필요한 장비, 전기시설 등을 영농기가 시작하기 이전에 미리 점검하고 정비



[그림 2-8-30] 양수장비 및 송수호스 점검 및 정비 전경

- 가뭄발생에 대비하여 용·배수로 청소, 수초제거, 수로준설 등 수로 관리에 참여하여 관개 용수 통수능력 확보



[그림 2-8-31] 수로 청소 전경

- 공사관리구역내의 용수절약 및 시설물 보호에 적극 협조하고 파손된 수리시설물의 신고 및 수로관리 참여



[그림 2-8-32] 파손된 수리 시설물 전경

- 필지별로 필요한 시기에만 급수공급(분수공 조작 등)을 실시하고 용수공급이 끝난 이후에는 반드시 급수공급을 중단하여 용수절약 실시



[그림 2-8-33] 분수문 전경

- 매년 영농기(5월~9월) 농업용수 부족으로 가뭄피해가 발생하지 않도록 가뭄발생시 농업용수 지원센터가 설치·운영되고 있으며 농업용수부족이 발생하는 경우에는 농업용수 지원센터에 용수공급 요청 및 애로사항 문의
- 시·도 농촌개발과(농업기반정책과, 농산지원과, 농업지원과 등)
- 시·군 건설과, 농업용수담당과
- 한국농어촌공사 지역본부, 사업단 및 각 지사



[그림 2-8-34] 농업용수 지원센터 용수공급 전경

- 양수장이나 관정 등의 수혜주민은 원활한 영농급수를 위하여 평상시에 시설물의 유지관리를 철저히 관리 필요
- 직파재배를 지양하고 집단 못자리, 반복 이용수 등 절수 영농 참여



[그림 2-8-35] 관정점검(양수장비) 전경

- 기상예보 및 장·단기 기상전망 모니터링
- 강수량, 저수율 등을 통해 용수공급상황 파악
- 수원공별 용수공급능력 분석 및 점검
- 수리시설, 한해장비 점검 및 정비 계획 수립
- 자체 보유중인 장비에 대해 월 1회이상 점검 및 정비 실시
- 양수장비 보유량이 정수에 미달될 경우, 즉시 확보 및 보충

② 영농 대책

- 상습가뭄지역에서는 벼 작물 피해를 대비하여 지역환경 여건에 적합한 대파용 종자 및 대체작물재배 계획을 수립
- 가뭄저항성이 높은 내만식성 품종을 재배하고 예비육묘 실시
- 육묘관리, 적기 내 모내기 및 작물 파종(정식)
- 가뭄에 대비한 다양한 개별 영농대책 강구
- 전국 천수답 및 농업용수 부족 우려 지역의 경우 가뭄발생시 벼 주요 품종별 가뭄(한발) 저항성이 높은 벼 품종 재배를 통한 벼 수량감소 최소화(가뭄 피해율 10 ~ 33%)
- 농민 대상으로 가뭄사전대책 홍보(배수로·논물가두기, 간단 및 윤환관개, 물꼬관리, 집단못자리, 반복이용수, 물절약 교육 등) 및 절수영농계획 수립

(나) 주의(가뭄우려·초기) 단계

① 물관리 대책

- 못자리 시기에는 관리손실(수로손실 등)이 많은 기간이므로 용수로 간선·지선 주변에 못자리를 설치하고 용수낭비를 방지하기 위하여 집단못자리 설치
- 가급적이면 하천수, 들샘, 배수로 퇴수 등 보조수원을 이용하여 못자리를 설치하고 주수수원공의 용수는 이앙기 및 본답기에 활용



[그림 2-8-36] 집단못자리 설치 전경

- 가뭄발생시 안정영농에 필요한 저수량을 충분히 확보하기 위해 논둑높이기를 실시하고 배수로 및 논에 물가두기를 실시하여 용수 절약 실시



[그림 2-8-37] 논 물가두기 전경

- 용·배수로 내 수초, 토사 등 통수장애요인을 제거하여 수로의 통수능력 향상



[그림 2-8-38] 수초 제거 전경

- 논에 필요한 만큼 관개용수를 공급한 이후에는 용·배수로의 물꼬를 막음처리해서 불필요한 물 손실을 방지(물꼬관리)



[그림 2-8-39] 용·배수로 물꼬관리 전경

- 가뭄대책종합상황실 운영



[그림 2-8-40] 한국농어촌공사 재난안전상황실 전경

- 물부족 우려지역 용수확보대책 수립
- 가뭄대비 재해대책비 지원계획 수립
- 관정, 양수장비 등 점검 및 정비
- 관정, 들샘 등 간이용수원 등 개발계획 수립

② 영농 대책

- 육묘 관리

- 못자리 급수
- 모 도열병, 애멸구 등 해충방제 철저
- 모 노화 방지(간단관수, 질소비료 사용 억제)

- 모내기

- 용수가 부족하더라도 우선 모내기 후 급수추진
- 불시출수가 되기 쉬운 품종, 내만식성이 약한 품종, 육묘기간이 긴 모의 순으로 모내기 실시
- 노화모는 엽선 절단(상자모 20cm)하여 모내기 실시
- 용수부족 및 가뭄지속시 건답직파 재배 실시



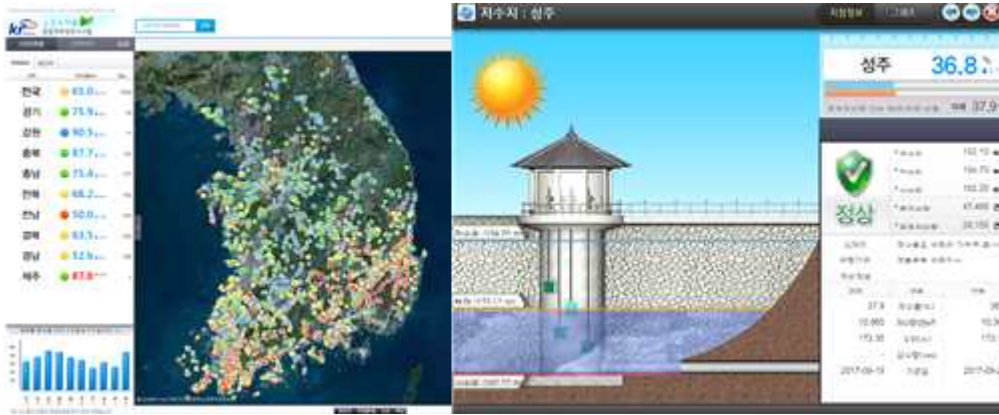
[그림 2-8-41] 건답직파 시행 전경

- 절수 재배

- 논 물걸러대기 실시(최소관개), 수로, 제방, 논두렁 등 정비와 비닐깔기 등으로 물 손실 방지
- 배수로 벗짚, 유기물 피복 등으로 수분증발 억제

- 용수확보대책 수립

- 강수량, 저수율, 기상전망 등을 감안하여 지역실정에 맞는 구체적이고 실현가능한 세부추진계획을 수립 및 추진(최소한의 모내기용수 확보를 위한 저수지, 논, 배수로 물가두기, 간이양수장 설치 등 급수대책 강구)
- 저수지 준설 및 개보수사업지구는 공사 조기완료, 담수 추진(저수량 부족시 인근 하천수 및 보조수원공, 간이양수시설 최대 활용)
- 직파재배 지양, 집단못자리 설치 등 절수영농계획 수립 및 추진



[그림 2-8-42] 전국 저수율 현황 모니터링 전경

(다) 경계(본격조치) 및 심각(전사대응) 단계

① 물관리 대책

- 집단못자리 참여 지속



[그림 2-8-43] 집단 못자리 운영 전경

- 배수로 · 논 물 가두기 지속
- 적극적인 간단관개 및 순환관개 참여
- 간단관개방법: 1일 또는 몇일 간격으로 관개하는 방법(논관개에서는 수일간 낙수 및 수일간 낙수 반복)
- 간단관개시에는 논바닥이 살짝 논바닥을 덮을수 있도록 1~2cm 정도로만 관개하고, 이후 논바닥이 드러나면 다시 관개

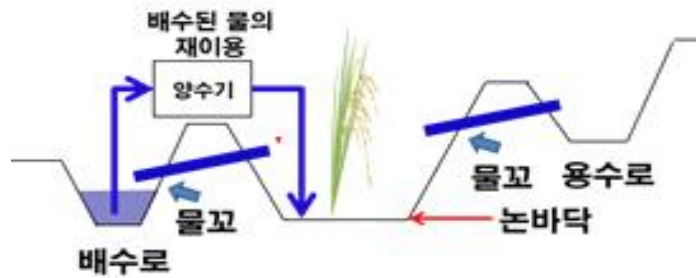
[표 2-8-27] 간단관개 장·단점 비교

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 수자원이 부족한 곳에서 제한된 수량을 효율적으로 이용 가능 ◦ 전체 관개용수량을 상당한 수준으로 절약 가능 ◦ 건습의 반복으로 산소공급을 원활하게 해줌 ◦ 담수에 의한 뿌리 썩음 현상 방지 ◦ 냉수장해가 있는 곳은 지온 유지 ◦ 비의 수확량 증대 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지속적인 물관리의 노력 필요 ◦ 말단 용배수로 정비 필요 ◦ 작물의 작부체계 규제 필요



[그림 2-8-44] 간단관개 추진 체계도

- 배수로 간이보 설치 등 배수로용수 재이용



[그림 2-8-45] 배수로용수 재이용 체계도

- 비상근무 체제로 전환(상황실 확대개편)
- 관정, 양수 장비 및 인력 동원
- 부족장비 지역간 상호 전배 조치
- 관정, 들샘 등 간이용수원 개발
- 저수지 물채우기(양수저류) 작업 착수
- 급수예고제 실시
- 전사적 가뭄대응/관련부처와 협조체제 강화
- 긴급 용수원 확보 및 급수대책 총력 추진(관정, 하상굴착, 간이보 등)
- 민군관 협조체제 구축 및 방비, 인력 총동원
- 급수예고제 도입 및 유회관개를 통한 물절약

[표 2-8-28] 유회관개 장·단점 비교

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 관개지역이 넓거나 공동으로 경영하는 농장이 있는 곳에 적합 ◦ 용수량이 풍부하지 못한 곳에서 용수가 절약됨 ◦ 동일 작물재배 지역에 적합함 ◦ 각 필지의 용수공급이 균등하게 공급 ◦ 건습의 반복으로 산소공급을 원활하게 공급 ◦ 담수에 의한 뿌리 썩음 현상을 방지 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 물관리 노력이 필요함 ◦ 경지정리가 되고 용수로 조직의 정비가 필요함



[그림 2-8-46] 유회관개 및 관개방식에 따른 물절약 효과도

(라) 영농 대책

- 못자리 관리
 - 모 노화 방지 및 급수 추진 모내기
 - 모 도열병, 애멸구 등 해충방제 철저
- 모내기 및 대파
 - 모 활착기간 중에는 최소한 습기 유지 관리
 - 모내기 불가능 지역 및 파종지연시 발작물 타작물로 대파 실시
- 절수 재배
 - 물을 가장 필요로 하는 활착기, 분얼기, 유수형성기에 중점 급수 실시(최소한의 수분유지)
- 용수부족지역은 농작물을 선별 파종 등 피해예방대책 강구
- 지역간 모내기 시기 조정
 - 중부: 5월 상중순 → 5월 중하순
 - 남부: 5월 중하순 → 5월 하순 ~ 6월 상순
- 절수영농방법 홍보
- 이용가능한 물을 가장 효율적으로 활용하기 위한 가뭄극복 3대 운동(저수, 절수, 용수개발) 전개
 - 저수운동: 하천수나 지하수 등을 양수하여 저수지, 저류지, 용배수로에 저수, 논 물가두기 등
 - 절수운동: 물 아껴쓰기 농사짓기(육모상자 보급, 집단못자리 설치, 모내기 및 급수조절), 농업용수 등 용수절약
 - 용수개발운동: 지하수 개발, 지표수 확보, 저수지 준설 등

(마) 관심(사후복구) 단계

① 물관리 대책

- 지역간 전배/동원 장비 회수 및 점검/정비 후 보관 관리
- 굴착하천 등 긴급가뭄대책 현장 원상복구
- 가뭄대책에 대한 평가 및 백서 발간
- 간이양수장 및 관정개발의 사후관리
- 동원장비 점검 및 정비 후 보관 관리
- 가뭄대책에 대한 성과와 반성 및 항구적인 농촌용수대책 추진

② 영농 대책

- 모내기 최대한 만찬기 이전에 완료
- 모 부족대책, 포기수 확보, 파종량 증대, 시비량 감비
- 부족한 모 알선 및 모내기 불가능한 논 대파 실시
- 입모불량 포장 보식 및 보파
- 대파 실시한 지역에 벼 대체작물 파종(논콩, 메밀, 고구마 등)
- 가뭄에 의한 이양지연으로 대파하여 어린모를 이양할 경우 적정 품종과 이양시기를 조정
- 양수장비, 인입전선 조기에 안전 철수 및 점검
- 과번무 포장 중심 병충해 방제
- 재해발생시 응급복구 참여
- 가뭄지역 피해상황 조사 및 병충해 방제
- 모내기가 불가능한 논은 대파 추진
- 예비비, 성금 등 긴급지원 가뭄대책비 정산
- 미이양답 파종지연 지역 인력 및 장비지원 일손 돕기

(4) 가뭄시 염해 대책

(가) 간척농지 용수공급 실태

- 배수로 또는 조류지 등의 물을 양수하여 저류하는 저수지들은 대부분 유역면적이 없는 간척농지에 설치되어 있는데, 양수저류시 사용가능한 염 농도의 한계치 등에 대한 일정한 기준 없이 경험적·관행적으로 양수저류를 하고 있는 실정이다.
- 간척농지는 염분 제거를 위해 물 사용량이 많고 지형적 특성상 경사가 없는 평지에 조성되어 있으며, 지반이 연약하여 용수로의 침하 등으로 말단부에서는 항상 급수가 원활하지 못한 실정으로, 이를 보완하기 위해 배수로 또는 조류지 등에 간이 양수장을 설치하여 보충급수를 실시하고 있는 곳이 많다.



[그림 2-8-47] 간척농지 용수공급 및 관리 전경

(나) 염 농도 측정 요령 및 주의 사항

- 간척지 등 염해가 우려되는 지구에서는 염도측정기 비치해야 한다. 염 농도를 측정하는 시료는 표면수가 아닌 양수기의 흡입 후드가 설치되어 있는 물속에서 채취하여 측정해야 한다.
- 양수장에서 논까지의 수로(특히, 콘크리트 수로)에서 증발로 농축되는 현상을 절대로 무시하지 말고, 논에 유입되기 직전에 다시 한 번 측정하여 확인해야 한다.
- 비록 양수장에서의 염 농도가 0.2%일지라도 논에 유입될 때에는 0.4%의 농도에 달할 수 있다.

(다) 염해 발생 시 대처요령

- 염 농도가 높은 물이 논으로 유입되었을 경우는 물을 깊이 대주고, 계속해서 환수(바뀌대기) 또는 흘러대기를 해야 한다.

- 물을 알게 대어 물이 증발하거나 흠이 드러나게 되면 염기가 농축하여 벼가 말라 죽게 된다.

(라) 용수공급시 준수사항 및 염분 한계농도

- 배수로 또는 조류지(담수호)의 물을 양수하여 공급할 경우에는 사전에 반드시 염 농도를 측정하고, 한계 초과시 양수를 즉시 중단하고 별도의 농업용수 확보 및 급수 대책을 강구해야 한다.
- 염 농도를 측정하여 양수 중지를 알리는 홍보 적극 실시해야 한다. 농업인이 개별적으로 양수작업을 하는 경우가 있으므로 수시로 확인해야 한다. 향후 피해보상을 요구하는 사례에 대비하기 위하여 양수장 가동일지 등에 염 농도 및 홍보활동 상황 등을 기록관리해야 한다.
- 벼가 잘 자랄 수 있는 토양 중의 한계 염 농도는 0.3%(3,000ppm)이나 생육 단계별 염 농도에 대한 반응이 상이하므로 염분 한계농도 참고가 필요하다.

[표 2-8-29] 작물 생육시기별 관개수 염분 한계농도

구 분	0.10% (1,000ppm)	0.25% (2,500ppm)	0.50% (5,000ppm)	0.75% (7,500ppm)	1.50% (15,000ppm)
묘대기	발아함	발아함	약간 피해	발아 저하	발아 안됨
이앙기	약간 피해	피 해	활착 안됨	활착 안됨	활착 안됨
활착후	피해 없음	수량 감소	고 사	고 사	고 사
출수기	피해 없음	피해 없음	피해 없음	수량 감소	이삭 부실(不實)

- 피해 양상 분석

- 묘대기 때는 염도 0.25% 이상에서 초장신장 장애
- 이앙기 때는 염도 0.10%에서 46% 감수
- 분얼기 때는 염도 0.10%에서 감수 없음, 0.25%에서 21% 감수
- 수잉기 때는 염도 0.51%에서 감수 없음, 0.75%에서 33% 감수

[표 2-8-30] 작물 생육시기별 염분농도 반응

염분농도(%)	활착기	분얼기	유수형성기	출수기
0.00 (0ppm)	100	100	100	100
0.15 (1,500ppm)	90	62	87	99
0.30 (3,000ppm)	78	53	82	94
0.60 (6,000ppm)	49	40	76	97

(5) 가뭄대책 관행 분석

(가) 저수지 물 채우기 추진 실적 분석

- 2018년 저수지 물 채우기는 17년 11월부터 18년 8월까지 시행하였다.
- 전국 170개소를 대상으로 총 46,795천³ 확보를 통하여 가뭄시 들녘별 용수공급을 지원한다.

(단위 : 천³)

[표 2-8-31] 지역별 물 채우기 실적

분부	총 확보량		1차 확보량('17.11~' 18.4)		2차 확보량('18.4~' 18.8)	
	대상수	확보량	대상수	확보량	대상수	확보량
계	170	46,795	105	20,431	99 (34)	26,364
경기	6	2,646	4	1,452	3 (1)	1,194
강원	1	1	-	-	1	1
충북	5	342	1	144	4	198
충남	23	5,326	8	1,903	18 (3)	3423
전북	11	10,129	1	805	11 (1)	9,324
전남	68	17,481	51	8,315	35 (18)	9,166
경북	23	6,553	17	4,443	9 (3)	2,110
경남	33	4,317	23	3,369	18 (8)	948

(나) 직접 급수 추진 실적 분석

- 직접급수는 가뭄에 대응하여 배수로 등에서 수혜구역으로 양수기로 직접 급수하는 방법이며, 전국 85개소를 대상으로 총 8,683천³ 확보를 통하여 가뭄시 들녘별 용수 공급을 지원한다.

(단위 : 천³)

[표 2-8-32] 지역별 직접 급수 실적

구분	평균	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
개소수	85	7	-	2	16	5	12	22	20	1
급수량	8,683	1,842	-	30	1,597	746	1,413	2,795	247	13

③ 하수처리수 재이용 추진 실적

- 총 14개소 292.8천㎥

(단위 : 천㎥/day)

[표 2-8-33] 지역별 하수처리수 재이용 실적

구분	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
개소수	14	12	-	-	-	-	2	-	-
급수량	292.8	288.8	-	-	-	-	4	-	-

* 하수처리수 재이용은 하천으로 방류되는 하수처리장 처리수를 가뭄발생 시 주변농지에 공급하는 방법

3. 지역별 및 시기별 필요용수량 및 용수공급 비교 및 분석

가. 농업용수 수요량 및 공급량 개요

(1) 연구 추진 방향

- 언제부터 언제까지 등 시기별 농업용수 공급량에 대해 지역별 과거 데이터 수집 분석을 통해 얼마의 농업용수를 공급하고 있는지 실태 조사 추진
- 지역별 및 용도별(논, 밭) 농업용수 필요수량 데이터 수집 분석을 통하여 실제 농업용수 공급량과 필요수량과의 값을 비교 분석으로 농업용수의 전반적인 운영 관리 실태 파악

(2) 농업용수 수요량

(가) 논용수 수요량 산정 기준

- 논용수 수요량 = 수리답(이양+직파) + 천수답
 - 내한능력 10년빈도 공급 필요수량(조용수량)
- 과거 기상자료 분석을 통한 잠재증발산량에 비 작물계수를 고려한 실제 증발산량과 토양별 침투량을 고려한 단위용수량을 구한 후 60mm 담수심법을 통한 유효우량을 제외하고 관리 용수량 등의 제반손실을 고려한 최종 산정된 용수구역별 및 영농방식별 단위논면적당 필요수량에 논면적을 곱하여 산정한다.
 - 증발산량 : 수정 Penman식 적용
 - 제반손실 : 용수구역별 평균 수로손실율과 배분손실 11% 적용
 - 침 투 량 : 용수구역별 평균 침투량 적용
 - 기상자료 : 전국 69개 기상청 자료를 해당용수구역에 적용
 - 영농방식 : 직파재배 고려(이양, 건답직파, 담수직파)

(나) 발용수 수요량 산정 기준

- 발용수 수요량 = 관개전 + 비관개전 ※ 내한능력 10년빈도 공급 필요수량(조용수량)
- 과거 기상자료 분석을 통한 잠재증발산량에 발 작물계수를 고려한 실제 증발산량에 총신속유효수분량(TRAM)을 포장용수량으로 하여 토양의 유효수분량을 고려한 일별 토양수분 추적법을 통하여 유효우량을 산정하고 필요우량에서 유효우량을 제외하고 관개효율을 고려한 최종 산정된 용수구역별 단위발면적당 필요수량에 발면적을 곱하여 산정한다.

- 증발산량 : Penman-Monteith식 적용
- 관개효율 : 70% 적용
- TRAM : 용수구역별 평균값 적용
- 기상자료 : 전국 69개 기상청 자료를 해당용수구역에 적용

(3) 농업용수 공급량

(가) 논·밭용수 공급 현황

- 전국 논면적 966천ha 중 수리답면적 778천ha와 시행중 지구의 논 개발면적 41천ha에 대한 논용수 공급량은 9,334백만^m으로 나타났다. (2012년 기준)
- 전국 밭면적 764천ha 중 밭기반면적 98천ha와 시행중 지구의 밭 개발면적 6천ha에 대한 밭용수 공급량은 476백만^m으로 나타났다. (2012년 기준)

(나) 시설별 용수 공급 현황

- 총 공급량 9,334백만^m 중 시설 공급량은 8,883백만^m이며, 시행중 공급량은 451백만^m이다.

[표 2-8-34] 시도별 논용수 공급 현황 (단위 : 백만^m/년)

시·도	합계	저수지		양수장		취입보		기타		지하수 공급량
		개소	수량	개소	수량	개소	수량	개소	수량	
계	9,334	13,925	5,483	2,756	2,493	8,484	766	1,267	164	428
시설 공급량	8,883	13,771	5,221	2,655	2,312	8,472	764	1,266	163	423
시행중 공급량	451	154	262	101	181	12	2	1	1	5

[표 2-8-35] 시도별 시설별 논용수 공급 현황 (단위 : 백만 m^3 /년)

시·도	합계	시설 공급량						시행중 공급량		
		소계	저수지	양수장	취입보	기타	지하수	소계	지표수	지하수
전 국	9,334	8,883	5,221	2,312	764	163	423	451	446	5
서 울	3	3	0	3	0	0	0	0	0	0
부 산	54	54	5	47	2	0	0	0	0	0
대 구	52	52	33	16	1	0	2	0	0	0
인 천	91	91	64	18	0	1	8	0	0	0
광 주	78	78	57	11	3	0	7	0	0	0
대 전	18	18	5	4	5	0	4	0	0	0
울 산	95	84	45	15	9	5	10	11	11	0
세 종	36	36	10	13	9	2	2	0	0	0
경기도	844	767	243	396	54	31	43	77	76	1
강원도	391	381	167	46	138	6	24	10	9	1
충청북도	519	509	311	107	59	4	28	10	7	3
충청남도	1,500	1,433	670	567	78	61	57	67	67	0
전라북도	1,447	1,366	1,128	138	50	7	43	81	81	0
전라남도	1,623	1,584	1,105	314	73	10	82	39	39	0
경상북도	1,563	1,469	851	342	190	27	59	94	94	0
경상남도	1,020	958	527	275	93	9	54	62	62	0
제주도	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

나. 지역별 및 시기별 필요용수량 현황

(1) 지역별 필요용수량 현황

- 2018년(2017년 통계연보 기준) 우리나라 총 논 면적 896천ha 중 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 수혜면적은 총 499천ha(56%)이며, 해당 수혜면적의 필요용수량은 총 8,774백만㎥이다.
- 한국농어촌공사 관리구역 내 해당지사 91개, 3개 사업단 해당, 총 3,695개소 농업생산기반시설물 대상으로 지역별 필요용수량 산정 결과 충남 1,803백만㎥(21%), 전남 1,644백만㎥(19%), 전북 1,616백만㎥(18%) 순으로 필요용수량이 큰 것을 알 수 있으며, 강원지역의 경우 232백만㎥(3%)으로 필요용수량이 제일 적은 것으로 나타났다.

[표 2-8-36] 2018년 지역별 필요용수량 및 수혜면적 현황

구 분	전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
필요용수량 (백만㎥)	8,774.1	967.9	232.4	464.2	1,802.7	1,615.8	1,644.1	1,264.6	782.4
시설수 (개소)	3,695	169	122	279	548	444	685	589	859
수혜면적 (천ha)	369.3	21.8	13.4	26.2	51.0	91.1	81.8	51.1	32.9

※ 광역시·제주도 지역 제외

※ 사업단 필요용수량은 해당 관리구역 시도에 포함(천수만사업단-충남, 금강사업단-전북, 영산강사업단-전남)



[그림 2-8-48] 2018년 지역별 필요용수량 및 수혜면적 그래프

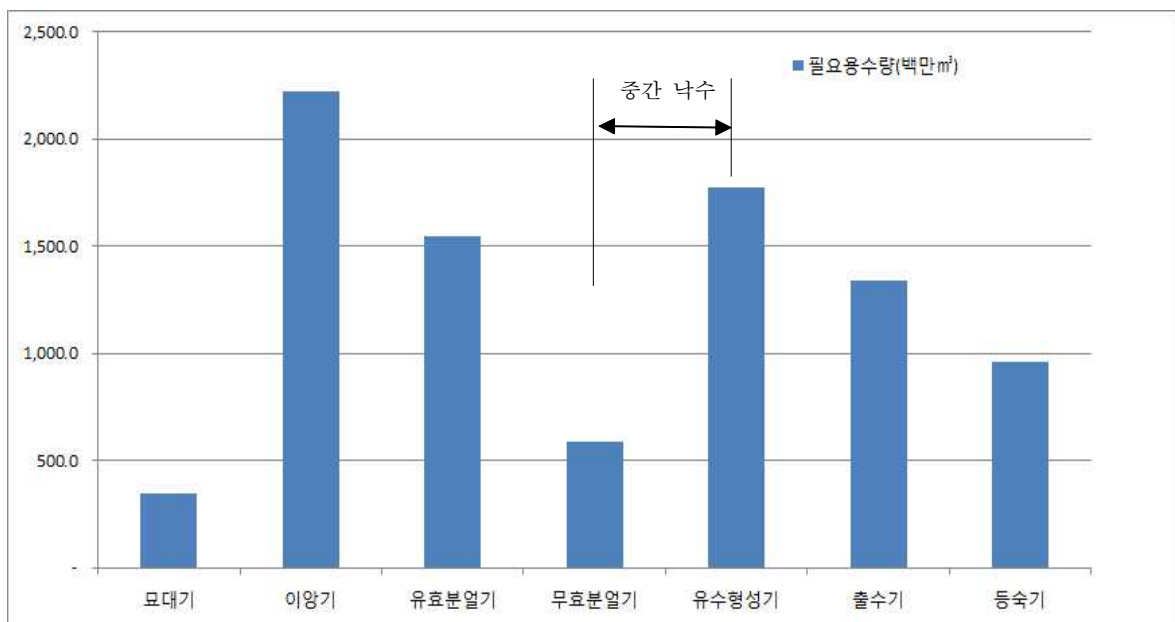
(2) 시기별 필요용수량 현황

(가) 2018년 시기별 필요용수량 현황

- 논 재배 시 생육 시기를 묘대기 및 본답기로 구분하며, 본답기는 이앙기, 유효·무효 분얼기, 유수형성기, 출수기, 등숙기로 세분화하여 각 시기별 필요용수량을 산정한다.
- 생육 시기별 중 이앙기 시점에서 2,223.7백만㎡(25%)로 농업용수의 공급이 가장 집중되는 것을 알 수 있으며, 그 뒤로 유수형성기 1,773.8백만㎡(25%), 유효분얼기 1,547.3백만㎡(18%) 순으로 필요용수량이 큰 것으로 나타났다.

[표 2-8-37] 2018년 전국 시기별 필요용수량 현황

구 분	합 계	묘대기 (4.11~5.10)	본답기					
			이앙기 (5.11~6.10)	유효분얼기 (6.11~7.5)	무효분얼기 (7.6~7.15)	유수형성기 (7.16~8.10)	출수기 (8.11~8.31)	등숙기 (9.1~9.20)
필요 용수량 (백만㎡)	8,774.1 (100%)	344.0 (3.9%)	2,223.7 (25.3%)	1,547.3 (17.6%)	588.0 (6.7%)	1,773.8 (20.2%)	1,339.2 (15.3%)	958.1 (10.9%)



[그림 2-8-49] 2018년 시기별 필요용수량 그래프

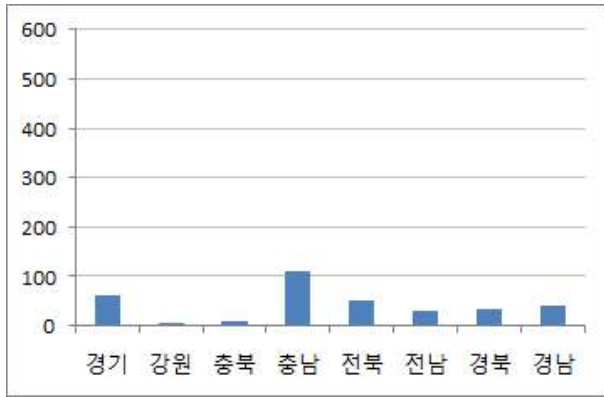
(나) 2018년 지역별 및 시기별 필요용수량

- 행정구역별 논 생육단계에 따른 필요용수량의 경우 대부분의 시도에서 이앙기 기간(5.11~6.10)에 최대 587.8백만 m^3 (36%)에서 최소 75.5백만 m^3 (16%)까지 소요되는 것으로 알 수 있었으며, 경기·충북도의 경우 이앙기 기간보다 유수형성기 기간에 더 많은 용수공급이 필요한 것으로 나타났다.

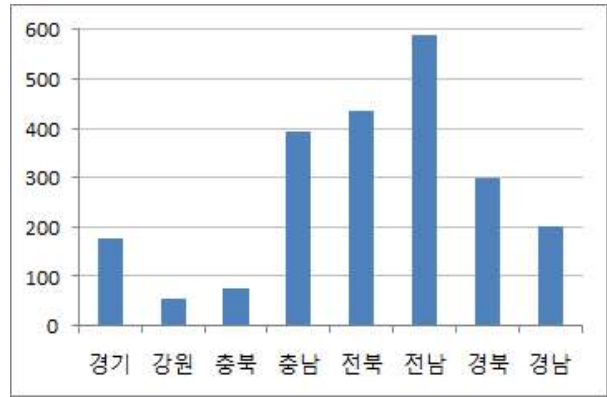
[표 2-8-38] 2018년 행정구역별·시기별 필요용수량 현황

구 분	합 계	묘대기 (4.11~5.10)	본답기					
			이앙기 (5.11~6.10)	유효분얼기 (6.11~7.5)	무효분얼기 (7.6~7.15)	유수형성기 (7.16~8.10)	출수기 (8.11~8.31)	등숙기 (9.1~9.20)
전국	8,774.1 (100%)	344.0 (3.9%)	2,223.7 (25.3%)	1,547.3 (17.6%)	588.0 (6.7%)	1,773.8 (20.2%)	1,339.2 (15.3%)	958.1 (10.9%)
경기	967.9 (100%)	62.1 (6.4%)	175.3 (18.1%)	197.5 (20.4%)	48.5 (5.0%)	247.6 (25.6%)	154.3 (15.9%)	82.6 (8.5%)
강원	232.4 (100%)	4.1 (1.8%)	53.5 (23.0%)	43.3 (18.7%)	15.0 (6.5%)	46.5 (20.0%)	40.8 (17.6%)	29.2 (12.5%)
충북	464.2 (100%)	7.7 (1.7%)	75.5 (16.3%)	107.0 (23.1%)	30.4 (6.5%)	107.2 (23.1%)	88.9 (19.2%)	47.5 (10.2%)
충남	1,802.7 (100%)	111.6 (6.2%)	392.4 (21.8%)	377.2 (20.9%)	105.2 (5.8%)	385.1 (21.4%)	230.3 (12.8%)	200.9 (11.1%)
전북	1,615.8 (100%)	52.0 (3.2%)	436.5 (27.0%)	214.7 (13.3%)	109.6 (6.8%)	333.5 (20.6%)	233.2 (14.4%)	236.3 (14.6%)
전남	1,644.1 (100%)	31.4 (1.9%)	587.8 (35.8%)	247.2 (15.0%)	104.5 (6.4%)	252.0 (15.3%)	229.9 (14.0%)	191.3 (11.6%)
경북	1,264.6 (100%)	34.3 (2.7%)	300.5 (23.8%)	214.7 (17.0%)	123.9 (9.8%)	275.2 (21.8%)	206.9 (16.4%)	109.1 (8.6%)
경남	782.4 (100%)	40.6 (5.2%)	202.2 (25.8%)	145.5 (18.6%)	50.8 (6.5%)	126.6 (16.2%)	154.7 (19.8%)	62.0 (7.9%)

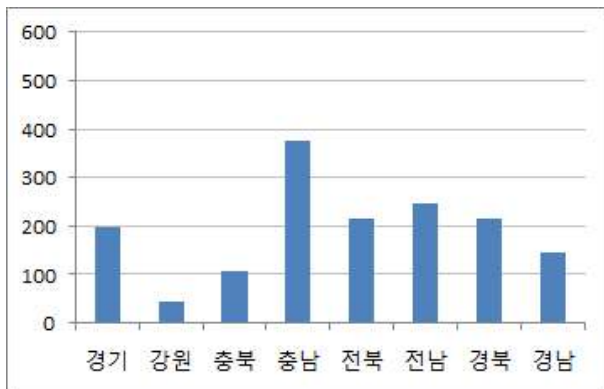
- 필요용수량이 가장 높은 시기인 이앙기 및 유수형성기 기간에 대해 지역별 특성을 살펴보면, 이앙기기간에는 전남 587.8백만 m^3 , 전북 436.5백만 m^3 순으로 높았으나 유수형성기 기간에서는 충남 385.1백만 m^3 , 전북 333.5백만 m^3 순서로 나타났다.
- 무효분얼기 기간 내 무효분얼(헛가지치기)을 억제시켜 충실한 이삭을 확보하기 위해 평균적으로 5~7일 중간낙수 실시로 다른 생육기간에 비해 필요용수량이 가장 낮은 시기이다.



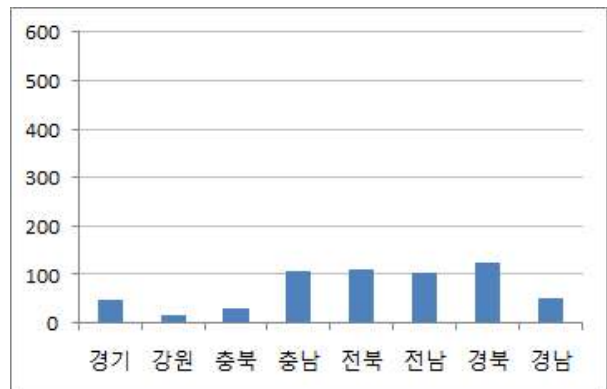
묘대기(4.11~5.10)



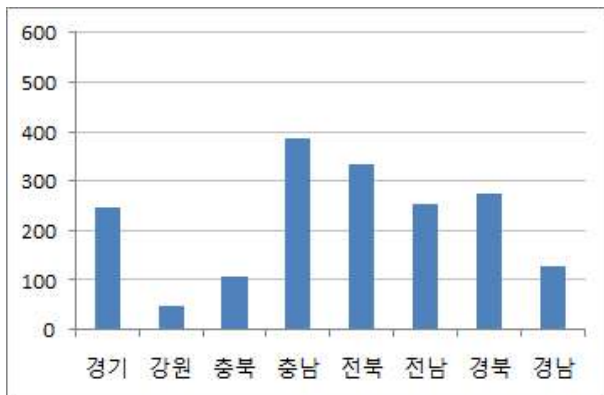
이앙기(5.11~6.10)



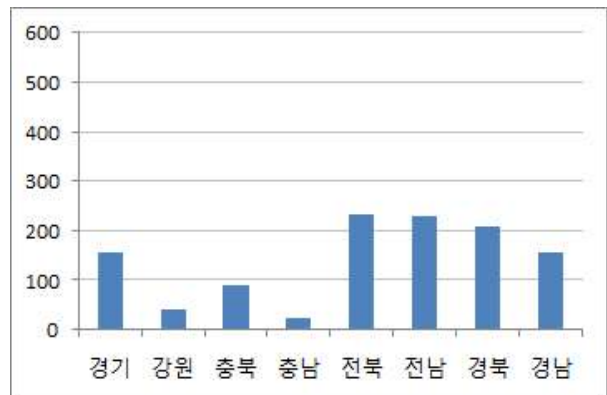
유효분얼기(6.11~7.5)



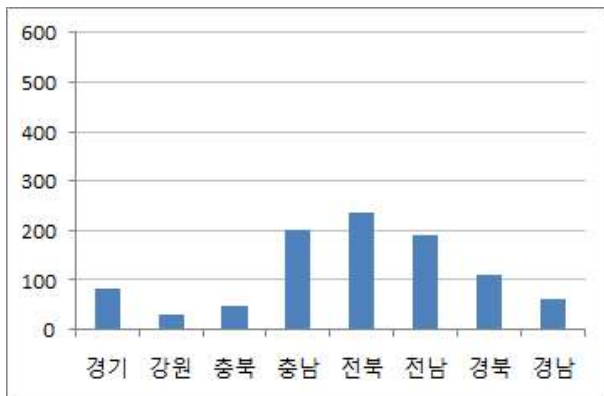
무효분얼기(7.6~7.15)



유수형성기(7.16~8.10)



출수기(8.11~8.31)



등숙기(9.1~9.20)

[그림 2-8-50] 시기별 지역별 필요용수량 현황

다. 지역별 및 시기별 용수공급 현황

(1) 지역별 용수공급 현황

(가) 최근 3개년 지역별 용수공급 현황

- 한국농어촌공사 관리구역 내 최근 3개년 농업용수 공급현황에 따르면 2015년 8,100백만³, 2016년 8,097백만³('15년대비 3백만³ 감), 2017년 7,743백만³('15년대비 357백만³ 감)으로 연차별로 점차 농업용수 사용량이 감소하는 것으로 나타났다.

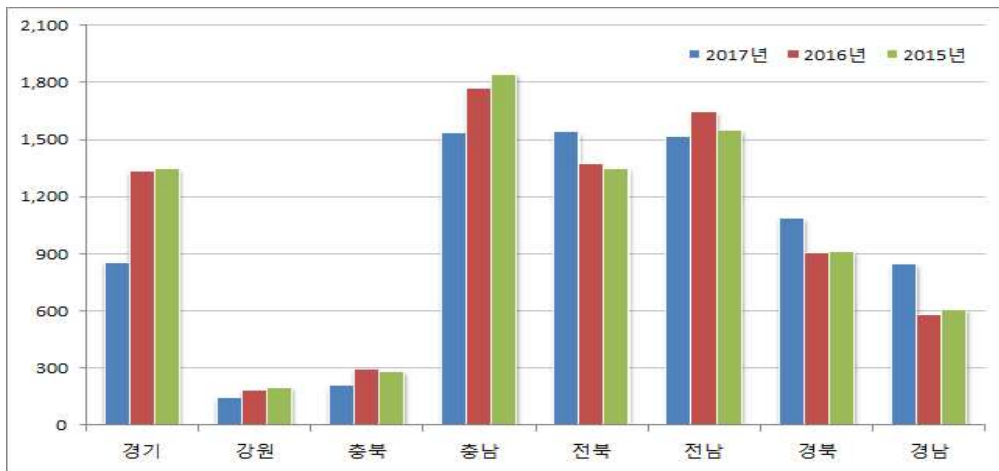
(단위 : 백만³, ha)

[표 2-8-40] 최근 3개년 지역별 농업용수 사용량 및 수혜면적 현황

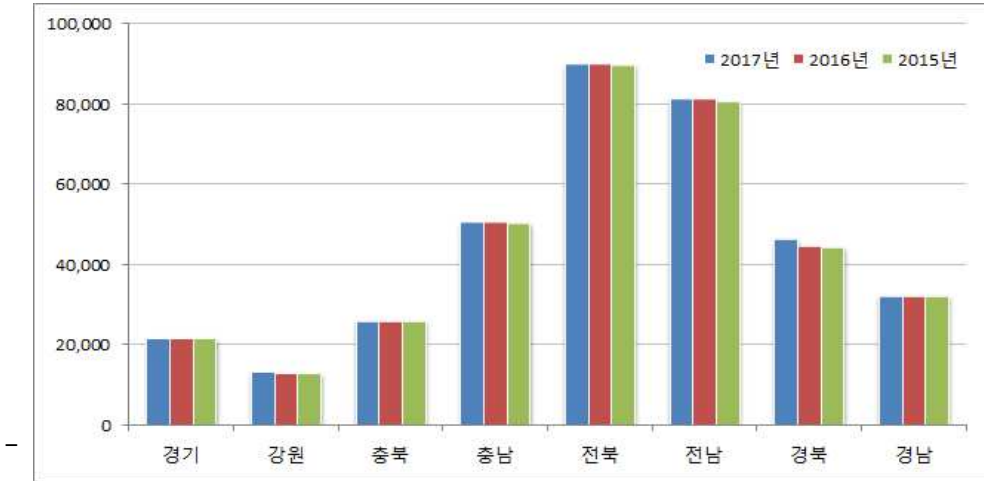
구분	전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	
2017	사용량	7,743.3	857.5	144.4	209.2	1,534.8	1,545.8	1,518.6	1,087.6	845.4
	수혜면적	362,636	21,776	13,410	26,199	50,668	89,963	81,387	46,760	32,473
2016	사용량	8,097.2	1,336.9	185.7	293.6	1,769.2	1,375.8	1,647.2	905.6	583.2
	수혜면적	360,432	21,776	13,185	26,199	50,668	89,963	81,387	44,802	32,452
2015	사용량	8,100.2	1,346.1	199.3	284.0	1,845.9	1,352.0	1,549.3	913.5	610.1
	수혜면적	359,222	21,776	13,185	26,059	50,577	89,883	80,668	44,622	32,452

※ 광역시·제주도 지역 제외

- 최근 3개년 동안 수혜면적은 지역별로 크게 증감현상이 보이지는 않으나, 사용량 측면에서는 경기·강원·충청 지역에서의 농업용수 사용량이 소폭 감소되었으며 전라도·경상도 지역에서는 증가한 것으로 나타났다.



[그림 2-8-51] 최근 3개년 지역별 농업용수 사용량 현황



[그림 2-8-52] 최근 3개년 지역별 수혜면적 현황 그래프

(나) 2018년 지역별 용수공급 현황

- 2018년 경기 외 7개도 농업용수 공급량은 총 7,341.0백만³으로 2017년 대비 797.7백만³ 증가하였으며, 2015년 이후 최대 농업용수 공급량을 기록하였다. 경기지역은 전년대비 498.9백만³ 만큼 대폭 증가하였으며, 충남·전남·경남 지역의 경우 각각 58.9백만³, 27.5백만³, 5.8백만³ 용수공급량이 감소하였다.

(단위 : 백만³)

[표 2-8-41] 2018년 지역별 농업용수 공급 현황

구 분	전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	
2018	공급량	8,021.0	1169.9	183.6	305.0	1445.6	1565.6	1430.1	1185.6	735.4
	(전년대비)	(277.5)	(312.4)	(39.2)	(95.8)	(△89.2)	(19.8)	(△88.5)	(98.0)	(△110.0)
2017	공급량	7,743.3	857.5	144.4	209.2	1,534.8	1,545.8	1,518.6	1,087.6	845.4

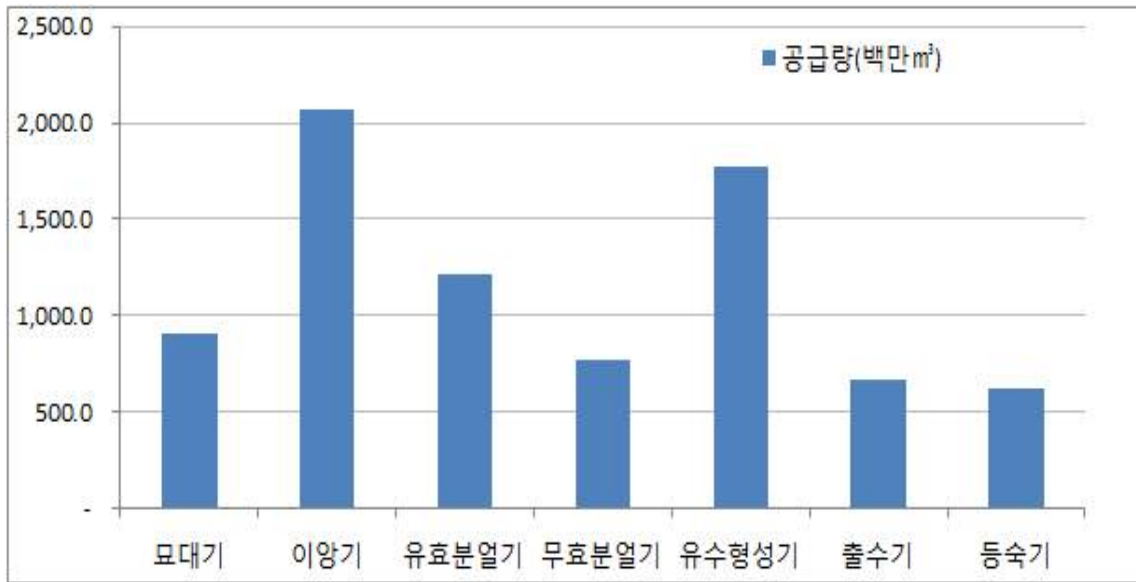
(2) 시기별 용수공급 현황

(가) 2018년 시기별 용수공급 현황

- 2018년 전국 시기별 농업용수 공급량은 총 8,021.0백만³으로 벼 생육단계 중 이앙기(5.11~6.10) 기간 동안 2,065.0백만³(26%)의 가장 많은 농업용수가 공급되었으며, 유수형성기 기간 동안에는 1,777.4백만³(22%)으로 두 번째로 많은 농업용수가 공급되었다.

[표 2-8-42] 2018년 전국 시기별 농업용수 공급 현황

구 분	합 계	묘대기 (4.11~5.10)	본답기					
			이앙기 (5.11~6.10)	유효분얼기 (6.11~7.5)	무효분얼기 (7.6~7.15)	유수형성기 (7.16~8.10)	출수기 (8.11~8.31)	등숙기 (9.1~9.20)
공급량 (백만 ³)	8,021.0 (100%)	908.8 (11.3%)	2,065.0 (25.7%)	1,209.6 (15.1%)	771.5 (9.6%)	1,777.4 (22.2%)	662.5 (8.3%)	626.2 (7.8%)



[그림 2-8-53] 2018년 시기별 농업용수 공급 현황 그래프

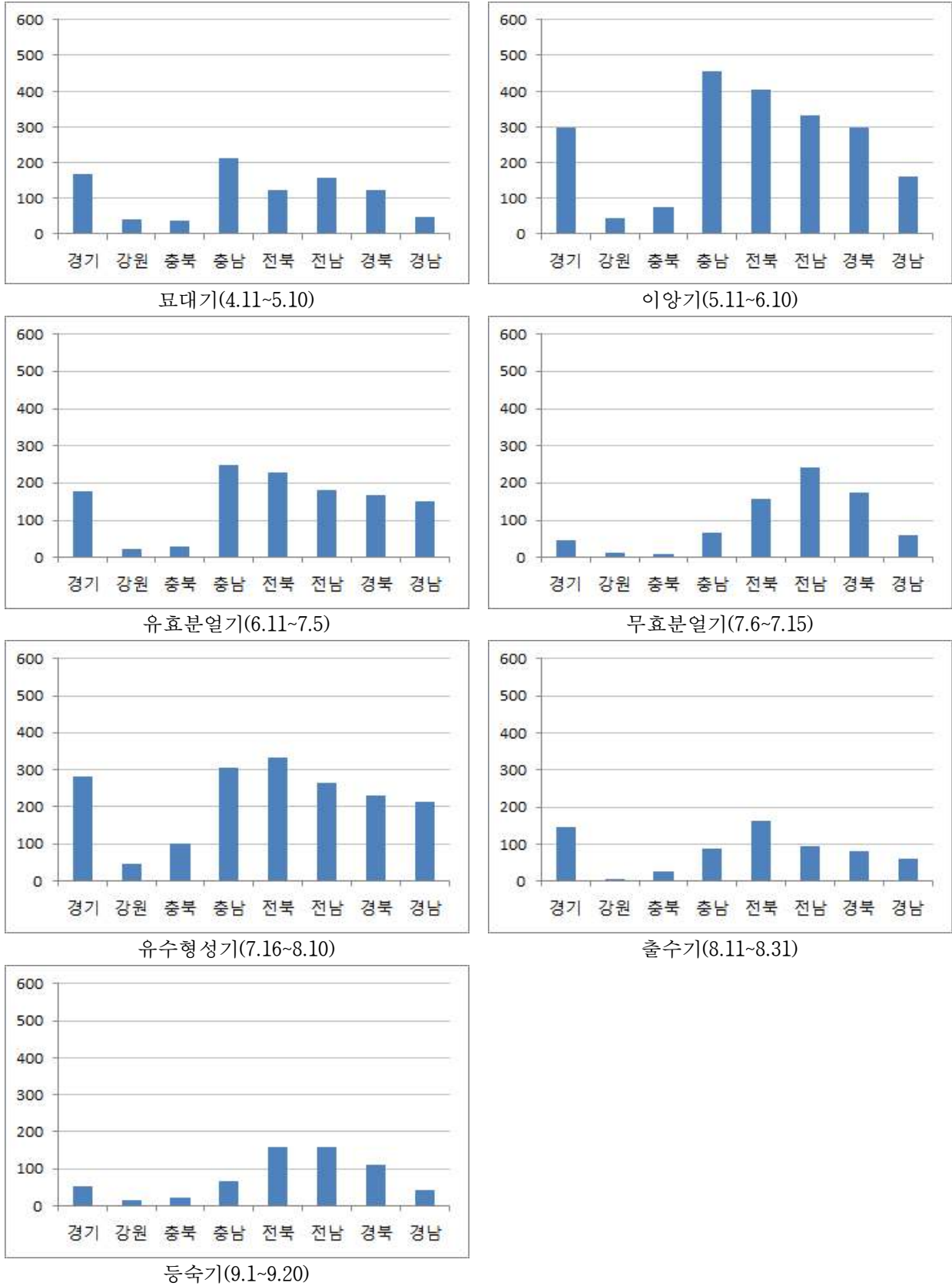
(나) 2018년 지역별 및 시기별 농업용수 공급 현황

- 행정구역별 벼 생육단계 시기에 따른 농업용수의 공급 현황에 의하면 대부분의 지역에서 이앙기 기간(5.11~6.10)에 최대 455.2백만³(32%)에서 최소 43.5백만³(24%)까지 용수가 공급된 것으로 알 수 있었으며, 강원·충북·경남 지역의 경우 이앙기 기간보다 유수형성기 기간에 더 많은 용수가 공급된 것으로 나타났다.

[표 2-8-43] 2018년 지역별 및 시기별 농업용수 공급 현황

구 분	합 계	묘대기 (4.11~5.10)	본답기					
			이양기 (5.11~6.10)	유효분얼기 (6.11~7.5)	무효분얼기 (7.6~7.15)	유수형성기 (7.16~8.10)	출수기 (8.11~8.31)	등숙기 (9.1~9.20)
전국	8,021.0 (100%)	908.8 (11.3%)	2,065.0 (25.7%)	1,209.6 (15.1%)	771.5 (9.6%)	1,777.4 (22.2%)	662.5 (8.3%)	626.2 (7.8%)
경기	1,170.0 (100%)	167.1 (14.3%)	297.2 (25.4%)	177.9 (15.2%)	45.5 (3.9%)	282.5 (24.1%)	145.9 (12.5%)	53.9 (4.6%)
강원	183.6 (100%)	39.4 (21.5%)	43.5 (23.7%)	21.5 (11.7%)	12.9 (7.0%)	46.4 (25.3%)	5.5 (3.0%)	14.4 (7.9%)
충북	305.1 (100%)	37.8 (12.4%)	76.3 (25.0%)	30.2 (9.9%)	10.1 (3.3%)	101.6 (33.3%)	26.4 (8.6%)	22.7 (7.4%)
충남	1,445.5 (100%)	213.2 (14.8%)	455.2 (31.5%)	249.3 (17.2%)	67.2 (4.7%)	306.4 (21.2%)	87.1 (6.0%)	67.1 (4.6%)
전북	1,565.5 (100%)	123.7 (7.9%)	402.5 (25.7%)	229.3 (14.6%)	156.3 (10.0%)	332.2 (21.2%)	163.3 (10.4%)	158.2 (10.1%)
전남	1,430.1 (100%)	155.9 (10.9%)	331.2 (23.2%)	181.9 (12.7%)	242.8 (17.0%)	265.1 (18.5%)	95.4 (6.7%)	157.8 (11.0%)
경북	1,185.6 (100%)	122.7 (10.3%)	297.6 (25.1%)	168.2 (14.2%)	175.5 (14.8%)	231.5 (19.5%)	79.3 (6.7%)	110.8 (9.3%)
경남	735.4 (100%)	48.9 (6.6%)	161.4 (21.9%)	151.3 (20.6%)	61.1 (8.3%)	211.8 (28.8%)	59.6 (8.1%)	41.3 (5.6%)

- 농업용수 공급이 가장 많은 지역은 전북도로 공급량이 1,565.5백만^m, 총 공급량의 약 20%를 차지하며 그 다음으로 충남, 전남 순으로 많았다. 농업용수고 공급량이 가장 작은 곳은 강원도 183.6백만^m으로 총 공급량의 약 2%를 차지하고 있으며, 강원도 지역의 경우 산간지역이 많고 타작물 재배가 많이 발달하여 지역적 특성이 반영된 것을 알 수 있다.



[그림 2-8-54] 2018년 지역별 및 시기별 농업용수 공급 현황

라. 지역별 및 시기별 필요용수량 및 용수공급량 비교분석

(1) 지역별 필요용수량 및 용수공급량 비교분석

(가) 2018년 지역별 필요용수량 및 용수공급량 비교분석

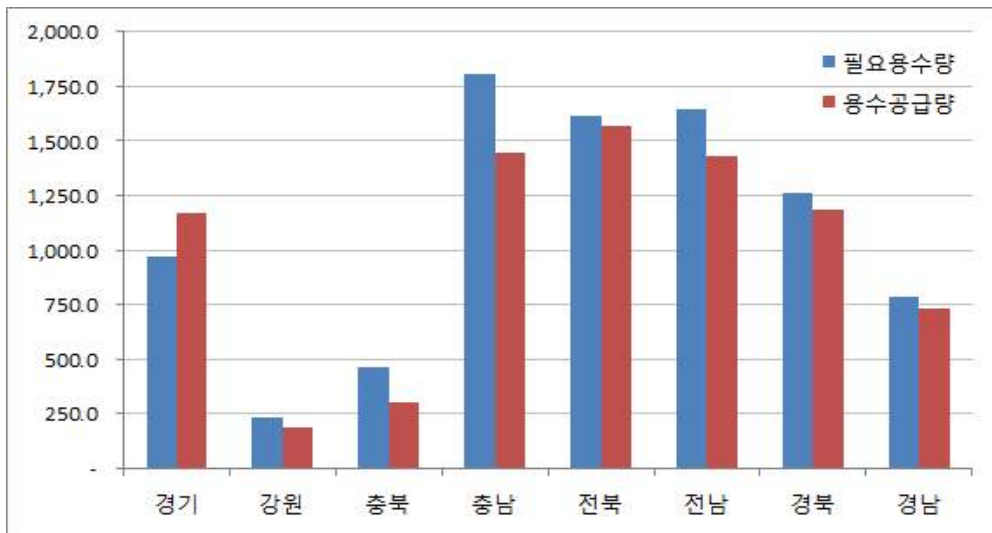
- 2018년 지역별 필요용수량과 실제 용수공급량을 살펴보면 전국 필요용수량 대비 753.3백만³ 부족한 8,020.8 백만³을 공급한 것으로 확인할 수 있으며, 시도별로는 경기도 지역을 제외하고는 최대 214.1백만³에서 최소 47.0백만³ 농업용수가 필요 용수량에 부족하게 공급된 것을 알 수 있다.

(단위 : 백만³)

[표 2-8-44] 2018년 지역별 필요용수량 및 용수공급량 현황

구 분	전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
필요 용수량 (A)	87,74.1	967.8	232.3	464.2	1,802.8	1,615.8	1,644.2	1,264.5	782.4
용수 공급량 (B)	8,020.8	1,169.9	183.6	305.0	1,445.6	1,565.6	1,430.1	1,185.6	735.4
증감대비 (B-A)	△753.3	202.1	△48.7	△159.2	△357.2	△50.2	△214.1	△78.9	△47.0

- 경기도 등 8개도 중에서 충남도의 경우 타도에 비해 가장 용수공급량이 부족했던 것으로 확인되며 필요용수량 대비 실제 용수공급량이 357.2백만³ 만큼 부족하다.



[그림 2-8-55] 2018년 지역별 필요용수량 및 용수공급량 현황 그래프

(나) 2018년 시기별 필요용수량 및 용수공급량 비교분석

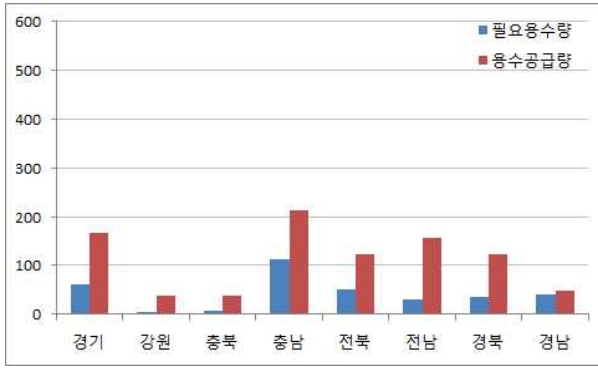
- 2018년 시기별 필요용수량과 실제 용수공급량을 살펴보면 총 필요용수량 대비 753.3백만㎥ 부족한 8,020.8백만㎥을 벼 생육단계별 시기에 따라 실제 공급한 것으로 확인할 수 있었다. 시기별로 이앙기, 유효분얼기, 출수기, 등숙기 기간 동안 필요수량에 최소 158.7백만㎥에서 최대 676.7백만㎥ 만큼 용수공급이 부족했던 것으로 알 수 있다.
- 이앙기 기간에서는 전남지역이 최대 256.6백만㎥만큼 부족한 용수공급 실적을 나타냈고, 유효분얼기 기간은 충북지역 최대 76.8백만㎥, 출수기 기간은 전남지역 최대 134.5백만㎥, 등숙기 기간에서는 충북 지역이 최대 24.8백만㎥만큼 부족한 용수공급 실적을 보였다.
- 본답기 기간 중 출수기 기간동안 필요용수량의 약 50%에 미치는 용수공급 실적을 나타낸 것을 확인하였으며, 이에 대한 원인으로서는 강수량 부족에 따른 가뭄이 크게 영향을 끼쳤다. 2018. 7월 ~ 8월 기간 중 전국적인 폭염과 무강우가 지속되어 농업용수 관리 어려운 상황에 직면하여 농업용수 절수를 위한 간단관개 실시 등으로 벼 생육단계에 영향을 끼치지 않도록 용수공급을 조절한 것으로 나타났다.

(단위 : 백만㎥)

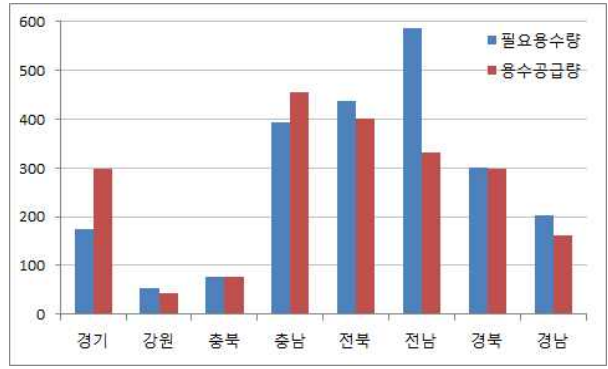
[표 2-8-45] 2018년 시기별 필요용수량 및 용수공급량 현황

구 분	합 계	묘대기 (4.11~5.10)	본답기						
			이앙기 (5.11~6.10)	유효분얼기 (6.11~7.5)	무효분얼기 (7.6~7.15)	유수형성기 (7.16~8.10)	출수기 (8.11~8.31)	등숙기 (9.1~9.20)	
전국	필요수량 (A)	8,774.1	344.0	2,223.7	1,547.3	588.0	1,773.8	1,339.2	958.1
	공급량 (B)	8,020.8	908.8	2,065.0	1,209.6	771.5	1,777.4	662.5	626.2
	(B-A)	-753.3	564.8	-158.7	-337.7	183.5	3.6	-676.7	-331.9
경기	필요수량 (A)	967.8	62.1	175.3	197.5	48.5	247.6	154.3	82.5
	공급량 (B)	1,169.9	167.1	297.2	177.9	45.5	282.5	145.9	53.9
	(B-A)	202.1	105.0	121.9	-19.6	-3.0	34.9	-8.4	-28.6
강원	필요수량 (A)	232.3	4.1	53.5	43.3	15.0	46.5	40.8	29.1
	공급량 (B)	183.6	39.4	43.5	21.5	12.9	46.4	5.5	14.4
	(B-A)	-48.7	35.3	-10.0	-21.8	-2.1	-0.1	-35.3	-14.7
충북	필요수량 (A)	464.2	7.7	75.5	107.0	30.4	107.2	88.9	47.5
	공급량 (B)	305.0	37.8	76.3	30.2	10.1	101.6	26.4	22.7
	(B-A)	-159.2	30.1	0.8	-76.8	-20.3	-5.6	-62.5	-24.8

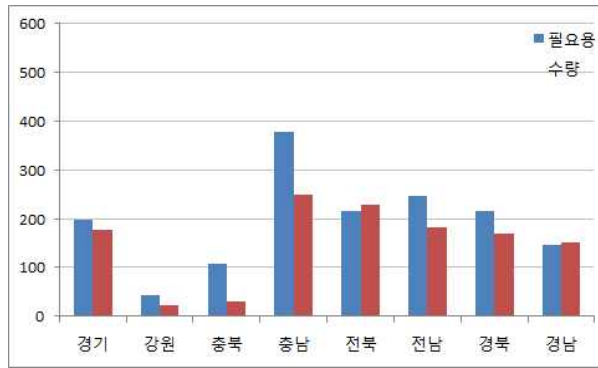
구 분	합 계	묘대기 (4.11~5.10)	본답기						
			이앙기 (5.11~6.10)	유효분얼기 (6.11~7.5)	무효분얼기 (7.6~7.15)	유수형성기 (7.16~8.10)	출수기 (8.11~8.31)	등숙기 (9.1~9.20)	
충남	필요수량 (A)	1,802.8	111.6	392.4	377.2	105.2	385.1	230.3	201.0
	공급량 (B)	1,445.6	213.2	455.2	249.3	67.2	306.4	87.1	67.1
	(B-A)	-357.2	101.6	62.8	-127.9	-38.0	-78.7	-143.2	-133.9
전북	필요수량 (A)	1,615.8	52.0	436.5	214.7	109.6	333.5	233.2	236.3
	공급량 (B)	1,565.6	123.7	402.5	229.3	156.3	332.2	163.3	158.2
	(B-A)	-50.2	71.7	-34.0	14.6	46.7	-1.3	-69.9	-78.1
전남	필요수량 (A)	1,644.2	31.4	587.8	247.2	104.5	252.0	229.9	191.4
	공급량 (B)	1,430.1	155.9	331.2	181.9	242.8	265.1	95.4	157.8
	(B-A)	-214.1	124.5	-256.6	-65.3	138.3	13.1	-134.5	-33.6
경북	필요수량 (A)	1,264.5	34.3	300.5	214.7	123.9	275.2	206.9	109.0
	공급량 (B)	1,185.6	122.7	297.6	168.2	175.5	231.5	79.3	110.8
	(B-A)	-78.9	88.4	-2.9	-46.5	51.6	-43.7	-127.6	1.8
경남	필요수량 (A)	782.4	40.6	202.2	145.5	50.8	126.6	154.7	62.0
	공급량 (B)	735.4	48.9	161.4	151.3	61.1	211.8	59.6	41.3
	(B-A)	-47.0	8.3	-40.8	5.8	10.3	85.2	-95.1	-20.7



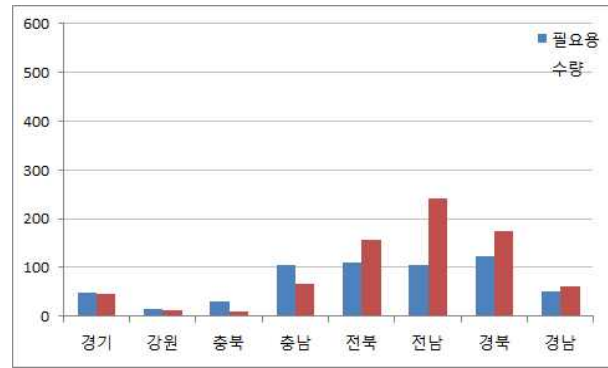
묘대기(4.11~5.10)



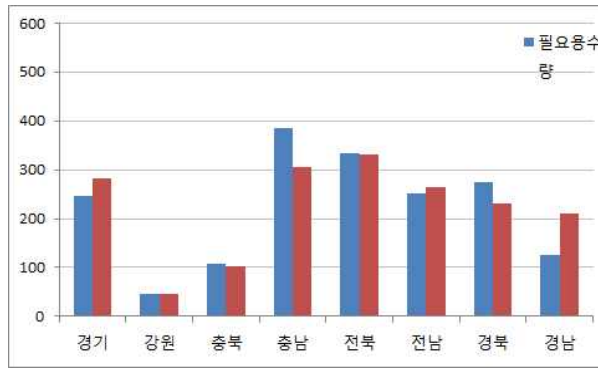
이앙기(5.11~6.10)



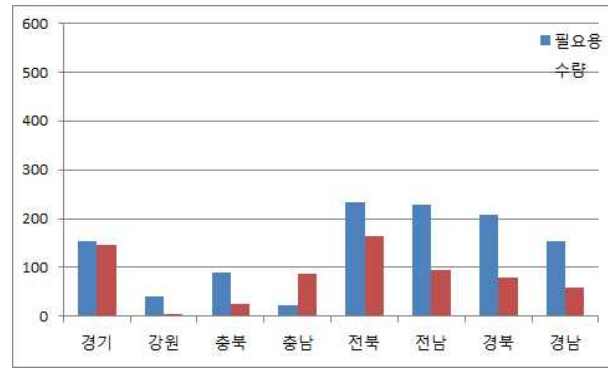
유효분얼기(6.11~7.5)



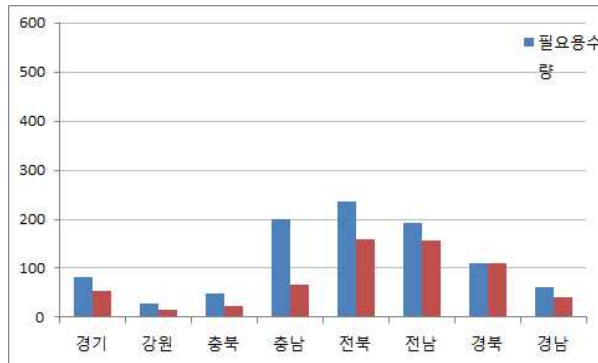
무효분얼기(7.6~7.15)



유수형성기(7.16~8.10)



출수기(8.11~8.31)



등숙기(9.1~9.20)

[그림 2-8-56] 2018년 시기별 필요용수량 및 용수공급량 비교 그래프

4. 양수저류 대상지구 우선순위 선정을 위한 요소 비교 분석

가. 양수저류 대상지구 선정 사례

(1) 연구 추진 방향

- 연구과제의 최종 목표인 안정적인 농업용수 공급 및 가뭄피해 최소화를 위해 수원 공에 언제, 얼마의 물을 언제까지 양수저류를 해주는 것이 최적인지에 대한 연구결과 도출을 위해서 기존 양수저류를 시행한 대상지의 Case 분석을 추진하였다.
- 정부에서 가뭄대비 예산 배정했던 기존 사례 분석을 통하여, 어떠한 평가지표를 고려하고, 예산을 배정하였는지에 대한 면밀한 분석 후 향후 양수저류 대상지구를 선정할 때 고려되어야 할 합리적인 선정 요소를 도출하였다.

(2) Case 개요 및 우선순위 선정 요소 설정

(가) 추진 배경 및 목적

- 가뭄 우려지역 양수저류 시설 설치로 선제적 가뭄대응 체계 구축 목적이다.
- 전국적으로 벼 생육상태는 출수기로 추수 전까지 농업용수의 수요는 점차 줄어드는 추세를 보이고 있다 (19년 8월 기준).
- 농업가뭄 대비를 위한 항구적인 용수확보 대책 실시로 가뭄재해에 선제적 대응방안이 필요한 시점으로 판단한다.

(나) 우선지원 대상 선정기준 설정

- 가뭄우려지역 유무
 - 당해년도 현재 가뭄이 우려되는 지역(2점)
- 과거 가뭄피해 발생지역 횟수
 - 15~18년 내, 100ha 이상 가뭄발생 지역
 - 1회 이상(1점), 2회 이상(2점)
- 사업비 적정성 분석
 - 소요사업비 대비, 편익의 적정성 여부
 - 급수면적/소요예산 0.5이상(1점), 0.5미만(0점)

- 설치 효율성 분석
 - 연중 용수확보가 가능한 양수저류 시설 설치 우선
 - 양수저류(2점), 직접급수(1점)
- 설치 시급성 분석
 - 현재 저수율(8.16일)을 기준으로 가중치 적용
 - 현재 저수율 50% 미만(2점), 50% 이상(1점)
- 지원 필요성 분석
 - 당해년도 가뭄대책비 지원 제외지구
 - 기 신청 지구(1점)

[표 2-8-46] 우선지원 대상 선정기준

구분	선정기준	가중치 (10점)	비고
가뭄우려 지역	□ '19년 현재, 가뭄이 우려되는 지역(2점) - 경기(안성, 여주), 충남(보령, 부여, 홍성)	2점	
과거 가뭄피해 발생지역	□ 15~18년 내, 100ha 이상 가뭄발생 지역 - 1회 이상(1점), 2회 이상(2점)	2점	15~18년
사업비 적정성	□ 소요사업비 대비, 편익의 적정성 여부 - 급수면적/소요예산 0.5이상(1점), 0.5미만(0점)	1점	
설치효율성	□ 연중 용수확보가 가능한 양수저류 시설 설치 우선 - 양수저류(2점), 직접급수(1점)	2점	
설치시급성	□ 현재 저수율(8.16일)을 기준으로 가중치 적용 - 현재 저수율 50% 미만(2점), 50% 이상(1점)	2점	
지원필요성	□ '19년 상반기 가뭄대책비 지원 제외지구 - 기 신청 지구(1점)	1점	

(3) Case 분석 결과

(가) 양수저류 설치 대상지 분석

- (신청지구) 85개소 12,744백만원
- (분석지구) 48개소 5,345백만원
- 2019년 가뭄 우려지역인 경기, 충남지역은 각각 88%, 86% 수준으로 선정

[표 2-8-47] 2019년 양수저류 설치 대상지 분석

구 분	신청지구 내역		분석지구 내역		비 고
경 기	8개소	781백만원	7개소	570백만원	
충 남	28개소	4,656백만원	24개소	3,526백만원	

- 가뭄우려지역 등 농업용수 확보가 시급한 지역을 우선 지원 방향
- 가뭄 피해지역, 설치효율성, 시급성 등을 종합적으로 고려하여 선정

[표 2-8-48] Case 분석 결과

부서별	신청내역						우선순위선정내역					
	개소수			확보량 (톤/일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)	개소수			확보량 (톤/일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)
	소계	양수 저류	직접 급수				소계	양수 저류	직접 급수			
계	85	24	61	287,344	6,717	12,744	48	19	29	118,710	4,324	5,345
경기	8	2	6	66	1,123	781	7	1	6	42	1,073	570
강원	1	1	-	200	60	120	1	1	-	200	60	120
충북	7	1	6	60,820	920	2,940	1	1	-	1,500	110	100
충남	28	13	15	103,660	2,024	4,656	24	11	13	83,320	1,821	3,526
전북	8	-	8	14,946	266	497	5	-	5	14,500	236	375
전남	15	4	11	66,268	972	1,505	7	4	3	13,648	829	375
경북	5	-	5	15,036	167	920	-	-	-	-	-	-
경남	11	3	8	22,349	1,090	1,228	1	1	-	1,500	101	182
찬수단	2	-	2	4,000	96	97	2	-	2	4,000	96	97

(나) 우선지원 대상 선정내역 분석

- 가중치 5점 이상 현황

[표 2-8-49] 가중치 5점 이상 현황 분석

부서별	우선순위선정내역					
	개소수			확보량 (톤/일)	급수면적 (ha)	소요예산 (백만원)
	소계	양수저류	직접급수			
계	48	19	29	118,710	4,324	5,345
경기	7	1	6	42	1,073	570
강원	1	1	-	200	60	120
충북	1	1	-	1,500	110	100
충남	24	11	13	83,320	1,821	3,526
전북	5	-	5	14,500	236	375
전남	7	4	3	13,648	829	375
경북	-	-	-	-	-	-
경남	1	1	-	1,500	101	182
찬수단	2	-	2	4,000	96	97

- 가중치 6점 이상 현황

[표 2-8-50] 가중치 6점 이상 현황 분석

부서별	우선순위선정내역					
	개소수			확보량 (톤/일)	급수면적 (ha)	소요예산 (백만원)
	소계	양수저류	직접급수			
계	34	15	19	81,782	3,334	4,320
경기	7	1	6	42	1,073	570
강원	-	-	-	-	-	-
충북	-	-	-	-	-	-
충남	21	10	11	73,140	1,385	3,291
전북	-	-	-	-	-	-
전남	3	3	-	3,100	680	180
경북	-	-	-	-	-	-
경남	1	1	-	1,500	101	182
찬수단	2	-	2	4,000	96	97

- 가중치 7점 이상 현황

[표 2-8-51] 가중치 7점 이상 현황 분석

부서별	우선순위선정내역					
	개소수			확보량 (톤/일)	급수면적 (ha)	소요예산 (백만원)
	소계	양수저류	직접급수			
계	25	9	16	66,209	2,348	3,283
경기	6	-	6	29	1,043	390
강원	-	-	-	-	-	-
충북	-	-	-	-	-	-
충남	17	9	8	62,180	1,209	2,796
전북	-	-	-	-	-	-
전남	-	-	-	-	-	-
경북	-	-	-	-	-	-
경남	-	-	-	-	-	-
찬수만	2	-	2	4,000	96	97

- 가중치 8점 이상 현황

[표 2-8-52] 가중치 8점 이상 현황 분석

부서별	우선순위선정내역					
	개소수			확보량 (톤/일)	급수면적 (ha)	소요예산 (백만원)
	소계	양수저류	직접급수			
계	15	8	7	44,109	1,988	2,346
경기	6	-	6	29	1,043	390
강원	-	-	-	-	-	-
충북	-	-	-	-	-	-
충남	9	8	1	44,080	945	1,956
전북	-	-	-	-	-	-
전남	-	-	-	-	-	-
경북	-	-	-	-	-	-
경남	-	-	-	-	-	-
찬수만	-	-	-	-	-	-

나. 가뭄우려지구 양수저류 설치 수요조사 분석

(1) 지역별 수요조사 현황

(가) 경기지역

- 총 8개 지구(양수저류 2, 직접급수 6개소) 대상 781백만원 예산 신청
- 우선순위 선정 결과 총 7개 지구(양수저류 1, 직접급수 6개소) 대상 570백만원 선정

[표 2-8-53] 경기지역 수요조사 분석

시설명	위치 시군	유효 저수량 (천톤)	수혜 면적 (ha)	저수율(%)			확보량 (톤/일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)	우선 순위	2점	2점	1점	2점	2점	1점
				합계	19년 가뭄	가뭄 이력 (15-18 년)				투자 적정성	설치 효율성	투자 시급성	지원 필요성			
원부 (저)	여주	576	214	40.9	89.4	45.7	13	30	180	6	2	-	-	2	2	-
금광 (저)	안성	12,047	3,012	25.0	63.3	39.5	6	50	70	8	2	2	1	1	2	-
금광 (저)	안성	12,047	3,012	25.0	63.3	39.5	6	50	90	8	2	2	1	1	2	-
금광 (저)	안성	12,047	3,012	25.0	63.3	39.5	1	20	10	8	2	2	1	1	2	-
금광 (저)	안성	12,047	3,012	25.0	63.3	39.5	6	30	20	8	2	2	1	1	2	-
금광 (저)	안성	12,047	3,012	25.0	63.3	39.5	6	50	70	8	2	2	1	1	2	-
마둔 (저)	안성	4,707	843	17.9	47.8	37.4	4	843	130	8	2	2	1	1	2	-

※ (저) : 저수지 / (양) : 양수장 / (취) : 취입보

(나) 강원지역

- 총 1개 지구(양수저류 1개소) 대상 120백만원 예산 신청
- 우선순위 선정 결과 총 1개 지구(양수저류 1개소) 대상 120백만원 선정

[표 2-8-54] 강원지역 수요조사 분석

시설명	위치 시군	유효 저수량 (천톤)	수혜 면적 (ha)	저수율(%)			확보량 (톤/일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)	우선 순위	2점	2점	1점	2점	2점	1점
				합계	19년 가뭄	가뭄 이력 (15-18 년)				투자 적정성	설치 효율성	투자 시급성	지원 필요성			
손곡 (저)	원주	969	142	31	81.6	38	200	60	120	5	-	-	1	2	2	-

(다) 충북지역

- 총 7개 지구(양수저류 1, 직접급수 6개소) 대상 2,940백만원 예산 신청
- 우선순위 선정 결과 총 1개 지구(양수저류 1개소) 대상 100백만원 선정

[표 2-8-55] 충북지역 수요조사 분석

시설명	위치		유효 저수량 (천톤)	수혜 면적 (ha)	저수율(%)			확보량 (톤일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)	우선 순위	2점	2점	1점	2점	2점	1점
	시군	현재 저수율			평년 저수율	평년 대비	합계				19년 가뭄	가뭄 이력 (15-18년)	투자 적정성	설치 효율성	투자 시급성	지원 필요성	
명경 (저)	옥천	414	110	43.5	78.7	55.4	1,500	110	100	5	-	-	1	2	2	-	

※ (저) : 저수지 / (양) : 양수장 / (취) : 취입보

(라) 충남지역

- 총 28개 지구(양수저류 13, 직접급수 15개소) 대상 4,656백만원 예산 신청
- 우선순위 선정 결과 총 24개 지구(양수저류 11, 직접급수 13개소) 대상 3,526백만원 선정

[표 2-8-56] 충남지역 수요조사 분석

시설명	위치		유효 저수량 (천톤)	수혜 면적 (ha)	저수율(%)			확보량 (톤일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)	우선 순위	2점	2점	1점	2점	2점	1점
	시군	현재 저수율			평년 저수율	평년 대비	합계				19년 가뭄	가뭄 이력 (15-18년)	투자 적정성	설치 효율성	투자 시급성	지원 필요성	
기산 (저)	공주	643	140	35	79	44	4,300	140	100	7	-	2	1	2	2	-	
내현 (저)	보령	758	130	28	62	44	2,880	130	430	9	2	2	-	2	2	1	
유곡 (저)	보령	110	18	32	76	42	8,100	18	630	8	2	2	-	2	2	-	
신구 (저)	보령	404	75	31	69	45	8,100	18	630	8	2	2	-	2	2	-	
청천 (저)	보령	20,753	2,638	36	65	55	2,200	13	80	8	2	2	-	1	2	1	
청천 (저)	보령	20,753	2,638	36	65	55	1,400	15	65	7	2	2	-	1	2	-	
소황 (양)	보령	-	1,374	-	-	-	2,400	35	250	7	2	2	-	1	1	1	
소황 (양)	보령	-	1,374	-	-	-	1,400	28	75	7	2	2	-	1	1	1	
소황 (양)	보령	-	1,374	-	-	-	2,200	10	110	7	2	2	-	1	1	1	

노천 (취)	보령	-	150	-	-	-	2,200	20	90	7	2	2	-	1	1	1
소항 (양)	보령	-	1,374	-	-	-	2,200	25	100	6	2	2	-	1	1	-
청천 (저)	보령	20,753	2,638	36	65	55	1,400	10	80	7	2	2	-	1	2	-
지포 (저)	태안	269	71	32	75	43	1,400	71	150	6	-	2	-	2	2	-
삼산 (저)	부여	543	80	43	79	55	9,400	80	80	9	2	2	1	2	2	-
화성 (저)	부여	721	80	39	72	54	6,500	80	235	8	2	2	-	2	2	-
축동 (저)	서천	1,491	390	56	68	82	4,800	341	80	5	-	2	1	1	1	-
덕용 (저)	부여	5,661	1,071	39	48	82	3,360	50	70	6	-	2	1	1	2	-
덕용 (저)	부여	5,661	1,071	39	48	82	2,880	24	65	5	-	2	-	1	2	-
장곡 (저)	홍성	1,122	255	21	80	26	6,000	255	151	9	2	2	1	2	2	-
노은 (취)	홍성	-	30	-	-	-	4,000	30	175	6	2	2	-	1	1	-
가곡 (저)	홍성	1,543	201	26	70	37	3,000	201	160	9	2	2	1	2	2	-
벽정 (저)	홍성	205	58	45	76	60	2,800	6	70	7	2	2	-	1	2	-
공리 (저)	홍성	1,463	168	27	67	40	6,000	168	190	9	2	2	1	2	2	-
보강 (저)	예산	490	71	32	81	40	2,500	71	90	5	-	-	1	2	2	-
서산A 지구	홍성	4,498	6,446	-	-	-	2,000	49	50	7	2	2	1	1	1	-
서산A 지구	홍성	4,498	6,446	-	-	-	2,000	47	47	7	2	2	1	1	1	-

※ (저) : 저수지 / (양) : 양수장 / (취) : 취입보

(마) 전북지역

- 총 8개 지구(직접급수 15개소) 대상 497백만원 예산 신청
- 우선순위 선정 결과 총 5개 지구(직접급수 5개소) 대상 375백만원 선정

[표 2-8-57] 전북지역 수요조사 분석

시설명	위치 시군	유효 저수량 (천톤)	수혜 면적 (ha)	저수율(%)			확보량 (톤일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)	우선 순위 합계	2점	2점	1점	2점	2점	1점
				현재 저수율	평년 저수율	평년 대비					19년 가목	가목 이력 (15-18년)	투자 적정성	설치 효율성	투자 시급성	지원 필요성
양창지구	부안	-	38	-	-	-	2,900	38	60	5	-	2	1	1	1	-
양창지구	부안	-	56	-	-	-	2,900	56	60	5	-	2	1	1	1	-
지비지구	부안	-	39	-	-	-	2,900	39	60	5	-	2	1	1	1	-
대별지구	부안	-	43	-	-	-	2,900	43	85	5	-	2	1	1	1	-
용적지구	부안	-	60	-	-	-	2,900	60	110	5	-	2	1	1	1	-

※ (저) : 저수지 / (양) : 양수장 / (취) : 취입보

(바) 전남지역

- 총 15개 지구(양수저류 4, 직접급수 11개소) 대상 1,505백만원 예산 신청
- 우선순위 선정 결과 총 7개 지구(양수저류 4, 직접급수 3개소) 대상 375백만원 선정

[표 2-8-58] 전남지역 수요조사 분석

시설명	위치 시군	유효 저수량 (천톤)	수혜 면적 (ha)	저수율(%)			확보량 (톤일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)	우선 순위 합계	2점	2점	1점	2점	2점	1점
				현재 저수율	평년 저수율	평년 대비					19년 가목	가목 이력 (15-18년)	투자 적정성	설치 효율성	투자 시급성	지원 필요성
지정계	장흥	1,738	323	60	60.4	99.3	1,200	323	65	6	-	2	1	2	1	-
신동계	장흥	1,738	323	60	60.4	99.3	1,200	323	65	6	-	2	1	2	1	-
죽청계	장흥	42	34	70	78.8	88.8	700	34	50	6	-	2	1	2	1	-
하발계	장흥	13	9	70	79.9	87.6	450	9	40	5	-	2	-	2	1	-
농안계	장흥	947	125	76	69.2	108.4	450	20	40	5	-	2	1	1	1	-
길호1(양)	해남	-	174	-	-	-	6,048	28	45	5	-	2	1	1	1	-
기동(저)	신안	48	92	80.1	62.8	127.5	3,600	92	70	5	-	2	1	1	1	-

※ (저) : 저수지 / (양) : 양수장 / (취) : 취입보

(사) 경북지역

- 총 5개 지구(직접급수 5개소) 대상 920백만원 예산 신청
- 우선순위 선정 결과 해당사항 없음

(아) 경남지역

- 총 11개 지구(양수저류 3, 직접급수 8개소) 대상 1,228백만원 예산 신청
- 우선순위 선정 결과 총 1개 지구(양수저류 1개소) 대상 182백만원 선정

[표 2-8-59] 전남지역 수요조사 분석

시설명	위치	유효 저수량 (천톤)	수혜 면적 (ha)	저수율(%)			확보량 (톤/일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)	우선 순위	2점	2점	1점	2점	2점	1점
	시군			현재 저수율	평년 저수율	평년 대비				합계	19년 가뭄	가뭄 이력 (15-18년)	투자 적정성	설치 효율성	투자 시급성	지원 필요성
월평 (저)	울주	290	101	100	74.7	133.9	1,500	101	182	6	-	2	1	2	1	-

※ (저) : 저수지 / (양) : 양수장 / (취) : 취입보

(자) 천수만지역

- 총 2개 지구(직접급수 2개소) 대상 97백만원 예산 신청
- 우선순위 선정 결과 총 2개 지구(직접급수 2개소) 대상 97백만원 선정

[표 2-8-60] 천수만지역 수요조사 분석

시설명	위치	유효 저수량 (천톤)	수혜 면적 (ha)	저수율(%)			확보량 (톤/일)	급수 면적 (ha)	소요 예산 (백만원)	우선 순위	2점	2점	1점	2점	2점	1점
	시군			현재 저수율	평년 저수율	평년 대비				합계	19년 가뭄	가뭄 이력 (15-18년)	투자 적정성	설치 효율성	투자 시급성	지원 필요성
서산A 지구	홍성	4,498	6,446	-	-	-	2,000	49	50	7	2	2	1	1	1	-
서산A 지구	홍성	4,498	6,446	-	-	-	2,000	47	47	7	2	2	1	1	1	-

※ (저) : 저수지 / (양) : 양수장 / (취) : 취입보

제 9절. 순환형 농업용수 공급가능량 관리기준 및 운영방안 제시

1. 순환형 농업용수 공급가능량 관리기준 및 운영방안 제시

가. 양수저류 및 직접급수를 위한 농업용수 공급가능량 판단 및 관리기준

(1) 시범지구 용수공급 현황 분석

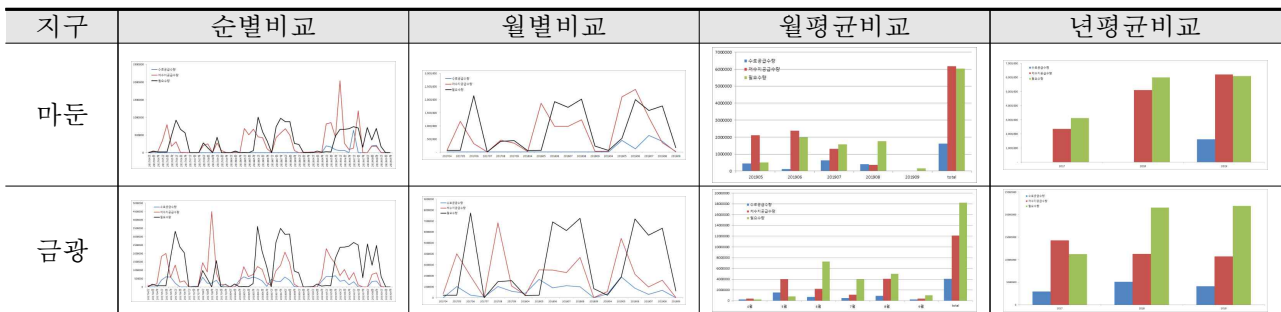
- 마둔, 금광저수지 최근 3년간 용수공급현황 분석을 위해 필요수량은 한국농어촌공사 HOMWRS를 이용하여 산정하였고, 저수지 수위자료 및 수로부 수위자료는 한국농어촌공사에서 제공받아 활용하였다.

[표 2-9-1] 저수지 현황

저수지명	금광저수지	마둔저수지
유역면적	4,830 ha	1,240 ha
유효저수량	12,047천 m ³	4,707천 m ³
관개면적	1,906 ha	530 ha

[표 2-9-2] 저수지별 필요수량 (HOMWRS 분석결과)

저수지명	금광저수지	마둔저수지
2017	11,235,500 m ³	3,124,100 m ³
2018	21,566,500 m ³	5,996,900 m ³
2019	21,935,700 m ³	6,099,600 m ³



[그림 2-9-1] 저수지별 필요수량과 공급수량 비교

(2) 시범지구 필요수량 비교

- 저수지별 용수공급 현황을 저수지의 저수율과 수로부 수위자료를 토대로 필요수량과 비교하였다.
- 순별 용수공급 패턴의 경우 필요수량 패턴과 유사한 경향을 나타내고 있다.
- 수원공별 필요수량 대비 공급량을 분석기간 동안 평균 산정한 결과 마둔저수지(2019년)는 수로공급량 27%, 저수지공급량 102%로 분석되었으며, 금광저수지는 수로공급량 22%, 저수지공급량 66%으로 분석된다.
- 저수율에 의한 공급량과 수로 수위자료에 의한 공급량 모두 필요수량을 만족하지 못하는 결과를 나타내고 있는데, 그 이유로는 다음과 같다.
 - 농지면적 감소에 따른 공급수량의 변화
 - 보조수원공에 의한 용수공급 고려 등

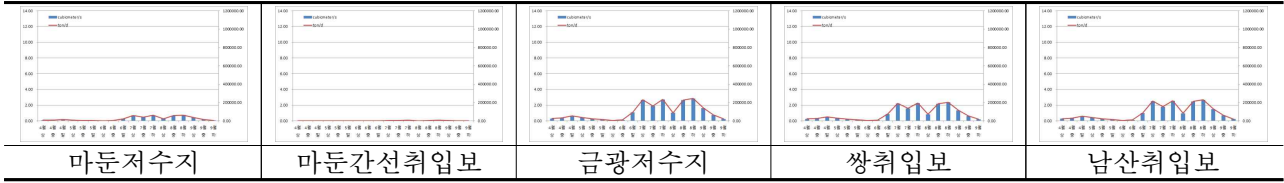
(3) 강우유출을 고려한 보조수원공(취입보)의 농업용수 공급경향 분석

- 장기유출모형을 적용한 유역구분을 위하여 수리시설물 중 저수지와 취입보만을 고려하여 유역을 설정하였다.

[표 2-9-3] 장기유출모형 적용 유역구분

NO	구분	명칭	유역면적(km ²)
1	취입보	쌍	11.37
2	취입보	남산	45.10
3	저수지	금광	47.19
4	취입보	마둔간선	1.26
5	저수지	마둔	12.12

- 2010년부터 2019년까지의 강우유출 모형을 적용하기 위하여 수원관측소, 천안관측소, 이천관측소의 강우, 최고/최저기온, 상대습도, 풍속, 일사량자료를 일자료로 활용하였다.
- 10년 평균 유출량을 순별로 산정하여 기본자료로 구축하였고, 이를 통해 주요 취입보 유입수량을 산정하였다.



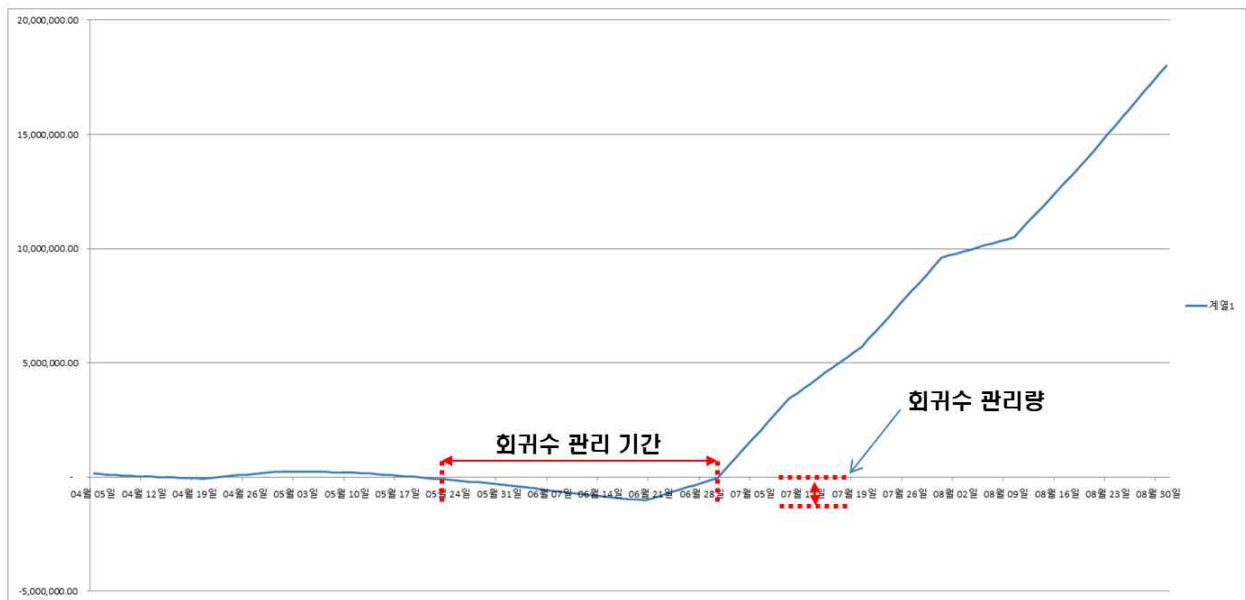
[그림 2-9-2] 소유역별 관개기 유입수량 산정

- 주요 취입보 유입수량 산정과 취입보의 용적을 산출하기 위하여 GIS를 이용하여 시설별 높이차와 하천의 길이 및 폭을 산출하였다.

[표 2-9-4] 남산취입보 하천제원

시설명	하천폭(m)	길이(m)	높이(m)	용적(m ³)	비고
남산취입보	100	1,700	2	170,000	쌍보

- 취입보 용수량 산정은 기본적으로 해당 취입보의 만수를 기본으로 모의하였다.
 $waterbalance = \text{보유용수량} + \text{유입량} - \text{공급수량}$ 으로 정의하였고, 내용적을 초과하는 경우에는 overflow되는 것으로 구현하였다.



[그림 2-9-3] 남산취입보 (1CMS/일 12시간공급)

- 남산취입보는 안성천의 유출과 더불어 조령천 현암천을 잇는 쌍취입보의 overflow 영향을 받는다.
- 남산취입보의 경우 6월 강우유출에 의한 유입량이 부족한 것 외에는 용수공급에 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.
- 본 분석은 강우에 의한 순수 유출량만을 고려하였으므로 퇴수 유입에 따른 영향은 별도로 판단하여야 한다.
- 최종 공급가능량 판단은 비급수시기의 강우유출수량 판단과 급수시기의 강우유출수 +퇴수량으로 판단한다.
- 농업용수 공급 운영 방안은 물부족 들녘의 위치를 기반으로 하여 시기별 공급 가능량을 토대로 적정 양수 가능량 및 양수 가능 기간을 제시할 수 있다.

(4) 저수지 소유역별 강우 유출 분석

- 장기유출모형을 이용한 월단위 일평균 유출량 분석
- Tank 모형을 이용하여 마둔저수지 6개, 대사저수지 3개, 풍전저수지 6개 소유역의 월단위 일평균 유출량(m³/day)을 분석하였다.

[표 2-9-5] 마둔저수지 소유역 월단위 일평균 유출량

유역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1	21	52	82	125	132	181	711	432	243	88	72	40
2	20	51	84	126	139	185	713	457	270	102	79	44
3	8	19	28	44	44	62	223	140	77	31	26	14
4	7	14	22	34	43	60	249	164	98	35	23	13
6	42	89	148	218	253	327	1321	858	529	202	144	84
7	52	105	175	255	313	395	1620	1077	678	255	176	102

[표 2-9-6] 대사저수지 소유역 월단위 일평균 유출량

유역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2	17	28	38	74	96	106	392	229	153	60	50	31
3	8	13	18	36	47	55	199	112	72	28	24	15
4	47	74	102	195	262	276	1045	617	425	169	140	86

[표 2-9-7] 풍전저수지 소유역 월단위 일평균 유출량

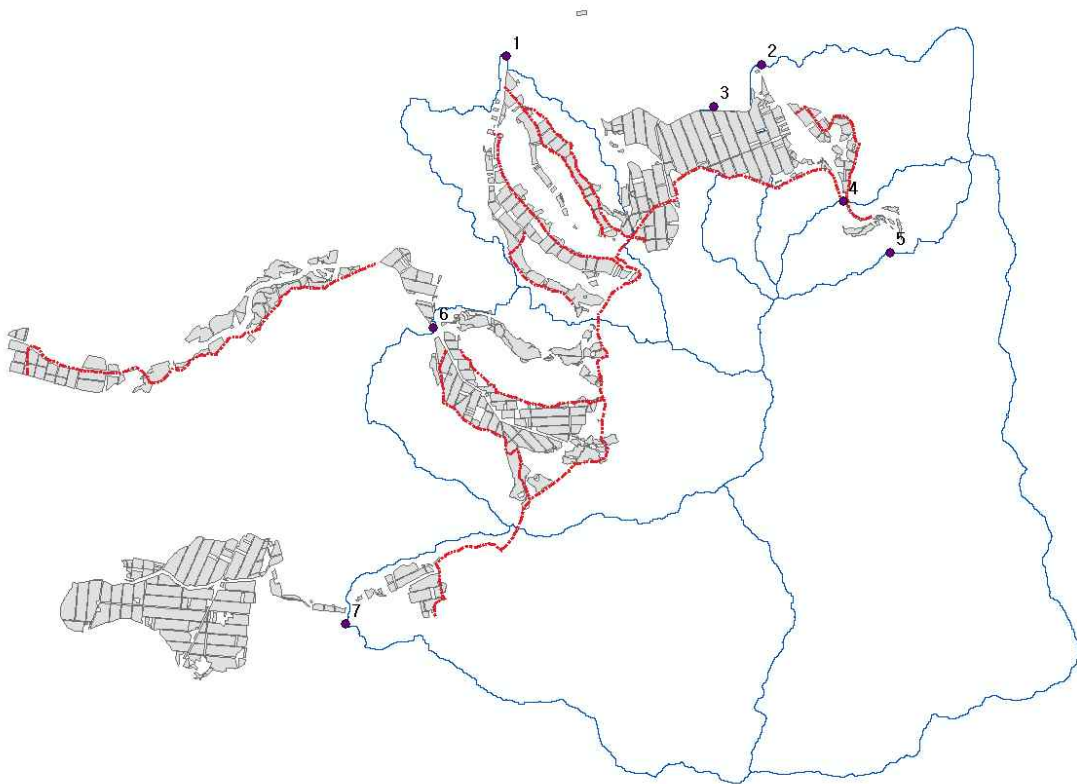
유역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2	1295	366	253	194	142	226	246	390	759	1068	1420	1303
3	103	28	17	10	9	13	15	26	53	85	115	102
4	126	30	22	15	12	20	22	38	75	107	151	126
5	552	146	104	79	58	90	102	162	317	453	628	551
6	192	50	33	22	18	23	30	46	94	151	218	185
7	65	21	11	5	6	4	7	13	26	51	68	64

- 대체적으로 관개기인 4월부터 9월까지의 월단위 일평균 강수량이 많은 것으로 파악된다.

나. 양수저류 및 직접급수를 위한 농업용수 공급 운영방안

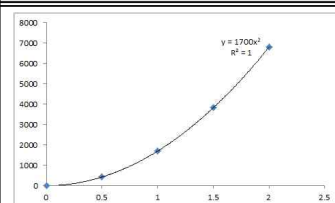
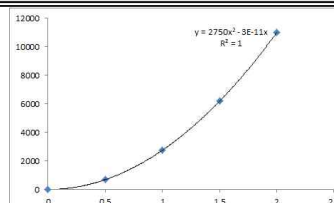
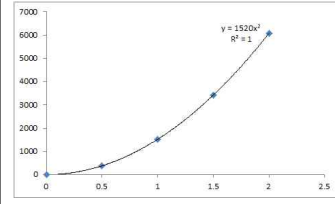
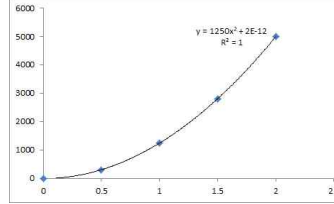
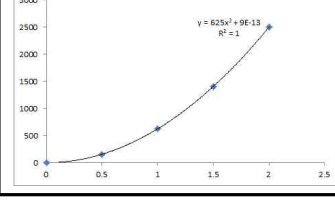
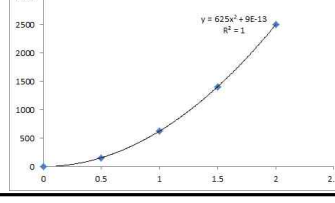
(1) 소유역 순환용수 가용수량 산정 체계

- 마둔, 대사, 풍전 저수지의 임의 지점(하천)별로 순환용수 가용을 위한 시뮬레이션을 실시하였다.
- 시뮬레이션을 위한 공간 확정은 평야부 말단부로 선정하였고, 가상으로 약 2m 높이의 임시보를 적용하여 관개기 강우유출수 및 퇴수에 의한 가용수량을 산정하였다.
- 이를 위하여 하천의 폭과 표고(DEM)를 이용하여 길이를 산출하여, 내용적을 산출하였다.

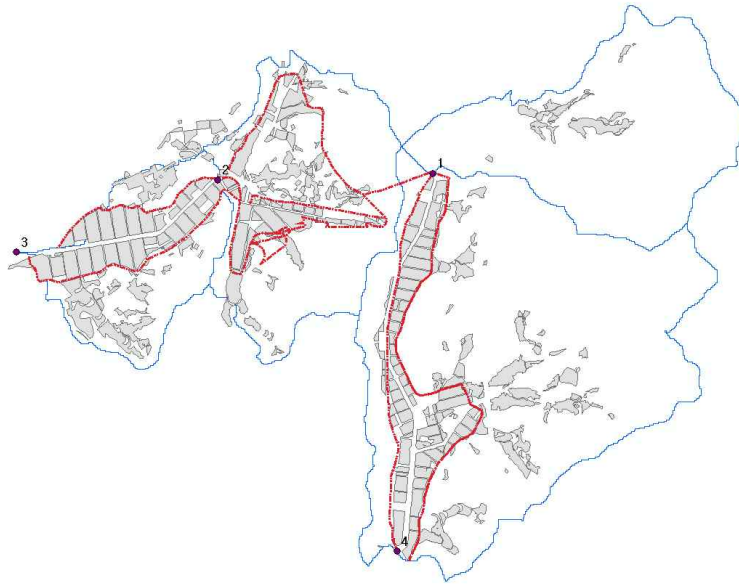


[그림 2-9-4] 마둔저수지 순환용수 판단을 위한 소하천 구역

[표 2-9-8] 마둔저수지 지점별 유역면적 및 내용적 곡선

유역	유역면적(ha)	내용적 곡선	유역	유역면적(ha)	내용적 곡선
1	332.5		4	123.5	
2	297.8		6	610.9	
3	79.9		7	728.1	

- 마둔저수지의 임의지점별 내용적을 산정한 결과 약 34,000m³의 농업용수를 저류하여 활용 가능하며, 이는 약 48 ha의 필지에 공급 가능한 용수량이다.

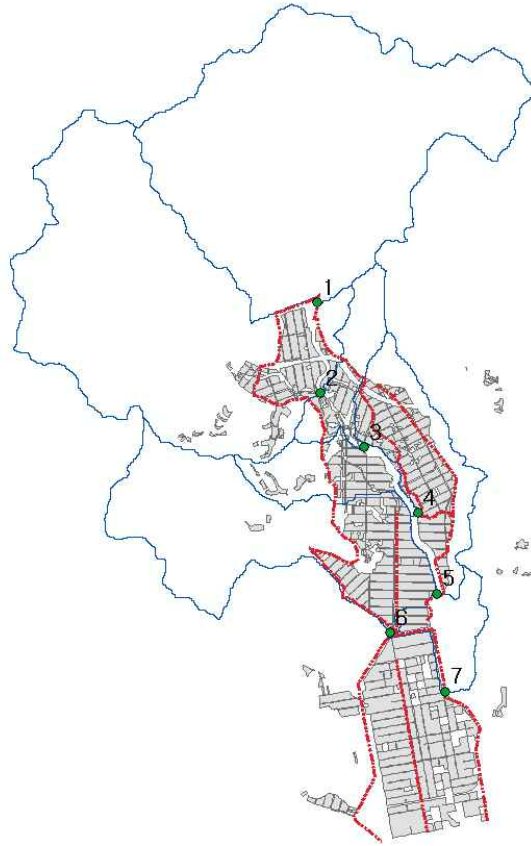


[그림 2-9-5] 대사저수지 순환용수 판단을 위한 소하천 유역

[표 2-9-9] 대사저수지 지점별 유역면적 및 내용적 곡선

유역	유역면적(ha)	내용적 곡선	유역	유역면적(ha)	내용적 곡선
2	240.6		4	573.9	
3	144.4				

- 대사저수지의 임의지점별 내용적을 산정한 결과 약 6,300m³의 농업용수를 저류하여 활용 가능하며, 이는 약 9 ha의 필지에 공급 가능한 용수량이다.



[그림 2-9-6] 풍전저수지 순환용수 판단을 위한 소하천 유역

[표 2-9-10] 풍전저수지 지점별 유역면적 및 내용적 곡선

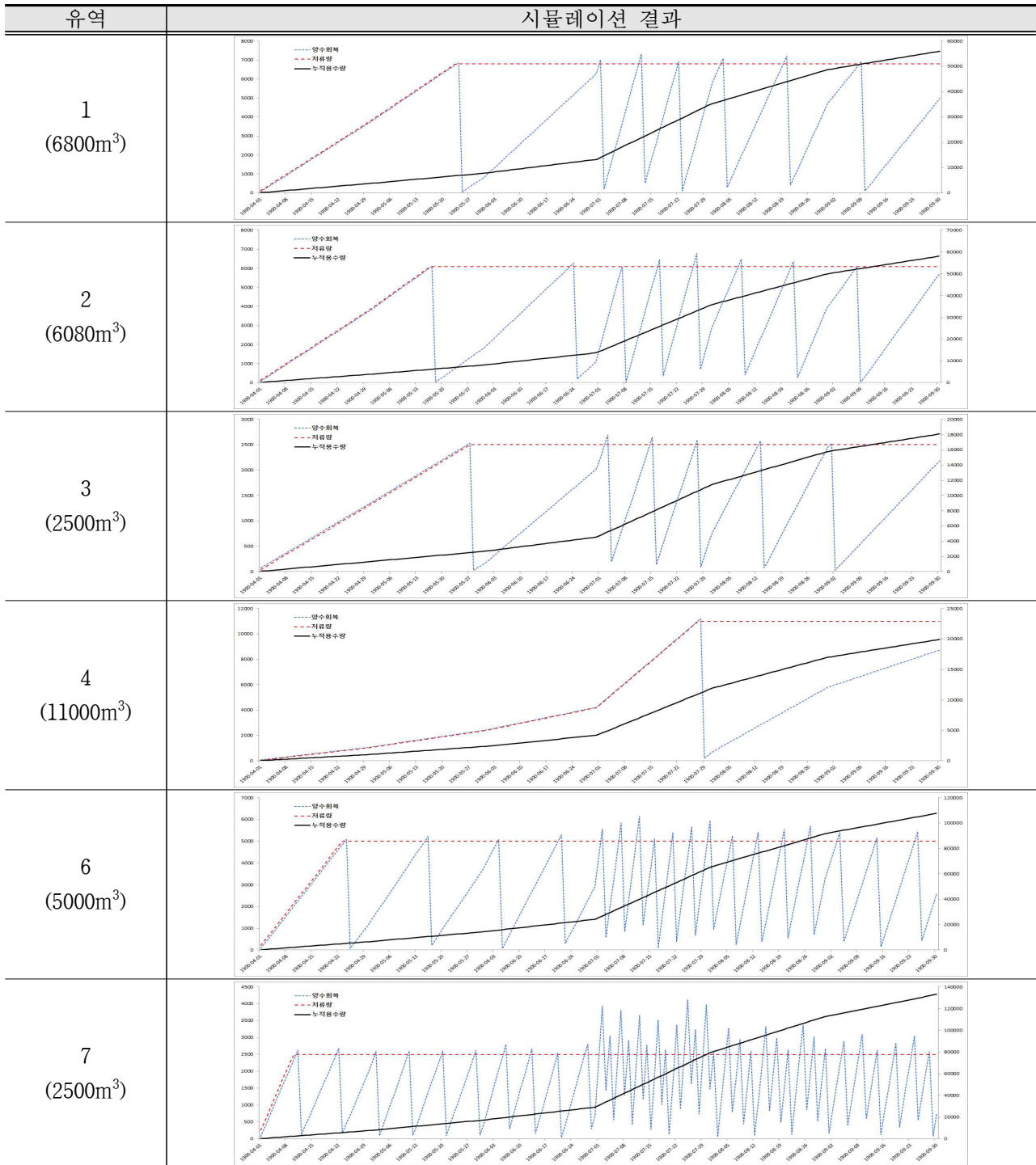
유역	유역면적(ha)	내용적 곡선	유역	유역면적(ha)	내용적 곡선
2	1035.3		5	532.9	
3	113.0		6	245.2	
4	129.2		7	91.6	

- 풍전저수지의 임의지점별 내용적을 산정한 결과 약 217,600m³의 농업용수를 저류하여 활용 가능하며, 이는 약 21 ha의 필지에 공급 가능한 용수량이다.

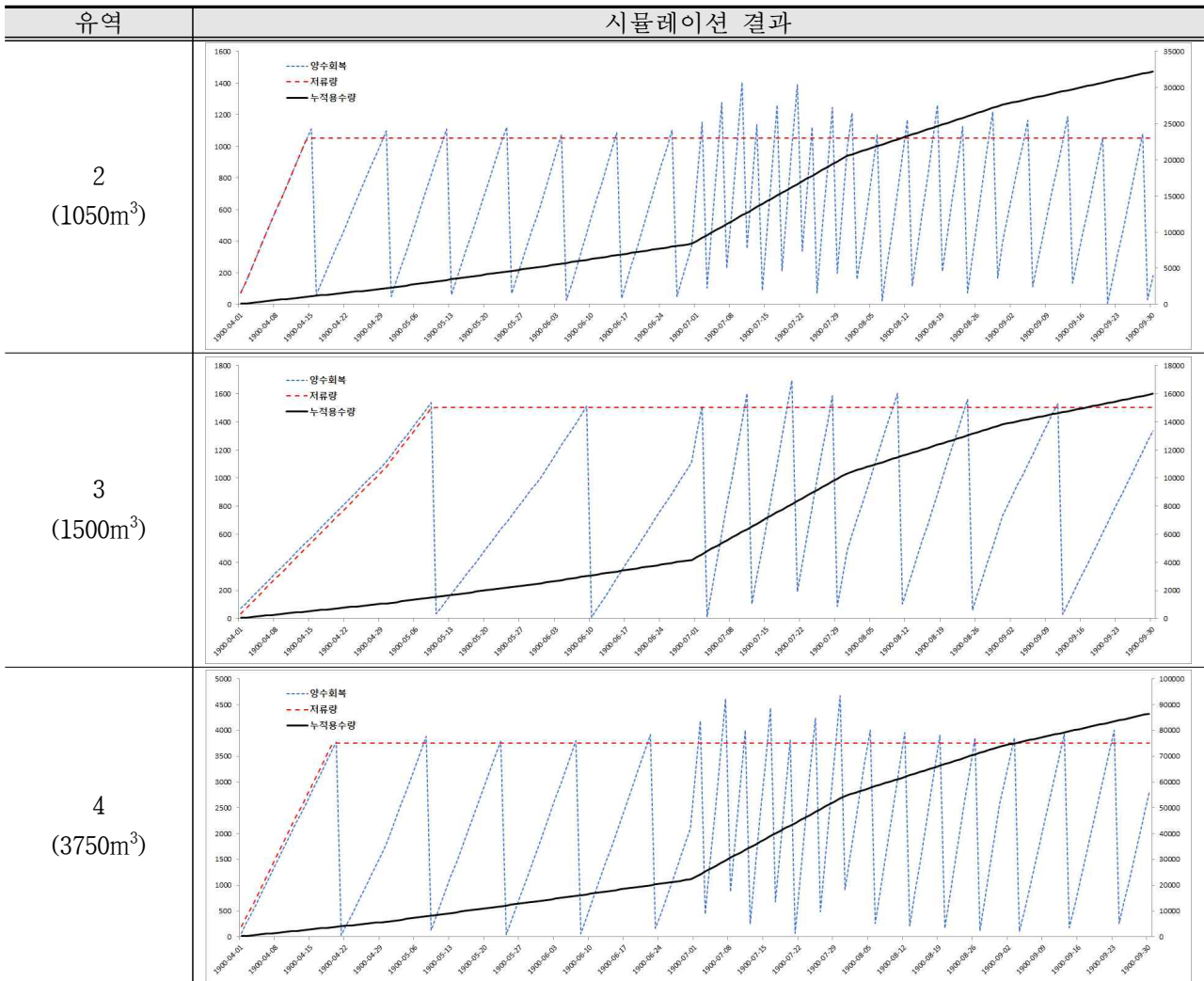
(2) 소유역 순환용수 가용수량 관리를 위한 기준

- 소유역별로 Tank 모형적용 결과를 입력자료로 활용하여 내용적을 만족하는 기간에 대하여 분석, 또한 내용적을 만족하고 일 공급 양수량을 내용적 최대로 하였을 때 회복 기간에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

[표 2-9-11] 마둔저수지 소유역의 장기유출모형 적용에 따른 내용적 변화 결과



[표 2-9-12] 대사저수지 소유역의 장기유출모형 적용에 따른 내용적 변화 결과



- 강우유출수에 의한 소유역별 가용수량을 4월부터 모의 분석한 결과 유역별로 차이는 발생하지만 만수위에 도달하는 기간은 특히 유역을 제외하고는 약 50일 이상 걸리는 것으로 분석되었고, 관개기가 계속되면서 회복되는 기간이 짧아지는 경향을 보였다.
- 이를 통해 소유역별 농업용수 부족분 투입을 위한 위치선정과 용수량 판단이 가능할 것으로 예상된다.

(3) 모의시나리오별 가용수량 산정

- 가용수량의 산정을 위해 아래와 같은 조건에서 모의를 실시하였다. 공통조건으로 초기 저수율 100%, 목표담수심 60mm, 침투량 및 증발산량 4mm/day, 저수지 공급량은 1cms로 동일하게 적용하였다. 모의시나리오의 구분은 관개방법과 물꼬관리로 구분하였으며, 모의조건은 전면관개와 윤환관개, 목표담수심의 도달 시 공급중단 여부에 따라 구분하였다.

[표 2-9-13] 가용수량 산정을 위한 모의조건

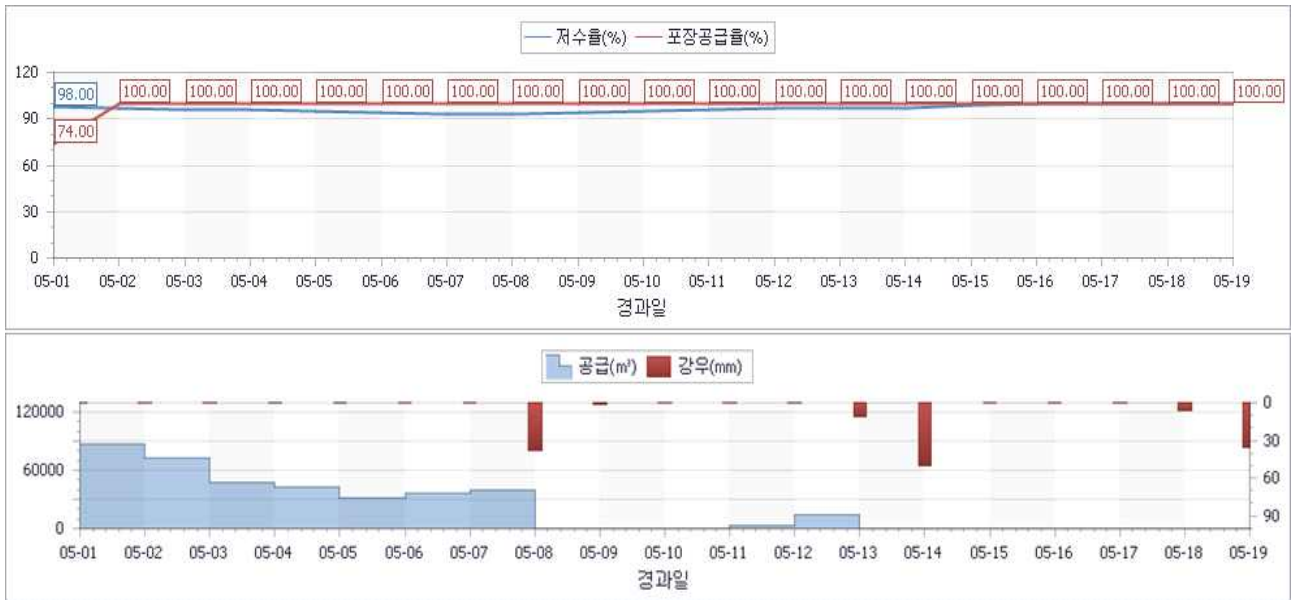
구분	모의조건	
관개방법	전면관개	윤환관개
물꼬관리	목표담수심 도달시 공급중단	목표담수심 도달시 공급중단 안함

[표 2-9-14] 가용수량 산정을 위한 모의시나리오

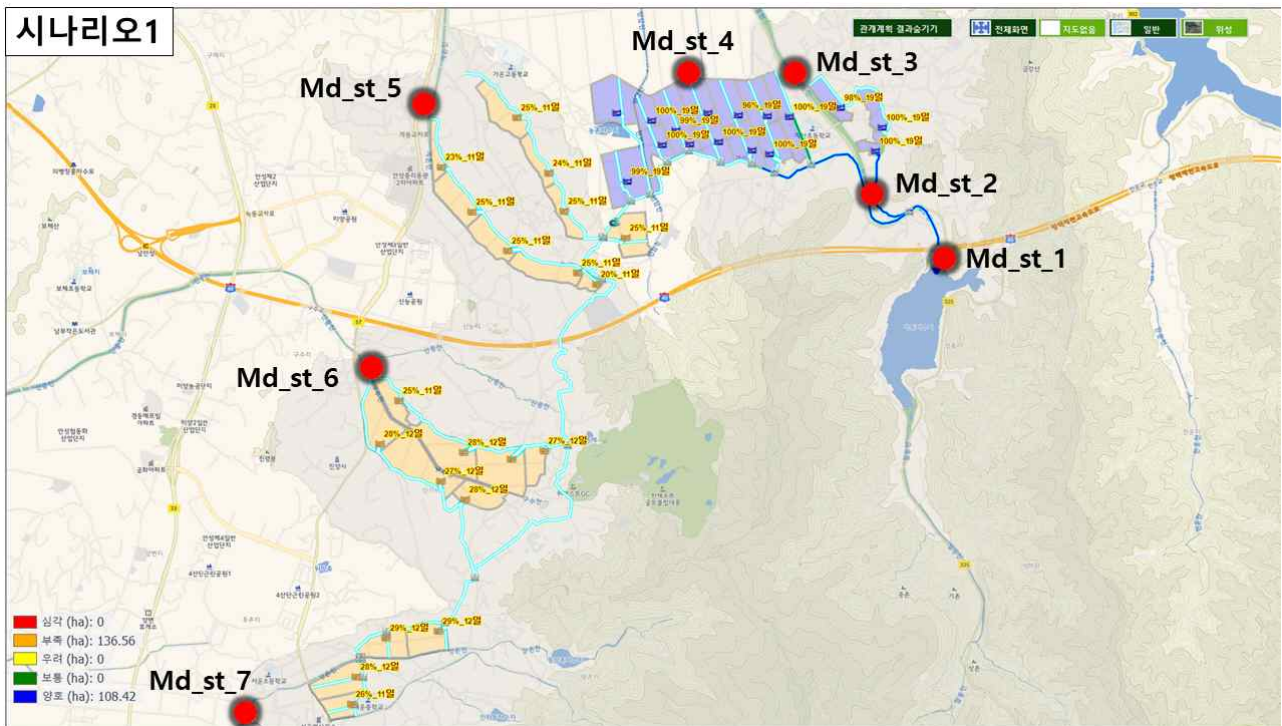
모의 시나리오	내용
시나리오 1	전면관개, 목표담수심 도달시 물꼬 닫음
시나리오 2	전면관개, 목표담수심 도달시 물꼬 닫지않음
시나리오 3	윤환관개, 목표담수심 도달시 물꼬 닫음
시나리오 4	윤환관개, 목표담수심 도달시 물꼬 닫지않음

[표 2-9-15] 마둔저수지 시나리오 1 모의 결과

대상지구	모의면적 (ha)	모의조건	목표담수면적(ha)		공급량 (m³)	관개량 (m³)	퇴수량 (m³)	가용수량 (m³)
마둔	244.98	시나리오1	심각(20% 이하)	0	374,400	130,096	244,304	2,068,891
			부족(20%-40%)	136.56				
			우려(40%-60%)	0				
			보통(60%-80%)	0				
			양호(80% 이상)	108.42				



[그림 2-9-7] 마둔저수지 시나리오 1 모의 결과

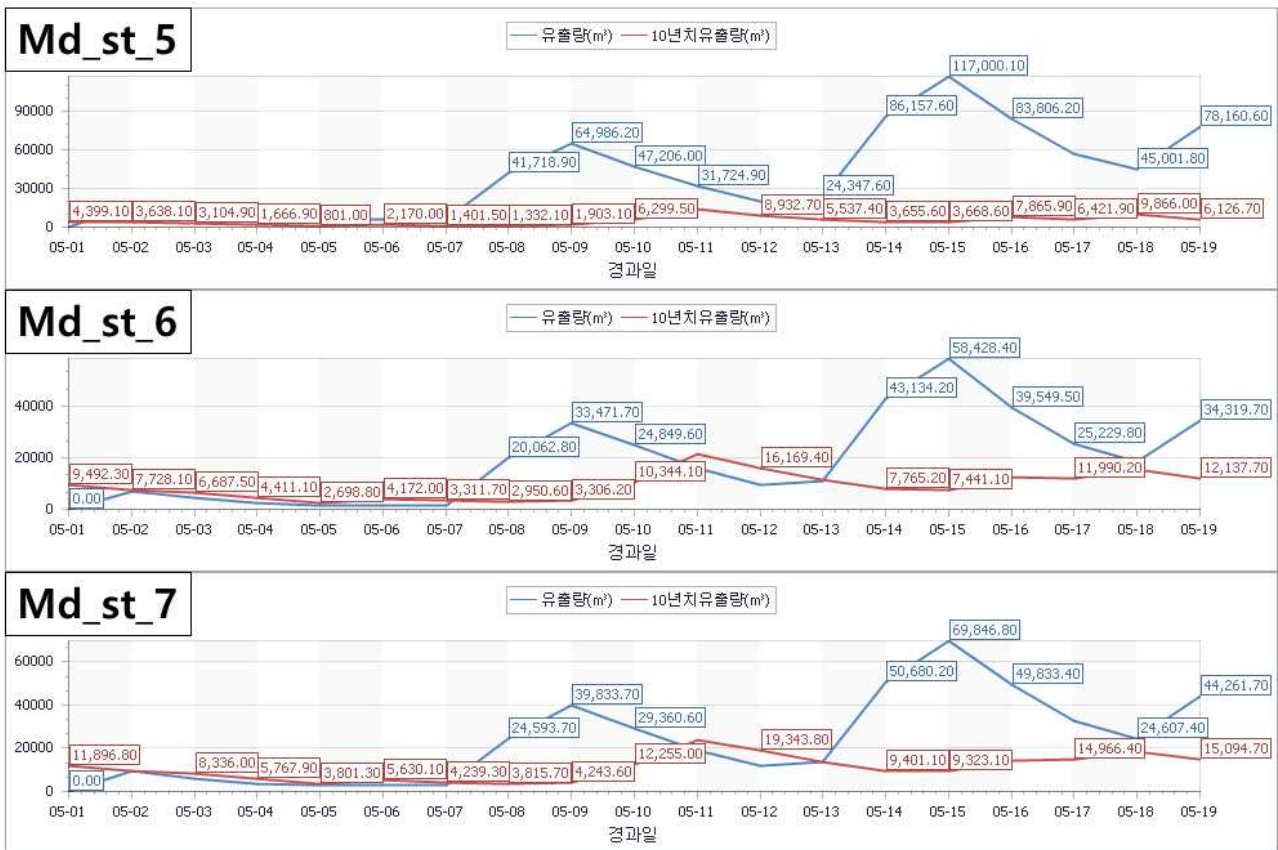


[그림 2-9-8] 마둔저수지 시나리오 1 모의 결과

- 마둔저수지의 가용수량은 이동형 양수장치의 접근성을 고려하여 용수말단부 또는 배수로 인근의 취입보 또는 하천인 주요 7개 지점으로 선정하였다. 시나리오 1 모의 결과 농촌간선 아래의 들녘에는 목표담수심의 20~40%의 용수가 공급되어 물 부족 상태 나타났으며 이때 면적은 약 136 ha이다.

[표 2-9-16] 마둔저수지 시나리오 1 모의 결과 직접대응 가용수량 분석

부족필지	면적 (ha)	평균 담수율(%)	필요수량(m ³)	관개량(m ³)	부족량(m ³)	가용수량 지점	직접대응 가용수량(m ³)
JR01~05, NC01~04	50.06	24	30,036	7,392	22,644	Md_st_5	755,653
OC01~04, SG01~03	60.31	27	36,186	10,014	26,172	Md_st_6	352,083
MD14~17	26.19	28	15,714	4,430	11,284	Md_st_7	438,558
합계	136.56	26.33	81,939	21,839	60,103	합계	1,546,297

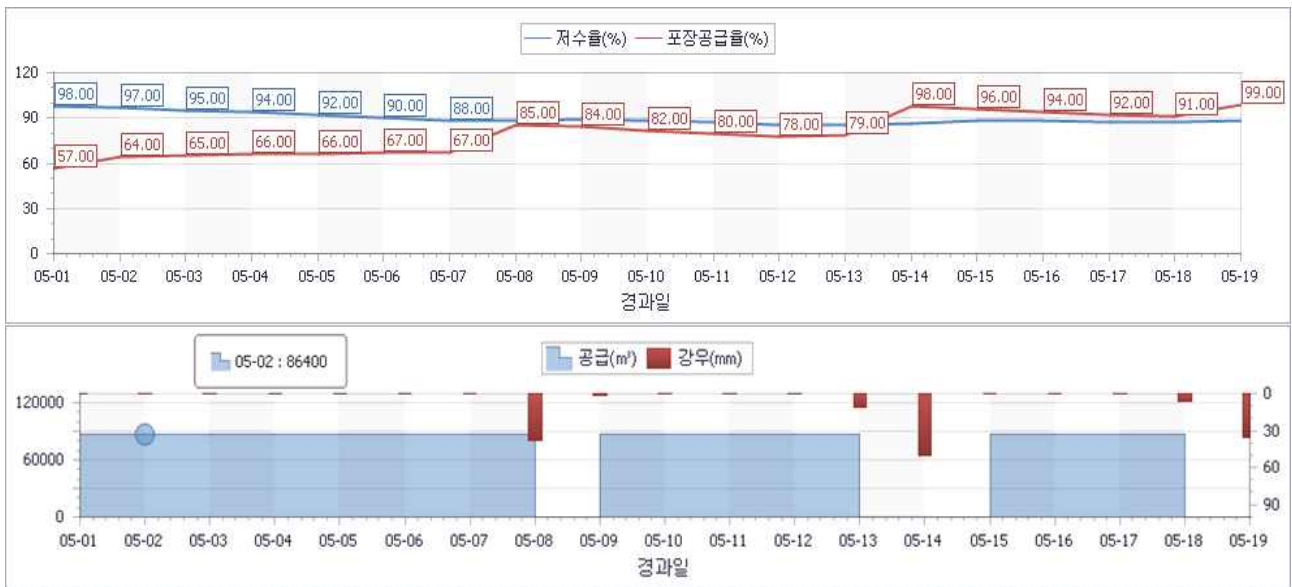


[그림 2-9-9] 마둔저수지 시나리오 1 결과 지점별 가용수량

- 모의 결과에 따라 물 부족으로 나타난 필지의 면적과 부족량과 위치를 파악하였고, 이동형 양수장치를 통해 직접 대응이 가능한 가용수량을 분석하였다. 시나리오 1의 모의 결과, 중리지선, 오촌~신기지선, 마둔간선 말단의 필지에 용수가 부족했으며 평균 담수율은 26.33 %, 용수 부족량 합계는 60,103 m³으로 나타났다. 각각 Md_st 5에서 755,653 m³, Md_st 6에서 352,083 m³, Md_st 7에서 438,558 m³의 가용수량이 파악되었고, 이동형 양수장치를 이용하여 직접 대응이 가능할 것으로 판단된다.

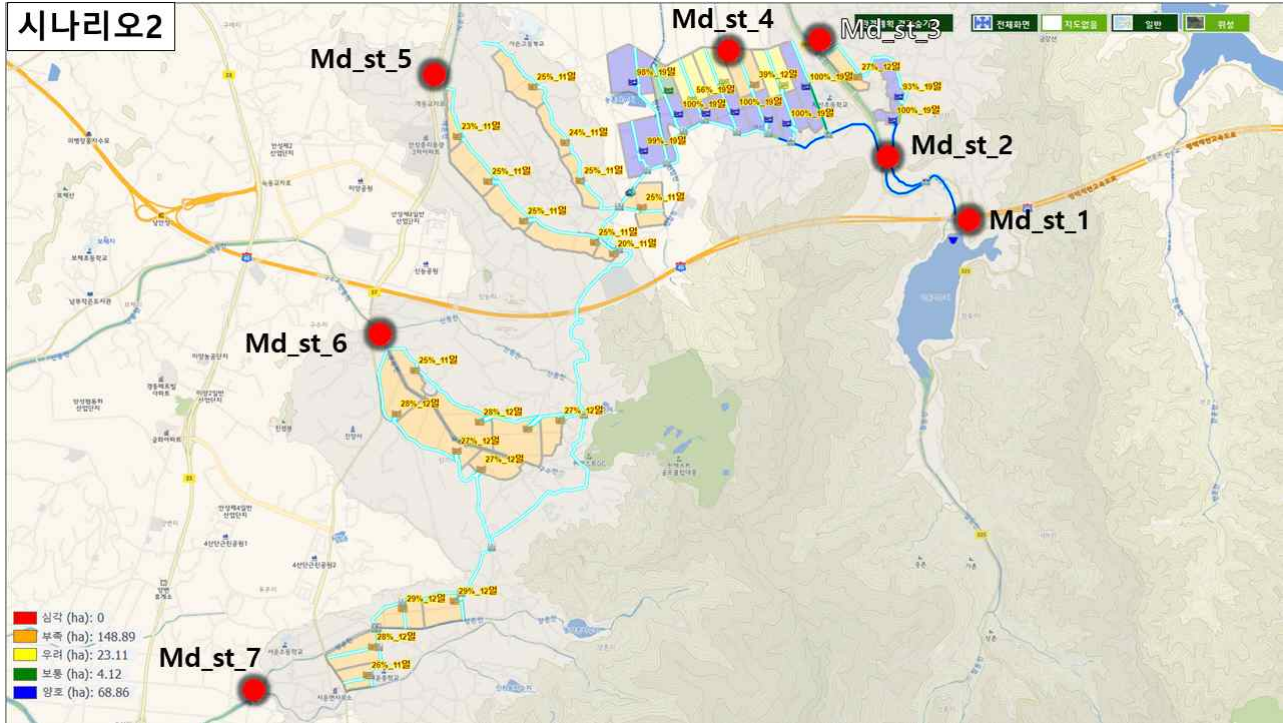
[표 2-9-17] 마둔저수지 시나리오 2 모의 결과

대상지구	모의면적 (ha)	모의조건	목표담수면적(ha)		공급량 (m ³)	관개량 (m ³)	퇴수량 (m ³)	가용수량 (m ³)
			심각(20% 이하)	0				
마둔	244.98	시나리오2	부족(20%-40%)	148.89	1,209,600	1,099,032	110,568	2,068,257
			우려(40%-60%)	23.11				
			보통(60%-80%)	4.12				
			양호(80% 이상)	68.86				
			심각(20% 이하)	0				



[그림 2-9-10] 마둔저수지 시나리오 2 모의 결과

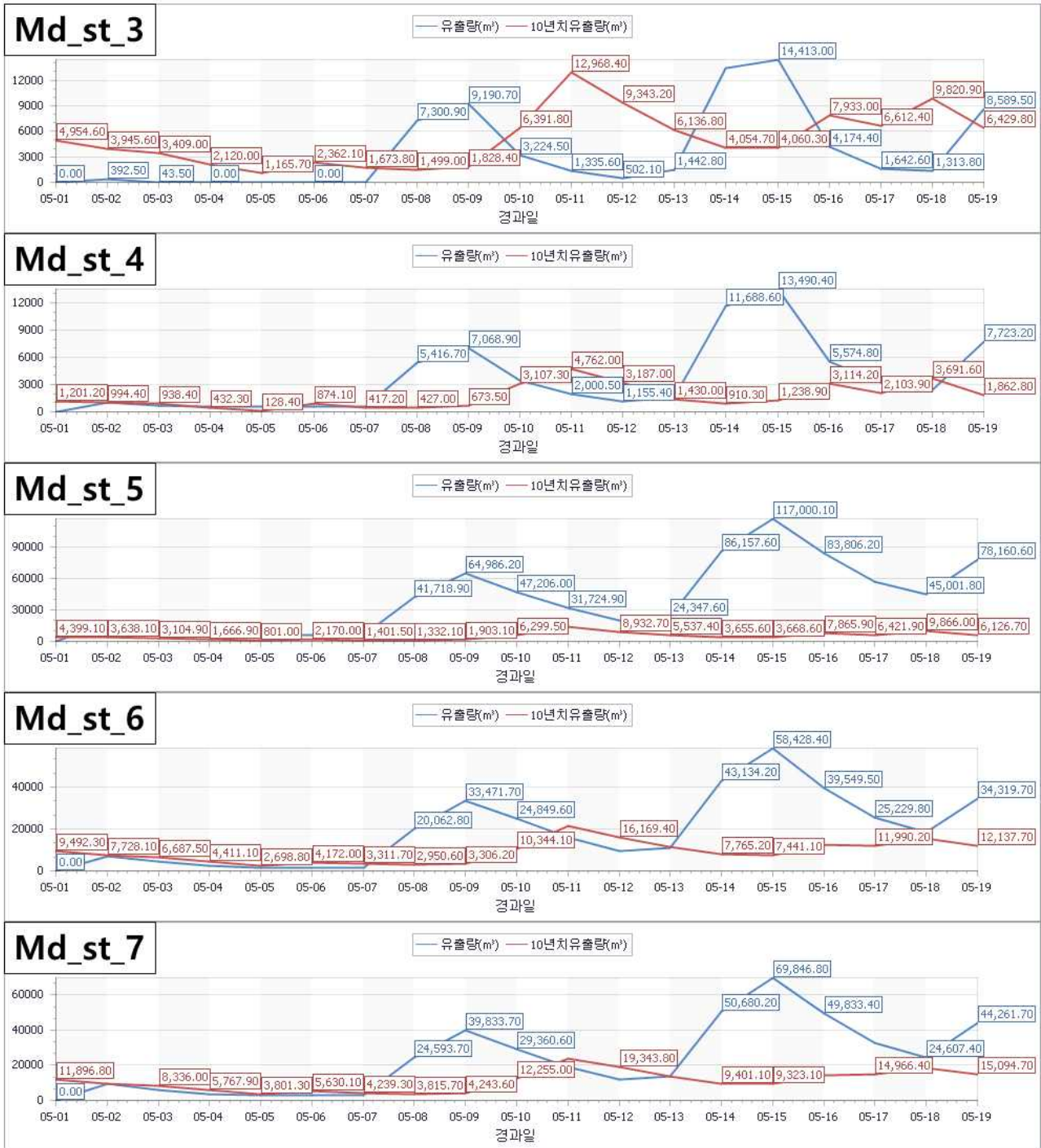
- 시나리오 2 모의 결과, 모의면적 244.96ha에 공급된 용수는 1,209,600 m³으로 이때 관개량은 1,099,032 m³이다. 목표담수심의 80% 이상 용수가 공급된 면적은 68.86 ha, 60~80%가 공급된 면적은 4.12 ha, 40~60%가 공급된 면적은 23.11 ha, 20~40%가 공급된 면적은 148.89 ha로 가장 많았다. 시나리오 1과 유사하게 농촌간선 아래의 말단부 들녘에는 용수공급이 원활하지 못하고 일부 마둔간선의 말단부에 용수공급이 어려운 것으로 나타났다. 주요 가용수량 지점의 가용수량은 2,066,257 m³로 나타났다.



[그림 2-9-11] 마둔저수지 시나리오 2 모의 결과

[표 2-9-18] 마둔저수지 시나리오 2 모의 결과 직접대응 가용수량 분석

부족필지	면적 (ha)	평균 담수율(%)	필요수량(m ³)	관개량(m ³)	부족량(m ³)	가용수량 지점	직접대응 가용수량(m ³)
OS03	4.43	27	2,658	718	1,940	Md_st_3	66,965
MD03,05,07,09,11	35.13	50	21,078	10,071	11,007	Md_st_4	68,919
JR01~05, NC01~04	50.06	24	30,036	7,392	22,644	Md_st_5	755,653
OC01~04, SG01~03	60.31	27	36,186	10,014	26,172	Md_st_6	352,083
MD14~17	26.19	28	15,714	4,430	11,284	Md_st_7	438,558
합계	176.12	31.20	105,675	32,628	73,050	합계	1,682,181

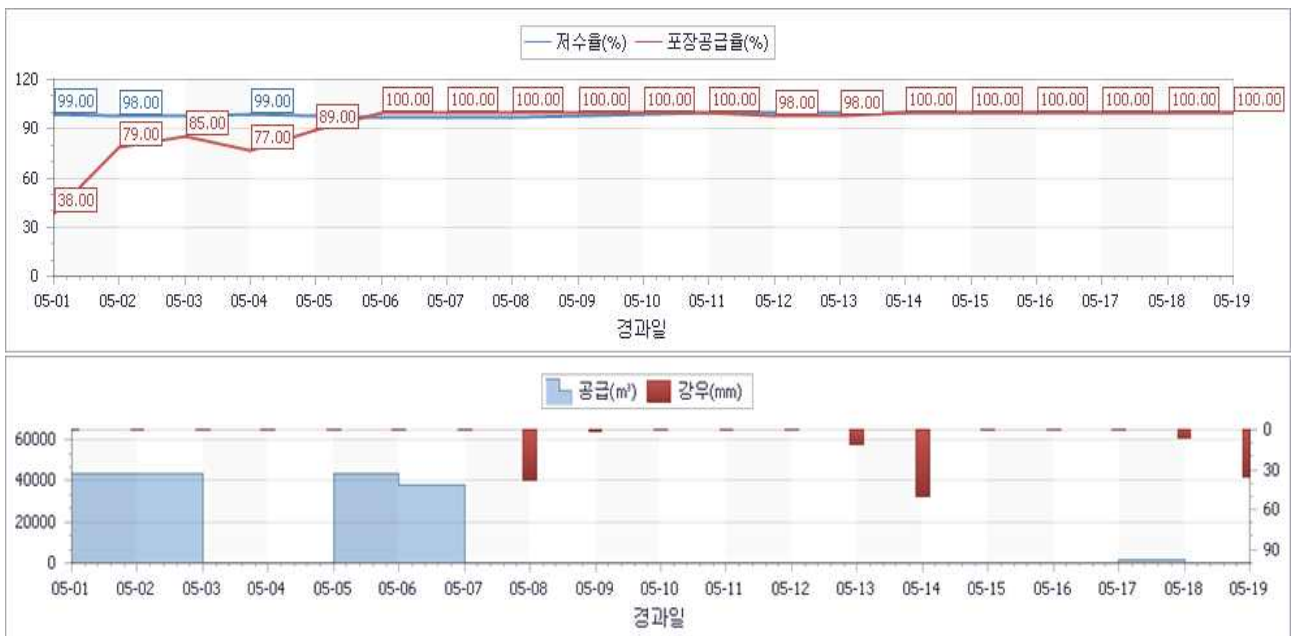


[그림 2-9-12] 마둔저수지 시나리오 2 결과 지점별 가용수량

- 시나리오 2의 모의 결과, 오산지선, 마둔간선의 말단부, 중리지선, 오촌~신기지선의 필지에 용수가 부족했으며 평균 담수율은 31.20 %, 용수 부족량 합계는 73.050 m³으로 나타났다. 각각 Md_st 3에서 66.965 m³, Md_st 4에서 68.919 m³, Md_st 5에서 755.653 m³, Md_st 6에서 352.083 m³, Md_st 7에서 438.558 m³의 가용수량이 파악되었고, 이동형 양수장치를 이용하여 직접 대응이 가능할 것으로 판단된다.

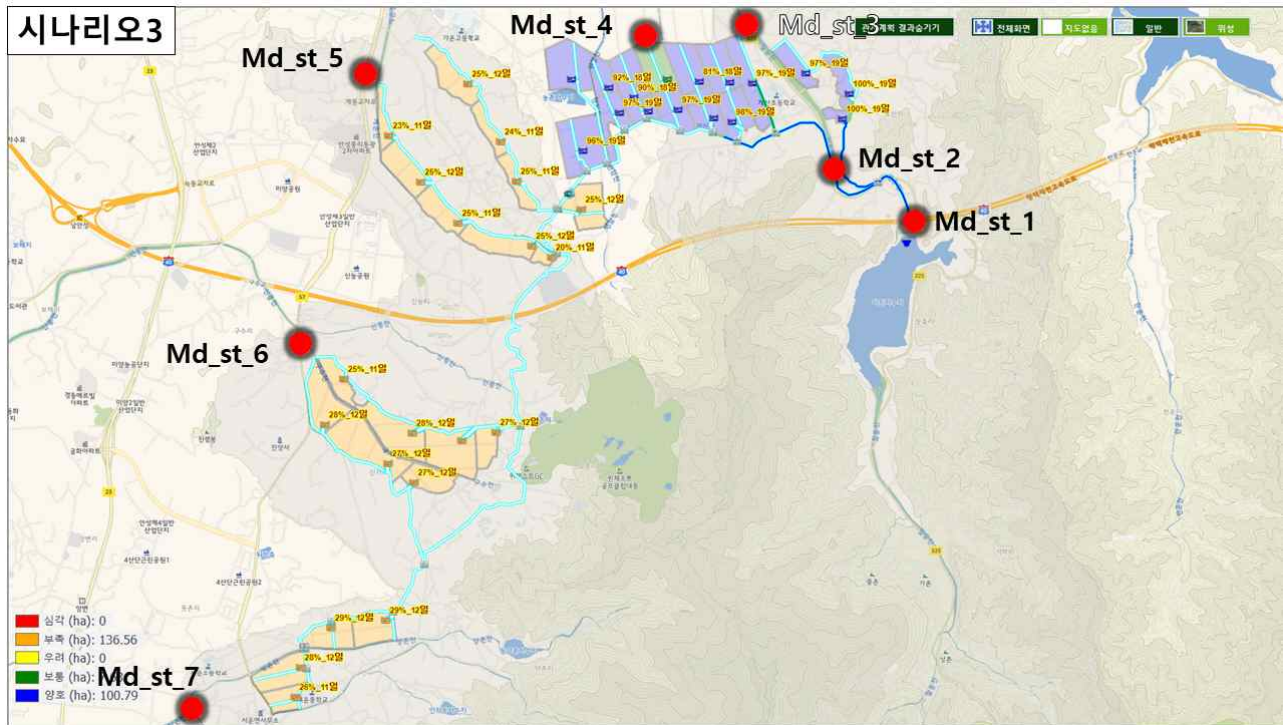
[표 2-9-19] 마둔저수지 시나리오 3 모의 결과

대상지구	모의면적 (ha)	모의조건	목표담수면적(ha)		공급량 (m ³)	관개량 (m ³)	퇴수량 (m ³)	가용수량 (m ³)
			심각(20% 이하)	부족(20%-40%)				
마둔	244.98	시나리오3	심각(20% 이하)	0	169,200	117,368	51,832	2,068,739
			부족(20%-40%)	136.56				
			우려(40%-60%)	0				
			보통(60%-80%)	7.63				
			양호(80% 이상)	100.79				



[그림 2-9-13] 마둔저수지 시나리오 3 모의 결과

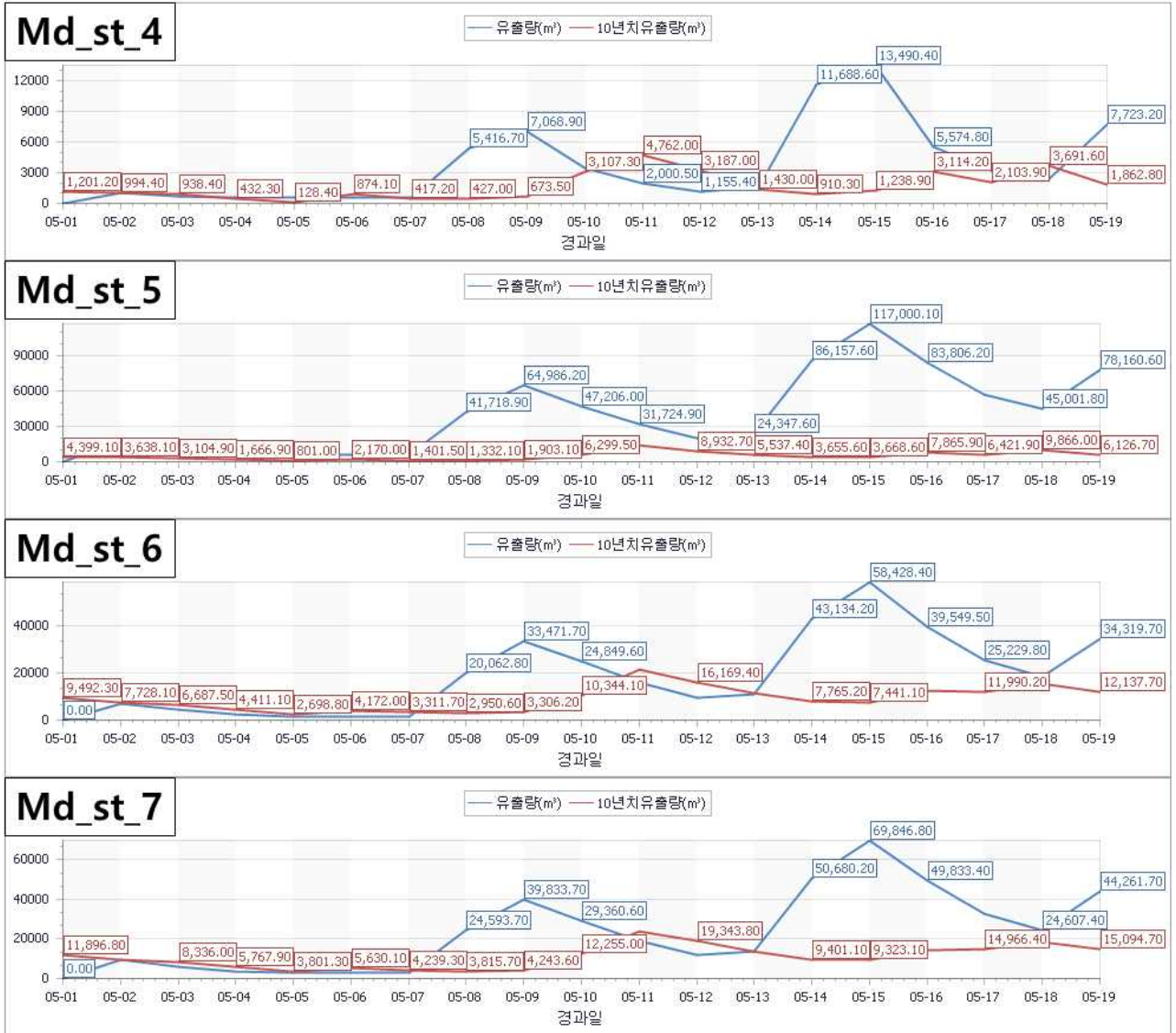
- 시나리오 3 모의 결과, 모의면적 244.96ha에 공급된 용수는 169,200 m³으로 이때 관개량은 117,368 m³이다. 목표담수심의 80% 이상 용수가 공급된 면적은 100.79 ha, 60~80%가 공급된 면적은 7.63 ha, 20~40%가 공급된 면적은 136.56 ha로 가장 많았다. 농촌간선 아래의 말단부 들녘에는 용수공급이 원활하지 못하고 일부 마둔간선의 말단부에 용수공급이 어려운 것으로 나타났다. 주요 가용수량 지점의 가용수량은 2,068,739 m³로 나타났다.



[그림 2-9-14] 마둔저수지 시나리오 3 모의 결과

[표 2-9-20] 마둔저수지 시나리오 3 모의 결과 직접대응 가용수량 분석

부족필지	면적 (ha)	평균 답수율(%)	필요수량(m ³)	관개량(m ³)	부족량(m ³)	가용수량 지점	직접대응 가용수량(m ³)
MD07	7.63	78	4,578	3,571	1,007	Md_st_4	68,914
JR01~05, NC01~04	50.06	24	30,036	7,392	22,644	Md_st_5	755,605
OC01~04, SG01~03	60.31	27	36,186	10,014	26,172	Md_st_6	352,057
MD14~17	26.19	28	15,714	4,430	11,284	Md_st_7	438,528
합계	144.19	39.25	86,517	25,410	61,110	합계	1,615,107

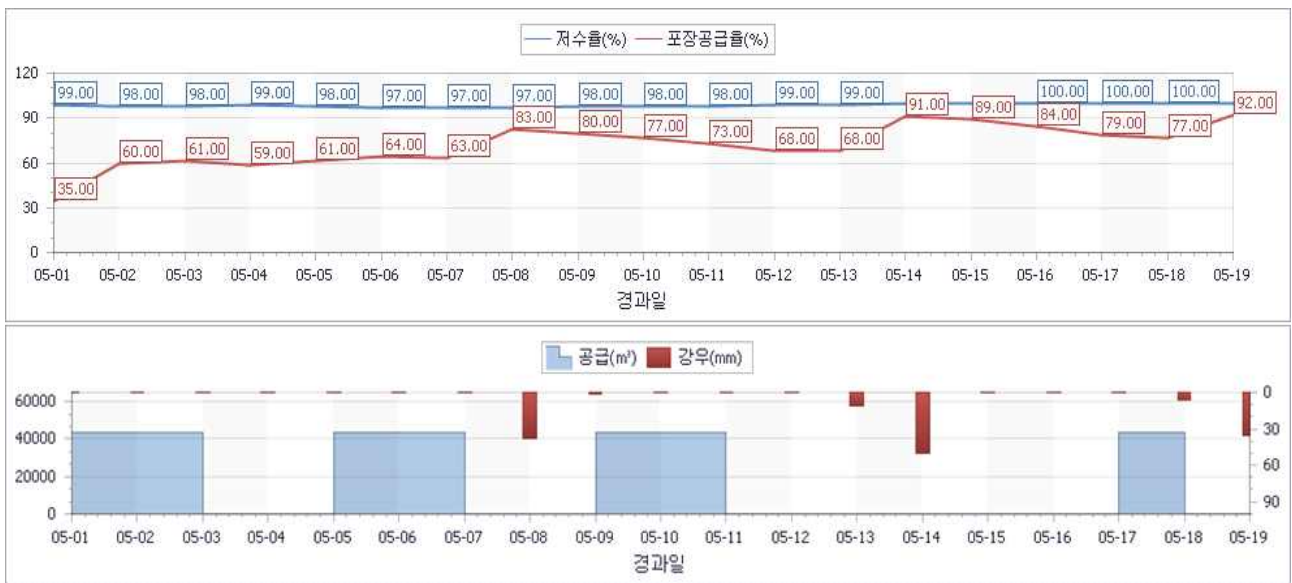


[그림 2-9-15] 마둔저수지 시나리오 3 결과 지점별 가용수량

- 시나리오 3의 모의 결과, 마둔간선의 말단부, 중리~농촌지선, 오촌~신기지선의 필지에 용수가 부족했으며 평균 담수율은 39.25 %, 용수 부족량 합계는 86.517 m³로 나타났다. 각각 Md_st 4에서 68.914 m³, Md_st 5에서 755.603 m³, Md_st 6에서 352.057 m³, Md_st 7에서 438.528 m³의 가용수량이 파악되었고, 이동형 양수장치를 이용하여 직접 대응이 가능할 것으로 판단된다.

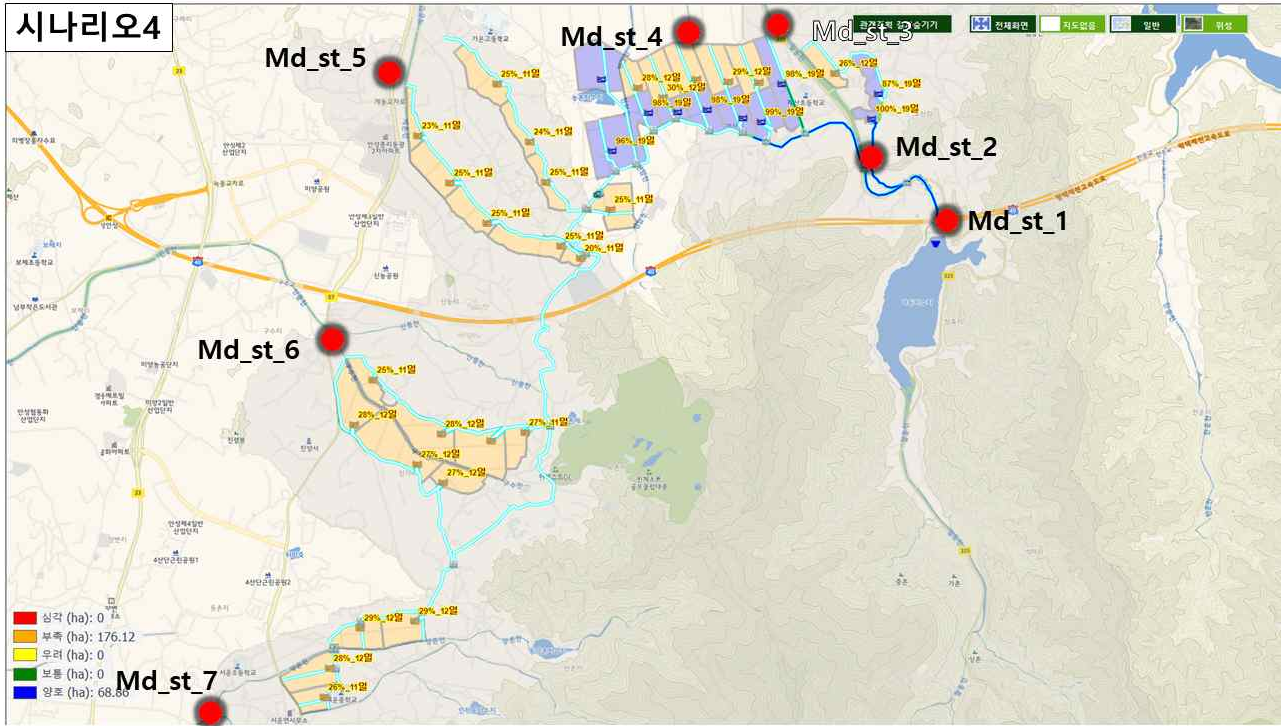
[표 2-9-21] 마둔저수지 시나리오 4 모의 결과

대상지구	모의면적 (ha)	모의조건	목표담수면적(ha)		공급량 (m ³)	관개량 (m ³)	퇴수량 (m ³)	가용수량 (m ³)
			심각(20% 이하)	부족(20%-40%)				
마둔	244.98	시나리오4	심각(20% 이하)	0	302,400	296,248	6,152	2,068,167
			부족(20%-40%)	176.12				
			우려(40%-60%)	0				
			보통(60%-80%)	0				
			양호(80% 이상)	68.86				



[그림 2-9-16] 마둔저수지 시나리오 4 모의 결과

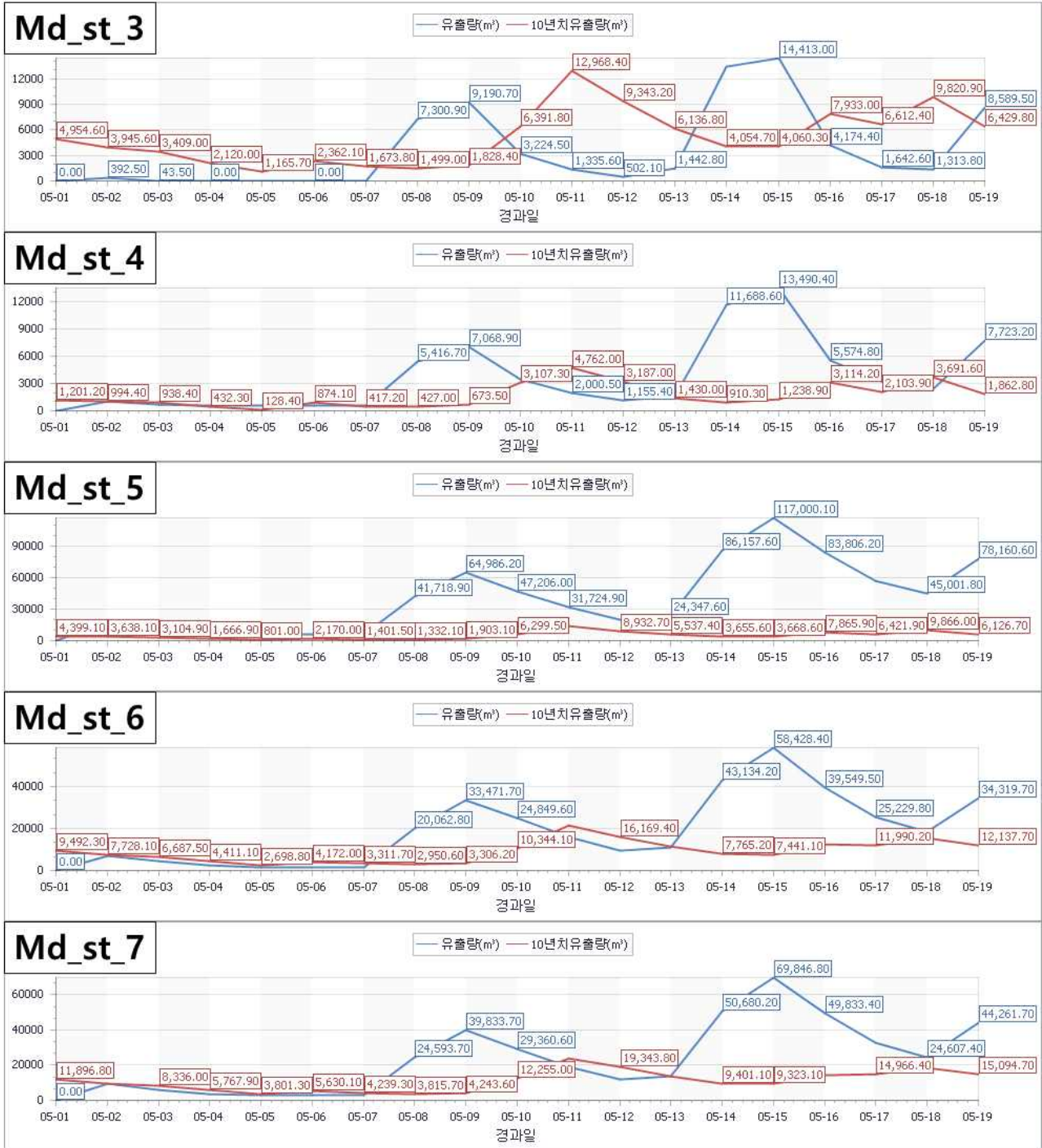
- 시나리오 4 모의 결과, 모의면적 244.96ha에 공급된 용수는 302,400 m³으로 이때 관개량은 296.248 m³이다. 목표담수심의 80% 이상 용수가 공급된 면적은 68.86 ha, 20~40%가 공급된 면적은 176.12 ha로 대체로 용수공급이 원활하지 못했다. 주요 가용수량 지점의 가용수량은 2,068,167 m³로 나타났다.



[그림 2-9-17] 마둔저수지 시나리오 4 모의 결과

[표 2-9-22] 마둔저수지 시나리오 4 모의 결과 직접대응 가용수량 분석

부족필지	면적 (ha)	평균 담수율(%)	필요수량(m ³)	관개량(m ³)	부족량(m ³)	가용수량 지점	직접대응 가용수량(m ³)
OS03	4.43	26	2,658	691	1,967	Md_st_3	66,965
MD03,05,07,09,11	35.13	29	21,078	6,133	14,945	Md_st_4	98,919
JR01~05, NC01~04	50.06	24	30,036	7,392	22,644	Md_st_5	755,653
OC01~04, SG01~03	60.31	27	36,186	10,014	26,172	Md_st_6	352,083
MD14~17	26.19	28	15,714	4,430	11,284	Md_st_7	438,558
합계	176.12	26.80	105,675	28,663	77,015	합계	1,712,181



[그림 2-9-18] 마둔저수지 시나리오 4 결과 지점별 가용수량

- 시나리오 4의 모의 결과, 오산지선, 마둔간선의 말단부, 중리~농촌지선, 오촌~신기지선, 마둔지선의 필지에 용수가 부족했으며 평균 담수율은 26.80 %로 나타났다. 각 필지의 부족량은 오산지선 1,967 m³, 마둔간선 말단부 14,945 m³, 중리~농촌지선 22,644 m³, 오촌~신기지선 26,172 m³, 마둔지선 4,430 m³으로 인근의 가용수량 지점에서 이동형 양수장치를 이용하여 직접 대응이 가능할 것으로 판단된다.

2. 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 기술개발

가. 제1절 순환형 농업용수 관리 의사결정지원 요소 선정

(1) 시나리오 기반 순환형 농업용수 공급 의사결정 모의

- 용수계통 주요지점에 설치된 계측자료를 토대로 4월에서 10월까지의 영농시기의 농업용수 공급 상황을 작부시기별 및 노선별로 조회
- 용수로를 통하여 공급되는 용수를 기존의 용수공급 시기의 공급 패턴을 참고하여 수문의 개폐, 공급량의 변경 등 지역별, 노선별 최적물공급량과 도달시간을 파악하기 위한 공급방식을 설정
- 설정된 모의방식에 의하여 순환형 농업용수 관리시스템을 통하여 각종 자료를 수집하고 기상자료와 모형 수행에 필요한 변수를 설정하여 용수 공급을 모의하기 위한 입력자료를 작성한 후 모의실행
- 용수공급 모의 결과를 정리하여 분기점, 노선, 유말공 등 주요지점의 공급량과 용수 도달시간, 퇴수량, 가용수량 등 분석정보를 제공

(2) 관개방법

- 간단관개 : 관개하여 담수한 다음 며칠간은 관개하지 않고 낙수함으로써 효율적인 물사용이 가능하여 물절약과 작물 성장 촉진이 가능
- 윤회관개 : 몇 개의 지역으로 나누어 차례대로 간단관개를 수행
- 순환관개 : 관개 후 배수로의 물을 저류지, 소택지에 저장한 후 양수기로 퍼올려 대이용

(3) 수문조작

- 분수문/제수문 조작 : 용수공급 허황 정보와 용수공급 계획 정보를 기반으로 용수를 공급하기 위한 분수문 또는 제수문 조작 등 시설물 제어 기능을 탑재한 시스템으로 구성
- 양수장 : 용수공급 계획에 의하여 양수장의 가동과 중지 그리고 추가 가동 등을 수행 할 수 있는 기능을 탑재한 시스템으로 구성
- 가뭄대응 : 용수공급 계획, 용수공급 방법, 가뭄 시 물부족 들녘 파악, 이동형 양수 장치의 가동 등 필요한 시설운영이 가능하도록 구성

나. 의사결정 지원요소 항목 분석 및 요소별 인터페이스

(1) 유입 시나리오

- 강수량을 평년, 평년의 100%, 70%, 50%, 30%로 기준하여 기상 상황에 따른 모의 가능. 저수지 저수율의 평년, 평년의 100%, 70%, 50%, 30%로 기준하여 저수율 상황에 따른 모의가 가능하도록 구성. 수원공 상류 유역에서 유입되는 유입량을 장기유출 모형 분석을 통하여 일간, 월간 유입량을 분석하도록 구성

(2) 관개 시나리오

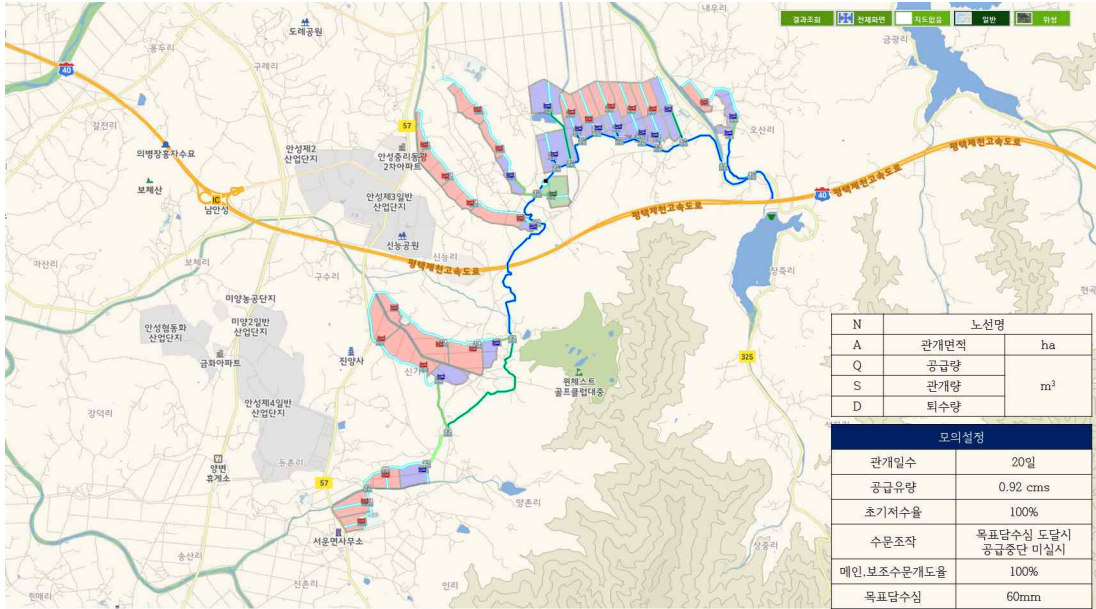
- 작물의 생육 단계별 필요수량으로 저수지 공급량을 설정하고, 관개방식과 수문조작을 조절함으로써 들녘의 용수공급현황을 모의하며, 수원공으로 유입되는 유입량과 용수공급계획에 따른 용수량, 손실량 등을 기반으로 수원공의 용수공급 능력을 분석하는 모듈 구성

(3) 배수 시나리오

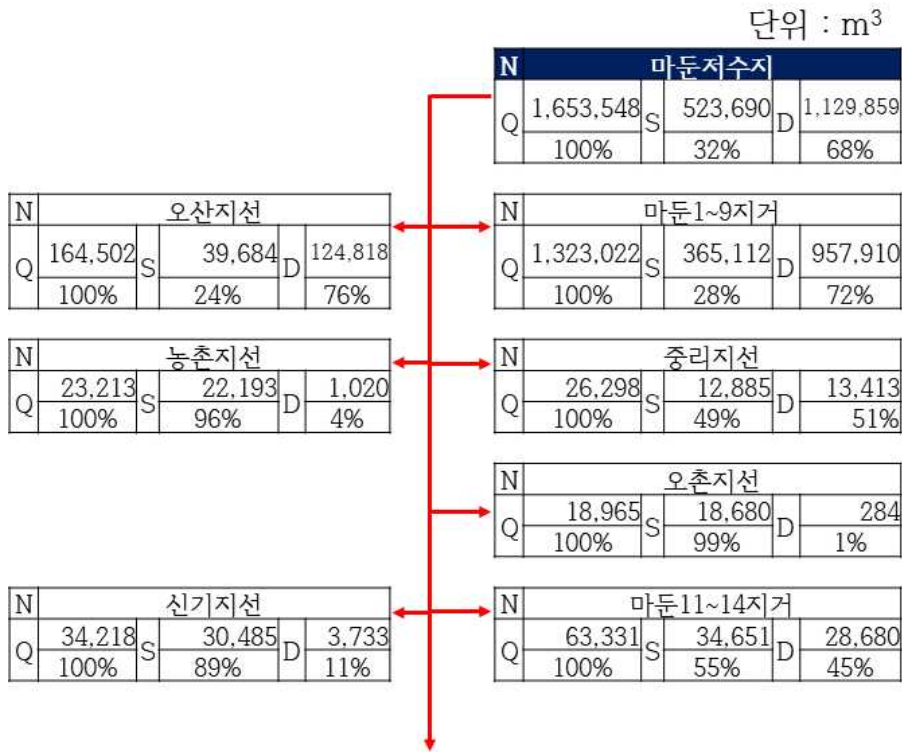
- 수원공인 저수지에서 공급된 물이 수로를 따라 흐르면서 논외의 공급량, 수로의 잔류량을 파악하고 논과 수로, 유말공에서 퇴수되는 수량을 확인하여 가용수량을 파악



[그림 2-9-19] 의사결정 지원요소 항목 분석 및 요소별 의사결정 인터페이스



[그림 2-9-20] 모의시나리오에 따른 마둔저수지 모의결과 예시



[그림 2-9-21] 마둔저수지 수로별 농업용수 모의상황 예시

3. 순환형 농업용수 관리시스템의 표준화 방안

가. 순환형 농업용수 관리시스템의 용수관리 영역

- 순환형 농업용수 관리 시스템의 표준화 방안은 본 시스템에 의해 활용될 수 있는 국가 용수관리 업무영역 내에서 포함될 수 있는 범위에 대하여 분석하고, 향후 용수관리 업무영역에서 구축 및 운영되어야 하는 분야에 대하여 제시하고자 한다.

(1) 순환형 농업용수 관리시스템의 용수관리 업무영역 구분

- 국내 용수관리 관련기관의 업무영역을 분석하여 영역을 11종류로 구분한 결과 수문기상, 유역, 하천, 댐, 지하수, 이수, 수도, 수환경 및 생태, 자연재해, 지형공간, 해양수질환경 및 조석으로 아래 표와 같이 나타낼 수 있다.

[표 2-9-23] 순환형 농업용수 관리시스템의 용수관리 업무영역 구분

업무영역	관련 물관리 업무
수문기상	강우관측, 수위관측, 유량관측, 일기도, 기온, 증발 등
유역	유역특성, 인문사회, 유역환경, 사회가반시설
하천	하천형상, 하천시설, 하천관리
댐	댐 시설, 저수지, 하천관리
지하수	지하수수문수질, 지하수개발 및 이용
이수	생활용수, 농업용수, 공업용수, 수리권, 회귀수량, 물이동특성
수도	수도시설, 운영관리, 수질관리
수환경 및 생태	하천수질, 호소수질, 유역오염, 하수도, 환경기초시설, 생태
자연재해	홍수관리, 가뭄, 태풍
지형공간	기본도, 수자원주제도, 유역주제도, 환경주제도, 영상자료, 해양공간정보
해양수질환경 및 조석	해양환경조사, 조석 및 해양기상관측

(2) 순환형 농업용수 관리시스템의 용수관리 업무 분류체계

- 국내 용수관리 관련 기관별로 산재해 있는 정보를 동일한 관점에서 이해할 수 있는 물관리 정보 업무 분류체계를 대분류 11개 항목, 중분류 45개 항목, 소분류 158개 항목으로 재분류하면 아래 표와 같다.

[표 2-9-24] 순환형 농업용수 관리시스템의 용수관리 업무 분류체계

대분류	중분류	소분류	관련기초조사 자료항목
수문기상	기왕수문기상	<ul style="list-style-type: none"> □ 강우 □ 수위 □ 유량 □ 기상 □ 유사량 	<ul style="list-style-type: none"> □ 관측지점, 관측소제원, 시강우, 일강우, 시수위, 일수위, 영점표고, 유량, 수위유량곡선, 유사량, 지상기상관측자료
	실시간수문기상	<ul style="list-style-type: none"> □ 실시간 강우 □ 실시간 수위 □ 실시간 기상 	<ul style="list-style-type: none"> □ 관측지점, 관측소제원, TM강우, TM수위, AWS 관측자료
유역	유역특성	<ul style="list-style-type: none"> □ 지형 특성 □ 유출 특성 □ 토양 특성 □ 지하수 특성 	<ul style="list-style-type: none"> □ 유역명, 권역명, 행정구역, 하천밀도, 배수밀도, 하천연장, 하천차수, 유출계수, 피복상태, CN값, 유역평균경사, 유역고도분포도, 유역방향, 토양통, 유효토심, 침투량, 지하자연수위
	인문사회	<ul style="list-style-type: none"> □ 인구통계 □ 지역경제 	<ul style="list-style-type: none"> □ 유역명, 권역명, 행정구역, 총인구, 생산활동인구, 농가인구, GNP, GDP, 농가소득, 공단자료
유역	유역환경	<ul style="list-style-type: none"> □ 자연생태 □ 어족자원 □ 유역보존 	<ul style="list-style-type: none"> □ 유역명, 권역명, 행정구역, 동물생태자료, 식물생태자료, 어족자료, 수산자료, 문화재, 국립공원, 산림자원, 녹지자료
	사회기반시설	<ul style="list-style-type: none"> □ 도로교통 □ 생산기반시설 □ 농업생산기반시설 	<ul style="list-style-type: none"> □ 유역명, 권역명, 행정구역, 도로자료, 교통량, 물동량, 전기시설, 통신설비, 가스시설, 집하장, 경지정리, 용배수계통
	국토개발	<ul style="list-style-type: none"> □ 지역개발 □ 도시개발 □ 토지이용계획 	<ul style="list-style-type: none"> □ 유역명, 권역명, 행정구역, 지역개발계획, 계획도면, 도시재정비계획, 토지이용계획
하천	하천형상	<ul style="list-style-type: none"> □ 종단 □ 횡단 □ 호안 □ 바닥보호 	<ul style="list-style-type: none"> □ 하천명, 구간, 하천제원, 종단도, 횡단도, 제방단면도, 호안구조도, 하상자료, 바닥보호공
	하천시설	<ul style="list-style-type: none"> □ 취수장 □ 양수장 □ 취입보 	<ul style="list-style-type: none"> □ 시설명, 시설종류, 시설제원, 처리용량, 운영현황

		<ul style="list-style-type: none"> □ 집수암거 □ 배수장 □ 배수문 □ 양/배수장 □ 저수지 	
	하천관리	<ul style="list-style-type: none"> □ 하천대장 □ 유수점용인허가 □ 유수점용료징수 □ 하천정비기본계획 □ 하천정비실시계획 □ 하천보존구역 □ 소하천 	<ul style="list-style-type: none"> □ 하천명, 하천등급, 구간, 관리기관, 계획홍수량, 계획홍수위, 유수점용 인허가, 골재보존량, 채취허가, 유수점용료 징수, 하천정비기본계획, 기본계획부도, 실시계획자료, 실시계획도면, 하천보존구역현황, 범람구역, 연안구역, 하천예정지, 폐천부지, 하천공사자료, 갈수량
댐	댐시설	<ul style="list-style-type: none"> □ 본댐시설 □ 조정지시설 □ 부댐시설 	<ul style="list-style-type: none"> □ 댐명, 권역, 댐제원, 본댐시설, 조정지시설, 발전시설, 부대시설
	저수지관리	<ul style="list-style-type: none"> □ 수면관리 □ 수변관리 □ 수질관리 	<ul style="list-style-type: none"> □ 댐명, 저수지명, 저수지면적, 저수지-저수량곡선, 호분도, 목적외사용시설, 수변관리자료, 습지관리, 수질자료, 유사량, 퇴적량, 준설, 선박, 오물처리
	댐운영	<ul style="list-style-type: none"> □ 생공용수 □ 농업용수 □ 발전용수 □ 홍수조절 □ 하천유지용수 □ 댐수문 정보 	<ul style="list-style-type: none"> □ 댐명, 권역, 댐제원, 유역, 유입량, 방류량, 발전용수량, 생공용수공급량, 농업용수공급량, 홍수조절, 환경유량, 관리유량, 경관유량, 댐수문자료, 댐
지하수	지하수수문수질	<ul style="list-style-type: none"> □ 지하수 수문특성 □ 지하수 수질특성 	<ul style="list-style-type: none"> □ 권역, 행정구역, 수위, 층적층심도, 수리특성, 항목별수질분포, 오염취약성지수, 선구조
	지하수 개발 이용현황	<ul style="list-style-type: none"> □ 시설현황 □ 이용현황 □ 폐공현황 	<ul style="list-style-type: none"> □ 관정명, 관정제원, 행정구역, 위치현황, 이용현황, 폐공현황
이수	생활용수	<ul style="list-style-type: none"> □ 생활용수 인자 □ 생활용수사용현황 	<ul style="list-style-type: none"> □ 행정구역, 권역, 인구, 생활용수인자, 급수실적, 유수유량, 부수유량, 유효유량, 보급률, 수원별이용량, 용수수요, 용도별이용량
	농업용수	<ul style="list-style-type: none"> □ 농업용수 인자 □ 농업용수사용현황 	<ul style="list-style-type: none"> □ 권역, 행정구역, 관리면적, 농업용수인자, 기상자료, 작물계수, 작부체계, 축산용수, 농업용수수요량, 관개용수공급현황
	공업용수	<ul style="list-style-type: none"> □ 공업용수 인자 □ 공업용수사용현황 	<ul style="list-style-type: none"> □ 공단명, 행정구역, 권역, 공단현황, 공업용수인자, 공업용수수요, 수원별공업용수공급현황
	수리권	<ul style="list-style-type: none"> □ 관행 	<ul style="list-style-type: none"> □ 시설명, 유역명, 점용장소, 하천명, 하

		<ul style="list-style-type: none"> □ 허가 	<ul style="list-style-type: none"> 천등급, 점용목적, 준공년도, 최대양수량, 점용기한, 허가일, 허가량
	회귀수량	<ul style="list-style-type: none"> □ 생활용수 □ 공업용수 □ 농업용수 	<ul style="list-style-type: none"> □ 행정명, 유역명, 조사방법, 시범지역, 회귀율, 산정인자, 이용량, 인구, 유출량, 배출량, 관개량, 배수량, 침투심, 강우량, 온도
	물이동특성	<ul style="list-style-type: none"> □ 물이동현황 	<ul style="list-style-type: none"> □ 행정구역, 유역명, 생활용수, 공업용수, 농업용수, 취수장, 양수장, 양/배수장, 침투심, 강우량, 온도
수도	수도시설	<ul style="list-style-type: none"> □ 광역상수도시설 □ 지방상수도시설 □ 간이상수도시설 	<ul style="list-style-type: none"> □ 시설명, 계통, 행정구역, 권역, 수혜지역, 취수설비, 정수장, 도수시설, 급수시설, 배수시설, 가압장, 송수관도, 통수량, 취정수장
	운영관리	<ul style="list-style-type: none"> □ 급수실적 □ 수도요금 징수 □ 개보수 □ 응급복구 	<ul style="list-style-type: none"> □ 시설명, 계통, 행정구역, 권역, 공급량, 유수수량, 무수수량, 공급계획, 운영실적, 수도요금징수, 통수량, 개보수실적, 수도사고현황, 응급복구실적
	수질관리	<ul style="list-style-type: none"> □ 정수장수질 □ 음용수질 □ 간이상수도수질 	<ul style="list-style-type: none"> □ 시설명, 계통, 행정구역, 권역, 정수장수질, 정수장 수질 시험자료, 음용수질 성적
수환경생태	하천수질	<ul style="list-style-type: none"> □ 하천수질 측정망 □ 하천수질항목관리 □ 하천수질보전계획 	<ul style="list-style-type: none"> □ 하천명, 측정지점, 행정구역, 권역, 수질측정자료, 수질시험자료, 목표수질, 오염물질삭감계획자료, 오염부하량
	호수수질	<ul style="list-style-type: none"> □ 호소수질측정망 □ 호소수질항목관리 □ 호소수질보전계획 	<ul style="list-style-type: none"> □ 호소명, 측정지점, 행정구역, 권역, 수질측정자료, 수질시험자료, 목표수질, 오염물질삭감계획자료, 오염부하량
	유역오염	<ul style="list-style-type: none"> □ 점오염 □ 비점오염원 □ 오염원단위 □ 오폐수발생량 □ 발생부하량 □ 배출부하량 □ 오염총량 	<ul style="list-style-type: none"> □ 유역명, 권역, 행정구역, 오염원단위, 축산폐수현황, 하수종말처리장, 오염부하량, 오염원 목표수질, 오염원 삭감계획자료
	하수도	<ul style="list-style-type: none"> □ 하수도시설 □ 하수세부과 □ 하수도재정비 	<ul style="list-style-type: none"> □ 시설명, 행정구역, 권역, 하수관리자료, 오수거, 우수거, 하수도 관리대상자료, 하수도 재정비계획자료
	환경기초시설	<ul style="list-style-type: none"> □ 하수처리시설 □ 분뇨처리시설 □ 축산폐수처리시설 □ 간이축산폐수처리시설 □ 폐수종말처리시설 □ 오수처리시설 □ 매립지침출수처리 	<ul style="list-style-type: none"> □ 시설명, 행정구역, 권역, 분뇨처리장, 폐수처리장, 오수처리장, 쓰레기매립장, 폐기물처리시설, 실적자료

		시설	
	생태	<ul style="list-style-type: none"> □ 식생 □ 수서생물 □ 어류 □ 조수류 □ 생물서식환경 □ 수변환경 	<ul style="list-style-type: none"> □ 행정명, 유역명, 대상분류군, 서식처, 하천유지유량, 하도특성, 수질, 주변환경
	공단배수수질	<ul style="list-style-type: none"> □ 공단배수수질측정망 □ 공단배수수질항목관리 □ 공단배수수질보전계획 	<ul style="list-style-type: none"> □ 공단명, 측정지점, 행정구역, 권역, 수질측정자료, 수질시험자료, 목표수질, 오염물질삭감계획자료, 오염부하량
	도시관류수질	<ul style="list-style-type: none"> □ 도시관류수질측정망 □ 도시관류수질항목관리 □ 도시관류수질보전계획 	<ul style="list-style-type: none"> □ 도시명, 측정지점, 행정구역, 권역, 수질측정자료, 수질시험자료, 목표수질, 오염물질삭감계획자료, 오염부하량
자연재해	홍수관리	<ul style="list-style-type: none"> □ 제내지 □ 제외지 □ 홍수터 	<ul style="list-style-type: none"> □ 하천명, 구간, 권역, 행정구역, 홍수량 산정지점, 계획홍수량, 홍수량 배분계획자료, 제내지 침수특성자료, 유수지, 홍수터관리자료
	홍수예방대책	<ul style="list-style-type: none"> □ 구조적 대책 □ 비구조적 대책 	<ul style="list-style-type: none"> □ 하천명, 구간, 권역, 행정구역, 치수시설계획자료, 홍수재해 경감계획자료, 홍수사전 대응계획자료, 피해복구, 피난자료, 재난지원 계획자료, 재해예보, 태풍정보, 침수실적, 홍수지도, 홍수위험구역도, 홍수피해액, 방재세부시행계획자료, 사방댐, 산사태위험지구지정, 산사태위험지구 해제내역, 산사태 위험지예보, 산사태발생지
	가뭄	<ul style="list-style-type: none"> □ 가뭄예측 □ 가뭄상황관리 	<ul style="list-style-type: none"> □ 권역, 행정구역, 가뭄우심지역, 가뭄지수, 식생활력도, 가뭄상황, 가뭄대책자료, 가뭄대책시설, 가뭄대책지원
	피해	<ul style="list-style-type: none"> □ 피해복구상황 	<ul style="list-style-type: none"> □ 공공시설피해, 인명피해, 침수상황, 재난발생정보, 응급복구상황, 이재민발생 및 수용, 교통통제상황, 이재민수용시설정보, 방재시설물, 재해위험지구정보, 산사태위험지구정보, 경계구역
지형공간	기본도	<ul style="list-style-type: none"> □ 국가수치지도 □ 행정구역도 	<ul style="list-style-type: none"> □ 도엽명, 행정구역, 축적, 메타데이터
	수자원주제도	<ul style="list-style-type: none"> □ 공통유역도 □ 하천망도 	<ul style="list-style-type: none"> □ 권역, 메타데이터, 강우관측소위치, 수위관측소위치, 기상관측소위치, 댐시

		<ul style="list-style-type: none"> □ 수문관측위치도 □ 수질관측위치도 □ 댐 위치도 □ 수문지질도 	설 위치, 수질관측망 위치
	유역주제도	<ul style="list-style-type: none"> □ 토지이용도 □ 토양도 □ CN도 □ 식생도 □ 임상도 	<ul style="list-style-type: none"> □ 권역, 축적, 메타데이터, 토지이용현황, 피복, 토양, CN, 식생, 임상
	환경주제도	<ul style="list-style-type: none"> □ 생태자연도 □ 환경기초시설도 	<ul style="list-style-type: none"> □ 권역, 축적, 메타데이터, 자연생태, 환경기초시설
	농촌주제도	<ul style="list-style-type: none"> □ 농촌용수구역도 □ 수리시설물위치도 □ 관개면적도 □ 진흥지역도 □ 경지정리도 □ 배수개선도 □ 농지이용현황도 	<ul style="list-style-type: none"> □ 권역, 메타데이터, 수리시설물, 관개면적, 진흥지역, 경지정리, 배수개선, 토양
지형공간	영상자료	<ul style="list-style-type: none"> □ LANDSAT TM □ SPOT □ IKONOS □ SAR □ 항공사진 □ LIDAR □ NOAA/AVHRR 	<ul style="list-style-type: none"> □ Scene명, Scene크기, 위도, 경도, 현, 투영법, GCP, 해상도, 메타데이터
	해양공간정보	<ul style="list-style-type: none"> □ 해양지리정보 	<ul style="list-style-type: none"> □ 전자해도, 연안정보도
해양수질환경 및 조석	해양환경조사	<ul style="list-style-type: none"> □ 해양환경측정망 □ 정선해양관측 	<ul style="list-style-type: none"> □ 해역명, 연안명, 조사정점, 목표수질, 수질측정자료 □ 해역명, 조사정점, 수질측정자료
	조석관측	<ul style="list-style-type: none"> □ 실시간 연안해양관측 □ 조석관측 	<ul style="list-style-type: none"> □ 관측소명, 관측위치, 조위, 수온, 염분, 기온, 기압, 풍향, 풍속

- 위의 용수관리 자료항목은 국토교통부, 해양수산부, 환경부, 기상청 등 중앙부처 및 지방조직과 산하기관의 자료구축 업무방안으로 이를 토대로 국내 용수관리를 위한 공동활용 대상으로 조사를 실시하고 있다.
- 본 연구에서 구축된 순환형 농업용수 관리시스템의 적용으로 국내 용수관리 정보 표준화 대상의 확대 및 세분화가 가능할 것으로 판단된다.

나. 용수관리 정보 표준화 대상 및 신규 적용 방안

- 기존 공동활용대상의 용수관리 정보 표준화 자료 대상으로는 물관련 기관에서 생산한 자료 중에 다른 기관에서 활용할 수 있는 자료, 즉 한 기관에서 생성하고 다른 기관에서 사용을 원하는 자료로서 공동활용 대상자료에 해당한다.
- 국토부의 경우는 수자원장기종합계획, 유역조사가 있고, 환경부는 수질측정망, 상수도 현황조사, 농식품부는 수리시설조사, 농촌용수 자원조사 등이 있다.

[표 2-9-25] 용수관리 정보 표준화 대상

구분	내용	자료제공기관	자료제공주기
수문기상	시우량	홍수통제소, 수자원공사, 소방방재청, 한수원	수시
	시수위	홍수통제소, 수자원공사, 소방방재청, 한수원	수시
	강우량	홍수통제소, 수자원공사, 소방방재청, 한수원	수시
	수위	홍수통제소, 수자원공사, 소방방재청, 한수원	수시
	유량	홍수통제소, 수자원공사	수시
	유수량	한국건설기술연구원, 수자원공사	수시
수문기상	유량측정성과	홍통, 수공, 환경과학원, 한국건설기술연구원, 지자체	월간
	수위유량관계곡선식	홍통, 수공, 환경과학원, 한국건설기술연구원, 지자체	분기
	AWS 관측자료	기상청	수시
	지상기상관측자료	기상청	수시
	지상기상통계자료	기상청	수시
	수치예보자료	기상청	수시
	구름영상자료	기상청	수시
레이더자료	기상청, 홍수통제소	수시	
댐운영	실시간댐운영정보	수자원공사, 한수원	수시
	기왕댐운영정보	수자원공사, 한수원	수시
	댐운영발전정보	수자원공사	수시
	댐시설정보	수자원공사, 한수원	연간
	저수지운영정보	농어촌공사	수시
	저수지제원정보	농어촌공사	연간
환경생태	하천수질정보	환경과학원	월간
	호소수질정보	환경과학원	월간
	농촌용수수질정보	농어촌공사	분기
	공단배수수질정보	환경과학원	월간
	도시관류수질정보	환경과학원	월간
	하수도정보	환경부	연간
지하수	지하수이용현황	수자원공사	연간
	지하수개발현황	수자원공사	연간
이수	상수도생활용수	홍수통제소, 환경부	연간
	지하수생활용수	수자원공사	연간
	공업용수이용자료	수자원공사	연간
	농업용수자료	농어촌공사	연간

수도	농업용시설물	농어촌공사	연간
	취정수장시설물	환경과학원	연간
	정수장수질	수자원공사	수시
하천	하천정보	홍수통제소	연간
	하천시설정보	홍수통제소	연간
	조석정보	해양조사원	수시
유역	토양특성	농업과학원	연간
	지형특성	홍수통제소	연간
	인구통계	홍수통제소	연간
지형공간	공통유역도	홍수통제소	연간
	수문관측위지도	홍수통제소	연간
	수질관측위지도	환경부	연간
	토양도	농업과학원	연간
	토지이용도	홍수통제소	연간
	임상도	홍수통제소	연간
	CN	홍수통제소	연간
	농촌주제도	농어촌공사	연간
자연재해	공공시설피해	소방방재청	수시
	인명피해	소방방재청	수시
	침수상황	소방방재청	수시
	재난발생정보	소방방재청	수시
	응급복구상황	소방방재청	수시
	이재민발생 및 수용	소방방재청	수시
	교통통제상황	소방방재청	수시
	이재민수용시설정보	소방방재청	수시
자연재해	방재시설물	소방방재청	수시
	재해위험지구정보	소방방재청	수시
	산사태위험지구정보	소방방재청	수시
	경계구역	소방방재청	수시
	산사태위험지구지정	소방방재청	수시
	산사태위험지구해제내역	소방방재청	수시
	산사태위험지예보	소방방재청	수시
	산사태발생지	소방방재청	수시
	사방댐정보	소방방재청	수시

- 기존 농업용수 관리 표준화 항목은 댐운영의 저수지운영정보, 저수지제원정보와 이수부분의 농업용수자료로 구분되어 있다.
- 댐운영의 저수지운영정보는 단순 저수지 수위정보를 상시구축 운영하는 것에 한계가 있다면 본 순환형 물관리 운영시스템을 통해 평시, 가뭄시의 저수지 관개후 수위예측 등의 세분화된 정보를 운영할 수 있을 것으로 예상된다.

- 또한 이수 분야 농업용수자료의 경우도 본 시스템을 통한 공급수량, 담수량, 퇴수량, 재이용수량과 하천으로 방류되는 유지용수량 등이 전반적으로 평가되고 이에 따른 농업용수량에 대한 정량적 자료 제공과 재해석으로 국가 통합 물관리 기여할 수 있다.

다. 시스템 모델링 지형요소 표준화

(1) 농업용수 분석 모델 요소

- 농업용수 분석에 필요한 지형요소를 농업용수 공급 및 배수 체계에 따라 구분하면 수원공→용수로→포장→배수로→하천 등으로 구성
- 수원공 : 저수지, 양수장, 취입보, 관정, 집수정 등 농업용수를 공급하기 위하여 유역에 존재하는 수자원을 가두어 농업용수로 저장하는 시설로 구성
- 용수로 : 수원공에서 공급되는 농업용수를 논, 밭 등의 포장으로 공급하기 위하여 설치된 농업용 수리시설로서 용수간선, 용수지선 그리고 포장에 직접 연결되는 용수지거 등으로 구성
- 포장 : 작물의 증산, 증발 그리고 토양침투 등의 방법으로 공급된 용수를 소비하는 곳으로 필요한 용수량을 계산하여 수원공으로부터 농업용수를 제공받는 시설
- 배수로 : 작부체계에 따라 시기적으로 적정 담수심이 필요하며 이러한 담수심을 유지하기 위한 배수시설 역할과 홍수 시 포장의 침수를 방지하기 위하여 배수를 수행하는 농업용 시설로서 배수간선, 배수지선 그리고 배수지거 등의 수로조직으로 구성
- 하천방류 : 포장에서 배제된 농업용수를 최대한 빠른 시간 내에 하천에 방류하여 피해를 최소화 하는 역할을 부여한 시설로서 배제하기 위한 물을 임시로 가두어 놓는 유수지, 내외수면의 차를 고려하여 방류할 수 있도록 하는 게이트, 펌프 등의 시설을 운용하는 배수장 등의 시설로 구성

(2) 순환형 농업용수 관리시스템의 지형요소

- 평면적 혹은 종단적 변곡점이 발생하는 위치에 노드를 추가하며 각종 변곡점, 분기점, 제원의 변화지점 등을 노드로 모델링
- 포장은 노드의 일종인 하나의 스토리지 형식으로 모델링하며 관개 수로조직은 각 포장에 공급되고 남는 용수는 배수로로 연결하여 퇴수 처리하는 Outfall로 모델링
- 수문의 개폐는 Orifice로 논에서 잉여 용수를 배제하기 위하여 설치된 배수 물꼬 등에는 Weir로 모델링

(3) 순환형 농업용수 관리시스템의 지형요소 데이터 구축

- GIS기반 공간정보 구축 : 모델링과정은 현장 지형자료의 취득, 지형자료의 도면화, 모델링, 입력자료 작성 등의 절차에 의하여, 지형자료 취득과정과 모델링 과정에서 작성과 수정이 빈번하게 요구되므로 도면작성을 정규화하고 GIS 주제도로 설계
- 분석대상 지형요소의 표준화 : 평야부 관개 용수 분석이나 침수 방지를 위한 배수 분석에 사용되는 지형요소는 다양하게 존재하므로 대상 지형 요소 중 분석에 영향을 미치는 중요한 요소에 대해서는 별도의 표준화 수립
- 대상 지형요소의 주제도 작성 : 선정된 지형요소의 표준화를 기반으로 현장의 정확한 위치와 높이 값을 갖도록 공간정보 주제도의 설계서를 작성한 후 작성된 설계서에 의하여 주제도를 작성하며 수정이 필요한 경우에 기존에 작성된 주제도를 이용하여 수정 보완
- 주제도의 지형요소를 이용한 분석 모델링 : 표준화된 대상 지형요소로 이루어진 주제도를 이용 평야부 농촌용수를 분석하는 모델의 입력자료를 작성
- 저수지, 양수장 등 수원공은 스토리지(Storage)를 이용하여 용수를 공급하는 역할을 수행하도록 데이터를 구축하며 용수의 공급은 저수지 또는 양수장으로 유입되는 장기유출량을 고려하고, 저수지의 공급능력을 고려하여야 함
- 용수로의 시점은 Junction으로서 수원공에서 공급되는 용수를 Inflow를 통하여 분석이 되도록하여야 하며 Inflow된 용수는 용수계통을 통하여 전달
- 용수로는 Conduit으로서 용수간선, 용수지선, 용수지거 등으로 구성되며 용수로의 형식은 구조물, 토공으로 구분되어 형태상으로 개거, 압거, 잠관 등으로 구분 데이터를 구축
- 제수문, 분수문, 분기점 등은 Orifice로서 용수의 분기, 제어 차단 등의 역할을 수행하도록 데이터를 구축
- 포장은 용수의 최종 도착지로서 Storage를 이용하며 증발산, 토양침투, 유효강우 등에 의하여 물수지가 가능하도록 데이터를 구축
- 유말공은 Outfall을 이용하며, 용수로에서 포장에 공급되고 남는 유량을 지구 외로 처리하는 역할을 하도록 데이터를 구축

[표 2-9-26] 순환형 농업용수 관리시스템의 지형요소

지형요소	모델요소
수원공(저수지)	Storage
수원공(양수장)	Storage
용수로 시점	Junction+Inflow
용수간선	Conduit
분기점	Junction+Orifice
용수지선	Conduit
용수지거 분기	Junction
용수 물꼬	Conduit
포장	Storage
유말공	Outfall

라. 순환형 농업용수 관리시스템 주요기능 표준화

(1) 수리시설운영 정보 표준

- 수원공 및 양수장 관리 현황 : 대상 수원공(저수지, 양수장)에서 도수로 또는 간선수로틀 이용하여 용수를 공급하는 현황정보의 제공, 시스템을 통해 제공되는 수원공의 공급현황 정보를 이용하여 시설 운영자가 수원공 가동정도를 판단할 수 있도록 구성
- 평야부시설 관리 현황 : 수원공과 연결된 도수로, 간선, 분기점 및 유말공 등의 용수계통을 통하여 공급되는 평야부 시설의 현황정보의 제공, 평야부 시설의 용수공급 현황정보는 용수계통의 주요지점에 설치된 계측장치를 통하여 취득된 계측정보를 활용하여 현재의 물공급량, 총공급량, 노선별 공급량, 퇴수량, 재이용수량 등의 현황정보를 제공

(2) 용수공급분석 정보 표준

- 계측자료 분석 : 용수계통 주요지점에 설치된 계측자료를 토대로 4월에서 10월까지의 영농시기의 농업용수 공급 상황을 작부시기별 및 노선별로 조회
- 모의방식 설정 : 용수로틀 통하여 공급되는 용수를 기존의 용수공급 시기의 공급패턴을 참고하여 수문의 개폐, 공급량의 변경 등 지역별, 노선별 최적물공급량과 도달시간을 파악하기 위한 공급방식을 설정
- 용수공급 모의설정 및 실행 : 설정된 모의방식에 의하여 순환형 농업용수 관리시스템을 통하여 각종 자료를 수집하고 기상자료와 모형 수행에 필요한 변수를 설정하여 용수 공급을 모의하기 위한 입력자료를 작성한 후 모의실행
- 공급모의 분석 : 용수공급 모의 결과를 정리하여 분기점, 노선, 유말공 등 주요지점의 공급량과 용수 도달시간, 퇴수량, 가용수량 등 분석정보를 제공

(3) 의사결정지원 정보 표준

- 분수문/제수문 조작 : 용수공급 현황 정보와 용수공급 계획 정보를 기반으로 용수를 공급하기 위한 분수문 또는 제수문 조작 등 시설물 제어 기능을 탑재한 시스템으로 구성
- 양수장 : 용수공급 계획에 의하여 양수장의 가동과 중지 그리고 추가 가동 등을 수

행 할 수 있는 기능을 탑재한 시스템으로 구성

- 가뭄대응 : 용수공급 계획, 용수공급 방법, 가뭄 시 물부족 들녘 파악, 이동형 양수 장치의 가동 등 필요한 시설운영이 가능하도록 구성

(4) 수원공 해석 모형을 위한 표준

- 유입량 산정 모형 : 수원공 상류 구역에서 유입되는 유입량을 장기유출모형 분석을 통하여 일간, 월간 유입량을 분석하도록 구성
- 수원공 공급능 분석 : 수원공으로 유입되는 유입량과 용수공급계획에 따른 용수량, 손실량 등을 기반으로 수원공의 용수공급 능력을 분석하는 모듈 구성

(5) 평야부 용수공급 해석 모형을 위한 표준

- 수로부 수위/유량 산정 : 용수공급 패턴에 따른 최적공급량과 GIS에 의한 용수공급 모델링을 이용하여 수로별 1차원 부정류 해석을 수행하고 공급 시간에 따른 수로의 수위와 유량을 산정하도록 구성
- 용수 도달시간 산정 : 수원공에서 공급되는 유량이 수로계통을 따라 흐르며 분기점의 분수문이나 제수문을 통과하여 하위 수로의 선택지점에 도달하는 시간을 분석하여 용수가 선택지점에 도달하는 시간을 산정하도록 구성
- 방류수량 산정 : 수로계통의 특정지점에 용수가 도달하기 위하여 필요한 수위를 유지하며 필요 용수의 공급을 담보하는 유량 중 포장에 필요한 공급량을 제외한 나머지는 유말공을 통하여 퇴수하여 방류량을 산정하도록 구성

제 10절. 효율적인 양수저류 방법 제시 및 가뭄대응기술 경제성 평가

1. 효율적인 양수저류 방법 제시

가. 양수저류를 위한 저수율 추적

- 정량적인 양수저류량을 탐색하기 위해서는 저수지의 저수율을 추적하거나 예측할 필요가 있다.
- 저수율을 추적하는 방법은 저수지 물수지에 근거해서 추적하는 방법을 사용하였다.
- 유입량은 3단 Tank 모형을 적용하였으며, 공급량은 강한술(2019, 2020)이 제안한 선형 회귀식을 통한 방법과 최적화방법을 통한 필요수량 기반의 추정모형을 사용하였다.
- 강한술(2019, 2020)는 다음과 같은 선형회귀방정식을 통하여 순별 방류량 추정모형을 구축하였다.

$$\max(0, O = \alpha \times RAIN + \beta) \quad (10.1)$$

- 여기서 O는 저수율기반 공급량, α 는 회귀식 기울기, β 는 회귀식 절편, RAIN은 순 단위 강수량을 뜻한다.
- 상기 식과 같이 저수율기반 방류량은 0보다 작지 않도록 설정하였다.
- 자료의 수집오류, 기록오류 또는 자연적인 오류로 인해 자료집단으로부터 심하게 편차를 보이는 자료를 이상치라 한다.
- 강수량에 따른 표준 방류량을 제시하기 위한 기법으로 특수 상황에서의 관행적 방법은 이상치로 판단하고 제외하도록 하였다.
- 이상치 제거는 정규분포로 가정하고 최고치 또는 최저치가 유의수준 10% 이내 있는지 여부를 검정하는 방법은 다음과 같은 G-B(Grubbs & Beck) 검정을 사용하였다 (Grubbs and Beck, 1972).

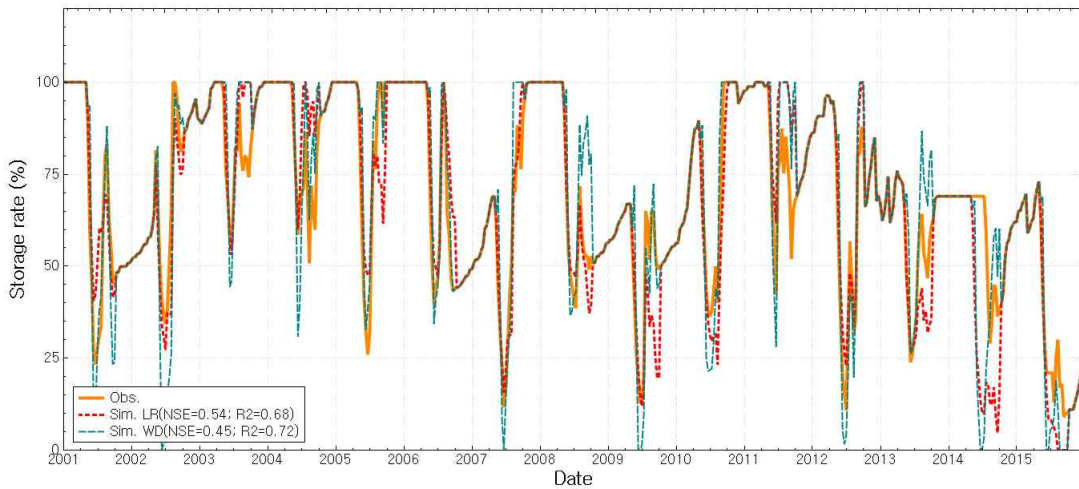
$$K_n = -3.62201 + 6.28446n^{1/4} - 2.49835n^{1/2} + 0.491436n^{3/4} - 0.037911n \quad (10.2)$$

$$x_{(H,L)} = \exp(\bar{x} \pm K_n \sigma_n) \quad (10.3)$$

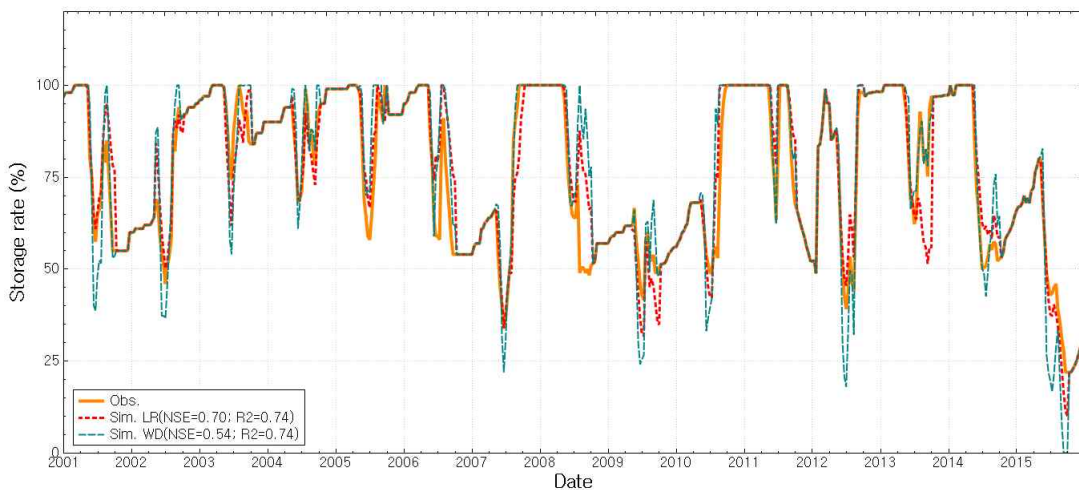
- 여기서, K_n 은 표본자료의 수와 유의수준에 따른 G-B값(유의수준 10%), \bar{x} 는 표본

자료의 평균, σ_n 는 표본자료의 편차이다.

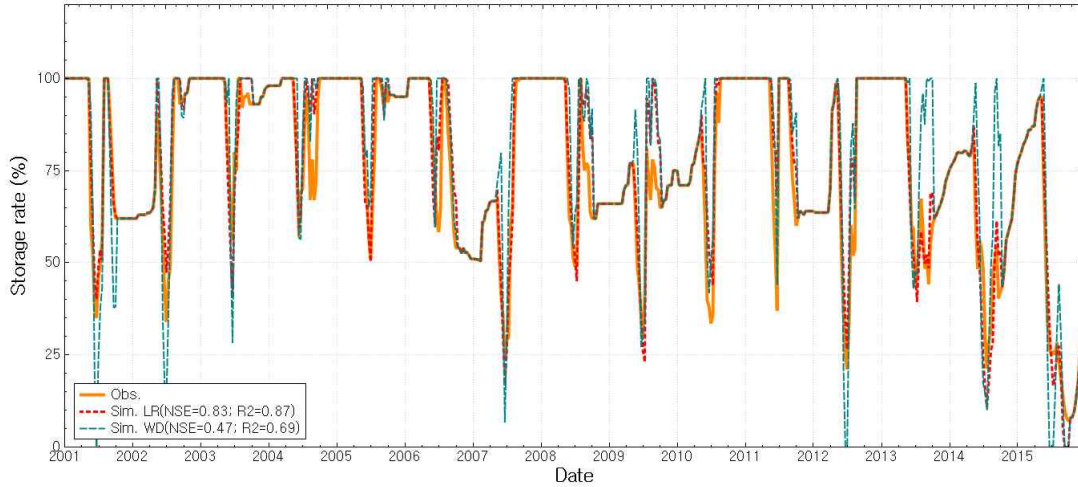
- 위를 통해 구한 x_H 보다 크면 고이상치로 간주하고, x_L 보다 작으면 저이상치로 간주하여 분석에서 제외시킨다.
- 본 연구에서 강우량과 방류량을 표본자료로 고려하여 G-B검정에 따라 이상치로 판별되면 회귀식 계산 시 제외하고 계산하였다.
- 필요수량 기반의 공급량 추정은 전장의 대상지구 용수사용관행 분석에서 소개한 바와 같다.
- 15년간(2000~2015년) 대상저수지에 대해서 선형회귀식과 필요수량 기반 방법으로 추적한 저수율은 다음 그림과 같다 LR는 선형회귀식이고, WD는 필요수량이다.



[그림 2-10-1] 마둔저수지 대상 저수지 저수율 추적



[그림 2-10-2] 대사저수지 대상 저수지 저수율 추적



[그림 2-10-3] 풍전저수지 대상 저수지 저수율 추적

- 전반적으로 저수지 추적 정확도는 선형회귀식 기반의 방법이 필요수량 기반 방법에 비해 좋은 것으로 나타났다.
- 따라서 저수율 추적 목적으로는 선형회귀식 기반의 추적방법이 적합한 것으로 판단하고 적용하기로 하였다.

나. 강우 시나리오 설정

- 양수저류는 일반적으로 비관개기에 시행하며 차년도의 관개기 동안에 용수가 부족하지 않도록 하는 것이 양수저류의 목적이다.
- 따라서 비관개기에 강우가 충분하다면 양수저류는 불필요한 노력이 될 수 있으며, 강우가 충분하지 않다면 양수저류는 필요하게 된다.
- 또한 차년도 관개기에 강우가 충분한 경우도 역시 양수저류가 불필요할 수 있으며, 그 반대도 마찬가지이다.
- 따라서 강우에 따라 양수저류의 시행판단은 크게 달라져야 할 것이며, 본 연구에서는 15년(2000~2015년) 강우량을 사용하여, 비관개기 및 관개기로 구분하여 시나리오를 구성하였다.
- 관개기 시나리오는 강우에 따라 공급량이 결정되므로 강우량과 공급량이 같이 움직이며, 따라서 시나리오에 따라 관개기 최대 감소 저수율을 결정할 수 있다.
- 다음표들에 대상 저수지들의 시나리오별 관개기 최대 감소 저수율을 제시하였다.

[표 2-10-1] 마둔저수지 관개기 강우 시나리오

관개기 강우 시나리오	년도	강우량 (mm)	최대감소저수량 (1000m ³)	최대감소저수율 (%)
1	2001	774	3,610	76.7
2	2002	994	1,403	29.8
3	2003	1,380	2,139	45.4
4	2004	1,281	2,316	49.2
5	2005	1,259	3,374	71.7
6	2006	953	2,821	59.9
7	2007	1,384	2,702	57.4
8	2008	871	2,890	61.4
9	2009	923	2,542	54
10	2010	1,219	2,504	53.2
11	2011	1,705	2,650	56.3
12	2012	1,209	3,761	79.9
13	2013	987	2,269	48.2
14	2014	874	1,883	40
15	2015	518	3,013	64

[표 2-10-2] 대사저수지 관개기 강우 시나리오

관개기 강우 시나리오	년도	강우량 (mm)	최대감소저수량 (1000m ³)	최대감소저수율 (%)
1	2001	959	619	45
2	2002	1,209	248	18
3	2003	1,203	353	25.7
4	2004	1,246	358	26
5	2005	1,310	564	41
6	2006	1,144	633	46
7	2007	1,403	440	32
8	2008	948	711	51.7
9	2009	994	278	20.2
10	2010	2,003	263	19.1
11	2011	1,655	504	36.6
12	2012	1,421	665	48.3
13	2013	875	519	37.7
14	2014	773	689	50.1
15	2015	521	798	58

[표 2-10-3] 풍전저수지 관개기 강우 시나리오

관개기 강우 시나리오	년도	강우량 (mm)	최대감소저수량 (1000m ³)	최대감소저수율 (%)
1	2001	959	1,704	65
2	2002	1,209	944	36
3	2003	1,203	1,153	44
4	2004	1,246	1,127	43
5	2005	1,310	1,284	49
6	2006	1,144	1,101	42
7	2007	1,403	1,119	42.7
8	2008	948	1,337	51
9	2009	994	1,232	47
10	2010	2,003	1,342	51.2
11	2011	1,655	1,651	63
12	2012	1,421	2,031	77.5
13	2013	875	1,486	56.7
14	2014	773	1,573	60
15	2015	521	2,280	87

- 비 관개기에는 공급량이 없으므로 오직 유입량에 따라 저수율이 결정된다.
- 따라서 비 관개기 시나리오에 따라 비 관개기의 증가 저수율을 결정할 수 있다.

- 다음 표에 대상 저수지들의 시나리오별 비 관개기 증가 저수율을 제시하였다.

[표 2-10-4] 마둔저수지 비관개기 강우 시나리오

관개기 강우 시나리오	년도	강우량 (mm)	증가저수량 (1000m ³)	증가저수율 (%)
1	2001~2002	532	943	20
2	2002~2003	653	1,597	33.9
3	2003~2004	451	734	15.6
4	2004~2005	515	1,082	23
5	2005~2006	461	1,063	22.6
6	2006~2007	514	1,071	22.7
7	2007~2008	465	1,033	21.9
8	2008~2009	426	674	14.3
9	2009~2010	616	1,581	33.6
10	2010~2011	573	1,100	23.4
11	2011~2012	496	1,044	22.2
12	2012~2013	570	1,399	29.7
13	2013~2014	492	980	20.8
14	2014~2015	570	1,378	29.3
15	2015~2016	664	1,710	36.3

[표 2-10-5] 대사저수지 비관개기 강우 시나리오

관개기 강우 시나리오	년도	강우량 (mm)	증가저수량 (1000m ³)	증가저수율 (%)
1	2001~2002	664	225	16.3
2	2002~2003	656	276	20.1
3	2003~2004	535	158	11.5
4	2004~2005	627	265	19.2
5	2005~2006	534	236	17.1
6	2006~2007	604	236	17.2
7	2007~2008	511	178	12.9
8	2008~2009	578	226	16.4
9	2009~2010	678	333	24.2
10	2010~2011	659	298	21.7
11	2011~2012	602	263	19.1
12	2012~2013	703	376	27.3
13	2013~2014	488	164	11.9
14	2014~2015	637	296	21.5
15	2015~2016	717	357	26

[표 2-10-6] 풍전저수지 비관개기 강우 시나리오

관개기 강우 시나리오	년도	강우량 (mm)	증가저수량 (1000m ³)	증가저수율 (%)
1	2001~2002	664	1,227	46.8
2	2002~2003	656	1,496	57.1
3	2003~2004	535	912	34.8
4	2004~2005	627	1,431	54.6
5	2005~2006	534	1,292	49.3
6	2006~2007	604	1,294	49.4
7	2007~2008	511	1,026	39.1
8	2008~2009	578	1,244	47.5
9	2009~2010	678	1,767	67.4
10	2010~2011	659	1,574	60.1
11	2011~2012	602	1,453	55.5
12	2012~2013	703	1,959	74.7
13	2013~2014	488	910	34.7
14	2014~2015	637	1,557	59.4
15	2015~2016	717	1,869	71.3

- 최종적인 시나리오는 관개기와 비관개기 시나리오를 조합하여 결정되며, 예를 들어 Scenario_3_2는 관개기 시나리오 3번, 비관개기 시나리오 2번을 적용하여 양수량을 결정한다는 의미이다.

다. 효율적인 양수저류 방법

- 관개기동안 저수지 관리의 목표는 예년과 같이 용수를 문제없이 공급함과 동시에, 저수율을 일정수치 이하로 떨어트리지 않는 데 있다.
- 양수저류량 또한 이에 따라 결정되어야 하며, 따라서 관개시작시기에 필요한 저수율은 다음과 같이 결정될 수 있다.

$$S_I = \min [100, S_{\min} + \Delta S_{\max}] \tag{10.1}$$

- 여기서, S_I 는 필요초기저수율, S_{\min} 는 목표최저저수율, ΔS_{\max} 는 관개기 최대감소저수율이다.
- 따라서, 필요한 양수저류량은 비관개기 시작시 저수율으로부터 다음식과 같이 결정할 수 있다.

$$P = \max [0, S_I - (S_N + \Delta S_N)] \tag{10.2}$$

- 여기서, S_N 는 관개기말 저수율, ΔS_N 는 비관개기 증가저수율, P 는 양수저류량이다.
- 전절에서 가정한 시나리오와 비관개기 초기저수율을 가정하면 필요한 양수저류량을 산정할 수 있다.
- 본 연구에서는 비관개기 초기저수율 40%, 50%, 60%, 70%의 경우에 대하여 각 시나리오별 필요 양수저류량을 산정하였으며, 목표최저저수율은 일률적으로 20%로 가정하였다.
- 다음 표에 시나리오별 필요 양수저류량 산정결과를 정리하였다.

[표 2-10-7] 마둔저수시 시나리오기반 필요 양수저류량(천㎥)

시나리오	관개기말 저수율 40%	관개기말 저수율 50%	관개기말 저수율 60%	관개기말 저수율 70%
Scenario_1_1	1726	1255	784	313
Scenario_1_2	1072	602	131	0
Scenario_1_3	1935	1465	994	523
Scenario_1_4	1587	1116	645	175
Scenario_1_5	1606	1135	664	194

Scenario_1_6	1598	1128	657	186
Scenario_1_7	1636	1165	695	224
Scenario_1_8	1995	1524	1054	583
Scenario_1_9	1088	618	147	0
Scenario_1_10	1569	1099	628	157
Scenario_1_11	1625	1155	684	213
Scenario_1_12	1270	799	329	0
Scenario_1_13	1689	1218	748	277
Scenario_1_14	1291	821	350	0
Scenario_1_15	959	488	18	0
Scenario_2_1	0	0	0	0
Scenario_2_2	0	0	0	0
Scenario_2_3	0	0	0	0
Scenario_2_4	0	0	0	0
Scenario_2_5	0	0	0	0
Scenario_2_6	0	0	0	0
Scenario_2_7	0	0	0	0
Scenario_2_8	0	0	0	0
Scenario_2_9	0	0	0	0
Scenario_2_10	0	0	0	0
Scenario_2_11	0	0	0	0
Scenario_2_12	0	0	0	0
Scenario_2_13	0	0	0	0
Scenario_2_14	0	0	0	0
Scenario_2_15	0	0	0	0
Scenario_3_1	254	0	0	0
Scenario_3_2	0	0	0	0
Scenario_3_3	464	0	0	0
Scenario_3_4	115	0	0	0
Scenario_3_5	134	0	0	0
Scenario_3_6	127	0	0	0
Scenario_3_7	164	0	0	0
Scenario_3_8	523	53	0	0
Scenario_3_9	0	0	0	0

Scenario_3_10	97	0	0	0
Scenario_3_11	154	0	0	0
Scenario_3_12	0	0	0	0
Scenario_3_13	217	0	0	0
Scenario_3_14	0	0	0	0
Scenario_3_15	0	0	0	0
Scenario_4_1	431	0	0	0
Scenario_4_2	0	0	0	0
Scenario_4_3	641	170	0	0
Scenario_4_4	292	0	0	0
Scenario_4_5	311	0	0	0
Scenario_4_6	304	0	0	0
Scenario_4_7	342	0	0	0
Scenario_4_8	701	230	0	0
Scenario_4_9	0	0	0	0
Scenario_4_10	275	0	0	0
Scenario_4_11	331	0	0	0
Scenario_4_12	0	0	0	0
Scenario_4_13	395	0	0	0
Scenario_4_14	0	0	0	0
Scenario_4_15	0	0	0	0
Scenario_5_1	1489	1018	547	77
Scenario_5_2	835	365	0	0
Scenario_5_3	1698	1228	757	286
Scenario_5_4	1350	879	409	0
Scenario_5_5	1369	898	428	0
Scenario_5_6	1361	891	420	0
Scenario_5_7	1399	929	458	0
Scenario_5_8	1758	1287	817	346
Scenario_5_9	851	381	0	0
Scenario_5_10	1332	862	391	0
Scenario_5_11	1388	918	447	0
Scenario_5_12	1033	563	92	0
Scenario_5_13	1452	982	511	40

Scenario_5_14	1054	584	113	0
Scenario_5_15	722	252	0	0
Scenario_6_1	936	466	0	0
Scenario_6_2	283	0	0	0
Scenario_6_3	1146	675	205	0
Scenario_6_4	798	327	0	0
Scenario_6_5	817	346	0	0
Scenario_6_6	809	338	0	0
Scenario_6_7	847	376	0	0
Scenario_6_8	1206	735	264	0
Scenario_6_9	299	0	0	0
Scenario_6_10	780	309	0	0
Scenario_6_11	836	365	0	0
Scenario_6_12	481	10	0	0
Scenario_6_13	900	429	0	0
Scenario_6_14	502	31	0	0
Scenario_6_15	170	0	0	0
Scenario_7_1	817	346	0	0
Scenario_7_2	164	0	0	0
Scenario_7_3	1027	556	85	0
Scenario_7_4	678	208	0	0
Scenario_7_5	697	227	0	0
Scenario_7_6	690	219	0	0
Scenario_7_7	728	257	0	0
Scenario_7_8	1087	616	145	0
Scenario_7_9	180	0	0	0
Scenario_7_10	661	190	0	0
Scenario_7_11	717	246	0	0
Scenario_7_12	362	0	0	0
Scenario_7_13	781	310	0	0
Scenario_7_14	383	0	0	0
Scenario_7_15	51	0	0	0
Scenario_8_1	1005	535	64	0
Scenario_8_2	352	0	0	0

Scenario_8_3	1215	744	274	0
Scenario_8_4	867	396	0	0
Scenario_8_5	886	415	0	0
Scenario_8_6	878	407	0	0
Scenario_8_7	916	445	0	0
Scenario_8_8	1275	804	333	0
Scenario_8_9	368	0	0	0
Scenario_8_10	849	378	0	0
Scenario_8_11	905	434	0	0
Scenario_8_12	550	79	0	0
Scenario_8_13	969	498	28	0
Scenario_8_14	571	100	0	0
Scenario_8_15	239	0	0	0
Scenario_9_1	657	186	0	0
Scenario_9_2	4	0	0	0
Scenario_9_3	867	396	0	0
Scenario_9_4	518	48	0	0
Scenario_9_5	537	67	0	0
Scenario_9_6	530	59	0	0
Scenario_9_7	568	97	0	0
Scenario_9_8	927	456	0	0
Scenario_9_9	20	0	0	0
Scenario_9_10	501	30	0	0
Scenario_9_11	557	86	0	0
Scenario_9_12	202	0	0	0
Scenario_9_13	621	150	0	0
Scenario_9_14	223	0	0	0
Scenario_9_15	0	0	0	0
Scenario_10_1	619	149	0	0
Scenario_10_2	0	0	0	0
Scenario_10_3	829	358	0	0
Scenario_10_4	481	10	0	0
Scenario_10_5	500	29	0	0
Scenario_10_6	492	21	0	0

Scenario_10_7	530	59	0	0
Scenario_10_8	889	418	0	0
Scenario_10_9	0	0	0	0
Scenario_10_10	463	0	0	0
Scenario_10_11	519	48	0	0
Scenario_10_12	164	0	0	0
Scenario_10_13	583	112	0	0
Scenario_10_14	185	0	0	0
Scenario_10_15	0	0	0	0
Scenario_11_1	765	295	0	0
Scenario_11_2	112	0	0	0
Scenario_11_3	975	504	34	0
Scenario_11_4	627	156	0	0
Scenario_11_5	646	175	0	0
Scenario_11_6	638	167	0	0
Scenario_11_7	676	205	0	0
Scenario_11_8	1035	564	93	0
Scenario_11_9	128	0	0	0
Scenario_11_10	609	138	0	0
Scenario_11_11	665	194	0	0
Scenario_11_12	310	0	0	0
Scenario_11_13	729	258	0	0
Scenario_11_14	331	0	0	0
Scenario_11_15	0	0	0	0
Scenario_12_1	1876	1406	935	464
Scenario_12_2	1223	752	281	0
Scenario_12_3	2086	1615	1145	674
Scenario_12_4	1738	1267	796	325
Scenario_12_5	1757	1286	815	344
Scenario_12_6	1749	1278	808	337
Scenario_12_7	1787	1316	845	375
Scenario_12_8	2146	1675	1204	734
Scenario_12_9	1239	768	298	0
Scenario_12_10	1720	1249	778	308

Scenario_12_11	1776	1305	835	364
Scenario_12_12	1421	950	479	9
Scenario_12_13	1840	1369	898	428
Scenario_12_14	1442	971	501	30
Scenario_12_15	1110	639	168	0
Scenario_13_1	384	0	0	0
Scenario_13_2	0	0	0	0
Scenario_13_3	594	123	0	0
Scenario_13_4	245	0	0	0
Scenario_13_5	264	0	0	0
Scenario_13_6	257	0	0	0
Scenario_13_7	295	0	0	0
Scenario_13_8	654	183	0	0
Scenario_13_9	0	0	0	0
Scenario_13_10	228	0	0	0
Scenario_13_11	284	0	0	0
Scenario_13_12	0	0	0	0
Scenario_13_13	348	0	0	0
Scenario_13_14	0	0	0	0
Scenario_13_15	0	0	0	0
Scenario_14_1	0	0	0	0
Scenario_14_2	0	0	0	0
Scenario_14_3	208	0	0	0
Scenario_14_4	0	0	0	0
Scenario_14_5	0	0	0	0
Scenario_14_6	0	0	0	0
Scenario_14_7	0	0	0	0
Scenario_14_8	268	0	0	0
Scenario_14_9	0	0	0	0
Scenario_14_10	0	0	0	0
Scenario_14_11	0	0	0	0
Scenario_14_12	0	0	0	0
Scenario_14_13	0	0	0	0
Scenario_14_14	0	0	0	0

Scenario_14_15	0	0	0	0
Scenario_15_1	1128	657	186	0
Scenario_15_2	474	4	0	0
Scenario_15_3	1338	867	396	0
Scenario_15_4	989	518	48	0
Scenario_15_5	1008	537	67	0
Scenario_15_6	1001	530	59	0
Scenario_15_7	1038	568	97	0
Scenario_15_8	1397	927	456	0
Scenario_15_9	491	20	0	0
Scenario_15_10	971	501	30	0
Scenario_15_11	1028	557	86	0
Scenario_15_12	672	202	0	0
Scenario_15_13	1091	621	150	0
Scenario_15_14	694	223	0	0
Scenario_15_15	361	0	0	0

[표 2-10-8] 대사수시 시나리오기반 필요 양수저류량(천㎥)

시나리오	관개기말 저수율 40%	관개기말 저수율 50%	관개기말 저수율 60%	관개기말 저수율 70%
Scenario_1_1	119	0	0	0
Scenario_1_2	68	0	0	0
Scenario_1_3	186	48	0	0
Scenario_1_4	79	0	0	0
Scenario_1_5	108	0	0	0
Scenario_1_6	108	0	0	0
Scenario_1_7	166	29	0	0
Scenario_1_8	118	0	0	0
Scenario_1_9	11	0	0	0
Scenario_1_10	46	0	0	0
Scenario_1_11	81	0	0	0
Scenario_1_12	0	0	0	0
Scenario_1_13	180	43	0	0

Scenario_1_14	48	0	0	0
Scenario_1_15	0	0	0	0
Scenario_2_1	0	0	0	0
Scenario_2_2	0	0	0	0
Scenario_2_3	0	0	0	0
Scenario_2_4	0	0	0	0
Scenario_2_5	0	0	0	0
Scenario_2_6	0	0	0	0
Scenario_2_7	0	0	0	0
Scenario_2_8	0	0	0	0
Scenario_2_9	0	0	0	0
Scenario_2_10	0	0	0	0
Scenario_2_11	0	0	0	0
Scenario_2_12	0	0	0	0
Scenario_2_13	0	0	0	0
Scenario_2_14	0	0	0	0
Scenario_2_15	0	0	0	0
Scenario_3_1	0	0	0	0
Scenario_3_2	0	0	0	0
Scenario_3_3	0	0	0	0
Scenario_3_4	0	0	0	0
Scenario_3_5	0	0	0	0
Scenario_3_6	0	0	0	0
Scenario_3_7	0	0	0	0
Scenario_3_8	0	0	0	0
Scenario_3_9	0	0	0	0
Scenario_3_10	0	0	0	0
Scenario_3_11	0	0	0	0
Scenario_3_12	0	0	0	0
Scenario_3_13	0	0	0	0
Scenario_3_14	0	0	0	0
Scenario_3_15	0	0	0	0
Scenario_4_1	0	0	0	0
Scenario_4_2	0	0	0	0

Scenario_4_3	0	0	0	0
Scenario_4_4	0	0	0	0
Scenario_4_5	0	0	0	0
Scenario_4_6	0	0	0	0
Scenario_4_7	0	0	0	0
Scenario_4_8	0	0	0	0
Scenario_4_9	0	0	0	0
Scenario_4_10	0	0	0	0
Scenario_4_11	0	0	0	0
Scenario_4_12	0	0	0	0
Scenario_4_13	0	0	0	0
Scenario_4_14	0	0	0	0
Scenario_4_15	0	0	0	0
Scenario_5_1	64	0	0	0
Scenario_5_2	13	0	0	0
Scenario_5_3	131	0	0	0
Scenario_5_4	24	0	0	0
Scenario_5_5	53	0	0	0
Scenario_5_6	53	0	0	0
Scenario_5_7	111	0	0	0
Scenario_5_8	63	0	0	0
Scenario_5_9	0	0	0	0
Scenario_5_10	0	0	0	0
Scenario_5_11	26	0	0	0
Scenario_5_12	0	0	0	0
Scenario_5_13	125	0	0	0
Scenario_5_14	0	0	0	0
Scenario_5_15	0	0	0	0
Scenario_6_1	133	0	0	0
Scenario_6_2	82	0	0	0
Scenario_6_3	200	62	0	0
Scenario_6_4	93	0	0	0
Scenario_6_5	122	0	0	0
Scenario_6_6	122	0	0	0

Scenario_6_7	180	42	0	0
Scenario_6_8	132	0	0	0
Scenario_6_9	25	0	0	0
Scenario_6_10	59	0	0	0
Scenario_6_11	95	0	0	0
Scenario_6_12	0	0	0	0
Scenario_6_13	194	57	0	0
Scenario_6_14	61	0	0	0
Scenario_6_15	0	0	0	0
Scenario_7_1	0	0	0	0
Scenario_7_2	0	0	0	0
Scenario_7_3	7	0	0	0
Scenario_7_4	0	0	0	0
Scenario_7_5	0	0	0	0
Scenario_7_6	0	0	0	0
Scenario_7_7	0	0	0	0
Scenario_7_8	0	0	0	0
Scenario_7_9	0	0	0	0
Scenario_7_10	0	0	0	0
Scenario_7_11	0	0	0	0
Scenario_7_12	0	0	0	0
Scenario_7_13	1	0	0	0
Scenario_7_14	0	0	0	0
Scenario_7_15	0	0	0	0
Scenario_8_1	211	73	0	0
Scenario_8_2	160	22	0	0
Scenario_8_3	278	140	3	0
Scenario_8_4	171	33	0	0
Scenario_8_5	200	63	0	0
Scenario_8_6	200	62	0	0
Scenario_8_7	258	120	0	0
Scenario_8_8	210	72	0	0
Scenario_8_9	103	0	0	0
Scenario_8_10	137	0	0	0

Scenario_8_11	173	35	0	0
Scenario_8_12	60	0	0	0
Scenario_8_13	272	135	0	0
Scenario_8_14	139	2	0	0
Scenario_8_15	78	0	0	0
Scenario_9_1	0	0	0	0
Scenario_9_2	0	0	0	0
Scenario_9_3	0	0	0	0
Scenario_9_4	0	0	0	0
Scenario_9_5	0	0	0	0
Scenario_9_6	0	0	0	0
Scenario_9_7	0	0	0	0
Scenario_9_8	0	0	0	0
Scenario_9_9	0	0	0	0
Scenario_9_10	0	0	0	0
Scenario_9_11	0	0	0	0
Scenario_9_12	0	0	0	0
Scenario_9_13	0	0	0	0
Scenario_9_14	0	0	0	0
Scenario_9_15	0	0	0	0
Scenario_10_1	0	0	0	0
Scenario_10_2	0	0	0	0
Scenario_10_3	0	0	0	0
Scenario_10_4	0	0	0	0
Scenario_10_5	0	0	0	0
Scenario_10_6	0	0	0	0
Scenario_10_7	0	0	0	0
Scenario_10_8	0	0	0	0
Scenario_10_9	0	0	0	0
Scenario_10_10	0	0	0	0
Scenario_10_11	0	0	0	0
Scenario_10_12	0	0	0	0
Scenario_10_13	0	0	0	0
Scenario_10_14	0	0	0	0

Scenario_10_15	0	0	0	0
Scenario_11_1	3	0	0	0
Scenario_11_2	0	0	0	0
Scenario_11_3	70	0	0	0
Scenario_11_4	0	0	0	0
Scenario_11_5	0	0	0	0
Scenario_11_6	0	0	0	0
Scenario_11_7	51	0	0	0
Scenario_11_8	2	0	0	0
Scenario_11_9	0	0	0	0
Scenario_11_10	0	0	0	0
Scenario_11_11	0	0	0	0
Scenario_11_12	0	0	0	0
Scenario_11_13	65	0	0	0
Scenario_11_14	0	0	0	0
Scenario_11_15	0	0	0	0
Scenario_12_1	165	27	0	0
Scenario_12_2	114	0	0	0
Scenario_12_3	232	94	0	0
Scenario_12_4	125	0	0	0
Scenario_12_5	154	17	0	0
Scenario_12_6	154	16	0	0
Scenario_12_7	212	75	0	0
Scenario_12_8	164	26	0	0
Scenario_12_9	57	0	0	0
Scenario_12_10	92	0	0	0
Scenario_12_11	127	0	0	0
Scenario_12_12	14	0	0	0
Scenario_12_13	226	89	0	0
Scenario_12_14	94	0	0	0
Scenario_12_15	33	0	0	0
Scenario_13_1	19	0	0	0
Scenario_13_2	0	0	0	0
Scenario_13_3	86	0	0	0

Scenario_13_4	0	0	0	0
Scenario_13_5	8	0	0	0
Scenario_13_6	8	0	0	0
Scenario_13_7	66	0	0	0
Scenario_13_8	17	0	0	0
Scenario_13_9	0	0	0	0
Scenario_13_10	0	0	0	0
Scenario_13_11	0	0	0	0
Scenario_13_12	0	0	0	0
Scenario_13_13	80	0	0	0
Scenario_13_14	0	0	0	0
Scenario_13_15	0	0	0	0
Scenario_14_1	189	52	0	0
Scenario_14_2	138	0	0	0
Scenario_14_3	256	119	0	0
Scenario_14_4	149	12	0	0
Scenario_14_5	179	41	0	0
Scenario_14_6	178	41	0	0
Scenario_14_7	236	99	0	0
Scenario_14_8	188	51	0	0
Scenario_14_9	81	0	0	0
Scenario_14_10	116	0	0	0
Scenario_14_11	152	14	0	0
Scenario_14_12	38	0	0	0
Scenario_14_13	251	113	0	0
Scenario_14_14	118	0	0	0
Scenario_14_15	57	0	0	0
Scenario_15_1	298	160	23	0
Scenario_15_2	247	109	0	0
Scenario_15_3	365	227	90	0
Scenario_15_4	258	121	0	0
Scenario_15_5	287	150	12	0
Scenario_15_6	287	149	12	0
Scenario_15_7	345	208	70	0

Scenario_15_8	297	159	22	0
Scenario_15_9	190	52	0	0
Scenario_15_10	225	87	0	0
Scenario_15_11	260	123	0	0
Scenario_15_12	147	9	0	0
Scenario_15_13	359	222	84	0
Scenario_15_14	227	89	0	0
Scenario_15_15	166	28	0	0

[표 2-10-9] 풍전저수시 시나리오기반 필요 양수저류량(천㎥)

시나리오	관개기말 저수율 40%	관개기말 저수율 50%	관개기말 저수율 60%	관개기말 저수율 70%
Scenario_1_1	0	0	0	0
Scenario_1_2	0	0	0	0
Scenario_1_3	268	5	0	0
Scenario_1_4	0	0	0	0
Scenario_1_5	0	0	0	0
Scenario_1_6	0	0	0	0
Scenario_1_7	154	0	0	0
Scenario_1_8	0	0	0	0
Scenario_1_9	0	0	0	0
Scenario_1_10	0	0	0	0
Scenario_1_11	0	0	0	0
Scenario_1_12	0	0	0	0
Scenario_1_13	269	7	0	0
Scenario_1_14	0	0	0	0
Scenario_1_15	0	0	0	0
Scenario_2_1	0	0	0	0
Scenario_2_2	0	0	0	0
Scenario_2_3	0	0	0	0
Scenario_2_4	0	0	0	0
Scenario_2_5	0	0	0	0
Scenario_2_6	0	0	0	0

Scenario_2_7	0	0	0	0
Scenario_2_8	0	0	0	0
Scenario_2_9	0	0	0	0
Scenario_2_10	0	0	0	0
Scenario_2_11	0	0	0	0
Scenario_2_12	0	0	0	0
Scenario_2_13	0	0	0	0
Scenario_2_14	0	0	0	0
Scenario_2_15	0	0	0	0
Scenario_3_1	0	0	0	0
Scenario_3_2	0	0	0	0
Scenario_3_3	0	0	0	0
Scenario_3_4	0	0	0	0
Scenario_3_5	0	0	0	0
Scenario_3_6	0	0	0	0
Scenario_3_7	0	0	0	0
Scenario_3_8	0	0	0	0
Scenario_3_9	0	0	0	0
Scenario_3_10	0	0	0	0
Scenario_3_11	0	0	0	0
Scenario_3_12	0	0	0	0
Scenario_3_13	0	0	0	0
Scenario_3_14	0	0	0	0
Scenario_3_15	0	0	0	0
Scenario_4_1	0	0	0	0
Scenario_4_2	0	0	0	0
Scenario_4_3	0	0	0	0
Scenario_4_4	0	0	0	0
Scenario_4_5	0	0	0	0
Scenario_4_6	0	0	0	0
Scenario_4_7	0	0	0	0
Scenario_4_8	0	0	0	0
Scenario_4_9	0	0	0	0
Scenario_4_10	0	0	0	0

Scenario_4_11	0	0	0	0
Scenario_4_12	0	0	0	0
Scenario_4_13	0	0	0	0
Scenario_4_14	0	0	0	0
Scenario_4_15	0	0	0	0
Scenario_5_1	0	0	0	0
Scenario_5_2	0	0	0	0
Scenario_5_3	0	0	0	0
Scenario_5_4	0	0	0	0
Scenario_5_5	0	0	0	0
Scenario_5_6	0	0	0	0
Scenario_5_7	0	0	0	0
Scenario_5_8	0	0	0	0
Scenario_5_9	0	0	0	0
Scenario_5_10	0	0	0	0
Scenario_5_11	0	0	0	0
Scenario_5_12	0	0	0	0
Scenario_5_13	0	0	0	0
Scenario_5_14	0	0	0	0
Scenario_5_15	0	0	0	0
Scenario_6_1	0	0	0	0
Scenario_6_2	0	0	0	0
Scenario_6_3	0	0	0	0
Scenario_6_4	0	0	0	0
Scenario_6_5	0	0	0	0
Scenario_6_6	0	0	0	0
Scenario_6_7	0	0	0	0
Scenario_6_8	0	0	0	0
Scenario_6_9	0	0	0	0
Scenario_6_10	0	0	0	0
Scenario_6_11	0	0	0	0
Scenario_6_12	0	0	0	0
Scenario_6_13	0	0	0	0
Scenario_6_14	0	0	0	0

Scenario_6_15	0	0	0	0
Scenario_7_1	0	0	0	0
Scenario_7_2	0	0	0	0
Scenario_7_3	0	0	0	0
Scenario_7_4	0	0	0	0
Scenario_7_5	0	0	0	0
Scenario_7_6	0	0	0	0
Scenario_7_7	0	0	0	0
Scenario_7_8	0	0	0	0
Scenario_7_9	0	0	0	0
Scenario_7_10	0	0	0	0
Scenario_7_11	0	0	0	0
Scenario_7_12	0	0	0	0
Scenario_7_13	0	0	0	0
Scenario_7_14	0	0	0	0
Scenario_7_15	0	0	0	0
Scenario_8_1	0	0	0	0
Scenario_8_2	0	0	0	0
Scenario_8_3	0	0	0	0
Scenario_8_4	0	0	0	0
Scenario_8_5	0	0	0	0
Scenario_8_6	0	0	0	0
Scenario_8_7	0	0	0	0
Scenario_8_8	0	0	0	0
Scenario_8_9	0	0	0	0
Scenario_8_10	0	0	0	0
Scenario_8_11	0	0	0	0
Scenario_8_12	0	0	0	0
Scenario_8_13	0	0	0	0
Scenario_8_14	0	0	0	0
Scenario_8_15	0	0	0	0
Scenario_9_1	0	0	0	0
Scenario_9_2	0	0	0	0
Scenario_9_3	0	0	0	0

Scenario_9_4	0	0	0	0
Scenario_9_5	0	0	0	0
Scenario_9_6	0	0	0	0
Scenario_9_7	0	0	0	0
Scenario_9_8	0	0	0	0
Scenario_9_9	0	0	0	0
Scenario_9_10	0	0	0	0
Scenario_9_11	0	0	0	0
Scenario_9_12	0	0	0	0
Scenario_9_13	0	0	0	0
Scenario_9_14	0	0	0	0
Scenario_9_15	0	0	0	0
Scenario_10_1	0	0	0	0
Scenario_10_2	0	0	0	0
Scenario_10_3	0	0	0	0
Scenario_10_4	0	0	0	0
Scenario_10_5	0	0	0	0
Scenario_10_6	0	0	0	0
Scenario_10_7	0	0	0	0
Scenario_10_8	0	0	0	0
Scenario_10_9	0	0	0	0
Scenario_10_10	0	0	0	0
Scenario_10_11	0	0	0	0
Scenario_10_12	0	0	0	0
Scenario_10_13	0	0	0	0
Scenario_10_14	0	0	0	0
Scenario_10_15	0	0	0	0
Scenario_11_1	0	0	0	0
Scenario_11_2	0	0	0	0
Scenario_11_3	215	0	0	0
Scenario_11_4	0	0	0	0
Scenario_11_5	0	0	0	0
Scenario_11_6	0	0	0	0
Scenario_11_7	101	0	0	0

Scenario_11_8	0	0	0	0
Scenario_11_9	0	0	0	0
Scenario_11_10	0	0	0	0
Scenario_11_11	0	0	0	0
Scenario_11_12	0	0	0	0
Scenario_11_13	217	0	0	0
Scenario_11_14	0	0	0	0
Scenario_11_15	0	0	0	0
Scenario_12_1	280	18	0	0
Scenario_12_2	11	0	0	0
Scenario_12_3	595	333	71	0
Scenario_12_4	76	0	0	0
Scenario_12_5	216	0	0	0
Scenario_12_6	213	0	0	0
Scenario_12_7	481	219	0	0
Scenario_12_8	263	1	0	0
Scenario_12_9	0	0	0	0
Scenario_12_10	0	0	0	0
Scenario_12_11	54	0	0	0
Scenario_12_12	0	0	0	0
Scenario_12_13	597	335	73	0
Scenario_12_14	0	0	0	0
Scenario_12_15	0	0	0	0
Scenario_13_1	0	0	0	0
Scenario_13_2	0	0	0	0
Scenario_13_3	50	0	0	0
Scenario_13_4	0	0	0	0
Scenario_13_5	0	0	0	0
Scenario_13_6	0	0	0	0
Scenario_13_7	0	0	0	0
Scenario_13_8	0	0	0	0
Scenario_13_9	0	0	0	0
Scenario_13_10	0	0	0	0
Scenario_13_11	0	0	0	0

Scenario_13_12	0	0	0	0
Scenario_13_13	52	0	0	0
Scenario_13_14	0	0	0	0
Scenario_13_15	0	0	0	0
Scenario_14_1	0	0	0	0
Scenario_14_2	0	0	0	0
Scenario_14_3	137	0	0	0
Scenario_14_4	0	0	0	0
Scenario_14_5	0	0	0	0
Scenario_14_6	0	0	0	0
Scenario_14_7	23	0	0	0
Scenario_14_8	0	0	0	0
Scenario_14_9	0	0	0	0
Scenario_14_10	0	0	0	0
Scenario_14_11	0	0	0	0
Scenario_14_12	0	0	0	0
Scenario_14_13	138	0	0	0
Scenario_14_14	0	0	0	0
Scenario_14_15	0	0	0	0
Scenario_15_1	345	83	0	0
Scenario_15_2	76	0	0	0
Scenario_15_3	661	399	137	0
Scenario_15_4	142	0	0	0
Scenario_15_5	281	19	0	0
Scenario_15_6	278	16	0	0
Scenario_15_7	547	285	23	0
Scenario_15_8	328	66	0	0
Scenario_15_9	0	0	0	0
Scenario_15_10	0	0	0	0
Scenario_15_11	119	0	0	0
Scenario_15_12	0	0	0	0
Scenario_15_13	662	400	138	0
Scenario_15_14	16	0	0	0
Scenario_15_15	0	0	0	0

- 위 표와 같이 본 연구에서 제안한 방법론을 통하여 비관개기 시작 즉 10월초에 현재저수율을 고려하여, 비관개기의 강우량 전망 및 차년도 관개기 강우량 전망을 기초로 시나리오를 설정하여 양수저류량 결정에 활용할 수 있다.
- 본 연구에서 제안한 양수저유량 결정방법은 저수율자료를 확보하고 있는 농어촌공사 관할 대부분의 저수지에서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 가뭄대응기술 경제성 평가

가. 가뭄대응기술 경제성 평가 방법

- 본 절에서는 가뭄을 극복하기 위하여 본 연구에서 개발한 이동식 양수장치를 적용하였을 경우 발생비용과, 살수차 동원에 필요한 비용을 비교하였다.
- 본 연구에서 개발한 이동식 양수장치는 1대당 2,000만원의 초기비용이 발생하며, 1일 양수량은 2,160톤이다.
- 이동식 양수장치는 경유연료로 작동하며, 시간당 1.8리터의 경유를 소모한다.
- 1일 가동 시 20시간을 가동하는 것으로 고려하면, 2020년 12월 기준 경유비는 약 1,200원으로 1일 소모되는 연료비는 약 43,200원이다.
- 살수차의 1일 사용료는 다음표와 같다.

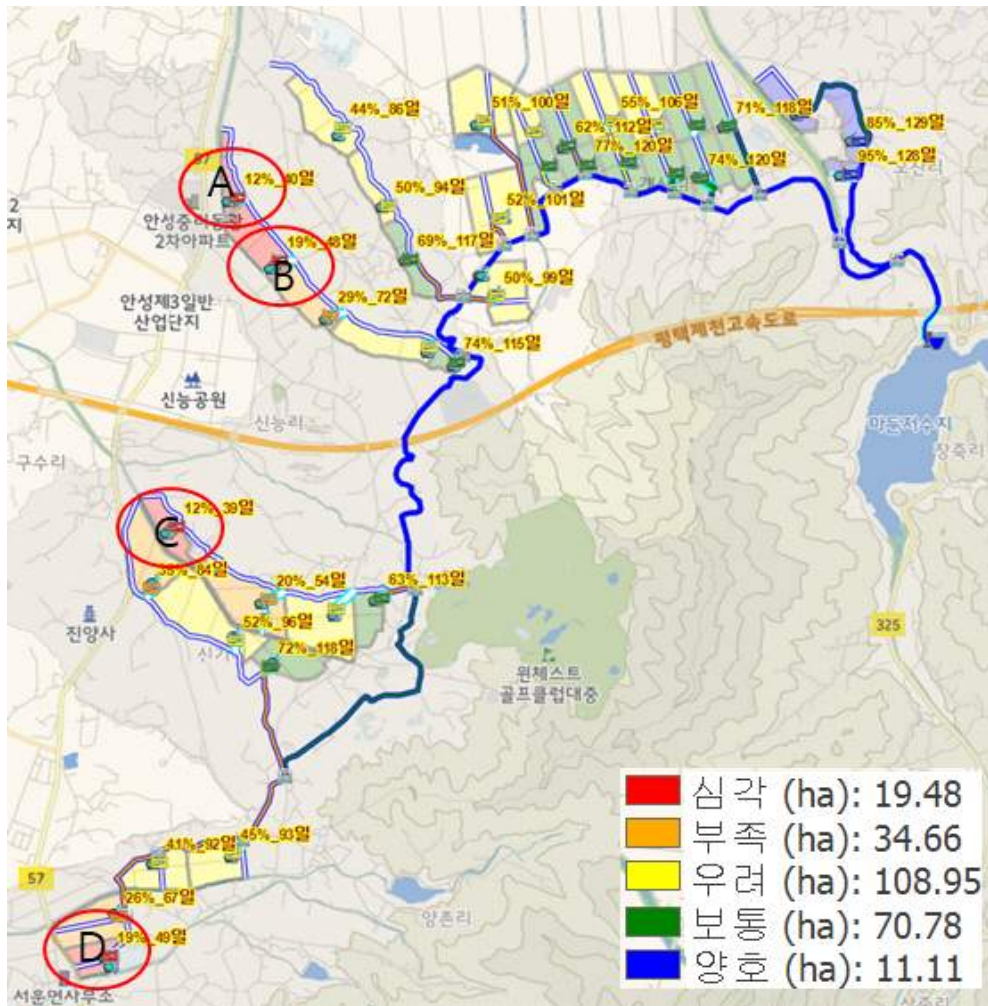
[표 2-10-10] 살수차 사용료 (2018 살수차 협동조합)

구 분	1일 사용료
5톤 차량	500,000원
16톤 차량	600,000원

- 본 연구에서는 살수차는 16톤 차량을 사용하는 것으로 하며, 1일 평균 수원과 관개 지구를 5회 왕복하는 것으로 가정하였다.
- 따라서 살수차를 사용할 경우 1대당 1일 96톤의 용수가 공급가능한 것으로 하였다.

나. 대상지구 가뭄대응기술 경제성 평가

- 대상지구는 마둔저수지 수혜지역이며, 대상기간은 2015년으로 대상지구에 가뭄에 발생한 년도를 선정하였다.
- 가뭄대응기술을 적용하지 않은 경우 2015년의 관개만족도는 다음그림과 같다.



[그림 2-10-4] 2015년 마둔저수지 관개만족도

- 위 그림과 같이 가뭄우려 지역이 108.95ha, 용수부족 지역이 34.66ha, 가뭄심각 지역이 19.48ha로 분석되었다.
- 가뭄심각지구는 분석상 4개 지구이며 A~D지구의 포장담수심은 다음과 같다.



[그림 2-10-5] 2015년 마둔저수지 A지점 포장담수심



[그림 2-10-6] 2015년 마둔저수지 B지점 포장담수심



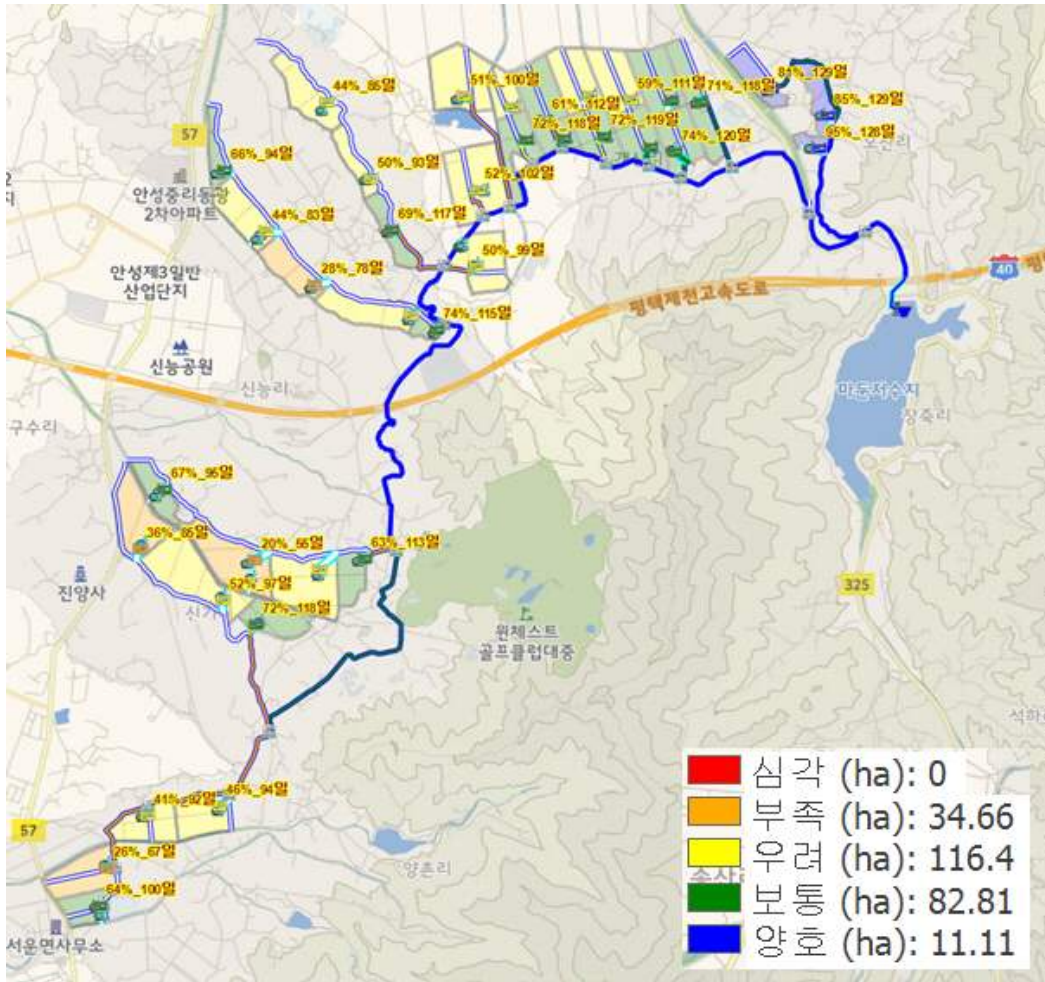
[그림 2-10-7] 2015년 마둔저수지 C지점 포장담수심



[그림 2-10-8] 2015년 마둔저수지 D지점 포장담수심

- 위 그림과 같이 가뭄심각지구들은 대체로 5월중순부터 용수가 부족하기 시작하여 6~7월에 걸쳐 담수심이 유지되지 않고 있다.
- 본 연구에서는 가뭄심각지역 30.75ha를 대상으로 우선적으로 용수를 공급하는 것으로 하였다.
- 용수공급방법은 A지구 및 C지구는 5월 중순부터, B지구 및 D지구는 6월부터 용수를 공급하는 것으로 하였으며, 용수는 7월 중순까지 격일로 공급하였다.

- 따라서, 본 연구의 시나리오에서 이동식 양수장치는 총 2대가 필요하다.
- A지구 및 B지구는 계촌천, C지구는 구수천, D지구는 양촌천에서 취수하는 것으로 하였다.
- 이동식 양수장치를 사용하여 가뭄대응을 한 경우 관개만족도는 다음 그림과 같이 개선되었다.



[그림 2-10-9] 이동식 양수장치 적용 후 관개만족도

- 이동식 양수장치 적용 후 심각지역은 없어졌으며, B 지구는 가뭄 우려지역, 그 외 A, C, D 지구는 보통지역으로 개선되었다.
- 해당 시나리오에서 이동식 양수장치 사용일수는 대당 54일, 총 108일이며, 운영비용은 10.8백만원이다.
- 이동식 양수장치를 사용해서 공급한 용수량은 총 233,280톤이며 살수차를 사용하여 이동식 양수장치와 같은 효과를 내기 위해서는 2,430일분의 살수차 동원이 필요하다.

- 따라서 살수차 동원 시 발생비용은 145.8 백만원이다.
- 아래표에 이동식 양수장치와 살수차 동원 비용을 비교하였다.

[표 2-10-11] 이동식 양수장치 경제성 평가

비목	이동식 양수장치	살수차
장치구매비	2,000만원/대×2대=4,000만원	0원
운영비	43,200원/일×108일=467만원	145.8백만원
합계	4,467만원	14,580만원

- 위 표와 같이 2015년과 같은 가뭄 발생시 이동식 양수장치를 사용할 경우 살수차를 동원하는 경우에 비하여 약 1/3 정도 경제적인 것으로 나타났다.
- 위 금액은 이동식 양수장치를 구매하는 비용이 포함되었으므로, 가뭄이 지속적으로 발생할 경우 이동식 양수장치의 경제성은 더욱 크게 효과가 나타날 것으로 판단된다.
- 또한 이동식 양수장치는 기본적으로 차량이 포함되어 있어, 인근 수혜지구에 공동으로 적용할 수 있다는 장점이 있으므로, 가뭄이 자주 발생하는 지사에서 구매하여 공용으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

제 11절. 순환형 농업용수 관리시스템 개발

1. 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치의 유지관리

- 순환형 농업용수 관리 활용 센서 및 장치의 유지관리는 정기점검과 비정기점검 그리고 기술지원 및 교육훈련으로 구별할 수 있다.
- 정기점검 중 RTU에 대하여는 분리·청소·복구, H/W 및 S/W 정상운전 확인, RTU Log File 점검, Network 동작상태 및 주변기기 점검, RTU 성능 모니터링 등을 점검한다. 계측 센서는 전송반, 계측변환기, 통신기기 등 부속기기의 상태를 점검하고 각종 기기의 입출력 신호를 측정하여 조정한다. 센서의 점검은 설치 상태, 작동 상태, 선로 및 단자 접속 상태 점검을 포함한다.
- RTU의 상태는 ① 주변온도, 습도 적정 여부 및 먼지, 오일미스트 흡착 여부, ② 전원의 Maker 지정 범위 내 유지 여부, ③ Unit(I/O포함) 취부 상태, 단자, ④ 볼트 조임 상태 및 압착단자 근접 여부, 배선, ⑤ 케이블의 손상 및 열화 여부, ⑥ 동작표시기(램프) 정상작동 여부, ⑦ Battery 전압 정상여부 및 Maker 보증기간 경과 여부, ⑧ 동작 시 이상 음 여부 등을 점검한다.
- 비정기점검은 유량 및 수위의 데이터 이상, 유량계의 비교유량 측정 등이 필요한 경우로 필요하다고 판단되는 경우 실시한다.

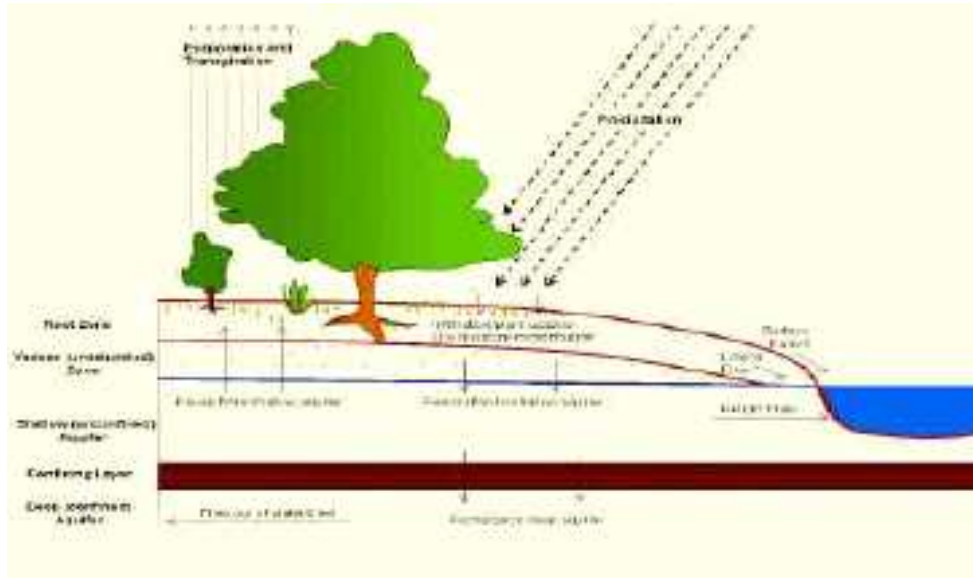
[표 2-11-1] 센서 및 장치 유지관리(점검) 항목

구 분	센서 동작상태	외함 및 전원 설비	계측 및 전송설비 동작 상태
내 용	<ul style="list-style-type: none"> - 손상 및 파손여부 - 센서 탈착여부 - 외부 상태점검(누수 및 부식 등) 	<ul style="list-style-type: none"> - 외함 보존 상태 - 전원인입 이상유무 - 배선상태 	<ul style="list-style-type: none"> - 전용회선 이상유무 - 모뎀 동작상태 - 각종 카드류 이상유무 - 변환기류 이상유무

2. 순환형 농업용수 관리 분석 시스템 개발

가. 유입량 분석을 위한 SWAT 적용

- 순환형 농업용수 관리 분석시스템은 순환형 농업용수 관리를 위한 의사결정지원의 사전 분석시스템으로 유입량 분석을 위해 다음과 같은 구성으로 되어있다.
- SWAT 모형은 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)의 Jeff Arnold 등에 의해 개발된 유역모형이다. SWAT 모형은 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리방법의 영향을 예측하기 위하여 개발되었다.
- SWAT 모형은 1994년 최초로 개발되었고 이후 현재에 이르기까지 매년 꾸준히 발전되어 현재 GIS Viewer 프로그램인 ArcView를 이용하는 AVSWAT으로 발전되었으며, 꾸준히 기능을 확장하고 있다. SWAT 모형은 일 단위의 모의가 가능한 유역단위의 준 분포형 장기-강우 유출모형으로서 수문 부모형, 토양유실 부모형, 영양물질 부모형, 하도추적 부모형으로 구성되어 있다. SWAT 모형은 유역의 서로 다른 표면특성을 반영할 수 있도록 대상유역을 여러 개의 소유역(subbasin)으로 구분하여 해석하며, 소유역 내에서 수문에 영향을 주는 토지이용이나 토양의 상이성에 따라 유사한 특성을 나타내는 수문반응단위(HRU; Hydrologic Response Unit)로 세분한다. 수문반응단위는 소유역내의 최소단위로 집중화된 토지지역이며, 동일한 토지피복과 토양 및 관리 등의 조합으로 구성된다.
- SWAT 모형에서 전체적인 모의는 유역 부분과 수체 부분으로 나누어 실시되며, 유역에서는 각 HRU에서 물수지 식에 따라 강우량, 지하수로의 침투량, 증발산량, 표면유출량을 산정한다. 토양침식은 MUSLE(Modified Universal Soil Loss Equation)에 의해 계산되며, 인, 질소 그리고 살충제와 같은 유기성 화학물질의 이동량을 모의할 수 있다. 수체는 하천과 저수지를 의미하며, 이 모듈에서는 유량, 퇴적물, 영양염류, 유기성 화학물질의 반응 등이 고려된다.
- SWAT 모형의 입력자료는 유역 전반에 걸쳐 적용되는 유역 매개변수와 각각의 소유역별로 입력되는 자료 및 각 소유역에 대하여 HRU별로 입력되는 자료로 구성되어 있다. 크게 GIS를 통해 자동적으로 구성되는 유역자료와 토양자료, 작물자료가 있으며, GIS와 수동입력을 병행하여 작성되는 기상자료, 소유역자료, 하천특성자료, 지하수자료 등으로 구분할 수 있다. 또한 출력자료는 토양도와 토지이용도를 중첩시켜 만든 HRU별 출력자료와 유역경계에 의해 구분된 소유역별 자료, 각 하도추적 구간별 결과치로 구분된다.



[그림 2-11-1] SWAT 모형의 물수지

- 농업용수 네트워크 분석은 전술하였던 네트워크를 SWMM의 부정류 해석을 통하여 수로에서의 수위, 유속, 도달시간 등 수리학적 해석이 가능하다. 이를 바탕으로 30일 이내의 단기 분석, 180일 이내의 장기분석, 퇴출량 분석 등으로 구성된다.

나. 순환형 농업용수 관리 분석 시스템 화면의 구성

- 순환형 농업용수 관리시스템의 메인화면은 시범지구인 마둔저수지, 대사저수지, 풍전저수지, 모월저수지가 표출되며 각각의 저수지를 선택하여 농업용수 분석을 실행하게 된다.



[그림 2-11-2] 순환형 농업용수 관리시스템 메인 화면

- 시스템의 메인화면에서 개별 저수지를 선택하면 시범지구에 설치된 계측장치의 계측정보와 저수율 및 기상정보를 확인할 수 있는 모니터링 부문, DIROM 및 SWAT 모형에 의한 유입량 분석이 가능한 유입량 분석 부문, 그리고 관개 네트워크의 수리해석을 통한 농업용수 네트워크 분석 부문으로 구성된다.

[표 2-11-2] 메뉴의 구성

구분	내용
모니터링	계측정보, 저수율 정보, 기상정보 조회
유입량 분석	DIROM 및 SWAT 모형에 의한 유역 유출 분석
농업용수 네트워크 분석	시범지구의 관개 네트워크 분석을 포함한 저수지 농업용수 공급의 거동 분석

다. 농업용수 관리를 위한 장치 적용

(1) 모니터링

(가) 강우량계 설치

- 전술한 바와 같이 풍전저수지 평야부, 대사저수지 평야부, 모월저수지 평야부, 산동양수장에 수위계 2개소, 유량계 3개소를 설치하고 추가적으로 시범지구의 풍전저수지 시점부, 대사저수지 시점부, 마둔저수지 시점부에 각각 강우량계를 설치하여 국지적인 강우에 대한 모니터링이 가능하도록 하였다.

- 마둔저수지 시점부



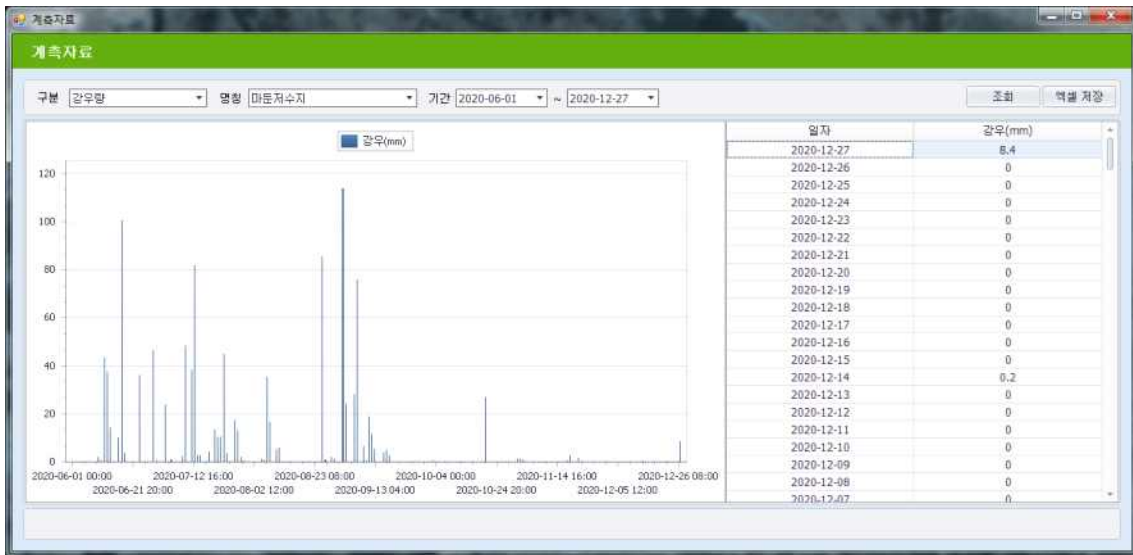
- 대사저수지 시점부



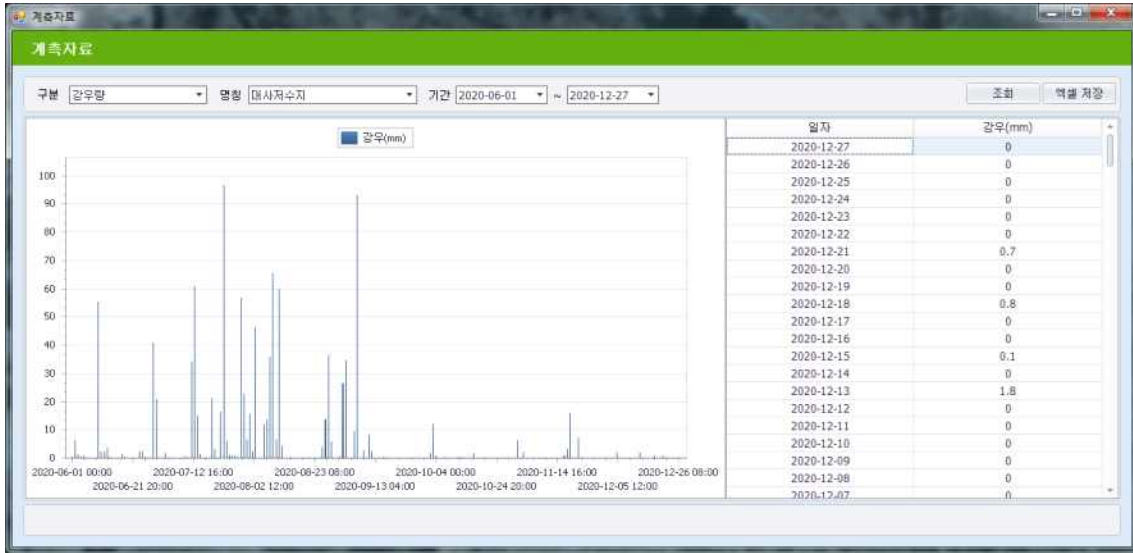
- 풍전저수지 시점부



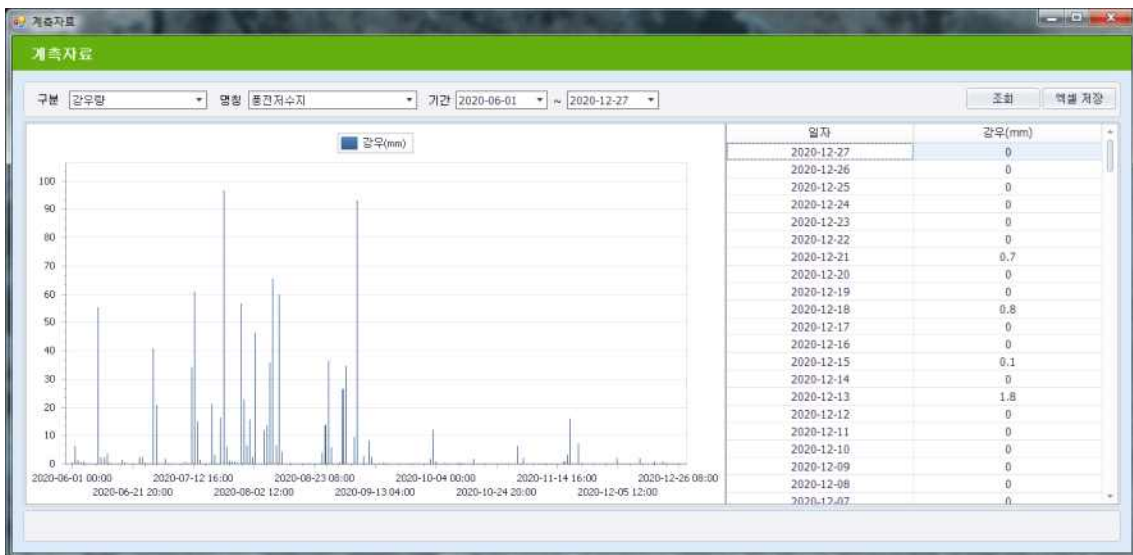
- 설치 이후 계측된 각 지점의 강우 정보는 다음과 같다.



[그림 2-11-3] 마둔저수지 시점부 강우 측정 정보



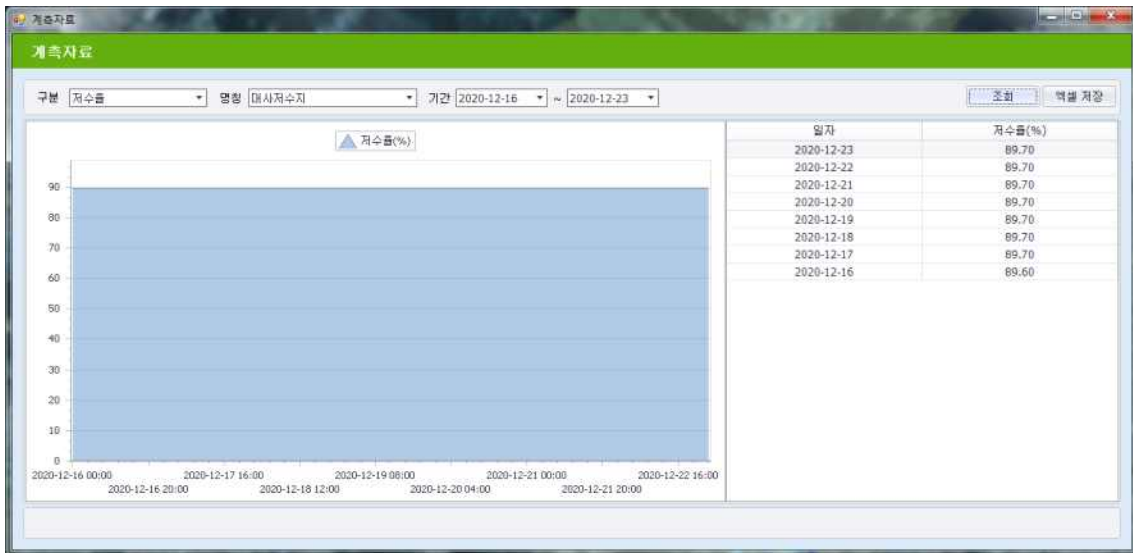
[그림 2-11-4] 대사저수지 시점부 강우 측정 정보



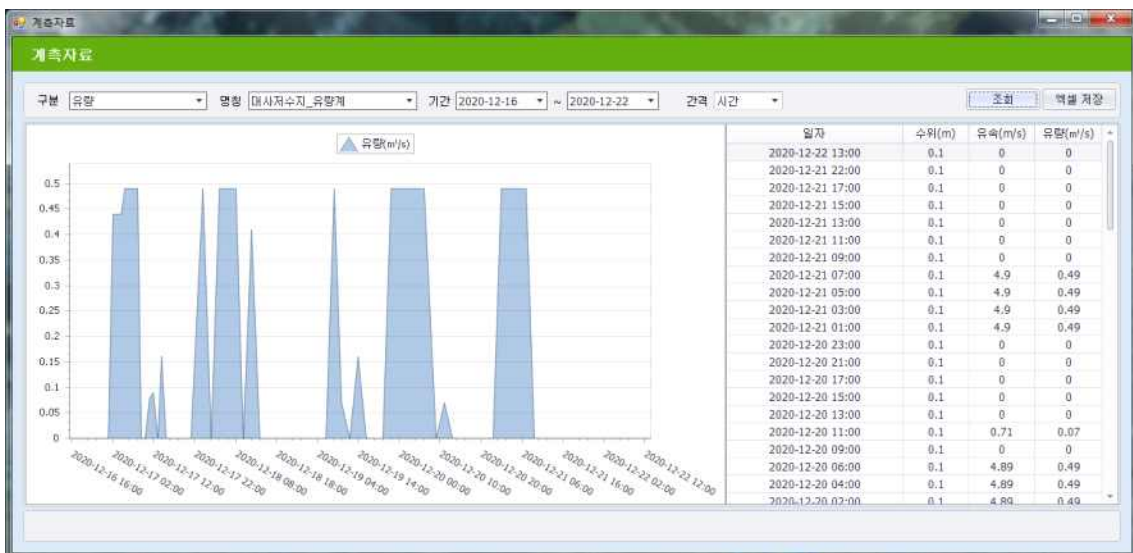
[그림 2-11-5] 풍전저수지 시점부 강우 측정 정보

(나) 시스템 화면 구성

- 계측정보는 계측자료 메뉴를 선택하여 구분에서 저수율, 강우량, 수위, 유량을 선택하고 조회하고자 하는 해당 지점을 선택하면 된다. 선택 후에 조회하고자 하는 기간 등을 설정하여 해당기간 또는 전체에 대하여 데이터를 그래프와 표로 조회가 가능하다.



[그림 2-11-6] 저수율 정보 조회 화면



[그림 2-11-7] 수로유량 정보 조회 화면

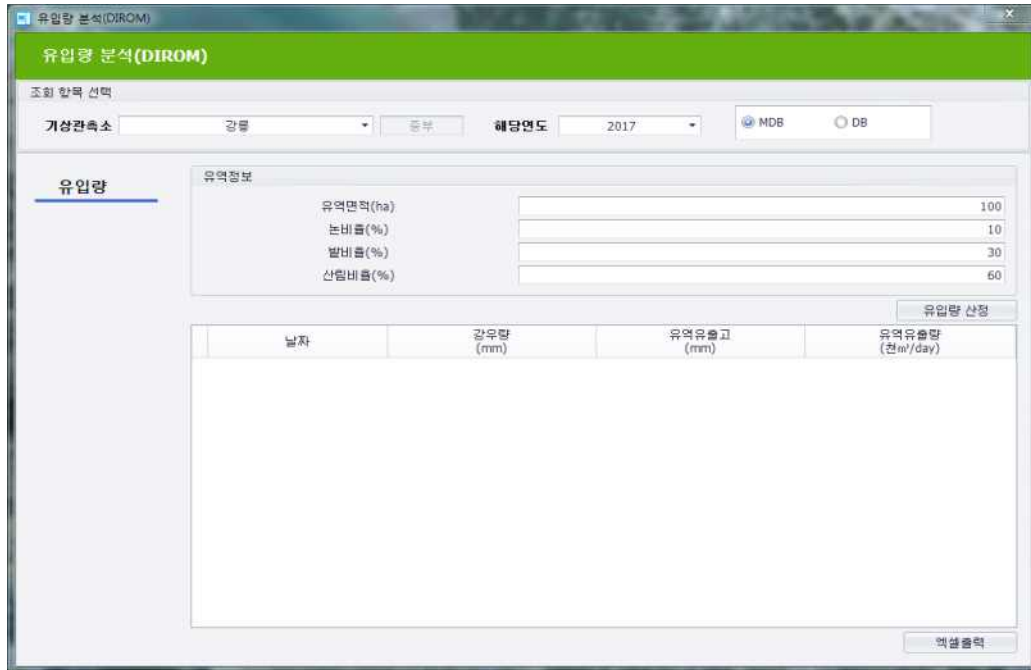
- 기상자료는 시범지구 내의 농업용수 분석을 위한 과거자료 및 예보자료를 활용하며 예보자료는 기상청의 3일 예보를 활용하여 표출하며 이외에 현재 강우량과 누적강우량을 표출하여 농업용수 관리에 활용할 수 있도록 구성하였다.
- 마둔저수지는 이천관측소(203), 대사저수지와 풍전저수지는 서산관측소(129)의 기상정보를 연계하였다.



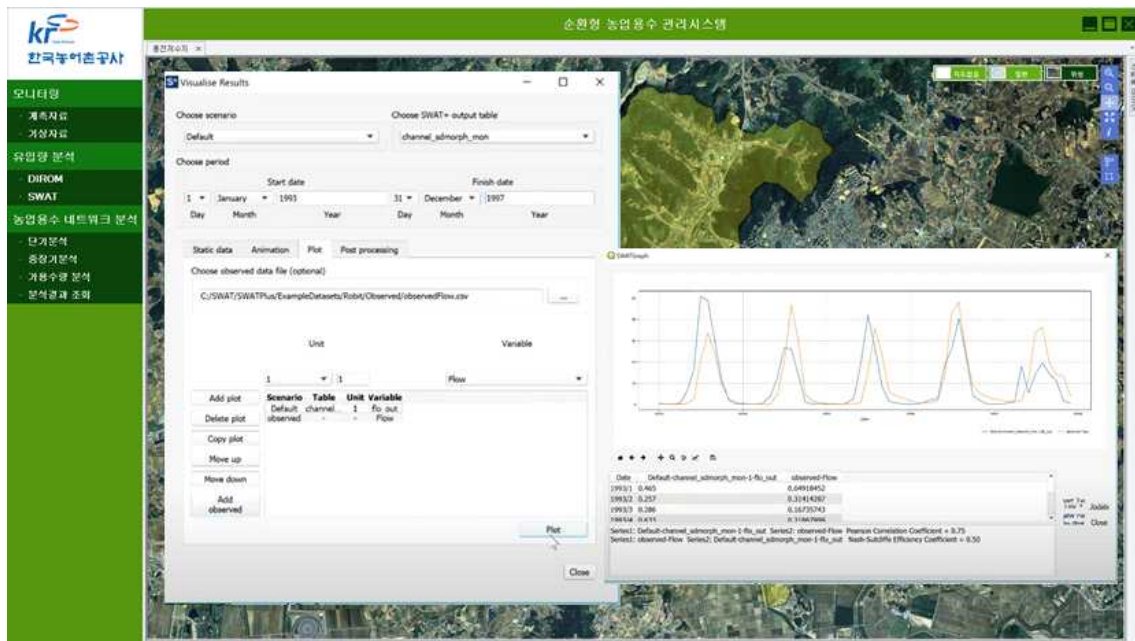
[그림 2-11-8] 기상자료 정보 조회 화면

(2) 유입량 분석

- 유입량 분석은 전술한 DIROM 모형과 SWAT 모형을 적용하여 분석하며 사용자가 선택 후 입력자료를 입력하면 분석이 수행된다.



[그림 2-11-9] DIROM 유입량 분석 화면



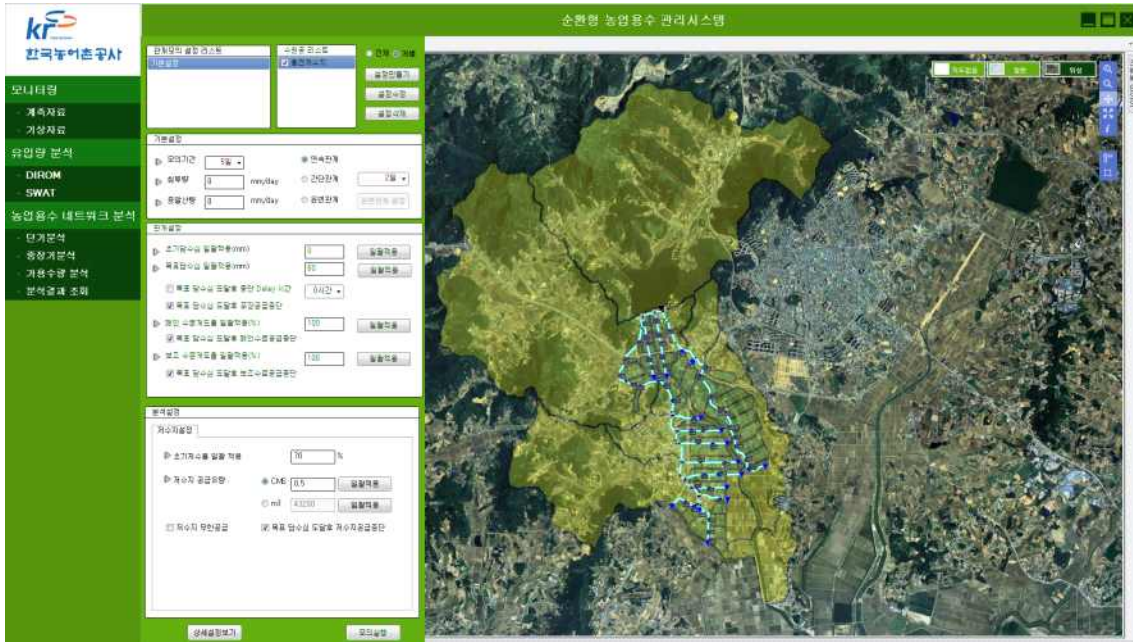
[그림 2-11-10] SWAT 유입량 분석 화면

(3) 농업용수 네트워크 분석

- 농업용수 네트워크 분석은 시범지구 내 구축된 관개 네트워크를 수리해석하며 각 수원공별 관개방식, 공급량 등의 조건에 따라 농업용수의 공급량, 들녘별 용수공급 모의 등을 수행하는 기능이다.

(가) 단기 분석

- 단기분석은 시스템의 메뉴에서 농업용수 네트워크 분석 → 단기분석을 선택하여 설정하며 수문개도율, 공급량, 운반관개 등의 관개방식, 목표담수심 등을 설정하여 수원공에서 포장까지의 농업용수를 20일 이내의 기간 동안 분석할 수 있다.



[그림 2-11-11] 단기분석 설정 화면

- 분석기간은 사용자가 원하는 해당기간에 설정을 하며분석기간은 20일 이내로 제한되며 사용자가 직접 침투량과 증발산량을 입력 가능하며 강우는 무강우로 적용한다.
- 전체, 개별 버튼의 경우 전체를 누르고 기본설정, 저수지 설정, 관개 설정 등을 바꾸면 선택된 계획설정 설정 리스트에 포함된 모든 수원공의 설정이 일괄변경 되고 개별의 경우 수원공 리스트에 선택된 수원공의 설정만 변경이 가능하다.

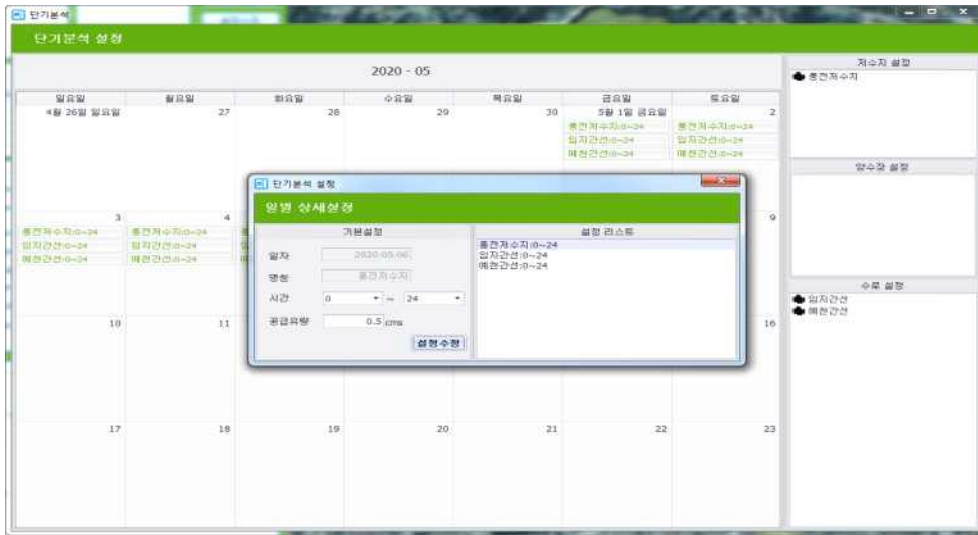
기본설정	
▶ 모의기간	5일 ▼
▶ 침투량	0 mm/day
▶ 증발산량	0 mm/day
<input checked="" type="radio"/> 연속관개	<input type="radio"/> 간단관개 2일 ▼
<input type="radio"/> 윤번관개	윤번관개 설정

[그림 2-11-12] 단기분석 기본 설정 화면

- 관개방법은 연속관개와 간단관개, 윤번관개로 설정이 가능하며 연속관개는 처음 설정한 수문설정으로 용수를 공급하며 간단관개는 선택한 일수로 저수지 수문을 열고 닫으며 윤번관개는 사용자가 원하는 일자와 원하는 수로에 용수를 공급한다.
- 사용자가 원하는 관개를 클릭하면 해당 관개에 대한 설정이 활성화된다.
- 윤번관개 설정버튼을 클릭하면 위와 같이 일자별 수로공급 스케줄표가 나타나며 메인 설정 창에서 설정된 일자로 스케줄표가 나타나며 스케줄표를 이용하여 사용자 수문설정이 가능하다.

[그림 2-11-13] 윤번관개 설정 화면

- 스케줄 표에서 수정하려는 저수지, 수문을 두 번 클릭하면 위와 같은 일별상세 설정화면이 표출된다.



[그림 2-11-14] 윤번관개 상세 설정 화면

- 저수지는 시간, 공급유량을 변경할 수 있으며 양수장은 시간, 펌프효율, 가동대수를 변경하며 수문은 개도를 변경이 가능하다.



[그림 2-11-15] 단기분석 수문 개도 설정 화면

- 삭제된 내역에서 다시 물을 공급하기 원하면 아래와 같이 리스트에서 저수지, 양수장, 수문 중 하나를 선택한 후에 해당하는 일자별 위치에 갖다 놓으면 아래와 같이 스케줄상에서 나타난다.



[그림 2-11-16] 단기분석 수문 개도 추가 화면

- 저수지 설정은 저수지의 초기 저수율, 공급유량을 설정 가능하고 모든 포장에 목표 담수심 만큼 도달하면 저수지의 공급을 중단하는 조건과 담수심 상관없이 계속 공급하는 무한공급 조건의 설정도 가능하다.



[그림 2-11-17] 단기분석 저수지 설정 화면

- 관개설정은 포장과 수로에 대한 설정을 하는 화면으로 포장은 계획설정을 위한 전체포장에 초기 담수심과 목표로 하는 담수심을 입력한다.
- 수로의 개도율과 보조수문의 개도율을 설정할 수 있으며 해당수로에 담수심이 목표 담수심에 도달하면 수로공급의 중단 유무를 설정할 수 있고 수정을 원하는 항목을 설정한다.



[그림 2-11-18] 단기분석 관개 설정 화면

- 양수장 설정은 양수장의 공급량과 가동시간을 설정하며 가동시간이 0시간인 경우 공급량은 0으로 고정되고 공급량(cms)이 0.5cms에 가동시간이 12시간인 경우 공급량(m³)은 12시간에 해당하는 공급량(m³)으로 환산되어 표출된다.



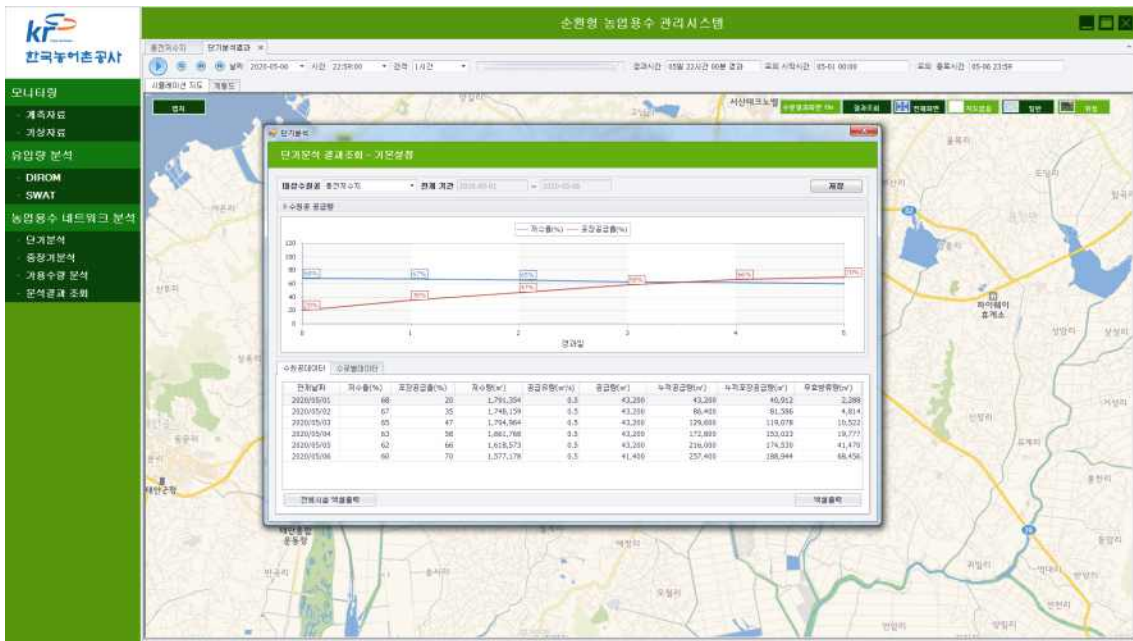
[그림 2-11-19] 단기분석 양수장 설정 화면

- 단기분석은 사용자가 지정한 설정으로 저장, 삭제, 수정이 가능하다. 설정 만들기 버튼을 클릭하면 아래와 같이 설정명을 입력할 수 있는 화면이 나타나며 명칭을 입력한 후 생성버튼을 클릭하면 계획설정 설정 리스트 목록에 설정한 명칭으로 나타난다.



[그림 2-11-20] 단기분석 사용자 설정 추가 화면

- 지금까지의 설정을 통하여 모의 실행을 선택하게 되면 저수지의 물수지, 용수로의 네트워크 수리해석 등에 의한 농업용수 분석이 시스템에서 수행되고 농업용수의 분석이 완료되면 아래와 같은 화면이 표출된다.

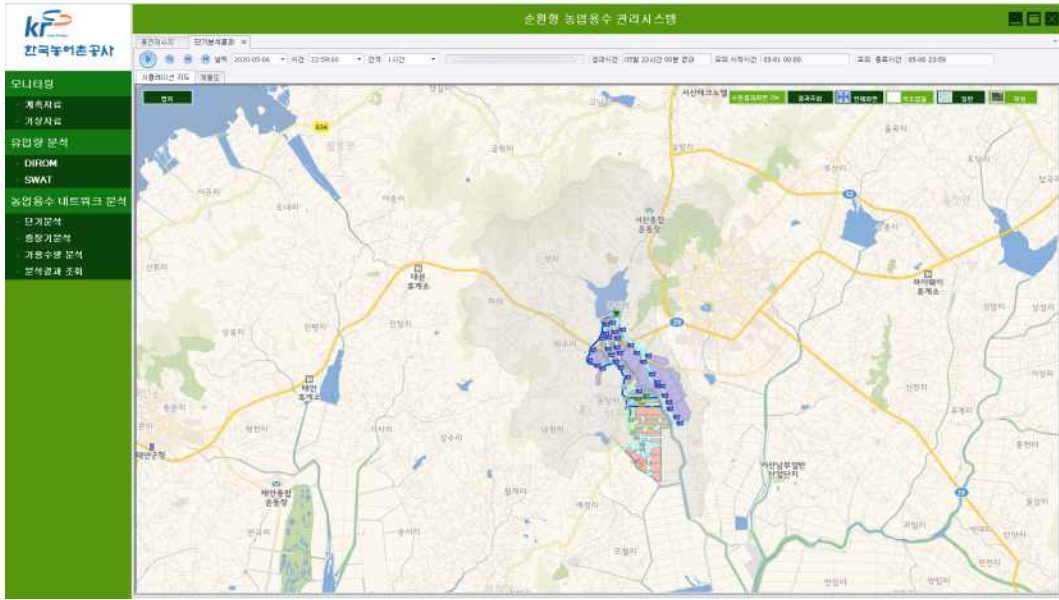


[그림 2-11-21] 단기분석 농업용수 분석 결과 화면

- 모의결과는 경과 일에 따른 저수율과 전체포장에 대한 포장 공급율을 확인하고 관개날짜, 저수율, 포장 공급율, 저수량, 공급유량, 공급량, 누적공급량, 누적포장공급량, 무효방류량의 정보를 표출한다.
- 해당지구의 수로별 공급량과 포장 공급량, 포장 방류량, 수로 방류량, 퇴수량의 정

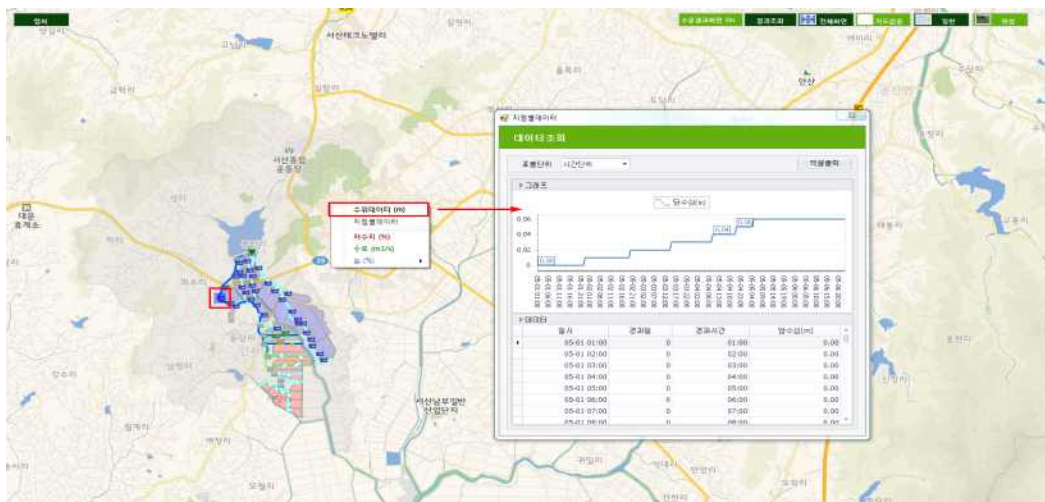
보도 확인이 가능하다.

- 결과화면을 닫으면 아래와 같이 저수지, 수로, 포장에 대한 시간대별 결과내용을 확인할 수 있는 지도화면이 표출된다.



[그림 2-11-22] 단기분석에 따른 분석 결과 지도 화면

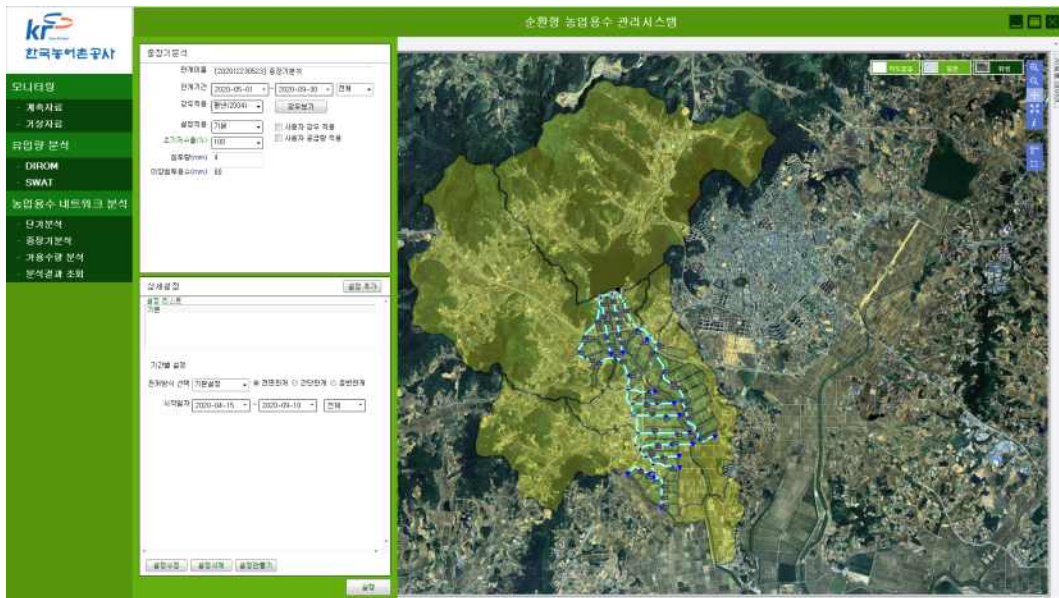
- 지도상에서 포장을 선택하고 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하면 아래와 같은 선택팝업이 나타나며 수위 데이터를 선택하면 위와 같은 수위그래프와 표로 결과를 확인할 수 있다. 분석된 데이터는 지점별 또는 포장별로 수위, 유량, 유속 등의 분석 결과가 확인이 가능하며 데이터를 1개 또는 그 이상으로 선택하여 함께 표출된다.



[그림 2-11-23] 단기분석 결과 지점별 데이터 조회 화면

(나) 중장기 분석

- 관개기 동안의 장기 농업용수 분석은 시스템의 메뉴에서 농업용수 네트워크 분석 → 중장기분석을 선택하여 단기분석에서 저장된 관개방식을 생육기별로 사용자가 적용 또는 전체 기간 동일하게 적용하고 강우 형태를 선택하면 관개기간 동안 농업용수 공급의 거동을 분석한다.



[그림 2-11-24] 관개기 동안의 장기 농업용수 분석 설정 화면

- 중장기분석 버튼을 클릭하면 위와 같은 중장기분석 설정창이 나타나고 관개기간, 적용할 강우 정보, 초기 저수율, 분석기간 동안의 관개방식 설정, 침투량, 이양침투량 등을 입력하여 분석을 실행한다.
- 관개기간은 4월부터 9월까지 범위안에서 설정이 가능하며(범위 나머지가 시간은 분석에서 제외) 사용자가 원하는 기간을 선택하여 분석하고 1일, 7일, 15일, 30일, 45일 60일로도 사용자가 간편하게 설정하는 것도 가능하다.

[그림 2-11-25] 관개기 동안의 장기 분석을 위한 기간 설정 화면

- 강우적용 콤보박스를 선택하면 무강우, 평년, 3년, 5년, 7년, 10년 빈도에 해당하는 년도를 선택하여 분석이 가능하고 선택한 빈도의 강우를 선택한 후에 강우보기를 선택하면 해당년도에 강우, 증발, 기온, 습도, 일조 등의 상세정보를 조회할 수 있다.

[그림 2-11-26] 분석을 위한 강우 적용 화면

장우정보 조회							
장우정보							
년도	월	일	강우(mm)	증발(mm)	기온(°C)	습도(%)	일조(h)
2004	5	1	0	6	19.6	61	7.4
2004	5	2	0	1	17.6	68.3	0.2
2004	5	3	22	1	13.1	90.4	0
2004	5	4	1	5	13.4	61.8	12.1
2004	5	5	0	6	13.9	68.4	11.8
2004	5	6	0	5	15.5	62.5	10.9
2004	5	7	0	6	15.7	51.4	11
2004	5	8	6	5	15.8	68.9	0
2004	5	9	39	0	15.1	91.8	0
2004	5	10	5	1	13.9	91.1	0
2004	5	11	0	3	15.6	80.9	6.7
2004	5	12	20	0	16.1	89.8	0
2004	5	13	1	4	14.7	80	7.2
2004	5	14	0	5	17.4	67.9	9
2004	5	15	1	1	14.8	85.8	0

[그림 2-11-27] 적용된 장우 상세정보 화면

- 설정적용 콤보박스는 기본으로 설정되어 있으며 추가한 설정적용에 대한 리스트 목록이보이며 이를 선택하여 분석을 실행한다.
- 장기분석 상세설정 버튼을 클릭하면 아래와 같은 상세설정 입력 및 조회창이 나타나며 미리 설정된 내용을 설정리스트에서 조회하여 생육기별로 또는 사용자 임의의 기간 동안의 관계방식을 적용할 수 있다.
- 계획설정 스케줄 선택은 계획설정에서 만들어놓은 관계방식을 선택하며 관계 시작기간과 종료기간을 입력하고 관계방식에는 연속관계와 윤번관계 중 하나를 선택하여 설정한다.



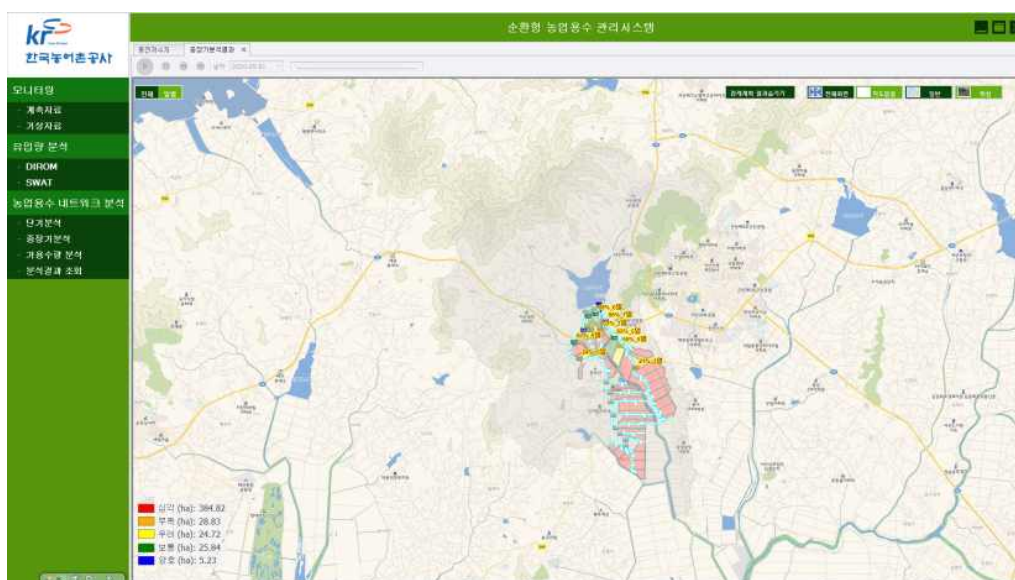
[그림 2-11-28] 중장기분석 상세설정 화면

- 지금까지의 관계기 동안의 장기 농업용수 분석을 위한 설정에 따라 모의 실행 버튼을 선택하면 시스템에서 분석이 수행되어 아래와 같은 결과 창이 호출된다.

- 분석 결과 화면은 수원공, 용수로, 구분으로 검색조건을 선택하여 조회하거나 전체를 검색하면 저수지에서 나온 공급용수 전체를 확인할 수 있으며 간선별로 선택하고 검색버튼을 클릭하면 해당 기간에 공급된 공급량을 확인할 수 있다.



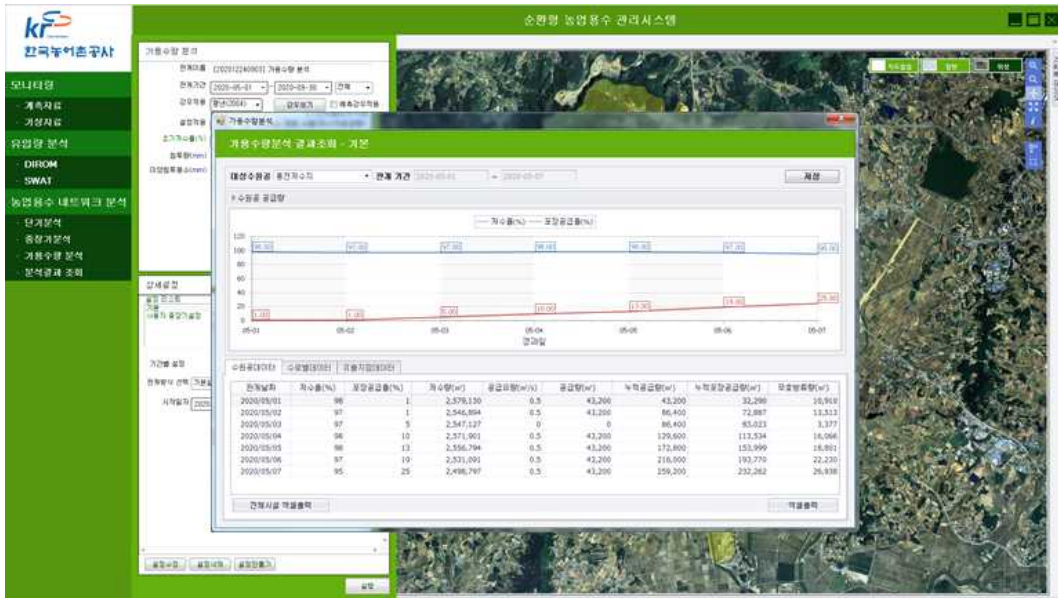
[그림 2-11-29] 관개기 동안의 중장기 농업용수 분석 결과 화면



[그림 2-11-30] 목표담수심 대비 공급된 담수심 GIS 기반 표출 화면

(다) 가용수량 분석 및 결과 조회

- 가용수량 분석은 수원공으로부터 공급된 농업용수가 용수로를 통하여 포장(논)에 공급된 후 수로 말단부로 배출되는 유량, 포장(논)에 공급되고 담수심 이상으로 공급되어 배출되는 유량, 하천 유출점을 중심으로 한 유입량 등을 분석하여 해당 지점의 가용수량을 판단하기 위한 분석 결과를 표출하는 기능이다.



[그림 2-11-31] 가용수량 분석 결과 화면

- 분석결과조회 기능은 단기분석, 중장기분석, 가용수량분석에서 저장한 내역을 조회하는 기능으로 분석결과 조회를 선택하면 아래와 같은 단기분석, 중장기분석, 가용수량분석의 조회 창이 나타나고 계획년도는 구분에 따라 단기분석과 중장기분석, 가용수량분석의 년도로 검색이 가능하며 검색된 결과는 계획년도, 강우빈도, 계획기간, 설정명, 계획분석명과 같이 목록으로 조회할 수 있다.

No	분석년도	강우빈도	분석기간	분석명	중장기분석명	관계만족도 I	관계만족도 II	선택
0	2020	무강우시(9999)	2020-05-01 ~ 2020-05-06	단기분석	[202010061546] 단기분석	74.19	98.7	<input type="checkbox"/>
1	2020	평년(2004)	2020-05-01 ~ 2020-05-08	기본	[202012230652] 중장기분석	25.31	34.3	<input type="checkbox"/>
2	2020	평년(2004)	2020-05-01 ~ 2020-05-16	기본	[202010060341] 중장기분석	75.21	84.4	<input type="checkbox"/>
3	2020	평년(2004)	2020-05-01 ~ 2020-05-16	기본	[202010060257] 가용수량...	75.21	84.4	<input type="checkbox"/>

[그림 2-11-32] 분석결과 조회 화면

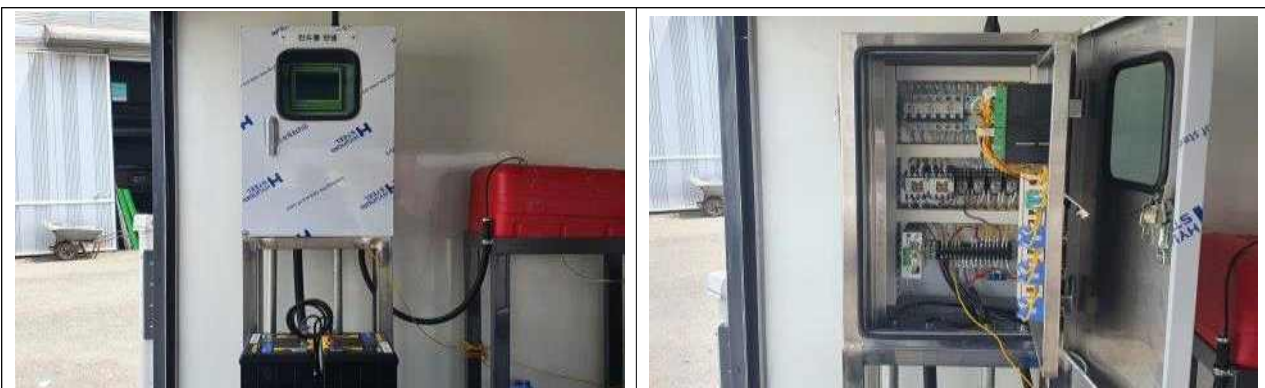
3. 순환형 농업용수 관리를 위한 이동식 양수장치 개발

- 이동식 적재함의 외관은 이동식 양수장치의 구성품(양수기, RTU, 권양기, 유류 탱크 등)을 적재할 수 있으며 총 중량에 부담이 없는 형태로 제작하였다.
- 이동식 양수장치 시스템의 전술한 구성의 상세한 규격 및 특징은 다음과 같다.



[그림 2-11-33] 이동식 적재함 외관

- 제어반(RTU)



- display: 5,7" TFT, 320 x 240 pixels, with touchscreen
- operating system : Linux,
- internal memory capacity: 1,5GB
- communication interface: RS485 Master/Slave, RS232, Ethernet

- 안테나



- 원폴 방식
- 무지향식
- CDMA / LTE 통신

- 전원 공급 장치(축전지)



- 제어반(RTU) 전원 공급용
- 24V(12V×2EA)
- 60A

- 발전기



- 전원공급장치(축전기) 발전용
- 2축구동 원동기에 1축 추가 동력원 공급
- 교류 전력 출력을 인버터가 내장되어 직류 24V 변환

- 디젤 양수기



- 디젤 엔진
- 최대출력 : 13Hp/2,400rpm
- 최대 흡입 양정 : 8m
- 최대 토출량 : 1,800L/min

- 연료 공급기



- 보조 연료(혼다type 발전용)
- 20리터
- 2점점 레벨온오프 스위치 내장

- 배기관



- 자체 제작
- 양수기 배기호스관 연결 유독가스 실외로 배출 및 오염 방지

- 보조연료 공급 라인



- 자체 개발
- 연료 공급 호스
- 강제 압력 급유 및 대기압 진공 겸용

- 흡수구 및 토출구



- 자체 제작
- 기존 양수기의 흡수구 및 토출구가 90도 각도로 되어 있어 트레일러실내에서 양수 작업이 불편하여 작업의 원활성을 높이기 위해 같은 방향으로 입출구관을 별도로 배관 용접가공

- 권양기



- 수동방식을 양수작업의 효율성을 높이기 위해 발전기를 통해 오는 전기를 이용 전동으로 권양토록 추가 제작

- 양수 호스



- 4인치 50m

- 트레일러 차대



- 차량번호 95부0210
- 도로주행 가능한 화물트레일러로 공식승인
- 국내최대업체 피나클사제품 모델rw500
- 최대허용중량 750kg

- 견인 장치



- 견인능력 2.5톤
- 수직하중 50kg

- 견인차



- 자동차 관리법에 의한 견인장치장착 도로
교통안전공단의 구조변경 승인받은 차량

4. 이동식 양수장치 시스템의 운영

- 이동식 양수장치 시스템은 순환형 농업용수 관리시스템에 의한 관개만족도 등을 통한 부족지역 또는 농민 민원에 의한 부족지역에 대하여 순환형 농업용수 관리시스템에서 부족지역 인근 유출점 가용수량 분석을 통한 양수가 가능한 유출점을 선정한다.
- 이동식 양수장치는 트레일러 형태로 현장에 이동하여 가설치하고 대상 포장(논)에 대한 수로 또는 직접 공급을 통하여 농업용수 공급 부족지역에 대하여 직접적인 공급을 실시하게 된다.



[그림 2-11-34] 이동식 양수장치 시스템 운영 절차

- 본 연구에서 시제품으로 제작된 이동식 양수장치 시스템에 대한 내외부의 의견을 수렴하기 위하여 시연회를 실시하여 관련 전문가의 의견을 청취하였으며 또한 언론에 본 연구의 성과를 홍보하였다.

순환형 농기평 연구과제 기술결과 현장시연회 결과

□ 개요


- 목적 : 순환형 농기평 연구과제 수행에 따라 도출된 기술 성과물(이동식 양수장치 시스템)을 현장 시연을 통하여 관련 기술 보완 및 연구결과 개선
- 일시 : 2020년 10월 22일(木) 10시~14시
- 장소 : 경기도 안성시 마둔저수지 일원 및 인근 회의실
- 참석자 : 20명
 - (연구진) 한경대, 충남대, (주)수리이엔씨, 한국농어촌공사 등 12명
 - (관련 전문가) 한경대, 충남대, 한국농어촌공사 안성지사 관계자, 지역 농민 등 8명

□ 시연 내용


- 이동식 양수장치 모바일 시스템 시연
 - 이동식 양수장치 등의 활용을 위한 현장 업무지원 모바일 시스템

○ 이동식 양수장치 시연


- 트레일러 형태로 RTU, 펌프, 연료탱크, 호스 자동권양기 등으로 구성




이동식 양수장치 적재함



RTU



펌프(흡수구 및 토출구)




호스 자동권양기

□ 시연 후 의견 수렴


- 소규모 수혜구역에 대한 농업용수의 직접 공급 형태로 활용
 - 1일 양수량 2,160㎥(분당 1.8㎥×60분×20시간)

구 분	작부시기		감수량(10mm) (중발산량+침투량)
	이앙기(140mm)	본답기(60mm)	
공급가능 면적(ha)	1.54	3.6	21.6


- 여러 대의 이동식 양수장치를 투입하여 다단 형태로 저수지의 양수저류 활용 가능성 검토
- 모바일을 통한 제어 및 양수정보 확인을 통한 사용자 편의성 제고 기대



공급연석 산정



필요수량 산정



양수장치 정보

[그림 2-11-35] 이동식 양수장치 시스템 시연 결과

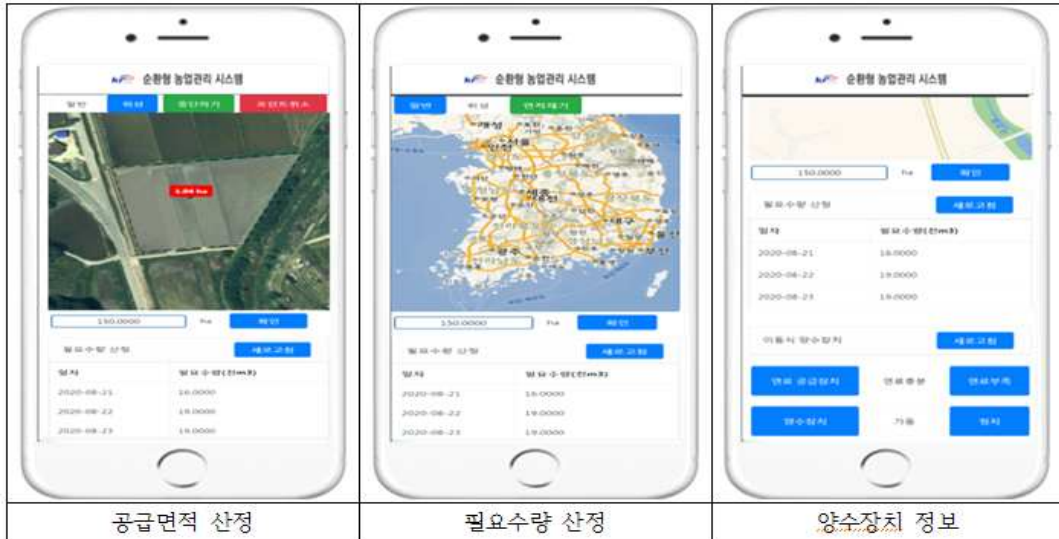
[그림 2-11-36] 이동식 양수장치 시연

- 732 -



[그림 2-11-37] 이동식 양수장치 언론 홍보

- 이동식 양수장치 시스템의 활용성을 높이기 위하여 현장 업무지원을 위한 모바일 시스템을 구축하였다. 모바일 시스템은 순환형 농업용수 관리시스템 DB 서버와 연계되어 구축되었다.
- 현장 업무지원 모바일 시스템은 공급 대상지역에 대한 공급면적 산정, 공급 대상면적의 필요수량 계산, 이동식 양수장치의 가동정보, 그리고 양수장치의 On/Off 기능으로 구성되어 있다.



[그림 2-11-38] 이동식 양수장치 현장 업무지원 모바일 시스템

제 12절. 효율적 농업용수 및 양수저류 관리 기준 분석

1. 최적 용수공급 관리기준 마련을 위한 자료수집 및 분석여부

가. 농업용수의 범위 및 분류

(1) 연구 추진 방향

- 효율적 농업용수 및 양수저류의 관리 기준 마련을 위하여 현재 국내의 농업용수 공급시설 및 이용현황을 정확히 파악하고, 대외적인 여건(기후변화, 영농변화 등)에 따른 농업용수 공급의 변화를 고려한 농업용수 공급 예측, 전망으로 효율적 관리방안 수립에 관련 연구 추진

(2) 농업용수의 범위

- 농어촌정비법 제2조 제3호에서는 농어촌용수를 농어촌지역에 필요한 농업용수·생활용수·공업용수·수산용수와 환경오염의 방지를 위한 용수라고 정의하고 있다. 농어촌용수는 농어촌정비법 제15조에 의한 농어촌용수이용합리화계획의 수립을 통해 체계적으로 개발하고 관리 보존하게 되어있으며, 어촌관련 부분을 제외할 경우 농촌지역에 필요한 생활용수·농업용수·공업용수와 환경오염의 방지를 위한 용수를 농촌용수라 정의할 수 있으므로 농업용수는 농촌용수를 구성하는 일부분이라고 할 수 있다.
- 일반적으로 농업용수는 벼 등의 작물생육에 필요한 관개용수를 의미하며, 관개용수는 용수로, 소하천 등을 경유하여 경지에 공급되므로 그 자체로 농촌경관유지의 기능 등을 수행하는 용수(농촌지역용수)로 볼 수 있다. 따라서 농업용수라 함은 농촌지역에서 농업경영 및 농촌경관유지에 필요한 모든 용수를 의미하기도 하므로 2001년도 수자원장기종합계획부터는 소, 돼지, 닭 등 가축사육 등에 필요한 축산용수와 농촌지역용수의 개념이 포함된 농용수를 포함시켜 농업용수 수요량을 산정한 바 있다.

(3) 농업용수의 분류

- 일본에서는 1) 벼 등의 생육에 필요한 논 관개용수(수로유지용수 포함), 2) 야채, 과수 등 밭작물의 생육에 필요한 밭 관개용수, 3) 소, 돼지, 닭 등 가축사육 등에 필요한 축산용수 및 농촌지역용수를 농업용수로 취급하고 있다. 이와 같이 논, 밭 관개

용수 및 축산용수를 포함하는 농업용수는 생활용수와 공업용수로 구분되는 도시용수와는 상대적인 개념으로 사용되고 있다. 미국의 경우에는 농장, 과수원, 초지에 인공적으로 공급하는 물과 작물의 냉해방지, 화학처리, 곡물건조, 수확, 분진제거, 토양염도저하 등에 사용되는 용수뿐만 아니라 비농업활동인 골프장, 공원, 잔디구장, 묘지 또는 경관유지 등에 이용되는 용수도 관개용수에 일부 포함하고 있다. 다만, 골프장 또는 조경용수 중 공공용수 사업자로부터 공급되는 용수는 상업용수 범주에 포함되므로 제외하고 있다.

- 따라서 농업용수라 함은 농촌지역에 필요한 용수로서 벼 등의 작물재배 및 가축의 생육, 일반적인 농업생산을 위하여 사용되는 용수라 할 수 있으며, 농촌지역용수의 기능을 부가적으로 수행하는 논용수, 밭용수 및 축산용수 등으로 분류할 수 있다.

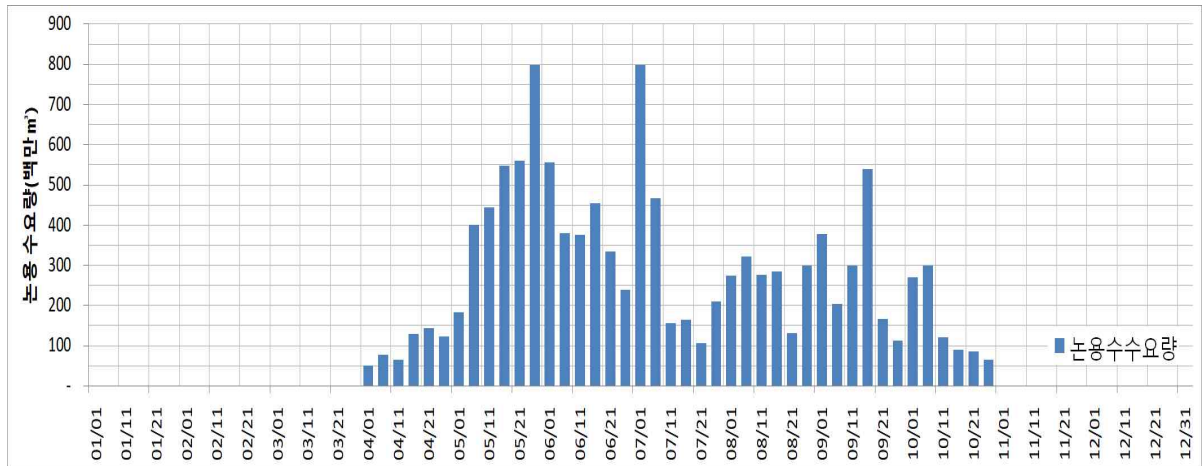
나. 농업용수의 특징

(1) 일반특징

- 농업용수는 작물을 주 대상으로 하기 때문에 자연조건, 작물의 종류, 생육조건 등과 매우 밀접한 관계가 있으며, 다른 어느 용수보다도 다양한 특징을 가지고 있다.
- 논으로 공급된 용수는 논을 통하여 하부 논으로 연속적으로 공급되므로 흙과 물이 끊임없이 접촉하게 되며 기타 생물 및 미생물과 어울려 순환되므로 친환경성이 대단히 크다.
- 수계 및 유역특성, 농업용수 이용형태, 경지면적의 크기 등 지역적 요건과 기상요인에 의한 계절적 편차가 크며, 못자리, 이랑 등 작부체계에 따른 용수이용의 집중도가 매우 높다.
- 수리관행에 따른 취수량은 이론적 필요수량과는 다르며 실제로 취수에 있어서는 수리관행에 지배되는 경우가 많다.
- 논으로 공급된 농업용수 중 관리용수량이 배수로나 하천으로 회귀되므로 물을 재이용할 수 있는 기회가 많으며, 용·배수로 겸용 수로나 간단한 수위조절 물막이 등으로 재이용하는데 비용이 적게 들고 이용효율이 높다.
- 농업용수는 기상, 토양, 작물의 종류, 생육조건, 수원공의 종류 등 복잡하고 다양한 인자들의 영향을 받는다.

(2) 논용수의 일별변화

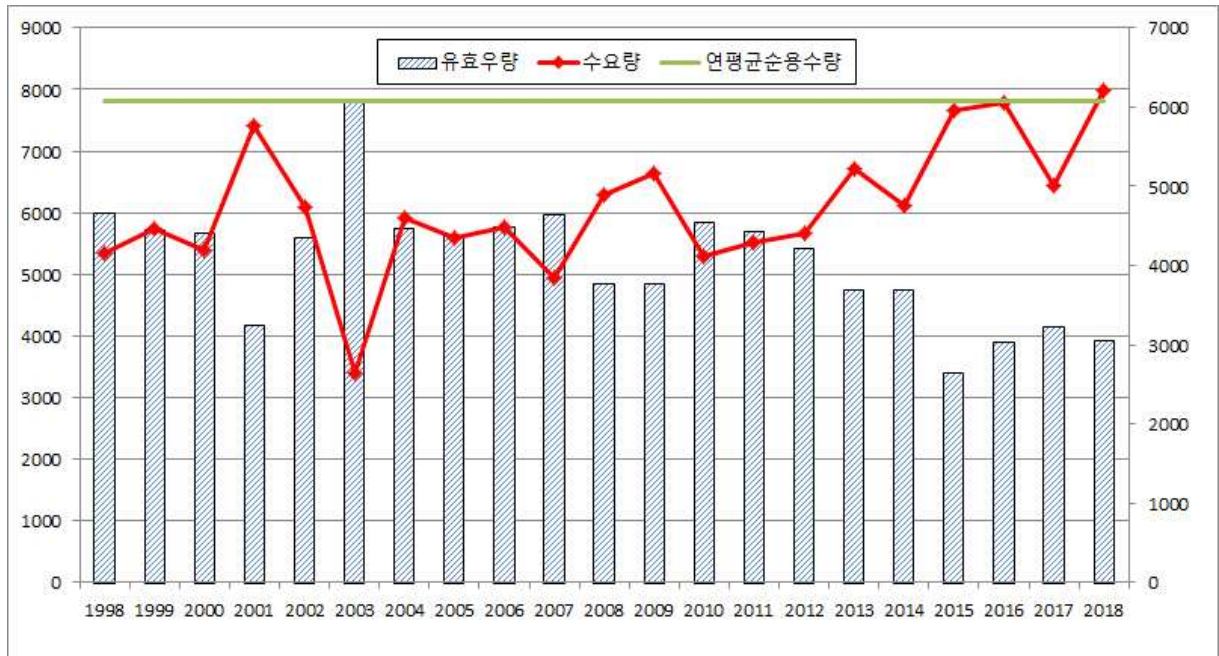
- 아래 그림 2-12-1은 2018년 평균 전국 논용수 공급량의 반순별(5일)변화를 나타낸 그래프로서 비관개기인 11월 1일부터 이듬해 3월 31일까지는 논용수 공급량이 없다가 관개기인 4월 1일부터 10월 30일 사이에 수요가 발생하는 것을 알 수 있다. 2018년 농업용수 공급시설물로부터 공급한 논용수량은 120억㎥로 반순별 평균 약 1.7억㎥ 정도이나, 시기별 편차가 심하여 최대 반순별 공급량(5월 26일)은 8.0억㎥로 평균값의 약 5배나 되어 시기별 편차가 매우 큰 것을 알 수 있다.



[그림 2-12-1] 논용수의 반순별(5일) 변화('18년)

(3) 논용수의 경년변화

- 아래 그림 2-12-2는 2018년도의 전국 논면적에 대하여 1998년부터 2018년까지의 기상상황이 재현될 경우 논용수 수요량의 연간 변화를 나타낸 그래프이다. 연간 변화를 살펴보면 최근 갈수 년인 2015년, 2016년에는 논용수 수요량이 각각 76.7억㎥, 77.9억㎥에 달하고, 풍수 년인 2003년에는 34.0억㎥에 불과하여, 분석한 20개년의 기상자료의 변화에 따라 약 2.4배의 차이가 나타나 연도별 편차가 매우 큰 것을 알 수 있다. 이는 강우를 직접 사용하는 농업용수의 전형적인 특징으로서, 농업용수가 필요한 시기에 강우가 발생할 경우 농업용 수리시설물에서 용수를 공급할 필요가 없기 때문이다.
- 따라서 농업용수는 갈수 년일수록 수요량이 급격히 증가하기 때문에 생활·공업용수에 비하여 용수공급의 취약성이 크다고 할 수 있다. 또한 수요량 자체가 기후의 영향을 직접 받기 때문에 향후 우리나라의 기후변화가 농업용수에 미치는 영향도 매우 클 것으로 판단된다.



[그림 2-12-2] 전국 농업용수의 연별변화('98년 ~ '18년)

다. 농업용수의 기능

(1) 농촌지역용수

- 농업용수는 자연계의 물 순환과 융합한 형태로 반복과 순환의 특징을 갖고 있으며, 지역의 건전한 물 순환의 형성에 중요한 역할을 하고 있다. 농업용수는 식량생산의 기반으로서의 역할 뿐만 아니라, 그 자체로 환경보전, 전통문화 및 지역사회 등과 밀접한 관련이 있어 사회 자본으로서 큰 역할을 하고 있다.
- 농업용수는 작물의 생산성 증대를 목적으로 하는 관개용수와 생산 외의 목적으로 농촌지역에서 이용되는 지역용수로 구성되며, 지역용수는 농업용수의 이용이 지역에 가져오는 생산 이외의 효용을 위하여 흘러야 하는 다원적 기능을 가진 물을 말한다. * 출처 : 「농업용수의 다원적 기능에 관한 연구」(충북대학교, 김진수)

(2) 회귀용수

- 농업용수 회귀수 또는 관개회귀수란 수원공으로부터 공급된 관개용수 중에서 작물에 의해 소비되지 않고 배수되는 양을 말하며, 물꼬를 넘어 배출되는 지표배수량과 침투량 중에서 하천으로 회귀하는 지하수 유출량을 의미한다. 다양한 회귀율 관련 연구결과를 살펴보면 농업용수 회귀율은 17.4~63.5%로 시험지역별로 큰 편차를 나타내고 있다.

라. 국외 농업용수 이용현황

(1) 일본

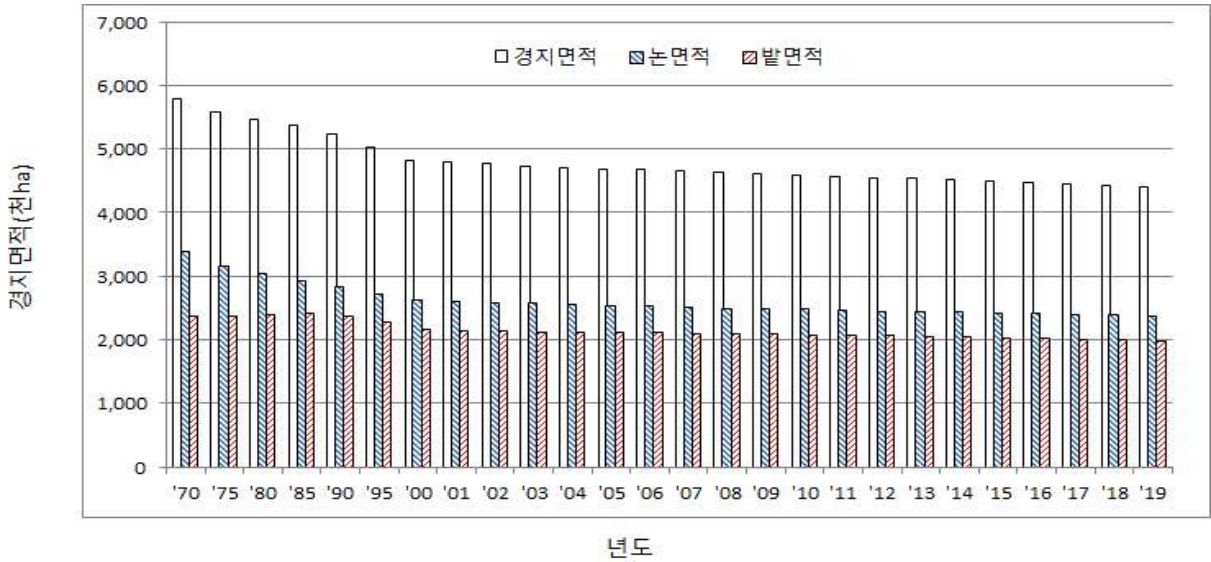
- 일본에서는 경지면적의 감소, 경작 포기면적의 증가, 농업종사자의 감소·고령화 및 농업구조의 취약화가 진행되고 있는 상황이며, 우리나라도 이와 유사한 상황으로 변화되어 가고 있기 때문에 일본의 경지면적 및 농업용수 변화를 살펴보는 것이 우리나라 농업용수의 변화를 산정하는데 참고가 될 것으로 판단된다. [표 2-12-1]는 1970년부터 2019년까지 일본의 경지면적 변화를 나타낸 것으로 1970년 경지면적은 5,796천ha(논: 3,415천ha, 밭: 2,381천ha)였으나, 지속적으로 감소하여 2019년에는 4,397천ha(논: 2,393천ha, 밭: 2,004천ha)로 24.1% 감소한 것으로 나타났다.

[표 2-12-1] 일본의 경지면적 변화

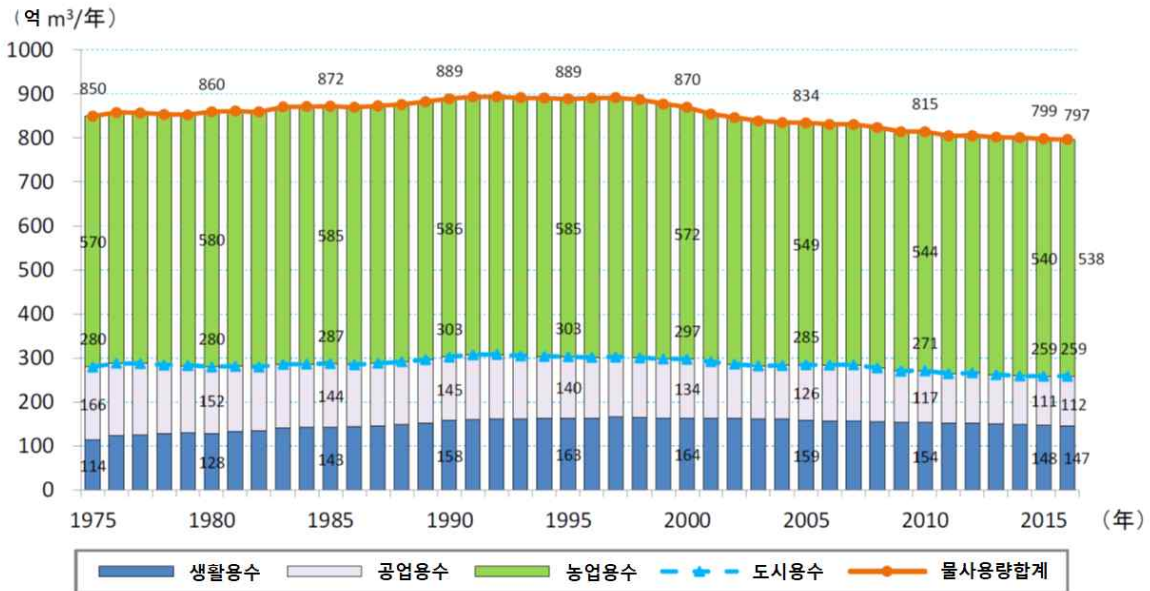
연 도	경지면적 (천ha)	논(천ha)		밭(천ha)	
		면적	%	면적	%
1970	5,796	3,415	58.9	2,381	41.1
1975	5,572	3,171	56.9	2,402	43.1
1980	5,461	3,055	55.9	2,406	44.1
1985	5,379	2,952	54.9	2,427	45.1
1990	5,243	2,846	54.3	2,397	45.7
1995	5,038	2,745	54.5	2,293	45.5
2000	4,830	2,641	54.7	2,189	45.3
2001	4,794	2,624	54.7	2,170	45.3
2002	4,762	2,607	54.7	2,156	45.3
2003	4,736	2,592	54.7	2,144	45.3
2004	4,714	2,575	54.6	2,139	45.4
2005	4,692	2,556	54.5	2,136	45.5
2006	4,671	2,543	54.4	2,128	45.6
2007	4,650	2,530	54.4	2,120	45.6
2008	4,628	2,516	54.4	2,112	45.6
2009	4,609	2,506	54.4	2,103	45.6
2010	4,593	2,496	54.3	2,097	45.7
2011	4,561	2,474	54.2	2,087	45.8
2012	4,549	2,469	54.3	2,080	45.7
2013	4,537	2,465	54.3	2,072	45.7
2014	4,518	2,458	54.4	2,060	45.6
2015	4,496	2,446	54.4	2,050	45.6
2016	4,471	2,432	54.4	2,039	45.6
2017	4,444	2,418	54.4	2,026	45.6
2018	4,420	2,405	54.4	2,014	45.6
2019	4,397	2,393	54.4	2,004	45.6

*출처-농림수산통계(일본농림수산성, 2019)

- 일본의 농업용수 변화를 살펴보면 1975년 농업용수 총량은 570억㎥, 논용수 560억㎥, 밭용수 7억㎥로 논용수가 농업용수량의 98%를 차지하고 있었으나, 2016년에는 농업용수 총량 538억㎥ 중 논용수가 504억㎥, 밭용수가 29억㎥로 논용수는 감소하는 반면 밭용수는 크게 증가한 것을 알 수 있다.



[그림 2-12-3] 일본의 경지면적 변화



[그림 2-12-4] 일본의 수자원이용현황

- 농업용수 총량의 변화를 살펴보면 1975년부터 1996년까지는 증가추세로 최대 590억㎥의 수요량이 발생하였다. 이후 논 면적의 감소 등의 이유로 전반적인 농업용수 수요량은 감소추세를 나타냈으며 2016년 538억㎥로 약 52억㎥(8.8%)가 감소하였다.

일본의 전체 수자원이용에 대한 농업용수의 비율을 살펴보면 2016년 총이용량 797억³ 중 생활용수가 147억³, 공업용수가 112억³, 농업용수가 538억³로 농업용수가 전체 수자원이용량의 약 67.5%를 차지하는 것으로 나타났다.

[표 2-12-2] 일본의 농업용수 변화

연도	농업용수	논용수	밭용수	축산용수
1975	570	560	7	3
1980	580	565	11	4
1989	586	559	22	5
1995	585	555	25	5
1996	590	559	26	5
1997	589	556	27	5
1998	586	554	28	5
1999	579	546	29	5
2000	572	539	29	5
2001	564	532	27	5
2002	560	529	27	5
2003	557	525	28	5
2004	552	520	28	5
2005	549	517	28	5
2006	547	515	28	4
2007	546	513	28	5
2008	546	514	28	4
2009	544	512	28	4
2010	544	510	29	4
2011	540	507	29	4
2012	539	507	29	4
2013	540	507	29	4
2014	541	507	30	4
2015	540	506	29	4
2016	538	504	29	4

*출처-일본의 수자원현황(국토교통성, 2019) [단위 : 억³/년]

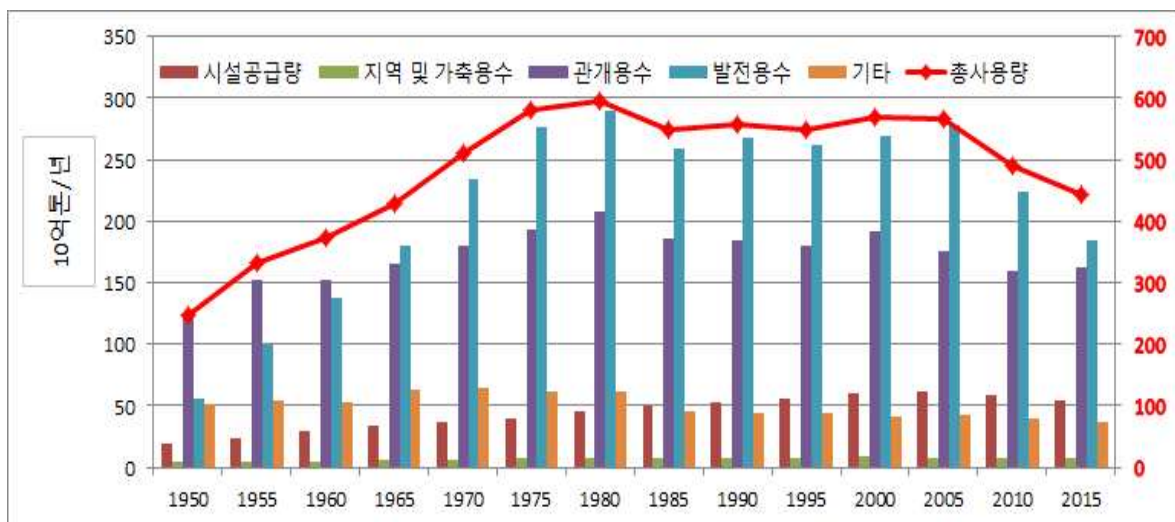
(2) 미국

- 미국의 수자원 현황으로써 용수별 변화량을 살펴보면 1975년 수자원총량 5,800억³m 중 관개용수 1,930억³m, 지역용수 및 가축용수가 70억³m를 차지하고, 2015년에는 수자원총량 4,450억³m 중 관개용수가 1,630억³m, 지역용수 및 가축용수가 80억³m를 차지해 관개용수는 감소하고 지역용수와 가축용수는 약간 증가한 것을 알 수 있다. 관개용수의 변화를 살펴보면 1980년 2,070억³m에서 2015년 1,630억³m로 35년간 440억³m(약 2.2%)가 감소하였다. 미국의 전체 수자원이용에 대한 농업용수의 비율을 살펴보면 2015년 수자원 총량 4,450억³m 중 시설용수 540억³m, 발전용수 1,840억³m, 기타용수 360억³m이며, 농업용수(관개용수, 지역용수 및 가축용수)가 1,710억³m로 전체 수자원이용량의 약 38.4%를 차지하는 것으로 나타났다.

[표 2-12-3] 미국의 수자원 현황

구 분	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
총 용수량	580	594	548	558	550	571	565	489	445
시설용수	40	46	46	53	56	60	61	58	54
지역용수 및 가축용수	7	8	8	8	8	8	8	8	8
관개용수	193	207	187	185	180	192	175	160	163
발전용수	276	290	258	268	262	269	278	224	184
기타	62	62	45	44	43	41	43	40	36

*출처-USDA(USGS_Estimated Use of Water in the United States in 2015)



[그림 2-12-5] 미국의 수자원이용 변화

마. 기후변화와 실태조사

(1) 기후변화 영향 검토

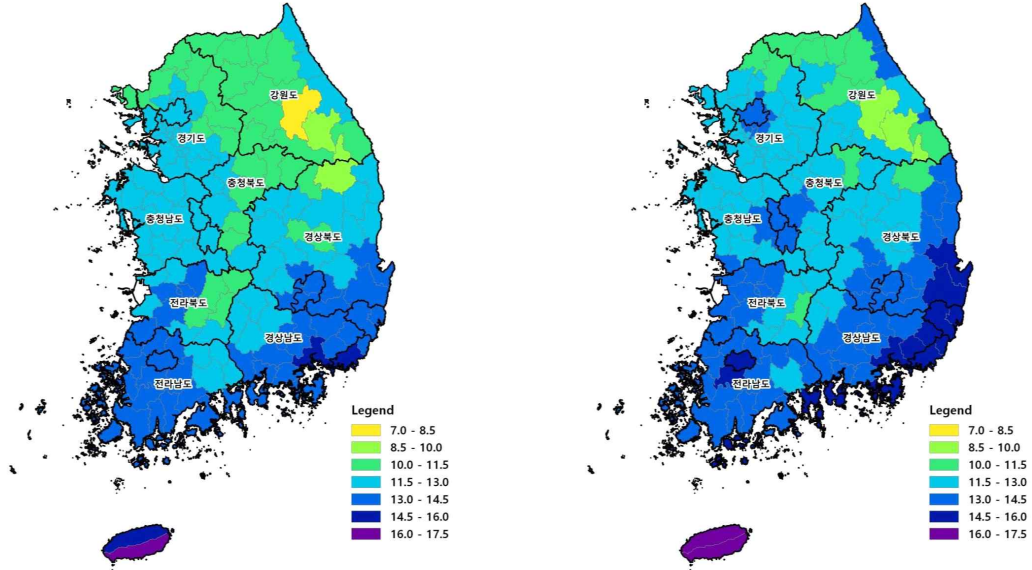
- 농업은 다른 산업과 달리 기후변화에 민감하며 크게 좌우되는 ‘기후 의존적 산업’으로써, 기후변화는 물 부족, 생태계 변화 등의 현상을 초래하여 먹을거리의 안정적 수급을 위협하고 농업생산기반을 악화시키는 요인으로 작용한다. 특히, 농업용수는 자연적으로 내리는 강우를 직접 작물의 성장에 사용하기 때문에 기후변화에 매우 민감할 수밖에 없다. 실제 자연적인 강우의 직접사용량이 인위적인 관개량의 65%에 달하기 때문에 자연적인 강우가 전혀 없는 경우에는 평균 수요량보다 1.7배 많은 수요량이 발생 되기도 한다.
- 「기후변화가 가뭄 발생에 미치는 영향 분석 및 중장기대책 수립(한국농어촌공사, 2018)」 연구에서는 국내 가뭄의 시·공간 변동성 분석을 통해 미래 가뭄 전망 분석 및 GCMs 별 미래 저수지 가뭄지수를 분석하였다. 미래 가뭄 전망 분석결과 근 미래 30년 동안 약한 가뭄은 1.37배, 심한 가뭄은 약 1.70배, 극심한 가뭄은 3.12배 증가하는 것으로 전망되었으며, GCMs 앙상블을 통한 저수지 가뭄분석 결과 전반적으로 미래시기에 저수지의 가뭄이 심해지는 것으로 전망하였다.

(2) 기후변화실태조사 결과 분석

- 농업 기상재해 최소화를 위해서는 기상·기후의 이상변화에 대한 장기적인 기상관측 정보를 활용한 영향 평가가 필요하다. 이에 따라 기후변화가 농업·농촌에 미치는 영향을 평가하기 위해 현재 한국농어촌공사에서는 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 기후변화 영향 검토로 기후변화 실태조사를 수행하고 있으며, 2019년 수행된 전국의 기후변화 실태조사 결과요약은 다음과 같다.

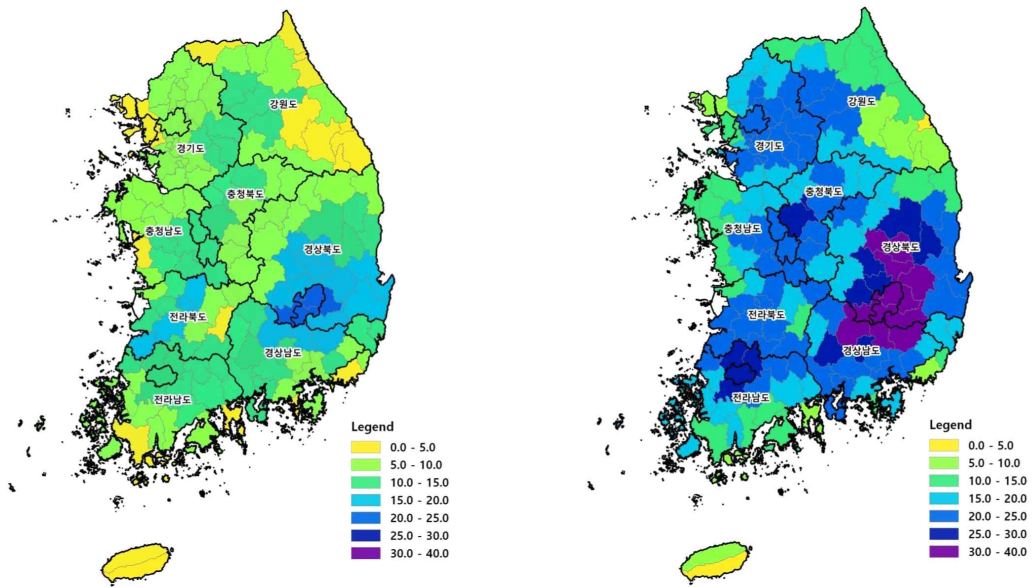
(가) 기온변화

- 연평균 일평균기온 : 일평균 기온 상승은 증발산량 증가에 따른 순용수량 및 관개용수 증가로 이어진다. 일평균 기온변화는 전국 기준으로 과거 30년 평균(평년 ‘81~’ 10) 대비 최근 3년 평균(‘17~’ 19) 0.6℃ 증가하였다.



[그림 2-12-6] 과거 30년(左) 및 최근 3년(右) 연평균 일평균기온

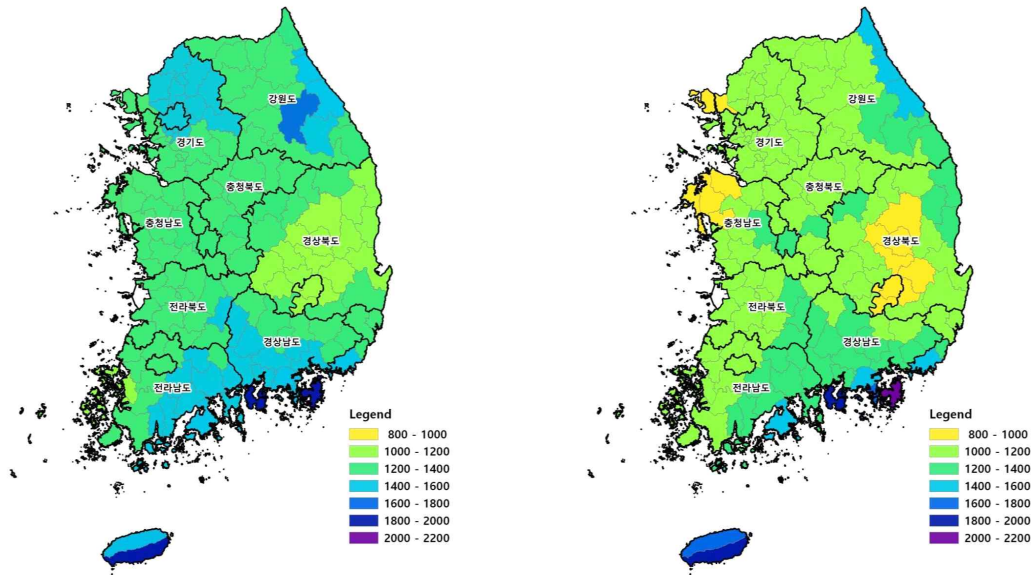
- 폭염일수 : 폭염일수는 폭염주의보 기준 중 온도 기준인 33℃를 기준으로 그 이상인 날의 수를 의미한다. 폭염일수의 증가는 증발산량을 증가시키고 증발산량의 증가는 관개용수 증가로 이어진다. 폭염일수 변화는 전국 기준으로 과거 30년(평년 '81~' 10) 평균값 대비 최근 3년 평균('17~' 19) 10.1일 증가하였다. 경상남북도 내륙, 경기 남부 및 전남 북부지역의 폭염일수가 상대적으로 크게 증가하였다.



[그림 2-12-7] 과거 30년(左) 및 최근 3년(右) 연평균 폭염일수

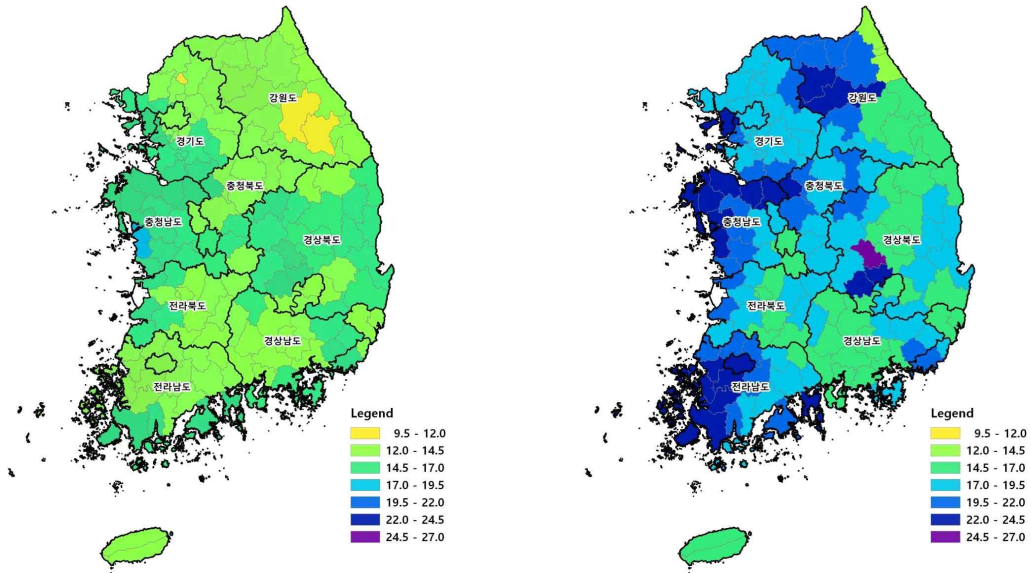
(나) 강수변화

- 연평균 강수량 : 연평균 강수량은 전국 기준으로 과거 30년(평년 ‘81~’ 10) 평균값 대비 최근 3년 평균(‘17~’ 19) 153.5mm 감소하였으며, 충청남도 서부, 경기도 및 강원 남부지역의 감소폭이 가장 큰 것으로 나타났다.



[그림 2-12-8] 과거 30년(左) 및 최근 3년(右) 연평균 강수량

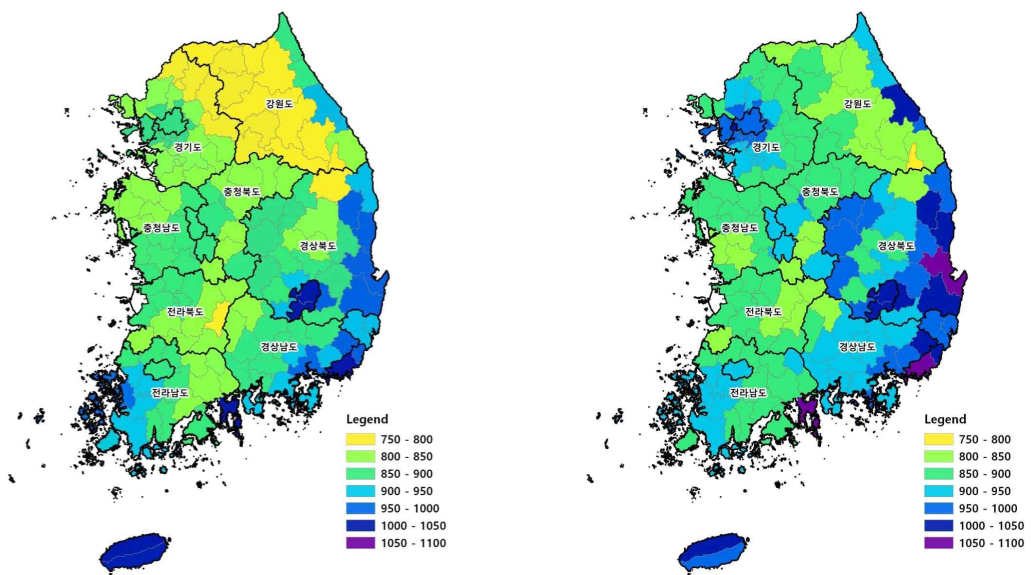
- 최대연속 무강우일수(벼 생육기 5~9월) : 최대연속 무강우일수는 연간 일강수량이 5mm미만인 날의 최대일수를 의미 한다. 최대연속 무강우일수는 전국 기준으로 과거 30년(평년 ‘81~’ 10) 평균값 대비 최근 3년 평균(‘17~’ 19) 4.4일 증가하였다. 9일 이상 증가한 지역으로는 구미시(10.8일), 광주광역시(9.1일), 나주시(9.0일)로 분석되었으며, 최대연속 무강우일수가 증가한 시군은 167개 시군 중에서 164개 시군이 해당되었다.



[그림 2-12-9] 과거 30년(左) 및 최근 3년(右) 무강우일수

(다) 증발산량 변화

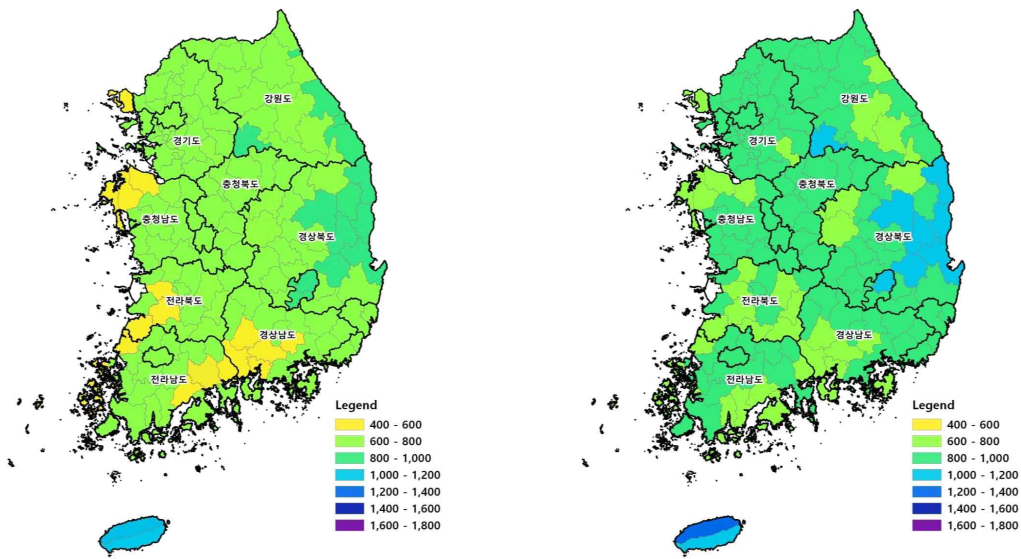
- 기준증발산량은 기준작물이 생육하는 과정에서 사용하는 물의 양을 계량한 값을 의미하며, 증발산량의 증가는 농업용수 공급에 영향을 미친다. 기준증발산량은 전국 기준으로 과거 30년(평균 '81~' 10) 평균값 대비 최근 3년 평균('17~' 19) 47.0mm 증가하였으며, 남해안 일부, 충청남도 서부지역, 강원도 영동북부 지역은 감소하였다.



[그림 2-12-10] 과거 30년(左) 및 최근 3년(右) 기준증발산량

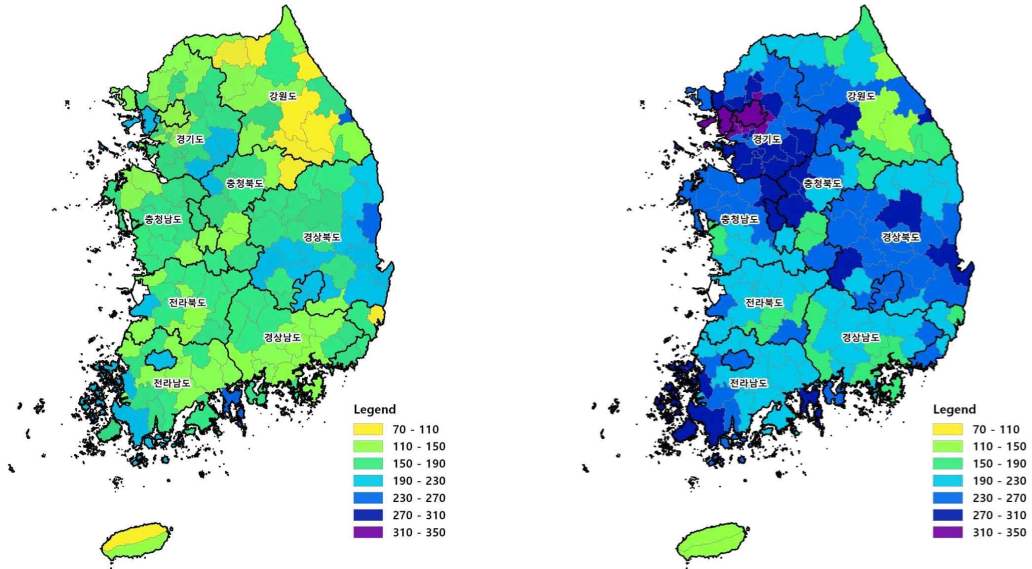
(라) 필요수량 변화

- 논 순용수량 : 순용수량은 순전히 포장 안에서 소요되는 용수량으로 작물 재배를 위해 필요한 수량을 의미한다. 논 순용수량은 전국 기준으로 과거 10년('01~' 10) 평균값 대비 최근 3년 평균('17~' 19) 174.7mm 증가하였고, 특히 경상북도 내륙, 전라남도 일부, 충청남도 서부, 경기도 북부지역에서 크게 증가였다.



[그림 2-12-11] 과거 30년(左) 및 최근 3년(右) 논역 필요수량

- 밭 순용수량 : 밭 순용수량은 전국 기준으로 과거 10년('01~' 10) 평균값 대비 최근 3년 평균('17~' 19) 76.7mm 증가하였다.



[그림 2-12-12] 과거 30년(左) 및 최근 3년(右) 밭의 필요수량

바. 농업용수 관리현황

- 현재 농업용수의 관리는 한국농어촌공사와 지방자치단체로 이원화되어 관리되고 있으며, 우량농지를 중심으로 57%를 한국농어촌공사에서 관리하고 수리시설이 빈약한 지역은 지방자치단체에서 관리하고 있다. 농업용수 관리에 대한 세부적인 현황은 다음과 같다.
- 농업용수 관리체계는 수리시설 규모에 따라 한국농어촌공사 관리지역과 지자체 관리지역으로 이원화되어 있으며, '18년 기준 전체 수리답면적 696천ha 중 481천ha(69%)는 대규모 수리시설 수혜지역을 중심으로 한국농어촌공사에서 관리하고 215천ha(25%)는 지자체에서 관리하고 있다.
- 농업용수는 그 특성상 소규모 지역별로 분산되어 있고, 대다수가 농업용수 단일목적으로만 이용되고 있어서 농업인의 수리권 보전의식이 매우 강하다.
- 작물 생육상태에 따라 영농시기 및 지역별로 독특한 물 관리방식을 운용하고 있으며 한정된 용수를 효율적으로 활용하기 위하여 윤환관개, 간단관개를 실시하고 있다.
- 농업용수는 현지 농업인을 수리시설관리원으로 위촉하여 운영하는 등 용수이용자와 물 관리기관이 역할을 분담하여 체계적으로 물 관리를 실시하고 있다.
- 농어촌용수의 효율적인 이용·개발과 보전관리를 위해 “농어촌용수이용합리화계획”을 수립하여 추진하고 있으며, 전국지역을 소수계별로 총 511개 용수구역을 설정·운영하고 있다.

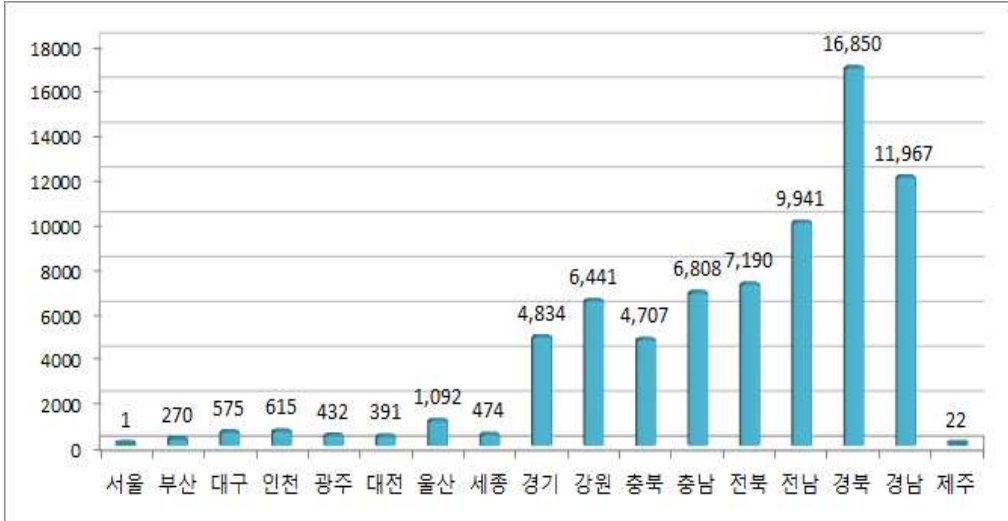
(1) 농업용수 공급시설 현황 분석

- 농업용수 공급시설물은 크게 지표수를 이용하는 시설과 지하수를 이용하는 시설물로 구분할 수 있으며, 지표수를 이용하는 시설로는 저수지, 양수장, 보가 있고, 지하수를 이용하는 시설로 집수암거, 관정 등이 있다. 농업용수 공급시설물은 전국적으로 72,610개소가 있으며 이 중 저수지가 17,240개소로 23.7%, 양수장이 7,485개소로 10.3%를 차지하고 있다. 경북지역의 농업용수 공급시설수는 16,850개소로 가장 많으며, 저수지가 5,462개소로 32.4%, 양수장이 2,079개소로 12.3%, 취입보가 3,139개소로 18.6%를 차지하고 있어 저수지시설의 비중이 높은 것을 알 수 있다.
- [표 2-1]은 전국 시도별 농업용수 공급시설 현황을 나타낸 것으로 공급 시설물은 전국적으로 산재되어 있고, 그 개소수도 많아 농업용수 공급관리 및 시설의 유지관리가 쉽지 않음을 알 수 있다.

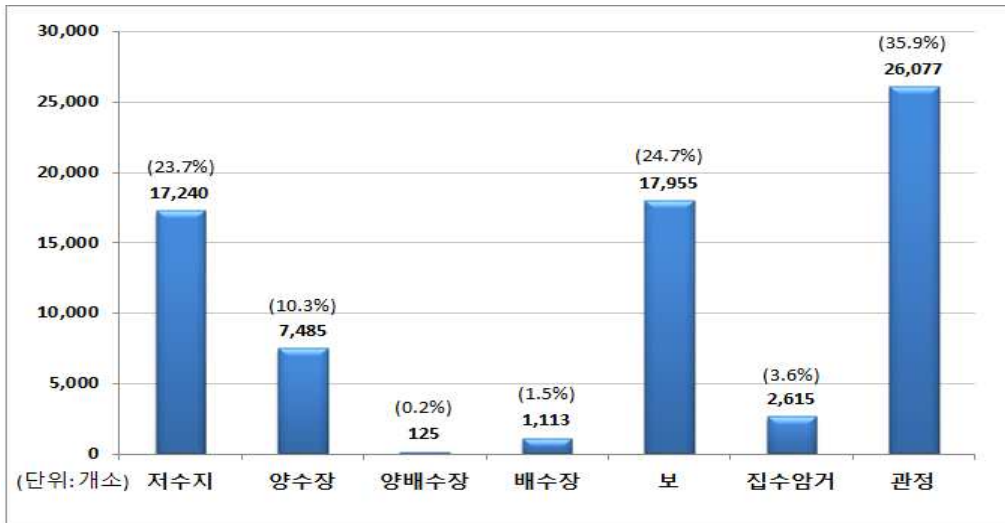
[표 2-12-4] 전국 시도별 농업용수 공급시설 현황

시 도	계	저수지	양수장	양배수장	배수장	보	집수 암거	관정
전 체	72,610	17,240	7,485	125	1,113	17,955	2,615	26,077
서 울	1	-	1	-	-	-	-	-
부 산	270	97	26	3	2	13	4	125
대 구	575	199	69	4	30	60	21	192
인 천	615	40	65	-	-	2	27	481
광 주	432	135	55	1	2	43	8	188
대 전	391	16	25	-	-	97	6	247
울 산	1,092	329	146	-	4	267	38	308
세 종	474	36	25	-	5	76	31	301
경 기	4,834	341	517	8	58	1,094	278	2,538
강 원	6,441	313	424	-	19	3,892	97	1,696
충 북	4,707	760	419	8	33	1,889	159	1,439
충 남	6,808	898	940	6	203	1,513	400	2,848
전 북	7,190	2,236	815	13	70	1,421	226	2,409
전 남	9,941	3,205	913	3	178	1,666	228	3,748
경 북	16,850	5,462	2,079	8	131	3,139	471	5,560
경 남	11,967	3,168	964	71	378	2,781	621	3,984
제 주	22	5	2	-	-	2	-	13

*출처-농업생산기반정비 통계연보(농림축산식품부, 2019) (단위 : 개소)



[그림 2-12-13] 행정구역별 농업용수 공급시설 개소수



[그림 2-12-14] 전국 농업용수 공급시설 종류별 개소수

- 한국농어촌공사 관리 수리시설물 14,067개소 중 농업용수 공급시설은 저수지 3,411개소(전체의 24%), 양·배수장 3,802개소(27%) 등으로 조사되었으며, 농업용 수리시설물 중 저수지는 전체의 약 24%로 개소수는 적으나 전체 수혜면적의 약 68%를 차지하며 안정적인 농업용수 공급의 주요시설로 나타난다. 양·배수장은 전체수혜면적의 약 31%로 148천ha에 해당되는 지역에 농업용수를 공급하고 있다.

[표 2-12-5] 한국농어촌공사 수리시설물 현황

구 분	합계		저수지		양배수장		취입보 등	
	면적 (천 ha)	개소	면적 (천 ha)	개소	면적 (천 ha)	개소	면적 (천 ha)	개소
公社관리	481	14,067	327	3,411	148	3,802	6	6,854

- 또한 한국농어촌공사 관리 수리시설물(방조제 제외) 14,067개소 중 30년 이상된 시설물은 4,273개소(30%)이며 특히 50년 이상 노후화된 시설물은 4,691개소(34%)에 해당한다. 특히 저수지 시설중 30년이상 493개소(14%), 50년이상 2,532(74%)이며, 양·배수장은 30년 이상 1,274개소(33%), 50년이상 365개소(10%)로 농업용수를 공급하는 수리시설물 대부분의 노후화가 심각한 것을 알 수 있다. [표 3-3]를 참고하여 농업용 수리시설물 경과년수를 확인할 시 저수지, 취입보, 집수암거·집수정, 양·배수장 순으로 나타났다.

[표 2-12-6] 한국농어촌공사 농업용수리시설물 경과년수 현황

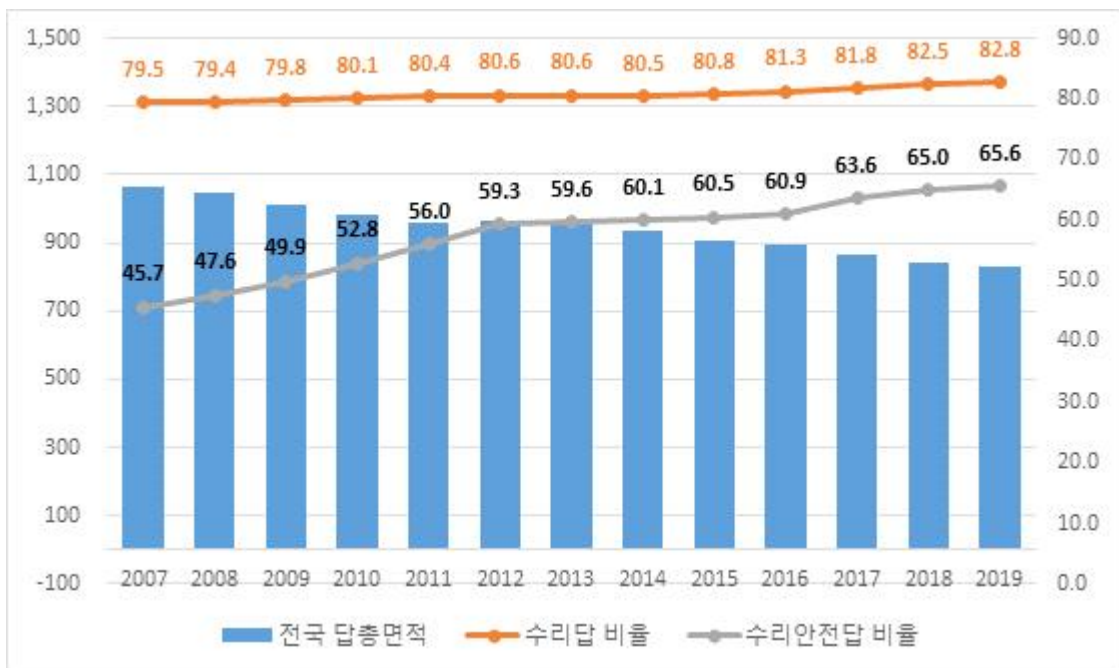
구분	계		30년미만		30년이상~50년미만		50년이상		수해면적 (ha)
			('90년이후)		('70~'89)		('69년이전)		
	시설수	%	시설수	%	시설수	%	시설수	%	
계	14,067	100	5,103	36.0	4,273	30.3	4,691	33.7	481,175
저수지	3,411	100	386	11.3	493	14.5	2,532	74.2	327,015
양수장	3,696	100	2,098	56.8	1,250	33.8	348	9.4	123,183
양배수장	106	100	65	61.3	24	22.7	17	16.0	24,800
배수장	836	100	705	84.3	112	13.4	19	2.3	-
취입보	4,161	100	504	12.1	2,060	49.5	1,597	38.4	5,911
집수암거 집수정	306	100	65	21.3	158	51.6	83	27.1	254
관 정	1,551	100	1,280	82.5	176	11.4	95	6.1	12

(2) 수리답 및 안전답 현황 분석

- 전국적으로 2007년 이후 답면적은 감소하는 추세로 최근 5년사이(2014-2019) 약 104천ha 감소하며 감소추세가 점점 심화되는 경향을 보여지며, 반면 수리답비율의 경우 연평균 0.3% 증가하고 있고 수리안전답 비율의 경우 연평균 1.7%씩 증가하는 추세로 나타났다.

[표 2-12-7] 전국 연도별 답면적 현황

구 분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
전국 답 총 면적(천ha)	1,067	1,046	1,010	984	960	966	964	934	908	896	865	844	830
수리답 면적(천ha)	848	831	806	788	772	779	777	752	734	728	707	696	687
수리답 비율(%)	79.3	79.4	79.8	80.1	80.4	80.6	80.6	80.6	80.8	81.3	81.8	82.5	82.8
수리안전답 면적(천ha)	488	498	504	520	538	573	575	561	549	546	550	549	544
수리안전답 비율(%)	45.6	47.6	49.9	52.9	56.0	59.3	59.7	60.1	60.5	60.9	63.6	65.0	65.6



[그림 2-12-15] 답 총면적 대비 수리답 비율

- 연도별로 수리답면적 현황을 살펴보면 전남, 충남, 전북, 경북, 경남 지역순 으로 나타났다.

[표 2-12-8] 시도별·연도별 수리답면적 현황

구 분	2015	2016	2017	2018	2019	비 고
전국 답 총면적(천ha)	908	896	865	844	830	
수리답 면적(천ha)	734	728	707	696	687	
경기	69	68	66	65	63	
강원	32	31	29	29	28	
충북	40	40	37	36	35	
충남	119	118	115	114	114	
전북	112	111	110	109	105	
전남	139	138	135	133	130	
경북	108	109	106	106	106	
경남	83	82	79	77	76	

- 연도별로 수리안전담면적 현황을 살펴보면 지역별로 점차 감소하는 경향을 나타내며 경남, 전남, 전북, 충남, 경남 지역순 으로 나타났다.

[표 2-12-9] 시도별·연도별 수리안전담면적 현황

구 분	2015	2016	2017	2018	2019	비 고
전국 담 총면적(천ha)	908	896	865	844	830	
수리안전담 면적(천ha)	549	546	550	549	544	
경기	43	43	43	43	43	
강원	25	24	23	23	23	
충북	36	35	34	33	33	
충남	85	85	82	82	82	
전북	90	89	89	89	87	
전남	93	93	92	92	90	
경북	89	92	92	94	94	
경남	75	75	73	72	71	

- 연도별로 수리불안전답면적 현황을 살펴보면 지역별로 점차 감소하는 경향을 나타내며 전남, 충남, 전북, 경북, 경기 지역순 으로 나타났다.

[표 2-12-10] 시도별·연도별 수리불안전답면적 현황

구 분	2015	2016	2017	2018	2019	비 고
전국 답 총면적(천ha)	908	896	865	844	830	
수리불전답 면적(천ha)	174	168	157	148	143	
경기	26	25	23	22	21	
강원	7	7	6	5	5	
충북	4	4	3	3	3	
충남	34	33	33	32	32	
전북	22	22	21	20	19	
전남	46	45	43	41	39	
경북	19	17	15	12	12	
경남	7	7	6	5	5	

2. 효율적 농업용수 관리를 위한 관련 자료수집 및 분석여부

가. 대외적 여건 변화에 따른 주요지표 변화

(1) 농가인구 및 쌀 수급 동향

(가) 농가인구

- 최근 발표된 농업전망의 주요 농업부문 및 농가경제의 조사 자료를 살펴보면, 청년층 유출, 농촌 고령화 등으로 농가인구는 감소 경향을 보이며 총 인구 증가대비 농가인구의 비중은 지속적으로 낮아지는 실정이다.

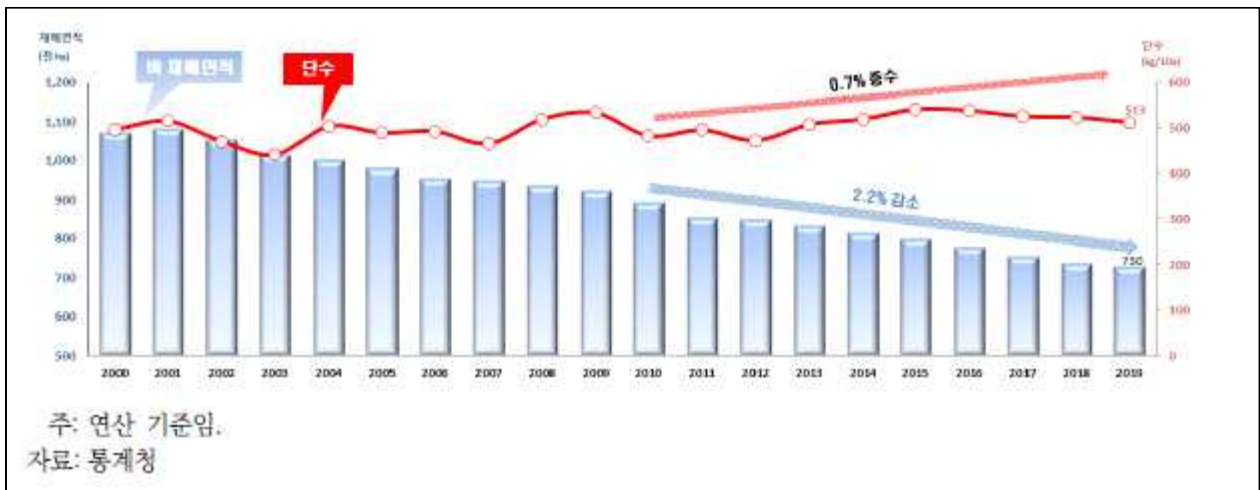
[표 2-12-11] 농가호수 및 인구동향

구 분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
농가호수(천호)	1,120	1,070	1,127	1,040	1,021
농가인구(천명)	2,750	2,610	2,592	2,420	2,315
총인구 중 농가인구율(%)	5.5	5.1	5.3	4.7	4.5

*자료 : 농업전망(한국농촌경제연구원, 2020)

(나) 쌀 생산 동향

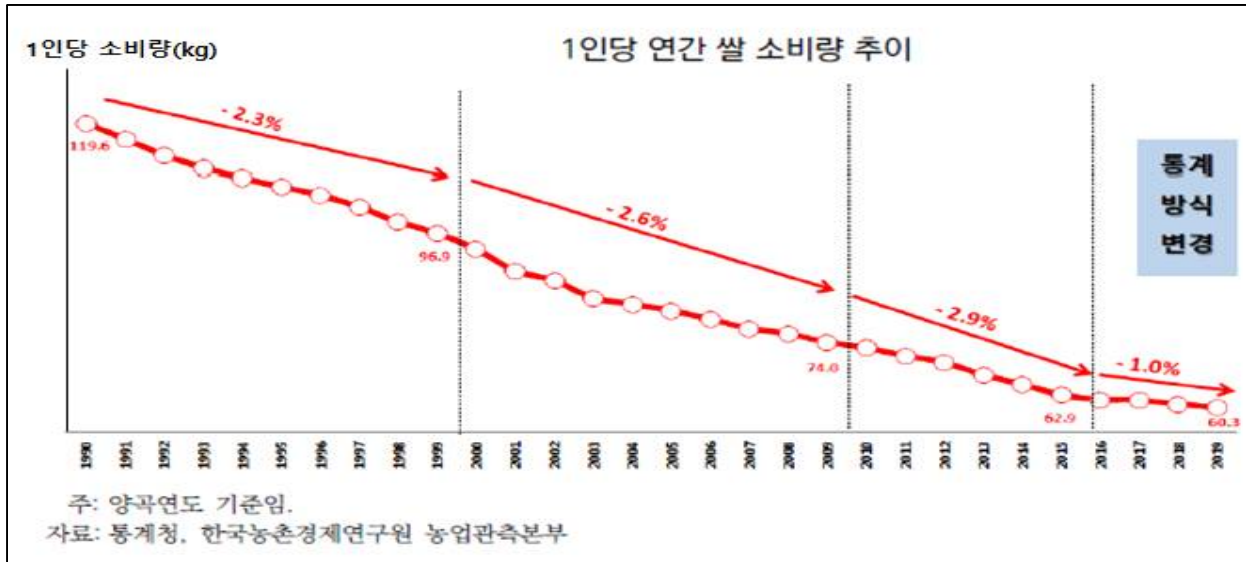
- 쌀 단수는 품종 개발 등으로 증가 추세이나 논 타작물 재배지원사업 등의 영향으로 인한 재배면적의 감소로 재배면적은 단수 증가세보다 큰 폭으로 줄어들어 생산량은 감소하였다.



[그림 2-12-16] 벼 재배면적 및 논벼 단수추이

(다) 쌀 소비 동향

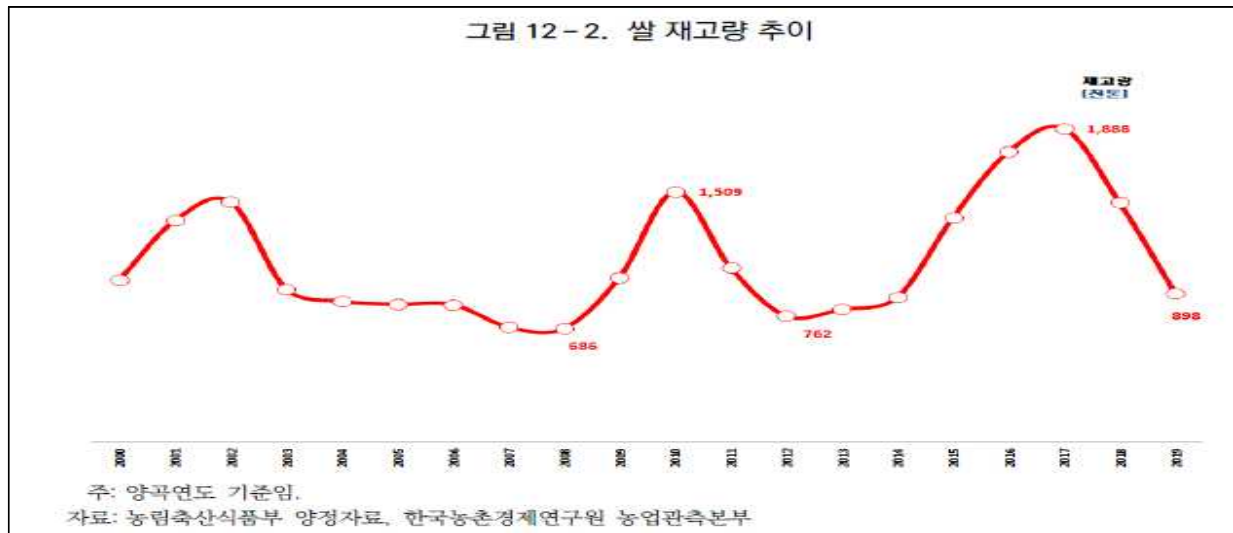
- 1인당 쌀 소비량은 추세적인 요인(먹거리 다양화, 식습관 변화 등)과 높은 쌀 값 등의 영향으로 지속적인 감소가('09년 74kg/인 → '19년 60kg/인) 이어질 것으로 전망되었다.



[그림 2-12-17] 쌀 소비 동향

(라) 쌀 재고 동향

- 국내 쌀 재고는 지속된 풍작과 이에 따른 정부 시장격리 등의 영향으로 최근 증가 추세이나 2000년 이후 쌀 재고는 당해 작황이나 정부 정책(재고감축 정책) 등의 영향으로 증감이 반복되는 경향을 나타낸다.



[그림 2-12-18] 쌀 재고 동향

(2) 경지면적

- 국토 토지이용 현황 : 우리나라의 국토면적은 2018년에 10,038천ha이고, 농경지 면적은 국토면적의 15.9%인 1,596천ha이며, 이 중에서 논 면적은 844천ha, 밭 면적은 752천ha로 각각 국토면적의 8.4%와 7.5%를 차지하고 있다. 과거 10개년 동안의 변화를 살펴보면 국토면적 대비 경지면적은 2008년도 1,759천ha에서 1,596천ha로 163천ha(△ 1.7%)가 감소하였고, 산림면적은 6,375천ha에서 6,335천ha로 40천ha(△ 0.8%)가 감소한 반면 공장부지, 도시용지 등 기타 면적은 1,849천ha에서 2,108천ha로 259ha(증 2.5%)가 증가하였다. 지난 10년간 국토면적이 998만ha에서 1,004만ha로 약 6만ha가 증가하는 동안 농경지는 약 16만ha, 산림은 4만ha가 감소하였다. 농경지 및 산림의 감소분 대부분은 도로 및 산업·도시용지로 전환되어 기타 용지는 같은 기간 동안 26만ha 증가하였다.

[표 2-12-12] 연도별 국토 토지이용 현황

년도	국토면적	농경지		산림		기타	
		면적	%	면적	%	면적	%
2008	9,983	1,759	17.6	6,375	63.9	1,849	18.5
2009	9,990	1,737	17.4	6,370	63.8	1,883	18.8
2010	10,003	1,715	17.1	6,369	63.7	1,919	19.2
2011	10,015	1,698	17.0	6,369	63.7	1,948	19.3
2012	10,019	1,730	17.3	6,369	63.6	1,920	19.2
2013	10,027	1,711	17.1	6,369	63.5	1,947	19.4
2014	10,028	1,691	16.8	6,369	63.5	1,968	19.6
2015	10,030	1,679	16.7	6,335	63.2	2,016	20.1
2016	10,034	1,644	16.4	6,335	63.1	2,055	20.5
2017	10,036	1,621	16.2	6,335	63.1	2,080	20.7
2018	10,038	1,596	15.9	6,335	63.1	2,108	21.0

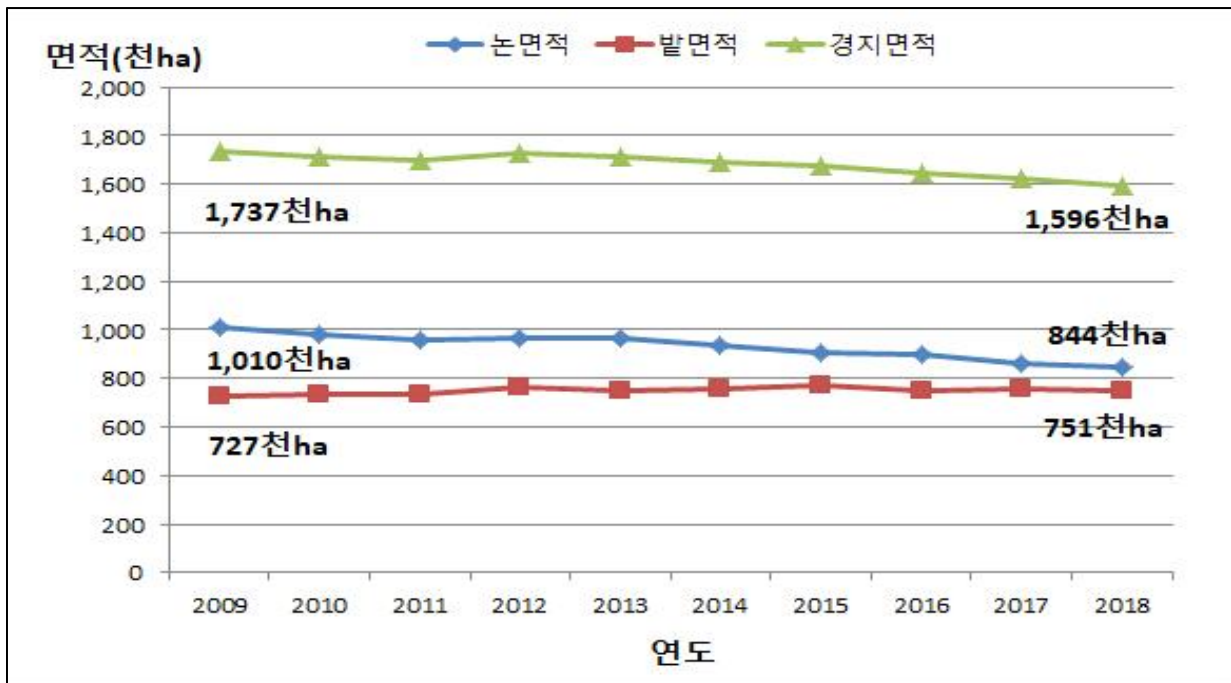
*자료 : 농림축산식품 주요통계(농림축산식품부, 2019) (단위 : 천ha, %)

- 경지면적 변화 : 과거 10년간 전국 경지면적에 대한 논·밭 면적 변화를 살펴보면 논 면적은 2008년 1,046천ha에서 2018년 844천ha로 19.3% 감소한 반면, 밭 면적은 2008년 713천ha에서 2018년 751천ha로 5.3% 증가하였다.

[표 2-12-13] 최근 10년간 전국 경지면적 변화

연도	경지 면적	논		밭		연도	경지 면적	논		밭	
		면적	%	면적	%			면적	%	면적	%
2009	1,737	1,010	58.2	727	41.8	2014	1,691	934	55.2	757	44.8
2010	1,715	984	57.4	731	42.6	2015	1,679	908	54.1	771	45.9
2011	1,698	960	56.5	738	43.5	2016	1,644	896	54.5	748	45.5
2012	1,730	966	55.8	764	44.2	2017	1,621	865	53.4	756	46.6
2013	1,711	964	56.3	748	43.7	2018	1,596	844	52.9	751	47.1

*자료 : 통계청 (단위 : 천ha)



[그림 2-12-19] 연도별 전국 경지면적 변화

(3) 미래전망 시나리오별 지표예측 분석

- 시나리오 기준 : 국내에서는 한국농촌경제연구원에서 중·장기적으로 농업관련 주요지표의 변화를 전망하고 있으며 KREI-KASMO 모형을 이용하여 정부의 농정방향 설정의 가이드라인을 제시하여왔다. 또한, 동일한 모형을 활용하여 매년 농업전망을 통해 농업부문 및 농가경제의 전망자료를 발표하고 있다.

(가) 농가호수 및 농가인구 변화 전망

- 최근에 발표한 농업전망에 따르면 농업에 종사하는 농가인구는 1999년 421만 명에서 2018년 기준 232만 명으로 연간 2.7%씩 감소하였다. 농가인구 비중은 농가인구의 지속적인 감소로 2029년 총 인구 대비 3.6% 수준으로 낮아질 전망이다.

[표 2-12-14] 농가호수, 농가인구 동향 및 전망

구분	2018	추정	전망			연평균 변화율(%)		
		2019	2020	2024	2029	19/18	20/19	29/19
농가호수(만 호)	102.1	100.9	100.1	96.0	93.0	-1.2	-0.7	-0.8
농가인구(만 명)	231.5	227.8	224.3	208.1	191.5	-1.6	-1.5	-1.7
65세 이상 농가인구 비율(%)	44.7	45.5	46.2	50.9	55.7	0.8%p	0.7%p	1.0%p
총 인구 중 농가인구 비율(%)	4.5	4.4	4.3	4.0	3.6	-0.2%p	-0.1%p	-0.1%p

*자료 : 농업전망2020(한국농촌경제연구원)

(나) 경지면적(논,밭) 변화 전망

- 농가인구 및 작물 수급동향을 고려한 경지면적의 지속적인 감소전망을 반영하여 경상북도의 경지면적 변화를 전망하였다. 경지면적은 기준년('18년)대비 목표연도 '20년 1,567천ha(2%)에서 '30년 1,494천ha(5%)로 감소하였다. 경지면적변화는 [표 1-4]과 같다.

[표 2-12-15] 농업용수 목표연도 경지면적

구 분	2018년	2019년	전 망		
			2020년	2025년	2030년
경지면적	1,596	1,581	1,567	1,521	1,494
논	844	830	827	798	756
밭	751	751	740	722	738

(단위:ha)

(다) 논면적 변화전망

- 전국 수리답율은 논 면적 변화 추세와 유사한 경향을 나타내므로 논 면적 미래 전망은 KASMO모형(농업전망 2020)의 감소율을 반영하였다. '20년 97.4천ha에서 '30년 90.9천ha로 수리답 면적은 감소될 것으로 전망

[표 2-12-16] 수리답 면적 및 수리답율 변화

구 분		2018년	2020년	2025년	2030년
논면적	계	844	827	798	756
	수리답 면적	696	689	669	644
	수리답률(%)	82.5	83.4	83.8	85.1

(단위: 천ha)

(라) 발면적 변화전망

- 발 면적 중 발관개면적은 '20년 127천ha에서 '25년 147천ha, '30년 168천ha로 증가할 것으로 전망하였다. 발 수요량은 작물별 재배면적을 적용하여 산정하므로 경상북도의 발 재배면적을 유형별로 구분하여 면적변화를 전망하였다. 노지작물 재배면적은 전국의 변화와 유사한 경향을 나타내어 KASMO모형의 감소율을 반영하였다. 그러나 과수·시설작물 재배면적은 전국경향과 다르게 과수·시설작물 재배가 증가하는 경상북도의 추세를 반영하여 분석하였다.

[표 2-12-17] 시나리오별 발 면적 변화전망

구 분	2020년	2025년	2030년
발관개면적	127	147	168

(단위: 천ha)

- 시설작물의 경우 '20년 67천ha에서 '30년 70천ha로 증가되며, 과수작물은 '20년 130천ha에서 '30년 133천ha로 재배면적 증가세 전망하였다.

[표 2-12-18] 발 시설·과수재배면적 변화전망

구 분	2020년	2025년	2030년
시설	67	67	70
과수	130	131	133

(단위: 천ha)

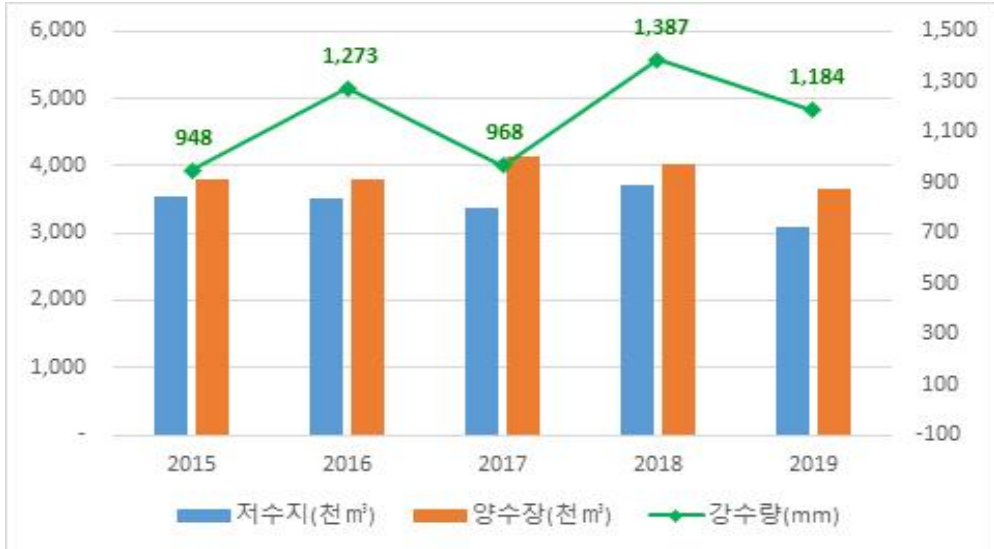
나. 농업용수 공급량 현황(한국농어촌공사)

(1) 농업용수 공급량 산정

- 국가 수자원의 41%를 차지하는 농업용수의 통합물관리 기반마련과 효율적인 농업용수 관리를 위해 공급량 산정 필요성 증대로 한국농어촌공사에서는 ‘19년 저수지 및 양수장 시설에 대한 농업용수 공급량 산정 기준을 수립하여 ’ 19년 농업용수 공급량을 산출하였다. ‘19년 이전인 ’ 13~ ‘18년의 경우 한국농어촌공사에서 관리하고있는 농업기반시설 관리시스템(RIMS) 자료를 활용하여 분석하였다.
- 2019년 한국농어촌공사 농업용수 공급량은 총 68억㎥(저수지 31억㎥, 양·배수장 37억㎥)으로 2013년 이후부터 농업용수 공급량은 2018년 77억㎥으로 제일 많았으며, 2017년, 2015년, 2016년, 2014년 순으로 나타났다.
- 저수지 농업용수 공급량 산정은 시점부 수로부 계측값 및 저수율 측정값을 보정하여 공급량을 산출한 후 미계측 저수지 유효저수량 비율로 환산적용하여 산출하였다.

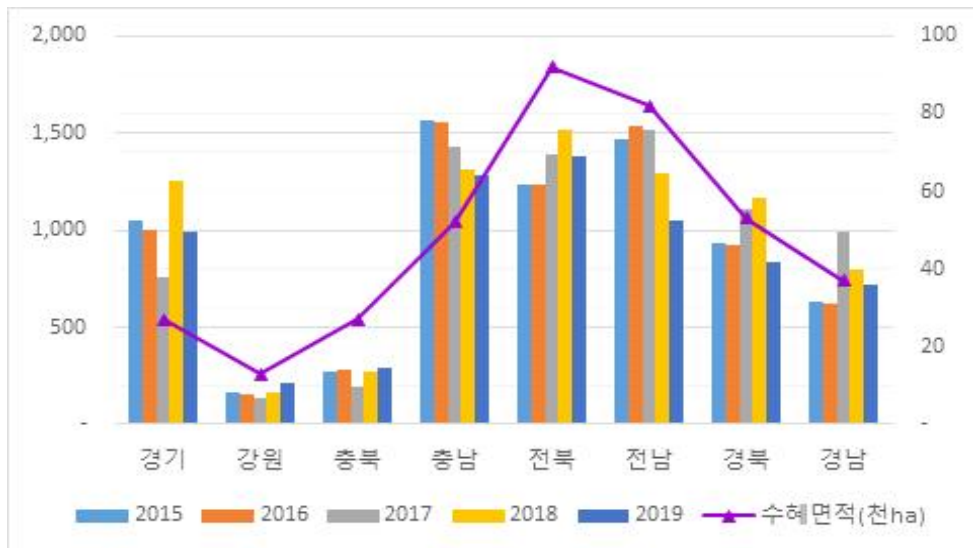
[표 2-12-19] 농업용수 공급량 산정

구분	총	수로부 수위측정	저수율 측정	저수율 미측정
개소수	3,409	240	1,625	1,544
비율	100%	7%	48%	45%
공급량	30.9억㎥	29억㎥		1.9억㎥
유효저수량대비(%)		109.3%($\frac{29.0\text{억}\text{㎥}}{26.6\text{억}\text{㎥}}$)→		↑ 109.3%적용



[그림 2-12-20] 2015~2019년(최근5년) 시설별 농업용수 공급량

- 지역별로 농업용수 공급량을 살펴보면 충남, 전남, 전북지역의 공급량이 타지역에 비해 월등히 높았으며, 강원, 충북지역이 대체적으로 낮은 공급량을 나타내었다. 수혜면적은 전북, 전남, 충남지역 순으로 많았으며, 충남지역이 수혜면적 대비 공급량 비율이 가장 높았다.



[그림 2-12-21] 연도별 농업용수 공급량

- 2013~2018년 농업기반관리시스템(RIMS) 기록된 공급량 값 및 2019년 공급량 산정식에 의해 산출된 농업용수 공급량은 실측에 의한 계량값이 아닌 예측값으로 실제 농업용수 공급량과는 차이가 발생할 수 있다. 하지만 농업용저수지 수리시설물의 공

급량 계측기는 점진적으로 설치단계에 있어 현재에 미설치 된 일부 농업용 저수지에 계측기가 설치되어 향후 계측기 설치를 통한 공급량을 실측 및 데이터 관리를 통해 향후 공급량 관련 자료로 활용해야 할 것이다.

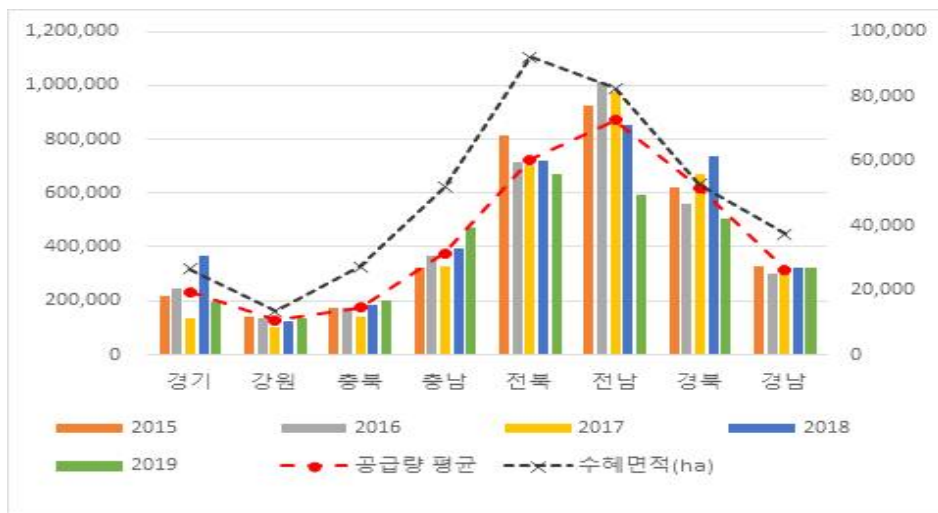
(가) 농업용 저수지 공급량 현황

- 최근 5년 농업용 저수지 시설 농업용수 평균 공급량은 33.9억㎥으로 지역별로는 전남(8.6억㎥), 전북(7.0억㎥), 경북(6.4억㎥), 충남(3.5억㎥) 지역 순으로 농업용수를 공급하였다. 수혜면적 대비 단위용수량은 전국 평균 882mm이며, 경북, 전남, 강원, 경기, 경남, 전북, 충남, 충북지역 순으로 단위용수량이 낮은 것으로 나타났다.
- 2019년 농업용수 공급량을 지역별로 살펴보면 전북이 672백만㎥으로 가장 많았으며 그다음으로는 전남 591백만㎥, 경북 502백만㎥, 충남 471백만㎥, 경남 321백만㎥, 충북 201백만㎥, 경기 197백만㎥, 강원 133백만㎥으로 분석되었다.

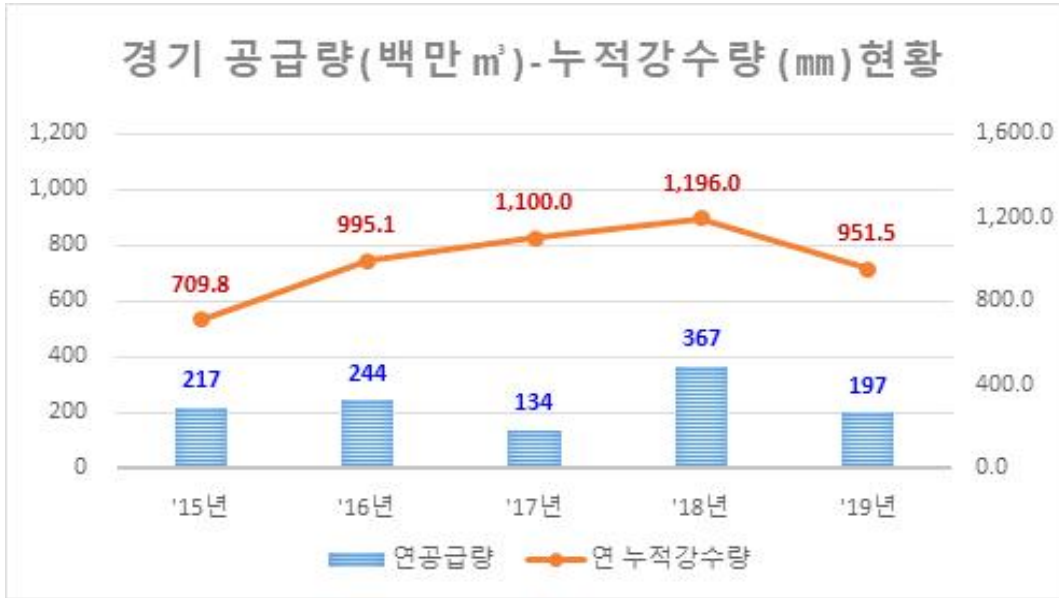
(단위:천㎥)

[표 2-12-22] 시도별 저수지 농업용수 공급량

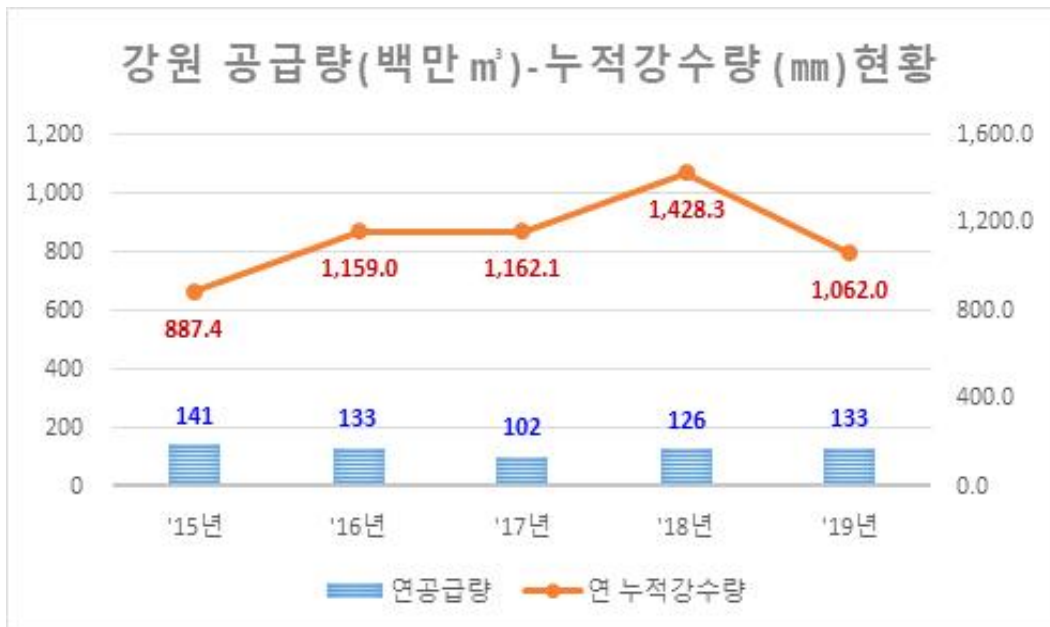
구분	수혜면적 (ha)	평균 공급량	2015	2016	2017	2018	2019
합계	383,843	3,385,623	3,545,545	3,502,200	3,362,874	3,747,163	3,089,107
경기	26,654	230,243	216,599	243,729	134,032	371,223	196,839
강원	13,410	126,356	141,084	132,795	102,225	128,534	132,619
충북	27,201	164,335	176,340	171,733	142,374	188,877	201,142
충남	51,933	355,923	320,962	367,169	328,645	401,327	471,013
전북	92,095	696,173	814,442	715,409	701,547	725,202	672,616
전남	82,398	863,371	922,492	1,013,665	974,412	862,049	591,151
경북	52,785	640,380	623,332	559,140	669,591	746,199	502,548
경남	37,367	308,841	330,294	298,558	310,048	323,752	321,179



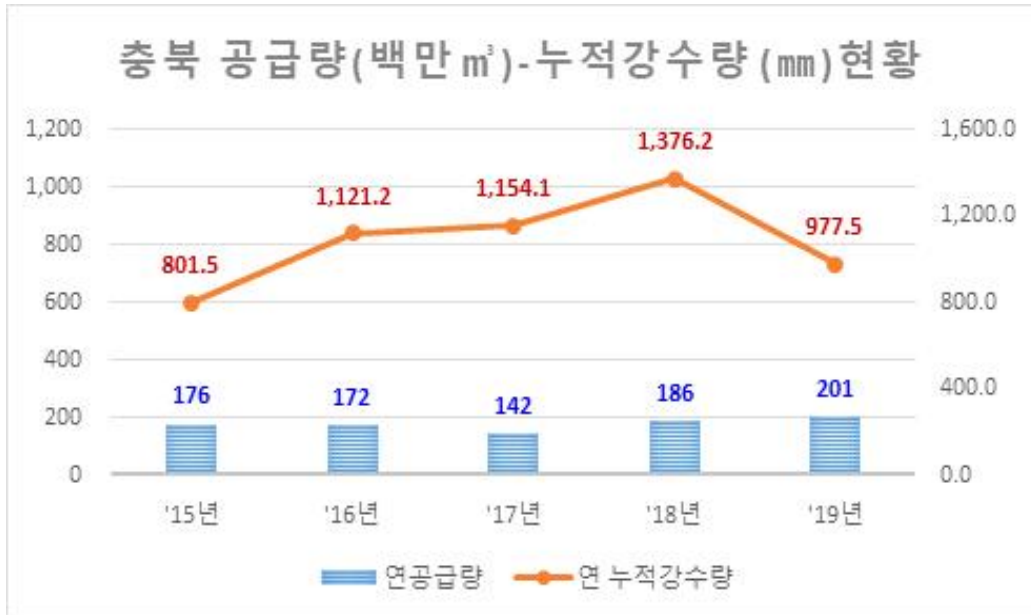
[그림 2-12-22] 연도별 농업용수 공급량



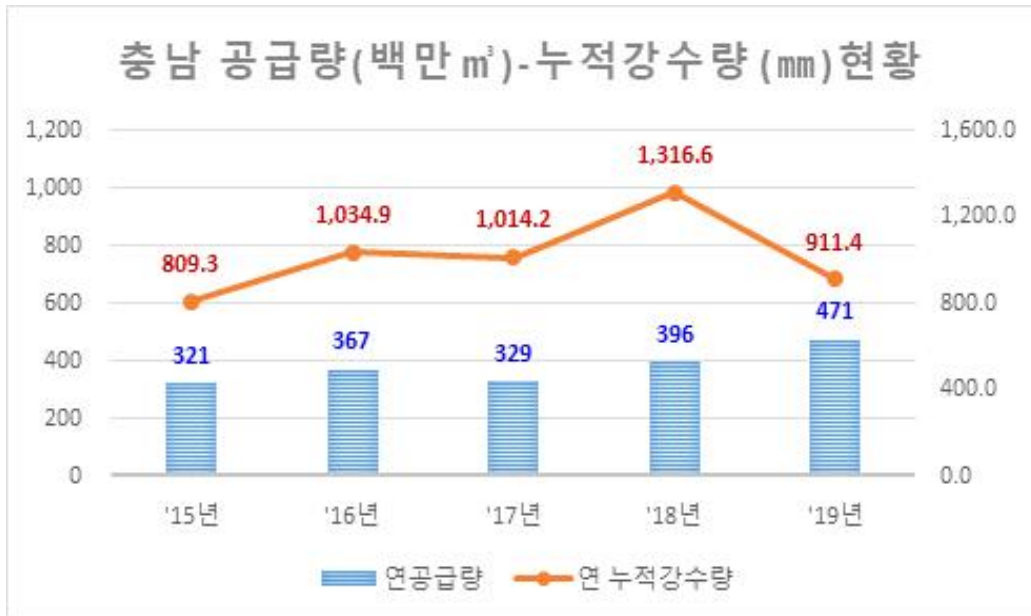
[그림 2-12-23] 경기 공급량-강수량 현황



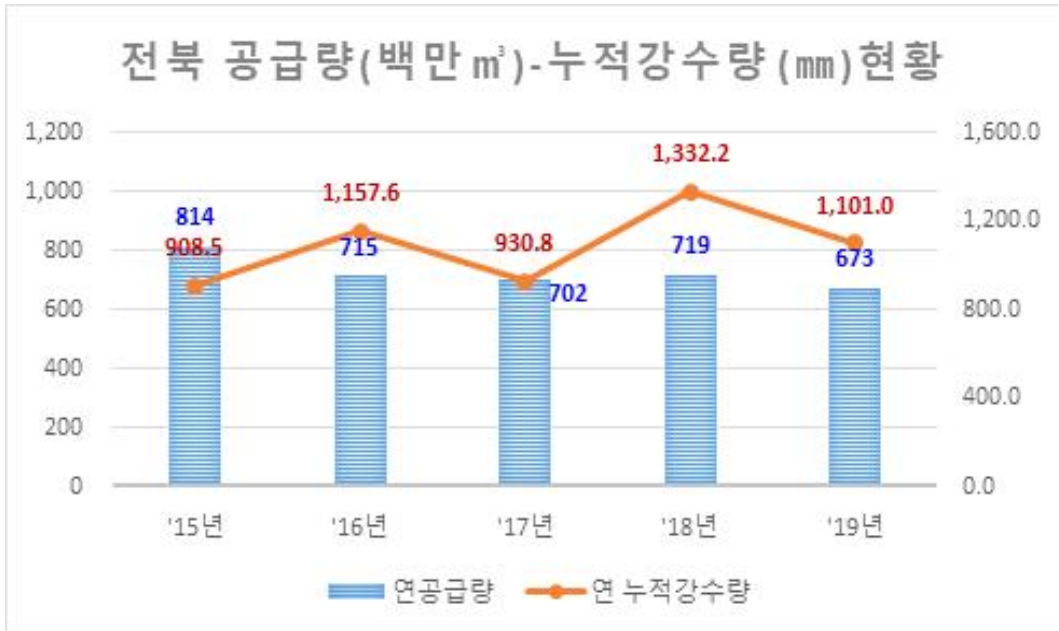
[그림 2-12-24] 강원 공급량-강수량 현황



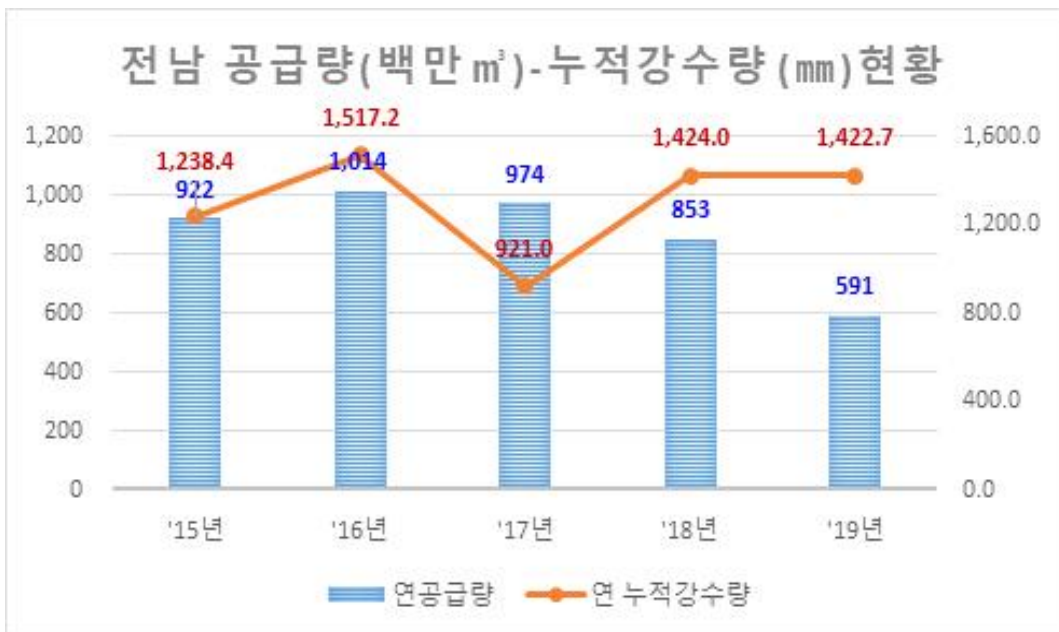
[그림 2-12-25] 충북 공급량-강수량 현황



[그림 2-12-26] 충남 공급량-강수량 현황



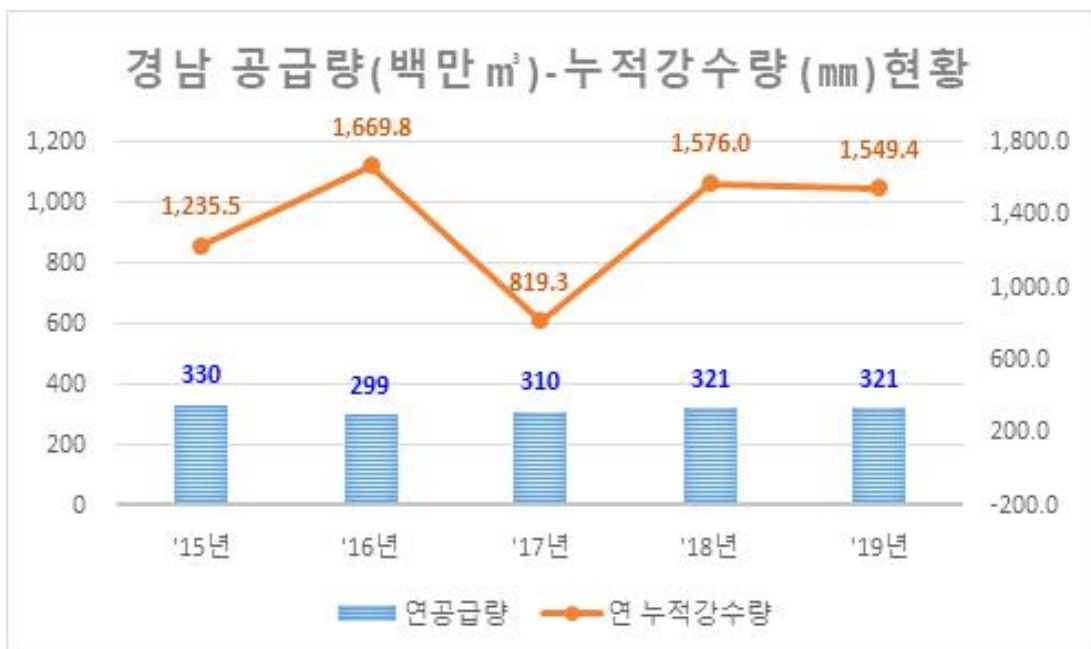
[그림 2-12-27] 전북 공급량-강수량 현황



[그림 2-12-28] 전남 공급량-강수량 현황



[그림 2-12-29] 경북 공급량-강수량 현황

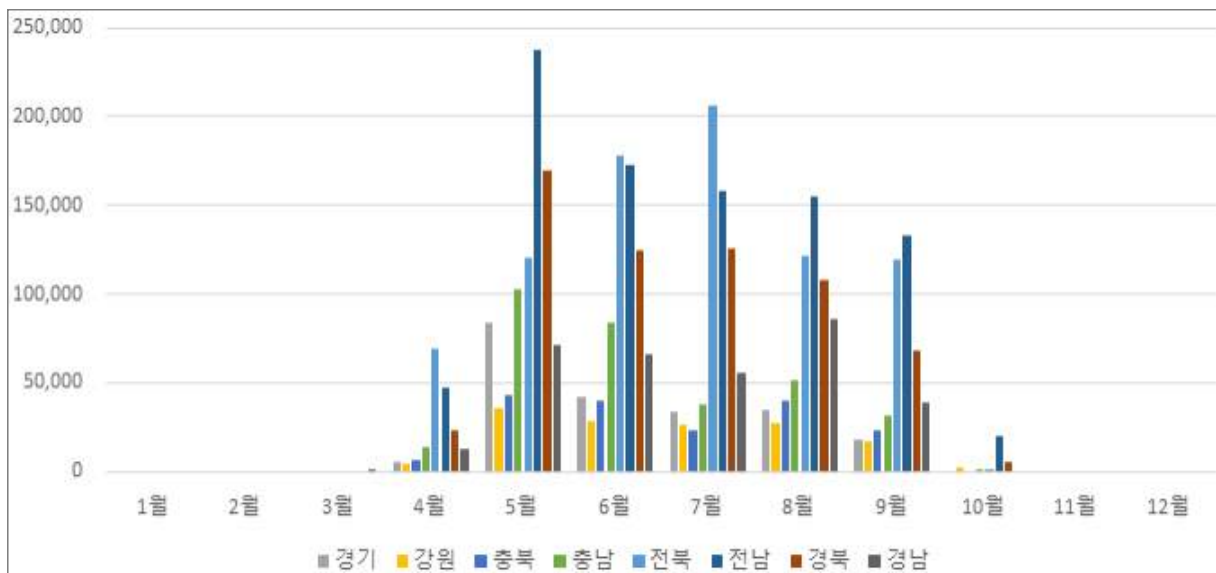


[그림 2-12-30] 경남 공급량-강수량 현황

- 농업용수 공급량은 벼작물 재배 생육기간을 고려할 시 이앙기 전후기간인 4~5월 기간중 많은 공급이 이루어 졌으며, 지역별로 영농형태(이모작 등)에 따라 다소 시기적인 차이점이 있었다.

[표 2-12-23] 2015년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량(단위 : 천m³)

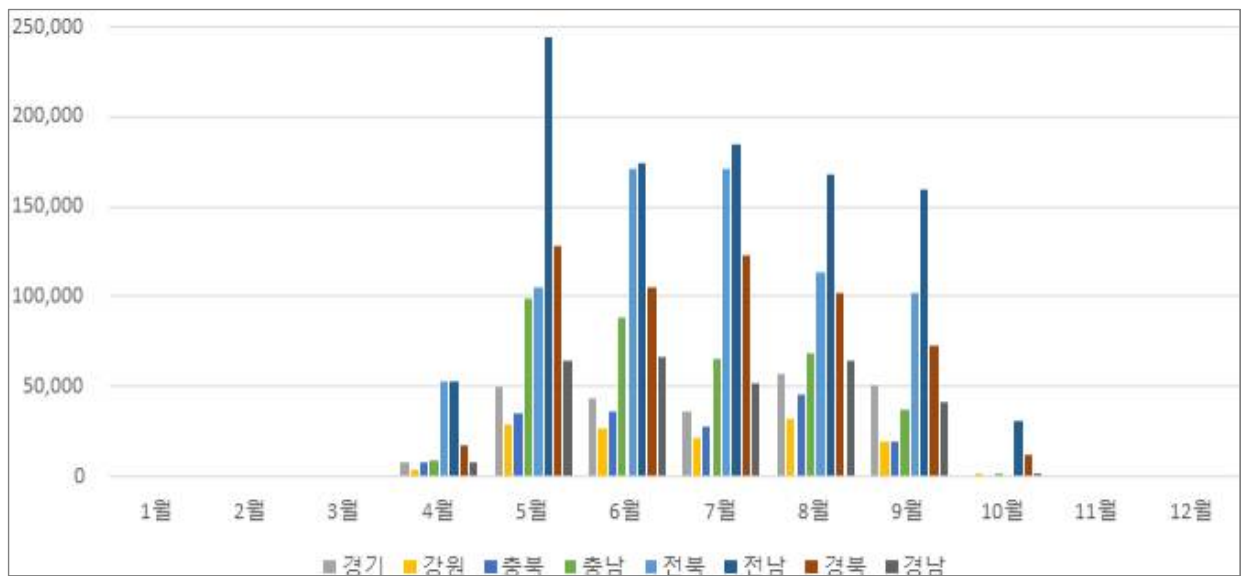
구분	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
소계	3,545,546	216,599	141,084	176,340	320,962	814,442	922,492	623,332	330,294
1월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3월	38	-	-	-	-	-	-	-	38
4월	181,370	4,930	3,917	6,289	13,773	69,415	46,719	23,421	12,907
5월	864,132	83,991	36,112	43,169	102,428	120,028	237,442	169,446	71,516
6월	734,949	42,207	28,137	40,307	83,369	177,878	173,123	124,242	65,686
7월	665,520	33,357	26,586	23,516	37,687	205,944	158,344	125,075	55,011
8월	623,212	34,160	27,527	40,109	51,270	121,488	154,515	107,995	86,148
9월	447,355	17,955	16,726	22,949	31,214	118,969	132,623	67,932	38,988
10월	28,970		2,080		1,221	721	19,727	5,222	
11월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12월	-	-	-	-	-	-	-	-	-



[그림 2-12-31] 2015년 월별 저수지 농업용수 공급량

[표 2-12-24] 2016년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량(단위 : 천m³)

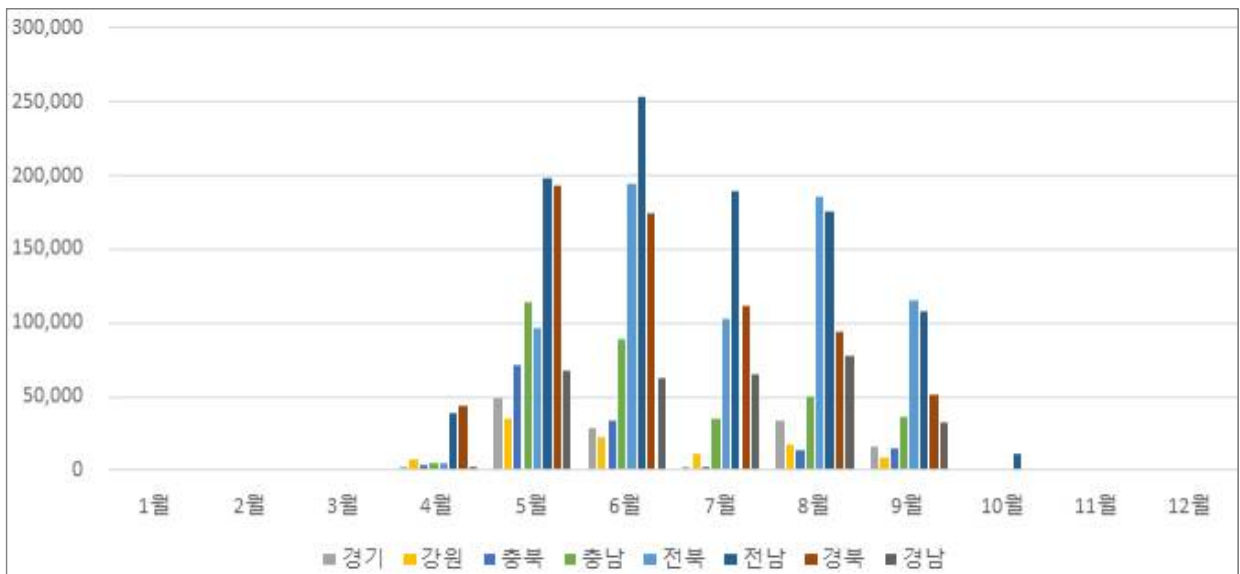
구분	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
소계	3,502,200	243,729	132,795	171,733	367,169	715,409	1,013,665	559,140	298,558
1월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4월	158,658	7,677	4,134	7,965	9,120	52,433	52,450	16,706	8,172
5월	753,295	49,160	28,888	35,411	98,579	105,097	243,818	127,788	64,554
6월	711,275	43,384	26,311	35,863	87,982	171,092	174,606	105,172	66,864
7월	679,172	35,572	21,221	27,477	64,958	170,998	184,214	122,855	51,877
8월	651,694	57,130	31,778	45,833	68,939	113,444	168,048	101,948	64,576
9월	502,699	50,806	18,878	19,184	37,371	102,345	159,771	72,661	41,681
10월	45,407	-	1,585	-	220	-	30,758	12,010	834
11월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12월	-	-	-	-	-	-	-	-	-



[그림 2-12-32] 2016년 월별 저수지 농업용수 공급량

[표 2-12-25] 2017년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량(단위 : 천m³)

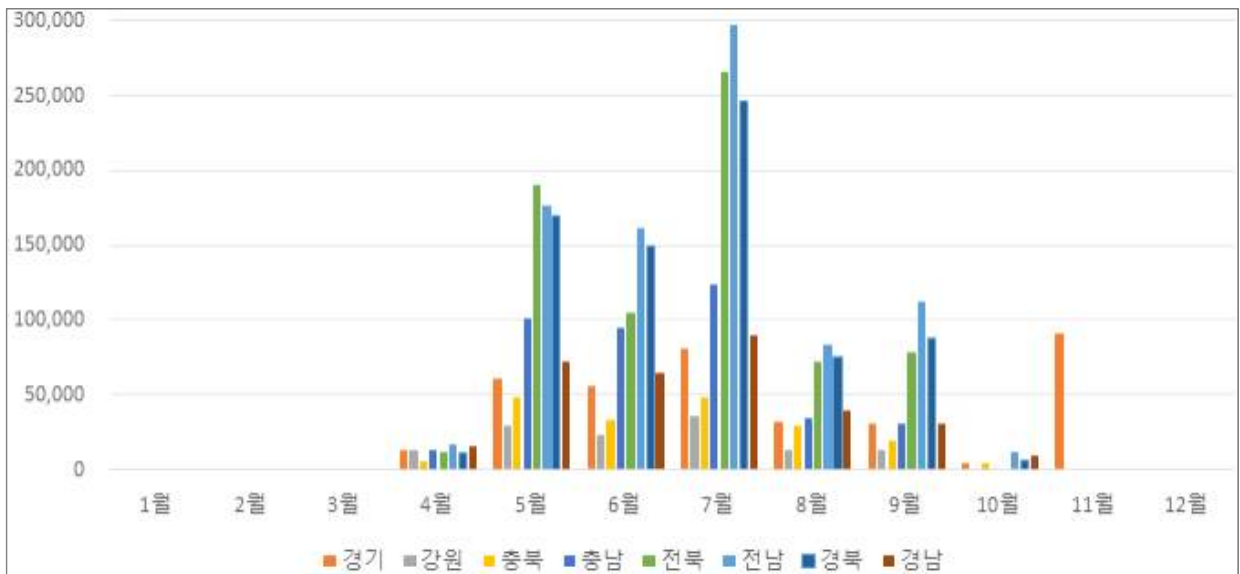
구분	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
소계	3,362,873	134,032	102,225	142,374	328,645	701,547	974,412	669,591	310,048
1월	78	-	-	-	-	78	-	-	-
2월	373	-	227	2	-	126	18	-	-
3월	600	-	-	5	-	503	31	61	-
4월	109,365	2,765	7,709	4,041	4,565	4,283	39,390	43,649	2,964
5월	825,462	49,262	34,543	71,575	113,511	96,631	198,644	193,626	67,669
6월	858,918	29,276	22,137	34,256	89,373	194,907	252,802	173,814	62,354
7월	519,681	2,162	10,810	2,499	35,213	103,073	188,932	111,782	65,212
8월	647,691	34,188	17,195	13,551	49,691	185,118	175,538	94,437	77,972
9월	385,839	16,380	9,234	15,499	36,158	115,741	107,991	51,851	32,985
10월	13,756	-	371	804	133	345	10,860	370	874
11월	1,111	-	-	143	-	743	206	1	18
12월	-	-	-	-	-	-	-	-	-



[그림 2-12-33] 2017년 월별 저수지 농업용수 공급량

[표 2-12-26] 2018년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량(단위 : 천m³)

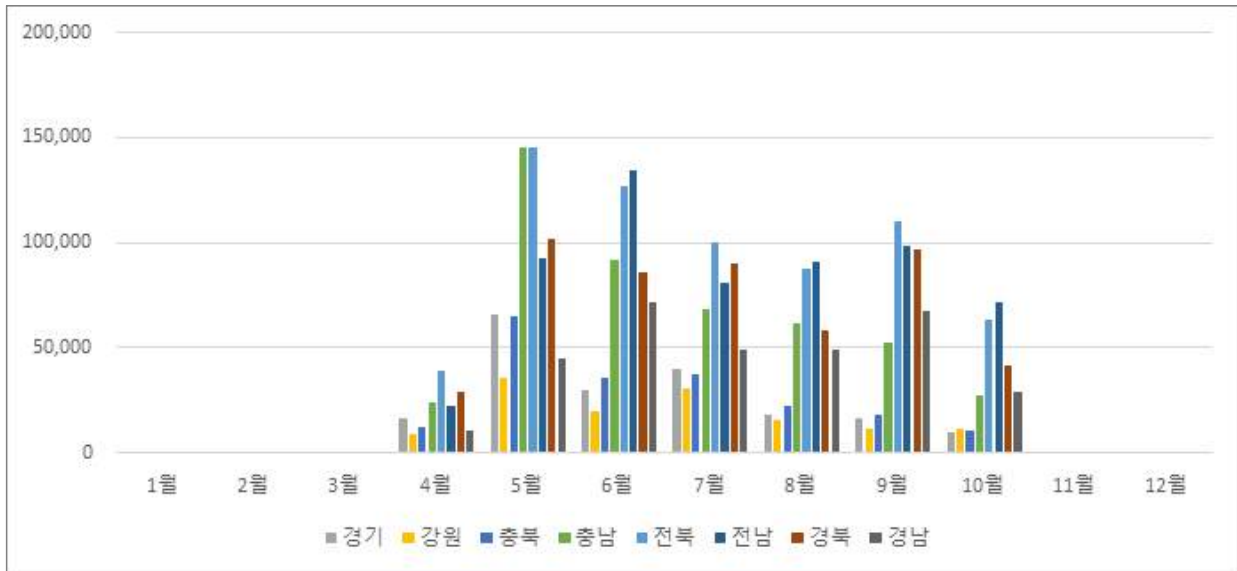
구분	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
소계	3,747,163	371,223	128,534	188,877	401,327	725,202	862,049	746,199	323,752
1월	155	-	-	-	109	-	-	-	46
2월	455	-	-	-	422	-	-	-	33
3월	780	-	-	-	769	-	-	-	10
4월	103,053	13,397	13,270	5,431	13,620	12,243	17,632	11,405	16,055
5월	849,275	60,740	29,522	48,439	101,319	190,205	177,002	170,199	71,849
6월	688,582	56,359	23,145	33,415	94,713	104,894	162,114	149,005	64,937
7월	1,189,022	81,747	35,813	48,049	124,155	265,902	296,941	246,212	90,203
8월	381,315	31,751	13,416	29,413	35,059	72,472	83,913	75,604	39,687
9월	404,479	30,734	12,845	19,334	31,093	78,490	112,685	87,797	31,502
10월	37,842	5,001	525	4,093	57	996	11,763	5,977	9,430
11월	91,721	91,493	-	218	10	-	-	-	-
12월	485	-	-	485	-	-	-	-	-



[그림 2-12-34] 2018년 월별 저수지 농업용수 공급량

[표 2-12-27] 2019년 월별, 시도별 저수지 농업용수 공급량(단위 : 천m³)

구분	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
소계	3,089,107	196,839	132,619	201,142	471,013	672,616	591,151	502,548	321,179
1월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4월	162,545	16,255	8,751	12,333	24,274	39,286	21,892	28,998	10,756
5월	695,694	65,801	35,366	64,992	145,249	145,328	92,889	101,461	44,608
6월	596,749	30,097	20,152	36,068	91,795	126,567	134,719	85,973	71,378
7월	496,230	40,008	30,321	37,532	68,636	100,091	80,663	89,901	49,077
8월	402,161	17,852	15,594	21,917	61,311	87,775	90,921	57,877	48,913
9월	471,648	16,764	11,368	17,802	52,031	110,393	98,738	96,792	67,761
10월	264,080	10,063	11,067	10,498	27,717	63,175	71,328	41,546	28,686
11월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12월	-	-	-	-	-	-	-	-	-



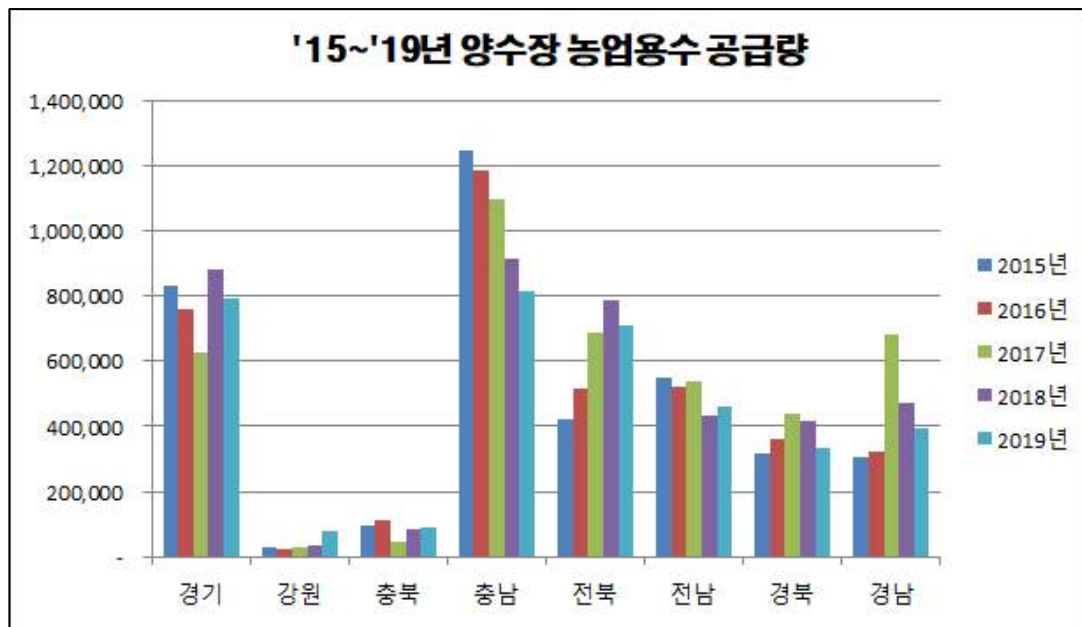
[그림 2-12-35] 2019년 월별 저수지 농업용수 공급량

(나) 양·배수장 공급량 현황

- 2015~2019년 양수장 농업용수 평균 공급량은 38.8억^m이며, 지역별로는 충남이 10억^m으로 공급량이 가장 많았고 경기 8억^m, 전북 6억^m, 전남 5억^m, 경남 4억^m, 경북 3억^m 순으로 농업용수를 공급한 것으로 알 수 있다.

[표 2-12-28] 연도별·시도별 양·배수장 농업용수 공급량(단위 : 천^m)

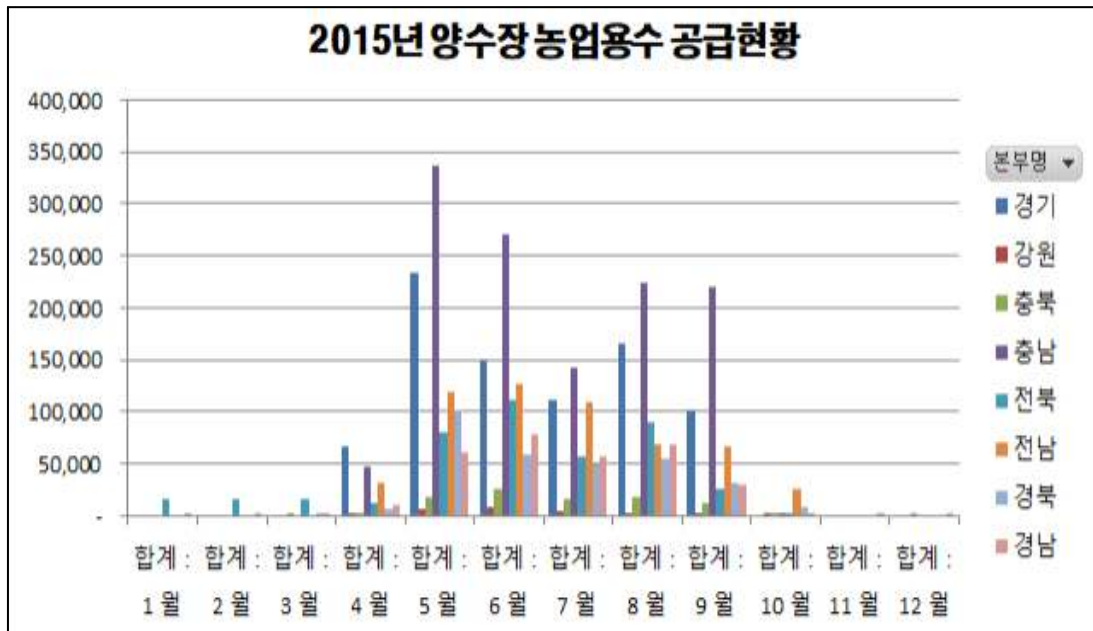
구분	'15~'19 평균	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
합계	3,883,124	3,785,930	3,798,047	4,142,870	4,021,281	3,667,494
경기	776,445	830,589	756,393	623,745	881,376	790,122
강원	39,260	27,901	26,431	29,738	33,635	78,595
충북	84,917	93,835	110,209	48,221	83,510	88,810
충남	1,049,562	1,243,246	1,182,773	1,095,660	913,301	812,829
전북	624,453	423,742	517,547	686,516	786,970	707,488
전남	499,971	547,028	519,218	537,377	433,774	462,459
경북	372,350	314,486	360,991	438,958	416,055	331,262
경남	436,167	305,103	324,486	682,656	472,661	395,930



[그림 2-12-36] 시도별 양·배수장 농업용수 공급량

[표 2-12-29] 2015년 양·배수장 농업용수 공급량(단위 : 천㎥)

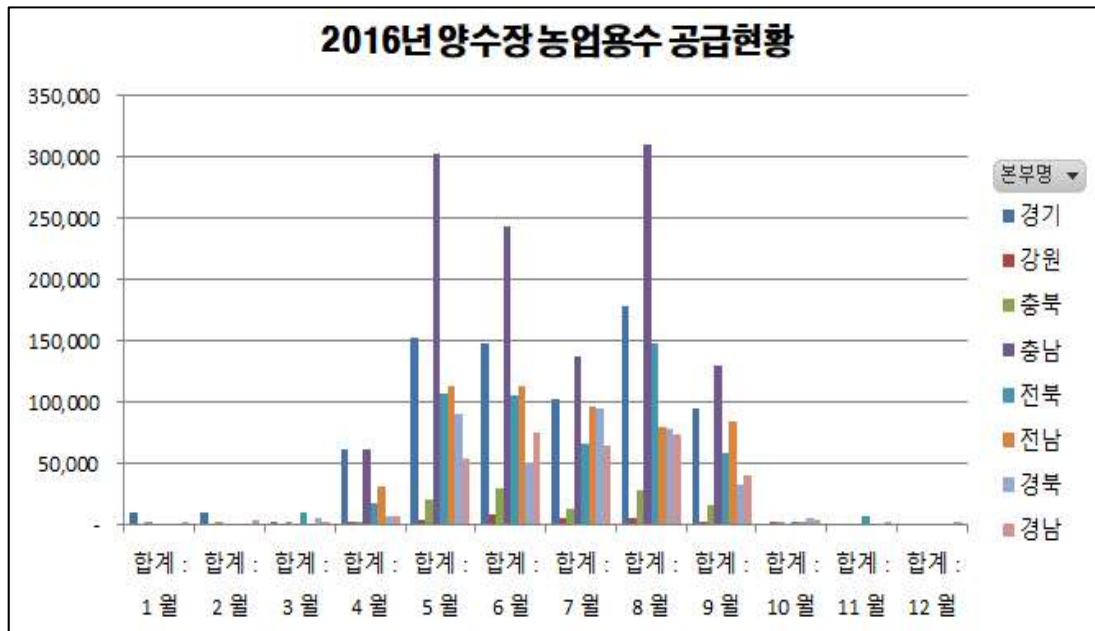
2015년	총합계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
합계	3,785,930	830,589	27,901	93,835	1,243,246	423,742	547,028	314,486	305,103
1월	15,394	-	-	-	-	15,351	-	-	43
2월	15,396	-	-	-	-	15,351	-	-	45
3월	18,407	-	-	-	-	15,351	-	2,259	796
4월	176,276	65,934	814	1,959	47,440	12,343	31,257	6,915	9,613
5월	956,485	233,832	6,440	18,447	336,752	79,532	119,558	100,990	60,936
6월	830,159	150,911	8,687	25,308	269,848	110,628	127,047	59,274	78,457
7월	549,015	111,569	5,172	16,579	143,083	57,916	108,780	49,525	56,391
8월	694,241	165,770	3,662	18,469	224,883	90,516	68,198	54,474	68,268
9월	492,927	102,573	2,527	11,977	220,306	26,485	67,061	31,682	30,318
10월	37,342	-	599	904	935	271	25,127	9,368	140
11월	52	-	-	-	-	-	-	-	52
12월	238	-	-	193	-	-	-	-	45



[그림 2-12-37] 2015년 양·배수장 농업용수 공급량

[표 2-12-30] 2016년 양·배수장 농업용수 공급량(단위 : 천㎥)

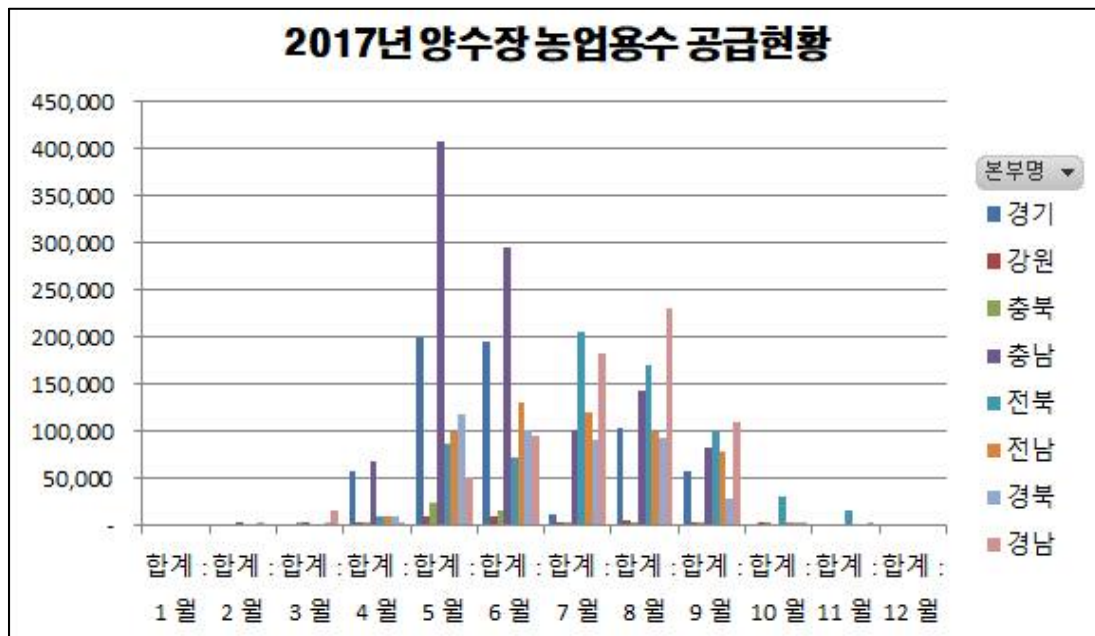
2016년	총합계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
합계	3,798,047	756,393	26,431	110,209	1,182,773	517,547	519,218	360,991	324,486
1월	12,016	10,294	-	403	-	-	-	-	1,319
2월	13,128	9,465	-	26	-	-	-	-	3,637
3월	18,463	1,075	-	13	-	9,949	-	4,911	2,515
4월	187,497	61,338	918	2,081	61,638	16,847	31,613	6,553	6,509
5월	843,624	152,443	4,096	20,671	302,672	106,483	113,247	89,742	54,270
6월	772,154	148,153	8,921	29,570	243,063	105,032	112,650	50,538	74,227
7월	576,760	101,570	4,819	13,338	137,173	65,802	96,405	94,054	63,601
8월	898,623	177,523	4,880	27,691	309,415	148,247	79,374	77,537	73,957
9월	455,697	94,531	2,307	16,107	128,812	58,063	84,113	31,924	39,840
10월	11,571	-	490	311	-	147	1,815	5,733	3,076
11월	7,274	-	-	-	-	6,977	-	-	297
12월	1,239	-	-	-	-	-	-	-	1,239



[그림 2-12-38] 2016년 양·배수장 농업용수 공급량

[표 2-12-31] 2017년 양·배수장 농업용수 공급량(단위 : 천㎥)

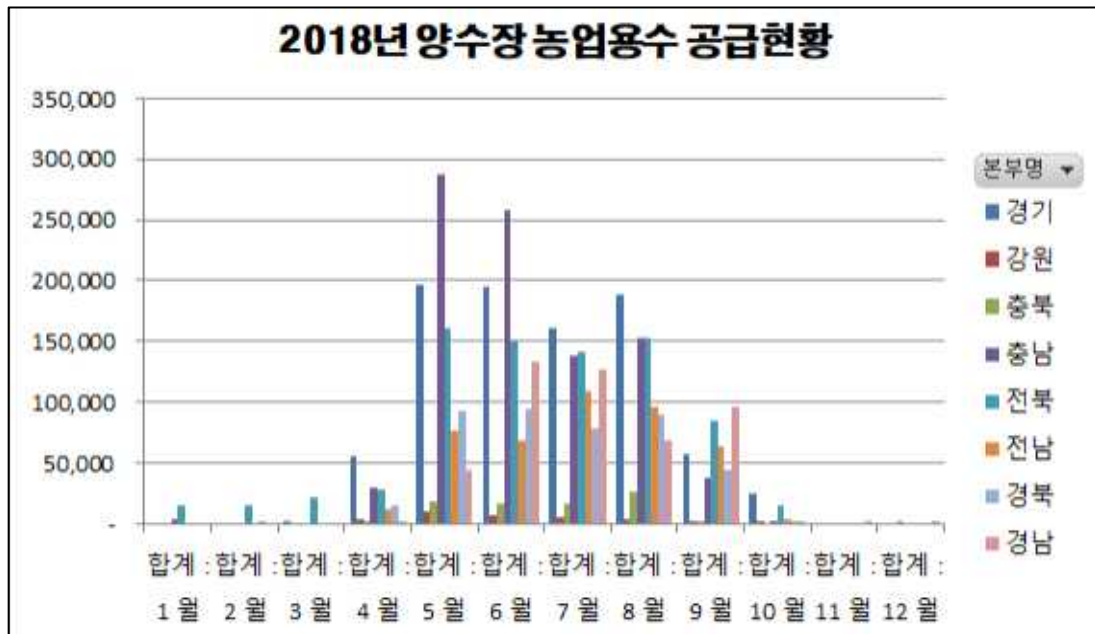
2017년	총합계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
합계	4,142,870	623,745	29,738	48,221	1,095,660	686,516	537,377	438,958	682,656
1월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2월	776	-	-	-	56	-	-	720	-
3월	16,054	-	-	35	134	-	-	1,488	14,397
4월	160,630	58,022	3,065	1,922	68,013	10,029	9,306	8,723	1,550
5월	993,260	199,186	9,976	22,714	406,607	86,884	98,725	118,538	50,629
6월	910,881	195,520	9,067	15,200	295,448	70,986	130,822	100,246	93,590
7월	716,435	11,380	2,939	3,030	101,355	205,909	120,626	89,577	181,618
8월	842,665	102,141	4,236	3,814	141,957	168,982	99,749	91,908	229,878
9월	455,448	57,497	347	1,505	82,090	98,725	77,437	27,671	110,175
10월	31,674	-	107	0	-	30,000	711	86	769
11월	15,048	-	-	-	-	15,000	-	-	48
12월	-	-	-	-	-	-	-	-	-



[그림 2-12-39] 2017년 양·배수장 농업용수 공급량

[표 2-12-32] 2018년 양·배수장 농업용수 공급량(단위 : 천m³)

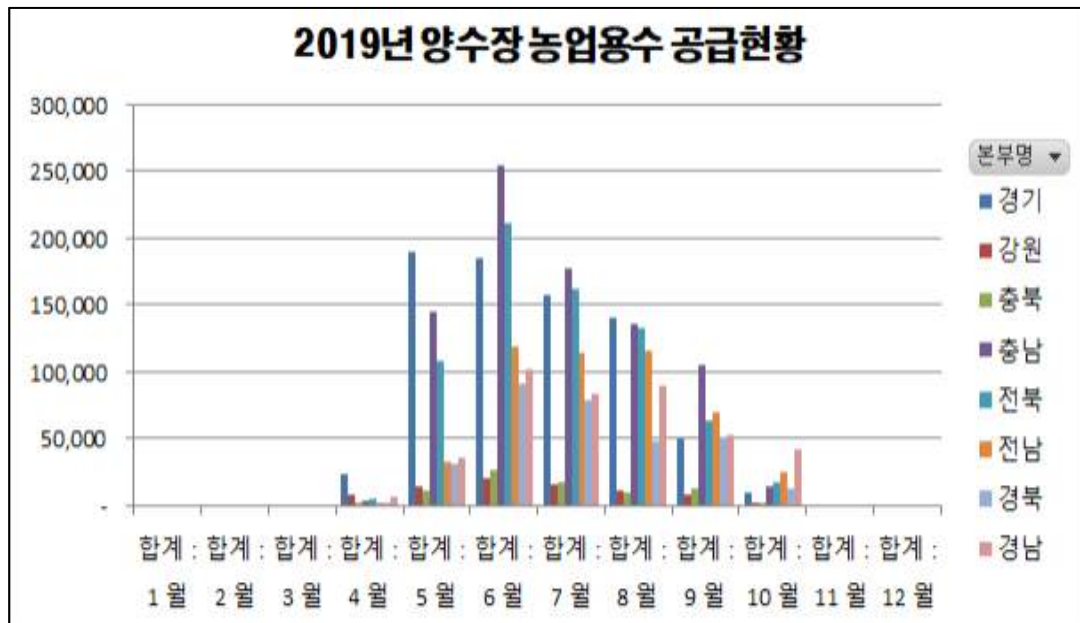
2018년	총합계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
합계	4,021,281	881,376	33,635	83,510	913,301	786,970	433,774	416,055	472,661
1월	19,074	-	-	-	4,074	15,000	-	-	-
2월	15,633	-	-	-	-	15,000	-	633	-
3월	22,285	53	-	-	-	22,232	-	-	-
4월	152,405	56,054	4,043	2,978	30,295	28,577	11,456	15,952	3,050
5월	889,872	196,948	11,166	18,794	287,789	161,458	77,467	92,388	43,862
6월	924,131	195,488	7,458	16,673	258,742	149,144	69,381	94,211	133,034
7월	779,646	160,872	5,654	16,679	139,085	142,225	109,784	79,006	126,340
8월	779,114	188,764	3,210	26,349	152,530	153,546	96,883	89,090	68,741
9월	390,001	58,148	1,866	2,035	38,696	84,788	64,120	43,885	96,463
10월	48,963	25,049	238	-	2,090	15,000	4,682	889	1,015
11월	69	-	-	-	-	-	-	-	69
12월	90	-	-	3	-	-	-	-	86



[그림 2-12-40] 2018년 양·배수장 농업용수 공급량

[표 2-12-33] 2019년 양·배수장 농업용수 공급량(단위 : 천㎥)

2019년	총합계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
합계	3,667,494	756,849	78,595	81,893	838,794	701,030	476,809	316,974	416,548
1월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4월	49,994	23,485	7,679	360	3,279	5,212	109	2,491	7,380
5월	570,945	189,366	14,848	12,029	146,024	108,152	32,968	30,861	36,697
6월	1,013,047	185,986	20,770	26,889	255,056	210,669	119,537	91,609	102,532
7월	808,607	157,066	15,847	18,071	178,234	162,085	114,521	78,746	84,037
8월	687,383	141,015	11,489	10,439	136,417	133,490	115,271	48,742	90,520
9월	411,833	49,436	7,764	12,362	105,282	63,187	69,544	51,256	53,002
10월	125,684	10,495	199	1,743	14,503	18,235	24,859	13,271	42,380
11월	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12월	-	-	-	-	-	-	-	-	-



[그림 2-12-41] 2019년 양·배수장 농업용수 공급량

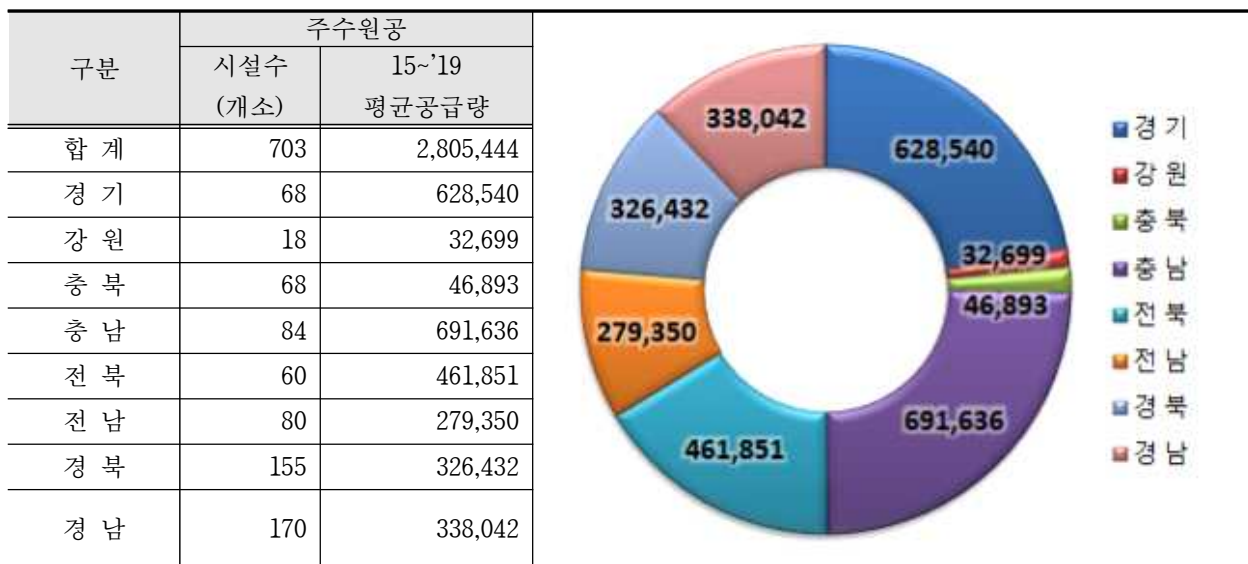
- 주수원공 급수현황을 고려할 시 한국농어촌공사 관리 양수장 3,802개소(양배수장 포함) 중 주수원공*은 703개소, 부속시설을 포함한 보조수원공**은 3,099개소로 이중 주수원공에 의한 '15~19년 평균 공급량은 28억^m이며 전체 평균공급량의 72%를 차지하고 있는 것으로 나타난다.

* 지표수 또는 지하수를 1차적으로 농업용수로 전환케하는 시설

** 주수원공의 수혜구역 내에서 주수원공의 용수량이 부족할 때 그 부족량을 보충하기 위하여 설치한 보조시설

(단위 : 천^m)

[표 2-12-34] 주수원공 양·배수장 농업용수 공급량



- 주수원공의 취수형태를 고려하여 구분할 경우 취수원은 하천 본류, 지류, 담수로, 저수지, 댐으로 나뉘며 양수장에 의한 농업용수는 전국 하천수계의 본류에서 공급량의 64%를 취수하는 것으로 나타난다

[표 2-12-35] 주수원공 양·배수장 취수원 분류

구분	합계		본류		지류		담수호		저수지		댐	
	개소	공급량	개소	공급량	개소	공급량	개소	공급량	개소	공급량	개소	공급량
합계	703	2,805,444	239	1,784,593	418	656,232	26	345,857	17	11,059	3	7,703
경기	68	628,540	13	416,067	52	182,455	2	29,891	1	127		
강원	18	32,699	2	443	15	30,166			1	2,090		
충북	68	46,893	25	16,204	39	22,869			1	118	3	7,703
충남	84	691,636	37	420,601	34	30,168	10	238,148	3	2,720		
전북	60	461,851	24	402,599	33	57,505	1	1,380	2	367		
전남	80	279,350	38	118,655	25	82,270	13	76,439	4	1,986		
경북	155	326,432	59	270,293	92	52,978			4	3,161		
경남	170	338,042	41	139,731	128	197,822			1	489		

3. 효율적 양수저류 관리를 위한 관련 기준 조사 및 분석 여부

가. 영농대비 선제적 농업용수 확보 대상지구 선정기준

(1) 분석기준

- 2018~2019년 대상지구 선정기준

· 당해연도 영농마무리 이후 저수율이 평년대비 70%미만인 저수지와 유효저수량 5만 m^3 이상, 수혜면적 10ha 이상 주수원공 대상으로 내년 6월말까지 예상 강수량을 평년의 70%로 가정하여 물수지 분석하여 농업용수 부족(10만 m^3 이상)이 우려되는 저수지를 대상지구로 선정하여 내년 영농대비 선제적 농업용수 확보 추진

- 2020년 대상지구 선정기준

· 당해연도 영농마무리 이후 저수율이 평년대비 70%미만인 저수지 대상으로 내년 분담급수 전(4월말)까지 예상 강수량을 평년의 50%로 가정하여 물수지 분석하여 평년 저수율에 미달되는 저수지를 대상지구로 선정하여 내년 영농대비 선제적 농업용수 확보 추진

(2) 용수확보대책

- 2018년 용수확보대책 수립

· 2017년 용수확보대책 수립 이후 2018년 6월말까지 용수확보대책 추진대상지구 총 46지구로 양수저류 37지구(목표량 : 8,338천 m^3), 직접급수 9지구(목표량 : 921천 m^3)

- 2019년 용수확보대책 수립

· 2018년 용수확보대책 수립 이후 2019년 6월말까지 용수확보대책 추진대상지구 총 27지구로 양수저류 27지구(목표량 : 8,752천 m^3)

- 2020년 용수확보대책 수립

· 2019년 용수확보대책 수립 이후 2020년 4월말까지 용수확보대책 추진대상지구 총 20지구로 양수저류 12지구(목표량 : 174천 m^3), 직접급수 8지구(목표량 : 74천 m^3)

[표 2-12-36] 2018~2020년 용수확보대책 수립 내용

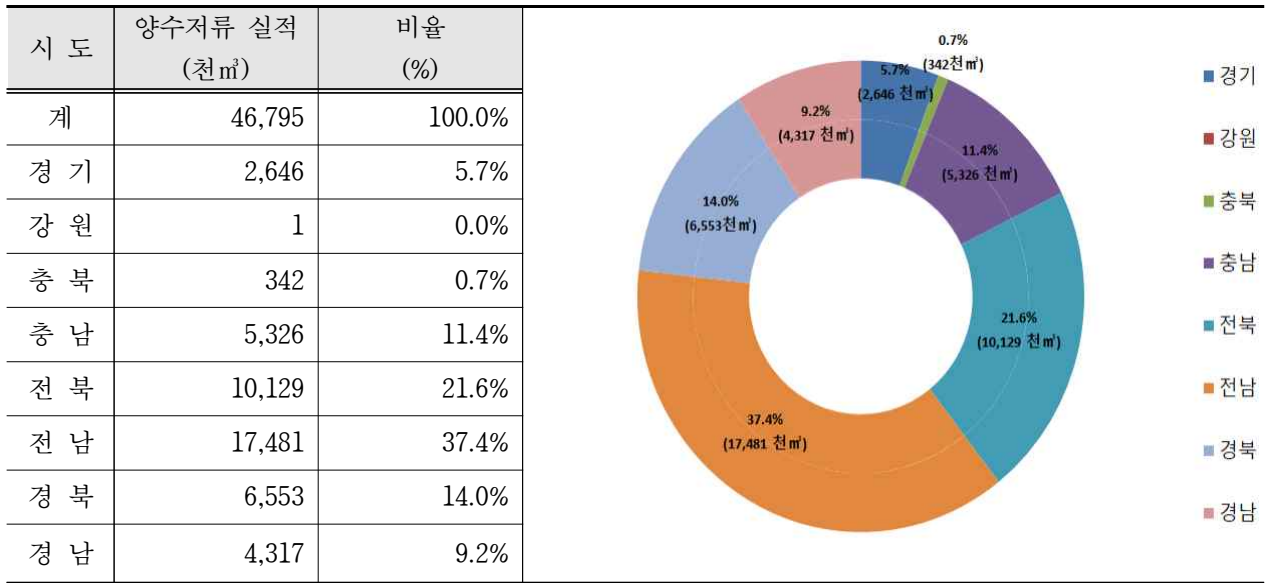
구 분	2018			2019			2020		
	계	양수 저류	직접 급수	계	양수 저류	직접 급수	계	양수 저류	직접 급수
지구수 (개소)	46	37	9	27	27	-	20	12	8
목표량 (천㎥)	9,259	8,338	921	8,752	8,752	-	248	174	74

나. 영농대비 선제적 농업용수 확보 실적 분석

(1) 연도별 농업용수 확보 실적 분석

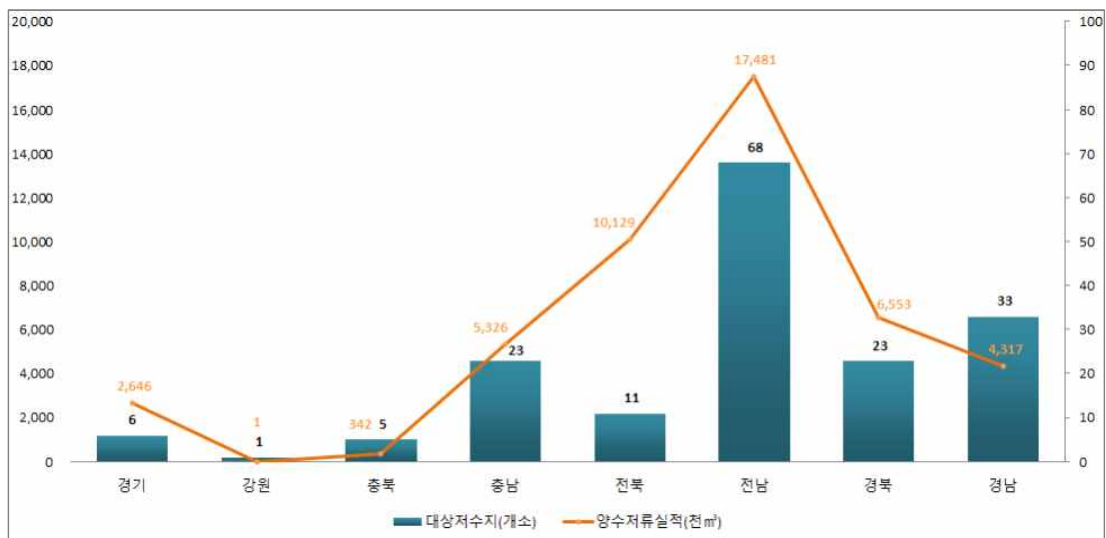
(가) 2018년 전국 시도별 양수저류 실적

[표 2-12-37] 2018년 시도별 양수저류 실적 비율



[표 2-12-38] 2018년 대상저수지별 양수저류 실적

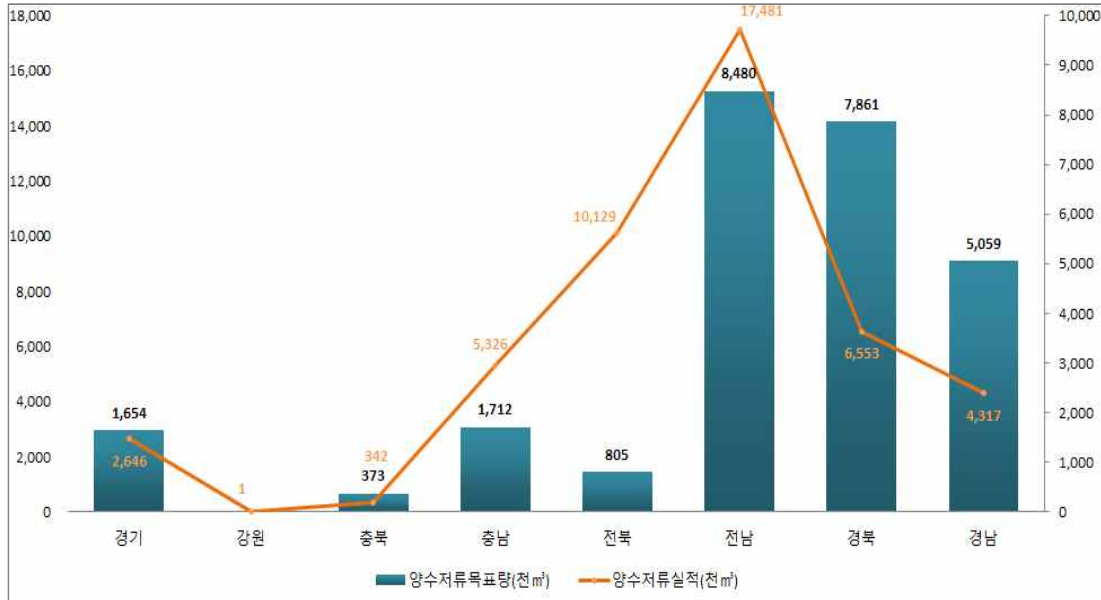
시도	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
양수저류 실적 (천㎡)	46,795	2,646	1	342	5,326	10,129	17,481	6,553	4,317
대상저수지 (개소)	170	6	1	5	23	11	68	23	33



[그림 2-12-42] 2018년 대상저수지별 양수저류 실적 그래프

[표 2-12-39] 2018년 양수저류 목표량 대비 실적

시도	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
양수저류 실적 (천㎡)	46,795	2,646	1	342	5,326	10,129	17,481	6,553	4,317
양수저류 목표량 (천㎡)	25,944	1,654	-	373	1,712	805	8,480	7,861	5,059



[그림 2-12-43] 2018년 양수저류 목표량 대비 실적 그래프

- 2018년 전국 양수저류 실적 46,795천㎡으로 전남 37.4%(17,481천㎡), 전북 21.6%(10,129천㎡), 경북 14.0%(6,553천㎡) 순으로 많은 양수저류 실적을 기록하였다.
- 전국 양수저류 대상 저수지 총 170개소로 전남 40.0%(68개소), 경남 19.4%(33개소), 충남·경북 각 13.5%(23개소) 순으로 많은 양수저류 지구를 기록하였다.
- 전북 921천㎡/개소, 경기 441천㎡/개소, 경북 285천㎡/개소 순으로 대상저수지 개소 수 대비 많은 양수저류 실적을 기록하였다.

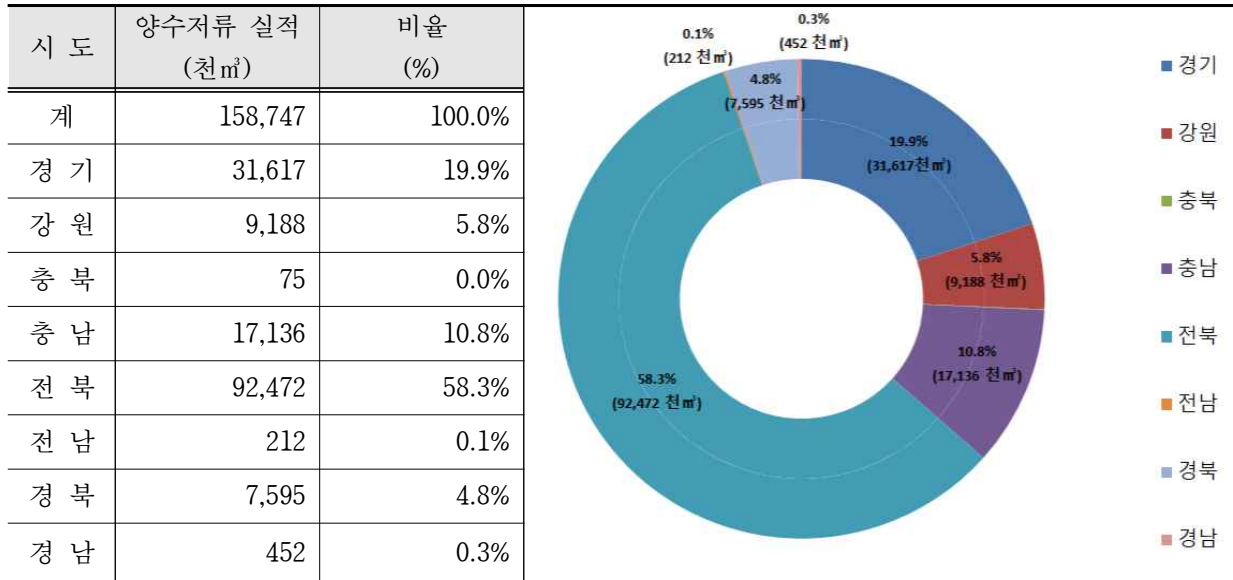
* 시도별 대상지구 대비 실적 : 경기 441천㎡/개소, 강원 1천㎡/개소, 충북 68천㎡/개소, 충남 232천㎡/개소, 전북 921천㎡/개소, 전남 257천㎡/개소, 경북 285천㎡/개소, 경남 131천㎡/개소

- 2018년 전국 양수저류 실적은 46,795천㎡으로 목표(25,944천㎡)대비 약 1.8배의 실적 기록하였다.

* 시도별 양수저류 목표대비 실적 : 경기 1.6배, 충북 0.9배, 충남 3.1배, 전북 12.6배, 전남 2.1배, 경북 0.8배, 경남 0.9배 기록

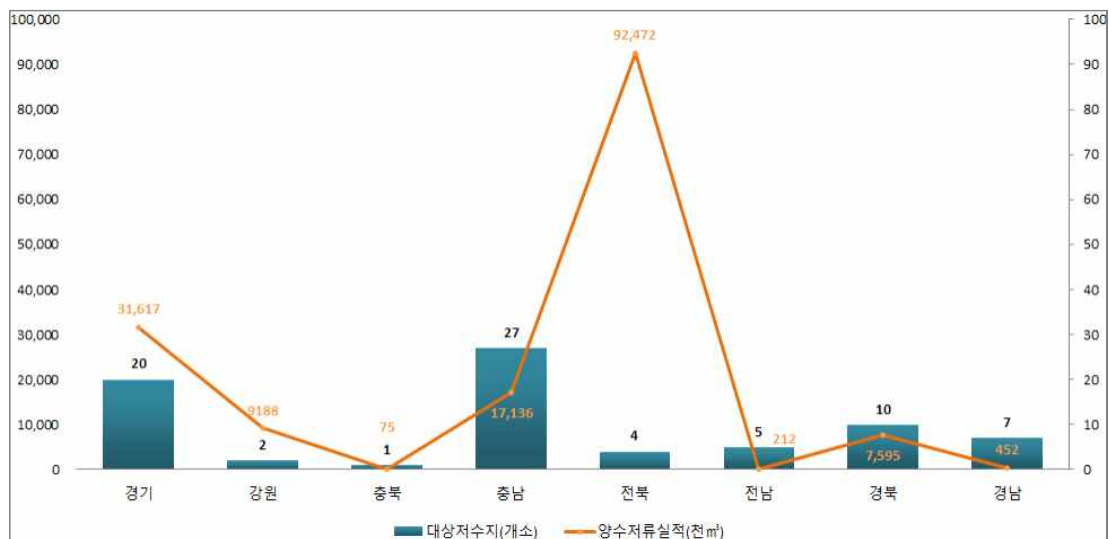
(나) 2019년 전국 시도별 양수저류 실적

[표 2-12-40] 시도별 양수저류 실적 비율



[표 2-12-41] 2019년 대상저수지별 양수저류 실적

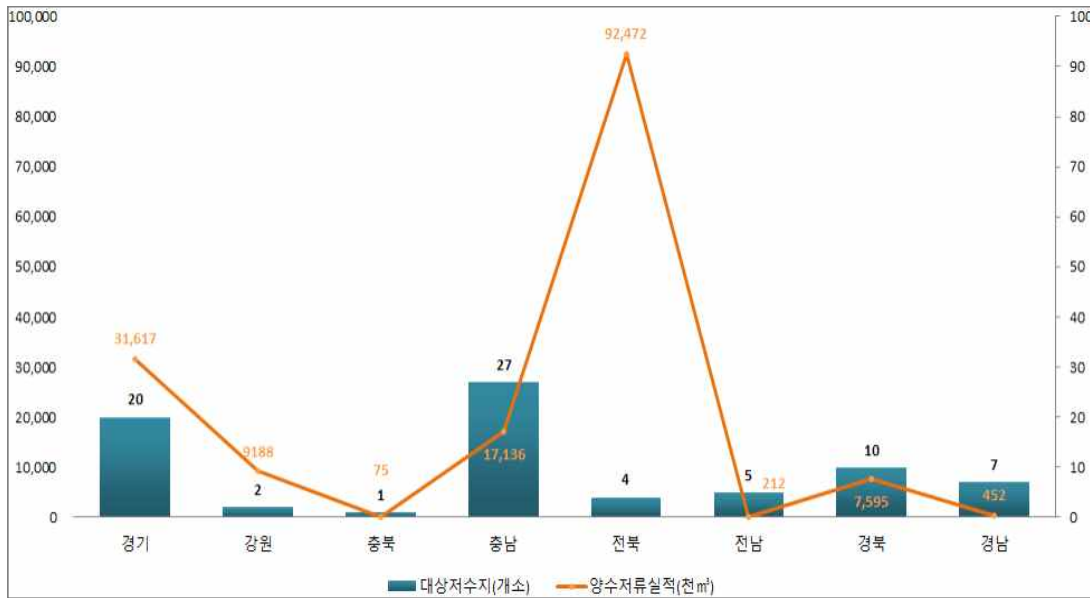
시도	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
양수저류 실적 (천 ³ m)	158,747	31,617	9,188	75	17,136	92,472	212	7,595	452
대상저수지 (개소)	76	20	2	1	27	4	5	10	7



[그림 2-12-44] 2019년 대상저수지별 양수저류 실적 그래프

[표 2-12-42] 2019년 양수저류 목표량 대비 실적

시 도	계	경 기	강 원	충 북	충 남	전 북	전 남	경 북	경 남
양수저류 실적 (천 ³)	158,747	31,617	9,188	75	17,136	92,472	212	7,595	452
양수저류 목표량 (천 ³)	5,982	800	1,000	87	300	1,879	693	1,051	172



[그림 2-12-45] 2019년 양수저류 목표량 대비 실적 그래프

- 2019년 전국 양수저류 실적 158,747천³으로 전북 58.3%(92,472천³), 경기 19.9%(31,617천³), 충남 10.8%(17,136천³) 순으로 많은 양수저류 실적을 기록하였다.
- 전국 양수저류 대상 저수지 총 76개소로 충남 35.5%(27개소), 경기 26.3%(20개소), 경북 13.2%(10개소) 순으로 많은 양수저류 지구를 기록하였다.
- 전북 23,118천³/개소, 강원 4,594천³/개소, 경기 1,581천³/개소 순으로 대상저수지 개소수 대비 많은 양수저류 실적을 기록하였다.

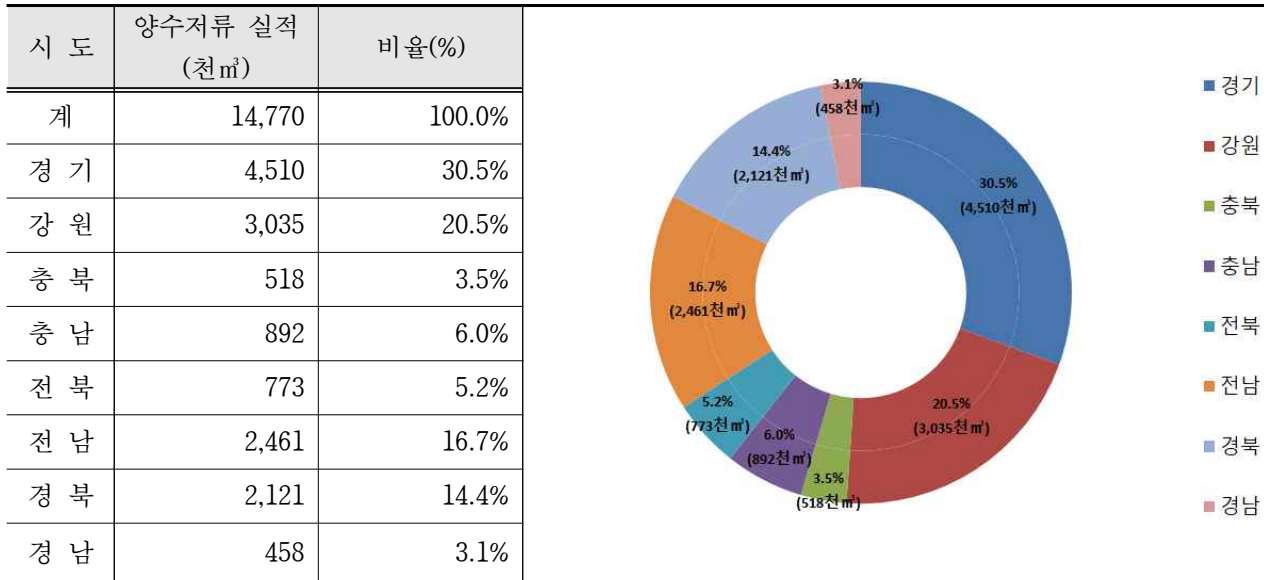
* 시도별 대상지구 대비 실적 : 경기 1,581천³/개소, 강원 4,594천³/개소, 충북 75천³/개소, 충남 635천³/개소, 전북 23,118천³/개소, 전남 42천³/개소, 경북 760천³/개소, 경남 65천³/개소

- 2019년 전국 양수저류 실적은 158,747천³으로 목표(5,982천³)대비 약 26.5배의 실적 기록하였다.

* 시도별 양수저류 목표대비 실적 : 경기 39.5배, 강원 9.2배, 충북 0.9배, 충남 57.1배, 전북 49.2배, 전남 0.3배, 경북 7.2배, 경남 2.6배 기록

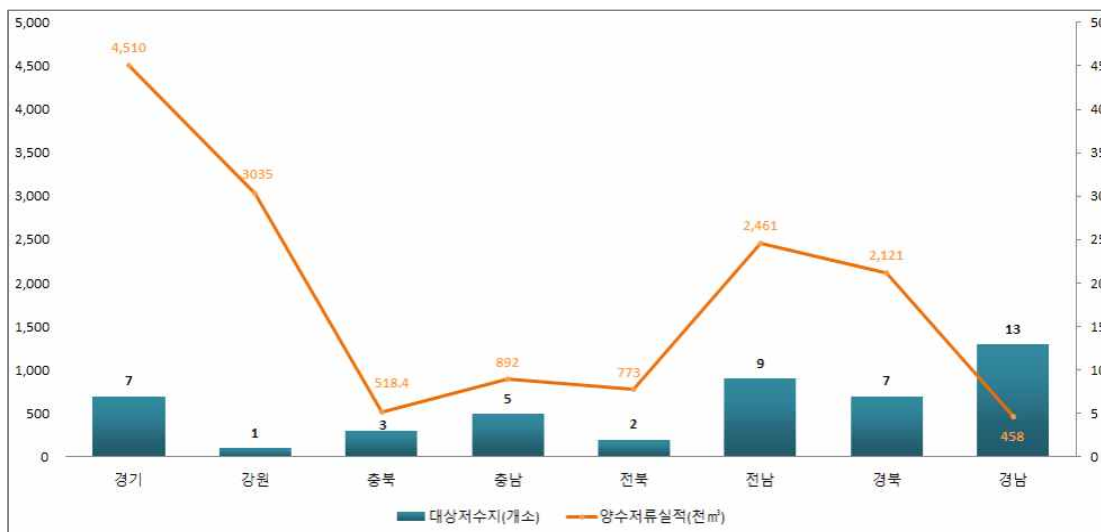
(다) 2020년 전국 시도별 양수저류 실적

[표 2-12-43] 2020년 시도별 양수저류 실적 비율



[표 2-12-44] 2020년 대상저수지별 양수저류 실적

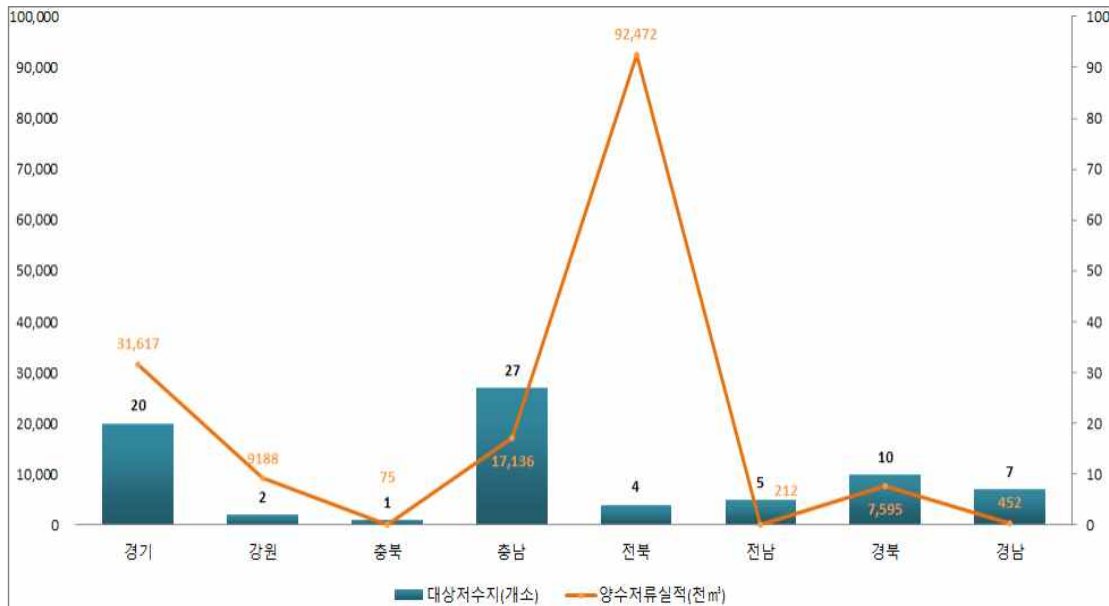
시도	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
양수저류 실적 (천m ³)	14,770	4,510	3,035	518.4	892	773	2,461	2,121	458
대상저수지 (개소)	47	7	1	3	5	2	9	7	13



[그림 2-12-46] 2020년 대상저수지별 양수저류 실적 그래프

[표 2-12-45] 2020년 양수저류 목표량 대비 실적

시 도	계	경 기	강 원	충 북	충 남	전 북	전 남	경 북	경 남
양수저류 실적 (천 ³)	14,770	4,510	3,035	518	892	773	2,461	2,121	458
양수저류 목표량 (천 ³)	6,022	645	2,672	340	1,014	381	870	100	-



[그림 2-12-47] 2020년 양수저류 목표량 대비 실적 그래프

- 2020년 전국 양수저류 실적 14,770천³으로 경기 30.5%(4,510천³), 강원 20.5%(3,035천³), 전남 16.7%(2,461천³) 순으로 많은 양수저류 실적을 기록하였다.
- 전국 양수저류 대상 저수지 총 76개소로 충남 35.5%(27개소), 경기 26.3%(20개소), 경북 13.2%(10개소) 순으로 많은 양수저류 지구를 기록하였다.
- 전북 23,118천³/개소, 강원 4,594천³/개소, 경기 1,581천³/개소 순으로 대상저수지 개소수 대비 많은 양수저류 실적을 기록하였다.

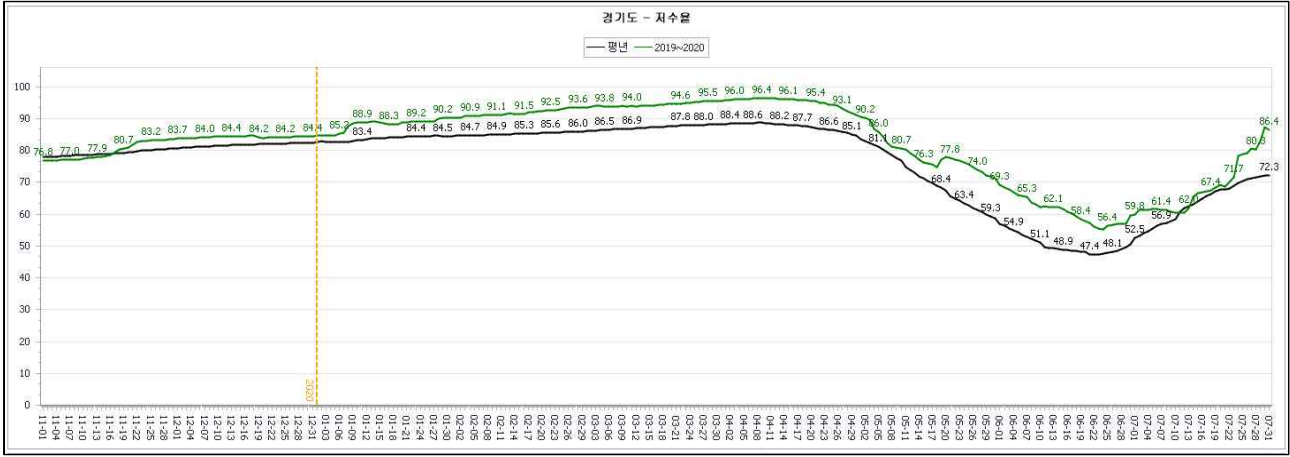
* 시도별 대상지구 대비 실적 : 경기 1,581천³/개소, 강원 4,594천³/개소, 충북 75천³/개소, 충남 635천³/개소, 전북 23,118천³/개소, 전남 42천³/개소, 경북 760천³/개소, 경남 65천³/개소

- 2019년 전국 양수저류 실적은 158,747천³으로 목표(5,982천³)대비 약 26.5배의 실적 기록하였다.

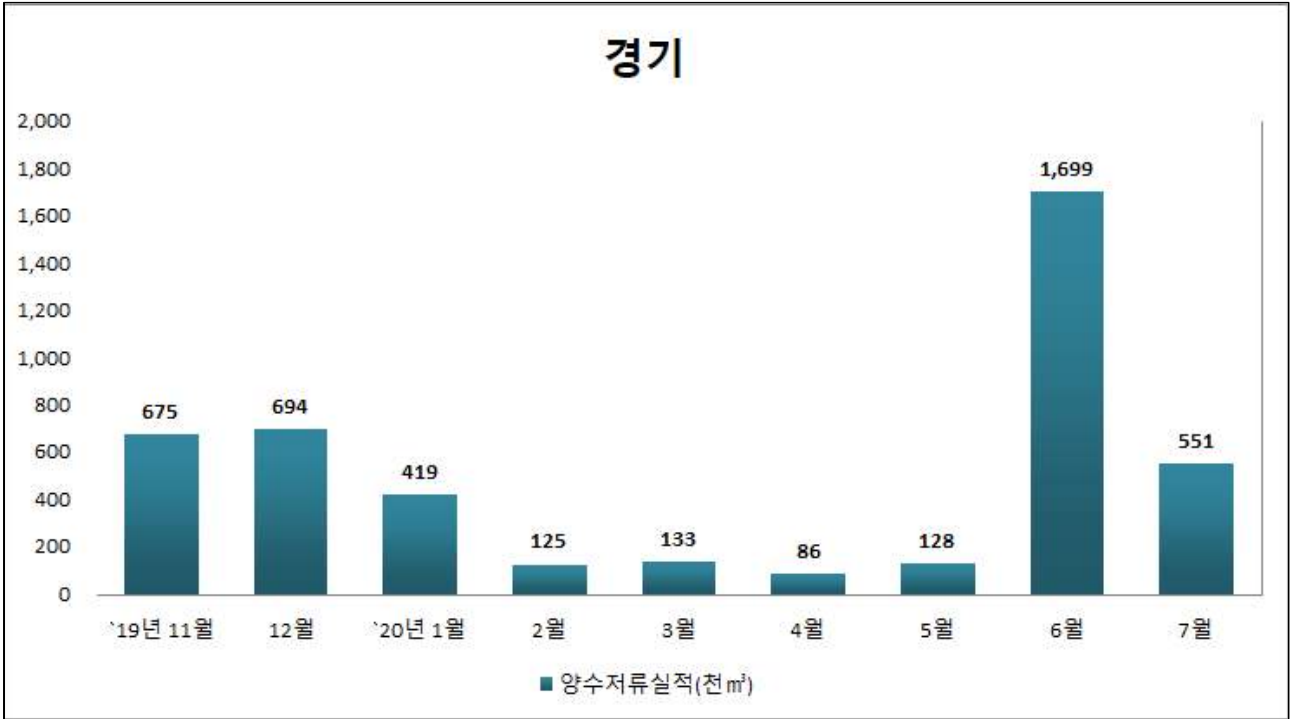
* 시도별 양수저류 목표대비 실적 : 경기 39.5배, 강원 9.2배, 충북 0.9배, 충남 57.1배, 전북 49.2배, 전남 0.3배, 경북 7.2배, 경남 2.6배 기록

(2) 2020년 전국 시도별, 월별 양수저류 실적 분석

(가) 경기지역 양수저류 실적 분석



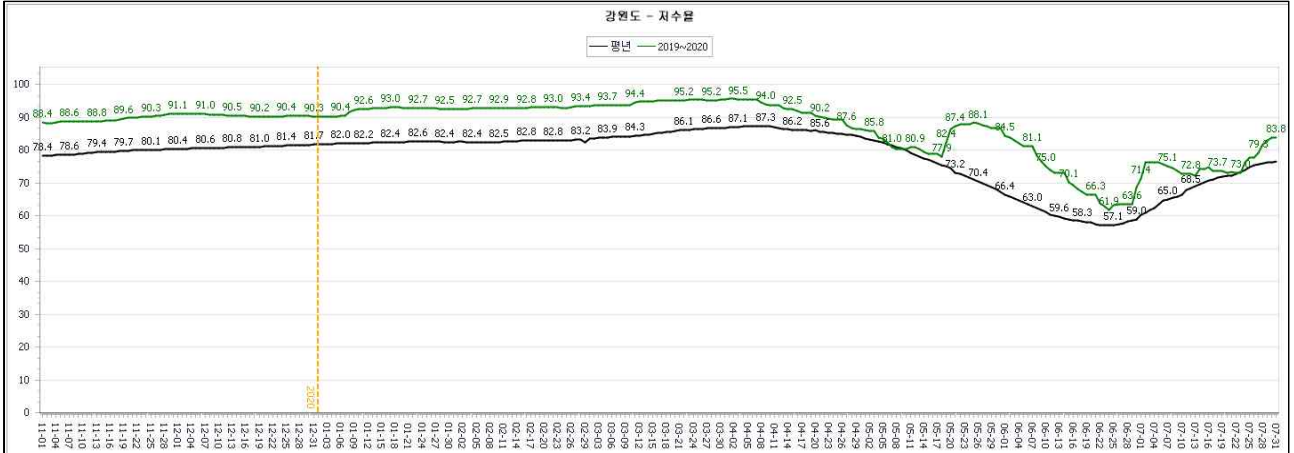
[그림 2-12-48] 2020년 영농이후 경기지역 저수율 현황



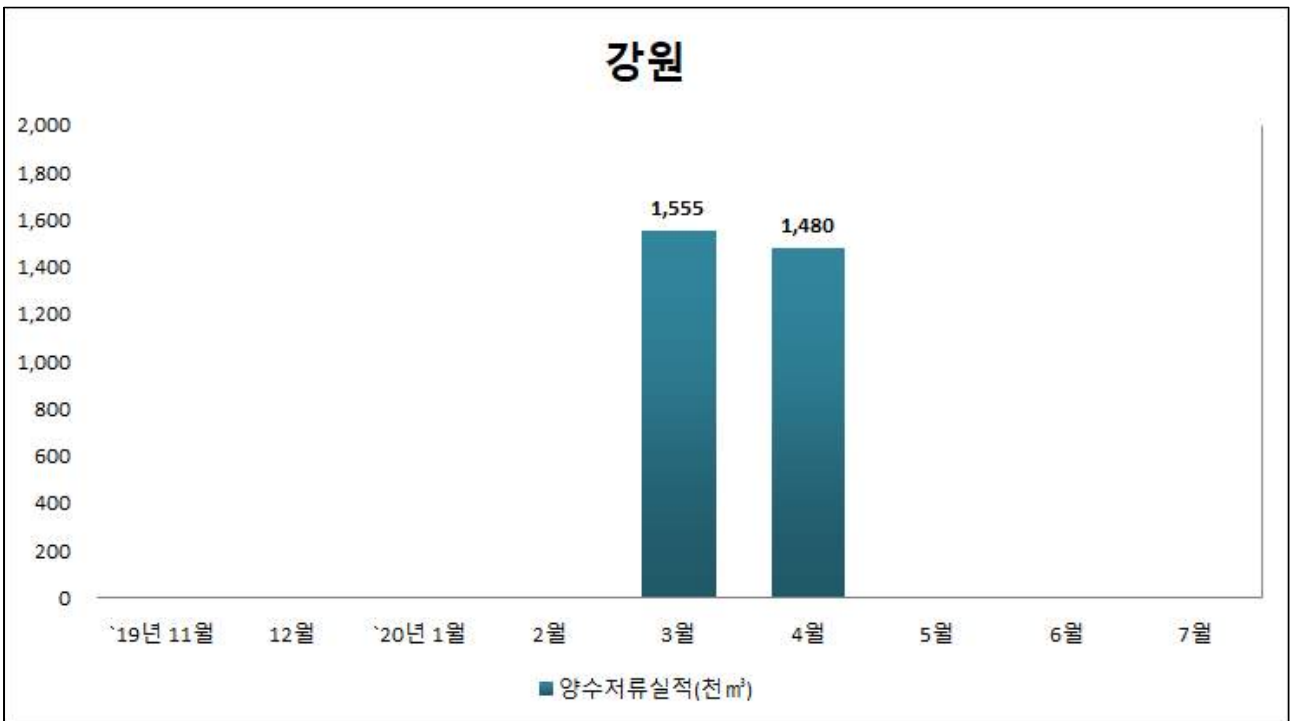
[그림 2-12-49] 2020년 경기지역 월별 양수저류 실적

- 2019년 영농기 이후 경기지역 저수율 76.8%(11.1일)로 2020년 영농기 대비 용수확보 대책 수립 대상지구(7개소)에 대해 '19년 11월부터 양수저류를 시작하였다.
- '20년 2월부터 4월까지 저수율 90%대를 달성하여 양수저류량을 조절하며 영농기 이전 높은 저수율 유지하였다.
- 이앙급수 및 본답급수로 5.31일 기준 경기지역 저수율 58.6%로 하락하여 6월부터 양수저류량을 증가시키며 용수확보를 추진하였다.

(나) 강원지역 양수저류 실적 분석



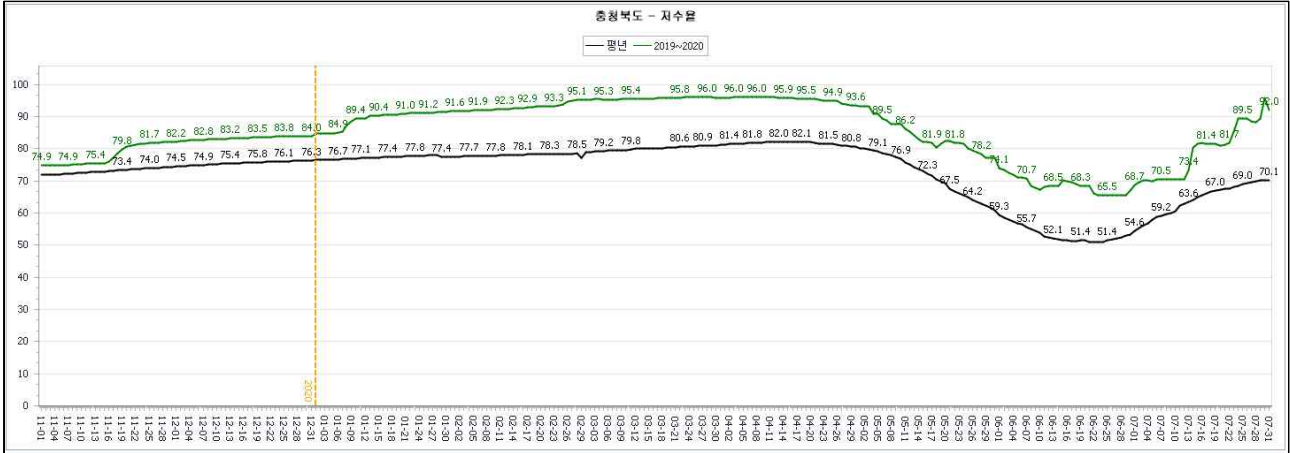
[그림 2-12-50] 2020년 영농이후 강원지역 저수율 현황



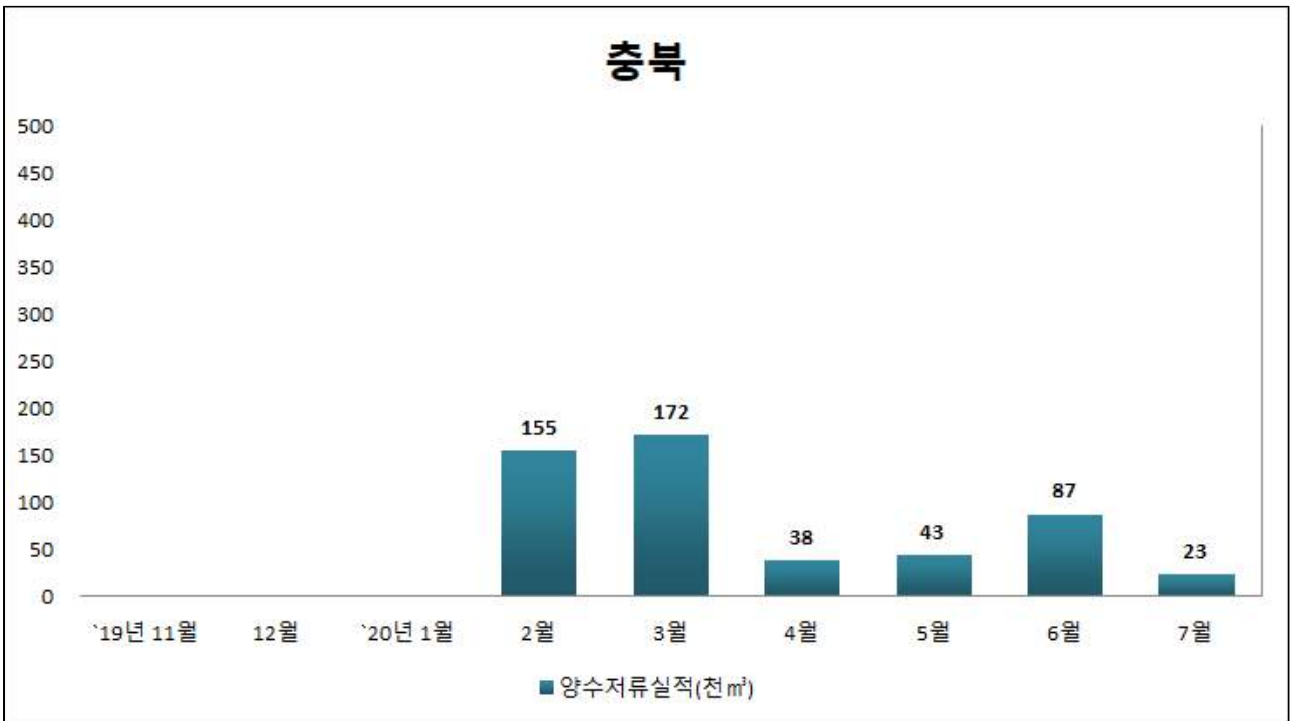
[그림 2-12-51] 2020년 강원지역 월별 양수저류 실적

- 2019년 영농기 이후 강원지역 저수율 88.4%(11.1일)로 2020년 영농기 대비 용수확보 대책 수립 대상지구(1개소)에 대해 '20년 3월부터 양수저류를 시작하였다.
 - 강원 철원 동송저수지 개보수 사업지구로 2월에 완공하여 3월부터 양수저류를 시작하여 4월 중순 저수율 90%대를 기록하며 충분한 용수를 확보하여 양수저류를 중단하였다.
- * 3.1일 기준 저수율 5.1%, 4.15일 기준 저수율 93.3%로 동송저수지 유효저수량 3,770천m³중 양수저류 실시로 3,035천m³ 용수 확보(저수율 80.5% 수준)

(다) 충북지역 양수저류 실적 분석



[그림 2-12-52] 2020년 영농이후 충북지역 저수율 현황

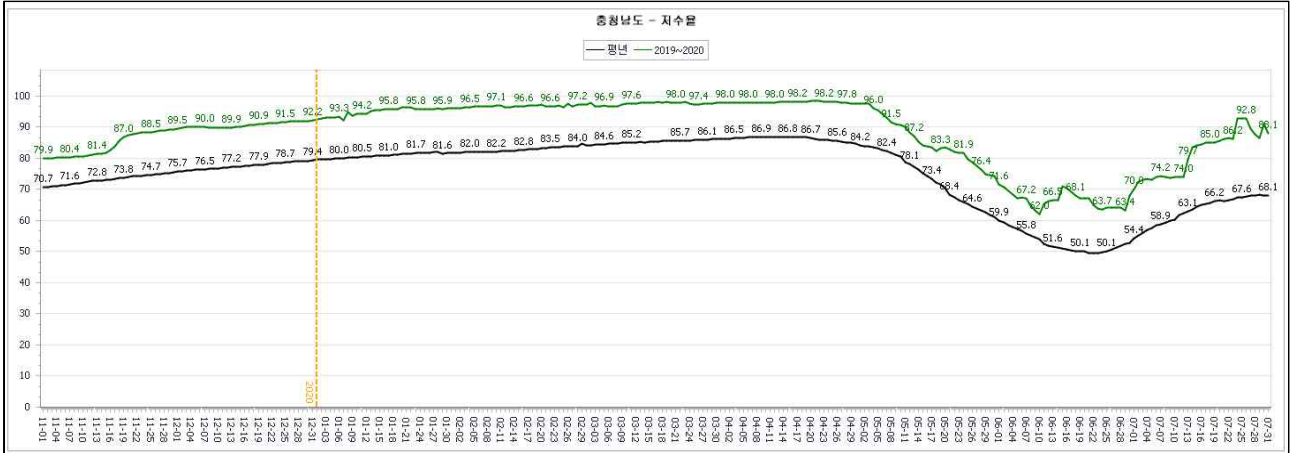


[그림 2-12-53] 2020년 충북지역 월별 양수저류 실적

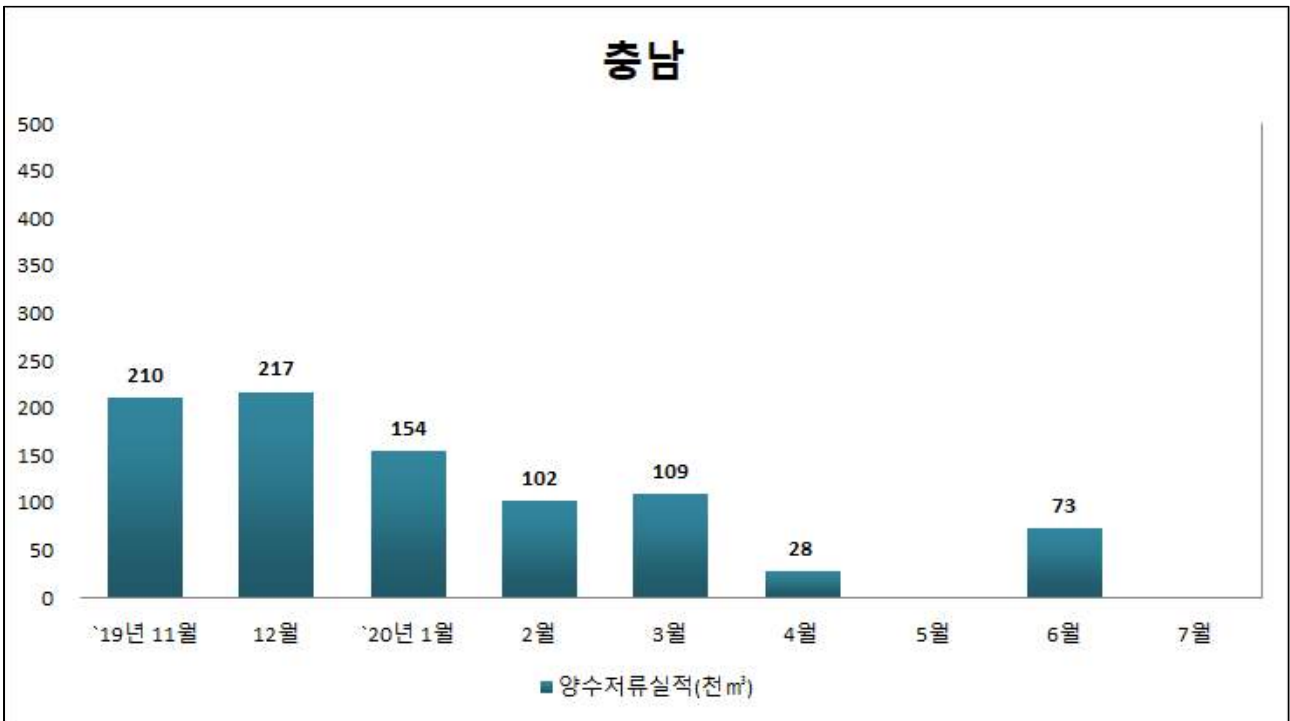
- 2019년 영농기 이후 충북지역 저수율 74.9%(11.1일)로 2020년 영농기 대비 용수확보 대책 수립 대상지구(3개소)에 대해 '20년 2월부터 양수저류를 시작하였다.
- 충북 용수확보대책 수립 3개 지구는 개보수 사업지구로 영농기 이전 2월부터 양수저류를 시작하여 용수확보 추진하였다.

* 2.1일 기준 저수율 91.6%, 4.15일 기준 저수율 95.9%

(라) 충남지역 양수저류 실적 분석



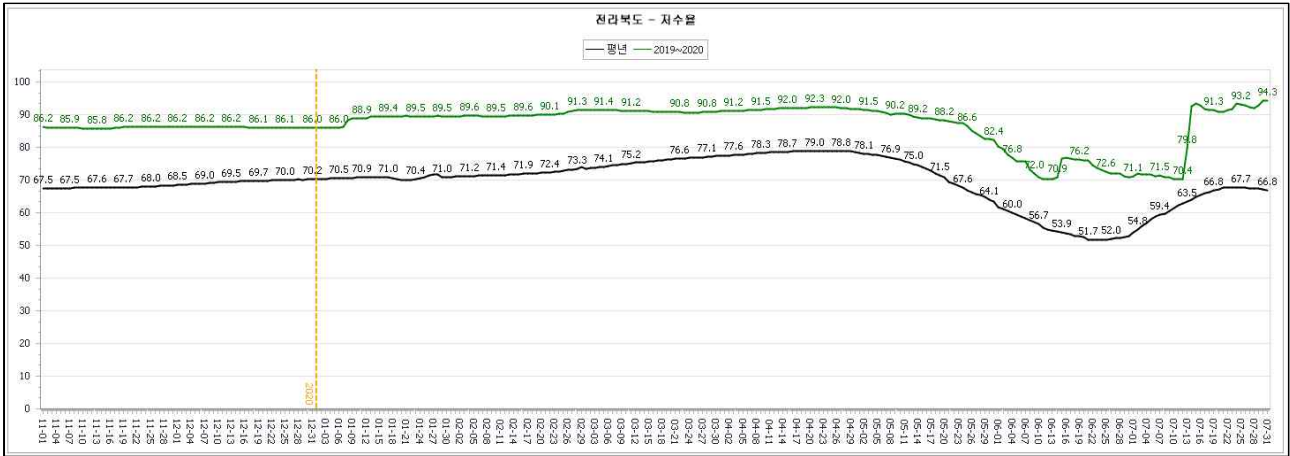
[그림 2-12-54] 2020년 영농이후 충남지역 저수율 현황



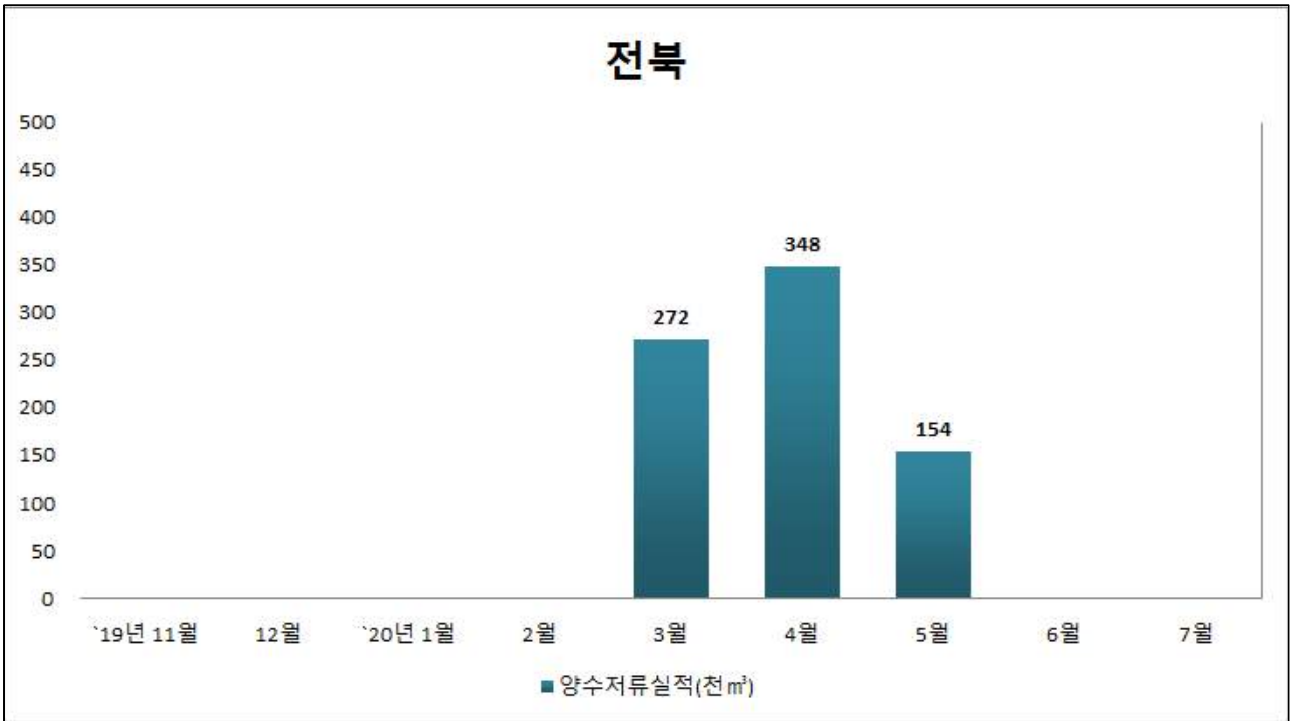
[그림 2-12-55] 2020년 충남지역 월별 양수저류 실적

- 2019년 영농기 이후 충남지역 저수율 79.9%(11.1일)로 2020년 영농기 대비 용수확보 대책 수립 대상지구(5개소)에 대해 '19년 11월부터 양수저류를 시작하였다.
- '20년 4월 중순 충남지역 저수율 98.3%를 기록하여 양수저류량을 감소 및 중단하였고 이양급수 및 본답급수로 5.31일 기준 저수율 61.2%로 하락하여 6월에 양수저류량을 실시하여 용수확보를 추진하였다.

(마) 전북지역 양수저류 실적 분석



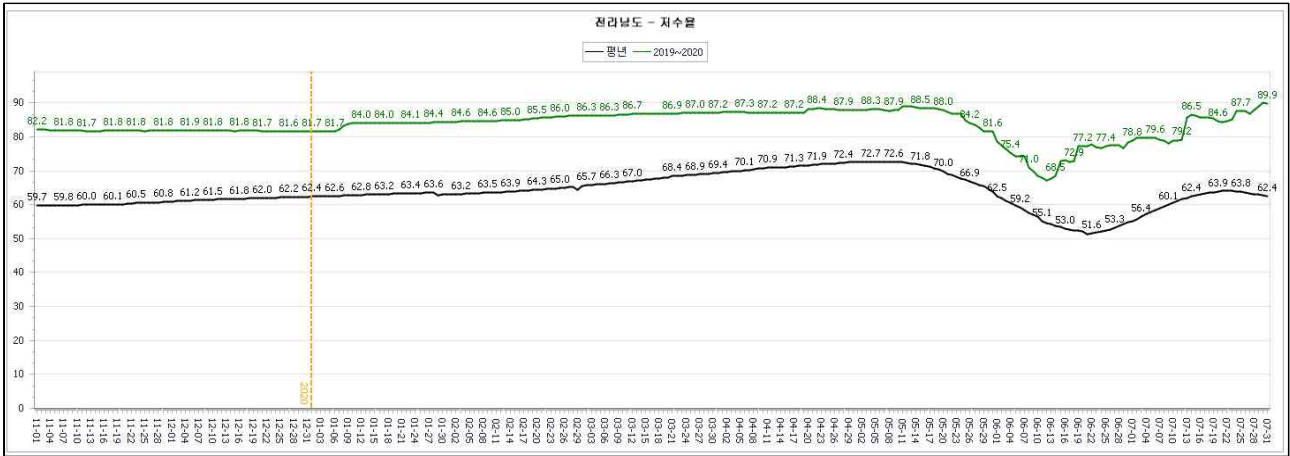
[그림 2-12-56] 2020년 영농이후 전북지역 저수율 현황



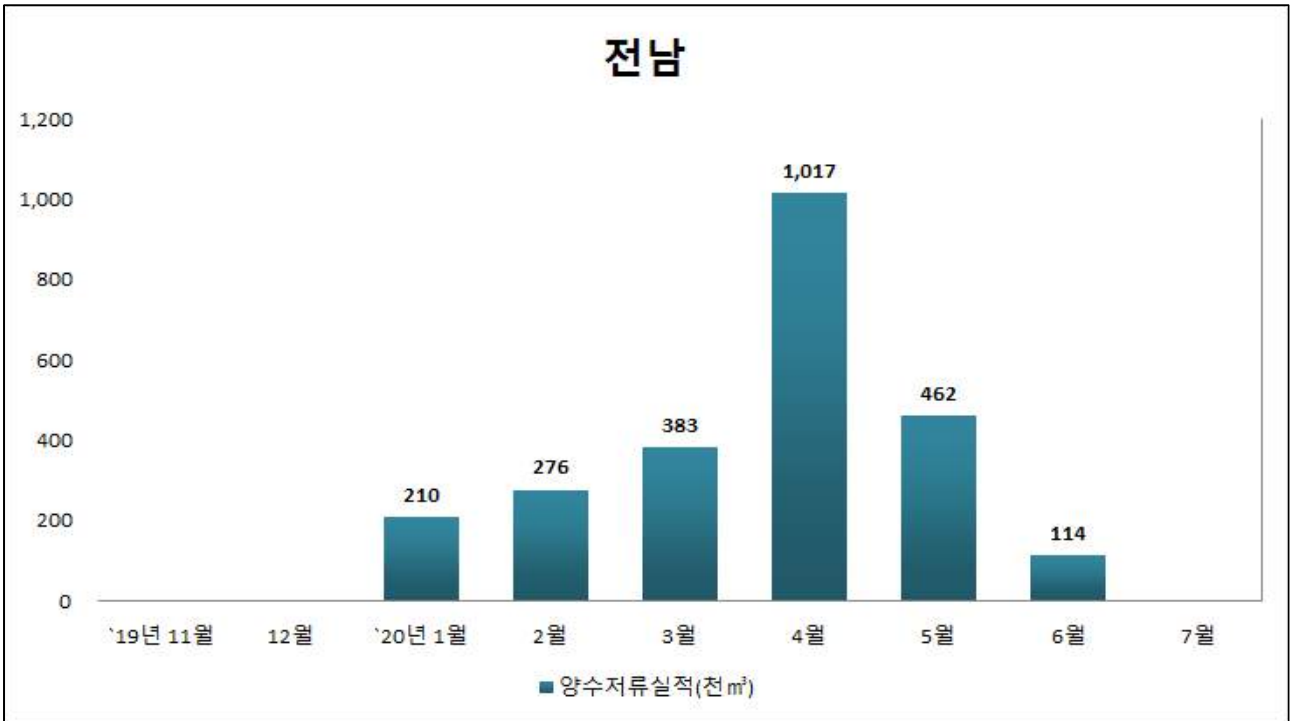
[그림 2-12-57] 2020년 전북지역 월별 양수저류 실적

- 2019년 영농기 이후 전북지역 저수율 86.2%(11.1일)로 2020년 영농기 대비 용수확보 대책 수립 대상지구(2개소)에 대해 ‘20년 3월부터 양수저류를 시작하였다.
- 전북 용수확보대책 수립 2개 지구는 개보수 사업지구로 영농기 이전 3월부터 양수저류를 시작하여 용수확보 추진하였다.
- * 전북 고창 노동저수지 3.26일 기준 저수율 0%, 5.31일 기준 저수율 38.3%, 상암저수지 3.11일 기준 저수율 16.8%, 5.11일 기준 저수율 86.2%

(바) 전남지역 양수저류 실적 분석



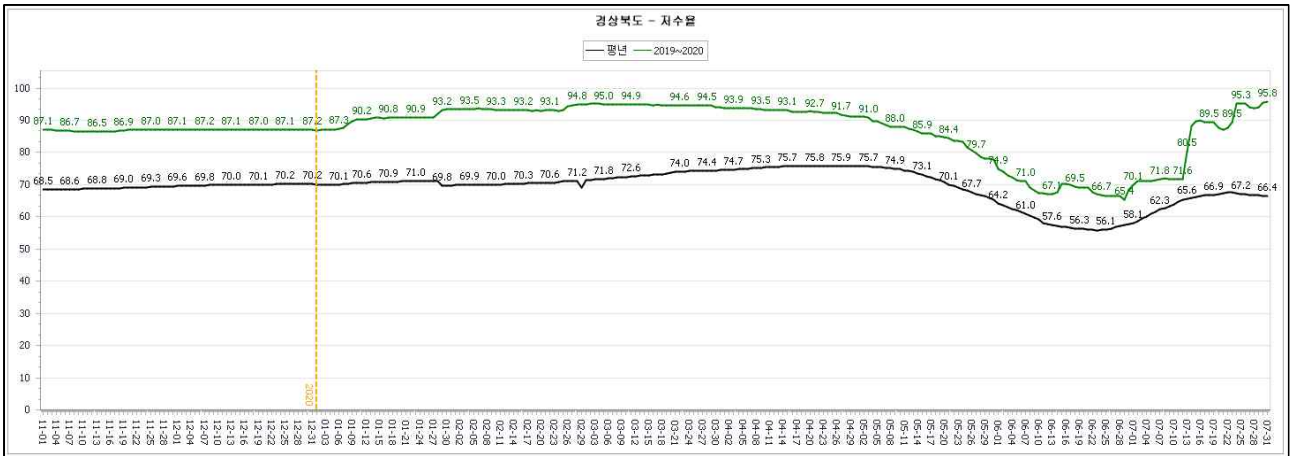
[그림 2-12-58] 2020년 영농이후 전남지역 저수율 현황



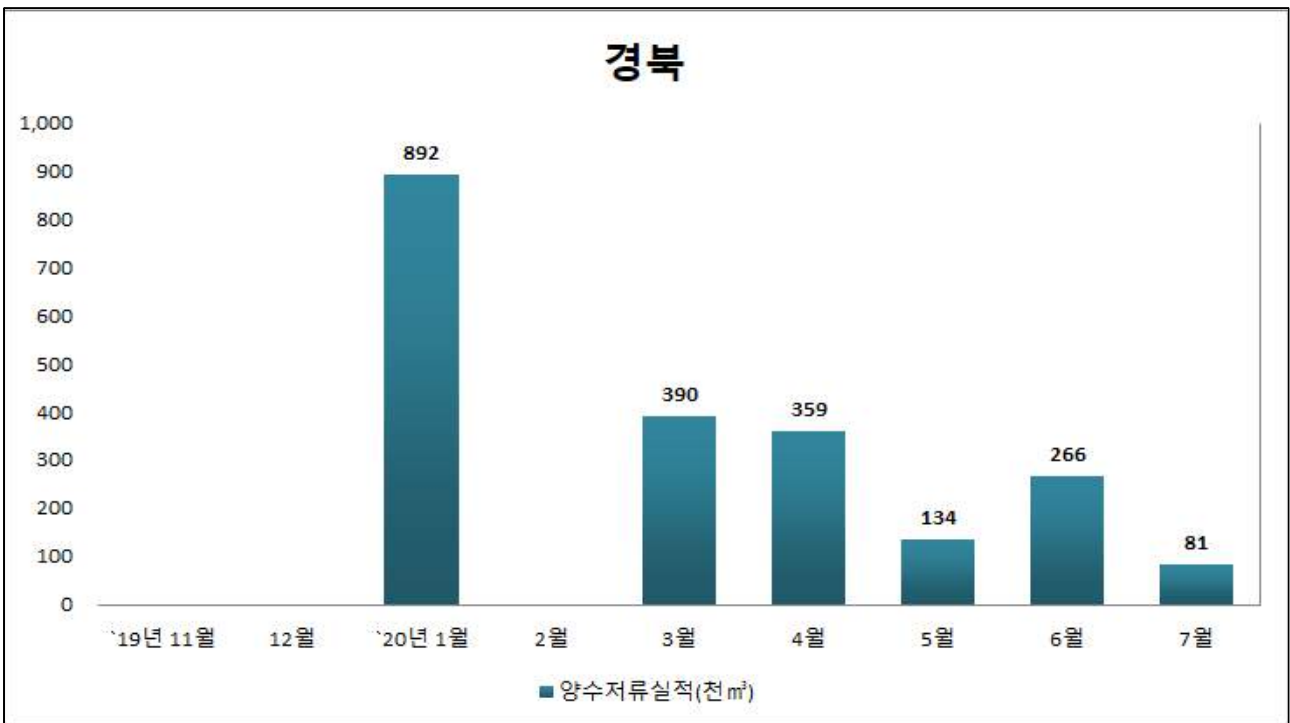
[그림 2-12-59] 2020년 전남지역 월별 양수저류 실적

- 2019년 영농기 이후 전남지역 저수율 82.2%(11.1일)로 2020년 영농기 대비 용수확보 대책 수립 대상지구(9개소)에 대해 ‘20년 1월부터 양수저류를 시작하였다.
- ‘20년 1월 전남지역 저수율 81.7%를 시작으로 양수저류를 시작하여 영농직전 4월까지 저수율 87.8%를 달성하여 이후 양수저류량을 조절하며 전반적으로 높은 8~90%대의 저수율을 유지하였다.

(사) 경북지역 양수저류 실적 분석



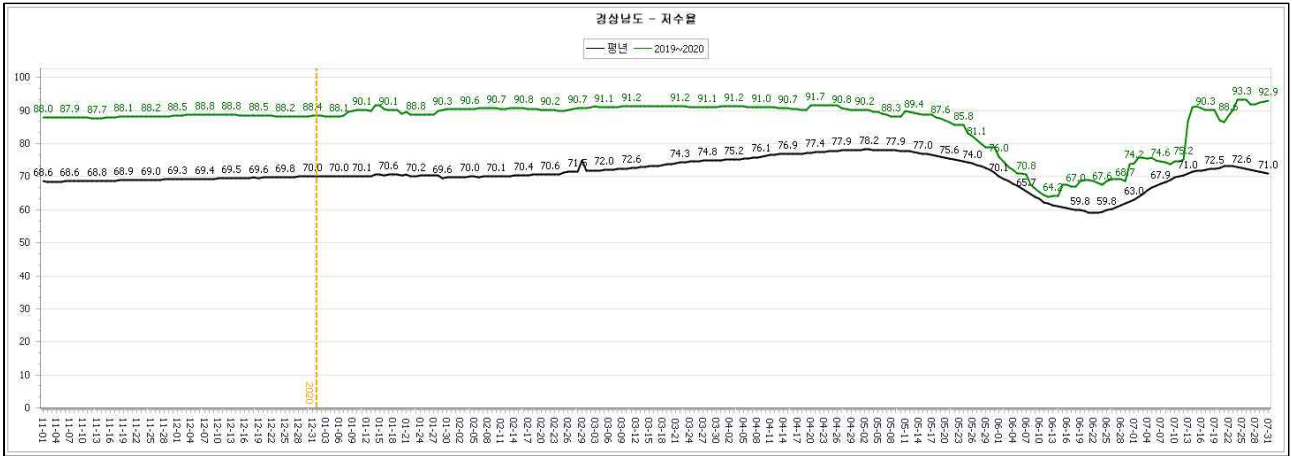
[그림 2-12-60] 2020년 영농이후 경북지역 저수율 현황



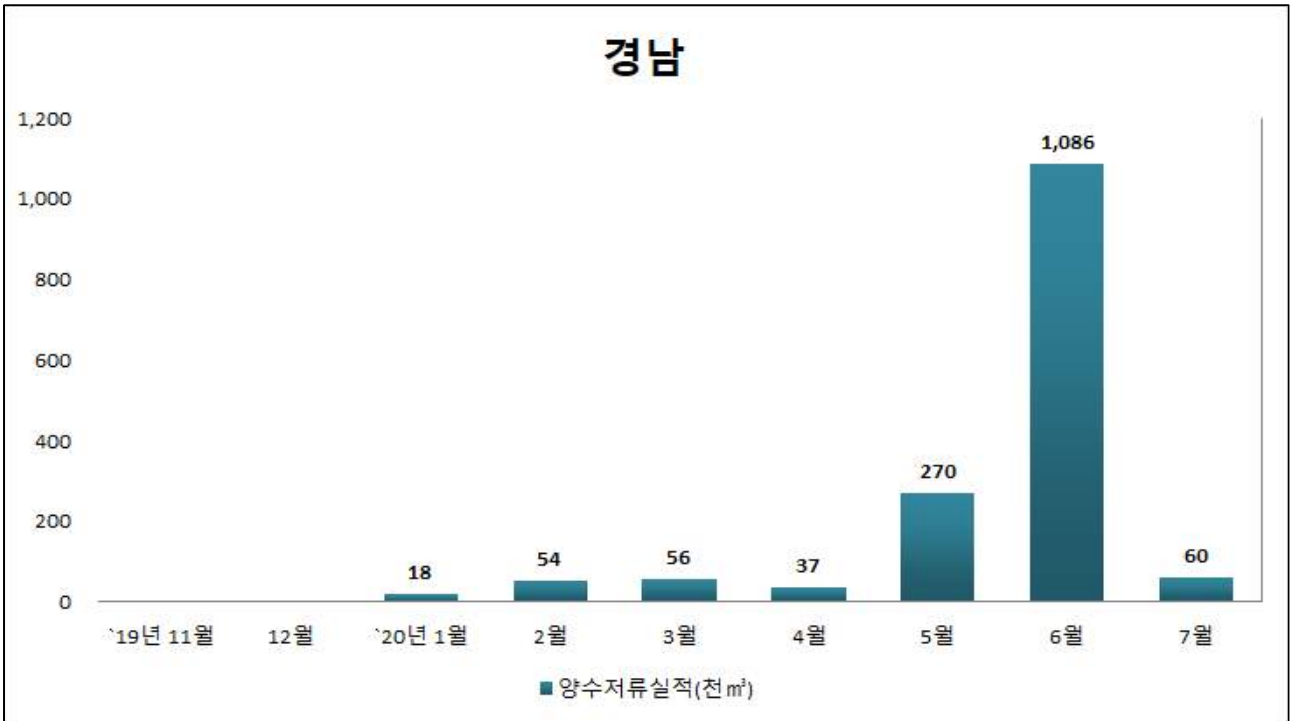
[그림 2-12-61] 2020년 경북지역 월별 양수저류 실적

- 2019년 영농기 이후 경북지역 저수율 87.1%(11.1일)로 2020년 영농기 대비 용수확보 대책 수립 대상지구(7개소)에 대해 ‘20년 1월부터 양수저류를 시작하였다.
- ‘20년 1월 경북 경주 대상지구 2개소 개보수사업 완료로 양수저류 실시하여 용수확보를 추진하였다.
- * 하곡저수지 1.1일 기준 저수율 24.0%, 1.31일 기준 저수율 55.0%, 품산저수지 1.6일 기준 저수율 2.9%, 1.31일 기준 저수율 63.7%
- ‘20년 3월부터 영농대비 양수저류를 본격적으로 실시하여 분담급수 시기에 경북지역 저수율 60% 중반을 기록하였으나, 7월 말까지 저수율 95.8%까지 회복하였다.

(아) 경남지역 양수저류 실적 분석



[그림 2-12-62] 2020년 영농이후 경남지역 저수율 현황



[그림 2-12-63] 2020년 경남지역 월별 양수저류 실적

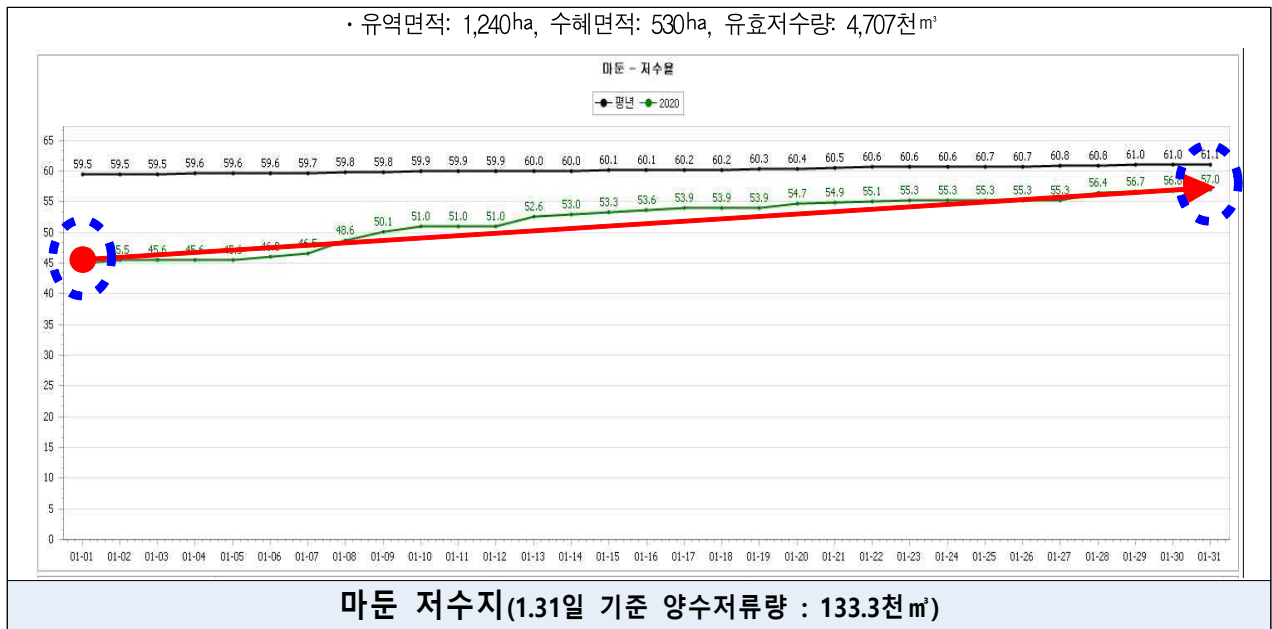
- 2019년 영농기 이후 경남지역 저수율 88.0%(11.1일)로 2020년 영농기 대비 용수확보 대책 수립 대상지구(13개소)에 대해 ‘20년 1월부터 양수저류를 시작하였다.
- 경남지역은 전반적으로 높은 90% 수준의 저수율을 유지하여 영농대비 양수저류 실적은 적으나, 본답급수로 6월 중순 저수율 67.7%를 기록하여 양수저류를 추진하여 7월 말 기준 저수율 92.9%까지 회복하였다.

(3) 시설별 양수저류 효과분석

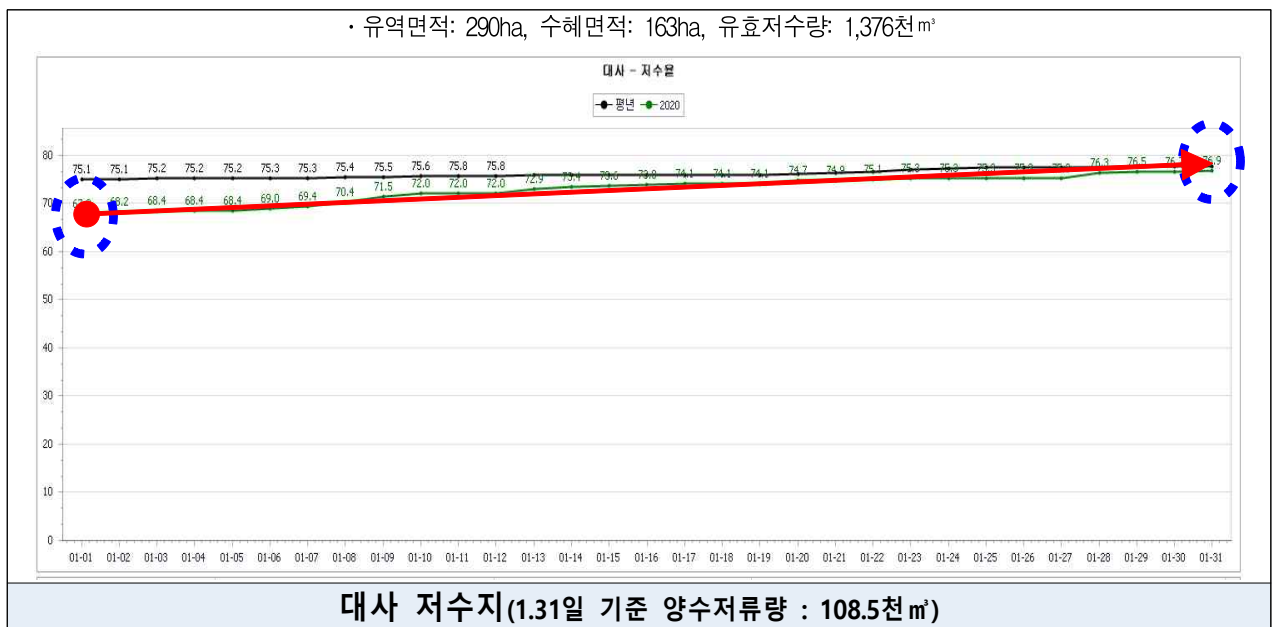
[표 2-12-46] 1월 양수저류 효과분석

지역	저수지	저수율(%)		효과 분석	
		20.1.1	20.1.31	저수율 증감(%)	저수량 증감(천 m ³)
경기 안성	마둔	45.0	57.0	12.0	564.8
충남 홍성	대사	67.9	76.9	9.0	123.8

[표 2-12-47] 1월 마둔저수지 양수저류 효과분석



[표 2-12-48] 1월 대사저수지 양수저류 효과분석

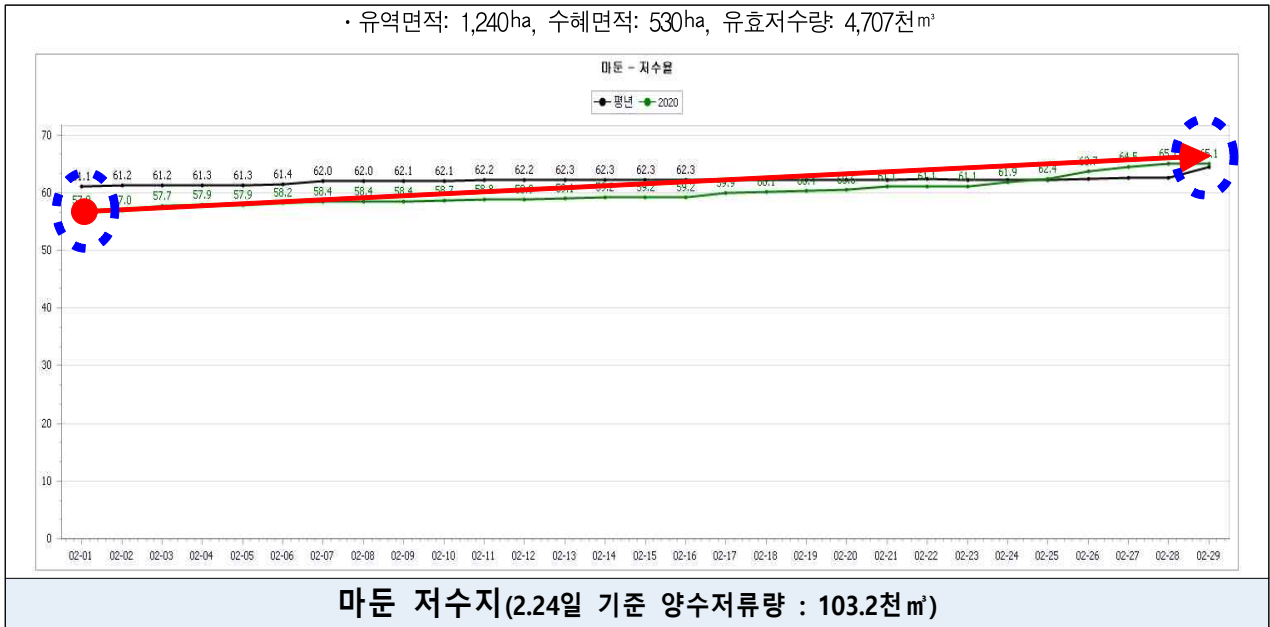


[표 2-12-49] 2월 양수저류 효과분석

지역	저수지	저수율(%)		효과 분석	
		20.2.1	20.2.28	저수율 증감(%)	저수량 증감(천 m ³)
경기 안성	마둔	57.0	65.1	8.1	381.3
전남 영광	용암	55.1	70.3	15.2	116.0

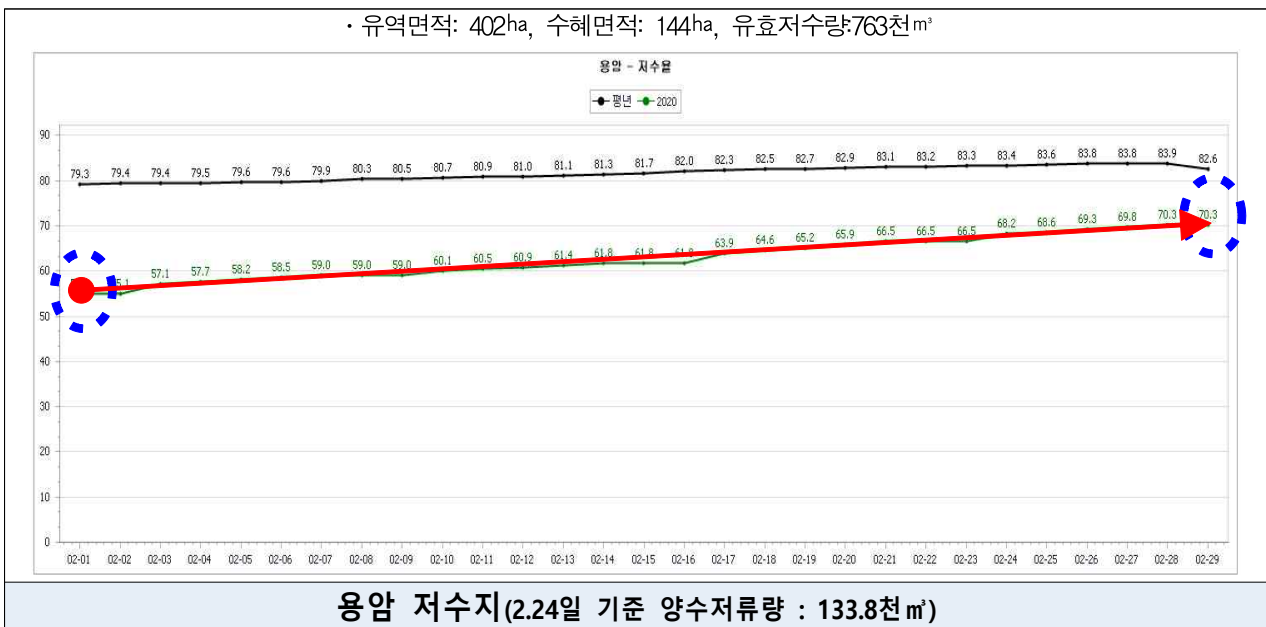
[표 2-12-50] 2월 마둔저수지 양수저류 효과분석

· 유역면적: 1,240ha, 수혜면적: 530ha, 유효저수량: 4,707천m³



[표 2-12-51] 2월 용암저수지 양수저류 효과분석

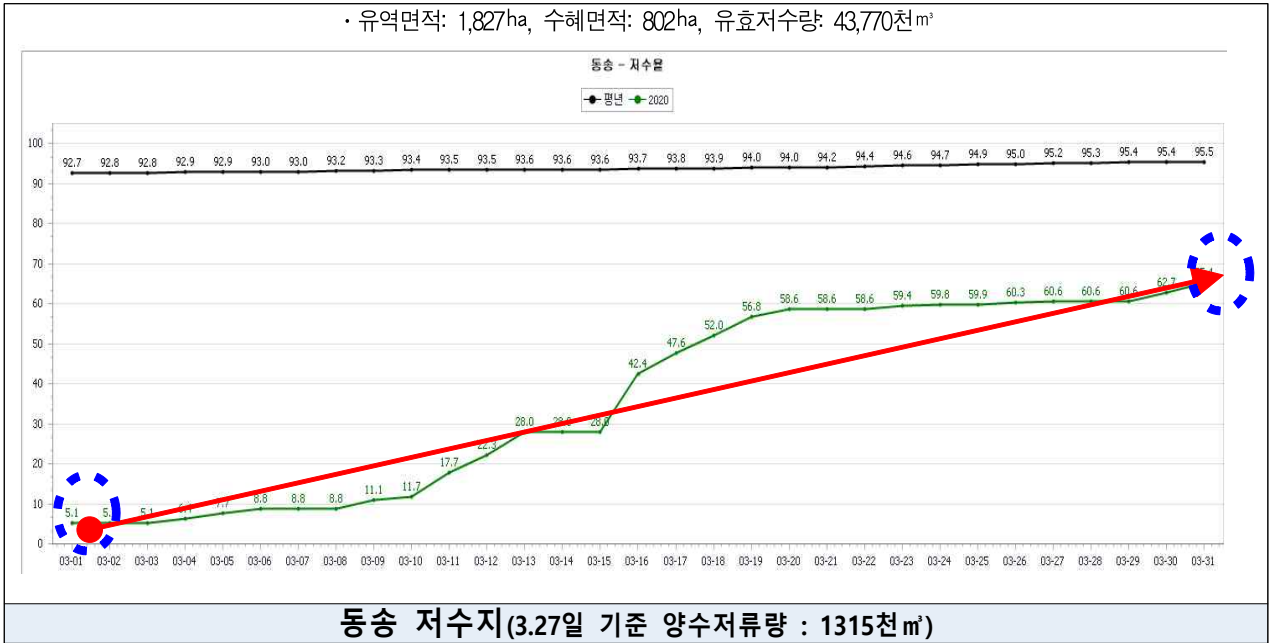
· 유역면적: 402ha, 수혜면적: 144ha, 유효저수량: 763천m³



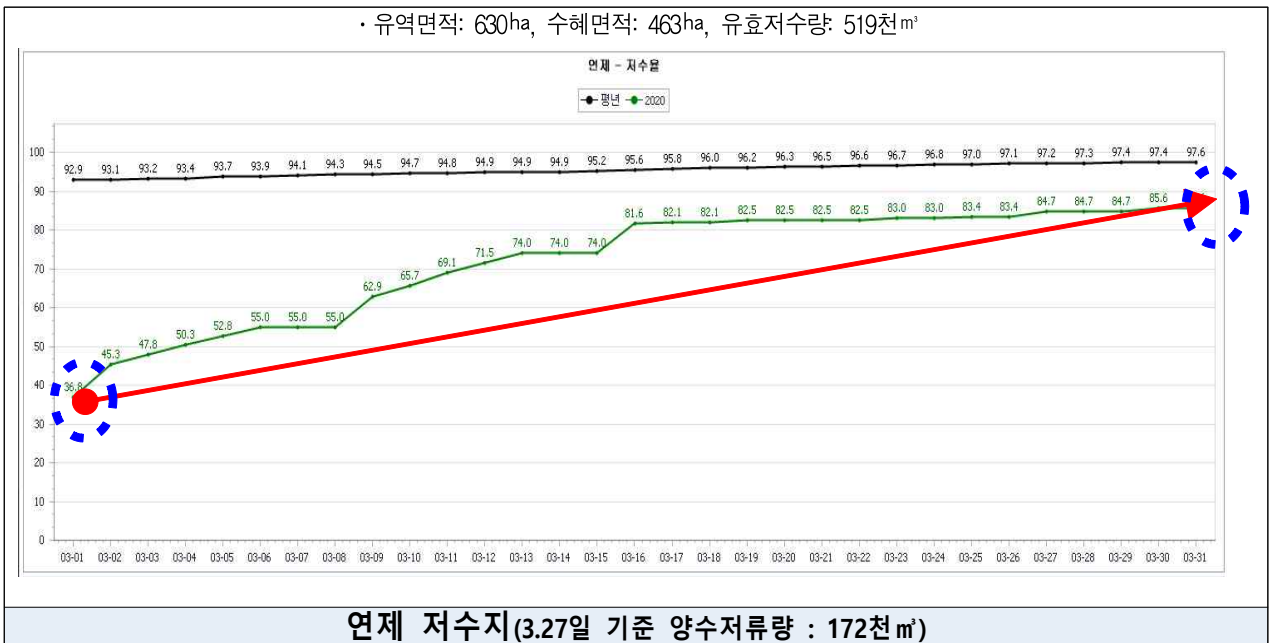
[표 2-12-52] 3월 양수저류 효과분석

지역	저수지	저수율(%)		효과 분석	
		20.3.1	20.3.31	저수율 증감(%)	저수량 증감(천㎥)
강원 철원	동송	5.1	65.4	60.3	26,393.3
충북 청주	연제	36.8	85.6	48.8	253.3

[표 2-12-53] 3월 동송저수지 양수저류 효과분석



[표 2-12-54] 3월 연제저수지 양수저류 효과분석

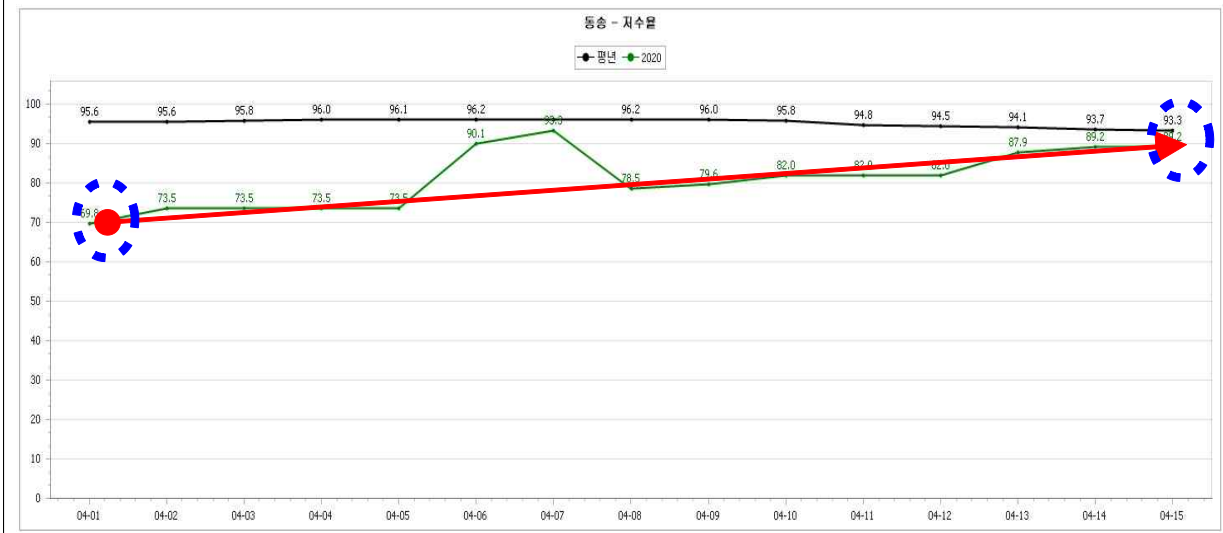


[표 2-12-55] 4월 양수저류 효과분석

지역	저수지	저수율(%)		효과 분석	
		20.4.1	20.4.15	저수율 증감(%)	저수량 증감(천 m ³)
강원 철원	동송	69.8	89.2	19.4	8,491.4
경북 경산	연	62.9	75.9	13.0	53.8

[표 2-12-56] 4월 동송저수지 양수저류 효과분석

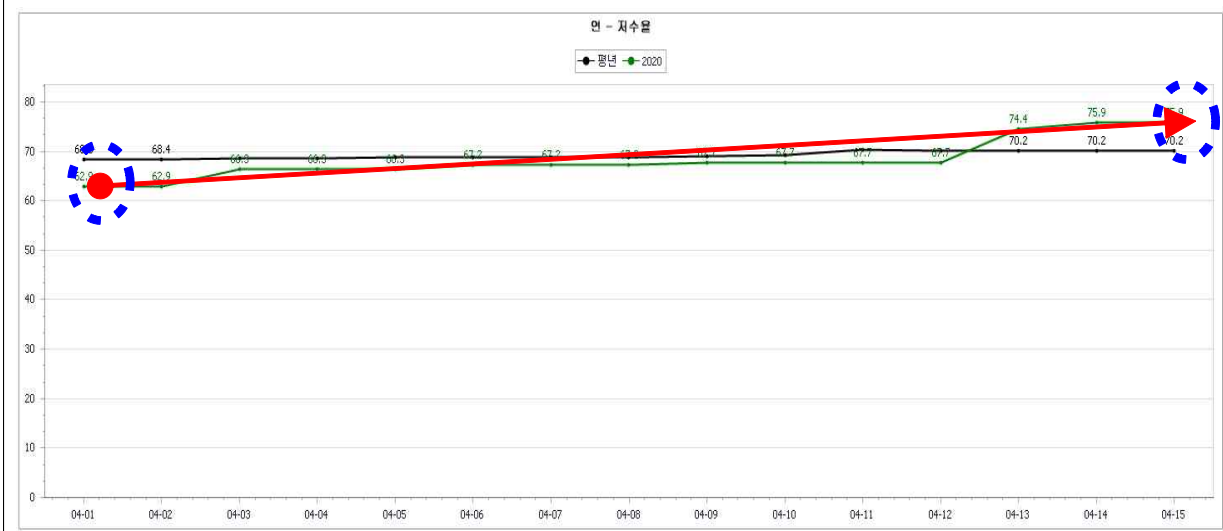
· 유역면적: 1,827ha, 수혜면적: 802ha, 유효저수량: 43,770천m³



동송 저수지(3.27일 기준 양수저류량 : 1,480천 m³)

[표 2-12-57] 4월 연저수지 양수저류 효과분석

· 유역면적: 42ha, 수혜면적: 56ha, 유효저수량: 414천m³

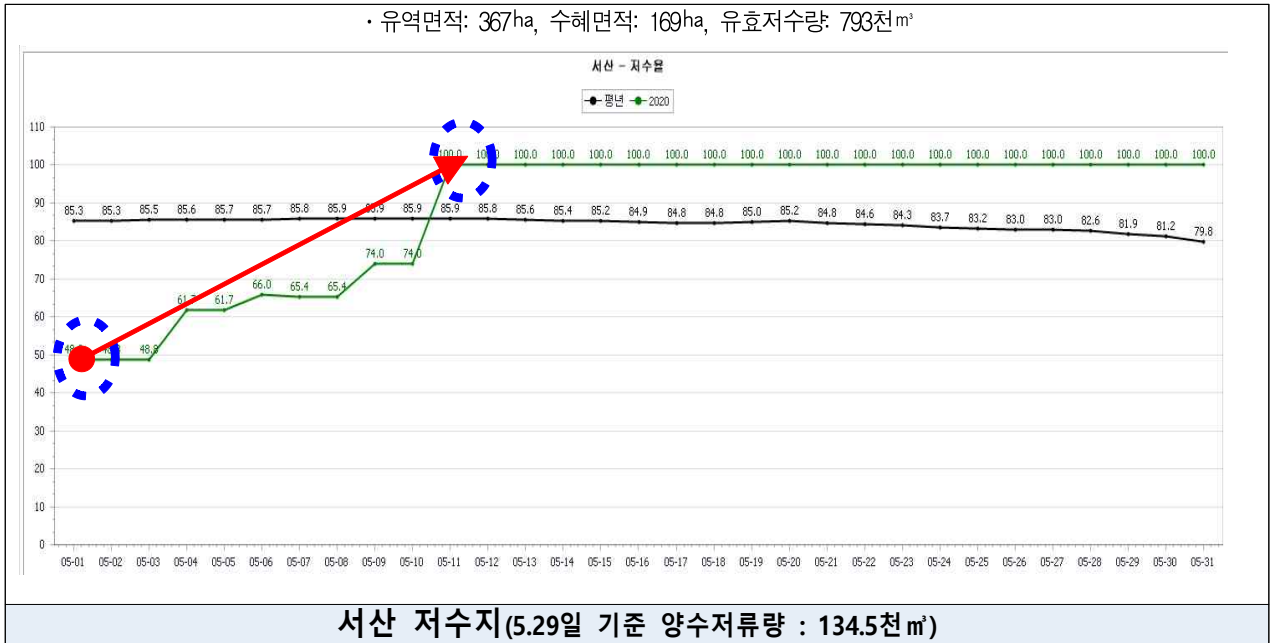


연 저수지(3.27일 기준 양수저류량 : 170.9천 m³)

[표 2-12-58] 5월 양수저류 효과분석

지역	저수지	저수율(%)		효과 분석	
		20.5.1	20.5.31	저수율 증감(%)	저수량 증감(천 m ³)
전남 장흥	서산	48.8	100.0	51.2	406.0

[표 2-12-59] 5월 서산수지 양수저류 효과분석

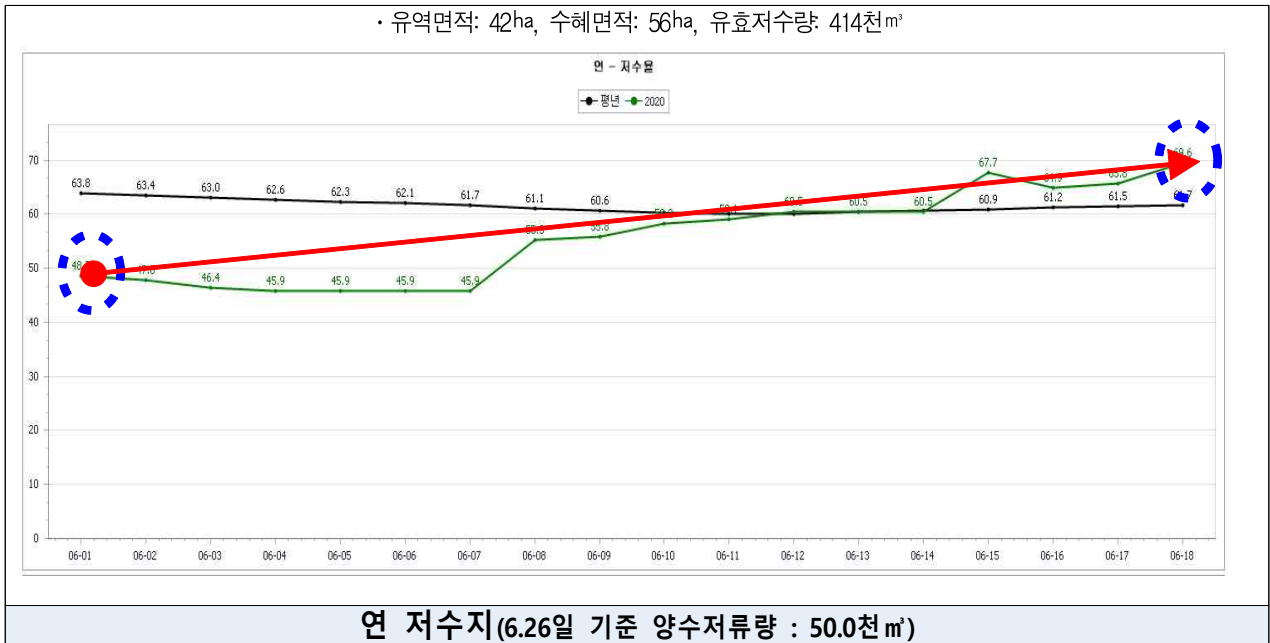


[그림 2-34] 5월 서산저수지 양수저류 효과분석

[표 2-12-60] 6월 양수저류 효과분석

지역	저수지	저수율(%)		효과 분석	
		20.6.1	20.6.18	저수율 증감(%)	저수량 증감(천㎥)
경북 경산	연	48.7	69.6	20.9	86.5

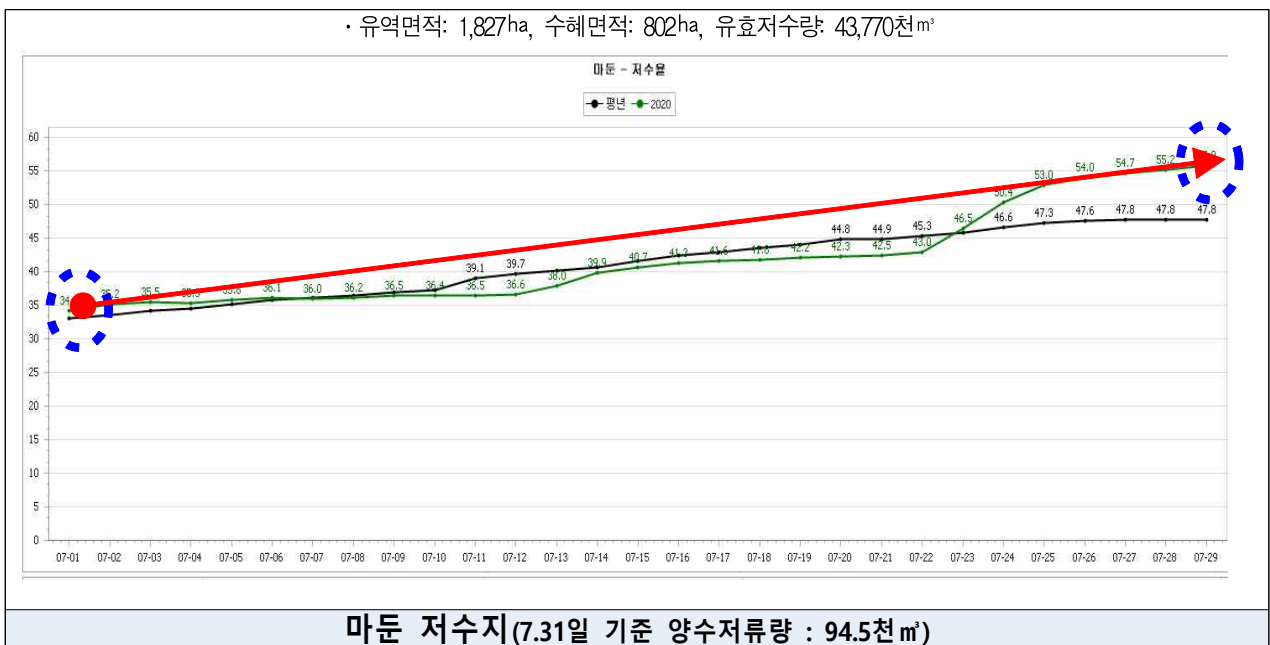
[표 2-12-61] 6월 연수지 양수저류 효과분석



[표 2-12-62] 7월 양수저류 효과분석

지역	저수지	저수율(%)		효과 분석	
		20.7.1	20.7.29	저수율 증감(%)	저수량 증감(천㎥)
경기 안성	마둔	34.2	55.9	21.7	1,021.4

[표 2-12-63] 7월 마둔지 양수저류 효과분석



제 13절. 요약 및 결론

- 본 연구개발의 최종목표는 기존 수자원을 효율적으로 활용하기 위해서 4차 산업 기술을 적용한 순환형 농업용수 관리 시스템 개발과 현장적용으로 순환형 농업용수 공급을 위한 의사결정지원기술 개발, 가뭄대응에 효율적인 농업용수의 확보 방안, 선제적 가뭄대응 및 합리적 물공급 판단을 위한 순환형 농업용수 관리 시스템의 개발, 가뭄대응을 위한 최적의 용수공급 방안 도출 현황 모니터링 및 분석의 세부목표를 포함하고 있다.
- 이를 달성하기 위하여 1차년도에는 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형 구축 및 기초 분석, 들녘 단위 최적 용수배분 산정을 위한 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축, 순환형 농업용수 관리 시스템 구성요소 개발 방안 도출 및 테스트베드 모니터링, 가뭄대응 양수저류 추진 현황 조사 및 분석을 수행하였으며,
- 2차년도는 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형 적용 및 검증, 들녘 단위 최적 용수배분 기술 도출, 순환형 농업용수 관리 시스템 구성요소 개발 및 테스트베드 적용성 검증, 농업용수 관리 현황 조사 및 분석 연구를 실시하였다.
- 1차년도 및 2차년도 연구수행 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 순환형 농업용수 공급가능량 산정모형 구축 및 기초 분석

- 농업용수 공급 및 관리 현황 조사를 위하여 농업용수의 일반적 특성, 공급현황, 관리현황 등을 분석하였고, 순환형 농업용수 관리시스템 구축을 위한 테스트베드 선정을 위하여 관개지구특성, 용수특성, 양수특성 등을 고려하여 경기도 안성시 마둔저수지와 충청남도 홍성군 대사저수지, 충청남도 서산시 풍전저수지를 테스트베드로 최종 선정하였다.
- 순환형 농업용수 공급 가능량 산정 모형 구축을 위하여 DIROM 모형과 SWAT 모형을 최종 선정하였으며, 테스트베드 적용을 위한 데이터 구축 및 기초분석으로 모형의 신뢰성을 확인하여 기초분석을 완료하였다.
- 순환형 농업용수 공급 가능량 분석을 위하여 DIROM 모형과 SWAT 모형을 이용하여 경기도 안성시 마둔저수지, 충청남도 홍성군 대사저수지, 충청남도 서산시 풍전저수지의 월별 일단위 농업용수 공급 가능량을 산정 제시하였다.

2. 들녘 단위 최적 용수배분 산정을 위한 순환형 농업용수 네트워크모형 구축

- 들녘단위 용수배분 기준의 기존 사례 조사는 국내 사례와 국외 사례로 구분하여 조사하였고, 국내 사례로는 한국농어촌공사의 농업용수 배분사례를 분석하였으며, 국외 사례로는 일본의 들녘단위 용수배분 사례를 조사하였다.
- 순환형 농업용수 네트워크 모형을 위하여 자연하도, 개수로, 관로 등 수로구조물 등과 더불어 저류지, 펌프, 오리피스, 위어 등으로 구성된 관개 네트워크를 부정류 흐름으로 해석할 수 있는 SWMM 모형을 도입하고, 테스트베드인 경기도 안성시 마둔저수지와 충청남도 홍성군 대사저수지의 네트워크 모형 구축을 완료하였다.
- 또한 용수계통의 단순화가 네트워크 모형에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 네트워크 모형의 민감도 분석을 실시하여 효율적 네트워크 모형 구축의 기초자료를 제시하였다.

3. 순환형 농업용수 관리시스템 구성요소 개발방안 도출 및 테스트베드 모니터링

- 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 활용 현황조사는 수위측정 센서 및 장치와 유속·유량측정 센서 및 장치, 수로 유량 조절 장치, 물꼬제어 장치, 증발량 측정 센서 및 장치를 검토하였고, 농업용수 관리시스템 현황을 분석한 결과 농업기반시설관리시스템 (RIMS), 농촌용수종합정보시스템 (RAWRIS), 용수시설통합운영관리시스템 (TOMS), 농업가뭄관리시스템 (ADMS)이 ICT 기반으로 구축되었으며, 각 시스템의 특징을 분석하였다.
- 테스트베드 현장실증을 위한 필요 센서 및 장치 구성은 고정형 양수저류 원격제어 장치와 이동형 양수저류 방안을 도출하였으며, 고정형 양수저류 원격제어장치는 기존 시설물의 현장모니터링 및 원격제어 장치 기능을 수행할 수 있도록 하였고, 이동형 양수저류 장치는 수원공을 찾아 신속하게 이동할 수 있는 구조로 차량에 탑재 가능하고 운용의 편의를 높이기 위하여 자동호스 릴을 시범제작 하였다.
- 테스트베드에 양수장 펌프 제어를 위한 초음파 수위계와 펌프로부터 저수지로 토출되는 관수로의 유량을 측정할 수 있는 초음파 유량계를 선정 설치하여 모니터링이 가능토록 하였고, 대상지구의 지도 및 관개 용수계통을 GIS 기반으로 계측자료 표출이 가능하도록 시스템을 구성하였다.
- 양수장까지 포함된 순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치로는 수위계측, 관수로 유량계측, 수로부 수위 또는 유속 계측 센서 및 장치와 이들 센서 및 장치로부터 데이터베이스(순환형 물관리시스템)와 연계되거나 모바일과 연동될 수 있는 제어, 자료취득 등이 가능한 RTU로 구성하였다.

4. 가뭄대응 양수저류 추진현황 조사 및 분석

- 국외 양수저류 추진현황은 일본 시가현, 차바현과 호주를 대상으로 실시하였고, 국내 양수저류 추진현황은 최근 2개년동안의 지역별로 총 323개소의 양수저류 추진현황을 조사 분석하였다.
- 지역별 양수저류 추진 지구 대상 가뭄상황 및 양수시기 조사분석 결과 경기 남부, 충남 서북부지역 시군에서 저수상황이 매우 저하 되어 물 부족이 발생되었고, 양수시기를 분석한 결과 비관개 기간인 11월부터 이듬해 6월까지의 양수가 상대적으로 많이 이뤄진 것으로 조사되었다.

5. 순환형 농업용수 공급가능량 산정모형 적용 및 검증

- 순환형 농업용수 공급가능량 산정을 위하여 관개기와 비관개로 구분하여 의사결정요소를 구분하여 정의하였다. 관개기의 경우 평야부의 용수공급 후 버려지는 퇴수의 재이용을 위하여 재이용 수량 및 위치 등을 파악할 수 있는 항목을 설정하였고, 비관개기는 저수지 양수저류를 목적으로 일 가용수량, 목표수위를 달성하기 위한 양수일수 등을 시계열로 분석하여 운영자가 합리적 판단이 가능토록 표출하였다.
- 비관개기 양수저류를 목적으로 마둔, 풍전, 대사 저수지의 양수저류 가능량 분석을 위하여 시범지역별 강수량자료를 표준화하고 검증한 결과 0.9이상의 높은 상관성을 나타내었으며, 이를 이용하여 강우유출모형 분석을 수행하였다. 이를 통해 시범지역의 비관개기인 10~4월까지의 가용수량을 산정하였고, 저수지 유입량을 고려한 양수저류 일수와 양수량을 제시하였다.
- 관개기의 경우 수로공급, 필지공급, 배수량을 간선 및 지선별로 분석하였다. 그 결과 필지공급과 배수량이 수로공급량 대비 7:3정도 되는 것으로 분석되었고, 이를 통해 수로 및 필지별 가용수량을 분석하였다.
- 농업용수 배분에 따른 경제효과를 분석하기 위하여 먼저 농업용수의 다원적 기능 및 외부효과, 가치와 비용, 외부효과의 분류를 분석하였고, 농업용수 확보를 위한 비용분석을 위하여 대표적 시설인 저수지와 양수장의 구축비용을 기초자료로 사용하였다. 그 결과 저수지 구축의 단위면적당 사업비는 약 100,000천원/ha이었고, 양수장은 48,000천원/ha로 나타났다. 저수지의 구축비용이 상대적으로 높은 이유는 토지매입 등과 같은 보상비가 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다.
- 저수지 관개에 따른 용수사용량을 분석하였을 때 관행적방식과 수문조작(순환관개) 방식은 농업용수 절감에 큰 차이를 보였고, 이를 금액으로 환산한 결과 약 2배 정도 절감되는 것으로 나타났다.

6. 들녘단위 최적 용수배분 기준 도출

- 들녘에서 관개수로의 분기와 형태에 따른 정량적인 최적의 물분배 탐색을 위해 수리학적 순환형 네트워크 모형을 도입하였으며, 충남 풍전저수지 및 대사저수지와 경기도 마둔저수지의 수혜지구를 대상으로 모형을 적용하였다.
- 순환형 네트워크 모형의 시나리오 및 입력자료 구축을 위해 논물수지 및 강우유출 모형을 통하여 대상지구의 용수공급량 및 회귀율을 분석하였다.
- 대상지구의 관개관행을 분석하기 위하여, 개미군집 최적화 알고리즘을 도입하여 관측저수율자료에 적합하도록 저수율 추적을 하였으며 이를 바탕으로 대상지구의 작부시기 및 손실수량 등을 추정하였다.
- 구축된 순환형 네트워크 모형의 분석을 통하여 최적의 수문제어 방법을 도출하기 위한 기초단계로서, 고정되어 있는 수문의 최적개도율을 산정하였으며 향후 이를 바탕으로 수문제어 방법에 따른 용수배분 효율을 분석할 예정이다.
- 순환형 네트워크 모형의 앙상블 모의분석을 통하여 대상지구의 관개만족도와 취약 필지를 정량적으로 분석하였으며, 이를 바탕으로 양수급수가 필요한 지역을 도출하였다. 향후 양수급수상황을 순환형 네트워크 모형에 도입하여 양수급수에 따른 관개만족도 변화를 분석할 예정이다.
- 시범지역인 마둔저수지의 수혜지역의 관측 데이터를 이용하여 수리네트워크 모형의 타당성을 검증하였으며, 간선 및 지선의 유량이 유사하게 모의되는 것을 확인하였다. 다만 관행적인 물꼬조작의 제한적인 모형화로 인해 모형의 한계 또한 확인할 수 있었다.

7. 순환형 농업용수 관리시스템 구성요소 개발 및 테스트베드 적용성 검증

- 계측장비 중 현장에 가장 적합한 것을 선정하기 위해서는 정확도, 비용, 계측할 유량 범위, 현장 조건에 적합한 전원 및 통신방식, 계측 항목과 기록 형식, 운영요건, 유사 및 부유물 통과 능력, 주어진 환경에서 장비의 수명, 유지관리요건, 시공과 설치 조건, 문제해결과 보수, 새로운 방법에 대한 사용자 숙달도, 파손 가능성, 주변 환경에 대한 영향 등을 분석하였다.
- 시범지구인 풍전저수지 평야부, 대사저수지 평야부, 모월저수지 평야부, 산동양수장에 수위계 2개소, 유량계 3개소를 선정하여 설치하였으며 용수로, 계측기 위치, 계측자료 등을 실시간으로 모니터링이 가능한 시스템을 개발하였다.
- 시범지구 마둔저수지, 대사저수지, 풍전저수지(모월저수지 포함)에 대한 네트워크를 구축하였으며 이를 바탕으로 순환형 농업용수 관리를 위한 의사결정지원이 가능한

분석 파일럿 시스템을 개발하였다.

- 수위정보를 받아서 펌프의 on/off를 제어하고 펌프의 구동시간, 유량 등의 모니터링 자료를 전송하는 원격제어시스템을 개발하여 시범지구인 풍전저수지 산동양수장에 설치하여 적용하였다.
- 저류지, 소하천 등의 취수원에서 지근 거리의 용수로에 직접 공급하여 가뭄 발생시 소규모 수혜지역에 공급할 수 있는 이동이 가능한 이동식 양수장치 시제품을 제작하였다.

8. 농업용수 관리 현황 조사 및 분석

- 우리나라의 용도별 수자원 이용현황을 살펴보면 농업용수의 비율은 약 60%정도로 높은 이용량을 나타내고 있다. 반면 국내 농촌은 인구의 감소 및 고령화, 농지이용의 다변화, 기후변화 및 수리시설의 노후화 등에 의해 전반적인 농업과 이에 따른 용수관리가 미흡한 실정이지만 정부 및 관련 기관의 지속적인 현대화와 구조화를 실시하고 있다.
- 담 면적의 경우 2007년 이후 매년 감소하는 추세이지만 수리담 및 수리안전담의 비율은 매년 증가하는 추세이다. 수리담 면적을 지역별로 살펴보면 전남, 충남, 전북 등의 순으로 높게 나타났고, 수리담 비율은 경남, 충북, 경북 등의 순으로 분석되었다. 또한 수리안전담은 수리불안전담에 비해 가뭄발생도가 약 3배이상 낮은 것으로 분석되었다.
- 농업용수 손실의 경우 구조적 원인과 비구조적인 원인에 의해 발생되는데, 구조적 현상은 크게 수로바닥 및 비탈면 삼투, 누수, 월류, 유속감소 등이 있고, 비구조적 현상은 농민의식부족, 물꼬관리, 부적절 관개, 인력 및 예산부족 등이 있었다.
- 평시 물관리 및 급수요령을 분석한 결과 경작지 필요수량 공급을 원칙으로 최적의 물관리를 실시하고 잉여수량 파악 및 최적활용 등이 있었고, 가뭄시에는 물부족 예상지역 관리 기준, 가뭄 집중관리지구 관리 기준, 장비 점검 및 정비 관리 기준, 상습가뭄지역 중장기계획 수립 관리 기준, 교육홍보 등을 수립 운영하여 극복하는 것으로 나타났다.
- 양수저류 대상지구 우선순위는 대상 선정기준을 설정하는데, 구체적으로는 가뭄우려지역, 과거 가뭄피해 발생지역, 사업비의 적정성, 설치효율성 및 시급성, 지원 필요성을 토대로 Case분석을 실시하여 선정하는 것으로 나타났다.

9. 요약 및 결론

- 기상이변에 따른 가뭄의 상습화와 농촌용수 수요증가에 대비할 수 있는 가뭄대책의 수립을 통한 용수부족 문제에 대한 근본적인 해소가 필요한 가운데 본 연구에서는 기존 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 4차산업 기술을 적용한 순환형 농업용수 관리 시스템을 개발하고 현장에 적용하고자 하였음
- 이를 위하여 순환형 농업용수 공급 의사결정지원기술 개발, 가뭄대응에 효율적인 농업용수 확보 방안 제시, 선제적 가뭄대응 및 합리적 물공급 판단을 위한 순환형 농업용수 관리 시스템의 개발, 가뭄대응 최적 용수공급 도출을 위한 현황 모니터링 및 분석을 수행하였고, 연구결과를 요약하면 다음과 같음
- 국내 농업용수 수요량은 총 용수수요량의 약 60%를 차지하고 있어 기후변화 및 가뭄 시 농업용수에 미치는 영향은 매우 크며, 최근 전국적으로 논 및 수리답의 면적이 지속적으로 감소하고는 있지만 경작면적과 관계없이 필요수량은 꾸준한 수량을 유지하고 있음
- 순환형 농업용수 관리시스템 구축을 위한 테스트베드를 선정하기 위하여 관개지구의 특성, 용수특성, 양수특성을 고려하여 농업용 저수지의 유형을 분류하여 지역군을 경기도, 충청남도로 1차 선정 후 과거 가뭄이력과 양수운영 특성을 고려하여 경기도는 안성시 마둔저수지, 충청남도는 홍성군 대사저수지와 서산시 풍전저수지를 최종 선정하였고, 테스트베드의 수원공 일반현황, 저수지 저수율 분석, 양수저류 실적 등을 분석함
- 순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 구축을 위해 강우유출모형인 DIROM(Daily Irrigation Reservoir Operation Model)과 SWAT(Storm Water Assesment Tool)을 적용하여 저수지 유입량을 토대로 검보정을 실시하고 하천유입량을 토대로 순환형 농업용수의 시기별 공급 가능량을 제시
- 네트워크 모형 구축을 위해 한국농어촌공사 농업용수 배분 사례와 일본의 들녘단위 용수배분 사례를 조사한 후 용수로 네트워크 흐름을 정량적으로 분석 가능한 수리해석 모델인 SWMM(Storm Water Management Model)으로 수원공, 수로부, 들녘, 수문 등을 구축하였음
- 순환형 농업용수 관리 시스템 구성요소 개발 및 테스트베드 모니터링을 위해 농업용수 센서 및 장치 활용현황을 살펴본 결과 부자식 수위계, 정전용량식 수위계, 초음파식 수위계, 레이더식 수위계, 압력식 수위계, 고정밀 음파식 수위계, 프로펠러 유속계, 전자 유속계, 도플러식 유속계, 표면 유속계, 다채널 유량측정기, 초음파 도플러 자동유량측정장치, 수로 유량조절장치 등을 조사하였고, ICT, IoT, 빅데이터

- 기반의 활용사례와 농업용수 관리현황을 분석 후 테스트베드의 현장실증을 위한 센서 구성방안으로 고정형 양수저류 원격제어장치와 이동형 양수저류 장치를 개발 적용함
- 국외 양수저류 추진현황으로 일본, 호주의 사례를 제시하였고, 국내 양수저류 추진 현황을 한국농어촌공사의 지역본부별, 지사별로 추진실적을 검토한 결과 2017년 양수저류실적은 24,986천m³이고 2018년도는 46,795천m³으로 증가한 것으로 분석됨
 - 순환형 농업용수 공급가능량 산정 의사결정요소로 비관개기 양수저류와 관개기 직접급수에 대해 구분하여 항목을 설정하였고 비관개기 저수지 수위, 가용수량, 펌프 용량, 강우시나리오 등을 토대로 테스트베드의 저수지 회복능력을 검토하였으며 농업용수 배분에 따른 경제효과를 분석한 결과 70mm 담수심을 만족하기 위한 단기 모의 시 최적용수공급방식은 관행적 용수공급방식에 비해 약 7천만원정도의 절감 효과를 보이는 것으로 분석되었고, 농업용수 확보를 위한 양수장 구축비용은 저수지 신규축조비용 대비 단위면적당 50%이상의 절감효과를 나타내는 것으로 분석됨
 - 들녘 단위 모의 시나리오 구축을 위하여 최적화 알고리즘을 이용하여 대사, 풍전, 마둔저수지의 저수율을 추적하고 작부시기 및 관개관행에 대하여 시나리오를 구축하였으며, 이를 토대로 양상불 모의분석에 의한 관개용수공급 관개만족도를 분석한 결과 마둔저수지 75%-97%, 대사저수지 70%-94%, 풍전저수지 73%-83%의 결과를 나타냄
 - 가뭄시 순환형 농업용수의 효율적 사용, 평시 물부족 구역의 보충급수 공급 등 저비용·고효율의 ICT기반 이동식 양수장치를 개발하여 일 2,000m³의 용수공급이 가능토록 제품화 하였고 시연회를 통해 실무의견을 반영코자 하였음 또한 이동형 양수장치를 기존 가뭄시기에 투입되는 용수공급차량과 비교한 결과 약 25대 분량의 용수공급 효과를 나타냄
 - 효율적 농업용수 및 양수저류 관리 기준을 마련하기 위하여 용수관리 업무영역, 업무분류 등을 구분하였고, 용수관리 정보 표준화 대상 및 신규 적용방안을 제시함
 - 본 연구과제에서는 기존 농업용 저수지와 같은 주수원공의 공급만으로 부족이 예상될 경우 최적 용수관리기준에 의거하여 공급량을 사전에 예측 관리할 수 있는 기술을 확보하고 활용할 수 있는 장치의 개발과 관리시스템을 구축하여 농업가뭄 대응능력을 향상시키고자 하였음
 - 이를 통해 물관리자는 언제, 어디서, 얼마만큼 농업용수를 공급하고 재이용할 수 있는지에 대한 판단체계의 활용으로 가뭄에 대한 사전 대응 능력이 향상될 것으로 판단됨

제 3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표

가. 최종목표 : 기존 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 4차산업 기술을 적용한 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 현장 적용

나. 세부목표 :

- 순환형 농업용수 공급 의사결정지원기술 개발
- 가뭄대응에 효율적인 농업용수 확보방안 제시
- 선제적 가뭄대응 및 합리적 물공급 판단을 위한 순환형 농업용수 관리 시스템 개발
- 가뭄대응 최적 용수공급 도출을 위한 현황 모니터링 및 분석

2. 목표 달성여부

구분	세부목표	가중치	평가의 착안점 및 기준	달성율
1차 년도	순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 구축 및 기초분석	20%	농업용수 공급 및 관리 현황 조사 여부	100%
			순환형 농업용수 공급가능량 분석 여부	100%
			순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 구축 및 기초 분석 여부	100%
	들녘 단위 최적 용수배분 산정을 위한 순환형 농업용수 네트워크 모형 구축	17%	들녘단위 용수배분 기준 기존 사례 조사 건수	100%
			순환형 농업용수 네트워크 모형 구축 여부	100%
	순환형 농업용수 관리 시스템 구성요소 개발 방안 도출 및 테스트베드 모니터링	56%	농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 활용 현황 조사 여부	100%
			IoT, ICT, 빅데이터를 이용한 농업용수 관리시스템 현황 분석 여부	100%
			테스트베드 현장실증을 위한 필요센서 및 장치 구성방안 도출 여부	100%
			테스트베드 현장 모니터링을 위한 계측기 설치 및 모니터링 시스템 개발 여부	100%
			순환형 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치 목록 분석 여부	100%
가뭄대응 양수저류 추진 현황 조사 및 분석	7%	국내외 지역별 양수저류 추진 현황 자료 수집 및 조사 여부	100%	
		지역별 양수저류 추진 지구 대상 가뭄상황 및 양수시기 조사 분석 여부	100%	

구분	세부목표	가중치	평가의 착안점 및 기준	달성율
2차 년도	순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 적용 및 검증	20%	순환형 농업용수 공급가능량 산정 의사결정 분석 여부	100%
			순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 테스트 베드 적용 및 검증 여부	100%
			최적 농업용수 배분에 따른 경제 효과 분석 여부	100%
	들녘 단위 최적 용수배분 기준 도출	18%	가뭄 및 평시 강우 패턴 시나리오 구축 여부	100%
			농업용수 네트워크 모형 앙상블 모의분석 실시 여부	100%
			시범지역 관측 데이터를 이용한 네트워크 모형 검증 정확도	100%
	순환형 농업용수 관리 시스템 구성요소 개발 및 테스트 베드 적용성 검증	57%	펌프, 관로, 저수지, 수로 현황 모니터링 자료를 활용한 원격제어 시스템 구축 여부	100%
			순환형 농업용수 관리를 위한 이동식 양수장치 시작품 개발 여부	100%
			농업용수 모니터링 센서 및 장치 시작품 적용성 검증 여부	100%
			대상 영역별 필요 센서 및 장치 조합에 따른 비용 분석 여부	100%
	농업용수 관리 현황 조사 및 분석	5%	전국 농업용수 관리 현황 조사 및 분석 여부	100%
			평시, 가뭄시 들녘별 용수 공급 관행 조사 및 분석 여부	100%
			지역별 시기별 필요 용수량 및 용수공급 비교 분석 여부	100%
3차 년도	순환형 농업용수 공급가능량 산정 모형 적용 및 검증	20%	순환형 농업용수 공급가능량 관리 기준 및 운영방안 제시 여부	100%
			순환형 농업용수 관리 의사결정지원 기술 개발 여부	100%
			순환형 농업용수 관리 시스템의 표준화 방안 제시 여부	100%
	효율적인 양수저류 방법 제시 및 가뭄 대응기술 경제성 평가	18%	기존 양수저류 대비 물공급량 감소율	100%
			경제성 평가 가뭄대응기술 건수	100%
	순환형 농업용수 관리 시스템 테스트베드 적용을 통한 최적 운영방안 제시	57%	모니터링, 원격제어, 의사결정지원 기능이 통합된 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 여부	100%
			순환형 농업용수 관리 시스템 활용을 통한 테스트베드 현장 최적적용 방안 도출 여부	100%
			순환형 농업용수 관리 활용 센서 및 장치 유지 관리 방안 도출 여부	100%
	효율적 농업용수 및 양수저류 관리 기준 분석	5%	최적 용수공급 관리 기준 마련을 위한 자료수집 및 분석 여부	100%
			효율적 농업용수 관리를 위한 관련 자료 수집 및 분석 여부	100%
			효율적 양수저류 관리를 위한 관련 기준 조사 및 분석 여부	100%

3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 해당없음

제 4장. 연구결과의 활용 계획

- 연구개발의 결과물로 얻어진 순환형 농업용수 관리시스템과 ICT 이동형 양수장치 기술은 국내 농업 가뭄 극복의 대안기술로 활용이 가능함
- 농업용 저수지 수위, 기상정보, 보조수원으로 사용될 수 있는 하천, 관정, 저류지의 계측 및 분석결과를 통해서 물공급 관리자는 현재의 상황을 정확하게 인지하고 물공급 관리기준에 따라 언제, 어디서, 얼마만큼 공급할 것인지를 판단할 수 있는 체계를 제공함으로써 가뭄에 대한 사전 대응 계획에 활용할 수 있음
- 농업용 저수지와 같은 주수원공의 공급만으로 부족이 예상될 경우 최적 관리 기준에 의거하여 공급 가용수량을 분석하는 기술, 산출된 수량을 용수가 필요한 곳에 효과적으로 공급할 수 있는 장치의 개발 등으로 농업가뭄 대응능력 제고
- 기존 농업용수 공급 운영에 있어 관행적 정성적 용수관리에서 과학적이고 합리적 용수관리로 대국민 신뢰성 향상이 예상되며 환경부의 물관리일원화 체계에서 농업용수의 합리적 관리시스템 구축으로 향상된 물관리 서비스 제공
- 저비용·고효율의 이동식 양수장치의 개발로 가뭄예상 들녘의 관개계획 수립과 투입 가능
- 본 연구과제에서 개발된 순환형 농업용수 관리시스템에서 제공되는 정보는 현재 한국농어촌공사의 농업용수자동화시스템(TM/TC)의 일부 정보를 대체할 수 있으며, TM/TC 구축 적정성의 정보 제공이 가능하여 농업생산기반 정비사업의 예산을 절감할 수 있을 것으로 판단됨
- 한국농어촌공사 물관리 담당자를 대상으로 본 연구의 성과물인 순환형 농업용수 관리시스템과 이동형 양수장치는 시범운영토록 협의 중이며, 시범운영 결과를 보완하여 더욱 실무에 적합한 시스템을 구축할 계획임
- 본 연구에서 개발되는 기술은 다수의 지적재산권(특허)을 확보하는 것으로 추진하였으며, 농업용수, 농업가뭄 등의 관련기술을 수행하는 업체에서 신뢰성 있는 기술의 이전을 가능하게하여 실제 농업용수관리 및 농업가뭄 대응사업에 적극 활용하고, 축적된 기술을 기반으로 지속적인 고도화를 실시할 계획
- 본 연구에서 도출된 순환형 농업용수 관리시스템과 ICT 이동형 양수장치는 기후변화에 따른 가뭄상황에서 선제적으로 대책을 마련하고 신속하게 대응할 수 있는 기반기술의 마련으로 큰 의미를 가짐

붙임. 참고문헌

1. An, J. H., J. H. Song, M. S. Kang, I. H. Song, S. M. Jun, and J. H. Park, 2015. Regression equations for estimating the TANK model parameters. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(4): 121-133 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2015.57.4.121
2. Arnold, R. T., C. Troost, and T. Berger, 2015. Quantifying the economic importance of irrigation water reuse in a Chilean watershed using an integrated agent-based model. *Water Resources Research* 51: 648-668. doi:10.1002/2014WR015382
3. Baek, J., C. Kim, J. H. Cha, and J. Song, 2020. A study on the estimation of river water intake using the operating time of the pumping station. *Journal of the Korea Water Resources Association* 53(2): 89-96 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2020.53.2.89
4. Bang, J., J. Y. Choi, and S. H. Lee, 2018. Analysis of water supply probability for agricultural reservoirs considering non-irrigation period precipitation using RCP scenarios. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(4): 63-72 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2018.60.4.063
5. Chien, C. P., and W. T. Fang, 2012. Modeling irrigation return flow for the return flow reuse system in paddy fields. *Paddy and Water Environment* 10: 187-196. doi:10.1007/s10333-011-0307-x
6. Cho, H. K., and S. M. Kim, 2019. A study on the estimation of irrigation water for sewage treated water reuse for agriculture. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(2): 97-104 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2019.61.2.097
7. Choi, J. K., J. G. Son, Y. J. Kim, and J. D. Song, 2008. Survey of irrigation water supply from Imoon pumping station. *Journal of Agricultural and Life Sciences* 39(1): 21-32 (in Korean).
8. Choo, T. H., 2004. A study on return flow ratio of irrigation for a paddy field in pumping station by water balance method. *Journal of the Korea Water Resources Association* 37(3): 249-255 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2004.37.3.249
9. Hama T., K. Nakamura and S. Kawashima, 2009. Effectiveness of cyclic irrigation in reducing suspended solids load from a paddy-field district. *Agricultural Water Management* 97(3): 483-489. doi:10.1016/j.agwat.2009.11.007
10. Hong, E. M., W. H. Nam, J. Y. Choi, and J. T. Kim, 2014. Evaluation of water supply adequacy using real-time water level monitoring system in paddy irrigation canals. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(4): 1-8 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2014.56.4.001
11. Hong, E. M., J. Y. Choi, W. H. Nam, S. H. Lee, J. K. Choi, and J. T. Kim, 2015. Analysis of water loss rate and irrigation efficiency in irrigation canal at the Dong-Jin district. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(2): 93-101 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2015.57.2.093
12. Hong, E. M., J. Y. Choi, W. H. Nam, and J. T. Kim, 2016. Decision support system for the

- real-time operation and management of an agricultural water supply. *Irrigation and Drainage* 65: 197-209. doi:10.1002/ird.1935
13. Jang, C. H., H. J. Kim, and J. T. Kim, 2012. Prediction of reservoir water level using CAT. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(1): 27-38 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2012.54.1.027
 14. Kang, M. G., J. H. Lee, and K. W. Park, 2013. Parameter regionalization of a Tank model for simulating runoffs from ungauged watersheds. *Journal of Korea Water Resources Association* 46(5): 519-530 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2013.46.5.519
 15. Kang, M. G., and S. W. Park, 2014. Modeling water flows in a serial irrigation reservoir system considering irrigation return flows and reservoir operations. *Agricultural Water Management* 143: 131-141. doi:10.1016/j.agwat.2014.07.003
 16. Kang, H. S., H. U. An, W. H. Nam, and K. Y. Lee, 2019. Estimation of agricultural reservoir water storage based on empirical method. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(5): 1-10 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2019.61.5.001
 17. Kim, H. Y., and S. W. Park, 1988. Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoirs (1). *Journal of Korea Society of Agricultural Engineers* 30(1): 50-62 (in Korean).
 18. Kim, H. K., T. I. Jang, S. J. Im, and S. W. Park, 2009. Estimation of irrigation return flow from paddy fields considering the soil moisture. *Agricultural Water Management* 96: 875-882. doi:10.1016/j.agwat.2008.11.009
 19. Kim, T. C., H. C. Lee, and J. P. Moon, 2010. Estimation of return flow rate of irrigation water in Daepyeong pumping district. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(1): 41-49 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2010.52.1.041
 20. Kim, K. U., J. H. Song, J. H. Ahn, J. H. Park, S. M. Jun, I. H. Song, and M. S. Kang, 2014. Evaluation of the TANK model optimized parameter for watershed modeling. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(4): 9-19 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2014.56.4.009
 21. Kim, H. D., J. T. Kim, W. H. Nam, S. J. Kim, J. Y. Choi, and B. S. Koh, 2016. Irrigation canal network flow analysis by a hydraulic model. *Irrigation and Drainage* 65: 57-65. doi:10.1002/ird.1992
 22. Koo, B. Y., T. S. Kim, I. W. Jung, and D. H. Bae, 2007. Optimization of TANK model parameters using multi-objective genetic algorithm (II): Application of preference ordering. *Journal of the Korea Water Resources Association* 40(9): 687-696 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2007.40.9.687
 23. Lee, K. H., U. T. Cheong, and I. Y. Lee, 1999. Water balance in a paddy field with pumping irrigation system. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 6(2): 11-18 (in Korean).
 24. Nam, W. H., T. G. Kim, J. Y. Choi, and J. J. Lee, 2012. Estimating vulnerable duration for irrigation with agricultural water supply and demand during residual periods. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(5): 123-128 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2012.54.5.123

25. Nam, W. H., J. Y. Choi, E. M. Hong, and J. T. Kim, 2013. Assessment of irrigation efficiencies using smarter water management. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(4): 45-53 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2013.55.4.045
26. Nam, W. H., J. Y. Choi, and E. M. Hong, 2014. Uncertainty of water supply in agricultural reservoirs considering the climate change. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(2): 11-23 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2014.56.2.011
27. Nam, W. H., T. G. Kim, E. M. Hong, M. J. Hayes, and M. D. Svoboda, 2015. Water supply risk assessment of agricultural reservoirs using irrigation vulnerability model and cluster analysis. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(1): 59-67 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2015.57.1.059
28. Nam, W. H., E. M. Hong, and J. Y. Choi, 2016. Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators. *Irrigation Science* 34: 129-143. doi:10.1007/s00271-016-0488-6
29. Noh, J., and J. Lee, 2012. Appraising the amount of paddy irrigation intake from Busa estuary reservoir' s pumping stations. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 19(2): 81-88 (in Korean).
30. Rural Research Institute (RRI), 2017. A study on standardization of water balance analysis method on pumped-storage reservoir. Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan, Korea (in Korean).
31. Ryu, J. H., J. H. Song, S. M. Kang, J. S. Jang, and M. S. Kang, 2018. Impact of water management techniques on agricultural reservoir water supply. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(2): 121-132 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2018.60.2.121
32. Seong, C. H., S. J. Kim, S. M. Kim, and S. M. Kim, 2011. Analysis of wastewater reuse effect on field-scale water quality. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(4): 59-65 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2011.53.4.059
33. Song, J. H., I. Song, J. T. Kim, and M. S. Kang, 2015. Characteristics of irrigation return flow in a reservoir irrigated district. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(1): 69-78 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2015.57.1.069
34. Sugawara, M., 1972. A method for runoff analysis. Kyoritsu Publishing Co. Ltd., Japan (in Japanese).
35. Bhalme, H. N., and A. Mooley, 1980, Large Scale Drought/Floods and Monsoon Circulation, *Mon. Wea. Rev.* 108: 1197-1211.
36. Byun, H. R., Wilhite, D. A., 1999, Objective quantification of drought severity and duration, *Journal of Climate* 12(9): 2747-2756.
37. Delaware Comprehensive Water Resources Management Committee, 1983, The management of water resources in Delaware, Water conservation, water shortage subcommittee report.
38. Dracup, J. A., K. S. Lee, and Edwin G. Paulson Jr., 1980, On The Definition of Drought, *Water Resources Research* 16(2): 297-302.
39. Lin, L., 2012, Monitoring, Diagnosis and prediction system of drought and snow disaster in

- Qunghai, China Meteorological Press 199.
40. Nam, W. H., Hong, E. M., and Choi, J. Y., 2016, Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators, *Irrigation Science* 34: 129-143.
 41. Grubbs F.E. and Beck G. (1972) Extension of Sample Sizes and Percentage Points for Significance Tests of Outlying Observations. *Technometrics*. Vol. 14, No. 4, pp. 847-854.
 42. 국토교통연구기획사업, 2017, 가뭄 대응을 위한 지표수연계 기반 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발 기획.
 43. 국토연구원. 2012, 기후변화에 따른 국토의 가뭄 취약성과 정책방안.
 44. 강한솔 (2020) 저수율 기반 농업용 저수지 방류량 추정 기법 개발. 충남대학교 학위논문(석사)
 45. 강한솔, 안현욱, 남원호, 이광야, 2019, 저수지 관리 관행을 반영한 농업용 저수지 저수율 추정. *한국농공학회* 61(5): 1-10.
 46. 권진주, 이승호, 최승지, 안재현, 2012, 가뭄단계 기준 및 대책에 대한 해외 사례 분석. *대한토목학회 학술대회* 2012(10): 988-991.
 47. 권형중, 임혁진, 김성준, 2007, SWSI 가뭄지수를 보완한 농촌용수구역 단위의 가뭄평가. *한국지리정보학회지* 10(1): 22-34.
 48. 기상청 기상연구소, 1993, 우리나라 가뭄에 관한 연구 - 강수량 변동에 관한 기후학적 특성 연구.
 49. 기상청, 2016, 2016 기상연감.
 50. 김민석, 문영일, 2014, 한반도 목표 표준강수지수(SPI) 산정에 관한 연구. *대한토목학회논문집* 34(4): 1117-1123.
 51. 김성실, 2011, 가뭄빈도해석을 통한 한반도의 가뭄 평가, 서울시립대학교 대학원.
 52. 김상우, 2016, 관개용수 공급 네트워크를 고려한 유역 물수지 시스템 개발, 충북대학교.
 53. 김진수, 이재용, 이정범, 송철민, 박지성, 2016, 농업용 저수지에서의 농업용수 잠재능 평가. *한국농공학회논문집* 58(2): 65-71.
 54. 김태웅, 유지수, 2016, 이변량 가뭄빈도를 이용한 이수안전도 평가 방안, *한국수자원학회논문집* 49(11): 55-63.
 55. 김호정, 강형식, 정아영, 2016, 가뭄 단계에 따른 적응형 가뭄관리정책 연구: 지역 차원의 비구조적 가뭄대책을 중심으로. *한국환경정책평가연구원*.
 56. 농림부, 1998, 농업생산기반정비사업계획설계기준: 관개편.
 57. 농림부, 2004, 물부족 시대에 대비한 절약형 농업수로 관리기법에 관한 연구(I).
 58. 농림부, 2005, 물부족 시대에 대비한 절약형 농업수로 관리기법에 관한 연구(II).
 59. 농업기반공사, 농어촌연구원, 2003, 농업가뭄지표 실용화 및 정보제공방안(1).
 60. 농업기반공사, 농어촌연구원, 2004, 농업가뭄지표 실용화 및 정보제공방안(2).
 61. 농촌진흥청, 2014, 농업가뭄지수 도출 시스템 및 농업가뭄지수 도출 방법.
 62. 남원호, 최진용, 최순균, 장민원, 이남호, 고광돈, 2011, 농업용 저수지 관개용수 공급시기 및 절수 방법 기초자료 설문조사 분석. *한국관개배수논문집* 18(1): 81-93.
 63. 남원호, 긴태곤, 최진용, 이정재, 2012, 농업용 저수지 공급량과 수요량의 확률분포 및 신뢰성 해석 기법을 활용한 물 공급 취약성 평가, *한국농공학회논문집* 54(2): 37-46.
 64. 남원호, 최진용, 장민원, 홍은미, 2013, 저수지 가뭄지수를 활용한 농업가뭄 위험도 평가,

- 한국농공학회논문집 55(3): 41-49.
65. 남원호, 최진용, 2013, 실시간 저수위 및 용수공급 취약성 지표를 활용한 농업용 저수지 운영 기준 개발, 한국농공학회논문집 55(6): 77-85.
 66. 남원호, 권형중, 최경숙, 2018, 기상 및 영농방식 변화에 따른 농업용 저수지의 설계한발빈도 및 이수안전도 재평가, 한국농공학회논문집 60(1): 121-131.
 67. 류재희, 이동률, 안재현, 윤용남, 2002, 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구, 한국수자원학회논문집 35(4): 397-410.
 68. 방나경, 남원호, 홍은미, M. J. Hayes, M. D. Svoboda, 2018, 2017년 극심한 봄 가뭄의 기상학적 특성 및 통계학적 가뭄빈도해석, 한국농공학회논문집 60(4): 37-48.
 69. 변희룡, 2009, 가뭄의 진단과 예측. 한국기상학회 논문집 6-10.
 70. 안영환, 오인하, 2010, 에너지부문의 기후변화 적응전략에 대한 탐색적 연구. 에너지경제연구원.
 71. 유지영, 유지수, 권현한, 김태웅, 2016, 가뭄해갈 가능성을 고려한 가뭄사상의 결정 및 확률 가뭄심도 산정, 한국수자원학회논문집 49(4): 275-282.
 72. 정책연구보고, 2011, 기후변화에 따른 극한가뭄대책 및 수자원 확보 방안.
 73. 최성연, 2017, SWMM 모형을 활용한 최적의 저수지 농업용수 공급 방법 분석. 한국산업기술대학교 산업기술 경영대학원.
 74. 박석두, 김홍상, 김창호, 2010, 농촌용수의 효율적 이용 및 관리방안. 한국농촌경제연구원.
 75. 한국농촌경제연구원, 2017, 농업용수 수요 특성과 물부족 대응 방안.
 76. 한국환경정책·평가연구원, 2016, 가뭄 단계에 따른 적응형 가뭄관리정책 연구 -지역 차원의 비구조적 가뭄대책을 중심으로-.
 77. 행정안전부, 2018, 상습가뭄재해지구 지정 가이드라인.
 78. 환경부, 2016, 가뭄 취약성 평가 및 제한급수 가이드라인 마련.
 79. 환경부, 2017, 가뭄이 물 환경에 미치는 영향 조사 및 평가방안 마련 연구.
 80. 환경부, 2018, 2013~2018 장기가뭄 분석·평가 보고서.
 81. 홍은미, 남원호, 최진용, 김진택, 2014, 실시간 관개수로 수위 모니터링을 활용한 논 관개용수 공급적정성 평가, 한국농공학회논문집 56(4): 1-8.

붙임. 부록

부록

국외사례 현장조사 출장결과 보고서

I. 출장 개요

1 출장배경 및 목적

- 농림식품기술기획평가원 연구과제로 추진 중인 「순환형 농업용수관리 시스템 개발 및 적용」의 농업선진국 해외사례 자료 수집을 통한 성공적인 수행
- 농업분야의 선진기술과 노하우를 보유하고 있는 일본의 농업용수 관리시스템 적용 현장방문 및 농업가뭇센터·교토대(농학연구과) 합동세미나 실시

2 출장개요

- 출장기간 및 국가 : 2018. 10. 15 ~ 10. 18 (3박 4일), 일본
- 방문기관 : 일본 교토국립대학 농학연구과
- 출장인원 : 5명(내부 3, 외부 2)

내부(3)			외부(2)	
2급 이광야	4급 하태현	4급 이승용	충남대학교 교수 안현욱	한경대학교 교수 남원호

3 출장 세부 일정

일 차	지 역	방문기관	업무 수행 내용
1일차 10.15(월)	대한민국(인천) → 일본(교토)	○KYOTO UNIVERSITY	○도착(일본) ○센터-교토대 간 합동세미나
2일차 10.16(화)	일본(교토)	○KYOTO UNIVERSITY ○비와호	○비와호 견학 ○순환형 시스템 시범지구 현장조사
3일차 10.17(수)	일본(교토)	○KYOTO UNIVERSITY ○비와호	○순환형 시스템 시범지구 현장조사
4일차 10.18(목)	일본(교토) → 대한민국(인천)	○KYOTO UNIVERSITY	○현장조사 결과 자료정리 ○귀국

3

농업 일반현황

- 일본의 경지면적은 447만ha로 전체 토지의 11.8%에 해당됨
 - 집약적인 농업 특징을 보이며, 벼농사를 중심으로 한 경작구조가 발달함
 - 20세기 후반들어 고령화, 후계자 부재, 농업 수익성 악화등의 문제에 직면함에 따라 경지면적, 재배면적 꾸준히 감소추세임
 - 1990년 대비 경지면적은 2016년 447.1만ha로 14.7%감소, 재배면적은 2015년 412.7만ha로 1990년 대비 22.8% 감소
 - 미곡 생산 농업경영체 2005년 141만개에서 2015년 95만개로 대폭 감소, 잡곡류 생산 농업경영체 2005년 4만개에서 2015년 3만개로 소폭 감소함
 - 1999년부터 논 중심 토지이용형 농업활성화 대책이 본격적으로 추진되면서, 잡곡류 재배면적이 늘어남
- 제2차 세계대전 이후 도시화·산업화가 급속히 진행되면서 일본의 경제구조는 공업 중심으로 변화하여 서구화된 식습관이 형성됨
 - 주식인 쌀은 1962년 1인당 118.3kg의 소비량을 기록한 이래 해마다 감소하여 2015년에는 1인당 54.6kg의 소비함
- 일본은 고도경제성장 이래 농가 수와 농가 인구가 매년 최저치를 기록하면서 계속 감소하는 추세임
 - 농가 수는 1990년 282만호에서 2015년 215만호로 44%감소하였으며, 같은 기간에 농가 인구는 1,729만 명에서 488만 명으로 72% 감소함
 - 총 인구에서 농가 인구가 차지하는 비중도 1990년 14%에서 2015년 3.8%로 급감하였으며, 이는 영농후계자의 부재, 고령화, 산업화, 농산물 가격하락 등과 관련이 있지만, 특히 영농기반을 승계할 인력의 부재는 탈농의 주된 요인으로 조사결과 나타남
 - 농업을 전문적인 직업으로 하는 기간적 농업종사자는 2010년 205만명에서 2016년 158만명으로 최근 6년동안 46만명이 감소하였으며, 이중 청년농업인은 전체에서 5%인 반면에 65세 이상 고령농업인은 65%해당
- 2015년 전국 판내농가의 평균소득은 최근 7년 중 최고치인 496만 엔(약 5,097만원)을 기록하며 상승세를 보임
 - 농업소득은 전년대비 8.7% 상승한 금액으로 이는 2014년 쌀 가격이 폭락한 이후 2015년에 들어서며 쌀과 축산물 가격이 점차 상승한 결과임

II. 주요내용

1 교토대학교 농학연구과(KYOTO UNIVERSITY)

방문 개요

- 일 시 : 2018.10.15.~10.17(3일)
- 장 소 : 교토대 농학연구과 세미나실 등
(Kitashirakawa Oiwake-cho Sakyo-Ku Kyoto 606-8502)
- 면담자 : 농학연구과 교수 및 조교수 3명
(Masayuki Fujihara, Kimihito Nakamura, Junichiro Takeuchi)

교토대 농학연구과 일반현황

- (연혁) 1928년 교토대학 대학원 설립 시 창설
- (조직) 7개 전공과, 부속시설(연구실, 목장 등)
 - 전공목록 : 농학, 산림과학, 응용생명과학, 응용생물과학, 지역환경과학, 생물자원 경제학, 식품생물 과학 전공
- (위치) 교토대 요시다 캠퍼스 북부구내 위치
 - * 교토대 캠퍼스 현황 : 요시다, 카츠라, 우지 캠퍼스



<농학연구과 위치도>

교토대 농학연구과 주요 발표내용

- ‘비와호’ 순환형 시스템 적용 연구현황

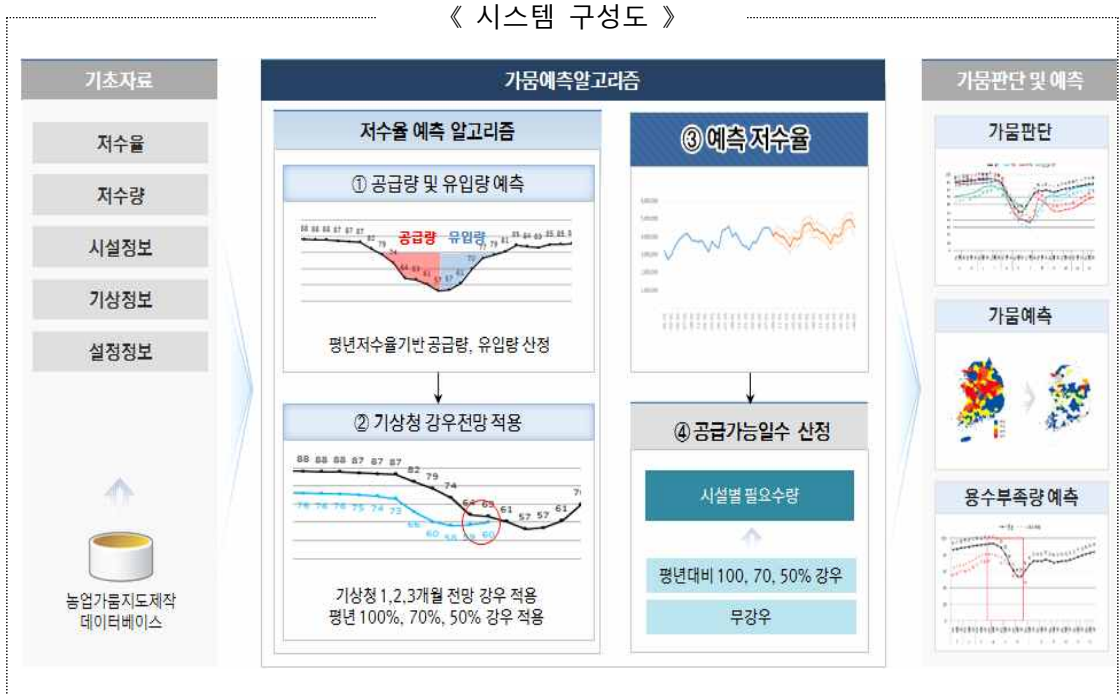
- 비와호는 시가·교토·오사카·고베 지역의 생활·농업·공업용수의 주 공급원으로 농경지 면적은 538km²에 해당
- 1900년대 비와호의 수질오염에 따른 사회적 문제 심화로 인해 국가적 차원(6성청)의 종합보전 정비계획이('99~ '50년) 수립되어 현재 제 2단계('10~ '20년) 진행중
- 현재 농학연구과에서는 비와호 수질오염 방지의 목적으로 교토지역 내 시범지구를 선정하여 순환형 용수공급 시스템은 운영 중
- 영농기간에 공급되는 농업용수는 각 관개시설을 통해 농경지로 유입되며, 이렇게 사용된 1차 농업용수는 하류부 말단에 배수문에 설치된 게이트에 의해 비와호, 하천으로 유입되지 않도록 차단됨
- 말단부에서 집수된 1차 농업용수는 배수장내 설치된 양수펌프에 의해 상류부로 양수저류하여 2차 농업용수로 재활용되며 영농기간 동안 3차, 4차로 계속적으로 순환되어 사용됨
- 시범지구에 적용된 순환형 시스템은 비와호의 수질오염 사전방지가 주목적이나 농업용수 양수저류를 통해 무분별한 농업용수 사용으로 수자원의 낭비를 사전에 방지하여 절수효과도 나타남
- 일본의 농업분야에서 농업인구의 고령화와 휴경제도 도입에 따라 매년 논면적이 감소하는 추세이며, 비와호 인근 농경지 면적은 '13년 대비 6% 감소하였음
- 수자원이 풍부한 비와호 상류부와 달리 하류부의 경우 일부지역에 물부족 현상이 발생하고 있으며, 이는 용수의 공급의 문제이기 보다는 물관리의 부실에 따른 부족현상 발생이 잦음
- 하류지역의 경우 관정 설치하여 보조수원공으로 활용하며, 관정 설치 시 소규모 관정을 지향하며 대규모 관정설치를 권장

□ 농업가뭇센터 주요 발표내용

○ 농업가뭇 예·경보시스템 개발 및 운영

- (추진배경) 범부처 가뭇 예·경보 운영에 따라 신뢰성 있는 농업가뭇 예측·분석을 위한 시스템 구축 및 운영 관리의 필요성 증대
- (주요내용) 강수량 기반으로 농업용저수지 저수율, 유출량, 필요수량, 밭 토양수분

등 데이터의 종합적 분석으로 통하여 전국 167개 시·군별 농업가뭄 현황 및 1개월·2개월·3개월 후 농업가뭄 전망



< 농업가뭄 예·경보 기준 >

구 분	농업가뭄 예·경보 기준
주 의	○ 영농기(4~10월)에 저수지 저수율이 평년의 60% 이하 또는 밭 토양 유효수분율이 15~45%에 해당되는 경우, 비영농기(11월~익년 3월)에는 저수지 저수량이 다가오는 영농기 모내기 용수공급에 물 부족이 예상되는 경우
심 함	○ 영농기(4~10월)에 저수지 저수율이 평년의 50% 이하 또는 밭 토양 유효수분율이 15~45%가 10일 이상 지속되는 상황에서 가뭄피해가 발생하였거나 예상되는 경우
매 우 심 함	○ 영농기(4~10월)에 저수지 저수율이 평년의 40% 이하 또는 밭 토양 유효수분율이 15% 이하에 해당되는 경우

○ 맞춤형 가뭄정보 서비스 운영

- (추진배경) 최근 기후변화 등에 따라 가뭄발생 빈도 및 강도 증가추세이나 농업인에게 간편하고 쉽게 가뭄정보 제공을 위한 매체 부재
- (운영현황) 농업가뭄 Web 포털 운영(<http://adms.ekr.or.kr>) 및 Mobile 서비스 (<http://madms.ekr.or.kr>) 운영을 통하여 가뭄분석 및 예측정보를 대내·외 제공하며, 농업인이 쉽게 이해할 수 있는 시각적 가뭄정보(지역별·시설별) 표출로 이용자의 사용 편의성 증대

<Web 포털>



<Mobile 서비스>



□ 주요 질의응답

- (질의1) 비와호 인근 주요 작부체계는 어떻게 되며 농업용수 관리의 주체는 누구인가?
 - 비와호 인근 대부분 이모작으로 주로 벼, 보리, 콩을 재배함
 - 비와호 이외 댐등의 주요 수자원의 관리는 토지개량구에서 관리를 하며, 농경지 농업용수 공급 및 시설관리는 해당 자치구에서 마을단위로 관리함
- (질의2) 최근 일본 교토지역 내 가뭄발생 및 피해사례가 있는지?
 - 일본은 연강수량이 풍부하여 상대적으로 가뭄발생 및 피해사례가 적으나 하류지역 등 물이 부족한 지역의 경우 간단관개(1일) 시행으로 절수 추진함
- (질의3) 양수저류 시 용수공급 시점에 대한 근거가 있는지?
 - 현재 양수저류에 대한 운영 근거는 따로 작성된 내용이 없으며, 농민이 농업용수 공급 요청이나 작부체계에 따라 다름

첨부1

합동세미나 토론사진



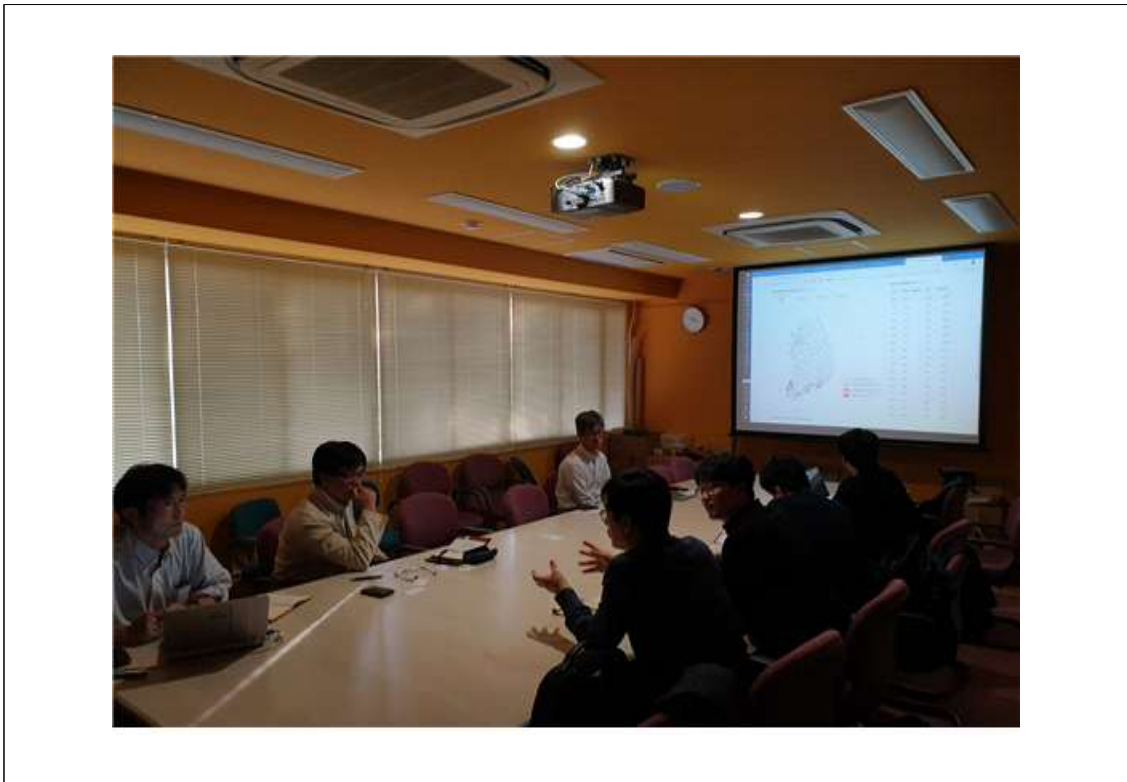
<교토대 주제발표>



<질의응답 시간>



<질의응답 시간>



<농업가뭄센터 주제발표>

2

비와호 시범지구 현장조사

□ 조사 개요

- 일 시 : 2018.10.16. ~ 10.17(2일간)
- 장 소 : 교토 비와호 시범지구 2지구
(Moriyama-shi, Shiga-ken 524-0103)
- 면담자 : Kimihito Nakamura (교토대 농학연구과)

□ 비와호 현황

- 주요현황
 - 위 치 : 일본 시가현 오쓰 시와 히코네 시 내
 - 면 적 : 670.3km² / 둘 레 : 약 241km
 - 수 량 : 270억 m³
- (특징) 비와호는 시가현의 면적 1/6에 해당되며, 약 4백만년 전에 형성된 자연호수로 세계에서 세 번째로 오래된 호수로 시가현, 교토, 오사카 등 주요도시의 농업·생활·공업용수를 공급함



<비와호 위치도>

□ 주요 현장조사 내용

- 비와호 시범지구(Konohama district)

- 현장조사 대상 시범지구는 농경지 148ha로 주요 재배작물은 벼, 보리, 콩으로 해당지역의 경우 이모작 시행 중
- 배수로 말단부에 게이트를 설치하여 비와호, 하천으로의 유출을 차단하였으며, 집중호우에 따른 범람을 방지하기 위해 비상펌프를 설치하여 사전에 재해예방이 가능
- 농업용수의 순환에 따른 반복사용으로 최초 공급시 물의 수질보다는 오염상태가 증가했으나, 농업용수 사용의 적합한 기준범위 내 해당되어 이상 없으나 Apple snail이란 달팽이 개체수가 급속히 증가되어 농작물 피해 다소 우려됨
- 순환형 시스템 운영 중 말단부에 모이는 쓰레기로 인해 양수펌프 고장의 원인이 발생하여 양수장 내 소형제진기를 설치하여, 원활한 양수저류 및 펌프의 내구연한 증대 효과
- 양수저류 상류지점에 토출부(토출조+낙차공)를 설치하여 수로관 내 물의 흐름(위치에너지→운동에너지 변환)을 원활하게 하여 하류부까지 용수공급이 용이토록 함
- 농경지 필지마다 자동급수기를 설치하여 관개기간 동안 재배에 필요한 용수만 공급토록 자동급수기를 설정하여, 농업인의 무분별한 물 사용에 따른 낭비방지로 절수효과와 하류부까지 충분한 용수공급이 가능해져 지역간 물 분쟁 및 민원 사전에 차단 가능
- 일부 농경지의 경우 지반에 맹암거를 매설 후 논⇔밭 전환이 가능토록 하여 농경지 생산성 및 효율성 증대효과
- 시범지구 인근 소하천의 경우 가동보(게이트, 고무보)를 설치하여 영농기간에는 상시 저류하여 농업용수 확보로 하류부의 경우 하천유량이 적어 농업용수 확보에 어려움, 하류지역의 경우 대규모 관정을 설치하여 보조수원공으로 활용 중

□ 주요 질의응답

- (질의1) 비와호에 설치된 순환형 시스템 설치현황 및 향후계획은 무엇인가?
 - 현재 비와호 교토지역 내 설치된 순환형 시스템 시설은 8개소이며, 향후 점진적으로 연구규모를 확대하여 9개소까지 추가 설치할 계획임

- (질의2) 시범지구 내 배수로 및 말단부에 유수지에서 수중식물을 제거하지 않은 이유는 무엇인가?
 - 수중식물 재배로 순환된 농업용수의 수질상태를 개선하고자 함
 - 배수로 형식은 양쪽 사면은 라이닝으로 하여 토사유실을 방지하고, 바닥면은 토공으로 하여 수중식물 재배가 용이하도록 함
- (질의3) 농업용수 자동급수기 설치로 기대하는 효과는 무엇인가?
 - 농업용수 공급을 위한 자동급수기 설치로 농업용수 사용량을 기록하여, 해당 농지에 필요이상의 용수가 공급되면 자동 용수공급이 차단되어 물 관리 부실문제를 사전에 방지 가능
- (질의4) 관개기관 중 낙수 기간은 언제인가?
 - 비와호 인근 농경지의 경우 중간낙수는 7월 중순, 최종 낙수는 8월말이며 9월 중순에 추수가 대부분 완료됨
- (질의5) 노후화된 수리시설물에 대한 관리 및 개보수를 위한 예산은 어떠한 형식으로 확보하는 지?
 - 지자체 내 영농조합이 수리시설물에 대해 관리를 하고 있으며, 노후화된 수리시설에 대해서는 농업용수 이용자들에게 일정한 수세를 납부받아 확보한 예산으로 수리시설 개보수를 시행 함

첨부2

비와호 현장조사 사진대지



<비와호 시범지구 현장>



<비와호 시범지구 현장>



<시범지구 양수장 및 수문 전경>



<시범지구 양수장 및 수문 전경>



<양수장 내 수문설치 전경>



<양수장 내 제진기 설치 전경>



<시범지구 중앙 배수로 전경>



<시범지구 중앙 배수로 전경>



<시범지구 양수장 및 제진기 전경>



<시범지구 양수장 내 수문 전경>



<시험지구 토출부 설치 전경>



<토출부(토출조+낙차공) 설치 전경>



<시범지구 양수저류 관로 설치 전경>



<시범지구 용수로 시공 전경>



<용수로 개보수 전 현장 전경>



<용수로 개보수 후 현장 전경>



<맹암거 공기조절장치 설치 전경>



<시범지구 자동급수기 설치 전경>

연구개발보고서 초록

5120

과 제 명	(국문) 선제적 가뭄대응을 위한 ICT, 빅데이터 기반 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 적용 연구				
	(영문) Development and application of recurrent agricultural water management system based on ICT, big data for drought contingency plan				
주관연구기관	환경대학교 산학협력단		주 관 연 구	(소속) 환경대학교 산학협력단	
참 여 기 업	(주) 수리이앤씨		책 임 자	(성명) 김 한 중	
총연구개발비 (1,335,000천원)	계	1,335,000	총 연 구 기 간	2018.7.~ 2020. 12.(년 월)	
	정부출연 연구개발비	1,000,000	총 참 여 연 구 원 수	총 인 원	97
	기업부담금	335,000		내부인원	97
	연구기관부담금	-		외부인원	-
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기상이변에 따른 가뭄의 상습화와 농촌용수 수요증가에 대비할 수 있는 가뭄대책의 수립을 통한 용수부족 문제에 대한 근본적인 해소의 필요성 증가하고 있는 가운데 기존 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 4차 산업기술을 적용한 순환형 농업용수 관리 시스템을 개발이 요구되고 있는 가운데, 2017년 가뭄이 극심하였던 충청남도 대사저수지, 풍전저수지와 경기도 마둔저수지에 대하여 기상분석, 관개분석, 수리분석 등을 수행하여 이수관리, 관개만족도, 회귀수의 재이용 등을 예측 관리할 수 있는 순환형 농업용수 관리 시스템을 개발하여 적용하였고, 선제적으로 가뭄발생 들녘의 용수공급이 가능한 ICT기반의 이동형 양수장치를 구축하였음 - 관련기술을 통해 특허출원 4건, 특허등록 3건, SCI 논문 4편, 국내논문 4편, 인력양성 2인, 제품화 2건, 고용창출 1인, 기술이전 1건, 정책건의 1건 등 정량적 성과를 달성 <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 충청남도 대사저수지, 풍전저수지, 경기도 마둔저수지의 농업용수 네트워크 모형을 구축하여 저수지 이수관리, 들녘 관개만족도, 회귀수 및 강우유출수에 발생에 따른 가용수량산정의 모델을 개발 - 풍전저수지 양수장의 관개수량 및 저수지 기상정보, 취입보 수위 등을 실시간으로 계측 모니터링이 가능한 시스템을 개발 적용 - 물부족 들녘의 신속한 가뭄극복을 위한 ICT 기반의 이동형 양수장치를 개발하여 일 2000톤의 농업용수를 들녘에 공급 가능토록 시스템을 개발하였음 - 강우유출수와 수로퇴수, 들녘퇴수량 정보를 토대로 관개기, 비관개기의 가용수량 특성을 파악하였고, 이를 토대로 적정운영이 가능한 시기와 수량을 산정하여 관리기준을 제시함 - 기존의 경험적 물관리의 문제점을 보완할 수 있는 과학적이고 합리적인 프로그램 개발로 반복분석에 따른 최적관개계획수립이 가능한 농업용수의 비구조적인 대체프로그램의 개발 - 관개기 저수지 수위, 용수공급에 따른 수로수위, 들녘단위 용수도달시간, 들녘 목표담수심 등의 정보를 토대로 수문조작방식의 결정, 관개방식의 결정, 용수공급량의 결정 등 물관리자의 최종적 결정을 지원할 수 있는 의사결정지원시스템을 구축함 - 이를 토대로 주수원공과 보조수원공을 적용하고, 수문학적특성과 수리학적특성을 반영하며, 농업용수관리의 비구조적특성(관개방식 및 조작)과 구조적특성(수로특성, 이동형 양수장치 등)이 통합된 순환형 농업용 관리시스템을 개발 <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구팀, 한국농어촌공사 물관리 담당자, 농민 등을 대상으로 ICT기반 이동형 양수장치 시연회 개최 - 농림부 업무회의를 통해 본 연구결과보고를 실시하고 정책적 활용가능성을 검토한 후 정책 건의 - 향후 순환형농업용수관리시스템과 농업용수 공급 관리기준에 따라 물관리자는 언제, 어디서, 얼마만큼 농업용수를 공급할 것인지를 판단할 수 있는 체계를 제공하여 국가 농업가뭄 대응 계획에 활용 					

자체평가의견서

1. 과제현황

	과제번호			318060-3	
사업구분	첨단생산기술사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	첨단생산기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	선제적 가뭄대응을 위한 ICT, 빅데이터 기반 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 적용 연구			과제유형	(개발)
연구기관	한경대학교 산학협력단			연구책임자	김 한 중
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2018.07~2018.12	200,000	67,000	267,000
	2차연도	2019.01~2019.12	400,000	134,000	534,000
	3차연도	2020.01~2020.12	400,000	134,000	534,000
	4차연도				
	5차연도				
	계		1,000,000	335,000	1,335,000
참여기업	(주) 수리이엔씨				
상대국	상대국연구기관				

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망


2. 평가일 : 2021. 02. 04

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
한경대학교 산학협력단	교수	김 한 중

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	---

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

신규저수지 개발방식의 기존 농업용수관리방안에서 에너지 절감과 환경부담을 최소화할 수 있는 수자원 확보 방안을 마련하는 기술로서 실제 농업용수 운영 방법을 최대한 모델로 재현하여 물 관리자에게 최적의 관개계획과 실적을 제공하고 재해에 선제적으로 대응할 수 있는 시스템의 구축으로 국가 물관리에 큰 기여를 할 것으로 판단

2. 연구개발결과의 파급효과

최근 기후변화 등 이상기후에 따른 농업가뭄 재해빈도가 증가하고 지역적 편차가 심화되고 있는 상황에서 기후변화에 의한 가뭄재해의 빈도 및 피해규모가 증가하고 있어 항구적 가뭄 대응방안이 필요한 시점에서 농업용수 공급량에 대한 빅데이터 구축과 더불어 주수원공 용수이용, 보조수원공 및 하천수, 퇴수 등을 재이용할 수 있는 기반 기술의 마련은 농업용수 관개계획 수립시 들녘단위 용수배분의 합리성과 더불어 재이용수를 언제, 어디서, 얼마나 활용할 수 있는지에 대한 의사결정을 지원할 수 있어 가뭄피해의 절감 및 안정적 영농기반 확충이 가능함

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

- 관개수량, 재이용수량을 얼마만큼, 어떻게, 어디서 공급할 것인지를 신속하게 판단할 수 있는 의사결정시스템으로 활용
- 관행적 농업용수관리에서 과학적이고 합리적 용수관리로 대국민 물관리 신뢰성 향상
- 빅데이터 분석을 통한 물이용 효율 개선 및 수요자 맞춤형 용수공급으로 농업인 만족도 및 서비스 향상
- 가뭄시기 이동형 양수장치 투입으로 가뭄대책비용의 절감효과 상승

4. 연구개발 수행노력의 성실도

성공적 과업의 수행을 위하여 농업가뭄 및 재해분야, 농업수리 및 농업수리구조물 분야의 전문교수진과 관련연구팀, 관련분야 전문기업, 한국농어촌공사를 연구기관으로 구성하고 다수의 테스트베드 현장답사 및 조사, 물관리자 인터뷰, 전문가 자문 및 시연회 등을 실시하여 최대한의 연구 결과를 창출함

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

- 본 연구를 통해 달성된 성과로는 특허출원 4건, 특허등록 4건, 제품화 2건, 기술실시 1건, 매출액 4.3억, 고용창출 1명, 정책건의 1건, 인력창출 2명, SCI논문 4편, 국내논문 4편, 학술대회 발표 19건, 언론홍보 7건으로 당초 성과목표를 초과달성함
- 연구개발 계획보고를 위하여 2018년 농림부 담당자와 연구기관 간 보고회를 실시
- 연구개발 성과의 정책적 확산을 위한 협의를 2020년 12월 농림부 담당자와 연구기관이 실시

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
순환형 농업용수 공급 의사결정지원 기술 개발	20	100	- 국내 농업용수공급관리현황의 조사분석, 합리적 테스트베드의 선정과 특성분석, 테스트베드의 순환형 공급가능량 산정을 위한 요소기술개발 등으로 순환형 농업용수 공급을 위한 의사결정지원 기술 개발을 완료하여 순환형 농업용수 공급 의사결정지원기술 개발을 달성
가뭄대응에 효율적인 농업용수 확보 방안 제시	18	100	- 들녘단위의 용수배분의 기존사례분석과 순환형 농업용수 네트워크모형 주요 요소 파악 및 구축, 대상지구 15년간의 농업용수 네트워크 양상별 모의 등으로 관개용수공급 취약지구 탐색기준 제시로 효율적 농업용수 확보방안 마련하여 가뭄대응에 효과적인 농업용수 확보 방안을 달성
순환형 농업용수 관리 시스템 개발	56	100	- 농업용수 관리를 위한 센서 및 장치의 구성방안을 도출하고 모니터링을 위한 시스템을 개발하였으며, 펌프, 관로, 저수지, 수로 현황을 모니터링 및 원격제어가 가능한 시스템을 구축 - 대상지구의 수문학적 이수관리와 수리학적 용수관리가 가능한 순환형 농업용수관리 시스템을 개발하고 가뭄위험지구에 신속하게 배치 운영가능한 ICT기반의 이동형양수장치 개발로 상황을 판단하는 기술과 현장에 적용할 수 있는 기술 개발 달성
가뭄대응 최적 용수공급도출을 위한 현황 모니터링 및 분석	6	100	- 국내 최근 2개년의 시도별 양수저류 추진현황과 국외양수저류 사례를 조사하고 국내 지역별 양수저류 추진 지구를 대상으로 가뭄상황과 양수시기 등을 조사하였으며, 국내 농업용수의 평시 가뭄시의 용수 공급 관행특성과 양수저류 대상지구 우선순위 선정을 위한 요소별 특성을 분석하여 최적 용수공급 도출방안 달성
합계	100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

연구 성과목표는 충분히 달성되어 현장 적용단계에 있으며 연구진행상 연구활동 및 예산집행도 성실히 수행함

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 농업용 개수로의 수리학적 모델 적용과 강우유출수와 관개퇴수의 거동분석에 따른 가용수량의 산정기법의 개발과 시스템화 여부
- 국가통합물관리체계에서 농업가뭄의 과학적이고 합리적인 분석 및 해결방안 체계 마련

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 기 개발된 순환형 농업용수 관리시스템의 현장 물관리자 활용을 통해 실무적용성을 높이고자 함

IV. 보안성 검토

○ 해당없음

1. 연구책임자의 의견

○ 해당없음

2. 연구기관 자체의 검토결과

○ 해당없음

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농림업수자원·수문학	
연구과제명	선제적 가뭄대응을 위한 ICT, 빅데이터 기반 순환형 농업용수 관리 시스템 개발 및 적용 연구			
주관연구기관	한경대학교 산학협력단	주관연구책임자	김 한 중	
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	1,000,000,000	335,000,000		1,335,000,000
연구개발기간	2018.07~2020.12			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
①순환형 농업용수 공급 의사결정지원 기술 개발	순환형 요소기술개발 및 농업용수 의사결정지원 기술 개발 완료
②가뭄대응에 효율적인 농업용수 확보 방안 제시	수리학적 개념의 네트워크 장기분석 결과를 반영한 들녘 단위 용수공급 취약지구 탐색기준 정립 및 농업용수 확보 방안 제시
③순환형 농업용수 관리 시스템 개발	순환형 농업용수 관리시스템 및 ICT 이동형 양수장치의 개발 완료
④가뭄대응 최적 용수공급도출을 위한 현황 모니터링 및 분석	국내 평시 및 가뭄시 농업용수 공급특성 및 양수저류 우선순위 선정을 위한 가이드 마련

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SCI	비 SCI							
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	20	10		5			20		5				20		5	10	5			
최종목표	4	2		1			700		1			2	4		4		2	1	2	
연구기간내 달성실적	4	4		1			196		1			4	4		19		2	1	7	
달성율(%)	100	200		100			28		100			200	100		475		100	100	350	

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	순환형 농업용수관리시스템
②	ICT 이동형 양수장치

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술		√								
②의 기술		√								

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	농업용수 관리자를 대상으로 본 시스템을 토대로 관개계획의 수립에 적용할 예정이며 보완사항을 피드백하여 개선할 계획 이를 통해 관행적 농업용수관리에서 과학적이고 합리적인 용수관리로 신뢰성이 향상될 것으로 예상됨
②의 기술	농업용수 관리자를 대상으로 가뭄상황 또는 저수지수위가 불안정할 경우 임시 적용하여 보완사항을 피드백하고 개선할 계획 이를 통해 저비용 고효율 이동식 양수장치 도입에 의한 가뭄피해 절감 및 안정적 영농기반이 확충될 것으로 예상됨

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표	정책활용			홍보전시		
												SCI	비SCI						논문평균IF	
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명					
가중치	20	10		5		20		5					20		5	10	5			
최종목표	4	2		1		700		1			2	4		4	2	1	2			
연구기간내 달성실적	4	4		1		196		1			4	4		19	2	1	7			
연구종료 후 성과창출 계획						504														

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.