

보안 과제( ), 일반 과제( ○ ) / 공개( ○ ), 비공개( ) 발간등록번호( ○ )

## 농업기반 및 재해대응기술개발사업 2020년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003693-01

# 농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발

---

2021.10.28

주관연구기관 / 한국농어촌공사 농어촌연구원

협동연구기관 / 충남대학교

네이버시스템(주)

수리이엔씨(주)

아주대학교

유니콘스(주)



농림축산식품부



IPET 농림식품기술기획평가원






## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발”(개발  
기간 : 2020. 1. 1 ~ 2020. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021.10.28

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 (대표자) 최강원	
협동연구기관명 : 충남대학교	(대표자) 이영석 (인)
네이버시스템(주)	(대표자) 임범준 (인)
수리이엔씨(주)	(대표자) 정종구 (인)
아주대학교	(대표자) 권용진 (인)
* 유니콘스(주)	(대표자) 조중연 (인)
참여기관명 : ㈜이도	(대표자) 최범준 (인)



주관연구책임자 : 최은혁

협동연구책임자 : 안현욱, 이수재, 정재호, 이재음, 조중연

참여기관책임자 : 최범준

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.



## 보고서 요약서

과제고유번호	320004-1	해당 단계 연구 기간	2020.01.01. ~ 2020.12.31	단계 구분	-
연구사업명	사업명	농업기반 및 재해대응기술개발사업			
연구과제명	대과제명	농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발			
	세부 과제명	주관 : 저수지 피해특성과 사용성변화에 따른 치수 성능개선 기술개발 입력 데이터 및 자율학습 기술 적용 방법론 분석 제1협동 : 데이터 기반 최적 관개공급 알고리즘 개발 제2협동 : 저수량 예측 알고리즘 개발 제3협동 : 계측 네트워크 운영 및 자율학습 물관리 파일럿 프로그램 개발 제4협동 : 농업용 저수지의 이수안전도 평가기법 개발 제5협동 : 저수지 성능개선 투자우선순위 의사결정 지원모델 기술개발			
연구책임자	최은혁	총 연구기간 참여 연구원 수	총: 39명 대학: 11명 기타: 28명	총 연구개발비	주관: 175,000 천원 협동: 325,000 천원 계: 500,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국농어촌공사 농어촌연구원			참여기업명: 충남대학교 산학협력단 네이비스시스템(주) (주) 수리이엔씨 아주대학교 산학협력단 유니콘스(주)	
위탁연구	(주)이도			최범준	
1) 관리자 및 수요자 중심의 ICT/IoT 융복합 자율학습 물관리 시스템 개발 · 데이터 기반 최적 관개공급 알고리즘 개발 · 저수량 예측 알고리즘 개발 2) 자율학습 물관리 시스템 테스트베드 시범적용 및 적용 방법론 도출 · 입력 데이터 생산 및 처리 방법론 분석 · 자율학습 기술의 물관리 현장 적용방법 분석 3) 농업생산기반시설 성능개선 기술개발과 실증연구를 통한 안정적 농업 생산기반 구축 지원 · 저수지 피해특성과 사용성변화에 따른 치수 성능개선 기술개발 · 기후변화 및 저수지 시설기준변화에 따른 이수 성능개선 기술개발				보고서 면수: 606	



## 〈 요약 문 〉

연구의 목적 및 내용	<p>(성능개선)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국가 주요 기반시설의 노후화가 진전되면서 사회적 문제가 발생함에 따라 정부는 “지속가능한 기반시설 관리 기본법”을 ‘18년 제정</li> <li>○ 기술개발이 필요한 농식품부 산하의 과제는 저수지의 ‘성능평가’, ‘최소유지관리기준’, ‘성능개선기준’ 개발로 요약할 수 있음</li> </ul> <p>본 연구의 내용과 범위는 다음과 같음</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 확률통계기반의 저수지 피해특성 및 성능요소 분석</li> <li>- 성능저하 요인분석</li> <li>- 농업용 저수지의 이수안전도 평가기법 개발</li> <li>- 저수지 및 양배수장의 성능평가 방안 도출</li> </ul> <p>(자율학습)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 4차 산업혁명 시대의 Big Data, ICT, IoT 등의 신기술을 농업용수 물관리에 효과적으로 도입할 수 있는 기술개발 필요성이 대두되어 ICT기반 센서 및 기반시설물 원격제어 기술을 이용하여 물관리 빅데이터(Big Data) 구축하고, 이를 효율적으로 이용하기 위한 자율물관리 인공지능(AI) 기술 개발</li> </ul>																				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 연구에서는 농업생산기반시설물의 성능평가 기법과 장수명화 기술개발을 목적으로 성능평가, 최소유지관리, 성능개선에 대한 기술과 적용방안을 마련함</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">구분</th> <th>연구내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>① 성능평가 모델 개발</td> <td>시설물 기능저하 수준과 상태를 평가할 수 있는 모델 개발 - 통계·확률에 의한 열화(劣化)모델 개발</td> </tr> <tr> <td>② 성능평가 매뉴얼 개발</td> <td>안전성, 내구성, 사용성을 복합 고려한 성능평가 매뉴얼 개발 - 기존 안전진단 매뉴얼의 부족한 부분을 개선·보완 (사용성 등)</td> </tr> <tr> <td>③ 法 관련 기준마련</td> <td>성능평가 기술과 기준 개발을 통한 성능평가 근거 제공 - 최소유지관리기준, 성능개선기준 정립</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 연구에서는 계측 데이터를 기반으로 농업용수 빅데이터를 구축하고, 데이터 기반 최적의 물관리 알고리즘을 개발하여, ICT/IoT를 활용한 자율학습 물관리 기술의 현장적용 방안을 검토함.</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">구분</th> <th>연구내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>① ICT기반 물관리시스템</td> <td>입력 데이터 생산 및 처리 방법론 분석 - 데이터 상관관계 분석 및 저수율 예측 알고리즘 개발</td> </tr> <tr> <td>② IoT기반 스마트수리시설물</td> <td>계측 네트워크 운영 및 자율학습 물관리시스템 개발 - 계측 네트워크 및 파일럿 시스템 구축</td> </tr> <tr> <td>③ 데이터 분석 및 단계별 전략</td> <td>데이터 기반 최적 관개공급 알고리즘 개발 - 최적관개를 위한 알고리즘 개발 및 평가지표 제시</td> </tr> </tbody> </table>					구분	연구내용	① 성능평가 모델 개발	시설물 기능저하 수준과 상태를 평가할 수 있는 모델 개발 - 통계·확률에 의한 열화(劣化)모델 개발	② 성능평가 매뉴얼 개발	안전성, 내구성, 사용성을 복합 고려한 성능평가 매뉴얼 개발 - 기존 안전진단 매뉴얼의 부족한 부분을 개선·보완 (사용성 등)	③ 法 관련 기준마련	성능평가 기술과 기준 개발을 통한 성능평가 근거 제공 - 최소유지관리기준, 성능개선기준 정립	구분	연구내용	① ICT기반 물관리시스템	입력 데이터 생산 및 처리 방법론 분석 - 데이터 상관관계 분석 및 저수율 예측 알고리즘 개발	② IoT기반 스마트수리시설물	계측 네트워크 운영 및 자율학습 물관리시스템 개발 - 계측 네트워크 및 파일럿 시스템 구축	③ 데이터 분석 및 단계별 전략	데이터 기반 최적 관개공급 알고리즘 개발 - 최적관개를 위한 알고리즘 개발 및 평가지표 제시
구분	연구내용																				
① 성능평가 모델 개발	시설물 기능저하 수준과 상태를 평가할 수 있는 모델 개발 - 통계·확률에 의한 열화(劣化)모델 개발																				
② 성능평가 매뉴얼 개발	안전성, 내구성, 사용성을 복합 고려한 성능평가 매뉴얼 개발 - 기존 안전진단 매뉴얼의 부족한 부분을 개선·보완 (사용성 등)																				
③ 法 관련 기준마련	성능평가 기술과 기준 개발을 통한 성능평가 근거 제공 - 최소유지관리기준, 성능개선기준 정립																				
구분	연구내용																				
① ICT기반 물관리시스템	입력 데이터 생산 및 처리 방법론 분석 - 데이터 상관관계 분석 및 저수율 예측 알고리즘 개발																				
② IoT기반 스마트수리시설물	계측 네트워크 운영 및 자율학습 물관리시스템 개발 - 계측 네트워크 및 파일럿 시스템 구축																				
③ 데이터 분석 및 단계별 전략	데이터 기반 최적 관개공급 알고리즘 개발 - 최적관개를 위한 알고리즘 개발 및 평가지표 제시																				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<p>농업생산기반시설의 효율적인 관리계획 수립 지원</p> <p>농업생산기반시설의 최소유지관리기준 및 성능개선기준 상정</p>																				
국문핵심어 (5개 이내)	농업생산기반시설	성능개선	자율학습	물관리																	
영문핵심어 (5개 이내)	Agricultural Infrastructure	Performance Improvement	Unsupervised Learning	Water Management																	

## < SUMMARY >

	코드번호	D-02																
<b>Purpose&amp; Contents</b>	<p>(Performance improvement)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ The government enacted the “Basic Act on Sustainable Infrastructure Management” in 2018 as social problems occurred due to the aging of national major infrastructure.</li> <li>○ The areas that require technological development as a task of the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs can be summarized as the development of ‘performance evaluation’, ‘minimum maintenance standards’, and ‘performance improvement standards’ of reservoirs.</li> </ul> <p>The contents and scope of this study are as follows.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analysis of reservoir damage characteristics and performance factors based on probability and statistics</li> <li>- Performance degradation factor analysis</li> <li>- Development of safety evaluation technique for agricultural reservoirs</li> <li>- Derivation of performance evaluation measures for reservoirs and pumping and drainage station</li> </ul> <p>(Unsupervised Learning)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ The need for technology development that can effectively introduce new technologies such as Big Data, ICT, and IoT to agricultural water management is emerging.</li> <li>○ It is necessary to develop artificial intelligence technology to build water management big data and improve water management efficiency using ICT-based sensors and remote control technology.</li> </ul>																	
<b>Results</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ In this study, technology development and application plan for performance evaluation, minimum maintenance and performance improvement are prepared for performance evaluation and long life of agricultural infrastructure.</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%; text-align: center;">구분</th> <th style="text-align: center;">연구내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">① Performance evaluation model development</td> <td>Development of a model that can evaluate the level and condition of facility deterioration - Development of a degradation model based on statistics and probability</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">② Performance evaluation manual development</td> <td>Development of performance evaluation manual considering safety, durability and usability - Improvement and supplementation of the existing safety diagnosis manual (usability, etc.)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">③ Preparation of legal standards</td> <td>Development of basis for performance evaluation through the development of performance evaluation technology and standards - Establishment of minimum maintenance standards and performance improvement standards</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ In this study, based on the measurement data, big data for agricultural water was built, and an optimal water management algorithm based on data was developed, and a method for field application of unsupervised water management technology using ICT/IoT was reviewed.</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%; text-align: center;">구분</th> <th style="text-align: center;">연구내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">① ICT based water management system</td> <td>Analysis of input data production and processing methodologies - Data correlation analysis and low-yield prediction algorithm development</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">② IoT based Smart water management facility</td> <td>Measurement network operation and unsupervised water management system development - Establishment of measurement network and pilot system</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">③ data analysis and step-by-step strategy</td> <td>Development of data-based optimal irrigation supply algorithm - Development of optimal irrigation algorithm and evaluation index</td> </tr> </tbody> </table>		구분	연구내용	① Performance evaluation model development	Development of a model that can evaluate the level and condition of facility deterioration - Development of a degradation model based on statistics and probability	② Performance evaluation manual development	Development of performance evaluation manual considering safety, durability and usability - Improvement and supplementation of the existing safety diagnosis manual (usability, etc.)	③ Preparation of legal standards	Development of basis for performance evaluation through the development of performance evaluation technology and standards - Establishment of minimum maintenance standards and performance improvement standards	구분	연구내용	① ICT based water management system	Analysis of input data production and processing methodologies - Data correlation analysis and low-yield prediction algorithm development	② IoT based Smart water management facility	Measurement network operation and unsupervised water management system development - Establishment of measurement network and pilot system	③ data analysis and step-by-step strategy	Development of data-based optimal irrigation supply algorithm - Development of optimal irrigation algorithm and evaluation index
구분	연구내용																	
① Performance evaluation model development	Development of a model that can evaluate the level and condition of facility deterioration - Development of a degradation model based on statistics and probability																	
② Performance evaluation manual development	Development of performance evaluation manual considering safety, durability and usability - Improvement and supplementation of the existing safety diagnosis manual (usability, etc.)																	
③ Preparation of legal standards	Development of basis for performance evaluation through the development of performance evaluation technology and standards - Establishment of minimum maintenance standards and performance improvement standards																	
구분	연구내용																	
① ICT based water management system	Analysis of input data production and processing methodologies - Data correlation analysis and low-yield prediction algorithm development																	
② IoT based Smart water management facility	Measurement network operation and unsupervised water management system development - Establishment of measurement network and pilot system																	
③ data analysis and step-by-step strategy	Development of data-based optimal irrigation supply algorithm - Development of optimal irrigation algorithm and evaluation index																	



<b>Expected Contribution</b>	Support for the establishment of an efficient management plan for agricultural infrastructure Establishment of minimum maintenance standards and performance improvement standards for agricultural infrastructure				
<b>Keywords</b>	Agricultural Infrastructure	Performance Improvement	Unsupervised Learning	Water Management	





농업생산기반시설 성능개선 및  
자율학습 물관리 기술개발

01

# 자율학습 물관리편





# CONTENTS

1. Outline of R&D project .....	1
2. Research area and current status .....	9
3. Basic design of ICT-based water management system .....	13
4. Basic design of IoT-based smart repair facility .....	63
5. Derivation of water level measurement data analysis methodology ..	177
6. Establishment of step-by-step technology development strategic plan ...	233
7. Conclusion .....	236
<References> .....	238



# 〈 목 차 〉

1장 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.1.1 연구배경	1
1.1.2 연구목적	5
1.2 연구범위	6
2장 연구대상지역 및 현황	9
3장 ICT 기반 물관리 시스템 기본설계	13
3.1 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계	15
3.1.1 저수지 물수지 모형 기본설계	15
3.1.2 저수지 유입량 산정 모형 기본설계	15
3.1.3 용수공급량 산정 모형 기본설계	27
3.2 논물수지를 반영한 용수공급 취약지역 분석 방안 마련	38
3.2.1 논물수지를 반영한 평야부 모델링	38
3.2.2 용수공급 취약지역 분석방안 마련	46
3.3 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘 기본설계	49
3.3.1 최적 관개를 위한 평가지표 설정	49
3.3.2 최적 수문개도율 도출(수문 무조작 시)	51
3.3.3 관개수로 모의 및 최적화(수문조작 및 관개방식)	55
3.4 시나리오 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증	58
4장 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계	63
4.1 IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정	63
4.1.1 IoT 기반의 스마트 수리시설물 선정을 위한 수문 검토	65
4.1.2 관련 설계기준 검토 및 수문 설치 현황 분석	71
4.1.3 수문 검토에 따른 수리시설물 설계기준 개발	73
4.1.4 저동력수문(LPL게이트) 기본설계	80
4.2 수리시설물 설치 지역 선정 및 시범 계측장비 설치	95
4.2.1 대상지역 선정 및 현황분석	95
4.2.2 공사관리 계측장비 현황	102
4.2.3 시범 계측장비 설치 현황	105
4.2.4 계측 네트워크를 활용한 농업용수 이용현황 분석	109

4.3 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영 .....	129
4.3.1 계측장비 시범 운영 .....	129
4.3.2 계측자료를 이용한 용수절감효과 분석 .....	130
4.4 스마트 수리시설물 통합 제어 시스템 설계 .....	136
4.4.1 수리 네트워크 구축 .....	136
4.4.2 스마트 수리시설물 파일럿 분석시스템 개발 .....	150
<b>5장 수위 계측 데이터 분석 방법론 도출 .....</b>	<b>177</b>
5.1 연구범위 및 내용 .....	177
5.1.1 연구대상 .....	177
5.1.2 연구범위 .....	177
5.1.3 연구내용 .....	178
5.2 저수지 데이터 품질 및 처리 방법 .....	179
5.2.1 저수지 데이터의 품질 및 특성 .....	179
5.2.2 저수지 데이터 전처리 방법론 .....	182
5.2.3 분석용 메타 데이터 결합 방법론 .....	182
5.3 분석 데이터 통계적 특성 .....	183
5.3.1 저수지 데이터의 통계적 특성 .....	183
5.4 저수지 데이터 상관관계 분석 .....	189
5.4.1 관개기간 내 각 변수의 패턴 분석 .....	189
5.4.2 관개기간 내 각 변수의 상관 분석 .....	191
5.5 저수량 예측 알고리즘 개발 .....	192
5.5.1 알고리즘 개발 목표 .....	193
5.5.2 저수지 데이터 수집 및 분석 .....	194
5.5.3 저수율 예측 모형 개발 .....	208
5.5.4 저수율 예측 모형의 한계 및 향후계획 .....	232
<b>6장 단계별 기술개발 전략계획 수립 .....</b>	<b>233</b>
6.1 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획 수립 .....	233
6.2 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립 .....	233
6.3 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립 .....	234
6.4 도입기술의 현장 적용 전략계획 수립 .....	235
<b>7장 결 론 .....</b>	<b>236</b>
□ 참고문헌 .....	238



## 〈 표 목차 〉

(표 1-1) 국내 경지면적 추이 .....	3
(표 2-1) 무수저수지 체원 .....	10
(표 2-2) 작부시기 대비표 .....	12
(표 3-1) 작부시기 및 관개관행 제약조건 .....	33
(표 3-2) 무수저수지 추정된 작부시기 및 관개관행 .....	34
(표 3-3) 모의 관개만족도(2001년, 2015년) .....	46
(표 3-4) 시나리오별 모의분석 결과 .....	62
(표 4-1) 수문의 구분 .....	66
(표 4-2) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토(LPL 게이트) .....	75
(표 4-3) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토(SRS 게이트) .....	76
(표 4-4) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토(UHA 게이트) .....	78
(표 4-5) IoT 기반의 스마트 수리시설물 비교표 .....	79
(표 4-6) 강재와 GFRP소재의 기계적 특성 비교 .....	81
(표 4-7) 관개수로용 수문의 최종목표 .....	93
(표 4-8) 관개수로용 수문 프로토타입 기립 시험 .....	94
(표 4-9) 관개수로용 수문 프로토타입 도복 시험 .....	94
(표 4-10) 무수저수지 현황 .....	96
(표 4-11) 작부시기 대비표 .....	99
(표 4-12) 계측기 선정 및 설치 .....	108
(표 4-13) 월별 유입량 비교 (천톤) .....	112
(표 4-14) 년도별 유입량 비교 (천톤) .....	113
(표 4-15) 월별 공급량 비교 (천톤) .....	117
(표 4-16) 월별 무효방류량 비교 (천톤) .....	118
(표 4-17) 년도별 공급량 비교 (천톤) .....	119
(표 4-18) 년도별 무효방류량 비교 (천톤) .....	119
(표 4-19) 월별 저수량 비교 (천톤) .....	121
(표 4-20) 년도별 저수량 비교 (4 ~ 9월) (천톤) .....	122
(표 4-21) 수해구역별 조용수량 산정(천톤) .....	124
(표 4-22) 수해구역별 손실수량 산정 .....	125
(표 4-23) 년도별 조용수량 및 손실수량(천톤) .....	126

(표 4-24) 회귀수량 산정(천톤) .....	128
(표 4-25) Monitoring Network 운영을 통한 농업용수 산정 .....	130
(표 4-26) 월별 용수절감효과(천톤) .....	135
(표 4-27) 년도별 용수절감량(천톤) .....	135
(표 4-28) 수리 네트워크의 구성요소 .....	137
(표 4-29) 수리 네트워크의 구성요소 분석 .....	137
(표 4-30) 수리 네트워크 구성요소의 모델 적용 요소 .....	139
(표 4-31) 수리 네트워크 구성요소의 속성값 .....	144
(표 4-32) 무수저수지 내용적 조건표 .....	146
(표 4-33) 수리 네트워크 관련 엔터티 분석 .....	150
(표 4-34) 분석 관련 엔터티 .....	151
(표 4-35) 공통정보 관련 엔터티 .....	152
(표 4-36) 시스템 메뉴의 구성 .....	171
(표 5-1) 분석대상 데이터 .....	177
(표 5-2) 분석대상 메타데이터 .....	177
(표 5-3) K-Data 데이터 품질 평가 기준표 .....	179
(표 5-4) 데이터 품질 평가 결과표 .....	179
(표 5-5) 저수량 데이터 형태표 .....	180
(표 5-6) 공급량 데이터 형태표 .....	181
(표 5-7) 강수량 데이터 형태표 .....	181
(표 5-8) 메타 데이터 형태표 .....	182
(표 5-9) 월별 저수량 기술통계량 .....	183
(표 5-10) 일별 저수량 기술통계량 .....	184
(표 5-11) 월별 공급량 기술통계량 .....	185
(표 5-12) 관개기 일별 공급량 기술통계량 .....	186
(표 5-13) 월별 강수량 기술통계량 .....	187
(표 5-14) 일별 강수량 기술통계량 .....	188
(표 5-15) 관개기 주요 변수 상관 계수표 .....	191
(표 5-16) 저수율 데이터 기초 통계표 .....	194
(표 5-17) 연도별 저수율 변화값 .....	197
(표 5-18) 영농기 저수율 연도별 변화값 .....	198
(표 5-19) 비영농기 저수율 연도별 변화값 .....	199

(표 5-20) 월별 저수율 변화값 .....	200
(표 5-21) 요일별 저수율 변화값 .....	202
(표 5-22) 영농기 요일별 저수율 변화값 .....	202
(표 5-23) 비영농기 요일별 저수율 변화값 .....	203
(표 5-24) 요일별 공급량 변화값 .....	204
(표 5-25) 독립변수와 저수량 간의 상관계수 .....	205
(표 5-26) 년도별 정상데이터 비율 .....	206
(표 5-27) 월별 정상데이터 비율 .....	207
(표 5-28) 모형 적합을 위한 설명변수와 종속변수 .....	215
(표 5-29) 은닉층 출력 차원에 따른 모형의 시험 BCE와 MSE .....	218
(표 5-30) 활성화 함수에 따른 모형의 시험 BCE와 MSE .....	223
(표 5-31) 시점부 유량 예측모형과 seq2seq(비교모형)의 성능 .....	225
(표 5-32) 시점부 유량 예측모형과 랜덤포레스트 모형 비교 .....	227

## 〈 그림 목차 〉

<그림 1-1> 물관리 일원화 관련 정부조직 개정내용 .....	1
<그림 1-2> 국가물관리기본계획과 물관련 계획(법안) .....	2
<그림 1-3> 국가물관리기본계획 7가지 원칙 .....	2
<그림 1-4> 17년도 평년대비 강수량(좌) 및 저수율(우) ('17.6.30) .....	3
<그림 1-5> 연구목적 개념도 .....	5
<그림 2-1> 대상지(무수저수지) 위치 .....	9
<그림 2-2> 무수저수지(전경 및 물넘이) .....	10
<그림 2-3> 무수저수지 관개지구 .....	11
<그림 2-4> 일반적인 논관개 작부시기 .....	12
<그림 3-1> 자율학습물관리 요소기술 .....	13
<그림 3-2> 본 연구과제의 목표 및 요소기술 .....	14
<그림 3-3> 저수지 물수지 모형 .....	15
<그림 3-4> 3단 Tank모형 개념도 (전상민, 2014) .....	18
<그림 3-5> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (김현영과 박승우, 1988) .....	19
<그림 3-6> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (강민구 등, 2013) .....	19
<그림 3-7> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2015) .....	20
<그림 3-8> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2013) .....	20
<그림 3-9> ONE 모형의 모식도 .....	21
<그림 3-10> 천안기상관측소 일강우량 .....	22
<그림 3-11> 무수저수지 유입량 모의결과 (3단 Tank, ONE) .....	23
<그림 3-12> 무수저수지 유입량 연도별 모의결과 (3단 Tank, ONE) .....	24
<그림 3-13> 무수저수지 저수율 (2001~2015년) .....	28
<그림 3-14> 연별 관개공급량 산정 (2001~2015년) .....	28
<그림 3-15> 무수저수지 순별 공급량 추정값(2001~2008) .....	29
<그림 3-16> 무수저수지 순별 공급량 추정값(2009~2015) .....	30
<그림 3-17> 무수저수지 순별 공급량 .....	31
<그림 3-18> HOMWRS와 ARWS의 작부시기 .....	32
<그림 3-19> 개미군집알고리즘 개념도 .....	33

<그림 3-20> 무수저수지 저수율 추적 .....	35
<그림 3-21> 무수저수지 저수율 개별년도 추적결과 (2001~2008) .....	36
<그림 3-22> 무수저수지 저수율 개별년도 추적결과 (2000~2015) .....	37
<그림 3-23> SWMM 모듈과 도수부 수리 네트워크 모델링 관계도 .....	38
<그림 3-24> Preissmann Slot기법의 개념도 .....	39
<그림 3-25> 적용가능한 수로단면형상 .....	40
<그림 3-26> 관개수로망 모형 상에서의 노드과 링크 연결 .....	41
<그림 3-27> 오리피스의 계산식 및 모식도 .....	44
<그림 3-28> 위어의 계산식 및 모식도 .....	45
<그림 3-29> 급수부 물수지 모형 개념도 .....	45
<그림 3-30> 2011년도 관개만족도(ISI) .....	47
<그림 3-31> 2015년도 관개만족도(ISI) .....	48
<그림 3-32> 관개율(IR)과 $f_1$ 과의 관계 .....	50
<그림 3-33> 관개기 최저수율( $S_{min}$ )과 $f_2$ 와의 관계 .....	51
<그림 3-34> 무수저수지의 필지면적과 간선수문(분수문포함) .....	52
<그림 3-35> 무수저수지의 최적용수분배 개략도 .....	53
<그림 3-36> 무조작 최적 간선수문개도 높이 .....	54
<그림 3-37> MCTC 알고리즘의 4단계 과정 .....	56
<그림 3-38> 천안기상관측소 일강우량 .....	58
<그림 3-39> 천안기상관측소 연강우량 .....	58
<그림 3-40> 저강우량 시나리오 필지별 관개율 .....	59
<그림 3-41> 중간강우량 시나리오 필지별 관개율 .....	59
<그림 3-42> 고강우량 시나리오 필지별 관개율 .....	60
<그림 3-43> 강우량 시나리오별 저수율 변화 .....	61
<그림 4-1> 국내에 적용되고 있는 수문 종류 .....	64
<그림 4-2> 국외에 적용되고 있는 수문 종류 .....	65
<그림 4-3> 유압식 전도게이트 형상 .....	67
<그림 4-4> 다단전도식 게이트 형상 .....	68
<그림 4-5> 고무보 형상 .....	68

<그림 4-6> 고정보 형상 .....	69
<그림 4-7> 하단배출식 게이트 형상 .....	70
<그림 4-8> 무동력 자동 게이트 .....	70
<그림 4-9> IoT 기반 스마트 수리시설물 설계기술 개발 .....	73
<그림 4-10> LPL 게이트 형상 .....	74
<그림 4-11> LPL 게이트 대표 설계도 .....	74
<그림 4-12> SRS 게이트 형상 .....	76
<그림 4-13> SRS 게이트 대표 설계도 .....	76
<그림 4-14> UHA 게이트 형상 .....	77
<그림 4-15> UHA 게이트 대표 설계도 .....	78
<그림 4-16> 유리소재 강화 소재 종류 .....	80
<그림 4-17> GFRP 소재 보강근 .....	82
<그림 4-18> GFRP 소재 대구경 파이프 .....	83
<그림 4-19> GFRP 소재 교량 바닥판 .....	83
<그림 4-20> 돌핀에 시공된 GFRP 소재 파일 .....	84
<그림 4-21> 고층건물 옥탑의 통기신설 GFRP 구조물 .....	84
<그림 4-22> GFRP 소재 난간 .....	85
<그림 4-23> 저동력 수문에 수압이 걸리는 모습 .....	86
<그림 4-24> 저동력 수문게이트가 기울어진 모습 .....	88
<그림 4-25> 부채꼴 원형단면의 삼각형도 .....	89
<그림 4-26> 도면에 따른 수문 프레임 및 게이트 가공 .....	90
<그림 4-27> 수문 게이트 거치(정면, 측면) .....	91
<그림 4-28> 수문 작동기 및 수문 정면 형상 .....	91
<그림 4-29> 지수고무 부착 및 가공(좌, 우) .....	92
<그림 4-30> 프로토타입 제작 완료(기립, 도복 형상) .....	92
<그림 4-31> 수문 게이트 GFRP 가공 .....	92
<그림 4-32> 프로토타입 성능시험 .....	93
<그림 4-33> 대상지구 위치도 .....	95
<그림 4-34> 무수저수지(전경 및 물넘이) .....	96

<그림 4-35> 무수저수지 관개지구 .....	97
<그림 4-36> 작부시기 .....	98
<그림 4-37> 대상지구 기존 계측기 설치 현황 .....	100
<그림 4-38> 대상지구 물관리 현황의 문제점 .....	101
<그림 4-39> 대상지구 기존 계측망 .....	102
<그림 4-40> 저수지 취수탑 .....	103
<그림 4-41> 취수탑 방수문(회죽간선, 금곡간선 방수문) .....	103
<그림 4-42> 금곡간선 금곡방수문 .....	104
<그림 4-43> 회죽간선 만덕방수문 .....	104
<그림 4-44> Monitoring Network 구축 .....	105
<그림 4-45> Monitoring Network 상세도 .....	107
<그림 4-46> 모의 및 실측 유입량 비교 .....	111
<그림 4-47> 월별 모의 및 실측 공급량 비교 .....	115
<그림 4-48> 년도별 모의 및 실측 공급량 비교 .....	115
<그림 4-49> 월별 모의 및 실측 무효방류량 비교 .....	116
<그림 4-50> 년도별 모의 및 실측 무효방류량 비교 .....	116
<그림 4-51> 월별 모의 및 실측 저수량 비교 .....	120
<그림 4-52> 년도별 모의 및 계측 저수량 비교 (4월~9월) .....	120
<그림 4-53> Monitoring Network 구축 모식도 .....	123
<그림 4-54> 월별 조용수량 및 손실수량 .....	126
<그림 4-55> 년도별 조용수량 및 손실수량 .....	126
<그림 4-56> 회귀수량 산정모식도 .....	127
<그림 4-57> 계측장비 재설치 .....	129
<그림 4-58> 수위 계측 현황 .....	130
<그림 4-59> 농업용수량 산정 .....	131
<그림 4-60> 농업용수 공급 및 배수 네트워크 체계 개념도 .....	136
<그림 4-61> 수리 네트워크 구성 모델링 .....	138
<그림 4-62> Orifice 유출의 자유유출(좌)과 수중유출(우) .....	140
<그림 4-63> 분기점의 네트워크 모델링 .....	140

<그림 4-64> 포장(논)에서의 물수지 .....	141
<그림 4-65> 포장(논) 물수지 개념 .....	142
<그림 4-66> 포장(논)의 네트워크 모델링 .....	142
<그림 4-67> 유말공의 네트워크 모델링 .....	143
<그림 4-68> 무수저수지 내용적 수리 네트워크 적용 결과 .....	147
<그림 4-69> 수리 네트워크 구축을 위한 현장조사용 도면 .....	147
<그림 4-70> DEM과 수로중심선 중첩에 의한 지반고 추출 .....	148
<그림 4-71> 수로 바닥고 추정 .....	148
<그림 4-72> 측정지점 간 수로 바닥고 추정 .....	149
<그림 4-73> 무수저수지 수리 네트워크 구축 결과 .....	149
<그림 4-74> 논리적 구성 ERD .....	153
<그림 4-75> 물리적 구성 ERD .....	154
<그림 4-76> 시스템 메인화면 구성 .....	171
<그림 4-77> 저수율 정보 조회 화면 .....	172
<그림 4-78> 저수율 정보 조회 결과 저장 .....	172
<그림 4-79> 기상 정보 조회 화면 .....	173
<그림 4-80> 저수지 정보 추가 및 삭제 .....	173
<그림 4-81> 필요수량 정보 조회 .....	174
<그림 4-82> 농업용수 단기분석 설정 화면 .....	174
<그림 4-83> 농업용수 단기분석 결과 화면 .....	175
<그림 4-84> 분석된 지점별 결과 조회 화면 .....	175
<그림 4-85> 농업용수 중장기 분석 설정 화면 .....	176
<그림 4-86> 농업용수 중장기 분석 결과 화면 .....	176
<그림 5-1> 월별 저수량 변화 추이 그래프 .....	183
<그림 5-2> 일별 저수량 히스토그램 .....	184
<그림 5-3> 월별 공급량 변화 추이 그래프 .....	185
<그림 5-4> 관개기 공급량 히스토그램 .....	185
<그림 5-5> 월별 강수량 변화 추이 그래프 .....	187
<그림 5-6> 일별 강수량 히스토그램 .....	187



<그림 5-7> 관개기 저수량 Box Plot .....	189
<그림 5-8> 관개기 공급량 Box Plot .....	190
<그림 5-9> 관개기 강수량 Box Plot .....	190
<그림 5-10> 관개기 주요 변수 상관관계 그래프 .....	191
<그림 5-11> 금회 저수율, 전년 저수율, 평년저수율 HeatMap .....	195
<그림 5-12> 금회 저수율, 전년 저수율, 평년저수율 이상치 및 skewness .....	195
<그림 5-13> 2020년 저수율 시계열 그래프 .....	196
<그림 5-14> 2019년 저수율 시계열 그래프 .....	196
<그림 5-15> 평년 저수율 시계열 그래프 .....	196
<그림 5-16> 연도별 저수율 변화 추이 .....	197
<그림 5-17> 영농기 저수율 연도별 변화 추이 .....	198
<그림 5-18> 비영농기 저수율 연도별 변화 추이 .....	199
<그림 5-19> 월별 저수율 추이 .....	200
<그림 5-20> 월별 공급량 추이 .....	201
<그림 5-21> 요일별 저수율 추이 .....	201
<그림 5-22> 영농기 요일별 저수율 추이 .....	202
<그림 5-23> 비영농기 요일별 저수율 추이 .....	203
<그림 5-24> 요일별 공급량 .....	203
<그림 5-25> 연도별 개도빈도 .....	204
<그림 5-26> 월별 개도빈도 .....	204
<그림 5-27> 독립변수 상관계수 heatmap .....	206
<그림 5-28> RNN cell의 구조 .....	208
<그림 5-29> LSTM cell의 구조 .....	210
<그림 5-30> GRU cell의 구조 .....	211
<그림 5-31> seq2seq 모형의 구조(Dive into Deep Learning) .....	212
<그림 5-32> Transformer 모형의 구조(Vaswani et al., 2017) .....	213
<그림 5-33> 무수저수지 시점부 유량 예측모형의 구조 .....	217
<그림 5-34> 은닉층의 출력 차원에 따른 학습 히스토리 .....	219
<그림 5-35> tanh 활성화 함수 .....	221

<그림 5-36> relu 활성화 함수 .....	222
<그림 5-37> elu 활성화 함수 .....	222
<그림 5-38> selu 활성화 함수 .....	223
<그림 5-39> 활성화 함수에 따른 학습 히스토리 .....	224
<그림 5-40> seq2seq 모형(비교모형)의 학습 히스토리 .....	225
<그림 5-41> 7일 예측시 실제유량과 시점부 예측모형 결과 비교 .....	226
<그림 5-42> 7일 예측시 실제 시점부 유량과 seq2seq 모형 결과 비교 .....	226
<그림 5-43> 모형별 수문개방여부 예측 ROC 곡선 .....	228
<그림 5-44> 저수율 예측모형의 구조 .....	229
<그림 5-45> 학습데이터의 실제 저수율과 저수율 예측모형의 예측값 .....	231
<그림 5-46> 7일 예측시 실제 저수율과 저수율 예측모형의 예측값 .....	231
<그림 5-47> 3일 예측시 실제 저수율과 저수율 예측모형의 예측값 .....	232
<그림 6-1> 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획 .....	233
<그림 6-2> 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 .....	233
<그림 6-3> 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 .....	234

# 1장 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

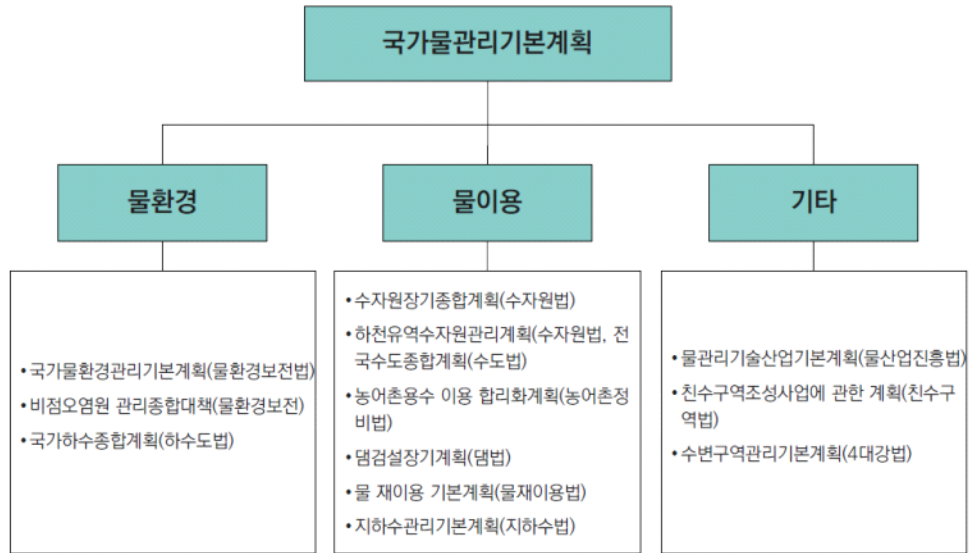
### 1.1.1 연구배경

최근 잦은 기상이변으로 인해 신규 수자원 개발과 이·치수를 담당하는 기존의 수리시설물의 적절한 운영의 필요성이 고조되고 있다. 또한 현재 정부에서는 수량과 수질, 재해예방 등을 환경부에서 통합·관리하는 정책이 이미 추진되어 현재 실행되고 있으며 이에 따라 새롭게 다양한 용수에 관한 요구가 발생하고 있다. 2018년 5월 28일 「물관리기본법안」, 「정부조직법 일부개정법률안」, 「물관리기술 발전 및 물산업 진흥에 관한 법률안」이 의결됨에 따라, 예전 수질(환경부)과 수량(국토부)으로 나누어진 국가 물관리 운영체계를 환경부로 일원화하여 통합관리하게 되었으며, 국토부 수자원정책국(지방청 하천국, 홍수통제소, 수공 포함)의 하천 수량관리, 광역상수도 관리 기능을 환경부로 이관하였다(그림 1-1).

	환경부 이관	국토부 존치
소관 법률 (7개)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수자원법 - 지하수법</li> <li>- 댐건설법 - 친수구역법</li> <li>- 한국수자원공사법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하천법</li> <li>- 하천편입토지보상법</li> </ul>
기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수문조사 - 광역상수도</li> <li>- 댐운영관리</li> <li>- 수자원산업육성</li> <li>- 홍수통제(수량결정)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하천 점용허가</li> <li>- 하천공사 및 유지보수</li> <li>- 하천시설 관리</li> </ul>
조직	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (본부)수자원 정책국 (3개과)</li> <li>- (소속)홍수통제소(4개)</li> <li>- (산하)수자원공사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (본부)하천계획 존치</li> <li>- (소속)지방국토청(5개)</li> </ul>

<그림 1-1> 물관리 일원화 관련 정부조직 개정내용

이에 따라 농업용수를 관리하는 농어촌정비법을 포함한 물관련 계획은 수립 및 변경 시 국가물관리계획과의 부합여부를 국가물관리위원회 심의를 받아야 하며, 필요한 경우 계획 변경 요구 가능하도록 되어있다.



<그림 1-2> 국가물관리기본계획과 물관련 계획(법안)

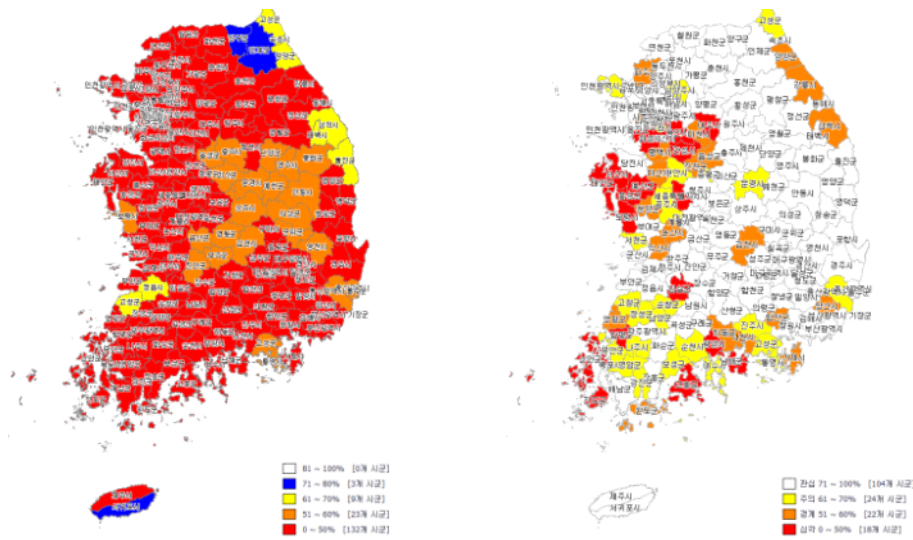
국가물관리기본계획의 기본원칙은 7항목으로 다음그림과 같다.



<그림 1-3> 국가물관리기본계획 7가지 원칙

위와 같은 기본원칙을 바탕으로 향후 물관련 정책이 수립되고 집행될 예정으로, 이에 따라 시설원예, 친수공간, 생태하천 등 기존 농업용수를 다양하게 활용하려는 요구가 증대될 것으로 예상된다. 이러한 국내의 사회정책적인 상황에 대응하기 위해서는 농업용수에 대한 정량적이고 과학적인 물관리가 요구된다.

최근 기상이변에 의하여 국내 농업가뭄의 발생주기가 빨라지고 지역별 강수편차가 확대되는 추세이다. 실례로 2017년도 6월까지의 누적강수량은 224mm로 평년대비 48% 수준이었으나, 장마 이후 8월말일 기준 773mm로 평년대비 75% 수준을 보였다. 또한 1973년 기상관측 이래 2017년도 6월까지의 강수량은 역대 최저 수준으로 경기 남부, 충남 서북부, 전남 남부지역 등 넓은 범위에 걸쳐 가뭄이 발생하였다(그림 1.2 참조). 1973년 기상관측 이후에 일반적으로 5~7년 주기로 전국적 가뭄이 반복되었으나 최근에는 지역적 가뭄 발생 빈도가 점차 심화되면서 매년 국소적인 가뭄이 지역별로 번갈아 발생하고 있는 실정이다.



〈그림 1-4〉 17년도 평년대비 강수량(좌) 및 저수율(우) ('17.6.30)

2007년에서 2017년까지 10년간 국내 논 면적은 1,070천ha에서 865천ha로 약 19% 감소하였으며, 밭 면적은 712천ha에서 756천ha로 약 6% 증가하였다(표 1 참고). 이와 같은 논에서 밭으로의 농지변화는 앞으로도 지속적으로 발생할 것으로 예상되며, 이에 따른 대처가 요구되는 상황이다. 현재까지 농업용수관리는 논에 대한 용수공급만 이루어 졌으나, 논에서 밭으로의 영농방식 변화에 맞추어 다목적 용도로의 효율적 물관리 운영기술 필요한 실정이다.

(표 1-1) 국내 경지면적 추이

경지	2007	2012	2013	2014	2015	2016	2017
논(천ha)	1,070	964	934	896	908	896	865
밭(천ha)	712	764	748	757	771	748	756
합계	1,782	1,730	1,711	1,691	1,679	1,644	1,621

국내 농가인구는 1970년 14,422천명에서 2010년 3,063천명으로 78.8% 급감했으며, 심각한 고령화로 인해 농가인구 중 65세 이상 인구는 2010년에 31.7%로 1970년 4.9%에 비해 26.8% 증가하였다. 농촌지역의 노임음 농업노동력 공급 감소로 인하여 전체적인 농업 노임 상승하였으며, 현재 농어촌공사의 물관리 종사자 1인당평균 관리 수원공 개소는 9개소이며 수로연장은 20km에 달한다. 따라서 현재의 사회환경과 시스템으로는 인력에 의한 농업용수의 관리는 한계가 존재하며, ICT 및 IoT기술을 적극 도입하여 물이용의 효율을 증대할 필요가 있다.

현재 4차 산업혁명이 산업 전 분야에 걸쳐 일어나고 있으며 농업분야에도 ICT, IoT, 빅데이터 기술이 도입되어 새로운 가치를 창출하고 있다. 농업용수 관리 분야에 있어서는 데이터를 활용한 수요자 중심의 지능형 물관리 사업이 추진되고 있으며, 일정규모 이상 저수지 및 양수장 농업용수 공급량 측정 계측기의 설치가 추진 중에 있다. 그러나 현재까지 이러한 설치된 계측장치들의 활용방안에 대해서는 뚜렷한 결과가 도출된 바 없으며, 현재 많은 예산과 인력이

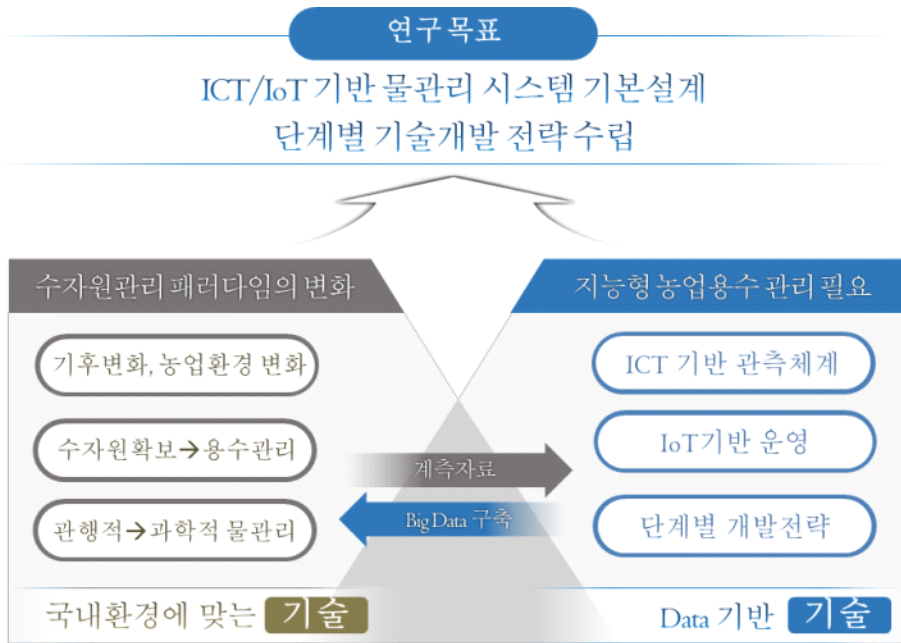
투입되어 설치·운영되고 있는 계측장치들의 활용방안에 대해서 깊이 있는 연구가 필요한 실정이다.

위와 같은 정책적, 자연적, 사회적 환경변화를 바탕으로 미래형 물관리를 위한 새로운 물관리 적용방법의 분석 및 도입기술의 도출이 필요하며 이를 정리하면 1) 물절약, 2) 새로운 용수 공급요구에의 대응, 3) 농업용수의 효율적 관리라는 목표를 달성하기 위해 현재 설치되고 있는 다양한 계측장비들을 통하여 계측된 또는 계측될 자료들을 활용하여 취수→도수→급수 체계에 대한 다양한 조건을 분석하고, 이를 통한 데이터 기반의 의사결정 과정까지 이르는 일련의 기술들을 도출할 필요가 있다. 보다 구체적으로는 Big Data, ICT, IoT 등의 신기술을 농업용수 물관리에 효과적으로 도입할 수 있는 기술개발이 필요하며, ICT기반 센서 및 기반시설물 원격 제어 기술을 이용하여 물관리 빅데이터(Big Data)를 구축하고, 이를 효율적으로 이용하기 위한 인공지능(AI)기반의 자율학습 물관리 기술의 개발이 필요하다.

### 1.1.2 연구목적

위와 같은 연구배경을 바탕으로 도출한 본 연구과제의 목적은 다음과 같다.

- 도입 예정 요소기술을 바탕으로 하는 자율학습 물관리 시스템의 기본설계
- 체계적인 시스템 구축과 기술의 현장 적용 시 시행착오 최소화를 위한 단계별 기술개발 전략계획 수립



<그림 1-5> 연구목적 개념도

## 1.2 연구범위

본 연구과제의 연구범위는 다음과 같다.

구 분	내 용
ICT 기반 물관리 시스템 기본설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>ICT 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증</li> </ul>
IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>IoT 기반 스마트 수리시설물 제어 시스템 설계</li> </ul>
단계별 기술개발 전략계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>단계별 물관리 시스템 및 수리시설물 기술개발 전략계획 수립</li> <li>기술개발 전략계획서 작성</li> </ul>

보다 구체적인 연구의 주요내용은 다음과 같다.

### (1) ICT 기반 물관리 시스템 기본설계

- 인공지능 알고리즘을 활용한 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계
  - 저수지 물수지 모형 기본설계
  - 저수지 유입량 예측 모형 기본설계
  - 인공지능 용수공급량 예측 모형 기본설계
- 논물수지를 반영한 용수공급 취약지역 분석 방안 마련
  - 논물수지를 고려한 수리 네트워크 모형 구축
  - 수리 네트워크 모형 분석에 의한 용수공급 취약지역 분석
- 최적의 수문제어 및 관개방식 도출을 위한 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘 기본설계
  - 최적관개를 위한 평가지표 제시
  - 최적관개 공급량 알고리즘 개발
  - 최적관개 공급량 알고리즘 Test-bed 시범적용
- Test Bed 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증
  - Test Bed 선정 및 Test Bed 수리 네트워크 구축
  - Test Bed 내 기설치된 계측자료 연계 및 신규 계측자료 수집
  - 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 검증 및 개선

### (2) IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계

- IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정
  - 국내·외 IoT 기반의 스마트 수리시설물 관련 기술 현황 분석



- 국내 물관리 실정에 적합한 IoT 기반의 스마트 수리시설물 선정 기술 개발
- Test Bed내 수리시설물 설치 지역 선정 및 시범 계측장비 설치
  - IoT 기반의 스마트 수리시설물 운영을 위한 Test Bed 선정
  - IoT 기반의 스마트 수리시설물 네트워크 설계 및 시범 계측장비 설치
- 물관리 시스템 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영
  - 농업용수 계측장비 시범운영 및 보완사항 도출
  - 자율학습 알고리즘 개발을 위한 계측 자료 분석 및 계측 네트워크 보완
- 취수부, 도수부, 급수부의 스마트 수리시설물 통합 제어 시스템 설계
  - 취수부, 도수부, 급수부의 수리시설물 제어시스템 설계
  - 수리시설물 제어 방안 도출

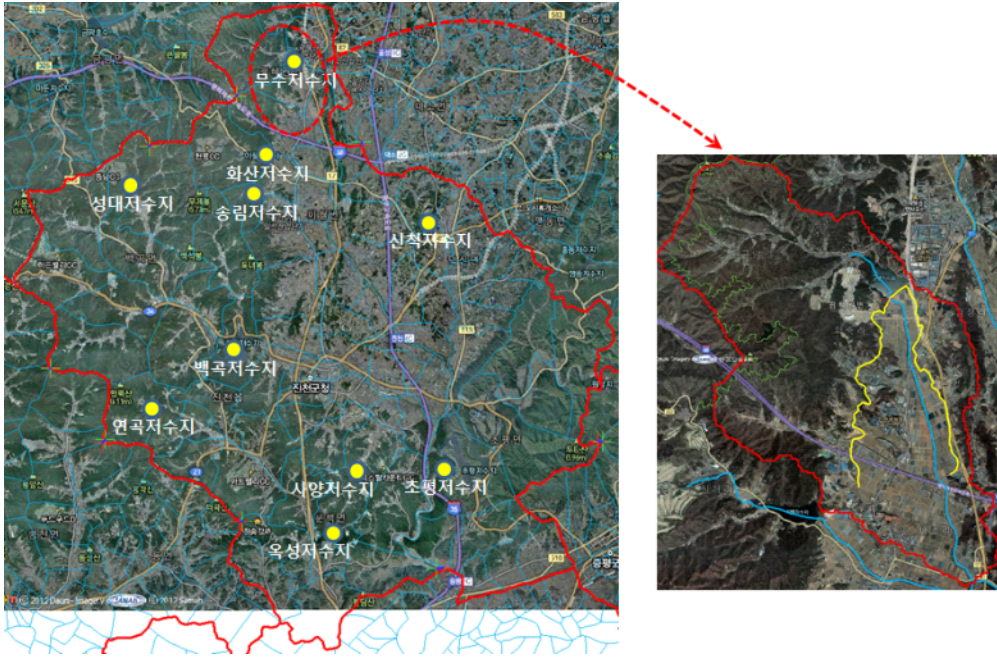
(3) 단계별 기술개발 전략계획 수립

- 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립
  - 단계별 자율학습 알고리즘 기술개발 전략계획 수립
  - 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립
- 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립
  - 경제적인 농업용수 스마트 계측 기술의 단계별 계획 수립
  - 농업용수 계측 기술과 연동이 가능한 스마트 수리시설물의 단계별 개발 계획 수립
- 물관리 구간별 요소기술 및 도입기술의 현장 적용 전략계획 수립
  - 취수부 요소기술 현장 적용 전략계획 수립
  - 도수부 요소기술 현장 적용 전략계획 수립
  - 급수부 요소기술 현장 적용 전략계획 수립
  - ICT/IoT 기반의 물관리를 위한 스마트 수리시설물 구축 계획 수립
  - ICT/IoT 기반의 물관리를 위한 농업용수 스마트 계측 네트워크 확대 계획 수립
- 물관리 시스템 플랫폼 개발 계획 수립
  - 물관리 시스템의 구성 방안 도출
  - ICT/IoT 기반의 물관리 시스템 플랫폼 개발 계획 수립
- 기술개발 전략계획서 작성



## 2장 연구대상지역 및 현황

본 연구의 연구대상지역으로 농업용 저수지를 수원으로 하며 수문 계측망이 기 설치되어 있고 추가적인 수문 계측망을 구축하기 용이한 충청북도 진천군 내의 무수저수지(舊 구암저수지)와 그 관개지구인 금곡간선, 회죽간선을 대상지구로 선정 하였다(그림 2-1). 무수저수지는 충청북도 진천군 광혜원면 구암리에 있는 농업 관개용 저수지로 서부는 고도의 구릉성 산지이며 남부는 진천군 이월면과 연속된 진천평야의 일부이다.



<그림 2-1> 대상지구(무수저수지) 위치

무수저수지 제당 형식은 중심점토형이다. 제언의 높이는 16.5m, 길이는 407m이고, 홍수량은  $78.8\text{m}^3/\text{s}$ , 일류 수심은 1.1m이다. 물넘이 형식은 측구식으로 길이는 65m, 언체 높이는 3.5m이다. 취수 시설 형식은 박스형으로 단면 1.2m, 연장 60m이다. 취수 시설 형식은 취수탑으로 취수량  $0.60\text{m}^3/\text{s}$ , 연장 32.9m이다. 유역 면적은 857ha, 만수 면적은 23.2ha, 홍수 면적은 24.1ha, 수혜 면적은 219ha이다. 신규 개발 면적은 239ha, 순 관개 면적은 239ha, 관개 면적은 336ha, 구역 면적은 336ha, 인가 면적은 290ha, 준공 면적은 336ha, 수리안전담 면적은 284ha이다. 총 저수량은 137만  $\text{m}^3$ , 유효 저수량은 132만  $\text{m}^3$ 이다. 만수위는 119m이고 홍수위는 120m이다. 무수 저수지 관리는 한국농어촌공사 진천지사에서 관리하고 있으며 무수 저수지의 제원은 표 2-1과 같다.

(표 2-1) 무수저수지 제원

무수저수지		
면적 (ha)	유역 면적	857
	구역 면적	336
저수량 (천톤)	유효저수량	1320
수위 (m)	만수위	119
	홍수위	120
제방 (m)	수위	119
	길이	407
	물넘이 형식	측구식
기타	위치	충북 진천
	관리	진천지사



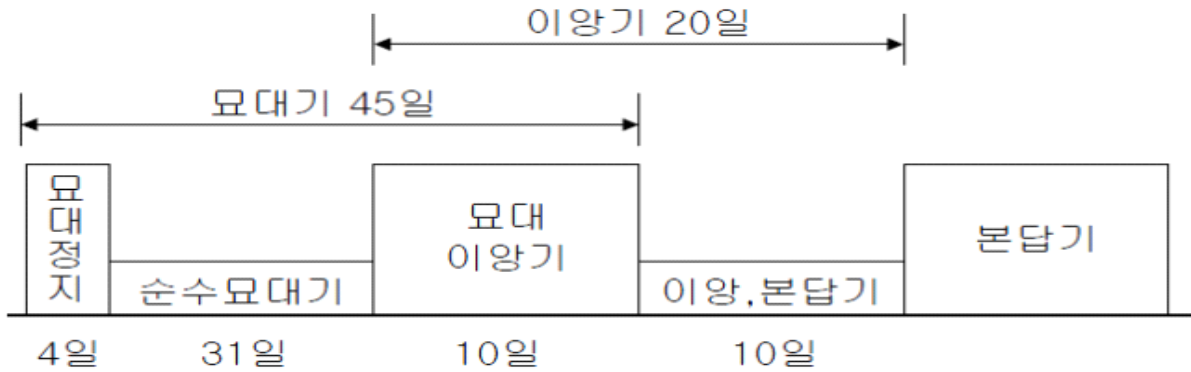
<그림 2-2> 무수저수지(전경 및 물넘이)

무수저수지 관개지역은 금곡간선과 회죽간선 평야부 두 간선으로 나누어져 있다. 회죽간선 관개지구는 약 236ha, 금곡간선 관개지구(금곡간선 관개지구1 + 금곡간선 관개지구2)로 무수저수지 총 관개면적은 336ha이다. 관개지역별 용수이용율 현황으로는 회죽간선 관개지역 평균이 약 70%, 금곡간선 관개지역 평균 약 75%로 나타났다. 간선별 수로길이는 회죽용수간선 3.05km, 금곡용수간선 4.05km이며, 하천길이는 3.5km이다(그림 2-3).



<그림 2-3> 무수저수지 관개지구

무수저수지 관개지구의 영농방식은 과거와는 많은 차이를 보이고 있다. 이상기후로 인한 연평균기온의 상승과 기계화 보급율의 증가, 재배품종의 개량으로 인한 단위면적당 수확량의 증가, 농촌 노동인력의 노령화 등의 많은 부분에서 변화하고 있다. 이러한 변화는 영농방식에 변화를 가져오며 이로 인하여 농업용수의 사용시기와 양에 변화를 가져오고 있다.



<그림 2-4> 일반적인 논관개 작부시기

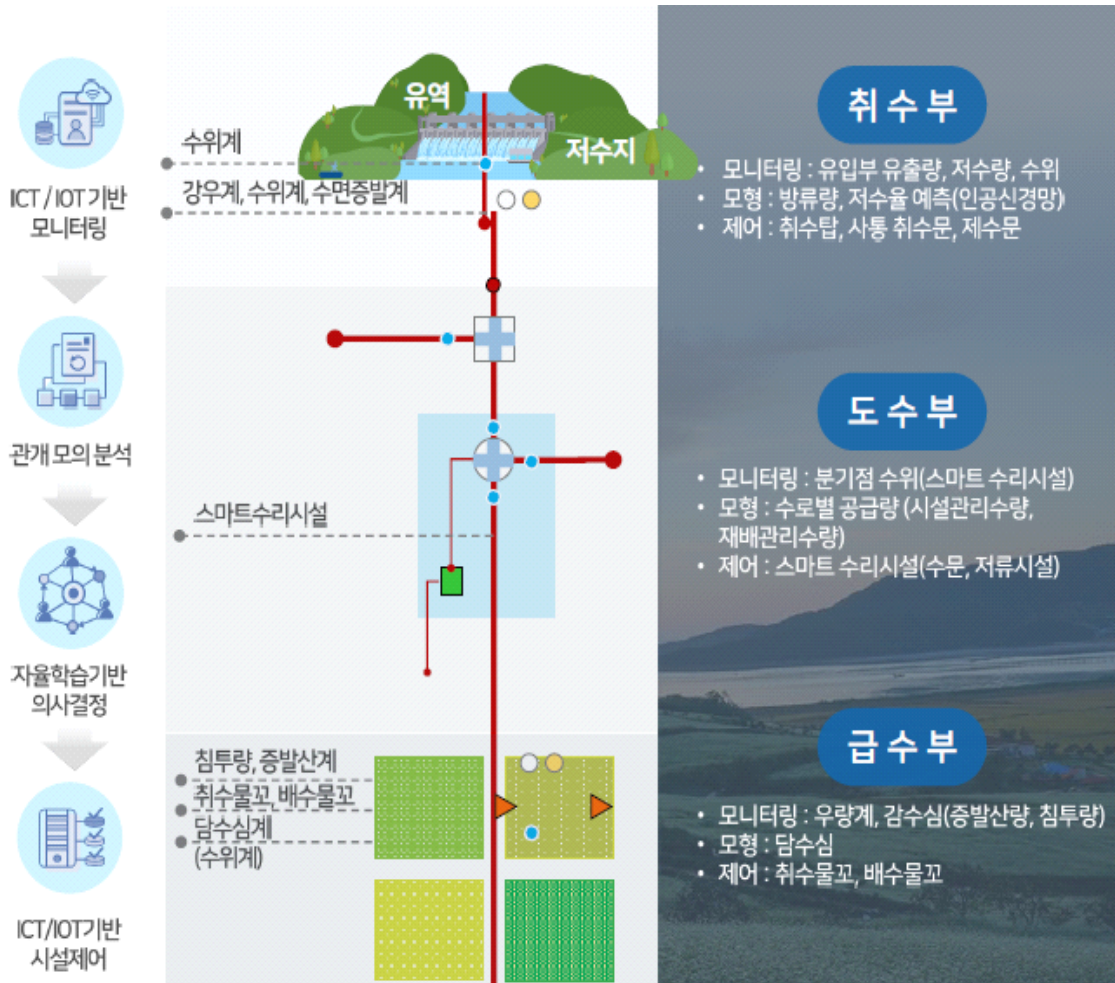
벼 이양재배 작부시기는 크게 묘대기, 이양기, 그리고 본답기로 나눌 수 있는데 이러한 시기는 농업용수의 수요와 공급에 기준이 된다. 작부시기를 현행 설계기준과 2003년 조사 설계처에서 조사한 자료와 대상 지구에서 조사한 자료를 비교해 보면 아래 표와 같다. 전반적으로 현행 설계기준에 비하여 현장조사 결과를 보면 묘대기와 이양기의 경우 기간이 단축되거나 시기가 앞당겨지고 본답기가 길어지는 것을 알 수 있다.

(표 2-2) 작부시기 대비표 (설계기준 대비)

구분		묘대기	이양기	본답기	답수과종기	건답과종기
중부	현행 (설계기준)	04/17-05/31 45일간	05/21-06/10 21일간	06/11-09/11 93일간	05/01-05/31 31일간	04/20-05/20 30일간
	조사설계처조사 (농촌용수체계제편)	04/17-05/17 31일간	05/13-05/27 15일간	05/28-09/11 107일간	05/01-05/31 31일간	04/20-05/20 30일간
	대상지구 (진천)	04/23-05/12 20일간	05/11-05/25 15일간	05/26-09/11 109일간	-	-
남부	현행 (설계기준)	04/27-06/10 45일간	06/01-06/25 15일간	06/21-09/21 93일간	05/10-06/10 31일간	05/01-05/31 30일간
	조사설계처조사 (농촌용수체계제편)	04/27-05/27 31일간	05/18-06/06 20일간	06/07-09/21 107일간	05/10-06/10 31일간	05/01-05/31 30일간

### 3장 ICT기반 물관리 시스템 기본설계

본 연구에서 진행되는 자율학습 물관리 알고리즘의 요소기술들을 도식화하면 다음과 같다.

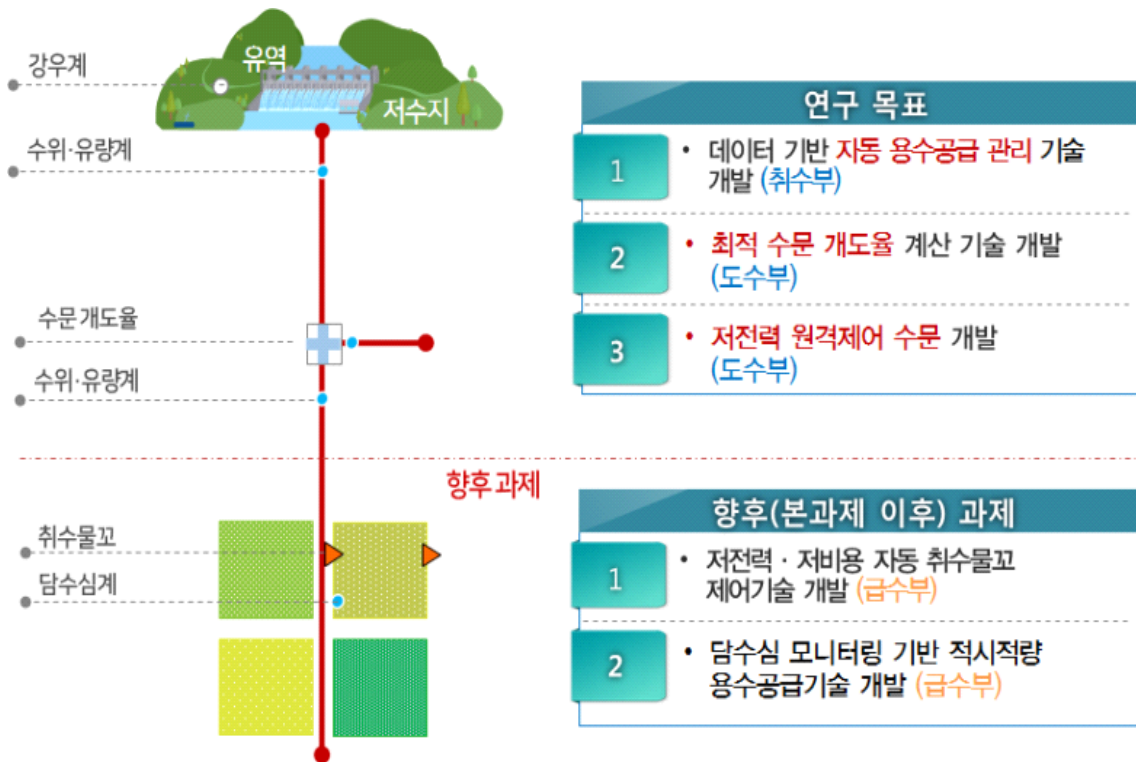


<그림 3-1> 자율학습물관리 요소기술

자율학습 물관리 알고리즘의 요소기술 중 수년 이내에 실현가능한 요소기술들을 선정하여 본 연구과제의 목표를 다음과 같이 재설정하였다.

- (1) 데이터 기반 자동 용수공급 관리 기술 개발 (취수부)
- (2) 최적 수문 개도율 계산 기술 개발 (도수부)
- (3) 저전력 원격제어 수문 개발(도수부)

연구기간 및 예산을 고려하여 취수부의 증발량 계측, 도수부의 스마트 수리시설물, 급수부의 취수물꼬 제어, 담수심 계측 등의 요소기술은 향후과제로 설정하여 본 과제에서는 다루지 않기로 하였다.

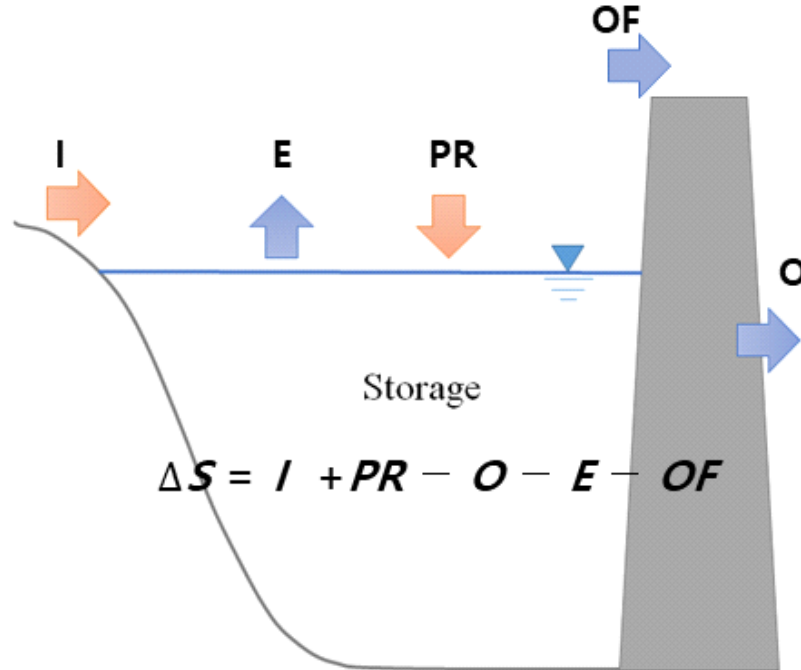


<그림 3-2> 본 연구과제의 목표 및 요소기술



### 3.1 저수지 저수율 산정모형 기본설계

#### 3.1.1 저수지 물수지 모형



<그림 3-3> 저수지 물수지 모형

취수부의 물수지 모형은 일반적으로 널리 사용되는 지하 또는 제방으로의 침투를 무시한 간략화된 물수지 모형을 사용하였다. 모형의 기초방정식은 다음과 같다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + PR_t - O_t - OF_t - ET_t \quad (3.1)$$

여기서,  $S$ : 저류량,  $I$ : 저수지 유입량,  $PR$ : 강우량,  $O$ : 용수공급량(월류량 포함),  $ET$ : 증발량,  $OF$ : 월류량이다. 유입량  $I$ 는 저수지 유입량 예측 모형으로부터 얻을 수 있는 값이며, 월류량  $OF$ 는 만수 이상의 유입량을 물넘이 월류량으로 결정하였으며, 직접 저수지 유입량인  $PR$ 과 저수지 표면 증발량  $E$  그리고 저수율  $S$ 는 기상관측과 농어촌고사 계측자료로부터 얻은 값을 활용하여 산정할 수 있다. 아래첨자  $t$ 는 시간단위이며 일반적으로는 일단위가 사용된다. 하지만 본 연구에서는 계측자료가 아닌 유입량의 불확실성과 오차를 줄이기 위하여 순단위(10일)를 적용하여 물수지 모형을 사용하였다.

#### 3.1.2 저수지 유입량 산정 모형 기본설계

유입량의 산정은 저수지 물수지 분석에서 매우 중요한 요소이다. 저수지의 유입량을 직접적으로 관측하는 경우는 거의 없으며, 일단위 유출수문모형을 통하여 강우량으로부터 유입량은 산정하는 것이 일반적이다. 현재까지 국내에서 사용되고 있는 모형을 정리하면 다음과 같다.

1) 3단 Tank모형 (김현영 등, 1998)

- 4단 Tank모형을 3단 Tank모형으로 단순화 (김현영 등, 1998)
- 주요매개변수를 유역의 토지이용특성에 따른 회귀식으로 산정
- 12개의 유역을 대상으로 4개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도 (김현영 등, 1988)
- 6개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도 (허유만 등, 1993)
- 26개의 하천유역을 대상으로 7개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도(Kim et al., 2000)
- 국내 다목적댐 상류유역 및 하천 수위관측소유역을 30개를 대상으로 유역면적, 논밭산림 비율, 유로연장, 유역평균경사와 같은 4개의 유역인자를 사용하여 회귀식 유도 (안지현 등, 2015)
- 다수의 국내연구에 현재까지 활용 (김현준 등, 2012; 이상윤 등, 2009; 이용직 등, 2006; 이태호 등, 2011; 최진규 등, 2012)
- 현재 농어촌공사의 저수지 설계모형인 HOMWRS에 도입

2) DAWAST(DAILY Watershed Streamflow) 모형

- 개념적 집중형 일 유출 모형
- 토양층을 불포화층과 포화층으로 구분하고 물수지 관계에 의해 토양수분 저류능을 일별로 계산 (노재경, 2011)
- 불포화층의 높이(UMAX), 포화층의 높이(LMAX), 포장용수량 높이(FC), 심층투수계수(CP), 유역증발산계수(CE)의 5개 매개변수를 조정하여 일 유출량을 모의
- 대형댐 유역 (노재경, 2003), 맹동저수지(노재경, 2011), 대아저수지 (노재경과 이재남, 2008) 등에 적용
- 변형 모형으로 TPHM(Two-Parametric Hyperbolic Model for daily streamflow simulation) 모형 (김현준, 2001)과 ONE(One parametric New Exponential hydrologic Model)모형 (노재경, 2013)이 있음

3) SSARR 모형

- 미국 공병단에서 1956년 개발
- 대유역의 실시간 일예보 등의 목적으로 사용
- 발안 및 기천저수지(강민구, 2004), 동향 유역(맹승진 등, 2007), 금호강 유역(정지혜, 2014) 등에 적용

4) SLURP 모형

- SSARR 모형의 대안으로 사용하기 위하여 1975년 개발(Kite et al., 1994)
- 초기 집중형 모형 SLURP(Simple Lumped Reservoir Parametric)에서 현재 준분포모형인 SLURP(Semi-distributed Land Use based Runoff Processes)으로 변환
- 댐이나 저수지의 저류 효과에 대한 분석이 가능
- 안성천에 적용 (김보경 등, 2009)

5) SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형

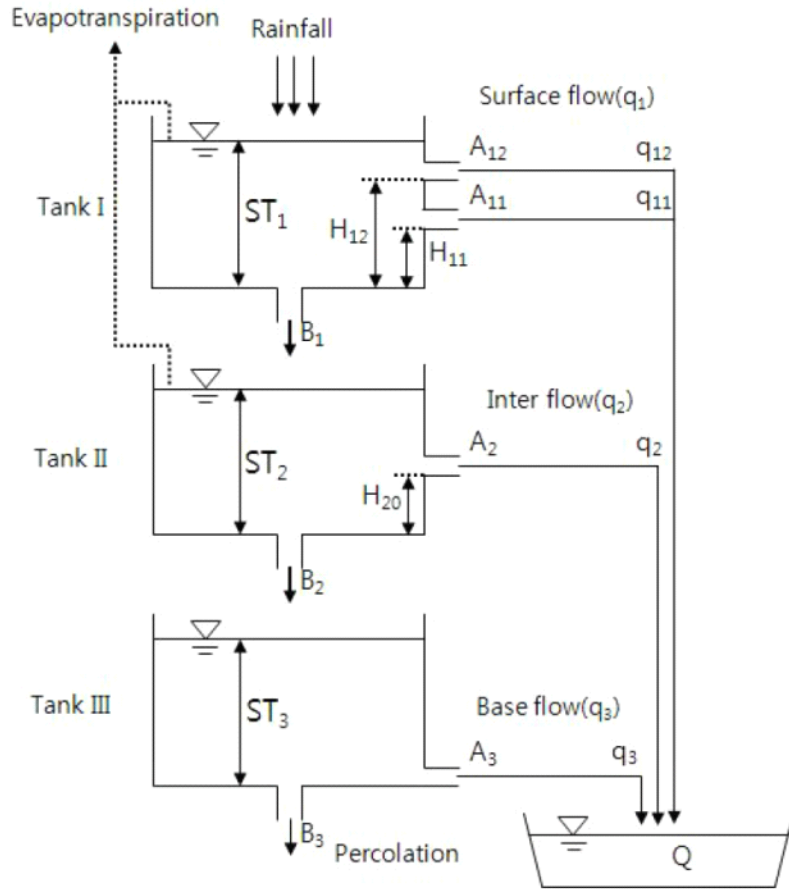
- 미국 농무성 농업연구소에 의해 개발된 장기 강우-유출모형
- 다양한 토양속성과 토지이용에 따른 유출 영향을 예측하기 위하여 개발(Neitsch et al., 2002)
- 고삼 및 금광저수지 (이용준 등, 2008), 충주댐 (정현교 등, 2008) 등에 적용

## 6) 가지야마 모형(공식)

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

일반적으로 유출모형의 적용을 위해서는 관측자료를 이용한 매개변수의 보정(calibration)과정이 필수적이거나, 현재 국내 농업용 저수지 유입량 관측자료는 거의 대부분 관측되지 않아 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 Tank모형과 ONE모형이 이에 해당한다.

Tank모형은 Sugawara(1961)에 의해 개발된 단일 탱크의 선형시스템 모형으로 임의의 집수 유역을 여러 개의 류형 탱크로 가상하여 유역의 지표유출, 중간유출, 기저유출을 산정한다. Tank모형은 유역을 일련의 3-4단 류탱크 형태로 개념화시켜 강우-유출 과정을 모형화한 것으로, 일반적으로 상부탱크에서 강우와 증발산 지표유출을 모의하고, 하부탱크에서 지하수유출과정을 모의하며 상부와 하부간 탱크 사이의 물 이동을 통해 침투 간유출 과정을 개념으로 모의하는 방법을 사용한다. Tank 모형은 일반적으로 분포형 모형에 비해 모형의 구조가 간단하고, 유출 해석에 필요한 입력자료 매개변수의 수가 기 때문에, 계측자료가 충분하지 않거나 미세측 유역과 같이 기상 토양, 토지이용 등 유역의 물리 특성에 한 자료 수집이 곤란한 경우는 컴퓨터 성능이 고사양이 아니더라도 충분히 실용으로 용할 수 있는 장이 있다. 김현영 등은 우리나라 유역에 적합하도록 모형을 더욱 단순화하여 수정 3단 TANK 모형을 제시하였다. 그림 2-4는 수정 3단 Tank 모형의 개념도를 나타내고 있다. 1단 탱크는 유출성분 중 지표유출을 개념화한 것이고, 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다. 1단 탱크의 유출공수를 2개로 한 것은 홍수유출시 오차를 1개일 때보다 감소시키기 위한 것이다. 3단 탱크의 유출공 높이를 0으로 한 것은 강우가 없을 경우의 초기 기저유출량을 표현하기 위한 것이며, 또한 저류수심  $ST$ 가 항상 유출공의 높이 보다 커야하기 때문이다.



<그림 3-4> 3단 Tank모형 개념도 (전상민, 2014)

TANK 모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강우량으로부터 식 (3.2)에 의하여 계산된다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (3.2)$$

여기서,  $Q_{ij}$ 는  $t$ 일의 총유출량 (mm),  $i$ 는 TANK의 수,  $j$ 는 TANK의 유출공수,  $ST_i$ 는  $i$ 번째 TANK의 저류수심 (mm),  $H_{ij}$ 는  $i$ 번째 TANK의  $j$ 번째 유출공의 높이 (mm),  $A_{ij}$ 는 유출 공의 계수 (무차원),  $ST$ 는 단위시간  $t$ 에 따른 저류수심으로 식 (3.3)와 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - ET_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (3.3)$$

여기서,  $ST_{i,t-1}$ 은  $t-1$ 일의  $i$ 번째 TANK의 수심 (mm),  $R_t$ 는  $t$ 일의 강우량 (mm),  $ET_t$ 는 증발산량 (mm),  $Q_{i,t-1}$ 은  $i$ 번째 TANK의  $t-1$ 일의 유출량,  $I_{i,t}$ 는 침투량 (mm)으로 식 (3.4)와 같이 계산한다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (3.4)$$

여기서,  $B_i$ 는  $i$ 번째 TANK의 침투계수 (무차원)이다. 수정 3단 TANK 모형은 많은 선행연구에 의해 국내 유역에 적용이 용이한 것으로 나타났다.

Tank모형은 유역을 3-4단의 탱크 구조로 가정하고 관련된 매개변수의 최적화를 통해 유출현상을 개념적으로 접근하여 해석하는 모델링 기법이기 때문에, 유역의 특성이 크게 변하지 않는다는 가정 하에 최적 매개변수가 추정된 해당 유역에서의 유출량은 비교적 정확하게 모의하고 시간적으로 확장할 수 있다. 하지만 도시화에 따른 토지이용·식생 및 토양 특성의 변화, 기후 변화 등과 같은 유역 내 수문환경의 변화에 따른 유출 변화 해석이 곤란하다는 단점이 있으며 매개변수가 추정되지 않은 타 유역에 대한 유출 해석의 신뢰성 또한 장담할 수 없는 문제가 있다.

이러한 단점을 극복하고 Tank 모형의 미계측의 국내 유역에 대한 적용성을 높이기 위해 모형의 매개변수에 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그 중 대표적인 매개변수 추정식들을 아래 그림 2-5~8에 소개하였다.

Regression equations	Correlation	F-values	Remarks
$H12 = 16.68(\ln A) + 24.20$	0.9998	34408.0	F1, 10= 10.04
$B1 = -0.070(\ln A) + 0.470$	-0.969	138.37	(1%)
$B3 = -0.00618(\ln A) + 0.0351$	-0.931	58.89	F1, 10= 4.96
$ST3 = 43.686(\ln A) + 37.159$	0.9998	29674.0	(5%)
$A12 = -0.00175F + 0.333$	-0.996	1312.5	

Regression equations	Correlation a	F-values	Remark
$A11 = -0.00414P + 0.169$	0.996	1302.1	F1, 10= 10.04 (1%)
$B2 = 0.00998P + 0.111$	0.998	4177.5	
$A2 = 0.00657U + 0.163$	0.985	303.2	F1, 10= 4.96 (5%)
$A3 = -0.000267U + 0.00912$	-0.972	155.7	
$* \ln H2 = -0.0934U + 2.0904$	-0.688	8.1	

<그림 3-5> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (김현영과 박승우, 1988)

Parameters	Regional parameter estimation equations	R <sup>2</sup>	p-value
$a_{11}$	$0.080 + 0.031 \times \log(\text{Area}) - 0.002 \times (\text{Length})$	0.59	0.045*
$a_{12}$	$-0.192 + 0.007 \times (\text{Forest}) - 0.001 \times (\text{Length})$	0.76	0.007**
$a_2$	$0.089 + 0.004 \times \log(\text{Area}) - 0.002 \times (\text{Cropland})$	0.86	0.001**
$a_3$	$0.005 + 0.00026 \times (\text{Length})$	0.74	0.001**
$b_1$	$0.616 - 0.042 \times \log(\text{Area}) - 0.002 \times (\text{Forest})$	0.95	0.000***
$b_2$	0.067		
$b_3$	0.000		
$h_{11}$	$5.495 + 0.564 \times \log(\text{Area})$	0.52	0.019**
$h_{12}$	$40.38 + 1.177 \times (\text{Forest}) + 43.933 \times \log(\text{Area}) - 85.219 \times \log(\text{Length})$	0.93	0.001**
$h_2$	$-2.060 + 5.882 \times \log(\text{Area}) - 0.369 \times (\text{Length})$	0.73	0.010**
$h_3$	0.000		

Area, Watershed area (km<sup>2</sup>); 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 3-6> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (강민구 등, 2013)

Parameters	Regression equation	R	R <sup>2</sup>
A11	$-0.0003Slope - 0.017\ln(Area) - 0.067\ln(Upland) + 0.398$	0.60	0.36
A12	$-0.004Paddy + 0.001Forest + 0.163\ln(Slope) - 0.27$	0.56	0.31
A2	$9.897 \times 10^{-5}Paddy + 0.028\ln(Forest) + 0.0003\ln(Slope) - 0.03$	0.60	0.36
A3	$-0.0002Upland + 4.092 \times 10^{-5}\ln(Area) + 0.001\ln(Length) + 0.006$	0.58	0.34
B1	$0.003Slope - 0.101\ln(Upland) + 0.262$	0.59	0.35
B2	$-0.01\ln(Area) + 0.1$	0.64	0.41
B3	$7.086 \times 10^{-6}Paddy + 7.754 \times 10^{-5}Forest + 0.001$	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	$0.421Forest + 15.412\ln(Upland) - 22.099$	0.65	0.42
ST3	$1.147Forest - 49.086$	0.40	0.16
	43.013	-	-

<그림 3-7> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2015)

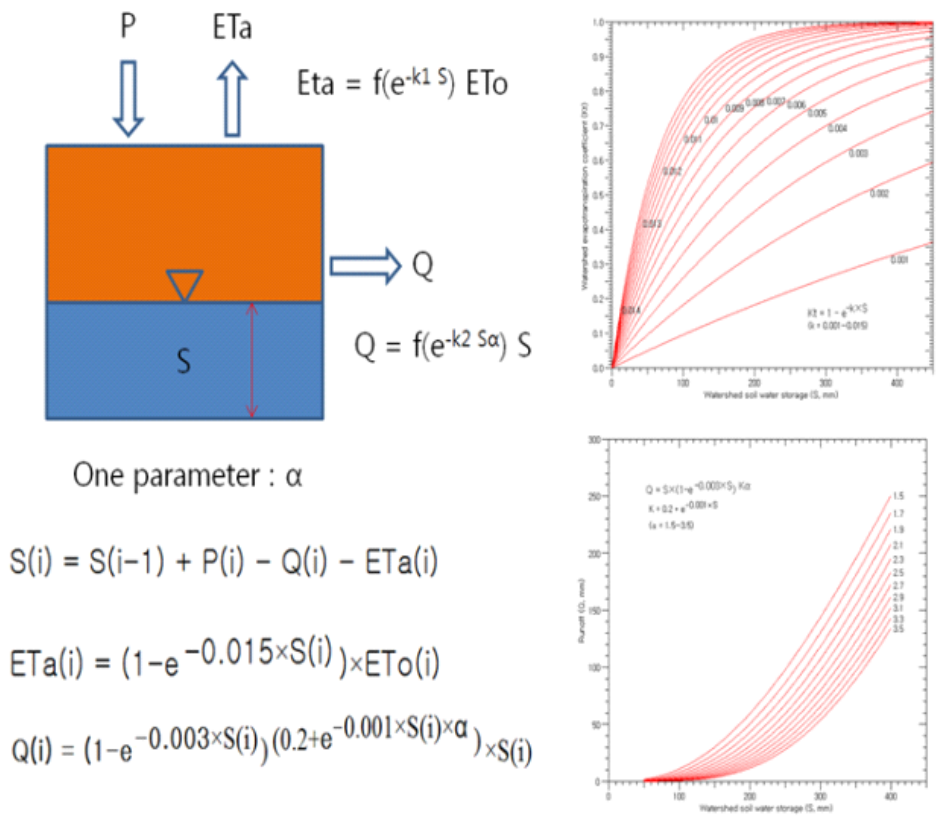
	Parameters	Regression equation
$S \leq 25.0\%$	A11	$0.006Slope - 0.026\ln(Upland) - 0.006\ln(Area) + 0.147$
	A12	$0.032Paddy + 0.024Forest + 0.669\ln(Slope) - 3.889$
	A2	$0.003Paddy + 0.173\ln(Forest) + 0.034\ln(Slope) - 0.792$
	A3	$-0.000209Upland + 0.005\ln(Area) - 0.007\ln(Length) + 0.008$
	B1	$0.005Slope + 0.064\ln(Upland) - 0.079$
	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	$-0.009Slope - 0.025\ln(Upland) - 0.016\ln(Area) + 0.554$
	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	$-0.034Slope + 0.065\ln(Upland) - 0.035\ln(Area) + 1.694$
	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 3-8> 3단 Tank 모형 매개변수 추정 회귀식 (안지현, 2013)

위 회귀식들 중 본 연구에서는 매개변수의 추정이 간편하여 널리 사용되고 있는 김현영과 박승우 (1988)의 회귀식을 사용하였다.

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



<그림 3-9> ONE 모형의 모식도

ONE 모형의 모식도는 그림 3-9와 같으며, 유역에서 토양 저류량은 연속방정식으로부터 식 (3.5)과 같이 강수량에 의해 증가되고 증발산량과 유출량에 따라 감소된다. 증발산량은 잠재증발산량 또는 계기증발산량과 토양 저류상태에 따라 식 (3.6)에 의해 산정되며, 유출량 산정식은 토양 저류량과 매개변수  $\alpha$ 에 따른 지수함수 형식으로 식 (3.7)과 같이 표현된다. 이렇게 산정된 유출량과 증발산량은 기존 토양의 저류량을 변화시키며, 변화된 토양 저류상태가 적용되어 일 단위로 유출량과 증발산량이 반복하여 계산되는 구조로 구성되어 있다.

$$S(i) = S(i-1) + P(i) - ET_a(i) - Q(i-1) \quad (3.5)$$

$$ET_a(i) = (1 - e^{-0.015 \times S(i)}) \times ET_o(i) \quad (3.6)$$

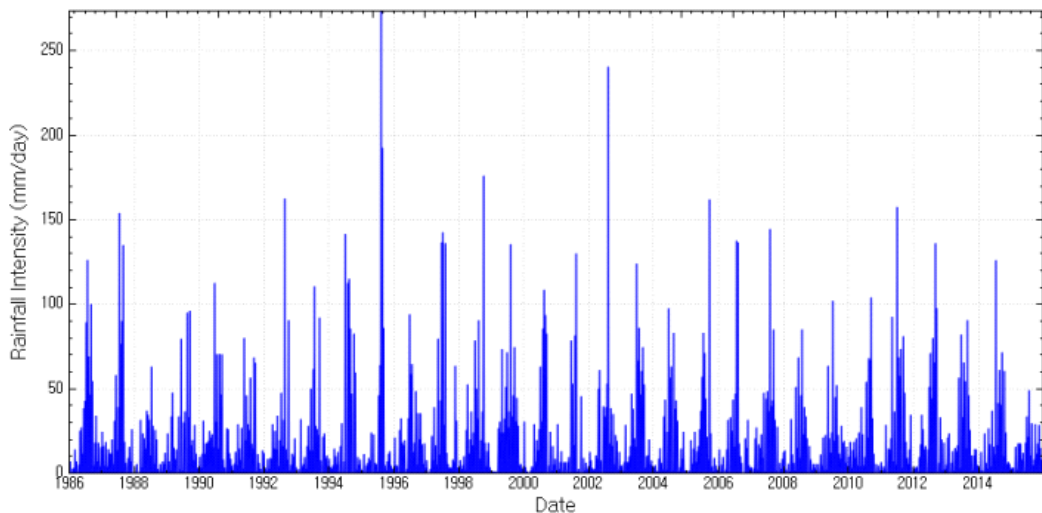
$$Q(i) = (1 - e^{-0.003 \times S(i)})^{(0.2 + e^{-0.001 \times S(i) \times \alpha})} \times S(i) \quad (3.7)$$

여기서  $P$ 는 강수량,  $Q$ 는 유출량,  $S$ 는 유역의 토양 저류량,  $ET_o$ 는 잠재증발산량,  $ET_a$ 는 유역의 증발산량,  $\alpha$ 는 매개변수,  $i$ 는 일단위를 나타내는 첨자이다. ONE 모형은 미세측 유역에서 매개변수  $\alpha$ 를 결정할 수 있도록 일반화 공식을 제공하고 있다. 이 공식은 국내 16개 다목적댐의 연 강수량과 유입량 자료를 이용하여 유도한 공식으로 식 (3.8)과 같이 표현된다.

$$Q_r(i) = 25.22 + 0.0245 \times P_a \quad (3.8)$$

여기서,  $Q_r$ 은 연유출률,  $P_a$ 는연강수량이다.

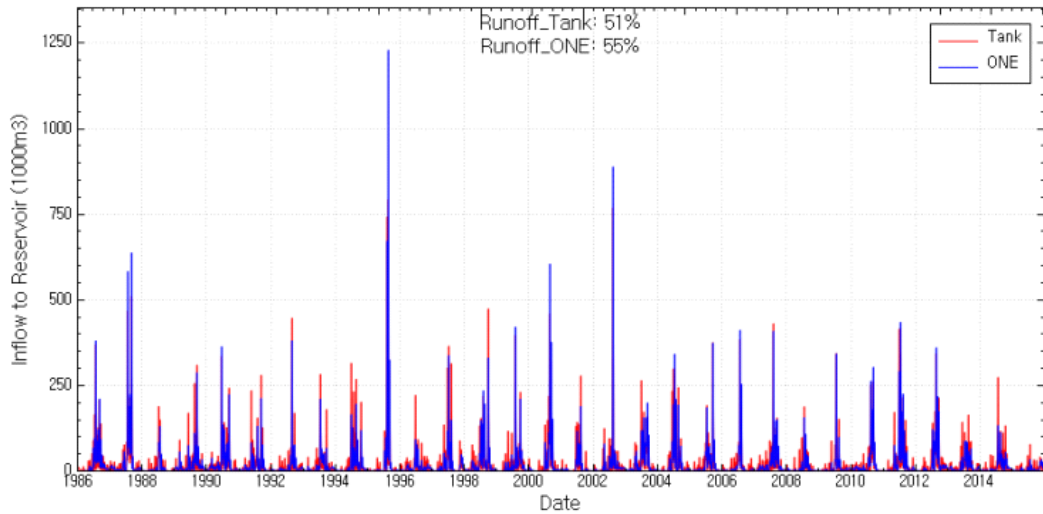
위 두 모형을 사용하여 무수저수지의 유입량 분석을 실시하였다. 강우자료는 인근의 천안기상관측소의 일강우자료를 활용하였으며 1986년~ 2015년 총 30년의 기간을 대상으로 하였다. 활용한 강우량은 다음 그림과 같다.



<그림 3-10> 천안기상관측소 일강우량

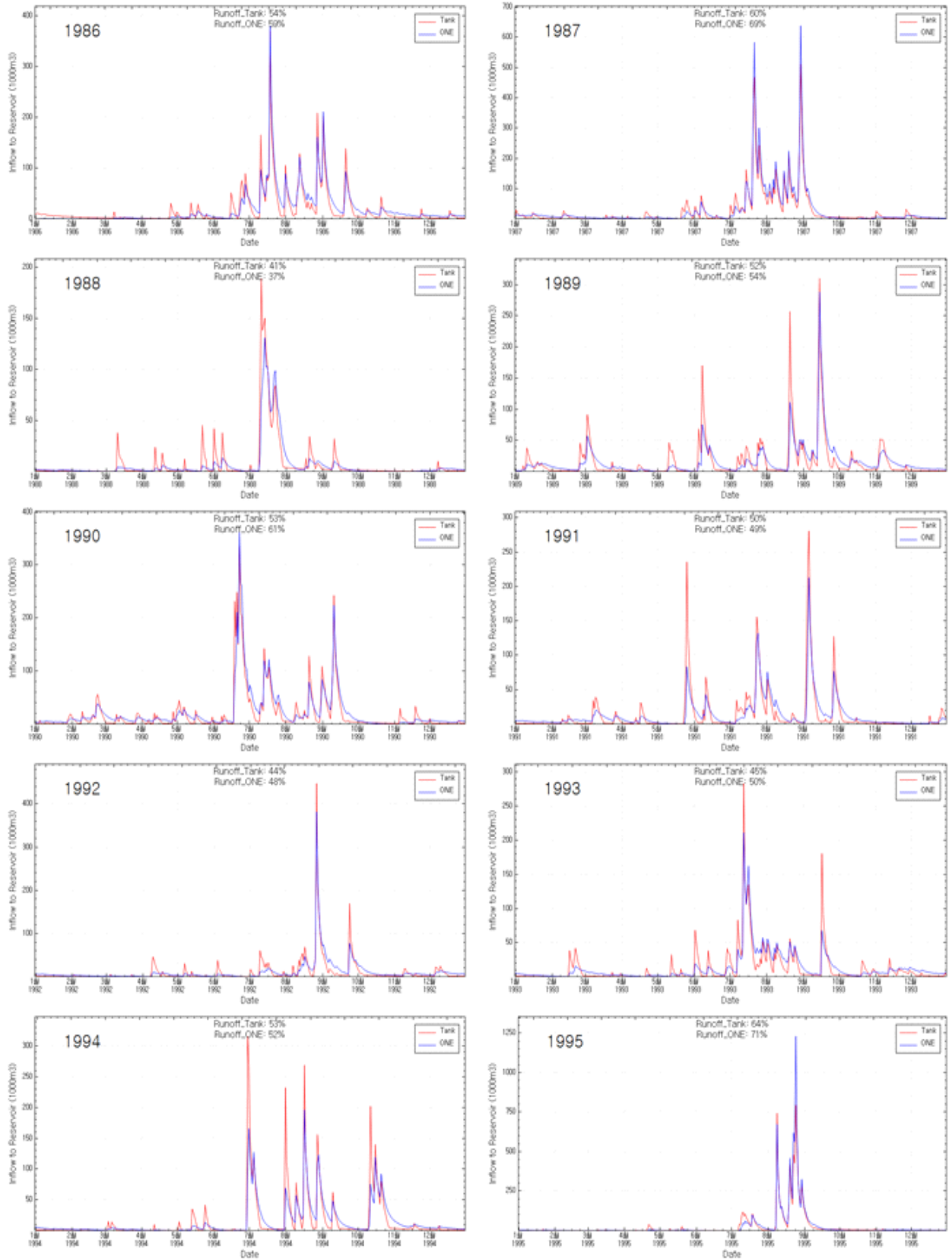
3단 Tank모형과 ONE모형으로 모의한 유출량은 다음 그림과 같다.



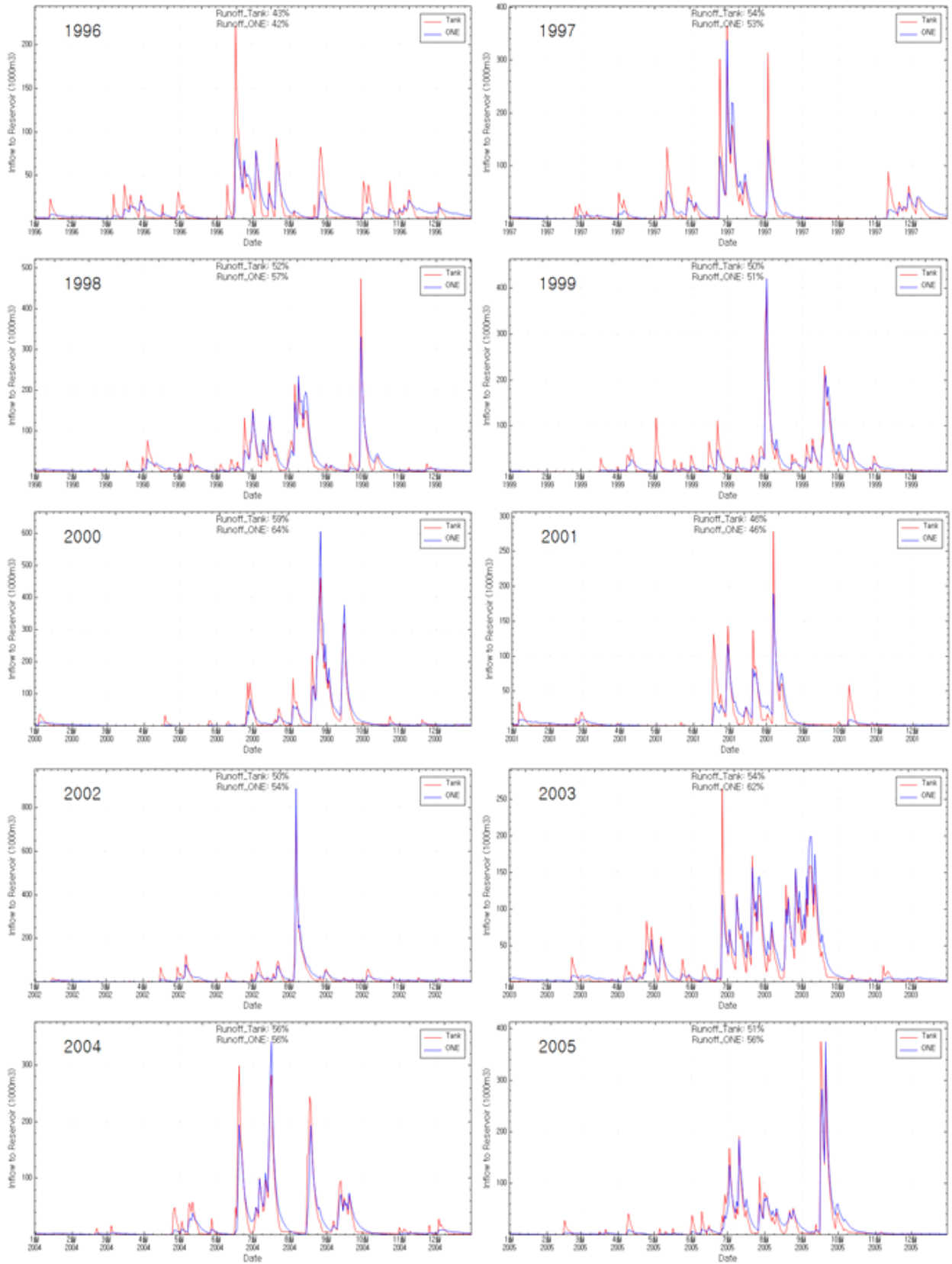


<그림 3-11> 무수저수지 유입량 모의결과 (3단 Tank, ONE)

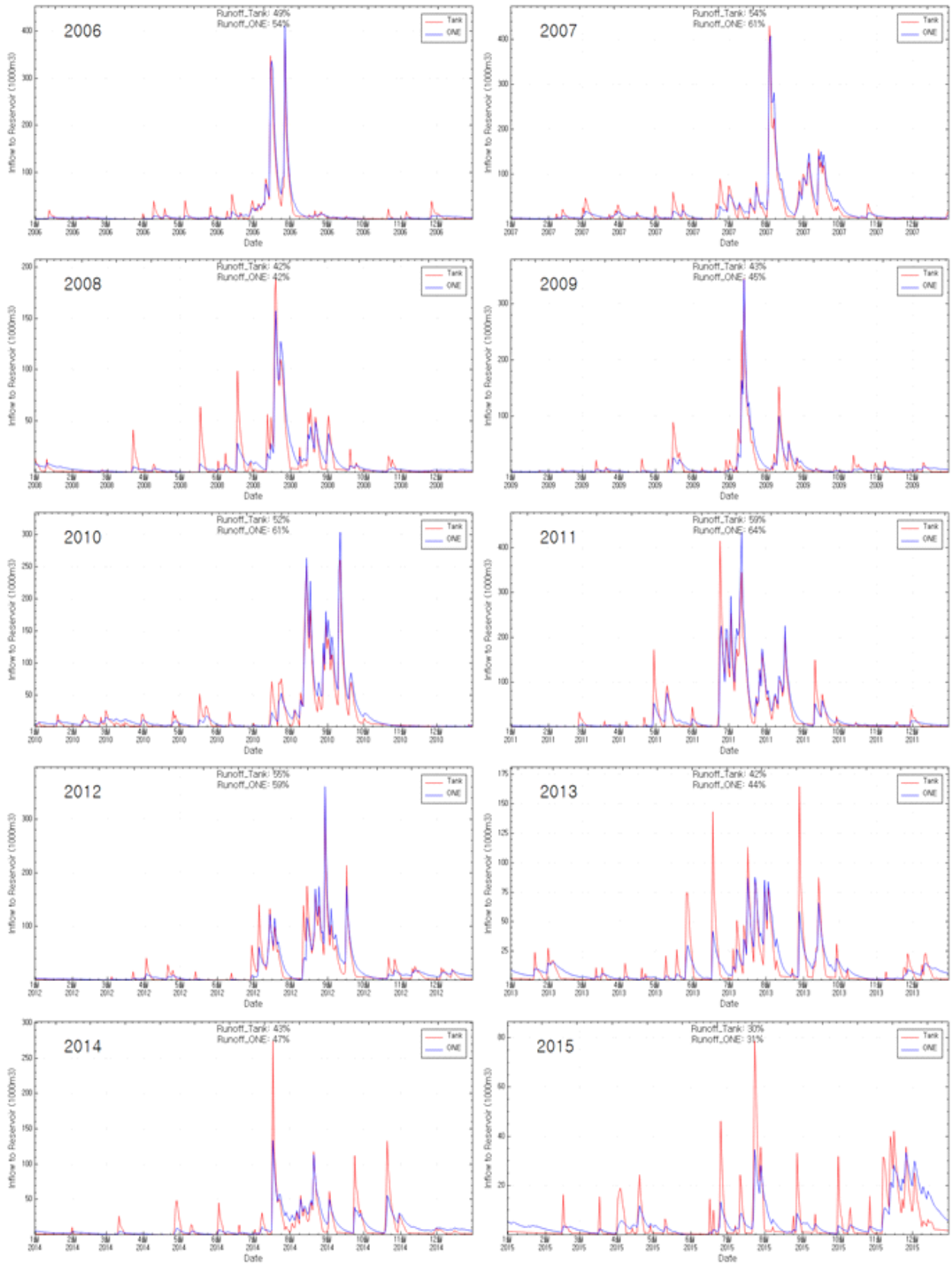
3단 Tank모형의 유출율은 51%, ONE모형의 유출율은 55%로 나타났다. 관측자료가 없어 모형의 정확도에 대한 비교는 해당 유역에 대해서는 수행할 수 없었다. 각 년도별 저수지 유입량은 다음과 같다.



<그림 3-12> 무수저수지 유입량 연도별 모의결과 (3단 Tank, ONE)



<그림 3-12> 무수저수지 유입량 연도별 모의결과 (3단 Tank, ONE) (계속)



<그림 3-12> 무수저수지 유입량 연도별 모의결과 (3단 Tank, ONE) (계속)

연도별 모의결과를 보면 대체적으로 피크 시 유입량은 3단 Tank가 ONE모형에 비해 큰 것으로 산정되었고 지속적인 유량은 ONE모형이 크게 산정되고 있다. 현 시점에서 두 모형의 정확도 비교는 의미가 없으므로, 본 연구과제에서는 국내에서 널리 활용되고 있는 3단 Tank 모형을 활용하여 연구를 진행하였다. 향후 저수지의 유입량 계측 또는 공급량 계측을 통한 물수지모형에서의 역산으로 관측자료를 구축하여 모형의 정확도를 비교할 필요가 있다.

### 3.1.3 용수공급량 산정모형 기본설계

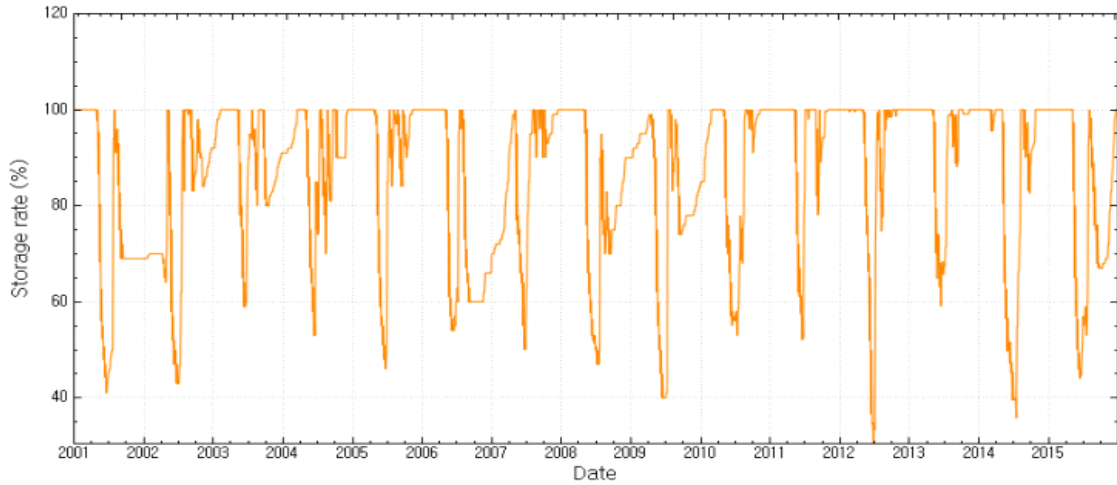
몬테카를로 탐색기법을 적용하기 위해서는 다양한 용수공급 시나리오가 필요하며 이는 현실에 근거한 시나리오일 필요가 있다. 본 연구에서는 과거 용수공급량 산정자료를 바탕으로 용수공급량 시나리오를 결정하기로 하였다.

국내 대부분의 농업용저수지에서는 계측 및 유지관리의 어려움으로 인해 용수공급량을 계측하지 않고 있다. 따라서 대부분의 농업용수공급량은 손실률 및 용수관리 배분율을 고려한 작물의 필요수량과 작부시기를 기준으로 추정하고 있다. 필요수량과 작부시기를 고려한 공급량 연구에는 용수 수요량과 관개효율을 고려하여 연 단위 관개 지구 용수 공급량 모의에 대한 연구나(Song et al., 2015), 수정 DIROM 모형을 이용하여 관개 지구의 관행 물 관리를 고려한 저수지 용수 공급량 추정 연구를 진행한 바 있다(Kang et al., 2014). 또한 Jun et al.(2014) 이 개발한 ARWS(Agricultural Reservoir Water supply simulation System)는 시기별 필요수량에 기반하여, 손실률을 고려한 공급량을 사용하는 것으로 용수 공급량을 추정하였다(Jun et al., 2014). 농업용 저수지 공급량 평가 연구에서도 필요수량 방식을 기반으로 관개효율을 고려한 공급량을 이용하여 평가하였다(Ryu et al., 2018). 하지만 실제 현장에서의 농업용 저수지 공급은 기상학적·지형학적 특성에 따라 단일 저수지별 공급량 및 수요량 값이 상이하며, 기상·수문 현상의 불확실(uncertainty)으로 인해 관행적 경험에 의존하여 수행되고 있으며(Nam et al., 2012), 이론적 방법에 의한 공급량 산정은 실제 계측자료와 많은 차이를 보이고 있다(Shim et al., 2012). 물 관리자는 경험과 관행에 따라 관리수량을 결정하고 있으며 경우에 따라 포장 순용수량의 2~3배까지 물이 사용되기에 실제와 모형 간의 차이가 발생하게 된다(Shim et al., 2012).

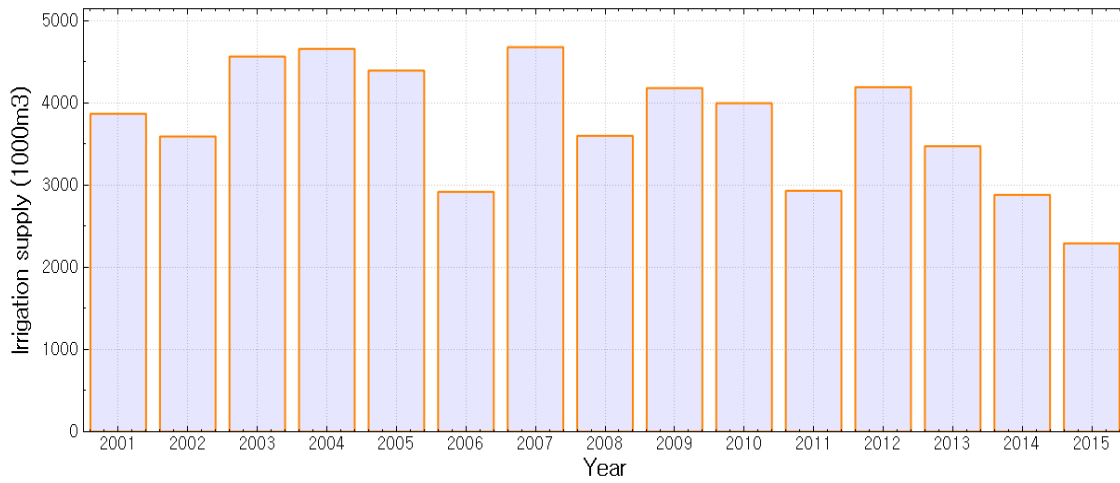
본 연구에서는 저수지 물수지 모형 (3.1)식을 변형한 다음과 같은 식을 사용하여 용수공급량을 추정하였다.

$$O_t = I_t - (S_t - S_{t-1}) + PR_t - OF_t - ET_t \quad (3.9)$$

여기서, 아래첨자  $t$  는 해당 순을 뜻한다. 저수지 유입량은 저수지 유입량 모형(3단 Tank)를 사용하여 추정하였으며, 모형사용으로 인한 추정의 불확실성을 줄이기 위하여 일단위 계산의 결과를 순단위로 환산하여 물수지 모형에 적용하였다. 무수저수지의 2001년~2015년 15년간의 저수율은 다음 그림과 같다.

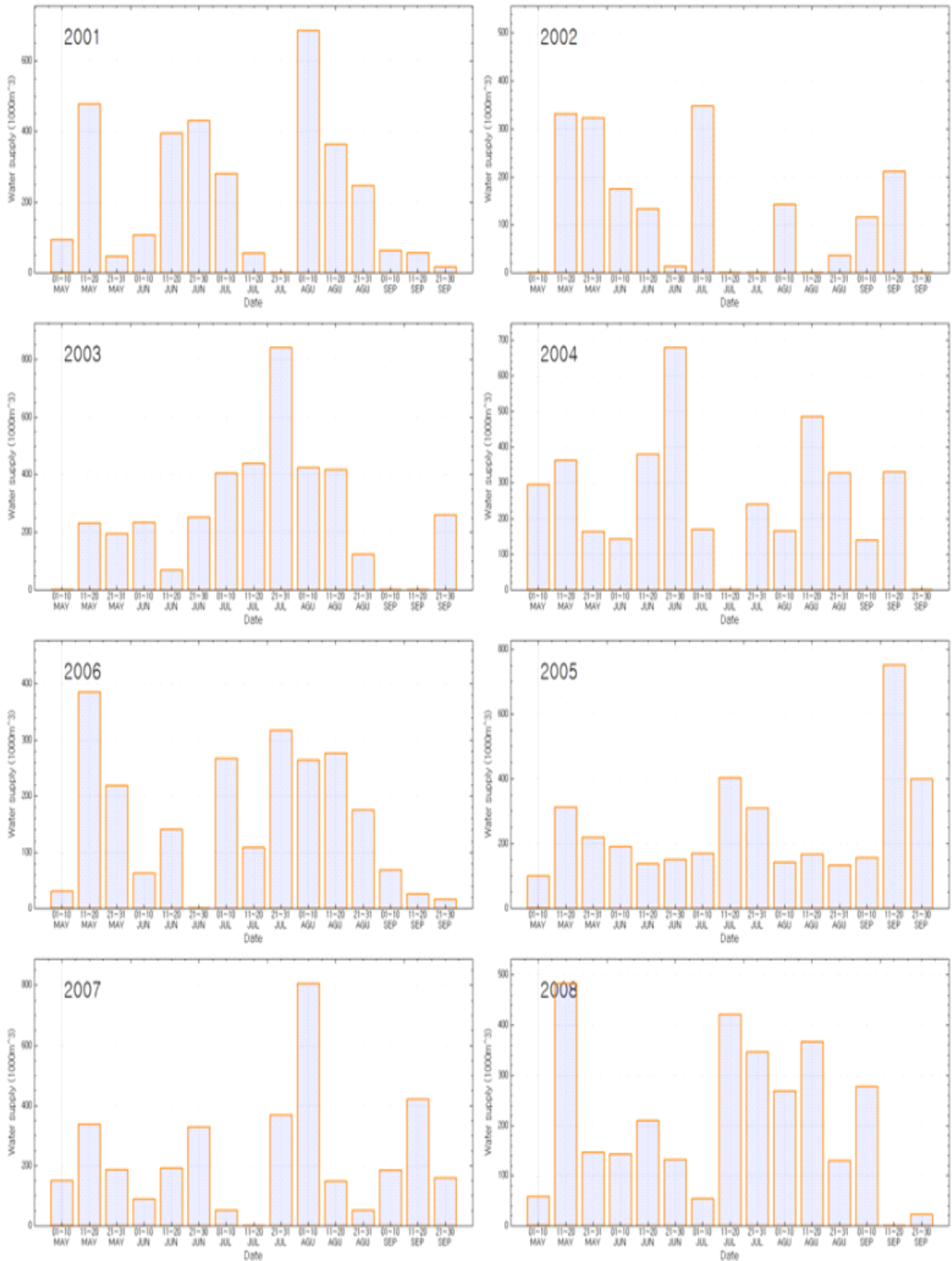


<그림 3-13> 무수저수지 저수율 (2001~2015년)

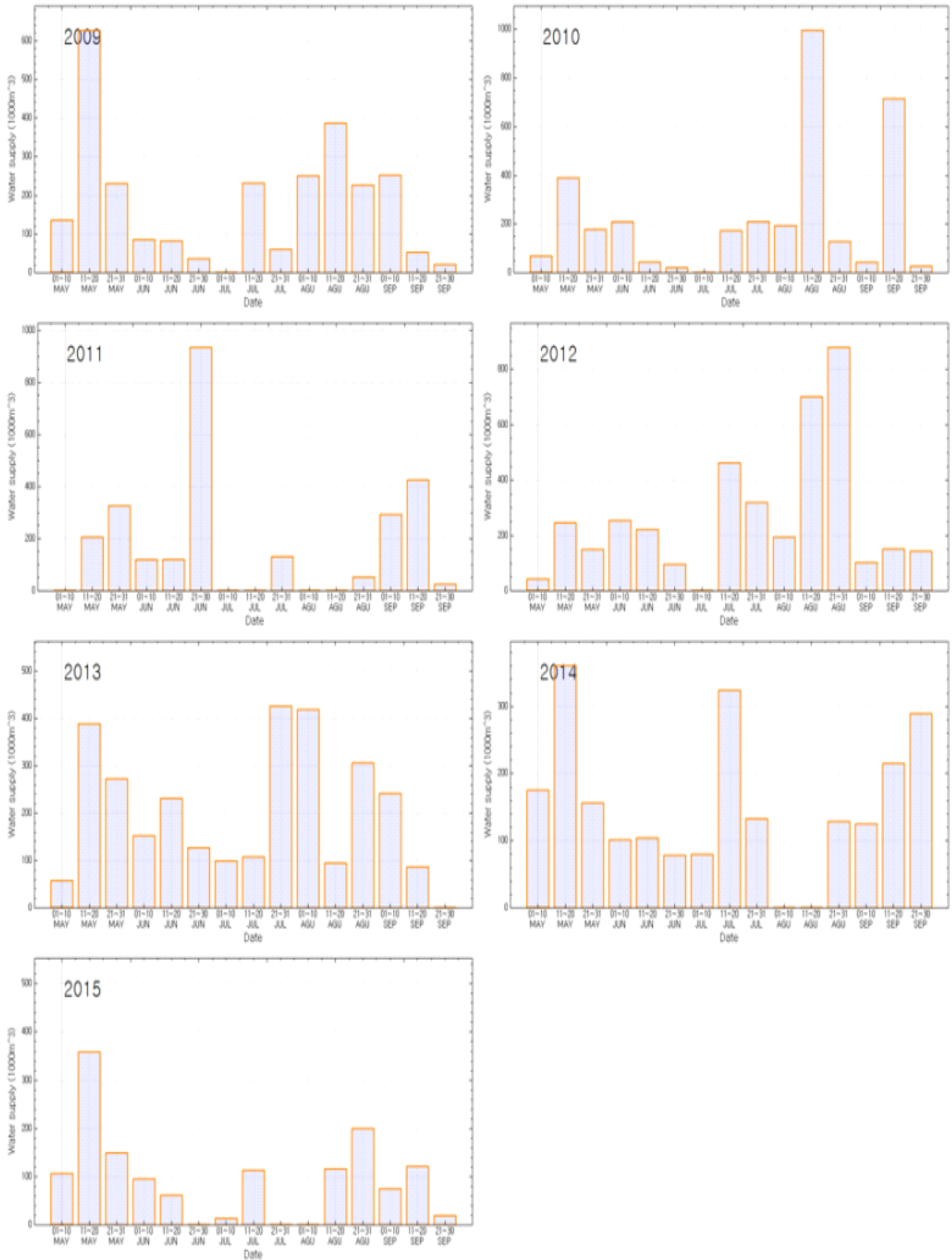


<그림 3-14> 연별 관개공급량 산정 (2001~2015년)

(3.9)식을 기반으로 2001년~2015년 15년간의 데이터를 사용하여 추정한 무수저수지의 순별 공급량을 그림 3-15, 3-16에 나타내었다.



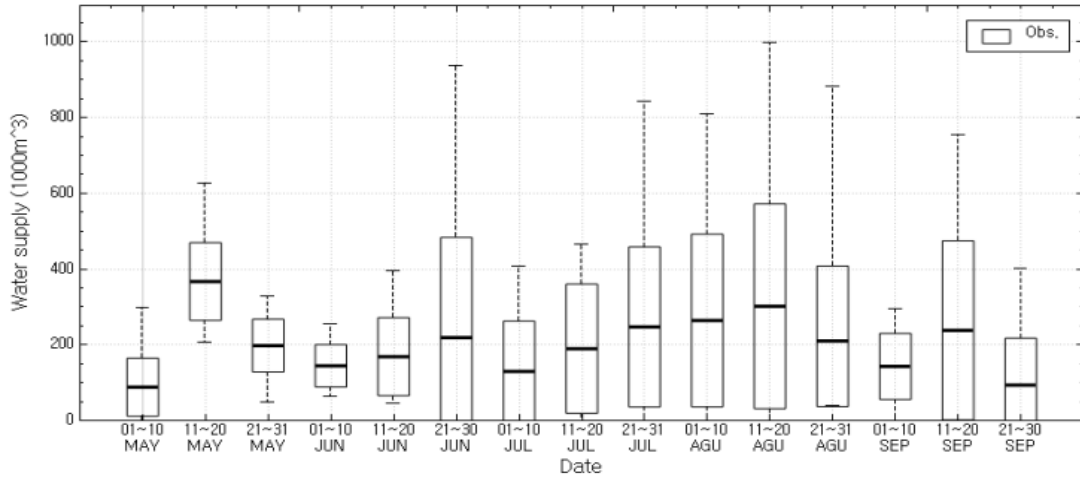
<그림 3-15> 무수저수지 순별 공급량 추정값(2001~2008)



<그림 3-16> 무수저수지 순별 공급량 추정값(2009~2015)



연도별로 용수공급량과 분포가 다르게 관리되고 있는 것을 알 수 있다. 추정한 공급량 분포를 보다 알기 쉽게 다음 그림과 같이 Box plot으로 나타내었다. 박스 중앙의 선은 15년간의 평균이며, 박스의 상하는 평균에 표준편차를 더하고 뺀 값이다. 상하 막대는 최대 및 최소값을 뜻한다. 따라서 긴 박스는 연도별로 공급량의 편차가 크다는 것을 의미한다.



<그림 3-17> 무수저수지 순별 공급량

그림 3-17을 보면 5월은 비교적 용수공급의 편차가 크지 않고 이양기에는 일관적인 물공급이 되고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 본답기, 중간낙수기 등이 있는 6~8월은 해에 따라 물공급이 달라 편차가 큰 것을 알 수 있다. 특히 6월 21~30일, 8월 11~20일, 9월 11~20일 등은 해마다 매우 다르게 물공급이 되고 있는 것을 알 수 있다. 용수공급량의 편차가 크다는 것이 반드시 물관리가 잘못되었다는 의미는 아니다. 연도별로 강우와 저수율의 상황에 맞게 공급량이 크게 조절되었다는 의미도 포함되어 있다. 하지만 장기적으로 보면 순별로 표준적인 값을 중심으로 크게 편차 없이 용수공급을 하는 것이 안정적인 용수관리에 도움이 될 것으로 판단된다. 이를 위해서는 해당 저수지의 표준적인 작부시기 및 관행 등을 조사하여 반영할 필요가 있으나, 이는 해마다 달라질 수 있으며 기록이 상세하게 남아있는 관개지구는 많지 않은 관계로 조사에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 저수율을 기반으로 하여 관개지구별로 표준적인 작부시기 및 관행을 추정하는 방법론을 개발하였다. 이 과정을 설명하기 위하여 필요수량 기반 공급량 추정방법에 대해서 간략히 서술하였다.

논의 필수요량은 증발산량과 침투량을 합하고 논에서 이용되는 유효우량을 감하여 구할 수 있으며, 여기에 시설관리손실을 반영하여 관개용수량을 산정하게 된다. 필요수량은 생육기별로 묘대정지기,묘대기,묘대이양혼합기,이양기,본답기로 구분하여 산정한다.

묘대정지기에는 침투량 및 못자리 정지용수가 필요하며 필요수량은 식 (3.10)와 같이 산정한다.

$$Req_t = (I + WR_n / D_n) \times A_n \quad (3.10)$$

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 필

요수량은 다음과 같이 산정한다.

$$Req_t = (I_t + ET_t) \times A_n \quad (3.11)$$

여기서,  $ET_t$ 는 기간별 증발산량이다. 본답기 용수량은 다음과 같이 침투량과 증발산량의 합으로 나타낸다.

$$Req_t = (I_t + ET_t) \times A_t \quad (3.12)$$

여기서,  $A_t$ 는 관개면적이다.

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 3-18> HOMWRS와 ARWS의 작부시기

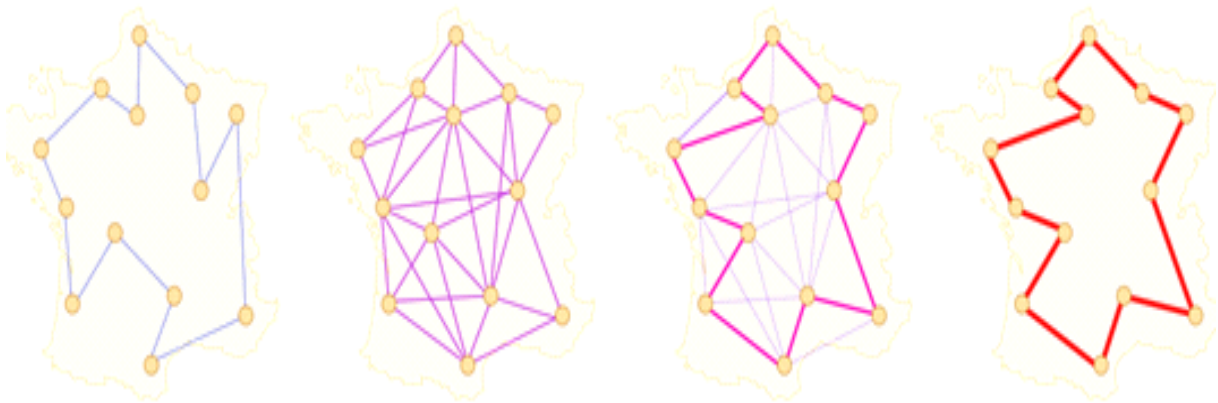
용수공급량은 위와 같이 산정한 필요수량에 관리용수량을 더하여 산정하게 된다. 따라서 용수공급량은 작부시기, 관리용수량, 묘대면적 등에 의해 결정되게 되나, 이는 지역별로 또는 연도별로 바뀌게 된다. HOMWRS와 ARWS에서 표준으로 사용하고 있는 작부시기는 그림 3-18과 같다.

위와 같이 산정한 공급량을 (3.1)식에 대입하여 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 인

해 경로가 조금씩 바뀌기도 하면서 여러 가지 경로를 찾게 된다. 오래된 페로몬은 시간이 지나면서 없어지고 결국 최적의 경로에만 페로몬이 남게 되는 원리이다. 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) 두가지 값의 조합으로 결정되게 된다. Trail은 해당 움직임이 얼마나 바람직한지를 알려주는 값이며, 개미가 자신의 솔루션을 찾았을 때 업데이트 되고, 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.



<그림 3-19> 개미군집알고리즘 개념도

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. 작부시기 및 관개관행의 제약조건은 다음 표와 같이 설정하였다.

(표 3-1) 작부시기 및 관개관행 제약조건

작부시기 및 관개관행	제약조건
묘대기 기간	0 ~ 20 일
이양기 기간	1 ~ 30 일
낙수기 기간	0 ~ 20 일
못자리 용수량	0 ~ 100 mm
이양용수량	50~ 200 mm
손실수량	15 ~ 150 %
묘대면적비 (묘대면적/관개면적)	0 ~ 20 %

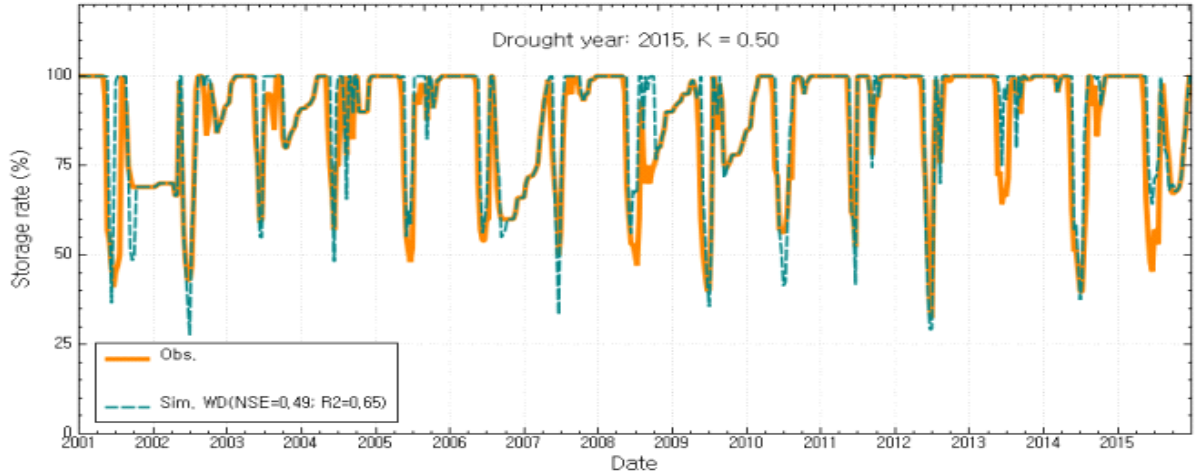
최적화 알고리즘으로 추정된 무수저수지의 작부시기 및 관개관행은 다음과 같다.

(표 3-2) 무수저수지 추정된 작부시기 및 관개관행

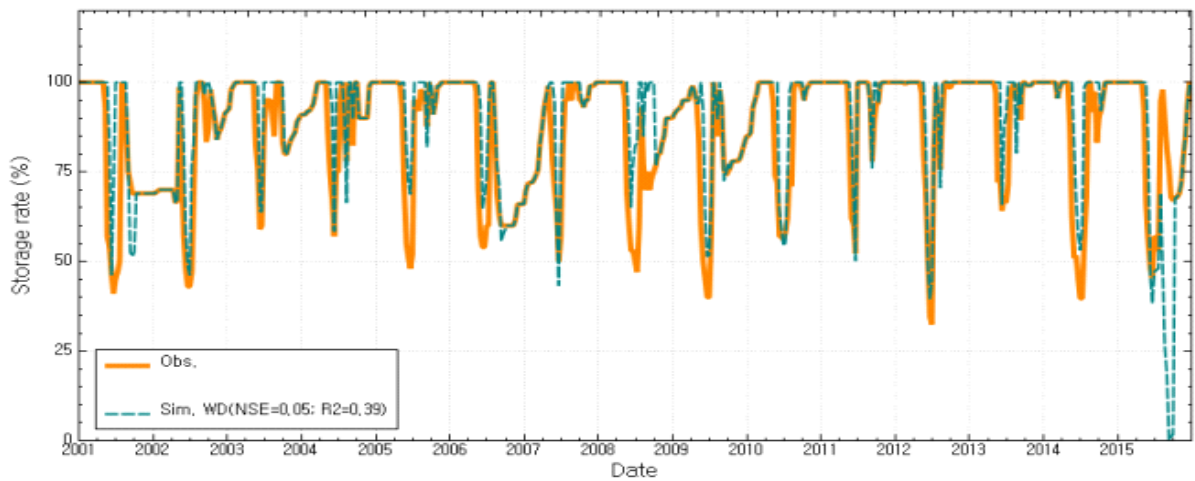
작부시기 및 관개관행	추정값
묘대기 기간	5/3 ~ 5/16 일
이앙기 기간	5/20 ~ 6/2 일
본답기 기간	6/3 ~ 9/16
낙수기 기간	7/1 ~ 7/15 일
못자리 용수량	4 mm
이앙용수량	196 mm
손실수량	33 %
묘대면적비 (묘대면적/관개면적)	1 %

위 관개관행은 저수지의 저수율을 재현할 수 있도록 추정한 값으로 실제 관개관행과 일치하는 지 여부에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 무수저수지 관개지구 뿐만 아니라 타 관개 지구에 대해서 적용하고 검증하는 과정이 필요할 것으로 보인다. 이러한 연구는 차년도 이후 수행될 예정이다.

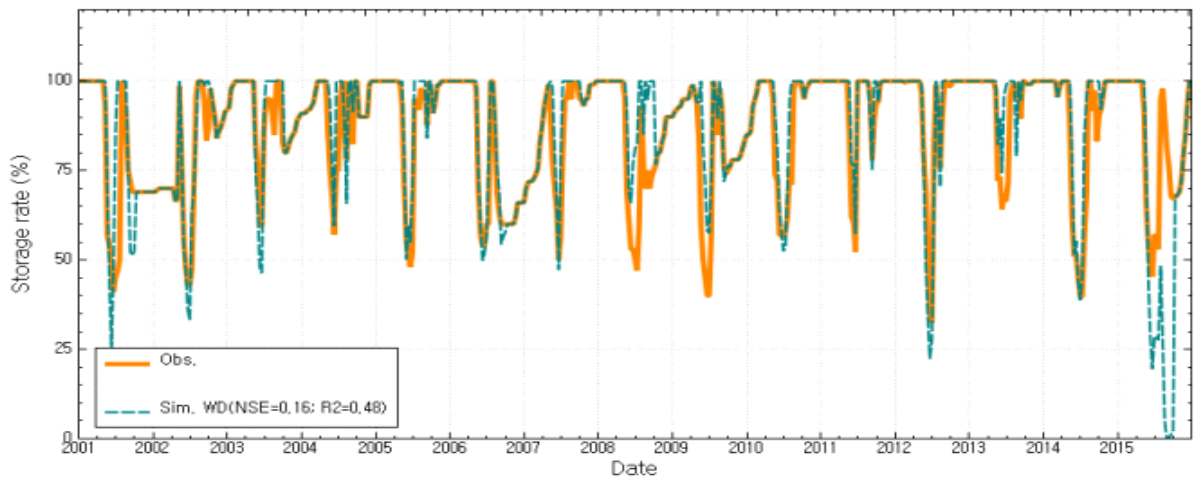
추적한 저수지 저수율은 다음 그림과 같으며, 비교를 위해 그림 3-18의 HOMWRS와 ARWS 에서 제시하고 있는 작부시기를 사용한 저수지 저수율 추적결과도 함께 제시하였다.



(a) 최적화 알고리즘을 이용하여 추적한 저수율 추적결과



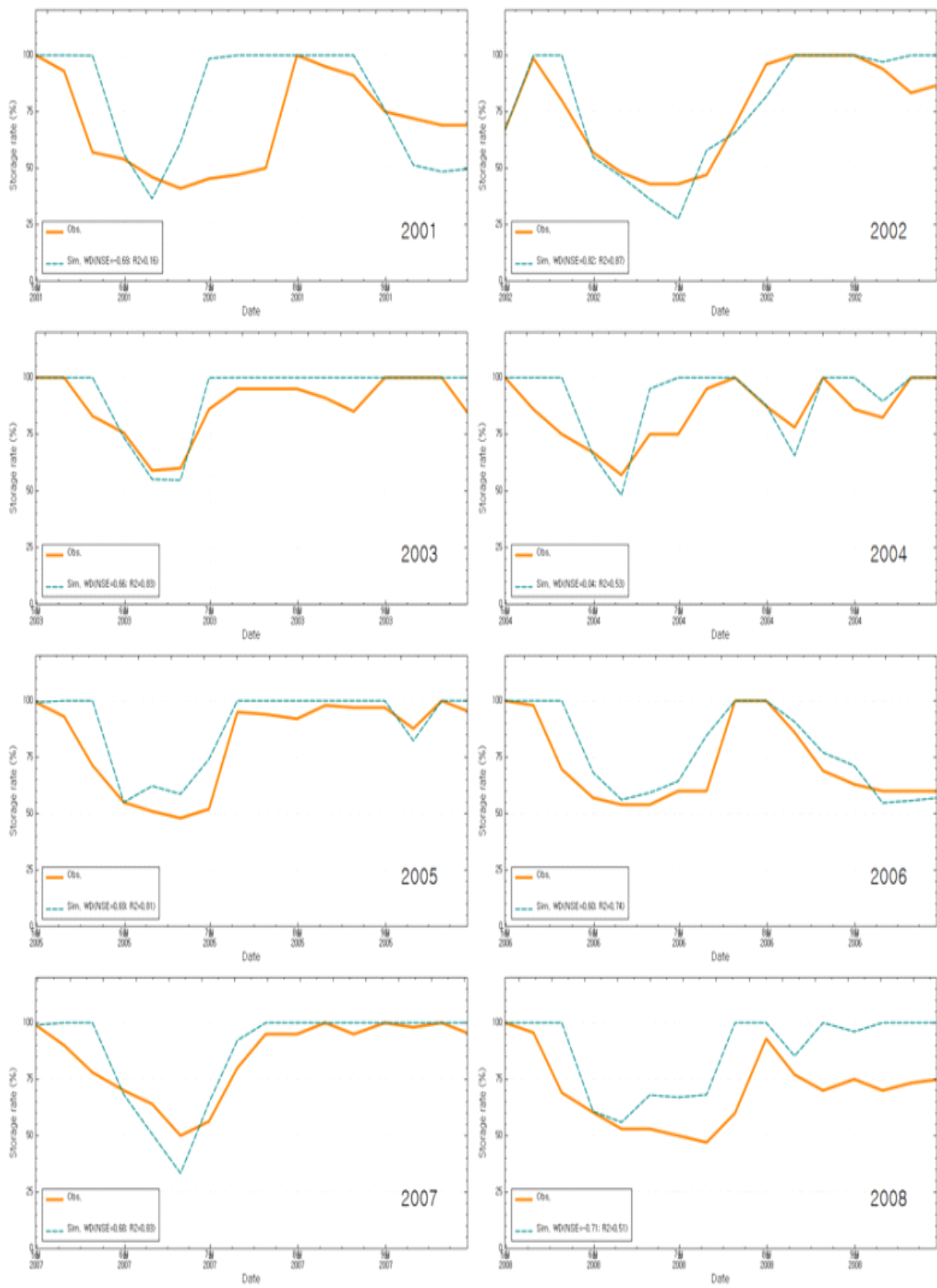
(b) HOMWRS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과



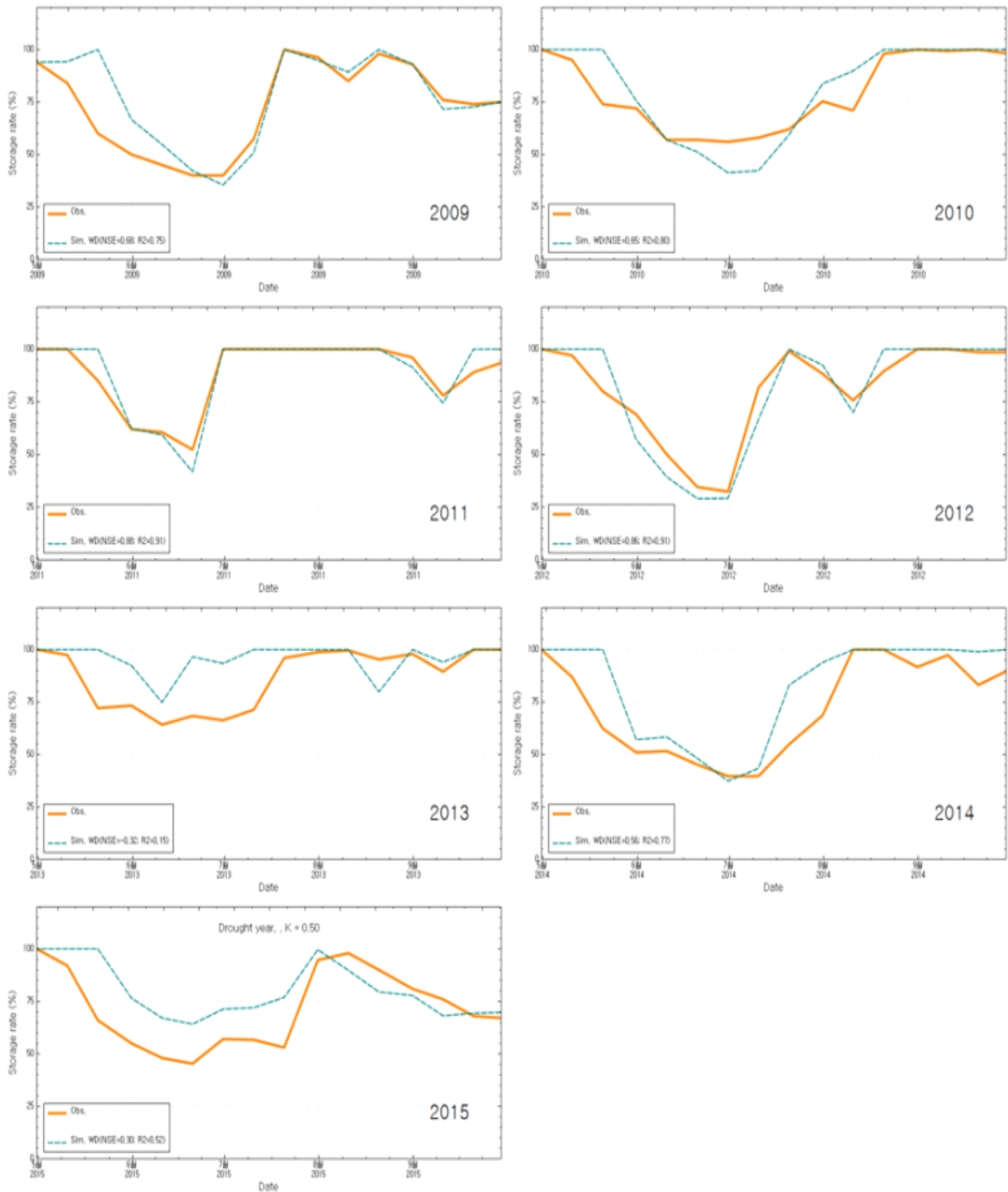
(c) ARWS 작부시기를 이용한 저수율 추적결과

<그림 3-20> 무수저수지 저수율 추적

$R^2$  는 각각 0.65, 0.39, 0.48이며, NSE는 0.49, 0.05, 0.16으로 최적화, ARWS, HOMWRS 순으로 좋은 결과를 보였다. 이로 미루어 본 연구에서 도출한 방법으로 추정된 작부시기가 기존에 제시된 고정된 작부시기에 비해 각 지구의 관행조건을 어느 정도 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 보다 상세한 분석을 위해 개별년도에 대한 저수율 추적결과를 다음 그림에 제시하였다.



<그림 3-21> 무수저수지 저수율 개별년도 추적결과 (2001~2008)



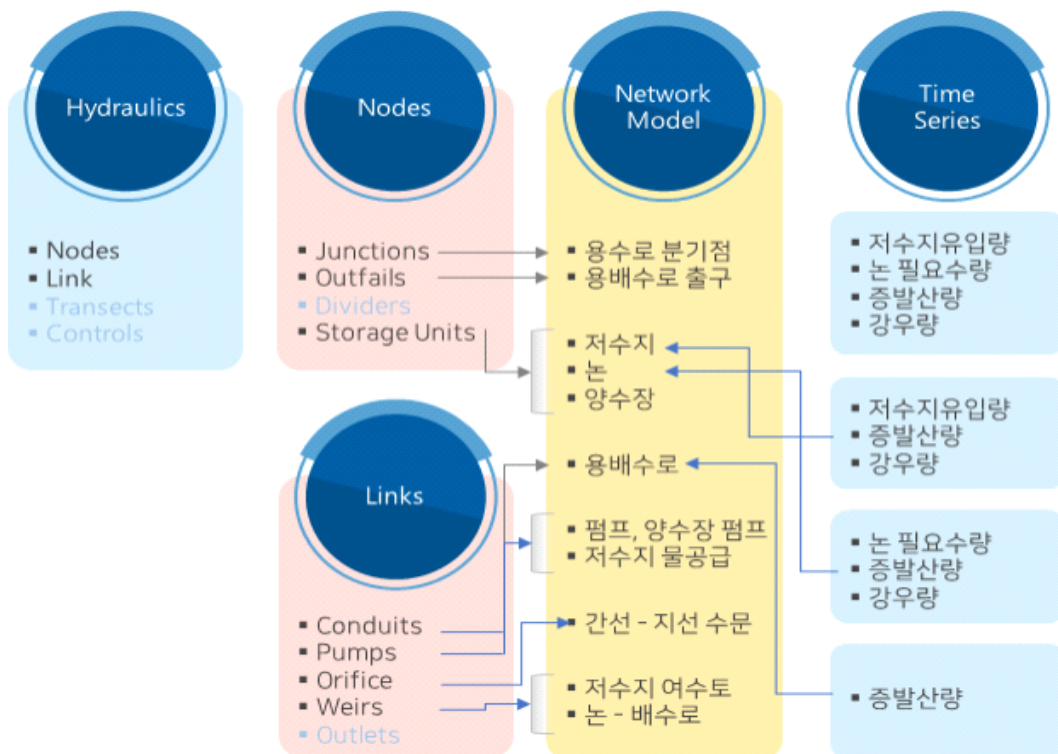
〈그림 3-22〉 무수저수지 저수율 개별년도 추적결과 (2000~2015)

개별년도의 추적결과를 보면 2009년, 2011년, 2012년과 같이 추정된 저수율과 실제 저수율이 잘 일치하는 년도도 있지만 2001년, 2015년과 같이 저수율이 잘 일치하지 않는 해도 있는 것을 알 수 있다. 이유는 크게 1) 관행에 근거한 연도별로 다른 공급량, 2) 강우량 예측자료의 불확실성, 3) 유출모형을 불확실성 때문인 것으로 판단된다. 특히 가뭄 시 용수의 공급패턴은 평년과는 다른 것으로 보이며, 가뭄년도의 기준 및 이에 대한 관행적 대응은 향후 추가적인 연구가 필요할 것이다.

### 3.2 논물수지를 반영한 용수공급 취약지역 분석 방안 마련

#### 3.2.1 논물수지를 반영한 평야부 모델링

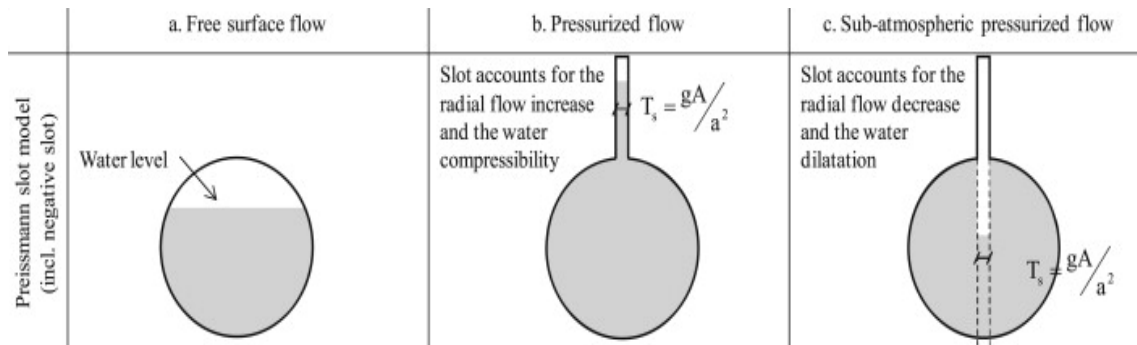
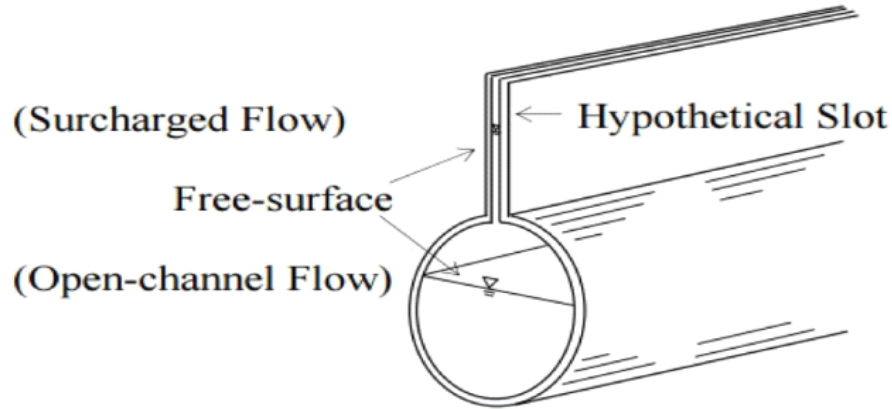
종래에 도수부에서 수로를 통과하는데 손실되는 물의 양은 손실율로서 일괄적으로 고려되었으며, 수로의 분기와 형태에 따른 정량적인 물분배의 방법론은 현재까지 찾아보기 어렵다. 그러나 대부분 개수로로 이루어져 있으며, 수로의 경사가 비교적 급하고, 수로가 길게 뻗어 있는 곳이 많은 국내 관개수로의 특성 상 관리(손실)수량은 평야부의 특성에 따라 달라지며, 또한 물이 말단부까지 도달하지 않는 경우가 많다. 이러한 현상을 정량적으로 분석하기 위해 근래에 수리학적 모형에 기반한 분석방법이 활용되고 있으며, 본 연구에서도 이러한 방법으로 평야부를 모델링하였다.



<그림 3-23> SWMM 모듈과 도수부 수리 네트워크 모델링 관계도

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 3-23). 대표적으로 용수로 네트워크는 Junction과 Conduit 모듈로 모형화 하며, 수문은 Orifice 모듈로 모형화 하였으며, 물꼬는 Weir 모듈로 모형화하였다. 펌프 및 양수장은 Pump 모듈로서 모형화 하였으며, 논은 Storage 모듈로 모형화 하여 저수지와 같이 표현하였다. 논에서의 증발산, 침투량, 강우량 등은 물수지에 의하여 고려되게 된다. SWMM의 상세사항 및 계산 방법을 아래에 소개하였다.

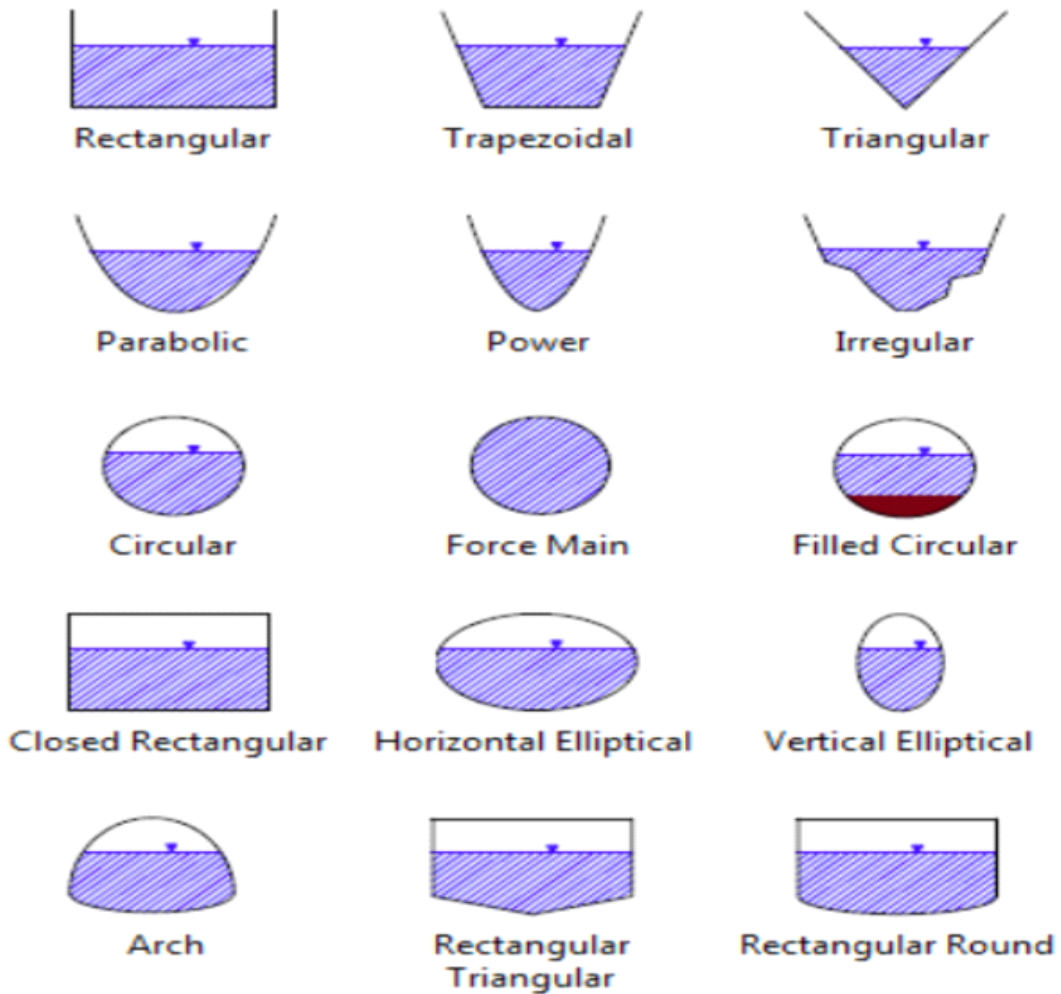




<그림 3-24> Preissmann Slot기법의 개념도

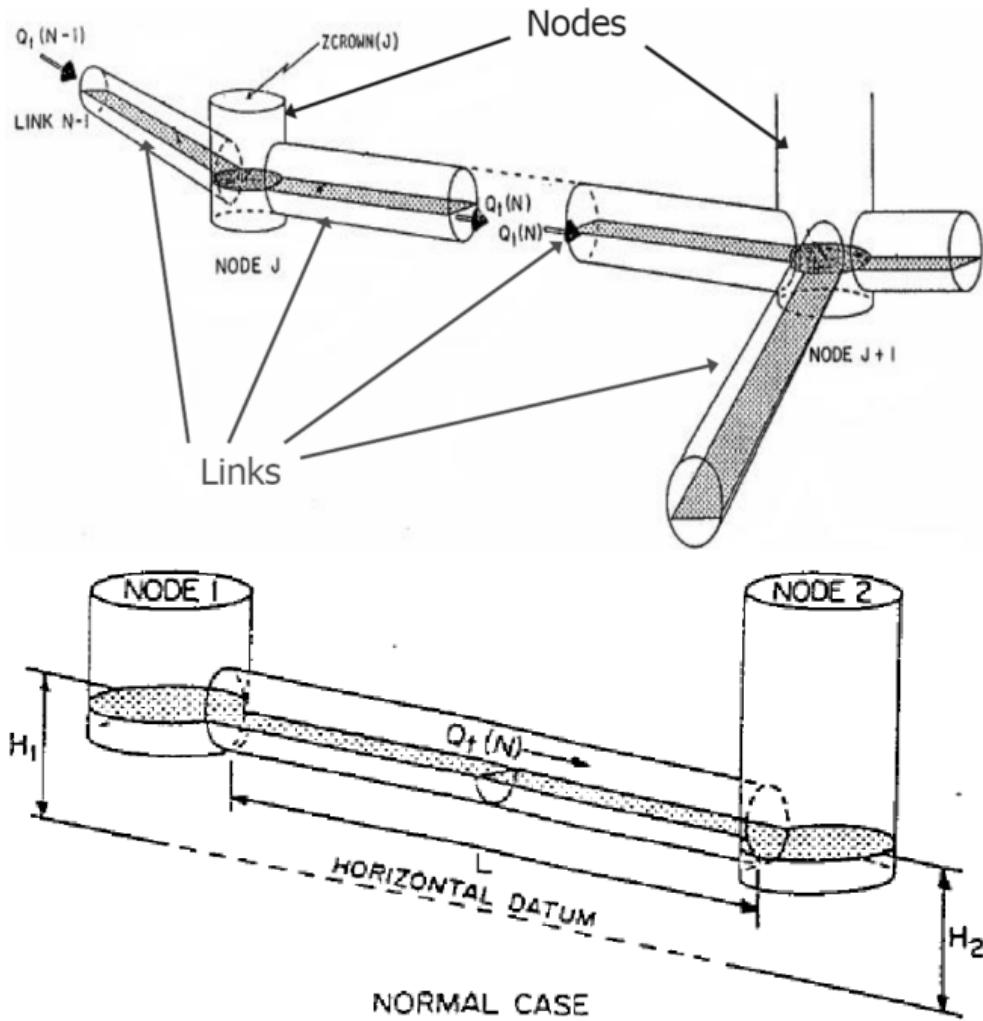
수리 네트워크 모형에서 차용하고 있는 SWMM 모형의 수리해석 기능은 기본적으로 도시구역의 배수관망을 해석하기 위한 것이다. 따라서 관망의 해석기능을 개수로에 적용하는 것에 대한 타당성이 종종 지적된다. 그러나, SWMM에서는 관망에서 발생할 수 있는 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 표현하기 위하여, 개수로 흐름에 대한 지배방정식에 기반한 Preissmann Slot기법을 사용하여 관망을 해석하고 있다. 이 기법에서는 관로 상단에 얇은 Slot을 가정함으로써 개수로 흐름과 관수로 흐름을 모두 개수로의 지배방정식으로 표현하고자 하는 기법이다. 따라서 SWMM의 수리해석모형은 기본적으로 개수로를 계산하는 모형이라 할 수 있다.

용수로를 표현하는 Conduit 모듈에서 사용가능한 단면형상은 그림 3-25와 같다. 다양한 형태의 관수로형상 뿐 아니라, 직사각형, 사다리꼴, 삼각형, 포물선 형태의 개수로 단면형상을 고려할 수 있는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 활용하고자 하는 SWMM의 수리학적 기능을 이용한 관개수로 네트워크의 계산은 방법론상으로 문제가 없는 것으로 판단된다.



<그림 3-25> 적용가능한 수로단면형상

저수지에서 공급된 유량은 관개수로망(개수로 및 관수로)을 따라 이송된다. 모형상 관개수로망은 노드와 링크 요소로 구성되며, 둘의 연결관계는 다음 그림과 같다. 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 3-26> 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.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (3.14)$$

LINK요소에서는 운동량방정식을, NODE요소에서는 연속방정식을 사용하여 흐름을 해석한다. 수심이 얇은 흐름에 있어서 이송항은 운동량방정식 계산시 생략하게 된다. 이송항은 운동량방정식의 여러항들 중에서 영향력이 비교적 작은 동시에 수치계산 시 불안정한 요인이 되기 때문이다

(Yen, 1981). 따라서, 간편하고, 안정된 해를 구하기 위해 위 식으로부터 다음 식으로 식을 변형시킨다.

$$\frac{Q^2}{A} = V^2 A \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial(V^2 A)}{\partial x} = 2A V \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (3.16)$$

식(3.15~3.16)을 식(3.14)에 대입하고 정리하면 종속변수  $Q, A, V, H$  등을 갖는 운동량방정식 식(3.17)를 얻게 된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2A V \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA S_f = 0 \quad (3.17)$$

위 식에  $Q = AV$ 를 대입하고 정리하면,

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (3.18)$$

이 식에  $V$ 를 곱하고 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (3.19)$$

위 식을 식(3.15)에 대입하고 정리하면 다음의 방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA S_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (3.20)$$

SWMM모형에서는 운동량방정식의 해를 구하기 위해 유한차분법을 사용하며, Manning식으로 마찰경사를 나타내면 다음식과 같다.

$$S_f = \frac{k}{gAR^{4/3}} Q|V| \quad (3.21)$$

여기서,  $k$ 는  $gn^2$ 이며, 속도의 절대값을 사용한 것은 마찰경사를 흐름방향으로 설정하여 마찰력이 항상 흐름방향과 반대가 되도록 설정하기 위함이다. 식(3.19)을 식(3.18)에 대입하고 유한차분법으로 이산화 하면 다음식을 얻을 수 있다.

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t| Q_{t+\Delta t} + 2\bar{V} \left[ \frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t \quad (3.22)$$

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

$Q_{t+\Delta t}$ 에 대하여 위의 식을 정리한 다음과 같이 LINK에서의 기본방정식을 얻을 수 있다.

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V|} Q_t + 2\bar{V} \left[ \frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t \quad (3.23)$$

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

식(3.23)에서  $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$  는 시간 t 동안, LINK 양단에서의 가중평균 값을 뜻한다. 식(3.22)에서 미지 값은  $Q_{t+\Delta t}$ 와  $H_2, H_1$ 이며, 변수  $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$  는  $Q$ 와  $H$ 로 구성된다. 따라서, 이 방정식을 풀기 위해서는  $Q$ 와  $H$ 에 대한 방정식 추가로 필요하며, 여기서 NODE에서의 연속방정식을 사용할 수 있다. 노드에서는 링크들 간의 유속관계에서 연속방정식을 만족하여야 하며 이는 다음식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q_i \Delta t}{A_s} \quad (3.24)$$

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

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \frac{\sum Q \Delta t}{A_s} \quad (3.25)$$

식(3.25)에서  $A_s$ 는 NODE에서의 연직단면적 또는 수표면적이다. 식(3.25)와 식(3.23)을 연립하여 계산함으로써 각 계산시간 간격  $\Delta t$ 에서 NODE의 수심과 LINK의 유량을 계산할 수 있다.

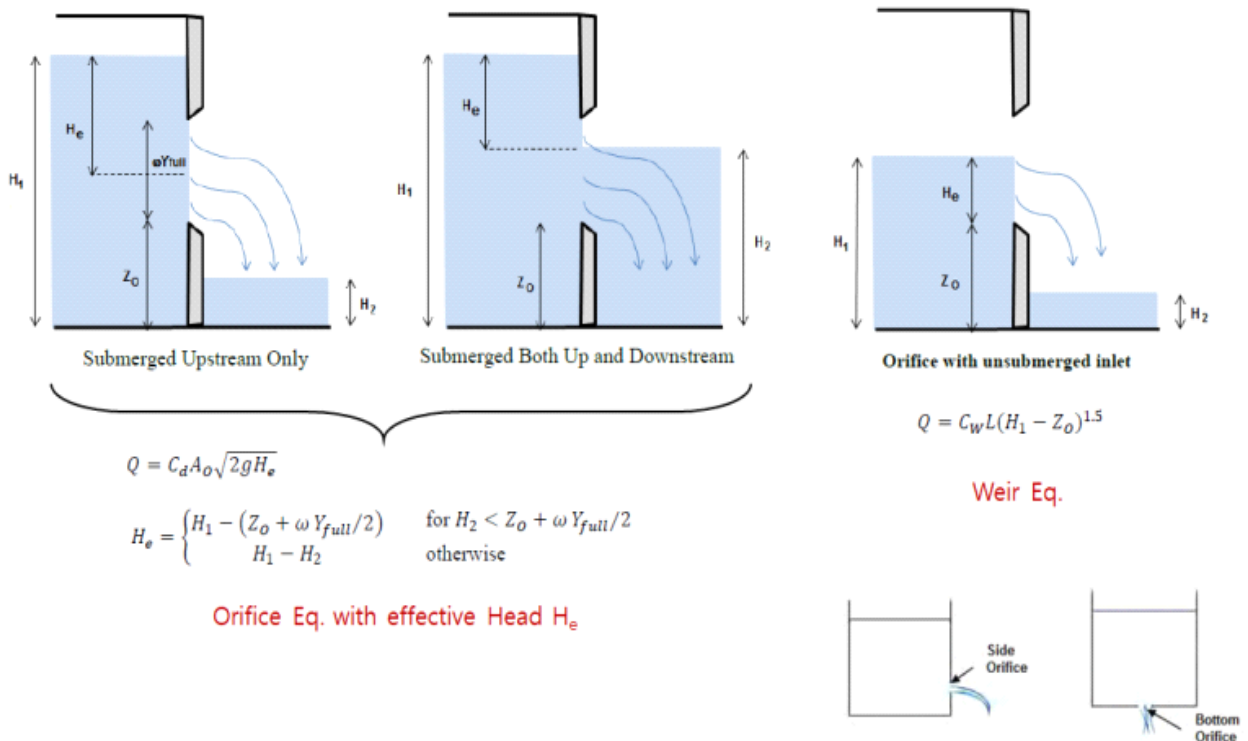
위 방법은 St. Venant방정식을 수치적으로 풀이하는데 시간에 대하여 Explicit방법을 사용하기 때문에 안정적인 계산을 위해서 CFL조건을 만족시켜야 하며 이는 다음과 같다.

$$\text{Link: } \Delta t \leq \frac{L}{(gD)^{1/2}} \quad (3.26)$$

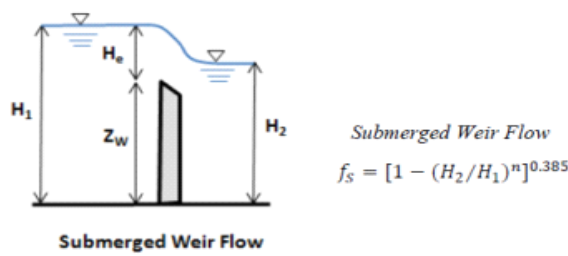
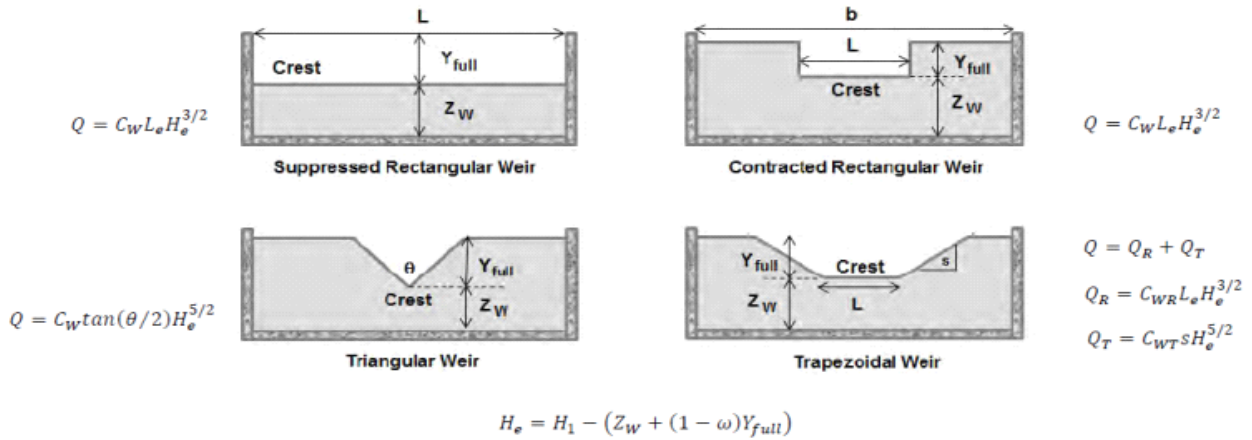
$$\text{Node: } \Delta t \leq C A_s \frac{\Delta H_{\max}}{\Sigma Q} \quad (3.27)$$

여기서,  $\Delta t$  : 연산시간구간(sec),  $L$  : 관망내 가장 짧은 관로길이(m),  $g$  : 중력가속도( $\text{m/sec}^2$ ),  $D$  : 관로 최대깊이(m)이다. 식(3.27)에서,  $C$ 는 무차원 상수로 일반적으로 0.1의 값을 갖는다.  $\Delta H_{\max}$ 는  $\Delta t$ 구간에서 최대 수위 상승높이,  $A_s$ 는 Node 표면적,  $\Sigma Q$ 는 Node로 유입되는 순 유입량이다. 계산시간간격  $\Delta t$ 는 용수로 내에서 가장 짧은 수로 길이  $L$ 에 대하여, 위의 두 안정조건을 만족하도록 결정된다.

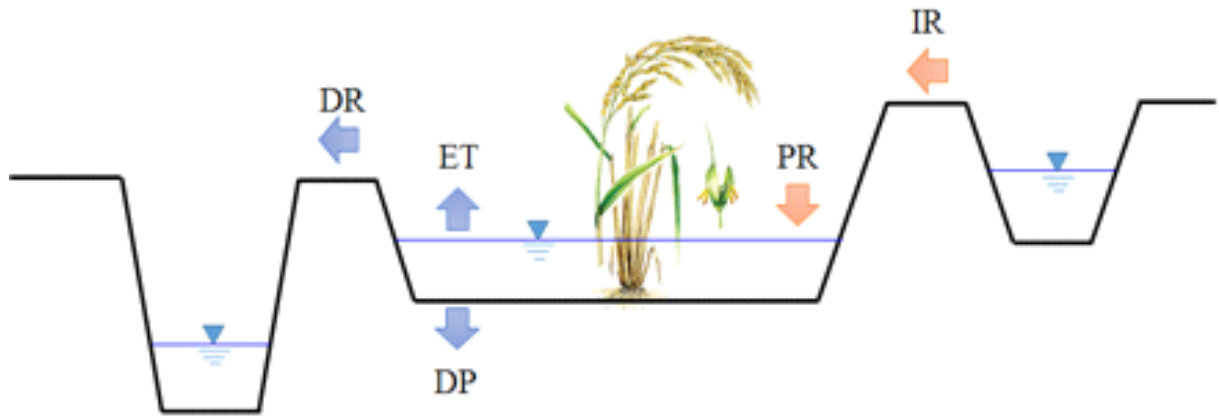
평야부 모델링에서 분수문 및 물꼬는 Orifice로, 배수물꼬는 Weir로 표현된다. 상하류 수위에 따른 오리피스 및 위어의 계산식을 그림 3-37와 3-38에 나타내었다.



<그림 3-27> 오리피스의 계산식 및 모식도



<그림 3-28> 위어의 계산식 및 모식도



<그림 3-29> 급수부 물수지 모형 개념도

평야부에서 논은 그림 3-39과 같이 물수지(water balance)모형으로 모의된다. 급수부에서의 물수지 식은 다음과 같다.

$$PD_t = PD_{t-1} + IR_t + PR_t + ET_t - DR_t - DP_t \quad (3.28)$$

여기서,  $PD$ : 담수심(토양수분),  $IR$ : 물공급량,  $PR$ : 강우량,  $ET$ : 증발산량,  $DR$ : 배수량,  $DP$ : 침투량이다. 본 연구에서 침투량은 전 절에서 서술하였듯이 일정한 것으로 가정하여 계산하였으며, 강우량, 증발산량은 인근 관측지점의 데이터를 이용하였다. 물공급량, 배수량 등은 모형의 물꼬에 의해 조절된다.

### 3.2.2 용수공급 취약지역 분석방안 마련

평야부 모델링을 활용하여 무수저수지 관개지구에 대해 용수공급상황을 모의하였다. 모의기간은 관개기간(5/1~9/30)만을 대상으로 하였으며, 평년과 가뭄년도로 각각 2011년과 2015년을 모의하였다. 강우량 및 증발산량은 기상관측소의 해당년도 자료를 사용하였으며, 용수공급량은 1절에서 서술한 방법론으로 추정된 용수공급량을 사용하였다.

모의한 논의 용수공급 분석하기 위하여 관개만족도(Irrigation Satisfactory Index; ISI)를 다음과 같이 정의하였다.

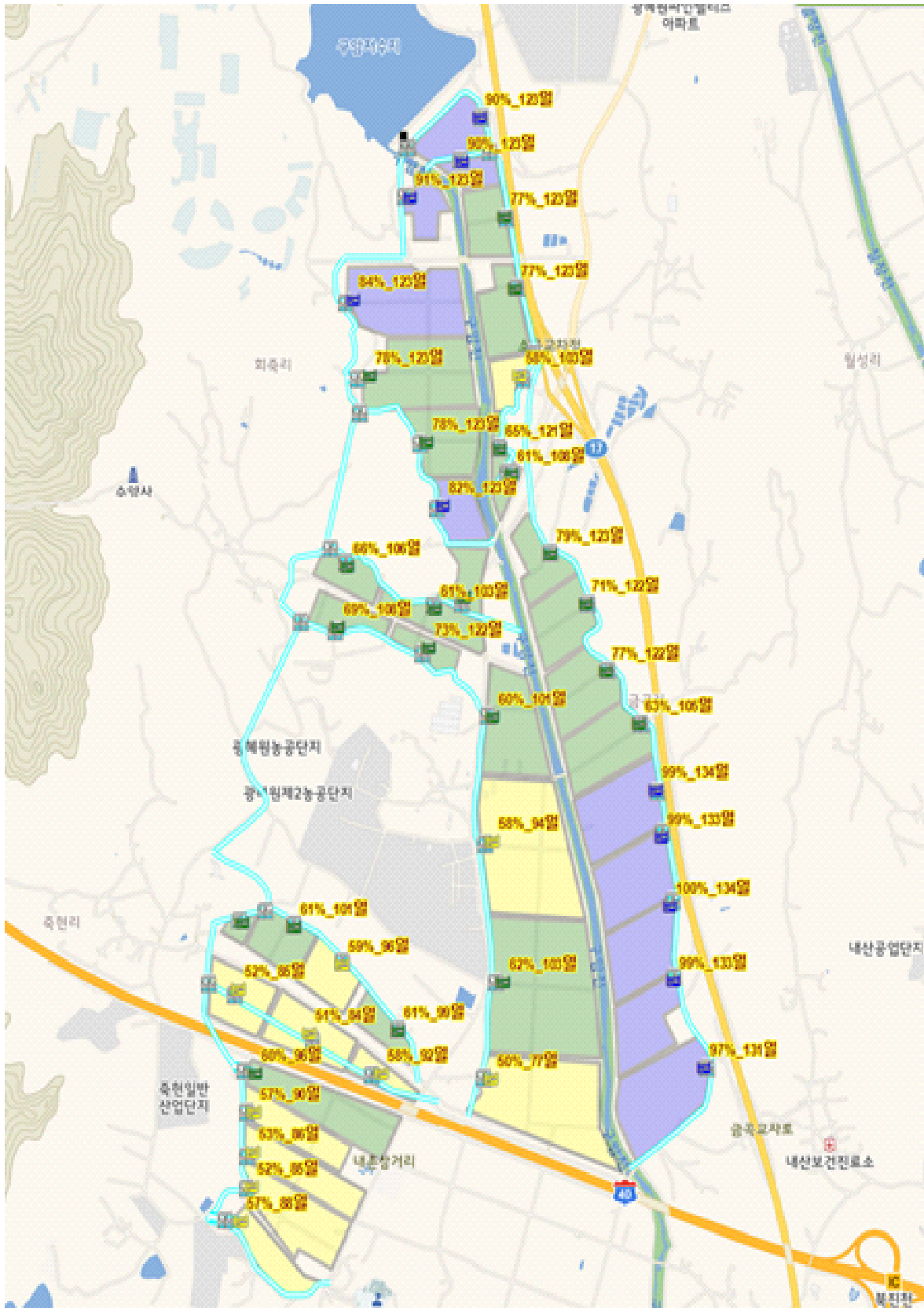
$$ISI = \frac{\sum_i (h_i/d_i)}{N} \times 100 (\%) \quad (3.29)$$

여기서,  $h$ 는 논에서 해당일의 담수심,  $d$ 는 해당일의 목표담수심,  $N$ 은 총관개일수(5/1~9/30)이다. 2011년과 2015년의 모의결과는 표-3-3, 그림 3-30, 3-31과 같다.

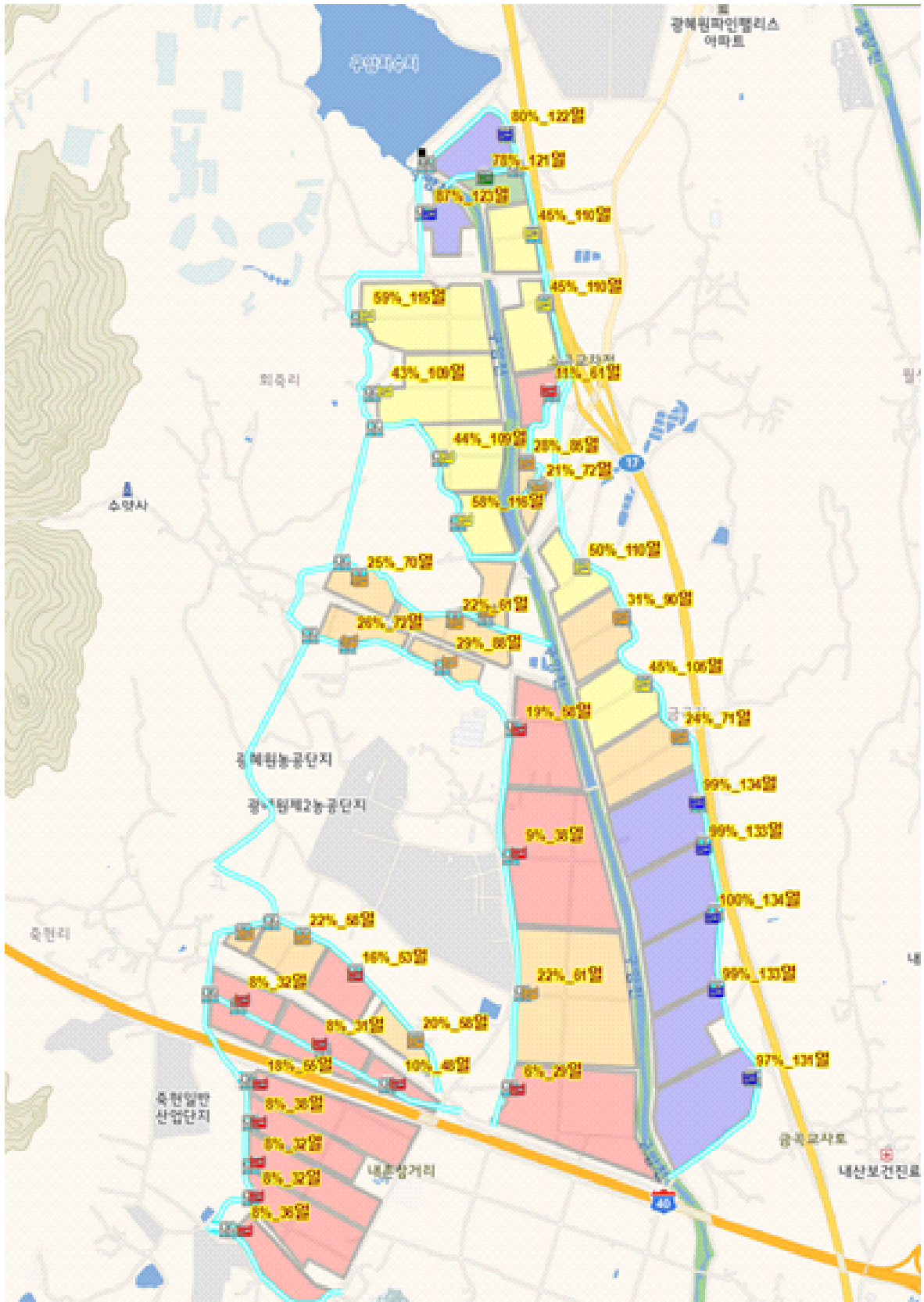
(표 3-3) 모의 관개만족도(2001년, 2015년)

목표담수심	2011년도 면적 (ha)	2015년도 면적
~ 20%	0	109.2
20 ~ 40 %	0	70.1
40 ~ 60 %	89.5	80.8
60 ~ 80 %	132.7	2.5
80 ~ %	76.4	55.9





<그림 3-30> 2011년도 관개만족도(ISI)



<그림 3-31> 2015년도 관개만족도(ISI)

위 표와 그림에서 알 수 있듯이 평년인 2011년도와 가뭄년이었던 2015년도의 관개만족도 분포는 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다. 특히 관개 만족도가 40%이하인 관개면적이 2011년도에는 없는 것이 비하여, 2015년도에는 179.3 ha로 전체 관개면적의 56%나 차지하고 있다. 주의해야 할 점은 관개만족도는 총 관개기간에 걸쳐 목표담수심을 얼마나 만족시키고 있는냐에 관한 지표로서 반드시 100%가 되지 않아도 벼의 생육에는 문제가 없는 경우가 존재한다. 2011년도의 모의결과로 미루어, 관개만족도가 약 40~50% 이상이면 벼의 생육에는 크게 문제가 없는 것으로 보인다. 향후 관개만족도와 벼의 생육에 관한 추가적인 고찰이 필요할 것으로 판단된다. 또한 관개용수가 많이 필요한 이양기 등을 고려하여 시기별 또는 월별 관개만족도를 산정하고 분석할 필요가 있을 것으로 보인다.

### 3.3 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘 기본설계

본 절에서는 최적의 수문제어 및 관개방식 도출을 위해서 최적화 알고리즘의 기본설계(안)을 제시하기로 한다. 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.

#### 3.3.1 최적관개를 위한 평가지표 설정

최적의 수문조작 및 관개방식을 찾기 위해서는, 최적화의 대상이 되는 목적함수를 명확하게 정의할 필요가 있다. 목적함수에 고려해야 될 항목들은 매우 여러 가지가 있을 수 있으나, 본 연구에서는 관개율, 관개기 최저 저수율, 관개후(10/1) 저수율을 고려하여 목적함수를 다음과 같이 정의하였다.

$$F(\vec{x}) = w_1 f_1(IR) + w_2 f_2(S_{\min}) + w_3 f_3(S_{after}) \quad (3.30)$$

여기서,  $IR$ 는 관개율,  $S_{\min}$ 는 관개기 최저저수율,  $S_{after}$ 는 관개후 저수율,  $w_1, w_2, w_3$ 는 각각의 항목에 대한 가중치(weight),  $f_1, f_2, f_3$ 은 각각 관개율, 관개기 최저저수율, 관개후 저수율에 대한 비선형 함수이다. 위에서 제시한 세 항목인 관개율, 최저저수율, 관개후 저수율은 관개를 통하여 달성하고자 하는 목표를 나타내고 있으나, 지표와 편익의 관계는 선형으로 보기 어려우므로 비선형 관개식으로 목표함수를 설정하는 것이 타당하다고 판단하였다. 개별지표들에 대한 설명은 다음과 같다.

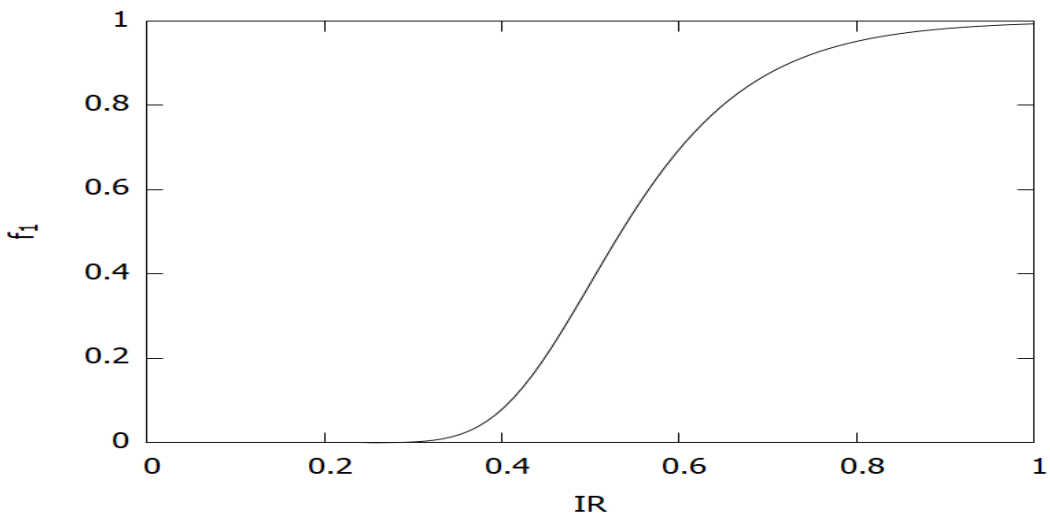
관개율(Irrigation Rate)은 다음과 같이 정의된다.

$$IR = \frac{\sum_i (h_i/d_i)}{N} \times 100 (\%) \quad (3.31)$$

여기서,  $h$ 는 논에서 해당일의 담수심,  $d$ 는 해당일의 목표담수심,  $N$ 은 총관개일수(5/1~9/30)이다. 관개율을 산정하기 위해서는 필지별 담수심을 모의할 필요가 있으며 이는 평야부 수리해석을 통하여 모의할 수 있다. 다년간의 모의를 해 본 결과 관개율이 약 60~70% 이상일 경우 대체로 벼농사에 문제가 없는 것으로 판단되며 그 이하일 경우에는 농작물이 자라는 데 문제가 될 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는  $f_1$ 을 다음과 같은 비선형함수로 설정하였다.

$$f_1(IR) = (1 + e^{-10(IR-0.2)})^{-20} \quad (3.32)$$

관개율과  $f_1$ 과의 관계는 다음 그림과 같다.

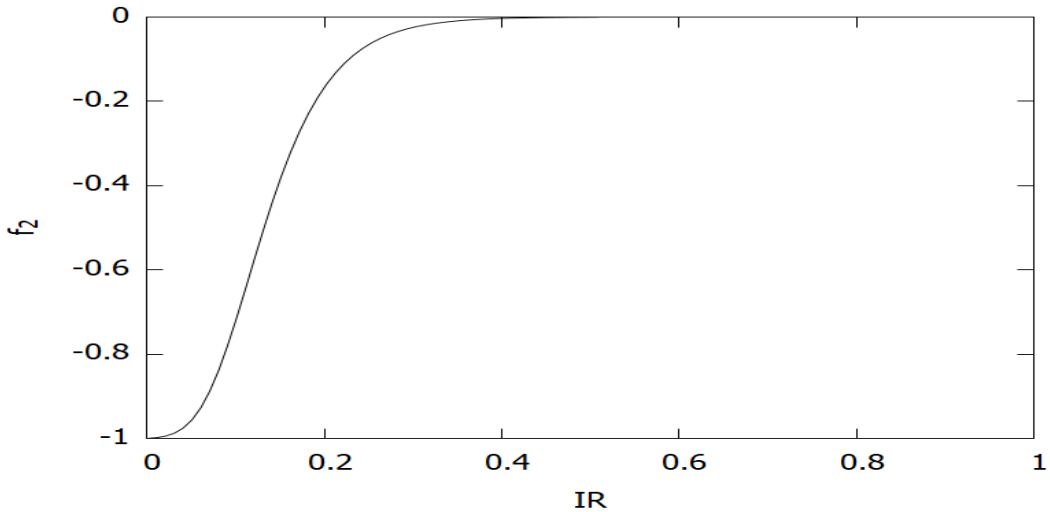


<그림 3-32> 관개율(IR)과  $f_1$ 간의 관계

위 그림과 같이  $f_1$ 은 0에서 1사이의 값을 가지는 변형된 sigmoid 함수의 일종이라 할 수 있으며, 관개율이 60%이하가 되면 급격히 작아지며 40% 이하에서는 매우 작은 값을 가진다.

관개기 동안 농업용저수지는 일반적으로 저수율이 바닥나지 않도록 관리되며 저수율이 일정 이하 약 10~20% 아래로 떨어지게 되면 용수를 거의 공급하지 않는 것으로 조사된다. 따라서 관개기 동안 최저저수율이 10~20% 아래로 내려가지 않도록, 특히 저수율이 10% 아래가 될 경우는 없도록 저수율이 관리되어야 한다. 이러한 목표를 달성하기 위해서 함수  $f_2$ 는 다음과 같이 설정하였다.

$$f_2(S_{\min}) = - \left( 1 - (1 + e^{-20S_{\min}})^{-10} \right) \quad (3.33)$$



<그림 3-33> 관개기 최저저수율( $S_{min}$ )과  $f_2$ 간의 관계

위 그림과 같이  $f_2$ 는 -1에서 0사이의 값을 가지며, 최저저수율이 20%이하가 되면 급격히 작아져 목표함수가 작아지는 방향으로 영향을 미친다.

관개후 저수율은 차년도 급수를 위해서 관리되어야 할 중요한 지표이며, 관개후 저수율이 충분하지 않으면 비관개기에 양수저류 등을 통하여 저수량을 보충할 필요가 있다. 그러나 이 지표는 목표로 해야할 값(저수율)이 명확하지 않으며 이에 따른 긍정적 및 부정적 영향 또한 앞의 두 지수에 비해서 보다 불명확하다. 따라서 본 연구에서는 함수  $f_3$ 를 다음과 같이 단순한 선형관계로 두었다.

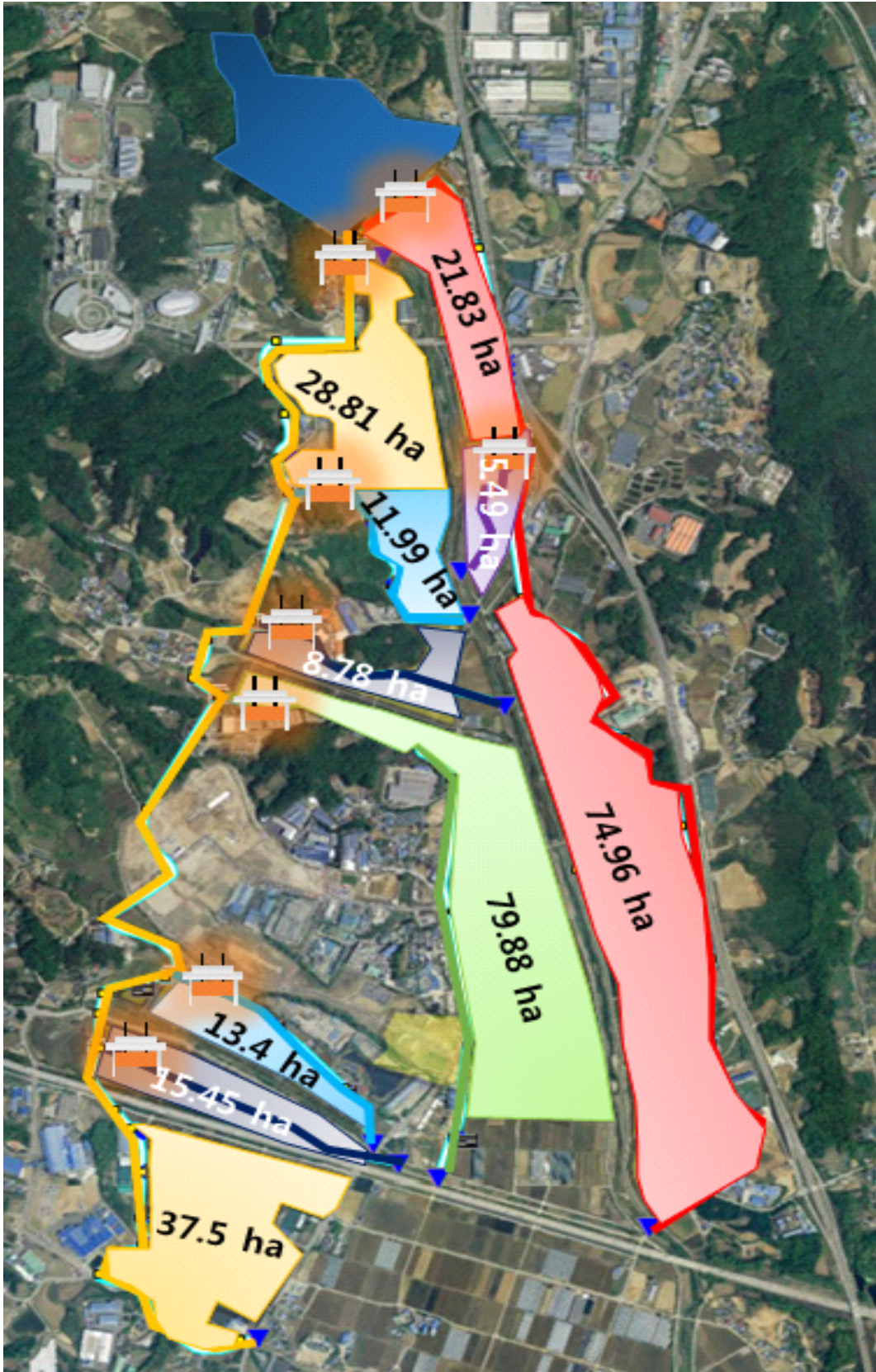
$$f_3(S_{after}) = 0.3 \times S_{after} \quad (3.34)$$

위 식은 향후 관개후 저수율의 영향력에 대한 고찰을 통하여 보완될 필요가 있다.

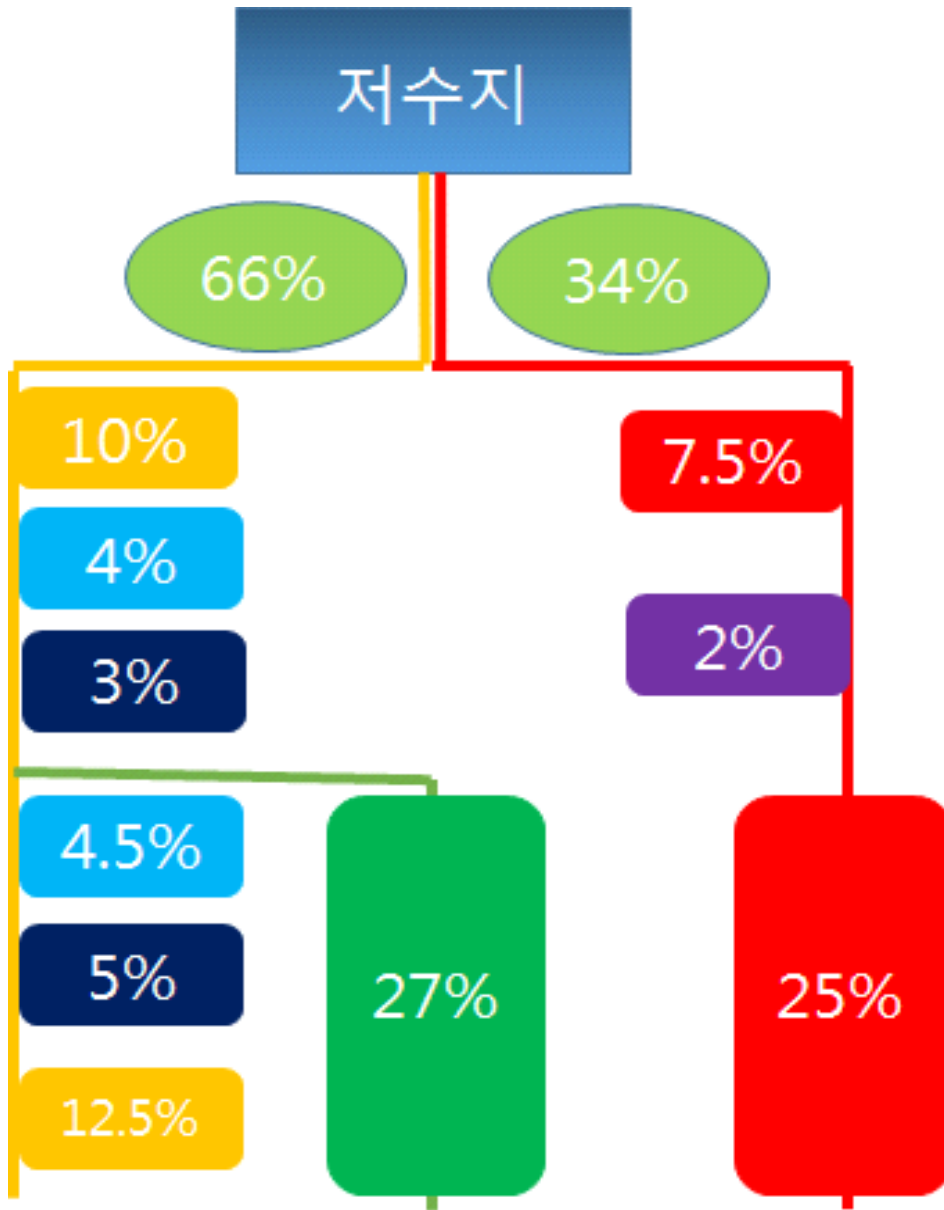
본 연구에서 제시한 (3.30)~(3.34) 식은 최적의 관개방식을 선정하기 위한 초기 목적함수로서 제시되었으며, 다양한 모의를 통하여 현실과 맞지 않는 부분을 보완할 필요가 있다.

### 3.3.2 최적 수문개도율 도출(수문 무조작 시)

최적의 수문제어 방법을 도출하기 위한 기초단계로서 고정되어 있는 수문의 최적개도율을 산정하였다. 간선수문(분수문 포함)만을 고려하였으며, 수로의 물배분은 공급하고자 하는 필지의 면적에 비례하는 것이 최적의 물 배분으로 가정하였다. 무수저수지에서 제어대상인 간선수문과 간선수문에 해당하는 필지의 면적은 그림 3-34와 같으며, 이에 따른 최적 용수분배의 개략도를 그림 3-35에 제시하였다.

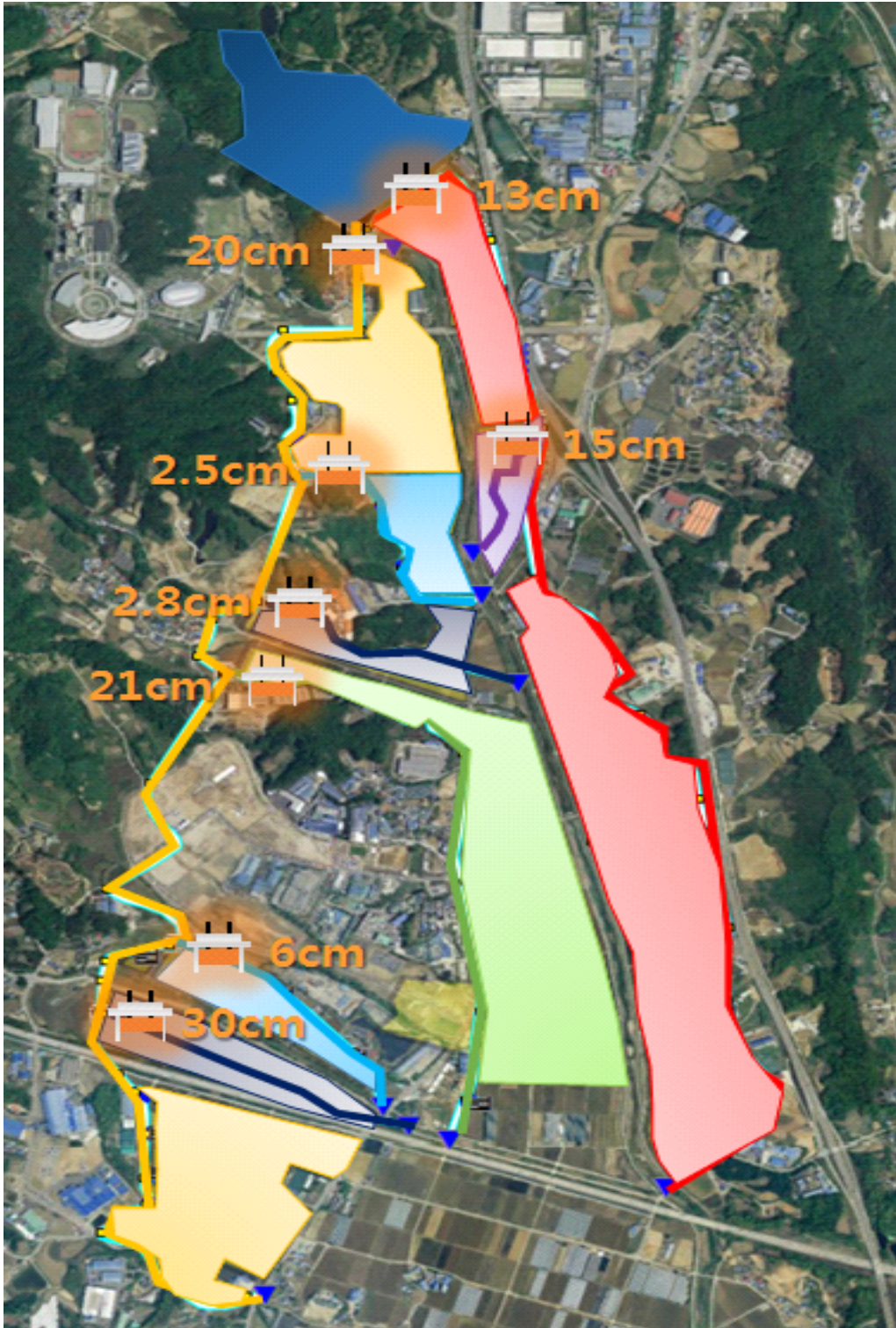


<그림 3-34> 무수저수지의 필지면적과 간선수문(분수문포함)



<그림 3-35> 무수저수지의 최적용수분배 개략도

위 그림은 수문을 조작하지 않는 이상적인 정상상태(Steady State)에서의 최적용수분배라는 점을 유의하기 바란다. 1절에서의 공급량 분석에 근거하여 용수공급량은 일정하게 0.3 CMS로 가정하고 2절에서와 같은 평야부 모의방법을 사용하여 그림 3-35와 같은 물분배가 되도록 Trial-Error 방법을 사용하여 각 지점별 수문개도율을 도출하였다. 도출한 수문개도 높이는 다음 그림과 같다.



<그림 3-36> 무조작 최적 간선수문개도 높이

산정한 수문개도 높이는 현실적인 범위 내(5 ~ 30cm)에 있으나 2.5 cm, 2.8 cm와 같은 비현실적인 (조작하기 어려운) 값도 존재한다. 이는 현실 상 시기에 따라 수문을 조작하여(한동안 수문을 열어 둔 후, 일정 시간 후 잠그는 방식) 용수공급을 할 것으로 추정된다. 시나리오 설정 시에는 위 값들을 현실적인 값들로 조정하여 설정할 필요가 있다.



### 3.3.3 관개수로 모의 및 최적화 (수문조작 및 관개방식)

수문을 계속 고정시켜 둔다면 위 방법이 최적에 가까운 수문개도 높이가 된다는 것은 수리학적 으로 명확하다. 하지만 현실은 수문개도율을 필요에 따라 조절하고 있으며, 따라서 위 값은 동적 인(dynamic) 방법으로 최적의 수문조작 시 기초값(base value)으로 사용될 수 있을 것이다.

최적의 수문조작 및 관개방식을 찾기 위해서는, 최적화의 대상이 되는 목적함수를 명확하게 정 의할 필요가 있다. 목적함수에 고려해야 될 항목들은 매우 여러 가지가 있을 수 있으나, 본 연구에 서는 관개만족도, 관개기 최저 저수율, 관개후(10/1) 저수율을 고려하여 목적함수를 다음과 같이 정의하였다.

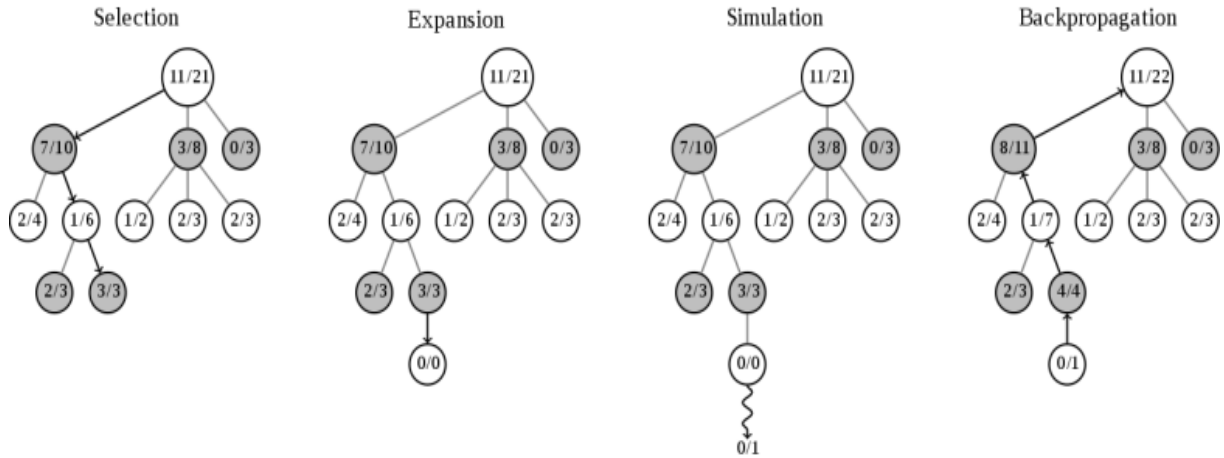
$$F(\vec{x}) = w_1 ISI - w_2 S_{\min} + w_3 S_{\text{after}} \quad (3.35)$$

여기서,  $S_{\min}$ 는 관개기 최저저수율,  $S_{\text{after}}$ 는 관개후 저수율,  $w_1, w_2, w_3$ 는 각각의 항목에 대한 가중 치(weight)이다. 가중치의 값은 본년도에 연구에서는 미정이며 향후 전문가와 현장의 자문을 반영 하여 정의할 필요가 있다.

(3.35)식에서의 변수값을 구하기 위해서는 2절에서의 평야부 모의가 필요하다. 평야부 모의의 입 력값은 강우, 증발산, 용수공급량, 수문조작 등이 있다. 전술하였듯이 본 연구에서의 용수공급량의 단위는 순이며, 따라서 조작단위도 순으로 설정하였다. 실제 용수공급을 결정함에 있어서도 일별 조작보다 순별 조작이 바람직할 것으로 판단된다.

강우 및 증발산 등은 조건은 확률적으로 변화하며, 용수공급량 및 수문조작은 최적화 대상이다. 수문조작 및 용수공급을 순단위로 한다면 관개기 동안 15번의 순에 대하여 각각의 조건을 조합하 여 하나의 시나리오가 만들어 지고, 이 시나리오에 대하여 하나의 목적함수의 값이 산정된다. 이 러한 모든 경우의 수를 탐색하여 최적의 조건을 산정하는 것은 계산시간 상 어려우며, 최적의 해 를 찾기 위해서는 최적화 알고리즘이 필요하다.

본 연구에서는 Monte Carlo Tree Search(MCTC)를 사용하여 수문조작 및 관개방식을 최적화 하 고자 한다. MCTC는 주로 게임 AI에서 사용되는 알고리즘으로 최근에 알파고에 사용되었다. MCTC 알고리즘은 바둑, 체스, 오셀로 등의 모든 보드 게임 알고리즘에서 사용되고 있다. MCTC 알고리즘에서는 모든 트리 노드를 대상으로 하는 대신 게임 시뮬레이션을 통해 가장 가능성이 높 아 보이는 방향으로 행동을 결정하는 탐색 방법으로, 어떻게 움직이는 것이 가장 유망한 것인가를 분석하면서 검색 공간에서 무작위 추출에 기초한 탐색 트리를 확장하는 데 중점을 두고 탐색을 한다. MCTC 알고리즘의 4단계는 각각 선택-확장-시뮬레이션-역전파이다(그림 3-37).



<그림 3-37> MCTC 알고리즘의 4단계 과정

예를 들어, 바둑에 적용된 MCTC 알고리즘의 4단계 과정은 다음과 같다.

- ① 선택: 현재 바둑판 상태에서 특정 경로로 수읽기를 진행
- ② 확장: 일정 수 이상 수읽기가 진행되면 그 지점에서 한 단계 더 착수 지점을 예측(게임 트리의 확장)
- ③ 시뮬레이션: ②에서 선택한 노드에서 바둑이 종료될 때까지 무작위(random) 방법으로 진행. 속도가 빠르기 때문에 여러 번 수행할 수 있으나 착수의 적정성은 떨어짐
- ④ 역전파: ③의 결과를 종합하여 확장한 노드의 가치(②에서 한 단계 더 착수한 것의 승산)를 역전파하여 해당경로의 승산 가능성을 갱신

몬테카를로 트리 탐색 핵심요소는 정책과 가치이다. 정책은 트리의 폭을 제한하는 역할을 하며, MCTS의 두 번째 단계인 확장에서 주로 사용되는 것으로, 특정 시점에서 가능한 모든 수 중 가장 승률이 높은 것을 예측하는 것을 뜻한다. 바둑에서 정책은 전문가의 전략이 될 수도 있고, 과거 기본 데이터에서 많은 프로 기사들이 선호한 패턴이 될 수도 있다. 가치는 트리의 깊이를 제한하는 역할을 하며, 현재 대국상황의 승산을 나타낸 것으로, 승산이 정확할수록 많은 가치를 나타낸다. 가치는 바둑 국면의 형세판단을 근사하여 수치화한 것으로 볼 수 있다. 정확한 가치값은 모든 경우의 수를 계산하여 게임 종료 시점까지 가봐야 하기 때문에 현실적으로 계산이 어렵다. Alphago는 정책과 가치를 딥러닝 알고리즘인 Convolutional Neural Networks 알고리즘과 강화학습으로 학습하였다.

이러한 MCTC를 용수공급방법(관개방법) 및 수문조작 방법에 적용하는 단계는 다음과 같다.

- ① 선택: 현재 순에서 다음 순까지 특정 용수공급 및 수문조작방법을 선택
- ② 확장: 다음 순에서의 상태를 예측모의
- ③ 시뮬레이션: ②의 노드에서 관개기가 끝날 때까지 확률적으로 강우, 증발량 등을 적용하고 Random하게 용수공급 및 수문조작방법을 선택하여 모의 진행

④ 역전파: ③의 결과를 종합하여 확장한 노드의 가치(모의된 목적함수)를 역전파하여 해당경로의 목적함수에 대한 기대값을 갱신

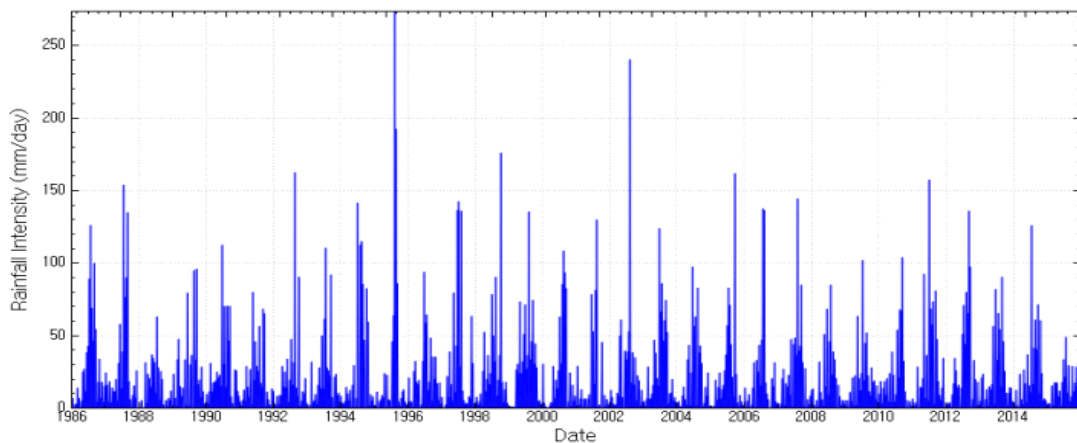
여기서 제안한 탐색기법이 정확하고 효율적이기 위해서는 시뮬레이션 단계에서 효율적이고 합리적인 탐색방법에 대한 연구가 필요하다. 본년도의 연구에서 제안한 방법론은 향후연구를 위한 기초설계 단계로 상세사항은 차후 보완할 필요가 있을 것이다.

### 3.4 시나리오 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증

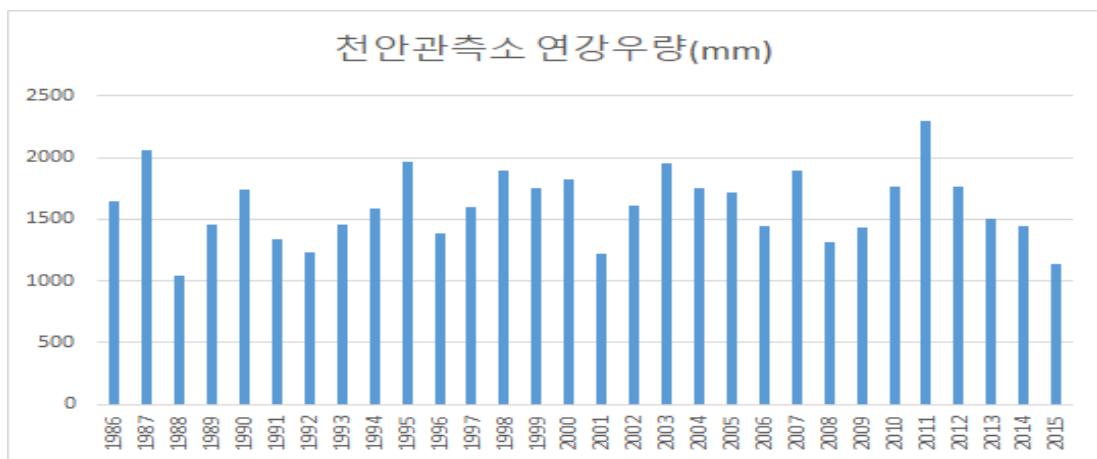
본 절에서는 3장에서 제안한 알고리즘을 Test-bed에 적용하였다. 3장에 기술한 바와 같이 금회 연구에서는 한정된 계산자원 및 연구기간의 한계로 최적화 기법(몬테카를로 트리 탐색)을 적용하지 못하였으며, 시나리오 기반의 모의를 수행하고 이들의 목적함수 값을 산정하여 비교하였다.

저수율 변화와 관개율에 영향을 줄 수 있는 입력자료는 강우, 공급량, 수문개도율 등이 있다. 각각의 요소들에 대하여 시나리오를 작성할 필요가 있으며 본 연구에서는 편의를 위해 강우자료는 실제 강우 사상을 선정하였다.

무수저수지 인근의 천안기상관측소의 1986년~2015년 총 30년동안의 강우량은 다음 그림과 같다.



<그림 3-38> 천안기상관측소 일강우량



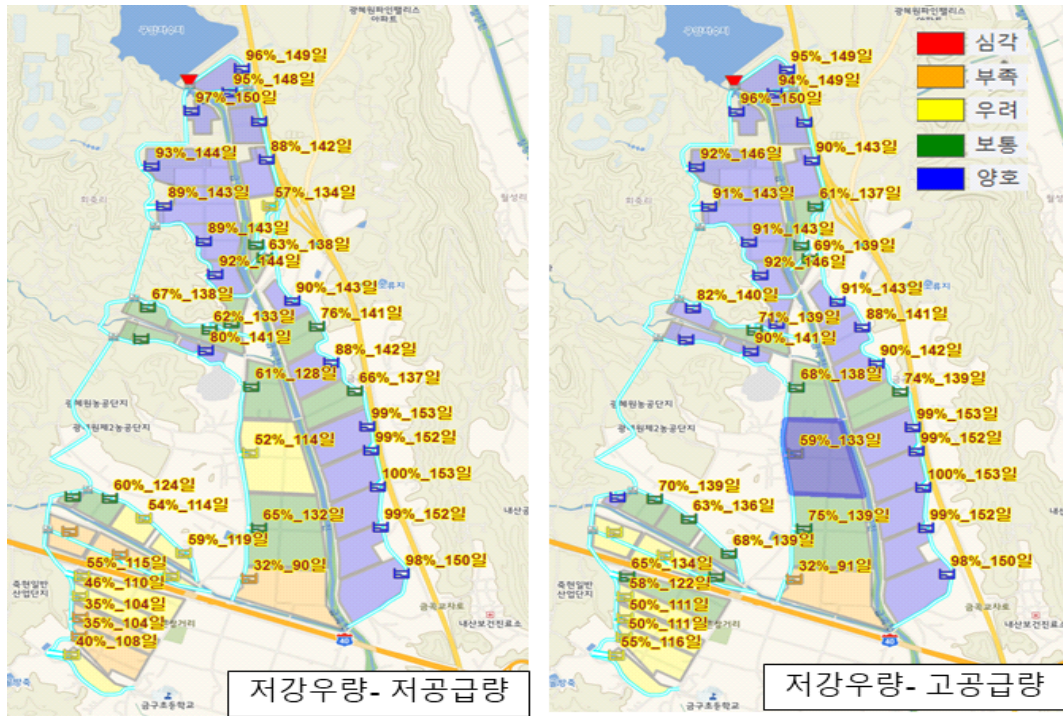
<그림 3-39> 천안기상관측소 연강우량

연 강우량을 참고로 하여 2011년, 2013년, 2008년도 강우량을 각각 고강우량, 중간 강우량, 저 강우량 시나리오로 선정하였다.

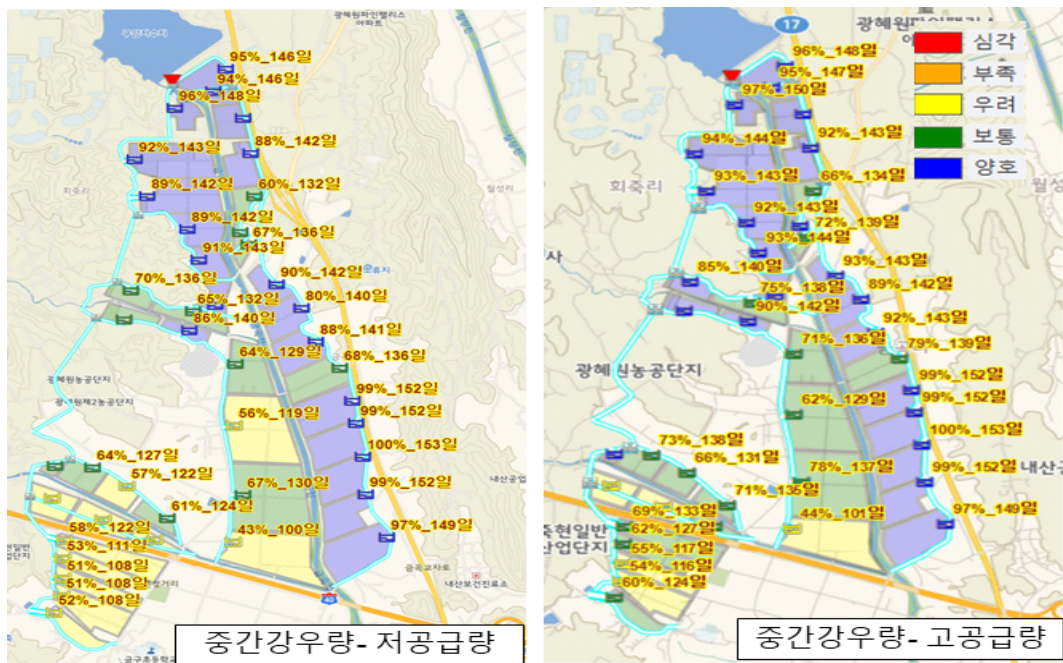
공급량은 (3.9)식으로 산정하였으며 그림 3-14의 연간 관개공급량 추정값을 참고하여 평균공급량을 중간 공급량, 평균의 1.2배를 고 공급량, 평균의 0.8배를 저 공급량 시나리오로 산정하였다.

수문개도율은 그림 3-36에서 산정한 무조작 시 최적개도율과 같이 설정하였으며 현실적인 조작을 고려하여 10cm 이하의 수문개도는 10cm로 일괄 설정하였다.

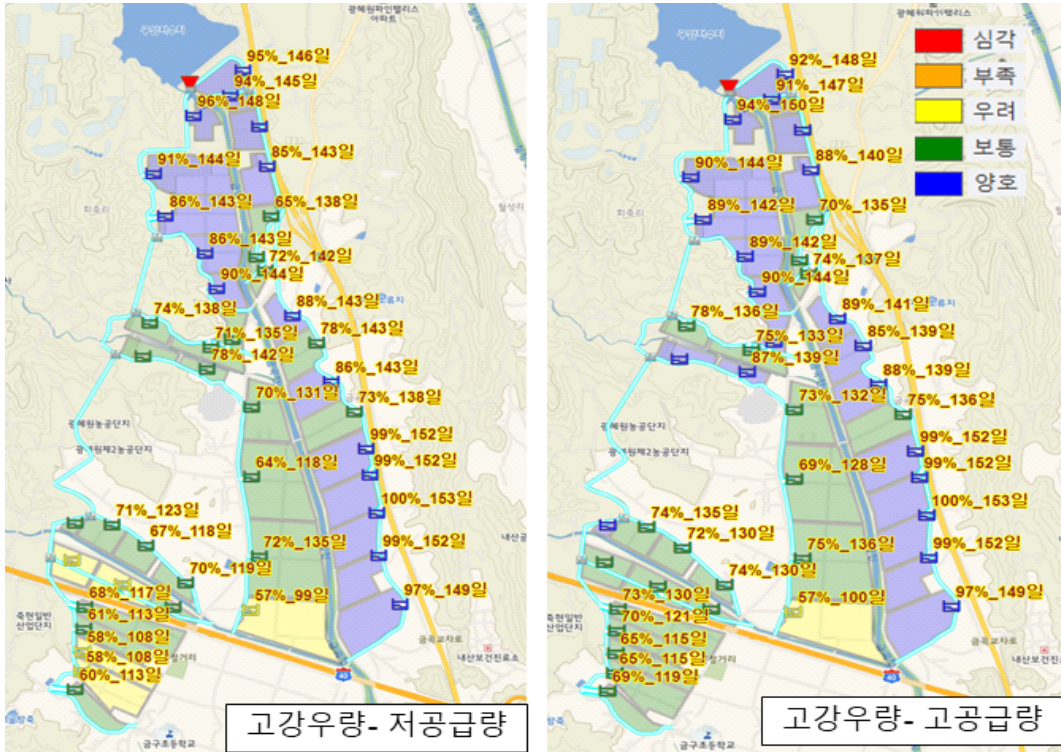
초기 저수율로 90%로 설정하고 강우 시나리오 3, 공급량 시나리오 3, 개도율 1을 교차하여 9개의 시나리오를 작성하여 모의분석을 수행하였다. 강우량 시나리오별 필지별 관개율 분석결과를 다음 그림과 같이 나타내었다.



<그림 3-40> 저강우량 시나리오 필지별 관개율



<그림 3-41> 중간강우량 시나리오 필지별 관개율



<그림 3-42> 고강우량 시나리오 필지별 관개율

필지별 관개율은 공급량 시나리오에 의한 영향보다 오히려 강우량 시나리오의 영향이 큰 것으로 분석되었다. 달리 해석하면 일관적인 관개용수 사용을 위해서는 강우 상황에 따라 20% 이상 큰 폭으로 공급량을 조절해야 하는 것으로 나타났다. 향후 연구에서는 본 연구에서 적용한 평균적인 공급량에서 보다 큰 폭으로 공급량 변화를 주는 시나리오를 고려해서 분석하는 것이 바람직 할 것이다.

저 강우량 및 중간강우량 시나리오의 저수율 변화는 다음 그림과 같다.



<그림 3-43> 강우량 시나리오별 저수율 변화

위 그림과 같이 저수율도 강우의 영향을 크게 받는 것으로 나타났으며 특히 저강우량 시나리오시에는 공급량을 조절하지 않으면 저수율이 0%가 되는 현상이 발생하였다. 고강우량 시나리오에서 중간강우량 시나리오에서 발생하지 않은 저수율이 0%가 되는 현상이 발생하였으며 이는 용수가 많이 활용되는 5월의 강수량이 고강우량 시나리오에 비해 중간강우량 시나리오가 더 많기 때문인 것으로 분석되었다. 따라서 저수율 관리를 위해서는 연간 강수량도 중요하지만 5~6월 강수량이 특히 더욱 중요한 것으로 판단된다.

(표 3-4) 시나리오별 모의분석 결과

강우 시나리오	공급 시나리오	IR	$S_{min}$	$S_{after}$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	목적함수
저	저	0.7	0.43	0.7	0.87	0.00	0.21	1.08
	중	0.74	0.14	0.55	0.91	-0.45	0.17	0.63
	고	0.75	0	0.35	0.92	-1.00	0.11	0.03
중	저	0.73	0.48	0.91	0.91	0.00	0.27	1.18
	중	0.76	0.33	0.84	0.93	-0.01	0.25	1.17
	고	0.78	0.15	0.78	0.94	-0.38	0.23	0.79
고	저	0.77	0.44	0.95	0.94	0.00	0.29	1.22
	중	0.79	0.16	0.93	0.95	-0.33	0.28	0.90
	고	0.8	0	0.99	0.95	-1.00	0.30	0.25

표 3-4에 시나리오별 모의결과를 정리하였으며, 목적함수 산정 시 가중치는 모두 1로 설정하고 계산하였다.

모의분석 결과는 세 강우 시나리오 모두 저공급량 시나리오가 가장 목적함수가 높은 값을 나타내었다. 다만 중간 강우량의 경우 저공급량과 중간 공급량의 경우가 비슷한 목적함수 값을 나타내었다. 무수 저수지의 경우 공급량 시나리오에 따라 관개율이 크게 변하지 않는 경향을 보였으며, 따라서 공급량을 적게 할수록 바람직하다는 결과가 도출되었다. 이는 현실과는 다소 차이가 있는 분석결과인 것으로 판단되며, 향후 공급시나리오 설정 시에는 보다 관개율에 영향을 미칠 수 있도록 산정할 필요가 있을 것으로 보인다. 특히 그림 5-3~5-5에서 알 수 있듯이 공급량 시나리오에 따라 관개율이 40%이하인 지역이 크게 달라지나 평균적인 지표인 관개율 자체는 크게 달라지지 않아 현재 정의한 관개율 지표의 한계를 확인하였다. 따라서 향후 연구에서는 관개율 지표를 평균적인 관개율이 아니라 용수가 부족한 필지의 넓이를 반영할 수 있도록 개선이 필요할 것이다. 또한 본년도 연구에서는 목적함수 산정 시 가중치를 일괄적으로 1로 산정하고 계산을 하였으나 향후 주관적인 가중치를 변화시키면서 의사결정을 할 필요가 있다.



## 4장 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계

본 장에서는 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계를 위해 국내/외의 수문 기술 현황을 분석하여 스마트 수리시설물 도입기술을 선정하였으며, 대상지구를 선저하여 시범 계측 장비를 설치 및 모니터링을 실시하였다. IoT 기반 스마트 수리시설물 계측장비 시범운영을 통해 알고리즘 적용 및 검증을 실시하였으며 통합 제어 시스템을 설계하였다. 이에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

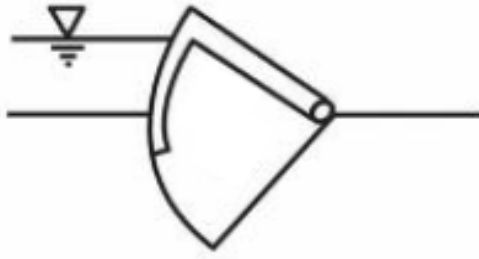
### 4.1 IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정

본 절에서는 IoT 기반 스마트 수리시설물 기본설계를 위해 농업용수의 효율적인 분배 및 제어를 위한 수문 도입/설계기술을 선정하였다. IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정을 위해 스마트 물관리, TM/TC, 지능형 물관리 등 관련사업에서의 제어 수문 기술 현황을 분석하였으며 제어 수문 기술 중 한국농어촌공사에서 제시하고 있는 ‘수동식 수문-콘크리트 라이닝 개수로에 적용을 위한 농업용 수동식 수문 표준화’ 내용에 부합하는 수리시설물 설계기술을 개발하였다.

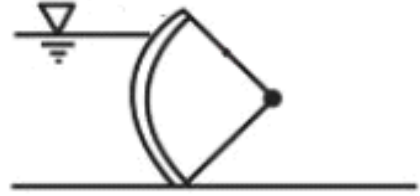
수리시설물 중 수문에 대한 정의는 다음과 같다. 수문은 조석의 역류방지, 내수의 배제, 각종 용수(농업용수, 공업용수, 관개용수, 하천유지용수 등)의 취수 등을 위해 하천흐름을 횡단하여 설치하는 수공구조물이다. 수문의 설치 방향은 제방법선에 직각으로 하며 최대한 간단한 구조가 되게 설치한다.

국내에서 수문은 목적, 형식, 구조, 형상에 따라 분류 한다. 목적에 따른 분류로는 제내의 배수를 목적으로 설치하는 배수문, 각종용수를 취수하기 위하여 제방에 설치하는 용수취수문, 그리고 분류의 역류 및 범람을 방지하기 위한 역수문, 염수피해를 방지하기 위한 역조수문, 주운을 위해 설치하는 통선수문, 하천의 유량을 조절하기 위한 유량조절 수문 등이 있다. 형식에 의해 단경간 수문, 다경간 수문 등으로 분류할 수 있고, 구조물에 따라 , 드럼 게이트(Drum Gate), 테인터 게이트(Tainter Gate), 슬루스 게이트(Sluice Gate), 롤링 게이트(Rolling Gate) 등으로 분류할 수 있다.

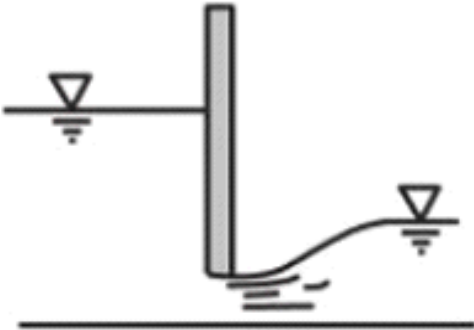
국내/외에 적용되고 있는 수문 형상 및 종류는 아래 그림과 같으며, 본 연구의 목적인 IoT 기반의 스마트 물관리에 적용할 수 있는 원격 개폐 제어가 가능한 자동화 수문 형식 검토 및 설계기술 개발 내용은 다음과 같다.



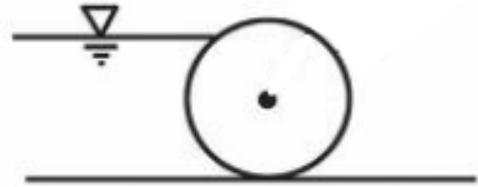
드럼 게이트



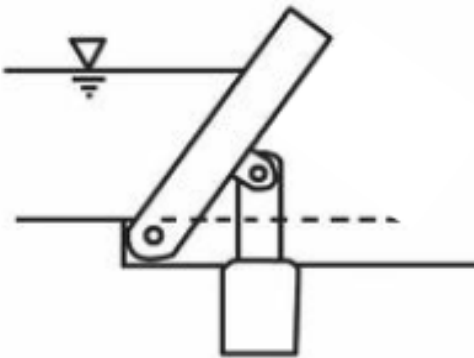
테인터 게이트



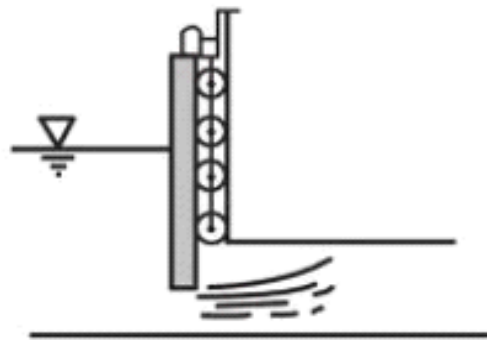
슬루스 게이트



롤링 게이트



전도 게이트



스토니 게이트

<그림 4-1> 국내에 적용되고 있는 수문 종류



<그림 4-2> 국외에 적용되고 있는 수문 종류

#### 4.1.1 IoT 기반의 스마트 수리시설물 선정을 위한 수문 검토

국내의 농업용 수로 인근에는 철제 수문의 권양 혹은 인양을 위한 삼상 전력을 사용할 수 있는 여건이 마련되어 있지 못한 실정이다. 철제 수문 적용시 삼상 전기 인입을 위한 설비 구축이 필요하여 이에 따른 비용을 고려하면 IoT 기반 수문의 보급확대에 경제성이 결여 될 것으로 나타난다.

IoT 기반의 스마트 물관리를 위해서는 수문 중량을 감소시켜 제어를 위한 소비 동력이 적게 소요되는 수문장치 개발 및 적용이 필수적이다. IoT 기반의 스마트 수리시설물(이하, 수문) 선정을 위해 국내/외의 수문 및 보(고정보, 가동보) 등과 같은 이/치수 목적이 가능한 수문을 검토가 필요하다. 이에, 국내/외에서 사용되고 있는 대표적인 수문기술 검토를 통해 IoT 기반의 스마트 수리시설물 설계기술을 개발하고자 한다.

## 가. 수문

수문은 평상시에는 개방하여 유수소통을 원활하게 하고 홍수시에는 유수 차단을 위해 폐문하는 수리구조물이다. 수문은 상하 연직으로 이동하는 롤러게이트가 대부분이나, 최근에 들어와 미관과 유지관리 편의성이 고려되어 유압수문, 육갑문등을 사용하기도 한다.

(표 4-1) 수문의 구분

구분	형상	내용
롤러게이트		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상하연직으로 수문 이동</li> <li>- 상부시설이 있어 경관성 불리</li> </ul>
유압수문		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상하연직으로 수문 이동</li> <li>- 상부시설이 없어 롤러게이트 대비 경관성 향상</li> </ul>
육갑문(플랩게이트)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상하연직으로 수문 이동</li> <li>- 격벽이 추가 필요해 경관성 보통</li> </ul>

## 나. 유압식 전도게이트

유압식 전도게이트는 과거 저수지 여수토 게이트용으로 설치가 주로 되어왔으나, 최근에 들어와 하천 및 농업용 수로에 다수 적용되고 있다. 유압 작동 방식으로 과거에는 누유로 인한 오작동 및 환경오염 등의 문제점이 발생하였지만 내구성이 우수하고 오염발생이 없는 유압유 적용으로 이러한 단점은 해결 된 것으로 나타난다.

전도게이트 기립시 유압발생장치로 인해 삼각대 모양을 갖추어 수압에 대한 압력에 대비가 되어 큰 치수에 수문을 제작 설치가 용이다. 그러나 수문 전체를 1련으로 제작 설치하였을 경우 일시에 전도되어 방류가 될 경우 하류 피해가 예상되며 고장시 보수에 대한 대비책이 필요하다. 설계시 2련 이상으로 계획하는 것이 좋을 것으로 조사되었으며 유압발생장치 조작을 위한 관리자의 철저한 교육이 필요하다. 그러나 유압장치를 구체에 설치하여 작동을 할 경우 상당 부분 유압유로 인해 발생할 수 있는 문제를 사전에 예방 할 수 있는 것으로 조사되었다.



<그림 4-3> 유압식 전도게이트 형상

## 다. 다단전도식(와이어로프) 게이트

다단전도식 게이트는 수문 크기가 커질수록 수문 Plate(플레이트) 부분과 와이어로프(Wire Rope) 인장력에 문제 발생 우려가 있어 제한적으로 사용되고 있다. 또한 중간구조물 내에 와이어로프를 이용하므로 일정크기(1.5m)의 콘크리트 구체가 필요한 것으로 조사되었다. 다단전도식 게이트는 기계식으로 작동에 대한 고장이 적고 다단으로 작동하여 일시 방류로 인한 하류측 피해를 최소화 할 수 있는 장점이 있다.



<그림 4-4> 다단전도식 게이트 형상

#### 라. 고무보

고무보는 조작실에서 설정한 수위를 수위계가 감지하여 공기 공급 및 배출을 통해 고무보의 팽창과 수축을 시킴으로 기립과 도복이 자동으로 조절되는 원리이다. 고무보는 하천에 국내/외로 다수 설치되고 있으며 설치 및 유지관리가 용이해 저수지 증고나 대규모 수로 등에도 사용되고 있다. 고무보는 미세한 수위조절이 불가능한 단점이 있으나 방수문과 같은 수리구조물과 병행 사용시 운영에 문제가 없는 것으로 나타났다.

농업용 수로에 고무보 적용시 토사 등의 퇴적에 대한 문제점을 해소할 수 있는 것으로 나타나며 통합원격제어와 같은 IoT 기반의 스마트 소규모 수리시설물에 적용이 용이하다.



<그림 4-5> 고무보 형상

#### 마. 고정보

고정보는 콘크리트 재질로 주로 하천을 횡단하여 설치되며 유수흐름은 고정보 상부로 월류하는 방식이다. 수문 중 가장 경제성이 우수하나 홍수시 수위상승에 원인이 되기도하며 주기적인 준설이 필요해 유지관리에 어려움이 있다. 1990년대 까지 대다수 설치되어 왔으나 2000년도에 들어와 저류수 배출 수질 악화등의 문제점으로 철거하는 사례가 다수 발생하고 있다.



<그림 4-6> 고정보 형상

#### 바. 하단배출식 게이트

하단배출식 게이트는 유압을 실린더에 전달하여 수문을 개폐하는 방식으로 작동한다. 게이트의 하단부를 통해 유입수가 배출되며 비교적 규모가 큰 하천을 횡단하여 설치하는 경우 유수흐름에 지장이 있어 주로 소규모 하천이나 농업용 수로에 주로 사용된다. 농업용 수로에 하단배출식 게이트 적용시 토사 등의 퇴적에 대한 문제점을 해소할 수 있는 것으로 나타나며 통합원격제어와 같은 IoT 기반의 스마트 소규모 수리시설물에 적용이 용이하다.



<그림 4-7> 하단배출식 게이트 형상

#### 사. 무동력 자동 게이트

무동력 자동 게이트는 수압과 유속에 따른 양력등을 고려하여 수문의 하단부가 개방되는 원리이며, 수위 조절은 수문 내부에 주철 또는 물을 채워 수문 자중을 통해 조절하게 된다.

무동력 자동 게이트는 폭이 좁고 유량이 많은 지역에서 하단으로 퇴적물을 배출시켜 농업용수로와 하폭이 좁은 하천에 적용시 토사 퇴적현상을 예방 할 수 있다.

무동력 자동 게이트는 인위적인 수위조절이 불가능하여 홍수나 긴급상황 발생시 대처에 어려움이 있고 수문의 자중을 이용한 작동으로 완전개방이 어려워 통수단면이 축소되는 단점이 있다.



<그림 4-8> 무동력 자동 게이트



#### 4.1.2 관련 설계기준 검토 및 수문 설치 현황 분석

수문조작의 어려움과 피해사례가 발생한 뒤 농업용저수지 관리기관인 한국농촌공사에서는 농업용저수지의 운영 및 수문조작이 포함된 “농업용 저수지(댐) 관리규정(2007.3)”이 신설되었다. 본 규정에는 수문조작 항이 포함되어 있지만 수문조작의 구체적인 방법과 수문조작절차는 명시되어 있지 않기 때문에 일선의 관리부서에서는 비상수문 조작에 대해 어려움을 호소하고 있다. 특히 수문이 있고 총저수량 1백만<sup>m</sup> 이상의 저수지의 경우는 수문조작요령을 작성·비치하도록 규정하고 있지만 아직까지 농업용저수지에 적용한 수문에 대해 조작방법에 관한 연구가 미흡하기 때문에 관리부서에서는 수문조작요령을 제대로 갖추기가 어려운 실정이다.

현재 수리시설개보수사업을 통해 저수지를 보강하는 방법은 여수토의 통수능력을 증대시키기 위해 물넘이 길이를 확장하는 방법과 예비방류가 가능하도록 부분게이트를 설치하여 홍수조절효과를 기대하는 일정량 방류방식(Technical Reservoir Operation Method)을 혼합한 형태로 설계를 하고 있다. 아직까지 설치 위치나 형식 등이 명확하게 규정되어 있지 않고 홍수배제 능력검토가 일관성 있게 이루어지고 있지 않으며 홍수조절효과를 검증한 사례역시 아직 없다. 또한 저수지를 유지 관리하는 측면에서는 수문의 설치에 따른 홍수기시 운영조작의 어려움과 동시에 유지관리비용이 발생하는 문제점이 있으며 과거에 비해 설계홍수량이 2~3배 이상 차이가 발생하였다.

설계홍수량 증가에 따라 배제시설의 규모도 커져야 하나 지형적인 여건상 물넘이의 확장이 불가능한 지역도 많으며 물넘이 시설의 확장으로 인해 저수지 하류지역의 피해에 따른 민원도 제기됨에 따라 우리농촌현실을 감안하여 농업용저수지용 게이트의 합리적이고 표준화된 모델 및 신제품이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

2003년 제정된 재해대비설계기준에는 재해대비보강이 필요한 저수지에 대해서 방류능력향상 및 홍수조절기능을 부여할 수 있는 목적으로 여수토(물넘이)에 게이트(수문)를 설치하도록 규정하였고, 재해대비 설계기준 개정 적용요령(2004, 한국농촌공사)에서는 물넘이 부분게이트에 대해 “설치위치”, “설치목적”, “실바닥표고와 방류시간”에 대한 기준과 설계요령을 기술하였다.

부분게이트 설치위치 유의사항으로 게이트의 설치위치를 물넘이의 상류 또는 하류에 설치할 수 있도록 규정하고 있으며 고려사항으로 ① 필요로 하는 저수위까지 예비방류가 가능한 위치, ②접근성, ③ 측수로 및 방수로 수리현상, ④ 기초지반상태 등을 제시하였다. 부분게이트의 설치 목적으로는 ①홍수배제 능력의 증대 ②홍수조절을 위한 저수량의 예비방류, ③ ①②가 복합된 경우라고 명시하고 있다. 문비의 실바닥표고 결정 및 방류시간의 고려사항에서는 방류시간에 미치는 요소가 문비의 단면 크기와 바닥표고로 결정되므로 설계시 신중히 고려할 것으로 기술하였다. 하지만 실제 부분게이트를 설계할 경우에는 설계기준에서 제시한 3가지 항목 외에도 문비의 형식, 인양방법같이 설계자가 결정해야할 부분이 상당히 많이 남아 있는 것으로 분석되었다. 현재 부분게이트에서 주로 사용되는 문비 형식은 인양식(스루스), 기복전도형이며 인양방식으로는 핀잭(스핀들)형, 와이어로프형 및 유압형을 주로 사용하고 있다.

게이트 문비형식은 레디알, 슬라이드, 전도 및 기타 방식으로 레디알방식은 전체중 30개소로 17%정도이지만 규모가 큰 저수지는 대부분이 레디알 방식을 채택하고 있으나 최근에는 중규모 저수지의 경우는 설치비 및 유지관리가 편리한 전도방식을 채택하고 있다. 슬라이드 방식의 경우 84개소로서 전체 약 50%를 차지하였는데 설치가 다른 방식에 비교적 간단하면서 방류효

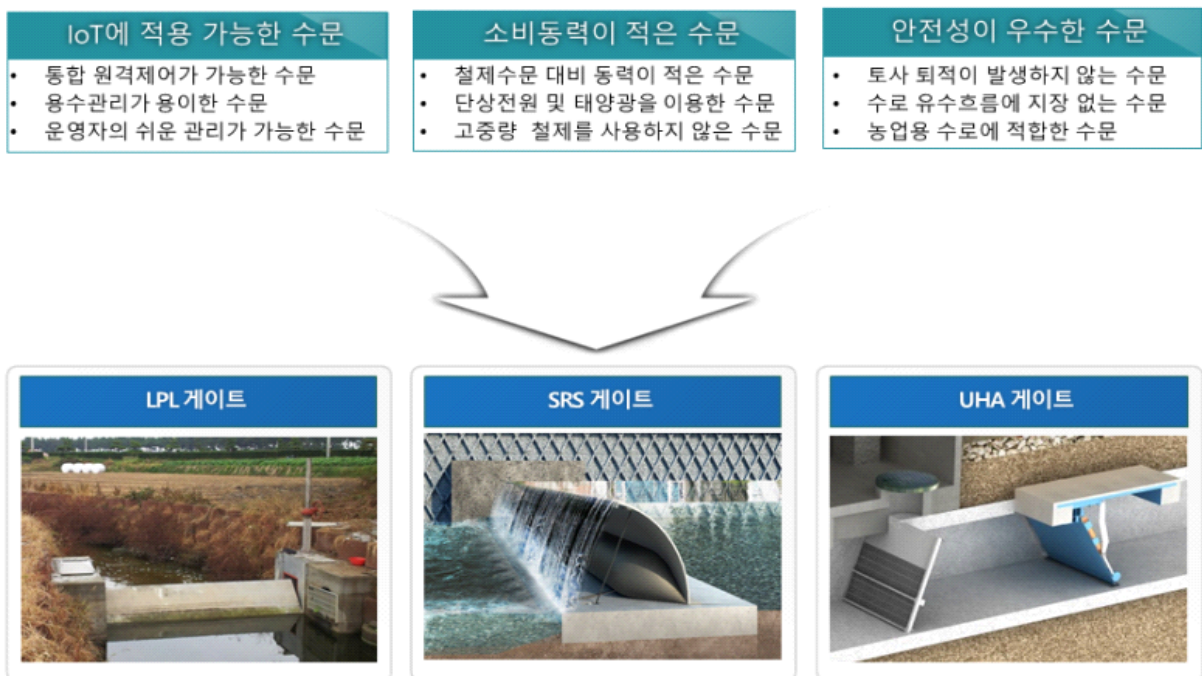
과가 크기 때문에 대부분 부분게이트 방식에 이용되었다. 하지만 2002년 태풍루사 내습시 슬라이드 방식의 부분게이트에 나무가 끼어 작동이 안 된 사례가 있었으며 그 동안 하천 취입보에 주로 사용되던 전도방식이 개량되어 안전성이 확보된 뒤로 2003년 이후에 설치된 저수지에는 대부분 전도방식을 이용하고 있다. 도별로 문비형식을 비교하면 경기도의 경우 슬라이드 방식은 39개소중 35개소로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 반면 충북의 경우는 34개소중 30개소가 전도방식으로 지역별로 큰 편차를 보이고 있다.

게이트의 인양형식은 과거 설치비용이 적을 경우는 편재를 주로 사용하여 2000년 이전에 설치된 게이트중 슬라이드 방식은 99%가 편재 방식으로 사람이 직접 수문을 인양하도록 설치되어 있다. 현재 가장 많이 사용하고 있는 방식은 유압식으로 전체 50%정도를 차지하고 있으며 이외에 와이어 로프방식이 18% 정도로 과거 유압방식의 문제점인 유류누수에 의한 환경오염 방지 목적으로 사용되었다. 인양형식 역시 문비형식과 마찬가지로 도별로 사용방법에 큰 차이를 보이고 있다. 결국 설계자 의지로 다양한 방법이 적용되고 있는데 안전성과 유지관리 편리성이 확보된 상태에서 설계가 이루어져야 하나 지역적 특성보다는 도별로 일관된 게이트 방식을 고수하고 있기 때문에 매년 유지관리에 많이 비용과 노동력이 소요되고 있다. 따라서 향후 개보수에 의한 게이트 설치시 설계홍수량 증가에 따라 배제시설의 규모도 커져야 하나 지형적인 여건상 물넘이의 확장이 불가능한 지역도 많으며 물넘이 시설의 확장으로 인해 저수지 하류지역의 피해에 따른 민원도 제기됨에 따라 저수지용 게이트의 합리적이고 표준화된 모델이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

### 4.1.3 수문 검토에 따른 수리시설물 설계기술 개발

IoT기반 스마트 수리시설물(수문) 개발을 위해 다음과 같은 조건에 부합하도록 설계를 실시하여야 한다. 통합 원격제어가 가능하고 용수관리가 용이하며 운영자의 쉬운 관리가 가능한 ① 농업용 수로에 적합한 IoT에 적용 가능한 수문, 기존 철제수문 대비 동력사용이 적은 수문이어야 하며 단상전원 및 태양광을 이용이 가능한 ② 소비동력이 적은수문, 수문운영시 토사 퇴적이 발생하지 않으며 수로 유수흐름에 지장이 없는 ③ 안전성이 우수한 수문이어야 한다.

이상과 같이 IoT 기반의 스마트 수리시설물 설계 기술 개발을 위해 국내/외의 대표적인 수문 형식, 작동방식 및 소재 등에 대해 분석/검토 하였으며 아래와 같은 항목에 적합한 IoT 기반의 스마트 농업용 수로 수문 3종 설계기술을 개발 하였다.



<그림 4-9> IoT 기반 스마트 수리시설물 설계기술 개발

## 가. LPL 게이트

LPL 게이트는 Low-Powered Lightweight Gate로 경량의 소재를 적용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문이다.

LPL 게이트는 통합 원격 제어가 가능해 IoT 기반의 스마트 수리시설물에 적합한 것으로 나타나 운영이 용이하다.

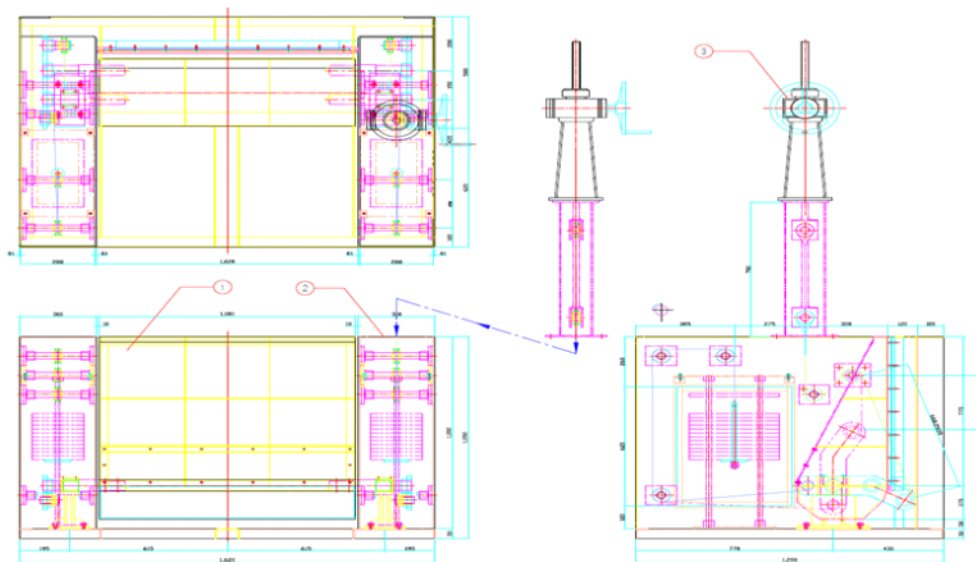
기존 수문과 달리 복잡한 상부구조물이 없는 전도식 수문 형식이며 경량의 수문재질 선정을 위해 외부는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱) 소재로, 내부는 Steel 소재를 사용한 하이브리드 패널을 적용한다. 경량의 하이브리드 패널 적용으로 게이트 기립 및 전도시 구동력이 적게 소요되어 단상전원이나 태양광을 이용하여 운영할 수 있도록 설계하였다.

LPL 게이트는 농업용 수로에 적합한 설계로 판단되나 전도시 이물질 끼임이나 토사퇴적등의 부유물에 의해 작동에 어려움이 발생할 것으로 나타나 게이트 운영시 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 보여진다.

LPL 게이트의 형상과 대표 설계도 및 IoT 기반의 스마트 수리시설물 조건표에 대한 검토 내용은 아래와 같다.



<그림 4-10> LPL 게이트 형상



<그림 4-11> LPL 게이트 대표 설계도

(표 4-2) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토(LPL 게이트)

구분		검토내용
IoT에 적용 가능한 수문	통합 원격제어가 가능한 수문	통합 원격제어 가능
	용수관리가 용이한 수문	용수관리 용이
	운영자의 쉬운 관리가 가능한 수문	쉬운 관리
소비동력이 적은 수문	철제수문 대비 동력이 적은 수문	적은 동력 소요
	단상전원 및 태양광을 이용한 수문	단상전원 및 태양광 사용 가능
	고중량 철제를 사용하지 않는 수문	경량 하이브리드 패널 적용 가능
안전성이 우수한 수문	토사퇴적이 발생하지 않는 수문	전도식으로 하부에 이물질 끼임
	수로 유수흐름에 지장이 없는 수문	이물질 끼임시 유수흐름 불량
	농업용 수로에 적합한 수문	농업용 수로에 적합

#### 나. SRS 게이트

SRS 게이트는 Smart Rubber & Steel Gate로 LPL 게이트에 적용한 하이브리드 패널과 고무 에어백을 사용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문이다.

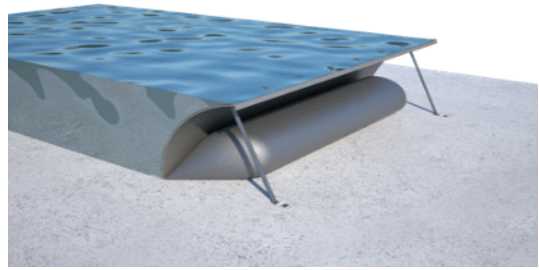
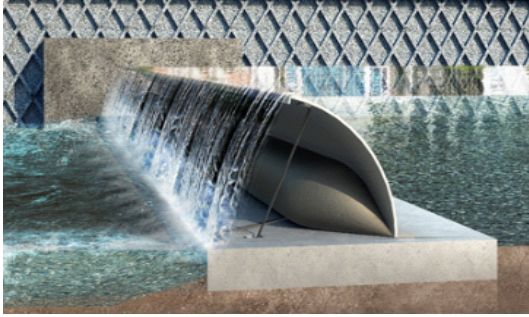
SRS 게이트는 통합 원격 제어가 가능하고 타 게이트 대비 미세한 수위조절이 가능해 IoT 기반의 스마트 수리시설물에 가장 적합한 수문이다.

기존 수문과 달리 복잡한 상부구조물이 없는 전도식 수문 형식이며 경량의 수문재질 선정을 위해 외부는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱)소재로, 내부는 Steel 소재를 사용해 하이브리드 패널을 적용하였으며 하부의 고무에어백이 패널을 기립 및 전도시키는 방식으로 구동력이 적게 소요되어 단상전원이나 태양광을 이용하여 운영할 수 있도록 설계하였다.

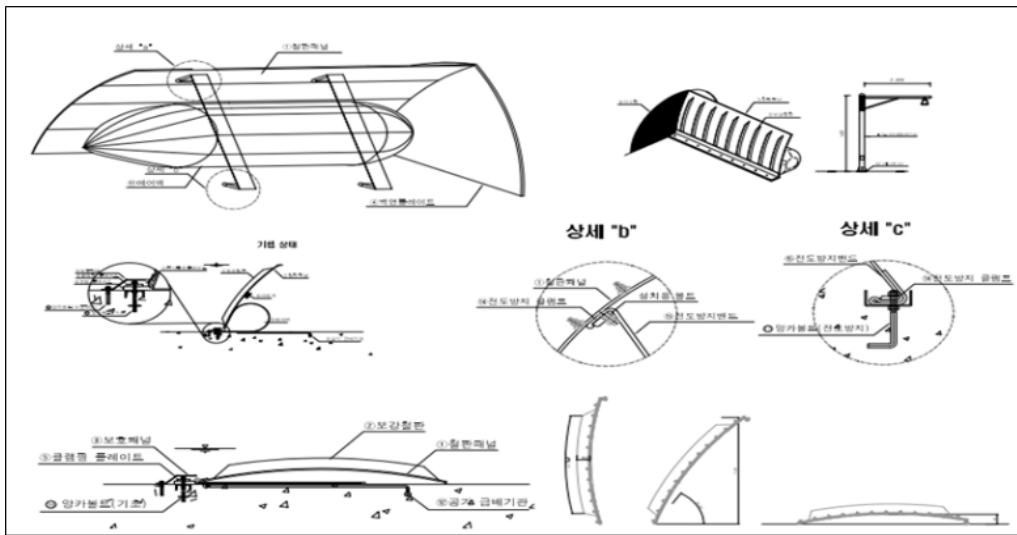
SRS 게이트와 유사한 기존 게이트는 주로 수로폭이 넓거나 하천 등에 주로 사용되어 농업용 수로에 적합하진 않으나 소형화 제작이 가능해 설치에 문제는 없을 것으로 나타난다.

SRS 게이트는 수로바닥과 일체형 패널 체결 구조로 설치되 유사 게이트 대비 이물질 끼임 및 퇴적 현상은 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

SRS 게이트의 형상과 대표 설계도 및 IoT 기반의 스마트 수리시설물 조건표에 대한 검토 내용은 아래와 같다.



<그림 4-12> SRS 게이트 형상



<그림 4-13> SRS 게이트 대표 설계도

(표 4-3) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토(SRS 게이트)

구분		검토내용
IoT에 적용 가능한 수문	통합 원격제어가 가능한 수문	통합 원격제어 및 미세한 수위조절이 가능해 가장 적합
	용수관리가 용이한 수문	용수관리 용이
	운영자의 쉬운 관리가 가능한 수문	쉬운 관리
소비동력이 적은 수문	철제수문 대비 동력이 적은 수문	적은 동력 소요
	단상전원 및 태양광을 이용한 수문	단상전원 및 태양광 사용 가능
	고중량 철제를 사용하지 않는 수문	하이브리드 패널과 고무 에어백 적용으로 철제대비 경량
안전성이 우수한 수문	토사퇴적이 발생하지 않는 수문	수로바닥과 일체형 시공으로 토사퇴적 우려 없음
	수로 유수흐름에 지장이 없는 수문	완전 전도식으로 유수흐름에 지장 없음
	농업용 수로에 적합한 수문	주로 하천에 설치되나 소형화 제작 가능

## 다. UHA 게이트

UHA 게이트는 Upper Hinge Automatic Gate로 상부 게이트에 적용한 하이브리드 패널을 사용하여 저전력으로 게이트를 상부 힌지방식으로 개폐하는 방식의 수문이다.

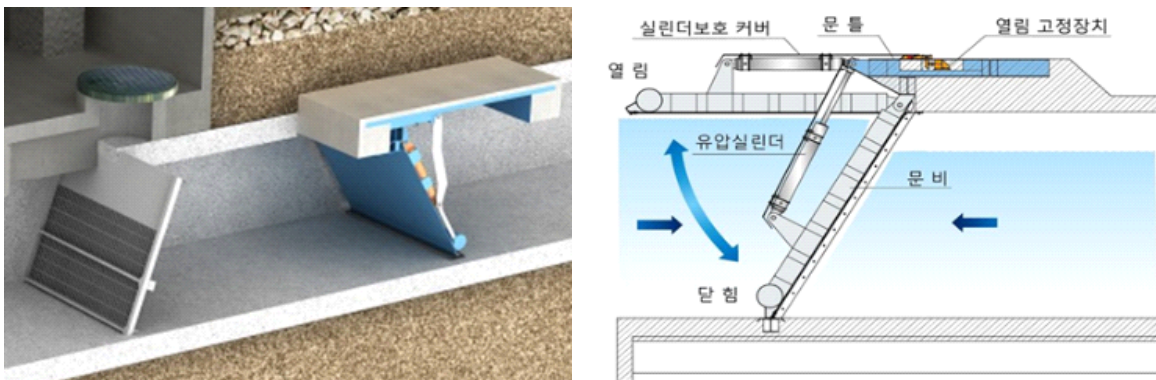
UHA 게이트는 통합 원격 제어가 가능해 IoT 기반의 스마트 수리시설물에 적합한 수문이다. 기존 수문과 달리 복잡한 상부구조물이 없는 상부 패쇄형 수문 형식이며 경량의 수문재질 선정을 위해 외부는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱)소재로, 내부는 Steel 소재를 사용해 하이브리드 패널을 적용하였으며 유압실린더를 적용하여 안정적 개폐가 가능하고 열림 고정장치 기술을 적용하여 안전성을 확보하였다.

UHA 게이트는 유압실린더 작동에 의한 개폐 방식으로 구동력이 적게 소요되어 단상전원이거나 태양광을 이용하여 운영할 수 있도록 설계하였다.

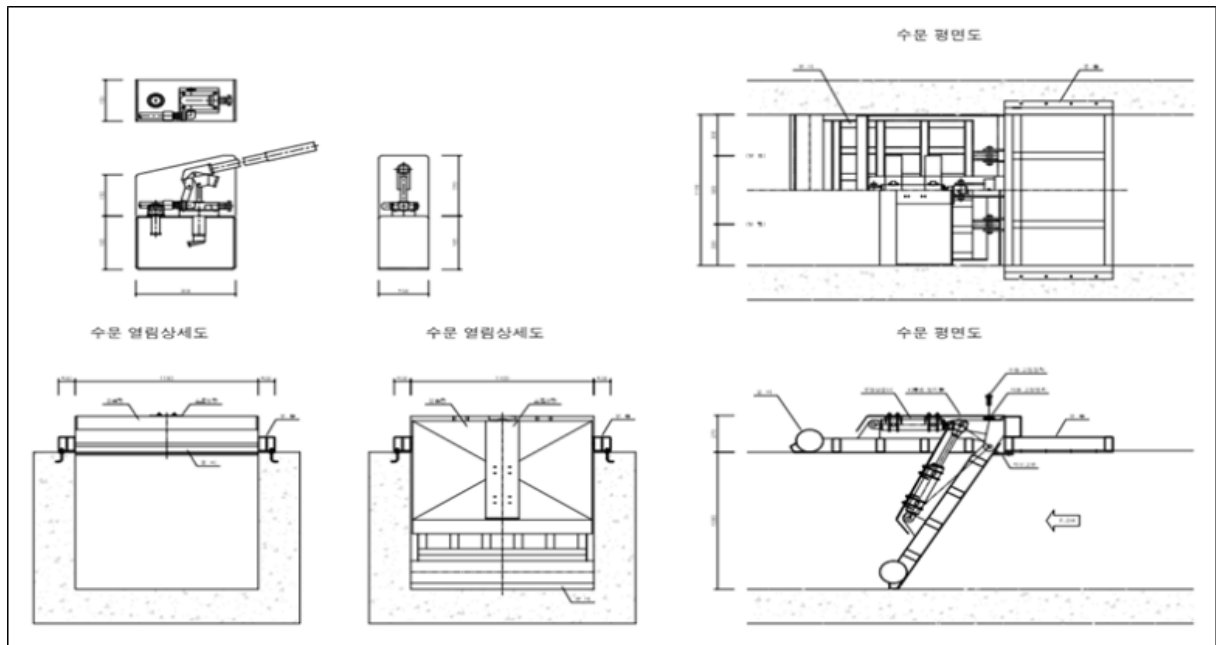
UHA 게이트는 유압실린더를 사용해 작동유 누수에 우려가 있으나 오염 발생이 없어 환경성에 문제 없는 것으로 나타났다.

상부 힌지 형식으로 이물질 끼임 및 퇴적 현상이 발생하지 않으며, 개발하고자 하는 IoT 기반의 농업용 수로 수문에 적합한 규모로 제작 및 설치가 가능해 보급성이 우수한 것으로 판단된다.

UHA 게이트의 형상과 대표 설계도 및 IoT 기반의 스마트 수리시설물 조건표에 대한 검토 내용은 아래와 같다.



<그림 4-14> UHA 게이트 형상



<그림 4-15> UHA 게이트 대표 설계도


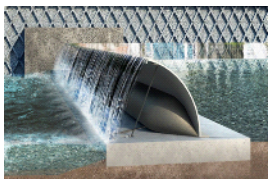
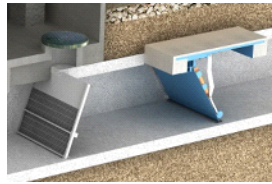
(표 4-4) IoT 기반의 스마트 수리시설물 검토(UHA 게이트)

구분		검토내용
IoT에 적용 가능한 수문	통합 원격제어가 가능한 수문	통합 원격제어에 적합
	용수관리가 용이한 수문	용수관리 용이
	운영자의 쉬운 관리가 가능한 수문	쉬운 관리
소비동력이 적은 수문	철제수문 대비 동력이 적은 수문	적은 동력 소요
	단상전원 및 태양광을 이용한 수문	단상전원 및 태양광 사용 가능
	고중량 철제를 사용하지 않는 수문	하이브리드 패널 적용으로 철제대비 경량
안전성이 우수한 수문	토사퇴적이 발생하지 않는 수문	상부 힌지형 방식으로 토사퇴적 우려 없음
	수로 유수흐름에 지장이 없는 수문	완전 전도식으로 유수흐름에 지장 없음
	농업용 수로에 적합한 수문	농업용 수로에 가장 적합

이상과 같이 IoT기반의 스마트 수리시설물(수문) 3종을 개발 및 검토하였으며 농업용 수로에 적합한 스마트 수문은 다음과 같이 선정하였다.



(표 4-5) IoT 기반의 스마트 수리시설물 비교표

구분	LPL 게이트	SRS 게이트	UHA 게이트
구상도			
작동방식	기계식	공압식	유압식
기립/전도 형식	하부 힌지식	전도식	상부 힌지식
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원격제어 가능</li> <li>- 하이브리드 패널 적용으로 경량화</li> <li>- 적은 구동력으로 작동 가능</li> <li>- 농업용 수로에 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원격제어 가능</li> <li>- 미세한 수위조절 가능</li> <li>- 하이브리드 패널 적용으로 경량화</li> <li>- 적은 구동력으로 작동 가능</li> <li>- 이물질 끼임 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원격제어 가능</li> <li>- 하이브리드 패널 적용으로 경량화</li> <li>- 적은 구동력으로 작동 가능</li> <li>- 농업용 수로에 적합</li> <li>- 보급성 우수</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하단 배출식으로 이물질 끼임 우려</li> <li>- 지속적인 유지관리 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하단 배출식으로 이물질 끼임 우려</li> <li>- 타 형식에 비해 제작 및 설치 단가 고가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작동유 누수 우려</li> </ul>
검토	금회적용		

#### 4.1.4 저동력수문(LPL게이트) 기본설계

##### 가. 소재 선정

상기 설계기법에서 적용된 소재는 GFRP와 스틸소재를 혼용한 하이브리드 기술이다.

GFRP소재는 강화섬유와 수지를 통해 제작되며 다음과 같은 특징을 가지고 있어 수문 외부 소재로 적합할 것으로 나타나며 우수한 내구성으로 장기적으로 사용이 가능 할 것으로 나타난다.

GFRP 재료 중 강화섬유는 섬유길이 방향으로 고강도, 고강성을 발휘하는 강화재의 역할을 하며, 강화섬유의 적층을 통해 구조부재의 방향별 요구 강도 특성 발현. 콘크리트 구조물의 배근설계와 유사하다. 강화섬유의 종류로는 유리섬유(Glass fiber), 탄소섬유(Carbon fiber), 아라미드섬유(Aramid fiber) 등이 있으며, 강화섬유의 형태에 따라 로빙(Roving), 매트(Mat), 패브릭(Fabric), 단섬유(Chopped Strand), 프리프레그(Prepreg)로 구분함



유리섬유 로빙



유리섬유 패브릭

<그림 4-16> 유리섬유 강화 소재 종류

GFRP 재료 중 수지는 성형시 구성 재료를 일체화 시키는 작용을 하여 내부식, 내화학 특성을 보유하고 있어 외부 유해환경에 대한 내구성을 증대시킴. 플라스틱 수지의 분류는 열경화성(Thermosetting)수지와 열가소성(Thermoplastic)수지로 분류하며, 건설 분야에 사용하는 복합소재에는 주로 열경화성 수지를 사용한다. 수지의 성분에 따라 불포화 폴리에스터 수지, 비닐에스터 수지, 에폭시 수지, 페놀수지 등으로 구분할 수 있다.

GFRP 소재의 특징은 다음과 같다.

① 내부식성 : 복합소재에 사용되는 수지재료는 화학물질, 산, 해수에 대한 저항성이 있는 특성을 가지므로, 강재를 사용하는 구조물에 비해 내부식성이 우수. GFRP 소재의 내부식 특성은 유지관리비와 생애주기비용(Life cycle cost) 부분에 있어서 매우 유리하게 작용하게 되며, 해수, 화학물질 등 부식 환경에 있는 강재 구조물이나 콘크리트 구조물을 대체하는 경우에 매우 효율적으로 이용될 수 있음.

② 경량성 : 기존 강재나 콘크리트는 과도한 사하중에 의해 문제가 발생할 수 있으나 GFRP 소재는 큰 하중지지력 뿐만 아니라 경량특성을 가지므로 매우 효과적인 건설재료가 될 수 있음. 구조용 강재의 경우 단위중량이 7,850 kgf/m<sup>3</sup>이나 GFRP 소재의 경우 약 2,000 kgf/m<sup>3</sup>로 강재에 비해 매우 작은 단위중량을 가지고 있음.

③ 인장강도 : GFRP 소재는 강재보다 훨씬 큰 인장강도를 보유하고 있어 높은 인장강도를 요구하는 구조물에 매우 효과적으로 사용될 수 있으며, 일반적으로 파괴시 까지 선형적인 응력-변형률 거동을 보이고, 요구되는 성능에 따라 강화섬유의 방향을 적절히 배치하여 방향별로 기계적 특성을 구현할 수 있음.

④ 비강도, 비강성 : 항복강도를 밀도로 나눈 값으로 정의되는 비강도는 강도와 중량에 의한 재료들의 특성비교에 흔히 사용되고, GFRP 소재의 경우, 고강도 및 저밀도 특성으로 강재의 약 5-15배에 달하는 비강도를 가지고 있음. 탄성계수를 밀도로 나눈 값인 비강성에 있어서도 매우 우수하여 진동의 영향이 큰 구조물의 경우 저진동 특성을 가지고 있음.

(표 4-6) 강재와 GFRP 소재의 기계적 특성 비교

구 분	탄성계수 ×10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	강도 kgf/cm <sup>2</sup>	밀도 gf/cm <sup>3</sup>	비강성 ×10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	비강도 kgf/cm <sup>2</sup>
강 재	2.07	2,480	7.85	0.26	315
GFRP 소재	0.27	2,870	2.13	0.13	1,350
그라파이트/에폭시	0.70	6,830	1.61	0.43	4,240

⑤ 피로특성 : GFRP 소재는 1000만회 반복하중 후에서도 초기 강도의 대부분을 유지하는 우수한 피로저항 특성을 보임.

⑥ 전자기(magnetic)특성 : GFRP 소재는 고분자 수지와 강화섬유로 구성되므로 자력(magnetic force)에 대한 저항성을 가짐. 따라서 복합소재는 자기부상 열차의 차체 및 선로 구조물, 자기공명 촬영기(MRI) 기초 등에 효과적으로 사용될 수 있음.

⑦ 전기절연특성 : 유리섬유, 아라미드섬유를 사용하는 GFRP 소재는 전기절연 특성을 보유하고 있어 감전의 위험을 방지해야하는 발전소 등의 케이블 트레이, 점검통로와 같은 전도체와 가깝게 노출된 구조물에 복합소재를 사용하고 있음.

GFRP 소재는 국/내외 토목 및 건축 분야에 다수 사용되는 소재로서 보강근, 대구경 파이프, 바닥판, 돌핀에 시공되는 파일, 고층건물 옥탑의 통신시설 구조물 및 복합소재 난간 등 다용도로 적용 되고 있으며 활용 사례는 다음과 같아 본 수문 기술에 적합한 것으로 판단된다.

① GFRP 소재 파이프 : 내부식 특성으로 내구성 증진 및 환경오염 문제 해결 등으로 석유 산업체 및 수자원 분야에서 부식환경에 있는 해상, 육상의 송유, 송수관으로 대량사용. 사우디아라비아의 슈베일-리야드간(500km)에 담수용 송수관, 아프리카 보츠와나 송수관, 화학 플랜트에 화학물질 수송 파이프, 저장 및 프로세싱 탱크 등에 대량으로 사용하고 있음.

② GFRP 소재 보강근 : 철근대용으로 콘크리트에 사용하며 1980년대에 다시 내자기특성을 이용하는 분야(자기공명 촬영기 기초 등)와 화학물질 침투, 완전한 염해방지 등 특별히 내부식이 요구되는 구조에 사용되기 시작하였고 최근에는 콘크리트 교량 바닥판 철근대체용으로도 사용하고 있음.

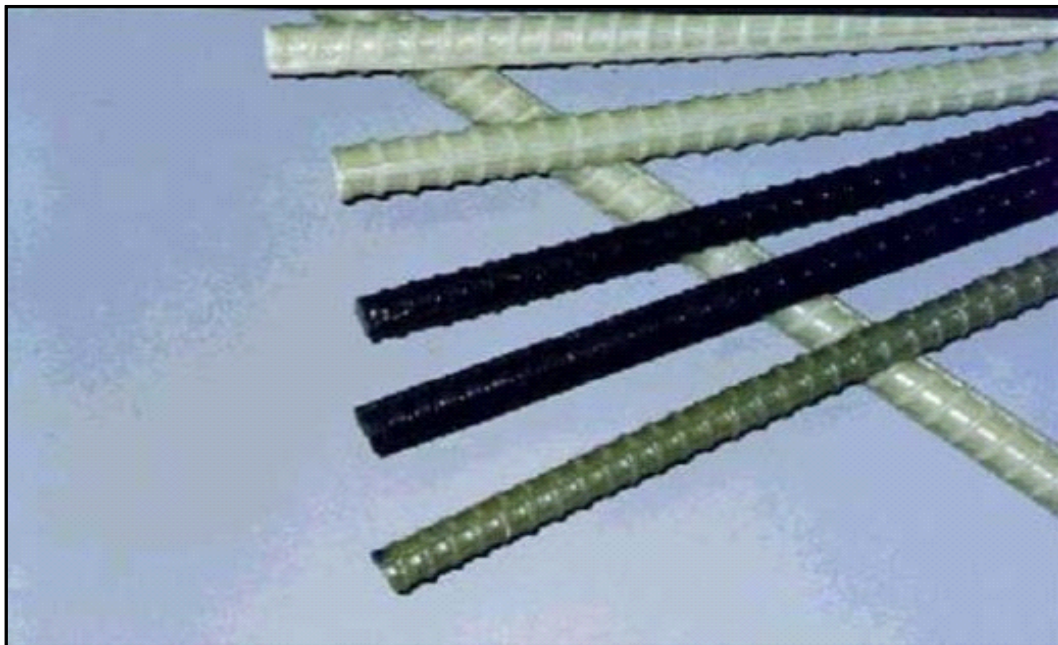
③ GFRP 소재 지반보강재 : 기존 강재의 부식문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 경량성과 훌륭한 인장강도 특성을 보유한 GFRP 지반보강재를 개발하여 사용하고 있음. 일본, 유럽 및 북미, 이탈리아 등에서 GFRP 록볼트 공법, GFRP 막장 수평보강 공법, GFRP보강 그라우팅 공법 등 기존 강재 지반보강재를 대체하여 사용하고 있음.

④ 노후 콘크리트 구조물 보수, 보강 : 노후 콘크리트 구조물의 강판접착 보수, 보강법 및 교각의 강재 쉘 구속보강법을 대체하여 1980년부터 콘크리트 구조물의 보수, 보강용으로 복합소재가 널리 이용되기 시작하였으며, 재료비의 절감, 경량특성으로 인한 공사비 절감 및 시공의 용이성, 무제한의 재료길이, 내부식성으로 인해 전세계적으로 노후 콘크리트 구조물의 보수, 보강 및 내진보강에 사용하고 있음.

⑤ GFRP 소재 교량 : 내부식, 고내구성 특성으로 교량수명 연장, 생애주기비용 감소, 유지관리비 절감, 빈번한 교체 불필요 및 경량특성으로 사하중 경감, 하부구조 건설비용의 절감, 노후 교량 성능개선시 하부보강 없이 내하력 증진 가능, 내진성능 향상 등의 장점으로 복합소재 교량 바닥판은 세계적으로 널리 사용하고 있음.

⑥ GFRP 소재 파일 : 강재 파일의 경우 부식방지를 위한 방식공사 필요하고 공용 중에도 방식 유지관리비 지출이 많으며, 콘크리트 파일의 경우 염해로 콘크리트 열화 및 철근 부식이 발생하고 내구성과 유지관리에 많은 문제가 발생하고 있음. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 해외에서는 항만구조물의 지지파일 및 팬더파일로 널리 사용하고 있음.

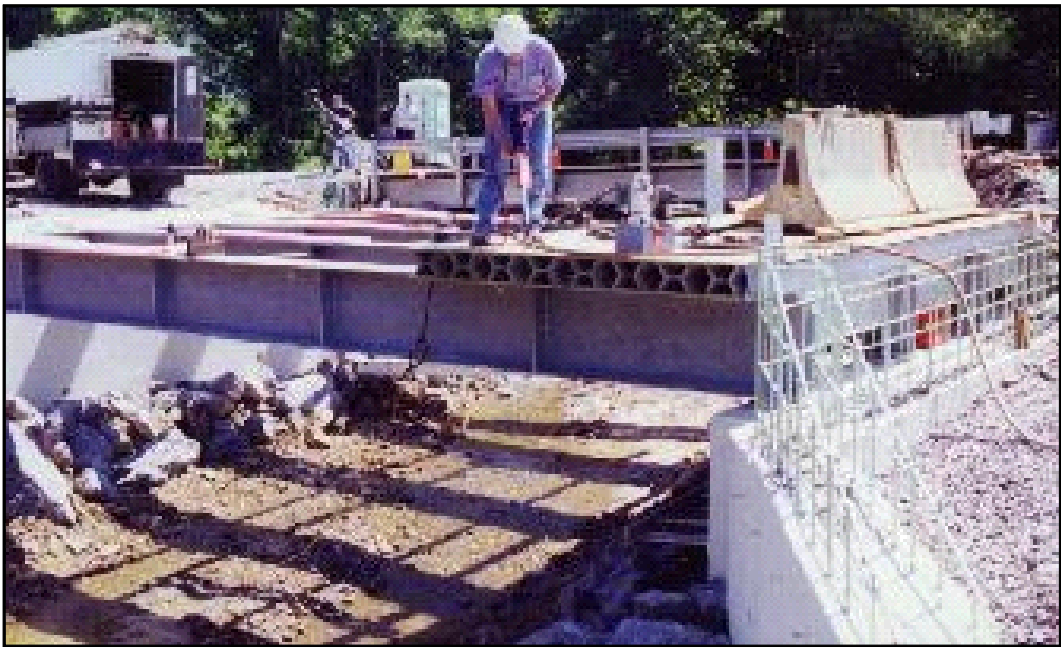
⑦ GFRP 소재 난간/사다리/그레이팅 : 화학 플랜트, 수처리 플랜트 등 고부식 환경의 구조물에 적합하며 기존의 강재/알루미늄의 부식문제를 해결하기 위해 적용하여 사용하고 있음.



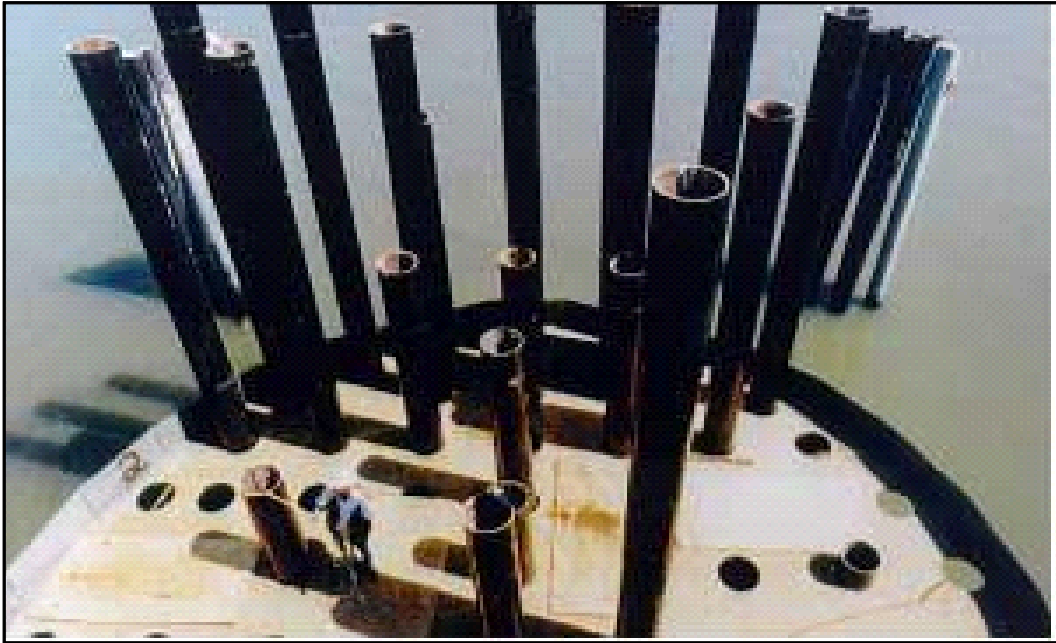
<그림 4-17> GFRP 소재 보강근



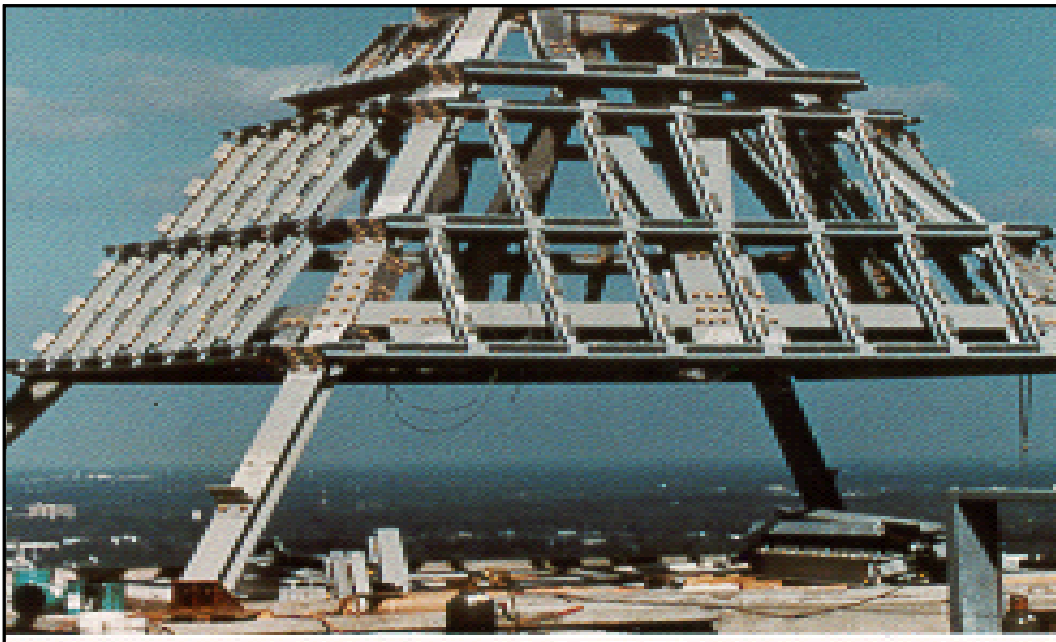
<그림 4-18> GFRP 소재 대구경 파이프



<그림 4-19> GFRP 소재 교량 바닥판



<그림 4-20> 돌핀에 시공된 GFRP 소재 파이프



<그림 4-21> 고층건물 옥탑의 통신기설 GFRP 구조물



<그림 4-22> GFRP 소재 난간

## 나. 구조계산

최적의 관개수로용 수문에 선정된 저동력 수문의 안전성 검토를 위해 구조계산을 실시하였다. 저동력 수문의 구조계산을 위해 수문에 걸리는 수압을 계산하여 아래와 같이 안전성을 확인하였다.

관개수로용 수문에 걸리는 힘(수압)을 계산하는 방법으로서 수문이 중력방향인 수직으로 서 있는 경우를 우선 상정하여 계산하였다. 우선 수압이 저동력 수문에 걸리는 형태를 두 가지로 나눌 수 있다.

한가지는 수문 상부의 수문비 부분에 걸리는 수압으로서 수문 게이트 전도에 관여하며, 또 하나는 부채꼴 원형단면에 걸리는 수압이다. 이 수압은 궁극적으로 모두 수문비나 부채꼴 원형 단면의 무게중심에 걸리는 것으로서 동력원의 발생 역할을 한다.

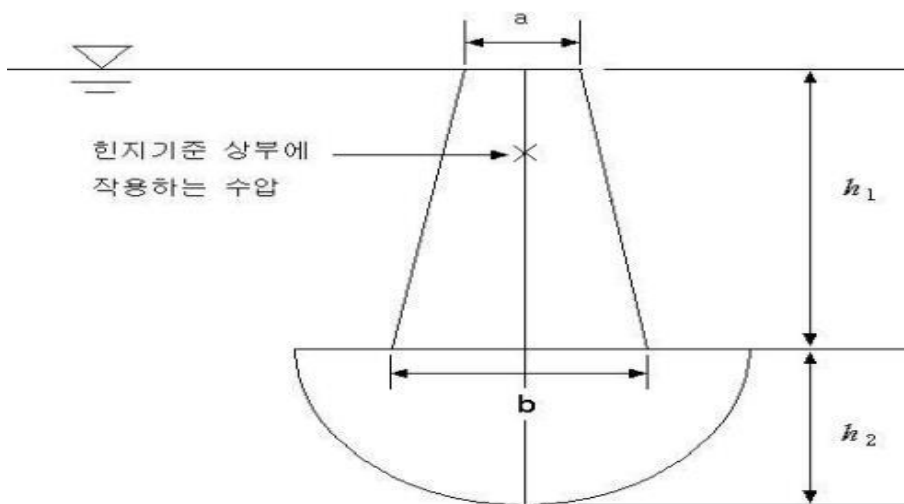
아래 그림에서 알 수 있듯이 저동력 수문 게이트의 힌지를 기준으로 상부(수문비측)에 걸리는 수압은 전도력으로, 하부(부채꼴 원형단면)에 걸리는 수압은 복원력으로 작용을 한다. 여기서 수압이 걸리는 상부 면적은

$$A_1 = L h_1 \quad (4-1)$$

따라서 힌지부 상부에 작용하는 수압은

$$P_m = A_1 \omega \quad (4-2)$$

여기서,  $\omega$  : 물의 비중량( $g/cm^3$ )이다.



<그림 4-23> 저동력 수문에 수압이 걸리는 모습



또한 힌지부 상부에 작용하는 수압에 의한 토오크는

$$T_m = P_m m \quad (4-3)$$

다음으로는 부채꼴 원형단면에 작용하는 수압으로서, 이는 상부에 걸리는 수압의 역수압이다. 따라서 수압이 작용하는 힌지 하부의 면적은 다음과 같다.

$$A_2 = \frac{\pi}{4} d^2 \frac{180^\circ}{360^\circ} \quad (4-4)$$

따라서 힌지부 하부에 작용하는 수압은

$$P_{m2} = A_2 \omega \quad (4-5)$$

또한 힌지부 하부에 작용하는 토오크는 다음과 같다.

$$T_{m2} = P_{m2} X \quad (4-6)$$

따라서 수문비에 걸리는 순수 수압은

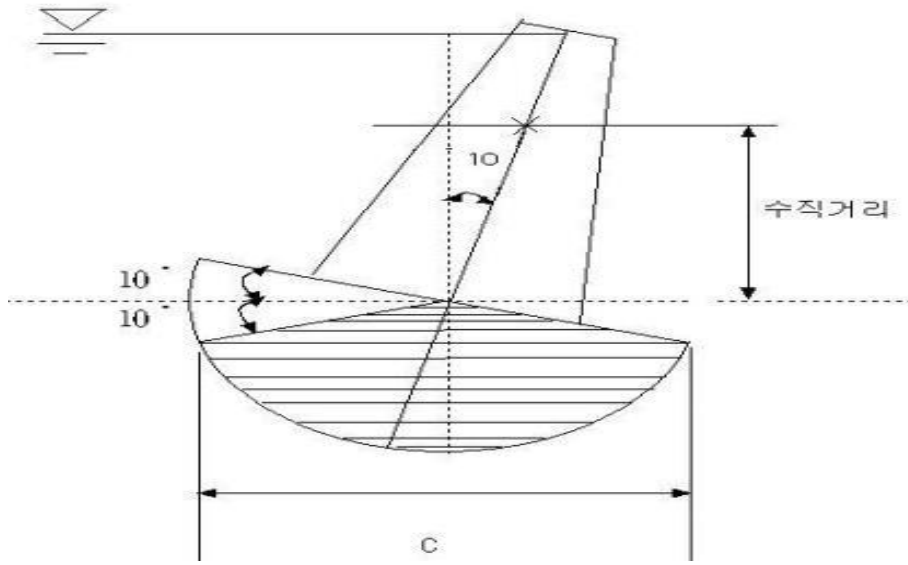
$$P_w = P_m - P_{m2} \quad (4-7)$$

수문비에 걸리는 순수 수압의 토오크는

$$T_w = T_m - T_{m2} \quad (4-8)$$

다음은 실제로 저동력 수문이 수압에 의해 기울어졌을 때 게이트가 받는 수압을 계산한다. 아래 그림에서 보듯이 일정한 편심을 가지고 수문 게이트가 기울어지면 이에 따라 수문비에는 전도력이 가해지며 빗금 치지 않은 부분에는 복원력이 작용을 한다. 우선 수압에 의해 전도게이트가 10° 기울었다고 가정하면, 수문비에 걸리는 수압은 다음과 같다.

$$P_m = A_1 \omega \quad (4-9)$$



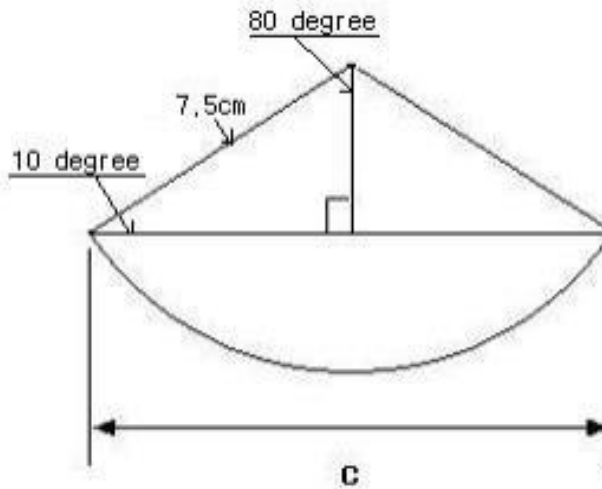
<그림 4-24> 저동력 수문 게이트가 기울어진 모습

그리고 수압이 수문비에 작용하는 토오크는 수문비가 기울어진 수문비의 무게중심까지의 중력방향 수직거리에 발생함으로,

$$T_m = P_m m \cos 10^\circ \quad (4-10)$$

여기서  $\cos 10^\circ$ 는 수문비 무게중심까지의 중력방향 수직거리이다.

다음으로, 역수압 발생에 대해서 알아보면 우선 힌지기준 하부는 수로바닥에서 힌지까지의 높이가 일정하므로 수직상태와 동일하다고 할 수 있다. 따라서 복원력으로 작용하는 부채꼴 부분을 제외한 부채꼴의 중심을 구하는 것이 역발생 수압을 구하는 계산방법이다. 그림으로 표현을 하면 위 그림의 빗금 친 부분에 해당한다.



<그림 4-25> 부채꼴 원형단면의 삼각형도

따라서 무게중심거리는 아래 식(4-11)을 이용하면,

$$X = \frac{3}{8} (2r - r + \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - C^2}) = \frac{3}{8} r + \frac{3}{16} \sqrt{4r^2 - C^2} \quad (4-11)$$

여기서 부채꼴 원호의 수평거리 C는  $C=2c$  이므로 삼각형의 밑변 c는

$$c = 7.5 \times \cos 10^\circ \quad (4-12)$$

따라서 하부의 부채꼴 원형단면에 작용하는 역수압은

$$P_{102} = \frac{\pi}{4} d^2 \omega \frac{160}{360} \quad (4-13)$$

역수압 토크는 식(4-14)과 같다.

$$T_{102} = P_{102} X \quad (4-14)$$

위와 같이 관개수로용 저동력 수문의 구조계산을 통해 안전성이 확보된 수문을 설계 하였다.

#### 다. 프로토타입 제작

관개수로용 수문 제작을 위해 관련 문헌 조사 및 분석을 실시하였으며, 분석 내용을 바탕으로 최적의 설계기법을 개발하였다. 최적의 설계기법에 내구성 확보를 위해 내부는 스틸, 외부는 GFRP 소재를 적용한 하이브리드 기술을 적용하였으며, 구조계산을 통해 수문의 안전성을 확보하였다. 위의 결과를 바탕으로 최적의 관개수로용 수문 프로토타입을 제작하였다. 프로토타입 규격은 국내 농업용 수로에서 다수 적용되는 규격 0.8mH × 1.0mL으로 제작하였다.

관개수로용 수문은 도면에 따른 철판 가공 → 가공된 스틸 자재 조립 및 용접 → 지수고무 삽입 및 부착 → 수문 게이트 GFRP 적층 및 가공 등을 통해 제작하였다.

관개수로용 수문 프로토타입 제작 과정은 다음과 같다.

관개수로용 수문 프로토타입 제작시 도면에 따른 정밀한 철판 절단 및 가공이 필요하다. 프레임 가공시 수문 게이트와 접하는 부분에는 지수고무 삽입을 고려하여 제작되어야 한다.

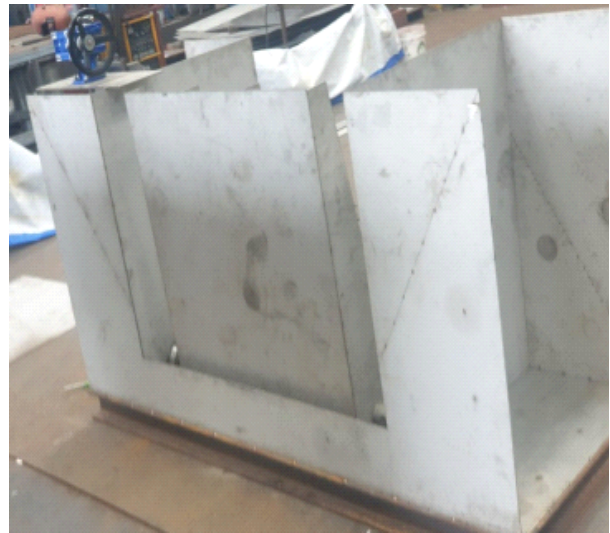


<그림 4-26> 도면에 따른 수문 프레임 및 게이트 가공

정밀하게 가공된 수문 게이트를 수문 프레임에 거치시 설계도면에 반영된 간격에 위치를 고려하여 힌지에 고정하도록 하며 각도가 기울어지지 않도록 설치한다. 사면 수문 작동기는 전동 및 수동이 가능하도록 제작하며 수압이 작용하여도 운영이 용이하게 제작한다.



<그림 4-27> 수문 게이트 거치(정면, 측면)



<그림 4-28> 수문 작동기 및 수문 정면 형상

누수방지를 위한 지수고는 방수 및 복원성이 우수한 EPDM 고무재질로 선정하였으며 수문 프레임과 수문 게이트 접합부분에 위치하도록 설치 하여야 한다.



<그림 4-29> 지수교무 부착 및 가공(좌, 우)

관개수로용 수문 프로토타입 형상은 아래와 같이 제작완료 하였으며, 기립 및 도복이 작동하는 것을 확인 하였다.



<그림 4-30> 프로토타입 제작 완료(기립, 도복 형상)

스틸소재의 수문 게이트 안전성 및 내구성 확보를 위해 GFRP를 적층 및 가공작업을 수행 하였다.



<그림 4-31> 수문 게이트 GFRP 가공

## 라. 프로토타입 시험

관개수로용 수문 프로토타입 성능 확인을 위해 기립 및 도복 성능 시험을 실시 하였다. 기립 및 도복 성능 시험은 본 기술개발의 최종 목표인 기립시간 1분 이내, 도복시간 1분 이내로 선정 하였다.

(표 4-7) 관개수로용 수문의 최종목표

구분	최종목표	현재 수준	시험방법
기립시간	1분 이내	5분 이내	5회 측정후 평균값 산정
도복시간	1분 이내	5분 이내	5회 측정후 평균값 산정



<그림 4-32> 프로토타입 성능시험

(표 4-8) 관개수로용 수문 프로토타입 기립 시험

구분	기립 시작 시간	기립 종료 시간	기립 소요시간
기립 시험 1	00 : 00 : 00	00 : 00 : 51	51초
기립 시험 2	00 : 00 : 00	00 : 00 : 48	48초
기립 시험 3	00 : 00 : 00	00 : 00 : 45	45초
기립 시험 4	00 : 00 : 00	00 : 00 : 55	55초
기립 시험 5	00 : 00 : 00	00 : 00 : 47	47초
평균 시간			49.2초

(표 4-9) 관개수로용 수문 프로토타입 도복 시험

구분	도복 시작 시간	도복 종료 시간	도복 소요시간
도복 시험 1	00 : 00 : 00	00 : 00 : 38	38초
도복 시험 2	00 : 00 : 00	00 : 00 : 42	42초
도복 시험 3	00 : 00 : 00	00 : 00 : 51	51초
도복 시험 4	00 : 00 : 00	00 : 00 : 45	45초
도복 시험 5	00 : 00 : 00	00 : 00 : 43	43초
평균 시간			43.8초

관개수로용 수문 프로토타입 성능 시험결과 기립 및 도복 시간 평균 1분 이내로 작동하였으며, 최종목표에 부합하는 것으로 나타나 현장적용에 문제없을 것으로 판단된다.

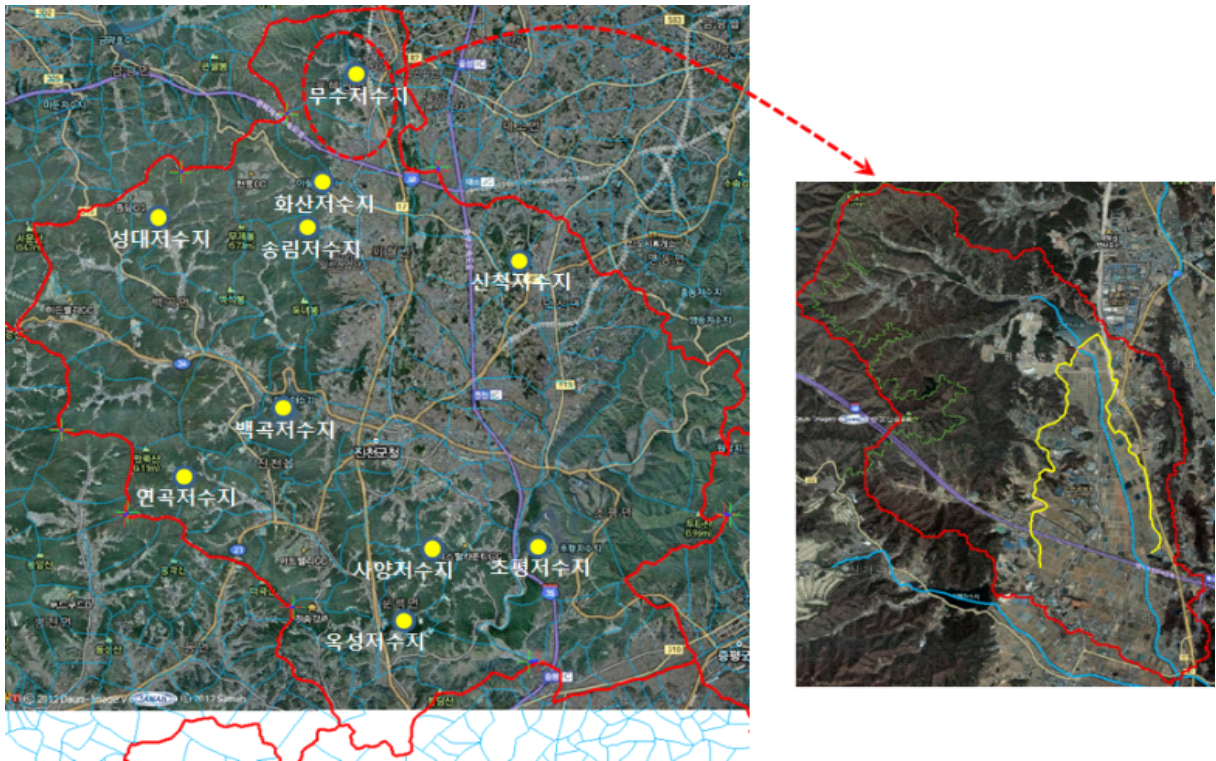


## 4.2 수리시설물 설치 지역 선정 및 시범 계측장비 설치

### 4.2.1 대상지역 선정 및 현황분석

#### 가. 유역 및 수문 현황

본 절에서는 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 수요/공급량 정량화 및 최적 수문 계측망 구축기법을 개발하고자, 농업용 저수지를 수원으로 하며 수문 계측망이 기 설치되어 있고 추가적인 수문 계측망을 구축한 충청북도 진천군 내의 무수저수지(舊 구암저수지)와 그 관개지구인 금곡간선, 회죽간선을 대상지구로 선정 하였다.



<그림 4-33> 대상지구 위치도

무수저수지는 충청북도 진천군 광혜원면 구암리에 있는 농업 관개용 저수지로 서부는 고도의 구릉성 산지이며 남부는 진천군 이월면과 연속된 진천평야의 일부이다. 고도 200 - 400m 이하 평지가 구암천 유역에 발달되어 있으며 구암천 상류에 무수저수지가 위치해 있어 수리에 용이하다.

무수저수지 제당 형식은 중심점토형으로 제언의 높이는 16.5m, 길이는 407m이고, 홍수량은  $78.8\text{m}^3/\text{s}$ , 일류 수심은 1.1m이다. 물넘이 형식은 측구식으로 길이는 65m, 언체 높이는 3.5m이고, 취수 시설 형식은 박스형으로 단면 1.2m, 연장 60m이다. 취수 시설 형식은 취수탑으로 취수량  $0.60\text{m}^3/\text{s}$ , 연장 32.9m이다. 유역 면적은 857ha, 만수 면적은 23.2ha, 홍수 면적은 24.1ha, 수해 면적은 219ha이다. 신규 개발 면적은 239ha, 순 관개 면적은 239ha, 관개 면적은 336ha, 구역 면적은 336ha, 인가 면적은 290ha, 준공 면적은 336ha, 수리안전담 면적은 284ha이다. 총

저수량은 137만 m<sup>3</sup>, 유효 저수량은 132만 m<sup>3</sup>이다. 만수위는 119m이고 홍수위는 120m이다. 무수 저수지 관리는 한국농어촌공사 진천지사에서 관리하고 있으며 무수 저수지의 상세한 제원은 다음과 같다.

(표 4-10) 무수저수지 현황

무수저수지		
면적 (ha)	유역 면적	857
	구역 면적	336
저수량 (천톤)	유효저수량	1320
수위 (m)	만수위	119
	홍수위	120
제방 (m)	수위	119
	길이	407
	물넘이 형식	측구식
기타	위치	충북 진천
	관리	진천지사



<그림 4-34> 무수저수지(전경 및 물넘이)



<그림 4-35> 무수저수지 관개지구

무수저수지 관개부는 금곡간선과 회죽간선 평야부 두 간선으로 나누어져 있다. 회죽간선 관개지구는 약 236ha, 금곡간선 관개지구는 약 100ha(금곡간선 관개지구1 + 금곡간선 관개지구2)로 무수저수지 총 관개면적은 336ha이며 단위면적당 용수이용량은 회죽간선 관개지역 1.98ton/ha-year이고 금곡간선 1 17.73ton/ha-year이다. 관개지역별 용수이용을 현황으로는 회죽간선 관개지역 평균이 약 70%, 금곡간선 관개지역 1 평균 약 75%로 나타났다. 간선별 수로 길이는 회죽 용수간선 3.05km, 금곡 용수간선 4.05km이며 하천길이는 3.5km이다.

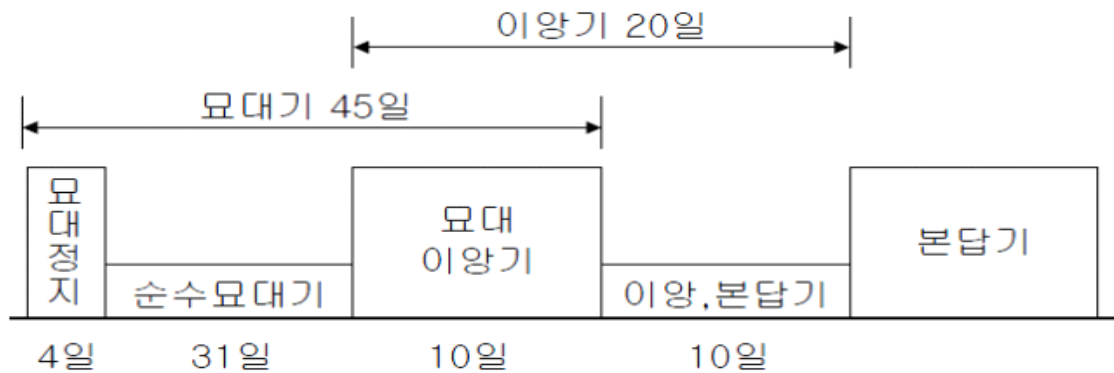
구암천 유역내 최근 3개년 최고 기온은 38.3℃ 이고 최저 기온은 -26.5°이며, 연평균 기온은 11.3℃로 전국 연평균 기온 12.5℃에 비하면 낮은 것으로 나타난다. 연평균 상대습도는 59.7% - 79.3%로 나타났으며 최소상대습도를 비교했을 때 건조기인 1 - 4월 사이에는 상대습도가 13.9% - 21.6%mf 나타낸 반면 다습기인 6 - 9월에는 25.3% - 38.5%로 조사되어 여름철에 고온다습하고 겨울철에 한랭건조한 우리나라의 기상특성이 본 유역에서도 잘 나타나고 있음을 알 수 있다. 연평균 풍속은 1.1㎞이고 최대풍속은 15.4㎞로 나타났다.

## 나. 물관리 현황

영농방식이 과거와는 많은 차이를 보이고 있다. 이상기후로 인한 연평균기온의 상승과 기계화 보급율의 증가, 재배품종의 개량으로 인한 단위면적당 수확량의 증가, 농촌 노동인력의 노령화와 부녀화 심화 등의 많은 부분에서 변화하고 있다. 이러한 변화는 영농방식에 변화를 가져오게 하고 있으며 이로 인하여 농업용수의 사용시기와 양에 변화를 가져오고 있다.

벼 이앙재배 작부시기는 크게 묘대기, 이앙기, 그리고 본답기로 나눌 수 있는데 이러한 시기는 농업용수의 수요와 공급에 기준이 된다. 작부시기를 현행 설계기준과 조사 설계처에서 조사한 자료와 대상 지구에서 조사한 자료를 비교해 보면 아래 표와 같다.

전반적으로 현행 설계기준에 비하여 현장조사 결과를 보면 묘대기와 이앙기의 경우 기간이 단축되거나 시기가 앞당겨지고 본답기가 길어지는 것을 알 수 있다.



<그림 4-36> 작부시기

(표 4-11) 작부시기 대비표

구 분		묘대기	이양기	본답기	담수파종기	건답파종기
중부	현행 (설계기준)	04/17 -05/31 45일간	05/21 -06/10 21일간	06/11 -09/11 93일간	05/01 -05/31 31일간	04/20 -05/20 30일간
	조사 설계처 조사 (농촌용수 체계재편)	04/17 -05/17 31일간	05/13 -05/27 15일간	05/28 -09/11 107일간	05/01 -05/31 31일간	04/20 -05/20 30일간
	대상지구 (진천)	04/23 -05/12 20일간	05/11 -05/25 15일간	05/26 -09/11 109일간	-	-
남부	현행 (설계기준)	04/27 -06/10 45일간	06/01 -06/25 15일간	06/21 -09/21 93일간	05/10 -06/10 31일간	05/01 -05/31 30일간
	조사 설계처 조사 (농촌용수 체계재편)	04/27 -05/27 31일간	05/18 -06/06 20일간	06/07 -09/21 107일간	05/10 -06/10 31일간	05/01 -05/31 30일간

무수저수지는 중·소규모 저수지로서 지류하천이 많지 않고 용수로가 교적 단순한 형태로 되어 있다. 대상지구의 농업용수 물관리 관측항목은 강우량, 하천수위, 저수지 수위와 관개지구의 용·배수로 수위이며 이들 관측항목에 대해 각각의 관측기들이 금곡, 회죽간선 현장에 설치되어 있다. 대상지구의 강우 관측계는 무수저수지 지점 취수탑에 설치되어 있으며 강우관측지점의 우량계 형태는 데이터로거(data logger) 자체 내장된 전도형 자기우량계로써 관측지점의 지점강우량을 측정하도록 되어 있다.

금곡간선은 용수로 1개, 용·배수로 30개, 하천 배수 지점 14개, 용수로 분기점 1개로 구역이 이루어져 있으며 회죽간선은 용수로 1개, 용·배수로 41개, 하천 배수 지점 6개, 용수로 분기점 2개로 되어 있다.



<그림 4-37> 대상지구 기존 계측기 설치 현황

기존 수위 계측기 설치 현황은 저수지 취수탑, 회죽·금곡 간선 시점부, 금곡방수문, 만덕방수문 등 총 5개의 초음파식 수위계가 설치된 것으로 나타났다. 회죽간선 방수문(H-1), 금곡간선 방수문(K-1)의 저수위관측은 무수저수지 취수탑(R-1) 방수문에 설치된 수위계를 통해 자료가 수집되고 있으며, 금곡간선 금곡방수문(K-3)과 회죽간선 만덕방수문(H-2)의 수위계를 통해 간선말단 수위를 계측하고 있다.



<그림 4-38> 대상지구 물관리 현황의 문제점

대상지구를 유역부, 저수부 및 평야부(관개부)로 나누어 물관리 현황을 나타내 보면 유역부는 무수저수지 내 유입부 계측 장비의 부재로 유입량 산정이 불가능 하며, 저수부는 회죽·금곡 간선 시점부 계측을 통해 용수 사용량을 파악 할 수 있으나 무효방류량은 정량화 하기에 어려움이 있는 것으로 나타난다. 평야부의 경우 금곡간선 방수문(K-1)과 금곡간선 금곡방수문(K-2)에서 계측이 가능하지만 중간 분기점까지의 용수 사용량과 금곡 말단부의 방류량은 파악이 불가능하며 회죽 간선 또한 중간 분기점까지의 용수 사용량과 말단부의 방류량 파악이 불가능한 것으로 나타난다. 또한 기존 계측기의 노후화로 오작동 및 미계측 자료가 다수 존재해 물관리에 어려움이 있는 것으로 판단된다.

#### 4.2.2 공사관리 계측장비 현황

무수저수지 유역의 기존 계측망은 저수지 취수탑(R-1), 취수탑 방수문에 위치한 회죽간선 방수문(H-1)과 금곡간선 방수문(K-1), 금곡간선 금곡방수문(K-3) 및 회죽간선 만덕방수문(H-2)에 설치되어 있다.

대상지구 수문자료 구축은 용수계통도, 준설 카드 도면, 2007년부터 현재까지 실시한 무수저수지 운영일보(저수위, 회죽간선 방수문, 금곡간선 방수문), 2007년부터 현재까지 기타간선 운영일보(금곡방수문, 만덕방수문 수위)등을 이용하였다. 강우 및 기상자료는 대상지구와 인접한 이천관측소(약 25km)의 일별자료를 이용하여 기온, 상대습도, 일사량, 풍속, 최고·저 온도 등을 이용하고 Penaman-Monteith 방정식을 통하여 증발산량을 산정 하였다.



<그림 4-39> 대상지구 기존 계측망



### 가. 저수지 취수탑

무수저수지는 높이 16.5m, 길이 407m, 홍수량은 78.8m<sup>3</sup>/s이고 유효저수량 1,320천톤이다.



<그림 4-40> 저수지 취수탑

### 나. 저수탑 방수문(회죽간선 방수문, 금곡간선 방수문)

금곡간선 방수문(K-1)은 저수지에서 금곡간선으로 방류하는 지점이고 회죽간선 방수문(H-1)은 저수지에서 회죽간선으로 방류하는 지점이다.



<그림 4-41> 취수탑 방수문(회죽간선, 금곡간선 방수문)

#### 다. 금곡간선 금곡방수문

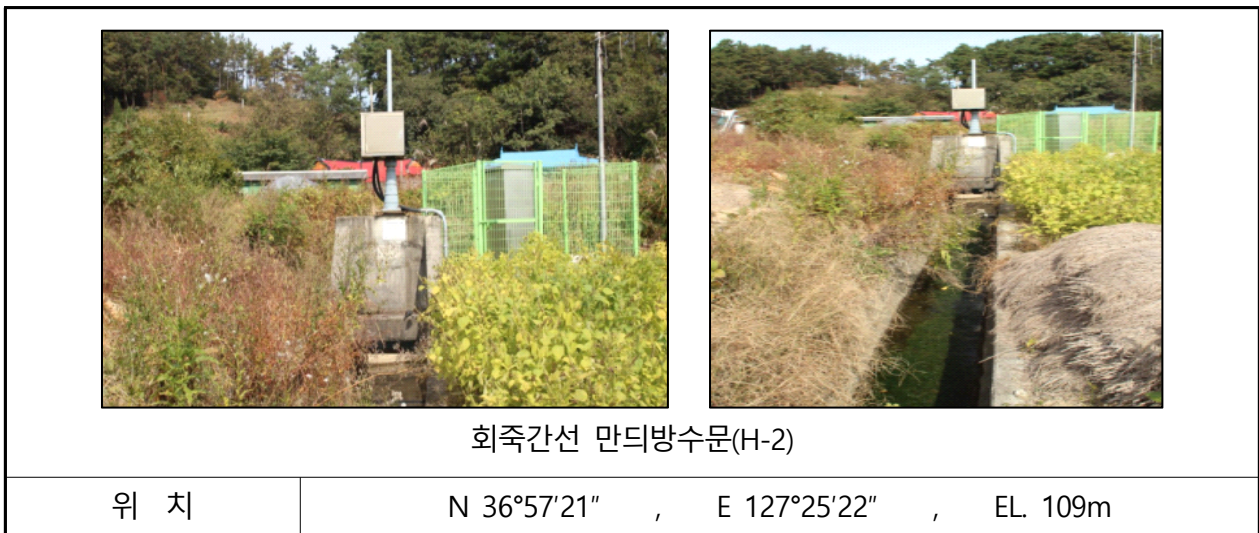
금곡간선 방수문을 지나 용수로를 통해 금곡방수문으로 흐르는 지점으로 형상 및 위치는 아래와 같다.



<그림 4-42> 금곡간선 금곡방수문

#### 라. 회죽간선 만디방수문

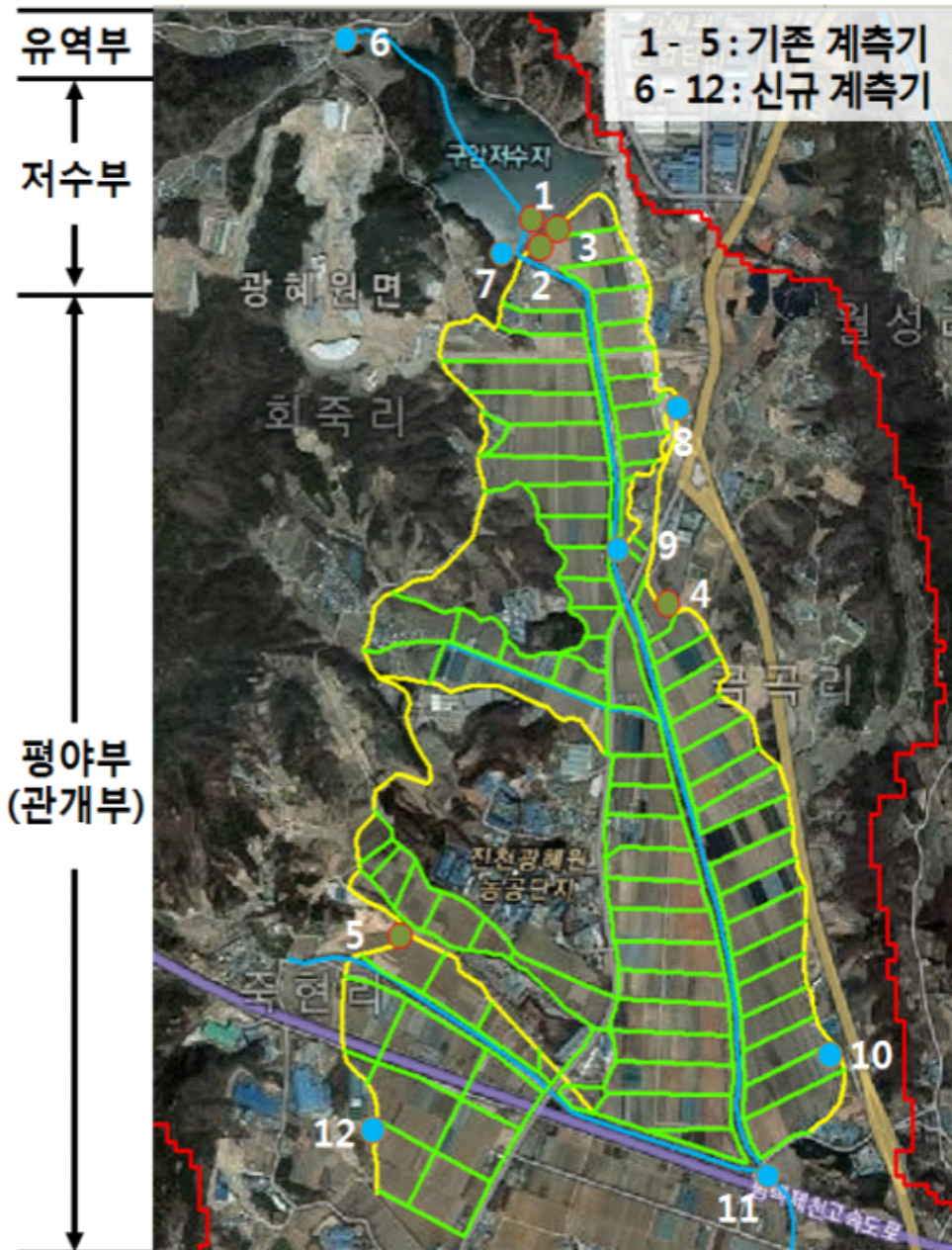
회죽간선 방수문을 지나 용수로를 통해 만디방수문으로 흐르는 구간으로 형상 및 위치는 다음과 같다.



<그림 4-43> 회죽간선 만디방수문

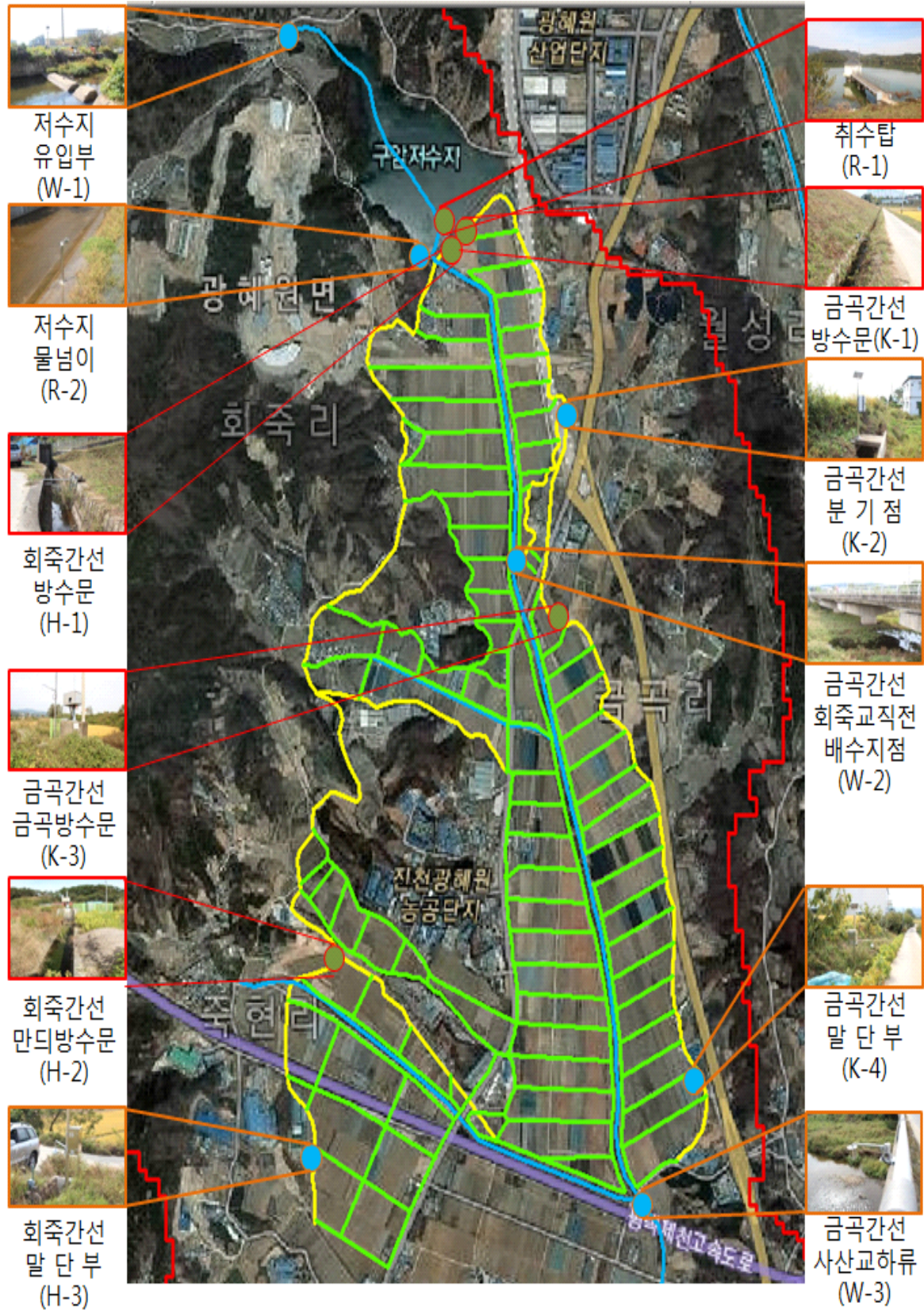
### 4.2.3 시범 계측장비 설치 현황

본 연구는 기존 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 수요/공급량의 정량화를 위하여 경제적 가치를 고려한 최적 수문계측망 구축기법을 개발하고자한다. 이에 대상지역의 물관리 현황의 단점을 보완하며 물이용 불확실성을 해소하고자 유역부, 저수부 및 평야부(관개부)에 걸쳐 수문 계측망을 구축 및 운영을 하였다.



<그림 4-44> Monitoring Network 구축

대상지구를 유역부, 저수부 및 평야부(관개부)로 나누어 기존 계측기에 의한 물관리 현황은 다음과 같다. 유역부는 무수저수지 내 유입부 계측 장비의 부재로 유입량 산정이 불가능 하며, 저수부는 회죽·금곡 간선 시점부 계측을 통해 용수 사용량을 파악 할 수 있으나 무효방류량은 정량화 하기에 어려움이 있는 것으로 나타난다. 평야부의 경우 금곡간선과 금곡 방수문에서 계측이 가능하지만 중간 분기점까지의 용수 사용량과 금곡간선 말단부의 방류량 파악은 불가능 하며 회죽 간선 또한 중간 분기점까지 용수 사용량과 말단부의 방류량 파악이 불가능 한 것으로 나타난다. 기존 계측기를 통해 정량적인 물수지 분석이 불가능한 것은 아니지만 정확성 및 신뢰도가 매우 떨어져 다음 그림과 같이 계측기를 추가하여 Monitoring Network 구축이 필요한 것으로 판단된다. 신규 계측기 선정 및 설치에 대한 내용을 유역부, 저수부, 평야부 순으로 구분하여 나타내면 다음 그림과 같다.



<그림 4-45> Monitoring Network 상세도

(표 4-12) 계측기 선정 및 설치

구분	지점	선 정	계측기 No.
유역부	저수지 유입부	- 저수지로 유입되는 유량 측정 - 저수지 중간 유입부가 존재하나 소규모로 측정이 무의미함	W-1 (신규)
저수부	취수탑	- 기설치	R-1 (기존)
	저수지 물넘이	- 무효방류량 측정 - 자유식 물넘이가 존재하므로 물넘이 상 · 하부차를 고려하여 측정	R-2 (신규)
	회죽간선 방수문	- 기설치	H-1 (기존)
	금곡간선 방수문	- 기설치	K-1 (기존)
평야부	회죽간선 만디방수문	- 기설치	H-2 (기존)
	회죽간선 말단부	- 회죽간선 말단부 최종 유출 측정	H-3 (신규)
	금곡간선 분기점	- 금곡간선 관개지구1로 유입후 분기되 어 금곡간선 관개지구2 유입되는 지점 - 금곡간선 관개지구2로의 유입 측정	K-2 (신규)
	금곡간선 금곡방수문	- 기설치	K-3 (기존)
	금곡간선 말단부	- 금곡간선 용수로 말단부 측정	K-4 (신규)
	금곡간선 회죽교 직전 배수지점	- 금곡간선 관개지역에서 하천으로 배수 되는 지점 - 회귀수량 산정을 위해 측정	W-2 (신규)
	사산교 하류	- 금곡간선 말단부 최종 유출 측정	W-3 (신규)

#### 4.2.4 계측 네트워크를 활용한 농업용수 이용현황 분석

대상지구에 설치되어 있는 계측 네트워크는 본 연구 이전에 설치 및 운영되었던 시설물로서 계측 네트워크를 활용한 농업용수 이용현황 분석은 과거의 계측 자료를 이용하여 저수지 유입량, 저수지 저수량, 조용수량 및 손실수량에 대한 현황을 분석하였다.

##### 가. 저수지 유입량 분석

HOMWRS에 의한 모의 유입량과 Monitoring Network 운영에 의한 계측 실측값을 비교·분석함으로써 기존 유입량 산정 방법의 불확실성을 고찰하고 Monitoring Network 구축의 필요성을 제시하고자 한다. 또한, 저수지 유입량 예측을 위한 기존의 연구를 분석함으로써 예측의 불확실성과 정확한 유입량 계측의 필요성을 고찰하고자 한다.

농업용 저수지는 관개시기에는 수혜구역 관개를 위하여 필요수량 이상의 저수량 확보가 필수적이며 홍수기에는 예비 방류를 통하여 홍수조절 기능을 수행한다. 저수지의 홍수조절용량 확보를 위한 방법으로는 현 저수지의 증고나 예비방류를 통한 추가적인 홍수조절 용량의 확보를 들 수 있다. 그러나, 저수지를 증고할 경우 보상비나 공사비가 소요되며, 담수되는 주변 환경의 파괴 등으로 환경단체의 반발 또한 예상된다. 따라서, 예비방류를 통해 추가적인 홍수조절용량확보가 가능하다면 환경 및 경제적 손실이 없는 유역의 홍수방어대안으로 효과적이다 (장 등, 2005).

그러나, 예비방류를 적절히 시행하면 비용적의 소요 없이 홍수조절용량을 추가로 확보할 수 있음에도 불구하고 실제로 예비방류를 시행하지 못하는 이유는 불확실한 강우예측에 근거하여 예비방류를 시행할 경우 이수용량의 손실이 발생할 위험 때문이다. 즉, 강우초기에 예비방류를 시행하여 홍수조절용량을 확보하였으나, 강우가 예측한 만큼 발생하지 않을 경우 유입량 부족으로 만수위를 확보하지 못할지 모른다는 부담 때문이다. 아울러, 예비방류 시행을 위해서는 예측강우를 이용한 저수지 유입량 예측이 필수적이지만 선행 토양함수 조건에 따라 저수지로 유입되는 홍수량은 상당한 차이가 있으며, 강우가 진행되면서 점차적으로 토양의 함수 조건과 홍수의 도달시간은 매시간 달라 질 수 있다. 따라서, 근본적인 불확실성은 예측강우에 있겠지만, 추가적으로 유입홍수량예측 또한 불확실성이 내재하고 있어 예비방류량의 결정이 어려운 게 현실이다.

장 등 (2005)은 홍수조절용 저수지의 예비방류 시행을 충분히 효과적으로 시행하고 강우 강우종료 후에도 충분한 이수용량이 확보되도록 실시간 강우자료를 이용한 저수지 유입량 예측 모형을 개발하였다. 사전예보(기상청 등)에 의한 총 예상 강우량과 선행강우량, 현재 저수지 수위를 입력 자료로 저수지 유입 총량과 수위변화량을 계산하여 홍수조절용 저수지의 초기수위 저하 및 하류 하도의 홍수방어를 사전에 대비할 수 있는 자료를 제시하였다. 홍수 유입량 예측 모형을 예당저수지에 적용한 결과, 1995년부터 1999년까지의 집중호우에 대하여 예측 정확도는 실측값과 비교하여 신뢰 수준에 있어 홍수 조절을 위한 예비 방류량을 결정하는데 매우 유용하게 사용이 가능하다. 하지만, 개발된 예측모형은 홍수유입량을 예측하는데 국한되어 있어 평상시 유입량 예측에는 사용이 불가능하다.

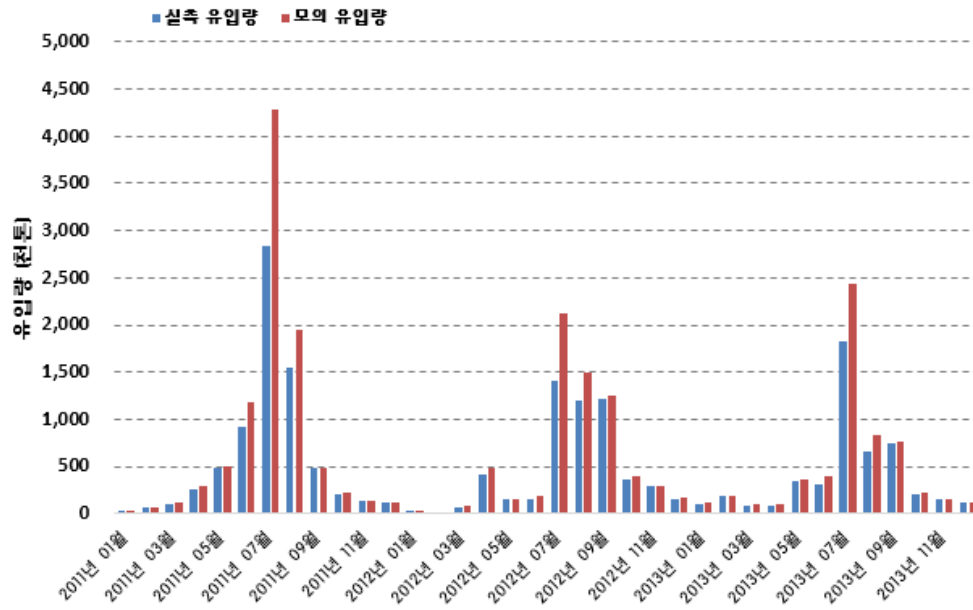
김 등 (2002)은 저수지 유입량 예측을 위한 신경망 모형의 특성 연구에서 신경망 모형을 이

용하여 시간별 유입량을 예측하고 신경망 모형의 적정 구조를 제시하였다. 신경망 모형에서 학습자료의 침투유량 규모보다 더 큰 유량이 예측된 경우에는 과소평가의 가능성이 있으므로 학습자료의 침투유량보다 클 경우에는 과소평가를 고려해야만 한다. 또한, 학습 자료의 개수가 작을 경우에는 예측의 정확도가 현저하게 저하되는 우려가 있어 방대한 양의 자료 수집을 필요로 하는 문제점이 야기된다.

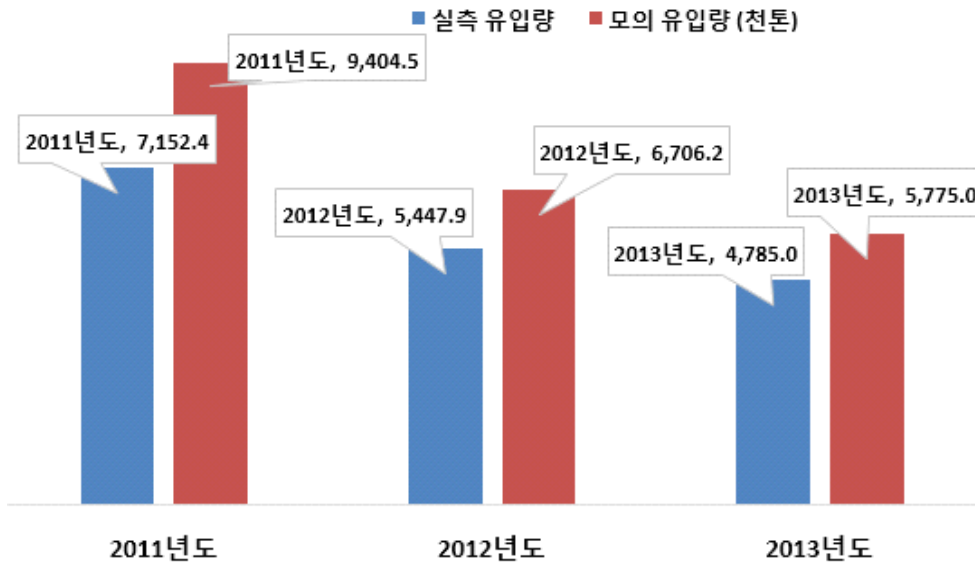
저수지 유입량 예측을 위한 선행 연구를 살펴본 결과, 예측 모형의 매개변수의 불확실성 혹은 확률 분석에 의한 불확실성 등이 내재되어 있으며 국한된 지역에서 개발되어 범용적인 적용의 한계점 등이 나타나고 있는 바, 저수지 운영을 위한 필수 자료인 저수지 유입량 계측을 위한 사업이 시급한 실정이다.

저수지 유입량 산정은 탱크 모형을 기반으로 모의하고 있는데, 농업용 저수지 설계에 적용하기 위해 소유역에 적합하도록 매개변수가 보정되어 있다. 따라서, 1만 ha 이상의 유역인 경우에는 소유역으로 분할하여 각각의 유입량을 산정하여야 하며 소유역 분할 개수는 3개로 제한되어 있다. 모의 유입량과 Monitoring Network 운영에 의한 계측 유입량과 비교함으로써 모의 유입량의 불확실성을 고찰하고 유입량 정량화를 위한 계측의 필요성을 제시하고자 한다.





(a) 월별 유입량



(b) 년도별 유입량

<그림 4-46> 모의 및 실측 유입량 비교

(표 4-13) 월별 유입량 비교 (천톤)

월	실측 유입량 ①	모의 유입량 ②	유입량 편차 ① - ②	비율 (%) (①-②)/①×100
2011년 01월	26.8	29.8	-3.0	-11.1
2011년 02월	66.2	69.7	-3.5	-5.3
2011년 03월	92.7	115.9	-23.2	-25.0
2011년 04월	257.0	298.8	-41.8	-16.3
2011년 05월	477.1	502.2	-25.1	-5.3
2011년 06월	923.7	1,184.2	-260.5	-28.2
2011년 07월	2,830.1	4,288.1	-1,458.0	-51.5
2011년 08월	1,555.3	1,944.1	-388.8	-25.0
2011년 09월	476.7	491.4	-14.7	-3.1
2011년 10월	198.7	220.8	-22.1	-11.1
2011년 11월	133.7	136.4	-2.7	-2.0
2011년 12월	114.5	123.1	-8.6	-7.5
2012년 01월	29.3	32.5	-3.3	-11.1
2012년 02월	13.0	13.7	-0.7	-5.3
2012년 03월	71.4	89.2	-17.8	-25.0
2012년 04월	412.4	479.5	-67.1	-16.3
2012년 05월	145.5	153.2	-7.7	-5.3
2012년 06월	152.3	195.3	-43.0	-28.2
2012년 07월	1,404.9	2,128.7	-723.8	-51.5
2012년 08월	1,197.0	1,496.3	-299.3	-25.0
2012년 09월	1,215.3	1,252.9	-37.6	-3.1
2012년 10월	363.9	404.3	-40.4	-11.1
2012년 11월	283.8	289.6	-5.8	-2.0
2012년 12월	159.0	171.0	-12.0	-7.5
2013년 01월	100.8	112.0	-11.2	-11.1
2013년 02월	180.5	190.0	-9.5	-5.3
2013년 03월	79.6	99.5	-19.9	-25.0
2013년 04월	87.5	101.7	-14.2	-16.3
2013년 05월	335.7	353.4	-17.7	-5.3
2013년 06월	304.7	390.7	-86.0	-28.2
2013년 07월	1,827.4	2,436.5	-609.1	-33.3
2013년 08월	660.7	825.9	-165.2	-25.0
2013년 09월	747.0	770.1	-23.1	-3.1
2013년 10월	203.2	225.8	-22.6	-11.1
2013년 11월	144.0	146.9	-2.9	-2.0
2013년 12월	113.9	122.5	-8.6	-7.5

(표 4-14) 년도별 유입량 비교 (천톤)

년 도	실측 유입량 ①	모의 유입량 ②	유입량 편차 ① - ②	비 율 (%) (①-②)/①×100
2011년도	7,152.4	9,404.5	-2,252.1	-31.5
2012년도	5,447.9	6,706.2	-1,258.3	-23.1
2013년도	4,785.0	5,775.0	-990.0	-20.7
합 계	17,385.4	21,885.7	-4,500.3	-25.9

모의 및 실측 유입량을 비교한 결과, 모의 유입량이 2011년도에는 약 32%, 2012년도에는 약 23%, 2013년도에는 약 21%로 실측 유입량보다 과다 산정되었으며, 전체 모의 기간에 걸쳐 평균 26% 가량 많이 산정되어 있다.

실측치에 비하여 모의치가 과다 산정되는 원인은 HOMWRS에서 유입량 산정에 사용되는 DIROM 모형의 매개변수가 우리나라 농업용 저수지 소유역에 범용적으로 적용할 수 있도록 보정되어 있어, 특정 지역의 지형 및 수문 특성을 고려하지 못하는 것으로 사료된다. 즉, 3단 탱크 모형에서 각 탱크의 물꼬 높이, 침투 계수 등의 매개변수가 소유역의 토지피복 비율 즉, 유역내의 논, 밭, 산림 등의 면적 비율에 의해 자동으로 보정되므로 지형의 경사, 토양 특성, 강우 발생 형태 등 지역적인 특성을 고려하지 못하기 때문이다.

이와 같이 전형적인 유입량 산정방법에서는 모형의 매개변수 불확실성으로 인하여 모의에 의한 유입량이 실측치에 비하여 과다 산정되고 있으며, 특히 10월부터 다음해 3월까지의 비관 개시기 보다는 4월부터 9월까지의 관개시기에 큰 차이를 보이고 있어 필요수량에 적합한 관개 용수량을 산정하고 효율적인 저수지 운영을 위해서는 유입량 실측을 위한 Monitoring Network 구축의 필요성이 시급한 실정이다.

## 나. 저수지 저수량

Monitoring Network 운영에 의한 저수지 저수량의 정량화를 고찰하기 위하여 물수지 분석을 위한 계측자료 없이 HOMWRS 모형을 이용한 대상지구의 기존 저수량 추정값과 계측 유입량, 공급량, 무효방류량을 이용하여 물수지 분석에 의하여 산정된 저수량 값과 비교함으로써 저수지 저수량의 정량화 효과에 대한 Monitoring Network 운영의 효율성을 분석하고자 한다. 또한, 기존의 저수량 추정 연구를 분석함으로써 정량적인 계측 없이 저수량을 추정하는 방법에 대한 불확실성을 고찰하고자 한다.

장 등 (2011)은 저수지 저수량 추정을 위하여 위성 SAR 자료의 활용성을 연구하였는데, 광범위한 지역을 촬영한 위성영상을 이용하여 저수면적으로 추출하고 저수량을 추정하는 기술이 있다면 현장 실측을 대체하거나 적어도 보완할 수 있는 대안이 될 것이다. 또한 저수위별 수표면적 자료를 축적함으로써 저수지별 수위-내용적 관계를 갱신할 수 있는 기회를 만들 수도 있다. 그러나 기상과 이수에 따라 변화하는 저수량에 대응하는 위성영상을 광학영상에만 의존하여 확보하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 전천후 센서인 SAR 위성영상을 이용하여 정기적인 저수지 모니터링을 함으로써 저수지 운영의 시급성도 만족하고 장기적으로 저수지 내용적의 변화를 현장실측이 없이도 어느 정도 추정할 수 있을 것이다.

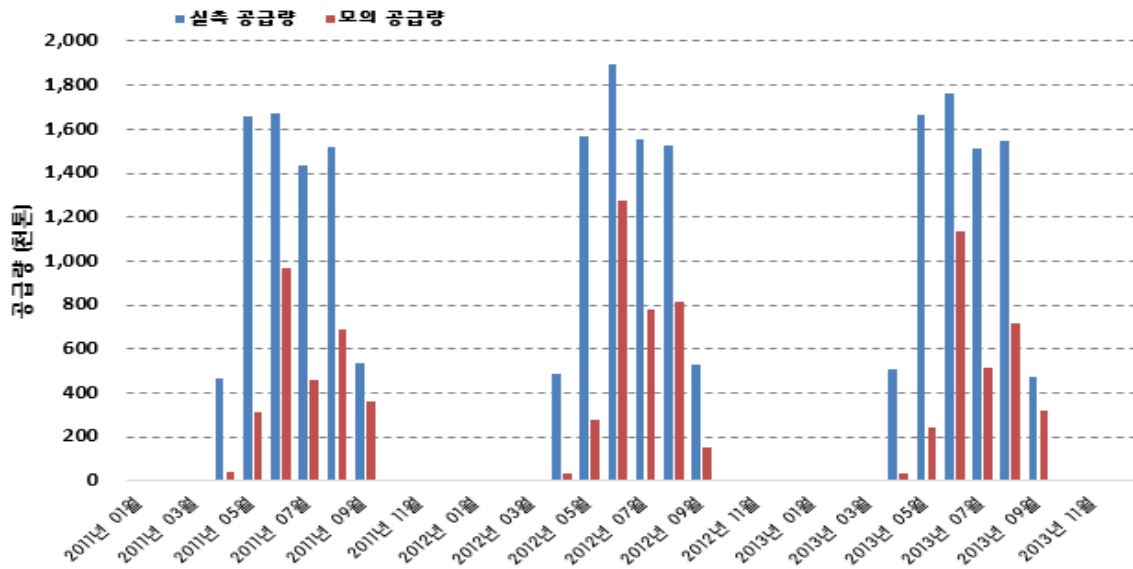
RADARSAT-1 SAR 영상을 충남지역의 예당저수지와 궁평저수지에 시험 적용하여 시기별 저수면적과 저수량의 변화를 추정하고 관측자료와 비교함으로써 저수지 관측을 위한 SAR 영상 활용성을 검토한 결과, SAR 위성영상으로 추정된 저수율과 관측 저수율과 비교적 높은 상관관계를 나타내었지만 저수지 운영에 적용하기 위해서는 실시간 자료의 획득이 어려우며 신뢰성 있는 저수위-내용적 곡선이 확보되어야 한다는 단점을 내포하고 있다.

안 등 (2007)은 기상인자가 농업용 저수지 저수량에 미치는 영향을 연구하였는데, 안성천 유역내 금광 및 고삼저수지를 대상으로 기상자료를 이용하여 상관분석을 실시하고 상관성이 있는 기상인자를 추출하였다. 기상인자 중 강수 인자가 가장 큰 영향을 미치고 있으며 관계기에 46~56%로 높은 기여율을 나타내었고, 비관개시기에는 21~38%로 저수율의 변화를 잘 설명하지 못하였다. 이는 관계기에 강수량에 의한 유입량 변화가 저수량에 영향을 미치고 있으며, 이 연구에 의하여 관계기에 정확한 유입량의 계측이 저수량 추정에 중요함을 역설할 수 있다.

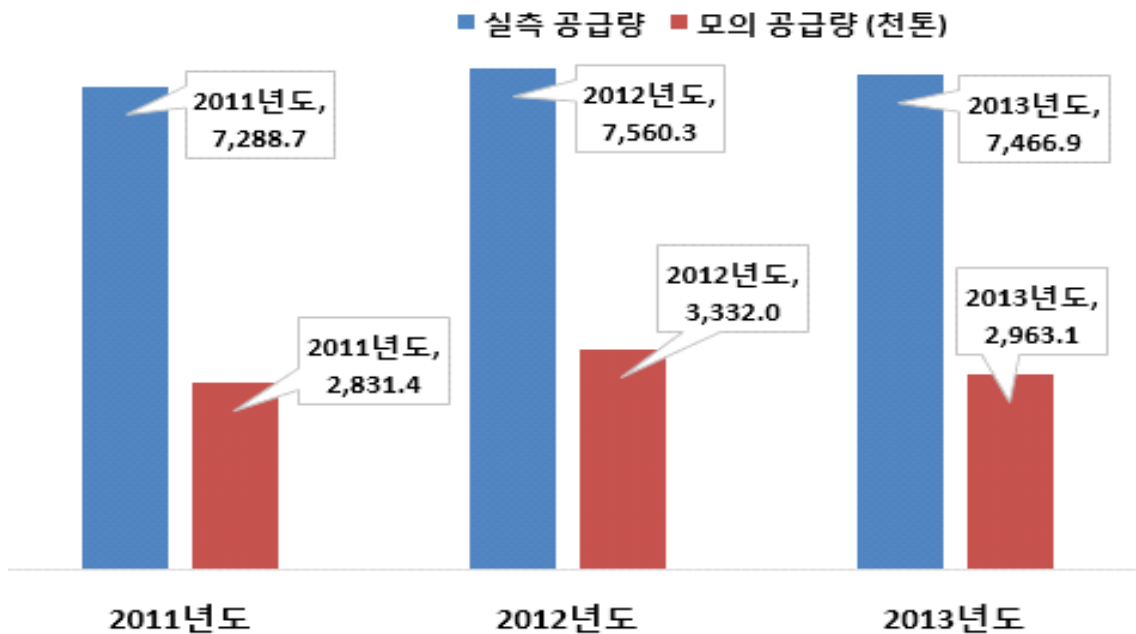
안 등 (2004)은 기존 농업용 저수지에서 유효저수량을 평가하였는데, 농업용 저수지의 유효저수량은 물수지 분석을 근거로 한 저수지 모의 운영을 통하여 결정되고 있는 바, 유역은 유출량에 관하여 고유한 특성을 가지고 있으므로 저수지에서 유효저수량의 결정은 유역으로부터의 유출량을 근거로 하는 것이 타당하다고 제언하였다. 따라서, 유역의 유출량을 근거로 한 추계학적 선형계획모형을 정립하고 저수지의 유효저수량을 분석하였다. 농업용 저수지의 유효저수량 결정시 본 연구에서 제시된 선형계획모형을 적용하여, 우선 유역으로부터의 유출량 및 최소방류량에 의한 적정한 유효저수량을 결정하고, 저수지 모의운영을 통하여 결정된 유효저수량의 성능을 평가하는 것이 타당하다고 언급하였다. 또한, 유역의 유출량은 직접관측을 통한 검정이 이루어 질 때, 보다 더 타당한 저수지의 유효저수량을 설정할 수 있다고 제언하고 있다. 이러한 연구로 미루어 볼 때, 유역으로부터의 유입량 계측이 매우 중요하며 Monitoring Network 구축의 필요성을 역설하고 있다.

이러한 연구에서 알 수 있듯이 농업용 저수지의 정확한 저수량 추정은 저수지 운영에 매우 중요한 요소이며, 정확한 저수량을 산정하기 위해서는 저수지 유입량, 관개를 위한 공급량, 무

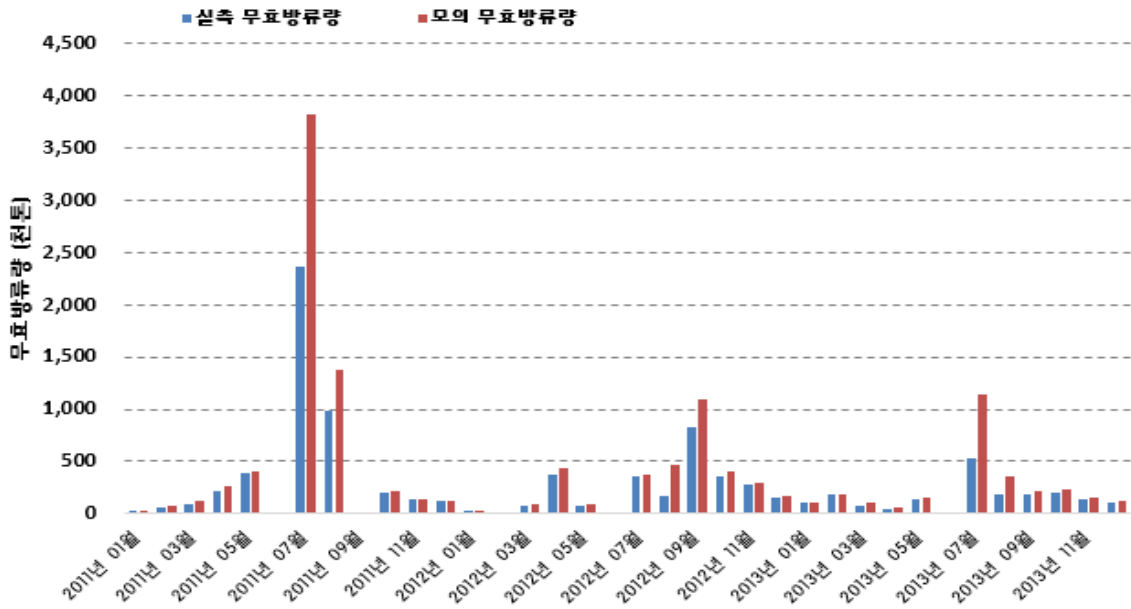
효방류량의 계측이 필요함을 언급하고 있다. 모의에 의한 저수량과 실측 유입량, 공급량, 무효 방류량을 이용하여 산정된 저수량을 비교·분석하여 Monitoring Network 구축의 필요성을 고찰하고자 한다.



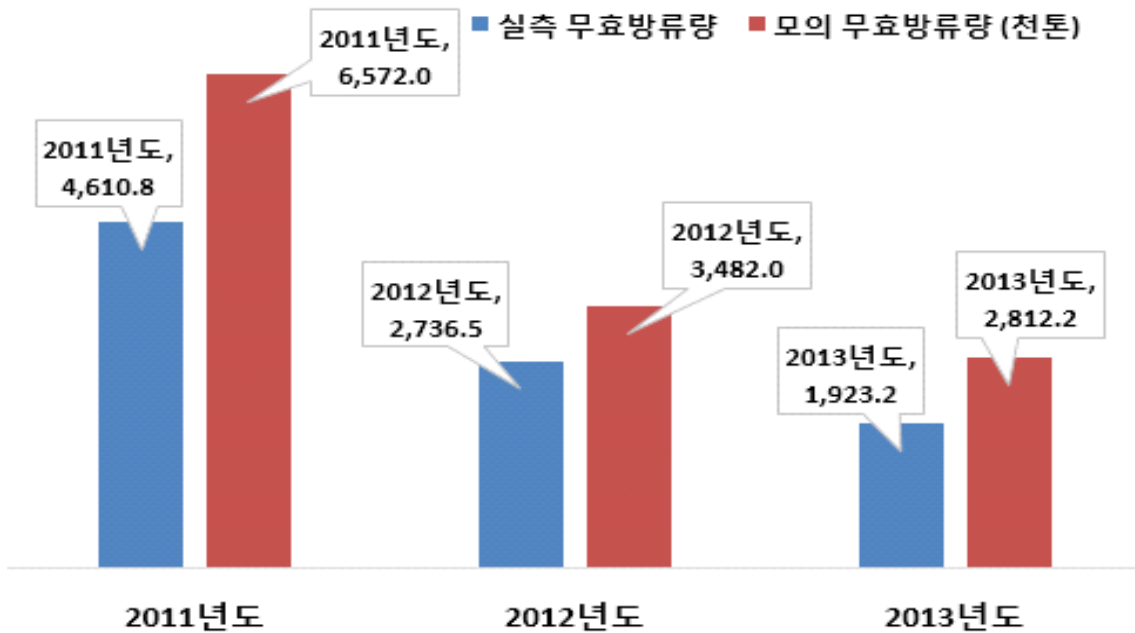
<그림 4-47> 월별 모의 및 실측 공급량 비교



<그림 4-48> 년도별 모의 및 실측 공급량 비교



<그림 4-49> 월별 모의 및 실측 무효방류량 비교



<그림 4-50> 년도별 모의 및 실측 무효방류량 비교

(표 4-15) 월별 공급량 비교 (천톤)

월	실측 공급량 ①	모의 공급량 ②	공급량 편차 ① - ②	비율 ① / ②
2011년 01월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 02월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 03월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 04월	467.8	38.1	429.7	12.3
2011년 05월	1,658.0	312.6	1,345.4	5.3
2011년 06월	1,674.0	968.5	705.5	1.7
2011년 07월	1,434.4	460.6	973.8	3.1
2011년 08월	1,516.7	692.0	824.7	2.2
2011년 09월	537.9	359.6	178.3	1.5
2011년 10월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 11월	0.0	0.0	0.0	-
2011년 12월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 01월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 02월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 03월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 04월	486.7	36.7	450.0	13.3
2012년 05월	1,567.9	275.4	1,292.5	5.7
2012년 06월	1,898.3	1,272.1	626.2	1.5
2012년 07월	1,552.9	780.0	772.9	2.0
2012년 08월	1,522.6	813.7	708.9	1.9
2012년 09월	531.8	154.1	377.7	3.5
2012년 10월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 11월	0.0	0.0	0.0	-
2012년 12월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 01월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 02월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 03월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 04월	507.5	36.7	470.8	13.8
2013년 05월	1,665.3	245.2	1,420.1	6.8
2013년 06월	1,763.0	1,134.0	629.0	1.6
2013년 07월	1,512.4	514.3	998.1	2.9
2013년 08월	1,546.8	714.3	832.5	2.2
2013년 09월	471.9	318.6	153.3	1.5
2013년 10월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 11월	0.0	0.0	0.0	-
2013년 12월	0.0	0.0	0.0	-

(표 4-16) 월별 무효방류량 비교 (천톤)

월	실측 무효방류량 ①	모의 무효방류량 ②	무효방류량 편차 ① - ②	비율 (%) (①-②)/②×100
2011년 01월	26.8	29.8	-3.0	-10.0
2011년 02월	65.5	69.0	-3.5	-5.1
2011년 03월	92.7	115.9	-23.2	-20.0
2011년 04월	218.9	260.7	-41.8	-16.0
2011년 05월	383.7	408.8	-25.1	-6.1
2011년 06월	14.0	0.0	14.0	-
2011년 07월	2,365.7	3,823.7	-1,458.0	-38.1
2011년 08월	989.6	1,378.4	-388.8	-28.2
2011년 09월	7.0	5.4	1.6	29.6
2011년 10월	198.7	220.8	-22.1	-10.0
2011년 11월	133.7	136.4	-2.7	-2.0
2011년 12월	114.5	123.1	-8.6	-7.0
2012년 01월	29.3	32.5	-3.3	-10.0
2012년 02월	13.0	13.7	-0.7	-5.0
2012년 03월	71.3	89.1	-17.8	-20.0
2012년 04월	375.9	443.0	-67.1	-15.2
2012년 05월	77.7	85.4	-7.7	-9.0
2012년 06월	3.0	0.0	3.0	-
2012년 07월	350.0	380.7	-30.7	-8.1
2012년 08월	174.6	473.9	-299.3	-63.1
2012년 09월	835.0	1,098.8	-263.8	-24.0
2012년 10월	363.9	404.3	-40.4	-10.0
2012년 11월	283.8	289.6	-5.8	-2.0
2012년 12월	159.0	171.0	-12.0	-7.0
2013년 01월	100.8	112.0	-11.2	-10.0
2013년 02월	180.5	190.0	-9.5	-5.0
2013년 03월	79.6	99.5	-19.9	-20.0
2013년 04월	51.0	65.2	-14.2	-21.8
2013년 05월	130.8	148.5	-17.7	-11.9
2013년 06월	15.0	0.0	15.0	-
2013년 07월	529.3	1,138.4	-609.1	-53.5
2013년 08월	188.0	353.2	-165.2	-46.8
2013년 09월	187.1	210.2	-23.1	-11.0
2013년 10월	203.2	225.8	-22.6	-10.0
2013년 11월	144.0	146.9	-2.9	-2.0
2013년 12월	113.9	122.5	-8.6	-7.0



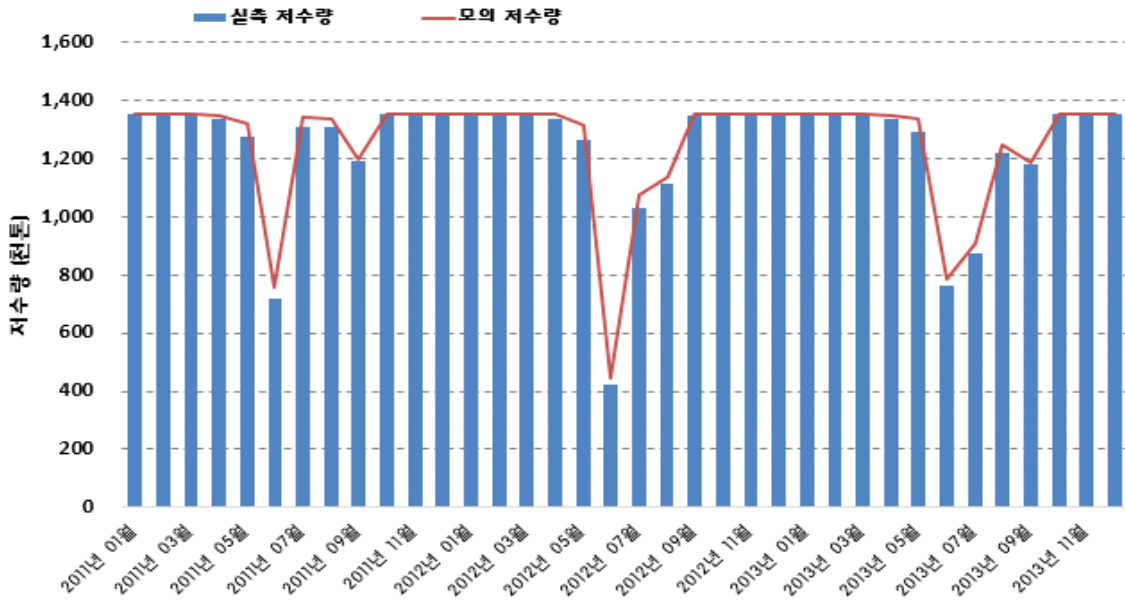
(표 4-17) 년도별 공급량 비교 (천톤)

년 도	실측 공급량 ①	모의 공급량 ②	공급량 편차 ① - ②	비 율 (%) ① / ②
2011년도	7,288.7	2,831.4	4,457.3	2.6
2012년도	7,560.3	3,332.0	4,228.3	2.3
2013년도	7,466.9	2,963.1	4,503.8	2.5
합 계	22,316.0	9,126.5	13,189.5	2.4

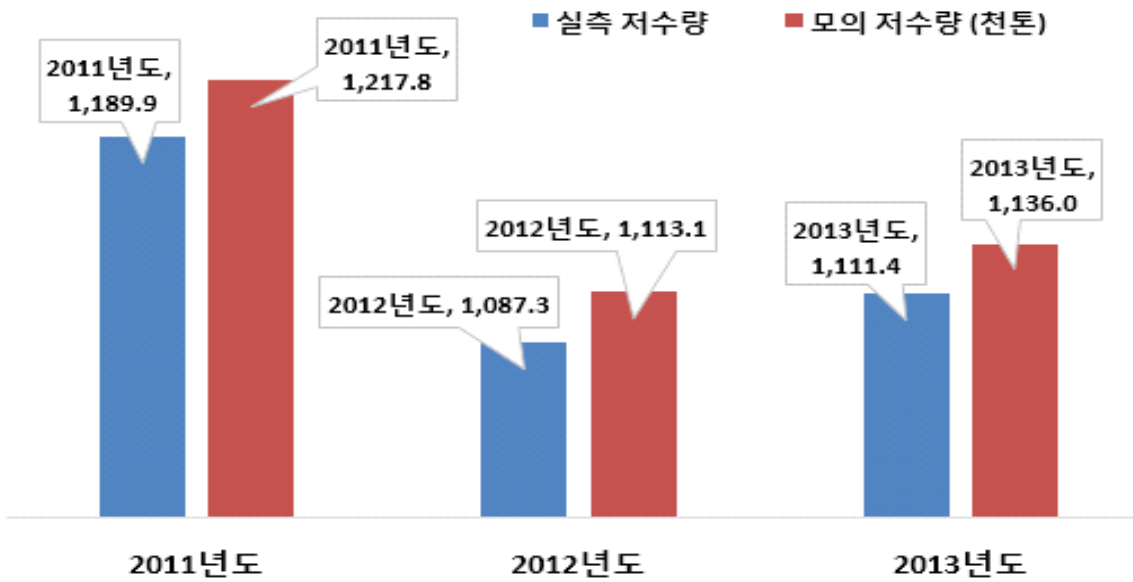
(표 4-18) 년도별 무효방류량 비교 (천톤)

년 도	실측 무효방류량 ①	모의 무효방류량 ②	무효방류량 편차 ① - ②	비 율 (%) (①-②)/②×100
2011년도	4,610.8	6,572.0	-1,961.2	-29.8
2012년도	2,736.5	3,482.0	-745.5	-21.4
2013년도	1,923.2	2,812.2	-889.0	-31.6
합 계	9,270.5	12,866.2	-3,595.7	-27.9

전체 모의기간 동안 모의 공급량은 실측 공급량에 비하여 과소 산정되고, 모의 무효방류량은 실측 무효방류량에 비하여 다소 많이 산정되는 경향을 나타내고 있다. 실측 공급량이 모의 공급량보다 평균 2.4배 많이 실측되었는데, 이는 정확한 실측 없이 총 관리손실 및 하천 유지유량을 고려한 관행적인 물공급 형태가 과잉공급의 원인으로 사료된다. 실측 무효방류량은 모의 무효방류량 보다 평균 28% 가량 적게 실측되었는데, 이는 관행적인 과잉 물공급 형태가 저수량의 감소를 초래한 것으로 판단된다.



<그림 4-51> 월별 모의 및 실측 저수량 비교



<그림 4-52> 년도별 모의 및 실측 저수량 비교 (4월 ~ 9월)

(표 4-19) 월별 저수량 비교 (천톤)

월	실측 저수량 ①	모의 저수량 ②	저수량 편차 ① - ②	비율 (%) (①-②)/②×100
2011년 01월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2011년 02월	1,351.4	1,354.1	-2.7	-0.2
2011년 03월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2011년 04월	1,336.6	1,351.5	-15.0	-1.1
2011년 05월	1,278.2	1,320.1	-41.8	-3.2
2011년 06월	716.9	757.0	-40.1	-5.3
2011년 07월	1,307.8	1,344.2	-36.4	-2.7
2011년 08월	1,307.2	1,334.9	-27.7	-2.1
2011년 09월	1,192.7	1,198.9	-6.3	-0.5
2011년 10월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2011년 11월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2011년 12월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 01월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 02월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 03월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 04월	1,337.6	1,353.2	-15.7	-1.2
2012년 05월	1,267.2	1,313.5	-46.3	-3.5
2012년 06월	424.2	442.1	-17.9	-4.0
2012년 07월	1,030.1	1,077.6	-47.5	-4.4
2012년 08월	1,113.5	1,137.9	-24.4	-2.1
2012년 09월	1,351.0	1,354.1	-3.1	-0.2
2012년 10월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 11월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2012년 12월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 01월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 02월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 03월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 04월	1,336.8	1,351.2	-14.4	-1.1
2013년 05월	1,291.9	1,339.0	-47.1	-3.5
2013년 06월	764.8	786.1	-21.4	-2.7
2013년 07월	875.2	905.8	-30.7	-3.4
2013년 08월	1,220.2	1,247.0	-26.7	-2.1
2013년 09월	1,179.8	1,187.1	-7.3	-0.6
2013년 10월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 11월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2
2013년 12월	1,351.4	1,354.2	-2.8	-0.2

(표 4-20) 년도별 저수량 비교 (4 ~ 9월) (천톤)

년 도	실측 저수량 ①	모의 저수량 ②	저수량 편차 ① - ②	비 율 (%) (①-②)/②×100
2011년도	1,189.9	1,217.8	-27.9	-2.3
2012년도	1,087.3	1,113.1	-25.8	-2.3
2013년도	1,111.4	1,136.0	-24.6	-2.2
평 균	1,129.5	1,155.6	-26.1	-2.3

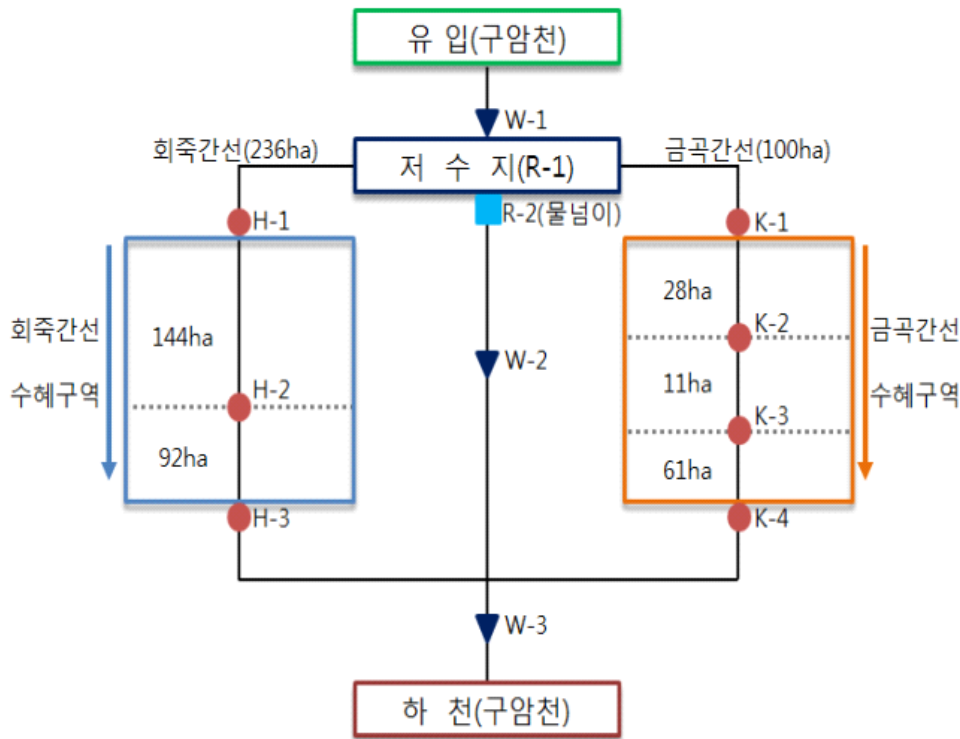
전체 모의기간에 걸쳐 비관개기에는 실측 저수량과 모의 저수량의 편차가 1% 이하로 미세한 차이를 보이고 있으며 4월부터 9월까지의 관개기에서는 실측 저수량이 모의 저수량보다 평균 2.3% 적게 실측되어 약 4만톤 이상의 차이를 보이고 있다.

모의 저수량이 실측값을 이용하여 산정된 저수량보다 다소 많게 추정되는 원인은, 저수지 물수지 분석의 가장 중요한 요소인 저수지 유입량, 관개용수량, 무효방류량의 추정 값이 실측값과 상이하게 모의되기 때문이다. 즉, 유역으로부터의 유입량이 Monitoring Network 운영으로 계측된 유입량보다 과다 산정되고, 관개용수량은 수혜지역의 필요수량과 동일한 값으로 산정되기 때문에 실제 관개용수량보다 과소 산정되기 때문에 모의 저수량이 과다 산정되고 있다. 특히, 비관개시기 보다 관개시기에 더욱 과다 산정되는 경향을 보이고 있어 효율적인 저수지 운영을 위해서는 Monitoring Network의 구축의 시급함을 확인하였다.

#### 다. 조용수량 및 손실수량 산정

대상지구의 Monitoring Network 운영에 의한 용수절감효과 분석을 위하여 관개지구 내의 실제 용수이용량인 조용수량 및 손실수량을 산정하였다. Monitoring Network 운영 이전에는 전형적인 물공급 이외에 관개지구 내에서의 용수이용량이나 하천으로 회귀되는 수량의 파악이 불가능 하였다. 본 연구에서는 Monitoring Network 운영을 통하여 관개지구 내에서의 조용수량 및 손실수량을 산정하고, 이를 이용하여 용수절감효과를 분석하고자 한다.

HOMWRS 모형에 의한 대상지구의 전형적인 관개용수량 산정은 실제 물공급 형태를 고려하지 못하여 신뢰성 있는 관개용수량 산정이 불가능 하였다. 하지만, Monitoring Network를 운영함으로써 유역으로부터 저수지로의 유입량, 공급량, 관개수로 유입부 및 중간부, 말단부의 유량을 측정함으로써 조용수량 및 손실수량의 산정이 가능하다. 다음 그림은 대상지구의 Monitoring Network 구축 모식도 이다.



<그림 4-53> Monitoring Network 구축 모식도

관개지구 내에서 실제로 소비되는 조용수량은 작물의 소비수량인 순용수량과 손실수량의 합을 의미하는데, 각 간선의 유입부 공급량에서 말단부 유량을 감하여 산정이 가능하고, 손실수량은 산정된 조용수량에서 순용수량을 감하여 산정할 수 있다. 여기서 작물이 소비하는 순용수량은 현실적으로 실측이 불가능하므로 모의에 의한 필요수량을 순용수량으로 사용하였다. 다음 표는 Monitoring Network 실측값을 이용한 수혜구역별 조용수량을 산정한 것이며 표 4-22는 조용수량에서 순용수량을 감한 손실수량을 산정한 것이다.

(표 4-21) 수혜구역별 조용수량 산정(천톤)

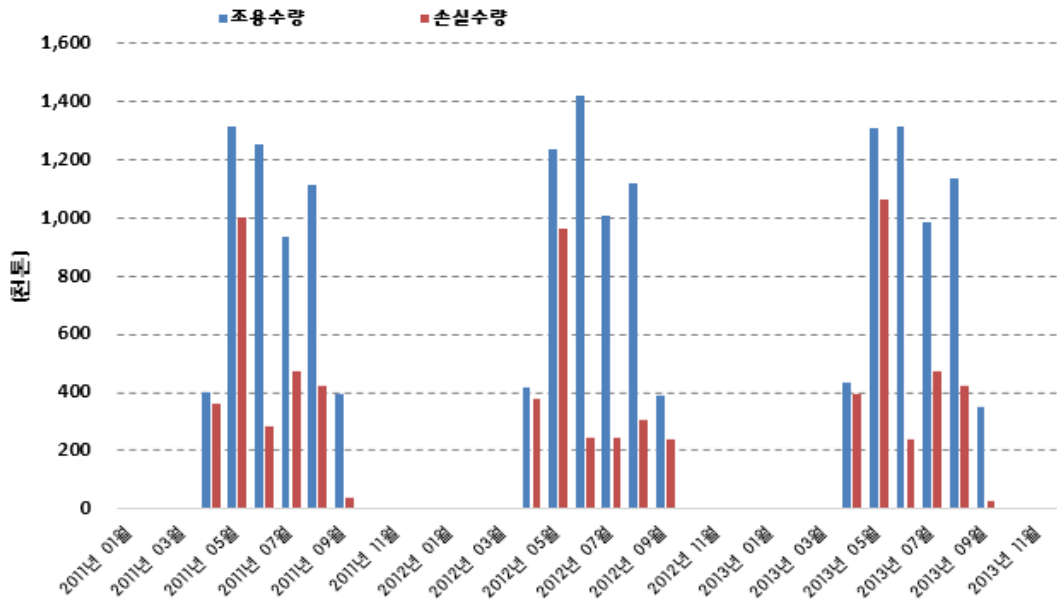
월	금곡 간선			회죽 간선		
	유입부 (K1)	말단부 (K4)	조용수량 (K1-K4)	유입부 (H1)	말단부 (H3)	조용수량 (H1-H3)
2011년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 04월	145.0	25.6	119.4	338.3	59.2	279.2
2011년 05월	547.4	167.1	380.3	1,169.2	231.6	937.7
2011년 06월	528.4	140.7	387.7	1,202.1	336.4	865.7
2011년 07월	444.6	161.5	283.1	1,037.4	385.5	651.8
2011년 08월	479.2	134.2	345.0	1,088.7	320.3	768.5
2011년 09월	219.1	64.1	155.0	342.2	101.0	241.2
2011년 10월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 11월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011년 12월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 04월	148.1	26.1	121.9	354.4	61.9	292.5
2012년 05월	528.1	170.7	357.4	1,096.3	216.5	879.8
2012년 06월	573.1	152.2	420.9	1,386.6	387.3	999.2
2012년 07월	475.3	172.7	302.5	1,128.5	421.0	707.5
2012년 08월	489.4	136.7	352.7	1,085.6	319.6	766.0
2012년 09월	217.9	63.8	154.0	337.3	99.4	237.8
2012년 10월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 11월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012년 12월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 01월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 02월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 03월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 04월	147.8	26.2	121.6	375.5	65.9	309.7
2013년 05월	559.1	180.7	378.4	1,166.0	236.4	929.6
2013년 06월	548.1	146.3	401.7	1,273.6	357.9	915.7
2013년 07월	468.1	170.1	298.0	1,094.3	407.4	686.9
2013년 08월	489.5	136.8	352.7	1,109.7	325.7	784.0
2013년 09월	193.2	56.4	136.8	299.3	88.2	211.1
2013년 10월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 11월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013년 12월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(표 4-22) 수혜구역별 손실수량 산정

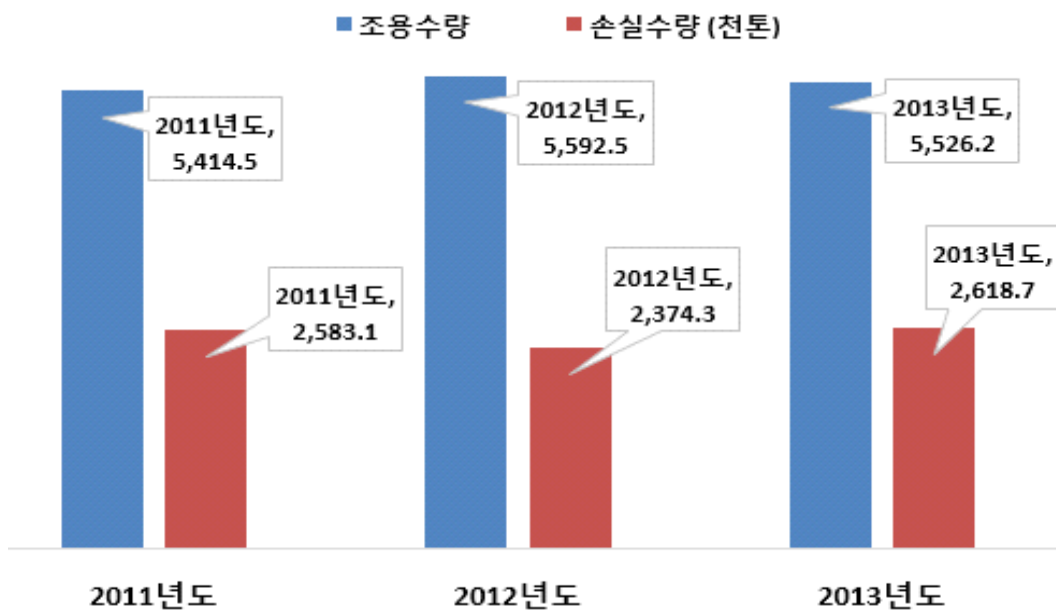
월	금곡 간선			회죽 간선		
	조용수량	손실수량	손실율 (%)	조용수량	손실수량	손실율 (%)
2011년 01월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 02월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 03월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 04월	119.4	104.2	87.2	279.2	256.3	91.8
2011년 05월	380.3	255.2	67.1	937.7	750.1	80.0
2011년 06월	387.7	0.3	0.1	865.7	284.6	32.9
2011년 07월	283.1	98.8	34.9	651.8	375.5	57.6
2011년 08월	345.0	68.2	19.8	768.5	353.3	46.0
2011년 09월	155.0	11.1	7.2	241.2	25.4	10.5
2011년 10월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 11월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2011년 12월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 01월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 02월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 03월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 04월	121.9	107.3	88.0	292.5	270.5	92.5
2012년 05월	357.4	247.3	69.2	879.8	714.6	81.2
2012년 06월	420.9	10.9	2.6	999.2	236.0	23.6
2012년 07월	302.5	5.5	1.8	707.5	239.5	33.8
2012년 08월	352.7	27.2	7.7	766.0	277.8	36.3
2012년 09월	154.0	92.4	60.0	237.8	145.4	61.1
2012년 10월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 11월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2012년 12월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 01월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 02월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 03월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 04월	121.6	106.9	87.9	309.7	287.6	92.9
2013년 05월	378.4	280.3	74.1	929.6	782.5	84.2
2013년 06월	401.7	3.7	0.9	915.7	235.3	25.7
2013년 07월	298.0	92.3	31.0	686.9	378.3	55.1
2013년 08월	352.7	67.0	19.0	784.0	355.4	45.3
2013년 09월	136.8	9.4	6.8	211.1	19.9	9.5
2013년 10월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 11월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
2013년 12월	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-

(표 4-23) 년도별 조용수량 및 손실수량(천톤)

년 도	조용수량	손실수량	손실율 (%)
2011년도	5,414.5	2,583.1	47.7
2012년도	5,592.5	2,374.3	42.5
2013년도	5,526.2	2,618.7	47.4
평 균	5,511.1	2,525.4	45.8



<그림 4-54> 월별 조용수량 및 손실수량



<그림 4-55> 년도별 조용수량 및 손실수량

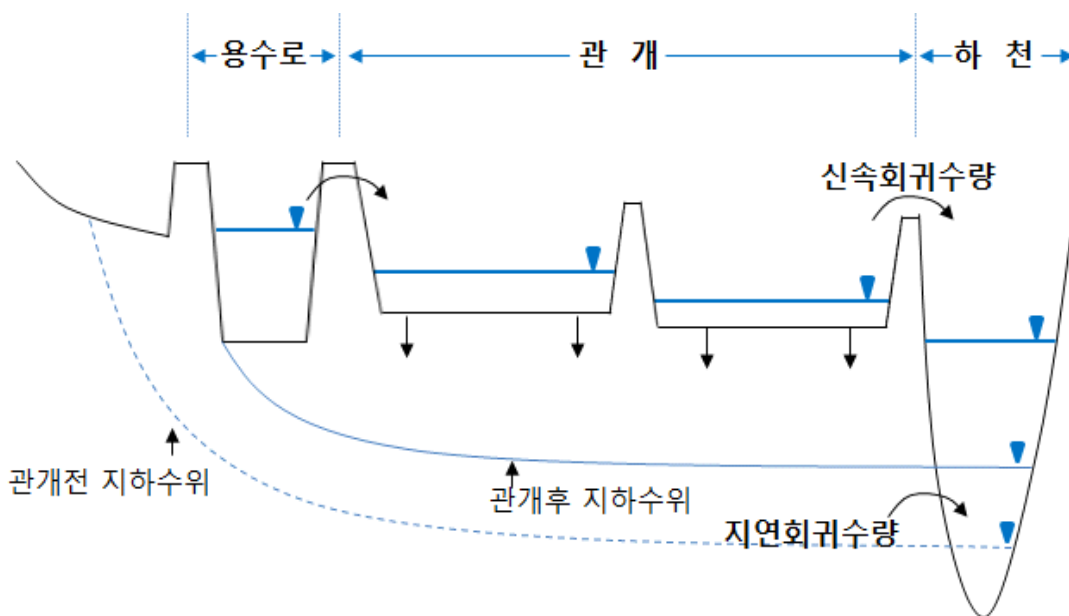


Monitoring Network 운영을 통하여 실측된 공급량, 관개수로 유입부 및 말단부 유량을 이용하여 대상지구의 조용수량 및 손실수량을 산정한 결과, 조용수량은 공급량의 약 73%로 산정되었고 손실율은 평균 46%로 나타났다. 2011년도에는 조용수량 5백41만톤, 손실수량 2백58만톤으로 산정되었고, 2012년도에는 조용수량 5백59만톤, 손실수량 2백37만톤, 2013년도에는 조용수량 5백53만톤, 손실수량 2백62만톤으로 평균 조용수량은 5백51만톤, 손실수량은 2백53만톤으로 산정되었다.

농업생산기반설계기준 (농림부, 2002)에 의하면 관개수로의 손실을 약 15%, 관리손실율을 약 11%로 적용하여 용수손실율을 26% 정도로 추정하고 있는데, 대상지구의 손실율은 46%로 설계 기준보다 20% 이상 높게 산정되었다. 이러한 이유는 대상지구의 각 간선 중간부에 하천으로 방류하기 위한 방수문이 있는데, 과잉 공급이 될 경우 공급량을 조절하지 않고 방수문을 개방하여 하천으로 방류하고 있어 관리손실율이 설계기준보다 높은 것으로 판단된다.

### 나. 회귀수량 산정

회귀수량은 강우가 없고 물관리가 안정된 시기의 지표배수량만을 혹은 지표배수량과 심층침투량의 합 등으로 정의할 수 있으나, 본 연구에서는 지표배수량과 심층 침투량의 합으로 정의하기로 한다. 지표배수량은 다음 그림과 같이 비교적 빨리 하천으로 회귀하는 양으로 논두렁을 통하여 비교적 빨리 유출하는 논두렁 침투량을 포함하고 있으며, 신속회귀수량에 해당한다. 심층침투량은 논 아래로 심층 침투하여 오랜 시간을 걸쳐 하천으로 회귀하는 수량으로, 지연회귀수량에 해당한다. 즉, 회귀수량은 신속회귀수량과 지연회귀수량의 합으로 용수량 중 관개지구 내에서 증발산으로 소비되는 수량을 제외한 양이다.



<그림 4-56> 회귀수량 산정모식도

농업용수의 회귀율은 강우가 없고 물관리가 안정된 시기에 주수원공에서 공급된 관개용수량에 대한 지표배수나 심층침투를 통하여 하천으로 회귀되는 수량의 비율을 나타낸다. 회귀율  $R_f$  는 신속회귀율  $R_1$  과 지연회귀율  $R_2$ 로 구성되는데 식(4.15)과 같이 정의할 수 있다.

$$R_F = R_1 + R_2 = \frac{D_{out}}{D_{in}} + \frac{P}{D_{in}} \quad (4.15)$$

여기서,  $R_F$ 는 회귀율,  $R_1$ 는 신속회귀율,  $R_2$ 는 지연회귀율,  $D_{in}$ 은 관개용수량,  $D_{out}$ 은 지표배수량,  $P$ 는 심층침투량이다.

신속회귀율은 Monitoring Network 운영을 통하여 관개수로 유입부의 공급량과 말단부의 유량을 측정함으로써 산정이 가능하였다. 지연회귀율의 산정을 위해서는 대상지구의 토성, 감수심, 침투량, 증발산량 등 다양한 인자들이 필요한데 이러한 인자들은 현실적으로 실측이 어려운 실정이므로 모의에 의한 추정 및 문헌 조사에 의하여 산정하였다.

(표 4-24) 회귀수량 산정(천톤)

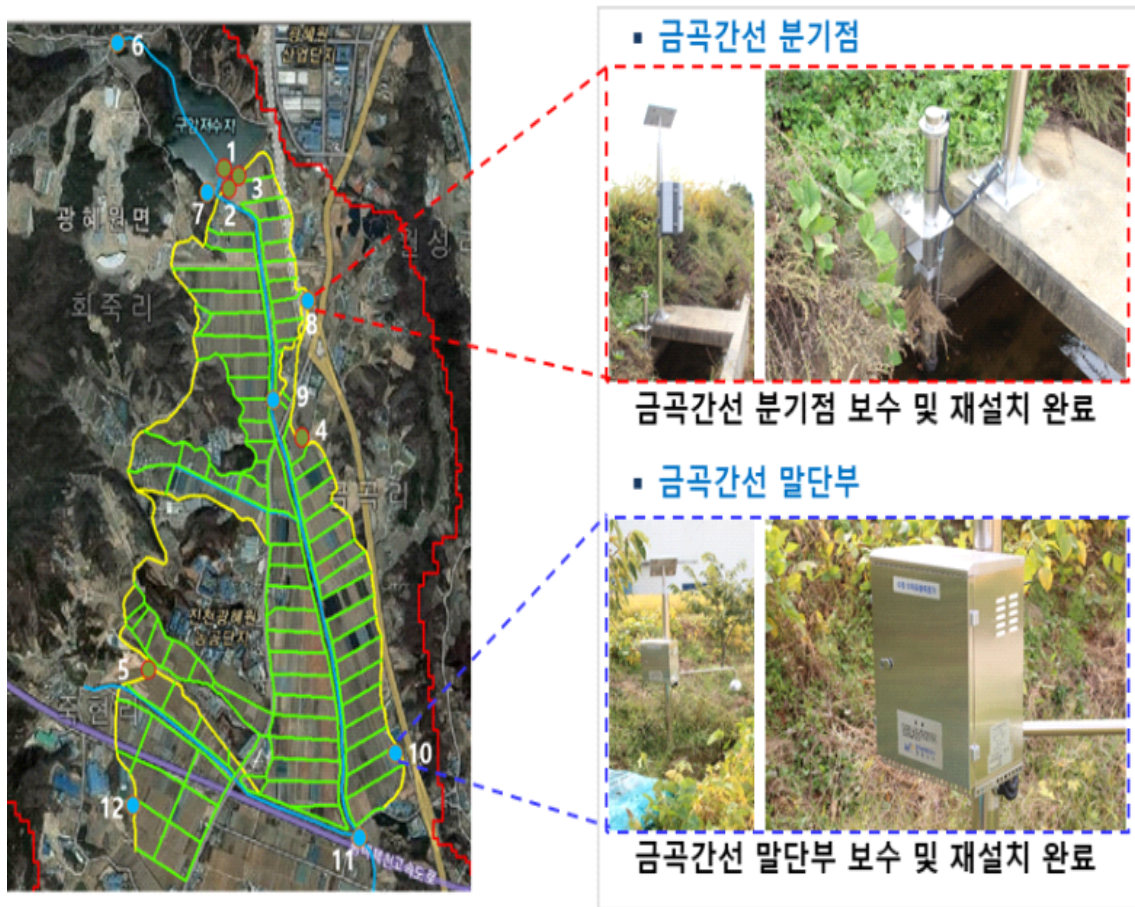
구분	공급량			배수량			침투량	회귀율 (%)			회귀수량
	K-1	H-1	계	K-4	H-3	계		신속회귀율	지연회귀율	계	
4월	146.9	356.1	503.0	26.0	62.3	88.3	87	17.5	17.3	34.8	175.3
5월	544.9	1143.8	1688.7	172.8	228.2	401.0	358	23.7	21.2	44.9	759.0
6월	549.8	1287.4	1837.3	146.4	360.5	507.0	492	27.6	26.8	54.4	999.0
7월	462.7	1086.7	1549.4	168.1	404.7	572.8	426	37.0	27.5	64.5	998.8
8월	486.0	1094.7	1580.7	135.9	321.9	457.8	419	29.0	26.5	55.5	876.8
9월	210.1	326.3	536.3	61.5	96.2	157.7	85	29.4	15.8	45.2	242.7
합계	2400.4	5295.1	7695.5	710.7	1473.8	2184.4	1867.0	28.4	24.3	52.6	4051.4

### 4.3 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영

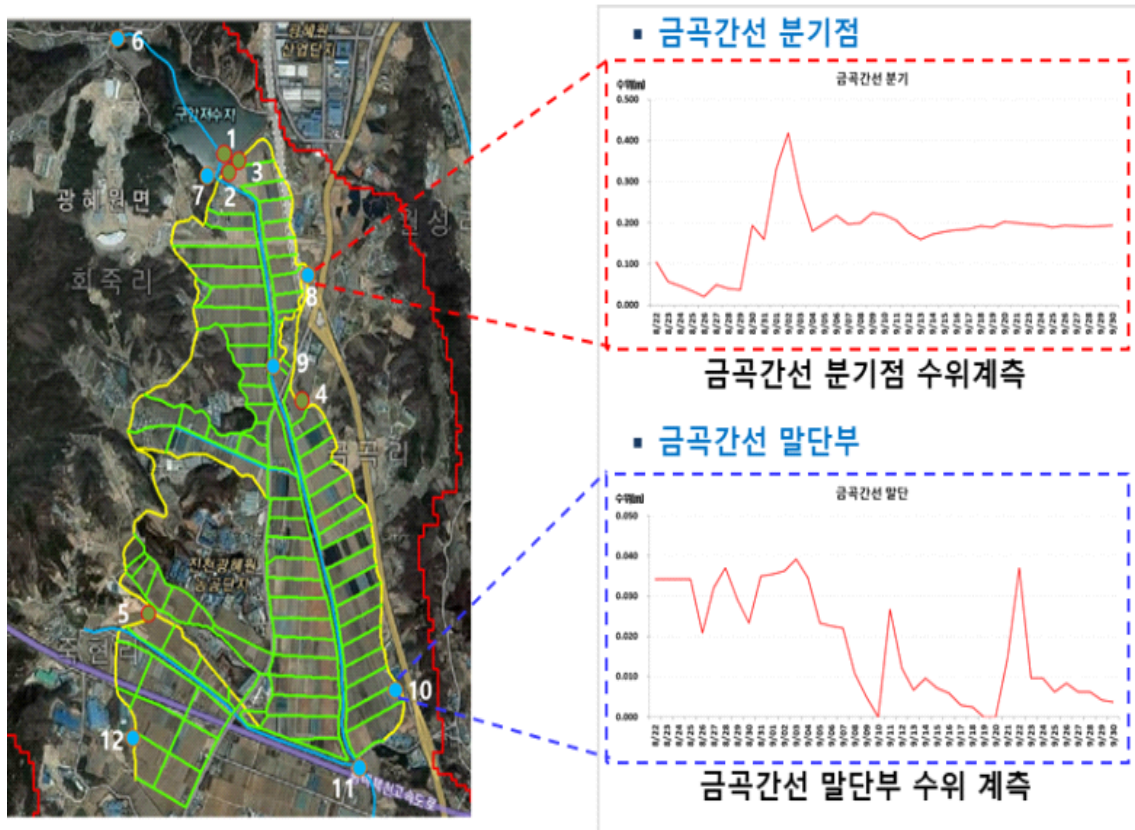
#### 4.3.1 계측장비 시범 운영

본 연구는 기존 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 수요/공급량 정량화를 위해 대상 지역인 무수저수지에 Monitoring Network를 구축하였다. Monitoring Network 구축현황으로는 한국농어촌공사 진천지사에서 계측하는 취수탑(R-1), 금곡간선 방수문(K-1), 금곡배수문(K-3), 회죽간선 방수문(H-1), 만덕배수문(H-2) 등 5개소와 시범 계측장비인 저수지 유입부(W-1), 저수지 물넘이(R-2), 금곡간선 분기점(K-2), 회죽교(W-2), 금곡간선 말단부(K-4), 사산교(W-3), 회죽간선 말단부(H-3) 등 7개소이다.

Monitoring Network 계측기 중 금곡간선 분기점과 금곡간선 말단부 및 회죽간선 중간부 및 말단부에 설치된 계측기의 부분보수가 필요하여 2019년 8월부터 2020년 6월까지 재설치를 완료하였다.



<그림 4-57> 계측장비 재설치



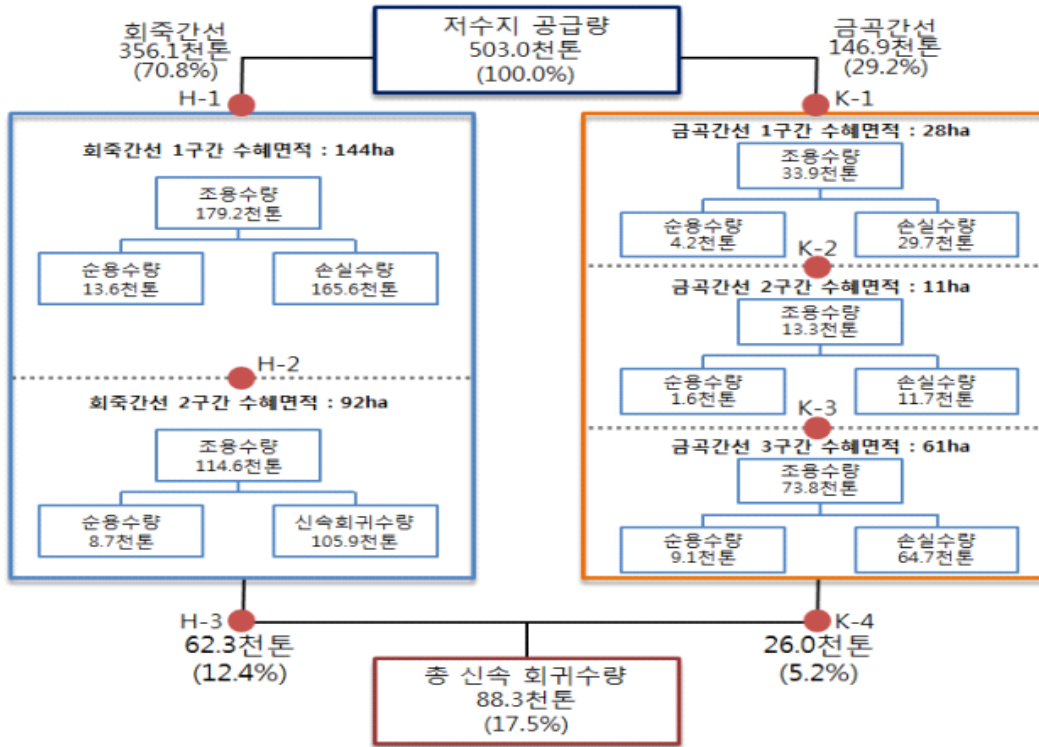
<그림 4-58> 수위 계측 현황

### 4.3.2 계측자료를 이용한 용수절감효과 분석

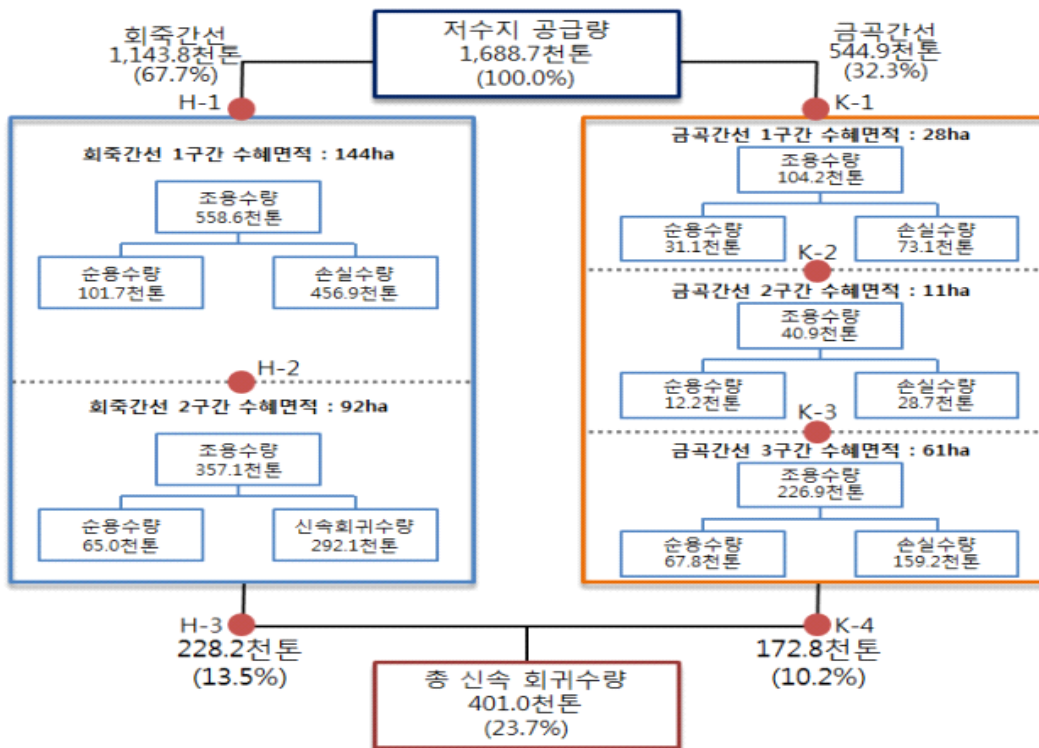
무수저수지 Monitoring Network의 구축·운영을 통하여 대상지구의 농업용수량을 산정하였고, 산정된 농업용수량을 이용하여 용수절감효과를 분석하고자 한다. 다음 표는 대상지구의 월별 농업용수량을 산정한 결과이며, 월별 농업용수량을 도식적으로 표현한 것이다.

(표 4-25) Monitoring Network 운영을 통한 농업용수 산정

항 목	연평균 농업용수 (천톤)					
	4월	5월	6월	7월	8월	9월
유입량	252.3	319.5	460.3	2,020.8	1,137.7	813.0
저수량	1,337.0	1,279.1	635.3	1,071.0	1,213.7	1,241.1
무효방류량	215.2	197.4	10.7	1,081.7	450.7	343.0
공급량	487.3	1,630.4	1,778.4	1,499.9	1,528.7	513.9
조용수량	414.8	1,287.7	1,330.3	976.6	1,123.0	378.7
순용수량	37.2	277.7	1,073.4	580.0	740.0	277.4
손실수량	377.6	1,010.0	256.9	396.6	383.0	101.2
회귀수량	175.3	759.0	999.0	998.8	876.8	242.7

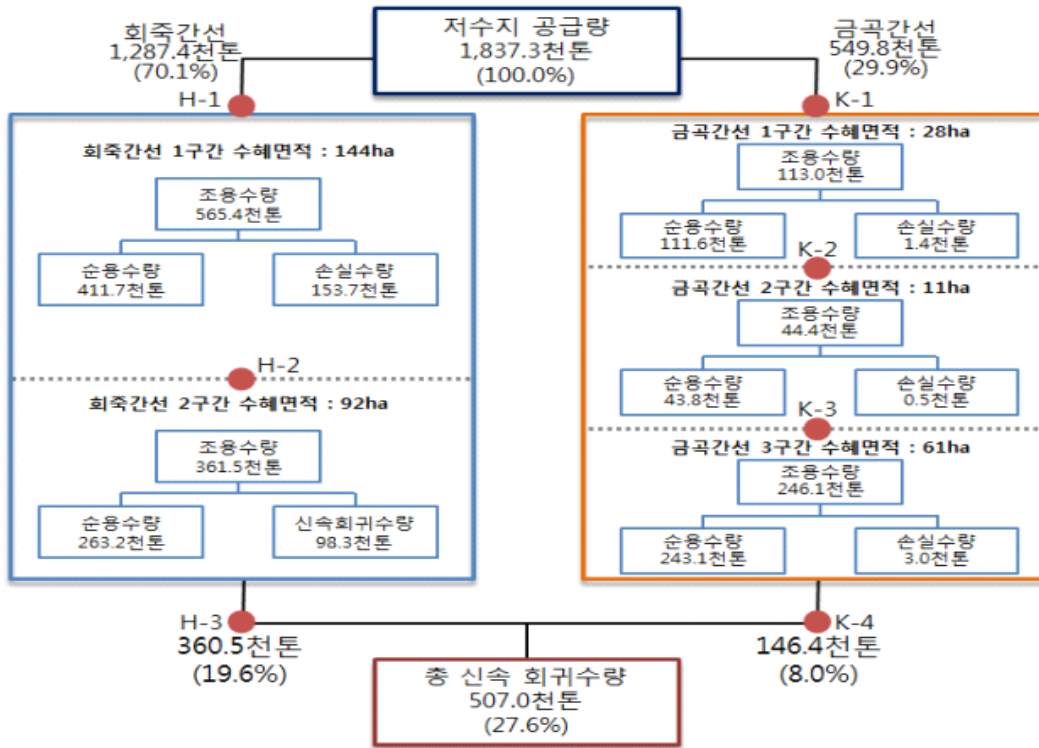


(a) 4월

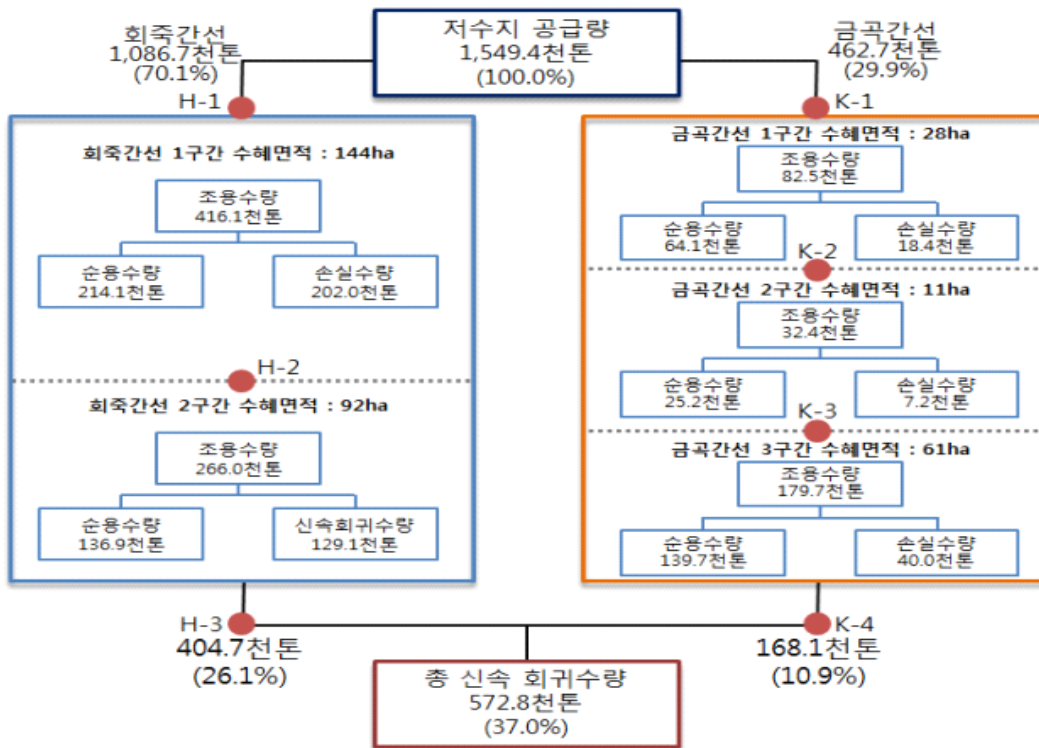


(b) 5월

<그림 4-59> 농업용수량 산정

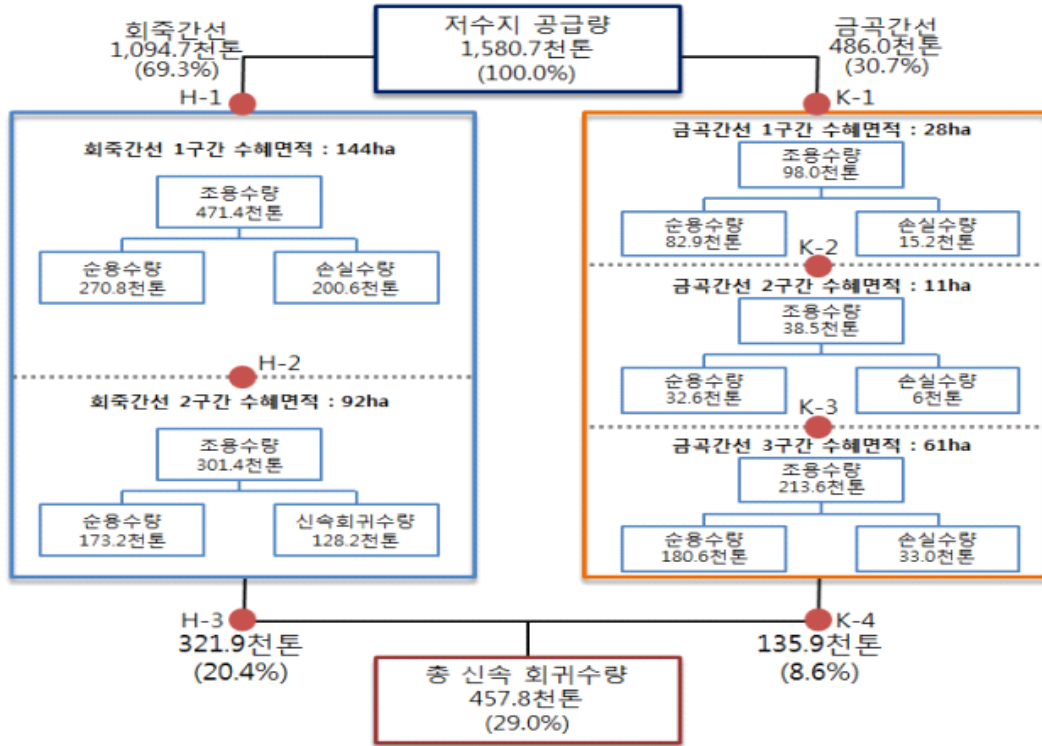


(c) 6월

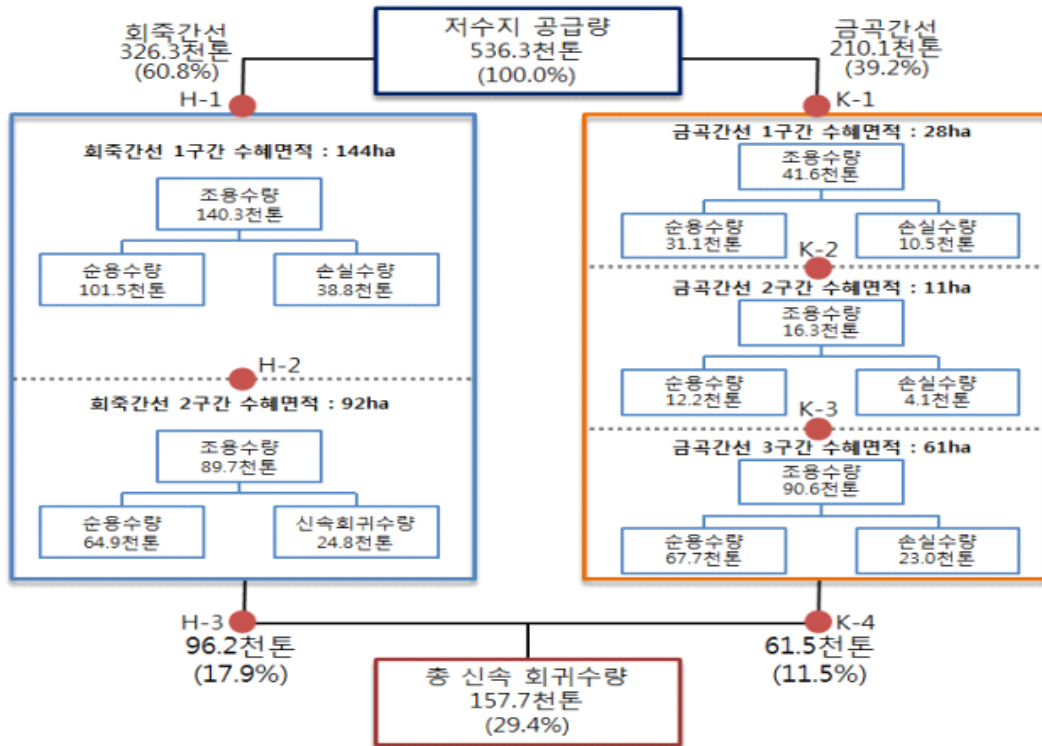


(d) 7월

<그림 4-59> 농업용수량 산정 (계속)



(e) 8월



(f) 9월

<그림 4-59> 농업용수량 산정 (계속)

무수저수지 관개지역의 농업용수량 중 순용수량은 실제로 작물이 소비하는 수량이므로 순용수량을 절감하지 못하며 용수절감이 가능한 용수량은 손실수량과 회귀수량이다. 월별 산정된 농업용수량을 살펴보면, 손실율의 경우 10%부터 90%까지 월별로 다양한 손실율을 나타내고 있는데 이는 수로의 노후화로 인한 침투손실이나 송수손실 등이 아니라 대부분 관리 손실임을 알 수 있다. 즉, 대상지구의 간선수로 중간부에 공급량 조절을 위한 방수문이 설치되어 있으며 과잉 공급이 발생할 경우 초기 공급량을 조절하지 않고 방수문을 통하여 하천으로 방류하고 있는 실정이다.

회귀수량의 경우, 농업생산기반설계기준(농림부, 2002)에 의하면 농업용 저수지는 대상하천의 갈수량을 기준으로 하천유지용수를 공급하도록 명시하고 있는데, 구암천의 갈수량과 무수저수지의 공급량 및 무효방류량을 고려할 때 10%를 초과하는 회귀수량은 용수절감이 가능하다. 이와 같이 손실수량과 회귀수량의 절감을 통하여 용수절감량을 산정할 수 있으며 본 연구에서는 월별 손실수량의 50%를 절감하고 회귀수량은 농업생산기반설계기준 회귀율보다 이상일 경우 그 차이만큼 절감하였다. 다음과 같은 식을 통하여 용수절감량의 계산이 가능하다.

$$\begin{aligned}
 SW_y &= \sum SW_m & RR_m &> 10\% \\
 & & SW_m &= (LW_m \times 0.5) + (RW_m \times (RR_m - 10\%)) \\
 & & RR_m &< 10\% \\
 & & SW_m &= LW_m \times 0.5 & (4.16)
 \end{aligned}$$

여기서,  $SW_y$ 는 해당 연도의 용수절감량,  $SW_m$ 는 해당 월의 용수절감량,  $LW_m$ 는 해당 월의 용수손실량,  $RW_m$ 는 해당 월의 회귀수량,  $RR_m$ 는 해당 월의 회귀율이다.



(표 4-26) 월별 용수절감효과(천톤)

월	공급량	용수절감량	용수절감율 (%)
2019년 08월	1,516.7	297.1	19.6
2019년 09월	537.9	50.3	9.4
2019년 10월	0.0	0.0	-
2019년 11월	0.0	0.0	-
2019년 12월	0.0	0.0	-
2020년 01월	0.0	0.0	-
2020년 02월	0.0	0.0	-
2020년 03월	0.0	0.0	-
2020년 04월	486.7	195.5	40.2
2020년 05월	1,567.9	540.1	34.4
2020년 06월	1,898.3	218.1	11.5
2020년 07월	1,552.9	283.0	18.2
2020년 08월	1,522.6	239.1	15.7
2020년 09월	531.8	150.6	28.3
2020년 10월	0.0	0.0	-
2020년 11월	0.0	0.0	-
2020년 12월	0.0	0.0	-

(표 4-27) 년도별 용수절감량(천톤)

년 도	공급량	용수절감량	용수절감율 (%)
2019년도	7,288.7	1,704.5	23.4
2020년도	7,560.3	1,626.4	21.5
평 균	7,424.5	1,665.5	22.5

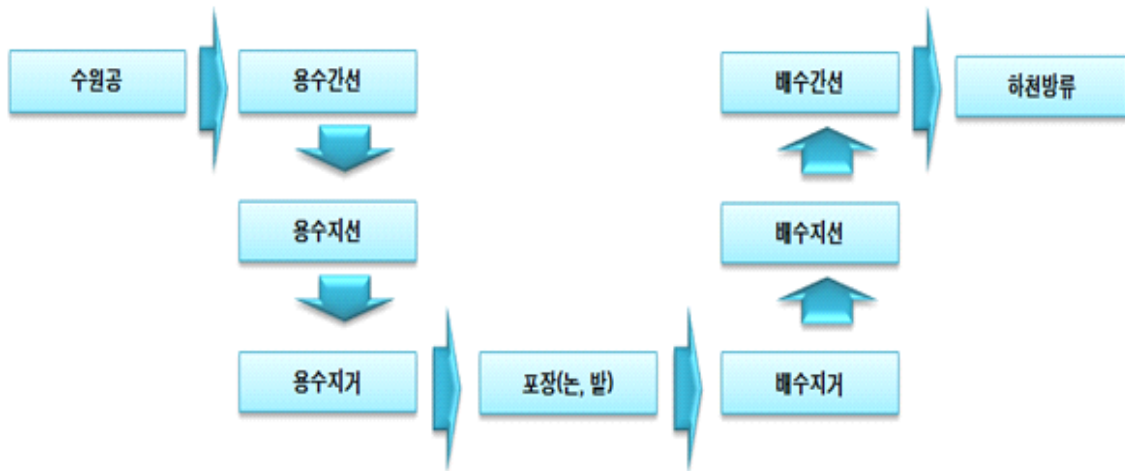
## 4.4 스마트 수리시설물 통합 제어 시스템 설계

### 4.4.1 수리 네트워크 구축

#### 1) 수리 네트워크 구성요소

농촌지역의 농업용수를 저장하거나 공급하는 시설과 경지의 구성(수리 네트워크)은 저수지에서 공급되는 농업용수가 수로를 통하여 운송되며 포장(논)에 농업용수가 공급되는 구조를 갖고 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 용수계통을 이용하여 공급되는 구조를 갖고 있다.

다음의 그림은 농촌지역의 농업용수 공급을 위한 이러한 네트워크 구조를 개념도로 단순화 시켜 작성한 개념도이다.



<그림 4-60> 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 분석하였다.

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.

수리 네트워크 구성요소는 농업용수 분석에 필요한 시설물 및 지형요소를 농업용수 공급 및 배수 체계에 따라 수원공 → 용수로 → 포장 → 배수로 → 하천방류 등으로 구분할 수 있다. 관개 용수공급 시 고려되는 네트워크의 구성요소는 다음과 같다.

(표 4-28) 수리 네트워크의 구성요소

구 분		내 용
취수부	수원공	저수지, 양수장, 취입보, 관정, 집수정 등 농업용수를 공급하기 위하여 유역에 존재하는 수자원을 가두어 농업용수로 저장하는 농업용 시설
도수부	용수로	수원공에서 공급되는 농업용수를 논, 밭 등의 포장으로 공급하기 위하여 설치된 농업용 수리시설로서 용수간선, 용수지선 그리고 포장에 직접 연결되는 용수지거 등으로 구성
급수부	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

상기에 서술한 바와 같이 농업용수 분석에서 수리 네트워크의 구성요소는 관개지구의 물순환을 기초로 하여 분류하면 크게 취수부, 도수부, 급수부 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 4-29) 수리 네트워크의 구성요소 분석

구 분	공급시설	구성요소
취수부	저수지	저수지 제원, 취수탑, 사통, 복통, 여수토 등
	양수장	인입부, 토출부, 펌프, 저류지 등
도수부	용수로	개수로, 관수로, 암거, 잠관 등
	분기점	제수문, 분수문 등
급수부	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.

수리 및 수문분석은 전술한 바와 같이 미국 환경청에서 개발 제공하고 있는 SWMM을 네트워크 분석의 엔진으로 사용하였으며 SWMM에서 제공하는 모델요소를 이용하여 본 연구의 모델링을 지원할 수 있도록 분석시스템 구축을 연구하였다.

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 구성된다.

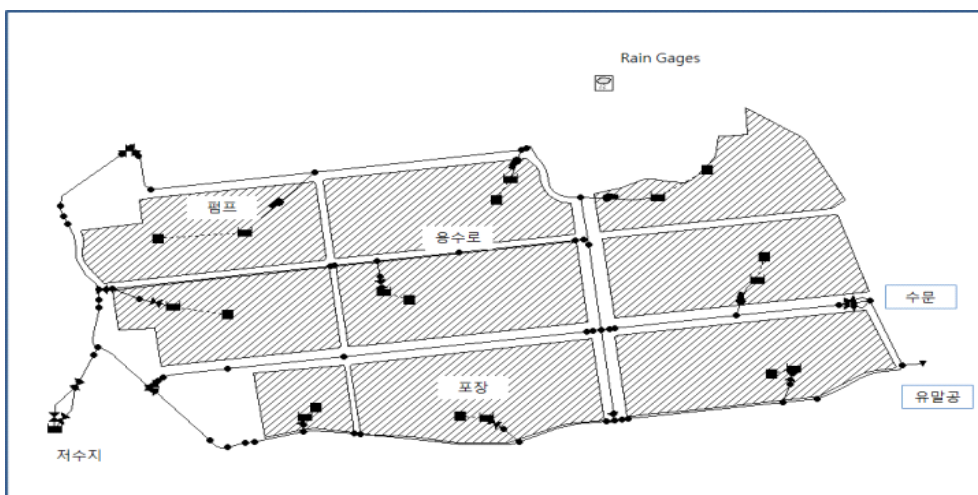
수리 네트워크 모델링 중 수문학적 요소를 이용할 경우 사용가능한 모델들로는 강우자료를 관리하는 요소(Rain Gages)와 유역과 관련된 자료를 관리하여 엔진에 전달하는 요소(Subcatchments)로 구성되어 있다.

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 그것이다.

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 4-61> 수리 네트워크 구성 모델링

수리 네트워크를 구성하는 요소의 모델링을 위하여 적용 가능한 모델요소를 적용하여 보면 저수지의 경우 유역에서 유입되는 농업용수의 보관, 필요시 농업용수를 공급하는 시설로의 연계, 저류량의 파악 등의 역할을 할 수 있는 Storage Units를 사용할 수 있다.

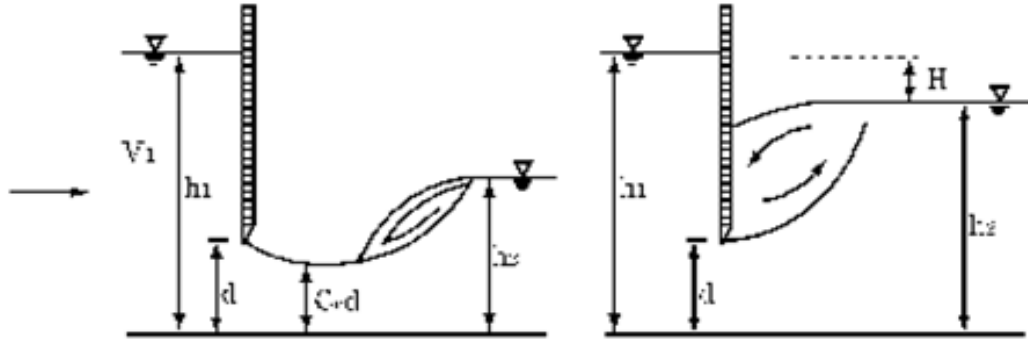
또한 수로의 수위 유지와 공급되는 용수를 제어하기 위한 수문의 경우에는 해당 기능이나 분석을 수행할 수 있는 Weirs 또는 Orifices 등을 사용할 수 있다.

(표 4-30) 수리 네트워크 구성요소의 모델 적용 요소

구분	공급시설	구성요소	모델요소
취수부	저수지	저수지 제원	Storage Unit
		취수탑(취수문)	Orifice
		사통	Orifice
		복통	Orifice
		여수토	Weir
	양수장	인입부	Storage Unit
		토출부	Storage Unit
		펌프	Pump
저류지		Storage Unit	
도수부	용수로	개수로	Conduit
		관수로	Conduit
		암거	Conduit
		잠관	Conduit
	분기점	제수문	Weir, Orifice
		분수문	Weir, Orifice
급수부	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.

수리 네트워크의 Orifice(분수문과 제수문)유출의 경우 유량계수는 수문의 종류에 따라 큰 차이가 있으며 수문으로 부터의 유출형태에 따라서 자유유출(수문으로부터의 유출수맥이 사류로서, 하류의 흐름이 도수 발생 후 연결)과 수중유출(유출수맥이 하류수면 아래로 침입)로 구분된다.



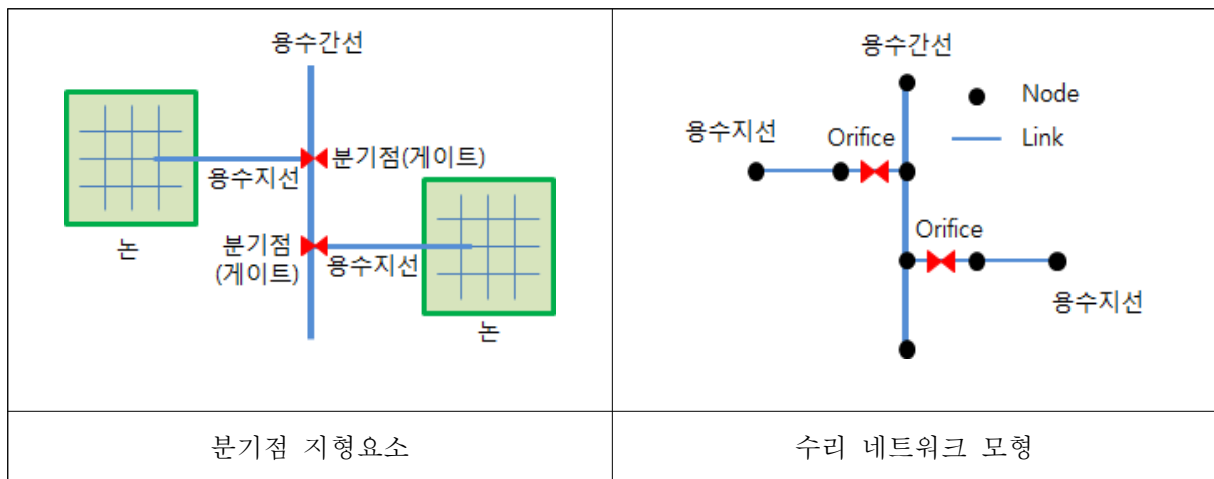
<그림 4-62> Orifice 유출의 자유유출(좌)과 수중유출(우)

수문유출의 유량공식은 농업생산기반정비사업계획설계기준(수로편)에서 제안한 아래 식을 이용하여 수리 네트워크에 적용하였다.

$$Q = C_a \times b \times d \sqrt{2gh_1}$$

여기서 Q= 분수량(m<sup>3</sup>/s), C<sub>a</sub>= 수축계수, b, d = 게이트의 내부공간 폭(m), 개도높이(m), h<sub>1</sub>= 게이트 상류수심(m), h<sub>2</sub> = 게이트 하류수심에 해당한다.

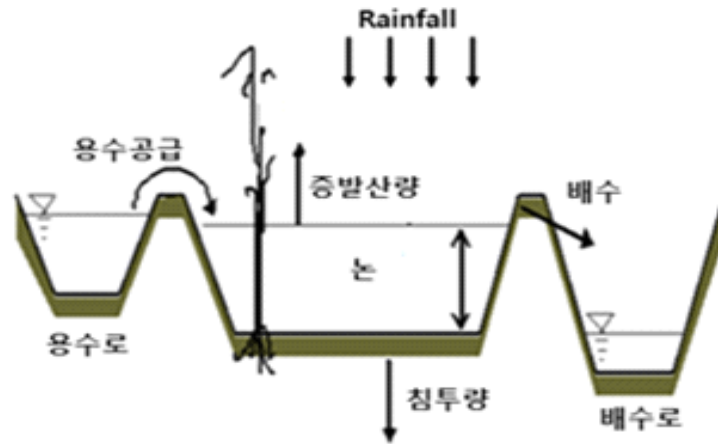
분수문/제수문은 Orifice 모델을 이용하거나 수위에 따라 Weir를 이용하여 모델링을 구축한다. 수리 네트워크에서는 Orifice의 개폐를 통하여 용수의 흐름을 제어할 수 있다.



<그림 4-63> 분기점의 네트워크 모델링

포장(논)은 지선 또는 지거를 통하여 용수가 공급 되는 논 집합으로 수리 네트워크에서는 Storage로 처리하였다. 관개 시에는 용수로에서 공급되는 용수가 논으로 흐르도록 구성된다. 논에서 필지별로 물꼬가 있을 경우 이는 Orifice를 이용하여 모델링하였다.

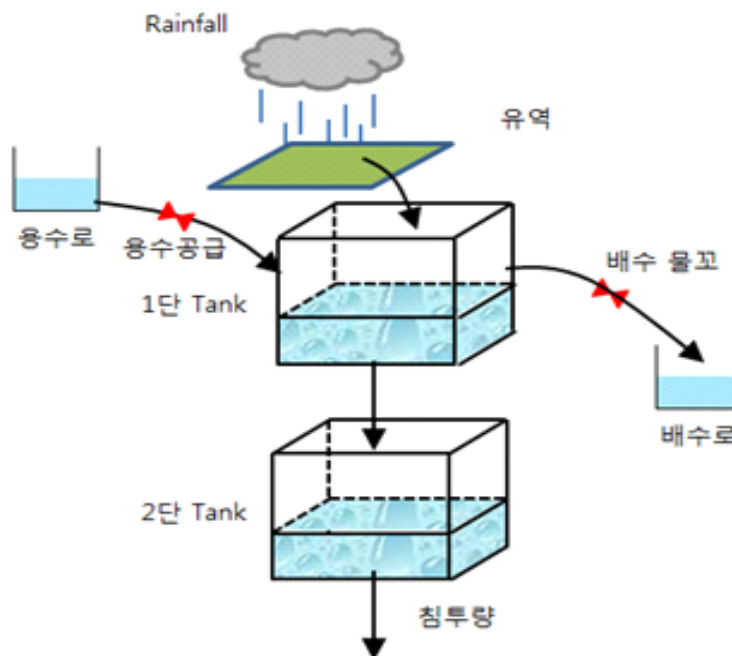
포장(논)에서의 물수지는 용수로로부터 논으로 공급되는 유량, 강우에 의해 논에 공급되는 유효우량, 증발산량, 침투량, 배수 물꼬에 의해 배수되는 유량으로 구성된다.



<그림 4-64> 포장(논)에서의 물수지

포장(논)에서의 담수심 변화를 분석하기 위해서는 포장에서의 물수지 분석이 필요하며, 다음의 그림은 포장에서의 물수지 분석을 위한 구성요소의 개념이다.

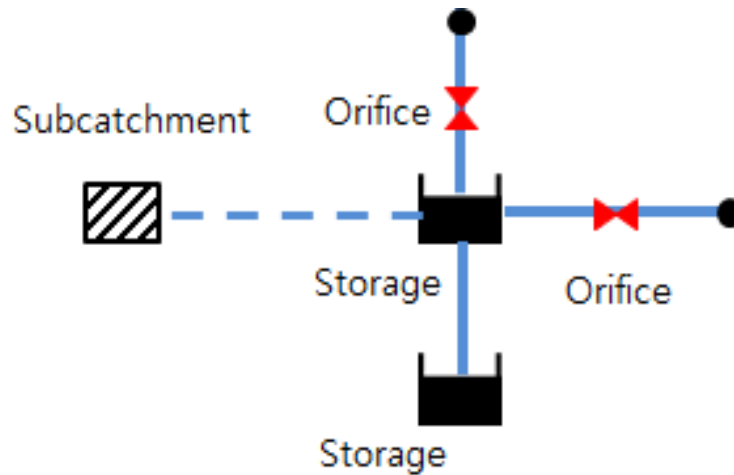
여기서 포장(논)을 Tank로 구성하였으며 1단 Tank 외에 2단 Tank는 이양기에 포장 담수심 60mm 이상과 추가적으로 공급되어야 하는 공급량(포장 담수심 80mm)을 반영하기 위해서 구성된 요소이다.



<그림 4-65> 포장(논) 물수지 개념

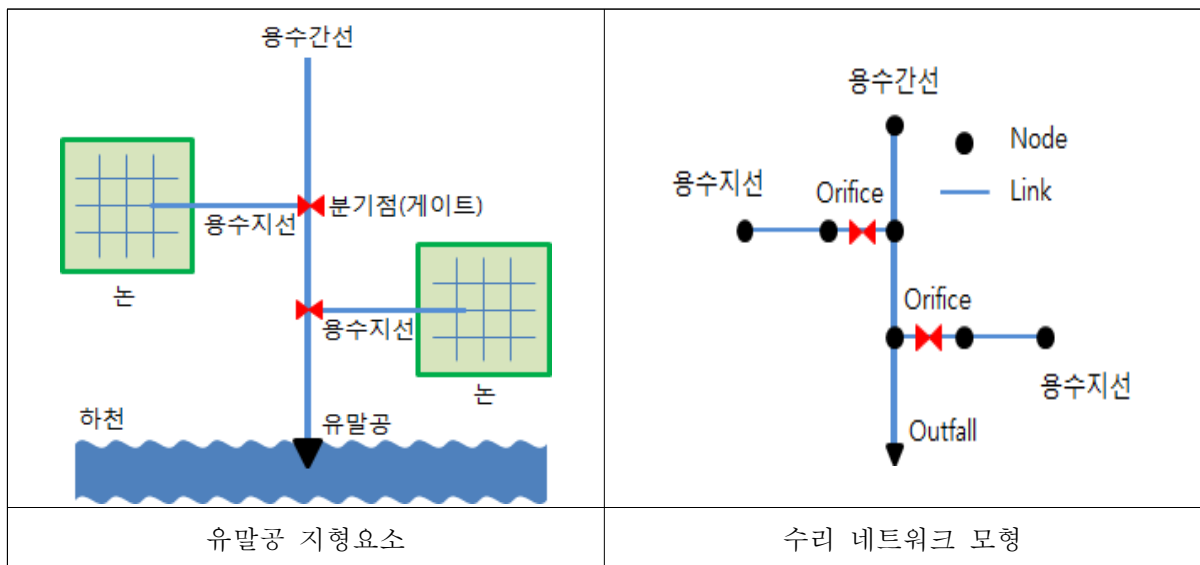
포장(논)에서의 물수지 분석은 ‘유입량 - 유출량 = 담수심 증감량’으로 정의할 수 있다. 여기서 유입량은 강우에 의한 유효강우량, 용수로에서 공급되는 공급량으로 구성되고, 유출량은 증발산량, 침투량, 포장에서 배수되는 유출량으로 구성된다.

이를 수리 네트워크에서는 다음과 같이 모델링 하였으며 유역(Subcatchment)은 관개시 강우에 의한 포장에 공급되는 유효우량을 반영하기 위한 것이다.



<그림 4-66> 포장(논)의 네트워크 모델링

유말공은 관개 시 포장에 공급되고 남은 용수를 하천으로 퇴수 처리하며, 수리 네트워크에서는 Outfall 모델을 이용하여 네트워크에 반영하였다.



<그림 4-67> 유말공의 네트워크 모델링



수리 네트워크 구성요소에서 각 구성요소의 속성값은 분석하려는 대상지역의 문헌조사 및 현장 조사를 통하여 취득할 수 있으며 조사된 자료를 이용하여 모델링을 완성할 수 있다.

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 속성값으로는 유역에서의 유입량, 저수지 초기수위, 수위 변동, 저수지 내용적, 총 저류량, 취수시설 종류 등의 속성값이 분석에 사용된다.

논의 경우에는 모델요소로 Storage Unit를 사용하며 물꼬를 통하여 공급되는 농업용수 유입량, 논이 제원, 내용적, 증발산량, 토양침투량, 초기수위, 유출량, 표고, 강우자료 등의 값이 필요하며 분석 전 모델링을 통하여 제공하거나 분석 중 분석된 값을 제공하여야 한다.

(표 4-31) 수리 네트워크 구성요소의 속성값

구 분		구성요소	모델요소	속성값
취수부	저수지	저수지 제원	Storage Unit	유입량, 저수지 수위, 총 저류량, 관리수위, 취수시설 종류, 내용적
		취수탑 (취수문)	Orifice	표고, 수문 개수, 각 수문의 표고, 수문 넓이, 수문 높이, 수문 형상, 수문의 개도
		사통	Orifice	표고, 수문 개수, 각 수문의 표고, 수문 넓이, 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	
도수부	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
급수부	논	포장	Storage Unit	제원, 내용적, 증발산량, 토양침투량, 초기 수위, 표고, 연결 강우자료
		물꼬	Orifice	표고, 개수, 제원, 개도, 형상
기타	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) 수리 네트워크 구축

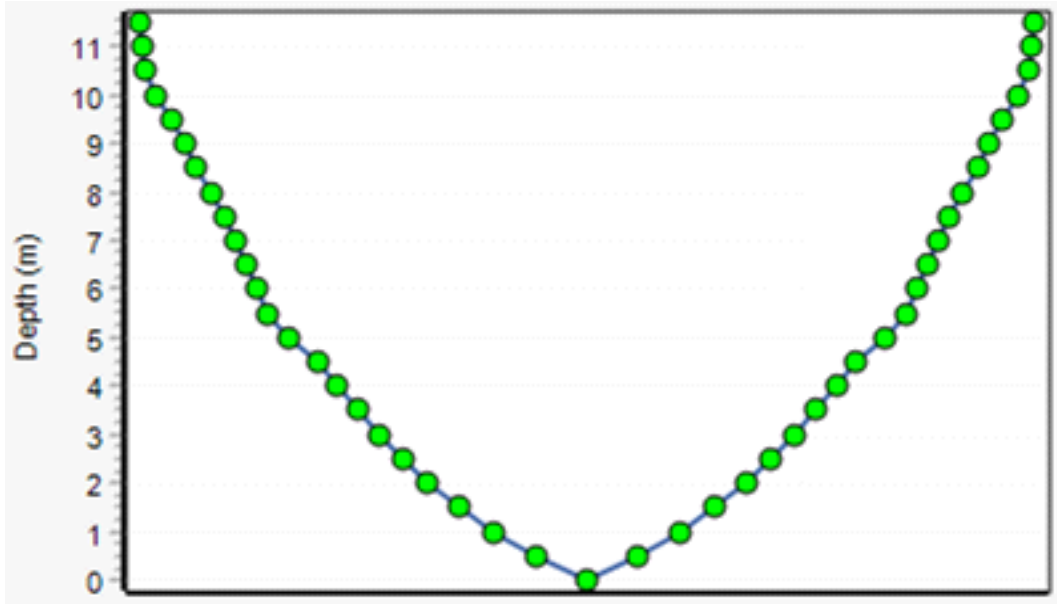
본 연구의 수리 네트워크 구축을 위해서는 용수로의 평면·종단·횡단도면, 구조물위치, 수리구조물의 현장파악에 유리한 고해상도 항공사진이나 위성사진, 유역의 매개변수 구축을 위한 토양도, 토지피복도, 수치표고(수치지형도를 이용하여 구축), 공간좌표 보정을 위한 수치지형도 등이 요구된다.

또한 수리 네트워크 구축에 필요한 간선 및 지선의 평면적인 배치, 단면제원, 종단형태, 각종 시설물의 위치 및 제원 등의 현황을 파악할 수 있는 준공도면 등 설계도서가 필요하나 확보가 어려운 경우 간선 및 주요 대상 지선에 대한 현장조사를 통해 수로의 제원 및 주요 시설에 대한 위치와 제원을 확인하고 수로 경사의 경우 부득이하게 수치표고모델(DEM)과 수치지형도를 활용하여 추정하는 방법으로 자료를 구축하였다.

수리 네트워크는 취수부, 도수부, 급수부로 구분하여 구축하였으며 취수부인 무수저수지의 내용적 자료는 다음과 같으며 이를 바탕으로 수리 네트워크 모형에 적용하였다.

(표 4-32) 무수저수지 내용적 조건표

구분	표고 (EL.m)	고차(m)	면적(m <sup>2</sup> )		내용적(m <sup>3</sup> )		비 고
			표고별	평균	구간별	누가	
1	107.50	0.00	8	4	0	-	바닥고
2	108.00	0.50	5,911	2,960	1,480	1,480	
3	108.50	0.50	13,635	9,773	4,887	6,366	
4	109.00	0.50	24,351	18,993	9,497	15,863	
5	109.50	0.50	34,134	29,243	14,621	30,484	
6	110.00	0.50	43,923	39,029	19,514	49,998	사수위
7	110.50	0.50	55,780	49,852	24,926	74,924	
8	111.00	0.50	65,287	60,534	30,267	105,191	
9	111.50	0.50	78,349	71,818	35,909	141,100	
10	112.00	0.50	88,319	83,334	41,667	182,767	
11	112.50	0.50	114,048	101,184	50,592	233,359	
12	113.00	0.50	118,279	116,164	58,082	291,440	
13	113.50	0.50	131,380	124,830	62,415	353,855	
14	114.00	0.50	135,301	133,341	66,670	420,525	
15	114.50	0.50	148,229	141,765	70,883	491,408	
16	115.00	0.50	153,237	150,733	75,367	566,774	
17	115.50	0.50	167,943	160,590	80,295	647,069	
18	116.00	0.50	180,032	173,988	86,994	734,063	
19	116.50	0.50	188,648	184,340	92,170	826,233	
20	117.00	0.50	206,332	197,490	98,745	924,978	
21	117.50	0.50	220,324	213,328	106,664	1,031,642	
22	118.00	0.50	224,267	222,296	111,148	1,142,790	
23	118.50	0.50	227,275	225,771	112,886	1,255,675	
24	119.00	0.50	230,000	228,638	114,319	1,369,994	만수위, 평수위
25	120.00	1.00	235,434	232,717	232,717	1,602,711	홍수위



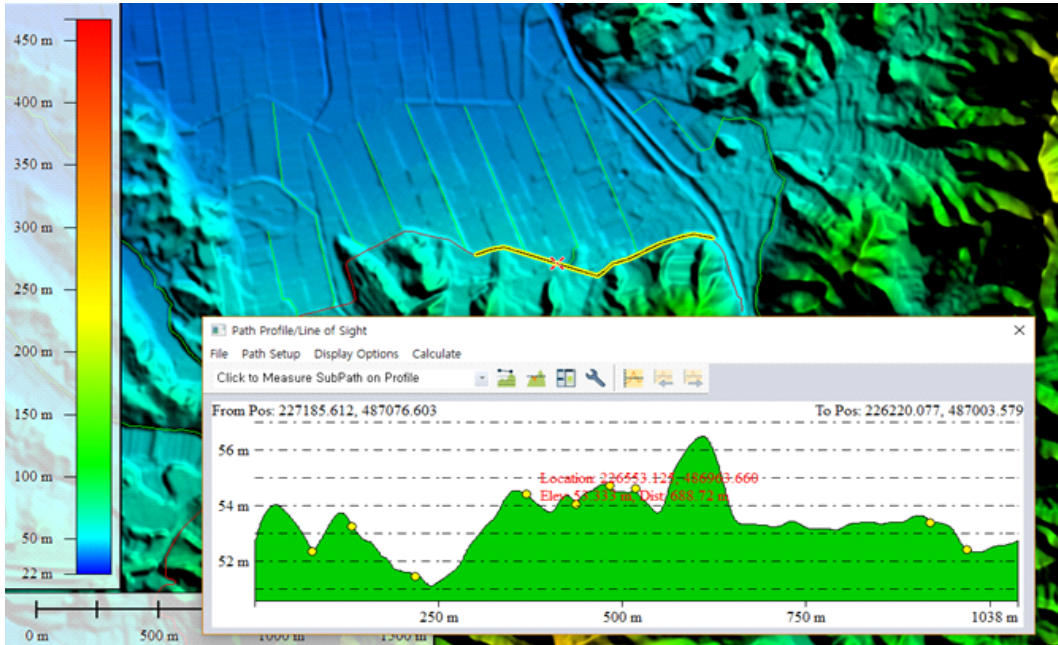
<그림 4-68> 무수저수지 내용적 수리 네트워크 적용 결과

도수부는 구축대상 수로의 노선에 대한 공간적인 정보가 없는바 현장조사에 앞서 농업기반시설 관리시스템(RIMS) 자료를 바탕으로 현장조사용 도면을 작성하였다.



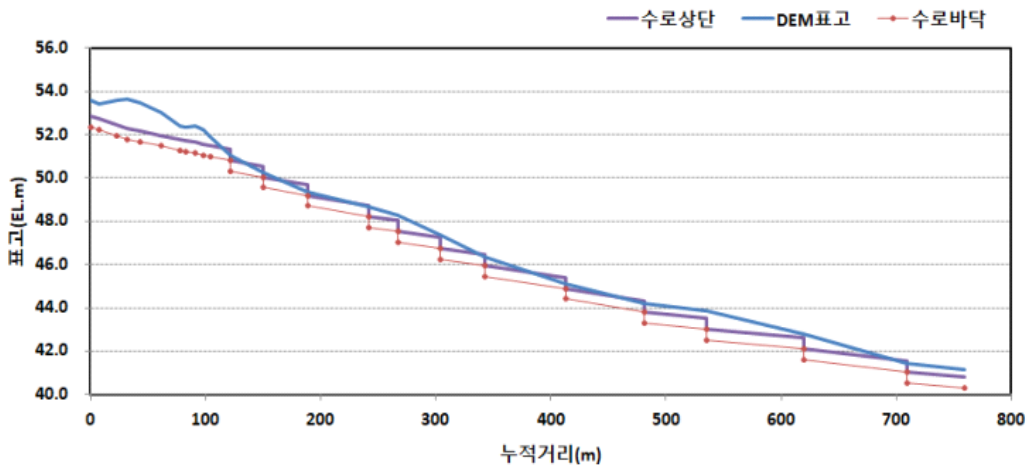
<그림 4-69> 수리 네트워크 구축을 위한 현장조사용 도면

수리계산에 필요한 수로바닥의 표고를 반영하기 위해서는 설계도서의 종단도면이 요구되나 설계도서가 확보되지 않아 수치표고모델(DEM)과 현장조사를 통해 확인된 수로의 중심선(현장조사 전 도상작업 결과를 조사를 통해 보완한 자료)을 중첩하여 수로중심에 해당하는 현재의 지반고를 추출한 후 현장조사에서 확인된 경사의 변화 정도를 반영하여 수로의 바닥표고를 추정한다.



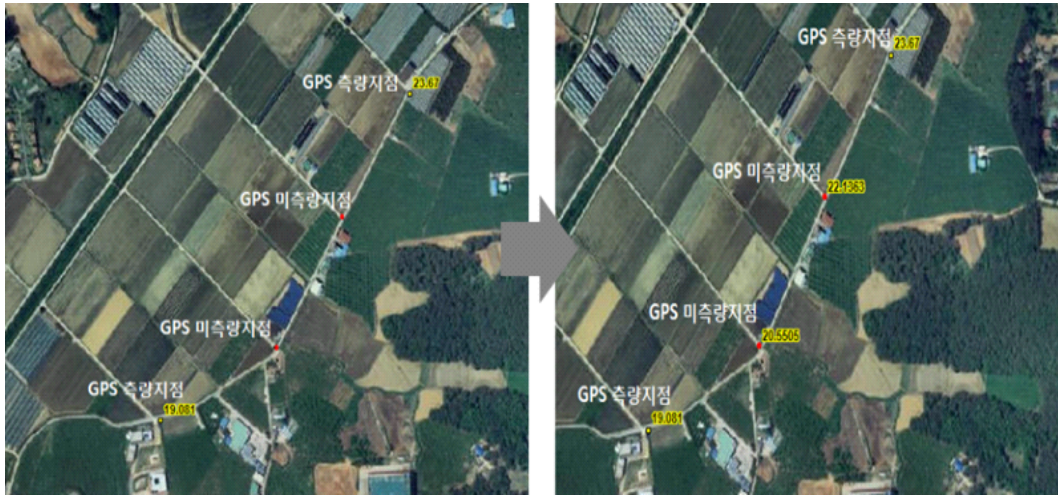
<그림 4-70> DEM과 수로중심선 중첩에 의한 지반고 추출

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 제어 명령이 요구될 뿐만 아니라 수치계산이 복잡하게 되므로 이를 단순화하여 반영하였다.



<그림 4-71> 수로 바닥고 추정

또한 GPS 측량장비를 사용하여 주요지점에 대한 표고를 측정한 후 측정지점과 측정지점 사이의 지점은 길이에 비례하여 수로 바닥고를 추정하는 방법을 병행하였다.



<그림 4-72> 측정지점 간 수로 바닥고 추정

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



<그림 4-73> 무수저수지 수리 네트워크 구축 결과

#### 4.4.2 스마트 수리시설물 파일럿 분석시스템 개발

##### 1) 시스템 데이터베이스

시스템을 이용하여 관개지구의 단기 및 장기분석의 타당성 및 효율성 등을 검토하기 위한 사전 모의를 수행하기 위해서는 모델링 자료, 용수 흐름 조절용 시설 등의 설정 자료 등을 저장 관리하여야 하며 분석 결과를 제공하기 위한 분석자료 또한 관리하여야 한다.

본 연구를 통하여 개발된 파일럿 시스템에서는 관리하여야 하는 데이터를 수로 네트워크 부분, 분석 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.

시스템의 데이터베이스 중 모델링 정보를 관리하는 엔터티를 분석한 결과로서 유역정보, 수로계통 정보, 포장 정보, 양수장 정보 등 시설물과 시설물의 세부 채원정보 그리고 모델링이나 시스템 운영 시 활용하기 위한 각종 세부정보를 관리하는 엔터티를 14개로 구분하여 다음 표와 같이 정리하였다.

(표 4-33) 수리 네트워크 관련 엔터티 분석

Seq	분류	Type	Entity Name	내 용
1	수로망	테이블	네트워크 정보	분석을 위한 네트워크 전체정보 테이블
2	수로망	테이블	저수지유역정보	저수지 유역에 대한 유입량 분석에 필요한 유역정보 관리
3	수로망	테이블	저수지정보	저수지 명칭, 수해면적, 총저수량, 수위 등 정보 관리
4	수로망	테이블	저수지수로정보	저수지의 간선, 지선에 대한 수로 일반정보
5	수로망	테이블	양수장정보	양수지류 지구, 양수장 지구 등의 양수장 정보 관리
6	수로망	테이블	양수장 상세 정보	모델링 대상지구의 양수장 상세 정보 관리
7	수로망	테이블	저수지_내용적정보	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
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



단기 및 장기 분석을 위한 사전 분석을 실행하는 시스템에서 활용되거나 분석결과를 저장 관리하기 위한 엔터티를 아래의 표와 같이 9개로 구분하여 정리하였다. 분석결과를 저장하여 사용자에게 제공하기 위한 결과의 관리, 사용자가 정립한 관개스케줄의 관리, 물흐름을 조절하기 위한 수문의 관리 정보, 강우정보 그리고 실시간 분석에 사용되는 계측자료와 용수의 공급상태를 보여주기 위한 시계열 계측자료를 관리하기 위한 엔터티 등을 분석하여 데이터베이스를 설계, 개발하였다.

(표 4-34) 분석 관련 엔터티

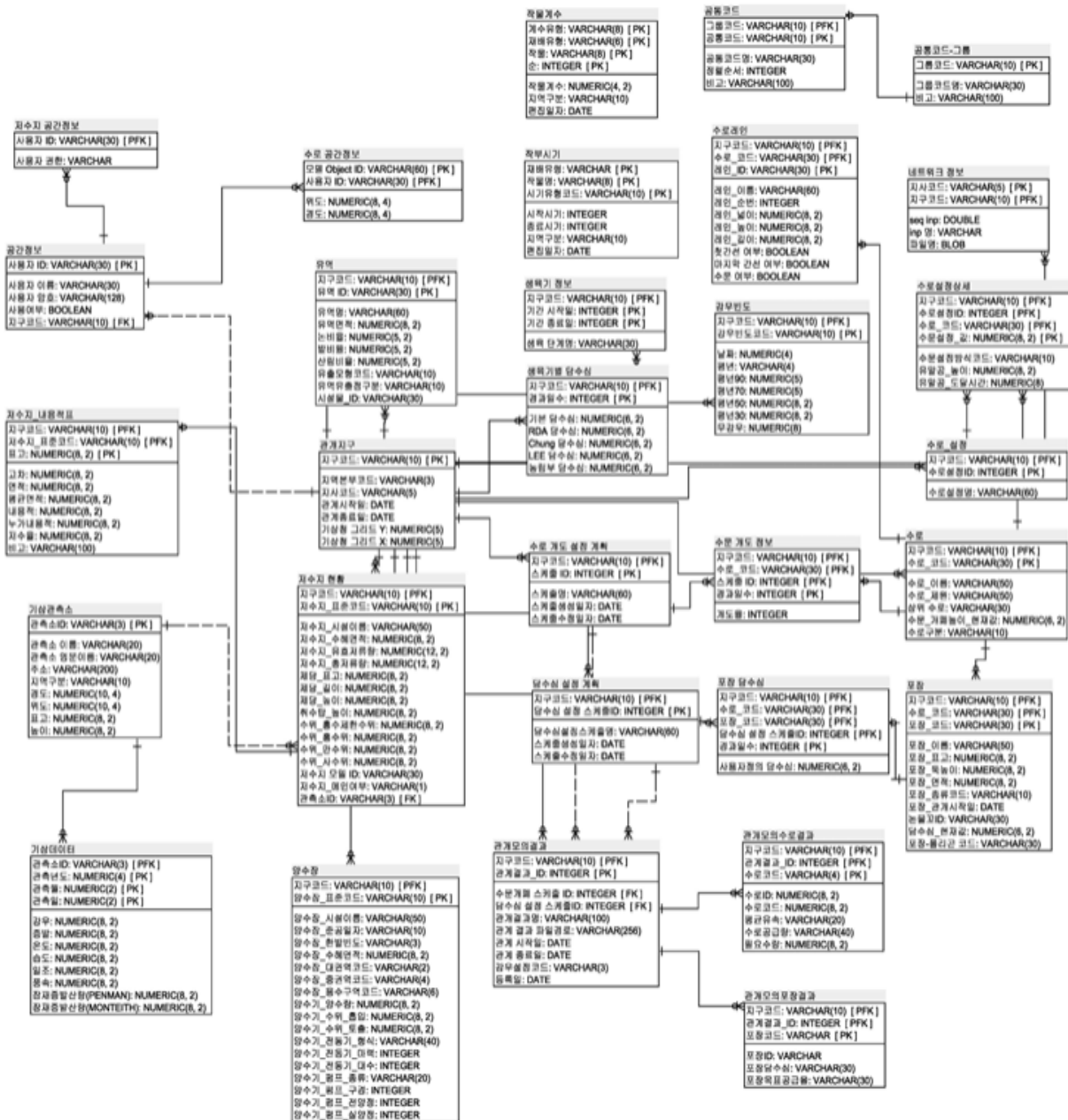
Seq	분류	Type	Entity Name	내 용
1	분석	테이블	관개 스케줄	관개 계획을 수립하기 위한 스케줄 정보 관리
2	분석	테이블	모의별 수문 개도정보	관개 모델링의 수문 개도 정보 관리
3	분석	테이블	모의별 포장 담수심	대상지구 포장의 날짜별 담수심 정보 관리
4	분석	테이블	모의별 수문개도 계획	대상지구 모의시 날짜별 수문개도 정보 관리
5	분석	테이블	생육기별 담수심	지역별 논농사의 생육기별 적정 담수심 정보
6	분석	테이블	저수지공급량정보	대상지구 저수지 날짜별 공급량 정보 관리
7	분석	테이블	관측소 강우정보	분석모형에 적용하기 위한 관측소 강우 및 과우일수 정보
8	분석	테이블	계측기정보	지구내에 설치된 계측기 위치, 종류, 설치수로 정보 관리
9	분석	테이블	계측기_측정데이터	계측기에서 취득된 시계열 계측자료 관리
10	분석	테이블	전체모의결과	관개 모델링을 분석한 전체 결과 정보 관리
11	분석	테이블	전체모의수로결과	관개 모델링을 분석한 수로 결과 정보 관리
12	분석	테이블	전체모의포장결과	관개 모델링을 분석한 포장 결과 정보 관리

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 개발하였다.

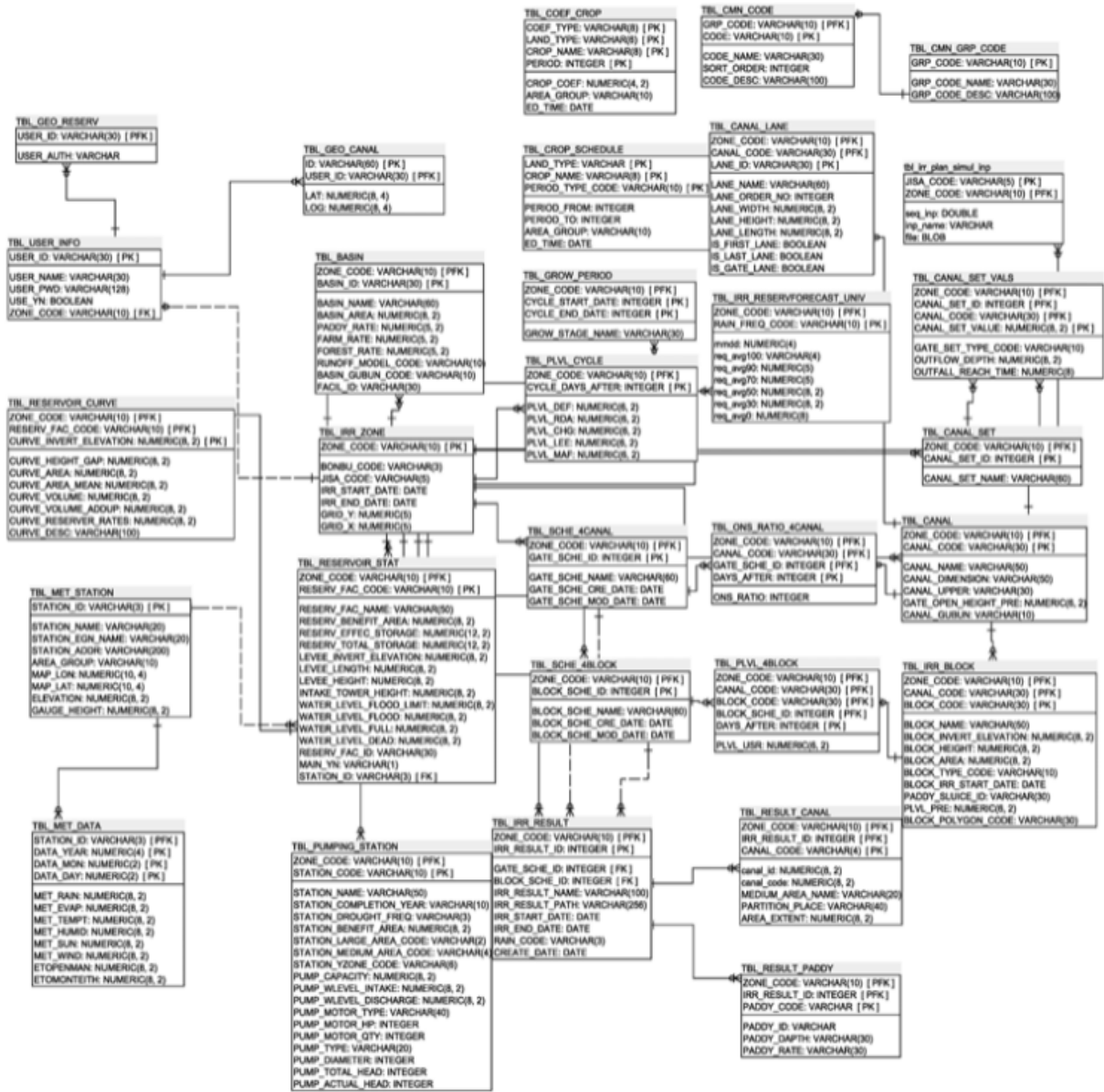
(표 4-35) 공통정보 관련 엔터티

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	기상데이터	기상관측소에서 관측 발표한 기상데이터 관리
9	공통정보	테이블	기상관측소	기상청 산하 기상관측소 정보 관리
10	공통정보	테이블	강우빈도	기상정보를 지역별 강우빈도 정보 관리

데이터베이스를 설계하기 위한 수로계통 모델링 관련 엔터티와 분석 관련 엔터티 그리고 시스템 운영 및 공통코드 관리를 위한 엔터티를 이용하여 정보 관리 효율성, 정확성을 위하여 ERD를 작성하였다.



<그림 4-74> 논리적 구성 ERD



<그림 4-75> 물리적 구성 ERD

데이터베이스 ERD는 시스템에서 분석하려는 대상지구 엔티티를 기반으로 분석을 실행하기 위한 각종 정보를 연계하고 있다. 즉 관계 대상지구는 수원공으로 저수지 또는 양수장을 포함하고 있으며 공급통로로 용수로를 포함하며 공급대상으로 포장을 갖고 있다. 또한 포장에 용수를 공급하기 위한 계획을 관리하도록 해야 하며 분석 조건에 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 관계지구와 분석계획 그리고 모의시간 등의 조건에 따라 관리되도록 데이터베이스를 설계하여 운영할 수 있도록 시스템을 개발하였다.

각 엔티티들은 ERD에 의하여 서로의 관계를 최적의 상태로 연계되도록 하였으며 각 엔티티가 관리하여야 하는 속성들에 대하여 정의한 후 DBMS에 설정하여 데이터베이스 설계를 진행하였다.

□ 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	유역유출점구분코드	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					
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 저수지, 양수장
8	fac_id	시설물 ID	C	30		Y			
9	gate_height	수문높이	N	6,2		Y		m	

□ 양수장정보 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_area_code	중권역코드	C	4					
9	station_yzone_code	용수구역	C	6					
10	pump_capacity	양수기 양수량	N	8,2				m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	
8	curve_volumne_ad dup	누가내용적	N	8,2				천m <sup>3</sup>	
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	레인 이름	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 두께	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						

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		

□ 분석별 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					%	

□ 분석별 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	수로단면적 높이	N	6,2					
11	sensor_canal_b	수로단면적 밑면 길이	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					

□ 분석결과 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_result		분석결과	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	분석결과 ID	I		PK				
4	irr_result_path	분석 결과 파일경로	C	256					
5	irr_start_date	분석 시작일	D						
6	irr_end_date	분석 종료일	D						
7	create_date	등록일	D						
8	rain_code	강우설정코드	C	3					
9	irr_result_name	분석결과명	C	100					

□ 분석 수로결과 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_result_canal		분석 수로결과	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					

□ 분석 포장결과 관리 엔터티 명세서

Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_result_paddy		분석 포장결과	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					

□ 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		분석지구	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 분담기 시작일	C	10		Y			
13	paddy_end_date	이양재배 분담기 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

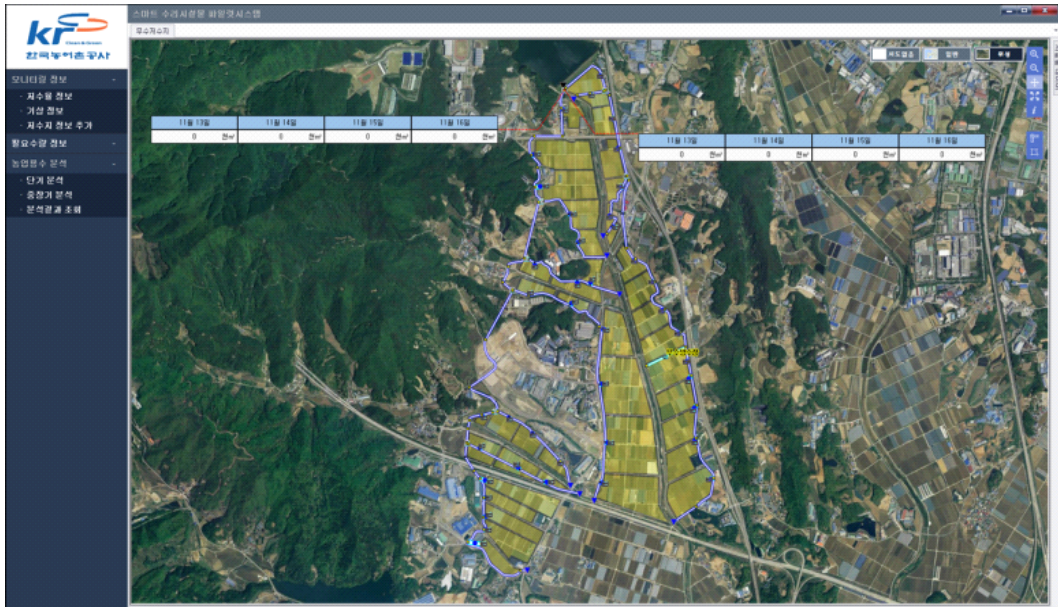
Table ID		Table Name	Type		Category		Comment		
tbl_irr_reservforecast_univ		강우빈도	테이블		공통정보				
Seq	Field	Name	Type	Size	Key	Null	Default	Unit	Remark
1	zone_code	지구코드	C	10	PK				
2	mmdd	날짜	N	10					
3	req_avg100	평년	N	8,2					
4	req_avg90	평년90	N	8,2					
5	req_avg70	평년70	N	8,2					
6	req_avg50	평년50	N	8,2					
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					

## 2) 시스템의 구성

시스템은 모니터링 정보, 필요수량 정보, 농업용수 분석 세 가지로 구분된다.



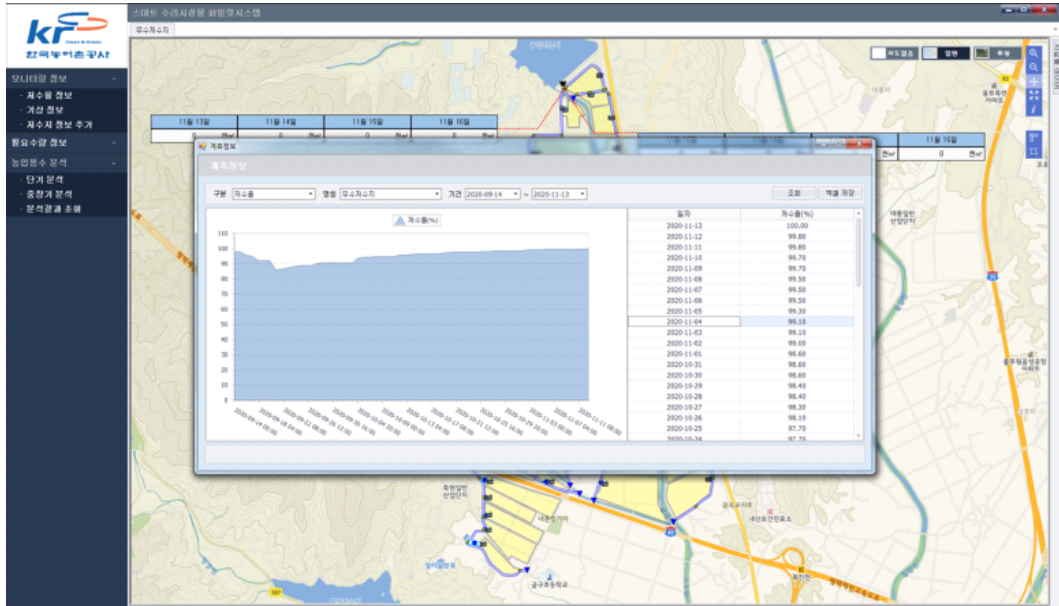
<그림 4-76> 시스템 메인화면

<표 4-36> 시스템 메뉴의 구성

① 저수율 정보	저수지의 과거부터 현재까지의 저수율을 조회한다.
② 기상 정보	저수지가 위치한 지역의 기상정보를 보여준다.
③ 저수지 정보 추가	저수지의 현재 계측정보를 보여준다.
④ 필요수량 정보	저수지 용수공급에 대한 단기 모의를 분석한다.
⑤ 단기분석	저수지 용수공급에 대한 단기 모의를 분석한다.
⑥ 중장기분석	관개기간에 대한 중장기계획을 분석한다.
⑦ 분석결과 조회	저장된 단기, 중장기계획을 조회한다.

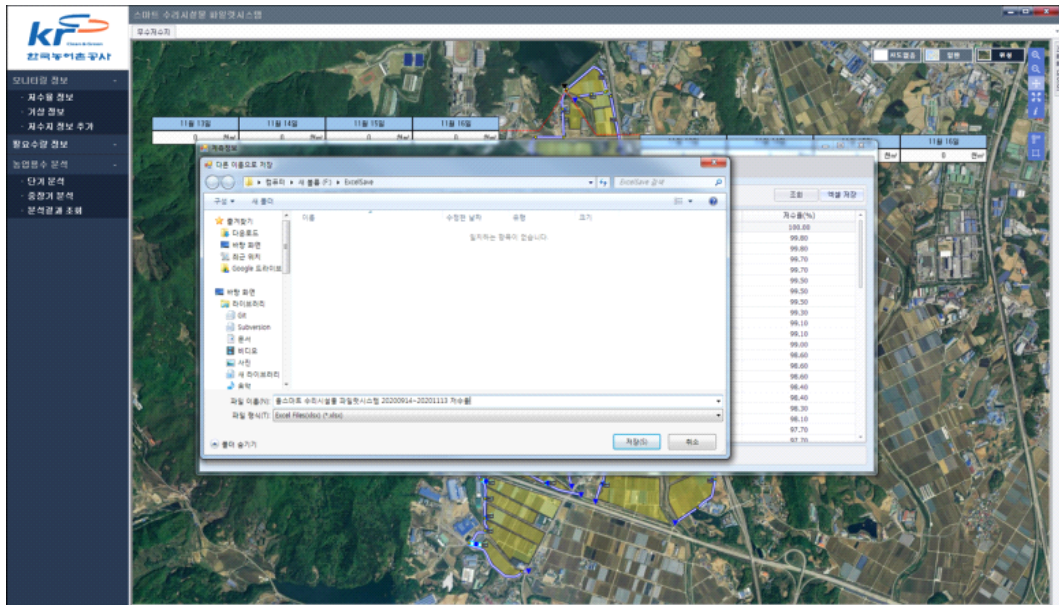
### ① 저수율 정보

저수율 정보 기능은 과거부터 현재까지 측정된 저수지의 저수율을 범위를 지정해 조회하는 기능이다. 조회가 완료된 저수율은 차트와 그리드로 데이터를 보여준다.



<그림 4-77> 저수율 정보 조회 화면

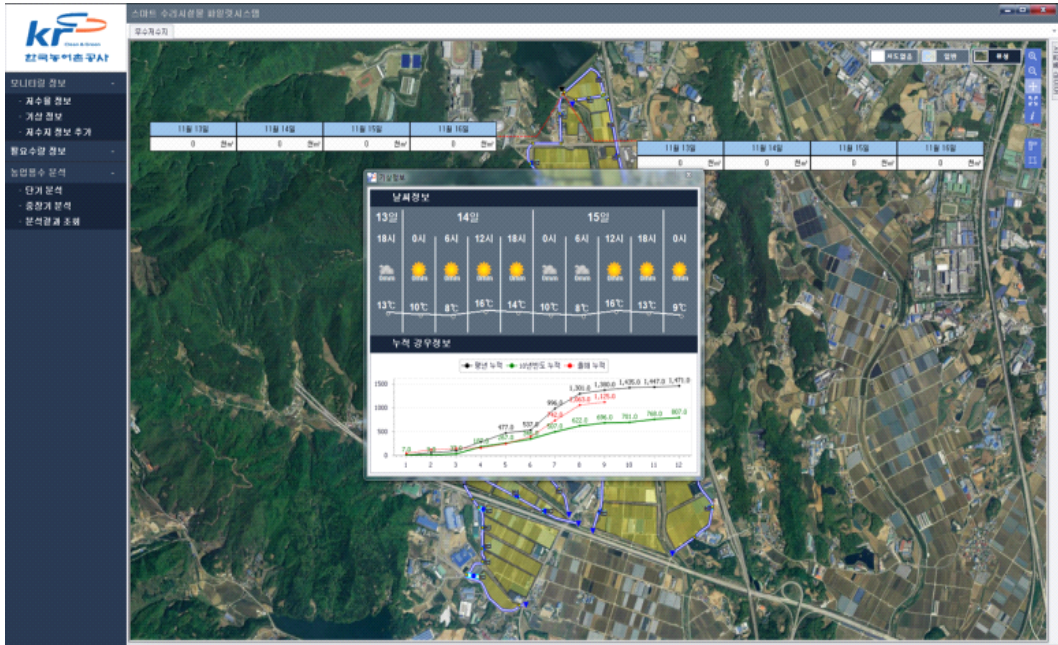
조회된 저수율의 데이터를 저장하고 싶은 경우 조회버튼 옆의 엑셀 저장 버튼을 클릭해서 그리드의 일자, 저수율을 엑셀로 변환해서 추출한다.



<그림 4-78> 저수율 정보 조회 결과 저장

② 기상 정보

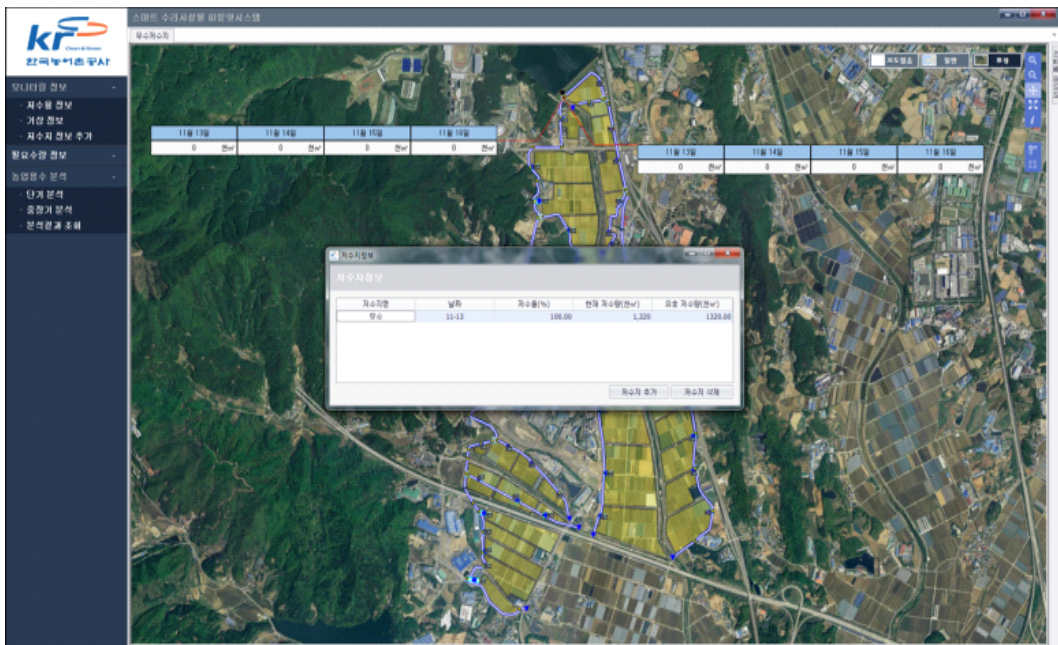
기상정보는 저수지가 위치한 지역의 기상정보를 현재시간 기준 3시간 단위 3일치의 기상정보를 보여준다. 기상정보 하단에는 평년, 10년 빈도 누적강우와 올해의 누적강우 차트를 통해 올해 강우가 평년에 비해 어느 정인지 확인이 가능하다.



<그림 4-79> 기상정보 조회 화면

③ 저수지 정보의 추가

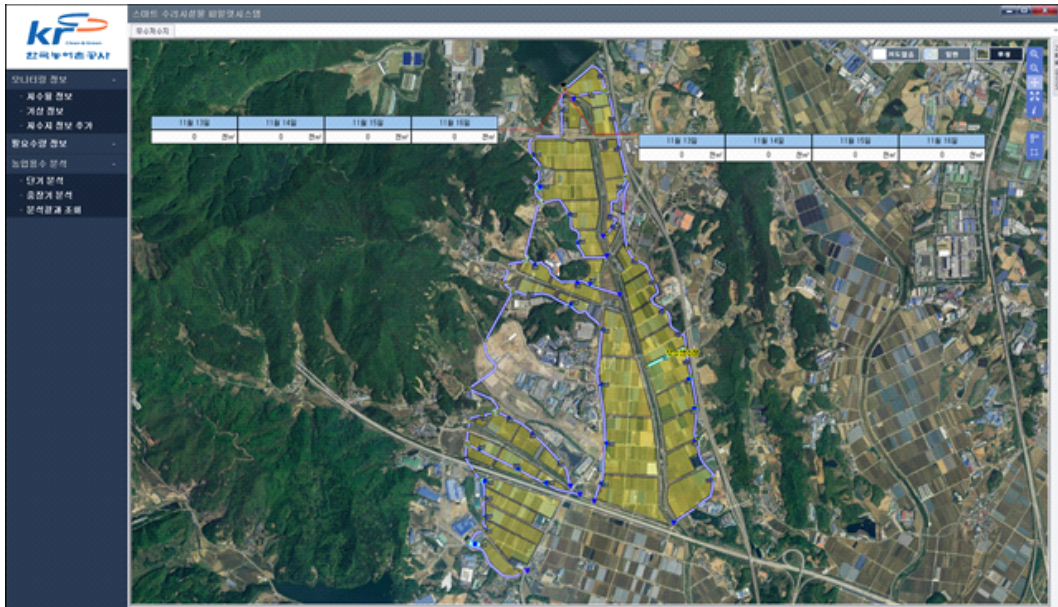
저수지 정보 추가는 추가된 저수지의 현재 저수율, 저수량을 보여준다. 분석 대상 저수지 외에 추가적으로 모니터링할 대상 저수지를 추가하여 관심 저수지에 대한 관리가 가능하다. 다른 저수지의 정보를 추가할 때는 저수지 추가 버튼으로 저수지를 등록하고, 불필요한 저수지 정보는 저수지 삭제를 통해 삭제가 가능하다.



<그림 4-80> 저수지 정보 추가 및 삭제

④ 필요수량 정보

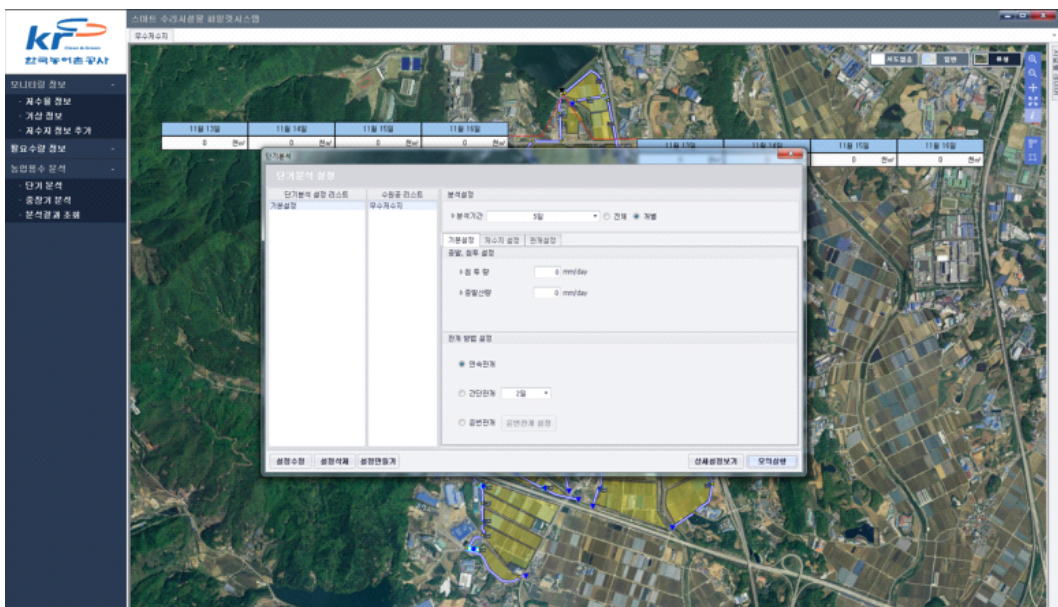
필요수량 정보는 기상청에서 제공하는 3일치 예측 강우정보를 가지고 필요수량을 구하여, 각 간선별 해당 수혜면적에서의 필요수량 정보를 해당일부터 3일까지의 표출하며 이는 GIS 상에서 직관적으로 확인이 가능하다.



<그림 4-81> 필요수량 정보 조회

⑤ 농업용수 분석

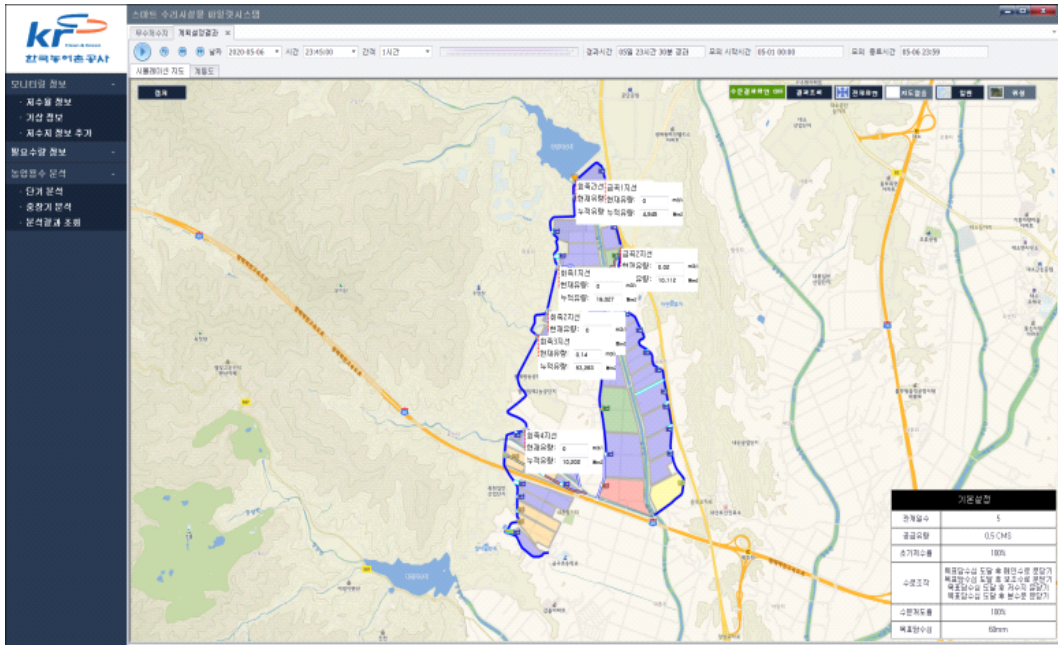
농업용수의 분석은 단기분석과 중장기분석으로 구성되어 있으며 단기분석은 설정 조건, 저장된 단기분석 리스트, 설정 조건을 수정·삭제·만들기, 수문 제어를 위한 상세설정, 설정된 조건에 따른 분석 실행을 제공한다.



<그림 4-82> 농업용수 단기분석 설정 화면

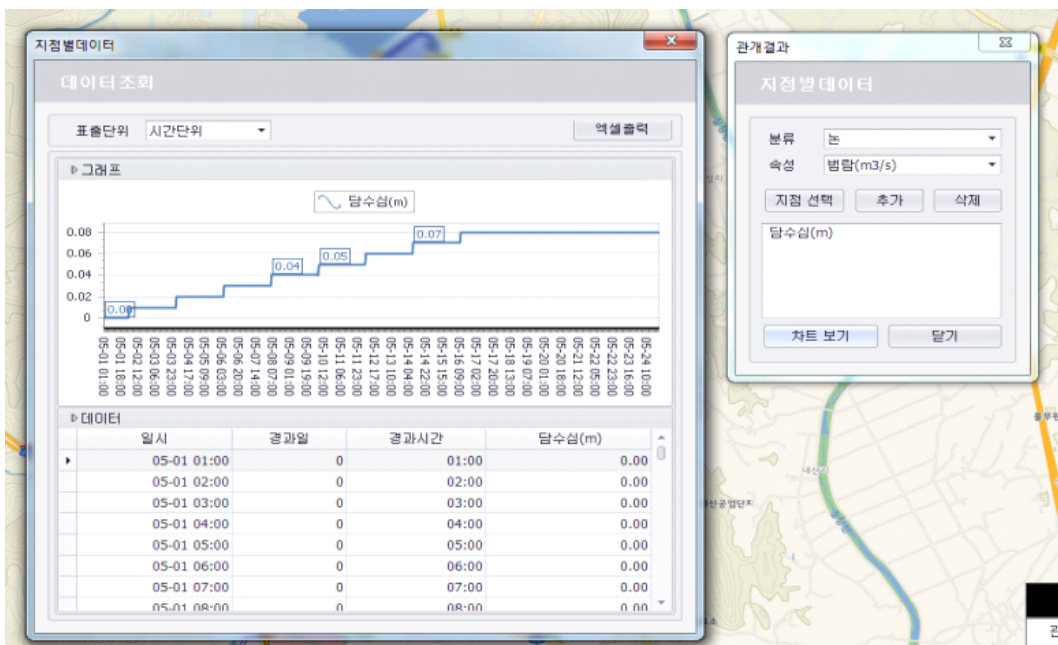


이와 같이 설정된 조건에 따라 분석을 실행하게 되면 다음과 같은 결과 화면이 제공된다. 그리고 분석된 결과를 시뮬레이션으로 시간에 따라 수로 및 포장에 공급되는 용수의 변화를 볼 수 있다.



<그림 4-83> 농업용수 단기분석 결과 화면

결과 화면에서 수로를 선택하게 되면 수로의 시간대별 유량, 수위, 유속 등을 조회할 수 있다.



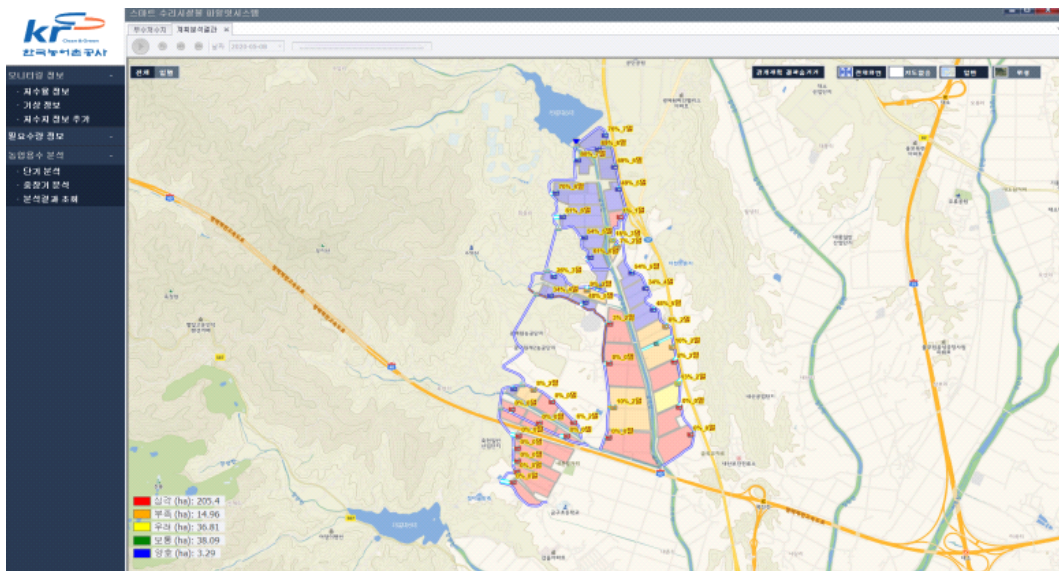
<그림 4-84> 분석된 지점별 결과 조회 화면

중장기 분석은 20일 이상 또는 관개기간 전체에 대하여 수로 네트워크 분석을 하는 기능으로 관개명, 관개기간, 강우, 관개방법, 초기저수율, 침투량, 이양침투용수 등을 설정한다.



<그림 4-85> 농업용수 중장기 분석 설정 화면

위와 같이 설정된 조건에 따라 중장기 분석을 실행하게 되면 분석기간 내 포장블록별 담수율과 담수일 등을 조회할 수 있다. 이는 범례에 따라 중장기 분석 결과를 직관화하여 표출할 수 있다.



<그림 4-86> 농업용수 중장기 분석 결과 화면

## 5장 수위 계측 데이터 분석 방법론 도출

### 5.1 연구 범위 및 내용

#### 5.1.1 연구대상

본 과제의 연구 대상은 경인도 용인시에 위치한 이동저수지에서 수집된 저수지 저수량 데이터, 공급량 데이터 및 강우량 데이터이다. 시간적 범위는 2008년 8월부터 2018년 7월 이고, 데이터 용량은 저수량 데이터는 6개의 변수 컬럼과 358,850개의 시간 행으로 구성되어 있어 총 2,153,100값이고, 공급량 데이터는 8개의 변수와 202,089개의 시간 행으로 구성되어 있어 총 1,616,712 값이고, 강우량 데이터는 3개의 변수와 1,406개 시간 행으로 구성되어 있어 총 4,218개의 값으로 구성되어 있다. 이를 표로 정리하면 아래와 같다

(표 5-1) 분석대상 데이터

구분	시간범위	주요변수	값
저수량 데이터	2011년 1월 ~ 2018년 6월	저수위, 저수량 등	2,153,100개
공급량 데이터	2014년 2월 ~ 2018년 6월	수로수위, 공급량 등	1,616,712개
강우량 데이터	2008년 8월 ~ 2018년 7월	강우량 등	4,218개

#### 5.1.2 연구의 범위

본 연구는 강우량, 공급량, 저수량의 데이터 특성 및 데이터 간의 통계적 상관성 분석 등을 주요 목적으로 하기 때문에 시간의 교집합이 이루어져야 하여 시간의 범위를 2014년 2월부터 2018년 6월까지를 정한 후 데이터를 병합, 전처리 과정을 거친 메타 데이터 셋을 연구의 범위로 한다.

(표 5-2) 분석대상 메타데이터

구분	시간범위	주요변수	값
메타 데이터셋	2014년 2월 ~ 2018년 6월 (520일)	저수량, 공급량, 강우량 등	5,820개

### 5.1.3 연구내용

‘농업기반시설물 성능 개선 및 자율학습 물관리 기술 개발’은 자율학습 알고리즘을 활용하여 농업용수의 공급의 혁신을 도모하기 위함이고, 성공적인 알고리즘 개발을 위해서는 알고리즘에 적용될 데이터에 대한 정의, 특성 및 저장 상태에 대한 정확한 파악이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 농업용저수지 데이터의 형태, 품질, 통계적 특징 등을 분석한 후 저수지 저수량 예측 및 공급량 예측에 필요한 추가 데이터 및 알고리즘을 제시하고자 하며 자세한 연구 내용은 아래와 같다.

- 분석 데이터(저수지 데이터) 형태와 품질
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강우량)의 품질 및 형태
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강우량) 전처리 방법론
  - 분석용 메타 데이터 결합 방법론
- 분석 데이터(저수지 데이터) 통계적 특성
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강우량) 통계적 특징
  - 저수지 데이터(저수량, 공급량, 강우량) 상관관계 분석
- 알고리즘 개발에 필요한 추가 데이터 및 분석방법론
  - 저수량 예측에 필요한 데이터 및 분석 방법론
  - 공급량 예측에 필요한 데이터 및 분석 방법론

## 5.2 저수지 데이터 품질 및 처리 방법

### 5.2.1 저수지 데이터의 품질 및 특성

#### 가. 데이터 품질 분석

AI알고리즘을 개발하기 위해서 가장 먼저 해야 할 일이 양질의 데이터 셋을 구축하는 일이다. 이를 위해서는 데이터의 수집, 가공, 제공, 활용 단계를 지속적으로 모니터링 하며 품질을 관리하여야 한다.

품질을 관리하기 위해서는 품질 기준에 대한 표준 정의가 필요하다. 많이 활용되는 기준은 한국데이터진흥원(K-DATA)에서 가이드 한 아래의 데이터 품질 기준 정의이다.

(표 5-3) K-Data 데이터 품질 평가 기준표

품질 기준	정 의	세부 품질기준
완전성 (Completeness)	필수항목 누락이 없어야함	개별완전성, 조건완전성
유일성 (Uniqueness)	데이터 항목은 유일해야 하며 중복 되어서는 안 된다	범위 유효성, 날짜유효성, 형식 유효성
유효성 (Validity)	데이터 항목은 정해진 데이터 유효범위 및 도메인을 충족해야 한다.	선후관계 정확성, 계산/집계 정확성, 최신성, 업무규칙 정확성
일관성 (Consistency)	데이터가 지켜야 할 구조, 값, 표현되는 형태가 일관되게 정의 되고, 서로 일치해야 한다.	단독 유일성, 조건 유일성
정확성 (Accuracy)	실세계에 존재하는 객체의 표현 값이 정확히 반영이 되어야 한다.	기준코드 일관성, 참조 무결성, 데이터 흐름 일관성, 컬럼 일관성

K-DATA의 데이터 품질 기준 정의 중 본 연구에서 적용할 수 항목은 완전성(Completeness)이고 이를 적용해 보면 아래 표와 같은 결과를 얻을 수 있다.<sup>1)</sup>

(표 5-4) 데이터 품질 평가 결과표

품질 기준	저수량데이터	공급량데이터	강우량 데이터
완전성 (Completeness)	저수량 값 대신 문자 '-' 값 대량 존재	공급량 값 대신 문자 '-' 값 및 NA값도 다수 존재	NA 없음

1) 데이터의 유일성(Uniqueness), 유효성(Validity), 일관성(Consistency), 정확성(Accuracy)를 분석하기 위해서는 논리적, 물리적 DB설계 자료 분석이 필요하며, DB 설계 자료 분석은 추후 별도의 연구를 통해 확인 필요

분석 데이터의 핵심 값인 저수량, 공급량 데이터 중 다수의 데이터가 '-'형태로 기록이 되어 있어 데이터 완전성 확보를 위해 이에 대한 개선이 필요하다.

## 나. 데이터 특성 분석

### 1) 저수량 데이터

(표 5-5) 저수량 데이터 형태표

구분	데이터 형태	적정 데이터 형태
데이터 크기	358,850 * 6	N/A
장비번호	float type	object type
장비명	object type	object type
측정시간	object type	datetime
Raw Data	object type	float type
보정값	object type	float type
저수량	object type	float type

저수량 데이터는 358,850개의 행과 6개의 변수 컬럼으로 구성되어 있고 10분 단위로 데이터가 생성되어 있음. 6개의 변수 중 1개의 변수를 제외하고 5개의 변수의 데이터 형태가 데이터 내용과 맞지 않아 변경 관리가 필요함

2) 공급량 데이터

(표 5-6) 공급량 데이터 형태표

구분	데이터 형태	적정 데이터 형태
데이터 크기	202,089 * 8	N/A
장비번호	float type	object type
장비명	object type	object type
측정시간	object type	datetime
Raw Data	object type	float type
보정값	object type	float type
공급량	float type	float type
누적공급량	float type	float type
공급시작, 종료일	object	date time

공급량 데이터는 202,089개의 행과 8개의 변수 컬럼으로 구성되어 있고 10분 단위로 데이터가 생성되어 있음. 8개의 변수 중 5개의 변수의 데이터 형태가 데이터 내용과 맞지 않아 변경 관리가 필요함

3) 강수량 데이터

(표 5-7) 강수량 데이터 형태표

구분	데이터 형태	적정 데이터 형태
데이터 크기	1406 * 3	N/A
지점	float type	object type
일시	datetime type	datetime type
일 강수량	float type	float type

공급량 데이터는 1,406개의 행과 3개의 변수 컬럼으로 구성되어 있고 일 단위 데이터가 생성되어 있음. 3개의 변수 중 1개의 변수의 데이터 형태가 데이터 내용과 맞지 않아 변경 관리가 필요함

### 5.2.2 저수지 데이터 전처리 방법론

AI알고리즘에 최적화된 데이터 셋을 만들기 위해서는 전처리가 필수적인 과정이다. 전처리 방법은 데이터의 특징에 따라 선형보간법, 최소값 적용, 중앙값 적용, 평균 값 적용, 회귀 값 적용, 이전(ffill method) 또는 이후 값(bfill method) 등을 적용 할 수 있다.

본 연구에서 활용할 데이터 셋은 다수의 결측치가 있어 이를 보정해야 할 필요가 있었다. 보정 대상 데이터는 저수량, 공급량 데이터이고 이전 값 대체(ffill method) 방식으로 전처리를 진행하였다.

### 5.2.3 분석용 메타 데이터 결합 방법론

본 연구에서 활용한 분석 대상 데이터는 저수지의 저수량 데이터, 공급량 데이터, 강우량 데이터 3종이고, 저수량 예측과 공급 필요량(수요량) 예측을 위해서는 동일 기간의 3종 데이터의 기록이 필요하다. 하지만 각 데이터는 기록 기간이 상이하여 공통 기간을 축으로 한 메타 데이터 셋 생성이 필요하였다. 이를 위하여 관개수로에 물 공급량이 기록된 2014년 2월부터 2018년 6월을 기준으로 아래 표와 같이 메타 데이터 셋을 생성하였다.

(표 5-8) 메타 데이터 형태표

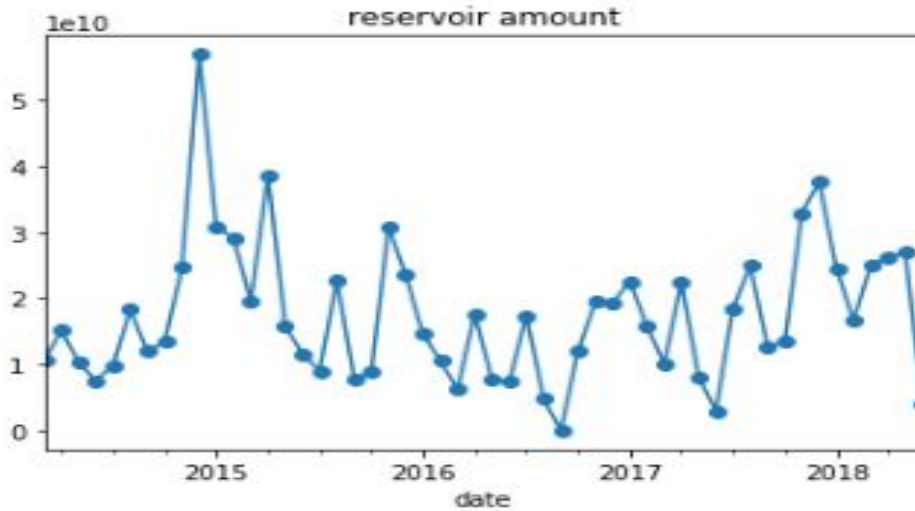
구분	데이터 형태	구분	데이터 형태
데이터 크기	582 *13, 582일	누적공급량	float
날짜	datetime	저수량원시데이터	float
장소	object	저수량보정데이터	float
강우량	float	저수량	float
수로원시데이터	float	해당년도	object
수로보정데이터	float	해당월	object
공급량	float	해당요일	objct



### 5.3 분석 데이터 통계적 특성

#### 5.3.1 저수지 데이터의 통계적 특징

##### 가. 저수량 데이터의 통계적 특징

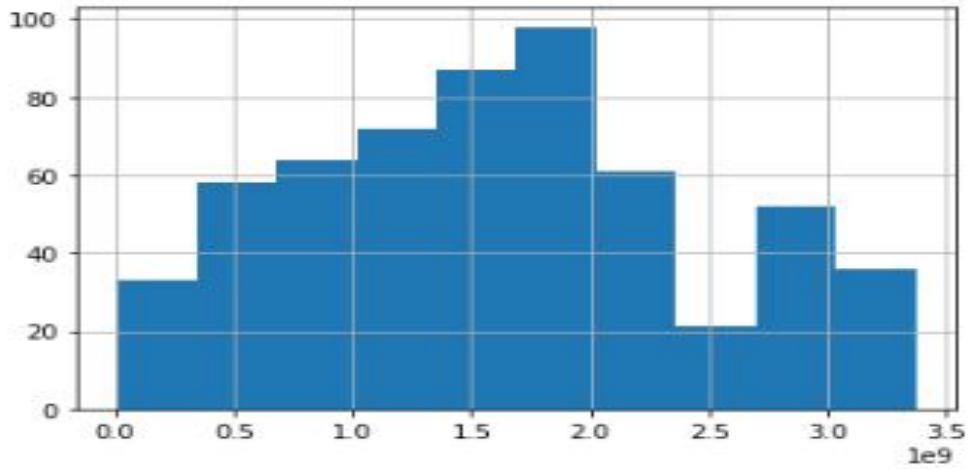


<그림 5-1> 월별 저수량 변화 추이 그래프

(표 5-9) 월별 저수량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	52	25%	10,046,287,814.30
평균(mean)	18,158,300,439.59	50%	16,206,499,407.71
표준편차(std)	10,344,700,294.54	75%	24,641,137,187.85
최소값(min)	2,983,158,443.42	max	56,943,615,646.72

저수지 저수량 데이터의 월별 그래프는 상기 그림과 같이 나타나고 저수량이 가장 적었던 달은 2017년 6월이고 가장 많았던 달은 2014년 12월로 나타났고 월 평균 저수량 18,158,300,439.59m<sup>3</sup>, 표준 편차는 10,344,700,294.54m<sup>3</sup>으로 나타남



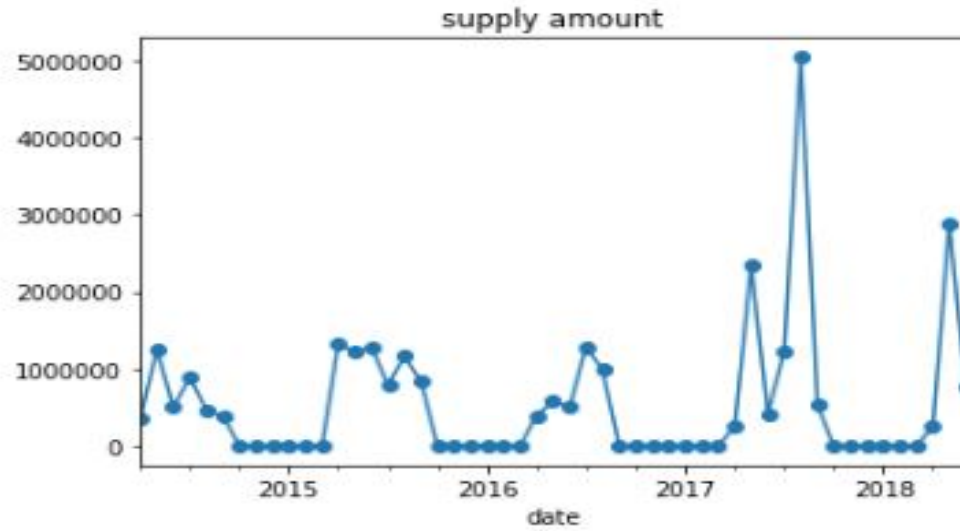
<그림 5-2> 일별 저수량 히스토그램

(표 5-10) 일별 저수량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	582	25%	957,151,808.56
평균(mean)	1,622,391,104.57	50%	1,621,986,595.59
표준편차(std)	833,609,651.74	75%	2,136,519,114.75
최소값(min)	7,825,185.09	max	3,369,848,836.97

저수지 저수량 데이터의 일별 히스토그램 상기 그림과 같이 나타나고 저수량이 가장 적었던 날은 2015년 7월 25일이고 가장 많았던 날은 2015년 4월 7일로 나타났고 일 평균 저수량은 1,622,391,104.57m<sup>3</sup>, 표준 편차는 833,609,651.74m<sup>3</sup> 으로 나타남

나. 공급량 데이터의 통계적 특징

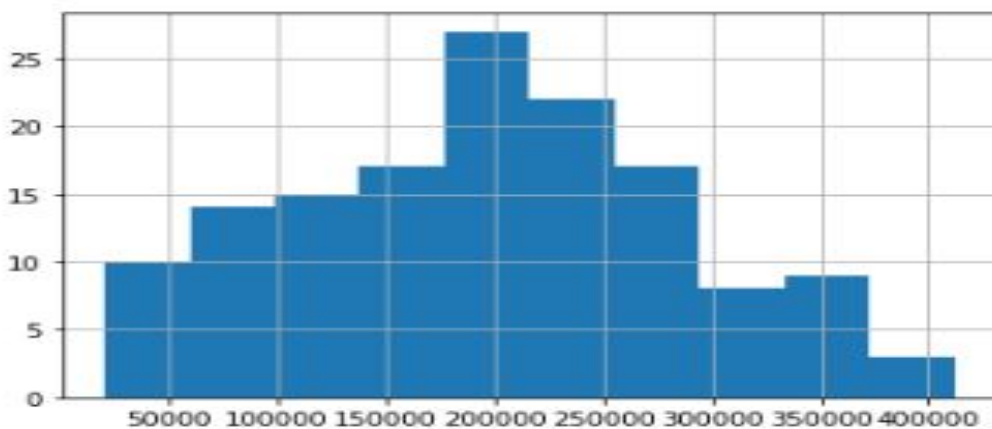


<그림 5-3> 월별 공급량 변화 추이 그래프

(표 5-11) 월별 공급량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	52	25%	N/A
평균(mean)	547,017.09	50%	244,891.55
표준편차(std)	902,686.42	75%	809,828.78
최소값(min)	244,891.56	max	5,047,491.07

월별 공급량 추이 그래프는 상기 그림과 같이 나타나고 공급량이 가장 적었던 달은 2018년 4월이고, 가장 많았던 달은 2017년 8월로 나타났고 일 평균 저수량은 1,622,391,104.57m<sup>3</sup>, 표준 편차는 833,609,651.74m<sup>3</sup> 으로 나타남



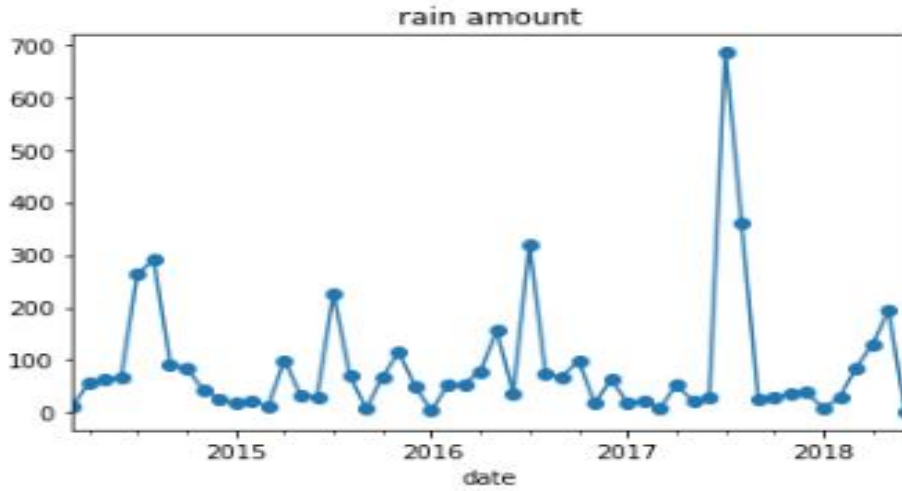
<그림 5-4> 관개기 공급량 히스토그램

(표 5-12) 관개기 일별 공급량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	142	25%	12,9347.91
평균(mean)	196,463.88	50%	195,257.88
표준편차(std)	92,223.32	75%	259,178.22
최소값(min)	20,421.65	max	411,614.95

저수지 공급량 데이터는 관개기 총 305일 중 물 공급이 있었던 142일을 대상으로 분석하였음  
일별 히스토그램 상기 그림과 같이 나타나고 공급량이 가장 적었던 날은 2015년 4월 2일이고  
가장 많았던 날은 2017년 7월 27일로 나타났고 일 평균 저수량은 1,622,391,104.57m<sup>3</sup>, 표준 편차  
는 833,609,651.74m<sup>3</sup> 으로 나타남

다. 강수량 데이터의 통계적 특징



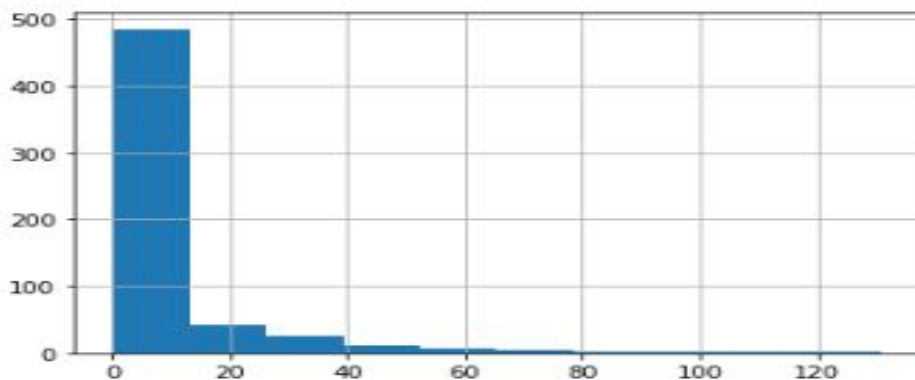
<그림 5-5> 월별 강수량 변화 추이 그래프

(표 5-13) 월별 강수량 기술통계량

구분	값	구분	값
횟수(count)	52	25%	25.25
평균(mean)	87.61	50%	52.55
표준편차(std)	117.87	75%	87.5
최소값(min)	1.8	max	684.5

월별 강수량 추이 그래프는 상기 그림과 같이 나타나고 강수량이 가장 적었던 달은 2018년 6월이고, 가장 많았던 달은 2017년 7월로 나타났고 월 평균 강수량은 87.61mm, 표준 편차는 117.87mm 으로 나타남

강수량의 변화에 반복적인 패턴 또는 주기성이 파악되지는 않음



<그림 5-6> 일별 강수량 히스토그램

(표 5-14) 일별 강수량 기술통계량

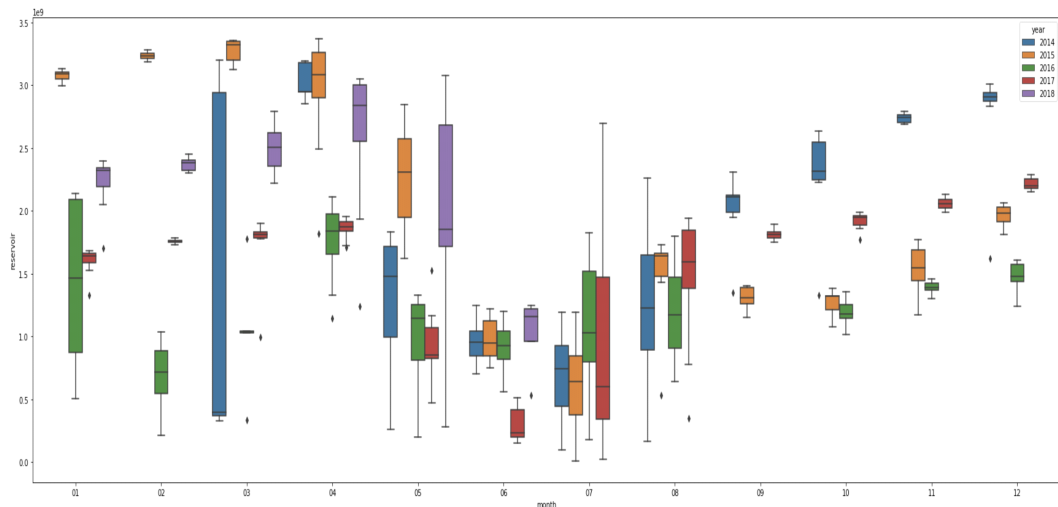
구분	값	구분	값
횟수(count)	582	25%	0.1
평균(mean)	7.83	50%	1.3
표준편차(std)	16.60	75%	6.88
최소값(min)	0	max	130.80

저수지 부근 강수량 데이터의 일별 히스토그램 상기 그림과 같이 나타나고 강수량이 가장 적었던 날은 2014년 3월 14일 외 다수의 강수량 0인 날이 존재하고 강수량이 가장 많았던 날은 2017년 8월 20일로 나타났고 일 평균 강수량은 7.83mm, 표준 편차는 16mm 으로 나타남

## 5.4 저수지 데이터의 상관 분석

저수지 데이터의 저수량과 공급 수요량을 예측하기 위해서는 저수지 수량에 영향을 미치는 변수들 간의 상관관계를 이해 할 필요가 있다. 특히, 효율적인 물관리가 필요한 관개기간(4월부터 9월)에 강수량, 공급량, 저수량의 변화가 어떤 상관관계를 가지고 있는지 파악하여 유입될 물의 양과 공급할 물의 양을 예측하는 모델의 변수 선택의 판단 근거로 삼아야 한다. 이를 위해 본 절에서는 관개 기간 내 저수량, 공급량, 강수량의 패턴을 년도별로 파악해 보고 이들 간의 상관관계를 분석해 보고자 한다.

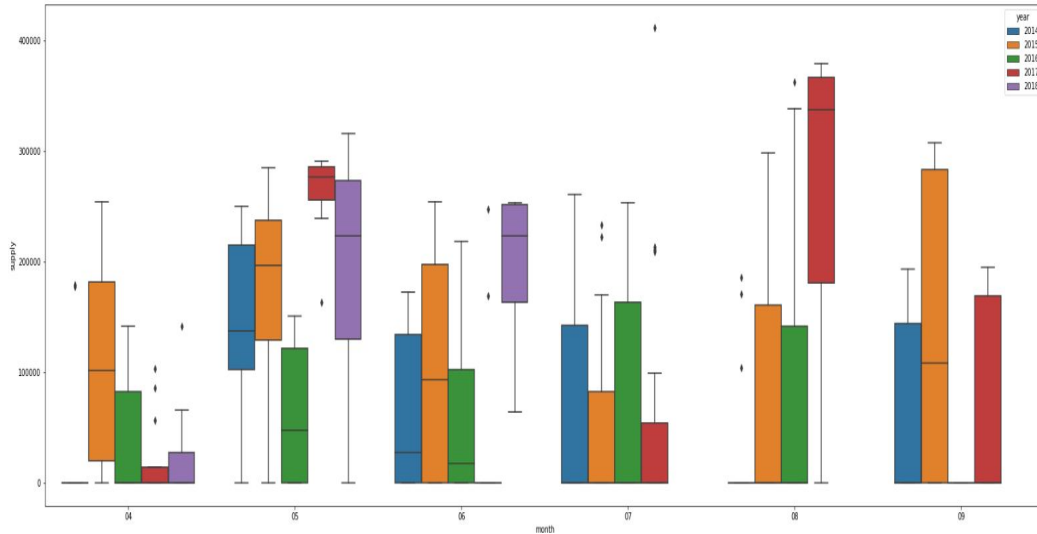
### 5.4.1 관개 기간 내 각 변수의 패턴 분석



<그림 5-7> 관개기 저수량 Box Plot (단위: m³)

2014년부터 2018년까지 효율적인 물관리가 필요한 관개기간 내 저수량 데이터를 월별로 분석해 본 결과 평균 저수량이 가장 높았던 시기는 2015년 4월이고 가장 낮았던 시기는 2017년 6월로 파악됨.

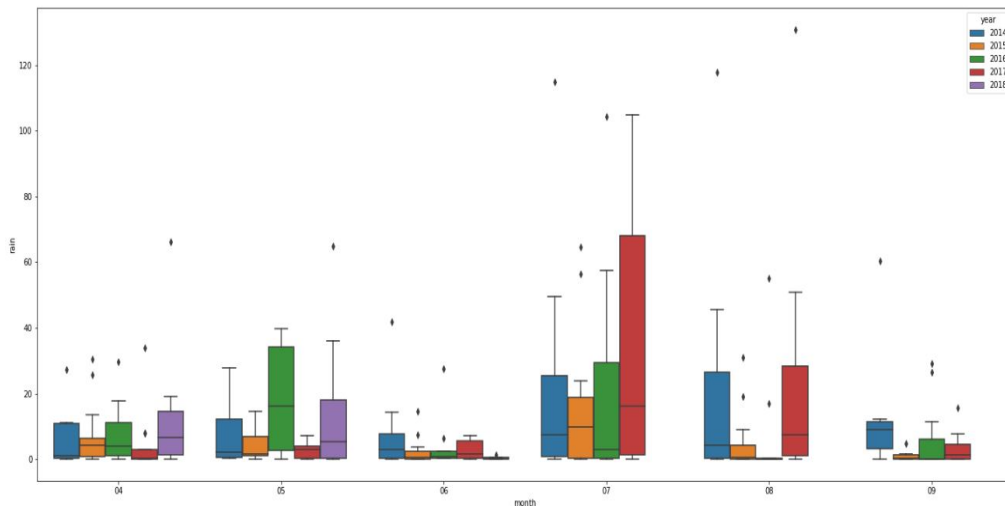
저수량의 변화에 반복적인 패턴 또는 주기성이 파악되지는 않음



<그림 5-8> 관개기 공급량 Box Plot (단위: m³)

2014년부터 2018년까지 효율적인 물관리가 필요한 관개기간 내 공급량 데이터를 월별로 분석해 본 결과 평균 공급량이 가장 높았던 시기는 2017년 8월이고, 가장 낮았던 시기는 2017년 4월로 나타남.

각 월별 공급량에 주기성이 나타나지 않고, 강수량이 높았던 2017년 8월에 공급량도 높게 나타나 강수량과 공급량과의 반비례 관계도 성립하지 않을 수 있음.



<그림 5-9> 관개기 강수량 Box Plot (단위: mm)

2014년부터 2018년까지 효율적인 물관리가 필요한 관개기간 내 강수량 데이터를 월별로 분석해 본 결과 평균 강수량이 가장 높았던 시기는 2017년 7월이고 가장 낮았던 시기는 2018년 6월로 파악됨.

강수량의 변화에 반복적인 패턴 또는 주기성이 파악되지는 않고 년도별 월별 편차가 매우 크다는 것을 파악할 수 있음

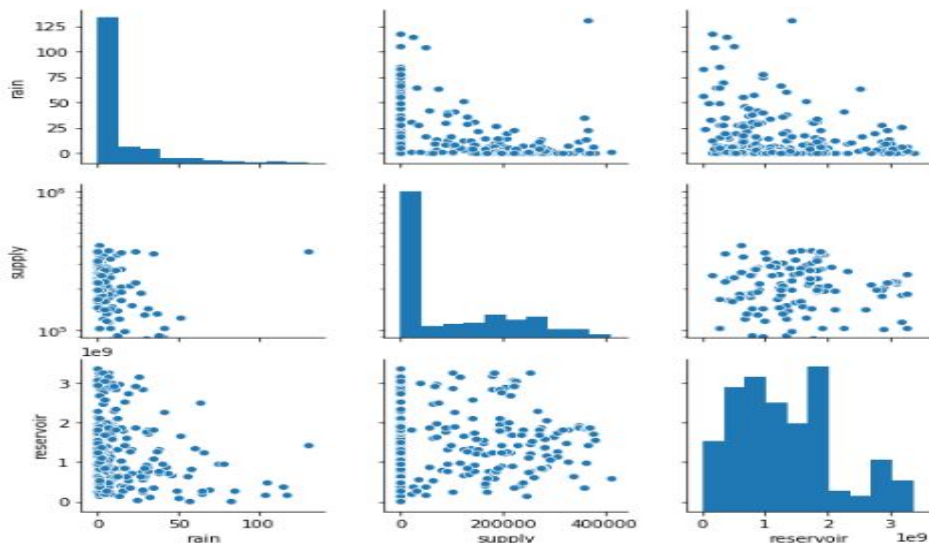


### 5.4.2 관개 기간 내 각 변수의 상관 분석

관개 기간 내의 저수량, 공급량, 강수량의 상관관계 분석은 피어슨상관계수(Pearson Correlation Coefficient)를 활용하여 진행하였고, 아래와 같은 결과가 도출됐다.

(표 5-15) 관개기 주요 변수 상관 계수표

구분	강수량	공급량	저수량
강수량	1.00	-0.15	-0.24
공급량	-0.15	1.00	0.14
저수량	-0.24	0.14	1.00



<그림 5-10> 관개기 주요변수 상관 관계 그래프

강수량과 공급량간의 상관 계수는 -0.15이고 p-value는 0.01로 관개기 강수량과 공급량은 통계적으로 약한 음의 상관성을 나타냈다. 이는 강수량이 증가하면 공급량이 줄어들 가능성이 약하게 있다고 이해할 수 있다.

강수량과 저수량간의 상관계수는 -0.24이고 p-value는 0.00002로 강수량과 저수량은 통계적으로 약한 음의 상관성을 나타냈다. 이는 강수량이 증가하면 저수량이 줄어들 가능성이 약하게 있다고 이해할 수 있다. 다만 이 결과는 강수량이 늘면 저수량이 증가한다는 이해되는 상식에 적합하지 않아 보다 심도 있는 검증이 필요하다.

저수량과 공급량 간의 상관계수는 0.14이고 p-value는 0.013으로 저수량과 공급량은 약한 양의 상관성을 나타냈다. 이는 저수량이 증가하면 공급량도 증가할 가능성이 약하게 있다고 이해할 수 있다.

## 5.5 저수량 예측 알고리즘 개발

신뢰성 있는 저수지 저수량 및 공급량 예측은 물 사용자들의 수요에 대응하여 효과적인 물 공급을 해야 하는 수자원 계획과 관리 측면에서 필수적인 요소이다. 특히 우리나라의 경우 본 보고서에서 분석한 것처럼 계절별 강수량의 차이나 유출량의 변화가 매우 커서 저수량 및 공급량 예측에 많은 어려움이 있는 것이 현실이다. 이러한 현실에서 예측의 정확성을 확보할 수 있는 방법은 다양한 예측 인자를 발굴하여 모델에 적용하는 것이다.

예를 들어, 강제원은 “다중 선형회귀분석에 의한 계절별 저수지 유입량 예측”<sup>2)</sup>을 위한 자료로 남방진동지수(Southern Oscillation Index, SOI), 해수면 온도(Sea Surface Temperature, SST), 500hPa 지위고도(Geopotential Height, GPH) 등을 선택하여, 이 자료에서 예측 인자를 발굴하여 다중선형회귀분석 모델을 활용하여 안동댐 계절별 유입량 예측을 수행하였다. 그 결과 안동댐 계절별 유입량과 남방진동지수와는 유의한 상관관계가 발견되지 않았고, 해수면 온도와 지위고도자료는 안동댐 계절별 유입량과 유의한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 예측 인자들을 활용하여 계절 카테고리를 설정하고 다중회귀분석 모델로 안동댐의 계절별 유입량을 예측한 결과 기존 예측에 비해서 23% ~37% 정도 향상된 것으로 나타났다.

상기의 예처럼 저수지 저수량과 공급량 수요 예측을 위해서 저수량, 공급량, 강수량과 이에 대한 가공 데이터 이외의 영향 변수들을 발굴하여 모델에 적용시키면 예측의 정확도를 높일 수 있을 것이다.

예를 들면 취수부에서 획득할 수 있는 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 계수문(개폐, 개도율), 도수부에서 획득할 수 있는 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문, 급수부에서 획득할 수 있는 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량) 등의 데이터를 확보하여 활용할 수 있을 것이다.

서영민 외 2인이 연구한 ‘기계학습 모델을 이용한 저수지 수위 예측’<sup>3)</sup>을 보면 수위 예측에 적용할 수 있는 다양한 방법론이 제시되어 있다. 예를 들어 홍수기간동안 예측 시간 1~3시간에 대한 저수지 수위 예측을 하기 위해 뉴로 퍼지 방법이 적용되었고, 터키의 경우 Van호의 수위 변화를 모델링하기 위해 ANN(Artificial neural Network)방법을 적용하였다.

또한 시계열 통계 분석 방법 중 하나인 ARMAX

(Autoregressive-moving-average model)를 활용하여 ANN 모델의 성능을 비교하였다. 또한 Kisi et al(2012)는 저수지 일수위 예측을 위하여 ANN, ANFIS 및 GEP(Gene Expression Programming)을 적용하였고 Hipniet et al(2013) 저수지 일수위 예측을 위하여 SVM(Support Vector Machine)을 적용하여, 그 결과를 ANFIS와 비교하였다.

이처럼 저수량 또는 공급량을 예측하는 방법론은 전통적인 통계 방법론, 머신러닝 방법론 그리고 딥러닝 방법론까지 다양하게 활용되고 있고, 알고리즘의 선택은 예측에 활용될 변수의 특성과 분석 환경에 따라 최적화된 알고리즘을 선택할 필요가 있다.

2) 강제원, 2013, ‘다중선형회귀분석에 의한 계절별 저수지 유입량 예측’, 충남대학교 국제수자원 연구소, The Korean Environmental Science Society.

3) 서영민외 2인, 2017, ‘기계학습모델을 이용한 저수지 수위 예측’, 경북대학교, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers

### 5.5.1 알고리즘 개발 목표

무수저수지의 시기별 저수량을 예측할 수 있는 알고리즘을 개발하기 위해서는 우선 수집 및 활용 데이터의 품질검증이 필요하고, 두 번째로 모델에 적용할 데이터를 선별하기 위해 데이터들의 트렌드 및 상관관계를 분석해야 한다. 이 과정을 거쳐 구축한 데이터 셋을 활용하여 기존 알고리즘의 장기 기억성 문제를 개선할 수 있는 LSTM, GRU 모형 및 ANN 등 새로운 Machine Learning 알고리즘에 대한 적용성을 검토하여 최적의 저수량 예측 모델을 개발하고자 함

#### 가. 수집 데이터 품질 검증

K-DATA의 데이터 품질 기준 가이드에 따른 품질 검증 시행

#### 나. 데이터의 트렌드 및 상관관계 분석

분석 대상 데이터들의 트렌트 및 상관관계를 분석하여 모델에 적용할 데이터를 선정

#### 다. 기존 알고리즘 개선

기존 분석 방법론인 RNN알고리즘의 장기 기억성 문제를 해결할 수 있는 LSTM 또는 GRU 알고리즘으로 대체하는 방안을 연구

#### 라. 신규 알고리즘 개발

금년도부터 새로 수집되는 계측 데이터를 적용하여 시계열 분석(Time-Series Analysis), ANN(Artificail Neural Network) 등의 알고리즘을 적용하여 최적 성능을 보이는 알고리즘을 개발

## 5.5.2 저수지 데이터 수집 및 분석

무수저수지의 데이터는 크게 무수저수지와 간선의 데이터로 나누어져있음. 무수저수지의 저수위, 저수량, 저수율, 회죽간선과 금곡간선의 유량을 포함하며 자료기간은 2008년 11월 1일부터 2020년 8월 31일까지 총 3165일치의 데이터를 보유하고 있음. 저수량의 단위는 톤(ton)이며 무수저수지의 최대 저수량은 137만톤임. 저수율의 단위는 %로 0부터 100까지의 값을 가짐. 유량의 단위는 톤/일(ton/day)로 하루에 흘러내려간 물의 양을 의미하며 0 이상의 값을 가짐. 무수저수지는 회죽간선과 금곡간선이 있으며 각 간선마다 시점부, 중간부, 말단부에 총 6곳에 유량 측정기가 있음. 시점부 유량은 회죽간선 시점부와 금곡간선 시점부의 유량의 합을 의미함.

알고리즘 개발에 앞서 다음과 같은 무수저수지 데이터의 탐색적 분석을 진행하였음

- ① 무수 저수지 저수율 현황 데이터 (2010-2020) 일별 데이터
- ② 공급량(금곡간선)(2018/10/15~2020/04/10) 일별 데이터
- ③ 공급량(회죽간선)(2014/04/01~2020/03/22) 일별 데이터
- ④ 금곡간선말단, 금곡간선분기 측정자료(2019/08/05~2019/10/14) 시간별 데이터

### 가. 무수 저수지 기초데이터 분석

#### 1) 저수율(금회, 전년, 평년) 기초 통계 분석

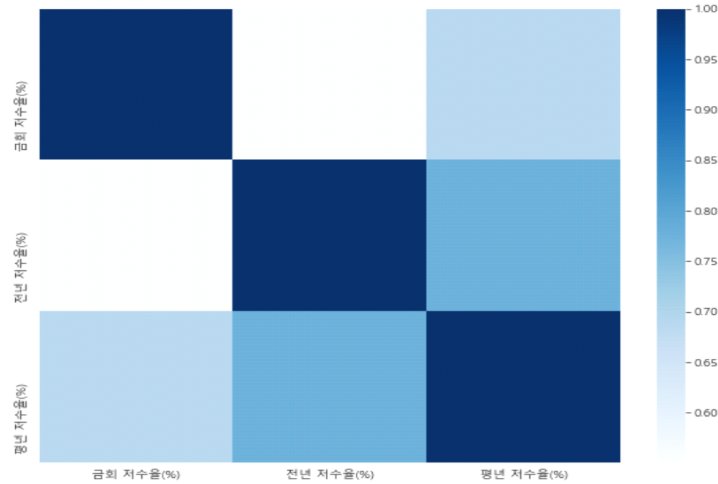
저수율 데이터에 대한 기초 통계 분석은 다음과 같으며, 평균이 약 87%, 표준편차 값이 약 18로 나타남

(표 5-16) 저수율 데이터 기초 통계표

구분	금회 저수율(%)	전년 저수율(%)	평년 저수율(%)
데이터수 (count)	3756.000000	3756.000000	3756.000000
평균 (mean)	87.886848	88.731470	86.201944
표준편차 (std)	18.179401	16.499129	12.316297
최소값 (min)	29.800000	33.100000	51.400000
1사분위수 (1Q, 25%)	76.975000	79.375000	83.000000
중위값 (2Q, 50%)	99.500000	98.900000	89.700000
3사분위수 (3Q, 75%)	100.000000	100.000000	95.700000
최대값 (max)	100.000000	100.000000	99.300000

2) 저수율(금회, 전년, 평년) 상관관계 표

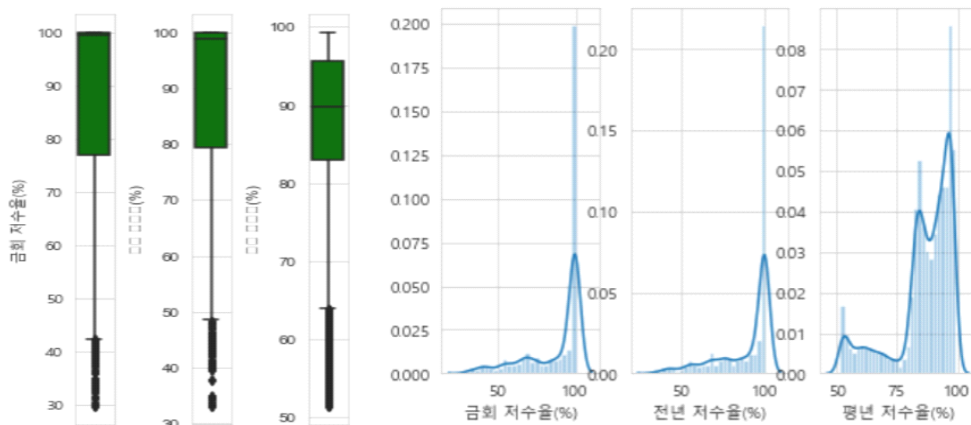
평년 저수율에 대한 전년 저수율, 금회 저수율 각각의 상관계수가 0.65이상으로 나타나 높은 상관관계를 보임



<그림 5-11> 금회 저수율, 전년 저수율, 평년 저수율 HeatMap

3) 저수율(금회, 전년, 평년) 이상치 및 skewness 탐색

금회, 전년, 평년 저수율 모두 대부분 데이터가 80~100(%)의 값에 집중되어 있는 양상을 보임  
저수율이 30~40%까지 떨어지는 경우가 나타나는데, 이 값들에 대한 이상치 여부 판단이 필요함

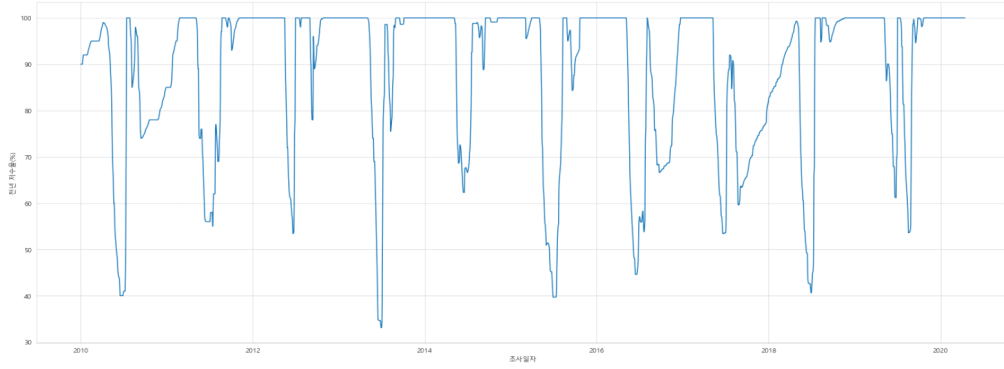


<그림 5-12> 금회 저수율, 전년 저수율, 평년 저수율 이상치 및 skewness

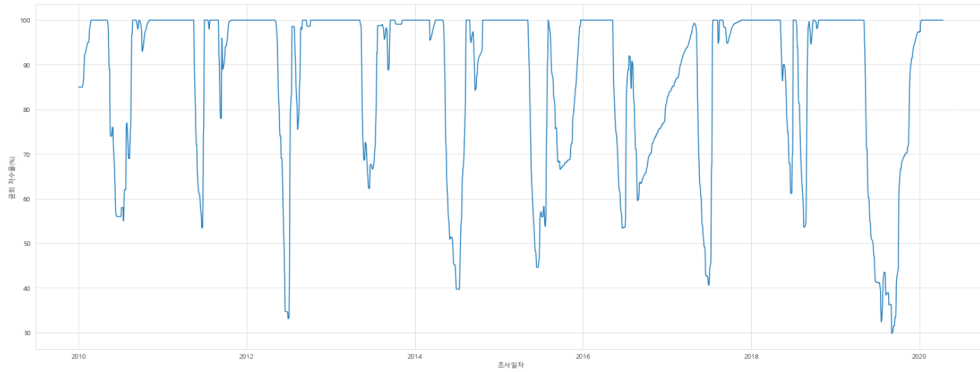
나. 시계열 데이터 탐색

저수율 데이터는 다음의 그래프와 같이 계절에 따른 주기성을 보임

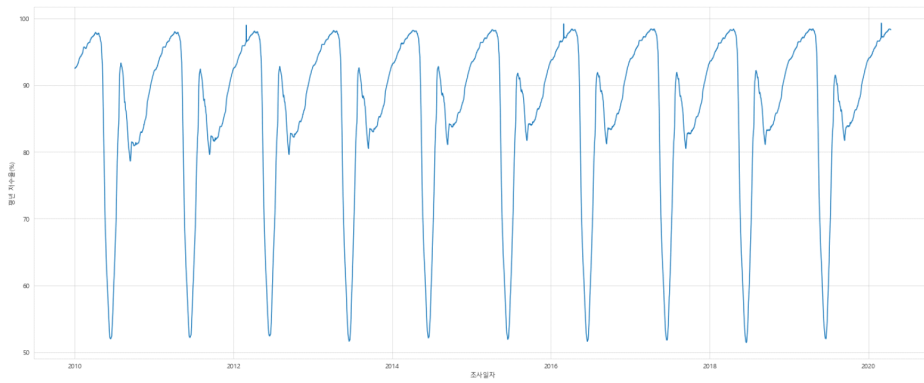
알고리즘 개발 시, 계절에 따른 변화를 나타낼 수 있는 기상 데이터와 같은 설명변수가 추가로 필요함.



<그림 5-13> 2020년 저수율 시계열 그래프



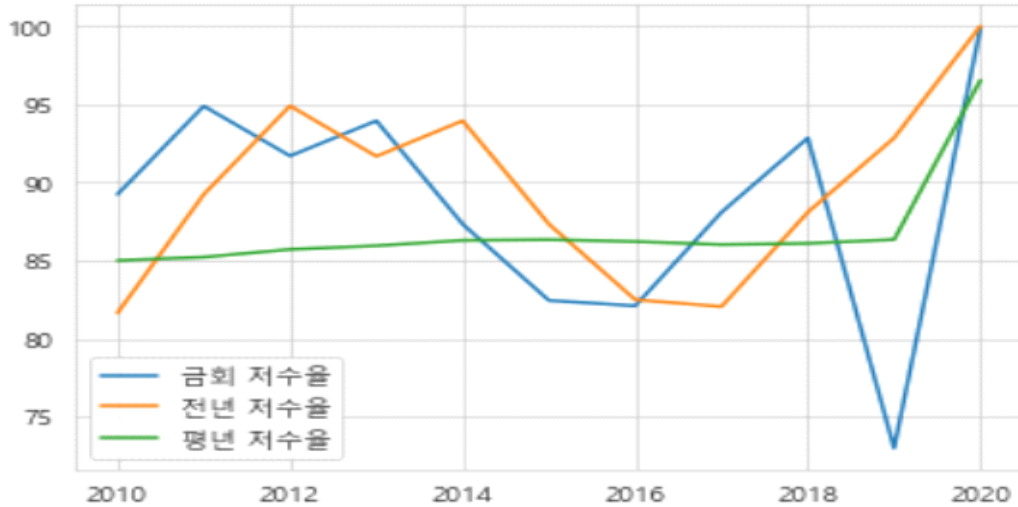
<그림 5-14> 2019년 저수율 시계열 그래프



<그림 5-15> 평년 저수율 시계열 그래프

#### 다. 연도별 저수율 분석

무수 저수지 저수율 데이터는 연도별 상이한 형태로 나타남. 2016년, 2018년에는 무수 저수지가 있는 충청북도 지역의 폭염일수가 22일, 35일이었으며, 이 때문에 실제 저수율이 낮게 형성되고 있으며 2020년에서 저수율이 상승하는 양상은 2020년 하반기 데이터의 부재가 원인으로 판단됨. 무수저수지의 평년저수율은 약 85% 수준으로 유지되고 있음

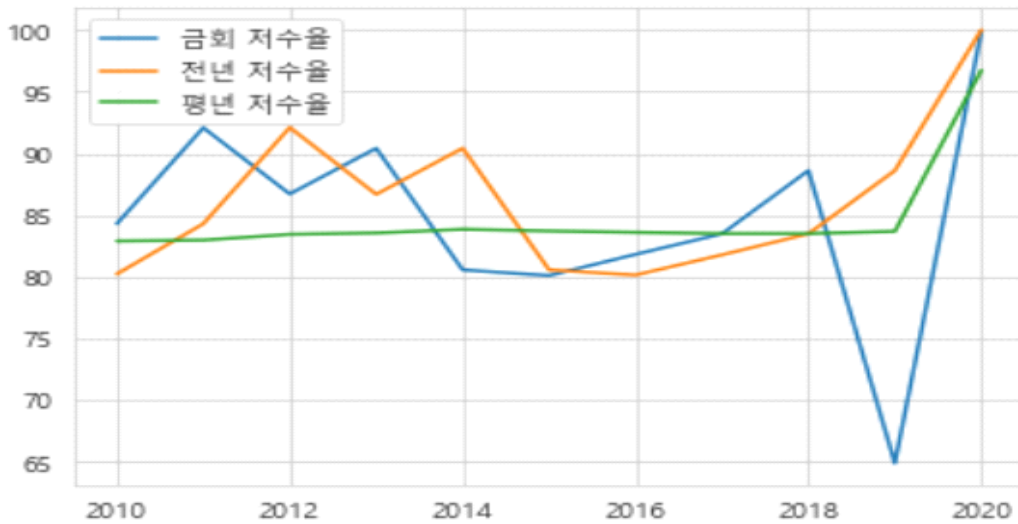


<그림 5-16> 연도별 저수율 변화 추이

(표 5-17) 연도별 저수율 변화값

연도	금회 저수율	전년 저수율	평년 저수율
2010	89.225479	81.626301	84.995068
2011	94.877534	89.225479	85.207397
2012	91.684699	94.891530	85.701913
2013	93.938082	91.661918	85.935890
2014	87.320274	93.938082	86.280548
2015	82.434247	87.320274	86.324932
2016	82.089617	82.482240	86.204645
2017	88.081096	82.040548	86.010411
2018	92.836712	88.081096	86.086849
2019	72.975616	92.836712	86.329589
2020	99.856731	100.000000	96.532692

다. 영농기 저수율 추이



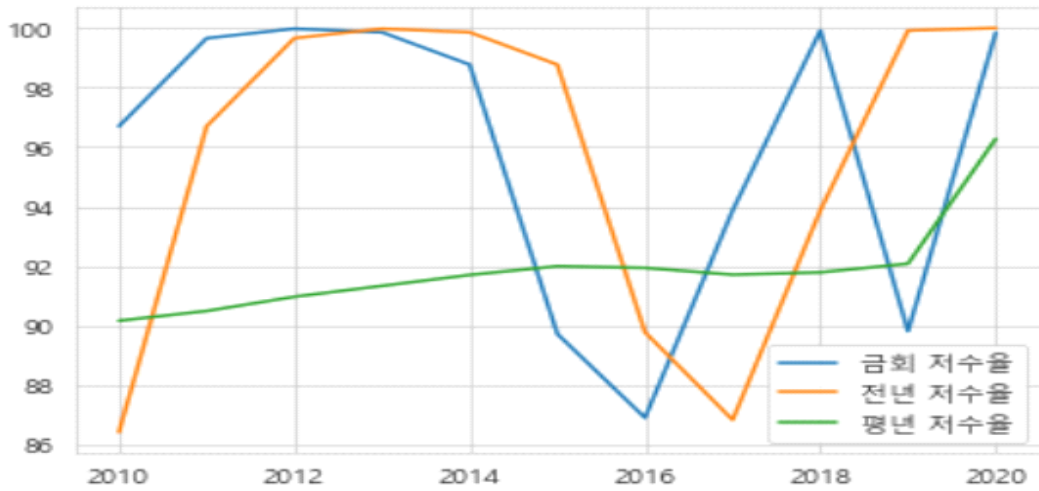
<그림 5-17> 영농기 저수율 연도별 변화 추이

(표 5-18) 영농기 저수율 연도별 변화값

연도	금회 저수율	전년 저수율	평년 저수율
2010	84.290132	80.210088	82.889912
2011	92.074123	84.290132	82.960526
2012	86.700656	92.091466	83.427571
2013	90.410088	86.671491	83.540351
2014	80.546930	90.410088	83.834868
2015	80.086842	80.546930	83.701316
2016	81.805252	80.130416	83.592341
2017	83.468640	81.765351	83.486404
2018	88.600439	83.468640	83.486623
2019	64.876316	88.600439	83.671491
2020	99.872650	100.000000	96.734188



라. 비영농기 저수율 추이

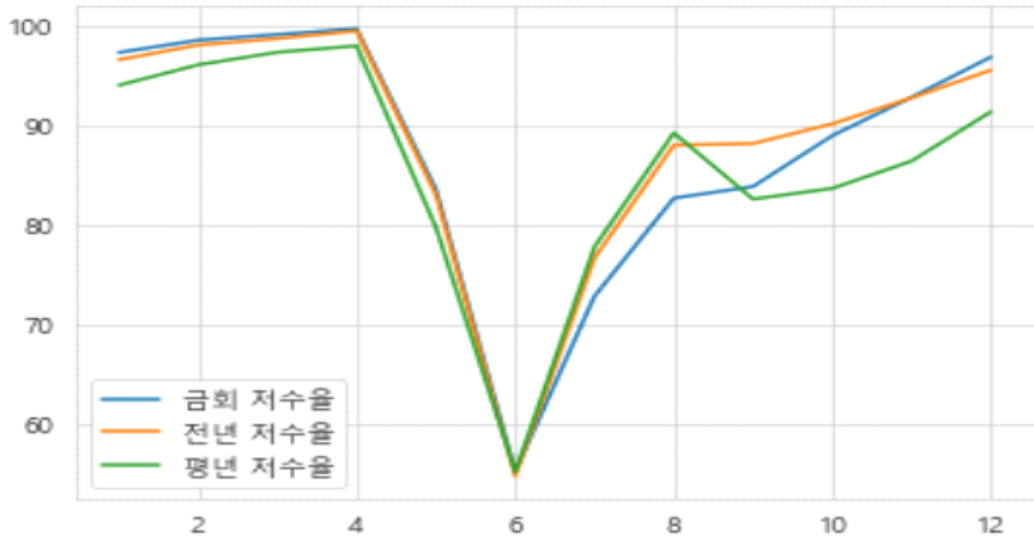


<그림 5-18> 비영농기 저수율 연도별 변화 추이

(표 5-19) 비영농기 저수율 연도별 변화값

연도	금회 저수율	전년 저수율	평년 저수율
2010	96.695055	86.413187	90.159890
2011	99.656044	96.695055	90.487912
2012	99.975410	99.657923	90.965574
2013	99.856593	99.975275	91.331319
2014	98.768681	99.856593	91.698901
2015	89.718132	98.768681	91.992308
2016	86.897814	89.774317	91.937158
2017	93.870879	86.825824	91.706593
2018	99.914835	93.870879	91.785165
2019	89.803846	99.914835	92.077473
2020	99.836264	100.000000	96.273626

마. 월별 저수율 추이

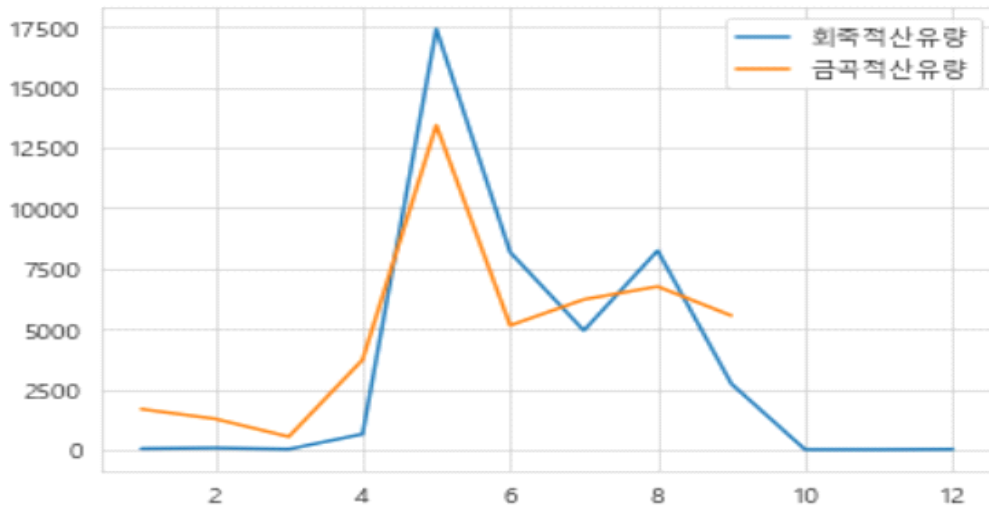


<그림 5-19> 월별 저수율 추이

(표 5-20) 월별 저수율 변화값

월	금회 저수율	전년 저수율	평년 저수율
1	97.331672	96.597947	94.027566
2	98.569775	98.073312	96.090354
3	99.141935	98.738710	97.353372
4	99.713738	99.501917	97.995208
5	83.550000	82.995484	79.718065
6	55.136667	54.684333	55.100000
7	72.791290	76.644516	77.770000
8	82.662581	88.002581	89.235806
9	83.832667	88.161333	82.566333
10	88.962903	90.144839	83.645806
11	92.824333	92.764000	86.398000
12	96.877742	95.560323	91.364839

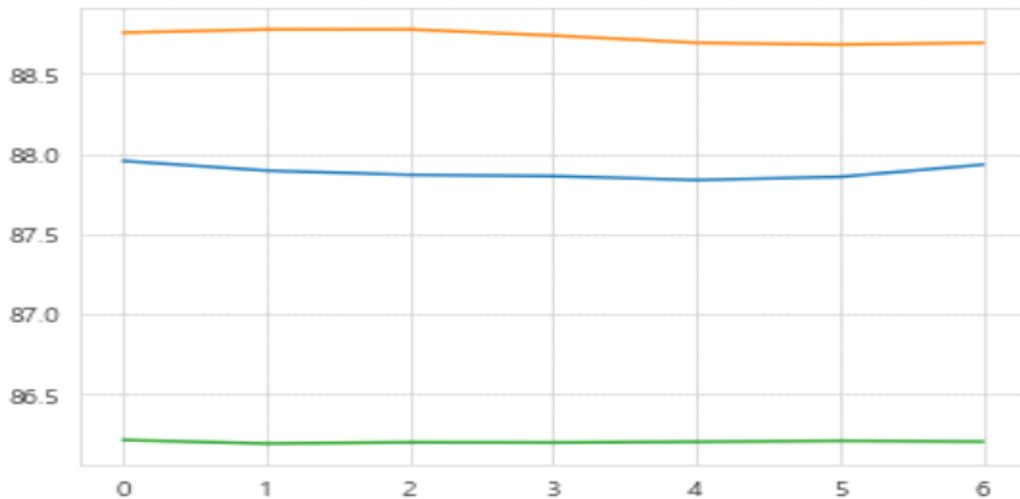
바. 월별 공급량(금곡간선 및 회죽간선의 적산유량 합) 추이



<그림 5-20> 월별공급량 추이

사. 요일별 저수율 추이

요일별 저수율은 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타남



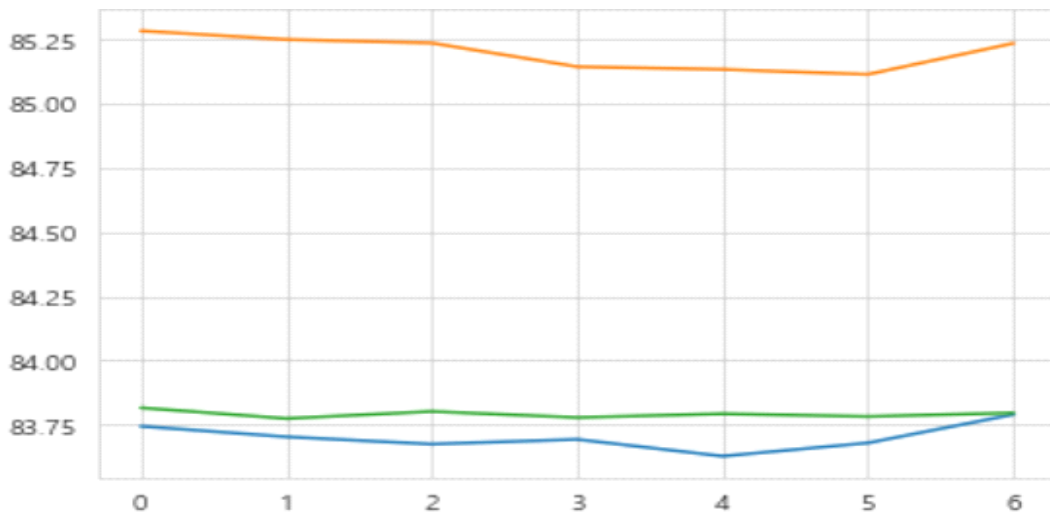
<그림 5-21> 요일별 저수율 추이

(표 5-21) 요일별 저수율 변화값

요일	금회 저수율	전년 저수율	평년 저수율
0(월요일)	87.956052	88.756611	86.213408
1(화요일)	87.895522	88.777239	86.190672
2(수요일)	87.869030	88.777612	86.198694
3(목요일)	87.861567	88.738806	86.197201
4(금요일)	87.836685	88.693855	86.202235
5(토요일)	87.856425	88.682495	86.208007
6(일요일)	87.932588	88.693855	86.203352

아. 영농기 저수율(요일별 탐색)

요일별 저수율은 영농기에도 별다른 차이가 없는 것으로 나타남



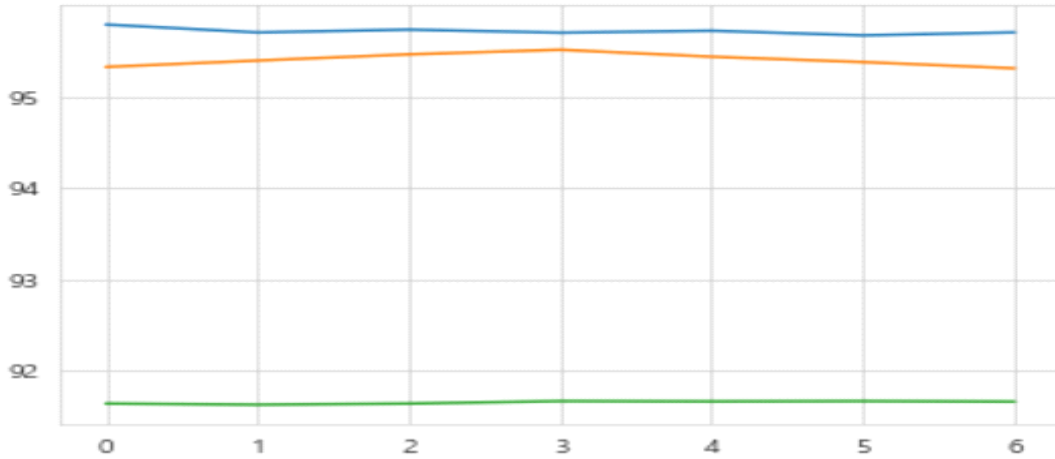
<그림 5-22> 영농기 요일별 저수율 추이

(표 5-22) 영농기 요일별 저수율 변화값

요일	금회 저수율	전년 저수율	평년 저수율
0(월요일)	83.743647	85.282810	83.815546
1(화요일)	83.702553	85.249249	83.773724
2(수요일)	83.673952	85.235329	83.801198
3(목요일)	83.692515	85.143263	83.777695
4(금요일)	83.627164	85.132687	83.792239
5(토요일)	83.678593	85.113323	83.781587
6(일요일)	83.789254	85.234179	83.795672

### 자. 비영농기 저수율(요일별 탐색)

요일별 저수율은 비영농기에도 별다른 차이가 없는 것으로 나타남

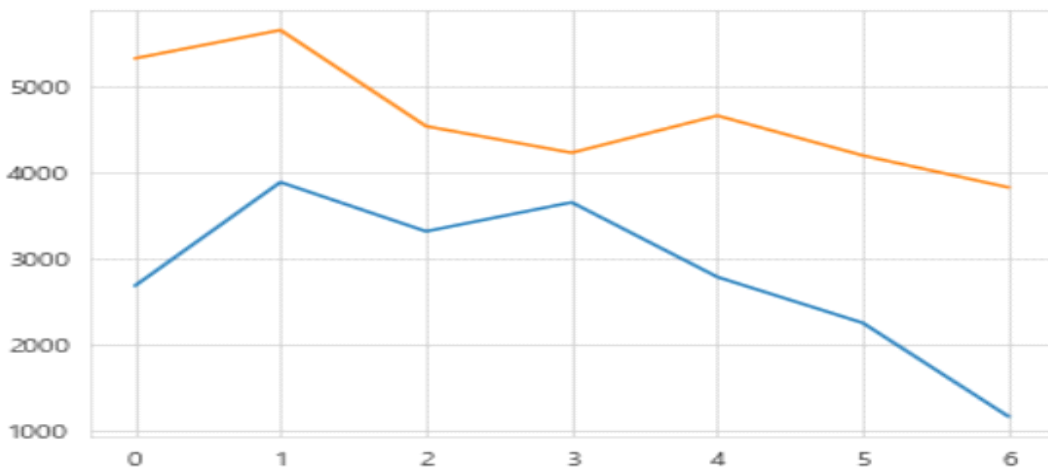


<그림 5-23> 비영농기 요일별 저수율 추이

(표 5-23) 비영농기 요일별 저수율 변화값

요일	금회 저수율	전년 저수율	평년 저수율
0(월요일)	95.791209	95.326007	91.633333
1(화요일)	95.704380	95.396350	91.620438
2(수요일)	95.735531	95.464103	91.632967
3(목요일)	95.701832	95.514652	91.660073
4(금요일)	95.723077	95.438462	91.656777
5(토요일)	95.672263	95.379562	91.659854
6(일요일)	95.705495	95.310989	91.654579

### 차. 요일별 공급량 (금곡 및 회죽간선 적산유량 합)탐색

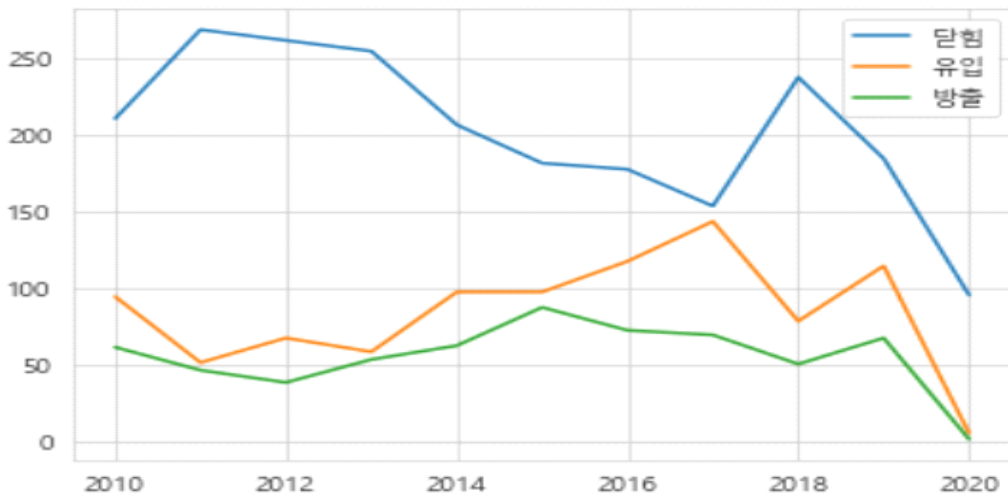


<그림 5-24> 요일별 공급량

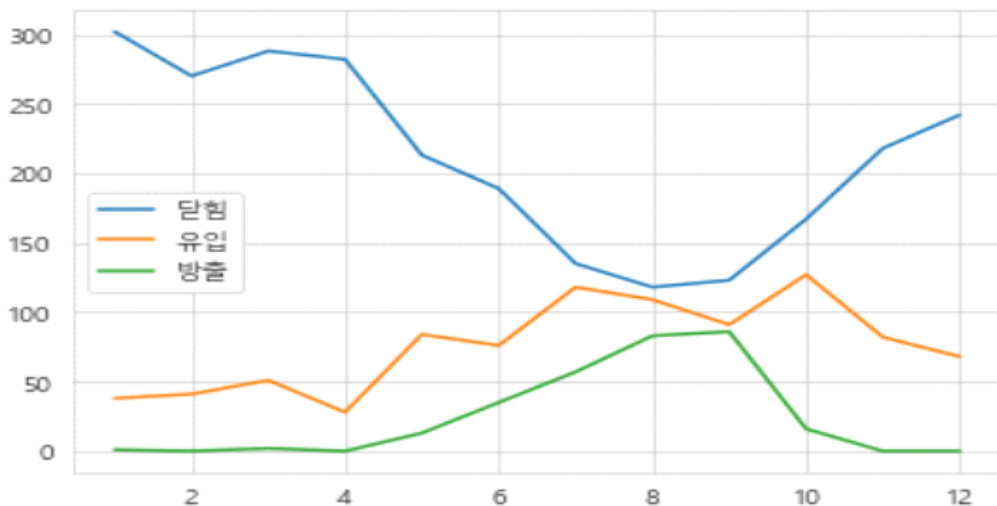
(표 5-24) 요일별 공급량 변화값

요일	회죽간선	금곡간선
0(월요일)	2676.168182	5328.303900
1(화요일)	3885.815821	5659.267650
2(수요일)	3312.265970	4537.940634
3(목요일)	3651.073433	4228.634780
4(금요일)	2780.392836	4661.631571
5(토요일)	2243.905846	4196.311317
6(일요일)	1152.133846	3824.189268

카. 수문 개도 빈도



<그림 5-25> 연도별 개도빈도



<그림 5-26> 월별 개도빈도

## 타. 데이터 정합성 분석

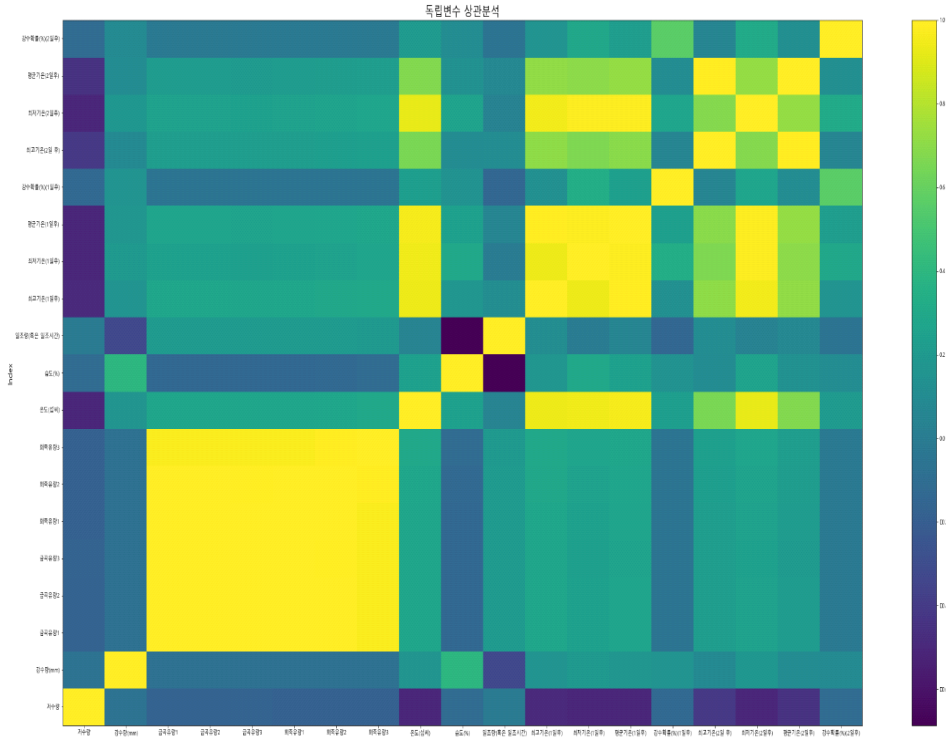
### 1) 분석 대상 데이터 범위

- ① 무수 저수지 저수율 및 저수량, 금곡간선 및 회죽간선 시점, 중간, 말단부의 유량 데이터
- ② 충청북도 진천군 광혜면의 기상데이터(온도(섭씨), 습도(%), 일조량, 강수량(mm)) 및 단기 기상예보(하늘상태, 최고기온, 최저기온, 평균기온, 강수확률(%))
- ③ 수집방법: 기상청의 종관기상관측(ASOS) 일별 데이터, 단기기상예보 일별 데이터
- ④ 기상데이터가 2008년 11월 3일 이전의 데이터가 존재하지 않아, 본 연구에서는 2008년 11월 3일부터 2020년 6월 30일까지의 데이터를 사용
- ⑤ 기상데이터에서 존재하는 결측 값의 경우 해당 컬럼의 평균으로 대체(\*강수량 컬럼은 0값으로 대체)

모델 구축에 앞서 데이터 유효성 검증을 위해 각 feature들과 저수량 사이의 상관분석을 진행하였으며, 그 결과는 다음의 표와 같음

(표 5-25) 독립변수와 저수량 간의 상관계수

구분	저수량	구분	저수량
강수량(mm)	-0.07359	하늘상태(1일 후)	-0.12025
금곡유량(시점부)	-0.17849	최고기온(1일 후)	-0.4949
금곡유량(중간부)	-0.17818	최저기온(1일 후)	-0.50304
금곡유량(말단부)	-0.16732	평균기온(1일 후)	-0.50809
회죽유량(시점부)	-0.1794	강수확률(1일 후)	-0.13112
회죽유량(중간부)	-0.1825	하늘상태(2일 후)	-0.1177
회죽유량(말단부)	-0.18417	최고기온(2일 후)	-0.41394
온도(섭씨)	-0.50588	최저기온(2일 후)	-0.50341
습도(%)	-0.11039	평균기온(2일 후)	-0.44622
일조량(혹은 일조시간)	-0.01037	강수확률(2일 후)	-0.11197



<그림 5-27> 독립변수 상관계수 heatmap

상관분석 결과, 대부분 feature들의 상관계수가 0.5이하로 나타났으며, 특히 금곡간선과 회죽간선 유량이 낮은 상관관계를 보여준다. 실제 데이터에서 저수량에 변화가 있음에도 불구하고 금곡간선과 회죽간선의 유량에 변화가 없는 경우가 빈번히 발생함

이에 대한 정확한 검증을 위하여 아래와 같은 수식에 따라 데이터 정합성 분석을 실시

$$RS_{t_1} = RS_{t_0} + R_{t_0} - (F_k + F_H)$$

여기서, Rs:저수량, R:강수량, : 금곡간선 유량, 회죽간선 유량

데이터 정합성 분석 결과, 전체 데이터에서 정상 데이터 비율은 0.407138이며, 연도별, 월별 정상데이터 비율은 다음의 표와 같음.

(표 5-26) 연도별 정상 데이터 비율

2008년	0.457627	2015년	0.353425
2009년	0.257534	2016년	0.352459
2010년	0.345205	2017년	0.290411
2011년	0.493151	2018년	0.49863
2012년	0.472678	2019년	0.416438
2013년	0.468493	2020년	0.642857
2014년	0.405479		



(표 5-27) 월별 정상 데이터 비율

1월	0.701613	7월	0.175953
2월	0.651917	8월	0.167155
3월	0.639785	9월	0.190909
4월	0.577778	10월	0.343109
5월	0.196237	11월	0.49162
6월	0.194444	12월	0.510753

상기 표에서 나타나듯 정상 데이터 비율이 현저하게 낮아서 데이터 보정방법에 대한 논의가 필요성 함

정상데이터라 함은 좌변과 우변의 결과 값이 선형 비례를 갖는 데이터를 의미함. 예를 들어 좌변의 데이터의 값이 증가 또는 감소하면 우변 데이터가 동일한 형태로 움직이는 데이터를 의미함

### 5.5.3 저수율 예측 모형개발

#### 가. 예측 모델별 기본이론

##### 1) Recurrent Neural Network(RNN)

인공 신경망 모형으로 Feed Foward Network 모형을 시계열 데이터에 적용하기 위해 일반화한 모형이다. 주로 자연어 처리나 시계열 데이터에 많이 적용되는 모형임.

입력층, 은닉층 그리고 출력층으로 구성되며 t시점의 입력값을  $x_t$ , 은닉값을  $h_t$  그리고 출력값을  $\hat{y}_t$ 라고 하면 일반적인 분류(Classification) 문제에서는 다음과 같이 계산됨.

$$a_t = b + Wh_{t-1} + Ux_t$$

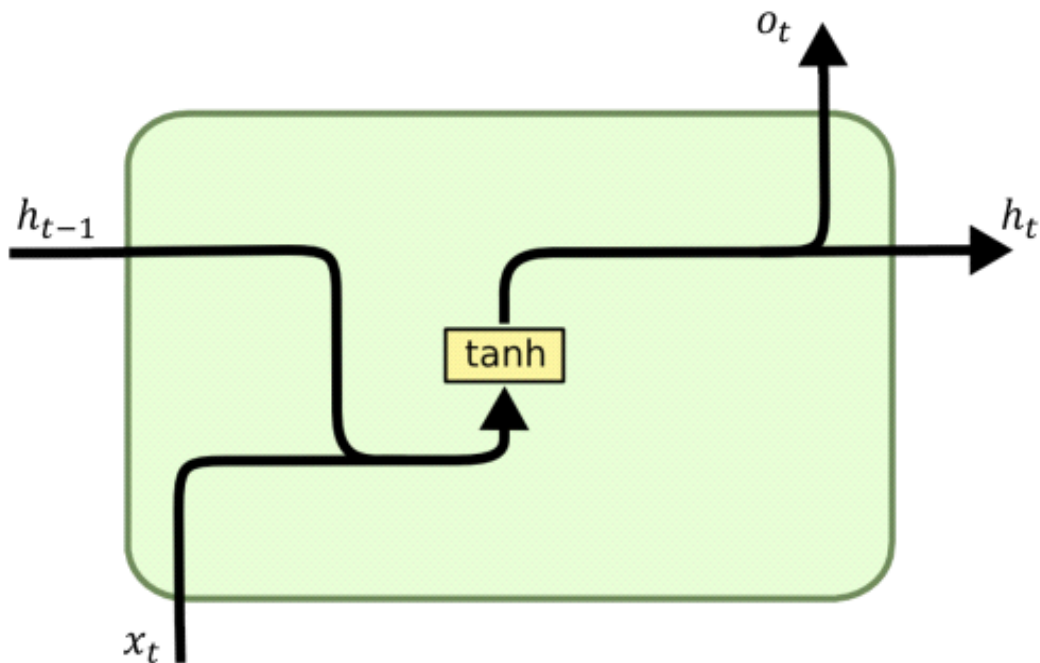
$$h_t = \tanh(a_t)$$

$$o_t = c + Vh_t$$

$$\hat{y}_t = \text{softmax}(o_t)$$

위에서  $b, W, U, c, V$  는 학습을 통해 얻게되는 가중치 행렬, 벡터들임.

RNN 모형은 이전 시점 (t-1)의 입력값  $x_{t-1}$ 을 통해 얻게된 은닉값  $h_{t-1}$ 를 사용하여 t시점의 은닉층  $h_t$ 을 계산하고 출력값  $\hat{y}_t$ 을 도출해냄. 아래의 그림 4는 RNN cell의 구조를 간략하게 나타냄. cell은 모든 가중치 행렬과 벡터를 공유하고 cell들이 연결시키면 RNN 모형이 됨.



<그림 5-28> RNN cell의 구조

## 2) Long Short-Term Memory(LSTM)

실제로 RNN 모델을 사용해서 시계열 문제를 다루기에는 많은 어려움이 있음. 그 중 RNN 모델을 학습할 때 장기 의존성 문제(long term dependency)가 존재함. RNN의 구조를 보면 t시점을 예측하기 위해서 t 이전의 시점들의 정보가 사용되고 똑같은 가중치 행렬, 벡터( $b, W, U, c, V$ )들을 공유하기 때문에 역전파 알고리즘(Back-propagation)을 통해 기울기(gradient)를 계산할 때, 기울기가 0으로 수렴하거나 무한대로 폭발하는 gradient vanishing and exploding problem 이 발생함.

이와 같은 문제를 해결하고자 개발된 모델이 바로 Long Short-Term Memory(LSTM) 모델임. LSTM 모델은 RNN 구조에 추가적인 장치를 통해 장기 기억 의존성 문제를 해결하였음. 추가적인 장치를 게이트 시스템(gate system)이라고 하는데 입력 게이트(input gate), 망각 게이트(forget gate) 그리고 출력 게이트(output gate)로 이루어져 있음. 각각의 게이트들은 활성화함수(activation function)을 사용하여 0~1사이의 값을 갖음. 각 입력층과 은닉층에 게이트들이 곱해지기 때문에 신경망 안에서 흐름을 끊거나 연결시킬 수 있음. 따라서 이 게이트 장치를 통해서 이전 시점들과의 무조건적인 연결이 아닌 학습에 도움이 되도록 시간의 축적이 동적으로 변하게 됨. 각각의 게이트는 고유한 가중치 행렬과 벡터를 가지고 있음.

LSTM 모델에서 t시점의 입력값  $x_t$ , 은닉값  $h_t$ , 출력값  $\hat{y}_t$ , 망각 게이트  $f_t$ , 입력 게이트  $i_t$ , 출력 게이트  $o_t$ 라고 하면 다음과 같이 출력값이 계산됨.

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

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

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

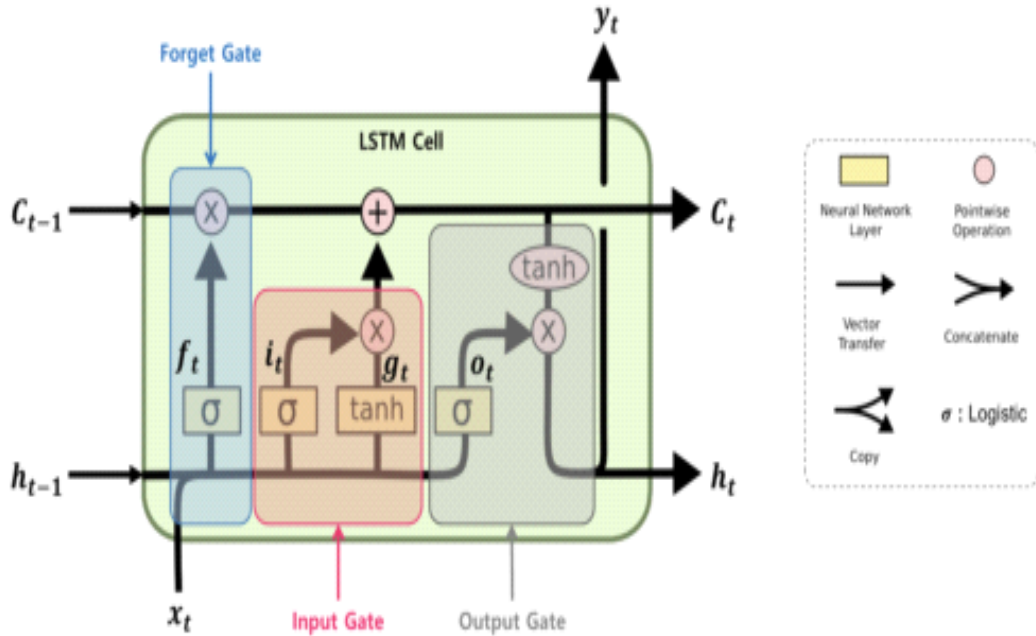
$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c)$$

$$C_t = f_t \otimes C_{t-1} + i_t \otimes \tilde{C}_t$$

$$h_t = o_t \otimes \tanh(C_t)$$

$$\hat{y}_t = \text{softmax}(h_t)$$

위의 식에서  $\sigma$ 는 출력값이 0과 1사이의 값을 갖도록 하는 시그모이드 활성화함수(sigmoid activation function)을 의미함. 현 t시점의 망각 게이트  $f_t$ 는 이전 시점에서 넘어온  $C_{t-1}$ 과 곱해지면서 이전 시점의 정보를 제어함. 현 t시점의 입력 게이트  $i_t$ 는 t 시점에서 계산된 정보  $\tilde{C}_t$ 와 곱해지면서 현 입력값에 대한 정보를 제어하고 마지막으로 출력 게이트  $o_t$ 는 현 시점에서 최종적으로 계산된 정보  $C_t$ 와 곱해지면서 출력값을 제어함. 아래의 그림 5는 LSTM cell의 구조를 간략하게 묘사함. LSTM cell도 모든 가중치 행렬과 벡터를 공유하고 cell을 연결시키면 LSTM 모델이 됨.



<그림 5-29> LSTM cell의 구조

### 3) Gated Recurrent Unit(GRU)

GRU는 2014년에 발표된 신경망 구조로 LSTM와 같이 시간의 흐름을 동적으로 제어하며 좋은 성능을 낸 구조로 여러 분야에서 많이 응용됨. LSTM cell의 구조를 간소화한 구조로 망각 게이트와 입력게이트가 하나로 합쳐짐. 새로운 게이트를 추가하여 망각과 입력게이트 중 하나의 게이트로 신경망의 흐름을 통제함. GRU cell은 출력게이트가 없이  $h_t$ 가 출력되며  $z_t$ 의 값에 의해 이전 시점의 출력값인  $h_{t-1}$ 가 통제됨.

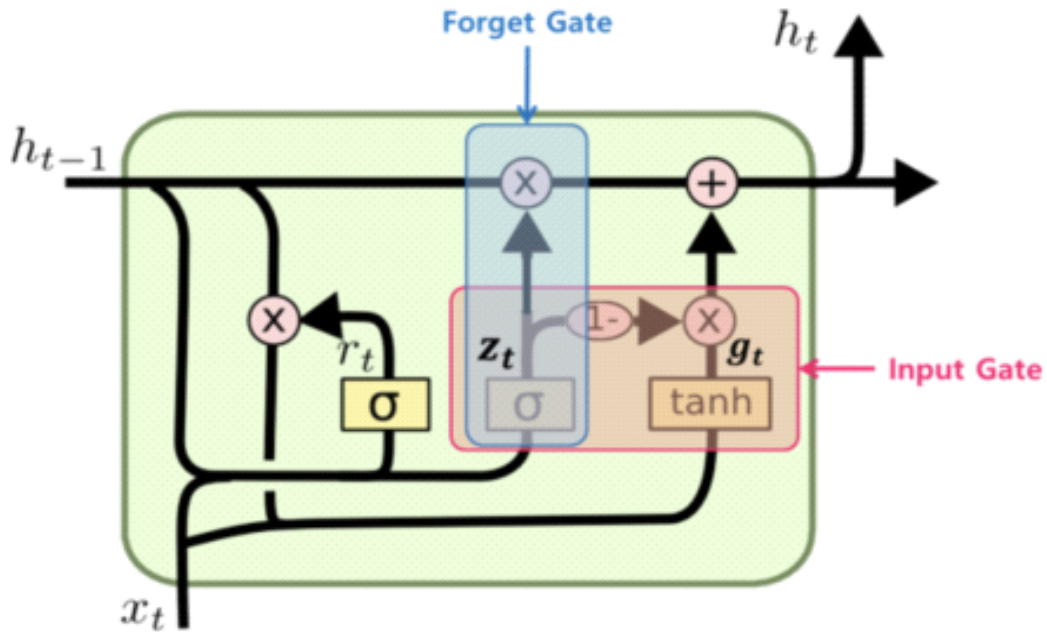
$$r_t = \sigma(W_{xr}x_t + W_{hr}h_{t-1} + b_r)$$

$$z_t = \sigma(W_{xz}x_t + W_{hz}h_{t-1} + b_z)$$

$$g_t = \tanh(W_{xz}x_t + W_{hg}(r_t \otimes h_{t-1}) + b_g)$$

$$h_t = z_t \otimes h_{t-1} + (1 - z_t) \otimes g_t$$

여기서,  $z_t$ 를 갱신 게이트(update gate)라고 하며  $r_t$ 를 재설정 게이트(reset gate)라고 함.



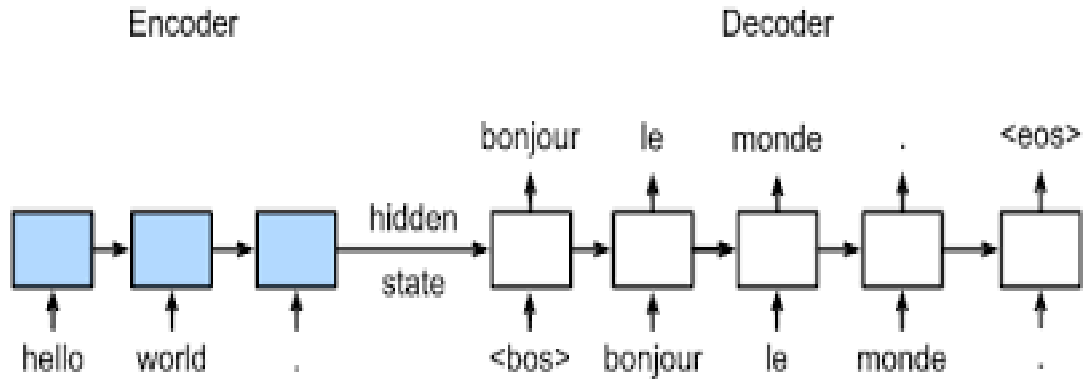
<그림 5-30> GRU cell의 구조

#### 4) Sequence-to-Sequence(seq2seq)

RNN, LSTM을 기반으로 하여 구조의 변화를 통한 개선된 모형이 지속적으로 제안되어 왔음. 대표적으로 번역 모델에 사용하는 다차원 출력값(multi-output)을 반환하는 Sequence-to-Sequence(seq2seq) 모형이 있음.

- seq2seq 모형은 크게 두 개의 파트로 구성되며 먼저, 인코더(encoder)라는 파트에서 LSTM 이나 RNN cell을 이용하여 입력값의 정보를 인코딩(encoding)하여 은닉상태(hidden state 혹은 hidden cell state)라는 형태로 디코더(decoder) 파트로 전달하게 됨. 디코더 파트에서는 인코더 에서 전달받은 은닉상태가 갖고 있는 입력값의 정보를 디코딩(decoding)함으로써 시점에 맞는 출력값을 반환하게됨. 아래의 그림 6에서 인코더 파트와 디코더 파트가 LSTM cell로 이루어진 번역 모델의 구조를 나타내고 있음.

seq2seq 모형은 위에서 설명한 단순한 RNN 모형이나 LSTM 모형에 비해 학습(training)이 어려움. 그 이유는 학습과정에서 디코더의 이전 시점 cell에서 나온 출력값이 다음 디코더 cell의 입력값으로 들어가게 되는데 이때 이전 시점 cell의 출력값이 실제 참 출력값과 다를 경우 제대로 된 학습이 진행되지 않고 그 결과 검증(test) 단계에서 매우 안 좋은 성능을 보이게 됨. 이를 해결하고자 교사 강제(teacher forcing)이라는 방법을 사용함. 이는 학습시 디코더 파트의 LSTM cell의 입력값으로 이전 시점의 실제 참값을 주는 것으로 이를 통해 학습이 잘 진행되도록 하고 실제로 검증 시에도 더 좋은 성능을 보임.



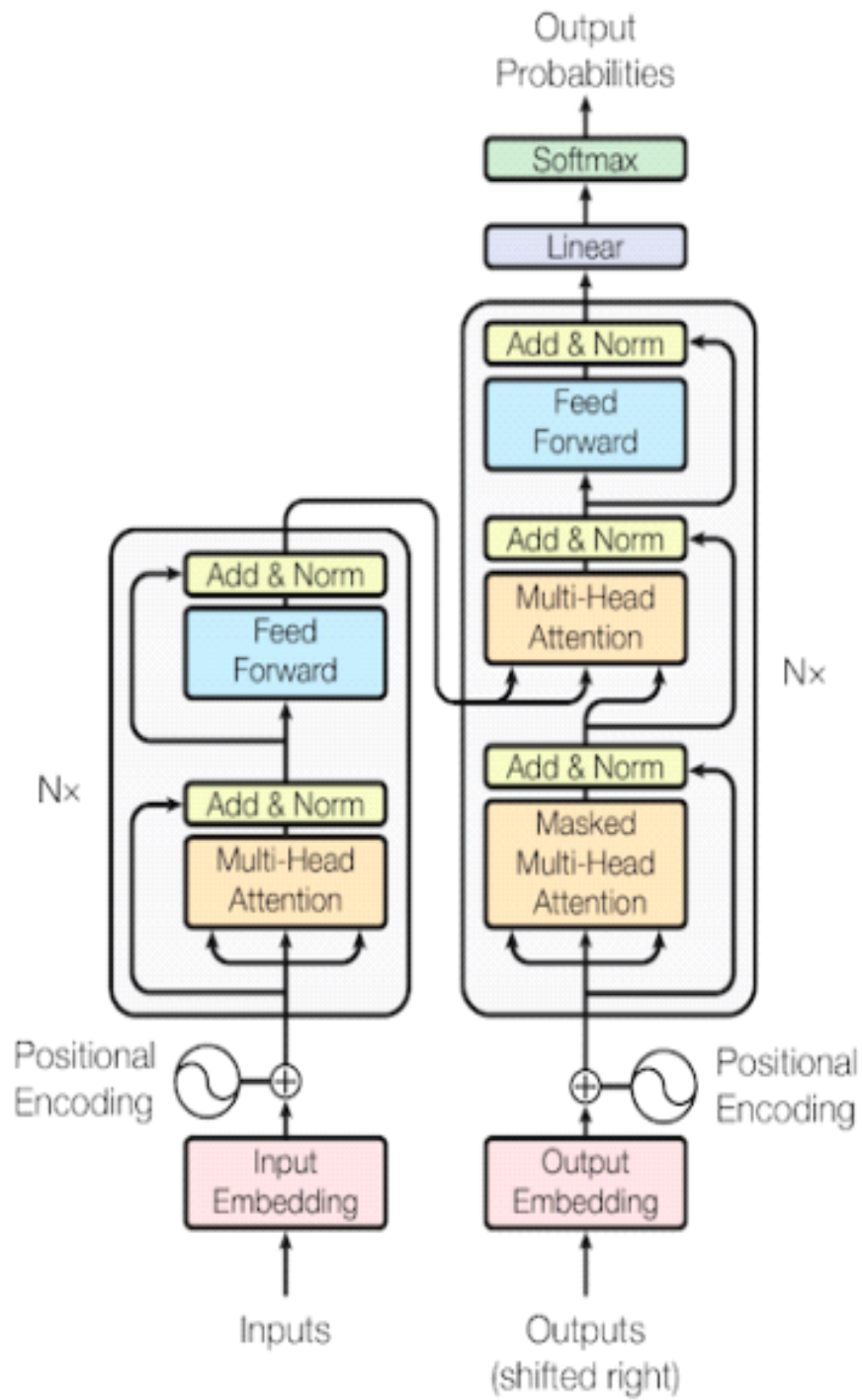
<그림 5-31> seq2seq 모형의 구조(Dive into Deep Learning)

### 5) Transformer

Transformer 모형은 BERT(Bidirectional Encoder Representation form Transformer)와 같이 최근 자연어 처리 분야에서 가장 큰 성공을 거둔 모형의 기반이 되는 모형임.

RNN 구조를 벗어나서 positional encoding과 self-attention이라는 방법을 사용하여 데이터의 순차적인 정보를 추출하여 시계열 데이터를 다룸. positional encoding은 행렬 형태의 데이터에 시간적인 정보를 추가하는 방법으로 cosine과 sine 같은 주기함수를 사용함. self-attention은 입력값 안에서 서로 상관관계가 강한 시점들의 찾아 더 높은 가중치를 줌으로서 서로를 강조함.

Self-attention 층을 거친 후 일반적인 fully-connected layer를 거쳐서 특징 학습(feature learning)이 되며 층 정규화(layer normalization)를 거침. Transformer는 아직까지 자연어 처리 분야를 제외하고 다른 분야에 적용한 사례는 많지 않음.



<그림 5-32> Transformer 모형의 구조(Vaswani et al., 2017)

## 나. 모델 적용을 위한 데이터셋

### 1) 설명변수(Explanatory variable)

저수율 예측모형을 개발하기 위해 예측 이전 시점들의 시점부 유량, 무수저수지의 기상정보(기온, 습도, 일조량, 강수량) 및 미래 2일치의 기상예보자료(하늘상태, 최고기온, 최저기온, 평균기온, 강수확률)를 설명 변수로 사용

탐색적 자료 분석을 통해 얻은 정보를 바탕으로 시간 정보(월, 일)를 범주형 변수로 변환 후 원-핫 코딩(one-hot coding)을 통해 설명변수로 사용. 한 달 동안 저수지에서 방류한 총 유량도 설명력을 가질 수 있다고 판단하여 예측 이전 시점들의 월별 시점부 누적유량을 설명변수로 사용

한편, 데이터를 통해 유량이 존재하고 저수율의 변화가 존재하면 수문을 개방했다고 가정하고 0 또는 1을 가지는 이진 변수인 수문개방여부를 파생변수로 생성하였으며 예측 이전 시점의 수문개방여부를 설명변수로 사용

### 2) 종속변수(Dependent variable)

저수율 예측모형은 이진 변수인 수문개방여부와 0 이상의 연속형 변수 시점부 유량을 예측함. 따라서 종속변수는 미래 여러 시점의 수문개방여부와 시점부 유량임. 따라서 미래의 예측해야할 미래 시점마다 2개의 출력값(수문개방여부, 시점부 유량)을 반환하는 모형이며 분류(classification)과 회귀(regression) 두 문제를 동시에 고려함

### 3) 데이터의 출처

무수저수지 데이터: 무수저수지의 계측기로부터 측정된 데이터

기상 데이터: 온도, 습도, 일조량, 강수량의 데이터는 기상청 기상자료개방포털의 종관기상관측(ASOS) 데이터를 사용함. 단기예보 데이터는 기상청 기상자료포털의 동네예보 중 단기예보 데이터를 사용함.

### 4) 결측치 처리

2012년 이전의 기상 데이터는 결측치가 많이 존재하여 신뢰성의 문제로 적합에 사용한 데이터는 2012년 이후의 데이터만을 사용했으며 2012년 이후의 기상데이터에서 나타나는 결측치는 월별 평균 기상데이터로 대체함. 데이터의 레코즈의 수는 1,592개임.



(표 5-28) 모형 적합을 위한 설명변수와 종속변수

	변수	데이터 타입	범위
설명변수	시점부 유량	연속형	[0, inf)
	시점부 누적유량	연속형	[0, inf)
	온도	연속형	[0, inf)
	습도	연속형	[0, inf)
	일조량	연속형	[0, inf)
	강수량	연속형	[0, inf)
	하늘상태(1일후)	범주형	{1,2,3,4}
	최고기온(1일후)	연속형	(-inf, inf)
	최저기온(1일후)	연속형	(-inf, inf)
	평균기온(1일후)	연속형	(-inf, inf)
	강수확률(1일후)	연속형	[0,100]
	하늘상태(2일후)	범주형	{1,2,3,4}
	최고기온(2일후)	연속형	(-inf, inf)
	최저기온(2일후)	연속형	(-inf, inf)
	평균기온(2일후)	연속형	(-inf, inf)
	강수확률(2일후)	연속형	[0,100]
	월	범주형	{4,5,6,7,8,9}
	일	범주형	{1, 2, ..., 31}
	수문개방여부	범주형	{0, 1}
	종속변수	시점부 유량	연속형
수문개방여부		범주형	{0, 1}

## 다. 저수율 예측모형

### 1) 시점부 유량 예측모형

탐색적 자료분석을 통해 얻게 된 정보를 통해 무수저수지에서 배출되는 간선 시점부 유량이 저수량 감소량과 동일하다는 사실을 확인함. 저수율 감소 예측을 위해서는 간선 시점부 유량 예측을 통해 실현할 수 있음

시점부 유량 예측모형으로는 Sequence-to-Sequence(seq2seq) 모형을 기반으로 해서 과거의 정보를 입력하여 미래의 여러 시점의 시점부 유량을 예측하도록 함. 시점부 유량 예측모형의 설명변수는 10일치의 과거 기상정보와 17일치의 과거 유량 패턴, 종속변수로는 미래의 7일치의 시점부 유량을 사용

### 2) 시점부 유량 예측모형의 구조: 인코더

인코더 세 파트로 나누어져 있고 각 파트는 다른 설명변수로 이루어진 입력값을 받는 LSTM cell로 구성되어 있음. 현재의 시점을  $t$ 라고 한다면 앞의 두 파트는  $t$ 시점 이전의 정보를 입력값으로 받아서 정보를 추출한 후 마지막 파트로 전달함. 마지막 파트는 현재의  $t$ 시점의 정보와  $t$ 시점 이후의 미래의 기상정보를 입력값으로 받아 정보를 추출한 후 디코더 파트로 전달함

인코더의 첫 파트는 하나의 LSTM cell을 갖고 있으며 첫 LSTM cell은 입력값으로  $(t-9)$ 일의 기상정보와 수문개방여부와 시간정보 그리고 누적유량정보,  $(t-9)$ 일부터  $(t-19)$ 일까지의 총 11일간의 시점부 유량정보를 받음. 그리고 은닉값을 2번째 인코더 파트로 전달함

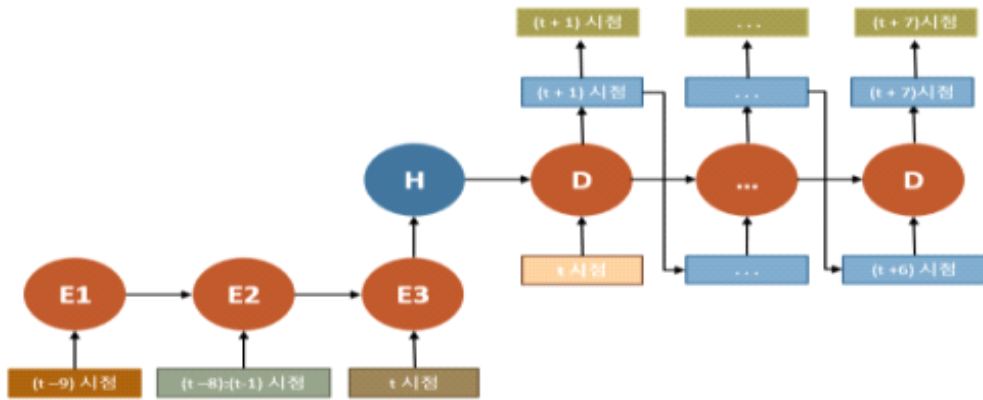
2번째 인코더 파트는 총  $(t-8)$ 일부터  $(t-1)$ 일까지 8개의 LSTM cell로 구성되어 있으며 각 LSTM cell은 이전 시점에서 전달받은 은닉값과 해당 시점의 기상정보, 유량정보, 수문개방여부, 누적유량정보, 시간정보를 입력값으로 받고 마지막  $(t-1)$  시점의 LSTM cell은 은닉값을 3번째 인코더 파트로 전달함

3번째 인코더 파트는  $(t-1)$ 시점의 LSTM cell의 은닉값과  $t$ 시점의 기상정보, 유량정보, 수문개방여부, 누적유량정보, 시간정보와  $t$ 시점에서 예상한 미래의 이틀 치의 기상예보자료를 입력값으로 받음. 은닉값을 디코더 파트로 전달함

3) 시점부 유량 예측모형의 구조: 디코더

디코더 파트는 (t+1)시점부터 (t+7)시점까지 총 7개의 LSTM cell로 이루어져있으며 (t+1)시점의 LSTM cell은 이전 t시점의 실제 시점부 유량과 인코더에서 전달받은 은닉값을 입력값으로 (t+1) 시점의 시점부 유량과 수문개방여부를 예측함. (t+1)시점의 예측된 유량과 은닉값은 다음 (t+2)시점의 LSTM cell의 입력값이 되고 같은 방법으로 (t+7)시점까지 출력값으로 예측 유량을 반환함

시점부 유량을 예측할 때, 하나의 Feed Foward Network 층을 통과하는데 여기서 누적 시점부 유량을 사용하여 시점부 유량을 통제하도록 함. 수문개방여부를 예측하기 위해서 시그모이드 (sigmoid) 활성화함수를 사용하여 0과 1사이의 값으로 출력값을 제한함



<그림 5-33> 무수저수지 시점부 유량 예측모형의 구조

4) 시점부 유량 예측모형의 목적함수

시점부 유량 예측모형의 디코더 파트에서 반환하는 값은 각 시점마다 시점부 유량과 수문개방여부로 총 14개의 값이 있음. 수문개방여부는 시점부 유량이 0인 값을 예측하기 위함으로 수문개방여부를 잘 예측한다면 시점부 유량 예측의 성능도 좋아짐. 따라서 시점부 유량 예측모형의 목적함수는 두 개의 손실함수 Binary-Cross Entropy와 Mean Squared Error의 합으로 표현 됨.

Binary-Cross Entropy(BCE)는 이진분류문제(binary classification)에서 사용하는 손실함수로 시점부 유량 예측모형에서는 수문개방여부 예측을 사용함. 총  $N$ 개의 데이터가 있고  $y_{b,i} \in \{0, 1\}$  를  $i$ 번째 실제 수문개방여부,  $\hat{y}_{b,i} \in [0, 1]$ 를  $i$ 번째 수문개방여부 예측값이면 다음과 같이 BCE를 계산하며 작을수록 예측을 더 잘함을 의미함.

$$BCE = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{y_{b,i} \log(\hat{y}_{b,i}) - (1 - y_{b,i}) \log(1 - \hat{y}_{b,i})\}$$

Mean Squared Error(MSE)는 회귀문제(regression)에서 쓰이는 대표적인 손실함수로 저수지 예측모형에서는 시점부 유량 예측을 위해 사용함. 총  $N$ 개의 데이터가 존재하고  $i$ 번째 데이터의

실제 시점부 유량을  $y_{w,i}$ ,  $i$ 번째 예측된 시점부 유량을  $\widehat{y}_{w,i}$ 라고 하면 다음과 같이 MSE를 계산하며 작을수록 시점부 유량을 잘 예측함을 의미함.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_{w,i} - \widehat{y}_{w,i})^2$$

#### 5) 시점부 유량 예측모형의 구현과 학습

1,592개의 샘플을 8 대 2의 비율로 학습/시험 데이터로 나누는데 이때 특정 월 데이터가 물리는 경우를 방지하기 위해 층화추출방법을 사용해서 나눔. 학습 데이터를 다시 9 대 1의 비율로 학습/검증 데이터로 나누어서 학습시에 검증 데이터를 통하여 검증 오류(validation loss)를 확인하고 학습의 진행정도를 판단하고 최종 적합시에는 모든 검증 데이터와 학습 데이터를 포함한 데이터를 사용해서 모형을 적합함.

시점부 유량 예측모형의 구현을 위해 Python 라이브러리인 numpy, pandas와 tensorflow를 사용함. 최적화 방법으로 Adam을 사용하였으며 총 200 에포크동안 학습을 진행하였음. 학습시에는 모형의 가중치 행렬에  $l_2$  정규화항에 대한 파라미터를 0.01, 드랍아웃(dropout) 비율을 0.1로 설정했으며 시험 데이터 적합시에는 드랍아웃 비율을 0으로 설정한 후 예측치를 반환함. 기존의 seq2seq 모형과는 다르게 디코더 첫 입력값으로 초기 시점부 유량을 받지만 교사 강제 (teacher forcing) 없이 디코더 부분에서 예측된 시점부 유량을 그대로 다음 LSTM cell의 입력값으로 받아서 학습함.

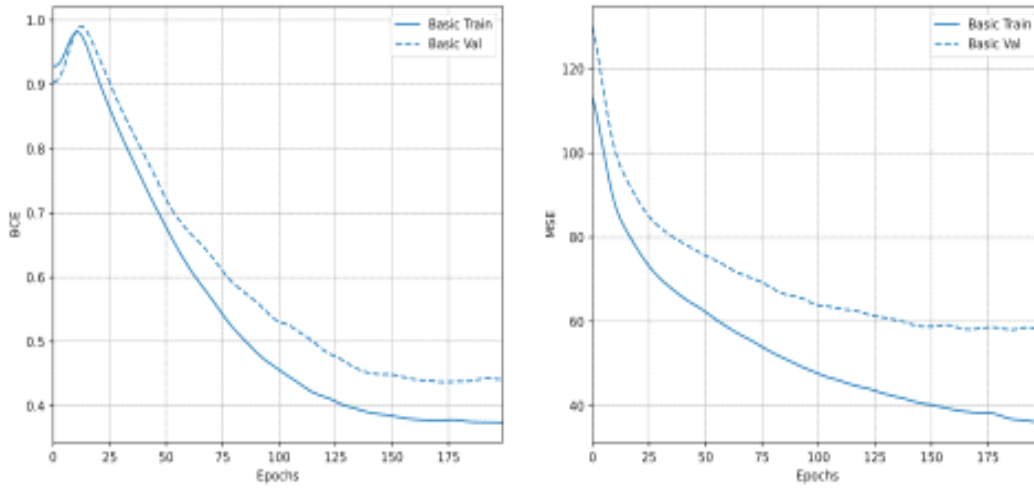
LSTM cell의 은닉층의 출력 차원은 hyper parameter로 실험을 통해 최적의 값을 결정해야 함. 따라서 은닉층의 출력 차원을 grid search를 통하여 학습한 후, 검증을 통해 최종 모형 은닉층의 출력 차원을 고정함. 은닉층의 출력 차원을 10, 50, 100, 150, 200, 250으로 세분화하였을 때의 학습 히스토리를 확인함.

시점부 유량 예측모형의 학습 히스토리를 확인하면 학습 결과 수문개방여부를 예측에서는 과적합 문제없이 학습이 잘 진행되는 것을 확인할 수 있었고 시점부 유량예측도 훈련 MSE의 감소로 학습이 잘 진행됨을 알 수 있음. <그림 2.3-12 ~ 13> 실험 결과를 살펴보면 은닉층 출력 차원이 100 이상이면 비슷한 수준으로 학습시의 MSE와 BCE가 나타남. 시험 MSE와 BCE를 비교했을 때, 200인 경우의 결과가 가장 좋게 나타나므로 200으로 출력 차원을 고정함. 250보다 큰 차원에서는 과적합(overfitting) 문제가 발생할 수 있으며 적합 시간의 문제와 메모리적인 문제로 효율적이지 못함으로 고려하지 않음.

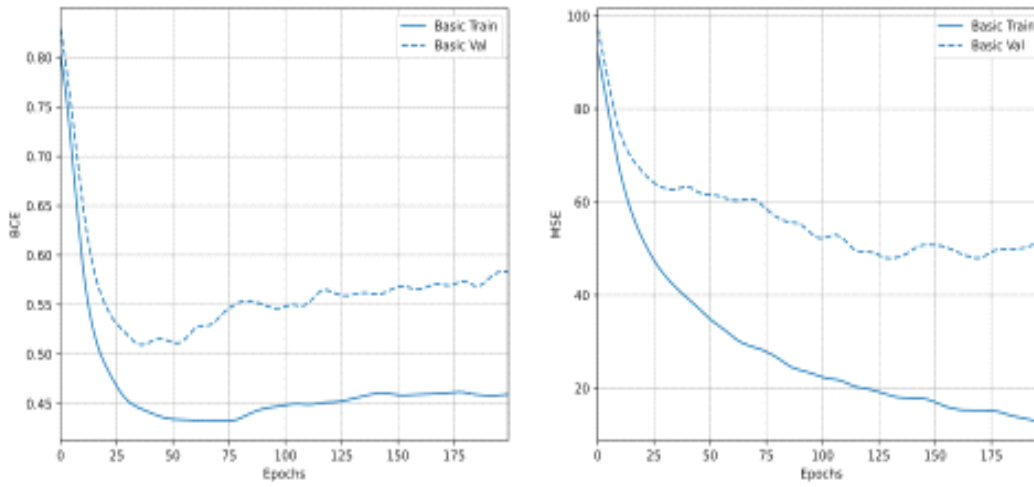
(표 5-29) 은닉층 출력 차원에 따른 모형의 시험 BCE와 MSE

은닉층 출력 차원	시험 BCE	시험 MSE
10	0.549	67.070
50	0.499	48.603
100	0.417	39.037
150	0.442	40.547
200	0.368	27.394
250	0.398	42.357

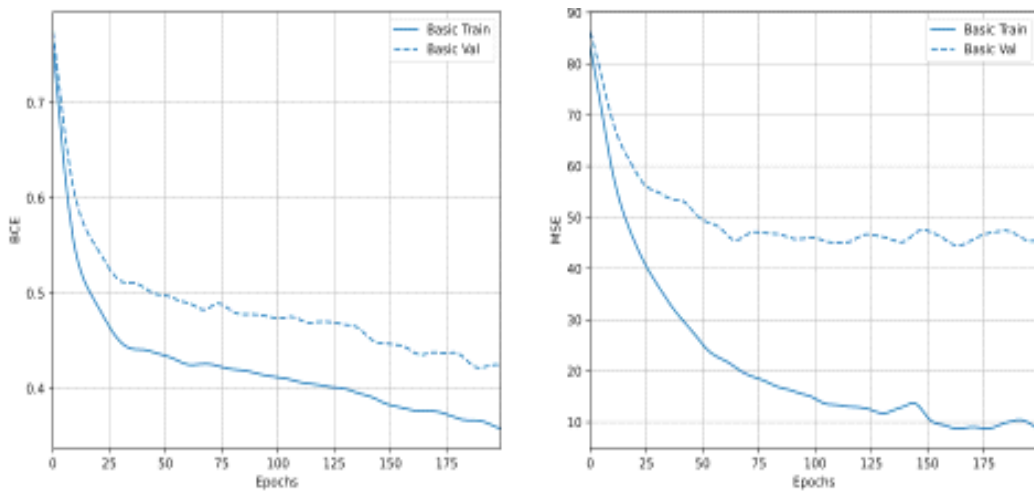
hidden\_dimension=10



hidden\_dimension=50

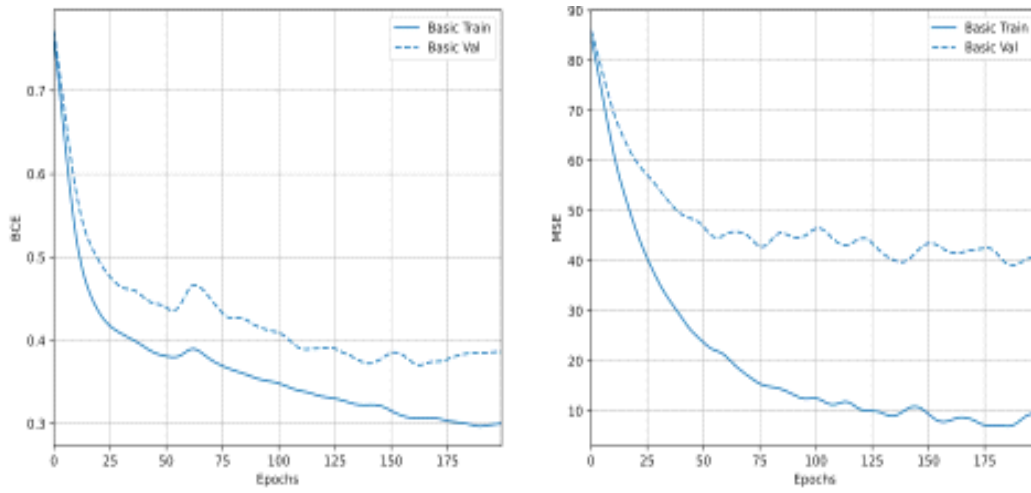


hidden\_dimension=100

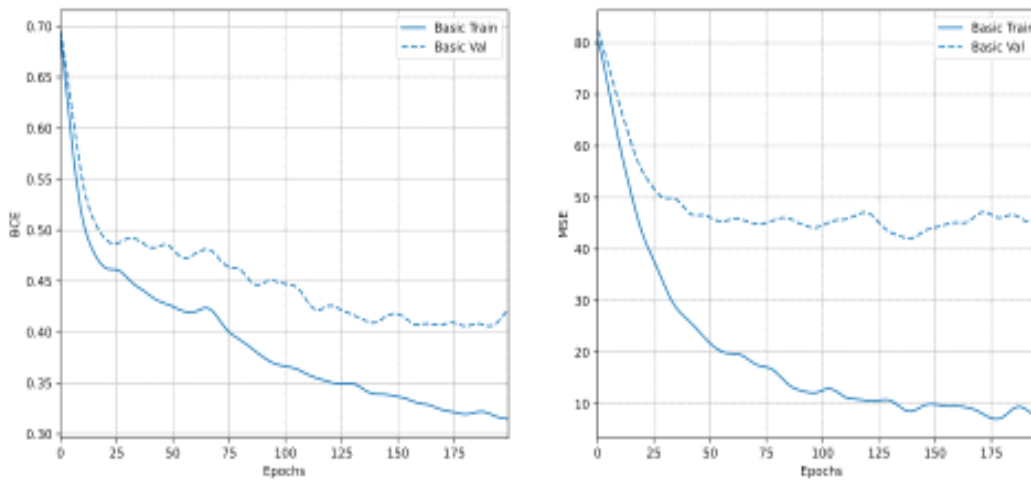


<그림 5-34> 은닉층의 출력 차원에 따른 학습 히스토리

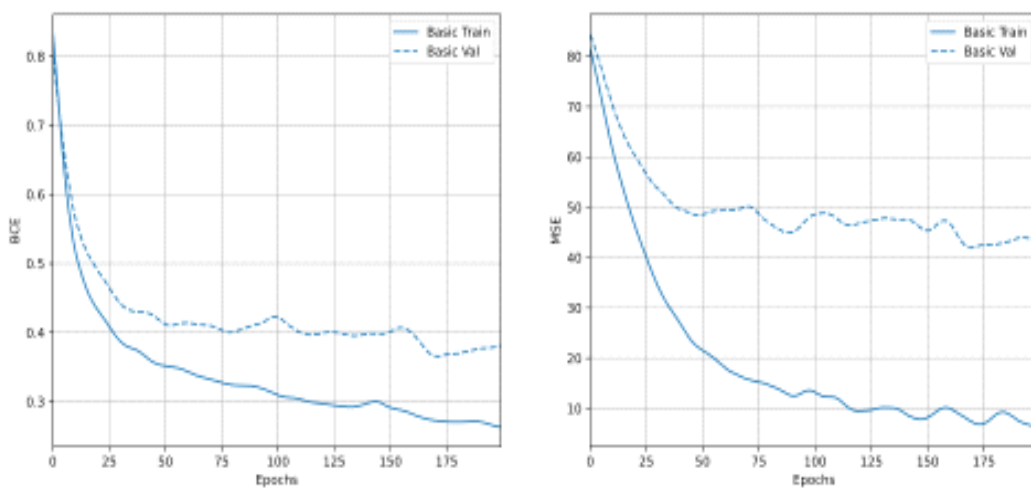
hidden\_dimension=150



hidden\_dimension=200



hidden\_dimension=250



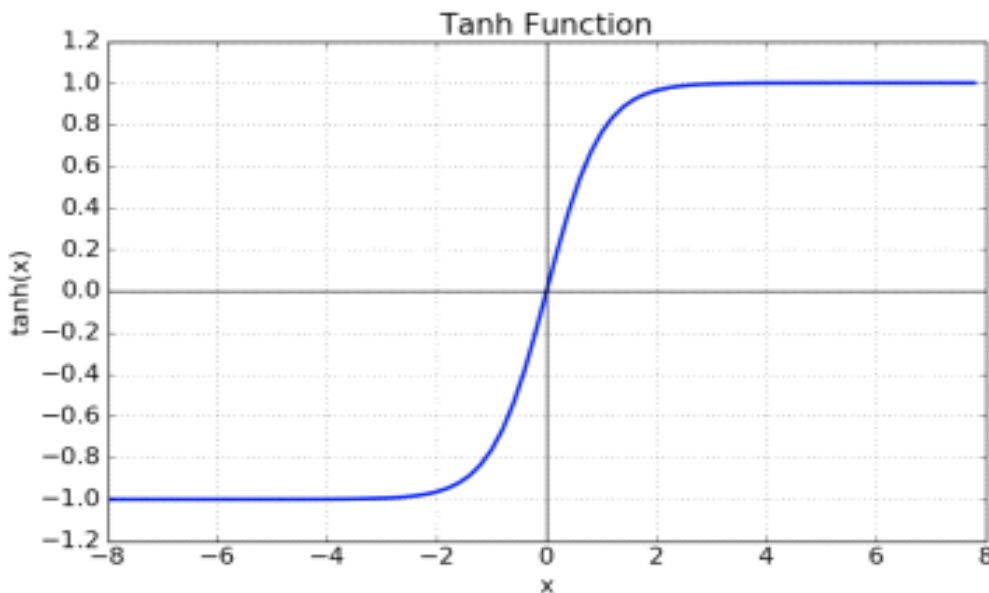
<그림 5-34> 은닉층의 출력 차원에 따른 학습 히스토리 (계속)

LSTM cell이 은닉층을 출력시 활성화함수를 거치는데 이때 활성화함수의 종류에 따라 성능의 차이가 나타남. 4종류의 활성화함수를 사용해서 학습 히스토리를 확인하고 시험 데이터를 통한 검증을 실시함.

Hyperbolic tangent (tanh) 활성화함수: LSTM cell의 기본 활성화함수로 시계열 데이터를 다루는데 가장 많이 사용하는 활성화함수. sigmoid에 비해 큰 미분계수값을 가지므로 gradient vanishing 문제에서 sigmoid에 비해 우월함.

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

$$\frac{d}{dx} \tanh(x) = 1 - \tanh^2(x)$$

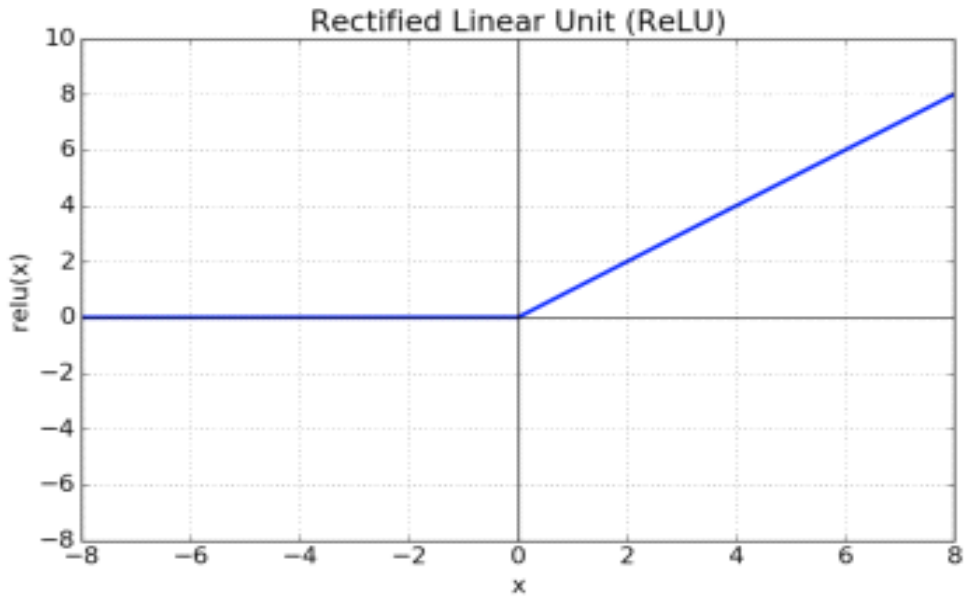


<그림 5-35> tanh 활성화함수

Rectified linear unit(relu) 활성화함수: 이미지 처리에서 뛰어난 성능을 보이면서 각광받은 활성화함수로 다양한 신경망 모형에 적용됨. 0인 점을 제외하고 미분계수가 0 또는 1을 가지므로 gradient vanishing 문제를 예방할 수 있으며 미분계수가 1인 경우에 학습의 속도가 빠름.

$$relu(x) = \max(0, x)$$

$$\frac{d}{dx} relu(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$$

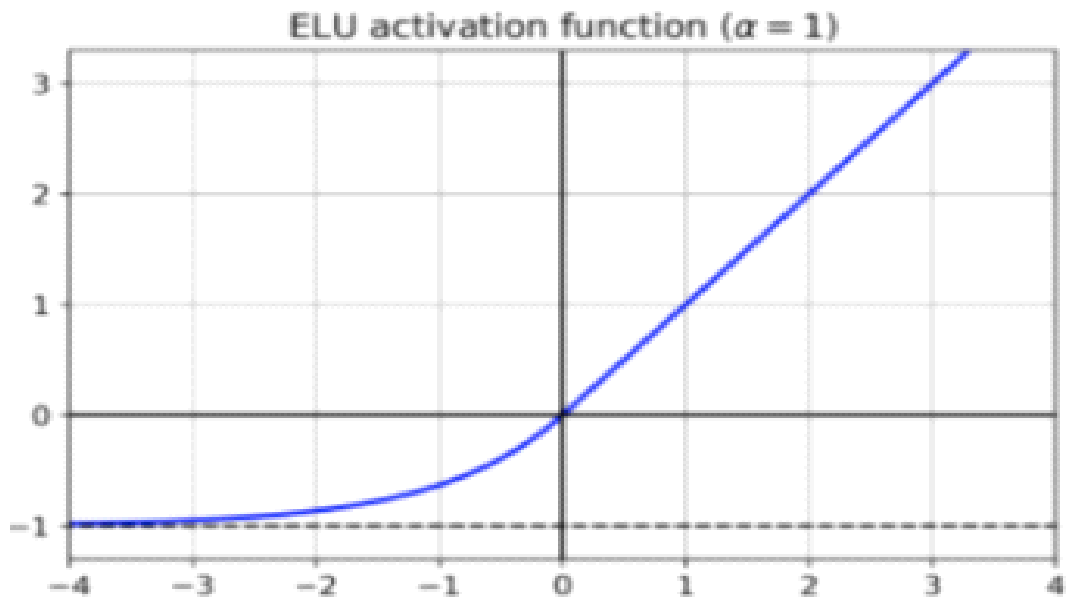


<그림 5-36> relu 활성화함수

Exponential linear unit(elu) 활성화함수:  $x > 0$ 에서는 relu와 동일하지만  $x < 0$ 에서도 미분계수가 0 이하의 매우 작은 수를 가지므로 가중치의 학습이 진행됨.  $\alpha$ 라는 hyperparameter가 존재하여 학습할 수 있으며 보통 0.1~0.3으로 설정함. relu보다 계산 효율성에서는 떨어짐.

$$elu(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ \alpha(\exp(x) - 1), & x < 0 \end{cases}$$

$$\frac{d}{dx} elu(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ \alpha \exp(x), & x < 0 \end{cases}$$



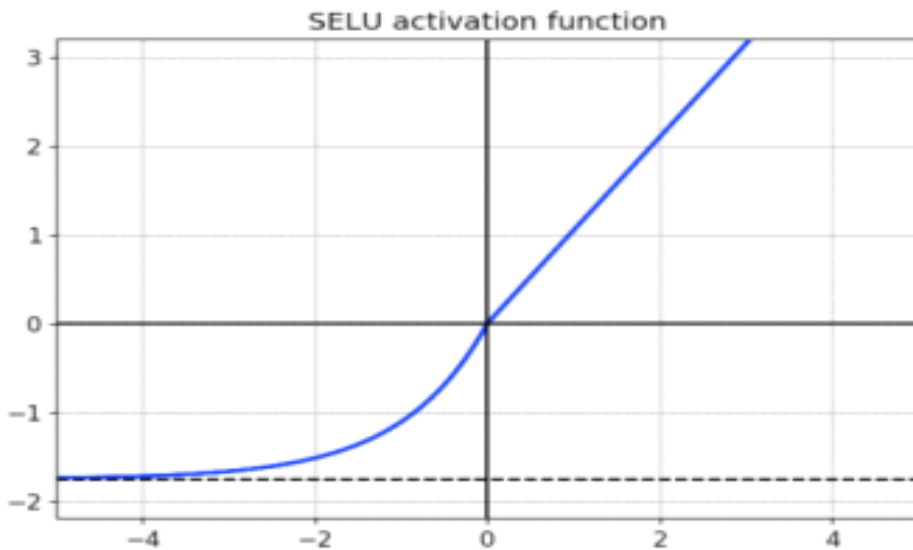
<그림 5-37> elu 활성화함수



Scaled exponential linear unit(selu) 활성화함수: elu에 hyper-parameter  $\lambda$ 를 하나 추가하여 학습하도록 만든 활성화함수. 이론적으로 gradient vanishing and exploding problem를 완화시켜주는 것으로 잘 알려져 있음.

$$selu(x) = \begin{cases} \lambda x, & x \geq 0 \\ \lambda \alpha (\exp(x) - 1), & x < 0 \end{cases}$$

$$\frac{d}{dx} selu(x) = \begin{cases} \lambda, & x \geq 0 \\ \lambda \alpha \exp(x), & x < 0 \end{cases}$$



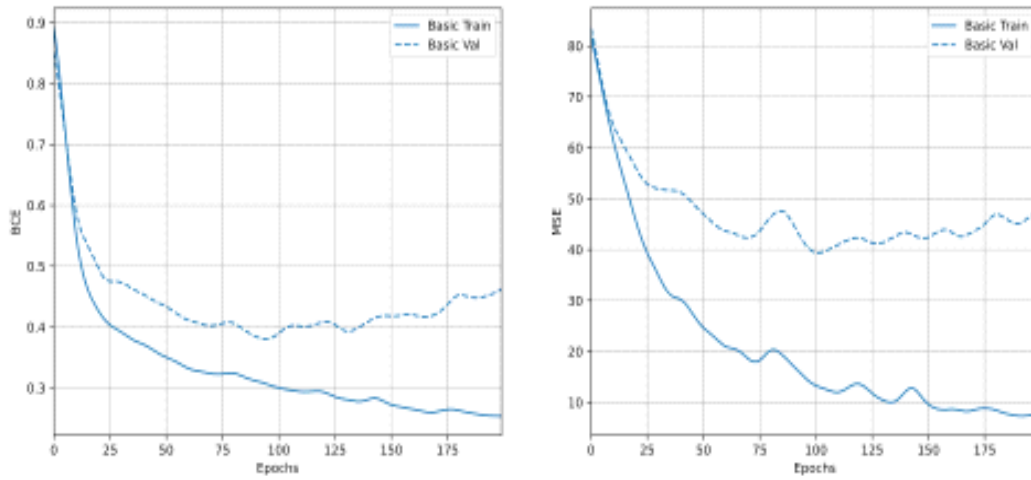
<그림 5-38> selu 활성화함수

활성화함수에 따른 시험 데이터 성능 비교시에 tanh 활성화함수의 성능이 수문개방여부(시험 BCE: 0.368)와 시점부 유량 예측(시험 MSE:27.394) 모두에서 다른 활성화함수보다 좋은 성능을 보임. 수문개방여부는 tanh > relu > elu > selu 순으로 성능이 뛰어났으며 시점부 유량 예측에서는 tanh > selu > relu > elu 순으로 성능이 뛰어남.

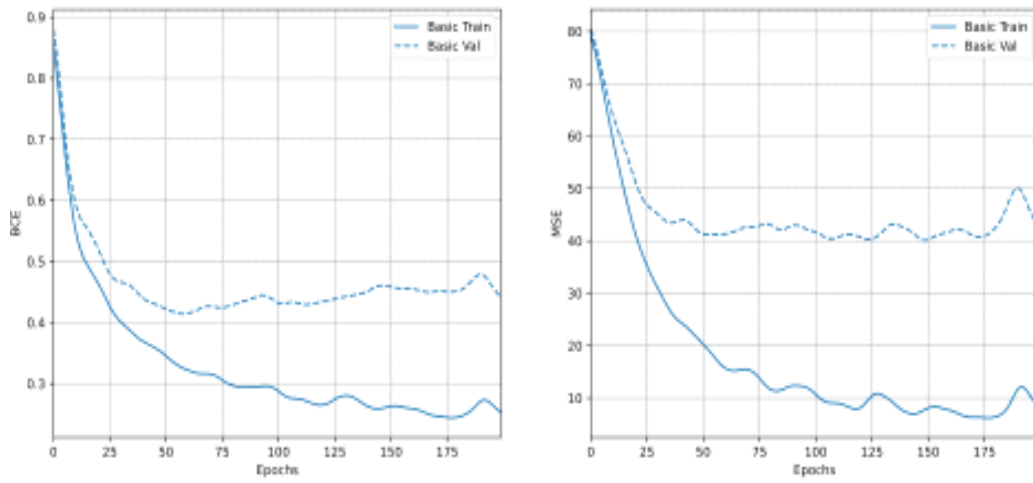
(표 5-30) 활성화 함수에 따른 모형의 시험 BCE와 MSE

활성화함수	시험 BCE	시험 mse
tanh	0.368	27.394
relu	0.432	33.511
elu	0.4407	34.553
selu	0.444	32.808

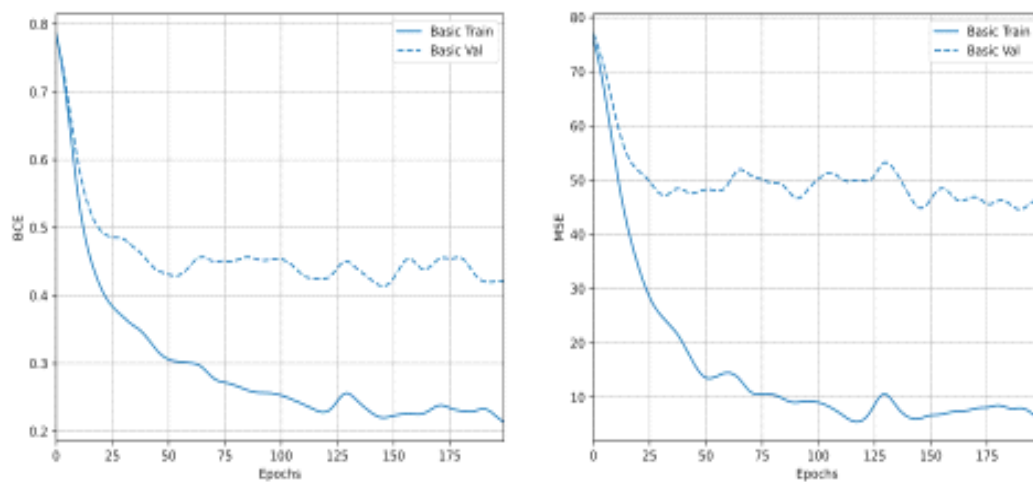
activation='relu'



activation='elu'



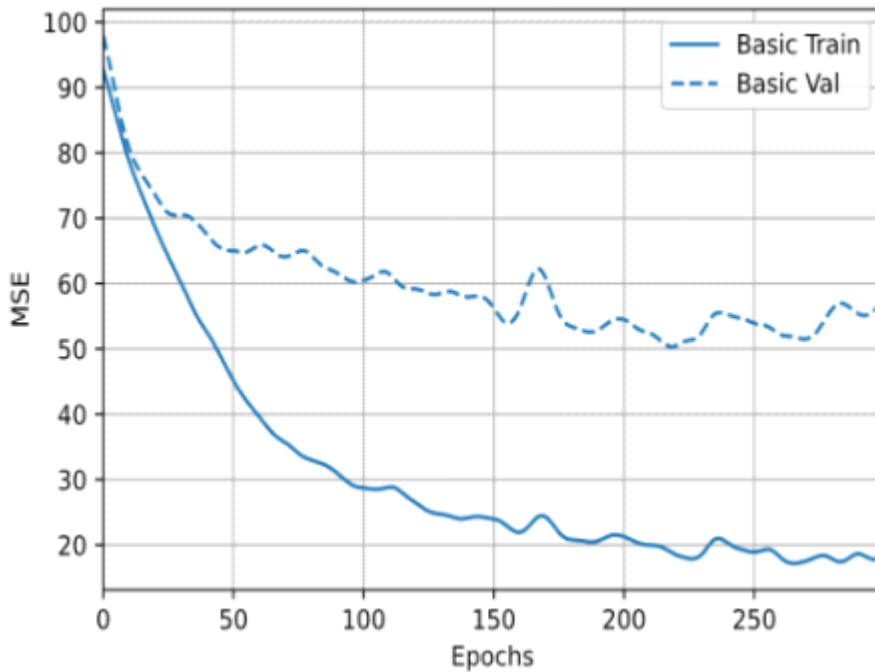
activation='selu'



<그림 5-39> 활성화 함수에 따른 학습 히스토리

6) 시점부 유량 예측모형의 시험 데이터를 통한 다른 모형과의 성능평가

시점부 유량 예측 모형과 시점부 유량 예측 성능(MSE)을 비교하기 위한 모형으로 seq2seq 모형을 선정함. 참고 모형에서 설명한 seq2seq 모형을 사용하여 인코더 파트와 디코더 파트로 구성되고 시점부 유량 예측 모형과는 다르게 인코더에서 모두 동일한 LSTM cell을 공유하도록 설계했다. seq2seq 모형도 시점부 유량 예측 모형과 동일한 은닉층 출력 차원을 200으로 설정한 후, 학습 히스토리를 보면 진행이 느려서 최대 에포크를 300으로 늘렸으며 훈련 MSE가 시점부 유량 예측 모형만큼 감소하지 않음.

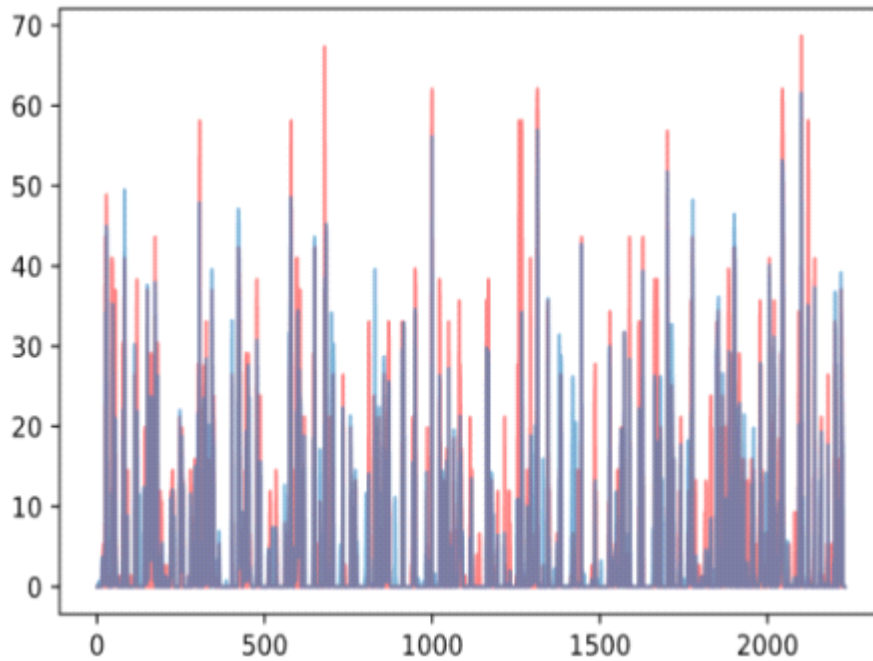


<그림 5-40> seq2seq 모형(비교모형)의 학습 히스토리

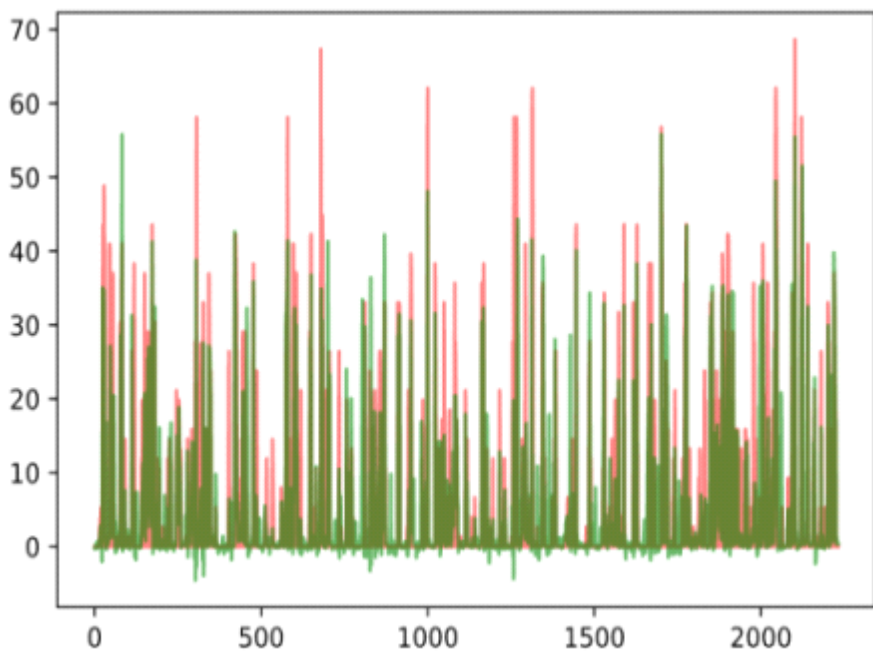
시험 데이터를 통한 시점부 유량 예측 모형과 seq2seq 모형 성능 평가: 시점부 유량 예측모형은 시험데이터에서 시험 MSE로 27.394 7일간 약 평균 5000톤의 오차가 발생함. 5000톤은 전체 저수량 1370000톤의 약 0.36%로 저수량의 큰 차이를 발생시키지 않음. 그에 반해 비교모형 seq2seq모형의 시험 데이터에서의 시험 MSE는 55.967로 시점부 유량 예측 모형에 비해 2배 높으며 7일 평균 약 7500톤의 오차를 보임. 또한 seq2seq모형은 실제 시점부 유량값이 0인 경우, 0으로 예측값을 반환하지 못하거나 음수의 예측을 하면서 성능이 더욱 저하됨

(표 5-31) 시점부 유량 예측모형과 seq2seq(비교모형)의 성능

모형	시점부 유량 예측모형	seq2seq
MSE	27.394	55.967
7일 평균 유량 오차	약 5000톤(0.36%)	약 7500톤(0.55%)



<그림 5-41> 7일 예측시 실제유량과 시점부 예측모형 결과 비교



<그림 5-42> 7일 예측시 실제 시점부 유량과 seq2seq 모형 결과비교

시점부 유량 예측 모형과 수문개방여부(BCE)를 비교하기 위한 모형으로 랜덤포레스트(Randomforest) 모형을 선정함. 랜덤포레스트 모형은 분류문제나 회귀문제에서 모두 좋은 성능을 보이는 앙상블(ensemble) 모형으로 비교모형으로 적절함. 시험에 사용할 랜덤포레스트 모형은 학습과정에서 grid search 방법을 통해 모형의 파라미터를 선택함.

수문개방여부 예측을 시험 데이터를 통해 성능 평가를 위해 이진분류문제에서 많이 사용되는 지표인 ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선과 AUC(Area Under Curve)를 계산함.

ROC 곡선을 그리기 위해서 x축과 y축을 설정하는데 x축은 False Positive Rate(FPR)로 참값이 'negative'(수문개방하지않음)인 것 중에서 예측모형이 'positive'(수문개방함)이라고 예측한 비율이며 참값이 negative인데 positive로 예측한 것을 false positive라고 함. y축은 True Positive Rate(TPR)로 참값이 'positive(수문개방함)'인 것 중에서 예측모형이 'positive(수문개방함)'으로 예측한 비율이며 참값이 positive인데 positive라고 예측한 것을 true positive라고 함. 따라서 fpr은 낮으면서 tpr은 높을수록 좋은 모형이며 ROC 곡선에서 좌상단에 위치함. ROC 곡선은 이진분류를 결정하기 위한 절단값(threshold)을 미리 정해진 grid에 따라서 선택한 후, FPR과 TPR을 계산한 후, (FPR, TRP) 좌표쌍을 좌표축에 나타냄. AUC는 ROC 곡선의 아래 면적의 넓이를 의미하며 값이 클수록 좋은 모형임. 가상의 최고 성능의 분류 모형의 AUC는 1 임.

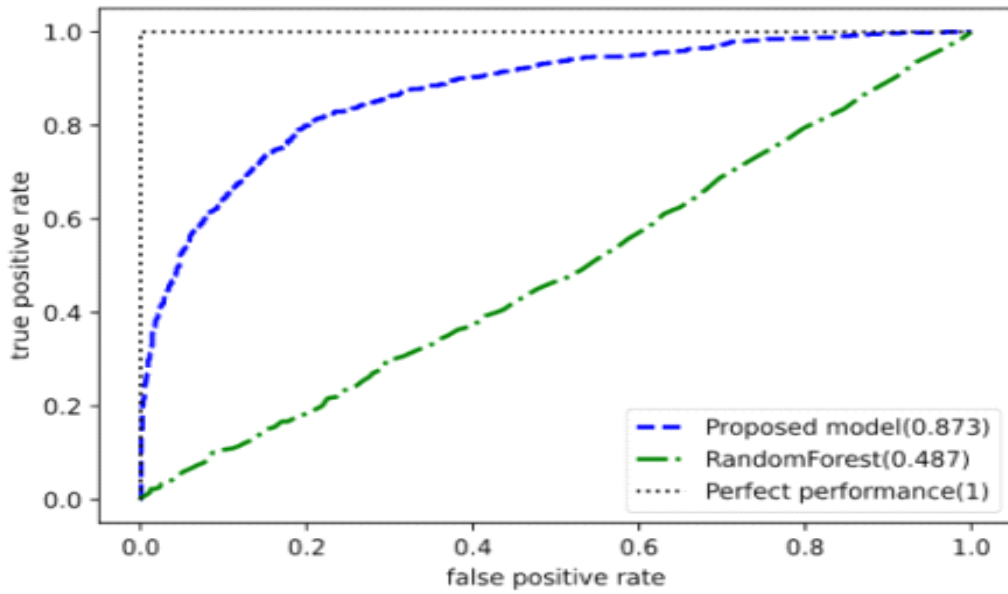
$$False\ Positive\ Rate(FPR) = \frac{false\ positive\ 의\ 갯수}{참인\ negative\ 의\ 갯수}$$

$$True\ Positive\ Rate(TPR) = \frac{true\ positive\ 의\ 갯수}{참인\ positive\ 의\ 갯수}$$

(표 5-32) 시점부 유량 예측모형과 랜덤포레스트 모형 비교

절단값(threshold)	시점부 유량 예측모형		랜덤포레스트	
	FPR	TPR	FPR	TPR
0.1	0.241	0.899	0.738	0.720
0.2	0.136	0.830	0.565	0.542
0.3	0.101	0.780	0.431	0.398
0.4	0.074	0.723	0.318	0.300
0.5	0.056	0.676	0.223	0.223
0.6	0.042	0.623	0.150	0.143
0.7	0.029	0.559	0.085	0.089
0.8	0.020	0.479	0.031	0.039
0.9	0.012	0.383	0.007	0.012

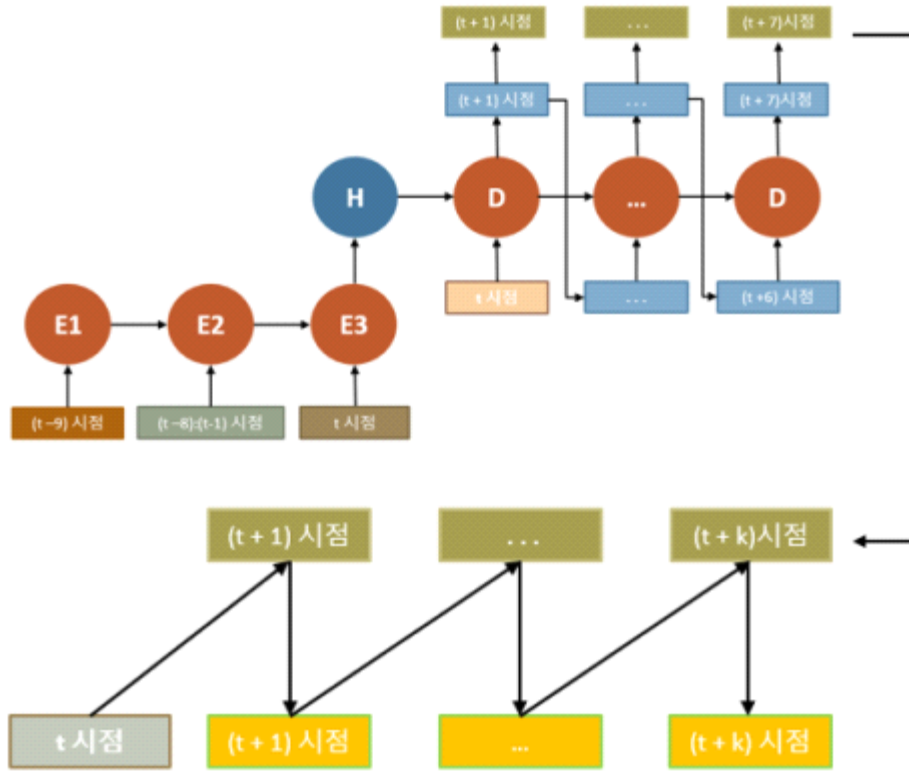
ROC 곡선을 그려본 결과 시점부 유량 예측모형의 AUC 값은 0.873이고 랜덤포레스트 모형의 0.487로 시점부 유량 예측모형이 월등히 앞서는 성능을 보임. 시점부 유량 예측모형이 랜덤포레스트 모형에 비해 수문개방여부의 시간의 흐름에 의한 패턴을 잘 파악했다고 볼 수 있음. 그리고 결과가 위의 시점부 유량 예측에서 시점부 유량이 0인 경우와 그렇지 않은 경우를 예측하는 성능에 반영되어서 시점부 유량 예측의 성능을 높이는데 기여함.



<그림 5-43> 모형별 수문개방여부 예측 ROC 곡선

7) 저수율 예측모형

저수율 예측모형은 시점부 유량 예측모형을 사용하여 t시점의 무수저수지 실제 저수량에서 (t+1)시점의 예측된 시점부 유량만큼 감소시켜서 (t+1)시점의 저수량을 계산하고 최대저수량 1370000으로 나누어서 저수율을 예측함. 총 예측기간인 7일 동안 순차적으로 위의 과정을 반복하여 예측 저수율을 계산함.



<그림 5-44> 저수율 예측모형의 구조

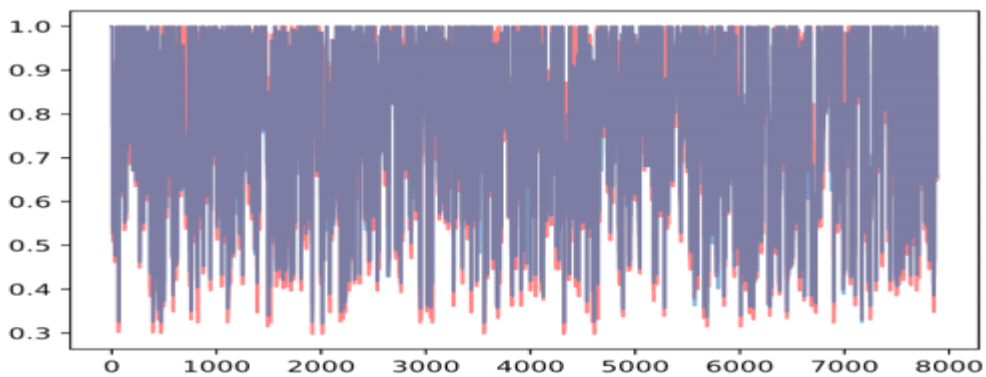
(표 5-33) 무수저수지 저수율 예측모형 구성 요소

역할	구분	요소	설명
시점부 유량예측	인코더		(t-9)시점 LSTM cell의 입력값으로 해당 시점의 시간, 기상정보와 (t-9)일부터 (t-19)일까지의 총 11일간의 시점부 유량정보를 추가적으로 포함함.
			(t-8)시점부터 (t-1)시점 LSTM cell의 입력값으로 각 시점에 해당하는 시간, 유량, 기상정보를 포함함.
			현재 t시점의 LSTM cell의 입력값으로 t 시점의 시간, 유량, 기상정보와 추가적으로 미래 이틀 치의 기상예보정보를 포함함.
			인코더의 첫 번째 파트로 (t-9)시점의 LSTM cell 하나로 구성됨.
			인코더의 두 번째 파트로 (t-8)시점부터 (t-1)시점까지 총 8개의 LSTM cell로 구성됨.
			인코더의 마지막 파트로 현재 t시점의 LSTM cell 하나로 구성됨.
	은닉층		인코더의 마지막 파트에서 반환된 은닉값으로 디코더로 전달됨.
	디코더		(t+1)시점의 시점부 유량을 예측하기 위한 t시점의 실제 시점부 유량으로 디코더의 첫 번째 LSTM cell의 입력값임.
			(t+1)시점의 수문개방여부와 시점부 유량 예측값
			(t+1)시점의 최종 출력값으로 (예측된 수문개방여부 × 예측된 시점부 유량)으로 계산함.
		디코더 파트로 시점마다 하나의 LSTM cell로 구성됨.	
저수율 계산		현재 t 시점의 실제 저수량으로 예측된 (t+1)시점의 최종출력값을 빼서 (t+1)시점의 저수량을 계산하는데 사용함.	
		예측된 저수량으로 무수저수지의 최대저수량으로 나누어서 저수율을 계산하는데 사용함.	



### 8) 저수율 예측모형 학습

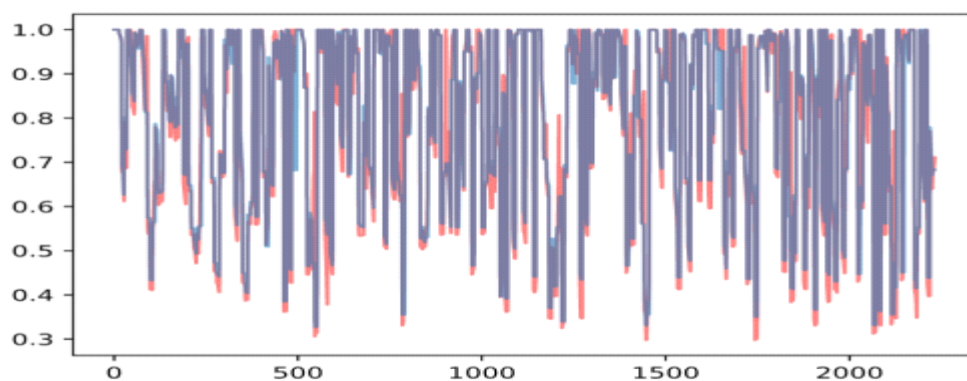
저수율 예측모형은 시점부 유량 예측모형을 통해 예측된 시점부 유량 예측값을 사용하므로 개별적인 학습이 필요하지 않으며 학습된 시점부 유량 예측모형을 사용하여 저수율의 훈련 MSE를 계산한 결과, 0.0036으로 약 7일 평균 6% 오차가 발생함. 시점부 유량 예측모형에서 학습 시에 약 7일 평균 5000톤으로 최대저수량의 0.36%의 오차가 발생했지만 저수율에서는 오차가 상대적으로 크게 발생하는 이유는 유입을 고려하지 않았기 때문으로 예상됨.



<그림 5-45> 학습데이터의 실제 저수율과 저수율 예측모형의 예측값

### 라. 저수율 예측모형의 성능 평가

저수율 예측 모형의 성능을 평가하기 위해 위와 시점부 유량 예측 모형의 성능 평가와 동일하게 데이터를 나눈 후 시험 데이터를 예측치와 실제 저수율간의 시험 mse를 계산함. 이때 결과로 나온 시험 MSE는 0.0031로 7일 평균 약 5.5%의 오차가 발생함.

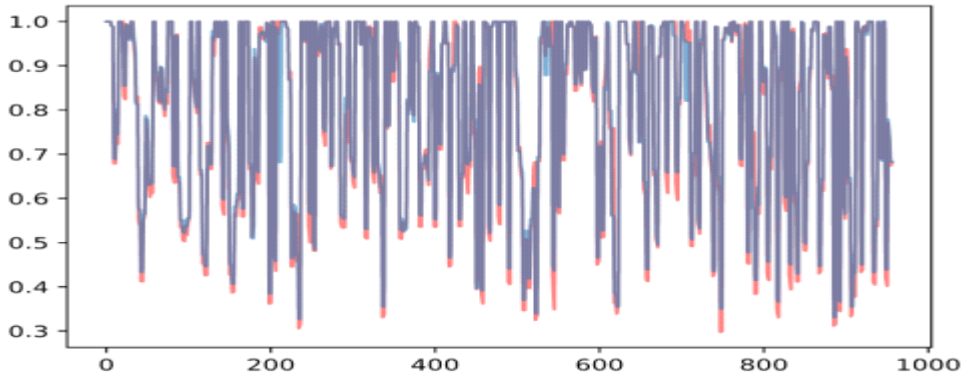


<그림 5-46> 7일 예측시 실제 저수율과 저수율 예측모형의 예측값

저수율 예측모형의 성능을 확인하기 위해 7일의 예측치를 초기 t시점의 저수율로 모두 동일하게 예측한 값과 비교함. 저수율 예측 모형이 설명할 수 있는 저수율의 변동성을 확인함. 초기 시점으로 7일을 모두 예측한 시험 MSE는 0.0044로 약 7일 평균 6.6%의 오차가 발생함.

$$\frac{\text{저수율 예측모형의 MSE}}{\text{초기 시점으로 예측한 MSE}} = \frac{0.0031}{0.0044} = 0.706$$

위의 결과로 저수율 예측모형은 7일동안의 저수율 변동성 중 약 30%를 설명하는 것으로 나타남. 3일 예측시의 경우 시험 MSE는 0.0009로 3일 평균 약 3% 오차로 줄었으나 초기 시점으로 3일을 예측한 결과와 변동성을 비교해보면 7일과 비슷한 수준인 약 30%를 설명하고 있음.



<그림 5-47> 3일 예측시 실제 저수율과 저수율 예측모형의 예측값

## 5.5.4 저수율 예측모형의 한계 및 향후계획

### 가. 저수율 예측모형의 한계

입력값으로 사용되는 기상데이터가 무수저수지가 위치한 진천군 광해면의 데이터가 아니므로 실제 무수저수지의 기상데이터와 오차가 있을 가능성이 큼. 기상청의 기상자료포털에서 예보자료를 단기(2일)만 공개하고 있어서 미래의 정보가 부족함. 중장기 예측을 위해서는 중장기 기상 예보자료가 필요함.

저수율 예측을 위한 가장 큰 요인인 유출량에 대한 예측의 성능이 0인 경우를 잘 예측하나 유출량을 상대적으로 작게 과소평가함. 그 결과로 인해 예측 저수율은 과대 평가됨.

개발된 저수율 예측모형은 시점부 유량인 유출량에 대한 모형화가 이루어진 상태이므로 유입량에 대해서는 모형화가 이루어지지 않음. 따라서 위의 적합 결과와 테스트 결과를 보았을 때, 저수율이 감소하는 상황에서는 예측치와 실제 저수율간의 차이가 크지 않음을 확인할 수 있음. 그러나 저수율이 증가하는 경우를 예측하지 못하기 때문에 시험 MSE가 높게 나옴.

### 나. 향후계획

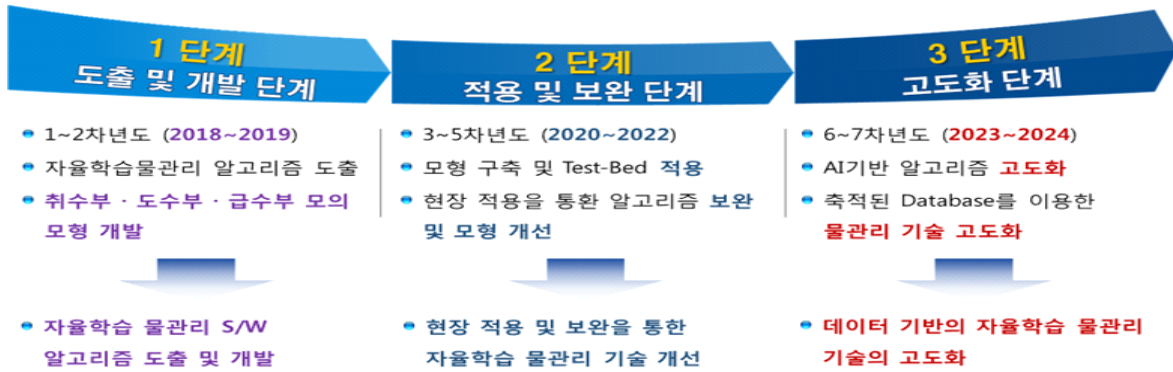
편차가 작은 데이터를 위해서 진천군 광해면의 기상데이터와 중장기 예보자료를 얻을 수 있도록 기상청에 협조 요청, 데이터의 신뢰성을 확보함.

과소평가하는 유량에 대해서는 데이터의 정규화 방법이나 새로운 활성화함수의 도입, 더 축적되는 데이터를 사용해서 보완할 수 있을 것으로 예상됨. seq2seq 구조에서 attention 방법을 도입하여 시점간의 연관성을 높이도록 모형을 설계하는 방법도 고려할 수 있음.

현재 무수저수지의 유입량 데이터의 부재로 유입량 모형화가 어려움. 추후에 유입량 데이터가 확보되면 지금의 저수율 모형에 추가해서 유입량과 유출량의 모형으로 설계할 수 있음. 혹은 유입량에 대한 물리적 모형을 통해 저수율 예측모형을 보완하는 방식으로 모형을 발전시킬 수 있음.

## 6장 단계별 기술개발 전략계획 수립

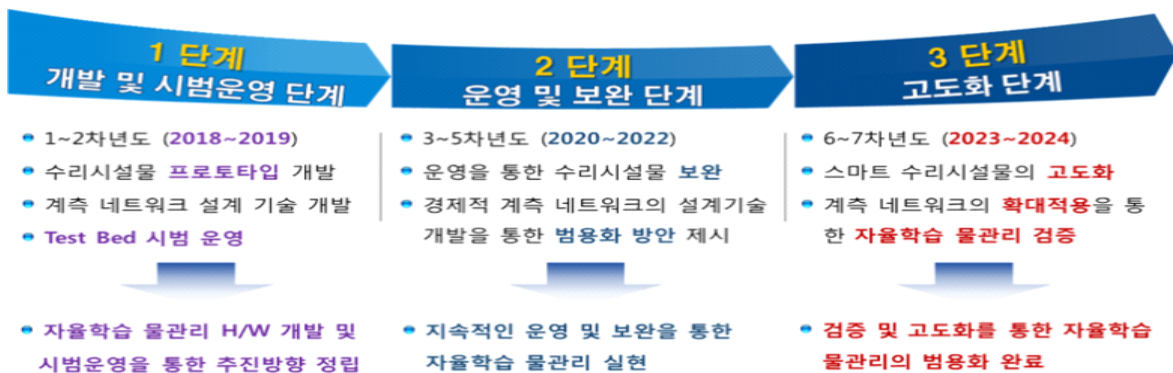
### 6.1 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획 수립



<그림 6-1> 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획

본 연구의 단계별 알고리즘 기술개발 전략을 그림 6-1에 제시하였다. 당해연도는 연구과제의 2차년도로서 1단계(도출 및 개발)이다. 1단계에서는 취수부, 도수부, 급수부의 알고리즘을 도출하고, 알고리즘에 따라 모형들을 설계하고 개발하였다. AI기반의 물관리 의사결정 모형들은 기초적인 설계를 하였으며 향후 2~3단계에서 개발과 고도화 할 예정이다. 2단계(적용 및 보완)에서는 데이터 계측과 현장조사가 본격적으로 시작되며, 수집한 데이터들을 활용하여 개발한 알고리즘 및 모형의 검증작업을 수행하고 모형을 보완하게 된다. 계측된 공급량 데이터를 활용하여 공급량 추정 모형을 검증하고, 이를 저수지 유입량으로 환산하여 유입량 모형을 검증한다. 간선수로의 유량 및 수위 데이터를 이용하여 평야부 모형을 검증하게 된다. 검증과정에서 발생하는 오류 혹은 수정사항을 반영하여 각 모형들을 보완하고 개선한다. 마지막 3단계(고도화)에서는 AI에 기반하여 물관리가 이루어질 수 있도록, 알고리즘을 고도화한다. 최종적으로 용수공급과 수문제어의 자동화 또는 의사결정 지원을 목표로 알고리즘을 고도화 하게 된다.

### 6.2 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립



<그림 6-2> 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획

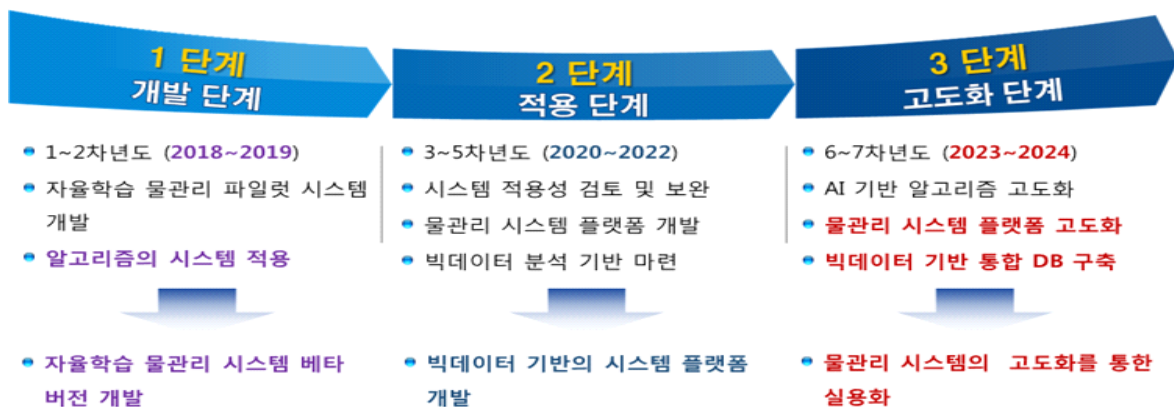
본 연구의 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략을 그림 5-2에 제시하였다. 당해연도는 연구과제의 2차년도로써 1단계를 진행하고 있다. 1단계는 스마트 수리시설물의 개발 및 시범운영 단계로서, 자율학습 물관리에 적합한 수리시설물 도입기술을 선정하고 설계기술을 개발함과 동시에 단계적인 개발 전략을 수립하였다. 2단계는 운영 및 보완 단계로서 1단계에서의 도입기술 및 설계기술에 대한 프로토타입을 제작하고 실험실 운영 및 현장 적용을 통하여 스마트 수리시설물을 보완하는 단계이다. 3단계는 고도화 단계로서 스마트 수리시설물의 확대 적용이 가능하도록 고도화를 실현하고 지속적인 운영을 통하여 자율학습 물관리 시스템의 검증 및 범용화를 완료하는 단계이다.

### 6.3 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립

물관리 시스템 기술개발 전략 계획은 3단계로 구성하였으며 개발단계, 적용단계, 고도화 단계이다. 1단계 개발단계에서는 자율학습 물관리 파일럿 시스템을 개발하여 수로 네트워크 분석이 가능하도록 하였으며 이에 더불어 추가적인 알고리즘을 시스템에 적용하는 단계이다. 이를 통하여 최종적으로는 자율학습 물관리 시스템 베타 버전을 개발하는 것이다.

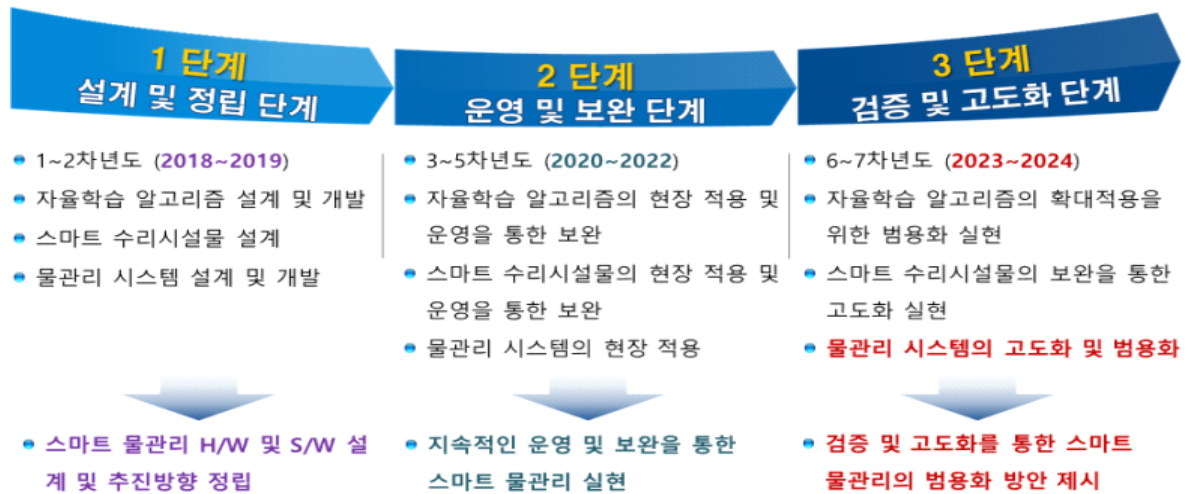
2단계 적용단계는 1단계에서 개발된 시스템을 다양한 시범지구에 적용하여 그 적용성을 검토하고 시스템에 대한 추가적인 기능 또는 보완사항에 대하여 개발한다. 이를 기반으로 물관리 현장에서 적용 가능한 물관리 시스템의 플랫폼을 개발하는 것이다. 이를 위하여 다양한 계측자료 및 분석자료에 대한 데이터베이스 설계 및 구축하고 이를 빅데이터 분석이 가능한 기반을 마련하는 것이다. 데이터 측면에서 현재 물관리에서 확보 가능한 데이터와 향후 확보해야 할 데이터를 구분하여 구축하고 향후 확보 방안에 대한 연구도 필요할 것이다.

3단계 고도화 단계는 2단계를 통하여 구축될 빅데이터를 분석할 수 있는 통합 DB를 구축하고 물관리 시스템 플랫폼에 AI기반 알고리즘을 적용하여 물관리 현장에서 적용이 가능한 물관리 시스템을 최종적으로 개발하는 것이다.



<그림 6-3> 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획

## 6.4 도입기술의 현장 적용 전략계획 수립



<그림 6-4> 단계별 도입기술의 현장 적용 전략계획

본 연구는 크게 스마트 물관리를 위한 자율학습 알고리즘 개발, 스마트 수리시설물 개발, 스마트 물관리 시스템 플랫폼 개발로 나누어져 있다. 1단계에서는 각각의 도입기술의 설계 및 개발방향 정립 단계로서, 시범지구에 대하여 자율학습 알고리즘 및 스마트 수리시설물, 물관리 시스템의 설계를 완료하고 고도화를 위한 개발 방향을 수립하였다. 2단계에서는 각각의 도입기술을 현장 적용을 통하여 운영 및 보완을 지속적으로 수행하여 시범지구의 스마트 물관리를 실현하는 단계이다. 3단계에서는 도입기술의 검증 및 고도화, 범용화를 실현하는 단계로서 시범지구에서 검증된 스마트 물관리 시스템을 전국적으로 확대 적용할 수 있는 범용화 방안을 제시하고 시범지구 이외에 대표성을 확보하고 있는 대표 지구에 대하여 적용하여 범용화를 실현하고자 한다.

## 7장 결론

기후변화, 밭 재배면적 증가, 수원개발 적지 부족, 수리구조물 관리인력 부족, 통합물관리 정책 시행 등 다양한 자연적·사회적·정책적 요구에 대응하기 위해 ICT·IoT기반의 정량적·과학적 물관리가 필요한 시점에서 본 연구과제에서는 데이터 기반의 물관리 개념을 도입하여 이러한 요구에 대응하고자 하였다. 본 연구과제는 다년도의 연구과제 중 2년차에 해당하는 연구로 연구의 최종적인 목표를 재설정하여 1차년도에 도출한 요소기술들을 선별하고, 이를 유기적으로 조합하여 물관리 시스템의 기본설계를 하였다. 또한 시범지구를 선정하여 시범지구에 계측기를 설치하였다.

본 연구과제의 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

- 일반적으로 널리 사용되는 지하 또는 제방으로의 침투를 무시한 간략화된 물수지 모형을 사용하여 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계를 진행하였음
- 저수지 저수율 모의예측 모형에 매우 중요한 요소인 유입량은 매개변수 조정에 대한 과정이 이미 분석되어 개략적으로라도 추정할 수 있는 3단 Tank 모형을 사용함
- 모형사용으로 인한 추정의 불확실성을 줄이기 위하여 일단위 계산의 결과를 순단위로 환산하여 물수지 모형에 적용함
- 인공지능 용수공급량 예측 모형은 물수지모형과 공급량모형에 의해 모의된 저수율이 실제 관측된 저수율과 잘 일치하도록 작부시기, 손실율 등을 최적화 알고리즘(ACO, Ant Colony Algorithm)을 통하여 역추정하였음
- 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘의 기본설계는 필지의 면적에 비례하는 것이 최적의 물 배분으로 가정하고 이를 위해 분수문의 최적개도율을 산정함
- 고정된 수문은 실제 현장에서의 수문 조작 방식과는 다른 방법이므로 수로 조작에 최적화 알고리즘(MCTC, Monte Carlo Tree Search)을 적용하여 제시할 예정임
- 물관리 시스템 알고리즘의 검증위해 데이터를 수집하고 추가적인 현장검증 등이 필요함
- 국내/외의 대표적인 수문 형식, 작동방식 및 소재 등에 대해 분석/검토 하였으며, IoT 기반의 스마트 농업용 수로 수문 3종 설계기술 LPL게이트, SRS게이트, UHA게이트를 개발하였음
- LPL(Low-Powered Lightweight Gate) 게이트는 경량의 소재를 적용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문 형식
- SRS(Smart Rubber & Steel Gate) 게이트는 하이브리드 패널과 고무 에어백을 사용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문 형식
- UHA(Upper Hinge Automatic Gate) 게이트 하이브리드 패널을 사용하여 저전력으로 게이트를 상부 힌지방식으로 개폐하는 방식의 수문 형식임
- 물이용 불확실성을 해소하고자 유역부, 저수부 및 평야부에 걸쳐 수문 계측망을 구축 및 운영을 하였음

- 관개지역 내의 구간별 농업용수량의 산정이 필요하지 않는 지구에서는 간선수로별로 유입부, 중간부, 말단부에 각 1개소 즉, 간선 수로별 3개소 규모의 계측기를 구축함으로써 경제성을 확보할 수 있을 것으로 분석되었음
- 수리 네트워크의 구성요소는 관개지구의 물순환을 기초로 하여 분류하면 크게 취수부, 도수부, 급수부 등으로 구분
- 시범지구인 무수저수지의 수로 네트워크를 구축하여 취수부, 도수부, 급수부로 구성된 네트워크를 분석하여 농업용수의 거동을 분석하는 파일럿 시스템을 개발함
- 데이터의 통계적 특성 분석결과 관개기 용수 공급 여부가 강수량과는 상관없이 계획에 의해 공급 되거나 농민의 추가 요청에 의해 공급되는 업무 특성이 반영된 것이라고 추정할 수 있고, 모델에 적용할 데이터 셋 생성 시 이 부분을 고려해야 할 것임
- 저수율 예측에 필요한 추가 데이터는 취수부에서 획득할 수 있는 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 제수문(개폐, 개도율), 도수부에서 획득할 수 있는 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문, 급수부에서 획득할 수 있는 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량) 등임
- 분석에 적용할 수 있는 알고리즘은 뉴로 퍼지 방법, ANN(Artificial neural Network)방법, ARMAX(Autoregressive-moving-average model), ANFIS 및 GEP(Gene Expression Programming) 및 SVM(Support Vector Machine)등이 있고 알고리즘에 적용할 변수들의 특성을 고려하여 선택 활용해야함
- 무수저수지의 저수량 감소는 시점부 유량의 합과 동일함, 월별 시점부 유량의 차이가 확실함을 확인했으며 따라서 시점부 유량을 예측하는 것이 저수율 감소와 동일함.
- 시점부 유량이 0인 경우는 회귀모형의 성능에 영향을 미치는데 이를 고려하기 위해 수문개방 여부라는 변수를 도입하여 예측모형의 성능을 높임.
- 시점부 유량 예측모형은 비교모형보다 시험 데이터에서 성능이 뛰어났으며 7일 평균 약 5000 톤의 차이가 발생하는데 이는 최대저수량의 0.36%으로 저수율에 큰 영향을 주지 못함.
- 저수율 예측모형은 시점부 유량 예측모형을 확장했으며 시험 데이터에서 저수율이 감소하는 상황에서는 오차가 작았지만 약 7일 평균 약 6%의 오차가 발생했으며 이는 유입량의 영향으로 생각됨.

위와 같은 도출 내용을 바탕으로 차년도 이후로 시범지구에 대하여 설계한 물관리 시스템을 적용하고, 설치한 계측기에 계측된 자료를 바탕으로 이를 검증하고자 한다. 본 연구에서는 데이터 기반의 자동용수공급 기술 및 수문조작 기술 개발을 연구의 최종목표로 설정하였으며, 이를 위하여 요소기술들을 개발하고, 개발을 위한 전략을 세우고 있다.

아직 데이터 기반의 물관리라는 개념이 명확하지 않은 상황에서, 본 연구는 그 시작점으로서 최대한 구체화할 수 있는 부분을 구체화 하고자 하였으며, 특히 정량적인 용수관리의 개념이 없는 현 시점에서 용수공급 및 수문조작을 정량적인 지표에 의해 관리될 수 있도록 목표하여 다양한 기술들을 적용하고자 하였다. 현재 데이터의 부족으로 기술 및 알고리즘의 검증이 부족한 점이 있으나 향후 실제 데이터를 활용하여 요소기술들을 검증하고 적용하고자 한다.

## □ 참고문헌

1. 강민구, 박승우, 임상준, 1999, 관개용 저수지의 일별 사용량 조사 분석, 1999년 한국농공학회 학술발표회 논문집, 1, pp. 111-116
2. 강민구, 오승태, 김진택, 2014, 관개지구의 관행 물관리를 고려한 저수지 용수공급량 추정, 한국농공학회논문집, 56, pp. 1 - 9
3. 강민구, 이주현, 박기욱, 2013, 미계측 유역 유출 모의를 위한 Tank 모형의 매개변수 지역화, 46, pp. 519 - 530
4. 김보경, 김병식, 권현한, 2009, 준분포형 모형을 이용한 농업용 저수지가 안성천 유역의 유출 모의에 미치는 영향 평가, 대한토목학회논문집, 29, pp. 11 - 22
5. 김진택, 이용직, 2002, 농업용수 시험지구의 관측 및 물관리 특성, 2002년 한국농공학회 학술발표회 자료집, 12, pp. 13 - 16
6. 김현영, 1998, 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생(I), 한국농공학회지, 30, pp. 50 - 62
7. 김현영, 1998, 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생(II), 한국농공학회지, 30, pp. 95 - 104
8. 김현영, 1998, 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생(III), 한국농공학회지, 30, pp. 95 - 105
9. 김현준, 2001, 2매개변수 쌍곡선형 일유출모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문
10. 김현준, 장철희, 노성진, 2012, 도시화에 따른 물순환 영향 평가 모형의 개발 및 적용, 한국수자원학회논문집, 45, pp. 203 - 215
11. 노재경, 2003, 용수 수요를 고려한 DAWAST 모형의 적용성 평가, 한국수자원학회논문집, 36, pp. 1097 - 1107
12. 노재경, 2013, 용수수급 조절을 고려한 비구조적 하천수량 확보 기술개발 (II), K-water 연구원.
13. 노재경, 이재남, 2008, 대아지 승상을 위한 수문학적 가능성 평가, 농업과학연구, 35, pp. 225 - 235
14. 노재경, 이재남, 2011, 도시 하천유지유량 공급의 저수지 운영 방법, 농업과학연구, 38, pp. 163 - 172
15. 노재경, 이재남, 2011, 저수지 운영을 위한 한국 하천 유출 모형의 비교, 농업과학연구, 38, pp. 513 - 524
16. 농림부, 1998, 농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편)
17. 농림부, 1999, 농업용수 관리 자동화 시스템 기술 개발
18. 농업기반공사 농어촌연구원, 2005, 영농환경 변화를 고려한 농업용수 적정 공급방안 연구
19. 맹승진, 황만하, 이현규, 2007, 연속유출모형에 의한 동향유역의 유출분석, 한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집 5(1), pp. 1-4.
20. 박승우, 2001, 농업용수의 관개효율제고 방안, 농어촌과 환경, 70, pp.3-12
21. 안지현, 송정현, 강문성, 송인홍, 전상민, 박지훈, 2015, TANK 모형 매개변수 추정을 위한 회귀식 개발, 한국농공학회논문집, 57, pp. 121 - 133



22. 이성용, 김태곤, 이제명, 이은정, 강문성, 박승우, 이정재, 2009, 단일변이 탐색법과 유전 알고리즘에 의한 탱크모형 매개변수 결정 비교 연구, 한국농공학회논문집, 51, pp. 1 - 8
23. 이용준, 박민지, 박기욱, 김성준, 2008, 농업용 저수지 운영을 고려한 SWAT 모형의 수문학적 거동 분석, 한국지리정보학회지, 11, pp. 20 - 30
24. 이용직, 김선주, 김필식, 주옥중, 양용석, 2006, 합리적 관개용수량 산정에 관한 연구, 한국농공학회논문집, 48, pp. 11 - 20
25. 이재남, 2016, 기후변화를 고려한 다수 농업용 저수지의 하천유지유량 모의시스템 개발 및 적용, 충남대학교 박사학위논문.
26. 이재남, 노재경, 2015, RCP 8.5 기후변화 시나리오를 고려한 농업용 저수지군 운영에 따른 미래 하천유량 평가, 한국농공학회논문집, 57, pp. 113 - 122
27. 이태호, 2011, 수리시설물 모의조작 시스템 (HOMWRS)소개, 물과 미래 : 한국수자원학회지, 44, pp. 88 - 91
28. 전상민, 2014, 농업용 저수지 용수공급 모의 시스템의 개발, 서울대학교 석사학위논문.
29. 정지혜, 2014, SSARR 모형에 의한 금호강 수계 표준유역별 유출특성 분석, 충북대학교 석사학위논문.
30. 최진규, 손재권, 김영주, 2012, 동진강 유역의 농업용수 급수체계 분석, 한국농공학회논문집, 54, pp. 11 - 18
31. 한국농어촌공사 금강사업단, 2017, 금강권역 지능형 물정보시스템 구축 연구용역
32. 한국농어촌공사 농어촌연구원 2015, 지능형 관개/배수 관리시스템 개발
33. 한국농어촌공사, 2016, 대야저수지 지능형 물관리시스템 구축 계획
34. 허유만, 1993, 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망모형의 개발(I)
35. 허유만, 1993, 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망모형의 개발(II)
36. 허유만, 1993, 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망모형의 개발(III)
37. Kite G.W, A. Dalton & K. Dion, 1994: Simulation of streamflow in macro-scale watersheds using GCM data. Water Resources Research, 30(5), pp.1547-1559.
38. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, and K.W. King, 2002. Assessment tool theoretical documentation : version 2000.





농업생산기반시설 성능개선 및  
자율학습 물관리 기술개발

02

## 성능개선편



# 〈 목 차 〉

1장 서론 .....	1
1.1 연구배경 및 필요성 .....	1
1.1.1 연구배경 .....	1
1.1.2 연구 필요성 .....	2
1.2 연구내용 .....	3
2장 시설물 현황조사 .....	4
2.1 저수지 시설관리 현황 .....	4
2.1.1 저수지 시설 현황 .....	4
2.1.2 저수지 시설관리 현황 .....	5
2.1.3 저수지 시설관리 문제점 .....	5
2.2 저수지 유지관리 및 성능개선 근거법령 .....	8
2.2.1 시설물안전법 .....	8
2.2.2 농어촌정비법 .....	8
2.3 양·배수장 시설관리 현황 .....	9
2.3.1 운영 일반현황 .....	9
2.3.2 양·배수장 운영 분석 .....	10
2.3.3 안전점검 결과로 본 양·배수장 등급 .....	11
3장 확률통계 기반 저수지 피해특성 및 성능요소 분석 .....	12
3.1 피해특성 및 성능요소 분석 개요 .....	12
3.2 저수지 피해특성 및 성능요소 분석 범위와 방법 .....	12
3.2.1 피해특성 및 성능요소 분석 범위 .....	12
3.2.2 피해특성 및 성능요소의 공간자기상관성 검증 .....	13
3.2.3 피해특성 및 성능요소의 패널데이터 분석 .....	16
3.3 피해특성 및 성능요소의 공간자기상관성 검증 결과 .....	23
3.3.1 전역적 공간 자기상관 분석 결과 .....	23
3.3.2 지역적 공간 자기상관 분석 결과 .....	24
3.4 피해특성 및 성능요소의 패널데이터 분석 결과 .....	27
3.4.1 결정 변수 상관관계 분석 .....	27
3.4.2 피해특성 및 성능요소의 Pooled OLS 추정과 검정 .....	28
3.4.3 피해특성 및 성능요소의 이원고정 효과 모델 추정과 검정 .....	30
3.4.4 피해특성 및 성능요소의 혼합효과모델 추정과 검정 .....	31

3.4.5 피해특성 및 성능요소의 일원효과모델 추정과 결과고찰 .....	32
3.5 소결 .....	34
<b>4장 성능저하 요인분석 .....</b>	<b>36</b>
4.1 성능저하 요인의 연관성 네트워크 .....	36
4.1.1 연관성 네트워크의 개념 .....	36
4.1.2 연관성 네트워크 작성절차 .....	37
4.1.3 저수지의 연관성 네트워크 .....	37
4.1.4 양·배수장의 연관성 네트워크 .....	51
4.2 현황조사에 의한 성능저하 요인 도출 .....	67
4.2.1 현장조사 계획수립 및 사전 조사 .....	67
4.2.2 현장조사 결과 .....	67
4.2.3 성능저하 요인 도출 .....	71
<b>5장 농업용 저수지의 이수안전도 평가기법 개발 .....</b>	<b>73</b>
5.1 농업용 저수지 이수안전도 평가기법 개발 개요 .....	73
5.1.1 평가기법 개발 배경 .....	73
5.1.2 평가기법 개발 필요성 .....	73
5.1.3 연구개발 목표 .....	74
5.1.4 연구개발 내용 .....	74
5.1.5 활용방안 및 기대효과 .....	75
5.2 장기유출모형의 적합도 개선 .....	76
5.2.1 현황 및 문제점 .....	76
5.2.2 유전자 알고리즘을 이용한 매개변수 최적화 .....	79
5.2.3 DIROM 매개변수 추정을 위한 회귀식 개발 .....	93
5.2.4 소 결 .....	102
5.3 농업용 저수지의 이수안전도 평가 기법 개발 .....	104
5.3.1 현황 및 문제점 .....	104
5.3.2 용수공급신뢰도 기준의 농업용 저수지 이수안전도 평가 .....	107
5.3.3 소 결 .....	125
5.4 농업용 저수지의 이수안전도 평가 기법 개발 결론 .....	126
<b>6장 성능평가 모델 개발 .....</b>	<b>127</b>
6.1 시설별 성능평가 모델 개발 .....	127
6.1.1 열화모델과 비용모델 개요 .....	127
6.1.2 저수지 제체 열화모델의 개발 .....	128

6.1.3	저수지 제체 비용모델의 개발 .....	130
6.1.4	저수지 여수로와 취수시설의 성능평가 모델 .....	133
6.1.5	양·배수장의 성능평가 모델 .....	135
<b>7장</b>	<b>성능개선과 유지관리의 유블리 판단방안 도출 .....</b>	<b>138</b>
7.1	저수지 및 양·배수장의 기대수명 평가 .....	138
7.2	저수지 및 양·배수장의 조치시기 결정 .....	138
<b>8장</b>	<b>농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향 .....</b>	<b>140</b>
8.1	국내 자산관리 선행기술 사례조사 .....	140
8.1.1	자산관리 추진 현황 .....	140
8.1.2	시설물 유지관리 현황 .....	141
8.2	해외 자산관리 선행기술 사례조사 .....	142
8.2.1	자산관리 도입 배경 .....	142
8.2.2	해외 유지보수 예산 .....	147
8.2.3	인프라 평가보고서 .....	149
8.2.4	자산관리 조직 .....	151
8.3	분석결과 .....	153
8.4	자산관리 개요 .....	155
8.4.1	자산관리의 개념 .....	155
8.4.2	자산관리의 절차 .....	156
8.5	자산관리체계의 단계별 도입 방향 .....	157
8.5.1	주요 요소기술 분류 .....	157
8.5.2	자산관리체계 중장기 계획 .....	160
<b>9장</b>	<b>저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출 .....</b>	<b>164</b>
9.1	성능평가 매뉴얼 작성 .....	164
9.1.1	지속가능한 기반시설 관리기본법 시행 .....	164
9.2	치수측면 및 이수측면의 성능평가 방법론 개발 .....	167
9.2.1	치수측면 - 저수지 규모와 침투 붕괴 유출량의 관계식 개발 .....	167
9.2.2	이수측면 - 유역배율과 단위저수량의 관계식 개발 .....	170
<b>10장</b>	<b>저수지 성능개선 투자우선순위 의사결정 지원모델 기술개발 .....</b>	<b>174</b>
10.1	의사결정 지원모델 기술개발 개요 .....	174
10.2	의사결정 지원모델 기술개발 국내·외 기술현황 .....	174
10.3	저수지 자산가치 평가기법 개발 .....	176

10.4 저수지 성능개선 투자순위 의사결정 모델 개발 .....	180
10.5 자산규모 추계방법에 따른 저수지 시설물의 자산규모 산정 .....	196
10.6 저수지 유지관리에 필요한 재원 조달 및 운용 방안 제시 .....	198
10.7 국토부 공통기준에 따른 최소유지관리기준 및 성능개선 기준 개발 .....	204
10.8 소결 .....	208
<b>11장 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출 .....</b>	<b>210</b>
11.1 저수지 최소유지관리 기준(안) .....	210
11.1.1 최소유지관리 공통기준 개요 .....	210
11.1.2 최소유지관리 공통기준(안) 주요내용 .....	210
11.1.3 저수지 최소유지관리기준(안) 요구사항 .....	212
11.1.4 저수지 최소유지관리기준(안) 구성 [부록 참고] .....	213
11.2 저수지 성능개선기준(안) .....	214
11.2.1 성능개선 공통기준 개요 .....	214
11.2.2 저수지 성능평가 및 성능개선기준(안) 구성 [부록 참고] .....	215
<b>12장 결론 .....</b>	<b>216</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>219</b>
<b>부    록 .....</b>	<b>221</b>
부록1. 저수지 성능평가 및 성능개선기준에 관한 지침(안)	
부록2. 저수지 성능개선 투자순위 의사결정 적용예시	
부록3. 재정지원, 부담금 부과 및 총당금 적립 등 유사 입법사례 조문	
부록4. 저수지 최소유지관리기준(안)	
부록5. 저수지 성능개선기준(안)	



## 〈 표 목 차 〉

Table 2.1 농업생산기반 1중, 2중, 3중 시설의 정의 .....	4
Table 2.2 공용연수별 저수지 개소수 .....	6
Table 2.3 공용연수 30년 경과 저수지 시설 현황 .....	7
Table 2.4 공용연수 60년 경과 저수지 시설 현황 .....	7
Table 2.5 시설물안전법에 따른 유지관리 시기 .....	8
Table 2.6 농어촌정비법에 따른 유지관리 시기 .....	8
Table 2.7 안전점검 결과로 본 양·배수장 평균 등급 .....	11
Table 3.1 Global Moran's I 에 의한 공간자기상관 특성 .....	15
Table 3.2 Spatial autocorrelation level of $Z[I]$ .....	15
Table 3.3 패널데이터 분석을 위한 변수 결정 .....	21
Table 3.4 독립변수 기술통계 .....	22
Table 3.5 피해특성의 Global Moran's I와 z-score .....	23
Table 3.6 피해특성 변수의 Pearson's correlation .....	27
Table 3.7 피해특성 변수의 Pooled OLS 추정 결과 .....	28
Table 3.8 All-subsets regression 결과 .....	29
Table 3.9 피해특성 변수의 LSDV 추정 .....	30
Table 3.10 피해특성 변수의 Mixed model 추정 .....	31
Table 3.11 피해특성 변수의 random effect 모델 결과 .....	32
Table 4.1 저수지의 손상정리(제체) .....	38
Table 4.2 저수지 제체의 연관성 네트워크(B등급) .....	39
Table 4.3 저수지 제체의 연관성 네트워크(C등급) .....	40
Table 4.4 저수지 제체의 연관성 네트워크(D등급) .....	41
Table 4.5 저수지의 손상정리(여수로) .....	42
Table 4.6 저수지 여수로의 연관성 네트워크(B등급) .....	43
Table 4.7 저수지 여수로의 연관성 네트워크(C등급) .....	44
Table 4.8 저수지 여수로의 연관성 네트워크(D등급) .....	45
Table 4.9 저수지 제체의 성능저하 요인의 가중치 .....	46
Table 4.10 저수지의 손상정리(취수시설) .....	47
Table 4.11 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(B등급) .....	48
Table 4.12 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(C등급) .....	49

Table 4.13	저수지 취수시설의 연관성 네트워크(D등급)	50
Table 4.14	양·배수장 손상정리(토목구조물)	51
Table 4.15	양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(B등급)	52
Table 4.16	양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(C등급)	53
Table 4.17	양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(D등급)	54
Table 4.18	양·배수장 손상정리(건축구조물)	55
Table 4.19	양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(B등급)	56
Table 4.20	양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(C등급)	57
Table 4.21	양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(D등급)	58
Table 4.22	양·배수장 손상정리(기계설비)	59
Table 4.23	양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(B등급)	60
Table 4.24	양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(C등급)	61
Table 4.25	양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(D등급)	62
Table 4.26	양·배수장 손상정리(전기설비)	63
Table 4.27	양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(B등급)	64
Table 4.28	양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(C등급)	65
Table 4.29	양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(D등급)	66
Table 4.30	권역별 조사 대상 지구	71
Table 4.31	권역별 성능저하 요인	72
Table 4.32	성능저하 요인 분류	72
Table 5.1	DIROM 모형 매개변수 산정 회귀식	78
Table 5.2	군집분석 결과(군집별 저수지 데이터 평균)	80
Table 5.3	지역별 군집별 저수지 선정 결과	81
Table 5.4	선정 제외 저수지 및 제외 사유	82
Table 5.5	25개 대상 저수지의 유역특성인자	83
Table 5.6	면적평균강우량 산정을 위한 저수지별 강우관측소 선정결과	84
Table 5.7	DIROM 모형 매개변수 범위	86
Table 5.8	저수지별 DIROM 모형 매개변수 초기값	86
Table 5.9	저수지별 DIROM 모형 최적 매개변수	87
Table 5.10	저수지별 DIROM과 최적화방법간의 연 총 유입량() 비교	89
Table 5.11	저수지별 DIROM과 최적화방법간의 연 총 유입량() 차이 비교	90
Table 5.12	저수지별 상관계수() 및 평균제곱근오차() 비교	91

Table 5.13 DIROM과 최적화 매개변수 방법간 유입량 차이의 분포특성 .....	92
Table 5.14 유역특성인자와 최적 매개변수 간 상관계수 .....	95
Table 5.15 DIROM 모형 매개변수 추정 회귀식 개발 .....	95
Table 5.16 회귀식을 적용한 저수지별 DIROM 매개변수 .....	96
Table 5.17 회귀식을 적용한 저수지별 DIROM 매개변수(상하한계 적용) .....	97
Table 5.18 저수지별 기존 DIROM과 신규 회귀방법간 연 총 유입량() 비교 .....	99
Table 5.19 기존 DIROM, 최적화, 신규회귀 방법간 연 총 유입량() 차이 비교 .....	100
Table 5.20 저수지별 상관계수() 및 평균제곱근오차() 비교 .....	101
Table 5.21 기존 DIROM, 최적화, 신규회귀 방법간 유입량 차이의 분포특성 .....	102
Table 5.22 국내 주요 다목적댐 이수안전도 평가 방법 .....	105
Table 5.23 가지야마 공식의 유출특성계수 .....	109
Table 5.24 가지야마 공식의 월별 보정유량 .....	109
Table 5.25 2024년 기준의 농업용수 수요량 .....	111
Table 5.26 지역별 단위면적별 용수수요량 및 용도별 농업면적 비율 .....	113
Table 5.27 용수별 월별 배분 비율 .....	114
Table 5.28 저수지별 이수안전도 평가 결과 .....	125
Table 6.1 체체의 세부부재별 손상과 대표보수공법 정의 .....	131
Table 7.1 농업기반시설의 기대수명평가 .....	138
Table 7.2 조치시기 등급별 비용(저수지 체체) .....	138
Table 7.3 조치시기 등급별 비용(저수지) .....	139
Table 7.4 조치시기 등급별 비용(양·배수장) .....	139
Table 8.1 건설 후 경과년수 50년 이상 사회기반시설의 비중 .....	147
Table 8.2 요소기술의 분류 .....	163
Table 9.1 평가항목별 기준 및 점수 .....	166
Table 9.2 Yang (2019) 회귀식과 기존 경험식의 비교 .....	168
Table 9.3 회귀식 개발을 위한 대상저수지 220개소 목록 .....	169
Table 9.4 한발빈도에 따른 단위저수량 제시 .....	171
Table 10.1 체체의 상태평가 기준 분석 .....	178
Table 10.2 체체 등급별 손상 확률 .....	179
Table 10.3 손상가능성 검토항목 배점 및 기준(안) .....	184
Table 10.4 피해규모 검토항목 배점 및 기준(안) .....	185
Table 10.5 성능개선 검토 대상 유형과 저수지 관련 사업 대안 검토(안) .....	186

Table 10.6	저수지 복합시설 기술성 평가 배점 .....	187
Table 10.7	체제 등급별 손상확률 .....	188
Table 10.8	B/C 비율에 따른 경제성 평가 점수 산정 .....	188
Table 10.9	활용도 평가 점수 산정 기준(정책성 평가) .....	189
Table 10.10	중요도 평가 점수 산정 기준(정책성 평가) .....	189
Table 10.11	지역주민 사업 수용성 평가 점수 산정 기준(정책성 평가) .....	189
Table 10.12	적합성 평가 점수 산정 기준 .....	190
Table 10.13	AHP 분석 수행 절차 .....	191
Table 10.14	쌍대비교를 위한 9점 척도 .....	192
Table 10.15	평가기준의 쌍대비교 행렬 입력 예시 .....	193
Table 10.16	사업설계간의 평가기준별 쌍대비교 행렬 입력 예시 .....	193
Table 10.17	쌍대비교 행렬의 표준화 및 우선순위 계산 예시 .....	194
Table 10.18	최종 우선순위 산정 예시 .....	195
Table 10.19	자산규모 산정을 위한 저수지 평균 건설비용 .....	197
Table 10.20	자산규모 추계방법별 저수지 종별 자산규모 산정 .....	198
Table 10.21	재정지원, 부담금 부과 및 충당금 적립 등 유사 입법사례 검토 .....	199
Table 11.1	100~0 점수 구간의 성능평가체계 例 .....	211
Table 11.2	저수지 최소유지관리기준(안) 구성 .....	213
Table 11.3	저수지 성능평가 및 성능개선기준(안) 구성 .....	215

## 〈 그림 목차 〉

Fig. 1.1 농업생산기반시설 성능개선 기술개발 연구 추진의 필요성 .....	2
Fig. 2.1 양배수장 관리주체별 개소수 .....	9
Fig. 2.2 양배수장 규모별 시설현황 .....	9
Fig. 2.3 본부, 사업단별 전기사용량, 가동시간 .....	10
Fig. 2.4 안전점검 결과로 본 등급 비율 .....	11
Fig. 3.1 전체 기반시설 LISA .....	24
Fig. 3.2 방조제 LISA .....	24
Fig. 3.3 배수장 LISA .....	25
Fig. 3.4 취입보 LISA .....	25
Fig. 3.5 용수로 LISA .....	25
Fig. 3.6 배수로 LISA .....	25
Fig. 3.7 저수지 LISA .....	26
Fig. 3.8 관정 LISA .....	26
Fig. 4.1 연관성 네트워크의 개념 .....	36
Fig. 4.2 기준에 의한 네트워크 .....	36
Fig. 4.3 성능 영향요인 도출 절차 .....	37
Fig. 4.4 분야별 유지관리비 분석 결과(금액단위: 백만원) .....	67
Fig. 4.5 대상시설물 일반현황 질의 결과 .....	68
Fig. 4.6 대상시설물 운영인원 및 운영방법 .....	69
Fig. 4.7 대상시설물 연간가동일수 및 시간 .....	70
Fig. 4.8 대상시설물 유지관리 및 보수보강 현황 .....	71
Fig. 5.1 이수안전도 평가기법 개발 배경 및 필요성 .....	74
Fig. 5.2 이수안전도 평가기법 개발 내용 및 기대효과 .....	76
Fig. 5.3 DIROM 모형 개념도 .....	77
Fig. 5.4 DIROM 매개변수 최적화 연구개발 흐름 .....	79
Fig. 5.5 경천저수지 실측 유입량 .....	82
Fig. 5.6 유전자 알고리즘 개념 .....	85
Fig. 5.7 경천저수지 유출모의 결과 .....	88
Fig. 5.8 경천저수지 유출모의 결과 .....	98
Fig. 5.9 이수안전도 평가 방법론 비교 .....	106
Fig. 5.10 이수안전도 평가 순서 .....	107
Fig. 5.11 이수안전도 평가를 위한 유입량 추정 방법 .....	110
Fig. 5.12 이수안전도 평가를 위한 농업용수 공급량 추정 방법 .....	114

Fig. 6.1 열화모델 .....	127
Fig. 6.2 비용모델 .....	127
Fig. 6.3 저수지 체체의 보수보강공사 수행횟수 .....	128
Fig. 6.4 체체의 1회 보수보강공사 데이터의 선별 .....	128
Fig. 6.5 동일한 등급의 데이터 .....	129
Fig. 6.6 정규분포화한 데이터 .....	129
Fig. 6.7 저수지 체체의 미조치모델과 조치모델 .....	129
Fig. 6.8 저수지 체체의 비용모델 I .....	130
Fig. 6.9 저수지 체체의 비용모델 II .....	130
Fig. 6.10 조치시기로 변환한 체체의 비용모델 I .....	132
Fig. 6.11 조치시기로 변환한 체체의 비용모델 II .....	132
Fig. 6.12 여수로의 열화모델 .....	133
Fig. 6.13 취수시설의 열화모델 .....	133
Fig. 6.14 여수로의 비용모델 II .....	134
Fig. 6.15 취수시설의 비용모델 II .....	134
Fig. 6.16 토목구조물의 열화모델 .....	135
Fig. 6.17 건축구조물의 열화모델 .....	135
Fig. 6.18 기계시설의 열화모델 .....	135
Fig. 6.19 전기시설의 열화모델 .....	136
Fig. 6.20 토목구조물의 비용모델 II .....	136
Fig. 6.21 건축구조물의 비용모델 II .....	137
Fig. 6.22 기계설비의 비용모델 II .....	137
Fig. 6.23 전기설비의 비용모델 II .....	137
Fig. 8.1 캐나다의 인프라 시설 평균 연령 .....	145
Fig. 8.2 연도별 연방정부의 지원 규모 .....	145
Fig. 8.3 세계 주요 국가들의 사회기반시설물 시장 성숙도의 변화 .....	148
Fig. 8.4 자산관리 절차 및 요소기술 .....	156
Fig. 9.1 기반시설관리기본법 시행에 따른 유지관리 체계 변화 .....	164
Fig. 9.2 성능평가 절차 .....	165
Fig. 9.3 성능평가항목 구성(안) .....	166
Fig. 9.4 Yang (2019) 식과 기존 연구와의 댐 붕괴 침투유출량 비교 .....	167
Fig. 9.5 주요 관측소별 단위저수량-유역배율 관계곡선 .....	173
Fig. 9.6 단위저수량-유역배율 관계곡선의 해석 .....	173
Fig. 10.1 저수지 부재의 보수보강공사 수행횟수 .....	176
Fig. 10.2 저수지 체체의 미조치 열화모델 곡선 .....	177
Fig. 10.3 저수지 체체의 현행조치 열화모델 곡선 .....	177

Fig. 10.4 D등급 조치 횟수에 따른 체체의 열화예측 .....	178
Fig. 10.5 성능개선공통기준 주요 내용 .....	181
Fig. 10.6 PDCA 기법을 적용한 투자우선순위 선정 가이드라인 .....	182
Fig. 10.7 성능개선사업 우선순위 산정을 위한 의사결정 계층 .....	191
Fig. 10.8 단계별 유지관리비용 지원요청 절차(안) .....	201
Fig. 10.9 유지관리비용 및 성능개선비용의 지원 .....	201
Fig. 10.10 저수지 성능개선 충당금 사용 절차(안) .....	204
Fig. 11.1 기반시설 성능개선 공통기준 고시(안) .....	214





# 1장 서론

## 1.1 연구배경 및 필요성

### 1.1.1 연구배경

- 최근 우리나라의 이상 기후변화에 의한 가뭄, 호우, 태풍 등의 자연재난으로 인한 피해가 점차 늘어남
- 자연재난의 발생 빈도수가 증가함에 따라 농업기반시설은 농업생산지원이라는 본연의 역할 이외에도 자연재해 예방은 물론 인적·물적 자산의 피해 예방 등 역량 강화가 많은 부분에서 요구됨
  - 저수지 및 양·배수장과 같은 농업기반시설물은 노후화가 많이 진전된 상태이며, 치수, 이수, 시설용량 부족 등의 성능을 만족하지 못하는 시설물이 증가하는 추세임
- 최근 정부에서는 기반시설의 체계적인 유지관리와 성능개선을 통하여 국민이 보다 안전하고 편리하게 기반시설을 활용할 수 있도록 하기 위해 지속가능한 기반시설 관리기본법을 제정함
  - 이에 따라 기반시설은 최소유지관리 기준을 설정하고, 성능평가를 실시하며, 성능평가의 경우 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침에 따라 시설물별 성능평가 방법이 제시됨
  - 하지만 농업생산기반시설은 성능평가를 위한 방법 및 기준 등이 제시되어 있지 않은 상태임
- 따라서, 저수지 및 양·배수장에 대한 성능평가 방안 및 최소유지관리 기준 수립 등에 대한 연구가 필요
  - 이에 농업기반시설별 성능저하 요인 분석에 의한 성능평가모델 개발과 구조물의 목표관리 수준을 도입하고, 성능저하 요인 분석에 의한 성능평가모델 개발과 구조물의 목표관리 수준을 도입하고자함

### 1.1.2 연구 필요성

- 공공시설 장수명화 관련 정부정책에 따른 농업기반시설의 선제적 유지관리 전략 수립
  - 농업생산기반시설은 국가, 지역사회, 문화인식의 영향을 받고 여러 분야와 밀접한 관계를 형성하고 있음
  - 노후 농업생산기반시설에 대한 맞춤형 장수명화 방안수립과 인벤토리 구축방안에 대한 연구 필요
  - 시설물 안전관리와 보수, 보강 등 유지관리체계 구축에 대한 기술 개발 필요
- 농업기반시설의 성능평가를 위한 구체적인 성능평가 모델구축
  - 농업기반시설의 성능개선을 위해서는 대상 구조물별로, 건전성을 유지하기 위한 모델링 요소에 대한 규명이 필요
  - 현장 상태가 고려된 농업기반시설물의 성능저하 요인 모델 및 개선 방향에 대한 연구와 더불어 농업기반시설물의 성능저하 요인별 실증 연구 필요
  - 확률적, 신뢰론적, 시스템공학적 모델의 개발 필요

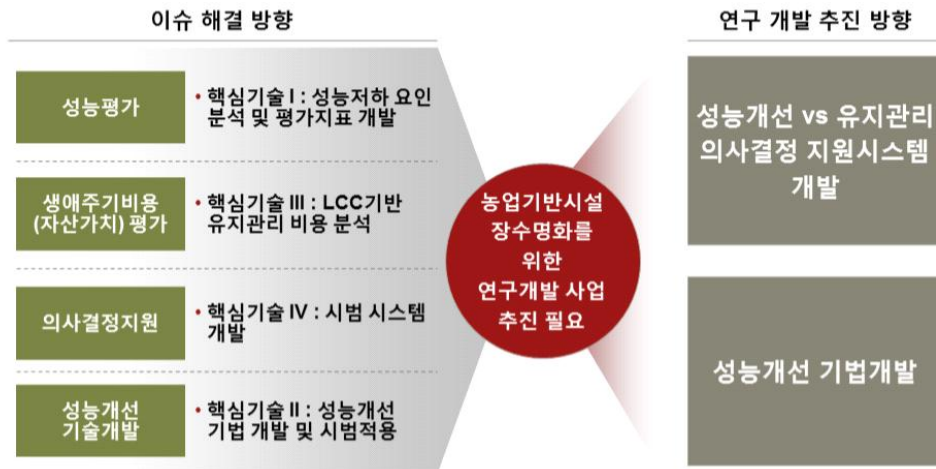


Fig. 1.1 농업생산기반시설 성능개선 기술개발 연구 추진의 필요성

## 1.2 연구내용

- 시설물 현황조사
  - 저수지 시설관리 현황
  - 양배수장 시설관리 현황
- 성능저하 요인분석
  - 통계·확률에 의한 저수지 및 양·배수장의 성능 영향요인 도출
  - 현황조사에 의한 성능저하 요인분석
- 성능평가 모델개발
  - 저수지 및 양·배수장의 확률론적 성능평가모델 개발
- 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출
  - 저수지 및 양·배수장의 기대수명 평가
  - 저수지 및 양·배수장의 조치시기 결정
- 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향
  - 주요 국가별 기반시설 관리 정책 동향
  - 자산관리체계의 단계별 도입방향
- 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출
  - 성능평가 매뉴얼(안) 개발
  - 치수측면 및 이수측면의 성능평가 방법론 개발
- 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출
  - 저수지 최소유지관리 기준(안) 개발
  - 저수지 성능개선기준(안) 개발

## 2장 시설물 현황조사

### 2.1 저수지 시설관리 현황

#### 2.1.1 저수지 시설 현황

- 2019년 현재 전국의 농업용 저수지는 총 17,289개소로 한국농어촌공사와 지자체가 각각 관리하고 있으며, 한국농어촌공사는 3,406개소, 지자체는 13,883개소를 관리하고 있음
- 시설물안전법 적용대상 저수지는 총 535개소로 1종시설은 32개소, 2종시설은 503개소임
- “농어촌정비법” 제2조 제6호의 규정에 따른 농업생산기반 시설은 “농업생산기반시설 관리 규정”에 따라 1종, 2종, 3종으로 구분하고 있음
- 1960년대 이후 우리나라 압축성장기에 집중적으로 건설된 농업기반시설은 노후화가 급속히 진행 중이며, 농업용 저수지 총 17,289개소 중 콘크리트의 내용연수인 30년 이상 경과된 시설은 약 96%(16,658개소)임
  - ➡ 저수지 노후화율 96%는 댐(45%), 철도(37%), 항만(23%) 등의 노후화율과 비교하여 2배 이상의 높은 수준임

Table 2.1 농업생산기반 1종, 2종, 3종 시설의 정의

종별 구분	시설 구분	내용
농업생산기반 1종 시설	저수지	총저수용량 30만 <sup>m</sup> 이상인 시설
	양수장·배수장	단위시설(1개소)당 2,000마력 이상인 시설
	방조제	방조제관리법 제3조의 규정에 따라 결정된 국가관리 방조제
	하구둑	-
농업생산기반 2종 시설	저수지	총저수용량 30만 <sup>m</sup> 미만인 시설
	양수장·배수장	단위시설(1개소)당 1,000마력 이상 2,000마력 미만인 시설
	방조제	방조제관리법 제3조의2의 규정에 따라 결정된 지방자치단체 관리 방조제
농업생산기반 3종 시설	-	1종 시설 및 2종 시설 이외의 양수장, 배수장, 취입보, 지하수이용시설, 용수로, 배수로 및 그 부대시설

### 2.1.2 저수지 시설관리 현황

- 산간·계곡에 설치된 2만m<sup>3</sup> 미만의 소규모 저수지가 64%차지
- 30만m<sup>3</sup> 미만이 93%이며, 개소당 저수량 평균은 농어촌공사 86.3만m<sup>3</sup>, 시·군 2.3만m<sup>3</sup>임
- 공용연수는 오래되었으나, 시설물 정기점검과 정밀안전진단에 근거한 재해위험시설 보수·보강을 통해 안전성을 확보하고 있음
  - 농어촌공사 시설 : 전액 국고를 지원하여 보수·보강 추진
    - 최근 5년간('14~'18년) 보수·보강 2조 8,880억원(연평균 5,776억원) 투입
    - 저수지 개·보수 시행 1,527개소 중 633개소 완료
  - 지자체 시설 : 시·군 수리시설 개보수(균특회계, 국고 80%) 및 행안부의 재해위험저수지 정비사업(일반, 국고 50%)으로 보수·보강
    - 최근 5년간('14~'18년) 국고 2,999억원(연평균 600억원) 투입
- 시설물 정밀안전진단 결과 안전등급 D등급 이하 시설은 우선 보수·보강 추진
  - 최근 10년간('09~'18년) 정밀안전진단 저수지 2,850개소 중 387개소가 D등급이며, 보수·보강 완료 또는 시행 중으로 D등급 시설은 점차 감소 추세
    - 정밀안전진단 시설 중 D등급 시설수 :  
( '09) 69개/444개(15.5%) → ( '12) 34/277 → ( '14) 72/277 → ( '16) 16/270 → ( '17) 9/283 → ( '18) 20/217(9.2%)
    - '19년 저수지 개보수 중 시설 수 및 예산 : 262개소, 1,084억원

### 2.1.3 저수지 시설관리 문제점

- 30만m<sup>3</sup> 이상의 저수지는 5년마다 정밀안전진단을 하지만, 그 미만의 소규모 시설은 기능유지 및 안전상 재해 위험이 있는 경우에 한해 예산 범위 내 선택적 실시하고 있어 재해위험성 상존
  - 현재 안전진단 미 실시 시설은 기능유지 등 보수 수준으로 유지 관리하고 있으나, 안전관리의 사각지대임

Table 2.2 공용연수별 저수지 개소수

구분	공용연수					합계
	10년 미만	10-20년	20-30년	30-50년	50년 이상	
합계	163	206	262	2,599	14,059	17,289
한국농어촌공사	119	142	132	543	2,470	3,406
지자체	44	64	130	2,056	11,589	13,883
가. 1,000만 <sup>m</sup> 이상*	-	3	4	12	13	32
한국농어촌공사	-	3	4	12	13	32
지자체	-	-	-	-	-	-
나. 100만 <sup>m</sup> -1,000만 <sup>m</sup> 미만**	68	62	56	134	183	503
한국농어촌공사	68	62	56	133	182	501
지자체	-	-	-	1	1	2
다. 50만 <sup>m</sup> -100만 <sup>m</sup> 미만	26	46	40	108	181	401
한국농어촌공사	24	45	39	106	175	389
지자체	2	1	1	2	6	12
라. 30만 <sup>m</sup> -50만 <sup>m</sup> 미만***	14	34	21	97	168	334
한국농어촌공사	9	24	14	79	149	275
지자체	5	10	7	18	19	59
마. 30만 <sup>m</sup> 미만****	55	61	141	2,248	13,514	16,019
한국농어촌공사	18	8	19	213	1,951	2,209
지자체	37	53	122	2,053	11,563	13,828

\* 시설물안전법 기준 1종 저수지 : 총저수용량 1,000만<sup>m</sup> 이상 (가)

\*\* 시설물안전법 기준 2종 저수지 : 총저수용량 100만<sup>m</sup>~1,000만<sup>m</sup> 미만 (나)

\*\*\* 농어촌정비법 기준 1종 저수지 : 총저수용량 30만<sup>m</sup> 이상 (가, 나, 다, 라)

\*\*\*\* 농어촌정비법 기준 2종 저수지 : 총저수용량 30만<sup>m</sup> 미만 (마)

Table 2.3 공용연수 30년 경과 저수지 시설 현황

(단위 : 개소)

구분	저수지(시설물안전법 기준)			저수지(농어촌정비법 기준)		
	소계	30년 미만	30년 이상	소계	30년 미만	30년 이상
합계	17,289/100%*	631/4%	16,658/96%	17,289/100%	631/4%	16,658/96%
1종**	32/100%	7/22%	25/78%	1,270/100%	374/29%	896/71%
2종***	503/100%	186/37%	317/63%	16,019/100%	257/2%	15,762/98%
종외	16,754/100%	438/3%	16,316/97%	-	-	-

Table 2.4 공용연수 60년 경과 저수지 시설 현황

(단위 : 개소)

구분	저수지(시설물안전법 기준)			저수지(농어촌정비법 기준)		
	소계	60년**** 미만	60년 이상	소계	60년 미만	60년 이상
합계	17,289/100%	6,640/38%	10,649/62%	17,289/100%	6,640/38%	10,649/62%
1종	32/100%	28/88%	4/12%	1,270/100%	919/72%	351/28%
2종	503/100%	397/79%	106/21%	16,019/100%	5,721/36%	10,298/64%
종외	16,754/100%	6,215/37%	10,539/63%	-	-	-

\* 비율은 규모별 시설물 현황의 개소수 대비 노후화 시설물 개소수로 산정

\*\* 1종 : 시설물안전법 기준(총저수용량 1,000만<sup>m</sup> 이상), 정비법 기준(총저수용량 30만<sup>m</sup> 이상)

\*\*\* 2종 : 시설물안전법 기준(총저수용량 100만<sup>m</sup> ~ 1,000만<sup>m</sup> 미만), 정비법 기준(총저수용량 30만<sup>m</sup> 미만)

\*\*\*\* 저수지(흙댐) 내구 연한(60년) : 농업토목핸드북(1982, 농수산부, 농어촌진흥공사)

## 2.2 저수지 유지관리 및 성능개선 근거법령

### 2.2.1 시설물안전법

- 제11조, 제12조, 제13조에 따라 안전점검, 정밀안전진단, 긴급안전점검 실시
- 제39조에 따라 시설물 유지관리

➡ 저수지는 용수전용댐으로서 성능평가 대상시설물이 아님

Table 2.5 시설물안전법에 따른 유지관리 시기

안전등급	정기안전점검	정밀안전점검		정밀안전진단	성능평가
		건축물	건축물 외 시설물		
A등급	반기에 1회 이상	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상	5년에 1회 이상
B,C등급		3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상	
D,E등급	1년에 3회이상	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	

주) 시설물안전법 시행령 별표3

### 2.2.2 농어촌정비법

- 제18조에 따라 농업생산기반시설관리자는 농업생산기반시설의 안전관리계획을 수립 후 안전점검과 정밀안전진단 실시

Table 2.6 농어촌정비법에 따른 유지관리 시기

대상시설	검사방법		검사시기		
농어촌 정비법 기준 1종, 2종, 3종 시설	안전 점검	정기점검	분기별로 1회 이상 (영농기 전 반드시 실시)		
		긴급점검	재해, 사고발생시, 안전 이상 징후시 실시		
		정밀점검	정기점검, 긴급점검 결과 시설의 기능 유지 및 안전상 재해위험이 있어 시설물 보수가 필요한 때		
	정밀안전진단		1종	준공 10년이상 지난 시설 5년에 1회 이상	
			2종	정기점검 또는 긴급점검결과, 재해 위험이 있는 경우 실시	



## 2.3 양·배수장 시설관리 현황

### 2.3.1 운영 일반현황

- 양·배수장의 관리는 한국농어촌공사와 시·군 지방자치단체로 이원화되어 있으며, ‘2016년도 농업생산기반정비 통계연보’에 따르면 전국 양·배수장이 8,233개소임
- 관리주체별로 보면 한국농어촌공사가 4,496개소, 지방자치단체가 3,760개소를 관리하고 있음

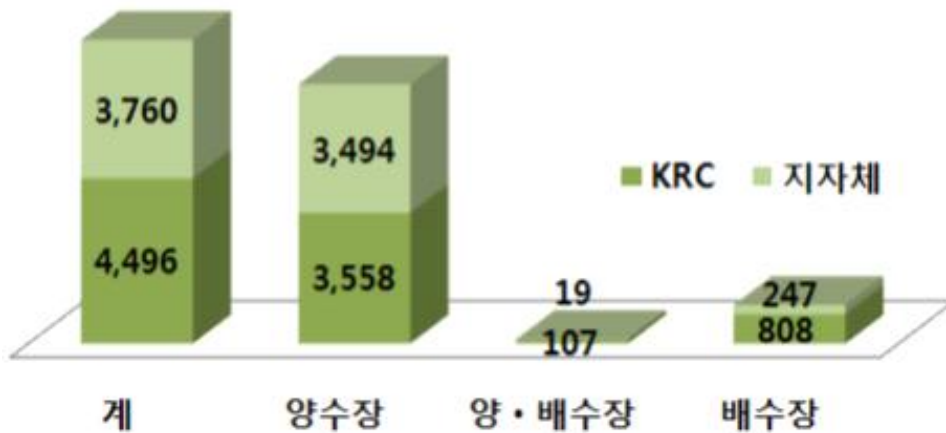


Fig. 2.1 양배수장 관리주체별 개소수

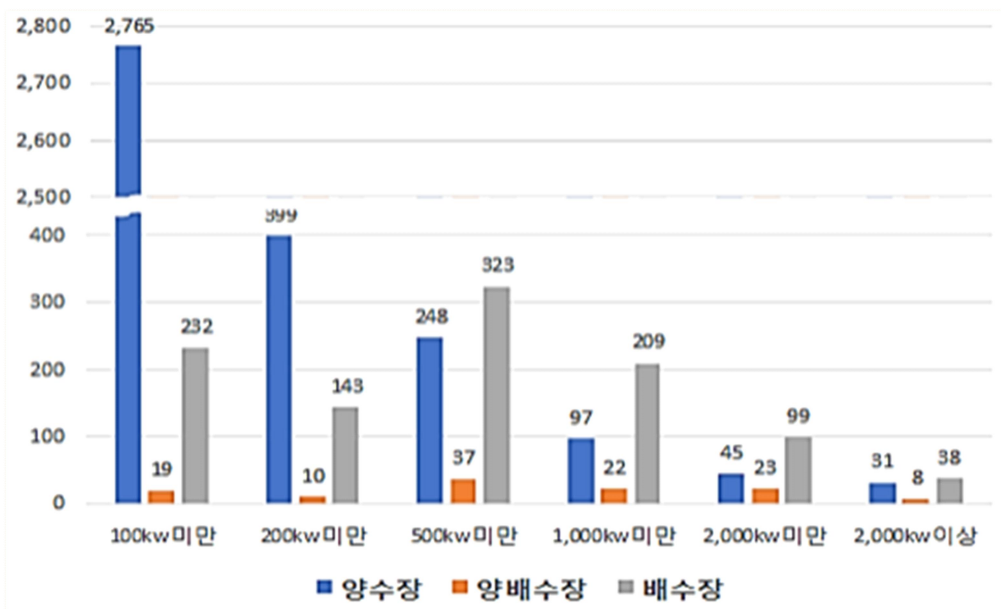


Fig. 2.2 양배수장 규모별 시설현황

### 2.3.2 양·배수장 운영 분석

#### 1) 양수장 운전 시기

- 양수장은 지역별로 가동기간이 상이함
  - 북부지역은 4월중순부터 9월하순까지 운행
  - 충청이남은 5월초부터 9월말까지 운행
  - 근래에는 원예작물을 수확한 후 온실내에 벼 재배를 하는 경우가 있어 급수기간이 10월까지도 하는 지역도 있음

#### 2) 운전 시간 및 전기요금

- 양수장 운전 시간과 전력료는 바로 연동되며, 가동시간이 증가하면 전력료도 증가함
  - 전국 양수장 중 605개소의 무작위 평균값을 산정함
  - 개소당 연간 전력사용량은 328,425KW, 가동시간은 1,763시간, 전기요금은 8,600천원, 동력은 172kw정도였음



Fig. 2.3 본부, 사업단별 전기사용량, 가동시간

### 2.3.3 안전점검 결과로 본 양·배수장 등급

□ 농업기반시설관리시스템(RIMS)상의 안전점검 항목에 등록된 전국 3,573개소의 양수장중 미평가된 8개소를 제외한 3,565개소 기계부문에 대하여 A등급 : 2, B등급 : 4, C등급 : 6, D등급 : 8, E등급 : 10 을 대입하여 평균등급을 확인한바 4.7로 C와 D등급 사이로 도출 되었음

Table 2.7 안전점검 결과로 본 양·배수장 평균 등급

구 분	대입숫자	개소수	비율(%)	평균등급
계		3,565	100	C↔D (4.7)
A등급	2	616	17	
B등급	4	1,412	39	
C등급	6	1,235	35	
D등급	8	278	8	
E등급	10	24	1	

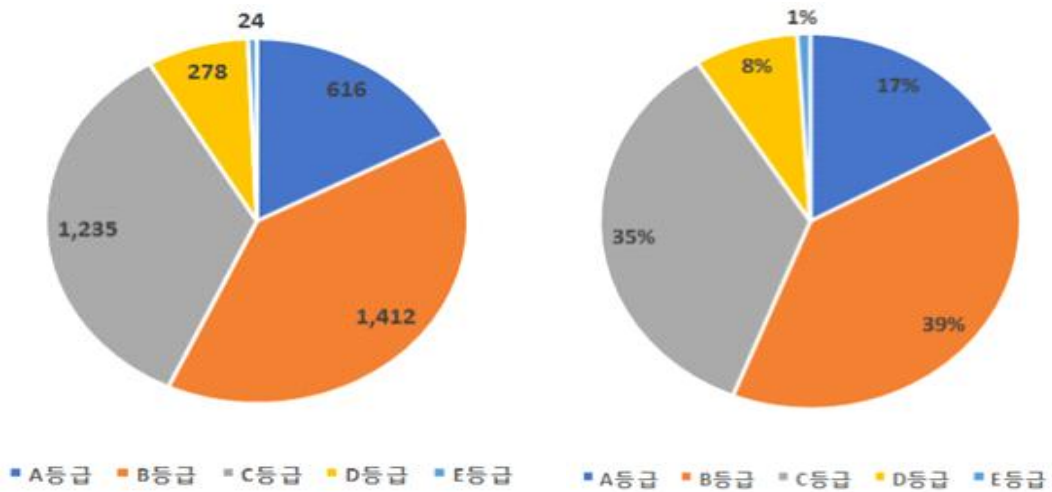


Fig. 2.4 안전점검 결과로 본 등급 비율

## 3장 확률통계 기반 저수지 피해특성 및 성능요소 분석

### 3.1 피해특성 및 성능요소 분석 개요

- 재해는 위험성을 갖는 기상·지질 등의 물리적 현상과 취약한 사회구조의 복합적인 상호작용으로 발생하며, 매년 지속적인 인적·사회적·경제적 피해를 유발하고 있음
- 농촌의 소득기반과 생활여건은 자연자원과 환경적인 영향에 크게 의존하고 있음
  - 이에 따라 농촌은 대도시에 비해 이상기후에 따른 영향을 심각하게 받을 수 있음
  - 농촌은 홍수로 인한 저지대 및 연안부근 침수, 가뭄, 수확량 감소 등의 원인으로 도시 보다 더 큰 피해를 입음
  - 도시화가 재해 피해 증가의 원인으로 연구되기도 하였으나, 농촌의 재해 취약성이 더 클 수 있음
  - 그 이유는 일반적으로 농업을 위한 공공시설인 농업기반시설 피해 복구비용의 예산 지원 순위가 대도시 기반시설 복구비용 보다 낮기 때문임
- 농촌지역사회의 정상적 기능에 인적, 경제적, 물질적, 환경적 유해결과를 초래하는 농업수리시설의 높은 재해 취약성을 감축하기 위해서는 재해 관리체계 구축과 타당한 재정전략수립이 필요함
  - 이를 위해서는 객관적이고, 다각적인 선행 재해 피해의 분석과 재해의 사회·경제적 영향에 대한 엄밀한 평가가 필요함
- 이에 따라 본 연구에서는 저수지를 포함한 농업기반시설의 자연재해 피해 결정 주요요인을 도출하여 방재정책 수립 등 재해관리를 위한 기초 자료를 마련하고자 함

### 3.2 저수지 피해특성 및 성능요소 분석 범위와 방법

#### 3.2.1 피해특성 및 성능요소 분석 범위

- 농업기반시설 재해 직접 피해액을 평가하기 위해 ‘한국농어촌공사 농업기반시설 관리시스템(RIMS) 데이터베이스’ 자료를 수집함
  - 본 연구에서는 재해분석을 위한 재해일자, 재해위치, 재해규모 등의 상세정보가 구축된 2005년 6월 이후의 자료 9,586개를 이용함
- 재해피해액과 기상인자와의 관계를 분석하기 위하여 기상청 산하 기상관측소의 기상 자료를 수집함
  - 재해위치를 지오코딩(Geocoding)하여 해당 중심 지점(Point) 좌표를 추출한 후, 기상관측

소 위·경도 점좌표의 티센(Thiessen)망을 통해 각 재해사상별 지배관측소를 선정하였음

- 이를 통해 각 기간별 연평균 강우량, 연간 최대강우강도, 연평균 일기온, 연평균 일풍속, 연평균 일조량을 산정함
- 연간 시차를 두고 발생했던 피해액의 현가화(現價化)를 위한 기초자료로서 “건설공사비 지수”를 도입하였음
  - 건설공사비지수란 “건설공사에 투입되는 재료, 노무, 장비 등의 직접공사비를 대상으로 한국은행의 산업연관표와 생산자물가지수, 대한건설협회의 공사부문 시중노임 자료 등을 이용하여 작성된 가공통계로 건설공사 직접공사비의 가격변동을 측정하는 지수”임 (한국건설기술연구원, 2018)
  - 각 연, 월별 발생하였던 피해액의 시차 보정은 2017년 12월을 기준시점으로 설정하였음
  - 건설공사비지수의 해당분류 체계는 52\_토목건설 → 112\_일반토목시설건설 → 295\_농림수산 토목 이며, 기준시점의 공사비지수에 대한 각 시기별 공사비지수 비율(현가화지수)을 산정하여, 각 연, 월별 피해액에 곱함으로써 모든 피해액을 2017년 12월을 기준으로 현가화(現價化)하였음

### 3.2.2 피해특성 및 성능요소의 공간자기상관성 검증

#### 3.2.2.1 공간자기상관성 분석의 목적

- 공간적인 위치를 점하는 재해는 발생위치와 발생속성이 결합된 형태의 자료임
  - 지리학 제1법칙에 따르면, 공간적 특성을 가지고 있는 자료들은 지리적으로 근접할수록 유사한 특성을 나타냄 (Tobler, 1970\*)
  - 저수지 등 농업기반시설의 발생 피해액은 지리적 사상으로서 위치가 속성에 영향을 미치는 공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)을 나타냄
- 공간자기상관성은 공간적 이질성(spatial heterogeneity)과 공간적 의존성(spatial dependence)이라는 두 가지 특성으로 설명할 수 있으며, 본 연구에서는 이를 정량화하여 발생 피해액의 공간특성을 분석하고자 하였음
  - 공간적 이질성(spatial heterogeneity)은 사건발생의 단위밀도가 단위지역마다 다름을 나타냄
  - 공간적 의존성(spatial dependence)은 한 사건의 발생이 다른 사건의 발생에 연계하여 영향을 주는 성질임
- 재해특성은 특정 지역과 그 인접지역에서 공간적인 특성에 따라 유사한 패턴을 보일 수 있으며, 인접지역이라도 서로 다른 피해특성을 보일 수도 있음

\* “First law of Geography : Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things (Tobler, 1970)”

- 공간자기상관성 분석을 통해 재해 피해액의 공간적 연계성에 대한 탐색과 피해액의 공간 군집 패턴을 가시적으로 확인할 수 있음
- 이를 바탕으로 관련이 있는 피해액들이 유사한 공간분포를 보이는지, 아니면 서로 공간특성에 연관성이 없는지를 판단할 수 있음
- 본 연구는 재해 특성에 대한 전역적 공간자기상관과 지역적 공간자기상관을 분석함으로써 주변 지역과는 상이한 피해 경향을 보이는 이상 지역을 파악하고, 그 지역이 가지는 특성을 도출하고자 하였음

### 3.2.2.2 공간자기상관성 분석 방법

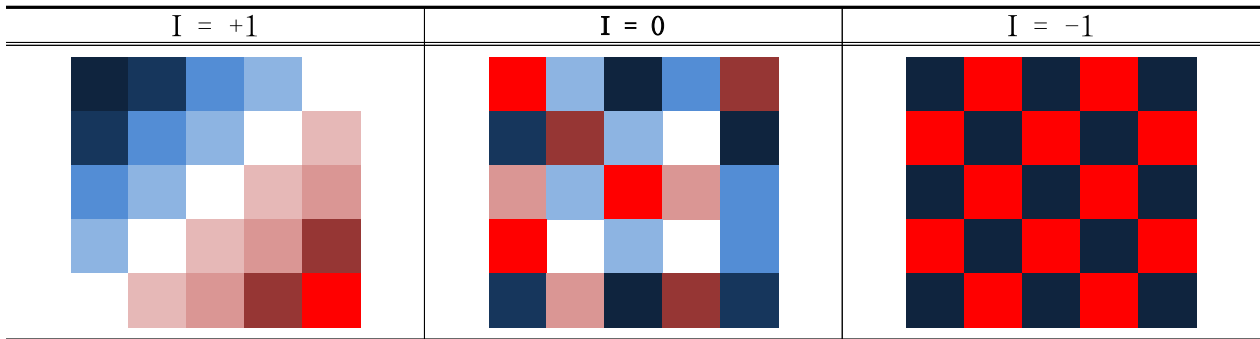
- 점(point)적인 위치정보를 갖는 2005~2017년간의 농업기반시설 재해 피해사례 9,586개의 원시자료를 시군구 경계를 이용하여 면(polygon) 형태의 집계자료로 변환하고, 위상관계를 정립하였음
- 공간자기상관성은 국지적인 차원과 지역적인 차원으로 구분하여 정량화함
  - 식 (3.1) Global Moran's I 통계량을 이용하여 전역적인 공간 자기상관성을 계산하였음
  - 지역적인 공간 자기상관성은 식 (3.2)의 LISA(Local Indicator of Spatial Association)를 통해 정량화하였음

$$I_{global} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.1)$$

$$I_{local}^i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S_x} \sum_{j \neq i} W_{ij} \frac{(x_j - \bar{x})}{S_x}, S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

- 여기서, n은 단위지역 x의 개수이며,  $W_{ij}$  는 공간가중매트릭스임
- 공간가중매트릭스는 거리가중법을 사용하였으며, 각 시군구 중심 좌표들 간의 최소거리인 36km를 이용하였음
- 공간가중매트릭스의 작성이 불가능한 제주도, 독도, 백령도 등의 도서지역을 제외한 전국 시군구별 피해액의 공간상관성을 분석하였음

Table 3.1 Global Moran's I 에 의한 공간자기상관 특성



- Global Moran's I 통계량은 -1 ~ +1의 값을 가짐
  - +1에 가까울수록 공간적 자기상관성이 높고, -1에 가까울수록 높은 값과 낮은 값의 지리적 사상이 완벽하게 섞여서 바둑판처럼 패턴을 이루며, 자기상관성이 낮은 것을 의미함 (Table 3.2.2)
- 그러나 실증적 Global Moran's I 통계량 자체는 공간 자기 상관정도에 대한 통계적 유의성과 보편성을 가진 명확한 해석기준으로 보기에는 한계가 있으며, 해석상 오류의 여지가 존재함
- 따라서 현 조건하에서 각 시군구의 배치에 따라 발생 가능한 지리적 사상(분포형태)을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 99,999회 계산하고, 실증적 도수분포도를 작성하였음
  - 이를 통해 산출된 Global Moran's I 통계 값의 정규성 가정(normality assumption)과 임의성 가정(randomization assumption)에 대한 유의성을 검증하였음
  - 국지적 공간자기상관성은 99,999회 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 유의수준 5% 미만의 결과만을 유의한 LISA 결과로 선정하였음

Table 3.2 Spatial autocorrelation level of Z[I]

Z[I]	Spatial autocorrelation level	Significance level
$2.57 \leq Z[I]$	Very High	1%
$1.96 \leq Z[I] \leq 2.57$	High	5%
$1.64 \leq Z[I] \leq 1.96$	Slightly High	10%
$-1.64 \leq Z[I] \leq 1.64$	Moderate	~
$-1.96 \leq Z[I] \leq -1.64$	Slightly Low	10%
$-2.57 \leq Z[I] \leq -1.96$	Low	5%
$Z[I] \leq -2.57$	Very Low	1%

source : Lee(2008) & Lee and Lim(2009)

□ I 값의 통계적 유의성 검정은 일반적으로 z-score를 사용함

- Lee (2008)와 Lee and Lim (2009)은 I 통계량을 표준정규분포 확률변수인 z-값으로 변환하는 과정에서 Table 3.2.3과 같은 유의수준별 Z[I] 통계량 값을 제시하였음
- 본 연구에서는 발생 피해액의 분포형태를 무작위 난수 추출하여 99,999회 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo simulation) 하였음
- 이를 통해 만들어진 실증적 정규분포도와 통계량과의 비교분석을 통해 z-Score로 표준화하여 유의성을 Table 3.2.3의 기준에 따라 검증함

### 3.2.3 피해특성 및 성능요소의 패널데이터 분석

□ 본 연구에서는 저수지를 포함한 농업기반시설의 재해피해와 연관이 있는 다수의 연속형 독립변수가 종속변수인 피해액에 미치는 영향을 실증적으로 분석하고자 하였음

- 그러나 시군구 지역별 공간자기상관 분석결과 발생 피해액은 높은 공간적 종속성을 나타내었음
- 변수들 간의 상호 관계성 규명은 독립성 가정에 기초하고 있기 때문에 공간 자기 상관의 존재는 분석결과를 편향시킬 수 있음
- 또한, 지역별 피해액은 시계열적인 상관성이 존재할 수 있다는 것을 직관적으로 예상할 수 있음
- 지역별 과거, 현재, 미래의 특성은 연관되어 있을 수 있으며, 또한 각 지역별 특성은 시간의 흐름과는 상관없이 고유한 특성을 나타낼 수도 있기 때문임
- 이러한 재해피해액의 공간적, 시계열적인 상관특성을 반영하기 위해 지역효과와 시간효과를 동시에 고려할 수 있는 패널모델(Panel model)의 적용 타당성을 검정하고, 적용함으로써 피해 결정요인의 효율성과 신뢰성을 확보하고자 하였음

□ 패널데이터는 횡단면(cross sectional) 데이터와 시계열(time series) 데이터를 하나로 합쳐놓은 것임

- 특정 시점에서 관측한 표본들의 현상이나 특성을 수집한 것이 횡단면 데이터이며, 표본들의 특성을 일정한 시간간격에 따라 연속하여 수집한 것이 시계열 데이터임
- 패널데이터분석(Panel data analysis)은 회귀분석과 시계열 분석의 한계를 보완하여 동시에 고려할 수 있다는 장점이 있음

□ 종속변수인 재해피해액은 각 건별 발생 날짜와 위치에 대해 점(point)적인 정보를 가지고 있음

- 분석을 위한 기초 작업으로서 독립변수와 종속변수의 공간적, 시간적 위상을 맞추기 위해서는 점(point)적인 정보를 집합적 데이터(aggregate data)로 변환하여야 함



- 재해피해액의 독립변수는 “국가승인통계\*” 값을 사용했음
- 본 연구 독립변수들의 국가승인통계 값을 동시에 고려하기 위한 최소 집합 단위는 연도별, 시도별임
- 시군구별로 재해피해액을 취합할 경우, 지역별 특성에 의해 재해피해액이 발생하지 않은 지자체가 부분별로 존재하였음
  - 피해액 0값의 존재와 공간 자기 상관의 정도는 분석 단위가 임의적인 시군구 행정 단위의 공간 데이터임에 기인함
  - 시군구 단위의 행정구역은 시간의 흐름에 따라 통폐합되거나, 분리되어 변화가 잦으므로 독립변수들의 통계 값에 맞추어 집합적 데이터의 공간단위는 시도별, 시간단위는 연도별로 설정하였음
- 본 연구에서는 집합적 데이터를 통해 개별 재해 피해특성의 편기는 줄이면서, 시계열 구분을 통해 자유도를 증가시켜 분석의 효율성을 개선하고자 하였음
  - 일반적으로 집합적 데이터를 이용한 분석은 미시적 데이터 분석에 비해 덜 정확한 것으로 알려져 있음
  - 집합적 데이터를 구성하는 개체들의 이질성이 강할 경우 집합적 데이터는 미시적 데이터와는 다른 특성을 나타내기 때문임
  - 그러나 반대로 집합적 데이터는 미시적 데이터의 편기(bias)를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있음

### 3.2.3.1 패널데이터 분석 방법

#### 가. 패널모델의 유형

##### 1) 패널모델의 일반식

$$y_{i,t} = \alpha + \beta x_{i,t} + \mu_i + \lambda_t + e_{i,t} \quad (3.3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots, T_i$$

여기서;  $i$  : 지역 (시도),  $t$  : 시간 (연도),

$y_{i,t}$  : 특정연도의 재해피해액,  $x_{i,t}$  : 독립변수,  $\beta$  : 회귀계수,

$\mu_i$  : 지역특성 오차항,  $\lambda_t$  : 시간특성 오차항,  $e_{i,t}$  : 순수 오차항

- 패널모델은 회귀모델의 오차항에서 지역특성 효과와 시간특성 효과를 분리하여 구분하고, 순수한 오차만을 남김으로써 모수 추정치를 개선하는 모델임
- 지역특성 효과는 시간이 지나도 변하지 않는 지역 고유의 속성임
- 이에 반해 시간특성 효과는 특정 시기에 모든 지역에 영향을 미친 효과임

\* 통계법 3조와 관련하여 통계작성기관이 통계청장의 승인(협의)를 받아 작성하는 통계

## 2) 고정효과 모델

$$y_{i,t} = (\alpha + \mu_i + \lambda_t) + \beta x_{i,t} + e_{i,t} \quad (3.4)$$

$$i = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots, T_i$$

- 식 (3.4)의 지역특성이나 시간특성에 따른 오차항을 추정해야 할 고정된 모수(fixed parameter)로 가정할 경우를 고정효과(fixed effect) 모델이라고 함
- 고정효과 모델의 가장 큰 특징은 지역별 절편  $(\alpha + \mu_i + \lambda_t)$ 이  $x_{i,t}$ 와 상관성이 있다고 전제하는 것임
- 기울기  $\beta$ 는 지역간에 동일지만, 절편은 지역별로 다르다. 순수 오차항  $e_{i,t}$ 은 평균 0, 분산  $\sigma_e^2$ 로 독립적인 동일분포( $e_{i,t} \sim IID(0, \sigma_e^2)$ )를 갖음
- 본 연구에서 고정효과 모델은 지역특성과 시간특성 효과를 더미변수로 설정하여 최소자승법으로 모수를 추정하였음

## 3) 확률효과 모델

- 식 (3.3)의 지역특성이나 시간특성에 따른 오차항을 임의적이거나 확률적이라고 가정할 경우를 확률효과(random effect) 모델이라고 함
- 확률효과 모델에서는 식 (3.4)의 절편  $(\alpha + \mu_i + \lambda_t)$ 가  $x_{i,t}$ 와 상관성이 없으며, 우연히 주어진 오차항의 일부로 간주함
- 확률효과 모델모형에서는 모든 오차항이 독립적이고, 등질적으로 분포되어 있음(Independent and identically distributed, IID)을 가정함
- 즉,  $\mu_i \sim IID(0, \sigma_\mu^2)$ ,  $\lambda_t \sim IID(0, \sigma_\lambda^2)$ ,  $e_{i,t} \sim IID(0, \sigma_e^2)$  임

### 나. 패널모델의 설정과 검정

#### 1) Chow test

- 데이터가 패널구조라는 사실을 무시하고, 지역특성과 시간특성을 고려하지 않은 데이터를 최소자승법(Ordinary Least Square method, OLS)으로 추정하는 Pooled OLS 모델에 비해 더미변수를 통해 구축한 고정효과 모델(LSDV)이 보다 적합한가를 검정하기 위해 Chow 검정을 이용하였음
- 귀무가설은 “ $H_0$  : 고정효과 모델에 포함된 모든 더미변수는 0”이며, 귀무가설이 기각되면 고정효과 모델이 적합하다는 것을 의미함
- 기각되지 못하면 고정효과에 대한 지역이나 시간특성들의 이질성이 뚜렷하지 않고, 고정효과가 유의하지 않다는 것임

$$y_{i,t} = \alpha + \beta x_{i,t} + e_{i,t} \quad (Pooled\ OLS)$$

$$y_{i,t} = \alpha_i + \beta x_{i,t} + e_{i,t} \quad (LSDV) \quad (3.5)$$

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_1 = \dots \alpha_n = \alpha \quad (Pooled\ OLS)$$

$$H_1 : \alpha_1 \neq \alpha_1 \neq \dots \alpha_n \neq \alpha_i \quad (LSDV) \quad (3.6)$$

- 모델에서 잔차의 제곱합(Residual Sum of Squares, RSS)을 산출한 후 모델을 비교하기 위해서 F 검정을 수행함

$$Chow = \frac{(RSS_{Pooled\ OLS} - RSS_{LSDV}) / (N-1)}{RSS_{LSDV} / (N_{Pooled\ OLS} - N_{LSDV} - K)} \quad (3.7)$$

여기서;  $K$  : 모수의 수

- LSDV모델의 Chow 검정결과 유의성이 나오지 않을 경우에는 모델의 고정효과만 없다는 의미이므로 확률효과의 유의성은 추가로 검정하여야 함

## 2) B-P test (Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test)

- 확률효과 모델이 Pooled OLS 모델보다 적합한가를 검정하기 위해서 B-P 검정을 이용하였음
- 귀무가설은 “ $H_0$  : 확률효과 모델에 포함된 분산은 0, 즉 전체 분산  $(\sigma_u^2 + \sigma_e^2) = \sigma_e^2$ ”이며, 귀무가설이 기각되면 Pooled OLS 모델에 비해 확률효과 모델이 적합하다는 것을 나타냄

$$\begin{aligned} H_0 &: var(\alpha_i) = \sigma_e^2 \\ H_1 &: var(\alpha_i) = \sigma_u^2 + \sigma_e^2 \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\lambda_{B-P} = \frac{NT}{2(T-1)} \frac{\sum_{i=1}^N (\sum_{t=1}^T e_{i,t})^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T e_{i,t}^2} - 1 (\sim \chi_1^2) \quad (3.9)$$

## 3) Hausman test

- 만일 Chow test와 B-P test 모두에서 귀무가설을 기각하여, 고정효과와 확률효과가 모두 유의할 경우에는 하우스만 검정방법을 통해 고정효과 모델과 확률효과 모델 중 어느 것이 더 유의한가를 판단해야 함
- 귀무가설은 확률효과 모델의 특징인 “ $H_0$  : 절편  $(\alpha + \mu_i + \lambda_t)$ 가  $x_{i,t}$ 와 상관성이 없다”이며, 귀무가설이 수용되면 확률효과 모형이 더 효율적이고, 귀무가설이 기각되면 고정효과 모형을 선택하게 됨
- 하우스만 검정 통계량은  $\chi^2$ 분포를 따르며 자유도는  $k-1$  임 (식 3.11)

$$\begin{aligned} H_0 &: cov(\alpha_i, x_{i,t}) = 0 \\ H_1 &: cov(\alpha_i, x_{i,t}) \neq 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$H = (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})' [Var(\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})]^{-1} (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE}) (\sim \chi_{k-1}^2) \quad (3.11)$$

### 3.2.3.2 패널데이터 구성 및 기술통계

- 재해피해 결정요인과 관련된 선행연구 고찰을 통하여 농업수리시설 재해관리를 위한 주요 재해피해 유발 요인들을 선정하고, 유의한 변수들을 도출하였음
- 모형의 계수가 달라지면 모형의 예측력이 달라지므로, 어떤 변수를 모형에 포함하느냐가 분석결과에 큰 영향을 미침
  - 타당한 방법론을 적용한 과거의 연구와 실질적인 이론적 중요도에 기초해서 변수를 선택해야 함 (Andy Field et al., 2013)

#### 가. 재해피해 유발 요인 Level I

- UNISDR (2009)에 따르면 재해피해는 각 수리시설물과 인적피해를 포함한 각 자산요소의 재해 취약도(Vulnerability)와 재해 노출도(Exposure)의 상호작용으로 발생함
  - 재해 취약도는 조직, 시스템, 재산의 고유특성으로서 재해로 인한 피해영향 민감도로 정의됨
  - 재해 노출도는 인력, 시설물 등 각 자산요소가 재해 위험성이 높은 상황에 위치한 정도로서 뜻매김됨
  - 용어정의상의 차이가 존재하지만, UNISDR (2009), 김길호 (2013), 정준호와 허인혜 (2014), 김수진 등 (2015)의 선행연구에서는 재해피해 유발요인에 대한 최상 단위 개념적 계층요소를 자산요소 자체의 재해 취약성과 재해 노출도로 구분하였음
  - 본 연구에서도 농업기반시설 관련 재해피해 유발 독립변수의 최상 계층요소로서 재해 취약도와 재해 노출도를 설정하였음

#### 나. 재해피해 유발 요인 Level II

- 1) 재해 취약도 : 자산특성 요인, 사회경제적 요인, 도시화 요인 설정
- 2) 재해 노출도 : 대리변수로서 기후노출 요인을 설정

#### 다. 재해피해 유발 요인 Level III

##### 1) 자산특성 요인

- 자산특성 요인에 대한 최종 변수는 농업수리시설의 시설물수, 경지면적, 농가인구를 설정
  - 그러나 경지면적, 농가인구는 농업수리시설의 규모확대에 대해 동일한 의미를 가지는 대리변수들로서 다중 공선성을 나타낼 수 있으므로 각 변수간의 상관관계를 고려하여 가장 적합한 인자만을 사용하였음
- 시설물수는 한국농어촌공사 농업기반시설 관리시스템(RIMS)의 DB를 이용
- 경지면적(ha)은 통계청 ‘농업면적조사’ 시도별 경지면적 자료를 이용

- 농가인구는 농가에서 생계를 같이하는 가족 및 친인척을 의미하며, 통계청 ‘농림어업조사’ 시도별 자료를 분석

## 2) 사회경제적 요인

- 본 연구에서는 농업수리시설 재해피해의 사회경제적 요인을 1인당 GRDP로 결정하였음
  - 1인당 GRDP의 정의는 지역내 총생산을 지역 인구수로 나눈 1인당 연간 생산액이며, 1인당 GRDP가 높다는 것은 그 지역 재정자립도가 높다는 것을 의미함

## 3) 도시화 요인

- 도시화 요인에 따른 농업수리시설 재해피해에 대한 최종 대리변수로서 불투수면적(m<sup>2</sup>)을 선정하였음
  - 불투수면적은 국토교통 통계누리 (<http://stat.molit.go.kr>)의 지적통계연보 자료를 활용하여 대지, 공장용지, 학교용지, 주차장, 주유소용지, 창고용지, 도로 지목을 취합하여 불투수면적을 산정함

## 4) 기후노출 요인

- 기후노출 요인에 대한 최종 변수는 연간 총강우량, 연간 최대 강우강도, 연평균 기온, 연평균 풍속, 연평균 일조량으로 선정하였음
- 빈도별 강우량은 연평균 강우량과 다중 공선성을 나타내며, 상관유의성도 적합하지 않으므로 분석변수에서는 제외하였음
- 기후인자들은 기상청 산하 기상관측소 76개소의 자료를 이용하여 시도별, 연도별로 집계하였음
- 본 연구에서 선정한 최종 독립변수는 시설물수, 경지면적, 농가인구, 1인당 GRDP, 불투수면적, 연간 총강우량, 연간 최대 강우강도, 연평균 기온, 연평균 풍속, 연평균 일조량임 (Table 3.3).

Table 3.3 패널데이터 분석을 위한 변수 결정

Type	Variable		
	Level I	Level II	Level III
Dependent	-	-	In_Disaster damage
Independent	Vulnerability	Facility status factor	In_Facility number
			In_Farm area
			In_No. of farmer
	Exposure	Socio-economic factor	In_GRDP per man
		Urbanization factor	In_Impervious area
		Climate exposure factor	In_Total rainfall
			In_Rainfall intensity
			In_AVG temperature
			In_AVG wind velocity
In_AVG sunshine			

□ 독립변수의 이분산성과 왜도, 첨도의 문제를 해결하기 위해 모든 변수에 자연로그를 취했다. 로그를 취한 후 변수들의 기술통계량은 안정적인 (Table 3.2.5).

Table 3.4 독립변수 기술통계

N = 90

Variable			Min	Max	AVG	SD	Skew	Kurt
Level I	Level II	Level III						
Vulnerability	Facility status factor	ln_Facility number	0.00	7.92	5.59	2.18	-1.02	0.52
		ln_Farm area	6.00	12.64	10.52	1.89	-0.65	-0.59
		ln_No. of farmer	9.07	13.05	11.43	1.26	-0.25	-1.51
	Socio-economic factor	ln_GRDP per man	2.98	4.27	3.46	0.31	0.74	-0.01
	Urbanization factor	ln_Impervious area	18.58	21.00	19.73	0.76	-0.12	-1.43
Exposure	Climate exposure factor	ln_Total rainfall	6.41	7.59	7.03	0.26	-0.19	-0.32
		ln_Rainfall intensity	2.83	4.72	3.73	0.30	0.38	1.51
		ln_AVG temperature	2.34	2.75	2.57	0.09	-0.20	-0.71
		ln_AVG wind velocity	0.41	1.22	0.71	0.22	0.58	-0.39
		ln_AVG sunshine	1.70	2.04	1.86	0.07	0.42	-0.12

### 3.3 피해특성 및 성능요소의 공간자기상관성 검증 결과

#### 3.3.1 전역적 공간 자기상관 분석 결과

- 공간적 이질성과 의존성에 따르는 전역적 공간 자기상관성을 정량화하기 위하여 Global Moran's I 통계량을 계산하였으며, 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 실증적 분포곡선에 따른 표준화 값인 Z[I]를 산정하여 유의성을 검증하였음 (Table 3.5)
- 저수지와 관정의 Z[I]값은 1.96 이상으로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 결과 값을 나타냈음
  - 저수지와 관정은 재해 피해액에 대한 공간패턴을 나타내고 있으며, 공간자기상관성이 높음
- 전체시설, 방조제, 배수장, 취입보, 용수로, 배수로의 Z[I]값은 2.57 이상으로 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 결과 값을 나타냈음
  - 전체시설, 방조제, 배수장, 취입보, 용수로, 배수로는 각각의 시설별로 재해 피해액에 대해 공간적인 군집패턴을 이루고 있으며, 공간자기상관성이 매우 높음을 의미함
- 양수장과 기타시설의 Z[I]값은 -1.64와 1.64의 사이에 위치함으로서 보통의 공간자기상관성을 갖고 있었음
  - 양수장과 기타시설은 재해사례 건수가 적었으며, 공간적으로 특정한 규칙을 가지며 분포하지 않았음

Table 3.5 피해특성의 Global Moran's I와 z-score

Facilities	Global Moran's I	Z[I]	Spatial autocorrelation level
전체시설	0.280	8.925	Very High
방조제	0.413	18.039	Very High
배수장	0.160	8.453	Very High
취입보	0.243	8.140	Very High
용수로	0.231	7.627	Very High
배수로	0.087	3.050	Very High
저수지	0.063	2.294	High
관정	0.045	1.879	High
양수장	0.029	1.331	Moderate
기타시설	0.033	1.270	Moderate

### 3.3.2 지역적 공간 자기상관 분석 결과

- 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 전역적 공간자기상관성을 나타낸 전체시설, 방조제, 배수장, 취입보, 용수로, 배수로, 저수지, 관정에 대해 LISA 통계량을 이용하여 지역적 공간 자기상관성을 분석함 (Fig. 3.1 ~ Fig. 3.8)
- High-High(HH) 군집(빨간색)은 해당 지역의 피해액이 높게 나타났으며, 인근지역들의 피해액도 높은 지역으로 피해액발생의 주요 핵심지역
- Low-Low(LL) 군집(파란색)은 해당 지역의 피해액이 낮으며, 주변의 피해액 또한 낮은 지역
- Low-High(LH) 군집(보라색)은 해당 지역의 피해액은 낮으나, 주변의 피해액이 높은 이상 지역
- High-Low(HL) 군집(분홍색)은 해당 지역의 피해액은 높으나, 주변의 피해액이 낮은 이상 지역
- 통계적으로 유의하지 않은 지역은 회색으로 표시함

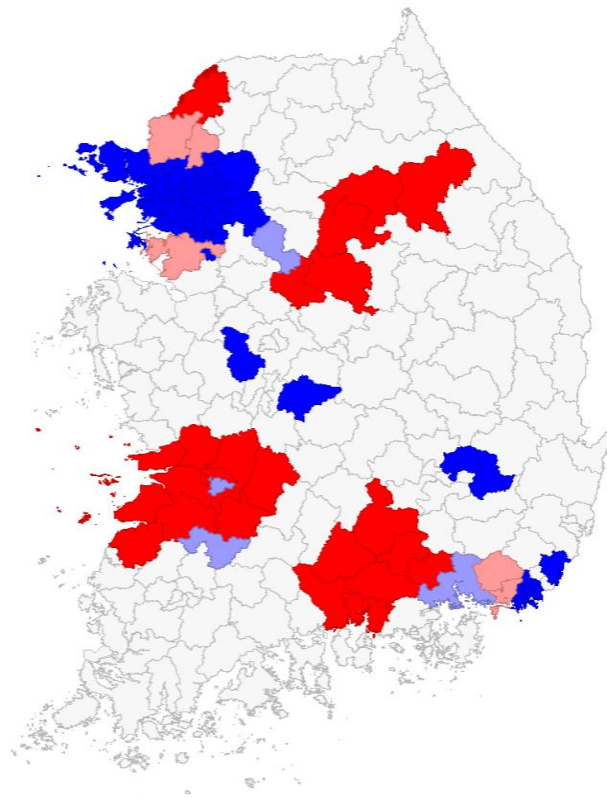


Fig. 3.1 전체 기반시설 LISA

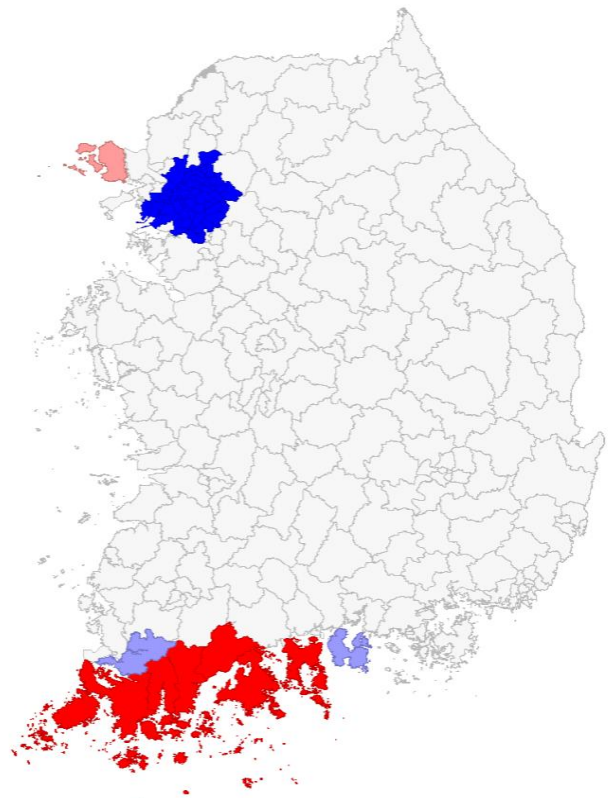


Fig. 3.2 방조제 LISA

Not significant	High-High	Low-Low	Low-High	High-Low
-----------------	-----------	---------	----------	----------



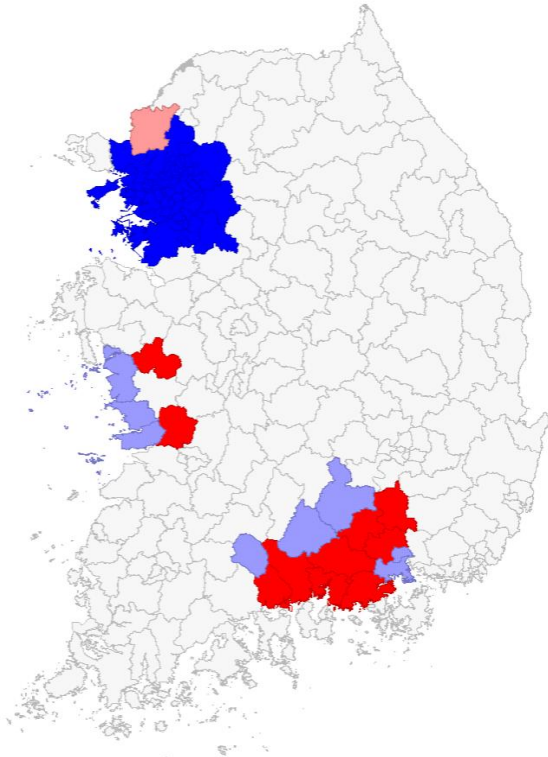


Fig. 3.3 배수장 LISA

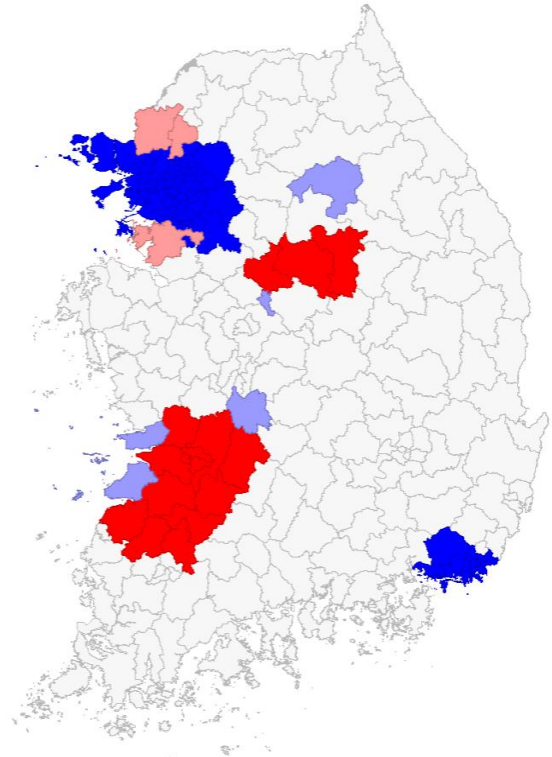


Fig. 3.4 취업보 LISA

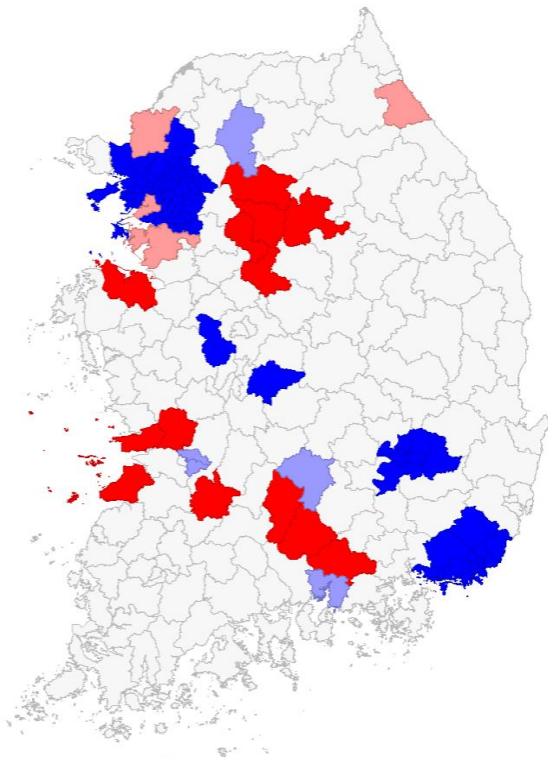


Fig. 3.5 용수로 LISA

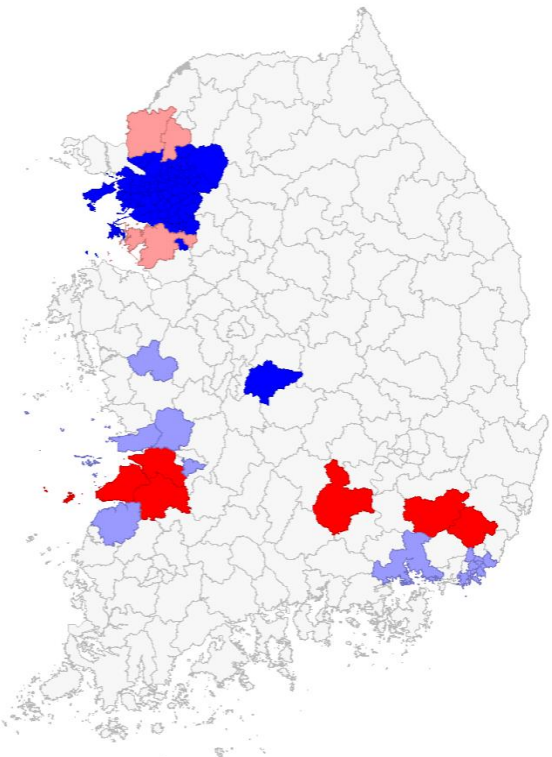


Fig. 3.6 배수로 LISA

Not significant	High-High	Low-Low	Low-High	High-Low
-----------------	-----------	---------	----------	----------

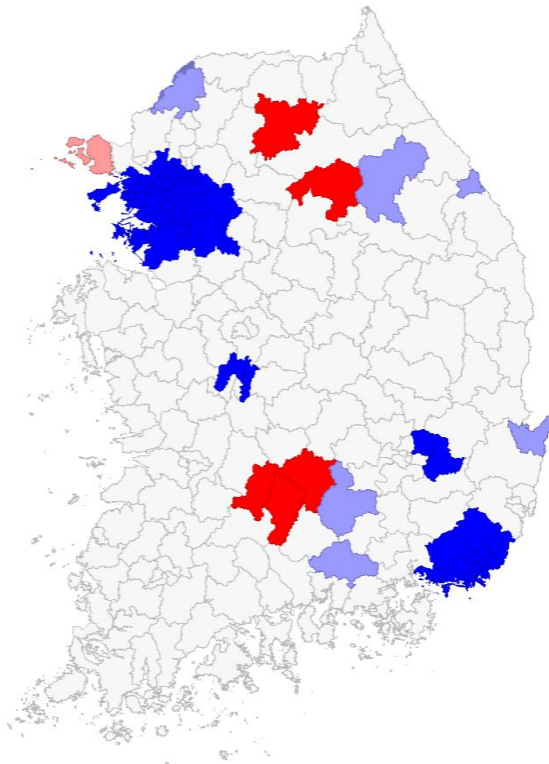


Fig. 3.7 저수지 LISA

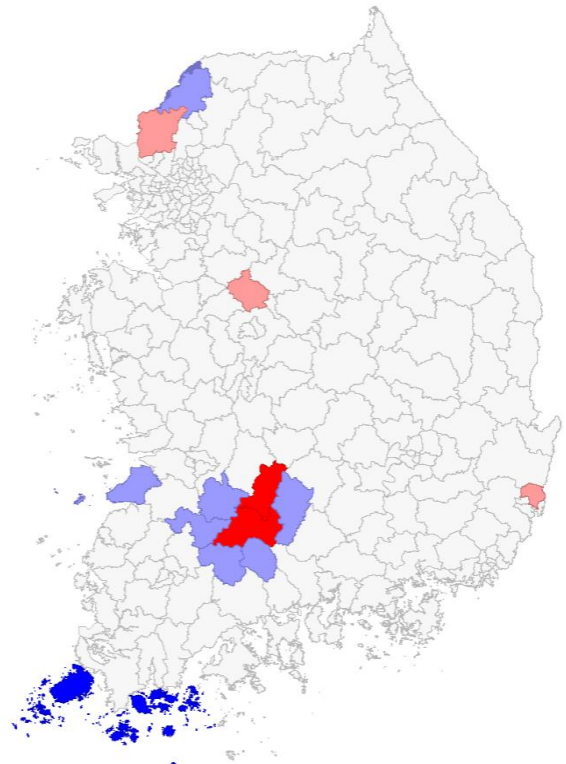


Fig. 3.8 관정 LISA

Not significant	High-High	Low-Low	Low-High	High-Low
-----------------	-----------	---------	----------	----------

- 농업기반시설의 피해특성은 경기 연천, 강원 원주·평창·횡성, 경남 사천·산청·의령·진주·함안·함천, 전북 고창·군산·김제·부안·완주·익산·임실·전주·정읍·진안, 충북 음성·충주 일원으로 높은 피해액을 나타내는 HH군집이 형성되었음
  - 농업수리시설 재해는 시군구별 수혜면적의 규모에 따라 수원공과 평야부 인근으로 농업수리시설이 집중되어 피해액이 크게 나타나는 결과로 판단됨
- 서울과 인천, 수도권, 부산 등 대도시 위주로 재해 피해액은 낮게 산정되어 LL군집을 이루었음
- 전주, 창원 등은 도시화되어 농업수리시설의 피해가 거의 없으므로 주변지역보다 상대적으로 피해액이 낮은 LH군집을 나타내었음
- 전반적으로 피해액이 낮은 수도권 중 경기 양주·파주·화성은 주변지역과 비교하여 재해가 다발하여 HL군집을 형성하였으며, 경남 김해와 부산 강서도 주변지역에 비해 피해액이 높으므로 시군구별 집중적인 관리가 필요함

### 3.4 피해특성 및 성능요소의 패널데이터 분석 결과

#### 3.4.1 결정 변수 상관관계 분석

Table 3.6 피해특성 변수의 Pearson's correlation

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ln_Natural damage	1										
ln_Facility number	.541**	1									
ln_Farm area	.570**	.963**	1								
ln_No. of farmer	.562**	.933**	.975**	1							
ln_GRDP per man	.171*	.279**	.231**	.229**	1						
ln_Impervious area	.465**	.664**	.787**	.843**	.288**	1					
ln_Total rainfall	.363**	-.054	-.013	-.011	-.054	-.005	1				
ln_Rainfall intensity	.199**	-.106	-.083	-.101	-.185**	-.056	.446**	1			
ln_AVG temperature	-.274**	-.203**	-.386**	-.376**	-.010	-.428**	-.111	.007	1		
ln_AVG wind velocity	-.144*	-.287**	-.252**	-.263**	.046	-.050	.137	.229**	.280**	1	
ln_AVG sunshine	-.322**	-.242**	-.290**	-.285**	-.046	-.158*	-.441**	-.048	.256**	.124	1

\* p < .05, \*\* p < .01

- 연속형 변수인 재해 피해액과 10개 독립변수간의 관계, 또한 독립변수들 사이의 상관성을 확인하기 위해 피어슨 상관분석(Pearson's correlation analysis)을 실시하였음 (Table 3.6)
  - 그 결과 재해 피해액과 가장 높은 상관관계는 경지면적( $r=.570, p<.01$ )으로 나타났음
  - 농가인구( $r=.562, p<.01$ ), 시설물수( $r=.541, p<.01$ ), 불투수면적( $r=.465, p<.01$ ), 연간 총강우량( $r=.363, p<.01$ ), 연간 최대 강우강도( $r=.199, p<.01$ ), 1인당 GRDP( $r=.171, p<.05$ )와도 유의한 정(+ )적 상관관계를 보였음
  - 연평균 일조량( $r=-.322, p<.01$ )은 최고의 부(-)적 상관관계를 나타냈음
  - 연평균 기온( $r=-.274, p<.01$ )과 연평균 풍속( $r=-.144, p<.05$ )도 유의한 부(-)적 관계를 갖고 있었음
- 각 변수간 상관관계에 따른 다중공선성을 고려하여, 재해 취약도 중 시설현황을 대표하는 시설물수와 농가인구는 패널분석을 위한 독립변수에서 제외하였음
- 최종 독립변수는 경지면적, 1인당 GRDP, 불투수면적, 연간 총강우량, 연간 최대 강우강도, 연평균 기온, 연평균 풍속, 연평균 일조량으로 선정하였음

### 3.4.2 피해특성 및 성능요소의 Pooled OLS 추정과 검정

Table 3.7 피해특성 변수의 Pooled OLS 추정 결과

Dependent Variable	Independent Variable	<i>B</i>	<i>S.E.</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
ln_Natural damage	(Constant value)	-94.506	24.554	-3.85***	<.01
	ln_Farm area	1.769	.332	5.33***	<.01
	ln_GRDP per man	1.747	1.126	1.55	.123
	ln_Impervious area	.414	.796	.52	.603
	ln_Total rainfall	8.337	1.729	4.82***	<.01
	ln_Rainfall intensity	2.993	1.358	2.20**	<.05
	ln_AVG temperature	.365	4.102	.09	.929
	ln_AVG wind velocity	-2.903	1.835	-1.58	.115
	ln_AVG sunshine	-.176	4.557	-.039	.969

$$F = 21.9 (p < .01), R^2 = .485, \text{adj}R^2 = .462$$

\*  $p < .1$ , \*\*  $p < .05$ , \*\*\*  $p < .01$

□ Pooled OLS 모델을 통해 재해 피해액을 추정하였음 (Table 3.7)

- 회귀모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며( $F = 21.9, p < .01$ ), 회귀모형의 설명력은 48.5%(수정된 R 제곱은 46.2%)로 분석되었음
- 회귀계수 유의성 검증 결과 경지면적( $B = 1.769, p < .01$ ), 연간 총강우량( $B = 8.337, p < .01$ ), 연간 최대 강우강도( $B = 2.993, p < .05$ )가 재해 피해에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타남

Table 3.8 All-subsets regression 결과

Dependent Variable	Independent Variable	<i>B</i>	<i>S.E.</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
ln_Natural damage	(Constant value)	-81.163	9.842	-8.246***	<.01
	ln_Farm area	2.018	0.186	10.879***	<.01
	ln_Total rainfall	9.462	1.350	7.011***	<.01

$F = 82.7$  ( $p < .01$ ),  $R^2 = .463$ ,  $adjR^2 = 0.457$

\*  $p < .1$ , \*\*  $p < .05$ , \*\*\*  $p < .01$

- OLS를 통한 탐색적 모형구축의 목적으로 단계적 회귀(stepwise regression)를 수행하였음 (Table 3.8)
- 1~8개의 모든 변수 조합의 경우의 수를 고려하는 전부분집합 회귀(all-subsets regression)방법을 이용하였음
  - 회귀분석시  $R^2$ 은 모형에 변수를 추가할수록 커지는 경향을 나타내는 문제점이 있음
  - 따라서 BIC(Schwarz's Bayesian information criterion)가 최소가 되는 조합을 기준으로 최적의 모델을 탐색하였음
  - 예측변수의 이론적 중요성은 고려하지 않고, 오직 수학적 기준에 따라서만 기계적으로 변수를 조합하고, 제거하면서 최선의 모델을 탐색하였음
- 최상의 조합은 BIC가 -105.411로 가장 낮게 나온 예측변수 2개의 조합이 선정되었음
  - 회귀모형은 통계적으로 유의하게 나타났으나( $F = 82.7$ ,  $p < .01$ ), 설명력은 46.5%(수정된 R 제곱은 45.7%)로 감소되었음
  - 예측변수는 경지면적( $B = 2.018$ ,  $p < .01$ )과 연간 총강우량( $B = 9.462$ ,  $p < .01$ )만이 선택되었음

### 3.4.3 피해특성 및 성능요소의 이원고정 효과 모델 추정과 검정

Table 3.9 피해특성 변수의 LSDV 추정

Dependent Variable	Independent Variable	B	S.E.	t	p
ln_Natural damage	(Constant value)	678.961	453.925	1.50	0.137
	ln_Farm area	6.915	4.434	1.56	0.121
	ln_GRDP per man	-18.014	9.679	-1.86*	<.1
	ln_Impervious area	-42.859	23.401	-1.83*	<.1
	ln_Total rainfall	11.776	2.655	4.43***	<.01
	ln_Rainfall intensity	2.101	1.644	1.28	0.203
	ln_AVG temperature	32.814	26.107	1.26	0.211
	ln_AVG wind velocity	7.995	6.685	1.20	0.233
	ln_AVG sunshine	-2.051	10.389	-0.20	0.844

$F = 6.8$  ( $p < .01$ ),  $R^2 = .592$ ,  $adjR^2 = .505$

\*  $p < .1$ , \*\*  $p < .05$ , \*\*\*  $p < .01$

- 최적의 패널 모델 설정을 위한 첫 번째 단계로 지역특성과 시간특성 모두에 고정효과가 있다는 귀무가설을 세워 이원고정모델의 유의성을 검증하였음 (Table 3.9)
  - 지역더미변수와 시간더미변수를 활용한 LSDV(Least Square Dummy Variable)모델을 구축하였음
- 이원고정모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며( $F = 6.8$ ,  $p < .01$ ), 회귀모형의 설명력은 59.2%(수정된 R 제곱은 50.5%)로 분석되었음
  - Pooled OLS의 설명력인 48.5%보다 10.7% 적합도가 개선됨
- 회귀계수 유의성 검증 결과 연간 총강우량( $B = 11.776$ ,  $p < .01$ )만이 재해 피해에 유의한 정(+ )의 영향을 미치는 것으로 분석되었음
  - 1인당 GRDP( $B = -18.014$ ,  $p < .1$ )와 불투수면적( $B = -42.859$ ,  $p < .1$ )은 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났음
- 지역과 시간에 대한 고정효과의 유의성을 사후 검정(post-estimation test)을 통해 판정하였음
  - 더미로 설정된 지역변수와 시간변수가 모두 포함된 LSDV모델이 Pooled OLS 모델보다 적합도와 설명력을 높이고 있는지를 검정하였음
  - 귀무가설은 ‘모든 추정계수는 0’이며, Chow 검정(F-검정)을 하였음
- Chow 검정 결과 시간더미변수는  $p=0.05$ 에서 유의(Prob > F = 0.047)하게 나타나 ‘모든

시간 더미변수의 추정계수가 0이다'라는 귀무가설을 기각했음

- 즉, 다른 조건이 일정할 때 시간 더미변수가 포함된 모델이 포함되지 않은 모델에 비해 설명력이 높은 모델임을 나타냄
- 반면에 지역더미변수는  $p=0.05$ 에서 유의하지 않은 것으로 나타났음
- 따라서 지역더미변수의 고정효과가 포함된 모델은 포함되지 않은 모델에 비해 더 적합한 모델이라고 볼 수 없음
- 지역과 시간의 고정효과를 동시에 고려한 검정에서는 귀무가설이 기각( $\text{Prob} > F = 0.040$ )되어 더미변수들의 공통효과가 유의미한 것으로 분석되었음
- 그러나 이는 지역더미는 유의하지 않으나, 시간더미의 유의성 때문에 도출된 결과라고 판단됨
- 검정 결과를 종합해보면, 더미변수를 포함하지 않은 Pooled OLS 모델에 비해 더미변수를 포함한 모델이 더 적합한 모델로 판정되었음
- 시간더미변수에 의한 영향으로 지역더미변수의 추정계수들은 유의하지 않게 나타났음
  - 따라서 시간 더미변수만을 포함한 시간 고정효과 모델을 우선적으로 설정하였음
  - 그러나 검정결과는 지역의 더미변수로 고정효과의 유의성만을 판정하였고, 지역의 확률효과에 대해서는 검정하지 않았음
- 따라서 지역의 확률효과의 유의성에 대한 검정을 실시하여야 하며, 이를 위해 시간 고정효과와 지역 확률효과가 동시에 고려된 혼합모형을 추정하고 검정하였음

### 3.4.4 피해특성 및 성능요소의 혼합효과모델 추정과 검정

Table 3.10 피해특성 변수의 Mixed model 추정

Dependent Variable	Independent Variable	<i>B</i>	<i>S.E.</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
ln_Natural damage	(Constant value)	687.094	453.925	1.50	0.133
	ln_Farm area	1.804	0.335	5.38***	<.01
	ln_GRDP per man	1.955	1.101	1.78	0.076
	ln_Impervious area	0.121	0.825	0.15	0.883
	ln_Total rainfall	9.558	2.109	4.53***	<.01
	ln_Rainfall intensity	2.706	1.516	1.79	0.074
	ln_AVG temperature	-0.242	4.499	-0.05	0.957
	ln_AVG wind velocity	-2.328	1.912	-1.22	0.223
	ln_AVG sunshine	-5.134	7.372	-0.70	0.486
$R^2 = .546$					

\*  $p < .1$ , \*\*  $p < .05$ , \*\*\*  $p < .01$

- 시간효과가 고정되어 있을 때 지역의 확률효과가 유의한가에 대해 검정하였음
  - 이는 시간은 고정효과, 지역은 확률효과인 혼합효과 모델에서 확률효과의 유의성을 검정

하는 것임

- 계수는 추정방법은 일반화최소자승법(Generalized Least Square method, GLS)을 이용하였음 (Table 3.10)
- 회귀모형의 결정계수는 54.6%로 분석되었으며, 추정계수는 경지면적(B = 1.804, p<.01)과 연간 총강우량(B = 9.558, p<.01)만이 피해에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 분석되었음
- B-P 검정(Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test)을 이용하여 지역의 확률효과가 통계적으로 유의한가를 판정하였음
  - p = 1.000으로 나타나서 지역의 확률효과가 없다는 귀무가설을 기각하지 못함
  - 따라서 시간 더미변수가 포함된 본 모델에서 지역의 확률효과는 유의하지 않다고 판단할 수 있음
- LSDV 모델과 혼합모형을 통해 시간의 고정효과는 유의하지만 지역의 고정효과와 확률효과는 모두 유의하지 않다는 것을 검정하였음

### 3.4.5 피해특성 및 성능요소의 일원효과모델 추정과 결과고찰

Table 3.11 피해특성 변수의 random effect 모델 결과

Independent Variable	Fixed effect Model		Random effect Model	
	<i>B</i>	<i>S.E.</i>	<i>B</i>	<i>S.E.</i>
(Constant value)	-87.402***	27.318	-92.585***	25.371
ln_Farm area	1.804***	0.335	1.793***	0.326
ln_GRDP per man	1.955*	1.101	1.895*	1.088
ln_Impervious area	0.121	0.825	0.272	0.794
ln_Total rainfall	9.558***	2.109	8.905***	1.898
ln_Rainfall intensity	2.706*	1.516	2.869**	1.423
ln_AVG temperature	-0.242	4.499	-0.013	4.233
ln_AVG wind velocity	-2.328	1.912	-2.689	1.833
ln_AVG sunshine	-5.134	7.372	-1.653	5.668
sigma_u	1.753		1.621	
sigma_e	4.499		4.499	
rho	0.132		0.115	
$R^2$	0.493		0.484	

\* p < .1, \*\* p < .05, \*\*\* p < .01

- Chow 검정과 B-P 검정을 통해 지역 효과는 유의하지 않으며, 시간 고정효과만이 유의하다는 것을 확인하였으나, 시간 확률효과의 유의성에 대해서는 검정하지 않았음
- 이에 지역 효과는 고려하지 않은 일원효과 모델 설정과 하우스만 검정(Hausman test)을 통해 시간의 고정효과와 확률효과 중 어느 것이 더 적합한지를 판단하였음 (Table 3.11)



- 시간 고정효과의 유의성을 Chow 검정한 결과  $p=0.05$ 에서 유의(Prob > F = 0.032)하게 나타났음
  - 시간 확률효과에 대한 B-P 검정결과도 유의(Prob > chi2 = 0.037)한 것으로 분석되어 시간의 고정효과와 확률효과가 모두 유의하다고 볼 수 있음
- 하우스만 검정을 수행한 결과 카이제곱 통계량은 4.17,  $p = 0.760$ 로 나타나서 5% 유의수준에서 귀무가설을 기각할 수 없음
  - 즉, 확률효과 모델을 선택하는 것이 적절하다는 것을 알 수 있음
- Pooled OLS, LSDV, 혼합효과 모델, 일원효과 모델을 설정하여 검정함으로써 가장 적합한 패널 모델을 설정하였음
  - 최종적으로 국내 농업수리시설의 재해 피해액에 대한 패널 모델은 일원 시간 확률모델이 가장 적합한 모델이라고 판단됨
  - 즉, 재해피해액의 시간적 고유특성은 유의하지만, 지역적 특성은 유의한 경향성을 나타내지는 않았음
- 최종 선택된 일원 시간 확률모델의 설명력은 48.4%로 분석되었음
  - 회귀계수 유의성 검증 결과 경지면적(B = 1.793,  $p<.01$ ), 1인당 GRDP(B = 1.895,  $p<.1$ ), 연간 총강우량(B = 8.905,  $p<.01$ ), 연간 최대 강우강도(B = 2.869,  $p<.05$ )가 재해 피해에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났음
- 재해 취약도에서는 시설현황인 경지면적, 사회경제적 요인인 1인당 GRDP가 증가할수록 재해 피해액이 증가하며, 그 영향은 경지면적에서 가장 높게 나타났음
  - 경지면적 증가는 상관분석 결과에서도 나타났지만, 직관적으로 재해피해의 대상인 농업수리시설이 늘어난다는 것을 가정할 수 있음
  - 피해 대상시설이 증가함으로써 재해 취약도가 증가한 결과를 확인할 수 있었음
  - 1인당 GRDP가 높다는 것은 1인당 연간 생산액과 그 지역의 재정자립도가 높다는 것을 의미함
  - 지역의 재정자립도가 높으면, 방재예산도 증가하여 재해 피해가 감소할 수도 있는 간접적 효과를 고려해 볼 수도 있음
  - 그러나 본 연구의 공간적 범위인 농촌에서 1인당 연간 생산액이 높은 것은 고부가가치를 낼 수 있는 생산구조와 기반시설을 의미함
  - 이는 동일한 재해에 노출되더라도 높은 가치를 가진 자산의 피해규모가 더 커지는 직접적인 효과의 결과로 해석할 수 있음
- 재해 노출도에서는 연간 총강우량과 연간 최대 강우강도가 증가할수록 재해 피해액이 커지며, 그 영향은 연간 총강우량이 가장 컸음

- 월별 피해액 분석결과 홍수기에 집중되는 농업수리시설의 재해 피해는 여러 기후요인 중 강우가 지배함을 의미함
- 재해 피해액은 단기간의 침투 홍수량보다는 장기간의 선행강우와 지반 포화에 따른 복합적인 요인에 의해 발생하였으며, 패널분석 결과에서도 최대 강우강도 보다는 총강우량의 영향이 유의미하고, 크게 도출되었음

### 3.5 소결

- 본 연구에서는 재해 관련 공간자기상관성 분석결과와 패널데이터 분석결과를 바탕으로 재해관리를 위한 피해요인 결정 주요요인을 도출하였음
- 재해 피해액에 대한 농업수리시설의 공간자기상관성을 검증하고, 시설별 유의성을 검증하였음
  - 그 결과 전체시설, 방조제, 배수장, 취입보, 용수로, 배수로, 저수지, 관정은 매우 높은 공간자기상관성을 나타냈음
- 패널데이터를 통해 재해 피해액의 주요 결정요인을 분석함
  - 패널데이터 분석결과 일원 시간 확률모형이 가장 적합한 모델로 선정되었으며, 설명력은 48.4%로 분석되었음
  - 재해 취약도에서는 시설현황인 경지면적( $B = 1.793, p < .01$ ), 사회경제적 요인인 1인당 GRDP( $B = 1.895, p < .1$ )가 증가할수록 재해 피해액이 증가하며, 그 영향은 경지면적에서 가장 높게 나타남
  - 경지면적 증가는 피해 대상시설이 증가함으로써 재해 취약도가 증가한 결과를 확인할 수 있었음
  - 1인당 GRDP가 높다는 것은 1인당 연간 생산액과 그 지역의 재정자립도가 높다는 것을 의미한다.
  - 지역의 재정자립도가 높으면, 방재예산도 증가하여 재해 피해가 감소할 수도 있는 간접적 효과를 고려해 볼 수도 있으나, 본 연구의 공간적 범위인 농촌에서 1인당 연간 생산액이 높은 것은 고부가가치를 낼 수 있는 생산구조와 기반시설을 의미함
  - 이는 동일한 재해에 노출되더라도 높은 가치를 가진 자산의 피해규모가 더 커지는 직접적인 효과의 결과로 판단됨
  - 재해 노출도에서는 연간 총강우량( $B = 8.905, p < .01$ )과 연간 최대 강우강도( $B = 2.869, p < .05$ )가 증가할수록 재해 피해액이 커지며, 그 영향은 연간 총강우량이 가장 컸음
  - 월별 피해액 분석결과 홍수기에 집중되는 농업수리시설의 재해 피해는 여러 기후요인 중 강우가 지배함을 의미하는 것으로 분석됨

- 강우강도에 따른 피해액은 단기간의 침투 홍수량보다는 장기간의 선행강우와 지반 포화에 따른 복합적인 요인에 의해 발생하였으며, 패널분석 결과에서도 최대 강우강도 보다는 총강우량의 영향이 유의미하고, 크게 도출되었음

# 4장 성능저하 요인분석

## 4.1 성능저하 요인의 연관성 네트워크

### 4.1.1 연관성 네트워크의 개념

- 시설의 상태평가 기준에 의해 손상이 발생하는 등급을 정의하고 실제 진단시 손상의 발생 빈도를 분석하여 손상을 분류함
- 부재등급과 상관없이 부재에 자주 발생하는 손상과 부재등급이 낮을 경우에 발생하는 손상을 분류하여 시설의 성능저하에 영향을 미치는 손상을 정의



Fig. 4.1 연관성 네트워크의 개념

손상유형	손상등급				
	a	b	c	d	e
손상 1	-	○	○	○	○
손상 2	-	-	○	○	○
손상 3	-	○	○	○	○
손상 4	-	○	○	○	○
손상 5	-	-	-	○	○

Fig. 4.2 기준에 의한 네트워크

#### 4.1.2 연관성 네트워크 작성절차

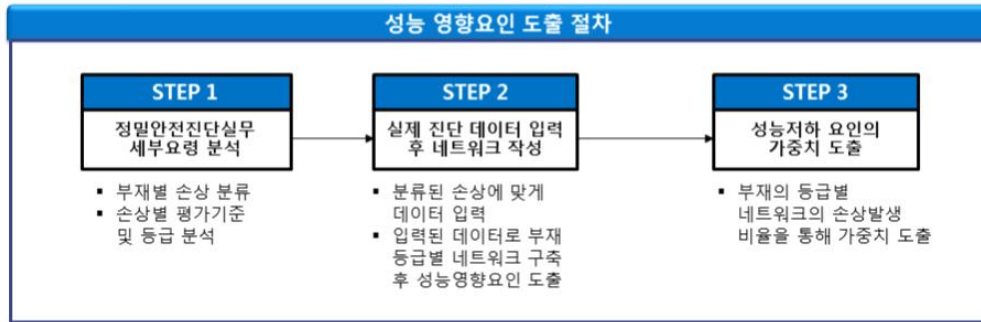


Fig. 4.3 성능 영향요인 도출 절차

- 기준 분석 및 실제 진단데이터를 활용하여 통계분석을 통한 가중치 도출
  - 농업기반시설 정밀안전진단실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석을 통해 손상평가방법에 따른 손상 평가등급을 정리하여 연관성 네트워크 작성
  - 실제 진단데이터를 활용하여 네트워크를 작성하고 손상의 발생 비중에 따른 가중치 산정
- 성능저하 요인 연관성 네트워크 작성
  - 저수지 정밀안전진단실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
  - 저수지를 3개 부재로 구분 : 제체, 여수로, 취수시설
- 데이터 입력 및 성능저하 요인 연관성 네트워크 작성
  - 저수지 정밀안전진단 결과를 입력하여 네트워크 분석
  - 저수지 461개소 진단 결과를 DB화한 후 손상의 발생빈도 분석
  - 제체의 손상 중 식생이 가장 많이 발생
- 성능저하 요인의 가중치 도출
  - 제체의 등급별 손상 발생 비율을 산술평균하여 성능저하 요인의 가중치 산정

#### 4.1.3 저수지의 연관성 네트워크

- 저수지 연관성 네트워크 작성을 위해 450개 저수지의 점검진단 DB를 근거로 제체, 여수로, 취수시설로 부재를 분류하고 각 부재별 발생 손상 정의

##### 1) 제체

- 저수지 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석

□ 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 제체 손상유형 및 손상등급 산정

Table 4.1 저수지의 손상정리(제체)

기준에 의한 부재 및 손상			손상등급					
부재	세부부재	손상유형	a	b	c	d	e	
제체	댐마루	균열 (댐마루 )		○	○	○	○	
		침하		○	○	○	○	
		수평변위				○	○	○
		제체유실		○	○	○	○	
		사면불안정 (댐마루 )		○	○	○	○	
	상류 사면	누수 (상류 )		○	○	○	○	
		침하 및 변형 (상류 )		○	○	○	○	
		차수벽 노후화				○	○	○
		사면불안정 및 사면보호		○	○	○	○	
		사면침식 (상류 )		○	○	○	○	
	하류 사면	누수 (하류 )		○	○	○	○	
		사면불안정 (하류 )				○	○	○
		사면보호 상태		○	○	○	○	
		침하 및 변형 (하류 )		○	○	○	○	
		사면침식 (하류 )				○	○	○
		식생		○	○	○	○	
		동물의굴		○	○	○	○	
	기초 및 양안부	부등침하				○	○	○
		기초 불안정				○	○	○
		침식 및 침투				○	○	○

□ B등급 제체의 주요 손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 균열(댐마루) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 사면침식(하류) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 사면침식(하류) 등이 다수 발생

Table 4.2 저수지 제체의 연관성 네트워크(B등급)

손상유형	a	b	c	d	e
식생	-	434	1204	320	-
사면불안정 및 사면보호	-	236	367	21	-
균열(댐마루)	-	56	58	9	-
침식 및 침투	-	55	30	6	-
사면침식(하류)	-	47	184	10	-
침하 및 변형(상류)	-	47	101	4	-
침하 및 변형(하류)	-	44	73	0	-
사면보호 상태	-	40	0	1	-
사면불안정(하류)	-	32	102	7	-
사면불안정(댐마루)	-	18	46	1	-
침하	-	7	36	2	-
제체유실	-	7	4	0	-
사면침식(상류)	-	6	51	0	-
누수(하류)	-	4	16	1	-
동물의굴	-	1	2	0	-
차수벽 노후화	-	0	0	0	-
수평변위	-	0	0	0	-

□ C등급 제체의 주요 손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 침하 및 변형(상류) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 침하 및 변형(상류) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 사면침식(상류) 등이 다수 발생

Table 4.3 저수지 제체의 연관성 네트워크(C등급)

손상유형	a	b	c	d	e
식생	-	675	3468	1721	-
사면불안정 및 사면보호	-	310	2356	443	-
침하 및 변형(상류)	-	213	1551	61	-
침하 및 변형(하류)	-	154	830	82	-
사면침식(하류)	-	102	821	159	-
사면침식(상류)	-	167	569	163	-
사면불안정(하류)	-	40	494	140	-
사면불안정(댐마루)	-	87	459	95	-
균열(댐마루)	-	32	158	45	-
침하	-	17	123	0	-
침식 및 침투	-	6	120	10	-
누수(하류)	-	10	107	86	-
동물의굴	-	6	28	13	-
제체유실	-	30	16	1	-
누수(상류)	-	3	15	0	-
차수벽 노후화	-	0	6	1	-
부등침하	-	0	1	3	-



□ D등급 제체의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 식생, 균열(땀마루), 사면불안정 및 사면보호 등이 다수 발생
- c등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 침하 및 변형(상류) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 식생, 사면불안정 및 사면보호, 사면불안정(하류) 등이 다수 발생

Table 4.4 저수지 제체의 연관성 네트워크(D등급)

손상유형	a	b	c	d	e
식생	-	38	250	125	-
균열(땀마루)	-	18	39	4	-
사면불안정 및 사면보호	-	15	160	186	-
누수(하류)	-	10	29	38	-
사면불안정(하류)	-	5	129	69	-
사면침식(상류)	-	9	62	57	-
침하 및 변형(상류)	-	5	275	44	-
사면침식(하류)	-	0	49	37	-
침하 및 변형(하류)	-	0	64	30	-
사면불안정(땀마루)	-	0	34	15	-
침식 및 침투	-	8	21	4	-
제체유실	-	3	15	3	-
침하	-	0	11	3	-
사면보호 상태	-	0	4	0	-
동물의굴	-	0	2	0	-
차수벽 노후화	-	0	0	0	-
수평변위	-	0	0	0	-

## 2) 여수로

- 저수지 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 저수지의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 여수로 손상유형 및 손상등급 산정

Table 4.5 저수지의 손상정리(여수로)

기준에 의한 부재 및 손상			손상등급					
부재	세부부재	손상유형	a	b	c	d	e	
여수로	접근수로	콘크리트 라이닝 손상			0	0	0	
		불안정한 측벽 또는 라이닝			0	0	0	
		접근수로 상부의 자연사면 불안정			0	0	0	
		접근수로내 식생 및 잡물			0	0	0	
	조절부	에이프런 구조물의 손상 및 노후화				0	0	0
		피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화		0	0	0	0	
		월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화		0	0	0	0	
		수문가이드, 각각가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상				0	0	0
	급경사로	바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차				0	0	0
		바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상				0	0	0
		벽체의 손상 및 노후화				0	0	0
		횡방향 이음부의 손상				0	0	0
	감세공	플립버켓의 세굴				0	0	0
		플립버켓의 하류 또는 기초의 침식				0	0	0
		플립버켓의 이음부 손상				0	0	0
		정수지 바닥 및 측벽의 세굴				0	0	0

□ B등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 라이닝 손상(접근수로) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생

Table 4.6 저수지 여수로의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부)	-	329	403	32	-
벽체 손상 및 노후화(급경사로)	-	313	708	41	-
라이닝 손상(접근수로)	-	213	204	6	-
월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부)	-	134	225	19	-
불안정한 측벽 또는 라이닝(접근수로)	-	84	106	13	-
정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공)	-	77	104	3	-
식생 및 잡물(급경사로)	-	16	40	7	-
식생 및 잡물(접근수로)	-	13	27	4	-
식생 및 잡물(조절부)	-	10	12	-	-
에이프런 손상 및 노후화(조절부)	-	9	-	-	-
슬래브 부등침하, 들뜸, 단차(급경사로)	-	5	1	1	-
철근노출(조절부)	-	3	8	2	-
횡방향 이음부 손상(급경사로)	-	2	42	-	-
플립버켓 세굴(감세공)	-	2	-	-	-
공동화(조절부)	-	-	-	3	-
슬래브 콘크리트 균열 및 손상	-	-	-	-	-
플립버켓 하류 또는 기초 침식(감세공)	-	-	-	-	-
플립버켓 이음부 손상	-	-	-	-	-
상부 자연사면 불안정(접근수로)	-	-	-	-	-

□ C등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부), 월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생

Table 4.7 저수지 여수로의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
벽체 손상 및 노후화(급경사로)	-	383	1794	482	-
피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부)	-	269	1011	264	-
월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부)	-	128	565	170	-
불안정한 측벽 또는 라이닝(접근수로)	-	108	341	106	-
정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공)	-	70	473	132	-
라이닝 손상(접근수로)	-	54	332	95	-
식생 및 잡물(급경사로)	-	40	115	29	-
식생 및 잡물(접근수로)	-	20	95	53	-
식생 및 잡물(조절부)	-	18	65	13	-
철근노출(조절부)	-	8	39	12	-
에이프런 손상 및 노후화(조절부)	-	7	4	3	-
슬래브 부등침하, 들뜸, 단차(급경사로)	-	-	23	13	-
횡방향 이음부 손상(급경사로)	-	-	22	14	-
상부 자연사면 불안정(접근수로)	-	-	11	1	-
플립버킷 세굴(감세공)	-	-	9	12	-
공동화(조절부)	-	-	3	5	-
슬래브 콘크리트 균열 및 손상	-	-	-	-	-
플립버킷 하류 또는 기초 침식(감세공)	-	-	-	-	-
플립버킷 이음부 손상	-	-	-	-	-

□ D등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공), 피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 벽체 손상 및 노후화(급경사로), 불안정한 측벽 또는 라이닝(접근수로), 정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공) 등이 다수 발생

Table 4.8 저수지 여수로의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
벽체 손상 및 노후화(급경사로)	-	71	250	235	-
정수지 바닥 및 측벽 세굴(감세공)	-	36	75	76	-
피어와 벽체 손상 및 노후화(조절부)	-	18	141	109	-
월류부 웨어 손상 및 노후화(조절부)	-	16	58	56	-
불안정한 측벽 또는 라이닝(접근수로)	-	7	58	79	-
식생 및 잡물(접근수로)	-	6	24	35	-
식생 및 잡물(급경사로)	-	4	18	13	-
라이닝 손상(접근수로)	-	-	56	57	-
횡방향 이음부 손상(급경사로)	-	-	19	10	-
철근노출(조절부)	-	-	14	2	-
식생 및 잡물(조절부)	-	-	9	7	-
슬래브 부등침하, 들뜸, 단차(급경사로)	-	-	3	1	-
플립버켓 하류 또는 기초 침식(감세공)	-	-	2	1	-
상부 자연사면 불안정(접근수로)	-	-	-	-	-
에이프런 손상 및 노후화(조절부)	-	-	-	-	-
공동화(조절부)	-	-	-	-	-
슬래브 콘크리트 균열 및 손상	-	-	-	-	-
플립버켓 세굴(감세공)	-	-	-	-	-
플립버켓 이음부 손상	-	-	-	-	-

□ 성능저하 요인에 따른 분야별 가중치 도출

- 제체의 등급별 손상의 발생 비율을 산술평균하여 성능저하 요인의 가중치 산정

Table 4.9 저수지 제체의 성능저하 요인의 가중치

부재 등급	식생	사면 불안정 및 사면보호	침하 및 변형 (상류)	사면 불안정 (하류)	사면 침식 (하류)	침하 및 변형 (하류)	사면 침식 (상류)	사면 불안정 (댐마루)
B	53.1%	16.9%	4.1%	3.8%	6.5%	3.2%	1.5%	1.8%
C	36.7%	19.4%	11.4%	4.2%	6.8%	6.7%	5.6%	4.0%
D	22.1%	19.3%	17.3%	10.9%	4.6%	5.0%	6.8%	2.6%
가중치	37.3%	18.6%	11.0%	6.3%	6.0%	5.0%	4.7%	2.8%
부재 등급	균열 (댐마루)	누수 (하류)	침식 및 침투	침하	제체유실	사면보호 상태	동물의굴	누수 (상류)
B	3.3%	0.6%	2.5%	1.2%	0.3%	1.1%	0.1%	0.0%
C	1.5%	1.3%	0.9%	0.9%	0.3%	0.0%	0.3%	0.1%
D	3.3%	4.1%	1.8%	0.7%	1.1%	0.2%	0.1%	0.0%
가중치	2.7%	2.0%	1.7%	0.9%	0.6%	0.4%	0.2%	0.0%

가중치합계 100%

### 3) 취수시설

- 저수지 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 저수지의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 취수시설 손상유형 및 손상등급 산정

Table 4.10 저수지의 손상정리(취수시설)

기준에 의한 부재 및 손상			손상등급					
부재	세부부재	손상유형	a	b	c	d	e	
취수 시설	취수시설 및 방수로	취수탑 파손 및 변위 발생			○	○	○	
		취수량 감소 및 취수 곤란			○	○	○	
		제진 격자망의 부식 및 변형 손상			○	○	○	
		독과 사면의 침식			○	○	○	
	권양기	작동 상태(수문 및 권양기)				○	○	○
		와이어 로프 손상				○	○	○
		마찰부 손상 (시브, 감속기, 커플링)				○	○	○
	수문 및 문틀	문비(강재) 부식			○	○	○	○
		문비변형				○	○	○
		누수				○	○	○
		마찰부 손상(롤러 힌지)				○	○	○

□ B등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(조작실) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(조작실) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(스핀들) 등이 다수 발생

Table 4.11 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
취수탑 파손 및 변위	-	342	548	80	-
취수탑 파손 및 변위(폐통부)	-	13	88	9	-
취수탑 파손 및 변위(조작실)	-	6	9	-	-
격자망부식 및 변형	-	6	7	1	-
취수탑 파손 및 변위(권양기)	-	6	3	-	-
취수탑 파손 및 변위(스핀들)	-	5	6	4	-
취수량 감소 및 취수 곤란	-	2	20	1	-
취수탑 파손 및 변위(문비)	-	1	3	3	-
취수탑 파손 및 변위(통관)	-	-	3	2	-
취수탑 파손 및 변위(수문)	-	-	1	-	-
취수탑 파손 및 변위(사통)	-	-	-	-	-
독과 사면 침식	-	-	-	-	-
식생	-	-	-	-	-



□ C등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(조작실) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(통관) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위(통관) 등이 다수 발생

Table 4.12 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
취수탑 파손 및 변위	-	421	1559	507	-
취수탑 파손 및 변위(폐통부)	-	26	226	157	-
취수탑 파손 및 변위(조작실)	-	12	41	21	-
취수탑 파손 및 변위(권양기)	-	7	39	19	-
취수탑 파손 및 변위(스핀들)	-	2	40	26	-
취수량 감소 및 취수 곤란	-	2	34	11	-
취수탑 파손 및 변위(문비)	-	2	8	4	-
독과 사면 침식	-	1	-	-	-
취수탑 파손 및 변위(통관)	-	-	49	27	-
취수탑 파손 및 변위(수문)	-	-	5	3	-
식생	-	-	3	-	-
취수탑 파손 및 변위(사통)	-	-	-	-	-
격자망부식 및 변형	-	-	-	-	-

□ D등급 여수로의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위, 취수량 감소 및 취수 곤란 등이 다수 발생
- c등급 손상은 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(스핀들) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 취수탑 파손 및 변위(폐통부), 취수탑 파손 및 변위, 취수탑 파손 및 변위(스핀들) 등이 다수 발생

Table 4.13 저수지 취수시설의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
취수탑 파손 및 변위(폐통부)	-	11	47	124	-
취수탑 파손 및 변위	-	5	119	119	-
취수량 감소 및 취수 곤란	-	1	-	11	-
취수탑 파손 및 변위(스핀들)	-	-	19	19	-
취수탑 파손 및 변위(권양기)	-	-	12	9	-
취수탑 파손 및 변위(통관)	-	-	2	-	-
취수탑 파손 및 변위(문비)	-	-	1	3	-
취수탑 파손 및 변위(조작실)	-	-	1	1	-
취수탑 파손 및 변위(사통)	-	-	-	-	-
취수탑 파손 및 변위(수문)	-	-	-	-	-
격자망부식 및 변형	-	-	-	-	-
둑과 사면 침식	-	-	-	-	-
식생	-	-	-	-	-

#### 4.1.4 양·배수장의 연관성 네트워크

- 양·배수장은 점검진단 100개소의 실제 DB를 활용하여 토목구조물, 건축구조물, 기계시설, 전기시설로 부재를 분류하여 네트워크 작성

##### 1) 토목구조물

- 양·배수장 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 양·배수장의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 토목구조물의 손상유형 및 손상등급 산정

Table 4.14 양·배수장 손상정리(토목구조물)

기준에 의한 부재 및 손상		손상등급				
부재	손상유형	a	b	c	d	e
토목 구조물	침하 및 부상			○	○	○
	경사			○	○	○
	활동			○	○	○
	수처리 구조물 콘크리트 균열			○	○	○
	콘크리트 박리			○	○	○
	콘크리트 박락 및 층분리			○	○	○
	철근노출			○	○	○
	누수			○	○	○
	백태			○	○	○
	콘크리트 파손			○	○	○
신축이음 탈락 및 열화			○	○	○	

□ B등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 백태(건물기초(기계실)), 콘크리트 박리(건물기초(기계실)) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(토출수조), 누수(건물기초(기계실)) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 철근노출(토출수조), 콘크리트 균열(토출수조) 등이 다수 발생

Table 4.15 양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
콘크리트 균열(건물기초(기계실))	-	193	78	21	-
백태(건물기초(기계실))	-	61	13	-	-
콘크리트 박리(건물기초(기계실))	-	35	3	1	-
철근노출(건물기초(기계실))	-	24	10	2	-
백태(흡입수조)	-	19	2	2	-
콘크리트 균열(토출수조)	-	19	26	4	-
콘크리트 파손(건물기초(기계실))	-	15	13	4	-
콘크리트 박락 및 층분리(건물기초(기계실))	-	14	5	3	-
누수(흡입수조)	-	13	2	-	-
백태(토출수조)	-	13	14	2	-
콘크리트 균열(흡입수조)	-	12	12	1	-
누수(토출수조)	-	11	22	1	-
누수(건물기초(기계실))	-	9	29	3	-
콘크리트 파손(흡입수조)	-	8	9	-	-
콘크리트 박리(토출수조)	-	7	-	-	-
콘크리트 박락 및 층분리(흡입수조)	-	3	2	1	-
철근노출(흡입수조)	-	3	3	-	-
기초세굴(건물기초(기계실))	-	2	1	-	-
신축이음 탈락 및 열화(건물기초(기계실))	-	2	-	-	-
콘크리트 박락 및 층분리(토출수조)	-	2	7	2	-
콘크리트 파손(토출수조)	-	2	4	-	-
신축이음 탈락 및 열화(토출수조)	-	2	3	-	-
콘크리트 박리(흡입수조)	-	1	4	-	-
철근노출(토출수조)	-	1	6	5	-
신축이음 탈락 및 열화(흡입수조)	-	-	16	-	-
기초세굴(토출수조)	-	-	12	-	-
기초세굴(흡입수조)	-	-	11	-	-
활동(건물기초(기계실))	-	-	6	-	-
침하 및 부상(흡입수조)	-	-	6	-	-
침하 및 부상(건물기초(기계실))	-	-	2	-	-
경사(건물기초(기계실))	-	-	-	-	-
경사(흡입수조)	-	-	-	-	-
활동(흡입수조)	-	-	-	-	-
침하 및 부상(토출수조)	-	-	-	-	-
경사(토출수조)	-	-	-	-	-
활동(토출수조)	-	-	-	-	-

□ C등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(토출수조), 콘크리트 파손(토출수조) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(토출수조), 누수(건물기초(기계실)) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(토출수조), 기초세굴(흡입수조) 등이 다수 발생

Table 4.16 양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
콘크리트 균열(건물기초(기계실))	-	229	360	139	-
콘크리트 균열(토출수조)	-	67	105	94	-
콘크리트 파손(토출수조)	-	53	29	4	-
콘크리트 균열(흡입수조)	-	50	91	51	-
콘크리트 파손(건물기초(기계실))	-	43	45	32	-
백태(흡입수조)	-	39	54	28	-
백태(토출수조)	-	35	34	22	-
백태(건물기초(기계실))	-	33	49	29	-
콘크리트 파손(흡입수조)	-	21	37	10	-
콘크리트 박리(건물기초(기계실))	-	20	49	31	-
신축이음 탈락 및 열화(건물기초(기계실))	-	14	12	42	-
기초세굴(토출수조)	-	13	24	35	-
콘크리트 박락 및 층분리(건물기초(기계실))	-	12	65	54	-
누수(건물기초(기계실))	-	9	86	45	-
철근노출(건물기초(기계실))	-	6	27	44	-
콘크리트 박리(흡입수조)	-	5	34	9	-
콘크리트 박락 및 층분리(흡입수조)	-	5	38	38	-
철근노출(흡입수조)	-	5	54	41	-
신축이음 탈락 및 열화(흡입수조)	-	5	20	11	-
기초세굴(건물기초(기계실))	-	4	17	18	-
누수(흡입수조)	-	4	44	21	-
콘크리트 박락 및 층분리(토출수조)	-	3	28	24	-
철근노출(토출수조)	-	3	19	32	-
누수(토출수조)	-	3	51	46	-
신축이음 탈락 및 열화(토출수조)	-	2	16	16	-
침하 및 부상(건물기초(기계실))	-	1	16	9	-
기초세굴(흡입수조)	-	1	61	69	-
콘크리트 박리(토출수조)	-	1	29	22	-
경사(건물기초(기계실))	-	-	-	-	-
침하 및 부상(토출수조)	-	-	41	8	-
침하 및 부상(흡입수조)	-	-	14	7	-
활동(건물기초(기계실))	-	-	-	1	-
경사(흡입수조)	-	-	-	-	-
활동(흡입수조)	-	-	-	-	-
경사(토출수조)	-	-	-	-	-
활동(토출수조)	-	-	-	-	-

□ D등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(흡입수조), 콘크리트 박리(흡입수조) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 콘크리트 균열(건물기초(기계실)), 콘크리트 균열(흡입수조), 백태(토출수조) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 콘크리트 균열(흡입수조), 신축이음 탈락 및 열화(건물기초(기계실)), 철근노출(건물기초(기계실)) 등이 다수 발생

Table 4.17 양·배수장 토목구조물의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
콘크리트 균열(건물기초(기계실))	-	9	10	6	-
콘크리트 균열(흡입수조)	-	3	15	7	-
콘크리트 박리(흡입수조)	-	2	-	7	-
콘크리트 파손(건물기초(기계실))	-	1	-	1	-
철근노출(흡입수조)	-	1	2	3	-
누수(흡입수조)	-	1	2	3	-
백태(흡입수조)	-	1	4	2	-
콘크리트 파손(흡입수조)	-	1	-	-	-
백태(토출수조)	-	-	7	3	-
기초세굴(토출수조)	-	-	5	-	-
콘크리트 균열(토출수조)	-	-	5	4	-
기초세굴(흡입수조)	-	-	4	-	-
신축이음 탈락 및 열화(건물기초(기계실))	-	-	2	8	-
침하 및 부상(흡입수조)	-	-	2	-	-
콘크리트 파손(토출수조)	-	-	2	-	-
철근노출(건물기초(기계실))	-	-	1	8	-
콘크리트 박락 및 층분리(건물기초(기계실))	-	-	1	3	-
침하 및 부상(건물기초(기계실))	-	-	1	3	-
콘크리트 박락 및 층분리(흡입수조)	-	-	1	1	-
신축이음 탈락 및 열화(흡입수조)	-	-	1	1	-
콘크리트 박리(건물기초(기계실))	-	-	1	-	-
백태(건물기초(기계실))	-	-	1	-	-
기초세굴(건물기초(기계실))	-	-	-	5	-
누수(토출수조)	-	-	-	3	-
경사(건물기초(기계실))	-	-	-	2	-
누수(건물기초(기계실))	-	-	-	2	-
철근노출(토출수조)	-	-	-	1	-
경사(흡입수조)	-	-	-	-	-
활동(흡입수조)	-	-	-	-	-
침하 및 부상(토출수조)	-	-	-	-	-
경사(토출수조)	-	-	-	-	-
활동(토출수조)	-	-	-	-	-
활동(건물기초(기계실))	-	-	-	-	-
콘크리트 박리(토출수조)	-	-	-	-	-
콘크리트 박락 및 층분리(토출수조)	-	-	-	-	-
신축이음 탈락 및 열화(토출수조)	-	-	-	-	-

## 2) 건축구조물

양·배수장 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석

양·배수장의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 건축구조물의 손상유형 및 손상등급 산정

Table 4.18 양·배수장 손상정리(건축구조물)

기준에 의한 부재 및 손상		손상등급				
부재	손상유형	a	b	c	d	e
건축 구조물	콘크리트 강도			○	○	○
	콘크리트 균열			○	○	○
	철근배근상태			○	○	○
	콘크리트 누수 및 백태			○	○	○
	주요 부재 단면 규격			○	○	○
	강재 용접부결함			○	○	○
	강재 접합볼트 누락, 풀림 및 이완상태			○	○	○
	강재부식			○	○	○
	강재 용접접합부 부식			○	○	○
	볼트접합부 부식			○	○	○
	강재 내화피복			○	○	○

□ B등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 없음
- c등급 손상은 없음
- d등급 손상은 없음

Table 4.19 양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
균열(내력벽)	-	-	-	-	-
철근부식(내력벽)	-	-	-	-	-
철근탐지(내력벽)	-	-	-	-	-
시설노후(내력벽)	-	-	-	-	-
표면노후(내력벽)	-	-	-	-	-
접합상태(내력벽)	-	-	-	-	-
강재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
내화피복(내력벽)	-	-	-	-	-
변위변형(내력벽)	-	-	-	-	-
균열(기둥)	-	-	-	-	-
철근부식(기둥)	-	-	-	-	-
철근탐지(기둥)	-	-	-	-	-
시설노후(기둥)	-	-	-	-	-
표면노후(기둥)	-	-	-	-	-
접합상태(기둥)	-	-	-	-	-
강재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
접합재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
내화피복(기둥)	-	-	-	-	-
변위변형(기둥)	-	-	-	-	-
균열(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근부식(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근탐지(보(지붕))	-	-	-	-	-
시설노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
표면노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합상태(보(지붕))	-	-	-	-	-
강재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
내화피복(보(지붕))	-	-	-	-	-
변위변형(보(지붕))	-	-	-	-	-
균열(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근부식(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근탐지(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
시설노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
표면노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합상태(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
강재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
내화피복(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
변위변형(내·외부마감재)	-	-	-	-	-



□ C등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 표면노후(내력벽) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 시설노후(내력벽), 시설노후(기둥) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 시설노후(내력벽), 균열(내력벽), 시설노후(보(지붕)) 등이 다수 발생

Table 4.20 양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
표면노후(내력벽)	-	2	-	1	-
시설노후(내력벽)	-	-	1	2	-
시설노후(기둥)	-	-	1	-	-
균열(내력벽)	-	-	-	4	-
시설노후(보(지붕))	-	-	-	2	-
철근부식(내력벽)	-	-	-	-	-
철근탐지(내력벽)	-	-	-	-	-
접합상태(내력벽)	-	-	-	-	-
강재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
내화피복(내력벽)	-	-	-	-	-
변위변형(내력벽)	-	-	-	-	-
균열(기둥)	-	-	-	-	-
철근부식(기둥)	-	-	-	-	-
철근탐지(기둥)	-	-	-	-	-
표면노후(기둥)	-	-	-	-	-
접합상태(기둥)	-	-	-	-	-
강재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
접합재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
내화피복(기둥)	-	-	-	-	-
변위변형(기둥)	-	-	-	-	-
균열(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근부식(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근탐지(보(지붕))	-	-	-	-	-
표면노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합상태(보(지붕))	-	-	-	-	-
강재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
내화피복(보(지붕))	-	-	-	-	-
변위변형(보(지붕))	-	-	-	-	-
균열(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근부식(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근탐지(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
시설노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
표면노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합상태(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
강재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
내화피복(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
변위변형(내·외부마감재)	-	-	-	-	-

□ D등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 없음
- c등급 손상은 없음
- d등급 손상은 없음

Table 4.21 양·배수장 건축구조물의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
균열(내력벽)	-	-	-	-	-
철근부식(내력벽)	-	-	-	-	-
철근탐지(내력벽)	-	-	-	-	-
시설노후(내력벽)	-	-	-	-	-
표면노후(내력벽)	-	-	-	-	-
접합상태(내력벽)	-	-	-	-	-
강재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내력벽)	-	-	-	-	-
내화피복(내력벽)	-	-	-	-	-
변위변형(내력벽)	-	-	-	-	-
균열(기둥)	-	-	-	-	-
철근부식(기둥)	-	-	-	-	-
철근탐지(기둥)	-	-	-	-	-
시설노후(기둥)	-	-	-	-	-
표면노후(기둥)	-	-	-	-	-
접합상태(기둥)	-	-	-	-	-
강재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
접합재부식도(기둥)	-	-	-	-	-
내화피복(기둥)	-	-	-	-	-
변위변형(기둥)	-	-	-	-	-
균열(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근부식(보(지붕))	-	-	-	-	-
철근탐지(보(지붕))	-	-	-	-	-
시설노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
표면노후(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합상태(보(지붕))	-	-	-	-	-
강재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
접합재부식도(보(지붕))	-	-	-	-	-
내화피복(보(지붕))	-	-	-	-	-
변위변형(보(지붕))	-	-	-	-	-
균열(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근부식(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
철근탐지(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
시설노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
표면노후(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합상태(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
강재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
접합재부식도(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
내화피복(내·외부마감재)	-	-	-	-	-
변위변형(내·외부마감재)	-	-	-	-	-

### 3) 기계설비

- 양·배수장 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 양·배수장의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 기계설비의 손상유형 및 손상등급 산정

Table 4.22 양·배수장 손상정리(기계설비)

기준에 의한 부재 및 손상		손상등급				
부재	손상유형	a	b	c	d	e
기계설비	기계설비의 외관상태			○	○	○
	펌프의 균열 및 파손			○	○	○
	펌프베드 기초부			○	○	○
	벨브의 균열 및 파손			○	○	○
	배관의 누수상태			○	○	○
	배관의 관두께			○	○	○
	배관 변형			○	○	○
	배관 도장 및 부식			○	○	○
	와이어로프 상태			○	○	○
	수문의 부식			○	○	○
	수문의 변형			○	○	○
	수문의 와이어로프 및 랙바			○	○	○

□ B등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 변형상태(배관), 누수발생여부(배관), 도장 및 부식(배관) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 누수발생여부(배관), 누수발생여부(밸브) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 도막두께측정(배관) 등이 다수 발생

Table 4.23 양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
변형상태(배관)	-	5	-	-	-
누수발생여부(배관)	-	3	2	-	-
도장 및 부식(배관)	-	3	-	-	-
작동상태(펌프)	-	2	-	-	-
균열 및 파손(펌프)	-	2	-	-	-
도막두께측정(배관)	-	1	-	1	-
도장 및 부식(펌프)	-	1	-	-	-
작동상태(밸브)	-	1	-	-	-
균열 및 파손(밸브)	-	1	-	-	-
누수발생여부(밸브)	-	-	1	-	-
베드상태(펌프)	-	-	-	-	-
도장 및 부식(밸브)	-	-	-	-	-
철판두께측정(배관)	-	-	-	-	-
작동상태(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
와이어로프 상태(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
도장 및 부식(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
작동상태(제진기(스크린))	-	-	-	-	-
설치상태(변형여부)(제진기(스크린))	-	-	-	-	-
도장 및 부식(제진기(스크린))	-	-	-	-	-
부식상태(수문)	-	-	-	-	-
변형 및 누수(수문)	-	-	-	-	-
마찰부 손상상태(수문)	-	-	-	-	-
작동상태(수문)	-	-	-	-	-
와이어로프(랙바) 상태(수문)	-	-	-	-	-

□ C등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 도장 및 부식(배관), 변형상태(배관), 도장 및 부식(펌프) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 도장 및 부식(배관), 도장 및 부식(펌프), 부식상태(수문) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 도장 및 부식(배관), 도장 및 부식(제진기(스크린)), 누수발생여부(배관) 등이 다수 발생

Table 4.24 양·배수장 기계설비의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
도장 및 부식(배관)	-	28	16	9	-
변형상태(배관)	-	23	8	1	-
도장 및 부식(펌프)	-	10	13	1	-
도장 및 부식(밸브)	-	10	8	2	-
작동상태(펌프)	-	6	3	-	-
도장 및 부식(천정주행기중기)	-	5	3	-	-
설치상태(변형여부)(제진기(스크린))	-	4	-	-	-
누수발생여부(배관)	-	3	6	4	-
철관두께측정(배관)	-	3	-	-	-
변형 및 누수(수문)	-	3	3	1	-
베드상태(펌프)	-	2	5	-	-
누수발생여부(밸브)	-	2	4	4	-
마찰부 손상상태(수문)	-	2	3	-	-
작동상태(밸브)	-	1	7	2	-
균열 및 파손(펌프)	-	1	5	-	-
도장 및 부식(제진기(스크린))	-	1	-	5	-
작동상태(천정주행기중기)	-	1	-	-	-
부식상태(수문)	-	-	10	1	-
작동상태(수문)	-	-	4	-	-
작동상태(제진기(스크린))	-	-	1	-	-
균열 및 파손(밸브)	-	-	-	2	-
도막두께측정(배관)	-	-	-	-	-
와이어로프 상태(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
와이어로프(랙바) 상태(수문)	-	-	-	-	-

□ D등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 변형상태(배관), 도장 및 부식(배관), 작동상태(펌프) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 도장 및 부식(펌프), 베드상태(펌프), 작동상태(밸브) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 도장 및 부식(배관), 도장 및 부식(펌프), 도장 및 부식(밸브) 등이 다수 발생

Table 4.25 양 · 배수장 기계설비의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
변형상태(배관)	-	21	6	2	-
도장 및 부식(배관)	-	15	13	13	-
작동상태(펌프)	-	4	10	4	-
도장 및 부식(펌프)	-	4	16	10	-
도장 및 부식(밸브)	-	4	7	10	-
설치상태(변형여부)(제진기(스크린))	-	3	-	-	-
도막두께측정(배관)	-	2	-	1	-
도장 및 부식(천정주행기중기)	-	2	3	1	-
변형 및 누수(수문)	-	1	1	1	-
베드상태(펌프)	-	-	15	9	-
작동상태(밸브)	-	-	15	9	-
균열 및 파손(펌프)	-	-	13	1	-
균열 및 파손(밸브)	-	-	12	4	-
누수발생여부(밸브)	-	-	9	8	-
누수발생여부(배관)	-	-	8	3	-
작동상태(수문)	-	-	4	3	-
작동상태(천정주행기중기)	-	-	3	1	-
부식상태(수문)	-	-	1	2	-
도장 및 부식(제진기(스크린))	-	-	-	5	-
마찰부 손상상태(수문)	-	-	-	2	-
철관두께측정(배관)	-	-	-	-	-
와이어로프 상태(천정주행기중기)	-	-	-	-	-
작동상태(제진기(스크린))	-	-	-	-	-
와이어로프(랙바) 상태(수문)	-	-	-	-	-

#### 4) 전기설비

- 양·배수장 정밀안전진단 실무 세부요령의 상태평가 항목 및 기준 분석
- 양·배수장의 상태평가 항목 및 기준분석을 통한 전기설비에 손상유형 및 손상등급 산정

Table 4.26 양·배수장 손상정리(전기설비)

기준에 의한 부재 및 손상		손상등급				
부재	손상유형	a	b	c	d	e
전기설비	수변전설비의 외관상태			○	○	○
	배전설비의 외관상태			○	○	○
	동력설비의 외관상태			○	○	○
	배관배전설비의 외관상태			○	○	○
	조명설비의 외관상태			○	○	○
	조명설비의 조도			○	○	○

□ B등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 없음
- c등급 손상은 없음
- d등급 손상은 없음

Table 4.27 양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(B등급)

손상종류	a	b	c	d	e
작동상태(수변전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(수변전설비)	-	-	-	-	-
작동상태(배전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배전설비)	-	-	-	-	-
작동상태(동력설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(동력설비)	-	-	-	-	-
작동상태(배관배선설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배관배선설비)	-	-	-	-	-
작동상태(조명설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(조명설비)	-	-	-	-	-



□ C등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 작동상태(수변전설비), 작동상태(배전설비), 작동상태(동력설비) 등이 다수 발생
- c등급 손상은 작동상태(수변전설비), 작동상태(배전설비), 작동상태(조명설비) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 작동상태(수변전설비), 작동상태(수변전설비) 등이 다수 발생

Table 4.28 양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(C등급)

손상종류	a	b	c	d	e
작동상태(수변전설비)	-	4	2	1	-
작동상태(배전설비)	-	2	4	-	-
작동상태(동력설비)	-	2	-	-	-
작동상태(수변전설비)	-	-	1	1	-
손상 및 파손(수변전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(동력설비)	-	-	-	-	-
작동상태(배관배선설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배관배선설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(조명설비)	-	-	-	-	-

□ D등급의 주요손상 네트워크 작성

- b등급 손상은 없음
- c등급 손상은 손상 및 파손(수변전설비), 작동상태(동력설비), 작동상태(조명설비) 등이 다수 발생
- d등급 손상은 작동상태(동력설비), 작동상태(수변전설비), 작동상태(조명설비) 등이 다수 발생

Table 4.29 양·배수장 전기설비의 연관성 네트워크(D등급)

손상종류	a	b	c	d	e
손상 및 파손(수변전설비)	-	-	4	-	-
작동상태(동력설비)	-	-	3	3	-
작동상태(조명설비)	-	-	2	1	-
작동상태(수변전설비)	-	-	1	8	-
손상 및 파손(조명설비)	-	-	1	-	-
작동상태(배관배전설비)	-	-	-	2	-
작동상태(배전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배전설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(동력설비)	-	-	-	-	-
손상 및 파손(배관배전설비)	-	-	-	-	-

## 4.2 현황조사에 의한 성능저하 요인 도출

### 4.2.1 현장조사 계획수립 및 사전 조사

#### 1) 양·배수장 유지관리 비용 분석

- 본 연구에서는 전국에 분포하고 있는 양수장 834개소의 유지관리 비용을 기술 통계 분석함
- 양수장 유지관리는 토목, 기계, 전기, 건축 부분으로 구분할 수 있고, 각 항목에 대한 유지관리는 해당 시설의 운영에 필요한 우선순위에 따라 선택적으로 이루어짐
  - 총 834개소의 양수장의 데이터를 이용하여 각 분야별 유지관리 비용 자료를 히스토그램을 작성하여 살펴 본 결과 유지관리 비용이 없는 구간의 분야 수는 건축, 토목, 전기, 기계 순으로 많았음
  - 이를 토대로 양수장의 유지관리는 기계, 전기, 토목, 건축 부분의 순으로 이루어지는 것을 알 수 있었음
  - 모든 분야는 전체적으로 소액의 비용이 소요되는 상시적 유지관리뿐만 아니라 대규모 보수보강도 이루어지고 있음
  - 토목분야는 상대적으로 다른 분야보다 높은 금액의 유지관리비용이 집계되어 토목분야의 유지보수비용이 다른 분야에 비해 더 많이 들고 있었음

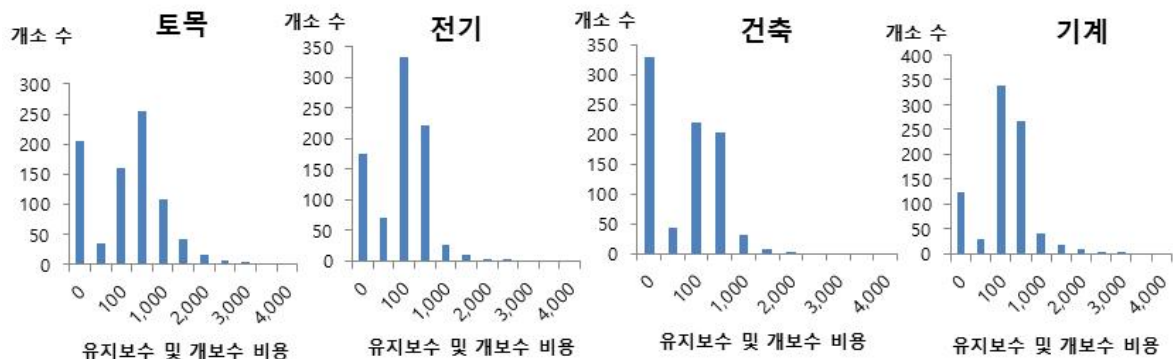


Fig. 4.4 분야별 유지관리비 분석 결과(금액단위: 백만원)

### 4.2.2 현장조사 결과

#### 1) 대상지구 일반현황

- 대상지구 일반현황은 대상지구에서 운영하고 있는 펌프의 수, 사용년수, 보수보강 사업

항목을 조사함

- 시설사용연수는 ① 10년 미만, ② 10년~15년, ③ 16년~20년, ④ 20년 이상으로 구분하였고, 보수보강 사업 항목은 ① 토목, ② 건축, ③ 기계, ④ 전기, ⑤ 부대시설 항목으로 조사함
- 시설 운영기간은 총 10개 시설 중 20년 이상이 4곳으로 가장 많았고, 16~20년 3곳, 10~15년 1곳, 10년 미만 2곳으로 분석됨
- 최근 보수보강 시기는 10년 미만이 6곳으로 나타났으며, 보수보강 사업 내용은 기계 분야가 가장 많은 곳으로 나타났음

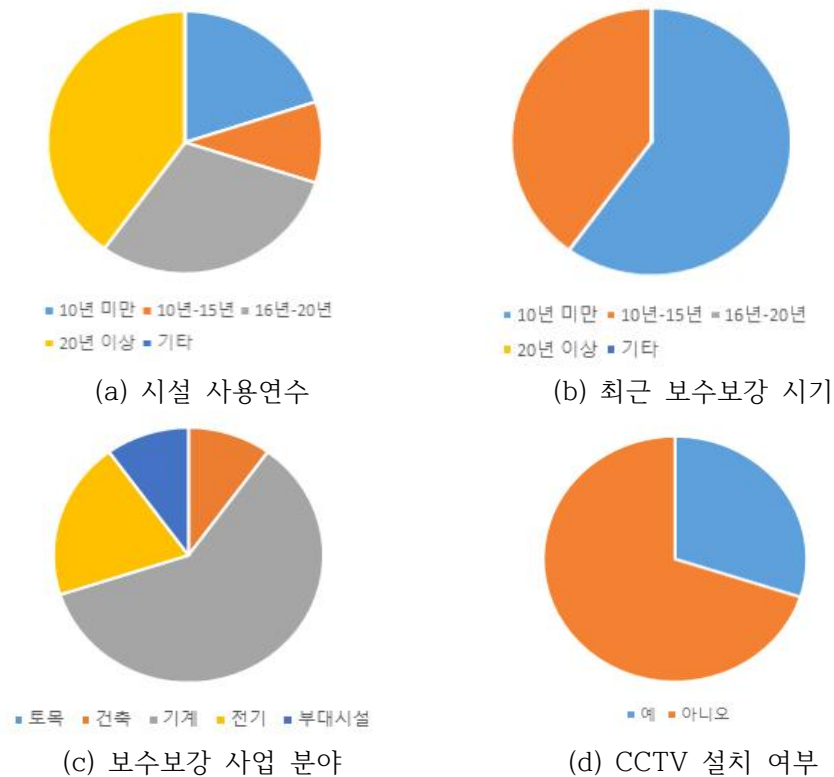


Fig. 4.5 대상시설물 일반현황 질의 결과

2) 대상지구 운영인원 및 운영방법

- 대상지구 운영인원과 운영방법은 ‘시설물 운영 및 관리 인력’과 ‘운영 주체’에 대한 질의를 통해 양·배수 시설의 관리 방법을 알아보았음
- 양·배수 시설은 공사에서 전담으로 맡아서 운영하는 직원이 4개소이고, 계절별 전문 고용 인력이 운영하는 지구도 4개소로 조사됨
- 공사직원이 관리지역 내 시설물을 일괄적으로 배분받아 운영하는 경우가 가장 많았음

- 계절고용인력과 공사담당직원이 나누어 시설을 운영하는 지구가 있어 복수응답 하도록 하였음
- 시설물 가동 시 공사에서 결정한 사항을 지시 받아 시설물 작동을 수행하는 곳이 1개소이고, 기상 현황 등 정보를 제공받아 담당자가 직접 의사 결정하여 시설물을 작동하고 일지 기록 내용을 보고하는 곳이 9개소로 조사되었음

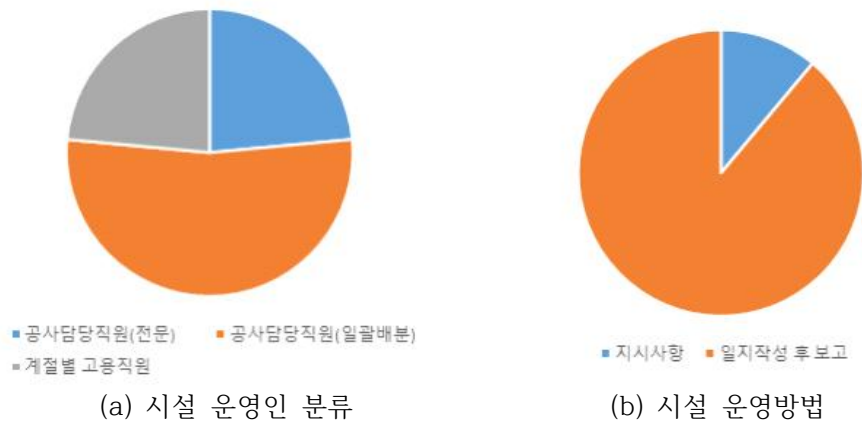


Fig. 4.6 대상시설물 운영인원 및 운영방법

### 3) 연간가동일수 및 시간

- 시설물의 연간가동일수 및 시간 자료는 연중 운영이 집중되는 시기, 1회 작동 시 연속으로 운영되는 시간, 주요 기능, 양수의 주요 목적 등으로 구분하였음
- 그 결과 총 10개의 조사지역 중 시설물의 주요 기능은 양수라고 응답한 경우가 9개소로 가장 많았고, 배수를 주로 시행하는 곳도 1개소가 있었음
- 상시 양수를 시행하는 곳과 용수 급수기에 맞춰 시설 운영이 집중되는 지구가 각 각 5개소로 나타났음
- 시설 운영 시 10시간~15시간 운영과 16~24시간 운영하는 곳이 각 각 4개소로 나타났고, 24시간 이상 운영하는 지구도 2개소가 있는 것으로 나타났음
- 양수한 용수의 주요 이용처는 농업용수가 가장 많고 생활용수 공급에 이용하는 지구도 1개소 있는 것으로 분석됨

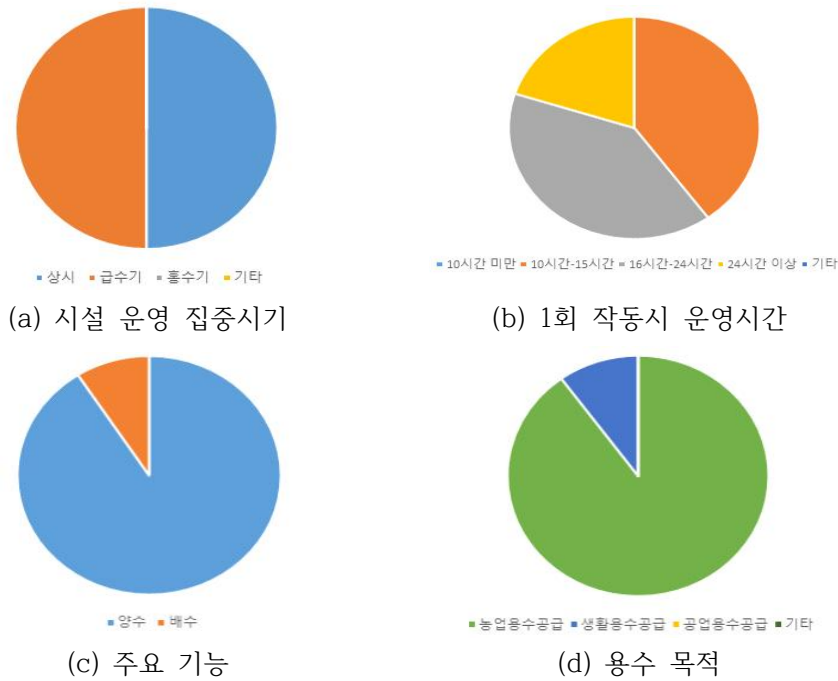


Fig. 4.7 대상시설물 연간가동일수 및 시간

#### 4) 유지관리 및 보수보강 현황

- 양·배수 시설물의 유지관리 및 보수보강 현황에 대한 내용을 조사
- 조사 결과 고장이 가장 많이 발생하는 분야는 펌프로 조사되었음
  - 펌프에 이물질 등이 들어가는 경우 고장이 자주 발생할 수 있는데, 본 설문에서 조사된 결과 이물질 침투로 인한 고장보다 시설 노후화로 인한 고장이 더욱 빈번한 것으로 나타났다
  - 또한 고장은 아니지만 평상 시 유지관리를 항상 수행하는 분야도 펌프로 나타났고, 이는 운영이 많은 곳일수록 유지관리 횟수도 잦은 것으로 나타났다
  - 제진기에 대한 유지관리도 상시 이루어지는 것으로 조사되었음
- 보수보강 비용 또한 펌프 비용이 가장 큰 것으로 조사되었고, 용배수로 유지관리에 소요되는 비용이 그 다음으로 나타났다

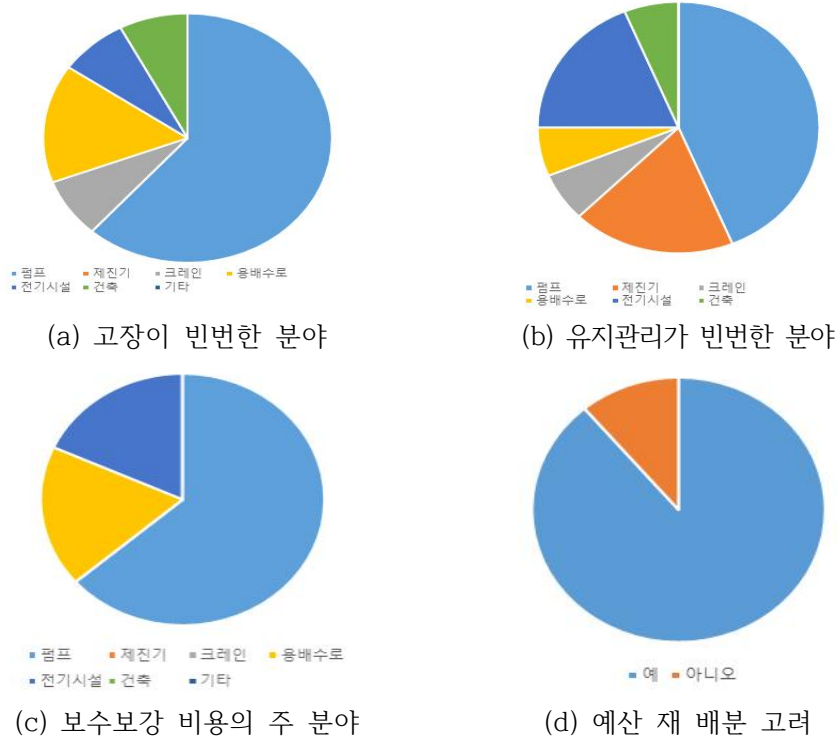


Fig. 4.8 대상시설물 유지관리 및 보수보강 현황

### 4.2.3 성능저하 요인 도출

- 기후변화가 시설물에 미치는 영향 등을 파악하기 위한 현장조사와 별도로 한국농어촌공사 관할 구역을 크게 3개 권역으로 구분하고 권역별 시설물 운영 실태를 조사하였음
- 북부권역, 중부권역, 남부권역으로 구분하고 총 25개 지구 현장조사 및 운영관리자와 미팅을 통한 문제점과 개선의견을 청취하였음
- 양수장 현장조사와 탐문조사를 통해 권역별 성능저하 요인을 도출

Table 4.30 권역별 조사 대상 지구

구분	북부권역	중부권역		남부권역			계
	평택지사	부여지사	금산·논산지사	의성·군위지사	군산지사	금강사업단	
1종	길음양수장	탑정양수장	군수2배수장	양서양수장	-	나포양수장 서포양수장	6
2종	좌교배수장 울북배수장	봉화양수장 원남양수장	마정양배수장 지토양수장 석우2배수장	-	성산양수장	-	8
3종	울북양수장 해창양수장	가야곡양수장 우기양수장	호암양수장	천동배수장 안계1양수장 비안1양수장 낙정양수장	구암양수장	동암양수장	11

Table 4.31 권역별 성능저하 요인

수도권	낙동강변	금강변	내륙부
<b>부유쓰레기 유입</b>	<b>모래 유입</b>	<b>퇴적토사 유입</b>	<b>높은 수두</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 잦은 기계 분해 조립</li> <li>· 와류 발생</li> <li>· 원활치 않는 유수 흐름</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 펌프 마모</li> <li>· 유입수로 준설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유입수로 토사퇴적, 단면 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 흡입수위 저하로 고양정 발생</li> </ul>

Table 4.32 성능저하 요인 분류

<b>기술적 측면</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 적정 설계기준의 주기적 갱신 미비</li> <li>· 표준화된 매뉴얼 부족</li> </ul>
<b>제도적 측면</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 근무여건 열악(소음, 철야, 외지, 민원), 시설관리 및 운영인력 감축, 낮은 보수</li> <li>· 부품단위 적기 교체 예로, 사후 보수 제도</li> </ul>
<b>사회적 측면 (공급자)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 잦은 인사 이동 : 수혜구역 급 · 배수 실정(체계)파악에 오랜 경험과 기간 필요</li> <li>· 전문기술자 은퇴 : 고압전기, 대형펌프 운전 기술 보유자 양성 어려움</li> </ul>
<b>사회적 측면 (수혜자)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 농어업인의 고령화, 영농패턴의 변화, 용수절약마인드 결여</li> <li>· 농어업인의 낮은 수리관행 답습, 홀려대기 등 영농방식의 변화</li> </ul>



## 5장 농업용 저수지의 이수안전도 평가기법 개발

### 5.1 농업용 저수지 이수안전도 평가기법 개발 개요

#### 5.1.1 평가기법 개발 배경

- 최근 기후변화의 영향으로 강우의 변동성이 심해지고, 고온 일수가 증가함에 따라 저수지의 용수공급 안정성이 감소
- 농업용 저수지는 이수 측면의 농업용수 공급과 더불어 치수 측면의 하천유지용수 공급, 홍수조절 등 농업용 저수지의 활용 목적이 확대되어 운영
- 국내 농업용 저수지는 약 17,000개로 국내 저수지 중 가장 큰 개소수를 차지하고 있으나 대부분의 저수지가 노후화되고, 수문 계측자료가 부족하여 이수 측면의 활용성과 관련된 연구가 부족한 실정
- 하지만 기후변화에 대응하여 안정적인 관개용수 확보 및 물 관리를 위해서는 이수 측면의 저수지 관리 방안 및 연구가 필요

#### 5.1.2 평가기법 개발 필요성

- 저수지 운영분석을 통한 저수지의 이수능력 판단을 위해서는 적합한 유입량 자료 확보방안 필요
  - 일반적으로 저수지의 운영 및 용수관리를 위해서는 저수지의 장기간 실측 유입량 자료를 활용한 분석이 실시되어야 함
  - 하지만 국내 대부분의 농업용 저수지는 수문 자료계측을 수행하지 않고 있으며, 최근 수문자료 관측을 수행하기 시작한 저수지의 실측자료는 자료의 기간이 짧아 활용에 어려움이 있음
  - 이러한 이유로 농업용 저수지의 유입량 추정을 위해 HOMWRS 모형의 유입량 산정 모듈인 DIROM 모형을 사용하고 있음
  - DIROM 모형은 매개변수에 따라 유입량 산정결과가 크게 달라지고 있으나 현재 적용되고 있는 매개변수는 개발 이후 30년 이상 사용되고 있음에 따라 새로운 매개변수 개발이 필요함
- 안정적인 용수공급 측면에서의 저수지의 운영 및 관리를 위한 농업용 저수지 이수능력 평가지표 필요
  - 국내 다목적댐들은 저수지의 용수공급 안정성 확보를 위해 이수안전도를 평가하여 저수지의 용수공급 계획을 수립함
  - 하지만 농업용 저수지는 이수안전도 평가와 관련된 방법론이 부족한 실정이며 이에 따라

이수안전도 평가가 이루어지지 않고 있음

- 최근 우리나라의 기후특성이 과거와는 달리 강우의 변동성과 기온이 증가함에 따라 저수지의 용수공급 안정성이 악화되고 있어 이수안전도 평가가 필요함
- 따라서 농업용 저수지의 이수안전도 평가 방법론을 확립하여 그에 따른 용수공급 안정성 확보방안을 모색하여 안정적인 관개용수 공급을 수행하여 농업생산성 확보가 필요함

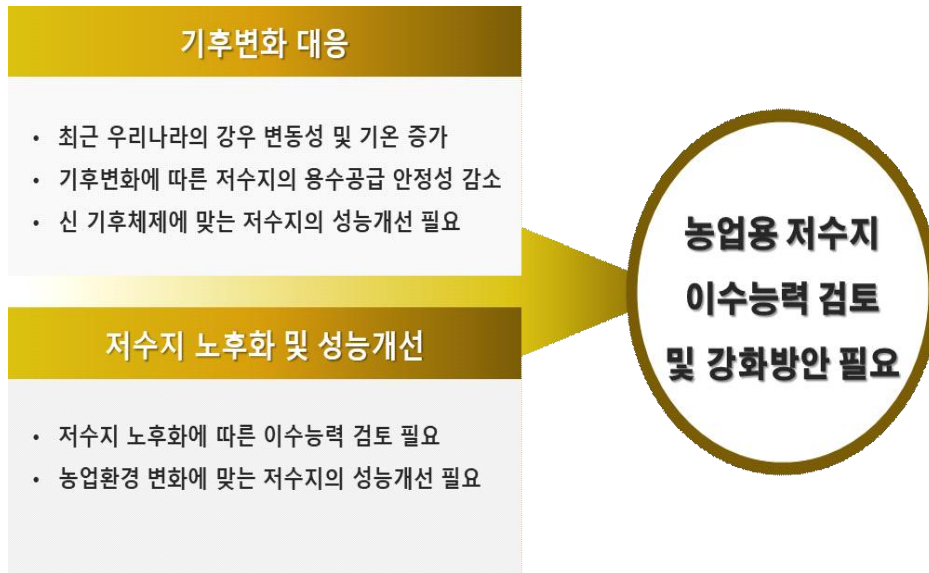


Fig. 5.1 이수안전도 평가기법 개발 배경 및 필요성

### 5.1.3 연구개발 목표

- 농업용 저수지의 이수안전도 평가 기법 개발

### 5.1.4 연구개발 내용

- 기존 장기유출모형의 적합도 개선
  - 현재 농업용 저수지의 유입량 산정을 위해 활용되는 DIROM 모형은 TANK 모형의 변형 형태(4단 TANK → 3단 TANK)로 각 TANK의 매개변수가 유출량 산정에 큰 영향을 미침
  - 본 연구에서는 DIROM 모형의 매개변수를 최적화하기 위하여 최근 수문자료 관측을 시작한 저수지들을 대상으로 대상 저수지를 선정하고, 실측자료를 활용한 매개변수 최적화를 수행
  - 매개변수 최적화를 위한 대상 저수지는 지역별 규모별로 선정하였으며, 최적화된 매개변수를 종속변수, 저수지 구역의 특성인자를 독립변수로 하는 회귀식을 개발 및 적용성을 검토

□ 농업용 저수지의 이수안전도 평가 기법 개발

- 일반적으로 저수지의 이수능력 평가를 위해 이수안전도를 활용하고 있으나 농업용 저수지의 이수안전도 평가를 위한 방법 및 관련 연구는 미비한 실정임
- 본 연구에서는 현재 가용한 자료를 검토하고, 이수안전도 평가에 활용할 수 있는 방안을 모색하여 농업용 저수지의 이수안전도를 평가할 수 있는 기법을 개발하고, 이를 실제 저수지에 적용하여 제시한 평가 방법의 적절성에 대한 검토 수행

### 5.1.5 활용방안 및 기대효과

□ 농업용 저수지 추정 유입량 정확도 개선

- 유입량 자료는 저수지의 용수관리 뿐만 아니라 치수, 환경적인 측면에서도 가장 필수적인 자료로 자료의 정확성 확보가 매우 중요
- 최근 우리나라의 기후특성이 변화함에 따라 강우-유출 관계의 특성도 변화하고 있어 실측 자료 기반의 매개변수 최적화를 통해 새로운 기후체제에 맞는 유입량 추정 모형 개선 가능
- 유입량 자료의 정확도 개선을 통해 각 저수지의 적합한 유입량 자료를 확보하여 용수공급 능력 분석에 정확성을 제고할 수 있음
- 유입량 자료 개선을 통해 안정적인 저수지 관리 방안을 확보할 수 있으며 나아가 국내 농업생산력 증대에도 기여 가능함

□ 농업용 저수지의 이수 성능평가 방법론 정립

- 현재까지 국내에서 수행되고 있지 않던 농업용 저수지의 이수 성능평가를 통해 효율적인 농업용수 관리 가능
- 기후변화를 고려한 이수 성능평가를 통해 향후 발생 가능한 농업용수 관리 및 물 부족 문제에 대해 선제적인 대응 가능
- 농업용수 관리 등 이수 측면에서의 효율적인 물 관리를 통해 농업용저수지 관리주체들의 물 관리 능력 강화를 위한 발판 마련 가능
- 신 기후체제에 적합한 저수지 관리능력 확보하여 가뭄(한발)에 대비한 농업용 저수지 관리기술 확립
- 저수지의 이수 성능평가를 통해 이수 능력이 부족한 저수지의 수혜지역 내 물 관리를 통한 농업 생산력 유지
- 이수 능력 부족 저수지에 대한 이수 능력 확보를 통해 효율적인 물 관리 및 농업 생산 피해 저감

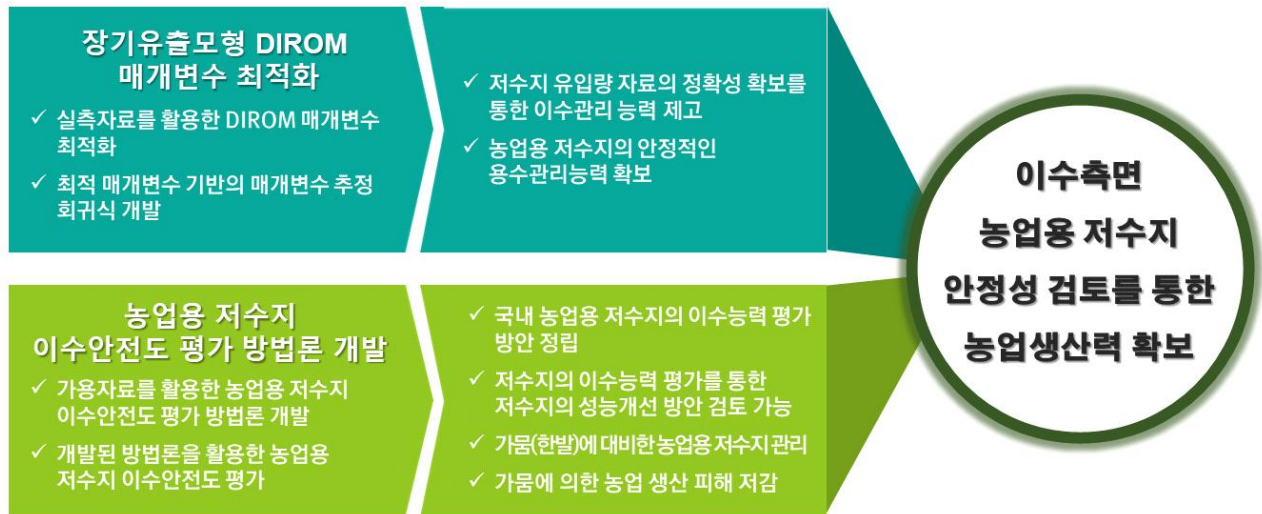


Fig. 5.2 이수안전도 평가기법 개발 내용 및 기대효과

## 5.2 장기유출모형의 적합도 개선

### 5.2.1 현황 및 문제점

#### 5.2.1.1 기존 장기유출모형

- 현재 실무에서 농업용 저수지 장기유출량 분석을 위해 사용하고 있는 해석프로그램인 HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System)를 검토함
  - HOMWRS 모형은 농업용 저수지 설계를 목적으로 개발되었으며, 저수지 모의조작, 단위용수량 산정, 유역 유입량 산정, 필요수량 산정 모듈로 구성되어 있음
  - 구성 모듈 중 유역 유입량 산정은 저수지의 장기유출모의를 위해 사용되는 모듈로 일단 위 유출모의를 위한 DIROM 모형과 순단위 유출모의 모형인 가지야마 모형 중 선택하여 사용가능함
  - 이 중 DIROM 모형은 1956년 개발된 Sugawara의 TANK 모형을 국내 농업용 저수지의 유역 특성에 맞게 수정한 모형으로 Sugawara가 제시한 4단 TANK 모형을 3단 TANK로 변형하여 직렬로 연결한 모형임
  - Fig. 5.1은 DIROM 모형의 개념도를 나타낸 것이며 1단 TANK는 유출성분 중 지표유출을 나타내고, 2단 및 3단 TANK는 각각 중간유출 및 기저유출을 나타냄
  - 1단 TANK의 유출공 수를 2개로 한 것은 홍수유출 시 오차를 1개일 때보다 감소시키기 위한 것이고, 3단 TANK의 유출공의 높이를 0으로 한 것은 무강우 시 초기 기저유출량을 표현하기 위한 것임
  - 각 탱크에서의 저류수심은 유출공의 높이보다 커야 하는데 만약 유출공의 높이가 저류수심 보다 낮으면 TANK에서 유출이 발생하지 않고 모두 침투되는 결과를 나타내게 됨

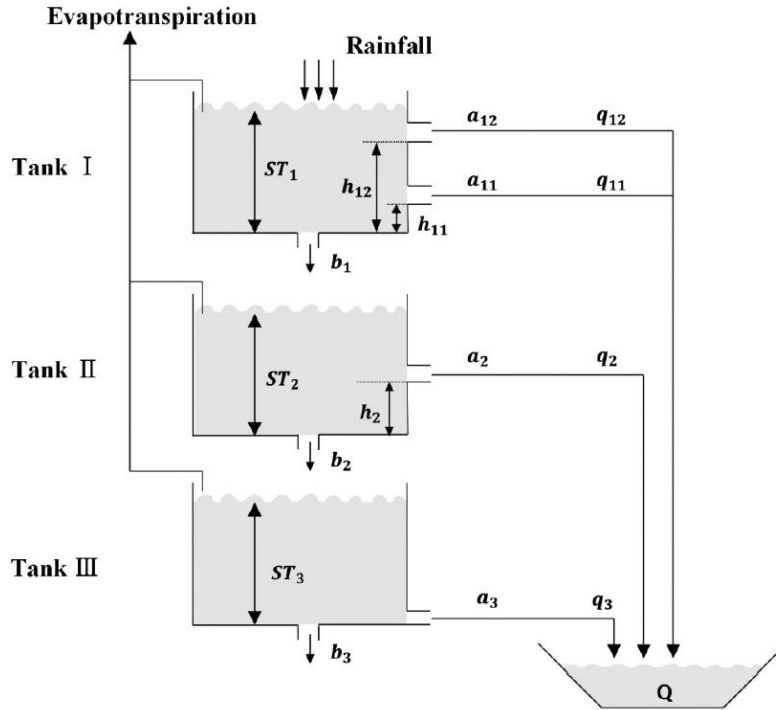


Fig. 5.3 DIROM 모형 개념도

□ DIROM 모형 유출량

- DIROM 모형의 유역 유출량은 일별 강우량으로부터 식(5-1)에 의하여 계산됨

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (5-1)$$

- 여기서,  $Q_{ij}$ 는  $t$ 일의 총유출량(mm),  $i$ 는 TANK의 수,  $j$ 는 TANK의 유출공 수,  $ST_i$ 는  $i$ 번째 TANK의 저류수심(mm),  $H_{ij}$ 는  $i$ 번째 TANK의 유출공의 높이(mm),  $A_{ij}$ 는  $i$ 번째 TANK의 유출공 계수(무차원)를 나타냄

- $ST_{i,t}$ 는 단위시간  $t$ 에 따른 저류수심으로 식(2-2)에 의하여 계산됨

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - E_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (5-2)$$

- 여기서,  $ST_{i,t-1}$ 은  $t-1$ 일의  $i$ 번째 TANK의 저류수심(mm),  $R_t$ 는  $t$ 일의 강우량(mm),  $E_t$ 는  $t$ 일의 증발량(mm),  $Q_{i,t-1}$ 는  $t-1$ 일의  $i$ 번째 TANK의 유출량(mm)을 나타냄

- $I_{i,t}$ 는  $i$ 단 TANK의 침투량(mm)으로 식(2-3)에 의하여 계산됨

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (5-3)$$

- 여기서,  $B_i$ 는  $i$ 번째 TANK의 침투공의 침투공 계수(무차원)를 나타냄

### 5.2.1.2 기존 장기유출모형의 문제점

- DIROM 모형은 각 TANK에서 유출 및 침투량 산정 시 매개변수에 큰 영향을 받으며, 현재 DIROM 모형은 매개변수 산정을 위해 각 저수지 구역의 구역면적, 밭 면적비율, 논 면적비율, 산림 면적비율에 의한 회귀식을 활용
  - DIROM 모형의 주요 매개변수는 각 TANK의 저류수심, 유출공 계수, 유출공의 높이, 침투공 계수 등이 있음
  - 각 매개변수는 구역면적, 토지이용별 면적비율(논, 밭, 산림 면적비율)을 독립변수로 하는 회귀식으로 산정가능함에 따라 미세측 구역에서도 쉽게 적용하여 장기유출모의가 가능함
  - Table 5.1은 현재 사용 중인 DIROM 모형의 매개변수 산정 회귀식임

Table 5.1 DIROM 모형 매개변수 산정 회귀식

구분	매개변수	내용	회귀식
1단 TANK	A11	유출공 계수	$-0.00414 * padd + 0.169$
	A12	유출공 계수	$-0.00175 * forst + 0.333$
	H11	유출공의 높이	5.00
	H12	유출공의 높이	$16.68 * \ln(area) + 24.2$
	B1	침투공 계수	$-0.07 * \ln(area) + 0.47$
	ST1	저류수심	0.00
2단 TANK	A21	유출공 계수	$-0.00657 * uplan + 0.163$
	H21	유출공 높이	$\exp(-0.0934 * uplan + 2.0904)$
	B2	침투공 계수	$0.00998 * padd + 0.111$
	ST2	저류수심	0.00
3단 TANK	A31	유출공 계수	$-0.000267 * uplan + 0.00912$
	H31	유출공 높이	0.00
	B3	침투공 계수	$-0.00618 * \ln(area) + 0.0351$
	ST3	저류수심	$43.686 * \ln(area) + 37.159$

※  $area$  : 구역면적,  $uplan$  : 밭 면적비율,  $padd$  : 논 면적비율,  $forst$  : 산림 면적비율

□ DIROM 모형 매개변수 산정 회귀식의 불확실성

- 현재 DIROM 모형에 적용되고 있는 매개변수는 김현영 등(1988)이 제시한 회귀식을 활용하여 산정되고 있음
- 이 회귀식을 적용할 경우 유역면적이 증가함에 따라 저수지 유입량이 과도하게 산정될 수 있으며, 경우에 따라 유입량이 음의 값으로 산정됨
- 이러한 문제는 위 회귀식의 개발을 위해 농업용 저수지의 실측 유입량이 아닌 개발 당시 수문관측을 수행하고 있던 타 기관의 12개 관측소의 강우-유출의 자료를 활용하여 일반화된 회귀식을 산정한 결과로 판단됨

□ DIROM 모형 개선방향

- 최근 일부 농업용 저수지에서 수문관측을 수행함에 따라 실측자료 기반의 정확도 높은 매개변수 추정이 가능할 것으로 예상됨
- 이를 위해 최근 수문자료 관측을 시작한 국내 농업용 저수지를 대상으로 유전자 알고리즘을 활용하여 DIROM 모형의 매개변수를 추정
- 추정된 유전자 알고리즘을 활용하여 유역특성을 독립변수, DIROM 매개변수를 종속변수로 하는 회귀식을 개발

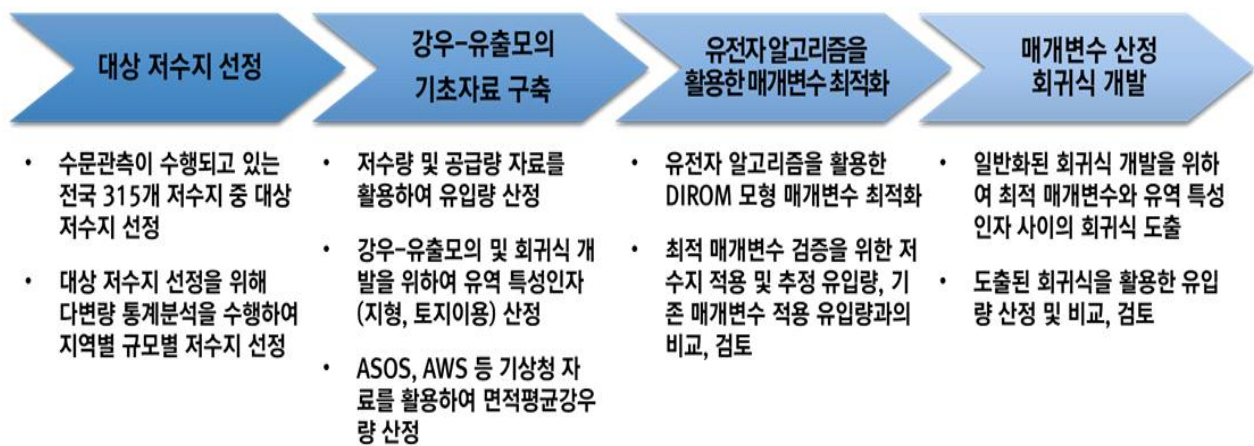


Fig. 5.4 DIROM 매개변수 최적화 연구개발 흐름

## 5.2.2 유전자 알고리즘을 이용한 매개변수 최적화

### 5.2.2.1 매개변수 최적화를 위한 대상 저수지 선정

- 본 연구에서는 일반화된 매개변수 산정 회귀식을 개발하기 위하여 지역별, 규모별 매개변수 최적화 대상 저수지를 선정하였음

- 대상 저수지 선정을 위해서는 주성분 분석, 군집분석 등 다변량 통계분석을 활용하였음
- 다변량 통계분석(Multivariate statistics analysis)이란 일반적으로 두 개 이상의 변수를 고려하여 자료를 분석하는 통계분석방법
  - 하나의 변수로 해석이 불가능한 복잡한 자료에 대한 분석에 적합하며, 주성분분석, 군집분석, 요인분석 등의 분석이 포함됨
- 주성분분석(Principal component analysis)
  - 주성분분석은 두 개 이상의 변수들 사이의 분산-공분산 관계를 이용하여 몇 개의 요인으로 분류하고 전체 변동의 대부분을 설명하고자 하는 다변량 분석기법임
  - 주성분분석을 수행함에 있어 변수들의 정보를 최대한 포함하고 있는 주성분을 도출하는 것이 중요
- 군집분석(Clustering analysis)
  - 군집분석은 여러 객체에 대해 일정한 속성에 따라 몇 개의 군집으로 분류하는 통계적 기법임
  - 군집분석은 객체들 사이의 거리 또는 유사성을 이용하여 같은 군집에서의 특성(유사성)과 다른 군집간의 상이성을 규명하고자 할 때 사용
- 대상 저수지 선정결과
  - 현재 수문자료 관측을 수행하고 있는 315개 농업용 저수지를 대상으로 유역면적, 수해면적, 유효저수용량, 2019년 용수공급량을 기준으로 다변량 통계분석 수행
  - 군집분석을 위해 315개 데이터를 활용하여 주성분분석 수행
  - 주성분분석을 위해서는 활용되는 데이터의 단위를 통일 시켜야하며 이를 위해 본 연구에서는 Z-Score 방법을 통해 변수를 정규화
  - 정규화된 데이터를 활용하여 주성분분석을 수행하여 인공변수를 산정하고 이를 활용하여 K-means 군집분석 수행
  - 군집분석 결과 총 2개의 군집으로 분류되었으며, 각 군집의 저수지 특성은 Table 5.2와 같음

Table 5.2 군집분석 결과(군집별 저수지 데이터 평균)

군집	개소수	유역면적 (ha)	수해면적 (ha)	유효저수량 (천 m <sup>3</sup> )	2019년 공급량 (천 m <sup>3</sup> )
1	230	781	232	1,664	1,944
2	85	3,455	1,266	10,061	11,539



- 본 연구에서는 군집분석을 통해 저수지의 규모를 2개 군집으로 분류하였으며 규모별, 지역별 저수지를 선정하기 위해 Table 5.3과 같이 지역별로 2 ~ 3개 저수지를 선정하여 총 34개 저수지를 매개변수 최적화 대상 저수지로 선정함

Table 5.3 지역별 군집별 저수지 선정 결과

지역	군집 1	군집 2
경기	고모, 만수	덕우, 기흥
강원	개운, 운남	도원, 잠곡
충북	중산, 대덕	궁, 용당
충남	정안, 방산	궁평, 옥산
전북	대산, 미륵, 용산	대화, 청호
전남	월곡, 강정	구성, 백용
경북	덕가, 대비	단산, 묘곡, 경천
경남	진례, 덕암	대가, 두량

### 5.2.2.2 대상 저수지 기초자료 구축

#### □ 농업용 저수지의 실측 유입량 산정

- 농업용 저수지에서 관측하고 있는 수문자료는 저수지의 저수량, 저수위, 저수지 수로부의 수위 등을 관측하고 있으며 수로부의 수위로부터 공급량 추정이 가능함
- 각 저수지의 제원과 저수량, 공급량 데이터를 활용하여 물수지 관계 기반으로 유입량 산정이 가능함

$$S_T = S_{T-1} + I_T - O_T \quad (5-4)$$

- 여기서,  $S_T$ 는  $T$ 시간의 저수지 저수량,  $S_{T-1}$ 은  $T-1$ 시간의 저수지 저수량,  $I_T$ 는  $T$ 시간의 저수지 유입량,  $O_T$ 는  $T$ 시간의 저수지 방류량(공급량)을 나타냄
- 산정된 유입량의 변동성을 줄이기 위하여 3~5일 이동평균을 활용하여 유입량을 보정하였으며 산정결과 유입량이 음수로 산정된 경우에는 '0'으로 치환하여 활용하였음

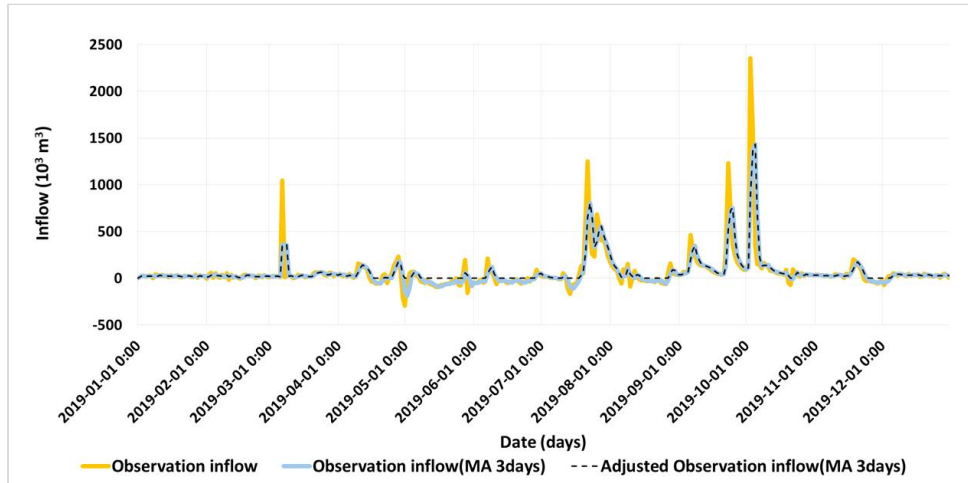


Fig. 5.5 경천저수지 실측 유입량

□ 유입량 추정 결과를 반영한 대상 저수지 제외

- 선정한 34개 농업용 저수지의 유입량 추정 및 검토 결과 아래와 같은 문제가 발생하는 저수지를 검토하였음
  - 무강우 시 유입량이 과다하게 산정되는 경우
  - 유입량과 강우량의 상관계수가 낮은 경우
  - 장기간 수문자료 결측이 있는 경우
- 위의 문제가 있는 저수지는 수문계측의 오류가 있는 것으로 판단하였으며, 유전자 알고리즘을 통한 정확도 높은 매개변수 추정 및 강우-유출모형에 적용이 어려움이 있을 것으로 예상됨에 따라 총 34개 대상 저수지 중 9개 저수지를 제외하였음 (Table 5.4)

Table 5.4 선정 제외 저수지 및 제외 사유

저수지	강우량과 유입량의 상관계수(CC)	제외사유
개운	-0.04	유입량 과다산정(1월 1일 ~ 5월 21일) 강우량과의 상관성이 낮음
운남	0.03	유입량 과다산정(1월 1일 ~ 3월 5일) 강우량과의 상관성이 낮음
용당	-0.12	유입량 과다산정(1월 1일 ~ 12월 31일)
청호	0.13	유입량 과다산정(1월 1일 ~ 12월 31일) 인공저수지
강정	0.21	저수량 결측(9월 8일 ~ 12월 5일)
구성	-0.01	유입량 과다산정(1월 1일 ~ 12월 31일) 강우량과의 상관성이 낮음
덕가	0.05	유입량 과다산정(3월 7일 ~ 7월 4일) 강우량과의 상관성이 낮음
단산	0.19	유입량 과다산정(3월 23일 ~ 10월 15일)
묘곡	0.00	강우량과의 상관성이 낮음

□ 대상 저수지 지형자료 구축

- 본 연구에서는 일반화된 매개변수 추정 회귀식 산정을 위하여 대상 저수지 유역의 지형특성과 토지이용 특성을 활용하고자 유역면적, 평균경사, 토지이용현황 등의 자료를 구축하였음
- 일반적으로 강우-유출관계에서 유출량에 큰 영향을 미치는 인자는 유역면적, 경사 등 유역의 지형특성과 침투량에 큰 영향을 미치는 토지이용 현황 등이 있음
  - 수치표고모델(DEM)과 토지피복도를 이용하여 상기 특성에 관한 정량적 결과를 산출하였음

Table 5.5 25개 대상 저수지의 유역특성인자

저수지	유역면적 (ha)	시가화 건조지역 (%)	논 (%)	밭 (%)	산림 (%)	수역 (%)	평균경사 (%)
고모	396	1.93	0.50	11.10	80.46	5.14	11.55
만수	378	10.52	11.55	17.10	25.85	2.66	3.34
덕우	2,270	9.76	17.12	5.94	59.59	4.86	8.43
기흥	5,297	20.74	8.17	5.70	48.88	3.74	6.93
도원	2,601	0.00	0.00	0.20	76.77	1.26	19.52
잠곡	1,970	0.26	2.62	2.10	93.30	0.00	18.65
중산	784	0.68	0.87	15.51	80.00	2.61	21.64
대덕	555	1.31	6.74	9.81	75.92	0.72	12.77
궁	1,244	0.84	5.40	7.78	83.10	2.61	13.58
정안	661	2.22	8.09	12.45	72.49	2.78	12.17
방산	689	0.72	7.76	4.68	82.16	3.99	13.51
궁평	4,336	11.62	11.19	8.00	65.99	2.72	12.54
옥산	1,696	3.01	20.75	8.96	60.77	4.11	9.37
대산	455	0.68	15.09	2.14	76.09	0.95	13.33
미륵	626	2.22	10.88	3.33	72.23	2.48	9.85
용산	921	0.54	5.27	1.99	85.07	4.04	18.03
대화	1,843	3.85	18.83	5.75	62.82	4.02	8.66
월곡	540	0.64	5.73	3.34	78.83	2.37	13.15
백용	2,708	1.44	7.22	7.90	79.28	2.13	15.01
대비	596	0.11	0.01	0.03	94.55	3.00	19.32
경천	9,152	1.68	4.78	7.21	83.35	1.71	17.30
진례	474	1.05	5.01	0.18	90.10	2.08	16.04
덕암	471	0.51	7.09	0.79	87.11	1.68	15.19
대가	1,954	2.57	20.11	5.11	64.80	4.22	10.75
두량	2,387	2.91	13.24	12.32	60.70	2.39	7.61

□ 대상 저수지의 강우량 구축

- 강우-유출모의시 종관기상관측소(ASOS)와 방재기상관측소(AWS)에서 관측된 자료를 활용하기 위하여 Thiessen 망을 구축하고, 해당 저수지 영역의 면적평균강우량을 산정하였음
  - 본 연구에서는 저수량·공급량 자료가 안정적으로 관측된 2019년 1월 1일부터 12월 31일까지 총 1년의 강우량 자료를 일 단위로 구축

Table 5.6 면적평균강우량 산정을 위한 저수지별 강우관측소 선정결과

저수지명	강우관측소
고모	광릉(AWS)
만수	공도(AWS), 안성(AWS)
덕우	화성(AWS), 오산(AWS), 수원(ASOS)
기흥	용인(AWS), 오산(AWS), 수원(ASOS)
도원	진부령(AWS), 미시령(AWS), 속초(ASOS)
잠곡	광덕산(AWS)
중산	수안보(AWS), 송계(AWS)
대덕	장호원(AWS), 노은(AWS)
궁	보은(ASOS)
정안	정안(AWS)
방산	송악(AWS)
궁평	송악(AWS)
옥산	춘장대(AWS), 서천(AWS), 양화(AWS), 보령(ASOS), 부여(ASOS)
대산	강진면(AWS), 순창(ASOS)
미륵	여산(AWS)
용산	내장산(AWS)
대화	모악산(AWS), 전주(ASOS)
월곡	유치(AWS)
백용	함평(AWS), 나주(AWS), 월야(AWS), 광산(AWS)
대비	청도금천(AWS)
경천	예천(AWS), 동로(AWS)
진례	진영(AWS), 북창원(ASOS)
덕암	신평(AWS), 의령군(ASOS)
대가	개천(AWS), 고성(AWS)
두량	사천(AWS), 진주(ASOS)

### 5.2.2.3 유전자 알고리즘을 활용한 DIROM 매개변수 최적화

#### □ 유전자 알고리즘

- 강우-유출 모형의 정확성 향상을 위해서는 모형 매개변수의 합리적 추정이 필요
- 수문모형의 매개변수 추정을 위해 다양한 공식을 통해 이론적으로 계산할 수 있으나, 유출모의 결과의 정확성을 보장하기는 어려움
- 최근에는 실측자료를 활용하여 유출모형의 최적 매개변수를 추정하는 연구들이 수행되고 있음
- 본 연구에서는 DIROM 모형의 최적 매개변수 추정을 위해 유전자 알고리즘을 활용
  - 유전자 알고리즘은 자연 선택의 과정을 모사하여 해를 찾아가는 알고리즘으로서 결과가 안 좋은 해는 진화 과정에서 도태되고, 더 나은 해를 나타내는 개체는 살아남는 유전학적 특성을 기반으로 하는 최적화 알고리즘임
  - 유전자 알고리즘은 최적해의 탐색에는 탁월한 성능을 발휘하지만 최적해 근처에 머물면서 최종 목표치로 수렴하는데 많은 시간이 소요되는 한계가 있음

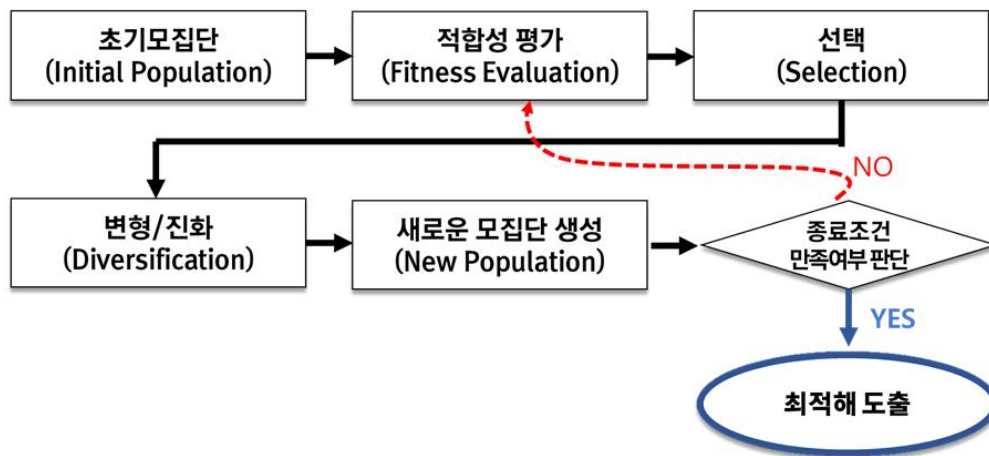


Fig. 5.6 유전자 알고리즘 개념

#### 1) 유전자 알고리즘 모형 구축 및 매개변수 최적화 결과

##### □ DIROM 모형 매개변수 범위 및 초기치 결정

- DIROM 모형의 매개변수는 1단 TANK와 2단 TANK의 저류수심(ST1, ST2)과 3단 TANK의 유출공의 높이(H31)를 제외하고 총 11개임
- 유전자 알고리즘을 활용하여 최적화된 매개변수를 추정하기 위해서는 각 매개변수의 범위와 초기치가 필요함
  - 각 매개변수의 최대와 최소의 범위는 정종호 (2020) 등의 관련 선행연구들을 참고하여 결정하였음 (Table 5.7)

- 모형의 매개변수 초기치를 결정할 때는 모형의 매개변수가 가지는 물리적 의미를 이해하고 매개변수의 물리적 허용범위 내에서 적절하게 결정하여야 함
- 저수지별 매개변수 초기치는 기존 DIROM 모형에 적용되고 있는 매개변수 산정 회귀식을 이용하여 결정함 (Table 5.8)

Table 5.7 DIROM 모형 매개변수 범위

	A11	A12	A21	A31	H11	H12	H21	B1	B2	B3	ST3
min	0	0	0.03	0.005	5	5	0	0	0.01	0.005	10
max	0.5	0.5	0.1	0.1	60	60	50	0.5	0.1	0.1	400

Table 5.8 저수지별 DIROM 모형 매개변수 초기값

저수지	A11	A12	A21	A31	H11	H12	H21	B1	B2	B3	ST3
고모	0.167	0.192	0.236	0.006	5.000	47.166	2.869	0.374	0.116	0.027	97.308
만수	0.121	0.288	0.275	0.005	5.000	46.367	1.638	0.377	0.226	0.027	95.215
덕우	0.098	0.229	0.202	0.008	5.000	76.282	4.642	0.251	0.282	0.016	173.566
기흥	0.135	0.248	0.201	0.008	5.000	90.415	4.748	0.192	0.193	0.011	210.580
도원	0.169	0.199	0.164	0.009	5.000	78.553	7.938	0.242	0.111	0.015	179.514
잠곡	0.158	0.170	0.177	0.009	5.000	73.913	6.647	0.261	0.137	0.017	167.360
중산	0.165	0.193	0.265	0.005	5.000	58.541	1.900	0.326	0.120	0.022	127.101
대덕	0.141	0.200	0.228	0.007	5.000	52.788	3.235	0.350	0.178	0.025	112.033
궁	0.147	0.188	0.214	0.007	5.000	66.244	3.912	0.294	0.165	0.020	147.274
경안	0.136	0.206	0.245	0.006	5.000	55.704	2.529	0.338	0.192	0.023	119.671
방산	0.137	0.189	0.194	0.008	5.000	56.394	5.223	0.335	0.189	0.023	121.477
궁평	0.123	0.218	0.216	0.007	5.000	87.077	3.833	0.206	0.223	0.012	201.837
옥산	0.083	0.227	0.222	0.007	5.000	71.418	3.503	0.272	0.318	0.018	160.825
대산	0.107	0.200	0.177	0.009	5.000	49.455	6.623	0.364	0.262	0.026	103.302
미륵	0.124	0.207	0.185	0.008	5.000	54.795	5.928	0.342	0.220	0.024	117.289
용산	0.147	0.184	0.176	0.009	5.000	61.235	6.716	0.315	0.164	0.021	134.155
대화	0.091	0.223	0.201	0.008	5.000	72.802	4.727	0.266	0.299	0.017	164.450
월곡	0.145	0.195	0.185	0.008	5.000	52.328	5.920	0.352	0.168	0.025	110.827
백용	0.139	0.194	0.215	0.007	5.000	79.225	3.867	0.239	0.183	0.015	181.272
대비	0.169	0.168	0.163	0.009	5.000	53.982	8.063	0.345	0.111	0.024	115.160
경천	0.149	0.187	0.210	0.007	5.000	99.536	4.125	0.154	0.159	0.007	234.469
진례	0.148	0.175	0.164	0.009	5.000	50.137	7.953	0.361	0.161	0.026	105.091
덕암	0.140	0.181	0.168	0.009	5.000	50.056	7.515	0.362	0.182	0.026	104.876
대가	0.086	0.220	0.197	0.008	5.000	73.782	5.019	0.262	0.312	0.017	167.017
두량	0.114	0.227	0.244	0.006	5.000	77.117	2.560	0.248	0.243	0.016	175.753

□ DIROM 모형 매개변수 최적화

- 각 대상 저수지에 대하여 초기값을 이용하여 유전자 알고리즘으로 매개변수 최적화를 수행함
- 매개변수 최적화를 위해 본 연구의 유전자 알고리즘 모형에서는 실측 유입량과 모의 유입량의 평균제곱근오차(RMSE)를 최소화하는 목적함수를 이용함

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Opt\ Runoff_i - Obs\ Runoff_i)^2}{N}} \quad (5-5)$$

- 여기서,

RMSE는 평균제곱근오차,  $Opt\ Runoff_i$ 는 최적화된 유출량,  $Obs\ Runoff_i$ 는 관측 유입량,  $N$ 은 전체 자료의 개수를 의미함

- 최적화를 위한 대상 기간은 저수량 및 공급량 자료의 안정성을 고려하여 2019년 1월 1일부터 2019년 12월 31일까지 총 1개년이며, 당시의 강우량 및 실측 유입량 자료를 활용하여 매개변수 최적화를 수행
- 총 25개 대상 저수지의 DIROM 매개변수 최적화 결과는 Table 5.9와 같음

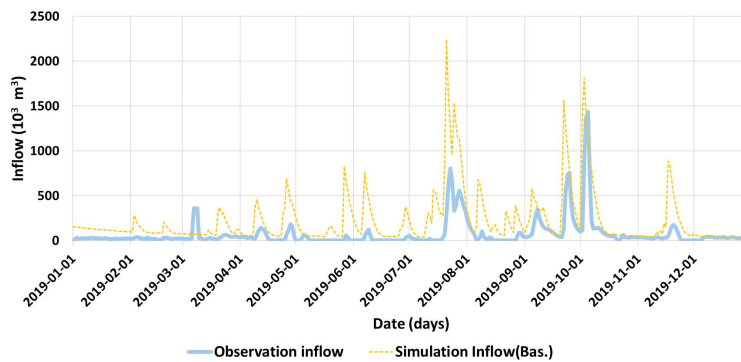
Table 5.9 저수지별 DIROM 모형 최적 매개변수

저수지	A11	A12	A21	A31	H11	H12	H21	B1	B2	B3	ST3
고모	0.035	0.050	0.096	0.014	9.630	14.051	41.244	0.192	0.100	0.051	38.527
만수	0.066	0.035	0.091	0.009	5.283	13.461	31.444	0.195	0.087	0.049	112.116
덕우	0.042	0.036	0.043	0.012	5.167	8.893	36.788	0.203	0.092	0.062	38.964
기흥	0.039	0.023	0.048	0.014	34.263	59.853	0.010	0.319	0.086	0.088	17.805
도원	0.004	0.011	0.043	0.006	33.948	59.970	49.847	0.491	0.097	0.098	105.342
잠곡	0.030	0.078	0.096	0.011	48.250	54.937	43.642	0.090	0.081	0.052	21.252
중산	0.025	0.014	0.033	0.010	5.250	59.579	49.899	0.184	0.100	0.058	45.940
대덕	0.347	0.043	0.047	0.034	52.138	58.294	48.227	0.241	0.046	0.062	18.855
궁	0.013	0.011	0.091	0.034	59.691	59.961	0.129	0.416	0.086	0.011	22.264
정안	0.005	0.057	0.031	0.034	7.877	16.244	0.075	0.151	0.016	0.006	23.835
방산	0.003	0.004	0.040	0.007	5.043	18.001	48.082	0.429	0.088	0.062	20.040
궁평	0.007	0.007	0.088	0.041	53.775	59.964	44.528	0.403	0.093	0.089	10.103
옥산	0.002	0.011	0.056	0.016	56.959	59.910	49.716	0.481	0.099	0.057	27.373
대산	0.024	0.036	0.098	0.019	5.047	5.243	48.094	0.243	0.096	0.098	10.022
미륵	0.003	0.025	0.088	0.014	59.507	59.794	29.900	0.332	0.099	0.037	27.441
용산	0.027	0.036	0.062	0.006	5.032	8.504	45.515	0.266	0.096	0.056	107.643
대화	0.016	0.110	0.099	0.011	10.768	60.000	40.751	0.074	0.100	0.019	32.472
월곡	0.005	0.019	0.031	0.010	17.185	20.338	5.942	0.218	0.100	0.053	71.793
백용	0.046	0.010	0.038	0.006	5.359	5.546	40.918	0.289	0.094	0.097	87.405
대비	0.038	0.261	0.095	0.010	21.495	36.500	0.026	0.002	0.027	0.006	399.988
경천	0.002	0.002	0.099	0.007	59.165	59.568	33.957	0.455	0.098	0.075	112.293
진례	0.059	0.064	0.037	0.006	35.930	51.990	12.933	0.129	0.097	0.056	28.047
덕암	0.073	0.033	0.031	0.009	5.266	12.374	0.063	0.164	0.087	0.039	37.250
대가	0.010	0.009	0.031	0.009	7.473	30.120	6.002	0.481	0.100	0.081	11.251
두량	0.036	0.019	0.040	0.007	5.045	14.403	49.993	0.217	0.086	0.075	33.568

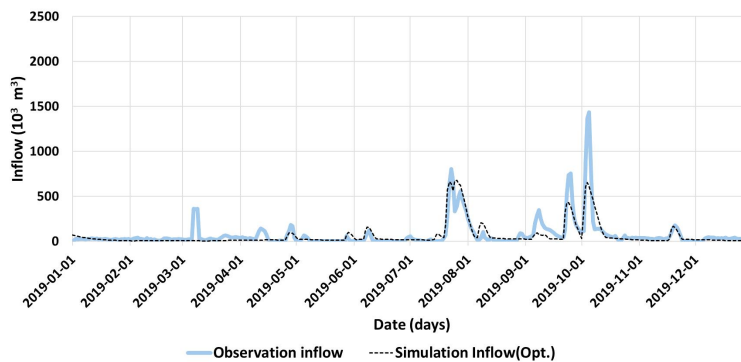
## 2) 최적 매개변수의 적합성 검토

□ 실측 유입량과 최적화된 매개변수 적용 모의 유입량 비교

- 추정된 매개변수의 적합성을 판단하기 위해 실측자료와 최적 매개변수가 적용된 DIROM 모형의 유출결과를 비교함
- 또한 기존 매개변수가 반영된 DIROM 모형의 결과를 추가적으로 비교하여 DIROM 모형의 정확성 개선 정도를 판단하고자 함
- Fig. 5.9 경천저수지의 2019년 실측 유입량과 기존 매개변수를 적용하였을 때의 모의 유입량 및 2019년 실측 유입량과 최적화된 매개변수를 적용하였을 때의 모의 유입량을 나타냄



(a) 기존 매개변수 적용 결과



(b) 최적 매개변수 적용 결과

Fig. 5.7 경천저수지 유출모의 결과



- 실측유입량과 저수지별 기존 매개변수 및 최적화된 매개변수를 적용한 모의 유입량의 연 총 유입량을 비교 (Table 5.10)

Table 5.10 저수지별 DIROM과 최적화방법간의 연 총 유입량( $10^3 m^3$ ) 비교

저수지	실측 유입량	기존 매개변수	최적화 매개변수
고모	1,244.8	2,394.0	1,302.8
만수	939.9	2,116.1	1,332.4
덕우	4,091.9	10,377.6	5,494.3
기흥	35,023.2	39,105.9	22,176.1
도원	6,920.6	39,047.2	9,473.4
잠곡	7,708.2	12,675.2	7,048.7
중산	2,216.0	4,830.0	1,449.3
대덕	1,947.7	2,320.7	1,424.1
궁	6,654.8	8,454.2	9,922.5
정안	7,029.4	4,546.9	5,715.2
방산	1,543.2	3,828.5	938.8
궁평	15,039.0	27,988.7	14,248.9
옥산	5,046.3	8,530.5	3,520.0
대산	1,889.8	3,006.6	1,855.4
미륵	1,553.7	3,000.4	1,855.8
용산	5,123.2	7,470.6	3,215.2
대화	5,923.4	10,486.5	8,210.9
월곡	2,441.7	5,938.0	3,073.5
백용	5,482.7	23,925.9	7,181.8
대비	3,723.5	4,585.8	7,283.6
경천	26,759.2	82,210.7	22,814.2
진례	3,054.0	5,105.8	3,055.3
덕암	1,420.7	3,724.2	3,300.3
대가	8,264.4	18,251.9	8,019.3
두량	8,905.4	25,386.4	10,094.2

□ 저수지별 기존 매개변수 및 최적화된 매개변수를 적용한 모의 유입량의 연 총 유입량과 실측 유입량의 차이를 비교 (Table 5.11)

Table 5.11 저수지별 DIROM과 최적화방법간의 연 총 유입량( $10^3 m^3$ ) 차이 비교

저수지	기존 매개변수	최적화 매개변수
고모	1,149.2	58.0
만수	1,176.2	392.5
덕우	6,285.7	1,402.4
기흥	4,082.7	<u><math>\Delta 12,847.1</math></u>
도원	32,126.6	2,552.8
잠곡	4,967.0	<u><math>\Delta 659.5</math></u>
중산	2,614.0	<u><math>\Delta 766.7</math></u>
대덕	373.0	<u><math>\Delta 523.6</math></u>
궁	1,799.4	3,267.7
정안	<u><math>\Delta 2,482.5</math></u>	<u><math>\Delta 1,314.2</math></u>
방산	2,285.3	<u><math>\Delta 604.4</math></u>
궁평	12,949.7	<u><math>\Delta 790.1</math></u>
옥산	3,484.2	<u><math>\Delta 1,526.3</math></u>
대산	1,116.8	<u><math>\Delta 34.4</math></u>
미륵	1,446.7	302.1
용산	2,347.4	<u><math>\Delta 1,908.0</math></u>
대화	4,563.1	2,287.5
월곡	3,496.3	631.8
백용	18,443.2	1,699.1
대비	862.3	3,560.1
경천	55,451.5	<u><math>\Delta 3,945.0</math></u>
진례	2,051.8	1.3
덕암	2,303.5	1,879.6
대가	9,987.5	<u><math>\Delta 245.1</math></u>
두량	16,481.0	1,188.8

Table 5.12 저수지별 상관계수(CC) 및 평균제곱근오차(RMSE) 비교

저수지	기존 매개변수		최적화 매개변수	
	CC	RMSE	CC	RMSE
고모	0.71	12.69	0.85	4.39
만수	0.63	10.08	0.70	4.64
덕우	0.80	39.51	0.81	15.91
기흥	0.33	203.50	0.43	153.38
도원	0.48	189.42	0.42	55.33
잠곡	0.78	52.28	0.90	25.82
중산	0.41	26.68	0.50	9.50
대덕	0.31	11.08	0.61	5.24
궁	0.54	31.88	0.73	19.24
정안	0.56	19.17	0.74	10.39
방산	0.46	21.73	0.59	5.44
궁평	0.64	110.55	0.88	28.24
옥산	0.35	37.61	0.44	18.64
대산	0.42	15.99	0.53	11.31
미륵	0.55	12.69	0.88	3.28
용산	0.57	33.42	0.61	22.18
대화	0.63	35.39	0.69	22.32
월곡	0.34	32.15	0.47	10.24
백용	0.60	101.31	0.57	34.29
대비	0.51	28.91	0.57	33.49
경천	0.68	273.13	0.82	92.80
진례	0.59	28.02	0.69	18.05
덕암	0.32	26.19	0.38	15.44
대가	0.36	113.17	0.42	51.43
두량	0.68	121.85	0.72	34.79
<b>Mean</b>	0.53	63.54	0.64	28.23
<b>Std. Deviation</b>	0.15	69.49	0.16	32.89

Table 5.13 DIROM과 최적화 매개변수 방법간 유입량 차이의 분포특성

구분	기존 매개변수	최적화 매개변수
Function (Optimized by Bootstrap & AD Statistic)	Loglogistic	Laplace
Parameter	$\gamma = -3112.4$ $\beta = 6817.5$ $\alpha = 2.2517$	$\mu = 1.3$ $\sigma = 2510.897$
Mean	6548.025	1.3
Mode	1349.282	1.3
Median	3705.157	1.3
Std. Deviation	16843.025	2510.896582

□ Table 5.11의 기존 매개변수 즉, DIROM 모형과 최적화 매개변수 방법간 유입량차이의 분포특성을 통계적으로 검토하였음 (Table 5.13)

- DIROM 모형을 사용할 경우 총 25개 저수지 중 단 1개소인 정안 저수지만이 실측 유입량 보다 모의 유입량이 작게 나왔음
- DIROM은 실제 유입량 대비 모의 유입량이 연평균 약  $6,548 \times 10^3 m^3$ 을 과산정하고 있음
- 이에 반해 최적화 매개변수를 통한 방법은 연평균 실측 유입량과 모의 유입량의 차이 평균이  $1.3 \times 10^3 m^3$ 으로 DIROM 대비 작은 편차를 보였음
- 또한 최적화 매개변수는 DIROM에서처럼 일관된 모의 유입량 과산정 현상이 나타나지 않았으며, 상관계수와 평균제곱근오차 결과에서도 모형의 적합도 개선을 보였음
  - ➡ 25개 저수지 분석결과 DIROM 모형은 대부분의 경우 실제 대비 저수지 모의 유입량을 크게 산정하고 있음
  - ➡ 저수지 설계를 목적으로 사용하고 있는 DIROM은 실제보다 모의유입량을 크게 산정함으로써 저수지 물그릇을 필요 용량보다 작게 계획할 가능성이 있음
  - ➡ 이는 실제 저수지 운영시 이수성능 부족으로 인해 가뭄대비 취약성을 증가시킬 수 있음

## 5.2.3 DIROM 매개변수 추정을 위한 회귀식 개발

### 5.2.3.1 유역특성인자를 활용한 다중회귀분석

#### 1) 다중회귀분석

- 장기유출모의를 수행하는 경우 대상유역의 관측 유량을 이용하여 유출해석을 하는 것이 가장 바람직하지만, 관측 자료가 존재하지 않거나 관측 자료의 신뢰성이 떨어지는 미계측 유역의 경우 유출해석이 어려움
- DIROM 모형을 활용한 장기유출모의 결과는 매개변수에 따라 많은 영향을 받기 때문에 적절한 매개변수 사용이 중요하며, 모형에 알맞은 매개변수를 결정하기 위해서는 최적화된 매개변수가 요구됨
  - 일반적으로 매개변수는 유역의 지형적 특성, 수문학적 특성 등 여러 특성에 따라 결정되므로 매개변수를 최적화할 때에는 이러한 모든 특성을 고려함
- 그러나 수문·기상 자료가 부족한 미계측 유역의 경우 유역의 지형적 특성만을 이용한 회귀식으로부터 유출모형의 매개변수를 추정할 수 있음
- 계측 유역에서 유역특성을 반영하는 지형인자( $X_j, j = 1, 2, \dots, n$ )를 추정하고 유출 모형의 매개변수( $Y_i, i = 1, 2, \dots, m$ )와의 상관성을 분석하여 독립변수( $X_j$ )가 2개 이상인 식(2-6)과 같은 다중선형회귀식을 결정

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_j X_j + \epsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5-6)$$

- 여기서,  $\beta_0$ 는 y축 절편,  $\beta_k$ 는 종속변수( $Y_i$ )와 독립변수( $X_j$ )의 각 모집단 전체의 특성을 나타내는 회귀계수이며, 독립변수들( $X_j$ )의 측정단위가 서로 다른 경우에도 종속변수( $Y_i$ )에 미치는 영향력의 정도를 표준화하여 제시,  $\epsilon$ 는 오차항으로 회귀선을 중심으로 무작위하게 흩어져있는 변동을 고려하기 위해 적용

#### 2) 변수선택법 결정

- 변수선택법
  - 종속변수( $Y_i$ )에 영향을 미치는 독립변수( $X_j$ )가 많은 경우 모든 독립변수들을 포함하여 회귀식을 산정하면 실제로는 영향을 미치지 않는 변수가 포함되어 추정된 회귀식의 정확도가 떨어지거나 혹은 종속변수에 중요한 영향을 미치는 변수가 추정된 회귀식에서 제외되는 경우가 발생
  - 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 최적의 회귀식을 찾는 방법으로 단계입

력방식의 변수선택법에 의한 다중회귀분석 실시

- 변수선택법은 여러 변수들이 회귀식에 존재할 때 종속변수에 영향력이 있는 변수들만을 고려하여 설명력이 높은 변수의 순으로 회귀식을 산정하므로, 설명력이 어느 정도 수준이 높은 독립변수들로 구성된 회귀식을 발견하는데 유용함

□ 단계별선택법

- 변수선택법에는 전진선택법, 후진제거법, 단계별선택법이 있으며 본 연구에서는 이 중 단계별선택법을 사용
- 단계별선택법은 전진선택법과 후진제거법을 보완하기 위한 방법으로 전진선택법과 동일하게 새로이 추가할 변수를 결정한 다음 전체 변수들의 회귀계수를 보정하여 유의하지 못한 회귀계수에 대한 변수를 제거하고 다시 전 단계로 돌아가 선택 및 분석을 실시하는 방법임

□ 유역특성인자 결정 방법

- 각 매개변수와 상관성이 높은 유역특성인자들을 대상으로 다중공선성을 고려하여 매개변수에 대한 회귀식을 개발
- 회귀식이 어느 정도 잘 추정되었는지 평가하기 위해 유역특성인자와 모형 매개변수간의 상관계수( $CC$ )와 결정계수( $R^2$ )를 이용하여 검증
- 결정계수( $R^2$ )는 하나의 모형 매개변수( $Y_i$ )와 둘 이상의 독립변수들( $X_j$ ) 간의 선형조합에 대한 선형관계지수로서, 잔차제곱합( $SST$ ) 중에서 회귀제곱합( $SSR$ )이 차지하는 비율임

### 3) 유역특성인자 결정

- 본 연구에서는 매개변수와 유역특성인자와의 상관성을 규명하기 위하여 대상유역별 유역특성인자와 최적매개변수와의 상관분석을 실시
- 회귀식 산정에 적용한 유역특성인자로는 유역면적(*area*), 시가화 건조지역 면적비율(*urban*), 논 면적비율(*padd*), 밭 면적비율(*uplan*), 산림 면적비율(*forest*), 수역 면적비율(*water*), 평균경사(*slope*) 등 자연대수(ln)값도 포함하여 총 14개의 유역특성인자를 적용함
- 분석을 통한 상관관계에 대한 적절성 범위는  $\pm 1.0$ 에 근접할수록 선형 특성을 가지며, 양수일 경우에는 비례관계, 음수일 경우에는 반비례 관계로 분석하며, '0'에 근접할수록 비선형 특성을 가지며 관계성이 낮음

Table 5.14 유역특성인자와 최적 매개변수 간 상관계수

	A11	A12	A21	A31	H11	H12	H21	B1	B2	B3	ST3
<i>area</i>	-0.20	-0.26	0.17	-0.03	0.39	0.36	0.06	0.43	0.20	0.43	-0.01
<i>urban</i>	-0.02	-0.15	0.04	0.19	0.06	0.12	-0.14	0.10	0.07	0.25	-0.17
<i>padd</i>	-0.10	-0.22	-0.04	0.09	-0.10	-0.11	0.11	0.22	0.24	0.13	-0.40
<i>uplan</i>	0.15	-0.30	-0.02	0.28	-0.14	-0.06	0.23	0.02	-0.09	-0.05	-0.22
<i>forest</i>	-0.01	0.28	0.00	-0.07	0.14	0.07	-0.08	-0.17	-0.15	-0.19	0.23
<i>water</i>	-0.33	0.02	-0.07	-0.12	-0.33	-0.22	-0.08	0.11	0.18	-0.17	0.00
<i>slope</i>	-0.05	0.20	-0.06	-0.15	0.09	0.18	0.07	-0.07	-0.09	0.00	0.35
ln( <i>area</i> )	-0.26	-0.28	0.05	-0.01	0.34	0.38	0.15	0.47	0.24	0.45	-0.09
ln( <i>urban</i> )	0.07	-0.12	0.10	0.25	-0.05	-0.13	-0.13	-0.13	0.04	-0.10	-0.33
ln( <i>padd</i> )	0.07	-0.33	-0.02	0.21	-0.05	-0.20	-0.04	-0.02	0.17	-0.04	-0.56
ln( <i>uplan</i> )	0.07	-0.61	-0.02	0.32	-0.05	-0.07	0.29	0.26	0.19	0.12	-0.61
ln( <i>forest</i> )	-0.03	0.20	-0.07	-0.01	0.16	0.10	-0.04	-0.09	-0.11	-0.13	0.13
ln( <i>water</i> )	-0.09	-0.13	-0.24	0.02	-0.27	-0.19	-0.16	0.25	0.08	-0.02	0.10
ln( <i>slope</i> )	-0.05	0.16	-0.10	-0.05	0.14	0.18	0.04	-0.01	-0.09	0.01	0.23

#### 4) DIROM 매개변수 추정 회귀식 개발

□ 본 연구에서는 각 매개변수와 상관성이 높은 유역특성인자들을 대상으로 매개변수에 대한 일반화된 회귀식을 개발함

Table 5.15 DIROM 모형 매개변수 추정 회귀식 개발

매개변수	회귀식
A11	$0.1169 - 0.0188 \ln(\textit{area}) + 0.0031 \textit{uplan} - 0.0190 \textit{water}$
A12	$0.1221 - 0.0099 \ln(\textit{area}) - 0.0226 \ln(\textit{uplan}) - 0.0029 \ln(\textit{water}) - 0.0021 \textit{slope}$
A21	$0.0598 + 0.0002 \textit{area} - 0.0016 \ln(\textit{urban}) - 0.0033 \ln(\textit{water})$
A31	$0.0155 + 0.0025 \ln(\textit{uplan}) - 0.0016 \textit{water}$
H11	$-8.0744 + 0.4235 \textit{area} + 8.9387 \ln(\textit{forest}) - 4.8131 \textit{water}$
H12	$22.951 + 9.9041 \ln(\textit{area}) - 1.297 \ln(\textit{padd}) - 3.503 \textit{water}$
H21	$18.3154 + 4.3048 \ln(\textit{area}) - 1.2493 \textit{urban} - 4.7447 \ln(\textit{uplan}) - 1.1546 \ln(\textit{water})$
B1	$0.0110 + 0.0638 \ln(\textit{area}) - 0.0336 \ln(\textit{urban}) + 0.0048 \textit{padd} + 0.0384 \ln(\textit{uplan}) + 0.0191 \ln(\textit{water})$
B2	$0.0674 + 0.0050 \ln(\textit{area}) + 0.0007 \textit{padd}$
B3	$0.0387 + 0.0118 \ln(\textit{area}) + 0.0010 \textit{urban} - 0.0050 \textit{water}$
ST3	$123.533 + 27.818 \ln(\textit{urban}) - 27.323 \ln(\textit{padd}) - 26.682 \ln(\textit{uplan})$

### 5.2.3.2 매개변수 추정 회귀식 적용성 평가

□ DIROM 모형 회귀식 매개변수

- 각 대상 저수지에 대하여 Table 5.15에서 제시된 회귀식을 이용하여 매개변수를 산정하였으며 Table 5.16에 나타냄
- 덕우저수지, 기흥저수지, 도원저수지, 중산저수지, 대비저수지, 경천저수지, 대가저수지는 상기 기술한 매개변수의 상하한 값을 벗어나는 회귀값을 나타내므로 이에 대해서는 상한과 하한의 한계값으로 수정하였음 (Table 5.17)

Table 5.16 회귀식을 적용한 저수지별 DIROM 매개변수

저수지	A11	A12	A21	A31	H11	H12	H21	B1	B2	B3	ST3
고모	0.028	0.025	0.056	0.013	8.108	19.489	31.361	0.203	0.075	0.031	96.373
만수	0.094	0.035	0.061	0.018	9.793	23.622	23.233	0.200	0.082	0.051	46.404
덕우	-0.016	0.029	0.063	0.012	14.681	33.165	26.197	0.315	0.096	0.061	61.745
기흥	-0.011	0.025	0.072	0.014	31.131	46.447	16.231	0.294	0.093	0.087	104.053
도원	0.032	0.085	0.049	0.009	35.674	63.776	24.452	0.498	0.084	0.071	161.454
잠곡	0.067	0.066	0.095	0.017	40.811	51.221	45.886	0.096	0.084	0.074	40.134
중산	0.076	-0.008	0.058	0.018	21.833	34.369	38.222	0.283	0.078	0.051	43.655
대덕	0.101	0.028	0.063	0.020	29.532	34.944	35.276	0.225	0.081	0.057	18.035
궁	0.044	0.020	0.059	0.016	24.149	36.591	36.737	0.301	0.084	0.056	17.981
정안	0.067	0.018	0.059	0.017	19.627	29.203	34.461	0.260	0.083	0.049	21.265
방산	0.019	0.036	0.056	0.013	15.034	25.422	31.456	0.269	0.083	0.042	17.044
궁평	0.019	0.009	0.070	0.016	34.670	47.641	28.735	0.322	0.094	0.081	70.300
옥산	0.013	0.021	0.060	0.014	16.055	32.670	35.508	0.366	0.097	0.055	12.873
대산	0.077	0.062	0.060	0.016	28.017	31.111	27.655	0.222	0.086	0.053	18.393
미륵	0.046	0.054	0.059	0.014	20.887	29.328	28.094	0.217	0.085	0.050	48.406
용산	0.005	0.043	0.056	0.011	16.117	28.645	28.855	0.252	0.082	0.045	42.586
대화	0.004	0.032	0.061	0.013	17.406	33.931	32.745	0.336	0.096	0.057	34.141
월곡	0.051	0.048	0.057	0.015	21.855	29.094	29.507	0.224	0.080	0.047	31.106
백용	0.039	0.009	0.064	0.017	32.215	45.584	39.653	0.338	0.089	0.068	24.429
대비	0.026	0.138	0.054	0.002	20.668	36.421	8.476	0.091	0.076	0.045	284.699
경천	0.022	-0.005	0.078	0.018	61.995	59.669	44.412	0.391	0.094	0.085	42.563
진례	0.049	0.110	0.058	0.008	24.138	28.964	14.731	0.081	0.079	0.048	126.579
덕암	0.058	0.079	0.058	0.012	25.745	29.863	22.617	0.168	0.080	0.049	57.443
대가	-0.003	0.029	0.061	0.013	17.155	33.700	33.974	0.356	0.097	0.055	24.286
두량	0.050	0.016	0.064	0.018	27.233	42.649	39.250	0.355	0.093	0.067	15.623

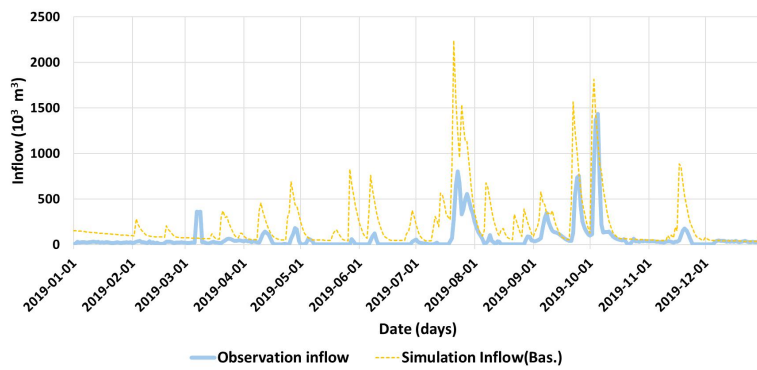


Table 5.17 회귀식을 적용한 저수지별 DIROM 매개변수(상하한계 적용)

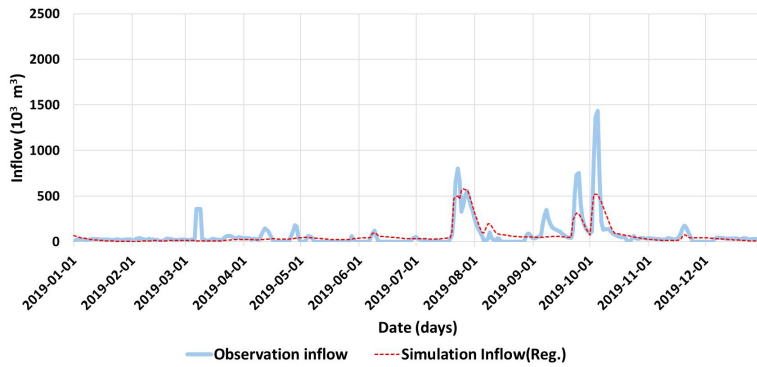
저수지	A11	A12	A21	A31	H11	H12	H21	B1	B2	B3	ST3
고모	0.028	0.025	0.056	0.013	8.108	19.489	31.361	0.203	0.075	0.031	96.373
만수	0.094	0.035	0.061	0.018	9.793	23.622	23.233	0.200	0.082	0.051	46.404
덕우	0.000	0.029	0.063	0.012	14.681	33.165	26.197	0.315	0.096	0.061	61.745
기흥	0.000	0.025	0.072	0.014	31.131	46.447	16.231	0.294	0.093	0.087	104.053
도원	0.032	0.085	0.049	0.009	35.674	60.000	24.452	0.498	0.084	0.071	161.454
잠곡	0.067	0.066	0.095	0.017	40.811	51.221	45.886	0.096	0.084	0.074	40.134
중산	0.076	0.000	0.058	0.018	21.833	34.369	38.222	0.283	0.078	0.051	43.655
대덕	0.101	0.028	0.063	0.020	29.532	34.944	35.276	0.225	0.081	0.057	18.035
궁	0.044	0.020	0.059	0.016	24.149	36.591	36.737	0.301	0.084	0.056	17.981
정안	0.067	0.018	0.059	0.017	19.627	29.203	34.461	0.260	0.083	0.049	21.265
방산	0.019	0.036	0.056	0.013	15.034	25.422	31.456	0.269	0.083	0.042	17.044
궁평	0.019	0.009	0.070	0.016	34.670	47.641	28.735	0.322	0.094	0.081	70.300
옥산	0.013	0.021	0.060	0.014	16.055	32.670	35.508	0.366	0.097	0.055	12.873
대산	0.077	0.062	0.060	0.016	28.017	31.111	27.655	0.222	0.086	0.053	18.393
미륵	0.046	0.054	0.059	0.014	20.887	29.328	28.094	0.217	0.085	0.050	48.406
용산	0.005	0.043	0.056	0.011	16.117	28.645	28.855	0.252	0.082	0.045	42.586
대화	0.004	0.032	0.061	0.013	17.406	33.931	32.745	0.336	0.096	0.057	34.141
월곡	0.051	0.048	0.057	0.015	21.855	29.094	29.507	0.224	0.080	0.047	31.106
백용	0.039	0.009	0.064	0.017	32.215	45.584	39.653	0.338	0.089	0.068	24.429
대비	0.026	0.138	0.054	0.005	20.668	36.421	8.476	0.091	0.076	0.045	284.699
경천	0.022	0.000	0.078	0.018	60.000	59.669	44.412	0.391	0.094	0.085	42.563
진례	0.049	0.110	0.058	0.008	24.138	28.964	14.731	0.081	0.079	0.048	126.579
덕암	0.058	0.079	0.058	0.012	25.745	29.863	22.617	0.168	0.080	0.049	57.443
대가	0.000	0.029	0.061	0.013	17.155	33.700	33.974	0.356	0.097	0.055	24.286
두량	0.050	0.016	0.064	0.018	27.233	42.649	39.250	0.355	0.093	0.067	15.623

□ 실측 유입량과 회귀식 매개변수 적용 모의 유입량 비교

- 개발된 매개변수 회귀식의 적합성을 판단하기 위해 실측 유입량자료와 회귀식 매개변수가 적용된 DIROM 모형의 유입량 추정결과를 비교하였음
- 또한 기존 매개변수가 반영된 DIROM 모형의 결과를 추가적으로 비교하여 DIROM 모형의 정확성 개선 정도를 판단하고자 함
- Fig. 5.11은 경천저수지의 2019년 실측 유입량과 기존 매개변수를 적용하였을 때의 모의 유입량 및 2019년 실측 유입량과 회귀식에 따라 산정된 매개변수를 적용하였을 때의 모의 유입량을 나타냄



(a) 기존 매개변수 적용 결과



(b) 회귀식 매개변수 적용 결과

Fig. 5.8 경천저수지 유출모의 결과

- 실측유입량과 저수지별 기존 매개변수 및 회귀식에 따라 산정된 매개변수를 적용한 모의 유입량의 연 총 유입량을 비교함 (Table 5.18)

Table 5.18 저수지별 기존 DIROM과 신규 회귀방법간 연 총 유입량( $10^3 m^3$ ) 비교

저수지	실측 유입량	기존 매개변수	회귀식 매개변수
고모	1,244.8	2,394.0	1,504.2
만수	939.9	2,116.1	1,548.7
덕우	4,091.9	10,377.6	4,684.0
기흥	35,023.2	39,105.9	18,236.4
도원	6,920.6	39,047.2	14,802.5
잠곡	7,708.2	12,675.2	7,420.2
중산	2,216.0	4,830.0	2,292.8
대덕	1,947.7	2,320.7	1,134.3
궁	6,654.8	8,454.2	3,812.5
정안	7,029.4	4,546.9	2,503.4
방산	1,543.2	3,828.5	2,121.9
궁평	15,039.0	27,988.7	11,531.2
옥산	5,046.3	8,530.5	3,886.7
대산	1,889.8	3,006.6	2,250.0
미륵	1,553.7	3,000.4	1,865.8
용산	5,123.2	7,470.6	3,997.3
대화	5,923.4	10,486.5	4,869.5
월곡	2,441.7	5,938.0	4,068.2
백용	5,482.7	23,925.9	9,966.3
대비	3,723.5	4,585.8	3,775.5
경천	26,759.2	82,210.7	24,298.1
진례	3,054.0	5,105.8	4,648.8
덕암	1,420.7	3,724.2	2,807.7
대가	8,264.4	18,251.9	9,427.0
두량	8,905.4	25,386.4	12,850.1

□ 저수지별 기존 DIROM, 최적화, 회귀식에 따라 산정된 매개변수를 적용한 모의 유입량의 연 총 유입량과 실측유입량의 차이를 비교 (Table 5.19)

Table 5.19 기존 DIROM, 최적화, 신규회귀 방법간 연 총 유입량( $10^3 m^3$ ) 차이 비교

저수지	기존 매개변수	최적화 매개변수	회귀식 매개변수
고모	1,149.2	58.0	259.4
만수	1,176.2	392.5	608.8
덕우	6,285.7	1,402.4	592.1
기흥	4,082.7	<u><math>\Delta 12,847.1</math></u>	<u><math>\Delta 16,786.8</math></u>
도원	32,126.6	2,552.8	7,881.9
잠곡	4,967.0	<u><math>\Delta 659.5</math></u>	<u><math>\Delta 288.0</math></u>
중산	2,614.0	<u><math>\Delta 766.7</math></u>	76.8
대덕	373.0	<u><math>\Delta 523.6</math></u>	<u><math>\Delta 813.4</math></u>
궁	1,799.4	3,267.7	<u><math>\Delta 2,842.3</math></u>
정안	<u><math>\Delta 2,482.5</math></u>	<u><math>\Delta 1,314.2</math></u>	<u><math>\Delta 4,526.0</math></u>
방산	2,285.3	<u><math>\Delta 604.4</math></u>	578.7
궁평	12,949.7	<u><math>\Delta 790.1</math></u>	<u><math>\Delta 3,507.8</math></u>
옥산	3,484.2	<u><math>\Delta 1,526.3</math></u>	<u><math>\Delta 1,159.6</math></u>
대산	1,116.8	<u><math>\Delta 34.4</math></u>	360.2
미륵	1,446.7	302.1	312.1
용산	2,347.4	<u><math>\Delta 1,908.0</math></u>	<u><math>\Delta 1,125.9</math></u>
대화	4,563.1	2,287.5	<u><math>\Delta 1,053.9</math></u>
월곡	3,496.3	631.8	1,626.5
백용	18,443.2	1,699.1	4,483.6
대비	862.3	3,560.1	52.0
경천	55,451.5	<u><math>\Delta 3,945.0</math></u>	<u><math>\Delta 2,461.1</math></u>
진례	2,051.8	1.3	1,594.8
덕암	2,303.5	1,879.6	1,387.0
대가	9,987.5	<u><math>\Delta 245.1</math></u>	1,162.6
두량	16,481.0	1,188.8	3,944.7

Table 5.20 저수지별 상관계수(CC) 및 평균제곱근오차(RMSE) 비교

저수지	기존 매개변수		최적화 매개변수		회귀식 매개변수	
	CC	RMSE	CC	RMSE	CC	RMSE
고모	0.71	12.69	0.85	4.39	0.81	4.72
만수	0.63	10.08	0.70	4.64	0.68	5.39
덕우	0.80	39.51	0.81	15.91	0.70	16.74
기흥	0.33	203.50	0.43	153.38	0.40	158.15
도원	0.48	189.42	0.42	55.33	0.42	78.52
잠곡	0.78	52.28	0.90	25.82	0.89	26.91
중산	0.41	26.68	0.50	9.50	0.49	10.63
대덕	0.31	11.08	0.61	5.24	0.49	6.02
궁	0.54	31.88	0.73	19.24	0.61	17.66
정안	0.56	19.17	0.74	10.39	0.68	16.27
방산	0.46	21.73	0.59	5.44	0.55	7.53
궁평	0.64	110.55	0.88	28.24	0.86	31.48
옥산	0.35	37.61	0.44	18.64	0.44	19.1
대산	0.42	15.99	0.53	11.31	0.49	12.17
미륵	0.55	12.69	0.88	3.28	0.74	5.21
용산	0.57	33.42	0.61	22.18	0.55	22.93
대화	0.63	35.39	0.69	22.32	0.65	20.77
월곡	0.34	32.15	0.47	10.24	0.43	15.83
백용	0.60	101.31	0.57	34.29	0.48	41.11
대비	0.51	28.91	0.57	33.49	0.58	22.98
경천	0.68	273.13	0.82	92.80	0.78	102.48
진례	0.59	28.02	0.69	18.05	0.69	20.19
덕암	0.32	26.19	0.38	15.44	0.35	16.53
대가	0.36	113.17	0.42	51.43	0.38	56.16
두량	0.68	121.85	0.72	34.79	0.69	43.16
<b>Mean</b>	<b>0.53</b>	<b>63.54</b>	<b>0.64</b>	<b>28.23</b>	<b>0.59</b>	<b>31.15</b>
<b>S.D.</b>	<b>0.15</b>	<b>69.49</b>	<b>0.16</b>	<b>32.89</b>	<b>0.16</b>	<b>35.31</b>

Table 5.21 기존 DIROM, 최적화, 신규회귀 방법간 유입량 차이의 분포특성

구분	기존 매개변수	최적화 매개변수	회귀식 매개변수
Function (Optimized by Bootstrap & AD Statistic)	Loglogistic	Laplace	Laplace
Parameter	$\gamma = -3112.4$ $\beta = 6817.5$ $\alpha = 2.2517$	$\mu = 1.3$ $\sigma = 2510.897$	$\mu = 259.4$ $\sigma = 3335.790$
Mean	6548.025	1.3	259.40
Mode	1349.282	1.3	259.40
Median	3705.157	1.3	259.40
Std. Deviation	16843.025	2510.897	3335.790

- Table 5.19의 기존 매개변수 즉, DIROM 모형과 최적화 매개변수, 신규회귀 방법간 유입량차이의 분포특성을 통계적으로 검토하였음 (Table 5.21)
  - 회귀식 매개변수는 최적화 매개변수 보다 평균과 표준편차가 증가하였음
  - 즉, 회귀식을 사용함으로써 각각의 저수지에 대한 최적화식보다는 식의 정확도가 낮아짐 (Table 5.20)
  - 그러나 신규회귀식은 기존 DIROM에 비해서는 높은 정확도를 나타내었고, 유입량의 과산정 경향도 감소하여 기존 DIROM 모형의 적합도를 향상한 것으로 판단됨

#### 5.2.4 소 결

- 본 연구에서는 기존 DIROM 모형의 적합도 향상을 위하여 현재 적용되고 있는 모형의 매개변수를 개선하고자 하였음
- 이를 위해 최근 저수지의 저수량, 공급량 등 수문자료를 관측하고 있는 농업용 저수지를 대상으로 실측자료 기반의 매개변수 최적화를 진행하고자 대상 저수지를 다변량 통계분석을 통해 지역별 규모별 34개 저수지를 선정한 후 유입량 자료를 검토하였음
  - 대상 농업용 저수지들의 유입량 자료를 검토한 결과 9개 저수지에서 유입량 자료의 오류가 있는 것으로 판단하여 최종 총 25개 저수지를 대상으로 지형자료, 토지이용자료, 기상 자료를 수집하였음
- 수집된 자료를 바탕으로 유전자 알고리즘을 적용한 매개변수 최적화 수행
  - 최적화된 매개변수를 활용하여 DIROM 모형에 적용한 결과 기존모형에 비하여 정확도가 증가한 것으로 확인됨
- 25개 저수지를 대상으로 지역의 특성인자를 독립변수, 최적화된 매개변수를 종속변수로 하는 회귀식을 개발함

- 회귀식으로 산정된 매개변수를 적용하여 회귀식의 적용성을 평가한 결과 기존 매개변수 산정식에 비하여 상관계수(CC), 결정계수( $R^2$ )로 대표되는 정확도가 증가하는 것으로 확인됨
- 또한 이수측면에서의 회귀식 활용성 검토를 위해 연 총 유입량을 검토하였을 때도 실측 유입량과의 차이가 기존 매개변수를 적용하였을 때보다 감소하는 것으로 확인됨
- 다만, 본 연구에서 분석한 25개의 저수지의 결과를 농업용 저수지 전체로 확대하기에는 한계가 있으며, 17,000여개를 대표하기 위한 추가적인 연구가 필요함
- 향후에는 더 많은 저수지를 대상으로 장기간의 실측 유입량 자료를 활용하여 매개변수를 최적화하고, 회귀식을 개발한다면 더 정확도 높은 일반화된 회귀식 추정이 가능할 것으로 판단됨

## 5.3 농업용 저수지의 이수안전도 평가 기법 개발

### 5.3.1 현황 및 문제점

#### 5.3.1.1 국내 저수지의 이수안전도

##### □ 농업용 저수지 이수안전도

- 농업용 저수지의 경우 『농업생산기반시설 설계기준』의 「67 10 20 : 농업용 필댐설계」 ‘1.8 저수용량 결정’ 항목에서 “10년 빈도 한발시의 하천유량(공급량)을 기준으로 저수지를 설계해야 한다.”고 명시되어 있음
- 하지만 이미 건설되어 운영 중인 기존 저수지에 대한 이수안전도 평가 방법에 대해서는 명문화되어 있는 기준이 없음
- 최근 기후변화에 의한 우리나라 강우 변동이 심화됨에 따라 과거에 건설된 농업용 저수지의 이수안전도에 변화가 있을 것이라 판단되나 국내 대부분의 농업용 저수지는 관측 수문자료가 부족함에 따라 정확한 이수안전도 평가에 어려움이 있음

##### □ 국내 다목적댐의 이수안전도 평가

- 이수안전도란 수자원 공급시설이 그 시설로부터 기대되는 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급 안정성 정도를 나타내는 지표를 의미함
- 국내에서는 수자원 공급시설의 설계 시 이수안전도 기준에 관해 명문화된 규정이 없으며 주요 다목적댐의 이수안전도는 보장공급량, 기준갈수년 등을 기반으로 설정되고 있으나 댐의 건설시점, 가용자료의 보유기간 및 유역 기상 상황에 따라 서로 다르게 적용되어 일관성이 없음
- 최근 건설된 댐은 20개년 이상의 유입량 자료에서 신뢰도를 적용하여 이수안전도를 설정하였는데 이 또한 표준화된 기준이 없음
- Table 5.22는 국내 다목적댐의 이수안전도 기준을 나타냄



Table 5.22 국내 주요 다목적댐 이수안전도 평가 방법

댐 명	준공 년도	용수공급량 (백만m <sup>3</sup> )	분석년도	이수안전도	관 련 문 헌
안동댐	1977	926	'47~'70	'67~'68 갈수조건 + 예비저류량25%	타당성조사 보고서 (1971, 건설부)
임하댐	1993	497	'63~'83	21개년간 100% 보장공급	기본계획 보고서 (1984, 건설부)
충주댐	1986	3,380	'66~'83	95% 보장공급	충주댐 공사지 (1986. 7, 건설부)
보령댐	1998	107	'63~'90	20년빈도갈수에서 용수공급보장	보령댐 타당성조사 (1990. 9, 건설부)
소양강댐	1973	1,213	'15~'39	갈수량 증가분 36m <sup>3</sup> /s	소양강댐 공사지 (1974.8, 건설부)
밀양댐	1999	73	'73~'83	15개년중 1회 물부족 허용	밀양댐타당성조사 (1989. 10, 건설부)
용담댐	1999	650	'63~'88	'67~'68년도 '82~'83년 기준갈수	용담댐타당성조사 (1990. 8, 건설부)
탐진댐	2001	128	'66~'90	이수안전도 93%	탐진댐기본설계 (1995. 4, 건설교통부)
대청댐	1981	1,649	'58~'70	13개년간 100% 보장	공사지 (1981, 건설부)
합천댐	1989	599	'69~'81	13개년간 100% 보장공급	기본설계 보고서 (1983, 건설부)
남 강 보강댐	1999	573	'72~'87	16개년간 100%보장공급	기본설계 보고서 (1988, 건설부)
부안댐	1996	36.7	'63~'88	10년 빈도로 수요량을 충족시키도록 계획	부안댐계통광역상수 도타당성조사 및 기본계획 (1992. 12, 건설부)
횡성댐	1999	111.6	'63~'88	26개년간 모의운영, 용수부족 1회 허용	원주권계통 광역상수도 타당성조사 및 기본계획 (1996. 4, 수공)

출처 : 「기존댐 용수공급능력 조사 보고서」, 국토해양부, 1998

### 5.3.1.2 이수안전도 평가 방법론

- 국내의 이수안전도 평가는 크게 갈수기준년도를 기준으로 평가하는 방법과 용수공급신뢰도를 기준으로 평가하는 방법 등 두 가지 방법이 있음
- 갈수기준년도 기준
  - 일반적으로 갈수기준년도는 최대 갈수년으로 기록상의 최저 유량이 계속된 연도를 의미하고 있으나 이 방법을 적용하기 위해서는 장기간의 수문자료가 확보되어 있어야 함
  - 최대 갈수년 외에 또 다른 방법으로는 갈수 재현기간을 기준으로 평가하는 방법이 있으나 이 경우 재현기간의 산정방법에 있어 확률도시공식, 적합확률분포형 등 다양한 확률통계적인 사항을 고려하여야 함
- 용수공급신뢰도 기준
  - 저수지 용수공급신뢰도 기준의 이수안전도 평가 방법은 저수량과 유입량, 방류량 등 저수지의 물 수지 요소를 고려하여 이수안전도를 평가하는 방법임
  - 이 방법은 일반적으로 공급계획에 의해 결정되는 일정기준의 공급량을 얼마나 공급할 수 있는지를 평가하는 방법으로 저수지 모의운영을 통해 결정하는 것이 일반적임

#### 갈수기준년도 기준

- 기록상의 최저 유량이 계속된 연도를 기준으로 이수안전도가 결정됨
- 장기간의 유입량 자료가 확보되어야 함
- 갈수 재현기간을 활용하기 위해서는 확률통계적방법을 활용해야 하며 다양한 사항을 고려해야함

#### 용수공급 신뢰도 기준

- 저수지의 물 수지 관계에 의하여 이수안전도가 결정
- 공급계획에 의해 결정되는 계획공급량의 충족여부가 중요한요소임
- 일반적으로 저수지 모의운영에 의해 결정
- 용수공급의 충족여부를 기간 또는 양적으로 판단할 수 있음

Fig. 5.9 이수안전도 평가 방법론 비교

### 5.3.2 용수공급신뢰도 기준의 농업용 저수지 이수안전도 평가

#### 5.3.2.1 농업용 저수지 이수안전도 평가 방법론 기본 개념

- 일반적으로 많이 활용되고 있는 이수안전도 평가 방법 중 갈수기준년도를 기준으로 평가하는 방법은 장기간의 수문자료 확보 여부가 중요
- 하지만 농업용 저수지의 경우 장기간의 수문자료 확보가 어려움에 따라 본 연구에서는 용수공급신뢰도를 기준의 이수안전도 평가방법론을 제시하였음
- 본 연구에서 제시하고자 하는 농업용 저수지의 이수안전도 평가 방법은 Fig. 5.12와 같이 저수지의 유입량 추정, 계획공급량 및 손실량 추정, 저수지 모의운영, 이수안전도 평가 순으로 진행됨
- 저수지 모의를 통한 이수안전도 평가 시에는 분석단위와 평가단위가 매우 중요한 영향을 미침
  - 우리나라 기후특성상 봄, 여름, 가을이 대부분 작물의 생육기간이며 이에 따라 농업용 저수지의 용수공급 또한 이 시기에 집중 상이함에 따라 저수지 모의 분석은 월 단위로 진행하였음
  - 이수안전도의 평가는 『농업생산기반시설 설계기준』에 제시되어 있는 10년 빈도 한발을 기준으로 연 단위로 진행함
- 이수안전도 평가를 위한 저수지 모의는 최근 10년을 대상으로 수행하였으며, 우리나라의 관개기간이 대부분 4월에 시작되는 점을 고려하여 2009년 4월부터 2019년 3월까지 총 120개월의 자료를 활용하였음

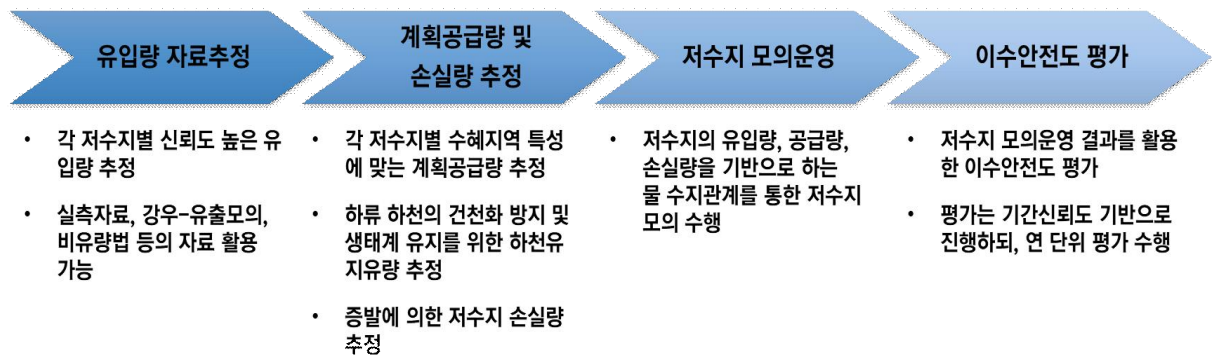


Fig. 5.10 이수안전도 평가 순서

### 5.3.2.2 농업용 저수지 이수안전도 평가 방법론

#### □ 농업용 저수지의 유입량 자료 추정방법

- 저수지 모의운명을 위해서는 저수지로의 유입량 추정이 가장 우선적으로 수행되어야 할 작업이며, 국내 다목적댐의 이수안전도 평가를 위해서는 실측유입량 자료를 활용하여 평가하는 것이 일반적임
- 하지만 농업용 저수지의 경우 유입량의 관측이 일부 저수지에서만 수행되었고, 이 또한 수문자료의 관측년수가 부족하여 실측 유입량 자료를 사용하는 데는 어려움이 있음
- 따라서 본 연구에서는 농업용 저수지의 유입량 추정을 위해 농업용 저수지 모의를 위해 활용되는 HOMWRS 모형 자료를 활용하였음
- HOMWRS 모형 내에서 저수지 유입량 추정을 위해 사용되는 모듈은 TANK 모형 기반의 DIROM 모형을 활용하는 일 단위 유출해석 평가 모형과 가지야마 공식 기반의 순 단위 유출 해석 모형이 있음
- 이 중 본 연구에서는 분석 대상기간(2009년 4월 ~ 2019년 3월)동안의 유입량 산정을 위해 가지야마 공식을 활용하였음
- 가지야마 공식
  - 가지야마는 우리나라의 1916 ~ 1927년까지 약 10년간의 73개 지점의 강수량과 유출량 측정자료에서 자료가 정확하다고 판단되는 25개 지점의 자료를 분석하여 월 강수량과 월 유출고간의 관계를 쌍곡선으로 표현함
  - 식(5-6)은 가지야마공식의 월강수량과 월유출고간의 쌍곡선을 나타내고 식(5-7)은 유출고 공식을 나타냄

$$(R + K)^2 - P^2 = (K + a)^2 \quad (5-6)$$

$$R = \sqrt{P^2 + (K + a)^2} - K \quad (5-7)$$

- 여기서,  $R$ 은 월유출고(mm),  $P$ 는 월강수량(mm),  $K$ 는 최대 소비한도인 극한손실고(mm),  $a$ 는 기저유출량인 최소유출고(mm)이며 관측자료에서  $K = 138.6 \text{ mm}$ ,  $a = 10.2 \text{ mm}$ 로 산출됨
- 식(5-7)과 같이 하나의 곡선으로 나타내는 것은 유역특성을 고려할 수 없으므로 유역특성에 따른 유출특성계수  $f$ 와 유출에 영향을 미치는 월증발산량 등의 영향을 고려하기 위한 월강수량의 크기에 따른 월별 보정유량  $E$ 를 추가하여 식(3-3)과 같이 가지야마 공식을 제안함

$$R = \sqrt{P^2 + (138.6f + 10.2)^2} - 138.6f + E \quad (5-8)$$

- 여기서,  $R$ 은 월유출고( $mm$ ),  $P$ 는 월강수량( $mm$ ),  $f$ 는 유출특성계수로 0.6 ~ 1.4의 범위이며,  $E$ 는 월별 보정유량( $mm$ )을 나타냄
- 가지야마 공식의 유출특성계수  $f$ 는 Table 5.23의 기준을 적용
- 가지야마 공식의 월강수량에 크기에 따른 월별 보정유량  $E$ 는 Table 5.24와 같은 기준을 적용

Table 5.23 가지야마 공식의 유출특성계수

유역의 상태	유출특성계수 $f$
유역내에 농경지와 임야가 많고 경사가 완만하여 유하거리가 긴 경우로 유역내에서 소비수량이 매우 많을 때	1.4
유역내에 농경지와 임야가 많고 경사가 완만하여 유하거리가 긴 경우로 유역내에서 소비수량이 비교적 많을 때	1.2
유역내에서 소비수량이 보통일 때	1.0
유역내에 농경지와 임야가 적고 경사가 급하여 유하거리가 짧은 경우로 유역내에서 소비수량이 비교적 적을 때	0.8
유역내에 농경지와 임야가 적고 경사가 급하여 유하거리가 짧은 경우로 유역내에서 소비수량이 매우 적을 때	0.6

Table 5.24 가지야마 공식의 월별 보정유량

월 강수량	보정유량 $E(mm)$							비고
	1월	2월	4월	5월	6월	9월	10월	
0	-2.5	-2.5	5.0	-	-2.0	6.0	7.0	3, 7, 8, 11, 12월 보정 유량은 0
10	-2.0	-2.0	5.5	-	-3.0	6.4	6.3	
20	-1.5	-1.5	6.0	-	-4.0	6.8	5.6	
30	-1.0	-1.0	7.5	-	-6.0	7.2	4.9	
50	-	-	8.5	-2.4	-9.0	8.0	3.5	
70	-	-	9.0	-3.6	-12.0	8.8	2.1	
80	-	-	10.5	-6.0	-17.0	9.2	1.4	
100	-	-	5.0	-12.0	-20.0	10.0	-	
150	-	-	-	-6.0	-26.0	11.0	-	
200	-	-	-	-	-30.0	12.0	-	
250	-	-	-	-	-22.5	9.0	-	
300	-	-	-	-	-15.0	6.0	-	

- 유입량 추정을 위해서는 본 연구에서 활용한 강우-유출모의를 활용하는 방법 외에도 안정적인 수문자료가 확보되는 저수지라면 실측자료를 활용하는 방법이 있으며, 농업용 저수지 인근에 환경부, K-water 등 관련 기관에서 관리하는 관측소에 장기간의 안정적인 유량자료가 확보되어 있다면 유역면적비법을 활용하여 축소하여 사용하는 방법이 있음

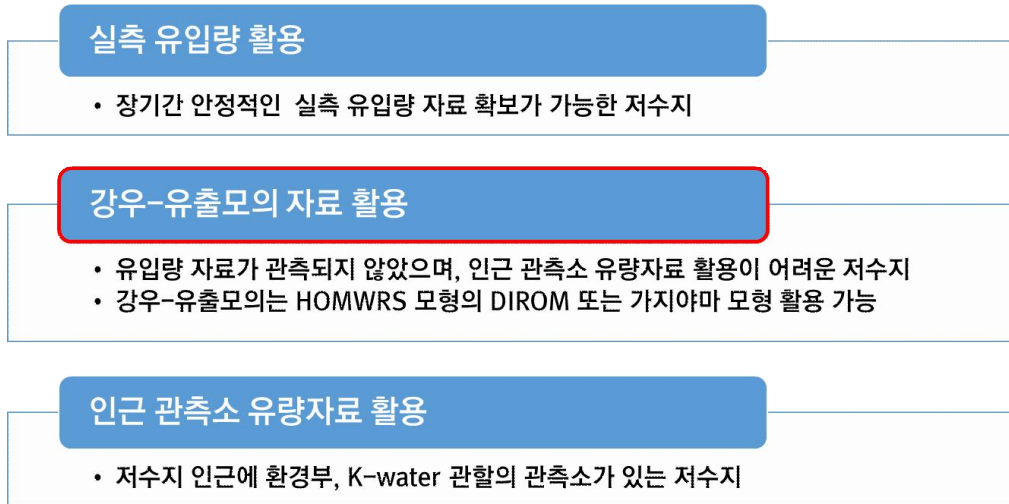


Fig. 5.11 이수안전도 평가를 위한 유입량 추정 방법

- 본 연구에서는 농업용수의 계획공급량 추정을 위해 농업용수뿐만 아니라 하천유지용수에 대한 내용을 추가하여 이수안전도 평가에 활용하였음
  - 저수지는 상류 유역의 물을 저수하여 하류 지역으로 공급해주기 위한 수자원 시설물로 하류 하천으로 물을 공급하지 않는다면 하류 하천의 건천화 또는 생태계 파괴 등의 문제를 야기할 수 있음
- 계획공급량 추정은 과거의 농업용수 수요량이 아닌 미래의 농업용수 수요량 자료를 활용하였음
  - 농업용 저수지의 공급량은 저수지의 수혜면적과 수혜지역의 작물재배 상황에 따라 크게 변화함
  - 농업지역의 면적이 과거에 비해 감소하고 있고, 기후의 특성이 변화했다는 점을 반영함
  - 본 연구에서는 미래의 용수수요량 자료를 활용하기 위하여 2014년 농림축산식품부에서 발간한 「농어촌용수 이용합리화 계획(2015~2024)」 자료에 수록된 2024년 기준의 용수수요량을 활용하였음
  - 본 연구에서는 계획공급량 추정을 위해 저수지로부터 물을 공급받지 않는 천수답 및 비관개전의 면적은 고려하지 않고, 수리답과 관개전, 목장면적을 활용하여 단위면적당 각 용수의 수요량을 산정하였음

Table 5.25 2024년 기준의 농업용수 수요량

지역	논 면적 (10 <sup>3</sup> ha)		밭 면적 (10 <sup>3</sup> ha)		목장 면적 (10 <sup>3</sup> ha)	논용수수요량 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /년)		밭용수수요량 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /년)		축산용수 수요량 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /년)
	수리답	천수답	관개전	비관개전		수리답	천수답	관개전	비관개전	
서울	0.3	0	0	0.5	0.0	3	0	0	2	0
부산	3.6	0.4	0	2.4	0.2	51	5	0	11	0
대구	3.4	0.7	0	4.5	0.1	49	10	0	24	0
인천	7.7	4.5	0.1	6.7	0.3	85	48	0	31	0
광주	6	0.2	0	3.7	0.2	78	3	0	18	0
대전	1.4	0.4	0	2.8	0.0	18	4	0	11	0
울산	6.1	0.2	0.4	4.2	0.7	82	2	2	15	1
세종	3	0.6	0.4	1.9	0.3	38	8	2	9	2
경기	68.7	20.5	2.3	78.5	6.1	776	229	10	331	52
강원	32.1	5.1	21.8	46.7	6.5	387	61	77	161	14
충북	38.8	5.7	9	57.1	2.8	485	71	41	249	19
충남	121.3	25.5	10.4	52.7	4.8	1,448	302	49	238	50
전북	112.2	15.8	13.6	48.4	4.0	1,364	190	61	208	35
전남	138.3	33.5	33.1	81.3	6.9	1,629	391	178	398	32
경북	108.7	17.2	43	94.5	5.2	1,411	222	205	434	40
경남	80	8.1	7.6	52.5	2.9	946	94	33	214	27
제주	0	0	38.5	20.9	15.4	0	1	158	80	9

※ 수리답 : 저수지, 양수장, 보 및 지하수 관정을 통해 용수를 공급받는 논  
 천수답 : 필요수량을 빗물에만 의존하는 논  
 관개전 : 농업용수 공급시설에 의해 물을 공급받는 밭  
 비관개전 : 농업용수 공급시설에 의해 물을 공급받지 않는 밭  
 (출처 : 농어촌용수 이용합리화 계획(2015~2024), 농림축산식품부, 2014.12)

- 지역별 단위면적별 논 용수수요량, 지역별 단위면적별 밭 용수수요량, 지역별 단위면적별 축산 용수수요량은 각각 식(5-9), 식(5-10), 식(5-11)에 따라 산정함

$$W_1(m/year) = \frac{\text{논용수수요량}(m^3/year)}{\text{수리답면적}(m^2)} \quad (5-9)$$

$$W_2(m/year) = \frac{\text{밭 용수 수요량}(m^3/year)}{\text{관개전면적}(m^2)} \quad (5-10)$$

$$W_3(m/year) = \frac{\text{축산용수 수요량}(m^3/year)}{\text{목장면적}(m^2)} \quad (5-11)$$

- 또한 지역별 저수지의 농업용수 수요량 추정을 위해 전체 농업면적 대비 논(수리답) 면적, 밭(관개전)면적, 목장면적의 비율은 각각 식(5-12), 식(5-13), 식(5-14)에 따라 산정함

$$R_1(\%) = \frac{\text{지역별 수리답면적}(m^2)}{\text{지역별 전체 농업면적}(m^2)} \quad (5-12)$$

$$R_2(\%) = \frac{\text{지역별 관개전면적}(m^2)}{\text{지역별 전체 농업면적}(m^2)} \quad (5-13)$$

$$R_3(\%) = \frac{\text{지역별 목장면적}(m^2)}{\text{지역별 전체 농업면적}(m^2)} \quad (5-14)$$



Table 5.26 지역별 단위면적별 용수 수요량 및 용도별 농업면적 비율

지역	단위면적별 용수 수요량(m/year)			용도별 농업면적 비율(%)		
	논 용수	밭 용수	축산용수	천수답	관개전	목장
서울	1.00	0.00	0.00	100.0	0.0	0.0
부산	1.42	0.00	0.00	95.1	0.0	4.9
대구	1.44	0.00	0.00	96.2	0.0	3.8
인천	1.10	0.00	0.00	95.4	1.2	3.4
광주	1.30	0.00	0.00	97.1	0.0	2.9
대전	1.29	0.00	0.00	98.0	0.0	2.0
울산	1.34	0.50	0.15	85.2	5.6	9.2
세종	1.27	0.50	0.69	81.3	10.8	7.8
경기	1.13	0.43	0.85	89.1	3.0	7.9
강원	1.21	0.35	0.22	53.2	36.1	10.7
충북	1.25	0.46	0.68	76.7	17.8	5.5
충남	1.19	0.47	1.05	88.9	7.6	3.5
전북	1.22	0.45	0.88	86.5	10.5	3.1
전남	1.18	0.54	0.46	77.5	18.6	3.9
경북	1.30	0.48	0.77	69.3	27.4	3.3
경남	1.18	0.43	0.95	88.4	8.4	3.2
제주	0.00	0.41	0.06	0.0	71.5	28.5

□ Table 5.26는 지역별 단위면적별 용수 수요량 및 용도별 농업면적 비율을 나타냄

□ Table 5.26에서 산정된 자료를 활용하여 각 저수지의 수혜면적별 필요수량은 식(5-15)에 의하여 계산됨

$$\text{필요수량}(m^3/\text{year}) = \text{수혜면적}(m^2) \times \{(W_1 \times R_1) + (W_2 \times R_2) + (W_3 \times R_3)\} \quad (5-15)$$

□ 산정된 각 저수지의 논 용수, 밭 용수, 축산용수는 연 단위 필요수량이며 본 연구에서는 월 단위 이수안전도 분석을 위하여 연 용수수요량을 작물의 생육시기에 따른 월별 분배 수행

□ 농업용수의 시간적인 분배는 저수지 수혜지역 내 작물의 종류에 따라 모두 상이하지만 본 연구에서는 평균적인 용수공급의 월별 배분을 위해 과거 연구자료를 기반으로 각 용수를 월별로 분배하였음

- 우선 논 용수의 경우 「유역배수에 따른 저수지의 하천유지용수 공급량(한국농공학회 제 38권 2호,2011.06.)」에 제시되어 있는 비율을 이용하여 배분하였으며,
- 밭 용수의 경우 『농업용수 수요량 추정 및 공급량 평가 보고서(한국수자원공사, 한국농어촌공사, 2009.12.)』에 제시되어 있는 월별 수요 비율을 활용하였고,
- 축산용수의 경우 연중 동일한 양이 공급되도록 하였음(Table 5.27)

Table 5.27 용수별 월별 배분 비율

월	월별 배분 비율(%)		
	논 용수	밭 용수	축산용수
1 월	-	0.2	8.3
2 월	-	0.5	8.3
3 월	-	0.9	8.3
4 월	1.6	2.9	8.3
5 월	17.4	6.5	8.3
6 월	26.8	32.2	8.3
7 월	16.0	18.6	8.3
8 월	29.0	24.9	8.3
9 월	9.2	11.8	8.3
10 월	-	1.0	8.3
11 월	-	0.2	8.3
12 월	-	0.1	8.3

#### HOMWRS 모형 내 필요수량 모듈 활용

- 수혜지역 내 작물의 생육 관련 정보를 기반으로 HOMWRS 필요수량 산정 모듈을 활용한 필요수량 추정

#### 미래 농업용수 수요량 자료 활용

- 『농어촌용수 이용합리화 계획』, 『수자원 장기종합계획』 등 미래의 농업용수 추정과 관련된 자료를 활용하여 미래의 용수수요 활용
- 이 방법의 경우 미래의 용수수급 변화를 고려한 이수안전도 평가가 가능함

#### 실측 농업용수 수요 및 공급 자료 활용

- 과거 저수지의 용수공급 데이터를 기반으로 용수수요를 추정하고 이를 활용하여 이수안전도 평가
- 이 방법을 활용할 경우 정확한 데이터를 기반으로 한다는 장점이 있지만 과거의 데이터를 활용함에 따라 미래의 상황을 고려할 수 없다는 문제가 있음

Fig. 5.12 이수안전도 평가를 위한 농업용수 공급량 추정 방법

□ 본 연구에서는 농업용수의 계획공급량 산정을 위하여 「농어촌용수 이용합리화 계획 (2015~2024)」에 수록된 2024년 기준의 용수공급 수요량 자료를 활용하였으나, 과거의 용수공급량을 기준으로 분석할 경우 HOMWRS 모형의 필요수량 산정 모형을 활용할 수 있고, 『수자원장기종합계획』에 수록된 자료를 활용하여 추정할 수도 있음

□ 하천유지용수 계획공급량 추정

- 최근 강우의 변동성이 심화됨에 따라 자연하천의 건천화 등 하천생태계에 다양한 문제들이 발생하고 있음에 따라 농업용 저수지에서도 하천유지용수의 공급이 중요해지고 있음
- 『농업생산기반시설 설계기준』의 「67 10 20 : 농업용 필댐설계」 ‘1.7.7.1 하천유지용수의 공급’에서는 하류하천의 친수용수량 공급을 위해 “저수지 건설 시 여름철 갈수기 유입량이 0.4 mm/day 이하인 경우 0.4 mm/day를 방류하고, 겨울철 유입량이 0.25 mm/day 이하인 경우 0.25 mm/day를 공급하는 것을 검토할 수 있다.”고 제시하였고 ‘1.8.4.5 환경용수량을 고려한 저수용량 산정’에서는 “하천유지유량은 자연적 요인인 평균 갈수량과 인위적 요인인 환경보전유량 가운데 큰 값을 선택한다.”고 제시하였음
- 하지만 이미 건설되어 운영 중인 농업용 저수지의 하천유지용수 공급에 대한 기준은 모호한 부분이 있으며, 본 연구에서는 「유역배율에 따른 저수지의 하천유지용수 공급량(한국농공학회 제38권 2호,2011.06.)」에서 제시한 유역배율(유역면적/수해면적)에 따른 하천유지용수 산정 공식을 활용하였으며 식(5-16)에 의하여 계산됨

$$Q_s/S = 0.801 \ln(M) - 0.920 \quad (5-16)$$

- 여기서,  $Q_s$ 는 하천유지용수 공급량( $m^3$ ),  $S$ 는 총 저수용량( $m^3$ ),  $M$ 은 유역배율을 나타냄

□ 농업용 저수지의 손실량 추정

- 저수지는 유역내에 발생한 강우가 집수되어 있는 수자원 시설물로 저류 후 기온, 습도 등 기상요소에 의해 증발 손실이 발생함
- 일반적으로 K-water에서 관리하는 다목적댐의 경우 유입량을 저수량과 공급량에 의해 역산하여 추정함에 따라 추정된 유입량에 손실량이 고려되어 있지만 본 연구에서는 가지야마 공식을 기반으로 유입량을 추정하였기에 손실량을 추가로 계산하여 물 수지에 활용하였음
- 저수지의 손실량 계산을 위하여 저수지의 만수면적과 저수용량의 비례관계와 인근 기상관측소의 증발고를 활용하여 저수지의 증발량은 식(5-17)에 의하여 계산됨

$$E(m^3) = \frac{\text{현재 저수량}(m^3)}{\text{총 저수용량}(m^3)} \times \text{만수면적}(m^2) \times \text{증발고}(m) \quad (5-17)$$

□ 저수지 모의운영

- 저수지 모의운영은 저수지로의 유입량과 공급량, 손실량 등의 요소에 의한 물 수지에 기반하여 저수지로부터의 용수공급 가능성을 판단하기 위한 방법임
- 본 연구에서는 식(5-18)을 활용하여 저수지 모의운영을 실시

$$S_T = S_{T-1} + I_T - O_T - W_T - E_T \quad (5-18)$$

- 여기서,  $S_T$ 는  $T$  시간의 저수량,  $S_{T-1}$ 는  $T-1$  시간의 저수량,  $I_T$ 는  $T$  시간의 유입량,  $O_T$ 는  $T$  시간의 용수공급량,  $W_T$ 는  $T$  시간의 수문방류량(저수가능량 이상의 유입량),  $E_T$ 는  $T$  시간의 증발량을 나타냄

- 작물의 생육시기를 고려하기 위해 본 연구의 저수지 모의운영에서는 분석단위를 월 단위로 설정하였음

□ 이수안전도 평가

- 신뢰도 기반의 이수안전도 평가를 위해 기간신뢰도를 활용하였으며, 이는 전체 운영기간 중 용수공급에 실패한 기간의 비율로써 정의되고 아래 식과 같은 방법으로 산정하였음
- 식(5-19)는 기간신뢰도에 대한 계산을 나타냄

$$\text{기간신뢰도(\%)} = \frac{\text{전체 모의운영기간} - \text{용수공급실패기간}}{\text{전체 모의운영기간}} \times 100(\%) \quad (5-19)$$

- 본 연구에서는 농업용 저수지의 설계빈도인 한발 10년 빈도에 맞추어 이수안전도를 평가하기 위하여 저수지 모의분석은 월 단위로 총 120개월에 대해 수행하였고, 이수안전도의 평가는 연 단위로 수행하였음
- 이러한 평가방법을 활용하게 될 경우 1년 중 한 달만 용수공급에 실패하여도 그 해는 용수공급에 실패하였다고 판단할 수 있음

### 5.3.2.3 농업용 저수지 이수안전도 평가 방법론 적용

- 본 연구에서 위에서 제시한 이수안전도 평가 방법론을 활용하여 8개 권역(경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남)의 저수지를 1개소씩 선정하여 이수안전도를 평가하였음
- 덕우저수지 이수안전도 평가 결과

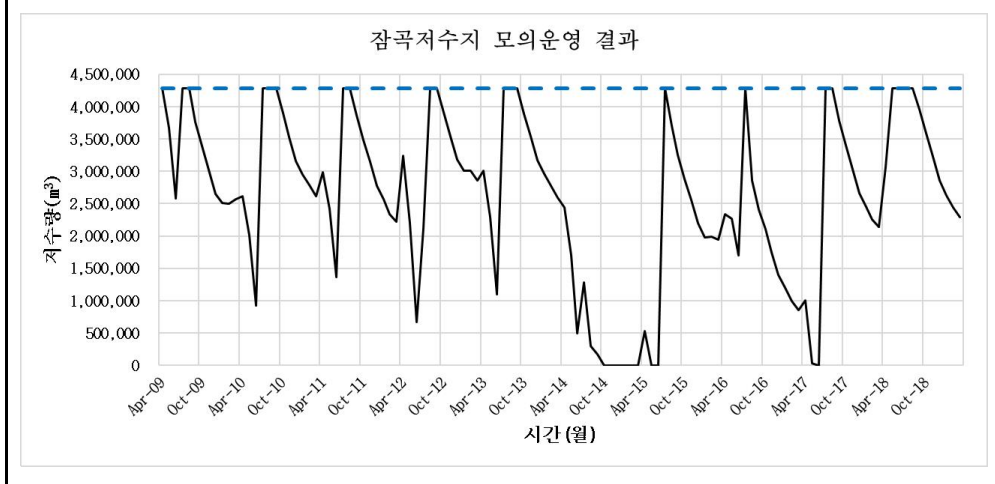
지역	경기	유입량 산정 방식		HOMWRS 모형 가지야마공식	
저수지명	덕우저수지	계획 공급량 (m <sup>3</sup> /년)	논 용수	5,767,066	
유역면적 (ha)	2,270		밭 용수	5,099	
수혜면적 (ha)	573		축산용수	35,881	
유효저수용량 (1000m <sup>3</sup> )	3,547		하천유지용수	3,305,655	
유역배율	3.96	모의운영 초기저수량 (1000m <sup>3</sup> )		3,547	
만수면적 (ha)	82.7	운영단위 및 평가단위		월 단위	
총 모의기간 (년)	10	실패기간 (년)	1 (2017)	이수안전도 (%)	90.0

덕우저수지 모의운영 결과

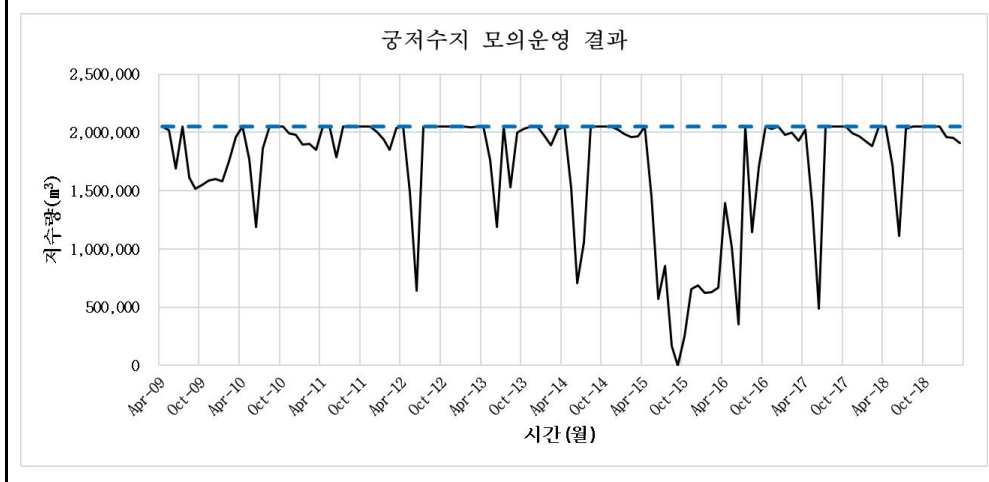
□ 잠곡저수지 이수안전도 평가 결과

지역	강원	유입량 산정 방식		HOMWRS 모형 가지야마공식	
저수지명	잠곡저수지	계획 공급량 (m <sup>3</sup> /년)	논 용수	4,953,714	
유역면적 (ha)	1,970		밭 용수	88,847	
수혜면적 (ha)	825		축산용수	70,117	
유효저수용량 (1000m <sup>3</sup> )	4,279		하천유지용수	4,331,282	
유역배율	2.39	모의운영 초기저수량 (1000m <sup>3</sup> )		4,279	
만수면적 (ha)	40	운영단위 및 평가단위		월 단위	
총 모의기간 (년)	10	실패기간 (년)	3 (2014,2015, 2017)	이수안전도 (%)	70.0



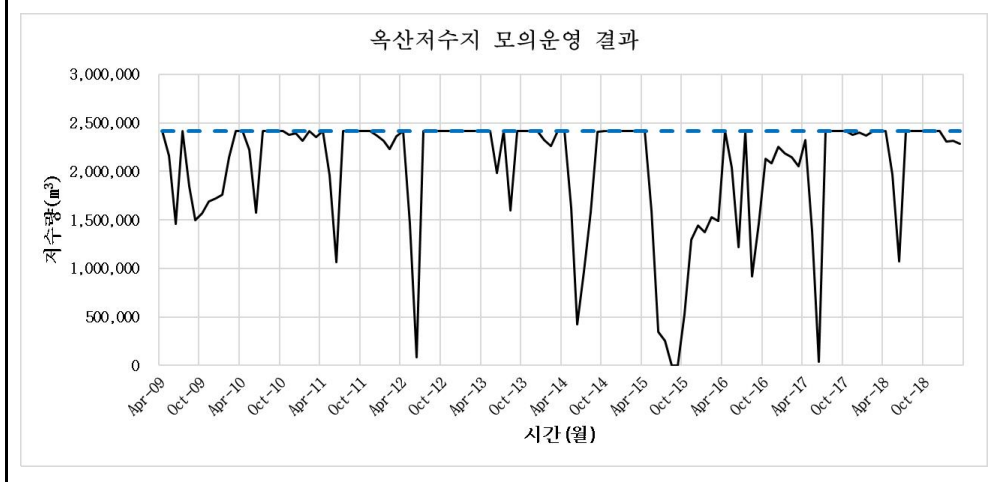
□ 궁저수지 이수안전도 평가 결과

지역	충북	유입량 산정 방식		HOMWRS 모형 가지야마공식	
저수지명	궁저수지	계획 공급량 (m3/년)	논 용수	3,117,594	
유역면적 (ha)	1,143		밭 용수	19,098	
수혜면적 (ha)	360		축산용수	15,807	
유효저수용량 (1000m <sup>3</sup> )	2,052		하천유지용수	1,994,698	
유역배율	3.18	모의운영 초기저수량 (1000m <sup>3</sup> )		2,052	
만수면적 (ha)	38.5	운영단위 및 평가단위		월 단위	
총 모의기간 (년)	10	실패기간 (년)	1 (2015)	이수안전도 (%)	90.0



□ 옥산저수지 이수안전도 평가 결과

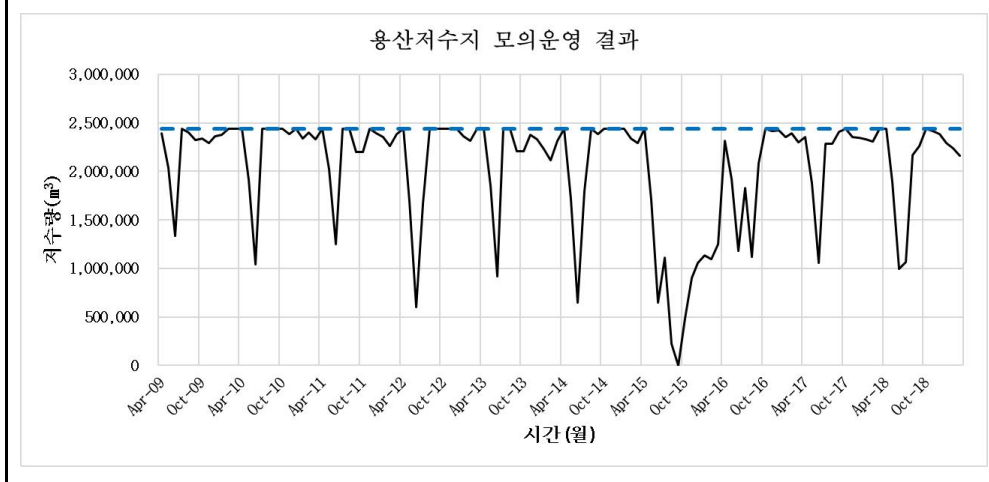
지역	충남	유입량 산정 방식		HOMWRS 모형 가지야마공식	
저수지명	옥산저수지	계획 공급량 (m <sup>3</sup> /년)	논 용수	4,839,603	
유역면적 (ha)	1,700		밭 용수	10,958	
수혜면적 (ha)	482		축산용수	13,303	
유효저수용량 (1000m <sup>3</sup> )	2,413		하천유지용수	2,302,302	
유역배율	3.53	모의운영 초기저수량 (1000m <sup>3</sup> )		2,413	
만수면적 (ha)	73	운영단위 및 평가단위		월 단위	
총 모의기간 (년)	10	실패기간 (년)	1 (2015)	이수안전도 (%)	90.0





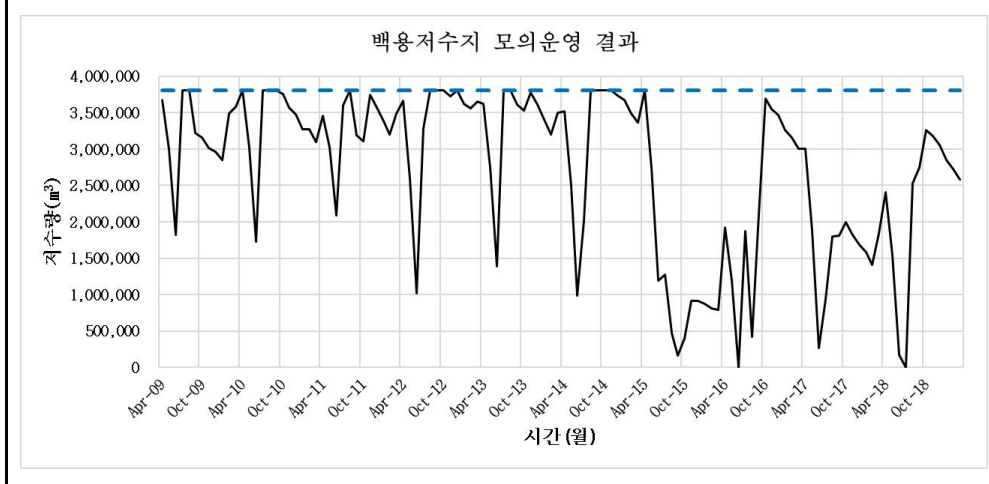
□ 용산저수지 이수안전도 평가 결과

지역	전북	유입량 산정 방식		HOMWRS 모형 가지야마공식	
저수지명	용산저수지	계획 공급량 (m3/년)	논 용수	3,808,357	
유역면적 (ha)	1,290		밭 용수	12,191	
수혜면적 (ha)	390		축산용수	9,476	
유효저수용량 (1000m <sup>3</sup> )	2,439		하천유지용수	2,354,385	
유역배율	3.31	모의운영 초기저수량 (1000m <sup>3</sup> )		2,439	
만수면적 (ha)	37.4	운영단위 및 평가단위		월 단위	
총 모의기간 (년)	10	실패기간 (년)	1 (2015)	이수안전도 (%)	90.0



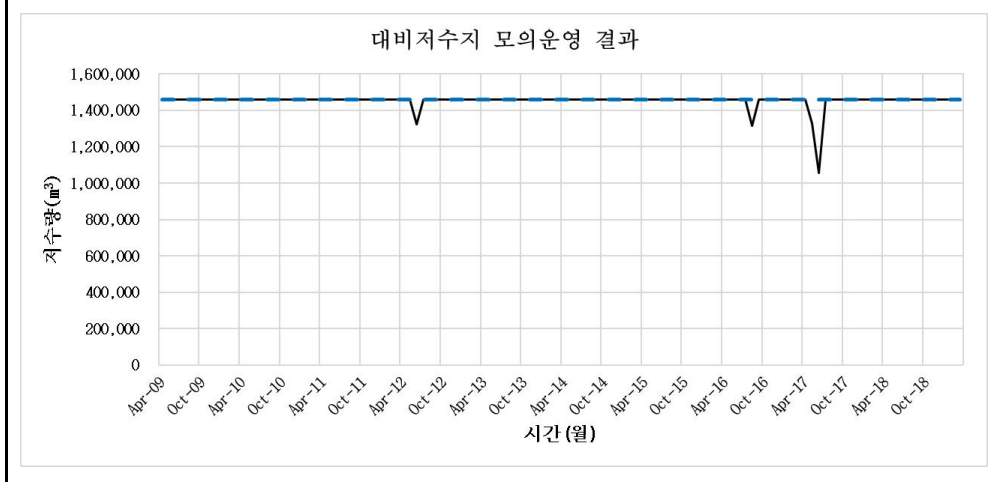
□ 백용저수지 이수안전도 평가 결과

지역	전남	유입량 산정 방식			HOMWRS 모형 가지야마공식
저수지명	백용저수지	계획 공급량 (m3/년)	논 용수	5,395,855	
유역면적 (ha)	1,550		밭 용수	34,106	
수혜면적 (ha)	616		축산용수	18,968	
유효저수용량 (1000m <sup>3</sup> )	3,804		하천유지용수	3,825,577	
유역배율	2.52	모의운영 초기저수량 (1000m <sup>3</sup> )			3,804
만수면적 (ha)	44.9	운영단위 및 평가단위			월 단위
총 모의기간 (년)	10	실패기간 (년)	2 (2016, 2018)	이수안전도 (%)	80.0



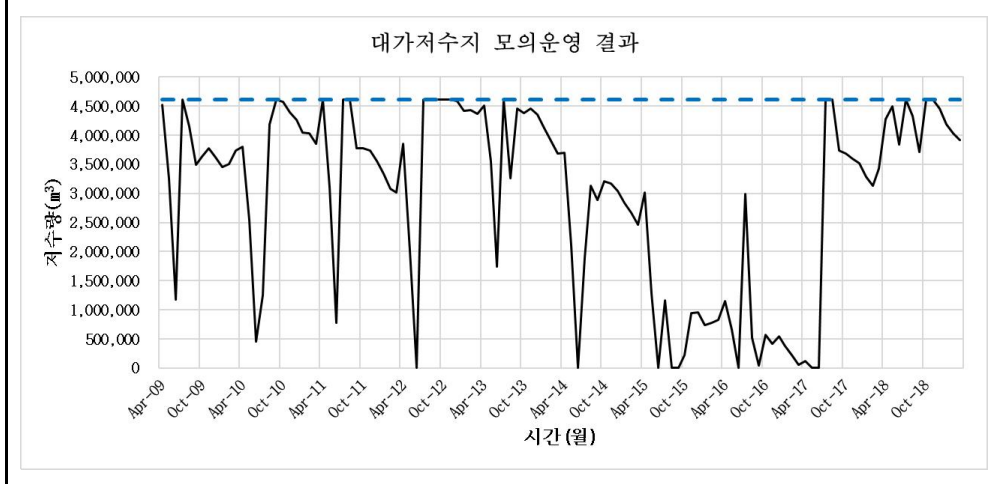
□ 대비저수지 이수안전도 평가 결과

지역	경북	유입량 산정 방식		HOMWRS 모형 가지야마공식	
저수지명	대비저수지	계획 공급량 (m3/년)	논 용수	1,526,027	
유역면적 (ha)	600		밭 용수	15,943	
수혜면적 (ha)	195		축산용수	5,109	
유효저수용량 (1000m <sup>3</sup> )	1,461		하천유지용수	1,427,509	
유역배율	3.08	모의운영 초기저수량 (1000m <sup>3</sup> )		1,461	
만수면적 (ha)	17.4	운영단위 및 평가단위		월 단위	
총 모의기간 (년)	10	실패기간 (년)	-	이수안전도 (%)	100.0



□ 대가저수지 이수안전도 평가 결과

지역	경남	유입량 산정 방식		HOMWRS 가지야마공식	
저수지명	대가저수지	계획 공급량 (m3/년)	논 용수	8,981,114	
유역면적 (ha)	2,026		밭 용수	22,533	
수혜면적 (ha)	899		축산용수	22,441	
유효저수용량 (1000m <sup>3</sup> )	4,615		하천유지용수	4,702,988	
유역배율	2.25	모의운영 초기저수량 (1000m <sup>3</sup> )		4,615	
만수면적 (ha)	86.6	운영단위 및 평가단위		월 단위	
총 모의기간 (년)	10	실패기간 (년)	5 (2012, 2014~2017)	이수안전도 (%)	50.0



□ 농업용 저수지 이수안전도 평가 결과

- 위에서 제시한 농업용 저수지 이수안전도 평가 방법론을 활용하여 전국 8개 시범저수지에 이수안전도를 평가한 결과 Table 5.28과 같이 분석됨

Table 5.28 저수지별 이수안전도 평가 결과

저수지명	이수안전도(%)
경기 덕우저수지	90.0
강원 잠곡저수지	70.0
충북 궁저수지	90.0
충남 옥산저수지	90.0
전북 용산저수지	90.0
전남 백용저수지	80.0
경북 대비저수지	100.0
경남 대가저수지	50.0

- 농업용 저수지 설계 이수안전도인 10년빈도 한발을 기준으로 보았을 때 강원 잠곡저수지, 전남 백용저수지, 경남 대가저수지의 이수안전도가 각각 70 %, 80 %, 50 %로 설계빈도에 못 미치는 것을 확인할 수 있음
- 경기 덕우저수지, 충북 궁저수지 등 총 4개의 저수지는 심도깊은 한발(가뭄)이 발생했던 2015년 용수공급에 실패하여 이수안전도 90 %로 산정되었고, 경북 대비저수지의 경우 이수안전도 100 %로 안정적인 용수수급이 가능한 것으로 분석되었음

### 5.3.3 소 결

- 저수지의 이수안전도는 저수지의 용수공급능력을 평가하기 위한 지표로써 저수지의 용수관리, 저수지의 성능개선 등에 활용가능함
- 하지만 국내 농업용 저수지는 이수안전도를 평가하기 위해 명문화되어 있는 기준이 없으며 현재까지 체계적인 이수안전도 평가가 이뤄지지 않고 있음
- 본 연구에서는 저수지의 노후화, 기후변화 등에 대응하기 위하여 저수지 이수성능 평가를 위한 이수안전도 평가방법을 제시하고, 이를 적용하여 적용성을 판단하였음
- 본 연구에서 제시한 이수안전도 평가 방법은 신뢰도 기준의 이수안전도 평가 방법으로 저수지 모의운영을 기초로 하고 있으며, 월 단위 저수지 모의를 통한 결과를 활용하여

연 단위 평가 방법을 제시하였음

- 평가를 위해 유입량, 공급량, 손실량 등 저수지 수문요소를 추정할 수 있는 방안을 조사하였으며, 적용성을 평가하기 위해 가지야마 공식을 활용한 유입량 추정, 미래 농업용수 수급을 고려한 공급량 추정, 증발에 의한 손실량을 추정함
- 위 방법을 전국 8개 저수지에 대해 적용하여 분석한 결과 총 3개의 저수지 이수안전도가 10년 빈도 한발(농업용 저수지 설계기준)에 못 미치는 것을 확인할 수 있었음
- 본 연구에서 제시한 방법은 미래의 농업용수 수요를 저수지가 만족시킬 수 있는지에 대해 분석한 것이며, 수문 계측자료가 부족한 농업용 저수지의 특성에 맞게 다양한 수문요소를 추정할 수 있는 방법을 조사하고 이를 토대로 구성되었음
- 이러한 농업용 저수지의 이수안전도 평가를 통해 저수지의 용수관리 계획, 성능개선 등 다양한 이수측면의 저수지 운영 및 관리가 가능할 것으로 판단됨

#### 5.4 농업용 저수지의 이수안전도 평가 기법 개발 결론

- 본 연구에서는 농업용 저수지의 이수 관리를 위하여 ‘기존 장기유출모형의 적합도 개선’ 및 ‘농업용 저수지의 이수안전도 평가 방법 개발’ 등의 연구를 진행하였음
- 장기유출모형의 적합도 개선을 위해서는 최근 수문관측을 시작한 저수지를 대상으로 실측자료 기반의 매개변수 최적화를 수행하고, 최적화된 매개변수와 각 저수지의 유역특성을 활용하여 매개변수 추정 회귀식을 개발하여 적용성을 평가하였음
  - 최적화된 매개변수와 개발된 매개변수 추정 회귀식의 적용성을 평가한 결과 현재 활용 중인 매개변수 추정 회귀식에 비하여 더 높은 정확도를 보이는 것으로 확인됨
  - 하지만 향후 더 장기간의 유입량 자료를 바탕으로 매개변수를 최적화하여 회귀식을 추가 개선한다면 더 높은 정확도의 매개변수 추정이 가능할 것이라 판단됨
- 농업용 저수지의 이수안전도 평가 방법론은 일반적으로 사용되는 저수지 이수안전도 평가 방법 중 신뢰도를 기반의 평가 방법을 선정하였고, 이를 적용하기 위해 유입량, 공급량, 손실량 등의 요소를 추정하여 저수지 모의를 수행함
  - 전국 총 8개 저수지를 대상으로 이수안전도를 평가한 결과 일부 저수지에서 이수능력이 설계빈도에 못 미치는 것을 확인하였음
  - 향후 대상 저수지를 확대하여 이수안전도를 평가한다면 이수능력이 부족한 저수지를 확인할 수 있고, 이를 바탕으로 저수지의 성능 개선이 가능할 것이라 판단됨
- 최근 기후변화 및 사회발전에 따라 다양한 물 관리 방안이 요구되고 있어 체계적인 저수지 용수관리가 필수적임에 따라 본 연구의 결과를 저수지의 운영 및 관리에 활용한다면 저수지의 이수성능 개선에 도움이 될 것으로 사료됨

## 6장 성능평가 모델 개발

### 6.1 시설별 성능평가 모델 개발

#### 6.1.1 열화모델과 비용모델 개요

##### 1) 열화모델

- 시설의 열화모델은 준공 이후 공용기간이 증가함에 따라 지속적인 성능 저하에 의해 수명이 종료되는 시기를 예측하는 모델
- 보수보강공사가 이루어지지 않은 시설의 데이터를 이용하여 시설에 보수보강이 이루어지지 않을 시 자연적으로 종료되는 수명을 예측하는 미조치 모델 개발
- 현행 유지보수체계에 의해 연장되는 수명을 예측할 수 있는 조치 모델 개발
- 보수보강 공사 수행 후 조치효과가 감소되는 열화모델 개발

##### 2) 비용모델

- 시설의 비용모델은 부재의 성능(등급)에 따른 보수보강공사비용을 예측하는 모델
- 기존에 사용한 보수보강공사비용을 통해 비용모델 개발(비용모델 I)
- 진단결과 나타난 시설의 손상물량과 손상별 대표공법에 기준단가를 사용하여 비용모델 개발(비용모델 II)

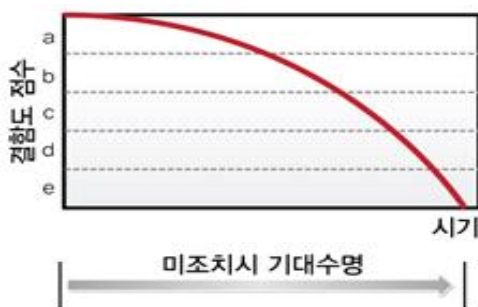


Fig. 6.1 열화모델

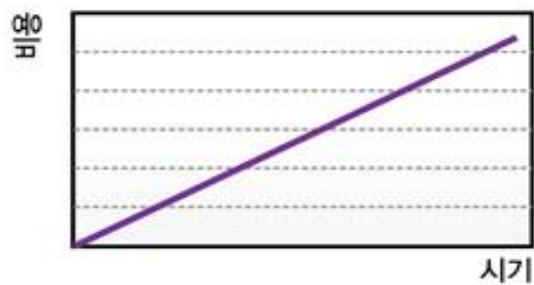


Fig. 6.2 비용모델

## 6.1.2 저수지 체체 열화모델의 개발

□ 보수보강공사 수행 횟수 분석을 통한 데이터 분류

- 부재별 미조치시 열화모델을 만들기 위해 시설의 경과년수별 보수보강 횟수를 분석하여 모델 개발을 위한 데이터 분류
- 저수지 체체의 분석결과 주기적인 보수보강공사가 이뤄지지 않아 시설의 최초 조치시기를 파악하기 어려움

➡ **최초 조치시기를 파악하기 위해 1회 보수보강공사를 수행한 시설의 데이터를 선별하여 데이터의 분포를 분석한 후 최종 데이터 분류**

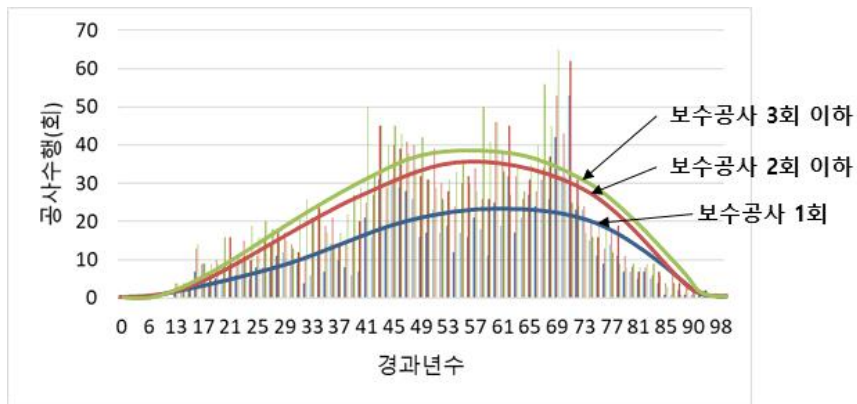


Fig. 6.3 저수지 체체의 보수보강공사 수행횟수

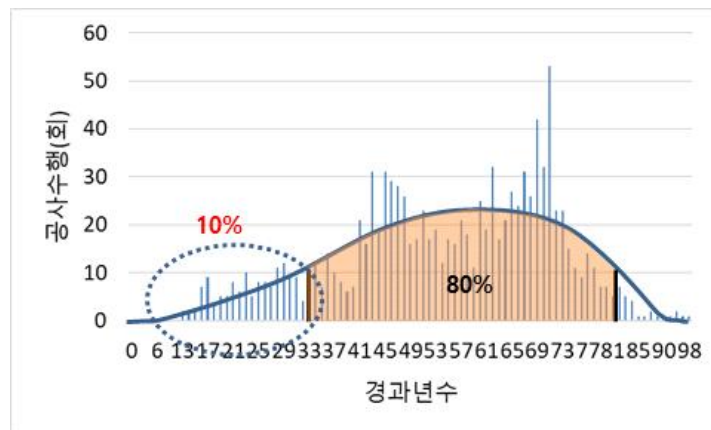


Fig. 6.4 체체의 1회 보수보강공사 데이터의 선별



□ 분류된 데이터의 정규분포화 및 열화모델 개발

- 점검진단 최종결과는 부재의 등급으로 나타나기 때문에 다음과 같이 일정하게 나타나므로 등급의 결합도 점수를 이용해 정규 분포화하여 데이터를 가공
- 데이터를 분포 추세를 분석하여 미조치시 열화모델과 현행 유지관리체계에서 지속적인 보수보강이 이루어진 조치모델을 개발

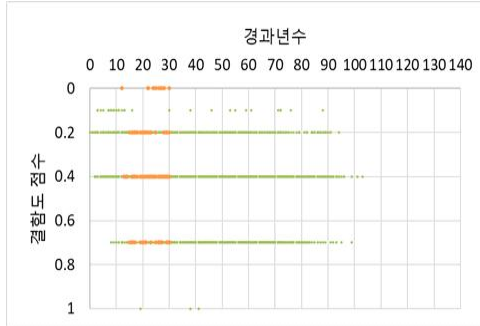


Fig. 6.5 동일한 등급의 데이터

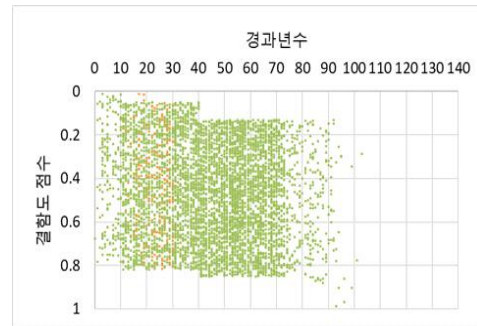


Fig. 6.6 정규분포화한 데이터

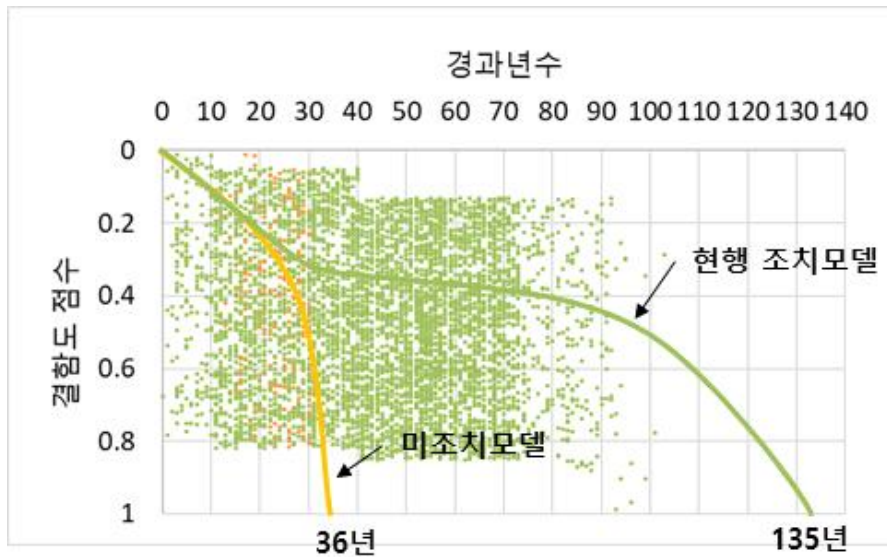


Fig. 6.7 저수지 제체의 미조치모델과 조치모델

### 6.1.3 저수지 제체 비용모델의 개발

- 기본에 사용된 보수보강공사의 비용을 이용하여 등급별 조치시기에 따른 비용모델 개발 - 비용모델 I
  - 공사 비용이 100억 이상인 공사는 보수보강공사에서 제외

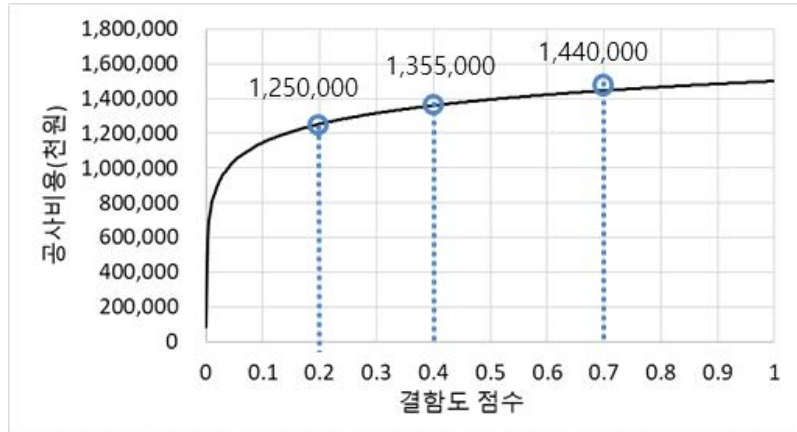


Fig. 6.8 저수지 제체의 비용모델 I

- 점검진단의 손상정보와 보수공사공법의 단가를 이용하여 비용모델 개발 - 비용모델 II
  - 점검진단정보 중 부재의 전체 물량, 손상물량, 손상등급 등의 정보화 각 손상에 대한 대표 보수공사의 비용을 이용

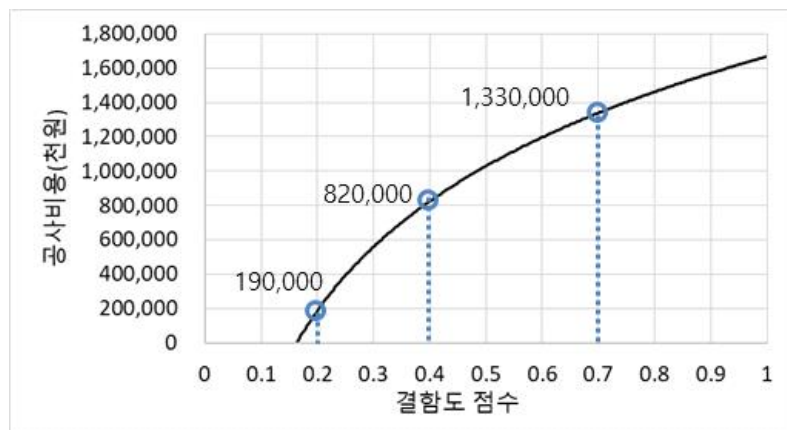


Fig. 6.9 저수지 제체의 비용모델 II

Table 6.1 제체의 세부부재별 손상과 대표보수공법 정의

부재	세부부재	손상유형	대표 보수공법
제체	댐마루	균열	그라우팅
		침하	댐마루 증고
		수평변위	단면보수
		제체유실	성토다짐
		사면불안정	성토다짐
	상류사면	누수	그라우팅
		침하 및 변형	성토다짐
		차수벽 노후화	단면보수
		사면불안정 및 사면보호	단면보수
		사면침식	사석 재설치
제체	하류사면	누수	그라우팅
		사면불안정	단면보수
		사면보호 상태	성토다짐
		침하 및 변형	성토다짐
		사면침식	사석 재설치
		식생	식생제거
		동물의 굴	동굴제거
	기초 및 양안부	부등침하	그라우팅
		기초 불안정	단면보수
		침식 및 침투	그라우팅

□ 비용모델의 변환

- 열화모델과 비용모델을 통해 조치시기를 예측하기 위해서는 비용모델의 변환이 필요. 비용모델의 조치등급(결합도 점수)을 열화모델을 통해 조치시기로 변환

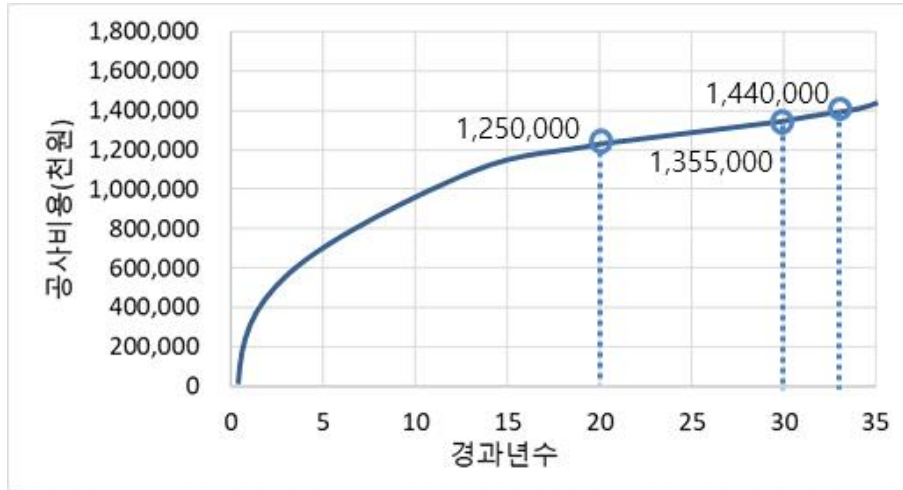


Fig. 6.10 조치시기로 변환한 제체의 비용모델 I

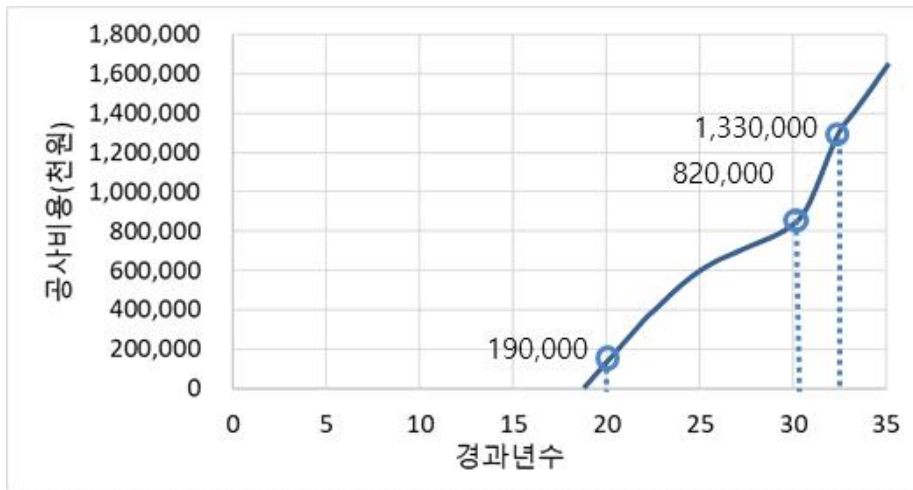


Fig. 6.11 조치시기로 변환한 제체의 비용모델 II

### 6.1.4 저수지 여수로와 취수시설의 성능평가 모델

□ 제체와 동일한 방법으로 점검진단정보를 이용하여 열화모델 개발

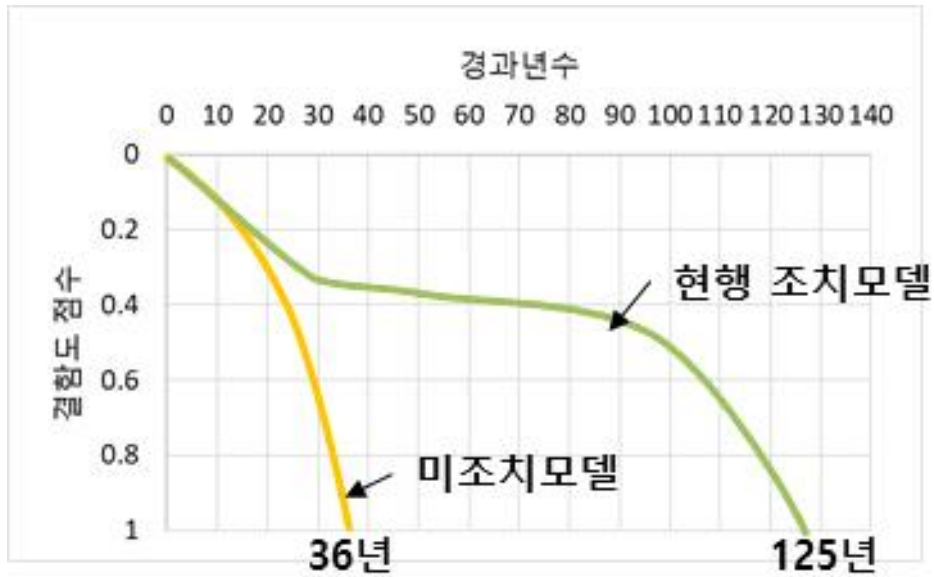


Fig. 6.12 여수로의 열화모델

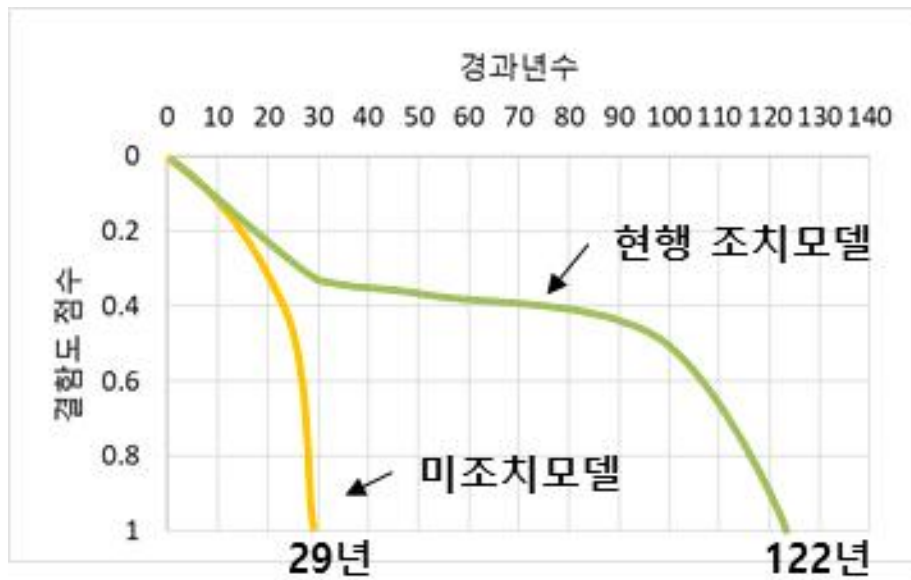


Fig. 6.13 취수시설의 열화모델

□ 여수로와 취수시설의 비용모델 개발

- 현재 보수보강공사정보가 부재별로 세분화되어 있지 않아 비용모델 I은 제체와 동일
- 취수시설은 대부분의 손상에 의한 보수가 기계, 전기설비의 교체로 나타남

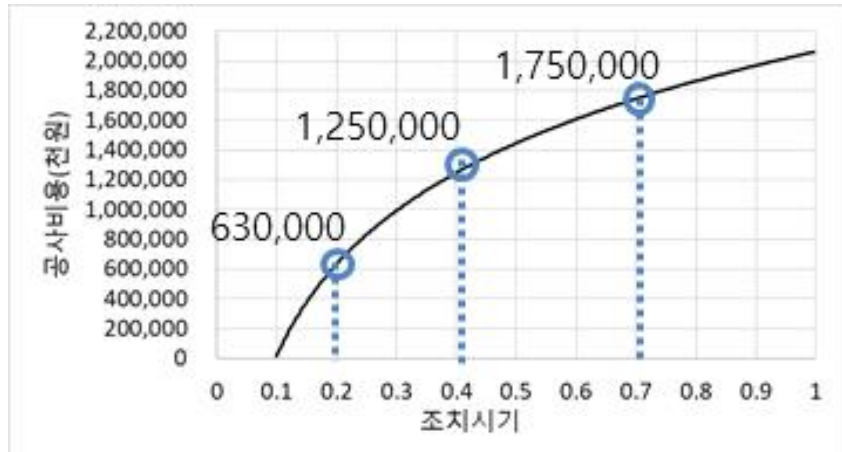


Fig. 6.14 여수로의 비용모델 II

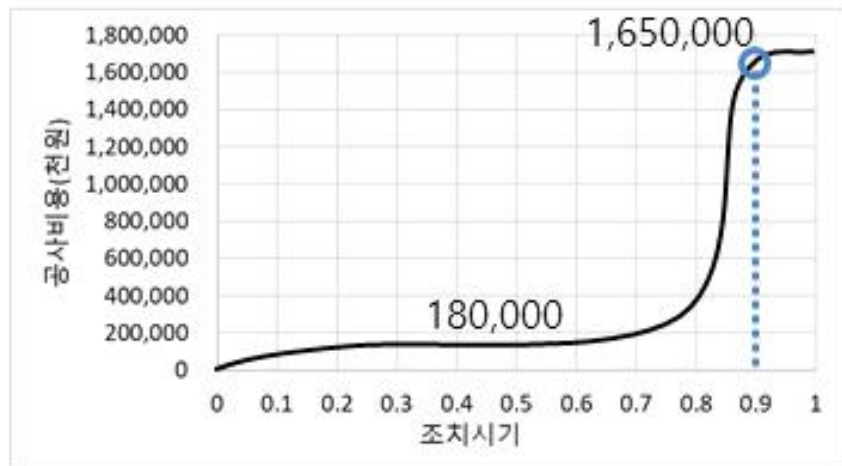


Fig. 6.15 취수시설의 비용모델 II

### 6.1.5 양·배수장의 성능평가 모델

□ 토목구조물, 건축구조물, 기계시설, 전기시설의 열화모델 개발

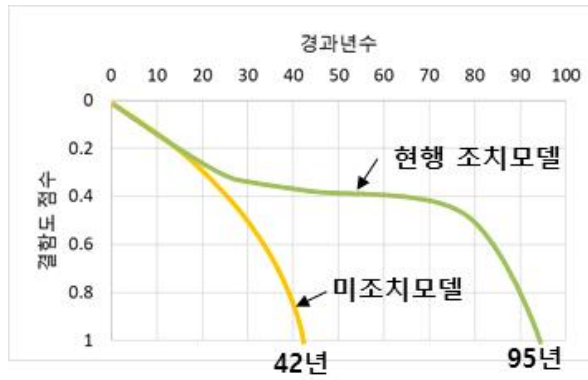


Fig. 6.16 토목구조물의 열화모델

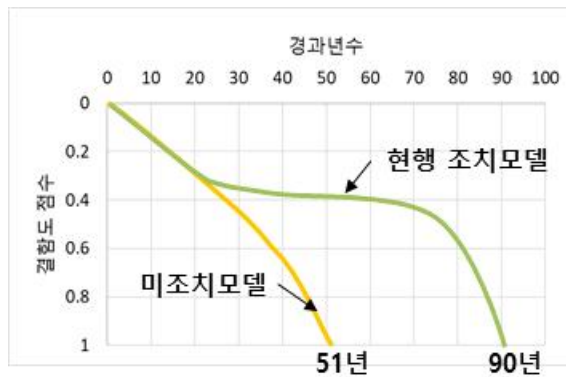


Fig. 6.17 건축구조물의 열화모델

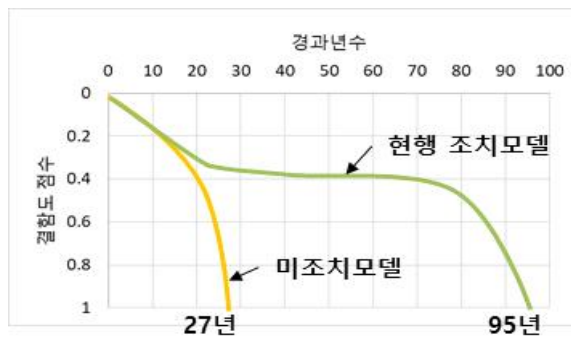


Fig. 6.18 기계시설의 열화모델

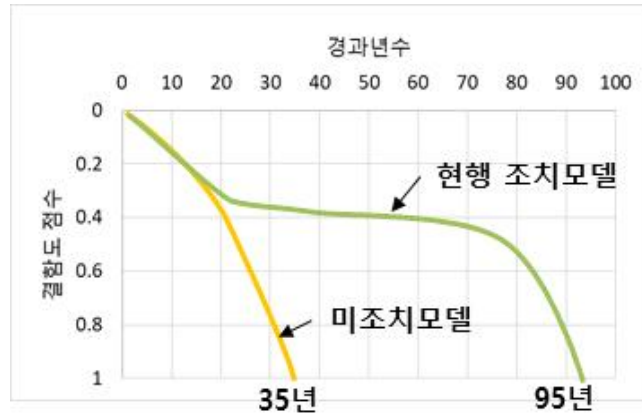


Fig. 6.19 전기시설의 열화모델

□ 토목구조물, 건축구조물, 기계시설, 전기시설의 비용모델 개발

- 현재 보수보강공사정보가 부재별로 세분화되어 있지 않아 비용모델 I은 개발 불가
- 점검진단 손상정보의 대부분은 토목구조물이며, 건축구조물, 기계시설, 전기시설은 주요 설비의 교체비용을 이용하여 비용모델 II 개발

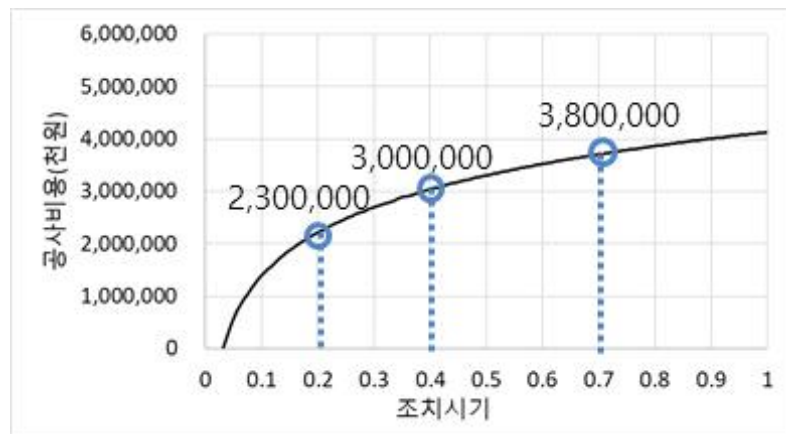


Fig. 6.20 토목구조물의 비용모델 II



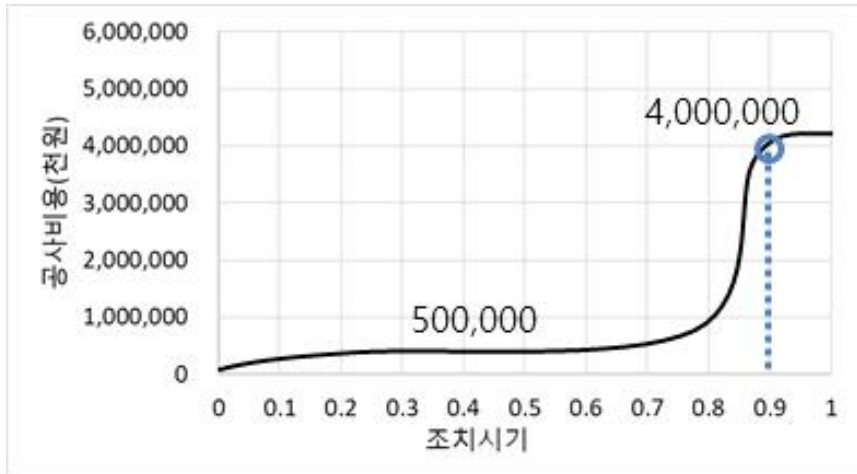


Fig. 6.21 건축구조물의 비용모델 II

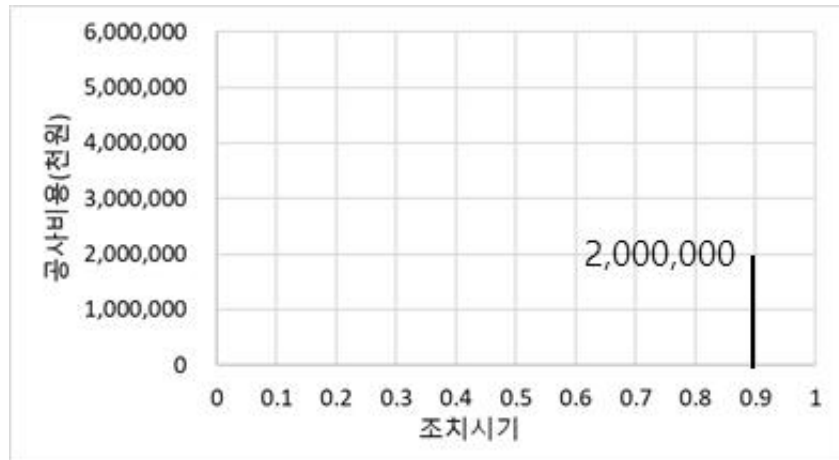


Fig. 6.22 기계설비의 비용모델 II

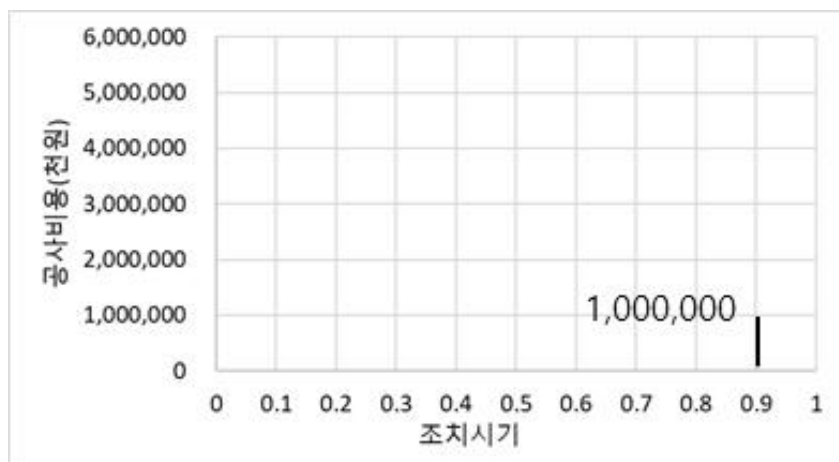


Fig. 6.23 전기설비의 비용모델 II

## 7장 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출

### 7.1 저수지 및 양·배수장의 기대수명 평가

- 시설의 기대수명은 시설을 구성하는 부재의 수명에 의해 결정
  - 시설의 수명을 결정하는 주요부재 정의
  - 개발된 시설별 부재의 열화모델을 통해 저수지 및 양·배수장의 기대수명을 평가함

Table 7.1 농업기반시설의 기대수명평가

시설	부재	미조치 모델의 수명(년)	기대수명(년)
저수지	제체	36	135
	여수로	36	125
	취수시설	29	122
양배수장	토목구조물	42	95
	건축구조물	51	90
	기계설비	27	95
	전기설비	35	95

### 7.2 저수지 및 양·배수장의 조치시기 결정

- 시설의 보수보강 조치시기는 열화모델과 비용모델을 통해 예측하고 예측 구간에 대해서 기대효과를 분석하여 조치시기 결정
  - 열화모델과 비용모델I의 형태로부터 B~C등급에서 조치 적절하게 나타났으며, 열화모델과 비용모델II의 형태로부터는 C~D등급에서 조치가 적절할 것으로 예측되어 기대효과는 B, C, D등급에서 검토

Table 7.2 조치시기 등급별 비용(저수지 제체)

조치시기	증가수명(년)	비용모델I 조치비용(천원)	기대효과(천원/년)	비용모델II 조치비용(천원)	기대효과(천원/년)
B	15	1,250,000	83,000	190,000	13,000
C	15	1,355,000	90,000	820,000	55,000
D	20	1,440,000	72,000	1,330,000	66,500

Table 7.3 조치시기 등급별 비용(저수지)

부재	조치 시기	증가 수명 (년)	비용모델I 조치비용 (천원)	기대효과 (천원/년)	비용모델II 조치비용 (천원)	기대효과 (천원/년)
제체	D	15	1,440,000	72,000		
	C	15			820,000	55,000
여수로	C	16	1,440,000	90,000	1,750,000	110,000
취수시설	E	14			1,650,000	120,000

Table 7.4 조치시기 등급별 비용(양·배수장)

부재	조치 시기	증가수명 (년)	비용모델II 조치비용(천원)	기대효과 (천원/년)
토목구조물	D	22	3,800,000	170,000
건축구조물	C	35	4,000,000	115,000
기계설비	C	14	1,330,000	143,000
전기설비	E	21	1,000,000	48,000

## 8장 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향

### 8.1 국내 자산관리 선행기술 사례조사

#### 8.1.1 자산관리 추진 현황

- 국내에서 인프라 시설물의 자산관리 분야에 대한 연구는 한국시설안전공단과 한국도로공사를 중심으로 이루어져 왔음
- 한국시설안전공단에서는 2005년에 “생애주기비용에 기초한 시설물 최적 유지관리 시스템 개발” 연구에서 자산관리 개념을 시설물 유지관리에 도입하는 기초 연구를 수행함
  - 다음으로 2008년부터 2010년까지 “LCC 예측 모델을 활용한 도로시설물 유지관리 계획 수립 방안 연구”를 수행함
  - 연구과제를 통하여 시설물의 자산가치평가 방법, 시설물의 부재별 수명 및 유지관리 비용 예측 방법, 자산관리 체계의 도입 및 운영 방안, 자산관리를 위한 기초적인 분석프로그램 개발 등의 성과를 도출하였음
- 한국도로공사에서는 2008년부터 2009년까지 “자산관리체계 Framework 개발 연구”와 2010년부터 2011년까지 “선진구조물 자산관리체계 적용 연구”를 통하여 고속도로 상의 교량에 대한 성능 중심의 유지관리 도입방안을 연구하였음
  - 연구를 통하여 고속도로 상의 교량 유지보수 업무에 선진적인 자산관리 개념을 접목하기 위한 방법론을 도출하였고,
  - 고속도로 교량의 부재별 수명 및 유지관리 비용 예측 방법, 예산 배정 방법, 관리목표 수립 방법, 중장기 유지보수 예산 분석 방법 등의 다양한 성과를 도출
- 이와 같은 자산관리의 기본적인 개념과 도입방법을 검토하는 연구 이외에도 도로분야에서는 도로시설물의 유지관리 시스템을 개발 및 운영하는 연구가 수행되었음
- 한국건설기술연구원은 1983년부터 국토교통부의 위탁을 받아 국도포장유지관리시스템(국도PMS: Pavement Management System)을 개발하여 운영 중임
  - 도로포장의 상태를 자동으로 조사할 수 있는 차량(ARAN)과 비파괴시험장비인 FWD, 미끄럼 조사장비 등을 통합 운영하여 도로포장의 상태를 지수(PCI: Pavement Condition Index)화하여 보수구간을 선정하는데 활용하고 있음
- 한국도로공사는 1994년부터 서울시는 2002년부터 포장유지관리시스템을 각각 개발하고 조사장비를 운영하여 포장도로 보수구간 선정에 활용하고 있음
- 한국도로공사와 한국건설기술연구원은 고속도로 및 국도의 교량들에 대한 교량유지관리시스템(BMS: Bridge Management System)을 개발 및 운영하고 있음
  - 한국도로공사는 2000년에 HBMS를 완성하여 교량의 정밀안전진단 및 정기점검에서 얻어진

상태조사정보, 유지보수 시행 이력 등을 저장하여 교량의 유지관리 업무에 활용하고 있음

- 한국건설기술연구원은 2010년부터 2012년까지 기존의 국도BMS를 개선하는 연구를 수행하여 상태 및 보수 이력정보 관리 수준에 머물던 국도BMS에 의사결정 논리와 자산관리의 개념을 도입하는 개발을 완료함
- 한국도로공사는 고속도로의 포장 및 교량에 대한 상태 정보 및 유지관리 이력정보를 사내 인트라넷인 “Hi-Portal”에 “Hi-유지관리”라는 영역을 만들어 모두 저장하고 있다. 국도의 경우에는 교량 BMS의 정보는 “건설CALS”에 저장되어 활용되고 있음
- 유지관리 시스템들은 자산관리의 도입 과정에서 반드시 필요한 시설물의 성능(또는 상태)에 대한 정보를 획득하여 정량화하고 저장하는 역할을 하고 있는 부분으로 다양한 연구가 이루어진 상태임
- 유지관리 시스템 운영의 경험을 활용하여 자산관리를 여러 사회기반시설물의 영역으로 확장할 경우 다양한 시설물별 성능평가 방법론의 정립에 도움이 될 것으로 판단됨

### 8.1.2 시설물 유지관리 현황

- 국내에서는 “시설물의안전관리에관한특별법”(이하, 시특별법)이 마련되어 도로시설물, 철도 시설물, 항만시설물, 댐, 건축물, 하천시설물, 상하수도, 폐기물, 옹벽, 절토사면 등 주요 사회기반시설물을 대상으로 시설물의 유지관리를 수행하고 있음
  - 사회기반시설물의 유지관리체계는 중앙 정부조직을 중심으로 시설물의 특성에 맞게 유지관리업무를 분담하여 관련 산하기관들이 운영하고 있음
  - 그밖에 광역시도 및 지방자치단체로 유지관리 업무 체계 구분
  - 대표적인 사회기반시설물이라고 할 수 있는 도로, 철도, 하천 등에 대해 국토해양부에서 시설물별로 역할을 분담하여 관리하고 도로 포장관리 및 절토사면 유지관리 시스템 운영, 도로통합관리시스템 운영, 국도유지관리 관련 업무 및 예산을 총괄
  - 정부 산하기관인 한국시설안전공단, 한국도로공사, 한국수자원공사, 한국철도공사 등이 시설물의 특성에 따라 유지관리 업무에 관한 역할을 분담하고 있음
- 각 유지관리 기관에 의해 사회기반시설물에 대한 시설물 통합관리가 시행되고 있으며, 이를 위해 온라인 및 전용 S/W를 기반으로 한 유지관리시스템이 구축되어 운영 중에 있음
  - 대표적인 시설물 정보관리 시스템으로는 한국시설안전공단의 ‘시설물 정보관리 종합 시스템(Facility Management System, FMS)’이 있음
  - 시설물의 안전 확보와 효율적이고 과학적인 유지관리 및 유관기관과의 정보공유를 위해 개발되었으며 시설물의 설계, 시공, 감리 및 유지관리 등의 시설물 생애주기(Life-Cycle)에 대한 정보를 통합 관리할 수 있는 시스템임
- 현재 국내의 경우 자산관리의 핵심이라고 할 수 있는 예방적 유지관리의 기준 및 보수·보강 계획과 시행을 위한 매뉴얼 등의 관리 기준은 미흡한 상태임

## 8.2 해외 자산관리 선행기술 사례조사

### 8.2.1 자산관리 도입 배경

#### 1) 미국

- 미국의 경우 도로, 철도 등 사회기반시설이 상당수가 노후화되어 1980년대부터 고령화 시대에 진입하고, 유지관리비용도 비약적으로 증가하고 있음
  - 사회기반시설의 평균 내용연수가 50년이므로, 경제대공황 시절(1920~1930년) 건설된 많은 시설이 내용연수를 초과하여 고령화
  - 중앙 정부와 달리 사회기반시설을 직접 관리하는 주 또는 지방정부의 유지관리예산은 비약적으로 증가하는 추세
- 미국은 1990년대 이후 도로에 대한 신규 투자가 거의 없었고, 도로 유지관리 비용이 주/지방정부 전체 예산의 약 10%(약 1400~1500억 달러)로 상승
  - 지방정부는 재정적자로 채권 발행을 통하여 차입한 자금으로 유지관리 비용을 충당하면서 보다 정확하고 체계적인 접근법의 필요성이 대두
  - 유지보수 예산 집행에 대한 논리적 근거 제시 요구가 증가되었고 교량, 포장, 공공시설물 등을 시스템 통합 관점에서 접근 방법을 모색
- ASCE(American Society of Civil Engineers)는 15개 유형의 사회기반시설 안전등급(A: 매우 양호 ~ E: 매우 불량)을 4년마다 발표
  - 사회기반시설의 노후화에 대한 걱정 대처 실패로 안전등급은 불량한 상태를 나타내는 D로서, 자연재해 등 각종 위험에 노출되고 국민의 불안감 증가
  - 사회기반시설의 안전등급이 처음 발표된 2008년 이후 지금까지 여전히 개선되지 않고 있음
  - ASCE는 사회 안전망으로서 기반시설의 건설 및 성능개선을 위하여 다음의 5가지의 사항이 반드시 필요하다고 권고
    - 사회기반시설에 관한 비전 수립 및 성능 개선 프로그램 수행 등의 연방정부 리더쉽 강화
    - 자연환경을 보호하고 후속세대가 효율적으로 활용할 수 있도록 ‘지속 가능한 개발’과 ‘복원성’에 근거한 사회기반시설의 건설 또는 성능개선 증진
    - 연방정부, 주 정부, 지방자치단체로 구분된 위계적이고 체계적인 사회기반시설의 건설 또는 성능 개선 계획 수립
    - 사회기반시설이 현재 및 미래의 사용자의 요구에 부합될 수 있도록 생애주기 비용분석 및 사용성능 지표를 통한 유지보수의 지속적 실시
    - 연방정부, 주 정부, 지방정부는 사회기반시설의 건설 또는 성능개선을 위한 예산을

증대하고, 관리주체 및 사용자도 시설의 활용과 안전 확보를 위하여 적극적인 소요 비용 부담

- 2012년 7월 6일에 미국은 P.L. 112-141호(Moving Ahead for Progress in 21st Century Act, MAP-21)를 대통령이 비준
  - 이 법안은 미국의 고속도로 시스템의 부족해지는 유지관리 예산을 대비하여 고속도로에 적극적 예산 투입과 전략적인 유지관리를 의무화하는 내용을 담고 있음
  - 국가 교통 인프라 개발과 발전을 위한 투자 프레임워크와 정책 마일스톤을 제시하고 있음
  - 기존의 고속도로 관리 프로그램을 전면적으로 개편하여 간소화하고, 성능중심으로 재조정하는 것 주요 골자
  - 이러한 변화를 지원하는 예산의 배정을 규정하고 있음
- MAP-21의 도입은 새로운 일자리 창출과 경기 부양이라는 정치적 수사를 포함하고 있지만 핵심내용은 부족한 유지관리 및 운영비용에 대한 대책으로서 발현된 것임
  - 단순한 예산 절약/절감 대책이 아니라 기존의 유지관리 업무를 전반적으로 수정 보완하고 전략적 절차 개선을 추구한다는 점에서 호주 및 뉴질랜드의 Infrastructure Asset Management(IIMM)의 전략과 유사한 전략을 취하고 있음
- 미국은 우리나라와는 예산의 요청과 배정이 다른 순서를 갖는데, 미국의 경우 지자체는 물론이고 정부부처별로 예산 운용이 독립적으로 운영되며 예산 운영 관리에 실패하면 파산도 할 수 있음
  - 부처나 지자체 재정의 파산은 정치적으로 치명적인 결과를 낳기 때문에 정부와 지자체는 건전한 예산 유지를 위한 충분한 동기가 부여가 됨
- 국내의 경우 주어진 예산이외에는 추가적으로 사용할 수가 없기 때문에 근본적으로 파산이 불가능한 형태
  - 국내의 경우 부처 및 지자체는 예산의 확보가 중요하고 일단 확보된 예산은 최대한 소진을 하는 것이 일반적
  - 차년도 예산 확보에 연계되어 있기 때문에 예산 절약이라는 동기 부여가 충분하지 않음

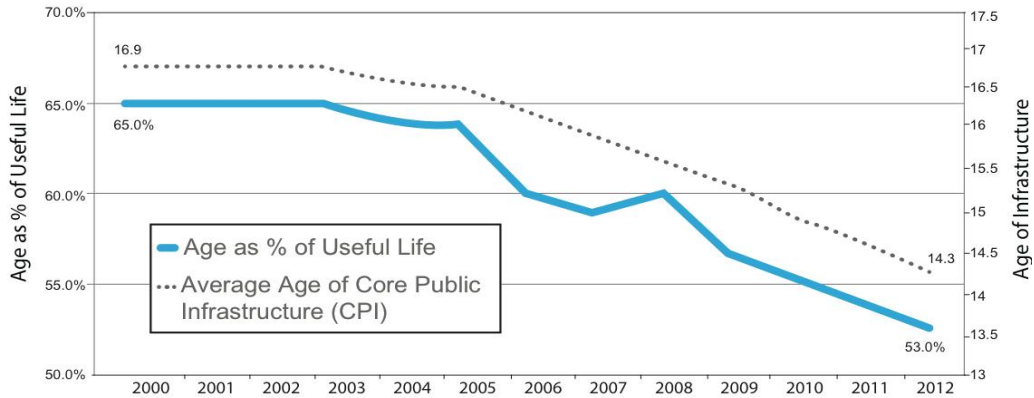
**➡ 독립적 예산을 계획하고 운영하는 미국의 예산 체계 방식은 예산 절약에 대한 이유가 매우 높다는 점이 국내 여건과 큰 차이점임**
- MAP-21은 인프라 자산관리의 단계를 따라가고 있으며, 교통자산관리 수행의 총괄 책임은 연방정부의 교통부장관이 갖게 됨
  - 연방정부는 주정부에 자산관리 수행의 방향을 설정하고 성능지표의 기준을 제공
  - 주정부는 성능지표를 통하여 성능 평가를 수행하고 성능 목표 수립 및 목표 달성 계획을 보고하도록 되어 있음
- 주정부의 교통부는 연방정부 교통부에 다음 사항을 의무적으로 보고해야 함
  - 자산의 목록과 상태 정보

- 자산관리 목표 설정과 수준 측정
- 생애주기비용과 리스크 관리분석
- 재무 계획
- 투자 전략

## 2) 캐나다

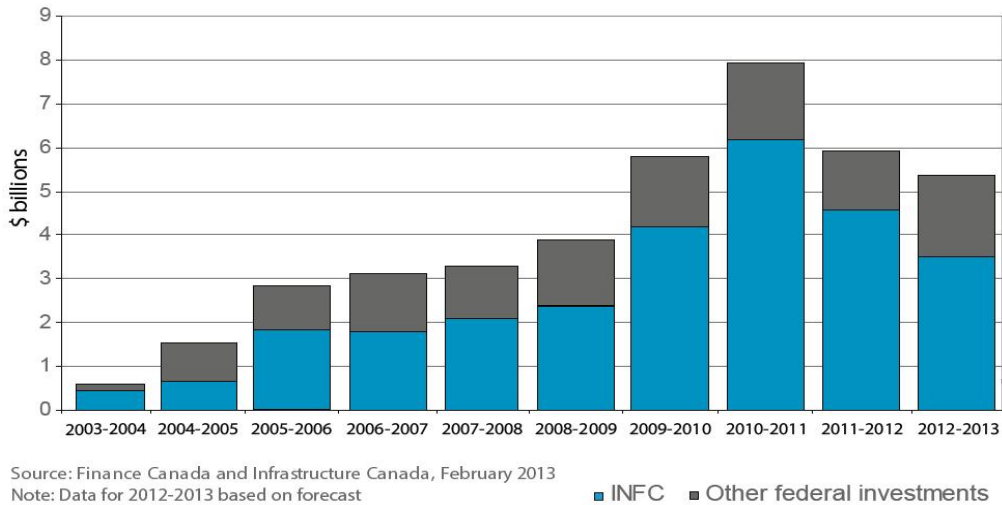
- 캐나다의 경우 도로 분야 유지관리 문제의 대두로 인해 1980년대 후반부터 자산리가 도입되기 시작했으며 민간 주도의 자산관리 시스템을 구축하여 사용
  - 2003년도에 발행된 TRM(Technology Road Map)에서는 캐나다 전체 인프라의 59%가 구축한지 40년이 넘었으며, 전체의 28%가 80년이 넘은 시설이라고 분석
  - 2003년 당시 캐나다 전체 인프라의 서비스 수명중 79%를 이미 사용했다고 발표
- 인프라의 노후화 문제로 인해 캐나다 역시 재정적인 어려움을 겪고 있음
  - 인프라 유지관리 예산중 부족액은 1985년 당시 약 150억 달러에서 2007년 약 1,230억 달러로 증가
- 캐나다는 인프라에 대하여 계획적인 투자를 시작하였음
  - 캐나다 정부는 도로 인프라의 지속적인 건설과 관리를 위하여 2007년부터 Building Canada Fund를 운영
  - 공공교통, 상수도, 하수도, 그린에너지 인프라 등을 지원하고 있음
  - 2014년 캐나다 재무부에서 발표한 2014~2015년 재무계획에는 인프라 시설 자산관리 관련 예산 계획이 수립되어 있음
- 캐나다에서는 공공 인프라의 성능 수준을 연식 개념을 이용하여 평가하는데, 대수선이 있을 경우 성능 증대에 따라 연식을 조정하는 형태로 측정하는 방식을 사용하고 있음
  - 2000~2003년에 캐나다의 인프라의 평균 연식은 16.9년 이었는데 2012년에 14.3년까지 낮추었음
    - ➡ 이러한 성능향상에는 연방정부의 적극적 투자 지원이 가장 주요하였음
- 캐나다 공공인프라의 시설 수명은 예측 수명의 절반 이상을 넘고 있는데, 2000~2003년에 최고치에 미치고 있으며, 2008~2012년에 53% 수준으로 감소하고 있음
  - 이 의미는 12년간의 적극적인 투자를 통하여 신규 시설물이 공급되어 공공 인프라의 평균 수명이 크게 감소되었음을 의미함
    - ➡ 즉 인프라에 대한 적극적인 신설 투자로 2011년 이후 공공 인프라의 평균 연식이 14.7년으로 낮아지게 되었음





Source: Statistics Canada, National Economic Accounts Division  
 Core Public Infrastructure (CPI) includes bridges, roads, water, wastewater, transit, plus cultural and recreational facilities  
 Note: Data for 2012 based on forecast

Fig. 8.1 캐나다의 인프라 시설 평균 연령



Source: Finance Canada and Infrastructure Canada, February 2013  
 Note: Data for 2012-2013 based on forecast

Fig. 8.2 연도별 연방정부의 지원 규모

### 3) 호주

□ 호주는 인구밀도가 매우 낮으며, 1인당 부담하는 인프라 시설의 부담이 큼

➡ 이러한 상황은 전략적인 인프라 자산관리가 가장 먼저 도입되는 계기가 되었음

□ 호주정부는 1980년대 후진국으로의 추락 위험을 느끼고 전국적으로 경쟁력 향상 정책을 수립함

○ 호주는 1950년대 급격한 경제 성장을 이루었으며, 1980년대에 대부분의 인프라가 건설되었음

○ 1980년대 후반, 세계 경제가 흔들리고 에너지 가격이 폭등하며, 금리가 폭등함에 따라 호주경제는 심각한 위기에 처하게 됨

➡ 이에 당시 경제 상황이 비슷했던 남미의 여러 국가들은 이때의 경제 위기를 넘

**기지 못하고 후진국으로 추락해 있다는 점과 비교할 때 자산관리는 호주 정부를 살린 핵심 요소 중의 하나임**

- 정부의 강력한 개혁 주도과 심각한 경제 위기 속에서 1986년 호주에서는 자산관리라는 신개념의 공공시설물 유지관리 개념이 등장
  - 도로분야로부터 시작하여 국가적 자산관리 협의회(National Asset Management Steering Group)를 구성
  - 자산관리 수행에 대한 노력을 집대성하여 1996년 자산관리 지침서(Asset Management Manual) 제1판을 출판하고, 2001년 호주와 뉴질랜드는 국제 공공시설물 관리지침서(International Infrastructure Management Manual)를 작성
- ➡ **이로 인하여 호주는 공공인프라의 전략적 자산관리의 원조 국가가 되었음**
  - 이후 호주 정부는 2008년 'Infrastructure Australia'를 설립하고 정부, 투자자와 사회기반 시설 소유자에게 아래와 같은 광범위한 주제에 대해 조력자의 역할을 수행하도록 함

#### 4) 일본

- 일본은 전후 고도 경제성장과 함께 집중 건설된 사회기반시설의 급속한 노후화 진행(시설물 고령화 시대)이라는 과제에 직면
  - 현재 30~50년의 경과년수를 지닌 사회기반시설이 상당수 있으며, 2030년에는 고령화가 진척되어 다수를 차지할 것으로 예상
  - 국토교통성(2012년)에서 2010년을 기준으로 50년 이상 경과한 사회자본 비율을 전망하였음
    - 2030년 시점에는 2010년과 비교하여 도로교량(8%→53%), 하천(23%→60%), 하수도관(2%→19%), 항만(5%→53%)의 노후화가 진척될 것
- ➡ **이는 노후화에 대한 문제가 심각함을 확인하는 지표이고, 사회기반시설의 급속한 노후화로 인하여 향후 필요한 유지관리 및 개량비용도 비약적으로 증가할 것임**
- 유지관리 및 개량비용이 지속적으로 증가하여 2037년에는 건설투자 총액(2010년 기준)을 상회할 것으로 예상되며, 이로 인하여 사회기반시설의 신규 건설과 기존 시설물 유지관리 및 개량에도 지장
  - 사회기반시설(도로, 항만, 공항, 공공 임대주택, 하수도, 도시공원, 치수, 해안)의 과거 투자 실적을 기반으로 2010년 건설투자 총액을 최대값으로 가정하고 추정된 결과,
  - ➡ **2060년(향후 50년간)까지 필요한 유지관리 및 개량비용(약 190조 엔) 중 약 16%(30조 엔)가 건설투자 총액보다 상회하여 유지관리 및 개량이 이루어지지 못할 것으로 예상**

Table 8.1 건설 후 경과년수 50년 이상 사회기반시설의 비중

시설유형	2010년(평성 22년도)	2020년(평성 32년도)	2030년(평성 42년)
도로교량	8%	26%	53%
하천	23%	37%	60%
하수도관	2%	7%	19%
항만	5%	25%	53%

- 사회기반시설 노후화로 인한 유지관리 및 개량비용의 비약적 증가가 예상되는 반면 지자체 등 정부 세입 감소로 적기 유지관리 및 개량이 힘들고 이는 중대한 사고나 치명적인 손상 등의 리스크 발생 우려를 높이게 됨
  - 이러한 리스크는 고령화로 인해 복지비용이 증가하지만 사회기반시설의 신규건설, 유지관리 및 개량비용이 포함된 토목 관련 비용이 지속적으로 감소하는 이유로 더욱 확대될 전망이다
- 이를 위해 사회기반시설의 효율적 관리방안으로 예방 보전적 관리를 적극 추진하여 생애주기비용의 최소화를 모색하고 있음
  - 사회기반시설 보수·보강대책의 내용, 점검 시기 등을 기재한 장기 수명화 계획 수립과 실시, 사회기반시설의 이용, 점검/진단/보수와 관련된 전문 인력을 확보 및 육성하고 기술개발 등을 진행하고 있음
  - 중앙정부와 지자체 소관의 사회기반시설 운영 실태를 정확히 파악하여 ‘공공시설백서’를 작성하고 있음
  - 백서에는 시설명칭, 소관부서, 위치, 건설연도, 토지·시설물 면적 및 구조, 건설근거, 이용사항, 관리 및 운영정보, 유지관리 및 개량실적 등에 대한 정보를 수록하였음
- 일본은 크고 작은 자연재해가 끊이지 않는 만큼, 대규모 지진, 태풍 등의 자연재해로 인한 국민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 ‘자연재해에 강한 차세대 사회기반시설 정비’에 주력
  - 종래의 사회기반시설과 ICT(Information Communication Technology) 인프라를 연계하여 시설물 정보의 통합 관리 및 운용이 가능하도록 ‘차세대 인프라’를 정비하여 고효율·고기능화를 진행하고 있음

## 8.2.2 해외 유지보수 예산

### 1) 투자비 대비 유지보수 예산 수준

- 사회기반시설물의 유지보수 및 교체, 개축 등의 문제는 많은 공공예산을 필요로 함
  - 그러나 공공예산의 지출은 분야별로 제한되어 있기 때문에 지속적으로 늘어나고 있는 사회기반시설물들의 유지관리 비용을 한정된 예산에서 지속적으로 지출할 수 없는 실정

- OECD 관련 보고서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 세수 다양화와 확장을 주요 전략으로 선정
  - 일반적으로 개발도상국가들인 아시아 및 남미 국가들은 사회기반시설물의 국가소유권 행사 등에 대한 인식이 낮기 때문에 상대적으로 유지관리분야에 대한 관심도가 낮음
  - 반면, 북미, 호주, 남유럽 등 사회발전이 안정화 단계에 접어든 선진국들에서는 사회기반시설물에 대한 국가의 관리권한의 인식이 높기 때문에 운영 및 유지관리 분야에 관심이 높음
  - 선진국들에서는 국가 예산 구성 시에 사회기반시설물들에 대한 유지관리 비용투입을 국가 예산차원에서 기본적으로 고려하고 있음
- 최근 15년간 호주의 사회기반시설물 총 투자비용은 2001년을 시점으로 급격히 증가하였는데 이 당시 도시 규모의 확대에 기인함
  - 반면, 유지관리 비용의 경우, 총 투자비용의 급격한 증가와 더불어 상승하고 있으나 투자비용 변화가 작았던 2001년 전과 비교해볼 때 그 변화량은 미미한 증가를 나타내고 있음
  - 일반적으로 사회기반시설물에 대한 총 투자비용의 증가와 함께 유지관리 비용이 동시대에서 증가하지는 않으며, 시설물의 사용수명이 증가하고 그 시설물의 수가 다수로 누적되는 전후 시점에서 유지관리 비용의 증가가 나타날 수 있음
- ➔ 유지관리 비용 추이에서 확인할 수 있듯이 시설물의 신규 투자대비 유지관리 비용의 증가폭은 둔감한 것으로 확인됨
- 적절한 시기에 유지관리 예산이 투입되지 못하는 경우 시설물의 노후화는 가속되게 될 것이고 성능저하가 예상됨
  - ➔ 시설 투자 예산과 일정 수준의 격차를 유지할 수 있는 유지보수 예산의 확보 필요
  - ➔ 과거 손상특성 분석 등 유지관리 데이터를 바탕으로 미래 유지관리 비용투입 규모의 합리적인 설정 방안 필요

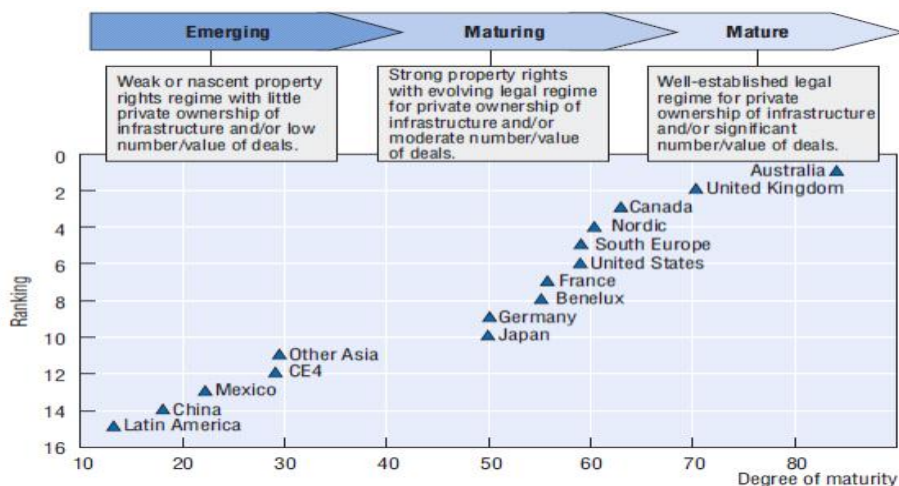


Fig. 8.3 세계 주요 국가들의 사회기반시설물 시장 성숙도의 변화

## 2) 시설 노후화에 따른 유지보수 예산 현황

- 미국과 일본은 시설 노후화에 대한 대처미흡이 인프라 시설의 붕괴사고로 까지 이어지며, 유지관리 필요성 인식과 유지보수 투자규모 증가의 계기가 됨
- 중앙과 주 정부의 예산 및 인식부족으로 인하여 유지보수 투자가 지연되어 성능보완, 수명연장을 위한 경제적 부담도 점차 증가함
- 사회기반시설의 급격한 노후화는 서비스 수준 저하를 유발하여 필요한 유지관리비용도 시간이 지날수록 점차 증가하는 추세임
- 최근 미국의 인프라 투자는 구축비용보다 유지보수에 대한 투자 규모를 증가시키고 있는 추세임
  - 미국의 도로와 터널 등의 도로시설물, 대중교통, 지하철 및 철도, 항구, 댐, 제방, 저수지, 상하수도 인프라 등의 모든 사회기반시설에 대한 총 투자비용은 4,160억 달러이며, 유지보수가 차지하는 비용이 56.6%에 달하고 있음
  - 교통 및 수자원 분야에서 2013~2014년까지의 시설물에 대한 공공지출 추이를 살펴보면 시설물에 대한 구축비용은 23% 감소한 반면, 유지보수 비용은 6% 증가하고 있고, 향후에도 지속적으로 유지보수에 대한 비용은 많이 소요될 것으로 판단
- 일본 수도권에는 1979년 이전에 건설된 노후화 교통물류시설이 다수 포함되어 있는 것으로 확인됨
  - 이러한 시설은 향후 약 20년 뒤에는 고도성장기 이후 구축된 도로교량, 터널, 하천, 하수도, 항만 시설 등 50년이 경과한 시설 비중이 급속하게 증가할 것으로 예상되어 2033년에 이르면 50% 이상의 시설에서 노후화(50년 경과)가 가속될 것임
- 일본의 국토교통성에서 사회인프라 시설의 과거 유지관리, 보수보강 및 개량 실적을 고려하여 유지관리비용을 추정한 결과에 의하면 일본의 사회인프라 시설의 유지관리비용은 2013년 약 3.6조 엔 규모에서 2023년에는 4.3~5.1조 엔으로 증가하고 2033년에는 4.6~5.5조 엔으로 증가할 것으로 예상하였음

### 8.2.3 인프라 평가보고서

- 미국 등 유지관리 선진 국가는 인프라에 대한 장기적인 발전전략 및 비전을 제시하고 이를 이행하기 위한 구체적 방안의 제시를 위해 ‘인프라 평가보고서(Infrastructure Report Card)’를 발행
  - 인프라 분야에 대한 체계적 유지관리의 필요성이 절실하게 요구되고 있는 시점에서 미국 등 선진 국가는 인프라 관리가 체계적으로 이루어지지 않음으로 인하여 국가 경제활동의 기반이 취약해지고 있다는 사실을 자각하기 시작
  - 인프라 평가보고서는 한 나라에서 관리하고 있는 모든 인프라에 대한 종합적인 평가문서로 도로, 철도, 댐, 상수도, 공항 등 사회기반시설의 현재 물리적 상태, 관리현황, 요구되는

조치, 재원 조달, 개선 방안 등의 내용을 담고 있음

- 1988년 미국에서 최초의 인프라 평가보고서를 발행하였으며, 영국, 호주, 캐나다, 남아공 등의 국가에서 일정 주기별로 발행하고 있음
- 미국의 인프라 평가보고서는 가장 긴 발행역사를 가지고 있으며, 현재 영미 국가들이 발행하고 있는 보고서의 근간이 되어왔음
  - 1987년 미국 연방정부에서는 합리적이고 효율적인 예산 분배를 위해 국가인프라개선위원회(National Council on Public Works Improvement, NCPWI)를 신설하고 인프라에 대한 평가보고서를 작성하도록 지시함
  - 이후 1998년 NCPWI가 폐지되고 미국토목학회(American Society of Civil Engineers, ASCE)가 이어받아 1998년, 2001년, 2003년, 2005년, 2009년, 2013년에 인프라 평가보고서를 발행
  - ASCE는 시설물의 분류를 4개의 그룹, 16개의 세부 시설물군으로 세분화하여 평가를 수행하고 있음
  - 평가 방법과 개선 방안을 보다 구체화하였고, 최근에는 시설물군별 모범사례를 소개하여 시설물 성능 개선 사례의 보급에도 주력하고 있음
- 리포트 카드는 학교 성적표 형식의 등급을 산정하고 있으며, 시설물의 상태와 사용가능성에 따라 A에서 F로 분류하고 있음
  - 리포트 카드는 국가시설물이 처해 있는 위험성에 대해 일반인들에게 알리는 홍보도구로서 활용
  - 입법 및 행정기획 관련 종사자들에게 합리적인 결정을 내리는데 필요한 자료로 사용
  - ASCE 리포트카드는 크게 국가적 차원의 리포트 카드와 주별 리포트 카드로 구분되며, 주별 리포트 카드는 국가적 차원의 리포트 카드와 동일 평가방식과 체계를 기본으로 하나, 주별로 대상 시설물의 종류를 달리하고 있음
- 캐나다의 인프라 평가보고서는 2012년 캐나다 인프라 평가보고서 프로젝트 운영위원회(Canadian Infrastructure Report Card Project Steering Committee)에 의해 최초로 발행되었음
  - 인프라 평가보고서 추진을 위한 조직은 프로젝트 운영위원회가 프로젝트를 주도하고 행정 지원 및 재정 조달을 담당하였으며, 캐나다 건설협회, 캐나다 공공사업협회, 캐나다 토목공학회, 캐나다 지자체 연합으로 구성되어 있음
  - 이 중에서 평가보고서 자문위원단(Report Card Advisory Board)은 프로젝트 수행참여는 물론 데이터 분석과 결과에 대한 피드백을 제공하는데, 산·학·연·관이 모두 참여되어 있어 보고서의 신뢰도 및 중립성을 확보하고 있음
- 캐나다의 인프라 평가보고서에는 도로, 상수도, 하수도, 우수 시스템의 네가지 시설군에

대하여 평가하고 있음

- 캐나다의 인프라 평가보고서는 비단 인프라의 상태뿐만 아니라 인프라 관리 실태에 관한 설문 내용도 담고 있음
- 이는 다른 국가에서 발행한 보고서에서 찾아볼 수 없는 것으로, 현재 인프라 상태의 평가 이전에 관리 상태 평가가 선행되어야 함을 강조하고 있음
- 호주의 경우 엔지니어 전문가 집단인 호주엔지니어협회(The Institution of Engineers Australia)에 의해 발행되는 인프라 평가보고서(Infrastructure Report Card 2010 Australia)가 있음
  - 호주엔지니어협회는 엔지니어링 분야의 발전을 위해 조직된 비영리 단체 포럼이며, 각계 엔지니어들로 구성된 비영리 단체로 시설물군별 평가와 함께 보고서 발행에 소요되는 재정을 조달하고 있음
  - 호주 인프라 평가보고서는 지난 1999년, 2001년, 2005년, 2010년에 걸쳐 총 4회 발행되었으며, 2003년부터 2005년 사이에는 모든 주와 관할 지역 단위로 인프라 평가보고서가 발행됨
  - 가장 최근에 발행된 2010년 보고서에서는 호주 인프라의 종합 등급을 C+로 평가하였으며, 효과적인 인프라 관리를 위해 정부 및 시설물 오너 및 관리자가 수행해야 할 사항들을 제안하고 있음
  - 호주 인프라 평가보고서에서 다루어지는 시설물군은 총 11개(도로, 철도, 공항, 항만, 상수 시설, 하수시설, 우수시설, 관개시설, 전기, 가스, 통신)이며, 호주엔지니어협회에서 보고서를 발행하는 만큼 전기, 가스, 통신과 같은 넓은 범위의 인프라 시설물이 포함
  - 대부분의 평가는 호주엔지니어협회가 주도하며, 각 분야의 전문가들이 모여 다양한 근거 자료를 수집하고 그 결과에 근거하여 평가 등급을 부여함
  - 이와 함께 중앙 정부, 주정부 및 지자체에서 취해야 할 전략과 인프라 소유주체 또는 관리자 수준에서 취해야 할 전술 등을 제시
    - ➡ **호주 인프라 평가보고서는 다른 국가들의 인프라 평가보고서와 달리 사회 전반의 인프라를 진단 및 처방하고 거시적인 차원에서 국가의 경제와 사회 문제의 해결 방향성을 제시하는 지침서로서의 역할도 함께 수행하고 있음**
- 영국 인프라 평가 보고서는 영국토목공학회(Institution of Civil Engineers, ICE)에서 2003년부터 발행하기 시작
  - 2010년까지 총 5회 발행되었다. 13개 지역의 권역에 대해 물, 교통, 폐수 및 자원관리, 저탄소 인프라, 역량 및 기술 등의 이슈에 대한 개별 보고서들이 평가보고서에 포함됨

## 8.2.4 자산관리 조직

- 국가 기간 시설의 유지관리 분야에 자산관리 개념을 다양하게 적용하고 있는 국가는 미국임

- 미국은 이미 1990년대 초반부터 자산관리에 대한 개념적인 연구를 시작하였고, 1994년에 미연방도로청(FHWA) 산하에 자산관리과(Department of Asset Management)를 만들어 업무의 전문화를 시도
  - 이외에도 유럽과 뉴질랜드, 호주 등 다양한 선진국들이 자산관리의 개념을 국가 기간 시설의 유지관리에 적용하고 있음
- 미국의 자산관리는 1990년대부터 시작되었는데, 각 주마다 상이한 예산 배정 기준과 자본 회계 계상 방식을 통합하는 과정에서 선진 유지관리를 위한 법규 및 부서를 신설하여 대응하게 되었음
- 표준화된 절차에 의해 각 주별 시설물 자산가치를 평가하고 이를 중앙 정부에 보고하는 내용을 포함하는 업무 지침을 법규화하였고, 미연방도로청에서 1991년부터 1999년까지 중장기 관점에서 단계적으로 추진함으로써 체계적인 시스템을 구축할 수 있었음
  - 현재 미국의 자산관리 개념을 도입한 영역은 교량 및 터널 시설물을 포함한 도로 및 철도, 지하철 및 경전철 같은 대중교통 시스템, 내륙 주운(운하 및 하천) 시스템 등이 있지만 시설물간의 관리 방법이 상이하고 상태평가 기준이 달라 아직까지는 개별적으로 자산관리를 수행
- FHWA에서는 1999년에 자산관리과를 ‘기반시설관리국(Office of Infrastructure)’으로 확대 개편하고 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)와 협력하여 완전히 통합된 포괄적 자산관리 프로그램을 개발하기 위한 연구를 진행 중
- 50개 주에서 개별적으로 개발하기보다는 FHWA에서 주관하여 50개 주의 교육과 기술지원을 수행하는 방향으로 자산관리시스템이 개발되고 있음
  - FHWA의 기반시설관리국은 경제, 엔지니어링, 정책, 계획 및 기술 평가 등 각 분야의 전문가들로 구성되었으며, 건설/시스템 보전, 시스템관리/모니터링, 자산평가/경제적 투자분석 등 3개팀이 있음
- 미국 AASHTO에서는 도로자산관리시스템을 적용하여 운영 중
- 도로자산관리시스템은 기존 기업에서의 프로젝트 의사결정시 적용되는 기본적인 절차를 도입한 것임
  - 설정된 목표를 달성하기 위하여 예산 분배 및 집행결과에 대한 검증을 통하여 새로운 의사결정을 수립하는 순환구조를 가짐
- 자산관리 조직은 자산관리 프로그램의 운영 주체가 되면 자산관리 프로그램에 의해 지방정부의 보수·보강, 교체의 비용 감소 효과, 주 정부 및 지방정부의 부채비용 감소효과, 주 정부의 효과적 관리 및 감독으로 전체 정보관리와 보고 능력 강화 등의 효과를 얻어낼 수 있었음
- 편익/비용 분석기법을 활용한 경제성 분석
  - 표준화된 엔지니어링 기법에 근거한 수요량 예측



- 예산배분 문제를 시설물의 관리 상태(또는 관리 목표)에 따라 결정할 수 있도록 하는 분석 기능 제공
- 다른 관리자와의 의사소통할 수 있는 객관적인 플랫폼 제공
- 주기적인 기반시설의 자산 상태평가 실시 및 결과 관리
- 시설물이 목표 수준 이상으로 성능을 유지하기 위한 연간 유지관리 비용 추정
- 유지관리에 대한 예산 계획을 수립
- 자원 배분 및 의사결정 정보 입수

### 8.3 분석결과

- 국내에서도 현재 인프라 시설물의 자산관리 분야에 대한 연구는 한국시설안전공단과 한국도로공사를 중심으로 추진중에 있으며 유지관리 시스템을 활용 중에 있음
- 유지관리시스템의 확대 적용으로 자산관리의 도입 과정에서 반드시 필요한 시설물의 성능(또는 상태)에 대한 정보를 획득하여 정량화하고 저장하는 역할을 하고 있고, 유지관리 시스템 운영의 경험을 활용하여 자산관리를 사회기반시설물의 영역으로 확장할 경우 다양한 시설물별 성능평가 방법론의 정립에 도움이 될 것으로 판단됨
- 국내의 경우에는 시설물의 관리는 중앙의 정부조직인 국토부를 중심으로 시설물관리에 관한 정책과 예산, 계획 등이 수립되며, 특정 시설물별로 전담하는 산하기관을 두어 실질적인 유지관리가 수행
  - 그러나 시설물 관리를 위한 예산의 계획/시설물점검/보수·보강 등을 담당하는 조직이 서로 다르고, 시설물의 건설에서 철거에 이르는 생애주기 동안 시설물의 성능을 모니터링하고, 관리하는 전담조직은 거의 없음
  - 자산관리의 핵심이라고 할 수 있는 예방적 유지관리의 기준 및 보수·보강 계획과 시행을 위한 매뉴얼 등의 관리 기준은 개선이 필요한 실정임
  - 시설물의 체계적이고 과학적 접근을 통한 유지관리를 위해 한국시설안전공단의 FMS나 한국도로공사의 PMS와 HBMS 등과 같은 유지관리 프로그램들이 활용되고 있으나 유지관리 공법 및 시기 결정 등 주요 의사결정 지원 기능의 개선은 필요한 실정임
- 해외의 자산관리 도입 배경은 다양한 사회기반시설에 대한 노후 시설물의 증가로 안전 및 성능 저하에 따른 예산 조달 문제가 주요한 원인이었음을 확인하였음
  - 해외에서는 정부 예산의 관점에서 자산관리에 대한 투자 규모를 늘리는 것이 유지관리의 가장 큰 핵심이며, 단순한 예산 투자 규모 증대가 아니라 전략의 변화로서 성능평가, 성능 목표에 대한 결과 지향성 등을 통해 변화를 추구하고 있음
  - 기존의 관리 체계는 지역별 구분, 신규/유지관리 구분 등으로 단순 분류에서 성능향상이라는 목표를 지향하는 형태로의 전반적인 변화를 추구하고 있음

- 미국의 경우 MAP-21(미국 유지관리개혁법안)이 2012년 7월에 비준될 때 갑자기 된 것이 아니라, 10년이 넘는 기간 동안 치밀한 준비 작업이 있어 왔음
- 환경부(EPA), 교통부 및 고속도로 관리부(DOT, FHWA), 회계 기준 위원회(General Accounting Standard Board) 등이 개별적으로 자산관리의 필요성을 인식하고 준비해 왔음
- 선진 유지관리기법과 자산관리체계의 도입을 위해서는 충분한 기간 동안 각 부서를 통해 유지관리 방식의 개선 및 자산관리의 이해와 축적된 경험이 필요함
- 이후에 관리기준이 마련되어야 하고 여기서 생성된 관리기준이 표준적인 업무수행의 가이드가 되는 것이 변화로 인한 충격과 혼란을 줄이는데 큰 도움이 될 것으로 판단됨
- 현재는 장기적인 예산절감을 위한 예방유지관리체제 개념의 도입 없이 거의 획일적으로 필요한 예산을 한정된 예산범위 내에서 유지보수를 수행하고 있음
  - 이러한 획일적 예산 산정은 시설물의 상태에 기반을 한 전략적인 유지관리가 아니라 현장의 실무자의 판단에 크게 의존하고 있음
- 미국을 필두로 한 선진국의 경우 전문단체가 인프라 유지관리만을 위한 역할을 수행한다는 점이 우리나라와 가장 큰 차이점이며, 적합한 예산을 배정받기 위해 인프라 시설물에 대한 정량적인 평가와 지표를 개발하여 이를 기반으로 하여 과학적 관리 체계를 구축하고 있음
- 관리체제는 기존의 시설물 관리에서 얻어진 데이터를 전략적으로 분석하고 최소한의 비용으로 최대의 관리 효과를 얻을 수 있는 방식으로 기존의 LCC, 상태평가 및 상태예측을 포함하고 리스크 관리, B/C(비용편익) 분석과 최적화된 의사결정(ODM, Operational Decision Management))을 수행하여야 함
- 네트워크 레벨의 유지관리는 시스템과 관리 조직과의 통합을 통한 프로세스 리엔지니어링이 바탕이 되어 예산 절감과 성능 향상의 효과가 나타나게 됨
- 이러한 효과의 달성을 위해서는 조직과 비전의 변화를 함께 수행해야 함을 선진국의 사례로부터 알 수 있으며, 장기적으로 선진기법을 활용한 농어촌공사의 적용 방향성은 다음과 같음
  - 선제적 중장기 미래 유지관리 비용 예측을 위한 선진 자산관리체계 도입
    - 선진국에서 도입하고 있는 자산관리체계의 요소기술을 농어촌공사에 적합하게 보완하여 반영
    - 예측모델을 활용한 비용 추정, 시설물에 대한 관리목표 및 성과지표의 적용과 이를 정착하기 위한 총괄 전략 로드맵의 구축이 필요
  - 성능 및 예방적 유지관리체계 도입 및 투자우선순위 의사결정
    - 시설물에 대한 예방적 유지관리 기법의 도입과 시설물 장수명화 방안과 관리기법 등을 검토하여 시설물의 예방적 유지관리에 따른 효과의 검증 수행

- 상태, 성능 등 다양한 평가지표에 의한 예산배분 수행
- 기존 평가지표 외 시설물 성능을 평가할 수 있는 방안에 대한 벤치마킹 수행
- 상시적 평가체계 및 자산관리시스템 구축
  - 상시 점검체계를 구축하여 시설물의 성능수준에 따른 효율적인 관리 방안을 수립하고 관리체계 개선, 자산관리시스템 개발을 위한 기존 관리시스템의 개선 필요
  - 전체 시설물 평가 방법 및 평가 체계 계획 등의 실태평가 보고서 발간 필요

## 8.4 자산관리 개요

### 8.4.1 자산관리의 개념

- 지난 수십 년 동안 전 세계적으로 지역사회 시설물 네트워크의 재정적 지속가능성에 관한 우려가 커져왔음
  - 많은 조직들이 장기적으로 지속 불가능한 투자, 유지관리, 대체시설의 건설과 관련해 단기적인 의사결정들을 하고 있다는 인식이 퍼지고 있음
  - 많은 분야에서, 재원조달 기반의 지속적인 감소, 부담가능성 저하, 시설물 노후화, 인구 감소라 등의 시설물 관리자들에게 커다란 과제를 안기고 있음
- 자산관리는 일종의 사회기반시설에 대해 전 생애에 걸친 위험 요소를 파악하고 관리하며 최소의 비용으로 소비자가 필요로 하는 서비스 수준을 제공하기 위한 체계적인 시스템을 의미함
  - 건설 중심의 투자에서 효율적 유지관리 중심으로 패러다임의 변화를 의미하고 단기적 측면이 아닌 장기적인 지속 가능성에 중점을 두고 관리하는 것임
  - 즉, 자산관리의 목표는 자산관리의 수행으로 현재와 미래 사용자에게 가장 비용효과적인 방법으로 서비스 요구수준을 충족시키는 것임
- 자산관리를 위해서는 자산목록 구축 이후에 요구되는 서비스 수준과 시설에 대한 생애주기비용 분석을 필요로 하고 효율적인 유지관리 전략과 장기적인 예산 수립과 집행이 이루어져야 함
- 자산관리의 방법은 다양한 시설에 대응하기 위해 요구되는 서비스, 자산의 상태, 장기 재원조달의 규모 등에 의해 진화해 왔으며 다양한 시설에 확대하여 적용되고 있으며, 자산관리체계의 도입 및 정착을 위해 다음과 같은 내용이 요구되고 있음
  - 최저 생애주기비용 유지관리 및 대체시설의 건설 결정을 파악할 수 있는 의사결정기법 채택
  - 비용효율성 개선과 비용 절감
  - 사용자 희망사항 및 비용과 서비스 수준과의 조화를 제고함으로써 사용자 만족도 향상

- 의사결정, 관리 및 책임성 강화에 있어 투명성 증진
  - 세대가 지나도 공정하게 재정이 지원되는 서비스 제공
  - 장기 계획의 유지에 따른 지속가능성 강화
- 현재까지는 일반적으로 시설물 유지관리에 적용하고 있는 방법론을 개선하는 방향으로 자산관리체계를 확대 적용하고 있는 추세임
- 기존의 일반 유지관리와 자산관리에는 차이가 있음
- 기존의 일반 유지관리에서는 시설물의 점검, 개선계획 수립, 개선의 단순 형태로 진행되어 사후대응적이고 단기적인 관점에서 시설물을 관리하는 방식임
  - 반면 자산관리에서는 사후대응이 아닌 사전예방적인 차원에서 시설물의 관리가 이루어지며 중장기적인 자산의 유지관리 전략을 수립하는 의사 결정 모형을 포함하고 있는 것이 큰 차이임

#### 8.4.2 자산관리의 절차

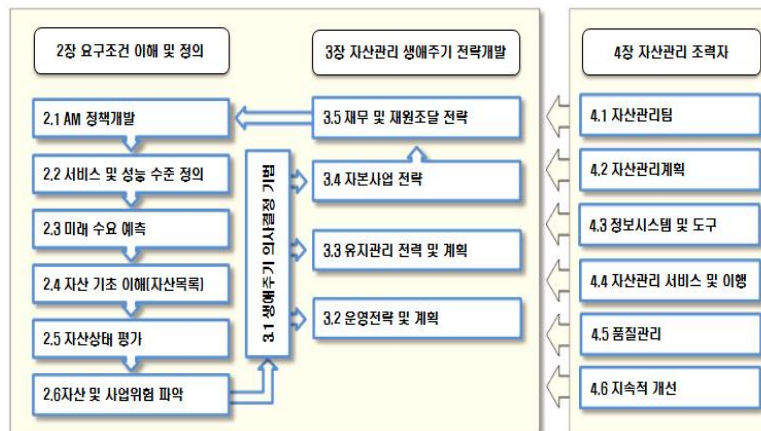


Fig. 8.4 자산관리 절차 및 요소기술

- 농업기반시설을 대상으로 자산관리체계 도입을 위하여 자산관리의 절차와 주요 요소기술에 대해 검토함
- 전 세계의 많은 지자체들이 시설의 자산관리 지침으로 활용하고 있는 호주의 국제시설물 관리 매뉴얼(IIMM, International Infrastructure Management Manual, International Edition, 2011)을 참고
- 자산관리 절차 중 그 첫 번째 단계가 보유하고 있는 자산의 상태를 파악하는 것임
- 이후 자산으로 인한 서비스 제공과 관련하여 서비스 수준에 대한 목표를 설정하게 되고 자산의 중요 투자순위의 파악으로 부터 투자를 위한 운영관리 및 자본투자 전략이 필요하게 됨

- 장기적으로는 자산의 총체적인 재원과 관리를 결정짓는 장기 투자 전략이 필요하게 됨
- 자산정책은 조직 전체에 걸친 자산관리 수행을 위한 원칙 및 요구조건들의 개요를 광범위하게 나타내며, 자산관리 정책선언 및 관리목표의 예는 다음과 같음
  - 지속 가능한 자산관리 방법을 목표로 설정
  - 요구되는 서비스 수준 유지와 생애주기비용 최소화

## 8.5 자산관리체계의 단계별 도입 방향

### 8.5.1 주요 요소기술 분류

- 농촌기반시설에 자산관리를 도입하기 위한 구체적인 방안에 대해 검토하였음
  - 실제 자산관리체계 구축 단계에서는 현재 수행하고 있는 농업기반시설에 대한 유지관리 방법과 실질적인 예산의 투입 및 장기적인 정책 방향에 부합하도록 검토할 필요가 있음
  - 자산관리체계의 주요 요소기술 개발 및 확보를 통해 이후 중장기적으로 자산관리체계의 구축 및 안정화가 가능하게 됨

#### 1) 자산목록 구축

- 가장 우선적으로 추진되어야 하는 분야는 자산관리 목록의 구축임
  - 자산관리의 첫 단계이기도 하고 관리 주체가 모든 시설에 대한 통합된 현황 파악과 일관적인 유지관리가 어려운 실정이지만 시설의 자산 목록을 계층화 하고 기록 체계를 수립할 필요가 있음
  - 향후 자산 현황을 데이터베이스화하고 상시 관리가 가능한 자산관리시스템을 개발하여야 함
  - 모든 관리부서는 자산관리시스템을 통해 정보의 공유가 이루어지도록 하여야 함

#### 2) 자산의 상태평가(자산 성과와 고장유형 평가)

- 자산이 보유하고 있는 성능은 어떠한지, 성능 확보가 가능하지 않는 경우의 고장유형은 어떠한지에 대한 상태를 평가하는 과정이 필요
  - 상태평가는 자산에 대한 통찰력을 제공하는 척도로 중요한 역할을 하게 되며, 고장유형 평가를 통해 시설 노후화에 따른 고장의 원인이나 고장 또는 파손의 패턴을 평가할 수 있음
  - 이러한 고장 유형의 평가를 통해 시간의 경과에 따른 시설물의 노후화 예측 모델의 개발에 활용할 수 있고 생애주기비용의 예측도 가능함
- 현재 자산의 성능 및 고장의 상태를 판단하는 것, 즉 자산의 상태평가는 자산관리계획을

수립하기 위해 중요한 단계임

- 자산의 잔존수명의 예측과 자산의 위험도, 서비스 수준 등과 연계되어 데이터의 통합관리가 가능한 자산관리시스템의 기본 기준으로 적용되는 것임

### 3) 시설 잔존수명 예측

- 농업기반시설의 자산의 현 단계의 가치가 어느 정도이고 향후 미래 가치는 어떻게 관리되어야 하는지 판단할 필요가 있음
  - 자산가치 분석을 위해서는 잔존수명 예측을 위한 내용연수를 일괄적으로 20~30년으로 적용하고 있으나 이는 경제적 평가기준으로 기계적인 내용연수는 아님
  - 운영 환경과 시설의 기능에 의해 잔존수명은 새롭게 설정될 필요가 있고 고장 유형에 따른 잔존수명의 결정이 필요한 상황임
  - 단순 장부가치를 평가하는 기준이 아닌 서비스 수명을 판단 할 수 있는 적정한 내용연수 기준의 수립과 수명 기준에 따른 노후화 예측 모델의 개발이 필요

### 4) 서비스 수준 설정

- 농업기반시설물 유지관리 목표설정을 위한 서비스 수준 설정필요
  - 농업기반시설의 사용자에게 대한 단순한 만족도 조사를 실시하는 것이 아닌 시설물 관리부서별 현황에 맞는 서비스 수준 목표를 설정하고 목표 설정을 위한 평가지표의 선정 및 제도화가 필요
  - 사용자의 가치 및 농어촌공사의 조직 비전 등을 종합적으로 고려한 서비스 수준의 정의가 우선 확정되어야 하고 농업기반시설의 서비스 수준에 대한 공급자와 수요자의 인식 개선을 위한 교육과 홍보가 병행되어야 함

### 5) 투자 우선순위 결정

- 투자 우선순위 결정은 보유하고 자산 중 어느 자산이 더욱 가치 있고, 어느 자산이 얼마나 중요한지를 판단하는 방법으로서 한정된 예산이 배정되는 경우 어느 자산에 어느 정도의 예산을 배분할 것인가에 대한 판단 기준으로 작용하게 됨
- 투자우선순위 계획의 기초적인 방안은 사용가능한 기존의 정보와 적절한 가정을 활용하여 수립할 수 있음
  - 외부의 전문가를 활용할 경우에는 관리주체의 내부 정보나 상황 등에 대하여 잘 파악하고 있는 전문가를 활용하는 것이 바람직함
  - 투자 우선순위 계획에 어떤 특정한 정형화된 구성은 없으며 관리주체의 요구수준이나 자산의 상태, 성능 등에 따라 여러 가지의 형태로 이루어질 수 있음
  - 하지만 어떠한 형태를 취하든 간에 관리주체의 경영계획에 부합하여야 하며, 결과물은 예

산을 충족하여야 함

- 미래의 예산의 추정, 위험도 분석 등과 같은 항목을 보완하고 산출물의 신뢰도를 향상시키기 위해서 적절한 수준의 체계적이고 정량화된 자료 및 정보를 활용하여야 함
- 또한, 변화하는 요구수준과 서비스 수준에 대응하기 위하여 우선적으로 필요한 항목(보수 보강 등)을 투자우선순위를 결정함에 있어서 논리적인 흐름을 잘 나타내어야 함
- 투자우선순위 의사결정시 내부의 인원을 통하여 수행하는 경우와 외부의 전문가를 활용하는 경우가 있는데 만약 내부의 조직을 활용한다면 관리자와 전담부서간의 요구 서비스 수준의 명확한 상호협약이 반드시 필요함
- 계획 수립 시 수행에 필요한 자료 또는 정보는 일반적인 경우 다음의 네 가지의 분류로부터 획득될 수 있음
  - 자료의 수집부서 또는 수행전문가 : 방대한 자산의 자료에 대한 효과 및 상태를 점검하기 위한 자료의 수집을 전담하는 인원
  - 서비스의 수행 부서 또는 수행전문가 : 일반적으로 자산의 일상적인 유지관리 및 건설을 수행하는 인원이며, 이는 이 자산관리를 위한 자료의 수집에 가장 적합할 것으로 판단되는 집단
  - 외부전문가 : 자산관리를 수행하는데 필요한 전문적인 지식을 갖춘 외부전문가
  - 내부 전문가 : 관리주체에서 발생하는 자료 및 정보자체

## 6) 장기 예산 수립

- 현재 국내 대부분의 시설물 관리주체에서 중장기 유지관리비용을 추정할 수 있는 방법은 거의 전무한 실정
- 단일 시설물에 대한 생애주기비용(LCC) 분석에 대한 연구는 지속적으로 이루어져 어느 정도 신뢰성을 확보하고 있음
- 이를 통해 설계단계에서 단일 시설물의 시공방식을 결정할 경우, 효과적으로 적용할 수 있지만 분석과정이 복잡하고 고려하여야 할 변수가 많기 때문에 수십~수백개 이상의 네트워크 레벨의 시설물 군에서 적용하기 현실적으로 어려움
- 따라서 농업기반시설 대상으로 중장기 비용을 예측하기 위한 실천과제와 이를 실행 할 수 있는 선진 유지관리체계 개선 방안은 다음과 같이 제시함
  - 중장기 미래 유지관리비용 예측 방법론 개발
    - 시설물별 감가상각에 대한 자산가치 평가
    - 시설물별 상태 및 비용 예측 모델 구축
    - 시나리오 분석에 의한 예산 투자 대비 성능 예측 모델
    - 시설물별 위험도 분석 모델 구축
  - 유지관리체계 개선

- 효율적 시설물 점검 방안 수립
- 장수명을 위한 유지보수 평가항목 선정
- 유지관리 업무 개선 방안
- 중장기 예측 비용 분석 결과 검토위원회 신설
  - 시설물별 노후화 정도 및 미래 노후화 예측 결과 검토
  - 시설물별 유지관리 예측 비용 분석 및 검토

### 8.5.2 자산관리체계 중장기 계획

- 자산관리체계의 도입은 농업기반시설물의 현재 상태는 최상으로 유지하고 잔존수명에 이르기까지 시설물의 건전성을 유지하기 위한 것임
- 또한 요구되는 성능의 확보를 위해 사전에 시설물 유지관리체계를 수립함과 동시에 서비스 수준에 대한 상시 평가체계를 마련하는 것임
- 이러한 자산관리 활동으로 계획된 시설물의 잔존수명을 연장 시킬 수 있고 자산의 가치 향상과 안정적인 서비스 수준을 확보가 가능하게 될 것임
- 자산관리체계 도입에 따른 직접적인 효과를 제시함
  - 수명관리에 경제성 개념이 포함된 자산관리를 도입하여 농업기반시설물에 대한 유지보수, 교체 등 생애주기 동안 발생하는 모든 관리활동을 장기적인 관점에서 계획적으로 수행
  - 농업기반시설물의 노후화에 따라 유지보수 비용 및 중요성이 증대되고, 대규모 교체시기가 도래할 경우 효율적 예산의 사용 가능
  - 한정된 예산에 대한 효율적 사용으로 기본목표(지속적이고 안정적인 서비스 수준 유지) 수행이 가능하고 노후 시설물의 계획적 교체를 원활히 수행 가능
  - 개별 시설물(건축물, 펌프, 전기설비, 기계설비 등)에서의 수명관리/예방진단과 같은 지속적인 유지관리 뿐만 아니라 상위 단계인 네트워크레벨에서의 장기적이고 계획적인 자산관리를 통해 한정된 예산의 효율적 분배 등 투자 우선순위를 정하는데 활용 가능
- 자산관리체계의 구축은 현재 시설물의 상태 파악부터 시작되어야 함
- 현재의 관리수준 검토와 그에 따른 문제점의 파악이 필요하고 자산관리 도입을 위한 개선방향을 설정하여야 함
- 다음은 자산관리체계 구축시 다음과 같은 사항에 대해서는 우선적으로 고려하여 검토할 필요가 있음



- 농업기반시설 관리의 문제 인식 필요
  - 인프라 시설물의 급격한 노후화
  - 수동적인 사후 대응형 유지관리
  - 시설물의 서비스 수준 상실
  - 관행적인 예산 투입 및 집행
- 개선방안
  - 새로운 시설물 관리방안 도입
  - 예방적인 사전 유지관리체계 도입
  - 지속적인 서비스 수준 유지
  - 효율적인 예산 투입 및 집행
- 추진 방향
  - 선진국 중심의 자산관리체계 도입
  - 새로운 통합 유지관리시스템 개발
  - 시설물별 서비스 수준 평가항목 개발
  - 자산관리 도입을 위한 전략 수립
- 기대 효과
  - 관리주체별 자산에 대한 명확한 인식
  - 능동적인 유지관리체계 수립
  - 시설물의 서비스 수준 유지 및 개선
  - 관리주체별 효율적인 예산 분배
- 농업기반시설물에 자산관리체계를 도입하는 하는 것을 다년간의 연구와 투자가 필요로 하게 됨
  - 농업기반시설에 적합한 자산관리체계의 요소기술을 개발하여야 하고 지속 가능해야 함
  - 농업기반시설의 사용수명 연장과 이에 따른 장기적 예산을 절감시키기 위해 사후 유지관리체계에서 선제적 대응을 이행할 수 있는 선진유지관리체계로 전환이 필요
  - 여기에는 시설물의 노후화, 서비스 요구 수준 증대 등 다양한 변화를 고려하여야 함
- 시설물 관리 주체는 기존의 획일적이고 수동적인 관리 형태에서 조직적이고 적극적인 형태의 관리가 가능하도록 전문 인력 육성 및 교육을 진행하고 제도 지원과 각 실천 과제에 대한 지침 및 매뉴얼 개발을 병행하여야 함
- 농업기반시설의 자산관리체계의 구축을 위해 향후 추진 계획을 다음과 같이 제시하고자

합

○ 단기 : 2년 이내

- 시설물 요구정보 현황 및 확보방안 검토
- 시설물 자산관리 계획 수립을 위한 데이터베이스 수집 항목 검토
- 시설물별 데이터베이스 자료 확보 방안 수립
- 자산관리 목록 구축을 위한 데이터 변환 및 통합
- 중장기 미래 유지관리 비용 예측 체계 도입 방안 설정
- 유지관리 관점의 잔존수명 평가 기법과 예측 모델 개발 계획 수립
- 자산가치 평가 방법론 및 시설물 성능예측 모델 개발
- 투자우선순위 산정 기준 개선, 의사결정 모델 도입(중요 시설물)
- 의사결정 로직 및 위험도 분석 모델 개발
- 시설물 대표등급 산출 및 실태평가 보고서 발간
- 유지관리 예산확보 방안 수립

○ 중기 : 4년 이내

- 중장기 미래 유지관리 비용 예측 체계 확대
- 투자우선순위 산정 기준의 개선 및 의사결정 모델 확대
- 상시평가 종합관리계획 수립 및 시설 유형별 정보 공유 정례화
- 선제적 유지관리 예산의 산정 및 효과 분석

○ 장기 : 5년 이후

- 중장기 미래 유지관리 비용 예측 체계 안정화
- 투자우선순위 산정 기준의 개선 및 의사결정 모델 확대(기타시설물)
- 상시평가시스템 안정화 및 효과 분석
- 평가보고서 발간

자산관리체계 도입을 위한 중장기 계획의 핵심은 시설물의 자산관리 요소기술 개발과 수명관리 요소기술 개발임

자산관리체계의 구축을 위한 표준절차와 각 시설물의 데이터를 획득하고 평가할 수 있는 요소기술이 개발되어야 함

○ 향후 이러한 요소기술을 적용하여 초기에 구축된 시스템의 점검을 통해 시설물 관리에 직접 구현하는 절차 또한 필요

○ 시설물 유지관리 시스템을 정책적으로 안정화하기 위한 기술개발이 필수이며 정립된 절차

를 통해 자산관리시스템의 본격적인 가동이 가능한 것임

- 자산관리체계가 구축되면 시범사업을 수행하여 전체적인 절차의 지속적인 피드백과 조율 과정을 거칠 필요가 있으며, 개발된 시스템의 최종적인 활용을 위한 교육 및 홍보를 위한 별도의 계획도 병행하여 개발되어야 함

Table 8.2 요소기술의 분류

결과물	활용분야 및 관련 기법	
분석 및 평가 기술	자산목록 구축	▶ 자산목록별 이력관리를 위한 Big Data 분석 기법 ▶ 자산관리 통합 시스템 개발
	자산가치 분석	▶ 자산가치 평가 기법
	미래상태 예측	▶ 열화요인별 잔존수명 예측기법 및 모델개발 ▶ 열화요인별 열화상태 예측기법 및 모델개발 ▶ 보수/보강 후 미래상태 예측기법 및 모델개발
	비용분석	▶ 생애주기 비용요소별 원단위 비용 산정기법 ▶ 중장기 유지관리비 예측 기법 ▶ 비용데이터 수집 및 관리기법
	우선도 평가/ 장기예산 수립	▶ 상태, 잔존수명 및 비용 등을 고려한 우선도 평가기법 ▶ 네트워크 기반 우선도 평가기법 ▶ 장기 예산할당 기법
	목표수명 설정기술	▶ 서비스 수준 등을 고려한 목표수명 설정기법
	예방진단/ 상태평가	▶ IT를 활용한 진단 기법 ▶ 객관적 손상평가 기법 ▶ 수명위해 요소를 고려한 상태평가 기법
공법 기술	보수/보강	▶ Maintenance Free를 위한 시공품질 확보기법 ▶ 구조물 초기 손상 저감 기법
제도	제도	▶ 전략 수립, 자산관리 기본계획, 중장기 계획 수립 ▶ 조직, 지침, 정책 수립

# 9장 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출

## 9.1 성능평가 매뉴얼 작성 [부록 참고]

### 9.1.1 지속가능한 기반시설 관리기본법 시행

- 법 제12조(성능평가)에 의해 관리주체는 소관 기반시설에 대해 성능평가를 실시하고 결과를 관리감독기관의 장에게 제출하며, 결과를 관리계획 수립 시 반영해야 함
  - 관리주체 : 관계 법령에 따라 기반시설의 관리책임을 지는 자  
(국가 지방자치단체, 공공기관, 지방공기업)
  - 성능평가 : 기반시설의 기능을 유지하기 위해 요구되는 시설물의 구조적 안전성, 내구성, 사용성 등의 성능을 종합적으로 평가하는 것
  - 관리감독기관
    1. 관리주체가 중앙행정기관의 소속기관이거나 감독을 받는 기관인 경우 : 소속 중앙행정기관
    2. 그 외의 관리주체인 경우 : 해당 기반시설이 소재한 특별시, 광역시, 특별자치시, 도, 특별자치도
  - 기반시설 관리계획 : 관리감독기관의 장은 기본계획에 따라 소관 기반시설에 대한 관리계획을 5년 단위로 수립 및 시행
- 법 시행에 따른 성능평가 실시
  - 관리주체는 최소유지관리기준과 성능개선기준을 설정하여 기반시설을 관리
  - 기존 유지관리체계는 점검진단 결과에 따라 보수보강공사를 실시 성능개선공사는 노후화된 시설 위주로 진행
  - 향후 유지관리는 성능평가 후 각 기준에 의해 유지관리 의사 결정
    - ※ 최소유지관리기준 : 소관 기반시설에 대한 최소한의 유지관리수준에 관한 지표
    - ※ 성능개선기준 : 소관 기반시설에 대해 유지관리보다는 성능개선이 더 유리한지에 대해 판단할 수 있는 기준

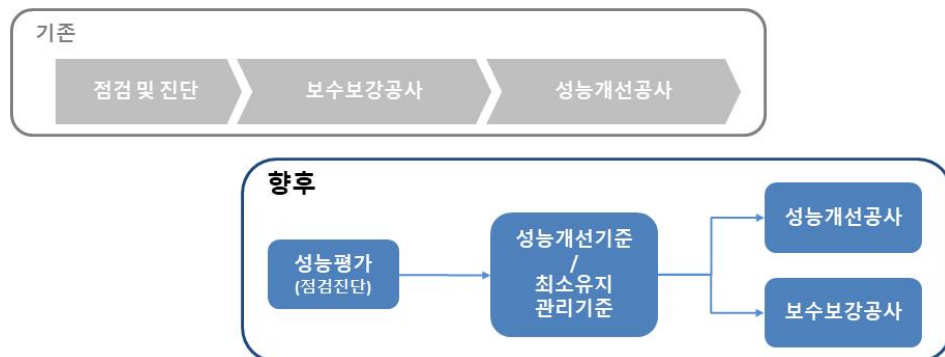


Fig. 9.1 기반시설관리기본법 시행에 따른 유지관리 체계 변화

□ 성능평가 수행 계획

- 현장조사 및 각종 시험에 의해 농업기반시설의 노후도, 기준의 변화, 사용성의 변화 등 시설의 성능을 종합적으로 평가
- 기존의 안전점검 및 정밀안전진단을 포함하여 실시하거나 성능평가 착수일을 기준으로 3년 이내에 완료된 점검·진단 결과를 활용 가능
- 성능평가 수행을 위한 수집자료

- 농업기반시설의 설계도서 및 시공 관련 자료
- 농업기반시설의 정기점검, 긴급점검 및 정밀진단 결과
- 농업기반시설의 보수·보강·증축·개량 및 교체공사 관련 자료
- 농업기반시설의 성능평가 결과

- 시설의 객관적인 현재의 상태와 미래의 성능 변화를 파악·예측하고 이를 통해 관리자가 보수·보강 또는 성능개선 등의 최적 시기 결정 등 합리적 유지관리 전략 마련



Fig. 9.2 성능평가 절차

□ 성능평가 항목 결정

- 기존 저수지 정밀안전진단의 상태평가, 안전성평가를 안전성능평가, 내구성능평가로 재분류하고 사용성능평가 항목을 추가
- 안전성능 평가

- 농업기반시설의 외관상 결함 및 가해지는 하중에 의해 발생하는 손상에 저항하는 성능을 평가하는 것
- 물리적 상태평가 : 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 물리적 상태(결함 및 손상)를 평가
- 시설물별로 물리적 상태평가 이외에 안전성능(제체 여유고, 사면 활동 등)을 평가

- 내구성능 평가
  - 농업기반시설의 사용수명 동안 요구되는 기능을 유지시키기 위한 시설의 성능을 평가하는 것
- 사용성능 평가
  - 농업기반시설의 사용과 수요 측면에서 적절한 편의와 기능을 제공하는 성능을 평가하는 것

□ 평가항목 구성 및 기준

- 기존 농업기반시설의 정밀안전진단 평가항목을 유지하여 기존 점검체계와 연계 유지
- 상태평가의 손상점검과 안전성평가를 성능평가의 안전성능평가로 구성
- 상태평가의 내구성 평가를 성능평가의 내구성능평가 항목으로 별도 구성
- 시설의 수요량, 사용환경변화 등의 사용성능평가 항목 신규 추가

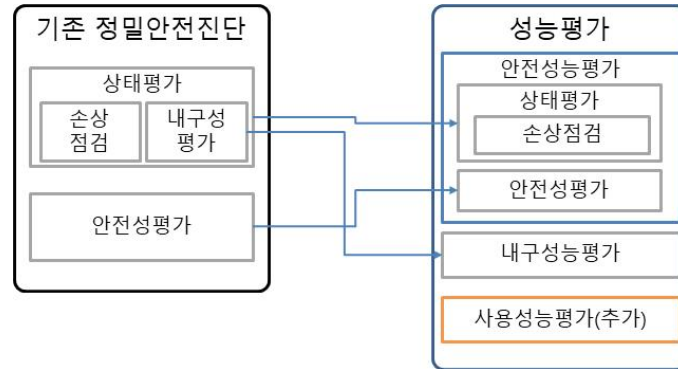


Fig. 9.3 성능평가항목 구성(안)

Table 9.1 평가항목별 기준 및 점수

평가성능	평가항목	평가기준	점수	기존 평가항목
안전성능	상태평가	a~e	1~5	상태평가 (내구성평가 제외)
	안전성평가	a~e	1~5	안전성 평가
내구성능	콘크리트 압축강도	추정 압축강도와 설계기준 강도 검토	1~5	내구성평가
	탄산화 잔여깊이	0~30mm까지 구분	1~5	
사용성능	항목별 평가	사용특성에 맞게 개별항목 평가	1~5	-

□ 평가항목 가중치 산정(안)

- 성능별 가중치를 특정한 값으로 정하지 않고 범위로 제시하여 관리자가 시설에 맞게 가중치를 조절할 수 있도록 함
- 시설물안전법 댐 성능평가 가중치를 기준으로 범위 조정

※ 안전성능 : 내구성능 : 사용성능 = 74 : 17 : 9

- 추가되는 사용성능평가 결과가 종합평가 결과에 유의미한 비중을 갖도록 범위 최대치 산정

## 9.2 치수측면 및 이수측면의 성능평가 방법론 개발

### 9.2.1 치수측면 - 저수지 규모와 침투 붕괴 유출량의 관계식 개발

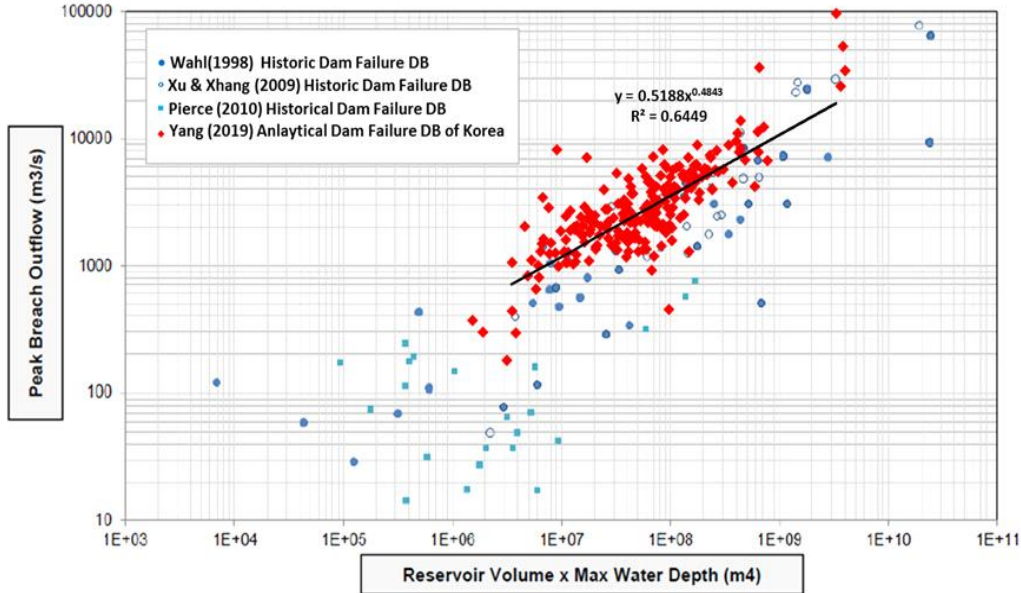


Fig. 9.4 Yang (2019) 식과 기존 연구와의 댐 붕괴 침투유출량 비교

- 본 연구에서는 ‘국내 저수지의 댐붕괴’ 모의 결과를 기반으로 저수지 규모에 따른 침투유출량 회귀식인 Yang (2019)를 개발하였음
  - 저수지의 성능 중 치수능력 검토를 위한 가장 극단적인 시나리오는 댐 붕괴임
  - 일반적으로 댐 붕괴로 인한 홍수파의 특성을 예측하기 위해서는 Saint-Venant 방정식을 통해 수리학적 홍수추적을 수행하고, 이후 분석결과를 경험식과 비교하여 붕괴 수문곡선의 타당성을 확보함
- 댐 붕괴 홍수파의 해석을 위한 수리학적 홍수추적은 부정류의 연속방정식과 운동방정식의 해를 찾는 과정이며, 이는 현재 DAMBRK 등의 모형을 통해 간단히 수행할 수 있음
- 그러나 이후 경험식과의 비교에서 한계점이 발생함
  - 현재 실무에서 통용되는 Froehlich (1995) 등의 경험식은 모두 외국 DB 기반임
  - 대부분이 실제 댐 붕괴사례를 기반으로 만든 회귀식이라는 것에 충분한 의미가 있지만, 국내 저수지 사례를 포함하지 않았기 때문에 국내 저수지 성능평가를 위해서는 식의 사용에 한계가 있음
- Yang (2019) 식의 형식은 지수함수로서 과거의 식들과 유사한 형태를 가지며, Hagen (1982, 1983) 식과는 매우 비슷한 값을 나타내고 있음
  - Yang (2019) 식은 국내 저수지 총 220개의 붕괴 시뮬레이션을 통해 개발하였으며, 총

저수량 30만m<sup>3</sup> 이상의 한국농어촌공사 관리 저수지를 대상으로 하였음

- 15개의 시나리오에 따른 저수지별 붕괴모의를 통해 각 저수지의 침투 유출량을 산정하고, 수리해석은 수리학적 홍수추적을 통해 수행하였음

➡ 본 연구를 통해 개발된 Yang (2019) 식을 통해 국내 저수지 치수능력에 대한 상세 성능평가 대상의 우선순위 결정과 댐 하류부 피해의 개략 검토 가능

Table 9.2 Yang (2019) 회귀식과 기존 경험식의 비교

구분	제안식
Kirkpatrick (1977)	$Q_{peak} = 1.268 (h_w + 0.3)^{2.5}$
미국 토양보전국 (1981)	$Q_{peak} = 16.6 h_w^{1.85}$
미국 개척국(1982)	$Q_{peak} = 19.1 h_w^{1.85}$
Hagen & 댐안전도검사위원회(1982, 1983)	$Q_{peak} = 0.54 (h_d \times S)^{0.5}$
Macdonald & langridge (1984)	$Q_{peak} = 1.154 (V_w \times h_w)^{0.412}$
	$Q_{peak} = 3.850 (V_w \times h_w)^{0.411}$
Singh & Snorrason (1984)	$Q_{peak} = 13.4 h_d^{1.87}$
	$Q_{peak} = 1.776 S^{0.47}$
Froehlich (1995)	$Q_{peak} = 0.607 V_w^{0.295} h_w^{1.24}$
Victor (1988)	$Q_{peak} = 10.5 h_d^{1.87}$
	$Q_{peak} = 961 S^{0.48}$
	$Q_{peak} = 325 (h_d \times S)^{0.42}$
<b>Yang (2019)</b>	$Q_{peak} = 0.5188 (h_d \times S)^{0.4843}$

주)  $Q_{peak}$  : 침투유출량(m<sup>3</sup>/s),  $h_w$  : 붕괴부 저류 율류수심(m),  $S$  : 저수용량(m<sup>3</sup>),  
 $h_d$  : 댐높이(m),  $V_w$  : 최종 댐붕괴 저부의 상부 저수용량(m<sup>3</sup>)



Table 9.3 회귀식 개발을 위한 대상저수지 220개소 목록

지역	저수지명	지역	저수지명	지역	저수지명	지역	저수지명
강원	동막	경남	남산	전남	불갑	전북	금풍
강원	오봉	경남	길곡	전남	장치	전북	대아
강원	장현	경남	국전	전남	만봉	전북	죽계
강원	경포	경남	감물	전남	추동	전북	용산
강원	원창	경남	요고	전남	임천	전북	장남
강원	반계	경남	명곡	전남	유당	전북	용림
강원	잠곡	경남	신촌	전남	금전	전북	노촌
강원	산명호	경북	도곡	전남	백용	전북	대가
강원	좌운	경북	창평	전남	운주	전북	종암
강원	개운	경북	순흥	전남	군곡	전북	동마
강원	궁촌	경북	운암	전남	입석	전북	강천
강원	거진(송강)	경북	은천	전남	율치	전북	원당
강원	현남	경북	만운	전남	대동	제주	성읍
강원	도원	경북	옥성	전남	길용	제주	귀엄
강원	창봉	경북	동면	전남	광주호	제주	용수
강원	우천	경북	단산	전남	담양호	충남	계룡
강원	지내	경북	금계	전남	외동	충남	복심
강원	생곡	경북	지평	전남	나주호	충남	도립
강원	추동	경북	오태	전남	구성	충남	용연
강원	정산	경북	송림	전남	효곡	충남	영천(한천)
강원	신매	경북	갈평	전남	문수	충남	중흥
강원	상오안	경북	고현	전남	수양	충남	정안
강원	오원	경북	매화	전남	장성호	충남	신동
강원	대안	경북	수비	전남	남산	충남	덕용
강원	초당	경북	청기	전남	상오	충남	종천
강원	대룡	경북	금봉	전남	봉산	충남	신대(운곡)
경기	기흥(신갈)	경북	임고	전남	화산	충남	봉림
경기	용덕	경북	가음	전남	대룡	충남	탑정
경기	광혜	경북	금봉	전남	행정	충남	칠갑
경기	금사(장흥)	경북	기사	전남	영산	충남	예당(대흥)
경기	대평	경북	덕곡	전남	도갑	충남	진죽
경기	원당	경북	봉학	전남	평산	충남	광천

지역	저수지명	지역	저수지명	지역	저수지명	지역	저수지명
경기	봉암	경북	청하	전남	대아	충남	보강(대리)
경기	마둔	경북	유계	전남	정석	충남	상가
경기	마지	경북	문경	전남	감동	충남	경천(양화)
경기	삼인동	경북	백석	전남	내연	충남	윌티
경기	두창	경북	사곡	전남	대도	충남	성연
경기	애룡	경북	모화	전북	구이	충남	신창
경기	이동	경북	패룡	전북	경천	충남	수철
경남	가산	경북	개곡	전북	인교	충북	한계
경남	가월	경북	대곡	전북	금평	충북	추풍령
경남	주남	경북	인덕	전북	백산	충북	용곡
경남	평암	경북	하늘	전북	신림	충북	보청
경남	가북	경북	옥관	전북	홍덕	충북	장찬
경남	서상	경북	광덕	전북	내장	충북	맹동
경남	죽전	경북	개운	전북	입암	충북	소수
경남	진례	광주	왕동	전북	천천(와룡)	충북	송면
경남	가천	대구	옥연	전북	황금	충북	삼기
경남	웅양	대전	방동	전북	고수	충북	용당
경남	옥계	세종	용암	전북	수청	충북	추평
경남	손항	울산	갈진	전북	괴목	충북	궁
경남	울현	인천	하점	전북	지소(양악)	충북	비룡
경남	봉성	인천	고려	전북	대곡(오동)	충북	백곡
경남	갈곡	인천	양오	전북	신반월	충북	도기
경남	옥중	인천	길정	전북	수송	충북	연제

## 9.2.2 이수측면 - 유역배율과 단위저수량의 관계식 개발

### 1) 유역배율과 단위저수량

- 농수산부 등(1984)은 한발빈도에 따른 내한능력을 단위저수량을 기준으로 제시하였음
  - 지역별 기상자료가 충분하지 않은 저수지의 개략적인 설계를 위해 설계목표 한발빈도에 부합하는 단위저수량을 제시함
- 관개용 저수지를 설계할 때 유역배율\*이 3이상\*\*은 되어야 용수공급의 신뢰도가 90%에 이르는 것으로 판단하고 있음
  - 단위저수량\*\*\*은 약 600mm~800mm가 되어야 함 (노재경, 2011)

\* 유역배율 = 유역면적 / 수혜면적

\*\* 노재경, 2011. 유역배율이 작은 저수지의 이수관리방법, 한국관개배수논문집 제18권 제1호, pp.68-80

- 그러나 유역배율 3~4도 과거 일본의 기준이며, 일본 강우량은 대략 한국 강우량의 1.3 배이므로, 유역배율에 대한 기준도 5정도로 증가시켜야 함
- 유역배율이 작은 저수지는 용수사용율이 매우 높으며, 부분적으로 간접유역을 사용하기도 함
- 즉, 유역배율이 작은 저수지는 물이 저수지에 머무를 시간이 없으며 타당한 분석에 근거한 건설계획이 필요함

Table 9.4 한발빈도에 따른 단위저수량 제시

한발빈도	단위저수량(mm)	내용
10년빈도	520	본담 급수에 지장 없음
7년빈도	480	10년빈도 한발시 수도 이양 후 16일 정도 본담 급수 가능
5년빈도	440	10년빈도 한발시 수도 이양 후 10일 정도 본담 급수 가능
3년빈도	380	10년빈도 한발시 수도 이양에 지장 없으나, 6일 정도 본담 급수 가능
평년빈도 (2.33년)	330	10년빈도 한발시 수도 이양만은 가능하고, 본담 급수는 곤란

주) 농수산부, 농업진흥공사, 1984. 수리시설내한능력조사 종합보고서

## 2) 이수측면 물수지분석(Water Budget)의 필요성

- 물수지분석은 계획유역에 안정된 용수공급을 위해 유역내의 장래 용수수요와 공급기준년의 자연유량을 공급시기별로 비교함으로써, 유역내 본류 및 지류에서의 물부족 여부를 판단하는 것임
- 물수지분석은 공급기준년의 물부족량을 공급하기 위한 댐의 개발 규모, 시기 및 위치 등을 결정하는 수단으로 사용되며, 수자원개발계획을 수립함에 있어 선행되어야 할 기본요소임
- 저수지의 성능평가와 유역 용수수급계획 수립을 위해서는 하천유역에서의 물수지 분석을 주기적으로 실시할 필요가 있으며, 분석의 신뢰도를 높이기 위해서는 유역을 일관한 물수지 분석이 필요함

## 3) 10년빈도 연최대 필요저수량

- 농업생산기반설계기준에 따르면, 농업용 저수지는 10년빈도 갈수년에도 농업용수를 공급할 수 있어야 함
- 장기유출모형을 이용한 저수지 모의조작을 수행하여, 30년 이상의 연최대필요수량을 구

\*\*\* 단위저수량 = 유효저수량 / 수해면적  
'60년대 : 300~400mm, '70년대 : 600~800mm

한 후 10년빈도에 해당하는 값을 설계값으로 선정하고 있음

- 그러나, 현행 Carry-Over방법으로 물수지 분석을 시행하면, 연말과 연초가 연결되어 자기 상관성을 갖고, 각 연별 연최대필요수량 사상이 독립적인 시행이 아니므로 그것을 대상으로 빈도분석을 하는 것은 이론적으로 타당하지 않은 한계가 있음
- 이는 설계 안전도 측면이나, 기후변화에 따른 가뭄대비 이수안전도 확보에 역행하는 결과를 양산할 수도 있음

#### 4) 이수안전도

- 이수안전도는 용수공급신뢰도와 동일한 의미로 사용되며, 일반적으로 90%를 사용하며, 이는 10년빈도 갈수년을 고려할 경우 비초과확률이 90%이기 때문임
- 공용중이거나 계획된 저수지 규모하에서 저수지 모의조작결과의 분석을 통해 물부족 비초과확률을 구함으로써 이수안전도를 산정해 낼 수 있음
- 이수안전도는 연간단위, 기간단위, 공급량단위 기준으로 구할 수 있으나, 우리나라에서는 연간단위의 신뢰도를 주로 채택하고 있음
- 이수안전도는 저수지 모의조작을 통해 분석된 필요저수량 중 일정 안전도를 확보할 수 있는 유효저수량을 찾는 데 이용할 수도 있음

#### 5) 유역배율과 단위저수량간의 관계곡선에 따른 이수안전도 개략평가 방법 개발

- 본 연구에서는 저수지 모의조작을 통해 이수안전도 90%를 기준으로 주요관측소별 유역배율과 단위저수량간의 관계곡선을 개발하였음
  - 저수지 사용성능 중 치수능력과 함께 이수능력을 평가하기 위한 개략적 방법론의 제시에 의미가 있음
  - 세부 성능평가지 이수능력 평가를 위해 모든 저수지의 물수지를 수행하는 것은 건별 비용이 발생
- 저수지의 개략적인 이수평가지 단위저수량과 유역배율은 상호보완적인 관계를 가지고 있으나, 두 변수간의 보완성에 관한 기존 연구는 없음
- 이에 전국의 대표관측소 8개를 대상으로 임의의 저수지에 대해 각 규모별 물수지 분석을 수행하여 단위저수량과 유역배율과의 관계곡선을 개발하였으며, 분석조건은 다음과 같음
  - 장기유출모형 : DIROM, 이수안전도 : 90%
  - 발관개 없음
  - 수로손실 : 15%, 삼투량 4mm, 최대담수심 : 80mm, 최소담수심 : 20mm

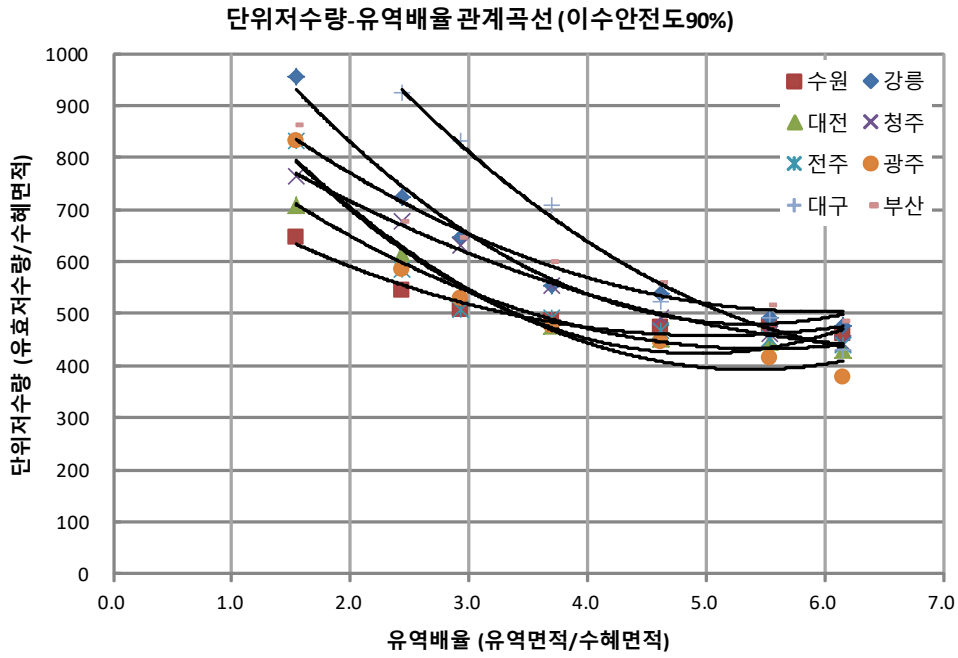


Fig. 9.5 주요 관측소별 단위저수량-유역배율 관계곡선

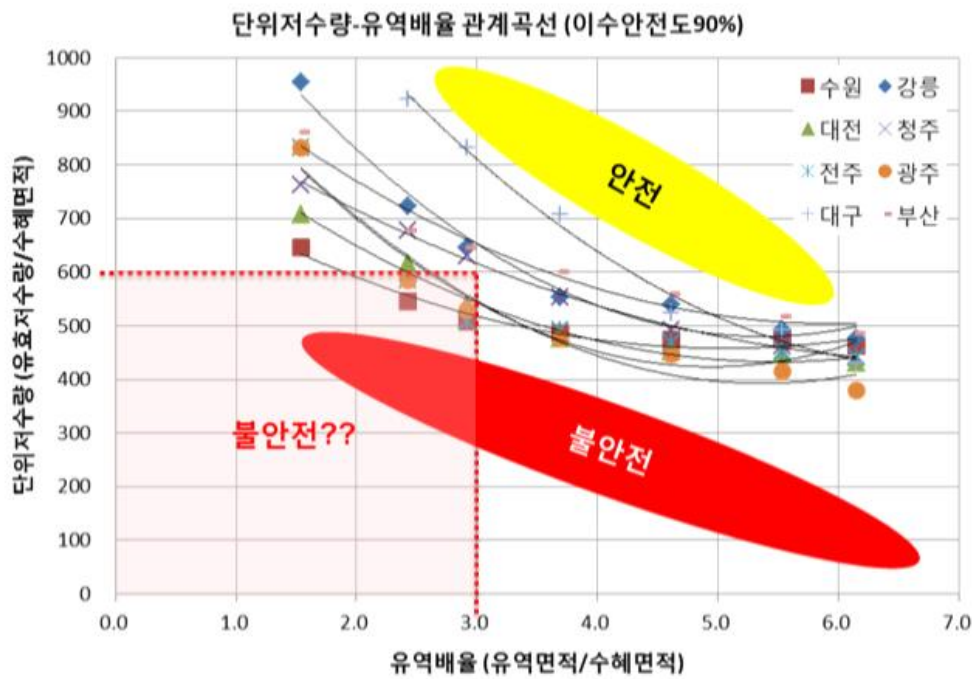


Fig. 9.6 단위저수량-유역배율 관계곡선의 해석

# 10장 저수지 성능개선 투자우선순위 의사결정 지원모델 기술개발

## 10.1 의사결정 지원모델 기술개발 개요

- 최근 우리나라의 이상 기후변화에 의한 가뭄, 호우, 태풍 등의 자연재난으로 인한 피해가 점차 늘어나고 있으며, 자연재난의 발생 빈도수가 점차 증가함에 따라 저수지의 자연재해 예방은 물론 인적·물적 자산의 피해 예방 등의 역량 강화가 많은 부분에서 요구됨. 또한 저수지는 노후화가 많이 진전된 상태이며, 치수, 이수, 시설용량 부족 등의 성능을 만족하지 못하는 시설물이 증가하는 추세임
- 2020년부터 기반시설의 체계적인 유지관리와 성능개선을 통하여 국민이 보다 안전하고 편리하게 기반시설을 활용할 수 있도록 하기 위해 지속가능한 기반시설 관리기본법이 시행되어, 기반시설은 최소유지관리 기준을 설정하고 성능평가를 실시해야하며, 기반시설 15종에 포함되는 저수지도 이에 대한 준비가 필요함
- 따라서, 저수지에 대한 성능평가 방안 및 최소유지관리 기준 수립에 대한 연구가 필요하다. 이에 저수지의 성능저하 요인 분석에 의한 성능평가모델 개발과 구조물의 목표관리 수준을 도입하고, 성능저하 요인 분석에 의한 성능평가모델 개발과 구조물의 목표관리 수준을 도입하고자함

## 10.2 의사결정 지원모델 기술개발 국내·외 기술현황

- 국내외 기술현황
  - 국내 시설물의 유지관리에 관한 상태평가 및 안전성평가 등이 체계적으로 시작된 것은 『시설물의 안전관리에 관한 특별법』(이하 『시특법』이라 함)이 제정('95.1.5)되면서부터 시설물에 대한 유지관리를 법령으로 통제하여 국가 사회기반시설물에 대한 안전성을 확보 추진
    - 일반적으로 『시특법』에 따른 시설물의 점검·진단 실시에서는 구조물의 내하성, 내구성, 사용성, 주변환경의 영향 등을 종합적으로 고려하여 조사한 결과로부터 안전 등급을 지정하고 현 상태의 시설물을 평가
    - 현행의 『시특법』에 따른 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”(이하 ‘세부지침’이라 함) 및 시설물 유지관리 관련 규정 또는 요령 등에서는 시설물의 유지관리를 구조안전성과 내구성 및 내진성 등을 위주로 그 평가기준을 마련
    - 공용 중인 시설물의 구조안전성(내하성), 내구성 등에 관한 상태평가, 구조안전성평가 등은 ‘세부지침’에 따라 시설물평가를 실시하고, 내진성능은 ‘기존 시설물의 내진성능 평가 및 향상요령’이 발간되어 시설물별로 사용
    - 국토해양부 고시 “시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침”(이하 “지침”이라 함)에

서 시설물의 사용성평가는 정밀안전진단 실시에서 선택과업으로 구분되어 시설물의 사용 성에 관한 별도의 안전기준은 부재

- 시설물은 안전함에도 불구하고 진동, 소음 등으로 사용상의 불안감과 불쾌감을 유발시키는 등의 문제로 인해 많은 사회적인 문제를 발생
- 국내에서는 이러한 상태평가 및 안정성평가에 추가하여 시설물의 성능을 고려하는 방안에 대한 연구가 진행
  - 시설물은 건축물 및 교량이 대부분이며, 콘크리트 구조물에 대한 자료 등이 있었으나, 내구성 및 안전성 등 시설물의 자체에 대한 성능평가가 주를 이루고 있으며, 건축의 거주성능 분야에서 사람을 고려하는 평가 기준이 존재하는 것으로 검토
  - 교량의 경우에는 2000년 ‘교량의 진동·처짐에 대한 사용성 측면에서의 평가절차 수립’에서 실제 교량의 변위 및 가속도의 진동계측을 통하여 일반 도로교량의 진동·처짐에 대한 진동사용성 평가절차 및 평가기준을 제시하고자 하였으며, 이후 연구에서는 차량에 의한 상부구조의 처짐 및 진동에 대한 사용성 검토가 주를 이룸
  - 한편, 2009년 ‘사회기반 콘크리트 구조물의 성능평가 통합시스템 구축’ 최종보고서에서는 교량과 건축 시설물에 대해서 ‘사용성 평가지침(안)’을 제시하고 있으며, 2011년 ‘성능중심의 건설기준 표준화 연구보고서’에서는 성능중심 콘크리트 구조설계기준(안)을 제시하였으나, 시설물 준공 이후 안전점검과 정밀안전진단 실시결과 평가에서 적용하는 방법 등에 대한 세부적인 내용이 없는 관계로 이를 그대로 점검·진단 실시결과에 적용하기에는 어려움

#### □ 유사기관 기술개발 동향

- 철도시설은 『철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률』 시행령 및 시행규칙이 2019년 3월 20일 시행됨에 따라 철도시설의 유지관리체계 및 성능평가 기준을 정비함
  - 철도시설 유지관리계획은 철도시설의 현재성능과 목표성능의 차이를 분석하여 매년 목표성능 달성에 필요한 유지관리 시행계획을 수립하는 것을 개선 방안으로 내용 수립
  - 유지관리계획에 따른 보수, 보강, 개량/개축은 철도시설의 목표 종합 성능이 목표성능 이상으로 유지될 수 있도록 수행하는 것을 원칙으로 개선 방안 마련
  - 철도시설의 점검은 철도시설관리자에 의해 준공이후부터 시설관리자가 정하는 주기에 따라 정기적으로 점검하도록 개선 방안을 마련
  - 철도시설물 성능평가는 시행령 등을 통해 시설물 규모, 특성 등에 맞추어 주기적인 성능 평가시기를 제시하여 철도시설에 대한 성능평가를 실시
  - 성능평가는 중장기 철도시설 개량투자계획 수립 주기에 맞춰 시행하는 것으로 안전등급 등 개별 시설물 평가항목과 주기는 관련 시설물 개별법 규정을 준수하고, 개별법의 규정이 없는 경우에는 시설관리자의 판단하에 적정 주기로 평가
  - 성능평가 결과는 철도시설에 대한 성능목표, 성능평가 결과, 성능목표의 달성방법 등의 사항을 포함하도록 기준 개선방안 수립

- 철도시설에 대한 성능평가의 상세 지침은 철도시설관리자가 소관 철도시설에 대한 성능평가를 실시하여 성능등급을 지정하도록 하면, 이에 대한 실시시기·성능등급 기준 및 성능평가 방법에 관한 지침을 수립
- 성능평가는 주기적으로 수행토록 성능등급 평가 기준 항목을 안전성, 내구성, 사용성 측면에서 종합성능을 산정할 수 있는 기준 제시
- 성능평가 절차는 개별 시설물에 대한 설계도면, 점검보고서, 계측데이터 등 가용한 모든 근거자료를 바탕으로 수행 가능하도록 절차를 제시

### 10.3 저수지 자산가치 평가기법 개발

□ 규모별·지역별 특성을 고려한 저수지 열화모델·비용모델 고도화

○ 고도화를 위한 기존 저수지 열화모델 개발방법 분석

- 기존 열화모델은 저수지 부재별로 개발되었으며 경과년수별 보수보강 횟수를 분석하여 모델 개발을 위한 1차 데이터를 분류함
- 1차 분류된 데이터 중에서 최초 조치시기를 파악하기 위해 1회 보수보강공사를 수행한 시설의 데이터를 선별하여 데이터의 분포를 분석한 후 최종 데이터를 분류함
- 사용된 데이터 분석 결과 규모별·지역별로 분류할 경우 모델 고도화를 위한 충분한 데이터가 확보되지 못하여 고도화에 어려움 발생

➡ 연구기관간의 협의를 통해 투자우선순위 의사결정 모델 개발에 열화·비용 모델 적용하여 경제성 평가를 수행하는 평가요소를 제안하는 것으로 연구방향 변경

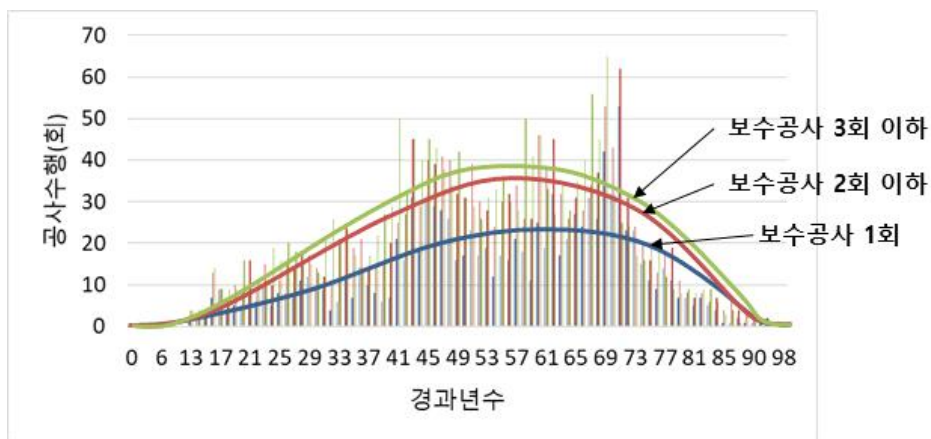


Fig. 10.1 저수지 부재의 보수보강공사 수행횟수



□ 열화모델과 비용모델을 이용한 투자우선순위 선정 평가요소 제안

○ 성능개선 사업 투자우선순위 선정을 위한 평가 방안 중 사업의 경제성 평가를 위한 평가요소 제안

- 생애주기를 고려한 유지관리비용

① 제체의 미조치시 열화모델을 통한 기대수명은 36년

② 제체의 현행 조치 모델에 의한 기대수명은 134년

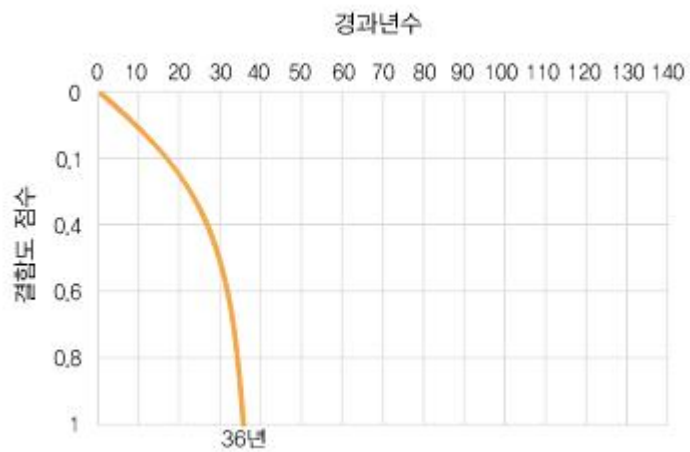


Fig. 10.2 저수지 제체의 미조치 열화모델 곡선

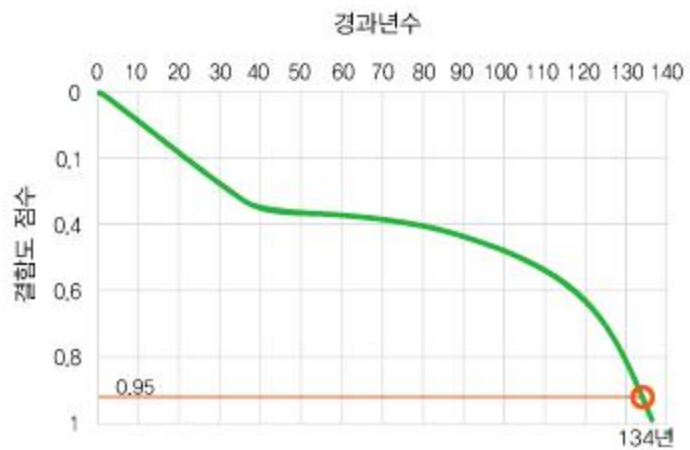


Fig. 10.3 저수지 제체의 현행조치 열화모델 곡선

- ③ 미조치 모델이 D등급에서 조치를 수행하는 것으로 가정하였을 때 현행 조치 모델이 되기 위해서 4회의 보수보강공사 수행되는 것으로 예상

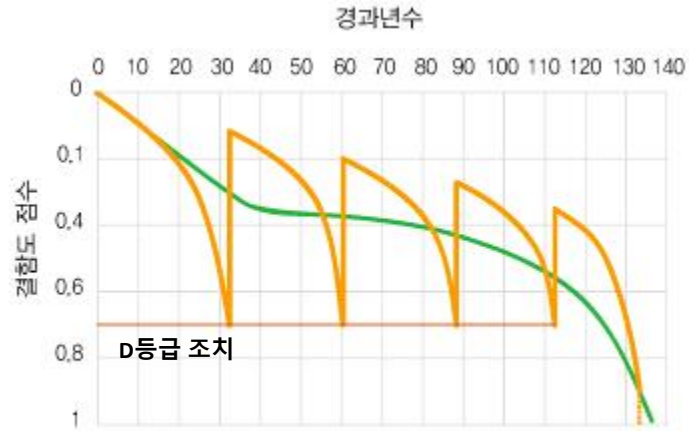


Fig. 10.4 D등급 조치 횟수에 따른 제체의 열화예측

- ④ 두 종류의 비용모델에 의하면 D등급 조치 비용은 각각 1,440백만원과 1,330백만원으로 나타남.

➡ 따라서 D등급 조치 비용은 두 비용의 평균비용으로 산정하고 생애주기 동안의 총 유지관리비용은 5,540백만원으로 산정

- 재해 위험도 편익 분석을 위한 등급별 붕괴확률

- ① 재해 위험도 편익 분석은 재해로 인한 제체의 붕괴할 시 이를 복구하기 위한 비용을 산정하는 것으로 제체의 붕괴 확률 계산이 중요
- ② 제체의 붕괴 확률을 위해 정량화하여 평가하기 위해 안전진단실무요령에 의한 제체의 평가 기준 분석

Table 10.1 제체의 상태평가 기준 분석

구분	손상	등급	평가내용
댐마루	균열	a	중·횡방향 균열이 없는 최상의 상태
		b	중·횡방향 균열길이 0~1m, 제정의 10% 이하인 상태
		c	중·횡방향 균열길이 1~5m, 제정의 10~50% 이하인 상태
		d	중·횡방향 균열길이 5m이상, 제정의 50% 이상 난간이 기울어진 상태
		e	중·횡방향 균열길이 5m이상, 제정의 50% 이상 중방향 균열깊이가 저수위 이하이고, 횡방향 균열이 깊고 저수위 이하까지 진행되었을 경우

구분	손상	등급	평가내용
상류 사면	침하 및 변형	a	결함이 없는 최상의 상태
		b	침하깊이 0~10cm, 제체의 변형 0~10%인 상태
		c	침하깊이 10~50cm, 제체의 변형 10~50%인 상태
		d	침하깊이 50cm 이상, 제체의 변형 50% 이상인 상태
		e	침하깊이 50cm 이상, 제체의 변형 50% 이상 위험한 상태
	사면 불안정 및 사면 보호	a	결함이 없는 최상의 상태
		b	사면 전체의 0~10%가 유실된 상태
		c	사면 전체의 10~50%가 유실된 상태
		d	사면 전체의 50% 이상 유실된 심각한 상태
		e	사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 위험한 상태
하류 사면	사면 보호 상태	a	사면불안정의 징후가 없는 최상의 상태
		b	사면 전체의 0~10%가 유실된 상태
		c	사면 전체의 10~50%가 유실된 상태
		d	사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 심각한 상태
		e	사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 위험한 상태
	침하 및 변형	a	결함이 없는 최상의 상태
		b	침하깊이 0~10cm, 제체의 변형 0~10%인 상태
		c	침하깊이 10~50cm, 제체의 변형 10~50%인 상태
		d	침하깊이 50cm 이상, 제체의 변형 50% 이상인 상태
		e	침하깊이 50cm 이상, 제체의 변형 50% 이상 위험한 상태

③ 상태평가 기준 분석 결과 등급별 손상의 평가기준이 평가면적에서 나타나는 비율이 일정하므로 이를 등급별 손상의 확률로 산정

Table 10.2 제체 등급별 손상 확률

등급	A	B	C	D	E
확률(%)	0	10	30	50	100

## 10.4 저수지 성능개선 투자순위 의사결정 모델 개발

□ 기반시설관리법 시행에 따른 성능개선(공통)기준을 고려한 투자우선순위 의사결정 프로세스 개발

➡ **성능개선공사 계획 및 실시는 성능개선기준을 통한 합리적인 의사결정 과정을 관리계획에 반영해야 함**

- 저수지 성능개선기준은 수립 중이므로 공통기준의 주요 내용을 의사결정 프로세스에 반영
  - 성능개선의 적합성을 검토하기 위해서 다음 사항들을 고려한 “성능개선 검토 대상”을 우선 선정

- 
1. 성능평가 결과
  2. 시간 경과 및 환경 변화 등에 따른 기반시설의 기준변화
  3. 시설물의 수요 증가 및 서비스 요구 수준 향상 등
  4. 그 밖에 관계법령에 따라 관리감독기관의 장이 소관 기반시설의 성능 개선이 필요하다고 판단하는 사항
- 

- 성능개선 검토 대상은 다음의 유형으로 구분

- 
1. 노후화 성능개선 : 시간의 경과에 따른 노후화 등으로 인하여 시설의 성능이 저하되어 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
  2. 기준변화 성능개선 : 기후, 환경 및 기술수준의 변화 등 시설에 요구되는 성능에 대한 기준이 설계 당시의 기준보다 상향되어 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
  3. 사용성변화 성능개선 : 시설의 수요 또는 서비스 수준의 상향 요구가 증가되어 용량 및 서비스 수준의 확대 등 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
  4. 그 밖에 관계법령에 따라 시설의 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
-

- 각 유형별 성능개선의 세부 시행방안은 다음 유형으로 구분할 수 있음

1. 개량 : 기존시설의 일부를 해체·폐기 후 물리적·기능적으로 시설을 추가 또는 개선하여 서비스 수준을 향상(주요 구조부나 외부형태 대수선 포함) 시키는 것
2. 증설확장 : 기존시설을 유지하되 그 규모나 기능을 확장(구조체 면적, 높이, 폭 등 늘림, 설비 용량 증설 포함)하여 기존 서비스의 공급을 확대하는 것(건축물의 경우 '증축'도 포함)
3. 일부개축 : 기존시설 일부를 해체·폐기 후 기존과 동일 또는 일부 향상된 수준으로 교체하는 것
4. 그 밖에 관리감독기관의 장이 소관 기반시설의 성능개선 유형으로 구분하는 사항

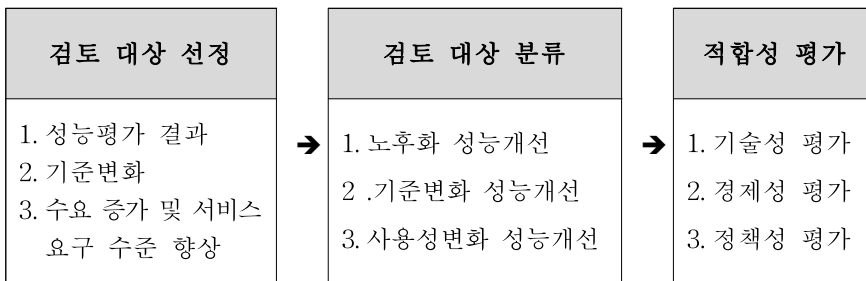


Fig. 10.5 성능개선공통기준 주요 내용

□ 데밍 사이클 (PDCA, Plan-Do-Check-Action)을 이용한 투자우선순위 프로세스 개발

○ PDCA 기법의 개념

- 모든 프로세스는 완벽하지 않으며 개선하면서 발전한다는 개념으로, PDCA는 직선의 방식이 아닌 순환의 활동으로서, Act 단계에서 새로운 PLAN이 시작되어 순환되는 것 프로세스를 가짐
  - PLAN, DO, CHECK, ACTION의 첫 글자를 사용한 용어로서, 목표를 달성하기 위해 계획을 세우고, 실행하고, 실행한 내용과 결과를 분석하고, 분석한 결과를 이용하여 조치를 취하는 사고방식 틀
- ① Plan : 가장 중요하고, 능력이 필요한 공정으로 조직의 능력이 좌우됨. 좋은 PLAN은 실행도 쉽고, 시행착오도 적음
  - ② Do : 실행으로서 대안에 대한 행동
  - ③ Check : 검토/조정. 개선조치에는 개선효과 파악 및 합리성 판단
  - ④ Action : 조치로서 Check에 대한 후속조치

○ PDCA 기법을 적용한 투자우선순위 산정 가이드라인

- Plan : 저수지의 성능개선 투자계획을 수립하기 위해 노후화, 기준변화, 사용성변화에 대한 평가항목으로 구성된 리스크 매트릭스를 이용하여 선정 대상을 결정하는 단계
- Do : 선정된 저수지들의 성능개선 유형별 고려사항을 적용하여 공사를 설계하고 성능개선기준에 의한 적합성 평가를 수행하는 단계
- Check : 적합성 평가를 통과한 사업설계안에 대해서 AHP 평가를 통한 사업 우선순위를 결정하는 단계
- Action : 우선순위에 따라 성능개선공사 사업을 수행하는 단계

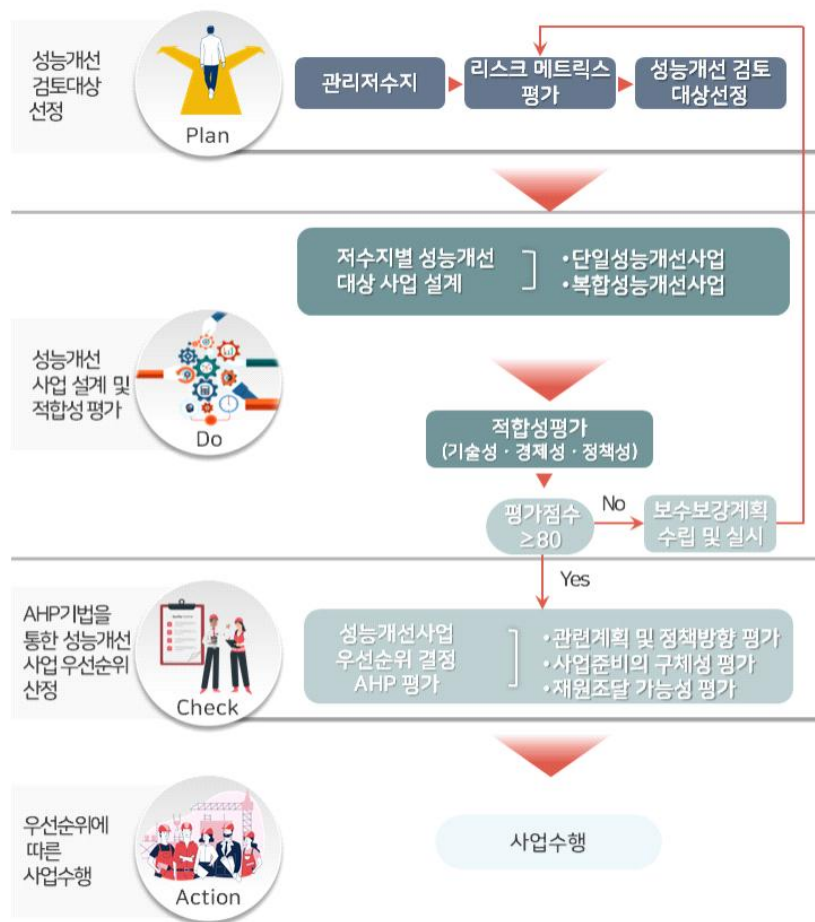


Fig. 10.6 PDCA 기법을 적용한 투자우선순위 선정 가이드라인

□ PDCA 기법을 적용한 투자우선순위 선정 방법 상세

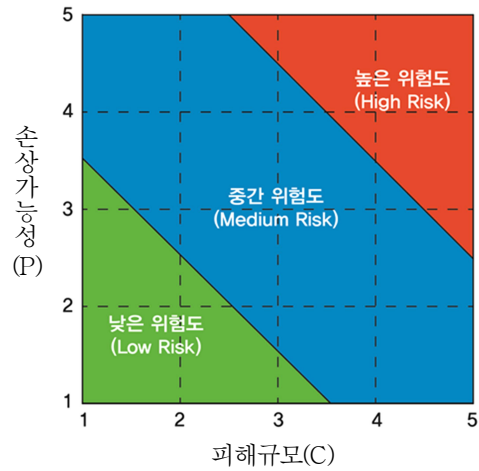
- ➔ 본 투자우선순위 선정 방법에 실제 성능개선공사 우선순위 선정 예시를 부록에 수록하였으며, 여기서는 주요 이론내용과 간략한 예시를 통해 우선순위 선정 방법을 설명

- Plan : 리스크 매트릭스 (Risk Matrix)를 이용하여 성능개선 검토대상을 선정하는 단계
  - 리스크 매트릭스(Risk Matrix) 분석 이론

1. 리스크 원인, 발생 가능성 및 결과, 발생 가능성 및 결과의 수준에 영향을 미치는 요소를 확인
2. 리스크 수준은 리스크의 발생 가능성과 결과의 조합에 의해 결정되고 분석
3. 저수지에 대해 결합지수 확률(P)과 손상 시 피해규모(C)를 고려하여 위험도를 산정

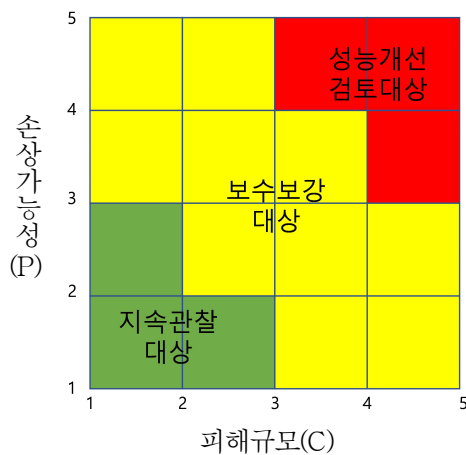
$$P = \sum P_i W_i \text{ and } C = \sum C_i W_i$$

$P_i$  = 손상발생의 부분 확률  
 $C_i$  = 피해 규모의 부분 확률  
 $W_i$  : 가중치



- 리스크 매트릭스를 이용한 성능개선 검토대상 선정 방법

1. 리스크 매트릭스 기법을 사용하여 저수지에 위험성을 줄 수 있는 요인들을 손상가능성과 피해규모로 구분
2. 각 항목별 1~5점의 등급과 가중치를 산정하여 분석 수행
3. 분석된 결과에 따라 각 저수지군을 기준에 따라 분류



- 손상가능성에 대한 평가항목은 안전성능과 내구성능을 평가하는 항목을 포함하여 구성하고 가중치를 결정
  - 공용년수 : 저수지의 공용년수 경과에 따른 내구성능을 고려하기 위한 평가 항목

- 저수용량 : 저수용량에 따른 규모를 고려하기 위한 평가 항목
- 안전점검등급 : 저수지의 안전점검에 의한 등급으로 안전성을 고려하기 위한 평가 항목
- 내진보강 : 내진성능평가에 따른 내진 보강 여부를 고려하기 위한 평가 항목
- 전회차 평가결과 : 전회차에서 성능개선검토대상에 선정되었으나 적합성 평가를 통과하지 못한 저수지를 우선 고려하기 위한 평가 항목

Table 10.3 손상가능성 검토항목 배점 및 기준(안)

구분	검토항목 및 가중치	배점				
		1	2	3	4	5
손상 가능성	공용년수 (20%)	40년 이하	41~50년	51~60년	61~70년	70년 초과
	저수용량 (20%)	1만㎡ 미만	1만㎡ 이상 ~ 5만㎡ 미만	5만㎡ 이상 ~ 10만㎡ 미만	10만㎡ 이상 ~ 30만㎡ 미만	30만㎡ 이상
	안전점검등급 (20%)	A	B	C	D	E
	내진보강 여부 (20%)	내진 보강 완료	-	-	-	내진 보강 필요
	전회차 평가결과 (20%)	비대상	평가대상이 나 관찰대상으 로 분류	보수보강대 상으로 조치수행	보수보강대 상이었으나 조치 미수행	성능개선검 토대상이었 으나조치 미수행

- 손상위험 규모에 대한 평가항목은 사용성을 평가하는 항목을 포함하여 구성

- 하류부 예상 인명피해 : 저수지에 이상 발생시 하류부에서 발생 가능한 예상 인명 피해 규모를 고려하기 위한 평가 항목
- 하류부의 도시, 집단주거시설, 국가주요시설 존재여부 : 저수지 이상 발생시 피해를 받을 수 있는 주요 시설의 존재 여부를 고려하기 위한 평가 항목
- 제방높이 : 제방 높이에 따른 저수지 규모를 고려하기 위한 평가 항목
- 저수지 활용도 : 저수지 활용에 따른 손상시 사용성 저하를 고려하기 위한 평가 항목
- 수질등급 : 저수지 오염에 따른 사용성을 고려하기 위한 평가 항목



Table 10.4 피해규모 검토항목 배점 및 기준(안)

구분	검토항목 및 가중치	배점				
		1	2	3	4	5
피해 규모	하류부 예상 인명피해 (20%)	10인 미만	10인 이상 ~30인 미만	30인 이상 ~ 50인 미만	50인 이상 ~100인 미만	100명 이상
	하류부 도시, 집단주거 지역, 국가 중요시설 존재여부 (20%)	미존재	-	-	-	존재
	제방높이 (20%)	5m 미만		5m 이상 ~ 15m 미만		15m 이상
	저수지 활용도 (20%)	활용저하 저수지		보조 수원공		주수원공
	수질등급 (20%)	약간나쁨 IV		나쁨 V		매우나쁨 VI

- 성능개선 대상 선정 분류 기준

- 검토 저수지는 지속관찰 대상 / 보수보강 대상 / 성능개선 검토대상 중 하나로 분류
- 지속관찰 대상 저수지는 다음 검토시까지 지속관찰하며 특별한 조치를 실시하지 않는 저수지로 분류
- 보수보강 대상 저수지는 다음 검토시까지 보수보강의 조치를 수행하는 저수지로 분류
- 성능개선 검토 대상 저수지는 우선순위 설정 프로세스에 따라 유형별 성능개선 공사 사업 설계안을 수립하는 저수지로 분류

○ Do : 선정된 대상을 성능개선 유형별로 대안사업을 설계하여 성능평가기준에 의한 적합성을 평가하는 단계

- 대안 사업의 분류

- ① 노후화 성능개선 사업 : 「시설물안전법」과 「농기반규정」에 의한 점검진단에 의해 저수지 노후화로 인한 안전성 등을 개선하기 위한 사업
- ② 치수능력확대 사업 : 기후변화에 따른 집중호우 등에 대비하여 기 설치된 저수지 시설물 보강을 통해 홍수 배제 능력을 향상하여 사전 재해를 예방하기 위한 사업
- ※ 가능 최대 홍수량(PMF, Probable Maximum Flood)이 적용된 유역면적 2,500ha, 저수용량 500만<sup>m</sup> 이상 필댐 또는 댐 하류부에 도시, 집단거주지역, 국가 중요시설 등이 있는 필댐 우선대상
- ③ 용수공급능력 확대사업 : 농업용수, 생활용수, 유지용수의 사용량 변화하고 기온과 강수량이 과거와 다른 변화를 보임에 따라 물공급의 안전성을 확보하기 위한 사업

Table 10.5 성능개선 검토 대상 유형과 저수지 관련 사업 대안 검토(안)

성능개선 검토 대상 유형	기존 저수지 사업 대안
노후화 성능개선 사업	노후 저수지 성능개선 사업
기준변화 성능개선 사업	치수능력 확대사업
사용성변화 성능개선 사업	용수공급능력 확대사업

- 검토 대상 저수지별 성능개선 사업 설계 방안

- ① 단일 성능개선 사업 : 단일 성능개선 공사 설계안은 성능개선기준에서 분류하는 성능개선 유형에 따라 노후화 성능개선/기준변화 성능개선/사용성변화 노후개선으로 분류되어 단일 성능개선을 목적으로 하는 사업
- ② 복합 성능개선 사업 : 복합 성능개선 공사 설계안은 성능개선기준에서 분류한 세 종류의 성능을 동시에 개선하는 것을 목적으로 하는 사업

- 저수지별 성능개선 사업 설계안 수립

성능개선 대상 저수지의 사업 설계안은 단일성능개선과 복합성능개선 사업으로 각각 설계하여 대상의 2배수를 수립하며 성능개선기준에 의한 기술성 평가, 경제성 평가, 정책성 평가를 통해 최종 적합성 여부를 판단

- 기술성 평가 : 성능평가 결과를 활용하는 것이 원칙이나, 현재 관련법령에서 규정하고 있지 않으므로 최근의 정밀안전진단 결과를 활용. 단, 기준변화 또는 사용성변화

성능개선 사업의 경우 생략 가능

- ① 정밀안전진단 종합등급이 D·E등급인 경우는 적합성 평가를 통과하고 우선순위 평가 대상 사업에서 최우선으로 선정
- ② 내진보강 대상 저수지는 적합성 평가를 통과하고 우선순위 평가 대상 사업으로 선정
- ③ 정밀안전진단 결과 복합시설의 등급

Table 10.6 저수지 복합시설 기술성 평가 배점

복합시설 구분	배점
제체 등급 D·E	90
여수로 등급 D·E	80
취수시설 등급 D·E	70
그 외	50

- 경제성 평가 : 비용편익분석을 통한 사업의 경제성 평가

① 비용편익분석 방법

비용편익분석 방법은 사업에서 발생하는‘이득(편익)’이 사업 목표의 달성을 위해 지불해야 하는‘비용’보다 클 때, 해당 사업은 사업 타당성이 있다고 판단하며, 비용편익분석 방법은 저수지 성능개선공사 사업 선정에 있어서 효율적 방법임. 비용-편익 비율(B/C, Benefit-Cost Ratio)에 대한 경제성 분석은 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익 현재가를 비용 현재가로 나눈 것으로, B/C 비율에 따라 경제성 평가 점수 배정

- 편익 항목 산정방법 : 편익 항목은 성능개선 사업으로 시행함으로 인해 발생되지 않는 비용을 편익으로 제안. 저수지는 민간 시설물과 같이 독립적으로 수익성을 가지는 사업이 아니므로 편익의 산정은 성능개선 사업에 따라 관리주체나 사용자가 부담하지 않아도 되는 비용에 초점을 맞추어 산정

● 재해위험도 편익

재해위험도 비용은 집중호우, 홍수 등으로 인해 발생 가능한 저수지의 손상비용을 고려하는 것으로, 재해로 인한 제체의 손상 복구비용을 의미. 이 비용은 제체의 현재 등급에 따른 예상 손상 비율에 복구공사비용을 곱하여 산정

$$\text{재해위험도비용} = \text{현재 등급에 따른 손상확률} \times \text{복구공사비용}$$

● 홍수피해경감 편익

홍수피해경감 편익은 재현기간별 홍수에 대해서 사업으로 인한 피해감소액을 전구간에 대해서 구한 후 구간별로 사업전후의 피해액의 차이에 홍수의 구간발생확률을 곱하여 전 구간에 대해 합산해서 산정

● 자본적 지출 편익

자본적 지출 편익은 ‘일반유형자산과 사회기반시설 회계처리지침’에 의한 사회기반시설의 내용연수를 연장시키거나 해당 자산의 가치를 실질적으로 증가시키는 비용을 자본적 지출

편익으로 산정

Table 10.7 제체 등급별 손상확률

등급	A	B	C	D	E
확률(%)	0	10	30	50	100

② 비용 항목 산정방법

비용 항목은 성능개선공사비용과 생애주기를 고려한 유지관리비용 분류

• 성능개선공사비용

성능공사의 설계, 건설, 감리비용의 총비용을 산정. 설계비용은 기본 및 실시설계 비용 등을 의미. 건설비용은 공사비, 공사 중 안전점검비, 하자보수비 등을 포함하며, 감리비용은 공사감리, 설계감리 비용 등을 의미하며 성능개선공사비용은 이들을 합산하여 산정

$$\text{성능개선공사비용} = \text{설계비용} + \text{건설비용} + \text{감리비용}$$

• 유지관리비용

저수지의 성능개선공사 후 공용수명 기간 동안 저수지 유지관리에 소요되는 총비용으로 생애주기를 고려하여 산정

• 저수지 성능개선 사업에 대한 비용편익분석 방법

비용편익 비율(B/C, Benefit-Cost Ratio)에 대한 경제성 분석은 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여, 편익 현재가치를 비용 현재가치로 나눈 것으로, B/C 비율에 따라 경제성 평가 점수를 산정

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서,  $B_t$  : 편익의 현재가치                       $C_t$  : 비용의 현재가치

$r$  : 할인율(이자율)                               $n$  : 내용연수

$t$  : 분석기간

Table 10.8 B/C 비율에 따른 경제성 평가 점수 산정

B/C 비율	1.0이상	1.0 미만 0.8 이상	0.8 미만 0.5 이상	0.5 이하
평가 점수	100	90	80	0

- 정책성 평가 : 저수지 활용도(30%), 중요도(30%), 지역주민 사업 수용성(40%)을 평가

① 저수지의 활용도 평가는 주수원공/보조 수원공/활용저하 저수지의 경우로 구분하여 평가

Table 10.9 활용도 평가 점수 산정 기준(정책성 평가)

구분	주수원공	보조 수원공	활용저하 저수지	
			수혜면적 유	수혜면적 무
평가 점수	100	90	70	50

② 저수지의 중요도 평가는 총저수량과 유역면적을 고려하여 평가

Table 10.10 중요도 평가 점수 산정 기준(정책성 평가)

구분	총저수량 300만m <sup>3</sup> 이상 / 유역면적 1,000ha 이상	총저수량 30만m <sup>3</sup> 이상 ~300만m <sup>3</sup> 미만 / 유역면적 1,000ha 이상	총저수량 30만m <sup>3</sup> 미만 / 유역면적 1,000ha 미만
평가 점수	100	90	80

③ 저수지의 지역주민 사업 수용성 평가는 주민의 호응과 민원 발생을 고려하여 평가

Table 10.11 지역주민 사업 수용성 평가 점수 산정 기준(정책성 평가)

구분	주민 호응이 좋고 민원이 없는 경우	주민 호응은 좋으나 사업 수행 후 민원 발생 가능성이 있는 경우	주민 호응도도 낮고 사업 수행 후 민원 발생 가능성이 높은 경우
평가 점수	100	80	60

- 적합성평가 : 성능개선사업 유형에 따른 평가분야별 가중치를 고려하여 최종 점수를 합산해 적합성 평가 점수를 산출하여 80점 이상인 사업을 성능개선사업으로 선정하여 우선순위선정 절차 진행. 80점 미만인 시설은 보수보강공사 계획 수립 대상에 포함하고 다음 성능개선 대상 선정시 가점 부여하여 평가
- ① 노후화 성능개선과 복합 성능개선 사업의 평가별 가중치는 기술성 평가의 가중치를 70%, 경제성 평가와 정책성 평가의 가중치를 각 15%로 부여
- ② 기준변화 성능개선과 사용성변화 성능개선 사업의 평가별 가중치는 기술성 평가가 20%, 경제성 평가와 정책성 평가의 가중치를 각 40%로 부여. 기술성 평가 제외시 각각 50%로 부여

Table 10.12 적합성 평가 점수 산정 기준

사업 유형 구분		가중치(%)		
		기술성 평가	경제성 평가	정책성 평가
단일 성능 개선	노후화	70	15	15
	기준변화 (기술성 평가 제외시)	20 (제외)	40 (50)	40 (50)
	사용성변화 (기술성 평가 제외시)	20 (제외)	40 (50)	40 (50)
복합 성능개선		70	15	15

- Check : 적합성 평가를 통해 결정된 사업간의 우선순위를 AHP평가를 통해 최종 결정하는 단계
  - 저수지 성능개선사업 수행 타당성은 비용편익분석 방법을 적용한 경제성 평가와 비용효과분석 방법을 적용한 정책성 평가를 종합하여 타당성을 평가함. 이를 위해 개별 평가기준에 대해 서로 다른 선호도를 가진 대안들을 체계적으로 평가할 수 있는 의사결정기법인 AHP 기법을 적용하여 타당성을 평가

① AHP 분석 수행 절차

Table 10.13 AHP 분석 수행 절차

절차도	단계	절차
	1단계	의사결정 계층 구조
	2단계	쌍대비교 수행/입력
	3단계	중요도(행렬곱 연산)
	4단계	일관성 수준(CI) 저하 시 2단계부터 재수행
	5단계	대안 선정

※ CI (Consistency Index) : 비교 수행자의 일관성 응답수준 지표

② 우선순위 산정을 위한 의사 결정 계층 구성

AHP 분석을 위한 의사결정 계층은 목표, 기준, 대안을 계층화하여 구성

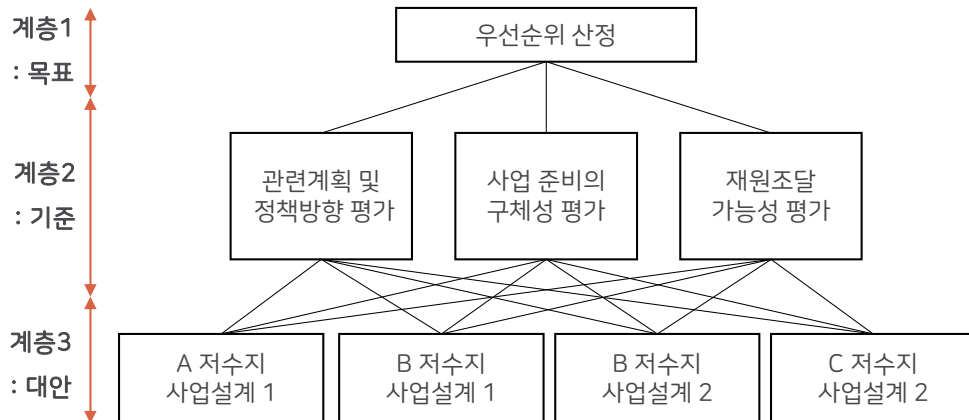


Fig. 10.7 성능개선사업 우선순위 산정을 위한 의사결정 계층

● 관련계획 및 정책방향 평가

중앙정부의 주요 상위 계획과 지자체의 관련 계획 등을 검토하여 사업 수행이 정책방향과 일치하는지 평가

- 사업 준비의 구체성평가  
저수지 성능개선사업에 대한 계획의 구체성, 인력 및 재원의 투입정도 등 사업 준비의 구체성을 평가
  - 채용조달 가능성 평가  
저수지 관리주체가 성능개선사업을 추진하기 위한 투자재원 조달능력과 가능성을 고려하여 사업이 재원 문제없이 추진될 수 있는지 평가
- ③ 평가기준의 쌍대비교 수행 입력
- 쌍대비교를 통해 산술적 판단을 위한 척도는 일반적으로 가장 많이 사용되는 9점 척도를 사용

Table 10.14 쌍대비교를 위한 9점 척도

중요도	정의	설명
1	비슷함	두 기준이 비슷한 공현도를 가짐
3	약간 중요함	한 기준이 다른 기준보다 약간 중요함
5	중요함	한 기준이 다른 기준보다 중요함
7	매우 중요함	한 기준이 다른 기준보다 매우 중요함
9	극히 중요함	한 기준이 다른 기준보다 극히 중요함
2, 4, 6, 8	위 값의 중간값	위 값들의 중간값에 해당된다고 판단될 때 사용함
1.1~1.9	동등한 활동	비교 요소가 매우 비슷한 경우 약간 비슷하면 1.3, 약간 차이난다면 1.9 선호
역수값	한 기준이 다른 기준에 대해 위의 값을 갖는다면 반대의 경우 역수값을 갖음	



- 9점 척도를 통한 평가기준의 쌍대비교를 결정

Table 10.15 평가기준의 쌍대비교 행렬 입력 예시

	관련 계획 및 정책방향 평가	사업 준비의 구체성 평가	재원조달 가능성 평가
관련 계획 및 정책방향 평가	1	1/5	1/3
사업 준비의 구체성 평가	5	1	1/3
재원조달 가능성 평가	3	3	1

- 각 사업설계들에 대해서 평가기준별 모든 쌍대비교를 결정

Table 10.16 사업설계간의 평가기준별 쌍대비교 행렬 입력 예시

관련 계획 및 정책방향 평가	A저수지 사업설계 1	B저수지 사업설계 1	B저수지 사업설계 2	C저수지 사업설계 2
A저수지 사업설계 1	1	1/5	1/7	1/3
B저수지 사업설계 1	5	1	1/5	1/3
B저수지 사업설계 2	7	5	1	1/3
C저수지 사업설계 2	3	3	3	1

④ 평가요소 중요도 계산

- 결정된 모든 쌍대비교 행렬에 대해서 원소를 열의 합으로 나누는 표준화 행렬을 계산하고 평균 우선순위를 계산

Table 10.17 쌍대비교 행렬의 표준화 및 우선순위 계산 예시

관련 계획 및 정책방향 평가	A저수지 사업설계 1	B저수지 사업설계 1	B저수지 사업설계 2	C저수지 사업설계 2
A저수지 사업설계 1	1	1/5	1/7	1/3
B저수지 사업설계 1	5	1	1/5	1/3
B저수지 사업설계 2	7	5	1	1/3
C저수지 사업설계 2	3	3	3	1
소계	16	9.20	4.34	2.00



관련 계획 및 정책방향 평가	A저수지 사업설계 1	B저수지 사업설계 1	B저수지 사업설계 2	C저수지 사업설계 2	평균 우선순위
A저수지 사업설계 1	0.06	0.02	0.03	0.17	0.07
B저수지 사업설계 1	0.31	0.11	0.05	0.17	0.16
B저수지 사업설계 2	0.44	0.54	0.23	0.17	0.34
C저수지 사업설계 2	0.19	0.33	0.69	0.50	0.43
소계	1	1	1	1	

⑤ 쌍대비교 행렬의 일관성 수준(CI) 평가

- 각 쌍대비교 행렬별로 일관성 평가를 수행하고 결과가 0.1보다 큰 경우 쌍대비교를 재수행

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n - 1} \quad (\text{일관성 평가 계산식})$$

⑥ 최종 사업간 우선순위 선정

- 기준간, 사업간 쌍대비교행렬의 우선순위를 행렬곱하여 최종 가장 높은 행렬값순으로 우선순위 산정
- 동일 저수지의 단일설계안과 복합설계안이 동시 선정된 경우에는 우선순위가 높은 설계안을 선정

Table 10.18 최종 우선순위 산정 예시

구분	관련 계획 및 정책방향 평가	사업 준비의 구체성 평가	재원조달 가능성 평가	최종우선순위
가중치	0.12	0.331	0.549	
A저수지 사업설계 1	0.07	0.24	0.14	0.165
B저수지 사업설계 1	0.16	0.36	0.28	0.292
B저수지 사업설계 2	0.34	0.15	0.31	0.261
C저수지 사업설계 2	0.43	0.25	0.27	0.283
$\begin{bmatrix} 0.07 & 0.24 & 0.14 \\ 0.16 & 0.36 & 0.28 \\ 0.34 & 0.15 & 0.31 \\ 0.43 & 0.25 & 0.27 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.12 \\ 0.331 \\ 0.549 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.165 \\ 0.292 \\ 0.261 \\ 0.283 \end{bmatrix}$				

○ Action : 우선순위에 따라 사업을 수행하는 단계

- 우선순위 선정의 최종 단계로 최종우선순위에 따라 사업을 수행

## 10.5 자산규모 추계방법에 따른 저수지 시설물의 자산규모 산정

- 국가회계법상 시설물 자산규모 추계방법은 대표적으로 감가상각법, 감가상각대체법으로 평가하고 있으며, 상대적으로 간편한 건설공사비, 영구재고법을 통한 자산규모 산정이 가능하며 이를 저수지에 적용하는 것에 대한 검토 필요
  - **(건설공사비)** 저수지 건설공사에 들어간 비용을 자산으로 산정
    - 순수공사비만을 산정하고 저수지 사용년수에 따른 물가상승률과 감가상각률을 미고려
  - **(대체공사비)** 기존 사용중인 저수지를 철거 후 동일하게 재건설할 경우 소요되는 공사비
    - 대체공사비는 건설공사비에서 공용년수에 따른 물가상승률을 반영한 금액으로 가정. 한국은행의 연도별 생산자물가 등락률 고려
    - 저수지 공용년수에 따른 감가상각률 미고려
  - **(영구재고법)** 저수지의 폐기함수에 따라 내용년수에 따른 잔존율을 산정하고, 저수지의 취득원가와 사용년도에 따른 잔존율을 곱하여 자산 산정
    - 통계청에서는 영구재고법 중 하나인 기준년 접속법을 적용하여 유형고정자산을 산정
  - **(감가상각법)** 일반유형자 및 사회기반시설에 대한 가장 기본적인 자산평가 방법으로 취득원가에서 감가상각비를 차감하여 자산규모 산정
    - 감가상각액은 저수지의 합리적인 내용년수를 추정하여 정액법을 적용
  - **(감가상각대체법)** 저수지가 감가상각대체 조건을 갖춘 경우 적용 가능한 자산규모 평가 방법으로 취득원가에 유지관리비용을 합하거나 감가상각비를 차감하여 자산규모 산정
    - 감가상각대체 조건은 저수지 취득시와 같은 수준으로 유지되는 것을 객관적으로 증명해야 함. 또는 자산의 성능 및 상태가 최소유지등급 이상을 유지관리 되거나 필요한 정보가 제공 가능한 관리시스템을 운영해야 함
    - 최소유지등급을 만족하지 못할 경우에는 유지관리비용 대신 감가상각비를 적용
- ➡ 저수지의 자산가치는 감가상각대체법으로 산정하는 것이 가능할 것으로 판단
- ➡ 향후 기반시설관리법에 의해 최소유지기준이 적용되어 최소유지등급이 객관적으로 평가될 것이고 현재 농업기반시설관리시스템을 운영하며 저수지 생애주기와 관련된 유지관리정보를 관리 중

□ 농어촌공사 소관 저수지의 자산규모 산정

- 공공데이터포털 사이트에 올라온 자료에 의하면 2019년 12월 31일 기준 농어촌공사 소관 저수지는 3,399개소이고, 이 중 1종은 1,210개소, 2종은 2,188개소
- 자산규모 산정을 위한 가정사항
  - 저수지의 건설비용은 저수용량 1,000m<sup>3</sup>에 100백만원으로 가정하한 결과 평균 건설비용은 86,789백만원, 표준편차는 583,479백만원, 변동계수가 7로 나타나 데이터 보정을 수행
  - 정규분포를 사용하여 평균건설비용의 신뢰구간 범위(90~100%)를 벗어나는 공사비용을 소거하여 보정된 데이터를 통해 종별 평균공사비용과 평균공용년수를 산정
  - 대체공사비 산정을 위해 한국은행 경제통계시스템의 생산자물가지수(2015년=100 기준)을 고려하여 2019년도 기준으로 환산한 결과 1종 저수지는 기준년도 1972년, 물가배수는 11.07로 나타났으며 2종 저수지는 기준년도 1951년 물가배수 455.15로 나타남
  - 영구재고법을 통한 산정을 위해 통계청의 2012년말 국가자산(잠정)과 국토연구원의 지역별 사회간접자본(SOC) 스톡 추계 연구를 참고하였으며 내용년수 28년의 잔존율을 적용
  - 감가상각대체법에 의한 산정을 위해 연평균 투입되는 유지관리비용은 1종 저수지 1,500백만원, 2종 저수지 500백만원으로 가정

Table 10.19 자산규모 산정을 위한 저수지 평균 건설비용

구분	평균건설비용(백만원)	평균 공용년수
계	22,305	62
1종	66,725	47
2종	6,051	68

Table 10.20 자산규모 추계방법별 저수지 종별 자산규모 산정

구분	1종	2종
개소	1,210	2,188
평균 공사금액 (억원)	667	61
평균 공용년수	47	68
건설공사비 (억원)	807,070	133,000
	940,070	
대체공사비 (억원)	8,933,876	60,534,833
	69,468,709	
영구재고법 (억원)	266,497	4,390
	270,887	
감가상각대체법 (억원)	1,654,986	872,660
	2,527,646	

## 10.6 저수지 유지관리에 필요한 자원 조달 및 운용 방안 제시

- 유지관리(보수보강, 성능개선 등)에 투입되는 자원 검토
  - 저수지 유지관리비용은 「농어촌정비법」, 「한국농어촌공사 및 농지관리기금법」(이하 “농어촌공사법”), 「농어촌구조개선 특별회계법」(이하 “농어촌회계법”) 등의 법령에 의해 지원
    - (농어촌정비법) 제108조(자금지원)에 의해 국가와 지방자치단체는 사업비를 예산에 계상
    - (농어촌공사법) 제 29조(보조금)에 따라 국가는 예산의 범위에서 유지관리 등 공사의 사업과 운영에 필요한 비용을 보조
    - (농어촌회계법) 제4조(농어촌구조개선사업계정의 세입 및 지출)에 따라 농어촌구조개선사업에 대한 투자·출자·보조·출연 및 용자
  - 저수지의 유지관리는 한국농어촌공사와 지방자치단체가 각각 수행
    - (한국농어촌공사) 농업용 저수지의 유지관리 비용을 국고보조금 및 공사 자체 충당금으로 집행
    - (지방자치단체) 중,소형 저수지의 유지관리 비용을 국비와 지방비로 집행

□ 재정지원, 부담금 부과 및 충당금 적립 등 유사 입법사례 검토

- 도로, 철도, 항만, 상수도, 전기 등의 기반시설의 개별법령에서 재정지원과 부담금 부과에 관한 유사 내용이 명시되어 있었으며 관련조문은 부록 2에 별도로 정리

Table 10.21 재정지원, 부담금 부과 및 충당금 적립 등 유사 입법사례 검토

법령	내용
도로법 (제85조, 86조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로에 관한 비용은 원칙적으로 도로관리청이 국토교통부장관이 관리하는 도로는 국가부담</li> <li>• 그 밖의 도로는 도로의 관리청이 속해있는 지방자치단체가 부담하도록 정의</li> </ul>
철도의 건설 및 유지관리에 관한 법률 (제20조, 21조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일반철도는 국고부담으로 하며, 고속철도는 국고와 사업시행자 간의 분담하도록 정의</li> <li>• 사업시행자는 이익의 발생한 경우 수익자에게 전부 또는 일부를 부담하도록 정의</li> </ul>
항만법 (제79조, 제42조와 43조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관리청이 해양수산부장관인 경우에는 국가가, 관리청이 시·도지사인 경우에는 시·도가 항만의 관리 및 시설에 관한 비용을 부담하도록 정의</li> <li>• 항만시설의 사용료는 관리청 등이 항만시설을 사용하는 자로부터 사용료를 징수할 수 있도록 정의</li> </ul>
수도법 (제38조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일반수도사업자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 수돗물의 요금, 급수설비에 관한 공사의 비용부담, 그 밖에 수돗물의 공급 조건에 관한 규정을 정하여 인가관청의 승인을 받아야 하고 수도사업자가 지방자치단체인 경우에는 그 지방자치단체의 조례로 정함</li> <li>• 일반수도사업자는 수돗물의 요금이 정하여지면 3개월 이내에 수도요금 생산원가, 요금부과 단가, 재원부족액, 부족 예산 충당 계획 등을 환경부령으로 정하는 바에 따라 공고하도록 정의</li> </ul>
전기사업법 (제48조, 제49조와 50조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정부는 전력산업의 지속적인 발전과 전력산업의 기반조성에 필요한 재원을 확보하기 위하여 전력산업기반기금을 설치하도록 정의</li> <li>• 기금의 사용처와 재원 마련에 대해 정의</li> </ul>
집단에너지 사업법 (제8조, 제18조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가나 지방자치단체는 집단에너지 공급을 확대하기 위하여 사업자에게 필요한 자금 등을 지원할 수 있도록 정의</li> <li>• 건설 소요비용은 사업자가 전부 또는 일부를 그 사용자에게 부담하게 할 수 있도록 정의</li> </ul>
하천법 (제59조, 제65조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가하천에 관한 것은 국고의 부담으로, 지방하천에 관한 것은 해당 시·도의 부담으로 정의</li> <li>• 하천에 관한 부담금은 국토교통부장관이 부담하게 한 경우에는 국고의 수입으로 하고, 시·도지사가 부담하게 한 경우에는 해당 시·도의 수입으로 하도록 정의</li> </ul>
댐 건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률 (제22조, 제23조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다목적댐의 건설에 필요한 비용 중 국고로 부담하여야 하는 비용의 일부를 해당 댐의 건설로 현저한 이익을 받는 지방자치단체에 부담하게 할 수 있도록 정의</li> <li>• 발전사업자의 예상 수익의 범위에서 납부기한을 정하여 해당 다목적댐의 건설에 필요한 비용의 일부를 수익자부담금으로 결정·부과할 수 있도록 정의</li> </ul>
하수도법 (제58조, 제59조, 제61조, 63조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공공하수도관리청은 해당 공공하수도로 인하여 이익을 받는 다른 지방자치단체에 대하여 그 이익의 범위 안에서 공공하수도의 설치·개축·수선·유지에 필요한 비용의 전부 또는 일부를 분담시킬 수 있도록 정의</li> <li>• 도지사는 도가 공공하수도에 관한 비용을 부담하는 경우에는 해당 공공하수도로 인하여 이익을 받는 시 또는 군에게 그 비용의 전부 또는 일부를 부담시킬 수 있도록 정의</li> <li>• 원인자부담금의 산정기준·징수방법 그 밖의 필요한 사항은 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 사항과 국가가 공공하수도의 설치·개축 또는 재해복구에 관한 공사비용의 전부 또는 일부를 예산의 범위 안에서 지방자치단체에 보조할 수 있도록 정의</li> </ul>

□ 성능개선 총당금 확보 및 사용에 관한 세부 방안 제시

○ 유지관리 재원조달 방안 검토

- (보조금) 저수지와 관련된 기존 보조금 사업(저수지 개량, 증설, 보수, 폐기 등)을 통한 재원조달
- (교부세) 지자체 관리 저수지의 경우 교부세를 활용한 유지관리비용 확보방안과 교부세의 잉여금을 통한 성능개선 총당금 적립
- (기금설치) 저수지는 농어촌연구원과 농림축산식품부가 기존회계나 민간투자를 통해 기금을 설립하여 재원조달
- (사용부담금) 저수지를 이용하는 사용자에게 사용료(공원, 낚시터 입장료 등)의 10% 범위에서 저수지 사용부담금을 부과·징수하여 재원조달

- 기반시설관리법 제20조1항에 따르면 국가 및 지방자치단체는 기반시설의 건설 당시 비용을 부담한 경우 해당 기반시설의 관리주체에 대하여 유지관리비용과 성능개선비용을 지원

---

### 지속가능한 기반시설 관리 기본법

**제20조(정부 지원의 원칙)** ① 국가 및 지방자치단체는 기반시설의 건설 당시 비용을 부담한 경우 해당 기반시설의 관리주체에 대하여 유지관리비용과 성능개선비용을 지원할 수 있다. 이 경우 국가가 관리주체에 지원하는 비율은 「보조금 관리에 관한 법률」에서 정한다.

② 국가 및 지방자치단체는 관리계획이 수립된 기반시설에 한정하여 유지관리비용 및 성능개선비용을 지원하여야 한다.

③ 국가 및 지방자치단체로부터 성능개선비용을 지원받고자 하는 관리주체는 제23조제1항에 따른 성능개선 총당금을 적립하여야 한다.

④ 국가가 지방자치단체에 유지관리비용을 지원하는 경우에는 제9조제1항에 따른 관리계획에 반영된 연간 유지관리비용(제22조제1항에 따라 부과·징수한 기반시설 사용 부담금이 있는 경우에는 해당 금액을 차감한다)에서 대통령령으로 정하는 기준연도의 유지관리비용을 제외한 금액의 100분의 50을 한도로 한다.

⑤ 국가가 지방자치단체에 성능개선비용을 지원하는 경우에는 관리주체가 제23조제1항에 따라 적립한 성능개선 총당금 금액을 한도로 한다.

⑥ 국가 및 지방자치단체는 관리주체에 성능개선비용을 지원하는 경우 관리주체가 유지관리에 기울인 노력과 자체 성능개선 재원 확보 노력, 성능개선기준의 충족도, 기반시설의 안전성 및 관리주체의 재정여건 등을 고려하여 지원비율을 조정할 수 있다. 다만, 국가가 지원하는 경우에는 「보조금 관리에 관한 법률」 제9조제1항에 따라 정한 지원비율과 제5항에 따라 정한 성능개선비용 지원 한도를 20퍼센트 포인트 범위에서 조정할 수 있다.

---



- (유지관리비용) 관리계획에 반영된 연간 유지관리비용에서 기준연도의 유지관리비용을 제외한 금액의 100분의 50을 한도로 지원
- (성능개선비용) 적립된 성능개선 총당금 금액을 한도로 20% 범위에서 관리주체의 노력, 재정여건 등을 고려하여 지원비율 조정하여 지원

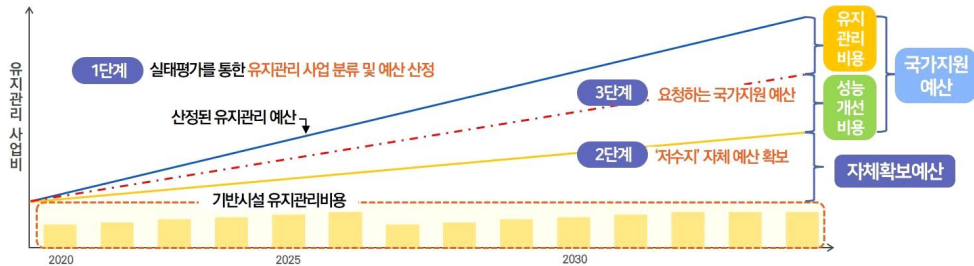


Fig. 10.8 단계별 유지관리비용 지원요청 절차(안)

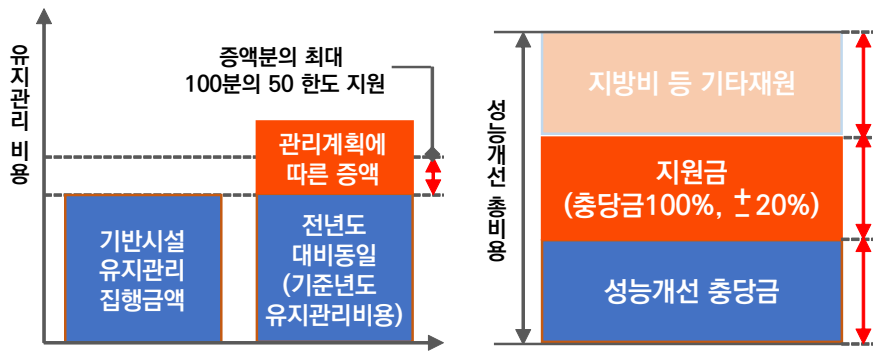


Fig. 10.9 유지관리비용 및 성능개선비용의 지원

□ 시설 관리에 필요한 예산확보방안 제시

- 기반시설관리법에 의한 재정지원을 위해서는 관리주체가 법에 의한 유지관리 및 성능개선 필요 재원을 조성하기 위한 노력을 먼저 선행

**지속가능한 기반시설 관리 기본법**

**제22조(기반시설 사용 부담금의 부과·징수)** ① 기반시설을 이용하는 사용자에게 운임, 통행료, 사용료 등(이하 "사용료 등"이라 한다)을 부과하는 관리주체는 기반시설 유지관리 및 성능개선에 필요한 재원을 조성하기 위하여 사용량에 비례한 부담금(이하 "기반시설 사용 부담금"이라 한다)을 부과·징수할 수 있다.

② 제1항에 따라 조성된 재원은 부담금을 징수한 기반시설과 동일한 종류의 기반시설의 유지관리와 성능개선을 위하여 사용하여야 한다.

③ 기반시설 사용 부담금은 사용료 등의 100분의 10의 범위에서 부과하되, 「부담금관리 기본법」 제4조에 따라 구체적인 산정 방법, 부과·징수 방법, 납입절차 등에 관한 사항은 해당 기반시설 관계 법령에서 정하는 바에 따른다.

---

**제23조(성능개선 총당금의 적립)** ① 관리주체는 기반시설의 노후화에 대비하여 관리계획에 따라 성능개선에 필요한 재원을 확보하기 위하여 성능개선 총당금을 적립할 수 있다. 다만, 제2조제6호가목부터 다목까지에 해당하는 관리주체(이하 "공공관리주체"라 한다)는 성능개선 총당금을 적립하여야 한다.

② 관리감독기관은 관리주체별로 성능개선 총당금 확보목표를 설정하고 이를 관리계획에 반영하여야 한다.

③ 성능개선 총당금의 재원은 다음 각 호와 같다.

1. 기반시설 관리·운영 수입금

2. 그 밖에 관리주체의 운영 효율화를 통한 자금

④ 성능개선 총당금의 사용절차 등은 국토교통부령으로 정한다.

⑤ 공공관리주체는 성능개선 총당금을 적립하고 활용하기 위하여 기금 또는 특별회계를 설치·운용할 수 있다.

**제24조(재정부담 경감을 위한 시책의 추진)** ① 관리주체는 기반시설의 유지관리와 성능개선에 대한 재원조달에 관하여 「사회기반시설에 대한 민간투자법」을 적용할 수 있다.

② 국가는 기반시설의 선제적 유지관리 및 성능개선 시책을 지원하기 위하여 관련 재원의 조성 및 자금의 지원, 다양한 금융시책의 수립, 민간투자의 활성화 등의 노력을 기울여야 한다.

---

- (사용 부담금 부과 및 징수) 기반시설관리법 제22조에 의하여 사용자에게 사용료를 부과하는 관리주체가 100분의 10의 범위에서 사용부담감을 부과하여 재정 확보 가능

- (성능개선 총당금 적립) 관리주체는 성능개선에 필요한 재원을 확보하기 위하여 성능개선 총당금 확보목표를 설정하고 관리계획에 반영하여 적립

① (기금 또는 특별회계 설치·운영) 기반시설관리법 제23조에 의한 성능개선 총당금 적립을 위해 기금 또는 특별회계를 설치·운영하여 적립하는 방법으로 농어촌구조개선 특별회계를 이용하는 방법

② (운영을 통한 재원 확보) 기반시설의 관리·운영을 통한 수입금과 관리주체의 운영 효율화를 통한 자금을 총당금으로 적립

- (민간투자) 관리주체는 「사회기반시설에 대한 민간투자법」을 적용하여 유지관리와 성능개선에 대한 재원 조달 가능

○ 현재 기반시설관리법 시행규칙에 의해 성능개선 총당금의 사용절차가 고시되어 있으며, 세부절차는 추후 고시될 예정임

---

---

---

## 지속가능한 기반시설 관리 기본법 시행규칙

**제7조(성능개선 총당금의 사용절차 등)** ① 관리주체는 소관 기반시설의 성능개선을 하려는 경우에는 법 제23조에 따른 성능개선 총당금(이하 "성능개선 총당금"이라 한다)을 우선 사용해야 한다.

② 관리주체는 성능개선 총당금을 사용하려는 경우에는 국토교통부장관 및 관리감독기관의 장과 미리 협의해야 한다.

③ 관리주체는 성능개선 총당금을 사용하면서 국비를 지원받으려는 경우에는 기획재정부장관과, 지방비를 지원받으려는 경우에는 행정안전부장관 및 해당 지방자치단체의 장과 각각 추가로 협의해야 한다.

④ 관리주체는 매년 4월 30일까지 전년도까지의 성능개선 총당금 적립 및 사용 내용을 관리감독기관의 장에게 제출해야 하며, 관리감독기관의 장은 제출받은 내용을 국토교통부장관에게 알려야 한다.

⑤ 제1항부터 제3항까지에서 규정한 사항 외에 성능개선 총당금의 사용방법, 세부 사용절차, 그 밖에 필요한 사항은 국토교통부장관이 정하여 고시한다.

---

- (성능개선 총당금 적립) 성능개선 총당금 사용을 위해 우선 총당금을 적립 절차 마련 후 적립
- (지원요청 및 사용 협의) 관리주체는 총당금을 사용하거나 지원받으려는 경우 관련기관과 협의가 필요
  - ① (총당금 사용) 국토교통부장관 및 관리감독기관의 장과 협의
  - ② (총당금 지원) 지방비를 지원받으려는 경우 행정안전부장관 및 관리감독기관의 장과 협의하고 국비를 지원받으려는 경우 기획재정부장관과 협의
  - ③ (사용 내용 제출) 관리주체는 매년 4월 30일까지 성능개선 총당금 적립 및 사용 내용을 관리감독기관의 장에게 제출하고, 관리감독기관의 장은 국토교통부장관에게 알림

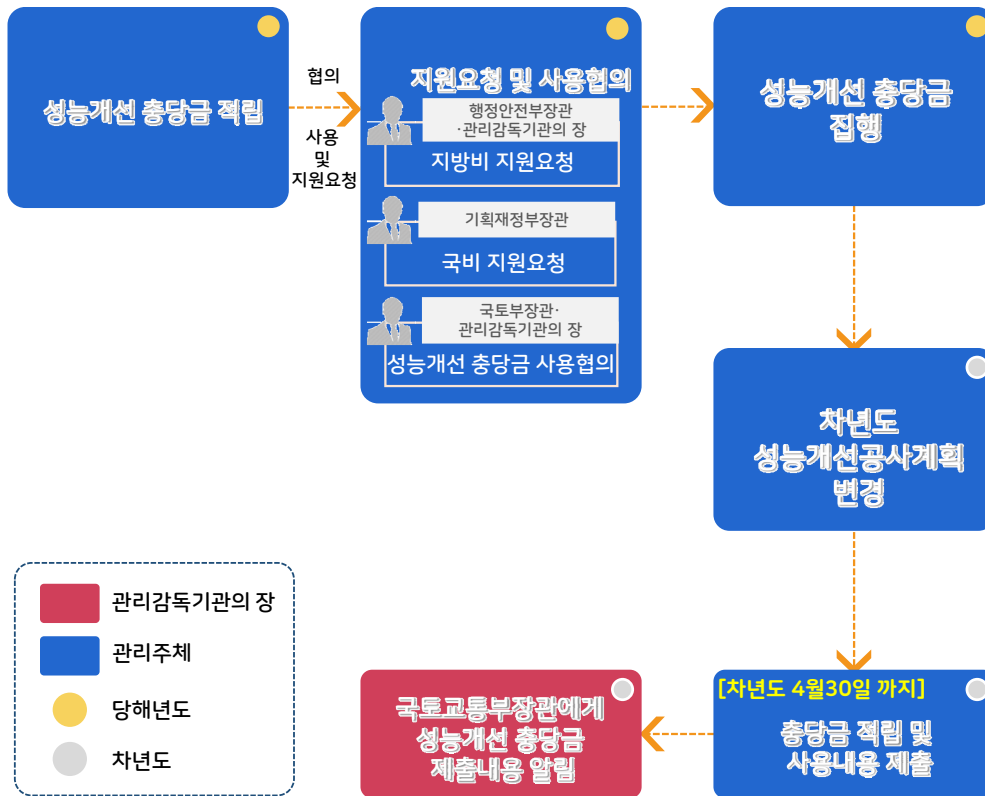


Fig. 10.10 저수지 성능개선 총당금 사용 절차(안)

## 10.7 국토부 공통기준에 따른 최소유지관리기준 및 성능개선 기준 개발

### □ 국토교통부 최소유지관리공통기준 분석

○ 2020년 8월 4일 국토교통부 고시 제020-560호 기반시설의 최소유지관리공통기준 고시

#### ➔ 기반시설의 유형별로 다음 사항을 고려하여 관리그룹을 설정

1. 기반시설의 규모, 수요 또는 용량
2. 기반시설의 중요도
3. 기반시설의 공용연수
4. 점검진단 등의 결과
5. 기반시설의 유형별 특성을 고려하여 관기감독기관의 장이 결정하는 사항

#### ➔ 관리그룹별로 특성을 고려하여 다음 사항을 포함한 관리 수준 설정

1. 점검진단등의 구분
2. 점검진단등의 실시방법 및 범위
3. 점검진단등의 실시시기 및 주기
4. 점검진단등의 실시자의 자격
5. 그 밖에 기반시설의 지속적인 유지관리가 가능하도록 하기 위하여 관리감독기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항

\* 점검진단등 : 관계법령으로 정한 기반시설의 상태 및 성능 등을 확인하기 위한 점검, 진단 등 관련 업무 전반(성능평가를 포함)을 말함

➡ **관리등급을 구분하는 기준을 정하고, 관리주체가 이에 따라 관리등급을 지정**

관리등급 : 점검진단등 의 실시결과를 토대로 기반시설의 현재상태 및 성능에 대한 수준을 세 단계 이상의 등급으로 구분

➡ **기반시설 유형별 특성과 생애주기 등을 고려하여 유지관리와 성능개선 등 적절한 관리대책을 수립**

➡ **관리주체의 점검진단등을 실시한 결과 및 그 외 기반시설의 유지관리에 관한 정보를 체계적으로 관리하기 위해 정보시스템을 구축·운영**

□ 저수지 최소유지관리기준(안) 수립

○ 국토교통부 최소유지관리공통기준에 따라 저수지 최소유지관리기준(안)을 수립하였으며 전문은 부록에 수록

○ 주요 내용

- 저수지 대상시설의 관리그룹은 농업생산기반시설관리규정 제2조에 따른 저수지 구분 정의를 사용하여 기존의 관리체계와 혼동을 피할 수 있도록 관리그룹 설정

구분	적용대상
1종	• 총저수용량 30만m <sup>3</sup> 이상인 시설
2종	• 총저수용량 30만m <sup>3</sup> 미만인 시설

- 저수지 관리수준은 농업생산기반시설관리규정의 안전점검 및 정밀안전진단을 점검진단 등으로 설정하여 기존의 점검진단체계를 유지하도록 설정. 단, 현재 농어촌정비법에서 성능평가에 관한 내용이 없으므로 성능평가에 관한 사항은 법 개정 후 반영하는 것이 적절할 것으로 판단

① 점검진단 등의 구분 및 실시방법

구분	실시 방법
정기점검	• 시험가동, 육안검사 등을 통해 평상시 기능 상태를 확인하고 판단
긴급점검	• 재해나 사고 등에 의해 필요하다고 판단할 때 사용제한 또는 사용금지의 필요 여부 등을 결정하기 위한 것으로, 필요시 정밀점검 또는 정밀안전진단 실시 여부 결정
정밀점검	• 정기점검 및 긴급점검에서 발견할 수 없는 결함상태를 발견하기 위한 면밀한 육안 검사와 필요한 측정 및 시험을 실시하여 결함부위 등 주요부위에 대한 외관조사도 작성과 시설물 상태평가를 실시하고 결함에 대한 보수·보강 방법 등을 제시
정밀안전진단	• 물리적·기능적 결함을 발견하고, 그에 대한 조치를 신속하고 적절하게 하기 위해 시설의 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 조사, 측정 및 평가하여 보수·보강 등의 방안을 제시
내진성능평가	• 지진으로부터 시설물의 안전성을 확보하고 기능을 유지하기 위해 내진설계기준에 따라 저수지가 지진에 견딜 수 있는 능력을 평가

② 점검진단 등의 실시주기와 범위

관리 그룹	정기점검	긴급점검	정밀점검	정밀 안전진단
1종	분기별 1회 이상, 영농기 전 반드시 실시	정기점검 외 재해나 사고 발생 등으로 시설물 안전에 이상 징후가 있을 때	정기점검 또는 긴급점검 실시 결과, 위험이 있어 보수가 필요할 때	준공 후 10년 지난 시설에 대해 5년에 1회 이상 또는 안전점검 실시 결과, 위험이 있는 경우
2종				안전점검 실시 결과, 위험이 있는 경우

③ 실시자의 자격

구분	실시자의 자격
정기점검 긴급점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>토목, 건축, 기계, 전기, 안전관리 분야의 초급기술자 이상</li> </ul>
정밀점검 정밀안전진단 내진성능평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업생산기반시설 관리규정 제21조에 의해 지정된 진단기관</li> </ul>

- 저수지 관리등급 기준은 농업생산기반시설 관리규정의 안전등급 기준을 적용

관리등급 (안전등급)	저수지 상태
A(우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B(양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C(보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보상이 필요한 상태
D(미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E(불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

□ 국토교통부 성능개선공통기준 분석

- 2020년 8월 4일 국토교통부 고시 제020-559호 기반시설의 성능개선공통기준 고시
- 주요 내용

➡ 성능개선 적합성을 검토하기 위한 검토 대상 선정

- 
1. 성능평가 결과
  2. 시간 경과 및 환경 변화 등에 따른 기반시설의 기준변화
  3. 시설물의 수요 증가 및 서비스 요구 수준 향상 등
  4. 그 밖에 관계 법령에 따라 관리감독기관의 장이 소관 기반시설의 성능개선이 필요하다고 판단하는 사항
- 

➡ 성능개선 대상 유형의 구분

- 
1. 노후화 성능개선 : 시간의 경과에 따른 노후화 등으로 인하여 시설의 성능이 저하되어 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
  2. 기준변화 성능개선 : 기후, 환경 및 기술수준의 변화 등 시설에 요구되는 성능에 대한 기준이 설계 당시의 기준보다 상향되어 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
  3. 사용성변화 성능개선 : 시설의 수요 또는 서비스 수준의 상향 요구가 증가되어 용량 및 서비스 수준의 확대 등 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
  4. 그 밖에 관계 법령에 따라 시설의 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
- 

➡ 성능개선 적합성 평가의 실시

- 
1. 기술성 평가 : 성능개선을 추진하기 위해 시설의 현재 상태를 평가, 성능평가 결과 사용이 원칙
  2. 경제성 평가 : 성능개선에 수반되는 비용과 성능개선에 따른 경제적 효과 등 평가
  3. 정책성 평가 : 사업시행으로 인한 사회적 편익 등 계량화하여 산출하기는 어려우나 사업을 추진하는데 고려할 사항 평가
- 

□ 저수지 성능개선기준(안) 수립

- 국토교통부 성능개선공통기준에 따라 저수지 성능개선기준(안)을 수립하였으며 전문은 부록에 수록
  - 성능개선기준에서 요구하는 세부 방법 및 절차는 본 보고서의 앞절에 다루었으며, 기준(안)에서는 해당 내용을 별도로 고시하도록 함

□ 정부의 코로나 19에 의한 행사 자제 요구에 따라 공청회 미실시

- 코로나 19에 의해 정책적으로 단체 행사 진행에 어려움이 발생하여 공청회를 통한 의견 수렴은 진행하지 못 함
- 본 과제에 별도로 농림축산식품부가 수립한 저수지 최소유지관리기준(안)에 대한 검토 지원을 수행하여 다음과 같은 의견을 제시

➡ 현재 기준(안)은 점검진단등에 안전점검, 정밀안전진단, 내진성능평가만을 포함하고 있는데, 향후 법령에 의해 성능평가가 시행될 경우 관련내용을 추가할 것

➡ 관리이력 보존 사항에 유지관리 예산 정보도 포함하는 것이 적절

## 10.8 소결

- 기반시설관리법 시행에 따라 저수지의 생애주기를 고려한 유지관리방법에 관한 연구가 필요해지고 있으며, 국토교통부가 고시한 최소유지관리공통기준과 성능개선공통기준의 내용을 분석하고 저수지의 최소유지관리기준(안)과 성능개선기준(안)을 수립
- 국토교통부의 성능개선공통기준은 성능개선기준 수립시 성능개선검토대상을 선정하고 적합성 평가를 통한 사업의 적절성 여부의 판단 및 우선순위를 선정하도록 요구하고 있으며, 공통기준의 요구사항에 맞게 PDCA 기법을 활용한 저수지의 투자우선순위 선정 세부절차를 수립
- 기존 제안된 저수지의 열화모델과 비용모델의 고도화는 데이터 수집 문제로 인해 주관 연구기관과의 협의를 통해 저수지의 적합성 평가 중 경제성 평가에 적용하는 방안으로 연구진행
- 저수지의 자산규모 산정을 위해서 건설공사비, 대체공사비, 영구재고법, 감가상각법, 감가상각대체법 등의 자산규모 추계방법 등에 적용할 수 있는 방안을 검토하여 농어촌공사가 관리 중인 저수지의 자산 규모를 산정
- 기반시설관리법의 재정지원에 관한 방법에 대해서 분석하고 유사 입법사례 등을 조사하여 저수지의 성능개선 충당금 확보 방법(안)을 수립

### 1) 저수지 자산가치 평가기법 개발

- 기존 저수지의 열화모델과 비용모델 고도화를 위하여 추가 데이터 수집 및 분류를 통해 진행하려 했으나 데이터 확보에 어려움이 있어 주관연구기관과 협의를 통해 기존 모델을 활용하여 성능개선기준의 경제성 평가 활용 방안에 대해서 연구 수행
- 미조치시 열화모델과 조치시 열화모델을 활용하여 저수지의 생애주기동안 조치 횟수를 예측하고 비용 모델에 의한 유지관리비용을 고려하여 경제성 평가에 필요한 저수지의 생애주기를 고려한 유지관리비용을 연구
- 경제성 평가의 재해 위험도 편익 분석을 위해 저수지의 안전진단실무요령의 상태평가 기준을 분석하여 등급별 손상 확률을 연구

### 2) 저수지 투자우선순위 의사결정 모델 기술개발

- 제안한 저수지의 성능개선기준의 적합성 평가의 세부 방법과 절차에 대한 연구를 진행하여 PDCA 기법을 적용한 투자우선순위 의사결정 모델을 개발
- PDCA 기법의 Plan 단계에서 성능개선기준의 요구사항을 평가항목으로 하여 리스크 메



트릭스를 통한 성능개선 검토 대상을 선정. Do 단계에서 선정 저수지별 사업설계안에 대해서 기술성, 경제성, 정책성을 평가하고 종합적으로 적합한 사업설계안을 선정. Check 단계에서는 국가의 상위계획 및 정책방향, 사업 준비의 구체성, 자원조달 가능성에 대해 AHP 평가를 통한 최종 우선순위를 선정. Action 단계에서는 우선순위에 따라 사업을 수행

- 성능개선 검토 대상 선정에서 활용하는 리스크 매트릭스의 평가항목과 성능개선사업의 적합성 평가를 위한 기술성, 경제성, 정책성 평가의 세부 방법과 절차 등에 대한 연구 수행

### 3) 저수지 유지관리에 필요한 자원 조달 및 운용 방안 제시

- 저수지의 유지관리에 투입되는 재원에 대해서 농어촌정비법, 한국농어촌공사 및 농지관리기금법, 농어촌구조개선 특별회법 등의 관련 법령을 조사하고, 재정지원과 부담금 부과 등에 관한 유사 입법 사례를 검토
- 기반시설관리법에서 제시된 재정지원 방안을 분석하고 유지관리비용과 성능개선비용 확보 방안을 검토. 성능개선 비용 확보 방안 중 성능개선 총당금을 확보하는 방법과 절차를 제안하였으나 추후 정부가 재정지원에 관한 세부 절차를 별도 고시하면 이를 반영하여 보완 필요

### 4) 국토부 공통기준에 따른 저수지 최소유지관리기준 및 성능개선기준 개발

- 국토교통부 최소유지관리공통기준은 소관 기반시설에 대해서 시설의 규모, 수요 또는 용량, 시설의 중요도, 시설의 공용연수, 점검진단 등의 결과 등을 고려하여 관리그룹을 설정하고 관리그룹별 관리수준을 설정하도록 요구
- 또한, 관리등급을 구분하는 기준을 설정하고, 유지관리와 성능개선에 대한 적절한 관리대책 수립을 요구. 마지막으로 유지관리와 관련된 정보는 전산화 관리를 요구
- 국토교통부 성능개선공통기준은 성능평가 결과와 기준변화, 수요 변화 등을 고려하여 성능개선 검토 대상을 선정하고 대상별로 성능개선 사업 유형을 결정하여 적합성 평가를 실시해 성능개선공사 실시 여부를 결정할 것을 요구
- 저수지의 최소유지관리기준(안)과 성능개선기준(안)은 각각의 공통기준에서 요구하는 사항들을 반영하여 수립. 코로나-19로 인한 국내 사정으로 공청회는 미수행

# 11장 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출

## 11.1 저수지 최소유지관리 기준(안)

### 11.1.1 최소유지관리 공통기준 개요

- 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(’18.12.31 제정, ’20.1.1 시행)
  - 국토교통부장관은 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(이하 “법”이라 한다) 제11조제2항에 따라 최소유지관리기준에 공통적으로 적용될 수 있는 공통기준을 설정·고시할 수 있음
- 법 상 관련 내용 (발췌)

**제10조(유지관리)** ① 관리주체는 소관 기반시설을 제11조에 따른 **최소유지관리기준** 이 상으로 유지관리하여야 한다.

**제11조(최소유지관리기준의 설정)** ① 관리감독기관의 장은 소관 기반시설의 **유형별로 최소한의 유지관리수준에 관한 지표**(이하 “최소유지관리기준”이라 한다)를 설정·고시하여야 한다.

② 국토교통부장관은 **최소유지관리기준에 공통적으로 적용될 수 있는 공통기준**(이하 “최소유지관리 공통기준”이라 한다)을 설정·고시 할 수 있다.

**제12조(성능평가)** ① 관리주체는 소관 기반시설에 대하여 **관계 법령으로 정하는 성능평가를 실시**하여야 한다.

**제13조(성능개선기준의 설정)** ① 관리감독기관의 장은 소관 기반시설의 유형별로 관리주체가 **유지관리보다는 성능개선이 더 유리한지에 대해 판단**할 수 있도록 기준(이하 “성능개선기준”이라 한다)을 설정·고시하여야 한다.

- 종합적·선제적 유지관리 계획 체계 마련
  - (최소관리기준 설정) 각 시설별 상이한 유지관리 수준을 상향 조정하도록 최소유지관리 공통기준 마련 <국토부>
    - ’19.12까지 기준안 마련, 기반시설관리법 시행(’20.1) 직후 확정·고시 추진

### 11.1.2 최소유지관리 공통기준(안) 주요내용

#### 1) 기반시설의 관리체계 확립

□ 기반시설의 특성을 고려한 관리체계 설정

- 관리감독기관의 장은 기반시설의 유형별 운영 및 기능 특성과 국민 안전에 미치는 영향 등\*을 고려하여 3단계 이상의 관리체계\*\*(이하 “관리체계”라 한다)로 구분하여 체계적인 관리 유도

\* 시설물의 규모, 중요도, 공용연수 또는 노후도, 수요 또는 용량 등

\*\* 관계법령에 의한 별도의 관리체계가 있는 경우 해당 등급 준용 가능

(예시)  
 - 3단계 구분(O) : 시설물안전법 제1,2,3종시설물(규모, 중요도, 재난 위험 등 고려)  
 - 2단계 구분(X) : 농어촌정비법 제1,2종시설물(규모(총저수량 30만<sup>3</sup> 기준) 고려)

□ 기반시설의 성능평가 수준의 결정

- 관리감독기관의 장은 시설물 유형별 관리체계에 따른 성능평가 수준\*을 구분하여 관리주체가 성능평가를 실시 할 수 있도록 제시

\* 상태변화 외관조사(육안조사), 상태평가(안전성 평가, 간단한 측정과 시험장비 활용), 상태 평가와 안전성 평가(측정과 시험장비 활용), 성능평가(안전성, 내구성, 사용성) 등으로 성능조사 단계를 구분

□ 기반시설의 성능평가에 따른 등급의 설정

- 기반시설의 성능 수준을 판단할 수 있도록 최소 3등급 이상의 평가 등급 또는 100(안전)~0(불안전) 구간에서의 임의 구분

Table 11.1 100~0 점수 구간의 성능평가체계 예

평가 등급	E등급 (20) : 5	5	10	15	20	25
	D등급 (40) : 4	4	8	12	16	20
	C등급 (60) : 3	3	6	9	12	15
	B등급 (80) : 2	2	4	6	8	10
	A등급 (100) : 1	1	2	3	4	5
	구분	영향없음 (1)	경미한 피해(2)	일반 피해(3)	상당한 피해(4)	중대한 피해(5)

심각도\*

사용중지 즉각조치	긴급 보수보강	보수보강	관찰 일부보수	관찰
--------------	------------	------	------------	----

\* 심각도 : 기반시설의 안전문제 발생에 따라 사회에 미치는 영향 (3단계 이상, 단계의 구분은 관리감독기관의 장이 결정)

## 2) (최소)목표등급의 설정 및 유지관리 대책 수립

- 선제적 유지관리 실현을 위한 기반시설 유형별 목표등급 설정
  - 평가 등급에 따라 관찰 및 감시, 보수보강, 성능개선 등을 검토할 수 있도록 사전 검토체계\* 마련
    - \* 보수보강 필요 단계 이상의 위험도로 판정되는 기반시설에 대해서는 3단계(정밀안전진단) 이상의 성능평가를 시행하여 단기, 중기, 장기 유지관리 대책과 성능개선대책을 수립하도록 유도

## 3) 기반시설 유지관리 기록 및 이력관리 규정

- 관리감독기관의 장과 관리주체는 전산화된 이력관리 수행
  - 관리등급체계, 성능평가, 목표등급, 유지관리대책(보수보강, 성능개선) 등 기반시설 유지관리에 관한 모든 정보를 전산으로 관리

### 11.1.3 저수지 최소유지관리기준(안) 요구사항

#### 저수지 관리체계 수립 필요

- 저수지의 규모, 중요도, 공용연수 또는 노후도, 수요 또는 용량 등을 종합적으로 고려하여 세 단계 이상으로 구분하여 수립 필요
  - 예) 시설물안전법의 종별 구분
- 관리체계에 따른 성능평가의 수준을 구분
  - 예) 1. 순찰·상시 점검 수준의 성능평가(이하 “상시 성능평가”)
  - 2. 육안점검 위주의 외관조사에 따른 성능평가(이하 “정기 성능평가”)
  - 3. 면밀한 외관조사와 간단한 측정·시험장비를 이용하여 기반시설의 성능변화를 확인할 수 있는 수준의 성능평가(이하 “정밀 성능평가”)
  - 4. 정밀한 외관조사와 각종 측정·시험장비를 이용한 조사·분석 및 해석, 기반시설의 성능저하 추이와 환경 및 수요 등의 조사·분석 결과를 종합적으로 고려한 수준의 성능평가(이하 “종합 성능평가”)

#### 저수지 관리체계별 성능평가 실시주기 수립 필요

- 관리체계별 성능평가 실시주기 설정
- 사고가 우려되는 중점관리 대상의 지정 및 이때의 성능평가 실시주기 설정
- 해빙기, 우기, 동절기 등의 성능유지 취약한 시기 고려

#### 관리수준을 판단하는 세 단계 이상의 성능등급 체계 정의 필요

- 관리체계에 따라 저수지의 관리수준을 나타내는 성능등급 체계 수립

□ 저수지의 최소유지관리 목표를 설정하기 위한 목표등급의 지정

- 저수지의 성능등급을 목표등급 이상으로 유지하기 위한 달성시기 및 방법을 고려하여 보수보강 실행 계획 수립

11.1.4 저수지 최소유지관리기준(안) 구성 [부록 참고]

Table 11.2 저수지 최소유지관리기준(안) 구성

<b>1장 총칙</b>
제1조(목적)
제2조(용어의 정의)
제3조(적용범위)
제4조(최소유지관리기준 수립 원칙 등)
<b>제2장 최소유지관리기준의 설정 등</b>
제1절 일반사항
제5조(최소유지관리기준의 설정)
제2절 최소유지관리기준의 설정 절차
제6조(저수지 관리체계의 구분 등)
제7조(성능평가 실시자의 자격)
제8조(성능평가의 실시주기)
제9조(성능평가의 수준)
제10조(성능평가의 실시)
제11조(성능등급의 설정 등)
제12조(목표등급의 설정)
제13조(성능평가 실시결과의 제출)
제14조(유지관리 등 대책 수립)
<b>제3장 최소유지관리기준의 고시 및 이력관리</b>
제15조(최소유지관리기준의 설정·고시)
제16조(최소유지관리기준의 이력 관리)
<b>제4장 보칙</b>
제17조(재검토기한)
<b>부칙</b>
제18조(시행일)

## 11.2 저수지 성능개선기준(안)

### 11.2.1 성능개선 공통기준 개요

- 기반시설관리법 제13조에 따라 관리감독기관의 장은 소관 기반시설 유형별\*로 관리주체가 “유지관리보다는 성능개선이 더 유리한지에 대해 판단”할 수 있도록 성능개선 기준을 설정·고시
  - 특히, ‘성능개선기준’은 성능개선의 대상 선정, 소요자원 마련 및 투자 의사결정을 위한 절차 및 기준으로 정의
  - 기반시설은 각 부처, 지자체 등에서 개별 관리하고 있으나 중장기 계획 마련을 위해 소시설물에 적용(가이드라인) 가능한 공통기준(안) 마련
- 성능개선의 적정성 판단을 유도하는 경제성 및 정책성 항목과, 시설유형 및 사업별 특성을 포괄할 수 있는 공통기준(안) 제안

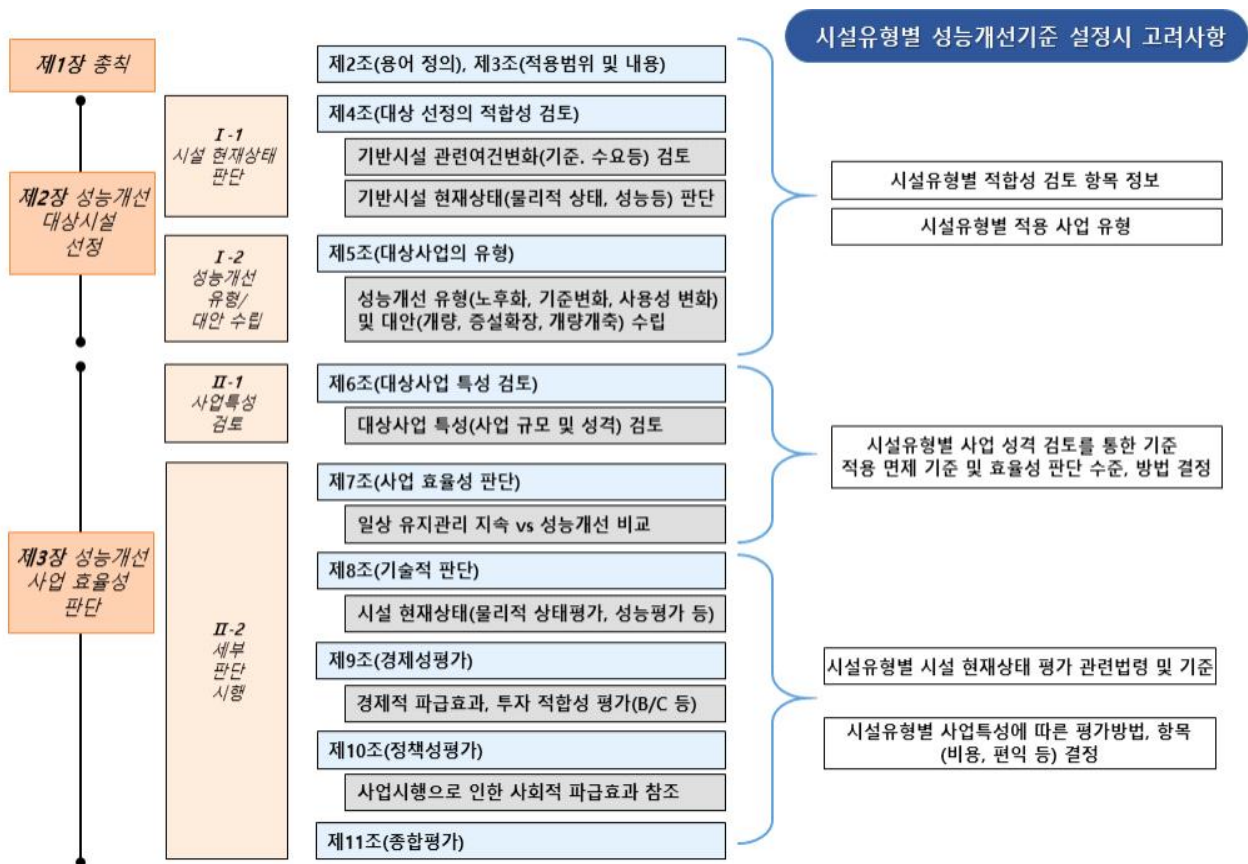


Fig. 11.1 기반시설 성능개선 공통기준 고시(안)

\* 기반시설 소관부처 및 유관기관별 15종(도로, 철도, 항만, 공항, 하천, 저수지, 댐, 수도공급설비, 전기공급설비, 가스공급설비, 열공급설비, 방송통신설비, 공동구, 유류저장송유설비, 하수도)

## 11.2.2 저수지 성능평가 및 성능개선기준(안) 구성 [부록 참고]

Table 11.3 저수지 성능평가 및 성능개선기준(안) 구성

<b>제1장 총 칙</b>
제1조(목적)
제2조(용어의 정의)
<b>제2장 성능평가의 실시</b>
제3조(성능평가 일반)
제4조(안전점검 및 정밀안전진단과 성능평가의 관계)
제5조(자료의 수집 등)
제6조(성능평가 대상)
제7조(성능평가 절차)
제8조(성능평가 실시자의 자격)
제9조(성능평가 실시계획의 수립)
제10조(성능평가의 방법)
제11조(성능평가 결과의 정리)
제12조(성능평가 결과의 보고)
제13조(성능평가 결과의 조치)
제14조(자체 위원회)
<b>제3장 성능개선기준</b>
제15조(적용범위 및 내용)
제16조(대상 선정의 적합성 검토)
제17조(대상사업의 유형)
제18조(대상사업 특성 검토)
제19조(사업 효율성 판단)
제20조(기술적 판단)
제21조(경제성평가)
제22조(정책성평가)
제23조(종합평가)
<b>제4장 보 칙</b>
제24조(재검토기한)
<b>부 칙</b>

## 12장 결론

□ 본 연구에서는 농업생산기반시설물의 성능평가 기법과 장수명화 기술개발을 목적으로 하였음

○ 이에 따라 성능평가, 최소유지관리, 성능개선에 대한 기술과 적용방안을 마련함

구분	연구내용
① 성능평가 모델 개발	시설물 기능저하 수준과 상태를 평가할 수 있는 모델 개발 - 통계·확률에 의한 열화(劣化)모델 개발
② 성능평가 매뉴얼 개발	안전성, 내구성, 사용성을 복합 고려한 성능평가 매뉴얼 개발 - 기존 안전진단 매뉴얼의 부족한 부분을 개선·보완 (사용성 등)
③ 法 관련 기준마련	성능평가 기술과 기준 개발을 통한 성능평가 근거 제공 - 최소유지관리기준, 성능개선기준 정립

□ 본 연구의 결과를 종합하면 다음과 같음

### ① 시설물 현황조사

- 저수지와 양배수장의 시설관리 현황과 문제점을 조사하였으며, 이에 대한 개선방안과 향후계획을 유지관리 및 성능개선 근거법령에 근거하여 제시함

### ② 확률통계 기반 저수지 피해특성 및 성능요소 분석

- 재해피해 관련 공간자기상관성 분석결과와 패널데이터 분석결과를 바탕으로 재해관리를 위한 피해요인 결정 주요요인을 도출하였음

### ③ 성능저하 요인분석

- 저수지와 양배수장의 성능저하 요인을 안전진단과 개보수결과를 통한 연관성 네트워크 분석과 현황조사를 통해 도출함

- 저수지 461개소와 양배수장 106개소의 진단결과는 세부정보를 DB화함

- 저수지 제체의 손상 중 식생이 가장 많이 발생하였으며, 부재 등급에 상관없이 발생하는 손상과 낮은 등급에서 발생하는 가중치를 조정하여 부재별 안전성능 평가결과의 조정이 필요하다는 결과를 도출함

### ④ 농업용 저수지의 이수안전도 평가기법 개발

- 농업용 저수지의 이수 관리를 위하여 ‘기존 장기유출모형의 적합도 개선’ 및 ‘농업용 저수지의 이수안전도 평가 방법 개발’ 등의 연구를 진행하였음

- 최적화된 매개변수와 개발된 매개변수 추정 회귀식의 적용성을 평가한 결과 현재 활용 중인 매개변수 추정 회귀식에 비하여 더 높은 정확도를 보이는 것으로 확인됨



- 과거 설계시가 아닌 현재의 운용현황을 고려하여 전국 총 8개 저수지를 대상으로 이수안전도를 평가한 결과 일부 저수지에서 이수능력이 설계빈도에 못 미치는 것을 확인하였음
- ⑤ 성능평가 모델개발
- 점검진단정보와 보수보강공사정보를 이용하여 수명모델과 비용모델을 개발함
  - 저수지체체의 미조치 기대수명은 36년이 도출되었으며, 현행 유지관리에 의한 기대수명은 135년으로 분석됨
  - 저수지 여수로의 미조치 기대수명은 36년, 취수시설은 29년으로 분석됨
  - 취수시설은 개보수가 아닌, 기계와 전기시설의 교체가 주요 보수공사로 비용모델의 형태가 E등급에서 급격히 증가함
  - 양배수장의 미조치모델은 토목, 건축, 전기, 기계가 각각 42년, 51년, 27년, 35년으로 분석되었으며, 기계시설이 양배수장의 수명을 결정함
  - 저수지나 양배수장의 토목구조물은 현행 D 등급에서 개보수를 시행하는 것이 타당하며, 기계나 전기 등 타 시설은 E 등급에서 교체하는 것이 생애주기 비용상 적절한 것으로 분석되었음
- ⑥ 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출
- 성능모델을 이용하여 N회의 조치 후에도 성능저하가 급격히 발생할 경우 성능개선이 적절함
  - 저수지 체체는 지속적인 조치에 따른 수명증대 효과가 크기 때문에 안전성능에 의한 성능개선은 어려우며, 사용성능에 의해 결정하는 것이 타당함
- ⑦ 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방향 제시
- 국내 자산관리 선행기술과 해외 선진기술을 조사하고, 농업생산기반시설의 단계별 도입 방향과 중장기 계획을 수립함
- ⑧ 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출
- 시설물의 성능을 안전성능, 내구성능, 사용성능으로 평가할 수 있는 매뉴얼(안)을 제시함
  - 각 성능별 가중치에 따른 성능평가 시뮬레이션을 수행한 결과를 제시함으로써 향후 기준정립과 상정을 위한 의사결정을 지원하였음
  - 이수와 치수측면의 성능평가를 위한 식을 개발함으로써 상세분석 우선순위 결정을 위한 방법론을 제시함
- ⑨ 저수지 성능개선 투자우선순위 의사결정 지원모델 기술개발
- 미조치시 열화모델과 조치시 열화모델을 활용하여 저수지의 생애주기동안 조치 횟수를 예측하고 비용 모델에 의한 유지관리비용을 고려하여 경제성 평가에 필요한 저수지의 생애주기를 고려한 유지관리비용을 분석

- 제안한 저수지의 성능개선기준의 적합성 평가의 세부 방법과 절차에 대한 연구를 진행하여 PDCA 기법을 적용한 투자우선순위 의사결정 모델을 개발

⑩ 기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출

- 기반시설관리법 공통기준안을 분석하고, 법에 적용되는 저수지의 최소유지관리기준과 성능개선기준안을 정립함

□ 이상 본 연구를 통해 현재 정부의 요구사항인 농업생산기반시설의 성능개선 및 장수명화를 위한 법령 및 각종 계획에 대한 이해와 준비, 그리고 공학적 근거마련을 통하여 명확하고 효율적인 성과를 도출하였으며 향후 기대효과는 다음과 같음

○ 농업생산기반시설의 효율적인 관리계획 수립 지원

- 1) 기본계획을 따르는 관리계획 수립을 위한 대응전략 수립
- 2) 성능평가에 따른 관리계획 수립

○ 농업생산기반시설의 최소유지관리기준 및 성능개선기준 상정

- 1) 관리감독기관에서 정의 가능한 기반시설물에 따른 기준 정립
- 2) 관리주체가 즉시 활용할 수 있는 유지관리기법 및 성능평가 연계방안 마련

## 참고문헌

- 강민구, 이주현, 박기욱, 2013. 미계측 유역 유출 모의를 위한 Tank 모형의 매개변수 지역화, 한국수자원학회논문집, 제46권 제5호, pp. 519-530.
- 국토해양부, 1998. 기존댐 용수공급능력 조사 보고서
- 국토해양부, 2011. 수자원장기종합계획(2011~2020)
- 김철, 김석규, 2004. 지형자료를 이용한 TANK 모형의 매개변수 최적화, 대한토목학회논문집, 제24권 제6호, pp.553-560.
- 김현영, 박승우, 1988. 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생(I)-선형 저수지 모형에 의한 유입량의 추정-, 한국농공학회논문집, 제30권 제1호, pp. 50-62.
- 김현영, 박승우, 1988. 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생(III)-저수지 모의조작 모형의 응용-, 한국농공학회논문집, 제30권 제3호, pp. 95-105.
- 노재경, 유역배율이 작은 저수지의 이수관리방법, 한국관개배수논문집, 제18권 제1호, pp. 68-80.
- 노재경, 이재남, 2011. 유역배율에 따른 저수지의 하천유지용수 공급량, 농업과학연구, 제38권 제2호, pp. 331-341.
- 노재경, 이재남, 저수용량과 유역배율에 따른 저수지 관개공급량의 변화, 한국농공학회학술대회 초록집
- 농림축산식품부, 2014. 농어촌용수 이용합리화 계획(2015~2024)
- 농림축산식품부, 2018, 농업생산기반시설 설계기준
- 송정현, 2017. 다중목적 최적화 기법을 연계한 농업유역 수문 해석 시스템의 개발, 서울대학교 석사학위논문.
- 송정현, 정건희, 강문성, 2014. 최적화 기법을 이용한 수문모형의 매개변수 보정방법 소개 -MATLAB 프로그램을 중심으로-, 한국농공학회:전원과 자원, 제56권 제2호, pp. 16- 25.
- 신희재, 2019. 지역특성을 고려한 한강권역 도시지역의 홍수피해 취약성 분석, 아주대학교 석사학위논문.
- 안지현, 2013. 유역경사에 따른 TANK 모형 매개변수 추정을 위한 회귀식 개발, 서울대학교 석사학위논문.
- 양소열, 2016. 수혜권역의 여건 변화를 고려한 농업용저수지의 농어촌용수 공급능력 평가, 전남대학교 박사학위논문.
- 이미연, 2015. 자연재해 피해의 결정요인 및 경제적 파급효과, 서울대학교 박사학위논문.
- 이지완, 김진욱, 정충길, 김성준, 2018. 기상자료기반 다중선형회귀분석에 의한 농업용 저수지 우려단위 저수율 예측 및 저수지 가뭄지수(RDI) 추정, 한국지리정보학회지, 제21권 제3호, pp. 19-34.
- 이태호, 2012. 농업용 저수지 홍수기관리수위 운영에 따른 이수안전도 변화 연구, 국민대학교 석사학위논문.

- 이태호, 2011. 수리시설물 모의조작 시스템(HOMWRS) 소개 - 농업용 저수지 물수지분석 프로그램-, 한국수자원학회지, 제44권 제7호, pp. 88-91.
- 임창수, 오윤경, 이승철, 김은자, 최진아, 2016. 풍수해에 의한 농촌지역 피해시설 현황 분석, 한국농촌계획학회지, vol. 22, no. 2.
- 장중석, 2003. 수문모형과 매개변수의 이해, 한국관개배수논문집, 제10권 제1호, pp. 95-102.
- 전상민, 2014. 농업용 저수지 용수공급 모의 시스템의 개발, 서울대학교 석사학위논문.
- 정일원, 2003. 국내유역에서의 장기유출모형의 적용성에 관한 연구, 세종대학교 석사학위논문.
- 정종문, 박성훈, 이용식, 김재현, 2019. 피어슨 상관계수를 이용한 적외선 열화상 안전 진단 시스템 개발, 한국태양에너지학회논문집, 제39권 제6호, pp. 55-65.
- 정종호, 윤용남 저, 2020. 수자원설계실무(제3판), 서울: 구미서관, pp. 475-482
- 정준호, 허인혜, 2014. 자연재해 직접 피해액의 추세 및 그 결정요인에 대한 분석, 사회과학연구 제53집 1호, pp.77~99.
- 한국농어촌공사, 2016. 기후변화에 따른 농업용수 통합영향평가 시스템 개발
- 한국수자원공사, 한국농어촌공사, 2009. 농업용수 수요량 추정 및 공급량 평가 보고서



농업생산기반시설 성능개선 및  
자율학습 물관리 기술개발

## 부록 1

# 저수지 성능평가 및 성능개선기준 지침(안) [성능평가 매뉴얼 포함]

「지속가능한 기반시설 관리 기본법」 제13조의 규정에 따라 “저수지 성능평가 및 성능개선기준에 관한 지침”을 다음과 같이 제정하여 고시합니다.

0000년 00월 00일  
농림축산식품부장관

## 저수지 성능평가 및 성능개선기준에 관한 지침

### 제1장 총 칙

**제1조(목적)** 이 지침은 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(이하 “법”이라 한다) 제12와 제13조 따라 저수지 성능평가 및 성능개선기준에 대한 방법·절차 등에 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.

**제2조(용어의 정의)** 이 지침에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. “저수지”란 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조제6호에 따른 기반시설을 말한다.
2. “성능개선”이란 저수지의 주요구조부나 외부 형태를 수선·변경하여 저수지의 가치를 증가시키고 수명을 연장시키는 활동으로 개량(대수선 포함), 증설확장, 개량개축을 말한다.
3. “유지관리”란 완공된 저수지의 기능을 보전하고, 이용자의 편의와 안전을 높이기 위하여 저수지를 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하며 경과시간에 따라 요구되는 저수지의 보수(소수선 포함)·보강(소규모) 등에 필요한 활동을 하는 것을 말한다.
4. “성능개선기준”이란 저수지의 관리주체가 유지관리보다는 성능개선이 더 유리한지에 대해 판단할 수 있는 항목 및 방법과 관련된 기준을 말한다.
5. “성능평가”란 저수지의 기능을 유지하기 위하여 요구되는 구조적 안전성능, 내구성능, 사용성능 등의 성능을 종합적으로 평가하는 것을 말한다.
6. “안전성능”이란 농업기반시설의 외관상 결함 및 가해지는 하중에 의

해 발생하는 손상에 저항하는 성능을 말한다.

7. “내구성능”이란 농업기반시설의 사용수명 동안 요구되는 기능을 유지시키기 위한 시설의 성능을 말한다.

8. “사용성능”이란 농업기반시설의 사용과 수요 측면에서 적절한 편의와 기능을 제공하는 성능을 말한다.

9. “성능목표”란 저수지의 사용 가능한 연수 동안 본연의 성능 및 기능을 유지·확보할 수 있는 효율적인 시설물의 유지관리 수준을 말한다.

10. “관리주체”란 관계 법령에 따라 기반시설의 관리책임을 지는 다음 각 목의 자를 말한다.

가. 국가·지방자치단체

나. 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관(이하 “공공기관”이라 한다)

다. 「지방공기업법」에 따른 지방공기업

11. “관리감독기관”이라 함은 다음 각 목의 자를 말한다.

가. 관리주체가 중앙행정기관의 소속 기관이거나 감독을 받는 기관인 경우: 소속 중앙행정기관

나. 가목 외의 관리주체인 경우: 해당 기반시설이 소재한 특별시·광역시·특별자치시·도·특별자치도

## 제2장 성능평가의 실시

**제3조(성능평가 일반)** ① 성능평가의 목적은 현장조사 및 각종 시험에 의해 저수지의 노후도, 기준의 변화, 사용성의 변화 등 시설의 성능을 종합적으로 평가하여 객관적인 현재의 상태와 미래의 성능 변화를 파악·예측하고 이를 통해 관리주체가 보수·보강 또는 성능개선 등의 최적 시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는데 있다.

② 관리주체는 소관 저수지에 대하여 시행계획에 따라 체계적이고 일관성 있는 성능평가를 실시해야 한다.

**제4조(안전점검 및 정밀안전진단과 성능평가의 관계)** ① 관리주체는 소관 저수지에 대한 성능평가를 농어촌정비법 제18조에 따른 안전점검 및 정밀안전진단을 포함하여 실시하거나 성능평가 착수일을 기준으로 3년 이

내에 완료된 최근의 정기점검·정밀진단 또는 다른 법령에 따른 점검·진단·검사 등의 결과를 활용할 수 있다.

② 관리주체는 제1항에 따라 안전점검 및 정밀안전진단 결과를 활용하는 데 있어 그 자료가 부족한 때에는 관련된 과업을 추가하여 실시할 수 있다.

**제5조(자료의 수집 등)** 관리주체는 성능평가를 시행하기 위하여 다음 각 호의 자료를 수집·분석하여야 한다.

1. 저수지의 설계도서 및 시공 관련 자료
2. 저수지의 정기점검, 긴급점검 및 정밀진단 결과
3. 저수지의 보수·보강·증축·개량 및 교체공사 관련 자료
4. 저수지의 성능평가 결과

**제6조(성능평가 대상)** ① 성능평가 대상 저수지는 다음 각 호와 같이 구분한다.

1. 저수지 : 제체, 여수로, 취수시설

② 저수지의 성능평가를 체계적으로 수행하고, 성능평가 결과를 효율적으로 관리하기 위하여 저수지를 **별표 1**에 따른 분류체계 및 분류코드로 구분한다.

③ 관리주체는 소관 저수지의 특성을 고려하여 제2항에 따른 성능평가 대상 저수지를 추가·수정·삭제할 수 있다.

④ 성능평가는 전수조사를 원칙으로 한다. 다만, 표본조사를 통하여 저수지 전체 성능을 확인할 수 있는 경우에는 표본조사를 실시할 수 있다.

⑤ 관리주체는 제4항 단서에 따라 표본조사를 실시하는 경우에는 해당 저수지의 성능을 대표할 수 있도록 시설·전기·통계 등 관련 분야 전문가 의견을 반영하여 객관적이고 과학적인 기준에 따라 표본의 수량을 정하여야 하며, 성능평가 결과보고서에 전수조사가 불가능한 사유 및 표본의 수량 산출 근거를 명시하여야 한다.

**제7조(성능평가 절차)** 성능평가 시행을 위한 세부적인 절차는 **별표 2**를 따른다.

**제8조(성능평가실시자의 자격)** ① 성능평가를 실시하는 경우 전문성을 갖춘 기관 또는 자에게 의뢰하여야 한다.

② 제1항의 경우 성능평가를 실시하는 책임기술자 및 참여기술자는 성



능평가 전반에 대한 설계 및 평가, 성능회복과 유지관리를 포함한 공학적 및 기술적인 면에서 전반적인 지식을 갖춘 자로서, 관계 법령에서 정하는 바에 따른 기술자격, 경력 및 교육 등의 자격요건을 갖추어야 한다.

③ 관리감독기관의 장은 기반시설 관리계획의 수립 시 제2항에 따른 성능평가 실시자의 자격을 포함하여야 한다.

**제9조(성능평가 실시계획의 수립)** ① 관리주체는 소관 저수지에 대한 성능평가를 착수하기 전에 성능평가 실시계획을 수립하여야 한다.

② 제1항에 따른 성능평가 실시계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 저수지 성능평가 대상
2. 저수지 성능평가실시자 및 세부일정
3. 저수지 성능평가 기준 및 평가방법
4. 저수지에 대한 성능목표 및 관리지표
5. 저수지의 성능목표 달성 방법에 관한 사항
6. 결과보고서 작성 등 후속조치에 관한 사항

**제10조(성능평가의 방법)** ① 저수지에 대한 성능평가는 안전성능, 내구성능 및 사용성능으로 구분하여 평가한다.

② 관리주체는 **별표 3**에 따른 평가항목·기준·방법에 따라 성능평가를 실시하여야 한다. 다만, 관련 자료가 부족하거나 평가방법 변경 등이 필요한 경우에는 관리주체가 별도의 평가기준·항목·방법을 정하여 성능평가를 실시할 수 있다.

③ 관리주체는 제2항 단서에 따라 별도의 평가기준·항목·방법을 정하는 경우에는 그 내용을 제12조에 따른 성능평가 결과보고서에 따른 시행계획에 그 사유를 명시하여야 한다.

④ 관리주체는 일관되고 효율적인 성능평가를 위해 이 지침의 내용을 반영하여 세부적인 성능평가 계획을 수립하여야 한다.

**제11조(성능평가 결과의 정리)** ① 관리주체는 해당 저수지에 대한 성능평가 결과를 **별표 4**에 제시된 종합평가 방법에 따라 성능평가지수와 성능평가등급으로 제시하여야 한다.

② 관리주체는 개별 저수지에 대한 성능평가 결과를 지역별, 유역별, 세

부부재로 구분하여 분석하고, 그 결과를 제시하여야 한다.

③ 관리주체는 성능평가 결과를 활용하여 보수·보강의 우선순위와 방법 등을 검토·분석하여 저수지의 성능목표를 달성할 수 있는 합리적인 유지관리 전략을 제안하여야 한다.

**제12조(성능평가 결과의 보고)** ① 관리주체는 **별표 5**의 표준목차에 따라 소관 저수지에 대한 성능평가 결과보고서를 작성하고, 이를 관리감독기관의 장에게 제출하여야 한다.

② 관리주체는 소관 저수지에 대한 성능변화 추이를 분석하여 체계적이고 과학적인 유지관리 계획을 수립·시행할 수 있도록 제1항에 따른 성능평가 결과보고서를 보존하고 관리하여야 한다.

**제13조(성능평가 결과의 조치)** ① 관리주체는 소관 저수지의 성능평가등급이 목표등급 이하인 경우 해당 저수지의 성능을 향상하기 위한 보수·보강 등 유지관리 계획을 수립·시행하여야 한다.

② 관리주체는 제1항에도 불구하고 소관 저수지의 안전성능, 내구성능, 사용성능 중 어느 하나 이상이 목표등급 이하인 경우에는 해당 저수지의 해당 성능을 향상하기 위한 보수·보강 등 유지관리 계획을 수립·시행하여야 한다.

**제14조(자체 위원회)** ① 관리주체는 분야별 전문가를 포함한 자체 위원회를 구성하여 성능평가 방법, 대상, 결과의 적정성 등을 심의해야 한다.

② 자체 위원회에서 심의하는 사항은 다음 각 호와 같다.

1. 제4조제1항에 따른 안전점검·정밀안전진단 결과활용의 적정성에 관한 사항
2. 제6조제3항에 따른 성능평가 대상 저수지의 적정성에 관한 사항
3. 제6조제4항에 따른 표본조사의 적정성에 관한 사항
4. 제9조에 따른 성능평가 실시계획의 적정성에 관한 사항
5. 제10조에 따른 성능평가 방법의 적정성에 관한 사항
6. 제11조에 따른 성능평가지수와 성능평가등급의 적정성에 관한 사항
7. 제13조에 따른 유지관리 계획의 적정성에 관한 사항
8. 그 밖에 성능평가 시행에 관한 사항으로 관리주체가 필요하다고 인정하는 사항

### 제3장 성능개선기준

**제15조(적용범위 및 내용)** ① 이 기준은 법 제4조에 따른 저수지의 성능개선에 대해 적용하며, 관리감독기관에서 시설유형별로 성능개선(사업) 추진 여부를 검토하여 관리계획을 수립할 때 활용할 항목과 평가방법 등과 관련한 구체적인 내용은 다음 각 호와 같이 구분하여 제시한다.

1. 대상 선정 적합성 검토를 통한 성능개선 대상 저수지 선정

가. 저수지 관련여건변화(기준, 수요등) 검토

나. 저수지 현재상태(물리적 상태, 성능등) 판단

다. 성능개선 유형 및 대안 수립

2. 선정된 대상 저수지별 성능개선 사업 효율성 판단

가. 대상사업 특성(사업 규모 및 성격) 검토

나. 사업 효율성 판단(기술적 판단, 경제성평가, 정책성평가) 시행

다. 종합평가 및 성능개선 사업여부 최종 결정

② 이 기준에서 정하지 않은 성능개선기준의 방법, 절차 등에 관해서는 개별 법률에서 정하는 바에 따르되, 다른 법률을 제정하거나 개정하는 경우에는 이 법의 목적과 기본원칙에 맞도록 하여야 한다.

**제16조(대상 선정의 적합성 검토)** ① 법 제9조에 따른 공용중인 저수지 성능개선 관리계획, 법 제14조에 따른 실태조사 내용 및 **별표6**의 시설현황조사표 등을 통해 저수지 부위 분류(국토교통부 「건설정보분류체계」 등 기준) 범위를 선정한다.

② 제1항의 내용을 기초자료로 하여 다음 각호와 같은 저수지 관련 여건변화 파악 및 현재상태 판단을 통해 적용대상 저수지 중에서 성능개선 대상시설을 1차적으로 선정한다.

1. 성능평가 외에 시간 경과 및 환경 변화에 따른 설계·시공 기술수준의 변화, 시설물 사용수요, 서비스 수준 등 증가 등을 고려하는 '여건변화'

2. 시설유형별 개별기준에 따른 성능평가 결과 등을 기준으로 대상 시설(부위 또는 부재)을 선정하는 '시설 현재상태 판단(성능평가 등)'

③ 제2항제2호의 경우 다음 각호를 고려하여 현재상태 판단 기준으로 활용할 수 있다.

1. 저수지의 안전성과 장기적인 유지관리 효율성을 확보하기 위해 시설이 만족해야 할 성능목표 설정
2. 기존 등급 이하 저수지에 대해 성능개선 분석대상 여부 확정
3. 저수지의 시설유형별 성능평가 기준이 없는 경우 관계 법령에 따른 상태평가 또는 안전성평가 등 기준 활용방안 검토
- ④ 성능개선 비대상 시설은 법 제10조 및 제11조에 따른 유지관리를 지속하는 것을 원칙으로 한다.

**제17조(대상사업의 유형)** ① 저수지의 유지관리 중 성능개선을 추진할 수 있는 기본검토사항은 다음 각 호의 사항을 포함한다.

1. 시간경과에 따라 시설의 노후화 또는 수요의 증가 등으로 서비스 수준(효과)이 낮아져 효용(편익)이 저감된 경우
2. 시설의 효용은 발휘되고 있으나 시설의 노후화로 유지관리비가 많이 소요되지만 신설투자가 어려운 경우
3. 내구연한(잔존수명)이 남아 있으나, 시설의 효용을 증대시켜 서비스의 획기적 향상이 기대되는 경우
4. 소규모 투자로 신설 당시의 서비스의 회복이 가능한 경우

② 성능개선 사업은 제1항에 따른 기본검토에 따른 사업의 목적, 필요성에 따라 다음 각 호의 유형 특성을 고려하여 설정한다.

1. ‘노후화 성능개선’은 저수지 전체 또는 일부 부재 기능이 파손 또는 노후화되어 기존 시설물 일부를 해체·폐기하고 교체·신설하는 경우
2. ‘기준변화 성능개선’은 기후·환경변화, 기술수준 변화 등으로 인해 저수지의 현시점에서 요구되는 설계기준 또는 성능이 설계당시 기준보다 상향됨으로써 성능개선이 필요한 경우
3. ‘사용성변화 성능개선’은 시설 설계당시보다 사용성 변화(수요 증가, 요구 서비스수준 증가 등)로 서비스수준 및 용량 변경·확대가 불가피함으로써 성능개선이 필요한 경우

③ 제2항에 따른 각 유형별 세부 실행대안은 개량, 증설확장, 개량개축으로 구분하여 구체적으로 실시할 수 있으며, 사업유형에 대한 예시는 **별표7**을 참고한다.

**제18조(대상사업 특성 검토)** ① 제4조 및 제5조에 따라 1차적으로 성능개선 대상사업으로 선정된 대안별 사업규모를 산정하여 다음 각 호에 해

당하는 사업은 성능개선기준 적용대상에서 제외한다.

1. 국가재정법 제38조 제5항의 규정에 따른 '예비타당성조사' 대상사업으로 총사업비가 500억원 이상이면서 국가의 재정지원 규모가 300억원 이상인 건설사업

2. 건설공사 타당성 조사 지침 제3조에 따른 '건설공사 타당성 조사' 대상사업으로 총공사비가 500억원 이상인 건설공사

② 국가재정법 제38조 제2항에 따라 다음 각 호에 해당하는 사업은 성능개선기준 적용대상에서 제외(면제)한다.

1. 「재난 및 안전관리기본법」 제3조제1호에 따른 재난(이하 "재난"이라 한다)복구 지원, 시설 안전성 확보, 보건·식품 안전 문제 등으로 시급한 추진이 필요한 사업

2. 재난예방을 위하여 시급한 추진이 필요한 사업

3. 지역균형발전, 긴급한 경제·사회적 상황 대응 등을 위하여 국가 정책적으로 추진이 필요한 사업으로서 다음 각 목의 요건을 모두 갖춘 사업

가. 사업목적 및 규모, 추진방안 등 구체적인 사업계획이 수립된 사업

나. 국가 정책적으로 추진이 필요하여 국무회의를 거쳐 확정된 사업

**제19조(사업 효율성 판단)** ① 사업 효율성 판단의 준거사업은 법 제10조 및 제11조에 따른 기존 유지관리를 지속하는 것(성능개선 미시행)이 되며, 이와 성능개선 대안과의 비교를 통해 성능개선 유·불리 여부를 판단한다.

② 제4조 및 제5조에 따라 1차적으로 성능개선 대상사업으로 선정된 대안별 다음 각 호의 내용을 포함하여 사업 효율성 판단을 실시한다.

1. '기술적판단'은 시설 현재상태(관계 법령에 의한 물리적 상태평가, 성능평가 등) 고려

2. '경제성평가'는 수요, 비용, 편익 등 고려

3. '정책성평가'는 사업추진여건, 정책효과, 자원조달 가능성 등 고려

③ 성능개선기준 운용을 위한 기초수집자료는 다음 각 호의 사항을 고려하여 활용한다.

1. 성능평가 등 시설 현재상태 평가 결과

2. 경과년수

3. 서비스 제공 수준(시설물 성능 요구 수준), 시설 수요
4. 유지관리비(현재와 미래)
5. 성능개선 소요 비용
6. 시설유형과 위치

④ 시설유형별 성능개선 사업특성상 제2항의 모든 평가요소를 활용한 평가에 실익이 없는 사업은 평가요소 포함여부를 조정할 수 있다.

⑤ 성능개선기준 항목 예시는 **별표8**을 참고한다.

**제20조(기술적판단)** ① 기술적판단은 손상, 노후, 낮은 서비스 수준 등 성능저하가 큰 저수지의 성능개선을 우선적으로 추진하기 위한 시설 현재 상태를 평가하는 것으로서 법 제11조 및 제12조에 의한 관리주체별 최소유지관리기준 및 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에 따른 시설상태 및 성능에 관한 평가 등 다른 관계 법령에 따른 결과를 활용한다.

**제21조(경제성평가)** ① 경제성평가는 대상사업의 국민 안전과 편리관점에서 장기적인 사회·경제적 파급효과와 투자 적합성을 평가하는 것으로서 비용-편익분석(Cost-Benefit), 순현재가치(NPV, Net Present Value) 분석을 기본적인 방법론으로 활용하되, 시설유형 및 성능개선사업 대안 특성에 따라 경제성분석 수준 및 방법의 변경이 필요한 다음 각호의 경우 대안을 고려할 수 있다.

1. 관련 법령에 따라 추진되는 사업 등 경제성 여부에 관계없이 반드시 추진되어야 하는 사업으로 평가의 실익이 없는 사업의 경우 경제성 평가 불필요

2. 수요·편익 등을 산출하기 위한 기초자료가 부족하거나 편익을 산출하기 위한 지침 등이 부족한 경우 경제성평가 한계

② 일반적으로 경제성평가는 다음 각 항의 요소를 고려하여 세부항목을 설정하여 수행한다.

1. 해당 지역 저수지 수혜대상자(사용자) 사용량 등 '수요'
2. 개량투자비(조사, 설계, 공사), 보상비(필요시), 부대비, 운영비(운영관리비, 유지관리비) 등 '비용'
3. 시설 서비스의 양(수요)과 질(수준) 등 '편익'

③ 경제성평가의 편익 산정을 위한 세부 항목은 저수지 특성을 고려하

여 반영한다.

④ 경제성평가의 비용과 편익 산정시 성능개선 사업미시행(유지관리)을 기준으로 하여 시행시 기존 시설부분을 제외한 비용과 편익의 증분( $\Delta$ )을 산정하는 것을 원칙으로 하되 증분의 산정이 어려운 경우 기존 시설부분을 고려하는 것을 검토할 수 있다.

⑤ 경제성평가지 모든 비용과 편익은 동일 시점(기준연도)을 기준으로 할인하고 분석기간은 일반적으로 시설 내구연한을 감안하여 설정한다.

⑥ 총 편익을 투입된 총비용으로 나눈 비인 B/C 값을 기준으로 기존 유지관리대비 성능개선 대안 투자의 효율성을 상대적으로 판단할 수 있다.

**제22조(정책성평가)** ① 정책성 평가는 사업시행으로 인한 사회적 편익 또는 비용중에서 계량화하여 비용-편익으로 산출하기는 곤란하나 사업 추진 여부를 판단하는데 고려해야 할 평가요소를 고려하는 것으로 다음 각 호와 같다.

1. 관련정책 및 계획과의 일치성, 지역주민 사업수용성 등 사업추진여건

2. 일자리 효과, 생활여건 영향, 환경성, 안전성 등 정책효과

3. 채용조달 가능성 등 특수평가항목

② 정책성평가항목은 관리감독기관 및 관리주체의 저수지 관리목표 및 방향을 고려하여 설정한다.

**제23조(종합평가)** ① 종합평가는 성능개선 추진 여부 판단을 위해 기술적 판단, 경제성평가, 정책성평가를 실시하여 이를 종합하여 최종적으로 평가한다.

② 평가방법은 계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process) 또는 평가항목 배점방식을 적용하여 계량화된 수치로 도출한다.

## 제4장 보 칙

**제24조(재검토기한)** 농림축산식품부장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 이 고시에 대하여 20xx년 x월 xx일을 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 x월 xx일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

## 부 칙

이 고시는 발령한 날부터 시행한다.



[별표 1] 농업기반시설 분류체계 및 시설분류코드

(1) 농업기반시설 분류코드

- 성능평가를 위한 데이터 관리용도로 지역, 구역, 시설물, 중분류, 소분류, 그리고 개별시설별 고유순번으로 구분하여 다음과 같이 부여한다.

지역 (4자리)	구역 (3자리)	시설물 (1자리)	중분류 (3자리)	소분류 (2자리)	순번 (3자리)
1010	001	0	A11	00	000

(2) 농업기반시설 코드번호(전체)

가. 저수지(7개 중분류, 19개 시설) : A

시설물	중분류	소분류	코드번호
저수지	제체 및 양안부	댐마루	
		상류사면	
		하류사면	
		기초 및 양안부	
	여수로	접근수로	
		조절부	
		급경사로	
		감세공	
	취수시설 및 방수로	취수탑	
		제진 격자망	
		둑과 사면	
	기계설비	권양기	
		수문 및 문틀	
	전기설비	현장제어반 및 조작반	
		구동모터 및 브레이크	
	일반적인 콘크리트 구조물	일반 구조물	
		수처리 구조물	
	건축물	조작실	
		권양기실	

나. 양·배수장(20개 중분류, 41개 시설) : B

대분류	중분류	소분류	코드번호
토목구조물	흡입수로	옹벽 슬라브	
	내부	기계설치대	
	토출수로	토류벽 옹벽	
건축구조물	기둥	-	
	보, 벽체	-	
	슬래브	-	
	도장	-	
	옥상	-	
	침하	-	
	크레인레일	-	
기계설비	펌프	-	
	밸브	-	
	배관	-	
	스크린	-	
	수문	-	
	기중기	-	
전기설비	수변전시설	특고압인입개폐기	
		특고압계기용변성기	
		주차단기	
		조작전원용변압기	
		저압동력용변압기	
		주변압기	
		보호외함, 울타리	
		피뢰기, 피뢰도선	
	특고케이블, 전선		
	배전설비	고압개폐기	
		고압차단기	
		고압접촉기	
		고압리액터	
		고압콘덴서	
		고압변성기류	
		보호계진기류	
		보호외함	
	동력설비	주전동기류	
		저압전동기류	
	기타설비	배관배선설비	
		조명기기	
		접지설비	
		피뢰설비	

[별표 2] 농업기반시설 성능평가 절차

절차	주요 내용						
<b>성능평가 대상선정</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업기반시설 분류체계(대→중→소)에 따라 평가대상 시설을 선정</li> <li>전수 평가를 원칙으로 하되, 필요시 표본조사 가능</li> <li>효율적인 평가를 위해 지역별, 시설별로 구분하여 시행 가능</li> </ul>						
<b>자료분석</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>평가대상 시설에 대한 도면, 계산서 등 관련 자료를 수집·분석</li> <li>설계도서·준공도서, 보수·보강·증축·개량공사 관련 자료</li> <li>과거 안전점검·긴급점검·정밀안전진단·성능평가 자료 등</li> </ul>						
<b>성능목표 설정</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>평가대상 농업기반시설의 안전성과 장기적인 유지관리 효율성을 확보하기 위해 농업기반시설이 만족해야 할 성능목표를 설정</li> <li>영 제9조에 따른 실시계획에서 농업기반시설의 종합적인 성능, 안전관리 목표, 예산여건 등을 고려하여 결정</li> </ul>						
<b>성능평가 시행</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>(<b>개별시설 평가</b>) 개별시설에 대한 성능평가지수, 성능평가등급 산정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>소분류 개별시설에 대해 평가항목별로 시험·검사·평가 시행</li> <li>항목별 평가점수를 바탕으로 안전성·내구성·사용성 성능 및 개별시설에 대한 성능평가지수와 성능평가등급 산정</li> </ul> </li> <li>(<b>결과분석</b>) 지역별·시설별 성능평가지수·등급 산정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>개별시설 평가결과를 소·중·대분류별 중요도(가중치)를 고려하여 대분류별, 노선별, 구간별 농업기반시설 성능평가지수·등급을 산정</li> </ul> </li> <li>(<b>종합평가</b>) 전체 시설에 대한 성능평가지수·등급을 산정하고, 성능평가지수가 낮은 지역·시설을 제시하고 그 사유를 분석</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #d9ead3;">개별시설 평가</th> <th style="background-color: #d9ead3;">결과분석</th> <th style="background-color: #d9ead3;">종합평가</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="font-size: small;">                             ▪ 개별시설 안전성·내구성·사용성 평가                              ▪ 개별시설 성능평가 지수·등급 산정                              예) 저수지 = 2.9(C등급)                         </td> <td style="font-size: small;">                             ⇒   ▪ 지역별·시설별·성능평가 지수·등급 산정                              예) 저수지 = 3.7(B등급)                              경기도 = 2.8(C등급)                         </td> <td style="font-size: small;">                             ⇒   ▪ 전체시설 성능평가 지수·등급 산정                              ▪ 성능평가지수가 낮은 지역·시설 제시                              예) 경기도 저수지 = 3.3(C등급)                         </td> </tr> </tbody> </table>	개별시설 평가	결과분석	종합평가	▪ 개별시설 안전성·내구성·사용성 평가 ▪ 개별시설 성능평가 지수·등급 산정 예) 저수지 = 2.9(C등급)	⇒ ▪ 지역별·시설별·성능평가 지수·등급 산정 예) 저수지 = 3.7(B등급) 경기도 = 2.8(C등급)	⇒ ▪ 전체시설 성능평가 지수·등급 산정 ▪ 성능평가지수가 낮은 지역·시설 제시 예) 경기도 저수지 = 3.3(C등급)
개별시설 평가	결과분석	종합평가					
▪ 개별시설 안전성·내구성·사용성 평가 ▪ 개별시설 성능평가 지수·등급 산정 예) 저수지 = 2.9(C등급)	⇒ ▪ 지역별·시설별·성능평가 지수·등급 산정 예) 저수지 = 3.7(B등급) 경기도 = 2.8(C등급)	⇒ ▪ 전체시설 성능평가 지수·등급 산정 ▪ 성능평가지수가 낮은 지역·시설 제시 예) 경기도 저수지 = 3.3(C등급)					
<b>유지관리 전략제안</b> ↓	<ul style="list-style-type: none"> <li>관리등급 이하 시설에 대한 보수·보강 방법 제시</li> <li>지역별·시설별 보수·보강 우선순위를 검토</li> <li>농업기반시설 성능목표를 달성을 위한 합리적인 유지관리 전략 제시</li> </ul>						
<b>종합결론</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>성능평가 결과, 유지관리 시행방안(연차별 계획, 예산확보 등)</li> </ul>						

※ 최초 성능평가 시, 성능목표 및 관리지표를 설정하여 성능평가를 실시하고, 성능평가 결과를 토대로 전문가집단의 자문을 반영하여 성능목표 및 관리지표를 조정할 수 있음.

[별표 3] 저수지 성능평가 기준

(1) 공통사항

평가부문	평가항목	평가기준	점수	중요도
안전성능	상태평가 결과	a	5	
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
	안전성평가 결과	a	5	
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
내구성능	콘크리트 압축강도	추정 압축강도가 설계기준강도 이상인 경우	5	
		추정 압축강도가 설계기준강도의 100%이상 이고 경미한 손상이 있는 경우	4	
		추정 압축강도가 설계기준강도의 85%이상 이고 100% 미만인 경우	3	
		추정 압축강도가 설계기준강도의 70%이상 이고 85% 미만인 경우	2	
		추정 압축강도가 설계기준강도 70% 미만인 경우	1	
	탄산화 잔여깊이	30mm 이상	5	
		10mm 이상 ~ 30mm 미만	4	
		0mm 이상 ~ 10mm 미만	3	
		0mm 미만	2	
			1	
사용성능	부재별 평가	사용 특성에 맞게 개별항목 평가	1~5	

1) 안전성능평가

가. 상태평가

- 저수지의 상태평가 결과는 안전점검 및 정밀안전진단 결과에 따른 상태등급이 있는 경우에는 안전등급을 활용한다. 안전등급을 별도로 평가하지 않는 구조물의 경우에는 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 상태(결함 및 손상)를 토대로 평가할 수 있다.

등급			상태평가 결과	
평가 점수	평가 등급	상태	안전등급	물리적 상태
5	a	우수	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 A	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 B	보조부재에 경미한 결함, 손상, 변위가 발생하였으나, 안전성과 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
3	c	보통	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 C	주요부재에 경미한 결함, 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 사용성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강(교체 포함)이 필요한 상태
2	d	미흡	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 D	주요부재에 결함, 손상, 변위가 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
1	e	불량	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 E	주요부재에 발생한 심각한 결함, 손상, 변위로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개량, 또는 개축을 하여야 하는 상태

나. 안전성평가

- 저수지의 안전성평가 결과는 정밀안전진단 결과에 따른 안전등급이 있는 경우에는 안전등급을 활용한다. 안전등급을 별도로 평가하지 않는 구조물의 경우에는 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 상태(결함 및 손상)를 토대로 평가할 수 있다.

등급			상태평가 결과	
평가 점수	평가 등급	상태	안전등급	물리적 상태
5	a	우수	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 A	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 B	보조부재에 경미한 결함, 손상, 변위가 발생하였으나, 안전성과 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
3	c	보통	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 C	주요부재에 경미한 결함, 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 사용성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강(교체 포함)이 필요한 상태
2	d	미흡	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 D	주요부재에 결함, 손상, 변위가 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
1	e	불량	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 E	주요부재에 발생한 심각한 결함, 손상, 변위로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개량, 또는 개축을 하여야 하는 상태

2) 내구성능 평가

- 저수지의 내구성능은 콘크리트의 압축강도와 탄산화 잔여깊이를 기준으로 평가한다.

3) 사용성능

- 저수지의 사용성능은 부재별 사용성 기준에 의해 평가한다.

(2) 상태평가

1) 제체 및 양안부

- 댐마루는 균열, 침하, 수평변위, 제체 유실, 사면 안정여부를 다음 기준에 의해 평가한다.

[댐마루]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
중 · 횡방향 균열	중요 결함	1.0	5	a	우수	-중 · 횡방향 균열이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-중 · 횡방향 균열길이 0~1m, 제정의 10% 이하인 상태
			3	c	보통	-중 · 횡방향 균열길이 1~5m, 제정의 10~50% 이하인 상태
			2	d	미흡	-중 · 횡방향 균열길이 5m이상, 제정의 50% 이상 -난간이 기울어진 상태
			1	e	불량	-중 · 횡방향 균열길이 5m이상, 제정의 50% 이상 -중방향 균열깊이가 저수위 이하이고, 횡방향 균열이 깊고 저수위 이하까지 진행되었을 경우
침하	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-침하 및 부등침하량이 10cm 이하로 경미한 상태
			3	c	보통	-과다한 침하 및 부등침하량이 10~50cm인 상태
			2	d	미흡	-과다한 침하 및 부등침하량이 10~50cm인 상태 -댐마루 도로의 경사와 사면이 함몰된 상태
			1	e	불량	-과다한 침하 및 부등침하량이 50cm 이상 -상시만수위 0.6m까지 진행된 매우 위험한 상태
수평 변위	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-과도한 수평변위가 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-과도한 수평변위의 징후가 존재하나 경미한 상태 (용기 0~50cm, 측방이동 0~30cm 변위 발생시)
			2	d	미흡	-과도한 수평변위로 댐마루 도로의 변형이 심각한 상태 (용기 50cm 이상, 측방이동 30cm 이상 변위 발생시)
			1	e	불량	-과도한 수평변위로 댐마루 도로의 변형이 매우 위험한 상태 (용기 50cm 이상, 측방이동 30cm 이상 변위 발생시)
제체 유실	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-댐마루 제체의 유실면적이 5㎡ 이하인 상태
			3	c	보통	-댐마루 제체의 유실면적이 5~15㎡ 인 상태
			2	d	미흡	-댐마루 제체의 유실면적이 15㎡ 이상 심각한 상태 (침하량과 누수량이 서서히 증가, 함몰, 누수의 변색 등의 징후가 나타남)
			1	e	불량	-댐마루 제체의 유실면적이 15㎡ 이상 매우 위험한 상태 (침하량과 누수량이 급격히 증가, 함몰, 누수의 변색 등의 징후가 나타남)
사면 불안정	중요 결함	1.0	5	a	우수	-최상의 건전한 상태
			4	b	양호	-댐체에 슬라이딩 길이가 1m 이하의 손상이 있는 상태
			3	c	보통	-댐체에 슬라이딩 길이가 1~2m 이하의 손상이 있는 상태
			2	d	미흡	-댐체에 슬라이딩 길이가 2m 이상의 손상이 있는 상태
			1	e	불량	-댐체에 슬라이딩 길이가 2m 이상 매우 위험한 상태

- 상류사면은 누수, 침하 및 변형, 차수벽의 노후화, 사면의 불안정 및 노후화, 사면 침식에 대해서 다음 기준에 의해 평가한다.

[상류사면]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
누수	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-댐체를 통한 누수가 일정한 양호한 상태
			3	c	보통	-댐체를 통한 누수가 크게 증가하지 않는 보통의 상태
			2	d	미흡	-댐체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상이 시작되는 심각한 상태
			1	e	불량	-댐체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상, 저수지 수위의 저하, 함몰 등의 현상이 매우 심각한 상태
침하 및 변형	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-침하깊이 0~10cm, 제체의 변형 0~10%인 상태
			3	c	보통	-침하깊이 10~50cm, 제체의 변형 10~50%인 상태
			2	d	미흡	-침하깊이 50cm 이상, 제체의 변형 50% 이상인 상태
			1	e	불량	-침하깊이 50cm 이상, 제체의 변형 50% 이상 위험한 상태
차수벽 노후화	중요 결함	1.0	5	a	우수	-차수벽의 노후화가 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-차수벽의 노후화가 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-차수벽의 노후화가 경미한 상태 (슬래브 균열폭<0.1mm, 조인트 열림<2.0mm, 철근부식확률 50%일 때)
			2	d	미흡	-차수벽의 노후화가 심각한 상태 (슬래브 균열폭>0.1mm, 조인트 열림>2.0mm, 철근부식확률 90% 이상일 때)
			1	e	불량	-차수벽의 노후화가 매우 심각한 상태 (슬래브 균열, 조인트의 분리, 조인트 열림>2.5mm, 철근부식확률 100% 일 때)
사면 불안정 및 사면 보호	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-사면 전체의 0~10%가 유실된 상태
			3	c	보통	-사면 전체의 10~50%가 유실된 상태
			2	d	미흡	-사면 전체의 50% 이상 유실된 심각한 상태
			1	e	불량	-사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 위험한 상태
사면 침식	국부 결함	1.0	5	a	우수	-사면침식이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-사면침식고가 0~0.5 이하인 상태
		1.2	3	c	보통	-사면침식고가 0.5~2m 이하이며, 사석의 유실이 일부 존재하는 상태
		1.4	2	d	미흡	-사면침식고가 2m 이상이며, 소협곡이 이루어지는 초기상태
		2.0	1	e	불량	-사면침식고가 2m 이상이며, 소협곡이 이루어진 매우 위험한 상태



- 하류사면은 누수, 사면불안정, 사면보호상태, 침하 및 변형, 사면침식, 식생, 동물의 굴에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[하류사면]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
누수	중요 결함	1.0	5	a	우수	-결함이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-댐체를 통한 누수가 일정한 양호한 상태
			3	c	보통	-댐체를 통한 누수가 크게 증가하지 않는 보통의 상태
			2	d	미흡	-댐체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상이 시작되는 심각한 상태
			1	e	불량	-댐체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상, 저수지 수위의 저하, 함몰 등의 현상이 매우 심각한 상태
사면 불안정	중요 결함	1.0	5	a	우수	-사면불안정이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-사면불안정이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-얕은 균열 및 활동, 용기 및 함몰, 습윤지 등이 부분적으로 나타나 사면불안정이 경미한 상태
			2	d	미흡	-깊은 균열 및 활동, 용기 및 함몰, 습윤지 등이 나타나 사면불안정이 시작되는 상태
			1	e	불량	-깊은 균열 및 활동, 용기 및 함몰, 습윤지 등이 하류사면 지단과 접하게 되어 사면불안정이 매우 심각한 상태
사면 보호 상태	중요 결함	1.0	5	a	우수	-사면불안정의 징후가 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-사면 전체의 0~10%가 유실된 상태
			3	c	보통	-사면 전체의 10~50%가 유실된 상태
			2	d	미흡	-사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 심각한 상태
			1	e	불량	-사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 위험한 상태
침하 및 변형	중요 결함	1.0	※ 상류사면과 동일 평가			
사면 침식	일반 손상	1.0	5	a	우수	-사면침식이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-사면침식이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-사면침식이 일부 나타난 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-사면침식에 의하여 도랑이 형성되기 시작하는 상태
		3.0	1	e	불량	-사면침식에 의하여 도랑이 형성된 매우 심각한 상태
식생	일반 손상	1.0	5	a	우수	-사면에 식생이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-사면에 일년생 식물이 있는 상태
		1.3	3	c	보통	-사면에 다년생 식물이 있는 상태
		1.7	2	d	미흡	-사면에 관목류가 있는 상태
		3.0	1	e	불량	-사면에 다년생 식물 및 관목류가 있는 상태
동물의 굴	일반 손상	1.0	5	a	우수	-사면에 동물의 서식 흔적이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-사면에 동물의 굴 직경이 0~1cm, 개수 0~1개
		1.3	3	c	보통	-사면에 동물의 굴 직경이 1~5cm, 개수 2~4개
		1.7	2	d	미흡	-사면에 동물의 굴 직경이 5cm 이상, 개수 5개 이상
		3.0	1	e	불량	-사면에 동물의 굴 직경이 5cm 이상이 수없이 존재

- 기초 및 양안부는 부등침하, 기초의 불안정, 기초의 침식 및 침투에 대해서 다음 기준에 의해 평가한다.

[기초 및 양안부]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
부등 침하	중요 결함	1.0	5	a	우수	-과도한 침하, 부등침하가 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-과도한 침하, 부등침하가 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-과도한 침하, 부등침하가 경미한 상태
			2	d	미흡	-과다한 침하 및 부등침하로 댐마루 도로의 경사와 사면이 함몰되고 기초가 불안정한 상태
			1	e	불량	-과다한 침하 및 부등침하가 상시만수위 0.6m 까지 진행되고, 기초가 불안정한 매우 심각한 상태
기초의 불안정	중요 결함	1.0	5	a	우수	-기초의 불안정이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-기초의 불안정이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-기초의 불안정이 경미한 상태
			2	d	미흡	-과다한 침하 및 부등침하로 기초가 불안정한 상태
			1	e	불량	-과다한 침하 및 부등침하로 기초가 불안정한 매우 심각한 상태
기초의 침식 및 침투	중요 결함	1.0	5	a	우수	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투가 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투가 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투가 일부 나타나는 경미한 상태
			2	d	미흡	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투로 도랑이 형성되고, 탁류 발생, 평소 누수량보다 증가하여 심각한 상태
			1	e	불량	-기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투로 도랑이 형성되고, 누수의 온도 변화가 심하고, 비강우시 누수량이 평소 누수량의 배 이상 증가하여 매우 심각한 상태

2) 여수로

- 접근수로는 콘크리트 라이닝의 손상, 측벽 또는 라이닝의 불안정, 접근수로 상부의 자연사면 불안정, 접근수로 내 식생 및 잡물에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[접근수로]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
콘크리트 라이닝 손상	일반 손상	1.0	5	a	우수	-콘크리트 라이닝 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-콘크리트 라이닝 손상이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-콘크리트 라이닝 손상이 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-콘크리트 라이닝에 균열 또는 슬래브의 변형이 심각한 상태
		3.0	1	e	불량	-콘크리트 라이닝에 균열 또는 슬래브의 변형이 매우 심각한 상태
불안정한 측벽 또는 라이닝	일반 손상	1.0	5	a	우수	-불안정한 측벽 또는 라이닝 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-불안정한 측벽 또는 라이닝 손상이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-불안정한 측벽 및 라이닝에 균열 누수 등 손상이 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-불안정한 측벽의 배수불량, 배면토압 증가에 의한 균열과 라이닝면의 균열 또는 히빙현상 등 손상이 심각한 상태
		3.0	1	e	불량	-불안정한 측벽의 배수불량, 배면토압 증가와 라이닝면의 균열 또는 히빙현상 등 손상이 매우 심각한 상태
접근수로 상부의 자연사면 불안정	일반 손상	1.0	5	a	우수	-접근수로 상부의 자연사면 불안정이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-접근수로 상부의 자연사면 불안정이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-접근수로 상부의 자연사면이 일부 낙석이 있는 상태
		1.7	2	d	미흡	-접근수로 상부의 자연사면이 이부 사면붕괴 및 균열로 여수로가 손상받을 위험이 존재하는 상태
		3.0	1	e	불량	-접근수로 상부의 자연사면이 국부적인 사면붕괴 및 균열로 여수로가 봉쇄되거나 손상받을 위험이 존재하는 상태
접근수로 내 식생 및 잡물	일반 손상	1.0	5	a	우수	-접근수로내의 식생 및 잡물이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-접근수로내의 식생 및 잡물이 없는 양호한 상태
		1.3	3	c	보통	-접근수로내의 식생 및 잡물이 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-접근수로내의 식생 및 잡물이 수문조작을 방해하는 상태
		3.0	1	e	불량	-접근수로내의 식생 및 잡물이 산사태 등으로 여수로를 봉쇄할 위험이 있는 상태

- 조절부는 에이프런 구조물의 손상 및 노후화, 피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화, 월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화, 수문가이드, 각락가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[조절부]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
에이프런 구조물의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	5	a	우수	-에이프런 구조물의 손상 및 노후화가 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-에이프런 구조물의 손상 및 노후화가 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-에이프런 구조물의 손상 및 균열, 박락, 철근노출 등 노후화가 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-에이프런 구조물의 손상 및 이음부 균열을 통한 침투, 부등침하 < 5mm 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-에이프런 구조물의 손상 및 이음부 균열을 통한 침투, 부등침하 > 5mm 등 노후화가 매우 심각한 상태
피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	5	a	우수	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화가 없는 최상의 건전한 상태
		1.1	4	b	양호	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누트, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 경미한 상태
		1.2	3	c	보통	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누트, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 진행되어 성능회복을 위한 보수를 필요로 하는 상태
		1.4	2	d	미흡	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 철근노출, 시공이음부 단차 > 2mm 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-피어와 벽체 구조물의 손상 및 철근노출, 시공이음부 단차 > 5mm 등 노후화가 매우 심각한 상태
월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	5	a	우수	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화가 없는 최상의 건전한 상태
		1.1	4	b	양호	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누수, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 경미한 상태
		1.2	3	c	보통	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누수, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 진행되어 성능회복을 위한 보수를 필요로 하는 상태
		1.4	2	d	미흡	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 철근노출, 시공이음부 단차 > 2mm, 시공이음부 누수 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 박락, 철근노출, 이음부의 균열을 통한 누수, 시공이음부 단차 > 5mm, 노후화가 매우 심각한 상태
수문가이드, 각락가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-수문가이드, 각락 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-수문가이드, 각락 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-수문가이드, 각락 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-수문가이드, 각락 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-수문가이드, 각락 가이드 또는 수문지수판에서의 공동화 현상이 매우 심각한 상태

- 급경사로는 바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차, 콘크리트 균열 및 손상, 벽체의 손상 및 노후화, 횡방향 이음부의 손상에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[급경사로]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용	
			평가 점수	평가 등급	상태		
바닥 슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차	중요 결함	1.0	5	a	우수	-바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차가 없는 최상의 상태	
			4	b	양호	-바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차가 없는 양호한 상태	
			3	c	보통	-바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차 < 2mm 상태	
			2	d	미흡	-바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차 > 2mm 상태	
			1	e	불량	-바닥슬래브의 부등침하로 인한 슬래브판의 변형, 들뜸, 단차 > 5mm 매우 심각한 상태	
바닥 슬래브의 콘크리트 균열 및 손상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 없는 최상의 상태	
			1.1	4	b	양호	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 없는 양호한 상태
			1.2	3	c	보통	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 경미한 상태
			1.4	2	d	미흡	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 폭 >1.0mm, 깊이>15cm로 손상이 심각한 상태
			2.0	1	e	불량	-바닥슬래브의 콘크리트 균열 폭 >5.0mm, 깊이>30cm, 철근노출 등 손상이 매우 심각한 상태
벽체의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	5	a	우수	-벽체의 손상 및 노후화가 없는 최상의 상태	
			1.1	4	b	양호	-벽체의 손상 및 노후화가 없는 양호한 상태
			1.2	3	c	보통	-벽체의 손상 및 노후화가 경미한 상태
			1.4	2	d	미흡	-벽체의 손상이 시공이음부 단차 > 2mm, 균열 및 누수 등 노후화가 심각한 상태
			2.0	1	e	불량	-벽체의 손상이 시공이음부 단차 > 5mm, 균열 및 누수, 박락, 철근노출 등 노후화가 매우 심각한 상태
횡방향 이음부의 손상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-횡방향 이음부의 손상이 없는 최상의 상태	
			1.1	4	b	양호	-횡방향 이음부의 손상이 없는 양호한 상태
			1.2	3	c	보통	-횡방향 이음부의 누수 < 4ℓ/min 경미한 상태
			1.4	2	d	미흡	-횡방향 이음부의 누수 > 75ℓ/min 심각한 상태
			2.0	1	e	불량	-횡방향 이음부의 공동현상, 콘크리트 탈락, 누수가 이음부위당 > 370ℓ/min 매우 심각한 상태

- 감세공은 플립버킷의 세굴, 하류 또는 기초의 침식, 이음부 손상, 정수지 바닥 및 측벽의 세굴에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[감세공]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
플립버킷의 세굴	중요 결함	1.0	5	a	우수	-플립버킷의 세굴이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-플립버킷의 세굴이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-플립버킷의 세굴구멍의 지름과 깊이 < 0.15m 상태
			2	d	미흡	-플립버킷의 세굴구멍의 지름과 깊이 > 0.30m 상태
			1	e	불량	-플립버킷의 세굴이 기초에 도달한 매우 심각한 상태
플립버킷의 하류 또는 기초의 침식	중요 결함	1.0	5	a	우수	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 경미한 상태
			2	d	미흡	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 경미한 상태 (이음부 균열 폭 > 5mm)
			1	e	불량	-플립버킷의 하류 또는 기초의 침식이 매우 심각한 상태 (이음부 균열 폭 > 12mm, 측벽기울기 > 10°)
플립버킷의 이음부 손상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-플립버킷의 이음부 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-플립버킷의 이음부 손상이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-플립버킷의 이음부에 침식, 균열 등 손상이 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-플립버킷의 이음부에 침식, 균열 등 손상이 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-플립버킷의 이음부에 침식, 균열 등 손상이 매우 심각한 상태
정수지 바닥 및 측벽의 세굴	국부 결함	1.0	5	a	우수	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴 > 0.15m 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 슬래브 전체 두께 침식 또는 파괴로 매우 심각한 상태 (균열 폭 > 12mm, 측벽기울기 > 10°)

3) 취수시설 및 방수로

- 취수시설 및 방수로는 취수탑의 파손 및 변위 발생, 취수량 감소 및 취수곤란, 제진 격자망의 부식 및 변형 손상, 독과 사면의 침식에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
취수탑 파손 및 변위 발생	중요 결함	1.0	5	a	우수	-취수탑의 파손 및 변위 발생이 없는 최상의 상태
			4	b	양호	-취수탑의 파손 및 변위 발생이 없는 양호한 상태
			3	c	보통	-취수탑의 파손 및 변위 발생이 경미한 상태
			2	d	미흡	-취수탑의 수문 파손 및 변위 발생(기울기 > 5°)이 심각한 상태
			1	e	불량	-취수탑의 수문 파손으로 작동 불능 및 변위 발생(기울기 > 10°)이 매우 심각한 상태
취수량 감소 및 취수곤란	국부 결함	1.0	5	a	우수	-취수량 감소 및 취수 곤란이 없는 최상의 상태
		1.1				
		1.2	4	b	양호	-취수량 감소 및 취수 곤란이 없는 양호한 상태
		1.4				
		2.0	3	c	보통	-취수량 감소 및 취수 곤란이 경미한 상태
			2	d	미흡	-취수량 감소 및 취수 곤란이 심각한 상태
1	e		불량	-취수량 감소 및 취수 곤란이 매우 심각한 상태 (수문 작동 불능)		
제진 격자망의 부식 및 변형 손상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 없는 최상의 상태
		1.1				
		1.2	4	b	양호	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 없는 양호한 상태
		1.4				
		2.0	3	c	보통	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 경미한 상태
			2	d	미흡	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 심각한 상태
1	e		불량	-제진 격자망의 부식 및 변형 손상이 매우 심각한 상태 (수문 작동 불능)		
독과 사면의 침식	국부 결함	1.0	5	a	우수	-독과 사면의 침식이 없는 최상의 상태
		1.1	4	b	양호	-독과 사면의 침식이 없는 양호한 상태
		1.2	3	c	보통	-독과 사면의 침식이 경미한 상태
		1.4	2	d	미흡	-독과 사면의 침식이 심각한 상태
		2.0	1	e	불량	-독과 사면의 침식이 매우 심각한 상태

4) 기계설비

- 권양기는 작동상태, 와이어로프 손상, 마찰부 선상에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[권양기]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
작동 상태 (수문 및 권양기)	중요 결함	1.0	5	a	우수	-상승 및 하강에 이상이 없는 양호한 상태
			4	b	양호	-작동시 이음발생이 없으며 상승 및 하강에 이상이 없는 정상 의 상태
			3	c	보통	-상승 및 하강이 가능하나 이음발생 등이 있으며, 상하한 자동 정지가 불량하나, 약간의 조정으로 원상복구가 가능한 상태
			2	d	미흡	-상승 및 하강이 정상 작동되지 않고, 비상점검 등의 임시조치 후에 제한 작동 가능한 상태
			1	e	불량	-전혀 작동되지 않는 상태
와이 어 로 프 손 상	국부 결함	1.0	5	a	우수	-와이어 로프의 손상이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-와이어 로프의 손상이 없는 건전한 상태
		1.2	3	c	보통	-와이어 로프 표면의 그리스 도포가 불량한 상태
		1.4	2	d	미흡	-와이어 로프 표면에 산화부식 진행상태 -약간의 꺾임이 발생한 상태
		2.0	1	e	불량	-와이어 로프의 직경감소가 7%이상 -하나의 꼬임에서 소선 절단이 10% 이상 -심산 키크가 있는 경우
마찰 부 손 상(시 브, 감 속 기, 커 플 링)	일반 손상	1.0	5	a	우수	-손상이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-손상이 없는 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-약간의 이음 이상진동이 있으나 사용가능한 상태 -그리스 도포가 불량한 상태
		1.7	2	d	미흡	-부식고착으로 이음 이상진동이 과도한 상태 -그리스가 건조되거나 이물질이 다량 함유된 상태
		3.0	1	e	불량	-손상 등이 발생하여 보수가 필요한 상태 -정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한적 작 동이 되는 상태



- 수문 및 문틀은 문비 부식, 변형, 누수, 마찰부 손상에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

[수문 및 문틀]

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
문비 (강재) 부식	중요 결함	1.0	5	a	우수	-부식이 없음
			4	b	양호	-전면부식이 조금 발견되거나, 건전부 모재두께의 50%미만의 점부식이 관찰되는 상태
			3	c	보통	-가벼운 전면부식이 전단면에 발생되거나, 건전부 모재두께의 5~10% 점부식이 관찰되는 상태
			2	d	미흡	-심화된 전면부식이 전단면에 발생되어 있거나, 건전부 모재두께의 10~30%의 점부식이 관찰되는 상태로 보수를 하지 않으면 안되는 상태
			1	e	불량	-전면부식과 건전부 모재두께의 30% 이상의 점부식으로 인하여 당장 보강을 하지 않으면 안되는 상태
문비 변형	국부 결함	1.0	5	a	우수	-문짝에 변형이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-문짝의 변형을 육안으로 판별이 어려운 상태
		1.2	3	c	보통	-외부충격에 의한 국부적인 변형이 발생한 상태이나 기능에 이상이 없는 상태
		1.4	2	d	미흡	-변형이 경간의 1/800 이상 발생한 상태
		2.0	1	e	불량	-변형으로 작동이 원활하지 못한 상태로 작동시 접촉, 끼임 발생과 부분적인 두께 감소가 1/2 이상인 경우
누수	일반 손상	1.0	5	a	우수	-누수가 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-누수 가능성이 없는 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-미세한 누수 가능성이 있는 경미한 상태
		1.7	2	d	미흡	-지수고무의 훼손 및 밀착불량 등으로 부분적인 누수가 발생하는 상태
		3.0	1	e	불량	-문짝의 변형으로 누수가 다량으로 발생하여 별도 부대설비(모래주머니)를 설치하여야 누수가 가능한 상태
마찰부 손상(롤러 힌지)	일반 손상	1.0	5	a	우수	-부식고착이 없고 회전이 원활한 건전한 상태
		1.1	4	b	양호	-부식고착이 있으나, 회전이 원활한 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-고착으로 회전 및 작동이 불량하나, 수문의 작동에는 이상이 없는 상태
		1.7	2	d	미흡	-고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 수문작동이 불량한 상태
		3.0	1	e	불량	-고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 작동이 불가능한 상태

5) 전기설비

- 전기 설비는 작동상태, 현장제어반 및 조작반 불량, 구동모터 및 브레이크 장치 불량에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
작동 상태	중요 결함	1.0	5	a	우수	-전기적인 수문작동 상에 이상이 없는 양호한 상태
			4	b	양호	-전기적인 수문작동 상에 이상이 없는 건전한 상태
			3	c	보통	-전기적인 수문작동 상에 이상이 경미한 상태 (현장제어반 및 조작반, 구동모터, 브레이크 등의 결함이 경미하여 현장에서 즉시 조치가 가능한 상태)
			2	d	미흡	-전기적으로 수문작동이 불량한 상태 (정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한 작동 가능한 상태)
			1	e	불량	-전기적으로 수문작동이 전혀 되지 않는 상태
현장 제어 반 및 조작 반 불량	일반 손상	1.0	5	a	우수	-현장 제어반의 불량이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-현장 제어반의 불량이 없는 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-현장 제어반의 불량이 경미한 보통인 상태 (불량이 경미하여 전기설비의 기동 및 운전에 영향이 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태)
		1.7	2	d	미흡	-현장 제어반 상태가 불량인 상태 (불량이 심각하여 전기설비의 기동 및 운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치~1MΩ 이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
		3.0	1	e	불량	-현장 제어반의 불량이 매우 위험한 상태 (불량 상태가 위험하여 전기설비의 기동 및 운전이 불가능한 상태, 절연: 0MΩ 이하, 접지: 규정치의 +30% 초과 ~ ∞)
구동 모터 및 브레이크 장치 불량	일반 손상	1.0	5	a	우수	-구동모터 · 브레이크장치의 불량이 없는 양호한 상태
		1.1	4	b	양호	-구동모터 · 브레이크장치의 불량이 없는 건전한 상태
		1.3	3	c	보통	-구동모터 · 브레이크장치의 불량이 경미한 보통인 상태 (불량이 경미하여 설비운전에 영향이 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태)
		1.7	2	d	미흡	-구동모터 · 브레이크장치의 불량한 상태 (불량이 심각하여 설비운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 절연: 규정치~1MΩ 이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
		3.0	1	e	불량	-구동모터 · 브레이크장치의 불량이 매우 위험한 상태 (불량 상태가 위험하여 설비운전이 불가능한 상태, 절연: 0MΩ 이하, 접지: 규정치의 +30% 초과 ~ ∞)

6) 일반적인 콘크리트 구조물

- 일반 콘크리트 구조물은 일반구조물의 균열, 수처리 구조물 균열, 박리, 박락 및 층 분리, 누수, 파손 및 손상, 백태에 대해 다음 기준에 의해 평가한다.

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용	
			평가 점수	평가 등급	상태		
일반 구조물 균열	국부 결함	1.0	5	a	우수	면적율 5% 이하	0.1mm 미만
		1.0	5	a	우수		0.1mm~0.2mm 미만
		1.0	5	a	우수		0.2mm~0.3mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.3mm~0.5mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.5mm 이상
		1.0	5	a	우수	면적율 20% 이하	0.1mm 미만
		1.0	5	a	우수		0.1mm~0.2mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.2mm~0.3mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.3mm~0.5mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.5mm 이상
		1.0	5	a	우수	면적율 20% 이상	0.1mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.1mm~0.2mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.2mm~0.3mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.3mm~0.5mm 미만
		2.0	1	e	불량		0.5mm 이상
수처리 구조물 균열	국부 결함	1.0	5	a	우수	면적율 5% 이하	0.1mm 미만
		1.0	5	a	우수		0.1mm~0.2mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.2mm~0.3mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.3mm~0.5mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.5mm 이상
		1.0	5	a	우수	면적율 20% 이하	0.1mm 미만
		1.1	4	b	양호		0.1mm~0.2mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.2mm~0.3mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.3mm~0.5mm 미만
		2.0	1	e	불량		0.5mm 이상
		1.1	4	b	양호	면적율 20% 이상	0.1mm 미만
		1.2	3	c	보통		0.1mm~0.2mm 미만
		1.4	2	d	미흡		0.2mm~0.3mm 미만
		2.0	1	e	불량		0.3mm~0.5mm 미만
		2.0	1	e	불량		0.5mm 이상
박리	국부 결함	1.0	5	a	우수	-박리발생이 없음	
		1.1	4	b	양호	-박리깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적율 10% 미만	
		1.2	3	c	보통	-박리깊이 0.5~1.0mm 미만이면서 박리면적율 10% 미만 -박리깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상	
		1.4	2	d	미흡	-박리깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적율 10% 미만 -박리깊이 0.5mm~10mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상	
		2.0	1	e	불량	-박리깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상 -박리깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실	

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
박락 및 층분리	국부 결함	1.0	5	a	우수	-박락/층분리의 발생이 없음
		1.1	4	b	양호	-박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적율 10% 미만
		1.2	3	c	보통	-박리/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적율 10% 미만 -박리/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적율 10% 이상
		1.4	2	d	미흡	-박리/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적율 10% 미만 -박리/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적율 10% 이상
		2.0	1	e	불량	-박리/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적율 10% 이상 -박리/층분리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실
누수	국부 결함	1.0	5	a	우수	-누수가 없음
		1.1	4	b	양호	-현저한 흔적(누수부위가 습윤된 상태)
		1.2	3	c	보통	-누수의 진행이 관찰가능 상태(방울방울 떨어짐)
		1.4	2	d	미흡	-누수의 진행이 관찰가능 상태(소량이 분출)
		2.0	1	e	불량	-누수의 진행이 확인한 상태(많은 양의 분출)
파손 및 손상	일반 손상	1.0	5	a	우수	-파손/손상 없음
		1.1	4	b	양호	-파손/손상깊이 20mm 미만이면서 면적율 10% 미만
		1.3	3	c	보통	-파손/손상깊이 20~50mm 미만이면서 면적율 10% 미만 -파손/손상깊이 20mm 미만이면서 면적율 10% 이상
		1.7	2	d	미흡	-파손/손상깊이 50~80mm 미만이면서 면적율 10% 미만 -파손/손상깊이 50mm 미만이면서 면적율 10% 이상
		3.0	1	e	불량	-파손/손상깊이 80mm 이상이면서 면적율 10% 미만 -파손/손상깊이 50mm 이상이면서 면적율 10% 이상
백태	일반 손상	1.0	5	a	우수	-백태가 없음
		1.1	4	b	양호	-백태 발생 면적율이 5% 미만
		1.3	3	c	보통	-백태 발생 면적율이 5~10% 미만
		1.7	2	d	미흡	-백태 발생 면적율이 10~20% 미만
		3.0	1	e	불량	-백태 발생 면적율이 20% 이상

7) 건축물(조작실, 권양기실 등)

건축물의 상태평가 기준은 [별표4] 양(배)수장 성능평가 기준을 따른다.

(3) 안전성 평가

안전성평가는 저수지 정밀안전진단실무 세부요령(2011.12)의 기준에 준하여 시행한다.

1) 제체 여유고

- 필댐의 여유고 평가기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편 (댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』 결과에 따라 정립되었으며, 필댐의 여유고는 어떠한 악조건에서도 홍수가 댐마루를 넘지 않도록 충분히 크게 잡아야 한다.(건설교통부, 2001). 댐설계기준(건교부, 2001)에서 제시하는 필댐 여유고 기준에 의거하여 평가기준을 결정하였다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	검토 여유고 높이가 필댐 여유고를 만족하는 경우
4	b	양호	검토 여유고 높이가 필댐 여유고를 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우 (하류부 피해정도가 경미)
3	c	보통	검토 여유고 높이가 필댐 여유고를 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우 (하류부 피해정도가 중대)
2	d	미흡	댐월류가 발생하는 경우(하류부 피해정도가 경미)
1	e	불량	댐월류가 발생하는 경우(하류부 피해정도가 중대)

2) 사석 여유고

- 사석 여유고 평가 기준은 기술본부 기술검토회의 결과에 따라 정립되었으며, 정립 근거는 『댐 설계실무(1989.12. 농업진흥공사, 조사설계처)』이며, 기준사석고는 홍수위+1.0m이다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	사석고가 기준 사석고(홍수위 +1.0m) 이상인 경우
4	b	양호	사석고가 홍수위 이상 기준사석고 미만인 경우
3	c	보통	사석고가 만수위 이상 홍수위 미만인 경우
2	d	미흡	사석고가 만수위 미만으로 사면부에 일부 손상이 있거나, 미설치되어 있는 경우
1	e	불량	사석이 미설치되어 사면부에 50% 이상의 손상이 있어 댐체 안정에 영향을 미치는 경우

3) 계측 데이터의 검토

- 계측 데이터에 대한 평가기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능 평가편(댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』 결과에 따라 정립되었으며, 계측치와 허용 기준치를 비교·검토하는 방법, 계측데이터의 변화추이를 분석하는 방법이 있다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	계측치가 허용기준치 이내이며, 경시변화 경향에 증감이 없는 경우
4	b	양호	계측치가 허용기준치 이내이며, 경시변화 경향에 미세한 증감이 있는 경우
3	c	보통	계측치가 허용기준치를 벗어나는 경우도 있으며, 경시변화 경향에 약간의 증감이 있는 경우
2	d	미흡	계측치가 허용기준치를 벗어나는 경우도 있으며, 경시변화 경향이 확연하게 증감하는 경우
1	e	불량	계측치가 허용기준치를 벗어나는 경우도 있으며, 경시변화 경향이 급하게 증감하는 경우

4) 침투수의 파이핑

- 침투수에 대한 평가기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편 (댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 정립되었으며, 여러 유출동수구배 산정방법은 각 방법에 대한 타당성이 인정된다면 사용할 수 있다. 분사현상에 대한 저항력은 소성지수가 큰 재료일수록 큰 경향이 있으며 점착력이 없는 세립자의 ic는 0.5~0.8로 본다. 침투류 해석에 의하여 산출한 동수경사가 한계동수경사의 1/2 이하(안전율 2.0)가 되도록 해야 한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	한계치의 100% 미만인 경우
4	b	양호	-
3	c	보통	한계치의 100% 이상 100% 미만인 경우
2	d	미흡	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
1	e	불량	한계치의 130% 이상인 경우

5) 침투수의 허용누수량

- 침투수량에 대한 평가기준은 기술본부 기술검토회의 결과에 따라 정립되었으며, 정립근거는 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편, 2002)이며, 허용누수량은 저수량의 0.05%/일 이하이다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	한계치의 100% 미만인 경우
4	b	양호	-
3	c	보통	한계치의 100% 이상 100% 미만인 경우
2	d	미흡	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
1	e	불량	한계치의 130% 이상인 경우

6) 사면활동

사면활동에 대한 평가 기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편 (댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 정립되었으며, 사면활동에 대한 안전성은 최소안전율 기준에 의해 산출된 안전율의 비로 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상이거나 단면손실이 없는 경우
4	b	양호	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상이거나 같으며, 단면손실이 있는 경우
3	c	보통	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 90% 이상, 100% 미만인 경우
2	d	미흡	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 75% 이상, 90% 미만인 경우
1	e	불량	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 75% 미만인 경우

7) 사면기울기

- 사면기울기에 대한 평가기준은 기술본부 기술검토회의 결과에 따라 정립되었으며, 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편, 2002)의 활증(10%)이 적용된 사면경사 기준이다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 100% 이상인 경우
4	b	양호	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 90% 이상이거나 같으며 단면손실이 있는 경우
3	c	보통	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 65% 이상 90% 미만인 경우
2	d	미흡	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 50% 이상 65% 미만인 경우
1	e	불량	통계학적 실험식에 의한 사면기울기 기준에 대해 측정된 사면기울기가 50% 미만인 경우



8) 응력-변형 해석으로 응력상태에 따른 안전성

- 응력-변형 해석으로 응력상태에 대한 평가기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편(댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 정립되었으며, 대규모 필댐에 있어서는 댐체 및 기초에 대하여 응력-변형 해석을 실시하여야 하고, 재료특성, 성토속도, 저수지 수위, 댐체 단면, 강도특성 등의 입력 조건을반영한 해석을 수행하여 변형량, 국부파괴, 수압할렬 등을 분석, 지반거동에 따른안전성을 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	한계치의 100% 미만인 경우
4	b	양호	-
3	c	보통	한계치의 100% 이상 110% 미만인 경우
2	d	미흡	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
1	e	불량	한계치의 130% 이상인 경우

9) 여수로 측벽고

- 여수로 옹벽에 대한 평가 기준은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능 평가편(댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 정립되었으며, 댐 본체나 여수로의 안전에 지장을 주는 월류를 일으키게 해서는 안된다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	측벽고가 필댐 여유고 이상인 경우
4	b	양호	측벽고가 필댐 여유고를 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우
3	c	보통	방류시 월류가 발생하여 양안부에 경미한 손상이 예상되는 경우
2	d	미흡	방류시 월류가 발생하여 양안부에 심각한 손상이 예상되는 경우
1	e	불량	방류시 월류가 발생하여 제체 파괴 및 측벽 안전에 중대한 영향을 미치는 경우

10) 급류부 측벽고

- 급경사수로 옹벽에 대한 안전성 평가는 급경사수로 옹벽에 많은 여유고를 주어 구조물의 안전을 도모한다는 기준에 의하여 다음 표로 평가 한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	검토 여유고가 기준 여유고 이상인 경우
4	b	양호	월류는 발생하지 않으나 검토 여유고가 일부 구간 부족한 경우
3	c	보통	월류는 발생하지 않으나 검토 여유고가 전 구간 부족한 경우
2	d	미흡	방류시 월류가 발생하여 제체에 손상이 예상되는 경우
1	e	불량	방류시 월류가 발생하여 제체 안전에 중대한 영향을 미치는 경우

11) 감세공 측벽고

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	검토 여유고가 기준 여유고 이상인 경우
4	b	양호	월류는 발생하지 않으나 검토 여유고가 기준 여유고 이하인 경우
3	c	보통	방류시 월류가 발생하여 양안부에 경미한 손상이 예상되는 경우
2	d	미흡	방류시 월류가 발생하여 양안부에 심각한 손상이 예상되는 경우
1	e	불량	방류시 월류가 발생하여 제체 파괴 및 측벽 안전에 중대한 영향을 미치는 경우

12) 취수탑

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	SF(안전율)이 1.0 이상이고 주부재에 손상이 없는 경우
4	b	양호	SF(안전율)이 1.0 이상이고 주부재에 손상(중요결함)이 있는 경우
3	c	보통	SF(안전율)이 0.9 이상이고 1.0 미만인 경우
2	d	미흡	SF(안전율)이 0.75 이상이고 0.9 미만인 경우
1	e	불량	SF(안전율)이 0.75 미만인 경우

13) 기계설비(수문)

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	산출된 응력비가 1.5 이상인 경우
4	b	양호	산출된 응력비가 1.5 미만 1.1 이상인 경우
3	c	보통	산출된 응력비가 1.1 미만 1.0 이상인 경우
2	d	미흡	산출된 응력비가 1.0 미만 0.9 이상인 경우
1	e	불량	산출된 응력비가 0.9 미만인 경우나, 부식으로 단면손실이 있는 경우

14) 수문학적 안전성

수문학적 안전성 평가는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편 (댐, 국토교통부/한국시설안전공단, 2018. 06)』에 따라 다음과 같이 I~III단계로 제시되어 있다.

- I 단계 : 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가
- II 단계 : 가능최대홍수량(PMFP)에 대한 구조적 안전성 평가
- III 단계 : 하류부의 위험도에 따른 평가

제 I 단계 : 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가

단계	등급			댐의 형식	댐의 상태	평가기준	비고	
	평가 점수	평가 등급	상태					
I	5	a	우수	①,②	모든 등급	검토 여유고 높이가 여유고 기준을 만족하는 경우	I 단계 평가만 수행	
	4	b	양호	①,②	A~C	검토 여유고 높이가 여유고 기준을 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우		
	3	c	보통	①,②	D, E	검토 여유고 높이가 여유고 기준을 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우		
	2	d	미흡	①,②	D, E	A~C	댐 월류가 발생하나 비구조적 대책에 의해 월류가 방지될 수 있는 경우	-①의 경우 II,III 단계 평가 -②의 경우 III 단계 평가
						D, E	댐 월류가 발생하나 비구조적 대책에 의해 월류가 방지될 수 있는 경우	
1	e	불량	①,②	모든 등급	모든 등급	댐 월류가 발생하며 비구조적 대책에 의해 월류방지가 불가능한 경우	”	

- 주) 1. 댐의 형식 : ① 콘크리트댐, ② 필댐, 복합댐 및 CFRD  
 2. 댐의 상태 : 댐 토목시설물의 상태평가기준(A~E)

제 II 단계 : 가능최대 홍수량(PMF)에 대한 구조적 안전성 평가

단계	등급			평가기준
	평가 점수	평가 등급	상태	
II	5	a	우수	PMF 유입 시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)의 구조적 안전성이 확보되는 경우
	4	b	양호	PMF 유입 시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)는 구조적 안전성이 확보되나 수문의 구조적 안전성이 확보되지 않는 경우
	3	c	보통	PMF 유입 시 비월류부 콘크리트 댐체의 안전성은 확보되나 월류부 콘크리트 댐체와 수문의 안전성이 확보되지 않는 경우
	2	d	미흡	PMF 유입시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)가 모두 구조적 안전성을 확보하지 못하면서 댐마루 월류수심이 $h_c \leq 0.52H_d^{0.45} - 0.3$ 의 조건인 경우
	1	e	불량	PMF 유입시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)가 모두 구조적 안전성을 확보하지 못하면서 댐마루 월류수심이 $h_c > 0.52H_d^{0.45} - 0.3$ 의 조건인 경우

- 주) 1. 구조적 안전성 평가항목 : 활동, 전도, 지지력 및 구조물의 응력비  
 (안전성 확보여부는 국토해양부에서 고시하는 세부지침(댐)의 평가기준을 따른다.)  
 2.  $h_c$  ≡ 댐마루 월류수심(m),  $h_d$  ≡ 댐 높이(m)

PMF 유입시 하류부의 위험도에 따른 평가

단계	등급			평가기준	
	평가 점수	평가 등급	상태		
III	5	a	우수	-댐의 붕괴 시 하류부의 인명 및 경제적 손실이 거의 없는 경우	
	4	b	양호	-댐의 붕괴 시 하류부의 범람정도가 붕괴되지 않은 상태와 큰 차이가 없을 것으로 판단되는 경우	상·하류 수위차가 예상되는 경우
	3	c	보통	-댐의 붕괴가 댐 구조물 자체의 경제적 손실 이상의 피해는 거의 발생하지 않고 하류부에 주택 및 산업시설 등이 적어 인명피해의 가능성이 낮을 것으로 예상되는 경우 -총 저수용량 100만 <sup>m</sup> 미만인 경우	
	2	d	미흡	-댐의 붕괴가 광범위한 경제적 손실을 초래하며 하류부에 주택 및 산업시설 등이 산재하여 인명피해의 가능성이 상당할 것으로 예상되는 경우 -총 저수용량 100만 <sup>m</sup> 이상 1,000만 <sup>m</sup> 미만인 경우	총 저수용량 규모는 EAP가 미수립된 댐에 대해 적용
	1	e	불량	-댐의 붕괴가 대규모 경제적 손실을 초래하며 하류부에 주택 및 산업시설 등이 밀집되어 인명피해의 가능성이 높을 것으로 예상되는 경우 -총 저수용량 1,000만 <sup>m</sup> 이상인 경우	

(4) 내구성능 평가

1) 콘크리트 압축강도

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용
			평가 점수	평가 등급	상태	
콘크리트 압축강도	국부 결함	1.0	5	a	우수	-추정 압축강도가 설계기준강도 이상인 경우
		1.1	4	b	양호	-추정 압축강도가 설계기준강도의 100% 이상이고 경미한 손상이 있는 경우
		1.2	3	c	보통	-추정 압축강도가 설계기준강도의 85% 이상 100% 미만인 경우
		1.4	2	d	미흡	-추정 압축강도가 설계기준강도의 70% 이상 85% 미만인 경우
		2.0	1	e	불량	-추정 압축강도가 설계기준강도의 70% 미만인 경우

2) 탄산화 잔여깊이

상태 변화	평가 유형	영향 계수	등급			평가내용	
			평가 점수	평가 등급	상태		
탄산화 잔여깊이	국부 결함	1.0	5	a	우수	-30mm 이상	탄산화에 의한 부식이 발생할 우려 없음
		1.1	4	b	양호	-10mm 이상~30mm 미만	향후 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
		1.2	3	c	보통	-0mm 이상~10mm 미만	경우에 따라서 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
		1.4	2	d	미흡	-0mm 미만	철근 부식 발생
		2.0	1	e	불량	-	-

(5) 사용성능 평가

구분		조사항목
사용 성능	운영성	강제수문 및 권양기 작동 유무(기계)
		현장제어반 및 조작반
		구동모터 및 브레이크
		강제수문 및 권양기 작동 유무(전기)
		계측기
	유지관리성	점검시설
	수요 및 용량	수질
		수요량
		사용환경 변화
		편의시설 활용

1) 권양기

각 기기의 정상적인 작동여부, 아음발생 여부 등의 작동상태와 작동시간 등에 대하여 시험을 시행하고 이때 커플링의 정열상태, 베어링 이상발열여부, 드럼와이어 클램프의 체결상태 등을 정지상태 및 작동 도중에 상세외관조사를 시행하고, 전반적인 상태를 파악하여 등급을 평가한다

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	상승 및 하강에 이상이 없는 양호한 상태
4	b	양호	작동시 이음발생이 없으며 상승 및 하강에 이상이 없는 정상의 상태
3	c	보통	상승 및 하강이 가능하나 이음발생 등이 있으며, 상하한 자동정지가 불량하나, 약간의 조정으로 원상복구가 가능한 상태
2	d	미흡	상승 및 하강이 정상 작동되지 않고, 비상점검 등의 임시조치 후에 제한 작동 가능한 상태
1	e	불량	전혀 작동되지 않는 상태

2) 현장제어반 및 조작반

현장제어반 및 조작반의 작동시험은 시험 전 상세육안조사와 측정·시험기기를 사용한 절연저항측정, 접지저항측정, 운전상태(공급전압 및 운전전류) 측정을 실시하며, 설비의 특성 및 상황 등을 고려하여 책임기술자가 점검개소 및 실시여부를 정한다.

절연저항측정(절연열화 판정) 방법은 다음과 같다.

- 절연열화 판정은 절연저항계에 의한 측정이 가장 많이 이용. 보통 250~500V,

1,000V의 메거를 사용하며, 간선용 혹은 분기용으로 개폐기, 과전류차단기 등으로 구분 지을 수 있는 설로별로 측정한다.

- 저압 전로의 전선 상호간의 절연저항은 사용설비의 전로를 포함하지 않는 상태로 측정하므로 개폐기는 열어두어야 한다.
- 전선과 대지(접지)간의 절연저항은 사용설비 전로를 포함한 사용 상태에서 측정하므로 개폐기는 닫아두어야 한다.

### 접지저항측정 방법

- 일반적으로 접지저항 측정에는 접지저항계(어스테스터)가 널리 사용되고 있으며, 저항계의 형식에 따라 접지저항 순서가 다소 상이하므로 메이커의 취급설명서에 따라 측정

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	현장 제어반의 불량률이 없는 양호한 상태(신규로 3년 이내 설치 여부)
4	b	양호	현장 제어반의 불량률이 없는 양호한 상태
3	c	보통	불량률이 경미하여 전기설비의 기동 및 운전에 영향이 없는 상태, 절연: 경년 열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태
2	d	미흡	현장 제어반 상태가 불량인 상태(불량률이 심각하여 전기설비의 기동 및 운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치 ~ 1MΩ이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
1	e	불량	현장 제어반의 불량률이 매우 위험한 상태(불량 상태가 위험하여 전기설비의 기동 및 운전이 불가능한 상태, 절연: 0MΩ이하, 접지: 규정치의 +30% 초과 ~ ∞)

### 3) 구동모터 및 브레이크

외관상태의 변형, 파손, 부식 등의 유무 확인, 접지유무 및 설치상태, 이상진동·소음·발열여부 등의 전기적 동작상태, 배선상태 및 배관의 파손유무 등을 점검한다



등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	구동모터·브레이크장치의 불량률이 없는 양호한 상태
4	b	양호	구동모터·브레이크장치의 불량률이 없는 양호한 상태
3	c	보통	불량이 경미하여 설비운전에 영향이 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1M $\Omega$ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태
2	d	미흡	구동모터·브레이크장치의 상태가 불량인 상태(불량이 심각하여 설비운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치~1M $\Omega$ 이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
1	e	불량	구동모터·브레이크장치의 불량률이 매우 위험한 상태(불량 상태가 위험하여 설비운전이 불가능한 상태, 절연:0M $\Omega$ 이하, 접지: 규정치의 +30% 초과~ $\infty$ )

#### 4) 전기설비

- 전기설비에 포함되는 세부장치들은 제작사 기준값을 준용하여 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	기준값 이내 및 하자기간 내 설비
4	b	양호	기능, 성능 동작 양호한 상태
3	c	보통	동작 이상 없으나 기능, 성능 저하된 상태
2	d	미흡	동작 이상 없으나 기능, 성능 저하 우려되는 상태
1	e	불량	동작 이상이 있고 기능, 성능 저하 심각한 상태

- 제작사 기준값의 확인이 어려울 경우에는 내용연수(사용횟수) 또는 고장·장애횟수를 확인하여 간접적으로 평가한다. 단, 하자기간 장애와, 천재지변은 제외한다

#### [내용연수 평가]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	내용연수 또는 사용횟수 75%이상 여유
4	b	양호	내용연수 또는 사용횟수 50~75% 미만
3	c	보통	내용연수 또는 사용횟수 25~50% 미만
2	d	미흡	내용연수 또는 사용횟수 0~25% 미만
1	e	불량	내용연수 또는 사용횟수 초과

[고장 및 장애 발생횟수 평가]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	고장 및 장애 발생이 없음
4	b	양호	고장 및 장애 발생횟수가 직전년도 1회
3	c	보통	고장 및 장애 발생횟수가 직전년도 2회
2	d	미흡	고장 및 장애 발생횟수가 직전년도 3회
1	e	불량	고장 및 장애 발생횟수가 직전년도 4회 이상

- 수리 또는 교체할 수 있는 제품의 생산 여부로서 부품 또는 설비의 생산 중단으로 고장 발생 시에 대체, 교체가 불가능 지에 대하여 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	다수 제조사가 생산하는 제품
3	c	양호	단일 제조사가 생산하는 제품
1	e	보통	정품/대체품이 단종된 제품

- 또한 설비의 수선, 부품·부속설비의 교체로 인한 노후정도 및 개량 필요성을 직전년도의 유지보수 횟수로 간접적으로 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	직전년도 유지보수 횟수가 1회 이하
4	b	양호	직전년도 유지보수 횟수가 2회~4회 미만
3	c	보통	직전년도 유지보수 횟수가 4회~6회 미만
2	d	미흡	직전년도 유지보수 횟수가 6회~8회 미만
1	e	불량	직전년도 유지보수 횟수가 8회 이상

- 전기적인 영향으로 수문 작동에 이상 여부를 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	전기적인 수문작동 상에 이상이 없는 양호한 상태
4	b	양호	전기적인 수문작동 상에 이상이 없는 양호한 상태
3	c	보통	전기적인 수문작동 상에 이상이 경미한 상태 (현장제어반 및 조작반, 구동모터, 브레이크 등의 결함이 경미하여 현장에서 즉시 조치가 가능한 상태)
2	d	미흡	전기적으로 수문작동이 불량한 상태 (정상 작동외지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한작동 가능한 상태)
1	e	불량	전기적으로 수문작동이 전혀 되지 않는 상태

5) 계측기

- 관리주체 소유의 휴대용 측정기를 이용한 수동측정 : 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및 기존 측정값 범위와 비교
- digital multimeter를 이용한 개별 센서의 저항값 측정 : 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및(적-흑)(적-녹) 저항치의 합계와 (황-흑)저항치와 비슷한지 비교(carlson type 센서의 점검방법)
- 컴퓨터를 이용한 자동계측 : 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및 지진 가속도계의 임의의 외부진동에 대한 반응여부 확인

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	계측기 작동율이 90% 이상인 상태
4	b	양호	계측기 작동율이 80~90% 미만인 상태
3	c	보통	계측기 작동율이 70~80% 미만인 상태
2	d	미흡	계측기 작동율이 50~70% 미만인 상태
1	e	불량	계측기 작동율이 50 이하인 상태

6) 점검시설

- 점검시설의 설치여부 및 상태로 평가한다

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 구비되어 있음(신설)
4	b	양호	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 양호한 상태임
3	c	보통	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 결함(볼트, 나사풀림, 녹 등)이 있어 수리가 필요한 상태
2	d	미흡	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 사용시 심각한 안전상의 문제가 있어 교체가 필요한 상태
1	e	불량	시설물의 조사에 필요한 점검로가 없어 새로 설치를 요하는 상태

7) 수질

- 수자원공사시스템의 물정보관에서 제공하는 수질등급 기준을 활용하여 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	수질등급기준 Ia, Ib
4	b	양호	수질등급기준 II
3	c	보통	수질등급기준 III
2	d	미흡	수질등급기준 IV
1	e	불량	수질등급기준 V, VI

8) 수요량

- 저수지가 확보하는 용수량이 현재의 요구량을 만족하는지 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	용수량이 충분한 상태
1	e	불량	용수량이 부족한 상태

9) 사용환경 변화

- 저수지 준공 이후 설계기준, 주변여건 등 사용환경의 변화를 현재 만족하는지 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	사용환경 변화를 충분히 만족하여 지속사용이 가능한 상태
1	e	불량	사용환경 변화를 만족하지 못하여 성능개선이 필요한 상태

10) 편의시설 활용

- 저수지 주변의 편의시설(수변공원, 낚시터 등)의 활용상태를 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	편의시설의 사용자가 매우 많아 지속적인 활용이 필요한 상태
3	c	보통	편의시설의 사용자가 적절하여 활용이 필요한 상태
1	e	불량	편의시설의 사용자가 매우 부족하여 활용이 불필요한 상태

[별표 4] 양(배)수장 성능평가 기준

(1) 공통사항

평가부문	평가항목	평가기준	점수	중요도
안전성능	상태평가 결과	a	5	
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
	안전성평가 결과	a	5	
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
내구성능	부재별 평가	사용 특성에 맞게 개별항목 평가	1~5	
사용성능	부재별 평가	사용 특성에 맞게 개별항목 평가	1~5	

1) 안전성능평가

가. 상태평가

- 양(배)수장의 상태평가 결과는 안전점검 및 정밀안전진단 결과에 따른 안전 등급이 있는 경우에는 안전등급을 활용한다. 안전등급을 별도로 평가하지 않는 구조물의 경우에는 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 상태(결함 및 손상)를 토대로 평가할 수 있다.

등급			상태평가 결과	
평가 점수	평가 등급	상태	안전등급	물리적 상태
5	a	우수	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 A	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 B	보조부재에 경미한 결함, 손상, 변위가 발생하였으나, 안전성과 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
3	c	보통	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 C	주요부재에 경미한 결함, 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 사용성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강(교체 포함)이 필요한 상태
2	d	미흡	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 D	주요부재에 결함, 손상, 변위가 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
1	e	불량	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 E	주요부재에 발생한 심각한 결함, 손상, 변위로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개량, 또는 개축을 하여야 하는 상태



나. 안전성평가

- 양(배)수장의 안전성평가 결과는 정밀안전진단 결과에 따른 안전등급이 있는 경우에는 안전등급을 활용한다. 안전등급을 별도로 평가하지 않는 구조물의 경우에는 시설관리자가 직접 현장에서 확인한 상태(결함 및 손상)를 토대로 평가할 수 있다.

등급			상태평가 결과	
평가 점수	평가 등급	상태	안전등급	물리적 상태
5	a	우수	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 A	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 B	보조부재에 경미한 결함, 손상, 변위가 발생하였으나, 안전성과 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
3	c	보통	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 C	주요부재에 경미한 결함, 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 사용성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강(교체 포함)이 필요한 상태
2	d	미흡	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 D	주요부재에 결함, 손상, 변위가 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
1	e	불량	점검 및 진단 결과에 따른 안전등급 E	주요부재에 발생한 심각한 결함, 손상, 변위로 인하여 시설물의 안전에 위협이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개량, 또는 개축을 하여야 하는 상태

2) 내구성

- 양(배)수장의 사용성은 부재별 내구성 기준에 의해 평가한다.

3) 사용성

- 양(배)수장의 사용성은 부재별 사용성 기준에 의해 평가한다.

(2) 상태평가

1) 토목구조물

[침하/부상]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	침하/부상이 발생되지 않은 상태
4	b	양호	부분적으로 경미한 침하/부상이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
3	c	보통	침하/부상의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
2	d	미흡	침하/부상의 정도가 심각하여 구조적인 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
1	e	불량	침하/부상의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안전을 위협 받고 있는 상태

[경사]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경사가 발생되지 않은 상태
4	b	양호	부분적으로 경미한 경사가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않는 상태
3	c	보통	경사의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
2	d	미흡	경사의 정도가 심각하여 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
1	e	불량	경사의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정이 위협받고 있는 위험한 상태

[활동]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	활동이 발생되지 않은 상태
4	b	양호	부분적으로 경미한 활동이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
3	c	보통	활동의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
2	d	미흡	활동의 정도가 심각하여 구조적인 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
1	e	불량	활동의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안전이 위협받고 있는 위험한 상태

[수처리 구조물 콘크리트 균열]

등급			상 태			
평가 점수	평가 등급	상태	최대 균열폭	면적율 5% 이하	면적율 20% 이 하	면적율 20% 이 상
5	a	우수	0.1mm 미만	a	a	b
4	b	양호	0.1mm~0.2mm 미만	a	b	c
3	c	보통	0.2mm~0.3mm 미만	b	c	d
2	d	미흡	0.3mm~0.5mm 미만	c	d	e
1	e	불량	0.5mm 이상	d	e	e

[콘크리트 박리]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	박리 발생이 없음
4	b	양호	박리 깊이 0.5mm 미만인면서 박리 면적율 10% 미만
3	c	보통	박리 깊이 0.5~1.0mm미만인면서 박리면적율 10% 미만 박리 깊이 0.5mm 미만인면서 박리면적율 10% 이상
2	d	미흡	박리 깊이 1.0~25mm 미만인면서 박리면적율 10% 미만 박리 깊이 0.5~10mm 미만인면서 박리면적율 10% 이상
1	e	불량	박리 깊이 1.0~25mm 미만인면서 박리면적율 10% 이상 박리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실

[콘크리트 박락 및 층분리]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	박락/층분리의 발생이 없음
4	b	양호	박락/층분리 깊이 15mm 미만인면서 면적율 10% 미만
3	c	보통	박락/층분리 깊이 15~20mm 미만인면서 면적율 10% 미만 박락/층분리 깊이 15mm 미만인면서 면적율 10% 이상
2	d	미흡	박락/층분리 깊이 20~25mm 미만인면서 면적율 10% 미만 박락/층분리 깊이 15~20mm 미만인면서 면적율 10% 이상
1	e	불량	박락/층분리 깊이 20~25mm미만인면서 면적율 10% 이상 박락/층분리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실

[철근노출]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	철근노출 없음
4	b	양호	철근노출 면적율이 1% 미만
3	c	보통	철근노출 면적율이 1~3% 미만
2	d	미흡	철근노출 면적율이 3~5% 미만
1	e	불량	철근노출 면적율이 5% 이상

[누수]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	콘크리트 부재	신축이음부위
5	a	우수	누수가 없음	누수가 없음
4	b	양호	경미한 흔적 (누수부위가 건조한 상태)	누수 흔적이나 토사 등의 오염
3	c	보통	현저한 흔적 (누수부위가 습윤한 상태)	파손에 의한 누수발생
2	d	미흡	누수의 진행이 관찰가능 상태	누수로 인한 신축이음 하부구조물의 부식발생
1	e	불량	누수의 진행이 확연한 상태	누수로 인한 신축이음 하부구조물의 부식심하

[백태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	백태가 없음
4	b	양호	백태 발생 면적율이 5% 미만
3	c	보통	백태 발생 면적율이 5~10% 미만
2	d	미흡	백태 발생 면적율이 10~20% 미만
1	e	불량	백태 발생 면적율이 20% 이상

[콘크리트 파손]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	파손이 없음
4	b	양호	파손깊이 20mm 미만이면서 파손면적율 10% 미만,
3	c	보통	파손깊이 20~50mm 미만이면서 파손면적율 10% 미만 파손깊이 20mm 미만이면서 파손면적율 10% 이상
2	d	미흡	파손깊이 50~80mm 미만이면서 파손면적율 10% 미만 파손깊이 20~50mm 미만이면서 파손면적율 10% 이상
1	e	불량	파손깊이 80mm 이상이면서 파손면적율 10% 미만, 파손깊이 50mm 이상이면서 파손면적율 10% 이상

[신축이음 탈락 및 열화]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	부재의 탈락정도	부재의 열화정도
5	a	우수	없음	없음
4	b	양호	없음	고무판 마모, 강재의 부식(녹) 발생 등 의 경미한 열화
3	c	보통	고정 장치의 이완으로 신축이음 본체 유동	고무판 마모, 강재의 부식(녹) 발생 등 의 열화 심화
2	d	미흡	고정 장치의 파손으로 신축이음 본체 일부 탈락 및 손상	
1	e	불량	신축이음 본체 파손	

2) 건축구조물

[콘크리트 강도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$ac \geq 100\%$
4	b	양호	$ac \geq 100\%$ (경미한 손상 있음)
3	c	보통	$85\% \leq ac < 100\%$
2	d	미흡	$70\% \leq ac < 85\%$
1	e	불량	$ac < 70\%$

[콘크리트 균열]

등급			상 태			
평가 점수	평가 등급	상태	최대 균열폭	면적율 20% 이 하	면적율 20% 이 상	
5	a	우수	0.1mm 미만	a	a	
4	b	양호	0.1mm~0.2mm 미만	b	b	
3	c	보통	0.2mm~0.3mm 미만	c	c	
2	d	미흡	0.3mm~0.5mm 미만	d	d	
1	e	불량	0.5mm 이상	e	e	

[철근배근상태]

등급			상 태				
평가 점수	평가 등급	상태	평가내용	기둥	보	슬래브	크레인 빔
5	a	우수	철근배근, 피복두께기준 문제점이 없는 최상의 상태				
4	b	양호	철근배근, 피복두께기준 비교적 양호한 상태				
3	c	보통	철근배근, 피복두께기준 경미한 손상이 있는 보통의 상태				
2	d	미흡	철근배근, 피복두께기준 구조물의 안전성 확보가 곤란하고 불량한 상태 (부재내력 검토)				
1	e	불량	철근배근, 피복두께기준 구조물의 내력이 현저히 부족하여 붕괴가 우려되는 심각한 상태 (부재내력 검토)				



[콘크리트 누수 및 백태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	누수 및 백태 발생 없음
4	b	양호	누수부위가 건조한 상태의 경미한 누수흔적이 있거나, 백태발생 면적율 5% 미만
3	c	보통	누수부위가 습윤한 상태의 현저한 누수흔적이 있거나, 백태발생 면적율 5% ~ 10% 미만
2	d	미흡	누수의 진행이 관찰가능 하거나, 백태발생 면적율 10% ~ 20% 미만
1	e	불량	누수의 진행이 확연하거나, 백태발생 면적율 20% 이상

[주요 부재 단면 규격]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$s \geq 100\%$
4	b	양호	$95\% \leq s < 100\%$
3	c	보통	$90\% \leq s < 95\%$
2	d	미흡	$75\% \leq s < 90\%$
1	e	불량	$s < 75\%$

※  $s = (\text{측정 단면적} + \text{설계 단면적}) \times 100\%$

[강재 용접부결함]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	결함이 없는 최상의 상태
4	b	양호	국부적인 미세결함이 있는 양호한 상태
3	c	보통	부분적으로 결함이 있는 보통의 상태
2	d	미흡	광범위하게 결함이 발생되어 내력저하의 우려가 있는 불량한 상태
1	e	불량	내력저하가 심각히 우려되는 매우 불량한 상태

[강재 접합볼트 누락, 풀림 및 이완상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	결함이 없는 최상의 상태
4	b	양호	$T_\ell < 5\%$
3	c	보통	$5\% \leq T_\ell < 10\%$
2	d	미흡	$10\% \leq T_\ell < 30\%$
1	e	불량	$30\% \leq T_\ell < 75\%$

$T_\ell$  : 토트치 부족율(%) = 부족토크치/설계토크치×100

또는 접합 볼트너트 결함률(%) = 볼트너트누락또는풀림갯수/설계상볼트너트수×100

[강재부식]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	도장하였을 때	도장하지 않았을 때
5	a	우수	부식이 전혀 없던가 또는 평활면의 도막은 다소 울퉁불퉁함을 일으키고 부풀어 있는 상태	안정화된, 얇고 치밀한 검은색의 녹이 피막을 형성한 상태
4	b	양호	도막의 울퉁불퉁함이나 부풀은 것이 모서리에 연속적인 부식이 심하게 발생했거나 평활면에 부식이 발생한 정도	부식이 상당히 진전되었지만 두께 허용치를 만족할 때
3	c	보통	판두께의 감소가 평균하여 10%미만	
2	d	미흡	판두께의 감소가 평균하여 10%이상 15%미만	
1	e	불량	판두께의 감소가 평균하여 15%이상	

[강재 용접접합부 부식]

등급			상 태		강재 부식환경	
평가 점수	평가 등급	상태	부식 정도	상태계 수(α)	부식환경조건	부식환경 계수(β)
5	a	우수	부식이 전혀 없던가 또는 용접재의 도막은 다소 울퉁불퉁함을 일으키고 부풀어 있는 상태	1	건조환경	1.0
4	b	양호	도막의 울퉁불퉁함이나 부풀은 것이 모서리에 연속적인 부식이 심하게 발생했든가 용접재에 부식이 발생한 정도	3	습윤환경	1.1
3	c	보통	용접재 두께의 평균 감소율 5%미만	5	부식성환경	1.2
2	d	미흡	용접재 두께의 평균 감소율 5%이상 10%미만	7	고부식성환경	1.3
1	e	불량	용접재 두께의 평균 감소율 10%이상	9		

※ 용접부식의 대표값 = α×β

[볼트접합부 부식]

등급			상 태	강제 부식환경		
평가 점수	평가 등급	상태	부식 정도	상태계 수(α)	부식환경조건	부식환경 계수(β)
5	a	우수	부식이 전혀 없거나 얇고 치밀한 검은색의 녹이 피막을 형성한 상태	1	건조환경	1.0
4	b	양호	볼트 또는 접합판재에 부분적으로 들뜬 녹이 발생한 상태	3	습윤환경	1.1
3	c	보통	볼트 또는 접합판재 두께의 평균 감소율 5%미만	5	부식성환경	1.2
2	d	미흡	볼트 또는 접합판재 두께의 평균 감소율 5%이상 10%미만	7	고부식성환경	1.3
1	e	불량	볼트 또는 접합판재 두께의 평균 감소율 10%이상	9		

※ 볼트접합 부식의 대표값 =  $\alpha \times \beta$

[강제 내화피복]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$cf \geq 100\%$
4	b	양호	$cf \geq 100\%$ (경미한 손상 있음)
3	c	보통	$85\% \leq cf < 100\%$
2	d	미흡	$70\% \leq cf < 85\%$
1	e	불량	$cf < 70\%$

※  $cf = (\text{측정 두께} + \text{설계기준 두께}) \times 100\%$  또는  $(\text{부재손상면적} + \text{부재전체면적}) \times 100\%$  중 최저등급

### 3) 기계설비

#### [기계설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	도장결함 및 부식이 전혀 없는 상태
4	b	양호	도장면이 전반적으로 깨끗하고 국부적(10%미만)으로 도장의 변색, 부풀림, 탈락등이 발생하였거나, 부식이 국부적(전체면적의 5%미만)으로 발생한 상태
3	c	보통	도장면이 비교적 깨끗하고 도장의 변색, 부풀림, 탈락 등이 부분적(10~25%미만)으로 발생하였거나, 부식이 다소(전체면적의 5~15%미만) 발생한 상태
2	d	미흡	도장면이 불량하고 도장의 변색, 부풀림, 탈락 등이 크게(전체면적의 25~50%미만)발생하였거나, 전반적(전체면적의 15~30%미만)으로 발생한 상태
1	e	불량	도장면이 매우불량(전체면적의 50%이상)하고, 부식 발생의 심화(전체면적의 30%이상)된 상태

#### [펌프의 균열 및 파손]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	균열 및 파손이 전혀 없는 양호한 상태
4	b	양호	균열 및 파손이 없는 건전한 상태
3	c	보통	균열 및 파손이 없으나 균열 및 파손의 우려가 있는 상태
2	d	미흡	미세한 균열 및 파손이 있으나 기능 및 성능에 문제가 없는 상태
1	e	불량	균열 및 파손이 발생하여 시급한 조치가 필요한 상태

[펌프베드 기초부]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	베드의 기초에 균열이 전혀 없는 최상의 상태
4	b	양호	베드의 기초에 균열이 없는 양호한 상태
3	c	보통	베드의 기초에 미세균열이 부분적으로 발생한 보통의 상태
2	d	미흡	베드의 기초의 볼트주위에 균열이 발생한 상태
1	e	불량	펌프 고정이 불가능한 정도로 베드의 기초에 균열이 발생하여 보강 또는 교체 등이 필요한 상태

[벨브의 균열 및 파손]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	균열 및 파손이 전혀 없는 양호한 상태
4	b	양호	균열 및 파손이 없는 건전한 상태
3	c	보통	균열 및 파손이 없으나 균열 및 파손의 우려가 있는 상태
2	d	미흡	미세한 균열 및 파손이 있으나 기능 및 성능에 문제가 없는 상태
1	e	불량	균열 및 파손이 발생하여 시급한 조치가 필요한 상태

[배관의 누수상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	누수가 전혀 없음
4	b	양호	누수가 없음
3	c	보통	누수는 없으나 누수의 우려가 보임
2	d	미흡	누수의 진행이 관찰
1	e	불량	누수의 진행이 확연함 (분출)

[배관의 관두께]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	수도용도복장 강관(y)	주철관(t)
5	a	우수	y 30 이상	t 1.0 이상
4	b	양호	10~30 미만	0.8~1.0 미만
3	c	보통	5~10 미만	0.6~0.8 미만
2	d	미흡	2~5 미만	0.4~0.6 미만
1	e	불량	2 미만	t 0.4 미만

[배관 변형]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	관체 변형율(%)	비고
5	a	우수	없음	-수도용도복장강관에 적용하며 주철관은 해당 없음 -관체 변형률은 내측 내경에 의해, 평균내경과 최대 또는 최소내경의 비율에 의해 구한 값임.
4	b	양호	3% 미만	
3	c	보통	3 ~ 15% 미만	
2	d	미흡	15 ~ 30% 미만	
1	e	불량	30% 이상	

[배관 도장 및 부식]

등급			상 태		비고
평가 점수	평가 등급	상태			
5	a	우수	도장결함 및 부식이 전혀 없는 상태		-수도용도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용
4	b	양호	도장면이 전반적으로 깨끗하고 국부적(10%미만)으로 도장의 변색, 부풀림, 탈락등이 발생하였거나, 경미한 전면부식이 조금 발생되거나 건전부 모재두께의 10%미만의 점부식이 관찰되는 상태		
3	c	보통	도장면이 비교적 깨끗하고 도장의 변색, 부풀림, 탈락등이 부분적(10~25%미만)으로 발생하였거나, 가벼운 전면부식이 전단면에 발생되었거나 건전부 모재두께의 10~30% 미만의 점부식이 관찰되는 상태		
2	d	미흡	도장면이 불량하고 도장의 변색, 부풀림, 탈락 등이 크게(전체면적의 25~50%미만)발생하였거나, 심화된 전면부식이 전단면에 발생되었거나 건전부 모재두께의 30~50% 미만의 점부식이 관찰되는 상태		
1	e	불량	도장면이 매우불량(전체면적의 50%이상)하고, 전면부식과 건전부 모재두께의 50%이상의 점부식이 관찰되는 상태		



[와이어로프 상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	와이어로프의 손상이 없는 양호한 상태
4	b	양호	와이어로프의 손상이 없는 건전한 상태
3	c	보통	와이어로프 표면에 그리스 도포가 불량한 상태
2	d	미흡	와이어로프 표면에 산화부식이 진행상태이거나, 약간의 꺾임 등이 발생한 상태
1	e	불량	와이어로프의 직경감소가 7%이상이거나, 하나의 꼬임에서 소선절단이 10% 이상발생하였거나, 심한 킁크가 있는 상태

[수문의 부식]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	부식 발생 면적비율이 0~0.03%이하
4	b	양호	부식 발생 면적비율이 0.03~2.0%이하, 건전부 모재두께의 5% 미만의 점부식이 관찰되는 상태
3	c	보통	부식 발생 면적비율이 2.0~5.0%이하이거나, 건전부 모재두께의 5~10%의 점부식이 관찰되는 상태
2	d	미흡	부식 발생 면적비율이 5.0~10.0%이하이거나, 건전부 모재두께의 10~30%의 점부식이 관찰되는 상태로 보수가 필요한 상태
1	e	불량	부식 발생 면적비율이 11.0%이상이거나, 건전부 모재두께의 30% 이상의 점부식으로 인하여 시급히 보강이 필요한 상태

[수문의 변형]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	변형이 없는 양호한 상태
4	b	양호	변형이 없는 건전한 상태
3	c	보통	부분변형이 있으나 문틀에 밀착되는 상태
2	d	미흡	변형으로 문틀에 밀착하지 못하여 별도의 장치를 이용하여 문틀에 밀착되는 상태
1	e	불량	변형으로 작동이 원활하지 못한 상태로 작동시 접촉, 끼임 발생과 부분적인 두께감소가 1/2 이상인 경우

[수문의 와이어로프 및 랙바]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	와이어로프의 손상이 없는 양호한 상태 랙바에 손상이 없는 양호한 상태
4	b	양호	와이어로프의 손상이 없는 건전한 상태 랙바에 손상이 없는 건전한 상태
3	c	보통	와이어로프 표면에 그리스 도포가 불량한 상태 랙바의 마모가 허용범위 이내의 정상적이나 그리스 도포가 불량하거나 부식이 발생한 상태
2	d	미흡	와이어로프 표면에 산화부식이 진행상태이거나, 약간의 꺾임 등이 발생한 상태 랙바의 직경감소가 10%이내이나 편마모가 발생한 경우
1	e	불량	와이어로프의 직경감소가 7%이상이거나, 하나의 꼬임에서 소선절단이 10% 이상 발생하였거나, 심한 키크가 있는 상태 랙바의 최대 직경감소가 10%이상 발생한 경우

#### 4) 전기설비

[수변전설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[배전설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[동력설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[배관배선설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[조명설비의 외관상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	매우 양호하고 결함이 전혀없는 상태
4	b	양호	전반적으로 양호하나 일부 접속부재의 경미한 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10% 미만)
3	c	보통	부수자재의 결함이 발생한 상태 (전체시설의 10~25% 미만)
2	d	미흡	주요부재의 보수보강이 필요한 상태 (전체시설의 25~50% 미만)
1	e	불량	주요부재의 안전성에 위험이 있어 즉각 사용금지하고 교체가 필요(전체시설 의 50% 이상)

[조명설비의 조도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$lx \geq 300$
4	b	양호	$300 > lx \geq 200$
3	c	보통	$200 > lx \geq 150$
2	d	미흡	$150 > lx \geq 100$
1	e	불량	$lx < 100$

(3) 안전성평가

1) 건물기초

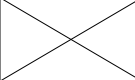
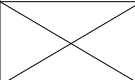
평가기준 검토항목	구분	a	b	c	d	e
	지지력	평상시	1.2이상	1.2이상	1.2미만 ~1.0이상	1.0미만 ~0.75이상
지진시		1.0이상	1.0이상	1.0미만 ~0.9이상	0.9미만 ~0.75이상	0.75 미만

2) 옹벽

[내적안정성]

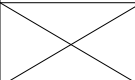

구분	평가기준 검토항목	a	b	c	d	e	비고
	콘크리트 옹벽	전단력 검토 휨모멘트 검토	1.0이상	1.0이상 (허용안 전율 이상이며 손상이 있는 경우)	1.0미만 ~ 0.9이하	0.9미만 ~ 0.75이하	
보강토 옹벽	인발파괴에 대한 안정 보강재 파단에 대한 안정	1.0미만 ~ 0.9이하			0.9미만 ~ 0.75이하	0.75미만	보강재적용길/ 보강재소요길 이
석축	벽체의 평균폭	1.0미만 ~ 0.9이하			0.9미만 ~ 0.75이하	0.75미만	실제평균폭/평 균폭산정값

[콘크리트 옹벽, 석축의 외적안정성]

평가기준 검토항목	구분	a	b	c	d	e
활동	평상시	1.5이상	1.5이상*	1.5미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.1이상	1.1이상*	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
전도		2.0이상	2.0이상*	2.0미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
지지력	평상시	1.2이상	1.2이상*	1.2미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.0이상	1.0이상*	1.0미만~0.9이상	0.9미만~0.75이상	0.75미만
침하		1.2이상		1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만

- (주) 1. \* : 허용안전율은 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우  
 2. 지지력은 (지반의 허용지지력/작용응력)의 비로 평가  
 3. 침하는 (보호시설의 허용침하량/침하발생량)의 비로 평가  
 4. 활동은 수평활동과 원호활동을 구분하여 실시

[보강토 옹벽, 개비옹벽의 외적안정성]

평가기준 검토항목	구분	a	b	c	d	e
저면활동	평상시	1.5이상	1.5이상*	1.5미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.1이상	1.1이상*	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
원호활동	평상시	1.3이상	1.3이상*	1.3미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
		1.1이상	1.1이상*	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
전도		1.5이상	1.5이상*	1.5미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
지지력	평상시	1.2이상	1.2이상*	1.2미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.0이상	1.0이상*	1.0미만~0.9이상	0.9미만~0.75이상	0.75미만
침하		1.2이상	1.2미만 ~1.1이상	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만

- (주) 1. \* : 허용안전율은 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우
- 2. 지지력은 (지반의 허용지지력/작용응력)의 비로 평가
- 3. 침하는 (보호시설의 허용침하량/침하발생량)의 비로 평가
- 4. Rigid Box 위에 축조된 보강토 옹벽의 해석은 Box와 옹벽을 일체로 해석

3) 건축물

[건축물 기울기]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	기울기(각변위)	내 용
5	a	우수	1/750 이내	예민한 기계기초의 위험 침하 한계
4	b	양호	1/500 이내	구조물의 균열발생 한계
3	c	보통	1/250 이내	구조물의 경사도 감지
2	d	미흡	1/150 이내	구조물의 구조적 손상이 예상되는 한계
1	e	불량	1/150 초과	구조물이 위험할 정도

[부재의 변위 및 변형]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	보 및 슬래브의 처짐	내 용
5	a	우수	경간길이/480 이하	일상적인 유지관리
4	b	양호	경간길이/480 이하 (경미한 손상)	지속적인 주의관찰 필요시 간단한 보수
3	c	보통	경간길이/240 이하	지속적인 감시, 부분적인 보수·보강
2	d	미흡	경간길이/150 이하	대규모 보수·보강 필요, 사용제한 여부 판단
1	e	불량	경간길이/150 초과	긴급보강 및 사용금지, 철거 또는 재건축



[건축물 부재내력]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	분석치	내용
5	a	우수	SF 이상	$SF \geq 100\%$
4	b	양호		$SF \geq 100\%$ (경미한 손상있음)
3	c	보통	$90 \leq SF < 100$	$90\% \leq SF < 100\%$
2	d	미흡	SF < 90	$75\% \leq SF < 90\%$
1	e	불량		$SF < 75\%$

4) 전기설비

[수변전설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
절연유 상태	5	a	우수	절연파괴 : 30[kV] 이상 산가 : 0.2[mgKOH/g] 이하
	4	b	양호	절연파괴 : 30[kV] 미만 산가 : 0.2[mgKOH/g] 이하
	3	c	보통	절연파괴 : 30[kV] 이상 산가 : 0.2[mgKOH/g] 초과
	2	d	미흡	절연파괴 : 30[kV] 미만 산가 : 0.2[mgKOH/g] 초과
	1	e	불량	절연파괴 : 20[kV] 미만 산가 : 0.2[mgKOH/g] 초과
접지 저항	5	a	우수	1종[Ω] < 2 3종[Ω] < 2
	4	b	양호	2 < 1종[Ω] ≤ 5 2 < 3종[Ω] ≤ 50
	3	c	보통	5 < 1종[Ω] ≤ 10 50 < 3종[Ω] ≤ 100
	2	d	미흡	10 < 1종[Ω] ≤ 12 100 < 3종[Ω] ≤ 120
	1	e	불량	12 < 1종[Ω] 120 < 3종[Ω]
절연 내력	5	a	우수	규정치에서 견디고, 누설전류 완만한 하락곡선
	4	b	양호	규정치에서 견디나, 누설전류 스윙발생
	3	c	보통	규정치에서 견디나, 누설전류 간헐적 킥발생
	2	d	미흡	규정치에서 견디나, 누설전류 지속적 킥 발생
	1	e	불량	실시 전 절연저항값 부족
차단기 진공도 측정	5	a	우수	누설전류 2mA 이하
	4	b	양호	누설전류 4mA 이하
	3	c	보통	누설전류 8mA 이하
	2	d	미흡	누설전류 16mA 이하
	1	e	불량	누설전류 12mA 초과

[배전설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
접지 저항	5	a	우수	1종[Ω] < 2 3종[Ω] < 2
	4	b	양호	2 < 1종[Ω] ≤ 5 2 < 3종[Ω] ≤ 50
	3	c	보통	5 < 1종[Ω] ≤ 10 50 < 3종[Ω] ≤ 100
	2	d	미흡	10 < 1종[Ω] ≤ 12 100 < 3종[Ω] ≤ 120
	1	e	불량	12 < 1종[Ω] 120 < 3종[Ω]
절연 내력	5	a	우수	규정치에서 견디고, 누설전류 완만한 하락곡선
	4	b	양호	규정치에서 견디나, 누설전류 스윙발생
	3	c	보통	규정치에서 견디나, 누설전류 간헐적 킥발생
	2	d	미흡	규정치에서 견디나, 누설전류 지속적 킥 발생
	1	e	불량	실시 전 절연저항값 부족
진공도 측정	5	a	우수	누설전류 1.25mA 이하
	4	b	양호	누설전류 2.5mA 이하
	3	c	보통	누설전류 5mA 이하
	2	d	미흡	누설전류 7.5mA 이하
	1	e	불량	누설전류 7.5mA 초과
계전기 성능	5	a	우수	최소동작전류 ±3%이내 한시특성시간 ±9%이내 시퀀스동작 정상
	4	b	양호	최소동작전류 ±5%이내 한시특성시간 ±12%이내 시퀀스동작 정상
	3	c	보통	최소동작전류 ±5%초과 한시특성시간 ±12%이내 시퀀스동작 정상
	2	d	미흡	최소동작전류 ±5%초과 한시특성시간 ±12%초과 시퀀스동작 정상
	1	e	불량	최소동작전류 ±5%초과 한시특성시간±12%초과 시퀀스동작 불량

[동력설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
절연 저항	5	a	우수	(3.3 kV) $22.5 \leq$ 측정값[MΩ] (6.6 kV) $45 \leq$ 측정값[MΩ]
	4	b	양호	(3.3 kV) : $15 \leq$ 측정값[MΩ] < 22.5 (6.6 kV) : $30 \leq$ 측정값[MΩ] < 45
	3	c	보통	(3.3 kV) : $7.5 \leq$ 측정값[MΩ] < 15 (6.6 kV) : $15 \leq$ 측정값[MΩ] < 30
	2	d	미흡	(3.3 kV) : $3 \leq$ 측정값[MΩ] < 7.5 (6.6 kV) : $6 \leq$ 측정값[MΩ] < 15
	1	e	불량	(3.3 kV) : 측정값[MΩ] < 3 (6.6 kV) :: 측정값[MΩ] < 6
접지 저항	5	a	우수	1종[Ω] < 2 3종[Ω] < 2
	4	b	양호	$2 < 1종[Ω] \leq 5$ $2 < 3종[Ω] \leq 50$
	3	c	보통	$5 < 1종[Ω] \leq 10$ $50 < 3종[Ω] \leq 100$
	2	d	미흡	$10 < 1종[Ω] \leq 12$ $100 < 3종[Ω] \leq 120$
	1	e	불량	$12 < 1종[Ω]$ $120 < 3종[Ω]$
절연 내력	5	a	우수	규정치에서 견디고, 누설전류 완만한 하락곡선
	4	b	양호	규정치에서 견디나, 누설전류 스윙발생
	3	c	보통	규정치에서 견디나, 누설전류 간헐적 킥발생
	2	d	미흡	규정치에서 견디나, 누설전류 지속적 킥 발생
	1	e	불량	실시 전 절연저항값 부족
성극비	5	a	우수	$2.0 \leq$ 측정값
	4	b	양호	$1.25 \leq$ 측정값 < 2.0
	3	c	보통	$1.1 \leq$ 측정값 < 1.25
	2	d	미흡	$1.0 \leq$ 측정값 < 1.1
	1	e	불량	측정값 < 1.0
고조파	5	a	우수	3% 이하
	4	b	양호	5% 이하
	3	c	보통	10% 이하
	2	d	미흡	20% 이하
	1	e	불량	40% 이하

[배관배선설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
절연 저항 5000V	5	a	우수	$7500 \leq \text{측정값[M}\Omega]$
	4	b	양호	$5000 \leq \text{측정값[M}\Omega] < 7500$
	3	c	보통	$2500 \leq \text{측정값[M}\Omega] < 5000$
	2	d	미흡	$500 \leq \text{측정값[M}\Omega] < 2500$
	1	e	불량	$\text{측정값[M}\Omega] < 500$
접지 저항	5	a	우수	1종[Ω] < 2 3종[Ω] < 2
	4	b	양호	$2 < 1\text{종}[\Omega] \leq 5$ $2 < 3\text{종}[\Omega] \leq 50$
	3	c	보통	$5 < 1\text{종}[\Omega] \leq 10$ $50 < 3\text{종}[\Omega] \leq 100$
	2	d	미흡	$10 < 1\text{종}[\Omega] \leq 12$ $100 < 3\text{종}[\Omega] \leq 120$
	1	e	불량	$12 < 1\text{종}[\Omega]$ $120 < 3\text{종}[\Omega]$
절연 내력	5	a	우수	규정치에서 견디고, 누설전류 완만한 하락곡선
	4	b	양호	규정치에서 견디나, 누설전류 스윙발생
	3	c	보통	규정치에서 견디나, 누설전류 간헐적 킁발생
	2	d	미흡	규정치에서 견디나, 누설전류 지속적 킁 발생
	1	e	불량	실시 전 절연저항값 부족
성극비	5	a	우수	$1.5 \leq \text{측정값}$
	4	b	양호	$1.0 \leq \text{측정값} < 1.5$
	3	c	보통	$0.75 \leq \text{측정값} < 1.0$
	2	d	미흡	$0.5 \leq \text{측정값} < 0.75$
	1	e	불량	$\text{측정값} < 0.5$

[조명설비]

평가 항목	등급			상 태
	평가 점수	평가 등급	상태	
절연 저항	5	a	우수	$5 \leq \text{측정값[M}\Omega]$
	4	b	양호	$1 \leq \text{측정값[M}\Omega] < 5$
	3	c	보통	$0.2 \leq \text{측정값[M}\Omega] < 1.0$
	2	d	미흡	$0.1 \leq \text{측정값[M}\Omega] < 0.2$
	1	e	불량	$\text{측정값[M}\Omega] < 0.1$
접지 저항	5	a	우수	$1\text{종}[\Omega] < 2$ $3\text{종}[\Omega] < 2$
	4	b	양호	$2 < 1\text{종}[\Omega] \leq 5$ $2 < 3\text{종}[\Omega] \leq 50$
	3	c	보통	$5 < 1\text{종}[\Omega] \leq 10$ $50 < 3\text{종}[\Omega] \leq 100$
	2	d	미흡	$10 < 1\text{종}[\Omega] \leq 12$ $100 < 3\text{종}[\Omega] \leq 120$
	1	e	불량	$12 < 1\text{종}[\Omega]$ $120 < 3\text{종}[\Omega]$

(4) 내구성평가

1) 토목구조물

[탄산화 잔여 깊이]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
5	a	우수	30mm 이상	탄산화에 의한 부식이 발생할 우려없음
4	b	양호	10mm 이상 ~ 30mm 미만	향후 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
3	c	보통	0mm 이상 ~ 10mm 미만	경우에 따라서 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
2	d	미흡	0mm 미만	철근부식 발생
1	e	불량	-	

[전염화물 이온량]

등급			상 태	
평가 점수	평가 등급	상태	전염화물 이온량	철근부식의 가능성
5	a	우수	염화물 $\leq 0.3\text{kgf/m}^3$	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
4	b	양호	$0.3\text{kgf/m}^3 < \text{염화물} < 1.2\text{kgf/m}^3$	콘크리트 중의 염화물 이온농도가 높으나, 부식이 발생할 가능성이 적음
3	c	보통	$1.2\text{kgf/m}^3 < \text{염화물} < 2.5\text{kgf/m}^3$	향후 염화물에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
2	d	미흡	염화물 $\geq 2.5\text{kgf/m}^3$	철근부식 발생
1	e	불량	-	

[시설물 노후도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	시설마감에 손상이나 노후화 흔적이 없는 최상의 상태
4	b	양호	시설마감이 손상되었거나 간단한 보수로 처리가 가능한 비교적 양호한 상태
3	c	보통	시설마감이 손상되고 노후화가 진행되어 부분적인 보수·교체가 요구되는 상태
2	d	미흡	시설마감의 손상과 노후화가 상당히 진전되어 성능이 감소됨으로써 긴급한 보수·교체가 요구되는 상태
1	e	불량	시설마감의 노후화가 심각하고 성능의 급격한 감소로 마감이 대폭적으로 교체되어야 하거나 보수 또는 교체 자체가 불가능한 상태

2) 건축구조물

[콘크리트 탄산화]

등급			상 태				
평가 점수	평가 등급	상태	평가내용 (m/sec)	기둥	보	슬래브	크레인빔
5	a	우수	$C_t \leq 0.25D$				
4	b	양호	$0.25D < C_t \leq 0.5D$				
3	c	보통	$0.5D < C_t \leq 0.75D$				
2	d	미흡	$0.75D < C_t \leq D$				
1	e	불량	$C_t > D$				

※  $C_t$  : 콘크리트 탄산화 깊이(cm), D : 측정된 철근의 피복두께(cm)



[초음파속도]

등급			상 태				
평가 점수	평가 등급	상태	평가내용 (m/sec)	기동	보	슬래브	크레인빔
5	a	우수	4500 이상				
4	b	양호	3500~4500				
3	c	보통	3000~3500				
2	d	미흡	2000~3000				
1	e	불량	2000 미만				

3) 기계설비

[기계설비 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	5년 미만
4	b	양호	5년 미만 ~ 10년 미만
3	c	보통	10년 이상 ~ 20년 미만
2	d	미흡	20년 이상 ~ 40년 미만
1	e	불량	40년 이상

4) 전기설비

[수변전설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	$5 \leq$ 경과년도 < 10
3	c	보통	$10 \leq$ 경과년도 < 15
2	d	미흡	$15 \leq$ 경과년도 < 20
1	e	불량	$20 \leq$ 경과년도

[배전설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	$5 \leq$ 경과년도 < 10
3	c	보통	$10 \leq$ 경과년도 < 15
2	d	미흡	$15 \leq$ 경과년도 < 20
1	e	불량	$20 \leq$ 경과년도

[동력설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	5 ≤ 경과년도 < 10
3	c	보통	10 ≤ 경과년도 < 20
2	d	미흡	20 ≤ 경과년도 < 30
1	e	불량	30 ≤ 경과년도

[배관배선설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	5 ≤ 경과년도 < 10
3	c	보통	10 ≤ 경과년도 < 15
2	d	미흡	15 ≤ 경과년도 < 20
1	e	불량	20 ≤ 경과년도

[조명설비의 내구연한]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	경과년도 < 5
4	b	양호	$5 \leq$ 경과년도 < 10
3	c	보통	$10 \leq$ 경과년도 < 15
2	d	미흡	$15 \leq$ 경과년도 < 20
1	e	불량	$20 \leq$ 경과년도

(5) 사용성능평가

구분			조사항목	
사용 성능	수요 및 용량		용량	
			사용환경 변화	
	건축구조물	설계기준	강제강도	
	기계설비		펌프	진동크기, 성능, 소음크기
			밸브류	작동상태, 누수상태
			천정주행기	작동상태
			천정주행기중기	작동상태
			제진기, 스크린	작동상태, 설치상태
			수문	작동상태, 누수, 마찰부 손상
	전기설비		수변전설비	운전 및 조작 상태
			배전설비	운전 및 조작 상태
			동력설비	운전 및 조작 상태

가. 용량

- 양(배)수장이 단위시설당 용량이 용수량이 현재의 요구량을 만족하는지 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	용량이 충분한 상태
1	e	불량	용량이 부족한 상태

나. 사용환경 변화

- 양(배)수장 준공 이후 설계기준, 주변여건 등 사용환경의 변화를 현재 만족하는지 평가한다.

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	사용환경 변화를 충분히 만족하여 지속사용이 가능한 상태
1	e	불량	사용환경 변화를 만족하지 못하여 성능개선이 필요한 상태

2) 건축구조물

[강재 강도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	$a_s \geq 100\%$
4	b	양호	$95\% \leq a_s < 100\%$
3	c	보통	$90\% \leq a_s < 95\%$
2	d	미흡	$75\% \leq a_s < 90\%$
1	e	불량	$a_s < 75\%$

$$a_s = (\text{측정강도} + \text{설계기준강도}) \times 100\%$$

### 3) 기계설비

#### [펌프 진동크기]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	진동한계(RMS, mm/s) < 1.4
4	b	양호	진동한계(RMS, mm/s) < 2.8
3	c	보통	진동한계(RMS, mm/s) < 4.5
2	d	미흡	진동한계(RMS, mm/s) < 7.1
1	e	불량	진동한계(RMS, mm/s) ≥ 7.1

※ 진동한계값은 ISO 10816-3 기준에 근거하여 시설물 종류 및 현장여건에 따라 변경가능

#### [펌프 성능]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	펌프작동이 원활하고 손상이 전혀 없음
4	b	양호	원동기과부하, 압력, 유량에 이상이 없고 베어링발열이나 이상음이 경미하게 발생
3	c	보통	원동기과부하, 압력, 유량에 이상이 없고 베어링발열이나 이상음이 발생하나 즉각적인 조치가 필요없음
2	d	미흡	원동기과부하, 압력, 유량에 이상이 있으나 작동이 가능
1	e	불량	원동기과부하, 압력, 유량에 이상이 확인하여 작동이 불가능함

[펌프 소음크기]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	펌프1m에서 평균소음의 크기가 80dB 이하
4	b	양호	펌프1m에서 평균소음의 크기가 80dB 초과, 90dB 이하
3	c	보통	펌프1m에서 평균소음의 크기가 90dB 초과, 100dB 이하
2	d	미흡	펌프1m에서 평균소음의 크기가 100dB 초과, 120dB 이하
1	e	불량	펌프1m에서 평균소음의 크기가 120dB 초과

[밸브류의 작동상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	밸브의 작동이 원활한 양호한 상태
4	b	양호	밸브의 작동이 원활한 건전한 상태
3	c	보통	밸브의 작동에는 문제가 없고 경미한 손상이 있는 상태
2	d	미흡	밸브의 작동은 가능한 고장으로 수리가 필요한 상태
1	e	불량	밸브의 작동이 불가능한 상태



[밸브류의 누수정도]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	밸브의 축봉부위 등에서 누수가 전혀 없는 양호한 상태
4	b	양호	밸브의 축봉부위 등에서 누수가 없는 건전한 상태
3	c	보통	밸브의 축봉부위 등에서 누수가 없으나 누수의 우려가 있는 상태
2	d	미흡	밸브의 축봉부위 등에서 누수가 관찰되는 상태
1	e	불량	밸브의 축봉부위 등에서 누수의 진행이 확인한 상태

[천정주행기중기의 작동상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	작동이 원활한 양호한 상태
4	b	양호	작동이 원활한 건전한 상태
3	c	보통	이상소음이나 진동 등의 발생이 있으나 작동에는 이상이 없는 상태
2	d	미흡	이상소음이 과다하게 발생하고 고착으로 회전이 불량한 상태
1	e	불량	진동이 과다하게 발생하여 작동이 불가능한 상태

[제진기 작동]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	작동이 원활한 양호한 상태
4	b	양호	작동이 원활한 건전한 상태
3	c	보통	이상소음이나 진동 등의 발생이 있으나 작동에는 이상이 없는 상태
2	d	미흡	이상진동으로 소음이 과다하게 발생하고 고착으로 회전이 불량한 상태
1	e	불량	진동이 과다하게 발생하여 작동이 불가능한 상태

[제진기 및 스크린의 설치]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	손상이 전혀 없는 상태
4	b	양호	흄 및 좌굴이 있으나 스크린 간격 이내임
3	c	보통	흄 및 좌굴이 스크린간격과 유사한 상태
2	d	미흡	흄 및 좌굴이 스크린간격 보다 커 이물질이 들어갈 수 있는 상태
1	e	불량	스크린의 기능이 상실된 상태

[수문의 작동상태]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	전동 및 수동 상승, 하강에 이상이 없는 양호한 상태이며, 상하한 자동정지도 양호한 상태
4	b	양호	작동시 이상소음이 없으며, 상승 및 하강에 이상이 없는 건전한 상태
3	c	보통	작동시 구동부에 다소의 이상진동 및 소음발생 등이 있으나 상승, 하강은 원활한 상태
2	d	미흡	전동작동이 원활하지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한작동이 가능한 상태
1	e	불량	전혀 작동되지 않는 상태

[수문의 누수]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	누수가 없는 양호한 상태
4	b	양호	누수 가능성이 없는 건전한 상태
3	c	보통	미세한 누수가 있는 경미한 상태
2	d	미흡	지수고무의 훼손 및 변형 등으로 밀착불량에 따른 부분적인 누수가 발생하는 상태
1	e	불량	문비의 변형 등으로 누수가 다량으로 발생하여 별도 부대설비(모래주머니 등)를 설치하여야 지수가 가능한 상태

[수문의 마찰부손상]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	부식 및 고착이 없고 회전이 원활한 양호한 상태
4	b	양호	부식 및 고착이 있으나 회전이 원활한 건전한 상태
3	c	보통	부식 및 고착으로 회전 및 작동이 불량하나 문비의 작동에는 이상이 없는 상태
2	d	미흡	고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 문비작동이 불량한 상태
1	e	불량	부식 및 고착으로 회전이 불량하여 작동이 불가능한 상태

4) 전기설비

[수변전설비의 조작 및 운전]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	경미한 결함이 있으나 연계동작이 양호한 상태
3	c	보통	보조부재의 결함이 있으나 조작 및 운전 에 지장이 없는 상태
2	d	미흡	오동작이 발생하여 운전 에 지장을 초래하는 상태
1	e	불량	심각한 파손으로 조작 및 운전이 불가능한 상태

[배전설비의 조작 및 운전]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	경미한 결함이 있으나 연계동작이 양호한 상태
3	c	보통	보조부재의 결함이 있으나 조작 및 운전에는 지장이 없는 상태
2	d	미흡	오동작이 발생하여 운전에는 지장을 초래하는 상태
1	e	불량	심각한 파손으로 조작 및 운전이 불가능한 상태

[동력설비의 조작 및 운전]

등급			상 태
평가 점수	평가 등급	상태	
5	a	우수	문제점이 없는 최상의 상태
4	b	양호	경미한 결함이 있으나 연계동작이 양호한 상태
3	c	보통	보조부재의 결함이 있으나 조작 및 운전에는 지장이 없는 상태
2	d	미흡	오동작이 발생하여 운전에는 지장을 초래하는 상태
1	e	불량	심각한 파손으로 조작 및 운전이 불가능한 상태

[별표 5] 농업기반시설 종합 성능평가 방법

(5) 종합 성능평가

가. 농업기반시설의 종합 성능평가는 안전성능, 내구성능 및 사용성능으로 평가부문을 구분하여 평가결과를 기록하고, 중요도를 반영하여 성능평가지수와 성능평가등급을 부여한다.

시설 개요	시설물명	시설명	* 시설명, 시설고유번호 등 기재			
	부재명					
	시설분류코드					
평가결과						
평가항목	세부지표	평가기준	점수	평가 결과(M)	중요도 (F)	평가지수 (M×F)
안전성능	물리적 상태평가 결과	불량	1			
		미흡	2			
		보통	3			
		양호	4			
		우수	5			
	안전성평가	불량	1			
		미흡	2			
		보통	3			
		양호	4			
		우수	5			
내구성능	콘크리트 압축강도	불량	1			
		미흡	2			
		보통	3			
		양호	4			
		우수	5			
	탄산화 잔여 깊이	불량	1			
		미흡	2			
		보통	3			
		양호	4			
		우수	5			
사용성능						
종합평가결과 :						
부문	평가지수 합계	부문중요도	성능평 가지수	성능평 가등급	종합성능평가 지수	종합성능평가 등급
안전성능(SF)						
내구성능(D)						
사용성능(S)						
평가의견 및 기타사항 :						

나. 성능평가의 성능간의 가중치 범위는 다음과 같이 산정하였다. 관리주체는 관리 시설의 성격에 맞게 성능간의 가중치를 범위내에서 조절하여 평가한다. 가중치는 다음과 같이 안전성능, 내구성능, 사용성능의 합이 100이 되도록 도출하여야 한다.

성능	가중치(%)
안전성능	50~65
내구성능	15~30
사용성능	5~35
합계	100

<평가항목별, 평가부문간 중요도 도출방법>

평가부문	평가항목 a	평가기준	가중치(%)
안전성능 (60%)	평가지표 b	각 성능항목별 가중치 합=100	70
	평가지표 c		10
	평가지표 d		20
	평가지표 e		30
내구성능 (20%)	평가지표 f		50
	평가지표 g		20
	평가지표 h		100
사용성능 (20%)			

안전성능+내구성능+사용성능=100

다. 성능평가지 활용되는 중요도는 시설물의 서비스 제공에 영향을 미치는 정도를 말하며, 객관성을 확보하고 있는 전문가 10인 이상이 참여하는 계층화 분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 사용하여 결정한다. 개별시설 내에서 활용하는 중요도는 시설관리자 중에서 선정한 전문가들을 활용하여 AHP 분석방법으로 결정한다. 다만, AHP 분석이 적절치 않을 경우 전문가의 협의와 시설관리자의 참여하에 가중치를 결정할 수 있다.

라. 전기설비의 경우에는 평가항목의 중복을 고려하여 다음과 같이 평가항목을 평가한다. 평가항목이 평가부문에 중복일 경우 주요소에서만 평가하고 보조요소에서는 따로 평가하지 않는다.

< 전기설비의 평가부문별, 평가부문간 중요도 >

평가부문	평가항목	평가기준	중요도(예시)
안전성 능 (50%)	평가항목 a		65%
	평가항목 b (주요소)		20%
	평가지표 c (보조요소)	평가항목 c (주요소) 참조	5%
	평가항목 d (보조요소)	평가항목 d (주요소) 참조	5%
	평가항목 e (보조요소)	평가항목 e (주요소) 참조	5%
내구성 능 (30%)	평가항목 c (주요소)		65%
	평가항목 d (주요소)		20%
	평가항목 e (보조요소)	평가항목 e (주요소) 참조	5%
	평가항목 g		5%
	평가항목 h (보조요소)	평가항목 h (주요소) 참조	5%
사용성 능 (20%)	평가항목 e (주요소)		10%
	평가항목 h (주요소)		10%
	평가항목 i		30%
	평가항목 j		25%
	평가항목 b (보조요소)	평가항목 b (주요소) 참조	25%

마. 농업기반시설의 종합평가는 시설별로 성능평가지수와 성능평가등급을 평가한다. 종합성능평가 지수에 따른 종합성능평가 등급부여 기준은 다음과 같다.

성능평가지수(E)	성능평가등급	성능 수준 및 유지관리 필요성
$4.5 \leq E \leq 5.0$	A (우수)	결함·손상이 없고 내구성능 저하 가능성 낮음
$3.5 \leq E < 4.5$	B (양호)	경미한 결함이 있는 상태로 진행여부를 지속 관찰
$2.5 \leq E < 3.5$	C (보통)	안전에는 지장이 없으나, 간단한 보수·보강 필요
$1.5 \leq E < 2.5$	D (미흡)	성능이 기준이 미치지 못해 긴급한 보수·보강 필요
$1.0 \leq E < 1.5$	E (불량)	심각한 결함이 있어 즉각 사용중단하고 보강·개축 필요



- 목 차 -

가. 서두

나. 성능평가 개요

다. 자료수집 및 분석

라. 성능목표 및 관리지표의 선정

마. 농업기반시설의 평가부문별(안전성능, 내구성능, 사용성능) 평가

바. 성능평가 결과의 시설별, 지역별 분석

사. 농업기반시설의 종합평가 결과

아. 농업기반시설 유지관리 전략 제안

자. 종합결론

차. 부록



농업생산기반시설 성능개선 및  
자 율 학 습 물 관 리  
최 종 보 고 서

## 부록 2

# 저수지 성능개선 투자순위 의사결정 적용예시

□ 저수지 성능개선 대상 선정

○ 저수지의 성능개선 적합성 검토를 위한 성능개선 검토대상 선정

- 저수지 성능개선사업 수행을 위해 관리중인 10개의 저수지에 대해서 성능개선 투자우선순위 의사결정 프로세스에 따라 성능개선사업 대상 저수를 선정하고 우선순위를 결정
  
- 의사결정 프로세스 수행을 위한 저수지 10개소의 현황정보 필요 검토항목은 다음과 같음

Table 1 관리저수지 현황정보

구분	공용년수	저수용량 (만 m <sup>3</sup> )	안전점검 등급	내진보강 여부	전회차 평가결과
A저수지	80	600	E	보강필요	보수보강대상이었으나 조치 미수행
B저수지	52	350	C	보강필요	보수보강대상으로 조치수행
C저수지	45	800	C	보강필요	보수보강대상이었으나 조치 미수행
D저수지	65	450	C	보강완료	성능개선검토대상이었으나조치 미수행
E저수지	61	350	D	보강필요	성능개선검토대상이었으나조치 미수행
F저수지	49	310	D	보강필요	보수보강대상으로 조치수행
G저수지	72	550	E	보강필요	보수보강대상으로 조치수행
H저수지	62	400	B	보강완료	비대상
I저수지	82	510	D	보강필요	보수보강대상이었으나 조치 미수행
J저수지	48	250	B	보강완료	보수보강대상으로 조치수행

Table 2 관리저수지 필요 검토 항목

구분	하류부 예상 인명피해	하류부 도시,집단거주 지역,국가중요 시설 존재여부	제방높이 (m)	활용도	수질등급
A저수지	110	존재	19	주수원공	V
B저수지	15	존재	7	보조 수원공	IV
C저수지	51	존재	20	보조 수원공	V
D저수지	62	미존재	8	보조 수원공	VI
E저수지	55	존재	6	주수원공	VI
F저수지	38	존재	17	주수원공	V
G저수지	101	존재	16	주수원공	V
H저수지	18	존재	6	활용저하	IV
I저수지	70	존재	18	보조 수원공	IV
J저수지	1	미존재	8	활용저하	IV

○ PDCA 기법을 적용한 성능개선 투자우선순위 선정

- (Plan) 성능개선검토대상 선정

: 10개소 저수지에 대해서 손상가능성과 피해규모를 평가하여 리스크 매트릭스를 통한 성능개선검토대상을 선정

① 각 저수지별로 손상가능성 검토항목과 기준에 의해 평가

Table 3 손상가능성 검토항목 따른 배점

구분	공용년수	저수용량 (만m <sup>3</sup> )	안전점검 등급	내진보강 여부	전회차 평가결과
A저수지	5	5	5	5	4
B저수지	3	3	3	5	3
C저수지	2	5	3	5	4
D저수지	4	3	3	1	5
E저수지	4	3	4	5	4
F저수지	2	3	4	5	3
G저수지	5	5	5	5	3
H저수지	4	3	2	1	1
I저수지	5	5	4	5	4
J저수지	2	1	2	1	3

② 각 저수지별로 피해규모 검토항목과 기준에 의해 평가

Table 4 피해규모 검토항목 따른 배점

구분	하류부 예상 인명피해	하류부 도시,집단거주 지역,국가중요 시설존재여부	제방높이 (m)	저수지 활용도 (만m <sup>2</sup> )	수질등급
A저수지	5	5	5	5	3
B저수지	2	5	3	3	1
C저수지	4	5	5	3	3
D저수지	4	1	3	3	5
E저수지	3	5	3	5	5
F저수지	2	5	5	5	3
G저수지	5	5	5	5	3
H저수지	2	5	3	1	1
I저수지	4	5	5	3	1
J저수지	1	1	3	1	1

③ 각 평가항목별 가중치를 곱하여 평가점수를 환산

Table 5 가중치를 고려한 손상가능성 배점

구분	공용년수 (20%)	저수용량 (만㎡) (20%)	안전점검 등급 (20%)	내진보강 여부 (20%)	전회차평 가결과 (20%)	합계
A저수지	1	1	1	0.2	0.8	4
B저수지	0.6	0.6	0.6	0.2	0.6	2.6
C저수지	0.4	1	0.6	0.2	0.8	3
D저수지	0.8	0.6	0.6	0.2	1	3.2
E저수지	0.8	0.6	0.8	0.2	1	3.4
F저수지	0.4	0.6	0.8	0.2	0.6	2.6
G저수지	1	1	1	0.2	0.6	3.8
H저수지	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2	2.2
I저수지	1	1	0.8	0.2	0.8	3.8
J저수지	0.4	0.2	0.4	0.2	0.6	1.8

Table 6 가중치를 고려한 피해규모 배점

구분	하류부 예상 인명피해 (20%)	하류부 도시, 집단 거주지역, 국가중요시 설존재여부 (20%)	제방높이 (m) (20%)	총저수량 (만㎡) (20%)	수질등급 (20%)	합계
A저수지	1	1	1	1	0.6	4.6
B저수지	0.6	1	0.6	0.6	0.2	3
C저수지	0.8	1	1	0.6	0.6	4
D저수지	0.8	0.2	0.6	0.6	1	3.2
E저수지	0.8	1	0.6	1	1	4.4
F저수지	0.6	1	1	1	0.6	4.2
G저수지	1	1	1	1	0.6	4.6
H저수지	0.6	1	0.6	0.2	0.2	2.6
I저수지	0.8	1	1	0.6	0.2	3.6
J저수지	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2	1.4



④ 각 저수지별 환산점수를 리스크 매트릭스에 도시하여 성능개선 검토 대상 선정

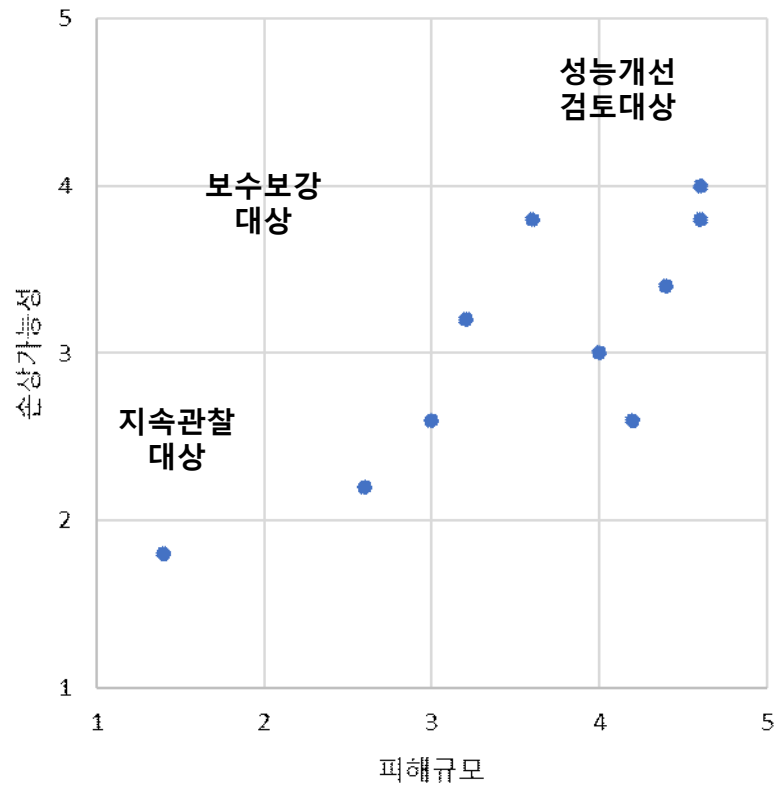


Table 7 성능개선 검토대상 결과

구분	피해규모	손상가능성	검토결과
A저수지	4.6	4	성능개선검토 대상
B저수지	3	2.6	보수보강 대상
C저수지	4	3	보수보강 대상
D저수지	3.2	3.2	보수보강 대상
E저수지	4.4	3.4	성능개선검토 대상
F저수지	4.2	2.6	보수보강 대상
G저수지	4.6	3.8	성능개선검토 대상
H저수지	2.6	2.2	보수보강 대상
I저수지	3.6	3.8	보수보강 대상
J저수지	1.4	1.8	지속관찰 대상

- (Do) 성능개선 검토 대상으로 저수지들의 성능개선사업 설계를 실시하고 성능개선기준에 의한 적합성 평가를 수행하여 사업 선정

① 대상 저수지별 성능저하 특성에 맞는 단일 성능개선사업과 복합성능개선사업 설계안을 수립하고 적합성 평가를 위한 검토항목 준비

Table 8 저수지별 기술평 평가 검토항목

구분	설계안	내진보강 여부	정밀안전진단 결과			
			종합등급	체체등급	여수로 등급	취수시설 등급
A저수지	노후화 성능개선	Y	C	D	C	C
	복합 성능개선	Y	C	D	C	C
E저수지	사용성변화 성능개선	Y	B	C	B	B
	복합 성능개선	Y	B	C	B	B
G저수지	기준변화 성능개선	Y	B	B	B	C
	복합 성능개선	Y	B	B	B	C

Table 9 저수지별 경제성 평가 검토항목

구분	설계안	성능개선 공사비용 (백만원)	제체 등급	복구 공사비용 (백만원)	홍수피해 경감편익 (백만원)	자본적 지출편익 (백만원)	생애주기 유지관리 비용
A저수지	노후화 성능개선	12,000	D	10,000	2,236	5,540	5,540
	복합 성능개선	15,000	D	10,000	2,236	5,540	5,540
E저수지	사용성변화 성능개선	8,000	C	5,000	1,342	5,540	5,540
	복합 성능개선	10,000	C	5,000	1,342	5,540	5,540
G저수지	기준변화 성능개선	11,000	B	10,000	1,856	5,540	5,540
	복합 성능개선	14,000	B	10,000	1,856	5,540	5,540

Table 10 저수지별 정책성 평가 검토항목

구분	설계안	활용도	총 저수용량 (만m <sup>3</sup> )	유역면적 (ha)	주민 수용성 평가
A저수지	노후화 성능개선	주수원공	31	1,100	B
	복합 성능개선	주수원공	31	1,100	B
E저수지	사용성변화 성능개선	주수원공	7	8,00	A
	복합 성능개선	주수원공	7	8,00	A
G저수지	기준변화 성능개선	주수원공	30	9,00	C
	복합 성능개선	주수원공	30	900	C

② 기술성 평가 수행

- 정밀안전진단 종합결과 D·E등급이 없고, 내진보강 대상이 없으므로 정밀안전진단의 복합시설 등급에 의해 평가 수행

Table 11 저수지별 기술평 평가 결과

구분	설계안	최하등급 복합시설	최하등급 복합시설의 등급	평가점수
A저수지	노후화 성능개선	제체	D	90
	복합 성능개선	제체	D	90
E저수지	사용성변화 성능개선	생략		
	복합 성능개선	제체	C	50
G저수지	기준변화 성능개선	생략		
	복합 성능개선	취수시설	C	50

③ 경제성 평가 수행

- 재해위험도 편익 산정

저수지의 제체의 등급별 손상확률과 제체 복구 공사비용의 곱으로 산정

Table 12 설계안별 재해위험도 편익 산정

구분	설계안	제체 등급	등급별 손상확률	복구 공사비용 (백만원)	재해위험도 편익 (백만원)
A저수지	노후화 성능개선	D	0.5	10,000	5,000
	복합 성능개선	D	0.5	10,000	5,000
E저수지	사용성변화 성능개선	C	0.3	5,000	1,500
	복합 성능개선	C	0.3	5,000	1,500
G저수지	기준변화 성능개선	B	0.1	10,000	1,000
	복합 성능개선	B	0.1	10,000	1,000

- 홍수피해경감 편익 산정

홍수피해경감 편익은 재현기간별 홍수에 대해서 사업으로 인한 피해감소액을 전구간에 대해서 구한 후 구간별로 사업전후의 피해액의 차이에 홍수의 구간발생확률을 곱하여 전 구간에 대해 합산해서 저수지 사업설계안에 상관없이 저수지별로 산정

Table 13 A저수지 홍수피해경감 편익 산정

빈도 (년)	연평균 초과 확률	피해액(백만원)			구간 평균 피해 경감액 (백만원)	구간 확률	연평균 피해 경감액 (백만원)	연평균 피해 경감액 누계 (백만원)
		사업전	사업후	피해 경감액				
2	0.500	24,994	24,871	123				
5	0.200	496,079	487,461	8,618	4,371	0.300	1,311	1,311
10	0.100	3,427,455	3,427,289	166	4,392	0.100	439	1,750
20	0.050	4,940,706	4,938,145	2,561	1,364	0.050	68	1,819
30	0.033	5,564,615	5,562,985	1,630	2,096	0.017	35	1,853
50	0.020	6,153,760	6,150,786	2,974	2,302	0.013	31	1,884
80	0.013	6,756,813	6,749,021	7,792	5,383	0.008	40	1,925
100	0.010	7,058,957	7,030,910	28,047	17,920	0.003	45	1,969
200	0.005	10,575,474	10,527,179	48,295	38,171	0.005	191	2,160
500	0.002	12,307,130	12,304,590	2,540	25,418	0.003	76	<b>2,236</b>

Table 14 E저수지 홍수피해경감 편익 산정

빈도 (년)	연평균 초과 확률	피해액(백만원)			구간 평균 피해 경감액 (백만원)	구간 확률	연평균 피해 경감액 (백만원)	연평균 피해 경감액 누계 (백만원)
		사업전	사업후	피해 경감액				
2	0.500	14,996	14,923	74				
5	0.200	297,647	292,477	5,171	2,622	0.300	787	787
10	0.100	2,056,473	2,056,373	100	2,635	0.100	264	1,050
20	0.050	2,964,424	2,962,887	1,537	818	0.050	41	1,091
30	0.033	3,338,769	3,337,791	978	1,257	0.017	21	1,112
50	0.020	3,692,256	3,690,472	1,784	1,381	0.013	18	1,130
80	0.013	4,054,088	4,049,413	4,675	3,230	0.008	24	1,155
100	0.010	4,235,374	4,218,546	16,828	10,752	0.003	27	1,182
200	0.005	6,345,284	6,316,307	28,977	22,903	0.005	115	1,296
500	0.002	7,384,278	7,382,754	1,524	15,251	0.003	46	<b>1,342</b>



Table 15 G저수지 홍수피해경감 편익 산정

빈도 (년)	연평균 초과 확률	피해액(백만원)			구간 평균 피해 경감액 (백만원)	구간 확률	연평균 피해 경감액 (백만원)	연평균 피해 경감액 누계 (백만원)
		사업전	사업후	피해 경감액				
2	0.500	20,745	20,643	102				
5	0.200	411,746	404,593	7,153	3,628	0.300	1,088	1,088
10	0.100	2,844,788	2,844,650	138	3,645	0.100	365	1,453
20	0.050	4,100,786	4,098,660	2,126	1,132	0.050	57	1,509
30	0.033	4,618,630	4,617,278	1,353	1,739	0.017	29	1,538
50	0.020	5,107,621	5,105,152	2,468	1,911	0.013	25	1,564
80	0.013	5,608,155	5,601,687	6,467	4,468	0.008	34	1,597
100	0.010	5,858,934	5,835,655	23,279	14,873	0.003	37	1,635
200	0.005	8,777,643	8,737,559	40,085	31,682	0.005	158	1,793
500	0.002	10,214,918	10,212,810	2,108	21,097	0.003	63	<b>1,856</b>

- 자본적 지출 편익 산정

자본적 지출 편익은 ‘일반유형자산과 사회기반시설 회계처리지침’에 의한 사회기반시설의 내용연수를 연장시키거나 해당 자산의 가치를 실질적으로 증가시키는 비용을 자본적 지출 편익으로 산정하며 각 저수지별로 공용연수 기간 동안 투입된 유지관리비용으로 산정

Table 16 자본적 지출 편익 산정

구분	보수보강 횟수	1회 평균비용 (백만원)	총 유지관리비용(백만원)
A저수지	6	1,000	6,000
E저수지	7	800	5,600
G저수지	5	900	4,500

- BC 분석에 의한 경제성 평가 점수 산정

산정된 편익과 비용을 통해 경제성 평가 기준에 따른 점수 산정

Table 17 경제성 평가 점수 결과

구분	설계안	총편익	총비용	B/C 비율	평가 점수
A저수지	노후화 성능개선	13,236	17,540	0.8	80
	복합 성능개선	13,236	20,540	0.6	80
E저수지	사용성변화 성능개선	8,442	13,540	0.6	80
	복합 성능개선	8,442	15,540	0.5	80
G저수지	기준변화 성능개선	7,356	16,540	0.4	0
	복합 성능개선	7,356	19,540	0.4	0

④ 정책성 평가 수행

- 저수지 활용도는 주수원공, 보조수원공, 활용저하 저수지의 경우로 구분하여 평가

Table 18 저수지 활용도 평가

구분	활용도	평가 점수
A저수지	주수원공	100
E저수지	주수원공	100
G저수지	주수원공	100

- 저수지 중요도는 총저수용량과 유역면적을 기준으로 평가

Table 19 저수지 중요도 평가

구분	총 저수용량 (만m <sup>3</sup> )	유역면적 (ha)	평가 점수
A저수지	31	1,100	90
E저수지	7	8,00	80
G저수지	30	9,00	80

- 지역주민 사업 수용성 평가는 주민 호응과 민원 발생을 고려한 수용성 등급으로 평가

Table 20 저수지 사업 수용성 평가

구분	수용성 등급	평가 점수
A저수지	B	80
E저수지	A	100
G저수지	C	60

- 저수지 활용도(30%), 중요도(30%), 사업 수용성 평가(40%) 항목별 가중치를 고려하여 산정

Table 21 정책성 평가 점수 결과

구분	설계안	활용도	중요도	수용성	평가 점수
A저수지	노후화 성능개선	100	90	80	89
	복합 성능개선	100	90	80	89
E저수지	사용성변화 성능개선	100	80	100	94
	복합 성능개선	100	80	100	94
G저수지	기준변화 성능개선	100	80	60	78
	복합 성능개선	100	80	60	78

⑤ 적합성 평가

사업별 적합성 평가 점수 산정 기준에 각 사업 설계안의 적합성 평가 점수를 산정하고 80점 이상의 설계안을 선정

Table 22 적합성 평가 결과

구분	설계안	기술성 평가	경제성 평가	정책성 평가	적합성 평가	적합 여부
A저수지	노후화 성능개선	90	80	89	88.35	적합
	복합 성능개선	90	80	89	87.80	적합
E저수지	사용성변화 성능개선	생략	80	94	87	적합
	복합 성능개선	50	80	94	64.8	부적합
G저수지	기준변화 성능개선	생략	0	78	39	부적합
	복합 성능개선	50	0	78	45.6	부적합

- (Check) 성능개선기준의 적합성 평가를 통과한 사업설계안에 대해서 AHP 분석을 통한 최종 우선순위 선정

① 쌍대비교와 일관성 평가 수행

- 평가기준별 쌍대비교 및 일관성 평가 수행

Table 23 평가기준별 쌍대비교 및 일관성 평가 결과

구분	관련 계획 및 정책방향 평가	사업 준비의 구체성 평가	재원조달 가능성 평가	우선순위 (가중치)	일관성 평가
관련 계획 및 정책방향 평가	1	1/4	1/3	0.123	CI = 0.017 ≤ 0.1 (O.K.)
사업 준비의 구체성 평가	4	1	2	0.557	
재원조달 가능성 평가	3	1/2	1	0.32	

- 관련 계획 및 정책방향 평가별 사업간 쌍대비교 및 일관성 평가 수행

Table 24 정책방향 평가기준에 대한 사업간 쌍대비교 및 일관성 평가 결과

관련 계획 및 정책방향 평가	A저수지 노후화 성능개선	A저수지 복합 성능개선	E저수지 사용성변화 성능개선	우선순위 (가중치)	일관성 평가
A저수지 노후화 성능개선	1	1/3	1	0.2	CI = 0.000 ≤ 0.1 (O.K.)
A저수지 복합 성능개선	3	1	3	0.6	
E저수지 사용성변화 성능개선	1	1/3	1	0.2	

- 사업 준비의 구체성 평가별 사업간 쌍대비교 및 일관성 평가 수행

Table 25 사업 준비의 구체성 평가기준에 대한 사업간 쌍대비교 및 일관성 평가 결과

관련 계획 및 정책방향 평가	A저수지 노후화 성능개선	A저수지 복합 성능개선	E저수지 사용성변화 성능개선	우선순위 (가중치)	일관성 평가
A저수지 노후화 성능개선	1	5	3	0.633	CI = 0.027 ≤ 0.1 (O.K.)
A저수지 복합 성능개선	1/5	1	1/3	0.106	
E저수지 사용성변화 성능개선	1/3	3	1	0.26	

- 재원조달 가능성 평가별 사업간 쌍대비교 및 일관성 평가 수행

Table 26 재원조달 가능성 평가기준에 대한 사업간 쌍대비교 및 일관성 평가 결과

관련 계획 및 정책방향 평가	A저수지 노후화 성능개선	A저수지 복합 성능개선	E저수지 사용성변화 성능개선	우선순위 (가중치)	일관성 평가
A저수지 노후화 성능개선	1	3	5	0.633	CI = 0.027 ≤ 0.1 (O.K.)
A저수지 복합 성능개선	1/3	1	3	0.26	
E저수지 사용성변화 성능개선	1/5	1/3	1	0.106	

② 우선순위와 가중치의 행렬곱을 통한 최종 우선순위 산정

- 동일 저수지의 두 사업에 관해서는 우선순위가 높은 사업을 선정하고 타저수지의 사업 다음 순위로 선정

Table 27 최종 우선순위 산정

구분	관련 계획 및 정책방향 평가	사업 준비의 구체성 평가	재원조달 가능성 평가	최종 우선순위
가중치	0.123	0.557	0.32	
A저수지 노후화 성능개선	0.2	0.633	0.633	0.580 (1순위)
A저수지 복합 성능개선	0.6	0.106	0.26	0.216
E저수지 사용성변화 성능개선	0.2	0.26	0.106	0.203 (2순위)

$$\begin{bmatrix} 0.2 & 0.633 & 0.633 \\ 0.6 & 0.106 & 0.26 \\ 0.2 & 0.26 & 0.106 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.123 \\ 0.557 \\ 0.32 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.580 \\ 0.216 \\ 0.203 \end{bmatrix}$$

- (Action) 최종 선정된 사업 설계안에 대해서 사업을 수행

- A 저수지의 노후화 성능개선사업을 1순위로 수행하고 E저수지의 사용성변화 성능개선 사업을 2순위로 수행



농업생산기반시설 성능개선 및  
자 율 학 습 물 관 리  
최 종 보 고 서

## 부록 3

# 재정지원, 부담금 부과 및 충당금 적립 등 유사 입법사례 조문



① 도로법 [시행 2020. 8. 5.]

---

**제85조(비용부담의 원칙)** ① 도로에 관한 비용은 이 법 또는 다른 법률에 특별한 규정이 있는 경우 외에는 도로관리청이 국토교통부장관인 도로에 관한 것은 국가가 부담하고, 그 밖의 도로에 관한 것은 해당 도로의 도로관리청이 속해 있는 지방자치단체가 부담한다. 이 경우 제31조제2항에 따라 국토교통부장관이 도지사 또는 특별자치도지사에게 일반국도의 일부 구간에 대한 도로공사와 도로의 유지·관리에 관한 업무를 수행하게 한 경우에 그 비용은 국가가 부담한다.

② 제1항에도 불구하고 제20조에 따라 노선이 지정된 도로나 행정구역의 경계에 있는 도로에 관한 비용은 관계 지방자치단체가 협의하여 부담 금액과 분담 방법을 정할 수 있다.

③ 제2항에 따른 비용의 부담에 관한 협의가 성립하지 아니할 때에는 제24조제2항 및 제3항을 준용한다.

**제86조(비용의 지원 등)** ① 우회국도 및 일반국도의 지선 건설에 필요한 비용은 제85조제1항에도 불구하고 대통령령으로 정하는 바에 따라 그 일부를 그 도로가 위치한 구역을 관할하는 지방자치단체에 부담시킬 수 있다.

② 국가지원지방도의 건설 및 보수, 유지·관리에 필요한 비용 및 제8조제4항에 따라 대도시권 교통혼잡도로의 개선을 위한 세부 사업계획을 시행하는데 드는 비용은 제85조제1항에도 불구하고 대통령령으로 정하는 바에 따라 그 일부를 국가가 보조하여야 한다. 다만, 국가지원지방도의 도로관리청이 제31조제5항에 따라 스스로 비용을 부담하여 국가지원지방도의 건설공사를 하는 경우 그 건설비용은 국가가 보조하지 아니할 수 있다.

③ 제2항에 따라 건설되는 국가지원지방도와 대도시권 교통혼잡도로의 도로관리청은 사업이 원활하게 추진될 수 있도록 예산을 확보하여야 한다.

④ 제85조제1항에도 불구하고 국토교통부장관은 도로망의 정비 등을 위하여 특히 필요하다고 인정하면 대통령령으로 정하는 바에 따라 일반국도 외의 도로에 관한 비용의 일부나 제23조제2항에 따라 특별시장·광역시장·특별자치시장·특별자치도지사 또는 시장이 도로관리청이 되는 일반국도에 관한 비용의 일부를 보조할 수 있다.

⑤ 국토교통부장관은 제110조제3항에 따라 업무를 위탁받은 도로와 관련된 기관 또는 단체가 위탁받은 업무를 수행하는 데 필요한 비용에 대하여 보조 등 재정적 지원을 할 수 있다.

---

② 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률 [시행 2020. 9. 10.]

---

**제20조(비용부담의 원칙)** ① 철도건설에 관한 비용은 이 법 또는 다른 법률에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 일반철도는 국고 부담으로 하고, 고속철도는 국고와 사업시행자 간의 부담으로 한다.

② 제1항에 따른 고속철도건설 비용에 대한 국고와 사업시행자 간의 부담 비율은 대통령령으로 정한다

**제21조(수익자·원인자의 비용부담)** ① 사업시행자는 국가 이외의 자가 철도건설사업으로 현저한 이익을 얻는 경우에는 국토교통부장관의 승인을 받아 그 이익을 얻는 자(이하 "수익자"라 한다)에게 철도건설사업 비용의 전부 또는 일부를 부담하게 할 수 있다.

② 제1항에 따라 수익자가 부담하여야 할 비용은 사업시행자와 수익자가 협의하여 정한다. 이 경우 협의가 성립되지 아니하면 사업시행자 또는 수익자의 신청을 받아 위원회가 조정할 수 있다.

③ 국가 이외의 자의 요구에 의하여 철도건설사업을 하는 경우에는 필요한 비용의 전부 또는 일부를 요구자의 부담으로 한다.

④ 제3항에 따라 국가 이외의 자가 철도건설사업에 따른 비용의 전부 또는 일부를 부담하는 경우 그 부담 비율은 대통령령으로 정한다.

---

③ 항만법 [시행 2020. 8. 28.]

---

**제42조(항만시설의 사용료 등)** ① 해양수산부장관, 항만시설운영자 또는 임대계약자는 제41조제1항 및 제2항에 따라 항만시설을 사용하는 자로부터 사용료를 징수할 수 있다. 다만, 대통령령으로 정하는 자에 대해서는 그 사용료의 전부나 일부를 면제할 수 있다.

② 해양수산부장관은 「해운법」 제23조에 따른 해상화물운송사업을 하는 자 등 대통령령으로 정하는 자가 여러 사람의 화물을 동시에 운송하는 경우로서 항만시설 사용자를 대리하여 제41조제1항 후단에 따라 해양수산부장관에게 신고를 하고 항만시설 사용자의 사용료를 한꺼번에 대신하여 낸 경우에는 해양수산부령으로 정하는 바에 따라 해당 사업자에게 사용료 대납업무에 드는 경비를 지급할 수 있다.

③ 제1항에 따른 사용료의 종류와 요율(料率) 산정 시 고려사항 등은 대통령령으로 정한다.

④ 항만시설운영자나 임대계약자는 제1항에 따른 사용료의 요율과 징수방법 등에 관한 사항을 미리 해양수산부장관에게 신고하여야 한다.

---

---

⑤ 해양수산부장관은 제4항에 따른 신고를 받은 경우 그 내용을 검토하여 이 법에 적합하면 신고를 수리하여야 한다.

⑥ 제1항부터 제5항까지에서 규정한 사항 외에 항만시설의 사용료에 관하여는 해양수산부장관, 해당 항만시설운영자 또는 임대계약자가 정하는 바에 따른다.

**제43조(비관리청 등의 사용료 징수)** ① 제15조제5항 또는 제19조제4항에 따라 항만시설을 타인에게 사용하게 한 자는 그 사용자로부터 사용료를 징수할 수 있다. 이 경우 사용방법, 사용료의 요율, 사용료의 징수방법 등에 관한 사항을 미리 해양수산부장관에게 신고하여야 한다.

② 해양수산부장관은 제1항 후단에 따른 신고를 받은 경우 그 내용을 검토하여 이 법에 적합하면 신고를 수리하여야 한다.

③ 해양수산부장관은 제1항에 따른 사용방법과 사용료의 요율 등이 사용자의 편익을 해칠 우려가 있다고 인정되면 사용방법의 변경, 사용료 요율의 변경, 그 밖에 항만시설의 관리·운영에 필요한 사항을 명할 수 있다.

④ 제1항에 따른 사용료의 징수기간은 대통령령으로 정한다.

**제79조(비용부담 원칙)** ① 이 법 또는 다른 법률에 특별한 규정이 있는 경우 외에는 국가가 항만의 관리 및 시설에 관한 비용을 부담한다.

② 비관리청이 제9조제2항에 따라 시행하는 항만개발사업에 드는 비용은 비관리청이 부담한다.

③ 사업시행자가 시행하는 항만배후단지개발사업에 드는 비용은 사업시행자가 부담한다.

④ 공공단체나 사인(私人)이 그가 필요하여 항만시설의 경미한 보수 등을 하는 경우에는 그 공공단체나 사인이 그 비용을 부담한다.

---

④ 수도법 [시행 2020. 10. 1.]

---

**제38조(공급규정)** ① 일반수도사업자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 수도물의 요금, 급수설비에 관한 공사의 비용부담, 그 밖에 수도물의 공급 조건에 관한 규정을 정하여 수도물의 공급을 시작하기 전까지 인가관청의 승인을 받아야 하고, 승인을 받은 사항을 변경하려는 경우에도 또한 같다. 다만, 수도사업자가 지방자치단체이면 그 지방자치단체의 조례로 정한다.

② 제1항 본문에 따른 일반수도사업자 및 인가관청은 수도물의 공급 조건에 관한 규정을 정하거나 승인할 때에 그 수도의 설치에 든 비용을 전액 수도물의 요금으로 회수할 수 있도록 하여야 한다.

③ 일반수도사업자는 수도물의 요금이 정하여지면 3개월 이내에 수도요금 생산원가, 요금

---

---

부과 단가, 재원부족액, 부족 예산 총당 계획 등을 환경부령으로 정하는 바에 따라 공고하여야 한다. 다만, 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관인 일반수도사업자는 같은 법 제11조·제12조에 따른다.

④ 일반수도사업자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자 및 교육시설·사회복지시설 등 대통령령으로 정하는 공익시설에 대하여는 대통령령으로 정하는 바에 따라 수도물의 요금을 할인하여 줄 수 있다.

1. 65세 이상인 자
  2. 「장애인복지법」의 적용을 받는 장애인
  3. 「국민기초생활 보장법」에 따른 수급권자 및 차상위계층
- 

⑤ 집단에너지사업법 [시행 2020. 8. 5.]

---

**제8조(자금 등의 지원)** ① 국가나 지방자치단체는 집단에너지 공급을 확대하기 위하여 사업자에게 필요한 자금 등을 지원할 수 있다.

② 개발사업을 시행하는 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 사업자가 공급대상지역에 대한 사업을 하는 데에 필요한 부지 확보 등의 지원을 하여야 한다.

③ 국가나 지방자치단체는 제1항에 따른 지원을 할 때에 천연가스(액화한 것을 포함한다) 또는 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제2조제1호 및 제2호에 따른 신에너지 및 재생에너지를 연료로 사용하는 사업자에 대하여 우선적으로 지원할 수 있다.

**제18조(건설비용의 부담금)** ① 사업자는 공급시설 건설비용의 전부 또는 일부를 그 사용자에게 부담하게 할 수 있다.

② 제1항에 따른 부담금은 용도별 부과 대상 단위에 단위당 기준단가를 곱하여 산정한 금액으로 한다.

③ 제1항에 따른 부담금의 세부 산정기준, 부과·징수방법 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

---

⑥ 전기사업법 [시행 2020. 10. 1.]

---

**제48조(기금의 설치)** 정부는 전력산업의 지속적인 발전과 전력산업의 기반조성에 필요한 재원을 확보하기 위하여 전력산업기반기금(이하 "기금"이라 한다)을 설치한다.

**제49조(기금의 사용)** 기금은 다음 각 호의 사업을 위하여 사용한다.

1. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」에 따른 신·재생에너지 발전사업자에 대한 지원사업 및 신·재생에너지를 이용하여 생산한 전기의 전력계통 연계조건을 개선하기 위한 사업
2. 전력수요 관리사업
3. 전원개발의 촉진사업
4. 도서·벽지의 주민 등에 대한 전력공급 지원사업
5. 전력산업 관련 연구개발사업
6. 전력산업과 관련된 국내의 석탄산업, 액화천연가스산업 및 집단에너지사업에 대한 지원사업
7. 전기안전의 조사·연구·홍보에 관한 지원사업
8. 일반용전기설비의 점검사업
9. 「발전소주변지역 지원에 관한 법률」에 따른 주변지역에 대한 지원사업
- 9의2. 「송·변전설비 주변지역의 보상 및 지원에 관한 법률」 제10조제2항에 따른 송·변전설비 주변지역 지원사업
10. 「지능형전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 법률」에 따른 지능형전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 사업
- 10의2. 「전통시장 및 상점가 육성을 위한 특별법」 제2조제1호에 따른 전통시장(이하 "전통시장"이라 한다)의 전기설비에 대한 전기안전점검사업
11. 그 밖에 대통령령으로 정하는 전력산업과 관련한 중요 사업

**제50조(기금의 조성)** ① 기금은 다음 각 호의 재원으로 조성한다.

1. 제51조에 따른 부담금 및 가산금
  2. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제12조의6제1항에 따른 과징금
  3. 기금을 운용하여 생긴 수익금
-

---

4. 대통령령으로 정하는 수입금

② 산업통상자원부장관은 제1항에 따라 조성된 재원 외에 기금의 부담으로 에너지 및 자원사업 특별회계 또는 다른 기금 등으로부터 자금을 차입할 수 있다.

③ 산업통상자원부장관은 제2항에 따라 자금을 차입하는 경우에는 미리 기획재정부장관과 협의하여야 한다.

---

⑦ 하천법 [시행 2020. 6. 9.]

---

**제59조(비용부담의 원칙)** 하천에 관한 비용은 이 법 또는 다른 법률에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 국가하천에 관한 것은 국고의 부담으로 하고, 지방하천에 관한 것은 해당 시·도의 부담으로 한다. 다만, 제27조제5항 단서에 따라 시·도지사가 국가하천의 유지·보수를 하는 경우에 필요한 비용은 해당 시·도의 부담으로 한다.

**제65조(부담금의 귀속)** ① 하천에 관한 비용의 부담금은 국토교통부장관이 부담하게 한 경우에는 국고의 수입으로 하고, 시·도지사가 부담하게 한 경우에는 해당 시·도의 수입으로 한다. 다만, 제61조제2항 및 제3항에 따른 부담금은 해당 하천공사나 하천의 유지·보수를 한 시·도의 수입으로 하고, 제62조에 따른 부담금은 해당 다른 공작물의 관리자의 수입으로 한다.

② 제37조 및 제50조제5항에 따라 징수하는 점용료·사용료 등은 해당 시·도의 수입으로 하고, 그 밖에 하천에서 생기는 수입은 국가하천에 관한 것은 국고의 수입으로, 지방하천에 관한 것은 시·도의 수입으로 한다.

---

⑧ 댐 건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률 [시행 2020. 10. 1.]

---

**제22조(지방자치단체의 비용부담)** 환경부장관은 다목적댐의 건설에 필요한 비용 중 제20조제3항에 따라 국고로 부담하여야 하는 비용의 일부를 대통령령으로 정하는 바에 따라 해당 댐의 건설로 현저한 이익을 받는 지방자치단체(댐건설지역을 관할하는 지방자치단체는 제외한다)에 부담하게 할 수 있다.

**제23조(수익자부담금 등)** ① 환경부장관은 제12조제1항에 따른 댐건설 완료의 고시 당시 해당 다목적댐이 건설될 하천의 유수(流水)를 이용하여 발전사업(「전기사업법」 제2조제3호에 따른 발전사업을 말한다)을 하려는 자에게 해당 다목적댐의 건설로 인하여 증가되는 각 발전사업자의 예상 수익(댐건설 완료 후 댐건설기간에 상응하는 기간 동안의 예상 증가수익을 말한다. 이하 이 조 및 제23조의2에서 같다)의 범위에서 납부기한을 정하여 해당 다목적댐의 건설에 필요한 비용의 일부를 수익자부담금으로 결정·부과할 수 있다.

② 환경부장관은 제1항에 따라 수익자부담금을 납부하여야 하는 자가 납부기한을 지키지 아니하였을 때에는 그 납부기한이 지난 날부터 체납된 수익자부담금의 100분의 3에 상당하

---

---

는 가산금을 징수한다.

③ 제1항 및 제2항에서 규정한 사항 외에 수익자부담금 또는 가산금의 산출방법과 징수방법 등에 관하여는 대통령령으로 정한다.

---

⑨ 하수도법 [시행 2020. 5. 26.]

---

**제59조(시·군에 대한 부담명령)** 도지사는 제18조제2항 및 제57조의 규정에 따라 도가 공공하수도에 관한 비용을 부담하는 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 해당 공공하수도로 인하여 이익을 받는 시 또는 군에게 그 비용의 전부 또는 일부를 부담시킬 수 있다.

**제61조(원인자부담금 등)** ①공공하수도관리청은 건축물 등을 신축·증축하거나 용도변경하여 오수가 대통령령으로 정하는 양 이상 증가되는 경우 해당 건축물 등의 소유자(건축 또는 건설 중인 경우에는 건축주 또는 건설주체를 말한다)에게 공공하수도 개축비용의 전부 또는 일부를 부담시킬 수 있다.

②공공하수도관리청은 대통령령으로 정하는 타공사 또는 공공하수도의 신설·증설 등을 수반하는 개발행위(이하 "타행위"라 한다)로 인하여 필요하게 된 공공하수도에 관한 공사에 소요되는 비용의 전부 또는 일부를 타공사 또는 타행위의 비용을 부담하여야 할 자에게 부담시키거나 필요한 공사를 시행하게 할 수 있다.

③제1항 및 제2항의 규정에 따른 원인자부담금의 산정기준·징수방법 그 밖의 필요한 사항은 해당 지방자치단체의 조례로 정한다.

④ 제1항 및 제2항에 따라 징수한 원인자부담금은 공공하수도의 신설, 증설, 이설, 개축 및 개수 등 공사에 드는 비용으로만 사용할 수 있다.

**제63조(국고보조)** 국가는 공공하수도의 설치·개축 또는 재해복구에 관한 공사비용의 전부 또는 일부를 예산의 범위 안에서 지방자치단체에 보조할 수 있다.

---



농업생산기반시설 성능개선 및  
자 율 학 습 물 관 리  
최 종 보 고 서

## 부록 4

### 저수지 최소유지관리기준(안)



# 저수지 최소유지관리기준

## 제1장 총 칙

**제1조(목적)** 이 기준은 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(이하 “법”이라 한다) 제11조에 따라 저수지의 최소유지관리기준을 설정하는데 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.

**제2조(정의)** 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. “저수지”란 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조제6호 및 「농어촌정비법」 제2조제5호에 따른 기반시설을 말한다.
2. “관리감독기관의 장”이란 법 제6조에 의한 농림축산식품부장관(이하 “장관”이라 한다.)을 말한다.
3. “관리주체”란 법 제2조제6호에 따라 저수지의 관리책임을 지는 자를 말한다.
4. “관리그룹”이란 관리감독기관의 장이 설정하는 저수지의 규모, 중요도, 공용연수(준공 또는 임시사용 후 경과된 기간) 등의 기준에 따라 저수지를 구분한 체계를 말한다.
5. “점검진단등”이란 관계 법령으로 정한 저수지의 상태 및 성능 등을 확인하기 위한 점검, 진단 등 관련 업무 전반을 말한다.
6. “관리수준”이란 관리그룹별 점검진단등의 방법, 실시 시기, 실시자의 자격 등 저수지의 체계적인 관리를 위해 설정하는 수준을 말한다. 이 때 “실시자”란 관계 법령에 따른 점검진단등을 실시하는 사람이나 기관 또는 사업자 등을 말한다.

7. “관리대책”이란 점검진단등의 실시결과로 지정되는 등급에 따라 수립해야 할 보수보강, 성능개선 및 사용제한 등의 조치사항을 말한다.

**제3조(적용범위)** ① 이 기준은 법 제4조 및 같은 법 시행령 제2조에 따른 기반시설에 대하여 관리주체가 소관 기반시설을 유지관리하는데 적용한다.

② 이 기준에서 정하지 않은 최소유지관리기준 설정 방법, 절차 등에 관하여 필요한 경우 관리감독기관의 장은 국토교통부장관 및 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여야 한다.

## 제2장 최소유지관리기준의 설정 등

**제4조(최소유지관리기준의 설정)** 최소유지관리기준은 ‘기반시설 최소유지관리공통기준’에 따라 다음 각 호를 포함하여 작성한다.

1. 저수지 관리그룹 설정
2. 관리그룹별 관리수준 설정
3. 관리등급 지정 및 목표등급의 설정
4. 생애주기를 고려한 관리대책의 수립
5. 관리이력의 보존

**제5조(관리그룹의 설정)** 저수지의 관리그룹은 총저수용량에 따라 [별표 1]과 같이 설정한다.

**제6조(관리수준의 설정)** 관리그룹별로 저수지의 특성을 고려한 관리수준은 [별표 2]를 따른다.

**제7조(점검진단등의 실시 등)** ① 관리주체는 제6조에 따라 설정된 관리수준 이상으로 점검진단등을 실시하도록 한다.

② 관리감독기관의 장은 관리주체가 제1항에 따라 점검진단등을 실시한 경우 그 결과를 체계적으로 관리하여야 하며, 법 제9조에 따라 저수지 관리계획을 수립하는 경우에 이를 반영할 수 있다.

**제8조(관리등급의 지정 등)** ① 기반시설의 관리등급 기준은 [별표 3]을 따른다.

② 제7조에 따라 점검진단 등을 실시하는 자는 제1항에 따라 관리등급 기준에 적합하게 관리등급을 지정하여야 한다

**제9조(목표등급의 설정)** 저수지의 목표등급은 'C등급(보통)'으로 설정한다.

**제10조(관리대책의 수립)** ① 관리주체는 소관 저수지의 관리등급이 C등급(보통) 이하인 경우 목표등급을 달성을 위한 보수·보강 등 유지관리 계획을 수립·시행하여야 한다.

② 관리주체는 최소유지관리기준을 고려하여 소관 저수지의 효율적인 유지관리를 위한 단기 및 중장기 계획을 수립한다.

③ 제2항의 경우 저수지의 성능을 종합적으로 고려하고, 중요도와 위험도 등을 반영하여 유지관리 우선순위를 선정하여야 한다.

④ 관리주체는 제1항부터 제3항까지의 사항이 포함된 계획과 실시결과를 장관에게 제출하여야 한다.

⑤ 관리주체는 저수지의 유지관리를 실시하는 경우 법 제13조제1항에 따

라 지속적인 유지관리에 비해 성능개선이 더 유리한지의 여부에 대해 판단해야 한다. 이 경우 그 방법 및 절차는 「저수지 성능개선기준」을 따른다.

**제11조(관리의력의 보존)** 관리주체는 점검진단 등을 실시한 결과 및 그 외 기반시설 유지관리에 관한 정보를 체계적으로 관리하기 위해 정보시스템을 운영하거나 법 제16조에 따른 기반시설 관리시스템을 활용할 수 있다.

### 제3장 보 칙

**제12조(재검토기한)** 농림축산식품부장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 이 고시에 대하여 2021년1월 1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

### 부 칙

이 고시는 발령한 날부터 시행한다.

[별표 1] 저수지 관리그룹의 설정

1. 저수지의 관리그룹은 총저수용량에 따라 다음과 같다.

가. 1종 : 총저수용량 30만 $m^3$  이상인 시설

나. 2종 : 총저수용량 30만 $m^3$  미만인 시설

[별표 2] 저수지 관리수준의 설정

1. 저수지의 점검진단등의 구분은 다음과 같다.

구분	실시 방법
정기점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>시험가동, 육안검사 등을 통해 평상시 기능 상태를 확인하고 판단</li> </ul>
긴급점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>재해나 사고 등에 의해 필요하다고 판단할 때 사용제한 또는 사용금지의 필요 여부 등을 결정하기 위한 것으로, 필요시 정밀점검 또는 정밀안전진단 실시 여부 결정</li> </ul>
정밀점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>정기점검 및 긴급점검에서 발견할 수 없는 결함상태를 발견하기 위함 면밀한 육안 검사와 필요한 측정 및 시험을 실시하여 결함부위 등 주요부위에 대한 외관조사도 작성과 시설물 상태평가를 실시하고 결함에 대한 보수·보강 방법 등을 제시</li> </ul>
정밀안전진단	<ul style="list-style-type: none"> <li>물리적·기능적 결함을 발견하고, 그에 대한 조치를 신속하고 적절하게 하기 위해 시설의 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 조사, 측정 및 평가하여 보수·보강 등의 방안을 제시</li> </ul>
내진성능평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>지진으로부터 시설물의 안전성을 확보하고 기능을 유지하기 위해 내진설계기준에 따라 저수지가 지진에 견딜 수 있는 능력을 평가</li> </ul>

2. 저수지 점검진단등의 실시주기는 다음과 같다.

관리 그룹	정기점검	긴급점검	정밀점검	정밀 안전진단
1종	분기별 1회 이상, 영농기 전 반드시 실시	정기점검 외 재해나 사고 발생 등으로 시설물 안전에 이상 징후가 있을 때	정기점검 또는 긴급점검 실시 결과, 위험이 있어 보수가 필요할 때	준공 후 10년 지난 시설에 대해 5년에 1회 이상 또는 안전점검 실시 결과, 위험이 있는 경우
2종				안전점검 실시 결과, 위험이 있는 경우

3. 실시자의 자격은 다음과 같다.

구분	실시자의 자격
정기점검 긴급점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토목, 건축, 기계, 전기, 안전관리 분야의 초급기술자 이상</li> </ul>
정밀점검 정밀안전진단 내진성능평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농업생산기반시설 관리규정 제21조에 의해 지정된 진단기관</li> </ul>

[별표 3] 저수지 관리등급 기준

1. 저수지의 관리등급의 기준은 다음과 같다.

관리등급 (안전등급)	저수지 상태
A(우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B(양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C(보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D(미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E(불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위협이 있어 즉각 사용을 중지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태





농업생산기반시설 성능개선 및  
자 율 학 습 물 관 리  
최 종 보 고 서

## 부록 5

### 저수지 성능개선기준(안)

# 저수지 성능개선기준

## 제1장 총 칙

**제1조(목적)** 이 기준은 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(이하 ‘법’이라 한다) 제13조제1항에 따라 농림축산식품부 소관 저수지의 관리주체가 유지관리보다는 성능개선이 더 유리한지에 대해 판단할 수 있도록 기준(이하 ‘성능개선기준’이라 한다)을 정함을 목적으로 한다.

**제2조(정의)** 이 기준에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. “저수지”란 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조제6호 및 「농어촌정비법」 제2조제5호에 따른 기반시설을 말한다..
2. “관리감독기관의 장”이란 법 제6조에 의한 농림축산식품부장관(이하 “장관”이라 한다.)을 말한다.
3. “관리주체”란 법 제2조제6호에 따라 기반시설의 관리책임을 지는 자를 말한다..
4. “성능개선”이란 저수지의 주요구조부나 외부 형태를 수선·변경·교체하여 저수지의 가치를 증가시키고 수명을 연장시키는 활동으로 개량, 증설확장, 일부개축 등을 말한다.
5. “유지관리”란 완공된 저수지의 기능을 보전하고, 저수지 이용자의 편의와 안전을 높이기 위하여 저수지를 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하며 경과시간에 따라 요구되는 저수지의 단순 보수·보강 등에 필요한 활동을 하는 것을 말한다.
6. “점검진단등”이란 관계 법령으로 정한 저수지의 상태 등을 확인하기 위한 점검, 진단 등 관련 업무 전반을 말한다.

7. “성능개선사업”이란 단일 또는 복수의 성능개선 저수지 시설(부위 또는 부재) 공사를 묶어서 추진하는 단위사업을 말한다. 단, 효율적인 성능개선 사업을 추진하기 위해 유지관리 저수지 시설(부위 또는 부재) 공사를 포함할 수 있다.

8. “서비스 수준”이란 저수지에 의해 제공되는 서비스 품질과 관련된 질적 측정척도로 고객에게 조달하고자 하는 조직 또는 활동의 사회적·경제적·환경적 성과 및 목표를 말한다.

**제3조(적용범위)** ① 이 지침은 법 제4조 및 같은 법 시행령 제2조에 따른 저수지에 대하여 관리감독기관의 장이 소관 저수지의 유형별 성능개선기준을 설정하는데 공통적으로 적용한다.

② 이 기준에서 정하지 않은 성능개선기준 설정 방법, 절차 등에 관하여 필요한 경우 관리감독기관의 장은 국토교통부장관 및 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여야 한다.

## 제2장 성능개선기준검토 대상의 선정

**제4조(검토 대상 선정)** ① 장관은 관리주체가 다음 각 호를 고려하여 소관 저수지의 성능개선 적합성을 검토하기 위한 대상(이하 “성능개선 검토 대상”이라 한다)을 선정하도록 한다.

1. 점검진단등의 결과
2. 시간 경과 및 환경 변화 등에 따른 저수지의 기준변화
3. 저수지의 수요 증가 및 서비스 요구 수준 향상 등
4. 그 밖에 관계 법령에 따라 장관이 소관 저수지의 성능개선이 필요하다고

판단하는 사항

- ② 장관은 관리주체가 소관 저수지의 특성을 고려하여 성능개선 검토 대상 여부를 선정하는데 활용할 수 있도록 교체 원칙을 수립할 수 있다.
- ③ 제1항 및 제2항에 따른 성능개선의 검토대상이 아닌 시설은 법 제10조에 따른 유지관리를 지속하는 것을 원칙으로 한다.

**제5조(검토 대상의 유형 등)** ① 제4조에 따른 성능개선 검토 대상인 저수지는 다음 각 호의 유형으로 구분한다.

- 1. 노후화 성능개선 : 시간의 경과에 따른 노후화 등으로 인하여 저수지의 성능이 저하되어 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
- 2. 기준변화 성능개선 : 기후, 환경 및 기술수준의 변화 등 저수지에 요구되는 성능에 대한 기준이 설계 당시의 기준보다 상향되어 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
- 3. 사용성변화 성능개선 : 저수지의 수요 또는 서비스 수준의 상향 요구가 증가되어 용량 및 서비스 수준의 확대 등 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우
- 4. 복합형 성능개선 : 제1호부터 제3호까지의 성능개선 유형이 혼합되어 있는 경우
- 5. 그 밖에 관계 법령에 따라 저수지의 성능개선을 검토할 필요가 있는 경우

② 제1항에 따른 각 유형별 성능개선의 세부 실행방안은 다음 각 호의 유형으로 구분할 수 있다.

- 1. 개량 : 저수지의 일부를 해체·폐기 후 물리적·기능적으로 시설을 추가 또는 개선하여 서비스 수준을 향상(주요구조부나 외부형태 대수선 포함)시키는 것
- 2. 증설확장 : 저수지를 유지하되 그 규모나 기능을 확장(구조체 면적, 높이,

폭 등 늘림, 설비 용량 증설 포함)하여 기존 서비스의 공급을 확대하는 것  
(건축물의 경우 ‘증축’도 포함)

3. 일부개축 : 저수지의 일부를 해체·폐기 후 기존과 동일 또는 일부 향상된 수준으로 교체하는 것
4. 그 밖에 장관이 소관 저수지의 성능개선의 유형으로 구분하는 사항

### 제3장 성능개선의 적합성 평가

**제6조(사업의 적합성 평가)** ① 장관은 관리주체가 소관 저수지를 제4조 및 제5조에 따라 성능개선 검토 대상으로 선정된 경우에 대안별 사업규모를 산정하고, 다음 각 호를 포함하여 성능개선 적합성을 종합적으로 평가하여 결과를 계량화된 수치로 도출하도록 하여야 하며 자세한 방법과 절차 등의 필요한 사항은 장관이 정하여 고시한다.

1. 제8조에 따른 기술성 평가
2. 제9조에 따른 경제성 평가
3. 제10조에 따른 정책성 평가

② 장관은 관리주체가 제1항에 따라 사업의 적합성 평가하는 경우 유지관리 보다 해당 성능개선사업이 더 유리한지에 대해 판단할 수 있도록 하여야 한다.

③ 제1항에도 불구하고 제5조제1항제2호에 따른 ‘기준변화 성능개선’ 및 제5조제1항제3호에 따른 ‘사용성변화 성능개선’의 유형은 제1항제1호의 ‘기술성 평가’를 생략할 수 있다.

④ 제1항에도 불구하고 다음 각 호에 해당하는 사업은 관련 법령에 따른 타당성조사를 수행하는 경우에 제1항에 따른 성능개선의 적합성 평가를 생략

할 수 있다.

1. 「국가재정법」 제38조제1항 및 제2항의 규정에 따른 예비타당성조사 대상사업 및 예비타당성조사 면제사업
  2. 「건설공사 타당성 조사 지침」 제3조제1항에 따른 건설공사 타당성 조사 대상사업
- ⑤ 장관은 제1항 및 제3항에도 불구하고 시설의 특성에 따라 제1항 각 호 중 어느 하나를 포함하는 것이 적합하지 않다고 판단하는 경우 국토교통부장관 및 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 평가 항목을 조정할 수 있다.

**제7조(기술성 평가)** 저수지 성능개선사업의 ‘기술성 평가’는 성능개선을 추진하기 위해 시설의 현재 상태를 평가하는 것으로 관계법령에 따른 점검 진단 등의 결과를 활용하는 것을 원칙으로 한다.

**제8조(경제성 평가)** 저수지 성능개선사업의 ‘경제성 평가’는 다음 각 호의 사항을 포함하여 평가한다.

1. 성능개선공사비, 보상비, 부대비, 운영비 등 성능개선에 수반되는 비용
2. 저수지의 성능개선에 따른 서비스 수요, 질 등의 경제적 효과 등
3. 그 밖에 관리감독기관의 장이 소관 저수지의 성능개선의 경제성 평가를 위해 필요하다고 판단하는 사항

**제9조(정책성 평가)** 저수지 성능개선사업의 ‘정책성 평가’는 사업시행으로 인한 사회적 편익 등 계량화하여 산출하기는 어려우나 사업을 추진하는데 고려하여야 할 사항을 평가하는 것으로 다음 각 호의 사항을 고려하여 평가한다.

1. 관련 정책 및 계획과의 일치성, 지역주민의 사업수용성 등 사업추진 여건
2. 일자리 효과, 생활여건 영향, 환경성, 안전성 등 정책효과
3. 재원조달 가능성 등 특수평가항목(선택)

4. 그 밖에 관리감독기관의 장이 소관 저수지의 성능개선의 정책성 평가를 위해 필요하다고 판단하는 사항

### 제3장 보 칙

**제10조(재검토기한)** 장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 이 고시에 대하여 2021년 1월 1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

### 부 칙

이 고시는 발령한 날부터 시행한다.

## 연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리				
	(영문) Development of Technique for Performance Improvement of Agricultural Infrastructure and Unsupervised Learning Water Management				
주 관 연 구 기 관	한국농어촌공사 농어촌연구원		주 관 연 구 자 책 임 자	(소속)한국농어촌공사 농어촌연구원	
참 여 기 업	충남대학교 산학협력단 네이버시스템(주) (주)수리이엔씨 아주대학교 산학협력단 유니콘스(주)			(성명) 최은혁	
총 연 구 개 발 비  (300,000천원)	계	668,000천원	총 연 구 기 간	2020. 01. ~ 2020. 12.( 1년 )	
	정부출연 연구개발비	500,000천원	총 참 여 연 구 원 수	총 인 원	41명
	기업부담금	168,000천원		내 부 인 원	41명
	연구기관부담금			외 부 인 원	-

○ 연구개발 목표 및 성과

- 관리자 및 수요자 중심의 ICT/IoT 융·복합 자율학습 물관리 시스템 개발
- 자율학습 물관리 시스템 테스트베드 시범적용 및 적용 방법론 도출
- 농업생산기반시설 성능개선 기술개발을 통한 안정적 농업 생산 기반 구축 지원

○ 연구내용 및 결과

(성능개선)

- 농업용 저수지의 이수안전도 평가기법 개발 : 최적화된 매개변수와 개발된 매개변수 추정 회귀식의 적용성을 평가한 결과 현재 활용 중인 매개변수 추정 회귀식에 비하여 더 높은 정확도 검증
- 성능평가 모델개발 : 점검진단정보와 보수보강공사정보를 이용하여 수명모델과 비용모델을 개발
- 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출 : 시설물의 성능을 안전성능, 내구성능, 사용성능으로 평가할 수 있는 매뉴얼(안)을 제시
- 저수지 성능개선 투자우선순위 의사결정 지원모델 기술개발 : PDCA 기법을 적용한 시설물 투자 우선순위 의사결정 모델을 개발

(자율학습)

- 인공지능 알고리즘을 활용한 농업용저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계 : 자율학습 물관리 적용을 위해 LSTM, GRU 모형 및 ANN 등 새로운 Machine Learning 알고리즘에 대한 적용성을 검토하여 최적의 저수율 예측 모델 개발
- 농업 현장연건에 적합한 저전력 수문개발(3종) 개발 : IoT 기반의 스마트 농업용 수로 수문 3종 설계기술 LPL게이트, SRS게이트, UHA게이트를 개발하였음
- 저수량 예측에 필요한 데이터 및 방법론 도출 : 저수율 예측에 필요한 추가 데이터는 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 제수문(개폐, 개도율), 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문, 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량)

○ 연구성과 활용실적 및 계획

- 자율학습 물관리 모형을 기반으로 하는 프로그램을 제작 후 사업화 전략계획 수립
- 기후변화 대응 및 통합 물관리시스템 구축 및 운영·관리에 활용
- 저수지의 효율적, 경제적, 선제적인 유지관리 전략적 수립
- 노후 농업생산기반시설에 대한 맞춤형 장수명화 방안수립과 인벤토리 구축방안 수립



# 자체평가의견서

## 1. 과제현황

		과제번호		320004-1	
사업구분	농업기반 및 재해대응기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	농업기반 및 재해대응기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리			과제유형	(기초,응용,개발)
연구기관	한국농어촌공사 농어촌연구원			연구책임자	최은혁
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2020.01~2020.12	500,000	168,000	668,000
	2차연도				
	3차연도				
	4차연도				
	5차연도				
계					
참여기업	충남대학교 산학협력단, 네이버시스템(주), ㈜수리이엔씨, 아주대학교 산학협력단, 유니콘스(주)				
상대국				상대국연구기관	

2. 평가일 : 2021 년 01월 29일

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
한국농어촌공사 농어촌연구원	책임연구원	최은혁

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	
----	---

# 1. 연구개발실적

## 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 아주우수

- 본 연구의 ICT/IoT 및 자율학습기술은 「취수→도수→급수」 체계에 대한 다양한 조건 분석 뿐만 아니라 계측, 제어기술 및 데이터기반 의사결정 기술까지 매우 광범위한 연구로 1차 산업인 농업부분에 AI를 접목시켜 농업용수관리 효율화 관련 기술을 개발한 점 등이 우수함
- 노후화, 기준변화, 수요변화 등으로 인한 농업생산기반시설의 생애주기비용 최소화와 성능 개선이 법제화된 시점에서 성능평가와 성능개선에 대한 구체적인 메뉴얼 및 적용방법과 과학적 의사결정 모델을 개발한 점 등이 우수함

## 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 아주우수

- 수원공, 수로, 분수문, 제수문 및 포장물꼬 등 수리시설의 기능개선을 통해 물관리자의 경험적 관리에서 과학적, 효율적 관리로 전환하여 적기·적량의 농업용수 공급 가능
- 저수지와 양배수장의 성능저하 요인을 안전진단과 개보수결과를 통한 연관성 네트워크 분석과 현황조사를 통해 도출하고 시설정보를 DB화하여 시설물 관리의 과학화 가능

## 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 아주우수

- 필지의 면적에 비례하는 것이 최적의 물 배분으로 가정하고 이를 위해 분수문의 최적개도율을 산정하는 등 농업용 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘의 기본설계를 위해 활용 가능
- 국내 자산관리 선형기술과 해외 선진기술을 조사하고, 지속가능한기반시설관리기본법에 따른 농업생산기반시설의 단계별 도입 방향과 중장기 계획을 수립에 활용 가능

## 4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 아주우수

- 농업기반시설물 성능개선 및 자율학습 물관리의 성과를 다수의 논문개제 및 학술발표회를 통해 발표하였으며, 시설물 관리 및 딥러닝 관련 선진기술 도입으로 연구성과 확산에 노력함으로써 연구목표대비 성과를 100% 달성함

## 5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 아주우수

- 비SCI 논문4건을 비롯한 다수의 학술발표회에 발표하였으며, 농업부분 정책제안 및 농업시설물 관리 지침(안)을 제시하고 농업용수 자율학습 물관리 관련 파일럿 프로그램을 개발하였음.

## II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
ICT기반 물관리 시스템 기본설계	10	10	- 인공지능 알고리즘을 활용한 농업용저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계 - Test Bed 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증
IoT기반 스마트 수리시설물 기본설계	15	15	- IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정 - 농업 현장연건에 적합한 저전력 수문개발(3종) - 물관리 시스템 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영
수위 계측 데이터 분석 방법론 도출	15	15	- 계측 데이터의 통계 특성 및 상관관계 분석 - 저수량 예측에 필요한 데이터 및 방법론 도출
단계별 기술개발 전략계획 수립	10	10	- 물관리 시스템 플랫폼 개발 계획 수립 - 기술개발 전략계획서 작성
농업기반시설 현황조사	5	5	- 자료 및 현장조사를 통한 저수지, 양배수장의 시설관리 운영현황 조사
성능저하 요인분석	5	5	- 통계·확률에 의한 저수지 및 양·배수장의 성능 영향요인 도출 - 현황조사에 의한 성능저하 요인분석
성능평가 모델 개발	5	5	- 저수지 및 양·배수장의 확률론적 성능평가모델 개발
성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출	5	5	- 저수지 및 양배수장의 기대수명 평가 - 저수지 및 양배수장의 조치시기 결정
농업수리시설 자산관리 체계 도입 방안 도출	10	10	- 주요 국가별 기반시설 관리 정책 동향 - 자산관리체계의 단계별 도입방향
저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출	10	10	- 치수측면 및 이수측면의 성능평가 방법론 개발 - 성능평가 매뉴얼(안) 개발
기반시설관리법 공통기준 적용방안 도출	10	10	- 저수지 최소유지관리 기준(안) 개발 - 저수지 성능개선기준(안) 개발
합계	100점	100	

### III. 종합의견

#### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

◦ 본 연구에서는 계측과 모델링 및 스마트 수리시설(Smart Control)을 활용한 데이터기반 물관리 기술개발과 관리자, 수요자 관개와 영농 방식을 기계학습으로 최적의 물 공급 시나리오를 구현하는 자율학습(Unsupervised Learning) 기술개발 등 ICT/IoT 융·복합 자율학습 물관리 시스템을 개발하고자 하였다. 본 연구의 초점은 수원공에서 급수지역까지 농업용수를 공급하는 과정에서 수로, 분수문 및 포장물꼬 등 수리시설의 기능개선과 더불어 센서를 이용해 적기·적량의 공급과 균등 배분을 위한 데이터 기반의 물관리 모형을 도출하는 데 있으며, ICT/IoT 및 자율학습기술은 현재 물관리방법에서 부족한 물자원 절약과 효율적 물관리분야를 획기적으로 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 축조된 지 오래된 농업생산기반시설의 장수명화를 위한 기술 개발 연구로서 당해연도는 운영현황 현장조사를 통한 성능저하 원인분석 및 대책 제시, 객관적인 성능평가 기법의 기본모형을 개발하였으며 이는 향후 농업생산기반시설의 선량한 관리, 성능향상 및 유지관리 효율성 제고에 기여할 것으로 판단된다.

#### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

◦ 농업용수의 효율적인 관리를 위해 인공지능 알고리즘을 활용한 농업용저수지 저수율 모의예측 모형 기본 설계 : 자율학습 물관리 적용을 위해 LSTM, GRU 모형 및 ANN 등 새로운 Machine Learning 알고리즘에 대한 적용성을 검토하여 최적의 저수율 예측 모델 개발을 개발하였음

◦ 농업 현장연건에 적합한 저전력 수문개발(3종) 개발 : IoT 기반의 스마트 농업용 수로 수문 3종 설계기술 LPL게이트, SRS게이트, UHA게이트를 개발하였음

◦ 저수율 예측에 필요한 데이터 및 방법론 도출 : 저수율 예측에 필요한 추가 데이터는 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수율, 제수문(개폐, 개도율), 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문, 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량)

◦ 농업용 저수지의 이수안전도 평가기법 개발 : 최적화된 매개변수와 개발된 매개변수 추정 회귀식의 적용성을 평가한 결과 현재 활용 중인 매개변수 추정 회귀식에 비하여 더 높은 정확도 검증

◦ 성능평가 모델개발 : 점검진단정보와 보수보강공사정보를 이용하여 수명모델과 비용모델을 개발

◦ 저수지 및 양·배수장의 성능평가 방안 도출 : 시설물의 성능을 안전성능, 내구성능, 사용성능으로 평가할 수 있는 매뉴얼(안)을 제시

◦ 저수지 성능개선 투자우선순위 의사결정 지원모델 기술개발 : PDCA 기법을 적용한 시설물 투자우선순위 의사결정 모델을 개발

#### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

◦ 자율학습 물관리 모형을 기반으로 하는 프로그램을 제작 후 사업화 전략계획 수립이 필요하며 이를 위한 기초자료의 축적 및 후속 연구가 필요함

◦ 본 연구결과를 바탕으로 기반시설관리법에 의한 농업기반시설물의 체계적인 관리가 필요하며 지속적인 모니터링과 보원을 위한 후속 연구 필요

#### IV. 보안성 검토

◦ 해당사항 없음

##### 1. 연구책임자의 의견

◦ 본 연구결과는 연구종료 시 연구결과를 공개할 예정이므로 보안성이 필요하지 않음.

##### 2. 연구기관 자체의 검토결과

◦ 연구개발 내용에 대해 자료를 공개 및 공유하고 다양한 의견을 수렴하여 진보된 연구결과  
의 활용이 될 수 있도록 할 예정이므로 보안성이 필요하지 않음.

# 연구성과 활용계획서

## 1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농업기반 및 재해대응 기술개발	
연구과제명	농업생산기반시설 성능개선 및 자율학습 물관리 기술개발			
주관연구기관	농어촌연구원		주관연구책임자	최은혁
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	500,000천원	168,000천원		668,000천원
연구개발기간	2020.0101~2020.12.31.(1년)			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타(                      ) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:                      )			

## 2. 연구목표 대비 결과

\* 자율학습 물관리 기술개발 분야

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① ICT기반 물관리 시스템 기본설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 인공지능 알고리즘을 활용한 농업용저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계</li> <li>○ Test Bed 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증</li> </ul>
② IoT기반 스마트 수리시설물 기본설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정</li> <li>○ 농업 현장연건에 적합한 저전력 수문개발(3종)</li> <li>○ 물관리 시스템 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영</li> </ul>
③ 수위 계측 데이터 분석 방법론 도출	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 계측 데이터의 통계 특성 및 상관관계 분석</li> <li>○ 저수량 예측에 필요한 데이터 및 방법론 도출</li> </ul>
④ 단계별 기술개발 전략계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 물관리 시스템 플랫폼 개발 계획 수립</li> <li>○ 기술개발 전략계획서 작성</li> </ul>

\* 농업생산기반시설 성능개선 분야

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
⑤ 농업기반시설 현황조사	○ 자료 및 현장조사를 통한 저수지, 양배수장의 시설 관리 운영현황 조사
⑥ 성능저하 요인분석	○ 통계·확률에 의한 저수지 및 양·배수장의 성능 영향요인 도출 ○ 현황조사에 의한 성능저하 요인분석
⑦ 성능평가 모델 개발	○ 저수지 및 양·배수장의 확률론적 성능평가모델 개발
⑧ 성능개선과 유지관리의 유불리 판단방안 도출	○ 저수지 및 양배수장의 기대수명 평가 ○ 저수지 및 양배수장의 조치시기 결정
⑨ 농업수리시설 자산관리 체계 도입 방안 도출	○ 주요 국가별 기반시설 관리 정책 동향 ○ 자산관리체계의 단계별 도입방향
⑩ 저수지 및 양·배수장의 성능 평가 방안 도출	○ 치수측면 및 이수측면의 성능평가 방법론 개발 ○ 성능평가 매뉴얼(안) 개발
⑪ 기반시설관리법 공통기준 적용 방안 도출	○ 저수지 최소유지관리 기준(안) 개발 ○ 저수지 성능개선기준(안) 개발

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인 증	학술성과				교육 지 도	인 력 양 성	정책 활용·홍보		기 타 (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 SC I	비 SC I	논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
											백 만 원					백 만 원	백 만 원			백 만 원
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																				
최종목표		1										3		4			2			
연7기간내 달성실적												4		4			2			
달성율(%)		0										130		100			100			

#### 4. 핵심기술

\* 자율학습 물관리 기술개발분야

구분	핵심기술명
①	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 인공지능 알고리즘을 활용한 농업용저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 일반적으로 널리 사용되는 지하 또는 제방으로의 침투를 무시한 간략화된 물수지 모형을 사용하여 저수지 저수율 모의예측 모형 기본설계를 진행</li> <li>· 저수지 저수율 모의예측 모형에 매우 중요한 유입량은 매개변수 조정에 대한 과정이 이미 분석되어 개략적으로라도 추정할 수 있는 3단 Tank 모형을 사용</li> <li>· 모형사용으로 인한 추정의 불확실성을 줄이기 위하여 일단위 계산의 결과를 순단위로 환산하여 물수지 모형에 적용함</li> <li>· 인공지능 용수공급량 예측 모형은 물수지 모형과 공급량 모형에 의해 모의된 저수율이 실제 관측된 저수율과 잘 일치하도록 작부시기, 손실율 등을 최적화 알고리즘(ACO, Ant Colony Algorithm)을 통하여 역추정</li> </ul> </li> <li>◦ Test Bed 계측자료 기반 물관리 시스템 알고리즘 개선 및 검증               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 관개수로 모의 및 최적화 알고리즘의 기본설계는 필지의 면적에 비례하는 것이 최적의 물 배분으로 가정하고 이를 위해 분수문의 최적개도율을 산정</li> <li>· 고정된 수문은 실제 현장에서의 수문 조작 방식과는 다른 방법이므로 수로 조작에 최적화 알고리즘(MCTC, Monte Carlo Tree Search)을 적용하여 제시할 예정</li> <li>· 물관리 시스템 알고리즘의 검증을 위해 데이터를 수집하고 추가적인 현장검증 등이 필요함</li> </ul> </li> </ul>
②	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ IoT 기반 스마트 수리시설물 도입기술 선정</li> <li>◦ 농업 현장연건에 적합한 저전력 수문개발(3종)               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내/외의 대표적인 수문 형식, 작동방식 및 소재 등에 대해 분석/검토 하였으며, IoT 기반의 스마트 농업용 수로 수문 3종 설계기술 LPL게이트, SRS게이트, UHA게이트를 개발하였음</li> <li>· LPL(Low-Powered Lightweight Gate) 게이트는 경량의 소재를 적용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문 형식</li> <li>· SRS(Smart Rubber &amp; Steel Gate) 게이트는 하이브리드 패널과 고무 에어백을 사용하여 저전력으로 게이트를 기립과 전도하는 방식의 수문 형식</li> <li>· UHA(Upper Hinge Automatic Gate) 게이트 하이브리드 패널을 사용하여 저전력으로 게이트를 상부 힌지방식으로 개폐하는 방식의 수문 형식</li> </ul> </li> <li>◦ 물관리 시스템 알고리즘 검증을 위한 계측장비 시범 운영               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 물이용 불확실성을 해소하고자 유역부, 저수부 및 평야부에 걸쳐 수문 계측망을 구축 및 운영을 하였음</li> <li>· 관개지역 내의 구간별 농업용수량의 산정이 필요하지 않는 지구에서는 간선수로별로 유입부, 중간부, 말단부에 각 1개소 즉, 간선 수로별 3개소 규모의 계측기를 구축함으로써 경제성을 확보할 수 있을 것으로 분석됨</li> </ul> </li> </ul>



③	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <b>계측 데이터의 통계 특성 및 상관관계 분석</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 데이터의 통계적 특성 분석결과 관계기 용수 공급 여부가 강수량과는 상관없이 계획에 의해 공급 되거나 농민의 추가 요청에 의해 공급되는 업무 특성이 반영된 것이라고 추정할 수 있고, 모델에 적용할 데이터 생성 시 이 부분을 고려해야 할 것임</li> </ul> </li> <li>◦ <b>저수량 예측에 필요한 데이터 및 방법론 도출</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 저수량 예측에 필요한 추가 데이터는 취수부에서 획득할 수 있는 기상상황(유출량, 수면강우, 증발), 저수량, 제수문(개폐, 개도율), 도수부에서 획득할 수 있는 용수로(길이, 경사, 분기횟수), 분수문, 방수문, 급수부에서 획득할 수 있는 강우상황(유효우량 적용량), 감수심(증발산, 침투량) 등임</li> <li>· 분석에 적용할 수 있는 알고리즘은 뉴로 퍼지 방법, ANN(Artificial neural Network)방법, ARMAX(Autoregressive-moving-average model), ANFIS 및 GEP(Gene Expression Programming) 및 SVM(Support Vector Machine)등이 있고 알고리즘에 적용할 변수들의 특성을 고려하여 선택 활용해야함</li> </ul> </li> </ul>
④	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <b>물관리 시스템 플랫폼 개발 계획 수립</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 단계별 알고리즘 기술개발 전략계획 수립</li> <li>· 단계별 스마트 수리시설물 기술개발 전략계획 수립</li> <li>· 단계별 물관리 시스템 기술개발 전략계획 수립</li> </ul> </li> <li>◦ <b>기술개발 전략계획서 작성</b></li> </ul>

\* 농업생산기반시설 성능개선 분야

구분	연구내용명
⑤	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <b>농업기반시설 현황조사</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 저수지와 양배수장의 시설관리 현황과 문제점을 조사하였으며, 이에 대한 개선방안과 향후계획을 유지관리 및 성능개선 근거법령에 근거하여 제시</li> </ul> </li> </ul>
⑥	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <b>성능저하 요인분석</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 저수지와 양배수장의 성능저하 요인을 안전진단과 개보수결과를 통한 연관성 네트워크 분석과 현황조사를 통해 도출함</li> <li>· 저수지 461개소와 양배수장 106개소의 진단결과는 세부정보를 DB화함</li> <li>· 저수지 제체의 손상 중 식생이 가장 많이 발생하였으며, 부재 등급에 상관없이 발생하는 손상과 낮은 등급에서 발생하는 가중치를 조정하여 부재별 안전성능 평가결과의 조정이 필요하다는 결과를 도출함</li> </ul> </li> </ul>
⑦	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <b>성능평가 모델 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 점검진단정보와 보수보강공사정보를 이용하여 수명모델과 비용모델을 개발함</li> <li>· 저수지제체의 미조치 기대수명은 36년이 도출되었으며, 현행 유지관리에 의한 기대수명은 135년으로 분석됨</li> <li>· 저수지 여수로의 미조치 기대수명은 36년, 취수시설은 29년으로 분석됨</li> <li>· 취수시설은 개보수가 아닌, 기계와 전기시설의 교체가 주요 보수공사로 비용모델의 형태가 E등급에서 급격히 증가함</li> <li>· 양배수장의 미조치모델은 토목, 건축, 전기, 기계가 각각 42년, 51년, 27년, 35년으로 분석되었으며, 기계시설이 양배수장의 수명을 결정함</li> </ul> </li> </ul>



6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	농업용수 공급관리와 수리시설 유지관리 계획수립 및 총괄관리 활용
②의 기술	기후변화 대응 및 통합 물관리시스템 구축 및 운영·관리에 활용
③의 기술	기후변화 대응 및 통합 물관리시스템 구축 및 운영·관리에 활용
④의 기술	농업용수 공급관리와 수리시설 유지관리 계획수립 및 총괄관리 활용
⑤의 기술	현황자료를 토대로 시설물 유지관리 중장기 전략 수립
⑥의 기술	농업생산기반시설 유지관리와 정밀안전진단의 가중치 설정
⑦의 기술	거시적 측면의 일반화된 성능모델을 통해 시설물별 자산가치 결정
⑧의 기술	농업생산기반시설의 성능개선을 위한 기준으로 활용
⑨의 기술	자산관리 기법의 도입을 위한 기초자료로 활용
⑩의 기술	저수지 및 양배수장의 사용성을 포함한 성능평가 방법론으로 활용
⑪의 기술	농업생산기반시설의 '기반시설관리법' 대응 지침으로 상정

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						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치																			
최종목표												5		5			4	2	
연구기간내 달성실적												4		4			2	1	
연구종료 후 성과창출 계획												1		1			2	1	

### 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농업기반 및 재해대응기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농업기반 및 재해대응기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.