

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002406-01

<http://rri.ekr.or.kr>

기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구(최종)

A Study on Water Conservation Design Standard for
Adaptation to Climate Change

2018. 11



농림축산식품부



농림축산식품부

한국농공학회

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018년 11월

주관연구기관명 : 한국농공학회

연구책임자 : 최경숙

연구원 : 남원호

권형중

조건호

이슬기

방나경

요 약 문

1. 연구과제명 : 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구

2. 연구기간 : 2017년 06월 ~ 2018년 11월

3. 연구목적

- 농업용 저수지의 합리적인 운용 및 관리, 용수공급능력에 대한 정량적인 평가를 위하여 기상·수문 현상 및 하류의 용수 수요, 유역 환경의 변화에 따른 과거 설계기준의 재평가 및 이수안전도의 개념을 정립하고 미래 기후변화에 따른 공급량과 수요량의 불확실성을 분석하고 농업수자원 이수 측면에서의 이수안전도의 변화를 분석함으로써 농업용 저수지의 기후변화 적응대책을 수립하고자 함
- 본 연구는 농업용 저수지의 기후변화 적응력을 증대시키기 위한 것으로 기후상태의 영향을 최소화하기 위함이며, 용수공급능력의 정량화 및 기후변화 취약성 평가를 통해 수리시설정비의 중장기 계획 방향을 제시하고 저수지 이수안전도 평가 및 설계기준 정립을 통해 기후변화 적응력을 증대 시키고자함
- 용수구역별 이수안전도 증대를 통한 지역적 용수 불균형을 해소하고 다양한 물수요량 증가에 능동적으로 대처하고, 선제적 가뭄대응으로 기후변화 취약성 감소 및 회복력 향상을 도모하고 안정적인 용수확보를 통해 지속 가능한 농업유지로 식량안보 및 경제안보 실현하고자 함

4. 연구범위

4.1 이수안전도 분석을 통한 농업용 저수지 기후변화 영향 평가(1차년도)

- 농어촌용수 개발지구 설계자료 수집 및 국내외 이수분야 설계기준 검토
- 농어촌용수 개발지구 설계자료 및 농업용 저수지 현황 통계자료 수집

- 국내외 이수분야의 설계기준 검토
- 관리주체, 저수지 규모, 축조년도, 한발빈도 등을 분류하여 분석
- 이수안전도 개념 정립
 - 신뢰도, 용수공급부족기간, 내한능력, 부족기간 회복도, 취약도
 - 농업분야 이수안전도 개념 정립
- 현재설계기준 대비 수량 부족저수지(공사 관할저수지, 시험지구 선정)
 - 저수지 특성 (유역배율 등)에 따른 설계기준 및 현재 이수안전도의 비교 분석
 - 설계기준 대비 현재 이수안전도 부족 저수지 시험지구 선정
- 시험지구 기후변화 시나리오 적용을 통한 물수지 분석(설계한발빈도 분석)
 - 미래 기후변화 시나리오를 활용한 저수지 물수지 분석
 - 미래 기후변화 시나리오에 따른 설계한발빈도 변화 분석
- 이수안전도 개념 적용에 따른 시험지구 영향평가
 - 이수안전도 개념을 적용한 시험지구의 과거 및 현재, 미래 이수안전도 영향분석
 - 이수안전도 취약군 저수지 분류
- 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석
 - 이수안전도 상향조정을 위한 방법 제안 및 경제성 분석

4.2 기후변화를 고려한 농업용 저수지 이수 설계기준 정립(2차년도)

- 이수분야 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석
 - 시험지구 재선정
 - 시험지구 이수안전도 분석
 - 이수안전도 유형 분류 및 용수공급능력 변화 요인 분석
 - 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석
- 농업용 저수지의 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석

- 저수지 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석
- 한발빈도 기준 이수분야 설계방법의 적합성 검토 및 설계 개선 요소 도출
- 한발빈도, 저수용량 변경 및 보조수원공 등을 고려한 기후변화 대응방안
 - 기후변화가 미래 장기유출에 미치는 영향 분석
 - 기후변화에 따른 농업용 저수지의 이수대책 도출
- 기후변화 대응방안에 따른 농업용수 이수안전도 분석
 - 기후변화 대응방안을 적용한 이수안전도 재분석
 - 이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석

5. 연구결과

5.1 이수안전도 분석을 통한 농업용 저수지 기후변화 영향 평가(1차년도)

5.1.1 국내외 이수분야 설계기준 분석

- 국내 이수분야 설계기준을 검토하기 위하여 농림축산식품부에서 제정 및 관리하고 있는 농업생산기반정비사업 설계기준의 이수분야 관련 설계기준 내용을 검토하였음. 2016년도에 개편된 농업생산기반정비사업 설계기준 중 이수분야와 관련된 설계기준은 총 9편이며, 특히 우리나라 논 관개의 주수원공인 농업용 저수지와 관련하여 KDS 67 10 00 농업용 댐 설계기준의 ‘1.8 저수용량 결정’ 부분에서 이수 측면에서의 설계기준을 정의하고 있음
- 농업분야 이수설계기준은 농지개량사업계획 설계기준 댐편 (농식품부, 1982)에 ‘농업용댐의 이수목적 필요저수량을 일반적으로 10년에 1회 정도의 갈수를 기준’으로 명시하고 있으며, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 필댐편 (농식품부, 2002)에서는 ‘농업용 저수지에서는 관개시기별 조용수량(수요량)과 10년빈도 한발시의 하천유량(공급량)을 기준’으로 명시하고 있음

- 국내의 타 부처 이수관련 설계기준을 살펴보면, 국토부 (2016) 수자원장기 종합계획에서는 30년에 1회 물부족 허용 (2001년 7월), 37년에 1회 물부족 허용 (2006년 7월)으로 기준을 마련하고 있음. 또한 국토부 (2011) 댐설계 기준에서는 이수안전도의 정의를 신뢰도 기준을 권장하고 있는데, 최근에는 기후변화 및 물공급 안정성 등을 고려하여 20~30년에 1회 물부족을 허용하고 있음. 환경부 (2010) 상수도 설계기준에서는 저수지의 유효저수량 결정 기준으로서 10년에 1회 갈수년을 표준으로 선정하고 있음
- 국외의 이수분야 설계기준의 경우 미국, 영국 및 호주 등과 같은 선진국에서의 농업분야에 국한된 이수설계기준을 파악하기 힘들었으며, 다목적댐의 경우 수환경 특성을 고려하여 국가별로 다양하게 이수안전도를 적용하고 있음. 가뭄빈도가 높을 경우 50년 1회 가뭄 혹은 과거 최대 가뭄을 계획기준년으로 하고 있어 우리나라보다 안정적인 물공급 인프라를 보유하고 있음. 또한 우리나라와 농업환경이 유사한 일본의 경우에는 농업분야 이수설계 계획기준년을 1/10 확률년(10년에 1회 그 사상이 발생하는 빈도)을 채용하고 있음

5.1.2 이수안전도 개념 정립

- 이수안전도란 수자원 공급시설이 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안정성 정도를 나타내며, 설정된 수요량을 공급할 수 있는 확실성을 의미하고 확실성은 확률 또는 빈도개념으로 표현됨
- 이수안전도는 일반적으로 보장공급량, 신뢰도, 회복도, 취약도, 용수공급부족도 등으로 분석되며, 우리나라 다목적댐의 경우 보장공급량 기준에서 신뢰도 기준을 권장하고 있는 추세임. 그러나 농업용 저수지의 경우에는 한발빈도개념을 이수안전도의 척도로 적용하고 있음.
- 따라서 본 연구에서는 농업용 저수지의 이수안전도 개념을 한발빈도 개념으로 적용하여 “10년 1회 물 부족 허용 (10년 한발빈도 적용)” 을 안정적인 농업용수 확보 기준으로서 농업용수분야 이수안전도로 봄

5.1.3 이수안전도 분석을 위한 시험지구 선정

- 농업분야 이수안전도 분석 대상을 선정하기 위해 현재 설계기준 대비 수량 부족 저수지로서 최근에 가뭄을 경험한 지구를 대상으로 유역배출을 기준으로 시험지구를 선정함. 공사관리 저수지 중 주수원공 저수지 대상으로, 최근 영농대비 용수 확보 추진지구(가뭄대책지구)를 중심으로 저수지 유역배출 기준으로 도별 1~2개 지구를 선정하여 총 13개 시험지구를 선정함.
- 농업분야 이수안전도 분석을 위해 선정된 시험지구의 현황 등에 대한 기초자료를 조사하였음. 특히 과거 대비 현장여건의 변화를 반영하기 위해 관개면적, 재배방식, 작부시기 등 물수지 분석을 위한 기초자료를 조사하였음. 현장여건 변화 조사는 현장 인터뷰 및 설문조사를 통해 실시되었으며, 현장 인터뷰 불가 지구에 대해서는 온라인 매체(이메일 및 유선 등)를 통해 조사를 실시하였음. RIMS에서 제공하는 관개면적 및 현장 조사 결과와의 비교, 물수지 분석에 사용되는 모의 기본값과 현장 조사 결과와의 비교, 중부지방 및 남부지방에 적용하는 작부시기 조사 결과를 분석하였음
- 시험지구의 강우인자의 변화에 대해 조사하였으며, 그 결과 모든 대상지에서 과거 30년간 강수량에 비해 최근 30년간 강수량이 증가하는 추세를 보였으나, 5년 단위 연평균 강수량을 비교했을 때, 2013년에서 2016년 강수량이 모든 대상지에서 감소하는 추세를 보였음. 10년 단위 월별 강수량 패턴을 비교했을 때 모든 대상지에서 최근 여름 강수량이 감소하는 것으로 나타남.

5.1.4 이수안전도 개념 적용에 따른 시험지구 영향 평가

- 시험지구 이수안전도 분석을 위해 과거의 설계한발빈도 재현시나리오(1961년~1990년, 1973년~2002년), 현재의 설계한발빈도 산정을 위한 현재 기상자료(1987~2016년)만 적용한 시나리오(현재 시나리오1), 현재 기상자료(1987~2016년) 및 현장여건 변화 자료를 조합한 경우의 시나리오(현재 시나리오 2)를 각각 적용하여 과거대비 현재 이수안전도를 비교 분석하였음
- 이수안전도 분석을 위해 실시된 물수지 분석에서 저수지별 과거 30년, 최근 30년 단위 연평균 유출량 비교 결과, 최근 연평균 유출량이 모든 저수

지에서 1.8~9.3% 증가하는 것으로 나타났음. 유효우량의 경우에는 과거에 비해 최근 30년 기상자료만 반영한 경우 대부분이 유효우량이 감소하거나 증가폭이 매우 적게 나타났으나, 최근 기상자료와 현장여건 변화를 함께 적용한 경우에는 일부 저수지를 제외하고는 대부분이 유효우량 증가 추세를 보였음

- 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 단위 필요수량은 5년단위 연평균 조용수량을 비교하였을 때 대부분의 저수지에서 증가하였으나, 일부 저수지에서는 현장여건 변화 등으로 조용수량이 감소하는 것으로 나타남.
- 통계연보 상의 설계당시 계획한발빈도와 과거 설계한발빈도 재현시나리오를 비교한 결과 과거 설계한발빈도 재현시나리오에서 금광, 덕우저수지 및 개운저수지를 제외한 모든 저수지에서 2~3년 한발빈도의 결과를 나타내 통계연보상의 계획한발빈도와 상당한 차이를 보였음. 대부분의 시험지구 저수지 준공연도가 1940년대로 당시 기상자료 부족에 따른 설계상황의 재현이 어려워 두 한발빈도 차이의 원인 파악이 불가능하였음.
- 과거 설계한발빈도 재현시나리오 및 현재 시나리오 1의 경우, 금광, 덕우저수지 및 개운저수지를 제외한 저수지에서 2~3년 한발빈도를 나타내 두 시나리오에 의한 한발빈도의 결과 차이는 미비했음. 이는 두 시나리오의 이수안전도 산정에 동일한 기초자료(재배방식, 작부시기, 침투량 등)의 활용과 가용한 기상자료를 사용하다 보니 자료기간이 20년 정도 중첩되는 점이 주요 요인으로 사료됨.
- 현재 기상자료 및 현장여건 변화 자료를 활용한 현재 시나리오 2의 경우에도 일부 저수지를 제외하고는 과거 및 현재 시나리오 1의 경우와 비슷한 결과를 나타내었음. 대부분의 저수지에서 조용수량이 증가함에 따라 일부 저수지의 경우에는 이수안전도가 감소하는 경향을 보이거나, 현장여건 변화 조사자료를 활용한 현재 시나리오 2에서는 조용수량이 감소하는 경향이 나타나, 이수안전도가 동일하거나 증가하는 것으로 나타남.
- 기후변화 시나리오를 적용하여 현재 대비 미래 이수안전도를 분석한 결과, 모든 저수지에서 4년 빈도 이하의 낮은 이수안전도를 가지는 것으로 나타남. 향후 미래 논밭 변화 추이를 적용하여 보다 현실성 있는 결과물

도출이 필요할 것으로 사료됨

5.1.5 이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석

- 이수안전도 상향조정 즉, 한발빈도 10년을 유지하기 위한 필요저수량 확보를 위한 경제성 분석은 저수지 독높이기 사업, 배수개선사업 등 유사사업에서의 경제성 분석 사례를 토대로 경제성 분석 방법을 검토하였음
- 이수안전도 상향조정을 위한 경제성 분석을 위한 비용은 기존의 저수지 독 높이기 사업을 시행한 110개 지구의 추가확보 저수량과 총사업비의 상관관계로부터 본 연구의 시험지구 추가확보저수량에 대한 사업비를 추정하였고, 편익은 직접 편익 즉, 생산성 향상 효과, 작목전환 효과를 적용하여 산정하였음.
- 경제성 분석 수행 결과는 B/C 값이 1 이상인 금광, 풍전, 왕궁저수지를 제외하고는 0.4~0.84 범위로 나타남. 금광저수지의 경우 B/C가 가장 높은 2.33로 나타났으며, 손익분기점은 5년으로 분석되었음
- 본 연구에서는 편익의 과대 산정을 방지하기 위하여 직접 편익만을 적용하여 경제성 분석을 수행하였으나, 기타의 간접 편익을 고려한다면 사업에 대한 경제적인 타당성이 확보될 수 있을 것으로 사료됨. 2차년도에서는 기후변화 대응 방안을 적용한 보조수원공 활용 등을 고려한 직접 편익 및 간접 편익을 동시에 적용하여 경제성 분석을 실시함

5.2 기후변화를 고려한 농업용 저수지 이수 설계기준 정립(2차년도)

5.2.1 이수분야 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석

- 2차년도 저수지 이수안전도 분석을 위해 공사관할 저수지 중 주수원공이 면서 유효저수량 100만 톤 이상인 466개 저수지를 시험지구로 재선정하였음. 시험지구 저수지의 통계연보상의 한발빈도와 유역배율 등 기본 자료를 조사하였음
- 현재의 기상조건을 기준으로 시험지구 저수지를 대상으로 이수안전도를 분석한 결과 전국적으로 10년빈도 이상인 316개소, 7년빈도가 33개소, 5년 빈도 16개소, 3년 26개소, 평년이하 72개소로 나타났으며, 지역적으로

는 저수지가 상대적으로 많은 전라남도, 전라북도, 충청남도, 경상북도에
 서 3년빈도 이하의 저수지가 상대적으로 많아 이수측면에서 불안정한 지
 역으로 파악됨

- 통계연보와 현재의 기상조건 기준으로 한발빈도의 변화를 조사한 결과 한
 발빈도가 감소한 경우가 80개, 동일한 경우 161개, 증가한 경우가 225개
 로 나타나 전체적으로 이수안전도가 향상된 추세를 나타내었는데 이는
 저수지독높이기사업, 개보수사업 등을 통한 결과로 판단됨
- 이러한 결과를 바탕으로 이수안전도 유형분류 및 용수공급능력의 변화 요
 인을 분석한 결과, 통계연보에 비해 이수안전도가 지역의 경우 상대
 적으로 유역배율과 단위저수량이 낮은 쪽에 많이 분포하고 있었음.
- 설계한발빈도와 실제 공급량 차이의 분석을 통해 이수안전도 측면에서 문
 제점을 분석하고자 1차년도 시범지구인 송강저수지를 대상으로 설계기준
 과 실제 공급량 차이 분석을 실시함. 그 결과, 실제 공급량 분석에서는 물
 이 부족할 경우에 저수지가 고갈되지 않는 범위에서 물관리가 되는 경우
 가 대부분이므로 설계기준과 실제 공급량에서 차이가 발생한 것으로 파악
 됨.
- 과거 및 현재 기상자료를 활용하여 송강저수지의 유입량 및 필요수량을
 비교한 결과, 시나리오 별로 유입량은 매우 유사했으며, 현재 기상자료에
 현장여건 변화를 적용 시에 시나리오별로 필요수량이 다르게 나타나 이에
 따른 공급 수량에도 차이가 발생한 것으로 판단됨.

5.2.2 농업용 저수지의 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분 석

- 이수안전도 분석에 있어 중요한 설계인자를 파악하고자 저수지 설계모형
 인 HOMWRS의 필요수량 입력자료 중 주요 설계요소인 관개면적, 침투량,
 수로손실, 담수심을 대상으로 민감도 분석을 실시한 결과, 필요수량 산정
 결과값에 대한 민감 정도는 관개면적 > 수로손실 > 침투량 > 담수심 순
 으로 나타남
- 이수분야 주요 설계요소 변화에 따른 저수지 이수안전도에 미치는 영향을

파악하기 위해 작물계수 및 작부시기 변화에 대한 영향을 분석하고, 현장 여건 변화에 가장 큰 요소인 경지면적에서 논에서의 밭작물 재배비율 증대에 따른 영향을 분석함.

- 최근 작물계수의 변화는 조용수량에 감소요인으로 작용한 반면, 작부시기의 변화는 조용수량에 증가요인으로 작용하여 기존의 방법을 적용한 경우보다 조용수량이 평균적으로 높게 나타나 작부시기를 고려한 경우와 작물계수 및 작부시기를 동시에 고려한 경우 조용수량 증가로 이수안전도 측면에서 불리한 결과를 도출함.
- 경지면적 비율변화에 따른 조용수량 변화는 발면적 비율이 증가함에 따라 조용수량이 감소하였으며, 저수지별 정도의 차이는 있으나 대체적으로 밭작물별 단위면적당 필요용수량은 고추<특용작물<두류<고구마<마늘<과수 순으로 높게 나타남.
- 또한 기후변화 요소인 작물계수 및 작부시기 변화의 적용, 못자리 용수미 고려, 벼의 작부시기 구분 개선, 시설관리용수량 증대요소 반영 등의 저수지 설계 프로그램의 개선사항과 농업생산기반정비사업 설계기준상의 개선 사항을 제안함

5.2.3 한발빈도, 저수용량 변경 및 보조수원공 등을 고려한 기후변화 대응방안

- 기후변화가 미래 장기유출에 미치는 영향을 분석할 결과, 일반적인 수문학적 물순환 경향과 동일하게 연 강수량이 증가할수록 저수지 유입량 역시 증가하고 있으며 1:1의 상관관계를 나타내는 것을 확인하였음
- 강수량은 유역으로부터의 유출 즉, 저수지 유입량에 변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자로서, 수량 1,000~1,200mm의 범위에서는 2분기 강수량 비율이 이수안전도를 결정하는 가장 중요한 요소가 되며, 이때 저수지 운영이나 보조수원공의 운영 등의 개선을 통하여 이수안전도를 상향시킬 수 있을 것으로 판단됨
- 기후변화에 따른 농업용 저수지의 이수 대책을 도출하기 위하여 구조적인 대책과 비구조적인 대책으로 나누어, 문헌분석을 통하여 기존에 제시된 대책이나 정책, 기술 등의 현황을 파악하고 문제점을 도출하여 이수안전

도 상향조정을 위한 이수 대책을 제시하였음

- 구조적인 대책으로서 물관리자동화시스템을 활용한 용수의 효율적인 이용, 저수지 준설이나 증고를 통한 추가 저수량 확보, 지표수 및 지하수 등을 이용한 보조수원공의 개발, 논작물에서 밭작물로의 전환을 위한 받기반정비사업의 확대 등이 제시되고 있음
- 본 연구에서는 경제성 분석을 통한 이수 대책 도출로서 보조수원공을 활용한 주수원공의 이수안전도 상향 및 주수원공의 증고를 통한 유효저수량 추가 확보를 제시하였으며, 이러한 방안을 적용하여 미래 이수안전도를 재분석하였음
- 비구조적인 대책으로서 크게 수리시설개선, 용수의 다목적 이용, 범정계획의 개편, 기후변화 평가, 농업용수 관리, 인식변화의 필요, 가뭄대책, 물절약 정책 등으로 제시되고 있음
- 기존에 제시된 비구조적인 대책들은 대부분 용수공급(수자원 개발) 계획 위주로 구성되어 있고 기존 시설의 효율적 이용 계획이 제대로 반영되고 있지 못한 한계를 지니고 있으며 또한, 각 계획 및 정책간의 연계성이 미흡한 실정임
- 본 연구에서는 비구조적인 이수 대책으로서 수혜면적의 단위 필요수량 산정방식의 개선, 대체 수자원 마련을 위한 우선순위 결정, 빗물 재이용과 같은 친환경적인 수자원 확보 방안, 효율적이고 현실적인 물관리 운영 정책이 도출의 시급성을 제언하고자 함

5.2.4 기후변화 대응방안에 따른 농업용수 이수안전도 분석

- 기후변화 대응방안을 적용한 이수안전도를 분석하기 위하여, 본 연구에서는 현장 실무에서 적용 가능한 대책으로서 보조수원공을 활용한 이수안전도 제고 및 주수원공의 유효저수량 증고에 따른 이수안전도 제고의 2가지 방안을 제시함
- 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역을 감소시키는 방안은 주수원공의 수혜구역을 10%부터 50%까지 감소시키는 시나리오를 적용하여 미래 주수원공의 이수안전도 (한발빈도)를 재분석한 결과, 한발빈도가 기존

3년에서 점진적으로 증가하여 수혜구역이 약 30% ~ 40% 범위로 줄어들었을 경우 한발빈도 10년을 상회하는 것으로 분석되었음.

- 시범지구를 대상으로 이수안전도 상향 조정을 위한 보조수원공 활용 및 주수원공 증고에 대한 경제성 분석을 실시한 결과, 보조수원공을 활용한 이수안전도 상향조정 방안은 금광, 덕우, 송강, 학정, 개운저수지에서 경제성이 확보된 것으로 분석되었으며, 보조수원공을 활용한 방안이 주수원공 증고 방안보다 모두 B/C 값이 높게 산정되고 손익분기점이 빨라져서 보조수원공을 활용한 방안이 더 경제적인 기후변화 대응방안으로 나타남
- 주수원공 증고에 의한 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석 결과는 금광, 풍전, 왕궁저수지에서 B/C 값이 1을 상회하여 경제성이 있는 것으로 나타났으나, 저수지독높이기사업과 같이 저수지 증고를 위한 초기 투자비용이 막대하게 소요되는 관계로 기타 지역에서는 경제성이 없는 것으로 나타남
- 나머지 학, 냉정, 금마, 관기, 덕곡저수지의 경우에는 보조수원공 활용 방안이나 주수원공 증고 방안 모두 경제성이 확보되지 않은 관계로 구조적인 대책 보다는 비구조적인 대책 즉, 저수지 운영 및 관리 방안을 재검토하는 것이 필요함

<Summary>

1. Research Project : A Study on Water Conservation Design Standard for Adaptation to Climate Change

2. Research Period : 6. 2017 ~ 11. 2018

3. Purpose

- Evaluation of climate change impacts on agricultural reservoirs by analysis of design frequency for agricultural water conservation
- Suggestion of modification of water conservation design standard of agricultural reservoirs for adapting climate change (2nd year)

4. Results

4.1. Evaluation of climate change impacts on agricultural reservoirs by analysis of design frequency for agricultural water conservation (1st year)

4.1.1 Review of Korean and international water conservation design standards

- Korean water conservation design standards was reviewed. It is found that 10 year frequency drought has been adopted for agricultural purpose, while the new concept of credibility has been introduced and recommended with 95~96.7% of credibility as the water supply safety for the multipurpose dams
- The developed countries such as USA, England, Australia has no particular design standard for agricultural purpose only but adopt various design frequency depend on their water system

environments. They adopted 50 year frequency drought or the previous maximum drought to have reliable design standards for considering climate change impacts

- Japan which has similar agricultural environment with Korea also use 10 year frequency drought as design standard of irrigation intake facilities

4.1.2 Establishment of concept of water supply safety and reliability for the agricultural purpose

- The water supply safety and reliability means that water can be supplied without having water shortage situations or fail in supplying water to meet water demand during the certain periods
- Firm supply, reliability, resilience, vulnerability can be utilized as the measure of the water supply safety and reliability
- Since 10 year frequency drought has been adopted as design standards for agricultural purpose, this standard was applied as the water supply safety and reliability measurement of agricultural reservoirs for evaluations of past, current, future status of water supply stability

4.1.3 Selection of sample sites for analysis of water conservation design frequency

- As sample sites for analysis of water conservation design frequency, total 13 agricultural reservoirs were selected within the KRC command areas based on main intake works, having water shortage problems, ratio of watershed vs benefit area
- Basic data was collected for simulation of water balance of the sample sites, and important field data was investigated through on-off survey to consider the changes of paddy field environments.

- Rainfall characteristics were also analyzed to compare between the past and the current conditions. The rainfall amount in current condition found to be increased from the comparison between past and current 30 years-based rainfall amounts, while currently rainfall amounts decreased in 5 years-based comparison. Monthly rainfall pattern also showed the decrease of rainfall during the summer period

4.1.4 Evaluation of climate change impacts on water conservation design frequency

- In this study, three scenarios were considered to evaluate water conservation design frequency. The first scenario is the past design frequency, the second scenario is current design frequency with only considering current weather factor, the third scenario is the current design frequency with considering current weather and field condition factors
- It was found that most sample sites produced 1.8~9.3% increase of 30 years-based average runoff under current weather conditions from the water balance simulation. The effective rainfall showed decrease trend or small increments under current weather conditions, while the increased effective rainfall was observed from most sample sites under the current design frequency with considering current weather and field condition factors
- 5 years-based average crop water requirement also increased, but some of sites showed decreased water demand due to change of field conditions
- Compared to the results of three scenarios, it showed no much difference between the results of first and second scenarios due to the duplication of 20 years weather data, but big difference was observed from previous design frequency with the first scenario. Also slightly difference was noticed between the second

and the third scenarios because of water demand change by considering field conditions

- For future climate change scenario, it was obtained less than 4 years design frequency from the 13 sample sites, and it is suggested to simulate with considering future trend of changing areas of paddy-upland fields to achieve more realistic results

4.1.5 Economic analysis for improving design standard of water conservation

- It is necessary to increase storage capacity to have secure water supply based on the results from the evaluation of climate change impacts on water conservation design frequency
- This study analyzed benefit-cost ratio in the case of increasing water storage capacity additionally to achieve water supply safety. In this study, the benefit analysis consider only direct effects such as crop production effects, crop change effects, etc, while the cost analysis has been done based on references of the heightening embankment of reservoirs from 4 major rivers restoration projects and other related irrigation and drainage projects
- As results, 3 among 13 sample reservoirs showed more than 1 of B/C ratio but most of them obtained between 0.4~0.84 ranges of B/C ratio. Since this study counts on direct benefits only for the economic analysis, these results can be used in the limited conditions, and indirect benefits need to be considered for better analysis in the future

4.2. Suggestion of modification of water conservation design standard of agricultural reservoirs for adapting climate change (2nd year)

4.2.1 Analysis of problems occurring from differences between water

conservation design standard and actual water supply

- As a result of analyzing the frequency of 466 reservoirs in Korea, it was classified according to decrease, same, increase in safety level compared to the statistical yearbook. In the case of decreased area, relatively low watershed magnification and unit storage distributed.
- When meteorological conditions were applied, the safety level of water was increased compared with the statistical yearbook, and the difference of the unit water storage volume was caused by the change of the effective water storage capacity according to the area of beneficitation.
- Analysis of difference between design standard and actual supply amount was conducted for Songgang reservoir. It is operated within the range where the reservoir is not depleted during the actual supply analysis. This is the difference between the design standard and the actual supply. It is assumed to be managed by the agricultural water manager.

4.2.2 Analysis of design elements of agricultural reservoirs through sensitivity and vulnerability analysis

- The sensitivity analysis was conducted to find important design factors from the HOMWRS input data. The benefit area seems to be the most sensitive to the crop water requirement, and followed by conveyance loss, infiltration rate, flooding depth.
- This study also investigated the effects of important design factors on the water conservation design frequency with water supply stability based on climate change, farming pattern and environmental change elements as well as area changes of paddy fields
- The improved factors were suggested to improve the design

methodology and standards based on the above results under condition of climate and farming condition changes

4.2.3 Alternatives including improvements of design standard and storage capacity, and consideration of auxiliary water storage for adapting climate change

- Structural and non-structural (hardware and software) measures were suggested to improve design standard of water conservation impact on climate change
- For structural measures, we suggested two measures such as sub-water resources developing to reduce the irrigation field area of agricultural reservoir and agricultural reservoir volume increase to improve design standard
- For non-structural measures, we suggested 4 measures such as upgrading the evaluating method for unit water demand of the irrigation fields, determining priorities for alternative water resources, eco-friendly water securing and developing efficient agricultural water manage and operating guideline.

4.2.4 Analysis of water conservation design standard based on suggested alternatives for adapting climate change

- For analysis of irrigation safety impact on climate change, two measures adapted such as sub-water resources developing and reservoir volume increase
- In order to secure irrigation safety, the more 30% of irrigation field area for main-water resources (agricultural reservoir) need to be reduced by sub-water resources application
- The construction costs for agricultural reservoir volume increase were estimated to improve irrigation safety as to be preserve the 10 years of the frequency of drought

- The results of the economic analysis considering direct and indirect benefits show economic feasibility for most of all reservoir using structural measures, however 5 reservoir need to be developed non-structural measures to adjust increase the irrigation safety

목 차

제 출 문	i
요 약 문	ii
Summary	xi
목 차	xii
표 목 차	xiv
그림목차	xix
제 1 장 서 론	3
제 1 절 연구 배경 및 필요성	3
제 2 절 연구 목표 및 내용	8
제 3 절 활용방안 및 기대효과	11
제 2 장 국내·외 이수분야 설계기준 분석	15
제 1 절 국내 이수분야 설계기준 검토	15
제 2 절 국외 이수분야 설계기준 검토	35
제 3 장 이수안전도 개념 정립	41
제 1 절 이수안전도 분석 관련 사례 검토	41
제 2 절 이수안전도 분석을 위한 개념 정립	47
제 4 장 이수안전도 분석을 위한 시험지구 선정	55
제 1 절 현행 설계기준 대비 수량 부족 저수지 선정	55
제 2 절 시험지구 기초자료 조사 및 분석	56
제 3 절 시험지구 강우자료 조사 및 분석	65

제 5 장 이수안전도 개념 적용에 따른 시험지구 영향평가	95
제 1 절 이수안전도 분석 방법	95
제 2 절 이수안전도 분석 시나리오에 따른 유출량 및 유출율 비교	97
제 3 절 이수안전도 분석 시나리오에 따른 유효수량 비교	112
제 4 절 이수안전도 분석 시나리오에 따른 필요수량 비교	130
제 5 절 과거 대비 현재 이수안전도 분석	149
제 6 절 현재 대비 미래 이수안전도 분석	170
제 6 장 이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석	223
제 1 절 경제성 분석 사례 검토	223
제 2 절 경제성 분석 방법 및 기초자료 조사	265
제 3 절 이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석	282
제 7 장 이수분야 설계기준과 실제공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석	299
제 1 절 시험지구 재선정	299
제 2 절 시험지구 이수안전도 분석	307
제 3 절 이수안전도 유형 분류 및 용수공급능력 변화요인 분석	329
제 4 절 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석	346
제 8 장 농업용 저수지의 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석	351
제 1 절 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석 ·	351
제 2 절 한발빈도 기준 이수분야 설계 개선 요소 도출	376
제 9 장 한발빈도, 저수용량 변경 및 보조수원공 등을 고려한 기후변화 대응 방안	389
제 1 절 기후변화가 미래 장기 유출에 미치는 영향 분석	389

제 2 절 기후변화에 따른 농업용 저수지의 이수대책 도출	402
제 10 장 기후변화 대응방안에 따른 농업용수 이수안전도 분석 ..	411
제 1 절 기후변화 대응방안을 적용한 이수안전도 재분석	411
제 2 절 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석	428
제 11 장 종합결론	441
참고문헌	449
부 록	451
1. 기초자료 현장조사	
2. 연구성과실적	

표 목 차

[표 1.1] 우리나라의 수리답 및 한밭빈도별 면적	7
[표 1.2] 연도별 연구 목표 및 내용 (1차년도, 2017)	9
[표 1.3] 연도별 연구 목표 및 내용 (2차년도, 2018)	10
[표 2.1] 농업생산기반정비사업 설계기준 현황 (2017년 현재)	17
[표 2.2] 농업생산기반정비사업 설계기준 개편(안) (농식품부, 2013)	18
[표 2.3] 농업생산기반정비사업 설계기준의 이수분야 관련 설계기준 항목 ..	19
[표 2.4] 현행 농업생산기반정비사업 설계기준의 이수분야 관련 내용	21
[표 2.5] 수자원공급시설의 물공급 안전도 (국토교통부, 2016)	32
[표 2.6] 댐설계 이수안전도 (국토해양부, 2011)	33
[표 2.7] 저수지 저수용량 결정 계획기준년 (환경부, 2010)	34
[표 2.8] 일본 농업분야 이수안전도 (농림수산성, 2010)	36
[표 2.9] 국외 이수안전도 기준	37
[표 3.1] 단위저수량을 활용한 한밭빈도 개념	53
[표 4.1] 시험지구 선정 현황	55
[표 4.2] 시험지구에 대한 자료 조사 목록	57
[표 4.3] 물수지 모의 인자	61
[표 4.4] 삼투량 및 수로손실률	62
[표 4.5] 유역면적, 논/밭/산림 비율	62
[표 4.6] 수혜면적	63
[표 4.7] 유역면적 및 저수량 자료	63
[표 4.8] 저수지 제당 자료	64
[표 4.9] 저수지별 지배 기상관측소	66
[표 4.10] 과거 및 최근 30년간 연평균 강수량 비교	90
[표 4.11] 2008-2016년 5년 단위 연평균 강수량 비교	90
[표 4.12] 과거 및 최근 10년간 7월 강수량 비교	91

[표 4.11] 10년 단위 7월 강수량 비교	91
[표 5.1] 이수안전도 분석을 위한 설계기준 자료	96
[표 5.2] 이수안전도 분석을 위한 시나리오 선정	96
[표 5.3] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 30년 단위 연평균 유출량 비교 ..	104
[표 5.4] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 연평균 유효우량 비교	119
[표 5.5] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 5년 단위 연평균 유효우량 비교 ..	127
[표 5.6] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 연평균 조용수량 비교	137
[표 5.7] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 5년 단위 연평균 조용수량 비교 ..	145
[표 5.8] 과거 기상자료(1961-1990년, 1973-2002년) 이용한 경우	149
[표 5.9] 현재 기상자료(1987-2016년) 이용한 경우	150
[표 5.10] 현재 기상자료(1987-2016년)와 현장여건 변화 반영한 경우	150
[표 5.11] 시범지구 저수지별 제원	151
[표 5.12] 최근 30년 강우자료 및 현장조사 자료를 이용한 한발빈도 재평가 ..	167
[표 5.13] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 설계 한발빈도 재평가	168
[표 5.14] 기후변화 시나리오 (RCP4.5)에 의한 저수지 유입량 예측	185
[표 5.15] 시나리오 (RCP4.5)에 의한 저수지 유입량 예측 (계속)	187
[표 5.16] 기후변화 시나리오 (RCP4.5)에 의한 저수지 유입량 예측 (계속)	189
[표 5.17] 기후변화 시나리오 (RCP8.5)에 의한 저수지 유입량 예측	192
[표 5.18] 기후변화 시나리오 (RCP8.5)에 의한 저수지 유입량 예측 (계속)	194
[표 5.19] 기후변화 시나리오 (RCP8.5)에 의한 저수지 유입량 예측 (계속)	196
[표 5.20] 미래 이수안전도 분석 결과	219
[표 6.1] 응석지구 총 편익 산정	223
[표 6.2] 응석지구 편익효과액 산정	224
[표 6.3] 응석지구 미곡 환산	225
[표 6.4] 응석지구 경지이용율	225
[표 6.5] 응석지구 노동력	226

[표 6.6] 응석지구 수도생산비	226
[표 6.7] 응석지구 재해방지 효과	227
[표 6.8] 응석지구 인접지역 농산물 증산효과	227
[표 6.9] 춘포지구 총 편익산정	228
[표 6.10] 춘포지구 편익효과액 산정	229
[표 6.11] 춘포지구 경지이용율	229
[표 6.12] 춘포지구 노동력	230
[표 6.13] 춘포지구 수도생산비	231
[표 6.14] 상신지구 비용편입분석	232
[표 6.15] 상신지구 총 비용 산정	233
[표 6.16] 상신지구 유지관리비 산정	234
[표 6.17] 상신지구 총 편익 산정	235
[표 6.18] 상신지구 편익 효과액 산정표	236
[표 6.19] 상신지구 경지이용율	236
[표 6.20] 상신지구 노동력	237
[표 6.21] 상신지구 수도생산비	237
[표 6.22] 상신지구 미곡환산	237
[표 6.23] 상신지구 기타 수익	238
[표 6.24] 상신지구 경제성 분석 결과	238
[표 6.25] 백곡지구 사업 편익요소별 분석방법 및 산정근거	239
[표 6.26] 백곡지구 저수지 독높이기 사업비 내역	240
[표 6.27] 다차원홍수피해산정법의 행정구역별 일반자산 피해항목 조사 대상 ..	241
[표 6.28] 저수지별 침수면적	242
[표 6.29] 직접피해의 대상자산과 피해액 산정방법	243
[표 6.30] 농작물별 생산비 (2002년 기준)	244
[표 6.31] 지역별 논벼의 생산비 (2002년 기준)	245

[표 6.32]	산업분류별 사업체 1인당 종사자의 유형자산과 재고자산	246
[표 6.33]	빈도별 피해액 산정	247
[표 6.34]	연평균피해경감 기대액	249
[표 6.35]	백곡저수지 독 높이기 사업에 따른 추가저수용량	250
[표 6.36]	백곡저수지 독 높이기 사업 후 기준갈수량	251
[표 6.37]	금강수계 독 높이기 대상 농업용저수지(4대강 마스터플랜)	251
[표 6.38]	백곡저수지 독 높이기 사업 후 BOD 개선효과	252
[표 6.39]	백곡지구 용수공급에 따른 편익산정 결과	252
[표 6.40]	백곡지구 농업용저수지 독 높임사업 편익/비용산정 결과	254
[표 6.41]	사루바 직할명거 배수사업 연효과액 산정	255
[표 6.42]	사루바 직할명거 배수사업 편익효과 산정표	256
[표 6.43]	사루바 직할명거 배수사업 영농경비 편익효과액 산정표	257
[표 6.44]	사루바 직할명거 배수사업 유지관리 편익효과액 산정표	258
[표 6.45]	사루바 직할명거 배수사업 재해방지 편익효과액 산정표	258
[표 6.46]	사루바 직할명거 배수사업 고용기회의 창출에 대한 효과액	259
[표 6.47]	사루바 직할명거 배수사업 농업생산자재 사용량 증가에 관한 효과액	259
[표 6.48]	앗사부천 국영 관개배수 사업 총 비용산정	260
[표 6.49]	앗사부천 국영 관개배수 사업 연 편익액의 산정	260
[표 6.50]	앗사부천 국영 관개배수 사업 작물별 수량증대 편익효과 산정표	261
[표 6.51]	앗사부천 국영 관개배수 사업 품질향상 편익효과 산정표	262
[표 6.52]	앗사부천 국영 관개배수 사업 영농경비 절감 편익효과 산정표	263
[표 6.53]	앗사부천 국영 관개배수 사업 유지관리 절감 편익효과 산정표	263
[표 6.54]	앗사부천 국영 관개배수 사업 재해방지 편익효과 산정표	264
[표 6.55]	주요공정별 효과항목일람 (한국)	266
[표 6.56]	주요공정별 효과항목일람 (일본)	267
[표 6.57]	국내 적용되는 경제성 분석 지침의 비교	269

[표 6.58] 주요 수리시설의 내용연수	270
[표 6.59] 경제성 분석 시 적용된 주요항목	271
[표 6.60] 경제성 분석방법 비교	271
[표 6.61] 경제성 분석 비용 산정 항목	272
[표 6.62] 기존 둑 높이기 사업비 조사 (110개 지구)	275
[표 6.63] 시험지구의 쌀 생산량 조사	279
[표 6.64] 한발년도의 쌀 생산량 조사	279
[표 6.65] 대상지구의 최근 10개년 논밭 비율 (%)	280
[표 6.66] 대상지구의 최근 10개년 농지 공시지가 (논, 원/㎡)	281
[표 6.67] 이수안전도 상향 조정을 위한 추가 저수량 및 사업비 추정	284
[표 6.68] 이수안전도 상향 조정을 위한 경제성 분석 결과	288
[표 7.1] 전국 도별 시험지구 저수지 현황	301
[표 7.2] 통계연보상의 저수지 한발빈도 현황	302
[표 7.3] 현기상조건에서의 시험지구 저수지 한발빈도 현황	308
[표 7.4] 통계연보 대비 현기상조건에서의 지역별 한발빈도 변화	327
[표 7.5] 송강저수지 물수지 분석 결과	347
[표 8.1] HOMWRS 논 필요수량 산정 입력자료 항목	352
[표 8.2] 민감도 분석 대상 설계인자	353
[표 8.3] 설계요소 변화 영향 분석 입력값	357
[표 8.4] 기존 논벼 작물계수	358
[표 8.5] 최근 논벼 작물계수	359
[표 8.6] 작물계수 변화에 따른 증발산량 및 조용수량 변화	360
[표 8.7] 기존 논 작부시기	361
[표 8.8] 최근 논 작부시기 (중만생종)	361
[표 8.9] 작부시기 변화에 따른 조용수량 변화 (단위: mm)	362

[표 8.10]	작물계수 및 작부시기 변화에 따른 조용수량 변화	365
[표 8.11]	작물계수 및 작부시기 변화에 따른 이수안전도 비교	368
[표 8.12]	경지면적 내 논밭 비율변화 시나리오	369
[표 8.13]	밭작물 재배현황	370
[표 8.14]	밭 대표작물 작물계수	371
[표 8.15]	경지면적비율 시나리오에 따른 지구별 조용수량	374
[표 8.16]	벼 생육단계별 작물 계수	377
[표 8.17]	토성별 처리별 벼 생육단계별 작물계수	378
[표 8.18]	밭작물 생육단계별 작물 계수	379
[표 8.19]	지역별 이앙기 표준 날짜	381
[표 8.20]	최근 논 생육시기	381
[표 8.21]	설계기준의 이수분야 관련 개정고려 사항 제시 예시	385
[표 9.1]	영향을 미치는 기상인자 선정을 위한 다중회귀분석	394
[표 9.2]	연도별 강수량 분포 현황	396
[표 10.1]	보조수원공을 활용한 주수원공의 미래 이수안전도 분석	425
[표 10.2]	주수원공 증고에 따른 미래 이수안전도 (10년 한발빈도) 확보를 위한 추가 저수량 및 사업비 추정	427
[표 10.3]	이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석 결과 (50년 운영 기준)	437
[표 10.4]	경제성 분석 결과를 토대로 이수안전도 상향조정 대응 방안비	438

그림 목 차

[그림 1.1]물관리 재난 패러다임 전환 및 국제 NGO단체 가뭄 논제 채택	4
[그림 1.2]농업가뭄 피해구역 현황	4
[그림 1.3]농업용 저수지 및 수혜면적	5
[그림 1.4]저수지 축조년도	6
[그림 1.5]농업용 저수지 및 수혜면적	7
[그림 2.1]농업생산기반정비사업 설계기준 개편 결과 (2016, 농식품부)	18
[그림 3.1]댐의 이수 및 치수안전도 평가 과정 (김 등, 2013)	41
[그림 3.2]관개취약성 평가 모형 적용 결과 (남 등, 2014)	42
[그림 3.3]이수안전도 평가 저수지 현황 (한국농어촌공사, 2016)	43
[그림 3.4]미래 기후변화에 의한 기온 및 강수의 변화	44
[그림 3.5]기후체계의 변화에 따른 농업분야 영향	44
[그림 3.6]가뭄에 의한 기존 저수지 저수율 저하 현황	46
[그림 3.7]신뢰도 및 회복도 지표의 용수공급능력평가를 위한 비교도	49
[그림 3.8]수리시설내한능력조사 종합보고서	50
[그림 4.1]시험지구의 유역배율 분포 및 전국적 분포 현황	56
[그림 4.2]현장 기초자료 조사를 위한 설문조사	57
[그림 4.3]시험지구 관개면적 조사	58
[그림 4.4]시험지구 못자리 면적 조사	58
[그림 4.5]시험지구 이양용수량 조사	59
[그림 4.6]시험지구 벼 생육시기 조사(중부지방)	59
[그림 4.7]시험지구 벼 생육시기 조사(남부지방)	58
[그림 4.8]시험지구 담수심 조사	60
[그림 4.9]기상관측소 현황	65
[그림 4.10]이천 관측소 30년간 연평균 강수량 비교	67
[그림 4.11]이천 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교	67

[그림 4.12] 이천 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ...68	68
[그림 4.13] 이천 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교 .....68	68
[그림 4.14] 수원 관측소 30년간 연평균 강수량 비교 .....69	69
[그림 4.15] 수원 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교 .....69	69
[그림 4.16] 수원 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ...70	70
[그림 4.17] 수원 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교 .....70	70
[그림 4.18] 춘천 관측소 30년간 연평균 강수량 비교 .....71	71
[그림 4.19] 춘천 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교 .....71	71
[그림 4.20] 춘천 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ...72	72
[그림 4.21] 춘천 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교 .....72	72
[그림 4.22] 충주 관측소 30년간 연평균 강수량 비교 .....73	73
[그림 4.23] 충주 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교 .....73	73
[그림 4.24] 충주 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ...74	74
[그림 4.25] 충주 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교 .....74	74
[그림 4.26] 천안 관측소 30년간 연평균 강수량 비교 .....75	75
[그림 4.27] 천안 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교 .....75	75
[그림 4.28] 천안 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ...76	76
[그림 4.29] 천안 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교 .....76	76
[그림 4.30] 서산 관측소 30년간 연평균 강수량 비교 .....77	77
[그림 4.31] 서산 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교 .....77	77
[그림 4.32] 서산 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ...78	78
[그림 4.33] 서산 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교 .....78	78
[그림 4.34] 전주 관측소 30년간 연평균 강수량 비교 .....79	79
[그림 4.35] 전주 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교 .....79	79
[그림 4.36] 전주 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ...80	80
[그림 4.37] 전주 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교 .....80	80

[그림 4.38] 여수 관측소 30년간 연평균 강수량 비교	81
[그림 4.39] 여수 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교	81
[그림 4.40] 여수 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ..	82
[그림 4.41] 여수 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교	82
[그림 4.42] 장흥 관측소 30년간 연평균 강수량 비교	83
[그림 4.43] 장흥 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교	83
[그림 4.44] 장흥 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ..	84
[그림 4.45] 장흥 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교	84
[그림 4.46] 문경 관측소 30년간 연평균 강수량 비교	85
[그림 4.47] 문경 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교	85
[그림 4.48] 문경 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ..	86
[그림 4.49] 문경 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교	86
[그림 4.50] 진주 관측소 30년간 연평균 강수량 비교	87
[그림 4.51] 진주 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교	87
[그림 4.52] 진주 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교 ..	88
[그림 4.53] 진주 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교	88
[그림 5.1] 금광저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	97
[그림 5.2] 덕우저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	98
[그림 5.3] 학저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	98
[그림 5.4] 송강저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	99
[그림 5.5] 학정저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	99
[그림 5.6] 냉정저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	100
[그림 5.7] 풍전저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	100
[그림 5.8] 금마저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	101
[그림 5.9] 왕궁저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	101
[그림 5.10] 관기저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	102

[그림 5.11] 제산저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	102
[그림 5.12] 개운저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	103
[그림 5.13] 덕곡저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교	103
[그림 5.14] 금광저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	105
[그림 5.15] 덕우저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	106
[그림 5.16] 학저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	106
[그림 5.17] 송강저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	107
[그림 5.18] 학정저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	107
[그림 5.19] 냉정저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	108
[그림 5.20] 풍전저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	108
[그림 5.21] 금마저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	109
[그림 5.22] 왕궁저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	109
[그림 5.23] 관기저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	110
[그림 5.24] 제산저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	110
[그림 5.25] 개운저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	111
[그림 5.26] 덕곡저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교	111
[그림 5.27] 금광저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	112
[그림 5.28] 덕우저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	113
[그림 5.29] 학저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	113
[그림 5.30] 송강저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	114
[그림 5.31] 학정저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	114
[그림 5.32] 냉정저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	115
[그림 5.33] 풍전저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	115
[그림 5.34] 금마저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	116
[그림 5.35] 왕궁저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	116
[그림 5.36] 관기저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교	117

[그림 5.37]	제산저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....117
[그림 5.38]	개운저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....118
[그림 5.39]	덕곡저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....118
[그림 5.40]	금광저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....120
[그림 5.41]	덕우저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....121
[그림 5.42]	학저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....121
[그림 5.43]	송강저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....122
[그림 5.44]	학정저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....122
[그림 5.45]	냉정저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....123
[그림 5.46]	풍전저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....123
[그림 5.47]	금마저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....124
[그림 5.48]	왕궁저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....124
[그림 5.49]	관기저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....125
[그림 5.50]	제산저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....125
[그림 5.51]	개운저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....126
[그림 5.52]	덕곡저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교	.....126
[그림 5.53]	금광저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....130
[그림 5.54]	덕우저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....131
[그림 5.55]	학저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....131
[그림 5.56]	송강저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....132
[그림 5.57]	학정저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....132
[그림 5.58]	냉정저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....133
[그림 5.59]	풍전저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....133
[그림 5.60]	금마저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....134
[그림 5.61]	왕궁저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....134
[그림 5.62]	관기저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	.....135

[그림 5.63] 제산저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	135
[그림 5.64] 개운저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	136
[그림 5.65] 덕곡저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	136
[그림 5.66] 금광저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	138
[그림 5.67] 덕우저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	138
[그림 5.68] 학저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	139
[그림 5.69] 송강저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	139
[그림 5.70] 학정저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	140
[그림 5.71] 냉정저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	140
[그림 5.72] 풍전저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	141
[그림 5.73] 금마저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	141
[그림 5.74] 왕궁저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	142
[그림 5.75] 관기저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	142
[그림 5.76] 제산저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	143
[그림 5.77] 개운저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	143
[그림 5.78] 덕곡저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교	144
[그림 5.79] 금광저수지 이수안전도	154
[그림 5.80] 덕우저수지 이수안전도	155
[그림 5.81] 학저수지 이수안전도	156
[그림 5.82] 송강저수지 이수안전도	157
[그림 5.83] 학정저수지 이수안전도	158
[그림 5.84] 냉정저수지 이수안전도	159
[그림 5.85] 풍전저수지 이수안전도	160
[그림 5.86] 금마저수지 이수안전도	161
[그림 5.87] 왕궁저수지 이수안전도	162
[그림 5.88] 관기저수지 이수안전도	163

[그림 5.89] 제산저수지 이수안전도	164
[그림 5.90] 개운저수지 이수안전도	165
[그림 5.91] 덕곡저수지 이수안전도	166
[그림 5.92] 미래 기후변화 시나리오 (RCP 4.5 및 8.5)	171
[그림 5.93] 기후변화 시나리오를 이용한 금광저수지 미래 유입량 예측	173
[그림 5.94] 기후변화 시나리오를 이용한 덕우저수지 미래 유입량 예측	174
[그림 5.95] 기후변화 시나리오를 이용한 송강저수지 미래 유입량 예측	175
[그림 5.96] 기후변화 시나리오를 이용한 학정저수지 미래 유입량 예측	176
[그림 5.97] 기후변화 시나리오를 이용한 냉정저수지 미래 유입량 예측	177
[그림 5.98] 기후변화 시나리오를 이용한 풍전저수지 미래 유입량 예측	178
[그림 5.99] 기후변화 시나리오를 이용한 금마저수지 미래 유입량 예측	179
[그림 5.100] 기후변화 시나리오를 이용한 왕궁저수지 미래 유입량 예측 ..	180
[그림 5.101] 기후변화 시나리오를 이용한 관기저수지 미래 유입량 예측 ..	181
[그림 5.102] 기후변화 시나리오를 이용한 제산저수지 미래 유입량 예측 ..	182
[그림 5.103] 기후변화 시나리오를 이용한 개운저수지 미래 유입량 예측 ..	183
[그림 5.104] 기후변화 시나리오를 이용한 덕곡저수지 미래 유입량 예측 ..	184
[그림 5.105] 금광저수지 미래 이수안전도	200
[그림 5.106] 덕우저수지 미래 이수안전도	201
[그림 5.107] 학저수지 미래 이수안전도	203
[그림 5.108] 송강저수지 미래 이수안전도	204
[그림 5.109] 학정저수지 미래 이수안전도	206
[그림 5.110] 냉정저수지 미래 이수안전도	207
[그림 5.111] 풍전저수지 미래 이수안전도	209
[그림 5.112] 금마저수지 미래 이수안전도	210
[그림 5.113] 왕궁저수지 미래 이수안전도	212
[그림 5.114] 관기저수지 미래 이수안전도	213

[그림 5.115] 제산저수지 미래 이수안전도	215
[그림 5.116] 개운저수지 미래 이수안전도	216
[그림 5.117] 덕곡저수지 미래 이수안전도	218
[그림 6.1] 저수지 제체 증고 높이와 총사업비와의 상관 분석	282
[그림 6.2] 추가 저수량과 사업비와의 상관 분석	283
[그림 6.3] 생산성 향상효과 산정 방법	285
[그림 6.4] 작목전환효과 산정 방법	286
[그림 6.5] 지가상승효과 산정 방법	286
[그림 6.6] 금광저수지 경제성 분석 결과	289
[그림 6.7] 덕우저수지 경제성 분석 결과	289
[그림 6.8] 학저수지 경제성 분석 결과	290
[그림 6.9] 송강저수지 경제성 분석 결과	290
[그림 6.10] 학정저수지 경제성 분석 결과	291
[그림 6.11] 냉정저수지 경제성 분석 결과	291
[그림 6.12] 풍전저수지 경제성 분석 결과	292
[그림 6.13] 금마저수지 경제성 분석 결과	292
[그림 6.14] 왕궁저수지 경제성 분석 결과	293
[그림 6.15] 관기저수지 경제성 분석 결과	293
[그림 6.16] 제산저수지 경제성 분석 결과	294
[그림 6.17] 개운저수지 경제성 분석 결과	294
[그림 6.18] 덕곡저수지 경제성 분석 결과	295
[그림 7.1] 시험지구 저수지 위치	300
[그림 7.2] 통계연보상의 전국단위 저수지 한발빈도 분포	303
[그림 7.3] 통계연보상의 한발빈도 평년 이하 저수지	304
[그림 7.4] 통계연보상의 한발빈도 3년 저수지	304
[그림 7.5] 통계연보상의 한발빈도 5년 저수지	305

[그림 7.6] 통계연보상의 한발빈도 7년 저수지	305
[그림 7.7] 통계연보상의 한발빈도 10년 이상 저수지	306
[그림 7.8] 현기상조건에서의 전국단위 저수지 한발빈도 분포	309
[그림 7.9] 현기상조건에서의 경기도 저수지 한발빈도 분포	310
[그림 7.10] 기상조건에서의 강원도 저수지 한발빈도 분포	311
[그림 7.11] 현기상조건에서의 충청북도 저수지 한발빈도 분포	312
[그림 7.12] 현기상조건에서의 충청남도 저수지 한발빈도 분포	313
[그림 7.13] 현기상조건에서의 전라북도 저수지 한발빈도 분포	314
[그림 7.14] 현기상조건에서의 전라남도 저수지 한발빈도 분포	315
[그림 7.15] 현기상조건에서의 경상북도 저수지 한발빈도 분포	316
[그림 7.16] 현기상조건에서의 경상남도 저수지 한발빈도 분포	317
[그림 7.17] 현기상조건에서의 한발빈도 평년 이하 저수지	318
[그림 7.18] 현기상조건에서의 한발빈도 3년 저수지	318
[그림 7.19] 현기상조건에서의 한발빈도 5년 저수지	319
[그림 7.20] 현기상조건에서의 한발빈도 7년 저수지	319
[그림 7.21] 현기상조건에서의 한발빈도 10년 이상 저수지	320
[그림 7.22] 통계연보와 현기상조건에서의 지역별 저수지 한발빈도 비교 ..	321
[그림 7.23] 통계연보 및 현기상조건에서의 저수지 한발빈도 비교	321
[그림 7.24] 통계연보와 현기상조건에서의 전국단위 저수지 한발빈도 분포	322
[그림 7.25] 통계연보와 현기상조건에서의 경기도 저수지 한발빈도 분포 ..	323
[그림 7.26] 통계연보와 현기상조건에서의 강원도 저수지 한발빈도 분포 ..	323
[그림 7.27] 통계연보와 현기상조건에서의 충청북도 저수지 한발빈도 분포	324
[그림 7.28] 통계연보와 현기상조건에서의 충청남도 저수지 한발빈도 분포	324
[그림 7.29] 통계연보와 현기상조건에서의 전라북도 저수지 한발빈도 분포	325
[그림 7.30] 통계연보와 현기상조건에서의 전라남도 저수지 한발빈도 분포	325
[그림 7.31] 통계연보와 현기상조건에서의 경상북도 저수지 한발빈도 분포	326

[그림 7.32]	통계연보와 현기상조건에서의 경상남도 저수지 한발빈도 분포	326
[그림 7.33]	통계연보 대비 현기상조건에서의 지역별 한발빈도 변화	327
[그림 7.34]	통계연보 대비 현기상조건에서의 저수지 한발빈도 변화 분포	328
[그림 7.35]	유역배율 및 단위저수량에 따른 이수안전도 분포	330
[그림 7.36]	지역별 평균 단위저수량	332
[그림 7.37]	지역별 이수안전도 감소지역 평균 단위저수량	332
[그림 7.38]	지역별 이수안전도 동일지역 평균 단위저수량	333
[그림 7.39]	지역별 이수안전도 증가지역 평균 단위저수량	333
[그림 7.40]	지역별 평균 유효저수량	334
[그림 7.41]	지역별 평균 유역면적	334
[그림 7.42]	지역별 평균 수혜면적	335
[그림 7.43]	지역별 평균 유역배율	335
[그림 7.44]	지역별 통계연보 기준 평균 한발빈도	336
[그림 7.45]	지역별 기상여건 적용 평균 한발빈도	336
[그림 7.46]	지역별 이수안전도 감소지역 평균 유효저수량	337
[그림 7.47]	지역별 이수안전도 감소지역 평균 유역면적	337
[그림 7.48]	지역별 이수안전도 감소지역 평균 수혜면적	338
[그림 7.49]	지역별 이수안전도 감소지역 평균 유역배율	338
[그림 7.50]	지역별 통계연보 기준 이수안전도 감소지역 평균 한발빈도	339
[그림 7.51]	지역별 현기상여건 적용 이수안전도 감소지역 평균 한발빈도	339
[그림 7.52]	지역별 이수안전도 동일지역 평균 유효저수량	340
[그림 7.53]	지역별 이수안전도 동일지역 평균 유역면적	340
[그림 7.54]	지역별 이수안전도 동일지역 평균 수혜면적	341
[그림 7.55]	지역별 이수안전도 동일지역 평균 유역배율	341
[그림 7.56]	지역별 통계연보 기준 이수안전도 동일지역 평균 한발빈도	342
[그림 7.57]	지역별 현기상여건 적용 이수안전도 동일지역 평균 한발빈도	342

[그림 7.58] 지역별 이수안전도 증가지역 평균 유효저수량	343
[그림 7.59] 지역별 이수안전도 증가지역 평균 유역면적	343
[그림 7.60] 지역별 이수안전도 증가지역 평균 수혜면적	344
[그림 7.61] 지역별 이수안전도 증가지역 평균 유역배율	344
[그림 7.62] 지역별 통계연보 기준 이수안전도 증가지역 평균 한발빈도 ...	345
[그림 7.63] 지역별 현기상여건 적용 이수안전도 증가지역 평균 한발빈도	345
[그림 7.64] 충북 송강저수지 시나리오별 저수율 분석 결과	347
[그림 7.65] 송강저수지 2006년-2017년 모의저수율 및 실제저수율 분석 결과	347
[그림 7.66] 송강저수지 시나리오별유입량 및 필요수량 비교	348
[그림 8.1] 관개면적 민감도 분석 결과	354
[그림 8.2] 침투량 민감도 분석 결과	354
[그림 8.3] 수로손실 민감도 분석 결과	355
[그림 8.4] 담수심 민감도 분석 결과	355
[그림 8.5] 설계인자간 상대적인 민감도 비교	356
[그림 8.6] 작물계수 변화에 따른 조용수량 변화	359
[그림 8.7] 작부시기 변화에 따른 조용수량 변화	363
[그림 8.8] 작물계수 및 작부시기 변화에 따른 조용수량 변화	364
[그림 8.9] 작물계수 및 작부시기 변화에 따른 이수안전도 비교(a)	366
[그림 8.10] 작물계수 및 작부시기 변화에 따른 이수안전도 비교(b)	367
[그림 8.11] 경지면적비율 시나리오에 따른 지구별 조용수량(a)	372
[그림 8.12] 경지면적비율 시나리오에 따른 지구별 조용수량(b)	373
[그림 9.1] 미래 기상인자 및 농업용수량 인자 (금광저수지 예시)	391
[그림 9.2] 기상인자 및 농업용수량 인자 사이의 상관성	392
[그림 9.3] 강수량의 분기별 분포 (금광저수지 예시)	395
[그림 9.4] 필요수량 대비 저수지 유입량 변화 (금광저수지 예시)	399

[그림 9.5] 강수량 변화에 따른 필요수량 대비 유입량 부족 및 초과 분포	399
[그림 9.6] 필요수량 대비 유입량 부족 및 초과 년도의 분기별 강우 분포	400
[그림 9.7] 분기별 강수량 비율과 필요수량 대비 유입량 상관 분석	401
[그림 9.8] 기존 물관리자동화시스템의 현황 및 개선점	403
[그림 9.9] 구조적 이수 대책 관련 해외 사례	404
[그림 9.10] 비구조적 이수 대책 관련 국내·외 사례	405
[그림 9.11] 비구조적 이수대책을 위한 4대 전략 16대 과제 정책	407
[그림 9.12] 비구조적 이수대책 관련 법령 및 정책	408
[그림 9.13] 하드웨어 및 소프트웨어 측면에서의 이수대책 도출	408
[그림 10.1] 기존 문헌 분석을 통한 이수대책 고찰	411
[그림 10.2] 보조수원공 활용을 통한 주수원공의 필요수량 변화	412
[그림 10.3] 보조수원공 활용을 금광저수지 이수안전도 예측	413
[그림 10.4] 보조수원공 활용을 덕우저수지 이수안전도 예측	414
[그림 10.5] 보조수원공 활용을 송강저수지 이수안전도 예측	415
[그림 10.6] 보조수원공 활용을 학정저수지 이수안전도 예측	416
[그림 10.7] 보조수원공 활용을 냉정저수지 이수안전도 예측	417
[그림 10.8] 보조수원공 활용을 풍전저수지 이수안전도 예측	418
[그림 10.9] 보조수원공 활용을 금마저수지 이수안전도 예측	419
[그림 10.10] 보조수원공 활용을 왕궁저수지 이수안전도 예측	420
[그림 10.11] 보조수원공 활용을 관기저수지 이수안전도 예측	421
[그림 10.12] 보조수원공 활용을 제산저수지 이수안전도 예측	422
[그림 10.13] 보조수원공 활용을 개운저수지 이수안전도 예측	423
[그림 10.14] 보조수원공 활용을 덕곡저수지 이수안전도 예측	424
[그림 10.15] 변동성 완화 효과 산정 방법	428
[그림 10.16] 노동력 절감 효과 산정 방법	429
[그림 10.17] 보조수원공을 활용한 금광저수지 경제성 분석 결과	431

[그림 10.18] 보조수원공을 활용한 덕우저수지 경제성 분석 결과	431
[그림 10.19] 보조수원공을 활용한 송강저수지 경제성 분석 결과	432
[그림 10.20] 보조수원공을 활용한 학정저수지 경제성 분석 결과	433
[그림 10.21] 보조수원공을 활용한 개운저수지 경제성 분석 결과	433
[그림 10.22] 주수원공 증고에 따른 금광저수지 경제성 분석 결과	435
[그림 10.23] 주수원공 증고에 따른 풍전저수지 경제성 분석 결과	435
[그림 10.24] 주수원공 증고에 따른 왕궁저수지 경제성 분석 결과	436



Office



Research



Farming



International

제 1 장

서 론

제 1 장 서 론

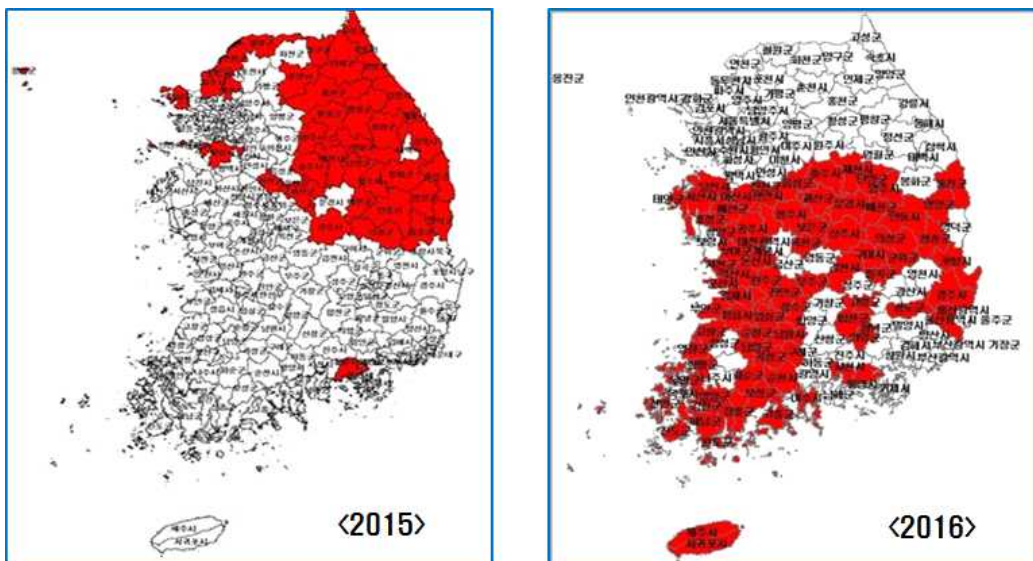
제 1 절 연구 배경 및 필요성

- 기후변화로 한반도 가뭄 발생빈도는 급격한 증가 추세로 강수일수는 감소하고, 강수량은 시간적·지역적으로 편중되어 나타내고 있음
- 가뭄 발생빈도는 1904~2000 동안 35회 (0.36회/년) 발생했으나 최근에는 2000~2016 11회 (0.64회/년)로 발생 빈도가 더 높게 나타나고 있음. 1990년 이후 2~3년 주기로 발생하던 가뭄은 앞으로 가뭄발생기간이 3.4배 증가될 것으로 전망되고 있고 있어 이에 대한 선제적 대응이 필요함 (1977~2006년 동안 0.5개월/년 가뭄 발생 → 2061~2090년 동안 1.7개월/년 가뭄 발생)
- 농업분야는 자연환경의 영향을 크게 받는 산업으로 최근 지구온난화 등으로 인한 가뭄 빈도의 증가로 농업환경이 크게 영향을 받고 있음
- 우리나라에서도 기존의 홍수 위주의 물관리의 재난에서 가뭄도 물관리 재난에 포함되는 패러다임으로 전환되었으며, 태풍, 홍수, 호우 등에 한정돼 수립되던 국민안전처의 ‘풍수해저감종합계획’이 가뭄, 대설 등 자연재해로까지 확대되어 ‘자연재해종합계획’으로 개편하여 수립되고 있음
- 또한 국제관개배수위원회 (ICID), 논농업지역의 물생태계 국제네트워크 (INWEPF) 등 물관련 국제 NGO 단체에서는 기후변화로부터 지속가능한 농업을 유지하기 위한 가뭄에 대한 논제를 끊임없이 채택하여 국제사회의 가뭄에 대한 경각심을 일깨우고 미래기후변화 대비 해법을 찾고자 다양한 논의와 관련 기관별 액션플랜을 수립하여 구체적인 가뭄대비 체제를 구축하도록 노력하고 있음



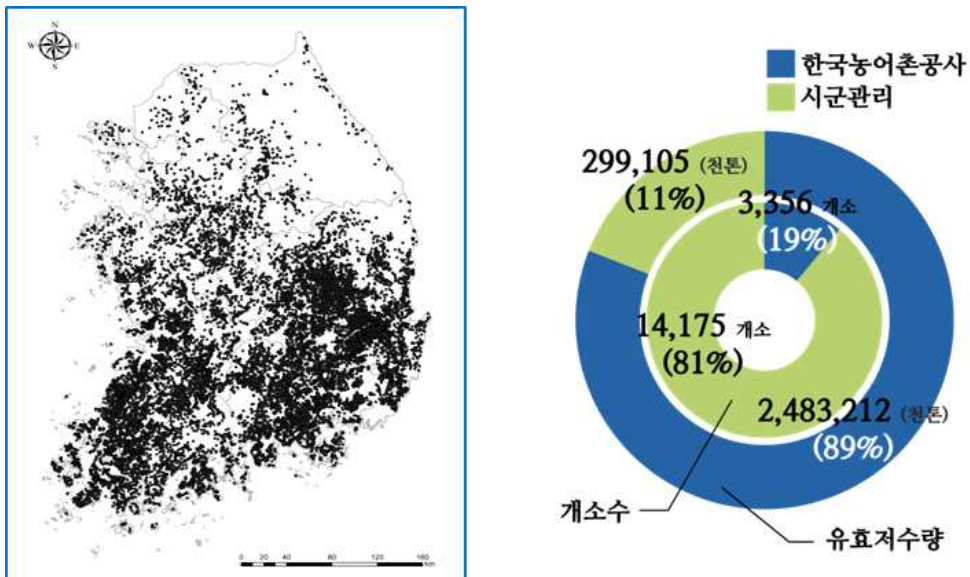
[그림 1.1] 물관리 재난 패러다임 전환 및 국제 NGO단체 가뭄 논제 채택

- 현재 기후변화의 영향으로 저수지의 공사 및 지자체 관할 저수지의 이수 안전도는 감소한 것으로 나타나고 있음. 실제 최근 가뭄으로 농업용 저수지는 용수공급 능력이 부족하여 매년 가뭄에 의해 피해가 두드러지게 나타나고 있음.



[그림 1.2] 농업가뭄 피해구역 현황

- 농업에 있어서 농업용수는 식량안보의 핵심요소이며, 모든 작물생산에서 부터 판매에 이르기까지 농업적 가치사슬에 핵심적인 역할을 하는 중요한 요소임. 농업용수는 농작물 생산뿐만 아니라 농촌 지역의 환경 보전을 위한 주요한 자원으로 농업용수의 안정적 확보와 효율적 이용, 적정 배분은 지속가능한 농업을 위해 필수적임
- 현재 우리나라 농업용수 공급을 위한 수리시설은 72,230개이며, 전체 수리답의 68%는 한국농어촌공사에서 관리하고, 32%는 시군에서 관리하고 있음.
- 이 중 수리답의 59.9%에 용수공급하고 있는 저수지는 총 17,310개 (100%)로서 공사관리 저수지는 3,394개 (19.6%), 시군관리 저수지는 13,916개 (80.4%)를 차지하나, 시군관리시설의 대부분은 취입보, 관정 등의 소규모 수리시설로서 전체 개소수의 80% 정도를 차지하여 다수의 시군관리 시설에 대한 관리인력·예산부족 등으로 수리시설의 기능저하가 심각한 실태임



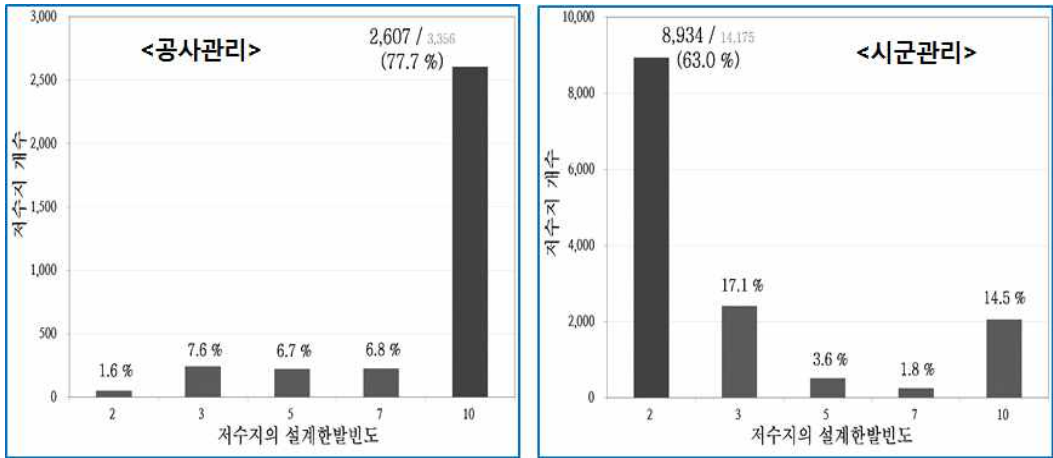
[그림 1.3] 농업용 저수지 및 수혜면적

- 또한, 우리나라 수리시설 중 30년 이상 경과된 수리시설이 전체의 59%를 차지하며, 특히 저수지의 경우 2014년 말 기준 저수지의 74.7% 정도는 50년 이상 된 노후 저수지로 분류되고 있어 지속적인 보수·보강 필요하여, 향후 기후변화에 더욱더 취약할 것으로 예상되고 있음 (농업용 저수지의 준공년도 현황을 살펴보면 1945년 이전 준공 저수지는 약 54%를 차지하며, 1982년 이후인 최근 30년 이내에 준공된 저수지는 약 5%를 차지함)

저수지 축조년도

[그림 1.4] 저수지 축조년도

- 농업용 저수지의 관리기관별 설계한발빈도 현황을 살펴보면, 한국농어촌공사 관리 저수지의 약 78%는 10년 빈도 가뭄에도 안정적으로 농업용수를 공급할 수 있도록 설계된 반면, 시군관리 저수지의 경우 약 63%는 평년 한발빈도로 설계되어 있음
- 1980년 이후에 축조되는 저수지의 경우 약 60% 이상의 저수지는 10년 한발빈도 이상으로 설계되어 축조되고 있지만, 누적분포를 살펴보면 약 73%의 저수지는 10년 이하의 설계한발빈도로 축조되었음



[그림 1.5] 농업용 저수지 및 수혜면적

[표 1.1] 우리나라의 수리답 및 한발빈도별 면적

논 면적 (천ha)	수 리 답 · 한발빈도별 면적						천수답
	계	평년	3년	5년	7년	10년이상 ()	
933	752	119	43	20	9	561	181
(100%)	(80.6)	(12.8)	(4.6)	(2.1)	(1.0)	(60.1)	(19.4)

- 우리나라 수리시설의 내한능력이 10년 빈도 가뭄에도 용수공급이 가능한 수리안전답률은 60.1%로서 가뭄이 지속적으로 발생하면 별도의 급수대책이 필요한 실정임
- 이수측면에서 설계기준이 되는 한발빈도는 내한능력을 나타내는 것으로 수리시설의 규모를 결정하는 매우 중요한 기준이 되는데, 우리나라는 1982년 「농지개량사업계획 설계기준 댐편」에 처음으로 한발빈도 10년 기준을 채택하여 지금까지 사용하여 왔으나 그동안 배수개선을 위한 설계 기준 강화는 있었지만 한발빈도 설계기준의 적정성에 대한 검토는 전무함
- 따라서 과거의 10년 한발빈도 기준이 현재 미래의 기후변화 현상에도 과연 적절한 것인지에 대한 검토가 반드시 필요함

제 2 절 연구 목표 및 내용

- 본 연구의 목적은 농업용 저수지의 합리적인 운용 및 관리, 용수공급능력에 대한 정량적인 평가를 위하여 기상·수문 현상 및 하류의 용수 수요, 유역 환경의 변화에 따른 과거 설계기준의 재평가 및 이수안전도의 개념을 정립하고 미래 기후변화에 따른 공급량과 수요량의 불확실성을 분석하고 농업수자원 이수 측면에서의 이수안전도의 변화를 분석함으로써 농업용 저수지의 기후변화 적응대책을 수립하고자 함
- 본 연구는 농업용 저수지의 기후변화 적응력을 증대시키기 위한 것으로 기후상태의 영향을 최소화하기 위함이며, 용수공급능력의 정량화 및 기후변화 취약성 평가를 통해 수리시설정비의 중장기 계획 방향을 제시하고 저수지 이수안전도 평가 및 설계기준 정립을 통해 기후변화 적응력을 증대 시키고자함
- 용수구역별 이수안전도 증대를 통한 지역적 용수 불균형을 해소하고 다양한 물수요량 증가에 능동적으로 대처하고, 선제적 가뭄대응으로 기후변화 취약성 감소 및 회복력 향상을 도모하고 안정적인 용수확보를 통해 지속가능한 농업유지로 식량안보 및 경제안보 실현하고자 함

[표 1.2] 연도별 연구 목표 및 내용 (1차년도, 2017)

구 분	연구목표	연구내용 및 범위
1차년도 (2017)	○ 이수안전도 분석을 통한 농업저수지 기후변화 영향평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농어촌용수 개발지구 설계자료 수집 및 국내외 이수분야 설계기준 검토 <ul style="list-style-type: none"> · 농어촌용수 개발지구 설계자료 및 농업용 저수지 현황 통계자료 수집 · 국내외 이수분야의 설계기준 검토 · 관리주체, 저수지 규모, 축조년도, 한발빈도 등을 분류하여 분석 ○ 이수안전도 개념 정립 <ul style="list-style-type: none"> · 용수공급부족기간 · 내한능력 · 부족기간 회복도 · 취약도 ○ 현재설계기준 대비 수량 부족저수지(공사 관할 저수지, 시험지구 선정) <ul style="list-style-type: none"> · 저수지 특성 (유역배율 등)에 따른 설계기준 및 현재 이수안전도의 비교 분석 · 설계기준 대비 현재 이수안전도 부족 저수지 시험지구 선정 ○ 시험지구 기후변화 시나리오 적용을 통한 물수지 분석(설계한발빈도 분석) <ul style="list-style-type: none"> · 미래 기후변화 시나리오를 활용한 저수지 물수지 분석 · 미래 기후변화 시나리오에 따른 설계한발빈도 변화 분석 ○ 이수안전도 개념 적용에 따른 시험지구 영향평가 <ul style="list-style-type: none"> · 이수안전도 개념을 적용한 시험지구의 과거 및 현재, 미래 이수안전도 영향분석 · 이수안전도 취약군 저수지 분류 ○ 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 이수안전도 상향조정을 위한 방법 제안 및 경제성 분석

[표 1.3] 연도별 연구 목표 및 내용 (2차년도, 2018)

구 분	연구목표	연구내용 및 범위
2차년 도 (2018)	○기후변화를 고려한 농업용저수지 이수 설계기준 정립	<ul style="list-style-type: none"> ○이수분야 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 시험지구 재선정 · 시험지구 이수안전도 분석 · 이수안전도 유형 분류 및 용수공급능력 변화 요인 분석 · 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석 ○농업용저수지의 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석 · 이수분야 설계 방법의 적합성 검토 및 설계개선 요소 도출 ○한발빈도, 저수용량 변경 및 보조수원공 등을 고려한 기후변화 대응방안 <ul style="list-style-type: none"> · 기후변화가 미래 장기유출에 미치는 영향 분석 · 기후변화에 따른 농업용 저수지의 이수대책 도출 ○기후변화 대응방안에 따른 농업용수 이수 안전도 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 기후변화 대응방안을 적용한 이수안전도 재분석 · 이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석

제 3 절 활용방안 및 기대효과

- 실용화 방안
 - (2018년) 수리시설의 기후변화 적응력 증대 방안 제시
 - (2018년 이후) 농업생산기반정비사업 이수분야 설계기준 정립
 - 기존 농업용저수지 기후변화 적응대책 수립
 - 신규 농업용수 개발시 설계기준 제공
- 성과확산 방안
 - 이수안전도 설계기준 정립 및 저비용 고효율 용수 확보 방안 도출을 통한 실무적용
 - 관련 분야 전문 학회 논문 게재 및 학술발표회를 통한 연구 성과 확산
 - (논문발표) 국내논문 게재 (한국농공학회논문집) 2편 이상
 - (학술대회) 국내외 학술발표회 4건 이상
- 연구성과 및 활용목표

(단위 : 건수)

사업화	지식재산권	논문	기타
공사 사업과 연계	-	국내논문 게재 2편 이상 (18년)	학술발표회 4건 이상 (17년~18년)

- 기대효과
 - 기술적 측면
 - 농업용 저수지 이수안전도 평가 및 설계기준 정립을 통해 기후변화 적응대책 수립
 - 용수공급능력의 정량화 및 기후변화 취약성 평가 방법론 제시 및 수리시설정비 중·장기 계획 방향 제시
 - 기후변화대비 시설 저수지의 기능 개선 및 현장 실무자 설계기준 제

공

- 경제·산업적 측면

- 안정적인 용수 확보를 통한 지속가능한 농업 유지를 통한 식량안보 · 경제안보 획득
- 이수안전도 평가 및 가뭄에 취약한 지역 사전 파악으로 가뭄시 농업 피해 및 사회적 비용 최소화
- 용수구역별 이수안전도 증대를 통한 지역적 용수 불균형 해소

- 기타

- 다양한 물수요량 증가와 지역간 용수수급 불균형에 능동적 대처
- 기후변화로 인한 악영향 예방 및 기회 창출
- 지역의 기후변화 취약성 감소 및 회복력 향상



Office



Research



Farming



International

제 2 장

국내·외 이수분야 설계기준 분석

제 2 장 국내·외 이수분야 설계기준 분석

제 1 절 국내 이수분야 설계기준 검토

1.1 농업분야 설계기준 검토

1.1.1 농업분야 이수설계기준

- 국내 농업분야 이수설계기준을 검토하기 위하여 농림축산식품부에서 제정 및 관리하고 있는 농업생산기반정비사업 설계기준을 검토하였음. 국내 농업생산기반정비사업을 위해 처음으로 제정된 설계기준은 필댐편 (농식품부, 1968)이며, 1982년도에 농지개량사업계획 설계기준 댐편 (농식품부, 1982)으로 개정되었고, 1989년에 설계기준 콘크리트댐편 (농식품부, 1989)과 분리되어 개정된 후 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 필댐편 (농식품부, 2002)로 개정되었음.
- 농지개량사업계획 설계기준 댐편 (농식품부, 1982)에서는 이수설계기준을 ‘농업용댐의 이수목적 필요저수량을 일반적으로 10년에 1회 정도의 갈수를 기준’으로 명시하고 있음.
- 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 필댐편 (농식품부, 2002)에서는 이수설계기준을 ‘농업용 저수지에서는 관개시기별 조용수량(수요량)과 10년빈도 한발시의 하천유량(공급량)을 기준’으로 명시하고 있음

1.1.2 농업생산기반정비사업 이수분야 설계기준 내용 검토

- 농업생산기반정비사업 계획 설계기준(이하 농업생산기반 설계기준)의 이수분야 설계기준 내용을 검토해 보고자 우리나라 농업생산기반 설계기준을 검토해 보았음.
- 우리나라 농업생산기반 설계기준은 2013년 이전은 농업 시설물이나 관련 사업 중심의 총 17개 설계기준으로 분류되어 있음. [표 2.1]과 같이 농업생산기반 시설물과 관련된 필댐 (농식품부, 2002), 콘크리트댐 (농식품부, 1989), 취입보 (농식품부, 1996), 수로 (농식품부, 2004), 수로터널 (농식품부,

1998b), 양배수장 (농식품부, 2005), 농도 (농식품부, 2007), 관수로 (농식품부, 2009) 기준 8개, 농업생산기반 정비사업과 관련된 경지정리 (농식품부, 1995), 개간 (농식품부, 2006), 해면간척 (농식품부, 1991), 농지보전 (농식품부, 2010), 객토 (농식품부, 1976), 관개 (농식품부, 1998a), 배수 (농식품부, 2012), 방재공 (농식품부, 1987) 기준 8개, 기타 친환경 (농식품부, 2008) 기준 1개로 분류되어 있음

- 기존의 설계기준들은 설계기준의 운영 및 관리를 위한 표준코드체계가 마련되지 못하여 이에 대한 개편 필요성이 부각됨에 따라 각 부처에서 담당하고 있는 설계기준을 통합하는 연구를 수행한 결과, “농업생산기반정비사업 설계기준 표준코드 개발 연구 (농식품부, 2013)” 를 통하여 기존의 17개 설계기준을 23개의 대분류 설계기준으로 조정하고 표준코드를 부여하는 작업을 진행하였음 (농식품부, 2016). [표 2.2]는 농업생산기반 설계기준 개편(안)을 나타내며, [그림 2.1]은 개편된 결과를 나타냄
- 2016년도에 개편된 농업생산기반정비사업 설계기준 (농식품부, 2016) 중 이수분야와 관련된 설계기준은 총 9편이며, 특히 우리나라 논 관개의 주 수원공인 농업용 저수지와 관련하여 KDS 67 10 00 농업용 댐 설계기준의 ‘1.8 저수용량 결정’ 부분에서 이수 측면에서의 설계기준을 정의하고 있음. [표 2.3]은 농업생산기반 설계기준의 이수분야 관련 설계기준 포함여부 및 포함항목을 나타내며, [표 2.4]는 현행 농업생산기반 설계기준의 이수분야 관련 내용을 나타냄.

[표 2.1] 농업생산기반정비사업 설계기준 현황 (2017년 현재)

기 준 명	제정	개 정			비 고
		1차	2차	3차	
필 댐 편	1968	1982	2002		'82년도 댐편 포함 개정
관 개 편	1969	1983			
취입보편	1970	1996			
배 수 편	1970	1983	2001	2012	
경지정리편	1970	1983	1995		
개 간 편	1972	2006			
해면간척편	1972	1991			
수 로 편	1974	1988	2004		수로공편 I, II 편 통합
농지보전편	1975				
객 토 편	1976				
수로터널편	1977	1998			
양배수장편	1984	2005			
방재공편	1987				
농 도 편	1986	1994	2007		
콘크리트댐편	1989				댐편 중 콘크리트댐 분리
친환경편	2008				
관수로편	2009				
계	17종				

[표 2.2] 농업생산기반정비사업 설계기준 개편(안) (농식품부, 2013)

기준명	최근 제개정 현황
필댐면	2002
관개면	1983
취업보면	1996
배수면	2001
경지정리면	1995
개간면	2006
해면간척면	1991
수로면	2004
농지보전면	1975
객토면	1976
수로터널면	1998
양배수장면	2005
방재공면	1987
농도면	2007
콘크리트댐면	1989
친환경면	2008
관수로면	2009
계	17개 기준

구분	대	개정연도	명칭	코드명
공통면 ㉑	10	2014	공통 설계기준	RDS 10 00 00:2014
	11	2014	지반 설계기준	RDS 11 00 00:2014
	12	2014	구조 설계기준	RDS 12 00 00:2014
	13	2014	내진 설계기준(계획중)	RDS 13 00 00:2014
	14	2014	수질 및 친환경 설계기준(계획중)	RDS 14 00 00:2014
시설물면 ㉒	15	2014	가시설물 설계기준	RDS 15 00 00:2014
	21	2014	필댐 설계기준	RDS 21 00 00:2014
	22	2014	콘크리트댐 설계기준	RDS 22 00 00:2014
	23	2014	취업보 설계기준	RDS 23 00 00:2014
	24	2014	수로 설계기준	RDS 24 00 00:2014
	25	2014	관수로 설계기준	RDS 25 00 00:2014
	26	2014	수로터널 설계기준	RDS 26 00 00:2014
	27	2014	양배수장 설계기준	RDS 27 00 00:2014
	28	2014	농도 설계기준	RDS 28 00 00:2014
사업분야면 ㉓	31	2014	관개 설계기준	RDS 31 00 00:2014
	32	2014	배수 설계기준	RDS 32 00 00:2014
	33	2014	경지정리 설계기준	RDS 33 00 00:2014
	34	2014	발기반 정비 설계기준(계획중)	RDS 34 00 00:2014
	35	2014	간척지 발기반 정비 설계기준(계획중)	RDS 35 00 00:2014
	36	2014	농지 범용화 설계기준(계획중)	RDS 36 00 00:2014
	37	2014	개간 설계기준	RDS 37 00 00:2014
	38	2014	해면간척 설계기준	RDS 38 00 00:2014
	39	2014	농지보전 설계기준	RDS 39 00 00:2014



[그림 2.1] 농업생산기반정비사업 설계기준 개편 결과 (농식품부, 2016)

[표 2.3] 농업생산기반정비사업 설계기준의 이수분야 관련 설계기준 항목

설계기준	소분류	관련 내용
KDS 67 10 00 농업용댐	KDS 67 10 20 농업용댐 필댐설계	1.8 저수용량 결정
	KDS 67 10 45 농업용댐 물넘이 및 부속구조물 설계	4.2 취수시설
KDS 67 15 00 취입보	KDS 67 15 20 취입보 기본설계	4.1 설계조건
		4.1 취수구의 설계
		4.2 취수구의 유입량
	KDS 67 15 25 취수구	4.3 취수구의 수위계산
KDS 67 15 60 계류취수공	1.2 적용범위	
	1.8 설계 고려사항	
KDS 67 20 00 용배수로	KDS 67 20 05 용배수로 설계 일반사항	2.2 조사의 내용
		4.1 수로설계의 기본
	KDS 67 20 10 용배수로 설계 기본사항	1.7 설계순서
		1.8 설계유량 및 설계수위
		1.10 노선 선정
		1.13 수두배분
	KDS 67 20 15 용배수로 시설 설계	4.1 수리설계
		4.1 개수로
		4.7 조절시설
		4.8 분류공, 합류공 및 계측시설
KDS 67 25 00 농업용 관수로	KDS 67 25 15 농업용 관수로 설계	4.3 물 관리 측면의 노선선정
		5.3 물관리 형식
		6.1 수리단위 설정
		6.2 수두배분 및 설계수위
		6.3 설계유량
	7.1 관수로 시스템의 시설용량	
	KDS 67 25 30 농업용 관수로 부대시설 설계	4.3 조절지
		4.4 팜폰드
KDS 67 25 40 농업용 관수로 물관리 자동화시설 설계	3.3 이수, 치수계획	
	3.4 물관리 운영계획 수립	

설계기준	소분류	관련 내용
KDS 67 30 00 양배수장	KDS 67 30 05 양배수장 설계 일반사항	1.6 설계의 기준
		1.7 관계법령
	KDS 67 30 10 양배수장 설계 조사	2.4 조사
	KDS 67 30 15 양배수장 펌프설계	4.3 양배수량의 결정
KDS 67 35 00 농도		- 관련 내용 없음
KDS 67 80 00 농촌 지역개발		- 관련 내용 없음
KDS 67 40 00 농지관개	KDS 67 40 10 논관개	2.1 조사 및 계획 일반
		2.2 조사
		2.3 계획
	KDS 67 40 30 밭관개	2.1 조사 및 계획 일반
		2.2 조사
		2.3 계획
KDS 67 45 00 농지배수		- 관련 내용 없음
KDS 67 50 00 경지정리	KDS 67 50 10 경지정리 설계 계획	2.10 용수계획
KDS 67 55 00 밭기반 정비		- 관련 내용 없음
KDS 67 60 00 개간		- 관련 내용 없음
KDS 67 65 00 해면간척	KDS 67 65 20 해면간척 용배수 설계	1.3 용수 수요 추정
		1.4 수자원 부존량 추정
		1.5 담수호 규모 결정
KDS 67 70 00 농지보전		- 관련 내용 없음
KDS 67 75 00 농업수질및환경	KDS 67 75 00 농업수질및환경 저수지 설계	4.2 저수지 내용적 결정
KDS 67 80 00 농촌 지역개발		- 관련 내용 없음

[표 2.4] 현행 농업생산기반정비사업 설계기준의 이수분야 관련 내용

KDS 67 10 20 농업용댐 필댐설계
<p>1.8.1 이수용량</p> <p>(1) 농업용수, 공업용수, 생활용수 등과 같이 이수 목적으로 사용되는 용수를 확보하기 위한 저수용량으로서, 농업용 저수지에서는 관개 시기별 조용수량(수요량)과 10년 빈도 한발시의 하천유량(공급량)을 기준으로 이를 정한다.</p> <p>1.8.2 이수용량 산정</p> <p>(1) 이수용량은 관개시기별 조용수량(수요량) 누가곡선에서 기준갈수년의 하천유량(공급량) 누가곡선을 뺀 값 중에서 최대값을 구하고 여기에 저수지에서의 손실량(저수면 증발량)을 더한 값으로 한다. 여기서 기준갈수년의 하천유량이라고 하면 10년 빈도 갈수년의 하천유량을 말한다.</p> <p>이수용량 = 최대부족수량 + 저수지 손실량 = Max{관개시기별 Σ[조용수량 - 하천유량]}+ 저수지 손실량 여기서 저수지 손실량은 최대부족수량의 5 %를 취한다.</p>

4.2.4.2 설계취수량의 결정

(1) 저수위와 취수량의 관계에서 가장 엄격한 조건을 만족하는 취수조건을 결정한다. 이때 하천의 정상적인 기능유지를 위하여 방류량을 포함하는 경우도 있다. 취수부에 있어서 전수두를 H, 각종 손실계수를 f_i (고수위시는 취수부 스크린손실, 웨어손실, 취수탑내 마찰손실, 취수터널 입구손실, 마찰손실, 출구손실, 게이트손실 등, 저수위시는 고수위시의 손실 중 웨어손실, 취수탑내 마찰손실을 제외함)라 하면 식 (4.2.1)의 관계를 얻는다. 여기서, 마찰손실은 $f = \lambda \frac{l}{D}$ 로 나타내며, λ : 마찰손실계수, l : 관로장, D : 직경이다.

$$H = \sum f_i V_i^2 / 2g \dots\dots\dots (4.2.1)$$

여기서, V_i : 각 부분의 평균유속, a_i : 각 부분의 단면적

또, $\sqrt{\sum (\frac{f_i}{a_i^2})} = \frac{1}{K}$ 로 놓으면 식 (10)은 식 (4.2.2)과 같이 표현된다. 여기서 K는 각 구조물의 크기, 배치에 의해서 정해지는 양이며, 유량에 관계가 없는 양이다.

$$K = Q / \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (4.2.2)$$

과거 자료에서 K가 최대가 되는 Q, H의 조합을 구하면, 이것이 설계조건이 된다. 갈수년에 대하여 과거의 자료에서 Q, H의 조합, 즉 K의 연간 변화곡선을 구하고, K의 최대치 K_{max} 을 결정한다. 최저수위 H_{min} 로 K_{max} 를 만족하도록 설계유량 Q_a 를 결정한다.

$$Q_a = K_{max} \sqrt{2gH_{min}} \dots\dots\dots (4.2.3)$$

$$K_{max} = 1 / \sqrt{\sum (f_i / a_i^2)} \dots\dots\dots (4.2.4)$$

식 (13)을 만족하도록 각부의 단면적, 길이 등의 치수를 결정한다.

4.1 설계조건

파악된 현지의 자연적, 사회적 제조건을 기초로, 세부 설계의 기초가 되는 기본 설계를 실시하기 위하여 취입보가 구비하여야 할 기본적인 기능에 관한 조건을 정하고, 이에 따라 취입보의 기본제원을 결정하여야 한다.

4.1.1 설계취수량의 결정

설계취수량은 계획 최대 취수시의 취수량으로 한다. 취수보의 높이나 취수구 설계의 조건이 되는 취수량은 관계계획에 있어서의 계획최대취수량을 취한다

4.1.2 설계취수위의 결정

- (1) 설계취수량을 취수할 때에 용수로 시점(点)에서 확보하여야 할 수위에 취수구부터 용수로 시점까지의 총 손실수두를 가산한 수위, 또는 토사유입방지에 필요한 취수구 터높이에 취입수심을 가산한 수위 중에서 높은 수위로 한다.
- (2) 또한, 자연취수의 경우에는 관개기에 대략 10년 확률로 발생하는 갈수위 또는 토사유입방지에 필요한 취수구 터높이에 취입수심을 가산한 수위 중에서 높은 수위를 설계취수위로 한다.

2.2.3 기상·수문조사

- (1) 수문 등의 조사를 위해 계획대상 지역의 강수량, 하천의 수위, 유량 및 유로 등에 대한 자료를 수집하고 관측 등을 시행한다.

2.2.3.2 기상

- (1) 개수로를 주체로 하는 수로계획은 일반적으로 평야부에 많기 때문에 기상 관계의 자료는 기설 측후소 및 관측소의 자료를 이용할 수 있는 경우가 많다. 일반적으로 크고 긴 수로계획에서는 계획지구가 상당히 광범위하게 걸치므로 가능한 한 블록별로 10~30년 정도 이상의 기상기록을 수집해서 지역의 기상상황을 파악함과 동시에 계획 및 설계에 이용한다.
- (2) 우량 관측소는 바람의 영향이 적은 곳이나 침수될 염려가 없는 곳에 설치한다. 관측계기로서는 자기우량계와 보통우량계가 있다. 보통우량계에 의한 관측은 매일 일정한 시각에 실시한다.
- (3) 관측 결과는 소정의 양식에 따라 다음과 같이 표시한 항목으로 정리해 둔다.

용수로 계획에 사용되는 기상자료 정리항목: 하기, 동기 및 연간평균 강수량, 월별평균기온, 월별평균강수일수, 최대연속한발일수, 적설기간, 무상기간 등.

- ② 배수로계획에 사용하는 기상자료 정리항목: ①항에서 열거한 항목 외에 최대일우량, 최대시우량, 최대4시간우량, 3일 연속우량, 최대연속우량, 최다풍향, 최대풍속 등.

4.3 조절지

4.3.1 조절지 규모

- (1) 대상이 광역이고 물 이용 목적이 다양하면 용수량의 시간적 변동이 크고 복잡해진다. 조절지는 수로 조직내에 있어서 조절지까지의 관수로 조직을 점검, 보수하고자 할 때 조절지 이하의 수요량을 확보함으로써 물이용의 조건을 충족시키고 수로계로서의 유기적이고 탄력적으로 운영하기 위하여 설치하는 것이다. 조절지의 규모는 수원용량에서 말단의 물 이용시스템까지 전체의 관련성을 고려하여 종합적으로 검토하여 결정하여야 한다. 또 시설기능유지, 물 관리의 편의, 사고대비 등을 위하여 조절지를 통하지 않고 우회하여 하류에 직접 관개용수의 공급이 가능한 바이패스관(by-pass)을 설치할 필요가 있다.

4.3.2 조절지의 구조

- (1) 조절지의 구조는 대규모 관개계획에 의하여 저수용량이 큰 댐을 축조하여 저수하는 본격적인 저수지로부터, 소규모의 것으로 아스팔트라이닝이나 콘크리트라이닝 또는 철근 콘크리트 등으로 만든 조절지까지 있다. 어느 것이나 기술적인 면과 경제성을 충분히 고려하여 그 구조를 결정해야 한다.
- (2) 조절지에는 적당한 여수방류시설을 설치하고 하천이나 계곡에 방류할 수 있도록 하여야 한다. 또한 관수로에 토사나 먼지가 유입되지 않는 구조로 한다.

3.3 이수치수계획

- (1) 저수량 또는 취수가능수량, 도수(水) 및 분수량, 포장의 필요수량 등을 확인하여 용수이용현황 및 이용 가능량을 분석하고 용수이용계획 및 급수계획을 수립한다.
- (2) 대상지구의 설계홍수량, 물넘이 시설의 규모 및 능력검토, 배수장 시설의 규모 및 배수량, 내외수위를 확인하여 홍수관리 및 배수관리 계획을 수립한다.

3.4 물관리 운영계획 수립

- (1) 대상지구의 효율적인 물관리를 위해서는 물수요량의 정확한 예측과 해당지점에 적기에 적량의 물을 공급하는 것이 전제되어야 한다. 이러한 물수요량은 지구별로 기상, 작물, 토양 등의 물리적인 인자 외에도 경작자의 관행과 기호, 관개조직의 수리적 특징과 수로조직의 물분배 방법에 따라 다르다. 따라서 물관리 운영계획 수립시에는 대상지구의 관개조직을 자세히 조사(계획내용 포함)하고 이수 및 치수 현황을 파악하여 용수이용 계획을 수립한 후 지구 특성에 맞게 용수관리방식, 관개방식, 급수관리, 치수관리 등을 검토하여 효율적인 물관리 계획이 되도록 한다.

4.3 결정

- (1) 계획양배수량은 지구의 용배수계획에 따라 결정한다. 이 경우 연간을 통한 양배수량의 변동 등에 대해서도 충분히 검토하여야 한다.

4.3.1 용수 펌프장

- (1) 용수 펌프장의 설계양수량은 계획양수량과 펌프의 운전시간에 따라 결정되며, 지구의 관개방식, 관개기간 등을 고려해서 계획기준년도와 평년도에 대하여 각각의 기별 용수량을 기초로 하여 계획 최대양수량과 평상시양수량을 결정한다. 그리고 밭 관개의 계획양수량 등은 “KDS 67 40 00” 농지 관개를 참고한다.

4.3.1.1 계획 최대양수량

- (1) 펌프 설비용량을 결정하는 계획 최대양수량은 계획기준년도에 있어서의 계획지구의 기별 필요수량 중에서 최대수량에 의해 결정한다.

4.3.1.2 평상시 양수량

- (1) 과거 10개년 정도에 대해 유효강우량 등을 기초로 하여 매년의 기별 용수량을 검토하여 가장 빈도가 높은 연간의 기별 용수량을 평상시 양수량으로 한다. 그리고 관개용수 이외의 영농용수나 지역용수 등이 필요한 경우에는 그 이용 현황을 검토해서 관개용수와는 별도로 수량을 확보해야 할 필요가 있으며 이를 평상시 양수량으로 고려해야 한다.

KDS 67 40 10 논관개

2.1 조사 및 계획 일반

2.1.2 관개계획기준치

- (1) (설계빈도)는 원칙적으로 지구의 가뭄피해 자료에 따라 결정하지만 보통 10년에 한번 일어날 정도의 한발을 극복할 수 있도록 결정한다.
- (2) 관개계획기준치에는 필요저수용량, 하천취수량 및 단위용수량 등이 있다.

KDS 67 40 30 발관개

2. 조사 및 계획

계획수립에 있어서는 수원의 가능성과 경제성, 계획지역의 영농계획, 관련사업 등에 대하여 충분히 검토한다. 동시에 장래의 관리운영을 포함하여 물이용시스템 전체가 균형이 취해지도록 함을 기본으로 한다.

2.3.5 수원계획

(1) 계획기준년

계획기준년은 10년에 1회 정도 발생하는 한발년을 원칙적으로 채택한다. 실제적으로는 장기간의 기상, 수문기록을 기초로 해서 판단하는 것이 바람직하다.

1.3 용수 수요 추정

- (1) 추정은 간척지의 토지이용계획과 배후지의 관발계획에 따라 필요한 모든 용수수요를 고려해야 한다. 관개용수는 경지면적의 개념으로 추정하고 나머지 생·공·축·수산용수 등은 원단위용수 개념으로 추정한다. 관광·위락용수는 관광객 수에 의한 수익을 고려하여 타 용수공급과의 최적배분량을 결정해야 한다.
- (2) 용수수요는 간척지와 배후지의 개발계획의 목적에 따라 종합적으로 수요를 추정해야 한다. 특히 배후지의 경우 물수요는 기존의 수리권(시설현황)과 추정능력을 판단해야 하며 물 공급체계에 비효율적인 요소가 없는가를 파악해야 한다. 간척지를 포함한 일정지역의 용수수요는 별도의 용수개발계획이 가까운 장래에 없다고 보고 가능한 한 넓은 지역의 용수수요를 추정할 필요가 있으며 인근지역의 용수개발계획도 연계해서 파악해야 한다.
- (3) 물수요의 목표연도도 장래 토지이용계획과 인구 및 산업계획에 따라 달라지므로 타 개발계획의 목표연도를 참고하여 되도록이면 장기간의 목표연도를 채택하도록 한다.

각 용수수요별로 추정방법을 살펴보면 다음과 같다.

1.3.1 관개용수

- (1) 관개용수는 전답 등 경지에 필요수량을 공급하는 것이다. 간척지를 경지로 개발할 경우 특히 용수부족이 발생하지 않도록 해야 한다. 이는 물이 부족할 경우 토피속의 염분이 모세관현상에 의해 상승하기 때문이다. 일반적으로 관개계획은 10년 빈도(물부족이 발생하지 않을 확률 90%)를 기준으로 하지만 배후지의 경지에 비해 동일한 한발에도 그 피해는 더 심할 수 있기 때문에 속담이 될때까지 물관리에 주의하는 수밖에 없다.
- (2) 관개용수의 상세한 추정방법은 농업생산기반정비사업계획설계기준 (관개편, 1998) 및 농지관개(KDS 67 40 20 : 2017)을 참조한다.

4.2 저수지 내용적 결정

- (1) 저수용량은 저수지의 활용 목적에 따라 필요한 이수용량, 홍수조절 용량 및 환경용수량을 확보할 수 있도록 한다. 기존에는 관개용으로 활용하는 방법만 검토하였으나 저수지주변 마을 등을 경유하여 이용할 수 있는 환경 또는 지역 용수 개념이 반영되어 활용될 수 있도록 한다.

① 농업용수, 생활용수, 공업용수, 축산용수, 수산용수 등

「농업생산기반정비사업 조사·설계 실무요령의 용수이용계획 및 필요수량 산정」편을 참조한다.

- 가) 환경용수량은 기준갈수량과 농촌 환경보전 유량으로 구분하며, 저수지 내용적을 결정 할 때 환경용수량은 저수지 지점의 기준갈수량 또는 농촌 환경보전 유량 중에서 큰 값을 적용한다. 기준갈수량은 저수지 계획지점의 10년 빈도 갈수량으로 매년의 갈수량을 빈도분석하여 비초과 확률 10%에 해당하는 갈수량을 말한다.

1.2 국내 타 부처 이수분야 설계기준 검토

1.2.1 국토교통부

- 농업분야 설계기준 이외에 국내의 기타 이수 관련 설계기준을 살펴보면, 수자원장기종합계획(국토교통부, 2016)에서는 30년에 1회 물부족 허용 (2001년 7월), 37년에 1회 물부족 허용 (2006년 7월)으로 기준을 마련하고 있음. 기존의 수자원계획은 1967~1967년 가뭄을 기준으로 이수안전도를 책정하였음. [표 2.5]는 수자원공급시설의 물공급안전도를 나타냄
- 댐설계기준(국토해양부, 2011)에서는 이수안전도의 정의 및 신뢰도 기준을 권장하고 있는데, 과거에는 이수안전도 기준이 없어 사업에 따라 아래와 같이 일관성 없이 기준을 달리 적용하였음. [표 2.6]은 댐설계에서의 이수안전도 기준을 나타냄
 - 과거 발생된 최대 갈수년 (1967~1968년) 기준
 - 보장공급량 기준으로 10~20년에 1회 물부족을 허용하는 조건
 - 신뢰도 기준으로 분석기간 동안 100% 공급하는 기준최근에는 기후변화 및 물공급 안정성 등을 고려하여 20~30년에 1회 물부족을 허용하는 조건을 채택하고 있으며, 이수안전도의 정의 도입 및 신뢰도 기준을 권장하고 있음

1.2.2 환경부

- 상수도 시설기준(환경부, 2010)에서는 계획취수량의 확보를 위해 저수지의 저수용량 결정에 사용하는 계획기준년은 10개년에 제1위 정도의 빈도를 갖는 갈수를 기준으로 선정하고 있음. 만약 연속한 30년간의 경우는 제3위, 20년간은 제2위의 갈수를 대상으로 함. [표 2.7]은 상수도 시설기준에서의 저수지 저수용량 결정에 대한 계획기준년에 대한 내용을 나타냄.

[표 2.5] 수자원공급시설의 물공급 안전도 (국토교통부, 2016)

1.2.3 수자원시설의 기후변화 대응력 강화

기후변화로 수자원 공급시설의 안전도가 저하되는 상황에서 미래 기후의 불확실성에 대비 안정적인 물 공급 확보대책 수립

o 수자원 공급시설의 물 공급 안전도 기준 제고

- 우리나라 수자원시설의 물 공급 안전도는 10~30년 1회 발생하는 가뭄에 대응하도록 설계

【 우리나라 수원의 물공급 안전도 현황 】

수원	물 공급 안전도	주 공급지역
다목적댐	20~30년 1회 가뭄 대응 (일부 댐은 15년, 40년 1회 가뭄 대응)	시지역
용수전용댐과 농업용 저수지	10년 1회 가뭄 대응	읍지역
마을상수도 취수원	10년 이하 가뭄 대응	면(농어촌)

- 수자원 장기종합계획(2001~2020)에서는 1967년 이후 과거 최대 가뭄에 대응을 위한 물 수급 계획을 수립하고 있지만 물 공급 시설의 설계 기준에는 미반영
- 외국의 물공급 안전도 : 미국(뉴욕, 샌프란시스코) 과거 최대가뭄, 영국(런던) 50년 1회 가뭄, 호주(시드니) 과거 최대 가뭄에 대응
- 미국, 영국 및 호주의 설계기준은 50년 1회 가뭄~과거 최대 가뭄에 대응하고 있어, 우리나라보다 안정적인 물 공급 인프라 보유
- 호주의 주요 5개 도시(퍼스, 퀸즐랜드, 시드니, 멜버른, 아델레이드)는 기후변화 대응을 위하여 기존 물공급 인프라와 별도로 해수담수화 시설을 건설·운영
- 최근 물 공급 안전도의 설계기준보다 심한 가뭄의 발생으로 안정적인 물 공급 곤란
- 광동댐 고갈('08), 예당저수지 고갈('12) 및 보령댐 물 감량 공급('14)
- 수자원의 기후변화에 대한 영향평가 결과 향후 물 공급의 대응력 저하 전망
- RCP 4.5 기후변화 시나리오를 이용한 낙동강 유역의 물 수급 분석 결과(2040~2069년) 물 공급량의 감소로 인해 최대 6.1억㎥의 물 부족 전망
- 기후변화 대응 물 공급의 안정성을 강화하기 위한 용도별 및 주요 도시의 물 공급 안전도 설계기준 제고 방안 추진

[표 2.6] 댐설계 이수안전도 (국토해양부, 2011)

(나) 이수안전도의 결정

- ① 자연 하천유량과 댐의 저수량은 부정확한 수문현상의 영향을 받기 때문에 때로는 수요량을 만족시킬 수 없는 경우가 발생된다. 여기에서 이수안전도의 개념이 도입되며, 이를 규정하는 요인들은 하천유량의 불확실성, 목표수요량, 수자원개발 및 공급시스템의 3가지 요소가 있다.
- ② 이수안전도란 수자원 공급시설이 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안정성 정도이다. 즉, 설정된 수요량을 공급할 수 있는 확실성을 말하며 확실성은 확률 또는 빈도 개념으로 표현된다. 대부분 댐 사업에서 기준으로 삼고 있는 용수공급 가능량(reservoir yield)은 안전공급량(safe yield)이며 이를 보장공급량(firm yield)이라고도 한다. 용수의 보장공급량이란 최대 갈수기(critical drought period) 동안에도 보장할 수 있는 최대 공급량을 뜻하며, 일반적으로 이수안전도를 기준으로 결정된다. 미국의 Grigg(1966)는 “보장공급량이란 50년에서 100년의 계획기간에 대하여 물 공급 체계로부터 공급할 수 있는 최소의 유량이다. 이는 통계적으로 기대되는 값이며 공급시간 단위는 일, 월 또는 연 등이다.” 라고 하였다. 외국 선진국에서 적용하고 있는 이수안전도 기준은 <표 3.14>에서 보듯이 나라마다 이수안전도 기준을 달리 설정하고 있다.
- ③ 우리나라의 경우 『상수도 시설기준』에 의하면 저수지의 유효저수량 결정에 이용되는 기준 갈수년은 10년에 한번 정도(30~40년 기록중에서 3번째 정도의 갈수년)의 빈도를 갖는 갈수년을 기준으로 하는 것이 적당하다고 제시하고 있다. 또한, 농업용수댐의 경우 이수목적의 필요 저수량은 10년에 1회 정도의 갈수를 기준으로 하고 있다. 그러나 다목적댐의 경우에는 이수안전도 기준이 설정되어 있지 않아 현재 운영중이 댐들을 보면, 크게 보장공급량 기준과 신뢰도 기준을 적용하는 댐으로 나눌 수 있는데, 과거 발생된 최대 갈수년인 1967년~1968년을 기준으로 하거나 연간 단위로 10년~20년에 1회 물 부족을 허용하는 조건 또는 분석기간 동안 100% 공급하는 등 댐마다 이수안전도 기준을 달리하여 일관성이 없다. 그러나 최근의 다목적댐 또는 생공용수댐의 계획시에는 기후변화 및 물 공급 안정성 등을 고려하여 20년~30년에 1회 물 부족을 허용하는 조건으로 용수공급능력을 평가하고 있어 과거보다는 이수안전도 기준을 강화하고 있는 추세이다.

[표 2.7] 저수지 저수용량 결정 계획기준년 (환경부, 2010)

2.2.5 계획기준년

계획취수량을 확보하기 위하여 필요한 저수용량의 결정에 사용하는 계획기준년은 원칙적으로 10개년에 제 1위 정도의 갈수를 표준으로 한다.

【해설】

갈수기준년의 선정은 장기간에 걸쳐 이미 구한 갈수 중에서 최대인 것을 선정하는 것이 이상적이지만, 그렇게 하면 대단히 큰 저수량을 필요하게 되는 경우가 많다. 반면, 갈수정도가 낮은 해를 기준으로 하면, 계획취수량을 만족시킬 수 있는 기간이 짧게 될 우려가 있다. 따라서 사업의 경제적인 효과를 고려하여 10개년에 제1위 정도(30~40년 기록 중에서 3번째 정도의 갈수)의 빈도를 갖는 갈수를 기준년으로 하는 것이 일반적이다.

계획기준년을 결정할 때는 가능한 한 장기간(20~30년간, 어쩔 수 없는 경우에는 최근 10년간 정도)의 수문자료를 수집하고, 연속한 10개년에 제1위 정도(30년간의 경우는 제3위, 20년간의 경우는 제2위)의 갈수를 대상으로 한다. 그러나 다목적저수지인 경우에는 관개(灌漑)나 기타의 관계를 고려하여 별도로 결정해야 된다.

제 2 절 국외 이수분야 설계기준 검토

- 국외의 이수분야 설계기준을 알아보기 위해 먼저 우리나라와 농업 환경이 유사한 일본의 농업분야 이수 설계기준을 파악해 보았음. 일본은 토지개량사업계획 설계기준 및 운용 해설 (농림수산성, 2010)에서 수원계획의 계획기준년은 농가의 부담능력 및 사업의 경제성을 감안하여 타당한 가뭄년에 지역 농업의 전개에 필요한 용수량을 확보하는 계획을 위하여 정하고, 원칙적으로 선정된 지표의 1/10 확률년(10년에 1회 그 사상이 발생하는 빈도)을 채택하고 있었음. [표 2.8]은 일본 토지개량사업계획설계기준 및 운용 해설 (농림수산성, 2010)에서 제시하고 있는 수원계획의 계획기준년에 대한 내용을 나타냄
- 미국, 영국 및 호주 등과 같은 선진국에서의 이수분야 설계기준을 검토한 결과, 농업분야에 국한된 이수설계기준을 파악하기 힘들었으며 다목적댐의 이수안전도를 지정하고 있으며, 수환경 특성을 고려하여 국가별로 다양하게 이수안전도를 적용하고 있었음.
- 선진국의 경우 가뭄빈도가 높을 경우 50년 1회 가뭄 혹은 과거 최대 가뭄을 계획기준년으로 하고 있어 우리나라보다 안정적인 물공급 인프라를 보유하고 있음. 가뭄년을 직접 측정하기 곤란할 경우 일반적으로 확률계산 방법에 의해 처리할 수 있는 제원을 이용하여 각각 연도의 재현기간을 산출하여 시설의 정비수준을 평가하는 방법을 채용하고 있음. 여기에는 장기간 기상수문관계의 관측 자료를 활용하는 것이 바람직하나 필요한 데이터가 충분하지 않을 때는 통계처리 해석방법에 의한 재현치 등을 사용함

[표 2.8] 일본 농업분야 이수안전도 (농림수산성, 2010)

3.3.4.2 수원계획의 계획기준년

1. 기준의 운용(농촌진흥국장 통지, 준수할 사항)

계획기준년은 수원계획을 책정함에 있어, 기상, 수문 등의 상황, 농업의 물이용을 비롯한 수자원 이용 면으로부터 종합적으로 검토하고, 농가의 부담능력 및 기준의 경제성을 감안하여 정한다.

2. 기준 및 운용의 해설 (과장 통지)

계획기준년은 농가의 부담능력 및 사업의 경제성을 감안하여 타당한 가뭄년에 지역 농업의 전개에 필요한 용수량을 확보하는 계획을 위하여 정하는 것이다. 원칙적으로 선정한 지표의 1/10 확률년(10년에 1회 그 사상이 발생하는 빈도)을 채용한다.

가뭄년을 직접 측정하기 곤란하므로 일반적으로 확률계산방법에 의해 처리할 수 있는 제원을 이용하여 각각 연도의 재현기간을 산출하여 시설의 정비수준을 평가하는 방법을 채용한다.

여기에는 장기간 기상수문관계의 관측 자료를 활용하는 것이 바람직하나 필요한 데이터가 충분하지 않을 때는 통계처리 해석방법에 의한 재현치 등을 사용한다. 이때 저수시설을 갖고 있지 않고 하천의 자연유량에 의존하는 지구와 같이 수원, 용수이용에 심한 제한이 없는 경우는 유효수량, 청천일수 등 작물에 관한 지표를 우선하고 있는 예가 많다.

또한, 하천 등에 의존하는 신규의 개발수량이 있는 경우는 용수량 필요량의 확보를 전제로 하여 수원의 유황 등 용수계획에 의해 설정되는 제원 이외의 지표를 직접의 결정인자로 해도 좋다.

선정할 지표에는 다음과 같은 것이 있으나 수원의 개발 및 이용에 관련된 사업이 있는 경우에는 이것들과의 정합성(整合性)에도 유의한다.

- ① 작물에 관한 지표: 관개기 총유효수량, 관개기 총수량, 관개기 연속청천일수, 관개기 총청천일수
- ② 수원에 관한 지표: 하천유량(특히 갈수량), 댐 의존량 및 용량

[표 2.9] 국외 이수안전도 기준

국가		이수안전도 기준
미국	미개척국	과거 최대 갈수량
	공병단	20년에 1회 물부족
	미국동부지역	100년 빈도 갈수량
	캘리포니아주	20년 빈도 갈수량
	워싱턴주	100년 빈도 7일 평균 갈수량
영국	WESSEX 물관리청	50년 빈도 갈수량
	ANGLIAN 물관리청	기왕 최대 갈수량
일본		10년 빈도 제1위상당의 갈수량
프랑스		10년 빈도 갈수량
네델란드		기왕 최대 갈수량 (50년에 해당)
호주		기왕 최대갈수량



Office



Research



Farming



International

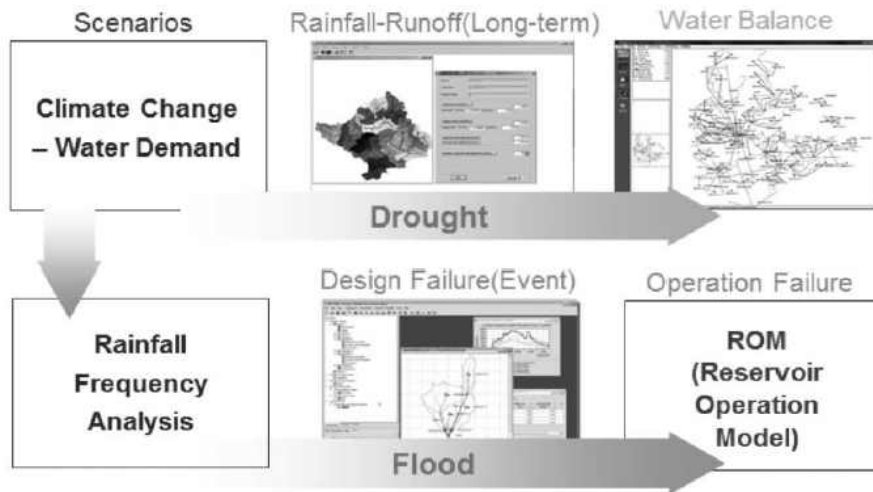
제 3 장

개념 정립

제 3 장 이수안전도 개념 정립

제 1 절 이수안전도 분석 관련 사례 검토

- 1.1 댐의 이수 및 치수안전도에 미치는 영향 평가 (김 등, 2013)
- 소양강댐과 충주댐의 이수 및 치수안전도에 대한 기후변화의 영향을 평가한 것임. 이수안전도 평가를 위하여 기후변화-물수요 시나리오를 작성하였으며, 장기유출모형 SLURP 모형을 이용하여 유출분석을 수행한 후, 물수지기반 모형인 K-WEAP 모형을 이용하여 소양강댐과 충주댐에 대한 저수용량의 변화를 검토하였음. 또한 치수안전도 평가를 위하여 기후모형의 자료로부터 축소한 일강우계열에 대하여 강우빈도해석을 수행함.



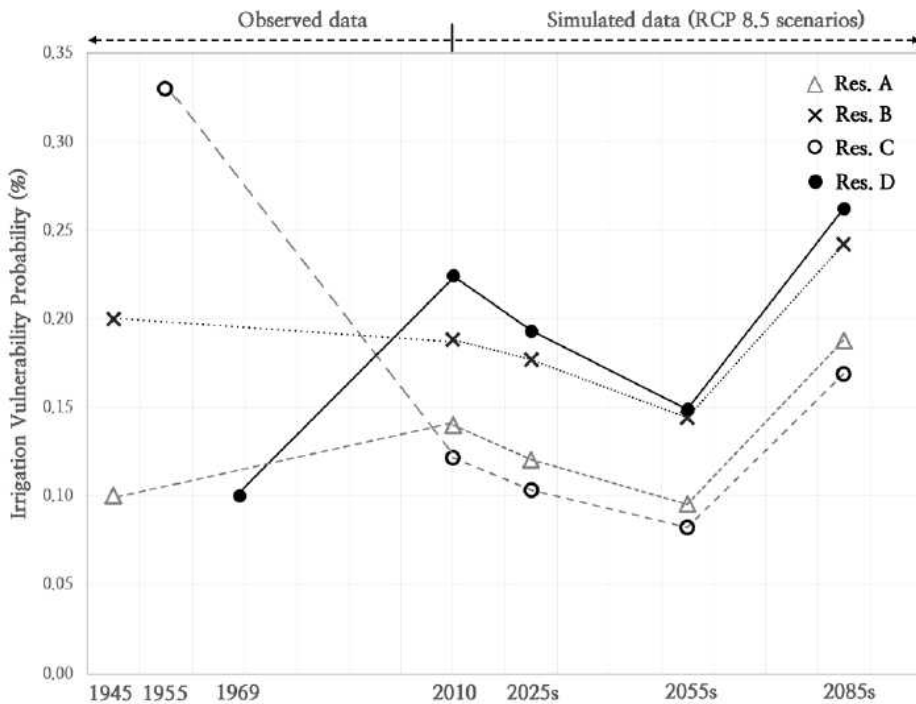
[그림 3.1] 댐의 이수 및 치수안전도 평가 과정 (김 등, 2013)

- 1.2 기후변화 시나리오를 고려한 농업용 저수지의 미래 용수공급 지속가능성 전망 (남 등, 2014)

- 농업생산기반정비통계연보(한국농어촌공사, 2015)에 의하면 농업용 저수지는 총 17,401개소이며, 공사관리 저수지는 3,379개소(19.4%), 시·군 관리

저수지는 14,022개소(80.6%)로 구분됨. 농업용 저수지 중 수리답면적 100 ha 미만의 저수지는 약 94%를 차지하고 있으며, 공사관리 저수지 62%, 시·군 관리 저수지 64%는 설치 경과연수가 50년 이상으로 노후화가 심화되어 저수지 본연의 용수공급 기능을 상실하거나 농업용수 공급 및 유지관리 측면에서 비효율성이 지속되고 있음

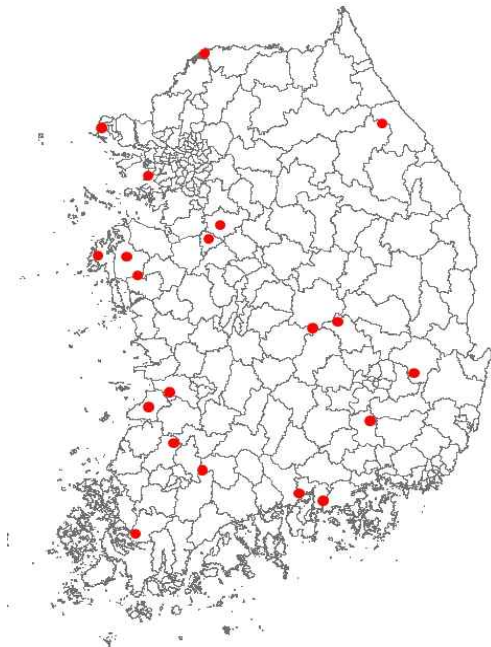
- 기후변화에 따른 미래 용수공급의 지속가능성을 평가하기 위하여 신뢰도 (reliability) 기반의 관개 취약성 평가 모델을 활용하여 농업용저수지의 미래 용수공급 지속가능성에 대한 전망을 연구함. 여기서 관개 취약성 평가 모델은 이수 측면에서 관개시작 시점의 저수량 및 관개 기간의 누적 공급 계획량, 누적 수요예측량을 활용하여 용수공급 가능 여부를 판단할 수 있는 모형임



[그림 3.2] 관개취약성 평가 모형 적용 결과 (남 등, 2014)

3. 농업용 저수지 이수안전도 평가 (한국농어촌공사, 2016)

- 전국적으로 분포하고 있는 농업용저수지 중 수혜면적, 유역면적 등을 고려, 일정규모 이상의 저수지를 평가대상으로 선정함 (대상저수지의 기본 자료는 RIMS 및 농업생산기반통계연보 자료 활용)
- 최근 30년(1986~2015) 기상 자료를 기준으로 저수지 모의운영을 통한 물수지 분석 결과를 바탕으로 신뢰도 기준의 용수공급능력을 평가하여 이수안전도를 재현기간으로 환산한 후 10년 한발빈도 농업용저수지의 이수안전도를 최근 30년(1986~2015) 기후자료로 재분석한 결과 가뭄에 대한 취약성이 증가한 것으로 나타남.
- 샘플 지구(20개소)의 분석 결과, 농업용저수지의 경우 유역배율 2.8이하, 단위저수량 600mm 이하에서 최근 이수안전도가 한발빈도 10년보다 부족할 것으로 추정되었음

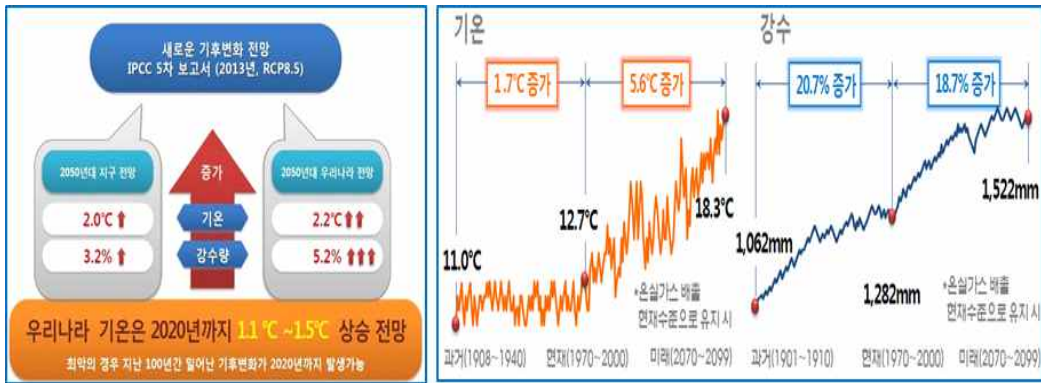


구분	저수지명	비고
강원도	장현, 동송	2개소
경기도	흥부, 고려	2개소
충북	화산, 양덕	2개소
충남	풍전, 산수, 고품	3개소
전북	팔덕, 대화, 사산	3개소
전남	구성, 월남,	2개소
경북	옥성, 심곡, 의성	3개소
경남	대가, 덕곡, 가산	3개소

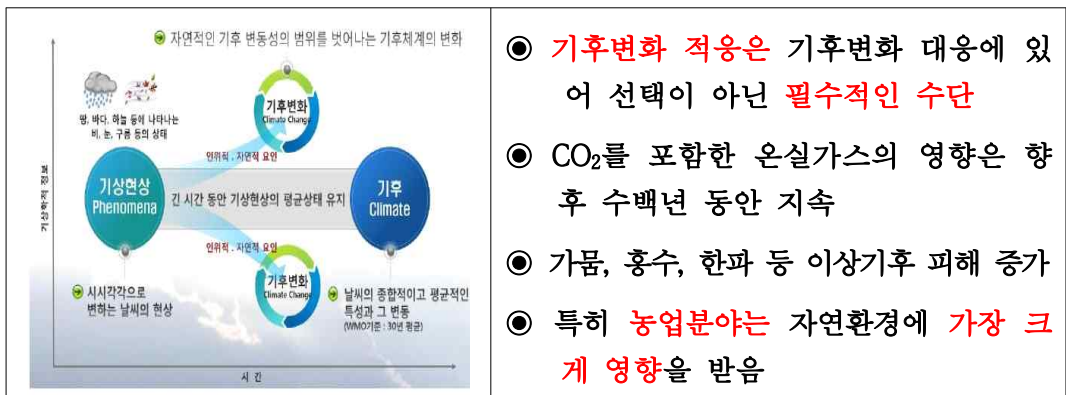
[그림 3.3] 이수안전도 평가 저수지 현황 (한국농어촌공사, 2016)

4. IPCC 5차 보고서 (APEC기후센터, 2016)

- IPCC 5차보고서에 의하면, 2050년 한반도 연평균 기온 2°C~4°C 상승 등 21세기 후반에 아열대로 변할 것으로 전망하고 있음. 이에 따라 한반도 가뭄 발생빈도는 급격한 증가 추세를 나타낼 것이며, 강수량의 시간적·지역적 편중이 심화되고, 극한 가뭄, 극한 홍수가 심화할 것으로 예견되고 있음



[그림 3.4] 미래 기후변화에 의한 기온 및 강수의 변화







[그림 3.5] 기후체계의 변화에 따른 농업분야 영향

5. 농업용 저수지 설계한발빈도 현황

- 농업용 저수지 관리기관별 설계한발빈도 현황을 살펴보면, 한국농어촌공

사 관리 저수지의 약 78%는 10년 빈도 가뭄에도 안정적으로 농업용수를 공급할 수 있도록 설계된 반면, 시·군 관리 저수지의 경우 약 63%는 평년 한발빈도로 설계됨

- 10년 미만의 설계한발빈도로 축조된 소규모 저수지는 약한 가뭄에도 안전한 용수공급이 어려울 뿐만 아니라, 최근 기후변화로 인한 가을부터 이듬해 봄까지 정례적인 이상가뭄 발생 및 극한강우의 증가로 인한 동일강우 대비 유효강우량이 감소됨으로써 가뭄에 대한 재해위험도가 상대적으로 가중되고 있음
- 과거 통계상 수리안전답이 현재와 미래의 기후조건에서도 같은 이수안전도를 나타내는지 정량적 평가와 대책 시행이 필요성이 제기되었으며, 빈번히 발생하는 가뭄 등 이상 기후변화에 적응하고 안정적인 식량 수급을 위해서는 현재 농업용 저수지의 한발빈도에 대한 분석을 통해 이수안전도를 평가를 토대로 저수지 기능개선이 필수적인 것으로 나타남. 실제 과거의 10년 한발빈도로 설계된 저수지들이 최근의 가뭄에 여지없이 낮은 저수율을 드러내어 가뭄에 취약한 것으로 나타남 [그림 3.6]
- 따라서 농업수자원 시스템의 운영 방안 수립에 필수적인 용수공급 능력의 평가 척도로서 보편적으로 사용되는 설계빈도에 대한 기후변화로 인한 수문사상의 변화 및 수요의 다변화에 따른 이수안전도의 평가의 필요성이 제기됨

 <p>11.6%</p> <p>2012/06/26 04:59 PM</p>	 <p>9.4%</p> <p>2012/06/26 03:48 PM</p>
반월저수지(경기)	홍부저수지(경기)
 <p>14.3%</p> <p>2012/06/29 04:14 PM</p>	
예당저수지(충남)	대산저수지(강화)

[그림 3.6] 가뭄에 의한 기존 저수지 저수율 저하 현황

제 2 절 이수안전도 분석을 위한 개념 정립

2.1 이수안전도 개념

- 이수안전도란 수자원 공급시설이 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안정성 정도이며, 설정된 수요량을 공급할 수 있는 확실성을 말하며 확실성은 확률 또는 빈도개념으로 표현됨
- 이수안전도는 일반적으로 보장공급량, 신뢰도, 회복도, 취약도, 용수공급부족도 등으로 분석되며, 다음과 같이 정의되고 있음
- 보장공급량(firm supply): 갈수기준년의 개념으로 설계된 댐이 최대갈수년 동안에도 공급을 보장할 수 있는 최대공급량인 안전공급량(safe yield) 혹은 보장공급량(firm yield)을 의미함
- 신뢰도(reliability): 전체 기간 대비 용수공급의 실패가 발생하지 않은 비율
 - 빈도기준 신뢰도(occurrence-based reliability) : 전체 계획기간에 대한 저수지에서의 계획공급량을 공급할 수 있는 연수로 분석

$$Rel_o = 1 - \frac{\sum F_s}{F_t}$$

여기서, Rel_o 는 빈도기준 신뢰도, F_s 는 전체 계획기간 중 저수지에서 계획공급량을 공급하지 못한 연수, F_t 는 전체 계획기간

- 시간기준 신뢰도(time-based reliability) : 전체 계획기간에 대한 분석기간 수(일, 반순, 순, 월)에 대한 저수지에서의 계획공급량을 공급할 수 있는 기간수로 정의 Rel_t

$$Rel_t = 1 - \frac{\sum T_f}{T_t}$$

여기서, Rel_t 는 시간기준 신뢰도, T_f 는 전체 계획기간에 대한 분석기간 중 저수지에서 계획공급량을 공급하지 못한 기간 수, T_t 는 전체 계획기간에 대한 분석 기간 수

- 양적기준 신뢰도(quantity-based reliability) : 전체 계획기간에 대한 분석

기간 동안의 저수지으로부터 공급해야 할 계획공급량에 대한 실제 용수공급량의 비로 정의

$$Rel_q = 1 - \frac{\sum Q_r}{\sum Q_t}$$

여기서, Rel_q 는 양적기준 신뢰도, Q_f 는 전체 계획기간에 대한 분석기간 중 저수지에서 공급해야할 계획공급량과 실제 용수공급량과의 차이, 즉 계획용수공급 부족량, Q_t 는 전체 계획기간에 대한 분석 기간 동안의 용수공급계획량을 의미

- 회복도(resilience): 용수공급을 할 수 없는 상황이 발생했을 때 실패로부터 얼마나 빨리 회복하는 지를 나타내는 지표, 즉 용수공급 실패가 발생한 후 실패로부터 얼마나 빨리 만족상태로 회복되는가를 나타내는 지표

$$Res_2 = \max\{d(j)\}^{-1}$$

여기서, $d(j)$ 는 용수공급 실패상태의 지속기간

- 취약도(vulnerability): 용수부족량 크기의 정도를 평가하는 지표로 이용되고 있는데 용수부족량의 크기에 따른 피해정도를 가늠해 볼 수 있는 지표, 발생 가능한 물부족의 크기를 의미

$$Vul_2 = \max\{v(j)\}$$

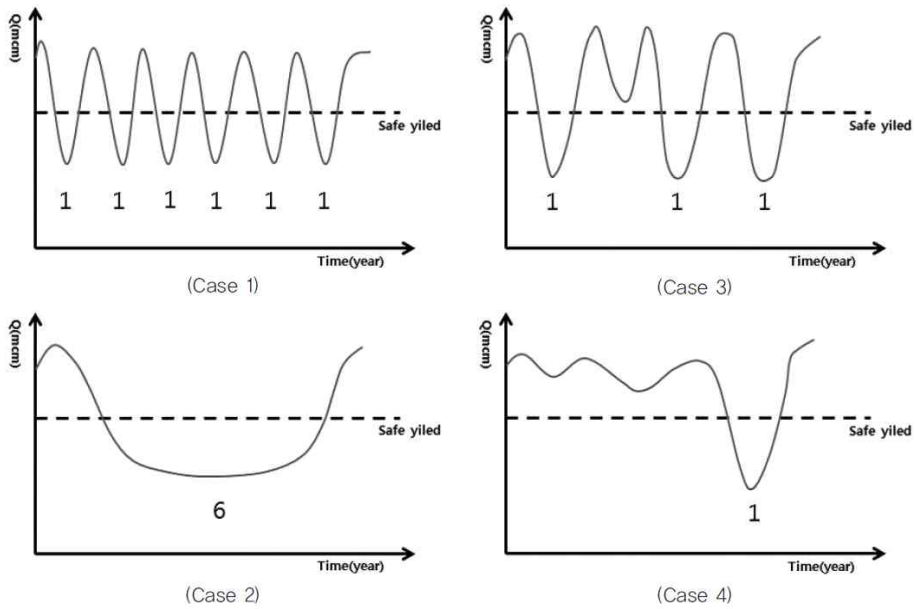
여기서, $v(j)$ 는 용수공급 실패사상의 지속기간 동안 공급하지 못한 용수공급 부족량

- 일일용수공급부족지표(water deficit per day, DPD) : 일단위 분석을 통해 용수공급 부족량(계획공급량-실제공급량)과 분석기간(일)의 곱으로 표현되며, 신뢰도가 표현하지 못하는 이수안전도를 평가할 수 있는 지표

$$DPD = \sum i \left(\frac{Q_i - W_i}{Q_i} \times 100 \right)$$

여기서, i 는 분석시간단위(일), Q_i 는 i 일 댐으로부터의 계획용수공급량, W_i

는 i 일 댐으로부터의 실제용수공급량을 나타냄



[그림 3.7] 신뢰도 및 회복도 지표의 용수공급능력평가를 위한 비교도
(이재웅, 2012)

- 물공급 시스템의 취약성: 수요량과 공급량을 하중과 저항능력에 연관시킨 물 공급 시스템의 기능수행함수를 이용하여 음의 값이 물 공급 시스템의 파괴

2.2 농업분야 이수안전도 개념

- 물공급 안정성의 척도로 나타내는 이수안전도는 우리나라 다목적댐의 경우 보장공급량 기준에서 신뢰도 기준을 권장하고 있는 추세임 (국토해양부, 2011). 그러나 농업용 저수지의 경우에는 한발빈도개념을 이수안전도의 척도로 적용하고 있음. 따라서 본 연구에서는 농업분야 이수안전도로 적용하고 있는 한발빈도개념 즉, “10년 한발빈도(10년 1회 갈수기준)” 을 기준으로 하여 이수안전도를 평가하고자 함

- 한편 과거 강우자료 등 기상자료가 충분하지 않았던 시기에 설계된 저수지의 경우 수리시설 내한능력의 평가기준으로 단위저수량을 활용하여 한발빈도를 유추하는 방법을 활용한 경우가 있음. 수리시설내한능력조사 종합보고서 (농수산부·농업진흥공사, 1984)에 따르면, 과거 수리안전담의 단위저수량을 활용하여 한발빈도 개념을 적용하고 있는데, 단위저수량이 520mm 이상은 한발빈도가 10년, 440mm 정도는 5년 빈도 등으로 적용하고 있음



[그림 3.8] 수리시설내한능력조사 종합보고서 (농수산부·농업진흥공사, 1984)

[표 3.1] 단위저수량을 활용한 한발빈도 개념 (농수산부·농업진흥공사, 1984)

한발빈도	단위저수량(mm)	비고
10년빈도	520	- 본답 급수에 지장 없음
7년빈도	480	- 10년빈도 한발시 수도 이양후 16일 정도 본답 급수 가능
5년빈도	440	- 10년빈도 한발시 수도 이양후 10일 정도 본답 급수 가능
3년빈도	380	- 10년빈도 한발시 수도 이양에 지장 없으나 6일 정도의 본답 급수 가능
평년빈도 (2.33년)	330	- 10년빈도 한발시 수도 이양만은 가능 하고 본답 급수는 곤란

- 본 연구에서는 농업용 저수지의 이수안전도 개념을 한발빈도 개념으로 적용하여 “10년 1회 물 부족 허용 (10년 한발빈도 적용)” 을 안정적인 농업용수 확보 기준으로서 농업용수분야 이수안전도로 보고, 시험지구에 대한 이수안전도를 분석하고자 함



Office



Research



Farming



International

제 4 장

이수안전도 분석을 위한 시험지구 선정

제 4 장 이수안전도 분석을 위한 시험지구 선정

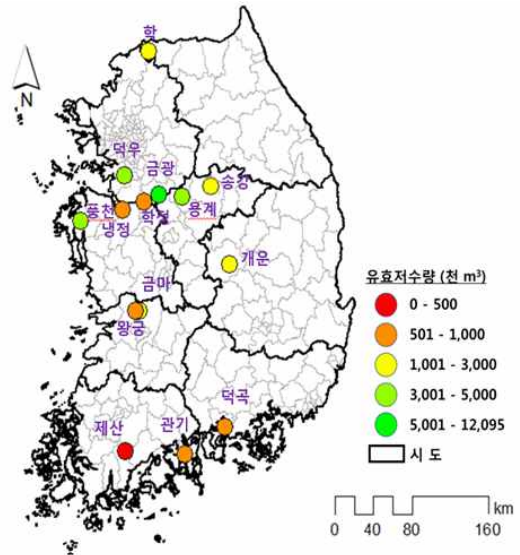
제 1 절 현재 설계기준 대비 수량 부족 저수지 선정

- 농업분야 이수안전도 분석 대상을 선정하기 위해 현재 설계기준 대비 수량 부족 저수지를 고려하고자 최근에 가뭄을 경험한 지구를 대상으로 시험지구를 선정하고자 하였음.
- 최근 가뭄대책 지구를 고려하되 저수지 유역배율 등을 고려하여 시험지구를 선정하고자 하였으며, 전국적인 분포를 고려하여 선정하였음. [표 4.1]은 본 연구를 위해 최종 선정된 시험지구를 나타냄
- 전체 공사관리 저수지 중 주수원공 저수지를 대상으로, 최근 영농대비 용수확보 추진지구 (가뭄대책지구) (한국농어촌공사, 2017)를 중심으로 고려하고 저수지 유역배율을 기준으로 선정하였음. 전국적인 분포를 고려하여 도별 1~2개 지구 선정한 시험지구는 총 13개 지구임. [그림 4.1]은 시험지구의 유역 배율 분포 및 전국 분포 현황을 나타냄.

[표 4.1] 시험지구 선정 현황

순번	시설명	가뭄대책지구	관리지사	준공년도	수혜면적 (ha)	한발빈도 (년)	유역면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	유역배율
1	금광	0	안성지사	1961	1245.4	10	4830	12,047	3.9
2	덕우	0	화성·수원지사	1949	573.2	5	2270	3,547	4.0
3	학	0	철원지사	1923	378.4	10	2600	1,426	6.9
4	송강	0	충주·제천·단양지사	2005	235.0	10	440	1,077	1.9
5	냉정	0	아산·천안지사	1941	326.0	10	535	940	1.6
6	풍전	0	서산·태안지사	1944	655.1	10	1110	2,621	1.7
7	확정	0	천안지부	1929	214.0	10	706	775	3.3
8	금마		익산지사	1941	229.1	10	452	818	2.0
9	왕궁		익산지사	1931	540.6	10	866	1,941	1.6
10	관기		순천·광양·여수지사	1932	239.4	10	365	783	1.5
11	계산	0	장흥지사	1946	203.2	10	476	511	2.3
12	개운	0	상주지사	1948	202.7	10	650	1,180	3.2
13	덕곡		사천지부	1958	270.0	10	686	694	2.5

지역	유역배율				합계
	2배 미만	2배~3배	3배~4배	4배 이상	
경기			1	1	2
강원				1	1
충북	1				1
충남	2		1		3
전북	1	1			2
전남	1	1			2
경북			1		1
경남		1			1
합계	5	3	3	2	13



[그림 4.1] 시험지구 유역배율 분포 및 전국적 분포 현황

제 2 절 시험지구 기초자료 조사 및 분석

- 농업분야 이수안전도 분석을 위해 선정된 시험지구의 현황 등에 대한 기초자료를 조사하였음. 시험지구를 대상으로 이수안전도 분석을 위한 물수지 분석 자료 리스트를 작성하고, 다양한 자료의 획득 방안을 정립하였음. 또한 한발빈도 분석을 위한 기초자료를 조사하였음
- 특히 과거 대비 현장여건의 변화를 반영하기 위해 관개면적, 재배방식, 작부시기 등 물수지 분석을 위한 기초자료 조사 및 분석을 실시하였음. 현장여건 변화 조사는 현장 인터뷰 및 설문조사를 통해 실시되었으며, 현장 인터뷰 불가 지구에 대해서는 온라인 매체(이메일 및 유선 등)를 통해 조사를 실시하였음
- 현장 조사 결과와 설계 당시 자료와의 비교 분석을 수행하였으며, RIMS에서 제공하는 관개면적 및 현장 조사 결과와의 비교, 물수지 분석에 사용되는 모의 기본값과 현장 조사 결과의 비교, 중부지방 및 남부지방에 적용하는 작부시기 조사 결과를 분석하였음

[표 4.2] 시험지구에 대한 자료 조사 목록

구분	순번	자료명	상세 내용	자료 출처
기초자료	1	사업명	- 13개 대상지구 사업명 입력저수지 사업지구명	대상지구 사업보고서
	2	지구 위치	- 13개 대상지구 위치	대상지구 사업보고서
	3	관계면적	- 대상 저수지의 수해구역 면적	문헌조사 / 현장조사
	4	유역면적	- 대상 저수지 상류부의 유역면적	문헌조사
	5	기상관측소	- 13개 대상지구 인근 기상관측소	기상청 (www.kma.go.kr)
	6	기상 데이터베이스	- 기상청 기상관측소 자료	
	7	분석기간	- 대상 저수지의 물수지 분석기간	-
필요수량 산정	8	증발산량 산정 방법	- Penman equation 혹은 B-C equation	-
	9	재배방식	- 이양재배, 담수직파, 견답직파	문헌조사 / 현장조사
	10	작부시기	- 묘대기, 이앙기, 본답기	문헌조사 / 현장조사
	11	수로손실	- 관개용 수로에서의 하루 손실량(mm/day) 혹은 손실률(%)	기본모의값 / 현장조사
	12	침투량	- 관개구역 경작지에서의 하루 침투량(mm/day)	기본모의값 / 현장조사
	13	작물계수	- 실제증발산량 산정을 위한 대상 지구별 작물계수	문헌조사
유입량 산정	14	담수심	- 최대담수심, 최소담수심	문헌조사 / 현장조사
	15	유역면적	- 저수지로 유입되는 유역면적	문헌조사
	16	산정 방법	- 탱크모형 혹은 가자야마식	-
	17	면적비율	- 논, 밭, 산림의 면적 비율	문헌조사 (공사자료)
물수지 분석	18	유출계수	- 저수지 유입량 산정을 위한 유출계수	기본모의값 / 문헌조사
	19	저수지 수위	- 석수위, 만수위	문헌조사 (공사자료)
	20	내용적 곡선	- 저수지 수위별 내용적 곡선	문헌조사 (공사자료)
21	물수지 옵션	- 대상 저수지의 다목적 용수 이용 현황 (생공용수 혹은 유 지용수 등)	문헌조사	

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사서는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료로 수집하기 위한
내용입니다. 하위지대로 상세히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 기재 및 기호명칭에 대한 인이우물이 설계기준 정밀해 관한 연구
- 물 수 지 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수량기준 한국농림수산 (연구개발팀) : 정밀해와 관련된 연구

기 관 및 소 속 : 관개, 방류, 저수지 부서
 - 성 명 및 직 칭 : 김성희 과장
 - 권위 저수지 명 : 관개저수지 (관개용, 방류용, 저수지)

1. 관계면적	()	㎡
2. 재배방식	()	ha
3. 작부시기	()	ha
4. 수로손실	()	㎞
5. 침투계수	()	㎞
6. 유출계수	()	㎞
7. 담수심	()	㎞
8. 기타 및 권위사항 (기타기)	()	㎞

자료조사에 용해주시서 대단히 감사합니다.
 - 관개저수지 (순창저수지) -

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사서는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료로 수집하기 위한
내용입니다. 하위지대로 상세히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 기재 및 기호명칭에 대한 인이우물이 설계기준 정밀해 관한 연구
- 물 수 지 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수량기준 한국농림수산 (연구개발팀) : 정밀해와 관련된 연구

기 관 및 소 속 : 관개, 방류, 저수지 부서
 - 성 명 및 직 칭 : 김성희 과장
 - 권위 저수지 명 : 관개저수지 (관개용, 방류용, 저수지)

1. 관계면적	()	㎡
2. 재배방식	()	ha
3. 작부시기	()	ha
4. 수로손실	()	㎞
5. 침투계수	()	㎞
6. 유출계수	()	㎞
7. 담수심	()	㎞
8. 기타 및 권위사항 (기타기)	()	㎞

자료조사에 용해주시서 대단히 감사합니다.
 - 금강저수지 (안성저수지) -

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사서는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료로 수집하기 위한
내용입니다. 하위지대로 상세히 작성하여 주시기 바랍니다.

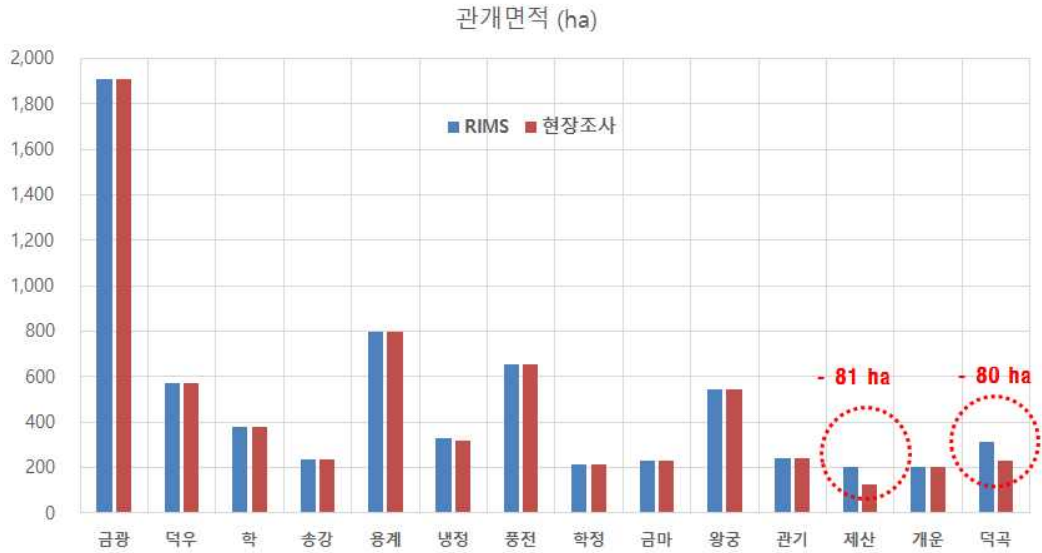
- 기재 및 기호명칭에 대한 인이우물이 설계기준 정밀해 관한 연구
- 물 수 지 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수량기준 한국농림수산 (연구개발팀) : 정밀해와 관련된 연구

기 관 및 소 속 : 관개, 방류, 저수지 부서
 - 성 명 및 직 칭 : 김성희 과장
 - 권위 저수지 명 : 관개저수지 (관개용, 방류용, 저수지)

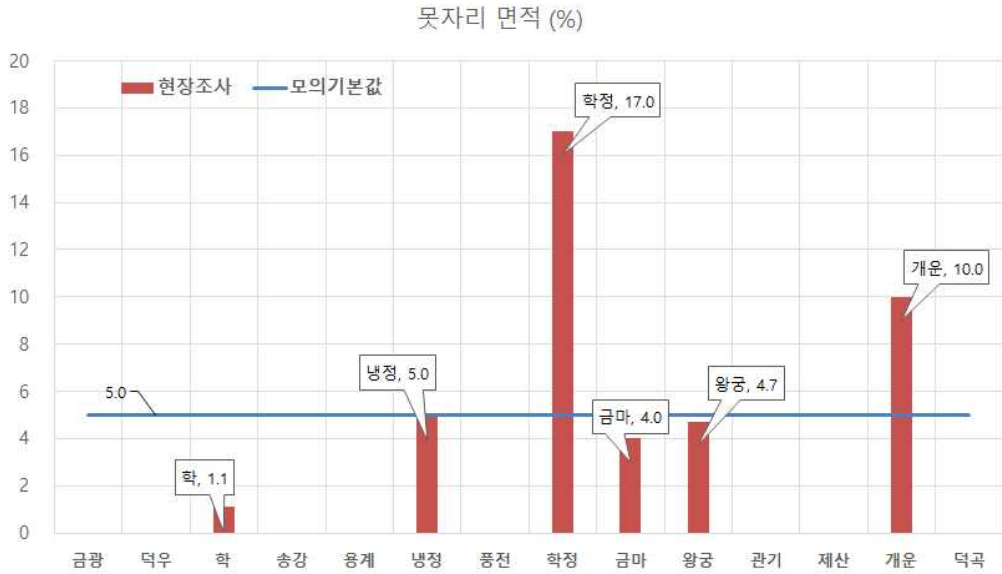
1. 관계면적	()	㎡
2. 재배방식	()	ha
3. 작부시기	()	ha
4. 수로손실	()	㎞
5. 침투계수	()	㎞
6. 유출계수	()	㎞
7. 담수심	()	㎞
8. 기타 및 권위사항 (기타기)	()	㎞

자료조사에 용해주시서 대단히 감사합니다.
 - 송광저수지 (중주저수지) -

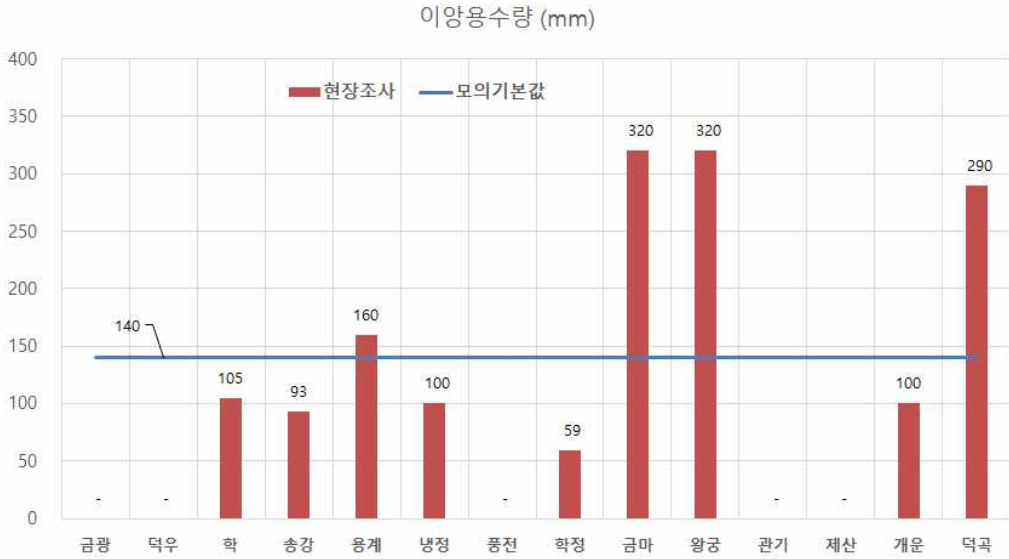
[그림 4.2] 현장 기초자료 조사를 위한 설문조사



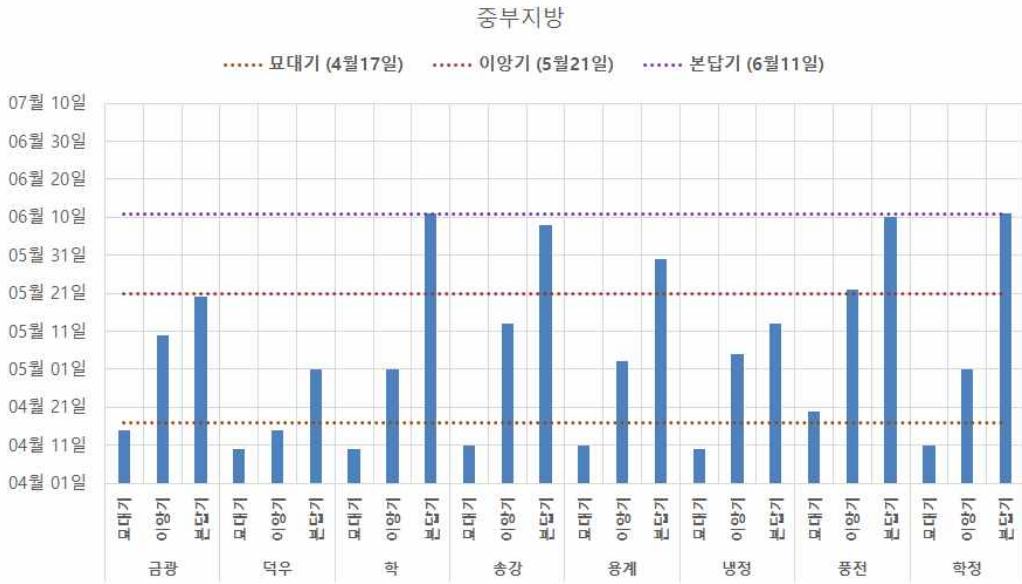
[그림 4.3] 시험지구 관개면적 조사



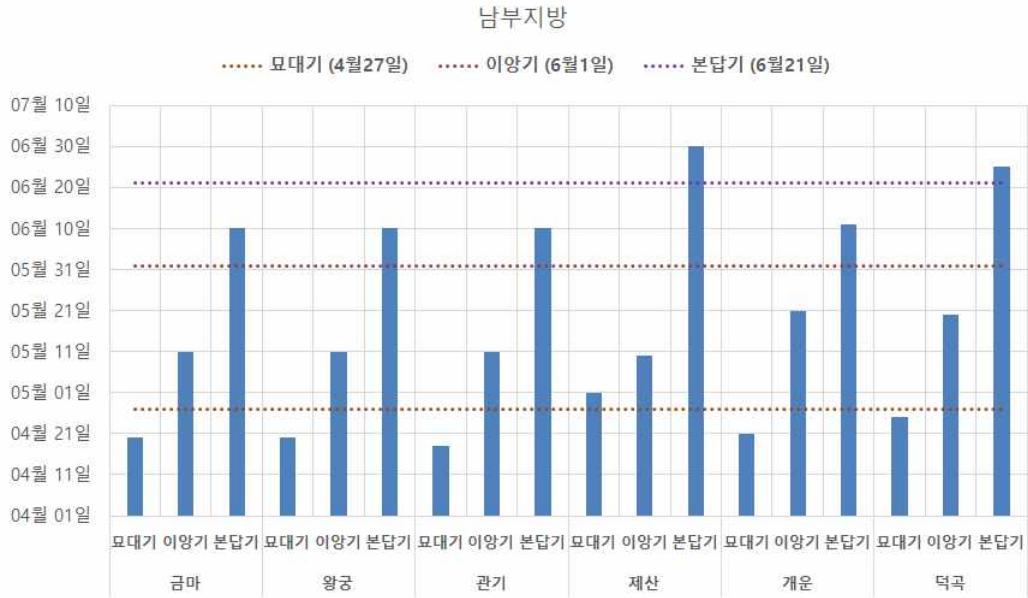
[그림 4.4] 시험지구 못자리 면적 조사



[그림 4.5] 시험지구 이앙용수량 조사



[그림 4.6] 시험지구 벼 생육시기 조사(중부지방)



[그림 4.7] 시험지구 벼 생육시기 조사(남부지방)



[그림 4.8] 시험지구 담수심 조사

[표 4.1] 물수지 모의 인자

구분	순번	자료명	데이터
기초자료	1	사업명	저수지 사업지구
	2	지구 위치	저수지 사업지구 위치
	3	관개면적	관개면적 (ha)
	4	유역면적	유역면적 (ha)
	5	기상관측소	-
	6	기상 데이터베이스	-
	7	분석기간	-
필요수량 산정	8	증발산량 산정 방법	Penman법 또는 Penman-Monteith법
	9	재배방식	못자리 면적 (%)
			못자리 정지용수량 (mm)
			이양용수량 (mm)
	10	작부시기	못자리정지용수 기간 (월 일)
			순수묘대기 기간 (월 일)
			묘대이양기 기간 (월 일)
			이양분답기 기간 (월 일)
	11	수로손실	수로손실 (%)
	12	침투량	침투량 (mm/day)
13	작물계수	중부/남부	
		순별작물계수	
14	담수심	최대 담수심 (mm)	
		최소 담수심 (mm)	
유입량 산정	15	유역면적	유역면적 (ha)
	16	산정 방법	탱크모형
	17	면적비율	논/밭/산림 면적 비율 (%)
	18	유출계수	-
물수지 분석	19	저수지 수위	만수위 (m)
			사수위 (m)
	20	내용적 곡선	수위 내용적 곡선
	21	물수지 옵션	유역 만수면적 (ha)
하천유지용수량 (mm)			

[표 4.2] 삼투량 및 수로손실률

표준코드	시설명	시설구분	관리자	삼투량 (mm/day)	수로손실률 (%)
4155010012	금광	저수지	안성지사	4.0	20.0
4175010015	덕우	저수지	화성.수원지사	6.6	20.0
4278010011	학	저수지	철원지사	6.0	15.0
4313010080	송강	저수지	충주.제천.단양지사	5.8	10.0
4413010022	학정	저수지	천안지부	5.0	15.0
4420010041	냉정	저수지	아산.천안지사	5.0	15.0
4421010017	풍전	저수지	서산.태안지사	5.0	10.0
4514010093	금마	저수지	익산지사	4.0	10.0
4514010130	왕궁	저수지	익산지사	4.0	10.0
4613010031	관기	저수지	순천.광양.여수지사	4.0	15.0
4680010086	제산	저수지	장흥지사	4.0	10.0
4725010004	개운	저수지	상주지사	5.0	15.0
4824010077	덕곡	저수지	사천지부	5.0	10.0

[표 4.3] 유역면적, 논/밭/산림 비율

표준코드	시설명	유역면적 (ha)	논비율 (%)	밭비율 (%)	산림비율 (%)	기타비율 (%)
4155010012	금광	4830	10	3	76	10
4175010015	덕우	2270	21	7	49	23
4278010011	학	2600	75	1	14	10
4313010080	송강	440	-	1	96	3
4413010022	학정	706	17	4	53	26
4420010041	냉정	535	15	12	58	14
4421010017	풍전	1110	12	14	60	14
4514010093	금마	452	19	8	61	12
4514010130	왕궁	866	25	7	55	14
4613010031	관기	365	23	27	34	16
4680010086	제산	476	11	5	78	5
4725010004	개운	650	8	6	78	7
4824010077	덕곡	686	3	-	87	10

[표 4.4] 수해면적

표준코드	시설명	수해면적 (ha)			
		계	순관개	관배수	구역외
4155010012	금광	1906.1	1906.1		
4175010015	덕우	573.2	573.2		
4278010011	학	378.4	378.4		
4313010080	송강	235.0	235.0		
4413010022	학정	214.0	214.0		
4420010041	냉정	326.0	320.3		5.7
4421010017	풍전	655.1	655.1		
4514010093	금마	229.1	229.1		
4514010130	왕궁	540.6	540.6		
4613010031	관기	239.4	239.4		
4680010086	제산	203.2	122.3		80.9
4725010004	개운	202.7	201.6		1.1
4824010077	덕곡	312	312		

[표 4.5] 유역면적 및 저수량 자료

표준코드	시설명	한발빈도 (년)	인가면적 (ha)	유역면적 (ha)	만수면적 (ha)	총저수량 (천m ³)	유효저수량 (천m ³)
4155010012	금광	10		4830	138.4	12095	12047
4175010015	덕우	5	584.2	2270	82.7	3548.7	3546.9
4278010011	학	10	490	2600	153.5	1730	1426
4313010080	송강	10	282	440	10.3	1232	1077
4413010022	학정	10	227.7	706	39.59	775.04	775.04
4420010041	냉정	10	367.4	535	25.8	940.1	940.1
4421010017	풍전	10	750.5	1110	70.25	2622.8	2621.2
4514010093	금마	10	218.87	452	24.95	935	818
4514010130	왕궁	10	554.75	866	47.9	1957	1941
4613010031	관기	10	239.4	365	26.56	783.3	783.3
4680010086	제산	10	122.3	476	10.3	511.8	511
4725010004	개운	10	203.5	650	23	1195	1180
4824010077	덕곡	10	270	686	8.6	694.84	694.84

[표 4.6] 저수지 제당 자료

	시설명	제당(m)			여수토 연장(m)	방수로 연장(m)	홍수/ 갈수량 (m ³ /s)	유역배율 (유역면적/ 수해면적)
		구조	높이	길이				
4155010012	금광	필댐(존형)	19.95	210	51	180	1511	3.9
4175010015	덕우	필댐(존형)	14.43	331	20.4	90	571	4.0
4278010011	학	필댐(존형)	5	595	91.2	21.5	166.8	6.9
4313010080	송강	필댐(존형)	43	291	32	32	99.5	1.9
4413010022	학정	필댐(존형)	7.05	454	22.2	56	122.98	3.3
4420010041	냉정	필댐(존형)	10.82	308	38.1	118	454	1.6
4421010017	풍전	필댐(코어형)	12.3	648	54.7	326	566	1.7
4514010093	금마	필댐(존형)	13	142	25.9	65.4	131.9	2.0
4514010130	왕궁	필댐(존형)	13.3	343	37.2	168.6	59.4	1.6
4613010031	관기	필댐(존형)	5	764	41	72	63.5	1.5
4680010086	제산	필댐(존형)	12.5	90	20	49	31.28	2.3
4725010004	개운	필댐(존형)	14.8	196.5	36	166	104.92	3.2
4824010077	덕곡	필댐(존형)	19.79	293	54	72	40.31	2.5

제 3 절 시험지구 강우자료 조사 및 분석

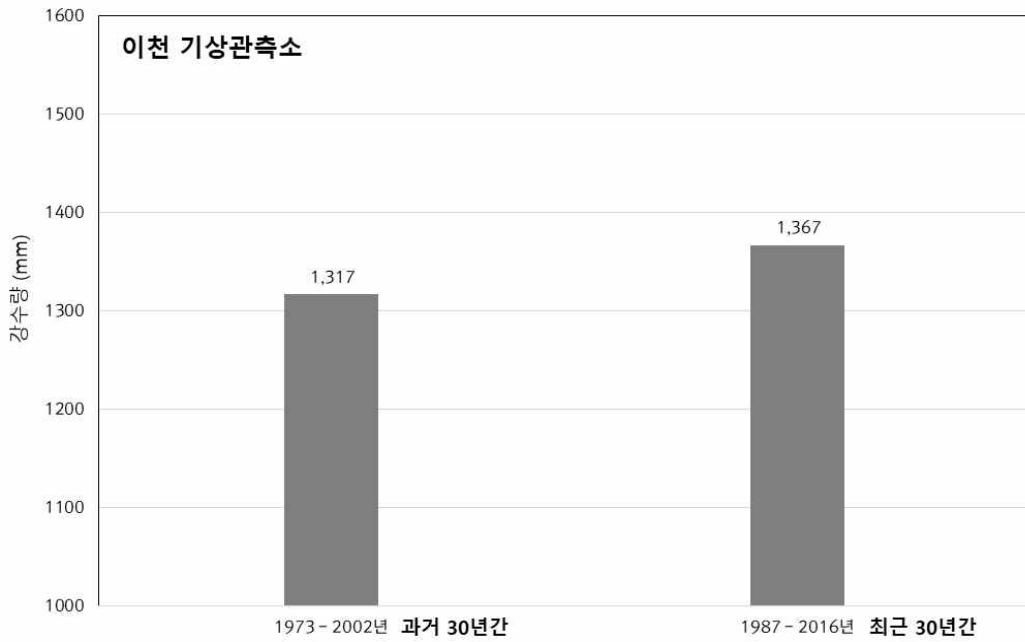
- 시험지구에 대하여 강우자료를 수집하고 저수지별 지배 기상관측소의 강우자료를 바탕으로 연별 및 월별 강우인자의 변화를 분석하였음



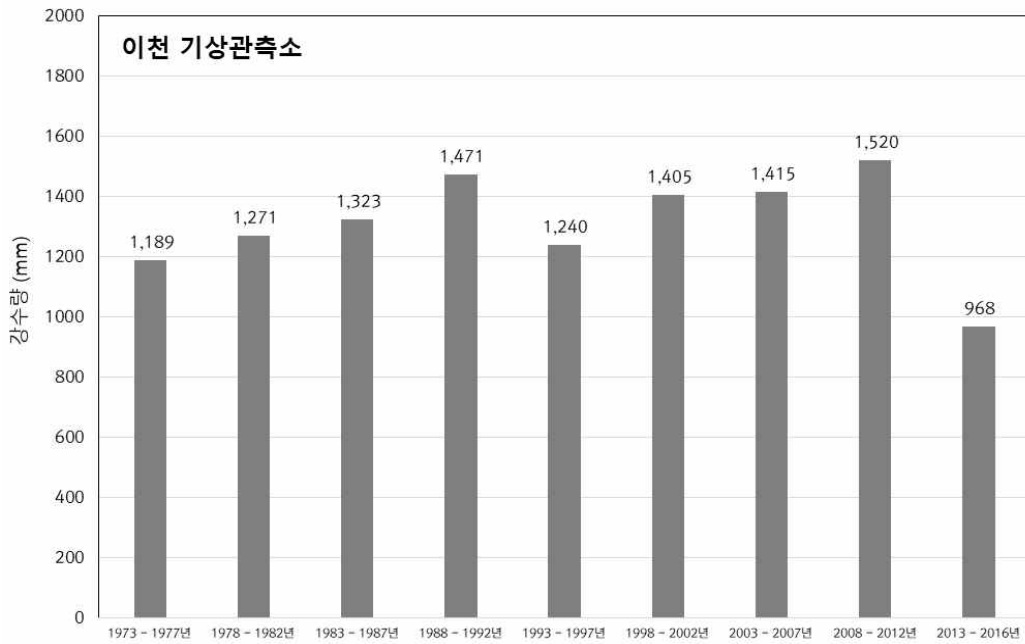
[그림 4.9] 기상관측소 현황

[표 4.7] 저수지별 지배 기상관측소

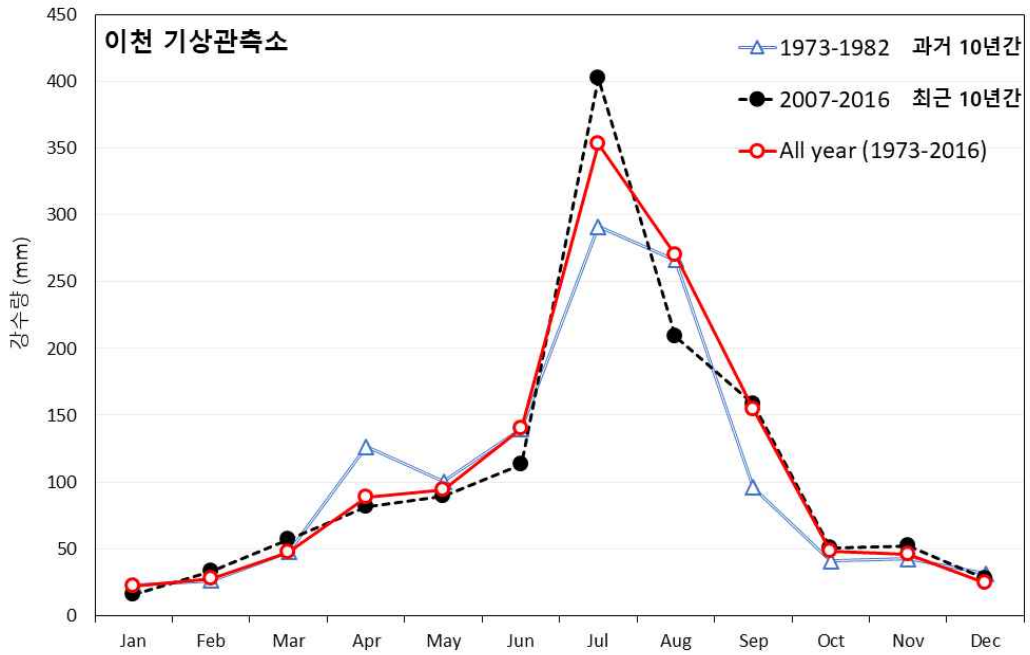
표준코드	시설명	관리자	기상관측소	기상자료 분석기간
4155010012	금광	안성지사	이천 관측소 (203번)	1973년~2016년 (45년)
4175010015	덕우	화성.수원지사	수원 관측소 (119번)	
4278010011	학	철원지사	춘천 관측소 (101번)	
4313010080	송강	충주.제천.단양지사	충주 관측소 (127번)	
4413010022	학정	천안지부	천안 관측소 (232번)	
4420010041	냉정	아산.천안지사	천안 관측소 (232번)	
4421010017	풍전	서산.태안지사	서산 관측소 (129번)	
4514010093	금마	익산지사	전주 관측소 (146번)	
4514010130	왕궁	익산지사	전주 관측소 (146번)	
4613010031	관기	순천.광양.여수지사	여수 관측소 (168번)	
4680010086	제산	장흥지사	장흥 관측소 (260번)	
4725010004	개운	상주지사	문경 관측소 (273번)	
4824010077	덕곡	사천지부	진주 관측소 (192번)	



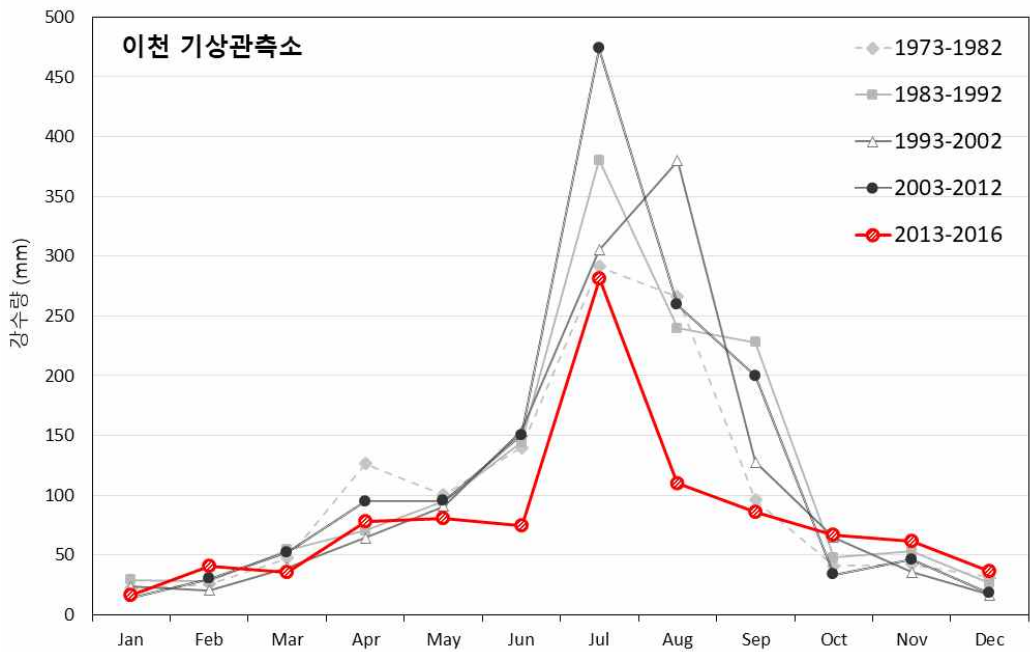
[그림 4.10] 이천 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



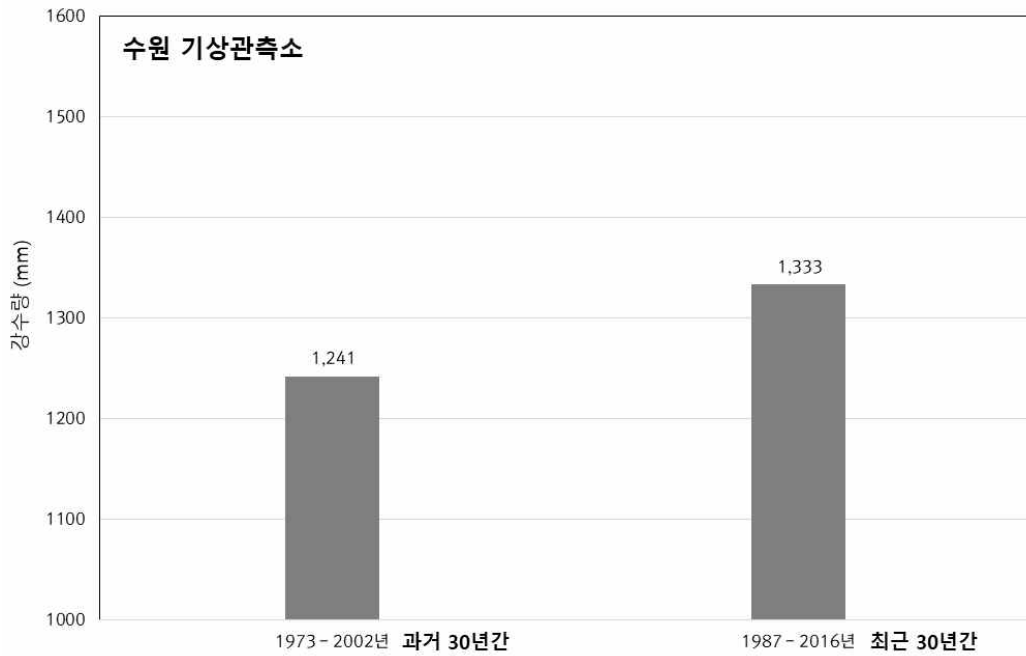
[그림 4.11] 이천 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



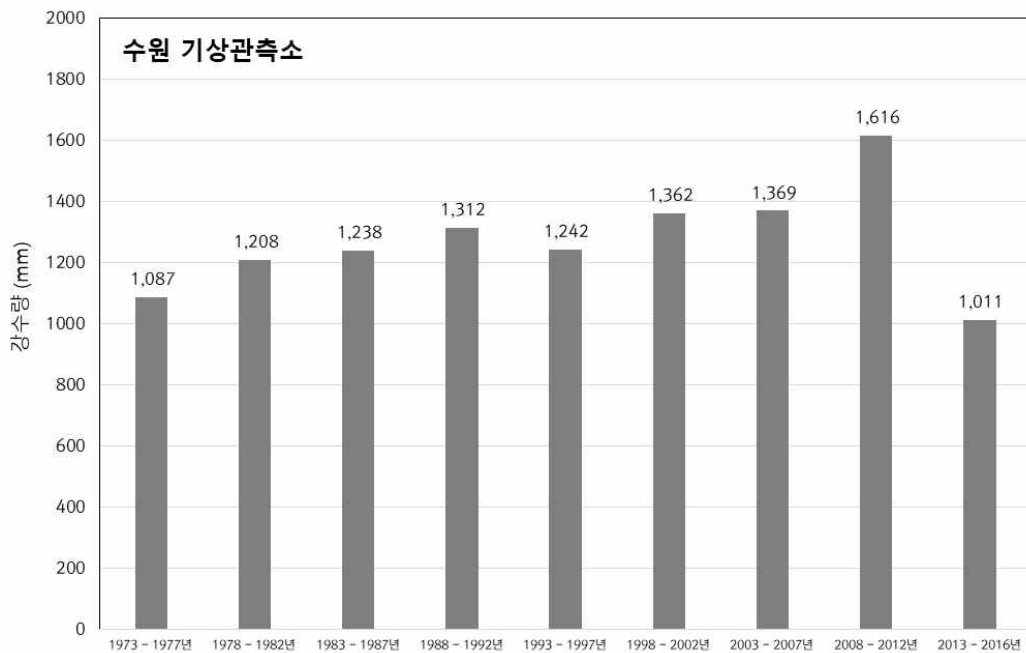
[그림 4.12] 이천 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



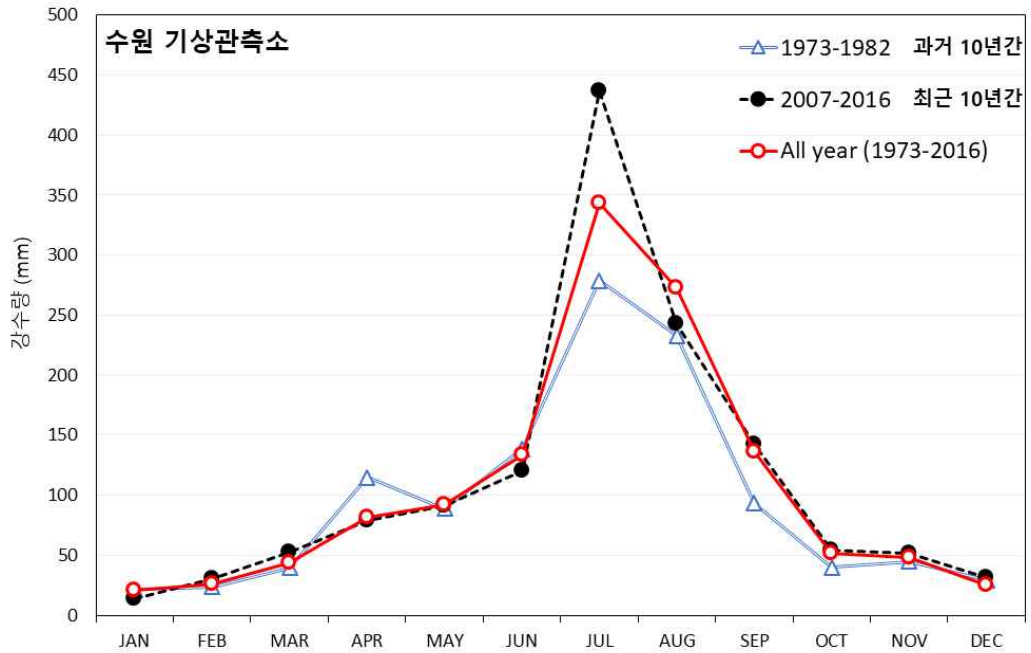
[그림 4.13] 이천 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



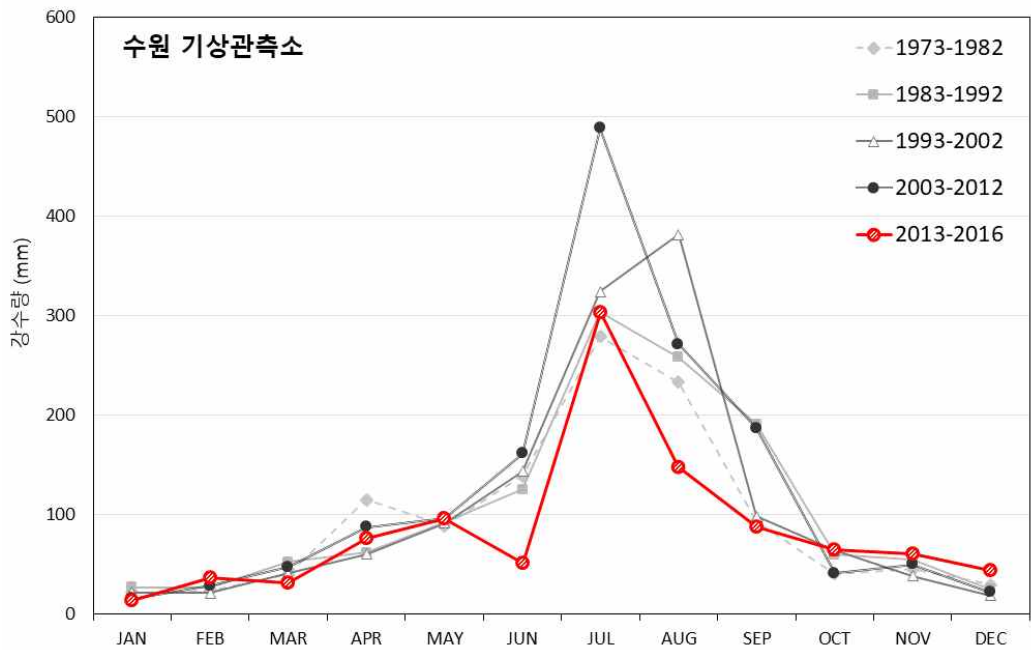
[그림 4.14] 수원 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



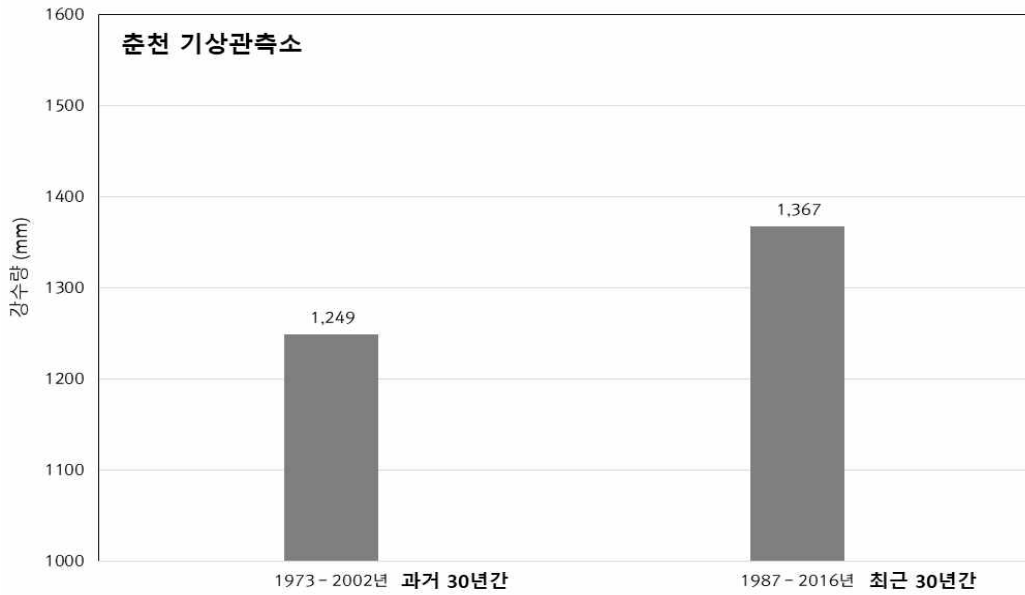
[그림 4.15] 수원 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



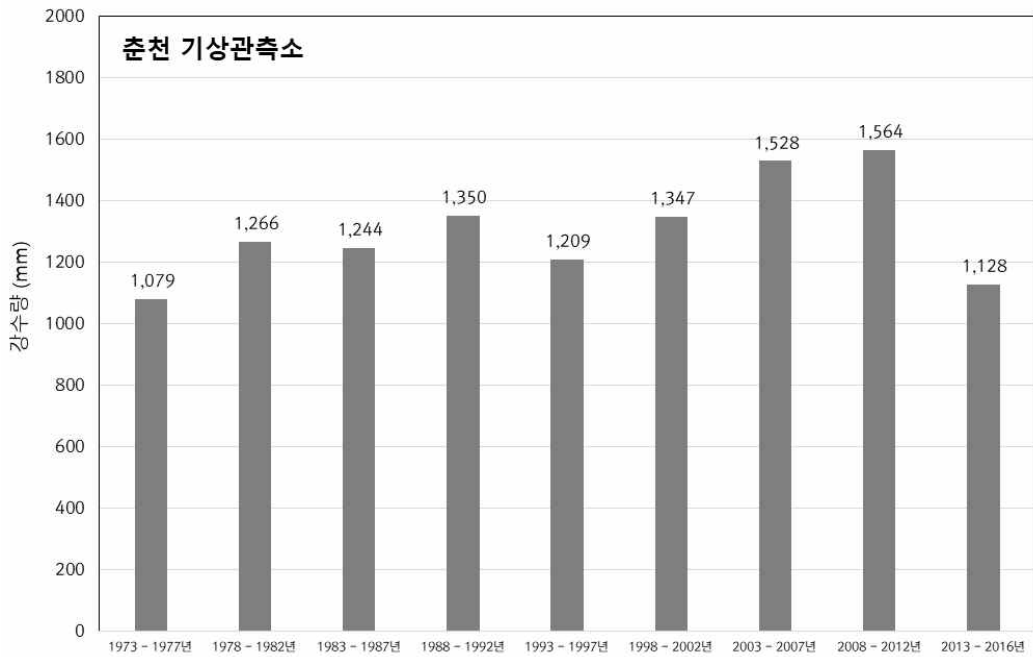
[그림 4.16] 수원 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



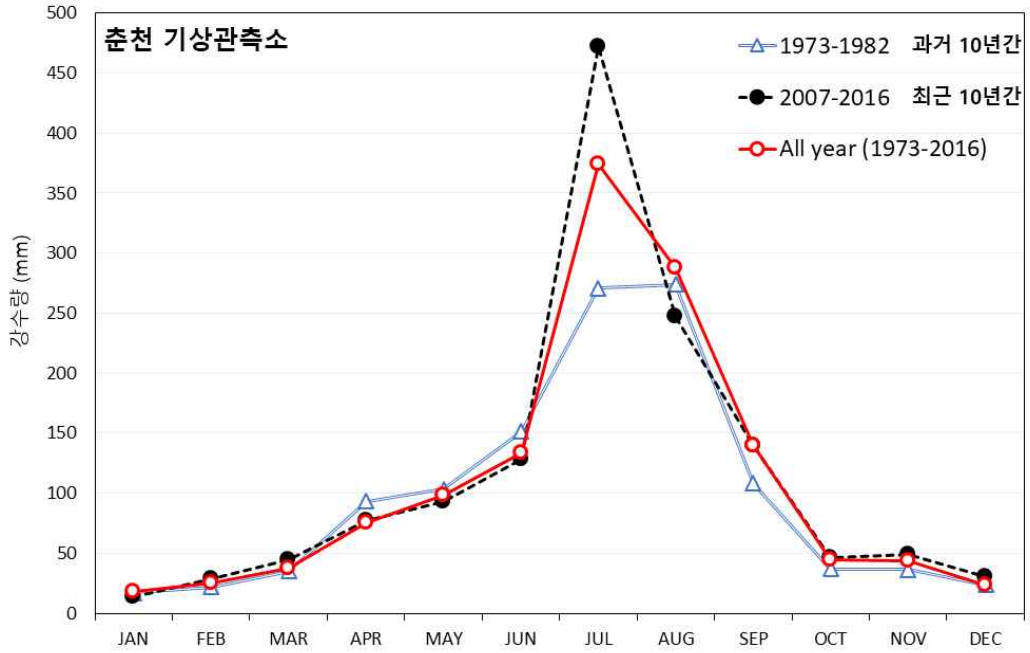
[그림 4.17] 수원 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



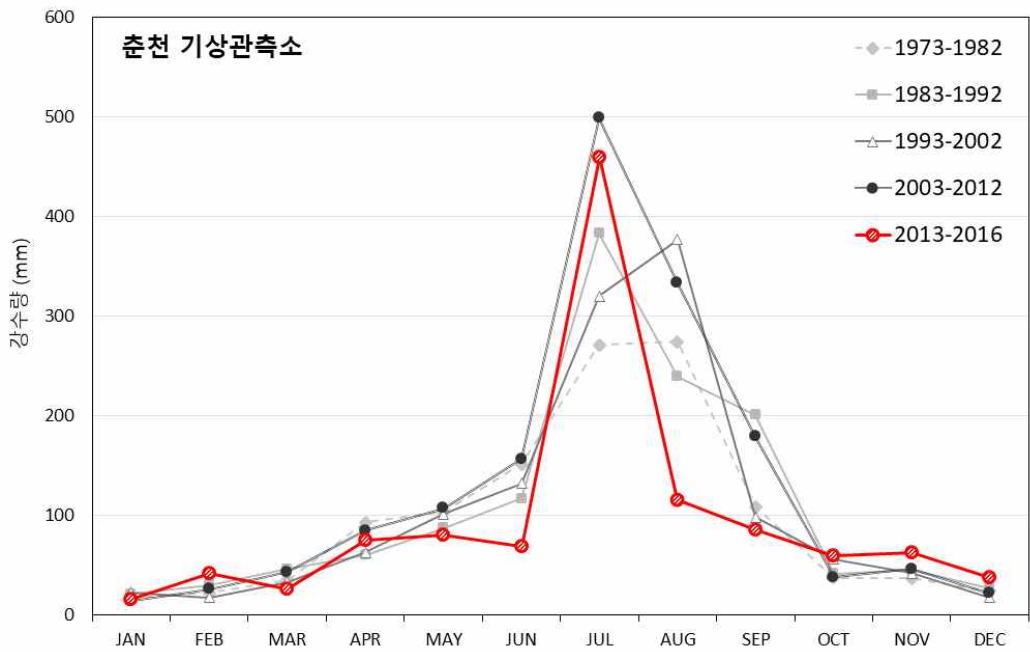
[그림 4.18] 춘천 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



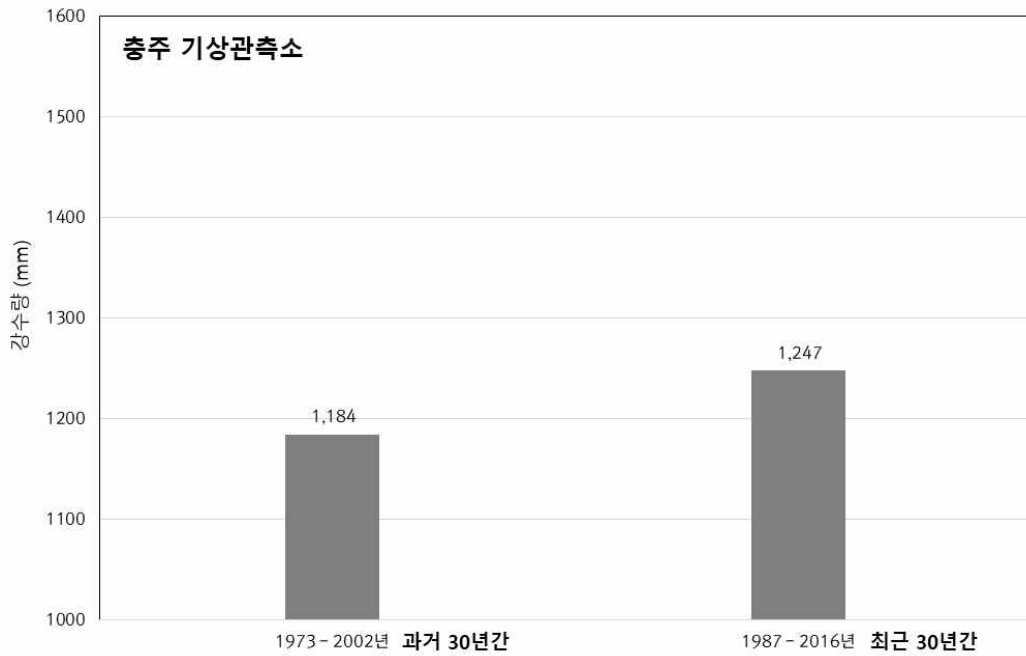
[그림 4.19] 춘천 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



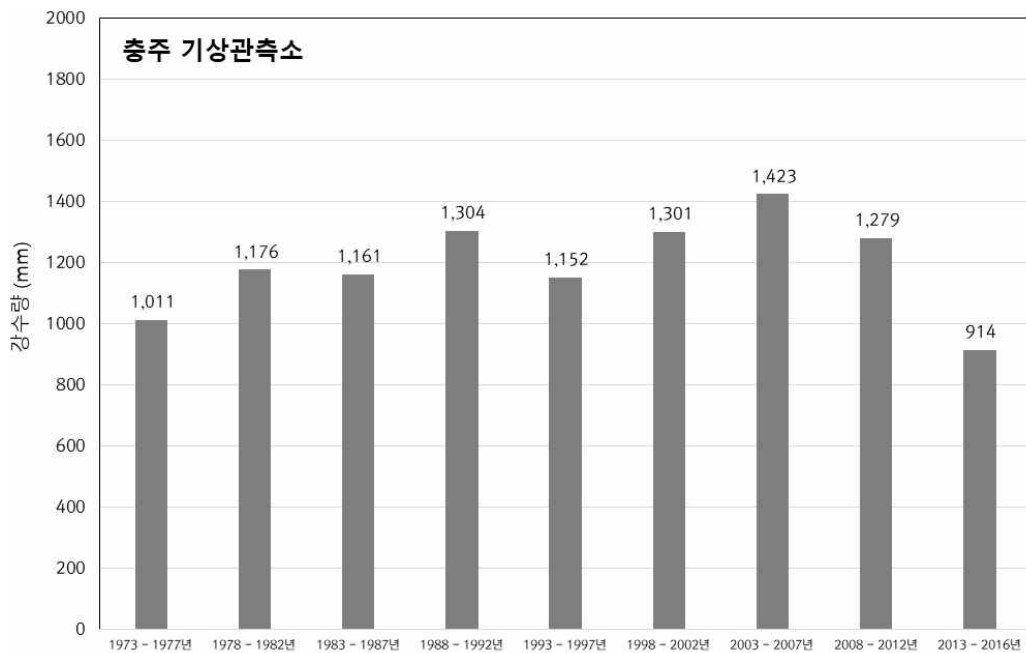
[그림 4.20] 춘천 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



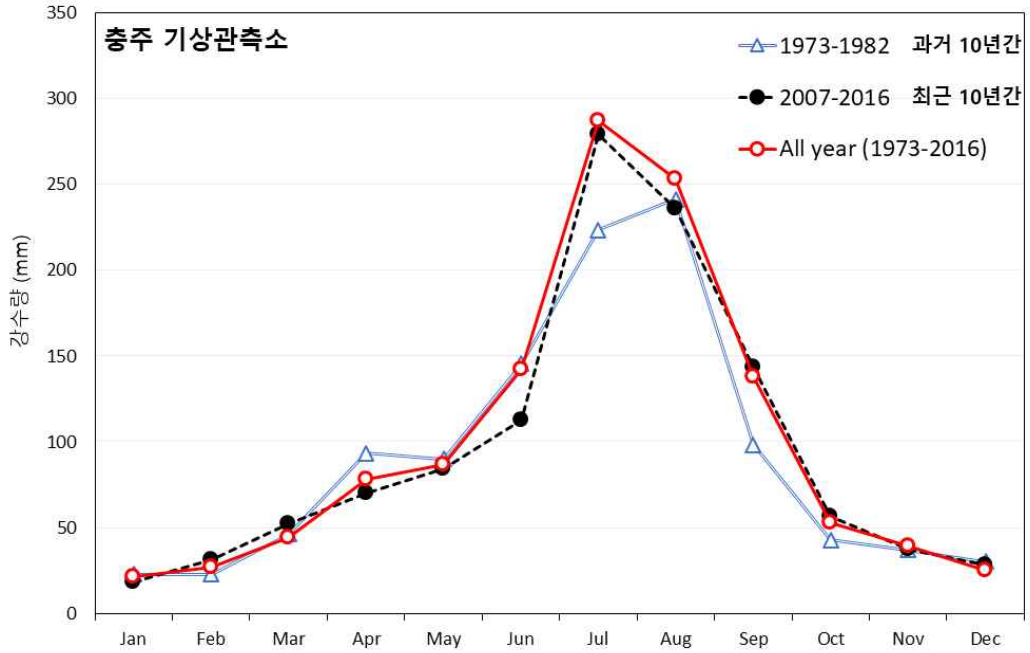
[그림 4.21] 춘천 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



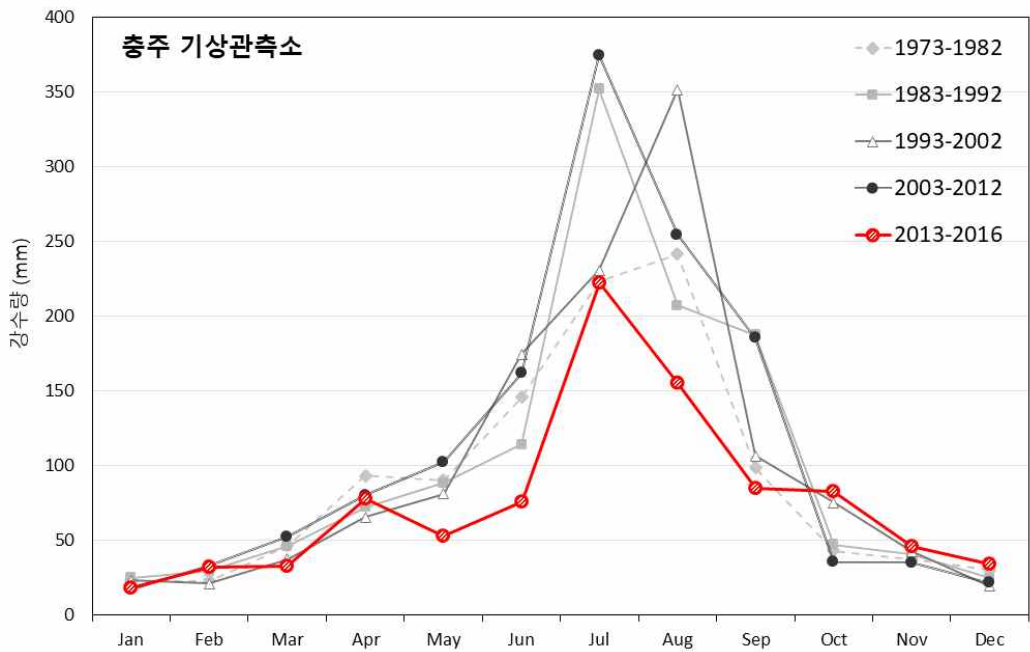
[그림 4.22] 충주 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



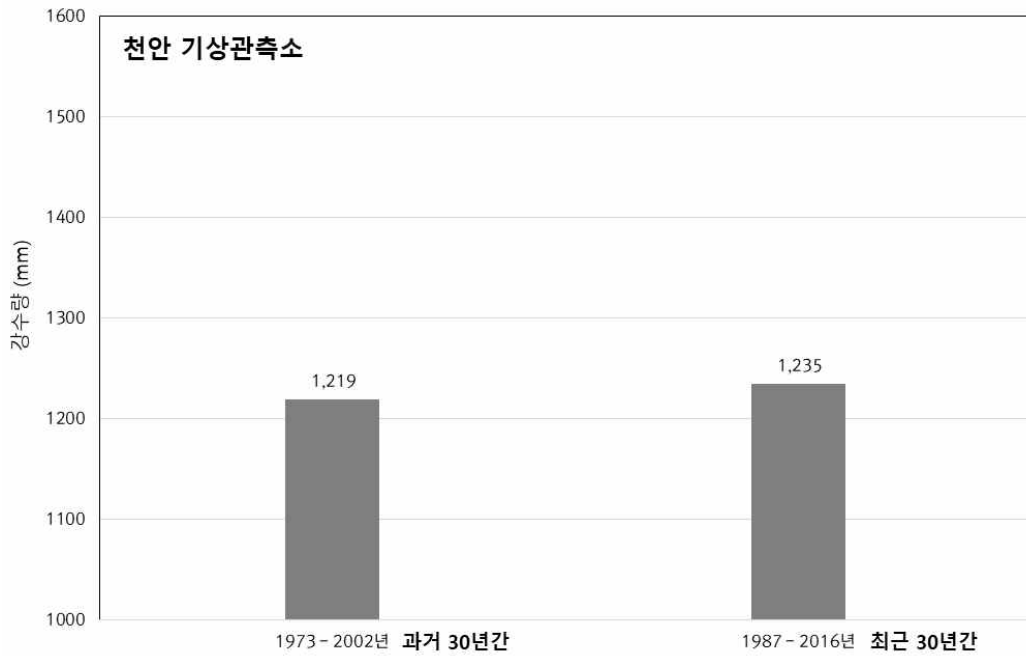
[그림 4.23] 충주 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



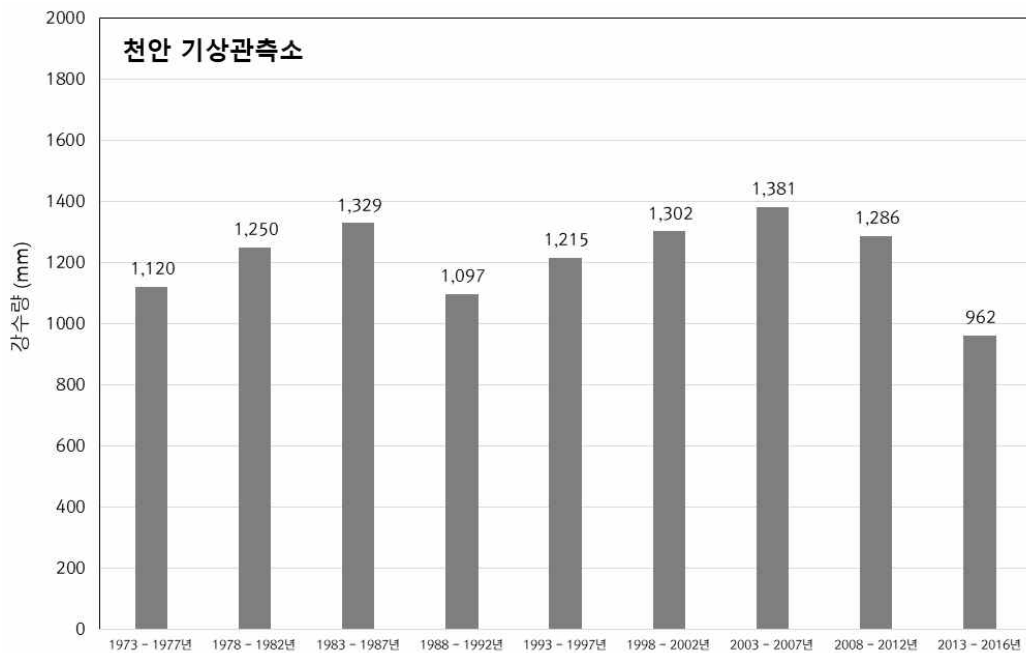
[그림 4.24] 충주 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



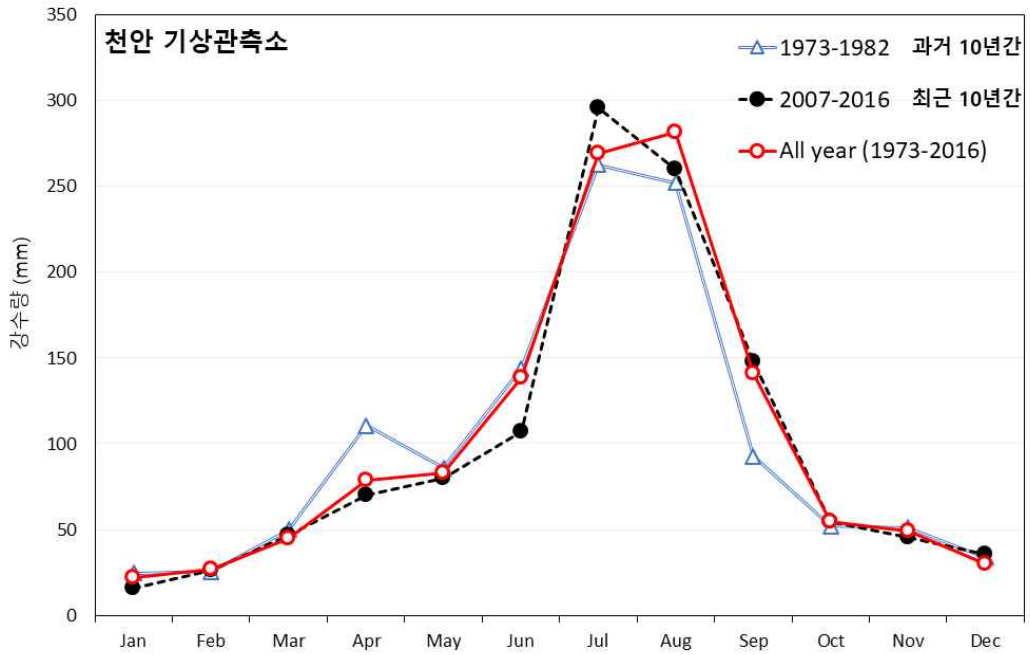
[그림 4.25] 충주 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



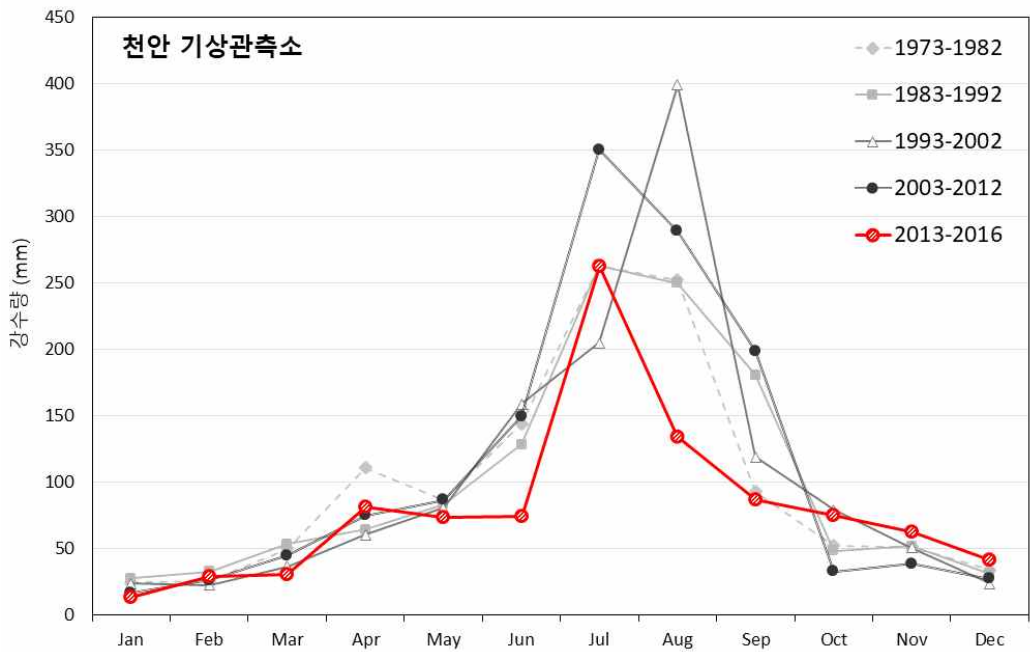
[그림 4.26] 천안 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



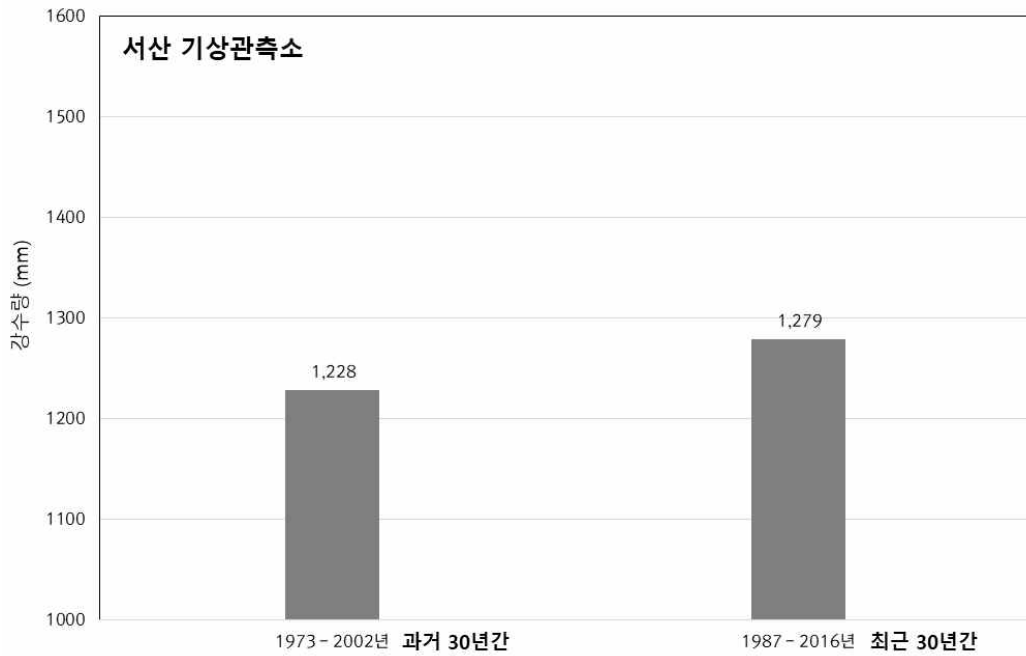
[그림 4.27] 천안 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



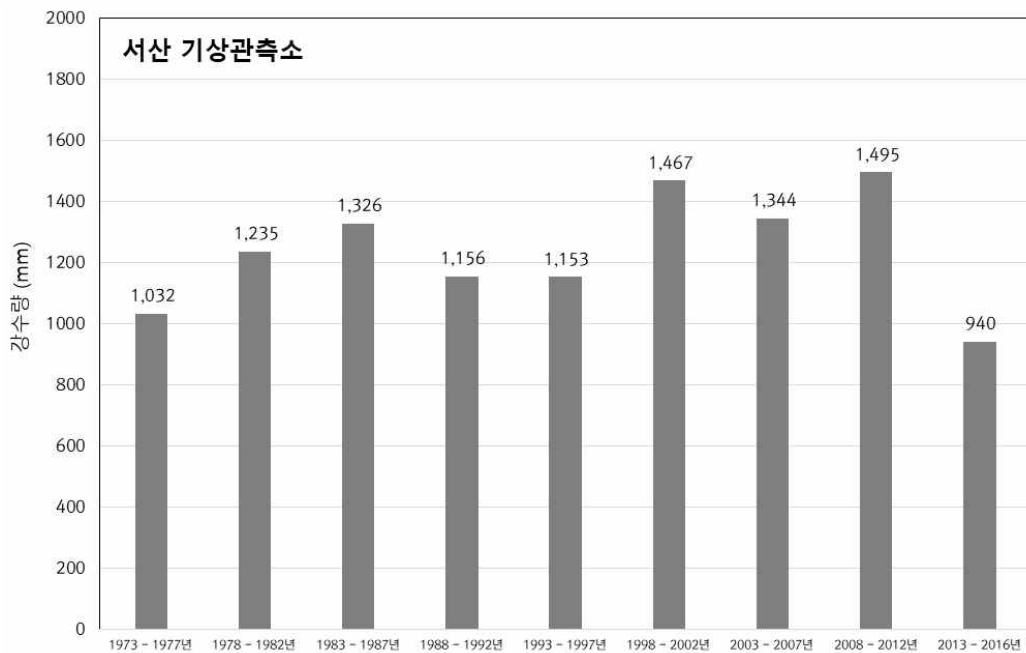
[그림 4.28] 천안 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



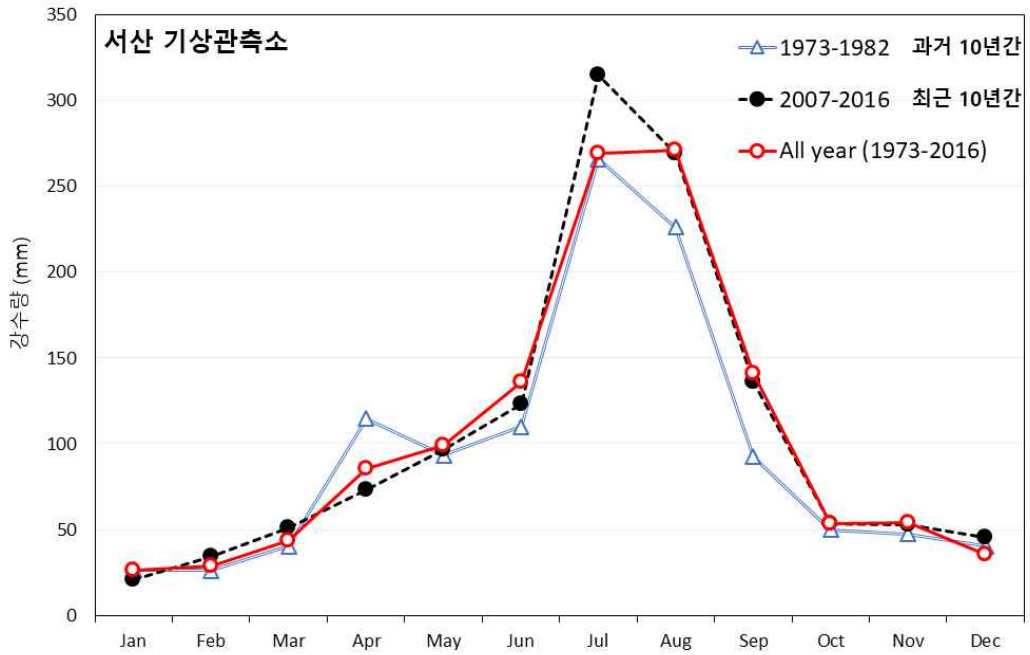
[그림 4.29] 천안 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



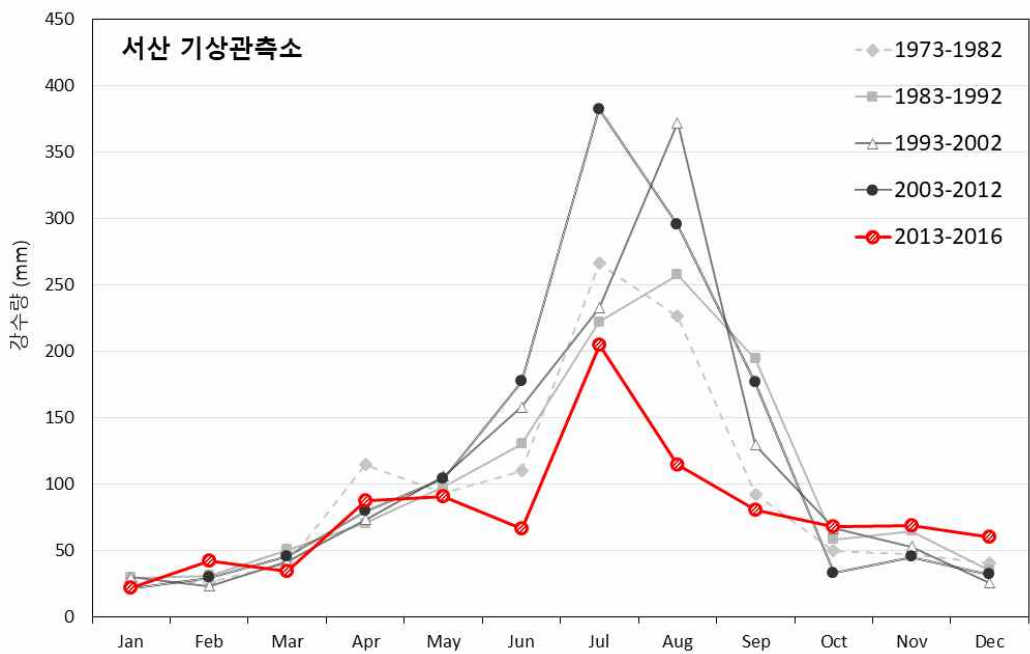
[그림 4.30] 서산 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



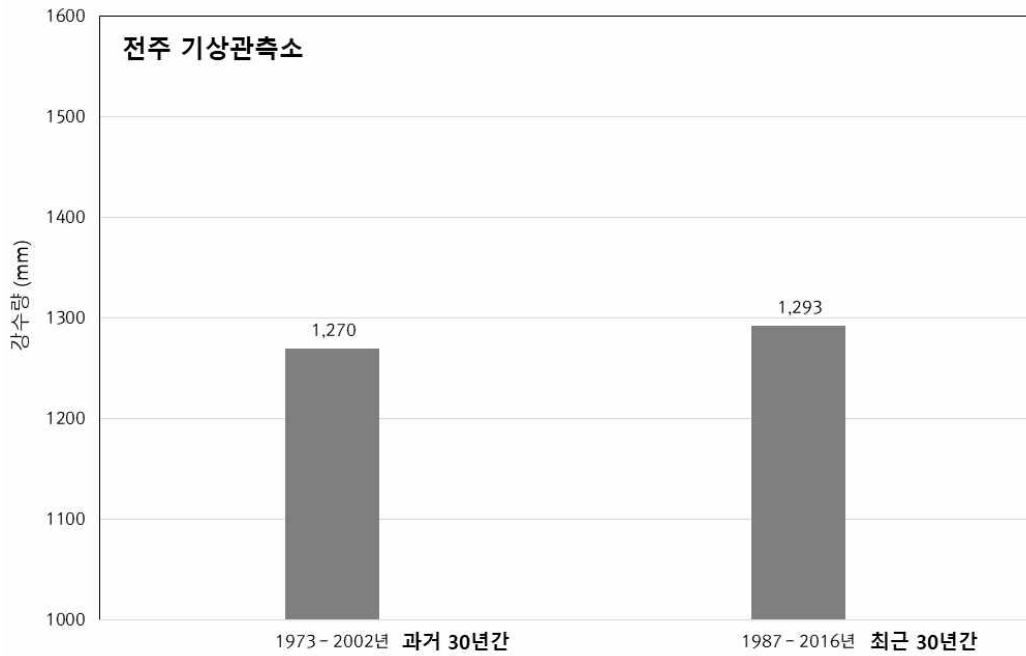
[그림 4.31] 서산 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



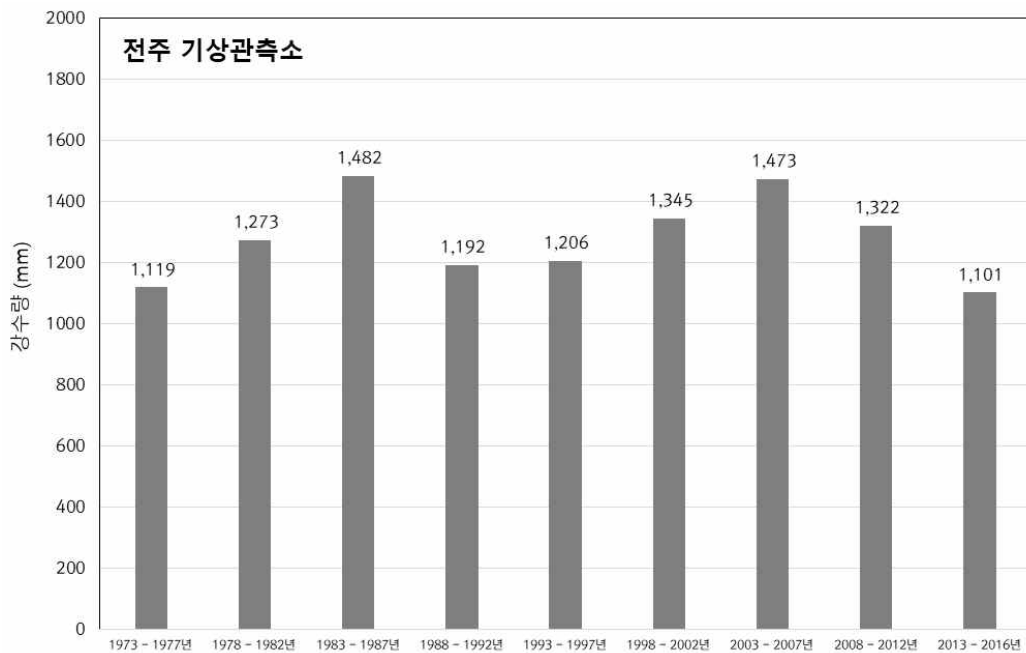
[그림 4.32] 서산 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



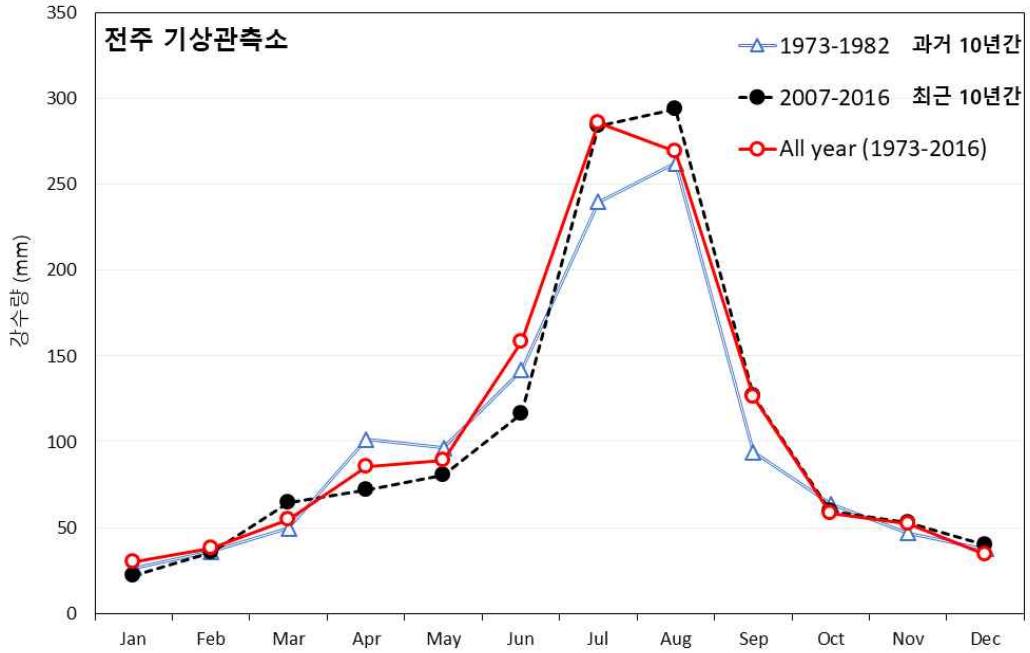
[그림 4.33] 서산 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



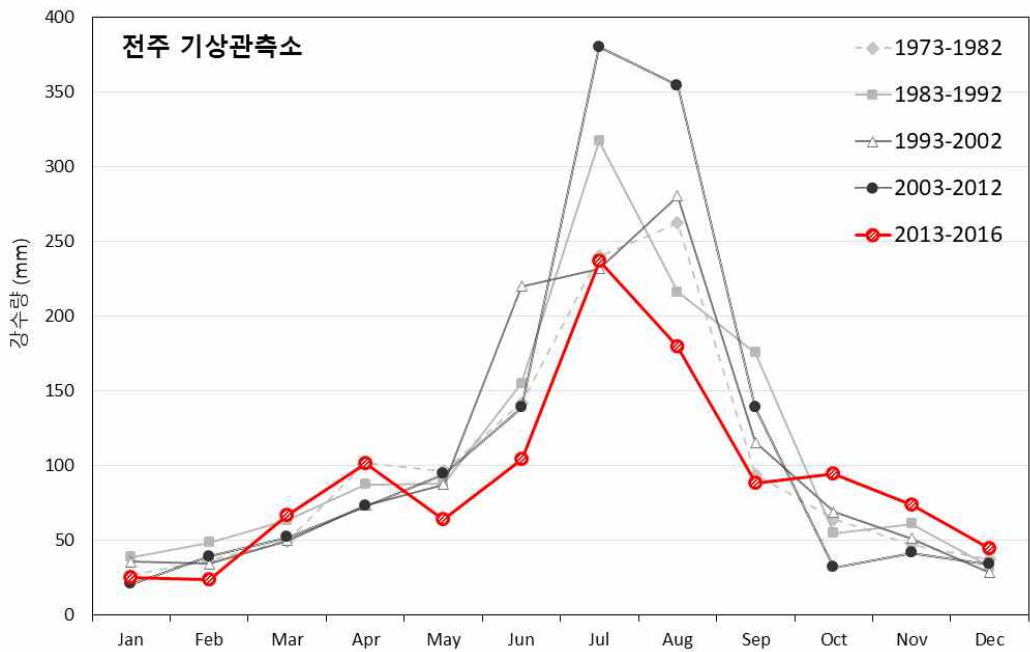
[그림 4.34] 전주 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



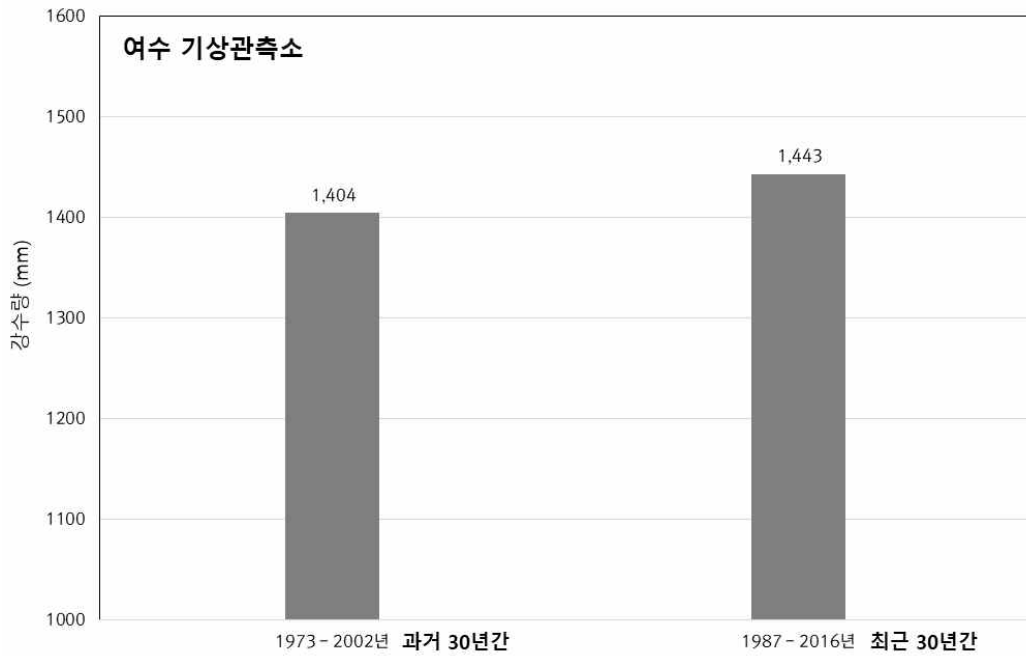
[그림 4.35] 전주 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



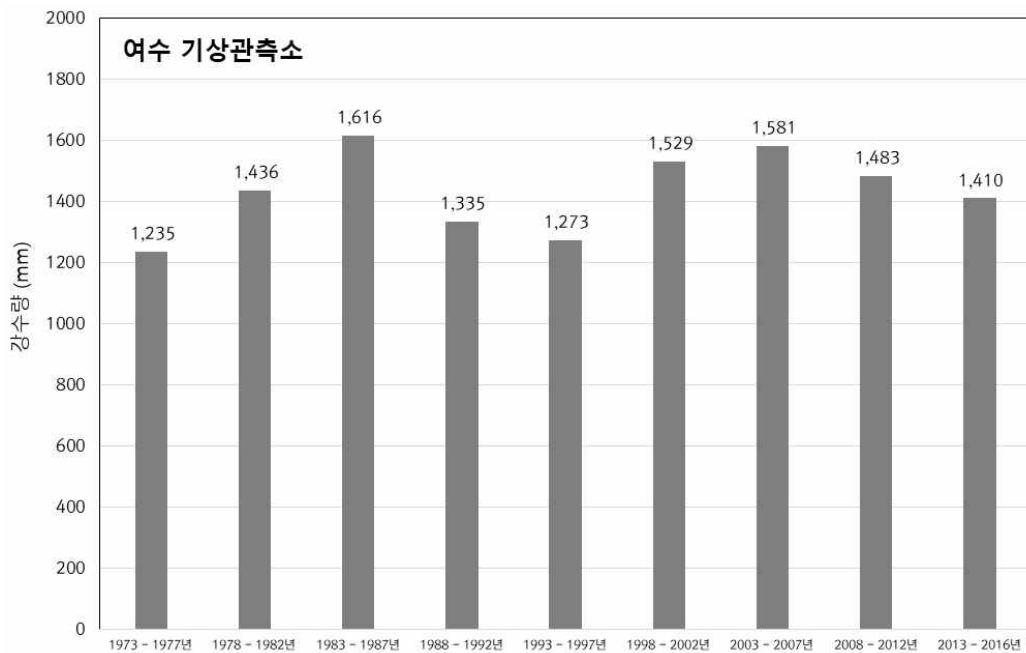
[그림 4.36] 전주 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



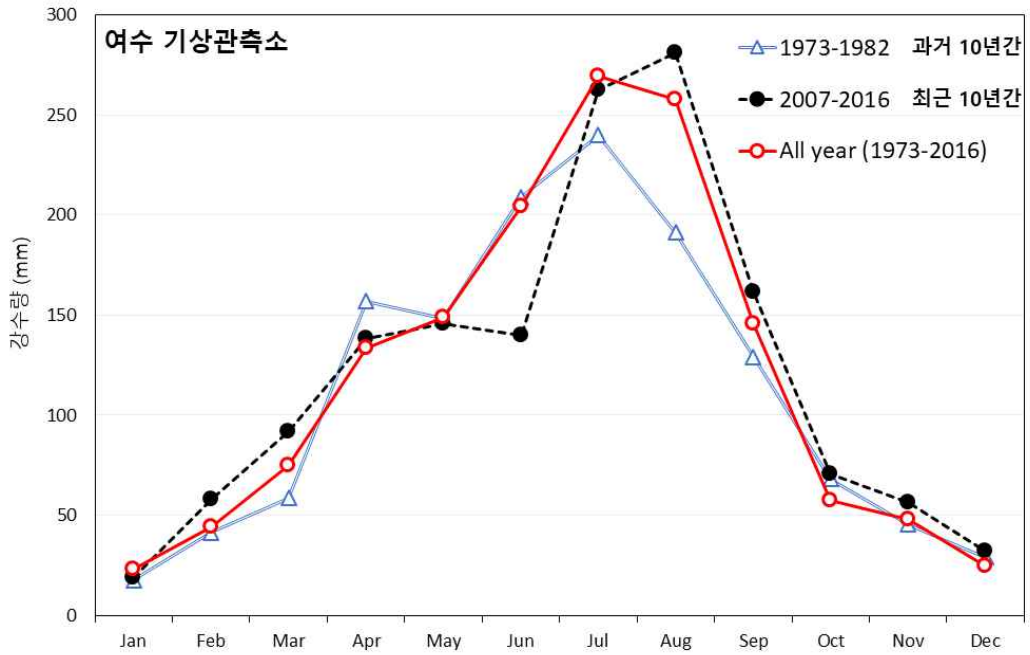
[그림 4.37] 전주 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



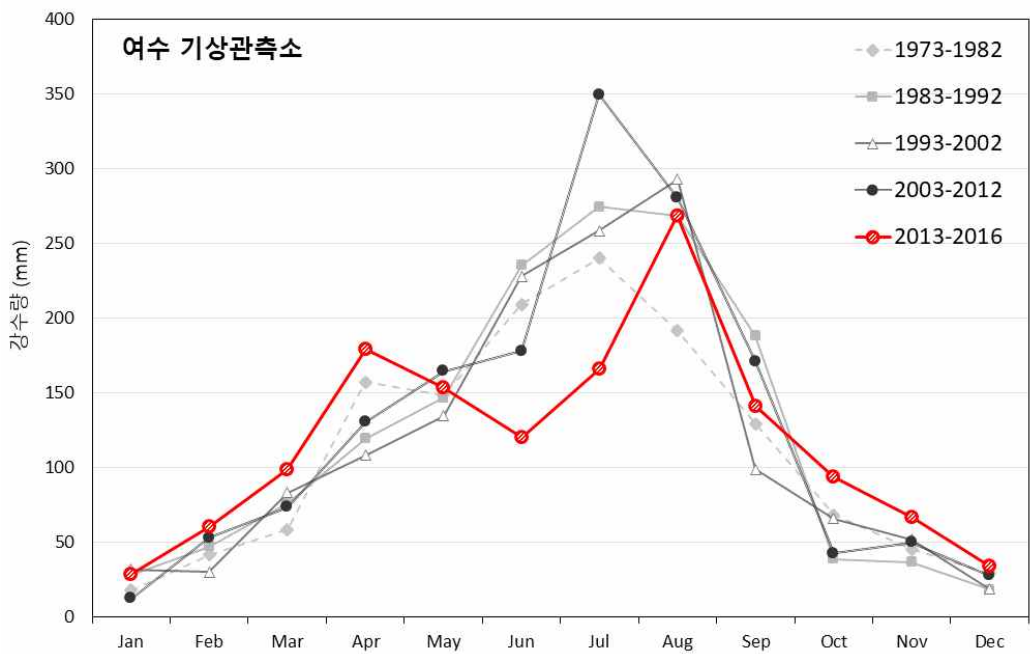
[그림 4.38] 여수 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



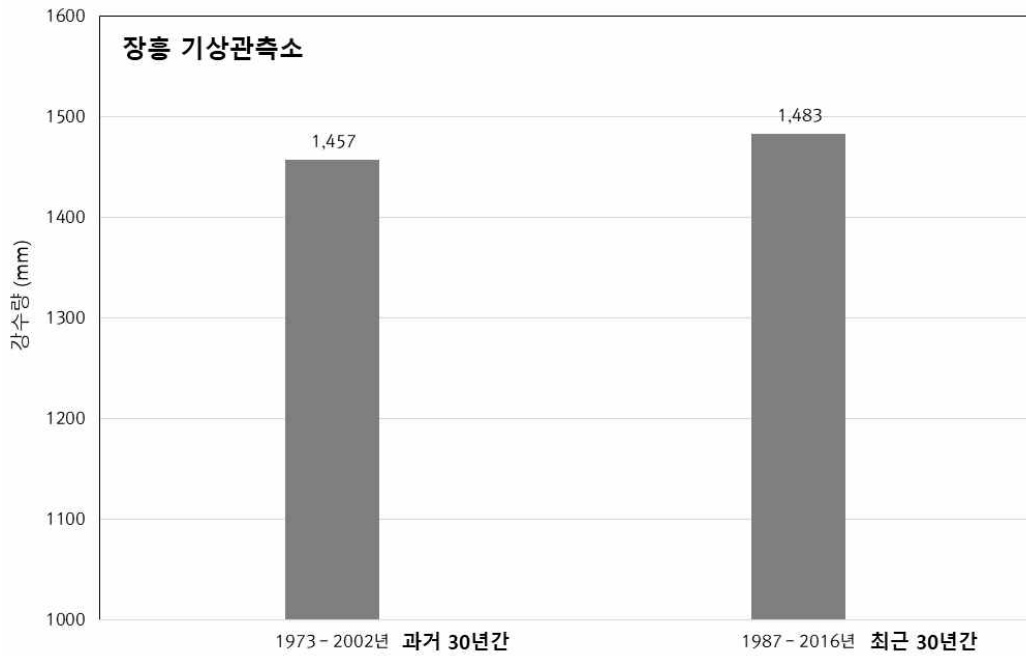
[그림 4.39] 여수 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



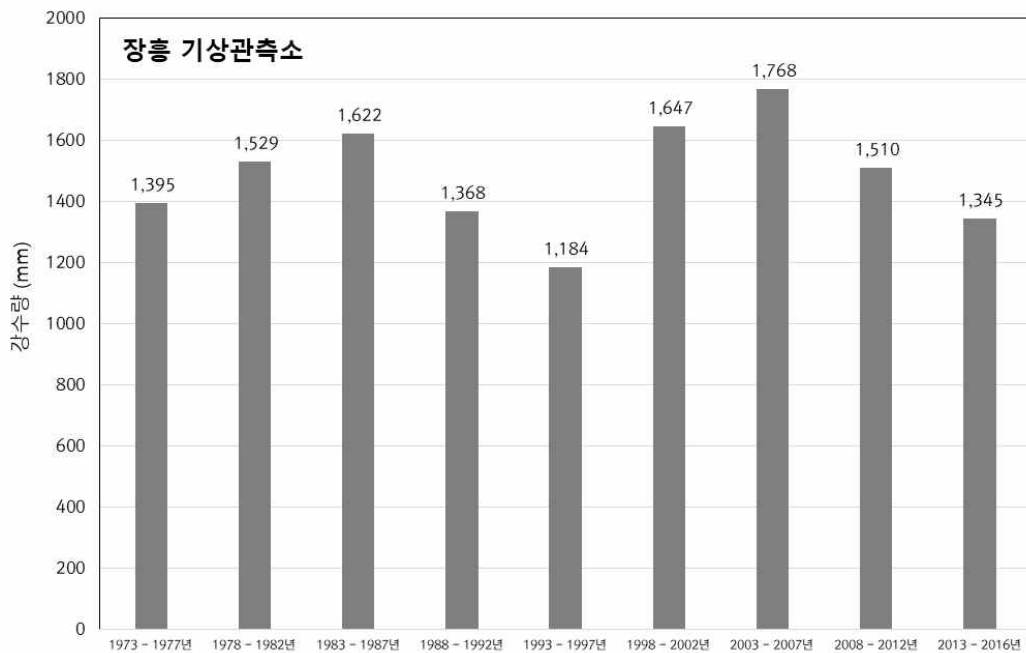
[그림 4.40] 여수 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



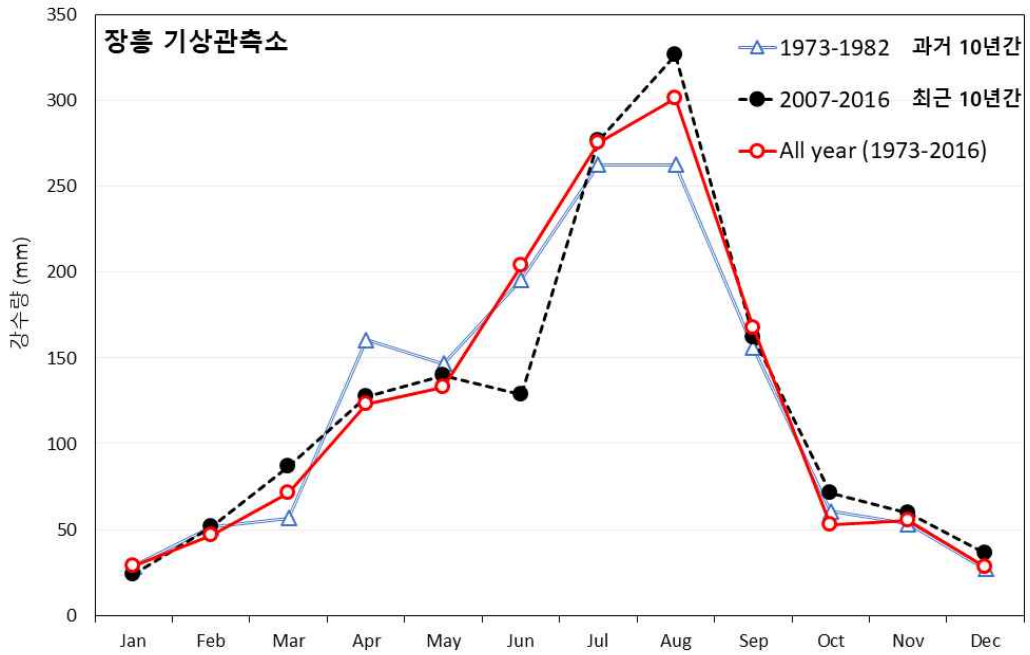
[그림 4.41] 여수 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



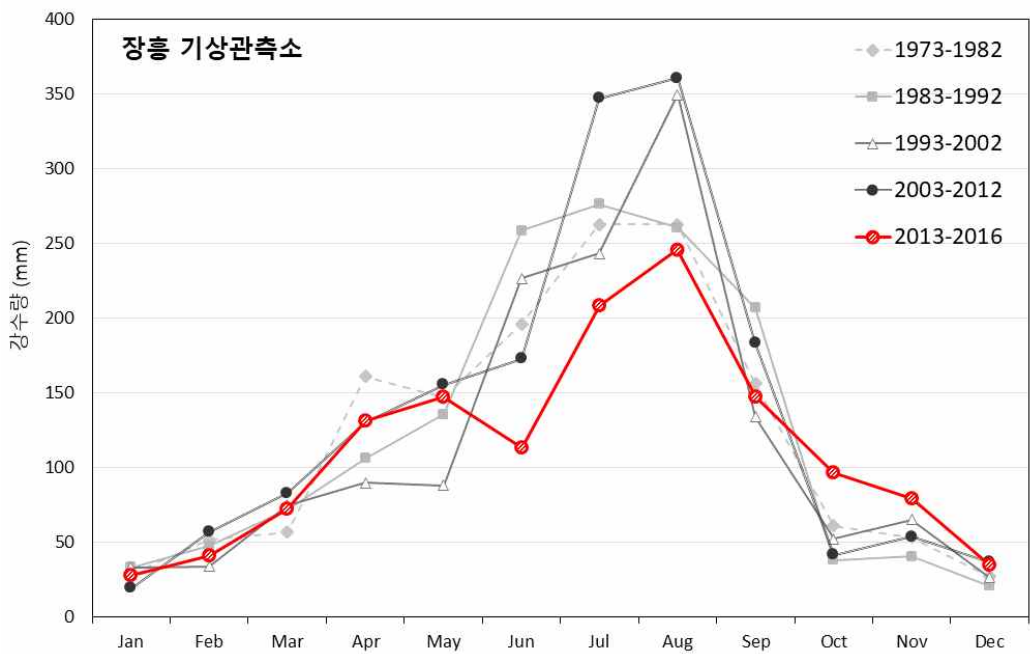
[그림 4.42] 장흥 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



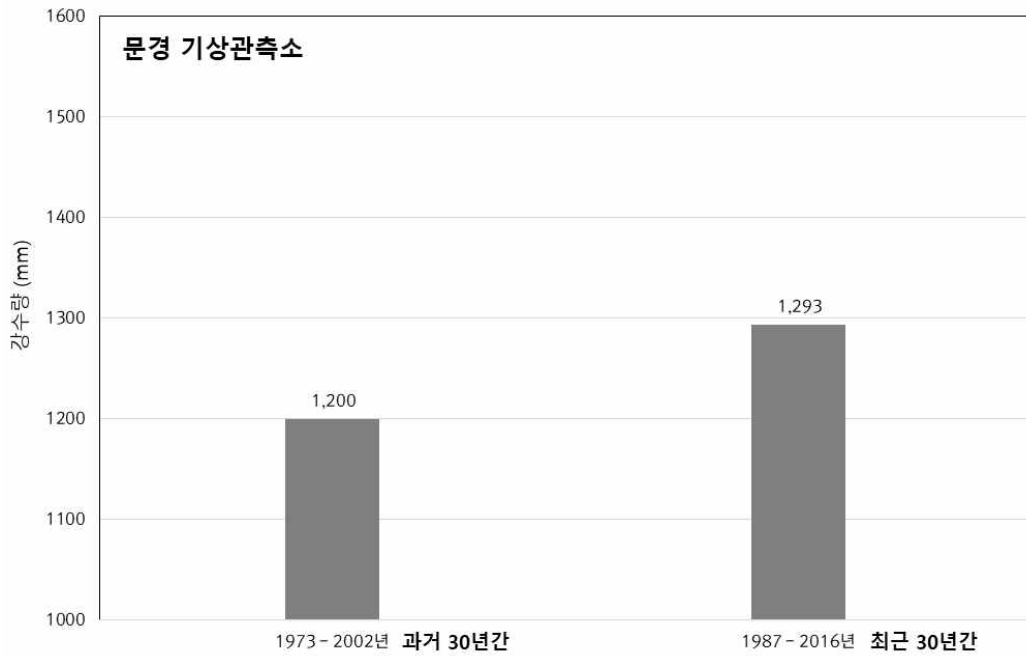
[그림 4.43] 장흥 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



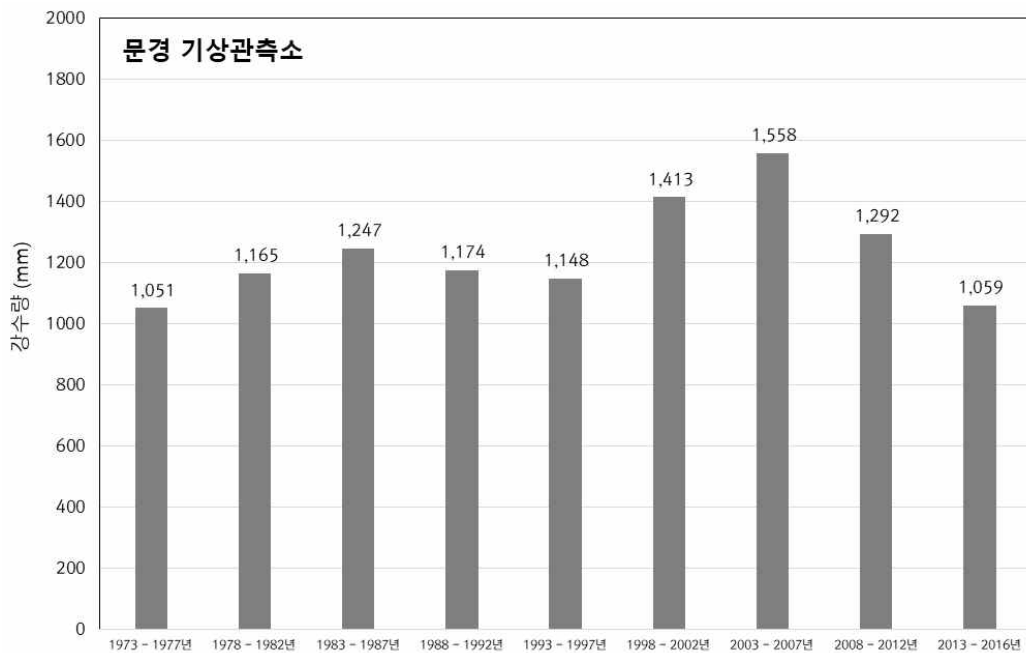
[그림 4.44] 장흥 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



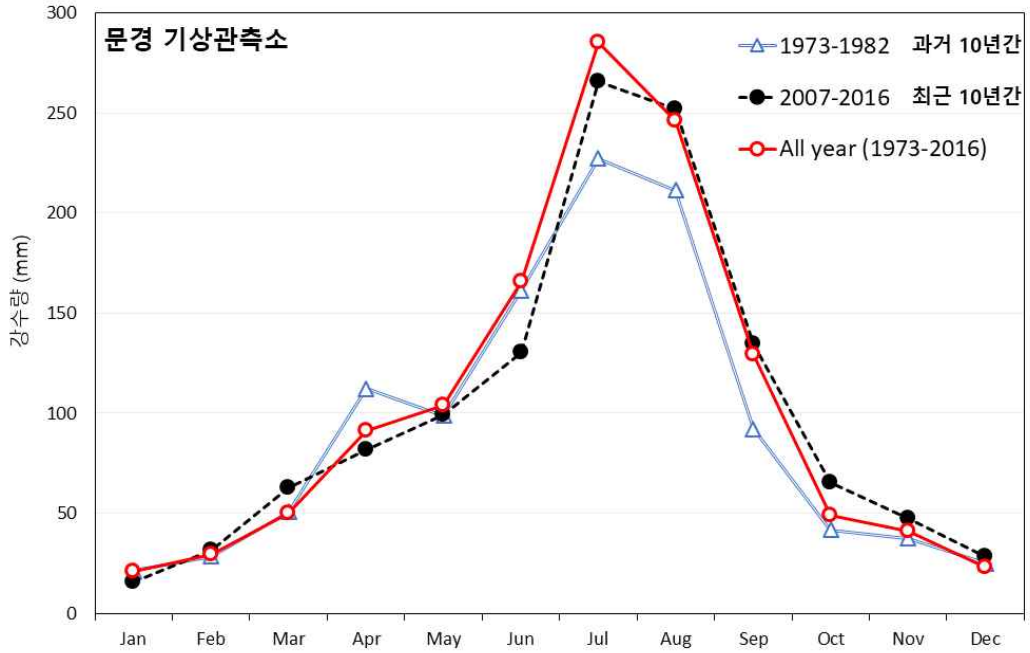
[그림 4.45] 장흥 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



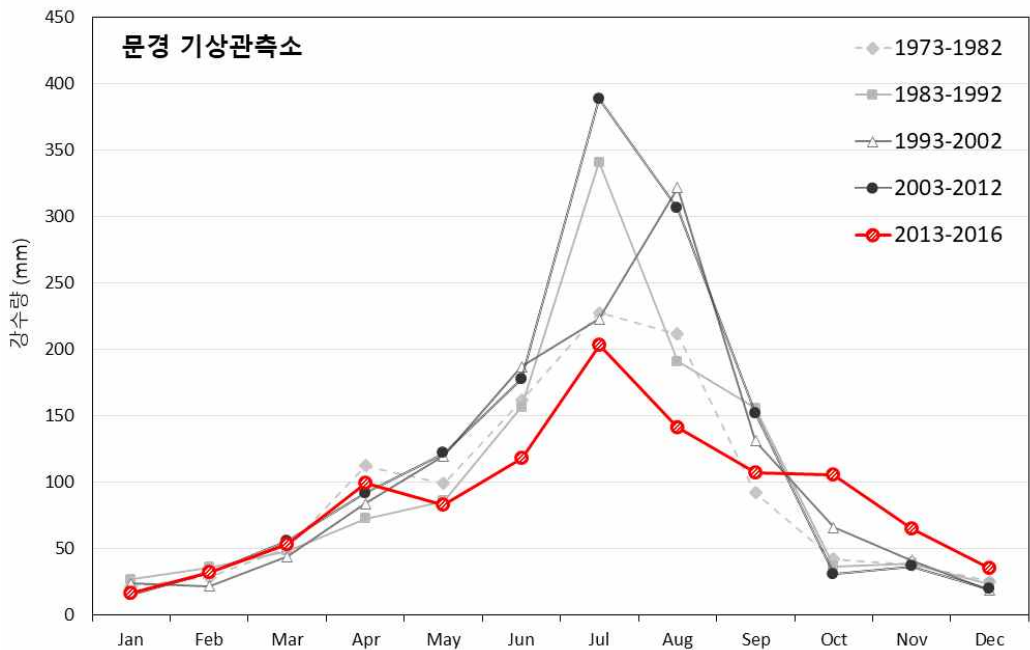
[그림 4.46] 문경 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



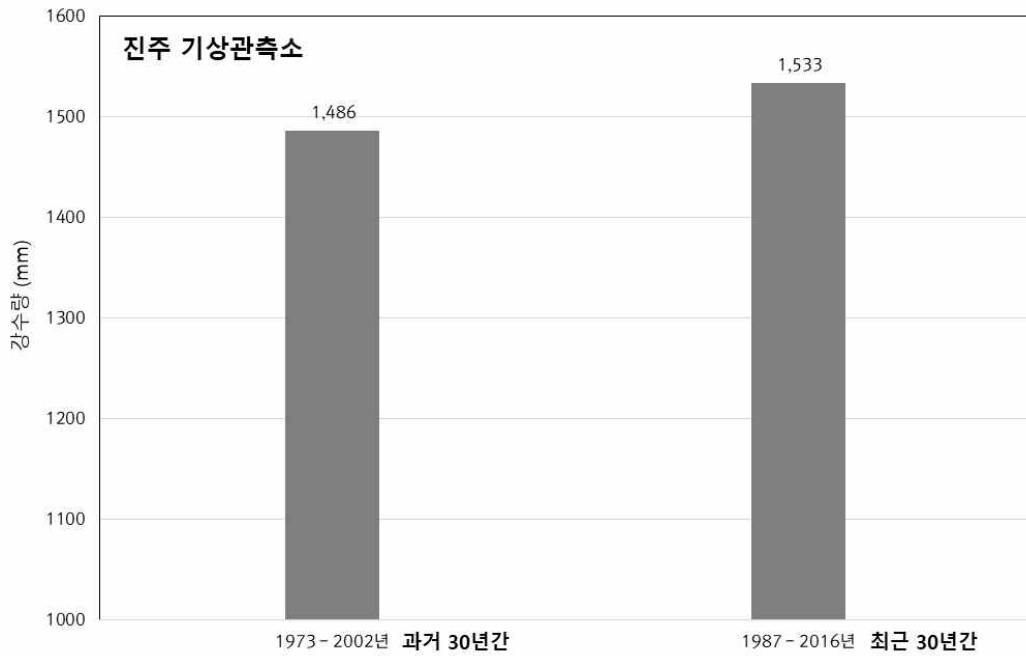
[그림 4.47] 문경 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



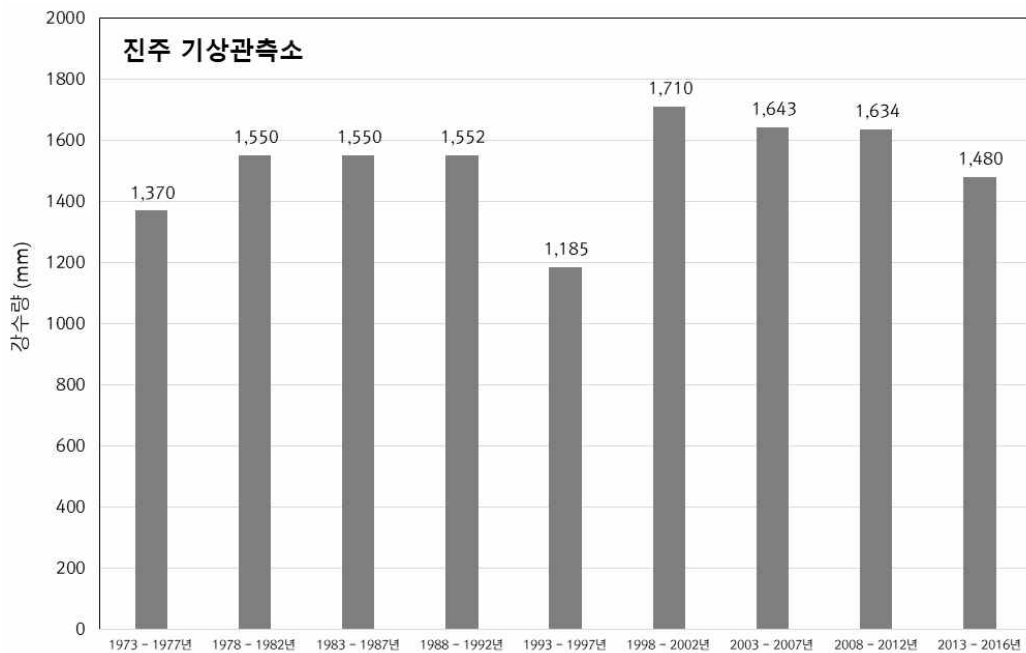
[그림 4.48] 문경 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



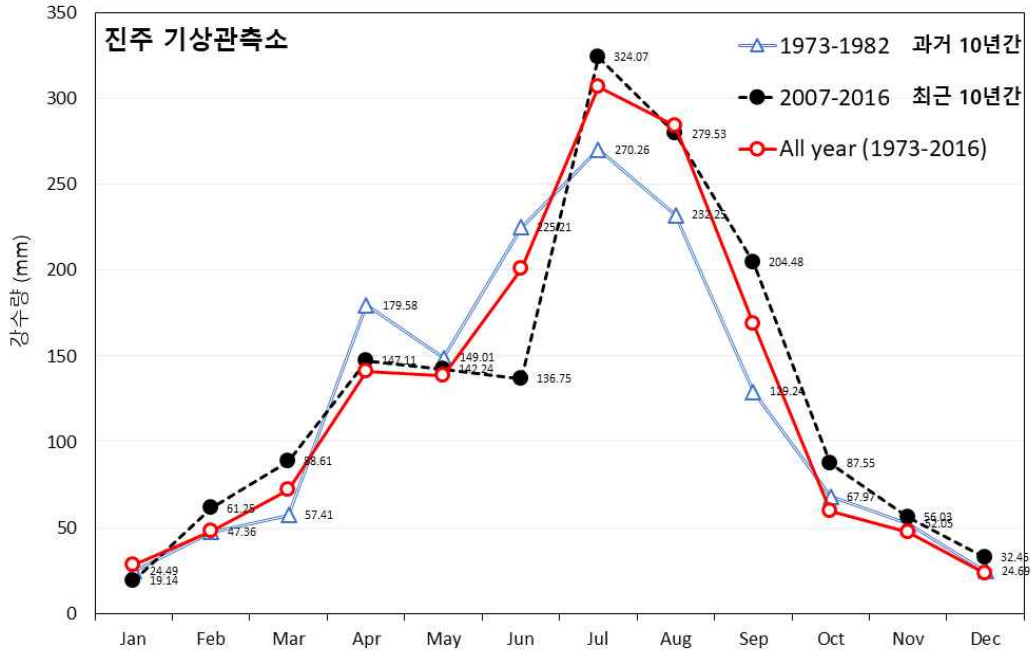
[그림 4.49] 문경 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교



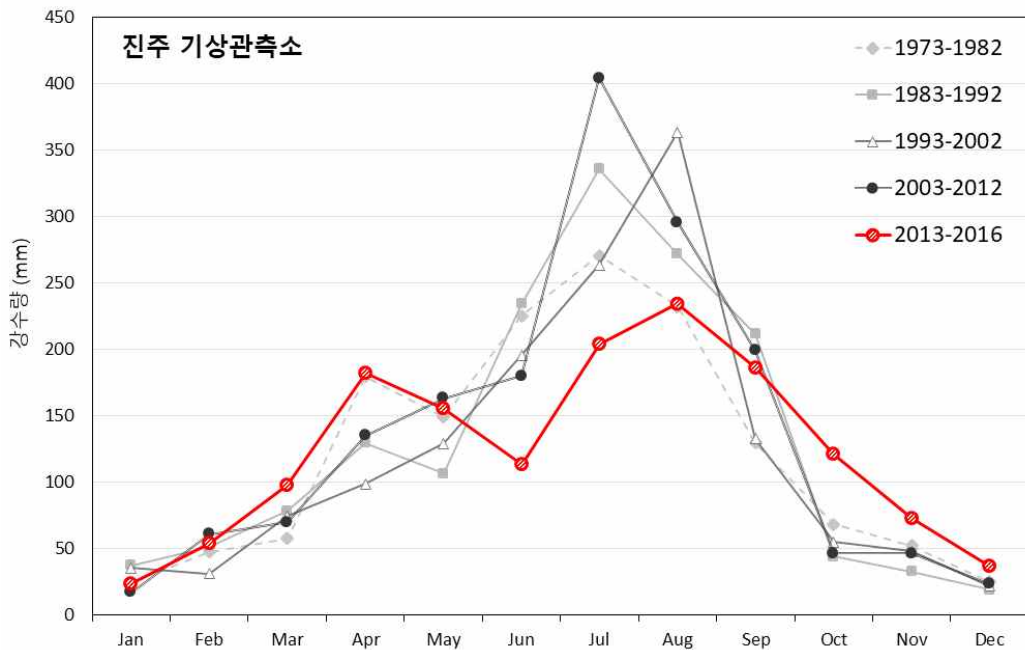
[그림 4.50] 진주 관측소 30년간 연평균 강수량 비교



[그림 4.51] 진주 관측소 5년 단위 연평균 강수량 비교



[그림 4.52] 진주 관측소 최근 10년 및 과거 10년간 월별 강수량 패턴 비교



[그림 4.53] 진주 관측소 10년 단위 월별 강수량 패턴 비교

- 30년 단위 연평균 강수량을 비교했을 때, 모든 대상지에서 과거 30년간 강수량에 비해 최근 30년간 강수량이 증가하는 추세를 보였으며, 서산 지역의 증가율이 13.4%로 가장 크게 증가함. 반면 5년 단위 연평균 강수량을 비교했을 때, 2013년에서 2016년 강수량이 모든 대상지에서 감소하는 추세를 보였으며, 수원 지역의 감소율이 -37.4%로 가장 크게 나타남. 이것으로 보아 강수량의 감소가 최근 추세임을 알 수 있음.
- 10년 단위 월별 강수량 패턴을 비교했을 때 모든 대상지에서 최근 2013년에서 2016년 여름 강우량이 2003년에서 2012년 여름 강수량보다 감소함. 강수량이 감소하고 있으며 특히 여름강수량이 감소하였음을 알 수 있음.
- 10년간 연평균 강수량과 최근 10년간 월별 연평균 강수량의 봄, 가을, 겨울철을 살펴보면 10년간 연평균 강수량은 큰 차이가 없으며, 10년간 월별 연평균 강수량에서도 시기별 차이가 없음을 알 수 있음. 이것으로 보아 강수량의 감소가 여름철 강수량의 감소가 주된 원인임을 알 수 있음
- 1973년부터 10년간 연평균 강수량과 최근 10년간 월별 연평균 강수량 중 여름강우에 해당하는 7월을 비교하면, 연평균 강수량은 모든 지역에서 과거에 비해 증가하는 추세를 보였으며, 춘천 지역의 증가율이 74.2%로 가장 크게 나타남. 반면 10년 단위 월별 연평균 강수량을 비교했을 때, 최근 4년(2013년-2016년)간 모든 대상지에서 감소하는 추세를 보였으며, 여수 지역의 감소율이 -52.6%로 가장 크게 나타남. 여름 강수량도 앞서 언급한 연평균 강수량과 같이 강수량의 감소가 최근 추세임을 알 수 있음.

[표 4.8] 과거 및 최근 30년간 연평균 강수량 비교

관측소	1973-2002년(mm)	1987-2016년(mm)	증감율(%)
이천	1,317	1,367	3.8
수원	1,241	1,333	7.4
춘천	1,249	1,367	9.4
충주	1,184	1,247	5.3
천안	1,219	1,235	1.3
서산	1,128	1,279	13.4
전주	1,270	1,293	1.8
여수	1,404	1,443	2.8
장흥	1,457	1,483	1.8
문경	1,200	1,293	7.8
진주	1,486	1,533	3.2

[표 4.9] 2008-2016년 5년 단위 연평균 강수량 비교

관측소	2008-2012년(mm)	2013-2016년(mm)	증감율(%)
이천	1,520	968	-36.3
수원	1,616	1,011	-37.4
춘천	1,564	1,128	-27.9
충주	1,279	914	-28.5
천안	1,286	962	-25.2
서산	1,495	940	-37.1
전주	1,322	1,101	-16.7
여수	1,483	1,410	-4.9
장흥	1,510	1,345	-10.9
문경	1,292	1,059	-18.0
진주	1,634	1,480	-9.4

- 1973년부터 10년간 연평균 강수량과 최근 10년간 월별 연평균 강수량 중 여름강우에 해당하는 7월을 비교했을 때, 모든 지역에서 과거에 비해 증가하는 추세를 보였으며, 춘천 지역의 증가율이 74.2%로 가장 크게 나타남. 반면 10년 단위 월별 연평균 강수량을 비교했을 때, 최근 4년간 모든 대상지에서 감소하는 추세를 보였으며, 여수 지역의 감소율이 -52.6%로 가장 크게 나타남

[표 4.10] 과거 및 최근 10년간 7월 강수량 비교

관측소	1973-1982년(mm)	2007-2016년(mm)	증감율(%)
이천	291	403	38.2
수원	279	436	56.4
춘천	271	472	74.2
충주	223	279	24.9
천안	263	296	12.5
서산	266	315	18.2
전주	240	284	18.4
여수	240	263	9.5
장흥	263	277	5.4
문경	227	266	16.9
진주	270	324	19.9

[표 4.11] 10년 단위 7월 강수량 비교

관측소	2003-2012년(mm)	2013-2016년(mm)	증감율(%)
이천	474	281	-40.6
수원	488	303	-37.8
춘천	499	460	-7.8
충주	374	222	-40.6
천안	350	262	-25.2
서산	382	205	-46.4
전주	380	237	-37.8
여수	349	166	-52.6
장흥	347	208	-39.9
문경	388	203	-47.8
진주	404	204	-49.5



Office



Research



Farming



International

제 5 장

이수안전도 개념 적용에 따른 시험지구 영향 평가

제 5 장 이수안전도 개념 적용에 따른 시험지구 영향 평가

제 1 절 이수안전도 분석 방법

- 시험지구의 이수안전도 분석을 위해 사용된 기상자료는 관측치 자료가 가용한 시점부터로서 1973년~2016년까지의 44년간 기상자료를 활용하였음
- 이수안전도 분석 방법은 먼저 기상자료를 활용하여 연최대필요저수량을 산정 (연별 산정)하고 (① 기존의 설계기준에 이용된 기초자료 활용 (재배 방식, 작부시기, 침투량 등), ② 기상자료만 1973년~2016년 자료로 변경하여 이수안전도를 산정함), 연최대필요저수량 자료의 시계열 자료를 빈도 분석하여 유효저수량과 비교하여 분석하여 유효저수량이 연최대필요저수량의 어느 빈도에 해당하는지를 판단하였음. 이수안전도 분석을 위한 물수지 분석은 HOMWERS 모형이 활용되었으며, [표 5.1]은 HOMWERS 모형 내 입력되어 있는 설계기준 자료를 나타냄
- 본 연구에서는 농업용 저수지의 현재의 이수안전도를 분석하고, 이를 과거와 비교분석하기 위해 3가지 시나리오를 기준으로 설계한발빈도를 산정하였음. 여기에는 과거의 설계빈도를 재현한 과거 시나리오와 현재의 설계빈도를 산정한 시나리오 중 현재 기상자료만 적용한 현재 시나리오1, 현재 기상자료 및 현장여건 변화 자료를 조합한 현재 시나리오 2가 포함됨 ([표 5.2] 참조)

[표 5.1] 이수안전도 분석을 위한 설계기준 자료

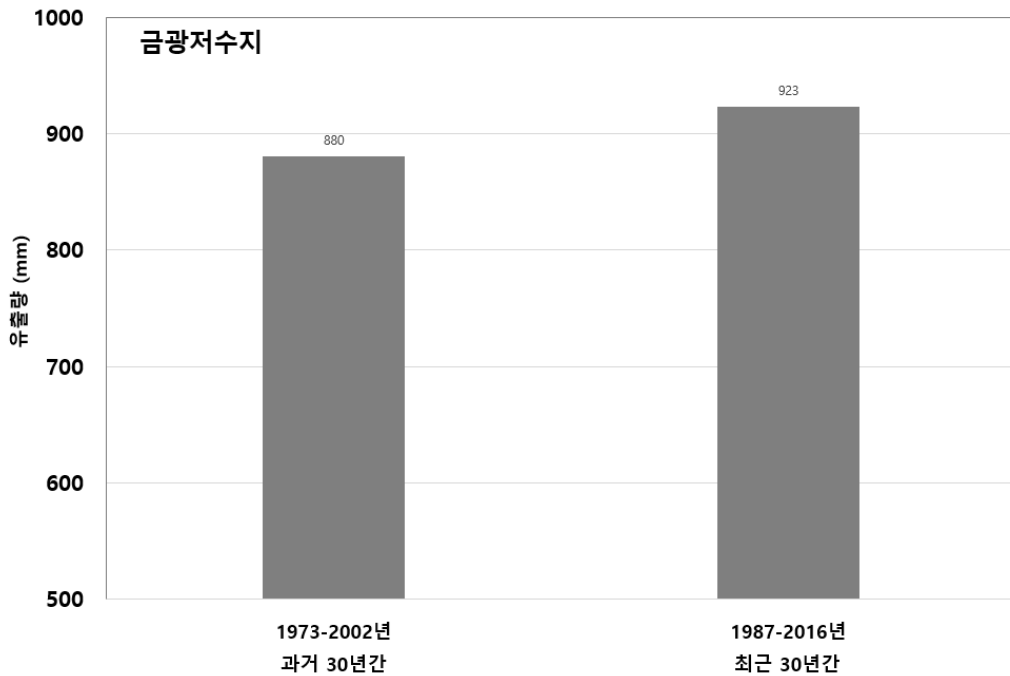
자료명	상세 내용	기존 설계기준 자료 (HOMWERS)
중발산량 산정 방법	- Penman equation	Penman equation
재배방식	- 이양재배, 담수직파, 건담직파	이양재배
작부시기	- 묘대기, 이양기, 본담기	중부: 묘대기 (4/17-5/31), 이양기 (5/21-6/10), 본담기 (6/11-9/11) 남부: 묘대기 (4/27-6/10), 이양기 (6/01-6/20), 본담기 (6/21-9/21)
수로손실	- 관개용 수로에서의 손실률(%)	10%
침투량	- 수혜구역 경작지에서의 침투량 (mm/day)	5mm/day
작물계수	- 대상 지구별 작물계수	중부/남부
담수심	- 최대/최소 담수심	60mm / 0mm
묘대정지용수량		140mm
이양용수량		140mm

[표 5.2] 이수안전도 분석을 위한 시나리오 선정

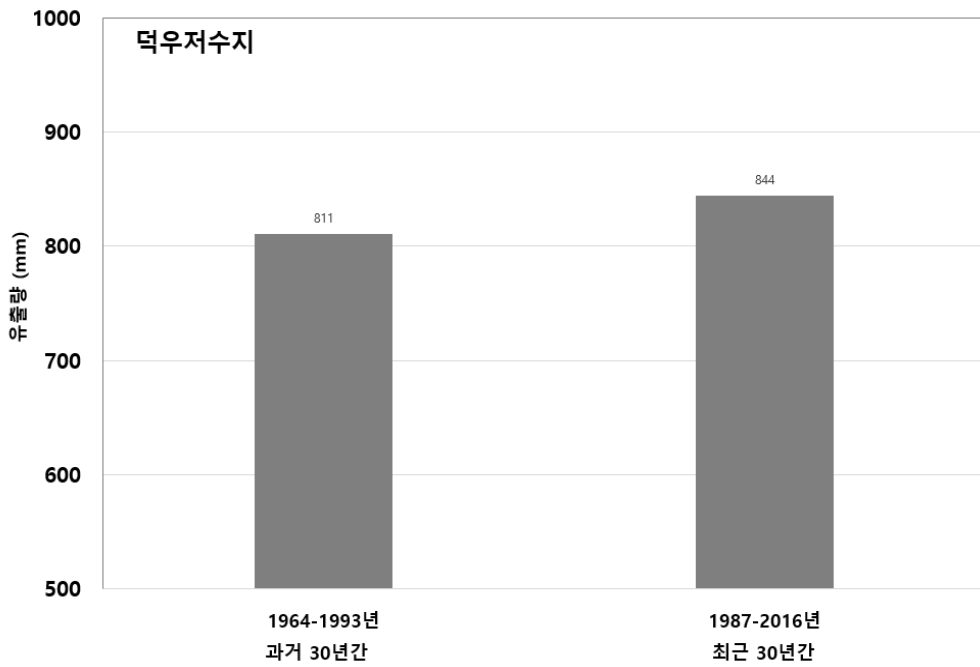
시나리오	기상자료	현장여건 자료
과거 설계빈도 재현	과거 기상자료 (1961년~1990년, 1973년~2002년)	기존의 설계기준에 이용된 기초자료 활용 (재배방식, 작부시기, 침투량 등)
현재 시나리오 1 (기후변화 자료만 적용)	최근 기상자료 (1987년~2016년)	기존의 설계기준에 이용된 기초자료 활용 (재배방식, 작부시기, 침투량 등)
현재 시나리오 2 (기후변화 및 현장여건 변화 적용)	최근 기상자료 (1987년~2016년)	현장여건 변화 조사 자료를 활용 (재배방식, 작부시기, 침투량 등)

제 2 절 이수안전도 분석 시나리오에 따른 유출량 및 유출율 비교

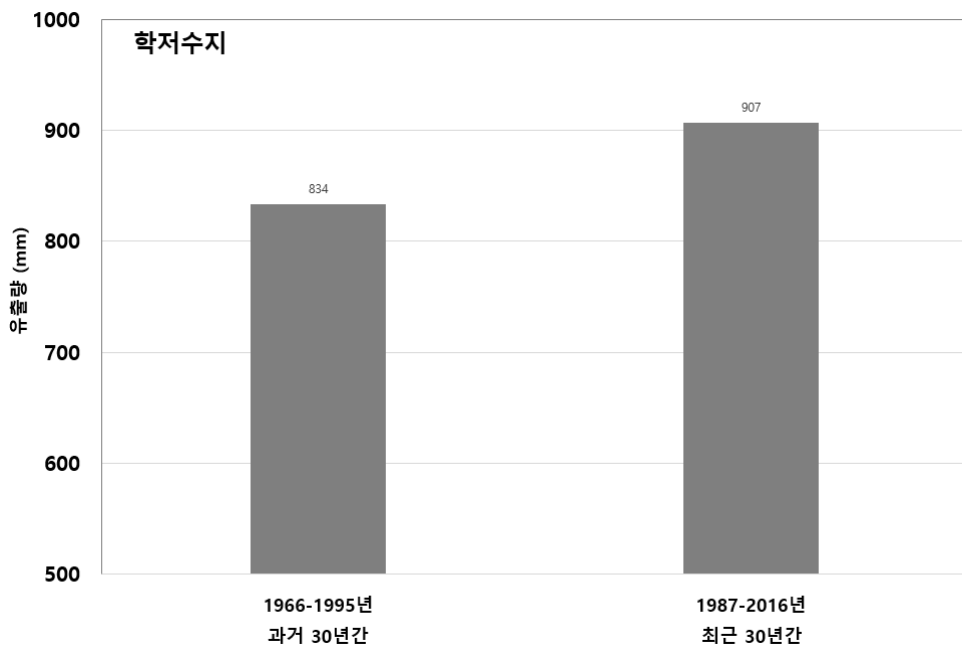
- 이수안전도 분석을 위해 실시된 물수지 분석에서의 결과를 저수지별 과거 30년, 최근 30년 단위 연평균 유출량을 기준으로 비교해 보았음.



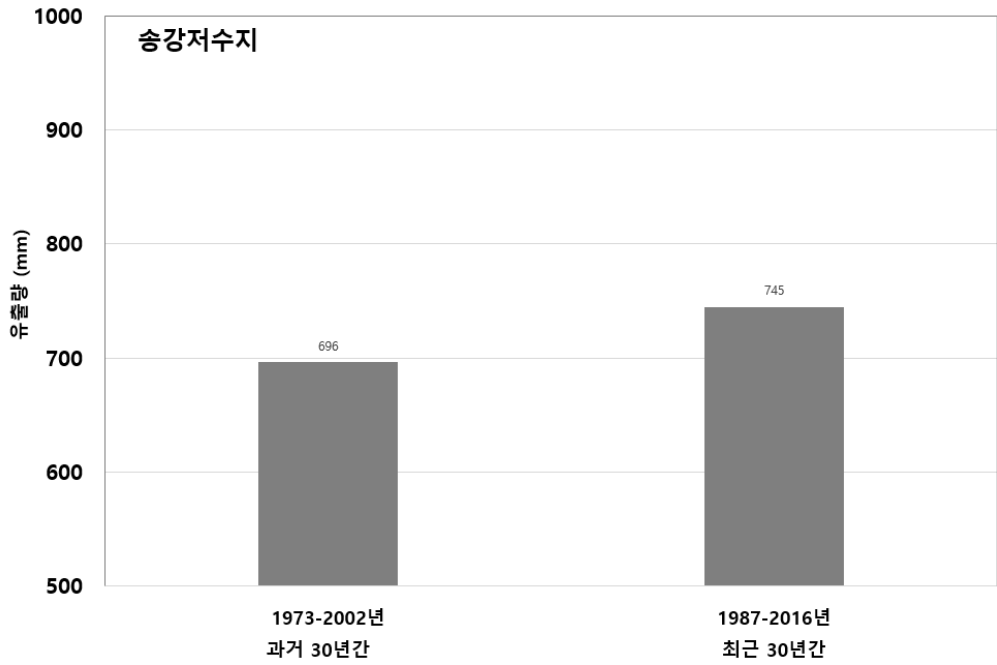
[그림 5.1] 금광저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



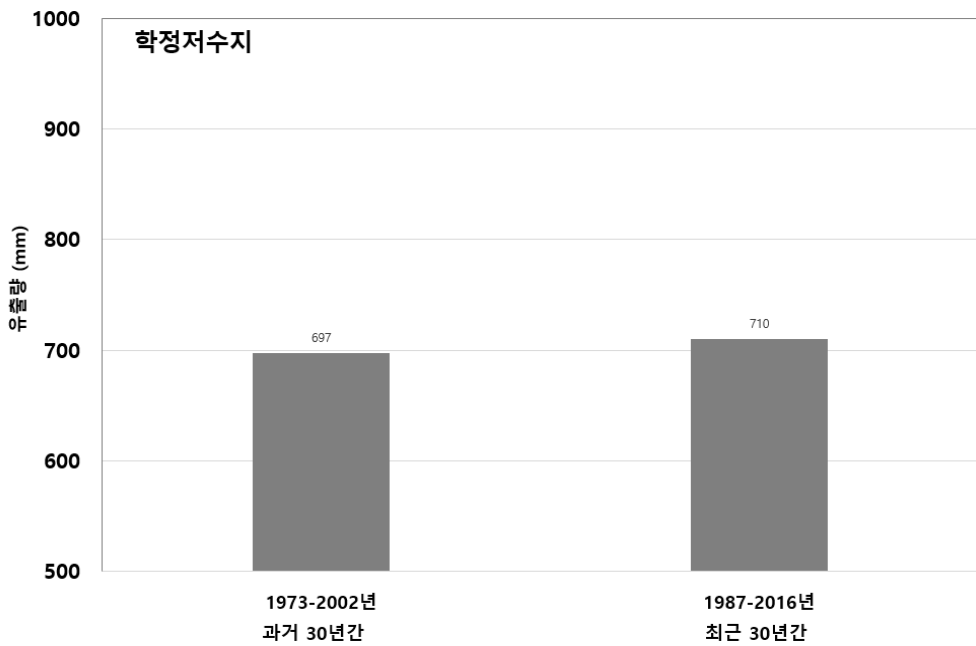
[그림 5.2] 덕우저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



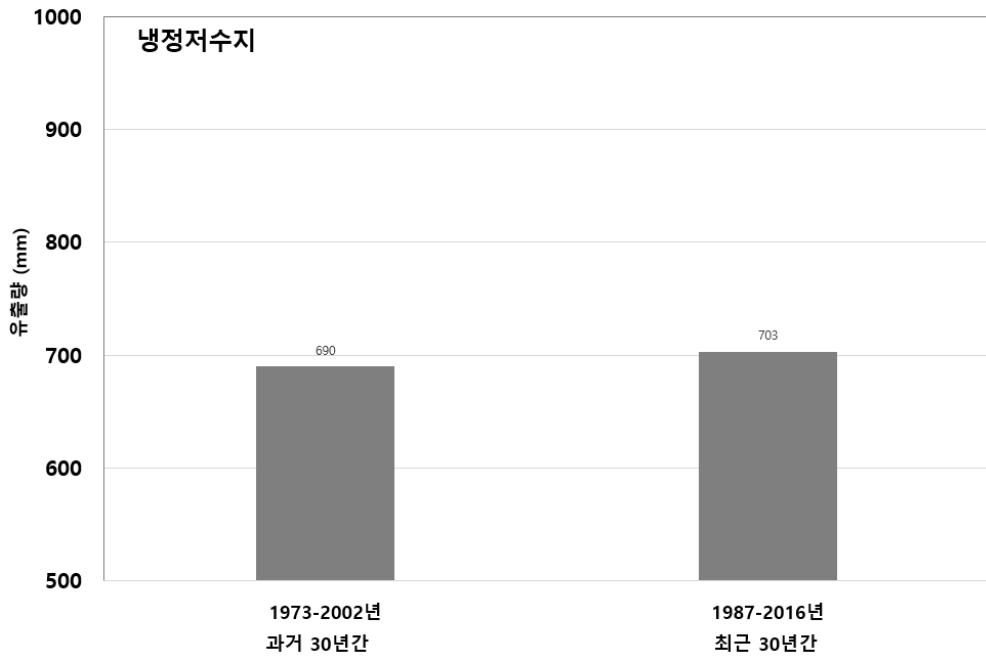
[그림 5.3] 학저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



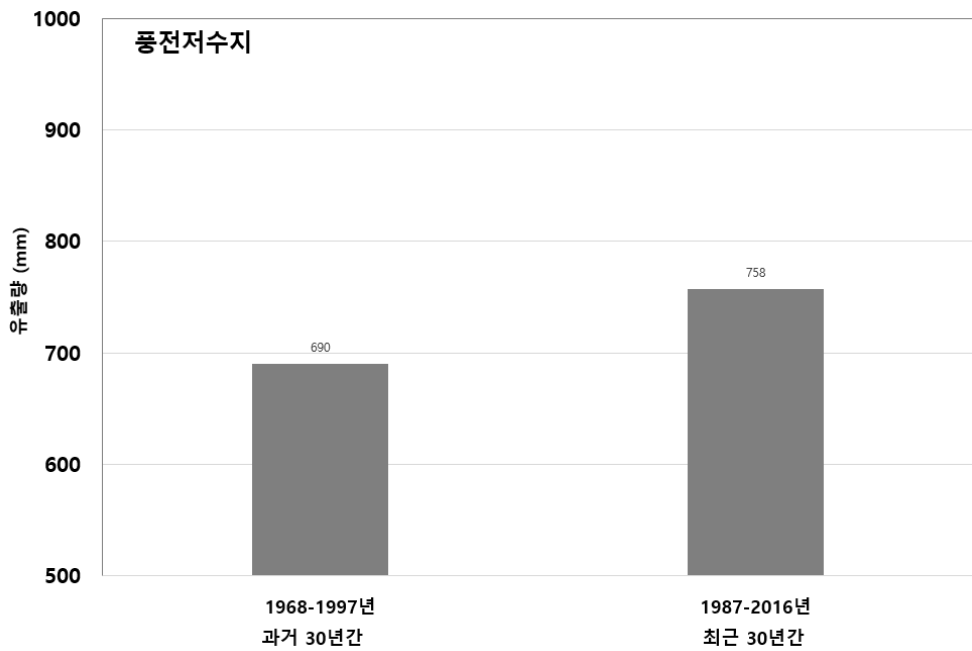
[그림 5.4] 송강저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



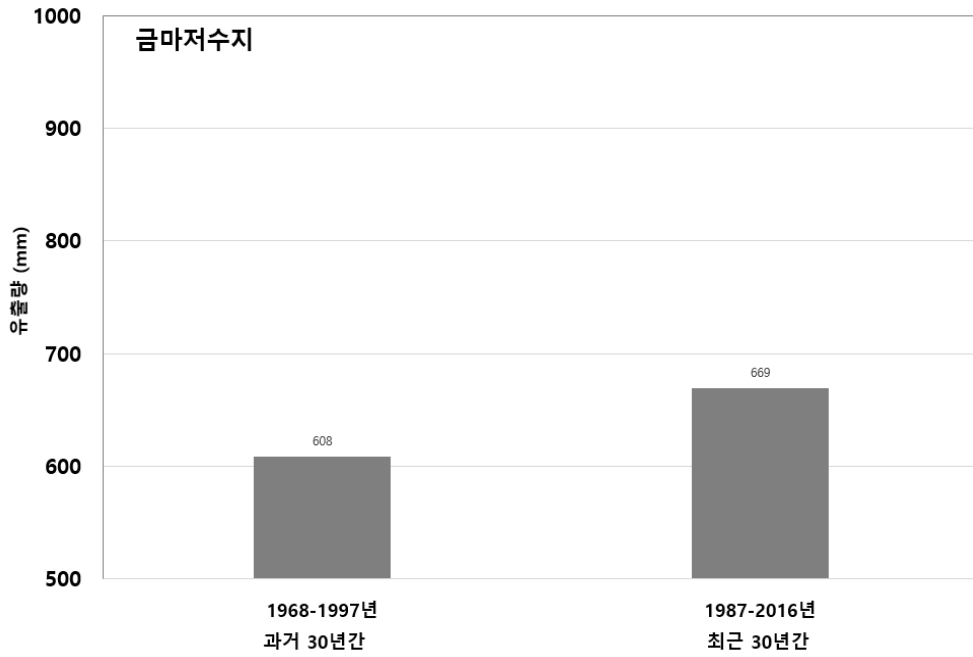
[그림 5.5] 학정저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



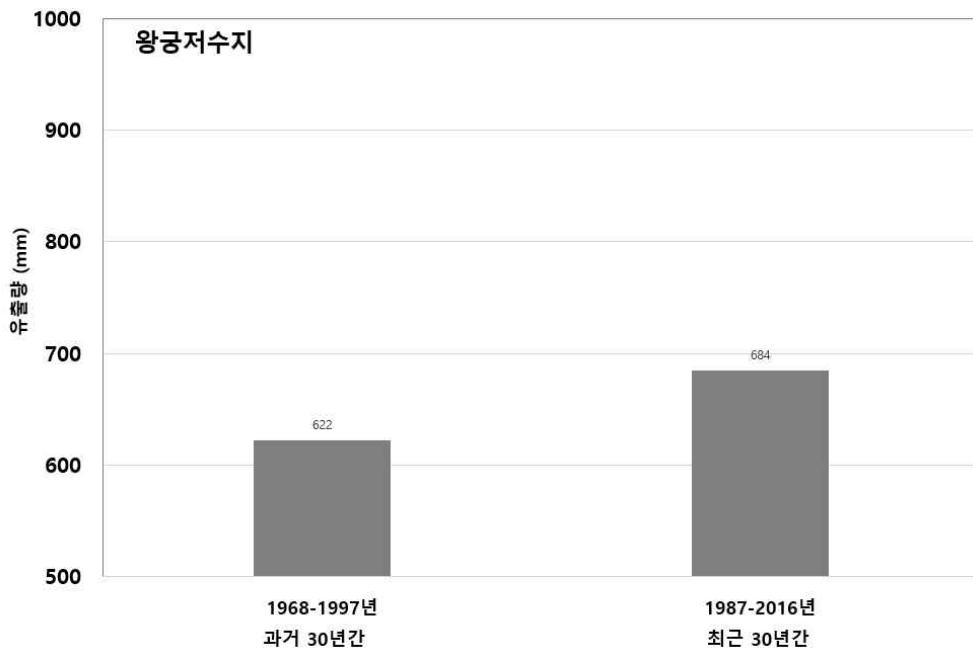
[그림 5.6] 냉정저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



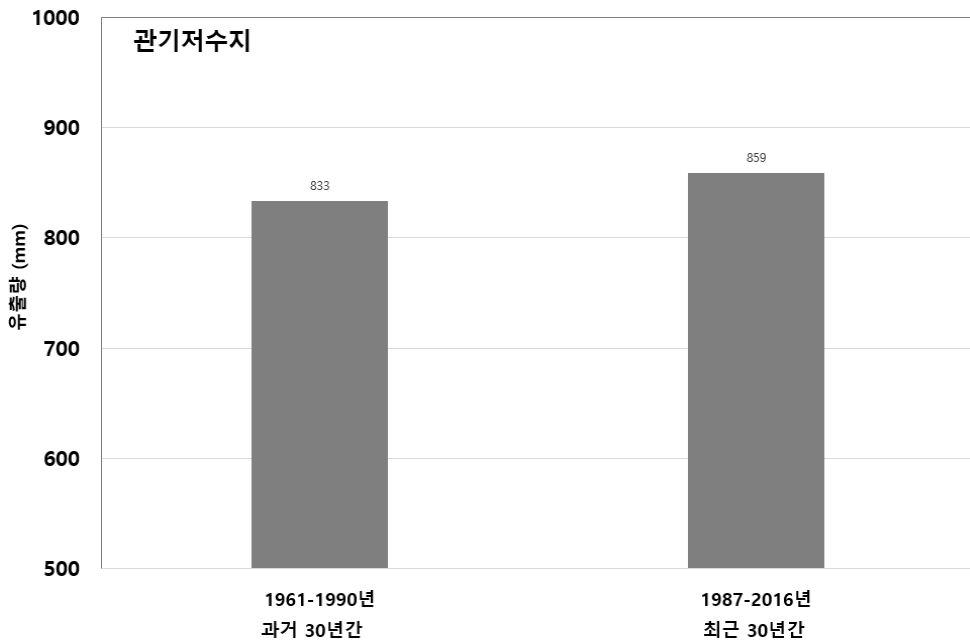
[그림 5.7] 풍전저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



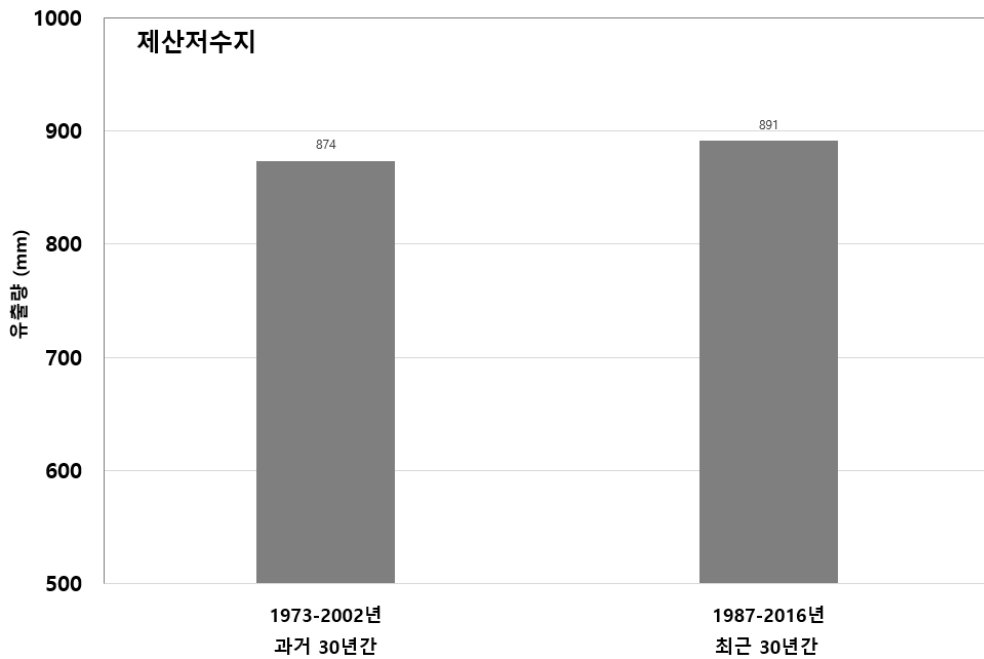
[그림 5.8] 금마저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



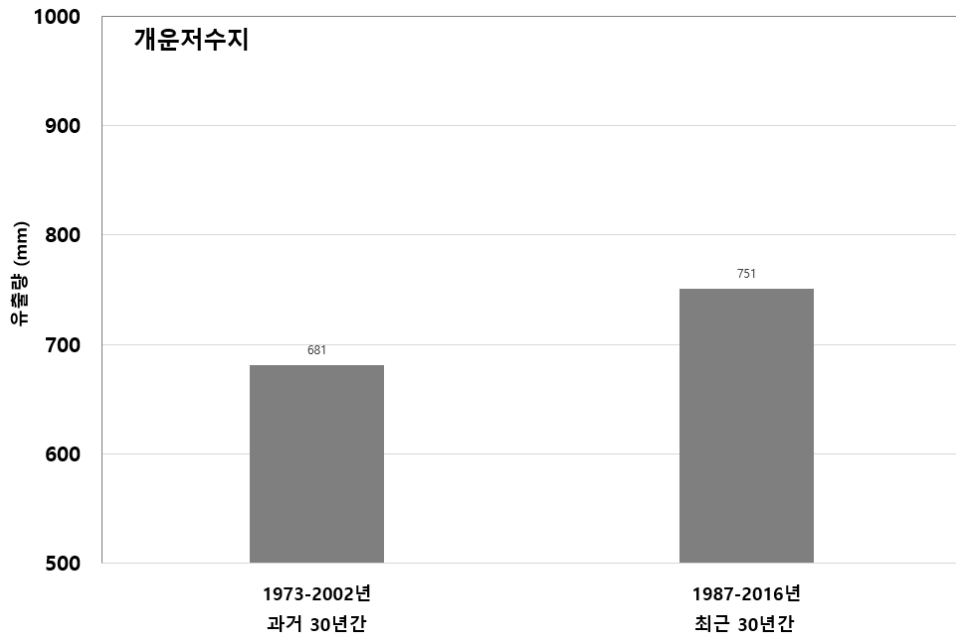
[그림 5.9] 왕궁저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



[그림 5.10] 관기저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



[그림 5.11] 제산저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



[그림 5.12] 개운저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교



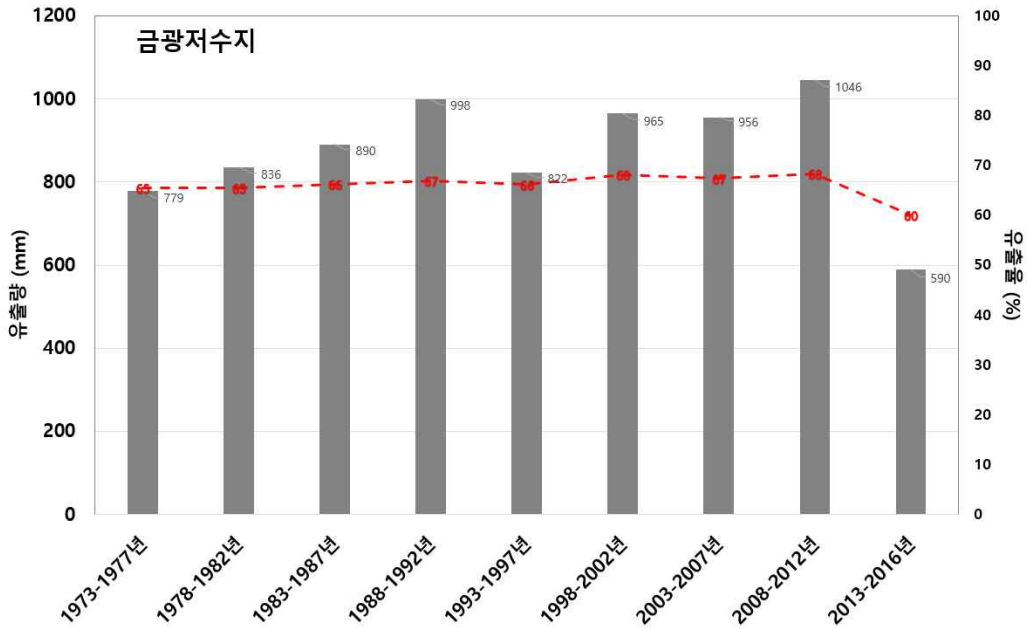
[그림 5.13] 덕곡저수지 30년 단위 연평균 유출량 비교

[표 5.3] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 30년 단위 연평균 유출량 비교

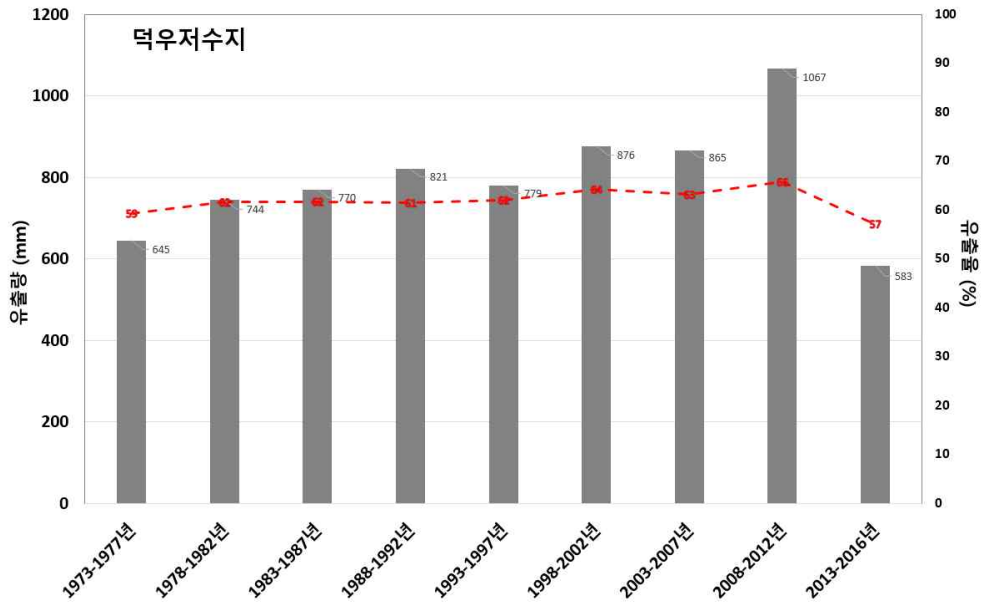
시설명	시설코드	유출량(mm)			
		과거 30년		최근 30년	
				1987-2016	증감율(%)
금광	4155010012	1973-2002	880	923	4.7
덕우	4175010015	1964-1993	811	844	4.0
학	4278010011	1966-1995	834	907	8.1
송강	4313010080	1973-2002	696	745	6.5
학정	4413010022	1973-2002	697	710	1.8
냉정	4420010041	1973-2002	690	703	1.9
풍전	4421010017	1968-1997	690	758	8.9
금마	4514010093	1968-1997	608	669	9.1
왕궁	4514010130	1968-1997	622	684	9.1
관기	4613010031	1961-1990	833	859	3.0
제산	4680010086	1973-2002	874	891	2.0
개운	4725010004	1973-2002	681	751	9.3
덕곡	4824010077	1973-2002	873	906	3.7

- 저수지별 30년 단위 연평균 유출량 분석 결과, 과거와 최근 유출량 연평균은 모든 저수지에서 증가하는 추세를 보였으며 풍전, 금마, 왕궁, 개운 저수지에서 그 증가폭이 9% 이상으로 크게 나타났음.

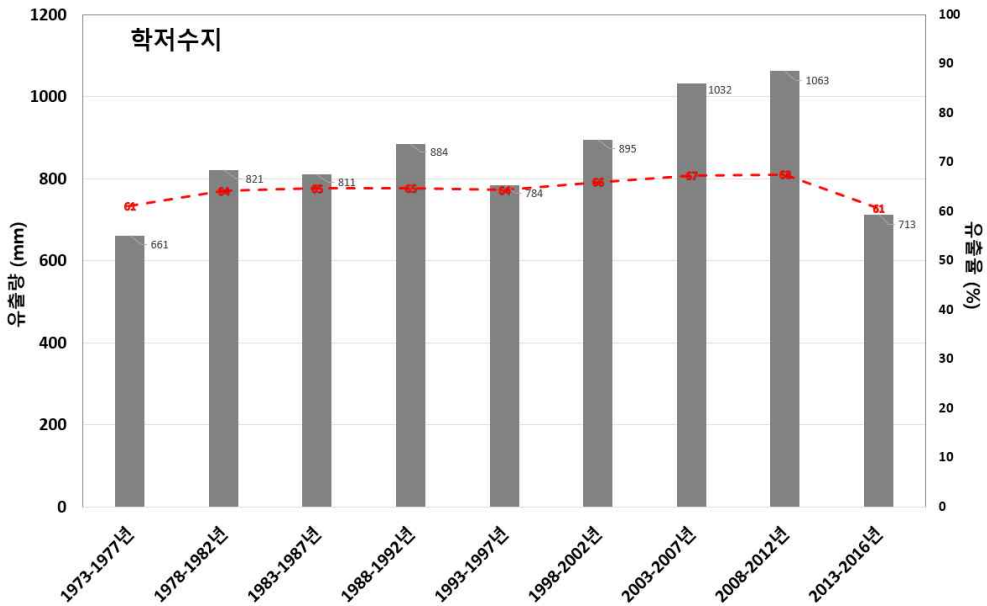
- 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율을 비교하였음.



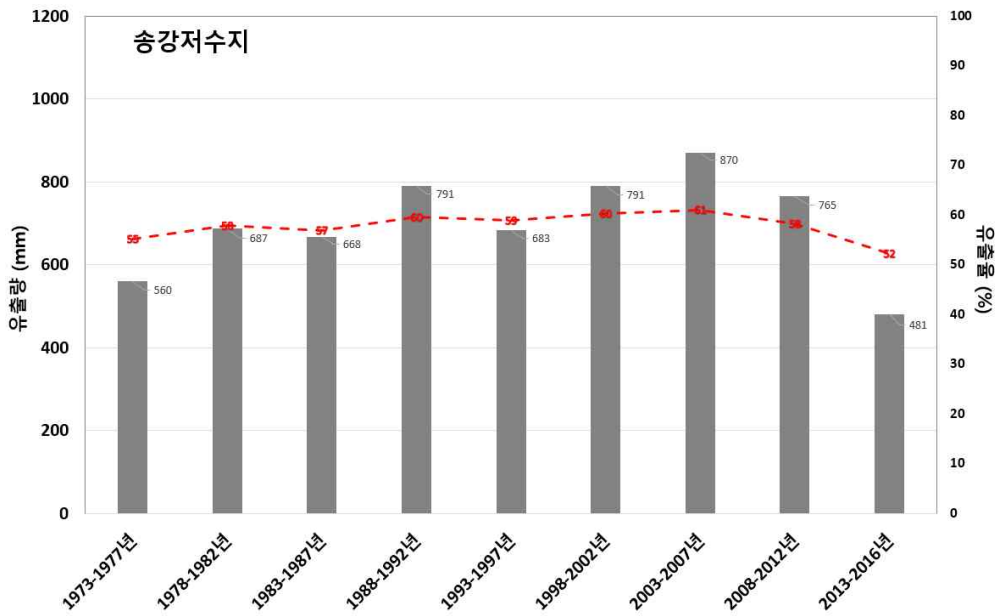
[그림 5.14] 금광저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



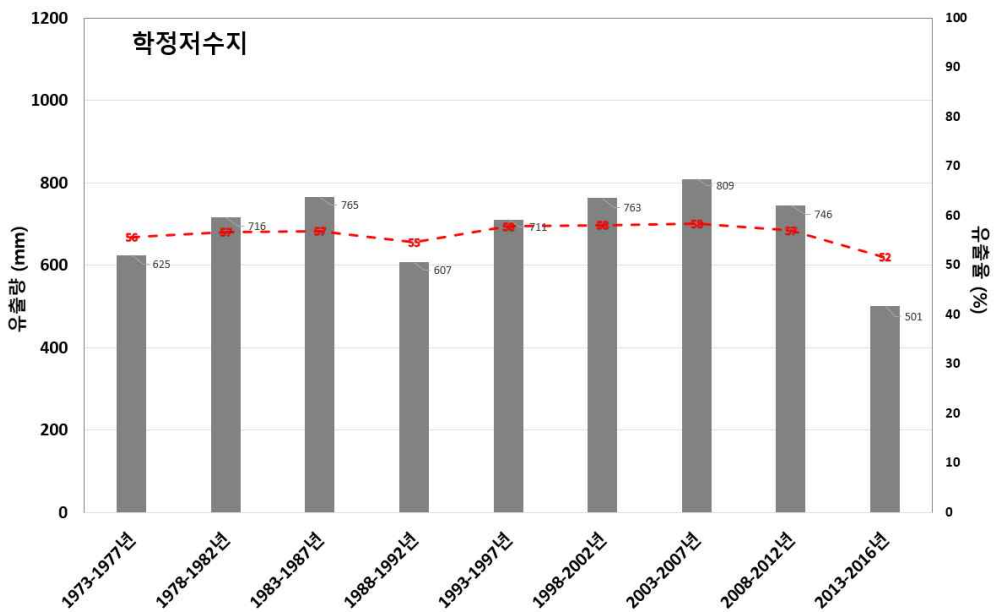
[그림 5.15] 덕우저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



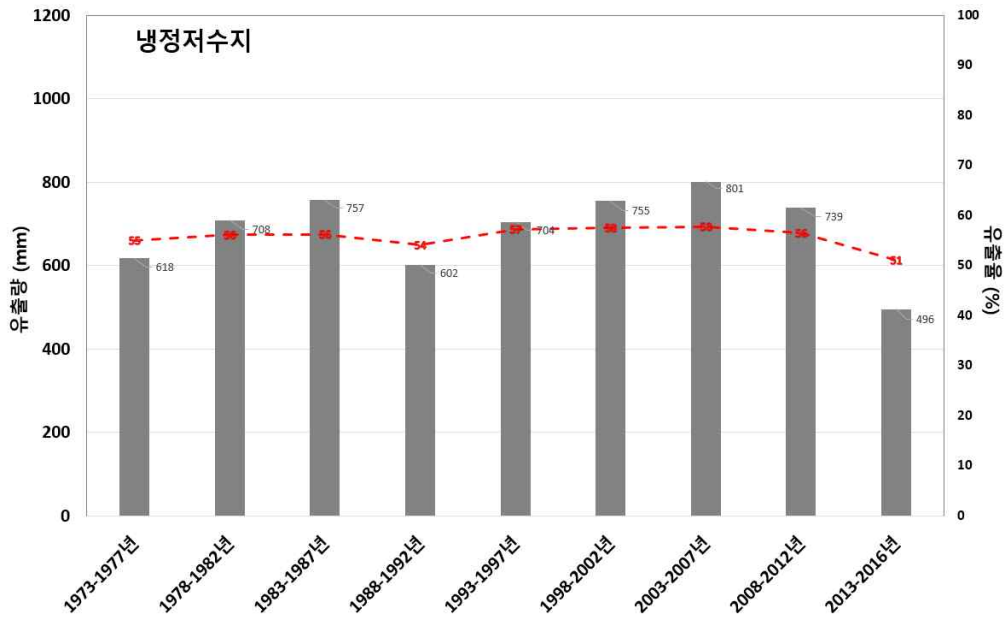
[그림 5.16] 학저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



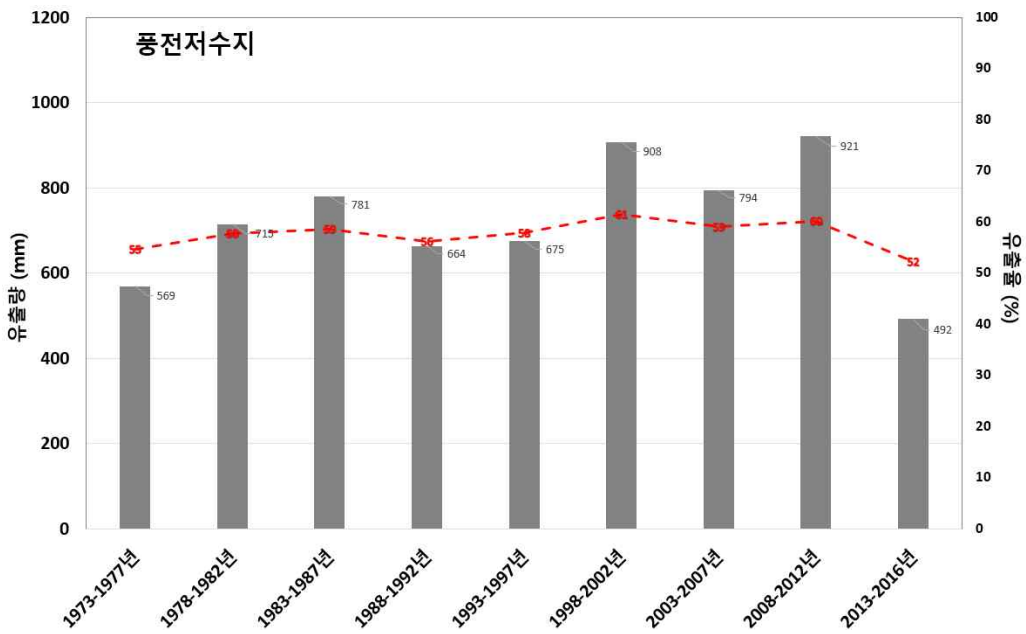
[그림 5.17] 송강저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



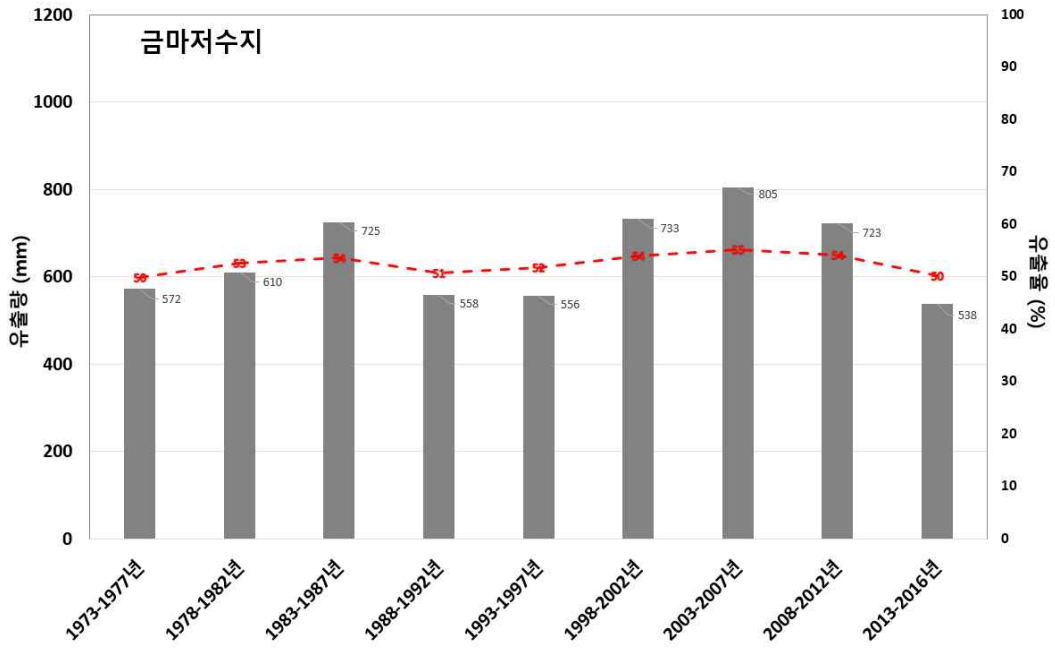
[그림 5.18] 학정저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



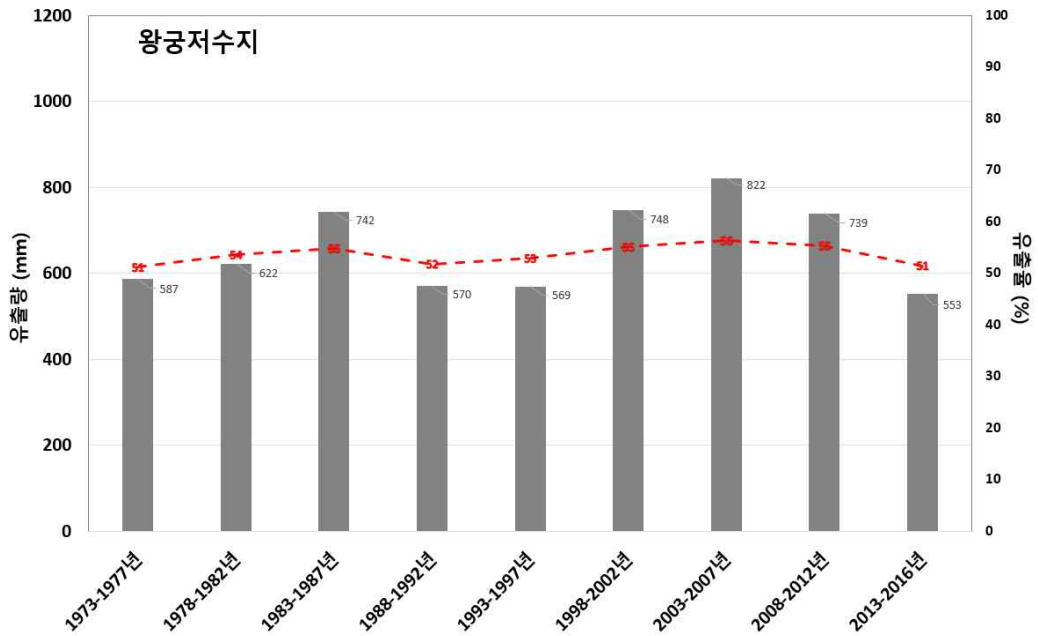
[그림 5.19] 냉정저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



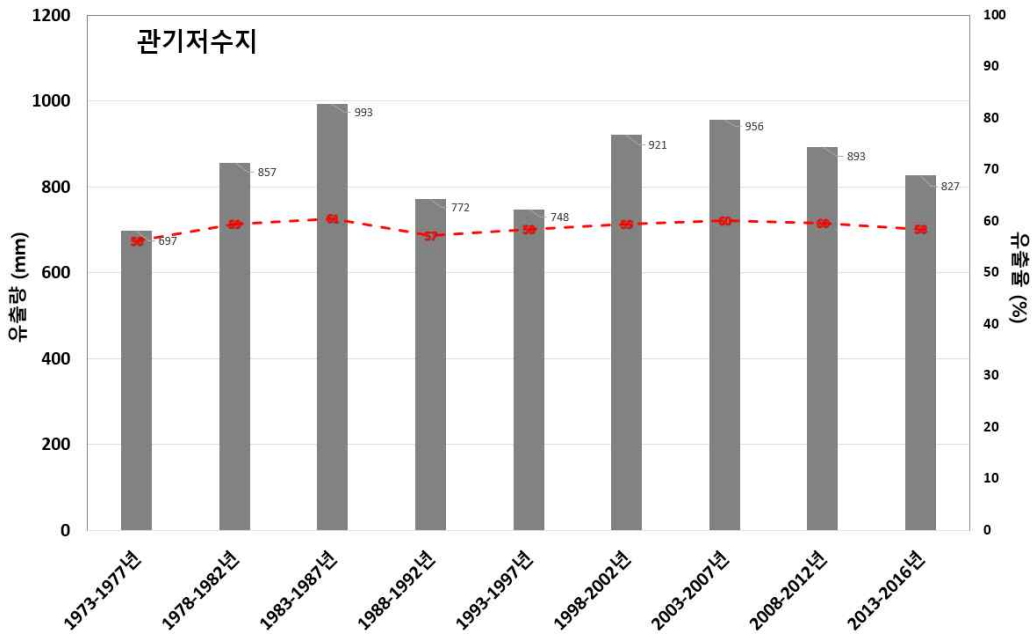
[그림 5.20] 풍전저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



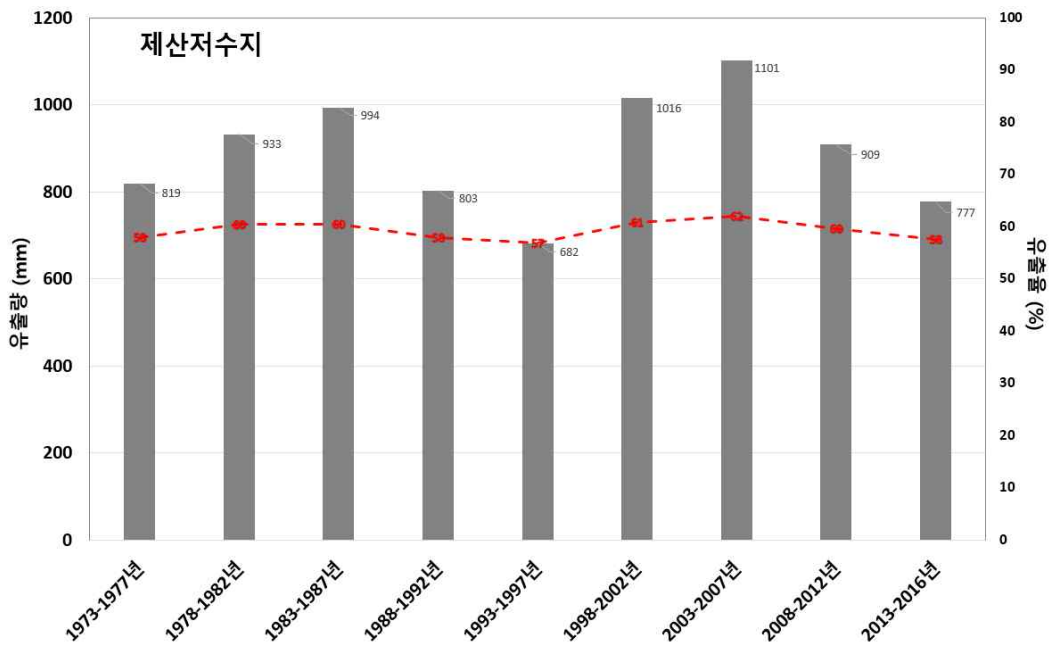
[그림 5.21] 금마저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



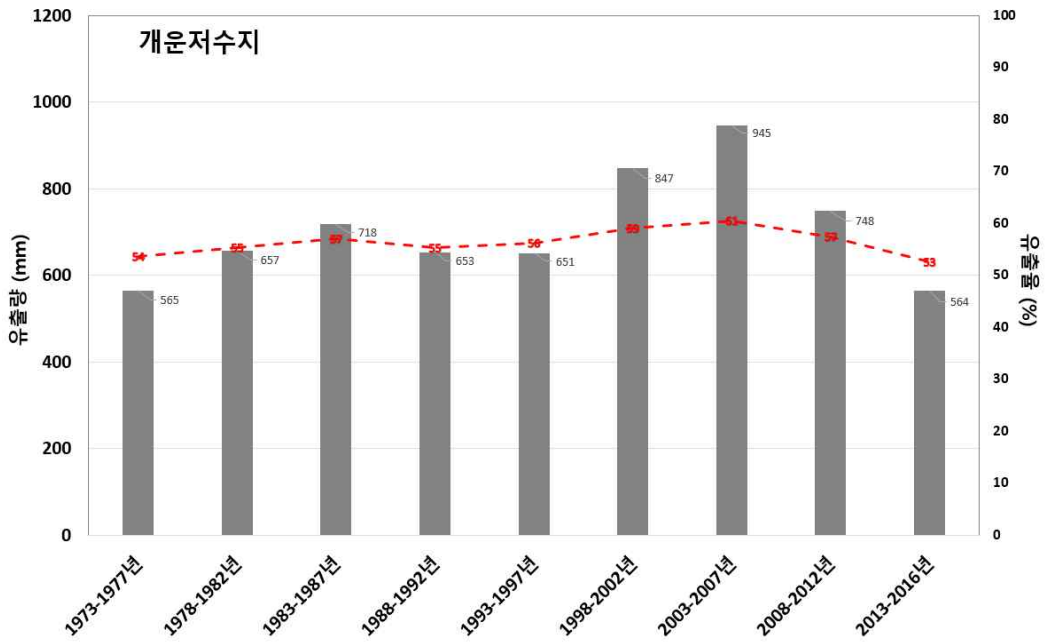
[그림 5.22] 왕궁저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



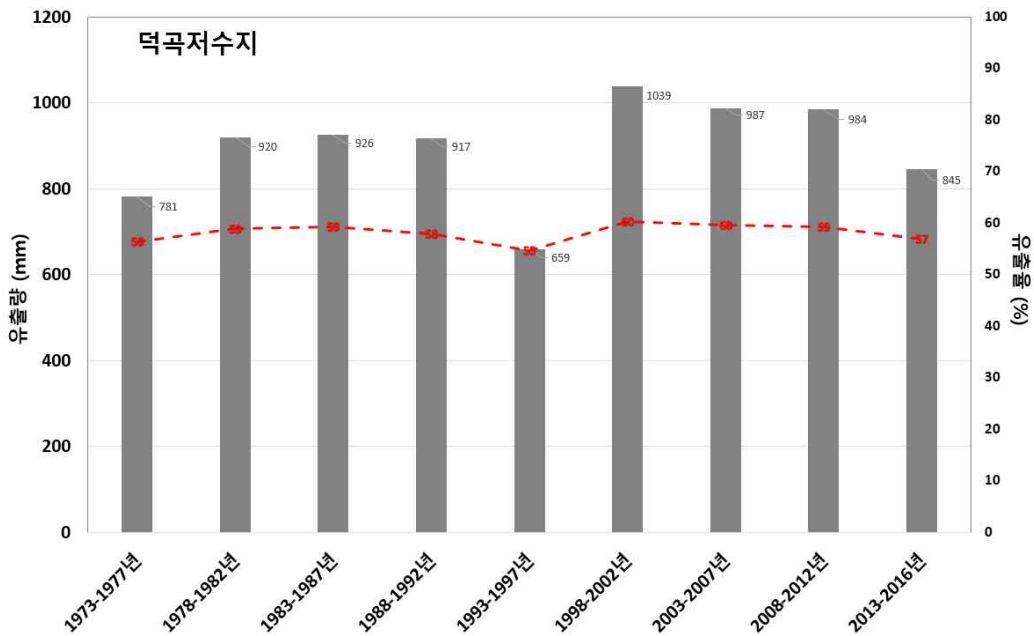
[그림 5.23] 관기저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



[그림 5.24] 제산저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



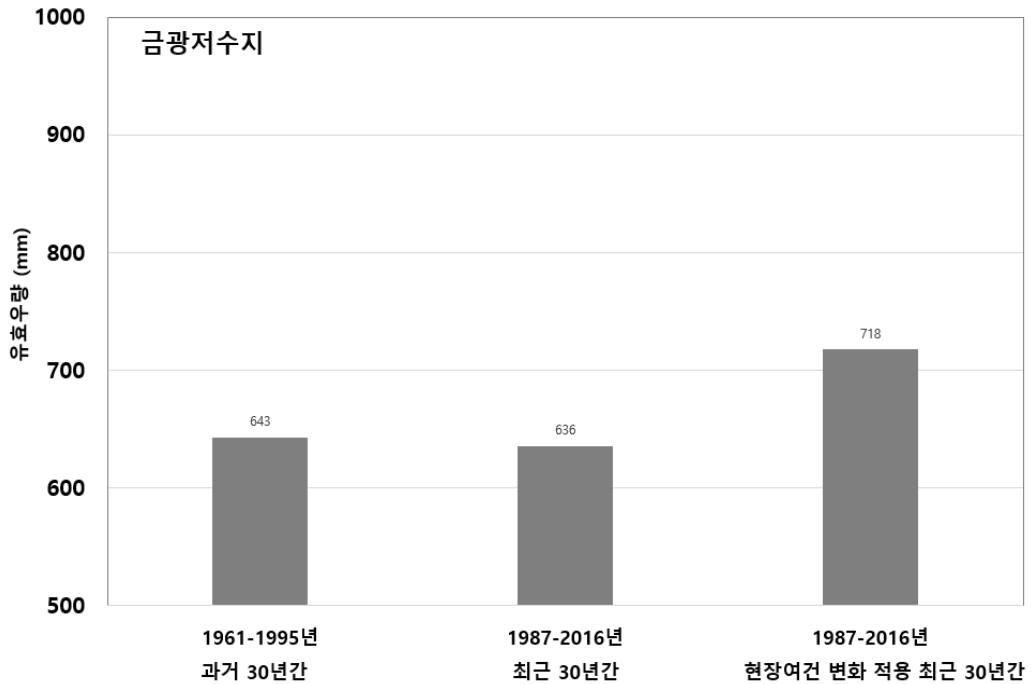
[그림 5.25] 개운저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교



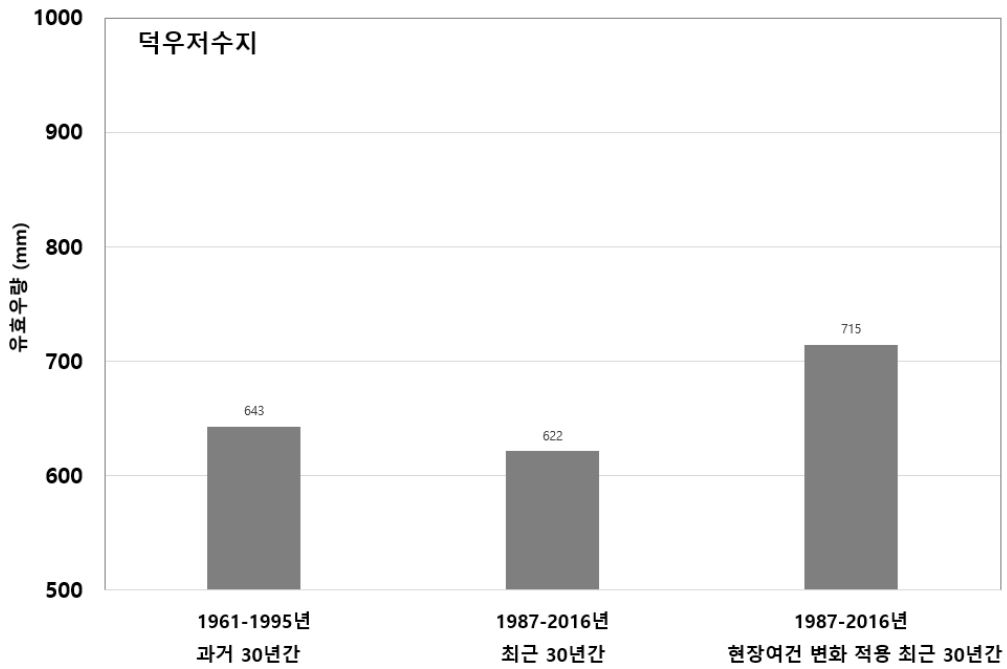
[그림 5.26] 덕곡저수지 5년 단위 연평균 유출량 및 유출율 비교

제 3 절 이수안전도 분석 시나리오에 따른 유효우량 비교

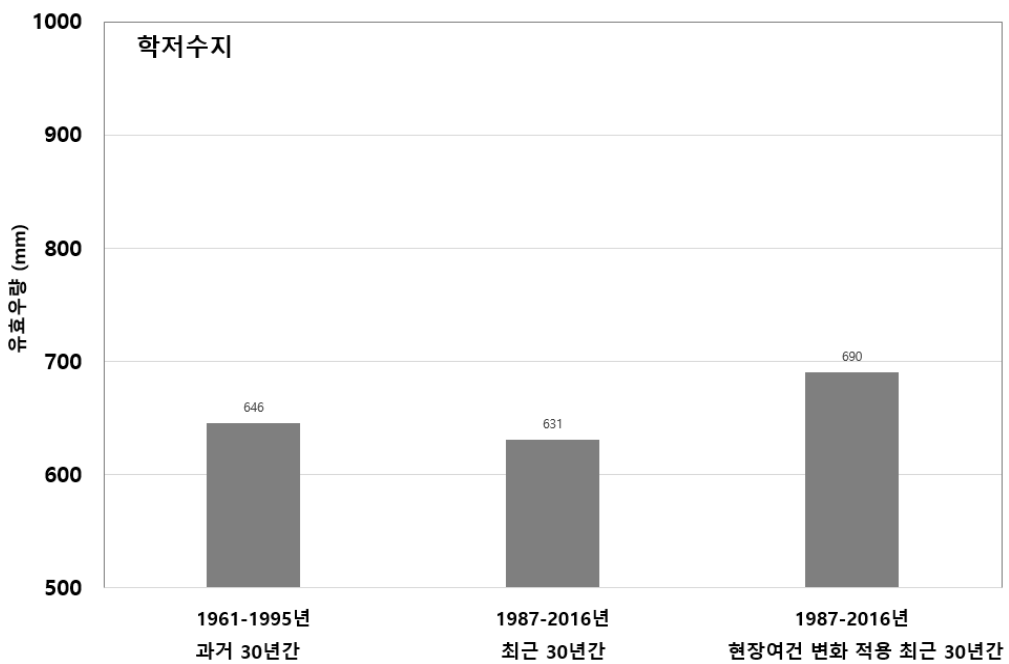
- 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 30년 단위 유효우량을 산정하고 비교하였음.



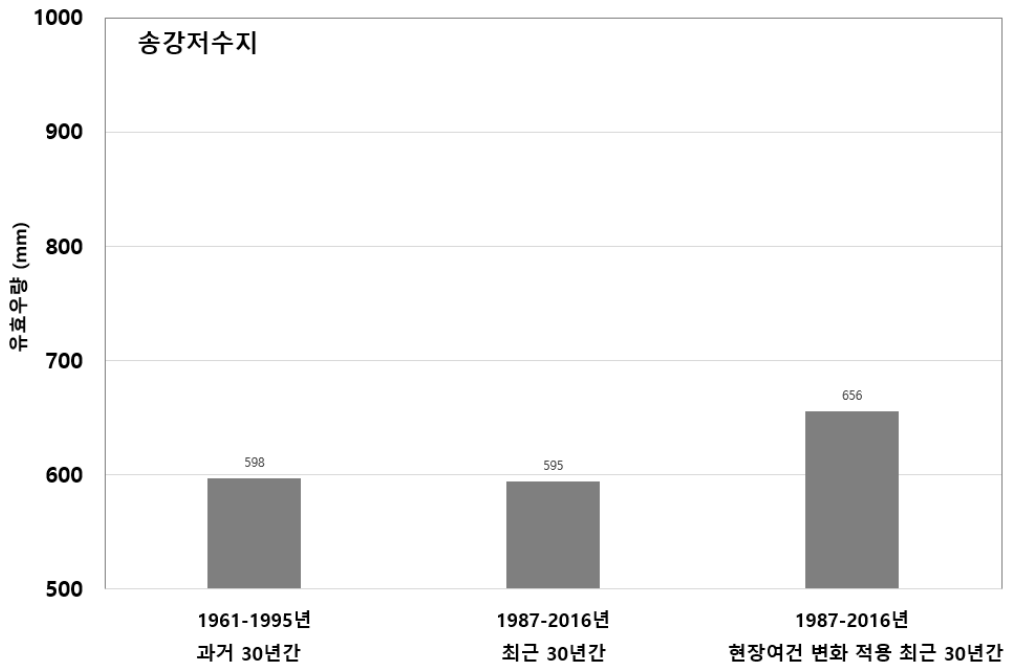
[그림 5.27] 금광저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교



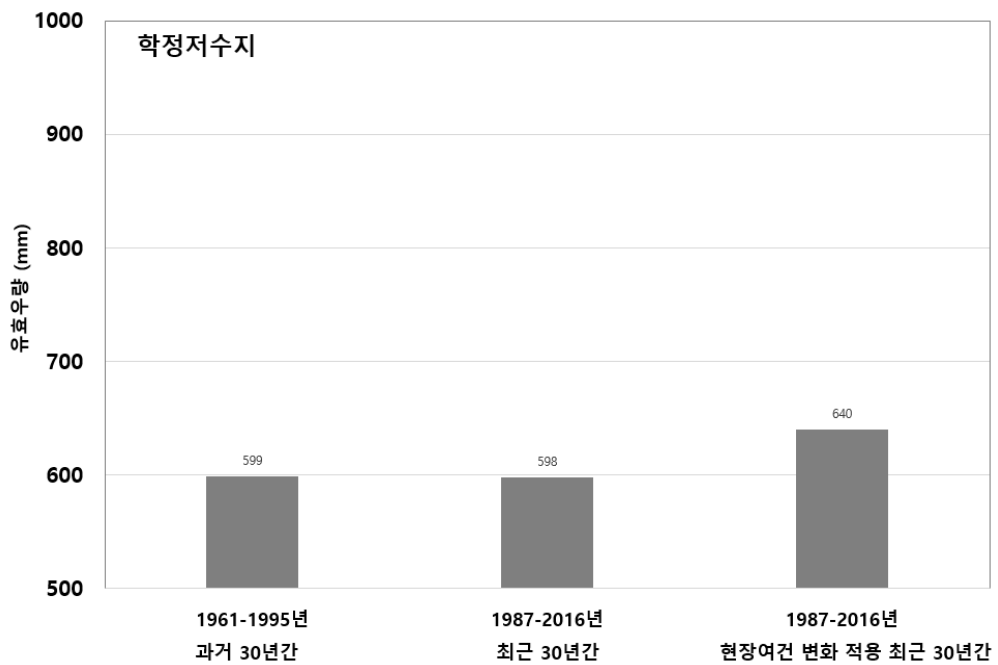
[그림 5.28] 덕우저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교



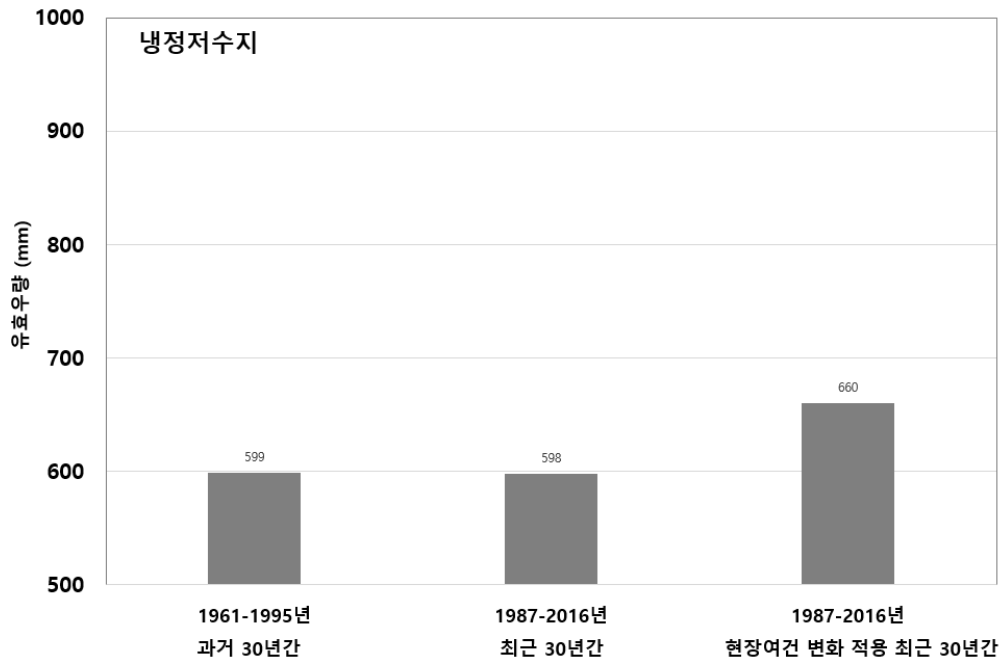
[그림 5.29] 학저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교



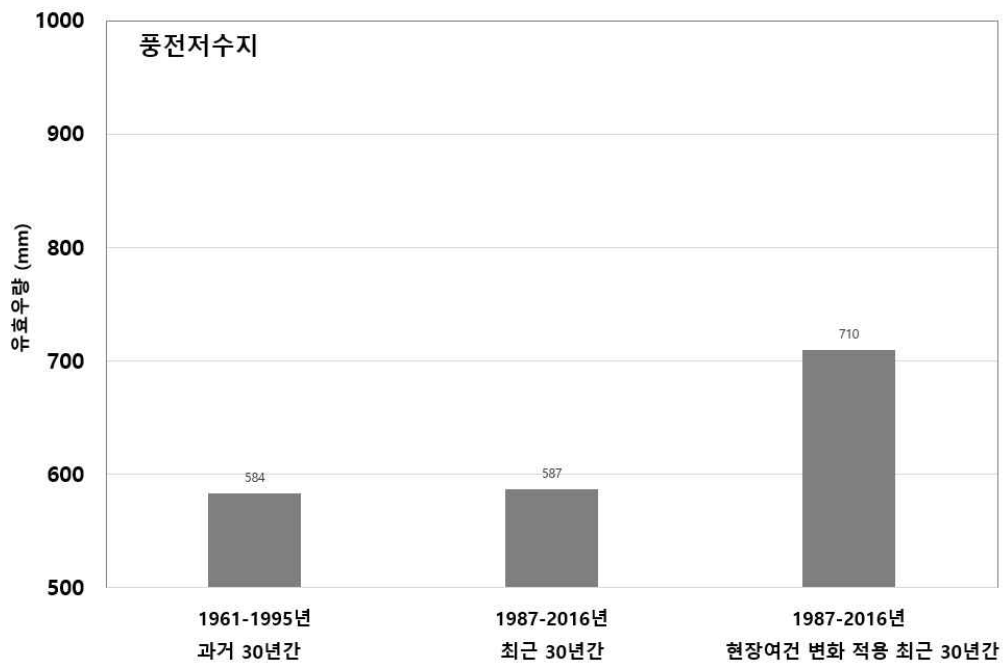
[그림 5.30] 송강저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



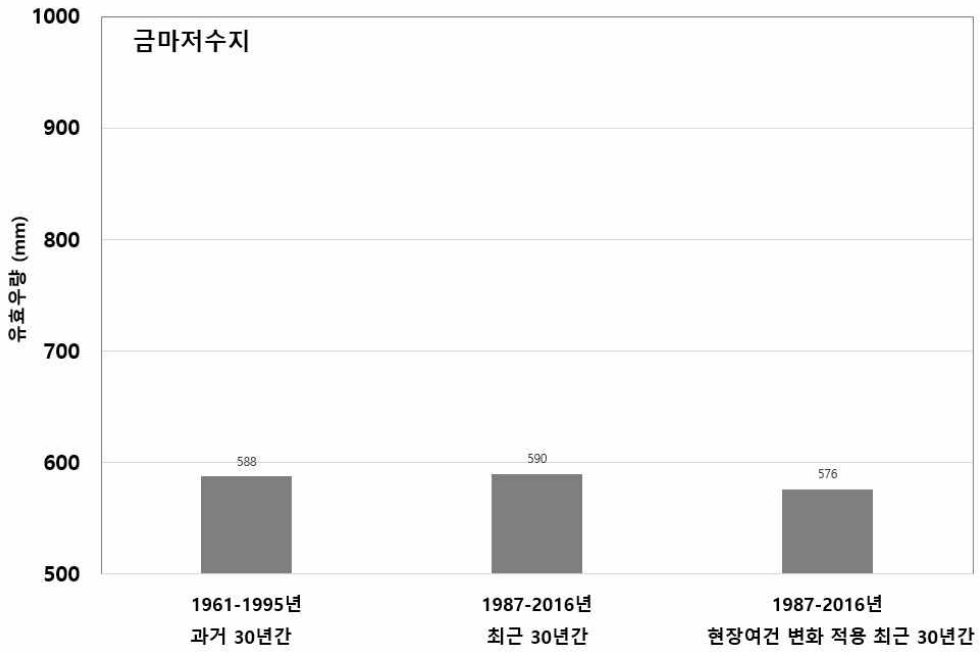
[그림 5.31] 학정저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



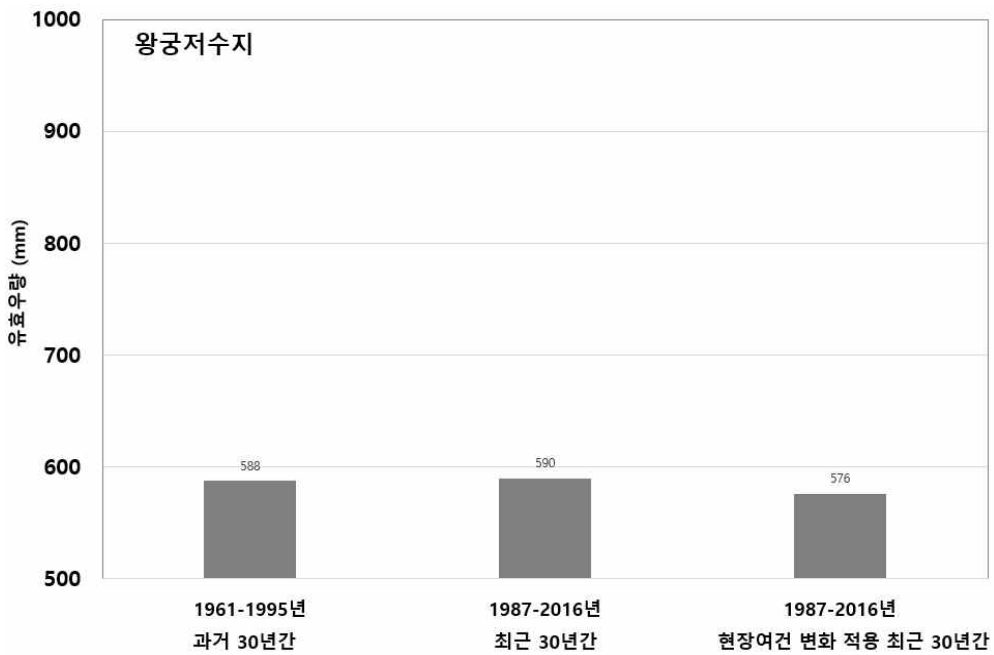
[그림 5.32] 냉정저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



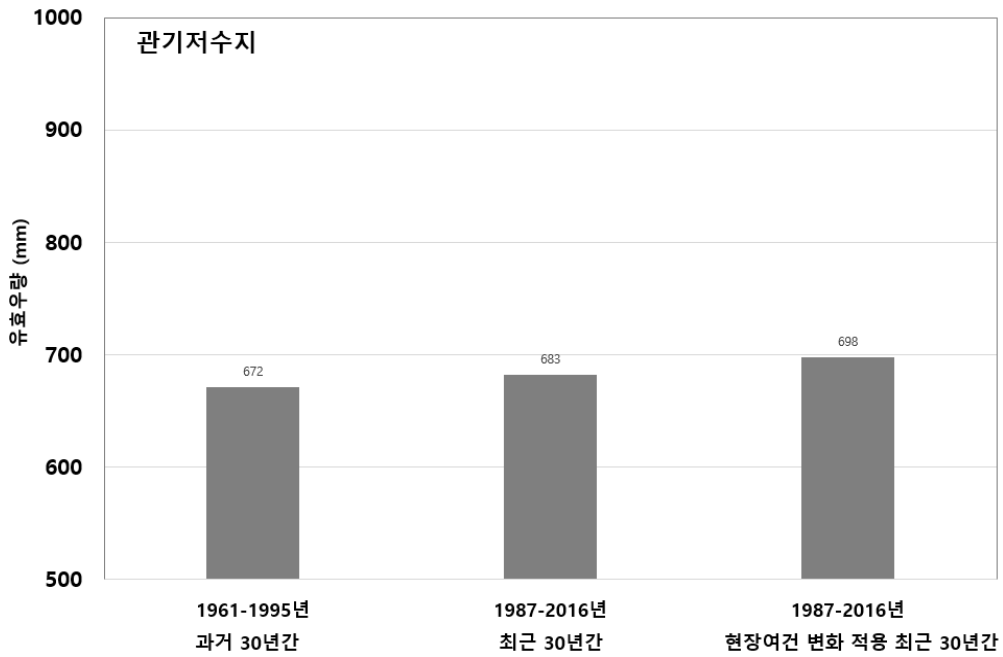
[그림 5.33] 풍전저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



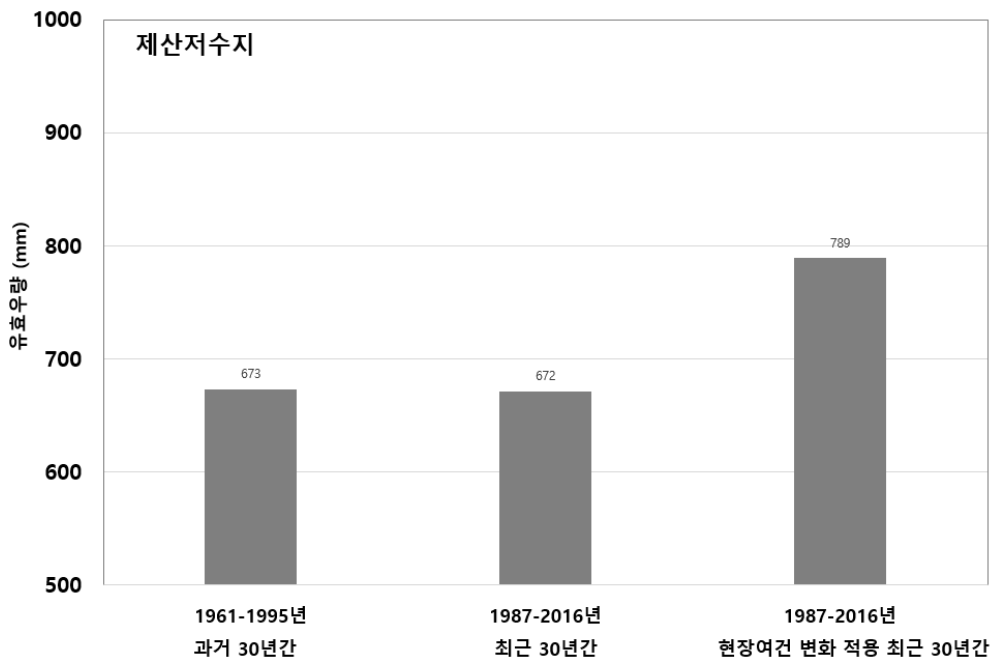
[그림 5.34] 금마저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교



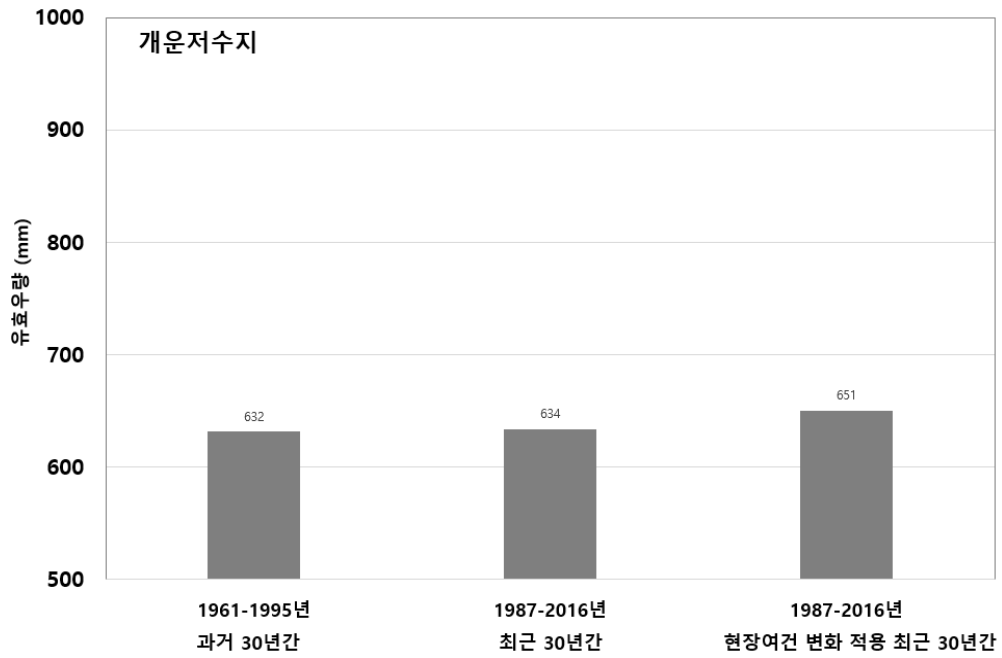
[그림 5.35] 왕궁저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교



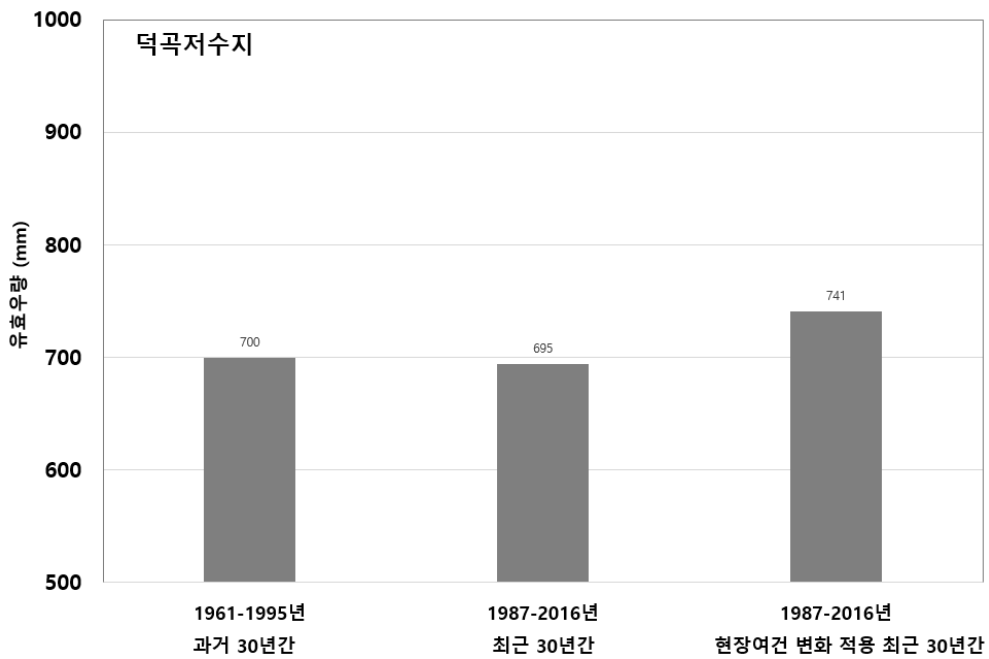
[그림 5.36] 관기저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



[그림 5.37] 제산저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



[그림 5.38] 개운저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교



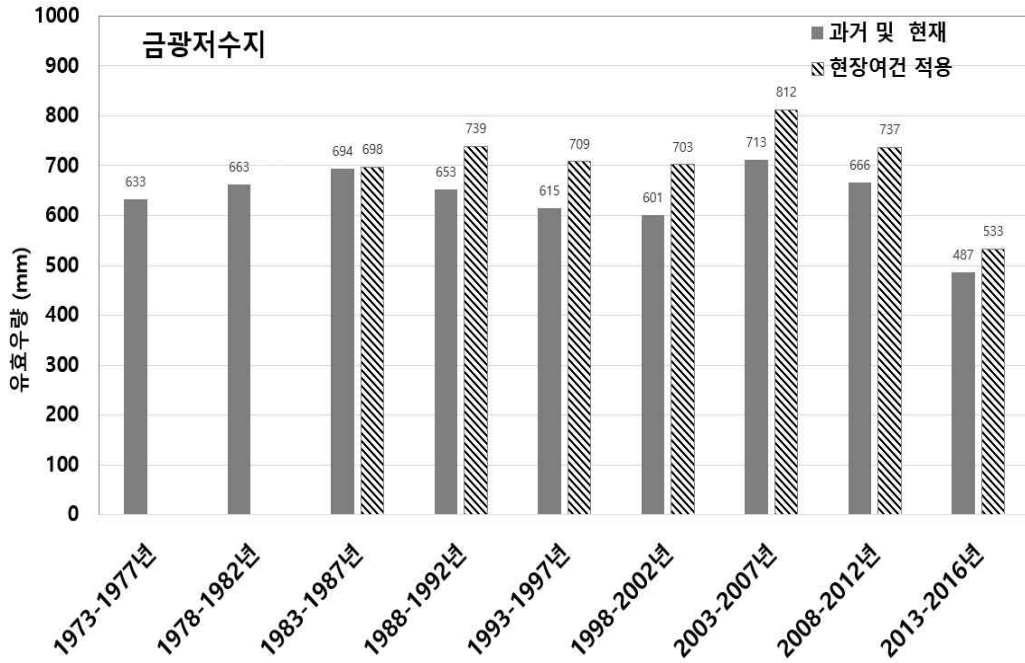
[그림 5.39] 덕곡저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교

- 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 30년 단위 유효우량을 산정하고 비교하였음. 과거에 비해 최근 30년 감소하거나 증가폭이 매우 적게 나타남. 현장여건을 적용하였을 경우 풍전 저수지의 경우 유효우량이 과거 30년에 비해 17.8% 증가하였고, 금마, 왕궁 저수지의 경우 감소하는 경향을 보임.

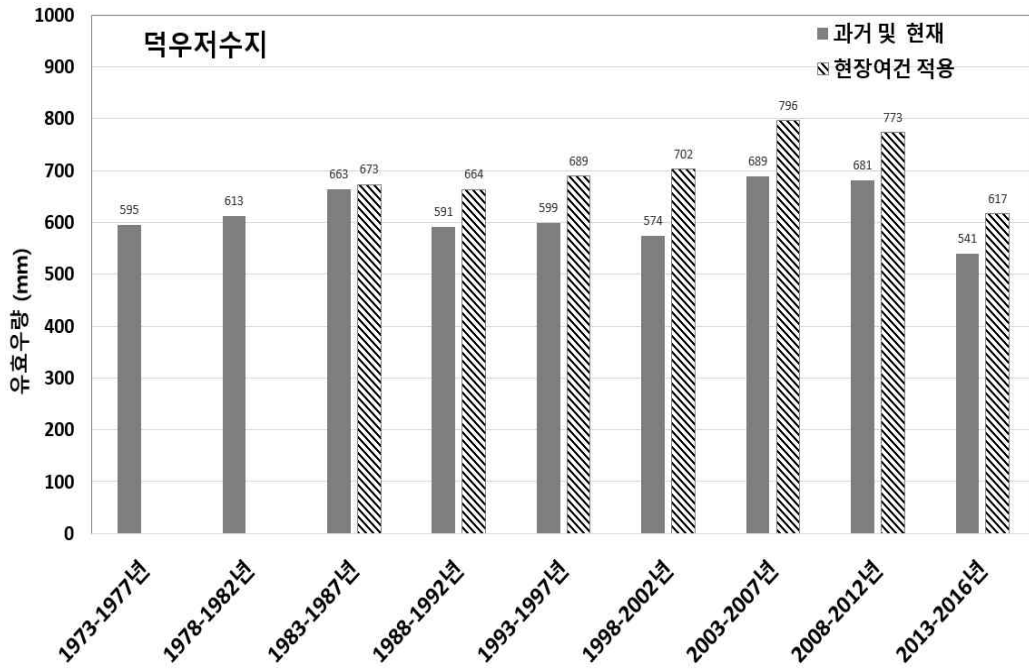
[표 5.4] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 연평균 유효우량 비교

	시설코드	유효우량(mm)					
		과거 30년		최근 30년		현장여건 적용 최근 30년	
				1987-2016	증감(%)	1987-2016	증감(%)
금광	4155010012	1973-2002	643	636	-1.2	718	10.4
덕우	4175010015	1964-1993	643	622	-3.5	715	10.0
학	4278010011	1966-1995	646	631	-2.3	690	6.5
송강	4313010080	1973-2002	598	595	-0.5	656	8.9
학정	4413010022	1973-2002	599	598	-0.1	640	6.5
냉정	4420010041	1973-2002	599	598	-0.1	660	9.3
풍전	4421010017	1968-1997	584	587	0.6	710	17.8
금마	4514010093	1968-1997	588	590	0.4	576	-2.0
왕궁	4514010130	1968-1997	588	590	0.4	576	-2.0
관기	4613010031	1961-1990	672	683	1.6	698	3.8
체산	4680010086	1973-2002	673	672	-0.2	789	14.7
개운	4725010004	1973-2002	632	634	0.4	651	2.9
덕곡	4824010077	1973-2002	700	695	-0.8	741	5.5

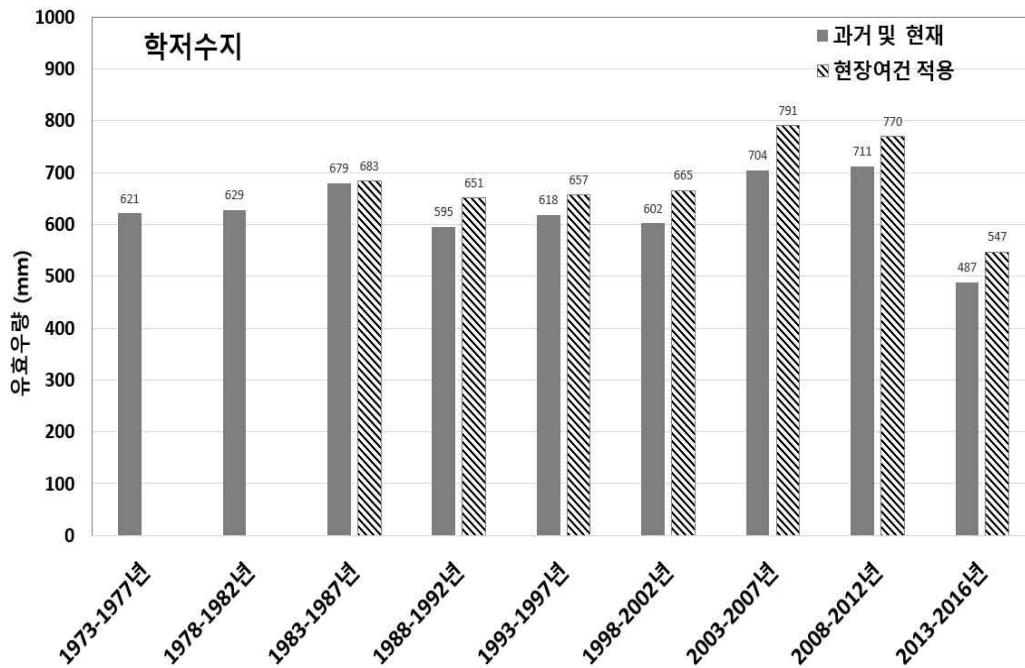
- 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 5년 단위 유효우량을 산정하고 비교하였음.



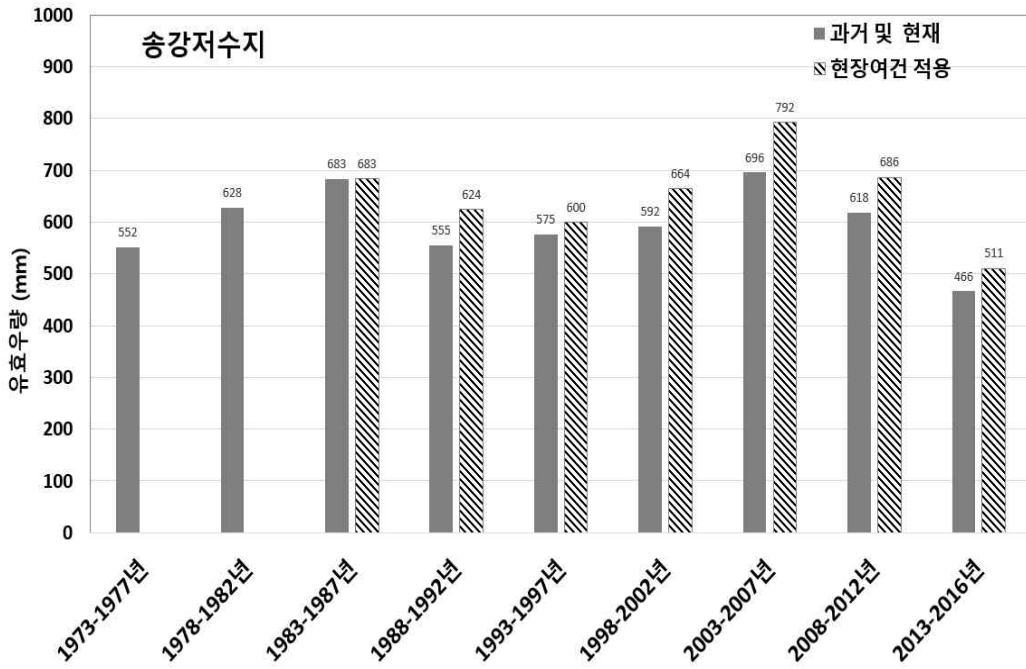
[그림 5.40] 금광저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교



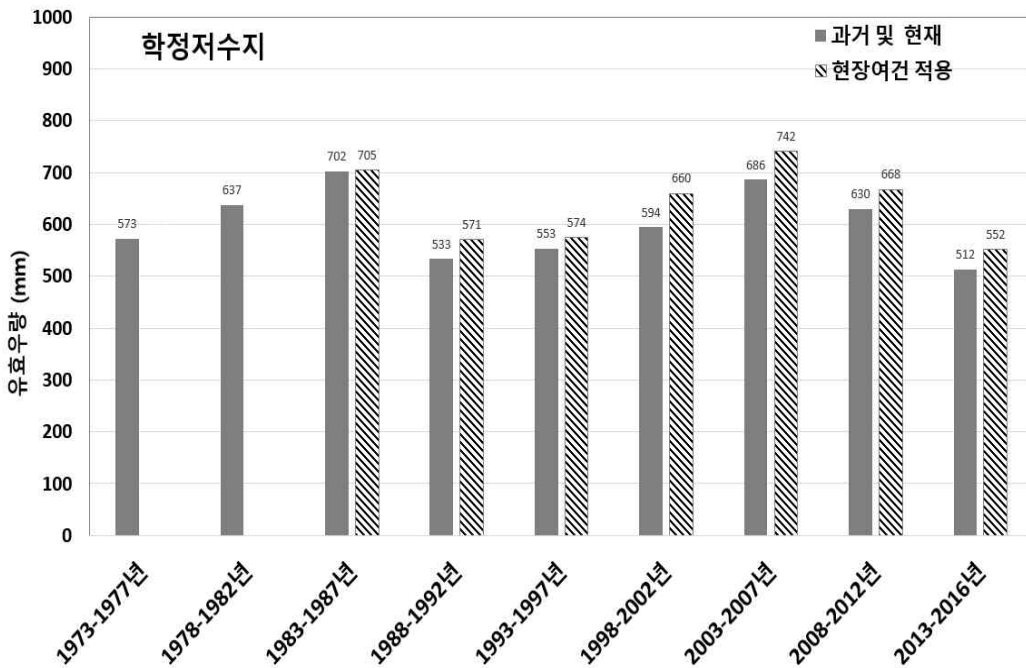
[그림 5.41] 덕우저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



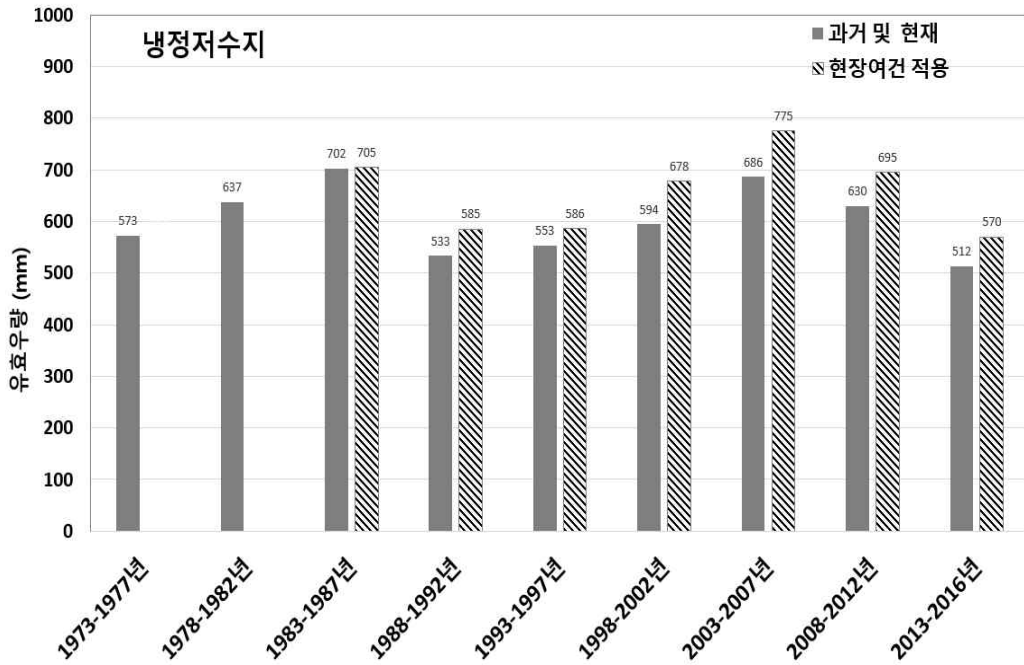
[그림 5.42] 학저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



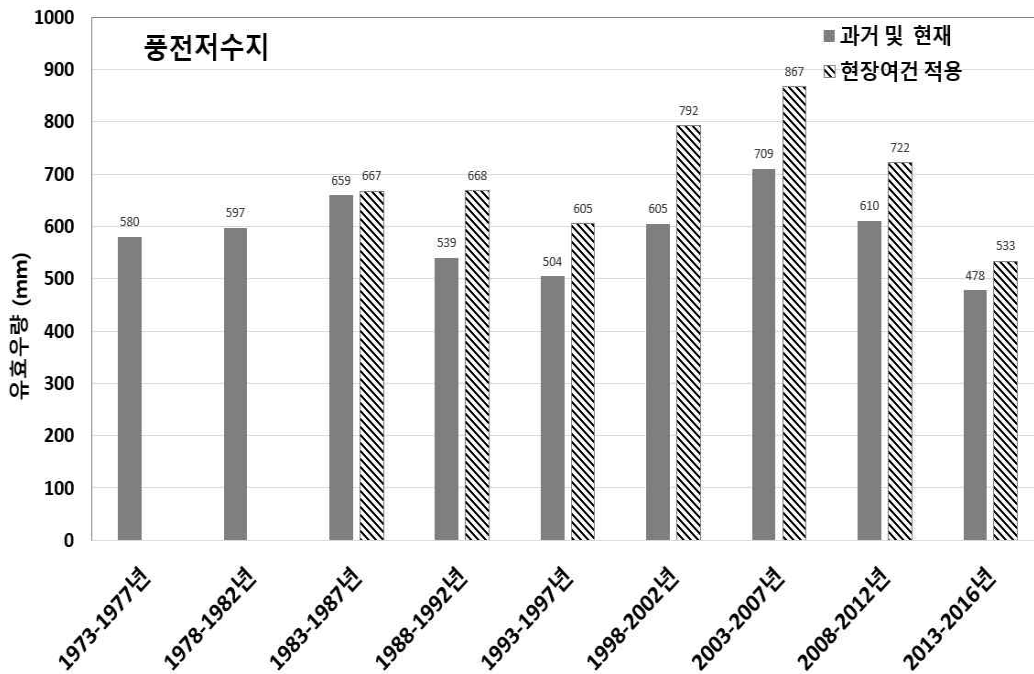
[그림 5.43] 송강저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



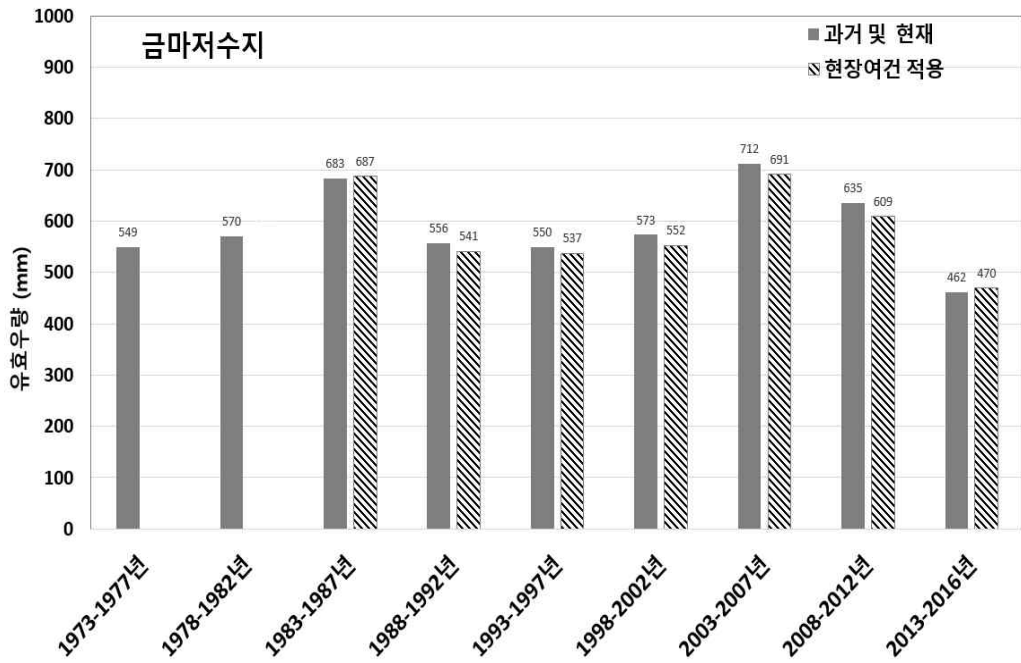
[그림 5.44] 학정저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



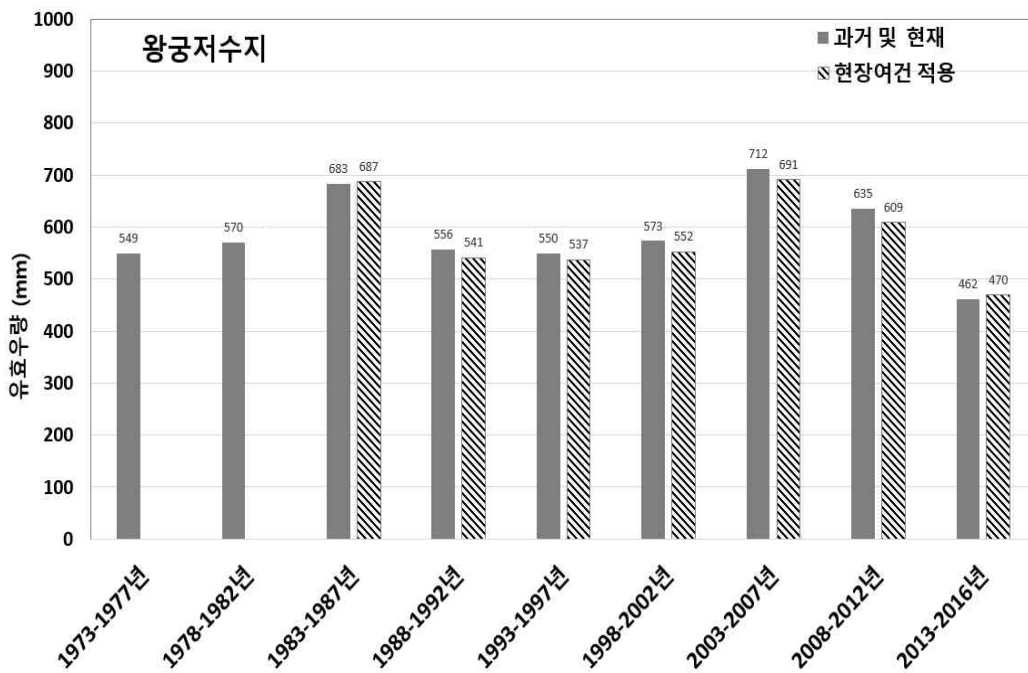
[그림 5.45] 냉정저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교



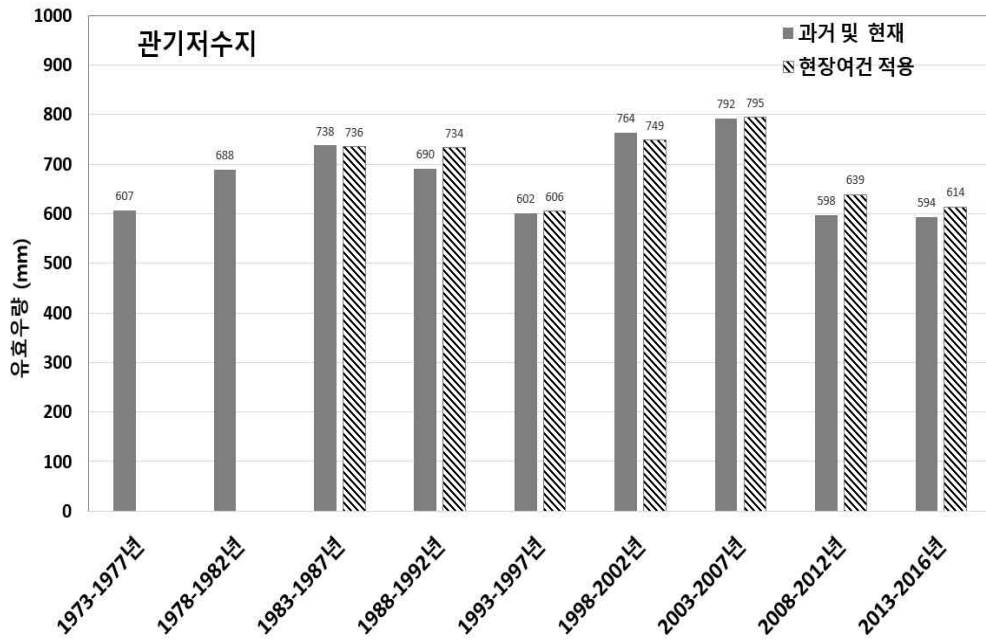
[그림 5.46] 풍전저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효우량 비교



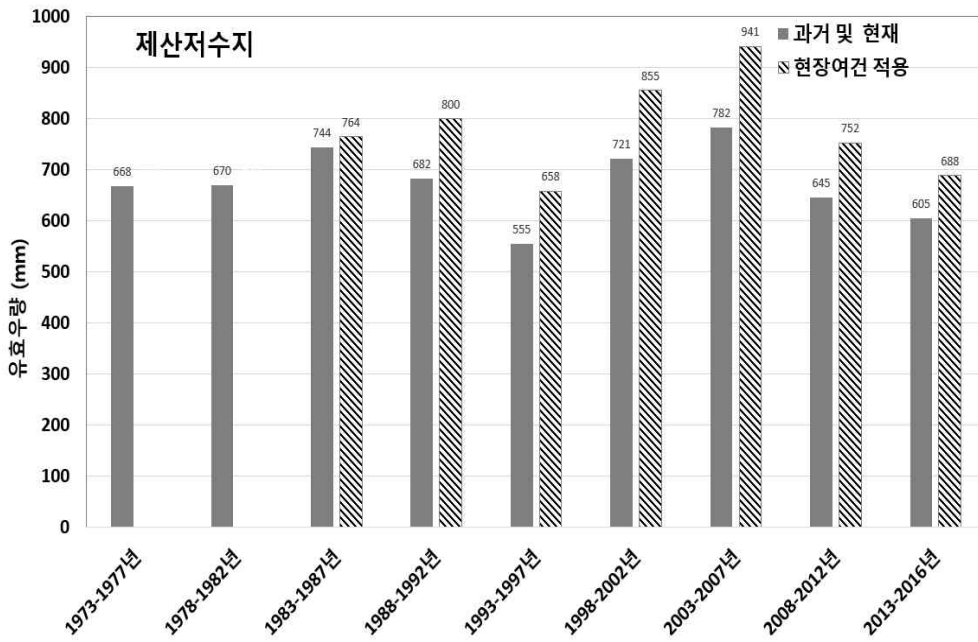
[그림 5.47] 금마저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



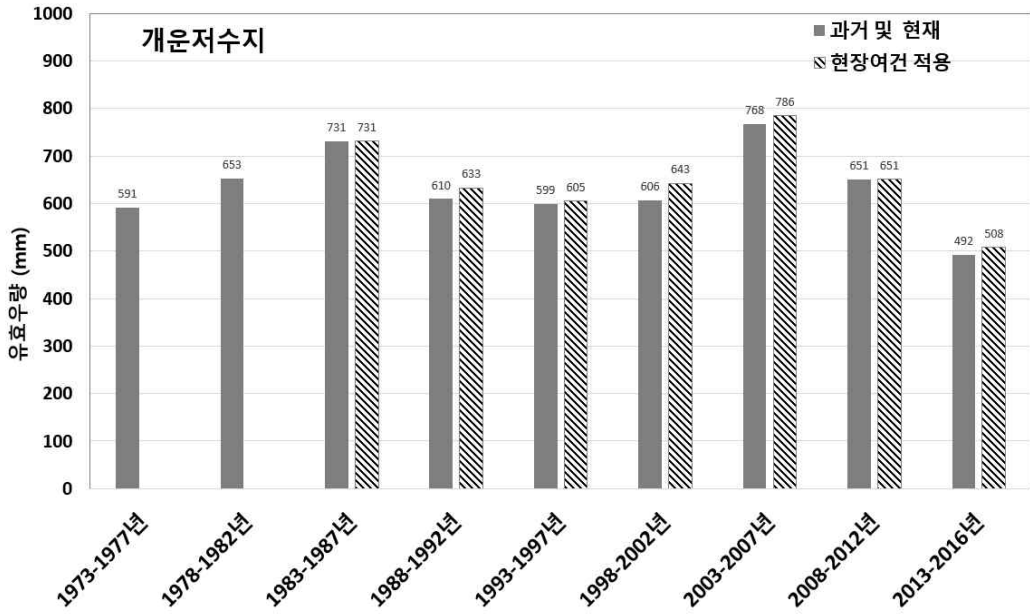
[그림 5.48] 왕궁저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



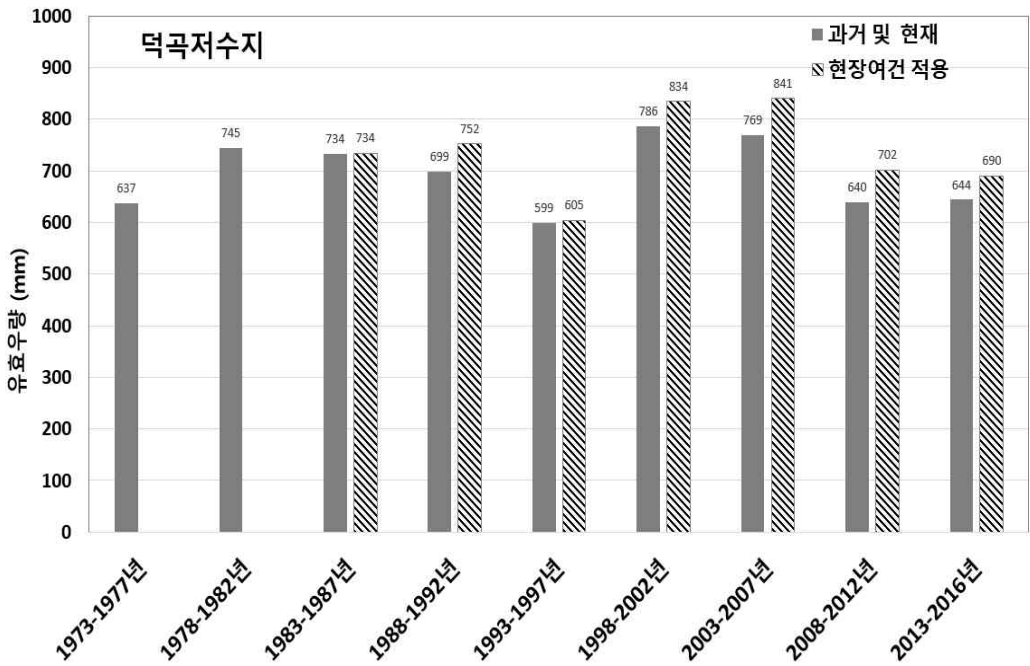
[그림 5.49] 관기저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



[그림 5.50] 제산저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



[그림 5.51] 개운저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교



[그림 5.52] 덕곡저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 유효수량 비교

[표 5.5] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 5년 단위 연평균 유효수량 비교

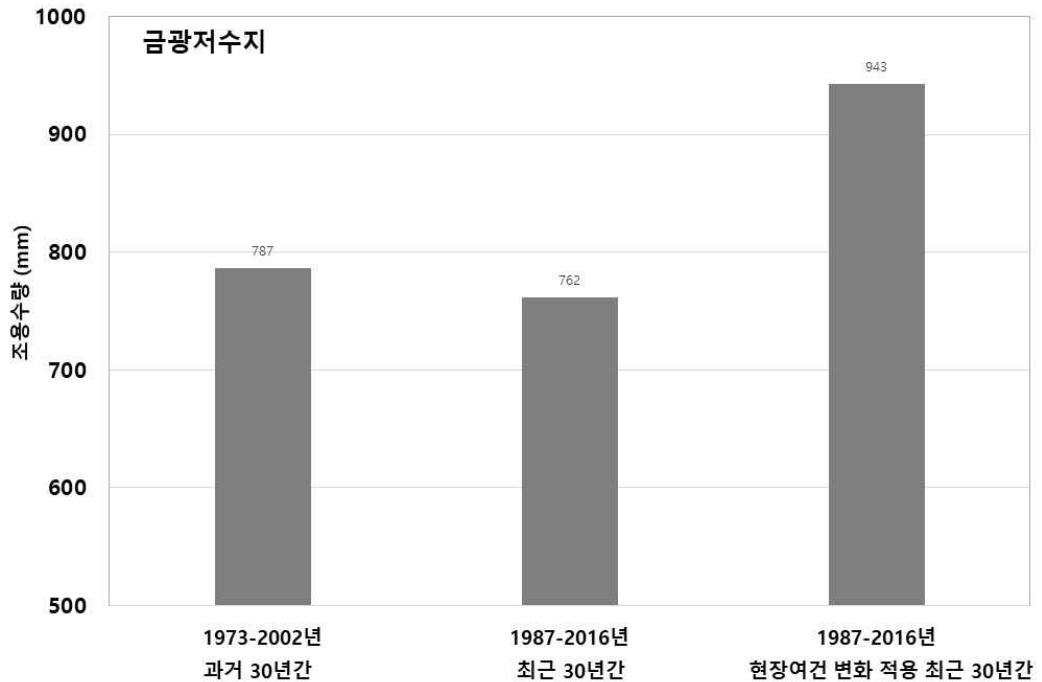
시설명	금광저수지			덕우저수지			학저수지			송강저수지			학정저수지		
	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감 (%)
1973-1977	633	633	-	595	595	-	621	621	-	552	552	-	573	573	-
1978-1982	663	663	-	613	613	-	629	629	-	628	628	-	637	637	-
1983-1987	694	698	-	663	673	1	679	683	1	683	683	-	702	705	-
1988-1992	653	739	13	591	664	12	595	651	9	555	624	12	533	571	7
1993-1997	615	709	15	599	689	15	618	657	6	575	600	4	553	574	4
1998-2002	601	703	17	574	702	22	602	665	11	592	664	12	594	660	11
2003-2007	713	812	14	689	796	16	704	791	12	696	792	14	686	742	8
2008-2012	666	737	11	681	773	13	711	770	8	618	686	11	630	668	6
2013-2016	487	533	10	541	617	14	487	547	12	466	511	10	512	552	8

시설명	냉정저수지			풍전저수지			금마저수지			왕궁저수지			관기저수지	
	과거및 현재	현장 여건 적용	증감 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감 (%)	과거 및 현재	현장여 건 적용
1973-1977	573	573	-	580	580	-	549	549	-	549	549	-	607	607
1978-1982	637	637	-	597	597	-	570	570	-	570	570	-	688	688
1983-1987	702	705	-	659	667	1	683	687	1	683	687	1	738	736
1988-1992	533	585	10	539	668	24	556	541	-3	556	541	-3	690	734
1993-1997	553	586	6	504	605	20	550	537	-2	550	537	-2	602	606
1998-2002	594	678	14	605	792	31	573	552	-4	573	552	-4	764	749
2003-2007	686	775	13	709	867	22	712	691	-3	712	691	-3	792	795
2008-2012	630	695	10	610	722	18	635	609	-4	635	609	-4	598	639
2013-2016	512	570	11	478	533	12	462	470	2	462	470	2	594	614

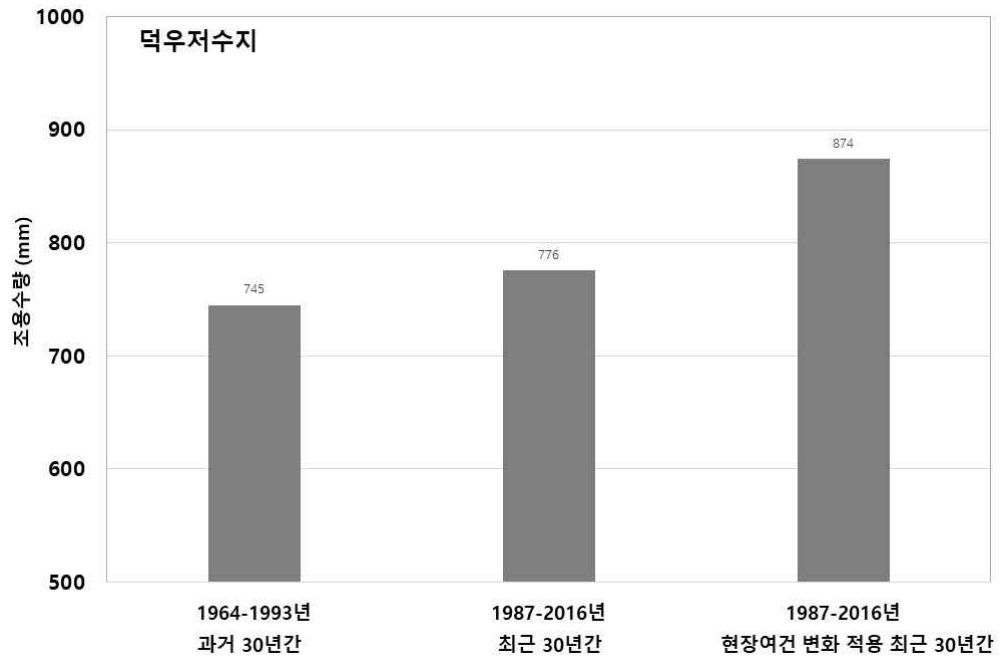
시설명	제산저수지			개운저수지			덕곡수지		
	과거및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)
1973-1977	668	668	-	591	591	-	637	637	-
1978-1982	670	670	-	653	653	-	745	745	-
1983-1987	744	764	3	731	731	-	734	734	-
1988-1992	682	800	17	610	633	4	699	752	8
1993-1997	555	658	18	599	605	1	599	605	1
1998-2002	721	855	19	606	643	6	786	834	6
2003-2007	782	941	20	768	786	2	769	841	9
2008-2012	645	752	17	651	651	-	640	702	10
2013-2016	605	688	14	492	508	3	644	690	7

제 4 절 이수안전도 분석 시나리오에 따른 필요수량 비교

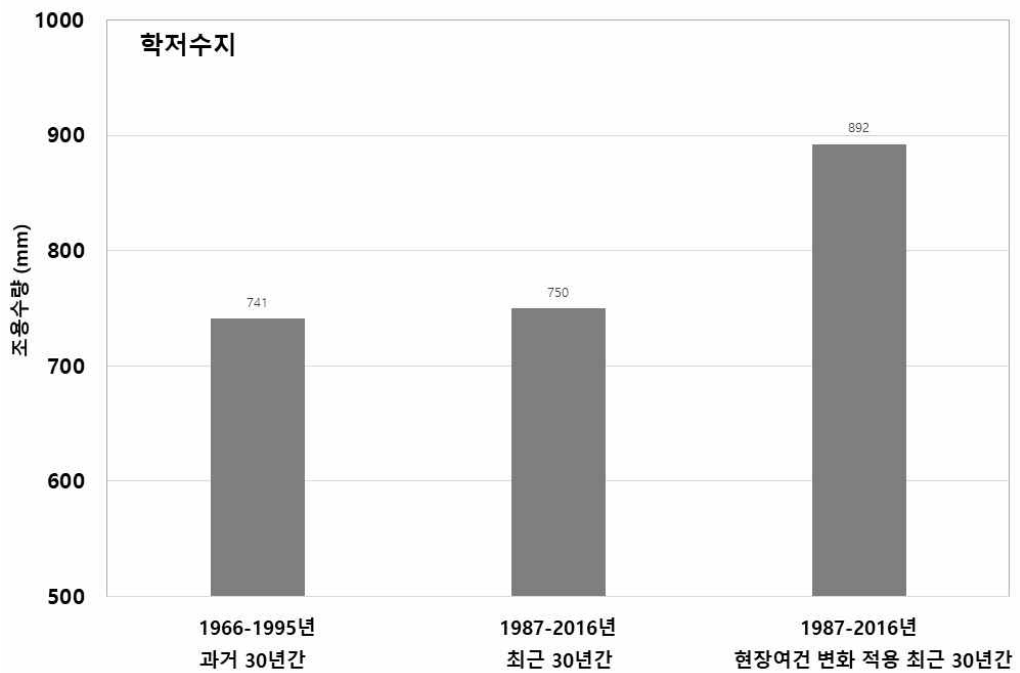
- 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 단위 필요수량을 산정하고 비교하였음.

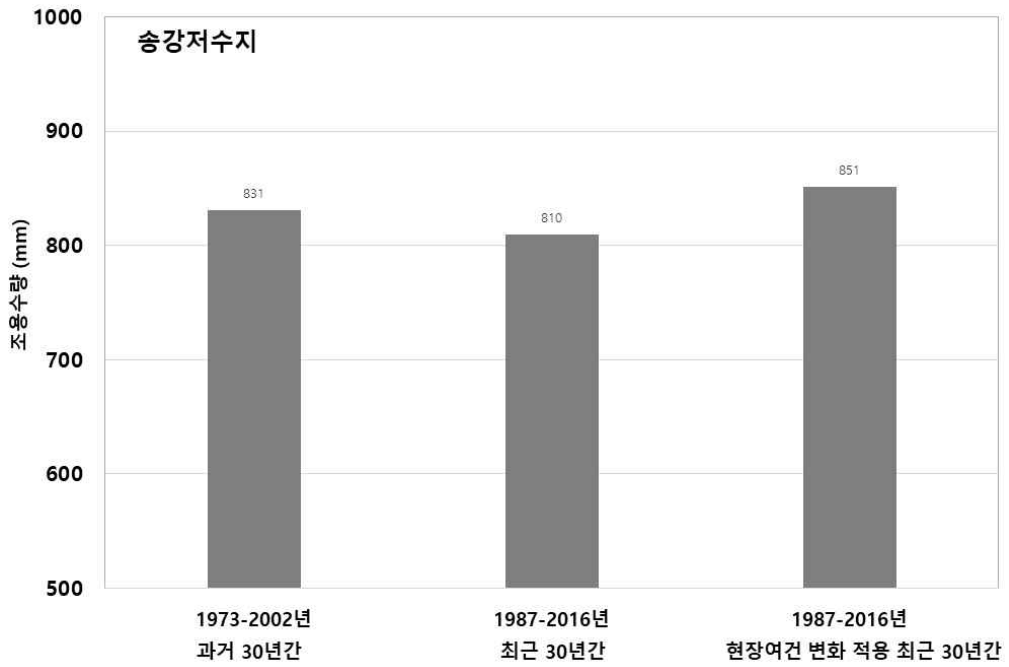


[그림 5.53] 금광저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교

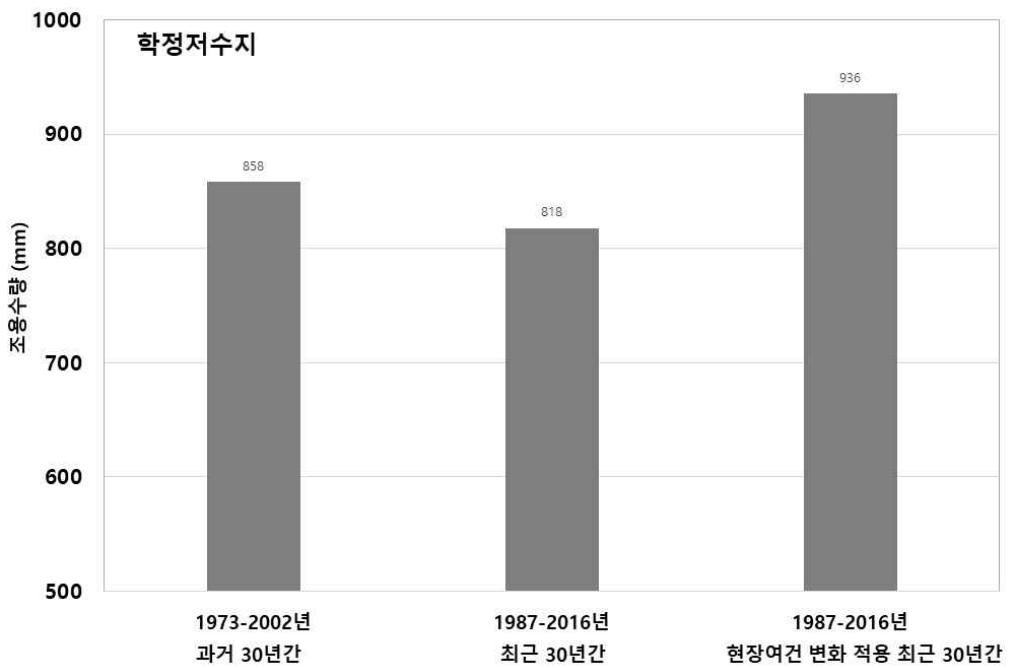


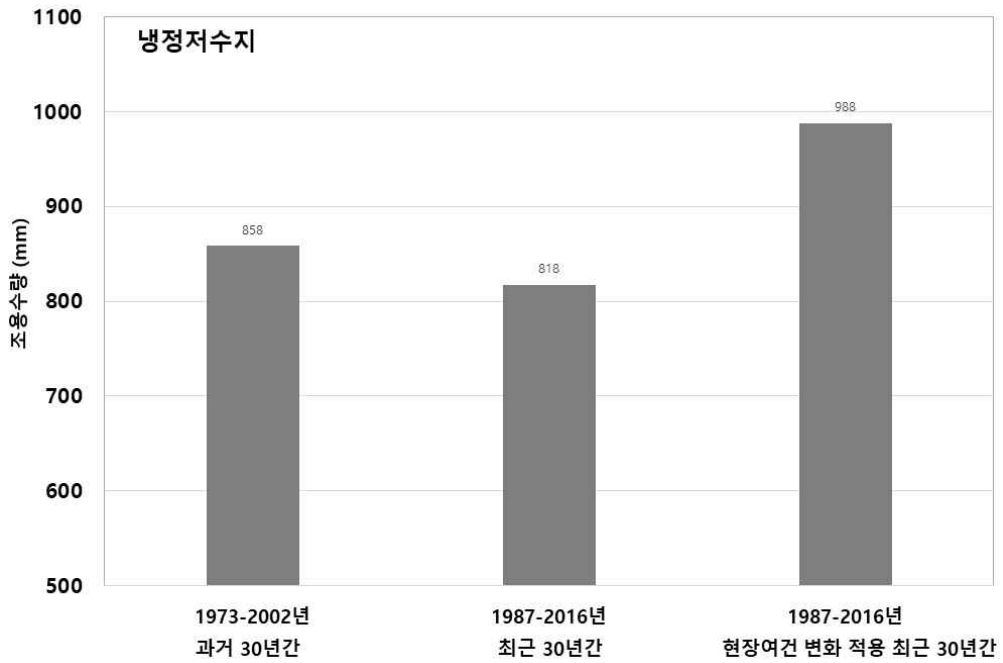
[그림 5.54] 덕우저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교



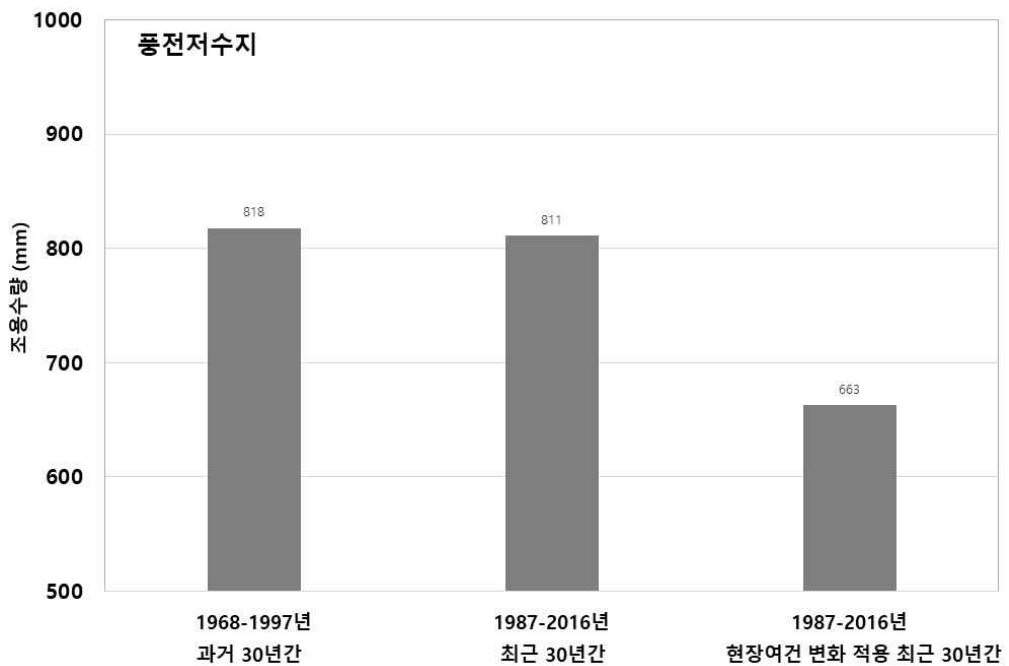


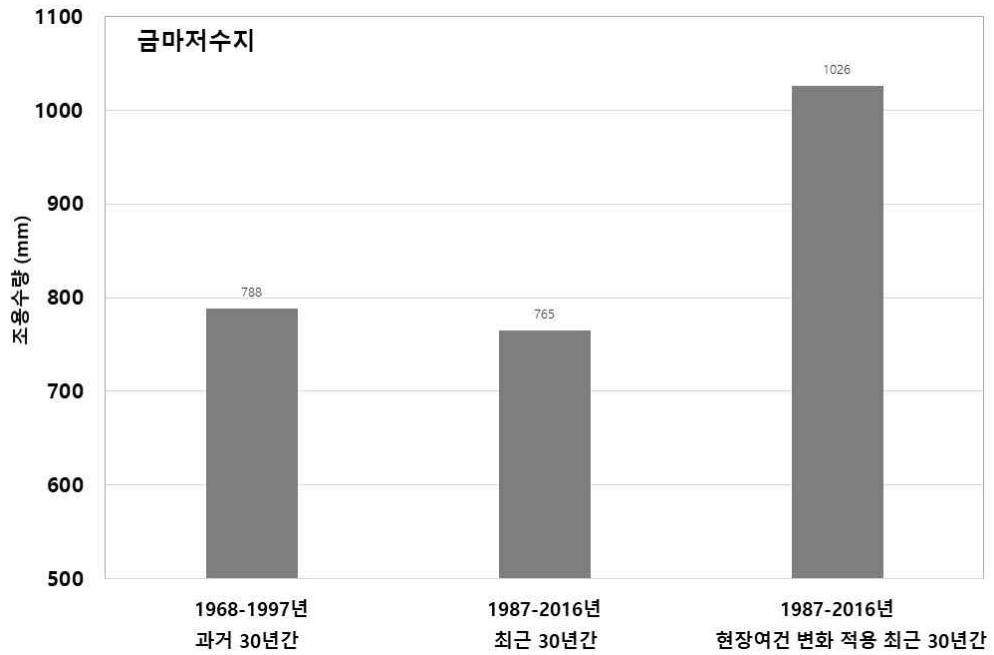
[그림 5.56] 송강저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교



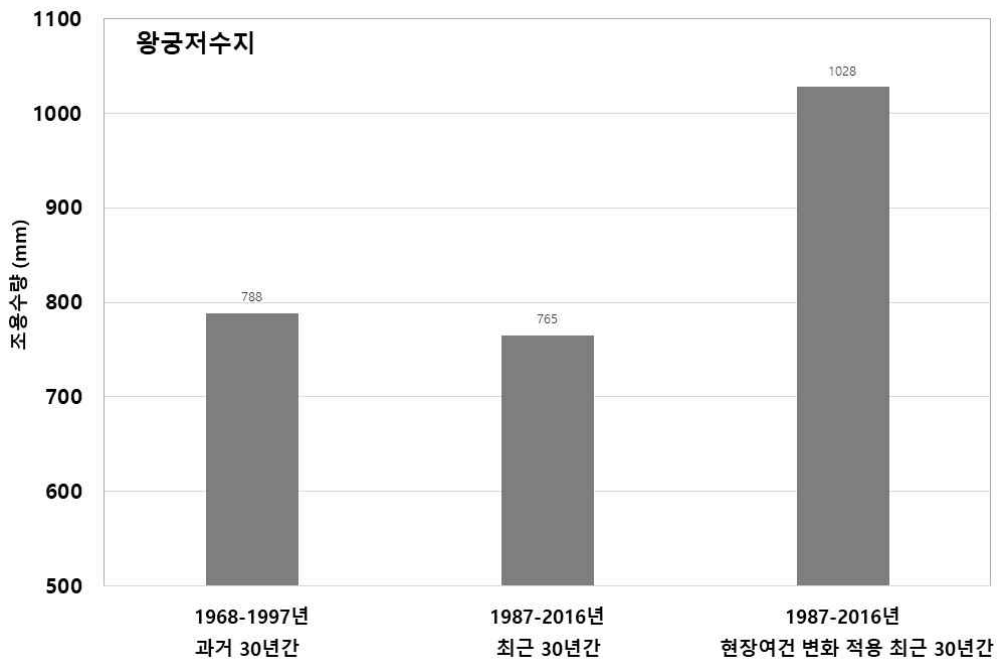


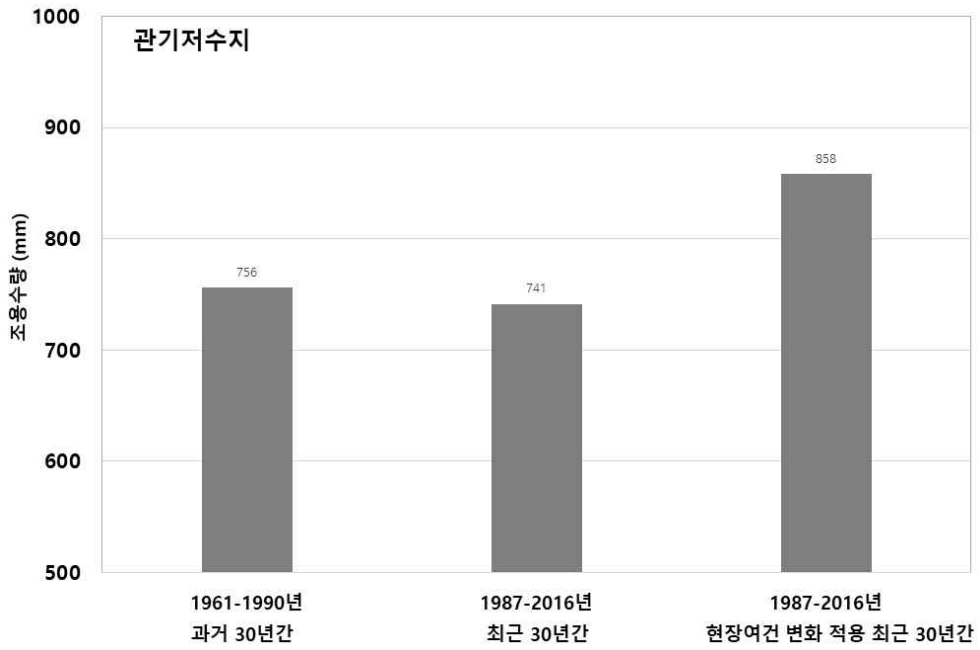
[그림 5.58] 냉정저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교



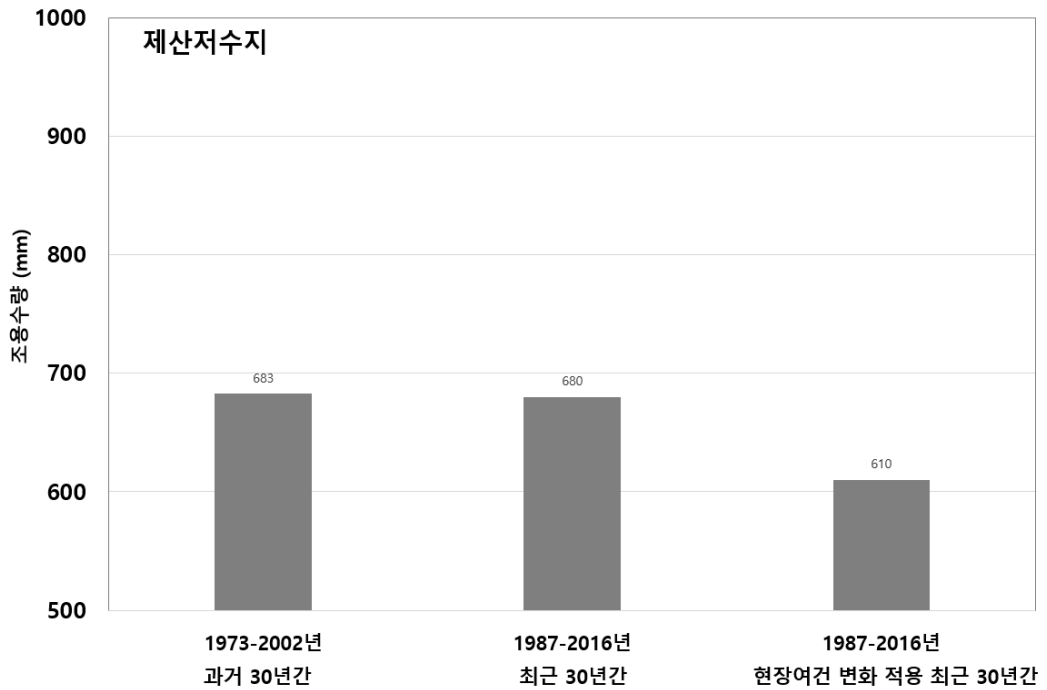


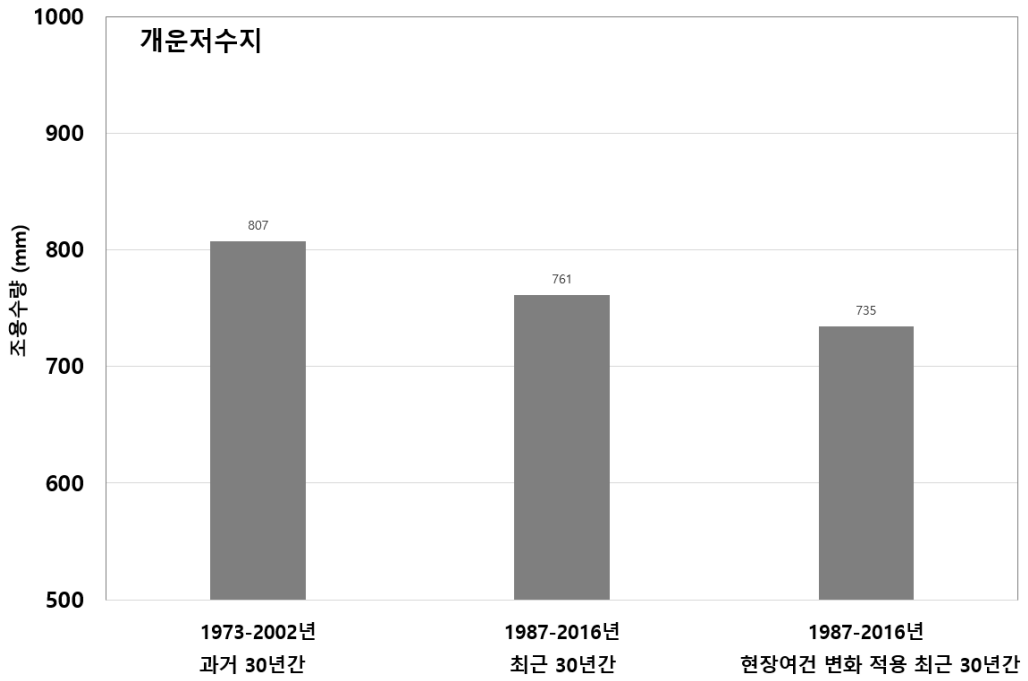
[그림 5.60] 금마저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교



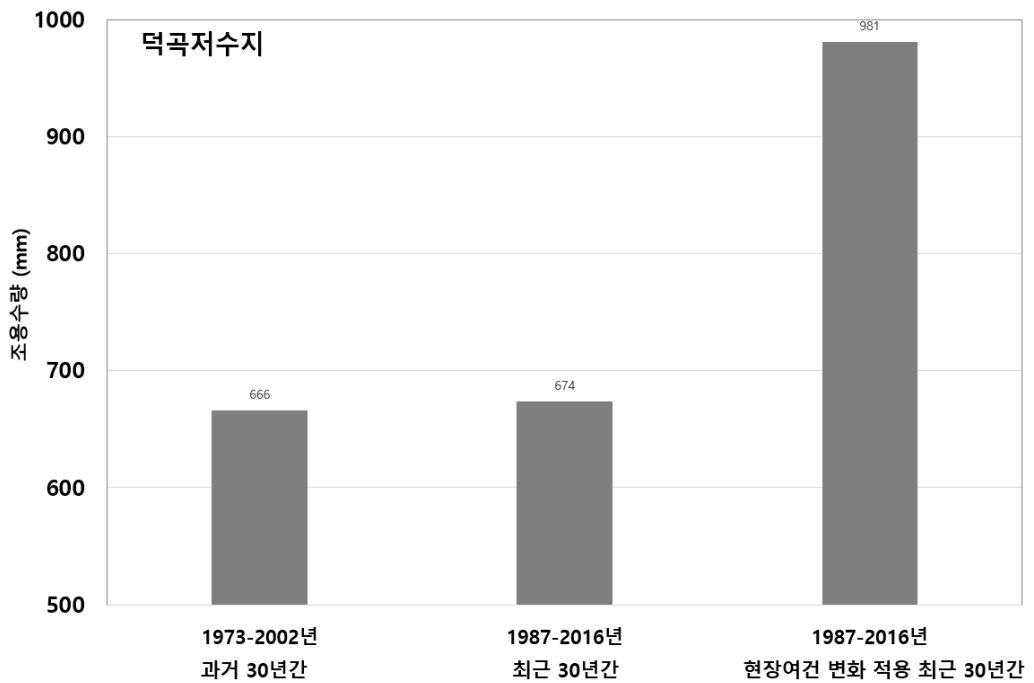


[그림 5.62] 관기저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교



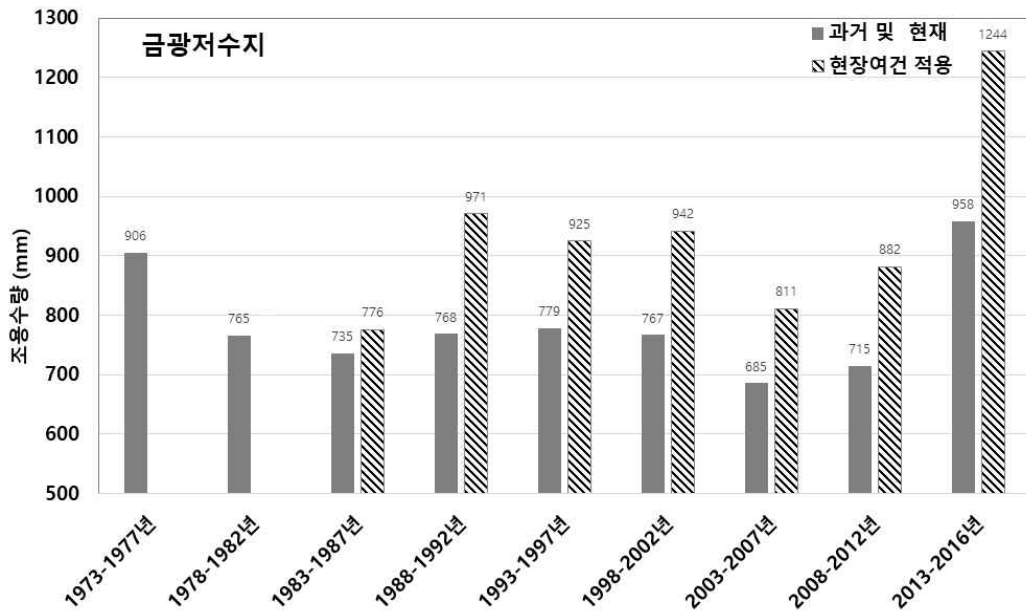


[그림 5.64] 개운저수지 30년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교

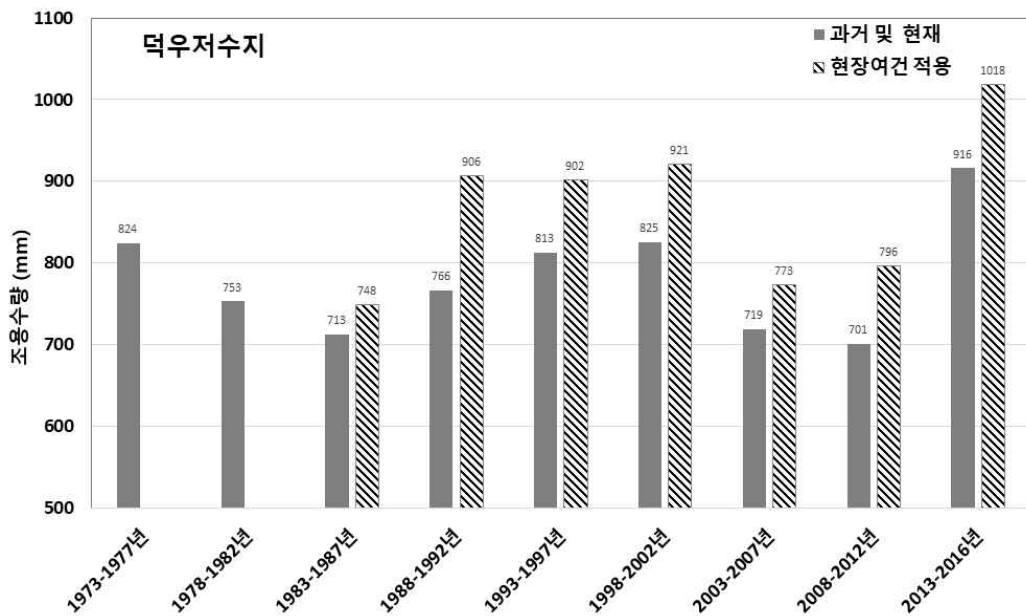


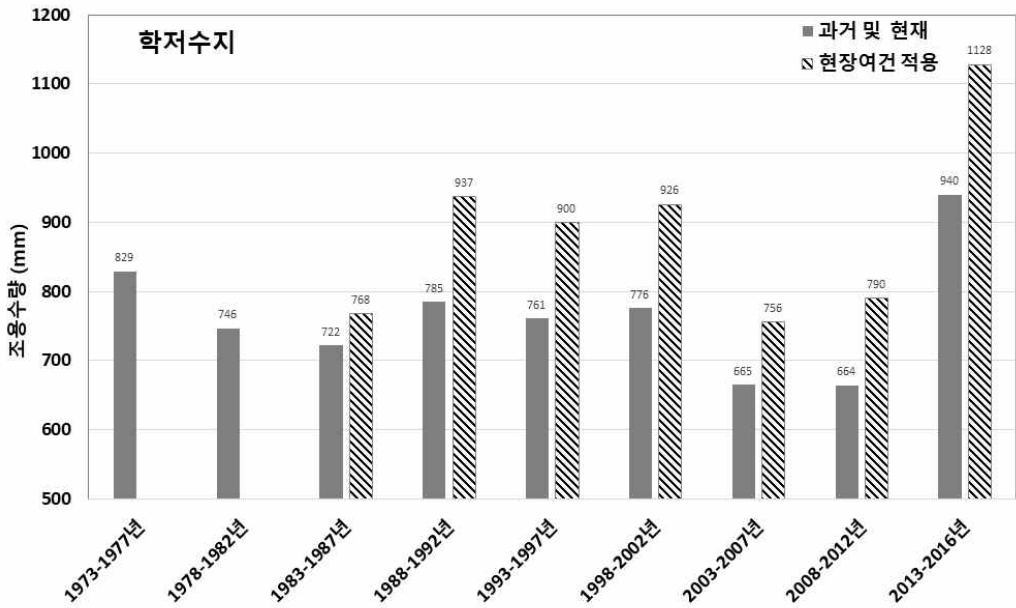
[표 5.6] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 연평균 조용수량 비교

	시설코드	조용수량(mm)					
		과거 30년		최근 30년		현장여건 적용 최근 30년	
				1987-2016	증감(%)	1987-2016	증감(%)
금광	4155010012	1973-2002	787	762	-3	943	24
덕우	4175010015	1964-1993	745	776	4	874	13
학	4278010011	1966-1995	741	750	1	892	19
송강	4313010080	1973-2002	831	810	-3	851	5
학정	4413010022	1973-2002	858	818	-5	936	14
냉정	4420010041	1973-2002	858	818	-5	988	21
풍전	4421010017	1968-1997	818	811	-1	663	-18
금마	4514010093	1968-1997	788	765	-3	1,026	34
왕궁	4514010130	1968-1997	788	765	-3	1,028	34
관기	4613010031	1961-1990	756	741	-2	858	16
제산	4680010086	1973-2002	683	680	0	610	-10
개운	4725010004	1973-2002	807	761	-6	735	-3
덕곡	4824010077	1973-2002	666	674	1	981	46

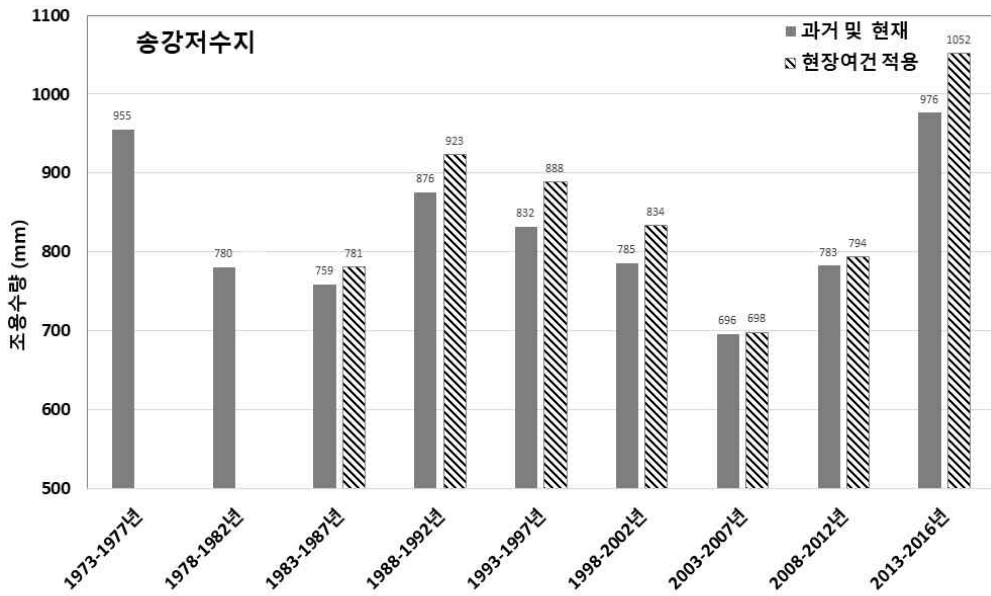


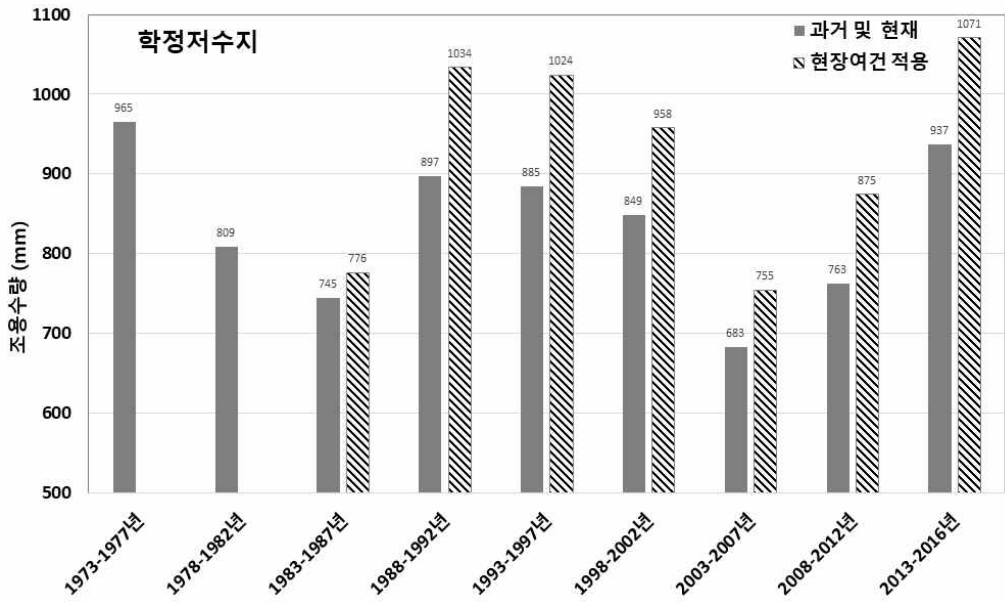
[그림 5.66] 금광저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교



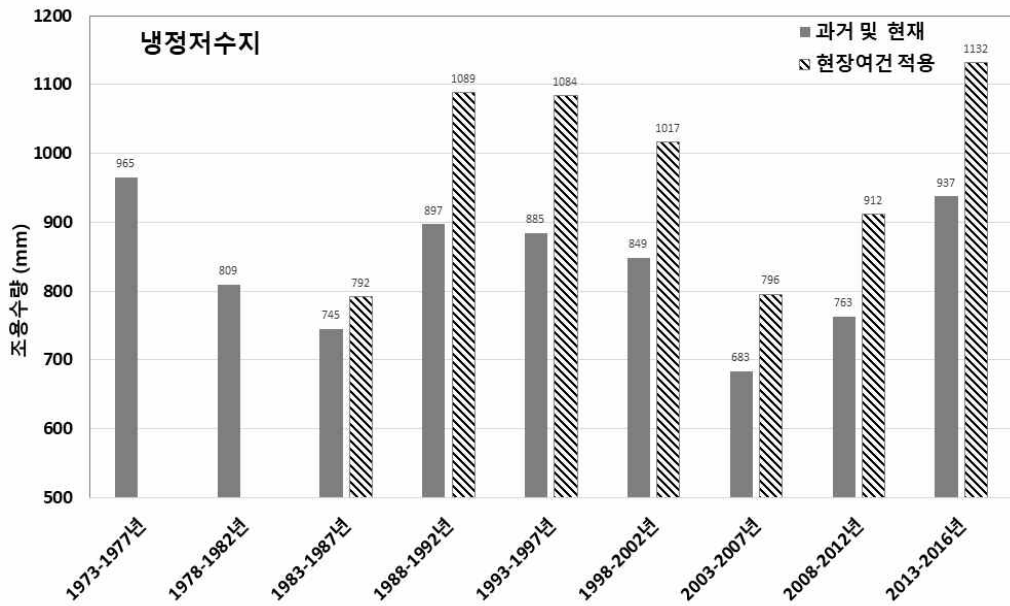


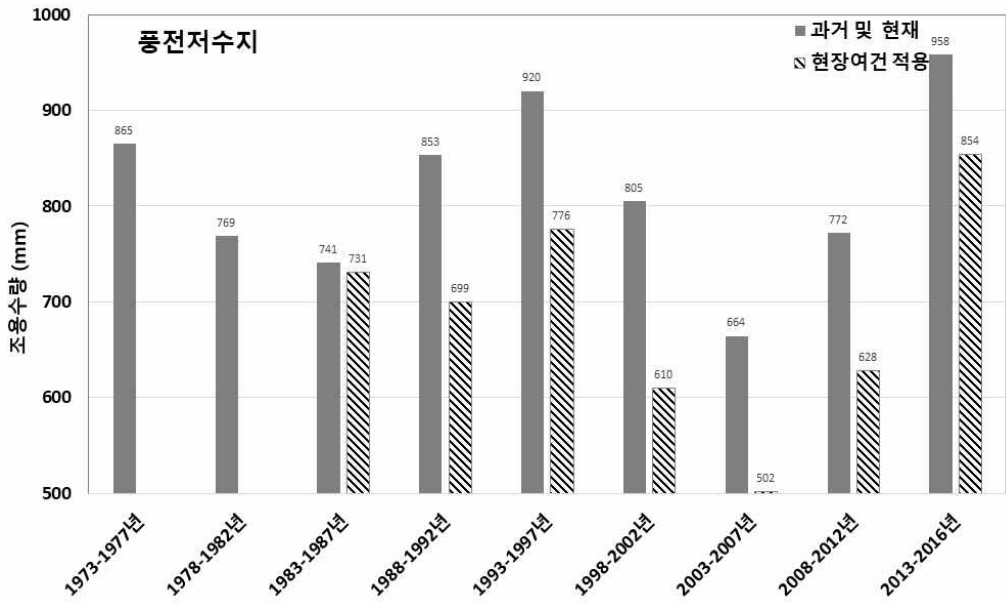
[그림 5.68] 학저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교



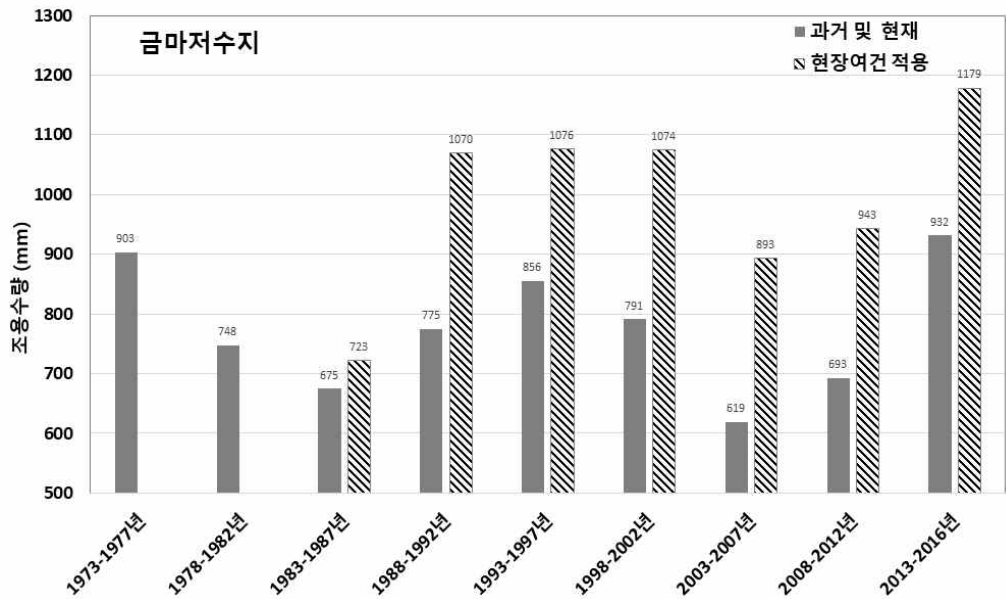


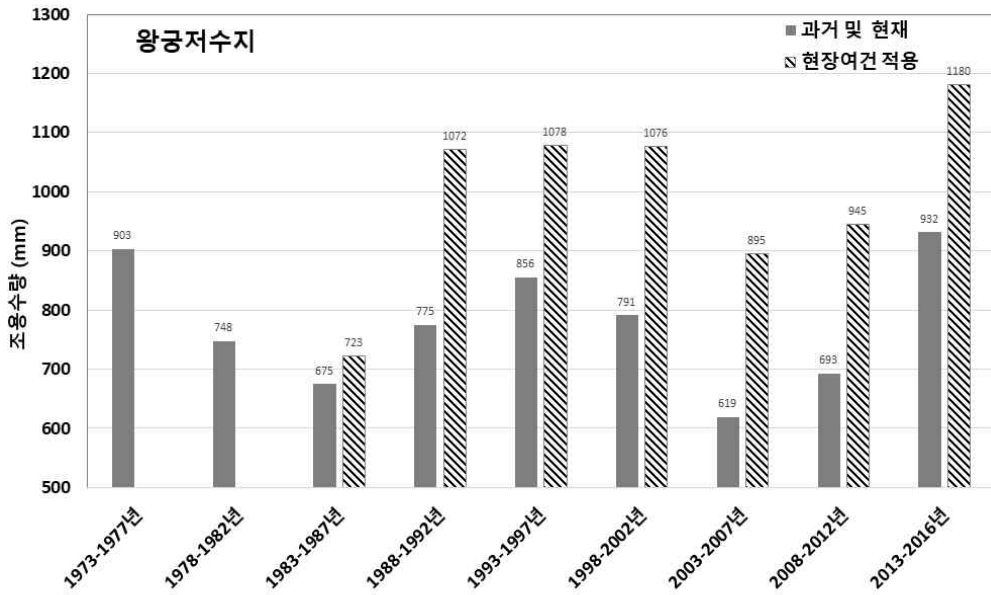
[그림 5.70] 학정저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교



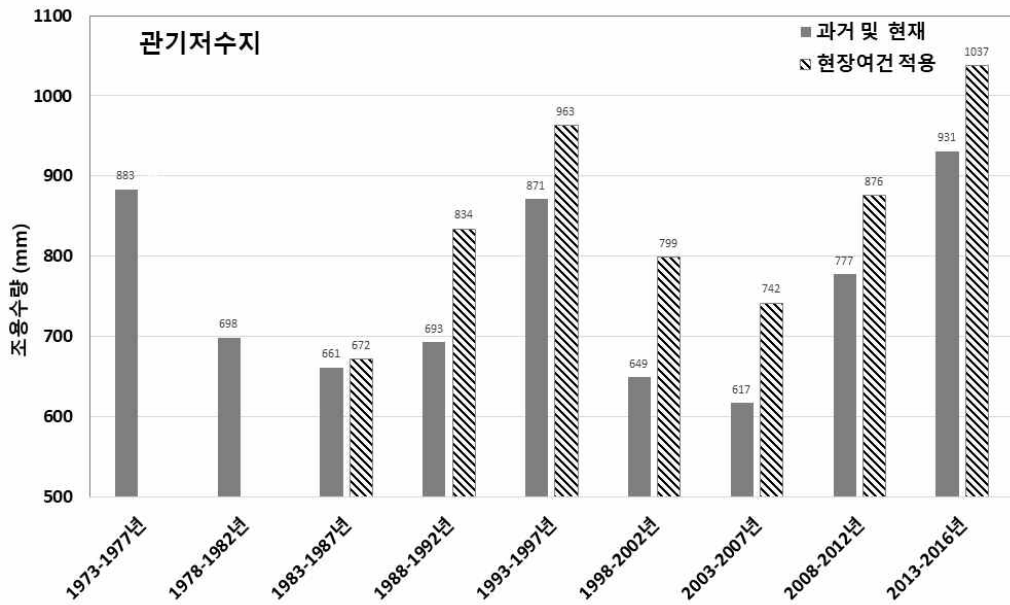


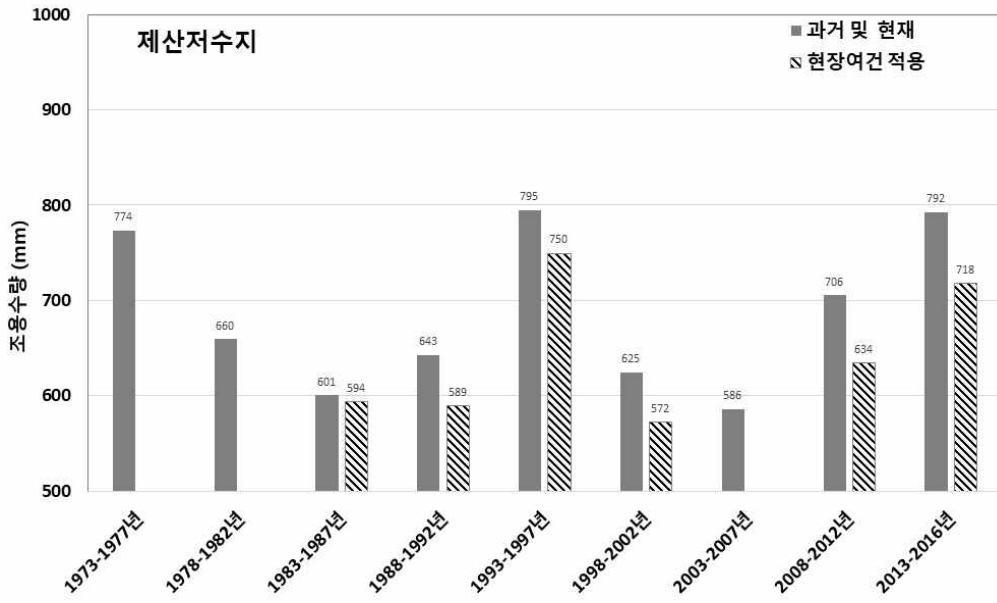
[그림 5.72] 풍전저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교



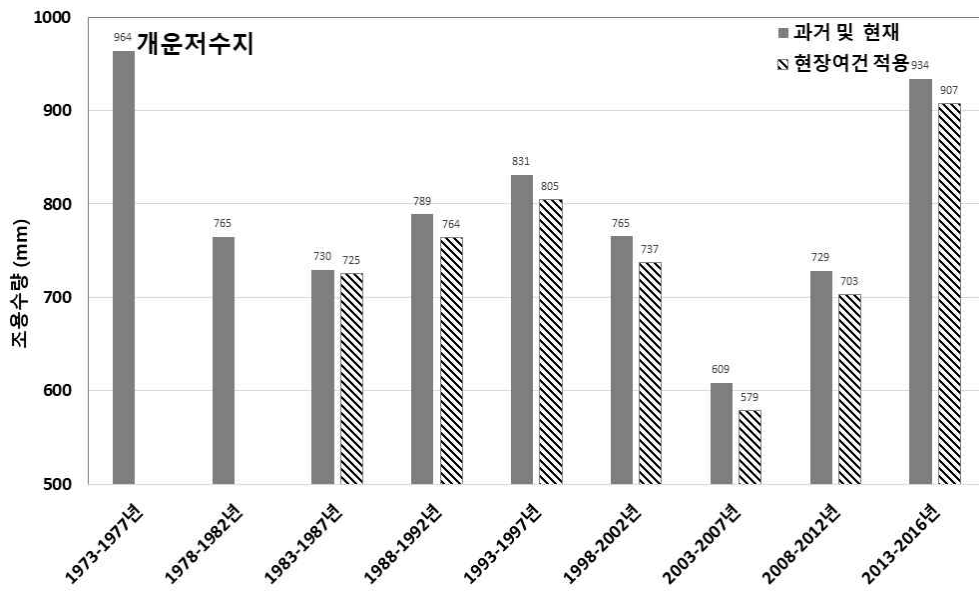


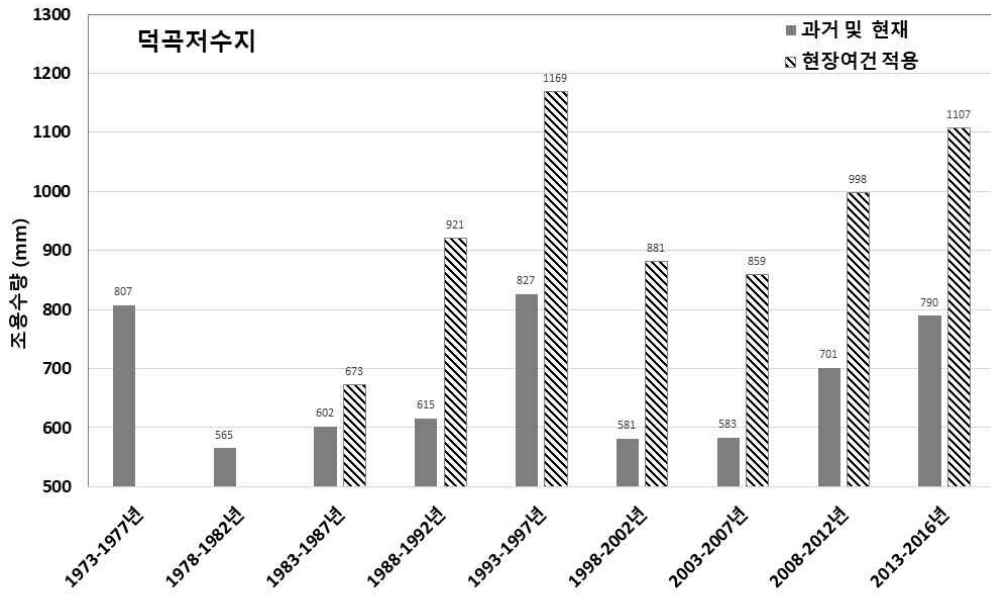
[그림 5.74] 왕궁저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교





[그림 5.76] 제산저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교





[그림 5.78] 덕곡저수지 5년 단위 시나리오별 연평균 조용수량 비교

[표 5.7] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 5년 단위 연평균 조용수량 비교

시설명	금광저수지			덕우저수지			학저수지			송강저수지			학정저수지	
	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여 건 적용
1973-1977	906	906	-	824	824	-	829	829	-	955	955	-	965	965
1978-1982	765	765	-	753	753	-	746	746	-	780	780	-	809	809
1983-1987	735	776	+6	713	748	+5	722	768	+6	759	781	+3	745	776
1988-1992	768	971	+26	766	906	+18	785	937	+19	876	923	+5	897	1,034
1993-1997	779	925	+19	813	902	+11	761	900	+18	832	888	+7	885	1,024
1998-2002	767	942	+23	825	921	+12	776	926	+19	785	834	+6	849	958
2003-2007	685	811	+18	719	773	+8	665	756	+14	696	698	-	683	755
2008-2012	715	882	+23	701	796	+14	664	790	+19	783	794	+1	763	875
2013-2016	958	1244	+30	916	1,018	+11	940	1,128	+20	976	1,052	+8	937	1,071

시설명	냉정저수지			풍전저수지			금마저수지			왕궁저수지			관기저수지		
	기간 (년)	과거및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용	증감율 (%)
1973-1977	965	965	-	865	865	-	903	903	-	903	903	-	883	883	-
1978-1982	809	809	-	769	769	-	748	748	-	748	748	-	698	698	-
1983-1987	745	792	+6	741	731	-1	675	723	+7	675	723	+7	661	672	+2
1988-1992	897	1,089	+21	853	699	-18	775	1,070	+38	775	1,072	+38	693	834	+20
1993-1997	885	1,084	+23	920	776	-16	856	1,076	+26	856	1,078	+26	871	963	+11
1998-2002	849	1,017	+20	805	610	-24	791	,074	+36	791	1,076	+36	649	799	+23
2003-2007	683	796	+16	664	502	-24	619	893	+44	619	895	+45	617	742	+20
2008-2012	763	912	+20	772	628	-19	693	943	+36	693	945	+36	777	876	+13
2013-2016	937	1,132	+21	958	854	-11	932	1,179	+26	932	1,180	+27	931	1,037	+11

시설명	재산저수지			개운저수지			덕곡수지	
	기간 (년)	과거 및 현재	현장 여건 적용 증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용 증감율 (%)	증감율 (%)	과거 및 현재	현장 여건 적용
1973-1977	774	774	-	964	964	-	807	807
1978-1982	660	660	-	765	765	-	565	565
1983-1987	601	594	-1	730	725	-1	602	673
1988-1992	643	589	-8	789	764	-3	615	921
1993-1997	795	750	-6	831	805	-3	827	1,169
1998-2002	625	572	-8	765	737	-4	581	881
2003-2007	586	455	-22	609	579	-5	583	859
2008-2012	706	634	-10	729	703	-3	701	998
2013-2016	792	718	-9	934	907	-3	790	1,107

- 5년단위 연평균 조용수량을 비교하였을 때 금광저수지, 덕우저수지, 학저수지, 송강저수지, 학정저수지, 냉정저수지, 금마저수지, 왕궁저수지, 관기저수지, 덕곡저수지가 조용수량이 증가함을 알 수 있으며 덕곡저수지가 2013년부터 2016년 조용수량이 40% 증가로 가장 크게 증가함.
- 풍전저수지, 제산저수지, 개운저수지의 경우 조용수량이 감소하며. 풍전저수지가 2013년부터 2016년 조용수량이 11% 감소로 가장 크게 감소함.

제 5 절 과거 대비 현재 이수안전도 분석

- 최근 기상자료를 활용하여 연 최대 필요저수량을 산정하였으며(연간단위 산정), 연 최대 필요저수량 자료의 시계열 자료를 빈도분석을 실시하여 유효저수량과 비교하여 분석하였음
- 과거 및 현재 기상자료를 이용한 경우 연 최대 필요저수량 평균은 금광저수지, 풍전저수지, 왕궁저수지 순서로 크게 나타남. 반면 현재 기상자료와 현장여건 변화를 반영한 경우, 연 최대 필요저수량 평균은 금광저수지, 왕궁저수지, 풍전저수지 순서로 크게 나타남

[표 5.8] 과거 기상자료(1961-1990년, 1973-2002년) 이용한 경우

시설명	유효저수량(천m ³)	연 최대 필요저수량(천m ³)	
		평균	표준편차
금광	12,047	6,418	2,041
덕우	3,547	1,784	692
학	1,426	838	336
송강	1,077	1,008	322
학정	775	745	244
냉정	940	1,546	511
풍전	2,621	2,980	1,027
금마	818	931	421
왕궁	1,941	2,584	1,283
관기	783	958	472
제산	511	578	277
개운	1,180	656	235
덕곡	695	974	570

[표 5.9] 현재 기상자료(1987-2016년) 이용한 경우

시설명	유효저수량(천m ³)	연 최대 필요저수량(천m ³)	
		평균	표준편차
금광	12,047	6,338	2,197
덕우	3,547	1,768	697
학	1,426	850	388
송강	1,077	1,037	381
학정	775	739	256
냉정	940	1,475	553
풍전	2,621	2,866	1,080
금마	818	864	347
왕궁	1,941	2,272	1,019
관기	783	882	351
제산	511	627	244
개운	1,180	643	241
덕곡	695	1,010	539

[표 5.10] 현재 기상자료(1987-2016년)와 현장여건 변화 반영한 경우

시설명	유효저수량(천m ³)	연 최대 필요저수량(천m ³)	
		평균	표준편차
금광	12,047	8,844	2,809
덕우	3,547	1,877	739
학	1,426	825	384
송강	1,077	1,487	605
학정	775	872	307
냉정	940	1,875	648
풍전	2,621	2,043	809
금마	818	1,459	630
왕궁	1,941	4,585	1,863
관기	783	939	398
제산	511	276	174
개운	1,180	582	225
덕곡	695	1,217	551

- 시험지구 이수안전도 분석을 위해 최근 30년 기준(1987-2016년) 기상자료를 활용하여 현재 설계한발빈도를 산정하였음. 아래는 시험지구 내 저수지 시설별 제원을 나타냄

[표 5.11] 시험지구 저수지별 제원

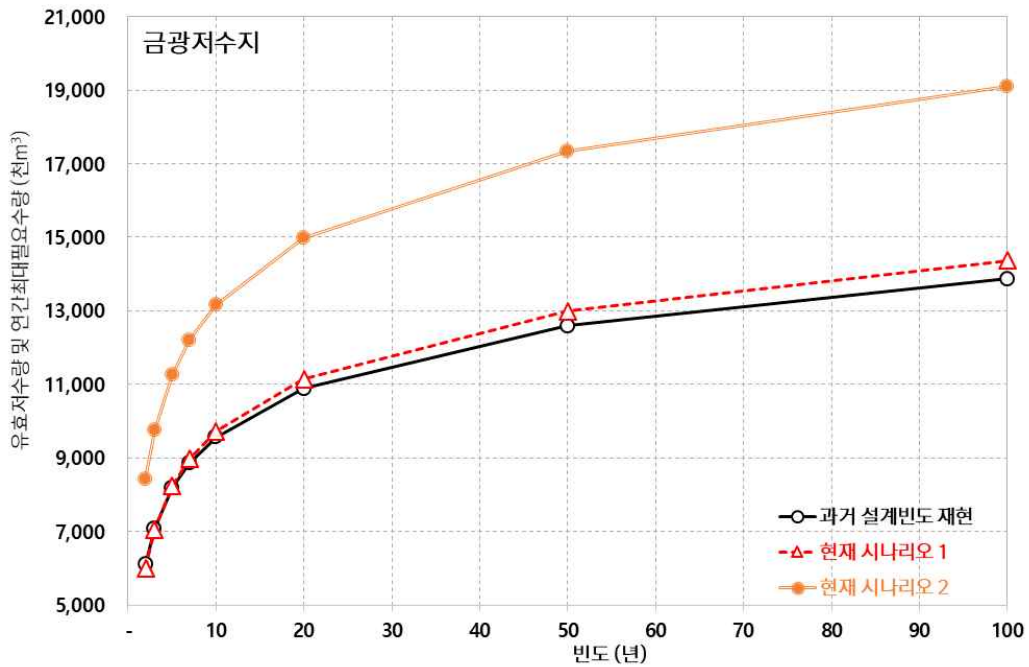
시설명	유효저수량(천m ³)	유역면적(ha)	수혜면적(ha)	유역배율(배)
금광	12,047	4,830	1,906	2.5
덕우	3,547	2,270	573	4.0
학	1,426	2,600	378	6.9
송강	1,077	440	235	1.9
학정	775	706	214	3.3
냉정	940	535	326	1.6
풍전	2,621	1,110	655	1.7
금마	818	452	229	2.0
왕궁	1,941	866	541	1.6
관기	783	365	239	1.5
제산	511	476	203	2.3
개운	1,180	650	203	3.2
덕곡	695	686	312	2.2

- 이수안전도 분석을 위한 시나리오를 과거 설계빈도 재현, 현재시나리오 1, 현재 시나리오 2로 선정하여 비교하였음. 과거 설계빈도 재현 시나리오는 과거 기상자료(1961년~1990년, 1973년~2002년)를 바탕으로 기존의 설계기준에 이용된 기초자료(재배방식, 작부시기, 침투량 등)를 활용하였음. 현재 시나리오 1은 최근 기상자료(1987~2016년)와 기존의 설계기준에 이용된 기초자료를 활용함. 현재 시나리오 2는 최근 기상자료(1987~2016년)에 현장여건 변화 조사 자료를 활용하였음.
- 5년 단위 연평균 비교의 경우, 조용수량은 최근 3-4년간 모든 지역에서 증가하는 경향을 보임. 과거 및 현재 기상 자료를 근거로 한 시나리오보다 현장 여건을 적용한 경우가 더 적게 나타난 지역은 풍전, 제산, 개운 저수지로 나타남. 유효수량은 덕곡 저수지를 제외한 나머지 저수지 지역에서 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임. 과거 및 현재 기상 자료를 근거로 한 시나리오보다 현장 여건을 적용한 경우가 더 적게 나타난 지역은 금마, 왕궁 저수지로 나타남. 유출량은 모든 저수지에서 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.
- 30년 단위 연평균 비교의 경우, 과거 30년간 조용수량 평균에 비해 덕우, 학, 덕곡 저수지는 최근 30년간 증가 경향을 보인 반면 나머지 지역은 감소하는 경향임. 현장여건 변화를 적용한 최근 30년간 조용수량은 풍전, 제산, 개운 저수지를 제외한 나머지 모든 저수지에서 과거 및 현재 시나리오에 비해 모두 높게 나타남. 유효수량은 과거 30년간 자료와 최근 30년간 자료를 비교했을 때, 1% 내외의 미미한 차이의 증감을 보여 거의 차이가 없다고 볼 수 있으며, 과거 및 현재 기상 자료를 근거로 한 시나리오보다 현장 여건을 적용한 경우가 더 적게 나타난 지역은 금마, 왕궁 저수지로 나타남. 최근 3-4년간 유출량은 모든 저수지에서 증가하는 경향을 보임.

- 취약지구로 선정된 지역의 각 저수지별로 기상 변화의 패턴과 재현 빈도와
의 관계를 비교하였음. 시험지구 이수안전도 분석을 위해 기상자료 및
현장여건 변화 자료를 조합한 2가지 시나리오를 적용하여 현재 설계 한반
빈도를 산정하였음

(1) 금광저수지

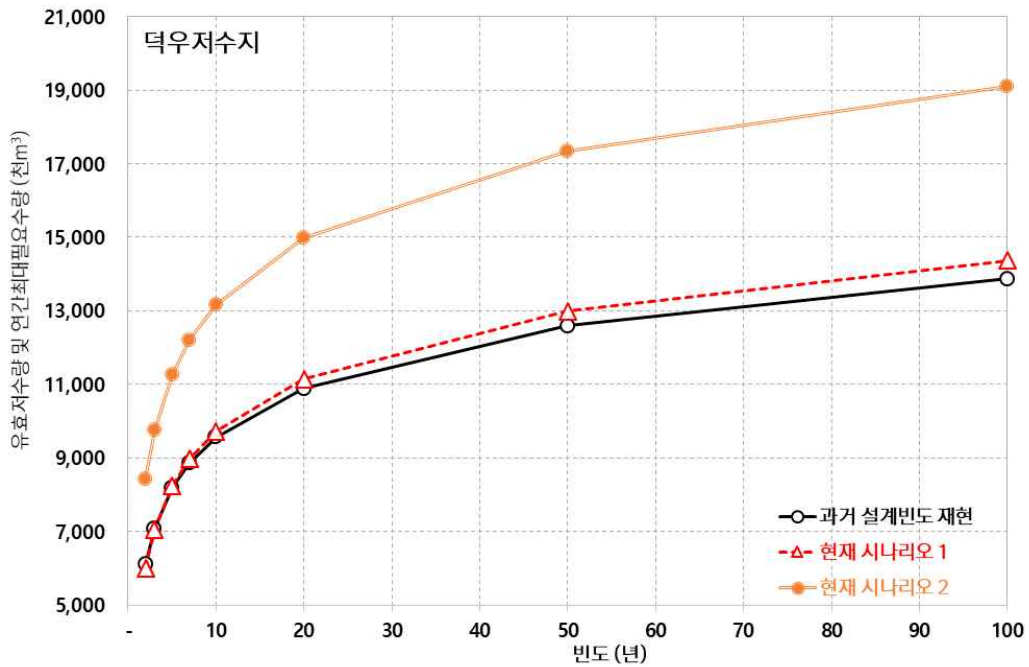
- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 25mm 감소하였으나, 현장여건
변화를 적용한 현재 시나리오에서는 943mm로 과거에 비해 19%(+156mm)
정도 높게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서도 최근 3-4년간 급격히
증가하는 경향을 보이며, 과거 및 현재 기상 자료 적용에 비해 현장여건
을 적용한 경우가 현저히 높게 나타남.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 증가하는 경향을
보임. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간
456mm 감소, 유출율 8% 감소하는 경향을 보임.
- 유효수량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 7mm 감소하였
으나 현장여건을 적용하였을 경우 718mm로 가장 높게 나타남. 5년 단위
연평균 유효수량을 살펴보았을 때, 현장 여건을 적용한 경우 과거 및 현
재 시나리오에 비해 유효수량이 더 크게 나타났고 최근 3-4년간 감소하는
경향을 보임.



[그림 5.79] 금광저수지 이수안전도

(2) 덕우저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 31mm 증가하였고, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 874mm로 과거에 비해 17%(+129mm) 정도 증가하는 것으로 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서도 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보이며, 과거 및 현재 기상 자료 적용에 비해 현장여건을 적용한 경우가 현저히 높게 나타남.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 증가하는 경향을 보임. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 484mm 감소, 유출을 9% 감소하는 경향을 보임.
- 유효수량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 21mm 감소하였으나 현장여건을 적용하였을 경우 715mm로 가장 높게 나타남. 5년 단위 연평균 유효수량을 살펴보았을 때, 현장 여건을 적용한 경우 과거 및 현재 시나리오에 비해 유효수량이 더 크게 나타났고 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.

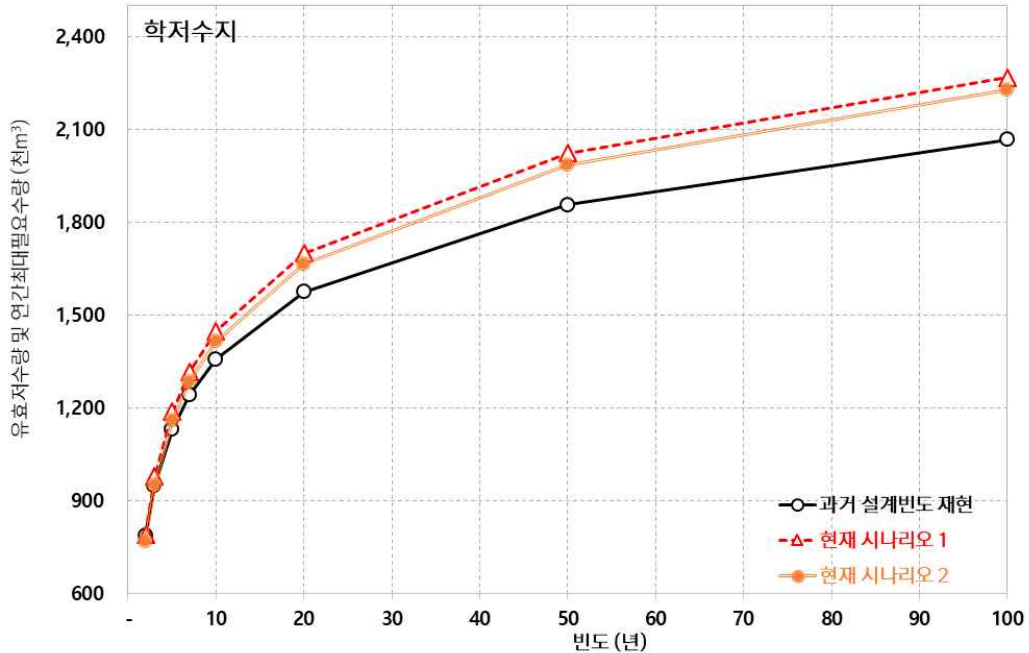


[그림 5.80] 덕우저수지 이수안전도

(3) 학저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 9mm 증가하였고, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 892mm로 과거에 비해 20%(+151mm) 정도 증가하는 것으로 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서도 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보이며, 과거 및 현재 기상 자료 적용에 비해 현장여건을 적용한 경우가 현저히 높게 나타남.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 증가하는 경향을 보임. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 350mm 감소, 유출을 7% 감소하는 경향을 보임.
- 유효수량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 15mm 감소하였으나 현장여건을 적용하였을 경우 690mm로 가장 높게 나타남. 5년 단위 연평균 유효수량을 살펴보았을 때, 현장 여건을 적용한 경우 과거 및 현재 시나리오에 비해 유효수량이 더 크게 나타났고 최근 3-4년간 감소하는

경향을 보임.

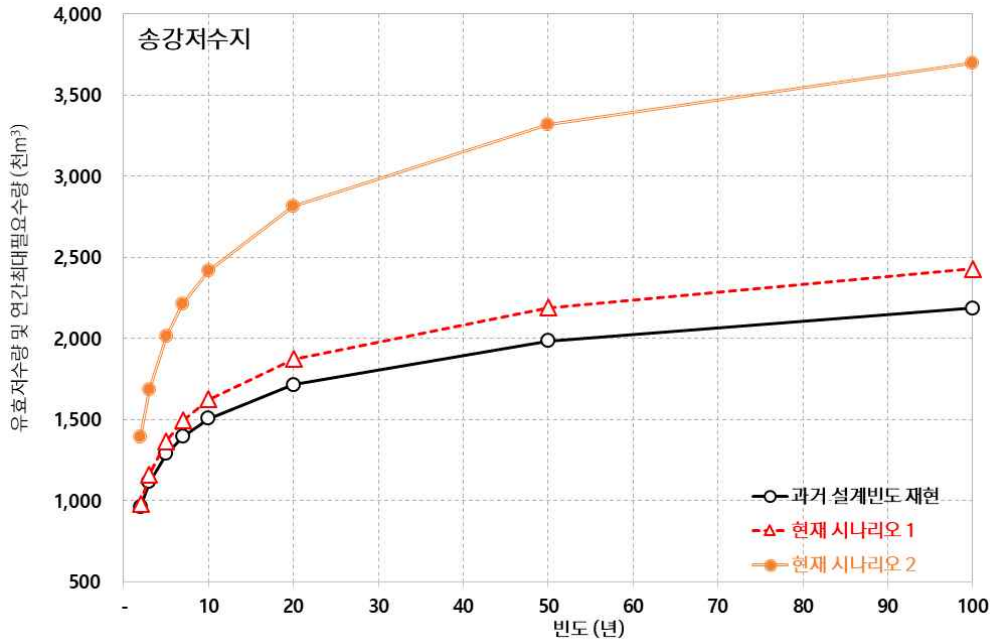


[그림 5.81] 학저수지 이수안전도

(4) 송강저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 21mm 감소하였으나, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 851mm로 과거에 비해 20mm 정도 높게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보이며, 과거 및 현재 기상 자료 적용에 비해 현장여건을 적용한 경우가 현저히 높게 나타남.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 증가하는 경향을 보임. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 284mm 감소, 유출율 6% 감소하는 경향을 보임.
- 유효수량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 3mm 감소하였으나 현장여건을 적용하였을 경우 656mm로 가장 높게 나타남. 5년 단위 연평균 유효수량을 살펴보았을 때, 현장 여건을 적용한 경우 과거 및 현

재 시나리오에 비해 유효우량이 더 크게 나타났고 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.

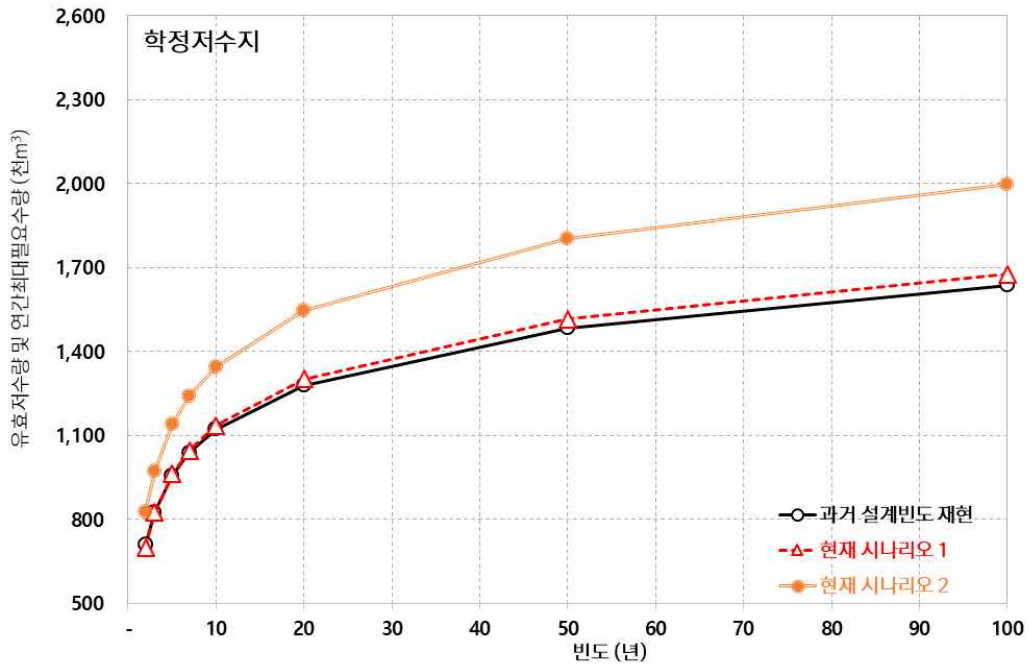


[그림 5.82] 송강저수지 이수안전도

(5) 학정저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 40mm 감소하였으나, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 936mm로 과거에 비해 78mm 정도 높게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보이며, 과거 및 현재 기상 자료 적용에 비해 현장여건을 적용한 경우가 현저히 높게 나타남.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 평균값이 3mm 더 높게 나타남. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 245mm 감소, 유출율 5% 감소하는 경향을 보임.
- 유효우량은 30년 단위로 과거와 최근 30년간 평균값이 1mm 차이로 비슷하게 나타났으며, 현장여건을 적용하였을 경우 640mm로 가장 높게 나타

남. 5년 단위 연평균 유효우량을 살펴보았을 때, 현장 여건을 적용한 경우 과거 및 현재 시나리오에 비해 유효우량이 더 크게 나타났고 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.

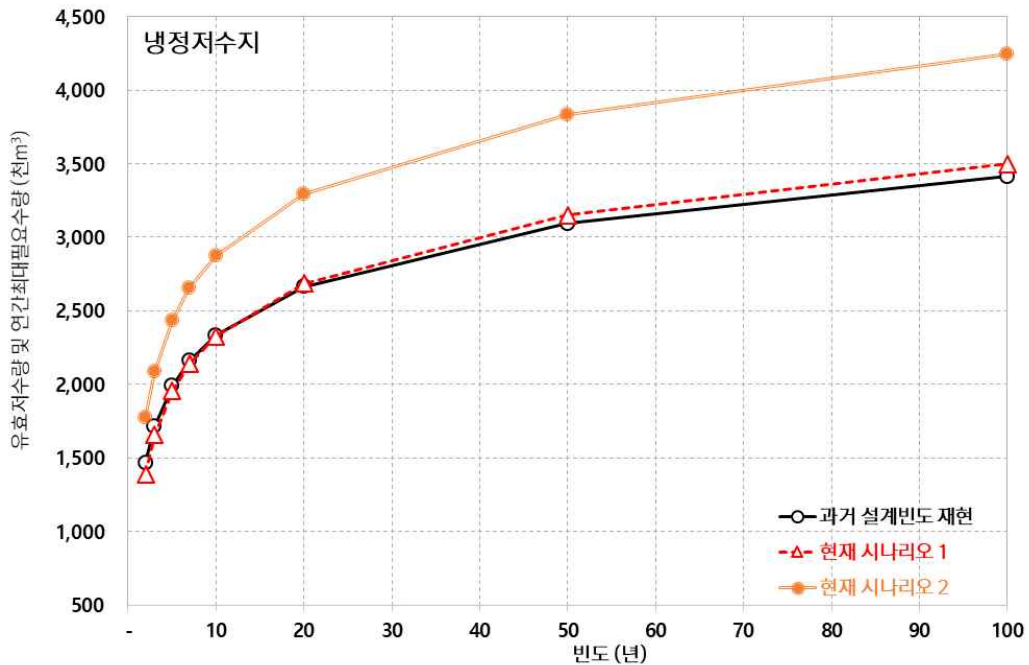


[그림 5.83] 학정저수지 이수안전도

(6) 냉정저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 40mm 감소하였으나, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 988mm로 과거에 비해 130mm 정도 높게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보이며, 과거 및 현재 기상 자료 적용에 비해 현장여건을 적용한 경우가 현저히 높게 나타남.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 평균값과 13mm 정도 차이로 비슷하게 나타남. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 243mm 감소, 유출율 5% 감소하는 경향을 보임.

- 유효우량은 30년 단위로 과거와 최근 30년간 평균값이 1mm 차이로 비슷하게 나타났으며, 현장여건을 적용하였을 경우 660mm로 가장 높게 나타남. 5년 단위 연평균 유효우량을 살펴보았을 때, 현장 여건을 적용한 경우 과거 및 현재 시나리오에 비해 유효우량이 더 크게 나타났고 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.



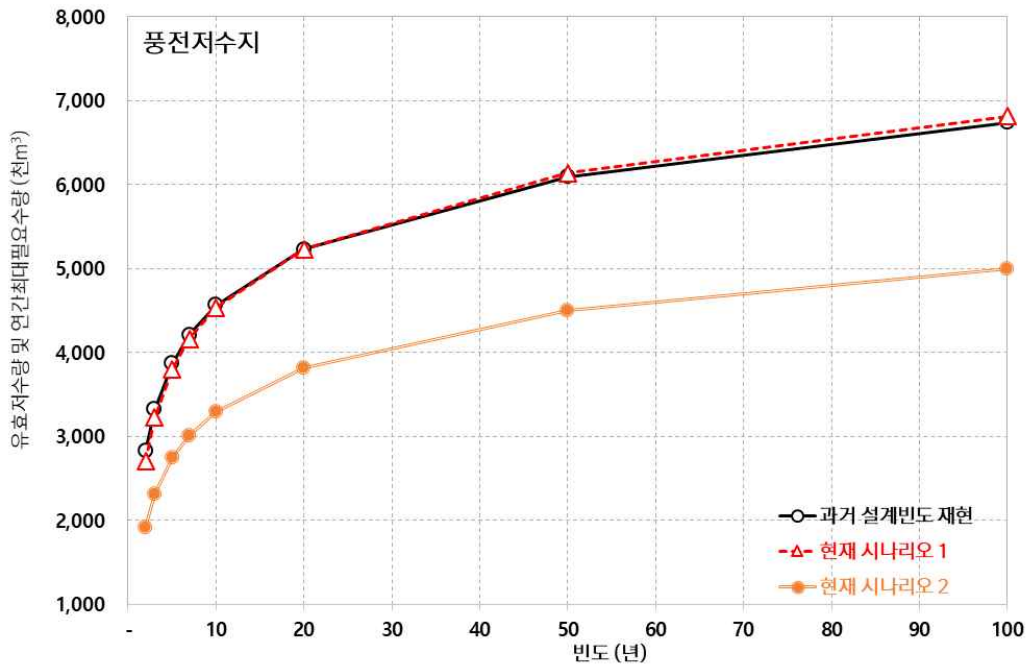
[그림 5.84] 냉정저수지 이수안전도

(7) 풍전저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 7mm 감소하였고, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 663mm로 가장 낮게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보이며, 과거 및 현재 기상 자료 적용에 비해 현장여건을 적용한 경우가 낮게 나타남.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년 평균값이 68mm 정도 높게 나타남. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근

3-4년간 429mm 감소, 유출율 8% 감소하는 경향을 보임.

- 유효우량은 30년 단위로 과거와 최근 30년간 평균값이 3mm 차이로 비슷하게 나타났으나, 현장여건을 적용한 경우 710mm로 가장 높게 나타남. 5년 단위 연평균 유효우량을 살펴보았을 때, 현장 여건을 적용한 경우 과거 및 현재 시나리오에 비해 유효우량이 높게 나타났고 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.



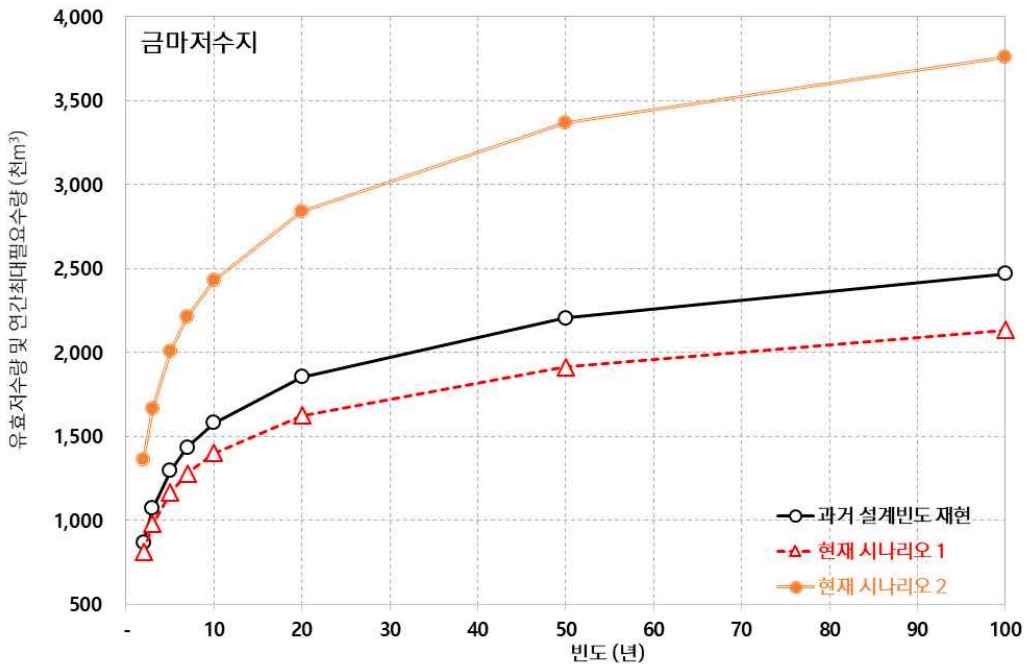
[그림 5.85] 풍전저수지 이수안전도

(8) 금마저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 23mm 감소하였으나, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 1,026mm로 과거에 비해 238mm 정도 높게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보이며, 과거 및 현재 기상 자료 적용에 비해 현장여건을 적용한 경우가 현저히 높게 나타남.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 평균값이 61mm

더 높게 나타남. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 185mm 감소, 유출율 4% 감소하는 경향을 보임.

- 유효우량은 30년 단위로 과거와 최근 30년간 평균값이 2mm 차이로 비슷하게 나타났으며, 현장여건을 적용하였을 경우 576mm로 가장 낮게 나타남. 5년 단위 연평균 유효우량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.



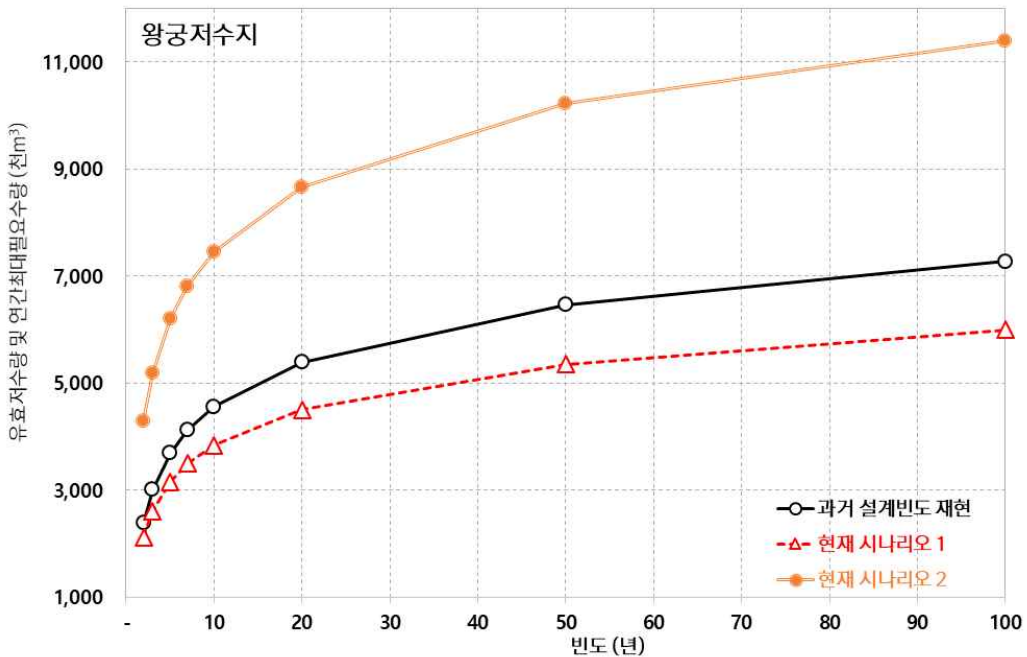
[그림 5.86] 금마저수지 이수안전도

(9) 왕궁저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 23mm 감소하였으나, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 1,028mm로 과거에 비해 30%(+240mm) 정도 높게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보임.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 증가하는 경향을 보임. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간

186mm 감소, 유출율 4% 감소하는 경향을 보임.

- 유효우량은 30년 단위로 과거와 최근 30년간 평균값이 2mm 차이로 비슷하게 나타났으며, 현장여건을 적용하였을 경우 576mm로 가장 낮게 나타남. 5년 단위 연평균 유효우량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.

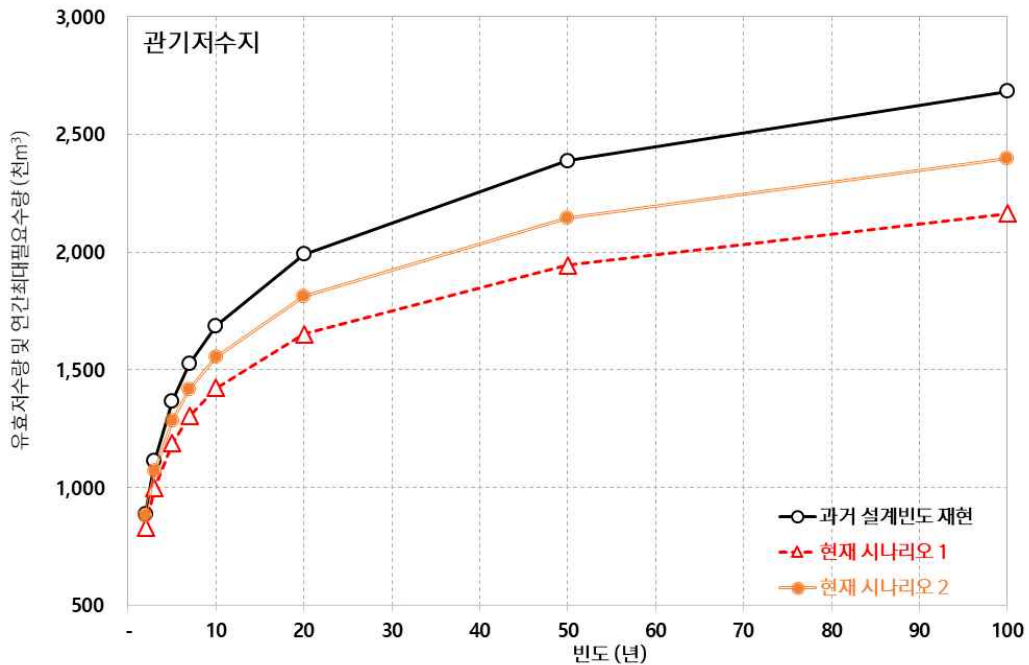


[그림 5.87] 왕궁저수지 이수안전도

(10) 관기저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 15mm 감소하였으나, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 858mm로 과거에 비해 13%(+102mm) 정도 높게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보임.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 증가하는 경향을 보임. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 6mm 감소, 유출율 2% 감소하는 경향을 보임.

- 유효우량은 30년 단위로 과거와 최근 30년간 평균값이 11mm 차이로 최근 30년간 평균이 높게 나타났으며, 현장여건을 적용하였을 경우 698mm로 가장 높게 나타남. 5년 단위 연평균 유효우량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.

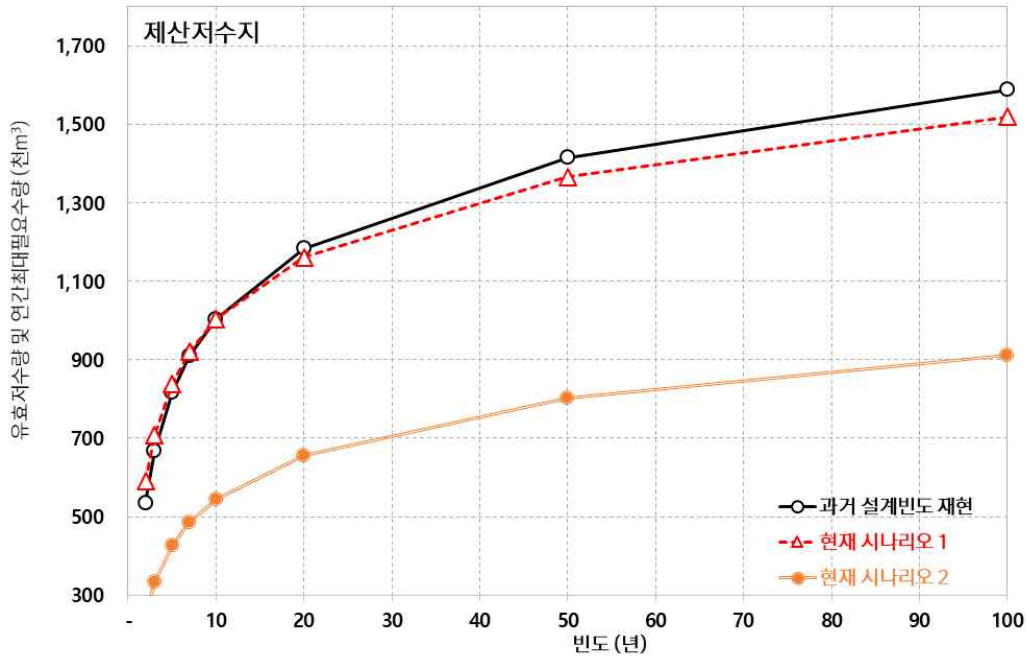


[그림 5.88] 관기저수지 이수안전도

(11) 제산저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 3mm 감소하였고, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 610mm로 과거에 비해 10%(-73mm) 정도 낮게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 증가하는 경향을 보이며, 현장여건 변화를 적용한 경우 낮게 나타남.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 증가하는 경향을 보임. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 132mm 감소, 유출율 2% 감소하는 경향을 보임.

- 유효우량은 30년 단위로 과거와 최근 30년간 평균값이 1mm 차이로 비슷하게 나타났으며, 현장여건을 적용하였을 경우 789mm로 가장 높게 나타남. 5년 단위 연평균 유효우량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.

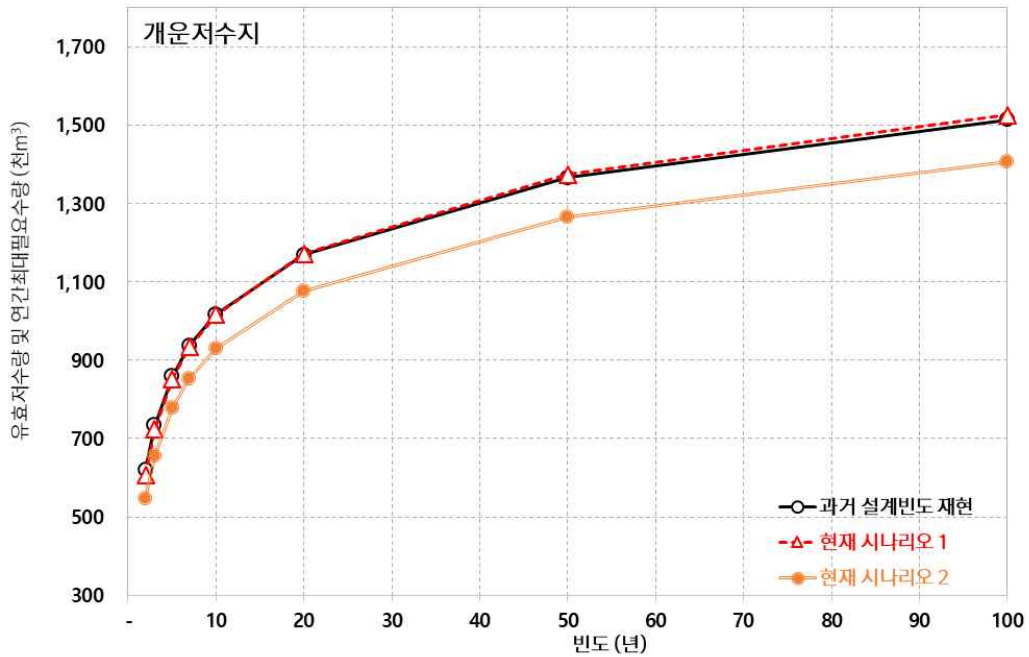


[그림 5.89] 제산저수지 이수안전도

(12) 개운저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 46mm 감소하였고, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 735mm로 과거에 비해 -72mm 정도 낮게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보임.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 증가하는 경향을 보임. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 184mm 감소, 유출을 4% 감소하는 경향을 보임.
- 유효우량은 30년 단위로 과거와 최근 30년간 평균값이 2mm 차이로 비슷

하게 나타났으며, 현장여건을 적용하였을 경우 651mm로 가장 높게 나타남. 5년 단위 연평균 유효우량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 감소하는 경향을 보임.

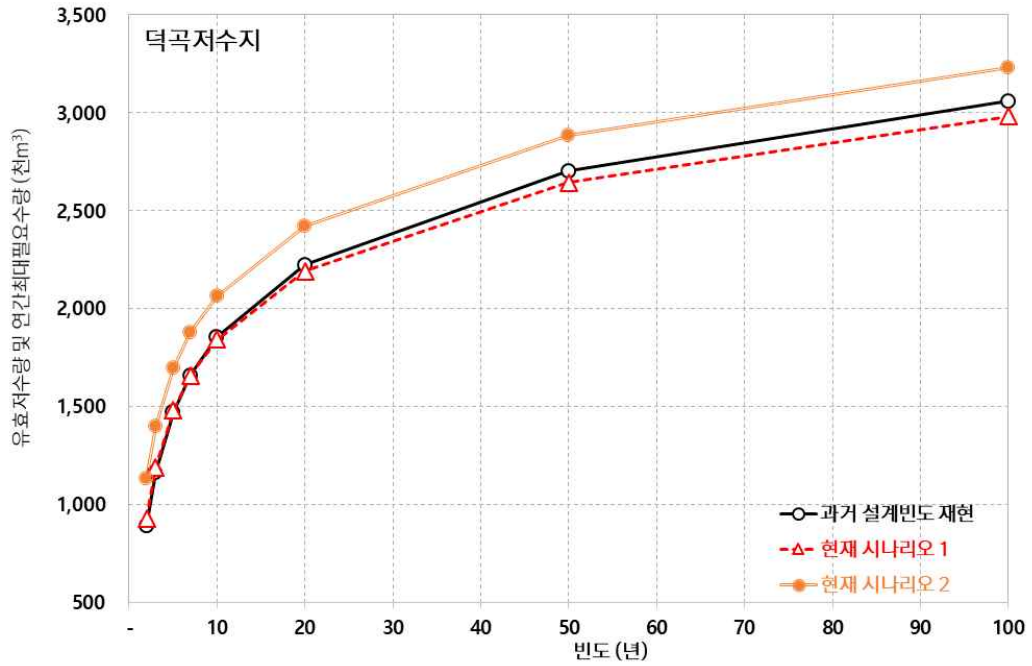


[그림 5.90] 개운저수지 이수안전도

(13) 덕곡저수지

- 조용수량은 과거 30년에 비해 최근 30년간 8mm 증가하였고, 현장여건 변화를 적용한 현재 시나리오에서는 981mm로 과거에 비해 47%(+315mm) 정도 높게 나타남. 5년 단위 연평균 조용수량에서는 최근 3-4년간 급격히 증가하는 경향을 보임.
- 유출량은 30년 단위로 과거와 비교했을 때 최근 30년간 증가하는 경향을 보임. 그러나 5년 단위 연평균 유출량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 139mm 감소, 유출율 2% 감소하는 경향을 보임.
- 유효우량은 30년 단위로 과거와 최근 30년간 평균값이 5mm 차이로 최근 30년간 평균이 낮게 나타났으며, 현장여건을 적용하였을 경우 741mm로

가장 높게 나타남. 5년 단위 연평균 유효우량을 살펴보았을 때, 최근 3-4년간 증가하는 경향을 보임.



[그림 5.91] 덕곡저수지 이수안전도

[표 5.12] 최근 30년 강우자료 및 현장조사 자료를 이용한 한발빈도 재평가

시설명	설계 한발 빈도 (년)	유효저 수량 (천m ³)	최대 저수량 평균	최대 저수량 표준 편차	연간최대필요수량					
					2년 빈도 (천m ³)	5년 빈도 (천m ³)	7년 빈도 (천m ³)	10년 빈도 (천m ³)	20년 빈도 (천m ³)	50년 빈도 (천m ³)
금광	10	12,047	8,669	3,416	8,148	11,629	12,765	13,934	16,145	19,006
덕우	5	3,547	1,851	842	1,723	2,581	2,861	3,149	3,694	4,399
학	10	1,426	806	413	743	1,164	1,302	1,443	1,711	2,057
송강	10	1,077	1,385	740	1,273	2,027	2,273	2,526	3,006	3,626
학정	10	775	715	314	667	987	1,091	1,198	1,401	1,664
냉정	10	940	2,002	878	1,868	2,763	3,055	3,355	3,924	4,659
풍전	10	2,621	2,369	904	2,231	3,152	3,453	3,762	4,347	5,105
금마	10	818	1,377	494	1,302	1,805	1,970	2,139	2,458	2,872
왕궁	10	1,941	4,234	1,543	3,999	5,571	6,084	6,612	7,611	8,903
관기	10	783	951	370	895	1,272	1,395	1,521	1,760	2,070
제산	10	511	293	152	270	425	475	527	626	753
개운	10	1,180	572	229	537	770	846	924	1,072	1,263
덕곡	10	695	1,021	467	950	1,426	1,581	1,741	2,043	2,434

[표 5.13] 이수안전도 분석 시나리오에 따른 설계 한발빈도 재평가

시설명	준공년도 (년)	유효 저수량 (천m ³)	연최대 필요수량 (천m ³)	통계연보 한발빈도	과거 이수 안전도	현재	
						기존자료 적용 이수 안전도	현장여건 반영 이수 안전도
금광	1961	12,047	6,508	10년	10년 이상	10년 이상	5~7년
덕우	1949	3,547	1,841	5년	10년 이상	10년 이상	10년 이상
학	1923	1,426	896	10년	10년 이상	10년	7~10년
송강	2005	1,077	1,042	10년	3년	3년	3년
학정	1929	775	751	10년	3년	3년	3년
냉정	1941	940	1,528	10년	2년	2년	2년
풍전	1944	2,621	2,954	10년	2년	2년	3~5년
금마	1941	818	894	10년	2년	3년	2년
왕궁	1931	1,941	2,431	10년	2년	2년	2년
관기	1932	783	886	10년	2년	2년	2년
제산	1946	511	588	10년	2년	2년	2년
개운	1948	1,180	665	10년	10년	10년	10년 이상
덕곡	1958	695	966	10년	2년	2년	2~3년

- 통계연보자료의 경우 대부분의 농업용 저수지는 10년 한발빈도를 갖고 있으며, 이는 설계당시의 계획한발빈도로서, 과거 설계빈도 재현 시나리오와는 상이한 차이를 보였음. 이는 대부분의 농업용 저수지의 준공년도가 1940년대로 당시 기상자료의 부족으로 설계당시의 상황을 재현할 수 없었음.
- 과거 설계빈도 재현 시나리오 (1961년~1990년, 1973년~2002년) 및 현재 시나리오 1 (1987~2016년)의 경우, 동일한 기초자료 (재배방식, 작부시기, 침투량 등)를 활용하였으며, 결과의 차이는 미비했음. 이는 두 시나리오의 경우 사용된 기상자료의 기간이 유사하여 30년간의 이수안전도 산정시 차이가 발생하지 않음.
- 최근 기상자료(1987~2016년) 및 현장여건 변화 조사 자료를 활용한 현재 시나리오 2의 경우, 대부분의 저수지에서 조용수량이 증가하는 경향을 보임. 조용수량이 증가함에 따라, 금광, 학, 개운, 덕곡 저수지에서 이수안전도가 감소하는 경향을 보임. 상대적으로 풍전, 제산, 개운 저수지의 경우 현장여건 변화 조사자료를 활용한 현재 시나리오 2에서 조용수량이 감소하는 경향이 나타나, 이수안전도가 동일하거나 증가하는 것으로 나타남.
- 결론적으로 위의 시범지구는 대부분 가뭄이 극심했던 지구로서 전반적인 이수안전도 분석결과가 왜곡되어 나타난 것으로 사료됨. 대부분 유역배율이 적어서 가뭄상황이 가뭄심도나 가뭄시기에 따라서 상당히 변화가 크게 나타남. 특히 송강저수지 같은 경우 최근 3년 가뭄동안 이러한 영향을 받아 과거기준으로 한발빈도 10년이더라도 최근의 가뭄상황에서는 한발빈도 3년의 결과가 도출된 것으로 사료됨.

제 6 절 현재 대비 미래 이수안전도 분석

1. 기후변화 시나리오를 적용한 미래 물수지 분석

- 기후변화 시나리오를 적용한 미래의 물수지 분석을 수행하기 위하여 APEC 기후변화센터로부터 RCP 4.5 및 8.5 자료를 수집하였고, 강우, 평균기온, 풍속, 상대습도, 일사량 자료를 각각 일별, 월별, 연도별의 시계열로 정리하여 분석하였음



[RCP 4.5 강우량]



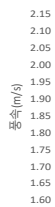
[RCP 8.5 강우량]



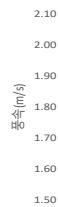
[RCP 4.5 평균기온]



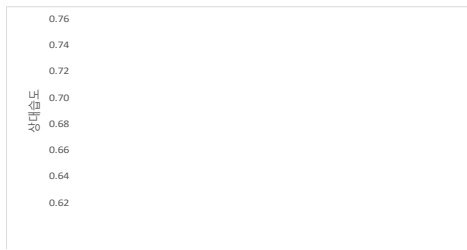
[RCP 8.5 평균기온]



[RCP 4.5 풍속]



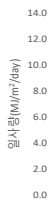
[RCP 8.5 풍속]



[RCP 4.5 상대습도]



[RCP 8.5 상대습도]



[RCP 4.5 일사량]

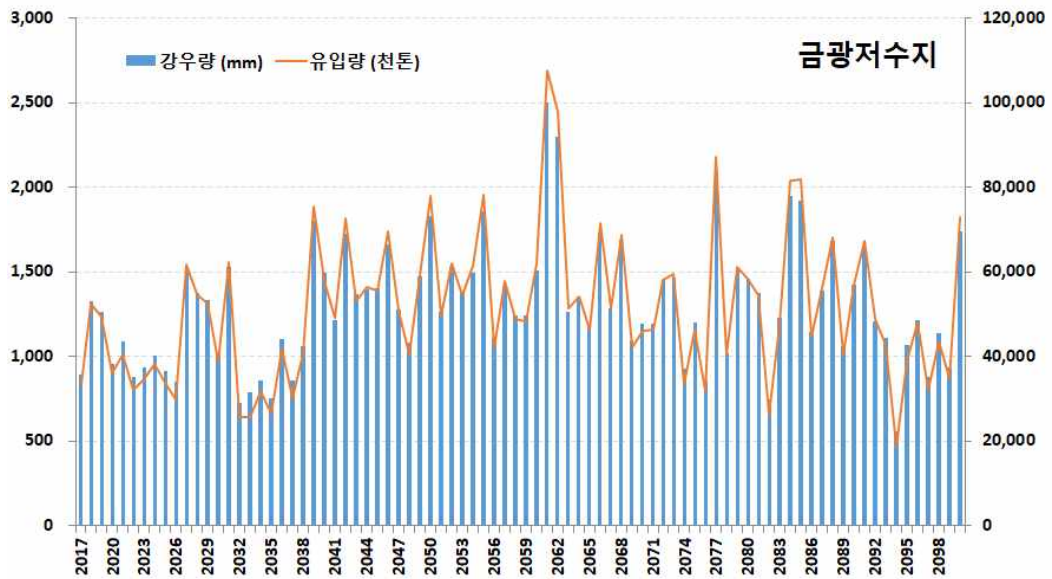


[RCP 8.5 일사량]

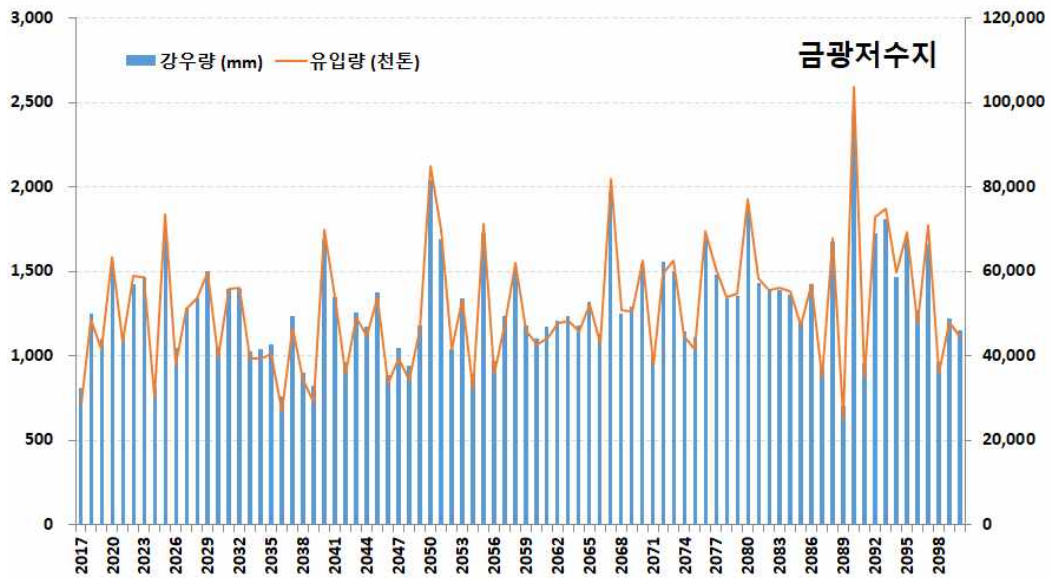
[그림 5.92] 미래 기후변화 시나리오 (RCP 4.5 및 8.5)

- RCP 4.5의 경우, 강우자료는 시간이 경과함에 따라 완만하게 증가하는 추세를 보이고 있으나 자료값 간의 편차가 굉장히 큰 모습을 보이고 있으며, 2062년에 4,135 mm로 최대의 강우량을 보이고 있고, 2094년에 581 mm로 최소의 강우량을 나타내고 있음
- 평균기온은 시간의 경과에 따라 점점 증가하는 추세를 보이고 있는데, 2062년 15.7 °C로 최고값을 보이고 있고, 2034년 12.5 °C로 최소값을 나타내고 있음
- 풍속은 지상 10 m 관측기에서의 풍속을 의미하며, 2025년 2.02 m/s, 2050년 1.85m/s, 2075년 1.90 m/s, 2100년 2.00 m/s의 값을 나타내며, 2044년 2.04 m/s로 최고값을 보이고 있고 2068년 1.77 m/s로 최소값을 나타내고 있음
- 상대습도는 2025년 0.70, 2050년 0.72, 2075년 0.73, 2100년 0.69의 값을 나타내고, 2077년 0.74로 최대값을 보이고, 2094년 0.66으로 최소값을 보이고 있음
- 일사량은 2025년 9.6 MJ/m²/day, 2050년 10.0 MJ/m²/day, 2075년 11.4

- MJ/m²/day, 2100년 10.9 MJ/m²/day의 값을 나타내고 있음
- RCP 8.5의 경우, 강우량은 시간이 경과함에 따라 증가하는 추세를 나타내고 있으며, RCP 4.5 시나리오에 의해 산출된 강우보다 더 가파른 상승추세를 보이고, 2093년에 2,978 mm로 최대의 강우량을 보이고 있고, 2039년에 796 mm로 최소의 강우량을 나타내고 있음
 - 평균 기온은 시간의 경과에 따라 지속적으로 증가하는 모습을 보이고 있으며, RCP 4.5 시나리오를 통해 산출된 미래의 평균 기온보다 더 큰 변화율을 보이고, 2098년 18.7 °C로 최고값을 보이고 있고, 2020년 13.6 °C로 최소값을 나타냄
 - 풍속은 2025년 1.82 m/s, 2050년 2.03m/s, 2075년 1.94 m/s, 2100년 1.82 m/s의 값을 나타내고, 2048년 2.07 m/s로 최고값을 보이고 있고, 2060년 1.74 m/s로 최소 값을 나타내고 있음
 - 상대습도는 2025년 0.71, 2050년 0.73, 2075년 0.72, 2100년 0.74의 값을 나타내고, 2093년 0.76으로 최대값, 2089년 0.67으로 최소값을 보이고 있음
 - 일사량은 2025년 10.1 MJ/m²/day, 2050년 10.8 MJ/m²/day, 2075년 10.3 MJ/m²/day, 2100년 10.5 MJ/m²/day의 값을 나타냄
 - 이상의 시나리오 자료를 이용하여 기후변화가 미래 장기 유출에 미치는 영향을 분석하기 위하여 물수지 분석을 수행하였음

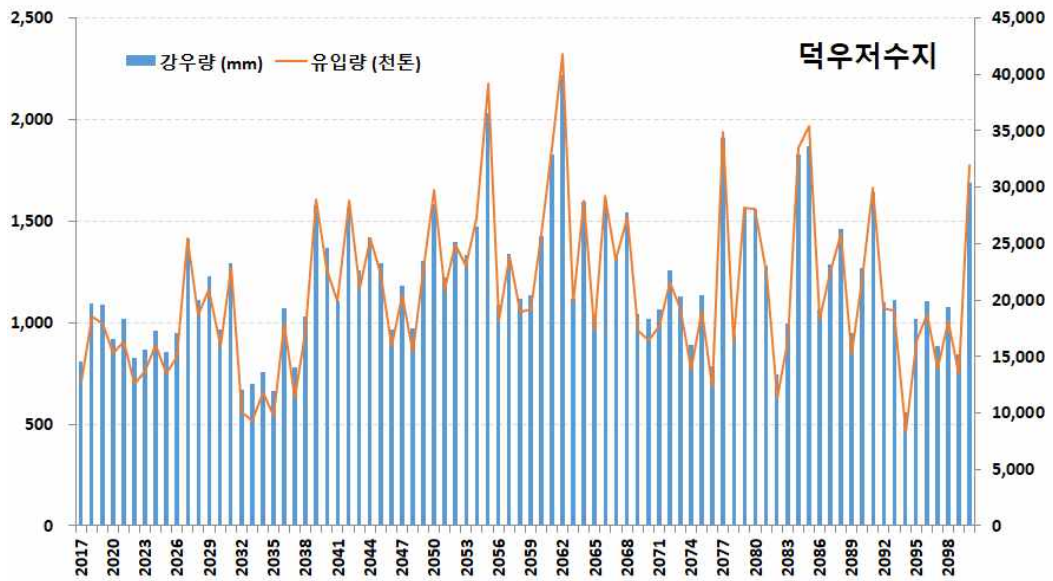


(a) RCP4.5 시나리오

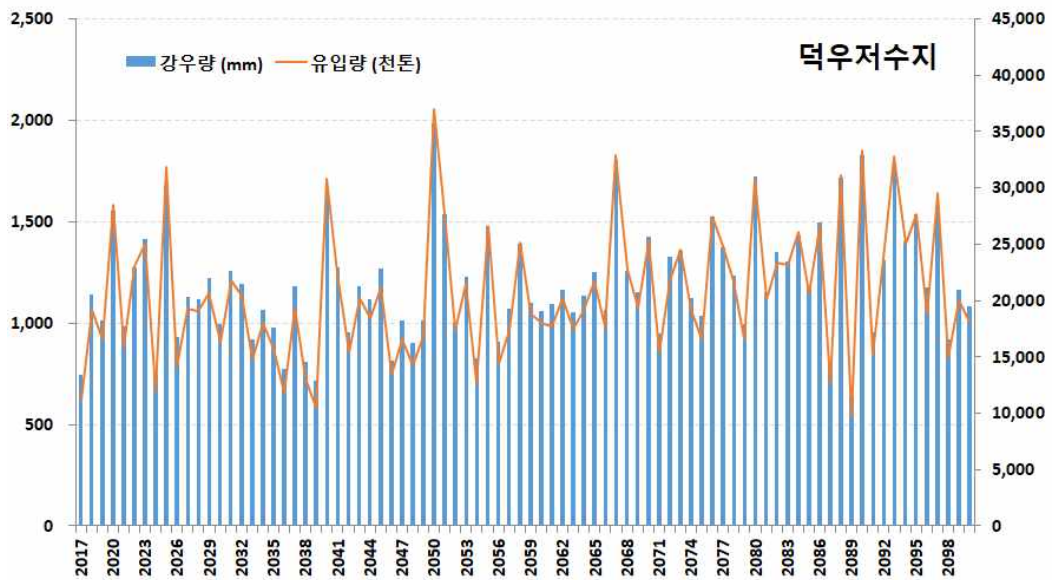


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.93] 기후변화 시나리오에 의한 금광저수지 미래 유입량 예측

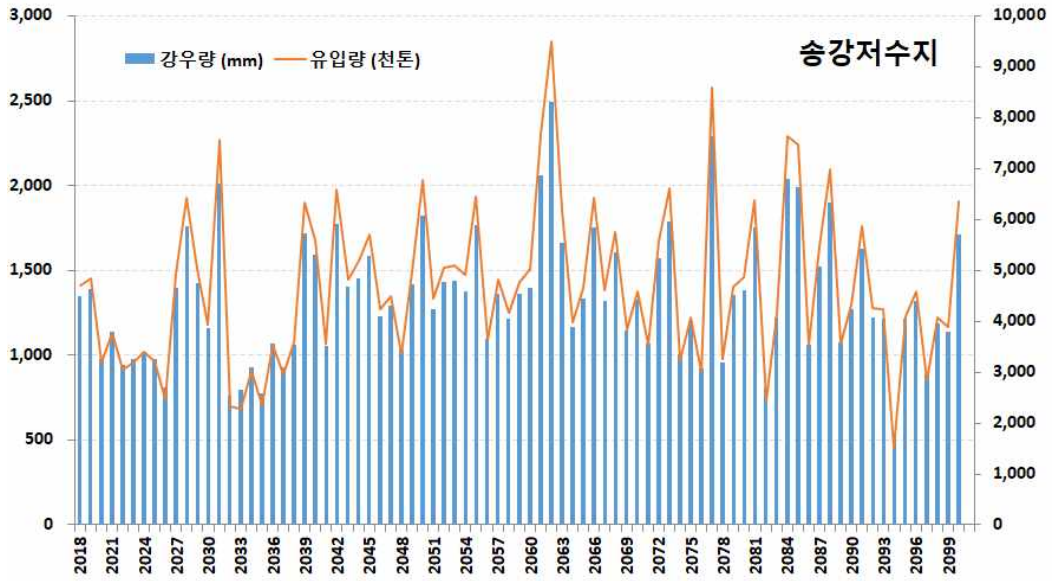


(a) RCP4.5 시나리오

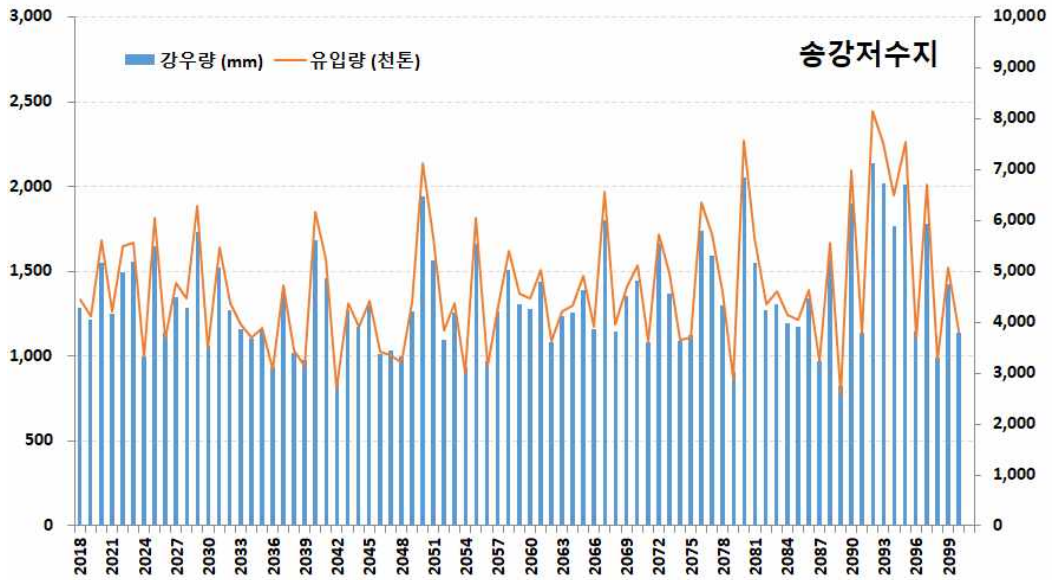


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.94] 기후변화 시나리오에 의한 덕우저수지 미래 유입량 예측

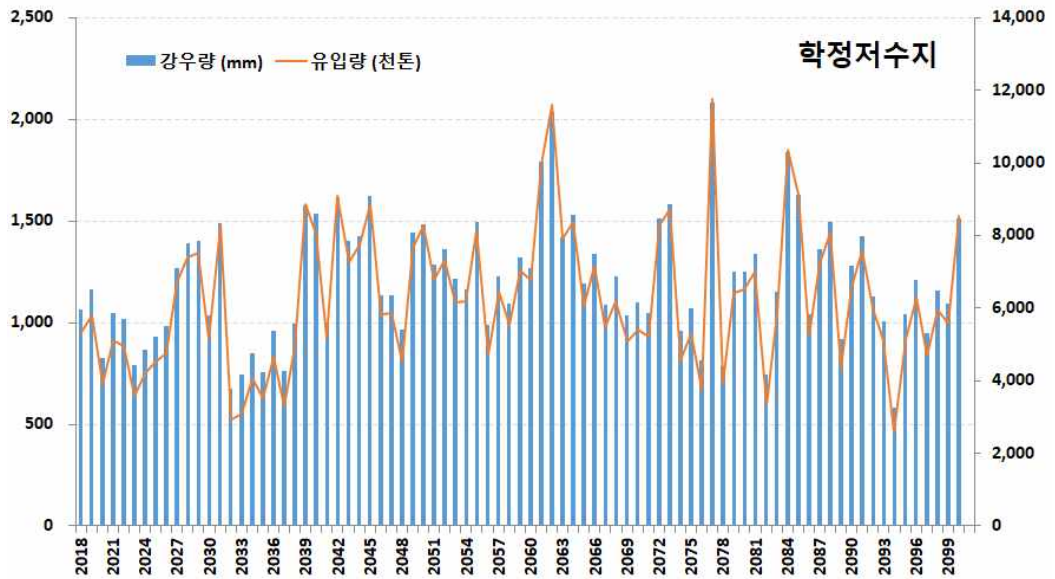


(a) RCP4.5 시나리오

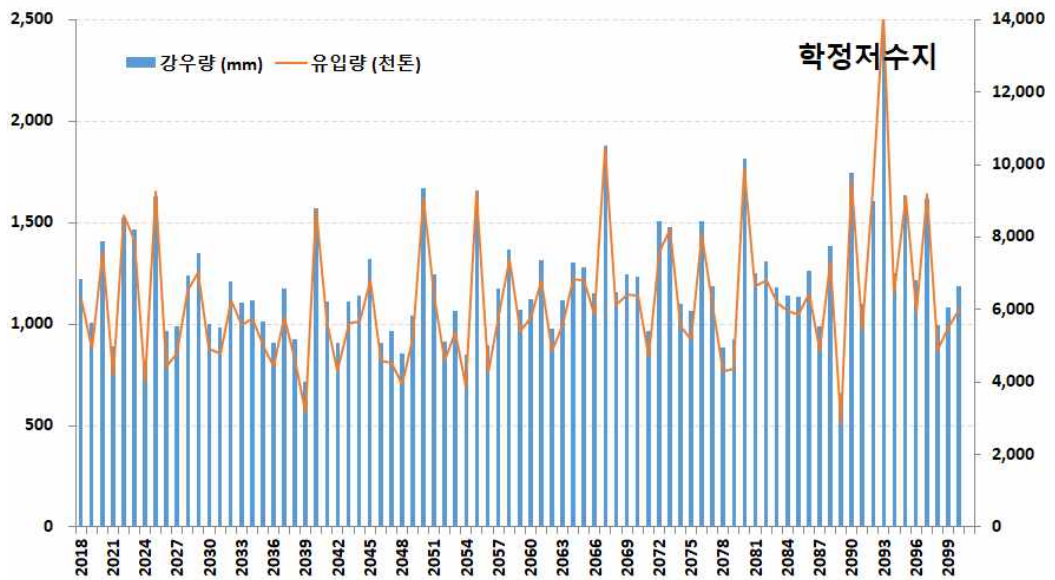


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.95] 기후변화 시나리오에 의한 송강저수지 미래 유입량 예측

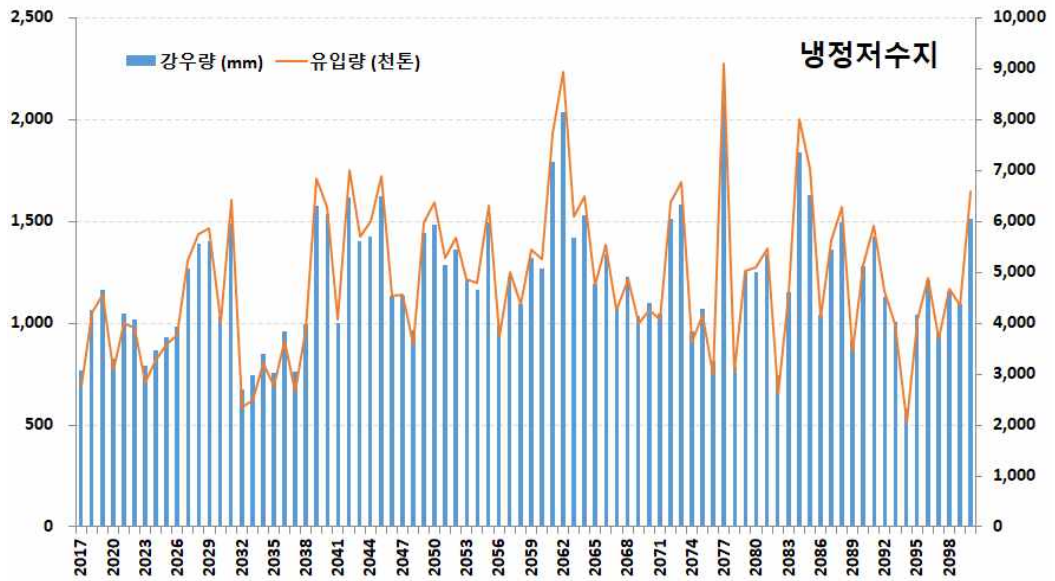


(a) RCP4.5 시나리오

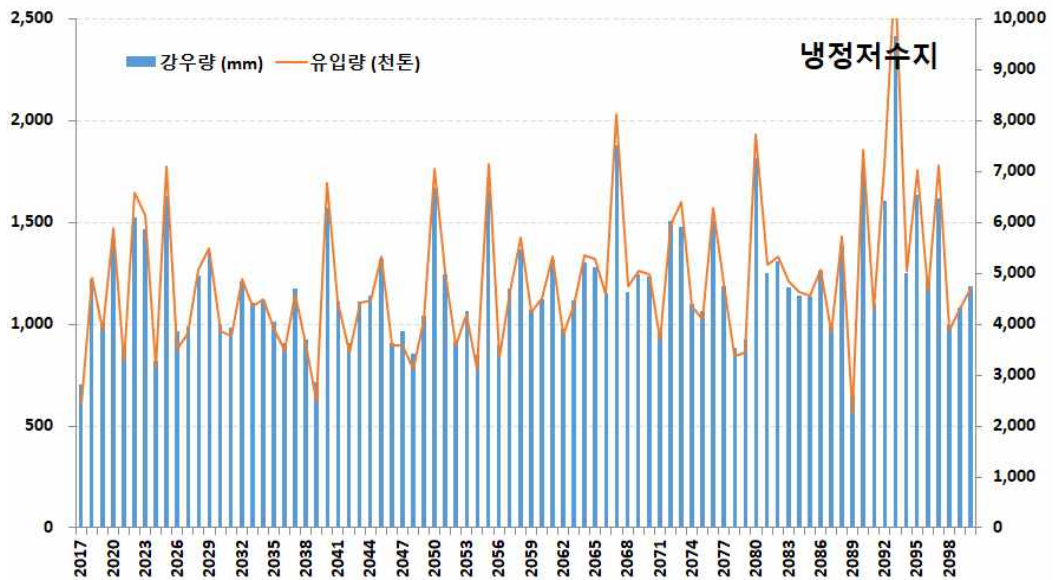


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.96] 기후변화 시나리오에 의한 학정저수지 미래 유입량 예측

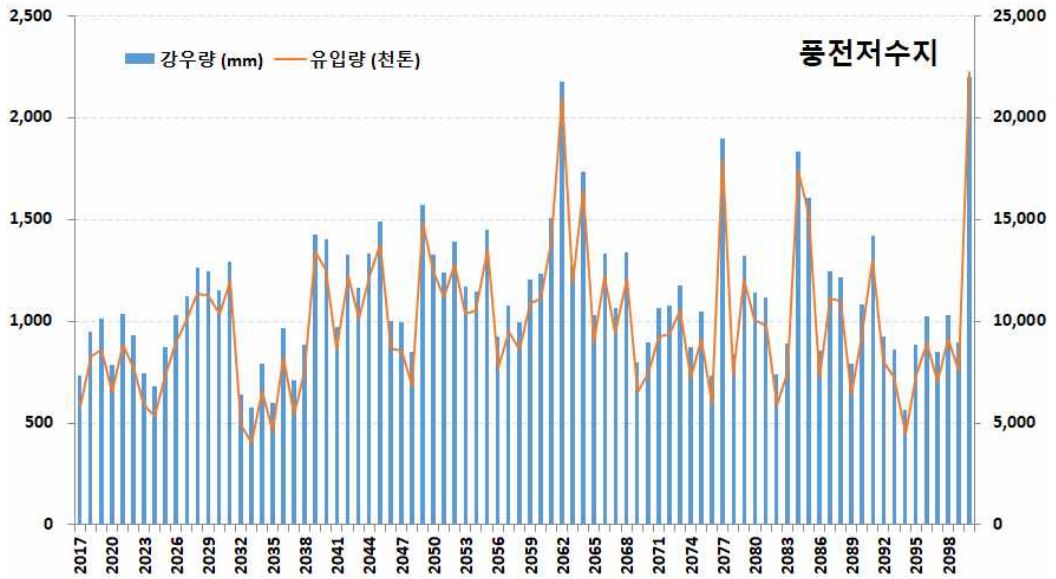


(a) RCP4.5 시나리오

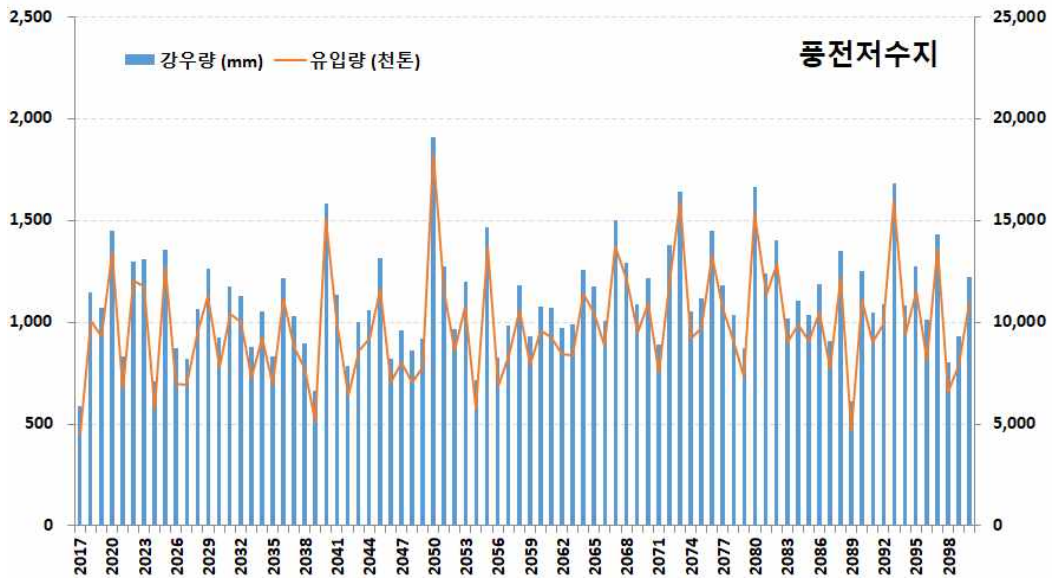


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.97] 기후변화 시나리오에 의한 냉정저수지 미래 유입량 예측

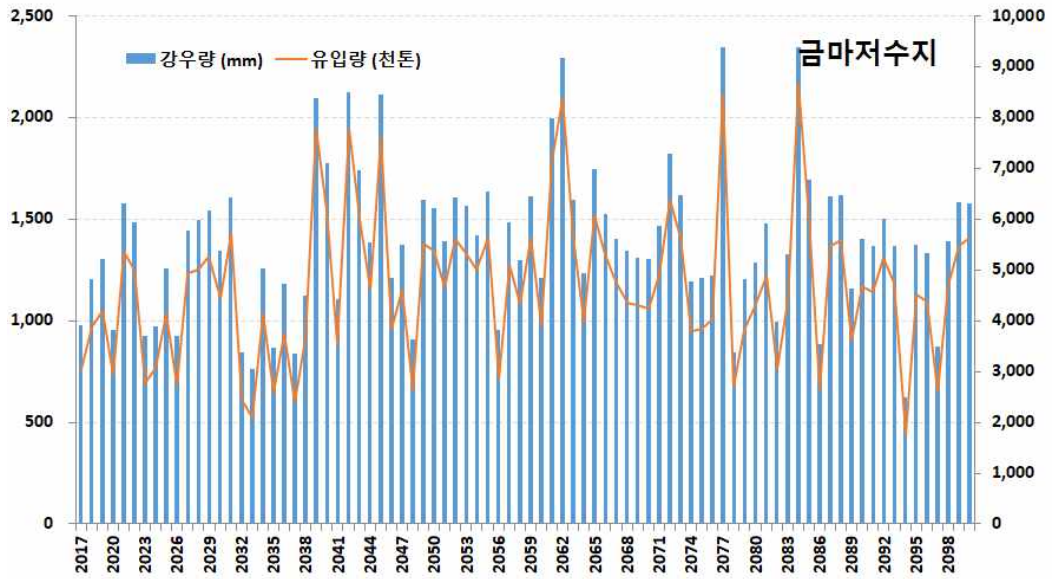


(a) RCP4.5 시나리오

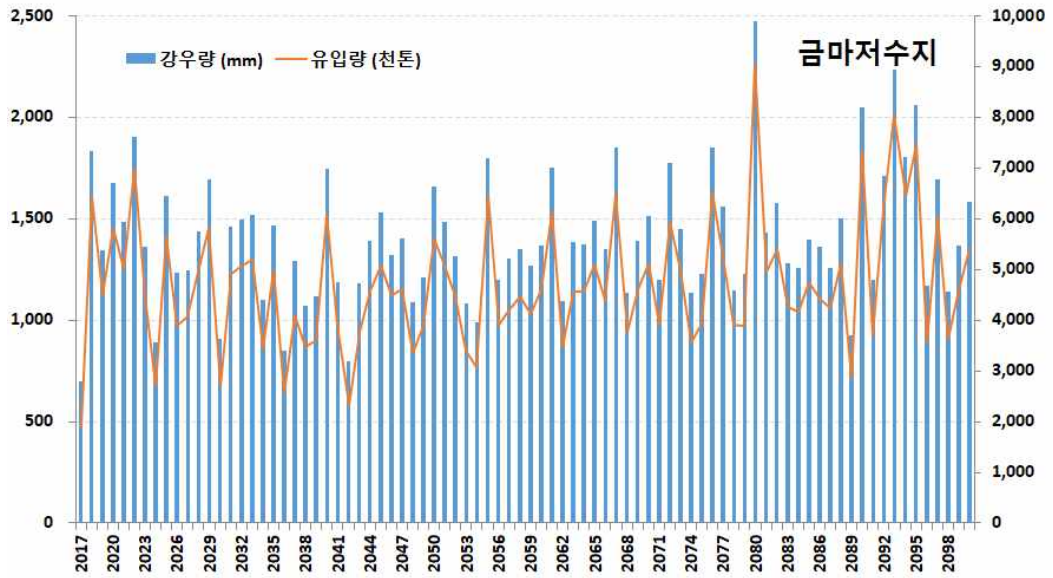


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.98] 기후변화 시나리오에 의한 풍전저수지 미래 유입량 예측

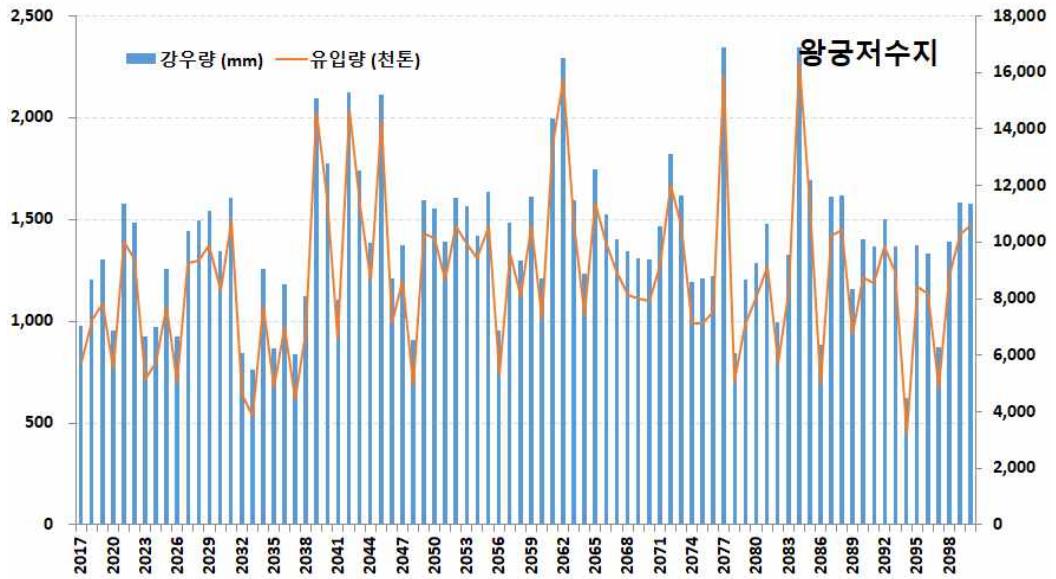


(a) RCP4.5 시나리오

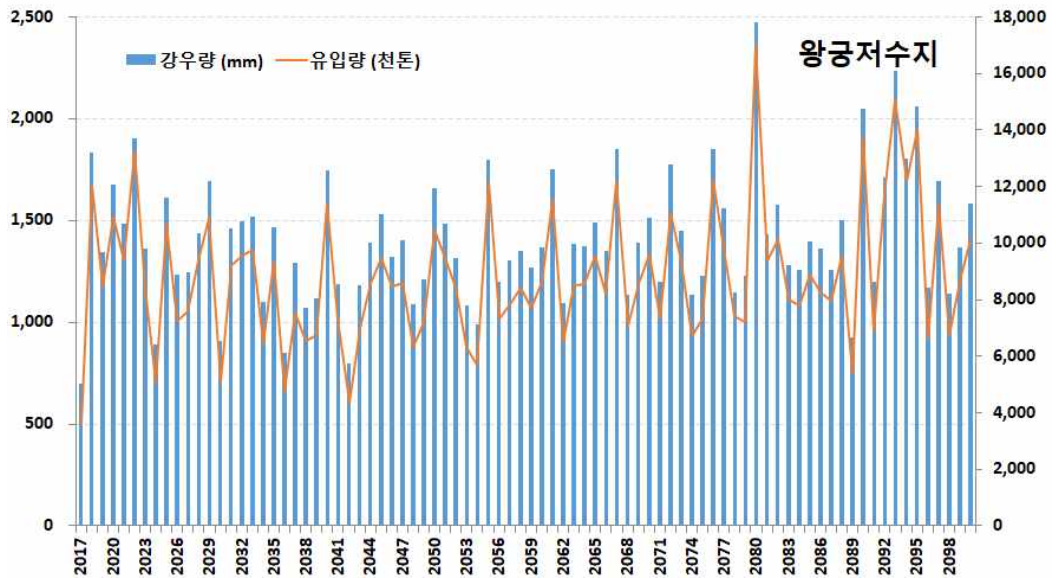


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.99] 기후변화 시나리오에 의한 금마저수지 미래 유입량 예측

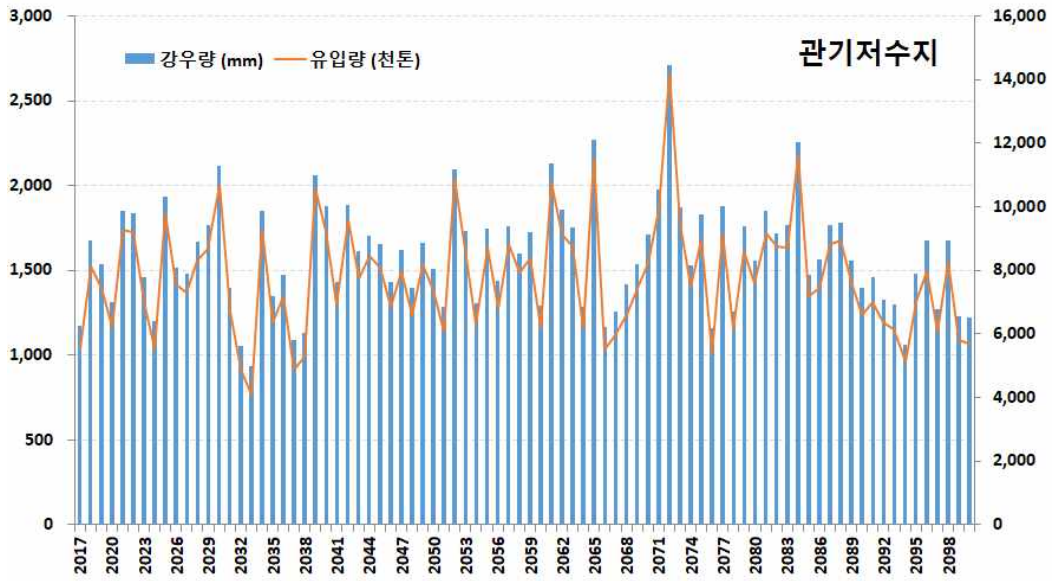


(a) RCP4.5 시나리오

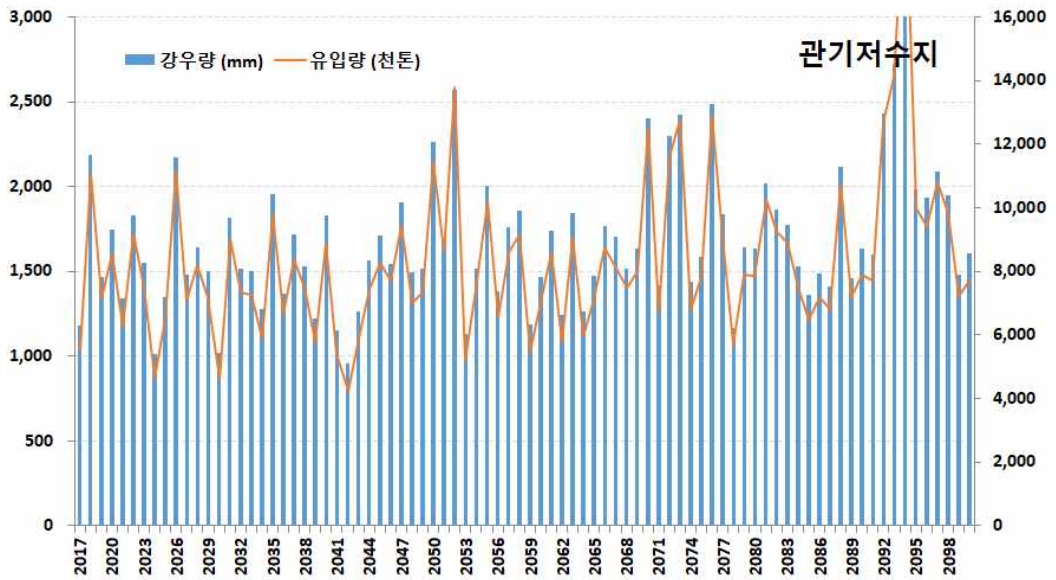


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.100] 기후변화 시나리오에 의한 왕궁저수지 미래 유입량 예측

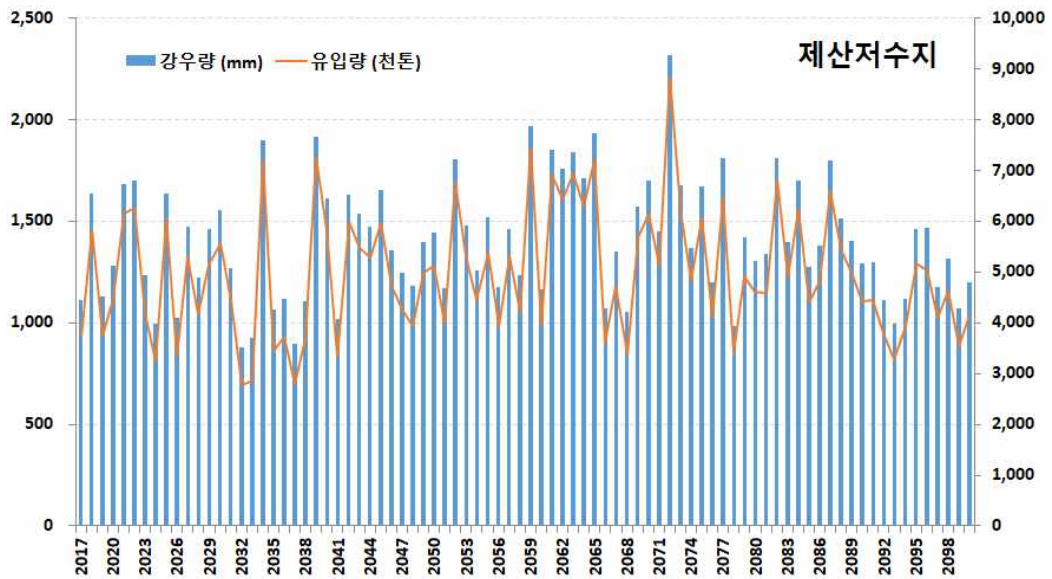


(a) RCP4.5 시나리오

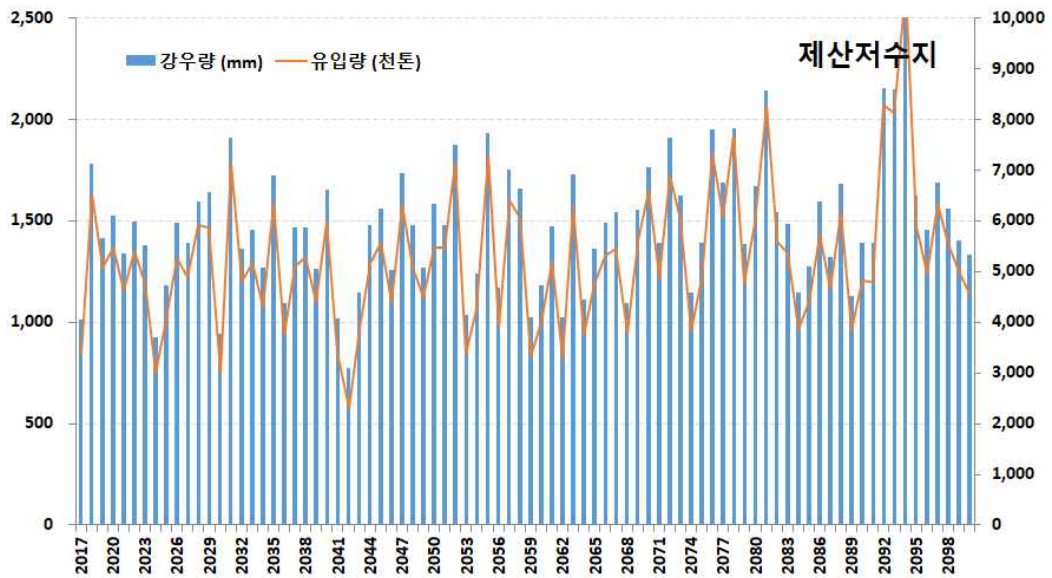


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.101] 기후변화 시나리오에 의한 관기저수지 미래 유입량 예측

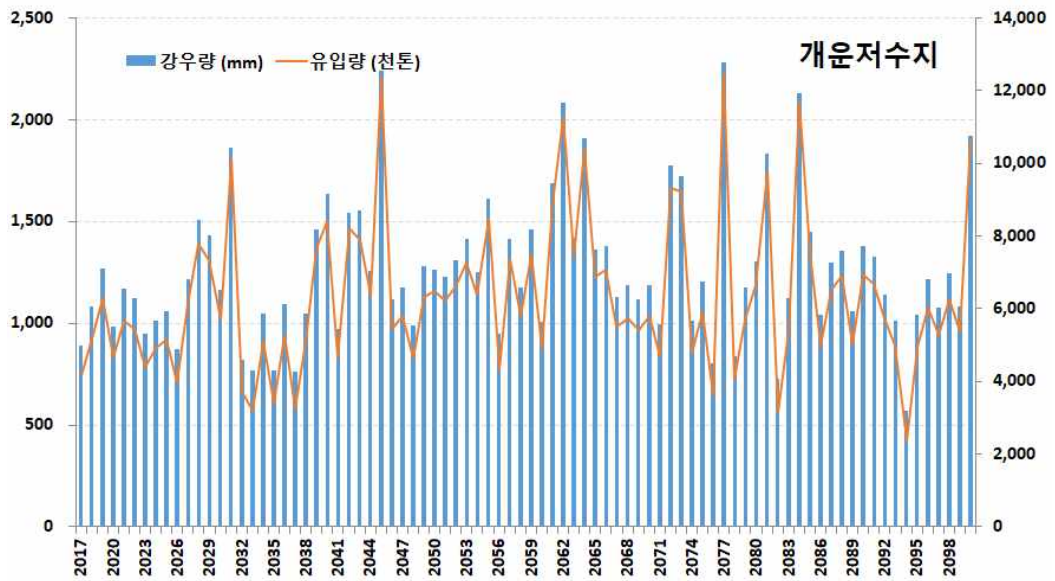


(a) RCP4.5 시나리오

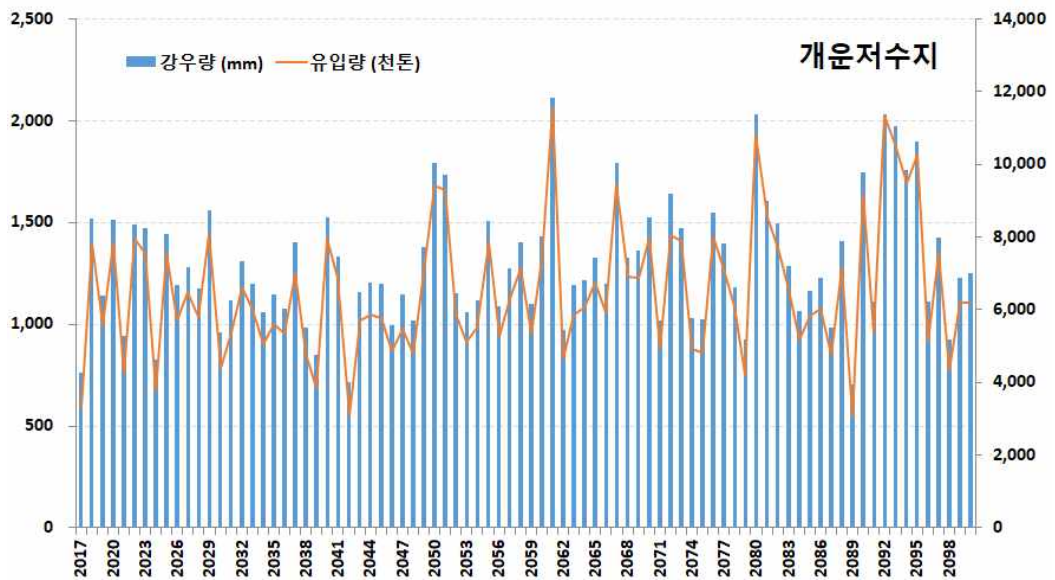


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.102] 기후변화 시나리오에 의한 제산저수지 미래 유입량 예측

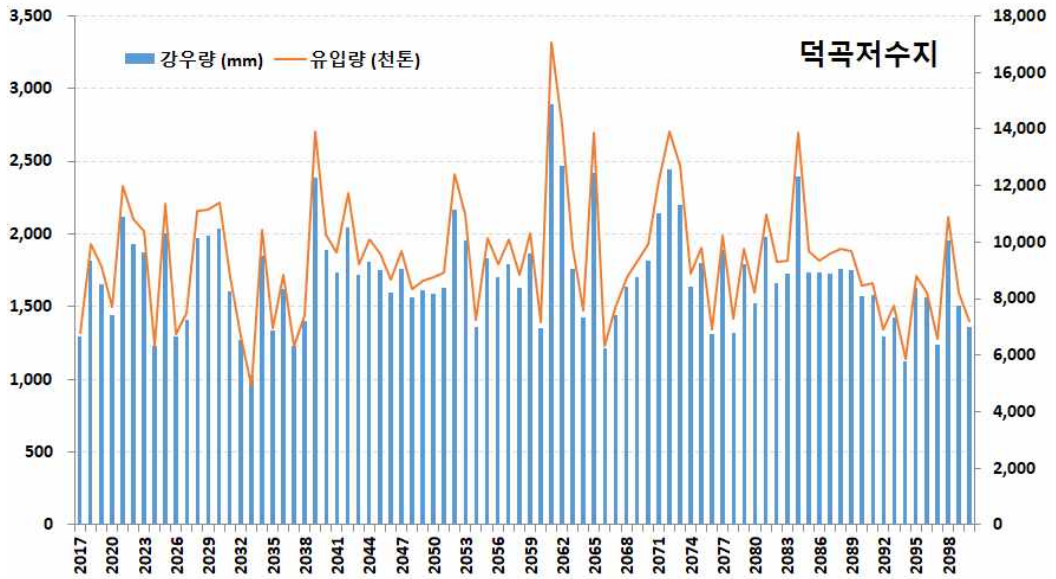


(a) RCP4.5 시나리오

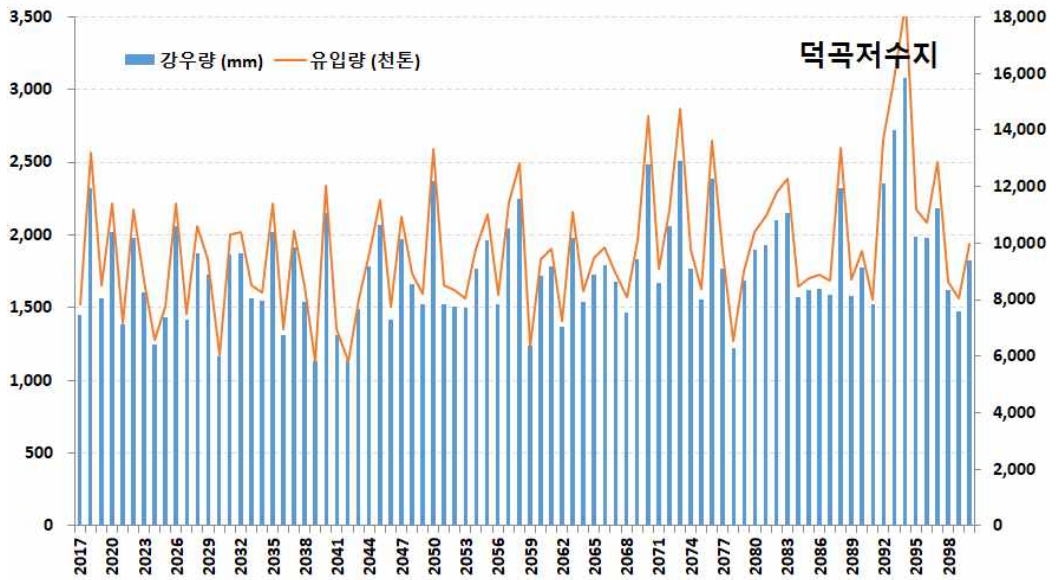


(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.103] 기후변화 시나리오에 의한 개운저수지 미래 유입량 예측



(a) RCP4.5 시나리오



(b) RCP8.5 시나리오

[그림 5.104] 기후변화 시나리오에 의한 덕곡저수지 미래 유입량 예측

[표 5.14] 기후변화 시나리오 (RCP4.5)에 의한 저수지 유입량 예측

년도	금강		덕우		송강		학정	
	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)
2017	895.6	33,576.7	807.8	12,796.7	904.4	2,929.2	767.9	3,531.9
2018	1,329.6	52,598.3	1,096.4	18,527.7	1,348.6	4,711.5	1,064.5	5,349.0
2019	1,265.5	49,484.3	1,088.0	17,932.0	1,387.0	4,844.7	1,161.3	5,805.2
2020	959.4	36,061.0	922.2	15,262.0	978.5	3,193.3	823.9	3,915.6
2021	1,088.3	40,600.5	1,018.5	16,300.7	1,139.3	3,770.9	1,048.8	5,105.4
2022	882.9	32,131.1	823.9	12,616.1	940.4	3,040.4	1,018.9	4,950.2
2023	938.4	34,517.3	865.7	13,717.0	980.0	3,178.9	793.7	3,592.2
2024	1,008.3	38,338.7	961.3	15,979.6	1,021.6	3,409.1	869.1	4,209.8
2025	912.8	33,820.3	854.5	13,479.9	978.4	3,210.0	929.3	4,523.0
2026	853.2	29,757.0	950.3	14,960.1	810.3	2,461.5	984.3	4,744.6
2027	1,513.6	61,810.7	1,416.7	25,467.3	1,395.1	4,934.4	1,269.4	6,729.3
2028	1,378.6	54,754.8	1,110.1	18,608.4	1,760.4	6,430.3	1,393.0	7,408.5
2029	1,331.2	52,643.0	1,230.5	21,004.8	1,424.6	5,034.9	1,402.4	7,527.9
2030	1,017.6	38,746.1	966.0	15,916.0	1,161.6	3,943.9	1,037.9	5,154.8
2031	1,530.9	62,437.1	1,294.2	22,899.8	2,014.2	7,574.3	1,492.6	8,284.5
2032	729.7	25,816.8	667.3	10,005.4	764.4	2,328.5	677.3	2,948.2
2033	789.1	25,787.3	697.7	9,285.6	794.5	2,280.0	743.8	3,082.9
2034	857.0	31,733.0	758.8	11,827.4	929.6	3,033.2	848.2	4,063.9
2035	751.9	26,464.4	664.3	9,714.8	771.8	2,341.0	758.9	3,522.1
2036	1,106.1	42,009.2	1,072.8	17,881.9	1,065.3	3,533.1	959.4	4,660.5
2037	859.8	30,060.1	777.6	11,343.8	932.3	2,947.3	762.6	3,302.3
2038	1,063.9	40,777.7	1,031.6	17,297.7	1,063.9	3,588.4	993.1	4,942.0
2039	1,800.7	75,547.7	1,578.1	28,940.7	1,716.4	6,337.9	1,578.6	8,869.1
2040	1,491.3	57,874.1	1,365.9	22,751.5	1,592.0	5,598.1	1,538.9	8,053.3
2041	1,212.7	49,256.0	1,105.6	19,885.0	1,053.4	3,555.8	1,002.2	5,188.3
2042	1,728.3	72,542.7	1,566.4	28,819.0	1,771.3	6,587.9	1,620.3	9,089.1
2043	1,369.1	53,145.7	1,258.9	21,051.5	1,400.8	4,825.9	1,404.8	7,267.4
2044	1,395.7	56,469.1	1,417.5	25,473.1	1,454.3	5,185.2	1,424.3	7,755.3
2045	1,402.8	55,717.0	1,292.6	22,244.8	1,588.5	5,695.5	1,621.9	8,863.0
2046	1,663.6	69,570.0	964.7	15,935.9	1,230.7	4,241.9	1,136.5	5,821.4
2047	1,278.9	50,801.8	1,178.8	20,388.5	1,290.2	4,483.3	1,134.6	5,878.6
2048	1,080.8	40,390.8	974.0	15,407.8	1,035.4	3,353.7	964.6	4,531.9
2049	1,471.6	59,125.1	1,304.3	22,768.5	1,417.9	4,986.9	1,442.2	7,675.5
2050	1,828.6	77,958.8	1,582.4	29,758.7	1,826.1	6,786.4	1,487.0	8,273.3
2051	1,262.2	49,733.7	1,221.1	20,921.6	1,272.1	4,457.5	1,285.5	6,776.9
2052	1,530.0	62,139.7	1,399.4	24,953.7	1,433.8	5,051.0	1,359.6	7,348.8
2053	1,377.6	54,424.3	1,331.9	23,051.5	1,440.9	5,103.4	1,214.7	6,171.3

2054	1,493.4	61,416.1	1,471.7	27,282.7	1,376.9	4,920.5	1,163.1	6,208.3
2055	1,859.1	78,218.5	2,033.4	39,169.4	1,764.5	6,456.8	1,494.1	8,163.7
2056	1,109.2	42,103.0	1,088.9	18,180.7	1,097.1	3,636.7	988.3	4,737.3
2057	1,418.3	57,964.0	1,338.3	23,848.7	1,363.3	4,826.8	1,229.5	6,446.8
2058	1,246.7	48,939.9	1,120.1	19,005.5	1,215.1	4,167.1	1,096.1	5,556.0
2059	1,240.5	48,363.0	1,133.5	19,214.6	1,364.7	4,778.0	1,318.8	7,031.8
2060	1,506.3	62,097.4	1,428.7	25,856.8	1,398.7	5,036.8	1,271.6	6,794.7
2061	2,503.6	107,646.5	1,826.9	33,547.3	2,058.3	7,676.0	1,793.4	9,965.9
2062	2,299.4	97,901.7	2,220.1	41,828.5	2,491.2	9,495.3	2,037.6	11,596.1
2063	1,261.2	51,273.1	1,116.0	19,751.5	1,665.1	6,161.0	1,420.2	7,935.4
2064	1,355.2	54,062.9	1,592.7	28,813.3	1,169.7	3,986.6	1,529.7	8,373.8
2065	1,194.5	46,293.6	1,043.9	17,309.5	1,336.6	4,655.6	1,193.6	6,070.2
2066	1,732.4	71,484.2	1,603.5	29,249.3	1,755.0	6,433.3	1,340.2	7,155.1
2067	1,283.8	51,364.4	1,327.7	23,534.6	1,316.9	4,602.2	1,086.5	5,480.1
2068	1,687.7	68,591.6	1,539.8	27,357.2	1,609.5	5,749.8	1,229.5	6,199.5
2069	1,094.5	42,108.6	1,040.9	17,336.1	1,143.7	3,845.4	1,034.4	5,083.7
2070	1,194.8	46,149.3	1,020.7	16,477.4	1,324.2	4,595.2	1,097.6	5,416.8
2071	1,196.1	46,479.0	1,065.5	17,720.7	1,071.0	3,539.8	1,049.8	5,202.8
2072	1,455.1	58,212.4	1,257.6	21,576.2	1,571.4	5,577.6	1,514.7	8,288.8
2073	1,464.1	59,590.9	1,130.0	19,201.3	1,787.2	6,617.3	1,584.8	8,746.2
2074	925.6	33,461.6	889.3	13,783.5	1,002.6	3,242.9	959.4	4,554.3
2075	1,203.6	46,327.1	1,134.0	19,095.4	1,201.3	4,064.6	1,072.3	5,302.0
2076	862.0	31,898.9	784.4	12,230.1	924.1	2,996.2	816.3	3,761.2
2077	2,098.1	87,147.0	1,910.0	34,874.9	2,290.2	8,588.6	2,085.5	11,783.3
2078	1,021.6	40,627.7	941.2	16,359.8	959.3	3,252.9	785.1	3,927.2
2079	1,524.2	61,312.6	1,566.5	28,198.7	1,351.6	4,691.3	1,248.8	6,428.5
2080	1,457.8	58,462.4	1,559.8	28,033.2	1,379.6	4,861.0	1,254.2	6,523.6
2081	1,372.6	54,510.0	1,280.3	22,356.1	1,751.2	6,385.4	1,338.6	6,994.3
2082	749.6	26,375.7	747.4	11,275.1	802.4	2,433.0	745.2	3,322.1
2083	1,231.0	47,890.7	995.2	16,425.2	1,222.9	4,177.2	1,154.3	5,889.3
2084	1,952.2	81,596.2	1,829.6	33,556.6	2,037.2	7,625.7	1,839.5	10,377.8
2085	1,923.7	81,878.1	1,866.5	35,450.4	1,993.5	7,481.0	1,630.2	9,123.9
2086	1,144.2	44,754.5	1,065.9	18,291.2	1,062.8	3,541.7	1,041.6	5,259.4
2087	1,393.2	56,089.9	1,286.6	22,565.6	1,525.7	5,475.0	1,364.2	7,220.1
2088	1,684.1	68,208.5	1,461.6	25,868.8	1,900.6	6,993.3	1,496.8	8,087.2
2089	1,061.5	40,591.7	946.2	15,191.8	1,074.5	3,558.6	920.5	4,367.4
2090	1,425.9	56,879.3	1,268.2	21,864.8	1,269.8	4,341.7	1,279.4	6,597.0
2091	1,644.5	67,414.3	1,640.0	29,917.6	1,626.5	5,877.6	1,427.9	7,588.0
2092	1,205.1	48,810.6	1,101.6	19,276.5	1,219.6	4,251.5	1,128.1	6,009.6
2093	1,110.3	42,723.5	1,114.3	19,070.4	1,217.5	4,245.8	1,005.8	5,110.6
2094	557.6	18,571.5	557.4	8,261.5	542.5	1,506.7	580.2	2,559.2
2095	1,065.7	39,236.1	1,016.7	16,382.7	1,214.8	4,108.7	1,044.5	5,150.2

2096	1,216.2	47,947.9	1,105.6	18,765.8	1,317.1	4,595.4	1,209.1	6,286.7
2097	881.8	31,993.2	883.3	13,946.4	889.2	2,842.7	947.9	4,691.1
2098	1,139.5	43,646.2	1,077.5	18,091.2	1,189.8	4,081.0	1,157.4	5,964.4
2099	933.8	34,886.6	844.8	13,390.9	1,137.6	3,892.0	1,092.7	5,581.5
2100	1,736.9	72,881.8	1,690.7	31,967.4	1,714.0	6,347.0	1,514.5	8,532.1
평균	1,298.5	51,488.2	1,197.4	20,665.8	1,330.8	4,657.0	1,198.0	6,218.6
최대	2,503.6	107,646.5	2,220.1	41,828.5	2,491.2	9,495.3	2,085.5	11,783.3
최소	557.6	18,571.5	557.4	8,261.5	542.5	1,506.7	580.2	2,559.2

[표 5.15] 기후변화 시나리오 (RCP4.5)에 의한 저수지 유입량 예측 (계속)

년도	냉정		풍전		금마		왕궁	
	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)
2017	767.9	2,778.0	736.0	5,791.2	977.0	3,048.5	977.0	5,747.9
2018	1,064.5	4,216.6	950.4	8,275.1	1,202.2	3,893.3	1,202.2	7,235.5
2019	1,161.3	4,557.5	1,014.4	8,610.7	1,304.5	4,198.7	1,304.5	7,819.8
2020	823.9	3,074.9	785.1	6,514.3	956.5	2,929.0	956.5	5,500.8
2021	1,048.8	4,013.3	1,036.9	8,849.6	1,576.7	5,364.2	1,576.7	10,036.2
2022	1,018.9	3,909.7	929.6	7,722.0	1,485.3	5,013.2	1,485.3	9,401.9
2023	793.7	2,847.8	742.6	5,886.7	927.1	2,763.0	927.1	5,174.3
2024	869.1	3,274.4	681.8	5,331.9	973.0	3,065.4	973.0	5,760.7
2025	929.3	3,579.1	872.0	7,343.4	1,255.9	4,133.0	1,255.9	7,722.9
2026	984.3	3,761.9	1,029.3	8,982.1	923.9	2,728.0	923.9	5,055.4
2027	1,269.4	5,231.1	1,125.2	10,052.9	1,441.5	4,941.4	1,441.5	9,282.0
2028	1,393.0	5,757.2	1,263.4	11,335.7	1,493.1	5,005.6	1,493.1	9,351.1
2029	1,402.4	5,869.7	1,242.9	11,271.9	1,540.7	5,271.1	1,540.7	9,881.4
2030	1,037.9	4,023.8	1,154.6	10,350.1	1,346.5	4,439.1	1,346.5	8,306.8
2031	1,492.6	6,428.5	1,293.6	11,983.1	1,605.4	5,723.1	1,605.4	10,764.7
2032	677.3	2,353.3	640.0	4,939.6	843.0	2,454.5	843.0	4,596.4
2033	743.8	2,501.2	575.8	3,996.9	761.5	2,090.0	761.5	3,863.7
2034	848.2	3,204.0	790.5	6,593.4	1,259.5	4,150.9	1,259.5	7,769.9
2035	758.9	2,778.1	600.9	4,569.1	867.9	2,590.1	867.9	4,840.8
2036	959.4	3,654.8	965.2	8,244.4	1,181.6	3,756.6	1,181.6	6,992.8
2037	762.6	2,651.8	707.7	5,433.1	838.8	2,399.6	838.8	4,455.0
2038	993.1	3,898.0	885.7	7,589.5	1,120.6	3,650.3	1,120.6	6,810.5
2039	1,578.6	6,847.5	1,427.4	13,433.5	2,094.2	7,768.2	2,094.2	14,645.5
2040	1,538.9	6,288.9	1,402.4	12,503.9	1,777.2	6,164.8	1,777.2	11,582.2
2041	1,002.2	4,066.4	973.0	8,628.1	1,105.4	3,528.8	1,105.4	6,563.2
2042	1,620.3	7,010.4	1,325.8	12,220.1	2,124.3	7,776.1	2,124.3	14,674.2
2043	1,404.8	5,701.5	1,166.1	10,144.1	1,739.9	6,011.4	1,739.9	11,284.5
2044	1,424.3	5,997.1	1,334.6	12,237.5	1,387.0	4,598.7	1,387.0	8,632.5

2045	1,621.9	6,883.3	1,488.6	13,818.2	2,112.1	7,617.0	2,112.1	14,320.9
2046	1,136.5	4,547.5	1,000.5	8,686.9	1,208.9	3,848.5	1,208.9	7,182.2
2047	1,134.6	4,566.6	994.8	8,567.6	1,372.3	4,599.6	1,372.3	8,616.8
2048	964.6	3,591.0	850.9	6,882.7	907.1	2,623.4	907.1	4,914.7
2049	1,442.2	5,979.5	1,574.5	14,849.0	1,596.5	5,507.2	1,596.5	10,323.8
2050	1,487.0	6,381.9	1,326.3	12,453.0	1,555.9	5,381.4	1,555.9	10,146.3
2051	1,285.5	5,285.9	1,239.3	11,151.7	1,389.2	4,646.3	1,389.2	8,683.3
2052	1,359.6	5,690.4	1,392.6	12,828.5	1,606.9	5,600.8	1,606.9	10,563.4
2053	1,214.7	4,860.0	1,170.2	10,356.9	1,564.7	5,341.9	1,564.7	9,970.6
2054	1,163.1	4,806.7	1,149.3	10,515.8	1,422.9	5,006.4	1,422.9	9,446.3
2055	1,494.1	6,306.3	1,449.1	13,589.1	1,633.6	5,627.5	1,633.6	10,580.2
2056	988.3	3,752.0	925.5	7,736.3	952.2	2,855.2	952.2	5,314.7
2057	1,229.5	5,002.5	1,075.1	9,459.8	1,486.7	5,105.1	1,486.7	9,598.5
2058	1,096.1	4,374.9	993.1	8,630.1	1,299.4	4,320.1	1,299.4	8,097.7
2059	1,318.8	5,449.3	1,204.0	10,863.1	1,614.6	5,645.5	1,614.6	10,615.3
2060	1,271.6	5,271.0	1,234.1	11,117.4	1,208.1	3,913.1	1,208.1	7,311.2
2061	1,793.4	7,737.2	1,506.7	13,985.6	1,997.2	7,140.1	1,997.2	13,406.9
2062	2,037.6	8,948.8	2,174.4	21,065.4	2,293.3	8,372.7	2,293.3	15,754.6
2063	1,420.2	6,099.8	1,271.8	11,865.1	1,595.1	5,650.4	1,595.1	10,671.7
2064	1,529.7	6,485.2	1,735.2	16,499.0	1,232.4	3,984.6	1,232.4	7,417.4
2065	1,193.6	4,757.3	1,032.3	8,937.5	1,747.5	6,080.1	1,747.5	11,382.7
2066	1,340.2	5,552.4	1,332.0	12,219.2	1,522.3	5,318.4	1,522.3	10,019.4
2067	1,086.5	4,269.7	1,067.2	9,402.9	1,403.4	4,762.7	1,403.4	8,969.4
2068	1,229.5	4,868.3	1,341.3	12,085.5	1,343.2	4,358.9	1,343.2	8,121.2
2069	1,034.4	3,999.0	798.2	6,514.0	1,306.8	4,300.3	1,306.8	8,022.0
2070	1,097.6	4,260.6	897.7	7,476.0	1,306.3	4,243.0	1,306.3	7,937.8
2071	1,049.8	4,079.8	1,062.2	9,226.6	1,468.8	4,902.2	1,468.8	9,171.0
2072	1,514.7	6,384.8	1,075.5	9,342.1	1,824.5	6,373.6	1,824.5	12,008.9
2073	1,584.8	6,783.6	1,178.5	10,529.4	1,617.8	5,637.1	1,617.8	10,571.5
2074	959.4	3,621.2	874.9	7,234.6	1,194.4	3,805.0	1,194.4	7,106.1
2075	1,072.3	4,175.5	1,047.3	9,143.5	1,212.5	3,838.1	1,212.5	7,138.1
2076	816.3	2,987.3	732.7	5,926.2	1,224.7	4,022.7	1,224.7	7,552.8
2077	2,085.5	9,108.0	1,898.0	17,979.5	2,346.5	8,450.1	2,346.5	15,892.9
2078	785.1	3,041.3	837.2	7,353.8	845.4	2,691.3	845.4	5,084.2
2079	1,248.8	5,035.3	1,321.7	12,028.0	1,204.0	3,816.9	1,204.0	7,063.2
2080	1,254.2	5,106.1	1,138.8	10,075.0	1,286.7	4,272.5	1,286.7	8,005.1
2081	1,338.6	5,459.9	1,118.8	9,768.0	1,479.6	4,900.8	1,479.6	9,147.2
2082	745.2	2,610.1	741.0	5,860.4	992.8	3,055.7	992.8	5,759.8
2083	1,154.3	4,616.5	891.4	7,486.2	1,329.4	4,411.3	1,329.4	8,257.1
2084	1,839.5	8,012.1	1,831.5	17,425.4	2,346.4	8,666.9	2,346.4	16,350.0
2085	1,630.2	7,041.8	1,607.3	15,277.0	1,691.1	5,982.1	1,691.1	11,264.7

2086	1,041.6	4,113.4	856.8	7,215.5	886.6	2,656.7	886.6	4,972.1
2087	1,364.2	5,624.3	1,244.2	11,094.5	1,614.4	5,477.4	1,614.4	10,240.2
2088	1,496.8	6,278.0	1,218.3	10,982.1	1,618.1	5,583.7	1,618.1	10,450.4
2089	920.5	3,447.3	791.4	6,403.7	1,159.1	3,618.6	1,159.1	6,735.0
2090	1,279.4	5,152.6	1,080.3	9,347.7	1,400.8	4,676.4	1,400.8	8,764.8
2091	1,427.9	5,918.6	1,419.9	13,049.4	1,370.3	4,554.0	1,370.3	8,548.6
2092	1,128.1	4,623.5	927.4	8,060.4	1,502.1	5,231.3	1,502.1	9,859.5
2093	1,005.8	3,980.5	863.8	7,302.3	1,369.4	4,751.0	1,369.4	8,982.6
2094	580.2	2,047.7	566.6	4,481.9	621.7	1,760.9	621.7	3,236.0
2095	1,044.5	4,063.0	886.0	7,366.7	1,371.9	4,515.5	1,371.9	8,421.6
2096	1,209.1	4,890.2	1,022.9	8,906.3	1,332.9	4,375.2	1,332.9	8,182.6
2097	947.9	3,696.0	848.0	7,059.1	874.4	2,607.0	874.4	4,865.7
2098	1,157.4	4,681.0	1,027.5	9,132.5	1,390.1	4,698.0	1,390.1	8,791.8
2099	1,092.7	4,363.4	898.4	7,565.1	1,582.3	5,466.9	1,582.3	10,277.9
2100	1,514.5	6,585.1	2,201.9	22,210.6	1,580.3	5,624.0	1,580.3	10,599.9
평균	1,198.0	4,851.6	1,108.2	9,824.1	1,387.2	4,663.4	1,387.2	8,743.4
최대	2,085.5	9,108.0	2,201.9	22,210.6	2,346.5	8,666.9	2,346.5	16,350.0
최소	580.2	2,047.7	566.6	3,996.9	621.7	1,760.9	621.7	3,236.0

[표 5.16] 기후변화 시나리오 (RCP4.5)에 의한 저수지 유입량 예측 (계속)

년도	관기		제산		개운		덕곡	
	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)
2017	1,176.6	5,532.0	1,112.9	3,736.5	889.4	4,164.4	1,295.9	6,796.3
2018	1,676.3	8,119.9	1,636.4	5,838.4	1,080.0	5,188.9	1,820.7	9,918.8
2019	1,533.8	7,432.0	1,127.3	3,758.2	1,268.0	6,302.7	1,657.9	9,133.5
2020	1,310.2	6,216.9	1,280.3	4,463.4	982.2	4,671.9	1,443.5	7,720.8
2021	1,852.7	9,269.6	1,684.4	6,137.5	1,168.9	5,662.7	2,115.7	11,972.6
2022	1,834.1	9,192.5	1,699.2	6,268.0	1,120.6	5,456.9	1,935.2	10,822.9
2023	1,456.7	6,985.1	1,234.2	4,193.5	946.1	4,396.8	1,873.1	10,390.3
2024	1,203.4	5,542.4	994.3	3,239.9	1,011.5	4,934.1	1,231.3	6,337.6
2025	1,932.6	9,812.0	1,634.8	6,056.4	1,062.2	5,162.4	2,005.6	11,350.3
2026	1,514.6	7,579.9	1,022.8	3,333.9	874.6	3,964.8	1,298.1	6,757.7
2027	1,484.1	7,291.6	1,472.1	5,313.3	1,215.0	6,117.0	1,407.3	7,499.9
2028	1,671.8	8,325.1	1,219.4	4,164.5	1,510.3	7,777.7	1,969.8	11,087.7
2029	1,766.5	8,683.5	1,463.2	5,152.0	1,430.3	7,326.5	1,986.9	11,140.4
2030	2,118.4	10,710.2	1,556.2	5,563.8	1,164.6	5,716.0	2,037.2	11,401.1
2031	1,399.5	6,696.2	1,270.8	4,417.0	1,862.9	10,142.6	1,602.4	8,774.7
2032	1,053.9	4,867.4	877.8	2,780.3	822.6	3,716.5	1,272.4	6,659.1
2033	934.3	4,086.7	923.4	2,858.9	766.0	3,181.3	1,028.7	4,898.3
2034	1,854.5	9,325.5	1,895.1	7,206.0	1,046.2	5,132.9	1,848.6	10,427.3
2035	1,349.9	6,367.5	1,067.1	3,442.7	768.2	3,384.2	1,335.6	6,945.3
2036	1,474.8	7,178.5	1,117.9	3,733.7	1,094.3	5,285.8	1,622.9	8,834.2
2037	1,088.1	4,893.7	897.5	2,801.3	762.1	3,249.7	1,231.5	6,329.6

2038	1,131.1	5,273.6	1,106.2	3,701.3	1,046.9	5,105.2	1,398.9	7,425.8
2039	2,057.6	10,580.7	1,914.0	7,259.5	1,462.2	7,655.8	2,385.9	13,922.0
2040	1,879.0	9,251.7	1,612.7	5,813.0	1,638.0	8,404.9	1,886.5	10,284.5
2041	1,430.8	6,935.2	1,017.1	3,327.9	969.1	4,671.9	1,739.3	9,627.3
2042	1,883.2	9,588.7	1,630.2	5,984.1	1,545.0	8,218.0	2,047.9	11,738.4
2043	1,616.7	7,731.3	1,537.7	5,463.9	1,555.9	7,904.3	1,717.2	9,238.9
2044	1,702.5	8,473.1	1,474.4	5,289.9	1,255.6	6,360.1	1,805.4	10,082.5
2045	1,658.0	8,081.4	1,651.8	5,962.9	2,243.7	12,346.7	1,748.9	9,586.2
2046	1,430.5	6,862.0	1,354.1	4,725.3	1,118.2	5,450.4	1,593.5	8,670.2
2047	1,622.4	7,979.0	1,246.8	4,254.8	1,174.5	5,810.1	1,760.4	9,686.4
2048	1,395.1	6,606.6	1,178.8	3,943.9	991.2	4,613.3	1,561.8	8,358.1
2049	1,663.6	8,197.8	1,395.5	4,992.7	1,279.7	6,323.0	1,616.2	8,613.6
2050	1,508.5	7,372.8	1,444.6	5,123.1	1,262.7	6,498.5	1,587.8	8,742.0
2051	1,284.1	6,077.0	1,168.1	3,976.3	1,227.6	6,222.5	1,626.7	8,943.5
2052	2,095.2	10,868.2	1,802.6	6,785.2	1,308.4	6,622.8	2,169.2	12,414.2
2053	1,729.5	8,630.2	1,480.5	5,308.1	1,415.5	7,262.9	1,953.8	10,982.2
2054	1,305.0	6,306.1	1,258.1	4,439.2	1,251.0	6,379.1	1,363.7	7,242.1
2055	1,746.1	8,701.7	1,517.0	5,384.6	1,612.6	8,479.2	1,829.5	10,150.9
2056	1,437.3	6,828.0	1,177.9	3,942.6	948.4	4,346.2	1,702.1	9,207.6
2057	1,759.9	8,828.5	1,461.5	5,300.6	1,415.2	7,358.6	1,794.5	10,119.6
2058	1,602.9	7,916.5	1,232.5	4,223.5	1,173.0	5,789.1	1,629.0	8,853.8
2059	1,728.4	8,378.2	1,968.4	7,458.9	1,460.7	7,492.0	1,869.7	10,299.5
2060	1,289.4	6,166.0	1,162.2	3,954.1	1,005.9	4,913.9	1,349.7	7,169.0
2061	2,133.4	10,773.5	1,853.6	6,916.6	1,688.4	8,899.1	2,892.3	17,055.6
2062	1,857.9	9,117.3	1,758.4	6,426.2	2,085.7	11,278.6	2,466.3	14,162.3
2063	1,750.8	8,769.6	1,839.6	6,932.4	1,418.1	7,462.3	1,761.0	9,826.0
2064	1,287.5	6,144.4	1,712.7	6,294.4	1,908.3	10,383.5	1,426.3	7,567.9
2065	2,267.9	11,528.8	1,933.7	7,218.1	1,361.7	6,864.9	2,421.5	13,869.3
2066	1,168.3	5,505.8	1,072.3	3,607.8	1,380.7	7,079.6	1,214.9	6,340.5
2067	1,259.8	5,961.6	1,348.4	4,727.4	1,127.1	5,501.6	1,445.0	7,683.6
2068	1,416.9	6,639.9	1,052.8	3,387.0	1,186.0	5,749.1	1,634.5	8,779.1
2069	1,538.7	7,446.5	1,569.4	5,674.4	1,118.9	5,405.7	1,704.7	9,340.9
2070	1,710.5	8,214.2	1,701.9	6,152.4	1,187.4	5,801.8	1,813.3	9,940.2
2071	1,974.2	9,952.0	1,448.7	5,130.9	994.0	4,698.1	2,143.7	12,179.1
2072	2,712.6	14,193.7	2,319.5	8,846.3	1,775.4	9,319.5	2,442.7	13,919.9
2073	1,872.6	9,445.6	1,677.5	6,208.3	1,720.8	9,223.7	2,202.5	12,713.1
2074	1,530.3	7,486.4	1,370.1	4,807.9	1,010.8	4,774.9	1,636.4	8,898.2
2075	1,829.7	8,967.3	1,673.2	6,077.7	1,207.5	5,905.9	1,799.7	9,825.1
2076	1,157.4	5,386.8	1,201.5	4,122.9	800.8	3,625.5	1,308.7	6,931.9
2077	1,877.0	9,170.1	1,811.0	6,466.8	2,282.7	12,439.5	1,894.4	10,227.5
2078	1,256.4	6,153.3	984.9	3,404.7	838.5	4,088.5	1,322.5	7,284.4
2079	1,762.4	8,619.3	1,418.0	4,914.0	1,173.7	5,688.2	1,794.7	9,769.3
2080	1,556.0	7,590.0	1,304.2	4,601.1	1,306.7	6,650.4	1,520.1	8,226.9
2081	1,849.5	9,181.8	1,337.2	4,587.5	1,830.8	9,767.2	1,983.2	10,980.8
2082	1,717.5	8,751.3	1,809.4	6,830.2	728.4	3,157.6	1,664.3	9,323.6
2083	1,769.2	8,724.5	1,396.4	4,886.6	1,121.0	5,421.0	1,724.7	9,359.9
2084	2,256.6	11,613.0	1,699.9	6,237.6	2,130.4	11,707.3	2,398.9	13,857.1
2085	1,472.6	7,189.9	1,275.1	4,406.5	1,450.1	7,538.9	1,734.3	9,662.5

2086	1,567.1	7,435.6	1,379.2	4,811.5	1,039.7	4,983.1	1,734.5	9,344.4
2087	1,766.1	8,815.5	1,798.0	6,599.2	1,298.3	6,518.7	1,727.7	9,611.9
2088	1,780.9	8,925.1	1,511.4	5,453.0	1,358.9	6,897.7	1,762.2	9,745.5
2089	1,558.2	7,639.5	1,405.0	4,984.8	1,057.4	5,031.4	1,755.8	9,696.3
2090	1,397.2	6,589.0	1,290.2	4,417.6	1,378.9	6,956.3	1,575.7	8,466.1
2091	1,458.6	7,007.1	1,296.4	4,451.9	1,326.8	6,691.8	1,581.5	8,559.3
2092	1,329.1	6,373.7	1,110.1	3,796.4	1,142.6	5,722.8	1,299.6	6,915.1
2093	1,300.5	6,160.1	992.8	3,278.1	1,012.2	4,972.3	1,428.2	7,739.3
2094	1,059.6	5,123.3	1,119.3	3,929.9	568.1	2,370.6	1,128.4	5,851.7
2095	1,478.6	7,048.5	1,461.6	5,160.3	1,040.6	4,942.5	1,631.2	8,808.3
2096	1,673.0	7,962.4	1,466.3	5,027.9	1,218.0	6,022.5	1,564.2	8,209.9
2097	1,269.2	6,088.8	1,173.3	4,106.6	1,076.5	5,292.3	1,236.5	6,559.6
2098	1,677.4	8,267.9	1,316.6	4,622.8	1,247.8	6,247.8	1,955.7	10,913.4
2099	1,229.3	5,800.5	1,071.3	3,537.0	1,085.2	5,393.3	1,508.6	8,203.9
2100	1,223.4	5,710.1	1,200.2	4,154.8	1,920.4	10,631.4	1,357.9	7,214.4
평균	1,588.1	7,776.4	1,406.4	4,979.4	1,259.7	6,336.6	1,711.4	9,406.2
최대	2,712.6	14,193.7	2,319.5	8,846.3	2,282.7	12,439.5	2,892.3	17,055.6
최소	934.3	4,086.7	877.8	2,780.3	568.1	2,370.6	1,028.7	4,898.3

[표 5.17] 기후변화 시나리오 (RCP8.5)에 의한 저수지 유입량 예측

년도	금광		덕우		송강		학정	
	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)
2017	809.2	28,866.4	744.8	11,249.6	777.0	2,358.2	701.5	3,048.7
2018	1,250.9	48,632.0	1,141.7	19,127.0	1,286.9	4,442.7	1,222.5	6,277.3
2019	1,100.5	41,726.7	1,012.7	16,514.3	1,211.8	4,122.4	1,008.8	4,924.9
2020	1,548.7	63,554.5	1,556.3	28,471.3	1,550.7	5,599.5	1,409.2	7,593.1
2021	1,135.7	43,196.5	981.4	15,933.2	1,247.2	4,205.9	892.7	4,160.4
2022	1,422.6	58,957.5	1,276.6	23,076.5	1,495.0	5,488.8	1,523.2	8,602.3
2023	1,464.2	58,666.6	1,415.5	25,007.7	1,557.6	5,568.1	1,464.1	7,912.4
2024	819.1	30,037.7	751.0	11,946.3	995.6	3,302.9	821.0	4,008.3
2025	1,739.8	73,590.6	1,681.9	31,845.8	1,645.1	6,050.8	1,627.1	9,269.4
2026	1,050.0	37,871.0	933.6	14,134.4	1,140.6	3,679.7	966.1	4,431.2
2027	1,287.7	51,116.5	1,126.4	19,228.4	1,350.6	4,783.5	987.4	4,805.1
2028	1,337.9	53,779.3	1,115.8	19,095.4	1,282.1	4,462.8	1,242.4	6,526.6
2029	1,499.3	59,846.9	1,219.5	20,594.6	1,734.4	6,286.9	1,347.8	7,029.1
2030	1,055.6	39,606.8	995.8	16,313.8	1,063.5	3,485.1	1,003.1	4,906.9
2031	1,398.4	55,951.4	1,255.1	21,749.7	1,523.0	5,475.1	984.0	4,779.5
2032	1,398.9	56,094.5	1,190.8	20,434.5	1,269.2	4,368.8	1,210.8	6,262.8
2033	1,028.9	39,345.8	917.8	14,755.7	1,158.2	3,951.7	1,105.4	5,562.7
2034	1,040.2	39,486.7	1,063.7	18,009.3	1,106.3	3,703.4	1,115.5	5,774.5
2035	1,071.7	40,513.3	977.8	15,737.2	1,150.5	3,879.6	1,011.6	5,008.1
2036	762.2	26,875.4	774.1	11,858.0	938.0	3,066.5	910.0	4,423.2
2037	1,233.4	46,743.5	1,179.6	19,378.2	1,371.3	4,722.8	1,173.3	5,801.9
2038	903.8	34,339.4	809.3	13,114.8	1,018.5	3,438.9	925.9	4,615.7
2039	825.3	28,910.3	718.2	10,508.0	975.0	3,135.5	714.9	3,146.6
2040	1,686.1	69,860.6	1,671.2	30,837.7	1,682.1	6,160.4	1,569.4	8,760.3
2041	1,348.8	54,010.2	1,272.7	22,399.3	1,460.5	5,235.9	1,112.1	5,696.3
2042	966.9	35,883.9	954.7	15,413.5	856.7	2,707.4	909.7	4,315.3
2043	1,259.4	49,157.5	1,183.4	20,182.1	1,268.8	4,387.4	1,113.3	5,647.1
2044	1,173.7	44,808.4	1,117.1	18,424.4	1,173.5	3,914.8	1,141.5	5,671.4
2045	1,378.1	53,975.5	1,267.0	21,214.6	1,299.4	4,432.2	1,323.6	6,824.7
2046	884.9	33,619.0	816.5	13,449.5	1,012.7	3,422.2	908.9	4,607.8
2047	1,049.1	39,346.9	1,010.1	16,583.5	1,032.3	3,341.1	965.8	4,527.6
2048	944.1	34,430.3	900.1	14,241.1	999.3	3,204.1	855.2	3,955.6
2049	1,182.5	46,332.0	1,015.0	16,853.5	1,263.6	4,394.0	1,042.4	5,198.6
2050	2,037.6	84,896.1	1,986.8	36,951.2	1,941.5	7,122.4	1,671.9	9,083.1
2051	1,693.2	69,771.2	1,538.2	27,624.5	1,567.7	5,656.5	1,243.2	6,384.4
2052	1,041.7	41,743.9	1,003.3	17,406.0	1,094.5	3,835.2	913.8	4,608.9
2053	1,338.4	53,244.1	1,229.9	21,462.9	1,260.2	4,379.8	1,063.8	5,362.9

2054	892.2	32,196.5	824.9	12,715.0	937.0	2,992.1	847.5	3,889.1
2055	1,722.7	71,122.1	1,478.7	26,575.3	1,664.0	6,047.4	1,656.7	9,257.1
2056	967.8	35,761.8	905.5	14,411.9	970.5	3,139.9	894.5	4,261.1
2057	1,239.7	47,538.6	1,073.6	17,400.6	1,266.8	4,328.3	1,176.0	5,874.4
2058	1,507.9	61,916.1	1,392.8	25,148.4	1,511.1	5,407.7	1,370.2	7,390.8
2059	1,183.5	46,224.4	1,099.4	18,856.9	1,305.6	4,561.3	1,073.2	5,419.8
2060	1,106.7	42,872.8	1,058.8	18,033.8	1,279.0	4,465.8	1,126.2	5,753.2
2061	1,171.8	44,200.2	1,092.2	17,742.5	1,437.5	5,032.8	1,315.8	6,824.1
2062	1,210.8	47,900.2	1,163.1	20,168.2	1,079.1	3,629.1	978.4	4,863.9
2063	1,236.4	48,239.4	1,054.5	17,492.6	1,233.4	4,209.3	1,118.6	5,577.1
2064	1,183.3	45,835.2	1,135.0	19,169.2	1,257.0	4,328.3	1,305.0	6,861.1
2065	1,317.3	52,347.4	1,249.5	21,709.0	1,386.8	4,913.6	1,281.1	6,804.9
2066	1,130.5	43,148.8	1,062.3	17,652.8	1,162.4	3,914.3	1,155.3	5,853.7
2067	1,971.1	81,762.7	1,806.3	32,879.2	1,804.7	6,567.8	1,877.4	10,490.5
2068	1,248.8	50,829.0	1,255.5	22,731.5	1,143.0	3,951.6	1,159.2	6,143.5
2069	1,291.0	50,627.8	1,154.0	19,388.7	1,351.7	4,708.2	1,246.9	6,428.9
2070	1,540.5	62,587.7	1,424.9	25,238.4	1,446.0	5,122.9	1,233.2	6,392.6
2071	996.2	37,575.9	946.9	15,364.8	1,079.3	3,636.0	963.4	4,702.5
2072	1,554.5	59,557.2	1,329.3	21,760.4	1,661.6	5,731.1	1,505.6	7,606.6
2073	1,502.6	62,454.4	1,355.9	24,528.8	1,371.0	4,960.8	1,480.0	8,225.0
2074	1,142.8	44,732.1	1,121.3	19,207.2	1,092.9	3,659.7	1,099.2	5,525.8
2075	1,108.6	41,533.1	1,033.3	16,579.8	1,122.1	3,701.2	1,065.6	5,172.3
2076	1,690.3	69,552.5	1,526.0	27,398.6	1,741.5	6,355.1	1,510.2	8,085.4
2077	1,484.0	60,722.2	1,374.6	24,844.8	1,589.8	5,720.6	1,188.3	6,160.4
2078	1,338.4	54,059.1	1,234.1	21,658.6	1,297.0	4,584.9	887.0	4,314.5
2079	1,356.6	54,637.5	995.8	16,513.9	910.1	2,883.8	923.2	4,372.3
2080	1,890.2	77,179.2	1,723.4	30,827.6	2,054.6	7,571.7	1,816.3	9,898.0
2081	1,429.7	58,511.9	1,150.5	20,088.9	1,550.9	5,661.2	1,254.2	6,662.7
2082	1,397.5	55,581.8	1,352.8	23,317.0	1,268.8	4,364.5	1,308.8	6,822.1
2083	1,391.9	56,242.6	1,304.0	23,167.7	1,309.3	4,605.5	1,182.0	6,205.0
2084	1,362.4	55,210.4	1,429.3	26,044.6	1,194.9	4,134.3	1,138.2	5,951.2
2085	1,199.3	47,253.8	1,179.4	20,630.7	1,176.2	4,046.0	1,134.4	5,875.7
2086	1,426.3	56,867.5	1,493.3	26,583.3	1,338.8	4,640.5	1,264.0	6,467.7
2087	926.6	34,998.2	796.2	12,664.1	970.6	3,225.6	987.8	4,898.8
2088	1,673.4	67,887.7	1,717.2	31,155.1	1,566.0	5,575.2	1,387.6	7,344.8
2089	704.8	25,070.5	638.1	9,596.6	821.9	2,580.5	655.1	2,872.3
2090	2,428.8	103,680.7	1,825.1	33,347.6	1,898.4	6,978.0	1,745.5	9,581.6
2091	954.0	34,916.6	955.2	15,233.8	1,138.8	3,782.6	1,098.9	5,428.6
2092	1,724.0	72,849.0	1,312.4	23,784.0	2,135.6	8,152.4	1,604.6	9,332.3
2093	1,808.8	75,003.6	1,778.1	32,789.1	2,020.1	7,529.1	2,414.2	14,183.7
2094	1,463.8	59,676.0	1,402.3	24,992.9	1,766.3	6,503.0	1,251.7	6,464.7
2095	1,689.3	69,382.5	1,537.5	27,649.5	2,010.0	7,539.4	1,635.2	9,112.5

2096	1,274.3	47,383.5	1,174.9	18,798.1	1,146.9	3,702.8	1,216.5	5,930.6
2097	1,659.9	70,889.8	1,580.2	29,558.4	1,778.9	6,710.4	1,618.4	9,187.7
2098	964.5	36,006.1	921.9	14,974.7	992.2	3,254.5	996.0	4,902.6
2099	1,224.1	48,028.3	1,163.3	19,968.9	1,424.6	5,064.4	1,080.5	5,500.4
2100	1,149.2	44,548.8	1,083.1	18,122.8	1,138.8	3,826.7	1,188.8	6,005.6
평균	1,297.7	51,379.7	1,196.1	20,590.4	1,328.1	4,640.2	1,197.8	6,195.2
최대	2,428.8	103,680.7	1,986.8	36,951.2	2,135.6	8,152.4	2,414.2	14,183.7
최소	704.8	25,070.5	638.1	9,596.6	777.0	2,358.2	655.1	2,872.3

[표 5.18] 기후변화 시나리오 (RCP8.5)에 의한 저수지 유입량 예측 (계속)

년도	냉정		풍전		금마		왕궁	
	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)
2017	701.5	2,441.3	589.1	4,522.6	697.4	1,913.5	697.4	3,610.7
2018	1,222.5	4,906.7	1,146.7	10,061.8	1,832.0	6,414.5	1,832.0	12,014.0
2019	1,008.8	3,877.9	1,070.0	9,304.8	1,346.8	4,499.0	1,346.8	8,444.7
2020	1,409.2	5,900.1	1,446.8	13,429.6	1,676.7	5,830.8	1,676.7	10,936.1
2021	892.7	3,266.2	833.0	6,715.2	1,481.4	5,000.9	1,481.4	9,407.7
2022	1,523.2	6,599.7	1,298.9	12,067.5	1,904.7	7,008.4	1,904.7	13,291.0
2023	1,464.1	6,146.8	1,308.8	11,785.0	1,362.4	4,480.0	1,362.4	8,363.7
2024	821.0	3,133.3	707.4	5,760.0	888.3	2,693.8	888.3	5,066.3
2025	1,627.1	7,102.1	1,357.3	12,739.6	1,613.0	5,668.0	1,613.0	10,678.4
2026	966.1	3,510.5	872.9	6,986.6	1,233.7	3,887.9	1,233.7	7,248.4
2027	987.4	3,828.6	819.7	6,925.5	1,245.2	4,082.6	1,245.2	7,597.6
2028	1,242.4	5,064.3	1,067.6	9,448.1	1,440.1	4,968.2	1,440.1	9,392.5
2029	1,347.8	5,504.6	1,260.5	11,278.7	1,695.3	5,822.5	1,695.3	10,904.3
2030	1,003.1	3,859.7	924.8	7,824.4	908.6	2,710.2	908.6	5,106.6
2031	984.0	3,774.4	1,173.7	10,427.6	1,461.7	4,916.6	1,461.7	9,219.0
2032	1,210.8	4,891.5	1,126.9	10,028.9	1,493.5	5,083.2	1,493.5	9,542.8
2033	1,105.4	4,352.2	878.1	7,249.7	1,522.0	5,201.0	1,522.0	9,753.3
2034	1,115.5	4,487.4	1,054.3	9,243.2	1,098.4	3,449.8	1,098.4	6,436.1
2035	1,011.6	3,913.9	832.3	6,899.7	1,465.2	5,004.8	1,465.2	9,392.1
2036	910.0	3,492.3	1,218.3	11,156.3	847.7	2,551.5	847.7	4,768.4
2037	1,173.3	4,593.0	1,029.7	8,774.2	1,292.2	4,097.0	1,292.2	7,561.5
2038	925.9	3,602.9	897.6	7,717.3	1,073.2	3,460.8	1,073.2	6,523.4
2039	714.9	2,501.7	662.0	5,102.3	1,119.5	3,597.6	1,119.5	6,756.4
2040	1,569.4	6,766.3	1,585.9	15,062.4	1,743.7	6,103.1	1,743.7	11,409.4
2041	1,112.1	4,447.6	1,133.0	10,132.0	1,187.0	3,906.8	1,187.0	7,320.5
2042	909.7	3,442.6	785.4	6,423.5	797.9	2,319.2	797.9	4,339.6
2043	1,113.3	4,412.7	999.1	8,640.9	1,179.5	3,760.1	1,179.5	7,002.8
2044	1,141.5	4,470.7	1,059.0	9,187.8	1,389.6	4,595.4	1,389.6	8,585.0

2045	1,323.6	5,333.1	1,315.9	11,628.8	1,529.3	5,069.7	1,529.3	9,466.9
2046	908.9	3,588.9	820.6	7,035.3	1,323.6	4,496.3	1,323.6	8,453.9
2047	965.8	3,587.8	957.5	8,048.9	1,404.8	4,607.3	1,404.8	8,590.8
2048	855.2	3,111.8	859.9	7,024.0	1,087.0	3,360.9	1,087.0	6,321.1
2049	1,042.4	4,093.1	920.1	7,784.4	1,213.0	3,885.6	1,213.0	7,225.2
2050	1,671.9	7,053.0	1,911.4	18,299.8	1,656.8	5,607.8	1,656.8	10,474.2
2051	1,243.2	5,030.7	1,276.1	11,585.8	1,482.2	5,069.0	1,482.2	9,489.4
2052	913.8	3,576.5	964.8	8,611.2	1,312.8	4,465.8	1,312.8	8,419.3
2053	1,063.8	4,196.7	1,201.4	10,795.7	1,082.5	3,396.4	1,082.5	6,332.9
2054	847.5	3,122.6	713.2	5,777.3	987.7	3,075.6	987.7	5,697.1
2055	1,656.7	7,154.0	1,469.2	13,708.4	1,799.9	6,458.8	1,799.9	12,174.0
2056	894.5	3,353.7	828.3	6,871.5	1,201.0	3,916.7	1,201.0	7,328.0
2057	1,176.0	4,652.4	983.2	8,353.4	1,301.8	4,216.1	1,301.8	7,835.7
2058	1,370.2	5,702.9	1,178.9	10,571.8	1,348.0	4,472.6	1,348.0	8,439.8
2059	1,073.2	4,234.3	933.8	7,930.3	1,267.6	4,131.4	1,267.6	7,715.0
2060	1,126.2	4,512.4	1,079.4	9,626.9	1,370.1	4,618.0	1,370.1	8,641.4
2061	1,315.8	5,340.6	1,069.0	9,254.6	1,754.0	6,155.3	1,754.0	11,583.1
2062	978.4	3,799.0	969.1	8,413.0	1,094.0	3,459.3	1,094.0	6,491.0
2063	1,118.6	4,368.2	989.0	8,375.0	1,386.7	4,557.4	1,386.7	8,517.0
2064	1,305.0	5,353.7	1,257.6	11,416.1	1,374.6	4,568.2	1,374.6	8,539.8
2065	1,281.1	5,292.3	1,174.6	10,479.4	1,492.9	5,090.2	1,492.9	9,540.4
2066	1,155.3	4,589.4	1,007.0	8,854.0	1,348.6	4,397.9	1,348.6	8,229.8
2067	1,877.4	8,120.3	1,498.9	13,716.8	1,848.7	6,491.9	1,848.7	12,191.8
2068	1,159.2	4,752.8	1,289.9	12,074.4	1,133.5	3,763.8	1,133.5	7,097.1
2069	1,246.9	5,061.2	1,086.3	9,491.8	1,388.5	4,609.4	1,388.5	8,598.4
2070	1,233.2	4,980.1	1,217.7	10,954.4	1,511.5	5,133.1	1,511.5	9,616.6
2071	963.4	3,710.9	891.1	7,501.6	1,197.2	3,922.1	1,197.2	7,327.4
2072	1,505.6	5,955.1	1,377.3	11,933.0	1,776.7	5,944.2	1,776.7	11,073.7
2073	1,480.0	6,397.6	1,640.6	15,958.1	1,451.9	4,987.0	1,451.9	9,334.7
2074	1,099.2	4,343.7	1,050.8	9,168.2	1,133.7	3,564.4	1,133.7	6,699.9
2075	1,065.6	4,091.1	1,115.8	9,748.7	1,228.8	3,936.3	1,228.8	7,338.2
2076	1,510.2	6,287.5	1,447.1	13,298.8	1,852.6	6,524.3	1,852.6	12,243.1
2077	1,188.3	4,805.8	1,184.1	10,681.9	1,561.3	5,243.7	1,561.3	9,810.7
2078	887.0	3,365.5	1,034.2	9,141.8	1,145.9	3,901.8	1,145.9	7,397.6
2079	923.2	3,452.4	875.4	7,321.8	1,226.8	3,884.8	1,226.8	7,202.5
2080	1,816.3	7,729.3	1,665.6	15,395.2	2,474.6	9,064.9	2,474.6	17,007.7
2081	1,254.2	5,173.1	1,239.3	11,326.5	1,433.9	4,954.0	1,433.9	9,377.1
2082	1,308.8	5,341.9	1,400.7	12,839.4	1,576.2	5,409.5	1,576.2	10,123.3
2083	1,182.0	4,831.8	1,021.3	8,992.5	1,283.4	4,260.1	1,283.4	8,001.6
2084	1,138.2	4,626.1	1,107.5	9,912.6	1,259.8	4,178.0	1,259.8	7,788.8
2085	1,134.4	4,568.6	1,034.3	9,076.9	1,398.1	4,750.0	1,398.1	8,894.2

2086	1,264.0	5,075.9	1,188.3	10,487.9	1,360.0	4,419.9	1,360.0	8,255.1
2087	987.8	3,840.3	909.6	7,754.0	1,260.1	4,233.1	1,260.1	7,958.9
2088	1,387.6	5,719.6	1,347.9	12,243.6	1,504.1	5,116.6	1,504.1	9,573.2
2089	655.1	2,255.9	610.0	4,647.3	928.1	2,843.8	928.1	5,348.8
2090	1,745.5	7,433.9	1,251.6	11,135.5	2,050.0	7,341.5	2,050.0	13,777.5
2091	1,098.9	4,289.3	1,049.2	9,049.6	1,200.7	3,702.2	1,200.7	6,875.3
2092	1,604.6	7,134.8	1,088.4	9,893.3	1,712.3	6,189.7	1,712.3	11,724.3
2093	2,414.2	10,902.1	1,682.3	15,947.5	2,236.2	8,047.3	2,236.2	15,092.8
2094	1,251.7	5,043.4	1,082.2	9,425.3	1,802.7	6,455.3	1,802.7	12,190.2
2095	1,635.2	7,029.2	1,276.0	11,515.8	2,062.0	7,463.1	2,062.0	14,039.7
2096	1,216.5	4,640.3	1,013.6	8,165.8	1,169.9	3,557.3	1,169.9	6,623.9
2097	1,618.4	7,115.3	1,432.3	13,668.4	1,694.5	6,043.7	1,694.5	11,363.3
2098	996.0	3,880.2	805.2	6,597.0	1,141.8	3,623.0	1,141.8	6,737.8
2099	1,080.5	4,301.6	933.9	7,905.7	1,367.2	4,606.9	1,367.2	8,661.3
2100	1,188.8	4,708.6	1,223.0	11,008.1	1,584.4	5,403.2	1,584.4	10,128.1
평균	1,197.8	4,836.9	1,108.2	9,801.4	1,402.1	4,710.4	1,402.1	8,829.2
최대	2,414.2	10,902.1	1,911.4	18,299.8	2,474.6	9,064.9	2,474.6	17,007.7
최소	655.1	2,255.9	589.1	4,522.6	697.4	1,913.5	697.4	3,610.7

[표 5.19] 기후변화 시나리오 (RCP8.5)에 의한 저수지 유입량 예측 (계속)

년도	관기		계산		개운		덕곡	
	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)	강우량 (mm)	유입량 (천톤)
2017	1,177.4	5,527.0	1,013.3	3,372.2	764.5	3,323.1	1,452.6	7,852.8
2018	2,185.6	11,045.8	1,784.0	6,526.8	1,520.6	7,819.8	2,320.8	13,222.6
2019	1,465.8	7,166.4	1,412.1	5,073.7	1,139.7	5,577.9	1,565.8	8,501.9
2020	1,744.3	8,573.0	1,527.0	5,477.4	1,512.2	7,850.5	2,022.8	11,392.7
2021	1,339.0	6,239.4	1,336.8	4,641.1	943.4	4,253.2	1,385.0	7,169.0
2022	1,827.5	9,202.6	1,494.5	5,407.4	1,491.2	7,969.1	1,978.8	11,199.9
2023	1,550.5	7,494.8	1,382.3	4,771.6	1,472.3	7,565.2	1,606.1	8,663.7
2024	1,012.7	4,648.3	926.7	3,011.1	826.6	3,763.8	1,250.5	6,558.9
2025	1,351.4	6,522.5	1,180.1	4,082.8	1,441.4	7,546.2	1,436.2	7,746.2
2026	2,174.9	11,169.9	1,490.3	5,256.3	1,195.4	5,715.9	2,059.9	11,409.7
2027	1,479.7	7,084.8	1,388.6	4,880.8	1,282.2	6,492.4	1,414.2	7,521.3
2028	1,638.7	8,190.4	1,596.7	5,910.8	1,176.9	5,801.8	1,875.3	10,622.4
2029	1,504.0	7,182.3	1,638.6	5,874.6	1,560.0	8,090.1	1,730.0	9,429.0
2030	1,020.2	4,612.8	942.3	2,999.4	957.6	4,409.5	1,163.0	6,015.8
2031	1,813.9	9,028.2	1,909.9	7,126.4	1,115.0	5,381.0	1,870.0	10,309.0
2032	1,517.9	7,328.9	1,360.5	4,790.1	1,309.8	6,625.5	1,874.2	10,408.3
2033	1,503.3	7,275.1	1,456.2	5,170.7	1,196.8	5,987.8	1,567.4	8,503.1
2034	1,278.9	5,879.6	1,268.5	4,305.7	1,061.9	5,066.4	1,546.2	8,246.1
2035	1,955.8	9,816.1	1,721.6	6,366.2	1,145.9	5,604.9	2,022.7	11,378.5
2036	1,367.8	6,672.7	1,096.4	3,748.1	1,074.7	5,345.9	1,308.4	6,949.3
2037	1,715.8	8,391.8	1,466.8	5,099.0	1,403.6	6,993.1	1,915.3	10,448.6

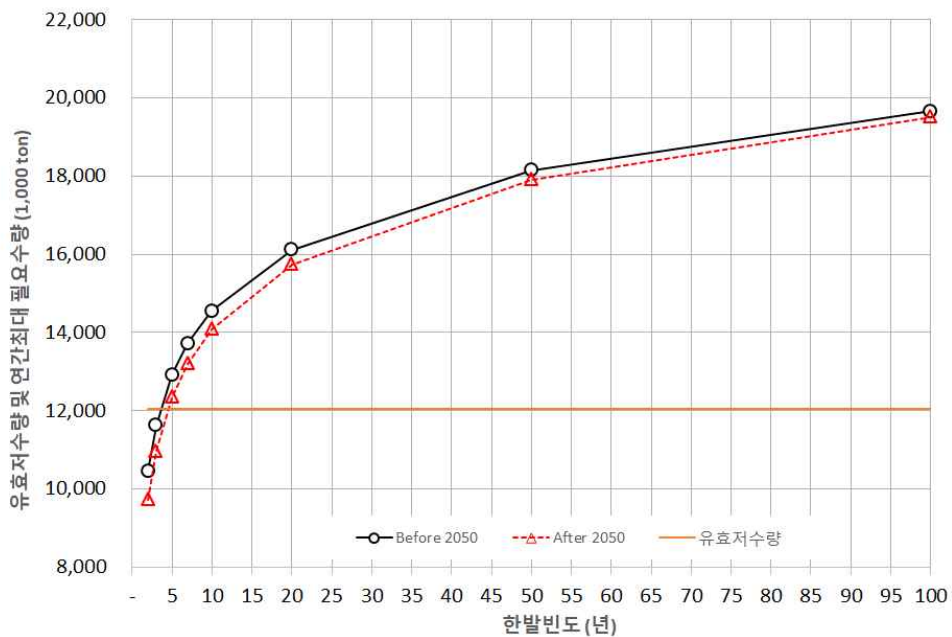
2038	1,531.5	7,474.2	1,466.6	5,287.6	983.9	4,793.7	1,538.5	8,483.3
2039	1,225.1	5,776.2	1,263.9	4,396.3	849.4	3,847.0	1,134.5	5,788.4
2040	1,827.5	8,919.9	1,650.4	5,980.1	1,527.0	7,957.3	2,152.1	12,040.2
2041	1,150.1	5,396.3	1,019.9	3,388.5	1,332.1	6,864.3	1,312.5	6,966.5
2042	957.3	4,239.8	771.6	2,292.8	714.4	3,105.1	1,144.5	5,839.4
2043	1,260.8	5,936.5	1,148.0	3,893.3	1,158.6	5,700.4	1,492.6	8,055.9
2044	1,562.2	7,438.8	1,481.2	5,163.6	1,204.6	5,873.2	1,782.0	9,668.3
2045	1,708.6	8,287.8	1,557.7	5,563.9	1,196.8	5,767.4	2,067.1	11,517.3
2046	1,545.1	7,702.9	1,260.0	4,409.6	997.8	4,860.5	1,420.9	7,761.0
2047	1,904.1	9,465.2	1,734.0	6,307.2	1,145.1	5,478.2	1,970.6	10,946.5
2048	1,493.7	7,013.6	1,479.9	5,080.8	1,019.6	4,796.8	1,660.1	8,911.8
2049	1,512.3	7,344.1	1,271.4	4,497.2	1,378.0	7,086.1	1,521.6	8,212.9
2050	2,263.7	11,491.3	1,584.6	5,461.5	1,791.2	9,412.1	2,371.6	13,335.3
2051	1,699.8	8,594.1	1,476.0	5,479.9	1,733.6	9,278.0	1,520.3	8,490.7
2052	2,567.1	13,776.1	1,871.5	7,151.3	1,153.1	5,899.6	1,511.3	8,332.9
2053	1,133.6	5,217.5	1,035.1	3,383.3	1,057.0	5,119.1	1,499.2	8,034.3
2054	1,518.0	7,433.2	1,239.9	4,262.1	1,116.7	5,494.8	1,765.3	9,827.3
2055	2,001.5	10,209.9	1,932.6	7,282.9	1,506.2	7,858.6	1,962.4	11,017.5
2056	1,381.5	6,573.4	1,172.4	3,910.1	1,090.7	5,284.3	1,527.5	8,172.4
2057	1,761.9	8,604.3	1,749.8	6,405.1	1,272.0	6,338.4	2,047.5	11,430.9
2058	1,856.8	9,159.5	1,660.3	6,044.0	1,400.3	7,136.2	2,245.7	12,843.0
2059	1,188.4	5,464.9	1,026.1	3,340.2	1,100.3	5,345.1	1,236.7	6,354.3
2060	1,464.0	7,029.0	1,182.8	3,994.2	1,434.6	7,421.6	1,720.5	9,431.0
2061	1,739.8	8,590.9	1,475.3	5,193.2	2,113.2	11,566.2	1,784.0	9,817.9
2062	1,244.8	5,765.1	1,026.8	3,315.7	970.0	4,646.8	1,372.0	7,240.3
2063	1,841.1	9,097.9	1,726.0	6,293.8	1,195.6	5,867.6	1,982.8	11,091.9
2064	1,266.7	5,960.6	1,112.1	3,753.3	1,217.4	6,072.9	1,536.7	8,279.5
2065	1,474.6	7,128.7	1,363.8	4,746.5	1,324.2	6,733.1	1,725.2	9,472.6
2066	1,766.5	8,756.2	1,490.0	5,300.6	1,197.6	5,935.7	1,792.9	9,857.3
2067	1,707.3	8,155.8	1,542.7	5,447.3	1,790.8	9,449.7	1,679.2	8,964.2
2068	1,514.0	7,480.5	1,093.0	3,794.0	1,327.9	6,904.0	1,467.9	8,075.2
2069	1,632.4	8,025.6	1,555.8	5,607.8	1,363.1	6,878.6	1,829.8	10,113.2
2070	2,401.3	12,533.1	1,763.9	6,597.9	1,527.0	7,981.5	2,484.5	14,505.4
2071	1,415.5	6,755.3	1,389.2	4,886.6	1,019.0	4,961.9	1,673.7	9,101.5
2072	2,299.9	11,608.3	1,907.8	6,882.8	1,638.8	8,064.4	2,057.8	11,170.9
2073	2,425.5	12,774.8	1,625.6	6,006.0	1,472.5	7,893.0	2,511.6	14,764.4
2074	1,441.3	6,815.9	1,145.2	3,826.3	1,032.9	4,927.7	1,771.6	9,752.8
2075	1,587.3	7,828.6	1,389.0	4,874.0	1,025.6	4,820.3	1,556.6	8,393.7
2076	2,488.0	12,914.2	1,951.6	7,323.8	1,549.4	8,005.8	2,385.3	13,609.2
2077	1,836.6	9,058.1	1,688.9	6,075.3	1,394.9	7,100.7	1,771.9	9,695.2
2078	1,168.5	5,694.5	1,956.5	7,713.9	1,181.4	6,089.8	1,222.2	6,551.4
2079	1,638.7	7,889.6	1,388.1	4,769.1	924.7	4,201.6	1,684.9	9,028.4
2080	1,631.7	7,841.8	1,669.3	5,966.8	2,029.6	10,817.7	1,897.6	10,397.0
2081	2,017.8	10,238.3	2,142.7	8,277.4	1,609.1	8,555.3	1,934.7	11,000.0
2082	1,867.1	9,237.5	1,544.7	5,578.6	1,495.5	7,689.4	2,099.0	11,809.0
2083	1,775.2	8,888.4	1,484.1	5,350.3	1,283.7	6,548.0	2,149.5	12,291.8
2084	1,530.3	7,504.6	1,146.8	3,864.7	1,065.2	5,188.7	1,571.9	8,466.4
2085	1,364.3	6,488.7	1,277.6	4,407.8	1,166.5	5,831.9	1,625.6	8,772.0

2086	1,489.7	7,178.7	1,596.5	5,731.9	1,228.8	6,015.7	1,630.2	8,885.2
2087	1,413.4	6,807.2	1,323.1	4,655.6	982.3	4,743.1	1,588.7	8,688.4
2088	2,116.4	10,771.2	1,680.1	6,169.7	1,408.0	7,160.1	2,322.7	13,384.3
2089	1,463.3	7,188.1	1,130.6	3,847.1	703.5	3,033.8	1,577.5	8,707.9
2090	1,636.3	7,901.3	1,388.9	4,822.8	1,745.4	9,176.4	1,775.5	9,706.2
2091	1,601.0	7,709.9	1,391.4	4,800.2	1,111.5	5,347.9	1,521.6	7,991.9
2092	2,430.2	12,658.9	2,151.3	8,284.7	2,034.4	11,328.9	2,352.8	13,649.5
2093	2,724.8	14,112.1	2,150.2	8,126.0	1,972.8	10,564.5	2,724.6	15,772.9
2094	3,644.6	20,245.4	2,648.3	10,594.1	1,760.6	9,484.6	3,079.3	18,506.4
2095	1,983.2	9,986.6	1,626.8	5,901.8	1,899.8	10,261.0	1,991.3	11,209.3
2096	1,933.3	9,418.3	1,454.0	4,955.3	1,113.5	5,119.8	1,981.3	10,748.1
2097	2,085.5	10,791.5	1,686.0	6,332.1	1,424.7	7,570.9	2,186.8	12,856.5
2098	1,945.9	9,830.6	1,560.8	5,537.0	926.5	4,332.1	1,625.5	8,621.0
2099	1,477.5	7,236.9	1,399.9	5,017.3	1,230.9	6,179.9	1,475.2	8,055.8
2100	1,609.1	7,714.7	1,335.4	4,571.1	1,248.7	6,182.5	1,824.5	9,955.4
평균	1,687.7	8,335.5	1,473.9	5,262.7	1,291.2	6,513.5	1,776.1	9,809.2
최대	3,644.6	20,245.4	2,648.3	10,594.1	2,113.2	11,566.2	3,079.3	18,506.4
최소	957.3	4,239.8	771.6	2,292.8	703.5	3,033.8	1,134.5	5,788.4

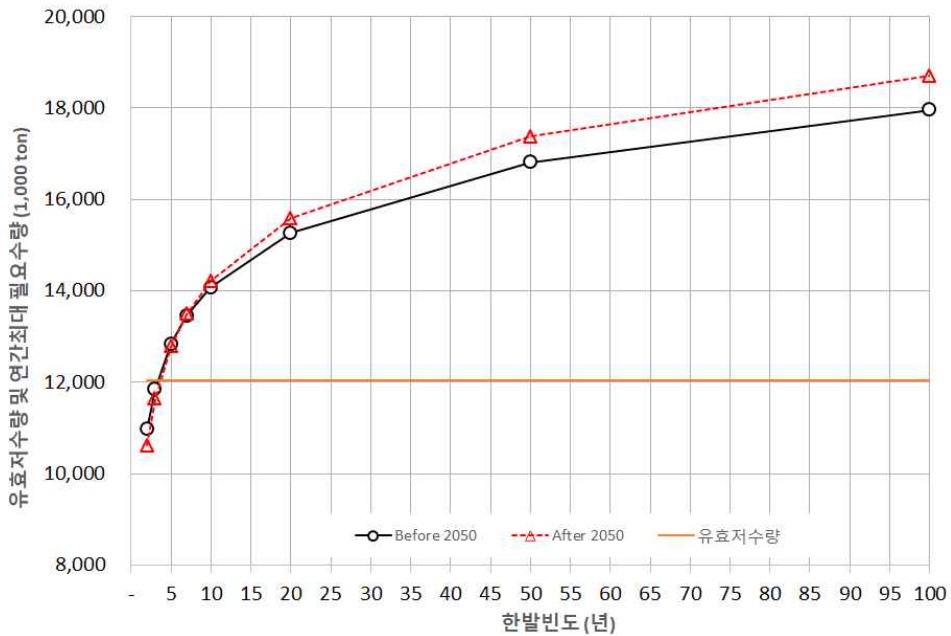
- RCP4.5 시나리오의 경우에는 2100년까지 평균 강우량의 최소값은 풍전저수지에서 1,108mm, 최대값은 덕곡저수지에서 1,711mm가 발생하였고, 평균 유입량의 최소값은 유역면적이 가장 적은 송강저수지에서 4,657천톤, 최대값은 유역면적이 가장 큰 금광저수지에서 51,488천톤이 발생하였음
- 금광저수지의 경우에는 평균 1,298mm의 강우량에 대하여 평균 51,488천톤이 발생하였고, 덕우저수지는 1,194mm의 강우량에 대하여 20,665천톤, 송강저수지는 1,330mm의 강우량에 대하여 4,657천톤, 학정저수지는 1,198mm의 강우량에 대하여 6,218천톤의 유입량이 발생하였음
- 냉정저수지의 경우에는 평균 1,198mm의 강우량에 대하여 평균 4,851천톤이 발생하였고, 풍전저수지는 1,108mm의 강우량에 대하여 9,824천톤, 금마저수지는 1,387mm의 강우량에 대하여 4,663천톤, 왕궁저수지는 1,387mm의 강우량에 대하여 8,743천톤의 유입량이 발생하였음
- 관기저수지의 경우에는 평균 1,588mm의 강우량에 대하여 평균 7,776천톤이 발생하였고, 제산저수지는 1,406mm의 강우량에 대하여 4,979천톤, 개운저수지는 1,259mm의 강우량에 대하여 6,336천톤, 덕곡저수지는 1,711mm의 강우량에 대하여 9,406천톤의 유입량이 발생하였음

2. 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 분석

- 물수지 분석 결과를 바탕으로 2050년 이전과 이후로 나누어 미래의 이수 안전도 변화를 분석하였으며, 이수안전도 분석 방법은 앞서 기술하였듯이 물수지 분석된 시계열 자료로부터 빈도분석을 통하여 한발빈도를 산정하여 현재 대비 미래의 한발빈도 변화를 분석하였음



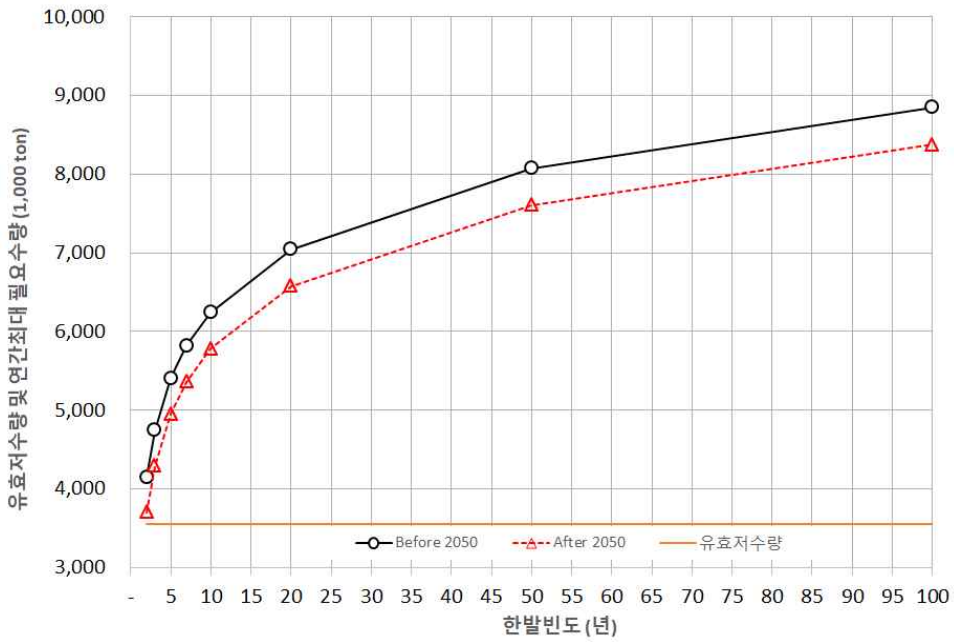
(a) RCP 4.5



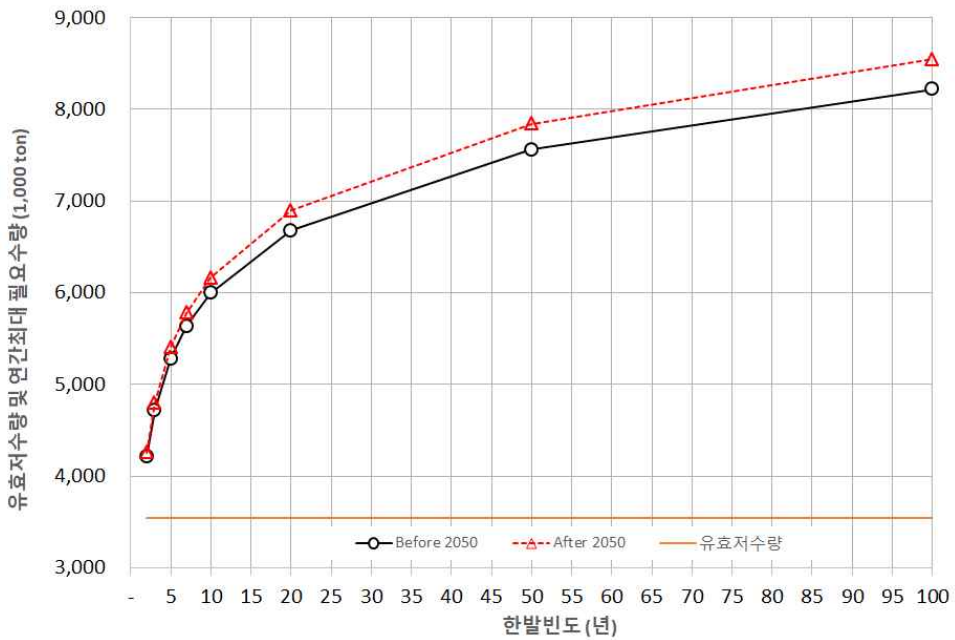
(b) RCP 8.5

[그림 5.105] 금광저수지 미래 이수안전도

- 금광저수지의 경우, 유효저수량은 약 천2백만톤인데 비하여 RCP4.5를 적용하였을 때 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 12,922천톤, 10년빈도는 14,554천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 12,347천톤, 10년빈도는 14,083천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 12,839천톤, 10년빈도는 14,079천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년 빈도는 12,778천톤, 10년빈도는 14,213천톤으로 분석되었음
- 따라서, 금광저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP4.5에서는 2050년 이전에는 3년, 2050년 이후에는 4년의 한발빈도를 나타내고 있고, RCP8.5에서는 2050년 이전에는 3.5년, 2050년 이후에는 4년의 한발빈도를 나타내고 있음



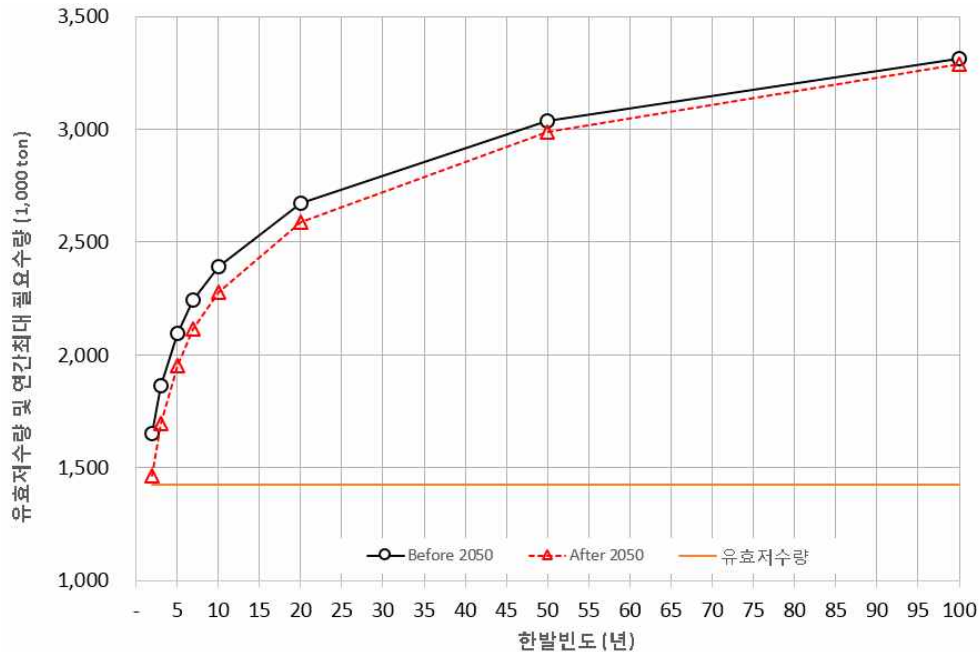
(a) RCP 4.5



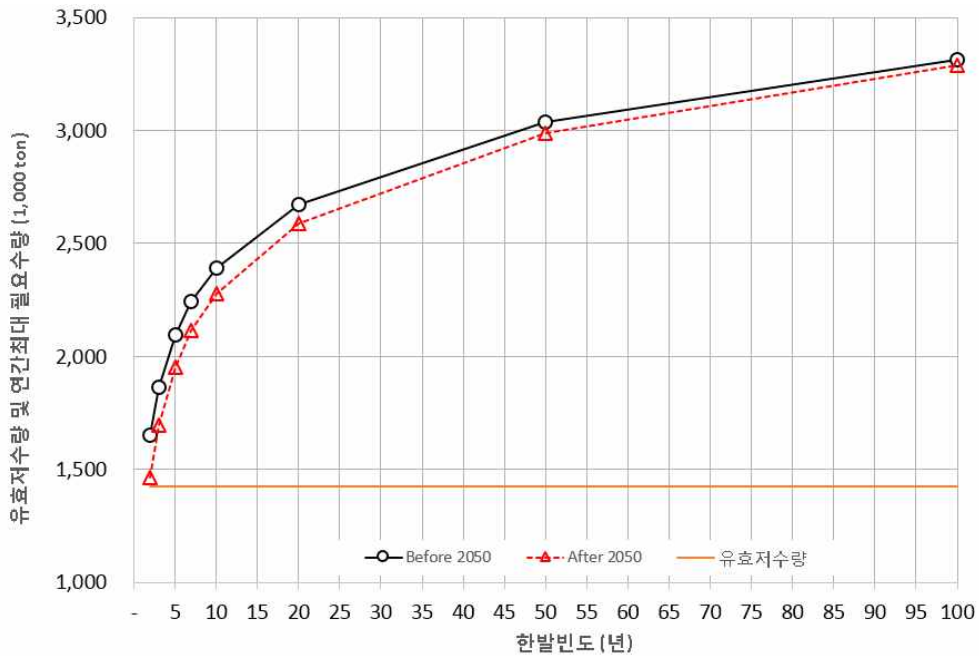
(b) RCP 8.5

[그림 5.106] 덕우저수지 미래 이수안전도

- 덕우저수지의 경우, 유효저수량은 3,547천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 5,409천톤, 10년빈도는 6,243천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 4,951천톤, 10년빈도는 5,780천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 5,283천톤, 10년빈도는 5,994천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 5,406천톤, 10년빈도는 6,166천톤으로 분석되었음
- 따라서, 덕우저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP4.5에서는 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있고, RCP8.5에서는 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있음



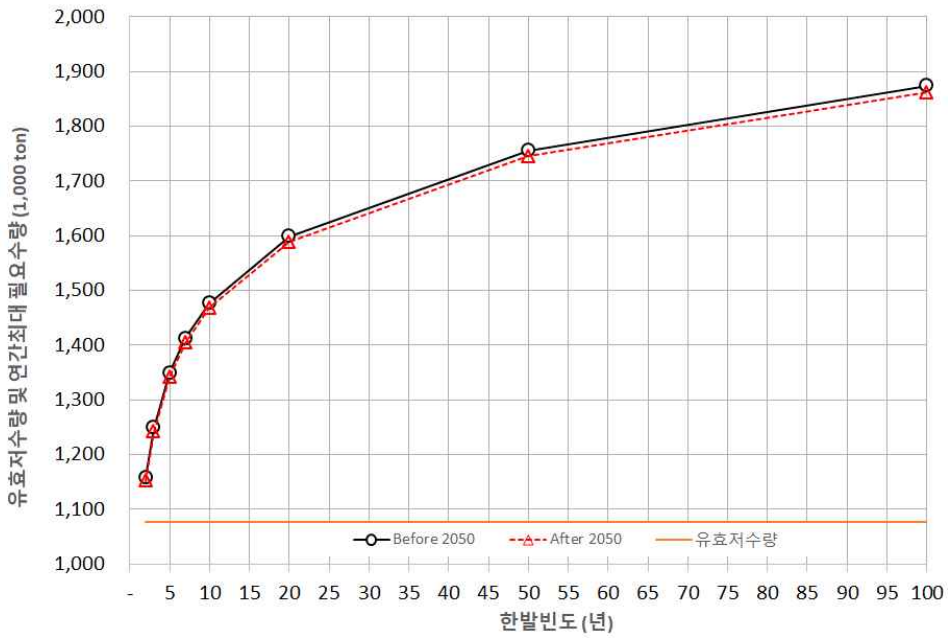
(a) RCP 4.5



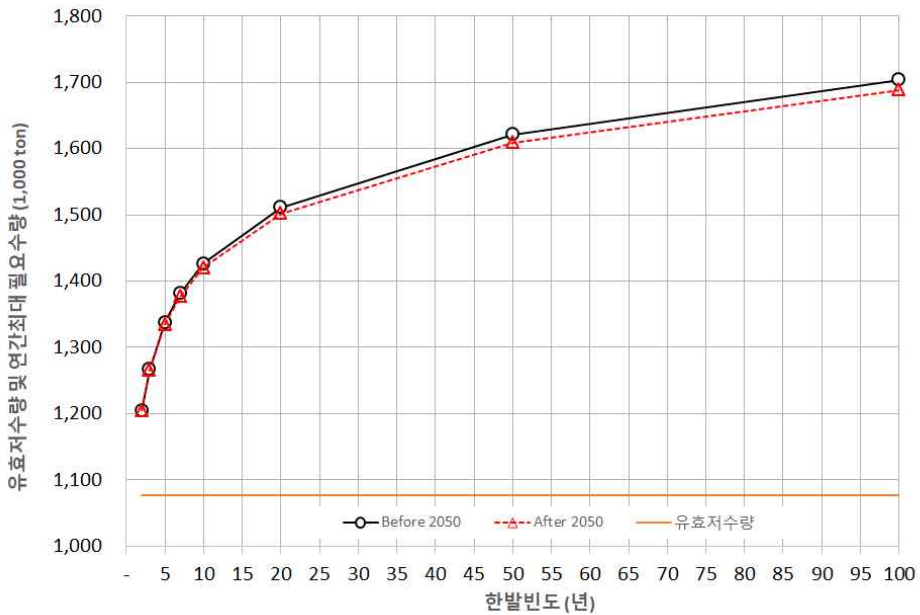
(b) RCP 8.5

[그림 5.107] 학저수지 미래 이수안전도

- 학저수지의 경우, 유효저수량은 1,426천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 2,165천톤, 10년빈도는 2,443천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,951천톤, 10년빈도는 2,380천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 2,166천톤, 10년빈도는 2,446천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,952천톤, 10년빈도는 2,386천톤으로 분석되었음
- 따라서, 학저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5 및 8.5에서 모두 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있어, 매년 한발피해 발생이 예상되는 것으로 분석되었음



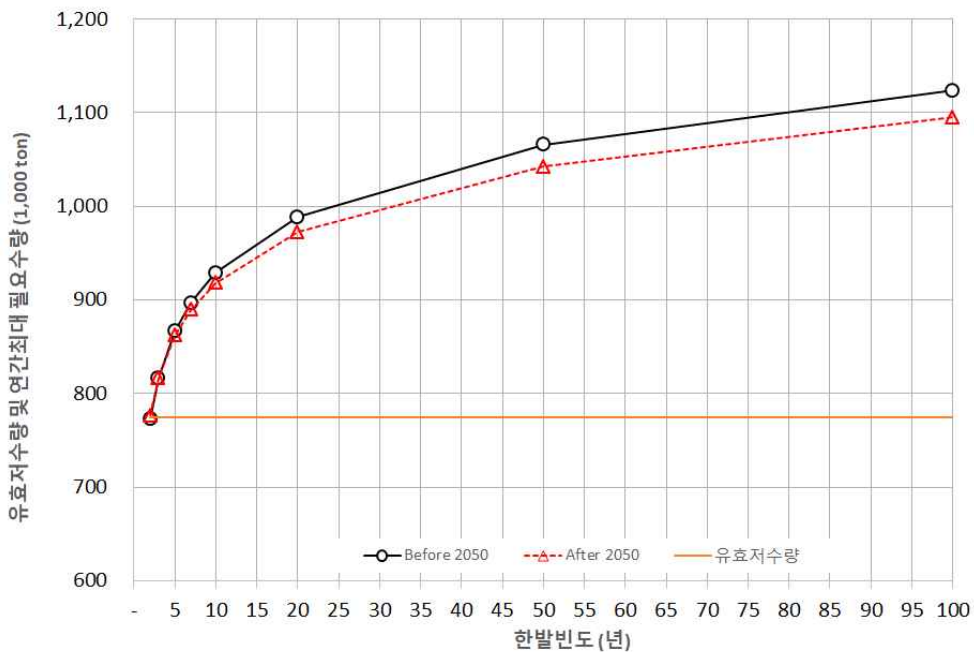
(a) RCP 4.5



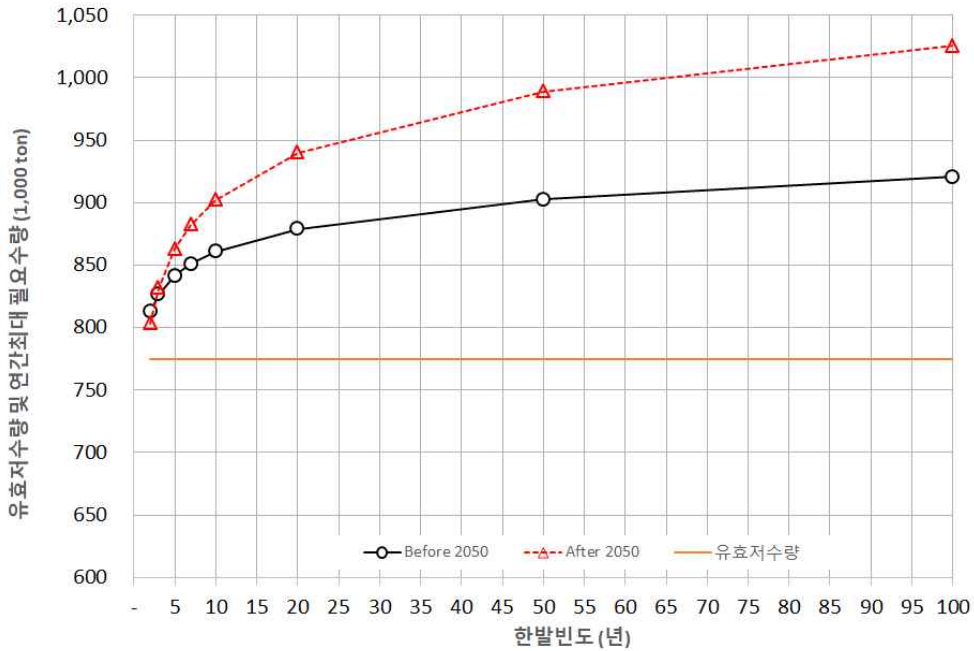
(b) RCP 8.5

[그림 5.108] 송강저수지 미래 이수안전도 분석

- 송강저수지의 경우, 유효저수량은 1,077천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 1,350천톤, 10년빈도는 1,477천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,342천톤, 10년빈도는 1,468천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 1,338천톤, 10년빈도는 1,426천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,334천톤, 10년빈도는 1,420천톤으로 분석되었음
- 따라서, 송강저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5 및 8.5에서 모두 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있어, 매년 한발피해 발생이 예상되는 것으로 분석되었음



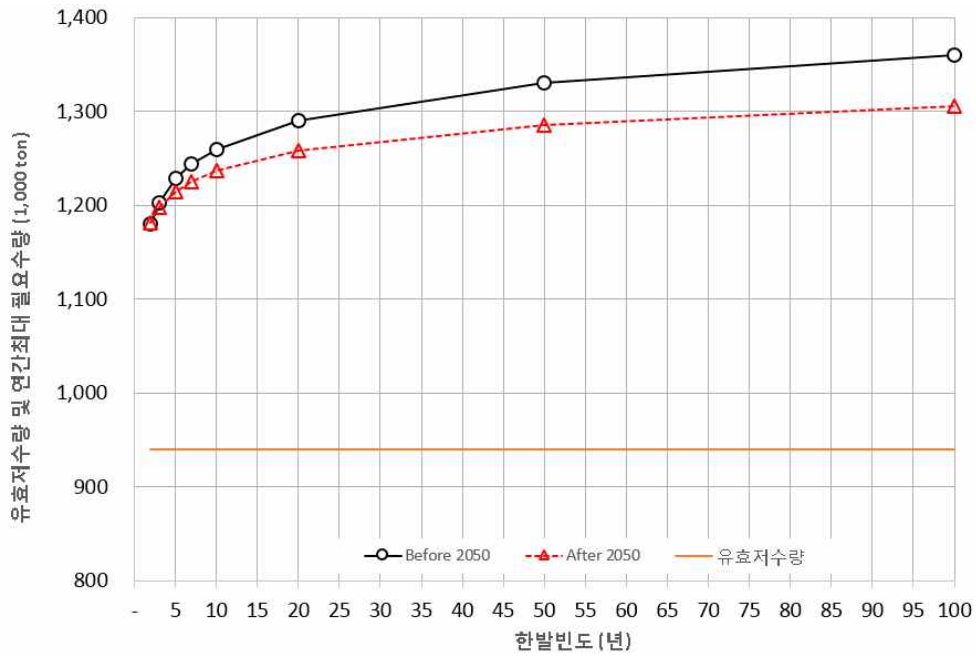
(a) RCP 4.5



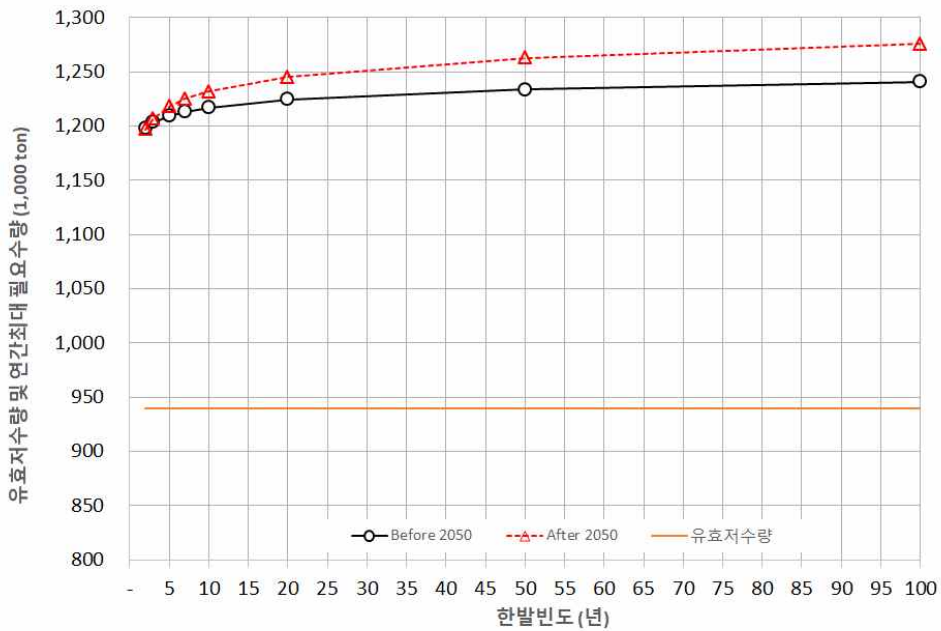
(b) RCP 8.5

[그림 5.109] 학정저수지 미래 이수안전도

- 학정저수지의 경우, 유효저수량은 775천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 866천톤, 10년빈도는 929천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 862천톤, 10년빈도는 918천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 842천톤, 10년빈도는 861천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 863천톤, 10년빈도는 902천톤으로 분석되었음
- 따라서, 학정저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5 및 8.5에서 모두 2050년 이전에는 2년, 2050년 이후에는 2년의 한발빈도를 나타내고 있어, 2년에 한번씩 한발 피해 발생이 예상되는 것으로 분석되었음



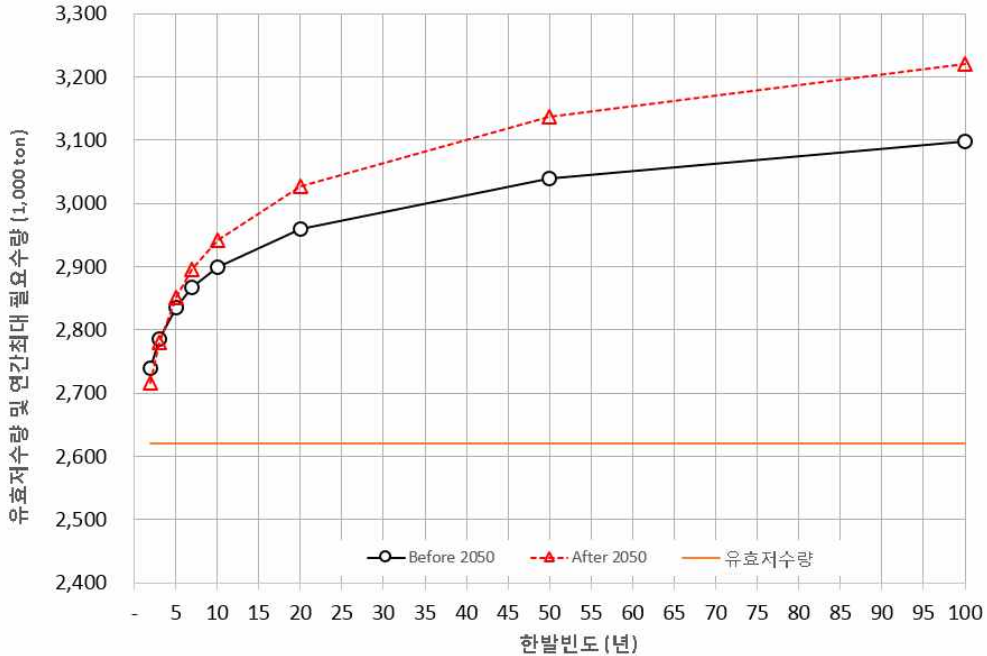
(a) RCP 4.5



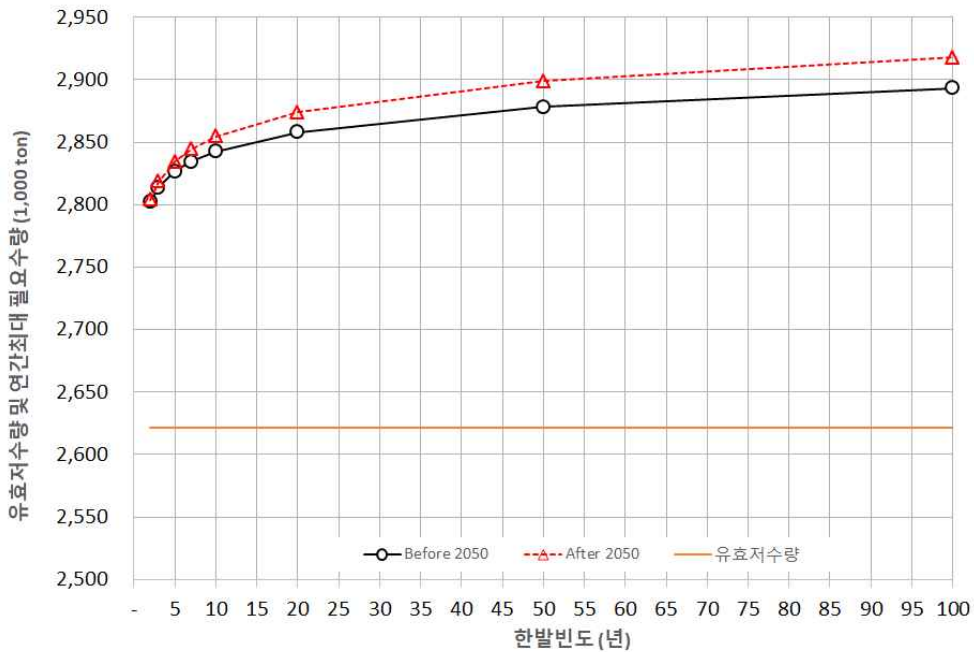
(b) RCP 8.5

[그림 5.110] 냉정저수지 미래 이수안전도

- 냉정수지의 경우, 유효저수량은 940천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 1,228천톤, 10년빈도는 1,259천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,213천톤, 10년빈도는 1,232천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 1,209천톤, 10년빈도는 1,217천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,218천톤, 10년빈도는 1,232천톤으로 분석되었음
- 따라서, 냉정저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5 및 8.5에서 모두 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있어, 매년 한발피해 발생이 예상되는 것으로 분석되었음



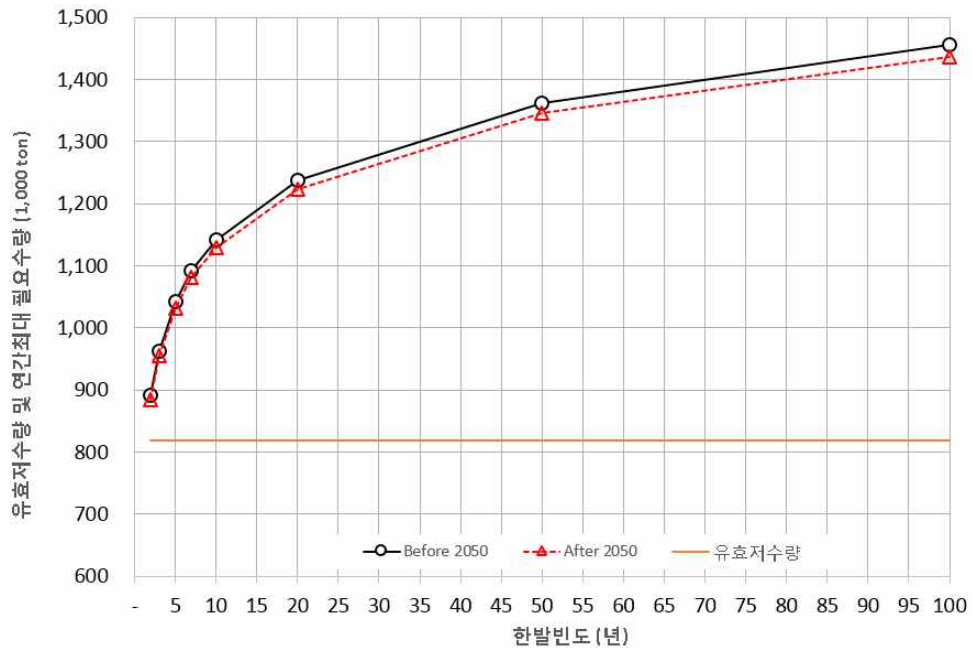
(a) RCP 4.5



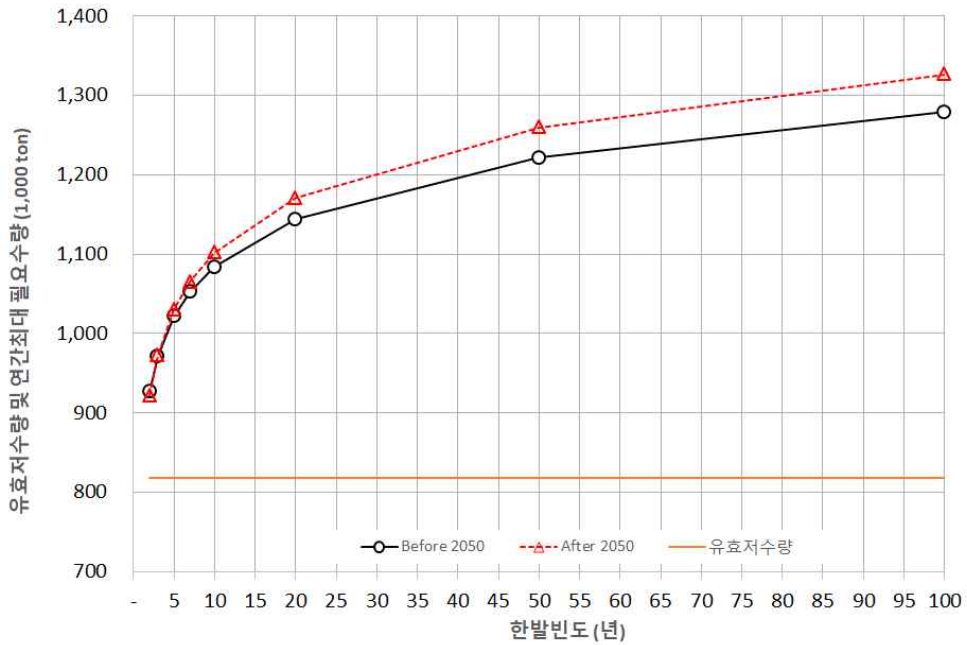
(b) RCP 8.5

[그림 5.111] 풍전저수지 미래 이수안전도

- 풍전저수지의 경우, 유효저수량은 2,621천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 2,834천톤, 10년빈도는 2,902천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 2,850천톤, 10년빈도는 2,943천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 2,827천톤, 10년빈도는 2,843천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 2,834천톤, 10년빈도는 2,855천톤으로 분석되었음
- 따라서, 풍전저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5 및 8.5에서 모두 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있어, 매년 한발피해 발생이 예상되는 것으로 분석되었음



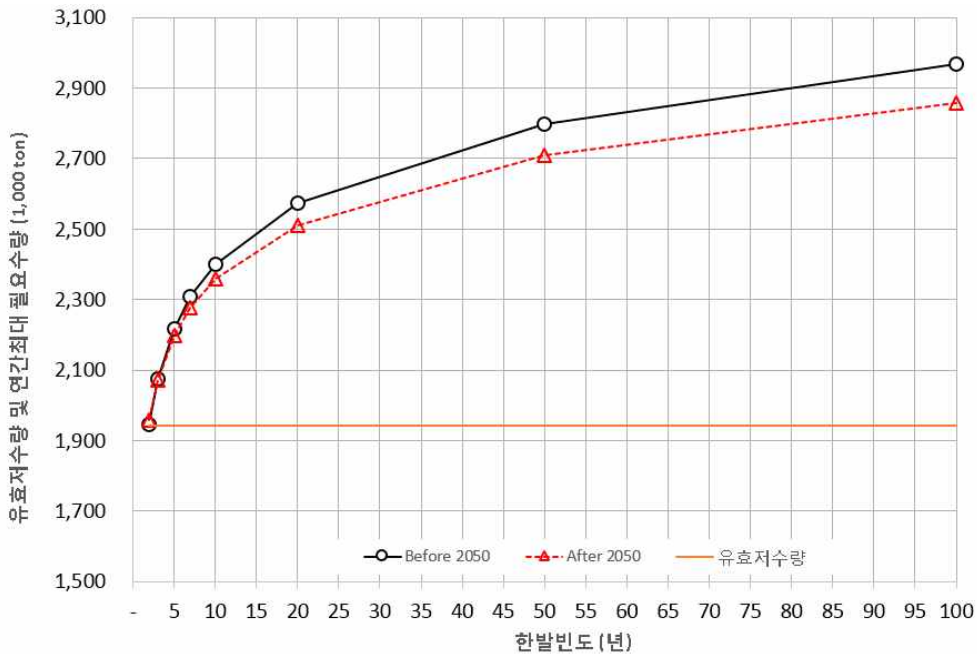
(a) RCP 4.5



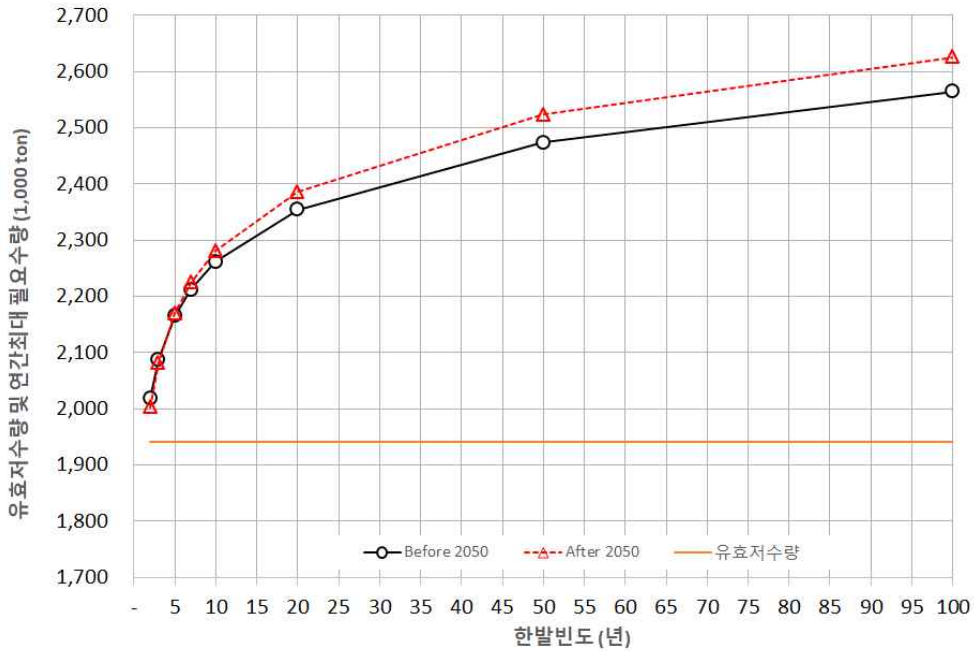
(b) RCP 8.5

[그림 5.112] 금마저수지 미래 이수안전도

- 금마저수지의 경우, 유효저수량은 818천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 1,042천톤, 10년빈도는 1,142천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,035천톤, 10년빈도는 1,135천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 1,021천톤, 10년빈도는 1,084천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,030천톤, 10년빈도는 1,102천톤으로 분석되었음
- 따라서, 금마저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5 및 8.5에서 모두 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있어, 매년 한발피해 발생이 예상되는 것으로 분석되었음



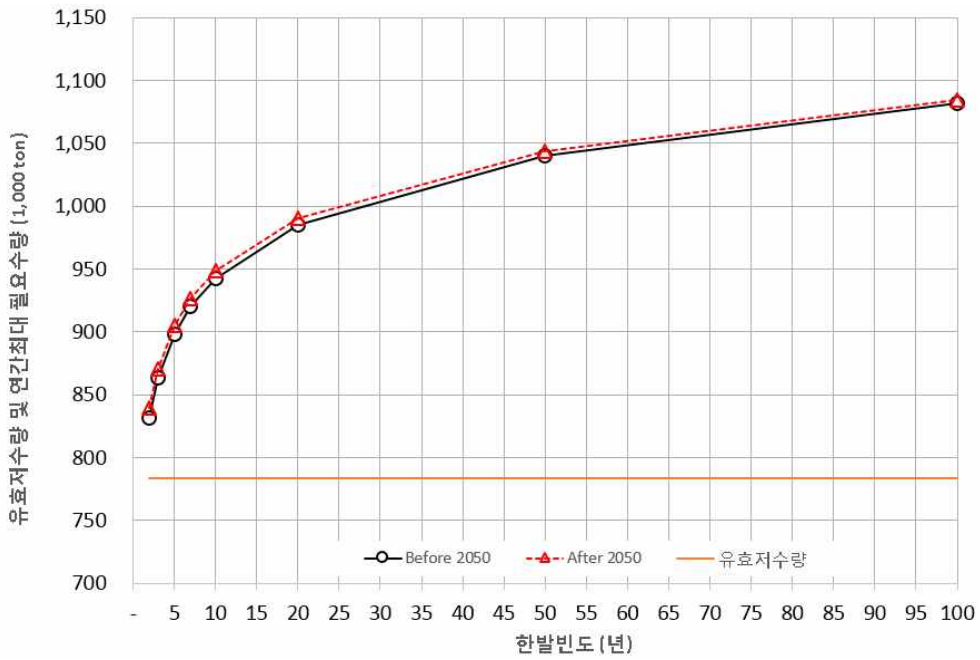
(a) RCP 4.5



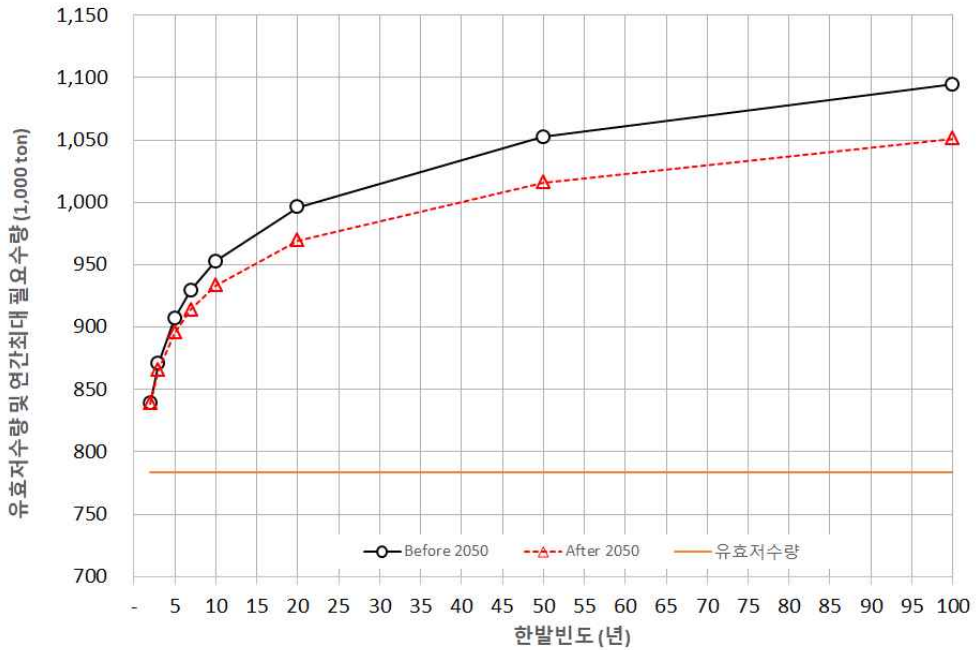
(b) RCP 8.5

[그림 5.113] 왕궁저수지 미래 이수안전도

- 왕궁저수지의 경우, 유효저수량은 1,941천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 2,223천톤, 10년빈도는 2,414천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 2,204천톤, 10년빈도는 2,371천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 2,165천톤, 10년빈도는 2,261천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 2,170천톤, 10년빈도는 2,280천톤으로 분석되었음
- 따라서, 왕궁저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, 2050년 이전에는 2년, 2050년 이후에는 2년의 한발빈도를 나타내고 있어, 2년에 한번씩 한발피해 발생이 예상되는 것으로 분석되었음



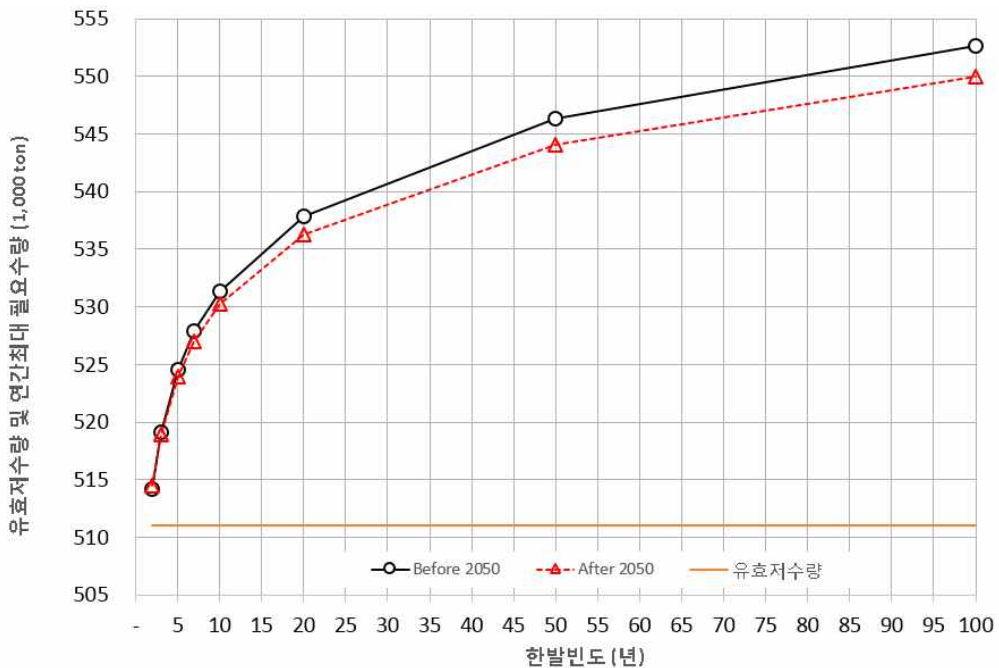
(a) RCP 4.5



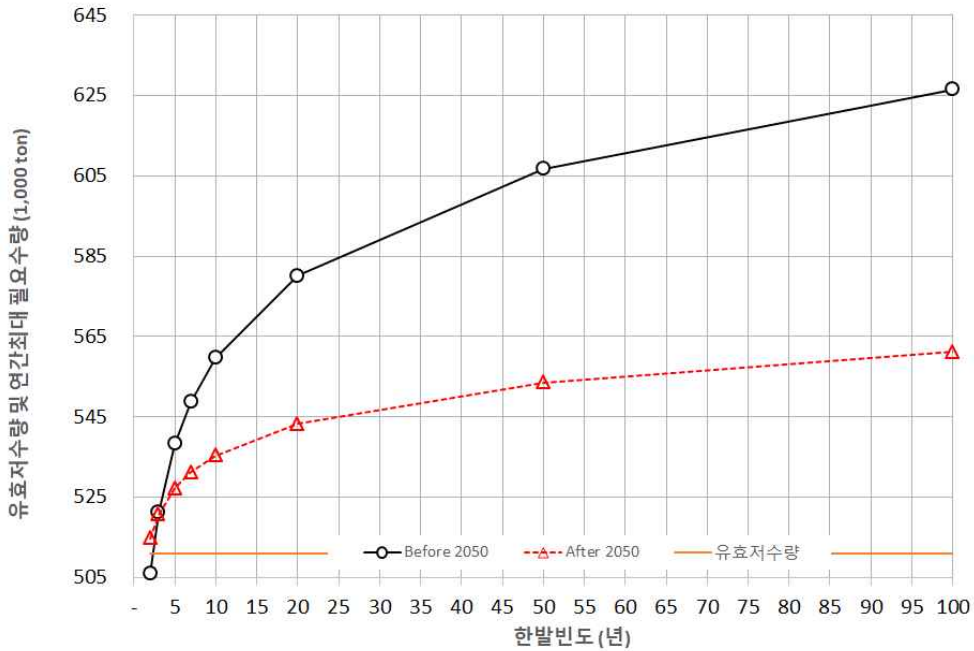
(b) RCP 8.5

[그림 5.114] 관기저수지 미래 이수안전도

- 관기저수지의 경우, 유효저수량은 783천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 895천톤, 10년빈도는 933천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 907천톤, 10년빈도는 950천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 907천톤, 10년빈도는 953천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 896천톤, 10년빈도는 933천톤으로 분석되었음
- 따라서, 관기저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5 및 8.5에서 모두 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있어, 매년 한발피해 발생이 예상되는 것으로 분석되었음



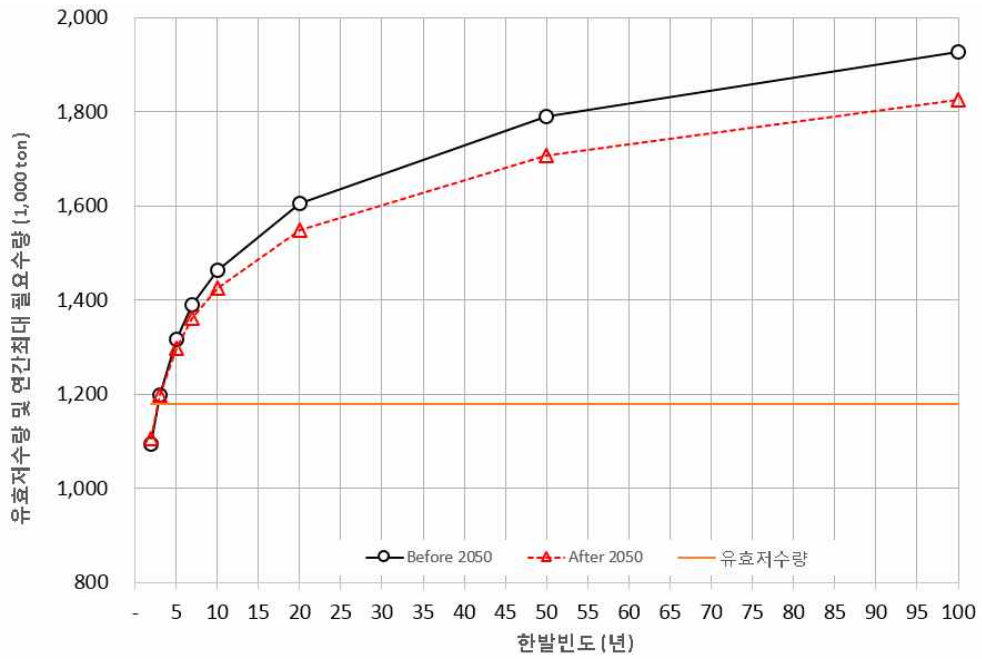
(a) RCP 4.5



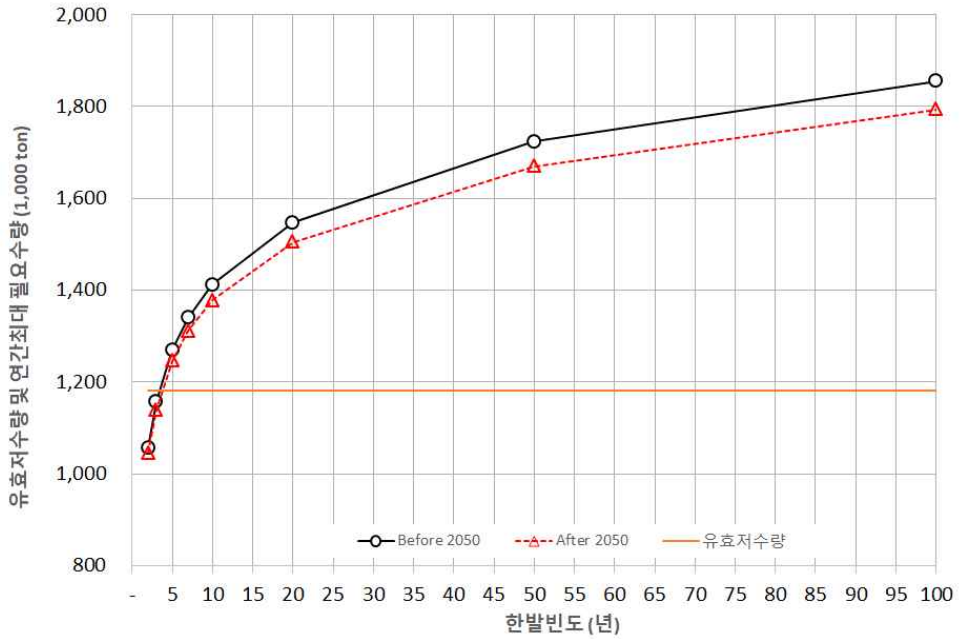
(b) RCP 8.5

[그림 5.115] 제산저수지 미래 이수안전도

- 제산저수지의 경우, 유효저수량은 511천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 525천톤, 10년빈도는 533천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 524천톤, 10년빈도는 530천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 538천톤, 10년빈도는 560천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 527천톤, 10년빈도는 535천톤으로 분석되었음
- 따라서, 제산저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5에서는 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있고, RCP 8.5에서는 2050년 이전에는 2.5년, 2050년 이후에는 2년의 한발빈도를 나타내고 있음



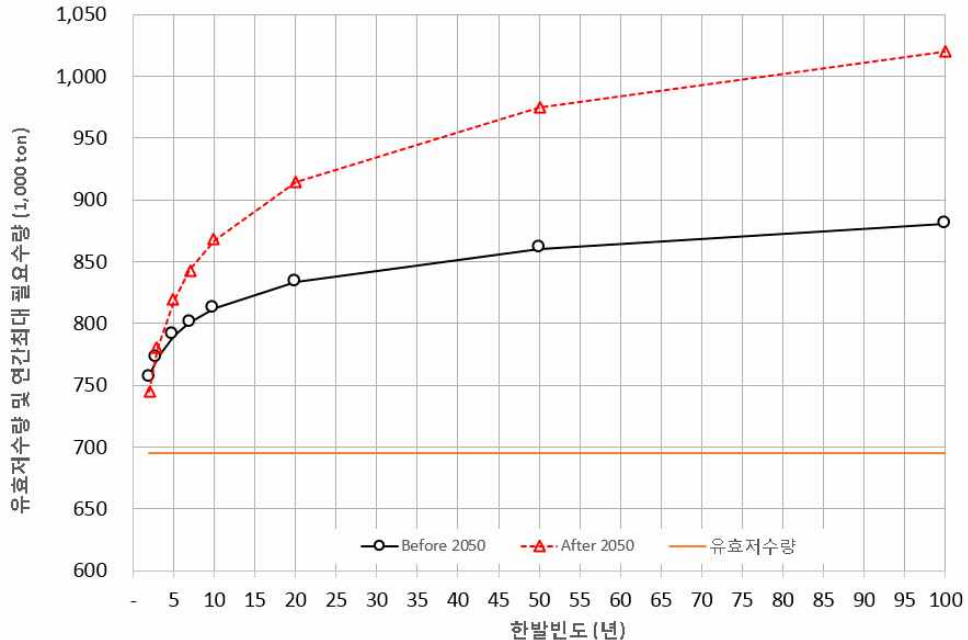
(a) RCP 4.5



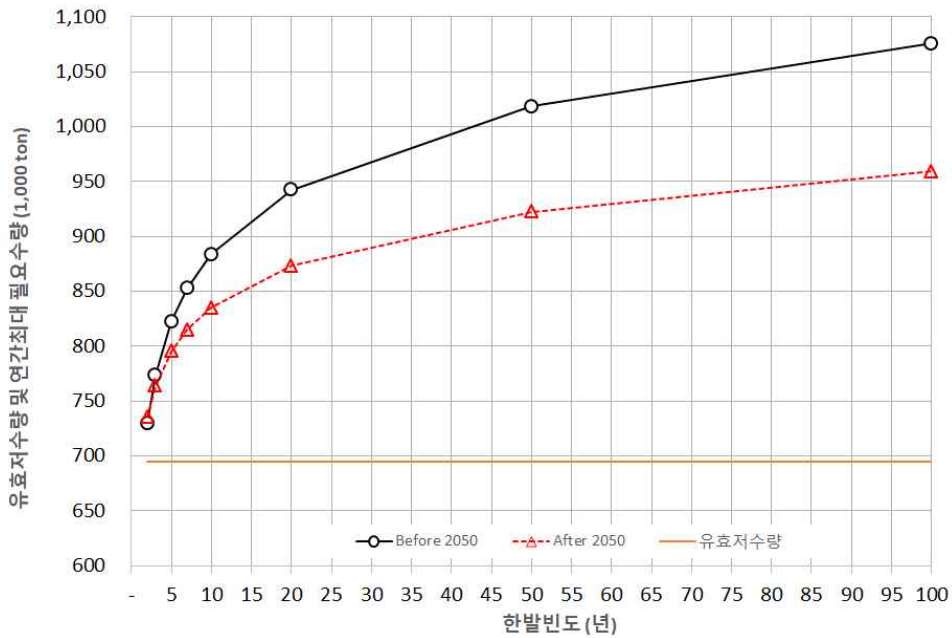
(b) RCP 8.5

[그림 5.116] 개운저수지 미래 이수안전도

- 개운저수지의 경우, 유효저수량은 1,180천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 1,312천톤, 10년빈도는 1,466천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,295천톤, 10년빈도는 1,433천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 1,270천톤, 10년빈도는 1,412천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 1,245천톤, 10년빈도는 1,378천톤으로 분석되었음
- 따라서, 개운저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5에서는 2050년 이전에는 3년, 2050년 이후에는 3년의 한발빈도를 나타내고 있고, RCP 8.5에서는 2050년 이전에는 3.5년, 2050년 이후에는 4년의 한발빈도를 나타내고 있음



(a) RCP 4.5



(b) RCP 8.5

[그림 5.117] 덕곡저수지 미래 이수안전도

- 덕곡저수지의 경우, 유효저수량은 695천톤인데 비하여 RCP4.5 시나리오를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 789천톤, 10년빈도는 811천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 820천톤, 10년빈도는 871천톤으로 분석되었음
- RCP8.5를 적용한 경우에는 2050년 이전의 5년 한발빈도 최대필요수량은 823천톤, 10년빈도는 884천톤으로 분석되었으며, 2050년 이후의 5년빈도는 795천톤, 10년빈도는 835천톤으로 분석되었음
- 따라서, 덕곡저수지의 유효저수량이 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, RCP 4.5 및 8.5에서 모두 2050년 이전에는 1년, 2050년 이후에는 1년의 한발빈도를 나타내고 있어, 매년 한발피해 발생이 예상되는 것으로 분석되었음

[표 5.20] 미래 이수안전도 분석 결과

시설명	준공 년도 (년)	유효 저수량 (천m ³)	설계 한발도	현재		미래			
				기 존 자 료 적 용 이 수 안 전 도	현 장 여 건 반 영 이 수 안 전 도	2050년 이전		2050년 이후	
						4.5	8.5	4.5	8.5
금광	1961	12,047	10년	10년 이상	5~7년	3년	3.5년	4년	4년
덕우	1949	3,547	5년	10년 이상	10년 이상	1년	1년	1년	1년
학	1923	1,426	10년	10년	7~10년	1년	1년	1년	1년
송강	2005	1,077	10년	3년	3년	1년	1년	1년	1년
학정	1929	775	10년	3년	3년	2년	1년	2년	1년
냉정	1941	940	10년	2년	2년	1년	1년	1년	1년
풍전	1944	2,621	10년	2년	3~5년	1년	1년	1년	1년
금마	1941	818	10년	3년	2년	1년	1년	1년	1년
왕궁	1931	1,941	10년	2년	2년	2년	1년	2년	1년
관기	1932	783	10년	2년	2년	1년	1년	1년	1년
제산	1946	511	10년	2년	2년	1년	2.5년	1년	2년
개운	1948	1,180	10년	10년	10년 이상	3년	3.5년	3년	4년
덕곡	1958	695	10년	2년	2~3년	1년	1년	1년	1년



Office



Research



Farming



International

제 6 장

이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석

제 6 장 이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석

제 1 절 경제성 분석 사례 검토

1. 배수개선 사업

1.1 응석지구 배수개선 사업 (경남 진주시)

① 사업개요

- 사업명 : 응석지구 배수개선사업
- 사업비 : 20,240백만원
- 사업기간 : 2008년 12월 ~ 2012년 12월(5년)
- 수혜면적 : 171ha
- 주요공사 : 배수장 5개소, 배수문 전동화(신설 2개소, 기설 5개소), 배수로 8조(5,529m), 매립(13,186m²)

② 편익비용의 산정

- 총 편익산정

[표 6.1] 응석지구 총 편익 산정

편익 효과	편익항목	연 편익액 (천원)	편익요인
직접 편익	작물별수량증대 - 미곡환산증산	1,386,463	시설정비로 인한 작부면적 증가와 수량확보로 작물생산성 향상
	- 경지이용율증대		
	노동력 절감	11,420	시설정비로 인한 노동력절감
	수도생산비절감	47,467	시설정비로 인한 수도생산비절감
간접 편익	재해방지	52,042	재해로 인한 피해를 방지함으로써 얻어지는 편익
	인접지역농산물증산	2,100	시설 확충 및 신설로 인한 인접지역 농산물생산량 증대

③ 편익비용 산정방법

○ 작물별 수량증대

- 효과산정방법 : 사업시행 전과 후의 경작물 및 경지면적을 조사한 후 작물생산증가에 대한 편익액 계산
- 대상작물 : 쌀, 기타 시설채소 및 과일
- 총 증수량은 면적증가에 따른 부분과 토지생산성 증가에 따른 부분으로 구성되며 전체의 차인 증수량을 추정해보면 다음과 같음

[표 6.2] 응석지구 편익효과액 산정

작물명	식부면적 (ha)		생산량 (kg/ha)		증감	단가 (원)	총수익 (백만원)		증가 수익
	전	후	전	후			전	후	
일반벼	105.1	115.4	3,850	4,235	385	2,037	824	996	171
일반벼 (이)	32.0	38.5					251	332	81
시설고추	15.2	17.1	3,735	4,107	372	3,427	195	241	46
시설토마토	12.2	13.7	54,593	56,230	1,637	1,255	836	967	131
시설딸기	15.2	18.0	85,200	85,200	0	3,655	4,733	5,605	872
시설수박	4.6	6.8	33,520	34,620	1,100	1,047	161	246	85
소 계	184.3	209.5	180,898	184,392	0	11,421	380,770	441,195	1,386

[표 6.3] 응석지구 미곡 환산

구 분	시행 전(t)	시행 후(t)	증 감(t)
전 체	3,577.6	4,244.3	666.7
ha당	23.4	24.8	1.4

※ t(metric per ton): 미터법에 의한 중량표시 단위로 1000kg = 1ton을 의미함

- 경지이용율 증대
 - 효과산정방법 : 사업시행 전과 후의 경지이용율을 비교하여 산정

[표 6.4] 응석지구 경지이용율

구 분	사업 전(ha)	사업 후(ha)	증 감(ha)
경지면적(a)	153.1	171.0	17.9
식부면적(b)	184.3	209.5	25.1
경지이용율(b/a)	120.4	122.5	2.1

- 노동력 절감
 - 효과산정방법 : 사업시행 전과 후의 경지면적의 차이와 노동투하시간의 차이를 비교하여 투하일수로 변환 후 잠재노임을 곱하여 산정
 - 효과산정식 : 총 노동투하일수 × 잠재노임

[표 6.5] 응석지구 노동력

작물명	면적 (ha)			노동투하시간 (시간/ha)			총 노동 시간	총 노동 일수	편익 비용 (백만원)
	전	후	증감	전	후	증감			
일반벼	137.1	153.6	16.5	352	332	20	330	41.3	1.45
시설고추	15.2	17.1	1.9	4,095	3,935	160	304	38	1.33
시설 토마토	12.2	13.7	1.5	6,200	5,960	240	360	45	1.58
시설딸기	15.2	18.0	2.8	7,840	7,380	460	1,288	161	5.66
시설수박	4.6	6.8	2.2	1,490	1,345	145	319	39.9	1.40
합 계	184.3	209.2	24.9	18,487	17,607	880	2,601	325.2	11.42

- ※ 1) 1일 농촌노임(남자기준) 41,328원/일
- 2) 1일 잠재노임(경제분석 노임) = 35,130원/일
- 3) 전체노임지불 = 총노동투하일수 X 농촌노임
- 4) 1일 작업시간 : 8시간

- 수도생산비 절감
 - 효과산정방법 : 사업시행 전후 쌀 생산에 필요한 생산비를 가지고 ha 당 수도생산비 산출
 - 효과산정식 : 시행 후 미곡생산비 - 시행 전 미곡생산비

[표 6.6] 응석지구 수도생산비

작물명	시행 전(천원)	시행 후(천원)	증 감(천원)
생산비	453,081	500,548	47,467
- ha 당	2,457,972	2,389,677	68,295

- 재해방지(홍수방지) 효과
 - 효과산정방법 : 시행 전후 사업지구 내,외 홍수 및 재해피해액을 통해 산정

[표 6.7] 응석지구 재해방지 효과

효과내용	시행 전(천원)	시행 후(천원)	증 감(천원)
재해방지(홍수방지)효과	-	52,042.45	52,042.45

- 인접지역 농산물 증산효과
 - 효과산정방법: 시행 전후 사업지구 외 증수효과를 통해 산정

[표 6.8] 응석지구 인접지역 농산물 증산효과

효과내용	시행 전(천원)	시행 후(천원)	증 감(천원)
인접지역 농산물 증산효과	-	2,100	2,100

- 배수개선사업 시행관련 자료는 농어촌공사의 연구조사 보고서인 ‘응석지구배수개선사업 농업경제 조사분석 보고서’ 에서 측정된 사례지구 자료를 이용하여 검토
- 시행 전·후의 면적은 공사를 통해 증대되는 면적을 기준으로 계산함

1.2 춘포지구 배수개선 사업 (전북 익산)

① 사업개요

- 사업명 : 춘포지구 배수개선사업
- 사업비 : 27,499/(백만 원)
- 사업기간 : 2008년 11월 ~ 2018년 12월(11년)
- 수혜면적 : 378ha
- 주요공사 : 배수장 3개소, 배수문 2개소, 제수만 4개소, 배수로 10조 (10.5km)

② 편익비용의 산정

- 총 편익산정

[표 6.9] 춘포지구 총 편익산정

편익 효과	편익항목	연 편익액 (천원)	편익요인
직접 편익	작물별 수량증대	641,934+ α	시설정비로 인한 작부면적 증가와 수량확보로 작물생산성 향상
	- 미곡환산 증산		
	- 경지이용율 증대		
	노동력 절감	-86,165	시설정비로 인한 노동력절감
	수도생산비 절감	232,662	시설정비로 인한 수도생산비 절감

③ 편익비용 산정방법

- 작물별 수량증대
 - 효과산정방법 : 사업시행 전과 후의 경작물 및 경지면적을 조사한 후 작물생산증가에 대한 편익액 계산
 - 대상작물 : 쌀, 기타 시설채소 및 과일
 - 총 증수량은 면적증가에 따른 부분과 토지생산성 증가에 따른 부분으로 구성되며 전체의 차인 증수량을 추정해보면 다음과 같음

[표 6.10] 춘포지구 편익효과액 산정

작물명	식부면적(ha)		생산량(kg/ha)		증감	총수익(백만원)		증가 수익
	전	후	전	후		전	후	
일반벼	267.4	262.1	4,660	5,100	440	5,432	6,745	315,507
일반벼 (이)	69.1	49.6				4,200	4,590		390
쌀보리	53.1	35.4	2,800	3,000	200	1,562	1,734	-21,576
봄배추	7.1	14.2	50,000	51,500	1,500	7,149	7,671	58,044
가을 배추	7.1	14.2	65,000	67,000	2,000	10,452	11,050	82,514
시설 토마토	8.9	14.2	70,000	72,100	2,100	33,053	37,277	235,453
방울 토마토	10.6	17.7	65,000	67,000	2,000	자료없음	자료없음	-
시설 메론	10.6	28.3	26,000	26,800	800	자료없음	자료없음	-
시설 수박	7.1	10.6	41,000	42,200	1,200	자료없음	자료없음	-
소 계	412.6	389.6	324,460	334,700	10,240	6,398	8,210	641,932

○ 경지이용율 증대

- 효과산정방법 : 사업시행 전과 후의 경지이용율을 비교하여 산정

[표 6.11] 춘포지구 경지이용율

구 분	사업 전(ha)	사업 후(ha)	증 감(ha)
경지면적(a)	354.2	354.2	0
식부면적(b)	441.0	446.7	5.3
경지이용율 (b/a×100)	124.5	126.0	1.5

○ 노동력 절감

- 효과산정방법 : 사업시행 전과 후의 경지면적의 차이와 노동투하시간의 차이를 비교하여 투하일수로 변환 후 잠재노임을 곱하여 산정
- 효과산정식 : 총 노동투하일수 × 잠재노임

[표 6.12] 춘포지구 노동력

작물명	면적(ha)			노동투하시간(시간/ha)			총 노동시간	총 노동일수	편익비용(백만원)
	전	후	증감	전	후	증감			
일반벼	267.4	262.1	331	262	88,509	68,670	11,064	8,584	87.1
일반벼(이)	69.1	49.6	22,872	12,995	2,859	1,624	43.4	38	1.33
쌀보리	53.1	35.4	59	59	3,133	2,089	392	261	4.6
봄배추	7.1	14.2	482	434	3,422	6,163	428	770	-12.0
가을배추	7.1	14.2	499	449	3,422	6,376	428	797	-13
시설토마토	8.9	14.2	2,627	2,364	23,380	33,569	2,923	4,196	-44.7
방울토마토	10.6	17.7	5,873	5,286	62,254	93,562	7,782	11,695	-137.5
시설매론	10.6	28.3	2,489	2,240	62,254	63,392	7,782	7,924	-5
시설수박	7.1	10.6	844	759	5,992	8,045	749	1,006	-9
합계	403.8	375.5	23,744	13,750	255,225	283,490	31,591.4	35,271	-128.17

- ※ 1) 1일 농촌노임(남자기준) 41,328원/일
- 2) 1일 잠재노임(경제분석 노임) = 35,130원/일
- 3) 전체노임지불 = 총노동투하일수 × 농촌노임
- 4) 1일 작업시간 : 8시간

- 수도생산비 절감
 - 효과산정방법 : 사업시행 전후 쌀 생산에 필요한 생산비를 가지고 ha 당 수도생산비 산출
 - 효과산정식 : 시행 후 미곡생산비 - 시행 전 미곡생산비

[표 6.13] 춘포지구 수도생산비

작물명	시행 전(천원)	시행 후(천원)	증 감(천원)
생산비	1,233,568	1,000,906	232,662
- ha 당	2,797,339	2,242,716	554,623

1. 농촌용수개발 사업

- 우리나라의 농촌용수개발 사업으로서 저수지 1개소, 양수장 3개소 등을 개발한 상신지구 농촌용수개발 사업을 검토하였음

2.1 사업계획 개요

- 사업명 : 상신지구 농촌용수개발사업
- 사업비 : 21,479,112(천원)
- 사업기간 : -
- 수혜면적 : 180ha
- 주요공사 : 저수지 1개소, 양수장 3개소, TM/TC 1조, 용수로 2조(2,847M)

2.2 편익비용의 산정

- 비용편익분석 종합
 - 자본의 기회비용으로 할인한 편익흐름의 총계를 비용흐름의 총계로 나눈 비율로 그 비율이 1이상($B/C \geq 1$) 이면 사업의 타당성이 있는 것으로 판단
 - 자본의 기회비용(opportunity cost of capital)은 경제범위내에서의 평균 시장이자율을 의미하며, 이는 투자 가능한 자본의 최고수익율이라고도 할 수 있음

- 여기에서는 자본의 기회비용이 5.5%, 8.0% 일 때의 편익비용 비율을 산출함

[표 6.14] 상신지구 비용편입분석

구 분	산정 식	편익비용(천원)	
		i = 5.5%	i = 8.0%
총 비용(사업비 + 기타발생비용)	①	13,066,488	12,092,497
총 편익액	②	13,118,917	8,511,290
비용편익률 (B/C Ratio)	③=②÷①	1.00	0.70

○ 총 비용산정

- 투자사업비 조정 : 명목투자사업비 중 제세공과금, 물가상승예비비, 이자 등 이전적 지출을 제외하고 실질적인 투자비용을 산출하기 위해 각 사업비목을 경제분석 조정계수로 조정한 사업비를 적용

[표 6.15] 상신지구 총 비용 산정

구 분	투자 사업비계	연차별투자사업비(천원)					경제분석 사업비
		1년차	2년차	3년차	4년차	5년차	
1.순공사비	10,595,695	105,957	2,119,140	2,648,925	2,648,925	3,072,748	7,552,895
○ 노임	2,672,334	26,723	534,467	668,084	668,084	774,976	2,185,435
-비숙련공	1,603,400	16,034	320,680	400,850	400,850	464,986	1,136,811
-숙련공	1,068,934	10,689	213,787	267,234	267,234	309,990	1,048,624
○ 재료비	3,461,241	34,612	692,249	865,310	865,310	1,003,760	3,017,510
-재료비	2,768,993	27,690	553,799	692,248	692,248	803,008	2,716,382
-유류대	692,248	6,922	138,450	173,062	173,062	200,752	301,128
○ 중기사용료	730,272	7,303	146,054	182,568	182,568	211,779	630,955
○ 잡 비	2,220,303	22,203	444,061	555,076	555,076	643,887	1,181,113
○ 간접노무비	302,791	3,028	60,558	75,698	75,698	87,809	297,038
○ 산재보험료	245,509	2,456	49,102	61,378	61,378	71,195	240,844
○ 부가가치세	963,245	9,632	192,649	240,811	240,811	279,342	-
2.지급자재대	4,035,312	40,353	807,062	1,008,828	1,008,828	1,170,241	3,598,764
○ 자재대	3,668,465	36,685	733,693	917,116	917,116	1,063,855	3,598,764
○ 부가가치세	366,847	3,668	73,369	91,712	91,712	106,386	-
4.용지매수 보상비	4,555,754	2,277,877	1,366,726	455,575	455,576	-	1,849,636
5.측량설계비	635,782	635,782	-	-	-	-	623,702
6.공사감리비	931,062	9,311	186,212	232,766	232,766	270,007	913,372
7.관리비	221,422	2,214	44,284	55,356	55,356	64,212	217,215
8.장기채이자	-	-	-	-	-	-	-
9.환지비	-	-	-	-	-	-	-
10.잡지출	155,040	1,550	46,512	15,504	91,474	-	152,094
11.기 타	349,045	216,105	26,857	33,571	33,571	38,941	342,413
12.예비비	-	-	-	-	-	-	-
○ 물량변동	-	-	-	-	-	-	-
○ 단가인상	-	-	-	-	-	-	-
13.공사기간 중 이자	-	-	-	-	-	-	-
합 계	21,479,112	3,289,149	4,596,793	4,450,525	4,526,496	4,616,149	15,250,092

- 유지관리비 : 유지관리비는 시설물의 원활한 기능유지를 위하여 투자되는 비용을 말하며, 각 사업지구별 ha당 유지관리비단가에 순공사비 조정비율과 개발면적을 곱하여 산출된 금액을 사업완공년도 이후부터 적용
- 유지관리비 산출액 = 시설물별 단가×개발면적(ha)×순공사비 조정비율(%)

[표 6.16] 상신지구 유지관리비 산정

구 분	유지관리비 (원/ha)	순공사비 조정 비율(%)	개발면적 (ha)	산출금액 (천 원)
○저수지	112,309	0.71	180.0	14,410
○양배수장	211,632			
○용수로	49,942			
○배수로	28,337			
○경지정리	78,279			

※ 시설물별 순공사비 조정비율은 해당 사업지구의 순공사비 조정비율을 적용함

2.3 총 편익산정

[표 6.17] 상신지구 총 편익 산정

편익효과	편익항목	연 편익액(천원)	편익요인
직접편익	작물별 수량증대	660,268	시설정비로 인한 작부면적 증가와 수량확보로 작물생산성 향상
	미곡환산 증산	-	
	경지이용율 증대	-	
	노동력 절감	-	시설정비로 인한 노동력절감
	수도생산비 절감	125,798	시설정비로 인한 수도생산비 절감
간접편익	생활용수	231,750	시설정비로 생활용수 공급

2.4 편익항목 산정방법

○ 작물별 수량증대

- 효과산정방법: 사업시행 전과 후의 경작물 및 경지면적을 조사한 후 작물생산증가에 대한 편익액 계산
- 대상작물: 쌀, 양과
- 사업시행으로 발생하는 수익은 농업수익, 기타수익, 간접효과 수익으로 구분 할 수 있는데, 농업수익은 단위당 농산물 수량증대, 농경지이용율 증대, 농자재 등 생산비절감 등의 효과를 사업수익으로 추정하였으며, 기타수익은 생활용수공급 등 관련수익을 계측하였고, 간접효과수익은 하천유량안정효과, 재해(홍수피해)방지효과, 인접지역 농작물 증수효과 등을 계측하여 사업수익으로 추정

[표 6.18] 상신지구 편익 효과액 산정표

지목	작물명	시 행 전(ha, 원)			시 행 후(ha, 원)			증가 수익
		식부 면적	ha당 수익	총 수익	식부 면적	ha당 수익	총 수익	
답	일반벼	124.9	3,924	490,236	109.4	5,795	634,167	143,930
	일반벼 (이)	55.1	3,534	194,650	70.6	5,404	381,320	186,670
	양과	55.1	13,039	718,215	70.6	14,851	1,047,882	329,668
계		235.1	7,795	1,403,100	250.6	11,463	2,063,369	660,268

○ 경지이용율 증대

[표 6.19] 상신지구 경지이용율

구 분	사업 전	사업 후	증 감
경지면적(ha, a)	180.0	180.0	-
식부면적(ha, b)	235.1	250.6	15.5
경지이용율(% , b/a)	130.6	139.2	8.6

○ 노동력 절감

[표 6.20] 상신지구 노동력

작물명	시행전(시간)	시행후(시간)	증 감
일반벼	312	232	△80
양 파	1,279	1,200	△79
합 계	1,591	1,432	△159

○ 수도 생산비 절감

[표 6.21] 상신지구 수도생산비

작물명	시행 전	시행 후	증 감
전 체(천원)	734,394	608,596	△125,798
- ha 당(원)	3,124,019	2,428,944	△695,075

○ 미곡환산 증산

- 미곡환산증산량(t) = (전체 농작물의 조수입의 총계 / 미곡 1kg당 단가)

[표 6.22] 상신지구 미곡환산

구 분	시행 전	시행 후	증 감
전 체(t)	1,268.7	1,580.7	312.0
- ha 당(t)	7.0	8.8	1.7

○ 기타수익

- 산출근거 : 9,454명×365일×67원/톤 = 231,750천 원

[표 6.23] 상신지구 기타 수익

효과내용	시행 전		시행 후		증 감	
	전지구 (천원)	ha당 (원)	전지구 (천원)	ha당 (원)	전지구 (천원)	ha당 (원)
생활용수	-	-	231,750	1,287,498	231,750	1,287,498

2.5 분석결과

[표 6.24] 상신지구 경제성 분석 결과

구 분	시행전	시행후	증 감
○ 농경지이용율(%)	130.6	139.2	8.6
○ 미곡환산증산량(t)	1,268.7	1,580.7	312.0
○ 쌀 증수량(kg/ha)	4,039	4,622	583
○ 생산비절감(원/ha)	3,124,019	2,428,944	△695,075
○ 총 증가수익(천원/ha)	1,403,100	2,063,369	660,268
- ha당 증가수익(천원)	7,795	11,463	3,668
○ 간접효과			
○ 투자효율			
- IRR(%)		5.6	
- B/C (i = 5.5%시)		1.00	
- B/C (i = 8%시)		0.70	

2. 저수지 둑 높이기 사업

- 우리나라의 저수지 둑 높이기의 대표적인 사업지구로서 저수지 제당을 20m 증고 시킨 백곡지구 둑 높이기 사업의 경제성 분석을 검토하였음

3.1 사업계획 개요

- 사업명 : 백곡지구 농업용저수지 둑 높이기 사업
- 사업비 : 64,012/(백만 원)
- 사업기간 : 2010 ~ 2016년(7년)
- 수혜면적 : 8,479ha
- 주요공사 : 저수지제당 2.0m높임, 여방수로, TBM터널, 취수탑, 이설도로공사

3.2 편익·비용분석 항목

[표 6.25] 백곡지구 사업 편익요소별 분석방법 및 산정근거

구 분	분석방법	산정근거
홍수 피해 경감	○ 대체시설법 : 용수공급에 따른 수질개선 효과 활용 - 하수처리장 + 하수관거 건설비용	수자원사업의 타당성 분석 개선방안 (2008, 국토해양부)
용수 공급	○ 다차원 홍수피해 산정법 적용 - 범람수리분석 → 침수심별 편익면적 → 홍수피해액 산정	치수사업 경제성분석 방법 연구 (2004, 건설교통부)

[표 6.26] 백곡지구 저수지 뚝높이기 사업비 내역

과 목	총사업비	비 고
수 입		
- 총사업비	64,012,000	
- 국 비	64,012,000	
지 출		
- 순 공 사 비	38,318,621	
○ 수 원 공	38,318,621	
- 자 재 대	3,168,827	
- 용지매수보상비	17,403,137	
- 측 량 설 계 비	1,602,300	
○ 기본조사비	607,000	
○ 세부설계비	995,300	
- 공 사 감 독 비	2,428,000	
- 사 업 관 리 비	550,986	
- 한 전 납 입 금	872	
- 폐 기 물 처 리 비	26,656	
- 문화재지표조사비	25,000	
- 사전환경성검토	70,000	
- 사전재해영향성검토	47,520	
- 생태계보전협력금	103,000	
- 잡 지 출	267,081	
합 계	64,012,000	

3.3 홍수조절편익

○ 다차원 홍수피해산정 방법

- 다차원홍수피해산정법(MD- FDA, Multi-Dimensional Flood Damage

Analysis)은 회귀식에 의한 기존 개선법의 문제점을 개선하기 위하여 건설교통부에서 수행한 『치수사업 경제성분석 방법 연구』(2004. 4)에서 제시된 홍수 피해액 산정 방법임

- 다차원홍수피해산정법은 기존의 방법들에 비해 자산조사 항목이 많고 침수편입률과 같은 피해지역의 공간정보를 GIS를 활용하여 고려하여 정확한 홍수 피해액 산정이 가능함
- ‘다차원법’의 피해항목은 (표 3-17)과 같이 통계자료를 조사하여 산정하는 일반자산 피해 5개항목과 ‘90년대까지 사용되어 오던 ‘간편법’ (건설부, 1985; 1993)의 원 단위를 이용한 인명/이재민피해, 마지막으로 일반자산 피해에 비율계수를 곱하여 계산하는 공공시설피해 등 총 7가지 피해항목으로 구성됨

[표 6.27] 다차원홍수피해산정법의 행정구역별 일반자산 피해항목 조사 대상

자산항목	대 상 자 산
주거자산	건물 : 일반세대의 주거용 건물 건물내용물 : 일반세대의 주거용 가정용품
농업자산	농경지 : 전·답 농작물 : 홍수시에 있어서의 대표작물
산업자산	유형고정·재고자산 : 사업소자산 중 토지를 제외한 생산설비나 재고자산

- 치수대상 사업지구 침수면적 산정
 - 치수대상 사업지구는 미호천 본류 및 저수지가 위치하는 지류하천을 대상으로 하였으며, 저수지 뚝높이기에 따른 홍수피해 경감면적 및 침수심별 침수면적은 금강유역종합 치수계획(2008, 국토해양부)을 준용토록 함

[표 6.28] 저수지별 침수면적

구 분	빈 도 (년)	침수면적 (ha)	사업전 대비 경감면적 (ha)
사 업 전	50	9,107	-
	100	10,555	-
	200	12,964	-
	500	15,125	-
백 곡 지	50	9,030	77
	100	10,488	67
	200	12,640	324
	500	15,059	66

[표 6.29] 직접피해의 대상자산과 피해액 산정방법

지역특성	세분류	자 료	산정방법
주거 특성	건물 (동) 연립주택	① 건축형태별 건축연면적 주택수 ② 건축형태별 건축단가 ③ 아파트, 연립주택의 층수 ④ 읍면동별 건축형태별 주택수	해당 읍면동의 평균건물연면적에 건축단가를 곱해서 산정 (①×②×④ 단,③고려)
		① 가정용품 보급률 및 평균가격 ② 지역별 가정용품 평가액 ③ 읍면동별 세대수	세대수에 1세대당 평가단가를 곱하여 산정 (①×②×③)
농업 특성	농경 지	전(면적) ① 매몰,유실에 의한 피해액 ② 읍면동별 전,답 면적	매몰이나 유실이 발생하였을 경우 피해액을 바로 산정(①×②)
		답(면적)	
농업 특성	농작 물	전(면적) ① 단위면적당 농작물평가단가 ② 읍면동별 전,답면적 ③ 읍면동별 경작작물의 종류	논면적, 밭면적에 시군구별 단위면적당 농작물평가단가를 곱하여 농작물자산을 산정(①×② 단, ③고려)
		답(면적)	
산업 특성	유형자산(액)	① 산업분류별 1인종사자수당 사업체 유형·재고자산액 ② 읍면동별 산업분류별 종사자수	산업대분류마다 종업자수에 1인당 평가단가를 곱하고 사업소 유형 고정자산·재고자산을 산정(①×②)
	재고자산(액)		

○ 주거특성

- 건물자산 : 건물자산 가치를 구하는 식은 아래와 같으며, 해당 읍·면·동의 건물면적에 건축단가를 곱해서 가옥자산을 산정

$$\begin{aligned} \text{물 자산가치(원)} &= \text{단위면적별 건축형태별 건축단가(원/m}^2\text{)} \\ &\quad \times \text{건축형태별 연면적 비율(m}^2\text{/개수)} \\ &\quad \times \text{가구수(개수)} \\ &\quad \times \text{기준년 건설업 } Defaltor \end{aligned}$$

- 건물내용물

$$\begin{aligned} \text{건물내용물 자산가치(원)} &= \text{가정용품 평가액(원/세대수)} \\ &\quad \times \text{세대수} \\ &\quad \times \text{소비자 물가지수} \end{aligned}$$

○ 농업 특성

- 농경지 : 전답별 경지면적은 해당 지역의 시·군 통계연보로부터 과거 몇 년간의 자료를 수집하며, 농경지는 침수가 발생하여도 어느 침수심까지는 피해가 발생하지 않으므로 매몰이나 유실이 발생하였을 경우 피해액을 바로 산정함
- 농작물 : 농작물 자산가치는 논면적, 밭면적에 시·군·구별 단위면적당 농작물 평가단가를 곱하여 산정

$$\begin{aligned} \text{농작물자산가치} &= \text{단위면적당 농작물 평가단가(원/ha)} \\ &\quad \times \text{농작물 작부면적(ha)} \\ &\quad \times \text{소비자 물가지수} \end{aligned}$$

- 농작물 자산에 대한 평가시 전, 답의 대표작물 및 특수농작물에 대한 생산량은 논·밭의 경우 수확량(생산량), 밭의 경우는 주요한 작물

의 수확량으로 하되 시·군별 통계자료에 의한 곡종별 작물통계에 의거
 최근 5개년 간의 자료중 최대 및 최소 수확량을 제외한 3개년 간의 값
 의 수확량 평균치를 평년작으로 적용

- 단위면적당 농작물 평가단가는 아래의 제시된 값을 사용함

[표 6.30] 농작물별 생산비 (2002년 기준)

농 작 물	10a당 생산비 (원)	가마당 생산비	
		기준무게 (kg)	생산비 (원)
논 벼	529,609	80	87,995
겉보리	223,239	76.5	72,574
쌀보리	248,920	76.5	72,581
마 늘	1,232,861	100	101,380
양 파	981,828	20	3,219
고 추	1,227,759	10	45,490
참 깨	441,998	60	489,816

※ 자료출처 : 「농산물생산비 통계(통계청, 2002)」

[표 6.31] 지역별 논벼의 생산비 (2002년 기준)

시, 도	10a당 생산비 (원)	가마(80kg)당 생산비 (원)
경 기도	536,892	87,426
강 원 도	474,079	84,566
충청북도	478,628	75,549
충청남도	504,110	76,795
전라북도	615,810	99,323
전라남도	529,544	94,569
경상북도	515,923	84,655
경상남도	519,586	93,562
제 주 도	-	-

※ 자료출처 : 「농산물생산비 통계(통계청, 2002)」

- 산업 특성 : 산업특성 자산가치는 해당 읍·면·동의 상업분류별 종업자수를 해당 지역의 시·군 통계연보로부터 수집하여 여기에 아래표와 같은 산업대분류마다 종업자수에 1인당 평가단가를 곱하고 사업소 유형고정 자산·재고자산을 산정함

업지역자산가치(원)

= 산업분류별 사업체 1인당 유형·재고자산 평가액(원/인)

× 사업체별 종사자수(인) × 소비자 물가지수

[표 6.32] 산업분류별 사업체 1인당 종사자의 유형자산과 재고자산

산업분류	광 주(천 원)		전 남(천 원)	
	유형자산	재고자산	유형자산	재고자산
A. 농업,수렵업 및 임업	2,519,888	430,223	5,658,394	756,792
B. 어업	-	-	147,937	29,645
C. 광업	97,018	5,263	51,867	3,544
D. 제조업	128,027	69,070	450,154	53,276
E. 전기,가스 및 수도사업	2,559,004	3,984	2,035,252	55,653
F. 건설업	67,774	36,033	27,632	4,020
G. 도·소매 및 소비자용품수리업	27,422	14,631	49,624	26,729
H. 숙박 및 음식점업	30,237	1,073	49,215	371
I. 운수,창고 및 통신업	111,579	1,271	69,761	1,403
J. 금융및보험업	31,806	366	31,459	2,243
K. 부동산,임대 및 사업서비스업	79,926	8,586	81,446	2,005
L. 공공행정,국방 및 사회보장행정	-	-	-	-
M. 교육서비스업	83,921	4	37,172	12
N. 보건 및 사회복지사업	38,535	1,948	60,297	1,658
O. 기타공공,사회 및 개인서비스업	53,858	424	67,314	288

자료출처 : 「국부통계조사 보고서(통계청, 1999)」

- 침수피해액 및 연평균 기대액 산정 : 백곡지구 농업용저수지 둑 높이기 사업에서는 둑 높이기 사업에 따른 피해액은 직접피해항목은 크게 인명피해액, 건물 피해액, 건물내용물 피해액, 농경지 피해액, 농작물 피해액, 사업소 유형
- 재고자산 피해액, 공공시설 피해액 7가지로 분류하되, 이중 인명 피해

액과 공공시설 피해액을 제외한 5가지 피해액은 일반자산의 평가액을 근거로 산정함

- 다음 표는 독 높이기 사업전과 사업후의 빈도별 피해액을 산정한 것임

[표 6.33] 빈도별 피해액 산정

피해항목	빈도별 피해액(백만원)			
	50년	100년	200년	500년
사업전	4,081,955	4,682,374	7,110,666	8,164,334
독 높이기 사업 후	4,080,054	4,663,296	6,983,745	8,123,014

- 이상과 같은 기준에 의해 산정한 피해액은 그 지구가 홍수피해로부터 완전히 해소가 되는 경우엔 전부 편익으로 볼 수 있겠지만, 금회 계획한 홍수방어시설에 의해 치수구역의 홍수피해를 모두 해소시키는 것이 아니고 하도가 분담키 어려운 홍수량만 분담하는 계획인 바, 홍수방어 대안별 편익은 농업용저수지 독 높이기 사업 전·후 직접피해액을 산정하여 피해경감액을 산정한 후 여기에 홍수의 생기확률을 곱하고, 피해경감 기대액을 누계하여 연평균 피해경감 기대액을 산정하였음
- 다음표는 저수지별 독 높이기 후 연평균 피해경감 기대액을 산정한 결과임

[표 6.34] 연평균피해경감 기대액

유량규모 (빈도)	연평균 초과확률	피해액(백만원)			구간평균 피해액	연평균 피해액	연평균피해 경감기대액
		사업 전	사업 후	피해경감액			
50년	0.020	4,081,955	4,080,054	1,901	3,885,126	429,096	1,470
100년	0.010	4,682,374	4,663,296	19,078	4,570,083	472,609	1,526
200년	0.005	7,110,666	6,983,745	126,921	5,823,520	501,727	1,891
500년	0.002	8,164,334	8,123,014	41,320	7,553,379	524,387	2,143

○ 용수공급에 따른 수질개선 편익

- 농업용저수지 독 높이기에 따른 댐 하류 용수공급에 의해 하류하천의 유지 유량이 증가하고 이에 따른 희석효과로 수질이 개선되는 과정에서 단순히 수질기준항목에 대한 수치만 좋아지는 것이 아니라, 수량이 풍부해지는 것에 따른 다양한 효과들이 발생하게 됨
- 다시 말하면 하천의 수질개선과 더불어 주변지역의 생활환경에도 영향을 미친다는 것을 의미함
- 예를 들면, 하천의 경관 향상, 하천의 생태계 보호 및 개선, 친수활동의 기회 증가, 하천수를 이용한 생·공·농업용수의 수질개선에 따른 정수비용 절감, 상수도 원수수질 개선에 따른 심리적 만족감 등과 같은 직·간접적인 효과를 들 수 있음
- 농업용저수지 독 높이기 사업으로 인한 용수공급량 증가에 따른 하천 유지용수 증가로 인해 하류 하천에 상시 일정유량의 물이 흐름으로써 발생하는 효과를 편익으로 산정하기 위해서 댐 방류에 의한 수질과 동일한 효과를 이루기 위해 대체시설을 적용하여 그 비용을 산정함

○ 대체시설법

- 기존에는 수질개선을 위한 용수공급을 위한 댐의 편익산정에 대체댐에 의한 대체시설비용법을 적용하였으나, '댐을 대체하는 또 다른 댐'에

의한 편익산정이 갖는 이론적 모순이 제기될 수 있어 설득력을 갖기 힘든 면이 있음

- 따라서 본 과업에서는 댐 방류에 의한 하류하천의 수질개선효과를 계량화하여 편익을 산정토록 함
 - 이를 위해 댐의 수질개선용수 공급을 통한 수질개선 효과를 산정한 후, 이에 상당하는 효과를 얻을 수 있는 하수처리시설의 사업비를 추정 하여 대체시설비용을 산정하였음
 - 즉, 댐 방류에 의해 얻을 수 있는 수질개선 효과를 하수처리시설과 같은 대체시설을 통해 구현할 수 있다고 가정하고 대체시설 비용을 댐 건설로 인한 편익으로 구함
 - 환경기초시설은 일반적으로 하수처리장, 분뇨처리장, 축산폐수처리장, 산업단지 폐수처리장, 농공단지폐수처리장 등이 있으나, 본 과업에서는 환경기초시설의 대표 시설인 하수처리장을 대상으로 대체시설비용법을 적용함
- 농업용저수지 용수공급계획
- 백곡지구 농업용 독 높임 사업에서 백곡저수지는 홍수조절목적과 용수 공급측면에서 개발 되는 저수지로 독 높이기 사업에 따른 수질개선을 위한 용수공급 편익에 대하여 산정함
 - 아래표는 독 높이기 대상 저수지의 재개발 규모와 추가저수용량을 나타냄

[표 6.35] 백곡저수지 독 높이기 사업에 따른 추가저수용량

구 분	독 높이기 사업(m)		
	계	홍수조절	용수공급
백곡지	3.0 (7.53백만톤)	2.0 (4.87백만톤)	1.0 (2.66백만톤)

[표 6.36] 백곡저수지 뚝 높이기 사업 후 기준갈수량

구 분	기준갈수량(m ³ /s)		
	기준갈수량(①)	추가(②)	기준갈수량(①+②)
유량	1.88	0.084	1.964

※ 용수공급이 가능한 추가저수용량 기준 유량

○ 수질개선 효과

- 농업용 저수지 뚝 높이기에 따른 수질개선효과는 4대강 마스터플랜 (2009, 국토해양부)의 금강권역 수질개선효과를 활용하였으며, 저수지 별 개선효과를 추정하기 위해 수질개선을 위해 추가 공급하는 저수용량을 기준으로 환산하여 적용토록 함

[표 6.37] 금강수계 뚝 높이기 대상 농업용저수지(4대강 마스터플랜)

지구명	소재지	증고높이 (m)	추가저류량 (천m ³)
용암	충남 연기 서 고복리	2.0	1802
광혜	경기 안성 죽산 두교리	4.0	1682
백곡	충북 진천 진천 건송리	2.0	4868
미호	충북 진천 초평 화산리	1.0	2490
한계	충북 청원 가덕 한계리	3.0	549
삼기	충북 증평 증평 울리	5.1	1409
합계			12,800

- 아래 표는 뚝 높이기 사업에 따른 백곡지의 수질개선효과를 정리한 것임

- 환경기초시설의 편익산정을 위한 기준수질은 환경부 오염총량관리제 1 단계 (2004 ~ 2010) 목표인자인 BOD로 결정함

[표 6.38] 백곡저수지 뚝 높이기 사업 후 BOD 개선효과

구 분	사업 전(①)	BOD 개선효과(mg/L)	
		저감량(②)	사업 후(②-①)
유량	4.3	0.437	3.863

- 대체시설법을 통한 편익을 산정한 것으로 대체시설비용법을 적용하기 위하여 사업기간을 댐의 내용연수인 50년으로 하였으며 하수처리장의 내용연수는 20년으로 하여 최초 시설설치 후 10년이 되는 시점에 총공사비의 43.35%가 재추입하는 것으로 하여 산정함
- 또한 현재가치화하기 위한 할인율은 초기 30년간 5.5%, 이후 20년간 4.5%를 적용하여 다음과 같은 결과를 산정함

[표 6.39] 백곡지구 용수공급에 따른 편익산정 결과

수질항목 방류량(m ³ /s)	총건설비 (백만 원)	연간유지관리비 (백만 원)	용수공급편익 (백만 원)	비고
백곡지	135,481	1,175	139,077	<ul style="list-style-type: none"> •기준년도 : 2008년 •분석기간 : 50년 •할인율 30년간 : 5.5% 이후20년간: 4.5%

- 경제성 분석
 - 앞에서 산정된 편익과 비용의 결과를 가지고 경제성 분석을 수행하였음
 - 공공사업에 대한 경제성분석의 목적은 국민경제 전체의 입장에서 사업

의 타당성을 경제적 측면에서 분석하는 것임

- 이를 위하여 사업 시행시 예상되는 각종 편익과 비용을 추정한 후, 순현재가치, 내부수익률, 비용·편익비(B/C) 등의 경제성 평가 지표를 활용하여 경제성을 평가함
- 백곡지구에서는 「수자원(댐) 부문사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판, 제4판)(한국개발연구원, 2003)」의 지침과 「수자원사업의 타당성 분석 개선방안연구(2008, 국토해양부)」에 의거하여 완공 후 50년간 편익이 발생하는 것으로 가정하였으며, 분석시점은 2008년을 기준으로 설정함

[표 6.40] 백곡지구 농업용저수지 둑 높임사업 편익/비용산정 결과

B/C			4.05					
			총편익		홍수조절 편익		용수공급 편익	
연도	총비용	비용현가	총편익	총편익 현가	총편익-1	편익 현가-1	총편익-2	편익현가-2
2008	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	21,337	20,225	45,160	42,806	-	-	45,160	42,806
2010	21,337	19,171	45,160	40,574	-	-	45,160	40,574
2011	21,337	18,171	45,160	38,459	-	-	45,160	38,459
2012	192	155	3,851	3,108	2,676	2,160	1,175	948
2013	192	147	3,987	3,051	2,813	2,152	1,175	899
2014	192	139	4,128	2,994	2,953	2,142	1,175	852
2034	192	48	8,082	2,009	6,907	1,717	1,175	292
2035	192	45	8,372	1,972	7,197	1,696	1,175	277
2036	192	43	8,674	1,937	7,500	1,675	1,175	262
2037	192	41	8,989	1,903	7,815	1,654	1,175	249
2038	192	38	9,317	1,869	8,143	1,634	1,175	236
2039	192	37	9,659	1,855	8,485	1,629	1,175	226
2040	192	35	10,016	1,840	8,841	1,624	1,175	216
2041	192	34	10,387	1,826	9,212	1,620	1,175	207
2042	192	32	10,774	1,813	9,599	1,615	1,175	198
2043	192	31	11,177	1,800	10,003	1,610	1,175	189
2044	192	30	11,597	1,787	10,423	1,606	1,175	181
2045	192	28	12,035	1,774	10,860	1,601	1,175	173
2046	192	27	12,491	1,762	11,317	1,597	1,175	166
2047	192	26	12,967	1,751	11,792	1,592	1,175	159
2048	192	25	13,462	1,739	12,287	1,588	1,175	152
2049	192	24	13,978	1,728	12,803	1,583	1,175	145
2050	192	23	14,516	1,717	13,341	1,578	1,175	139
2051	192	22	15,076	1,707	13,901	1,574	1,175	133
2052	192	21	15,660	1,697	14,485	1,569	1,175	127
2053	192	20	16,268	1,687	15,093	1,565	1,175	122
2054	192	19	16,902	1,677	15,727	1,560	1,175	117
2055	192	18	17,563	1,667	16,388	1,556	1,175	112
2056	192	17	18,251	1,658	17,076	1,551	1,175	107
2057	192	17	18,968	1,649	17,793	1,547	1,175	102
2058	192	16	19,715	1,640	18,541	1,543	1,175	98
2059	192	15	20,494	1,632	19,320	1,538	1,175	94
2060	192	15	21,306	1,623	20,131	1,534	1,175	89
2061	192	14	22,151	1,615	20,976	1,529	1,175	86
용지보상비(잔존가치)			17,403					
합계	30,917	60,378	47,632	244,517	453,419	88,037	103,892	139,077

4. 일본의 농업기반정비 사업

4.1 홋카이도 사루바 직할명거(구거) 배수 사업

① 사업개요

- 사업명 : 직할명거(구거) 배수사업
- 사업비 : 1,947/(백만 엔)
- 사업기간 : 헤이세이 12 ~ 16년도
- 수혜면적 : 409ha (밭:196ha, 논:213ha)
- 주요공사 : 배수로 4.3km

② 편익비용의 산정

[표 6.41] 사루바 직할명거 배수사업 연효과액 산정

효과항목		연 효과액	효과요인(단위 : 천 엔)
식량의 안정공급	작물별 생산향상	119,912	용배수시설 정비로 인한 작물생산량의 증감
	영농경비절감	5,030	용배수시설의 정비로 인한 영농경비의 절감
	유지관리비절 감	1,384	용배수시설의 정비로 인한 시설유지관리비의 증감
	합 계	123,558	
농업의 지속적 개발	재해방지	16,392	배수시설 정비로 인하여 홍수시 농작물, 농용지, 농업용시설등의 농업관련재산과 일반재산 또는 공공재산의 피해를 방지 또는 경감
	합 계	16,392	
농촌 진흥	지역경제과급 효과	20,331	사업실시에 의해 작물생산 증가로 야채 집출하시설의 고용과 농업생산자재의 수요
	합 계	20,331	
총 합		160,281	

③ 편익항목 산정방법

○ 작물별 생산향상

- 효과산정방법 : 사업시행 전과 후의 경작물 및 경지면적을 조사한 후 작물생산증가에 대한 편익액 계산
- 효과산정방법 : 사업시행 전과 후의 작물별 작부면적을 조사하여 작물 생산증가에 대한 편익액 산정
- 대상작물 : 쌀, 토마토, 오이 등
- 연효과액 산정식 :

$$\text{연효과액} = \text{단수증가연효과액}$$

$$\text{단수증가연효과액} = \text{작부면적} \times (\text{사업 후 생산량} - \text{사업 전 생산량}) \times \text{단가} \times \text{단수증가의 총 이율}$$

[표 6.42] 사루바 직할명거 배수사업 편익효과 산정표

구분	작부면적 (ha)		효과 요인	생산량 (kg/10a)			생산 증가량 (t)	증가 수익 (천 엔)	총익율 %	연효과액	
	전	후		전	후	증가량					
쌀	신설	126	109	단수량 (乾田化)	483	502	19	21	3,885	76	2,953
	갱신	126	109	단수량 (乾田化)	464	483	19	21	3,885	76	2,953
토마토	신설		24	단수량 (乾田化)	9,940	10,338	398	96	25,152	76	19,116
	갱신		24	단수량 (乾田化)	9,542	9,940	398	96	25,152	76	19,116
오이	신설		2	단수량 (乾田化)	5,008	5,158	150	3	414	74	306
	갱신		2	단수량 (乾田化)	4,858	5,008	150	3	414	74	306
합 계											119,912

※ 乾田化(배수가 잘 되어 쉽게 밭으로 전환 가능한 상태)

○ 영농경비절감

- 효과산정방법: 사업시행 전과 후의 노동비, 기기운용비, 기타 생산자재

비를 비교하여 연 효과액 산정

- 대상작물: 쌀, 토마토, 오이

- 연효과액 산정식 : 사업전후 영농경비 차 × 효과발생면적

[표 6.43] 사루바 직할명거 배수사업 영농경비 편익효과액 산정표

작물명	ha당 영농경비				ha당 경비 (엔)	면적 (ha)	연효과액 (천 엔)
	신설		갱신				
	사업 전	사업 후	사업 전	사업 후			
쌀 (배수개량)	485,721	471,065	500,700	485,721	29,635	109	3,230
토마토 (배수개량)	17,943,374	17,930,383	17,956,364	17,943,374	25,981	24	624
오이 (배수개량)	13,530,483	13,491,245	13,569,721	13,530,483	78,476	(2)	157
녹비 (배수개량)	84,702	75,171	94,233	84,702	19,062	(22)	419
합 계						133	4,430
토마토 (배수개량)	17,943,374	17,930,383	17,956,364	17,943,374	25,981	12	312
오이 (배수개량)	13,530,483	13,491,245	13,569,721	13,530,483	78,476	(1)	78
녹비 (배수개량)	84,702	75,171	94,233	84,702	19,062	(11)	210
합 계						12	600
총 계						145	5,030

○ 유지관리비절감

- 효과산정방법: 사업시행 전과 후의 시설유지관리비를 비교하여 산정

- 대상시설: 배수로

- 연효과액 산정식 : 사업전 유지관리비 - 사업 후 유지관리비

[표 6.44] 사루바 직할명거 배수사업 유지관리 편익효과액 산정표

시설명	시행 전(천엔)	시행 후(천엔)	연 효과액(천엔)
전 체	396	1,780	1,384

○ 재해방지

- 효과산정방법: 사업시행 전후의 홍수, 토사유출과 같은 재해로 농업관련재산, 일반재산 등의 피해를 비교하여 차액을 통해 효과액 산정
- 연효과액 산정식 : 사업전 연간 피해상정액 - 사업 후 연간 피해상정액

[표 6.45] 사루바 직할명거 배수사업 재해방지 편익효과액 산정표

시설명	시행 전(천엔)	시행 후(천엔)	연 효과액(천엔)
전 체	16,392	-	16,392

○ 지역경제파급

- 효과산정방법 : 사업에 의한 농작물생산의 증가로 야채 집출하시설의 고용창출효과와 농업생산자재의 사용량의 증가에 의한 관련비용의 연 효과액
- 연효과액 산정식 : 고용기회창출에 관한 연 효과액 + 농업생산자재 사용량의 증가에 관한 연 효과액
- 편익효과액 산정표
- 고용기회의 창출에 관한 효과액
- 연효과액 = 사업 후 고용임금 - 사업 전 고용임금

[표 6.46] 사루바 직할명거 배수사업 고용기회의 창출에 대한 효과액

사업 후 평가액(천엔)	사업 전 평가액(천엔)	연 효과액(천엔)
41,921	24,015	17,906

- 농업생산자재 사용량의 증가에 관한 효과액
연효과액 = 증가포장 수 × 포장 생산재비용

[표 6.47] 사루바 직할명거 배수사업 농업생산자재 사용량 증가에 관한 효과액

품 명	증가생산량 (t)	증가 포장 수	포장자재비 (엔/개)	연 효과액 (천 엔)
토마토	144	12,000	197	2,364
오이	5	500	122	61
합 계				2,425

4.2 홋카이도 앓사부천 국영 관개배수 사업

① 사업개요

- 사업명 : 국영관개배수사업
- 사업비 : 39,882/(백만 엔)
- 사업기간 : 쇼와 45 ~ 헤이세이 16년도
- 수혜면적 : 3,377ha(밭:2,068ha 논:1,309ha)
- 주요공사 : 저수지 1개소, 두소공 1개소, 양수시설 1개소, 용수로 32.4km, 배수로 2.1km

② 편익비용의 산정

○ 총 비용산정

[표 6.48] 앓사부천 국영 관개배수 사업 총 비용산정

시설명	시행 전 재산가액 ①	당해 사업비 ②	관련 사업비 ③	평가기간 중 재정비비 ④	평가기간 중 종료시점 재산가액 ⑤	총비용 ⑥=①+②+③+ ④-⑤
댐	-	106,420,478	-	-	4,462,309	101,958,169
두수공	-	2,400,555	-	-	13,905	2,386,650
양수장	-	1,054	-	444	105	1,393
간선용수로	-	17,331,077	-	1,587,149	1,168,170	17,750,056
소 계	-	126,153,164	-	1,587,593	5,644,489	122,096,268
관련사업	4,652,199	-	41,914,400	5,868,538	1,466,169	50,968,968
소 계	4,652,199	-	41,914,400	5,868,538	1,466,169	50,968,968
합 계(천엔)	4,652,199	126,153,164	41,914,400	7,456,131	7,110,658	173,065,236

○ 연 편익액의 산정

[표 6.49] 앓사부천 국영 관개배수 사업 연 편익액의 산정

편익항목		연 편익액 (천엔)	편익요인
식량 의 안정 공급	작물별 생산향상	1,044,341	시설 정비로인한 작물생산성 향상
	품질향상	204,167	시설의 정비로인한 품질향상으로 농작물가격 상승
	영농경비절감	1,939,682	시설정비로인한 영농경비 절감
	유지관리비절감	39,384	시설정비로 시설의 유지관리비용의 증감
	소 계	3,148,806	
농업 의 지속 적 개발	재해방지	161,640	농업용 댐 정비를 통하여 홍수와 같은 재해로부터 농작물, 경작지, 농업용시설 등의 농업관련재산, 일반재산 또는 공용재산의 피해를 방지
	소 계	161,640	
합 계		3,310,446	

③ 편익비용 산정방법

○ 작물별 수량증대

- 효과산정방법: 사업시행 전과 후의 경작물 및 작부면적을 조사한 후 작물생산증가에 대한 편익액 산정

- 대상작물 : 쌀, 보리, 메밀 등

- 연 효과액 산정식: 연효과액 = 단수증가연효과액

$$\text{단수증가 연 효과액} = \text{작부면적} \times (\text{사업 후 생산량} - \text{사업 전 생산량}) \times \text{단가} \times \text{단수증가의 총 이율}$$

[표 6.50] 앓사부천 국영 관개배수 사업 작물별 수량증대 편익효과 산정표

구분	작부면적 (ha)		효과 요인	생산량 (kg/10a)		증가 량	증가 수익	총 이익율 (%)	연효과액	
	전	후		전	후					
쌀	신설	1,944	744	乾田化	465	539	74	18,482	76	14,046
				송수 효과	465	525	60	82,584	76	62,764
	갱신	1,944	744	수해 방지	391	465	74	18,482	76	14,046
				가뭄 방지	195	465	270	371,628	76	282,438
보리	신설	-	85	乾田化	267	374	107	2,370	72	1,706
메밀	신설	-	34	乾田化	88	106	18	270	89	240
			34	조성금						9,520
합	계									1,044,341

※ 乾田化 : 배수가 잘 되어 쉽게 밭으로 전환 가능한 상태(단가:천엔/t)

○ 품질향상

- 효과산정방법: 사업시행 전과 후의 생산물 가격을 비교하여 연 효과액을 산정
- 대상작물: 쌀, 호박, 옥수수 등
- 연효과액 산정식: 해당작물 수량 × 단가 상승액

[표 6.51] 앓사부천 국영 관개배수 사업 품질향상 편익효과 산정표

구 분	생산물단가(천엔/t)			해당작물 수량(t)		연효과액 (천엔)
	전	후	상승액	기능유지	기능향상	
쌀	76	185	109	1,451	-	158,159
호박	89	93	4	476	-	1,904
옥수수	108	121	13	452	-	5,876
합 계	273	399	126	2,379	-	165,939

- 영농경비절감
 - 효과산정방법 : 사업시행 전과 후의 노동비, 기기운용비, 기타 생산자 재비를 비교하여 연 효과액 산정
 - 대상작물: 논작물(쌀, 보리 등), 밭작물(보리, 콩 등)
 - 연효과액 산정식 : 사업전후 영농경비 차 × 효과발생면적

[표 6.52] 앓사부천 국영 관개배수 사업 영농경비 절감 편익효과 산정표

지목	작물명	ha당 영농경비				ha당 경비 (엔)	면적 (ha)	연 효과액 (천 엔)
		신설		갱신				
		사업 전	사업 후	사업 전	사업 후			
논	쌀 (용배수개량)	2,022,576	824,235	2,183,275	2,022,576	1,359,040	65	88,338
	쌀 (용배수개량, 수확)	2,022,576	799,261	2,183,275	2,022,576	1,384,014	70	96,881
	쌀 (용수개량)	1,966,925	839,315	1,922,646	1,966,925	1,083,331	291	315,249
	합계						1,850	1,608,718
밭	보리 (밭 개간)	1,449,548	1,317,688	-	-	131,860	98	12,922
	소두 (밭 개간)	3,258,112	3,046,766	-	-	211,346	194	41,001
	대두 (밭 개간)	883,198	814,562	-	-	68,636	80	5,491
	합계						1,324	330,964
합 계							3,139	1,939,682

○ 유지관리비절감

- 효과산정방법: 사업시행 전과 후의 시설유지관리비를 비교하여 산정
- 대상시설: 저수지, 두수공, 용수로, 배수로
- 연효과액 산정식 : 사업전 유지관리비 - 사업 후 유지관리비

[표 6.53] 앓사부천 국영 관개배수 사업 유지관리 절감 편익효과 산정표

시설명	시행 전(천엔)	시행 후(천엔)	연 효과액(천엔)
전 체	13,274	52,658	39,384

○ 재해방지

- 효과산정방법 : 사업시행 전후의 홍수, 토사유출과 같은 재해로 농업관련재산, 일반재산 등의 피해를 비교하여 차액을 통해 효과액 산정
- 연효과액 산정식 : 사업전 연간 피해상정액 - 사업 후 연간 피해상정액

[표 6.54] 앓사부천 국영 관개배수 사업 재해방지 편익효과 산정표

시설명	시행 전(천엔)	시행 후(천엔)	연 효과액(천엔)
전 체	161,640	-	161,640

제 2 절 경제성 분석 방법 및 기초자료 조사

1. 경제성 분석 방법 검토 및 선정

1.1 경제성 분석 방법 검토

- 제1절에서 검토한 유사 사업에서의 경제성 분석 사례를 토대로 수리시설물에 대한 경제성 분석 방법을 검토하였음
- 수리시설물의 경제성 분석에서 중요한 요인은 비용-편익분석을 위해서 사용되는 초기 비용 및 유지관리비용, 편익 및 할인율 등이며, 우리나라와 같이 농업용수를 무상으로 제공하는 실정에서는 편익의 산정 방법이 경제성 분석 결과에 가장 중요한 영향을 미치고 있음
- 농업생산기반정비사업 추진성과 분석 및 효율적인 농촌개발 방안 연구(2000, 농림수산식품부)에 의하면 사업별 주요 수리시설물에 대하여 농업의 직접적인 효과 및 농업외 간접적인 효과로 나누어 각각의 편익에 대한 효과 발생 여부를 제시하고 있음
- 경지정리, 배수개선, 용수개발, 농지조성, 밭기반정비 사업에 대하여 농업의 직접적인 효과는 농업생산성 향상 (작물생산효과, 품질향상효과), 농업경영 향상 (영농경비절감, 유지관리비절감 등) 효과가 있음
- 농업외 간접적인 효과로는 기반시설정비, 홍수피해경감, 생활환경정비, 수원함양, 지역환경보전, 보건휴양기능, 기타효과 등으로 제시되고 있음
- 일본에서는 비용편익분석을 위한 각 효과항목을 정부 지침으로 제시하고 있는데, 이러한 항목들은 경제성평가를 위하여 직·간접적 효과가 통합된 지표를 제안하고 지역적인 특성에 의해 부과적인 항목이 필요한 경우 전문가에 의한 검증을 통해 새로운 효과항목의 추가를 허용하고 있음
- 국내사례와 비교하였을 때, 식량의안정적공급에 관한 효과는 직접적으로 농가소득에 영향을 주는 요인으로 직접효과로 볼 수 있으며 나머지 3개 즉, 농업의 지속적 발휘, 농촌진흥, 다면적 기능의 발휘 효과요인은 간접효과로 적용이 가능할 것으로 판단됨

[표 6.55] 주요공정별 효과항목일람 (한국)

사업(공종별) 효과항목		경지정리			배수개선		용수개발				농지조성		발기반정비	
		구획정리	농도	용배수로	지표배수	지하배수	저수지	양수장	보	지하수	간척	개간	기반정비	관계시설
농업생산성	■ 농업생산성													
	작물생산효과	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	품질향상효과		●	●	●	●	●	●	●	●				●
	■ 농업경영향상													
	영농경비절감	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	영농주행경비절감		●								●	●	●	
농업의 효과	유지관리비절감	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	■ 기반시설정비													
	해일방지효과										●			
	국토확장효과										●			
	토양형성효과										●			
	토양유실방지	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	■ 홍수피해경감													
	홍수조절효과		●				●				●			
	지역배수효과		●		●	●								
	논의 저수효과	●									●	●		
	■ 생활환경정비													
	일반교통효과		●								●	●	●	
	고용증대효과	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	인구정착효과	●										●	●	
	소득증대효과	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	지적확정효과													
	안전성 향상효과		●		●	●	●	●	●		●			●
	지역진흥효과	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	■ 수원함양													
	하천 유량안정효과						●		●			●		●
	지하수 함양효과						●	●	●					●
	지하수 용수효과						●	●	●	●	●			●
	■ 지역 환경보전													
	수질정화효과				●		●	●	●					
	대기정화효과				●		●	●	●		●			
	산소공급효과													
	수변환경효과						●				●			
	환경보전효과				●									
	■ 보전 휴양기능													
	관광효과						●				●			
보전휴양효과		●		●		●	●			●	●		●	
식량안보효과	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
■ 기타 효과														
신규 깃벌 창조효과										●				
담수호 창출효과										●	●			
인공어초효과										●	●			

※ 농업생산기반정비사업 추진성과분석 및 효율적인 농촌개발방안 연구 (농식품부, 2000)

[표 6.56] 주요공정별 효과항목일람 (일본)

효과항목		주요공정	용수· 배수 정비	구획 정리	농도 정비	방재 정비
식량의 안정적 공급	작물생산효과		●	●	●	●
	품질 향상효과		●		●	
	영농경비 절감효과		●	●		●
	유지관리비 절감효과		●	●	●	●
	영농에 관한 주행경비 절감 효과				●	
농업의 지속적 발휘	경작포기 방지효과			●		
	피해방지효과(농업연관재산)	●	●			●
	농업노동환경개선효과	●	●			
농촌진흥	피해방지효과(일반재산)	●	●			●
	지역용수효과	●				
	일반교통 등 경비절감효과				●	
	지적확정효과			●		
	국토조성효과					
	비 농용지등 창설효과			●		
다면적 기능의 발휘	재해방지효과(공공재산)	●	●			●
	수원함양효과	●	●			
	경관·환경보전효과	●				●
	도시·농촌교류 촉진효과	●				●
※ 표 이외의 효과항목은 지역의 특성을 고려하여 필요한 비용을 효과로써 산정 하는 수법(비용=효과) 이외를 사용하여 정량화가 가능한 경우 효과로써 사용할 수 있음. 단, 산정수법에 관해서는 객관성 및 타당성을 확보하기 위해 학식경 험자 등의 의견을 고려하는 것으로 함 ※ 국토조설효과는 간척사업만 해당함						

- 수리시설개보수 사업은 저수지, 양·배수장 등 수리시설물 중 설치된 지 오래되어 노후 되거나 파손되어 제 기능을 다하지 못하고 집중호우나 태풍 등 재해우려가 있는 취약 시설물을 개·보수하는 사업임
- 과거 설계기준으로 설치돼 홍수배제능력이 부족하여 집중강우 시 재해가 우려되는 시설물을 보강하여 재해대비 능력을 강화하고, 노후화로 경관을 저해하는 시설물은 주변경관과 조화되도록 하는 사업임
- 하지만, 지금까지 사업을 수행하면서 사업을 수행하기 이전 사업계획을 수립하는 단계에서 예비조사의 목적으로 비용 편익 추정 뿐 아니라 사업기간과 사업완료 후 지속적인 분석을 하지 않아 성과관리에 한계가 존재하였음
- 또한, 사업이 완료되고 편익이 발생하기 시작하는 해부터 사후평가를 하는 것은 사전(ex-ante)대 사후(ex-post) 비교를 통해 사업혜택이 어떻게 배분되었나를 확인하는 중요한 작업임에도 불구하고 경제성이나 사업타당성 분석이 배제되어 있는 실정임
- 그에 따라 저수지 뚝 높이기 사업과 같이 시설물을 보수, 보강하는 사업을 대상으로 경제성 분석사례를 수집하여 연구방법 및 지표를 비교하고, 국내에 적용 가능한 경제적 분석 비용 및 편익지표가 제시되었음

1.1.1 수리시설물 개보수 관련 사업에서의 경제성 분석 지침

- 일반적으로 공공사업의 투자계획은 사업 분야와 투자규모 측면에서 다양하므로 각각의 사업이 가지는 타당성을 정확히 분석하여 부족한 예산을 효율적으로 사용하여야 함
- 즉, 타당성분석은 한정된 예산을 어떻게 하면 효율적으로 집행 하는 것이 바람직한 것인가에 대한 평가가 된다. 특히, 대부분의 공공사업은 대규모 사업이므로 합리적인 타당성분석이 결여될 경우 발생하는 피해는 막대하므로 장기적이므로 객관적이고 합리적인 타당성분석은 필수적임
- 국내에서 이용되는 경제성 분석 방법으로는 「치수사업의 경제성분석 개선방안에 대한 연구(2004, 건설교통부)」와 「수자원(댐) 부문사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판, 제4판)(2003, 한국개발연구원)」을 병행하

여 적용하고 있는 실정임

- 하지만, 최근 「수자원사업의 타당성 분석 개선방안연구(2008, 국토해양부)」의 방법론을 보완 적용하고 있는 실정으로 국내 이용되는 경제성 분석의 특징 및 편익 산정 항목은 다음과 같음

[표 6.57] 국내 적용되는 경제성 분석 지침의 비교

구 분	편익 분석	비 고
치수사업의 경제성분석 개선방안에 대한 연구	<ul style="list-style-type: none"> - 직접편익과 간접편익으로 분류 - 직접편익은 홍수피해 절감액으로 인명손실, 이재민피해 손실, 농작물 피해액, 공공시설물 피해액, 건물, 농경지, 기타 피해액 합산 - 간접편익은 홍수관리비용 절감액, 준설비용감소액, 지가상승액 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 경제성 평가 방법으로 「하천 설계기준」의 “하천 경제조사” 및 간편법 준용 - 침수면적-피해액 관계식 제시 - 할인율 7.5% 제시 - 경제성 분석과 투자우선 순위의 분리 필요성 제기
수자원(댐) 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구	<ul style="list-style-type: none"> - 직접편익과 간접편익으로 분류 - 직접편익은 용수공급 편익, 홍수조절편익, 관개편익으로 구분 - 간접편익으로 비상용수공급 편익, 교통 편익, 하천수질개선 편익, 주운 편익 등 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 홍수조절편익에서 빈도별 피해액 산정을 권장하나, 기초자료 부족 시에는 「하천설계기준」의 간편법 사용가능함 - 할인율 6.0% 제시
수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구	<ul style="list-style-type: none"> - 직접편익과 간접편익 분류 구분 지양 - 사업유형별 편익항목 설정 (아래표 참조) 	<ul style="list-style-type: none"> - 수자원 사업분야별 편익항목 설정 및 방법론 제시 - 할인율 운영후 30년간 5.5%, 추후 20년간 4.5% 제시

※ 치수사업 경제성분석 방법 개선방안에 대한 연구 (국토해양부, 2004)
 백곡지구 농업용저수지 득높임 사업 예비타당성 조사(KDI, 2012)

1.1.2 수리시설물 개보수 관련 사업에서의 경제성 분석 기준

- 경제성 판단의 지표는 편익 또는 수익과 비용을 동일한 비교기준으로 환산하여 적용하는데, 사업분석 기간의 총편익과 총비용을 현재 가치화 할 수 있음
- 여기서, 사업분석 기간이란 사업의 건설기간과 운영기간을 합한 것으로서 운영기간은 구조물의 경제성 수명 혹은 내용연수를 나타내는 것인데, 사업분석 기간의 총 가치를 현재화하기 위해서는 경제성분석의 기준이 되는 현재시점 즉, 기준년도를 설정함
- 따라서, 사업의 편익은 사업시행 전인 기준년도와 사업시행 후의 기대효과가 설정된 시점인 목표연도를 비교하여 산정함

[표 6.58] 주요 수리시설의 내용연수

구 분	수 명(년)	구 분	수 명(년)
저수지	70	토공	80
양수장 및 토목공사	40	수로구조물	30
전동기	40	방수제	100
내연기간	7	방조제	100
용수로	40	배수갑문	40

※ 경제기획원(1982). 투자조사편람(농업부문)

- 경제성 분석시 적용된 기준은 「치수사업의 경제성분석 개선방안 에 대한 연구(2004, 건설교통부) 와 「수자원(댐) 부문사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판, 제4판)(2003, 한국개발연구원)」 을 병행하여 적용하고 있는 실정이었으나, 최근 「수자원사업의 타당성 분석 개선방안연구(국토해양부, 2008)」 를 종합적으로 사용하며 주요항목에 대한 분석기준 및 기존 경제성분석방법과 비교 내용은 다음과 같음

[표 6.59] 경제성 분석 시 적용된 주요항목

구 분	적용기준
할인율	- 운영후 30년까지는 5.5%, 이후 20년간 4.5% 적용
경제성장율	- 홍수조절편익 산정시 경제성장율 고려(2012년 까지 5.2%, 2022년까지 -0.1% 차감, 2023년부터 4.2% 균등적용)
유지관리비	- 댐 또는 저수지의 경우 순공사비 0.5%적용(유지관리비 과 대계상 방지를 위해 사업별 차등적용, 하천 치수사업의 경 우 2% 적용)
홍수조절편익	- 다차원 홍수피해산정 방법
용수공급편익 (수질개선)	- 대체시설법(하수처리시설) 적용

- 상기 항목 중 공급용수편익(수질개선)은 ‘댐을 대체하는 또 다른 댐’ 에 의한 편익산정이 갖는 이론적 모순이 제기됨에 따라 용수공급을 통한 하천 수질개선의 효과를 바탕으로 하수처리시설로 편익을 산정함

[표 6.60] 경제성 분석방법 비교

분	유역종합치수계획 (2005년)	예비타당성사례(2002년) (신평댐, 성덕댐)	KDI 예비타당성 지침 및 개선방안연구
할인율	6%	6%	5.5%(초기 30년) 4.5%(향후 20년)
경제성장율	고려 (홍수조절편익)	-	고려 (홍수조절편익)
유지관리비	공사비 2%	공사비 0.5%	공사비 0.5%
홍수조절편익	고려 (다차원법)	-	고려 (다차원법)
용수공급편익	-	대체시설법 (지하댐, 대체댐)	대체시설법 (하수처리시설)
소수력 발전	-	-	대체화력법

1.2 경제성 분석 방법 선정

1.2.1 비용 산정 방법

- 이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석 방법은 유사 사업의 경제성 분석 방법을 검토한 결과를 바탕으로, 편익 및 비용을 산정하는 방법을 선정하였음
- 경제성 분석을 위한 비용 산정은 이수안전도 상향 조정을 위한 추가 확보 저수량을 산정하고, 저수량을 추가적으로 확보하기 위한 저수지 증고 비용을 추정하고자 함
- 저수지 증고를 위한 사업비는 기존의 저수지 뚝 높이기 사업에서 제체 증고를 위해 소요된 총 사업비를 조사하고, 추가 저수량과 사업비의 상관 분석을 통하여 추정하고자 함
- 또한, 대상지구 내의 시설물 철거비, 유지관리비, 예비비 등의 포함 여부와 누락된 총사업비 항목을 검토하여 비용 추정에 대한 객관성 및 적정성을 확보하고자 함

[표 6.61] 경제성 분석 비용 산정 항목

비용	세부 항목
공사비	- 제당, 여수토방수로, 도수터널, 이설도로, 순공사비 등
용지구입비	- 용지매수보상비
부대비	- 시설부대경비, 생태계보전협력금, 잡지출 등

1.2.2 편익 산정 방법

- 무상으로 제공되는 우리나라의 농업용수 특성을 고려할 때, 편익 산정은 경제성 분석에 있어서 매우 중요한 인자임
- 본 연구와 유사한 수리시설물의 경제성 분석 사례 검토 결과를 바탕으로 다음과 같은 편익 산정 방법을 선정하였음
- 생산성 향상 효과: 한발 피해가 경감됨으로 인하여 작물 생산량의 변화를 경제적으로 평가

$$\text{생산성 향상 효과} = A \times (y_1 - y_0) \times \alpha \times P$$

A : 수혜면적

y_1 : 재해가 없을 때의 단위면적당 평균 생산량

y_0 : 일정 기간 동안 재해가 발생할 때의 평균 생산량으로 재해발생확률을 p, 그 때의 생산량을 y_0 -라 할 때, $y_0 = (1-p)y_1 - py_0$.

α : 단위 조정계수로 톤당 12.5가마(80kg 기준)

P : 80kg당 시장 가격으로 정부 조사가격

- 작목 전화 효과: 한발 재해 발생지역에서는 고소득 작목으로의 전환이 늦어지는 경향이 있으며, 이수 안전도가 상승으로 인한 작목 전환을 경제적으로 평가

$$\text{작목전환 효과} = A \times [\sum \beta_i \times (M_i - M_0)]$$

A : 수혜면적

β_i : 수혜면적 가운데 작목 i로 전환된 비율

M_i : 새롭게 도입된 작목 i로부터 얻는 소득

M_0 : 기존 작목으로부터 얻는 소득

- 변동성 완화 효과: 재해 가능성에 따른 변동성 완화 효과를 경제적으로 평가

$$\text{변동성 완화 효과} = A \times (\text{premium})$$

A : 수혜 면적

premium : 위험을 피하기 위해 지불하고자 하는 금액으로, 효용함수를 통해 계산. 위험이 있을 때의 평균값과 위험이 전혀 없을 때의 값의 차이로 계산

- 지가 상승 효과: 재해 발생 가능성이 저하됨에 따라 농지의 생산성이 증가되고 이에 따른 농지의 지가 상승 효과를 경제적으로 평가

$$\begin{aligned} \text{지가 상승 효과} &= A \times (P_1 - P_0) \text{ 또는} \\ &= A \times P_0 \times (1 + \alpha) \end{aligned}$$

A : 수혜면적

P_1 : 사업 시행 이전의 공시지가

P_0 : 사업 시행 이후의 공시지가

α : 주변지역의 평균 공시지가 상승률

- 노동력 절감 효과: 재해 발생이 저하됨에 따라 관리 인원의 절감 효과를 경제적으로 평가

$$\text{노동력 절감 효과} = N \times w \times (L_0 - L_1)$$

N : 농장주 수

w : 농촌지역 평균

L_0 : 시설이 설치되기 이전의 노동력 투입 시간

L_1 : 공사 시설 설치 이후의 노동력 투입 시간

2. 경제성 분석을 위한 기초자료 조사

- 경제성 분석을 위해서는 비용 및 편익을 산정해야 하는데, 이러한 비용 및 편익의 산정을 위한 기초자료 조사를 수행하였음
- 이수안전도 상향 조정을 위한 저수지 증고 비용은 기존의 뚝 높이기 사업의 총 사업비를 조사한 결과를 바탕으로, 추가 저수량 확보를 위한 비용을 추정하였음
- 따라서, 기존 뚝 높이기 사업지구 110개소의 사업비를 조사하였으며, 뚝 높임 높이는 2m에서 많게는 약 30m까지 증고하였고, 이에 따른 사업비는 약 98억원부터 약 670억원으로 조사되었음

[표 6.62] 기존 뚝 높이기 사업비 조사 (110개 지구)

	위 치		총사업비 (백만원)	사업 기간	저수량(천m)		
	시도	시군			당초	추가	사업후
계	110지구		2,700,358	'09~'15	606,723	234,793	841,515
고려	인천	강화	17,194	'10~'15	3,295	1,017	4,312
금사	경기	여주	18,959	'10~'12	2,983	771	3,754
대평	경기	양평	11,795	'10~'12	638	501	1,139
마둔	경기	안성	24,394	'10~'15	3,496	1,228	4,724
봉원	경기	양주	21,112	'10~'15	2,193	949	3,142
개운	강원	홍천	14,993	'10~'12	749	900	1,649
궁촌	강원	원주	11,290	'10~'11	620	539	1,159
반계	강원	원주	18,198	'09~'11	1,746	1,094	2,840
원창	강원	춘천	23,354	'09~'13	3,255	1,339	4,594
좌운	강원	홍천	12,552	'10~'12	577	791	1,368
거진	강원	고성	21,972	'10~'15	1,464	1,208	2,672
현남	강원	양양	26,265	'10~'15	-	1,600	1,600
광혜	충북	진천	16,876	'09~'11	3,166	1,032	4,198
궁	충북	보은	57,638	'11~'14	2,052	7,260	9,312
맹동	충북	음성	9,757	'10~'12	12,691	1,638	14,329
백곡	충북	진천	60,830	'11~'13	21,504	4,868	26,372
보청	충북	보은	19,282	'10~'12	4,544	1,018	5,562
삼기	충북	증평	16,941	'10~'13	1,411	1,400	2,811

	위 치		총사업비 (백만원)	사업 기간	저수량(천㎥)		
	시도	시군			당초	추가	사업후
소수	충북	괴산	14,017	'10~'12	1,150	800	1,950
송면	충북	괴산	11,995	'10~'12	1,396	712	2,108
용곡	충북	청원	14,597	'10~'12	981	904	1,885
용당	충북	충주	26,948	'10~'14	4,423	2,409	6,832
장찬	충북	옥천	19,097	'10~'12	4,254	1,136	5,390
추평	충북	충주	17,898	'10~'11	3,809	1,124	4,933
추풍령	충북	영동	26,821	'09~'12	665	1,542	2,207
한계	충북	청원	12,364	'09~'11	1,002	564	1,566
계룡	충남	공주	18,268	'09~'11	3,412	1,305	4,717
덕용	충남	부여	21,413	'10~'13	3,854	1,844	5,698
도림	충남	청양	10,575	'09~'11	3,303	526	3,829
복심	충남	부여	18,597	'09~'13	2,704	2,324	5,028
신동	충남	금산	14,001	'10~'12	654	1,233	1,887
용연	충남	천안	28,129	'10~'12	1,519	1,531	3,050
정안	충남	공주	16,037	'10~'13	1,571	889	2,460
중흥	충남	공주	15,233	'10~'13	1,773	1,004	2,777
탑정	충남	논산	44,545	'11~'13	31,658	4,105	35,762
한천	충남	공주	26,734	'10~'14	1,213	1,372	2,585
봉림	충남	예산	22,936	'10~'15	1,039	1,178	2,217
신대	충남	청양	17,029	'10~'15	1,987	1,003	2,990
종천	충남	서천	25,144	'10~'15	2,122	1,357	3,479
용암	세종	연서	23,307	'09~'13	4,146	1,139	5,285
방동	대전	서구	25,905	'10~'13	2,938	1,022	3,960
공정	전북	무주	24,338	'10~'14	1,654	1,608	3,262
괴목	전북	무주	24,539	'10~'13	256	1,962	2,218
금풍	전북	남원	11,270	'11~'12	2,660	1,550	4,210
노촌	전북	진안	20,229	'11~'14	1,743	1,014	2,757
대곡	전북	장수	15,201	'10~'12	6,404	1,699	8,103
수송	전북	남원	18,860	'11~'13	811	1,037	1,848
신반월	전북	진안	14,599	'10~'12	590	1,030	1,620
용림	전북	장수	13,615	'11~'12	10,087	1,393	11,480
장남	전북	장수	23,305	'11~'13	6,133	2,038	8,171
지소	전북	장수	16,813	'10~'12	2,257	1,022	3,279

	위 치		총사업비 (백만원)	사업 기간	저수량(천㎥)		
	시도	시군			당초	추가	사업후
천천	전북	장수	15,268	'09~'12	966	952	1,918
황금	전북	진안	34,611	'09~'13	521	4,713	5,234
고수	전북	고창	24,113	10~'14	2,580	1,910	4,490
대아	전북	완주	48,302	'11~'15	54,646	3,042	57,688
수청	전북	정읍	29,449	'10~'15	4,490	2,510	7,000
광주호	전남	담양	46,731	'12~'14	17,368	4,615	21,983
구성	전남	곡성	30,174	'11~'14	2,137	2,153	4,290
금전	전남	회순	27,599	'10~'13	3,248	1,575	4,823
나주호	전남	나주	67,029	'11~'13	91,210	16,599	107,809
담양호	전남	담양	61,954	'11~'13	66,680	10,930	77,610
대동	전남	함평	31,186	'10~'13	5,226	2,306	7,532
만봉	전남	나주	30,939	'09~'13	747	1,669	2,416
문수	전남	구례	17,202	'11~'13	1,434	791	2,225
백용	전남	나주	26,395	'10~'12	2,480	1,324	3,804
외동	전남	담양	20,036	'11~'13	367	1,506	1,873
유탕	전남	장성	17,313	'09~'13	985	1,325	2,310
울치	전남	영암	17,674	'10~'12	2,110	1,490	3,600
입석	전남	영암	17,741	'10~'12	713	1,212	1,925
장성호	전남	장성	99,449	'11~'13	89,718	14,165	103,883
장치	전남	회순	35,868	'09~'13	1,727	3,649	5,376
함동	전남	장성	38,806	'11~'13	7,472	4,441	11,913
효곡	전남	구례	18,899	'11~'13	2,019	1,042	3,061
군곡	전남	해남	23,765	'10~'15	1,935	3,303	5,238
길용	전남	영광	21,523	'10~'15	1,704	1,141	2,845
용산	전남	장흥	26,391	'10~'15	610	1,661	2,271
왕동	광주	광산구	28,171	'10~'13	911	1,370	2,281
가음	경북	의성	23,598	'11~'13	2,447	2,184	4,631
갈평	경북	청송	16,110	'10~'13	822	1,235	2,057
고현	경북	청송	10,993	'10~'12	1,091	1,032	2,123
구천	경북	청송	28,321	'09~'13	780	2,675	3,455
금봉1	경북	의성	43,325	'11~'13	1,468	5,836	7,304
금봉2	경북	봉화	20,267	'11~'14	339	2,939	3,278
단산	경북	영주	19,992	'10~'13	3,042	791	3,833

	위 치		총사업비 (백만원)	사업 기간	저수량(천㎥)		
	시도	시군			당초	추가	사업후
덕곡	경북	고령	25,614	'11~'14	1,964	3,030	4,994
동면	경북	봉화	14,679	'10~'13	326	1,550	1,876
만운	경북	안동	19,969	'10~'12	2,203	1,557	3,760
봉학	경북	성주	24,055	'11~'14	2,254	2,539	4,793
삼가	경북	영주	17,378	'10~'13	4,086	1,207	5,293
송림	경북	경산	16,388	'10~'13	2,645	1,055	3,700
오태	경북	상주	23,189	'10~'13	5,769	2,960	8,729
옥성	경북	구미	11,687	'10~'13	1,932	1,015	2,947
운암	경북	예천	19,133	'09~'12	736	1,926	2,662
임고	경북	영천	21,658	'11~'13	1,521	1,657	3,178
지평	경북	상주	15,385	'10~'13	2,758	1,054	3,812
창평	경북	봉화	21,603	'09~'13	554	2,185	2,739
매화	경북	울진	17,423	'10~'15	1,156	1,414	2,570
은천	경북	포항	24,050	'10~'15	2,260	1,840	4,100
옥연	대구	달성	28,152	'10~'13	2,881	1,545	4,426
기북	경남	거창	28,003	'09~'13	4,988	2,997	7,985
서상	경남	함양	27,647	'09~'13	1,370	3,039	4,409
서암	경남	의령	31,210	'10~'13	1,726	3,956	5,682
손항	경남	산청	34,240	12~'15	576	6,572	7,148
옥계	경남	함양	27,239	'10~'13	2,617	2,060	4,677
응양	경남	거창	18,570	'10~'12	2,280	1,011	3,291
율현	경남	산청	36,033	12~'15	2,376	2,021	4,397
죽전	경남	합천	28,995	'09~'13	2,101	1,896	3,997
진례	경남	김해	19,206	'10~'13	1,099	1,003	2,102
사촌	경남	사천	16,511	'10~'15	-	1,089	1,089

- 또한, 편익의 산정을 위해서 대상지구의 쌀 생산량, 논밭 비율, 논외의 공시지가 등을 조사하였음
- 쌀 생산량은 제체 증고 사업 전·후의 쌀 생산량 변화에 대한 편익을 추정하기 위한 것으로, 대상지구의 평균적인 쌀 생산량 대비 한발이 발생한 년도의 쌀 생산량을 조사하여 한발 년도 대비 쌀 생산량 증가에 대한 편익을 추정하였음

[표 6.63] 시험지구의 쌀 생산량 조사

	시설명	2011년 (ton/ha)	2013년 (ton/ha)	2014년 (ton/ha)	2015년 (ton/ha)	2016년 (ton/ha)	평균 (ton/ha)	비고
4155010012	금광	4.10	4.45	4.52	4.59	4.66	4.46	안성시
4175010015	덕우	4.38	4.56	4.76	5.11	5.17	4.79	화성시
4278010011	학	4.99	4.51	5.78	5.57	5.61	5.29	철원군
4313010080	송강	4.58	4.97	5.00	5.30	5.29	5.03	충주시
4413010022	학정	4.97	5.08	5.04	5.27	5.22	5.11	천안시
4420010041	냉정	5.35	5.46	5.72	5.56	5.52	5.52	아산시
4421010017	풍전	5.08	5.25	5.50	5.33	5.33	5.30	서산시
4514010093	금마	5.19	5.27	5.38	5.58	5.48	5.38	익산시
4514010130	왕궁	5.19	5.27	5.38	5.58	5.48	5.38	익산시
4613010031	관기	4.79	4.90	4.81	5.05	5.06	4.92	여주시
4680010086	제산	4.48	4.50	4.38	4.65	4.87	4.58	장흥군
4725010004	개운	5.14	5.34	5.49	5.77	5.71	5.49	상주시
4824010077	덕곡	4.85	4.92	4.95	5.27	5.11	5.02	밀양시

[표 6.64] 한발년도의 쌀 생산량 조사

표준코드	시설명	2012년 (ton/ha)	비고
4155010012	금광	4.51	안성시
4175010015	덕우	4.35	화성시
4278010011	학	5.01	철원군
4313010080	송강	4.82	충주시
4377010010	용계	4.66	음성군
4420010041	냉정	5.34	아산시
4421010017	풍전	4.73	서산시
4514010093	금마	4.74	익산시
4514010130	왕궁	4.74	익산시
4613010031	관기	4.44	여주시
4680010086	제산	3.53	장흥군
4725010004	개운	4.98	상주시
4824010077	덕곡	4.83	밀양시

- 논밭 비율은 사업 전·후의 작목전환 효과에 대한 편익을 산정하기 위한 것으로, 최근 10개년 동안의 대상지구에 대한 논밭 비율을 조사하였음

[표 6.65] 대상지구의 최근 10개년 논밭 비율 (%)

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	비고
금광	논	58.98	57.98	58.11	58.87	56.52	55.29	56.16	54.55	53.63	57.03	안성
	밭	41.02	42.02	41.89	41.13	43.48	44.71	43.85	45.45	46.37	42.97	
덕우	논	64.19	64.96	66.06	65.98	65.58	65.04	66.57	65.91	65.85	65.02	화성
	밭	35.81	35.04	33.94	34.02	34.42	34.96	33.42	34.09	34.15	34.98	
학	논	83.63	83.56	81.62	81.53	80.71	80.37	83.11	82.27	81.10	80.80	철원
	밭	16.37	16.44	18.38	18.47	19.29	19.63	16.90	17.73	18.90	19.20	
송강	논	44.26	42.18	41.51	41.46	40.99	39.97	40.68	40.78	40.78	41.12	충주
	밭	55.74	57.82	58.49	58.54	59.01	60.03	59.32	59.22	59.22	58.88	
학정	논	58.07	56.07	54.87	54.75	52.30	51.82	49.35	48.23	46.11	47.46	천안
	밭	41.93	43.93	45.13	45.25	47.70	48.19	50.65	51.77	53.89	52.54	
냉정	논	71.50	70.46	70.52	71.24	70.92	70.68	70.53	69.88	70.13	69.94	아산
	밭	28.50	29.54	29.48	28.76	29.08	29.32	29.47	30.12	29.87	30.06	
풍전	논	78.44	78.60	79.42	79.64	79.51	79.28	79.64	79.09	78.79	79.15	서산
	밭	21.56	21.40	20.58	20.36	20.49	20.72	20.36	20.91	21.21	20.85	
금마	논	84.73	85.07	83.10	81.88	80.15	78.64	78.64	78.15	77.65	78.05	익산
	밭	15.27	14.93	16.90	18.12	19.85	21.36	21.37	21.85	22.35	21.95	
왕궁	논	84.73	85.07	83.10	81.88	80.15	78.64	78.64	78.15	77.65	78.05	익산
	밭	15.27	14.93	16.90	18.12	19.85	21.36	21.37	21.85	22.35	21.95	
관기	논	40.45	40.87	36.29	33.60	33.06	32.16	32.74	32.24	32.24	33.57	여수
	밭	59.55	59.13	63.71	66.40	66.94	67.84	67.27	67.76	67.76	66.43	
제산	논	80.02	79.93	79.02	78.43	78.51	77.46	81.90	81.45	80.93	81.32	장흥
	밭	19.98	20.07	20.98	21.57	21.49	22.54	18.10	18.55	19.07	18.68	
개운	논	61.37	60.12	59.59	59.23	57.99	57.05	58.03	55.99	53.11	53.53	상주
	밭	38.63	39.88	40.41	40.77	42.01	42.95	41.97	44.01	46.89	46.47	
덕곡	논	61.43	60.95	60.59	61.15	60.15	59.36	59.33	58.89	57.21	58.77	밀양
	밭	38.57	39.05	39.41	38.85	39.85	40.64	40.67	41.11	42.79	41.23	

※ 통계청 자료 이용(국가통계포털, 2007-2016)

- 논의 공시지가는 사업 전·후의 해당 논에 대한 지가상승 효과에 대한 편익을 산정하기 위한 것으로서, 최근 10개년 동안의 대상지구에 대한 공시지가를 조사하였음

[표 6.66] 대상지구의 최근 10개년 농지 공시지가 (논, 원/㎡)

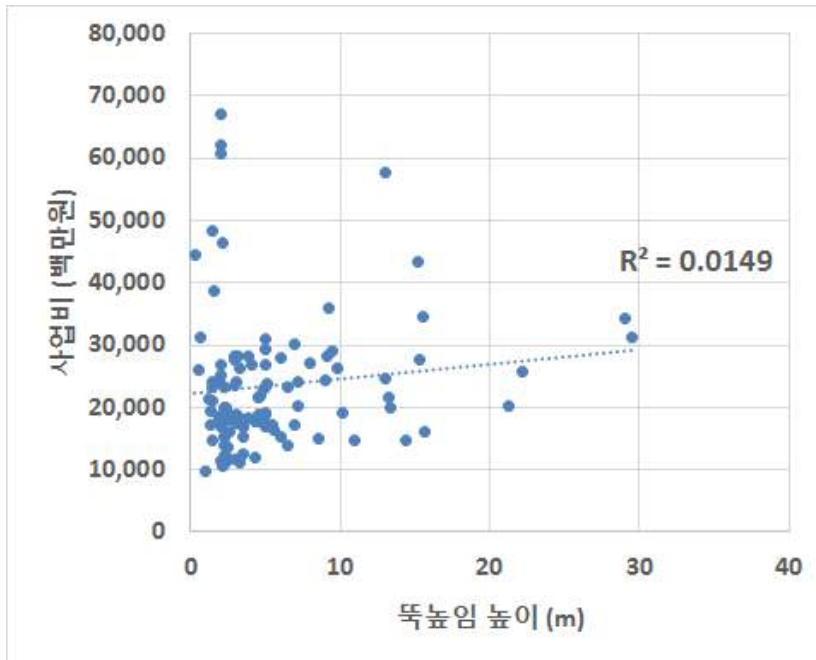
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	비고
금광	21,400	24,300	26,100	26,500	28,500	33,500	38,000	41,500	42,500	40,500	안성
덕우	50,000	53,300	51,100	52,200	53,300	57,800	62,200	62,200	61,700	61,100	화성
학	5,110	5,110	4,950	4,950	4,950	5,110	5,280	5,440	5,770	5,940	철원
송강	9,800	11,000	11,000	11,500	11,500	13,000	14,500	16,000	17,000	18,000	충주
학정	38,000	33,900	34,900	34,900	34,900	34,900	35,500	35,700	35,700	35,100	천안
냉정	21,500	23,000	29,000	30,000	30,000	31,000	32,000	32,900	33,900	34,500	아산
풍전	11,400	12,400	13,000	13,600	14,600	15,500	16,400	18,000	20,000	21,000	서산
금마	10,700	11,100	10,900	10,900	11,300	12,200	13,500	14,700	16,000	17,200	익산
왕궁	6,560	6,560	6,550	6,550	6,750	7,730	8,610	9,390	10,200	10,700	익산
관기	11,000	12,000	12,500	13,000	14,000	16,000	17,000	17,000	18,000	18,500	여수
제산	6,300	6,300	6,200	6,200	6,300	6,300	6,400	6,600	6,800	6,950	장흥
개운	16,800	17,800	17,800	17,800	18,900	18,000	19,500	21,000	22,500	25,000	상주
덕곡	7,920	8,580	8,580	8,580	8,580	9,070	10,000	11,800	12,500	12,800	밀양

※ 부동산공시가격알리미(www.realtyprice.kr)

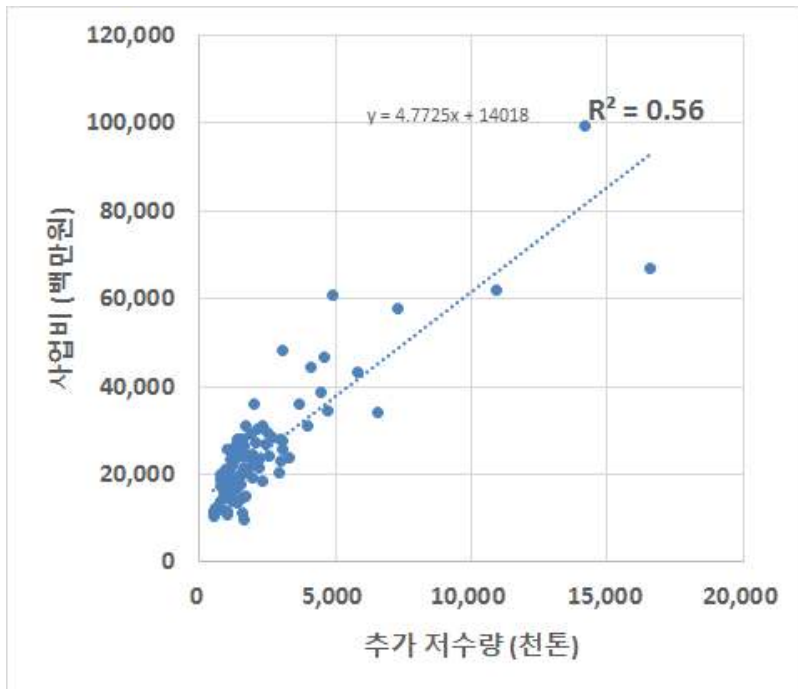
제 3 절 이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석

1. 비용 산정

- 이수안전도 상향 조정을 위한 제체 증고 사업비 산정을 위해서 기존 뚝 높이기 사업의 사업비 조사를 바탕으로, 추가저수량 및 증고 높이 등의 인자와 사업비와의 상관분석을 실시하였음
- 총 110개 지구의 뚝 높이기 사업지구에 대하여 제체 증고 높이와 사업비와의 상관분석을 수행한 결과 0.015로서 매우 낮은 상관성을 나타내었고, 추가 확보 저수량과 사업비의 상관성은 0.56으로 비교적 높은 상관성을 보이고 있음
- 따라서, 본 연구의 14개 대상지구의 이수안전도 상향 조정을 위한 추가 확보 저수량을 산정하고, 그에 따른 사업비를 추정하였음



[그림 6.1] 저수지 제체 증고 높이와 총사업비와의 상관 분석



[그림 6.2] 추가 저수량과 사업비와의 상관 분석

- 추가 저수량과 사업비와의 상관 분석 결과를 바탕으로 경제성 분석을 위한 대상지구의 사업비를 추정하였음
- 미래 한발빈도 변화에 따라서 이수안전도를 상향조정 즉, 한발 빈도를 10년으로 상향조정 하기 위한 추가 저수량을 산정하였고, 그에 따른 사업비를 추정하였음
- 금광 저수지의 경우에는 미래 한발빈도가 4년으로 산정되었고 한발빈도 10년으로 상향 조정하기 위한 필요저수량은 약 2백십만톤으로 산정되어 그에 따른 제체 증고 사업비는 약 240억원으로 추정되었음
- 개운 저수지의 경우에는 미래 한발빈도가 3년으로 산정되었고 한발빈도 10년으로 상향 조정하기 위한 필요저수량은 약 24.6만톤으로 산정되어 그에 따른 제체 증고 사업비는 약 152억원으로 추정되었음
- 학정 저수지, 왕궁 저수지, 제산저수지의 경우에는 미래 한발빈도가 모두 2년으로 산정되었고 한발빈도 10년으로 상향 조정하기 위한 필요저수량은 각각 약 14.1만톤, 41.8만톤, 1.9만톤으로 산정되어 그에 따른 제체 증

고 사업비는 각각 약 147억원, 160억원, 141억원으로 추정되었음

- 그 외 덕우 저수지를 포함한 8개 저수지의 경우에는 미래 한발빈도가 모두 1년으로 산정되었고, 한발빈도 10년으로 상향조정하기 위한 필요저수량은 16만톤에서 242만톤으로 그에 따른 사업비는 148억원에서 256억원으로 추정되었음

[표 6.67] 이수안전도 상향 조정을 위한 추가 저수량 및 사업비 추정

시설명	현 재 (통계연보)				미 래 (기후변화 시나리오 적용)		
	한발빈도 (년)	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)	유효저수량 (천톤)	한발빈도 (년)	추가 필요저수량 (천톤)	총사업비추정 (백만원)
금광	10	4830	1906.1	12,047	4	2,103	24,055
덕우	5	2270	573.3	3,547	1	2,421	25,572
학	10	2600	378.4	1,426	1	852	18,084
송강	10	440	235	1,077	1	393	15,894
확정	10	706	214	775	2	141	14,691
냉정	10	535	326	940	1	296	15,431
풍전	10	1110	655.1	2,621	1	320	15,545
금마	20	452	229.1	818	1	312	15,507
왕궁	20	866	540.6	1,941	2	418	16,013
관기	10	365	239.4	783	1	165	14,805
제산	10	476	203.2	511	2	19	14,109
개운	10	650	202.7	1,180	3	246	15,192
덕곡	10	686	312	695	1	173	14,844

2. 편익 산정

- 경제성 분석을 위한 편익의 산정은 생산성향상효과, 작목전환효과, 지가상승효과에 대한 편익을 산정하였음
 - 본 연구에서 적용한 3 가지의 편익은 유사 사례 검토 결과로부터 선정된 항목이며, 무상으로 제공되는 농업용수의 특성상 편익의 과잉 산정을 방지하기 위하여 직접 편익효과만을 적용하였음
 - 개운 저수지에 대하여 경제성 분석을 위한 편익을 산정한 결과, 생산성향상효과에 대해서는 총 202ha의 관개면적에 대하여 평균 쌀 생산량은 ha당 약 5.49톤, 한밭시 쌀 생산량은 5.34톤을 적용하였고, 2017년도의 정부 쌀 수매가격인 가마당 133,000원을 적용하였음
- 생산성 향상 효과 = 172,118,625 원
- $$= 203 \text{ (ha)} \times [5.49 \text{ ton/ha} - 4.98 \text{ ton/ha}] \times 12.5 \text{ (가마/ton)} \times 133,000 \text{ (원/가마)}$$

$$\text{생산성 향상 효과} = A \times (y_1 - y_0) \times \alpha \times P$$

A: 수혜면적

y_1 : 재해가 없을 때의 단위면적당 평균 생산량

y_0 : 일정 기간 동안 재해가 발생할 때의 평균 생산량으로 재해 발생 확률을 p , 그 때의 생산량을 y -라 할 때, $y_0 = (1-p)y_1 - py$.

α : 단위 조정계수로 톤당 12.5가마(80kg 기준)

P: 80kg당 시장 가격으로 정부 조사가격

[그림 6.3] 생산성 향상효과 산정 방법

- 작목전환효과에 대한 편익 산정을 위해서, 총 203ha의 관개면적에 대하여 ha당 기존의 쌀 생산에 대한 경제적 가치는 7,414,750원을 적용하였고 밭작물 전환에 대한 경제적 가치는 88,362,475원으로 적용하였음
- 이때, 밭작물 전환에 대한 경제적 가치는 기존의 밭작물이 생산되는 ha당

경제적 가치의 평균값을 적용하였음

- 작목 전환 효과 = 821,619,409 원
= 202 (ha) x 0.05 x (88,362,475 - 7,414,750) (원/ha)

$$\text{작목전환 효과} = A \times [\sum \beta_i \times (M_i - M_0)]$$

A: 수혜면적

β_i : 수혜면적 가운데 작목 i로 전환된 비율

M_i : 새롭게 도입된 작목 i로부터 얻는 소득

M_0 : 기존 작목으로부터 얻는 소득

[그림 6.4] 작목전환효과 산정 방법

- 지가상승효과에 대한 편익 산정을 위해서, 총 203ha의 관개면적에 대하여 평방미터당 현재 해당 지구 논외의 공시지가는 40,500원으로 적용하였고, 사업 후 지가 상승은 41,000원으로 적용하였음
- 지가 상승 효과 = 1,015,000,000 원
= 203 (ha) x (25,500 - 25,000) (원/m²) x 10,000 (m²/ha)

$$\begin{aligned} \text{지가 상승 효과} &= A \times (P_1 - P_0) \text{ 또는} \\ &= A \times P_0 \times (1 + \alpha) \end{aligned}$$

A: 수혜면적

P_1 : 사업 시행 이전의 공시지가

P_0 : 사업 시행 이후의 공시지가

α : 주변지역의 평균 공시지가 상승률

[그림 6.5] 지가상승효과 산정 방법

3. 경제성 분석

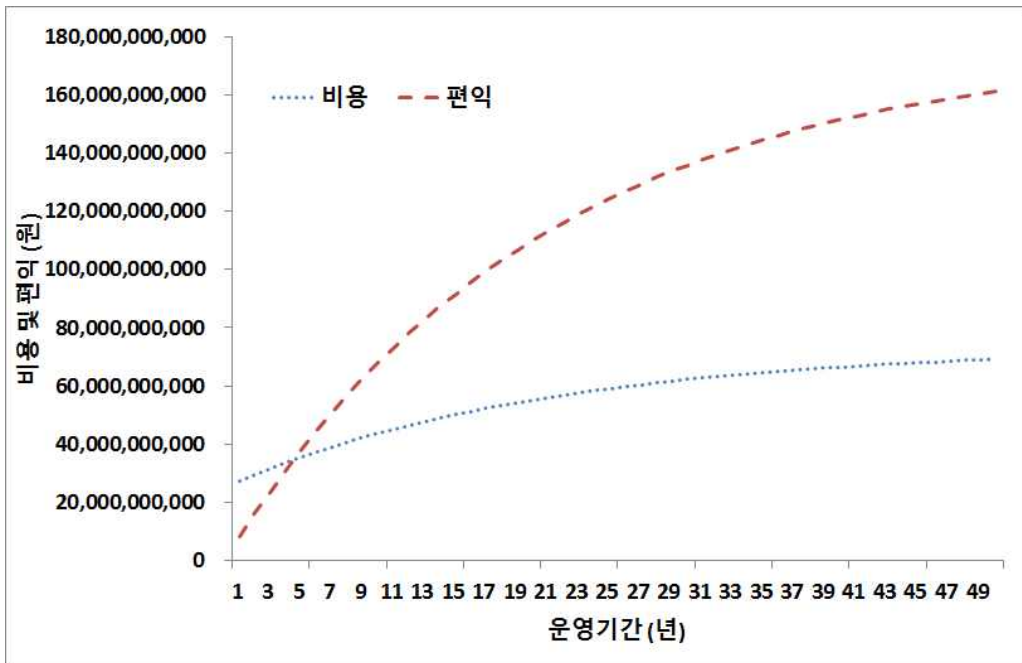
- 앞서 산정된 비용 및 편익을 이용하여 경제성 분석을 수행하였고, 운영기간은 50년, 유지관리비율 10%, 할인율 5%를 적용하였음
- 경제성 분석을 위한 비용은 기존의 저수지 뚝 높이기 사업을 시행한 110개 지구의 추가확보저수량과 총사업비의 상관관계로부터 본 연구의 시범지구의 추가확보저수량에 대한 사업비를 추정하였음
- 경제성 분석을 위한 편익은 앞서 언급하였듯이 직접 편익만을 적용하였으며, 관련 문헌조사 결과 생산성 향상 효과, 작목전환 효과, 지가 상승 효과로 직접 편익을 규정하고 있으나, 관련 기관 (한국농어촌공사, 농어촌연구원)의 자문 검토서에서는 지가 상승 효과는 간접 편익으로 검토되어 본 연구의 편익 산정에서 제외하였음
- 경제성 분석을 수행한 결과, 금광저수지의 경우에는 운영기간 50년을 기준으로 총 비용은 약 691억원, 총 편익은 1,612억원으로 산정되어 B/C 값은 2.33, 손익분기점은 5년으로 분석되었음
- 풍전저수지의 경우에는 운영기간 50년을 기준으로 총 비용은 약 447억원, 총 편익은 597억원으로 산정되어 B/C 값은 1.34, 손익분기점은 14년으로 분석되었음
- 왕궁저수지의 경우에는 운영기간 50년을 기준으로 총 비용은 약 460억원, 총 편익은 505억원으로 산정되어 B/C 값은 1.10, 손익분기점은 26년으로 분석되었음
- 이상의 3개 저수지를 제외하고 모든 저수지에서는 운영기간 50년을 기준으로 총 편익이 총 비용을 초과하지 못하여 B/C값이 1 이하로 산정되어 경제성이 결여되는 것으로 분석되었음
- 경제성 분석에 있어서 작목전환 효과와 생산성 향상 효과는 관개면적에 비례하여 편익이 정되는 경향을 보이고 있어, 약 500ha 이상의 관개면적을 가지고 있는 지구에서는 사업에 대한 경제성이 확보되는 것으로 분석되었음
- 하지만, 덕우저수지의 경우에는 관개면적이 573ha 임에도 불구하고 운영기간 50년을 기준으로 B/C 값이 1을 초과하지 못하였는데, 이는 관개면적

이 500ha 이상이지만 추가확보저수량 2,421천톤을 확보하기 위한 총 사업비가 편익에 비하여 과대 산정된 것으로 판단됨

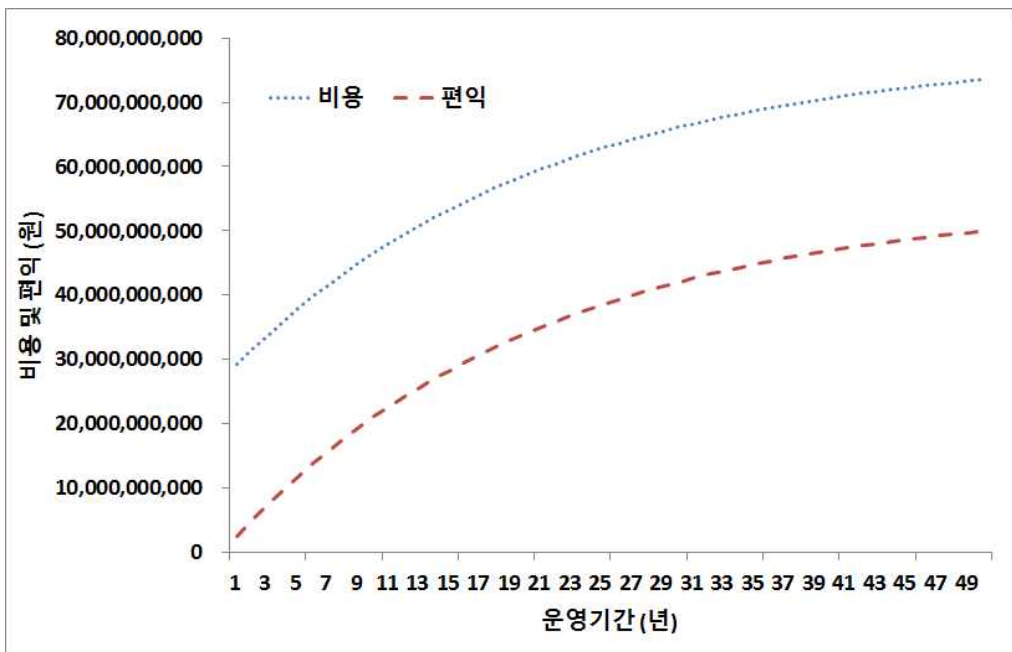
- 본 연구에서는 편익의 과대 산정을 방지하기 위하여 직접 편익만을 적용하여 경제성 분석을 수행하였으나, 기타의 간접 편익을 고려한다면 사업에 대한 경제적인 타당성이 확보될 수 있을 것으로 사료되며, 향후 2차년도에는 직접 편익 및 간접 편익을 동시에 적용하여 경제성 분석 결과의 변화를 분석하고자 함

[표 6.68] 이수안전도 상향 조정을 위한 경제성 분석 결과

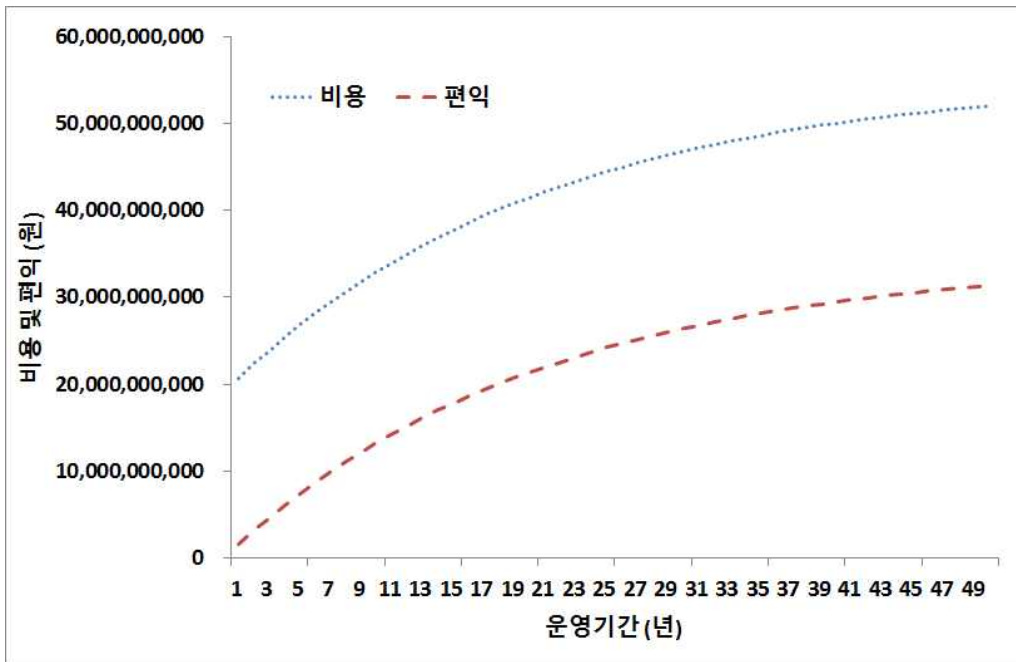
시설명	수혜면적 (ha)	미래한발빈도 (년)	추가필요저수량 (천톤)	모의 운영기간 50년 기준			
				총비용 (백만원)	총편익 (백만원)	B/C	손익분기점
금광	1906.1	4	2,103	69,172	161,233	2.33	5년
덕우	573.3	1	2,421	73,535	49,990	0.68	-
학	378.4	1	852	52,002	31,372	0.60	-
송강	235.0	1	393	45,705	20,573	0.45	-
학정	214.0	2	141	42,245	16,851	0.40	-
냉정	326.0	1	296	44,373	25,770	0.58	-
풍전	655.1	1	320	44,701	59,729	1.34	14년
금마	229.1	1	312	44,592	21,369	0.48	-
왕궁	540.6	2	418	46,047	50,482	1.10	26년
관기	239.4	1	165	42,573	21,141	0.50	-
제산	203.2	2	19	40,572	21,469	0.53	-
개운	202.7	3	246	43,686	36,671	0.84	-
덕곡	312.0	1	173	42,685	24,852	0.58	-



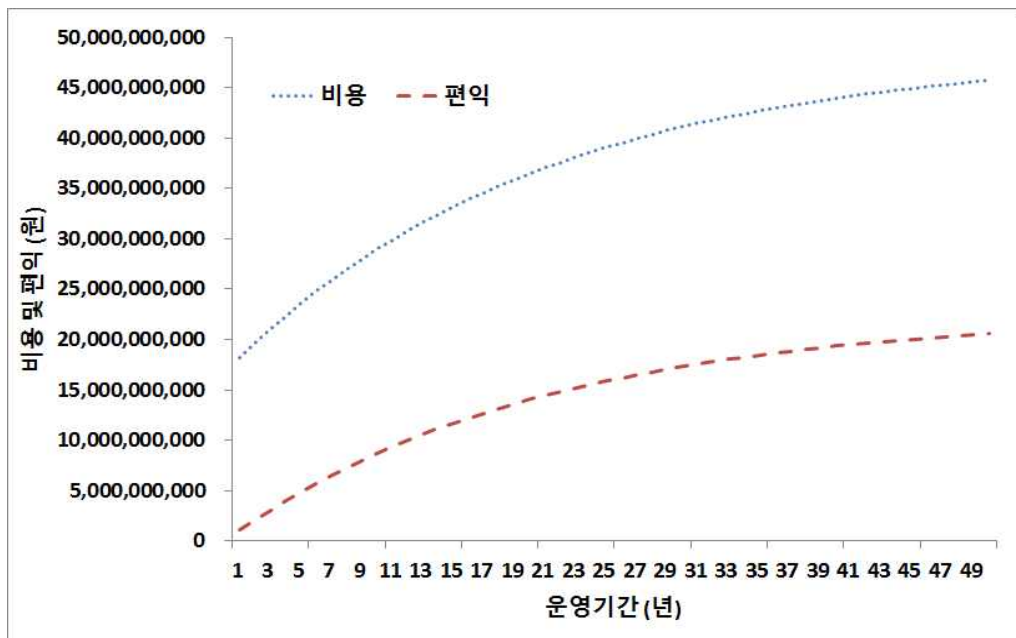
[그림 6.6] 금광저수지 경제성 분석 결과



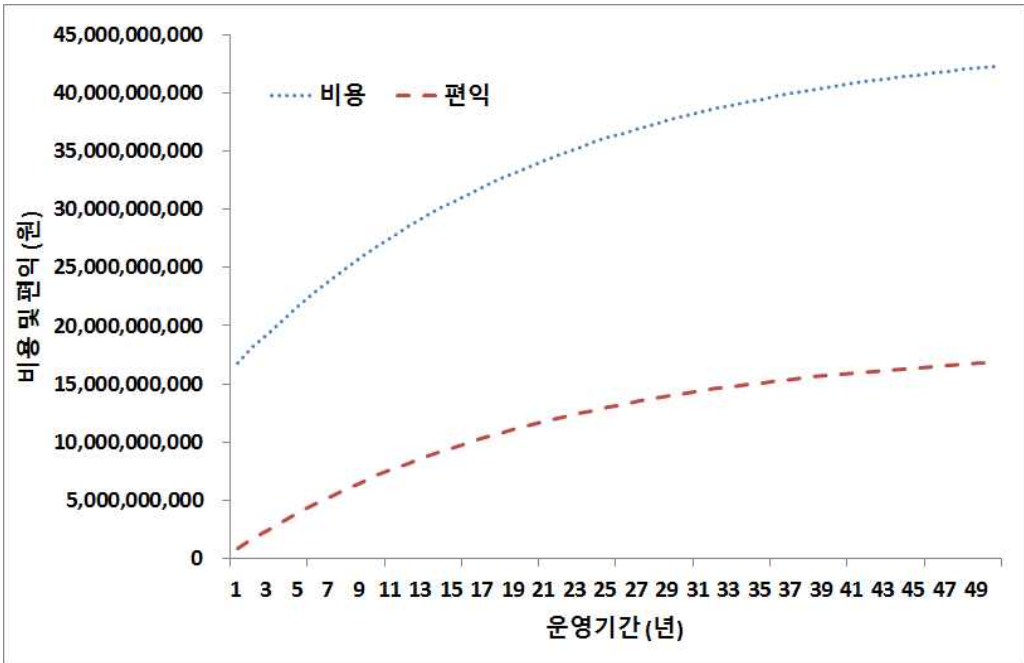
[그림 6.7] 댐저수지 경제성 분석 결과



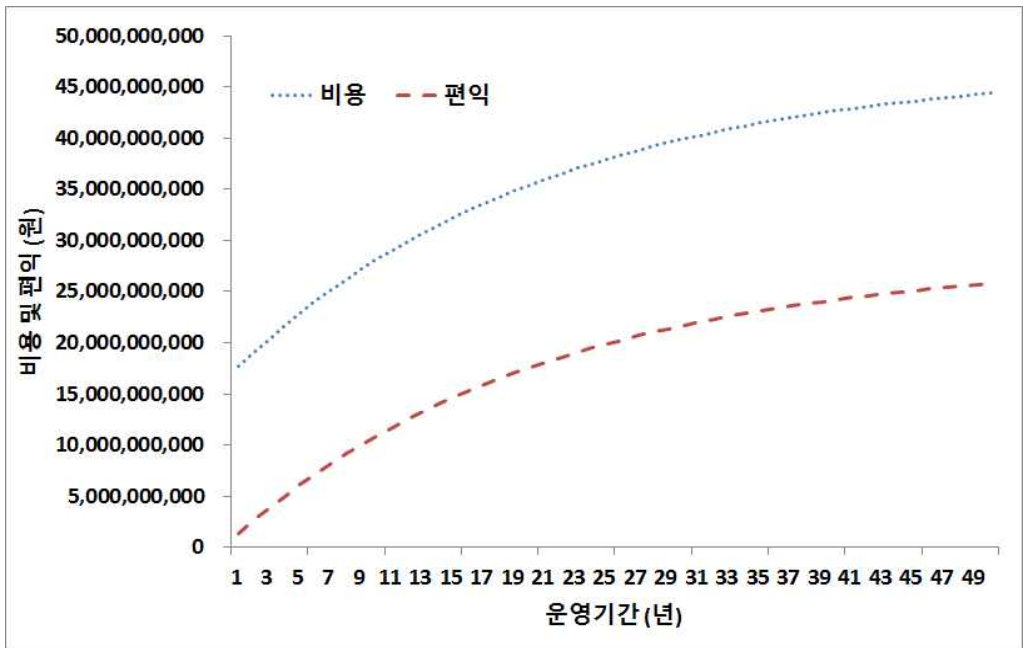
[그림 6.8] 학저수지 경제성 분석 결과



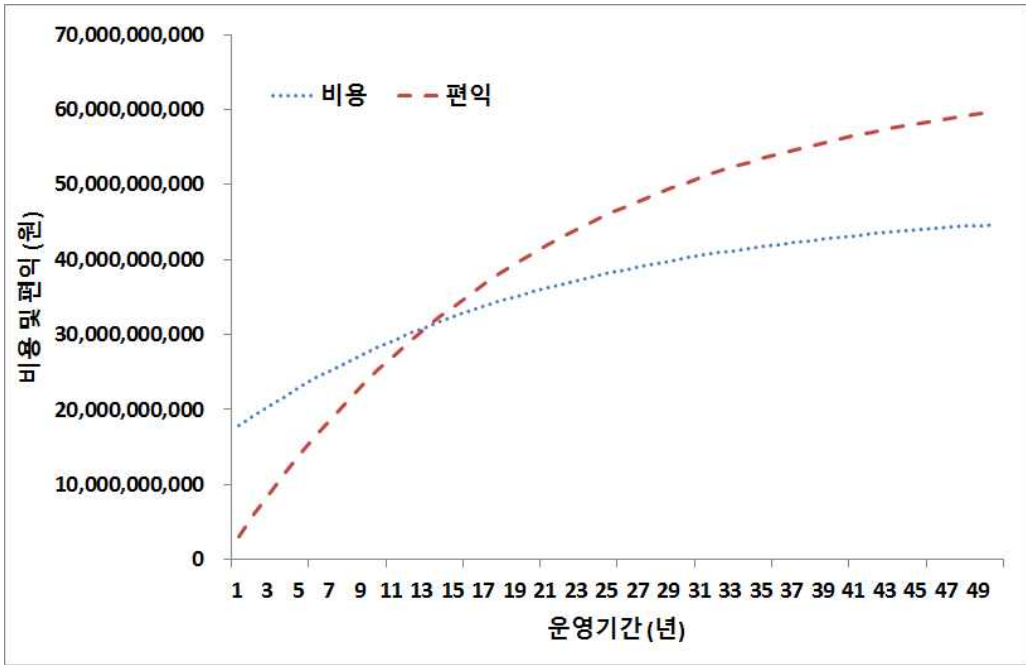
[그림 6.9] 송강저수지 경제성 분석 결과



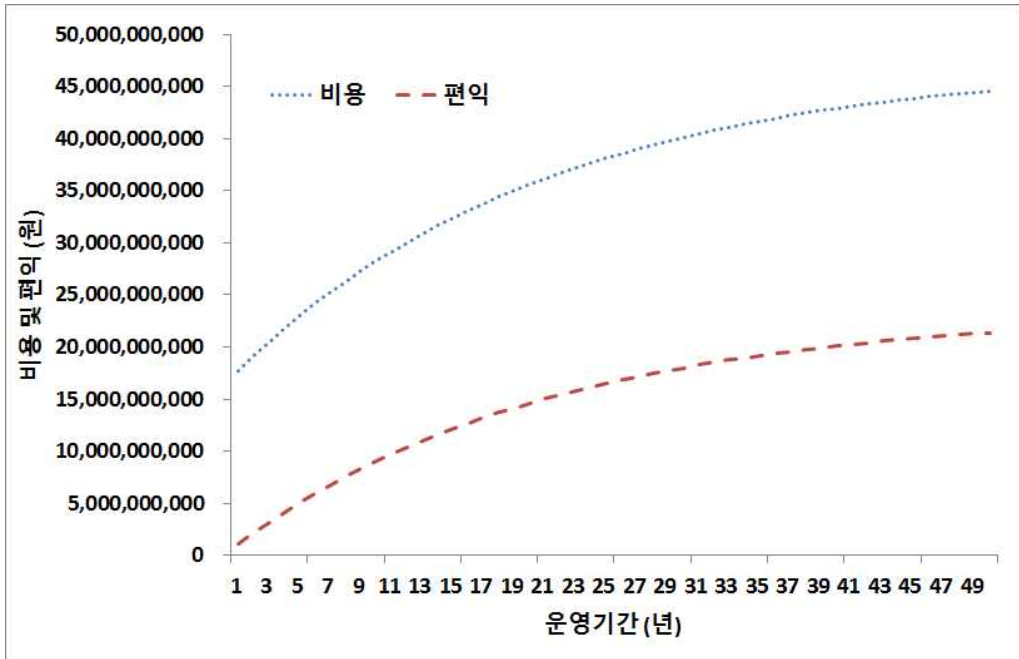
[그림 6.10] 확정저수지 경제성 분석 결과



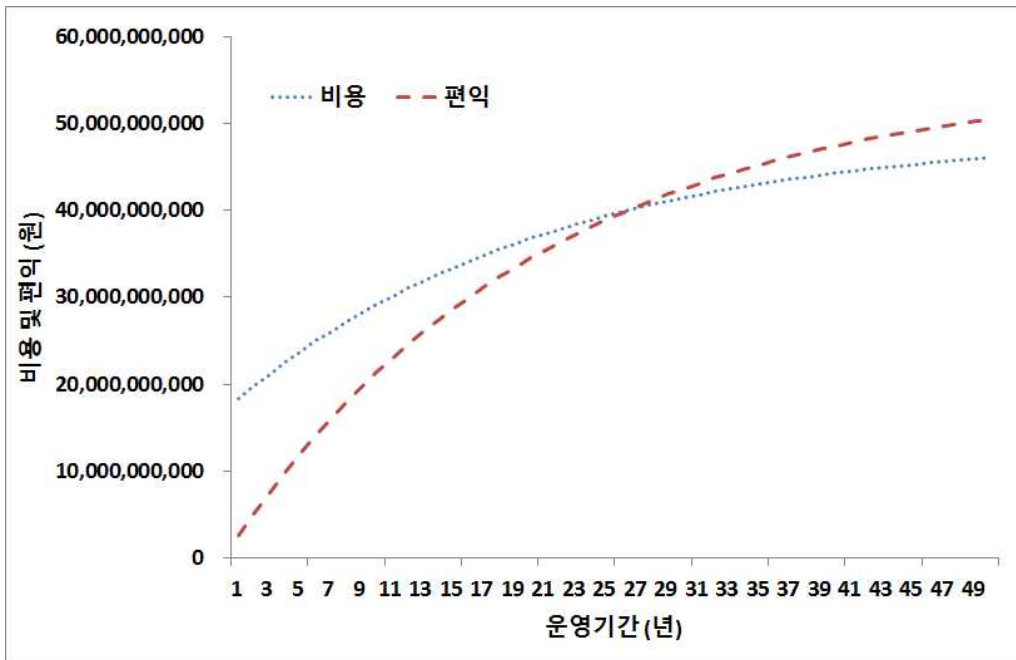
[그림 6.11] 냉정저수지 경제성 분석 결과



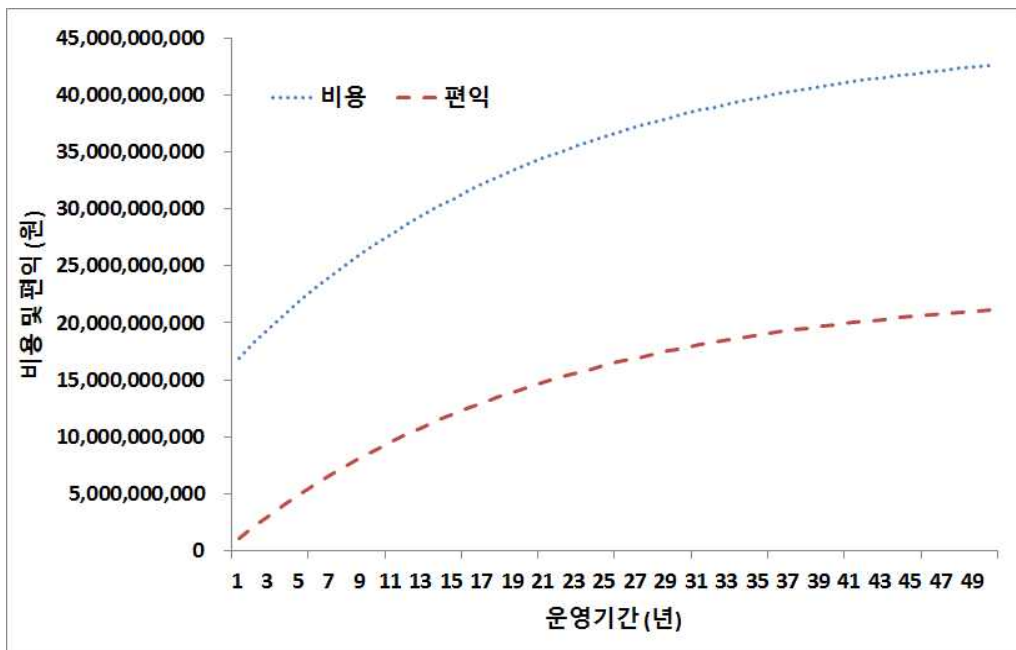
[그림 6.12] 풍전저수지 경제성 분석 결과



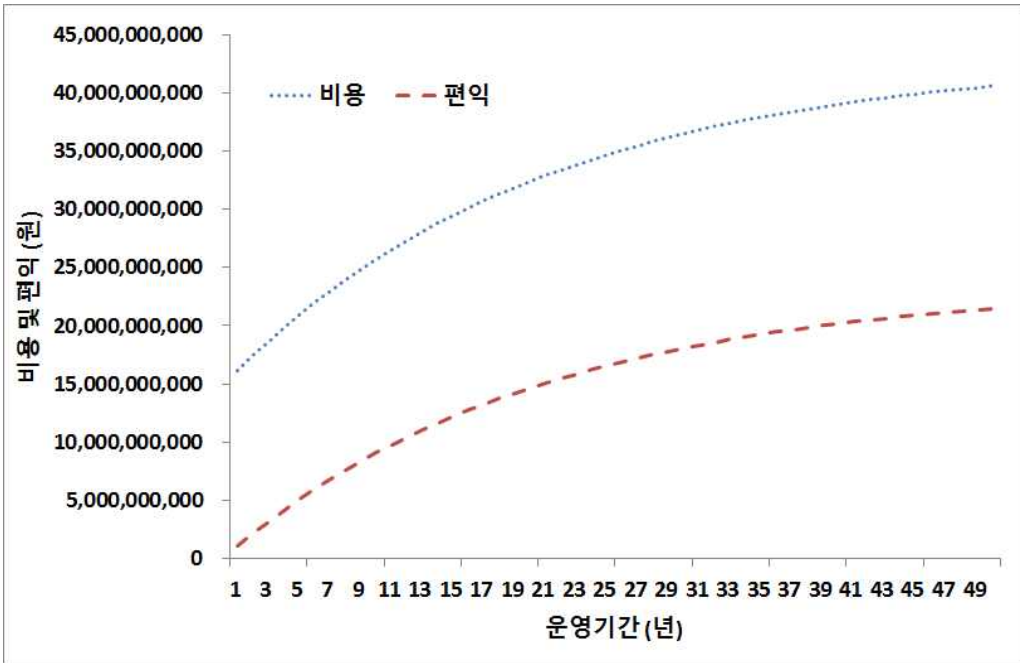
[그림 6.13] 금마저수지 경제성 분석 결과



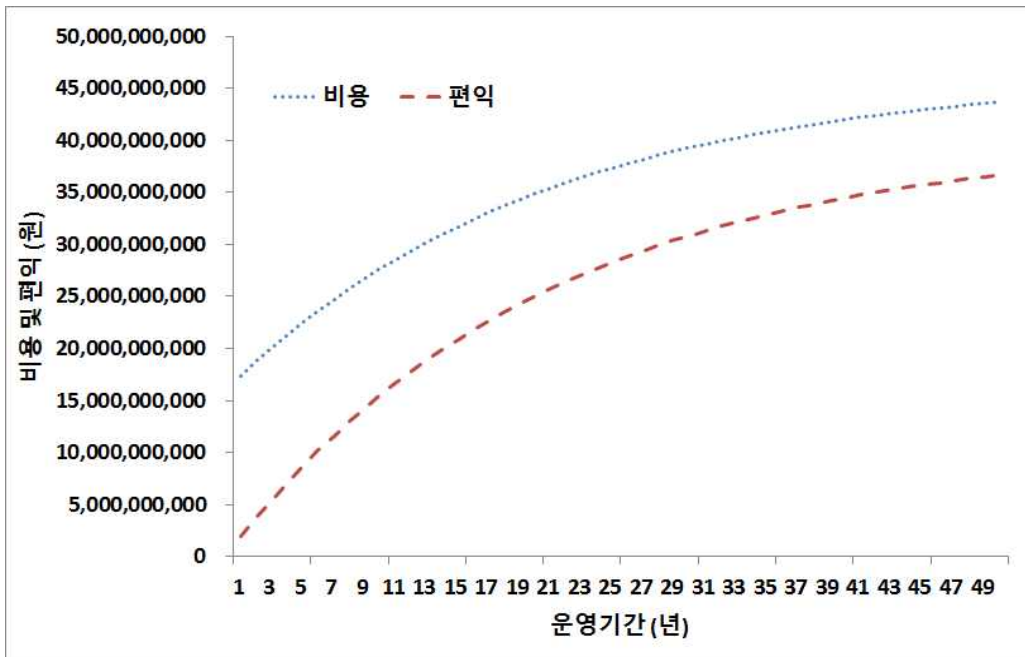
[그림 6.14] 왕궁저수지 경제성 분석 결과



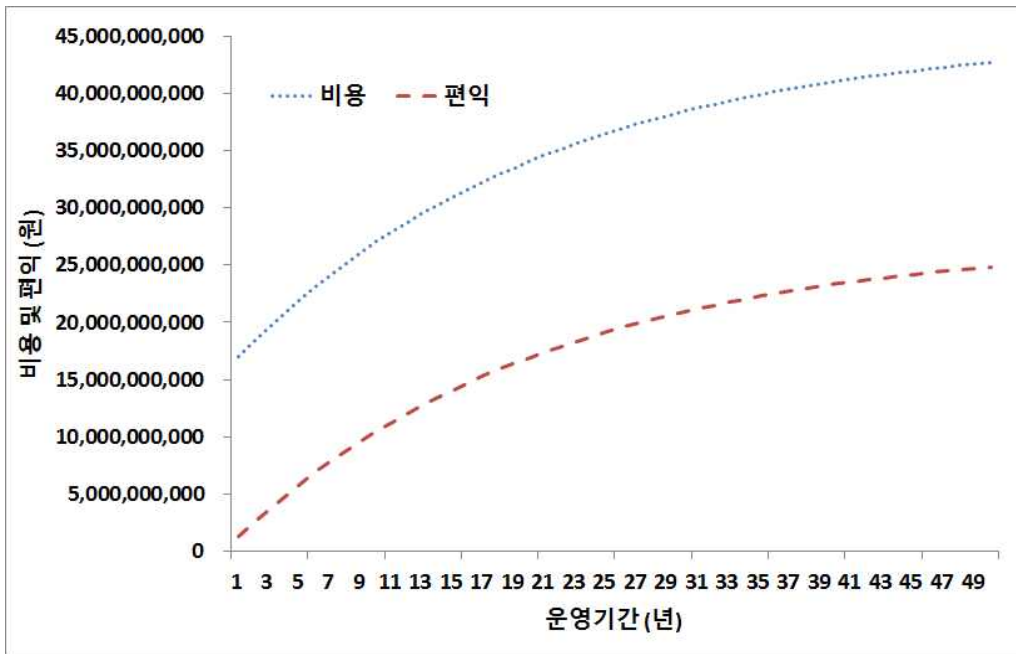
[그림 6.15] 관기저수지 경제성 분석 결과



[그림 6.16] 제산저수지 경제성 분석 결과



[그림 6.17] 개운저수지 경제성 분석 결과



[그림 6.18] 덕곡저수지 경제성 분석 결과



Office



Research



Farming



International

제 7 장

이수분야 설계기준과 실제
공급량 차이 분석을 통한
문제점 분석

제 7 장 이수분야 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석

제 1 절 시험지구 재선정

1.1 시험지구 재선정

- 공사 관할 저수지 중에서 주수원공이면서 유효저수량 100만 톤 이상인 저수지를 시험지구로 재선정하였으며, 전국적으로 466개의 저수지가 이에 해당하였음. [그림 7.1]은 시험지구 저수지의 위치를 나타냄.
- 전국 도별 시험지구에 해당하는 저수지의 현황은 [표 7.1]과 같으며, 수혜 면적에 따른 유역면적의 비인 유역배율을 계산하여 전국 도별로 비교하였으며 도별 평균 유역배율은 강원도가 7.9로 가장 크고 전라북도가 3.9로 가장 작았으며 전국 평균 유역배율은 4.5로 나타남.
- 통계연보상의 한발빈도 분포를 조사한 결과 경상북도, 전라남도, 전라북도 순서로 평년 이하의 한발빈도를 가진 저수지의 개수가 많은 것으로 나타났다으며, 10년 이상의 한발빈도를 가진 저수지는 전라남도, 경상북도, 전라북도, 충청남도에서 많이 나타남.
- 동일한 지역 내에서 한발빈도의 편차가 크게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있었으며 저수지들이 밀집해 있는 지역의 경우 개별저수지에 따라 추가적인 조사가 필요할 것으로 판단됨.



[그림 7.1] 시험지구 저수지 위치

[표 7.1] 전국 도별 시험지구 저수지 현황

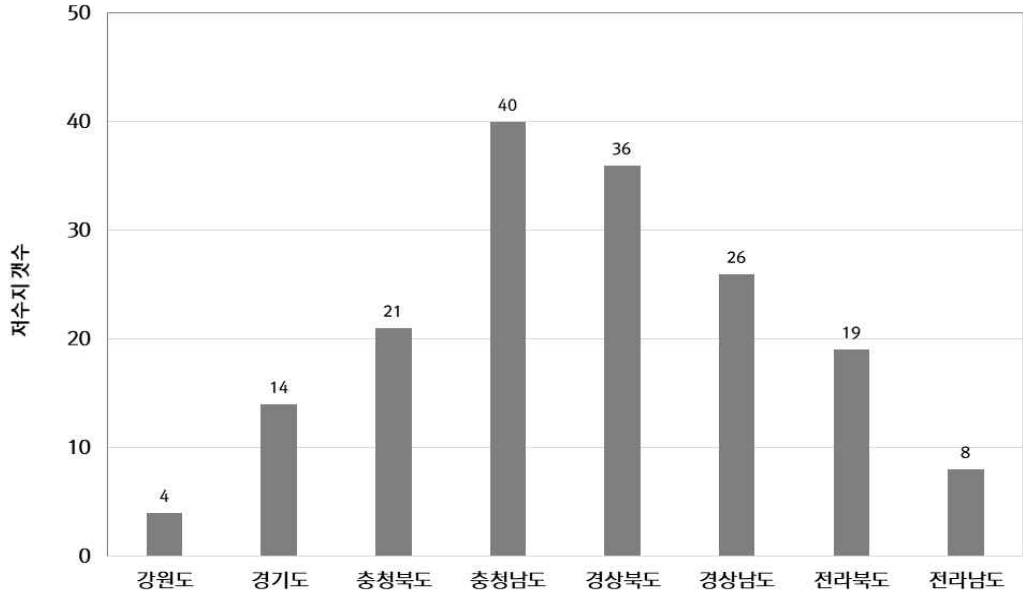
지역	저수지 (개수)	유효저수량 (천m ³)	유역면적 (ha)	유역배율				
				평균	2배 미만	2배~ 3배	3배~ 4배	4배 이상
강원도	34	92,072	62,432	7.9	6	11	6	11
경기도	34	118,075	53,171	3.5	1	6	3	24
충청북도	50	139,552	66,343	4.2	5	5	10	13
충청남도	92	304,031	172,248	6.4	11	21	19	13
경상북도	93	499,323	127,399	3.5	17	22	11	16
경상남도	66	566,458	188,742	3.6	21	30	21	21
전라북도	64	262,251	135,310	3.3	3	18	17	54
전라남도	33	137,742	61,569	3.9	5	16	8	21
전국	466	2,119,504	867,214	4.5	69	129	95	173

[표 7.2] 통계연보상의 저수지 한발빈도 현황

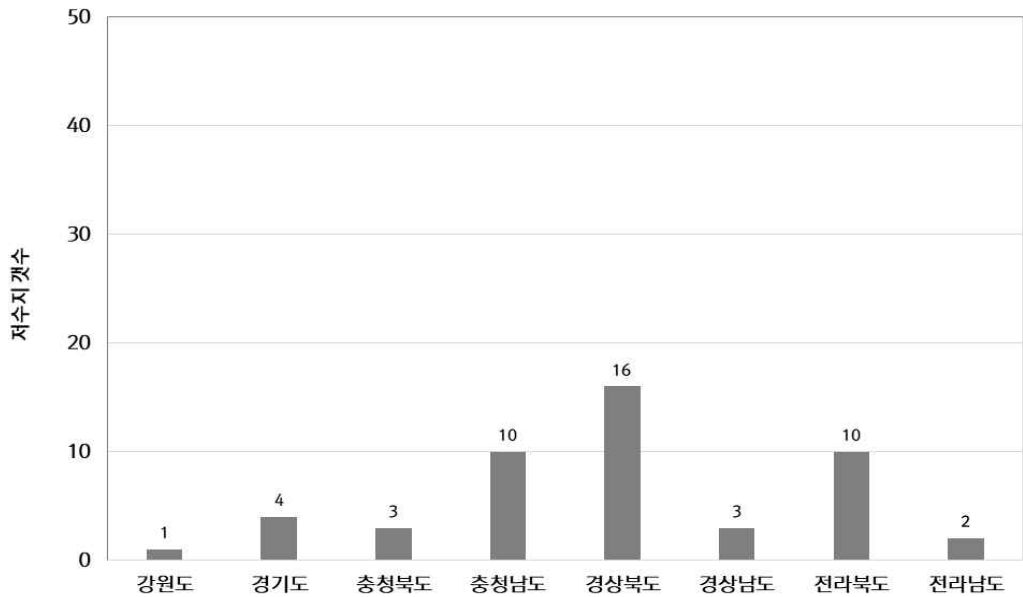
지역	평균 유효 저수량 (천m ³)	평균 유역 배율	저수지 개수 (개소)	빈도 (개소)				
				평년 이하	3년 빈도	5년 빈도	7년 빈도	10년 이상
전국	4,548	4	466	168	49	13	11	225
강원도	2,708	8	34	4	1		1	28
경기도	3,473	4	34	14	4	2	1	13
경상남도	2,791	4	50	21	3	1	1	24
경상북도	3,305	6	92	40	10	4	2	36
전라남도	5,369	3	93	36	16	1	3	37
전라북도	8,583	4	66	26	3		3	34
충청남도	4,098	3	64	19	10	3		32
충청북도	4,174	4	33	8	2	2		21



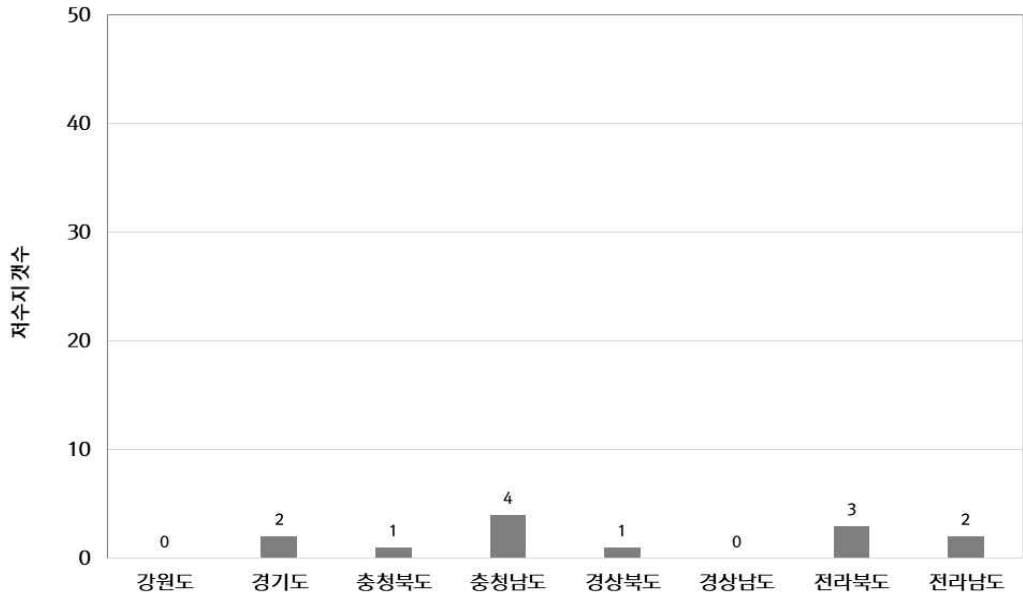
[그림 7.2] 통계연보상의 전국단위 저수지 한발빈도 분포



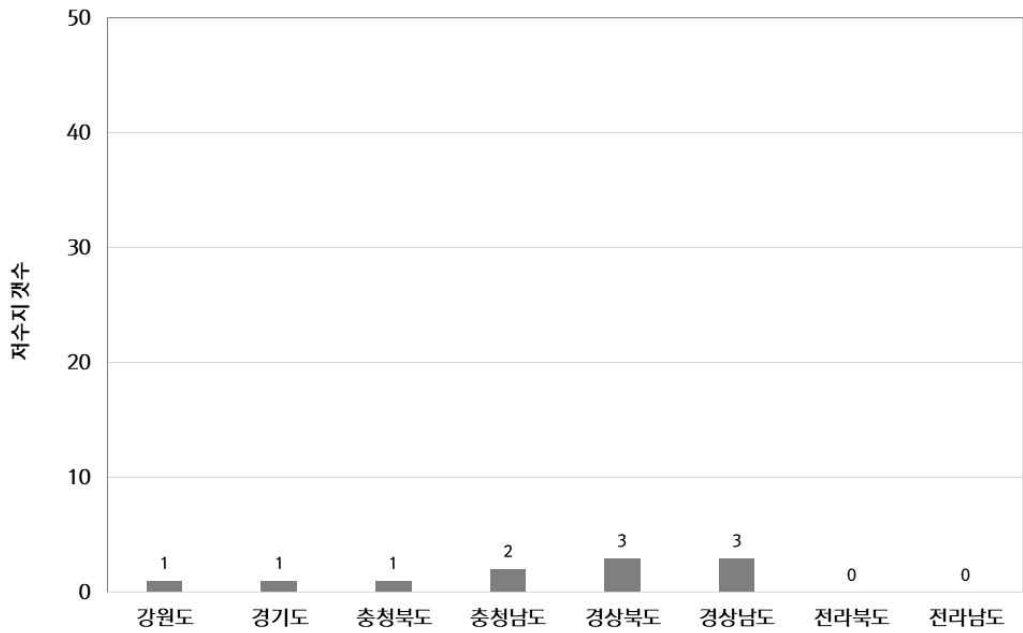
[그림 7.3] 통계연보상의 한발빈도 평년 이하 저수지



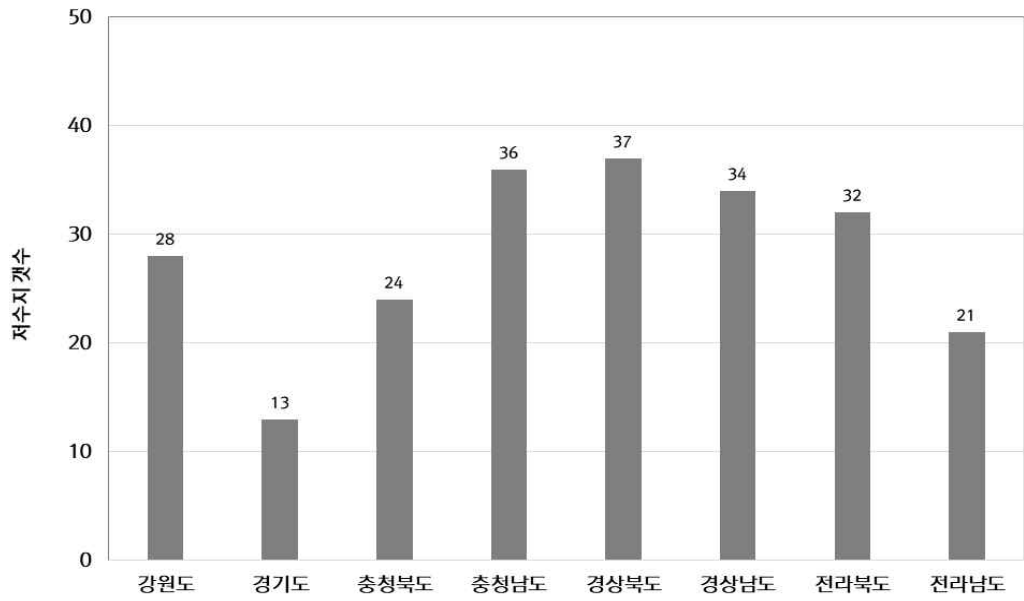
[그림 7.4] 통계연보상의 한발빈도 3년 저수지



[그림 7.5] 통계연보상의 한발빈도 5년 저수지



[그림 7.6] 통계연보상의 한발빈도 7년 저수지



[그림 7.7] 통계연보상의 한발빈도 10년 이상 저수지

제 2 절 시험지구 이수안전도 분석

2.1 현기상조건에서의 시험지구 이수안전도 분석

- 현기상조건(1987~2016년)에서의 시험지구 이수안전도를 분석한 결과, 전국적으로 10년 빈도 이상인 316개소, 7년 빈도가 33개소, 5년 빈도 16개소, 3년 26개소, 평년이하 72개소로 나타났으며, 지역적으로는 전라남도, 전라북도, 충청남도, 경상북도에서 3년 빈도 이하의 저수지가 상대적으로 많아 이수측면에서 불안정한 지역으로 파악됨.
- 전국 단위 저수지 한발빈도 분포를 살펴본 결과, 평년 이하와 3년 빈도의 경우 현기상조건을 적용했을 때 한발빈도는 감소하였으며, 5년 빈도, 7년 빈도, 10년 이상 한발빈도는 증가하는 경향이 나타남. 특히 충남, 경북, 경남 지역의 경우 10년 한발빈도의 증가 폭이 가장 크게 나타남.
- 현기상조건을 적용하여 한발빈도 분포를 조사한 결과 전라북도, 전라남도, 충청남도 순서로 평년 이하의 한발빈도를 가진 저수지의 개수가 많은 것으로 나타났으며, 10년 이상의 한발빈도를 가진 저수지는 경상북도, 전라남도에서 많이 나타남.
- 기존 통계연보의 한발빈도에 비하여 현기상조건에 따른 한발빈도 분석 결과 강원도 지역의 경우 감소하는 추세를 보였고, 나머지 지역에서는 모두 증가하는 경향을 보였음.
- 현기상조건을 적용한 한발빈도 분포와 비교하여 통계연보 상의 한발빈도는 물수지 분석에 기반하여 도출된 것이 아닌 1980년대 내한능력조사시 일제조사를 통해 지역 및 개별저수지에 따라 유역배율과 단위저수량 기준으로 대략적으로 결정되었을 것으로 판단되어 통계연보 및 현기상조건상의 이수안전도 결과비교는 단순비교의 의미를 가지며, 향후 통계연보의 한발빈도 결정기준 및 기상조건 변화에 따른 이수안전도에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료됨.

[표 7.3] 현기상조건에서의 시험지구 저수지 한발빈도 현황

지역	평균 유효 저수량 (천m ³)	평균 유역 배율	저수지 개수 (개소)	한발빈도 (개소)				
				평년 이하	3년 빈도	5년 빈도	7년 빈도	10년 이상
전국	4,548	4	466	72	29	16	33	316
강원도	2,708	8	34	0		2	1	31
경기도	3,473	4	34	6	2	1	3	22
경상남도	2,791	4	50	3	4	2	5	36
경상북도	3,305	6	92	6	10	2	7	67
전라남도	5,369	3	93	17	7	2	7	60
전라북도	8,583	4	66	20	2	3	4	37
충청남도	4,098	3	64	13	3	4	6	38
충청북도	4,174	4	33	7	1			25



[그림 7.8] 현기상조건에서의 전국단위 저수지 한발빈도 분포



[그림 7.9] 현기상조건에서의 경기도 저수지 한발빈도 분포



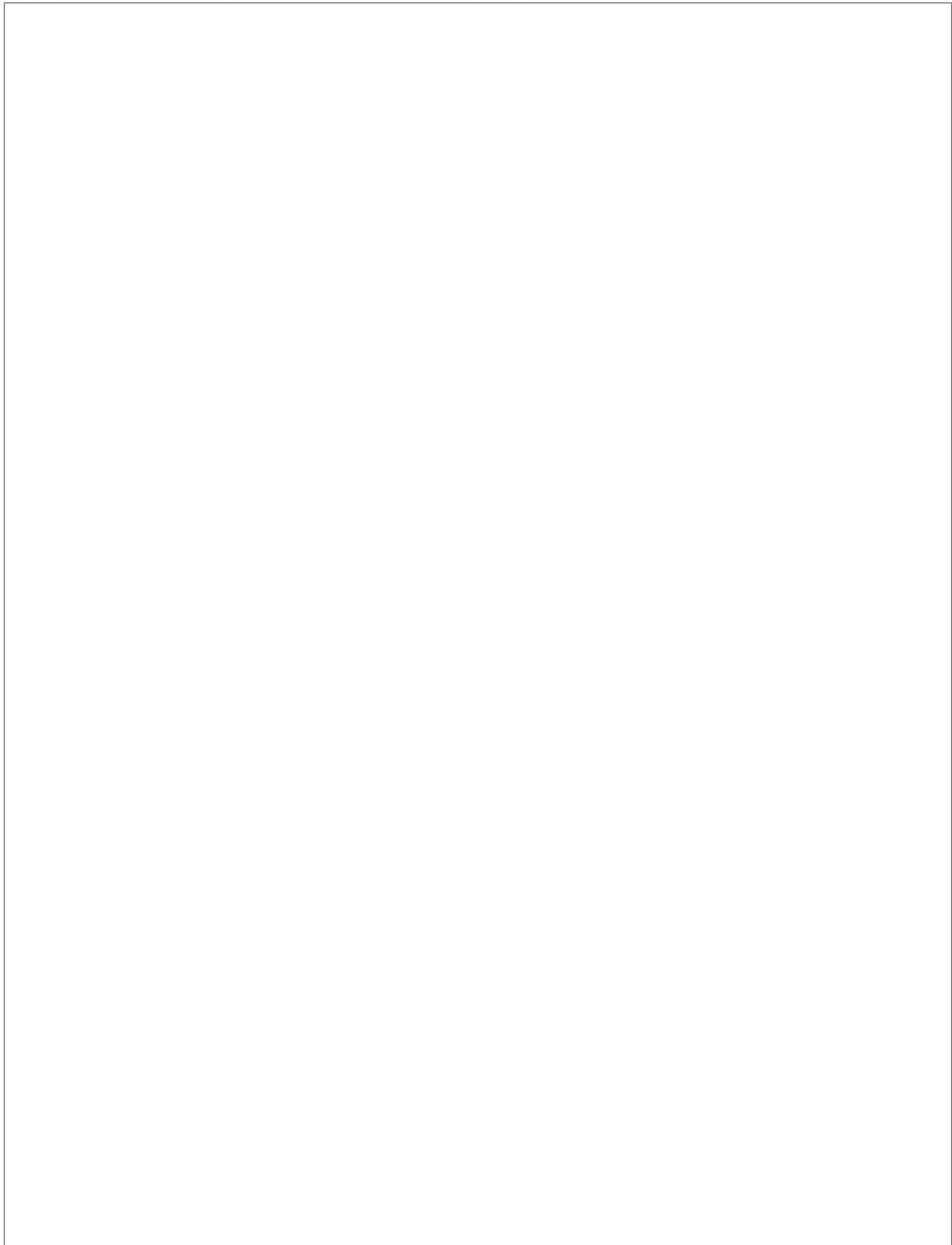
[그림 7.10] 현기상조건에서의 강원도 저수지 한발빈도 분포



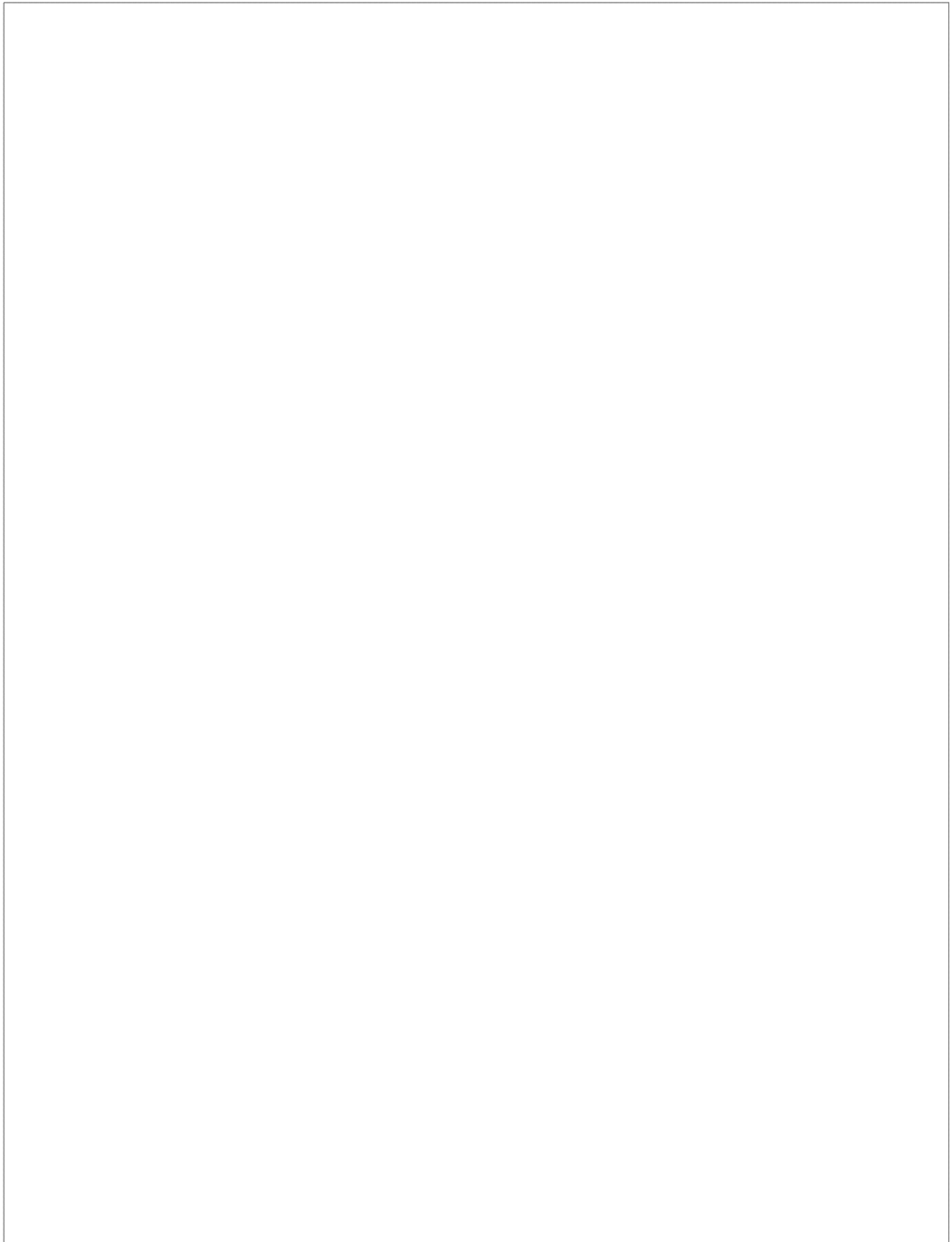
[그림 7.11] 현기상조건에서의 충청북도 저수지 한발빈도 분포



[그림 7.12] 현기상조건에서의 충청남도 저수지 한발빈도 분포



[그림 7.13] 현기상조건에서의 전라북도 저수지 한발빈도 분포



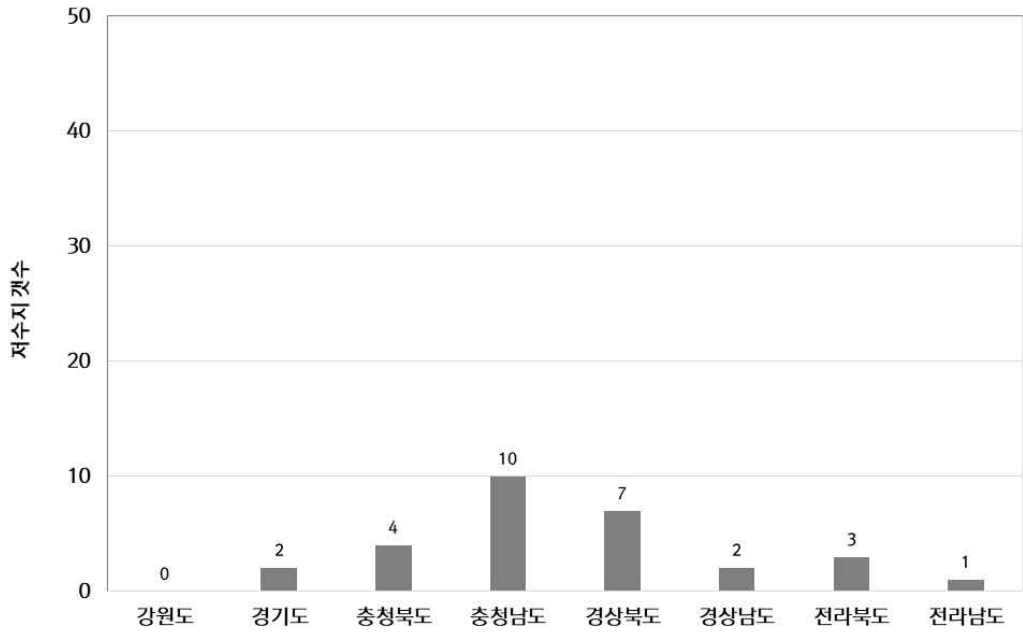
[그림 7.14] 현기상조건에서의 전라남도 저수지 한발빈도 분포



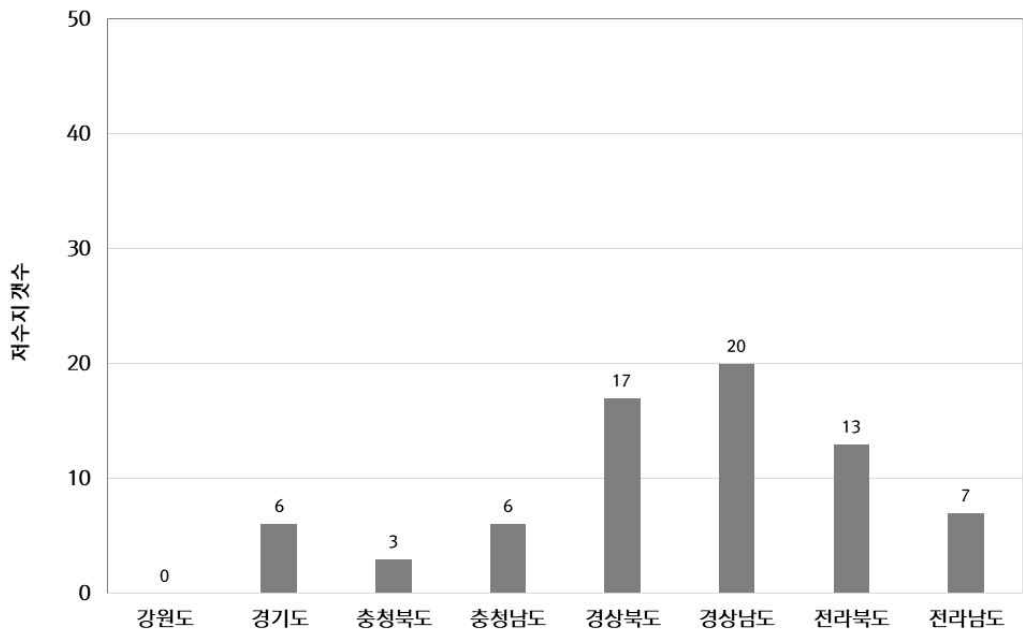
[그림 7.15] 현기상조건에서의 경상북도 저수지 한발빈도 분포



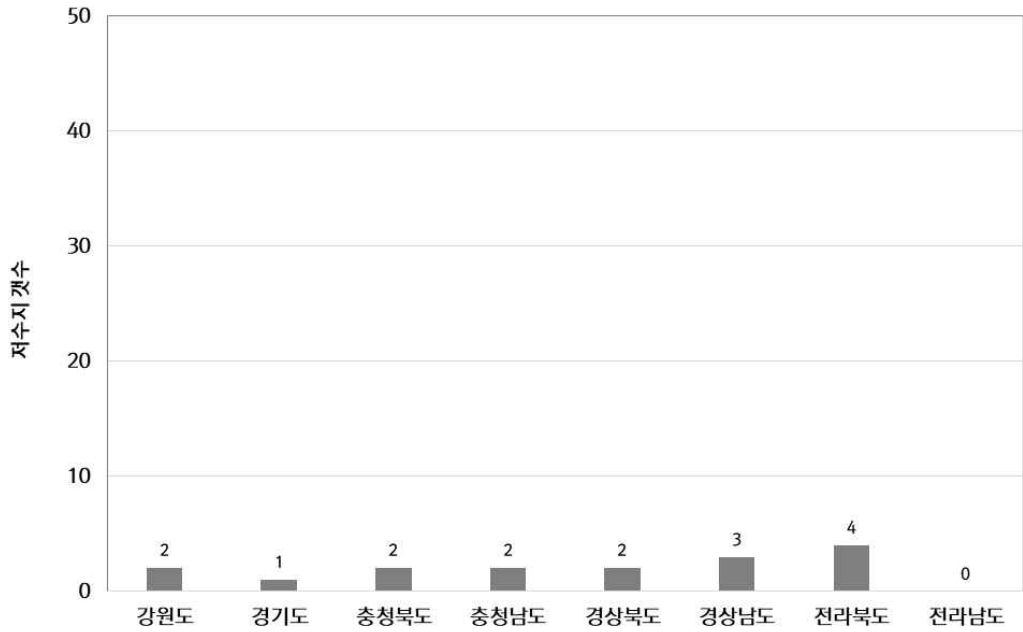
[그림 7.16] 현기상조건에서의 경상남도 저수지 한발빈도 분포



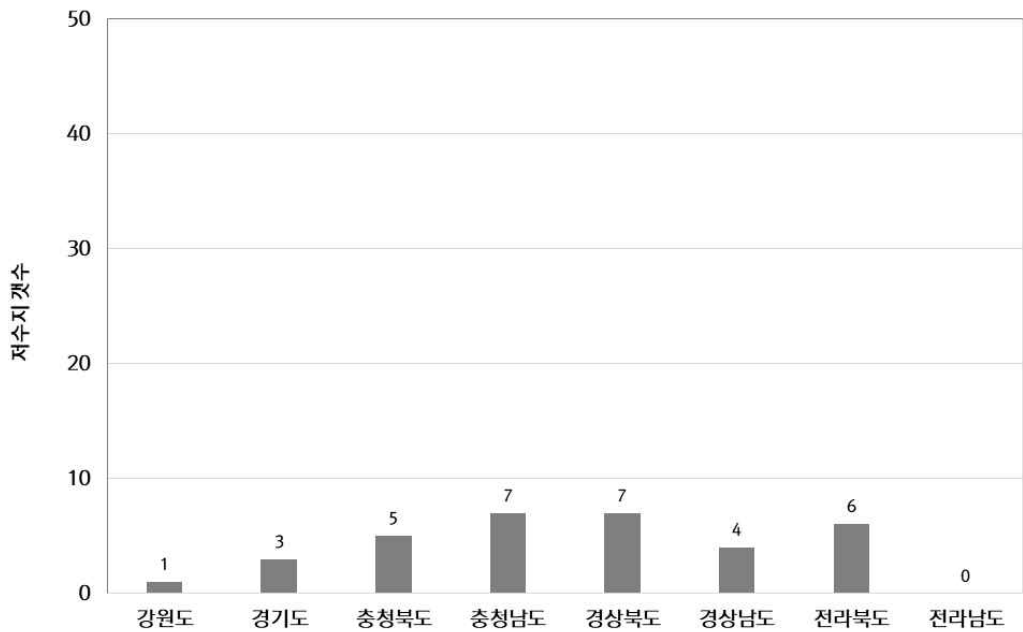
[그림 7.17] 현기상조건에서의 한발빈도 평년 이하 저수지



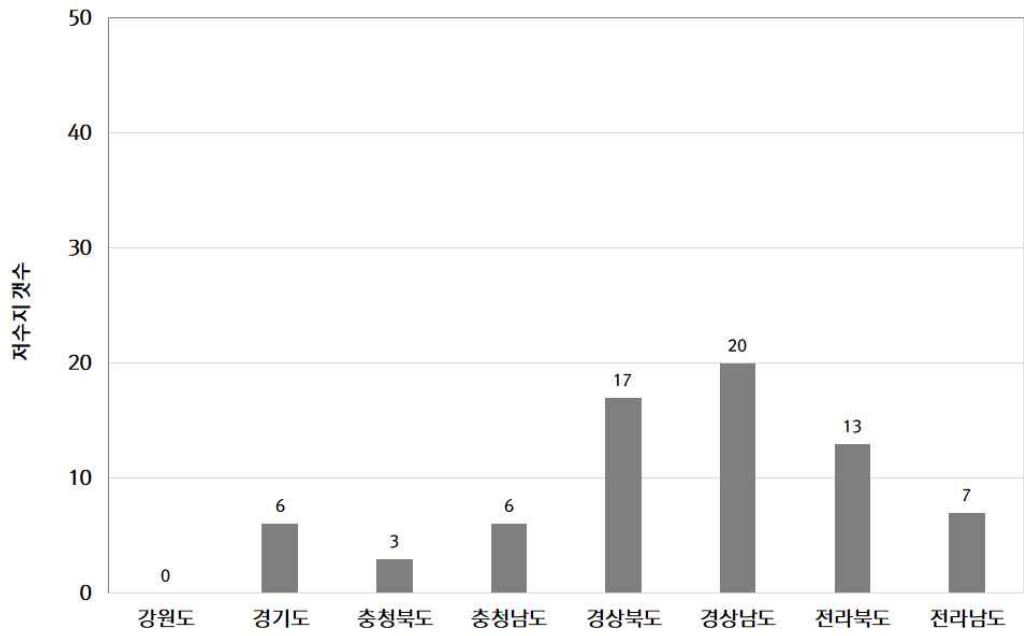
[그림 7.18] 현기상조건에서의 한발빈도 3년 저수지



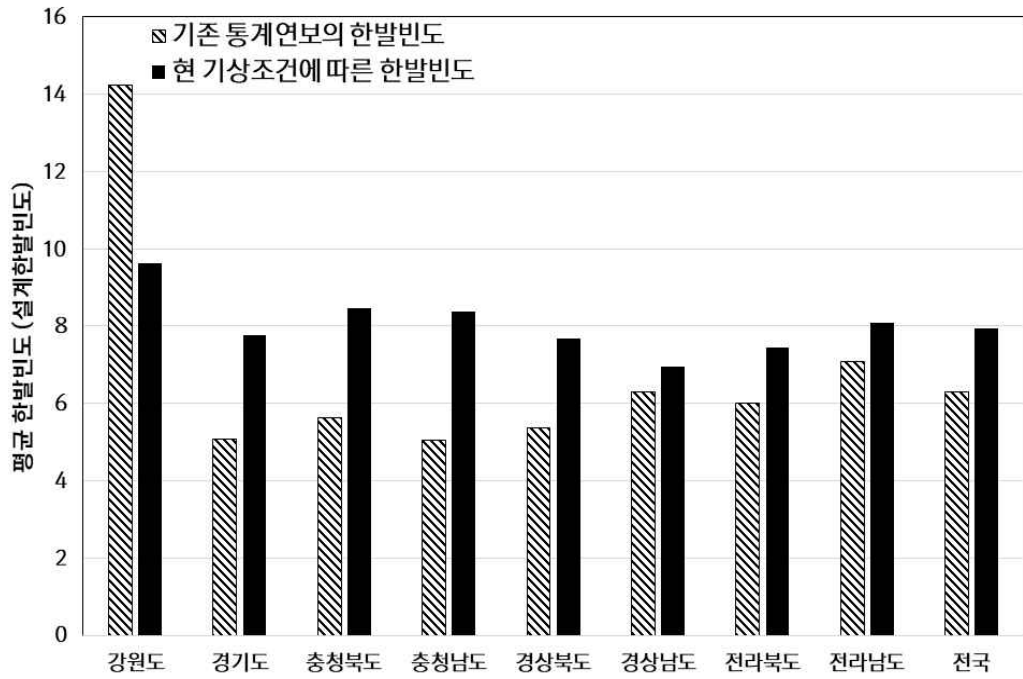
[그림 7.19] 현기상조건에서의 한발빈도 5년 저수지



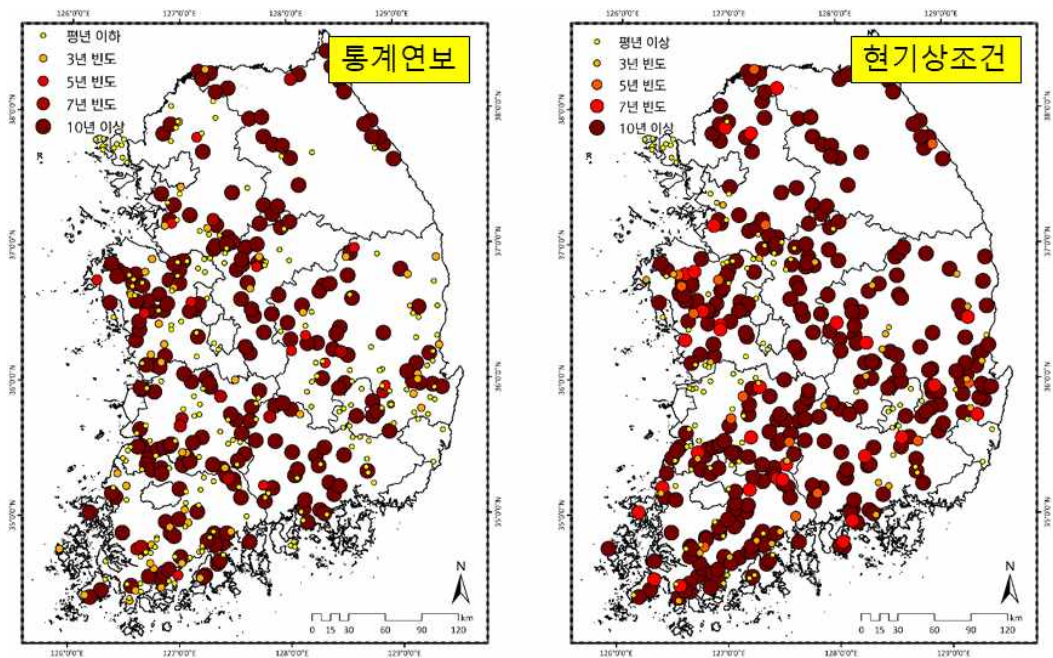
[그림 7.20] 현기상조건에서의 한발빈도 7년 저수지



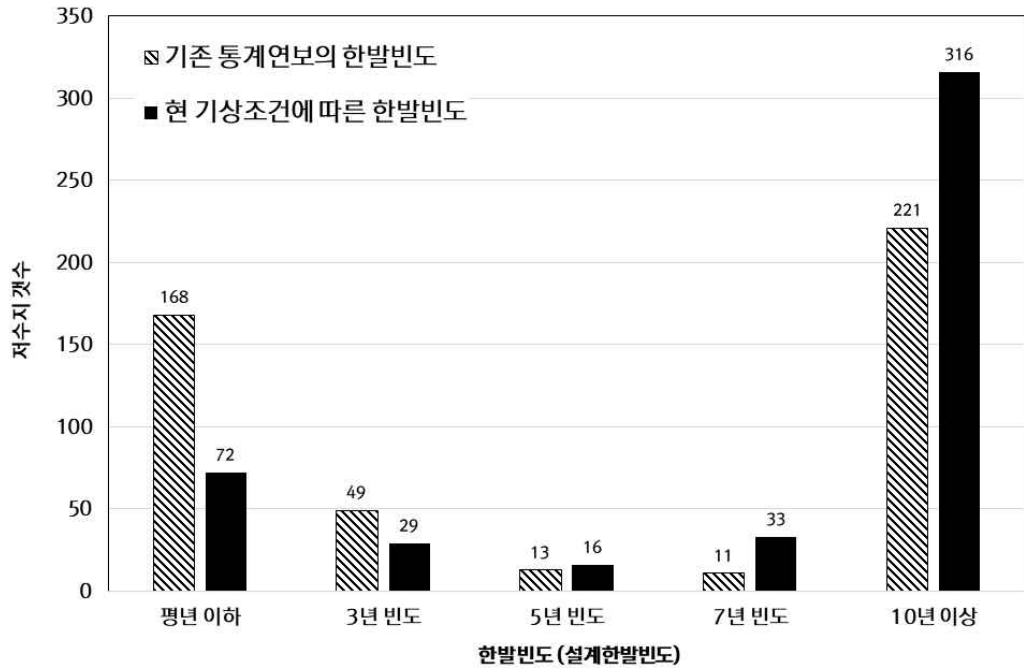
[그림 7.21] 현기상조건에서의 한발빈도 10년 이상 저수지



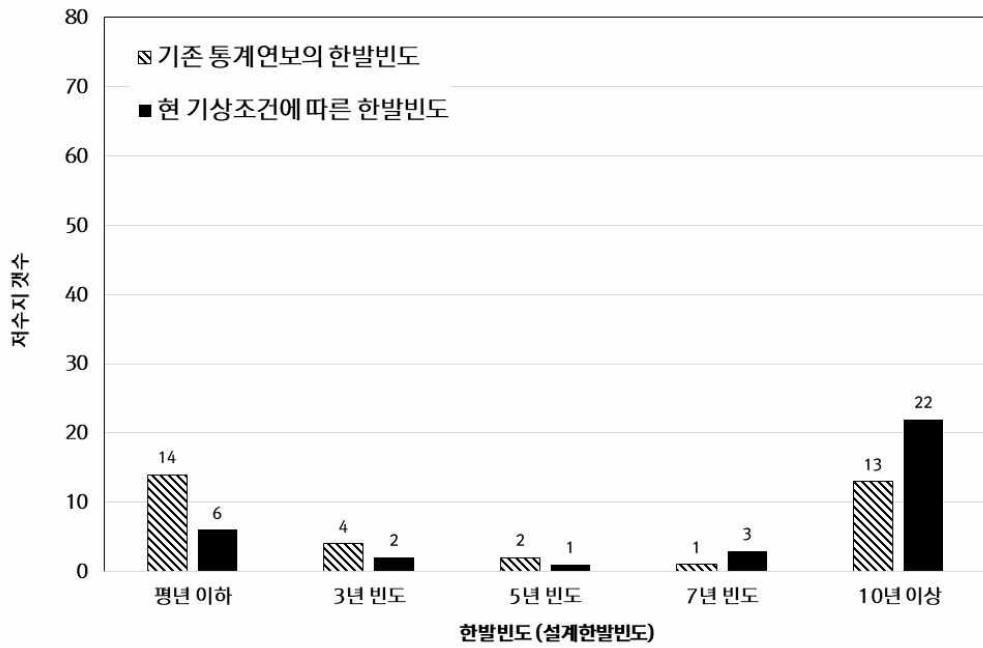
[그림 7.22] 통계연보와 현기상조건에서의 지역별 저수지 한발빈도 비교



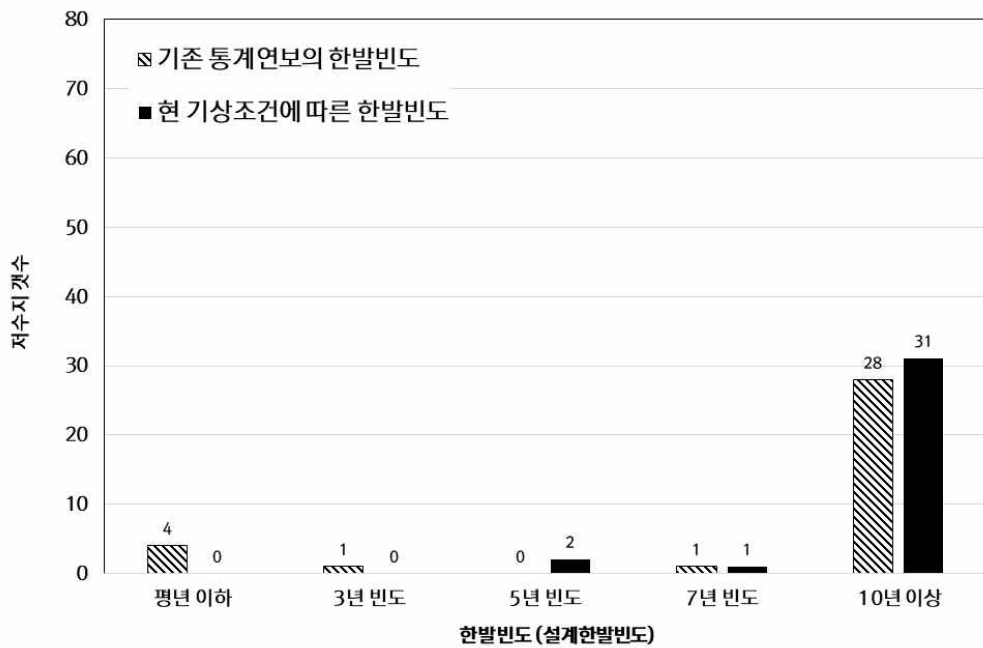
[그림 7.23] 통계연보 및 현기상조건에서의 저수지 한발빈도 비교



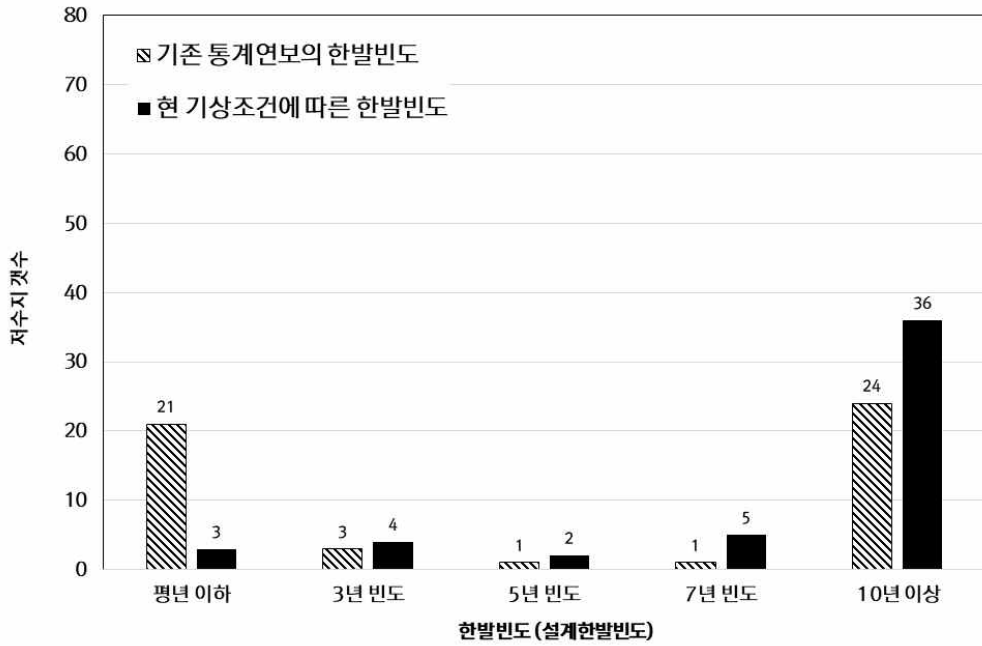
[그림 7.24] 통계연보와 현기상조건에서의 전국단위 저수지 한발빈도 분포



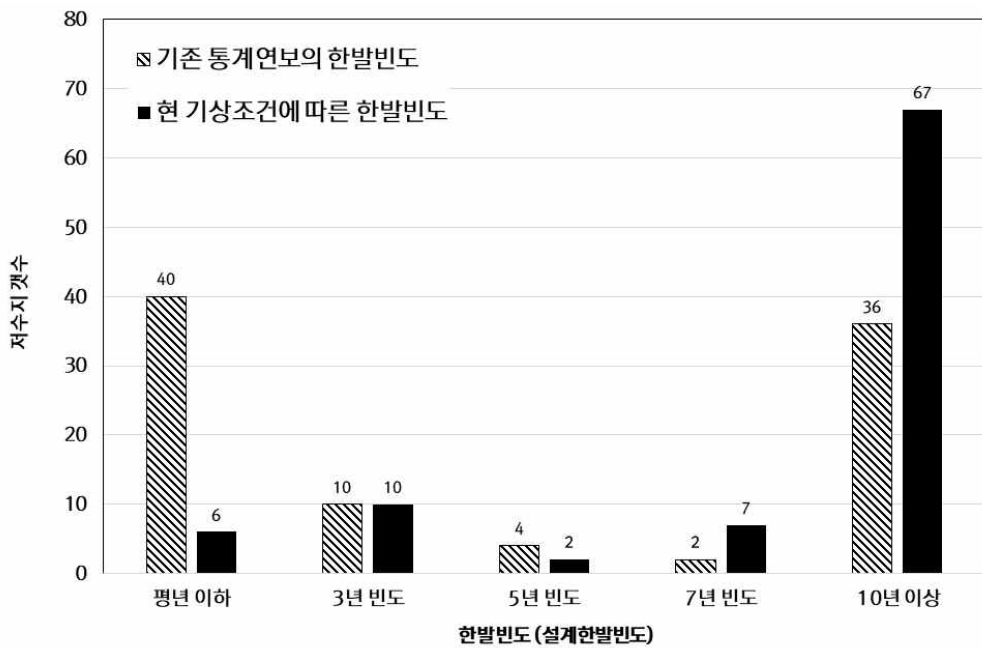
[그림 7.25] 통계연보와 현기상조건에서의 경기도 저수지 한발빈도 분포



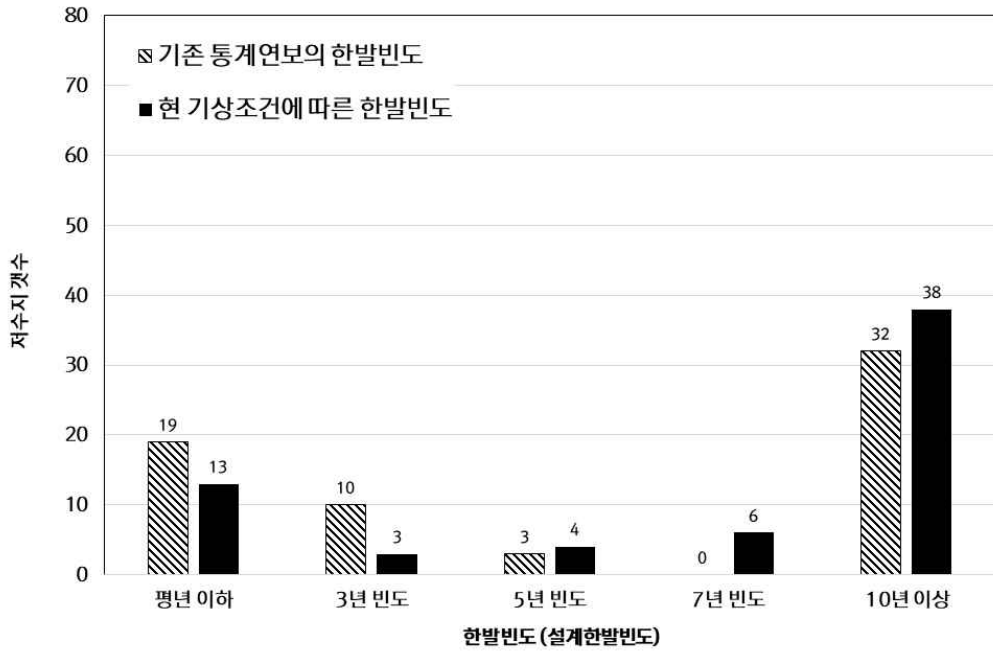
[그림 7.26] 통계연보와 현기상조건에서의 강원도 저수지 한발빈도 분포



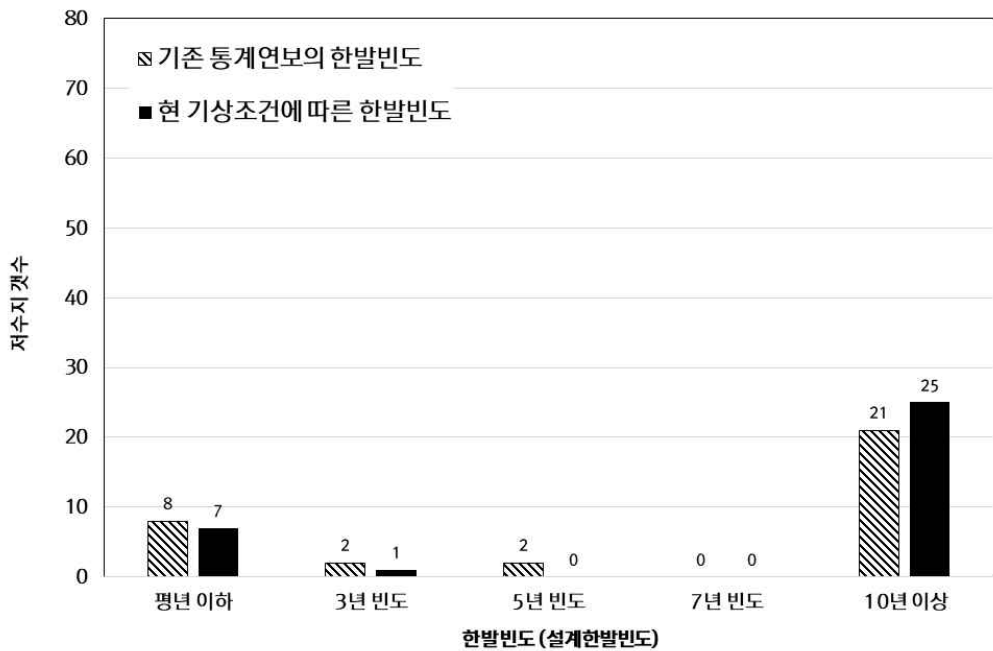
[그림 7.27] 통계연보와 현기상조건에서의 충청북도 저수지 한발빈도 분포



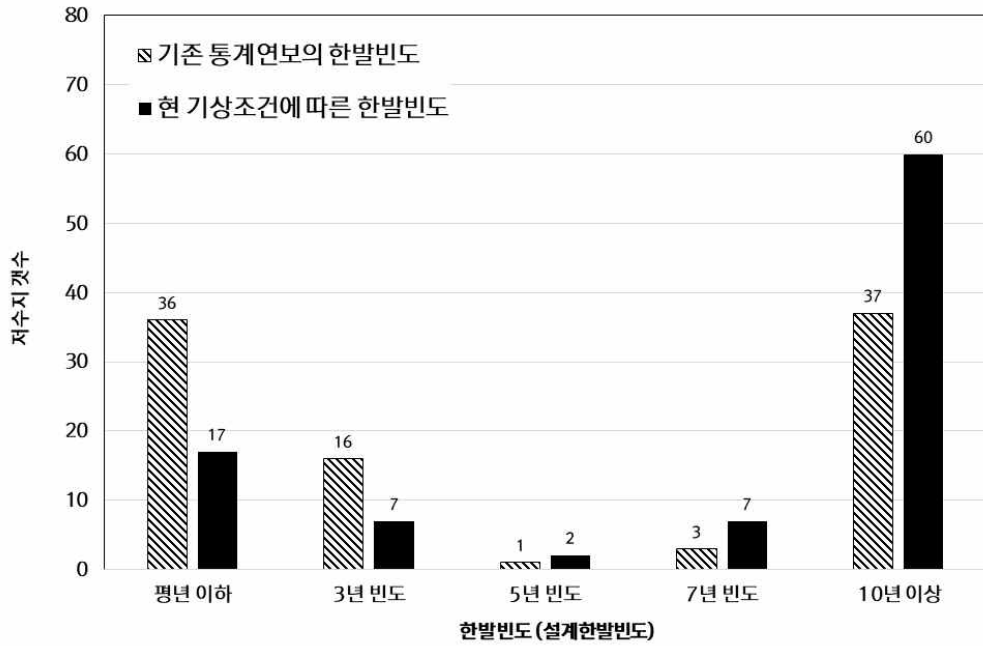
[그림 7.28] 통계연보와 현기상조건에서의 충청남도 저수지 한발빈도 분포



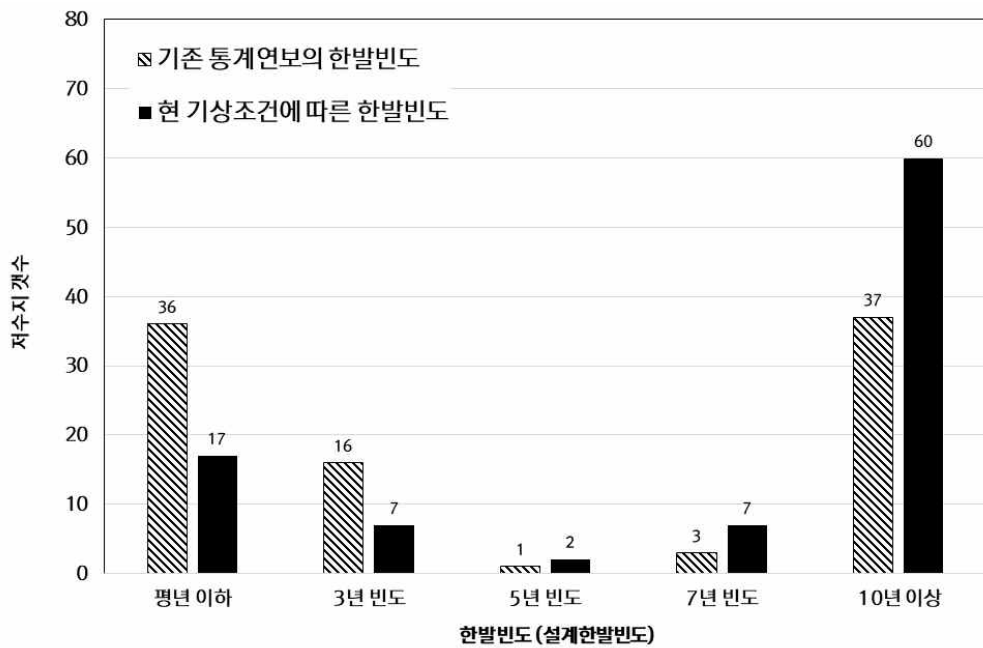
[그림 7.29] 통계연보와 현기상조건에서의 전라북도 저수지 한발빈도 분포



[그림 7.30] 통계연보와 현기상조건에서의 전라남도 저수지 한발빈도 분포



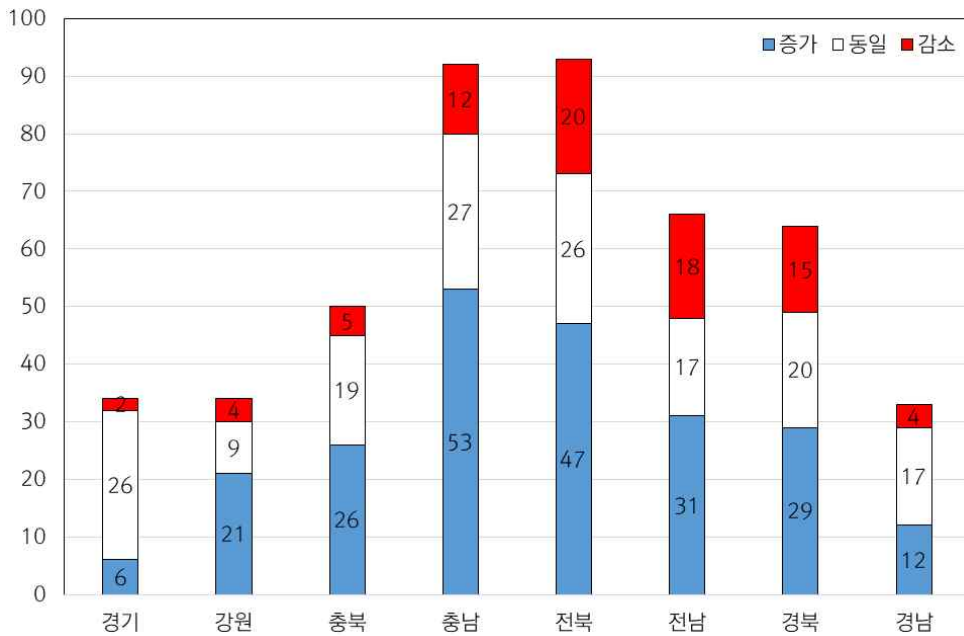
[그림 7.31] 통계연보와 현기상조건에서의 경상북도 저수지 한발빈도 분포



[그림 7.32] 통계연보와 현기상조건에서의 경상남도 저수지 한발빈도 분포

[표 7.4] 통계연보 대비 현기상조건에서의 지역별 한발빈도 변화

지역	저수지 개수						합계
	감소		동일		증가		
경기	2	6%	26	76%	6	18%	34
강원	4	12%	9	26%	21	62%	34
충북	5	10%	19	38%	26	52%	50
충남	12	13%	27	29%	53	58%	92
전북	20	22%	26	28%	47	51%	93
전남	18	27%	17	26%	31	47%	66
경북	15	23%	20	31%	29	45%	64
경남	4	12%	17	52%	12	36%	33
합계	80	17%	161	35%	225	48%	466



[그림 7.33] 통계연보 대비 현기상조건에서의 지역별 한발빈도 변화

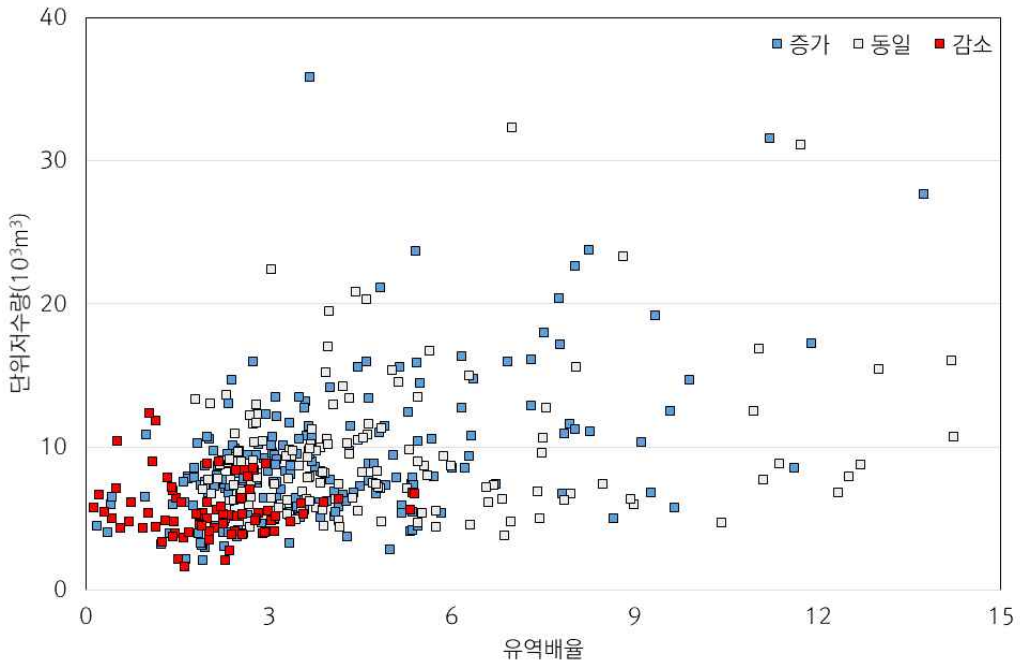


[그림 7.34] 통계연보 대비 현기상조건에서의 저수지 한발빈도 변화 분포

제 3 절 이수안전도 유형 분류 및 용수공급능력 변화 요인 분석

3.1 한발빈도 변화 요인 분석

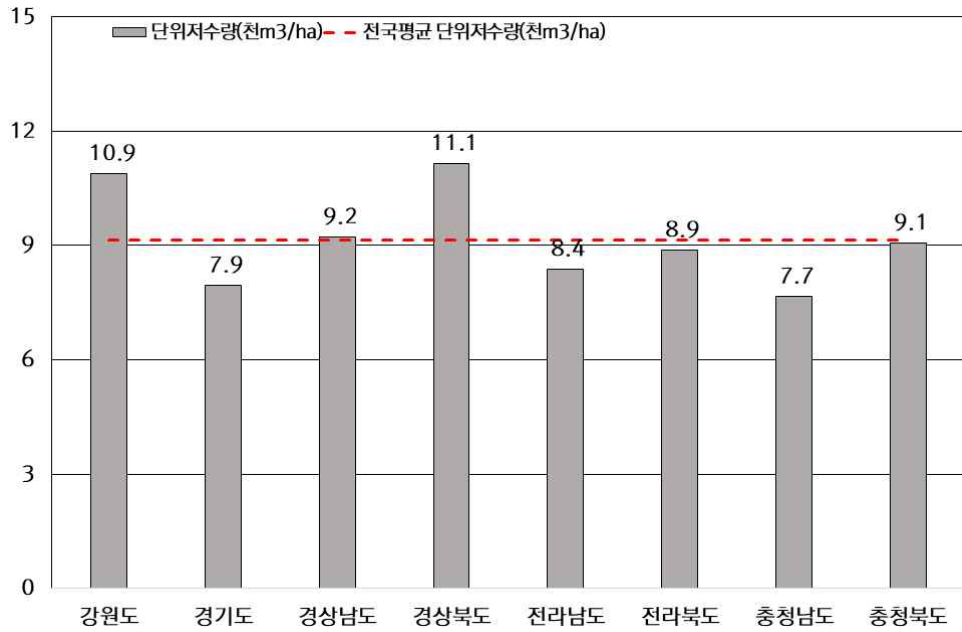
- 이수분야 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 위하여 이수안전도 유형분류에 따른 용수공급 능력 변화 요인을 파악하고자 함.
- 전국 466개 저수지 중 기상여건을 적용한 한발빈도 분석 결과 통계연보의 한발빈도와 비교하여 이수안전도의 감소, 동일, 증가에 따라 유형을 분류하였으며 [그림 7.33]과 같이 나타냄.
- 유형분류 결과 감소한 지역의 경우 전북이 20개소로 가장 많았으며 합계 80개소로 나타났고, 동일지역의 경우 충남이 27개소로 가장 많았으며 합계 161개소로 나타남. 증가한 지역의 경우 충남이 53개소로 가장 많았으며 합계 225개소로 나타남.
- [그림 7.35]는 유형별로 유역배율 및 단위저수량의 분포를 나타내며, 감소한 지역의 경우 상대적으로 유역배율과 단위저수량이 낮은 쪽에 많이 분포하는 것을 확인할 수 있음.
- [표 7.5]는 이수안전도 유형분류에 따른 지역별 분포 비율을 살펴본 것으로 지역 내에서 이수안전도가 통계연보와 동일하게 나타난 비율이 높은 지역은 경기(76%), 경남(52%)로 나타났고, 이수안전도가 증가한 지역은 강원(62%), 충남(58%), 충북(52%) 순으로 높았으며, 감소한 지역은 경북(23%), 전북(22%) 순서로 높게 나타남.



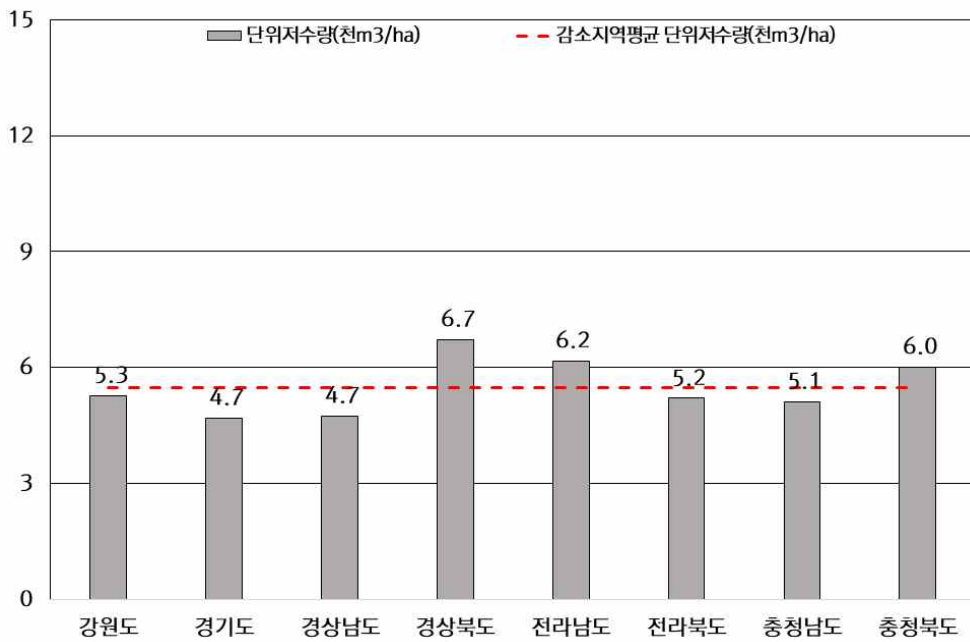
[그림 7.35] 유역배율 및 단위저수량에 따른 이수안전도 분포

- 지역 및 유형별 단위저수량 비교를 통한 용수공급 능력 변화 요인 분석을 위하여 [그림 7.36]부터 [그림 7.39]까지 나타냄.
- 전국 466개에 대한 단위저수량 평균은 9.1(천 m^3 /ha)이며, 강원, 경북, 경남, 충북 순서로 평균보다 단위저수량이 높게 나타남.
- 이수안전도가 감소한 지역의 경우 단위저수량 평균은 5.5(천 m^3 /ha), 동일 지역의 경우 10.1(천 m^3 /ha), 증가한 지역의 경우 9.9(천 m^3 /ha)로 감소지역을 제외한 나머지 유형에서는 단위저수량 차이가 크지 않은 것으로 나타남.
- 지역 및 유형별 저수지의 유효저수량, 수혜면적, 유역면적, 유역배율, 한발 빈도 등의 현황 비교를 통한 용수공급 능력 변화 요인 분석을 위하여 [그림 7.40]부터 [그림 7.63]까지 나타냄.
- 전국적으로 통계연보에 비해 기상여건을 적용한 경우 이수안전도가 증가하였으며, 수혜면적에 따른 유효저수량의 변화로 단위저수량의 차이가 발생함.

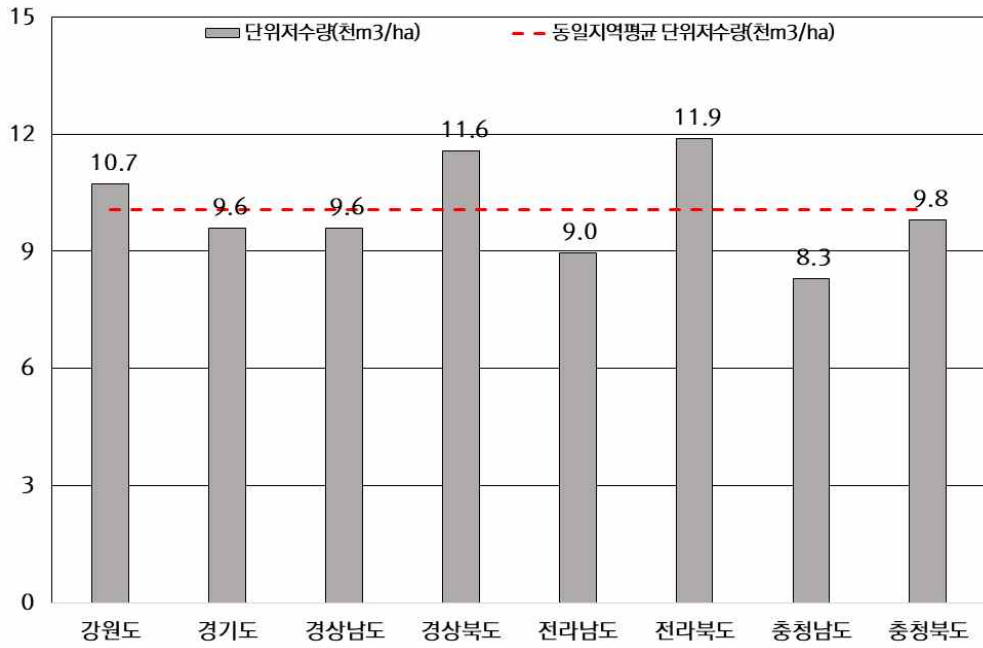
- 기상여건 적용 시 전국에 약 17% 정도 지역에서 이수안전도가 감소하는 것으로 나타나며, 감소지역은 상대적으로 유역배율과 단위저수량이 작게 나타남. 이수안전도가 동일하게 나타나는 지역은 약 35% 정도로 여기에 포함된 대부분의 지역은 유역배율이 3.0 이상, 단위저수량 평균이 가장 높게 나타남.
- 이수안전도가 증가한 지역의 경우 한발빈도가 큰 폭으로 증가하는 것을 볼 수 있었으며 강원, 경북 등 단위저수량과 유역배율이 높게 나타나는 지역이 포함되어 있음.



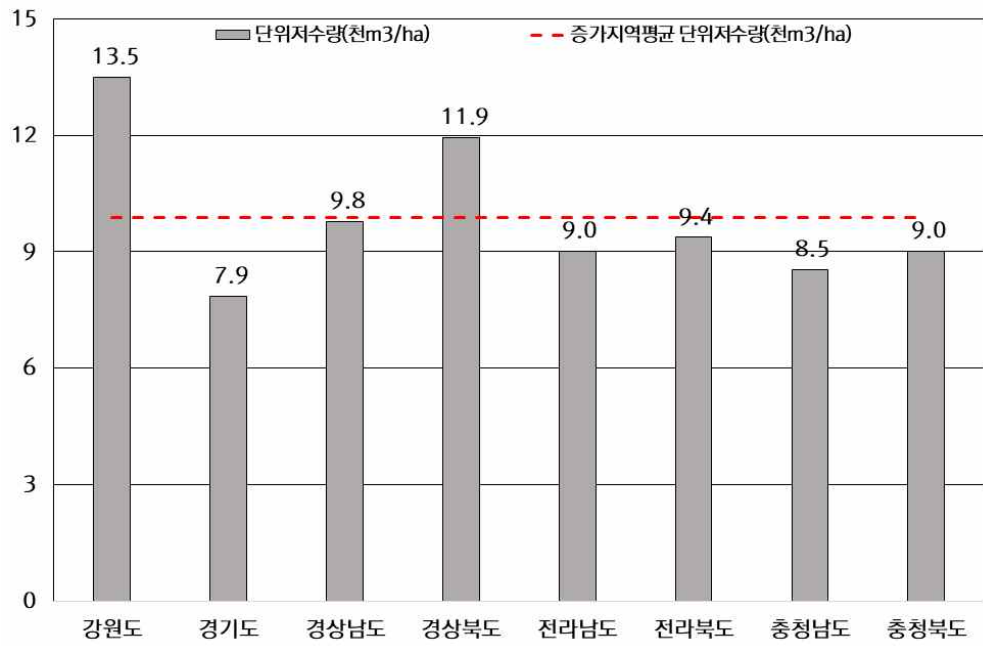
[그림 7.36] 지역별 평균 단위저수량



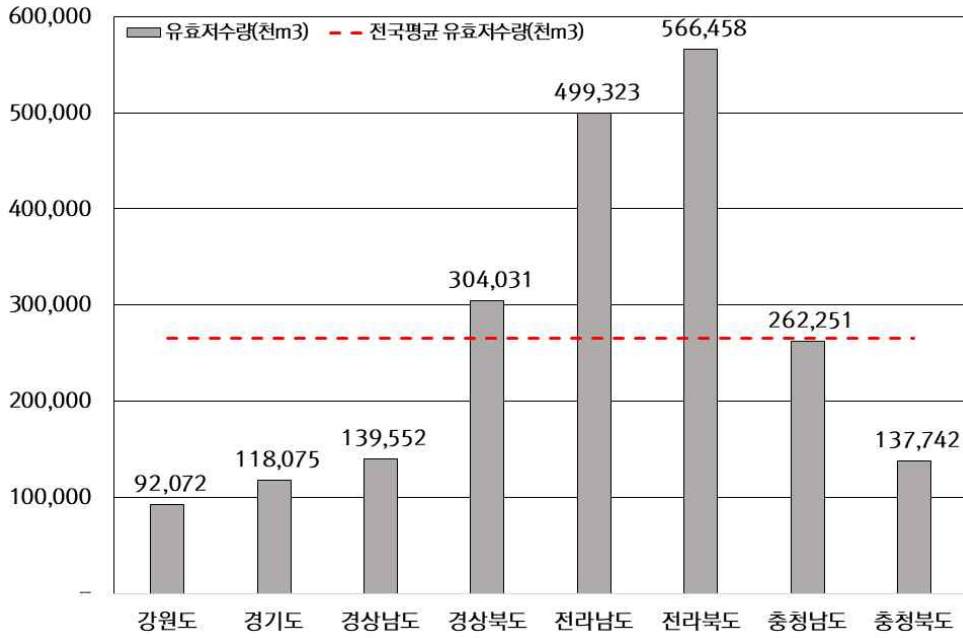
[그림 7.37] 지역별 이수안전도 감소지역 평균 단위저수량



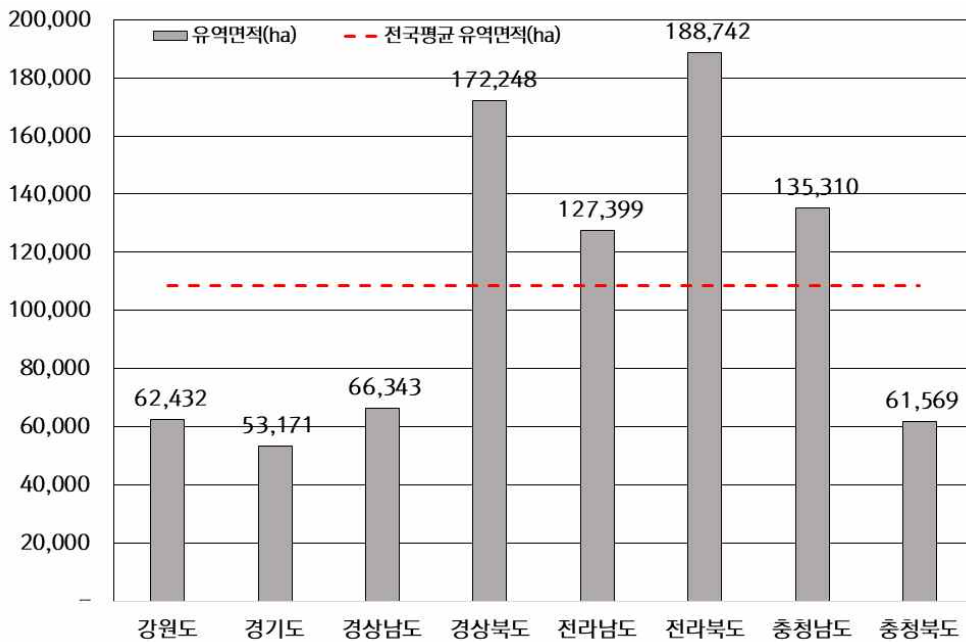
[그림 7.38] 지역별 이수안전도 동일지역 평균 단위저수량



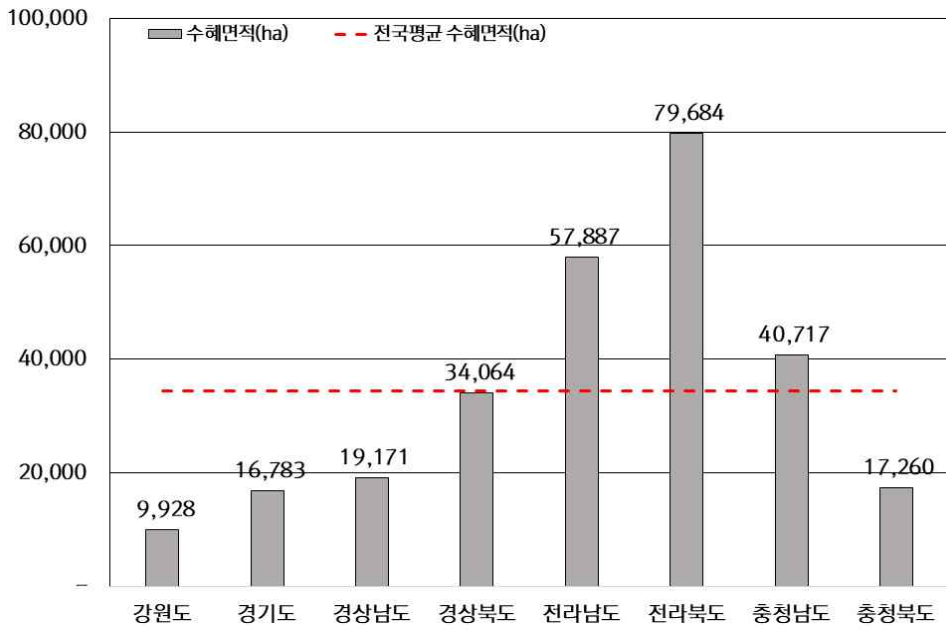
[그림 7.39] 지역별 이수안전도 증가지역 평균 단위저수량



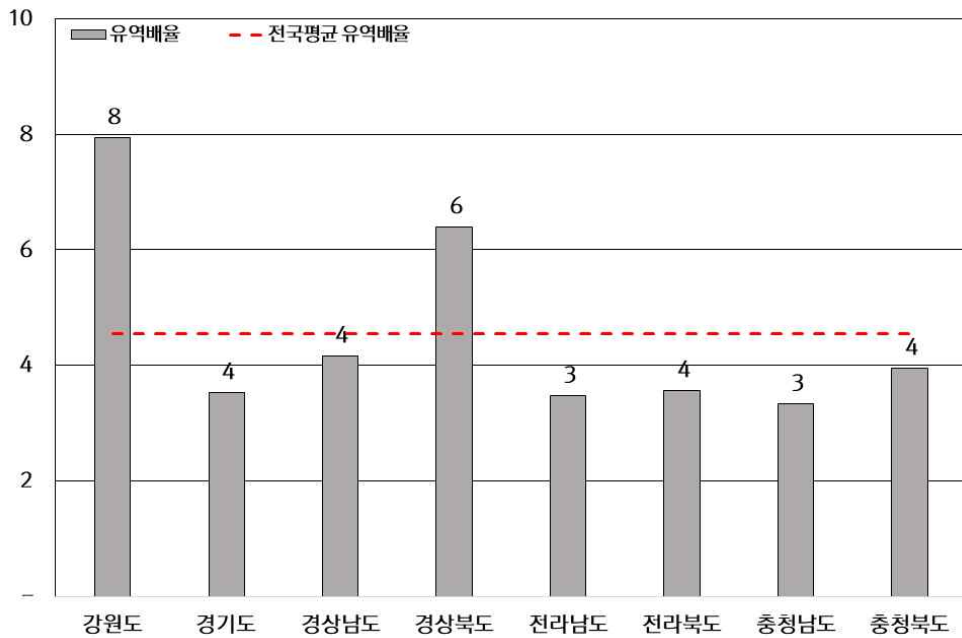
[그림 7.40] 지역별 평균 유효저수량



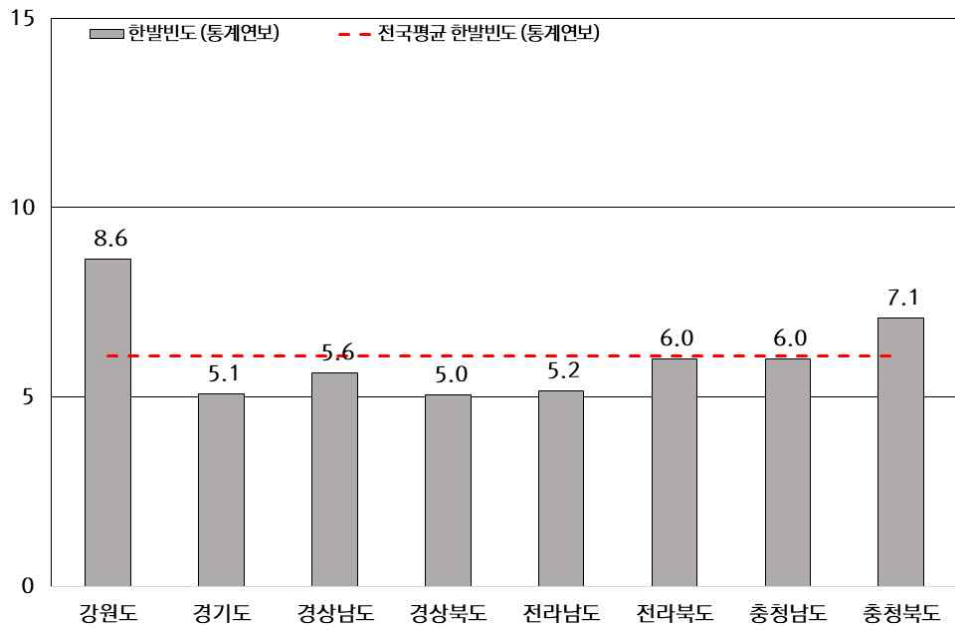
[그림 7.41] 지역별 평균 유역면적



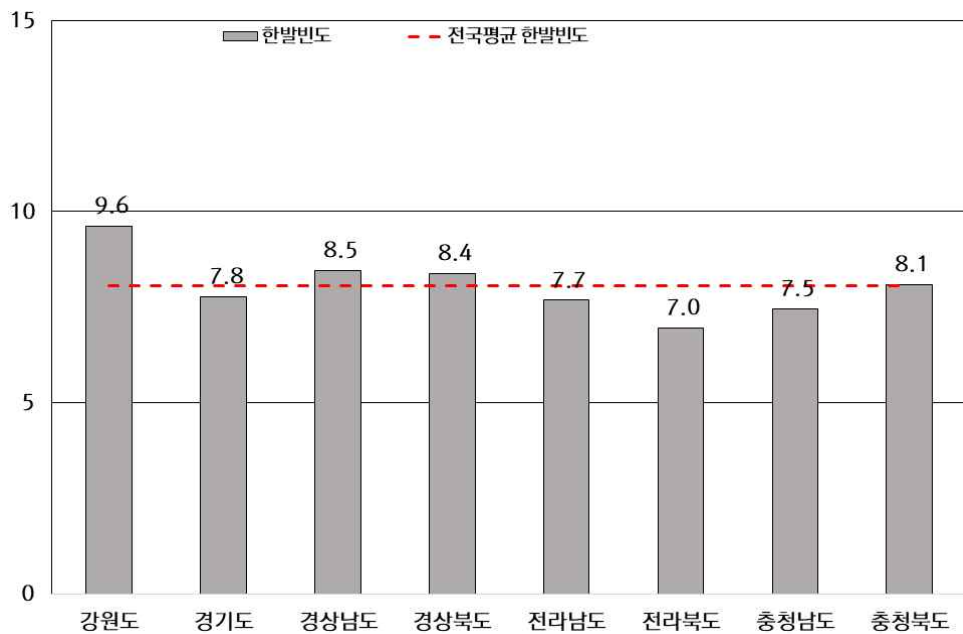
[그림 7.42] 지역별 평균 수해면적



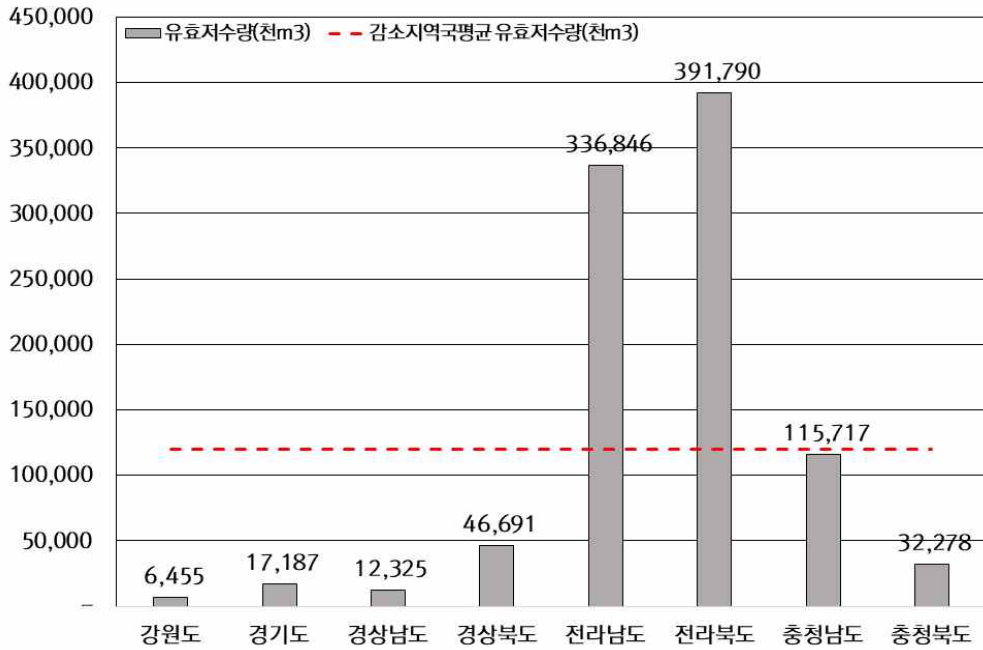
[그림 7.43] 지역별 평균 유역배율



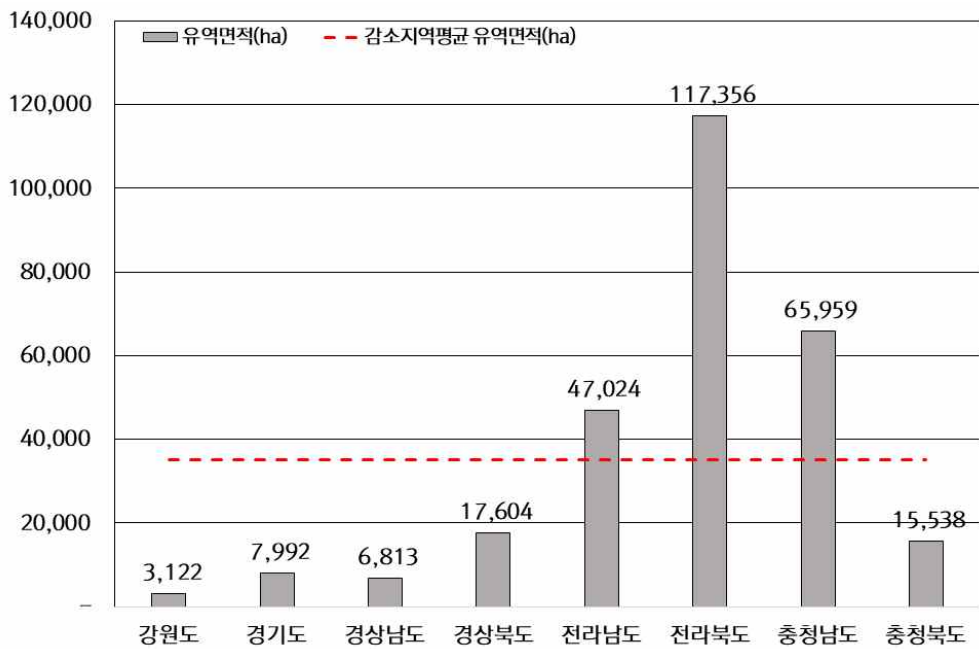
[그림 7.44] 지역별 통계연보 기준 평균 한발빈도



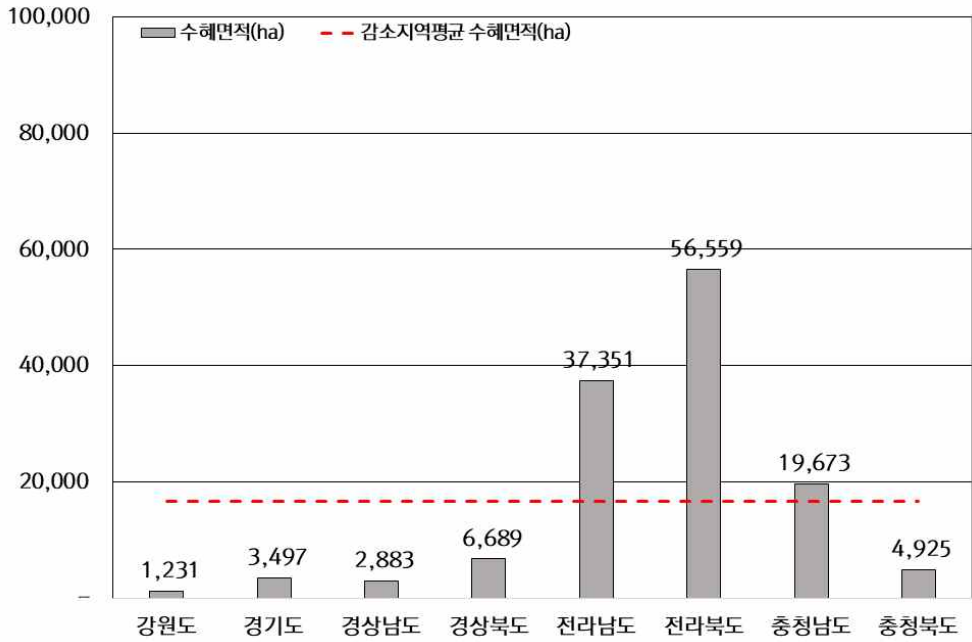
[그림 7.45] 지역별 기상여건 적용 평균 한발빈도



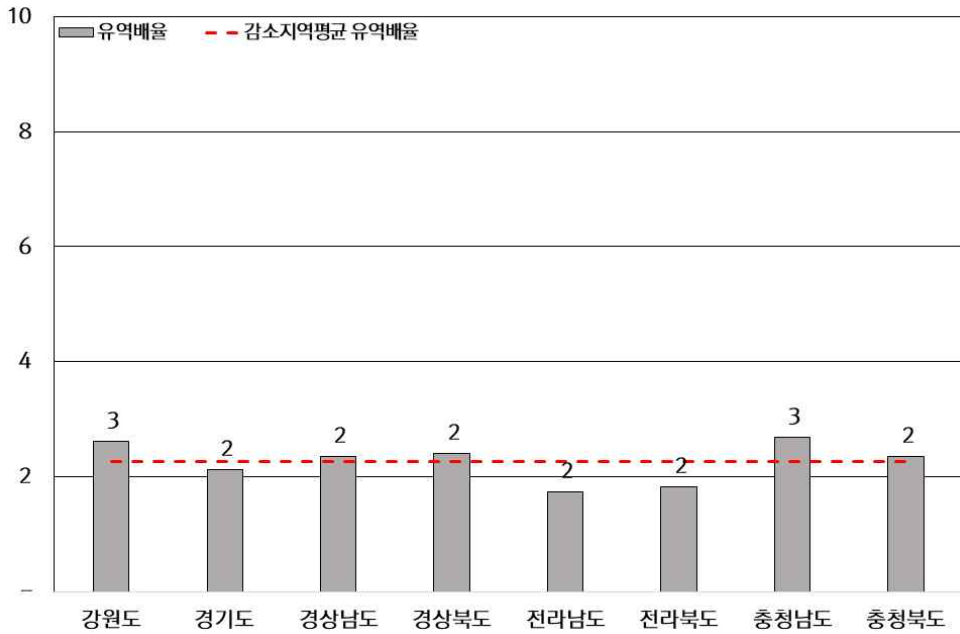
[그림 7.46] 지역별 이수안전도 감소지역 평균 유효저수량



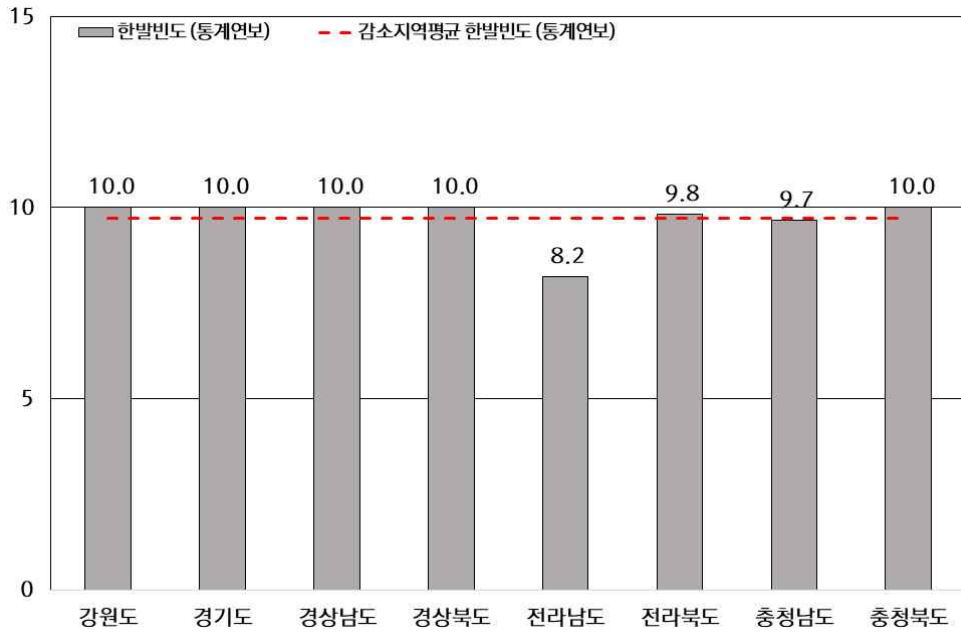
[그림 7.47] 지역별 이수안전도 감소지역 평균 유역면적



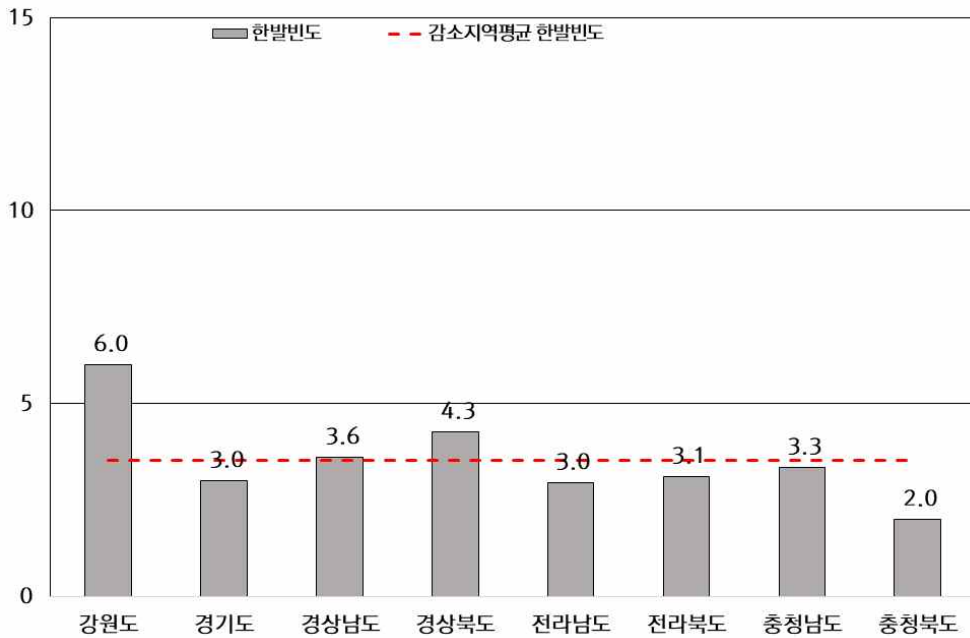
[그림 7.48] 지역별 이수안전도 감소지역 평균 수해면적



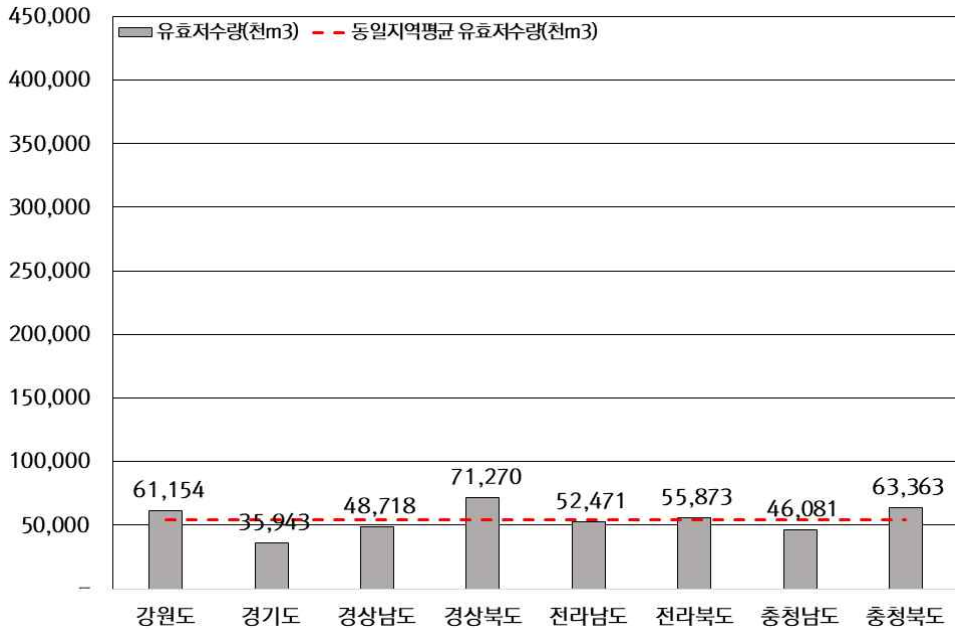
[그림 7.49] 지역별 이수안전도 감소지역 평균 유역배율



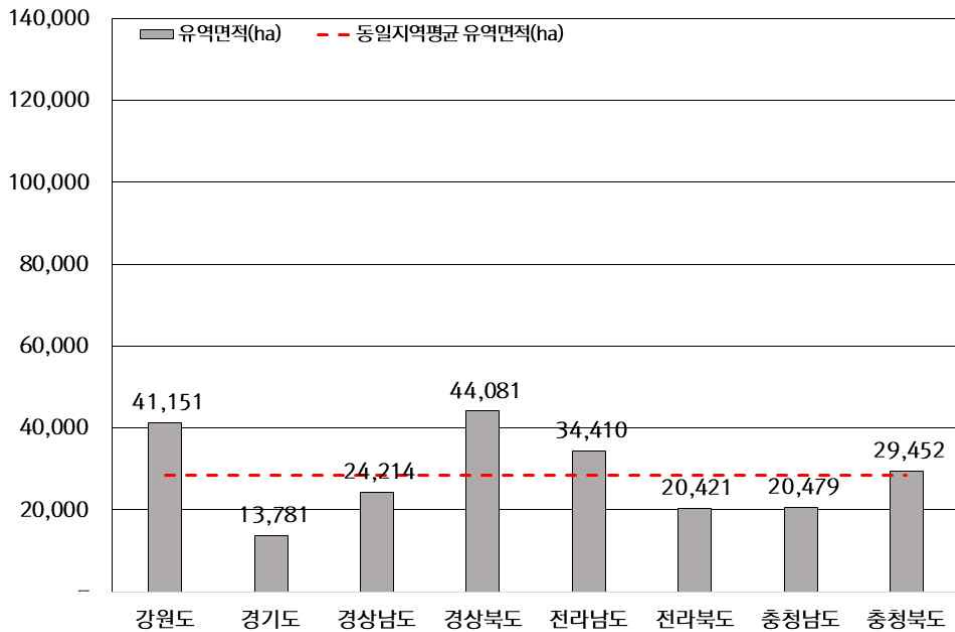
[그림 7.50] 지역별 통계연보 기준 이수안전도 감소지역 평균 한발빈도



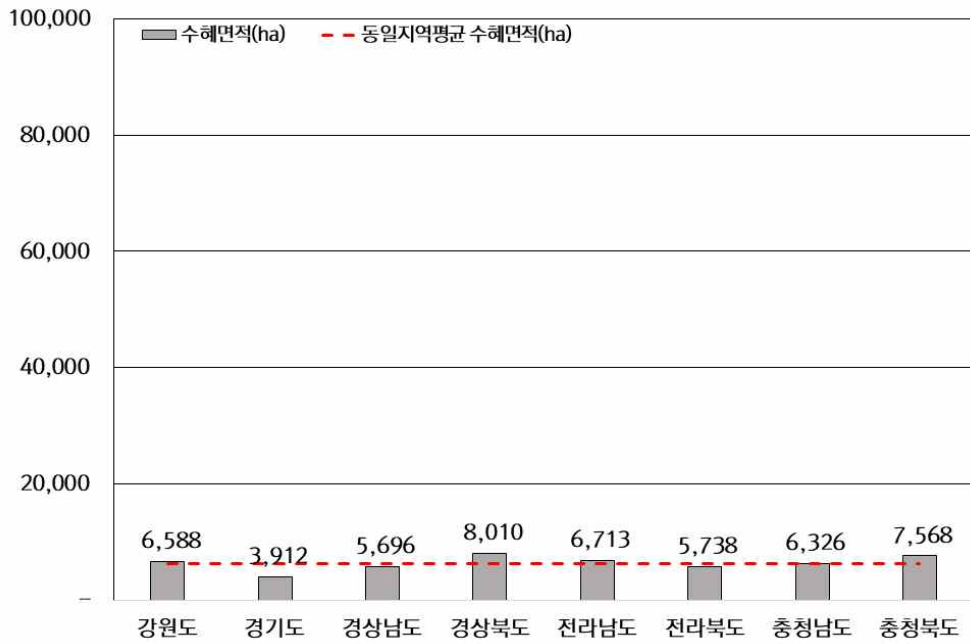
[그림 7.51] 지역별 현기상여건 적용 이수안전도 감소지역 평균 한발빈도



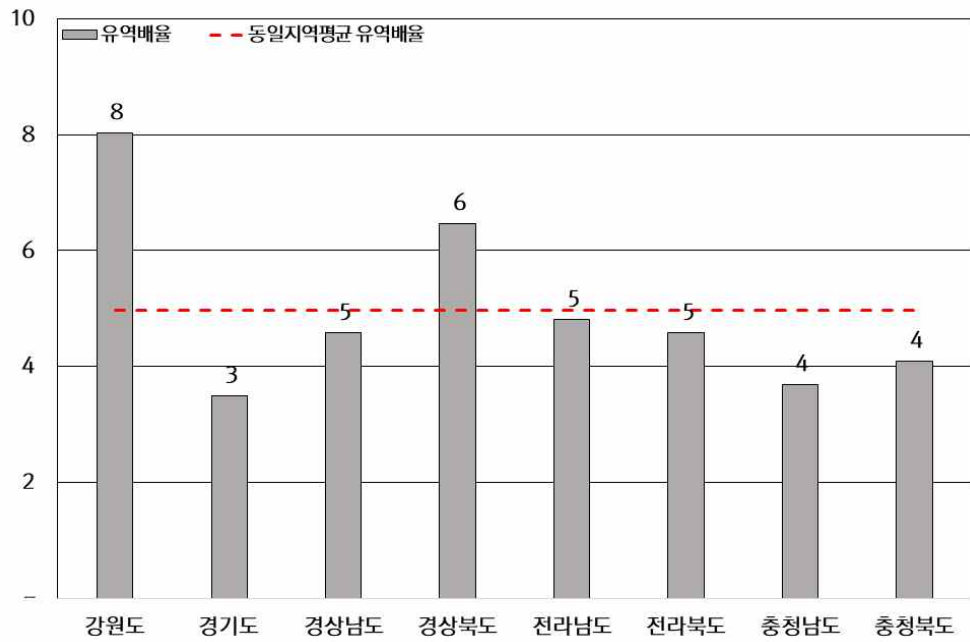
[그림 7.52] 지역별 이수안전도 동일지역 평균 유효저수량



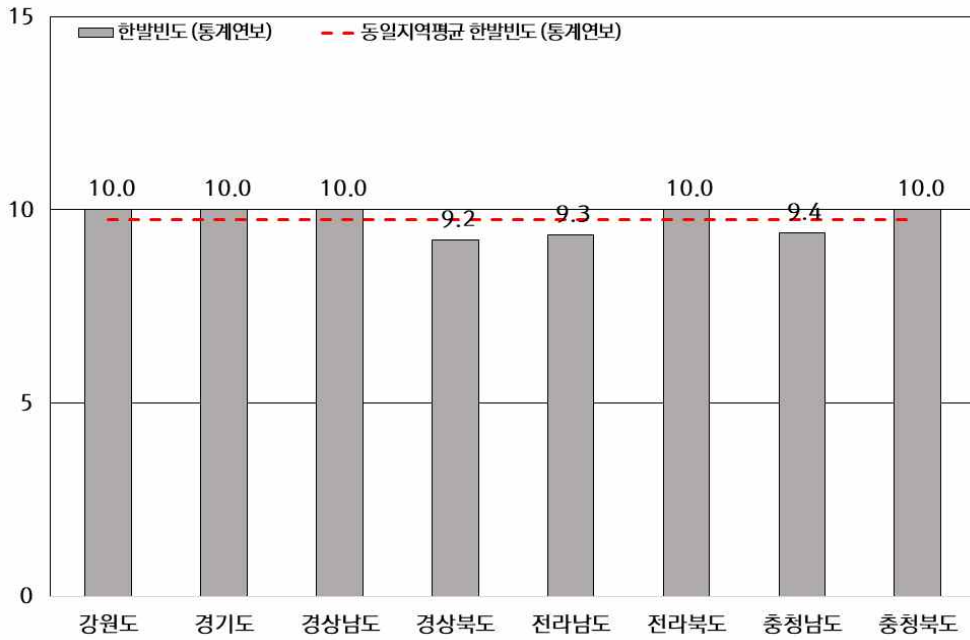
[그림 7.53] 지역별 이수안전도 동일지역 평균 유역면적



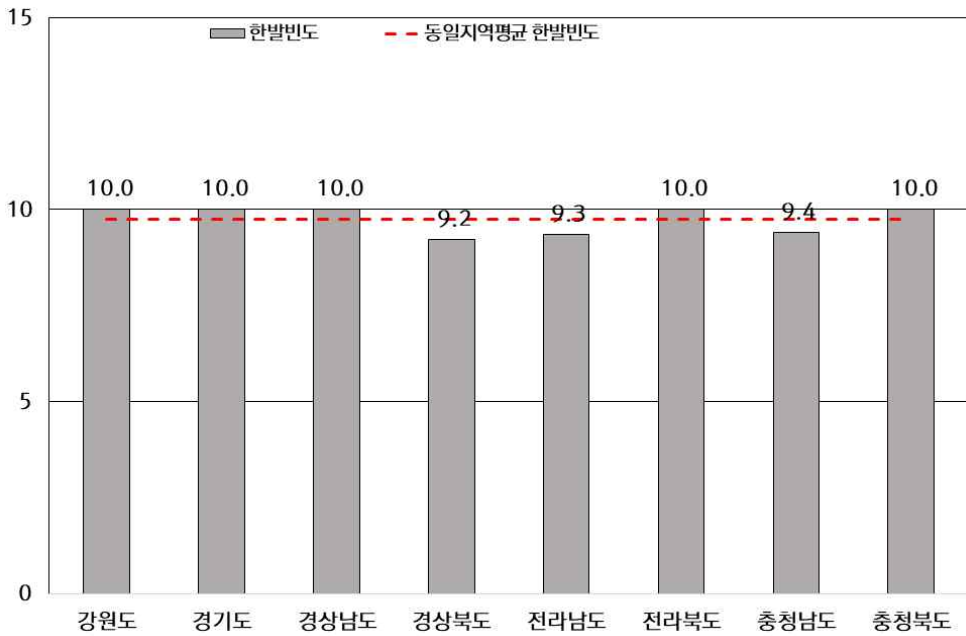
[그림 7.54] 지역별 이수안전도 동일지역 평균 수해면적



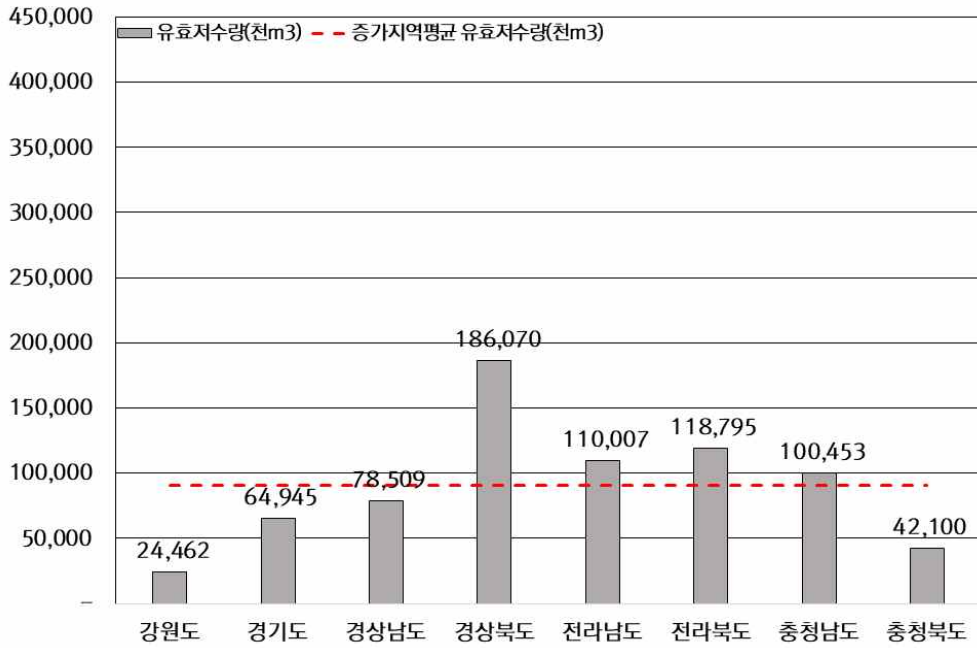
[그림 7.55] 지역별 이수안전도 동일지역 평균 유역배율



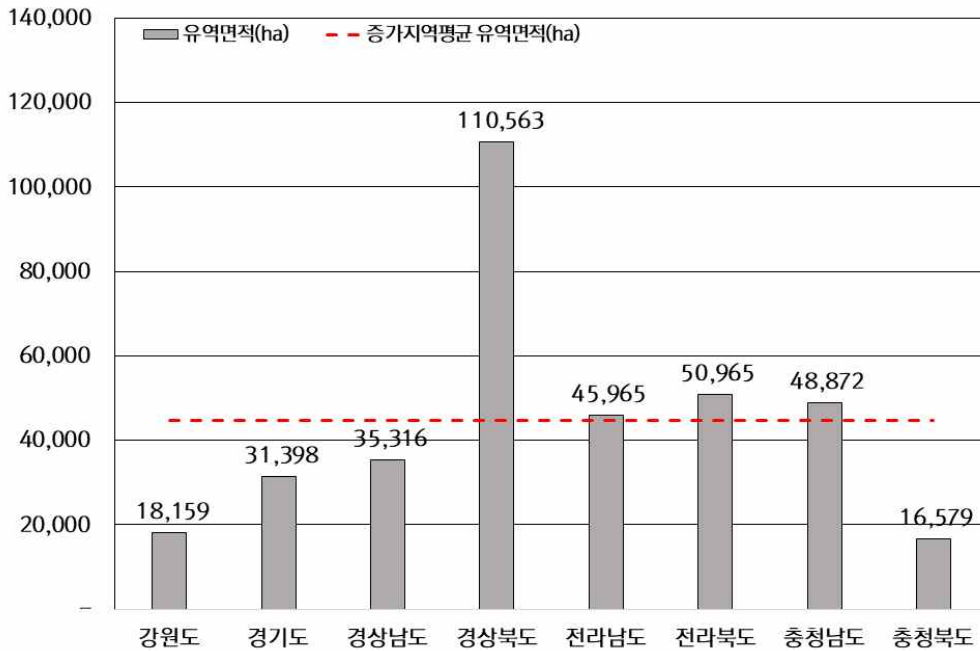
[그림 7.56] 지역별 통계연보 기준 이수안전도 동일지역 평균 한발빈도



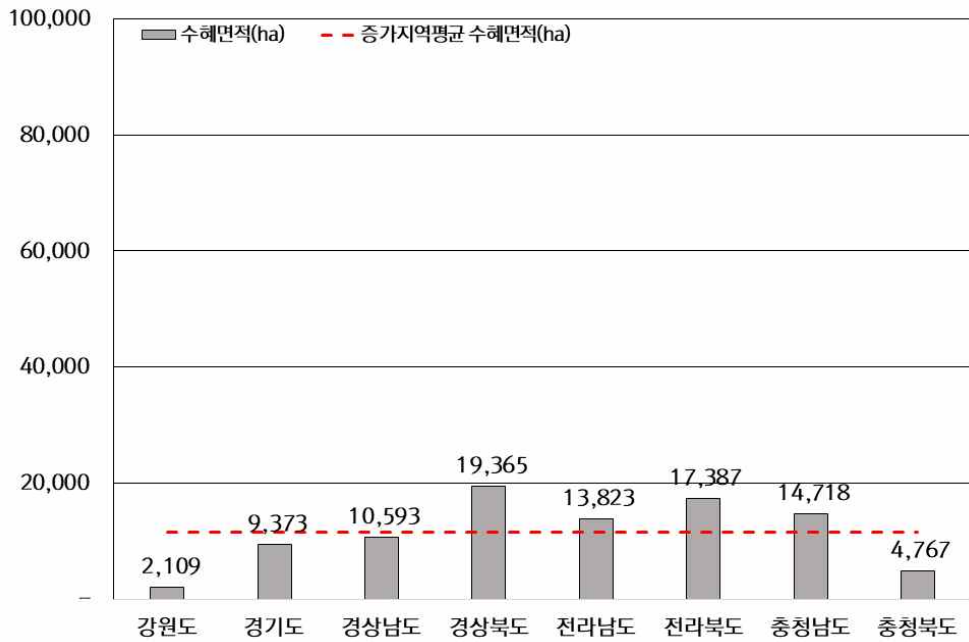
[그림 7.57] 지역별 현기상여건 적용 이수안전도 동일지역 평균 한발빈도



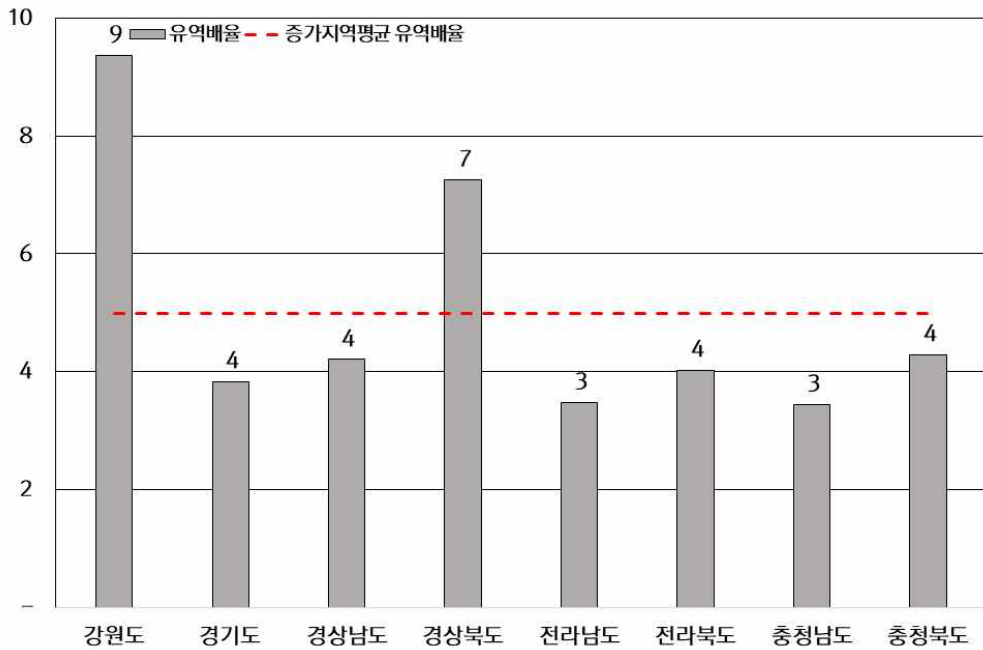
[그림 7.58] 지역별 이수안전도 증가지역 평균 유효저수량



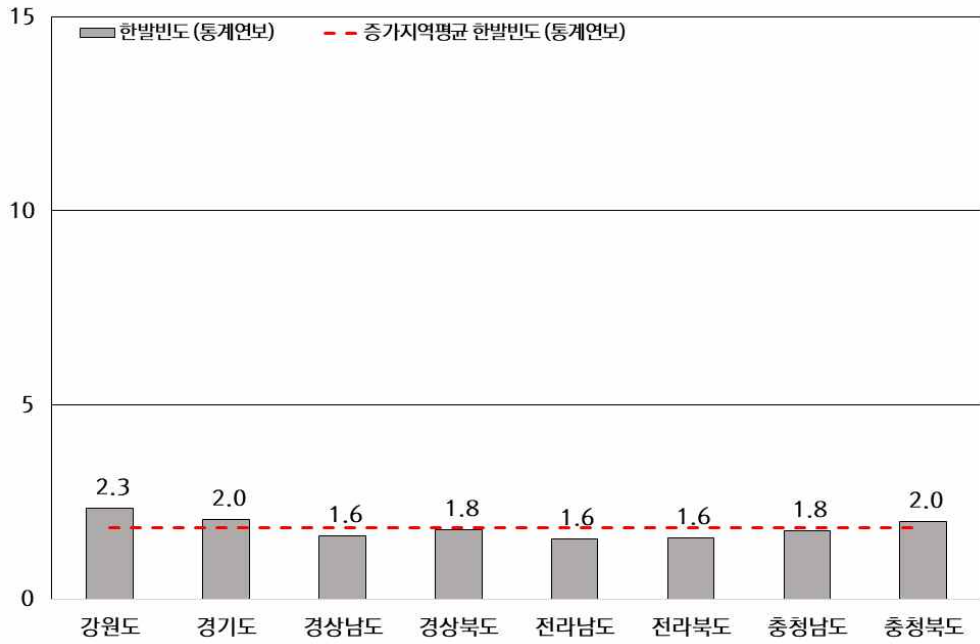
[그림 7.59] 지역별 이수안전도 증가지역 평균 유역면적



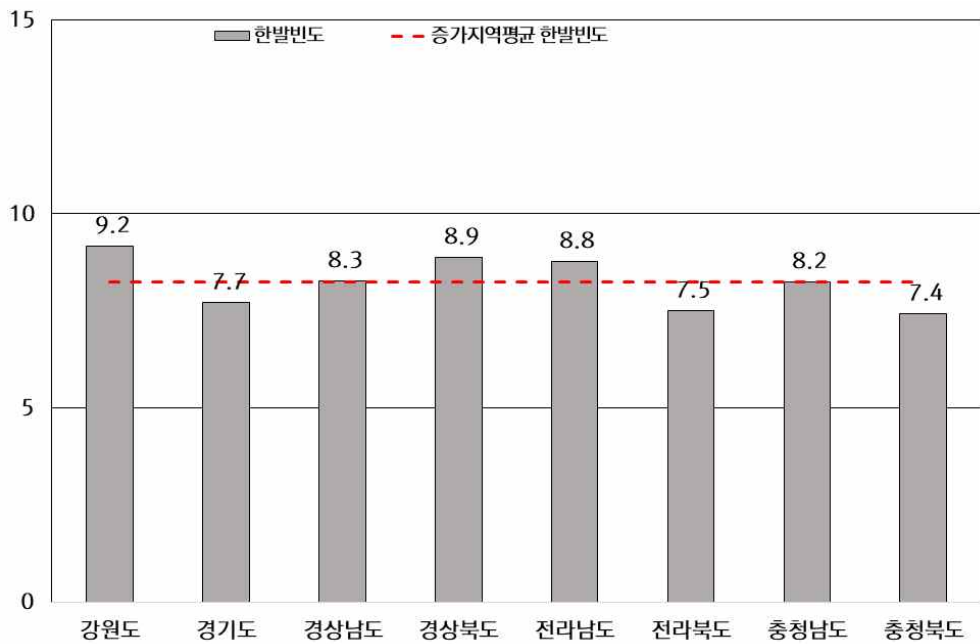
[그림 7.60] 지역별 이수안전도 증가지역 평균 수해면적



[그림 7.61] 지역별 이수안전도 증가지역 평균 유역배율



[그림 7.62] 지역별 통계연보 기준 이수안전도 증가지역 평균 한발빈도



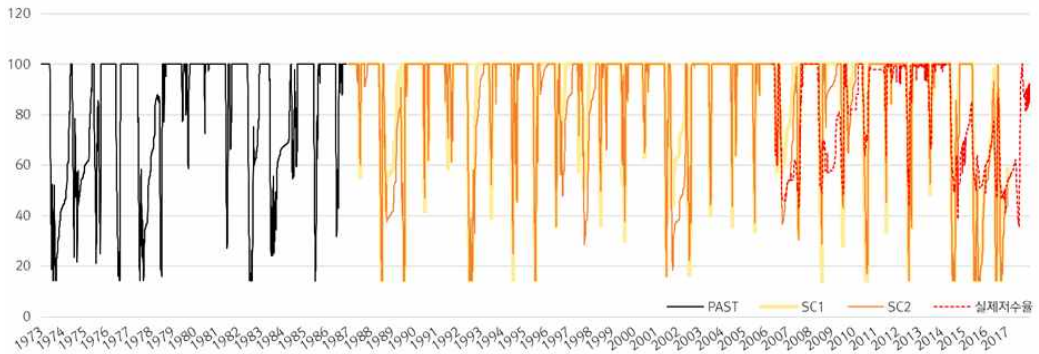
[그림 7.63] 지역별 현기상여건 적용 이수안전도 증가지역 평균 한발빈도

제 4 절 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석

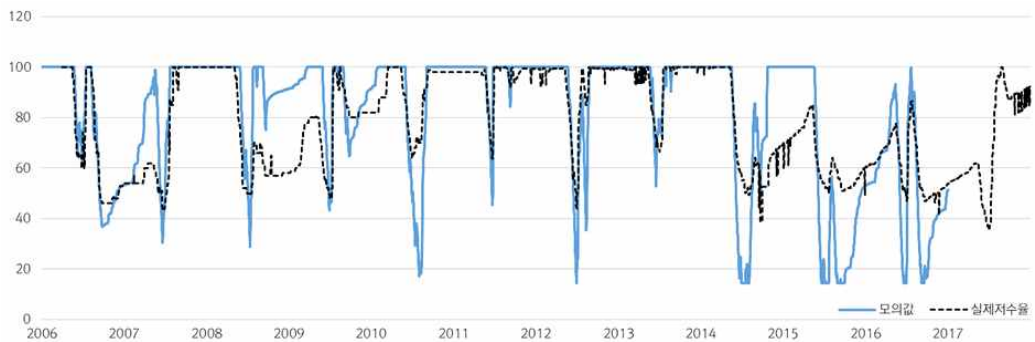
- 100만톤 저수지 중 실제 공급량 차이 분석을 위하여 시범지구 중 완공년도에 비해 한발빈도가 낮게 나타난 충북의 송강저수지를 대상으로 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 실시함.
- 송강저수지의 시나리오에 따른 저수율 분석 결과 모의값과 실제 측정된 저수율이 최근 3년간(2014년 ~ 2016년) 차이가 많이 나타나는 것을 확인할 수 있었음.
- 송강저수지는 2014년부터 2016년까지 물수지 분석 결과 용수공급 부족으로 분석되었으나 실제 저수율과 비교했을 때 해당기간에 저수율이 0%에 도달하지 않음.
- 송강저수지가 완공된 2005년 이후부터 시나리오에 따른 저수율 모의값과 실제 저수율의 분석 결과, 실제 공급량 분석 시 저수지가 고갈되지 않는 범위에서 운영된 것으로 보아 설계기준과 실제 공급량의 차이가 발생한 것으로 파악되며 농업용수 관리자에 의해 이루어진 것으로 판단됨.
- 과거 기상자료 및 시나리오 1, 2를 적용하여 송강저수지의 유입량 및 필요수량을 비교한 결과를 [그림 7.66]에 나타내었으며, 시나리오 별로 유입량은 매우 유사했으며 현장여건 적용 시 시나리오별로 필요수량이 다르므로 공급 수량에 차이가 발생하는 것으로 판단됨.

[표 7.5] 송강저수지 물수지 분석 결과

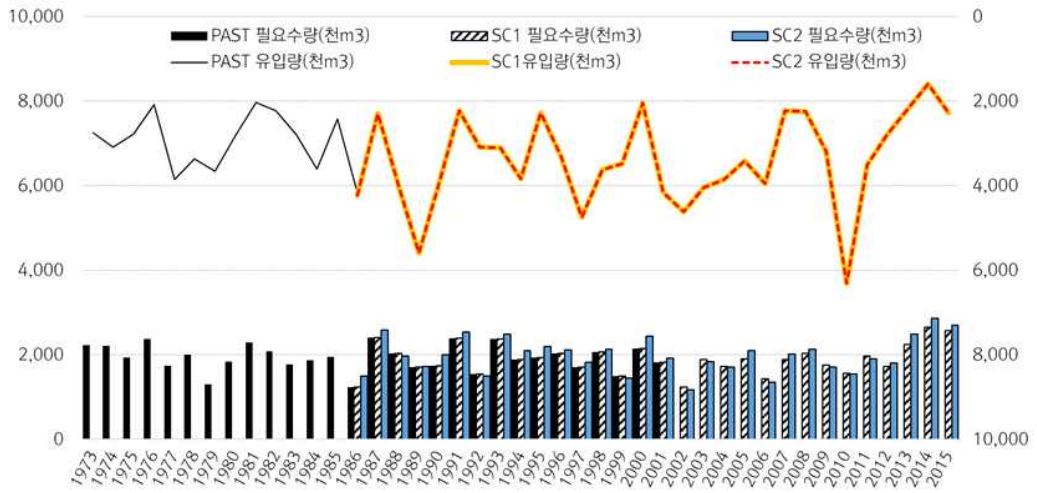
YEAR	WATER BALANCE(10 ³ m ³)
1973	-549.47
1977	-447.11
1982	-386.80
1988	-295.72
1992	-302.11
2001	-385.60
2014	-308.12
2015	-1272.97
2016	-427.51



[그림 7.64] 충북 송강저수지 시나리오별 저수율 분석 결과



[그림 7.65] 송강저수지 2006년-2017년 모의저수율 및 실제저수율 분석 결과



[그림 7.66] 송강저수지 시나리오별유입량 및 필요수량 비교



Office



Research



Farming



International

제 8 장

저수지의 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석

제 8 장 농업용 저수지의 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석

1 절 저수지 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석

1.1 설계인자별 민감도 분석

- 분석에 있어 중요한 설계인자를 파악하고자 저수지 설계모형인 HOMWRS의 입력자료 중 필요수량 주요 입력 자료를 대상으로 민감도 분석을 실시함
- HOMWRS 모형의 필요수량 입력자료에는 관개면적, 재배기간, 작물계수, 수로손실, 침투량, 담수심 등과 기상자료(2000~2017)로 강수, 최저 및 최고 기온, 상대습도, 일조시간, 평균풍속이 포함됨(표 3.1).
- 이 중 작물계수, 작부시기, 기상자료를 제외한 관개면적, 수로손실, 담수심, 침투량에 대한 민감도 분석을 실시하였으며, 분석을 위한 설계인자별 기준치와 상한치는 통계연보와 기존연구사례, 모형의 기초값 등을 기준으로 설정하였음(표 3.2). 또한 설계인자간 상대적인 민감도를 분석하기 위해 설계인자별 민감도 분석 결과값을 무차원화 하여 비교분석하였음.
- 여기서 작물계수, 작부시기, 기상자료에 대해서는 변화요소를 반영한 영향을 별도로 분석하였음.

[표 8.1] HOMWRS 논 필요수량 산정 입력자료 항목

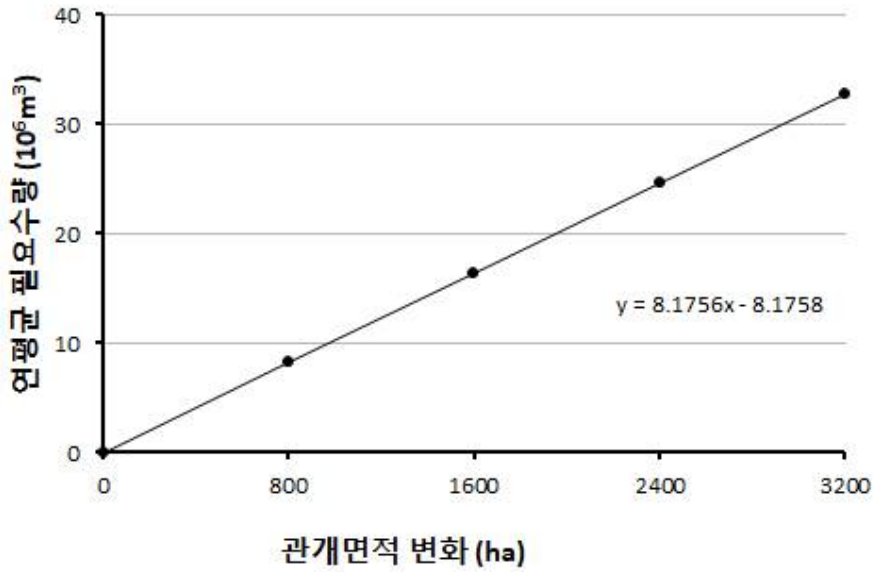
구 분	자료명	상세 내용
기초자료	지구 위치	- 대상 지구 위치
	관개 면적	- 대상 저수지의 수혜구역 면적
	재배방식	- 이양재배, 담수직파, 건답직파
	기상자료	- 대상지구 인근 기상관측소 자료 이용
필요수량 산정	증발산량 산정 방법	- Penman, B-C equations
	작부시기	- 묘대기, 이앙기, 본답기
	수로손실	- 관개용 수로에서의 하루 손실량(mm/day) 혹은 손실률(%)
	침투량	- 수혜구역 경작지에서의 하루동안의 침투량 (mm/day)
	작물계수	- 지구별 작물계수
	담수심	- 최대담수심, 최소담수심 (mm)

[표 8.2] 민감도 분석 대상 설계인자

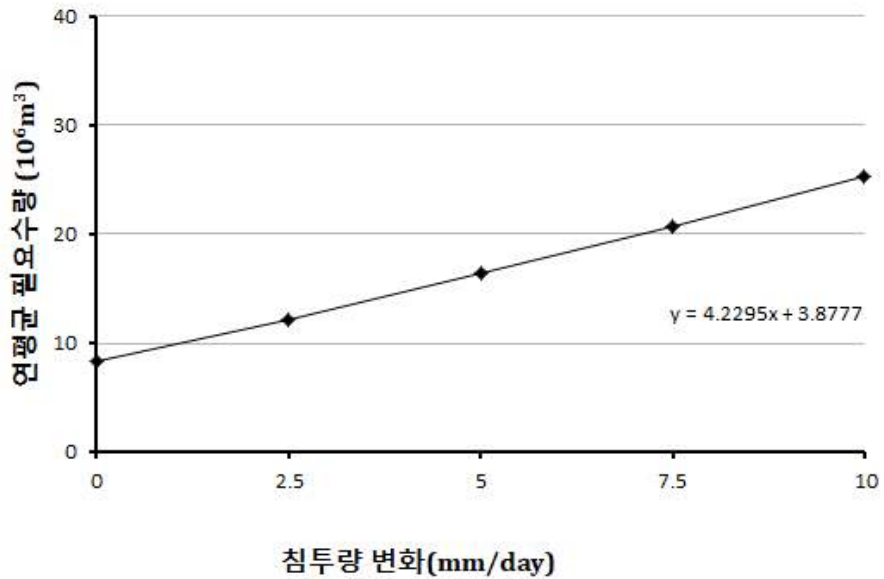
설계인자	단위	기준치	하한치	상한치
관개면적	ha	10,000	0	20,000
침투량	mm/day	5	0	10
수로손실	%	15	0	60
담수심	mm	60	0	100

- 민감도 분석 결과는 [표 3.2] ~ [표 3.5]와 같음. 관개면적의 경우 하한치 0ha에서 상한치 3,200ha로 증가할 경우 기울기가 8.2로 가장 높게 나타나 민감도 분석을 실시한 4개의 설계인자 중에서 필요수량 산정결과에 가장 민감한 것으로 나타남.
- 그 다음으로 민감한 설계요소는 수로손실로서 하한치 0%에서 상한치 60%로 증가할 경우 5.1의 기울기를 나타내 2번째로 필요수량 산정결과에 민감한 정도를 나타냄.
- 그 다음으로 민감한 설계요소는 침투량으로서 하한치 0mm/day에서 상한치 10mm/day로 증가할 경우 민감 정도는 수로손실의 경우와 약간의 차이를 나타낸 4.2의 기울기를 나타냄.
- 마지막으로 담수심의 경우 필요수량 산정결과와는 음의 관계를 가지므로써 하한치 0mm에서 상한치 100mm로 증가할 경우 -2.6의 기울기를 나타내어 4개의 설계인자 중에서 필요수량 산정결과에 가장 낮은 민감도를 나타냄.
- 따라서 필요수량 설계요소 4개를 대상으로 한 결과값에 대한 민감 정도는

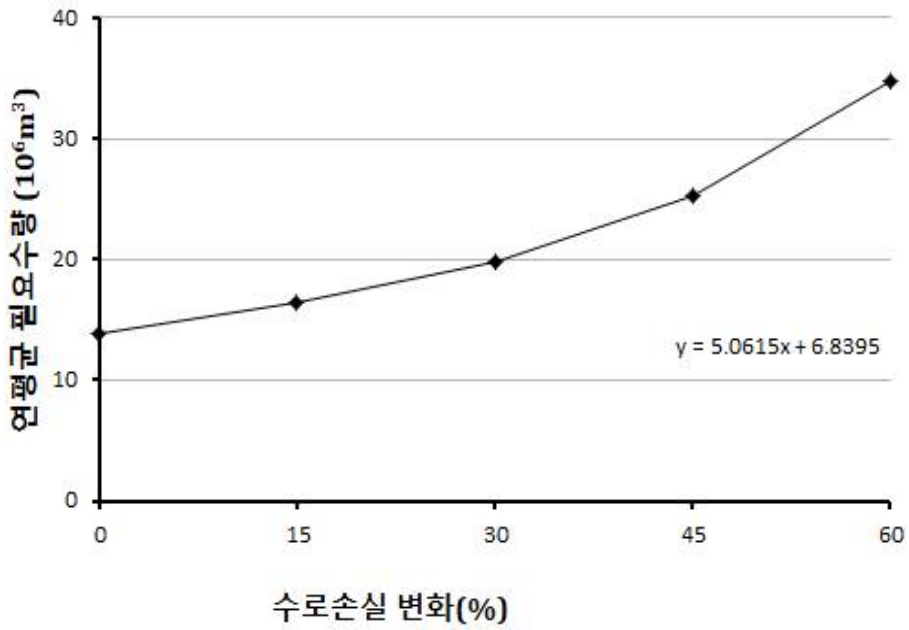
관개면적 > 수로손실 > 침투량 > 담수심 순으로 나타남



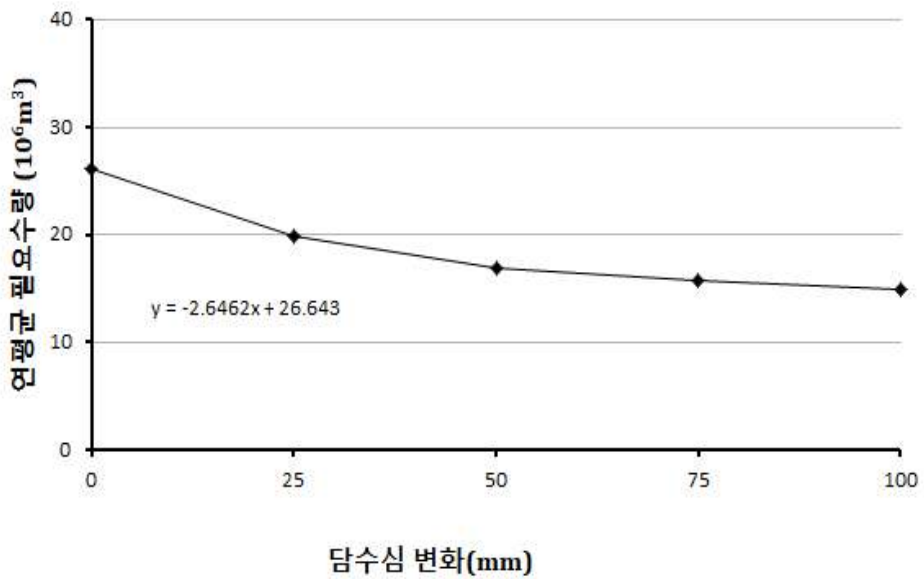
[그림 8.1] 관개면적 민감도 분석 결과



[그림 8.2] 침투량 민감도 분석 결과

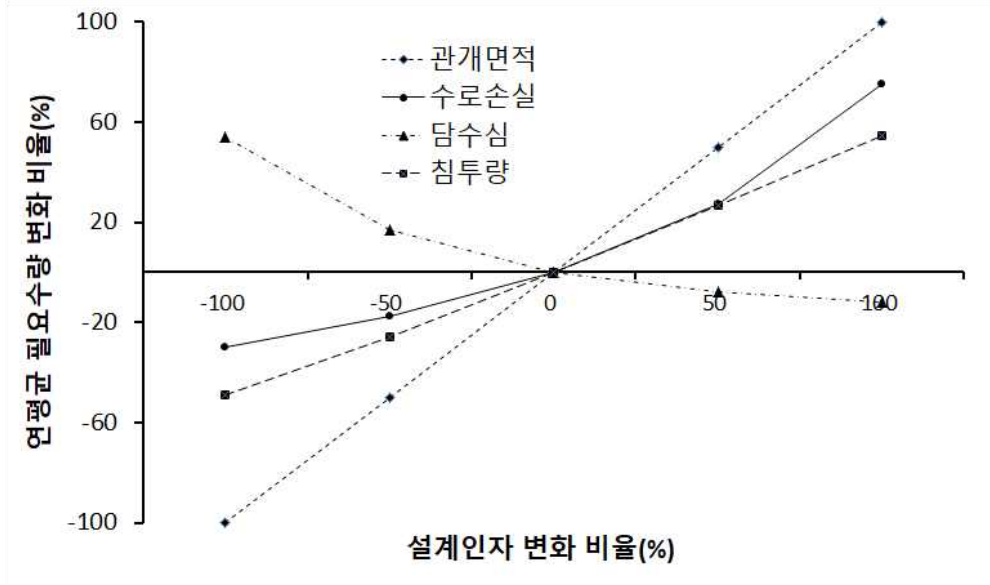


[그림 8.3] 수로손실 민감도 분석 결과



[그림 8.4] 담수심 민감도 분석 결과

- 설계인자별 민감도 분석 결과값을 무차원화하여 설계인자간 상대적인 민감도를 비교 분석한 결과는 [표 3.5]와 같음



[그림 8.5] 설계인자간 상대적인 민감도 비교

1.2 설계요소 분석

- 최근 기후변화로 인한 농업환경이 많이 변화하고 있으나, 기존의 농업용수 산정방법은 기후변화 인자를 반영하지 않고 있음. 기후변화 인자에는 작물계수의 변화와 벼 생육시기 변화로 인한 작부시기 변화 등이 포함됨
- 이수분야 주요 설계요소 변화에 따른 저수지 이수안전도에 미치는 영향을 파악하기 위해 기후변화, 현장여건 변화 요소 등을 고려하였으며, 기후변화에는 작물계수 및 작부시기 변화에 대한 영향을 분석하고, 현장여건 변화에는 경지면적 변화의 영향을 분석함

[표 8.3] 설계요소 변화 영향 분석 입력값

	유역이름	유역면적 (ha)	수혜면적 (ha)	삼투량 (mm/day)	기상 관측소
중부지역	금광	4830	1,906.1	4	이천
	덕우	2270	573	6.6	수원
	송강	440	235	5.8	충주
	학정	706	214	5.0	천안
	냉정	535	326	5.0	천안
	풍전	1110	655	5.0	서산
	개운	650	202	5.0	문경
남부지역	금마	452	229	4.0	전주
	왕궁	866	540	4.0	전주
	제산	476	203	4.0	장흥
	덕곡	686	312	5.0	진주

1.2.1 변화 영향 분석

- 기존의 이수분야 설계에 사용되어온 논벼 증발산량 공식인 수정-Penman 공식을 적용한 작물계수와 최근 기후변화를 반영한 농진청(2017a)에서 제안한 Penman-Monteith 공식을 활용한 작물계수를 적용할 경우에 농업용수 산정결과에 미치는 영향을 파악함. 이를 위해 먼저 농진청(2017a)에서 제안한 Penman-Monteith 공식 활용 작물계수를 평균값을 고려하여 [표

8.5]와 같이 순별단위로 재구성하였음. 기존 작물계수의 평균값은 1.06정도이며, 최근 작물계수의 평균값은 1.11정도로 기존 작물계수 보다 약간 증가한 수치를 나타냄

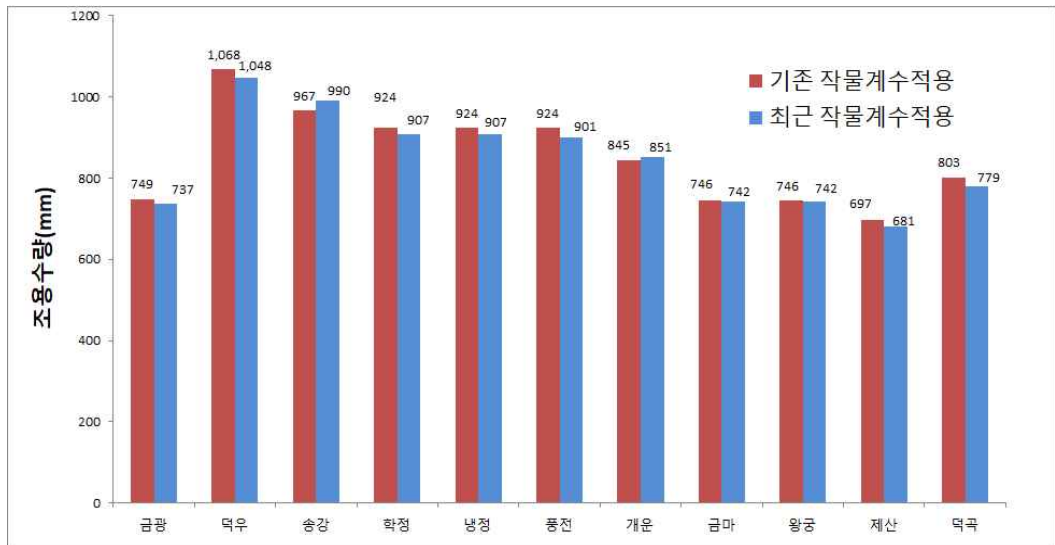
[표 8.4] 기존 논벼 작물계수

분	1 월			2 월			3 월			4 월			5 월			6 월		
	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	
중 부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.56	0.56	0.56	0.56	0.75	0.95	1.06	1.09
남 부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.56	0.56	0.56	0.56	0.75	0.95	1.06
구 분	7 월			8 월			9 월			10 월			11 월			12 월		
	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순
중 부	1.17	1.39	1.53	1.58	1.47	1.42	1.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
남 부	1.09	1.17	1.39	1.53	1.58	1.47	1.42	1.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[표 8.5] 최근 논벼 작물계수

구 분	1 월			2 월			3 월			4 월			5 월			6 월		
	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순
중 부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.81	0.81	0.81	0.81	1.08	1.08	1.08	1.08
남 부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.81	0.81	0.81	0.81	1.08	1.08	1.08
구 분	7 월			8 월			9 월			10 월			11 월			12 월		
	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순
중 부	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.19	1.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
남 부	1.08	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.19	1.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- 기존 및 최근 작물계수를 적용하여 조용수량 산정 후 결과를 비교한 결과, 최근 작물계수를 적용한 증발산량과 조용수량이 2지구가 증가하는 것을 제외하고는 모두 감소하는 것으로 나타남.
- 기존의 수정 Penman 공식 작물계수를 적용한 경우에 평균 증발산량은 692.6mm가 산정되었으며, 최근 Penman-Monteith 공식 작물계수를 적용한 경우에는 평균 증발산량이 687.8mm로 4.8mm 정도 경미한 감소를 보였으며 평균적으로 0.7% 정도 감소된 결과임. 기존 및 최근 작물계수를 적용하여 산정한 조용수량의 경우에도 기존의 작물계수를 적용한 경우 평균값이 853.9mm 였으며, 최근 작물계수를 적용한 경우 평균값이 844.1mm로서 기존의 작물계수를 적용한 조용수량 보다 9.8mm 정도 감소한 차이를 보였으며, 평균적으로 1.2% 정도 감소된 값을 나타냄



[그림 8.6] 작물계수 변화에 따른 조용수량 변화

[표 8.6] 작물계수 변화에 따른 증발산량 및 조용수량 변화

지구명	증발산량(mm)			조용수량(mm)		
	기존	최근	증감(%)	기존	최근	증감(%)
금광 저수지	682.9	676.2	-1.0	748.9	737	-1.6
덕우 저수지	700.7	698	-0.4	1067.6	1048	-1.8
송강 저수지	702.6	704.3	0.2	966.9	990	2.4
학정 저수지	716.3	708	-1.2	924.4	907	-1.9
냉정 저수지	716.3	708	-1.2	924.4	907	-1.9
풍전 저수지	695.4	691.9	-0.5	924.4	901	-2.5
개운 저수지	672.4	683.5	1.7	845.1	851	0.7
금마 저수지	699	697.3	-0.2	745.7	742	-0.5
왕궁 저수지	699	697.3	-0.2	745.7	742	-0.5
제산 저수지	660	651.2	-1.3	697.2	681	-2.3
덕곡 저수지	674	649.6	-3.6	802.5	779	-2.9
평 균	692.6	687.8	-0.7	853.9	844.1	-1.2

1.2.2 변화 영향 분석

- 기존의 논벼 작부시기를 적용한 경우와 최근 기후변화를 반영한 농진청(2017b) 연구자료를 토대로 한 작부시기를 적용할 경우 농업용수 산정결과에 미치는 영향을 파악함. 이를 위해 본 연구에서는 농업환경 변화 등을 고려하여 논벼의 작부시기를 묘대기를 제외한 정지기, 이앙기, 본답기로 구분하고 농진청(2017a)에서 제시한 논벼의 생육시기와 농진청(2017b)에서 제시한 중만생종의 지역별 이앙기 표준 날짜를 기준으로 최근 논벼 작부시기를 [표 8.8]과 같이 구성하여 작부시기 변화에 따른 영향을 분석함
- 최근 작부시기에 기존의 작물계수를 적용하기 위해서는 최근 작부시기에 맞는 기존의 작물계수의 재배열이 필요함. 따라서 최근 작부시기에 맞게 기존의 작물계수를 기존의 순별로 정해져 있는 작물계수의 평균값을 고려하여 기존 작물계수를 순별로 재배열하여 적용함.

[표 8.7] 기존 논 작부시기

구분		묘대기	묘대정지기	이앙기	본답기
기존	중부지역	4.17-4.20	4.17-5.31	5.21-6.10	6.11-9.11
	남부지역	4.27-4.30	4.27-6.10	6.1-6.20	6.21-9.21

[표 8.8] 최근 논 작부시기 (중만생종)

구분		정지기	이앙기	본답기
최근	중부지역	5.10-5.30	5.15-6.05	6.06-9.30
	남부지역	5.15-6.05	5.20-6.10	6.11-10.5

- 그 결과, 모든 시범지구에서 최근 작부시기를 적용한 조용수량이 기존 작부시기를 적용한 조용수량에 비해 높게 나타남. 기존의 작부시기를 적용한 경우 조용수량의 평균값이 853.9mm이나 최근 작부시기를 적용한 경우 조용수량 평균값은 93.2mm 증가한 947.1mm 였으며, 이는 기존의 작부시기를 적용한 경우보다 조용수량이 평균적으로 9.6% 증가한 결과임

[표 8.9] 작부시기 변화에 따른 조용수량 변화 (단위: mm)

지구명	기존	최근	증감(%)
금광 저수지	748.9	826.5	9.4
덕우 저수지	1,067.6	1,202.3	11.2
송강 조수지	966.9	1,119.0	13.6
학정 저수지	924.4	1,027.9	10.1
냉정 저수지	924.4	1,027.9	10.1
풍전 저수지	924.4	1,024.2	9.7
개운 저수지	845.1	939.9	10.1
금마 저수지	745.7	797.2	6.5
왕궁 저수지	745.7	798.2	6.6
제산 저수지	697.2	740.1	5.8
덕곡 저수지	802.6	914.9	12.3
평 균	853.9	947.1	9.6



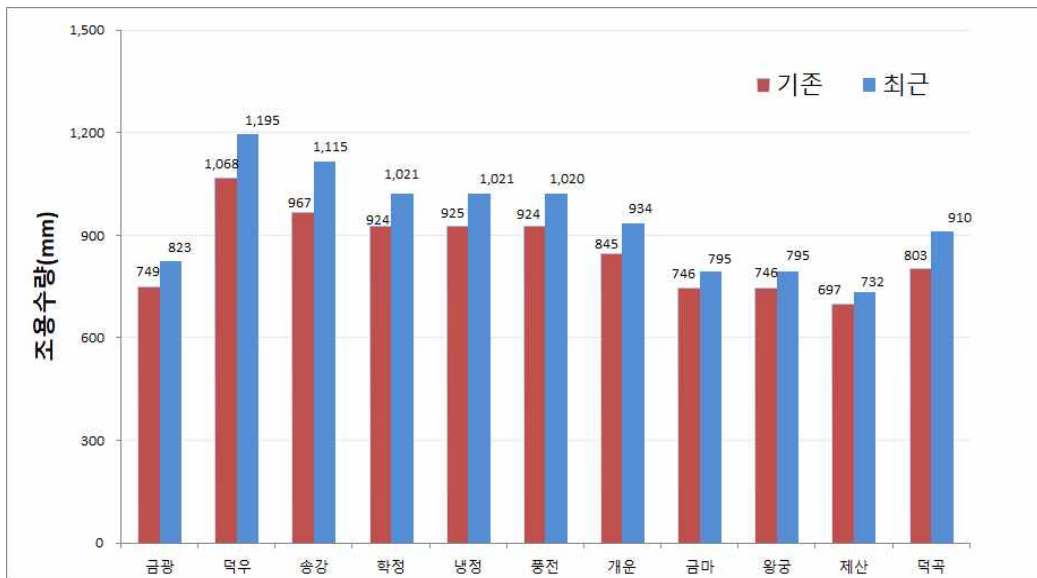
[그림 8.7] 작부시기 변화에 따른 조용수량 변화

1.2.3 및 작부시기 변화 영향 분석

- 최근의 작물계수 및 작부시기를 모두 반영한 경우와 기존 방법과의 비교 분석을 통한 두 설계요소의 변화를 동시에 적용한 경우 농업용수 산정 및 이수안전도에 미치는 영향을 분석함. 최근 작부시기를 고려하여 최근 작물계수를 순별로 재배치하여 두 인자의 변화에 대한 영향을 분석함
- 기존 및 최근 작물계수 및 작부시기를 모두 적용하여 조용수량을 비교한 결과, 모든 시범지구에서 최근 작물계수 및 작부시기를 적용한 조용수량이 기존 작물계수 및 작부시기를 적용한 조용수량에 비해 높게 나타남. 기존값을 적용한 조용수량은 평균 853.9mm인 반면 최근 작물계수 및 작부시기를 함께 적용한 조용수량은 평균 941.9mm로 기존값을 적용한 경우보다 88.0mm가 더 많은 10.0% 증가한 값을 나타냄.
- 작물계수 및 작부시기를 적용한 경우가 작물계수만 변화한 경우 기존에 비해 -1.2% 감소한 결과를 나타낸 것보다는 8.8% 정도 증가한 조용수량을 나타내었지만, 작부시기만 변화한 경우와는 0.4% 정도 차이를 나타냄
- 작물계수를 변화한 경우에 조용수량이 감소한 결과를 보인 반면 작부시기

변화를 적용한 경우와 작물계수 및 작부시기 변화를 동시에 적용한 경우에서 기존의 방법을 적용한 경우보다 조용수량이 평균적으로 높게 나타났는데, 이는 작물계수의 변화가 조용수량에 감소요인으로 작용한 반면, 작부시기의 변화는 조용수량에 증가요인으로 작용하였으며, 작부시기 변화의 영향이 작물계수 변화의 영향 보다 조용수량 산정에 더 크게 작용하였기 때문임.

- 작부시기 변화의 증가요소는 기존의 작부시기 보다 본답기 기간이 증가하였기 때문으로 사료되며, 최근 작물계수의 평균치가 기존 작물계수의 평균치 보다 증가하여 증발산량이 대체로 감소한 반면, 늘어난 작부시기의 영향을 더 크게 받아 모든 시범지구에서 증가한 조용수량을 나타낸 것으로 사료됨



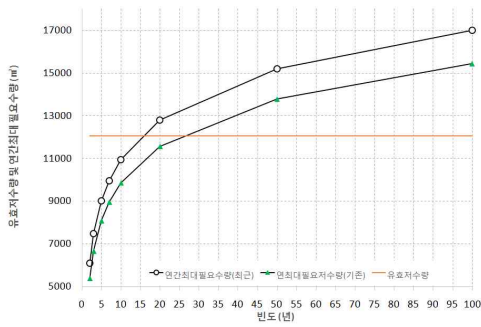
[그림 8.8] 작물계수 및 작부시기 변화에 따른 조용수량 변화

[표 8.10] 작물계수 및 작부시기 변화에 따른 조용수량 변화

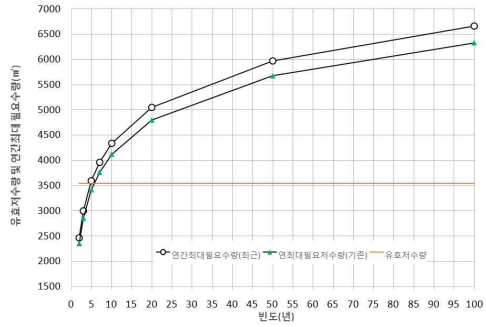
지구명	기존 (mm)	작물계수 변화		작부시기 변화		작물계수+작부시기 변화	
		최근 (mm)	증감 (%)	최근 (mm)	증감 (%)	최근 (mm)	증감 (%)
금광	748.9	737	-1.6	826.5	9.4	822.8	9.9
덕우	1067.6	1048	-1.8	1202.3	11.2	1194.9	11.9
송강	966.9	990	2.4	1119.0	13.6	1115.0	15.3
학정	924.4	907	-1.9	1027.9	10.1	1020.9	10.4
냉정	924.4	907	-1.9	1027.9	10.1	1020.9	10.4
풍전	924.4	901	-2.5	1024.2	9.7	1020.2	10.4
개운	845.1	851	0.7	939.9	10.1	933.9	10.5
금마	745.7	742	-0.5	797.2	6.5	795.2	6.6
왕궁	745.7	742	-0.5	798.2	6.6	795.2	6.6
제산	697.2	681	-2.3	740.1	5.8	732.1	5.0
덕곡	802.5	779	-2.9	914.9	12.3	909.9	13.4
평균	853.9	844.1	-1.2	947.1	9.6	941.9	10.0

- 작물계수와 작부시기의 변화를 반영한 이수안전도 분석을 실시한 결과, 기존의 방식을 채택한 조용수량이 작물계수와 작부시기의 변화를 반영한 경우보다 낮게 나온 앞의 연구결과들로 인해 작물계수 및 작부시기의 변화

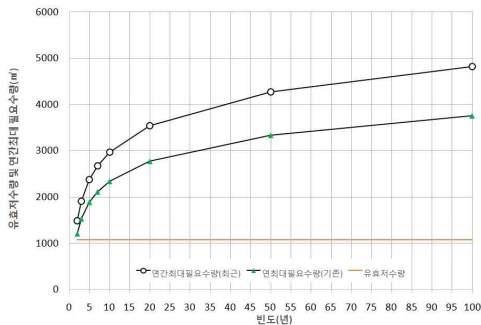
를 반영한 이수안전도가 기존 이수안전도에 비해 낮게 산정되었음. 기존의 경우 이수안전도가 한발빈도 2년 ~ 10년의 경우로 나왔으나, 작물계수 및 작부시기 변화를 반영한 경우의 이수안전도는 기존의 이수안전도 보다 낮은 한발빈도 1년 ~ 10년의 결과가 도출됨



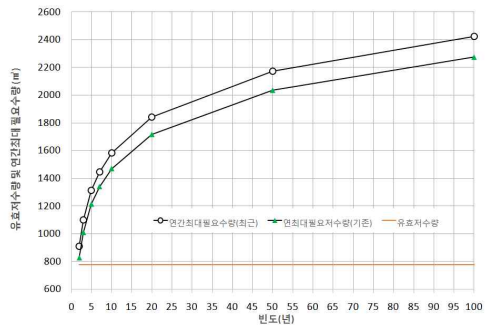
금광저수지



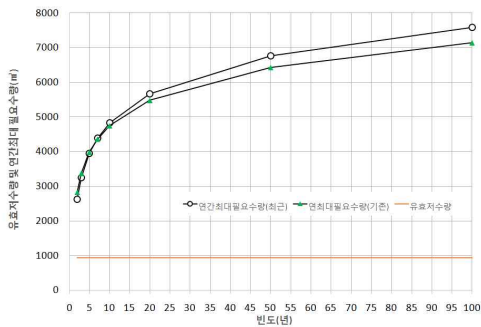
덕우저수지



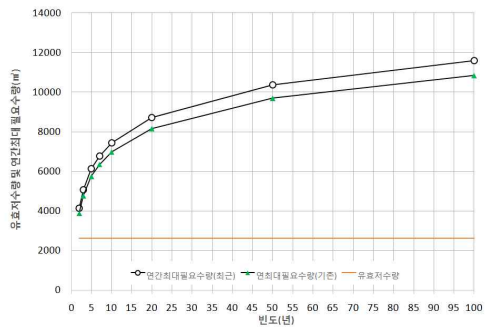
송강저수지



황정저수지

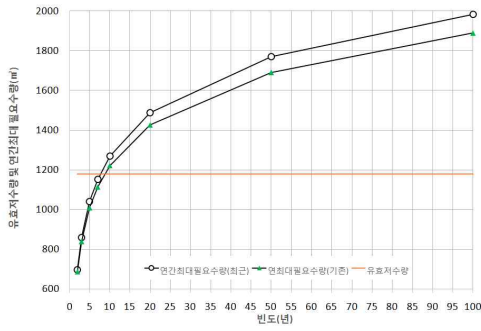


냉정저수지

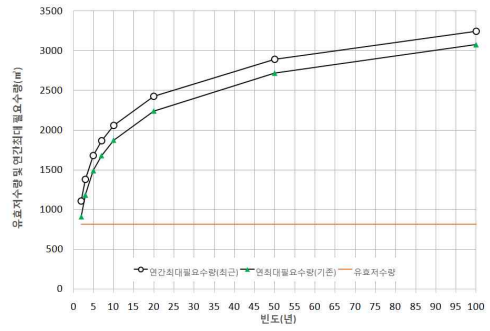


풍전저수지

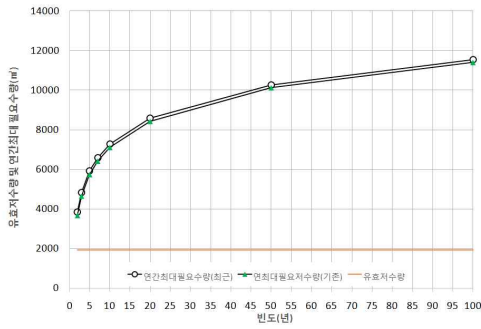
[그림 8.9] 작물계수 및 작부시기 변화에 따른 이수안전도 비교(a)



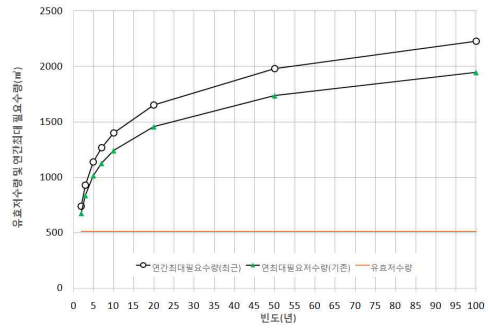
개운저수지



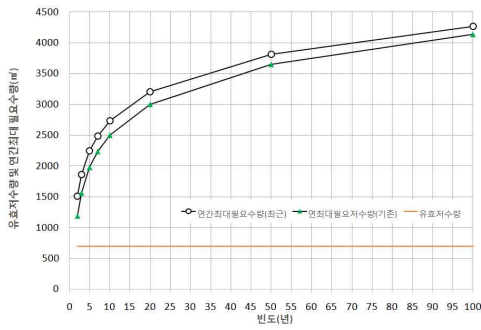
금마저수지



왕궁저수지



제산저수지



덕곡저수지

[그림 8.10] 작물계수 및 작부시기 변화에 따른 이수안전도 비교(b)

[표 8.11] 작물계수 및 작부시기 변화에 따른 이수안전도 비교

단위:천m³

	유효 저수량 (천m ³)	한발빈도		연간최대필요저수량							
		기존	최신	2년 빈도 (기존)	2년 빈도 (최신)	5년 빈도 (최신)	5년 빈도 (최신)	7년 빈도 (기존)	7년 빈도 (최신)	10년 빈도 (기존)	10년 빈도 (최신)
금광	12,047	10<	10<	5,398	6,091	8,087	9,012	8,965	9,965	9,867	10,946
덕우	3,547	10<	3~4	2,349	2,468	3,415	3,592	3,763	3,958	4,121	4,336
송강	1,077	3	1>	1,205	1,487	1,888	2,380	2,111	2,671	2,341	2,971
학정	775	3	1>	826	909	1,214	1,315	1,341	1,447	1,471	1,583
냉정	940	2	1>	2,835	2,627	3,988	3,953	4,365	4,386	4,752	4,831
풍전	2,621	2	1>	3,895	4,134	5,754	6,132	6,361	6,784	6,985	7,454
금마	818	3	1>	912	1,110	1,491	1,682	1,681	1,869	1,875	2,061
왕궁	1,941	2	1>	3,677	3,856	5,745	5,912	6,419	6,583	7,113	7,274
제산	511	2	1~2	676	740	1,017	1,138	1,128	1,268	1,242	1,402
개운	1,180	10	5~6	687	697	1,009	1,041	1,114	1,153	1,222	1,269
덕곡	695	2	1>	1,189	1,508	1,979	2,247	2,237	2,488	2,502	2,736

1.2.4 내 논밭비율 변화 영향 분석

- 농업용수 산정에 기본이 되는 경지면적은 공식적인 통계연보자료를 사용함. 그러나 최근의 식생활변화에 따른 쌀 생산량 감소에 의한 논면적 감소와 고부가가치 작물재배에 따른 밭경지 면적 증가, 논경지의 밭작물 및 시설 재배 활용 비율이 증대하고 있으나 과거에 구축된 통계연보상의 경지면적은 최근 경지면적에 대한 현장 여건 변화를 반영하지 못하는 경우가 있음. 따라서 본 연구에서는 아래와 같이 경지면적 내 논밭 비율을 적용한 5가지 시나리오에 대해 농업용수량을 산정하여 이에 따른 이수안전도에 미치는 영향을 분석함

[표 8.12] 경지면적 내 논밭 비율변화 시나리오

시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5
10:0	논밭비율 8:2	논밭비율 5:5	논밭비율 2:8	논밭비율 0:10

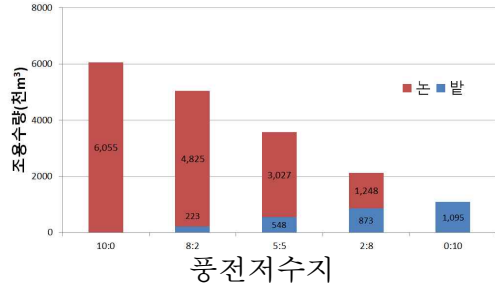
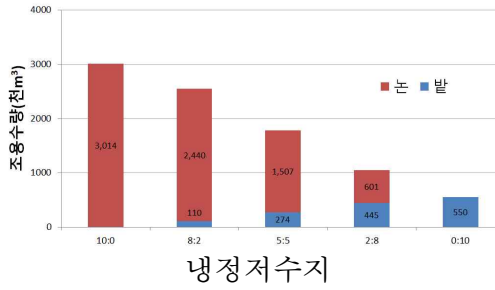
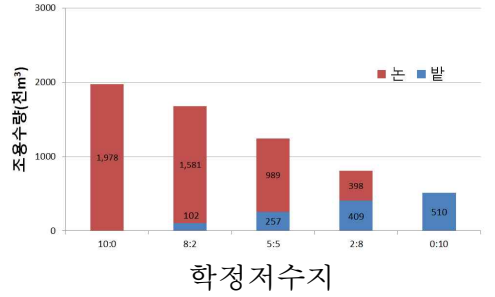
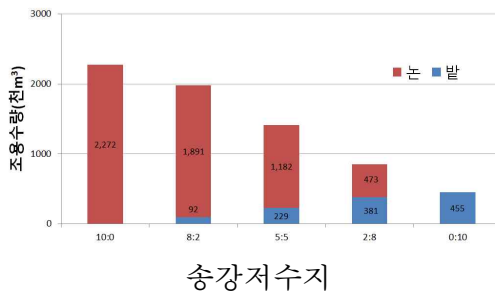
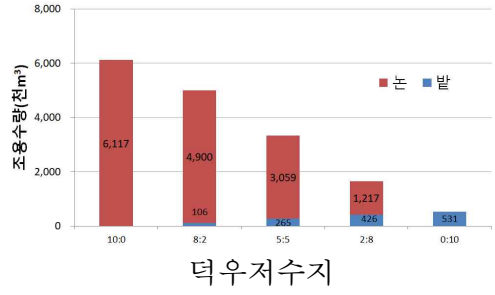
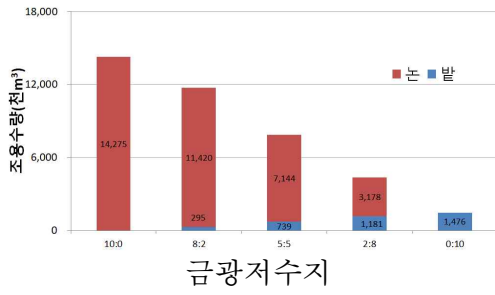
- 시범지구별로 밭대표작물 선정은 농림축산식품부에서 제공하는 농작물 재배현황(2016) 자료를 이용하였으며, 관개효율은 70%를 적용하였음.

[표 8.13] 밭작물 재배현황 (농식품부, 2016)

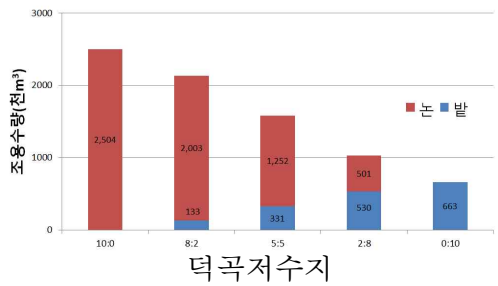
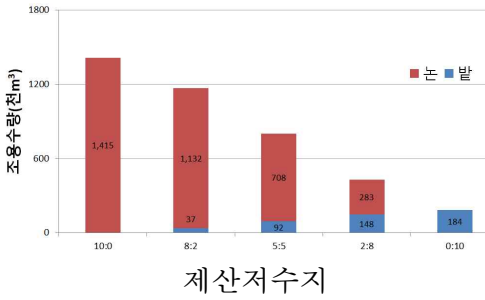
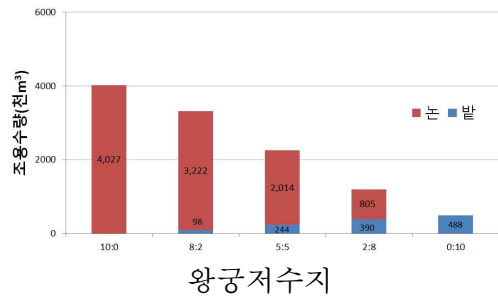
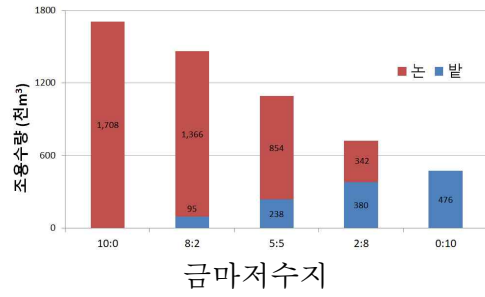
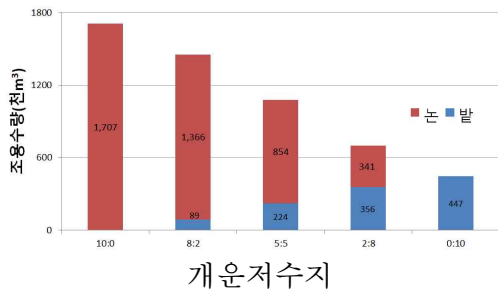
유역이름	대표작물
금광 저수지	고추(38%), 두류(32%), 특용작물(28%)
덕우 저수지	고추(47%), 두류(30%), 특용작물(22%)
송강 조수지	과수(64%), 고구마(17%), 특용작물(17%)
학정 저수지	과수(90%), 특용작물(10%)
냉정 저수지	고추(52%), 과수(47%)
풍전 저수지	두류(38%), 마늘(61%)
개운 저수지	과수(95%)
금마 저수지	과수(56%), 고구마(40%)
왕궁 저수지	고추(42%), 두류(58%)
제산 저수지	두류(96%)
덕곡 저수지	과수(90%)

[표 8.14] 밭 대표작물 작물계수

	3 월			4 월			5 월			6 월		
	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순
고구마	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.58	0.8
고추	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.35	0.55
과수	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.72	0.72	0.85	0.95	0.95	1
마늘	0	0.35	0.5	0.65	0.8	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
특용작물	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.58	0.8
콩	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.58	0.8
구분	7 월			8 월			9 월			10 월		
	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순
고구마	1	1	1	1	1	1	0.8	0.6	0.45	0.45	0	0
고추	0.8	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.87	0.8	0	0	0
과수	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.02	1.02	1.02	0.8	0.8	0.8
마늘	0.95	0.95	0.95	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0
특용작물	1	1	1	1	1	1	0.8	0.6	0	0	0	0
콩	1	1	1	1	1	1	0.8	0.6	0.45	0	0	0



[그림 8.11] 경지면적비율 시나리오에 따른 지구별 조용수량(a)



[그림 8.12] 경지면적비율 시나리오에 따른 지구별 조용수량(b)

[표 8.15] 경지면적비율 시나리오에 따른 지구별 조용수량

지구명	논밭 비율 시나리오								
	10:0	8:2	증감	5:5	증감	2:8	증감	0:10	증감
	mm	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
금광	748.9	614.6	-17.9	413.6	-44.8	228.7	-69.5	77.4	-89.7
덕우	1067.6	873.7	-18.2	580.1	-45.7	286.7	-73.1	92.7	-91.3
송강	966.9	843.8	-12.7	600.5	-37.9	363.1	-62.4	193.8	-80.0
학정	924.4	786.2	-15.0	582.2	-37.0	376.7	-59.2	238.5	-74.2
냉정	924.4	782.3	-15.4	546.4	-40.9	320.7	-65.3	168.8	-81.7
풍전	924.4	770.7	-16.6	545.9	-41.0	323.9	-65.0	167.2	-81.9
개운	845.2	720.0	-14.8	533.2	-36.9	345.4	-59.1	221.3	-73.8
금마	745.7	638.1	-14.4	476.7	-36.1	315.2	-57.7	207.6	-72.2
왕궁	745.7	614.7	-17.6	418.0	-43.9	221.4	-70.3	90.3	-87.9
체산	697.2	576.0	-17.4	394.0	-43.5	212.1	-69.6	90.8	-87.0
덕곡	802.6	684.6	-14.7	507.5	-36.8	330.5	-58.8	212.4	-73.5
평균	853.9	718.6	-15.9	508.9	-40.4	302.2	-64.5	160.1	-81.2

- 경지면적 비율변화에 따른 조용수량 변화 조사 결과, 금광, 덕우, 냉정과 같이 밭작물 중 고추의 비율이 높은 저수지가 밭의 단위면적당 필요수량이 가장 적은 값을 보였으며, 저수지별 정도의 차이는 있으나 대체적으로 밭 작물별 단위면적당 필요용수량은 고추<특용작물<두류<고구마<마늘<과수 순으로 높게 나타남. 여기서 두류, 특용작물은 9월 하순을 제외한 모든

기간의 작물계수가 동일하여 금광저수지와 같이 9월달 기상에 따라 그 차이가 거의 미비한 경우도 관측됨. 또한 과수의 경우 모든 대상저수지에서 단위면적당 필요수량이 200mm를 넘어 다른 밭작물들에 비해 월등히 높은 필요수량을 보이며, 실제 영농환경 상에서도 최근 과수의 비율이 높아지는 추세이므로 차후 과수를 중점으로 한 밭 용수량 산정 연구가 필요함

제 2 절 한발빈도 기준 이수분야 설계 개선 요소 도출

2.1 저수지 설계 프로그램(HOMWRS)의 개선 사항

- 현재 우리나라에서는 이수분야 설계시 논 및 밭용수 산정에 HOMWRS 모형을 이용하고 있음. 모형의 주요 설계요소들에 대한 개선사항은 증발산량 산정방식, 작부시기 변화 적용, 못자리재배 및 못자리 용수감소 반영, 벼의 작부시기 구분조정, 시설관리 용수량 증대 요소 반영 등으로 제안함.

2.1.1 증발산량 산정방식 검토

- 현재 우리나라 농업용수 산정에 필요한 증발산량 산정 공식에 논용수의 경우 수정 Penman 공식, 밭용수의 경우 Penman-Monteith 공식을 각각 이용하고 있음(농식품부, 1998a).
- 증발산량 산정에 필요한 작물계수는 기존의 경우 농업용수개발 필요수량 산정기준(농업진흥공사, 1980) 및 작물 소비수량 산정방법의 정립(농업진흥공사와 서울대 농업개발연구소, 1986)에서 생육기별 작물계수 및 Penman식을 기본으로 제안된 순별 작물계수를 적용하고 있음. 따라서 기존의 작물계수는 30년 전에 제안된 값이므로 현재의 우리나라 기후변화 현상을 반영하지 못하고 있음.
- 논과 밭용수 산정에 있어 세계적인 추세는 FAO와 WMO 등에서 추천하는 Penman- Monteith 공식을 사용하고 있음. 우리나라 기상청(2016)에서도 최근 증발산량의 직접측정에서 간접측정으로 변경하는 과정에서, 증발산량을 산출하는 간접방식에 Penman- Monteith 공식을 채택함. 또한 농진청(2017a, 2017c)에서도 최근 급격한 기후변화 및 변동성 증가에 대비한 농작물 안정생산을 위해 필요한 용수량 산정을 위해 FAO의 Penman-Monteith 추정법을 활용하여 라이시미터를 이용한 현장실험을 거쳐 토성별 생육단계별 벼와 노지 밭작물에 대한 작물계수(Kc)(표 8.16)를 제안함
- 따라서 기존의 농업용수 수요량 산정방식을 개선하기 위해 최근 농업 및 기상분야에서 세계적으로 많이 활용되고 Penman-Monteith 공식의 적용과

- 현재 우리나라 기후조건에서 현장 실험한 연구결과를 토대로 농진청 (2017a, 2017c)에서 새롭게 제안한 작물계수의 적용을 위한 검토가 필요함
- 여기서 농진청(2017a)에서 제안한 논벼 작물계수의 경우에는 호남평야에서 신동진벼(중만생종)을 대상으로 도출된 결과물이므로, 경기지역 혹은 영남 지역으로 확대 적용할 경우에는 제안된 논벼 작물계수의 일반화가 가능한 지에 대한 검토과정이 반드시 필요할 것으로 사료됨.

[표 8.16] 벼 생육단계별 작물 계수 (농진청, 2017a)

분		활착기~분얼기	무효분얼기~ 유수형성기	출수기	등숙기~낙수기	
이양 후 일수		0-35	36-68	69-109	110-135	
작물계수		0.81	1.08	1.34	1.19	
벼 물 필 요 량 (mm)	중부평야	102	113	176	76	
	호남 평야	평년	104	123	178	74
		2016	102	162	219	65
		2017	116	142	174	69
	영남평야	99	127	171	69	

[표 8.17] 토성별 처리별 벼 생육단계별 작물계수 (농진청, 2017a)

토양 종류	생육단계		활착기~ 분얼기	무효분얼기 ~유수형성 기	출수기	등숙기~ 낙수기	정조수량 (신동진, kg/10a)
	DOY (이양후 일수)		151-186 (0-35)	187-219 (36-68)	220-260 (69~109)	261~285 (110~135)	
식양 토	상시 담수	GW>1.5m	0.81	1.02	1.20	1.10	528
		GW=1m	0.81	1.07	1.29	1.18	535
	간단관개		0.81	1.04	1.29	1.14	526
	평균		0.81	1.04	1.26	1.14	530
양토	상시 담수	GW>1.5m	0.80	1.13	1.46	1.28	621
		GW=1m	0.81	1.05	1.33	1.15	651
	간단관개		0.81	1.08	1.37	1.19	616
	평균		0.81	1.09	1.39	1.21	629
사양 토	상시 담수	GW>1.5m	0.80	1.06	1.33	1.20	607
		GW=1m	0.82	1.14	1.41	1.27	592
	간단관개		0.81	1.09	1.36	1.21	585
	평균		0.81	1.10	1.37	1.22	595
전체평균			0.81	1.08	1.34	1.19	584

[표 8.18] 발작물 생육단계별 작물 계수(농진청, 2017c)

	구분	생육초기			신장기			중기			후기			말기		
		시작일	종료일	작물 계수	시작일	종료일	작물 계수	시작일	종료일	작물 계수	시작일	종료일	작물 계수	시작일	종료일	작물 계수
보리	중북부	10/20	11/10	0.80	11/11	12/20	1.00	2/20	3/10	1.00	3/11	4/30	1.30	5/1	5/20	1.17
	남부	11/5	11/20	0.80	11/21	12/25	1.00	2/10	3/10	1.00	3/11	4/25	1.30	4/26	5/15	1.17
밀	중북부	10/20	11/15	0.60	11/16	12/20	1.00	2/15	3/10	1.05	3/11	4/25	1.20	4/26	5/15	0.70
	남부	11/5	11/25	0.60	11/26	12/25	1.00	2/11	3/10	1.05	3/11	4/15	1.20	4/16	5/5	0.70
콩	1모작	5/20	6/10	0.58	6/11	7/20	0.88	7/21	8/20	1.00	8/21	9/10	0.93	9/11	9/25	0.93
	후작	6/10	6/25	0.58	6/29	7/20	0.88	7/21	8/20	1.30	8/21	9/10	1.30	9/11	9/25	0.93
옥수수	전국	4/25	5/20	0.68	5/21	6/20	1.09	6/21	7/10	1.20	7/11	7/25	1.20	7/26	8/20	0.75
땅콩	전국	4/20	5/30	0.61	6/1	6/20	0.80	6/21	7/10	1.15	7/11	7/31	0.80	8/1	9/10	0.60
고구미(단작)		5/15	6/10	0.67	6/11	7/15	1.08	7/16	8/10	0.99	8/11	9/15	0.82			
고구미(후작)		6/15	6/30	0.67	7/1	7/31	1.08	8/1	8/20	0.99	8/21	9/25	0.82			
봄감자		4/1	4/15	0.50	4/16	5/10	0.77	5/11	5/31	1.11	6/1	6/15	0.82			
가을감자		8/20	8/31	0.50	9/1	9/15	0.77	9/16	9/30	1.11	10/1	10/15	1.00			
봄배추	전국	4/15	4/25	0.69	4/26	5/25	1.11	5/26	6/10	1.13						
봄배추	전국	5/15	5/25	0.69	5/26	6/10	1.11	6/11	6/30	1.13						
가을배추	전국	9/10	9/20	0.62	9/21	10/25	1.25	10/26	11/10	1.16						
고랭지배추	고랭지	6/15	6/25	0.62	6/26	7/25	1.25	7/26	8/15	1.16						
봄상추	전국	3/25	4/5	0.64	4/6	4/30	1.08	5/1	5/20	1.28						
봄무	중부	4/25	5/10	0.58	5/11	5/30	1.20	6/1	6/30	1.11						
봄무	남부	3/25	4/5	0.58	4/6	5/5	1.20	5/6	5/30	1.11						
가을무	중부	8/25	9/10	0.47	9/11	10/10	1.12	10/11	11/5	0.99						
가을무	남부	9/5	9/20	0.47	9/21	10/20	1.12	10/21	11/5	0.99						
고추 (조숙재배)	중부	5/15	5/31	0.53	6/1	6/30	0.96	7/1	7/31	1.06	8/1	8/31	1.06	9/1	10/15	0.82
	남부	5/5	5/25	0.53	5/26	6/25	0.96	6/26	7/31	1.06	8/1	8/31	1.06	9/1	10/10	0.82
토마토	전국	5/15	5/31	0.50	6/1	6/30	0.80	7/1	7/31	1.20	8/1	8/31	0.90			

2.1.2 작부시기 변화 적용

- 기후변화 인자에는 벼 생육시기 변화로 인한 이앙시기 변화 등 작부시기 변화도 중요한 인자로서 포함됨. 작부시기의 변화는 기후변화에 따른 벼 생육기간의 단축, 지역에 따라 이모작, 삼모작 재배의 증가 (조생종 15%, 중만생종 85%) 등의 영농패턴의 변화를 고려할 필요 있음
- 최근 농진청(2017b)에서 제시한 매년 기상변화에 따른 농정자료 제공 및 재배법 개선을 위해 전국 각 지역에서 수도 생육 및 수량과의 관계를 조사한 연구결과 자료에 의하면, 조생종 재배지역은 운봉, 진부, 철원, 춘천, 강릉, 제천, 상주 등 주로 온도가 낮은 북부지역 및 고생대 지역이 포함되어 있으며, 이러한 지역은 일반적으로 파종시기가 중만생종 재배지역보다 10일 정도 빠름
- 벼의 이앙기간은 시작 전 3 ~ 5일 정도는 논에 물대고, 로터리 치고, 비료를 살포하는 기간, 즉 정지기간을 가진 후 시작되며, 경기·충청지역은 5월 25일 ~ 5월 30일, 호남·남부지역은 5월 30일 ~ 6월 5일에 이앙이 진행됨. 남부 및 해안가 지역(경남, 광주, 해남, 강진, 목포, 보성)은 6월 5일 이후에도 이앙이 가능함. 단, 남부 해안가의 경우 조생종을 심기도 하여 이앙시기를 표준화하기 위해서는 지역별 실태 조사가 필요함. 이앙이 끝난 시점부터는 벼의 활착기로 접어둠.
- 이충근 등(2011)은 지구온난화가 진점됨에 따라 벼 생육기간이 단축되며, 특히 우리나라 벼 품종 중 85%를 차지하고 있는 중만생종의 경우 그 경향이 더 심하게 나타날 수 있다는 연구결과를 제시함
- 최근의 기후변화 영향에 따른 작부시기 변화를 반영하여야 하며, 이를 위해 기후변화 실태조사 자료와 농진청 연구자료의 검토를 통해 변화된 최근 작부시기의 적용을 검토 할 필요가 있음

[표 8.19] 지역별 이앙기 표준 날짜(농진청, 2017b)

시험기관	시험지	파종기	이앙기
국립 식량과학원	계화	4.30	5.30
	운봉	4.20	5.20
	진부 철원	4.20 4.20	5.20 5.20
	영덕 상주	4.20 4.25	5.25 5.25
경기도 농업기술원	화성	4.20	5.20
강원도 농업기술원	춘천	4.25	5.25
	강릉	4.20	5.20
충청북도 농업기술원	청원	4.25	5.25
	제천	4.20	5.20
충청남도 농업기술원	예산	4.25	5.25
전라북도 농업기술원	익산	4.30	5.30
전라남도 농업기술원	나주	5.10	6.05
경상북도 농업기술원	대구	4.30	5.30
	안동	4.20	5.20
경상남도 농업기술원	진주	5.10	6.05

[표 8.20] 최근 논 생육시기 (농진청, 2017b)

구 분	파종기	이앙기	본답기
중 부	4월20일	5월25일	이앙후 110~135일
남 부	4월30일	5월30일	이앙후 110~135일

2.1.3 못자리 재배 및 못자리 용수 감소 반영

- HOMWRS에서는 논외 작부시기를 묘대기, 묘대정지기, 이앙기, 본답기의 4기간으로 구분하여 농업용수를 산정하도록 하고 있음. 그러나 최근 영농패턴의 변화로 어린 모를 논에서 직접 재배하지 않고 육묘장 등에서 접구매하는 경우가 증대함에 따라 논에서의 못자리 재배가 많이 감소한 상태임. 따라서 농업용수 산정에서 못자리 용수의 의미가 미미하므로 이러한 변화를 이수분야 설계방법에 반영할 필요가 있음

2.1.4 벼의 작부시기 구분 개선

- 기존 농업용수 물수지 분석 방법은 기후변화에 따른 벼 생육시기 변화로 인한 작부시기의 변화를 반영하지 못하고 있음. 작부시기는 기후변화의 영향과 더불어 지역별, 영농패턴(단모작, 이모작 여부)에 따라 편차가 발생하기 때문에 이를 고려하여 최근 여건을 반영하여야 함
- 기존의 작부시기는 이앙재배의 경우 작부시기를 묘대기간, 이앙기간, 본답기간 등으로 구분되어 있으나, 현재 못자리 재배가 많이 감소한 현장여건을 감안하면 농업용수 수요량 산정에서 묘대기간의 의미가 많이 감소한 상태임
- 따라서 최근 농진청(2017b)의 연구결과를 반영하여 작부시기의 변화를 고려하고 현재의 영농패턴의 변화를 반영하여 묘대기를 제외하고 정지기, 이앙기, 본답기([표 8.8] 참조)로 작부시기를 개선할 필요가 있음

2.1.5 시설관리용수량 증대 요소 반영

- 최근에는 생산량 증대, 품질보전, 친환경 영농재배 증가, 농작업효율 향상 등으로 인한 재배관리용수량이 증대되고 있고, 수로노후화에 의한 송수손실수량과 수로 수위 유지용수, 배분 균등화 용수, 수질보전용수 등 용수의 원활한 배분을 위하여 여분으로 공급하는 수량인 배분관리용수량의 증대요소를 설계에 반영할 필요가 있음
- 특히 현재의 농업용수 산정방식은 농지면적이 감소하면 용수량도 비례해서 감소하는 방식으로 산정되고 있으나 이는 현장여건을 전혀 반영하지 않는 산정 방식임. 실제 현장에서는 농지면적이 감소하여도 말단부 농지에 용수 공급을 위해서는 수로의 수위유지를 위해 배분관리용수의 형태로 하류구간으로 기존과 동일한 양으로 물을 흘려보내야 하는 구조이기 때문에 농지면적 단위 용수산정방식은 현장여건과 전혀 맞지 않음. 따라서 기존의 농업용수 산정방식에 현장여건을 반영한 현실적인 시설관리용수량을 적용할 필요가 있음

2.2 농업생산기반정비사업 설계기준상의 개선 사항

가. 못자리 용수

- 최근 영농패턴의 변화로 전통적으로 논에 못자리를 만들어 직접 어린 모를 키워 이양하던 방식이 현저히 감소하고 육묘장을 통해 어린 모를 구입하여 이양하는 방식으로 대부분 전환하고 있음. 따라서 이러한 현실을 반영하여 이수분야 설계기준에서도 필지단위용수량 산정에 못자리 용수를 삭제하여 농업현장여건에 부합되게 개선할 것을 제시함

[8.21] 농업생산기반정비사업 설계기준의 이수분야 관련 개정고려 사항 제시 예시(논관개편)

KDS 67 40 10 논관개	
수정전	수정후
<p>2.3.3 용수계획</p> <p>(4)</p> <p>필지단위용수량은 각각의 포장 을 요소로 하는 소블록에서의 소비수량과 재배관리용수량으로 구성되며 벼생육상태에 따라 다르기 때문에 생육시기를 구분하여 용수량을 결정한다.</p> <p>① 구성</p> <p>감수심과 재배관리 용수량은 직·간접으로 측정이 가능한 필지단위 용수량을 기초로 산정하며, <u>못자리용수</u>, 이양용수 등 관개기 초기에 사용하는 초기용수와 이양 후의 활착기 또는 직파재배의 경우 담수재배로 전환하는 시점으로부터 최종낙수까지의 벼생육기에 사용하는 본답기 용수로 구분할 수 있다.</p> <p>② 초기 필지단위용수량</p> <p>초기용수로서 이양재배하는 경우에는 <u>못자리용수와</u> 이양용수, 담수직파 재배를 하는 경우에는 씨레질용수, 건답직파재배를 하는 경우에는 초기관개용수가 필요하며, 계획상 필요한 수량을 각각 확보하여야 한다.</p>	<p>2.3.3 용수계획</p> <p>(4) 필지단위용수량</p> <p>필지단위용수량은 각각의 포장을 요소로 하는 소블록에서의 소비수량과 재배관리용수량으로 구성되며 벼생육상태에 따라 다르기 때문에 생육시기를 구분하여 용수량을 결정한다.</p> <p>① 구성</p> <p>감수심과 재배관리 용수량은 직·간접으로 측정이 가능한 필지단위 용수량을 기초로 산정하며, 이양용수 등 관개기 초기에 사용하는 초기용수와 이양 후의 활착기 또는 직파재배의 경우 담수재배로 전환하는 시점으로부터 최종낙수까지의 벼생육기에 사용하는 본답기 용수로 구분할 수 있다.</p> <p>② 초기 필지단위용수량</p> <p>초기용수로서 이양재배 하는 경우에는 이양용수, 담수직파 재배를 하는 경우에는 씨레질용수, 건답직파재배를 하는 경우에는 초기관개용수가 필요하며, 계획상 필요한 수량을 각각 확보하여야 한다.</p>



Office



Research



Farming



International

제 9 장

한발빈도, 저수용량 변경 및
보조수원공 등을 고려한
기후변화 대응 방안

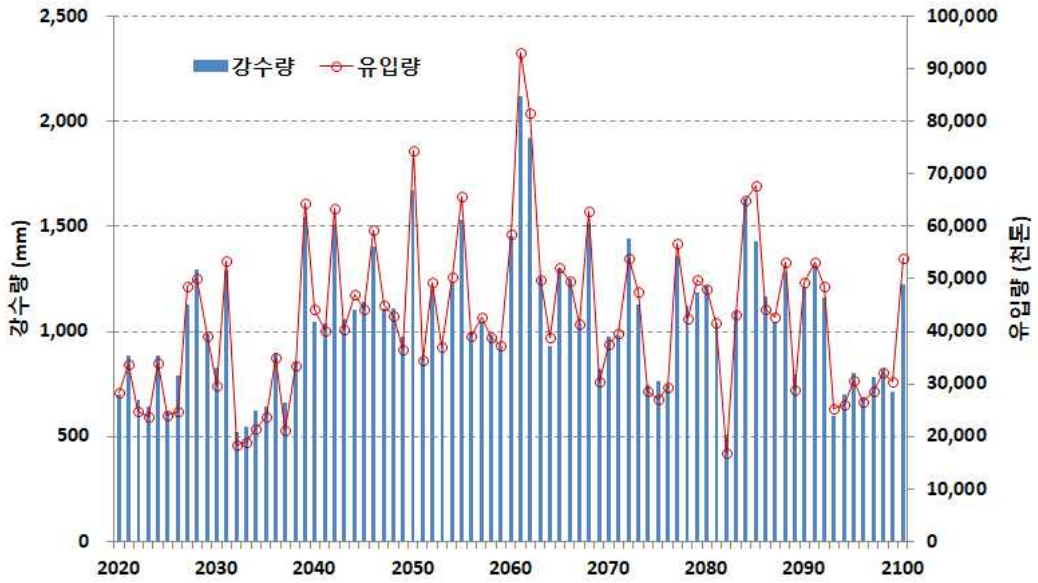
제 9 장 한발빈도, 저수용량 변경 및 보조수원공 등을 고려한 기후변화 대응방안

제 1 절 기후변화가 미래 장기유출에 미치는 영향 분석

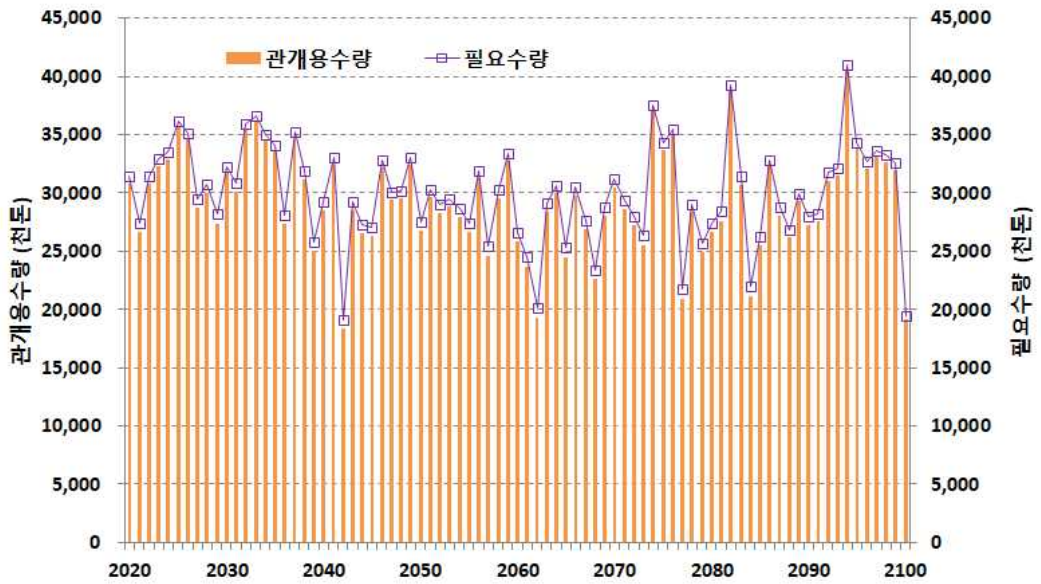
- 기후변화가 미래 장기유출에 미치는 영향 분석을 수행하기 위하여 기후변화 시나리오 자료는 5장 6절에서 사용된 동일한 RCP 4.5 및 8.5 자료를 사용하였음
- 기후변화가 미래 장기유출에 미치는 영향을 분석하기에 앞서, 미래 기상인자들의 변화 및 인자들 사이의 상관분석을 수행하여 기후변화의 패턴을 파악하는 한편, 통계분석을 통하여 미래 장기유출에 영향을 미치는 인자를 선별하여 미래 이수안전도를 상향시킬수 있는 방향을 제시하고자 함

1.1 통계분석을 통하여 장기 유출에 영향을 미치는 기상 인자 분석

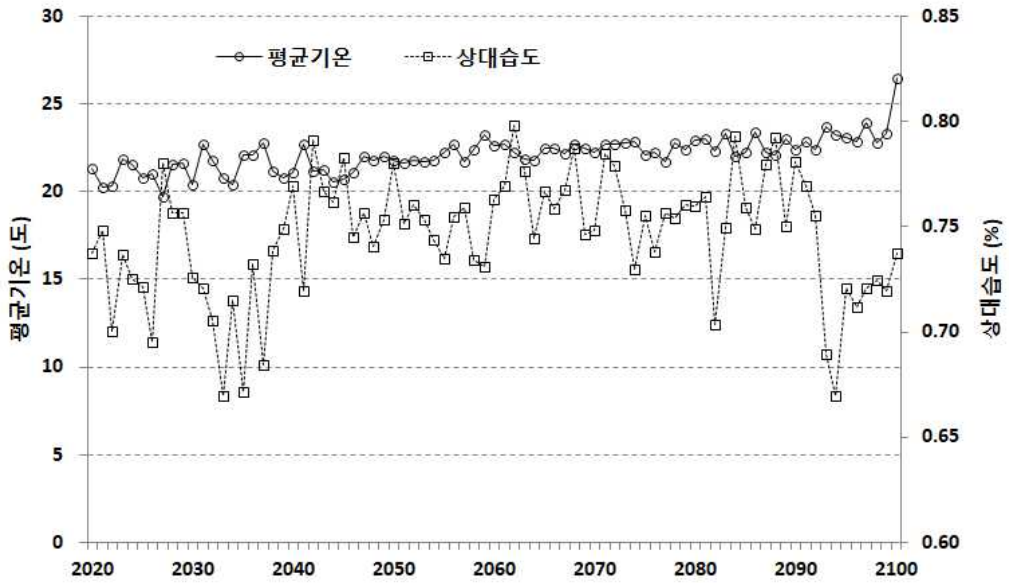
- 미래 기상자료의 통계분석을 통하여 기후변화 시나리오에 따른 미래 장기유출에 영향을 미치는 기상인자를 선정하기 위해 고려된 기상인자는 강수량, 평균기온, 평균풍속, 상대습도, 일사량 자료 등을 분석하였음
- 또한, 기상인자뿐만 아니라 물수지 분석을 통하여 산정된 유역으로부터의 유출량 및 수혜구역의 필요수량 자료 역시 상관분석을 수행하였음
- 기상인자 및 모의에 의한 유출 및 필요수량의 상관분석 및 통계분석을 통하여 각 인자간의 변화 거동을 살펴보았으며, 다중회귀분석을 통하여 장기 유출에 영향을 미치는 기상인자를 결정하고자 함
- 다중회귀분석의 목적변수는 유역으로부터의 유출량으로 선정하고 각각의 독립변수는 각 기상인자로 하여 통계분석을 실시하였고, 농업용수의 특성을 고려하여 4월부터 9월까지의 관개기를 대상으로 2020년부터 2100년까지의 연도별 자료를 이용하여 다중회귀분석을 실시하였음



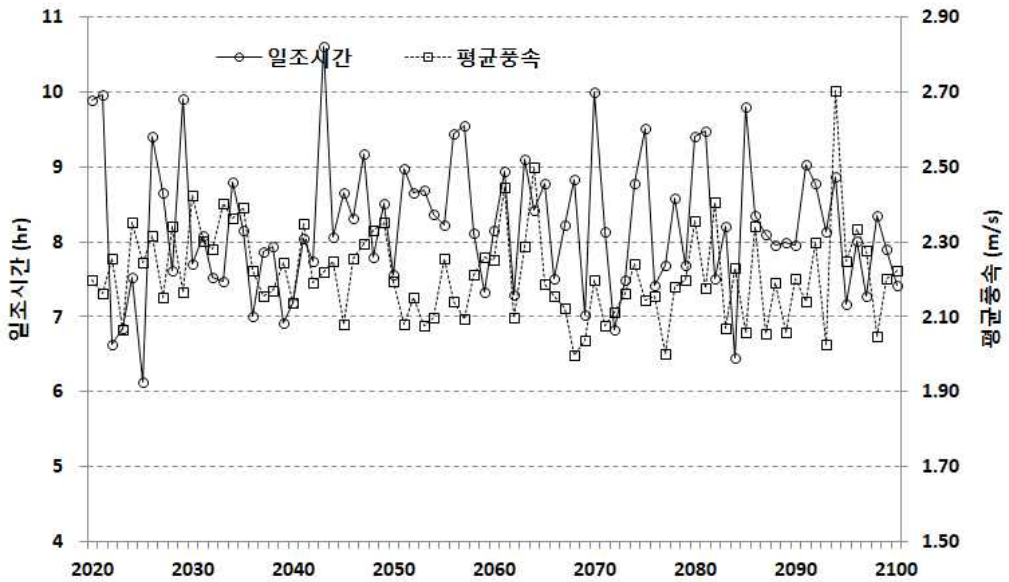
(a) 강수량 및 유입량



(b) 관개용수량 및 필요수량



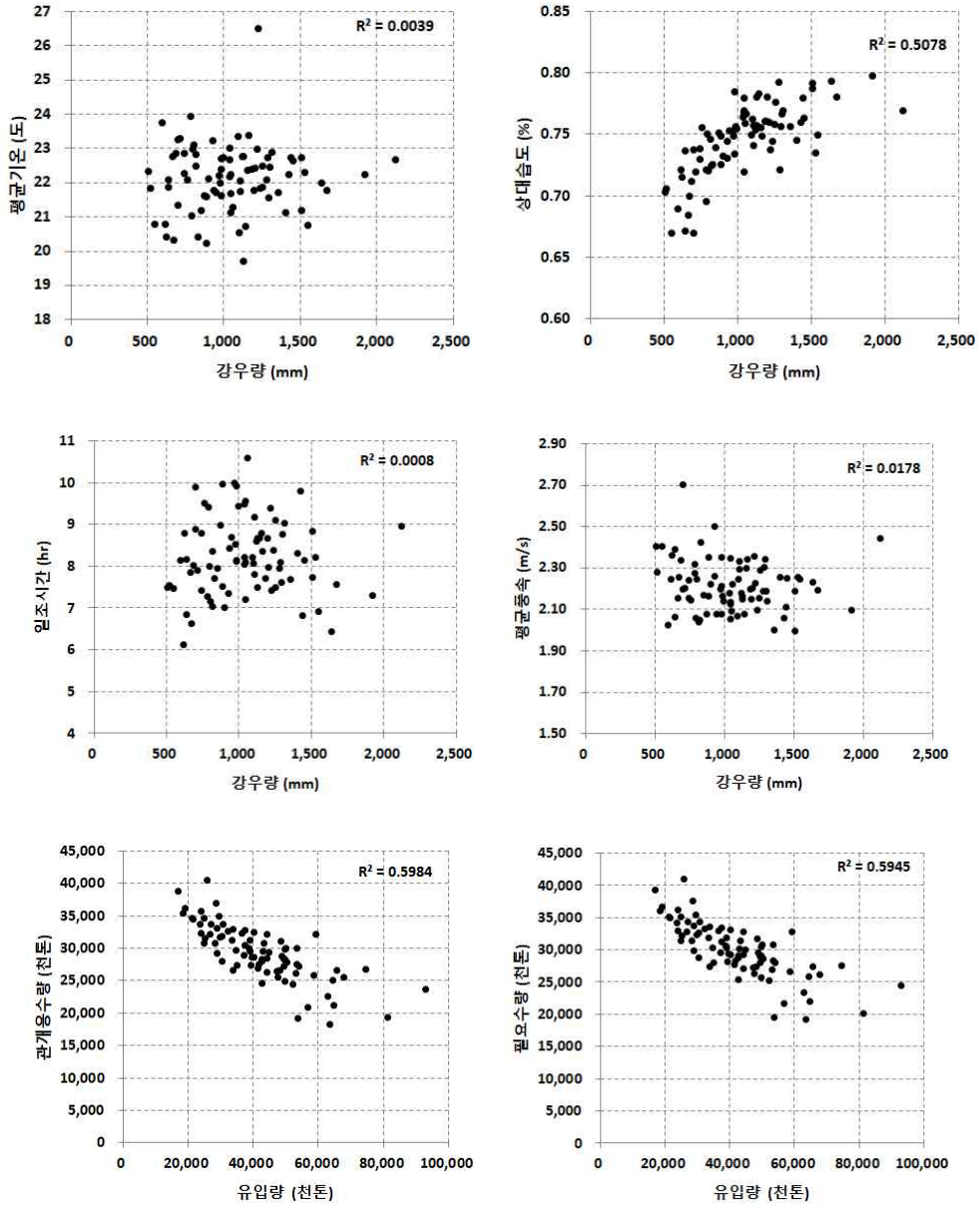
(c) 평균기온 및 상대습도



(d) 일조시간 및 평균풍속

[그림 9.1] 미래 기상인자 및 농업용수량 인자 (금광저수지 예시)

- 기후변화 시나리오 자료 가공 및 물수지 모의를 통하여 수집된 기상인자 및 농업용수량 인자를 2100년까지 구축하였고, 각 인자간의 단순 선형회귀분석을 통하여 인자간의 변화에 대한 상관분석을 수행하였음



[그림 9.2] 기상인자 및 농업용수량 인자 사이의 상관성

- 기상인자 사이의 단순 선형회귀분석 결과, 강수량과 평균기온은 상관성이 없는 것으로 나타났고, 강수량과 상대습도는 상관계수 0.5의 정비례 상관성을 나타내고 있으며, 이는 강수량이 증가할수록 공기중의 습도가 높아지는 일반적인 상관성을 나타내는 것을 확인하였음
- 강수량과 일조시간, 평균풍속은 인자간의 상관성이 없는 것으로 나타났고, 유입량과 관개용수량, 필요수량은 약 0.6의 상관계수를 가진 반비례 선형 상관성을 나타내고 있음
- 이는 유입량이 증가하는 것은 강수량이 증가하는 것을 의미하며 강수량의 증가는 수혜구역에서 사용 가능한 유효수량이 증가에 기인하여 필요수량이 감소되는 동시에 관개용수량이 감소되어 반비례의 선형 상관성을 나타내고 있음
- 이러한 선형 상관분석을 통하여 다중회귀분석에 사용되는 목적변수와 독립변수를 선정하였는데, 선형관계가 성립되는 인자들은 인자간의 독립성이 확보되지 못하여 하나의 인자는 변수에서 제외하였음
- 즉, 다중회귀분석에 사용되는 독립변수들 중 공선성 통계량인 VIF (variance inflationfactor)와 공차한계 (tolerance)를 이용하여 다중공선성 (multicollinearity) 문제가 있는 독립변수들은 제외시켜 분석을 진행하였음
- 다중공선성이란 독립변수들 간에 상당히 높은 상관관계가 발생하는 것으로 회귀모형의 기본 가정은 독립변수들 간에는 상관관계가 없다는 것인데, 이를 무시한 것이 되어버리고 분석결과 역시 무의미한 결과를 초래함 (송지준, 2011)
- 장기유출에 영향을 미치는 기상인자 독립변수는 강수량과 다소 높은 상관성을 가지고 있는 상대습도를 제외한 강수량, 평균기온, 일조시간, 평균풍속을 사용하였고, 목적변수는 관개용수량과 필요수량은 유입량과 선형 상관성이 높으므로 유입량을 목적변수로 사용하였음
- 따라서, 장기유출량인 유역으로부터의 유입량을 목적변수로 하여 강수량, 평균기온, 일조시간, 평균풍속을 독립변수로 사용하여 다중회귀분석을 실시하였고, 다중회귀분석을 통하여 장기유출에 영향을 미치는 기상인자를 선정하였음

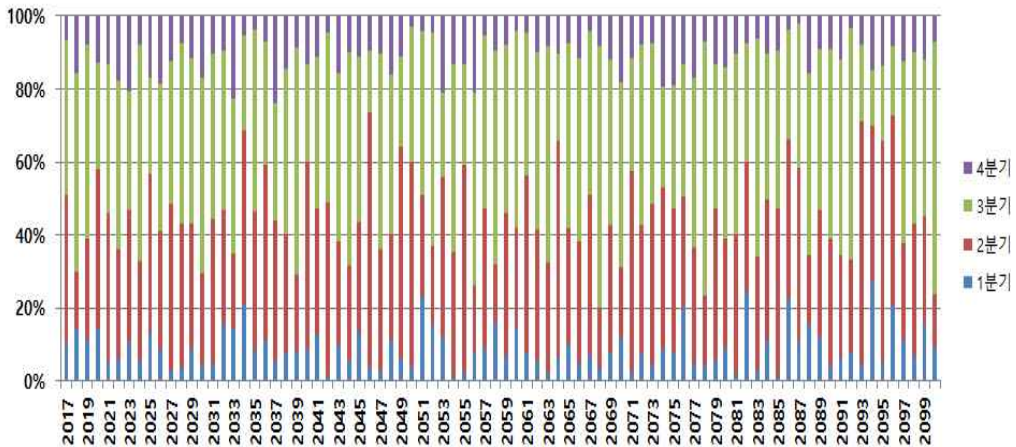
[표 9.1] 장기유출에 영향을 미치는 기상인자 선정에 위한 다중회귀분석

기상인자	비표준화계수		통계량 (t)	유의확률 (p)
	B	표준오차		
강수량	45.73668	0.759999	60.17996	0.000000
평균기온	144.5555	243.3002	0.594144	0.554180
일조시간	81.23202	265.9531	0.305437	0.760868
평균풍속	-2391.99	1962.525	-1.21883	0.226678

- 비표준화계수 B는 1에서 멀어질수록 독립변수 목적변수의 변화에 관계가 있음을 의미하고, 0에 가까울수록 관계가 없는 것을 의미하며, 표준오차는 0에 가까울수록 유의한 것으로 설명할 수 있고, t 통계량은 0.8에서 멀어질수록 목적변수를 설명할 확률이 높아지며, 유의확률 p는 대리변수가 목적변수를 설명할 때 발생할 수 있는 오류를 의미함
- 기상인자를 독립변수로 사용하여 유출량과 다중회귀분석을 수행한 결과, 평균기온의 B 값은 다른 인자에 비하여 가장 크므로 독립변수 변화에 관계가 있으나, 표준오차가 높아서 유의하지 못하고 t 통계량이 0.8에 가까우며, 유의확률 p가 0.55로서 목적변수를 설명할 때 약 55%의 오류 발생 확률을 가지고 있음
- 일조시간 및 평균풍속은 목적변수인 유입량을 설명할 때 각각 76%와 23%의 오류 발생 확률을 가지고 있는 것으로 분석되었으며, 강수량은 표준오차가 0에 가까우며 t 통계량이 다른 인자에 비해 가장 크고 유의확률 p는 0에 근접하여 가장 유의성이 확보된 인자로 분석되었음
- 따라서, 기후변화에 따른 미래 장기유출 영향 분석을 위하여 강수량 자료를 사용하여 장기유출 영향을 분석하고자 함

1.2 장기유출에 대한 기후변화 영향 분석

- 장기유출에 대한 기후변화 영향을 분석하기 위한 기상인자 중 앞서 다중 회귀분석을 통하여 선정된 강수량 인자에 대한 장기유출 변화를 분석하였음
- 강수량은 유역으로부터의 유출 즉, 저수지 유입량에 변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자로서, 관개기인 4월부터 9월까지의 유입량 변화를 예측하기 위해서는 강수량의 분기별 편중 현상의 파악이 선행되어야 함



[그림 9.3] 강수량의 분기별 분포 (금광저수지 예시)

- 2100년까지의 분기별 강수량 분포 현황을 살펴본 결과, 평균적으로 1분기에는 9%, 2분기에는 37%, 3분기에는 43%, 4분기에는 11%를 기록하고 있어, 여름철에 강수가 집중되는 우리나라의 분기별 분포 특성을 반영하고 있음
- 하지만, 2046년의 경우에는 2분기에 약 70% 이상이 편중되어 있고, 2068년도에는 3분기에 약 72%가 발생하는 등 년도별로 분기별 강수 분포 경향이 상이하게 나타나고 있음

[표 9.2] 연도별 강수량 분포 현황 (금광저수지 예시)

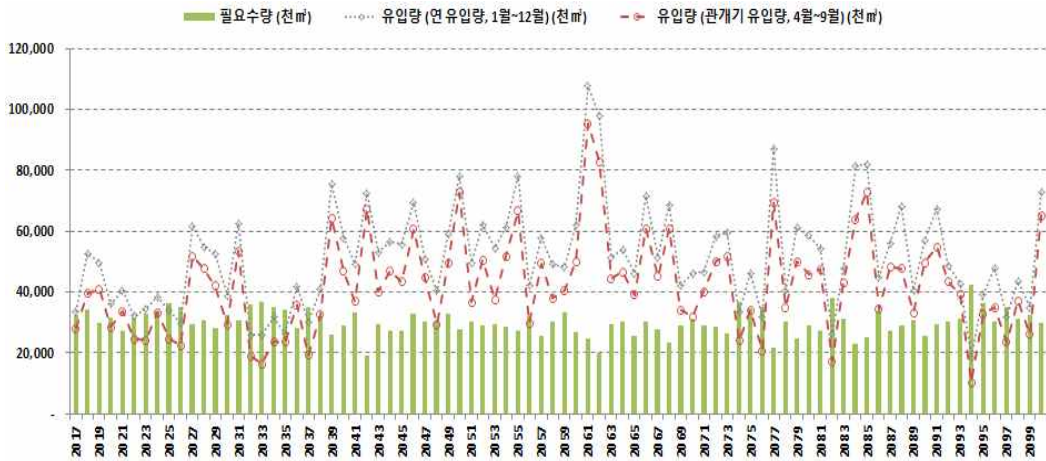
연도	총 강수량 (mm)	1분기		2분기		3분기		4분기	
		강수량 (mm)	비율 (%)	강수량 (mm)	비율 (%)	강수량 (mm)	비율 (%)	강수량 (mm)	비율 (%)
2017	895.65	90.31	10.1	366.28	40.9	379.03	42.3	60.03	6.7
2018	1329.63	188.01	14.1	210.78	15.9	724.64	54.5	206.20	15.5
2019	1265.49	143.04	11.3	348.39	27.5	674.13	53.3	99.93	7.9
2020	959.44	138.99	14.5	418.76	43.6	279.91	29.2	121.78	12.7
2021	1088.3	57.64	5.3	442.52	40.7	442.91	40.7	145.23	13.3
2022	882.89	51.70	5.9	266.59	30.2	407.48	46.2	157.12	17.8
2023	938.36	100.42	10.7	337.47	36.0	305.30	32.5	195.17	20.8
2024	1008.29	58.86	5.8	270.25	26.8	599.51	59.5	79.67	7.9
2025	912.8	123.22	13.5	393.56	43.1	240.95	26.4	155.07	17.0
2026	853.24	70.96	8.3	280.31	32.9	345.45	40.5	156.52	18.3
2027	1513.64	42.19	2.8	691.53	45.7	593.82	39.2	186.10	12.3
2028	1378.62	46.61	3.4	547.24	39.7	683.68	49.6	101.09	7.3
2029	1331.19	116.24	8.7	455.73	34.2	605.92	45.5	153.30	11.5
2030	1017.56	46.73	4.6	252.30	24.8	547.86	53.8	170.67	16.8
2031	1530.88	74.98	4.9	605.75	39.6	693.69	45.3	156.46	10.2
2032	729.69	112.16	15.4	229.89	31.5	317.19	43.5	70.45	9.7
2033	789.12	111.38	14.1	163.80	20.8	334.23	42.4	179.71	22.8
2034	857.01	178.94	20.9	410.25	47.9	221.46	25.8	46.36	5.4
2035	751.88	65.36	8.7	283.85	37.8	374.11	49.8	28.56	3.8
2036	1106.1	121.40	11.0	533.92	48.3	372.59	33.7	78.19	7.1
2037	859.79	46.99	5.5	332.42	38.7	273.75	31.8	206.63	24.0
2038	1063.93	82.69	7.8	345.51	32.5	484.15	45.5	151.58	14.2
2039	1800.65	144.71	8.0	380.46	21.1	1121.20	62.3	154.28	8.6
2040	1491.28	125.06	8.4	770.51	51.7	396.93	26.6	198.78	13.3
2041	1212.7	155.76	12.8	417.14	34.4	505.21	41.7	134.59	11.1
2042	1728.27	22.64	1.3	824.16	47.7	799.79	46.3	81.68	4.7
2043	1369.08	131.76	9.6	389.23	28.4	634.76	46.4	213.33	15.6
2044	1395.66	81.23	5.8	362.40	26.0	812.23	58.2	139.80	10.0
2045	1402.75	188.97	13.5	419.87	29.9	637.37	45.4	156.54	11.2
2046	1663.6	62.64	3.8	1162.85	69.9	280.23	16.8	157.88	9.5
2047	1278.89	34.84	2.7	428.54	33.5	683.14	53.4	132.37	10.4

2048	1080.8	119.39	11.0	317.14	29.3	468.36	43.3	175.91	16.3
2049	1471.59	90.64	6.2	854.65	58.1	364.41	24.8	161.89	11.0
2050	1828.63	72.48	4.0	1028.37	56.2	671.22	36.7	56.56	3.1
2051	1262.22	288.63	22.9	355.68	28.2	563.30	44.6	54.61	4.3
2052	1530.03	239.01	15.6	327.06	21.4	892.03	58.3	71.93	4.7
2053	1377.62	161.43	11.7	606.67	44.0	322.07	23.4	287.45	20.9
2054	1493.43	25.50	1.7	504.62	33.8	763.92	51.2	199.39	13.4
2055	1859.05	43.55	2.3	1055.13	56.8	511.34	27.5	249.03	13.4
2056	1109.17	84.62	7.6	206.80	18.6	584.62	52.7	233.13	21.0
2057	1418.28	128.79	9.1	538.69	38.0	672.31	47.4	78.49	5.5
2058	1246.66	198.20	15.9	201.56	16.2	730.81	58.6	116.09	9.3
2059	1240.53	85.01	6.9	488.16	39.4	571.82	46.1	95.54	7.7
2060	1506.32	219.95	14.6	410.87	27.3	813.64	54.0	61.86	4.1
2061	2503.62	194.19	7.8	1216.41	48.6	975.95	39.0	117.07	4.7
2062	2299.41	123.76	5.4	833.76	36.3	1111.75	48.3	230.14	10.0
2063	1261.17	24.02	1.9	385.68	30.6	747.26	59.3	104.21	8.3
2064	1355.16	85.17	6.3	806.81	59.5	323.39	23.9	139.79	10.3
2065	1194.53	121.16	10.1	381.09	31.9	604.92	50.6	87.36	7.3
2066	1732.4	81.71	4.7	580.53	33.5	866.60	50.0	203.56	11.8
2067	1283.83	87.28	6.8	569.55	44.4	571.83	44.5	55.17	4.3
2068	1687.69	57.81	3.4	278.66	16.5	1212.76	71.9	138.46	8.2
2069	1094.53	82.79	7.6	386.56	35.3	492.26	45.0	132.92	12.1
2070	1194.75	142.12	11.9	229.43	19.2	607.89	50.9	215.31	18.0
2071	1196.08	28.57	2.4	658.39	55.0	372.58	31.2	136.54	11.4
2072	1455.12	103.50	7.1	516.20	35.5	719.84	49.5	115.58	7.9
2073	1464.13	63.64	4.3	644.72	44.0	649.01	44.3	106.76	7.3
2074	925.55	82.10	8.9	410.07	44.3	252.54	27.3	180.84	19.5
2075	1203.55	98.46	8.2	472.25	39.2	405.27	33.7	227.57	18.9
2076	862.01	173.40	20.1	262.03	30.4	313.19	36.3	113.39	13.2
2077	2098.12	97.36	4.6	667.09	31.8	977.81	46.6	355.86	17.0
2078	1021.59	43.68	4.3	193.93	19.0	711.00	69.6	72.98	7.1
2079	1524.16	83.02	5.4	637.40	41.8	601.56	39.5	202.18	13.3
2080	1457.79	127.71	8.8	441.19	30.3	683.29	46.9	205.60	14.1
2081	1372.64	26.95	2.0	523.36	38.1	680.77	49.6	141.56	10.3
2082	749.61	185.38	24.7	265.42	35.4	243.70	32.5	55.11	7.4

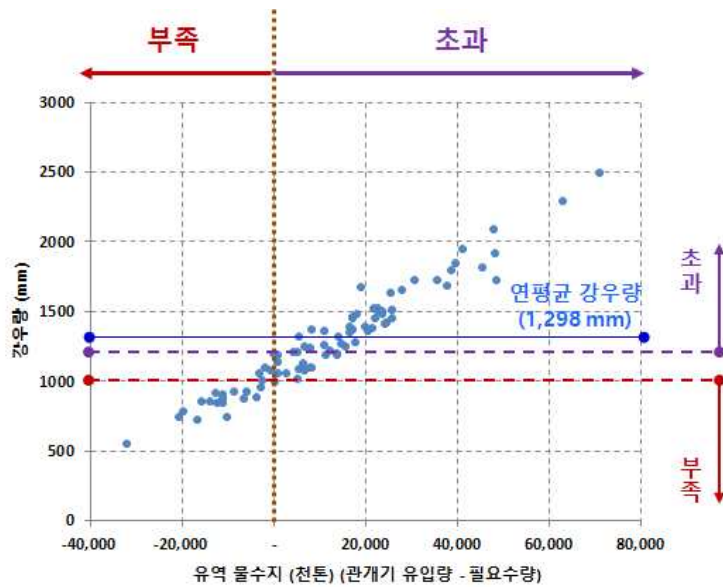
2083	1230.97	34.01	2.8	386.35	31.4	736.58	59.8	74.03	6.0
2084	1952.24	218.00	11.2	749.16	38.4	782.68	40.1	202.40	10.4
2085	1923.69	31.46	1.6	876.24	45.5	836.51	43.5	179.48	9.3
2086	1144.2	257.99	22.5	499.72	43.7	343.47	30.0	43.02	3.8
2087	1393.22	148.42	10.7	662.49	47.6	552.82	39.7	29.49	2.1
2088	1684.13	261.18	15.5	318.36	18.9	839.93	49.9	264.66	15.7
2089	1061.54	126.46	11.9	371.62	35.0	465.59	43.9	97.87	9.2
2090	1425.87	55.57	3.9	500.61	35.1	737.86	51.7	131.83	9.2
2091	1644.52	104.64	6.4	463.58	28.2	878.46	53.4	197.84	12.0
2092	1205.08	90.35	7.5	309.38	25.7	767.82	63.7	37.53	3.1
2093	1110.26	46.72	4.2	741.33	66.8	237.39	21.4	84.82	7.6
2094	557.55	151.92	27.2	238.53	42.8	84.70	15.2	82.40	14.8
2095	1065.7	56.32	5.3	645.70	60.6	220.41	20.7	143.27	13.4
2096	1216.19	249.38	20.5	637.80	52.4	230.45	18.9	98.56	8.1
2097	881.81	98.97	11.2	235.09	26.7	438.12	49.7	109.63	12.4
2098	1139.45	78.74	6.9	412.70	36.2	537.24	47.1	110.77	9.7
2099	933.84	145.22	15.6	276.99	29.7	399.64	42.8	111.99	12.0
2100	1736.92	165.61	9.5	246.44	14.2	1201.27	69.2	123.60	7.1

- 우리나라의 관개기인 4월부터 9월까지는 2분기와 3분기에 해당하며, 이수 측면에서는 2분기와 3분기에 강우량이 집중되어야 이수안전도가 상향되는 것으로 판단할 수 있음
- 따라서, 기후변화 시나리오를 적용한 미래 저수지 유입량과 필요수량을 비교하여 필요수량 대비 유입량의 변화를 분석하였음
- 이수안전도가 상향되기 위해서는 수혜구역의 단위저수량을 산정하는 주 수원공의 유효저수량의 확보뿐만 아니라 관개기에 직접적으로 사용할 수 있는 유효우량과 유역으로부터의 유출량이 중요한 인자임
- 현재부터 2100년까지 필요수량 대비 저수지 유입량 부족 년도는 연중 총 유입량으로 비교한 결과 12개년, 관개기 유입량으로 비교한 결과 23개년 이 부족한 것으로 나타났음
- 따라서, 연 강수량이 변화에 따라서 필요수량 대비 유입량의 부족 및 초

과 범위를 분석하고, 분기별 강수량 분포에 따라 물수지 결과의 변화를 분석할 필요가 있음. 특히, 2020년부터 2026년까지와 2030년부터 2037년까지는 연속적으로 유입량 부족이 발생하는데, 필요수량 대비 총 유입량은 초과되지만 관개기 유입량이 부족한 것으로 분석되었음

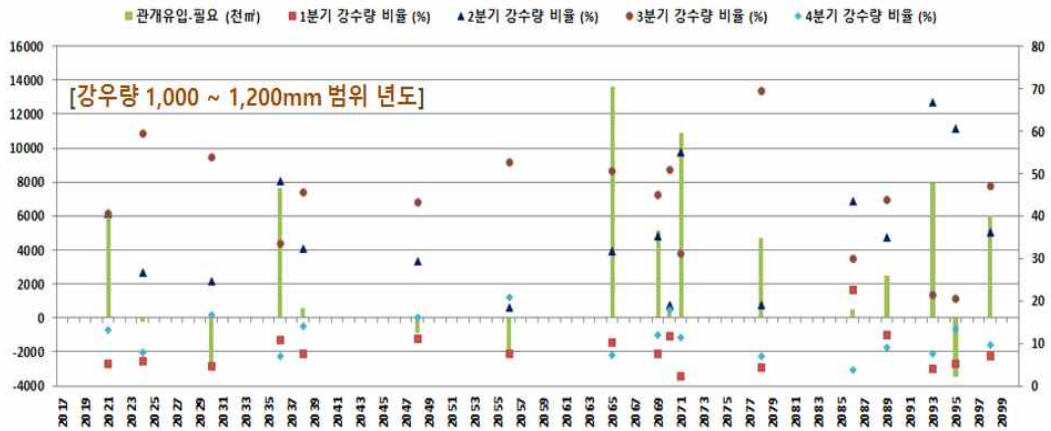


[그림 9.4] 필요수량 대비 저수지 유입량 변화 (금광저수지 예시)



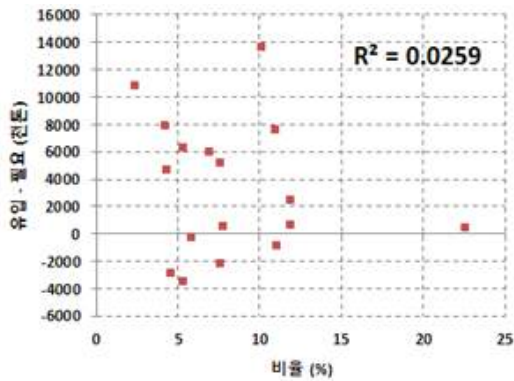
[그림 9.5] 강수량 변화에 따른 필요수량 대비 유입량 부족 및 초과 분포

- 2100년까지 연평균 강우량은 1,298mm로 나타났으며, 강우량 변화에 따른 필요수량 대비 유입량 부족 및 초과 분포를 살펴본 결과, 연평균 강우량 이상의 발생한 경우에는 필요수량 대비 유입량이 초과되었고, 연 강우량이 1,000mm 미만일 경우에는 부족한 것으로 분포되었음
- 하지만, 연 강우량이 1,000mm~1,200mm의 범위에서 발생될 경우에는 필요수량 대비 유입량이 부족 및 초과 년도가 혼재되어 있는 것을 확인하였고, 이러한 결과로 미루어 볼 때 분기별 강수량 분포가 부족 및 초과 현상에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있음
- 따라서, 연 강우량이 1,000mm~1,200mm의 범위에서 발생된 연도를 대상으로 분기별 강수량 분포와 필요수량 대비 유입량 부족 및 초과 변화를 분석하였음

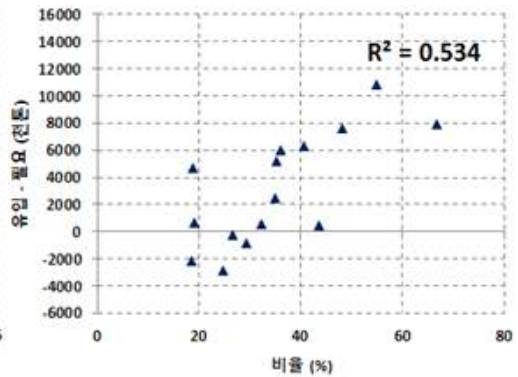


[그림 9.6] 필요수량 대비 유입량 부족 및 초과 년도의 분기별 강우 분포

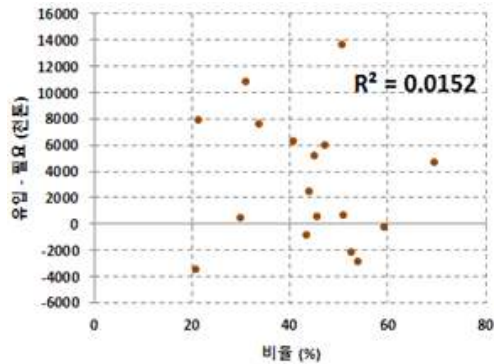
- 2100년까지 연 강우량이 1,000mm~1,200mm의 범위를 나타내는 년도는 총 17개 년도이며, 필요수량 대비 유입량 부족년도는 5개년, 초과 년도는 12개년으로 나타나고 있음



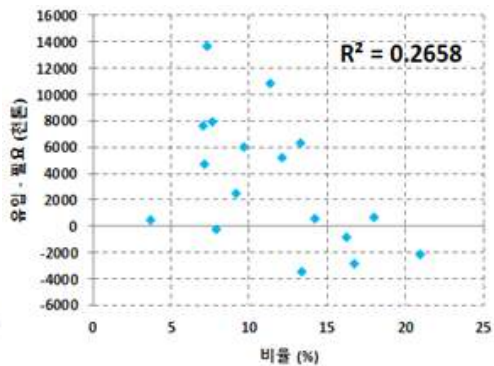
(a) 1분기



(b) 2분기



(c) 3분기



(d) 4분기

[그림 9.7] 분기별 강수량 비율과 필요수량 대비 유입량 상관 분석

- 분기별로 강수량 비율과 필요수량 대비 유입량 상관 분석을 실시한 결과, 2분기의 R^2 가 0.53으로 가장 높았으며, 이는 수해구역의 필요수량이 가장 증가하는 2분기의 강수량에 따라 필요수량 대비 유입량이 변화되는 것을 의미함
- 따라서, 강수량 1,000~1,200mm의 범위에서는 2분기 강수량 비율이 이수안전도를 결정하는 가장 중요한 요소가 되며, 이때 저수지 운영이나 보조수원공의 운영 등의 개선을 통하여 이수안전도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨

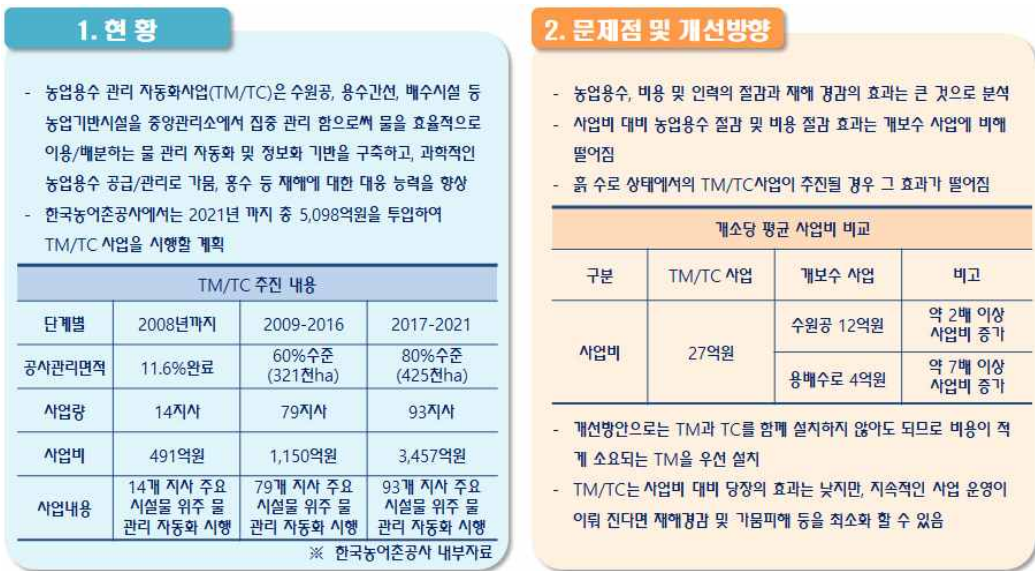
제 2 절 기후변화에 따른 농업용 저수지의 이수 대책 도출

2.1 구조적 (H/W) 대책 도출

- 기후변화에 따른 농업용 저수지의 이수 대책을 도출하기 위하여 기존 문헌 사례 분석을 통하여 이수 대책을 도출하였음
- 농업용수에 대한 물절약 및 가뭄극복과 같은 이수 대책은 기상학적인 물 부족 현상이 발생하더라도 농업용수 측면에서의 피해는 발생하지 않도록 하기 위해 수립함 (이용직, 2001)
- 즉, 기상 상황과 관계없이 농업용 저수지의 저수량 및 수혜구역에 충분한 물이 공급될 수 있는 대책을 의미하며, 일반적으로 장기적인 대책과 단기적인 대책으로 구분할 수 있음
- 장기적인 대책은 미래에 발생할 수 있는 피해 즉, 기후변화에 따른 이수 대책으로서 물부족 현상에 대비하여 미리 대책을 수립하는 것을 말하여, 단기적인 대책은 현재 발생하고 있거나 가까운 시일에 발생할 것을 예측하여 수립하는 대책을 의미함
- 장기적인 대책으로는 농업용 수자원의 추가확보, 수로시설의 정비, 경지의 정비,물관리자동화시스템 구축 등의 하드웨어적인 대책으로 나눌 수 있는데, 농업용 수자원의 추가확보를 위해서는 농업용 저수지 등의 수리시설물의 신규개발이나 저수지 증고와 같은 확장 등에 의한 수자원의 확보가 시행되어야 함 (이용직, 2011)
- 수로시설의 정비 측면에서는, 수로 시설의 낙후로 인하여 수원공에서 확보되어 있는 물을 수혜구역으로 보내기 위해 수로를 통해 운반되는 과정에서 상당량의 물이 손실되고 있는 실정이며, 수로시설의 정비를 통하여 일반적으로 인식되고 있는 약 20 ~ 40%의 손실량을 저감시켜 새로운 수원공의 확보 못지 않게 수로의 정비가 중요한 것으로 제시되고 있음
- 경지의 정비 측면에서는, 논 작물에 비해서 상대적으로 물 수요량이 감소되는 밭작물로의 변환을 통하여 이수적인 대책을 수립할 수 있는데, 고소득/고품질 밭작물 생산을 위한 밭기반 정비 사업의 확대가 필요한 것으로

제시되고 있음

- 이수 대책의 하드웨어적인 대책으로 대표적인 것이 물관리자동화시스템의 구축으로서, 원격제어 및 계측기술을 이용하여 수혜구역에 산재되어 있는 수로의 수위를 파악하면서 필요한 수량 만큼 공급하여 용수를 보다 절약할 수 있는 대책으로 인식되고 있음

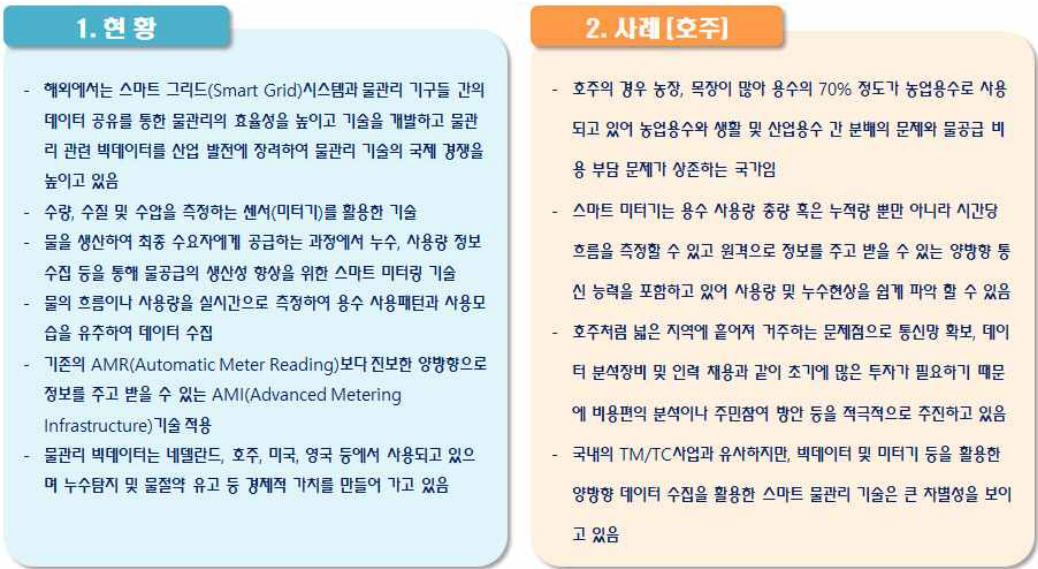


[그림 9.8] 기존 물관리자동화시스템의 현황 및 개선점

- 한오현 (2016)은 가뭄극복을 위한 물이용 효율화 및 시설개선 방안에 대하여 제안하였는데, 물이용 효율을 제고하기 위해서는 용수로의 구조물화, 물관리자동화시스템 구축의 확대, 개보수사업의 체계적인 관리를 제시하였음
- 물이용 효율 증대를 위한 하드웨어적인 방법으로서 저수지 준설이나 저수지 증고 등을 통한 용수확보가 필요하며, 대체 수자원 개발을 위해서는 해수담수화, 빗물관리, 용수재이용, 지하댐, 인공강우 등의 방안을 제시하였음
- 최진용 등 (2015)은 기후변화 대응을 위한 농업가뭄 대책을 제시하였는데, 구조적인 가뭄 대책으로 용수공급능력을 향상시키는 방안으로서, 지속적

인 준설, 저수지 증고를 통한 유효저수량 증대, 지표수 및 지하수를 활용한 보조수원공 개발, 발기반정비사업의 확대 등으로 제시하고 있음

- 이러한 구조적인 방안을 추진하기 위해서는 기후변화를 고려한 농업가뭄의 재평가, 저수지 및 양수장의 내한능력 재평가, 수리시설 보수 및 보강을 위한 계획 수립 등의 과제가 선행되어야 함
- 선진국의 경우에는 물질약을 통한 이수 대책으로서 스마트 그리드를 적용한 물관리시스템을 구축하여 빅데이터를 기반으로 효율적인 물관리 및 스마트 미터링 기술을 적용하고 있음



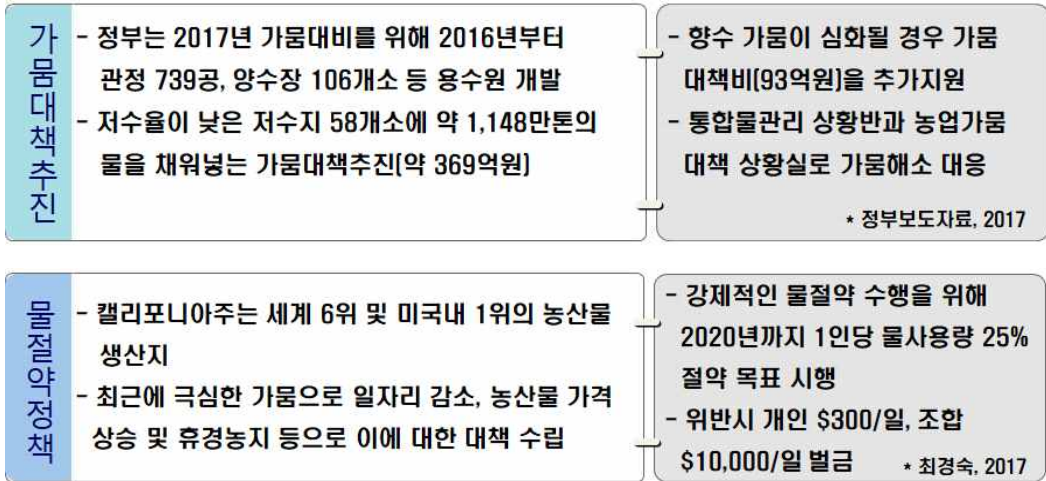
[그림 9.9] 구조적 이수 대책 관련 해외 사례

- 이상과 같이 이수 대책을 위한 구조적인 방안에 대하여 국·내외 사례를 조사한 결과, 대부분 농업용수의 추가적인 확보 및 대체수원공 개발과 같은 구조적인 방안을 제시하고 있음
- 따라서, 본 연구에서는 기후변화에 따른 농업용 저수지의 구조적인 이수 대책으로서 ① 보조수원공을 활용한 농업용 저수지 이수대책, ② 저수지 증고를 통한 유효저수량 추가 확보를 제시하며, 이러한 방안을 적용하여 이수안전도를 재분석하고자 함

2.2 비구조적 (S/W) 대책 도출

- 이수안전도 상향 조정을 위한 기존의 비구조적인 대책은 크게 용수의 다목적 이용, 법정계획의 개편, 기후변화 평가, 농업용수 관리, 인식변화의 필요, 가뭄대책, 물절약 정책 등으로 나누어지며, 아래와 같은 대책들이 제시되고 있음

다목적이용	<ul style="list-style-type: none"> - 논면적 감소로 인한 여분의 농업용수 발생 - 발판개, 원에 및 환경관련 용수의 수요 증가 - 기존의 농업용수를 다목적으로 사용함으로써 신규 개발비를 절약하는 방법 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 1992년부터 지속적인 농업용수 재편대책사업 실시 - 수익면적 3,000ha이상 등의 채택 기준을 선정하여 효율성 제고 <p>* 일본사례, 1992</p>
법정계획개편	<ul style="list-style-type: none"> - 농어촌정비법 제15조(농어촌용수 이용 합리화계획)에 범위설정 및 구체적 지침은 규정되어 있음 - 하지만, 제대로 수립된 적이 없으며 2002년 이후 개정 및 재수립 추진중 - 기후변화를 고려한 계획 개선 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 독농이기사업, 기후변화, 재해 취약성 등이 포함된 농어촌용수 이용 합리화 계획의 조속한 수립 필요 <p>* 수자원학회, 2012</p>
농업용수관리	<ul style="list-style-type: none"> - 현재의 농업용수 공급/관리 문제점은 가용용수량의 부족 보다 비효율적 배분이 밀접한 연관이 있음 - 특히, 농업용수의 무분별한 이용은 지하수 사용으로 연결되어 공공재의 비극을 일으키고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 용수 효율성 제고를 위해 농업용수 이용 및 관리를 소득 안정 차원이 아닌 물이용 효율성 제고로 시점을 전환하고 수요관리 필요 <p>* 한국농촌경제연구원, 2017</p>
인식변화와필요	<ul style="list-style-type: none"> - 가뭄시 농업인의 용수절약 노력이 없다는 응답이 28%, 평상시 노력을 하지 않는다는 응답이 91% - 농업용수 관리참여에 농업인은 인지도가 낮으며, 거부감을 보이고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 농업인이 수행 가능한 용수절감 영농법 도입과 공동체 내 용배수 시기 자율적 조정 등 수행 및 인지도가 높은 정책 도입 필요 <p>* 한국농촌경제연구원, 2017</p>



[그림 9.10] 비구조적 이수 대책 관련 국내·외 사례

- 법정계획개편의 경우에는 농어촌정비법 제15조의 용수이용 합리화계획에 수요량 예측이 명시되어 있으나, 최근 개정이 이루어지지 않고 있으며 기후변화가 고려되지 못한 문제가 있어 기후변화 및 취약성 예측이 포함된 합리화 계획의 조속한 수립이 필요한 것으로 제시되었음
- 한국거버넌스학회 (2012)에서는 기후변화 현상이 발생하더라도 지역, 지형, 인구 등에 따라 그 영향이 다르게 나타나므로 기후변화 취약성 평가 지표 개발을 통하여 적절한 대응 정책이 필요함을 제시하였음
- 농업용수관리 측면에서는 현재 가용 용수량의 부족보다는 비효율적인 배분 문제가 더 크며, 농업용수의 무분별한 이용으로 인하여 지하수가 고갈되는 등의 문제를 제기하여, 물이용 효율성 제고를 고려한 수요 관리가 필요함을 제시하였음 (한국농촌경제연구원, 2017)
- 농업민이 인식변화 측면에서는 용수 절약 및 관리에 대한 농업인의 인지도가 낮으며 거부감을 나타내고 있어 현장에서 농업인이 수행 가능한 용수절감 영농법을 개발하고 자율적 수행 및 인지도가 높은 정책 도입이 필요함을 제시하였음
- 그 밖의 비구조적인 대책으로서, 가뭄예측 및 인지 능력의 향상 기술 개발과 가뭄장기예측능력 향상을 통한 물관리 요소 기술 및 관개기 개서 전

저수율 예측 기술 개발, 기후변화를 고려한 극한 가뭄 발생 평가와 농업 용수 수급계획의 수립 등이 있음 (최진용 등, 2015)

- 농업부분의 가뭄 대응을 위한 정부 정책으로는 계획적이고 다각적인 농업 용수 확충, 물 복지 소외지역에 대한 지속적인 용수 개발, 물이용 효율화 및 기존 수리시설 기능 개선, 상시적인 가뭄대응 체계로의 전환 등을 제시하고 있음

가뭄대책 4대 전략	가뭄대책 16대 과제	
계획적 · 다각적 용수 개발	· 농업용수지속개발 · 하천수(4대강)활용 · 용수원다각화	· 저수능력증대 · 수질보전대책 · 대체수자원개발(빗물가두기, 방류수재활용)
물복지 소외지역 용수관리	· 가뭄상습지역 발용수공급 · 천수답의 발전환 유도	· 관정 · 발용수 체계적 관리강화 · 산간 · 오지지역 용수공급대책
물이용 효율화 · 시설개선	· 용수이용의 과학화(CT, TM/TC) · 수계단위 광역수리시설 개보수	· 노후 · 기능 저하 수리시설 개보수 · 저수지 준설 최적 시행
상시 가뭄대응 체계로 재편	· 상시 가뭄대응 시스템 구축 · 부처간 협업 강화	· 농업가뭄지도 · 가뭄상황 판단 · 농업인 절수 교육(가뭄 인식 제고)

[그림 9.11] 비구조적 이수대책을 위한 4대 전략 16대 과제 정책
(한준희, 2016)

- 물 이용 효율성 증대를 위한 법령을 검토한 결과, 농어촌정비법, 하천법, 지하수법, 농어촌공사 및 농지관리기금법 등이 있으며, 관장 부처로는 농림축산식품부, 국토교통부, 행정안전부 등에서 시행하고 있음
- 관련 정책을 검토한 결과, 농촌용수 10개년 계획, 농어촌용수이용합리화계획, 농어촌정비종합계획, 생산기반정비계획, 생산기반정비사업기본계획, 생산기반정비사업시행계획 등 다양한 정책 등이 있음
- 전반적으로 용수공급(수자원 개발) 계획 위주로 구성되어 있고 기존 시설의 효율적 이용 계획이 제대로 반영되고 있지 못한 한계를 지니고 있으며 또한, 각 계획 및 정책간의 연계성이 미흡한 실정임

1. 법령 검토

농업용수 관리 관련 주요 법령 및 정책		
구분	법률명	관장부처
저수지 개발	농어촌정비법 하천법 소하천정비법	농림축산식품부 국토교통부 행정안전부
하천 취수 (양수장, 취입보 등)	하천법 소하천정비법 농어촌정비법	국토교통부 행정안전부 농림축산식품부
다목적 댐 이용	댐건설법	국토교통부
지하수 이용	지하수법	국토교통부 환경부 행정안전부
농어촌공사 관리구역 지정 및 관리	농어촌공사 및 농시관리기금법	농림축산식품부
시군관리구역 수리계 운영	농어촌정비법 시군조례	농림축산식품부 행정안전부
목적외 용수 공급관리 기타	농어촌정비법 민법	농림축산식품부 법무부

- 국토교통부가 하천법, 댐건설 등에 따라 수자원 개발/공급업무를 주관하지만 농업용수 이용에 거의 영향을 미치지 못하고 있음

2. 정책 검토

- 농촌용수 10개년 계획, 농어촌용수이용합리화계획, 농어촌정비종합계획, 생산기반정비계획, 생산기반정비사업기본계획, 생산기반정비사업시행계획 등 다양한 정책 등이 있음
- 전반적으로 용수공급(수자원 개발) 계획 위주로 구성되어 있고 기존 시설의 효율적 이용 계획이 제대로 반영되고 있지 못한 한계를 지님
- 또한, 각 계획 및 정책간의 연계성이 미흡한 실정

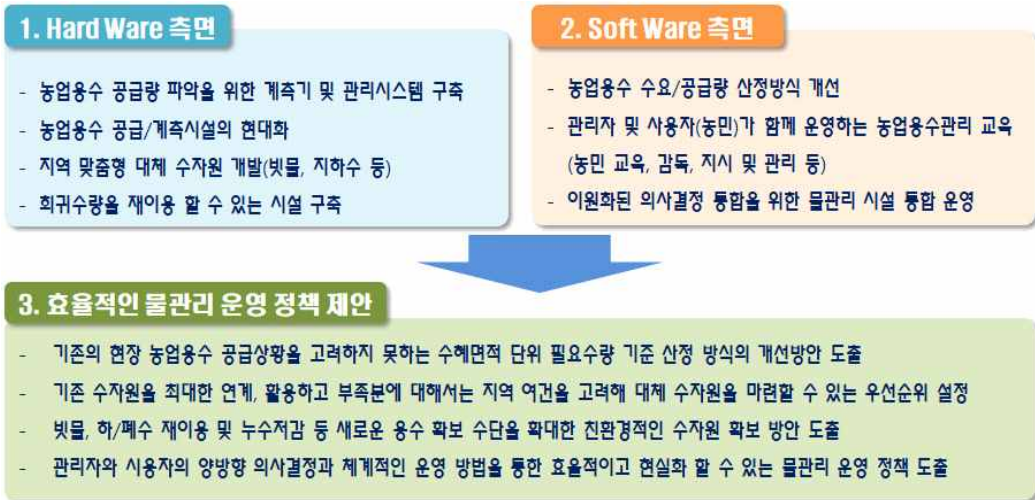
정책 및 제도의 문제점

1. 개발(용수 공급)위주의 계획
2. 전체 수자원 계획과 농업용수간의 연계성 미흡
3. 법정계획인 수장기 계획과 농어촌용수이용합리화계획의 상이
4. 합리적 계획 수립을 위한 원칙과 기준 부재

※ 한국농촌경제연구원

[그림 9.12] 비구조적 이수대책 관련 법령 및 정책

- 이상의 구조적/비구조적 이수대책을 종합하여 다음과 같이 하드웨어 및 소프트웨어 측면에서의 대책을 제시하고자 하며, 효율적인 물관리를 위한 운영 정책을 제한하고자 함



[그림 9.13] 하드웨어 및 소프트웨어 측면에서의 이수대책 도출



Office



Research



Farming



International

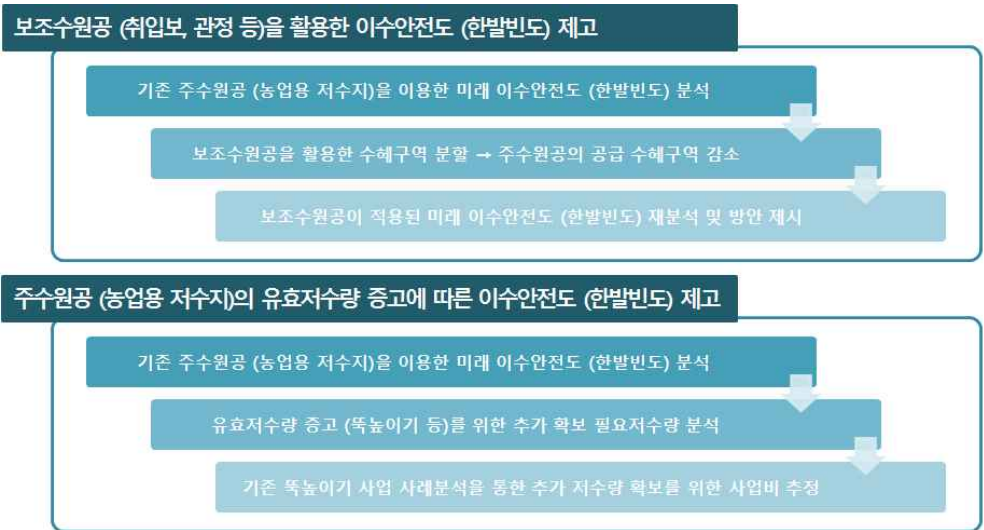
제 10 장

기후변화 대응방안에 따른
농업용수 이수안전도 분석

제 10 장 기후변화 대응방안에 따른 농업용수 이수안 전도 분석

제 1 절 기후변화 대응방안을 적용한 이수안전도 재분석

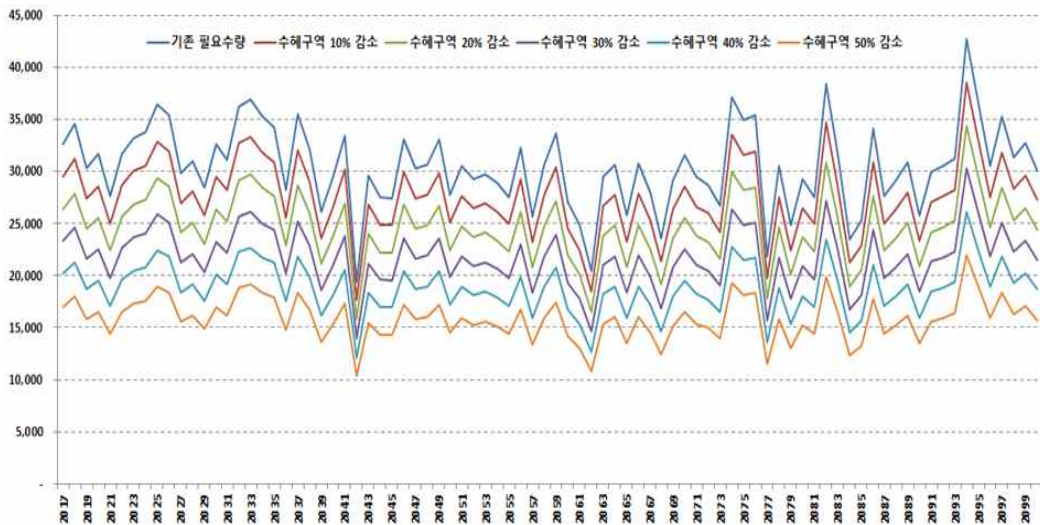
- 기후변화 대응방안을 적용한 이수안전도를 분석하기 위하여, 10장에서 제시한 바와 같이 현장 실무에서 적용 가능한 대책으로서 보조수원공을 활용한 이수안전도 제고 및 주수원공의 유효저수량 증고에 따른 이수안전도 제고의 2가지 방안을 제시하고자 함
- 보조수원공을 활용한 이수안전도 제고 방안은 한발이 예상되는 시기에 주수원공에서 공급하는 수혜구역을 보조수원공이 일부 분할에서 공급함으로써 주수원공의 이수안전도를 제고하는 방안임
- 주수원공의 유효저수량 증고에 따른 이수안전도 제고 방안은 기존 유효저수량을 똑높이기와 같은 사업을 통하여 유효저수량을 증가시킴으로써 주수원공의 이수안전도를 제고하는 방안임



[그림 10.1] 기존 문헌 분석을 통한 이수대책 고찰

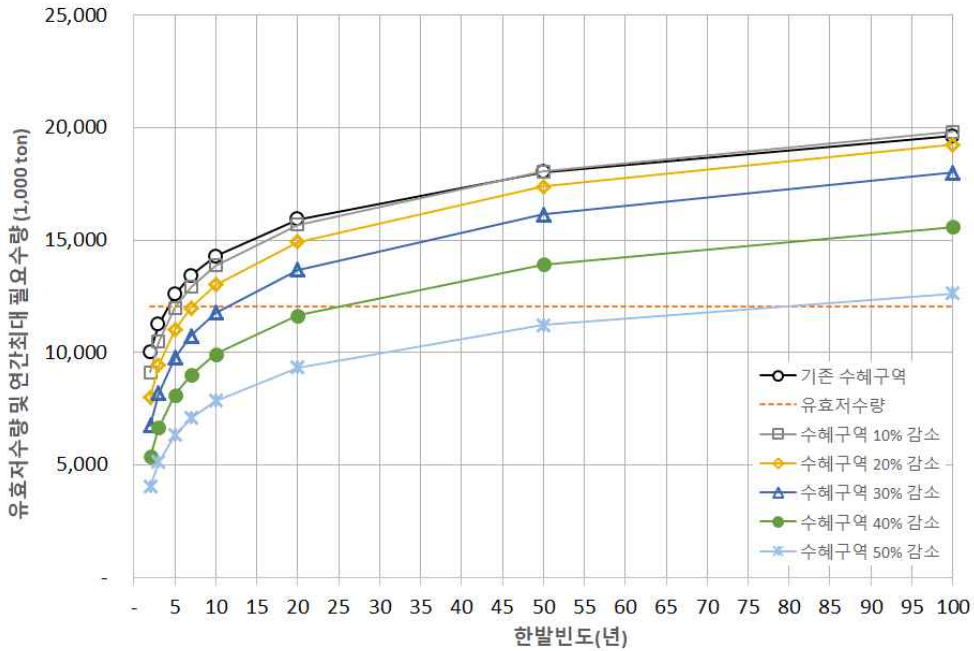
1.1 보조수원공을 활용한 이수안전도 재분석

- 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역을 감소시키는 방안으로서 주수원공의 수혜구역을 10%부터 50%까지 감소시키는 시나리오를 적용하여 미래 주수원공의 이수안전도 (한발빈도)를 재분석하였음
- 금광저수지를 대상으로 주수원공의 수혜구역을 10%부터 50%까지 감소시켜 미래 물수지 분석을 수행한 결과, 수혜구역의 연간 필요수량이 약 3백만톤에서 천5백만톤까지 감소하는 것으로 산정되었음



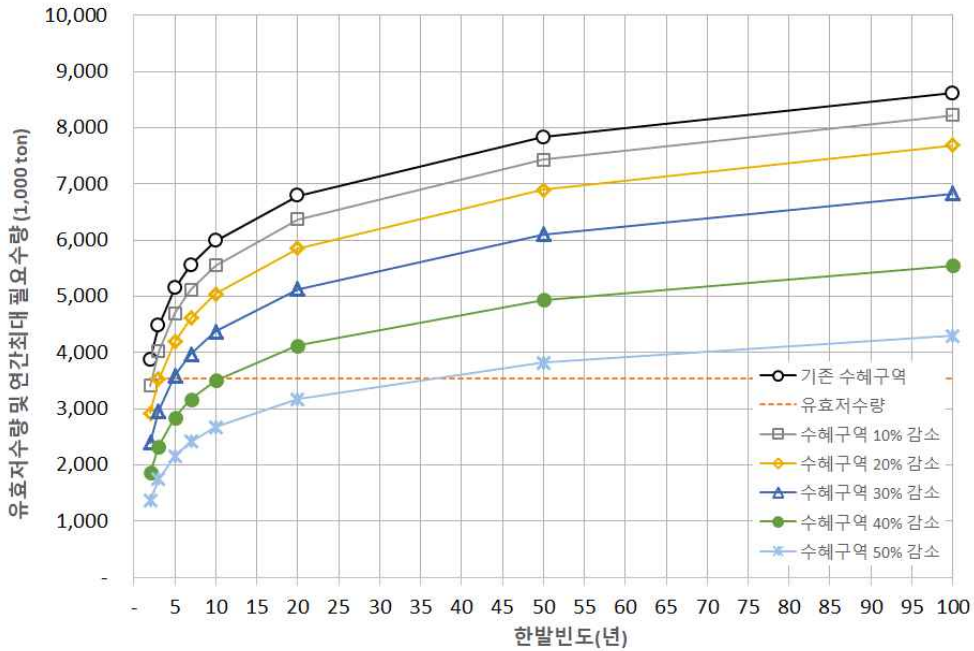
[그림 10.2] 보조수원공 활용을 통한 주수원공의 필요수량 변화

- 주수원공이 공급하는 수혜구역을 보조수원공에서 일부 부담하여 주수원공의 수혜구역을 감소시키면서 물수지 분석을 수행하고 미래 이수안전도를 대상지구별로 재분석하고 한발빈도가 10년을 초과하는 즉, 이수안전도가 확보되는 시나리오를 제시하고자 함



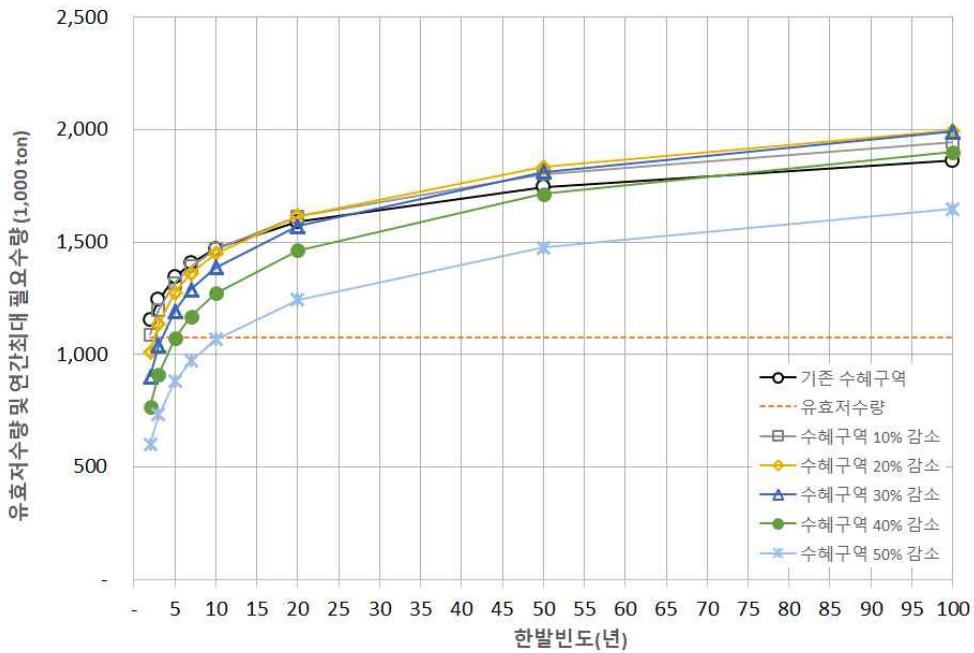
[그림 10.3] 보조수원공 활용을 금광저수지 이수안전도 예측

- 금광저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 4년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 5년, 20% 감소시켰을 때 7년, 30% 감소시켰을 때 12년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 25년, 80년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 금광저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 30% 감소될 경우 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 것으로 분석되었음



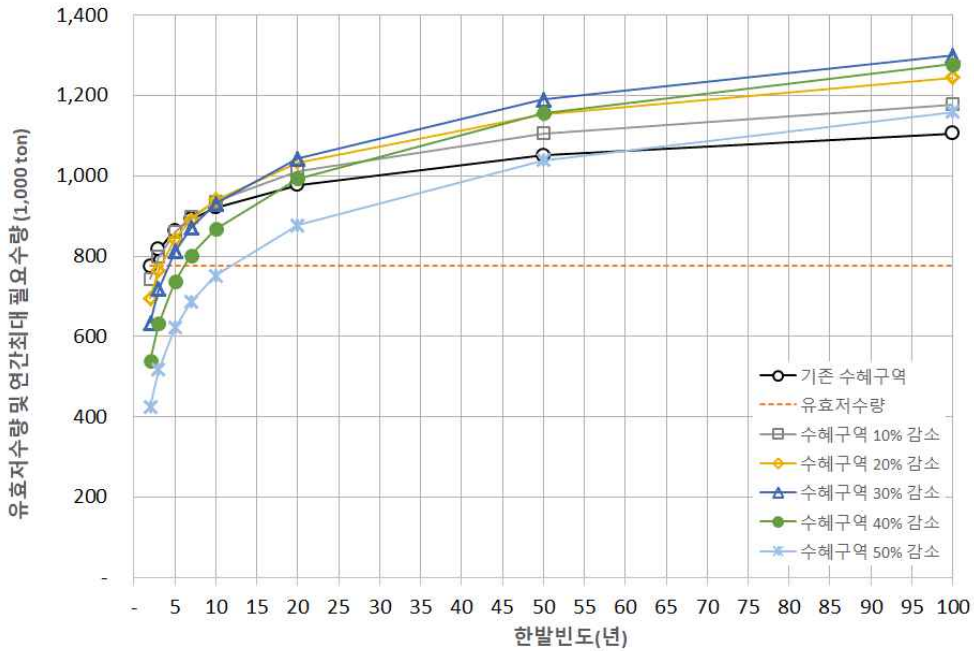
[그림 10.4] 보조수원공 활용을 덕우저수지 이수안전도 예측

- 덕우저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 1년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 2년, 20% 감소시켰을 때 3년, 30% 감소시켰을 때 5년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 10년, 37년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 덕우저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 40% 감소될 경우 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 것으로 분석되었음



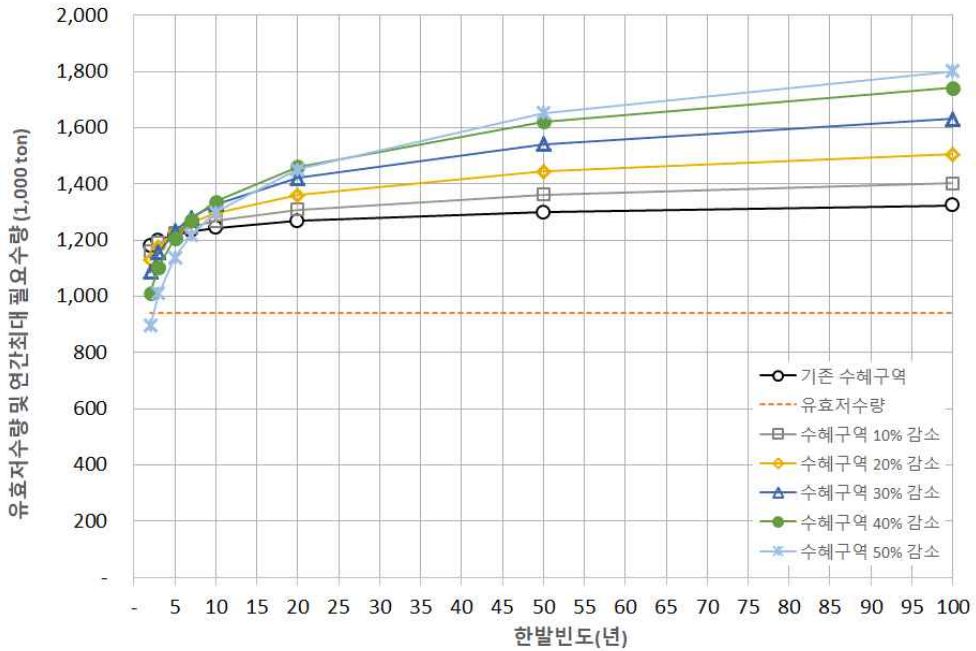
[그림 10.5] 보조수원공 활용을 송강저수지 이수안전도 예측

- 송강저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 1년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 2년, 20% 감소시켰을 때 2.5년, 30% 감소시켰을 때 4년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 5년, 10년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 송강저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 50% 감소될 경우 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 것으로 분석되었음



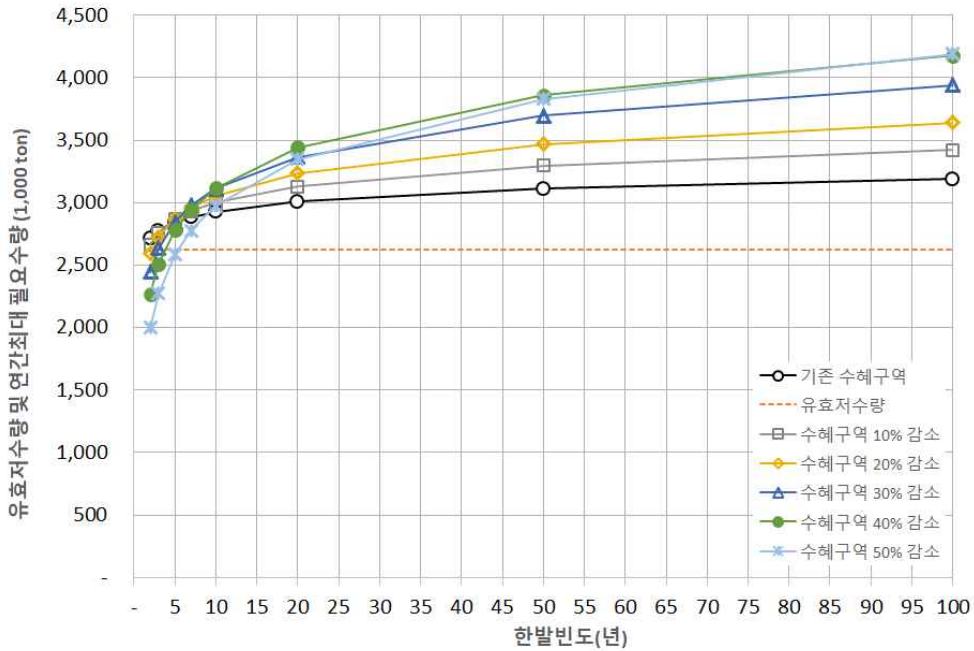
[그림 10.6] 보조수원공 활용을 학정저수지 이수안전도 예측

- 학정저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 2년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 2.5년, 20% 감소시켰을 때 3년, 30% 감소시켰을 때 4년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 6년, 12년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 학정저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 50% 감소될 경우 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 것으로 분석되었음



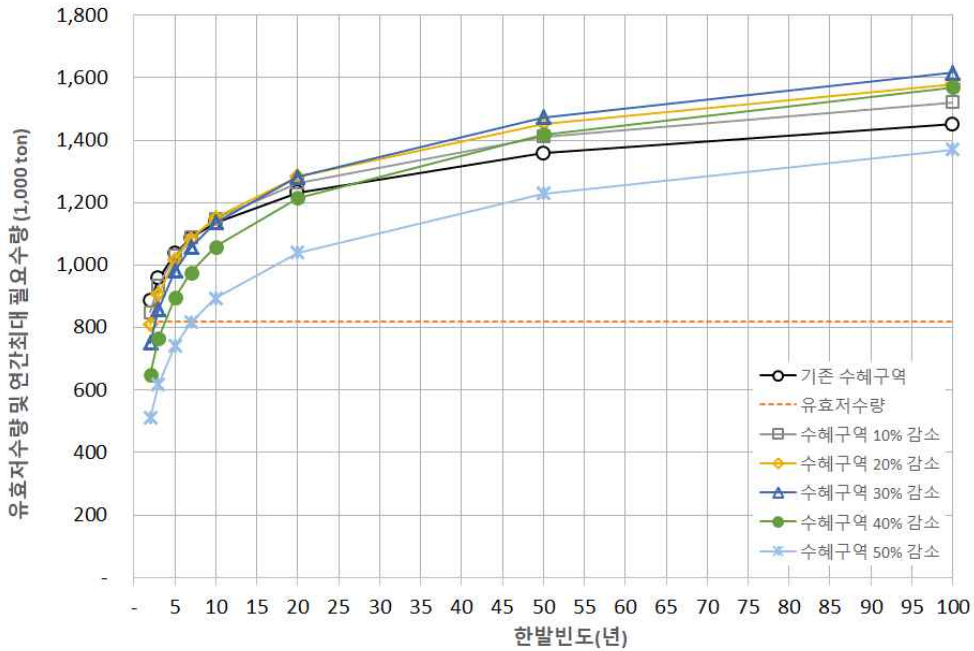
[그림 10.7] 보조수원공 활용을 냉정저수지 이수안전도 예측

- 냉정저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 1년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10%부터 40% 까지 감소시켰을 때 모두 1년의 한발빈도를 나타내었고, 50% 감소시켰을 때 각각 2.5년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 냉정저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 50% 감소될 경우에도 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 못하는 것으로 분석되어 미래 이수안전도가 매우 취약한 지구로 분석되었음



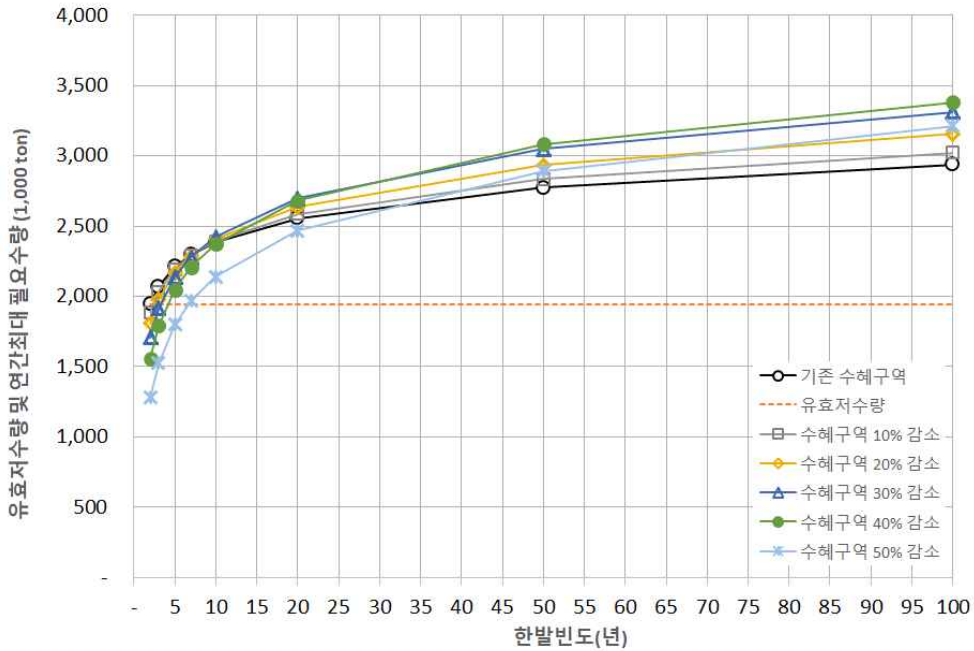
[그림 10.8] 보조수원공 활용을 풍전저수지 이수안전도 예측

- 풍전저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 1년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 1.5년, 20% 감소시켰을 때 2년, 30% 감소시켰을 때 3년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 4년, 5년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 풍전저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 50% 감소될 경우에도 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 못하는 것으로 분석되어 미래 이수안전도가 매우 취약한 지구로 분석되었음



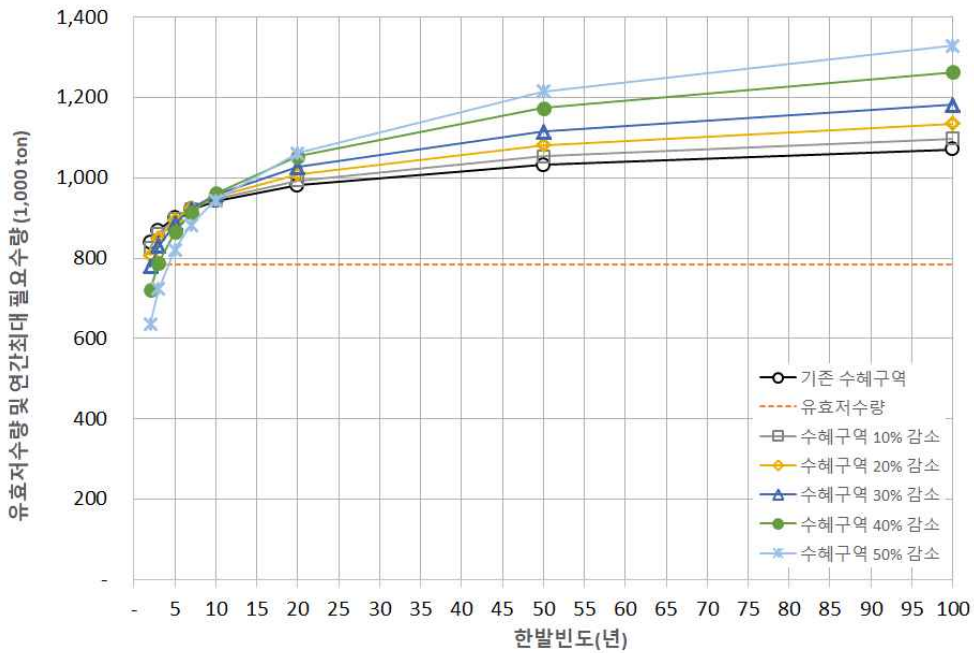
[그림 10.9] 보조수원공 활용을 금마저수지 이수안전도 예측

- 금마저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 1년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 1년, 20% 감소시켰을 때 2년, 30% 감소시켰을 때 2.5년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 4년, 7년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 금마저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 50% 감소될 경우에도 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 못하는 것으로 분석되어 미래 이수안전도가 매우 취약한 지구로 분석되었음



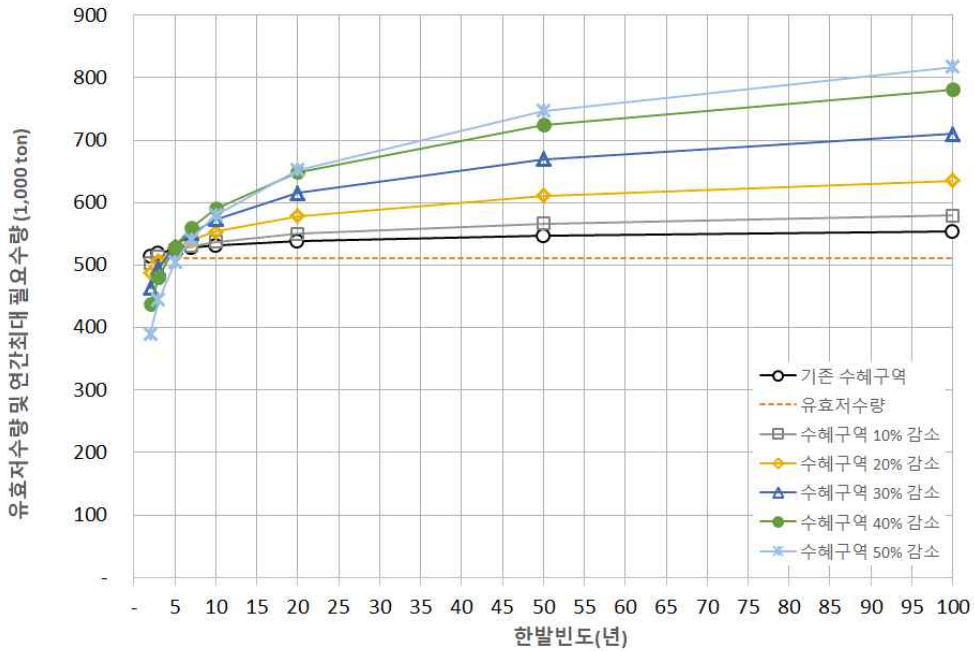
[그림 10.10] 보조수원공 활용을 왕궁저수지 이수안전도 예측

- 왕궁저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 2년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 2.5년, 20% 감소시켰을 때 3년, 30% 감소시켰을 때 3.5년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 4년, 6년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 왕궁저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 50% 감소될 경우에도 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 못하는 것으로 분석되어 미래 이수안전도가 매우 취약한 지구로 분석되었음



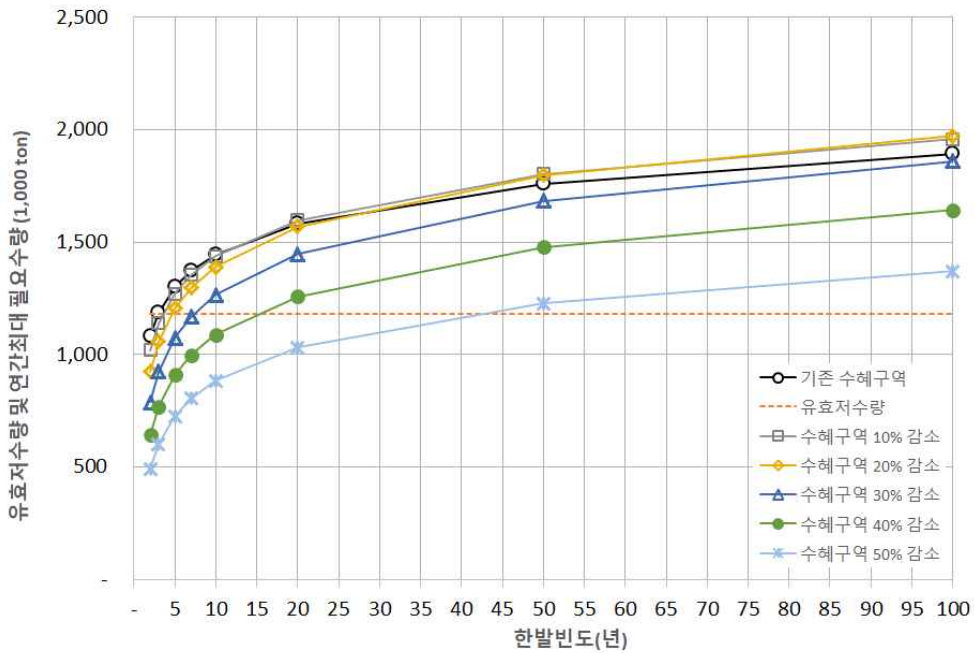
[그림 10.11] 보조수원공 활용을 관기저수지 이수안전도 예측

- 관기저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 1년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10%부터 20% 감소시켰을 때 모두 1년을 나타내었고, 30% 감소시켰을 때 2년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 3년, 4년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 관기저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 50% 감소될 경우에도 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 못하는 것으로 분석되어 미래 이수안전도가 매우 취약한 지구로 분석되었음



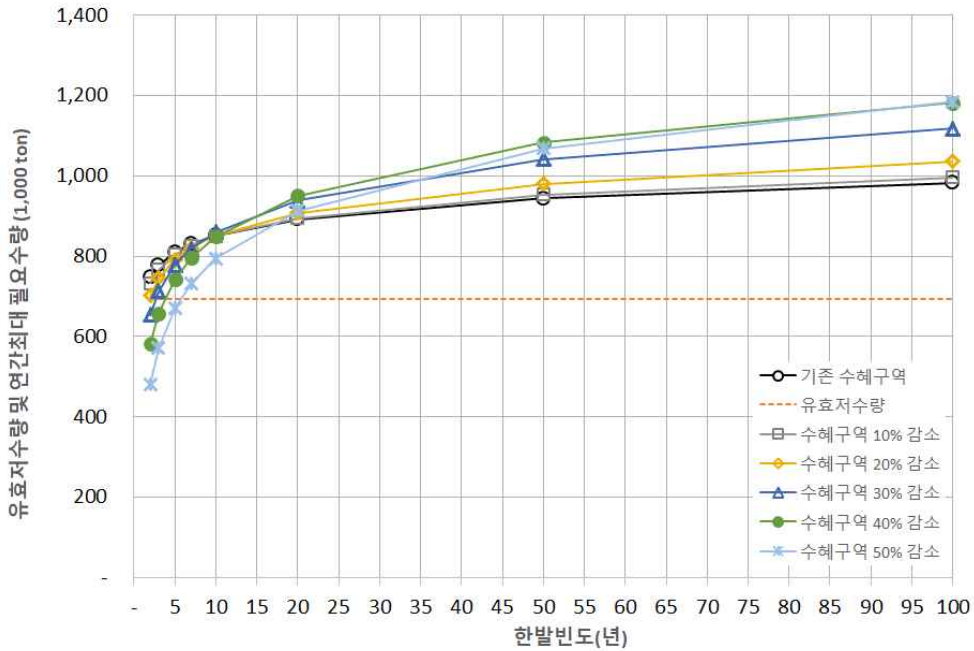
[그림 10.12] 보조수원공 활용을 제산저수지 이수안전도 예측

- 제산저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 2년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 3년, 20% 감소시켰을 때 3.5년, 30% 감소시켰을 때 4년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 4.5년, 6년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 제산저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 50% 감소될 경우에도 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 못하는 것으로 분석되어 미래 이수안전도가 매우 취약한 지구로 분석되었음



[그림 10.13] 보조수원공 활용을 개운저수지 이수안전도 예측

- 개운저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 3년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 4년, 20% 감소시켰을 때 5년, 30% 감소시켰을 때 7년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 15년, 43년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 개운저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 30% ~ 40% 감소될 경우 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 것으로 분석되었음



[그림 10.14] 보조수원공 활용을 덕곡저수지 이수안전도 예측

- 덕곡저수지는 기존 수혜구역으로 미래 이수안전도를 분석한 결과 1년의 한발빈도를 나타내었고, 보조수원공을 활용하여 수혜구역을 10% 감소시켰을 때 1년, 20% 감소시켰을 때 2년, 30% 감소시켰을 때 3년, 40% 및 50% 감소시켰을 때 각각 4년, 6년의 한발빈도를 가지는 것으로 예측되었음
- 따라서, 덕곡저수지의 경우 기후변화 시나리오를 적용한 미래 이수안전도 예측시 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역이 약 50% 감소될 경우에도 10년 한발빈도의 이수안전도를 확보하는 못하는 것으로 분석되어 미래 이수안전도가 매우 취약한 지구로 분석되었음

[표 10.1] 보조수원공을 활용한 주수원공의 미래 이수안전도 분석

대상 지구	미래 이수안전도 (한발빈도) 예측 결과					
	기존 수혜구역	수혜구역 10% 감소	수혜구역 20% 감소	수혜구역 30% 감소	수혜구역 40% 감소	수혜구역 50% 감소
금광	4년	5년	7년	12년	25년	80년
덕우	1년	2년	3년	5년	10년	37년
송강	1년	2년	2.5년	4년	5년	10년
학정	2년	2.5년	3년	4년	6년	12년
냉정	1년	1년	1년	1년	1년	2.5년
풍전	1년	1.5년	2년	3년	4년	5년
금마	1년	1년	2년	2.5년	4년	7년
왕궁	2년	2.5년	3년	3.5년	4년	6년
관기	1년	1년	1년	2년	3년	4년
제산	2년	3년	3.5년	4년	4.5년	6년
개운	3년	4년	5년	7년	15년	43년
덕곡	1년	1년	2년	3년	4년	6년

1.2 주수원공의 유효저수량 증고를 통한 이수안전도 재분석

- 이수안전도 상향 조정을 위한 체체 증고 사업비 산정을 위해서 기존 뚝 높이기 사업의 사업비 조사를 바탕으로, 추가저수량 및 증고 높이 등의 인자와 사업비와의 상관분석을 실시하였음
- 총 110개 지구의 뚝 높이기 사업지구에 대하여 체체 증고 높이와 사업비와의 상관분석을 수행한 결과 0.015로서 매우 낮은 상관성을 나타내었고, 추가 확보 저수량과 사업비의 상관성은 0.56으로 비교적 높은 상관성을 보이고 있음
- 따라서, 본 연구의 대상지구의 이수안전도 상향 조정을 위한 추가 확보 저수량을 산정하고, 그에 따른 사업비를 추정하였음
- 추가 저수량과 사업비와의 상관 분석 결과를 바탕으로 경제성 분석을 위한 대상지구의 사업비를 추정하였음
- 미래 한발빈도 변화에 따라서 이수안전도를 상향조정 즉, 한발 빈도를 10년으로 상향조정 하기 위한 추가 저수량을 산정하였고, 그에 따른 사업비를 추정하였음
- 금광 저수지의 경우에는 미래 한발빈도가 4년으로 산정되었고 한발빈도 10년으로 상향 조정하기 위한 필요저수량은 약 2백십만톤으로 산정되어 그에 따른 체체 증고 사업비는 약 240억원으로 추정되었음
- 개운 저수지의 경우에는 미래 한발빈도가 3년으로 산정되었고 한발빈도 10년으로 상향 조정하기 위한 필요저수량은 약 24.6만톤으로 산정되어 그에 따른 체체 증고 사업비는 약 152억원으로 추정되었음
- 학정 저수지, 왕궁 저수지, 제산저수지의 경우에는 미래 한발빈도가 모두 2년으로 산정되었고 한발빈도 10년으로 상향 조정하기 위한 필요저수량은 각각 약 14.1만톤, 41.8만톤, 1.9만톤으로 산정되어 그에 따른 체체 증고 사업비는 각각 약 147억원, 160억원, 141억원으로 추정되었음
- 그 외 덕우 저수지를 포함한 8개 저수지의 경우에는 미래 한발빈도가 모두 1년으로 산정되었고, 한발빈도 10년으로 상향조정하기 위한 필요저수량은 16만톤에서 242만톤으로 그에 따른 사업비는 148억원에서 256억원

으로 추정되었음

[표 10.2] 주수원공 증고에 따른 미래 이수안전도 (10년 한발빈도) 확보를 위한 추가 저수량 및 사업비 추정

시설명	현 재 (통계연보)				미 래 (기후변화 시나리오 적용)		
	한발 빈도 (년)	유역 면적 (ha)	수혜 면적 (ha)	유효 저수량 (천톤)	한발 빈도 (년)	추가 필요 저수량 (천톤)	총 사업비 추정 (백만원)
금광	10	4830	1906.1	12,047	4	2,103	24,055
덕우	5	2270	573.3	3,547	1	2,421	25,572
학	10	2600	378.4	1,426	1	852	18,084
송강	10	440	235	1,077	1	393	15,894
확정	10	706	214	775	2	141	14,691
냉정	10	535	326	940	1	296	15,431
풍전	10	1110	655.1	2,621	1	320	15,545
금마	20	452	229.1	818	1	312	15,507
왕궁	20	866	540.6	1,941	2	418	16,013
관기	10	365	239.4	783	1	165	14,805
재산	10	476	203.2	511	2	19	14,109
개운	10	650	202.7	1,180	3	246	15,192
덕곡	10	686	312	695	1	173	14,844

제 2 절 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 재분석

- 앞서 미래 이수안전도 상향조정 즉, 한발빈도 10년을 확보하기 위해서 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역을 감소시키는 방안과 독높이기와 같이 주수원공의 증고를 통해 미래 이수안전도를 확보하는 방안을 제시하고 그에 따른 이수안전도 재분석 결과를 고찰하였음
- 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석을 위한 비용은 보조수원공 건설을 위한 사업비 및 주수원공 증고를 위한 사업비를 적용하였으며, 편익은 농식품부 (2013)에서 발간한 농업기반시설의 재해대비능력에 대한 경제성 평가 기법 연구에서 제시된 직접편익 및 간접편익을 모두 고려하여 6장 3절의 경제성 분석 방법을 동일하게 적용하였음
- 앞서 6장 3절의 경제성 분석에 사용된 편익 산정 방법은 생산성 향상 효과, 작목전환 효과, 지가 상승 효과와 같은 직접편익만을 고려하였는데, 본 절에서는 노동력 절감 효과와 변동성 완화 효과와 같은 간접편익을 추가하여 분석하였음
- 변동성 완화 효과는 재해 등으로 생산이 불안정했던 것이 공사의 사업으로 생산이 안정됨으로써 얻는 효과로 사업은 일종의 보험에 해당됨
- 농업기반시설 개보수 사업도 보험과 유사한 성격을 가지고 있는데, 공사가 사업을 시행함으로써 농가는 큰 피해가 발생할 수도 있다는 걱정에서 벗어나게 되며, 보험료에 해당되는 비용을 공사의 사업 효과에 산정할 필요가 있음

$$\text{변동성 완화 효과} = A \times (\text{premium})$$

A: 수혜 면적

premium: 위험을 피하기 위해 지불하고자 하는 금액으로 효용함수를 통해 계산. 위험이 있을 때의 평균값과 위험이 전혀 없을 때의 값의 차이로 계산

[그림 10.15] 변동성 완화 효과 산정 방법

- 노동력 절감 효과는 농업기반정비사업으로 농가가 절감하는 노동력을 금액으로 평가한 효과로 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 공사의 농업기반정비사업으로 절감되는 경영상의 노동비이고 다른 하나는 공사의 사업으로 인해 가뭄이나 홍수 시에 해당 지역을 상대적으로 적게 방문함으로써 나타나는 효과로 분류됨
- 경영상의 노동비 절감 효과는 공사의 다양한 사업을 통해 실제 경감되는 노동력을 금액으로 평가한 것으로 여기에는 사람과 농기계 이동상의 절감 효과, 사업 이후 농기계 운용 효율이 개선되면서 나타나는 노동력 절감 효과 등이 포함됨
- 그러나 이 효과는 농작물 소득 등에 반영되기 때문에 별도로 산정하게 되면 중복 계산의 우려가 있어 제외하는 것이 적절할 것으로 판단됨
- 두 번째는 공사의 시설 설치로 인해 농가가 해당 지역을 자주 방문하지 않음으로써 절감되는 노동력 효과이며, 농가는 홍수나 가뭄에 대한 걱정을 덜기 때문에 해당 지역 방문 횟수를 크게 줄일 수 있고, 그만큼 노동력이 절감되는 효과가 있으므로 이 효과는 공사의 편익 산정에 포함시킬 필요가 있음

$$\text{노동력 절감 효과} = N \times w \times (L_0 - L_1)$$

N: 농장주 수

w: 농촌지역 평균

L₀: 시설이 설치되기 이전의 노동력 투입 시간

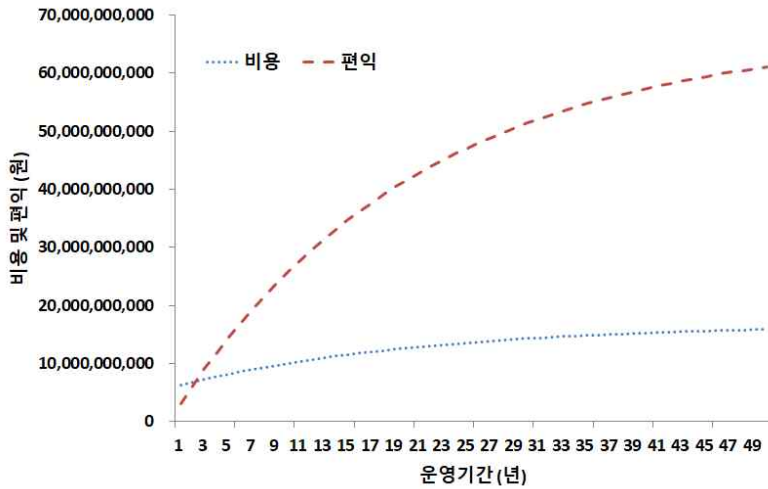
L₁: 공사 시설 설치 이후의 노동력 투입 시간

[그림 10.16] 노동력 절감 효과 산정 방법

- 이러한 직접편익과 간접편익을 모두 고려하여 경제성 분석을 실시하였으며, 보조수원공의 활용 및 주수원공의 증고에 따른 비용과 편익을 산정하여 이수안전도 상향조정에 따른 경제성을 고찰하고자 함

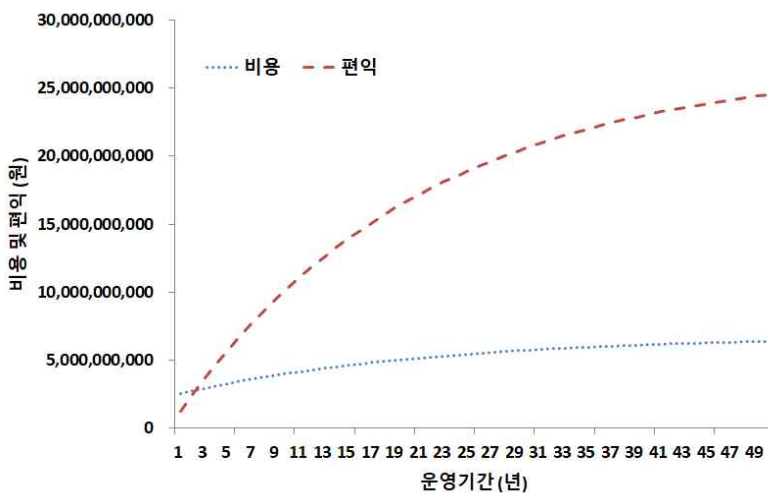
2.1 보조수원공을 활용한 이수 안전도 상향조정에 따른 경제성 분석

- 보조수원공을 활용한 이수안전도 상향조정은 11장 1절에서 기술한 바와 같이 보조수원공을 개발하여 주수원공의 수혜면적을 감소시키는 방안으로서 경제성 분석을 위한 보조수원공은 양수장으로 가정하여 양수장 건설 비용을 산정하였음
- 양수장 건설비용은 전국의 최근 양수장 설치 사업비를 조사하여 농업용수를 공급하는 수혜면적별 사업비를 분석하여 단위면적당 양수장 건설 비용으로 환산하여 적용하였음
- 한국농어촌공사 평택지사의 자오 양수장의 경우에는 약 11억원의 사업비로서 양수장을 건설하여 약 145ha의 농경지에 용수를 공급하고 있으며, 천안시 동면 지역의 농업용수 공급을 위해서 약 10억원을 투입하여 63ha에 용수를 공급하고 있음
- 전국적인 양수장 건설 사업비와 해당되는 수혜구역을 조사한 결과, 단위면적당 평균 약 9백7십만원/ha의 양수장 건설비용이 소요되었으며, 이를 대상지구의 감소 수혜면적에 적용하여 비용을 산출하였음
- 보조수원공을 활용한 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석의 대상지구는 보조수원공 활용에 따른 주수원공의 수혜면적 감소로 인하여 한발빈도가 10년 이상이 확보되는 지역을 대상으로 경제성 분석을 실시하였음
- 금광저수지의 경우에는 수혜구역 30% 감소로 10년 한발빈도가 확보되었으며, 덕우저수지는 40% 감소, 송강저수지와 학정저수지는 50% 감소, 개운저수지는 40% 감소에 의하여 10년 한발빈도가 확보되었음
- 따라서, 보조수원공을 활용한 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석의 대상지구는 금광, 덕우, 송강, 학정, 개운저수지 지구에 적용하고 비용 및 편익을 산정하여 사업의 경제적 타당성을 검토하였음



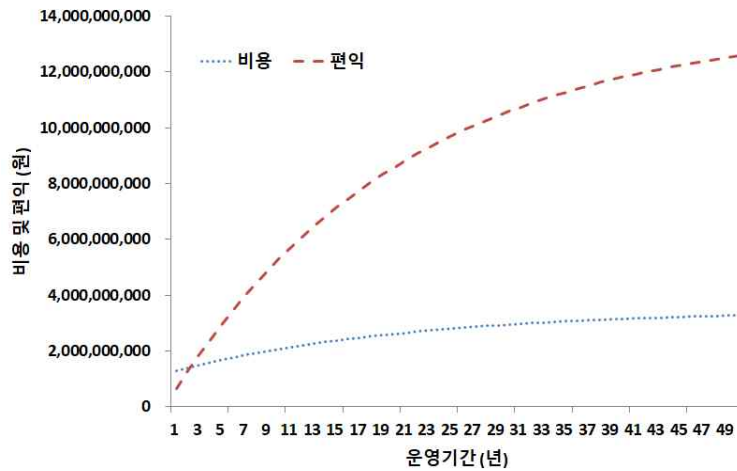
[그림 10.17] 보조수원공을 활용한 금광저수지 경제성 분석 결과

- 금광저수지의 초기 비용은 5,531,910,000원으로 산정되었고, 총 편익은 3,343,893,170원으로 추정되었으며, 유지관리비율 10%와 할인율 5%를 적용하여 경제성 분석을 수행하였음
- 운영기간을 50년으로 가정하여 분석한 결과 B/C 값은 3.84로 산정되어 매우 높은 경제성을 확보하고 있으며, 손익분기점은 3년으로 추정되었음



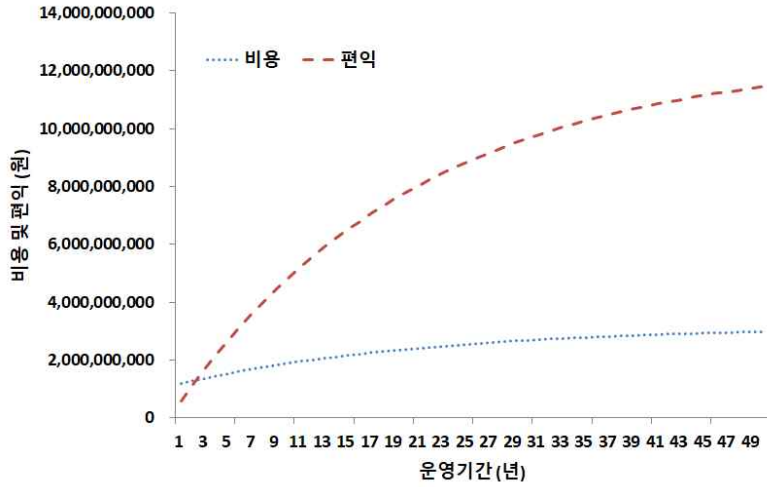
[그림 10.18] 보조수원공을 활용한 덕우저수지 경제성 분석 결과

- 덕우저수지의 초기 비용은 2,223,240,000원으로 산정되었고, 총 편익은 1,343,889,733원으로 추정되었으며, 유지관리비율 10%와 할인율 5%를 적용하여 경제성 분석을 수행하였음
- 운영기간을 50년으로 가정하여 분석한 결과 B/C 값은 3.84로 산정되어 매우 높은 경제성을 확보하고 있으며, 손익분기점은 3년으로 추정되었음



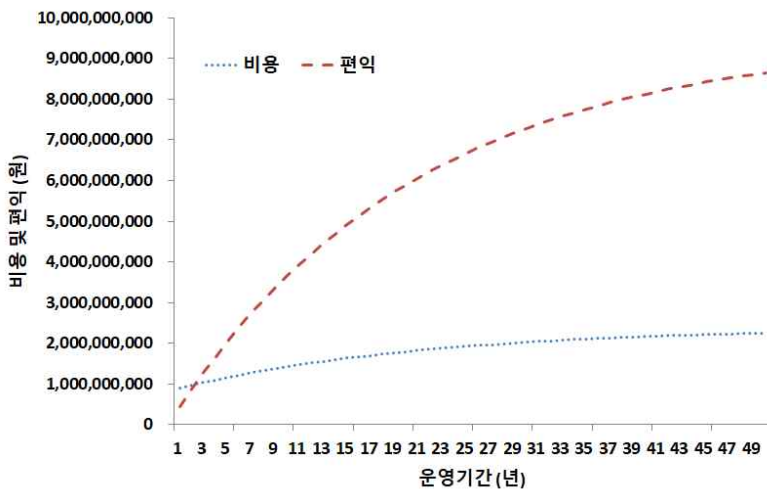
[그림 10.19] 보조수원공을 활용한 송강저수지 경제성 분석 결과

- 송강저수지의 초기 비용은 1,139,750,000원으로 산정되었고, 총 편익은 668,948,707원으로 추정되었으며, 유지관리비율 10%와 할인율 5%를 적용하여 경제성 분석을 수행하였음
- 운영기간을 50년으로 가정하여 분석한 결과 B/C 값은 3.81로 산정되어 매우 높은 경제성을 확보하고 있으며, 손익분기점은 3년으로 추정되었음



[그림 10.20] 보조수원공을 활용한 학정저수지 경제성 분석 결과

- 학정저수지의 초기 비용은 1,037,900,000원으로 산정되었고, 총 편익은 627,948,707원으로 추정되었으며, 유지관리비율 10%와 할인율 5%를 적용하여 경제성 분석을 수행하였음
- 운영기간을 50년으로 가정하여 분석한 결과 B/C 값은 3.85로 산정되어 매우 높은 경제성을 확보하고 있으며, 손익분기점은 3년으로 추정되었음

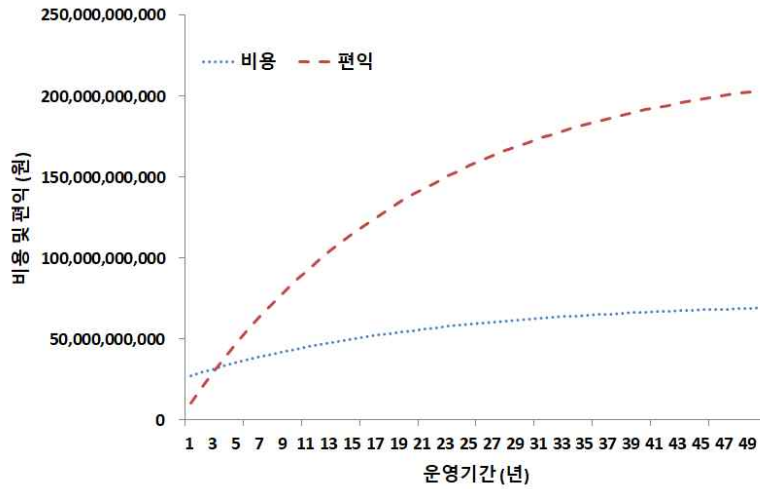


[그림 10.21] 보조수원공을 활용한 개운저수지 경제성 분석 결과

- 개운저수지의 초기 비용은 783,760,000원으로 산정되었고, 총 편익은 473,762,175원으로 추정되었으며, 유지관리비율 10%와 할인율 5%를 적용하여 경제성 분석을 수행하였음
- 운영기간을 50년으로 가정하여 분석한 결과 B/C 값은 3.75로 산정되어 매우 높은 경제성을 확보하고 있으며, 손익분기점은 3년으로 추정되었음

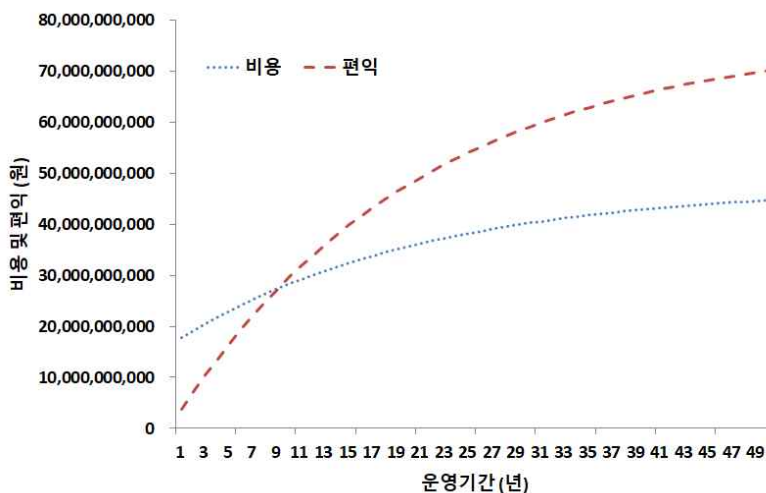
2.2 주수원공 증고를 통한 이수 안전도 상향조정에 따른 경제성 분석

- 주수원공 증고를 통한 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석은 득높이 기와 같은 주수원공의 증고를 통하여 10년 한발빈도가 확보될 수 있도록 유효저수량을 증가시키는 방법으로서 비용의 산정은 6장 3절과 동일한 방법을 사용하였고, 편익은 직접편익과 간접편익을 고려하여 추정하였음
- 경제성 분석 결과, 13개의 대상지구 중 50년 운영기간으로 가정하여 B/C 값이 1을 상회하는 지구는 금광, 풍전, 왕궁저수지로 3개 대상지구만 경제성이 확보되는 것으로 분석되었음
- 3개 저수지를 제외한 나머지 대상 지구는 수혜면적이 400ha 미만으로 수혜 구역에 대한 직접편익 및 간접편익이 상대적으로 적게 추정되어 경제성이 확보되지 못하는 것으로 판단됨
- 금광저수지의 초기 비용은 24,055,000,000원으로 산정되었고, 총 편익은 14,146,310,568원으로 추정되었으며, 유지관리비율 10%와 할인율 5%를 적용하여 경제성 분석을 수행하였음
- 운영기간을 50년으로 가정하여 분석한 결과 B/C 값은 2.94로 산정되어 매우 높은 경제성을 확보하고 있으며, 손익분기점은 4년으로 추정되었음



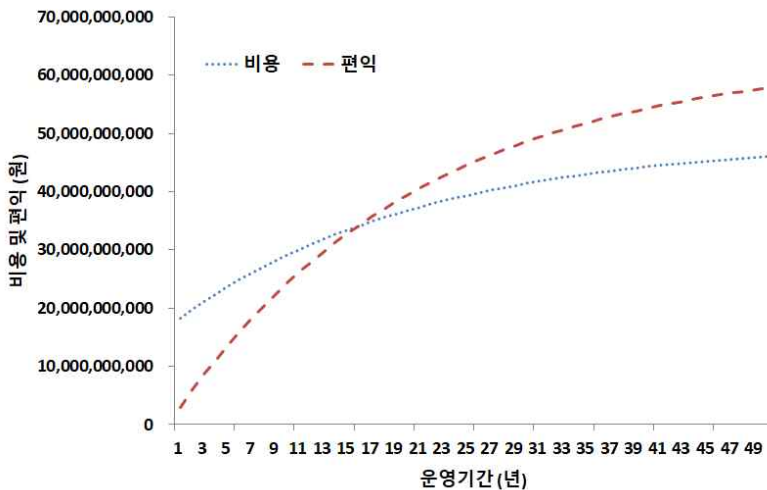
[그림 10.22] 주수원공 증고에 따른 금광저수지 경제성 분석 결과

- 풍전저수지의 초기 비용은 15,545,000,000원으로 산정되었고, 총 편익은 3,840,522,579원으로 추정되었으며, 유지관리비율 10%와 할인율 5%를 적용하여 경제성 분석을 수행하였음
- 운영기간을 50년으로 가정하여 분석한 결과 B/C 값은 1.57로 산정되어 경제성을 확보하고 있으며, 손익분기점은 9년으로 추정되었음



[그림 10.23] 주수원공 증고에 따른 풍전저수지 경제성 분석 결과

- 왕궁저수지의 초기 비용은 16,013,000,000원으로 산정되었고, 총 편익은 3,166,232,355원으로 추정되었으며, 유지관리비율 10%와 할인율 5%를 적용하여 경제성 분석을 수행하였음
- 운영기간을 50년으로 가정하여 분석한 결과 B/C 값은 1.26로 산정되어 경제성을 확보하고 있으며, 손익분기점은 16년으로 추정되었음



[그림 10.24] 주수원공 증고에 따른 왕궁저수지 경제성 분석 결과

2.3 이수안전도 상향조정을 위한 대안 결정 기준 제시

- 기후변화에 대비한 농업수자원의 관리는 기본적으로 국가의 안정적인 식량 공급과 직접적인 관련이 있음을 고려할 때, 매우 중요한 사안임을 인식해야 함 (최진용, 2015)
- 따라서, 농업생산기반시설이나 관련 수리 시설물의 안정적인 운영을 유지하고 관리하는데 있어 많은 연구와 영향평가가 이루어져야 하며, 대응 대책 수립에 지속적으로 노력이 필요한 상황임
- 본 연구에서는 이수안전도 상향조정을 위해서 보조수원공을 활용하여 주수원공의 이수안전도를 상향시키는 방법과 주수원공의 증고를 통하여 이수안전도를 상향시키는 방법을 적용하였음

- 두가지 방법에 대하여 경제성 분석을 수행하였고, 경제성 분석 결과를 바탕으로 이수안전도 상향조정을 위한 대안을 제시하고자 함

[표 10.3] 이수안전도 상향 조정에 따른 경제성 분석 결과 (50년 운영 기준)

시설명	대상지구 현황			경제성 분석 결과			
	유역 면적 (ha)	수혜 면적 (ha)	유효 저수량 (천톤)	보조수원공 활용		주수원공 증고	
				B/C	손익 분기점	B/C	손익 분기점
금광	4,830	1,906.1	12,047	3.84	3	2.94	4
덕우	2,270	573.3	3,547	3.84	3	0.83	-
학	2,600	378.4	1,426	-	-	0.78	-
송강	440	235	1,077	3.81	3	0.55	-
학정	706	214	775	3.85	3	0.54	-
냉정	535	326	940	-	-	0.79	-
풍전	1,110	655.1	2,621	-	-	1.57	9
금마	452	229.1	818	-	-	0.55	-
왕궁	866	540.6	1,941	-	-	1.26	16
관기	365	239.4	783	-	-	0.60	-
제산	476	203.2	511	-	-	0.54	-
개운	650	202.7	1,180	3.75	3	0.49	-
덕곡	686	312	695	-	-	0.68	-

- 보조수원공을 활용한 이수안전도 상향조정 방안은 금광, 덕우, 송강, 학정, 개운저수지에서 경제성이 확보된 것으로 분석되었으며, 모두 주수원공 증고 방안보다 B/C 값이 높게 산정되고 손익분기점이 빨라져서 보조수원공을 활용한 방안이 경제적인 대응방안으로 판단됨
- 하지만, 보조수원공을 활용하는 방법은 보조수원공 활용에 따른 주수원공의 수혜구역이 50% 감소되어도 10년 한발빈도의 이수안전도가 확보되지 못하는 지구가 있으므로 대상지구의 특성을 반영한 대응방안 수립이 필요

할 것으로 사료됨

- 주수원공 증고에 따른 경제성 분석 결과, 금광, 풍전, 왕궁저수지에서 B/C 값이 1을 상회하여 경제성이 확보된 것으로 판단되나, 이는 득높이기와 같은 저수지 증고를 위한 초기 투자비용이 막대하게 소요되어 기타 지역에서는 경제성이 확보되지 못하였음
- 따라서, 학, 냉정, 금마, 관기, 덕곡저수지의 경우에는 보조수원공 활용 방안이나 주수원공 증고 방안 모두 경제성이 확보되지 못하므로 구조적인 대책 보다는 비구조적인 대책 즉, 저수지 운영 및 관리 방안을 재검토 하는 것이 필요함

[표 10.4] 경제성 분석 결과를 토대로 이수안전도 상향조정 대응 방안

시설명	대응방안 채택		상세 내용
	보조수원공 활용	주수원공 증고	
금광	◎		- 수혜구역 30% 공급을 위한 보조수원공 개발
덕우	◎		- 수혜구역 40% 공급을 위한 보조수원공 개발
학			- 비구조적인 대책 마련 필요 (저수지 운영기준)
송강	◎		- 수혜구역 50% 공급을 위한 보조수원공 개발
학정	◎		- 수혜구역 50% 공급을 위한 보조수원공 개발
냉정			- 비구조적인 대책 마련 필요 (저수지 운영기준)
풍전		◎	- 320천톤의 추가 저수량 확보를 위한 저수지 증고
금마			- 비구조적인 대책 마련 필요 (저수지 운영기준)
왕궁		◎	- 418천톤의 추가 저수량 확보를 위한 저수지 증고
관기			- 비구조적인 대책 마련 필요 (저수지 운영기준)
제산			- 비구조적인 대책 마련 필요 (저수지 운영기준)
개운	◎		- 수혜구역 40% 공급을 위한 보조수원공 개발
덕곡			- 비구조적인 대책 마련 필요 (저수지 운영기준)



Office



Research



Farming



International

제 11 장

종합 결론

제 11 장 종합 결론

- 지구온난화와 엘리뇨 현상 등의 기후변화로 인하여 세계적인 가뭄, 홍수, 한파, 혹서 등의 재해 및 기상이변이 속출하고, 기후변화의 영향과 심각성은 수자원, 생태계, 산림, 보건, 농업 및 사회기반시설 등 다양한 분야에서 관측 혹은 전망되고 있음.
- 우리나라에서도 최근 들어 매해 가뭄이 발생하고 있고, 향후 한반도 가뭄 발생빈도는 더 급격한 증가 추세를 나타낼 것이며, 강수량의 시간적·지역적 편중이 심화되고, 극한 가뭄, 극한 홍수가 심화할 것으로 예견되고 있어 기후변화에 대비하기 위해 체계적이고 현실적인 적응 전략 도출을 위한 필요 기술을 개발함으로써 농촌용수 관리기술 및 시설물의 적응 역량을 강화하는 것이 절실함
- 이에 본 연구에서는 농업용 저수지의 합리적인 운용 및 관리, 용수공급능력에 대한 정량적인 평가를 위하여 기상·수문 현상 및 하류의 용수 수요, 영농 환경의 변화에 따른 기존의 설계기준의 재평가 및 미래 기후변화에 따른 농업수자원 이수안전도의 변화를 분석함으로써 농업용 저수지의 기후변화 적응대책을 도출하고자 함
- 이를 위해 본 연구는 2017년 1차년도에 이수안전도 분석을 통한 농업용 저수지 기후변화 영향 평가 실시를 위해 국내외 이수분야 설계기준 검토, 이수안전도 개념 정립, 시험지구 선정 및 설계한발빈도 분석, 이수안전도 개념 적용에 따른 시험지구 기후변화 영향 평가, 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석을 실시함.
- 국내 이수분야 관련 설계기준 검토 결과, 농업분야 이수설계기준은 농지 개량사업계획 설계기준 댐편 (농식품부, 1982)에서 ‘농업용댐의 이수목적 필요저수량을 일반적으로 10년에 1회 정도의 갈수를 기준’에 명시하고 있으며, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 필댐편 (농식품부, 2002)에서는 ‘농업용 저수지에서는 관개시기별 조용수량(수요량)과 10년빈도 한발시의 하천유량(공급량)을 기준’으로 명시하고 있음
- 국내 타 부처의 이수분야 설계기준은 수자원장기종합계획(국토교통부,

2016)에서는 30년 혹은 37년에 1회 물부족 허용 기준을 채택하고 있음. 댐설계기준(국토해양부, 2011)에서는 이수안전도의 정의 및 신뢰도 기준을 권장하고 있는데, 최근에는 기후변화 및 물공급 안정성 등을 고려하여 20~30년에 1회 물부족을 허용하는 조건을 채택하고 있음. 상수도 시설기준(환경부, 2010)에서는 저수지의 저수용량 결정에 사용하는 계획기준년은 10개년에 제1위 정도의 빈도를 갖는 갈수를 기준으로 사용하고 있음.

- 미국, 영국 및 호주 등과 같은 선진국의 경우, 농업분야에 국한된 이수설계기준은 파악하기 힘들었으며, 다목적댐의 경우 수환경 특성을 고려하여 국가별로 다양하게 이수안전도를 적용하고 있었음. 가뭄빈도가 높을 경우 50년 1회 가뭄 혹은 과거 최대 가뭄을 계획기준년으로 하고 있어 우리나라보다 안정적인 물공급 인프라를 보유하고 있음. 우리나라와 농업 환경이 유사한 일본의 농업분야 이수 설계기준(농림수산성, 2010)의 경우 수원계획의 계획기준년은 1/10 확률년(10년에 1회 그 사상이 발생하는 빈도)을 채택하고 있음.
- 물공급 안정성의 척도로 나타내는 이수안전도는 우리나라 다목적댐의 경우 보장공급량 기준에서 신뢰도 기준을 권장하고 있는 추세이나 농업용 저수지의 경우에는 한발빈도개념을 이수안전도의 척도로 적용하고 있으며, 한발빈도개념으로서 “10년 한발빈도(10년 1회 갈수기준)” 을 안정적인 농업용수 확보 기준으로 두고 있으므로 이를 농업용수분야 이수안전도 개념으로 봄
- 공사관리 저수지 중 주수원공 저수지 대상으로 하여, 최근 가뭄대책 지구를 고려하되 저수지 유역배율을 기준으로 전국적으로 13개 시험지구를 선정하여 과거의 설계한발빈도 재현 시나리오, 현재의 설계한발빈도 산정을 위한 현재기상자료만 적용한 시나리오, 현재 기상자료 및 현장여건 변화 자료를 조합한 경우의 시나리오를 각각 적용하여 과거대비 현재 이수안전도를 비교 분석하였음.
- 먼저 시험지구 강우인자의 변화를 분석한 결과, 30년 단위 연평균 강수량을 비교했을 때 모든 대상지에서 과거 30년간 강수량에 비해 최근 30년간 강수량이 증가하는 추세를 보였으나, 5년 단위 연평균 강수량을 비교했을

때, 2013년에서 2016년 강수량이 모든 대상지에서 감소하는 추세를 보였음. 10년 단위 월별 강수량 패턴을 비교했을 때 모든 대상지에서 최근 여름 강수량이 감소하는 것으로 나타남.

- 이수안전도 분석을 위해 실시된 물수지 분석에서 저수지별 과거 30년, 최근 30년 단위 연평균 유출량 비교에서 최근 연평균 유출량이 모든 저수지에서 1.8~9.3% 증가하는 것으로 나타났음. 또한 과거에 비해 최근 30년 기상자료만 반영한 경우 대부분이 유효우량이 감소하거나 증가폭이 매우 적게 나타남. 최근 기상자료와 현장여건 변화를 함께 적용하였을 경우에는 일부 저수지를 제외하고는 대부분이 유효우량 증가 추세를 보였음
- 이수안전도 분석 시나리오에 따른 저수지별 단위 필요수량은 5년단위 연평균 조용수량을 비교하였을 때 대부분의 저수지에서 증가하는 것으로 나타났으나, 일부 저수지에서는 현장여건 변화 등으로 조용수량이 감소하는 것으로 나타남.
- 통계연보 상의 설계당시 계획한발빈도와 과거 설계빈도 재현 시나리오 (1961년~1990년, 1973년~2002년)를 비교한 결과 과거 설계빈도 재현 시나리오에서 금광, 덕우저수지 및 개운저수지를 제외한 모든 저수지에서 2~3년 한발빈도의 결과를 나타내 통계연보상의 계획한발빈도와 상당한 차이를 나타냄. 대부분의 시험지구 저수지의 준공연도가 1940년대로 당시 기상자료 부족에 따른 설계상황의 재현이 어려워 두 한발빈도 차이의 원인 파악이 불가능하였음.
- 과거 설계빈도 재현시나리오 및 현재 시나리오 1 (1987~2016년)의 경우, 동일한 기초자료 (재배방식, 작부시기, 침투량 등)를 활용하여 이수안전도를 산정한 결과의 차이는 미비했음. 이는 두 시나리오의 경우 사용된 기상자료의 기간이 20년 정도 중첩되는 것이 주요 요인으로 사료됨.
- 최근 기상자료(1987~2016년) 및 현장여건 변화 조사 자료를 활용한 현재 시나리오 2의 경우에도 일부 저수지를 제외하고는 과거 및 현재 시나리오 1의 경우와 비슷한 결과를 나타내었음. 대부분의 저수지에서 조용수량이 증가함에 따라 일부 저수지의 경우에는 이수안전도가 감소하는 경향을 보이나, 현장여건 변화 조사자료를 활용한 현재 시나리오 2에서는 조용수량

이 감소하는 경향이 나타나, 이수안전도가 동일하거나 증가하는 것으로 나타남.

- 기후변화 시나리오를 적용하여 현재 대비 미래 이수안전도를 분석한 결과, 모든 저수지에서 4년 빈도 이하의 낮은 이수안전도를 가지는 것을 나타남. 향후 미래 논밭 변화 추이를 적용하여 보다 현실성 있는 결과물 도출이 필요할 것으로 사료됨
- 마지막으로 이수안전도 상향조정 즉, 한발빈도 10년을 유지하기 위한 필요저수량 확보를 위한 경제성 분석은 저수지 독높이기 사업, 배수개선사업 등 유사 사업에서의 경제성 분석 사례를 토대로 경제성 분석 방법을 검토하였음
- 이수안전도 상향조정을 위한 경제성 분석을 위한 비용은 기존의 저수지 독 높이기 사업을 시행한 110개 지구의 추가확보저수량과 총사업비의 상관관계로부터 본 연구의 시범지구의 추가확보저수량에 대한 사업비를 추정하였으며, 편익은 직접 편익 즉, 생산성 향상 효과, 작목전환 효과를 적용하여 산정하였음.
- 경제성 분석을 수행한 결과, B/C 값이 1 이상인 경우는 3개 저수지로 나타났으며, 그 외 저수지는 0.4~0.84 범위로 나타남. 금광저수지의 경우 B/C가 가장 높은 2.33로 나타났으며, 손익분기점은 5년으로 분석되었음
- 본 연구에서는 편익의 과대 산정을 방지하기 위하여 직접 편익만을 적용하여 경제성 분석을 수행하였으나, 기타의 간접 편익을 고려한다면 사업에 대한 경제적인 타당성이 확보될 수 있을 것으로 사료되며, 2차년도에는 보조수원공을 포함한 직접 편익 및 간접 편익을 동시에 적용하여 경제성 분석 실시함
- 2018년 2차년도 연구에서는 기후변화를 고려한 농업용 저수지 이수 설계 기준을 정립 하고자 이수분야 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 통한 문제점 분석, 농업용 저수지의 설계인자별 민감도, 취약성 분석에 의한 설계요소 분석 한발빈도, 저수용량 변경 및 보조수원공 등을 고려한 기후변화 대응 방안 제시, 기후변화 대응 방안에 따른 농업용수 이수안전도 분석을 실시함.

- 2차년도 저수지 이수안전도 분석을 위해 공사 관할 저수지 중 주수원공 중 유효저수량 100만 톤 이상인 저수지 466개소를 시험지구로 재선정하여 시험지구 저수지의 통계연보상의 한발빈도와 유역배율 등 기본 자료를 조사 및 전국적으로 통계연보대비 현재기상조건에서의 이수안전도를 분석하였음.
- 현재의 기상조건(1987~2016)을 기준으로 시험지구 저수지를 대상으로 이수안전도를 분석한 결과, 전국적으로 한발빈도 10년 이상인 곳이 316개소, 7년빈도 33개소, 5년 빈도 16개소, 3년 26개소, 평년이하 72개소로 각각 나타났으며, 지역적으로는 저수지가 상대적으로 많은 전라남도, 전라북도, 충청남도, 경상북도에서 한발빈도 3년 이하의 저수지가 상대적으로 많아 이수측면에서 불안정한 지역으로 파악됨
- 통계연보와 현재의 기상조건 기준으로 한발빈도의 변화를 조사한 결과, 한발빈도가 감소한 경우가 80개, 동일한 경우 161개, 증가한 경우가 225개로 나타나 100만톤 이상 주수원공 농업용 저수지는 전체적으로 이수안전도가 향상된 추세를 나타내었는데 이는 저수지둑높이기사업, 개보수사업 등을 통한 결과로 판단됨
- 이러한 결과를 바탕으로 이수안전도 유형분류 및 용수공급능력의 변화 요인을 분석한 결과, 통계연보에 비해 이수안전도가 지역의 경우 상대적으로 유역배율과 단위저수량이 낮은 쪽에 많이 분포하고 있었음.
- 설계한발빈도와 실제 공급량 차이의 분석을 통해 이수안전도 측면에서 문제점을 분석하고자 1차년도 시범지구인 송강저수지를 대상으로 설계기준과 실제 공급량 차이 분석을 실시함. 그 결과, 실제 공급량 분석에서 저수지가 고갈되지 않는 범위에서 운영된 것으로 나타나 설계기준과 실제 공급량의 차이가 발생한 것으로 파악되며 농업용수 관리자에 의해 이루어진 것으로 판단됨.
- 과거 및 현재 기상자료를 활용하여 송강저수지의 유입량 및 필요수량을 비교한 결과를, 시나리오 별로 유입량은 매우 유사했으며, 현재 기상자료에 현장여건 변화를 적용 시에 시나리오별로 필요수량이 다르므로 공급수량에 차이가 발생하는 것으로 판단됨.

- 이수안전도 분석에 있어 중요한 설계인자를 파악하고자 저수지 설계모형인 HOMWRS의 필요수량 입력자료 중 주요 설계요소인 관개면적, 침투량, 수로손실, 담수심을 대상으로 민감도 분석을 실시한 결과, 필요수량 산정 결과값에 대한 민감 정도는 관개면적 > 수로손실 > 침투량 > 담수심 순으로 나타남
- 주요 설계요소 변화에 따른 저수지 이수안전도에 미치는 영향을 파악하기 위해 작물계수 및 작부시기 변화에 대한 영향을 분석하고, 현장여건 변화에 가장 큰 요소인 경지면적에서 논에서의 발작물 재배비율 증대에 따른 영향을 분석함.
- 최근 작물계수의 변화는 조용수량에 감소요인으로 작용한 반면, 작부시기의 변화는 조용수량에 증가요인으로 작용하여 기존의 방법을 적용한 경우보다 조용수량이 평균적으로 높게 나타나 작부시기를 고려한 경우와 작물계수 및 작부시기를 동시에 고려한 경우 조용수량 증가로 이수안전도 측면에서 불리한 결과를 도출함.
- 경지면적 비율변화에 따른 조용수량 변화는 발면적 비율이 증가함에 따라 조용수량이 감소하였으며, 저수지별 정도의 차이는 있으나 대체적으로 발작물별 단위면적당 필요용수량은 고추<특용작물<두류<고구마<마늘<과수 순으로 높게 나타남.
- 또한 기후변화 요소인 작물계수 및 작부시기 변화의 적용, 못자리 용수미 고려, 벼의 작부시기 구분 개선, 시설관리용수량 증대요소 반영 등의 저수지 설계 프로그램의 개선사항과 농업생산기반정비사업 설계기준상의 개선 사항을 제안함
- 기후변화가 미래 장기유출에 미치는 영향을 분석할 결과, 일반적인 수문학적 물순환 경향과 동일하게 연 강수량이 증가할수록 저수지 유입량 역시 증가하고 있으며 1:1의 상관관계를 나타냄. 강수량은 유역으로부터의 유출 즉, 저수지 유입량에 변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자로서, 수량 1,000~1,200mm의 범위에서는 2분기 강수량 비율이 이수안전도를 결정하는 가장 중요한 요소가 되며, 이때 저수지 운영이나 보조수원공의 운영 등의 개선을 통하여 이수안전도를 상향시킬 수 있을 것으로 판단됨

- 기후변화에 따른 농업용 저수지의 이수 대책을 도출하기 위하여, 현재부터 2100년까지 이수안전도 즉, 한발빈도를 예측하였으며 2050년 전후로 나누어 한발빈도 변화를 평가함. 그 결과 1~4년의 한발빈도를 나타냄
- 이수안전도 상향 조정을 위한 대책으로는 크게 수리시설개선, 용수의 다목적 이용, 법정계획의 개편, 기후변화 평가, 농업용수 관리, 인식변화의 필요, 가뭄대책, 물절약 정책 등으로 제시되고 있음
- 기후변화 대응방안을 적용한 이수안전도를 분석하기 위하여, 본 연구에서는 현장 실무에서 적용 가능한 대책으로서 보조수원공을 활용한 이수안전도 제고 및 주수원공의 유효저수량 증고에 따른 이수안전도 제고의 2가지 방안을 제시함
- 보조수원공을 활용하여 주수원공의 수혜구역을 감소시키는 방안은 주수원공의 수혜구역을 10%부터 50%까지 감소시키는 시나리오를 적용하여 미래 주수원공의 이수안전도 (한발빈도)를 재분석한 결과, 한발빈도가 기존 3년에서 점진적으로 증가하여 수혜구역이 약 30% ~ 40% 범위로 줄어들었을 경우 한발빈도 10년을 상회하는 것으로 분석되었음.
- 시범지구를 대상으로 이수안전도 상향 조정을 위한 보조수원공 활용 및 주수원공 증고에 대한 경제성 분석을 실시한 결과, 보조수원공을 활용한 이수안전도 상향조정 방안은 금광, 덕우, 송강, 학정, 개운저수지에서 경제성이 확보된 것으로 분석되었으며, 보조수원공을 활용한 방안이 주수원공 증고 방안보다 모두 B/C 값이 높게 산정되고 손익분기점이 빨라져서 보조수원공을 활용한 방안이 더 경제적인 기후변화 대응방안으로 나타남
- 주수원공 증고에 의한 이수안전도 상향조정에 따른 경제성 분석 결과는 금광, 풍전, 왕궁저수지에서 B/C 값이 1을 상회하여 경제성이 있는 것으로 나타났으나, 저수지둑높이기사업과 같이 저수지 증고를 위한 초기 투자비용이 막대하게 소요되는 관계로 기타 지역에서는 경제성이 없는 것으로 나타남
- 나머지 학, 냉정, 금마, 관기, 덕곡저수지의 경우에는 보조수원공 활용 방안이나 주수원공 증고 방안 모두 경제성이 확보되지 않은 관계로 구조적인 대책 보다는 비구조적인 대책 즉, 저수지 운영 및 관리 방안을 재검토

하는 것이 필요함

참고문헌

1. 경제기획원, 1982, 투자조사편람(농업부문)
2. 김수전, 강나래, 김형수, 2013, 기후변화가 댐의 이수 및 치수안전도에 미치는 영향 평가, 한국방재학회지, 13(1)
3. 국토교통부, 2004, 치수사업 경제성분석 개선 방안에 대한 연구
4. 국토교통부, 2008, 수자원사업의 타당성 분석 개선방안 연구
5. 국토해양부, 2011, 댐설계기준
6. 국토교통부, 2016, 수자원장기종합계획 (2001~2020)
7. 기상청, 2016, 증발량 관측방법 개선을 통한 자동화 추진계획 알림
8. 남원호, 홍은미, 김태곤, 최진용, 2014, 기후변화 시나리오를 고려한 농업용 저수지의 미래 용수공급 지속가능성 전망, 한국농공학회논문집, 56(4)
9. 농림수산성, 2010, 토지개량사업계획설계기준 및 운용, 해설 계획 “농업용 수(논)”, 일본
10. 농수산부·농업진흥공사, 1984, 수리시설내한능력조사 종합보고서
11. 농식품부, 1968, 농지개량사업 계획 설계기준 (필댐편)
12. 농식품부, 1976, 농지개량사업 계획 설계기준 (객토편)
13. 농식품부, 1982, 농지개량사업 계획 설계기준 (댐편)
14. 농식품부, 1987, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (방재공편)
15. 농식품부, 1989, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (콘크리트댐편)
16. 농식품부, 1991, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (해면간척편)
17. 농식품부, 1995, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (경지정리편)
18. 농식품부, 1996, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (취입보편)
19. 농식품부, 1998a, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (관개편)
20. 농식품부, 1998b, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (수로터널편)
21. 농식품부, 2000, 농업생산기반정비사업 추진성과 분석 및 농촌개발방안 연구
22. 농식품부, 2002, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (필댐편)
23. 농식품부, 2004, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (수로편)
24. 농식품부, 2005, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (양배수장편)

25. 농식품부, 2006, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (개간편)
26. 농식품부, 2007, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (농도편)
27. 농식품부, 2008, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (친환경편)
28. 농식품부, 2009, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (관수로편)
29. 농식품부, 2010, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (농지보전편)
30. 농식품부, 2012, 농업생산기반정비사업 계획 설계기준 (배수편)
31. , 2013a, 농업기반시설의 재해대비능력에 대한 경제성 평가 기법 연구
32. 농식품부, 2013b, 농업생산기반정비사업 계획설계기준 표준코드개발 연구
33. 농식품부, 2016, 농업생산기반정비사업 계획설계기준 개편 연구
34. 농업진흥공사, 서울대 농업개발연구소, 1986, 작물 소비수량 산정방법의 정립
35. 농촌진흥청, 2017a, 농업분야 용수량 산정을 위한 벼 작물계수 제공, 정책 제안자료
36. 농촌진흥청, 2017b, 벼 작황진단 시험, 연구결과보고서
37. 농촌진흥청, 2017c, 토양·작물·지역에 따른 밭작물 물사용기술
38. 이재웅, 2012, 이수안전도 평가방법의 개선방향, 한국수자원학회 45(12) : 51-57
39. 최진용, 이상현, 2015, 기후변화 대응을 위한 농업 가뭄 대책, 농어촌과 환경
40. 한국개발연구원, 2003, 수자원(댐) 부문사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구
41. 한국농어촌공사, 2015, 농업생산기반정비 통계연보
42. 한국농어촌공사, 2016, 국회정책토론 자료집 “기후변화, 농업기반시설은 안전한가?”
43. 한국농어촌공사, 2017, 영농대비 용수확보 추진지구
44. 한오현, 2016, 가뭄극복을 위한 물이용 효율화 및 시설개선, 농어촌과 환경
45. 한준희, 2016, 농업·농촌부문 가뭄대응 정부 종합대책, 농어촌과 환경
46. 환경부, 2010, 상수도시설기준
47. APEC 기후센터, 2016, IPCC 5차 보고서
48. KDI, 2012, 백곡지구 농업용저수지 독높임 사업 예비타당성 조사

부 록 I - 기초자료 현장조사

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

■ 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구

■ 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부

■ 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기관 및 소속 : 안성 지사 수자원관리부 부서

- 성 명 및 직 함 : 강 이환

- 관리 저수지 명 : 금강저수지

1. 관개면적		(1,906)ha
2. 재배방식	못자리 면적	(.)%
	못자리 정지용수량	()mm
	이랑 용수량	()mm
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간	(4)월 (8)일
	순수묘대기 기간	(4)월 (15)일
	묘대이랑기 기간	(5)월 (15/10)일
	이랑분담기 기간	(5)월 (20)일
	분담기 기간	(5)월 (10)일
4. 수로손실		(30)%
5. 침 투 량		()mm/day
6. 작물계수		()
7. 담 수 심	최대 담수심	(200)mm
	최소 담수심	(100)mm
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)		

9/10

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기관 및 소속: 화성수원 지사 수리원관리부 부서
- 성 명 및 직 함: 3급 기 관 관
- 관리 저수지 명: 죽우저수지

1. 관개면적		(<u>513</u>)ha
2. 제배방식	못자리 면적	()%
	못자리 정지용수량	()mm
	이랑 용수량	()mm
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간	(<u>4</u>)월 (<u>1</u>)일
	순수묘대기 기간	(<u>4</u>)월 (<u>10</u>)일
	묘대이랑기 기간	(<u>4</u>)월 (<u>15</u>)일
	이랑본답기 기간	(<u>4</u>)월 (<u>20</u>)일
	본답기 기간	(<u>5</u>)월 (<u>1</u>)일
4. 수로손실		()%
5. 침 투 량		()mm/day
6. 작물계수		()
7. 담 수 심	최대 담수심	(<u>200</u>)mm
	최소 담수심	(<u>100</u>)mm
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)		

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기 관 및 소 속 : 철원지사 수자원관리 부서
- 성 명 및 직 함 : 이 덕 중 주임
- 관 리 저수지 명 : 학저수지

1. 관개면적		(378.4)ha
2. 재배방식	못자리 면적	(1.1)%
	못자리 정지용수량	(77)mm
	이랑 용수량	(105)mm
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간	(4)월 (1)일
	순수묘대기 기간	(4)월 (10)일
	묘대이랑기 기간	(5)월 (1)일
	이랑본답기 기간	(6)월 (11)일
	본답기 기간	(7)월 (1)일
4. 수로손실	용수로전체(60km)(구조물70:토공30)	(15)%
5. 침 투 량		()mm/day
6. 작물계수		()
7. 담 수 심	최대 담수심	(445)mm
	최소 담수심	(398)mm
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)		

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기관 및 소속 : 충주·제천·안양 지사 수자원관리 부서
- 성 명 및 직 함 : 황천환 과장
- 관리 저수지 명 : 송강저수지 (저수면 : 1232천 m²)

1. 관개면적		(<u>282</u>)ha	
2. 재배방식	못자리 면적	()%	
	못자리 정지용수량	(<u> </u>)mm	못자리용수 많은 용수량의 20%
	이랑 용수량	(<u>593</u>)mm	
3. 작부시기			
	못자리 정지용수 기간	()월 ()일	
	순수묘대기 기간	()월 ()일	
	묘대이랑기 기간	(<u>5</u>)월 (<u>13</u>)일	
	이랑본답기 기간	(<u>6</u>)월 (<u>8</u>)일	
	본답기 기간	(<u>9</u>)월 (<u>25</u>)일	
4. 수로손실		(<u>10</u>)%	
5. 침 투 량		()mm/day	평년치 기준 0
6. 작물계수		()	
7. 담 수 심	최대 담수심	()mm	
	최소 담수심	()mm	
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)			

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기관 및 소속: 진천·용성 지사 수자원관리 부서
 - 성명 및 직함: 김기반 과장
 - 관리 저수지 명: 용계저수지 (재방 나, 관용만)

1. 관개면적	(<u>1.064</u>)ha
2. 재배방식	못자리 면적 ()%
	못자리 정지용수량 ()mm
	이랑 용수량 (<u>160</u>)mm
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간 ()월 ()일
	순수묘대기 기간 ()월 ()일
	묘대이랑기 기간 (<u>5</u>)월 (<u>3</u>)일
	이랑본답기 기간 (<u>5</u>)월 (<u>20</u>)일
	본답기 기간 (<u>9</u>)월 (<u>20</u>)일
4. 수로손실	(<u>15</u>)%
5. 침투량	()mm/day
6. 작물계수	()
7. 담수심	최대 담수심 (<u>150</u>)mm
	최소 담수심 (<u>-</u>)mm
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)	

저수량의 40%

현시 적용

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기 관 및 소 속 : 아산천안지사 수자원관리부
- 성 명 및 직 함 :
- 관 리 저수지 명 : 냉정저수지

1. 관개면적		(320)ha
2. 재배방식	못자리 면적	(5)%
	못자리 정지용수량	()mm
	이앙 용수량	(5천톤)mm
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간	()월 ()일
	순수묘대기 기간	(4)월 (20)일
	묘대이앙기 기간	(5)월 (11)일
	이앙본답기 기간	(5)월 (22)일
	본답기 기간	(9)월 (15)일
4. 수로손실		(15)%
5. 침 투 량		()mm/day
6. 작물계수		()
7. 담 수 심	최대 담수심	()mm
	최소 담수심	()mm
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)		

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

순수묘대기 기간	()월 (20)일	4/20-5/10
묘대이앙기 기간	()월 (10)일	5/11-5/21
이앙본답기 기간	()월 (23)일	5/22-6/15
본답기 기간	(3)월 (10)일	6/05-9/15

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 차: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기관 및 소속: *서산, 태안* 지사 *레조넌스* 부서
- 성명 및 직함: *강희 학생*
- 관리 저수지명: *풍전 저수지*

1. 관개면적		(<i>655.1</i>)ha	
2. 재배방식	못자리 면적	()%	<i>못자리용수는 농민에게 제공 않는다</i>
	못자리 정지용수량	()mm	
	이랑 용수량	()mm	
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간	()월 ()일	<i>관수여정은 9월이후</i>
	순수묘대기 기간	(<i>4</i>)월 (<i>10</i>)일	
	묘대이랑기 기간	(<i>5</i>)월 (<i>05</i>)일	
	이랑분담기 기간	(<i>5</i>)월 (<i>10</i>)일	
	분담기 기간	(<i>5</i>)월 (<i>13</i>)일	
4. 수로손실	<i>2.5%</i>	(<i>0.8</i>)%	
5. 침투량		()mm/day	
6. 작물계수		()	
7. 담수심	최대 담수심	(<i>180</i>)mm	
	최소 담수심	(<i>50</i>)mm	
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)			

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기 관 및 소 속 : 아산천안지사 천안지부 부서
- 성 명 및 직 함 : 김병권 과장
- 관 리 저수지 명 : 학정저수지

1. 관개면적		(214)ha
2. 재배방식	못자리 면적	(17)%
	못자리 정지용수량	()mm
	이양 용수량	(127천톤)mm
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간	()월 ()일
	순수묘대기 기간	(4)월 (11)일
	묘대이양기 기간	(5)월 (1)일
	이양분답기 기간	(6)월 (11)일
	분답기 기간	(9)월 (15)일
4. 수로손실		(15)%
5. 침 투 량		()mm/day
6. 작물계수		()
7. 담 수 심	최대 담수심	()mm
	최소 담수심	()mm
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)		

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기 관 및 소 속 : 익산지사 수자원관리부서

- 성 명 및 직 함 :

- 관 리 저 수 지 명 : 금마저수지

1. 관개면적		(	229.1)ha
2. 재배방식	못자리 면적	(	4)%
	못자리 정지용수량	(	68.73)천 m ³
	이랑 용수량	(	733.12)천 m ³
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간		4월20일-5월10일
	순수묘대기 기간		4월20일-5월10일
	묘대이랑기 기간		4월20일-5월10일
	이랑분답기 기간		5월11일-6월10일
	분답기 기간		4월11일-5월10일
4. 수로손실		()%
5. 침 투 량		(	)mm/day
6. 작물계수		()
7. 담 수 심	최대 담수심	(	70)mm
	최소 담수심	(	20)mm

8. 기타 및 건의사항 (자유기술)

- 재배방식에 있어 용수량은 시기별 필요 용수심mm를 이용하여

용수공급량인 천cc로 산출하여 작성

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기 관 및 소 속 : 익산지사 수자원관리부서
- 성 명 및 직 함 :
- 관 리 저수지 명 : 왕궁저수지

1. 관개면적		(	540.6)ha
2. 재배방식	못자리 면적	(	4.7)%
	못자리 정지용수량	(	162.18)천 m ³
	이양 용수량	(	1,729.92)천 m ³
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간		4월20일~5월10일
	순수묘대기 기간		4월20일~5월10일
	묘대이양기 기간		4월20일~5월10일
	이양분답기 기간		5월11일~6월10일
	분답기 기간		4월11일~5월10일
4. 수로손실		()%
5. 침 투 량		(	)mm/day
6. 작물계수		()
7. 담 수 심	최대 담수심	(	70)mm
	최소 담수심	(	20)mm

8. 기타 및 건의사항 (자유기술)

- 재배방식에 있어 용수량은 시기별 필요 용수심mm를 이용하여

용수공급량인 천㎥로 산출하여 작성

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기관 및 소속: 장흥 지사 지명개발부 부서
- 성 명 및 직 함: 김종석 차장
- 관리 저수지 명: 자산저수지 (총저수량 51.5천 m³)

1. 관개면적	(122.3)ha
2. 제배방식	못자리 면적 (X)%
	못자리 정지용수량 (X)mm
	이양 용수량 ()mm
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간 ()월 ()일
	순수묘대기 기간 ()월 ()일
	묘대이양기 기간 (5)월 (10)일
	이양본답기 기간 (6)월 (30)일
	본답기 기간 (9)월 (20)일
4. 수로손실	(10)%
5. 칩 투 량	()mm/day
6. 작물계수	()
7. 담 수 심	최대 담수심 (150)mm
	최소 담수심 ()mm
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)	

50%
저수량 60%
세

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최경숙 교수)

- 기 관 및 소 속 : 한국농어촌공사 상주시사 수자원관리부
- 성 명 및 직 함 : 4급 임대호
- 관 리 저수지 명 : 개운저수지

1. 관개면적		(202.7)ha
2. 재배방식	못자리 면적	(10)%
	못자리 정지용수량	(140)mm
	이양 용수량	(100)mm
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간	(4)월 (17)일
	순수묘대기 기간	(4)월 (21)일
	묘대이양기 기간	(5)월 (21)일
	이양본답기 기간	(6)월 (11)일
	본답기 기간	(9)월 (11)일
4. 수로손실		(10.0)%
5. 침 투 량		(5.0)mm/day
6. 작물계수		(1.08)
7. 담 수 심	최대 담수심	(80)mm
	최소 담수심	(20)mm
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)		

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

한국농어촌공사 연구과제 기초자료 수집을 위한 자료조사

이 자료조사지는 농촌용수 활용을 위한 연구과제 기초자료를 수집하기 위한 내용입니다. 바쁘시더라도 성실히 작성하여 주시기 바랍니다.

- 과 제 명: 기후변화에 대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
- 발 주 처: 한국농어촌공사, 농림수산식품부
- 수행기관: 한국농공학회 (연구책임자: 경북대학교 최정숙 교수)

- 기관 및 소속: 서천 지사 수자원부 부서
- 성 명 및 직 함: 윤상석 계장
- 관리 저수지 명: 리곡저수지 (화양 2430천 m³, (비안양저수지 저수량 제한))

1. 관개면적	(	<u>271.4</u>	)ha			
2. 재배방식	못자리 면적	(	<u>X</u>)%		
	못자리 정지용수량	(	<u>X</u>	)mm		
	이양 용수량	(		)mm		
3. 작부시기	못자리 정지용수 기간	(		)월 (		)일
	순수묘대기 기간	(	<u>4</u>	)월 (	<u>25</u>	)일
	묘대이양기 기간	(	<u>5</u>	)월 (	<u>20</u>	)일
	이양본답기 기간	(	<u>6</u>	)월 (	<u>25</u>	)일
	본답기 기간	(	<u>9</u>	)월 (	<u>30</u>	)일
4. 수로손실	()%			
5. 침 투 량	(	<u>15</u>	)mm/day			
6. 작물계수	()			
7. 담 수 심	최대 담수심	(		)mm		
	최소 담수심	(		)mm		
8. 기타 및 건의사항 (자유기술)						

~~관개면적~~ 이양용수
소산

자료조사에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

부 록 II - 연구성과 실적

가. 2017년 한국농공학회 학술발표회 연구결과 발표(2017.10.15. ~ 2017.10.17.)

- (구두발표) 기후변화에 따른 농업용 저수지의 설계한발빈도 재평가
- (포스터발표) 이수설계기준 정립을 위한 기초자료 현장 조사 및 분석
- (포스터발표) 영농방식변화에 따른 논용수 수요량 및 공급량 변화 분석

나. 2018년 한국농공학회 학술발표회 연구결과 발표(2018.11.01. ~ 2018.11.02.)

- (구두발표) 기후인자 변화에 의한 농업용 저수지 이수안전도 분석
- (포스터발표) 농업용 저수지의 필요수량 산정 설계인자별 민감도 분석
- (포스터발표) 기후변화에 따른 농업용 저수지의 미래 한발빈도 분석
- (포스터발표) 이수안전도를 고려한 농업용 저수지의 지역가뭄빈도 유형화

다. PAWEES-INWEPF International Conference(2018.11.20. ~ 2018.11.22.)

- (구두발표) Evaluation of water conservation design standard of agricultural reservoirs under climate change

라. 한국농공학회논문집 논문 발표 (2018) Vol. 60, No. 1, pp. 121~131

- 기상 및 영농방식 변화에 따른 농업용 저수지의 설계한발빈도 및 이수안전도 재평가

기후변화에 따른 농업용 저수지의 설계한발빈도 재평가
Reevaluation of Design Frequency of Drought for Agricultural Reservoirs under
Climate Change

남원호*, 권형중**, 최경숙***

Won-Ho Nam, Hyung Joong Kwon, Kyung-Sook Choi

요 지

농업생산기반정비사업계획설계기준(1982)에 따르면 농업용 저수지의 이수목적의 필요저수량은 일반적으로 10년 빈도 한발 시의 공급량을 기준으로 설계되었다. 농업용 저수지 관리기관별 설계한발빈도(Design Frequency of Drought)의 경우 한국농어촌공사 관리 저수지의 약 78%는 10년 빈도 가뭄에도 안정적으로 농업용수를 공급할 수 있도록 설계된 반면, 시/군 관리 저수지의 경우 약 63%는 평년(약 2.3년) 한발빈도로 설계되었다. 10년 미만의 설계한발빈도로 축조된 소규모 저수지는 약한 가뭄에도 용수공급이 어려울 뿐만 아니라, 최근 기후변화로 인한 가을부터 이듬해 봄까지 정례적인 이상가뭄 발생과 극한강우사상의 증가로 인한 동일강우 대비 유효강우량이 감소됨으로써 최근의 연속적인 가뭄사상에 대한 재해위험도가 상대적으로 가중되고 있다. 농업수자원 시스템의 운영 방안 수립에 필수적인 용수공급 능력의 평가 척도로서 보편적으로 사용되는 설계빈도에 대한 기후변화로 인한 수문사상의 변화 및 수요의 다변화에 따른 이수안전도의 평가가 요구된다. 즉 저수지 운영은 건설 당시와 상이한 환경을 반영하여 관리해야하며, 시간이 경과함에 따라 기상, 수문현상 및 하류의 용수수요, 유역 환경의 변화로 인한 농업용수 공급체계의 상황변화에 따른 설계한발빈도 및 이수안전도의 재평가가 필요하다. 본 연구에서는 설계한발빈도 및 설계기준과 연계하여 용수공급 부족기간, 내한능력 등의 내용을 포함한 농업용 저수지의 이수안전도 개념을 정립하고, 기후변화에 따른 현장여건 변화(논 재배면적 변화, 영농패턴 및 작부시기 변화, 용수공급량 변화 등)를 반영한 이수안전도를 재평가하고자 한다. 공사관리 저수지 중 주수원공 저수지 대상으로 최근 영농대비 용수확보 추진지구(가뭄대책지구, 2017) 중 13개 대상지구 선정하였다. 최근 30년(1987~2016년) 자료를 기준으로 저수지 모의 운영을 통한 물수지 분석결과를 활용하여 변화된 용수공급능력 및 설계한발빈도를 재평가하여 이수안전도를 재현기간으로 환산하였다.

핵심용어 : 기후변화, 농업 가뭄, 농업용 저수지, 설계한발빈도, 용수공급능력, 이수안전도

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 한국농어촌공사 농어촌연구원의 2017년 농촌개발시험연구의 지원을 받아 연구되었음.

* 정회원·한경대학교 지역자원시스템공학과 조교수·E-mail : wonhonam@hknua.ac.kr
** 정회원·유일기연 기술연구소 책임연구원·E-mail : kwonhj@yooleng.co.kr
*** 정회원·경북대학교 농업생명과학대학 농업토목공학과 교수·E-mail : ks.choi@knu.ac.kr

이수 설계기준 정립을 위한 기초자료 현장 조사 및 분석

Analysis and Field Survey of Agricultural Basic Data for Water Use Design Standards

권형중*, 최경숙**, 남원호***
Hyungjoong Kwon, Kyungsook Choi, Wonho Nam

요 지

지구온난화와 엘니뇨 현상 등의 기후변화로 인하여 세계적인 가뭄, 홍수, 한파, 혹서 등의 재해 및 기상이변이 속출하고, 최근 들어서는 우리나라의 경우 매해 가뭄이 발생하고 있어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다. 기후변화의 영향과 심각성은 수자원, 생태계, 산림, 보건, 농업 및 사회기반시설 등 다양한 분야에서 관측 혹은 전망되고 있는데, 특히 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 4차 보고서(2007)에서는 미래 기후변화로 인한 영향 중 가장 취약한 부분으로 기후시스템 변화에 따른 강수패턴의 변화와 이로 인한 가용 수자원의 감소를 선정하였다. 미국, 영국, 일본 등 주요 선진국에서는 기후변화 관련 법적, 제도적 근거를 마련하여 이미 자국들의 기후변화 적응 프로그램을 시행하고 있으며, 우리나라도 기후변화에 대비하기 위해 체계적이고 현실적인 적응 전략 도출을 위한 필요 기술을 개발함으로써 농촌용수 뿐만 아니라 수자원 관리 기술 및 시설물의 적응 역량을 강화하는 것이 절실하다. 특히, 소규모 농업용 저수지는 용수공급 능력이 부족한 실정으로 저수지 본연의 용수공급 기능을 상실하거나 농업용수 공급 및 유지관리 측면에서 비효율성이 지속되고 있으며, 이상기후 및 집중호우에 의한 취약성 증대, 홍수조절능력의 부재, 시설의 노후화, 관리인의 고령화에 따른 유지관리의 문제 등 운영 및 관리의 한계점이 제기되고 있다.

본 연구에서는 이수분야와 관련된 설계기준의 정립을 위한 기초자료 조사를 위하여, 농업용 저수지를 주수원으로서 사용하는 전국 14개 농업용저수지를 선정하고, 유역면적, 관계면적, 작부시기 등의 저수지 물수지 모의를 위한 현장자료를 수집하였다. 관계면적은 14개 저수지 중 2개소의 관계면적이 약 40% 감소한 것으로 나타났으며, 못자리 면적은 1.1%에서 17% 사이의 비율로 조사되었고, 이양용수량은 약 60mm에서부터 300mm까지의 범위를 나타내었다. 작부시기의 경우에는 모내기, 이앙기, 본답기 모두 10일에서 20일 정도 시기가 앞당겨졌으며, 최대답수심은 60mm에서 200mm의 분포를 나타내었다. 현장조사 결과 관계지구의 필요수량을 산정하기 위한 모의 기본값과 현장 상황이 상이한 것을 확인하였으며, 현장 상황이 반영된 물수지 분석을 통하여 현재 및 미래의 이수 설계기준을 정립하고자 한다.

핵심용어 : 이수 설계기준, 물수지 분석, 기후변화, 현장 기초자료

본 연구는 2017년 농촌개발시험연구 과제의 지원을 받아 연구되었음.

* 정희원 · 유일기연 기술연구소 책임연구원 · E-mail : kworhj@yooileng.co.kr
** 정희원 · 경북대학교 농일토목공학전공 교수 · E-mail : kschoi@knu.ac.kr
*** 정희원 · 한경대학교 지역자원시스템공학과 교수 · E-mail : wonho.nam@hkru.ac.kr

최근 영농방식변화에 따른 논용수 수요량 및 공급량 변화 분석

Assessment of Irrigation Water Demand and Supply for Agricultural Reservoirs Considering Recent Farming Conditions in Paddy Field

남원호*, 방나경**, 권형중***, 최경숙****

Won-Ho Nam, Na-kyoung Bang, Hyung Joong Kwon, Kyung-Sook Choi

요 지

농업수자원 관리의 기본 목표는 시간적, 공간적 측면에서 수요와 공급의 평형을 유지하는 것이며, 합리적인 수자원 계획을 위해서는 용수의 수급상황을 정확히 분석하여 충족한 물의 확보와 안정적인 공급방안이 요구된다. 특히 농업용수는 이용형태, 경지 면적의 크기 등 지역적 요건과 기상요인에 의한 계절적 편차가 크고, 못자리시기, 이앙기 등 작부체계에 따른 용수 이용의 집중도가 매우 높다. 용수의 신규개발은 제약을 받고 있는 상황에서 최근 이상기후로 인한 극한강우사상의 증가 및 재배작물의 변화, 고품질 농산물의 생산 등으로 농업용수 물 수요패턴의 변화함에 따라 기존 관개지구의 용수 수요량과 유역 유입량 및 용수공급시설에 의한 공급량의 현황을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 즉 농업용 저수지의 물관리는 건설 당시와 상이한 영농 환경을 반영하여 관리해야하며, 기상, 수문현상 및 하류의 용수수요, 유역 환경의 변화로 인한 농업용수 공급체계의 상황변화에 따른 농업용수 관리여건의 변화 분석이 요구된다. 본 연구에서는 공사관리 저수지 중 주수원공 저수지 대상으로 최근 영농대비 용수확보 추진지구 (가뭄대책지구, 2017) 중 13개 대상지구를 대상으로 기후변화에 따른 현장여건 변화 (논 재배면적 변화, 영농패턴 및 작부시기 변화, 용수공급량 변화, 모내기 씨레용수 사용량, 모대 급수면적 변화 등)에 대한 현장 조사 결과를 활용하여 논용수 수요량을 재산정하고 저수지의 공급량과 비교하였다.

핵심어 : 농업용 저수지, 농업용수, 현장 조사, 기후변화, 수요량 변화

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 한국농어촌공사 농어촌연구원의 2017년 농촌개발시험연구의 지원을 받아 연구되었음.

* 정회원 · 한경대학교 지역자원시스템공학과 조교수 · E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
** 정회원 · 한경대학교 지역자원시스템공학과 석사과정 · E-mail : nakyoung.bang@hknu.ac.kr
*** 정회원 · 유일기연 기술연구소 책임연구원 · E-mail : kwonhj@yooileng.co.kr
**** 정회원 · 경북대학교 농업생명과학대학 농업토목공학과 교수 · E-mail : ks.choi@knu.ac.kr

기후인자 변화에 의한 농업용 저수지 이수안전도 분석
Analysis of the Water Supply Safety for Agricultural
Reservoirs under Climate changes

조건호*, 최경숙**, 권형중***, 남원호****

Gun Ho Cho, Kyung Sook Choi, Hyung Joong Kwon, Won Ho Nam

요 지

이수안전도란 수자원 공급시설이 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안정성 정도를 나타내며, 설정된 수요량을 공급할 수 있는 확실성을 의미하고 확실성은 확률 또는 빈도개념으로 표현된다. 국내 다목적댐의 경우 보장공급량 기준에서 신뢰도 기준을 권장하지만, 농업용 저수지의 경우에는 관개시기별 조용수량(수요량)과 10년 빈도 한발시의 하천유량(공급량)을 기준으로 하고 있다. 그러나 통계연보상의 10년 한발빈도 저수지들의 용수공급능력에 최근 기후변화에 의한 연속적인 가뭄사상에 낮은 저수율을 나타냈으며, 시간이 경과함에 따라 유역환경의 변화로 인해 농업용수 공급체계 상황이 변화하여 이를 고려한 이수안전도의 재평가가 필요하다. 본 연구에서는 농업용 저수지의 이수안전도 개념을 한발빈도 개념으로 적용하여, 최근 영농대비 용수확보 추진지구에서 선정한 11개 시범지구를 대상으로 기후변화에 따른 작물계수 변화와 작부시기 변화에 따른 이수안전도를 분석하였다. 기상자료는 1987~2016년까지 최근 30년간 자료를 사용하였으며, 작물계수의 변화는 최근 농촌진흥청의 연구자료를 반영하였고, 기후변화 및 벼 품종개량(조생종 선정)에 따른 작부시기 변화는 현장조사 결과를 반영하였다. 그 결과 시범대상 저수지 중 금광, 덕우, 학, 개운 저수지의 경우 10년 한발빈도를 나타냈으나, 송강, 화정 저수지는 3~4년 한발빈도를 나타내었고, 그 외 냉정, 풍진, 금마, 왕궁, 계산, 덕곡 저수지는 모두 2년 이하의 낮은 한발빈도를 나타내었다. 이러한 결과는 시범지구의 주수원공을 대상으로만 분석된 것으로서 수혜구역내 보조수원공의 역할을 고려할 경우에는 보다 높은 이수안전도를 나타낼 것으로 사료된다. 향후에는 현장여건을 반영한 이수안전도의 평가가 필요하며, 특히 경지면적 변화와 영농패턴 변화 등 농업현장 변화요소를 고려한 농업용 저수지의 이수안전도 재평가가 반드시 필요하다.

핵심용어 : 기후변화, 이수안전도, 한발빈도, 농업용 저수지

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 한국농어촌공사 농어촌연구원의 2018년 농촌개발시험연구의 지원을 받아 연구되었음

* 정회원 - 경북대학교 농업토목공학과 · E-mail : wshh1212@naver.com

** 정회원 - 경북대학교 농업토목공학과 · E-mail : ks.choi@knu.ac.kr

*** 정회원 - (주) 이도 · E-mail : kwonhj@idoeng.com

**** 정회원 - 한경대학교 지역자원시스템공학과 · E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr

농업용 저수지의 필요수량 산정 설계인자별 민감도 분석

Sensitivity Analysis of Irrigation Requirement of each Design Factor in Agricultural Reservoir

조건호*, 최경숙**, 권형중***, 남원호****

Gun Ho Cho, Kyung Sook Choi, Hyung Joong Kwon, Won Ho Nam

요 지

농업용 저수지의 이수안전도 분석에 있어 중요한 설계인자를 파악하고자 저수지 설계모형인 농어촌공사 수리시설물의 조작프로그램(HOMWRS)의 입력자료 중 필요수량 산정 주요 입력자료를 대상으로 민감도 분석을 실시하였다. 농업용 저수지의 필요수량 산정을 위한 HOMWRS의 입력자료에는 관계면적, 재배기간(작부시기), 침투량, 작물계수, 담수심, 수로손실 등과 기상자료로 강수, 최저 및 최고 기온, 상대습도, 일조시간, 평균풍속을 포함한다. 이 중 작물계수, 작부시기, 기상자료를 제외한 관계면적, 수로손실, 담수심, 침투량에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 분석을 위한 설계인자별 기준치와 상하한치는 통계연보, 기존연구사례, 모형의 기초값 등을 기준으로 설정하였다. 그 결과 관계면적의 경우 하한치 0ha에서 상한치 3,200ha로 증가할 경우 기율기가 8.2로 가장 높게 나타나 민감도 분석을 실시한 4개의 설계인자 중에서 필요수량 산정결과에 가장 민감한 것으로 나타났다. 그 다음으로 민감한 설계요소는 수로손실로서 하한치 0%에서 상한치 60%로 증가할 경우 5.1의 기율기를 나타내 관계면적 다음으로 필요수량 산정결과에 민감하게 나타났다. 그 다음은 침투량으로서 하한치 0mm/day에서 상한치 10mm/day로 증가할 경우 4.2의 기율기를 나타내어 수로손실 보다 약간 낮은 민감정도를 나타내었다. 마지막으로 담수심의 경우 필요수량 산정결과와는 음의 관계를 가지므로써 하한치 0mm에서 상한치 100mm로 증가할 경우 -2.6의 기율기를 나타내어 4개의 설계인자 중에서 필요수량 산정결과에 가장 낮은 민감도를 나타내었다. 따라서 필요수량 설계요소 4개를 대상으로 한 필요수량에 대한 민감도는 관계면적 > 수로손실 > 침투량 > 담수심 순으로 나타났다. 결론적으로 각각의 설계인자별 변화에 따른 필요수량의 변화가 크게 나타나므로 농업용수 수요량 산정의 신뢰도 확보를 위해서는 설계인자별 권측기반의 자료를 사용하는 것이 매우 중요하며, 특히 민감도가 높게 나타난 관계면적의 현실성과 수로손실의 현장여건 반영이 중요한 인자로 판단된다.

핵심어 : 농업용수, 기후변화, 작부시기, 작물계수

본 연구는 농림축산식품부의 제원으로 한국농어촌공사 농어촌연구원의 2018년 농촌개발지원연구의 지원을 받아 연구되었음

* 정회원 · 경북대학교 농업토목공학과 · E-mail : wshh1212@naver.com
** 정회원 · 경북대학교 농업토목공학과 · E-mail : ks.choi@knu.ac.kr
*** 정회원 · (주) 이도 · E-mail : lewonh@idokong.com
**** 정회원 · 한성대학교 지역자원시스템공학과 · E-mail : wonho.nam@hksu.ac.kr

기후변화에 따른 농업용 저수지의 미래 한발빈도 분석

Analysis of Drought Frequency Impact on Climate Change for Agricultural Reservoir

권형중*, 최경숙**, 남원호***

Hyungjoong Kwon, Kyungsook Choi, Wonho Nam

요 지

지구온난화와 엘니뇨 현상 등의 기후변화로 인하여 세계적인 가뭄, 홍수, 한파, 폭서 등의 재해 및 기상이변이 속출하고, 최근 들어서는 우리나라의 경우 대해 가뭄이 발생하고 있어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다. 기후변화의 영향과 심각성은 수자원, 생태계, 산림, 보건, 농업 및 사회기반시설 등 다양한 분야에서 관측 혹은 전망되고 있는데, 특히 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 4차 보고서(2007)에서는 미래 기후변화로 인한 영향 중 가장 취약한 부분으로 기후시스템 변화에 따른 강수패턴의 변화와 이로 인한 가용 수자원의 감소를 선정하였다. 미국, 영국, 일본 등 주요 선진국에서는 기후변화 관련 법적, 제도적 근거를 마련하여 이미 자국들의 기후변화 적응 프로그램을 시행하고 있으며, 우리나라도 기후변화에 대비하기 위해 체계적이고 현실적인 적응 전략 도출을 위한 필요 기술을 개발함으로써 농촌용수 뿐만 아니라 수자원 관리 기술 및 시설물의 적용 역량을 강화하는 것이 절실하다. 특히, 소규모 농업용 저수지는 용수공급 능력이 부족한 실정으로 저수지 본연의 용수공급 기능을 상실하거나 농업용수 공급 및 유지관리 측면에서 비효율성이 지속되고 있으며, 이상기후 및 집중호우에 의한 취약성 증대, 홍수조절능력의 부재, 시설의 노후화, 관리인의 고령화에 따른 유지관리의 문제 등 운영 및 관리의 한계점이 제기되고 있다.

본 연구에서는 기후변화에 따른 농업용 저수지의 이수 대책을 도출하기 위하여, 현재부터 2100년까지 이수안전도 즉, 한발빈도를 예측하였으며 2050년 전후로 나누어 한발빈도 변화를 평가하였다. 이수안전도 분석 방법은 앞서 기술하였듯이 물수지 분석된 시계열 자료로부터 빈도분석을 통하여 한발빈도를 산정하여 현재 대비 미래의 한발빈도 변화를 분석하였다. 그 결과, 13개 저수지에서 모두 현재 설계 한발빈도인 10년 빈도에서 저하되었으며 특히, 금평저수지의 경우, 유효저수량은 약 천2백만톤인데 비하여 미래 이수안전도 곡선상의 10년빈도 필요수량이 미치지 못하며, 2050년 이전에는 3년, 2050년 이후에는 4년의 한발빈도를 나타내는 것으로 분석되었다.

핵심용어: 이수 설계기준, 기후변화 시나리오, 물수지 분석, 한발빈도

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 한국농어촌공사 농어촌연구원의 2018년 농촌개발지원연구의 지원을 받아 연구되었음

* 정회원 · (주)이도 기술연구소 책임연구원 · E-mail : kwonhj@idoeng.com
** 정회원 · 경북대학교 농업토목공학전공 교수 · E-mail : ks.choi@knu.ac.kr
*** 정회원 · 한경대학교 지역자원시스템공학과 교수 · E-mail : wonho.nam@hknk.ac.kr

이수안전도를 고려한 농업용 저수지의 지역가뭄빈도 유형화

Classification of regional drought frequency in agricultural reservoirs based on water supply safety

방나경*, 남원호**, 권형중***, 최경숙****

Na-Kyoung Bang, Won-Ho Nam, Hyung Joong Kwon, Kyung-Sook Choi

요 지

물 수요량, 저수량, 유입량에 의해서 영향을 받는 농업용 저수지의 이수안전도는 수자원 공급시설이 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안정성 정도이며, 설정된 수요량을 공급할 수 있는 확률 또는 빈도계념으로 표현하고 있다. 본 연구에서는 농업용 저수지 이수안전도 분석을 위해 유효저수량 100만 톤 이상인 466개 저수지를 시험지구로 선정하여 해당 저수지의 통계연보상의 설계한발빈도와 유역배출 등 기초 조사를 실시하였다. 현재의 기상조건을 기준으로 이수안전도를 분석한 결과 전국적으로 10년 빈도 이상으로 나타난 저수지가 316개소, 7년 빈도 33개소, 5년 빈도 16개소, 3년 빈도 26개소, 평년이하 72개소로 나타났다. 지역적으로는 저수지가 상대적으로 많은 전라남도, 전라북도, 충청남도, 경상북도에서 3년 빈도 이하의 저수지가 상대적으로 많아 이수측면에서 가뭄빈도가 높은 지역으로 파악되었다. 통계연보와 현재의 기상조건 기준으로 한발빈도의 변화를 조사한 결과를 바탕으로 이수안전도 유형분류 및 용수공급능력의 변화 요인을 분석하였다. 본 연구의 결과는 용수구역별 이수안전도 증대를 통한 지역적 용수 불균형을 해소할 수 있도록 농업용 저수지의 이수안전도를 재평가하는데 활용될 수 있으며, 안정적인 용수확보를 위한 이수분야 설계 기준 마련에 활용하고자 한다.

핵심용어 : 농업용 저수지, 가뭄빈도, 이수안전도, 기후변화, 설계한발빈도

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 한국농어촌공사 농어촌연구원의 2018년 농촌개발시험연구의 지원을 받아 연구되었음.

* 정회원 · 한경대학교 지역자원시스템공학과 석사과정 · E-mail : nakyoung.bang@hknu.ac.kr
** 정회원 · 한경대학교 지역자원시스템공학과 조교수 · E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원 · (주)에도 기술연구소 책임연구원 · E-mail : kwonhj@idoeng.com
**** 정회원 · 경북대학교 농업생명과학대학 농업토목공학과 교수 · E-mail : ks.choi@knu.ac.kr

Evaluation of Water Conservation Design Standard of Agricultural Reservoirs under Climate Change

Gun-Ho Cho¹, Won-Ho Nam², Hyung-Joong Kwon³ and Kyung-Sook Choi⁴

Abstract

In general, 10-year drought frequency has been adopted to design agricultural reservoirs for water conservation purpose in Korea. This study was conducted to evaluate design standard of agricultural reservoirs with consideration of the changed climate condition in order to investigate the current status of agricultural water supply stability. Three scenarios were considered for this evaluation. The first and the second scenarios considered the past and current climate conditions respectively, while the third considered the current climate with the changed paddy field conditions. Thirteen reservoirs were selected among the main water sources facilities based on the ratios between watershed and benefit areas. It was found that 1.8-9.3% increase of 30 years-based average runoff under current climate conditions for most study areas from the water balance simulation. The effective rainfall showed decreasing trend or small increments under the second scenario, and the increasing trend for most study areas under the third scenario, compared to the results of the first scenario. 5 years-based average crop water requirement also increased, but some study areas showed decreased water demands due to the decreased paddy fields in current situation under third scenario. Big difference was observed between the the drought frequency under three scenarios and the design standard mainly due to climate change impact, while slight difference of the frequencies between the second and the third scenarios due to the decreased water demand caused by the changed field condition. These results indicated that the most reservoirs selected in this study have unstability of water supply functions and need to increase their storage capacities.

Keywords: Design standard, Water conservation, Climate change, Agricultural Reservoir,

¹ Dept. of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu, Republic of Korea

² Dept. of Bioresources and Rural Systems Engineering, Hankyong National University, 327 Jungang-ro, Anseong, Republic of Korea

³ Technical Research Center, Yooil Engineering Co., LTD, 824 Ilsan-ro, Goyang, Republic of Korea

⁴ Dept. of Agricultural Civil Engineering, Institute of Agricultural Science & Technology, Kyungpook National University, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu, Republic of Korea, Email: ks.choi@knu.ac.kr



기상 및 영농방식 변화에 따른 농업용 저수지의 설계한발빈도 및 이수안전도 재평가 Reevaluation of Design Frequency of Drought and Water Supply Safety for Agricultural Reservoirs under Changing Climate and Farming Methods in Paddy Field

남원호* · 권형중** · 최경숙***,†

Nam, Won-Ho · Kwon, Hyung Joong · Choi, Kyung-Sook

Abstract

Past climate change influences multiple environmental aspects, certain of which are specifically related to agricultural water resources such as water supply and demand. Changes on rainfall and hydrologic patterns can increase the occurrence of reservoir water shortage and affect the future availability of agricultural water resources. It is a main concern for sustainable development in agricultural water resources management to evaluate adaptation capability of water supply under the changing climate and farming methods in paddy field. The purpose of this study is an evaluation method of design frequency of drought and water supply safety for agricultural reservoirs to investigate evidence of climate change occurrences at a local scale. Thus, it is a recommended practice in the development of water supply management strategies on reservoir operation under changing climate and farming methods in paddy field.

Keywords: Agricultural reservoir; design frequency of drought; farming methods; past climate change; water supply safety

1. 서론

농업생산기반경비사업계획설계기준 (1982)에 따르면 농업용 저수지의 이수목적의 필요저수량은 일반적으로 10년 빈도 한발 시의 공급량을 기준으로 설계되었다(KRC, 2012). 농업용 저수지 관리기관별 설계한발빈도의 경우 한국농어촌공사관리 저수지의 약 78%는 10년 빈도 가뭄에도 안정적으로 농업용수를 공급할 수 있도록 설계된 반면, 시/군 관리 저수지의 경우 약 63%는 평년(약 2.3년) 한발빈도로 설계되었다(MIFAFF, 1998; 2012). 10년 미만의 설계한발빈도로 축조된 소규모 저수지는 약한 가뭄에도 안전한 용수공급이 어려울 뿐만 아니라, 최근 기후변화로 인한 가뭄부터 이듬해 봄까지 정례적인 이상가뭄 발생 및 극한강우사상의 증가로 인한 동일강우 대비 유효강우량이 감소됨으로써 가뭄에 대한

재해위험도가 상대적으로 가중되고 있다(Nam, 2013; Nam and Choi, 2014).

실제 과거의 10년 한발빈도로 설계된 저수지들은 최근의 연속적인 가뭄사상에 낮은 저수율을 나타냈으며, 농업수자원 시스템의 운영 방안 수립에 필수적인 용수공급 능력의 평가 척도로서 보편적으로 사용되는 설계빈도에 대한 기후변화로 인한 수문사상의 변화 및 수요의 다변화에 따른 이수안전도의 평가가 요구된다(Kim and Lee, 2002; Ahn et al., 2009; Kim et al., 2016). 즉 저수지 운영은 건설 당시와 상이한 환경을 반영하여 관리해야 하며, 시간이 경과함에 따라 기상, 수문 현상 및 하류의 용수수요, 유역 환경의 변화로 인한 농업용수 공급체계의 상황변화에 따른 용수공급능력 및 이수안전도의 재평가가 필요하다(Nam et al., 2017). 농업용 저수지의 이수안전도는 수자원의 확보와 저수지 규모의 결정 등을 포함하는 수자원공급 계획의 수립에 필수적인 요소로서, 기후변화에 따른 피해를 최소화하기 위해서 현재의 이수안전도를 계량하고, 이를 바탕으로 대응 전략을 세울 필요가 있다.

국내의 대다수 농업용 저수지들은 다목적댐과 비교하여 저수량이 작기 때문에 가뭄과 같은 극심한 기상이변에 민감할 수 있다(Breckke, et al., 2009; Lee and Noh, 2015; Lee et al., 2015; Heo, 2016). 또한, 농업 가뭄과 관련하여서는 상당부분의 농경지가 수리시설을 통한 관계에 의존하고 있는 국내 상황의 특수성을 고려할 때 수문학적 및 기상학적 가뭄의 접근방식과는 달리 농업용수의 주요 공급원인 저수지의 기후

* Department of Bioresources and Rural Systems Engineering, Hankyong National University

** Technical Research Center, Yooil Engineering

*** Department of Agricultural Civil Engineering, Institute of Agricultural Science & Technology, Kyungpook National University

† Corresponding author

Tel.: +82-53-950-5731 Fax: +82-53-950-6752

E-mail: ks.choi@knu.ac.kr

Received: October 29, 2017

Revised: January 29, 2018

Accepted: January 29, 2018

주 의

이 보고서는 농림축산식품부 농촌개발시험연구사업으로 한국농어촌공사 농어촌연구원으로부터 연구비를 지원받아 한국농공학회에서 수행한 연구보고서입니다.

■ 발 행 처

연구과제명 :	대응한 이수분야 설계기준 정립에 관한 연구
발 행 일	2018. 11
발 행 인	김 성 준
발 행 처	한국농공학회
주 소	서울시 강남구 테헤란로 7길 22 과학기술회관 본관 205호 전 화 02 - 562 - 3627 FAX 02 - 565 - 6821
■ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	