

---

# 2023년도 농어촌물포럼 정책개발 보고서

---

2023. 12.



사단  
법인

한국농공학회



한국농어촌공사



## 목차

---

### 제1장.

농어촌 기반 정비사업 기준의 정비와 운영관리

서울대학교 이정재

---

### 제2장.

저수지 운영 자료 생산 방안

충남대학교 노재경

---

### 제3장.

홍수 기후재난 대응 농업용 저수지 활용 방안

경북대학교 최경숙

---

### 제4장.

유역 치수

후쿠시마대학 신문호

---

### 제5장.

농업용 저수지 치수능력 향상을 위한  
인공지능 적용 방안

강원대학교 임경재





제

1

장

# 농어촌 기반 정비사업 기준의 정비와 운영관리

서울대학교 이 정 재





제1장

# 농어촌 기반 정비사업 기준의 정비와 운영관리

## 1. 기준정비의 배경과 필요성

### 1. 저수지 수위 예측 개선 방안

- 모든 시설물은 그 사용성을 보장하고 사회적 안정을 달성하기 위해 기준을 가지게 된다. 이와 같은 기준은 관리청에 의해 관리되며 시설 설치의 인허가 과정에서 충분히 검토하는 수순을 밟게 되는 데, 사회가 복잡해지면서 각 기준이 중복되거나 다르게 정착되었다.
- 이 중에서 사회간접자본의 설치와 관리는 주로 국토교통부가 담당하고 있는데, 다양한 사업을 주관하는 중앙행정기관이나 사업 시행청 및 건축 고권을 소유한 지방자치단체에 따라 서로 상이한 기준을 가진 예가 많았다.
- 이런 사유로 사회적 균형을 도모하기 어렵다고 판단하여 국토교통부는 관할 부서와 사업에 따라 난립해 있던 여러 설계기준과 시방서를 코드화하고, 정보체계로 일원화하기 위해 2018년 국가건설기준 센터를 설립하고, 주요 건설기준은 KDS, 주요 공사시방은 KCS로 분류하고, 통일된 코드 체계 아래 법과 규정으로 관리하게 하는 건설기술진흥법을 정비하였다.
- 이 기준센터의 운영에는 건설교통부를 비롯한 건설기술연구원과 15개의 학회가 참여하여 이론과 실제에 대한 연구성과와 경험을 나누고 있다. 건설기술진흥법은 국가건설기준 센터가 지속적으로 개발, 보급, 검증, 평가, 교육, 홍보하도록 체계화하여 기술적 혼란을 방지하고 있다.

### 2. 농지조성 사업의 기준

- 농림축산업은 선사시대로 국가의 기간 산업으로 주권을 수호하기 위한 기초적인 산업이다. 대한민국은 국가규범인 헌법에 농지의 소유와 개발에 관한 조항을 두고, 농지의 소유권은 인정하되 공공목적에 부응하도록 하고 있다. 식량의 자급이 국가의 중요한 국정 목표이고, 인구 절반이 농업에 종사하던 건국 초기에는 농지의 경제적 가치도 높고, 농지의 생산성 향상이 중요한 시혜가 될 수 있었으므로 일부 소유권의 제한에도 불구하고 농지의 확대와 조성의 욕구가 높았다.
- 이에 따라 정부는 농지거래의 제한에 대한 반대급부적 보상과 식량증대를 통한 국가의 안정을 위해 적극적인 농업생산기반조성 사업을 전개하였다. 농업생산기반조성의 중요한 분야사업은 농업용수개발 사업으로서 삼국시대에서 현재까지 기록이 많다. 이 중에서 현대기술에 의한 토지조사 이후에 시행된 주요 정책을 추려 보면 다음과 같다.

- 1910 - 1918 : 경지 433 만 정보에 대한 토지조사 및 지적측량
- 1919 : 수리조합 보조규정 제정으로 보조금 지원의 근거를 마련( 주로 대지주에게 혜택)
- 1943 : 조선농지개량영단 설립 : 행정력을 동원한 토지개량사업의 추진 가능
- 1945 : 미군정 농무부에 농지개량과 설립, 조선수리조합 연합회 부활
- 1960 : FAO 기아해방 운동으로 농지개량사업 평가시작 및 원조사업( PL480 1 천만불)지원
- 1961 : 1차 경제개발 5 개년 계획 수립( 농업 :생산에서 소득증대로 전환), 공유수면 매립법 제정
- 1964 : 전천후 용수원 개발 계획 수립
- 1968 : 지하수를 포함한 농업용수개발계획 수립
- 1970 : 지하수 개발공사와 토지개량조합 연합회를 병합하여 농업진흥공사 설립
- 1970: 안성,평택,천안,청원 등 28 천 정보에 농촌근대화시범사업( 1973 이후 내무부 새마을 사업)
- 1970-78 : 대단위 농업종합 개발사업 시행( IBRD, ADB, OECD 등 차관 21 천만달러 투입)
- 1990- : 우루과이 라운드와 WTO 체제 : 이중 곡가제 철폐, 직불제 도입 등, 농업생산기반정비에서 농촌정비로 전환( 기반정비, 산업개발, 관광 등 산업을 도입)

### 3. 농지조성 기준정비의 문제점

- 건설기술진흥법에 의해 국가가 통합관리하게 되는 국가와 관련된 건설공사에 대한 기준의 제개정 및 운영관리 중 농림축산식품부 소관 사항인 농업생산기반조성사업 분야는 대통령령으로 농림축산식품부장관에게 위탁되어 있으나 대부분의 농업기반시설 기준이 2018 년 제정된 후 5 년여가 경과 하였지만 개정되고 있지 않은 등 전담 기관이 아닌 국가건설 기준센타가 타소관 사업의 기준을 주체적으로 관리 운영 하는 데는 한계를 나타내고 있어 이에 대한 대책이 필요하다. 국가건설기준의 코드체계에서 농업기반시설은 2018년에 대분류 기호 67 에 농업생산기반 정비시설을 13개로 중분류하고, 전체 97 개 소분류 기준을 설정하여 참여하였으나, 관련 기관과 학회 등의 참여는 없는 형편으로 전문분야의 적극적인 기준관리 참여를 기대하기 어렵다. 예를 들어 농촌환경 개선사업이나 스마트 팜과 같은 새로운 사업의 출현에 따른 기준의 재분류와 개정이 전혀 진행되고 있지 않은 점은 유의할 필요가 있다.
- 코드 체계는 정비 되었으나 정부의 기준은 시설별로 구별되는 반면 농업용 시설은 농업용으로 통합되어 있으므로 중복규정이 많아 댐과 저수지처럼 코드는 다르지만, 실질적인 시설의 분류가 같은 경우 기술자가 적용에 도움을 줄 명확한 구별이 없는 형편이다.
- 예를 들어 관개용 댐의 설계는 과거 농업용수 위주의 개발로부터 생활, 환경용수를 더불어 개발하는 경우 사업비의 산정에서 수리권한의 설정까지 두개의 기준을 설계자가 판단해야 할 필요가 있을 수 있고, 또 콘크리트 구조의 경우 건축구조가 지지력에 기반을 두는 데 비해 농업용 시설은 수밀성이나 내후성이 중점일 수가 있으므로 관점의 차이가 있을 수 있다.
- 매년 학계 등에서 갈수기와 풍수기에 노후화된 저수지( 전체 18,000 개소) 는 한수해 재해의 우려가 있다는 경고가 있어온 바, 상당한 농업생산기반 시설이 2021 년에 중대한 사회적 재해를 예방하고자 제정한 “중대재해처벌법” 에 규정한 유력한 중대시민재해의 우려가 예상되나 이에 대한 기준의 적용과 개정 등

이 이루어 지지 않고 있다. 예를 들어 경제수명 전에 완공된 저수지의 재해 대비 능력이 국가건설기준에 못 미치는 경우에 대한 해결책이나 대비책을 마련하는 데 한계가 있어 보인다.

- 국가건설기준에 등재된 경우라 할 지라도 해석이나 적용은 전적으로 전문적인 지식인데, 이에 관련된 산학연의 연결고리가 없고, 국가건설기술인의 자격이 분야별로 잘 구분되어 교육과 훈련을 지속하게 하며, 기업체가 이를 준수하는 경우 보상이 확실한 데 반해 농업생산기반정비사업 기술인의 자격구분이나 교육훈련 과정이 별도로 마련되어 있지 않고, 기준을 잘 적용하는 경우에 대한 보상제도도 운영되지 않으므로 사실상 사문화 된 제도화 하고 있다.

#### 4. 농지조성 사업의 기준

- 사회가 급격히 발전하는 격동의 시기에는 시설의 설치와 유지관리 및 재해예방과 극복에 대한 기준의 설정이 부족한 점이 많음 로 많은 실패를 겪게 된다. 우리나라도 거의 매년 공공시설의 붕괴와 파괴를 겪어왔고, 그중 사회적 경종을 울린 사건도 다음과 같이 흔하게 일어났다.

- 1961 : 남원 이백면 효기리 저수지 붕괴
- 1967 : 대구 청구대 붕괴
- 1970 : 와우아파트 붕괴
- 1982 : 서울 지하철 3 호선 붕괴
- 1992 : 남해창선대교 붕괴
- 1993 : 우암상가 아파트 붕괴
- 1994 : 성수대교 붕괴
- 1995 : 삼풍백화점 붕괴
- 1996 : 연천댐 붕괴
- 2003 : 대구 지하철 참사
- 2008 : 나산백화점 붕괴
- 2014 : 경주 마우나오션리조트 체육관 붕괴 사고
- 2014 : 판교 공연장 환풍구 붕괴
- 2015 : 사당 종합 체육관 붕괴
- 2021 : 광주 학산빌딩 붕괴 사고
- 2023 : 주공아파트 붕괴
- 2023 : 튀르키예 대지진

- 특히 저수나 댐의 붕괴는 하류의 피해가 크기 때문에 조사, 설계 및 관리의 중요성이 크다. 국제대댐학회에 따르면 전세계 댐 사고는 15 만 개소에 이르고, 20 세기 이후에도 200 여 개소의 댐이 붕괴 되었으며, 역사상 가장 큰 댐사고는 1975 년 중국 허난성에서 상류에 설치된 Banqiao 댐과 Shimantan 댐이 붕괴 되면

서 하류의 댐이 연쇄적으로 붕괴하여 23 만명( 공식적으로는 86 천명 ) 이 사망하고, 수 백만명이 질병과 식중독으로 고생한 사례 가 있다.

- 이와 같은 사고는 선진국에서도 발생하고 있다. 1976 년 미국의 Teton 댐이 붕괴하여 하류에서 14 명이 사망하고, 10 억 달러 이상의 재산피해를 입었으며, 1999 년 대만에서 규모 7.7 의 지진으로 대만 최대의 용수원인 Shinkang 댐이 붕괴 되면서 용수공급이 어려워진 바 있고, 1963 년 이탈리아에서 Vajont 댐이 완공된 후 담수에 따라 양안에서 대규모 슬라이딩이 일어나면서 생긴 월류로 하류에서 2,600 여명이 목숨을 잃고 막대한 재산상의 손실을 입은 예가 있다.
- 우리나라에서 발생한 효기리 수해도 18 ha-m 의 작은 규모의 저수지 지만 상류에 있는 저수지의 붕괴가 밤에 일어났으므로 사망자가 110 명에 이르고, 1366 명의 이재민이 발생한 중대한 사고가 되었다. 튀르키예 대지진은 천재이지만 일부에서 지진관리 기준의 완화에 대한 이유도 거론되고 있다.
- BBC 는 피해가 가중된 이유로 지진에 관한 규정은 잘 갖추어져 있었으나 제대로 지켜지지 않은 이유도 있었다고 보도하였다( 물론 당국은 부인 하였다. ) 내진설계 기준이 제대로 지켜지지 않는 이유로 지진세를 내면 내진설계를 면제해주는 오래된 법적 관행을 폄하였으며, 2018년 당시 튀르키예 건물의 50 % 인 1,500만 채가 규정을 위반해 지어졌다고 보도했다.
- 이에 비해 인구 4 만명의 소도시 에르진에서는 사망자가 한 명도 나지 않아서 화제가 되었다는 바, 에르진 시장 외케스 엘마소글루는 인터뷰에서 불법건축물을 하나도 용납하지 않는 정책을 편 때문이라고 하였다.
- 즉 기준의 정비에 못지않게 시공과 관리도 중요함을 시사한다.

## 5. 최근의 변화

- 국가경제의 발전과 민주화 사회로 진행하면서 개인의 사적 권리가 매우 중요해 지게 되었다. 이런 이유로 오류에 대한 책임과 보상 문제도 대두되었다. 최근에 제정되고 있는 재해관련 처벌법이 그 좋은 예이다. 여기에 더하여 기후변화 등 행성규모의 변화도 예측되고 있어 오류를 판단하는 일이 어려워 지고 있어 사회규범은 강화되고 있는 반면 구체적인 계량에 의한 계획과 설계는 점차 어려워지고 있는 형편이다.
- 한편 재료와 공학의 발전은 기존의 충분한 설계에서 점차 자세하고 치밀한 설계로 진화하고 있으나 이를 습득해야 하는 기술인은 계속되는 교육과 훈련에 대한 책무 등이 더해지고 있다. 이에 더하여 컴퓨터와 인공지능 및 자동화 기술 및 수송, 통신기술의 혁명은 사회간접자본 시설의 대형화와 첨단화를 요구하고 있으므로 소통능력이 부족한 경우 오히려 재난을 가중 시킬수도 있는 문제도 안고 있다.
- 즉, 기술은 첨단화 되며, 기술인의 역할은 컴퓨터를 통제하는 일이 되고, 시설은 대형화되고 있으며, 자연 환경은 악화되고 있다. 이에 대한 대책으로 사회적 규범을 강화할 필요는 인정 되나, 처벌을 강화하는 것이 성실함을 유도할 수는 있을 지 모르지만 사전에 예방할 수 있는 기술과 기준을 발굴하도록 하는 것에 비할 수 없을 것 이므로, 새로운 기술과 기준을 끊임없는 개발할 필요가 있다.

## 2. 농촌정비사업과 관련된 재해관련 법규

- 농촌정비사업은 자연재해인 홍수와 가뭄에 대한 대책을 수립하여 전천후 영농을 달성 하므로써 국가의 안정을 도모하기 위한 농업생산기반의 정비를 기본으로 출발 되었다. 따라서 자연재해에 관련된 여러 법과 상충되지 않을 필요가 있으므로 이 장에서 국가가 지정하고 있는 재난과 재해에 관한 법을 정리해 보았다.

### 1. 재난 및 안전관리 기본법

- 이 법은 재난을 예방하고 재난이 발생한 경우 그 피해를 최소화하여 일상으로 회복할 수 있도록 지원하는 것이 국가와 지방자치단체의 기본적 의무임을 확인하고, 모든 국민과 국가, 지방자치단체가 국민의 생명 및 신체의 안전과 재산보호에 관련된 행위를 할 때에는 안전을 우선적으로 고려 함으로써 국민이 재난으로부터 안전한 사회에서 생활할 수 있도록 함을 기본이념으로 제정된 기본법이다.
- 따라서, 각종 재난으로부터 국토를 보존하고 국민의 생명, 신체 및 재산을 보호하기 위하여 국가와 지방자치단체의 재난 및 안전관리체제를 확립하고, 재난의 예방, 대비, 대응, 복구와 안전문화활동, 그 밖에 재난 및 안전관리에 필요한 사항을 규정하는 등 이 법을 따라야 한다. 이법의 중요한 내용은 다음과 같다.
- **재난** 국민의 생명, 신체, 재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것으로서 자연재난, 사회재난, 해외재난 등이 있다.
  - 자연재난이란 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 한파, 낙뢰, 가뭄, 폭염, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대발생, 조수(潮水), 화산활동, 소행성, 유성체 등 자연우주물체의 추락, 충돌, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해를 말한다.
  - 사회재난이란 화재, 붕괴, 폭발, 교통사고, 화재방사고, 환경오염사고 등으로 인하여 발생하는 상당 규모의 피해와 국가핵심기반의 마비, 감염병 또는 가축 전염병의 확산, 미세먼지 등으로 인한 피해를 말한다.
  - 해외재난이란 대한민국의 영역 밖에서 대한민국 국민의 생명, 신체 및 재산에 피해를 주거나 줄 수 있는 재난으로서 정부차원에서 대처할 필요가 있는 재난을 말한다.
- **중요한 정의** 이 법에서 중요한 행위에 대한 정의는 다음과 같다.
  - 재난관리: 재난의 예방, 대비, 대응 및 복구를 위하여 하는 모든 활동
  - 안전관리: 재난이나 그 밖의 각종 사고로부터 사람의 생명, 신체 및 재산의 안전을 확보하기 위하여 하는 모든 활동
  - 안전기준: 각종 시설 및 물질 등의 제작, 유지관리 과정에서 안전을 확보할 수 있도록 적용하여야 할 기술적 기준을 체계화한 것

- 재난관리 책임기관 : 중앙행정기관, 지방자치단체, 지방행정기관, 공공기관, 공공단체 및 재난관리의 대상이 되는 중요시설의 관리기관
- **국가등의 책무** 국가와 지방자치단체는 재난이나 그 밖의 각종 사고로부터 국민의 생명, 신체 및 재산을 보호할 책무를 지고, 재난이나 그 밖의 각종 사고를 예방하고 피해를 줄이기 위하여 노력하여야 하며, 발생한 피해를 신속히 대응, 복구하여 일상으로 회복할 수 있도록 지원하기 위한 계획을 수립, 시행하여야 한다.
- **국민의 책무** 국민은 국가와 지방자치단체가 재난 및 안전관리업무를 수행할 때 최대한 협조하여야 하고, 자기가 소유하거나 사용하는 건물, 시설 등으로부터 재난이나 그 밖의 각종 사고가 발생하지 아니하도록 노력하여야 한다.
- **중앙재난안전대책본부** 대규모 재난의 대응, 복구 등에 관한 사항을 총괄, 조정하고 필요 한 조치를 하기 위하여 행정안전부에 설치된 기구
- **중앙대책본부장의 권한 등** 중앙대책본부장은 대규모재난을 효율적으로 수습하기 위하여 관계 재난관리책임기관의 장에게 행정 및 재정상의 조치, 소속 직원의 파견, 그 밖에 필요한 지원을 요청할 수 있다. 이 경우 요청을 받은 관계 재난관리책임기관의 장은 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.
- **재난안전상황실** 행정안전부장관, 시,도지사 및 시장,군수,구청장은 재난정보의 수집, 전 파, 상황관리, 재난발생 시 초동조치 및 지휘 등의 업무를 수행하기 위하여 다음 각 호의 구분에 따른 상시 재난안전상황실을 설치, 운영하여야 한다.
- **국가안전관리기본계획** 국무총리의 지침에 따라 부처별로 중점적으로 추진할 안전관리기본계획의 수립에 관한 사항과 국가재난관리체계의 기본방향이 포함된 계획.
- **재난관리책임기관의 장의 재난예방조치** 재난관리책임기관의 장은 소관 관리대상 업무의 분야에서 재난발생을 사전에 방지하기 위하여 다음 조치를 한다.
  - 재난에 대응할 조직의 구성 및 정비
  - 재난의 예측 및 예측정보 등의 제공, 이용에 관한 체계의 구축
  - 재난 발생에 대비한 교육, 훈련과 재난관리예방에 관한 홍보
  - 재난이 발생할 위험이 높은 분야에 대한 안전관리체계의 구축 및 안전관리규정의 제정
  - 재난을 예방하기 위하여 필요하다고 인정되는 사항
- **재난안전분야 종사자 교육** 재난관리책임기관에서 재난 및 안전관리업무를 담당하는 공무원이나 직원은 행정안전부장관이 실시하는 전문교육을 행정안전부령으로 정하는 바에 따라 정기적으로 또는 수시로 받아야 한다.
- **재난분야 위기관리 매뉴얼 작성, 운용** 재난관리책임기관의 장은 재난을 효율적으로 관리하기 위하여 재



난유형에 따라 위기관리 매뉴얼을 작성, 운용하여야 한다.

- **재난 예보, 정보체계 구축, 운영 등** 재난관리책임기관의 장은 사람의 생명, 신체 및 재산에 대한 피해가 예상되면 그 피해를 예방하거나 줄이기 위하여 재난에 관한 예보 또는 정보 체계를 구축, 운영할 수 있다.
- 이 법은 대규모 재난이 있을 경우에 관리책임자가 조치해야될 일반적인 내용과 함께 사전의 대응과 준비를 자세히 규정하고 있다. 그러므로 공공시설의 계획, 설계 및 유지 관리자는 이와 동등한 체계를 사전에 조직하여 대비하여야 할 것이다.

## 2. 자연재해대책법

- 이 법은 기본법의 자연재난으로부터 국토를 보존하고 국민의 생명, 신체 및 재산과 주요 기간시설(基幹施設)을 보호하기 위하여 자연재해의 예방, 복구 및 그 밖의 대책에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 제정되었다.
- 특히 이 법이 강조하고 있는 분야는 사전에 예측이 가능한 풍수해로서 이와 같은 예측과 그 예방을 위해 재해영향성 검토, 재해영향평가, 자연재해 저감대책, 수방기준, 재해복구 보조금, 재해지도, 방재기술, 방재산업에 관한 규정을 담고 있다. 농촌정비법이 수해와 가뭄을 대상으로 하고있는 점에서 이 법은 밀접한 관련이 있다고 생각된다. 다만, 농촌정비법이 투자사업의 성격을 가지고 있지 않아 이 법의 시행과 차이가 있을 수 있으나 법의 이념을 농촌정비법에 담을 필요는 있다고 판단 된다.
- 예를 들어 농업용수 구역의 범위와 행정지원 등에 자연재해 저감 계획의 내용이 포함 되는 것 등이 예가 될 수 있을 것이다. 이 법 17조는 수방기준에서 농업생산기반시설의 저수지도 이 법에 따라 기준을 설정해야 함을 명시하고 있고, 이 기준에는 우수유출, 해일, 설해와 가뭄, 폭염이 포함된다.
- 또 방재활동이 합리적이 되도록 방재교육을 실시하며 3년 마다 보수교육을 이수 하도록 규칙을 정하고 있는 점에 비추어 수방기준을 정하여야 하는 농촌정비법의 관리기관도 참작할 필요가 있다고 생각된다.

## 3. 중대재해 특별법

- 사업 또는 사업장, 공중이용시설 및 공중교통수단을 운영하거나 인체에 해로운 원료나 제조물을 취급하면서 안전,보건 조치의무를 위반하여 인명피해를 발생하게 한 사업주, 경영책임자, 공무원 및 법인의 처벌 등을 규정 함으로써 중대재해를 예방하고 시민과 종사자의 생명과 신체를 보호함을 목적으로 하며 중요한 내용은 다음과 같다.
- **재해에 대한 정의**: 중대재해는 사업의 성격에 따라 사적활동 및 공적활동에 따라 다음과 같이 구분된다.
  - 중대산업재해: 사망자1명, 6개월 이상 치료가 필요한 부상자 2명, 직업성 질병자가 1년 이내에 3명 이상인 산업재해
  - 중대시민재해: 제조물, 공중이용시설 또는 공중교통수단의 설계, 제조, 설치, 관리상의 결함을 원인으로 하여 발생한 재해로 사망자1명, 2개월 이상 치료가 필요한 부상자 10명, 3개월 이상 질병자가

### 10 명 이상인 재해

- **경영책임자의 범위** 사업을 대표하고 사업을 총괄하는 권한과 책임이 있는 사람 또는 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장, 「지방공기업법」에 따른 지방공기업의 장, “공공기관의 운영에 관한 법률” 제4조부터 제6조까지의 규정에 따라 지정된 공공기관의 장
- **중대산업재해 사업주와 경영책임자등의 처벌** 중대산업재해에 이르게 한 사업주 또는 경영책임자등은 1년 이상의 징역 또는 10억원 이하의 벌금에 처한다. 이 경우 징역과 벌금을 병과할 수 있다.
- **경영책임자등이 재해예방을 위해 해야할 일** 경영책임자는 재해를 미연에 방지하기 위해 다음 내용의 업무를 지시, 관리하여야 한다.
  - (1) 재해예방에 필요한 인력, 예산, 점검 등 안전보건관리체계의 구축 및 그 이행에 관한 조치
  - (2) 재해 발생 시 재발방지 대책의 수립 및 그 이행에 관한 조치
  - (3) 중앙행정기관, 지방자치단체가 관계 법령에 따라 개선, 시정 등을 명한 사항의 이행에 관한 조치
  - (4) 안전, 보건 관계 법령에 따른 의무이행에 필요한 관리상의 조치
- 이 법은 종전에 재해에 대하여 행위 관련자에 한하여 의법 조치하고, 상위 관련자 등에게는 관대하게 하여 경영 등을 이유로 안전 문제에 소홀하게 될 수 있는 경향을 차단하고자 만들어진 법으로서 주로 경영자 등의 책임을 중하게 거론하고 있다.
- 농촌정비사업은 공중이용시설을 조성 운영하는 사업이므로 중대시민재해 업무를 담당하게 되며, 사업을 위해 조사, 설계, 시공, 유지관리에 많은 단체와 회사가 관련되어 종사자를 보호해야할 의무도 동시에 가지게 되므로 중대산업재해에도 관련이 있게 된다.

## 4. 저수지댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률

- 저수지, 댐의 붕괴 등으로 인한 재해로부터 국민의 생명, 신체 및 농경지 등 재산을 보호하기 위하여 저수지, 댐의 안전관리와 재해예방을 위한 사전 점검, 정비 및 재해발생 시 대응 등에 관하여 필요한 사항을 규정 함으로써 저수지, 댐의 효과적인 안전관리 체계를 확립하고 공공의 안전에 이바지함을 목적으로 제정되었고, 행정안전부 소관법으로 농어촌 정비법에 의한 저수지는 농림수산식품부에 위임되고 있다.
- **저수지, 댐** 하천의 흐름을 막아 그 저수(貯水)를 생활 및 공업용수, 농업용수, 환경개선 용수, 발전, 홍수조절, 주운(舟運), 그 밖의 용도로 이용하기 위하여 설치한 공작물로서 다음 각 목에 해당하는 저수지 및 댐을 말한다. 이 경우 여수로(餘水路), 보조 댐, 그 밖에 해당 저수지 또는 댐과 일체가 되어 그 효용을 다하게 하는 시설 또는 공작물을 포함한다.
- **저수지, 댐 관리와 책무** 저수지, 댐관리자는 관할 저수지, 댐에서 발생할 수 있는 재해를 저감(低減)하기 위하여 안전관리기준을 준수하고, 저수지, 댐의 안전점검, 정밀안전 진단, 보수 및 보강 등 안전성 확보를 위하여 노력하여야 하며, 재해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 사람의 생명 또는 신체에 대한 위해를 방지하기 위하여 해당 지역 안의 주민이나 해당 지역 안에 있는 자가 안전하게 대피할 수 있도록

하여야 한다.

- **안전관리 기준** 관계 중앙행정기관의 장은 대통령령으로 정하는 바에 따라 저수지, 댐의 **설계, 건설, 유지, 관리 및 운영상 안전관리**에 관한 세부적인 기준(이하 “안전관리 기준”이라 한다)을 정하여 고시하여야 한다.
- **안전점검** 저수지, 댐관리자는 관할 저수지, 댐의 안전관리를 위하여 「농어촌정비법」 등 관련 법령에 따라 안전점검을 실시하여야 한다.
- **재해위험저수지, 댐의 지정 및 관리** 재해위험성이 높다고 판단되는 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 재해위험 저수지, 댐으로 지정, 고시하고, 필요한 안전조치를 취하여야 한다.
- **농어촌정비법에서 저수지 관리의 위탁** “한국농어촌공사 및 농지관리기금법”에 따른 한국농어촌공사
- **교육과 훈련** 행정안전부장관은 저수지, 댐의 안전관리에 종사하는 자의 능력향상을 위하여 교육, 훈련계획을 수립, 시행하여야 하며, 훈련기관, 교육대상자, 교육의 의무와 교육에 포함되는 내용은 다음과 같다.
  - 교육, 훈련의 대행기관: “한국농어촌공사 및 농지관리기금법”에 따른 한국농어촌공사
  - 대상자: 중앙행정기관 및 지방자치단체에서 저수지, 댐의 안전관리에 관한 업무를 담당하는 사람, 위탁업무를 수행하는 자 중에서 저수지, 댐의 안전관리에 관한 업무를 담당하는 사람
  - 교육에 대한 강제 규정: 교육대상자는 5년마다 1회 이상 저수지, 댐의 안전관리에 관한 교육을 받아야 한다.
  - 행정안전부장관, 시,도지사 및 시장, 군수, 구청장은 교육대상자가 교육을 이수하였는지 점검하고 교육을 받지 아니한 사람에게 대해서는 교육을 받게 하여야 한다.
- **저수지, 댐의 정보체제 구축** 행정안전부장관은 저수지, 댐의 안전관리 및 재해예방을 위한 데이터베이스를 구축하여 종합적이고 일원화된 정보의 제공과 기술의 축적, 보급을 위한 체제를 확립하여야 한다.
- **수료증 등** 교육기관의 장은 수료증을 발급하고, 수료증 발급대장을 작성, 관리하여야 한다.
- 이법은 농업용수공급 등을 목적으로하는 댐과 저수지는 공사기간과 유지관리 기간 이 길 고, 시설의 존치기간이 아주 장대 하므로 노후화되고 주변환경과 어울리지 못할 우려가 있는 형편을 고려하여 적기에 시설을 개선하고 보강할 수 있는 근거를 마련하고 있다.
- 특히 이법의 저축을 받는 교육대상자로서 설계, 건설, 유지, 관리 및 운영상 안전관리 관련인이 적시된 바, 농어촌정비법의 관련자 전원이 포함되리라고 생각 할 수 있고, 모든 댐과 저수지는 환경과 경제사회의 변화에 따라 적절히 개선하도록 계획되고, 설계되며, 공사하여야 할 것임을 유추하게 한다.

## 5. 급경사지 재해예방에 관한 법률

- 택지, 도로, 철도 및 공원시설 등에 부속된 자연 비탈면, 인공 비탈면 또는 이와 접한 산 지로서 농촌정비사업의 직접적인 대상으로 여겨지기 어려우나 농촌정비사업의 부속 시설 이 택지, 도로, 공원 등이 되고,

저수지와 댐의 부지 등이 산지를 대상으로 하고 있으므로 이법의 적용을 받을 수 있다.

- 중요한 내용은 “저수지댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률”과 같이 위험지역을 점검하여 지정하고 고시하며, 관리하는 것이다. 이중 중요한 것은 붕괴위험지역의 정비계획 수립하고 추진하며, 재해예방을 위한 기술의 축적 및 보급하는 것을 행정기관의 책임으로 규정하고 있는 점이다.
- 농촌정비사업은 지역개발사업으로서 지역에 대한 포괄적인 계획이 수립되게 되므로 이와 같은 행정법이 추구하고 있는 바가 시설단위로 영향을 미친다고 할수 있고, 농촌정비사업 법의 체계내에 도입하여야 할것으로 판단 된다.

### 3. 농업생산기반정비사업 및 건설기준의 변화

- 에펠탑으로 유명한 에펠이 활동하던 시대에 주철의 가격이 저렴해지고, 트러스 이론이 발전하면서 교량과 건축에 이용될 수 있게 되었다. 당시의 설계는 인장과 압축에 대하여 만 고려 되었기 때문에 실험실의 일축응력을 기준으로 부재가 설계되어 가늘고 길수 밖에 없었다. 그러나 에펠은 요구하는 부재보다 훨씬 두꺼운 부재를 이용하여 에펠탑, 자유의 여신상, 교량등을 설계하였고, 지금도 훌륭한 문화유산으로 남아 있다. 당시에 설계된 많은 주철 트러스를 이용한 교량이 실패한 후에 장주의 좌굴현상이 알려지고, 연구를 통하여 오일러의 보이론과 에펠의 설계가 옳았음 이 밝혀진바 있으며, 현재는 장주에 관한 설계 법이 기준으로 정립되었다.
- 이처럼 사회가 발전되면 사람들의 요구 수준과 이용의 다양성이 커지게 되고, 기술과 재료가 발전되면 이에 부응하여 시설의 양태가 변하게 된다. 우리나라 건국과 궤를 같이하여 발전해온 농업생산기반조성사업도 초기에 토지개량사업에서 전천후영농사업으로, 새 마을 사업과 같은 종합개발사업으로 변화하면서 다양한 기준을 적용한 바 있다. 예를 들 어 저수지의 규격을 결정하는 저수량도 이양용수를 공급하는 시설에서 벼의 생육기간을 통해 공급하는 시설로, 또 수년에 걸쳐 안정적으로 운영할 수 있는 시설로 발전하게 된 것이다.
- 이와 마찬가지로 건설기준도 처음에는 품질의 통일을 목표로하였으나 규격의 통일이 필요하게 되었고, 점차 설계 이론의 변화가 가미 되었다. 철근콘크리트의 예를 보면 1980 년대 에 허용응력설계가 중요한 기준원리가 되었으나 철강 재료의 보편화에 따라 재료선택의 폭이 넓어지고, 사회발전 속도가 빨라지면서 시설의 용도도 빠르게 변하여 당초와 다른 이용이 필요하게 되자 시설의 한계를 정하는 것이 유리하게 되었으므로 당시에 발전한 구조신뢰론과 소성설계법을 혼합하여 강도설계를 기준으로 채택하게된 바 있다.
- 그러나 사회의 구성이 복잡해지고 시설을 설치하는 목적이 다양해지면서 다양한 기준이 형성되기 시작하였고, 이를 관장하는 중앙부처에 따라 서로 다른 기준이 병설되어 재난의 예측이나 통제가 어려워졌기 때문에 통일된 기준의 설정이 요구되었고, 관련법인 건설 기술진흥법이 정비 되면서 2018 년에 건설교통부가 관리하는 국가건설기준이 성립 되었다.

- 우리나라의 건설기준은 “국가건설기준” 으로 통합되어 운영하고 있으나 아직도 개선해야 될 부분이 남아 있고, 새로운 문제도 부각될 수 있으므로 다른 나라의 예와 당초의 통합 과정 및 예상되는 문제점 등을 살펴 보자

## 1. 사업 계획 기준의 변화

### (1) 국가 건설기준의 운영 실태

- 미국은 국가기관 간 협력이 효율적 이기는 하지만 국가기관의 권한과 권위가 잘 유지되는 특징도 있다. 우리나라의 경우 주민등록번호 하나만으로 개인의 대부분의 정보를 알 수 있고, 재산정보와 납세 여부조차 파악할 수 있다. 그러나 미국의 경우 이와 같은 자료의 교류 자체는 상당히 잘 차단되어 있어 사회보장번호를 안다고 해도 별다른 정보를 얻기가 쉽지 않다. 이처럼 전체 국가가 단일 정보체계를 가지는 것과 다양한 체계로 협력하는 것을 결정하는 것은 문화가 배경이 되리라고 본다.
- 미국의 경우는 미국의 표준을 관리하는 ANSI 제도가 있지만 각 업무 형편에 알맞는 유연성과 적시성과 균형성을 가지도록 부문별로 정립된 특징이 있다. 즉, 공통된 부분은 ANSI 에 포함하지만, 모든 사업의 기준은 자발적합의에 의해 이루어진 부문별 표준을 따른다. 건설부문 역시 표준코드는 미국건설시방서 협회가 관리하지만 미 서부 17개 주의 관 개부문은 USBR 의 기준을 따르고, 농업부문은 USDA 의 기준이 있으며, 치수 문제에서는 미국공병단의 기준을 이용한다. 각 주의 기준 역시 주법에 따르되 ANSI 관리자들과 협력하는 방식을 이용한다. 요약하면 자발적 기준을 우선 하되 ANSI 가 이를 수용하는 형태를 기본으로 하는 것이다.
- 일본은 관료주의가 발달된 나라여서 관료의 판단이 매우 중요하게 인정된다. 이런 이유로 기준의 통합관리는 사실상 이루어지기 어렵다. 다만 전체 산업을 총괄하는 표준은 JS 로 정하고 있는 형편이다. 그러므로 건설분야는 국토교통성이 관장하고, 농업분야는 농림수 산성이 대신이 정하는 기술각서를 통해 별도로 정하여 관리한다.
- 유럽 공동체는 경제적으로 통일을 이루고 있으므로 표준과 기준이 통일 되어야 하나 전체 참여국가의 합의를 이루지 못하였다. 이에 1985년 New Approach 를 통해 기본요구사항이 적용된 경우에는 유럽내에서 통용되도록 하고, CEN(유럽 표준화위원회) 에서 “유럽조화 규격( Eurcodes )” 을 제정관리하며, 각국은 국가부속도서를 첨부하여 국가표준으로 적용한다. 특히 국가별로 안전도나 특수한 목표는 별도로 정하고 있다.
- 우리나라 역시 KS 는 정하지만 사업에 따라 별도의 기준을 중앙행정기관장의 기술각서 형태로 제정하여 운영하였다. 예를 들어 콘크리트 시방도 1987 년 까지는 농업토목 콘크리트 시방으로 운영 되었으나 이후 표준 콘크리트 시방으로 통합된 바 있다. 이후 행정선 진화와 윈스톱 서비스의 강점이 발휘 되고, 매년 일어나는 사회기반시설의 재해가 증가 됨에 따라 국가 기반시설의 안전기준을 통일할 필요를 느껴 2018 년에 통합관리에 이르 게된 것이다.
- 국가가 기준을 가지게 되는 이유는 전술한 바와 같이 사회안전을 고려하는 것이 가장 큰 이유일 것이다. 그러나 통합된 기준은 확일적이고 객관적인 반면 유연성과 적시성 및 균 형성을 해치게 된다. 이런 이유

로 국가 표준은 최소한을 정하게 하고 각 업무에 맞는 유연한 기준을 채택하고 있는 미국이나 Eurcodes의 운영 방식이 효과적일 것으로 판단 된다.

## (2) 농업생산기반조성사업 기준

- 농업생산기반조성사업의 기준은 우리나라 농업과 농정변화와 궤를 같이한다. 해방 전후에는 농업용수의 공급기준으로 부터 출발하여 1960년대 중반 차관을 준비하면서 다양한 사업이 포함되고, 객관적인 필요에 따라 1968년 필댐편을 필두로 1969년 관개편, 1979년 경지정리, 배수, 취입보 편이 제정되어 전천후 농업용수 공급 체계가 수원공과 평야부로 정립되었다. 이후 세계 정세에 따라 미국과의 관계가 정립되면서 식량의 자급이 중요한 문제로 떠오르자 간척사업과 개간 및 미완공간척지 개발 사업 등 농지 확대개발 사업이 정립되었다.
- 1980년대 후반에 우르과이 라운드를 통해 세계의 무역질서가 자유무역 체제인 WTO 체제로 정립되면서 시장개입에 의한 농산물의 가격지지가 어려워짐에 따라 농업에 농촌과 농민을 고려하는 전환기 농정체제로 전환되고, 이에 부합하는 농도, 방재, 친환경 부분의 기준을 수립하게 된다.
- 이 기준은 농림부, 농수산부, 농림수산부 등을 통해 기술각서로 유지되어 왔으나 기준 관리의 재원은 보조사업의 특징에 따라 보조금으로 집행하였다. 행정편의와 보조금 관리의 적정성을 유지하고자 기준정비사업은 한국농촌공사에 위임되었고, 농촌공사의 시험연구사업의 일환으로 추진되고, 농촌공사가 실무부서에 배포하였다.
- 이후 기술각서가 실무기관에서 관리되어 생기는 행정적 문제를 해결하기 위해 기준의 연구는 공사 책임하에 진행 하되, 농림수산부가 규정화하고, 배포와 교육은 농공학회가 담당하도록 제도화 하여 산학연의 협력체계를 마련 하였고, 2018년 통합 당시까지 유지되었다. 그러나 실제에 있어서는 국가기준 통합 관리 제도가 발의된 2012년 배수편 제2개 정관을 마지막으로 새로운 기준의 제정이나 개정사업은 실시되지 않았다.
- 국가건설기준은 부문별로 대,중,소 부문별 코드를 정하여 통합하게 되었는데, 농업생산기반 조성사업 부분은 670000 코드를 부여 받았다. 이는 2013년 농림축산식품부의 지원에 따라 시행된 “농업생산기반 정비사업 계획설계기준 표준코드개발 연구”가 기초가 되었다.
- 같은 기간에 국토건설부의 코드화 연구와 상충되는 점이 있어 조정을 위해 시행된 2015년 “농업생산기반 정비사업 계획설계기준 표준코드화 및 개편 연구”로 코드가 확정되었고, 2018년 설계기준 97건과 표준시방서 47건이 건설기술진흥법의 규정으로 정해졌고, 국가건설기준센터에서 운영하게 되었다.
- 현행 농업생산기반시설설계기준은 다음과 같이 중규모 및 소규모로 분류되어 있다.

<표 1> 현행 농업생산기반시설설계기준

중분류	소분류
농업용 댐 취입보	일반사항, 계획, 조사, 필댐설계, 콘크리트대 설계, 물넘이, 유지관리 일반사항, 조사, 기본설계, 취수구, 고정보, 기동보, 배사구, 기초공, 바닥보호공, 부대시설, 계류취수공, 유지관리
용배수로 관수로	일반사항, 기본사항, 시설설계, 유지관리 일반사항, 조사, 설계, 수리설계, 관체구조, 부대시설, 밸브, TC/TM, 유지관리
양배수장	일반사항, 조사, 펌프, 구조, 부대설비, 운전관리, 유지관리
농도	일반사항, 조사, 설계, 효과 및 평가, 유지관리
농지관개	논관개, 밭관개, 수질관리, 유지관리
농지배수	일반사항, 계획, 조사, 계획기준치, 지표배수, 지하배수, 효과, 유지관리
경지정리 개간	일반사항, 계획, 환지, 유지관리 일반사항, 계획, 영농계획, 조사, 환경성 검토, 유지관리
해면간척	일반사항, 조사, 방조제 설계, 용배수설계, 제염, 환경보전, 유지관리
농지보전 농업수질환경	일반사항, 계획, 조사, 설계, 공법, 사업효과 일반사항, 조수지(일반, 조사, 계획, 설계), 용수로(일반, 조사, 계획, 설계), 양배수장(일반, 조사, 계획, 설계), 유지관리)

(3) 건설사업 기준

- 농업생산기반조성사업 기준이 사회와 기술 여건에 따라 변해 왔듯이 건설산업의 기준도 많은 변화가 있다. 건설산업은 교량, 터널, 공동구, 설비, 조경, 건축, 도로, 철도, 하천, 댐, 상수도, 하수도, 농업생산기반의 설치 개량 사업을 를 총칭한다. 따라서 그 변화를 체계 적으로 관리하고 살펴 보는 것은 상당한 노력이 필요하다. 이 연구에서는 시기와 방법 등이 잘 구분되는 콘크리트 표준시방의 변화를 중심으로 기준이 시대적으로 어떻게 변화해 왔는지 살펴 보고자 한다.

- 1962 콘크리트 표준 시방서 제정
- 1968 무근, 철근, 포장, 댐 콘크리트 포함 국토건설청의 기준을 한국공업규격(KS) 로 개정
- 1977 건설기술의 대형화, 신기술 도입, 공장화 등을 반영하여 내용을 개정
- 1985 **강도설계법의 도입**
- 1988 국내외 연관 시방서등을 포함하고 구조공사 전반(설계, 시공, 관리)에 걸친 규정을 제정
- 1996 유동화 콘크리트 등에 의한 변화와 내구성 기준을 마련
- 1998 **설계편과 시공편으로 분리된 시방서를 시공기준으로 통일**
- 2003 허용균열폭, 피복두께, 철근의 정착 등을 개정하고 벽체의 치수를 현실화
- 2009 골재 재활용, 친환경콘크리트에 관한 규정을 보충하고 폴리머, 섬유보강 콘크리트를 추가
- 2016 건설기준을 코드로 전환한 KCS 체계로 개정 ( KCS 14 20 10 2016 )
- 2017 콘크리트 균열의 보수, 보강 및 표면상태 검사 보완
- 2018 **한국산업 표준으로 전환**
- 2021 최신 기술을 반영하여 보완
- 2022 오류 수정 및 배합강도 규정 정비

- 앞에 나열된 것에서 알 수 있듯이 국가건설사업 기준은 국가경제와 사회발전과 상응하여 발전한다. 경제 개발 5 개년 계획에 따라 건설산업이 확대 되면서 그동안 기술인의 상식에 머물렀던 기준이 표준으로 자리 잡게 된다. 이후 경제 중흥기를 이끈 86 아시안 게임과 88 올림픽의 준비와 실행을 거치면서 구술 선진화가 이루어 지고, 국제교류가 확대 되면서 세계적인 흐름인 강도설계법을 표준으로 삼게 되었다.



- 삼풍백화점 등의 사고를 겪으면서 시공의 기준이 되는 시방규정을 설계와 시공으로 분리 하여 관리 운영 하게 되고, 환경문제가 대두되는 2000 년대 들어 환경대책과 통일된 기준 을 고려하게 되었다. 이어서 WTO 체제에 따른 지적재산권 문제와 결부되어 국가적 표준 강화가 필요하게 되어 한국산업표준으로 통합관리하게 되었다.
- 예측 하건대 최근의 첨단기술에 의한 고강도 콘크리트 기술, 철근을 대신하는 탄소나노튜브, 설계와 관리 자동화를 지원하는 인공지능 등의 운영이 보편화 되면 다시 전체적인 기준의 정립과정이 있으리라 생각한다. 당연히 농업생산기반 조성사업도 지금의 침체기를 지나는 계기를 맞으면 새로운 기술과 기준으로 나아가야 할 것이다.

#### (4) 계획기준 통합

- 건설산업 설계와 시방서 통일은 건설기술 진흥법의 제정과 주관기관으로 국가건설기준 센터를 두어 실질적으로 운영할 수 있는 기반이 마련 되면서 강제적 실천력을 갖춘 국가 건설기준이 마련되었다.
- **국가건설진흥법 발체** : 국가건설진흥법은 국가가 관련된 건설공사의 표준을 유지하고, 개선하며, 교육과 훈련으 로 기술을 전파할 목적을 국가건설기준센터를 설치하여 달성하도록 제정되었다. 그 중요 한 내용은 다음과 같다.

**제1조 목적** 이 법은 건설기술의 연구,개발을 촉진하여 건설기술 수준을 향상시키고 이를 바탕으로 관련 산업을 진흥 하여 건설공사가 적절하게 시행되도록함과 아울러 건설공사의 품질을 높이고 안전을 확보 함으로써 공공복리의 증진과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 한다.

**제2조 정의** 중요한 정의는 다음과 같다.

- 건설공사 : 토목공사, 건축공사, 산업설비공사, 조경공사, 환경시설공사, 그 밖에 명칭과 관계없이 시설물을 설치,유지,보수하는공사(시설물을 설치하 기 위한 부지조성공사 포함) 및 기계 설비나 그 밖의 구조물의 설치 및 해 체공사 등(「건설산업기본법」 제2조제4호)
- 건설기술 : 건설공사에 관한 계획,조사,설계,시공,감리,시험,평가,측량,자문, 지도,품질관리, 안전점검 및 안전성 검토
- 건설사업자 : 건설산업법 또는 다른 법률에 따라 등록 등을 하고 건설업을하는 자.

**제20조 건설기술인의 육성** (1) 국토교통부장관은 건설기술인의 효율적 활용과 기 술능력 향상을 위하여 필요한 경우에는 건설기술인의 육성과 교육,훈련 등 에 관한 시책을 수립, 추진할 수 있다.

(2) 대통령령으로 정하는 건설기술인은 업무 수행에 필요한 소양과 지식을 습득하기 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 국토교통부장관이 실시하 는 교육, 훈련을 받아야 한다. 이 경우 국토교통부장관은 교육, 훈련 이수 실적을 제21조제2항에 따른 건설기술인 등급 산정에 활용할 수 있다.

(3) 제2항 전단에 따라 교육, 훈련을 받아야 할 사람은 고용하고 있는 사용자는 건설기술인이 제2항 전단에 따른 교육훈련을 받는 데에 필요한 경비를 부담하여야 하며, 이를 이유로 그 건설기술인에게 불이익을 주어서는 아니 된다.

**제20조의 2 교육훈련의 대행** 국토교통부장관은 건설기술인을 육성하기 위하여 「공 공기관의 운영에 관한 법률」에 따른 공공기관이나 대통령령으로 정하는 건설 기술과 관련된 기관 또는 단체로 하



여금 교육훈련을 대행하도록 할 수 있다.

**제43조 설계등의 표준화** (1) 국토교통부장관은 건설공사에 드는 비용을 줄이고 시 설물의 품질을 향상시키기 위하여 건설자, 부재의 치수 및 시공방법을 표준화하도록 노력하여야 한다.

(2) 국토교통부장관은 제1항에 따른 표준화를 촉진하기 위하여 설계자, 건설자, 건설사업자 등에게 대통령령으로 정하는 바에 따라 설비, 생산 또는 시공 과정에서 시험생산, 시험시공 등을 하도록 권고할 수 있다.

(3) 국토교통부장관은 관계 기관의 장에게 제1항에 따른 표준화와 관련된 「산업표준화법」 제12조에 따른 한국산업 표준 등 기준의 정비 및 자금 지원 등 필요한 사항을 요청할 수 있다.

**제44조 설계 및 시공기준** (1) 국토교통부장관이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 자는 건설공사의 기술성, 환경성 향상 및 품질 확보와 적정한 공사 관리를 위하여 건설공사 설계기준, 건설공사 표준시방서, 그 밖에 필요한 기준(이하 “건설기준”이라 한다)을 정할 수 있다.

(2) 대통령령으로 정하는 자가 건설기준을 정하려면 국토교통부장관의 승인을받아야 한다.

**시행령 제116조(권한의 위탁)** 국토교통부장관은 법 제82조제1항에 따라 법 제44조제 2항에 따른 건설기준의 승인에 관한 권한 중 농림축산식품부 소관 사항에 관한 권한을 농림축산식품부장관에게 위탁하고, 환경부 소관 사항에 관한 권한을 환경부장관에게 위탁하며, 해양수산부 소관 사항에 관한 권한을 해양수산부장관에게 위탁한다.

**제44조의 2 건설기준의 관리** (1) 국토교통부장관은 건설기준을 효율적으로 관리하기 위하여 국가건설기준센터를 설치, 운영할 수 있다.

(2) 국가건설기준센터는 다음 각 호의 업무를 수행한다.

- 건설기준의 연구, 개발 및 보급
- 건설기준의 관리, 운영
- 건설기준의 검증 및 평가
- 건설기준의 정보화체계 구축
- 건설기준에 대한 교육 및 홍보
- 주요 국가 건설기준의 제도, 정책 동향 조사, 분석
- 건설기준 발전을 위한 국제협력의 추진
- 그 밖에 건설기준 발전을 위하여 대통령령으로 정하는 사항

(3) 국토교통부장관은 국가건설기준센터의 운영을 대통령령으로 정하는 전문기관에 위탁할 수 있다.

(4) 국토교통부장관은 국가건설기준센터의 운영에 필요한 비용을 예산의 범위에서 출연할 수 있다.

**제82조 권한의 위임** 국토교통부장관은 이 법에 따른 권한의 일부를 대통령령으로 정하는 바에 따라 중앙행정기관의 장에게 위탁하거나 시, 도지사 또는 대통령령으로 정하는 국토교통부 소속 기관의 장에게 위임할 수 있다.

## 국가건설 기준센터

**임무** 국가건설기준센터는 「건설기술진흥법 제44조의2」를 근거로 설립되었으며, 건설공사의 설계 또는 시공시에 준수해야 하는 건설기준의 제정, 개정 등 국가 건설기준의 체계적 운영, 관리하기 위한 컨트롤타워의 역할을 수행하고 있다.

**관리하는 기준** 공통, 지반, 구조, 내진, 가설, 교량, 터널, 공동구, 설비, 조경, 건축, 도로, 철도, 하천, 댐, 상수도, 하수도, 농업기반

**관련기관** 국토교통부, 건설기술연구원 및 15개 학회( 대한토목학회, 대한건축학회, 한국지반공학회, 한국콘크리트학회, 한국강구조학회, 한국지진공학회, 한국가설협회, 한국도로협회, 대한설비공학회, 한국조명전기설비학회, 한국조경학회, 한국수자원학회, 한국상하수도협회, 한국항만협회, 한국터널지하공간학회)가 참여하고 있다.

**중요한 조직과 업무** 설계기준 관리를 위해 기준정비팀, 개발팀, 정책팀을 두고 기준교육, 국제협력, 용어정비, 조사 분석 지원 포털관리 및 스마트화, KS 협력, 그림 건설기준 개발, 설계기준 체계 개선 업무를 수행하고 있다.

## 2. 국가건설기준의 적용에 따른 예상 문제

### (1) 사업 목적의 변화와 기준정비의 필요성

- 농업은 선사때 부터 계획 되어 왔으므로 관습과 규정이 있었고, 사회의 발전에 따라 변화 되어 왔다. 농업 생산기반조성사업 역시 농지제도와 수리권 등을 포함하여 역사와 함께 변화해 왔으나 현대적 법체계는 수리조합령, 농지개량영단령, 토지개량사업법, 농촌근대화 촉진법과 농지확대개발촉진법을 거쳐 농어촌정비법으로 정착하게 되었다.
- 전환기 농업을 거치면서 생산중심의 농업이 유통, 가공, 식품과 함께 농업에 종사하는 경제인으로서의 농업인, 국토의 중요한 위치를 차지하는 농촌 문제 등이 대두되면서 정책 자체가 복잡해 지고, 정부의 역할이 강조되면서 많은 법령이 제정, 개정 되었고, 법령간의 상충과 불일치 및 불균형도 피하기 어려웠다.
- 이런 문제를 효율적으로 해결하고자 1999년 농업농촌기본법을 제정하여, 2000년에 시행한 이후로 2008년 수산 및 식품분야가 포함된 농어업농촌및 식품산업기본법으로, 2015년 해양수산부의 창설에 따라 농업농촌및 식품산업기본법으로 개정 되었으며, 2023년 부터 양성평등 문제가 보완되고, 2024년 이후 농업농촌통합정보시스템 기반을 조성하는 방향으로 개정 되었다.
- 그러나 이미 산업현장은 관습이 고착되고, 연속성을 가지고 있었으므로 기본법은 실질적인 수행방법보다 선언적이고 미래 지향적인 조문을 수용할 수 밖에 없었으며, 30여 차례에 걸쳐 개정된 조문역시 근간을 바꾸는 것은 되지 못하였다. 따라서 각 사업법은 용어나 균형 및 정책방향은 기본법을 따르되 시행의 절차나 방법은 종래와 다르지 않았다.
- 농업농촌 및 식품산업 기본법이 추구하는 농업, 농촌, 식품 산업의 정책방향과 농업생산기반조성사업의 장차의 방향에 대하여 살펴보자.
- **농업농촌 및 식품사업 기본법**  
**목적**

국민의 경제, 사회, 문화의 기반인 농업과 농촌의 지속가능한 발전을 도모하고, 국민에게 안전한 농산물과 품질 좋은 식품을 안정적으로 공급하며, 농업인의 소득과 삶의 질을 높이기 위하여 농업, 농촌 및 식품산업이 나아갈 방향과 국가의 정책 방향에 관한 기본적인 사항을 규정하기 위함.

### 기본이념

**농산업** 국민에게 안전한 농산물과 품질 좋은 식품을 안정적으로 공급하고 국토환경의 보전에 이바지하는 등 경제적, 공익적 기능을 수행하는 기간산업으로서 국민의 경제, 사회, 문화발전의 기반이 되도록 한다

**농어민** 자력과 창의를 바탕으로 다른 산업종사자와 균형된 소득을 실현하는 경제 주체로 성장하여 나가도록 한다.

**농어촌** 유한 전통과 문화를 보존하고 국민에게 쾌적한 환경을 제공하는 산업 및 생활 공간으로 발전시켜 이를 미래세대에 물려주도록 한다.

### ○ 정책의 기본방향

**식품의 안정적 공급** 생산, 유통 및 품질의 안정성을 도모한다.

**농업구조 개선** 농업 종사 인력, 농업 경영, 농지의 소유 및 이용과 농산물의 유통 등을 포함한 농업구조를 개선한다.

**공익기능 증진** 농업의 공익기능인 식량의 안정적 공급, 국토환경 자연경관의 보전, 수자원의 형성과 함양, 토양유실 방지와 홍수의 방지, 생태계의 보전 및 농촌 사회 전통과 문화의 보전한다.

**지역농업의 발전** 농촌을 도시와 연계된 산업, 생활, 휴양 공간으로 발전시킨다.

- 이 법은 기본법이기 때문에 행정적 수단을 가지고 있지 못하다. 따라서 이 법을 중심으로 농림수산식품부가 관장하는 사업법의 도움이 필요하다. 이 기본법에서 국가의 개입이나 직간접 참여를 요구하는 사업은 (1) 식품의 안정적 공급을 위한 생산, 유통, 가공 기반의 유지개선, (2) 자연경관의 유지 보전, (3) 수자원의 형성과 함양, (4) 토양유실 방지와 생태계 보전 및 생활, (5) 휴양공간의 확충 등을 생각 할 수 있다.

- 이 법을 관장하는 농림축산식품부는 농산, 축산, 식량, 농지, 수리, 식품산업진흥, 농촌개발 및 농산물 유통에 관한 사무를 관장한다. 농림수산식품부에 기획조정실, 농촌정책국, 방역정책국, 식량정책실, 농림축산검역본부, 농업혁신정책실, 국립농산물품질관리원을 두고 외청으로 산림청과 농촌진흥청을 두었다. 중요한 실국의 업무를 나타내는 과와 담당관은 다음과 같다.

<표 2> 농림수산식품부 중요한 실국의 업무 담당

실국	담당관 또는 과
기획조정실	기획재정담당관, 혁신행정담당관, 규제개혁법무담당관, 정보통계정책담당관, 국제협력총괄과, 농업통상과, 검역정책과, 자유무역협정팀
농촌정책국	농촌정책과, 농촌계획과, 농촌사회서비스과, 농촌경제과, 농촌여성정책팀, 동물복지정책과, 농촌탄소중립정책과, 반려산업동물의료팀
방역정책국	방역정책과, 구제역방역과, 조류인플루엔자방역과
식량정책실	식량정책과, 식량산업과, 농업기반과, 농업시설안전과, 축산정책과, 축산경영과, 축산환경자원과, 축산유통팀, 유통정책과, 식생활소비정책과, 원예산업과, 원예경영과, 농축산위생품질팀
농업혁신정책실	스마트농업정책과, 첨단기자재종자과, 과학기술정책과, 친환경농업과, 빅데이터전략팀, 농업경영정책과, 농지과, 공익직불정책과, 농업금융정책과, 재해보험정책과, 청년농육성정책팀, 푸트테크정책과, 식품외식산업과, 농식품수출진흥과 및 그린바이오산업팀

- 소관 업무를 살펴보면 주로 행정지원, 시장정책 및 농산업 경영과 위생 및 식품산업을 담당하고 있고, 농업의 공익적 기능이나 생산, 유통 및 가공 시설을 담당하는 부서는 농업기반과, 농촌계획과, 농업시설안전과 정도에 불과하다.
- 이들 농업기반과, 농촌계획과, 농업시설안전과는 주로 농촌정비법에 관여하고 있어 실질적으로 농업농촌및식품산업법에서 중요하게 이루고자 하는 농업의 공익적 기능의 대부분을 농어촌정비법에 포괄하고 있음을 알 수 있다.
- **농지정비법**

농업생산기반 조성사업은 국가가 식량안보와 다른 공적의 필요에 따라 토지의 사유권을 제한하면서 토지의 효용을 증대하고자 특정인에게 국고를 지원하는 시혜적 사업이다. 이런 이유로 지원과 토지의 운용에 상당히 엄격한 절차와 시행방법이 적용된다. 이법의 목적과 중요한 내용을 요약하면 다음과 같다.

**목적**

농업생산기반, 농어촌 생활환경, 농어촌 관광휴양자원 및 한계농지 등을 종합적, 체계적으로 정비, 개발하여 농수산업의 경쟁력을 높이고 농어촌 생활환경 개선을 촉진 함으로써 환경친화적이고 현대적인 농어촌 건설과 국가의 균형 발전에 이바지하는 것을 목적으로 한다.

**농어촌 정비 사업의 내용**

농업생산기반정비사업, 농어촌 생활환경 정비사업, 농어촌산업 육성사업, 농어촌 관광휴양자원 개발사업, 한계농지등의 정비사업으로서 세부내용은 다음과 같고, 시행 절차 등은 농업생산기반정비사업을 준용한다.

**농업생산기반정비사업** : 농어촌용수 개발사업, 농업생산기반 개량사업, 농지확대 개발사업, 영농시설 확충사업, 수질오염 방지사업과 수질개선 사업, 토양개선사업 등

**생활환경정비사업** : 농어촌마을 건설사업, 농어촌마을 재개발사업, 마을의 정비사업, 농어촌 수질오염 방지를 위한 사업, 정주생활권(定住生活圈) 개발사업, 빈 집의 정비, 농어촌 임대주택의 공급 및 관리, 농어촌 주택의 개량, 슬레이트의 해체, 제거 및 처리,

**농어촌산업**: 농어촌의 특산물, 전통문화, 경관 등 유형, 무형의 자원을 활용한 식품가공 등 제조업, 문화 관광 등 서비스업 및 이와 관련된 산업

**농어촌 관광휴양사업**: 농어촌 관광휴양단지사업, 관광농원사업, 주말농원사업, 농어촌민박사업

**한계농지등의 정비사업**: 한계농지와 그 주변산지 등 토지를 활용하여 농림수산업적 이용, 농어촌 관광 휴양자원 이용, 다목적 이용 등의 형태로 개발하는 사업

**농업생산기반정비사업 참여자**

농업생산기반 정비사업은 국가, 지방자치단체, 한국농어촌공사 또는 토지 소유자가 시행한다. 다만, 생산단지의 조성 및 영농시설 확충사업은 농업협동조합도 시행할 수 있다.

**정부의 역할**

자원조사, 농어촌정비 종합계획의 수립, 농어촌 경관 보존관리, 농어촌용수 합리화 계획의 수립과 추진, 농어촌용수 실태조사, 농어촌용수 오염방지와 수질개선, 농업 생산기반 시설사용허가 등

**사업시행 절차**

예정지 조사, 기본계획 수립, 시행계획 수립(시행자 지정), 사업시행 및 관리

○ **농업생산기반정비사업의 미래방향**

○ 농업생산기반정비사업은 농업생산을 농업으로 생각하던 토지개발사업법, 농촌근대화촉진 사업 시절의 사업을 대표한다. 전술한 바와 같이 그후 농정의 기본방향이 생산에서 농업, 농촌 및 환경문제로 전환되자 농어촌정비가 필요해졌고, 역사가 오래되고, 사업의 절차 등이 잘 정리된 농업생산기반조성사업의 형태를 중심으로 타 사업을 규정하기에 이르렀다.

○ 그러나 어떤 경우에도 농업생산기반조성사업분야로 기준을 설정하는 것은 되보된 예 일 뿐이다. 예를 들어 생활환경정비사업과 농업생산기반 정비사업 을 종합적으로 시행하는 경우, 용수계획은 농업생산기반조성사업을 따르고, 다른 분야는 각 법이나 타 건설기준을 따른다면 종합적으로 조화로운 계획을 수립하는 데도 적지 않은 부담이 있고, 계획 자체도 일관성이 없는 형태가 될 위험이 크며, 효율적인 관리의 원칙을 수립 하기도 어려울 것이다.

○ 따라서 광범위하게 자리 잡은 모범에 따라서 농어촌정비사업을 대분류로 하고, 각 사업을 중분류로 하며, 시설 등은 소분류로 제정비하여 법의 원활한 이행을 돕는 것이 좋을것 같다.

(2) **농어촌정비사업과 사회간접자본 확충사업**

○ 토지와 수자원은 국가의 유지와 발전에 가장 핵심적인 공공재임으로 합리적이고 공정하게 이용하기 위해서는 충분하고 자세한 법절차가 필요하다. 또 국토의 개발이나 농지의 개발은 국민의 재산과 수익을 좌우할 수 있으므로 엄격한 절차와 공정성이 보장 되어야 한다.

○ 이런 이유로 국토의 개발에 대해서는 수익자 부담의 원칙과 불특정 다수에 대한 사회간접자본의 확충의 이론을 들어 국가가 주도적으로 투자하고 있다. 그러나 농지의 경우에는 소유자가 확실한 특정인 이어서 개인에게 국가가 이익을 도모하도록 투자 할 수는 없는 형편 이므로 보조사업으로 추진되는 것이 원칙이다. 농업기반조성사업의 법적 타당성은 경자유전으로 제한되는 소유권의 반대급부로 이해해도 크게 다르지 않다. 즉, 국익을 위 해 거래는 제한 하되 그로 인해 발생하는 불이익은 국가가 보상형식으로 지원하

여 형평을 맞추는 것이다.

- 도로와 같은 사회간접자본으로 인해 산업이 융성하게 되어 결과적으로 국가의 기능을 충실히 하는 것처럼, 농업을 통해 국민에게 식량을 공급하는 공익적 목적이 달성 될 수 있으므로, 국가는 농민이 원활하게 국민의 식량을 조달 할 수 있도록 돕는 것은 매우 타당하다.
- 그러나 투자에 소요되는 전체 금액을 보조하는 것은 돕는 것이 아니라 투자하는 것에 해 당하게 되고, 국가가 전액을 투자하는 경우 영농에 관한 모든 결정을 행사하여야 하기 때 문에 광의로 볼때 국가의 소작 이라고 할 수도 있다. 따라서 일부를 지원 하되 지원금의 사용을 지원받는 농민의 의사에 맡기도록 하기 위해서 보조금으로 지급하게 된다.
- 이때 보조금을 지급받는 농민의 입장에서 보면 국가의 목적에 순응하고, 본업을 융성하게 하기 위해서 일부 자기자금을 부담하여야 하므로 사업시행의 결정이 개인적인 부담의무를 지우는 행위가 된다. 더욱 이 저수지와 같은 농업생산기반시설의 설치와 운영은 막대한 자금이 필요하므로 농민의 부담 역시 장기간의 금융부담을 초래하기 마련이다.
- 이런 문제점을 슬기롭게 극복하기 위해서 조합과 같은 법인을 설립한뒤 국가가 주도적으로 값싼 용자금을 대출하여 개발비를 충당하게 하는 방안이 창안 되었고, 이 용자금이 합 리적으로 환급될 수 있는 지를 사전에 확인 할 필요가 있게 되었다. 그러므로 농지기반조 성사업은 사전에 보조받는 자의 부담을 자세 하고 정확하게 산출하여야 한다.
- 이행에 수년이 소요되는 수자원 개발 사업은 투자비에 의한 것과 보조금에 의한 것이 서로 다를 수 밖에 없다. 왜냐하면 우리나라 헌법은 “예산회계 독립의 원칙”을 명시하고 있다. 즉 국가가 사업비를 지원하는 경우에는 당해년도 사업에 그치고, 차년도 사업비를 당해 년에 결정할 수 없게 하는 것이다. 따라서 투자 사업의 경우에는 당해년도의 계획에 의해 당해년도 사업을 진행하는 것이 불가피하나 주체가 국가 이므로 세부적인 투자계획을 세 울 필요는 사실상 없게 된다.
- 이에 비하여 보조사업은 보조받는자의 부담을 명시하기 때문에 투자기간 전체의 계획과 사업비 및 그 수익 여부를 확정할 필요가 있으므로 전체의 세부설계가 필요하다. 또 그 이행에 수년을 요구하는 경우 총괄사업비를 산출 할 수 밖에 없고, 도급의 계약에도 총괄 금액이 경제적인 것이 타당하다.
- 이런 사업의 특징에 따라 토지와 수자원을 개발하는 사회간접자본의 설치에 서로다른 추진방식이 결정 되었는데, 국가투자의 경우에는 투자목적에 대한 합치를 주된 목표로 하는 데 비하여, 보조금의 경우에는 농민의 이익을 최대한 보장하는 측면에 관점을 두게 되었다.
- 사업집행의 근거가 되고 있는 관련법은 보조금의 경우에는 절차가 세분되고 경직되어 있는 데 반해, 투자의 경우 유연성을 발휘 할 수 있도록 축약 되고 단순한 법체계를 지니고 있다. 그러나 최근에 농업생산기반조성사업의 보조금을 집행함에 있어 수원공은 투자에 준하고, 평야부는 보조금의 집행에 준하는 방식으로 진행되고 있지만, 아직 법체계는 정비되지 못하였다.
- 이런 법체계는 주로 1960년대에 확립된 것으로서 50여년이 지나면서 많은 경제, 사회적 변화에 충분히 적응하지 못하는 경우가 있을 수 밖에 없고, 이미 많은 법들이 상호 상충되는 부분을 서로 의제하고 있으므로 법률 전반과 추진체계 전반을 검토할 필요가 있다. 또 법률체계에 따라 우리나라 국토의 95% 와 수



자원의 55% 를 담당하고 있는 농업생산기반 부문의 발전이 현저히 저해되고 있으므로 새로운 조치가 필요하다

- 따라서 토지와 농지 및 수자원에 관련된 제반 법령을 검토하여 새로운 발전 방향을 모색 하도록 민법과 토지, 수자원에 관련된 제반 법령을 나열하고 상호비교하여 미래지향적인 방향을 도출할 필요가 있다.

**(3) 직권주위, 신청주의**

- 국가의 보조사업은 국가가 직접 사업을 기획하고 토지소유주등 관계자의 동의를 구하여 시행하는 직권주의 사업과 토지 관련인이 계획을 수립하고 정부에 지원을 요청하는 신청 주의 사업이 있다.
- 농업기반조성사업의 시행자는 국가, 지자체, 농촌공사와 토지를 소유한 농민이다. 따라서 농민이나 지방자치단체가 발전 목표에 따라 사업계획을 수립하고 보조금의 지원을 국가 에 요청할 수도 있고, 정부가 능동적으로 국가의 농지기반을 보전하고 개량하기 위하여 국가계획을 수립하여 진행할 수도 있는 것이다.
- 건국 초기에는 농민이 수리조합( 또는 농지개량조합 )을 결성하고, 보조금을 신청하는 신청주의 사업이 주종을 이루었다. 그러나 1960 년대 중반에 들어 차관사업, 농업용수합리 화 계획의 수립 등 국가의 필요에 따라 합리적인 토지와 수자원 및 농촌공간의 확보를 목적으로 직권주의 사업이 왕성하게 추진 되었고, 지난 반세기에 중요한 업적은 이과정을 통해 이루어 졌다.
- 농업기반정비사업은 특정인에게 국가자원을 시혜적으로 지원하는 사업 이므로 부분적으로 보조를 받는자의 부담이 필요하다. 따라서 부담을 받는자의 선동의가 꼭 있어야 한다. 과거에는 농업 기반조성사업의 시행에 대한 경쟁이 있었으므로 토지소유자의 동의를 구하기도 용이하고, 지방 자치단체의 입장에서도 유치를 위해서 직권주의적 경향을 띄고 행해 졌으나, 토지가격 왜곡 등의 영향으로 최근에는 동의서 징구가 거의 불가능한 상황이라 신청주의로 전환되고 있다.
- 신청주의에 의해 농업기반이 조성되면 지역의 이익과 효율을 최대로 하는 공리적 입장보다 지역 이기주의에 따르는 불합리한 계획이 수립되기 쉽고, 상위 또는 하위계획과 일관 성을 가지기도 어렵다. 예를 들어 하천법 등과는 달리 정부가 관리하는 농어촌용수이용 합리화 계획과 배치 되는 사업의 경우에 이를 조정할 권한 등을 갖추지 못하고 있다.

**(4) 수원공과 평야부 보조금**

- 농업용수개발사업의 국고보조율은 80%이고, 배수개선사업과 국가관리방조제는 100% 이다. 즉, 재해에 대비하는 배수나 방조제는 국가가 당연히 하여야 할 사업이고, 사업 완료 후 제언과 하천시설이 국가에 무상으로 증여 된다는 점에서 전액을 보조하고 있다.
- 농업용수사업은 토지소유자의 직접이익을 기대 할 수 있기 때문에 일부 자부담을 포함하고 있다. 그러나 가뭄 역시 재해의 일종이고, 국가가 관리한 다는 점과 수원공 시설이 사업완료후에 정부와 동일시 되는 위탁집행형 준 정부기관인 한국농촌공사에 귀속 되고 있으므로 전액 보조가 당연하다고 생각 된다. 그러므로 수원공의 조성은 전액을 보조하고, 수원공을 이용하는 시설 즉 평야부의 경우에는 일부 자부담을 포함하게 하는 것은 타당 하다고 할 수 있을 것이다.

- 그러나 최종적으로 평야부의 개발비에 일부 수원공 조성비가 포함되는 것은 소유권의 귀 속에 비추어 부당한 점이 있다. 왜냐하면 한국농어촌공사(또는 국가)의 재산형성에 농민의 부담금이 포함되는 모순이 있기 때문이다.
- 국고보조금은 ‘보조금 관리에 관한 법률’에 근거하여 국가 외의 자가 행하는 사무 또는 사업에 대하여 국가가 이를 조성하거나 재정상의 원조를 하기 위하여 교부하는 제도로서, 상당한 반대 급부를 받지 아니하고 교부하는 급부금(법 제2조 정의)을 말하므로 정부는 지급한 보조금에 대한 대가를 바랄 수 없다. 이 관점에서 전액보조후 시설을 국가의 소유나 재산으로 귀속하는 것(위탁 집행형 준정부기관 포함)에 대한 검토가 필요하다.

#### (5) 농촌정비사업의 참여자와 역할

- 농업생산기반 정비사업은 국가, 지방자치단체, 한국농어촌공사 또는 토지 소유자 및 농업협동조합(생산단지의 조성 및 영농시설 확충사업은)가 시행한다. 초기에는 중앙행정기관이 재정을 관리하고, 지방자치단체는 비용을 일부 부담하고 사업시행 인가를 담당하며, 조사, 계획, 설계 및 공사감리는 농어촌진흥공사와 농지개량조합이 담당하였다. 공사가 준공된 후에는 농지개량조합에 이관되어 장기채의 상환과 시설의 유지관리를 담당하였다.
- 2001년에 농지개량조합, 농어촌진흥공사와 농지개량조합이 통합되어 준정부기관인 한 국농어촌공사가 설립된 후에는 지방자치단체가 관리하는 일부 소규모 시설을 제외하고 조사, 계획, 설계, 공사감리 및 유지관리를 한국농어촌공사가 전담하고 있다. 기관통합의 진행과 통합관리와 관련된 법적 문제는 다음과 같다.
  - (1) 전문가 집단으로서의 농어촌진흥공사, 농지개량조합연합회 : 1962년 조선농지개발 영단을 확대 개편한 토지개량조합과 토지개량조합연합회가 1970. 2. 7에 공법인인 농업진흥공사와 농지개량조합으로 승계되었다. 농지개량조합은 사업의 시행자가 되어 사업인가를 취득하고, 준공후 시설을 소유하는 관리자가 된다.

당시에는 농업기반조성의 조사, 설계 및 공사감리를 담당할 고급 기술자를 농지개량 조합이 보유할 수 없었기 때문에 토지개량연합회가 보유한 전문기술지원체계를 공기업인 농업진흥 공사로 전환하여 조사, 설계 및 공사감리를 담당하게 하였다. 1973.9.24에 일부 농업기반 조성사업(주로 경지정리)의 조사, 설계 및 공사감리를 담당하는 농지개량조합연합회가 설립되었다.

2001.1.1에 사업시행자인 농지개량조합, 전문기술집단인 농업진흥공사와 농지개량 조합연합회를 통합하여 공기업인 농업기반공사를 설립하고, 2008.12.29에 농촌개발 사업의 시행을 포함하는 한국농어촌공사로 확대하면서, 농지의 위탁, 알선, 환매 등을 관리하는 농지은행을 공사에 병설하였다. 이에 따라 한국농어촌공사는 전문가 집단에서 농업기반 조성, 농촌개발 및 농지은행 등 업무를 계획하고 시행하며 유지관리하는 유일체제로 전환되었다.

- (2) 준정부기관으로서의 한국농어촌공사: 한국농어촌공사는 공공기관의 운영에 관한 법률에 의해 평



가, 감독을 받는 339 개소의 공공 기관중 79 개가 속한 위탁집행형 준정부기관에 속하여 정부의 정책을 대리 집행 한다. 건설 교통부 소관의 수자원 공사 등 4개 공공기관이 준시장형 공기업에 속하는 것과 비교하면 역할의 차이가 있다고 할 수 있을 것이다.

현재의 한국농어촌공사는 농업기반조성사업의 연구, 조사, 설계, 감리, 시행 및 유지관리를 일괄 담당 하므로써 업무의 일관성이나 사업추진에 원활을 꾀하고 있다. 그러나 단일기관이 전체 공정을 담당하고 있어 신기술의 도입, 사업의 객관화, 유사 기술의 경합발전의 기회를 가지지 못하고 있는 것도 사실이다. 농업기반정비사업으로 조성되는 시설의 상당부분이 재해에 대한 대비 임을 상기하면 제3자 보증을 통한 객관성을 확보할 기회가 없는 점도 검토할 만 하다.

또, 연구, 조사, 설계는 꼭 개발을 전제로 하지 않을 수도 있는 데도 불구하고 연구, 조사, 설계에 소요되는 경비를 개발사업비 내에서 부담하게 하는 것도 검토할 여지가 있다.

#### (6) 기준 충돌의 가능성

- 대부분의 농업용 댐과 관개 시설은 농어촌진흥공사, 농지개량조합연합회 및 농지개량조합이 병존 하던 시대에 이루어 졌고, 아직도 신규시설의 착수에 조합원의 동의와 보조금의 지급 및 장기채의 설정 등 절차가 필요하다. 이경우 논쟁의 여지는 있으나 사업 이익의 주체가 사인인 조합원인 것과 사회간접자본 시설과 같이 국가가 되어야 하는 가에는 어느정도 이견이 있을 수 있다.
- 예를 들어 하천유지용수를 확보하고, 공급하는 것은 건설기준의 입장에서는 꼭 필요한 조치 이지만, 수자원을 개발하여 개인의 영농관리에 이용 하므로써 헌법 등에 규정된 식량 공급의 공적 의무를 이행 하는 자가 이 비용을 부담해야 하는 것은 무리가 있다. 왜냐하면 하천을 유지하고 생태계를 보전하는 것은 불특정 다수를 위해 공적으로 부담해야할 업무 이기 때문이다.
- 이와 같은 문제와 장기간이 소요되는 농업기반조성사업의 특성으로 이익의 실현이 어려워 사업성이 낮아지는 등의 문제를 해결 하고자 수원공에 한하여 전액을 보조 하는 것은 해결책의 일부가 될 것이나 사업의 성립과 착수가 조합원의 동의에 의해 성립되는 점을 고려하면 궁극적인 해결책은 될 수 없다, 실제로 수원공의 설치가 국고로 이루어 지고, 국가의 의지표현인 직권에 의해 조성 된다고 하여도 여전히 관개용수를 이용하는 의지는 조합원에게 있고, 운영관리에 대하여 부담 여부를 살필 권리도 유보하고 있다고 볼 수 있기 때문이다.
- 특히 농업의 공익적 기능이 농업농촌및식품산업기본법에 명시 되고, 농촌정비법 만이 실행 가능한 사업법이 되면서 사업에 공익기능을 함양 하는 것은 계획, 설계에서 피할 수 없는 조건이라고 생각할 수 있다. 그럼에도 불구하고 국가가 지불하는 보조금에 매칭 하여 조합원이 정물로 비용을 부담하는 경우 시설의 안정성 기준이나 조성의 기준이 서로 다를 가능성과 다름은 상존하는 것으로 여겨 진다.
- 국가건설기준을 통일되게 적용하는 경우의 타당성을 유지하고자 하는 경우 국가목적에 따라 설치되는 시설의 계획, 설계와 종전의 농업생산기반 기준에 의한 설계가 동시에 이루어 져서 그 차액은 국가의 부담으로 하는 방법을 고려 할 수 있어야 할 것이다.

- 또 여름의 수해를 우려하여 관개수를 사전에 방류하는 경우를 생각해 보자. 저수를 하는 이유는 장래의 가뭄을 대비하는 일인데, 하류의 안전을 고려하여 사전에 방류를 하게 하는 것은 사전에 이 작용이 설계되어 조합원이 부담을 약속하지 않은 경우에 비용을 국가 등이 부담 하여야 할 것이다.
- 이처럼 국가의 투자사업으로 이루어지는 시설의 경우 건설기준을 정하는 기준이 국가 이므로 문제될 소지가 적지만, 보조사업으로 진행되는 경우에 시설의 실질적인 운영주체가 피 보조자가 되므로 기준의 설정과 운영에 차이가 있을 수 있다.

#### 4. 새만금을 중심으로 살펴본 기준의 적용 예

- 농업생산기반 조성사업은 계획과 설계 및 시공에 오랜 시간이 필요하다. 그리고 계획과 설계가 완료된 후에도 사업이 착수되기 위해서 예산을 확보하는 등 절차가 완료되기 위해 오랜 시간이 소요되는 것이 보통이다. 이렇게 장기간의 사업이 추진 되는 경우 사업을 계획하던 시기와 사업이 추진되는 시기의 설계기준이 흔히 달라질 수 있다.
- 이미 앞에서 살펴본 바와 같이 가장 중요하게 실무에서 적용되는 콘크리트 표준시방서의 경우 1962년 제정후 13 회의 중요한 변화가 있었다. 그러므로 대략 4 내지 5 년에 한번의 변화는 있을 수 있게 되는 것이다. 특히 농업생산기반 조성사업의 기준으로 채택된 1988년 이후에 국가의 경제적 약진이 계속 되면서 표준의 개정 간격이 3년 정도에 불과하여 농업생산기반조성사업의 시행에 필요한 준비 시간을 고려하면 일관된 기준을 적용하는 것은 아주 어려운 문제이다.
- 특히 투자사업으로 추진되는 정부사업이 예산회계법상 회계년도 독립의 원칙에 따라 동 일회기내에 설계와 시공이 이루어지는 점에 비해 농업생산기반조성 사업은 보조사업으로 진행 되므로 완전한 설계를 바탕으로 조합원의 부담금액이 제시 되어야 하고, 이런 특징 이 반영된 장기계속계약 으로 진행되는 것이 일반적이다.
- 따라서 설계를 마친뒤 시행인가를 받아 공사가 착수되면 이미 수년이 경과하게 되고, 그 사이에 개정되는 기준이 있게 되면 보완설계를 통해 수정 할 수 있지만 주요시설물을 재 설계 하는 것은 사실상 어렵다.

##### 1. 새만금 사업 연혁과 설계기준

- 새만금 사업은 1970년대에 계획하여 고시된 서남해안 간척 예정지에는 김제, 부안 지구 등으로 포함되었으나 차관사업으로 옥서지구 및 논산지구 등과 연계 되면서 사실상 추진이 어려운 상태가 되었다. 이후 1980년 냉해에 의한 대 흉작으로 다시 식량의 자급문제가 대두 되면서 새만금으로 추진하는 계획이 논의 되었으므로, 이미 사업이 시작된 지 반세기가 지났다.
- 새만금 사업은 1886년부터 1988년 동안 추진된 기본계획 과정에서 중요한 시설의 기본계획이 확정되고, 1988년부터 관련부처의 협의를 거쳐 1991년 사업인가와 공유수면 매립면허 및 주민동의를 거쳐 공

사에 착수 하였다. 중단 없는 사업진행을 위해 관련부처 협의과정, 주민동의, 시행인가 전에 입찰과 공사를 대비하여 방조제와 배수갑문 등은 세 부설계가 완료된 바 있고, 사업시행 과정에서 주요시설물에 대한 전면 재설계는 없었으므로 크게 달라진 것이 없었다.

- 1991 년 착수된 새만금 방조제는 2006 년에 끝막이 공사가 있었고, 끝막이 공사를 원활하게 하기 위해 배수갑문은 사전에 완료 되었다. 이 과정에서 전적으로 국가건설기준(콘크리트 계획기준 및 표준시방서)에 의지하는 새만금 배수갑문 등 구조물 공사는 1988 년에 설계를 마치고, 1991 년에 착공하여 15 년이 경과한 2006 년에 완공 하였으니 3 내지 5 년 사이에 중요한 기준의 변화가 있는 점을 고려하면 장기 공사는 적용하는 기준의 설정이 용이한 문제가 아님을 알 수 있다.
- 실제로 새만금 배수갑문은 당초 계획 당시에는 허용응력설계법이 적용 되었으나 1985 년 표준콘크리트 시방서에 강도설계법이 도입 되고, 1988 년 부터 농업생산기반 조성사업도 표준콘크리트 시방을 적용하게 되면서 강도설계법에 의한 재설계가 필요 하였으나, 경과 조치에 따라 허용응력설계법과 강도설계법의 일부에 해당하는 하중설계를 병행 하였다.
- 강도설계법은 극한설계법과 하중설계법을 통합한 것 이므로 연속구조물의 경우 부모멘트의 재분배 등 극한 설계 방식이 적용 되어야 하나 새만금 구조물에 모멘트 재분배 등은 고려하지 않고 하중설계 만을 적용하였다. 그러나 하중설계법의 기준도 2006 년 완공 이 전에만 세번에 걸쳐 가장 기본인 하중조합공식이 다음과 같이 변화하였다.

- 1995년 :  $U = 1.2D + 1.8L$ (단, U: 극한하중, D: 사하중, L: 활하중)
- 2003년 :  $U = 1.4D + 1.8L$
- 2011년 :  $U = 1.4D + 1.7L$
- 20212년 이후 :  $U = 1.2D + 1.6L$

- 새만금 사업은 아직도 추진중에 있지만 배수갑문 등 비교적 수명이 제한적인 콘크리트 구조물 등은 이미 30 년 이상이 경과 되었기 때문에 해양에 설치 되고, 인위적으로 가동하는 구조물임을 감안 하면 이미 유지관리 보강공사가 필요한 형편이다.
- 새만금 배수갑문 시설의 적용 기준인 허용응력 설계법은 이후 표준이 된 강도설계법에 대하여 대략 2 내지 3 배의 규모가 되기 쉽다. 만약 지금 새만금 배수갑문 보강공사를 시행 한다면 어느 기준을 적용해야 할까? 강도설계법을 적용하여 지금보다 훨씬 날렵한 구조로 다시 공사하여야 할까? 아니면 기존 설계 기준을 적용 하되 재료의 보강으로 그쳐야 할까?

## 2. 내부개발 계획의 변화와 기준

- 새만금 사업의 경우 당초에는 농업을 목적으로한 간척사업이었으므로 내부 개발에 대한 기준은 농업생산기반조성사업의 배수 및 용수공급의 기준을 따르게 된다. 그러므로 배수 갑문은 전 구역에서 72 시간 이내 30 cm 침수를 기본으로 규모와 운영계획이 결정 되었고, 이를 바탕으로 새만금호의 홍수위와 관리수위 등이 확정된 바 있다.
- 대규모 경지를 개발하는 농업용 간척은 복식간척(해수의 유입을 막는 방조제와 홍수의 경지 침투를 막

는 방수제를 동시에 설치하는 방식) 으로 진행하는 것이 경제적이다. 이 과정에서 홍수의 배제를 조절하기 위한 조절지가 조성 되므로, 조절지의 수자원을 활용하기 위해 바닷물과 담수가 혼합된 조절지를 담수화 하도록 관리수위가 결정하고 배수갑문의 문턱의 높이를 결정하여 배수갑문의 규격을 정하게 된다.

- 이에 비하여 중소규모의 토지를 대상으로 하는 매립간척은 법에서 정하는 고도( 대개 약 최고 만조위 이상) 까지 매립하여 안전을 확보하게 되므로 사실상 담수호의 조성과 유지 관리 문제나 배수의 문제 등이 없게 될 수 있다. 새만금 간척의 경우 초기 계획 부터 지구 내에 도시를 개발하도록 계획 하였기 때문에 지구내 거주 도시는 당연히 윤중제 등을 두 어 강화 할 필요는 있었지만 건축법 등에서 정하는 높이 이상으로 매립하는 것은 고려된 적이 없다.

### 3. 유지관리 기준의 변화

- 새만금 사업은 총리가 관장하는 여러 중앙행정기관의 공통 사업이다. 2023 년 현재 농업 용지의 개발은 중요한 기간시설이 완료 된 바 있고, 내부 운영에 대하여 정책이 추진되고 있으나 대부분의 용지로 전용 된 도시용지는 이용계획이 확정되지 못하여 담수호의 조작성이 지연되고 있다.
- 새만금 착수시의 형편과 달리 현재 농업은 쌀직불금을 운영해야 할 정도로 상황이 변하게 되었다. 이 결과 만약 당초 계획과 같이 논이 조성 된다면 우리나라 전체 논의 1-2 % 에 달하게 되는 점은 농정의 큰 부담이 되므로 새로운 농업에 대한 모색이 진행되고 있다. 이런 이유로 농업의 담수 필요도는 사실상 사라 졌다고 할 수 있으므로 만경강 하류와 동 진강 하류 등 기존 하천의 유지와 관리를 반세기전의 원칙에 따라야 하는 지는 의문이다.
- 이 경우 담수를 위한 호의 운영 보다는 도시 용지의 안전 관리가 중요 목표가 되어야 하고, 현재의 시설로 담수호 내의 생태계를 해수 또는 담수 생태계로 유지 할 수 있을 지도 검토할 필요가 있을 것이다.
- 아직도 담수호의 수면관리는 농촌공사와 농림수산식품부의 관리하에 있으나 방조제 도로 등 중요한 기간 공용시설은 관리청이 관리하고 있다. 이 경우 호수 관리 기준이 종전의 기준을 따라야 하는 지, 또는 별도의 규정이 필요한지는 검토할 필요가 있다고 판단 된다. 기후변화 등의 요인에 따라 재해의 발생 빈도가 높아지는 점과 사업 목표가 달라진 점 및 관리의 책임의 중요도에 따라 관리 기준도 적용하고, 관리의 책임도 져야 되리라고 본다.

### 4. 새만금 사업이 주는 교훈

- 정부가 시행하는 국책사업은 투자사업과 보조사업이 있으며, 이 두 사업은 관계 법령에 따라 전혀 다른 기준과 진행과정을 거치게 된다. 그러나 설치가 완료된 시설은 세월에 따라 그 사용처가 바뀌게 되면 당연히 적용하는 기준과 관리주체가 달라져야 할 것이다. 이 런 예는 산업화 과정에서 그 사용처가 변하면서 소멸된 한강, 장안평, 수화 등 도시주변의 농지개량조합에서 흔히 발견 할 수 있다.
- 새만금 사업을 통해 농업생산기반 조성사업을 시행 함에 있어 국가기준을 직접 적용하는 경우에 대한 문제를 살펴 볼수 있었다. 이는 앞에서 소개한 미국과 유럽의 예에서 보듯이 국가 기준은 최소한의 기준으로 적용하고, 각 사업의 기준을 활용하도록 코드체계와 기준 의 운영관리를 확대할 필요가 있다고 생각

된다.

- 새만금 사업과 같이 거대 사업은 공익을 위한 준비를 몽리인이 부담하는 것이 타당하지 않다. 만약 이런 기준의 적용이 가능했다면 배수갑문의 규모결정이나 방조제 및 방수제의 설계 기준이 현재 보다는 강화 되었으리라 생각한다.
- 그러므로 규모가 크고, 공익성격을 포함하고 있으며, 장치 사용 목적의 변경을 예상할 수 있다면 당연히 농업 만을 목적으로 하는 규모의 설계와 공익목적이 가미된 비교설계가 있어야 하고, 이 두 계획의 차이는 국가가 부담 하도록 하여야 할것이다.
- 우리나라의 경지는 개간과 간척을 통하여 조성 되었다. 전체적인 규모는 개간이 75 % 정도 앞서지만, 대규모 우량농지는 간척을 통해 이루어 졌다. 그러나 이렇게 조성된 농지는 국가의 발전에 따라 타목적 으로 전용될 수밖에 없다.
- 실제로 매년 농지전용이 1 만 정보에 달하는 것을 볼때 과거 중규모( 300 정보 내외 ) 규격 이상의 농업생산기반조성 사업은 사업의 경제수명 이전에 토지이용 등에 변화가 있다고 하여도 과언이 아닐 것이다. 이런 점을 고려 한다면 2 중 기준( 국가건설기준과 농업생산 기반조성 기준)에 의한 설계법은 다음에서 논할 보조사업에서는 꼭 필요한 조치일 수 있다. 즉, 농업생산기반 조성사업의 특징을 기준의 적용과 운영관리에 포함하여야 할 것이다
- 요약해 보자면 새만금과 같이 장기간의 사업기간이 소요되는 사업은 사업기간중에 여러 번의 기준변경이 필요하므로 설계단계에서 염두에 둘 필요가 있고, 보조사업으로 추진 되는 사업의 경제수명이 상당한 경우 보조율을 산출하는 병행설계가 요구 되며, 댐이나 배 수갑문과 같은 대규모 구조물의 보강설계에 따른 별도의 기준 설정이 필요하다.

## 5. 건설사업과 농촌정비사업의 기준관리

- 건설기술진흥법은 공사를 안전하고, 경제적이며, 능률적으로 시행하기 위해 계획, 조사, 설계, 시공, 감리, 유지, 관리 등의 절차를 규정하고, 각 단계에 따른 법정 절차와 관리목 표를 세세하게 규정하였다. 또, 이 목적의 달성을 위해 행정조치와 더불어 사업자 단체의 설립, 공제조합도 설립 할 수 있도록 하였다.

### 1. 관리 체계와 조직

- 건설기술진흥법 제 44 조의 규정에 따라 국가건설기준센터가 건설기준의 연구, 보급, 관 리, 운영, 검증, 평가, 이용정보의 체계화, 교육 및 홍보, 국제협력과 정책연구를 담당하고 있다. 국가건설기준 센터는 국가건설기준을 공통, 지반, 구조, 내진, 가설, 교량, 터널, 공동구, 설비, 조경, 건축, 도로, 철도, 하천, 댐, 상수도, 하수도, 농업생산기반 으로 구분 하여 통합관리 하고 있으며, 기준교육, 국제협력, 용어정비, 조사 분석 지원 포털관리 및 스마트화, KS 협력, 그림 건설기준 개발, 건설기준 체계 개선 업무를 위해 국가건

설기준 센터에 기준정비팀, 개발팀, 정책팀을 두고 있다.

- 국가건설관리센터는 국토교통부와 건설기술연구원 및 15 개 학회와 협의하여 기준을 관리하며, 법 제44 조와 시행령 116 조의 규정에 따라 농림축산식품부 소관 사항에 관한 건설기준 관리 권한은 농림축산식품부장관에게 위탁되어 있다.
- 이때 위탁의 범위는 건설공사의 기술성, 환경성 향상 및 품질 확보와 적정한 공사관리를 위하여 건설공사 설계기준, 건설공사 표준시방서, 그밖에 필요한 기준을 제정, 개정 또는 관리하는 것을 뜻 하므로, 농림축산식품부 소관 사항의 국가건설기준센터의 업무가 위탁 되었다고 할 수 있을 것이다. 비록 합리적인 관리를 위해 통일된 코드화나 국가기준의 적 함한 운용을 위한 제한은 있다 하더라도 농업생산기반조성 사업에 관한 건설기준의 연구, 보급, 관리, 운영, 검증, 평가, 이용정보의 체계화, 교육 및 홍보, 국제협력 과 정책연구의 책임과 권한은 농림축산식품부에 있다고 볼수 있다.
- 현재 한국농촌공사 등을 통하여 연구와 시방서의 개선 등 일부 사업이 진행되고 있기도 하나 이를 전담 하는 부서는 찾을 수 없었다. 농림축산식품부 소관사업의 특성에 따라 농업생산기반조성 부문을 따로 두고 있지만, 법제44조의2에 의한 권한의 위탁이 이루어져 이 기준의 보급, 관리, 운영, 검증, 평가, 이용정보의 체계화, 교육 및 홍보, 국제협력과 정책연구가 소관부서에 의해 주체적으로 이행되고 있을 지를 확인하기도 어려웠다.

## 2. 교육과 훈련

- 법제20조(건설기술인의 육성)는 건설기술인의 자격지정과 함께 업무수행에 필요한 소양 과 지식을 습득 하기 위해 교육과 훈련을 강제하고 있다. 이 교육과 훈련의 성과는 건설기술인의 등급 산정에 이용하도록 하여 교육훈련의 효과를 높일수 있도록 하였다.
- 또 같은조에서 교육, 훈련을 받아야 하는 사람을 고용한 사업주는 필요경비를 부담하게하고, 교육과 훈련을 이유로 불이익을 주지 않도록 규정하고 있다.
- 이 교육과 훈련은 “공공기관의 운영에 관한 법률”에 따라 건설기술과 관련된 기관 또는 “정부출연 연구 기관”, 정부의 허가를 받은 민간과 협회등 단체로 하여금 대행, 또는 위탁할 수 있도록 하고, 정부가 이 비용을 지원하는 길도 열어 두었다.
- 건설기술인 교육은 다음과 같이 구분된다

**기본교육** 건설기술인이 갖추어야 하는 직업윤리, 소양, 법령과 제도에 관한 교육

**전문교육** 건설기술 업무를 설계시공 기술 분야, 건설사업관리분야, 품질관리분야로 구분하여 전문적인 지식을 습득하기 위한 교육

- (1) 최초교육: 건설기술 업무를 시작하기 위한 교육
- (2) 계속교육: 일정기간 업무를 수행한 건설기술인이 기술업무를 계속 수행하는경우의 교육
- (3) 승급교육: 현재의 등급보다 높은 등급을 받으려는 경우의 교육

- 기본교육은 35 시간을 수강하며, 전문교육의 분야별, 단계별 교육훈련 과정은 다음 표와 같다.

<표 3> 건설기술인 교육

전문분야	교육종류		교육대상	교육시간
설계시공	최초교육	일반최초교육	일반기술자	35 시간 이상
		발주청 소속	발주청 소속	35 시간 이상
	계속교육		현장기술인	35 시간 이상
			책임기술인	35 시간 이상
승급교육		초중고급기술인	35 시간 이상	
사업관리	최초교육		초, 중급	70 시간 이상
			고급, 특급	105 시간 이상
	계속교육	일반교육	초중급	14 시간 이상
			고급, 특급	49 시간 이상
		필수교육	초중고급 기술자	7 시간 이상
	승급교육	안전관리교육	안전관리기술인	16 시간 이상
		초급기술인	35 시간 이상	
품질관리	최초교육		중고급 기술인	70 시간 이상
	계속교육		초중고특급	35 시간 이상
	승급교육		초중고특급	35 시간 이상

- 중요한 교육 대행 기관은 기본교육과 전문교육을 담당하는 종합교육기관으로 건설기술교육원, 건설기술호남교육원, 건설산업교육원, 스마트건설교육원, 영남건설기술 교육원, 전문건설공제조합기술교육원, 경북대학교 등이 있고, 전문교육을 담당하는 공간정보산업협회, 국민재난방지협회, 국토안전관리원, 한국건설엔지니어링협회, 한국건설생활환경시험연구원, 한국건설안전기술사회, 한국건축시공기술사협회, 한국능력개발원 등이 있다.
- 제22조와 관련 시행령 등에 따라 건설기술인의 효율적인 관리를 위해 등급과 기술 내역 등을 등록하게 하고, 보수교육과 재교육 등 자료를 관리하고 있으며, 발주청이 발주하는 건설공사의 계획, 조사, 설계와 관리를 담당하는 건설엔지니어링업은 기술사법에 의해 관리받게 하고 있고, 제 35조에서 정당한 엔지니어링 회사를 우대할 수 있도록 하고 있다.
- 특히 엔지니어링업에 등록하고자 하는 업체는 소정의 기술인력을 고용하여야 하고, 사업자 선정시에 참여자의 능력, 사업실적, 신용도 등을 평가하여 선정하도록 함으로서 훈련된 기술인의 비중을 내적으로 높이고 있다.

### 3. 농업생산기반조성 사업의 기준관리와 교육훈련

- 우리나라 건설기준을 한곳에 모아 관리하되 관리 인원에 부문별 인력을 참여시켜 합리적인 기준관리와 운영을 달성하고자 하나 기준유지에 관한 각 부처의 책임에 대한 인식에 따라 관리 상태가 다를 수 밖에 없다. 예를 들면 각 부처의 기술각서로 운영 되던 기준은 각 부처의 책임아래 개선되고 관리 되지만 통합 기준에 포함 되면 관리주체가 바뀌게 되어 개선에 대한 의무감이 현저하게 감소 될 수 밖에 없다.
- 농림수산식품부의 관장아래 독립적으로 운영되던 농업생산기반시설설계와 시방기준은 2018 년 부터 국



가건설기준의 농업생산기반 분야에 통합되어 운영된다. 예를 들어 농업용 댐은 농업생산기반 조성분야에 속하나 광의로 댐 분야이므로 댐분야의 제반 기준을 수용하고, 농업생산기반조성 사업의 특징을 반영하는 부수적 조항이 되는 셈이다.

- 건설기술진흥법은 건설기술의 연구,개발을 촉진하여 건설기술 수준을 향상시키고 이를 바탕으로 관련 산업을 진흥하여 건설공사가 적정하게 시행되도록 함과 아울러 건설공사의 품질을 높이고 안전을 확보함으로써 공공복리의 증진과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 제정되었으므로 계속해서 제정 및 개정할 필요가 있어 새로운 기준의 적용과 해석을 위해 종사자를 주기적으로 교육과 훈련할 필요가 있으며, 법도 이점을 명시하고 있고, 시행령과 시행규칙을 통해 교육기간, 승급조건과 건설사의 규제와 함께 장려책도 갖추고 있다.
- 농업기반정비사업은 1968 년 부터 17 편을 정하여 매년 정기적 사업의 일환으로 제정하고 개정하여 왔으나 통합기준이 운영되는 2018 년 이후는 2019 년 내건설계를 반영한 필댐 설계, 2022 년 기후변화에 따른 해면간척 두건이 소규모로 개선된 것은 2021 년 200 개 코드 이상과 2022 년 132 개 코드가 수정된 국토교통부 및 환경부 산하 국가건설기준에 비하면 너무 보잘것이 없다. 특히 완공된후 경제수명을 초과한 관개시설이 대부분인 농업 생산기반 시설( 특히 저수지 등 재해 유발 가능 시설 ) 을 생각해 보면 매우 우려스러운 일이 아닐 수 없다.
- 이 예는 농업기반조성사업의 기술적 변화요인에 대하여 관심을 가지고 있지 않거나, 기준의 관리가 건설교통부 산하 건설기준 관리센터로 이관 된 것이 기준정비사업 자체가 이관 되었다고 느끼거나 더이상 담당할 부서가 없다고 느끼는 것일 수도 있다.
- 해마다 여름이 되면 재해상황실을 열고 재해를 관리하는 것도 훌륭하지만 근본적인 우려를 없애는 것도 꼭 필요한 일로 생각 된다. 특히 마을과 농지 및 생활시설이 포함된 몽리구역 전체와 유역 전체를 대상으로 복잡하고 광대한 면적을 조사, 설계, 시공 및 운영하는 농업생산기반의 기술인이 도로와 같은 단순한 선형, 댐과 같은 점의 시설을 대상으로 하는 건설기준 관리단체에서 교육 받는 것이 합당한지 생각해 볼 필요가 있다.
- 물론 발주청이 한국농어촌공사로 한정되어 있으므로 실질적인 조사, 설계, 공사감리 및 유지관리 업무가 공사를 기준으로 통일되게 운영되고 있다고 할수 있는 측면도 있으나 시공에 참여하는 현장 기술자에 대한 교육을 고려하고, 장차 조사, 설계, 공사감리 및 유지관리 체제의 변환 등을 고려한다면 기술인에 대한 구분과 교육 및 훈련 역시 분화될 필요가 있다고 본다.
- 건설기술진흥법에 의한 국가건설기준센터는 국토교통부, 건설기술연구원과 15 개 국토교통부 산하 학회로 제한 된 것도 문제가 될 수 있다. 이는 건설기술진흥법과 시행령에 따라 기준의 제개정 및 교육과 훈련등 업무가 농업생산기반조성사업은 농림수산식품부에 위탁되어 있기 때문에, 기준 제개정과 관련된 산학연의 연관 관리도 동시에 위탁 된것으로 판단하기 때문일 것이다.
- 즉, 법에 의해 국가가 참여하는 건설공사의 기준은 통합적으로 관리하게 되더라도, 그 부속 기준 등은 위탁규정에 따라 관련 중앙행정기관이 담당하여야 할 것 이므로 농업생산 기반조성 계획설계 기준을 담당하는 별도의 기구를 두어 기준의 제개정과 교육훈련을 국 가건설기준센터에 준하여 운영하는 것이 타당할 것으로 판단된다.



## 6. 종합 결론

- 국토의 이용을 합리화 하고, 생산성을 높여서 공공의 이익과 복지를 증진하고자 공공시설이 설치되고, 민간이 참여하는 공공사업이 진행된다. 특히 최근에는 기후변화가 심각한 문제로 대두되고, 사회 고도화에 따라 안전의식이 높아지면서 투명하고 과학적인 공공사업의 계획과 설계 및 시공과 관리에 대한 의식이 높아졌다.
- 국가는 이런 사회적 변화에 대응하고자 공공시설의 안전성과 신뢰성을 높이도록 기준을 강화하고, 사업의 공적 투명성과 책임을 강조하기 위해 인위적 안전사고를 예방하고, 재해가 발생한 때에는 그 책임의 한계를 높이도록 법규를 강화하고 있다.
- 이와 같은 국가의 노력은 국가와 공익이 관련된 제반 시설의 기술발전과 현장 적용이 실 질적이고 통일적으로 적용될 수 있도록 국가건설기준을 확립하여 한국산업표준 형식을 갖추게 하고, 공익에 반하는 기업이나 기술인 및 기업의 책임과 한계를 재난 및 안전관리 기본법을 중심으로 자연재해 대책법, 중대재해 특별법, 저수지댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률, 급경사지 재해예방에 관한 법률 등으로 규제하고, 처벌할 수 있도록 한데서 엿볼수 있다.
- 최근에 세계적으로 일어나고 있는 건물의 붕괴나 지진 등에 의한 재해는 일면 자연적인 것으로 피하기 어려운 점도 있으나 일부에서 기준의 적용과 실천이 올바르지 않은 경우도 논란이 되고 있다.
- 즉, 기준을 제대로 이해하지 못하거나, 기준의 적용에 대한 정부와 기업인, 및 기술인의 이해가 부족하거나, 불성실 한 경우에도 예방 할 수 있는 사고를 오히려 가중 시키는 경우 조차 발견되고 있어 사회적으로 기준에 대한 이해를 높이고, 종사자와 관련자에게 새로운 기준이나 기술을 전파하고 교육할 필요가 높아지고 있다. 이에 대한 대책으로 건설교통 부 산하에 국가건설기준 센터를 설치하고, 새로운 기술과 기준을 보완하며, 교육과 훈련 등을 담당하게 하고 있으며, 기술인인 담당 업무에 따라 주기적으로 재교육을 의무적으로 받게 하고 있다.
- 특히 농업생산기반조성 사업은 광대한 면적을 관리하고 개발하는 사업으로 농업활동을 전천후로 이어가게 하여 생산성을 높임으로써 국가적 목표를 달성하게 하는 사업으로서, 주로 사유지에서 이루어지는 특징이 있다. 그러므로 농업생산기반조성 사업이 특정인에 대한 특혜사업이 되지 않도록 토지의 소유권을 제한하는 등 공공의 의무가 부여되므로 이에 대한 보상적 조치로 국가가 시설의 설치와 유지관리에 보조금을 지원해 왔고, 보조금의 집행을 이유로 사업의 진행에 엄격한 감사를 매년 실시하고 있다.
- 그러나 최근 농업농촌및 식품관리 기본법은 중요한 농정의 방향을 농업의 공익기능 증진 과 보전에 두고, 실체적으로 농어촌정비법에 의지하고 있다. 농어촌정비법도 농업생산기반조성 외에 농어촌 생활환경, 농어촌 관광휴양자원 및 한계농지 조성 등 공익기능 사업을 보강 하였으나 사업의 행정체제는 변함없이 보조금 사업으로 진행하고 있어 보조 목적에 걸맞는 지 의문이 있다.
- 이 연구를 통해 사회변화에 따른 기술과 계획, 설계 등의 변화를 고찰하고 이에 대한 국가의 조치를 검토 하였으며, 농업생산기반조성 사업의 기준과 기준관리 및 교육 등에 대하여 고찰 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

## 1. 농업생산기반조성사업과 재해

- 농업용수의 공급을로부터 비롯된 농업생산기반조성사업은 주로 수원공인 저수지와 양 배수장을 설치하는 수원공 사업과 조성된 수자원을 이용하는 평야부 사업으로 구분하여 집행 된다. 이중 사회적 과장이 우려되는 저수지는 현재 등재된 것이 18 천 개소를 상회 하고 있어 두곳의 법정리( 전국 34 천 법정리) 당 한개소가 있다고 할 수 있다. 저수지는 중력수를 원칙으로 하기 때문에 상류에 설치 할 수 밖에 없으므로 전국 농촌이 저수지의 위험 아래 노출 되어 있다고 할 것이다. 이런 이유로 매년 우기가 돌아오면 관련 사계와 학계에 재난을 걱정하는 소리가 높다.
- 또, 이 수원공은 조선시대, 일정시대, 군정시대와 대한민국 정부 시대 수 백년에 걸쳐 구 축되어 온것으로 시대적인 형편에 따라 지어 졌으며, 현대적 경제 이론에 따르면 이미 시 설의 경제적 가치는 남아 있지 않지만 아직도 농업의 중요한 중추 시설로 운영되고 있어 최근에 설계되는 수원공과는 많은 거리가 있다. 이는 농업용수 10개년 계획에 아주 잘 나 타나 있다.
- 일반적으로 농업생산기반조성사업은 참여자의 동의를 얻기 위해 사전에 세부설계와 사업 비 및 조합원의 부담이 설정 되어야 하나, 사업을 완료 되는 데 장기간이 소요 되므로 이 기간중에 기준의 변경이나 법규의 변경은 흔히 일어 난다. 이 경우 적용의 융통성에 따라 재해를 예방할 능력이 함양 될 수도 있으나 시기적으로는 성사되기 어려운 점이 있다.
- 즉, 농업생산기반조성사업은 치수 측면이나 이수측면에서 모두 불안한 우려를 안고 있는 것이다.

## 2. 농업생산기반조성시설과 사회간접자본 시설

- 농업생산기반조성시설은 관개지역 전체의 면적을 대상으로 계획하고, 관리 하므로 전체 시스템이 단일 목적으로 유기적으로 설치 운영 되어야 하는 복잡한 시스템 이므로 유역 단위로 구분하여 통일적인 설계가 되도록 별도의 기준과 기술교육을 유지해 왔다. 이에 비하여 사회간접자본의 경우 도로, 항만, 공항, 건축물 등 집중적인 시설이 기간시설로 설 치 되고, 시간적으로 순차적으로 배치 되므로 동시에 복잡한 설계와 시공이 진행되지는 않는다. 이 차이는 교육제도에도 반영되어 있어 관개와 배수, 해면간척 및 지역환경을 담 당하는 지역시스템학과와 도시 및 토목학과로 구분되어 있는 점이 잘 말해 준다.
- 더욱이, 농업생산기반조성사업은 보조사업으로 수익자부담 외에도 국가의 기능 일부를 계획에 포함하는 경우 비용을 부담해야 하거나, 미래에 착수될 사업을 위해 현재의 수익자가 시설비와 계획비 등을 지불하는 모순이 있다. 이는 보조정신과는 어긋나는 일로서 오랜동안 연구 되어 왔으나 산항목의 설치가 어려운 등 문제가 있어 실현되지 못 하였다.
- 특히 농업농촌및 식품산업기본법이 제정된 이후로 급격히 사회적 요구가 많아진 농업의 공익기능의 보전과 발전은 사실상 농어촌정비법의 분야 이므로 공익기능 사업을 계획하 고, 설치할 수 있는 제도와 기준을 따로 마련할 수 있도록 전체설계와 보조대상 설계를 분리하는 등 제도가 마련 되어야 할 것이다.
- 따라서, 불특정 다수인을 대상으로 국가가 투자하는 사회간접자본설치 사업에 대한 기준 을 특정인이 생산성을 높여 간접적으로 국가의 이익을 도모하는 농업생산기반조성시설 기준에 직접적으로 적용하는 경우 책임과 새로운 예의무에 따라 역할을 구분해야 할 필요가 있다.

### 3. 농업생산기반조성사업의 변화

- 그간 농업생산기반조성사업 이양용수 공급에서 전천후 영농을 거쳐 농어촌을 정비하는 단계로 진화하였고, 법과 규정 및 교육제도도 변화하였다. 현행 법 체계에서 볼때 농업생산기반조성사업은 농어촌정비사업의 일부이나 시행체계나 예산의 성립 등은 농어촌정비사업을 통괄하고 있어 기준의 적용에 한계가 될 우려가 있다. 예를 들어 이수를 목표로 하는 용수의 확보와 농업환경개선을 위하여 조성하는 용수의 기준이 같아야 할 이유가 있을까?
- 그러므로 현재 농업생산기반조성사업을 대분류로 하고, 시설 또는 사업을 중분류로 하며 시설 또는 조사설계 단계를 소분류로 하는 기준을 발전 지향적으로 농어촌정비사업을 대분류로 하고, 조사설계의 공통절차, 농업생산기반조성사업, 생활환경정비사업, 농어촌산업, 농어촌관광 휴양산업, 한계농지 정비사업을 중분류로 하고, 시설 단위를 소분류로 연구할 필요가 있어 보인다.
- 이는 장차 인구감소와 고령화 등의 문제를 해결할 첨단기술의 접목이나, 농정목표의 변화에 따라 새로운 기준을 마련하는 데 융통성과 행정의 지속성 및 유연한 시설관리의 변화를 달성할 수 있을 것이다.

### 4. 건설기준과 협력과 기준관리

- 국가건설기준은 국토교통부와 건설기술연구원 및 국토교통부 관련 15개 학회만 참여하여 연구, 교육, 개선되고 있다. 이와 같은 기준체계와 관리체계는 이미 건설기술진흥법이 농업생산기반조성사업등과 같이 특수성을 가지고 있는 기준은 관할 중앙행정기관에 위탁하고 있는바, 체계는 일원화 하더라도 내용의 설정과 관리에는 특수성을 인정하는 미국, 유럽 등의 체제와 유사하다. 이런 체계는 기준해석의 불분명함이나 해석상의 충돌을 예방하고, 기준의 제개정에 전 산업계가 관여해야 하는 어려움을 극복하고자 하는 것으로 생각된다.
- 그러나 실제의 기준관리에는 상당한 모순을 엿볼 수 있다. 건설기술진흥법에 의해 종래에 별도 관리하던 여러 기준이 통합되고, 법에 의해 관리기관인 국가건설기준센터가 설립 되었으므로 제반 기준은 센터의 전담 업무로 여겨질 수 있기 때문이다. 농림수산식품부의 기술각서로 매년 제정, 개정해 오던 농업생산기반조성사업 조사설계기준은 기준통합이 이루어진 2018년 이후로 중요한 변화가 없는 점을 그 예로 볼 수 있다.
- 기준의 관리는 기준의 제개정과 교육 및 훈련 등 사업을 포함한다. 또 이 기준이 실질적으로 반영되기 위해서는 종사자에 대한 구속력이나 장려책이 필요하다. 국토교통부의 경우 시행령을 통해 기준교육의 전파를 위해 기업인의 협조와 기술인의 반복 교육을 강제하고 있으며, 관련기업의 성실한 이행에 따라 입찰 등에 참고하도록 하는 장려책도 마련 하였다. 이에 따라 전국단위로 많은 국가건설기준의 교육, 훈련기관이 위탁지정 되어 있다.
- 또 이런 업무를 총괄하도록 건설기준센터에 기준정비, 기준개발, 기준정책 팀을 두고 기준교육, 국제협력, 용어정비, 조사 분석 지원 포털관리 및 스마트화, KS 협력, 그림 건설 기준 개발, 건설기준 체계 개선 업무를 수행하고 있다.
- 이에 비하여 농림수산식품부에 위임된 농업기반조성사업의 교육은 별도의 조치를 발견 하기 어려우므

로 기술인 또는 기업이 농업기반조성사업에 대한 기준 교육을 받고자 하는 경우에도 기존 위탁기구를 통할 수 밖에 없고, 이 경우 전문가에 의한 교육이 될 수 없는 점을 생각하면 농업기반조성사업에 대한 기준의 교육과 전파, 기준검토의 전문성의 반영 등은 생각하기 어렵다.

- 또, 교육과 기준관리에 농업생산기반조성사업을 담당할 인재를 기르고 있는 농업생산기반조성사업관련 학계나 농공학회 등 사계 전문가의 참여도 제한적이 될 수 밖에 없고, 기준에서 방치되어 합리적인 연구와 교육이 이루어지기 어려우며, 기업과 기술인의 참여를 유도할 대책도 마련하기 어려운 형편이다.

## 5. 결론 및 건의

- 국가와 공공의 이익과 결부되는 공공시설을 설치 함에 있어 통일된 기준을 따르는 것에 이견이 있을 수는 없다.
- 그러나 국가건설진흥법의 입법취지와 시행령 등의 조항을 살펴보면 미국, 유럽 등에서 적용하는 국가기준과 부속기준 체계의 병립을 통해 융통성 있는 기준관리를 도모할 필요가 있으므로, 부수 기준인 농업생산기반조성사업 기준의 운영관리를 위해 농업생산기반 조성사업 기준의 관리에 다음과 같은 조치를 검토할 필요가 있다.
  - (1) 관련법에 따라 농업생산기반조성 기준을 농어촌정비기준으로 변경.
  - (2) 기준의 체계는 농어촌정비법의 사업체계를 반영하도록 고려.
  - (3) 원활한 기준의 도입과 지원부담의 정당성을 달성할 수 있는 설계제도를 도입.
  - (4) 기준의 관리에 농림수산식품부, 한국농촌공사 및 농림수산식품부 관련학회 참여.
  - (5) 기준의 교육과 전파를 위해 건설기술진흥법의 교육체계를 참고.
  - (6) 농업생산기반조성사업 기준관리를 위해 전담기구를 창설.
- 이런 조치가 잘 이루어져서 올바르게, 전문적이며, 시행 목적과 형편에 맞는 농어촌정비 기준사업 기준이 마련되어 늘어가고 있는 재해를 미연에 예방하고, 첨단 관련 기술이 적극 기준으로 채택되도록 농어촌정비기준사업 환경이 바뀌는 것을 기대한다.

## 참 고 문 헌

- 법무부 법령정보 시스템
- 농업생산기반조성사업설계기준 19 편
- 일본의 농업수리시설 관리제도, 2010, 한국농촌경제 연구원, 박석두
- 농업생산기반정비사업 설계기준 코드화 및 개편, Rural Resources, 김선주의 외 6 인
- 농업용수 관리방안, 2022, 물관리 위원회
- 농업생산기반정비사업 설계기준 개편 방향, Rural Resources, 강병윤외 1 인
- 미국의 건축표준기준에 대하여, 2005, 대한건축학회, 전봉수
- 건설공사기준의 국제화 전략, KICT, 건설BRIFF
- 건설사업관리제도활성화연구, 1999, 한국건설기술연구원 구재동 외2 인
- 농업토목 특성에 맞는 표준/전문시방서 개정, 2015, 농어촌연구원박지성 외 5 인
- 미국표준 시스템: 미국의 표준전략, 2023, 미국표준협회(ANSI)
- 한국의 댐안전 현황과 대책, 2003, 물관리정책 토론회, 김기석
- 전문시방서 코드체계 도입 및 활용, 2023, 블로그 MOTIVE ( 관리자 티제이 )



제  
2  
장

## 저수지 운영 자료 생산 방안

충남대학교 노재경







제2장

저수지 운영 자료 생산 방안

1. 서론

1. 연구배경

- 농업용수 수요량은 2020년 154억6천m<sup>3</sup>(전체 248억3천m<sup>3</sup>의 62.2%), 2030년 145억5천m<sup>3</sup>(전체 243억6천m<sup>3</sup>의 59.7%)으로 추정하고 있다(제1차 국가물관리 기본계획 [2020-2030], 관계부처 합동).
- 농업용 저수지는 총 1만7,080개소에 이르며, 총 저수량은 33억923만m<sup>3</sup>, 총 수혜면적은 41만1,766ha, 만수면적은 6만915ha에 이른다. 단위용수량을 1,400mm로 가정하면, 용수공급량은 57억6,472만m<sup>3</sup>로 계산돼 총 저수량의 174%에 해당한다. 수리시설별 수리답 면적은 저수지 415,316ha(63.5%), 양배수장 165,064ha(25.3%), 취입보 44,561ha(6.8%), 관정 19,447ha(3.0%), 집수암거 4,705ha(0.7%), 기타 4,505ha(0.7%)이다(농업기반생산정비통계연보 2021, 2021, 농림축산식품부 한국농어촌공사).
- 한국농어촌공사의 연혁은 1908년 옥구서부수리조합의 설립에서 시작한다. 2023년 현재 무려 115년의 장구한 역사를 기록하고 있다. 그동안 수많은 농업생산기반 사업으로 국민의 안정된 식량 공급에 기여한 공이 크다. 또한 가뭄과 홍수 등 재난을 극복하고 농촌의 자연환경 보전에도 계량할 수 없는 기여를 했다. 주요성과로 물 공급으로 전체 논 780천ha 중 654ha(84%)에 저수지, 양수장 등 용수원 개발을 통해 수리답 화했고, 재해예방으로 상습침수지역의 배수개선과 노후 수리시설 개보수, 치수능력확대 등을 통해 홍수 재해로부터 안전한 기반확보, 생산성으로 농지 규모화 및 기계화 기반으로 노동력, 영농비용 절감 등 농업 생산성 및 영농편리성 향상에 기여했다. 부족한 점은 재배작물로 논에 쌀 생산 중심의 농업생산기반 조성으로 쌀 외 밀, 콩 등 다양한 작물재배에 필요한 인프라 미흡, 수리시설에서 양적 확대 위주의 농업기반시설 설치로 기존 농업 수자원의 효율적 이용과 시설물 관리는 미흡, 농촌에서 수리시설이 기능 중심으로 설치되어 있어 농촌의 생활환경과 생태에 어울리는 환경친화적인 농업생산기반정비가 미흡하다(2023~2032 농업생산기반 정비계획, 농림축산식품부).
- 저수지 역할은 용수 확보와 홍수 조절이 기본이다. 여기에 생태환경을 보전하는 역할을 함께해야 한다. 저수지는 수리답의 63.5%에 관개용수를 공급한다. 20개 다목적댐의 총 저수량은 129억2,300만m<sup>3</sup>이고, 홍수조절용량은 22억9,400만m<sup>3</sup>로 총 저수량의 17.8%로 설정돼 있고, 용수공급량은 117억7,400만m<sup>3</sup>로 총 저수량의 91.1%로 계획돼 있다(MyWater, <http://www.water.or.kr>). 저수지의 홍수조절용량은 1,900만m<sup>3</sup>으로 제시하고 있지만(제1차 국가물관리 기본계획 [2020-2030], p21, 관계부처 합동), 총 저수량의 10%로 가정하면 3억3,092만m<sup>3</sup>에 이르러 다목적 댐의 14%에 상당한다. 그러나 저수지 홍수운영을 개선하면, 총 저수량의 30%까지도 홍수를 분담할 수 있는 가능성을 본 연구 결과로서 제시하고자 한다.

- 기후변화가 심하다. 국가가뭄정보포털(<http://www.drought.go.kr>)에서 10년 단위로 가뭄이 발생한 연수는 1960년대 2회, 1970년대 3회, 1980년대 2회, 1990년대 4회, 2000년대 4회, 2010년대 9회, 2012년부터는 매년 발생한 것으로 기록하고 있다. 홍수는 2000년대 이후 거의 매년 발생하고 있다(MyWater, <http://www.water.or.kr>); 국토해양부, 2012). 2020년 용담댐, 섬진강댐, 합천댐, 남강댐 등 하류 침수피해, 2022년 왕신저수지 월류 피해, 2023년 오송 지하차도 침수, 금강 지류, 본류 제방붕괴 및 침수로 홍수피해가 크다. 기후변화는 이상기후가 아니다. 늘 맞이하는 일상기후가 되었다.
- 올해 2023년 장마철 호우로 7,513억원, 제6호 태풍 카눈으로 558억원, 총 8,071억원의 재산피해를 입은 것으로 집계됐다. 복구비는 장마철 호우(6월 27일~7월 27일)에 1조6,165억원, 제6호 태풍 카눈(8월 9~11일)에 1,048억원, 주택·농어업 등 사유시설 피해에 1,023억원의 위로금 등 총 1조8,236억원을 지원하는 것으로 나타났다(중앙재난안전대책본부). 한편 최근 5년간(2017~2022) 홍수피해액은 국가하천 529억원(16.2%), 지방하천 2,731억원(83.8%)로 지방하천 즉 지류지천에서 피해액이 5배 정도 많았다(재정분권 정책 및 지방이양 사업 평가, 2023, 국회예산정책처).
- 저수지는 모두 지류에 위치하여 일상이 된 기후변화를 맞이하여 용수공급과 홍수조절의 역할을 더욱 발휘해야 한다. 농어촌공사 관리 저수지는 총 3,428개소, 총 저수량 29억8942만m<sup>3</sup>(총 33억923만m<sup>3</sup>의 90.3%), 수혜면적 38만8,438ha(총 41만1,766ha의 94.3%), 유역면적 1만5,011km<sup>2</sup>(국토면적 10만431km<sup>2</sup>의 14.9%, 임야 8만4,964km<sup>2</sup>의 17.6%)를 차지한다. 저수지는 물을 저장하여 공급하고, 홍수에는 침투량을 저감시키고 홍수량을 부담하는 것이 기본이다. 저수지는 가뭄과 홍수를 맞이하여 저수량 이용효율을 극대화해야 한다. 말하자면 홍수와 가뭄이 들 때, 저수지는 그 이름값을 발휘할 수 있는 절호의 기회다.
- 저수지 이름값을 발휘할 수 있는 운영, 즉 저수지의 과학적 운영을 위해서는 유입량, 저수량, 방류량 자료는 기본이고 필수다. 그러나 1991년부터 저수량 자료만 일별로 기록되고 있다. 2010년부터는 10분 단위로 저수위, 일부 수로수위를 계측하고 있으나, 실제 이를 활용할 수 있는 기반은 매우 낮은 것으로 평가된다. 왜냐하면 이를 활용하여 유입량 자료도, 방류량 자료도 전혀 생산하지 못하고 있기 때문이다.
- 더구나 저수지 운영자료는 국가 통합물관리에서 자료를 제공하라는 지속적 요구가 있으며, 합리적 농업 용수 사업 창출을 위해서도 기초자료가 되고, 가뭄, 홍수를 맞이한 저수지의 효율적 대응을 위해서도 필수인 기본 자료가 된다.
- 저수지 관리 역사 115년에서 10분 단위, 시간 단위, 일 단위 저수지 운영자료를 생산할 당위성과 의무는 충분하며, 몇 가지 사전연구 결과의 신뢰도가 매우 높게 나타나 그 가능성을 확인했으며, 이를 더욱 발전시켜 자료 생산을 위한 실무 적용 방안을 구체화할 필요성이 제기되었다.

## 2. 연구목적

- 한국수자원공사는 다목적댐, 용수전용댐, 4대강보 등 전국 65개 지점에 대해 10분, 1시간, 일 단위로 수위, 저수량, 저수율, 강우량, 유입량, 총방류량을 실시간으로 제공하고 있다(<http://www.water.or.kr>). 여기서 저수량, 방류량은 계측 자료이고, 유입량은 방류량에 저수량 변화를 더한 값으로 계산한 값이다. 계산된 유입량은 진폭이 크게 나타나고 음유입량(0으로 처리 제공)까지 발생하는 문제를 안고 있다. 이에 따

라 10분, 1시간 자료의 유입량은 신뢰하지 못하고, 1일 자료에 신뢰하고 있다. 10분, 1시간 단위의 홍수 사상에서는 진폭이 상대적으로 적게 나타내 신뢰할 수 있지만, 평상시에는 그 오차가 신뢰할 수 없는 상태다.

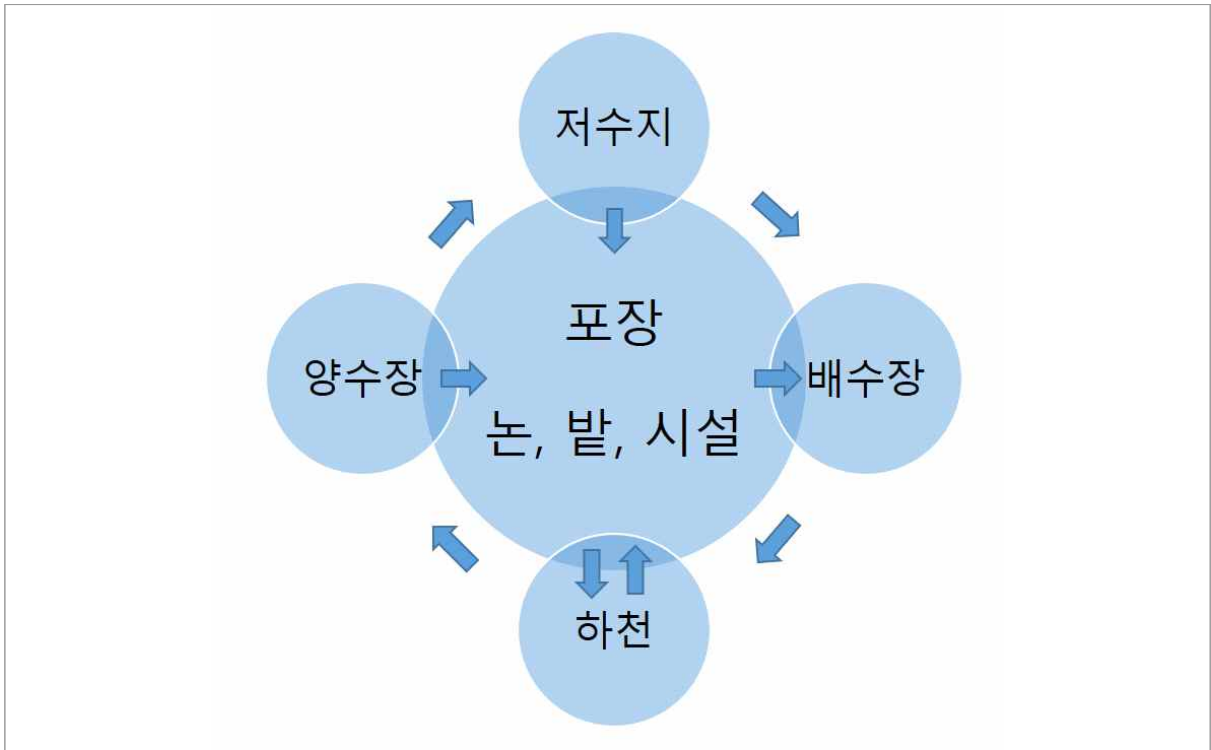
- 저수지는 10분, 1시간, 일 단위로 저수위와 일부 수로수위만을 실시간으로 제공한다 (<http://rawris-am.ekr.or.kr>). 저수지 운영의 기본인 유입량, 방류량 자료가 계속하지도, 모의하지도 않고 있다. 저수지 수문 운영자료는 유입량, 저수량, 방류량 등 3개이다. 여기서 미지수가 유입량과 방류량 2개이다. 미지수가 1개이면 저수지 물수지에 의해 나머지 하나를 계산할 수 있다. 유입량을 모의에 의해 고정시키면 방류량을 유입량에 저수량 변화를 더해 계산할 수 있다. 또 방류량이 계속되면 다목적 댐과 같이 유입량을 방류량에 저수량 변화를 더해 계산할 수 있다. 저수지의 방류량은 취수탑의 수로공급량과 여수로 월류량으로 구성된다. 본 과제의 연구자는 최근 3년 동안 한국농공학회, 한국수자원학회, 대한토목학회 학술발표회를 통해 10분 단위 유입량, 저수량, 방류량 등 저수지 운영자료를 생산하는 연구와 관련하여 총 16편의 사례 결과를 발표했다.
- 따라서 이 과제의 목적은 그동안의 16편의 연구사례로부터 저수지 운영자료 생산 방법을 정립하고, 정립된 방법으로 운영자료를 생산한 사례를 살펴보고, 저수지 운영자료 생산의 가능성을 말하는 것을 기본으로 한다. 다음에 이를 기반으로 충남 지역의 주요 저수지에 대해 실제 10분 단위의 운영자료를 생산하고, 생산된 운영자료를 활용한 적용 효과를 종합하여, 저수지 운영자료 생산의 당위성을 말하고자 한다. 다음에 이를 기반으로 실제 저수지 운영자료 생산을 위한 실무의 추진체계와 실천계획을 수립하는 정책을 말하고자 한다.

## 2. 저수지 운영자료 생산 방법

### 1. 농업용수량 모니터링 기본

#### (1) 농업용수량 모니터링 요소

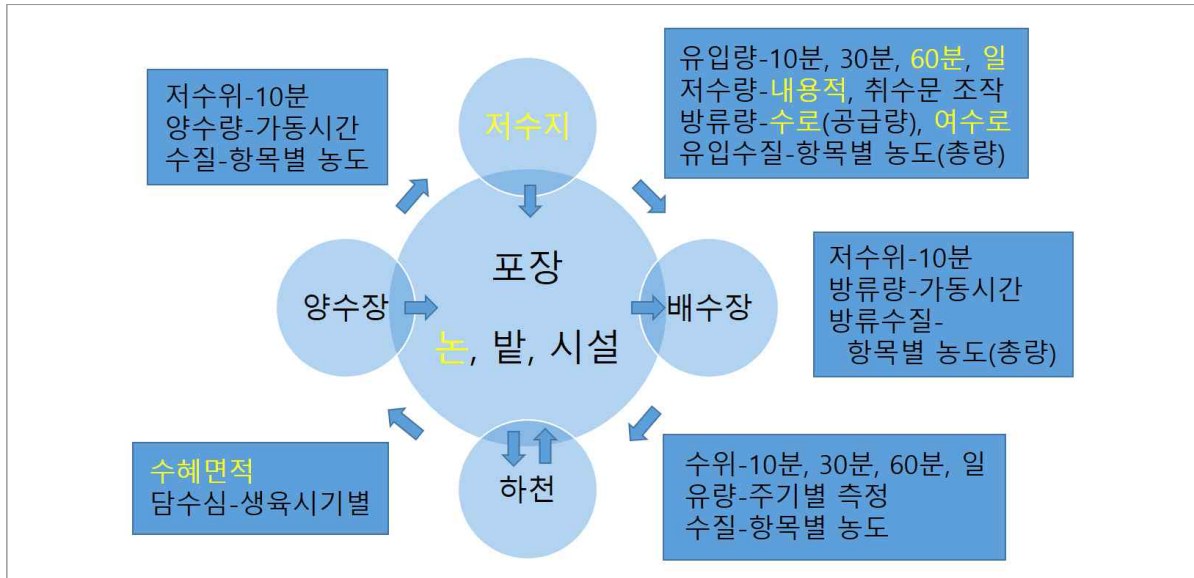
- 농경지는 논 78만ha, 밭 76만6천ha에 이르며, 이는 국토의 15.4%에 상당한다. 관개는 대부분 논을 대상으로 하며, 수리답율 83.7%, 수리안전답율(10년 한발기준) 63.7%에 이르며, 수리답 면적 구성은 저수지 63.5%, 양배수장 25.3%, 취입보 6.8%, 관정 3.0% 등으로 나타났다.
- 농업용 저수지의 수는 17,240개소(2018년)에 이르며, 준공연도별 저수지 구성비는 1945년 이전 8,667개소(50.7%), 1946~1971(50년 이상 경과) 6,103개소(35.7%), 1972~1991(30년 이상 경과) 1,664개소(9.7%), 1992년 이후(30년 이내) 646개소(3.8%)에 이르러 저수지 노후화율은 50년 이상 기준으로 무려 86.4%에 이른다.
- 농업용수량 모니터링 요소는 포장을 중심으로 저수지, 하천, 양수장, 배수장 등<그림 2-1>에서 크게 지표수와 지하수로 구분하며, 각각 수량, 수질, 생태 등 다양한 요소로 구성된다.



<그림 2-1> 농업용수량 모니터링 요소 기반

## (2) 농업용수량 모니터링 요소 선정

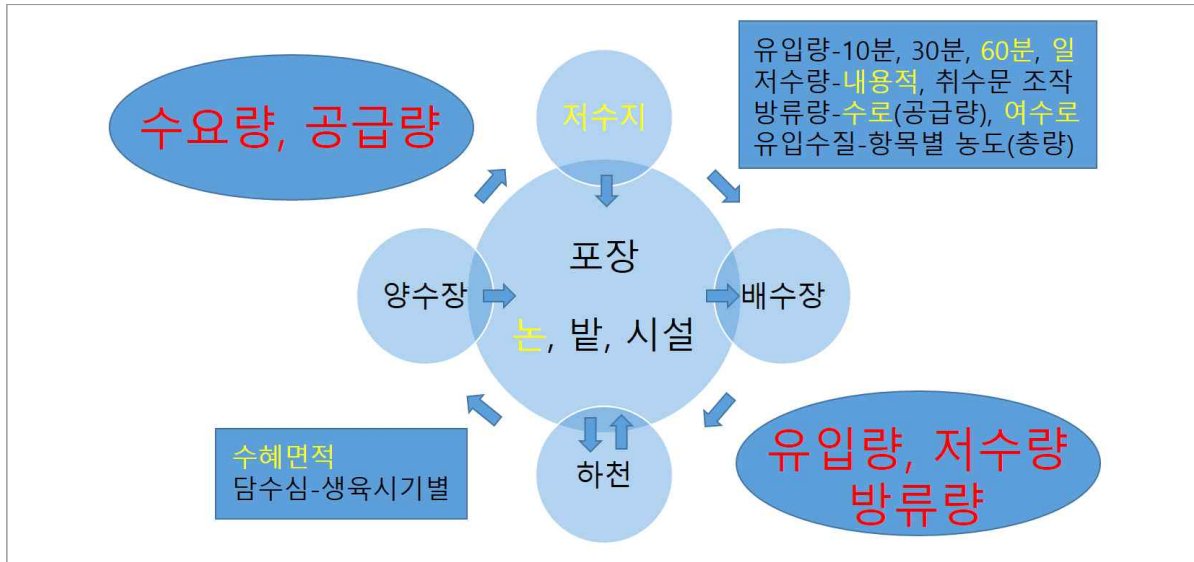
- 모니터링은 현장 자료조사며, 있는 그대로 하는 것이 관건이고, 살아있는 자료가 되며 그 신뢰도를 보장한다. 포장, 저수지, 하천, 양수장, 배수장을 중심으로 모니터링 대상 요소는 <그림 2-2>와 같이 다양하다.
- 현재 농업용수량 모니터링 자료는 저수지 저수율에 불과하며, 수로수위 자료 사용을 위해 2018년부터 단계적으로 유량조사를 실시하고 있는 상태이다. 현재 모니터링 관리수준에서 저수지 저수량을 중심으로 유입량, 방류량 등 신뢰도 확보가 기본이며, 이의 개선이 시급하게 요구되고 있다.
- 저수지 수위와 수로 수위의 관측 단위는 10분이 기본이며, 이를 가공하여 시간별, 일별, 월별 자료로 제공하고 있다(<http://rims.ekr.or.kr>).
- 현재 저수지는 대부분 논에 관계되고 있으며, 저수량 신뢰도를 기반으로 농업용수량 모니터링 관찰요소를 시간별, 일별 유입량, 내용적, 수로 공급량, 여수로 방류량, 수혜면적 등으로 선정하였다.



<그림 2-2> 농업용수량 모니터링선정

### (3) 농업용수량 모니터링의 저수지 물수지 모니터링 요소

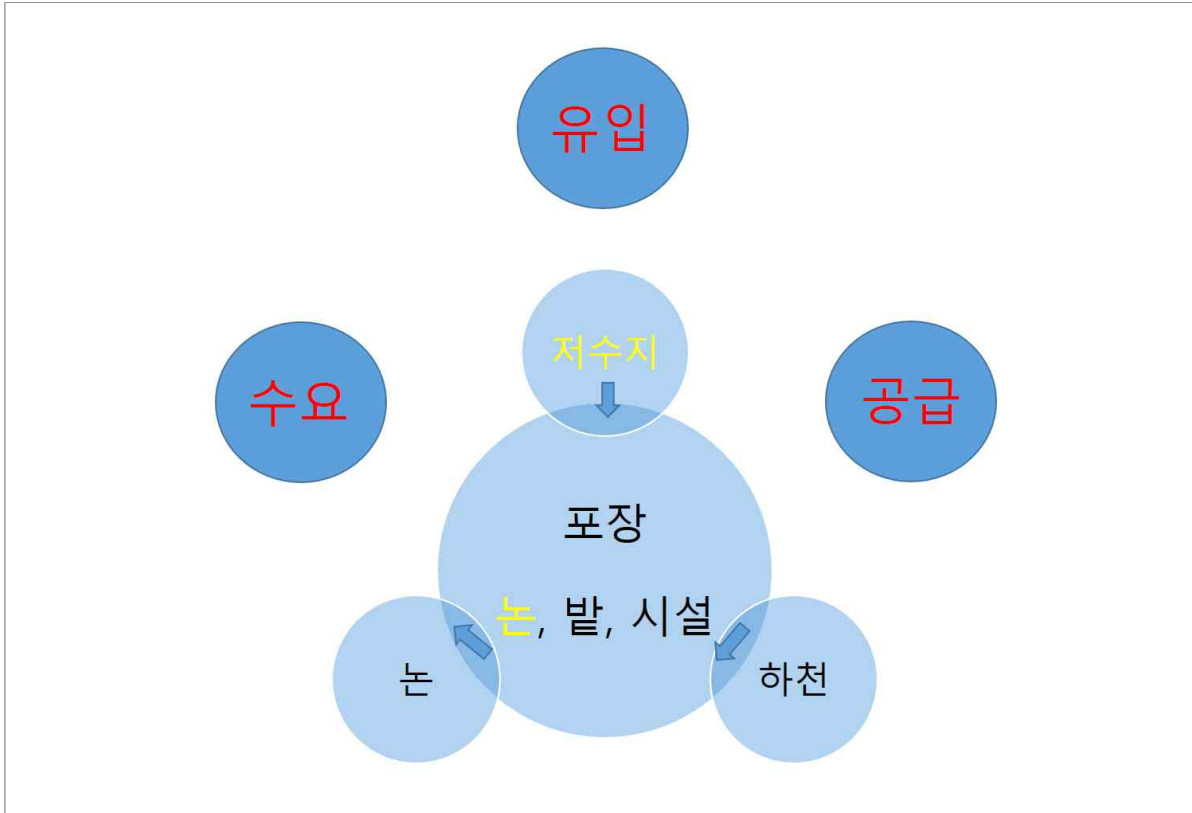
- 저수지 물수지의 기본 요소는 유입량, 저수량, 방류량으로 구성된다. 방류량은 수로유량과 여수로 유량으로 구성된다. 여수로로 수위가 넘치지 않으면 방류량은 수로유량이 모두다.
- 수로유량은 하천으로 분기되지 않으면 모두가 논에 관개용수로 공급되는 양이며, 이때 공급량은 반드시 수요량과 같은 것은 아니다. 수요량은 계획이고 공급량은 운영이며, 공급량은 현장의 기상, 저수량, 물관리 패턴 등에 따라 언제나 수요량과 다르게 나타난다.
- 강우시 저수지 물관리는 취수문을 닫아 수로로 용수공급을 차단하며, 이때 저수량 증가는 유입량에 상당한다. 그러나 홍수를 대비하여 사전 방류를 실시할 때는 취수문을 열지만, 수로의 수문은 닫고 하천으로 곧바로 방류한다.
- 만수위를 초과하면 여수로 방류량이 되며, 저수지에 따라 수문이 설치돼 관리되는 곳도 있어 수문조작을 관찰해야 한다.



<그림 2-3> 저수지 물수지 모니터링 요소

#### (4) 농업용수량 모니터링 저수지 수요-공급 관리 요소

- 저수지 기본 역할은 관개용수 공급이며, 저수지를 이용하여 용수확보와 수요-공급 관리를 과학적으로 실시해야 한다.
- 농업용수량 모니터링은 수문자료 기반이어야 하며, 자료의 속성은 현장에서 현재 이뤄지기 때문에 현재를 망각한 과거자료는 반드시 오차가 담기게 돼, 실시간으로 관리하는 것이 핵심이 된다.
- 저수지 물관리는 유입량, 저수량, 공급량, 강우량 자료가 실시간으로 구축되어야 하며, 이는 물관리의 기본이며, 4차 산업 혁명의 토대이다.
- 현재 저수위 관측을 토대로 취수문 조작과 여수로 수문관리에 따라 방류량이 계산되어야 한다. 이 바탕에서 유입량이 저수량 변화와 방류량을 더해 자동으로 계산되는 체제가 구축된다. 여기 강우량이 더해지면, 입력과 출력의 각종 분석과 다양한 의사결정의 기본자료가 형성된다. 이로부터 다양한 과학적 분석이 가능해져, 저수량 수요-공급 관리 모니터링 요소가 된다.



<그림 2-4> 저수지 수요공급 관리 모니터링 요소

#### (5) 저수지 농업용수 모니터링 6하 원칙

- 저수지 운영자(Who)는 실무자의 몫이고, 관리자는 실무자가 저수지 농업용수의 과학적 모니터링을 수행토록 안내해야 하며, 농민도 함께 하여 모두 함께 수행하는 모니터링이 되어야 하며, 이는 실질적 거버넌스 운영체제가 된다.
- 모니터링의 시기(When)는 상시여야 하며, 이유는 자료의 속성이 시간이 지나면 복구하기 어렵기 때문이고, 주간, 월간 등 점검체제 실시로 상시 운영하는 체제를 공고히 하여 모니터링 신뢰도를 확보해야 한다.
- 모니터링의 장소(Where)는 현장과 사무실 등 모든 장소여야 하며, 자료는 현장에 있는 그대로 모두 있으며, 모든 것이 자료이고 사무실에서 종합, 정리하여, 공유하고 모두 함께 이용되는 관리체제가 되어야 한다.
- 저수지 농업용수 모니터링 대상(What)은 평상시와 홍수기에 수량이 얼마나 들어오고, 하천을 포함하여 논과 밭에 얼마나 공급하고, 용수공급과 홍수관리를 하며 얼마나 남아있는지를 관리하는 것이 되어야 한다.
- 이를 위해 어떻게(How) 해야 하는가? 관측과 모의 기반이어야 하는데, 상시 관찰하는 관측이 기본이고, 저수지 수위만 제대로 관리되고 있는 현 상황을 고려하면, 저수량을 바탕으로 유입량과 방류량을 조율하는 모의 방법에 의존하는 것은 좋은 방법이 되며, 이를 기반으로 공급, 방류 계획, 수요관리의 과학화를



도모해야 한다.

- 농업용수 모니터링을 하는 이유(Why)는 적정 시기와 적정 양의 용수를 공급받아 원활한 농사로 농촌 행복을 보장하는 것이 기본이고, 농촌 현장의 조화와 균형으로 건전한 물순환을 이루고, 자연과 어울리게 하는 것이 궁극적인 농업용수의 모니터링이 된다.



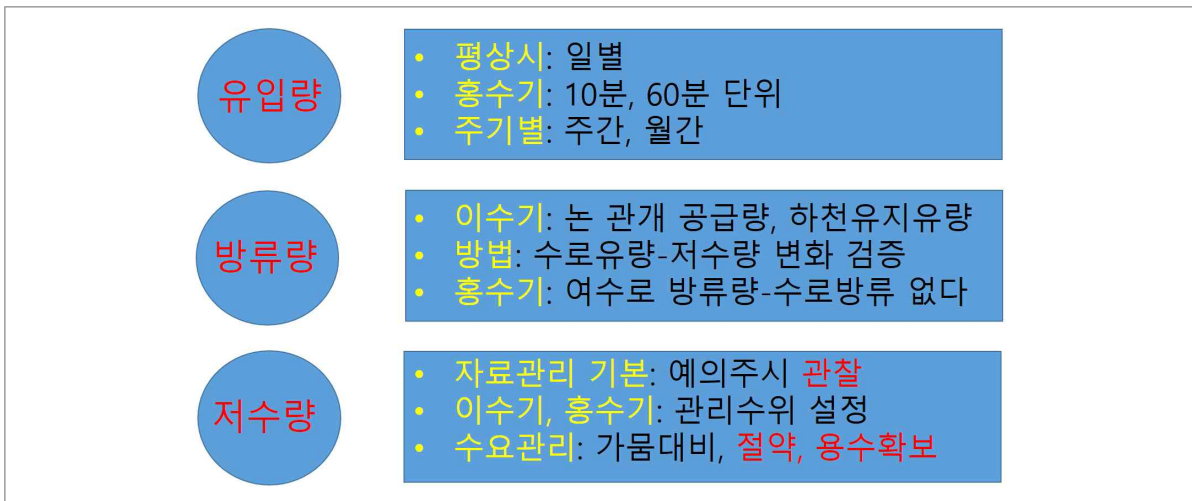
<그림 2-5> 저수지 농업용수 모니터링 6하원칙

(6) 저수지 물수지 실제 모니터링 관리 요소

- 저수지 물수지는 유입량, 방류량, 저수량으로 구성되며, 이들은 실제 모니터링 관리 요소가 되며, 저수량을 기본으로 유입량과 방류량의 균형을 찾아야 한다.
- 저수량은 모니터링 관리의 기반이 되며, 예의주시하며 관찰해야 하고, 이를 기반으로 이수기와 홍수기의 관리수위를 설정하고, 용수확보와 공급의 수요 관리의 기초로 삼아야 한다.



- 저수지 유입량은 10분 단위 관측을 기반으로 시간별, 일별로 상시 모의, 관측하는 체제로 주간, 월간 등 점검체제로 유입량을 고정하는 방법을 구축한다.
- 유입량이 고정되면 저수량, 유입량의 기저 값을 기반으로 방류량을 찾을 수 있는 체제의 구축이 가능하고, 저수량 변화로 물수지를 검증하는 방법으로 수로와 여수로 방류량의 자료생산이 가능해, 과학적 모니터링 체제를 구축한다.



<그림 2-6> 저수지 물수지 실제 모니터링 관리 요소

## 2. 저수지 물관리 모니터링 기술 정립

### (1) 저수지 물수지 모니터링 기술 정의

- 저수지 물수지는 유입량, 저수량, 방류량의 균형이라 정의되며, 저수량을 기본으로 관측하지 않고 있는 유입량과 방류량의 균형을 찾아야 한다.
- 모니터링은 본래 현장의 있는 그대로의 기록인데, 모니터링 기술이라 말하는 것은 농업용수량 모니터링이 제대로 이뤄지지 못하는 상태를 나타내는 것으로 봐야 한다.
- 따라서 모니터링 기술은 자료의 신뢰도를 검증하고 확보하는 기술이라 정의할 수 있으며, 현재 관측되고 있는 것은 저수량뿐이기 때문에 저수량 기반의 신뢰도 확보기술이라 말할 수 있다.

### (2) 저수지 유입량 모의 고정 모니터링 기술

- 저수지 저수량 자료만 관리되고 있는 상태에서, 유입량과 방류량 등 2개를 결정해야 하는데, 이중 유입량을 고정시키는 것이 더욱 중요하다.
- 유입량은 이수를 위해 일별, 홍수관리를 위해 10분, 60분 단위의 안정된 모의 기반을 찾아야 한다.

- 유량자료 신뢰도가 확보된 다목적 댐 유입량 자료로 검증하는 방법으로 한다.
- 저수지 유입량을 모의하는 유출 모형을 선정하는 것은 기본이고 중요하며, 여기서 <그림 2-7>의 매개변수 하나인 ONE 모형 (One parametric New Exponential hydrologic Model)을 선정한 이유는 다음과 같다.
- 처음에 ONE 모형은 식(2-1)의 기본식, 식(2-2)의 일반식으로 일별 모의로 개발됐고, 일 단위의 집중형 연속 유출모형이며, 유역토양수분을 기반으로 한 매개변수가 하나인 지수함수의 유출모형이다.
- 식(2-1)에서 Q는 일 유출량, S는 유역의 토양수분 저류량,  $\alpha$ 는 하나뿐인 매개변수<그림 2-8>이며, 무계측 유역에서 매개변수  $\alpha$ 는 단순하게 식(2-2)와 같이 연 유출률(Qr)을 연 강수량(Pa)으로 나타낸 일반화 공식(16개 댐 유입량 자료 이용)에 의해 결정할 수 있다<그림 2-9>.
- 식(2-1)의 상수를 매개변수로 하면 식(2-3)의 증발산 관련 1개, 식(2-4)의 유출모의 관련 4개 등 총 5개 매개변수 모형이 되며, 매개변수를 상수화해도 모의결과가 매우 양호하다는 것을 관찰했다.
- 식(2-3)의 증발산 관련, 식(2-4)의 유출모의 관련 모두 토양수분 기반의 지수함수로 나타냈고, 토양수분 물수지가 ONE 모형의 유출모의 기반이다.

$$\bullet \quad Q(i) = (1 - e^{-0.003 \times S(i)})^{(0.2 + e^{-0.001 \times S(i) \times \alpha})} \times S(i) \quad (2-1)$$

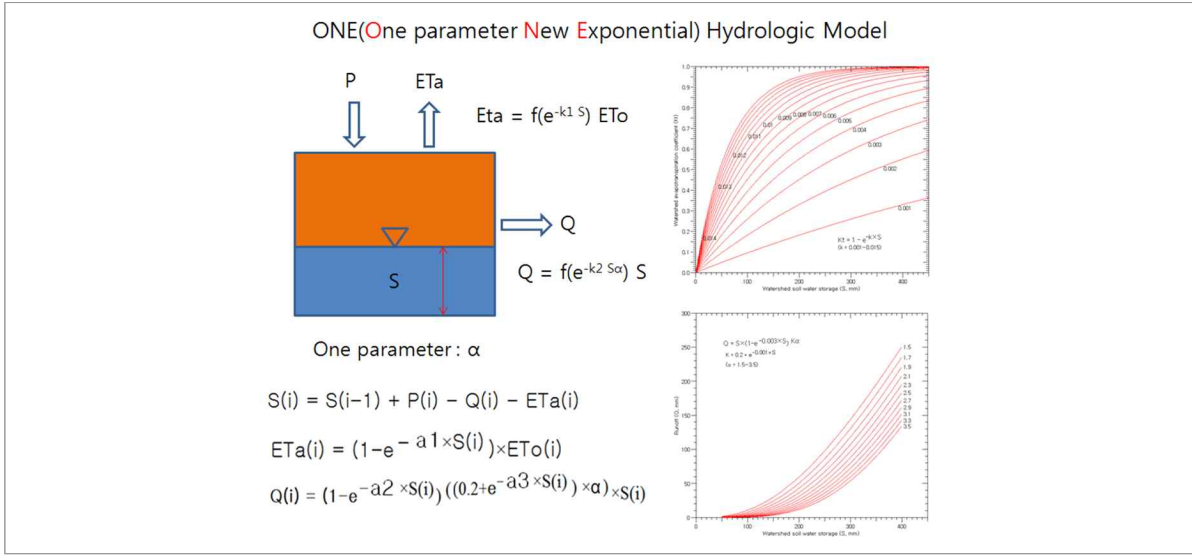
$$\bullet \quad Q_r = 25.22 + 0.0245 \times P_a \quad (2-2)$$

$$\bullet \quad ET_a(i) = (1 - e^{-c_1 \times S(i)}) \times ET_o(i) \quad (2-3)$$

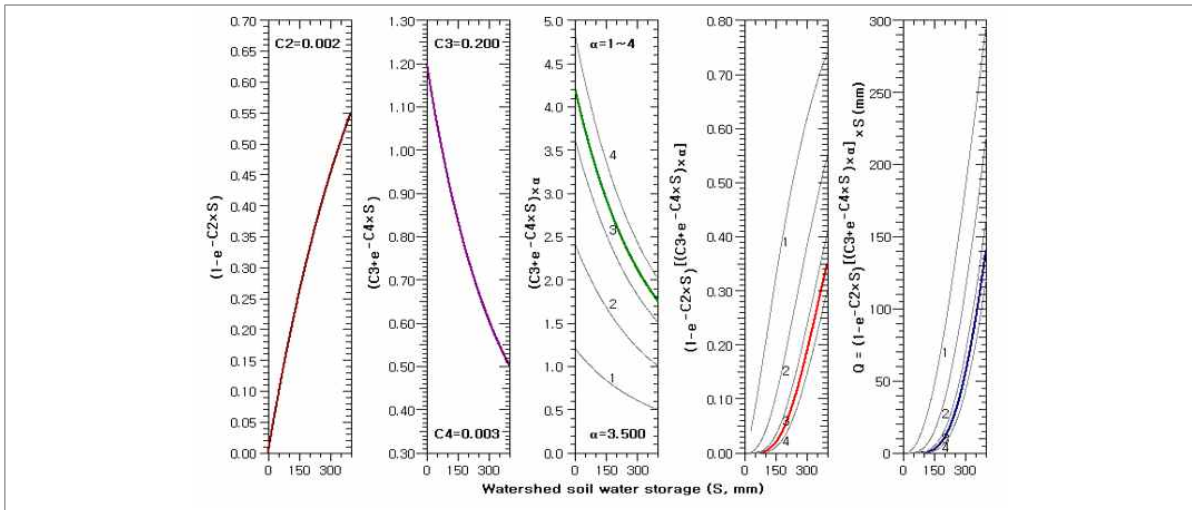
$$\bullet \quad Q(i) = S(i) \times (1 - e^{-c_2 \times S(i)})^{[(c_3 + e^{-c_4 \times S(i)}) \times \alpha]} \quad (2-4)$$

$$\bullet \quad S(i) = S(i-1) + P(i) - ET_a(i) - Q(i) \quad (2-5)$$

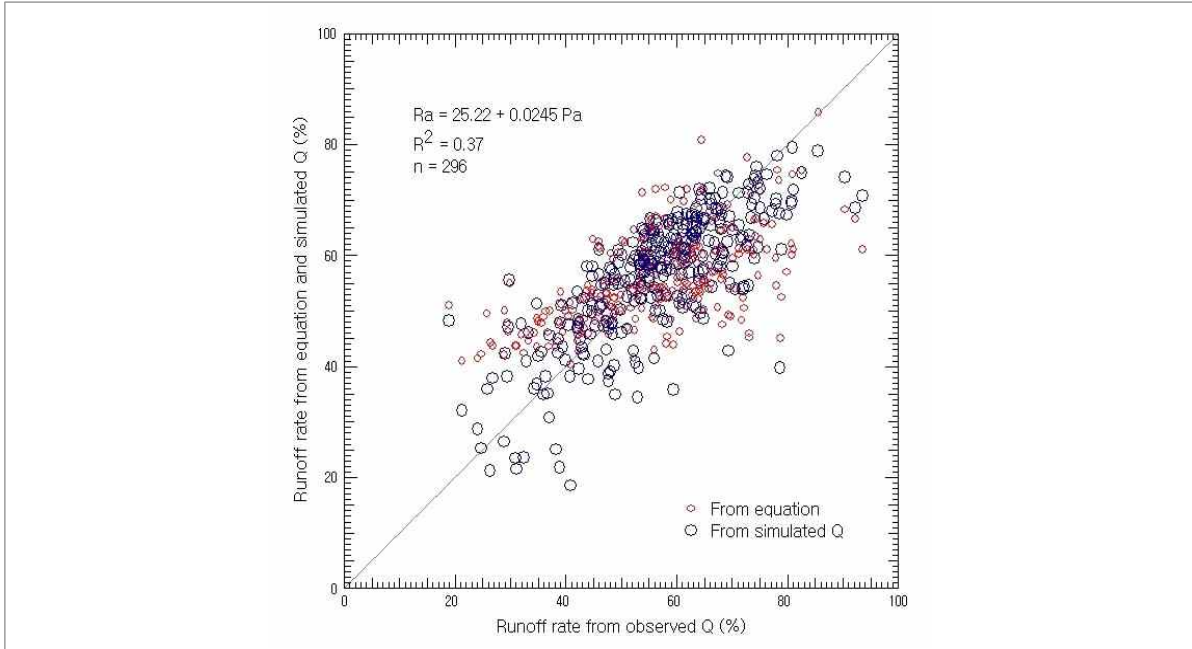
- 식에서 ETa(mm)는 실제증발산량, ETo(mm)는 잠재증발산량, Q(mm)는 유출량, S(mm)는 토양수분저류량, P(mm)는 강수량이고, c1, c2, c3, c4,  $\alpha$ 는 매개변수인데, c1=0.015, c2=0.002, c3=0.2, c4=0.003으로 상수화시켜  $\alpha$  하나만의 매개변수로도 유출모의 결과가 매우 우수하게 나타나고 있다.
- 대청댐 유입량 모의에서 식(2-2)에 의해 매개변수  $\alpha$ 는 3.55로 결정되었으며, 상류에 용담댐이 없는 1981 ~ 2001년에 적용한 결과 연평균 유출률은 55.5%에 이르렀으며, 일 모의 결과와 순별 등가선 비교 결과 매우 만족할만한 수준이었고, 이처럼 일반화 식으로 여러 다른 댐 및 유역에서 안정된 유출모의 결과가 확인이 돼, 적용 유출모형으로 선정한다.



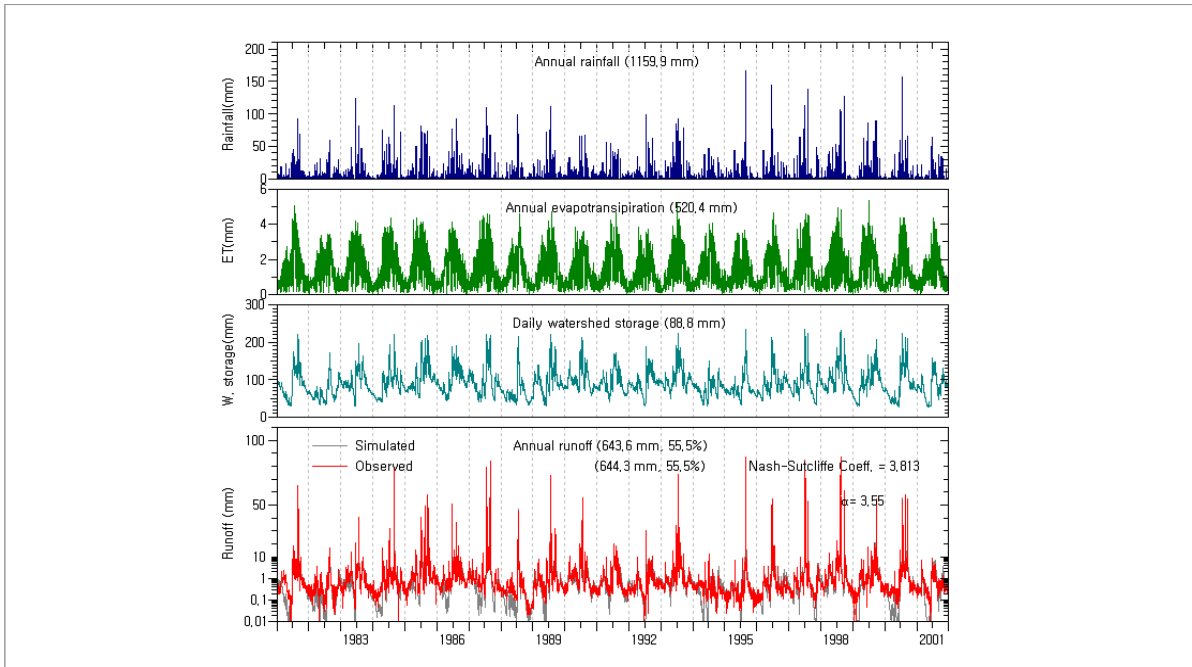
<그림 2-7> ONE 모형 구조와 개념



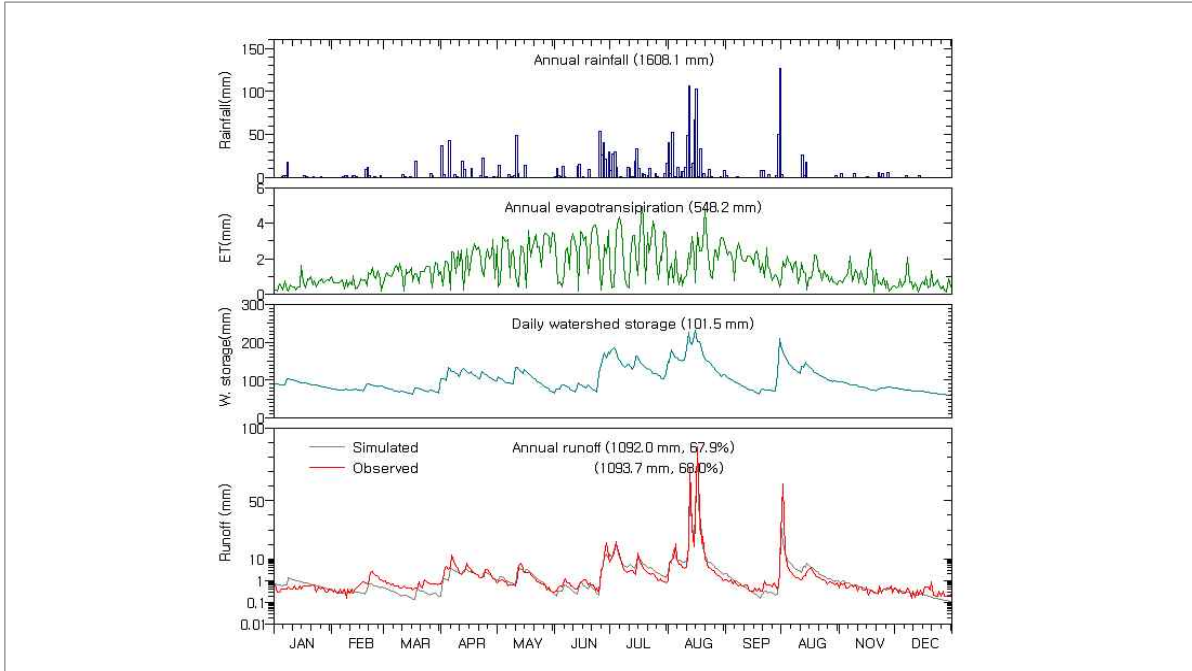
<그림 2-8> ONE 모형 매개변수의 상수화



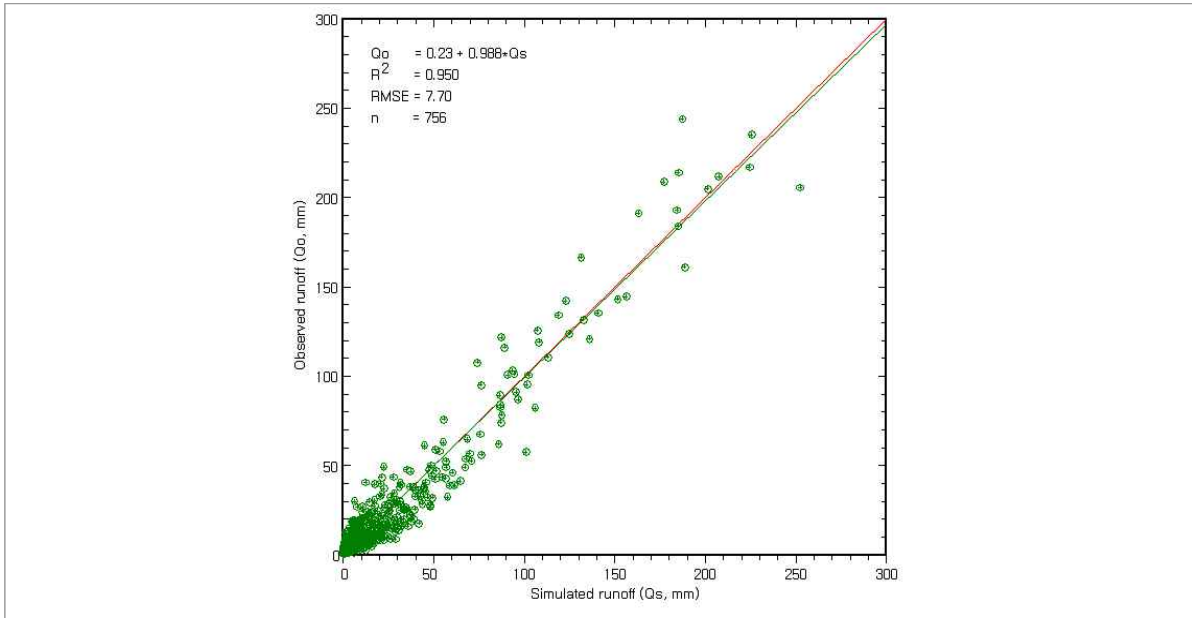
<그림 2-9> ONE 모형의 매개변수 일반화 식(16개 댐 유입량 자료)



<그림 2-10> ONE 모형 일반화 식에 의한 대청댐 일 유입량 모의의 매개변수 결정 ( $\alpha = 3.55$ )

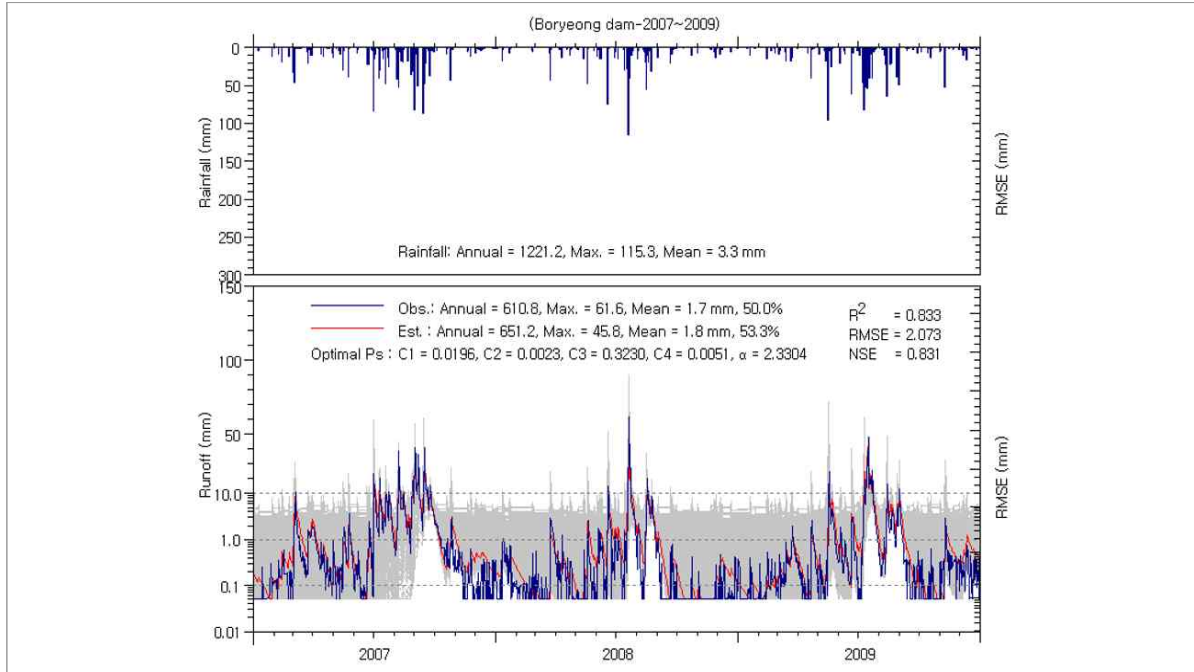


<그림 2-11> ONE 모형 일반화 식에 의한 대청댐 일 유입량 모의 예 (1998)

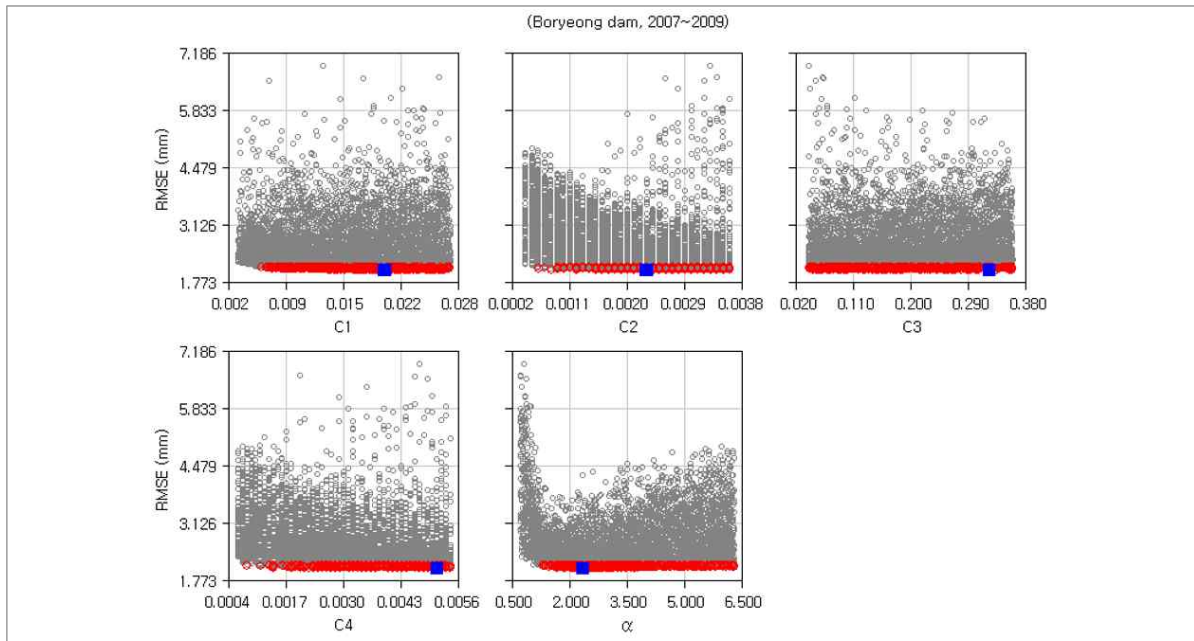


<그림 2-12> ONE 모형에 의한 순별 유입량 등가선 비교 (대청댐, 1981-2001)

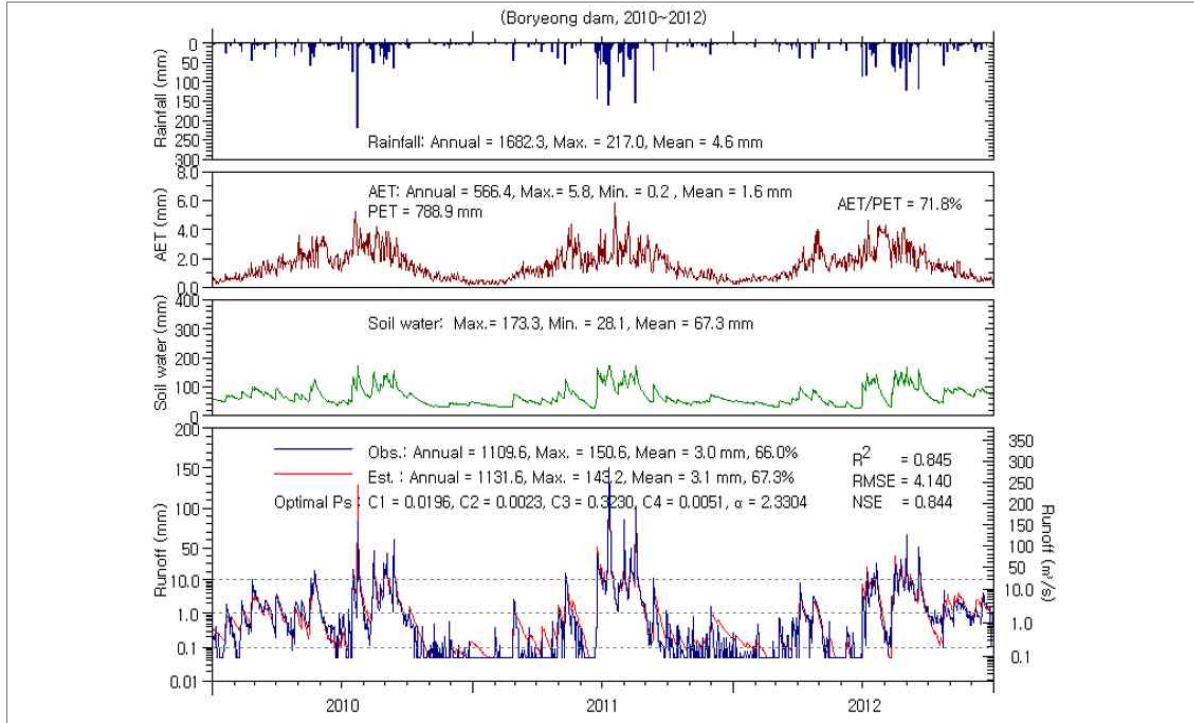
- 보령댐, 밀양댐, 횡성댐, 용담댐 등에서 Tank 모형과 SWAT 모형의 결과(강문성 외, 2014)와 똑같은 자료로 ONE모형 결과를 비교한 결과, 다음과 같이 ONE 모형이 R2, RMSE, NSE 등에서 월등히 양호한 값을 나타냈다.



<그림 2-13> 몬테칼로 기법의 ONE 모형 매개변수 결정(보령댐)



<그림 2-14> 몬테칼로 기법의 ONE 모형 최적화 매개변수(보령댐)

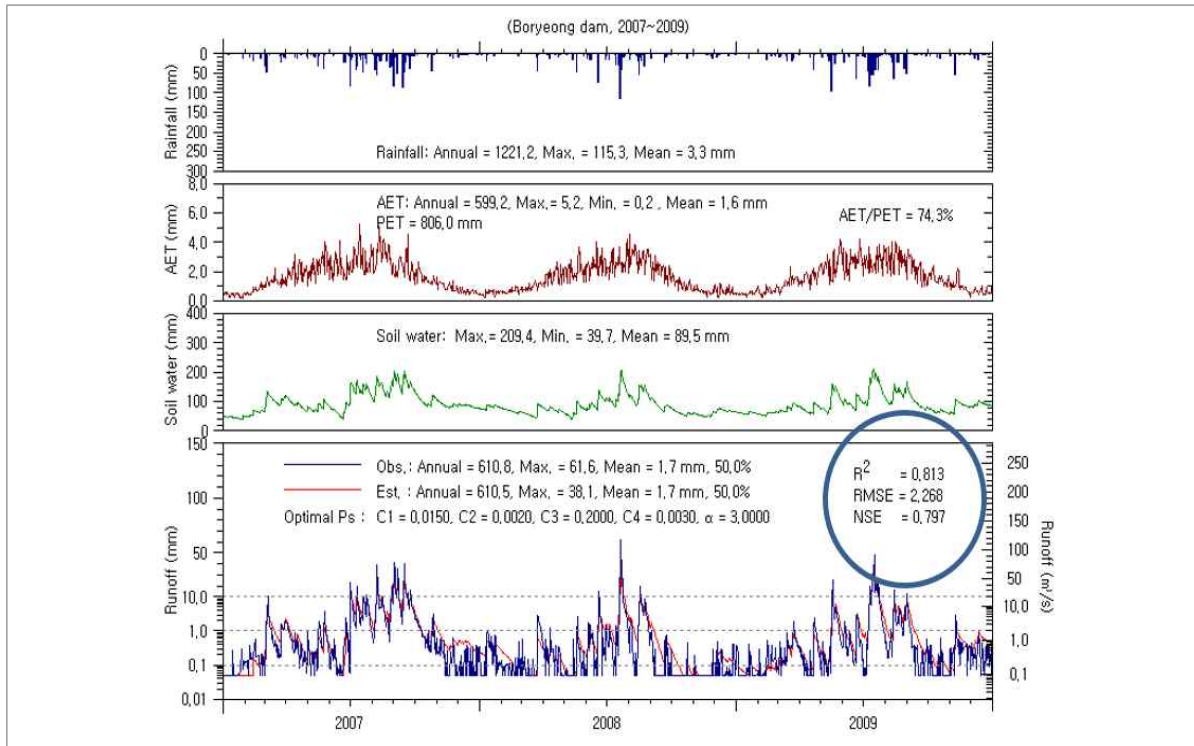


<그림 2-15> 잠정기간 ONE 모형 모의결과 비교(보령댐, 2010~2012)

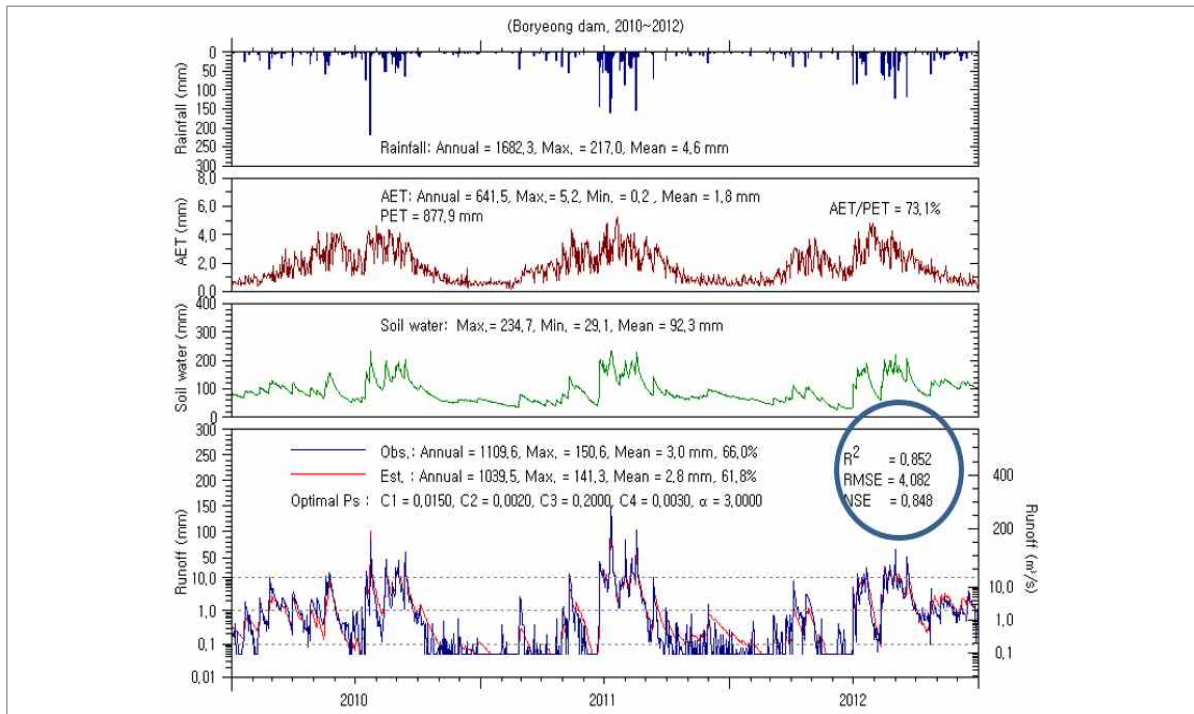
<표 2-1> 5개 매개변수의 ONE 모형 모의결과의 Tank, SWAT 모형 모의결과와 비교

모형	기간 평가지수 댐명	보정기간 (2007~2009)			검정기간 (2010~2012)		
		R <sup>2</sup>	RMSE	NSE	R <sup>2</sup>	RMSE	NSE
Tank	보령댐	0.79	2.43	0.77	0.74	5.46	0.74
SWAT		0.56	3.97	0.40	0.62	6.60	0.62
ONE		<b>0.83</b>	<b>2.07</b>	<b>0.83</b>	<b>0.85</b>	<b>4.14</b>	<b>0.84</b>
Tank	밀양댐	0.82	2.01	0.82	0.85	4.49	0.83
SWAT		0.71	2.57	0.71	0.66	6.60	0.62
ONE		<b>0.90</b>	<b>1.83</b>	<b>0.89</b>	<b>0.91</b>	<b>3.43</b>	<b>0.90</b>
Tank	횡성댐	0.88	2.75	0.86	0.82	3.02	0.81
SWAT		0.74	3.79	0.73	0.74	3.53	0.74
ONE		<b>0.90</b>	<b>2.21</b>	<b>0.90</b>	<b>0.89</b>	<b>2.21</b>	<b>0.89</b>
Tank	용담댐	0.87	1.93	0.85	0.90	2.70	0.90
SWAT		0.68	2.82	0.67	0.71	4.82	0.67
ONE		<b>0.88</b>	<b>1.72</b>	<b>0.88</b>	<b>0.92</b>	<b>2.40</b>	<b>0.92</b>





<그림 2-16> ONE 모형 하나 매개변수 결정(보령댐, 2007-2009)

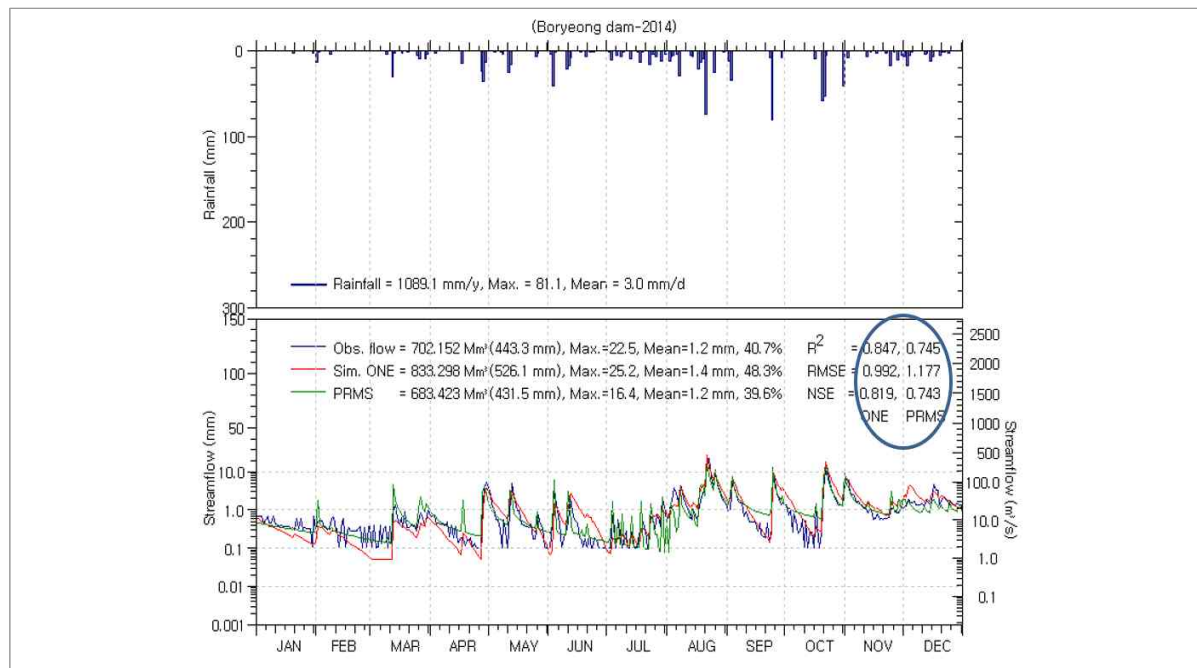


<그림 2-17> 검정기간 ONE 모형 하나 매개변수 모의비교(보령댐, 2010-2012)



<표 2-2> 1개 매개변수의 ONE 모형 모의결과의 Tank, SWAT 모형 모의결과와 비교

모형	기간 평가지수 댐명	보정기간 (2007~2009)			검정기간 (2010~2012)		
		R <sup>2</sup>	RMSE	NSE	R <sup>2</sup>	RMSE	NSE
Tank	보령댐	0.79	2.43	0.77	0.74	5.46	0.74
SWAT		0.56	3.97	0.40	0.62	6.60	0.62
ONE		<b>0.813</b>	<b>2.268</b>	<b>0.797</b>	<b>0.852</b>	<b>4.082</b>	<b>0.848</b>
Tank	밀양댐	0.82	2.01	0.82	0.85	4.49	0.83
SWAT		0.71	2.57	0.71	0.66	6.60	0.62
ONE		<b>0.832</b>	<b>1.991</b>	0.821	<b>0.895</b>	<b>3.564</b>	<b>0.888</b>
Tank	횡성댐	0.88	2.75	0.86	0.82	3.02	0.81
SWAT		0.74	3.79	0.73	0.74	3.53	0.74
ONE		<b>0.903</b>	<b>2.426</b>	<b>0.890</b>	<b>0.884</b>	<b>2.309</b>	<b>0.883</b>
Tank	용담댐	0.87	1.93	0.85	0.90	2.70	0.90
SWAT		0.68	2.82	0.67	0.71	4.82	0.67
ONE		0.848	1.905	0.847	0.883	<b>2.840</b>	0.883

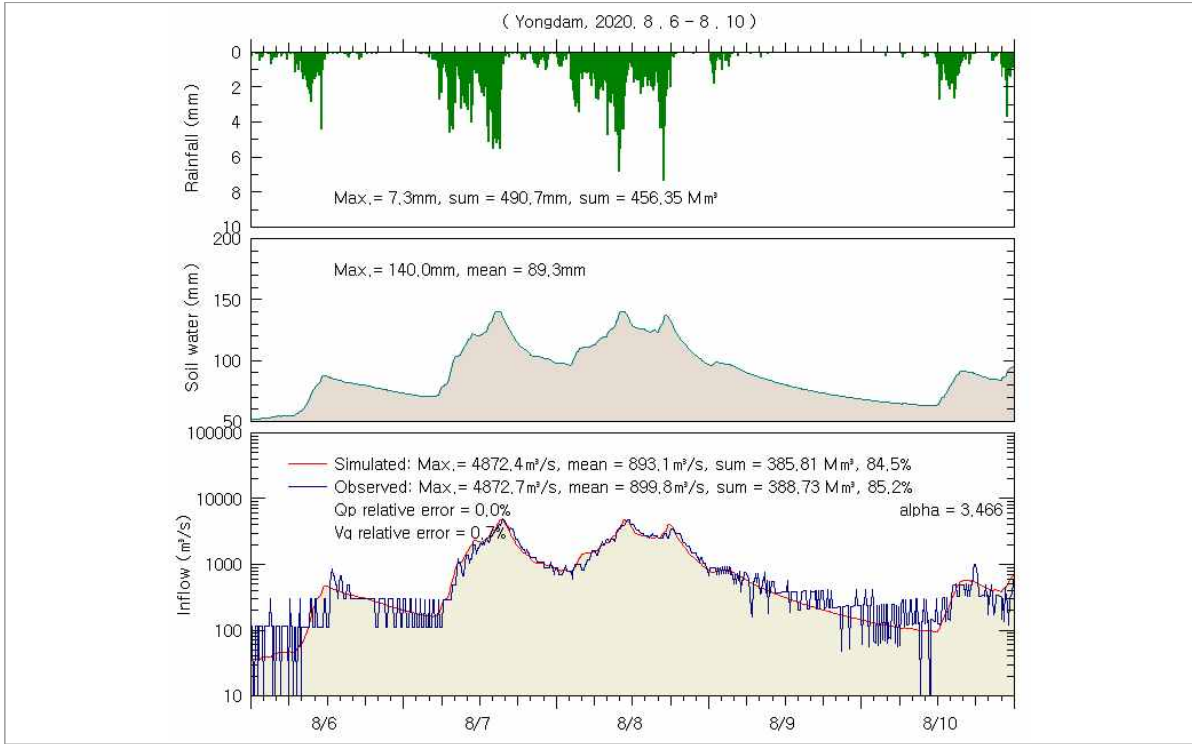


<그림 2-18> ONE 모형과 PRMS 모형의 일 유출모의 비교(보령댐, 2014)

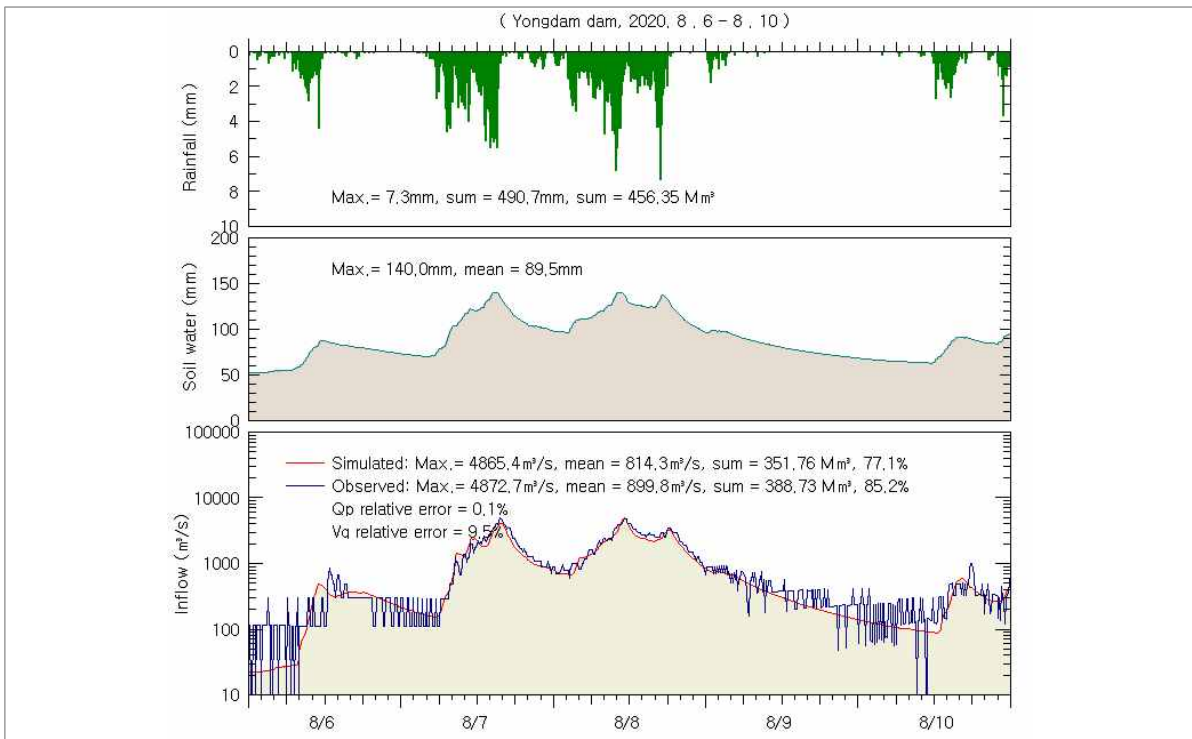
<표 2-3> ONE 모형 모의결과의 PRMS 모형 모의결과와 비교

모형	기간 평가지수 댐명	보정기간 (2007~2009)		
		R <sup>2</sup>	RMSE	NSE
PRMS	보령댐	0.745	1.177	0.743
ONE		<b>0.847</b>	<b>0.992</b>	<b>0.819</b>
PRMS	안동댐	<b>0.839</b>	1.766	0.616
ONE		0.814	<b>1.254</b>	<b>0.803</b>
PRMS	임하댐	0.899	1.413	0.822
ONE		0.897	<b>1.071</b>	<b>0.897</b>
PRMS	소양강댐	<b>0.829</b>	1.536	0.491
ONE		0.742	<b>1.089</b>	<b>0.741</b>
PRMS	충주댐	0.758	1.182	0.456
ONE		<b>0.789</b>	<b>0.894</b>	<b>0.682</b>
PRMS	장흥댐	0.880	2.209	0.880
ONE		<b>0.940</b>	<b>1.614</b>	<b>0.934</b>

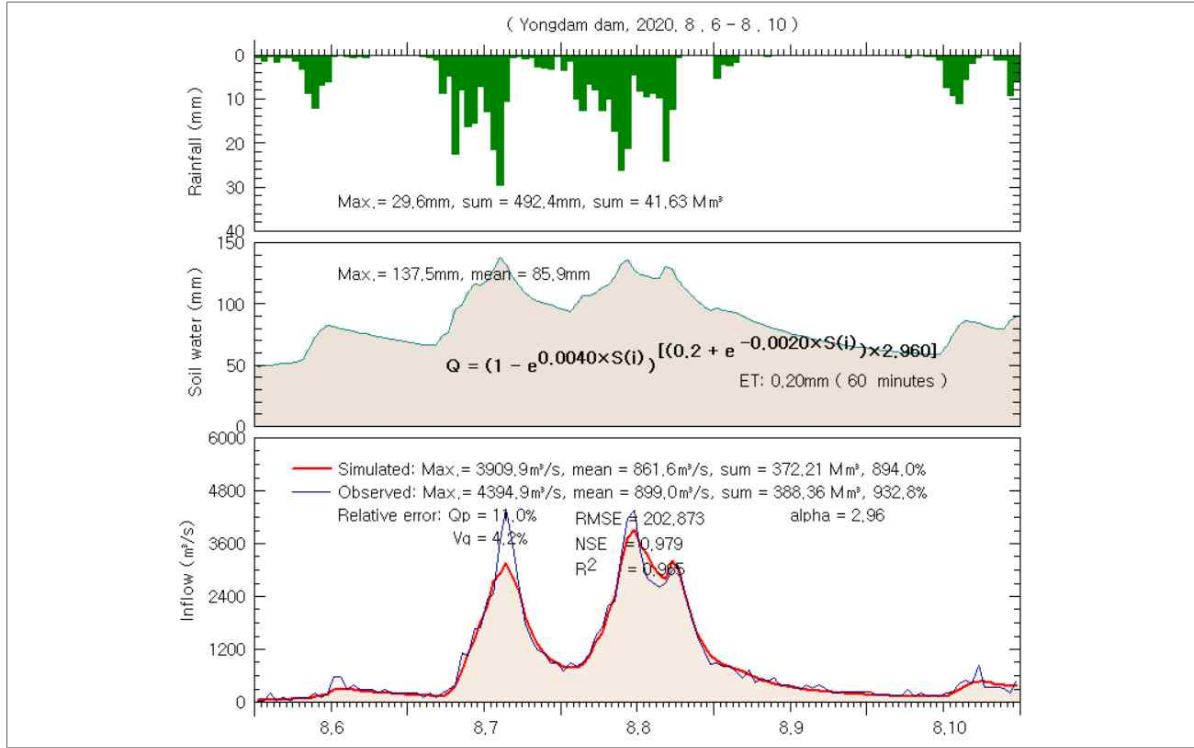
- 5개 매개변수, 1개 매개변수의 ONE 모형의 모의결과를 Tank, SWAT 모형의 모의결과를 비교했을 때 ONE 모형의 모의결과가 모두 양호하게 나타났다.
- 또한, 2014년 6개 댐에 대해 PRMS 모형의 모의결과와 비교했을 때도 ONE 모형의 모의결과가 양호한 것으로 나타났다.
- 이상 저수지 일 유입량 모의를 위해 ONE 모형 선정이유를 충분하게 설명하였다.
- 다음은 10분, 60분 단위의 홍수 유입량 모의에 ONE 모형을 2020년부터 8월 4일부터 8월 10일까지 용담 댐 유입량 모의에 적용한 결과로 K-water 실무의 저류함수법 모의 결과와 비교하여 ONE 모형의 우수성을 나타냈다.
- 침투유량과 총유량의 상대오차에서 ONE 모형은 각각 0.0%, 0.7%를 나타냈고<그림 2-19>, 저류함수법은 0.1%, 9.5%를 나타냈다<그림 2-20>.
- 댐 운영에서 침투유량과 총유량 모두 중요하지만, 8월 7일, 8일 호우 사상의 댐 운영 측면에서는 총유량이 더욱 중요한 것으로 평가한다.
- 시간별 유입량 모의 결과도 매우 양호한 결과를 나타내, ONE 모형의 저수지 홍수 유입량 모의 적용 타당성을 나타냈다<그림 2.21>~<그림 2.22>.



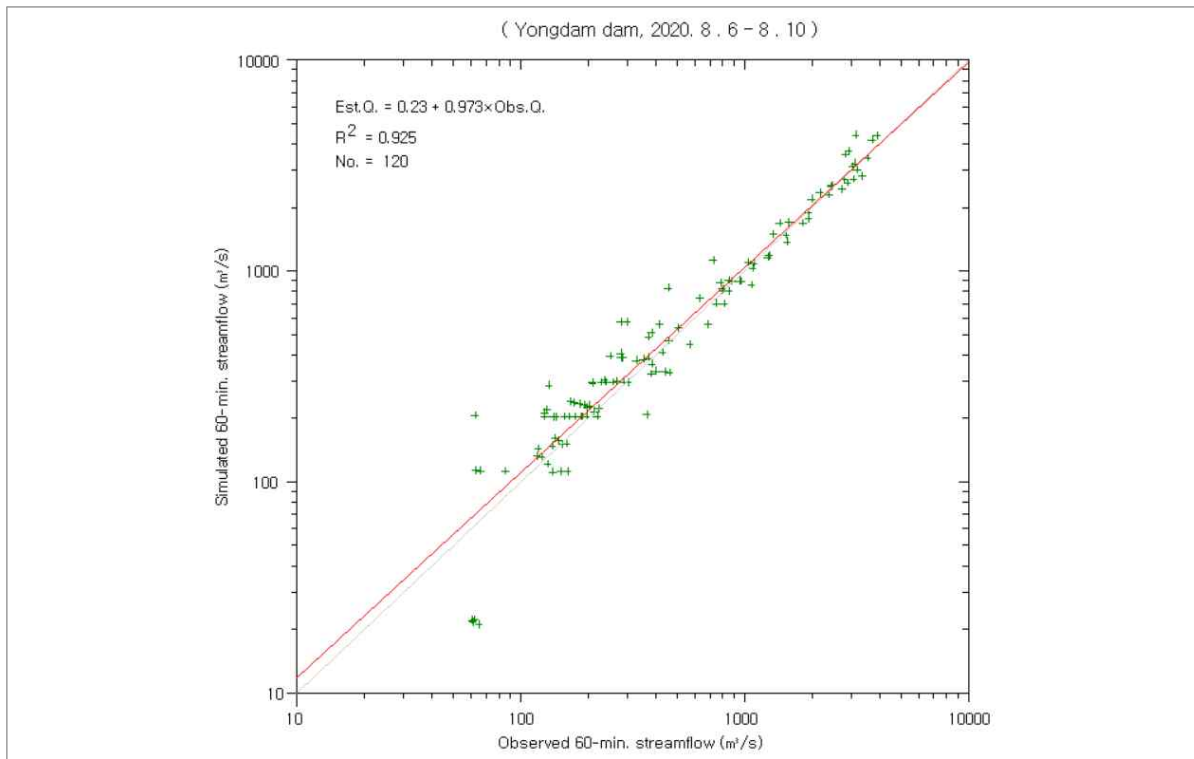
<그림 2-19> ONE 모형의 10분 단위 유입량 모의결과



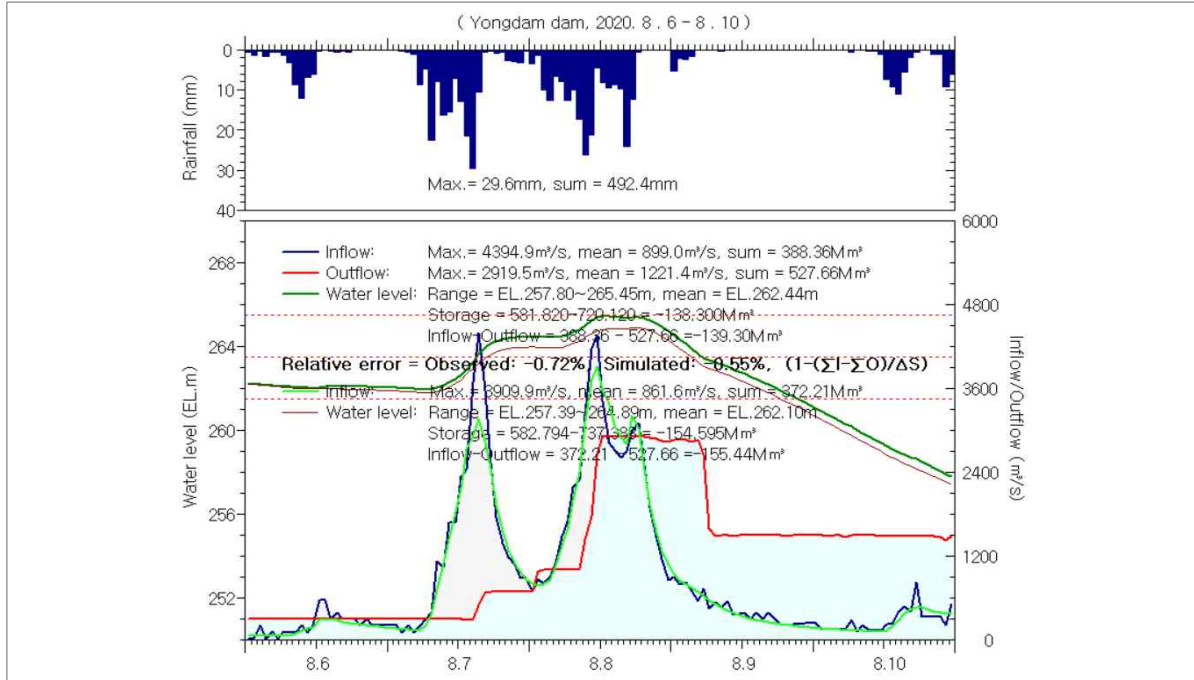
<그림 2-20> 저류함수법의 10분 단위 유입량 모의 결과 ( 용담댐, 2020.8.6.~8.10.)



<그림 2-21> ONE 모형의 60분 단위 유입량 모의 결과 ( 용담댐, 2020.8.6.~8.10.)



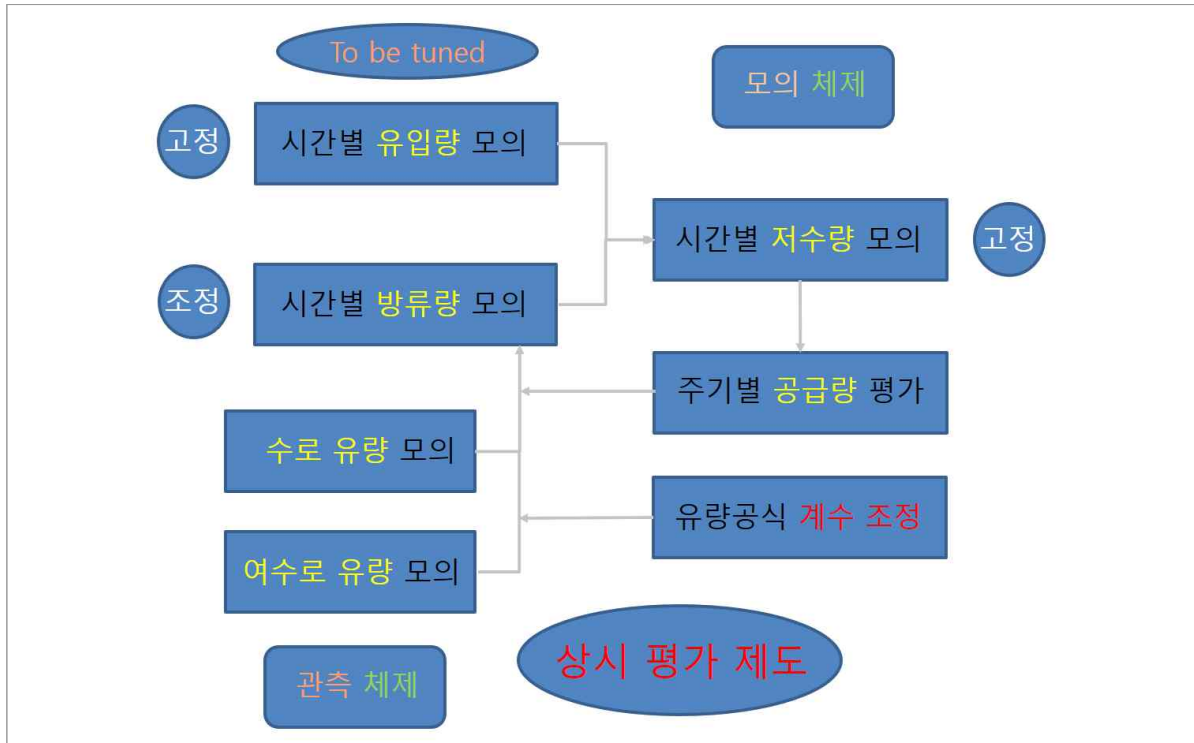
<그림 2-22> ONE 모형의 유입량 등가선 검증 (용담댐, 2020.8.6.~8.10., 1시간)



<그림 2-23> 저수량 오차에 의한 ONE 모형의 유입량 검증 (용담댐, 2020.8.6.~8.10., 1시간)

(3) 계수조정 방류량 모니터링 기술

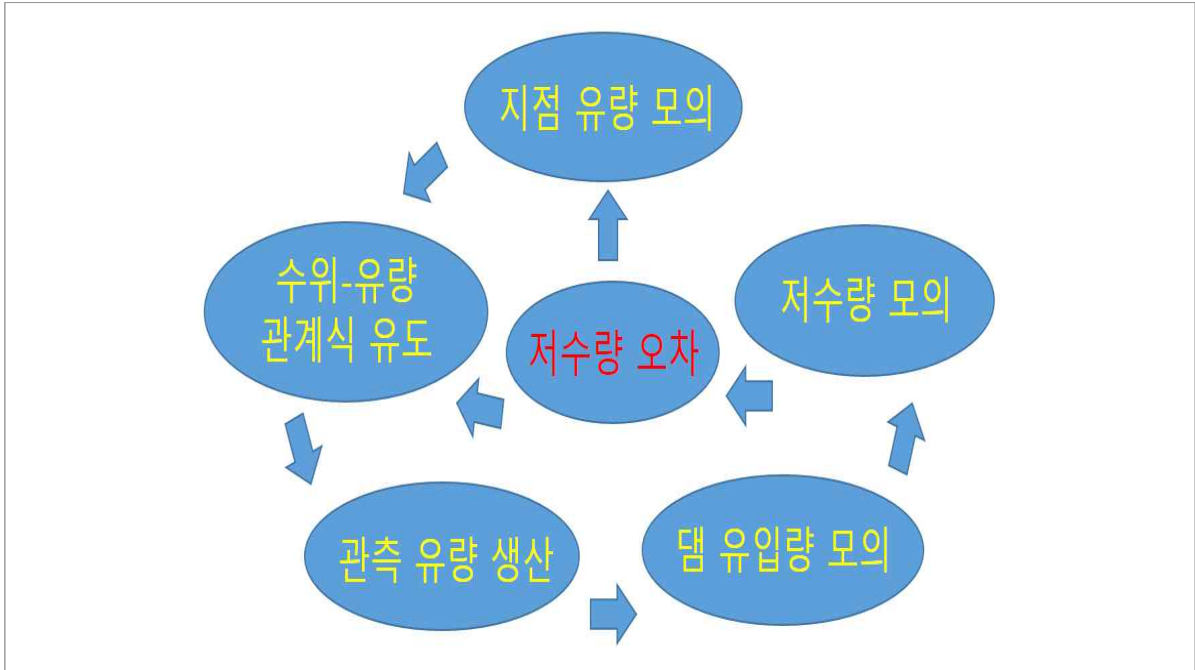
- 실무에서 수로유량 조사를 3년 정도 실시하고 있으나, 아직 그 신뢰도가 확보되지 않고 있어, 현장 모니터링 자료를 평가할 필요가 있다.
- 수로의 수위-유량 관계식, 여수로 방류량 공식 등의 계수를 조정하여 방류량을 탐색하는 새로운 개념의 모니터링 기술을 제안한다.
- 저수지는 다목적댐과 여건이 완전히 다르며, 유역이 작지만 유입량, 방류량 자료가 없고, 오직 저수량 자료만 있는 상태로, 오로지 저수량 자료로 유입량도 만들고, 방류량도 만들어야 한다.
- 방류량 중 수로유량 부분은 수로수위 자료로 만들 수 있고, 여수로 부분도 만수위가 넘는 부분에 대해 여수로 공식에 의해 자료를 만들고 수정하고 조정하는 방법을 동원해야 하며, 이를 계수조정 기술이라 한다.
- 여기서는 유입량은 다목적댐 또는 신뢰도가 높은 인근 하천유량 자료로 신뢰도를 확인한 후 저수지에 적용하여, 저수지도 다목적 댐과 같이 유입량 자료가 있는 것으로 가정하고, 유입량과 저수량을 고정시키면, 수로유량과 여수로 방류량을 저수량 오차가 최소가 될 때까지 계수조정하는 방법을 <그림 2-24>와 같이 고안하였다.
- 이 방법을 주기적으로 유입량, 저수량, 공급량을 계수조정하며 생산하는 자료 상시평가제도로 모니터링의 정상화를 도모할 수 있다.



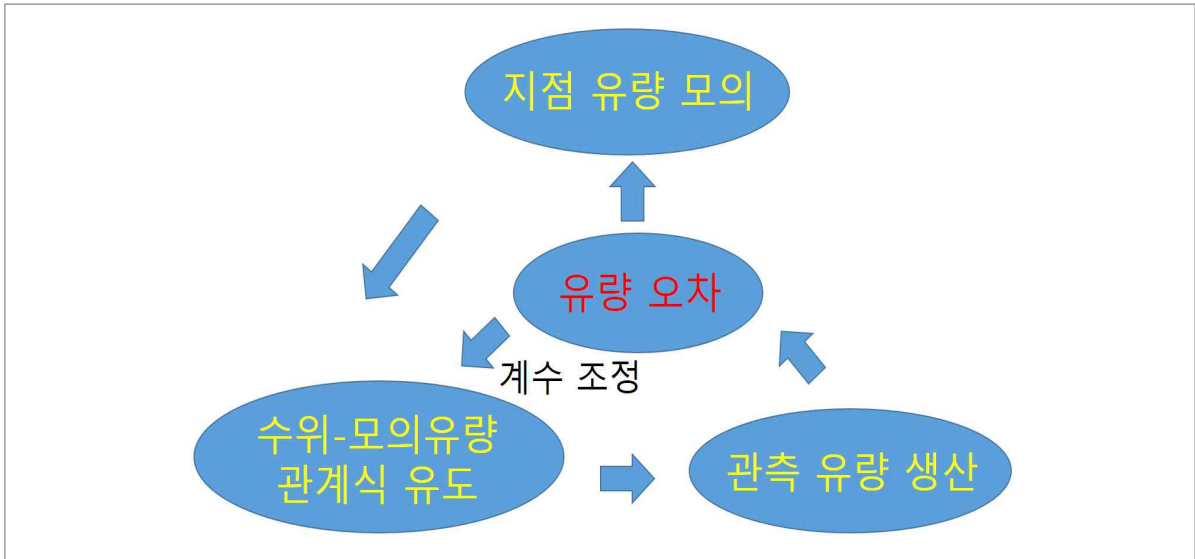
<그림 2-24> 유입량 고정 방류량 계수조정 모니터링 기술 개념도

- 농업용 저수지에서 저수율 자료만 관리되고 있고, 수로수위가 관측되고 있지만, 그 유량 신뢰도가 확보되지 못하고 있는 상황에서, 유입량을 다목적 댐에서 연습한 방법을 통해 고정시킨 다음, 저수량, 유입량 자료를 근거로, 방류량을 저수지 물수지가 만족할 때까지 저수량 오차를 참조하며, 반복하여 찾아나간다.
- <그림 2-25>~<그림 2-26>는 수로와 여수로에서 저수량 오차를 참조하며 수로유량과 여수로유량을 생산하는 절차를 나타낸 것이고, 전체가 물수지 과정이고, 없는 것을 찾아 조율하는 방법이 되며, 상시 관찰하고 관리해야 효율이 나타난다.
- 우선 여수로 공식, 수위-유량 공식 등으로 우선 방류량을 계산한 다음, 저수지 물수지에 의해 저수량 오차를 확인한 후 유량계수를 조정하며, 저수량 오차가 허용수준 이내 이를 때까지 반복 수행한다.
- 위의 여러 가지 그림은 저수량 오차, 유량 오차 등을 참조하여, 저수량을 갖대로 수로유량, 여수로 유량 등 방류량과 유입량 등 저수지 물관리에서 필수인 누락자료 생산을 위한 개념이다.
- 이를 바탕으로 현장 유량측정, 수위관측, 우량관측 등 자료가 보태지면 안정적 물관리의 모니터링 기술로 정립될 수 있다.

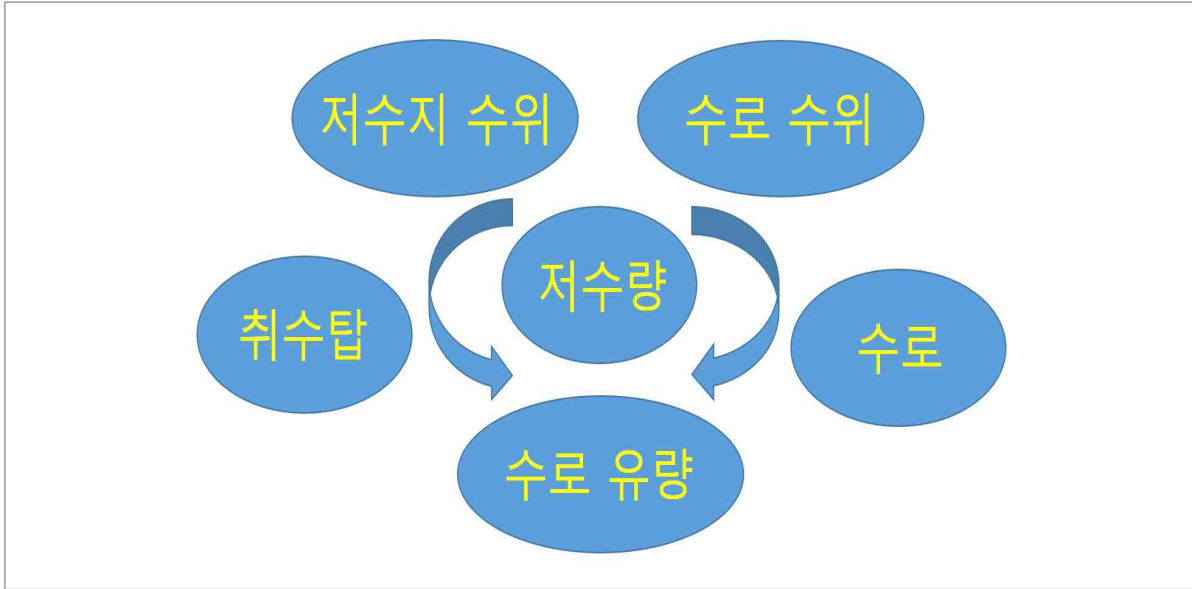




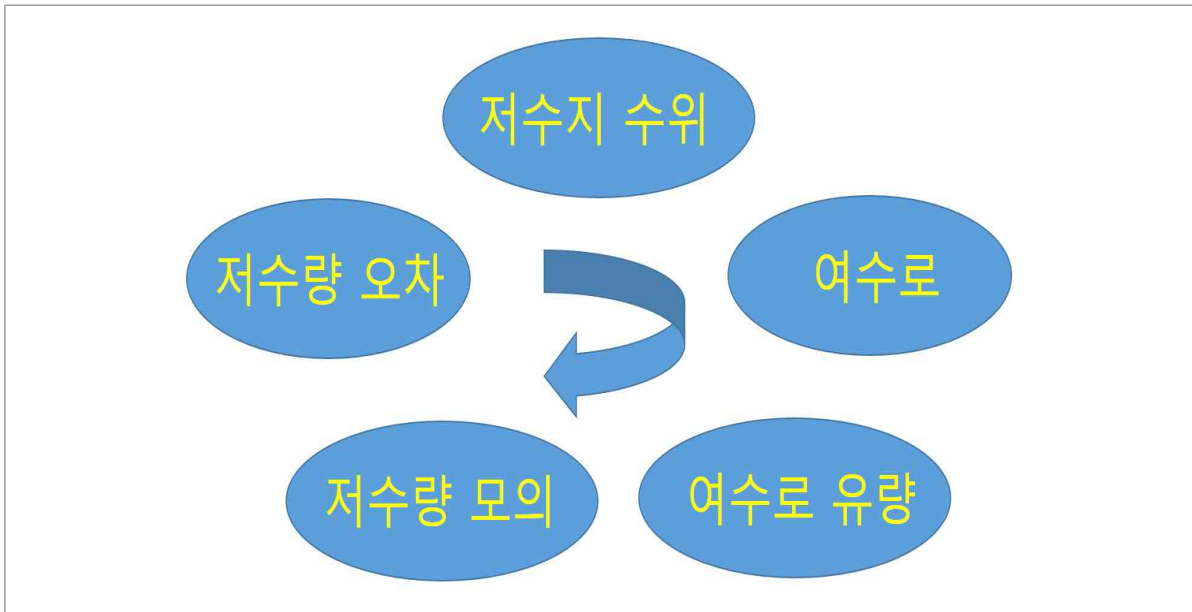
<그림 2-25> 저수량 오차에 의한 유량 검증 체제



<그림 2-26> 수위-모의유량 관계식에 의한 유량 생산



<그림 2-27> 수로유량 생산 체제



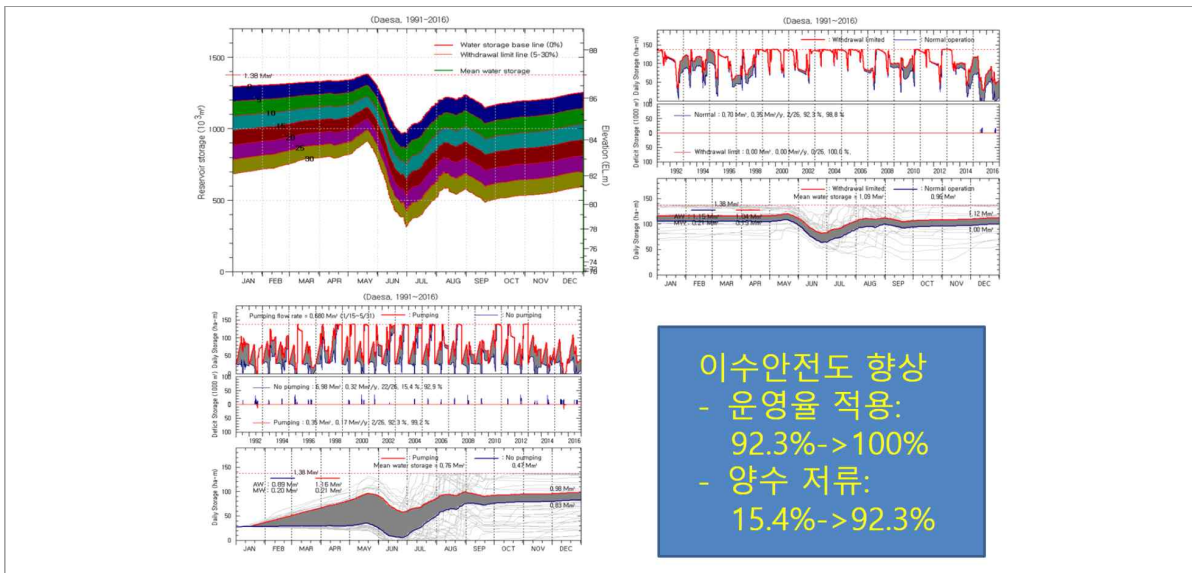
<그림 2-28> 여수로 유량 검증 체계

(4) 저수지 공급량 평가 모니터링 기술

- 저수지의 논 관개용수, 밭 관개용수, 하천유지용수 등 공급능력 등을 평가하는 것도 모니터링 기술이 되며, 실무자 요구로 나타나고 있다.
- 논 관개용수 공급은 기본이고, 밭 관개용수도 공급할 의무가 있으며, 저수지의 밭 관개 공급능력을 평가할 필요가 있고, 시설재배용수 공급이 필요한 곳은 추가로 타당성을 평가하고, 지하수와 연계하여 검토할 필요가 있다.

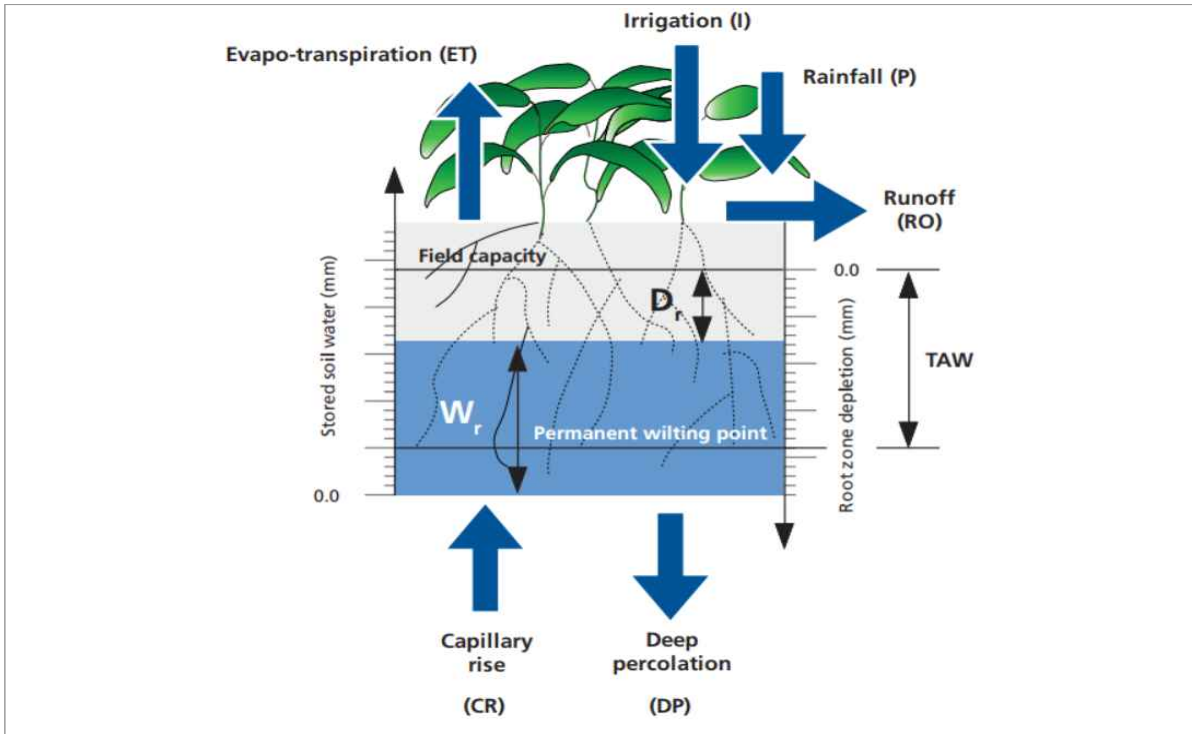


- 저수지로부터 논 용수 공급능력은 저수량과 유역배율에 따라 다르게 나타나며, 이수관리 기준이 있어야 하고, 용수가 부족한 지역은 <그림 2-29>와 같은 양수저류, 용수절약 운영 등으로 안정적 용수공급을 도모해야 한다.
- 대사저수지의 5개월 양수저류효과는 이수안전도가 15.4%에서 92.3%로 향상됐고, 저수지 운영율에 따라 용수절약 운영으로 이수안전도가 92.3%에서 100%로 증가하는 것과 비교가 된다.
- 이수관리곡선은 유입량, 공급량, 저수량 등 과거실적에 근거하여 작성하는 것이 기본이며, 모의에 의해 작성될 수도 있으며, 이수관리의 기준이 된다.

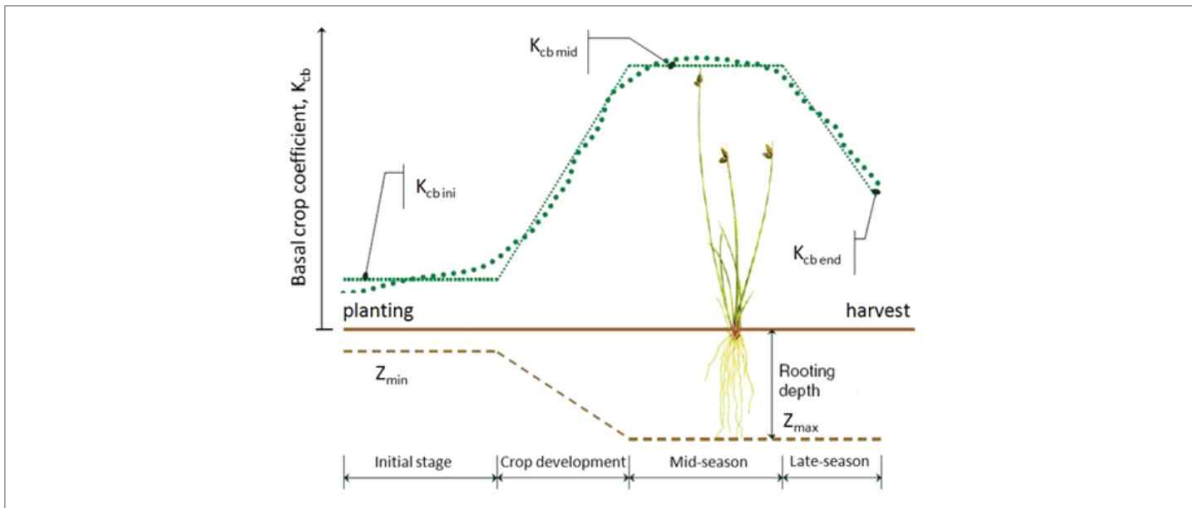


<그림 2-29> 저수지 이수관리 운영 체제

- 저수지에서 발판개 실적은 미약하지만 향후 일정 부분은 담당해야 하며, 토양수분 부족분을 보충하는 발작물별 필요용수량을 산정하는 것을 기초로 해야 한다.
- 발작물은 생육시기별로 근역, 작물계수가 변화하며 <그림 2-31>, 이를 반영하여 생육에 적합한 토양수분을 유지하기 위해 공급하는 수량이 필요용수량이 되며, 저수량 여유가 있는 저수지는 이를 계획해야 한다.

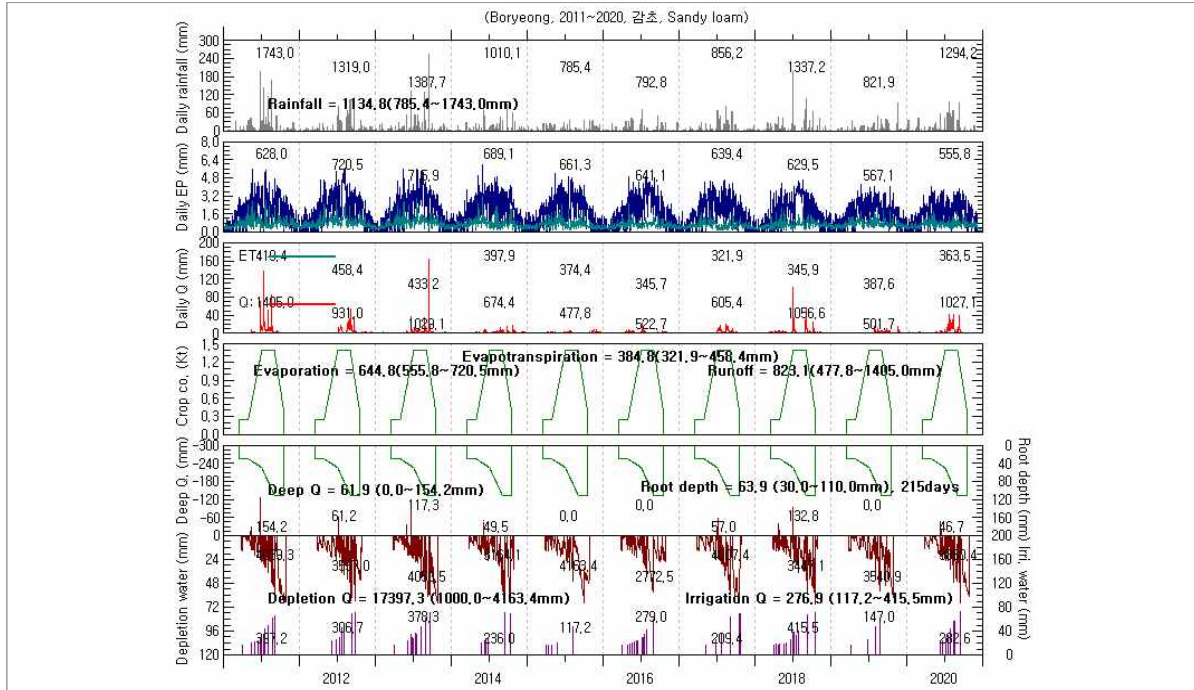


<그림 2-30> 토양물수지 모형 모식도 (Steduto 등, 2012)



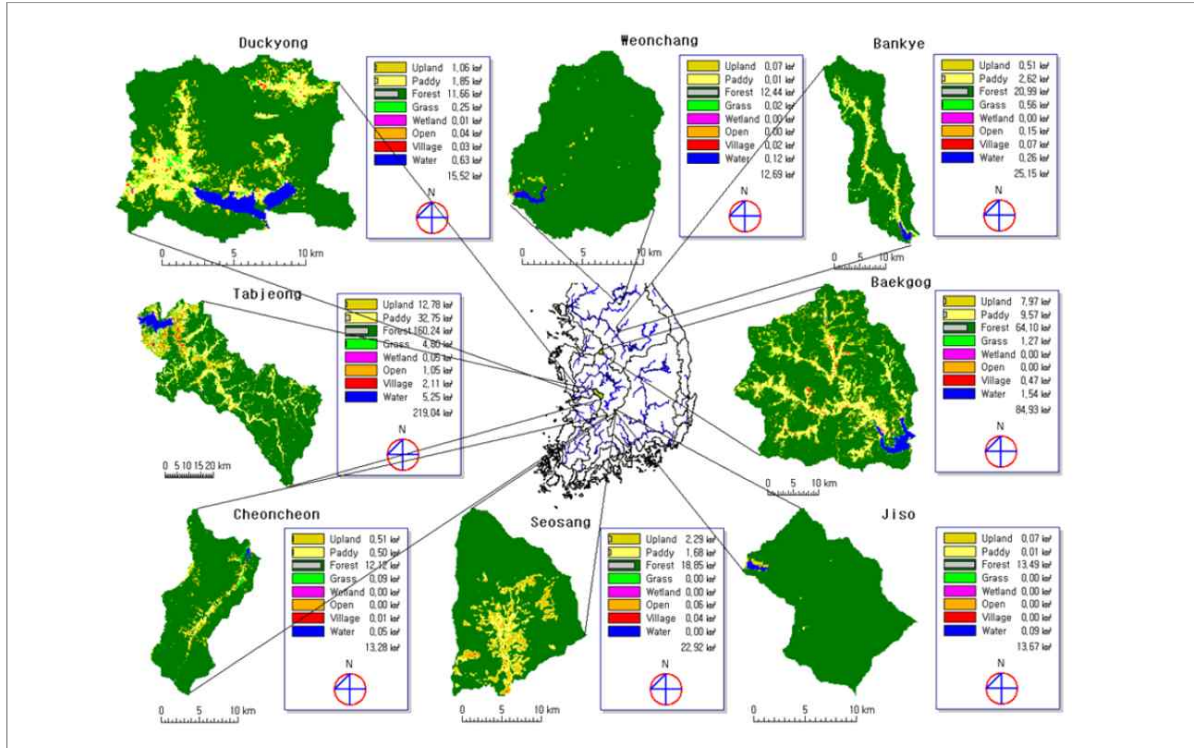
<그림 2-31> 생육시기별 작물계수와 근역 (Steduto 등, 2012)

- <그림 2-32>는 토양수분 고갈 물수지 모형을 구축하여, 감초 재배에 필요한 관개수량을 모의한 예며, 농업용수 계획, 관리에 참고가 된다.
- 시설재배의 필요용수량도 저수지에서 공급해야 한다면, 이와 같은 토양수분모형을 이용해 산정할 수 있으며, 과학적 농업용수량 모니터링에 참고할 수 있다.

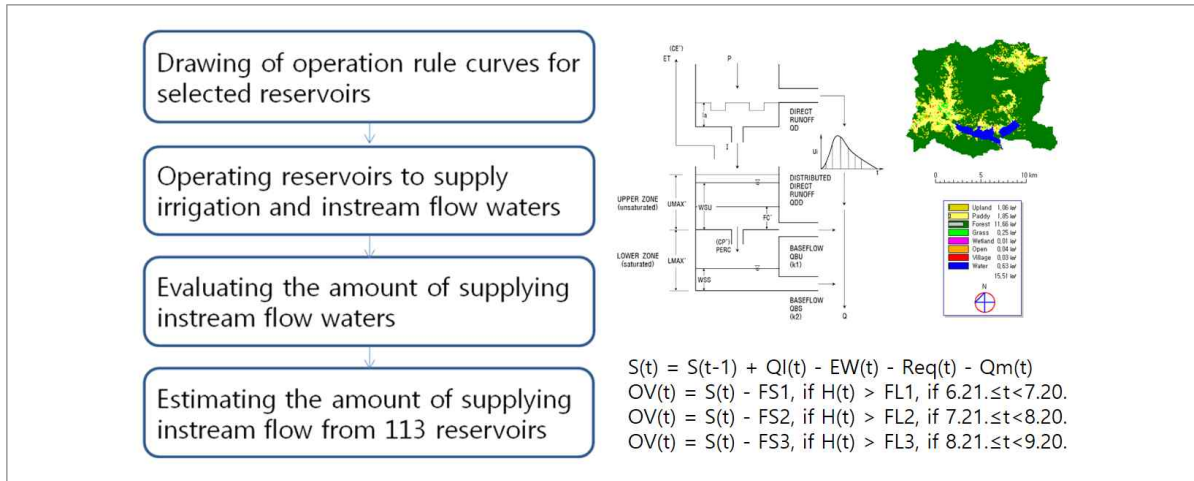


<그림 2-32> 토양물수지 모형에 의한 감초재배 필요용수량 모의 예

- 통합물관리에서 저수지로부터 하천유지용수 공급의 요구가 높은 것이 현실이고, 용수의 여유가 있는 곳은 건전한 물순환을 위해, 아껴 쓰고 나눠 쓰는 것은 물관리의 기본이 되어야 한다.
- 농업용 저수지 계획은 10년 빈도 가뭄에 겪을 정도로 이뤄지기 때문에, 용수의 여유는 거의 없는 실정이다.
- <그림 2-33>은 113개 득높이기 저수지의 하천유지용수 공급가능량을 분석하기 위해 유역배율별로 8개 소 저수지를 선정한 것이고, <그림 2-34>의 저수지 유입량, 관개용수 수요량, 하천유지용량 등을 고려해 이수관리곡선을 작성하여, 저수지 모의 운영에 적용한 결과로부터 하천유지용수 공급가능량을 도출하는 연구방법을 설명한 것이다.
- <그림 2-35>는 유역배율, 저수량 적용으로 연 하천유지용수 공급량을 산출하는 공식의 연구결과로, 113개 소 득높이기의 하천유지용수 공급량은 정상운영할 때는 1억5천만m<sup>3</sup>, 용수공급 제한운영시는 2억8천만m<sup>3</sup>인 것으로 분석됐다.
- 실제 저수지별로 하천유지용수 공급량은 다양하게 나타날 수 있으며, 전혀 공급할 수 없는 저수지도 있을 수 있으며, 이에 대한 면밀한 조사, 평가 필요하고, 시기별 운영방법은 저수지별로 다양하게 설정할 수 있다.

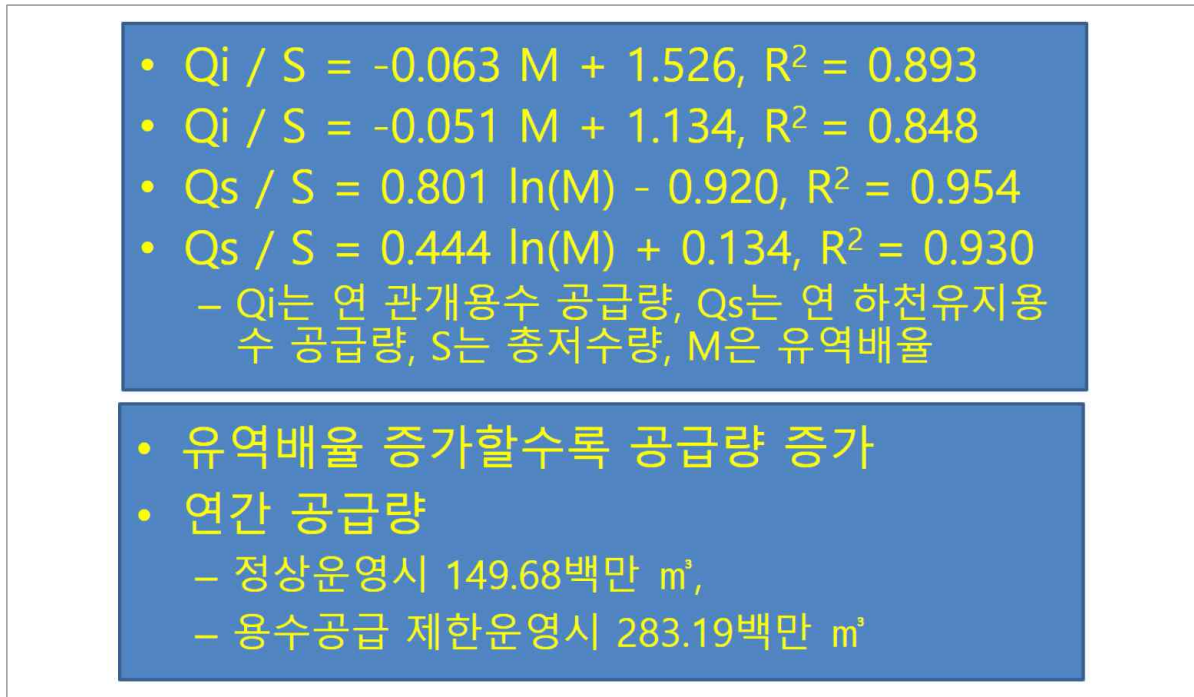


<그림 2-33> 농업용 저수지 하천유지용수 공급가능량 분석 대상저수지



<그림 2-34> 농업용 저수지 하천유지용수 공급가능량 분석 방법





<그림 2-35> 독높이기 저수지의 하천유지용수 공급가능향 분석결과

### 3. 저수지 운영자료 생산기술 발전

- 저수량 자료만으로 유입량과 방류량 등 저수지 운영자료를 생산하는 것은 불가능한 일이다. 2020년 8월7일~8일 호우는 자료의 중요성을 재인식하게 했다. 연구자가 개발한 ONE 모형에 의해 다목적 댐의 홍수 유입량을 모의한 결과가 실제 댐 운영에 적용하고 있는 COSFIM의 결과보다도 우수한 것을 확인했고, 연속 모의의 가능성을 확인했기 때문이다. 이 결과는 농업용 저수지의 유입량을 모의에 의해 고정시키고, 저수지 물수지에 의해 방류량을 계산하여 저수지 운영자료를 생산하는 가능성을 확신하게 했다.
- 저수지의 용수공급망은 아주 복잡하다. 저수지마다 다르다. 수로가 2개 이상 분기되는 저수지도 많다. 수로유량을 열심히 측정하고, 이를 이용하여 저수지 물수지 분석을 해도 유입량, 방류량을 계산할 수 없다. 더구나 취수문, 여수로 수문의 조작실적은 기록으로 남아있지 않다. 이러한 현장의 수문관리 현황을 모두 참작하고, 유입량과 방류량 자료를 생산하는 수많은 연구를 수행했으며, 그 결과를 실무에 적용할 수준이라 평가하기에 이르렀다.
- 이와 관련하여 3년 동안 총 16편의 학술논문을 발표한 내용을 정리하여 저수지 운영자료 생산방법을 제시하는 것으로 했다.

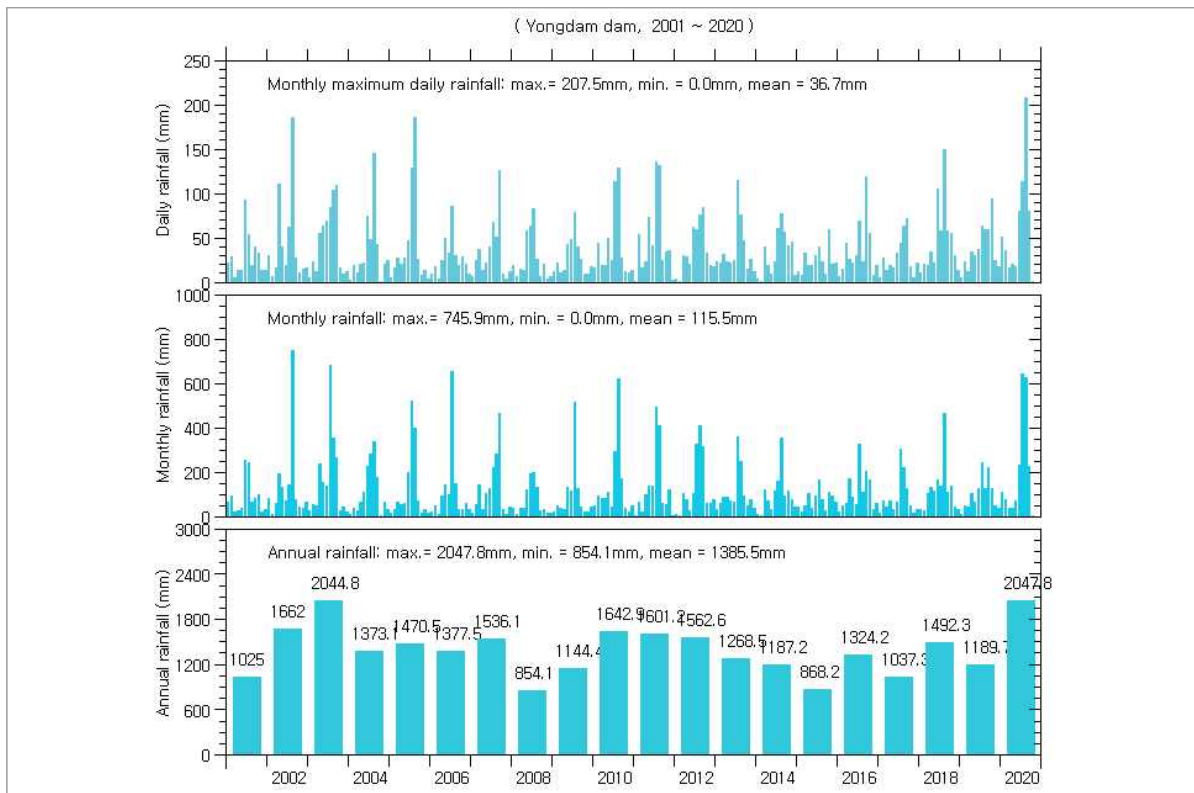
&lt;표 2-4&gt; 저수지 운영자료 생산 관련 연구자의 학술발표 목록

일련번호	제목	발표연도	학술발표회
1	2020 용담댐 홍수 유입량 분석	2020	한국농공학회
2	우리 농업용 저수지 유입량을 생각하다	“	“
3	ONE 모형에 의한 2020.8.7.~8.8. 호우의 댐 유입량 모의		한국수자원학회
4	ONE 모형에 의한 연속 홍수모의의 가능성	“	“
5	방류량 자료 없는 저수지 물수지 분석 방안	“	한국농공학회
6	준 실시간 저수지 운영자료 생산을 위한 물수지 모형	2022	한국수자원학회
7	준 실시간 저수지 운영자료 시범생산	“	대한토목학회
8	여수로 방류량 자료 없는 경우의 준 실시간 저수지 운영자료 생산	“	한국농공학회
9	수문관측에서 저수량 자료 활용하다	2023	한국수자원학회
10	주기별 평가에 의한 저수지 수문자료 신뢰도 개선	“	“
11	태풍 힌남노에 따른 왕신저수지의 10분 단위 홍수운영자료 생산 및 평가	“	“
12	홍수기 저수지 방류량 계산 방법	“	한국농공학회
13	국가홍수통제 저수지의 운영자료 생산	“	“
14	저수지 운영자료 복원해야 하나?	“	“
15	저수량 자료만을 이용한 준실시간 저수지 운영자료 생산	“	대한토목학회
16	다목적 댐 운영자료도 개선할 수 있다	203	물은 인성이다

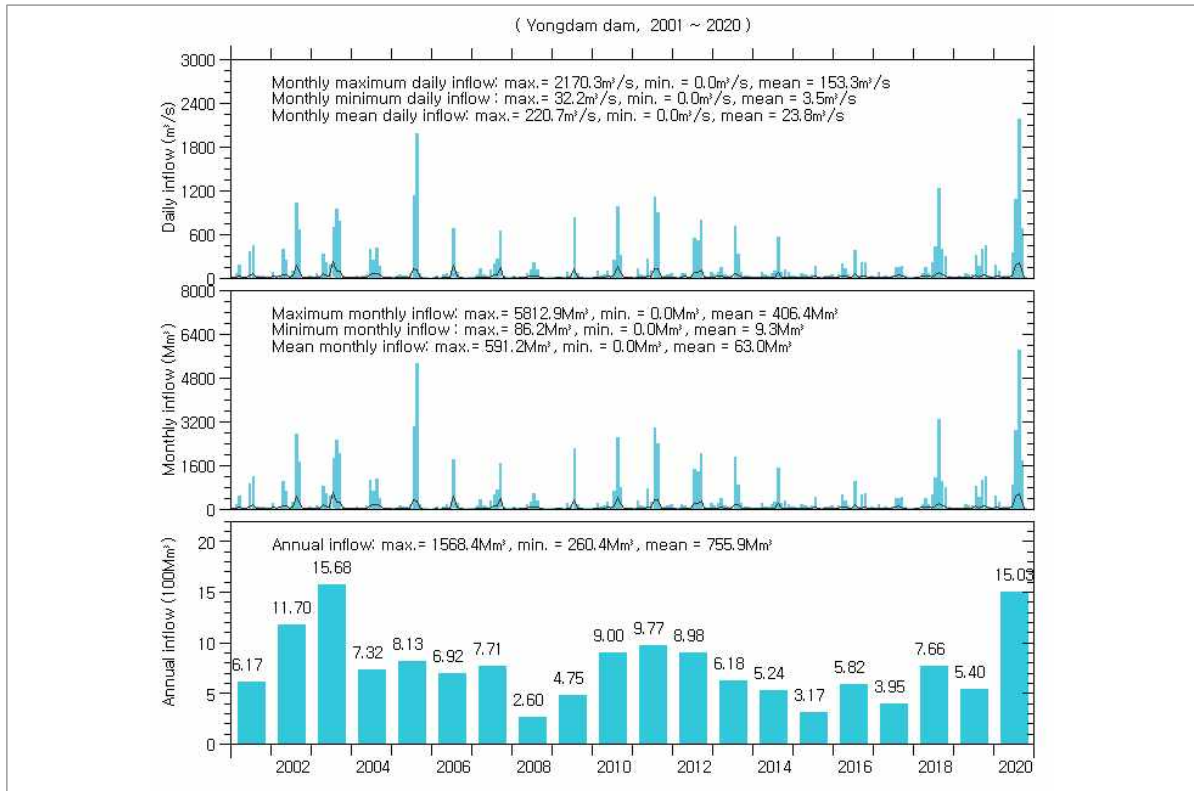
## (1) 2020 용담댐 홍수 유입량 분석

- 2020년은 유난히 장마가 길었다. 무려 54일의 기록을 경신하였고, 여러 가지 문제를 일으켰다. 기후변화로 앞으로 이 개연성은 충분하다. 이 중 2020년 8월 7일~8일 폭우로 인한 용담댐 유입량은 2001년부터 댐을 운영한 이래 최대 방류량을 야기하였고, 하류 지역에 많은 침수 피해를 가져왔다. 그 홍수 규모를 10분, 1시간, 일, 월, 년 단위로 비교, 분석하는 것은 의미가 크다. K-water 공공데이터개방포털의 자료를 분석한 결과를 큰 그림 순서의 년, 월, 일, 시간, 10분 단위로 강우량, 유입량, 방류량을 3위까지 살펴보면 다음과 같다. 분석기간은 2001년부터 2020년 까지며, 10분 단위는 2006년부터다.
- 첫째, 연 단위로 강우량은 1위 2020년 2,045.3mm(9월까지), 2위 2003년 2,044.8mm, 3위 2002년 1,662.0mm를 기록하였다. 유입량은 1위 2003년 15억6,843만 $m^3$ , 2위 2020년 14억9,738만 $m^3$ , 3위 2011년 11억7,046만 $m^3$ 였고, 방류량은 1위 2020년의 15억9,696만 $m^3$ , 2위 2003년 15억9,028만 $m^3$ , 3위 2011년 9억 4,264만 $m^3$ 였다.
- 둘째, 월 단위로 강우량은 1위 2002년 8월의 745.9mm, 2위 2003년 7월의 681.7mm, 3위 2006년 7월의 655.4mm였고, 유입량은 1위 2003년 7월의 5억9,118만 $m^3$ , 2위 2020년 8월의 5억5,403만 $m^3$ , 3위 2006년 7월의 4억8,005만 $m^3$ 였고, 방류량은 1위 2020년 8월의 7억5,522만 $m^3$ , 2위 2003년 7월 5억9,554만 $m^3$ , 3위 2020년 7월의 3억4,758만 $m^3$ 였다.
- 셋째, 일 단위로 강우량은 1위 2020년 8월 8일의 207.5mm, 2위 2005년 8월 3일 186.0mm, 3위 2018년 8월 26일 149.5mm, 유입량은 1위 2020년 8월 8일의 2,170.3 $m^3/s$ , 2위 2005년 8월 3일의 1,979.7 $m^3/s$ , 3위 2018년 8월 26일의 1,222.5 $m^3/s$ , 방류량은 1위 2020년 8월 8일의 2,055.3 $m^3/s$ , 2위 2005년 8월 3일의 705.5 $m^3/s$ , 3위 2011년 8월 11일의 511.9 $m^3/s$ 였다.
- 넷째, 시간 단위로 강우량은 1위 2009년 7월 15일 40.0mm, 2위 2005년 8월 2일 37.2mm, 3위 2010년 8월

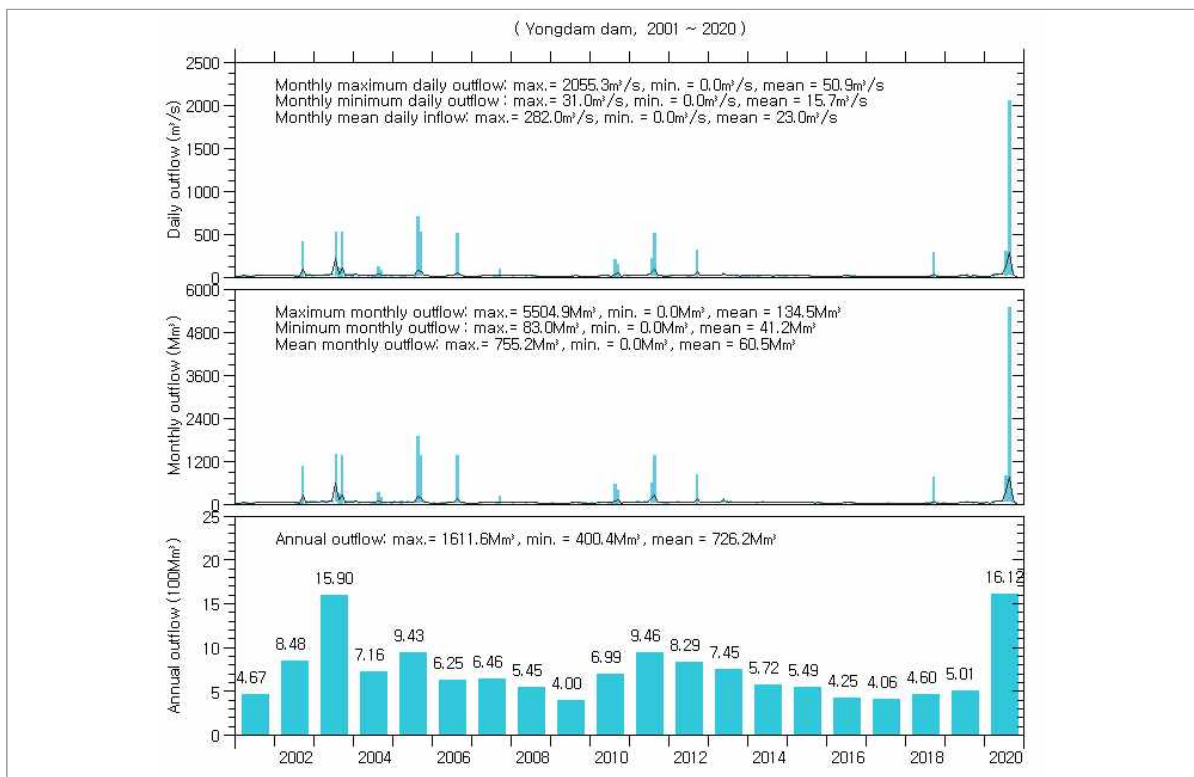
- 13일 35.1mm, 유입량은 1위 2005년 8월 3일 5,519.2m<sup>3</sup>/s, 2위 2020년 8월 7일 4,394.9m<sup>3</sup>/s, 3위 2010년 8월 13일 2,575.2m<sup>3</sup>/s, 방류량은 1위 2020년 8월 8일 2,919.5m<sup>3</sup>/s, 2위 2005년 8월 6일 719.2m<sup>3</sup>/s, 3위 2003년 7월 14일 603.3m<sup>3</sup>/s였다.
- 다섯째, 10분 단위로 강우량은 1위 2008년 5월 18일 15.5mm, 2위 2019년 7월 25일 12.9mm, 3위 2009년 7월 15일 10.3mm, 유입량은 1위 2020년 8월 7일 4,872.7m<sup>3</sup>/s, 2위 2010년 8월 13일 3097.7m<sup>3</sup>/s, 3위 2009년 7월 15일 2,601.7m<sup>3</sup>/s, 방류량은 1위 2020년 8월 8일 2,922.3m<sup>3</sup>/s, 2위 2006년 8월 2일 542.2m<sup>3</sup>/s, 3위 2011년 8월 10일 533.4m<sup>3</sup>/s였다.
  - 종합하면 2020년 8월 7일부터 8월 9일까지 용담댐의 강우량은 389.2mm, 유입량은 3억4,616만m<sup>3</sup>, 방류량은 3억7,360만m<sup>3</sup>을 기록하였으며, 이 기록은 2001년부터 2020년까지 연단위로 강우 1위, 유입 2위 방류 1위, 월 단위로 유입 2위, 방류 1위, 일 단위로 강우 1위, 유입 1위, 방류 1위, 시간 단위로 유입 2위, 방류 1위, 10분 단위로 유입 1위, 방류 1위에 상당하였다. 향후 이와 같은 또는 이 이상의 폭우를 예상할 수 있다. 댐 계획과 운영에 이를 충분히 반영하여 재난에 대비해야 할 것이다.



<그림 2-36> 용담댐 일, 월, 연 강우량 (2001~2020)

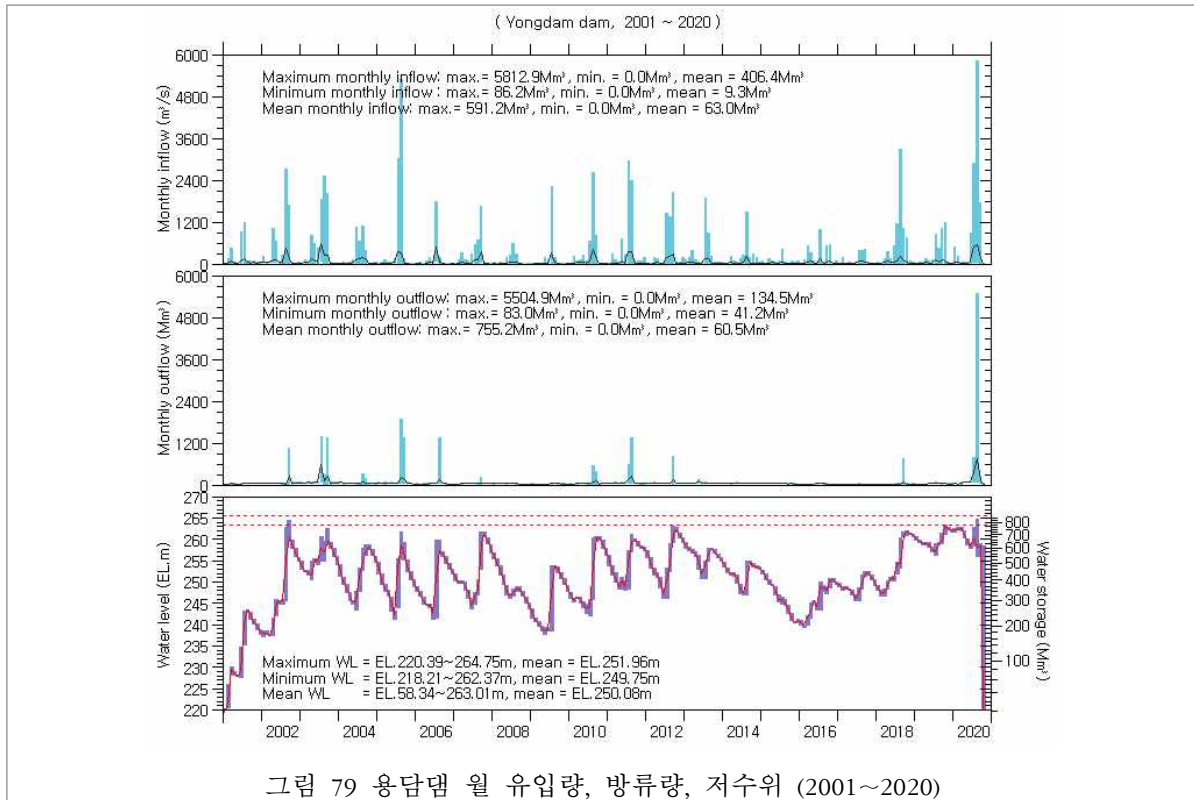


<그림 2-37> 용담댐 일, 월, 연 유입량 (2001~2020)



<그림 2-38> 용담댐 일, 월, 연 방류량 (2001~2020)



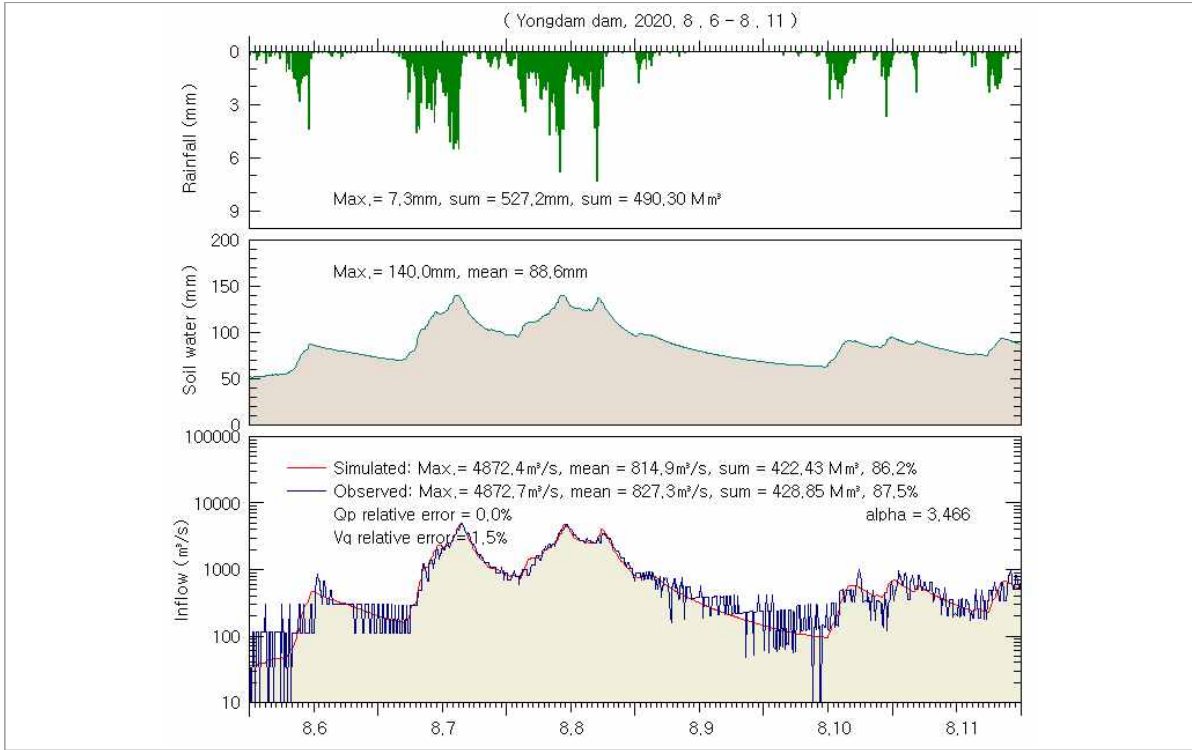


<그림 2-39> 용담댐 월 유입량, 방류량, 저수위 (2001~2020)

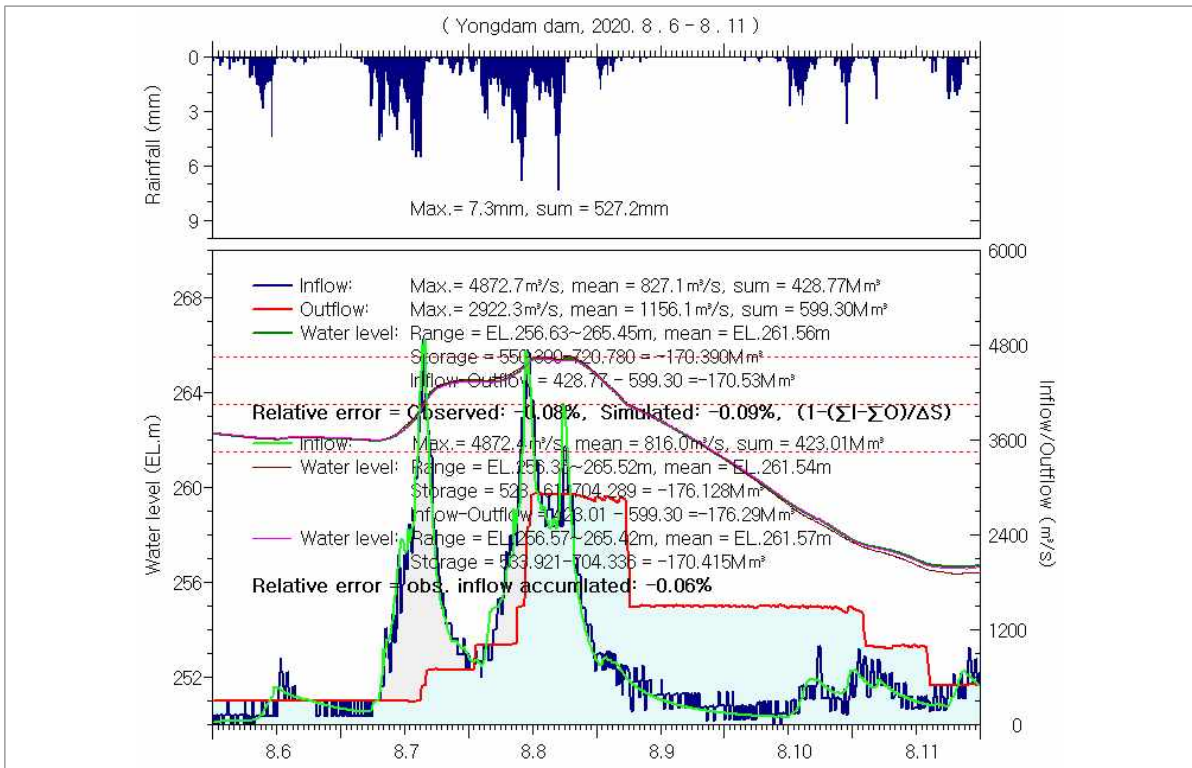
(2) 우리 농업용 저수지 유입량을 생각하다

- 저수지로 물이 들어오는데 언제 얼마만큼 들어오는지 아무도 모른다. 그러면서 저수지 운영을 하고 있다. 이는 오랜 기간 현장에 적합한 물 관리자 경험으로 가능하리라 여긴다. 저수지 유입량 산정은 측정으로는 불가능하다. 따라서 세계 어디서도 저수지 유입량은 저수량 변화에 방류량을 더한 값으로 하고 있다. 그런데 현재 우리 농업용 저수지의 관리수준으로는 저수지 유입량의 산정은 불가능하다. 취수문 방류량과 여수로 월류량을 관리하지 않기 때문이다. 설계에서도 운영에서도 유입량 자료는 필수다. 가뭄과 홍수가 일상으로 재현되는 시대서 이는 절실하다. 현재 판단으로 취수문 방류량과 여수로 월류량의 관리 정상화는 그동안의 관행을 관찰하면 마냥 기다릴 수가 없다. 그렇다면 차선의 방법을 찾아야 하는데 이는 모의 방법이다. 바로 다목적댐 운영자료를 이용하여 조율한 유입량 모의 방법을 그대로 농업용 저수지로 전이시키는 방법이다. 이와같은 모의 방법을 농업용 저수지에 적합시키는 데도 한계가 있다. 유역 내에 우량 계측이 이뤄지지 않기 때문이다. 이 상태로 실전은 말할 것 없고 연습도 훈련도 할 수 없다. 여기서 다목적댐인 용담댐의 운영 자료를 분석하여, 농업용 저수지 유입량의 관측 필요성을 생각하였다. 관측은 예의주시를 말한다. 다목적댐의 운영 자료는 시간 단위는 10분, 60분, 1일 간격으로 공개방데이터 포털에 실시간으로 올라온다. 농업용 저수지도 10분 간격으로 저수지 및 수로수위를 계측하고 있지만, 1일 저수율 자료만 공개하고 있다. 지금은 이마저도 접근할 수 없다. 2001년부터 2020년까지 10분, 60분, 1일 용담댐 운영자료를 분석한 결과는 다음과 같다.

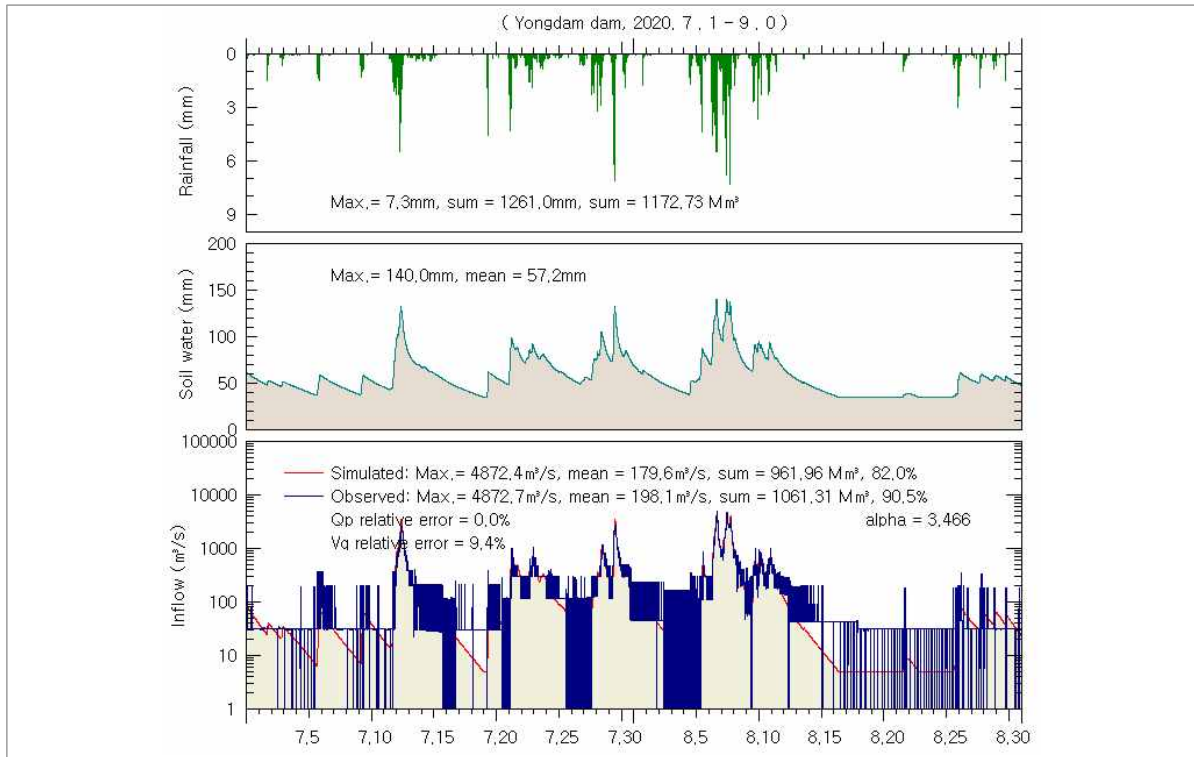
- 첫째, 10분 자료 유입량은 정상시는 산정된 유입량의 진폭이 심하게 나타나고 있어, 특히 음으로 산정되는 부분은 0으로 처리되고 있어, 전체 물수지에 영향을 미치는 것으로 판단하였다. 그러나 홍수 사상의 자료는 진폭이 크게 나타나지 않기 때문에 사용할 수 있는 수준으로 평가하였다. 2020년 8월 7일 4872.8 m<sup>3</sup>/s의 침투유입량의 홍수 사상은 신뢰도 높은 유입량 자료로 평가되었다. 비록 2922.3 m<sup>3</sup>/s의 과다방류량으로 하류 침수피해는 피하지 못했지만, 이를 바탕으로 댐 월류의 대 참사는 피할 수 있었던 것으로 평가한다.
- 둘째, 60분 자료 유입량도 10분 자료와 마찬가지로 정상시 유입량의 진폭이 심했다. 그렇지만 홍수 사상 자료의 활용도는 높다고 평가하였다. 실제로 10분, 60분 유입량 자료를 이용하여, 수없이 많은 다양한 홍수 모의 결과를 기반으로 댐 운영에 활용하고 있다. 여기서 용담댐의 우량관측망은 K-water 자체관측소 8개소를 포함하여, 27개소 관측망을 유기적으로 연계한 홍수 유입량 모의 분석 체계를 갖추고 있다.
- 셋째, 1일 자료는 산정된 유입량이 진폭이 가장 적게 나타나고 있다. 따라서 1일 유입량 자료를 가장 높게 신뢰하고 있다. 그러나 10분, 60분 유입량도 마찬가지지만, 1일 유입량 산정에서 수면증발량이 빠져 있다는 것을 알아야 한다. 2001년부터 2020년까지 용담댐의 일 유입량 자료를 1년 단위로 누가시켜 누가 방류량과의 차이를 잔류저류량과 비교하면,  $\Delta S - (\Sigma I - \Sigma O)$  값이 -255~228만 m<sup>3</sup>, 평균 42만 m<sup>3</sup>을 나타내었고, 신뢰도 평가에서  $1 - (\Sigma I - \Sigma O) / \Delta S$ 의 값이 -9.31~12.6%, 평균 0.37%를 나타내었다.
- 다목적 댐의 유입량 산정 방법 개선 여지는 충분하다. 우선 눈으로 보기에, 산정된 유입량 진폭이 너무 심하다. 진 값은 눈으로 보이지도 않는다. 정확한 수위, 방류량 계측은 기본이다. 수면적이 넓어 그 진폭 피할 수 없다. 다양한 보간, 필터링 기법, 주기별 점검, 보정 필요하다. 그러나 더욱 필요한 것은 관측이다. 우리 농업용 저수지 마찬가지다. 우선 우량 관측소 필요한 곳 선정하고, 방류량 관측 실시로, 다목적 댐 유입량 산정방법 도입한 홍수모의의 기반구축이 무엇보다 절실하게 요구되는 4차 산업혁명의 시대다.



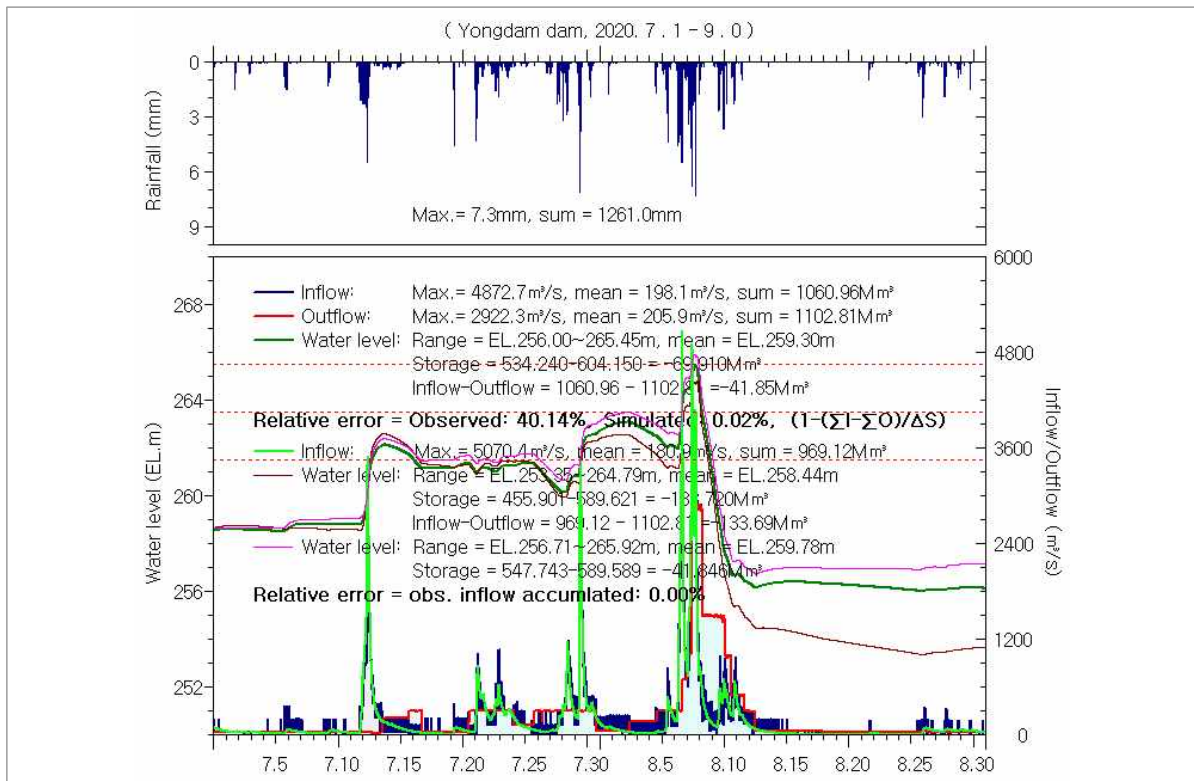
<그림 2-40> 용담댐 10분 단위 유입량 모의 예 (2020.8.6.-8.11.)



<그림 2-41> 용담댐 10분 단위 유입량 모의 검정 예 (2020.8.6.-8.11.)

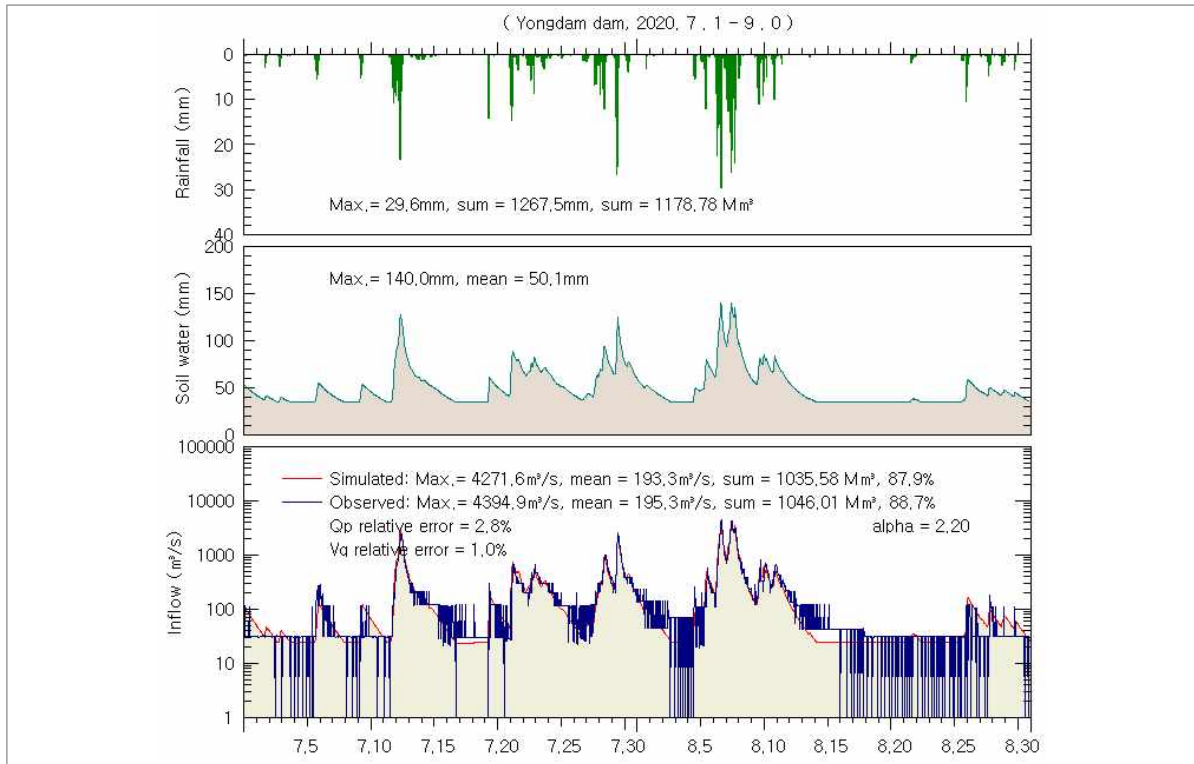


<그림 2-42> 용담댐 10분 단위 유입량 모의 예 (2020.7.1.-8.31.)

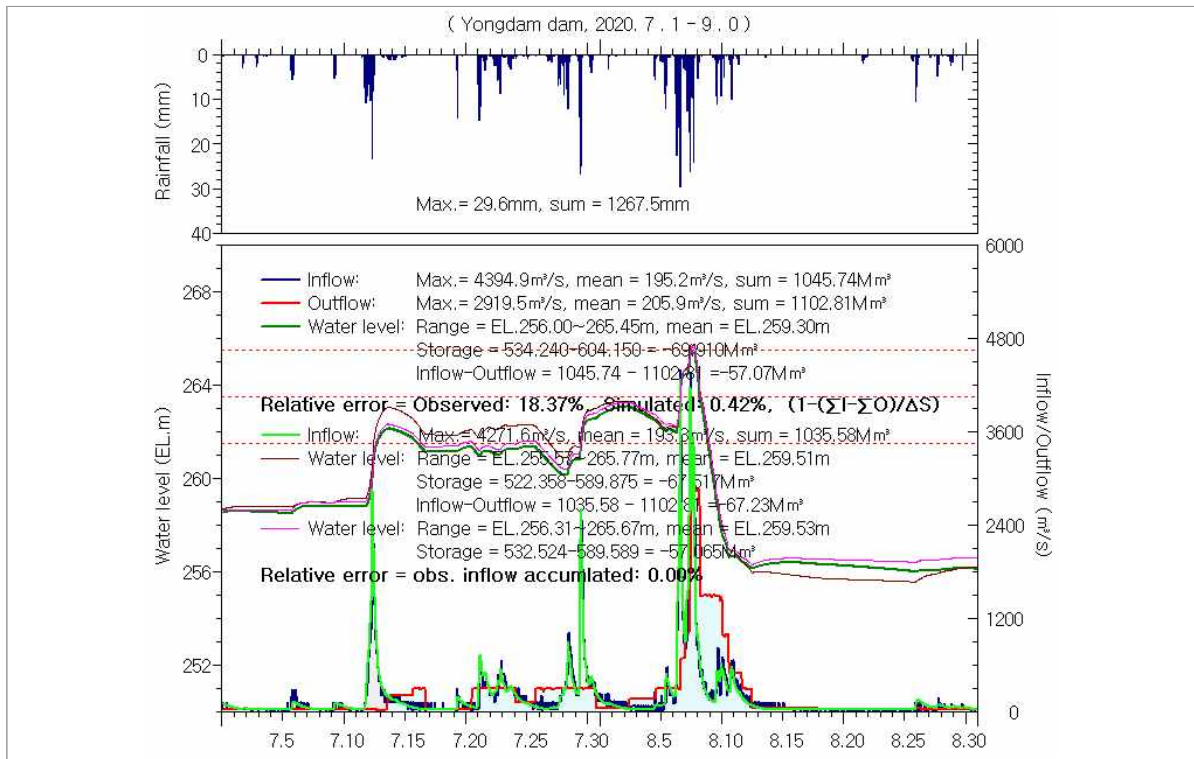


<그림 2-43> 용담댐 10분 단위 유입량 모의 검정 예 (2020.7.1.-8.31.)

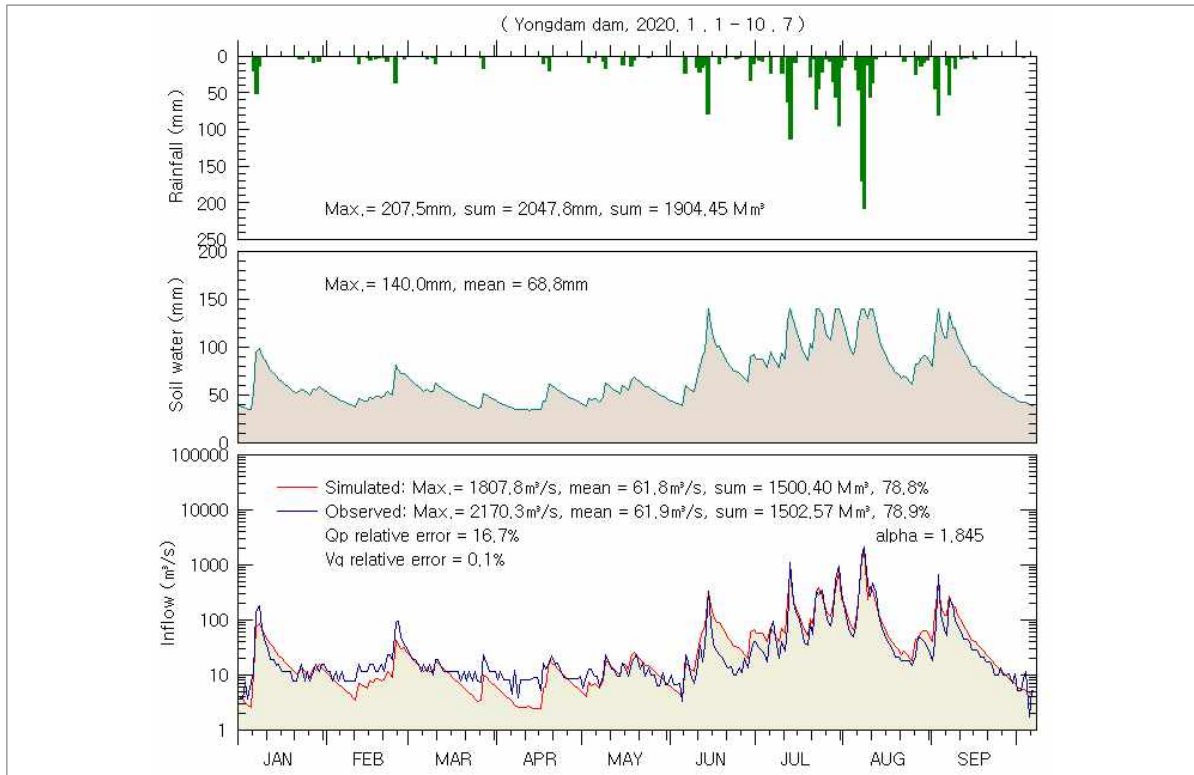




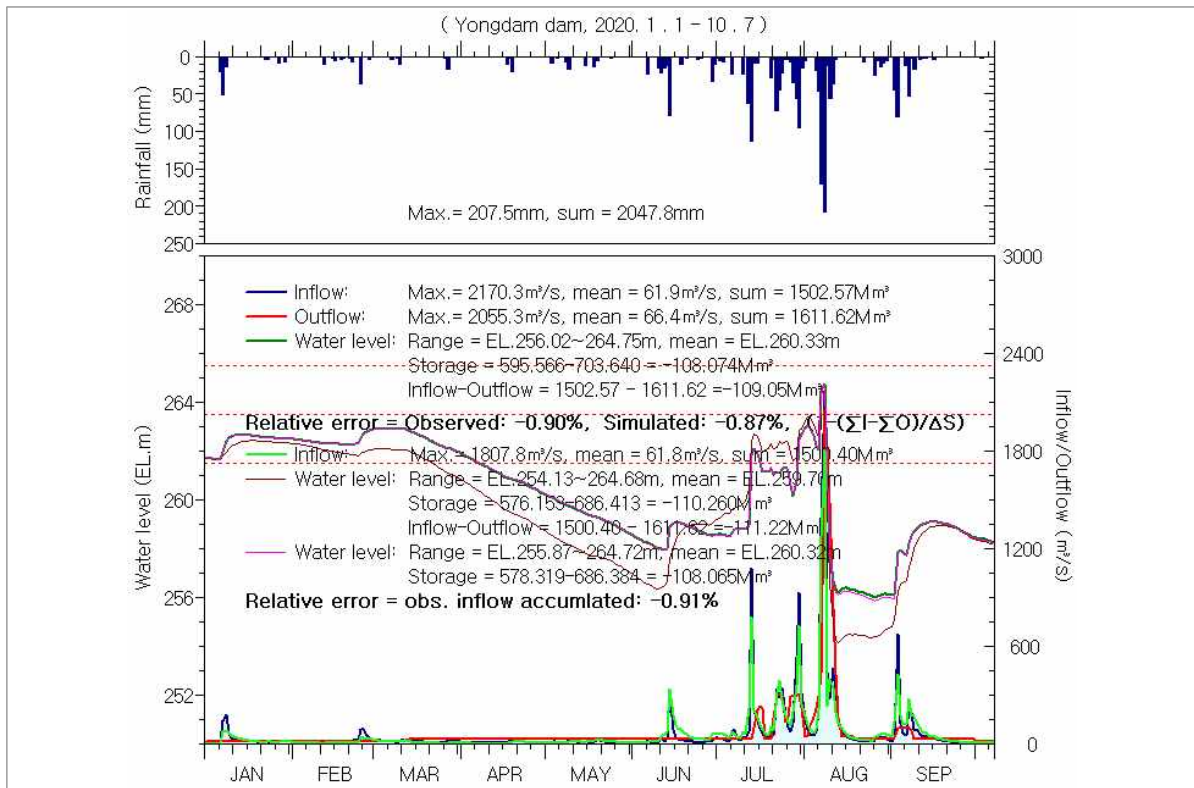
<그림 2-44> 용담댐 60분 단위 유입량 모의 예 (2020.7.1.-8.31.)



<그림 2-45> 용담댐 60분 단위 유입량 모의 검정 예 (2020.7.1.-8.31.)



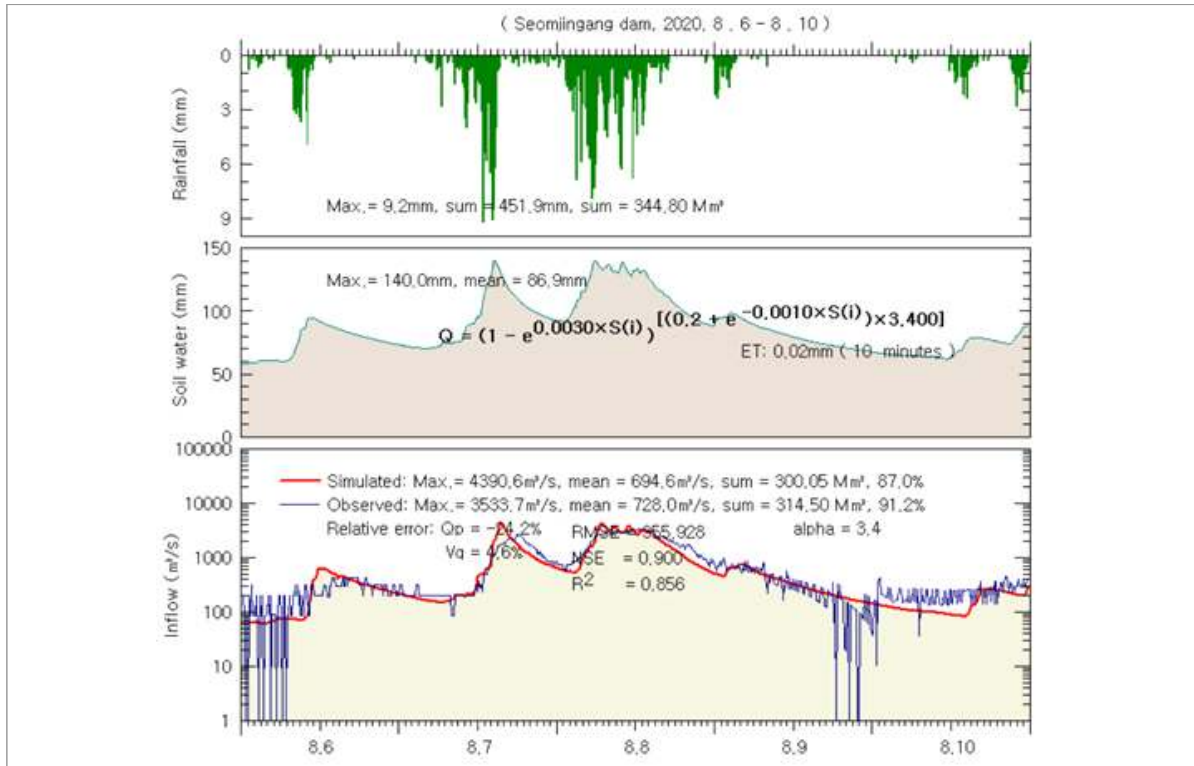
<그림 2-46> 용담댐 일 단위 유입량 모의 예 (2020.1.1.-10.7.)



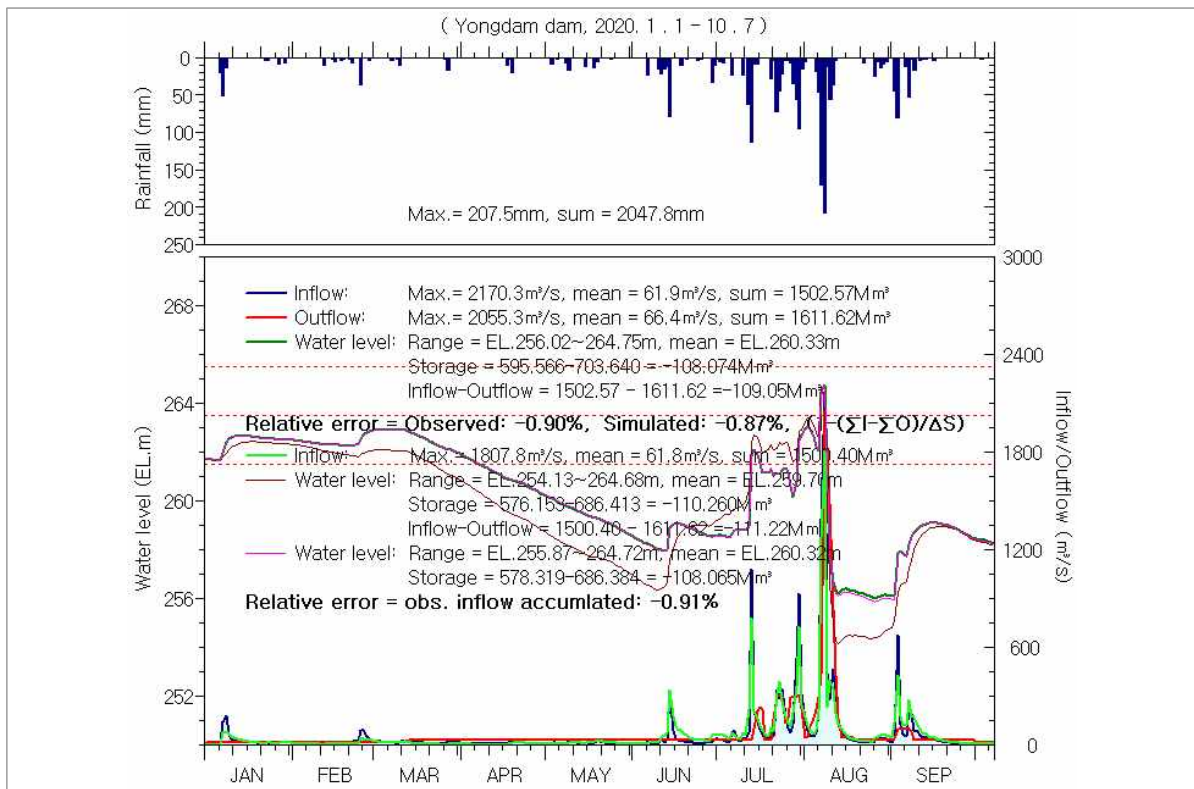
<그림 2-47> 용담댐 일 단위 유입량 모의 검정 예 (2020.1.1.-10.7.)

(3) ONE 모형에 의한 2020.8.7.~8.8. 호우의 댐 유입량 모의

- 2020년 8월 7일부터 8월 8일까지 호우는 용담댐, 섬진강댐, 합천댐 하류 유역의 막대한 침수피해를 일으켰다. 이들 다목적 댐 유입량의 신뢰도 높은 모의는 홍수기 댐 운영 및 하류하천의 홍수해석에 필수다. 여기서는 일 유출 모의 기반으로 개발된 ONE 모형을 10분 단위, 1시간 단위로 적용한 결과를 제시하고자 한다. 보통 홍수모의는 사상별로 실시하지만, 여기서는 1월1일부터 12월 31일까지 연속으로 모의한 결과에서 해당 홍수사상 결과를 제시하였다. 3개 다목적 댐의 홍수사상은 8월6일부터 8월 10일까지 5일간으로 설정하였다. 유역면적은 용담댐, 섬진강댐, 합천댐, 각각 930km<sup>2</sup>, 763km<sup>2</sup>, 925km<sup>2</sup>, 총강우량은 각각 490.7mm, 451.9mm, 452.4mm, 첨두유입량은 10분 단위는 각각 4,872.7m<sup>3</sup>/s, 3,533.7.0m<sup>3</sup>/s, 2,776.0m<sup>3</sup>/s, 1시간 단위는 각각 4,394.9m<sup>3</sup>/s, 3,401.8m<sup>3</sup>/s, 2,745.6m<sup>3</sup>/s, 총유입량은 각각 3억8,836만m<sup>3</sup>, 3억1,324만m<sup>3</sup>, 3억2,816만m<sup>3</sup>였다. 첨두유입량 상대오차가 0일 때의 매개변수로 모의한 결과를 제시하며, 총유입량 상대오차(Vq), R2, RMSE, NSE 등으로 평가하였다.
- 용담댐 결과는 10분 단위 경우 최대면적강우량 7.3mm, 첨두유입량 4,872.4m<sup>3</sup>/s, 총유입량 3억8,138만m<sup>3</sup>, Vq 1.9%, R2 0.968, RMSE 207.347, NSE 0.978였고, 1시간의 경우 최대면적강우량 29.6mm, 첨두유입량 4394.9m<sup>3</sup>/s, 총유입량 4억157만m<sup>3</sup>, Vq 8.4%, R2 0.970, RMSE 186.962, NSE 0.982였다. 섬진강댐 결과는 10분 단위 경우 최대면적강우량 9.2mm, 첨두유입량 3,533.3m<sup>3</sup>/s, 총유입량 2억7,223만m<sup>3</sup>, Vq 18.4%, R2 0.885, RMSE 808.296, NSE 0.925였고, 1시간의 경우 최대면적강우량 37.9mm, 첨두유입량 3401.6m<sup>3</sup>/s, 총유입량 2억7,029만m<sup>3</sup>, Vq 13.7%, R2 0.907, RMSE 285.544, NSE 0.936였다. 합천댐 결과는 10분 단위 경우 최대면적강우량 5.5mm, 첨두유입량 2,776.2m<sup>3</sup>/s, 총유입량 3억3,667만m<sup>3</sup>, Vq 2.7%, R2 0.941, RMSE 191.896, NSE 0.965였고, 1시간의 경우 최대면적강우량 17.0mm, 첨두유입량 2,746.7m<sup>3</sup>/s, 총유입량 3억1,333만m<sup>3</sup>, Vq 4.5%, R2 0.965, RMSE 140.739, NSE 0.981였다. 이상 ONE 모형으로 10분, 1시간 단위의 댐 홍수 유입량 모의결과는 높은 신뢰도를 나타냈다.

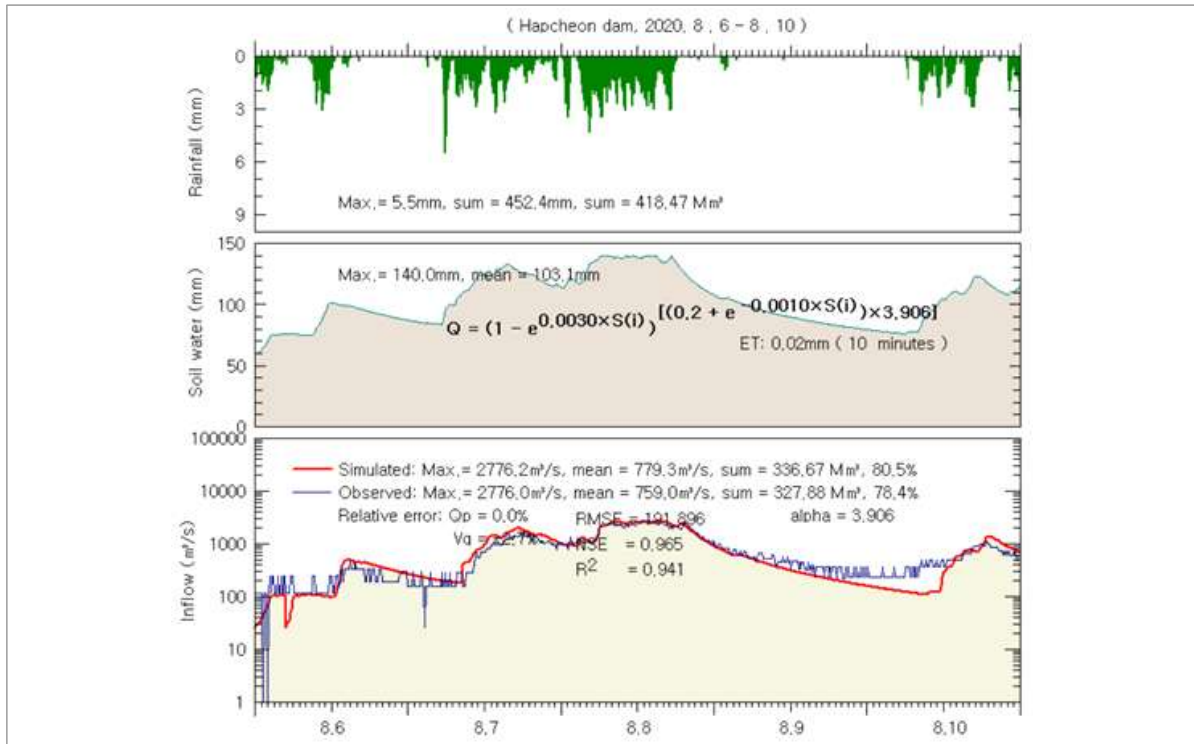


<그림 2-48> 섬진강 댐 10분 단위 유입량 모의 예 (2020.8.6.~8.10.)

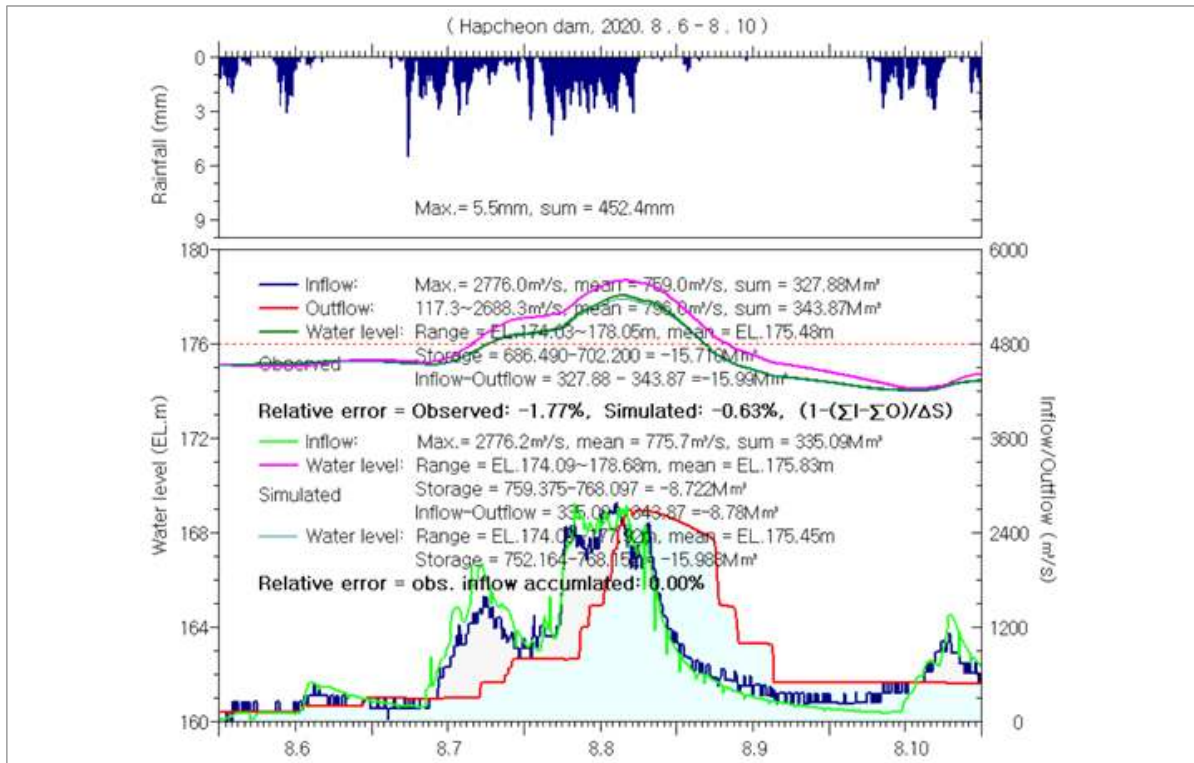


<그림 2-49> 섬진강 댐 10분 단위 유입량 모의 검정 예 (2020.8.6.~8.10.)





<그림 2-50> 합천댐 10분 단위 유입량 모의 예 (2020.8.6~8.10.)



<그림 2-51> 합천댐 10분 단위 유입량 모의 검증 예 (2020.8.6~8.10.)

#### (4) ONE 모형에 의한 연속 홍수모의의 가능성

- 홍수는 단기간의 사상이다. 평상시 유량은 일단위로 연속유량이라 한다. 홍수해석은 사상 모형을 이용하고, 물 이용의 용수계획에서는 연속 모형에 의한다. 평상시 유량을 홍수처럼 10분, 30분, 60분 단위로 해석할 수 있으면 여러 가지로 편리하다. 홍수기에는 홍수와 이수를 동시에 분석할 수 있는 이점이 있다. 평상시에는 수문자료가 생성되는 기본단위가 10분, 60분이기 때문에 이와 일치하여 유량을 해석할 수 있는 이점이 있다. 특히 저수지에서는 운영자료가 저수율 자료만 관리되고 있는 현실을 감안하면, 연속 홍수모의의 필요성은 매우 높다. 다목적댐도 그 편의성은 말로 형용할 수 없는 수준이다. 홍수모의는 침투유량도 중요하고, 전체 누적유량도 중요하다. 여기서는 당초 일 단위로 개발된 ONE 모형으로 연속 홍수모의의 가능성을 타진했다. 모형의 검증은 홍수 사상 마다 훨씬 긴 장기간의 댐의 유입량, 저수량 오차로 실시했다. 유입량이 누적되면 저수량이 되기 때문에 저수량을 비교하면 확실한 검증 방법이 된다. 유역면적 930.0km<sup>2</sup>, 총저수량 8억1,500만m<sup>3</sup>인 용담댐과 유역면적 218.80km<sup>2</sup>, 유효저수량 3,498만m<sup>3</sup>인 탑정지를 대상으로 60단위의 장기간 연속 홍수모의 결과를 제시한다.
- 첫째, 용담댐에 대해 2020년 3월1일부터 6월30일까지 연속유입량을 모의한 결과(ONE모형 매개변수  $\alpha = 3.18$ ), 면적우량은 최대 12.5mm, 총 371.2mm(3억4,522만m<sup>3</sup>)였고, 유입량은 최대 1,363.0m<sup>3</sup>/s, 총 1억 8,326만m<sup>3</sup>로 유출률 53.1%였다, 관측 유입량은 최대 766.1m<sup>3</sup>/s, 총 2억9,152만m<sup>3</sup>로 유출률 84.4%로 나타났다. 관측 유입량이 높은 것으로 평가했는데 그 이유는 산정된 유입량이 넓은 수면적에서 오는 음유입량이 발생하는데 이를 0으로 처리하고, 음의 누적 값이 전체유량에 더해지는 계산의 한계에서 비롯한다. 이는 현실적 제한이며, 개선이 필요하다. 댐 수위로 검증한 결과는 관측수위는 EL.257.97 ~ 262.92m, 평균 EL.260.40m, 모의수위는 EL.257.22 ~ 262.88m, 평균 EL.260.02m로 나타났고, RMSE는 0.174, NSE는 0.959, R2는 0.968로 만족한 결과를 얻었다.
- 둘째, 탑정지에 대해 2020년 3월1일부터 6월30일까지 연속유입량을 모의한 결과(ONE모형 매개변수  $\alpha = 3.18$ ), 면적우량은 최대 18.5mm, 총 311.4mm(6,813만m<sup>3</sup>)였고, 유입량은 최대 187.8m<sup>3</sup>/s, 총 3,691만m<sup>3</sup>로 유출률 54.2%였다. 저수지 수위로 검증한 결과 관측수위는 EL.26.55 ~ 29.79m, 평균 EL.29.01m, 모의수위는 EL.26.16 ~ 29.92m, 평균 EL.29.07m로 나타났고, RMSE는 0.563, NSE는 0.877, R2는 0.943로 만족한 결과를 얻었다.
- 정리하면 2020년 4개월의 장기간 용담댐과 탑정지에 대한 1시간 간격의 연속 홍수모의의 결과는 그 활용 가능성이 충분하다고 말하고 있다. 이 결과로부터 평상시 댐과 저수지의 실시간 운영자료 검증 및 생산체제의 수문관측업무에 활용 가능한 것으로 평가했다.

#### (5) 방류량 자료 없는 저수지 물수지 분석 방안

- 수지 물수지는 다목적 댐과 똑같다. 그러나 방류량 자료를 관리하지 못해 유입량 자료도 없다. 물관리 실재는 똑같고, 자료만 없을 뿐이다. 물수지 구성은 저수지와 댐 모두 유입량, 저류량, 방류량이다. 유입량은 강우량으로부터 비롯한다. 저수지 방류량은 취수탑과 여수로로 통한다. 취수탑은 관개용수 공급에, 여수로는 만수위 초과 수량 방류에 이용한다. 방류량, 유입량 자료가 없는 현재 저수지 운영 상황을 반영하여, 유입량을 고정시키고, 수로 유량공식, 여수로 방류량 공식 등의 계수를 조정하여 균형을 찾는 저수

지 물수지 분석을 시도하였다. 2020년 시간자료로 유역면적 1,740ha, 수혜면적 765.1ha, 총저수량 6,090천<sup>3</sup>m, 유효저수량 5,481천<sup>3</sup>m, 홍수위 EL.17.8m, 만수위 EL.16.6m, 사수위 EL.8.0m, 여수로길이 80m, 여수로 Sill을 기준으로 아래로 폭 2.4m, 높이 1.0m인 수문이 2연(Sill표고 EL.16.6m에서 아래로 1m) 갖추고 있는, 부여 반산저수지에 적용한 결과는 다음과 같다.

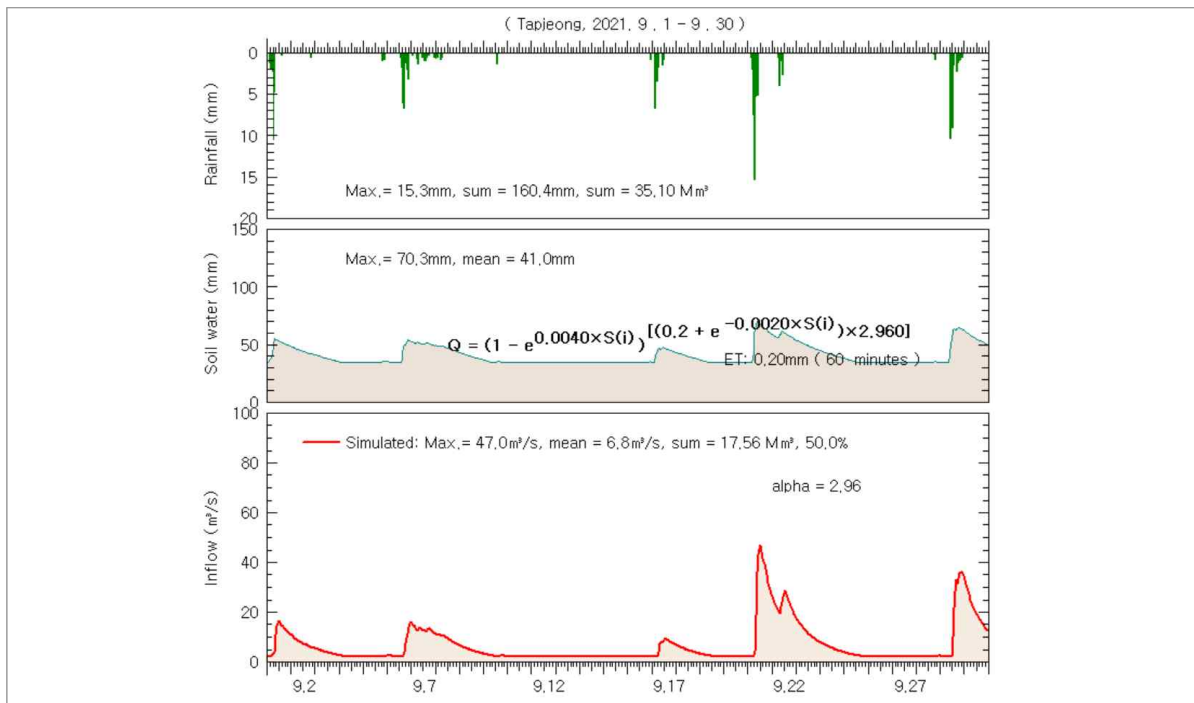
- 첫째, 유입량은 ONE 모형에 의해 시간별로 모의하였고, 매개변수는 보령댐 유입량 자료를 참조하여 결정하였다. 결정 유출공식은  $Q = (1 - 0.004 \times S(i)) \times [(0.2 + e^{-0.002 \times S(i)}) \times 2.960]$ 이고, 우량자료는 백제교 관측소를 이용했고, 3월부터 9월까지 시간최대우량 36.1mm, 총1,258mm(1,851만<sup>3</sup>m)에 이르렀고, 유입량은 최대 39.1<sup>3</sup>m/s, 총 1,669만<sup>3</sup>m였고, 유출률 76.2%였다.
- 둘째, 기간별 평가 결과, 1월~4월은 모의 저수량이 급격하게 저하되는 것으로 관찰되는데, 여수로 방류량이 과도하게 산정된 것으로 판단하였고, 5월은 저수량이 증가하는 것으로 분석됐는데, 유입량이 과다한지, 공급량이 과소한지 살펴야 하고, 6월은 관측 저수량과 비슷하게 모의됐고, 7월은 관측-모의 저수량이 교차되는 현상을 보여줬고, 8월~9월은 모의 저수량이 크게 증가했고, 10월은 약간 증가한 것으로 분석됐는데, 이는 방류량을 과소하게 측정된 것으로 해석했다.
- 셋째, 계수조정에 의해 1~4월, 5~7월, 7~10월로 구분하여 평가하였고, 1~4월에 과도한 여수로 방류량, 수로유량이 계산되었는데, 관측수위 이상치 원인을 확인하였고, 5~7월은 강우량 시간최대 19.0mm, 총 724mm(1,260만<sup>3</sup>m)였고, 유입량 시간최대 32.7<sup>3</sup>m/s, 총768만<sup>3</sup>m)에 이르렀고, 유출률은 61.0%로 나타났고, 7~10월은 강우량 시간최대 36.0mm, 총939mm(1,634만<sup>3</sup>m)이었고, 유입량 시간최대 32.7<sup>3</sup>m/s, 총1,193만<sup>3</sup>m)에 이르렀고, 유출률은 73.0%로 나타났다.
- 여기서 저수지 유입량을 고정시키고, 수로유량, 여수로 방류량을 산정하고, 계수조정을 하고, 유입량 매개변수를 조정하는 일련의 과정을 반복적으로 수행하며, 방류량과 유입량 자료를 생성하는 새로운 시도를 하였다. 만족한 결과는 얻지 못했지만, 실시간으로 자료를 생성, 저장하는 체계를 구축하면, 보다 신뢰도 높은 저수지의 기본적 물수지 자료로 과학적 물관리 토대를 마련할 수 있을 것이라 확신하였다.

#### (6) 준 실시간 저수지 운영자료 생산을 위한 물수지 모형

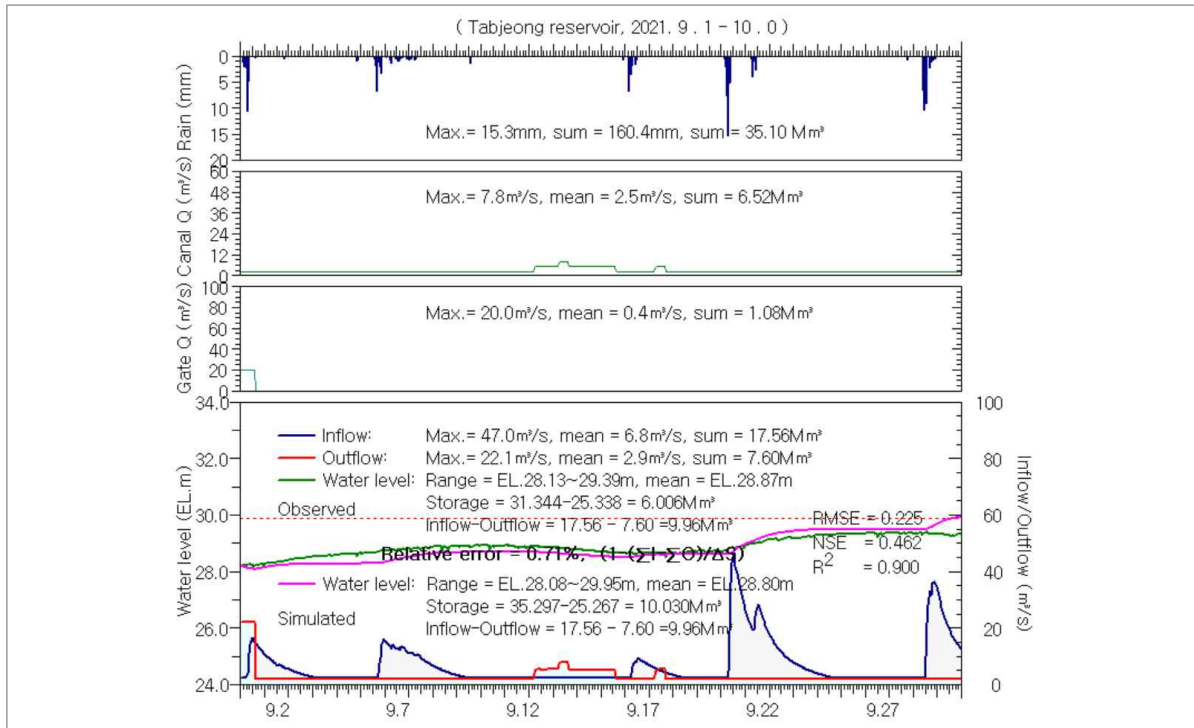
- 저수지 운영자료는 다목적 댐 경우와 마찬가지로, 유입량, 저수량, 방류량 자료로 구성된다. 여기에 강우량을 포함하여, 실시간으로 관리돼야 한다. 그러나 우리나라 저수지는 저수율 자료만 관리하고 있다. 유입량, 방류량이 없는 것이 아니고 관리를 하지 않는다. 강우량은 전혀 없다. 큰 문제인데, 아직도 그 심각성을 모르고, 대충하면 되는 줄 알고 있다. 가장 기초가 되는 일을 무시하고 물관리를 하고 있는 상황이고, 누구도 그 신뢰성을 믿지 않고 있다. 여기서는 이를 해결하는 방안으로 준 실시간 물수지 모형을 구축하여, 10분 단위, 30분 단위, 1시간 단위로 저수위, 저수량, 유입량, 방류량, 강우량을 연속하여 생산하고 검증하는 체계를 제시한다. 준 실시간의 뜻은 계산에 의하지 않고 유입량을 모의에 의해 적용하고 검증하는 과정이 필요하여, 실시간 보다 하루 이틀 늦게 자료를 생산한다는 의미다. 대상 저수지는 유역 내 강우량 수집이 가능한 유역면적 218.80km<sup>2</sup>, 유효저수량 3,494만<sup>3</sup>m<sup>3</sup>, 수혜면적 5,117 ha인 탑정지를 선정했다. 탑정지 방류량은 탑정1(폭 7.5m×높이 1.5m), 탑정2(4m×1.6m), 양수장(3m×1.6m) 수로로 관개용수 공급량과, 9연의 수문(9m×7.5m)으로 홍수기 방류량으로 구성된다. 분석기간은 1월1일부터 1시간 단위

로 연속하여 기간은 자유롭게 설정하여 검증하는 체제를 갖추고 검증된 결과를 제시토록 했다. 2021년 9월의 1시간 단위의 탐정지 저수지 물수지 모의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 첫째, 탐정지 유역의 환경부 관리의 장선, 양촌, 연산 관측소의 면적우량은 최대 15.3mm, 총 160.4mm(3,510만m<sup>3</sup>)였고, ONE 모형에 의해 연속우량을 모의한 결과, 유입량은 최대 35.6m<sup>3</sup>/s, 총1,464만m<sup>3</sup>로 유출률 41.7%였다.
- 둘째, 탐정1, 탐정2, 양수장 수로의 수위자료에 수위-유량 관계식을 적용해 수로유량을 산정한 결과 합하여 최대 16.8m<sup>3</sup>/s였고, 총 548만m<sup>3</sup>였으며, 수문 방류량은 최대 20.0m<sup>3</sup>/s였고, 총 108만m<sup>3</sup>였다.
- 셋째, 저수지 수위는 관측수위는 EL.28.21 ~ 29.38m, 평균 EL.28.87m, 모의수위는 EL.28.08 ~ 29.62m, 평균 EL.28.80m로 나타났고, R2는 0.910로 만족한 결과를 얻었다.
- 정리하면 저수지 운영자료가 없는데도, 10분, 1시간 단위로 연속으로 유입량, 저수량을 모의하여 관측저수량과 비교한 결과가 괄목할 신뢰도를 나타냈다. 이를 바탕으로 저수량, 유입량, 방류량, 강우량 등 준실시간 저수지 운영자료 생산체제를 마련한 것으로 결론을 내렸다.



<그림 2-52> 탐정지 1시간 단위 유입량 모의 예 (2021.9.1.~9.30.)



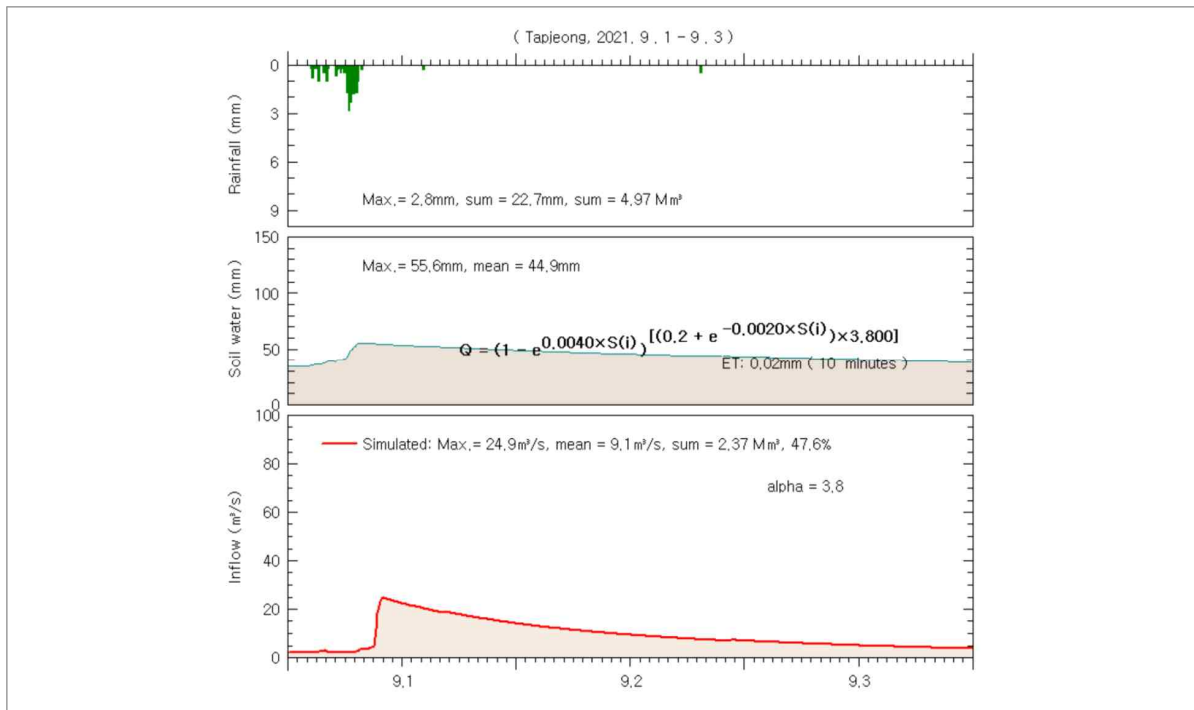
<그림 2-53> 탐정지 1시간 단위 유입량 모의 검정 예 (2021.9.1.~9.30.)

(7) 준 실시간 저수지 운영자료 시범생산

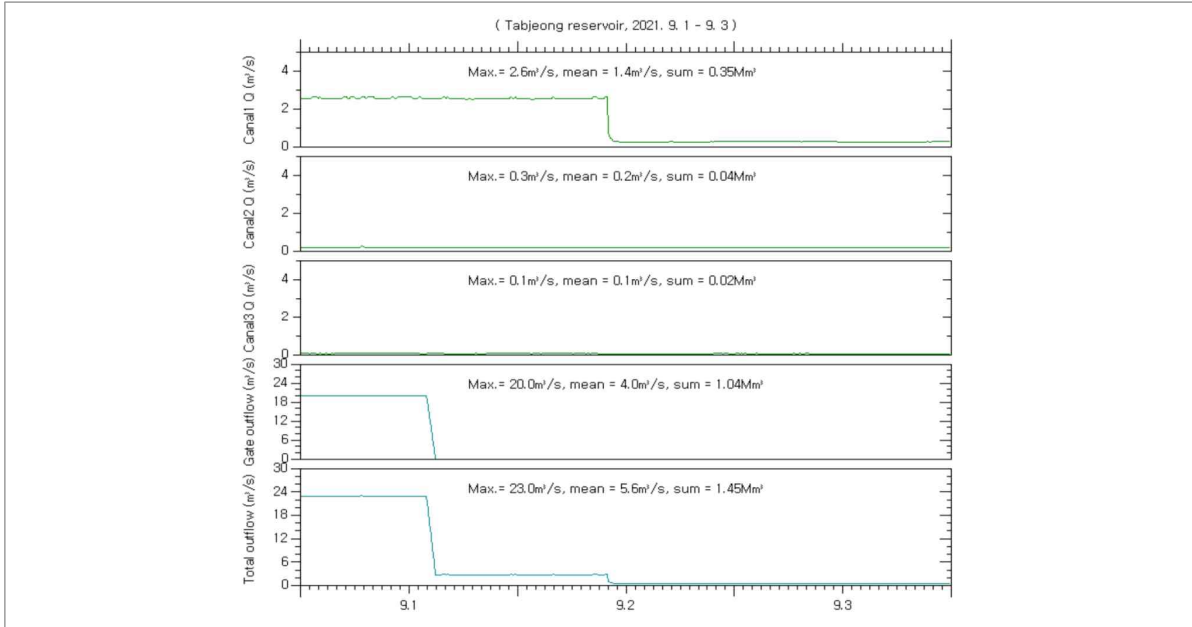
- 저수지 운영은 유입량, 저수량, 방류량 등 3요소 자료에 근거해야 하지만, 현재 저수량 자료만으로 실무자의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 유입량을 10분, 30분, 60분 단위로 ONE 모형에 의해 모의하고, 저수지 물수지 모형에 의해 저수량 오차가 최소가 되도록 나머지 방류량을 생산하는 체제를 구축했고, 탐정지 운영 자료를 시범생산하여 실시간 저수지 운영자료 생산 가능성을 평가했다. 또한 편의를 위해 기간을 자유롭게 설정하여 저수량 오차로 운영자료의 신뢰도를 상시 평가하는 체제로 준 실시간 운영자료 생산기반을 구축했다. 예로 2021년 9월1일부터 3일까지 3일간 10분단위로 운영자료를 시범생산한 결과는 강우량은 22.7mm, 유입량 237만m<sup>3</sup>, 유출률 47.6%, 방류량은 145만m<sup>3</sup>, 저수위는 관측 EL.27.99~28.52m, 모의 EL.28.14~28.45m로 RMSE 0.053m, NSE 0.725, R2 0.902로 결과가 양호했다. 수많은 다른 경우를 종합하여 10분 단위의 준 실시간 저수지 운영자료의 생산체제 가능성을 확인했다.
- 2012년 저수지 독높이기 사업으로 수로에 수위계를 설치하여 수위를 10분 단위로 관측하고 있다. 그리고 2018년부터 수로유량 측정을 시작했으나 아직 그 활용성은 미진하다. 여수로 방류량 자료가 관리되지 않고, 수로유량 공급이 복잡하여 저수지 물수지가 명확하지 못하기 때문이다. 아직도 오직 현장 물관리 요원의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 지금부터라도 물관리 현실을 반영하고, 다양한 환경을 종합하여 전체관리를 위해 자료기반 체제로 운영돼야 한다. 자료는 진실이고 건강을 보장한다. 여기서 현장을 있는 그대로 반영하여 이를 보장할 수 있도록 저수지 운영자료 생산체제를 구축하여 10분 단위로 준 실시간 자료를 생산코자했다.



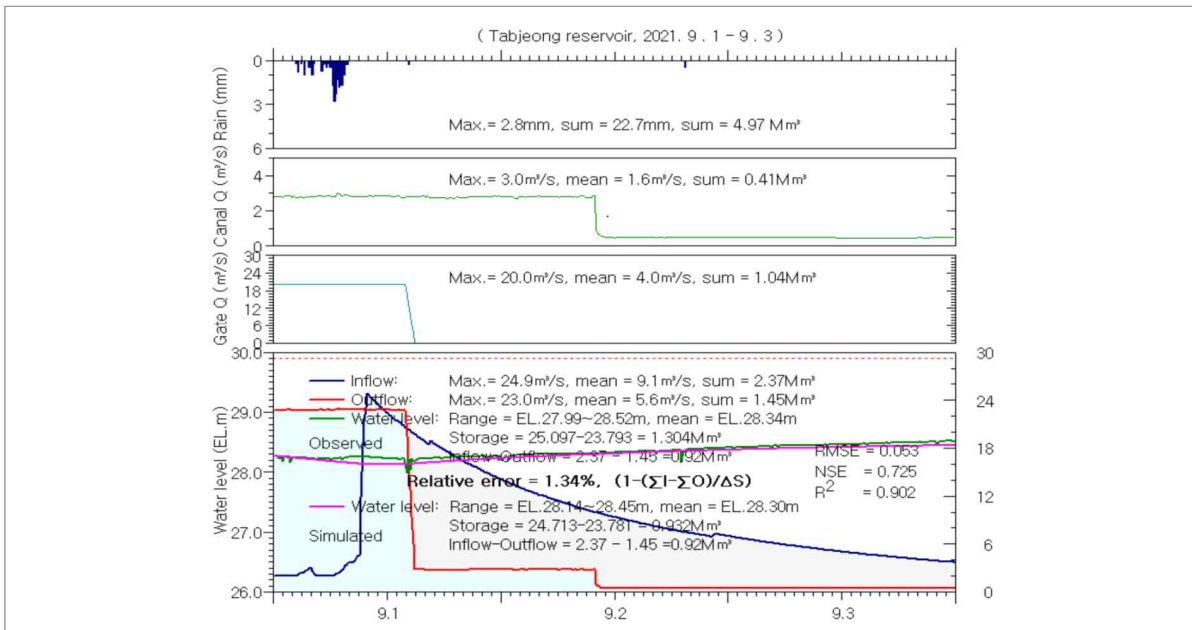
- 저수지 오차(노재경, 2000)는 유입량 모의의 기준이 되고, 저수지 물수지에 기반한다. 다목적 댐의 유입량은 방류량과 저수량 변화의 합으로 계산된다. 댐은 방류량을 측정하여 물수지에 의해 유입량을 산정한다. 저수지는 방류량 측정자료가 없어, 유입량을 모의에 의해야 한다. 그리고 저수량 오차가 최소가 되도록 상시, 오차를 관찰하는 체제로 자료를 생산해야 한다(노재경·이재남, 2022). 비록 오차가 있어도 방법은 오직 이것뿐이다. 이 바탕으로 경험이 축적되면 진실은 구현될 것으로 확신한다. 여기서는 2021년 9월 1일부터 3일까지 탐정지의 한 사례를 제시한다. ONE 모형(노재경·이재남, 2022)에 의해 연속으로 10분 단위로 유입량을 모의한 결과는 강우량 497만m<sup>3</sup>, 유입량 237만m<sup>3</sup>, 유출률 47.6%였고, 방류량은 수로1 35만m<sup>3</sup>, 수로2 4만m<sup>3</sup>, 양수장 수로 2만m<sup>3</sup>, 여수로 104만m<sup>3</sup>로 총 145만m<sup>3</sup>였고, 저수위는 관측 EL.27.99~28.52m, 모의 EL.28.14~28.45m로 RMSE 0.053m, NSE 0.725, R2 0.902로 나타났다.
- 본 연구에서는 저수지 물수지에 의해 운영자료를 준 실시간으로 생산하는 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 10분 단위의 저수지 유입량 모의의 신뢰성을 저수량 오차로 확인할 수 있었고, 수위-유량 관계식의 수로유량 산정과 방류량 기록의 신뢰도를 확인했다. 둘째, 10분 단위의 저수지 물수지의 신뢰도를 바탕으로 준 실시간 운영자료 생산체제의 가동 가능성을 확인할 수 있었다.



<그림 2-54> 탐정지 10분 단위 홍수유입량 모의 예



<그림 2-55> 탐정지 10분 단위 방류량 산정 예



<그림 2-56> 탐정지 10분 단위 저수위 모의 예

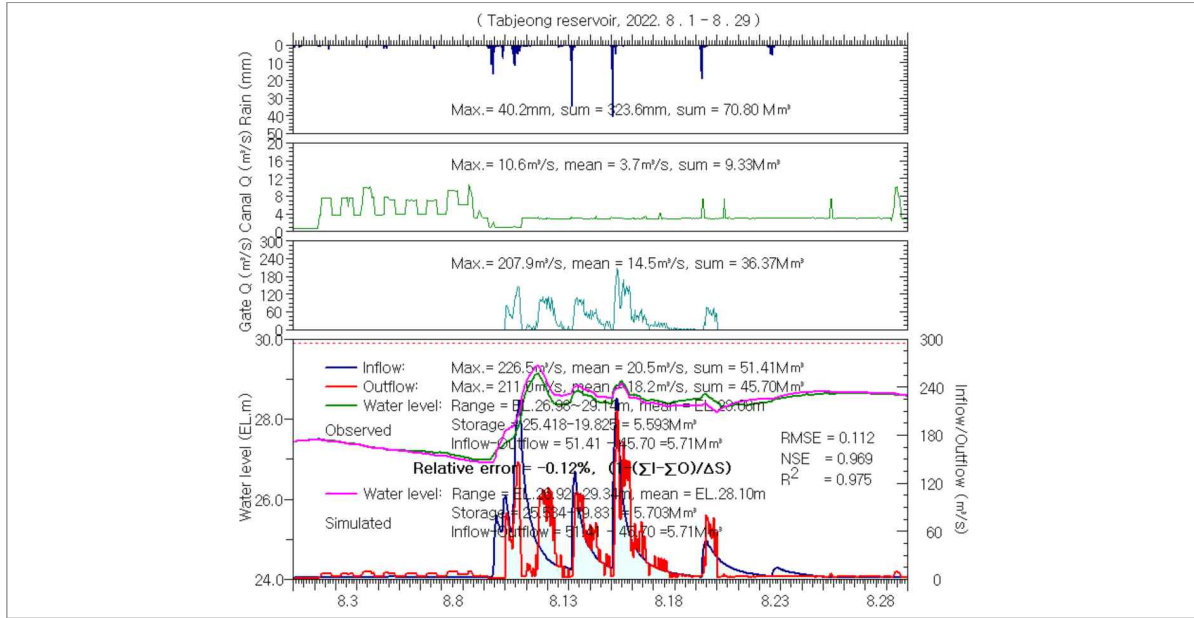
연월일	시분	강우량 (mm)	유입량 (m <sup>3</sup> /s)	저수위 (EL.m)	저수량 (천m <sup>3</sup> )	수로1유량 (m <sup>3</sup> /s)	수로2유량 (m <sup>3</sup> /s)	수로3유량 (m <sup>3</sup> /s)	수로유량 (m <sup>3</sup> /s)	수문방류량 (m <sup>3</sup> /s)	총방류량 (m <sup>3</sup> /s)
20210901	00시10분	0	2.006	28.27	23793	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	00시20분	0	2.006	28.27	23793	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	00시30분	0	2.006	28.26	23742	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	00시40분	0	2.006	28.23	23589	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	00시50분	0	2.006	28.26	23742	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	01시00분	0	2.006	28.18	23336	2.552	0.166	0.058	2.776	20	22.776
20210901	01시10분	0	2.006	28.26	23742	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	01시20분	0	2.006	28.26	23742	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	01시30분	0	2.006	28.25	23691	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	01시40분	0	2.006	28.25	23691	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	01시50분	0	2.006	28.17	23286	2.634	0.166	0.058	2.858	20	22.858
20210901	02시00분	0	2.006	28.24	23640	2.552	0.166	0.058	2.776	20	22.776
20210901	02시10분	0	2.006	28.24	23640	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	02시20분	0	2.006	28.24	23640	2.552	0.166	0.058	2.776	20	22.776
20210901	02시30분	0.2	2.07	28.24	23640	2.552	0.166	0.058	2.776	20	22.776
20210901	02시40분	0.8	2.197	28.24	23640	2.552	0.166	0.058	2.776	20	22.776
20210901	02시50분	0	2.324	28.24	23640	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	03시00분	0.2	2.387	28.24	23640	2.552	0.166	0.058	2.776	20	22.776
20210901	03시10분	0	2.377	28.24	23640	2.552	0.166	0.058	2.776	20	22.776
20210901	03시20분	1	2.559	28.24	23640	2.552	0.166	0.058	2.776	20	22.776
20210901	03시30분	0	2.741	28.24	23640	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	03시40분	0	2.73	28.23	23589	2.552	0.166	0.058	2.776	20	22.776
20210901	03시50분	0.5	2.927	28.23	23589	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	04시00분	0.5	3.135	28.23	23589	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	04시10분	1	2.571	28.23	23589	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	04시20분	0.2	2.288	28.23	23589	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	04시30분	0	2.147	28.21	23488	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	04시40분	0	2.006	28.23	23589	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	04시50분	0	2.006	28.23	23589	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	05시00분	0	2.006	28.22	23539	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	05시10분	0.7	2.006	28.22	23539	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	05시20분	0.3	2.006	28.22	23539	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	05시30분	0.2	2.006	28.22	23539	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	05시40분	0.5	2.006	28.22	23539	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	05시50분	0.2	2.006	28.22	23539	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	06시00분	0.5	2.006	28.22	23539	2.634	0.166	0.068	2.868	20	22.868
20210901	06시10분	0.5	2.006	28.21	23488	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	06시20분	1.7	2.006	28.22	23539	2.552	0.166	0.068	2.786	20	22.786
20210901	06시30분	2.8	2.07	28.23	23589	2.552	0.166	0.079	2.797	20	22.797
20210901	06시40분	2.3	2.229	28.22	23539	2.552	0.177	0.079	2.808	20	22.808
20210901	06시50분	1.3	2.387	28.23	23589	2.634	0.281	0.103	3.018	20	23.018
20210901	07시00분	1.8	2.377	28.24	23640	2.634	0.213	0.103	2.95	20	22.95
20210901	07시10분	1.7	2.554	28.24	23640	2.634	0.167	0.091	2.892	20	22.892
20210901	07시20분	1.7	2.73	28.21	23488	2.552	0.166	0.091	2.809	20	22.809
20210901	07시30분	1	2.927	28.24	23640	2.634	0.166	0.091	2.891	20	22.891
20210901	07시40분	0	3.308	28.24	23640	2.634	0.166	0.091	2.891	20	22.891
20210901	07시50분	0.3	3.49	28.24	23640	2.634	0.166	0.091	2.891	20	22.891
20210901	08시00분	0	3.673	28.25	23691	2.634	0.166	0.079	2.879	20	22.879

<그림 2-57> 탐정지 10분 단위 운영자료 생산 예

(8) 여수로 방류량 자료 없는 경우의 준 실시간 저수지 운영자료 생산

- 저수지 운영자료는 유입량, 저수량, 수로 용수공급량, 여수로 방류량 등으로 구성된다. 그러나 현재 저수지 물관리는 수로수위와 저수량 자료만으로 운영하고 있는 상태다. 더구나 홍수기 여수로 방류량은 기록을 찾아보기 힘들다(<http://rawris-am.ekr.or.kr>). 여기서 유입량을 모의하고, 수로 용수공급량을 계산하고, 여수로 방류량을 저수지 물수지 분석에 의해 생성하여, 저수량 오차가 최소가 되도록 신뢰도를 확보한 후, 10분, 60분 단위로 저수지 운영자료를 생산하는 체제를 구축했다. 이를 2022년 8월1일부터 29일까지 총저수량 34,983천m<sup>3</sup>, 수혜면적 5,713.3ha, 유역면적 21,880ha인 탐정지에 적용한 결과는 다음과 같다. 첫째, 장선, 양촌, 연산 등 관측소의 면적강우량은 1시간 최대 40.2mm, 총 323.6mm였고, 유입량은 최대 226.5m<sup>3</sup>/s, 총 5,141만m<sup>3</sup>, 유출률 72.6%로 모의됐다. 둘째, 수로1 용수공급량은 1시간 최대 4.0m<sup>3</sup>/s, 총 693만m<sup>3</sup>, 수로2 용수공급량은 1시간 최대 4.6m<sup>3</sup>/s, 총 177만m<sup>3</sup>, 양수장 용수공급량은 1시간 최대 2.4m<sup>3</sup>/s, 총 63만m<sup>3</sup>였다. 셋째, 방류량은 1시간 최대 207.9m<sup>3</sup>/s, 총 3,637만m<sup>3</sup>로 계산됐다. 넷째, 관측수위는 EL.26.98m~EL.29.14m로 평균 EL.28.68m였고, 모의수위는 EL.26.92m~EL.29.34m로 평균 EL.28.10m로 나타나, RMSE 0.112, NSE 0.969, R2 0.975로 신뢰도가 높았다. 위의 결과를 바탕으로 10분, 1시간 간격으로 강우량, 저수위, 저수량, 수로1 용수공급량, 수로2 용수공급량, 양수장 용수공급량, 수문 방류량, 총방류량 등 저수지 운영자료를 무에서 유를 창조하듯 준실시간의 자료로 생산할 수 있었다. 이상의 결과는 강우관측이 있기 때문에 가능한 일이며, 전국의 대표 저수지에 대해 강우 관측망을 급히 구축할 필요성을 이야기한다. 정보화 시대에서 자료는 기본이고 생명이다. 자료 바탕이 되지 못하면 진실을 이야기할 수 없다. 앞으로 물관리는 자료가 답한다.





<그림 2-58> 탐정지 운영자료 생산 예

연월일	시분	강우량 (mm)	유입량 (m³/s)	저수위 (EL.m)	저수량 (천 m³)	수로1유량 (m³/s)	수로2유량 (m³/s)	수로3유량 (m³/s)	수로4유량 (m³/s)	수문방류량 (m³/s)	총방류량 (m³/s)
20220801	01시	0.8	2.566	27.44	19825	0.452	0.166	0.039	0.657	0	0.657
20220801	02시	1	2.821	27.44	19825	0.485	0.166	0.039	0.69	0	0.69
20220801	03시	0	2.736	27.44	19825	0.485	0.166	0.039	0.69	0	0.69
20220801	04시	0.3	2.566	27.45	19869	0.485	0.166	0.039	0.69	0	0.69
20220801	05시	0.2	2.821	27.45	19869	0.485	0.166	0.039	0.69	0	0.69
20220801	06시	0	2.736	27.46	19914	0.485	0.166	0.039	0.69	0	0.69
20220801	07시	1	2.755	27.46	19914	0.485	0.166	0.039	0.69	0	0.69
20220801	08시	0	2.739	27.46	19914	0.485	0.166	0.039	0.69	0	0.69
20220801	09시	0.5	2.657	27.46	19914	0.485	0.166	0.039	0.69	0	0.69
20220801	10시	0	2.917	27.45	19869	0.485	0.166	0.023	0.674	0	0.674
20220801	11시	0	2.83	27.45	19869	0.593	0.166	0.023	0.782	0	0.782
20220801	12시	0	2.919	27.45	19869	0.556	0.166	0.023	0.745	0	0.745
20220801	13시	0	2.832	27.45	19869	0.452	0.166	0.016	0.634	0	0.634
20220801	14시	0	2.747	27.46	19914	0.452	0.166	0.023	0.641	0	0.641
20220801	15시	0	2.664	27.46	19914	0.593	0.166	0.023	0.782	0	0.782
20220801	16시	0	2.584	27.47	19959	0.452	0.166	0.023	0.641	0	0.641
20220801	17시	0	2.506	27.47	19959	0.452	0.166	0.023	0.641	0	0.641
20220801	18시	0	2.43	27.47	19959	0.452	0.166	0.023	0.641	0	0.641
20220801	19시	0	2.357	27.47	19959	0.452	0.166	0.03	0.648	0	0.648
20220801	20시	0	2.285	27.48	20004	0.485	0.166	0.03	0.681	0	0.681
20220801	21시	0	2.285	27.48	20004	0.485	0.166	0.03	0.681	0	0.681
20220801	22시	0	2.285	27.48	20004	0.485	0.166	0.03	0.681	0	0.681
20220801	23시	0	2.285	27.48	20004	0.485	0.166	0.023	0.674	0	0.674
20220801	24시	0	2.285	27.49	20049	0.485	0.166	0.023	0.674	0	0.674

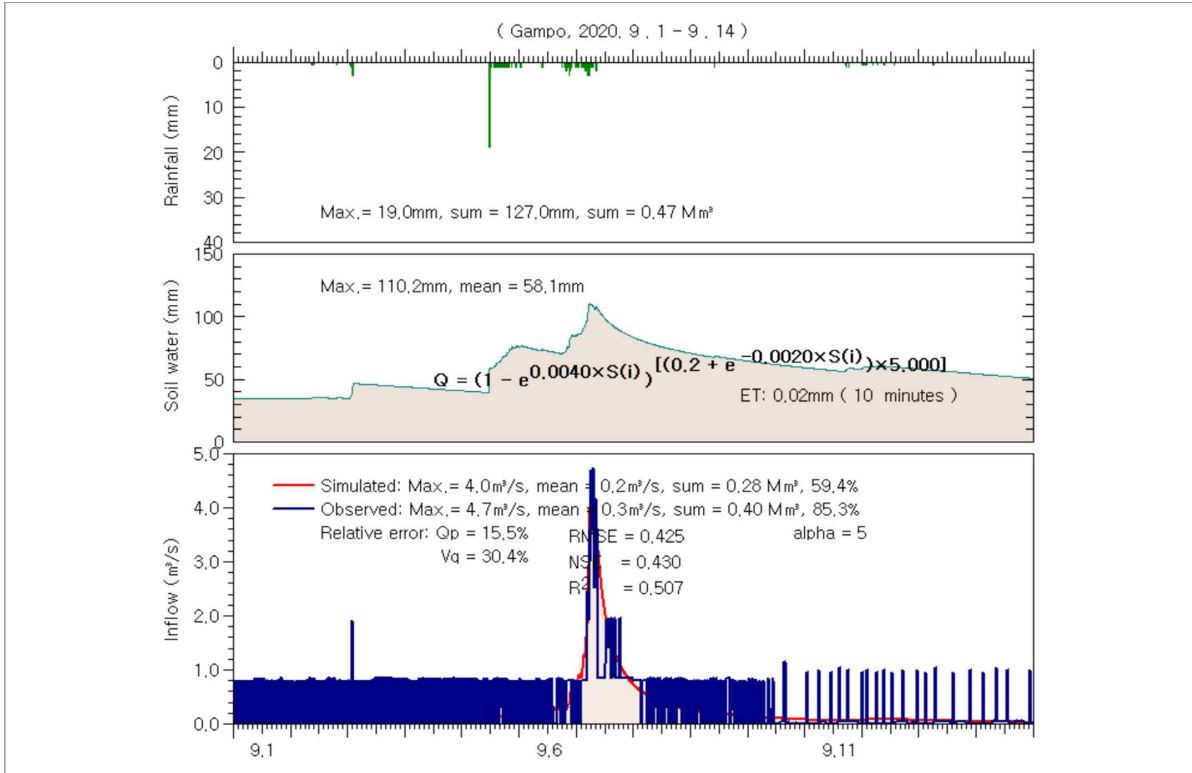
<그림 2-59> 탐정지 운영자료 생산 엑셀출력 예

(9) 수문관측에서 저수량 자료 활용하다

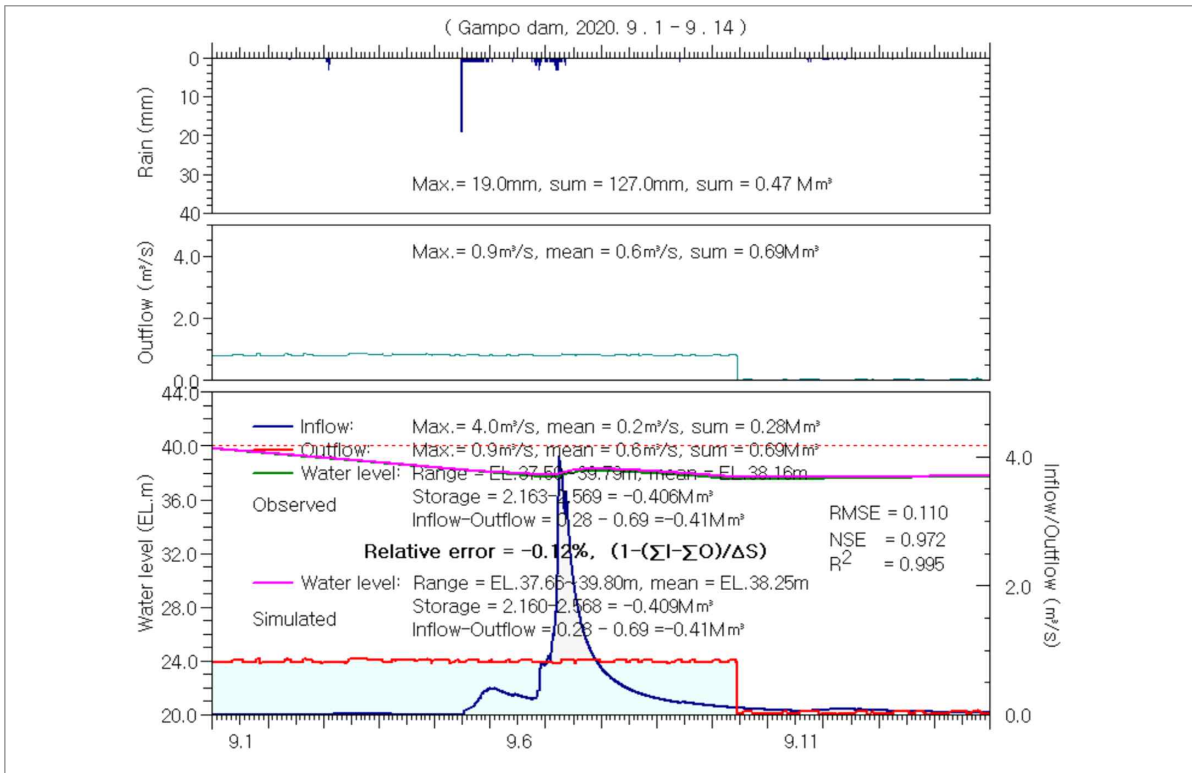
- 수문관측의 핵심은 강우-유출 관계다. 하천유량 생산을 위해 수많은 지점에서 유량측정을 수행한다. 그러나 유량자료의 신뢰도는 높지 않다. 그리고 댐 유입량 산정에 아무 도움이 되지 않고 있다. 더구나 저수지의 경우는 유입량 자료도 없이 운영되고 있다. 저수지, 댐에 물이 고여 있는데 이를 활용하면 유입량을 계산할 수 있고, 그 지점에서 유량이 얼마인지 고품질로 생산할 수 있다. 여기서는 총저수량 260만㎥, 유역면적 3.7km²인 감포댐에 적용하여 저수량 자료를 활용하여 유입량의 신뢰도를 얼마나 개선시킬 수 있는

지 분석한 결과는 다음과 같다. 여기서 적용 기간은 2020.9.1.~9.14., 2022.9.5.~9.6 등 2개 사상이고 ONE 모형에 의해 10분 단위로 유출량을 모의했다. 모의 방법은 총유량을 같게 하는 방법과 저수위 오차를 최소로 하는 방법 등 두 가지로 했다.

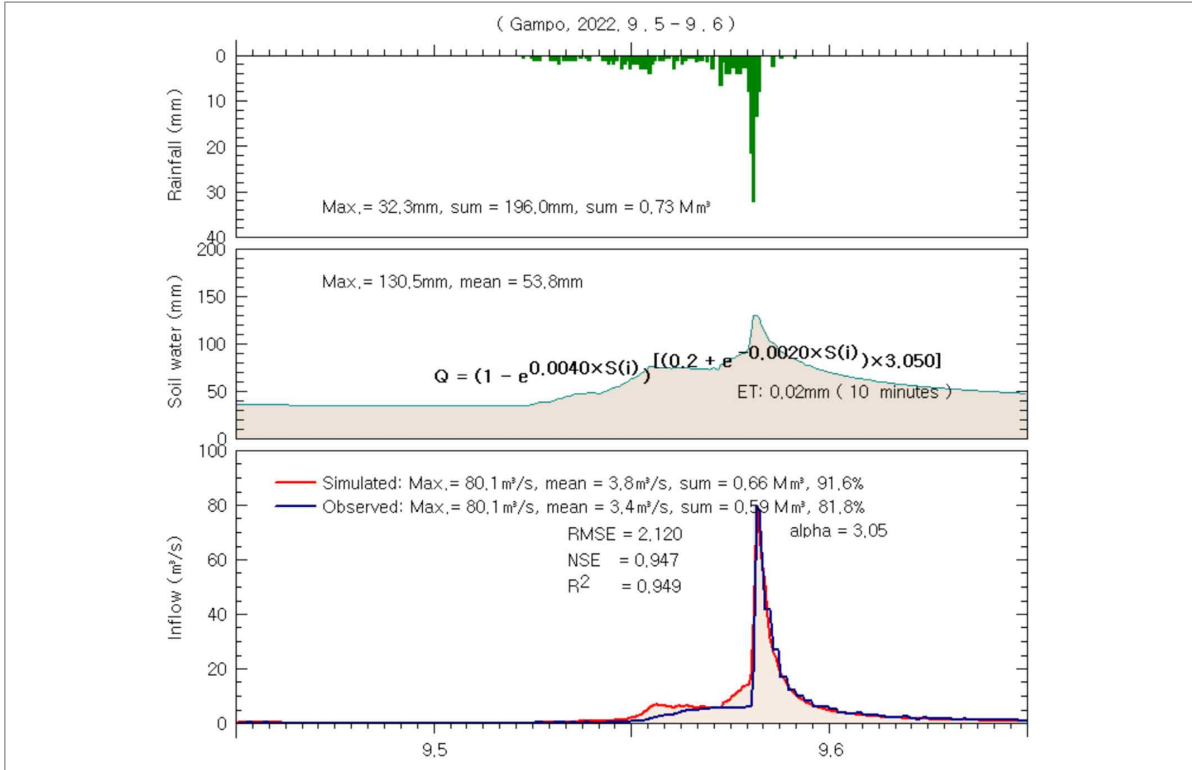
- 첫째, 2020.9.1.~9.14. 사상은 강우량은 10분 최대 19.0mm, 총 127.0mm였다. 총유량을 같게 하는 경우 유입량은 10분 최대 5.4m<sup>3</sup>/s, 총 40만m<sup>3</sup>로 모의돼, 유출률 85.5%로 나타났고, 관측은 10분 최대 4.7m<sup>3</sup>/s, 총 40만m<sup>3</sup>, 유출률 85.3%로 나타났다. 유량 신뢰도는 RMSE 0.491mm, NSE 0.237, R2는 0.455로 나타났다. 이 경우 저수위 모의 신뢰도는 RMSE 0.600m, NSE 0.158, R2는 0.893로 나타났다. 저수량 오차를 최소로 한 경우 유입량은 10분 최대 4.0m<sup>3</sup>/s, 총 28만m<sup>3</sup>로 모의돼, 유출률 59.4%로 나타났고, 관측은 10분 최대 4.0m<sup>3</sup>/s, 총 28만m<sup>3</sup>, 유출률 85.3%로 나타났다. 유량 신뢰도는 RMSE 0.425mm, NSE 0.430, R2는 0.507로 나타났다. 이 경우 저수위 모의 신뢰도는 RMSE 0.110m, NSE 0.972, R2는 0.995로 높았다.
- 둘째, 2022.9.5.~9.6. 사상은 강우량은 10분 최대 32.3mm, 총 196.0mm였다. 총유량을 같게 하는 경우 유입량은 10분 최대 64.5m<sup>3</sup>/s, 총 59만m<sup>3</sup>로 모의돼, 유출률 81.6%로 나타났고, 관측은 10분 최대 80.1m<sup>3</sup>/s, 총 59만m<sup>3</sup>, 유출률 81.6%로 나타났다. 유량 신뢰도는 RMSE 1.832mm, NSE 0.960, R2는 0.984로 나타났다. 이 경우 저수위 모의 신뢰도는 RMSE 0.323m, NSE 0.968, R2는 0.999로 나타났다. 저수량 오차를 최소로 한 경우 유입량은 10분 최대 80.1m<sup>3</sup>/s, 총 66만m<sup>3</sup>로 모의돼, 유출률 91.6%로 나타났고, 관측은 10분 최대 80.1m<sup>3</sup>/s, 총 59만m<sup>3</sup>, 유출률 81.8%로 나타났다. 유량 신뢰도는 RMSE 2.120mm, NSE 0.947, R2는 0.949로 나타났다. 이 경우 저수위 모의 신뢰도는 RMSE 0.153m, NSE 0.993, R2는 0.997로 높았다.
- 종합하면 저수량 오차가 최소가 되도록 하천 유출량을 모의하면 결과적으로 하천유량의 신뢰도를 향상시키는 것이라 말할 수 있다.



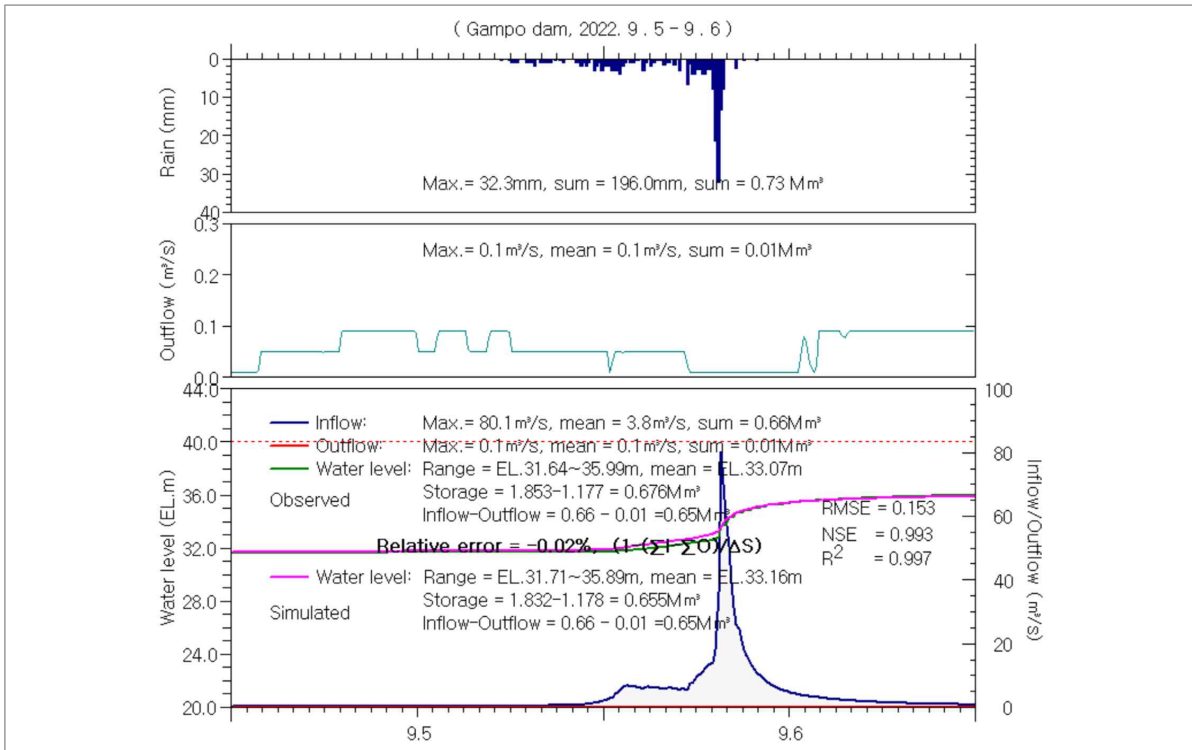
<그림 2-60> 감포댐 10분 단위 유입량 모의 예 (2021.9.1.~9.14.)



<그림 2-61> 감포댐 10분 단위 유입량 모의 검증 예 (2021.9.1.~9.14.)



<그림 2-62> 감포댐 10분 단위 유입량 모의 예 (2022.9.5.~9.6.)



<그림 2-63> 감포댐 10분 단위 유입량 모의 검정 예 (2022.9.5.~9.6.)

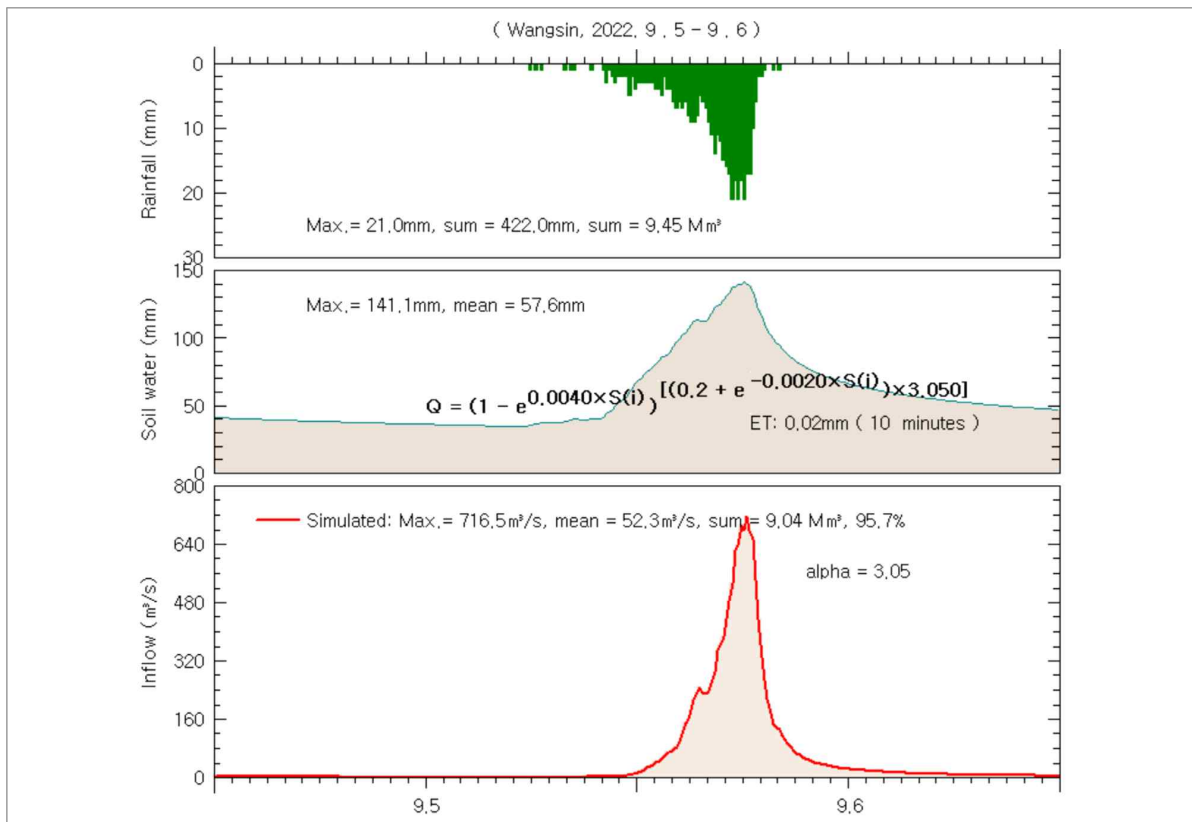
(10) 주기별 평가에 의한 저수지 수문자료 신뢰도 개선

- 저수지 수문자료는 강우량 유입량 저수량 방류량이다. 이 중에서 관측되고 있는 것은 저수량과 일부 수로방류량에 불과하다. 그럼에도 모의에 의해 유입량을 고정시키면 물수지에 의해 방류량을 계산할 수 있다. 그러나 저수량 오차로 모의 유입량과 계산 방류량의 신뢰도는 반드시 확인돼야 한다. 신뢰도가 낮으면 모의 유출량과 계산 방류량을 조정하며 신뢰도를 높여야 한다. 신뢰도는 평가주기가 짧을수록 보장된다. 여기서는 유역면적 218.80km<sup>2</sup>, 유효저수량 3,494만m<sup>3</sup>, 수해면적 5,117ha인 탐정지에 대해 2020년 1월1일부터 12월31일까지 1시간 단위로 1달, 10일, 3일, 2일 간격의 주기로 저수지 운영자료를 생산하고, 그 신뢰도를 평가하여 평가주기가 짧을수록 오차가 감소되는 것을 관찰코자 했다. 1시간 간격의 유입량은 ONE 모형으로 모의했고, 저수지 물수지 모형을 구축하여 모의 유입량에 저수량 변화를 더해 방류량을 계산했다. 또한 저수지 물수지에 의해 저수위를 모의했으며, 관측 저수위와의 오차제곱근(RMSE)으로 신뢰도를 평가했으며, 그 결과는 다음과 같다.
- 1달 간격으로 신뢰도를 평가한 경우 RMSE는 132.466m, 10일 간격은 46.922m, 3일 간격은 0.520m, 2일 간격은 0.349m로 나타났다. 위의 결과로부터 저수지 수문자료의 평가주기를 짧게 할수록 신뢰도는 개선된다고 말할 수 있다. 이상의 결과는 과거 자료에 대해 1년 동안 1시간 간격으로 유입량을 모의하고 방류량을 계산한 결과를 고정시키고, 평가주기를 달리하며 수위오차를 분석한 결과이다. 만약 평가주기별로 유입량과 방류량을 실제 상황에 적합하게 조정하면, 그 신뢰도는 훨씬 더 개선될 것이다.
- 현재 저수지 수위만을 관리하고 있는 현장의 상황에서 이 연구결과가 시사하는 바는 매우 크다. 침언하면 AI 시대의 핵심은 자료다. AI의 먹이는 자료다. 다시 말해 자료 없는 AI는 시체와 같다. 자료는 기본이고 진실이다. 자료 없는 결과는 가짜다. 또한 위의 결과는 자료는 상시 관찰돼야 한다는 것을 말한다. 1년에 한 번 수문자료를 평가하는 제도로는 고품질의 자료를 생산할 수 없다. 무엇보다 자료는 상시 관찰하는 제도가 정착돼야 하며, 그 때 비로소 AI와 공존과 협력으로 물관리 기술의 혁신을 이룰 것이라 확신한다.

(11) 태풍 힌남노에 따른 왕산저수지의 10분 단위 홍수운영자료 생산 및 평가

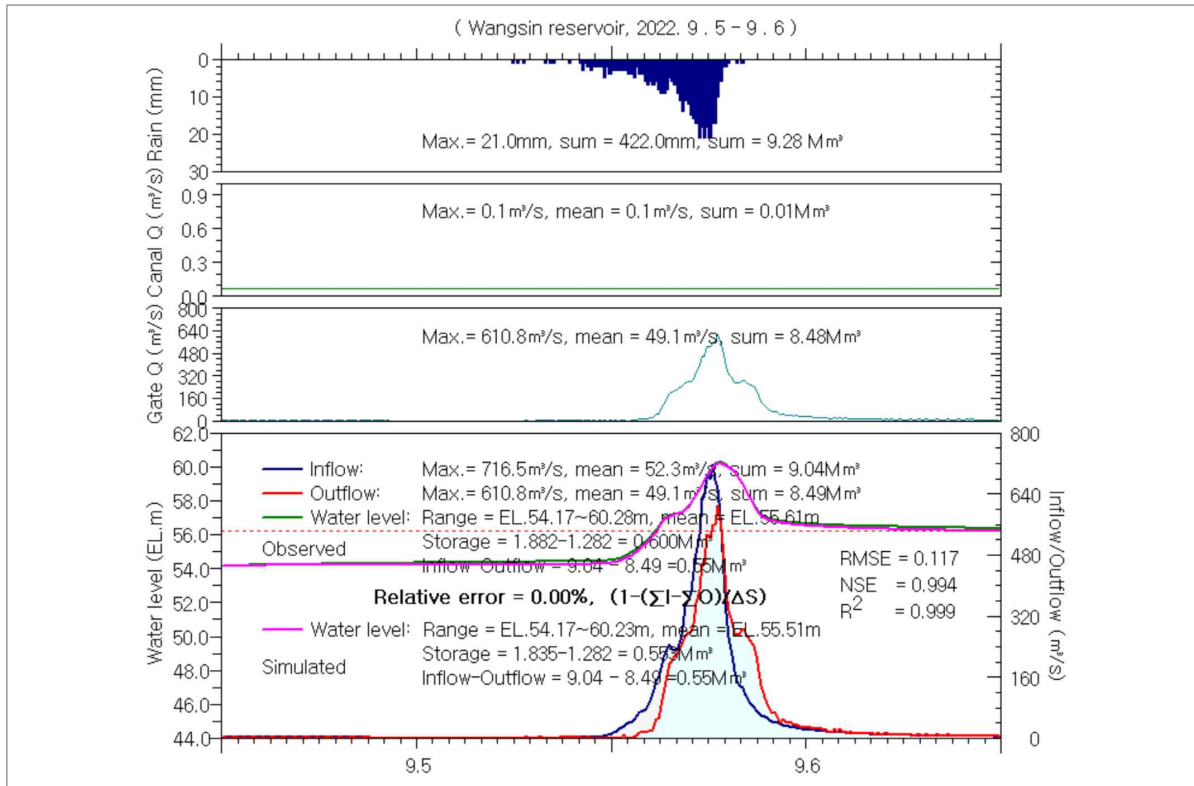
- 태풍 힌남노에 경주에 위치한 총저수량 184만m<sup>3</sup>, 유역면적 22km<sup>2</sup>인 왕산저수지는 303m의 제체가 2시간여 동안 전면 월류하는 초유의 사태를 겪었다. 그때 다행히 저수지 수위는 10분 단위로 기록됐다. 이 자료를 이용하여 제체 월류현상을 평가하기 위해 저수지 운영의 기본자료인 유입량, 저수량, 방류량 등을 10분 단위로 생산코자 했다. 방법은 인근에 위치하고 운영자료가 있는 총저수량 260만m<sup>3</sup>, 유역면적 3.7km<sup>2</sup>인 감포댐에 대해 유입량 모의방법을 검증하고, 왕산저수지에 그대로 적용하여 유입량을 모의하고, 물수지에 의해 방류량을 계산하는 것으로 했다. 모의결과는 저수량 오차로 신뢰도를 확인했다. 여기서 저수지 유입량은 ONE 모형을 이용하여 10분 단위로 생산했다. 2022년 9월 5일부터 6일까지 10분 단위로 모의한 결과는 다음과 같다.
- 첫째, 감포댐 유역은 강우량은 10분 최대 32.3mm, 총강우량 196.0mm였고, 유입량은 10분 최대 80.1m<sup>3</sup>/s, 총유입량 59만m<sup>3</sup>로 모의됐고, 신뢰도는 RMSE 2.120mm, NSE 0.947, R2는 0.949로 매우 높게 나타났다. 그리고 저수량 모의 신뢰도도 RMSE 0.153m, NSE 0.993, R2는 0.997로 높았다.

- 둘째, 왕신저수지 유역은 강우량은 유역내에 위치한 환경부 관리의 화산리 관측소에서 10분 최대 21.0mm, 총강우량은 10시간 동안 422.0mm였고, 유입량은 10분 최대 716.5m<sup>3</sup>/s, 총유입량 904만m<sup>3</sup>로 모의됐고, 유출률은 95.7%로 강우량 거의가 유입되는 것으로 나타났다.
- 셋째, 왕신 저수지의 방류량은 10분 최대 610.8m<sup>3</sup>/s, 총방류량 848만m<sup>3</sup>로 계산됐고, 총유입량의 93.8%에 상당했다. 그리고 저수지 물수지에 의해 10분 단위 모의 저수위의 신뢰도는 RMSE 0.117, NSE 0.994, R2 는 0.999로 매우 높게 나타났다.
- 넷째, 왕신저수지의 제체고 EL.59.20m를 월류한 시간은 9월6일 5시50분부터 8시까지 2시간10분 동안였으며, 관측 저수위는 EL.59.24m ~ EL.60.28m, 모의 저수위는 EL.59.31m ~ EL.60.29m로 나타났다. 월류되는 동안 총유입량은 544만m<sup>3</sup>, 총방류량은 527만m<sup>3</sup>로 나타나, 유입량의 96.8%가 월류되는 것으로 계산돼 저수지의 저류효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 이때 유입량은 전기간의 60.2%, 방류량은 62.1%에 상당했다.
- 다섯째, 힌남노에 따른 왕신저수지의 홍수조절효과는 침투유입량을 105.7m<sup>3</sup>/s 저감시켰고, 홍수량을 56만m<sup>3</sup>을 저류시킨 것으로 분석됐다.

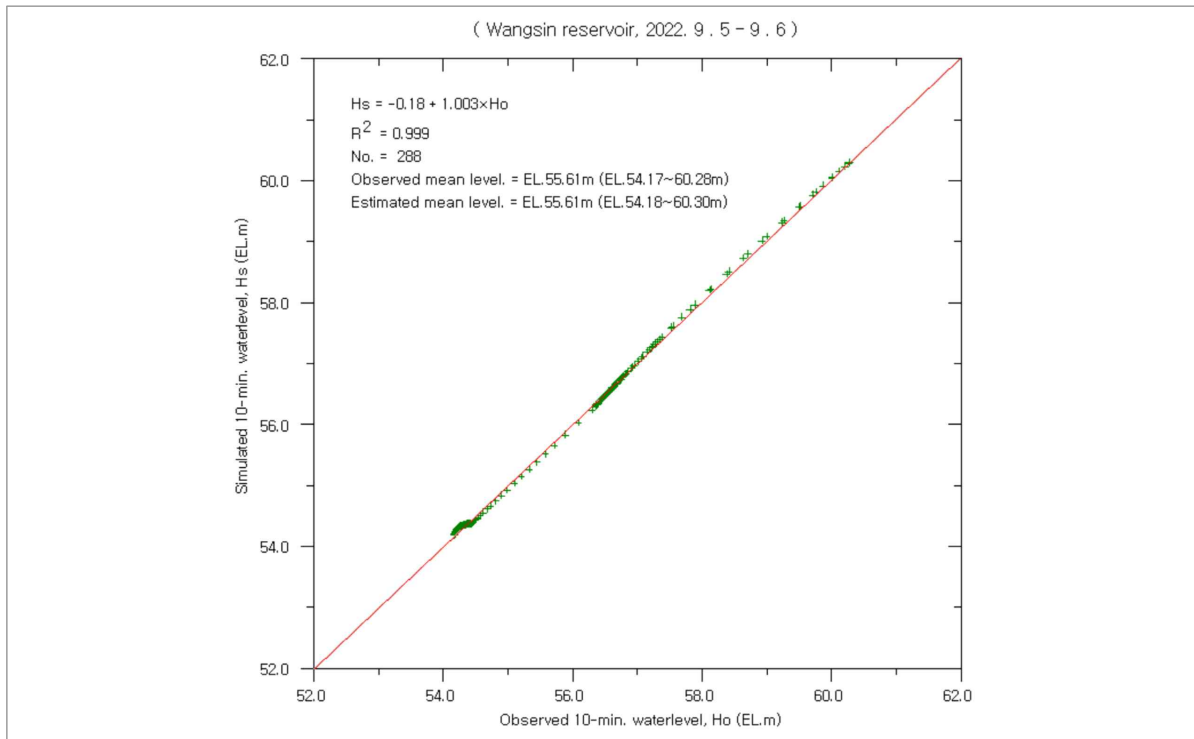


<그림 2-64> 왕신지 10분 단위 유입량 모의 예 (2022.9.5.~9.6.)





<그림 2-65> 왕신지 10분 단위 유입량 모의 검정 예 (2022.9.5.~9.6.)



<그림 2-66> 왕신지 10분 단위 관측-모의 저수위 등가선 비교 (2022.9.5.~9.6.)



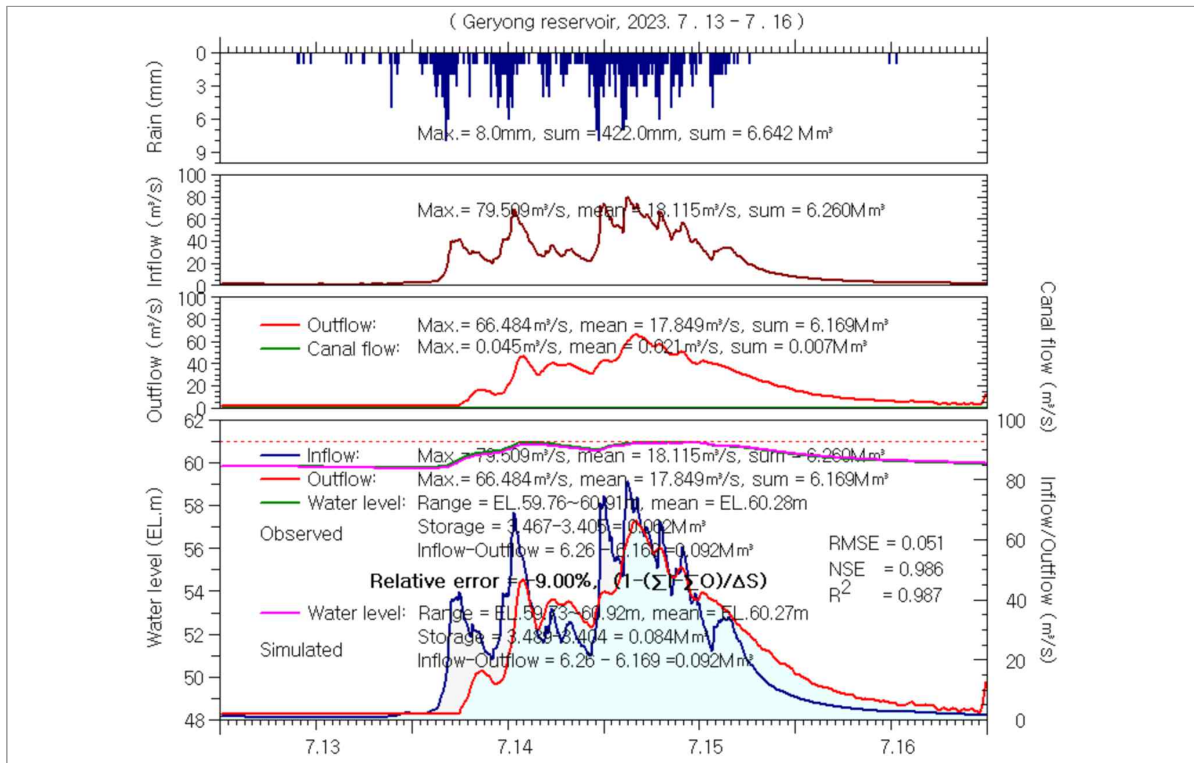
연월일	시분	강우량 (mm)	유입량 (m <sup>3</sup> /s)	관측저수위 (EL.m)	저수량 (천 m <sup>3</sup> )	수로1유량 (m <sup>3</sup> /s)	수로유량 (m <sup>3</sup> /s)	여수로방류량 (m <sup>3</sup> /s)	총방류량 (m <sup>3</sup> /s)	모의저수위 (m/s)
20220906	03시10분	9	183.396	56.73	1994	0.072	0.072	84.884	84.956	56.72
20220906	03시20분	9	210.566	56.92	2050	0.072	0.072	115.784	115.856	56.93
20220906	03시30분	8	234.595	57.06	2093	0.072	0.072	163.985	164.057	57.08
20220906	03시40분	5	246.983	57.16	2123	0.072	0.072	196.132	196.204	57.19
20220906	03시50분	6	233.259	57.22	2142	0.072	0.072	202.561	202.633	57.26
20220906	04시00분	7	230.347	57.25	2151	0.072	0.072	214.917	214.989	57.29
20220906	04시10분	9	235.692	57.27	2157	0.072	0.072	225.365	225.437	57.31
20220906	04시20분	11	255.951	57.31	2169	0.072	0.072	235.329	235.401	57.35
20220906	04시30분	14	289.992	57.38	2191	0.072	0.072	253.828	253.9	57.43
20220906	04시40분	11	347.198	57.53	2238	0.072	0.072	269.229	269.301	57.59
20220906	04시50분	12	362.502	57.69	2288	0.072	0.072	278.497	278.569	57.76
20220906	05시00분	15	384.424	57.89	2352	0.072	0.072	278.198	278.27	57.96
20220906	05시10분	16	434.36	58.14	2433	0.072	0.072	299.636	299.708	58.22
20220906	05시20분	17	483.79	58.38	2511	0.072	0.072	352.371	352.443	58.46
20220906	05시30분	21	532.071	58.64	2598	0.072	0.072	387.368	387.44	58.72
20220906	05시40분	18	621.369	58.93	2697	0.072	0.072	457.06	457.132	59.01
20220906	05시50분	21	636.442	59.24	2804	0.072	0.072	457.338	457.41	59.31
20220906	06시00분	18	691.039	59.51	2899	0.072	0.072	532.06	532.132	59.57
20220906	06시10분	21	677.728	59.76	2989	0.072	0.072	528.006	528.078	59.81
20220906	06시20분	17	716.508	60.02	3084	0.072	0.072	558.193	558.265	60.05
20220906	06시30분	17	676.742	60.21	3155	0.072	0.072	559.325	559.397	60.23
20220906	06시40분	10	654.443	60.28	3181	0.072	0.072	610.771	610.843	60.3
20220906	06시50분	6	543.297	60.27	3177	0.072	0.072	549.466	549.538	60.29
20220906	07시00분	2	433.566	60.21	3155	0.072	0.072	470.853	470.925	60.23
20220906	07시10분	2	329.402	60.12	3121	0.072	0.072	385.095	385.167	60.15
20220906	07시20분	1	266.319	60.01	3081	0.072	0.072	333.963	334.035	60.05
20220906	07시30분	0	217.087	59.87	3029	0.072	0.072	302.5	302.572	59.91
20220906	07시40분	0	176.584	59.71	2971	0.072	0.072	273.259	273.331	59.76
20220906	07시50분	1	147.7	59.5	2896	0.072	0.072	273.088	273.16	59.56
20220906	08시00분	0	139.49	59.27	2815	0.072	0.072	274.87	274.942	59.34
20220906	08시10분	1	131.279	59	2721	0.072	0.072	287.647	287.719	59.08
20220906	08시20분	0	113.576	58.71	2622	0.072	0.072	278.493	278.565	58.79
20220906	08시30분	0	103.985	58.42	2525	0.072	0.072	265.812	265.884	58.5
20220906	08시40분	0	91.973	58.12	2426	0.072	0.072	256.192	256.264	58.2
20220906	08시50분	0	82.189	57.82	2329	0.072	0.072	243.227	243.299	57.89
20220906	09시00분	0	74.086	57.55	2244	0.072	0.072	216.346	216.418	57.61
20220906	09시10분	0	67.28	57.34	2179	0.072	0.072	176.193	176.265	57.39

<그림 2-67> 왕신지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 엑셀 출력 예 (2022.9.5.~9.6.)

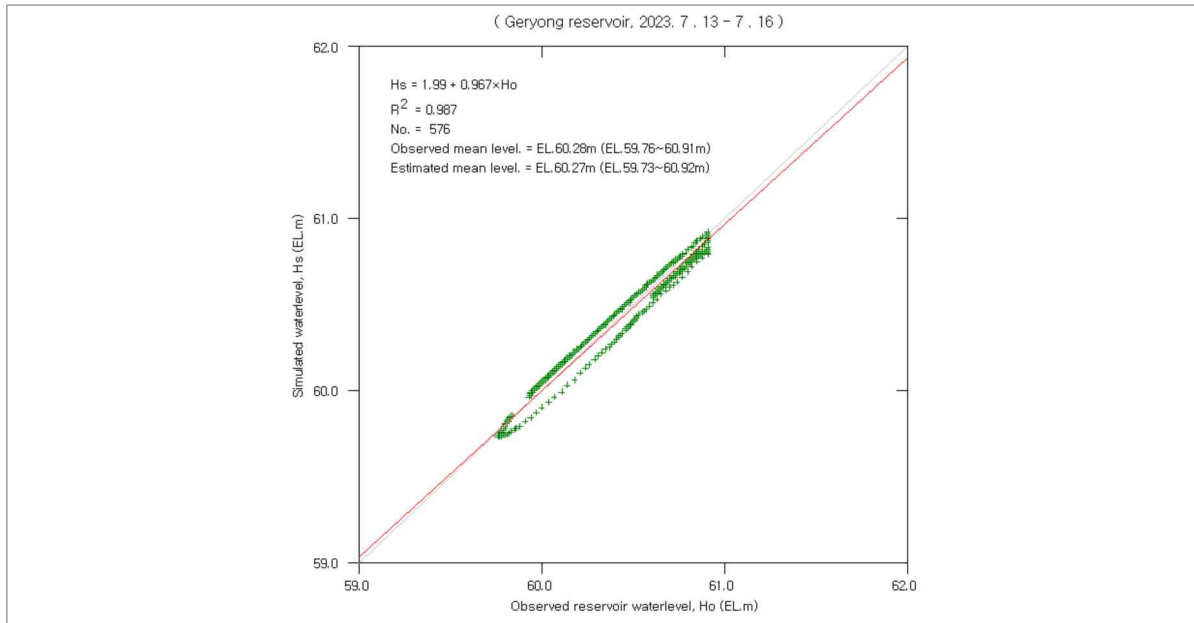
(12) 홍수기 저수지 방류량 계산 방법

- 농업용 저수지는 방류량도 유입량도 자료가 없다. 자료가 있어야 사전방류, 비상방류 등 의사결정을 합리적으로 내릴 수 있다. 홍수시 방류 실태는 수로를 통한 관개용수량의 공급은 중지하고, 사전에 통관을 통해 최대한 방류하며, 저수량이 일정수위 이상이면, 여수로를 통해 수문이 있든 없든 월류시키는 것으로 관찰되고 있다. 그러나 통관방류량, 여수로 월류량 등이 체계적으로 기록되는 경우는 거의 없다. 따라서 여기서, 유입량 모의 고정, 방류량 계산 필터링, 통관 방류량 설정, 물수지 등 과정을 거쳐 10분 단위 방류량을 계산하고, 물수지에 의해 모의 저수위를 관측 저수위와 비교하여 계산 방류량을 검증했다. 유입량은 ONE 모형에 의해 모의했고, 나머지는 다양한 기법을 동원하여 관측 모의 저수위를 그림으로 비교하고, 그 신뢰도를 쉽게 판단할 수 있는 틀을 만들었다. 이를 이용하여 유역면적 1,574ha, 총 저수량 471.7만m<sup>3</sup>, 수혜면적 450.2ha인 계룡저수지에 대해 2023년 7월 13일부터 16일까지 적용한 결과, 강우량은 10

분 최대 8mm, 총 강수량 422.0mm(664만m<sup>3</sup>), 유입량은 10분 최대 79.5m<sup>3</sup>/s, 총 유입량 397.7mm(626만m<sup>3</sup>)로 유출률은 97.4%, 방류량은 10분 최대 66.5m<sup>3</sup>/s, 총방류량 617만m<sup>3</sup>이었다. 10분 단위 저수위 검증 결과는 관측저수위 EL.59.76~60.91m(평균 EL.60.28m), 모의저수위 EL.59.73~60.92m(평균 EL.60.27m)로 나타났고, 신뢰도는 잔차 최대 0.170m, 최소 0.150m, 평균 0.010m, RMSE 0.051, NSE 0.986, R<sup>2</sup> 0.987로 매우 높게 나타났다. 이상의 결과는 저수지 운영자료 생산의 토대가 되며, 이는 기후변화에 대비하고, 물관리 과학화의 기반이 될 것이라 확신한다.



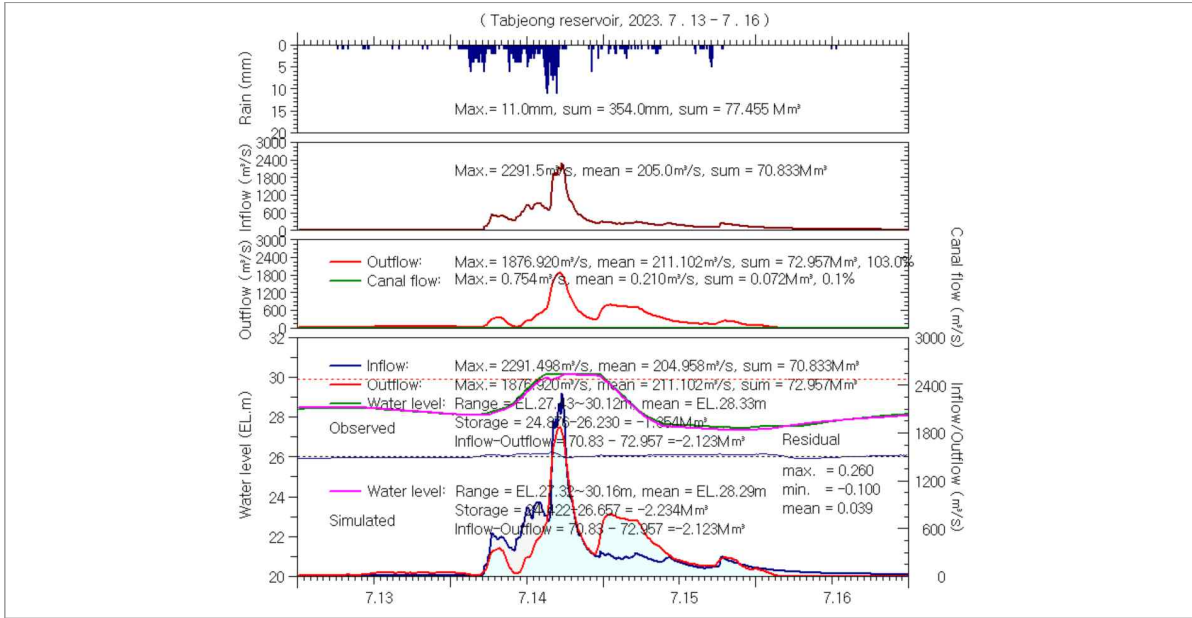
<그림 2-68> 10분 단위 저수지 운영자료 생성 결과



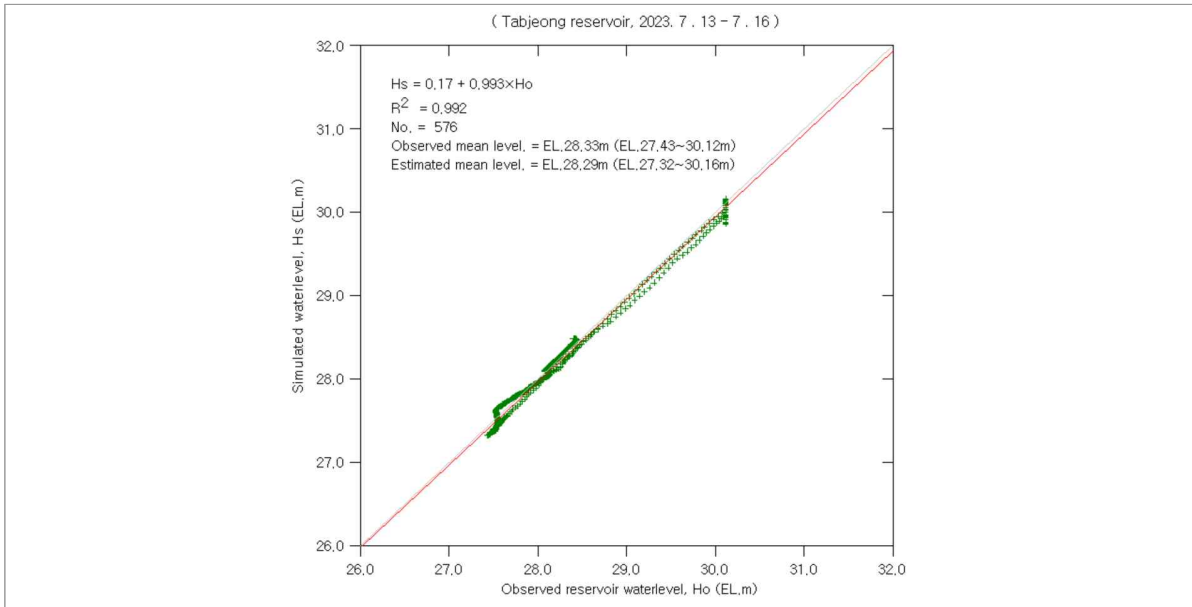
<그림 2-69> 관측-모의 저수위 비교 검증

### (13) 국가홍수통제 저수지의 운영자료 생산

- 우리나라는 홍수관리를 위해 홍수통제소를 운영하고 있다. 홍수기에는 다목적댐과 보, 그리고 농업용 저수지 중에서 규모가 큰 저수지의 운영자료를 고려하여 주요 지점의 홍수량을 계산하고 예보하고 있다. 그런데 저수지의 운영자료는 저수위 자료만 제공하고 있다. 정작 필요한 방류량 자료는 제공하지 못하고 있다. 이들 저수지는 여수로에 전동, 물러, 테인터게이트 등이 설치돼 있다. 현장에서 이들 수문조작의 실적을 제대로 관리하지 못하는 실정을 고려하여, 여기서는 저수량 자료만으로 방류량을 계산하는 방법을 제시했다. 그 방법은 유입량 모의 고정, 방류량 계산 필터링, 통관 방류량 설정, 물수지 등 과정으로 구성된다. 이를 통해 10분 단위 방류량을 계산하고, 물수지에 의해 모의 저수위를 관측 저수위와 비교하여 계산 방류량을 검증했다. 유입량은 ONE 모형에 의해 모의했고, 나머지는 다양한 기법을 동원하여 관측-모의 저수위를 그림으로 비교하고, 그 신뢰도를 쉽게 판단할 수 있는 툴을 만들었다. 이를 이용하여 금강하류 홍수통제 적용저수지인 백곡, 초평, 고복, 중흥, 탑정 저수지 중에서, 유역면적 21,880ha, 총 저수량 3,498.3만 $m^3$ , 수해면적 5,713.3ha인 탑정저수지에 대해 2023년 7월 13일부터 16일까지 적용한 결과, 강우량은 10분 최대 11.0mm, 총 강우량 354.0mm(7,745.5만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 2,291.498 $m^3/s$ , 총 유입량 323.7mm(7,083.3만 $m^3$ )로, 유출률은 91.5%, 방류량은 10분 최대 1,876.92 $m^3/s$ , 총 방류량 7,295.7만 $m^3$ (유입량의 103.0%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.754 $m^3/s$ , 총 공급량 7.2만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 0.1%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.27.43~30.12m(평균 EL.28.33m), 모의저수위 EL.27.32~30.16m(평균 EL.28.33m)로 나타났으며, 신뢰도는 저수위 잔차 최대 0.260m, 최소 -0.100m, 평균 0.039m, RMSE 0.082, NSE 0.989, R2 0.992로 매우 높았다. 위의 결과는 홍수통제에서 요구하고 있는 방류량 자료의 과학적인 생산기반이 되며, 이수기에도 연속적인 방류량 자료를 제공하여 효율적인 하천 유량관리의 바탕이 되기도 한다.



<그림 2-70> 10분 단위 저수지 운영자료 생성 결과



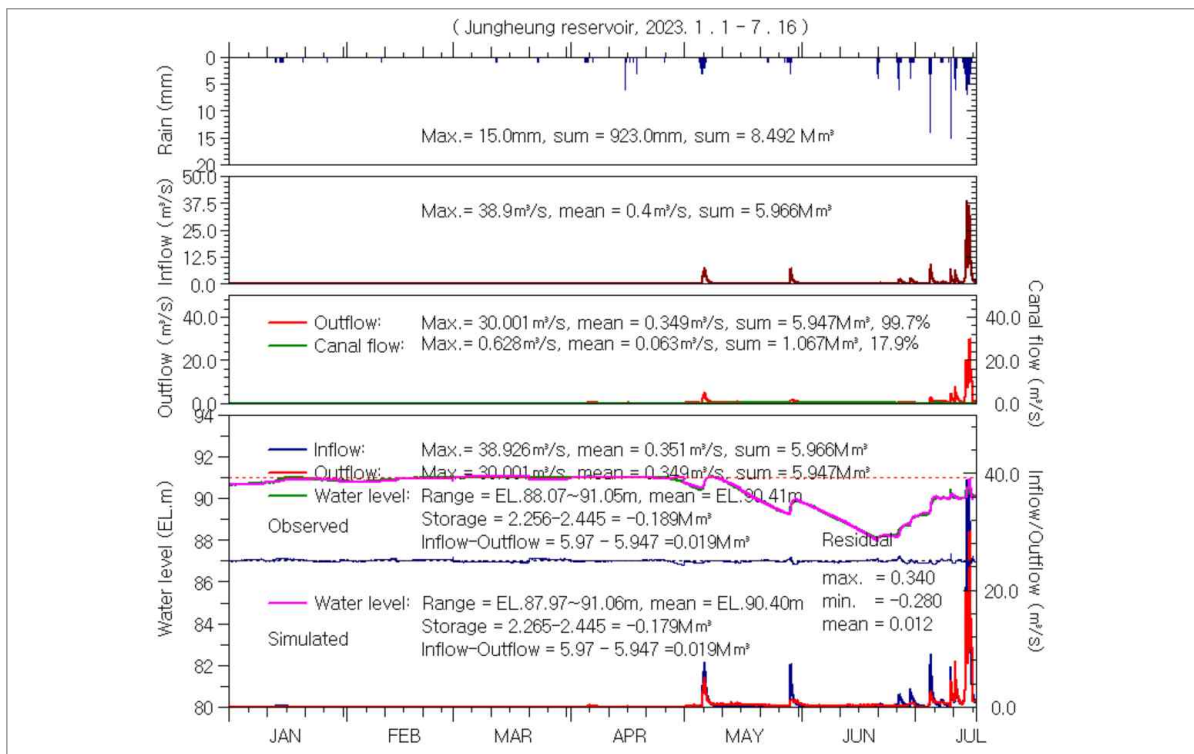
<그림 2-71> 관측-모의 저수위 비교 검증

(14) 저수지 운영자료 복원해야 하나?

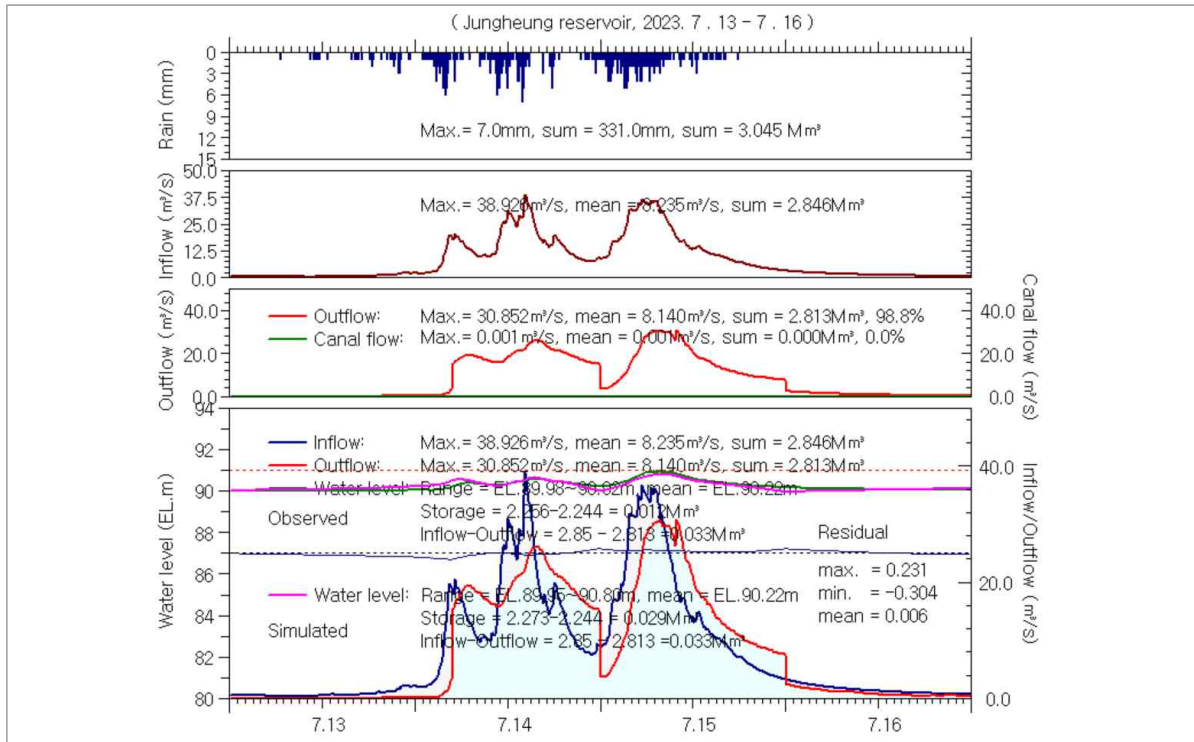
- 농업용 저수지는 저수량 자료만 있다. 100년 이상 농업용수 관리 역사에도 1991년부터 저수위 자료만을 관리했다. RAWRIS에는 2008년부터 일자료, 2018년부터 일부 수로수위를 포함해 10분, 1시간 자료가 제공되고 있다. 과거 자료도 과학적 계획, 관리를 위해 저수량, 유입량, 방류량, 강우량 등 저수지 운영자료는 필요하다. 저수량 자료만으로 유입량 모의 고정, 방류량 계산 필터링, 통관 방류량 설정, 물수지 분석 등 과정을 거쳐 저수지 운영자료를 복원할 수 있는 가능성을 확인했다. 그 예로 유역면적 920ha, 총 저수



량 277.7만 $m^3$ , 수혜면적 275ha인 중흥저수지에 대해 2023년 1월 1일부터 7월 16일까지 저수지 운영자료를 10분 단위로 복원한 결과, 강우량은 10분 최대 15.0mm, 총 강우량 923.0mm(849.2만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 38.926 $m^3/s$ , 총 유입량 646.4mm(596.6만 $m^3$ )로, 유출률은 70.5%, 방류량은 10분 최대 30.001 $m^3/s$ , 총 방류량 594.7만 $m^3$ (유입량의 99.7%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.628 $m^3/s$ , 총 공급량 106.7만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 17.9%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.88.07~91.05m(평균 EL.90.41m), 모의저수위 EL.87.97~91.02m(평균 EL.90.41m)로 나타났으며, 신뢰도는 잔차 최대 0.340m, 최소 -0.280m, 평균 0.050m, RMSE 0.097, NSE 0.987, R2 0.991로 매우 높았다. 이상의 결과는 과거 저수지 운영자료를 복원할 수 있는 가능성을 나타낸 것이다. 위 방법으로 주요 저수지의 운영자료는 과거 자료라도 복원하여, 물관리 과학화의 기틀을 마련해야 할 것이며, 또 그 자료를 공유할 가치가 충분하고, 그 의무도 있다. 또 이것이 바로 역사 복원이 아닐까 그려본다. 진실은 사라지지 않는다. 영원하다. 복원은 진실 구현의 바탕이다.



<그림 2-72> 전기간 저수지 운영자료 복원 결과



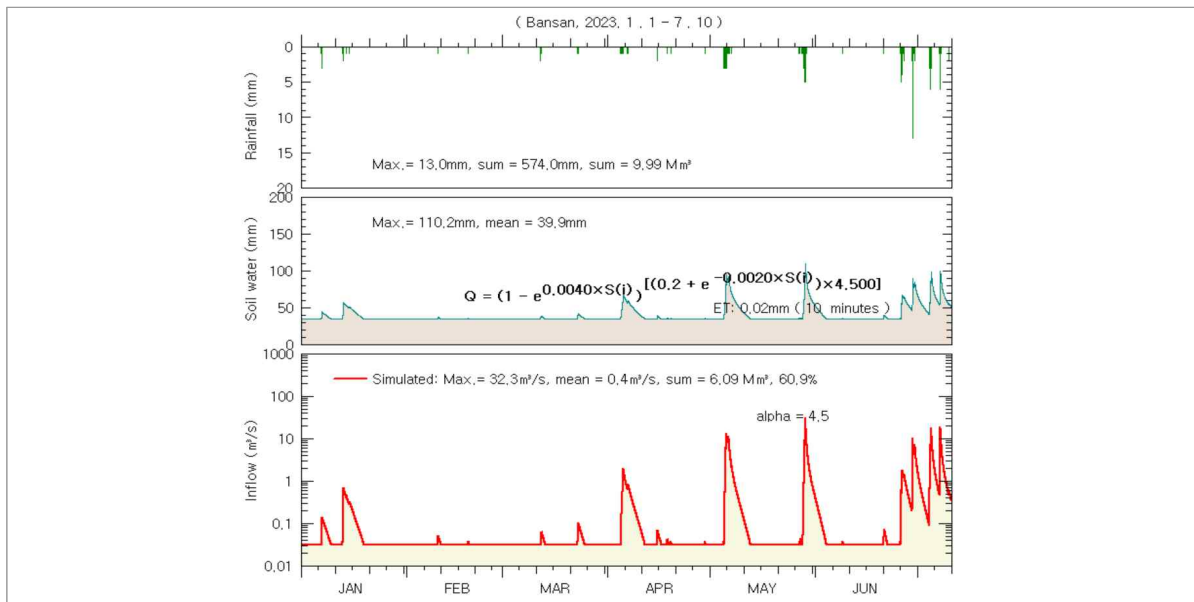
<그림 2-73> 홍주기 단위 저수지 운영자료 복원 결과(10분 단위)

(15) 저수량 자료만을 이용한 준실시간 저수지 운영자료 생산

- 저수량 자료만을 이용하여, ONE 모형에 의한 10분 단위의 저수지 유입량 모의, 인근 저수지 수로유량 패턴 이용, 필터링과 보간 방법을 이용한 물수지에 의한 방류량 계산, 관측 저수위와 비교검증 등 과정을 거쳐, 강우량, 유입량, 저수량, 수로유량, 방류량 등 저수지 운영자료를 준실시간으로 생산하는 방법을 연구했다. 2023년 1월1일부터 7월10일까지 10분 단위로, 유역면적 17.40km<sup>2</sup>, 총저수량 569만m<sup>3</sup>, 수해면적 765.1ha인 반산저수지에 적용한 결과, 관측-모의 저수위의 NSE는 0.984, R2는 0.984로 매우 높게 나타났다.
- 현재 일부 수로에 수위계를 설치했지만, 오결측이 많아 관개용수 공급량을 정확하게 예측하지 못하는 실정이다. 또한 여수로 수문 방류량은 관리실적이 없어 계산할 수도 없다. 더구나 유입량은 방류량 자료가 없어 계산조차 못하고 있다. 효율적인 홍수, 가뭄 대응을 위해 저수지 운영자료는 기본이다. 상황이 어려워도 필요한 자료는 준비해야 한다. 여기서 수로에 수위계는 설치돼 있지만, 금년도 관측이 전혀 이뤄지지 않은 총저수량 569만m<sup>3</sup>, 수해면적 765.1ha인 반산저수지를 대상으로 강우량, 유입량, 저수량, 수로유량, 총방류량 등을 10분 단위로 생산코자 하였다.
- 저수지 운영자료는 유입량, 저수량, 방류량으로 구성된다. 저수량 자료만 있고, 유입량과 방류량을 만들어야 한다. 방류량은 수로유량과 여수로 수문유량으로 구성된다. 여기서 유입량은 ONE 모형에 의해 모의하여 고정시키는 것으로 했다. 수로유량은 인근의 옥산, 복심 저수지의 자료를 수해면적 비를 고려해 적용하는 것으로 했다. 방류량은 수로유량을 더한 총방류량을 물수지에 의해 계산하는 것으로 했다. 10분 단위로 물수지에 의한 총방류량은 다목적댐 유입량의 계산에서 진폭이 크게 나타나는 현상을 저수지

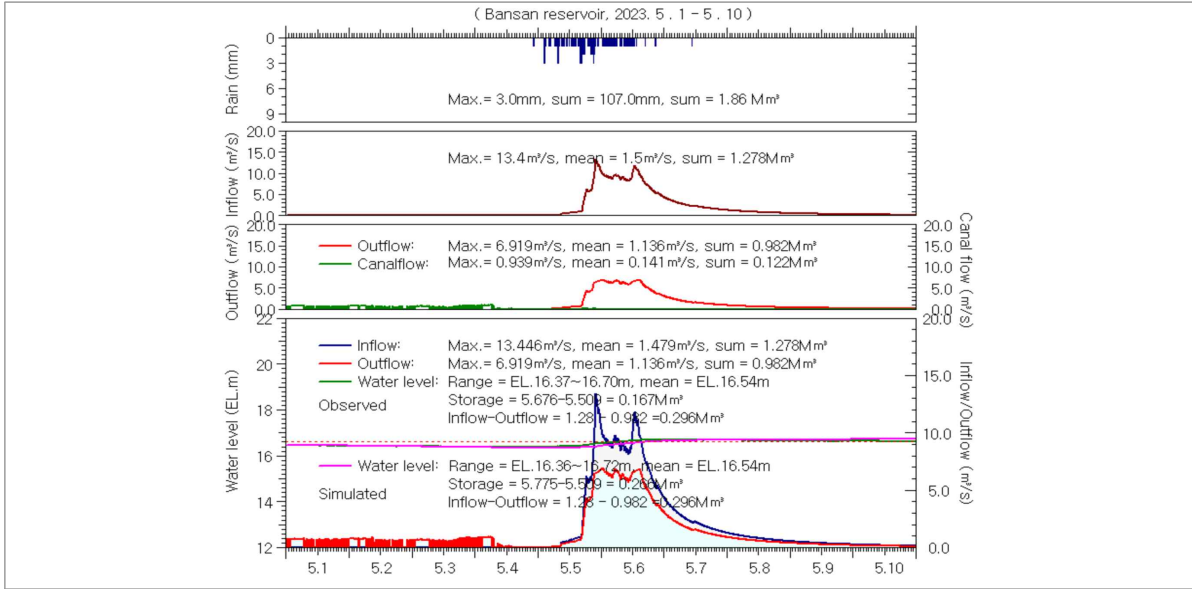
에서도 마찬가지로 나타났다. 따라서 다양한 필터링과 보간 방법을 적용하여 방류량 자료를 평활화했다.

- 생산 자료의 검증은 물수지에 의해 관측-모의 저수위를 비교하는 것으로 했다. 적용기간은 10분 단위로 저수위가 일치하는 기간까지 연장하는 것으로 했으며, 길게는 3개월, 짧게는 2~3일 간격으로 검증과정을 거치는 것으로 했다. 또한 관개용수량의 패턴에 따라 저수량 변화가 관측값과 일치하도록 인근 저수지의 자료를 수혜면적 비를 고려했으며, 저수량 오차가 최소가 되도록 비율을 수정하며 적용했다. 그리고 물수지에 의해 계산한 방류량도 저수량 오차가 발생하는 경우, 오차가 최소화되는 비율을 탐색하여 적용했다.
- 취수탑 운영실적, 여수로 수문 조작실적 등의 자료가 있는 경우에는 더욱 현장에 적합한 결과가 나올 것이며, 이 연구에서는 사용하지 않았지만, 이의 적용을 위한 방안도 운영자료 생산 시스템에 장착했다.
- 저수위 자료만을 이용하여 유입량, 방류량 등 운영자료를 생산하고 검증한 결과, RMSE 0.053, NSE 0.984, R2 0.984로 매우 만족스런 결과를 얻었다.
- 본 연구에서는 저수량 자료만을 이용하여 운영자료를 10분 단위로 생산하는 연구를 시도했으며, 결과는 다음과 같다. 첫째, 수로 수위계측이 전혀 이뤄지지 않은 반산저수지의 운영자료를 성공적으로 생산했다. 둘째, 수로에서 수위계측이 이뤄지지 않는 많은 저수지에서도 운영자료를 생산하는 가능성을 제시했다.

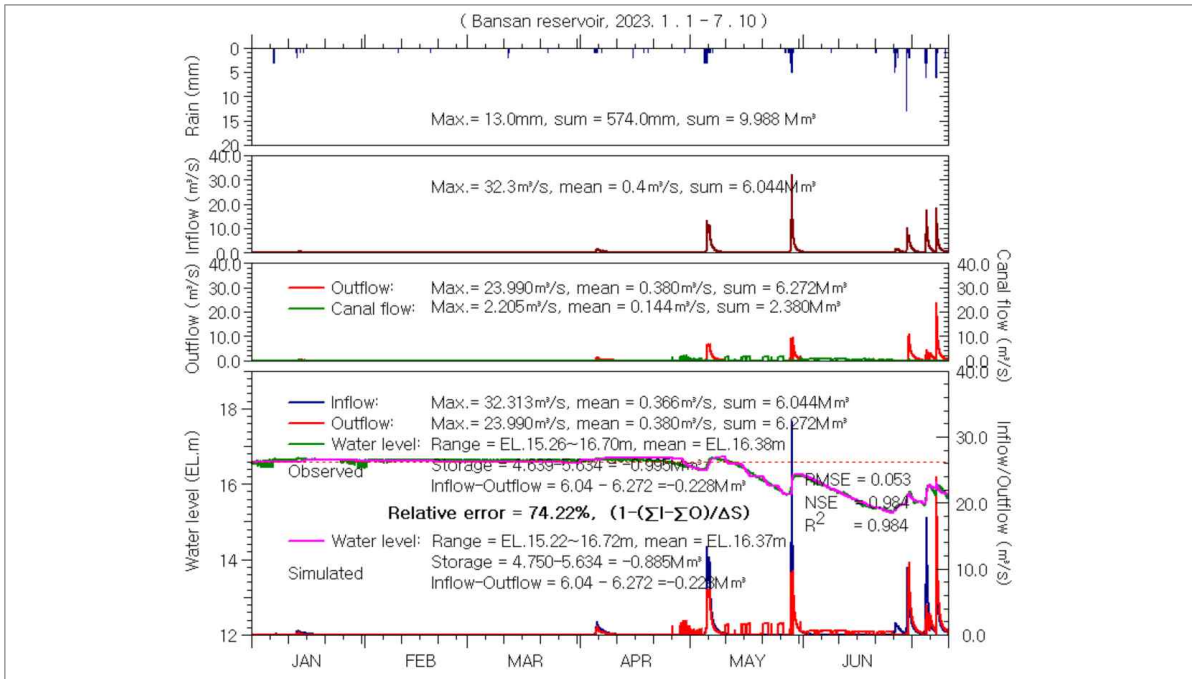


<그림 2-74> ONE 모형의 10분 단위 유입량 모의

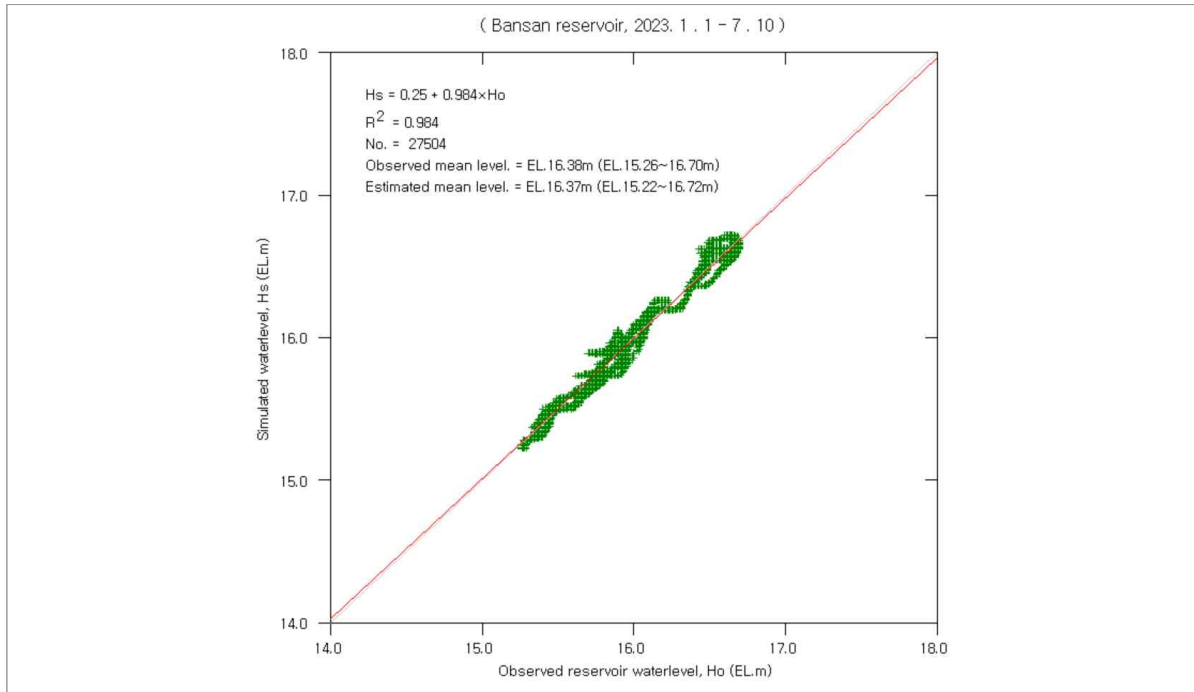




<그림 2-75> 10분 단위 저수지 운영자료 생산 예



<그림 2-76> 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과

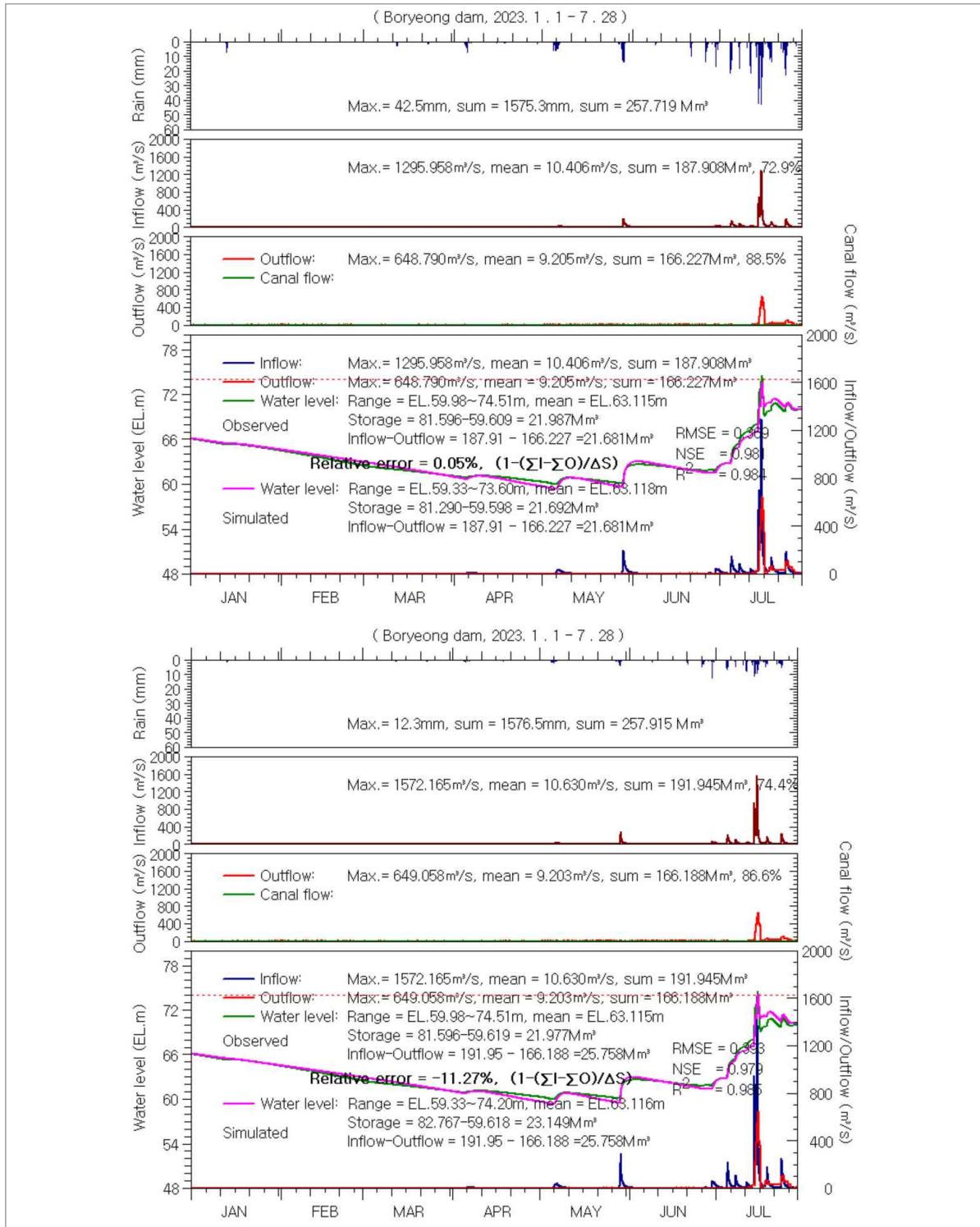


<그림 2-77> 10분 단위 관측-모의 저수위 비교

#### (16) 다목적 댐 운영자료도 개선할 수 있다

- 다목적 댐은 방류량을 철저히 기록한다. 유입량도 저수량 변화에 방류량을 더해 계산한다. 그러나 계산 유입량에서 진폭이 크게 나타나는 현상을 모면하지 못하고 있다. 더구나 음 유입량도 계산돼, 영으로 처리하고 있다. 이는 특히 10분, 1시간 자료에서 심하게 나타난다. 따라서 다목적 댐의 유입량 자료는 신뢰도가 낮다.
- 여기서는 저수지에서 시도한 저수량 자료만으로 유입량 모의 고정, 방류량 계산 필터링, 통관 방류량 설정, 물수지 분석 등 과정을 거쳐 저수지 운영자료를 복원하는 방법을 적용하지 않고, 방류량은 그대로 적용하고 유입량을 모의하는 것만으로, 다목적 댐 유입량의 신뢰도가 얼마나 개선되는지 연구했다. 물론 유입량 모의는 ONE 모형에 의했다.
- 유역면적 163.6km<sup>2</sup>, 총 저수량 1억1,160만m<sup>3</sup>인 보령댐에 대해 2023년 1월 1일부터 7월 28일까지 적용한 결과, 1시간 자료는 저수량 오차 신뢰도가 계산유입량을 적용한 경우 RMSE 1.221, NSE 0.798에서, ONE 모형의 모의유입량을 적용한 경우 RMSE 0.369, NSE 0.984로 크게 개선되었고, 10분 자료에서도 각각 1.412, 0.730에서 0.393, 0.979로 크게 개선되었다.
- 이는 ONE 모형으로 10분, 1시간 단위 연속 유입량 자료를 크게 개선시킨 사례이며, 이 결과가 시사하는 의미는 매우 깊다. 실시간으로 유입량, 방류량을 조정하면, 거의 완벽에 가까운 자료를 구현할 수 있는 바탕을 제시한 결과이기도 하다. 또한 농업용 저수지에서 유입량을 고정시키고, 방류량을 계산하여 저수지 운영자료를 복원하는 방법의 타당성을 입증하는 것이기도 하다. 자료는 존재로 맞이해야 한다. 존재 떠나면 생명은 없다. 즉 신뢰도는 떨어진다. 자료는 기술의 바탕이다. 자료 없는 어느 기술도 포장에 불과하다.

고 가짜다. 다목적 댐 유입량 자료는 개선해야 한다.

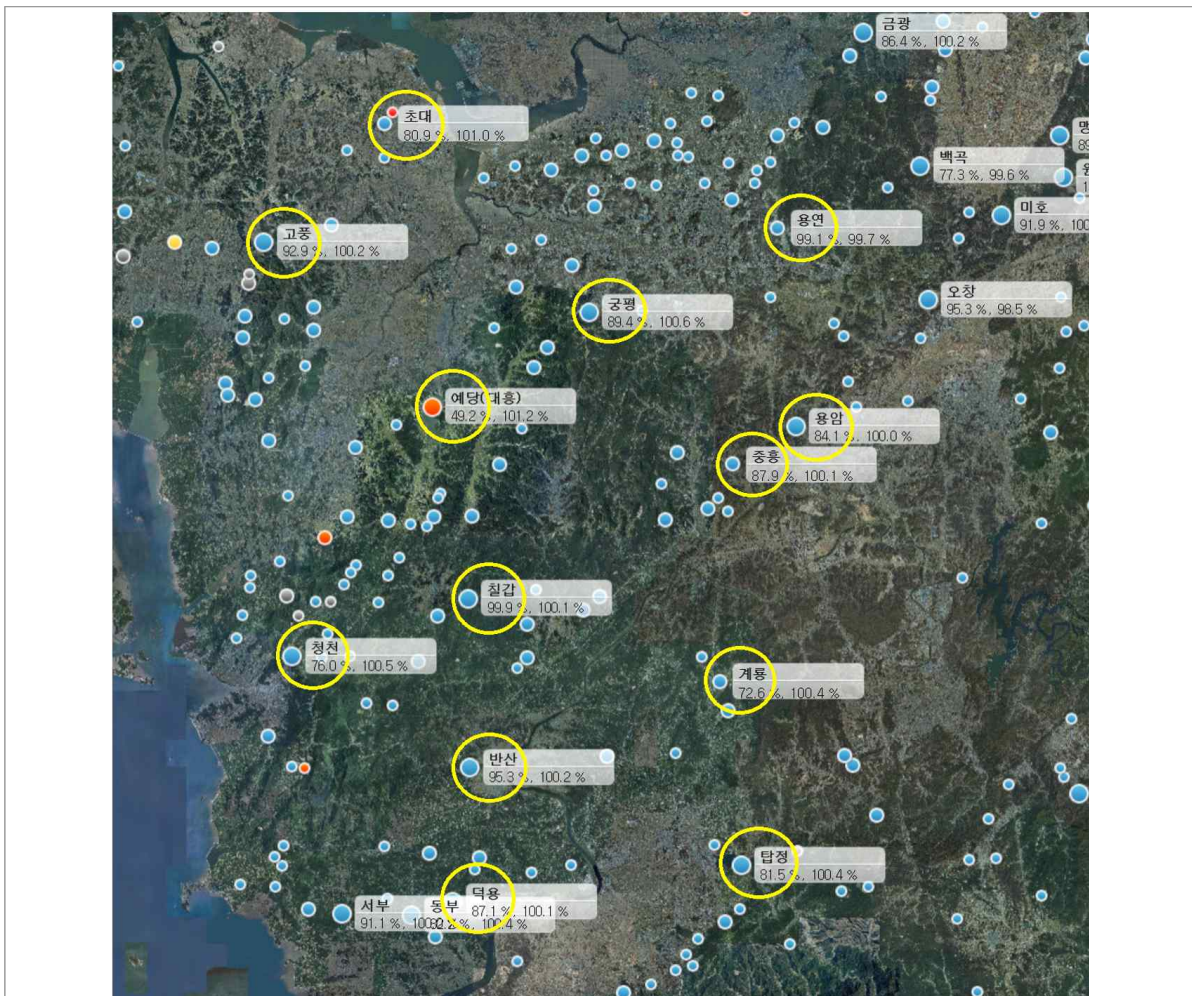


<그림 2-78> 다목적 댐 유입량 자료 개선 사례 (보령댐 1시간, 10분자료)

### 3. 저수지 운영자료 생산 결과

#### 1. 적용 저수지

- 충남에 위치한 저수지를 대상으로 한국농어촌공사 충남본부의 지사별로 1개소씩(공주 지사는 2개소) 선정하는 것을 원칙으로 했다. 그리고 2022년 헌남노 폭우로 월류한 경주의 왕신지를 추가했다.
- 선정 저수지의 총 저수량은 최소 초대지 1,080천m<sup>3</sup>, 최대 예당지 47,103천m<sup>3</sup>이고, 유역면적은 최소 초대지 470ha, 최대 예당지 37,360ha이고, 수해면적은 최소 초대 147ha, 최대 예당지 6,917.4ha, 유역배율은 최소 덕용지 1.48, 최대 왕신지 7.97이다.



<그림 3-1> 저수지 운영자료 생산 적용 저수지 (충남)



<표 3-1> 저수지 운영자료 생산 적용 저수지

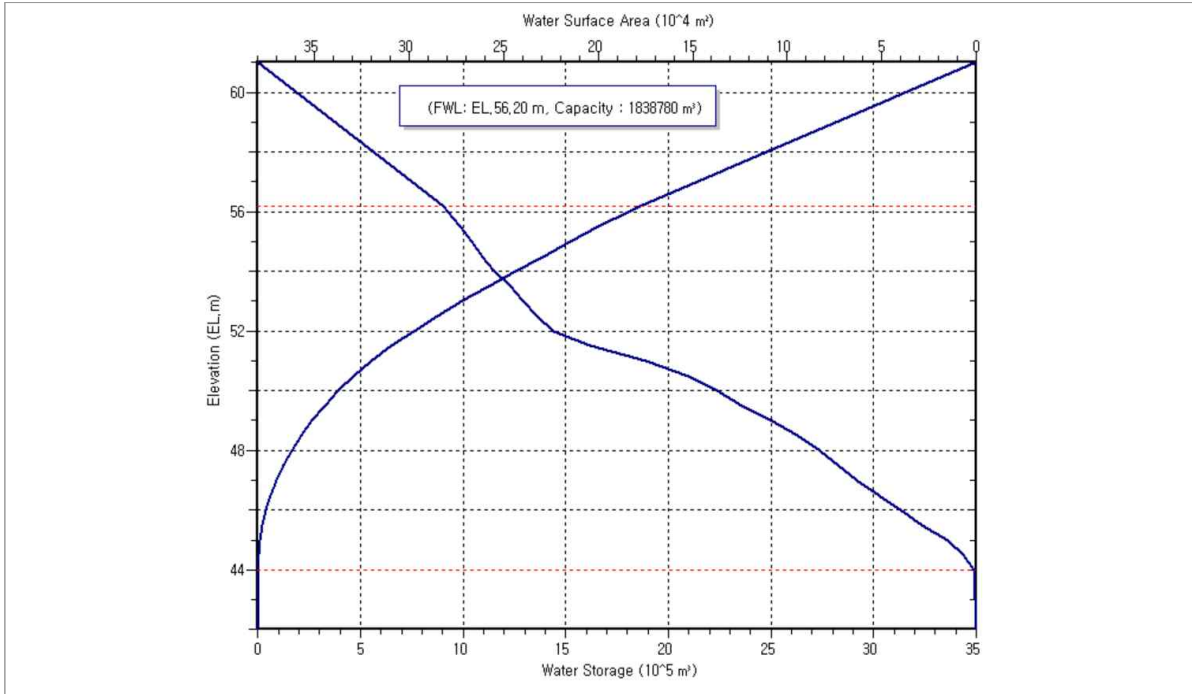
저수지	지사	총저수량 (천 $m^3$ )	수혜면적 (ha)	유역면적 (ha)	유역배율	홍수위 (EL.m)	만수위 (EL.m)	사수위 (EL.m)
왕신	경주	1,839	276.2	2,200	7.97	57.70	56.20	44.00
용암	세종	5,284.1	477.5	1,620	3.39	61.30	60.50	50.16
중흥	공주	2,777	275	920	3.35	91.80	91.00	74.60
탑정	논산	34,983	5,713.3	21,880	3.83	29.90	29.90	17.10
용연	천안	3,049.75	421	2,070	4.91	102.03	101.03	88.63
칠갑	청양	5,084.5	682	1,730	2.54	141.00	139.00	125.00
홍동	홍성	1,063.8	234.5	1,480	6.31	45.00	44.00	40.30
계룡	공주	4,717	450	1,574	3.50	62.00	61.00	49.00
반산	부여	5,692	765.1	1,740	2.27	17.80	16.60	8.00
덕용	서천	5,660.9	1,071	1,580	1.48	29.20	28.20	14.80
청천	보령	20,800	2,638	7,010	2.66	40.20	40.20	23.20
예당	예산	47,103.24	6,917.4	37,630	5.40	23.00	22.50	14.50
고풍	서산	8,360	1,293.8	2,590	2.00	88.20	85.50	65.50
초대	당진	1,080	147	470	3.20	14.05	13.05	8.55
궁평	아산	6,717.27	1,108	4,333	3.91	65.90	64.44	51.50
계		154,211.56	22,469.8	88,557				

## 2. 생산 결과

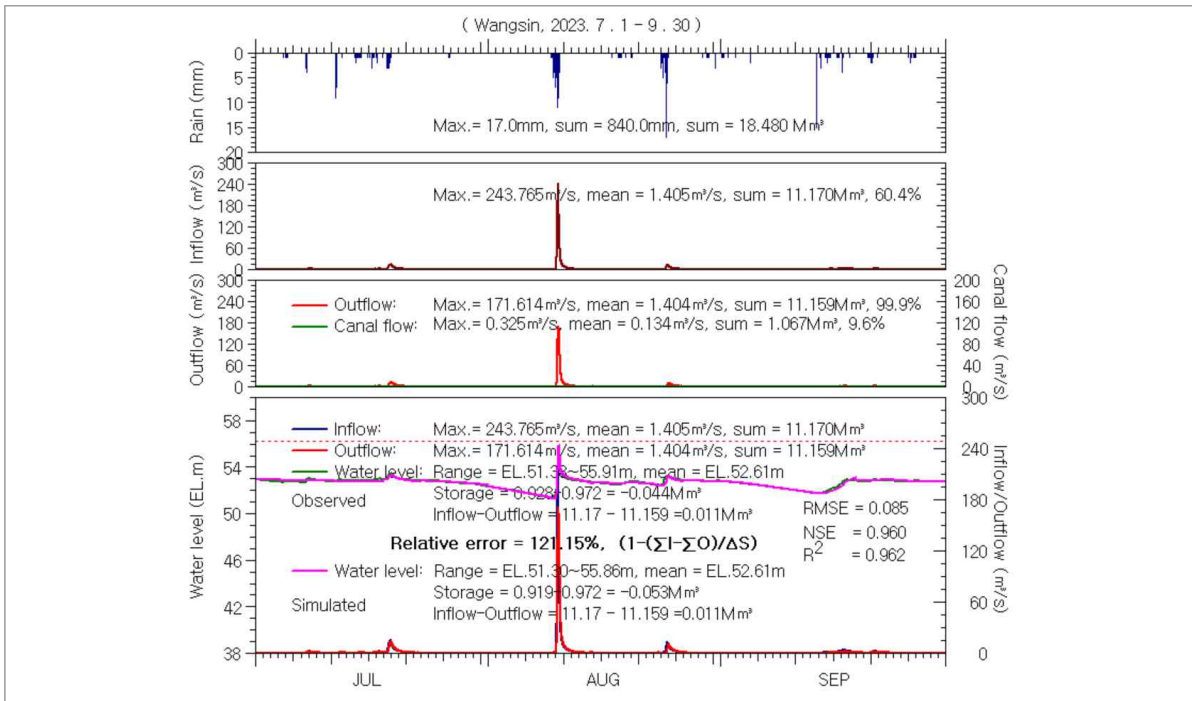
- 선정된 저수지에 대해 2023년 1월 1일부터 10분 단위로 유입량을 모의하고, 수로유량을 계산하고, 저수지 물수지에 의해 방류량을 계산하고, 모의 저수위가 관측 저수위와 비교하여 만족한 수준을 얻을 때까지 반복 수행했다. 짧게는 2~3일 간격으로 길게는 1달까지 운영자료를 생산하여 연속자료로 만들었다.

### (1) 왕신지

- 왕신지는 2023년 7월 1일부터 9월 30일까지 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 17.0mm, 총 강우량 840.0mm(1,848.0만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 243.765 $m^3/s$ , 총 유입량 507.7mm(1,117.0만 $m^3$ )로, 유출률은 60.4%, 방류량은 10분 최대 171.614 $m^3/s$ , 총 방류량 1,115.9만 $m^3$ (유입량의 99.9%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.325 $m^3/s$ , 총 공급량 106.7만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 9.6%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.51.38~55.91m(평균 EL.52.61m), 모의저수위 EL.51.30~55.86m(평균 EL.52.61m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.085, NSE 0.960, R2 0.962로 매우 높았다.

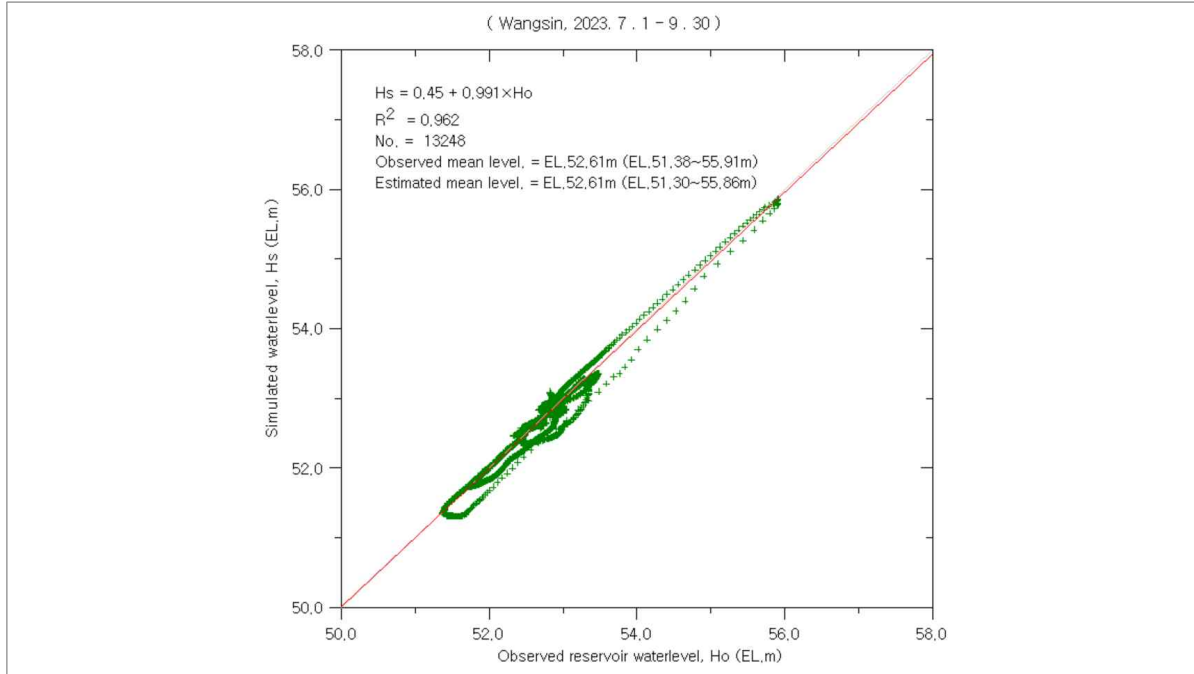


<그림 3-2> 왕신지 내용적 곡선



<그림 3-3> 왕신지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.7.1.~9.30.)

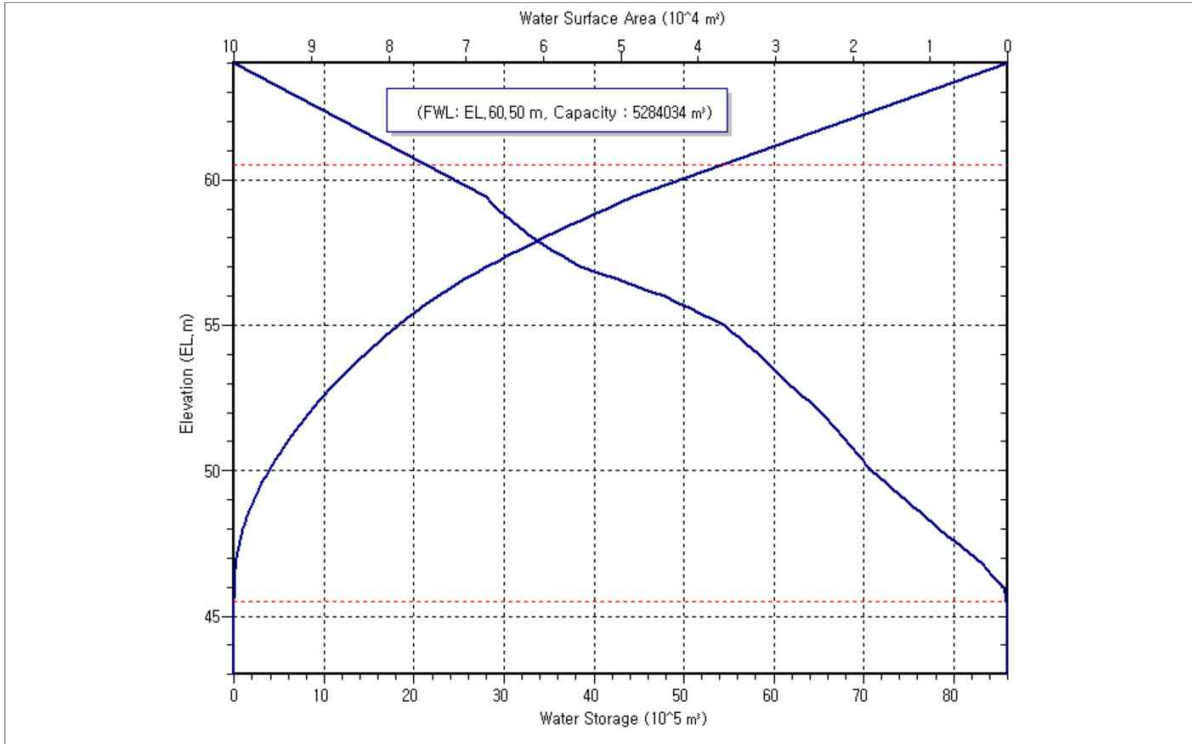




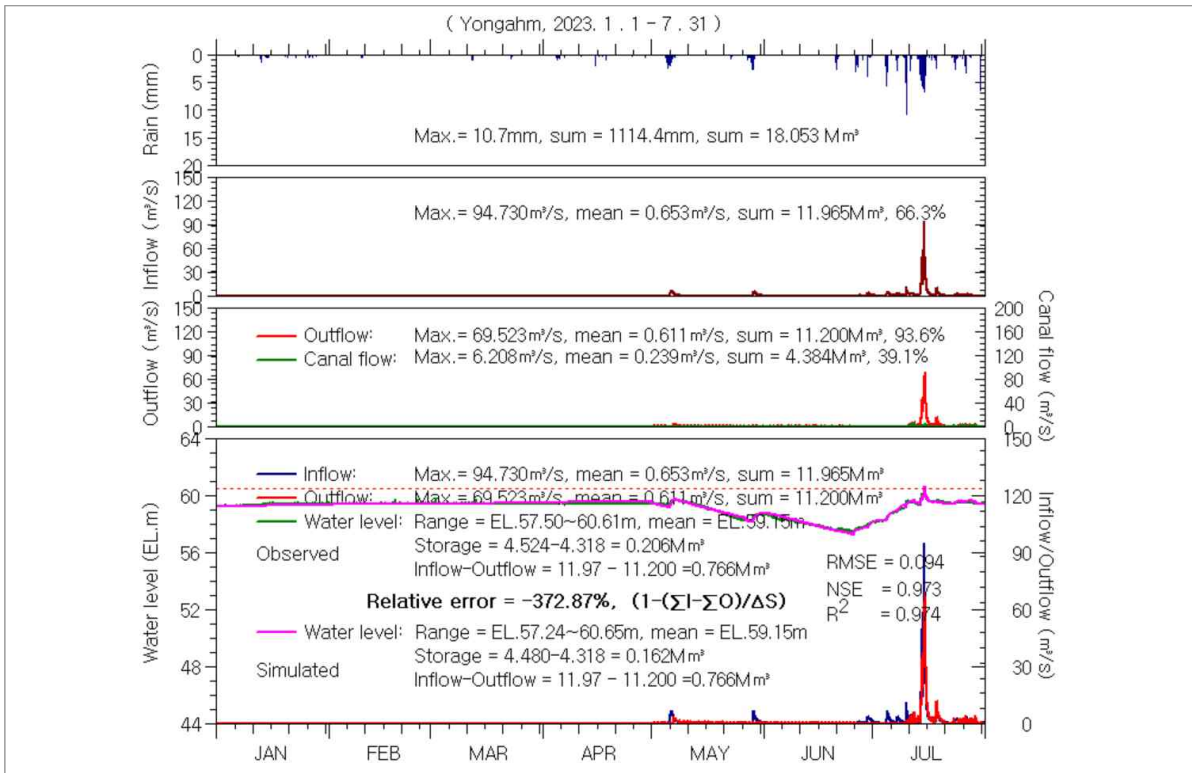
<그림 3-4> 왕신지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.7.1.~9.30.)

(2) 용암지

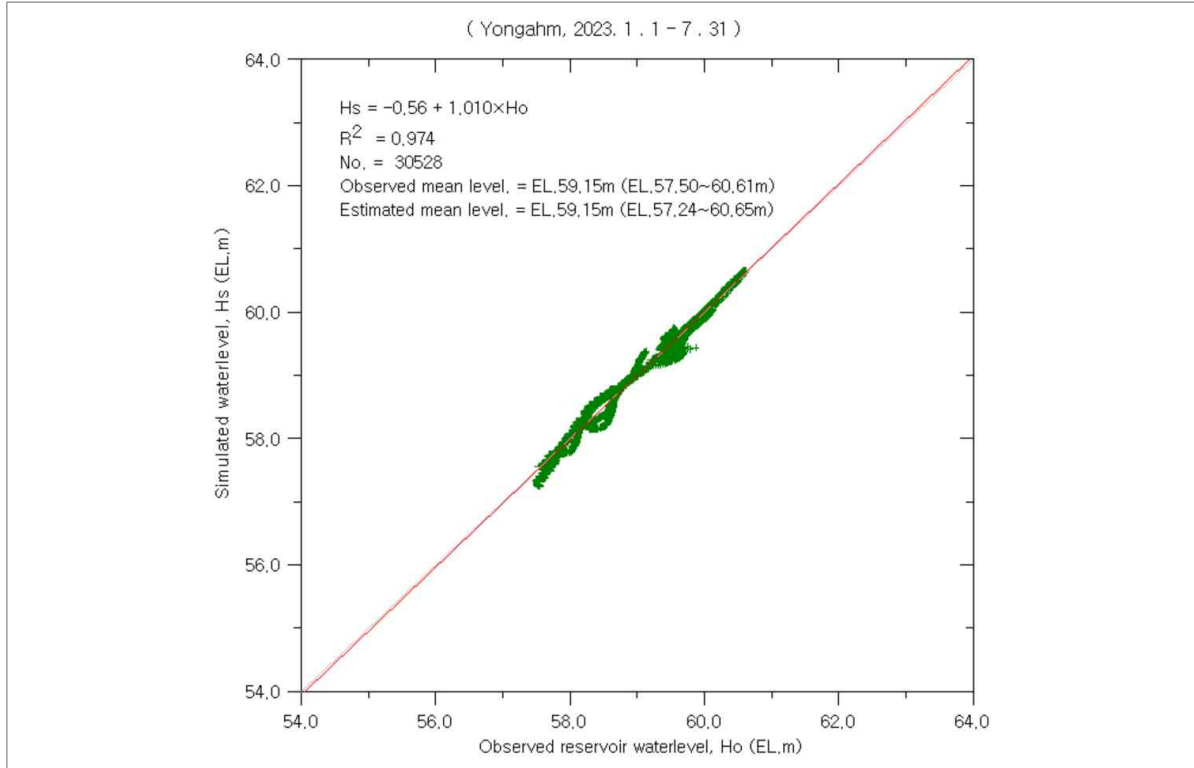
- 2023년 1월 1일부터 7월 31일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 10.7mm, 총 강우량 1,114.4mm(1,805.3만<sup>3</sup>m), 유입량은 10분 최대 94.730<sup>3</sup>m/s, 총 유입량 738.6mm(1,196.5만<sup>3</sup>m)로, 유출률은 66.3%, 방류량은 10분 최대 69.523<sup>3</sup>m/s, 총 방류량 1,120만<sup>3</sup>m(유입량의 93.6%), 수로 용수공급량은 10분 최대 6.208<sup>3</sup>m/s, 총 공급량 438.4만<sup>3</sup>m이었고, 총 방류량의 39.1%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.57.50~60.61m(평균 EL.59.15m), 모의저수위 EL.57.24~60.65m(평균 EL.59.15m)로 나타났으며, 신뢰도는 잔차 최대 0.440m, 최소 -0.248m, 평균 -0.001m, RMSE 0.094, NSE 0.973, R2 0.974로 매우 높았다.



<그림 3-5> 용암지 내용적 곡선



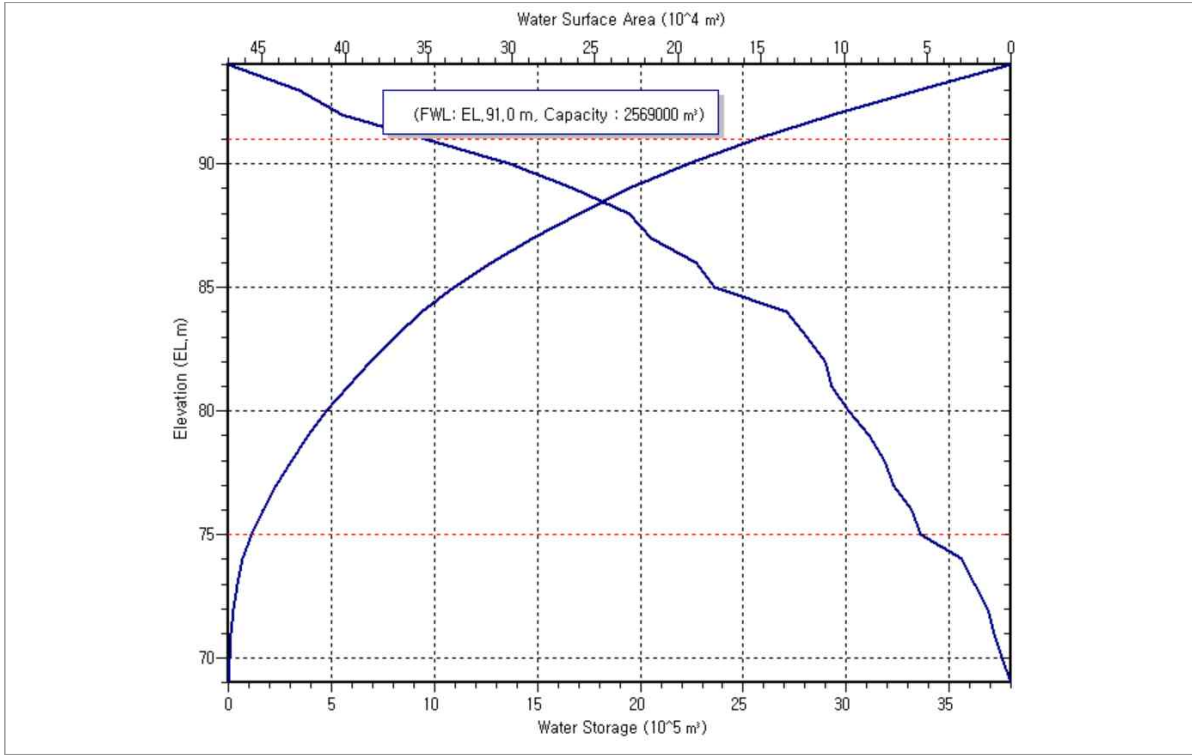
<그림 3-6> 용암지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.31.)



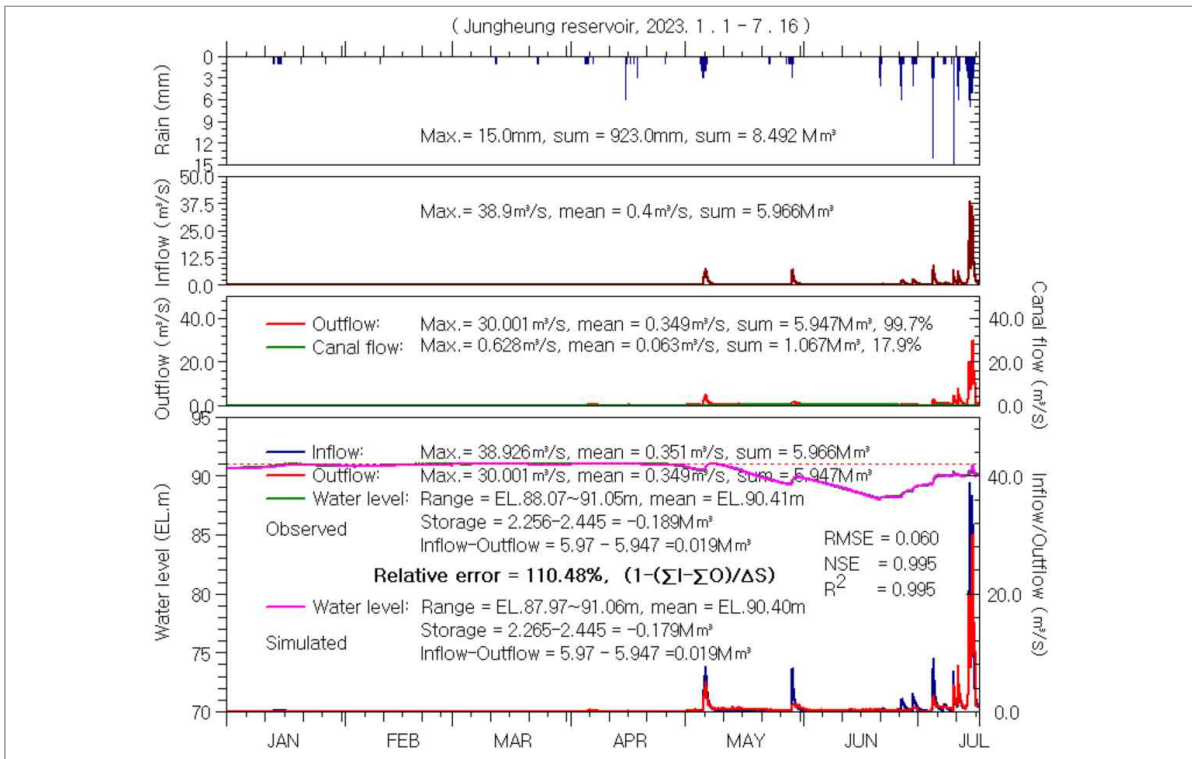
<그림 3-7> 용암지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.31.)

(3) 중홍지

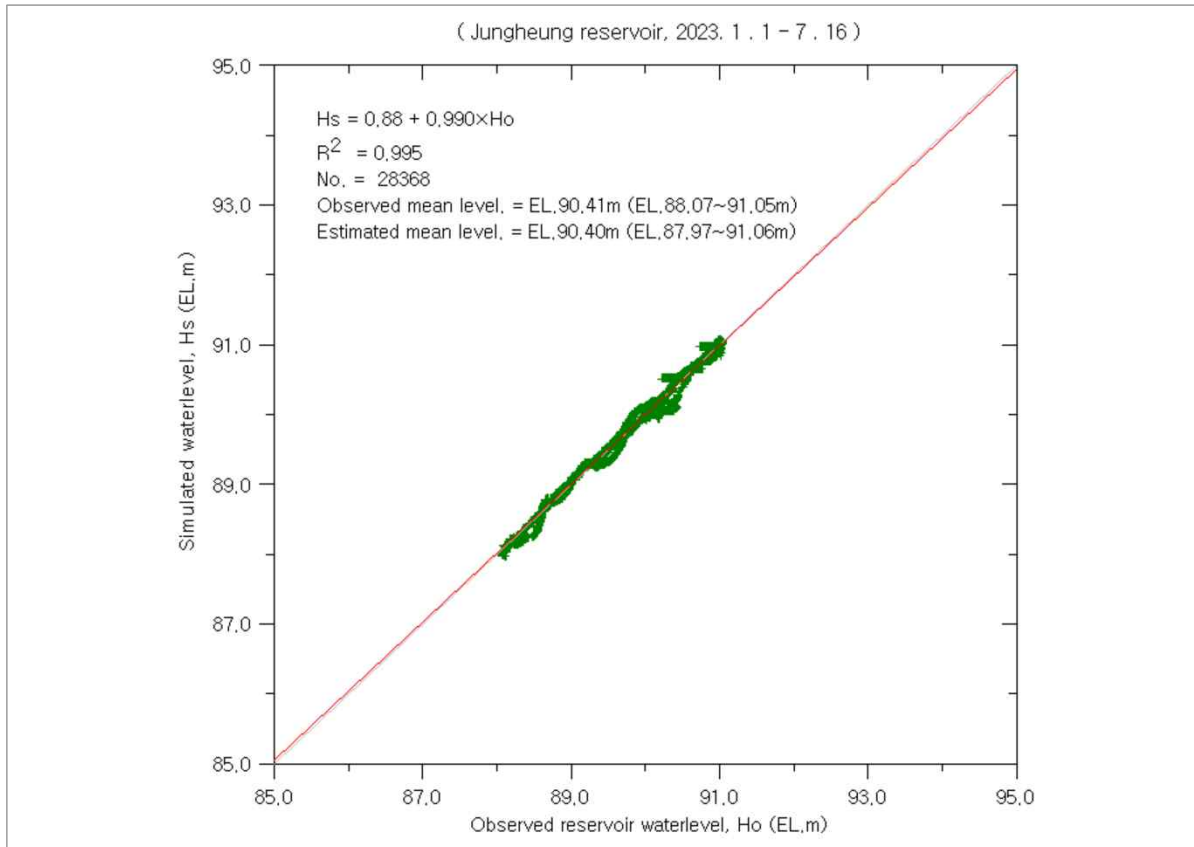
- 2023년 1월 1일부터 7월 16일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 15.0mm, 총 강우량 923.0mm(849.2만<sup>3</sup>m), 유입량은 10분 최대 38.926<sup>3</sup>m/s, 총 유입량 648.5mm(596.6만<sup>3</sup>m)로, 유출률은 70.3%, 방류량은 10분 최대 30.001<sup>3</sup>m/s, 총 방류량 594.7만<sup>3</sup>m(유입량의 99.7%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.628<sup>3</sup>m/s, 총 공급량 106.7만<sup>3</sup>m이었고, 총 방류량의 17.9%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.88.07~91.05m(평균 EL.90.41m), 모의저수위 EL.87.97~91.06m(평균 EL.90.41m)로 나타났으며, 신뢰도는 잔차 최대 0.340m, 최소 -0.280m, 평균 0.012m, RMSE 0.060, NSE 0.995, R2 0.995로 매우 높았다.



<그림 3-8> 중흥지 내용적 곡선



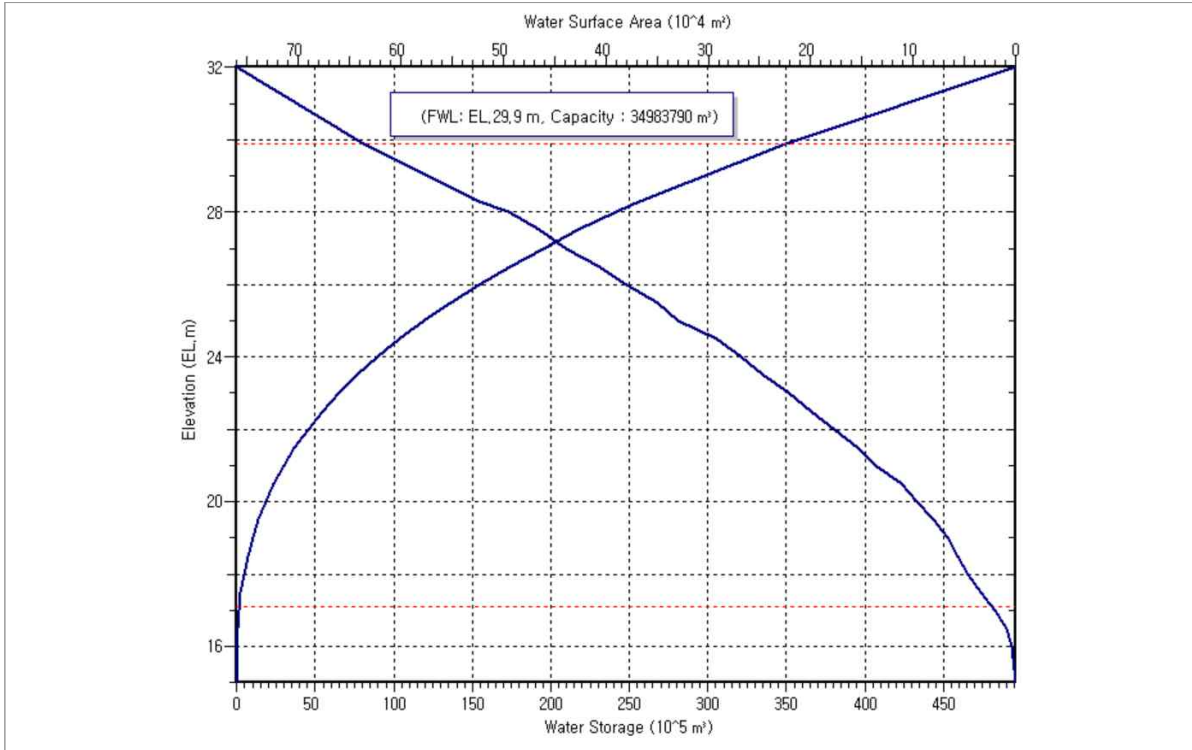
<그림 3-9> 중흥지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.16.)



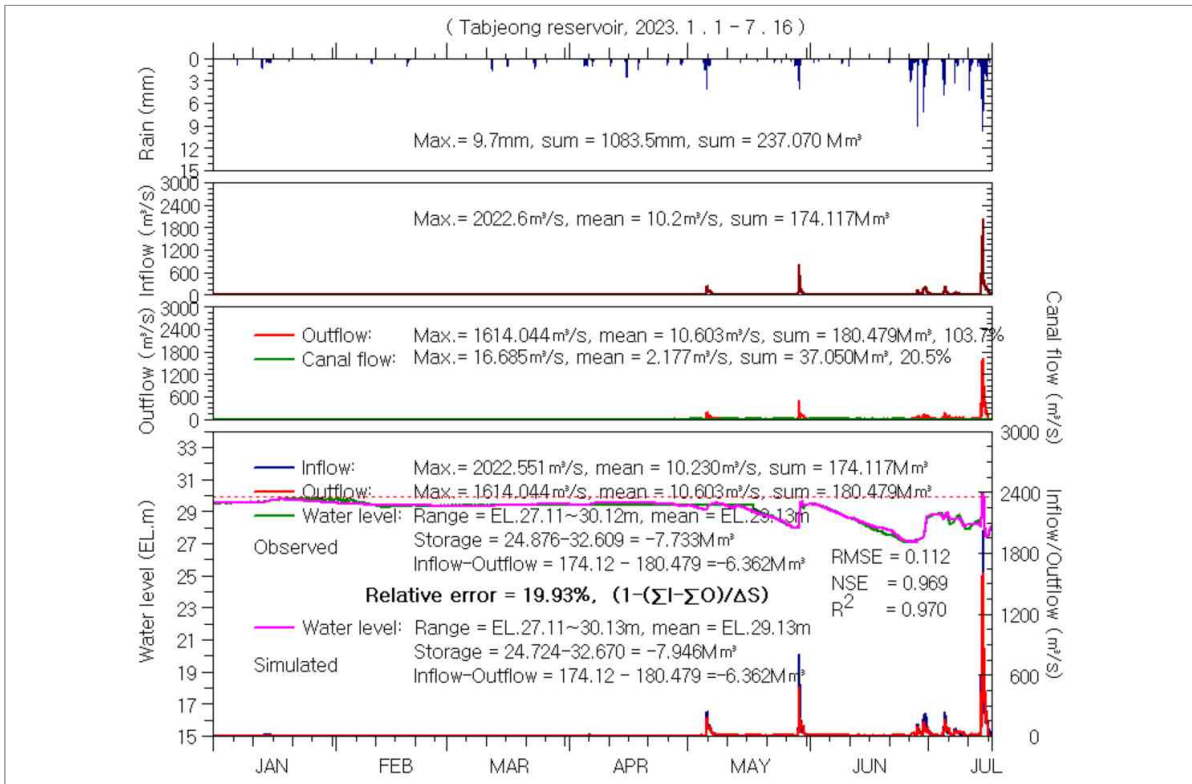
<그림 3-10> 중흥지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.16.)

(4) 탐정지

- 2023년 1월 1일부터 7월 16일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 9.7mm, 총 강우량 1,083.5mm(2억3,707.0만<sup>㎥</sup>), 유입량은 10분 최대 2,022.551<sup>㎥</sup>/s, 총 유입량 795.8mm(1억7,411.7만<sup>㎥</sup>)로, 유출률은 73.4%, 방류량은 10분 최대 1,614.044<sup>㎥</sup>/s, 총 방류량 1억8,047.9만<sup>㎥</sup>(유입량의 103.7%), 수로 용수공급량은 10분 최대 16.685<sup>㎥</sup>/s, 총 공급량 3,705.0만<sup>㎥</sup>이었고, 총 방류량의 20.5%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.27.11~30.12m(평균 EL.29.13m), 모의저수위 EL.27.11~30.13m(평균 EL.29.13m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.112, NSE 0.969, R2 0.970로 매우 높았다.

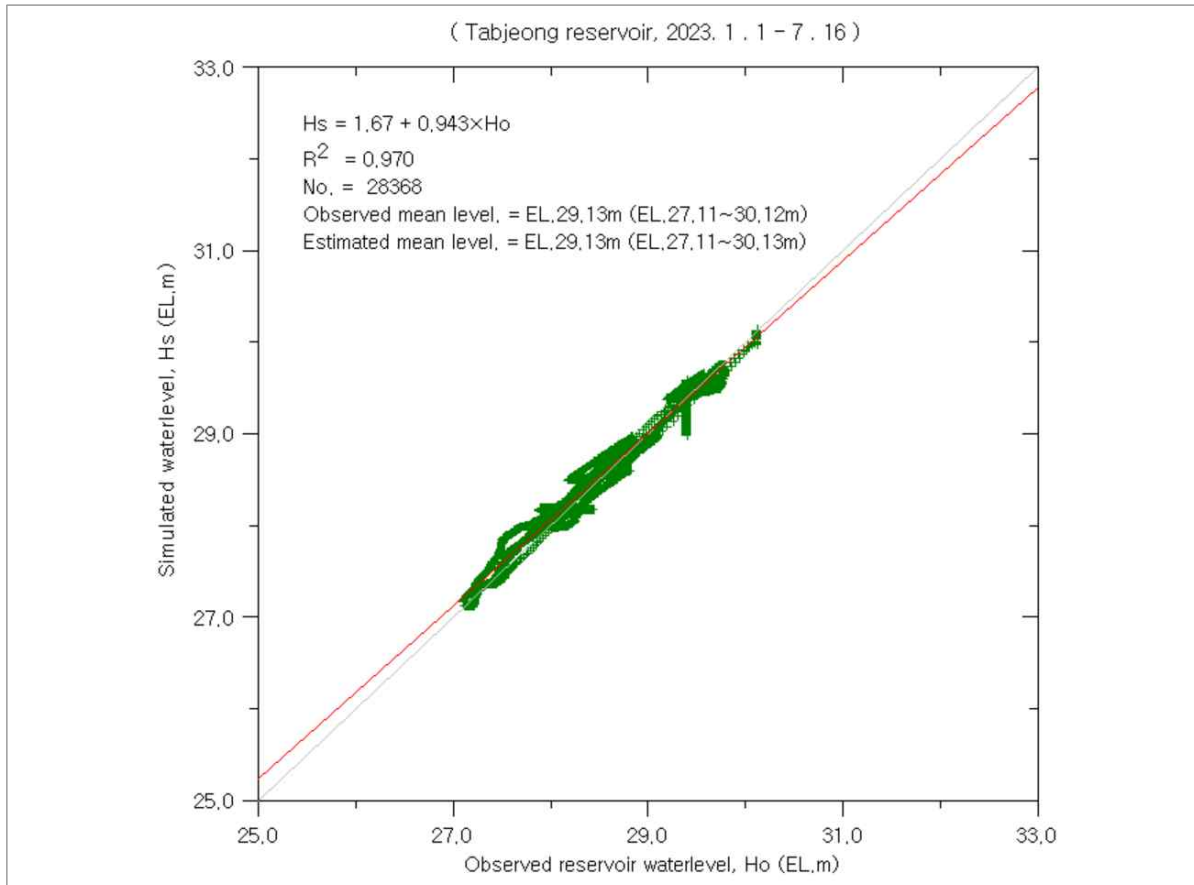


<그림 3-11> 탐정지 내용적 곡선



<그림 3-12> 탐정지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.16.)

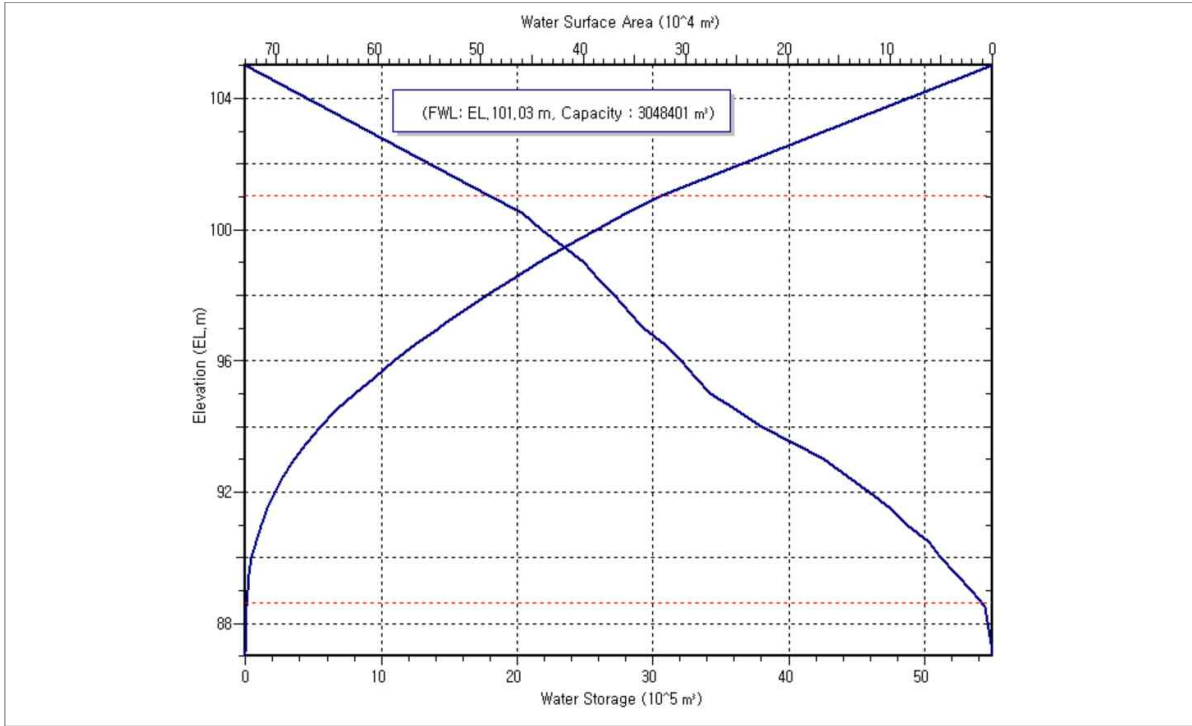




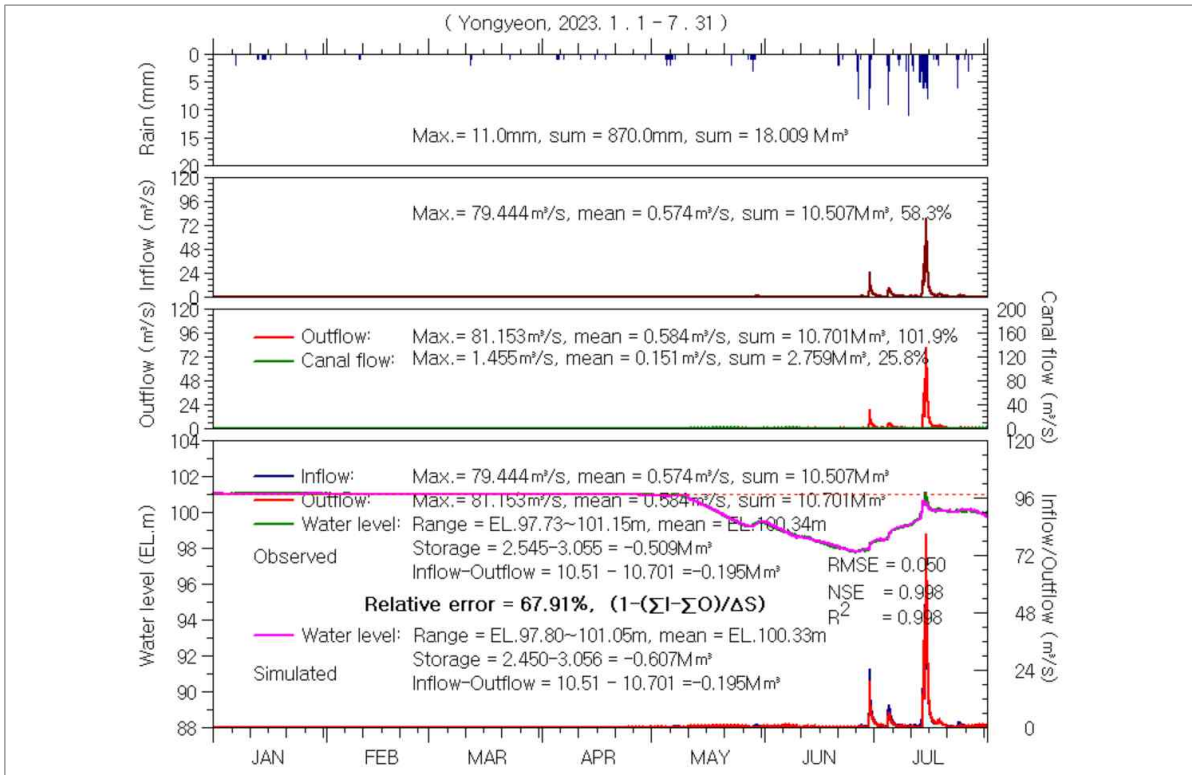
<그림 3-13> 탐정지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.16.)

(5) 용연지

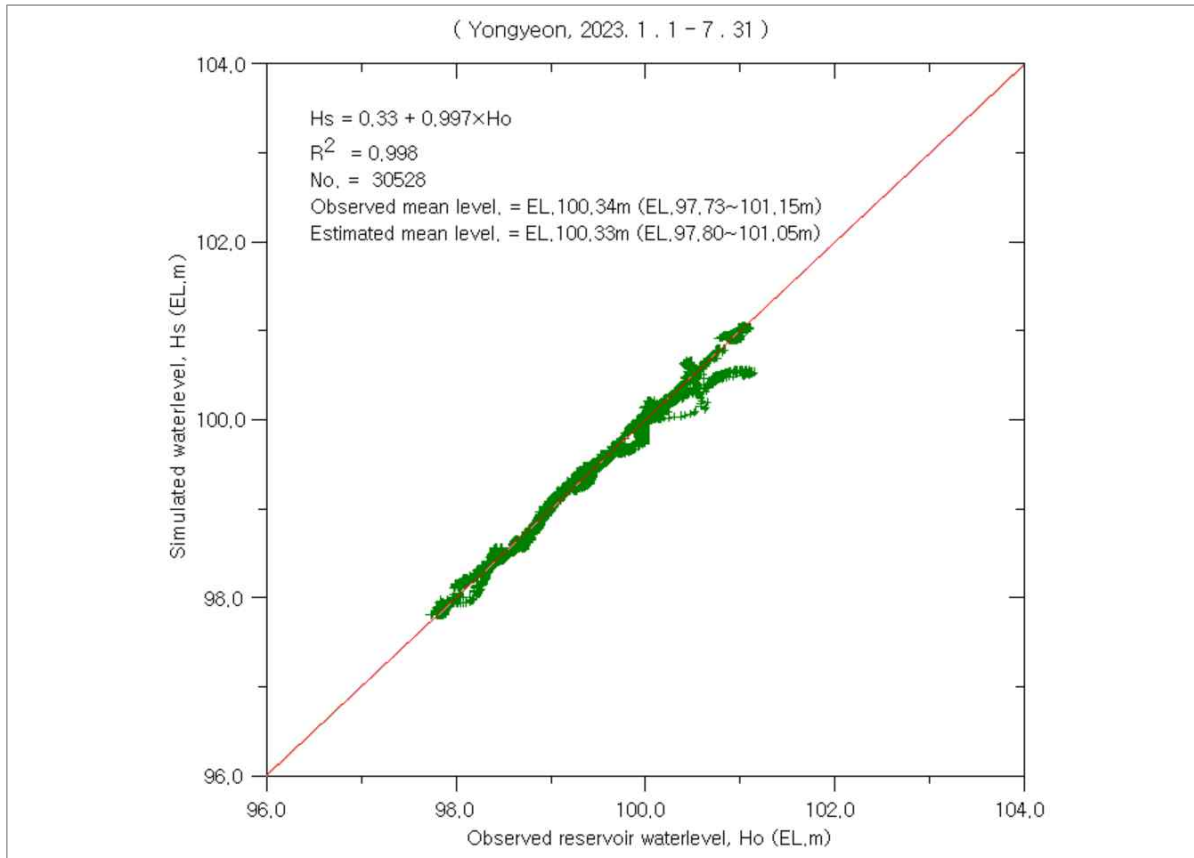
- 2023년 1월 1일부터 7월 31일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 11.0mm, 총 강우량 870.0mm(1,800.9만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 79.444 $m^3/s$ , 총 유입량 507.6mm(1,050.7만  $m^3$ )로, 유출률은 58.3%, 방류량은 10분 최대 81.153 $m^3/s$ , 총 방류량 1,070.1만 $m^3$ (유입량의 101.9%), 수로 용수공급량은 10분 최대 1.455 $m^3/s$ , 총 공급량 275.9만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 25.8%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.97.73~101.15m(평균 EL.100.34m), 모의저수위 EL.97.80~101.05m(평균 EL.100.34m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.050, NSE 0.998, R2 0.998로 매우 높았다.



<그림 3-14> 용연지 내용적 곡선



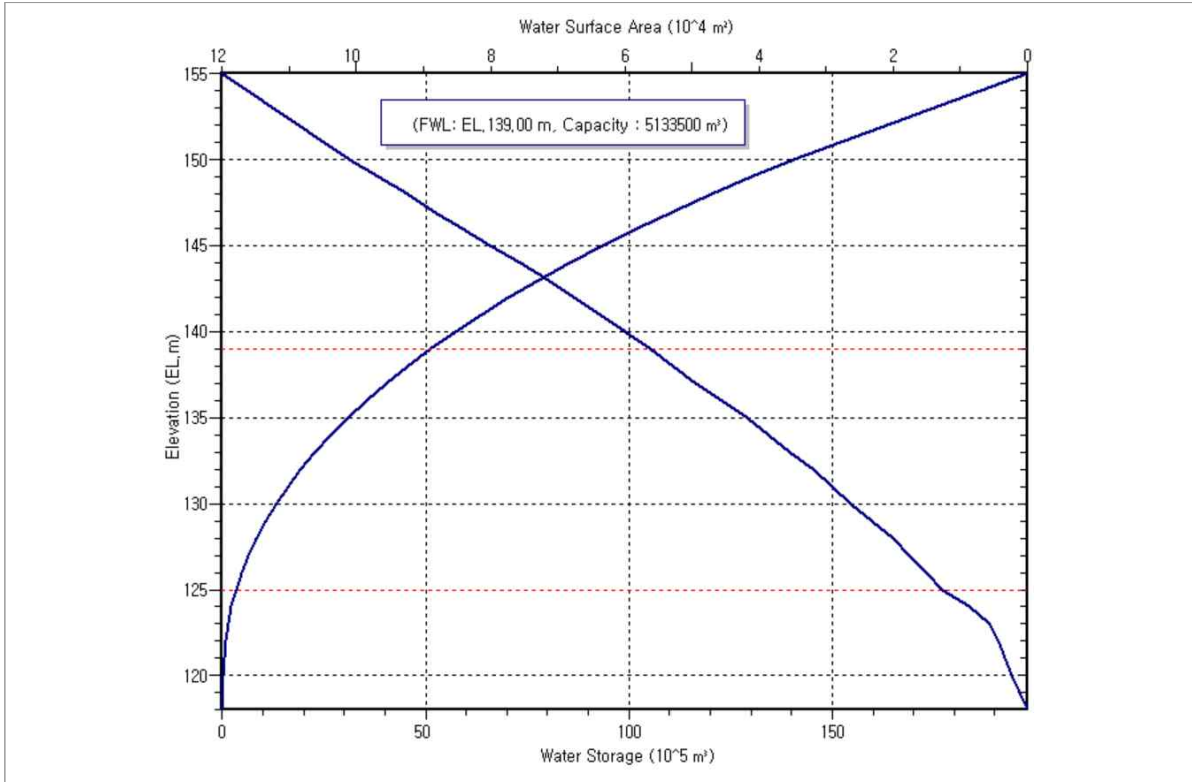
<그림 3-15> 탐정지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.31.)



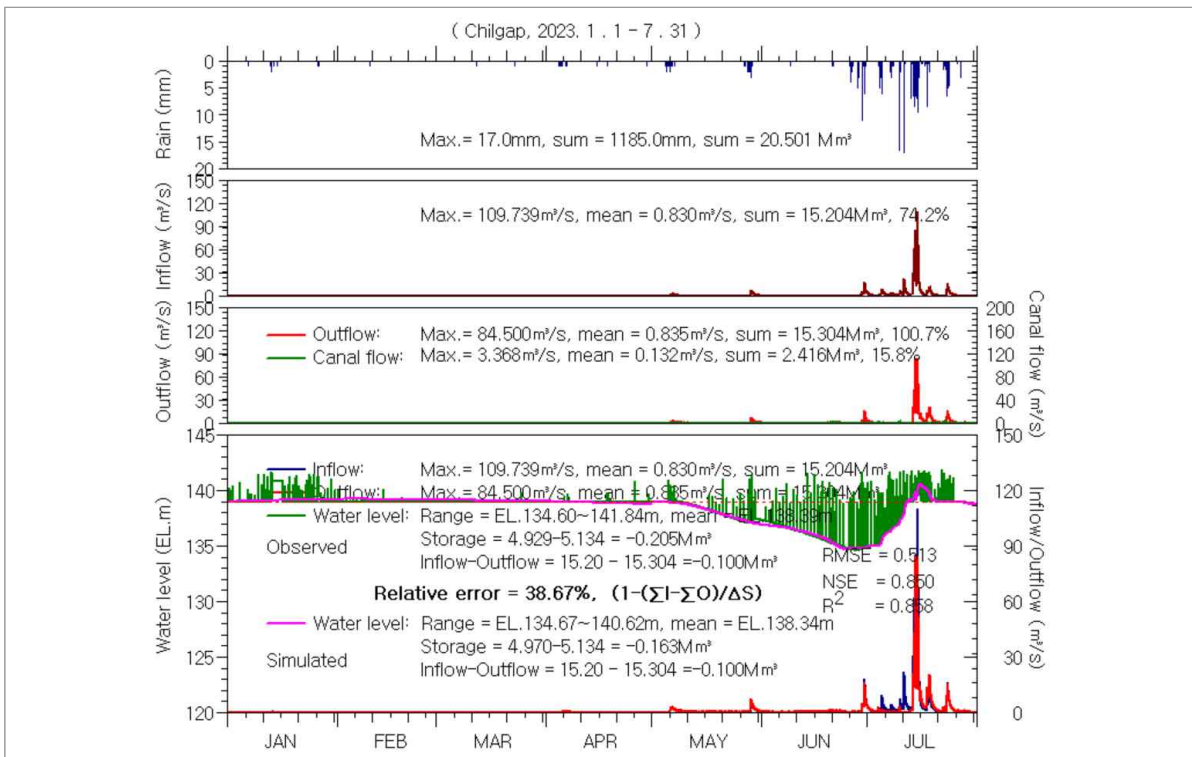
<그림 3-16> 용연지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.31.)

(6) 칠갑지

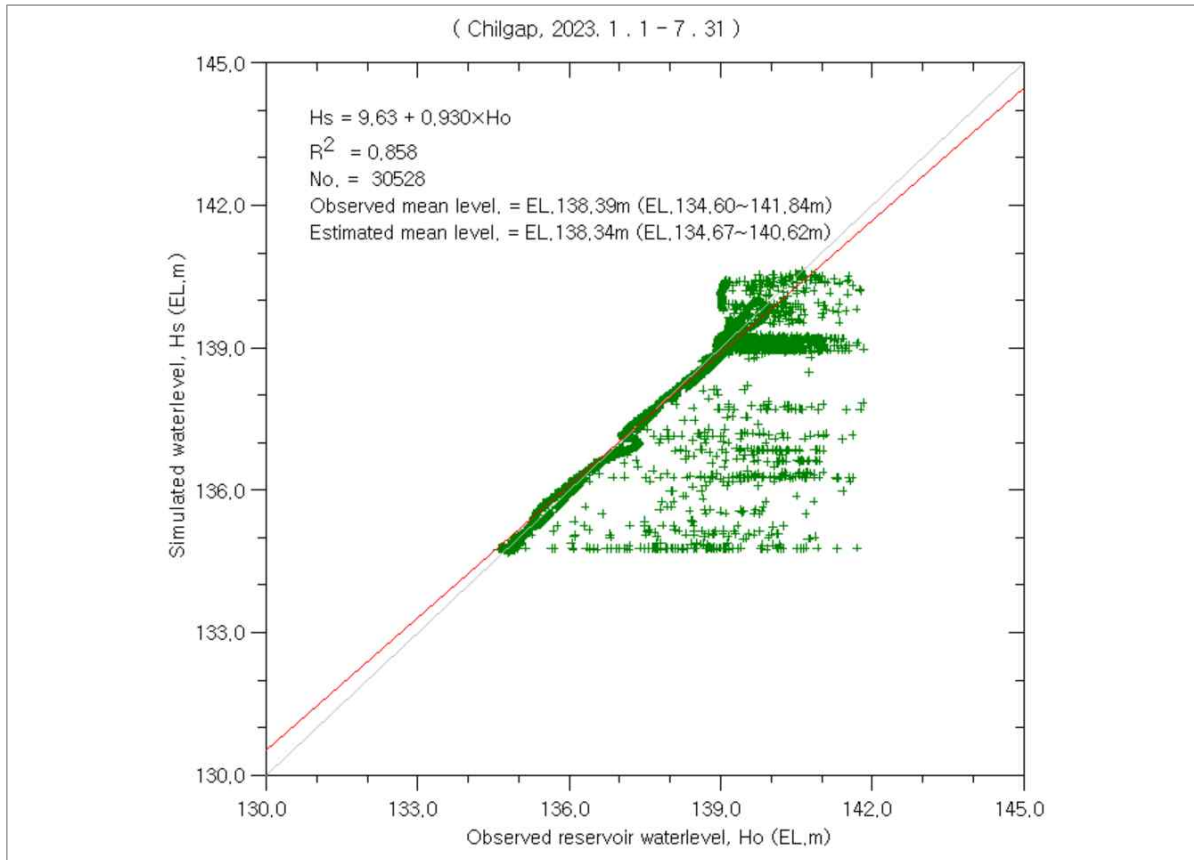
- 2023년 1월 1일부터 7월 31일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 17.0mm, 총 강우량 1,185.0mm(2,050.1만<sup>3</sup>m), 유입량은 10분 최대 109.739<sup>3</sup>m/s, 총 유입량 878.8mm(1,520.4만<sup>3</sup>m)로, 유출률은 74.2%, 방류량은 10분 최대 84.5<sup>3</sup>m/s, 총 방류량 1,530.4만<sup>3</sup>m(유입량의 100.7%), 수로 용수공급량은 10분 최대 3.368<sup>3</sup>m/s, 총 공급량 241.6만<sup>3</sup>m이었고, 총 방류량의 15.8%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.134.60~141.84m(평균 EL.138.39m), 모의저수위 EL.134.67~140.62m(평균 EL.138.39m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.513, NSE 0.850, R2 0.858로 매우 높았다.



<그림 3-17> 칠갑지 내용적 곡선



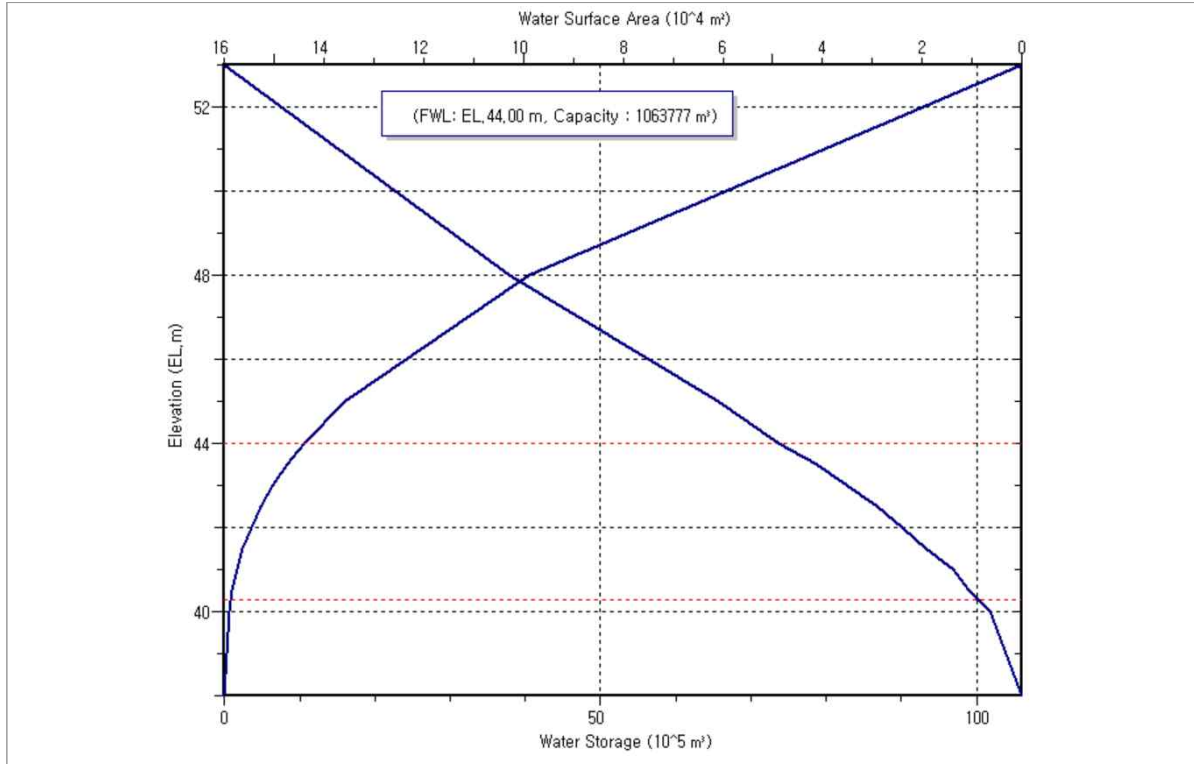
<그림 3-18> 칠갑지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.31.)



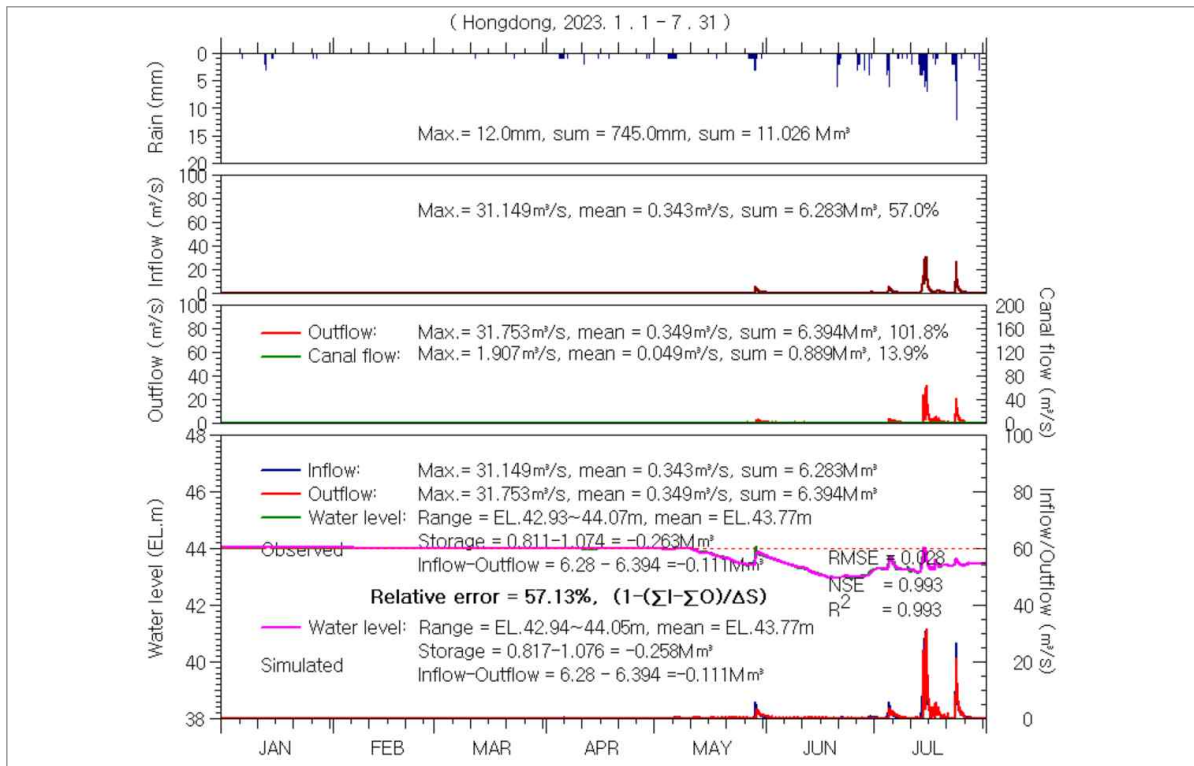
<그림 3-19> 칠갑지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.31.)

(7) 흥동지

- 2023년 1월 1일부터 7월 31일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 12.0mm, 총 강우량 745.0mm(1,102.6만<sup>3</sup>m), 유입량은 10분 최대 31.149<sup>3</sup>m/s, 총 유입량 424.5mm(628.3만<sup>3</sup>m)로, 유출률은 57.0%, 방류량은 10분 최대 31.753<sup>3</sup>m/s, 총 방류량 639.4만<sup>3</sup>m(유입량의 101.8%), 수로 용수공급량은 10분 최대 1.907<sup>3</sup>m/s, 총 공급량 88.9만<sup>3</sup>m이었고, 총 방류량의 13.9%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.42.93~44.07m(평균 EL.43.77m), 모의저수위 EL.42.94~44.05m(평균 EL.43.77m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.028, NSE 0.993, R2 0.993로 매우 높았다.

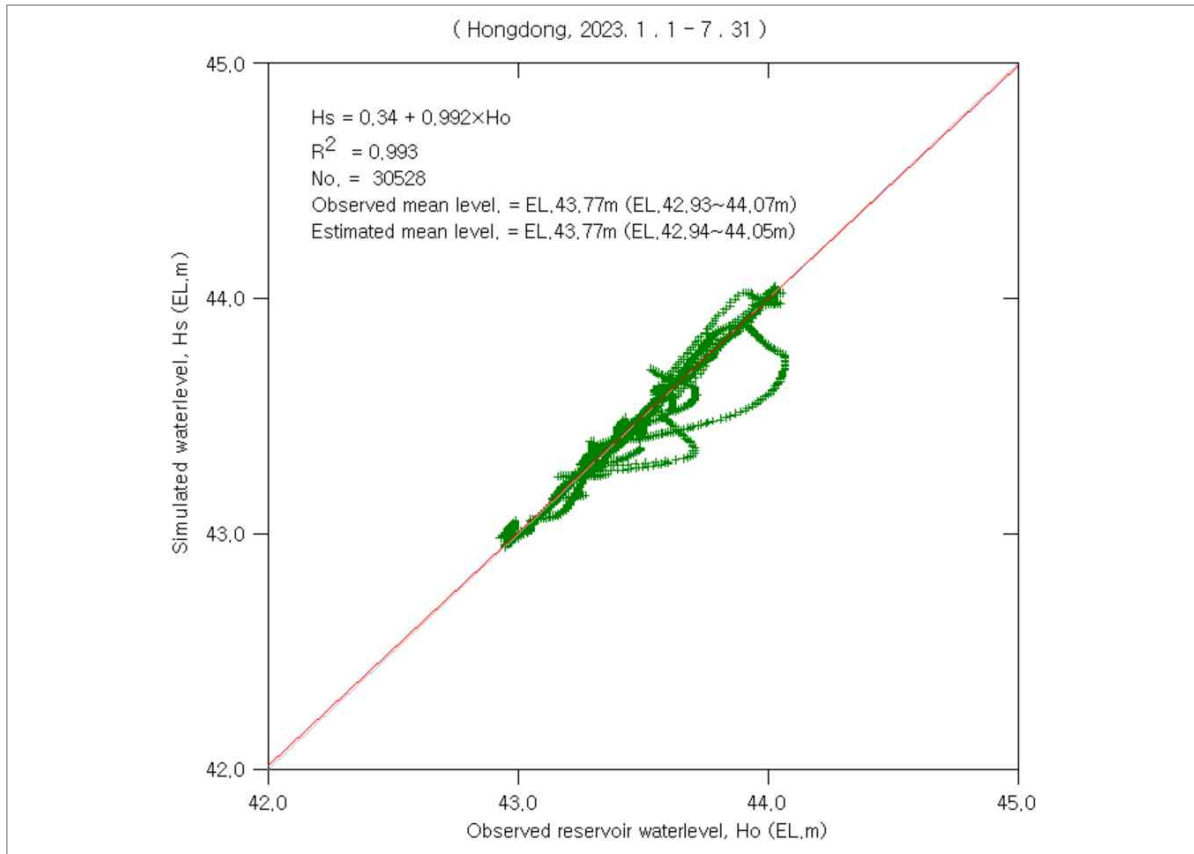


<그림 3-20> 홍동지 내용적 곡선



<그림 3-21> 홍동지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.31.)

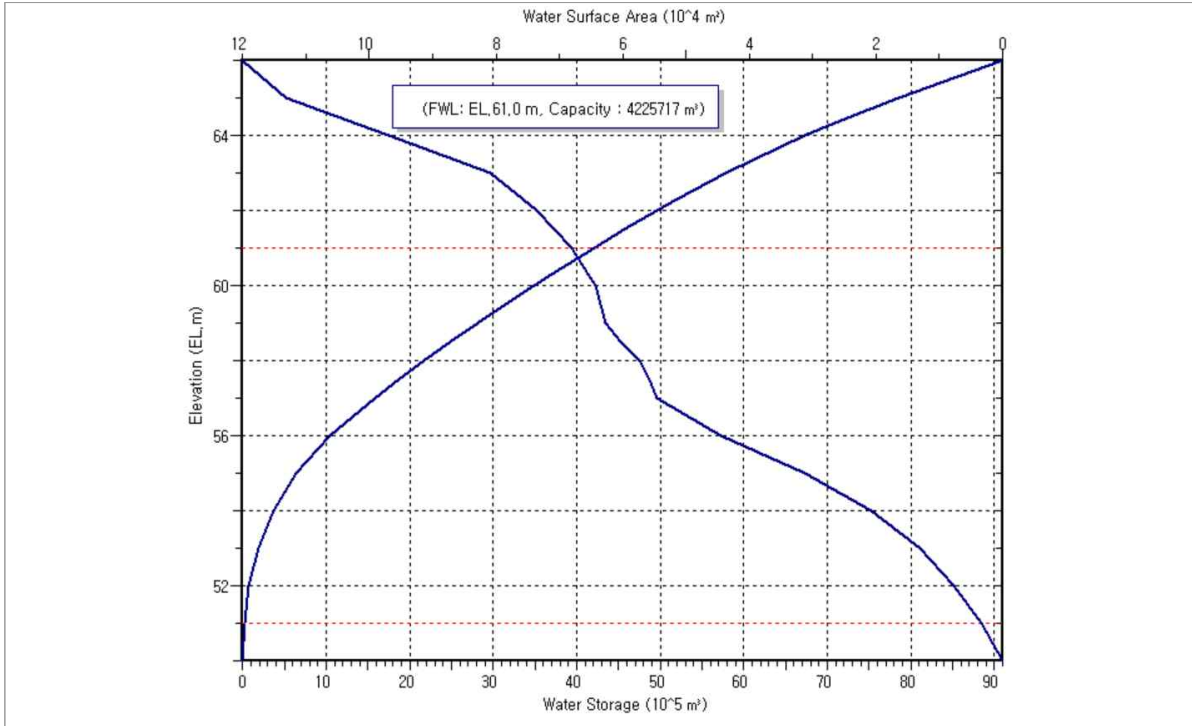




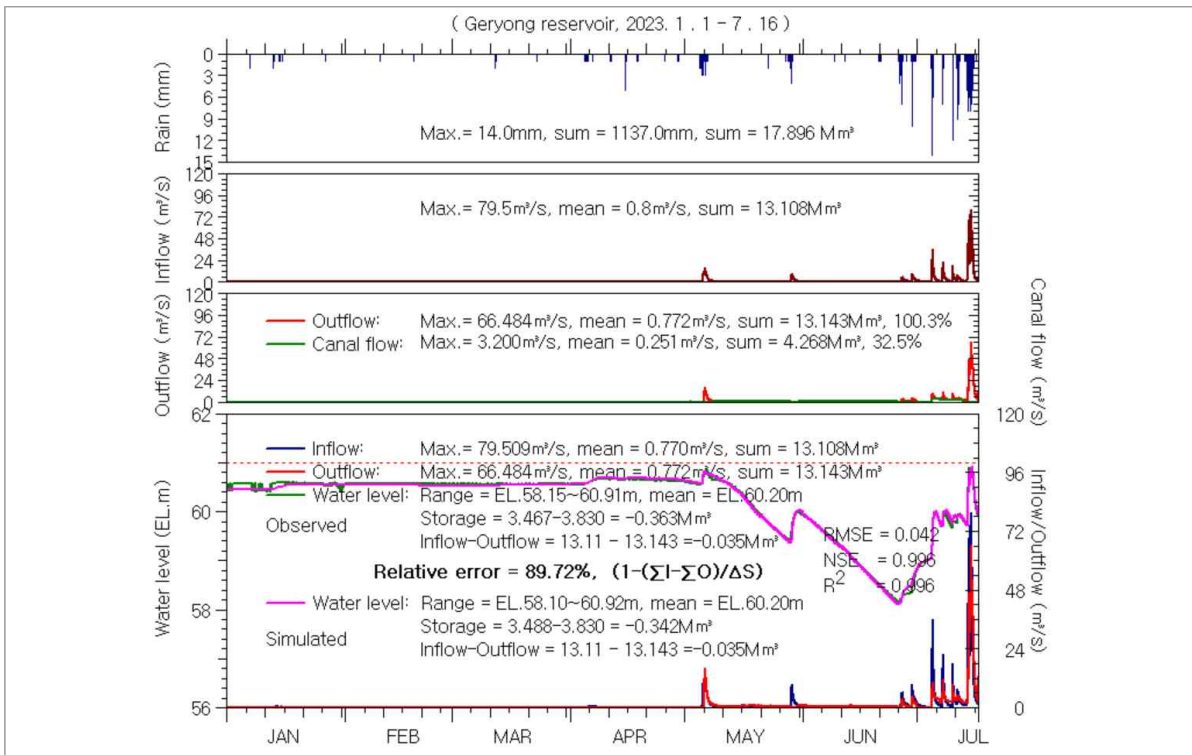
<그림 3-22> 홍동지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.31.)

(8) 계룡지

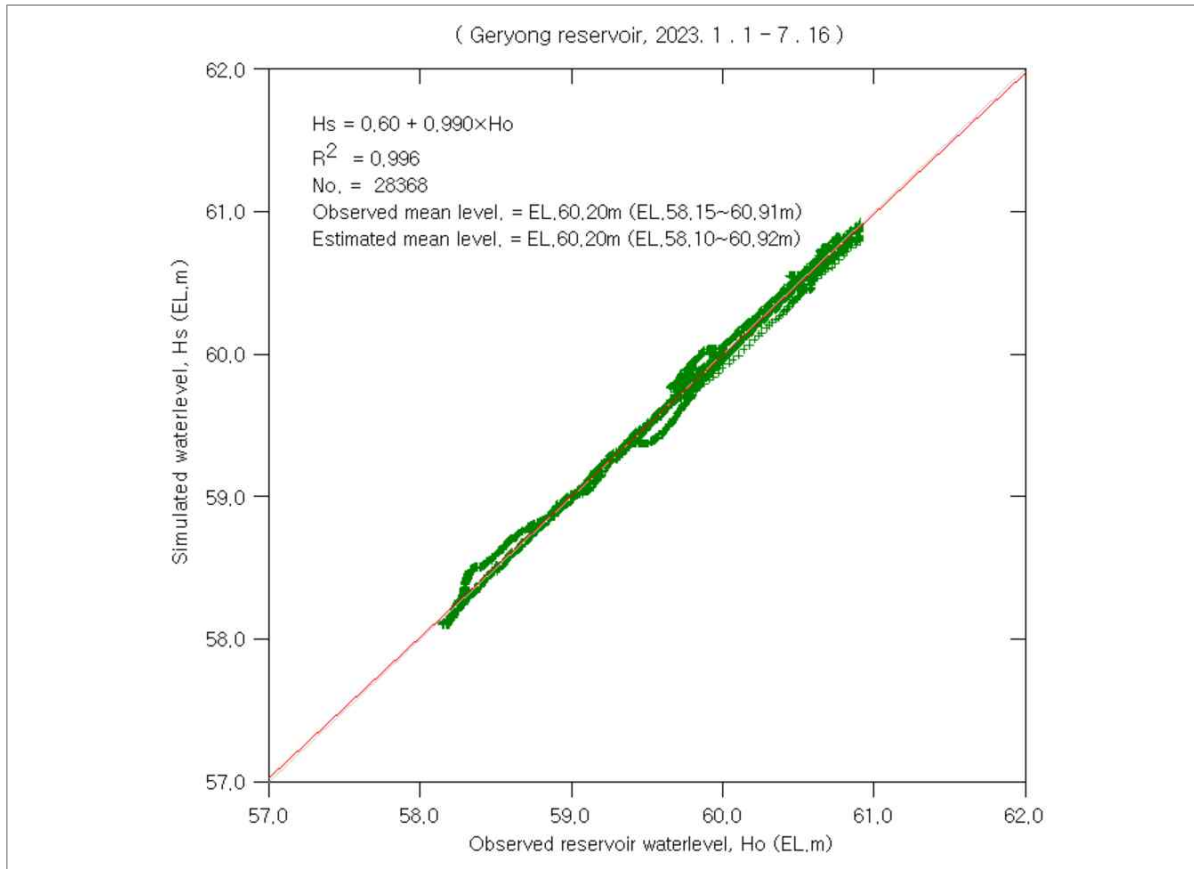
- 2023년 1월 1일부터 7월 16일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 14.0mm, 총 강우량 1,137.0mm(1,789.6만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 79.509 $m^3/s$ , 총 유입량 832.8mm(1,310.8만 $m^3$ )로, 유출률은 73.2%, 방류량은 10분 최대 66.484 $m^3/s$ , 총 방류량 1,314.3만 $m^3$ (유입량의 100.3%), 수로 용수공급량은 10분 최대 3.200 $m^3/s$ , 총 공급량 426.8만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 32.5%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.58.15~60.91m(평균 EL.60.20m), 모의저수위 EL.58.10~60.92m(평균 EL.60.20m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.042, NSE 0.996, R2 0.996로 매우 높았다.



<그림 3-23> 계룡지 내용적 곡선



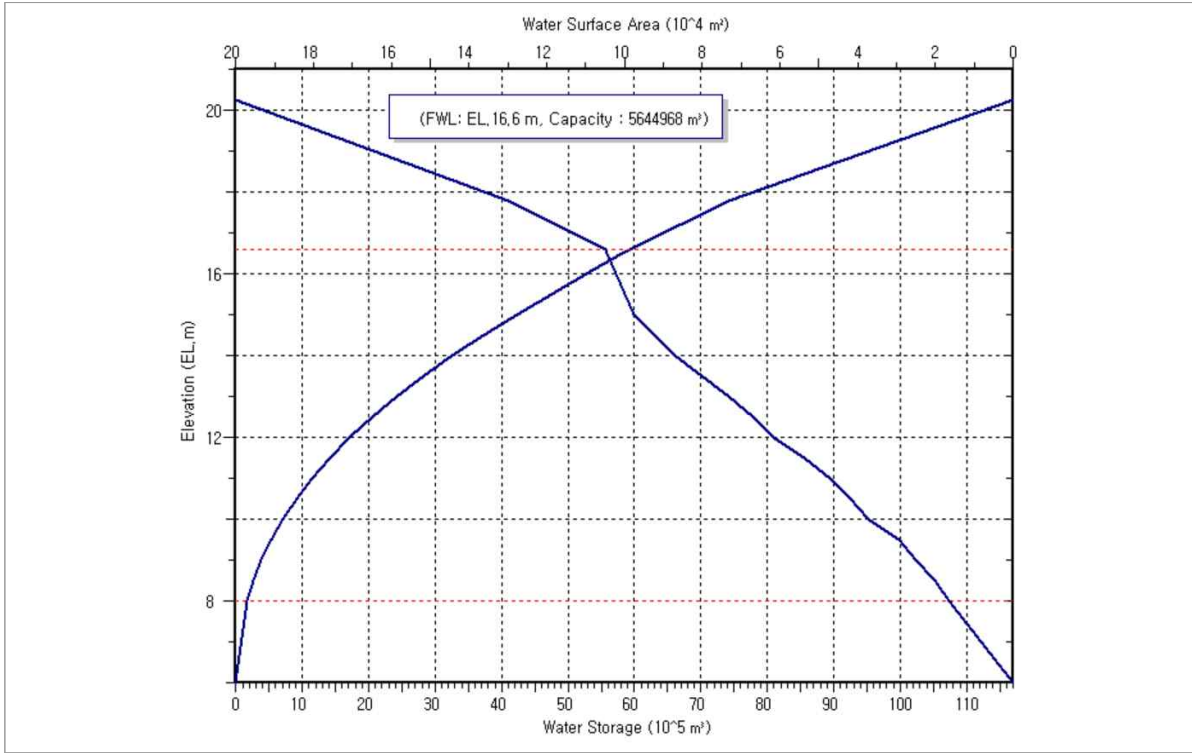
<그림 3-24> 계룡지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.16.)



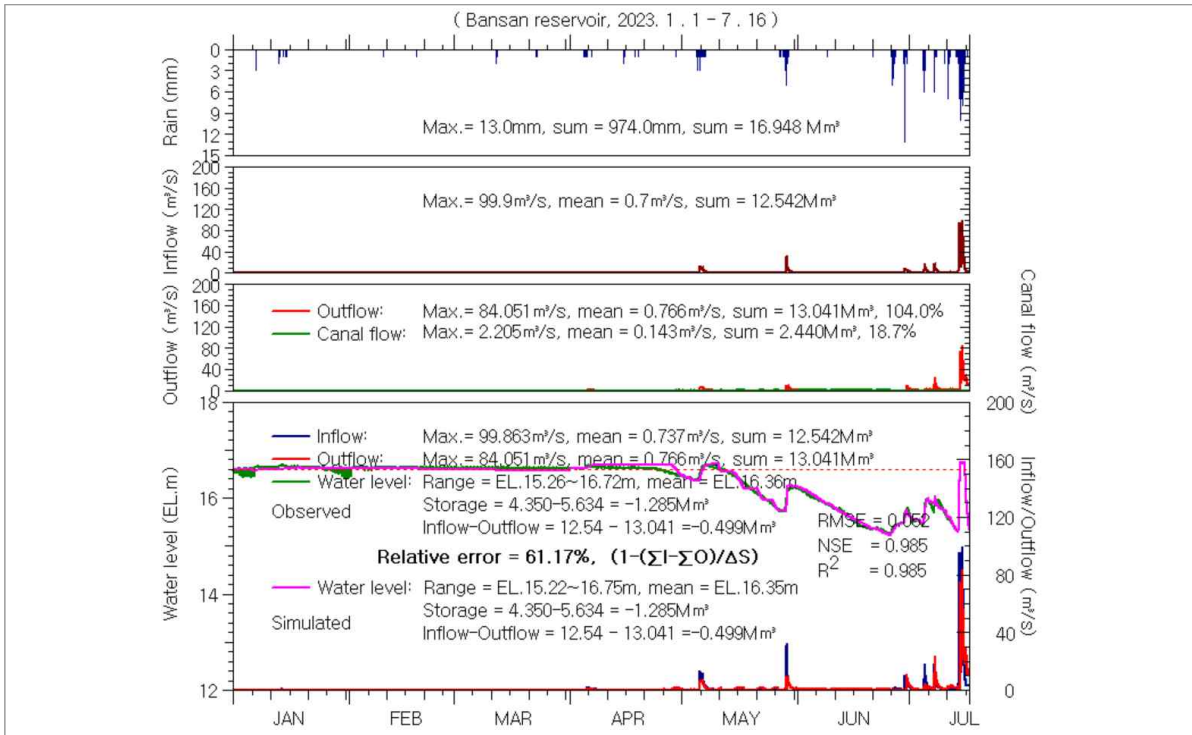
<그림 3-25> 계룡지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.16.)

(9) 반산지

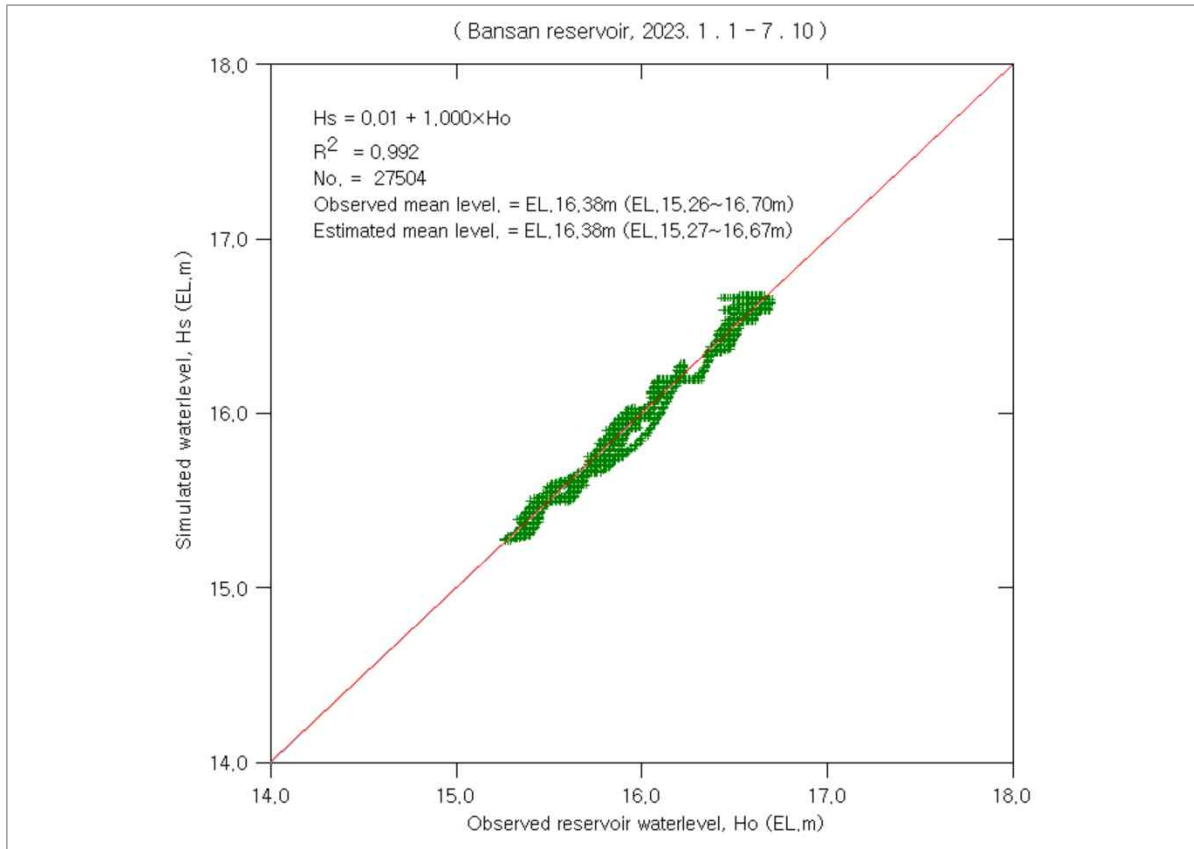
- 2023년 1월 1일부터 7월 16일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 13.0mm, 총 강우량 974.0mm(1,694.8만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 99.863 $m^3/s$ , 총 유입량 720.8mm(1,254.2만 $m^3$ )로, 유출률은 74.0%, 방류량은 10분 최대 84.051 $m^3/s$ , 총 방류량 1,304.1만 $m^3$ (유입량의 104.0%), 수로 용수공급량은 10분 최대 2.205 $m^3/s$ , 총 공급량 244.0만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 18.7%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.15.26~16.72m(평균 EL.16.36m), 모의저수위 EL.15.22~16.75m(평균 EL.16.36m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.052, NSE 0.985, R2 0.985로 매우 높았다.



<그림 3-26> 반산지 내용적 곡선



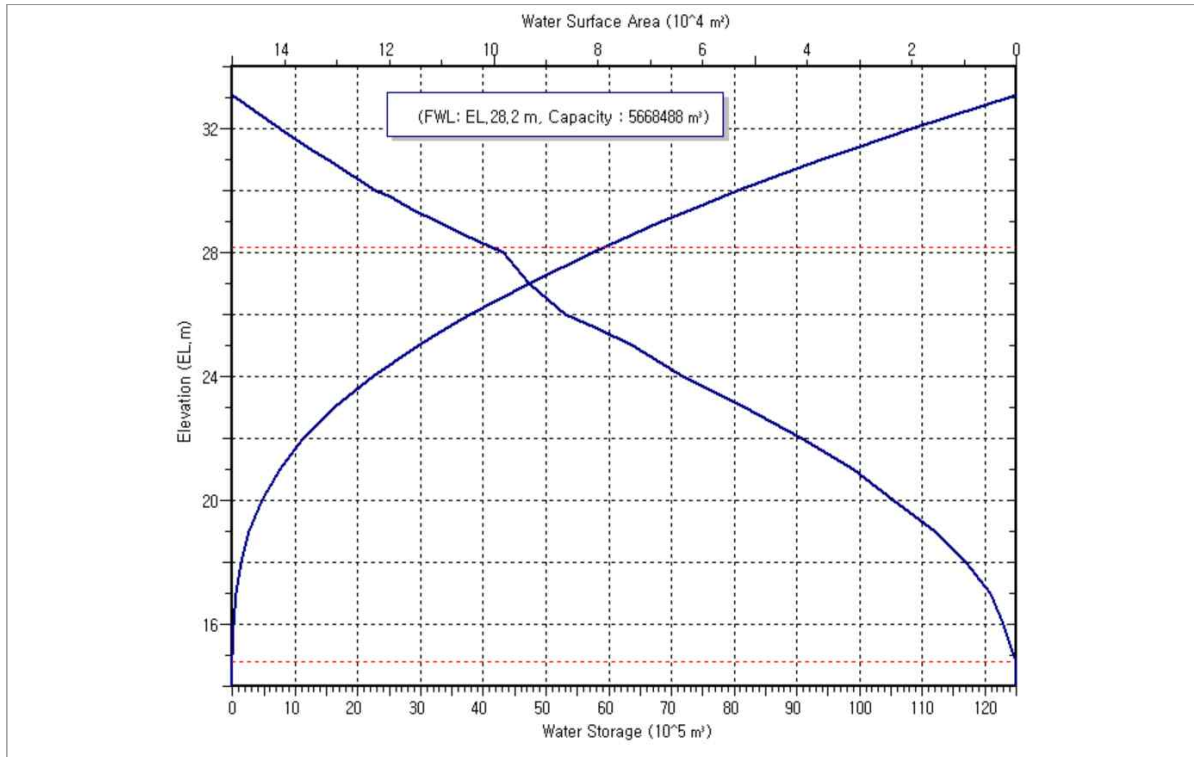
<그림 3-27> 반산지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.16.)



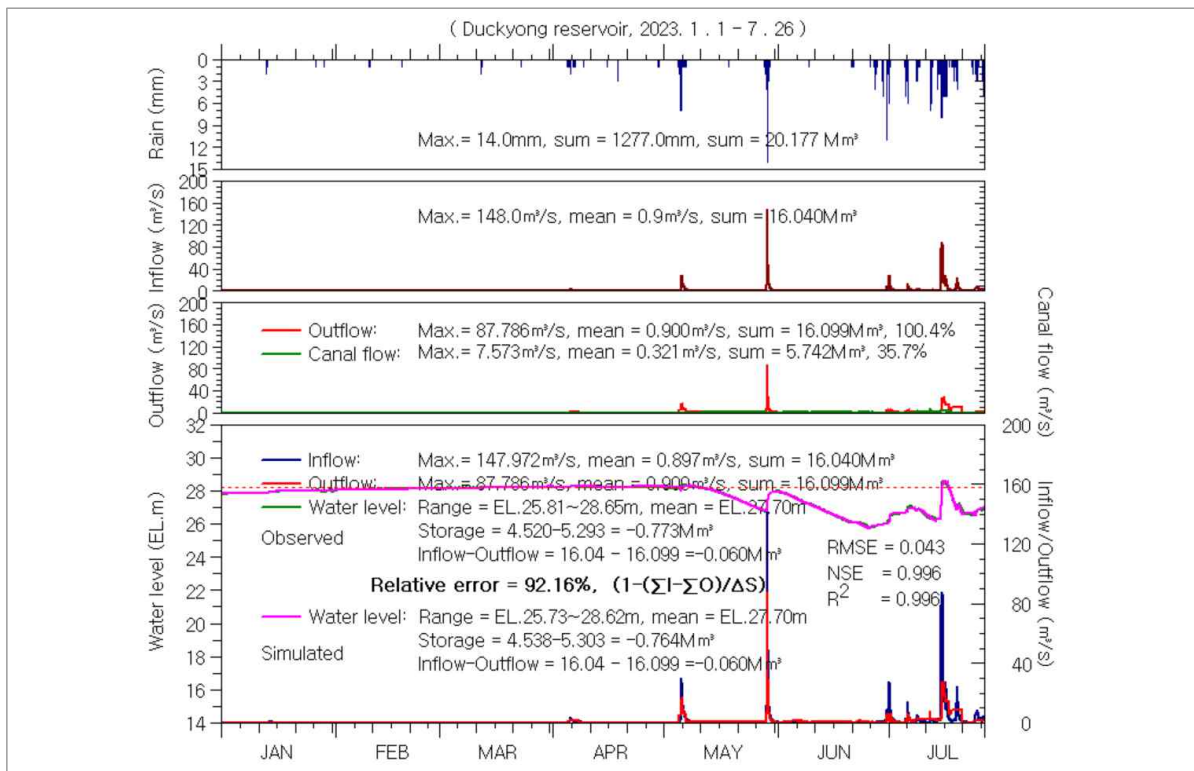
<그림 3-28> 반산지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.10.)

(10) 덕용지

- 2023년 1월 1일부터 7월 26일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 14.0mm, 총 강우량 1,277.0mm(2,017.7만<sup>3</sup>m), 유입량은 10분 최대 147.972<sup>3</sup>m/s, 총 유입량 1,015.2mm(1,604.0만<sup>3</sup>m)로, 유출률은 79.5%, 방류량은 10분 최대 87.786<sup>3</sup>m/s, 총 방류량 1,609.9만<sup>3</sup>m(유입량의 100.4%), 수로 용수공급량은 10분 최대 7.573<sup>3</sup>m/s, 총 공급량 574.2만<sup>3</sup>m이었고, 총 방류량의 35.7%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.25.81~28.65m(평균 EL.27.70m), 모의저수위 EL.25.73~28.62m(평균 EL.27.70m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.043, NSE 0.996, R2 0.996로 매우 높았다.

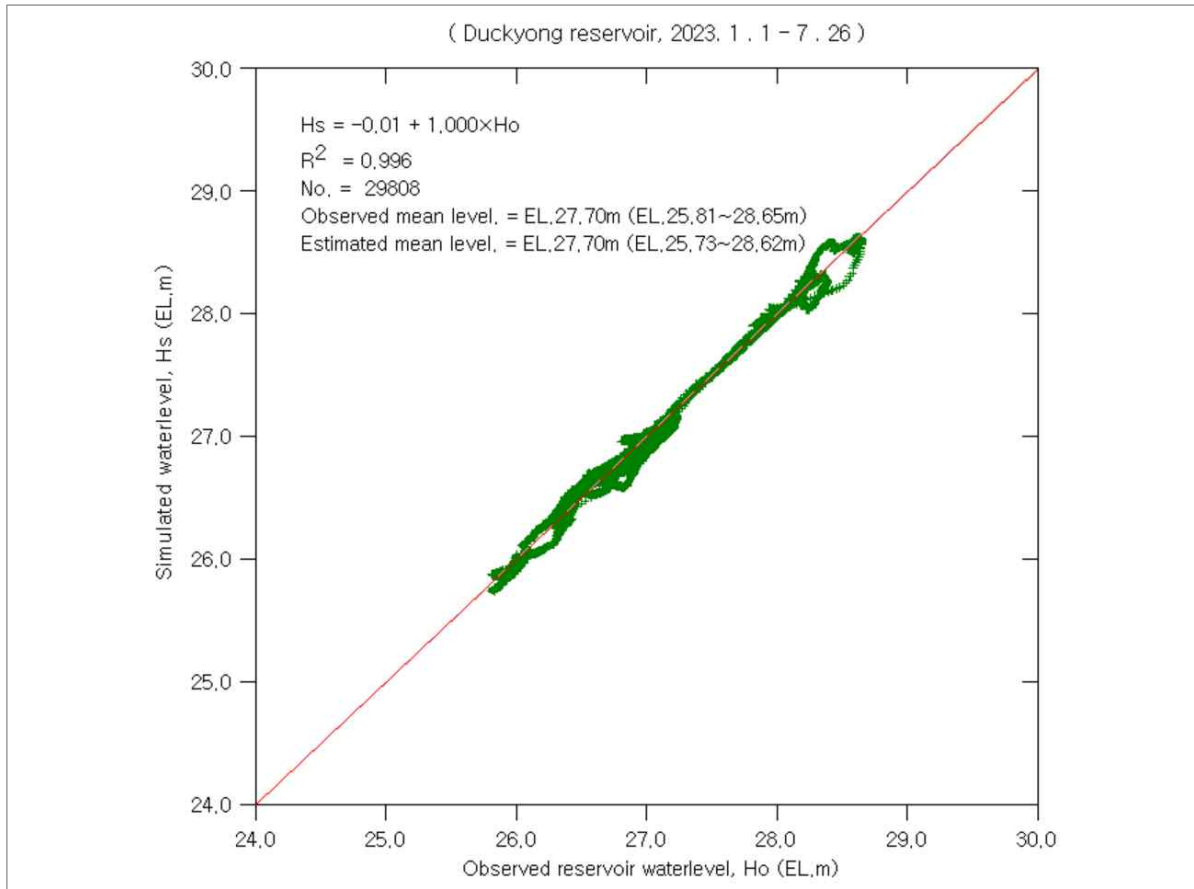


<그림 3-29> 덕용지 내용적 곡선



<그림 3-30> 덕용지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.26.)

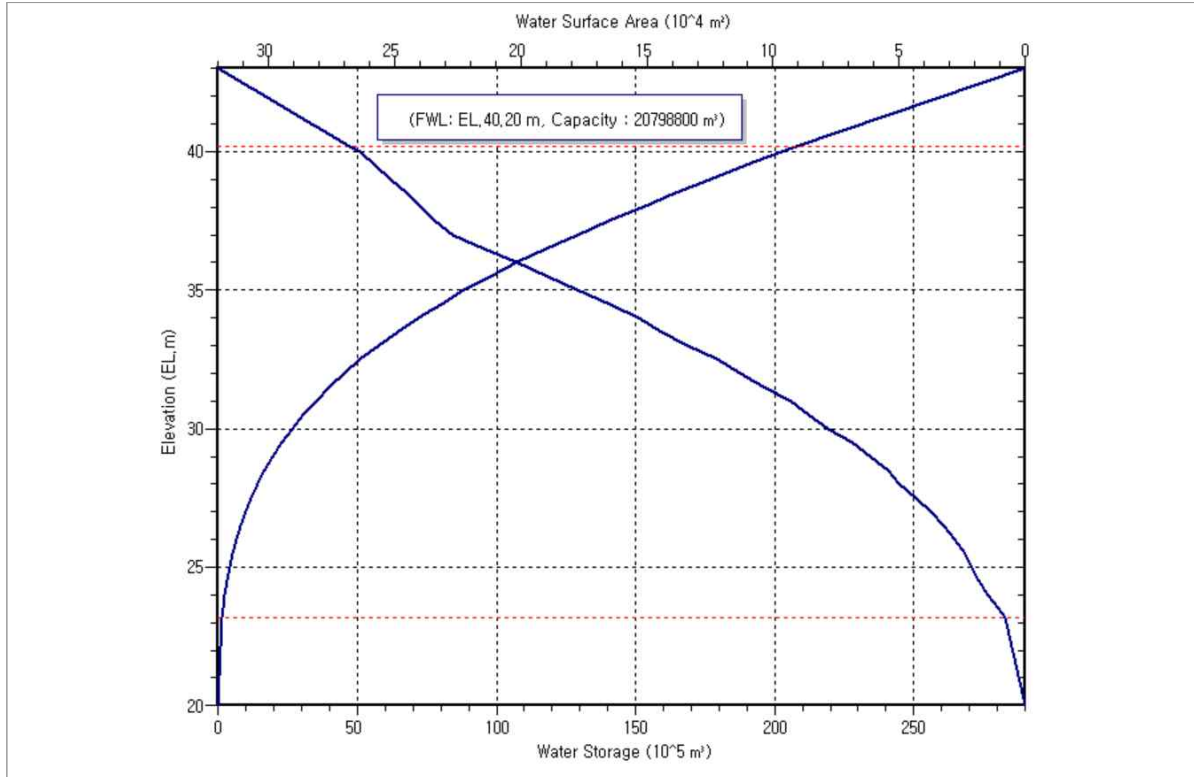




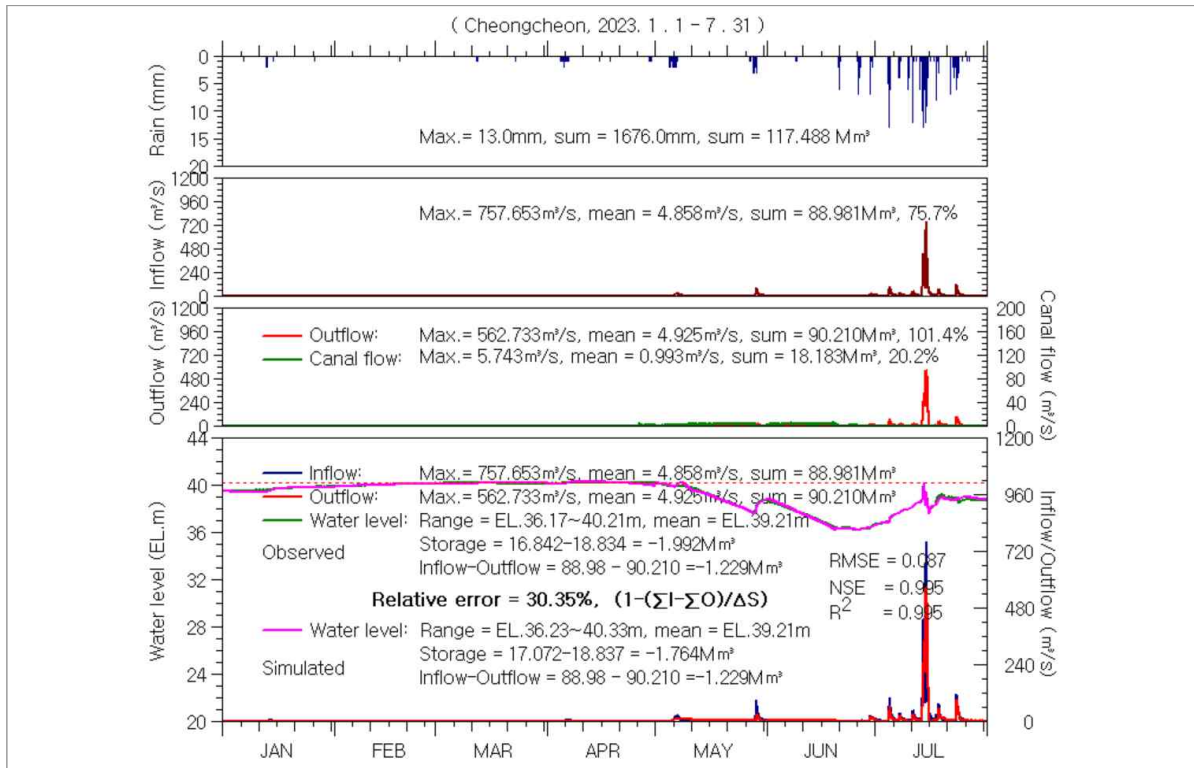
<그림 3-31> 덕용지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.26.)

(1) 청천지

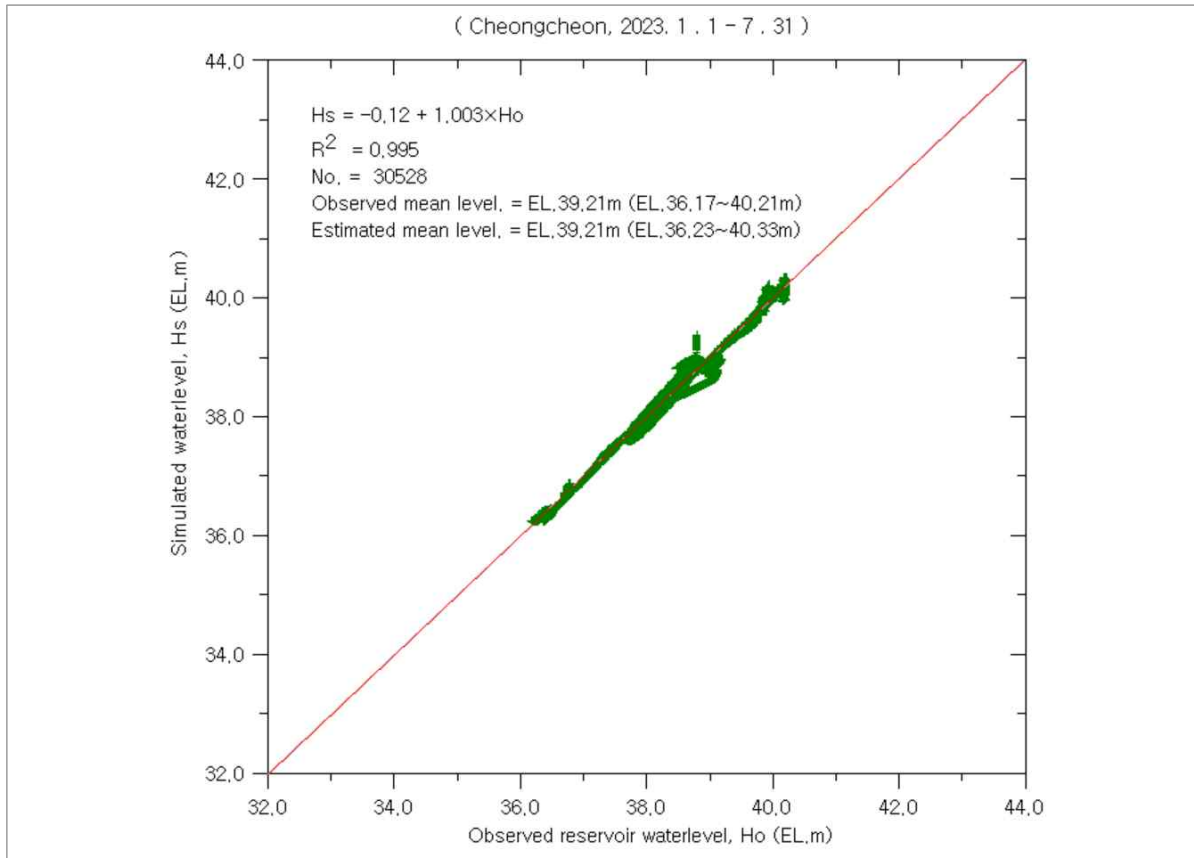
- 2023년 1월 1일부터 7월 31일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 13.0mm, 총 강우량 1,676.0mm(1억1,748.8만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 757.653 $m^3/s$ , 총 유입량 1,269.4mm(8,898.1만 $m^3$ )로, 유출률은 75.7%, 방류량은 10분 최대 562.733 $m^3/s$ , 총 방류량 9,021만 $m^3$ (유입량의 101.4%), 수로 용수공급량은 10분 최대 5.743 $m^3/s$ , 총 공급량 1,818.3만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 20.2%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.36.17~40.21m(평균 EL.39.21m), 모의저수위 EL.36.23~40.33m(평균 EL.39.21m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.087, NSE 0.995, R2 0.995로 매우 높았다.



<그림 3-32> 청천지 내용적 곡선



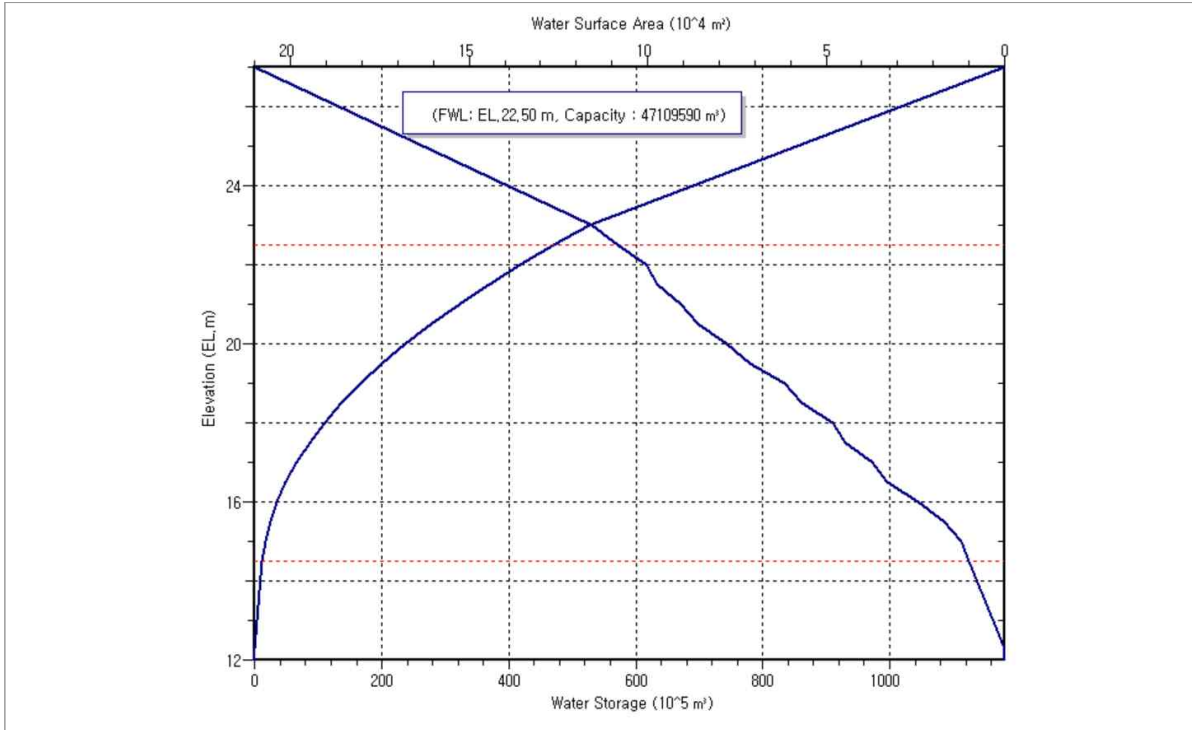
<그림 3-33> 청천지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.31.)



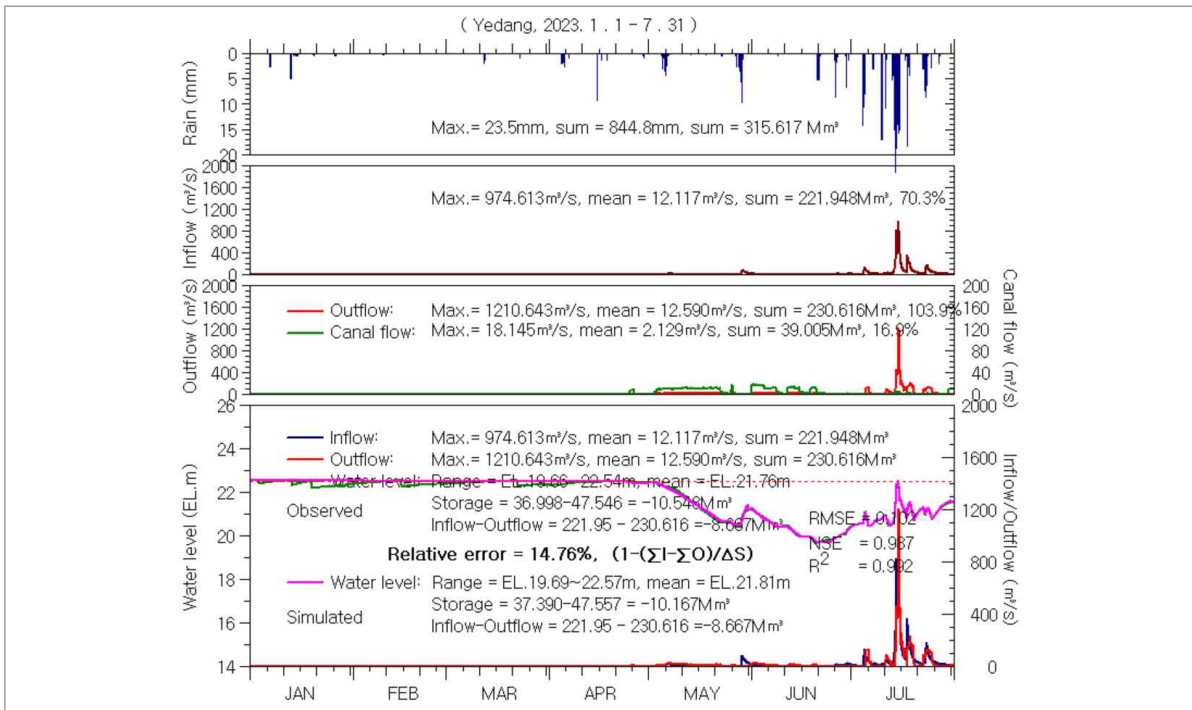
<그림 3-34> 청천지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.31.)

(2) 예당지

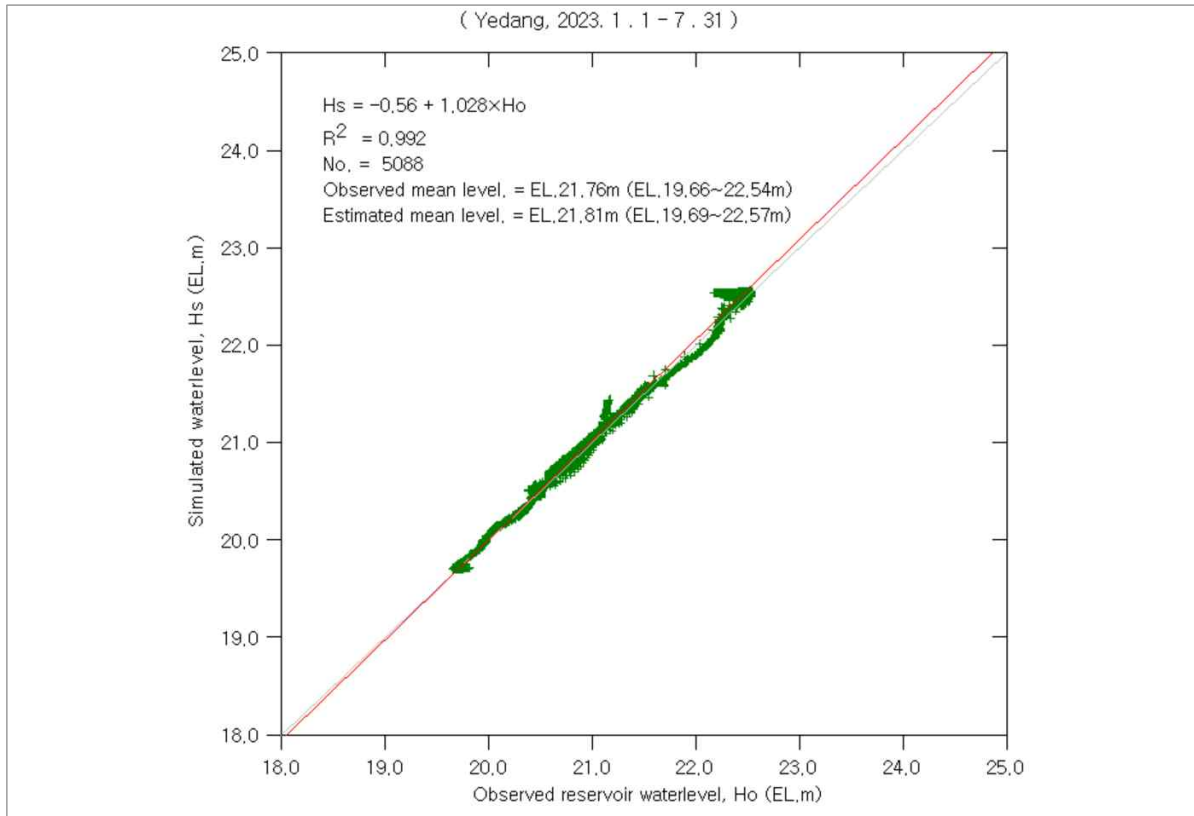
- 2023년 1월 1일부터 7월 31일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 9.5mm, 총 강우량 844.7mm(3억1,558.0만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 1,185.121 $m^3/s$ , 총 유입량 529.4mm(1억 9,776.8만 $m^3$ )로, 유출률은 62.7%, 방류량은 10분 최대 1,147.969 $m^3/s$ , 총 방류량 2억768.2만 $m^3$ (유입량의 105.0%), 수로 용수공급량은 10분 최대 16.104 $m^3/s$ , 총 공급량 4,385.4만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 21.1%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.19.66~22.54m(평균 EL.21.76m), 모의저수위 EL.19.58~22.73m(평균 EL.21.76m)로 나타났으며, 신뢰도는 잔차 최대 0.462m, 최소 -0.325m, 평균 0.010m, RMSE 0.099, NSE 0.988, R2 0.988로 매우 높았다.



<그림 3-35> 예당지 내용적 곡선



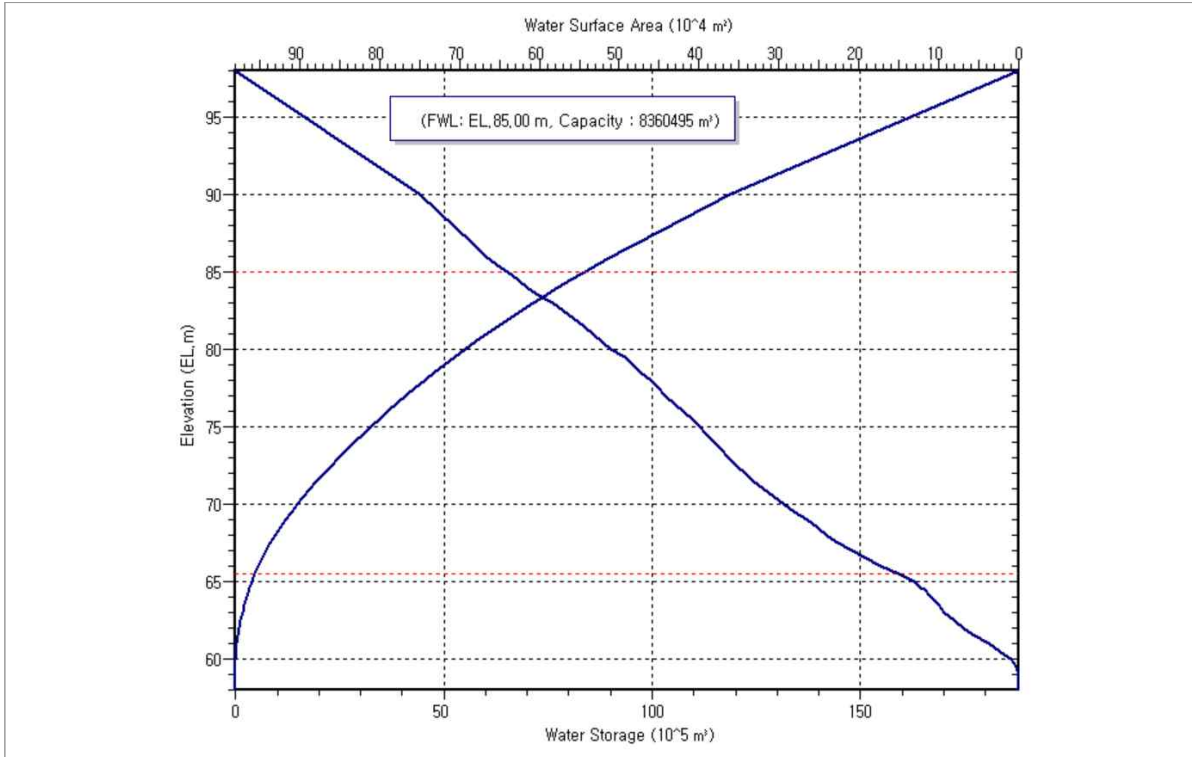
<그림 3-36> 예당지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.31.)



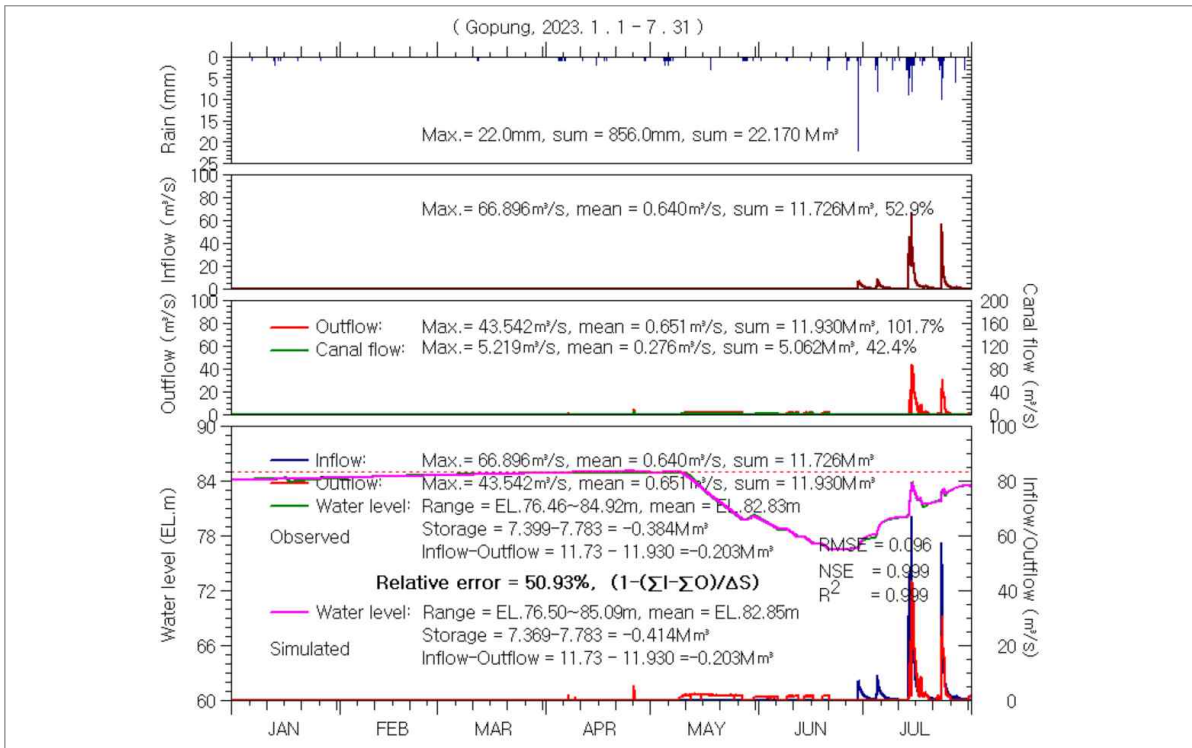
<그림 3-37> 예당지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.31.)

(13) 고평지

- 2023년 1월 1일부터 7월 31일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 22.0mm, 총 강우량 856.0mm(2,217.0만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 66.896 $m^3/s$ , 총 유입량 452.8mm(1,172.6만  $m^3$ )로, 유출률은 52.9%, 방류량은 10분 최대 43.542 $m^3/s$ , 총 방류량 1,193만 $m^3$ (유입량의 101.7%), 수로 용수공급량은 10분 최대 5.219 $m^3/s$ , 총 공급량 506.2만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 42.4%에相当했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.76.46~84.92m(평균 EL.82.83m), 모의저수위 EL.76.50~85.09m(평균 EL.82.83m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.09%, NSE 0.999, R2 0.999로 매우 높았다.

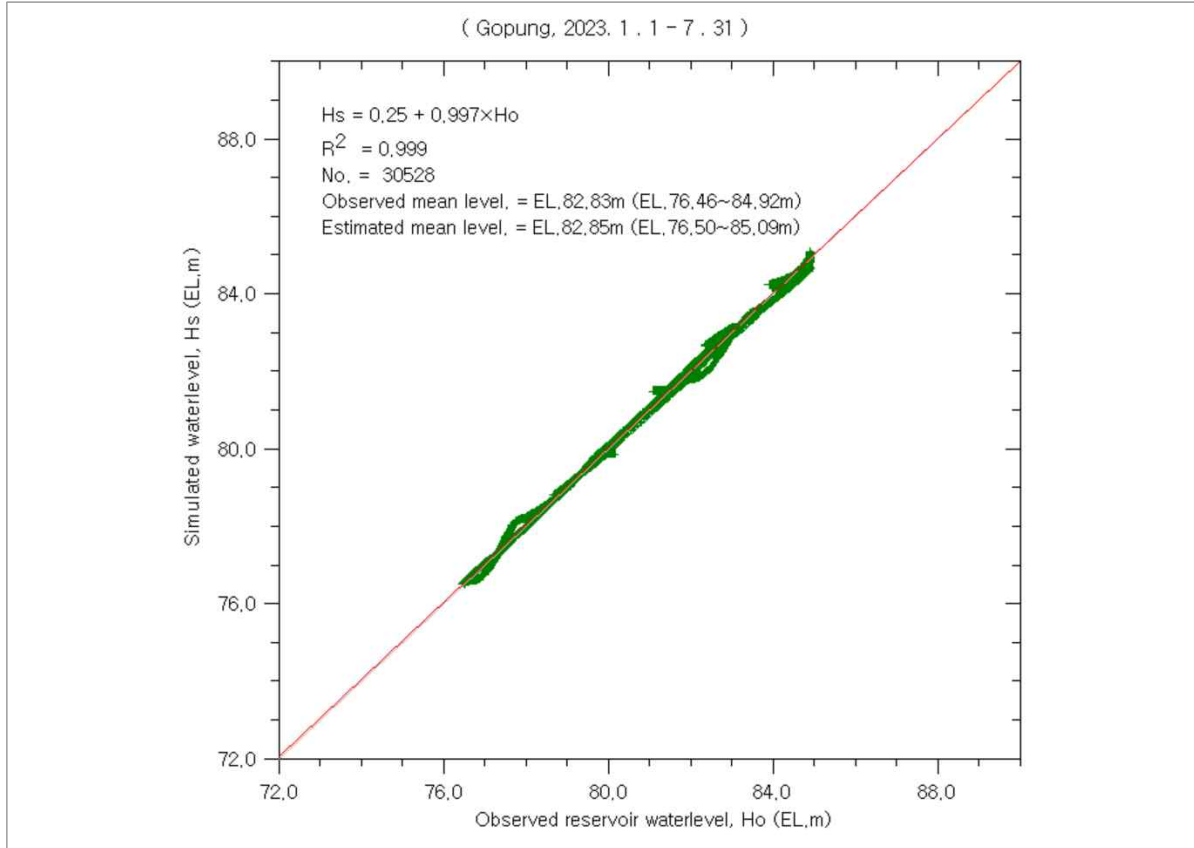


<그림 3-38> 고평지 내용적 곡선



<그림 3-39> 고평지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.31.)

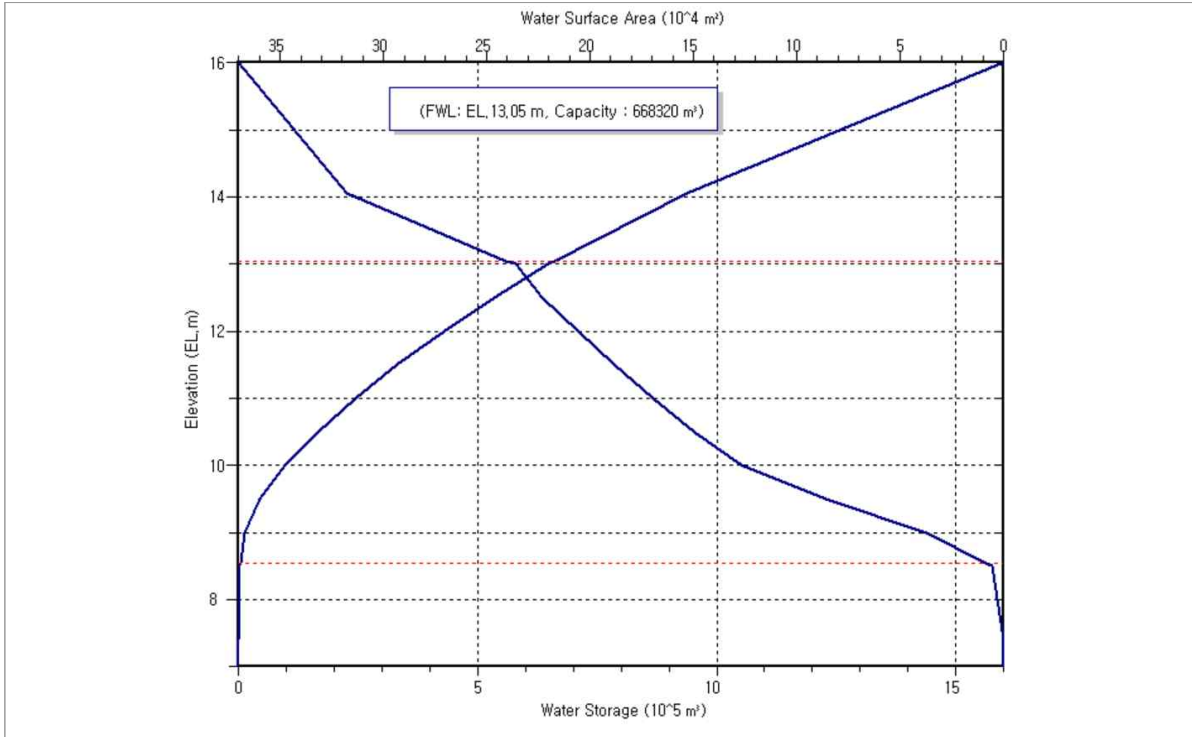




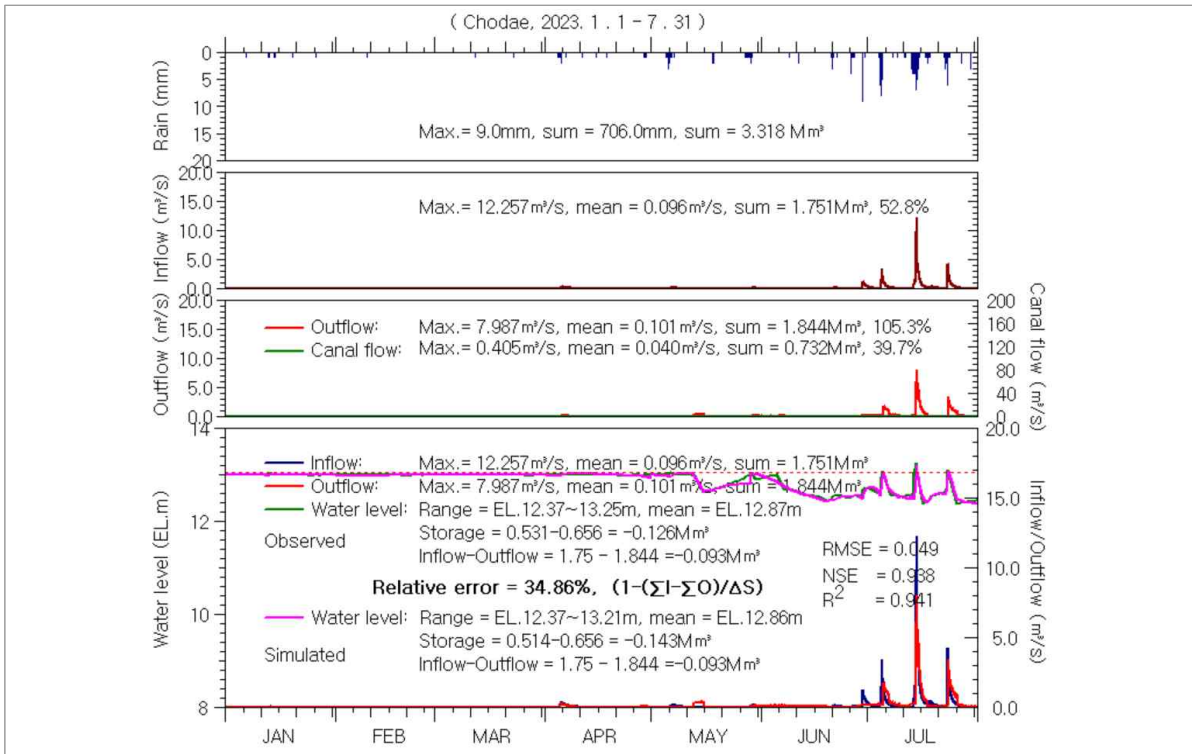
<그림 3-40> 고평지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.31.)

(14) 초대지

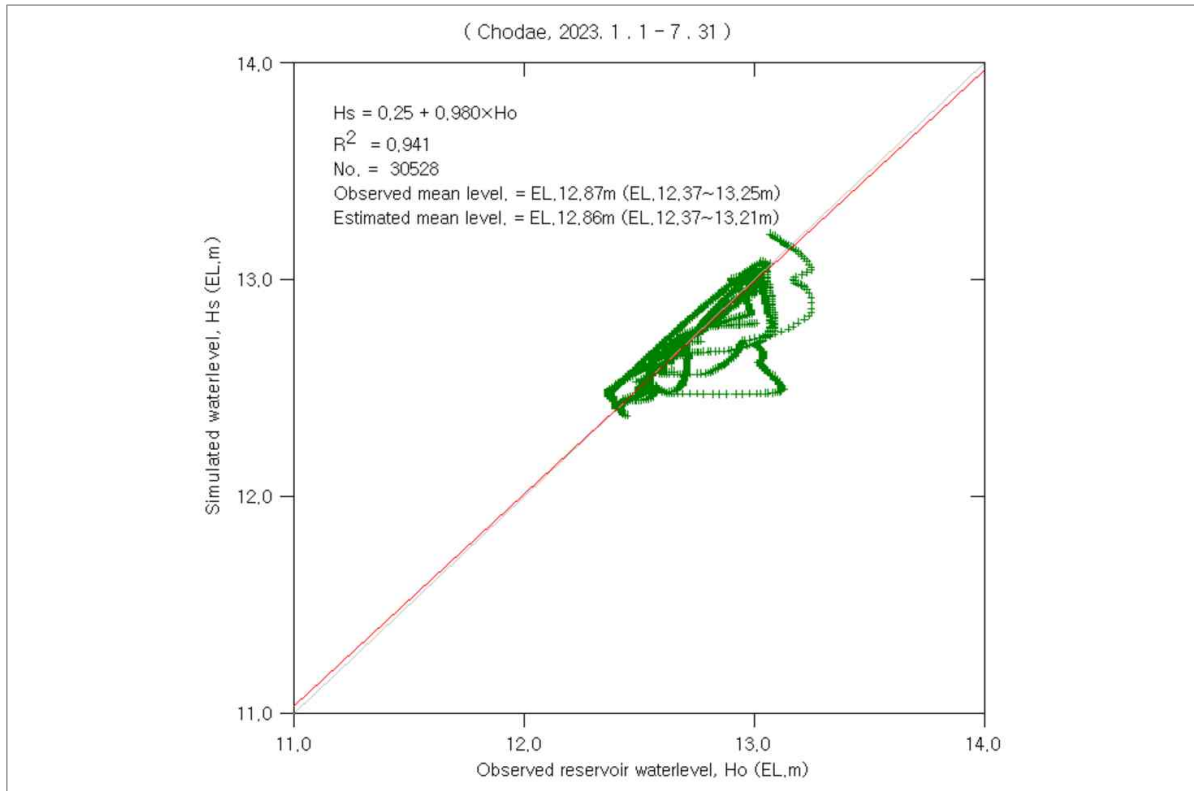
- 2023년 1월 1일부터 7월 31일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 9.0mm, 총 강우량 706.0mm(331.8만<sup>㎥</sup>), 유입량은 10분 최대 12.257<sup>㎥</sup>/s, 총 유입량 372.6mm(175.1만<sup>㎥</sup>)로, 유출률은 52.8%, 방류량은 10분 최대 7.987<sup>㎥</sup>/s, 총 방류량 184.4만<sup>㎥</sup>(유입량의 105.3%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.405<sup>㎥</sup>/s, 총 공급량 73.2만<sup>㎥</sup>이었고, 총 방류량의 39.7%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.12.37~13.25m(평균 EL.12.87m), 모의저수위 EL.12.37~13.21m(평균 EL.12.87m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.049, NSE 0.938, R2 0.941로 매우 높았다.



<그림 3-41> 초대지 내용적 곡선



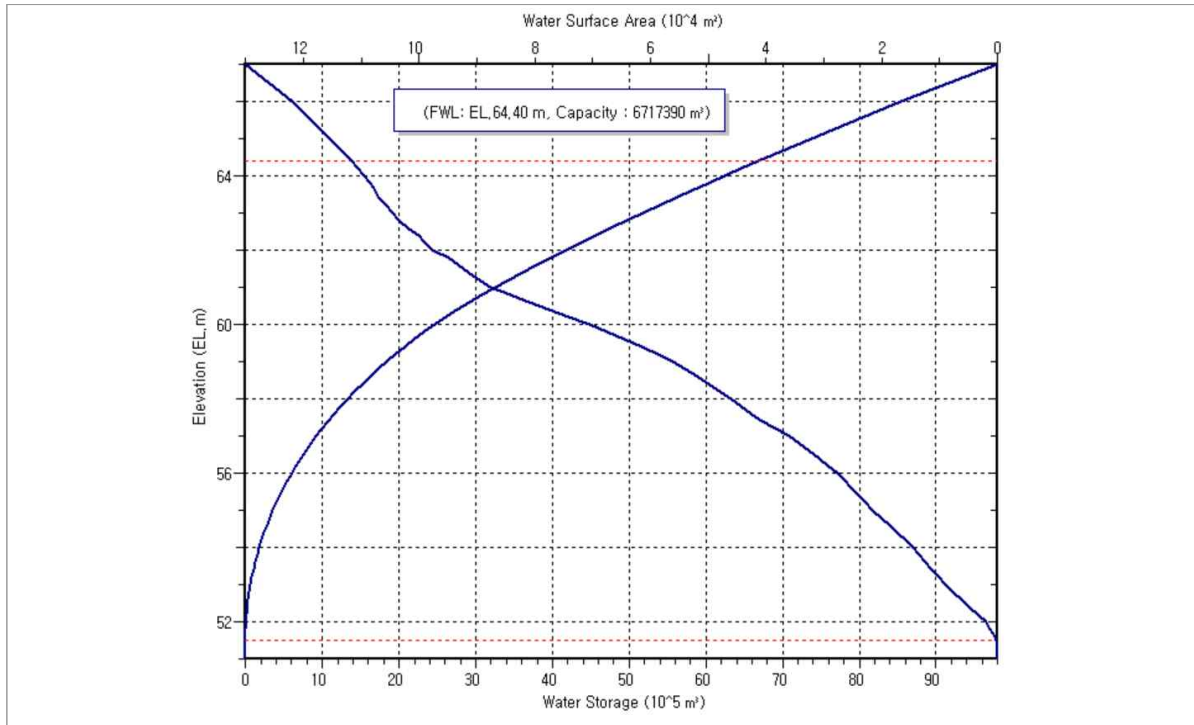
<그림 3-42> 초대지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.31.)



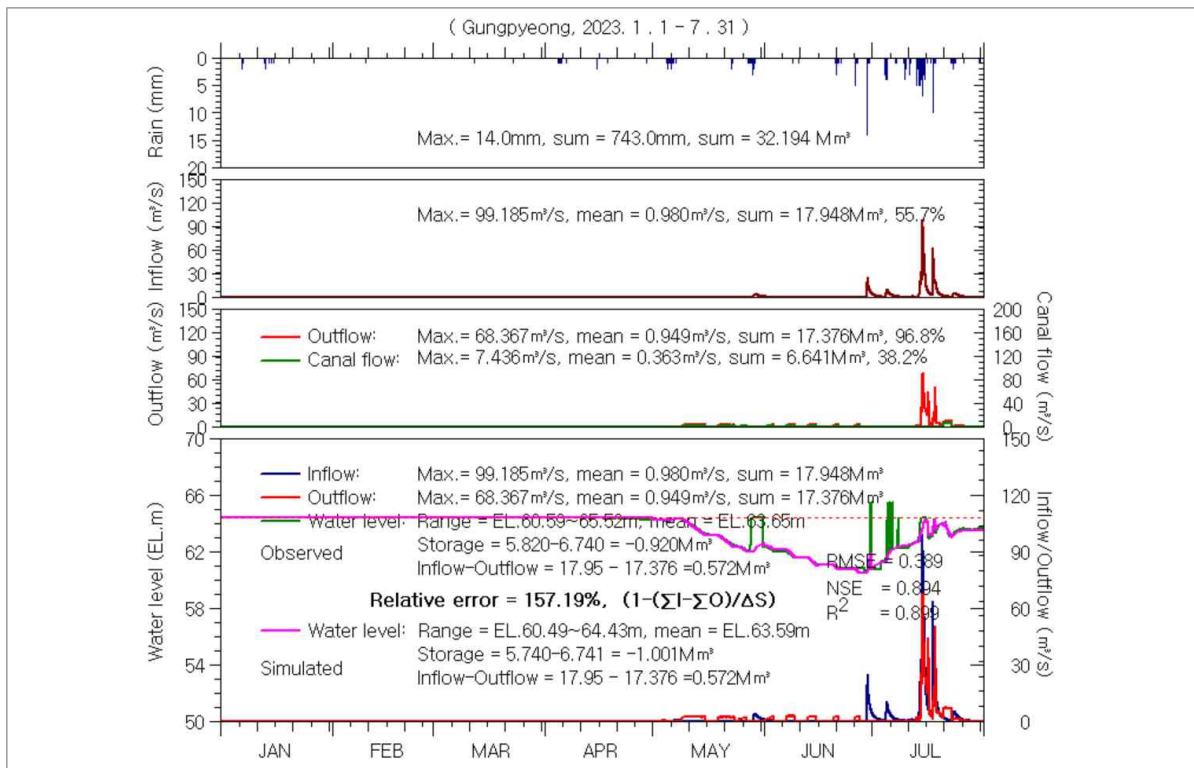
<그림 3-43> 초대지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.31.)

(15) **중평지**

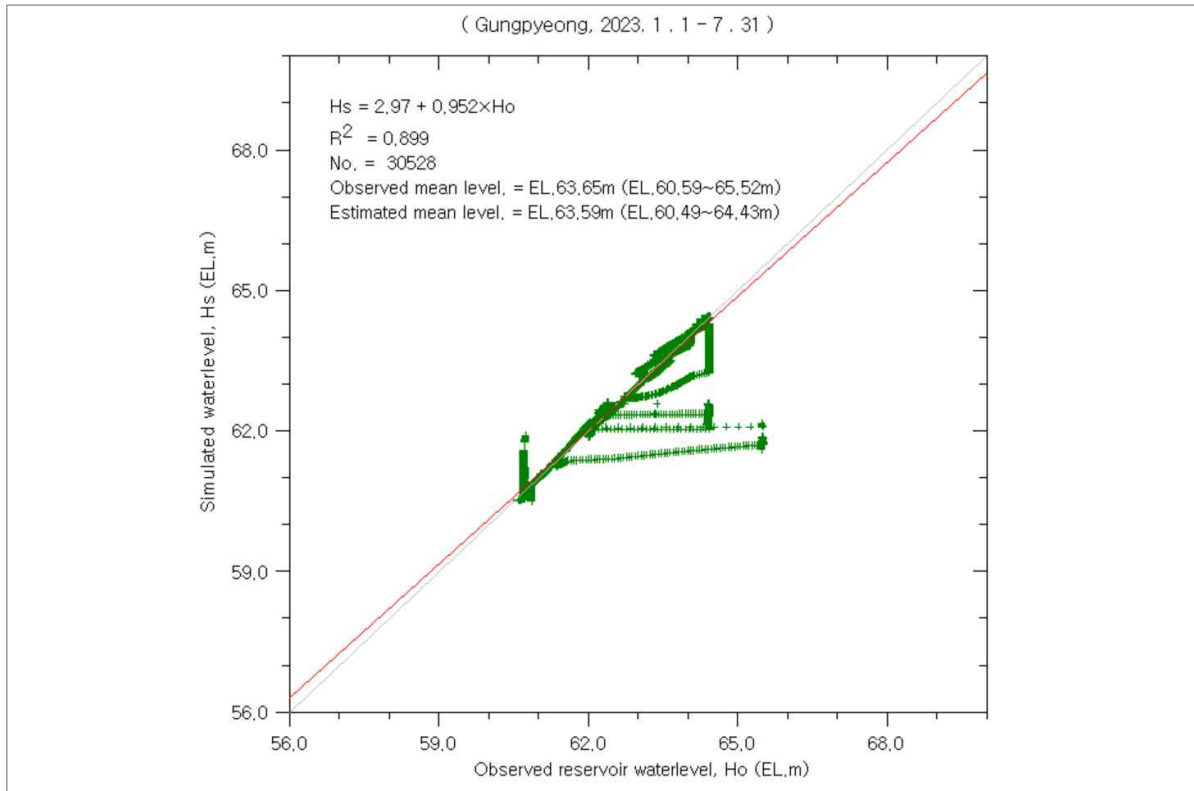
- 2023년 1월 1일부터 7월 31일까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 생산한 결과, 강우량은 10분 최대 14.0mm, 총 강우량 743.0mm(3,219.4만 $m^3$ ), 유입량은 10분 최대 99.185 $m^3/s$ , 총 유입량 414.2mm(1,794.8만 $m^3$ )로, 유출률은 55.7%, 방류량은 10분 최대 68.367 $m^3/s$ , 총 방류량 1,737.6만 $m^3$ (유입량의 96.8%), 수로 용수공급량은 10분 최대 7.436 $m^3/s$ , 총 공급량 664.1만 $m^3$ 이었고, 총 방류량의 38.2%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.60.59~65.52m(평균 EL.63.65m), 모의저수위 EL.60.49~64.43m(평균 EL.63.65m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.389, NSE 0.894, R2 0.899로 매우 높았다.



<그림 3-44> 공평지 내용적 곡선



<그림 3-45> 공평지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과 (2023.1.1.~7.31.)



<그림 3-46> 공평지 10분 단위 관측-모의 저수위 비교 (2023.1.1.~7.31.)

### 3. 생산 결과 종합

#### (1) 결과 신뢰도

- 선정된 15개 저수지의 10분 단위의 운영자료를 생산한 결과의 신뢰도는(표 3-2)와 같다. RMSE, NSE, R2로 신뢰도를 평가했으며, 칠갑지와 공평지를 제외하고 RMSE는 0.028~0.112, NSE는 0.938~0.999, R2는 0.941~0.999로 아주 높게 나타났다. 칠갑지와 공평지의 신뢰도가 다소 낮은 것은 관측 저수위 자료에서 많은 오차를 갖는데 원인이 있다.
- 위한 결과는 놀랄만하다. 자료가 없는 유입량과 방류량을 자료를 생산하며, 모의 저수위를 관측 저수위에 아주 밀접하게 접근시킨 결과다. 이는 무에서 유를 창조한 것과 같다고 말할 수 있다.
- 저수지 운영자료를 생산하는 과정은 입력자료 생성, 모의, 신뢰도 확보의 반복수행 등 일련의 과정이다. 시간을 분할하여 결과를 모으는 과정이고, 자동이 아니고, 반자동과 수동으로 하는 과정이다. 수행과정은 상황마다 전문가적 종합판단을 수반한다. 문제가 발생할 때마다 입력자료 보완, 모델 수정 등을 만족할 때마다 해결하는 노력을 견해야 한다. 그럼에도 불구하고 결과는 매우 만족할 수준이다.

&lt;표 3-2&gt; 선정 저수지의 10분 운영자료의 신뢰도 종합

저수지	지사	총저수량 (만 $m^3$ )	기간	관측 저수위 (EL.m)		모의 저수위 (EL.m)		신뢰도		
				범위	평균	범위	평균	RMSE	NSE	$R^2$
왕신	경주	183.9	7.1~9.30.	51.38~55.91	52.61	51.30~55.86	52.61	0.085	0.960	0.962
용암	세종	528.4	1.1.~7.31.	57.50~60.61	59.15	57.24~60.65	59.15	0.094	0.973	0.974
중흥	공주	277.7	1.1.~7.16.	88.07~91.05	90.41	87.97~91.06	90.41	0.060	0.995	0.995
탑정	논산	3,498.3	1.1.~7.16.	27.11~30.12	29.13	27.11~30.13	29.13	0.112	0.969	0.970
용연	천안	305.0	1.1.~7.31.	97.73~101.15	100.34	97.80~101.05	100.34	0.050	0.998	0.998
칠갑	청양	508.4	1.1.~7.31.	134.60~141.84	138.39	134.67~140.62	138.39	0.513	0.850	0.858
홍동	홍성	106.4	1.1.~7.31.	42.93~44.07	43.77	42.94~44.05	43.77	0.028	0.993	0.993
계룡	공주	471.7	1.1.~7.16.	58.15~60.91	60.20	58.10~60.92	60.20	0.042	0.996	0.996
반산	부여	569.2	1.1.~7.16.	15.26~16.72	16.36	15.22~16.75	16.36	0.052	0.985	0.985
덕용	서천	566.1	1.1.~7.26.	25.81~28.65	27.70	25.73~28.62	27.70	0.043	0.996	0.996
청천	보령	2,080.0	1.1.~7.31.	36.17~40.21	39.21	36.23~40.33	39.21	0.087	0.995	0.995
예당	예산	4,710.3	1.1.~7.31.	19.66~22.54	21.76	19.58~22.73	21.76	0.099	0.988	0.988
고풍	서산	836.0	1.1.~7.31.	76.46~84.92	82.83	76.50~85.09	82.83	0.096	0.999	0.999
초대	당진	108.0	1.1.~7.31.	12.37~13.25	12.87	12.37~13.21	12.87	0.049	0.938	0.941
궁평	아산	671.7	1.1.~7.31.	60.59~65.52	63.65	60.49~64.43	63.65	0.389	0.894	0.899
계		14,749.4								

## (2) 결과 평가

- 10분 단위의 운영자료를 생산한 결과는 (표 3-3)과 같으며, 총 저수량은 1억5,421만 $m^3$ 으로 이는 전체 저수지 1만7,080개소의 총 저수량은 33억923만 $m^3$ 의 4.65%에 상당한다. 2023년 1월부터 7월까지 선정된 15개 저수지의 유입량은 5억9,507만 $m^3$ 으로 총 저수량의 3.86배가 상당했고, 방류량은 6억1,251만 $m^3$ 으로 유입량의 1.03배에 상당했다. 방류량 중에서 수로 관개용수 공급량은 1억3,655만 $m^3$ , 여수로 월류량은 4억7,596만 $m^3$ 으로 계산돼, 관개용수 공급량은 22.3%, 하천 방류량은 77.7%로 집계됐다. 또한 관개용수 공급량은 저수량의 0.89배, 하천 방류량은 저수량의 3.09배에 이르렀다.



<표 3-3> 선정 저수지의 10분 운영자료 생산 종합

저수지	지사	총저수량 (만m <sup>3</sup> )	기간	총 강우량 (mm, 만m <sup>3</sup> )	총 유입량 (mm, 만m <sup>3</sup> )	유출량 (%)	총 방류량 (만m <sup>3</sup> )	수로공급량 (m <sup>3</sup> )
왕신	경주	183.9	7.1~9.30.	840.0 (1,848.0)	507.7 (1,117.0)	60.4	1,115.9	106.7
용암	세종	528.4	1.1.~7.31.	1,114.4 (1,805.3)	738.6 (1,196.5)	66.3	1,120.0	438.4
중흥	공주	277.7	1.1.~7.16.	923.0 (849.2)	648.5 (596.6)	70.3	594.7	106.7
탑정	논산	3,498.3	1.1.~7.16.	1,083.5 (23,707.0)	795.8 (17,411.7)	73.4	18,047.9	3,705.0
용연	천안	305.0	1.1.~7.31.	870.0 (1,800.9)	507.6 (1,050.7)	58.3	1,070.1	275.9
칠갑	청양	508.4	1.1.~7.31.	1,185.0 (2,050.1)	878.8 (1,520.4)	74.2	1,530.4	241.6
홍동	홍성	106.4	1.1.~7.31.	745.0 (1,102.6)	424.5 (628.3)	57.0	639.4	88.9
계룡	공주	471.7	1.1.~7.16.	1,137.0 (1,789.6)	832.8 (1,310.8)	73.2	1,314.3	426.8
반산	부여	569.2	1.1.~7.16.	974.0 (1,694.8)	720.8 (1,254.2)	74.0	1,304.1	244.0
덕용	서천	566.1	1.1.~7.26.	1,277.0 (2,017.7)	1,015.2 (1,604.0)	79.5	1,609.9	574.2
청천	보령	2,080.0	1.1.~7.31.	1,676.0 (11,748.8)	1,269.4 (8,898.1)	75.7	9,021.0	1,818.3
예당	예산	4,710.3	1.1.~7.31.	844.7 (31,558.0)	529.4 (19,776.8)	62.7	20,768.2	4,385.4
고풍	서산	836.0	1.1.~7.31.	856.0 (2,217.0)	452.8 (1,172.6)	52.9	1,193.0	506.2
초대	당진	108.0	1.1.~7.31.	706.0 (331.8)	372.6 (175.1)	52.8	184.4	73.2
궁평	아산	671.7	1.1.~7.31.	743.0 (3,219.4)	414.2 (1,794.38)	55.7	1,737.6	664.1
계		14,749.4		87,740.2	59,507.6		61,250.9	13,655.4

#### 4. 저수지 운영자료 활용 사례

- 저수지 운영자료는 홍수, 이수 등 물관리에 요긴하게 활용된다. 여기서 2022년 제체를 월류한 왕신지의 2023년 8월 9일~11일의 홍수, 많은 지역에서 침수피해가 발생한 충남의 선정된 14개 저수지에 대해 2023년 7월 13일~16일의 홍수 사상을 정리하고, 홍수운영을 개선하기 위해 사후분석을 실시했다.

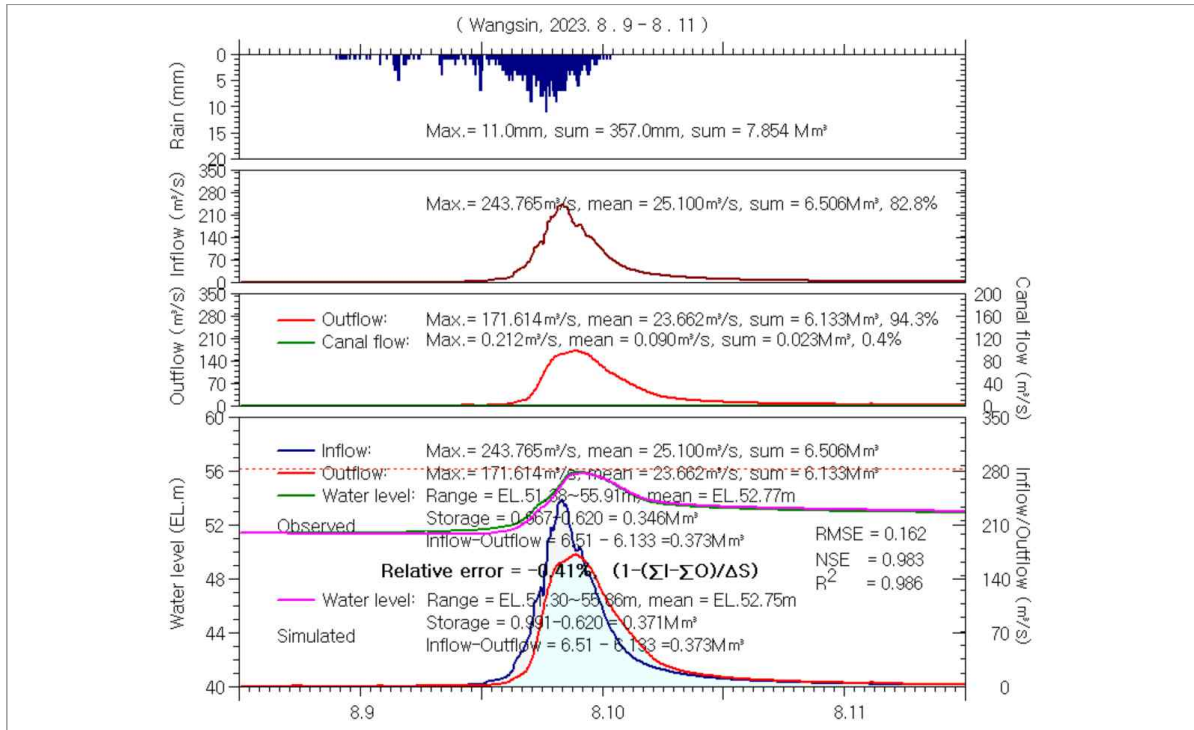
## 1. 왕신지 홍수분석

- 2022.9.5.~9.6. 힌남노 홍수에서 왕신지의 제체고 EL.59.20m를 월류한 시간은 9월6일 5시50분부터 8시까지 2시간10분 동안였으며, 관측 저수위는 EL.59.24m ~ EL.60.28m, 모의 저수위는 EL.59.31m ~ EL.60.29m로 분석했다. 월류되는 동안 총유입량은 544만 $\text{m}^3$ , 총방류량은 527만 $\text{m}^3$ 로 나타나, 유입량의 96.8%가 월류되는 것으로 계산돼 저수지의 저류효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 이때 유입량은 전기간의 60.2%, 방류량은 62.1%에 상당했다. 또한, 힌남노에 따른 왕신저수지의 홍수조절효과는 침투유입량을 105.7 $\text{m}^3/\text{s}$  저감시켰고, 홍수량을 56만 $\text{m}^3$ 을 저류시킨 것으로 분석됐다.
- 힌남노를 겪은 후 왕신지는 여수로 제정(만수위 EL.56.20m)을 3m 낮추고, 330m의 제체 전체를 비닐천막으로 덮어 사면을 보호하는 조치를 취했다. 만약 이러한 조치가 없었다면 2023년 올해 8월9일~11일 호우에 또다시 제방을 월류할 수도 있었다.



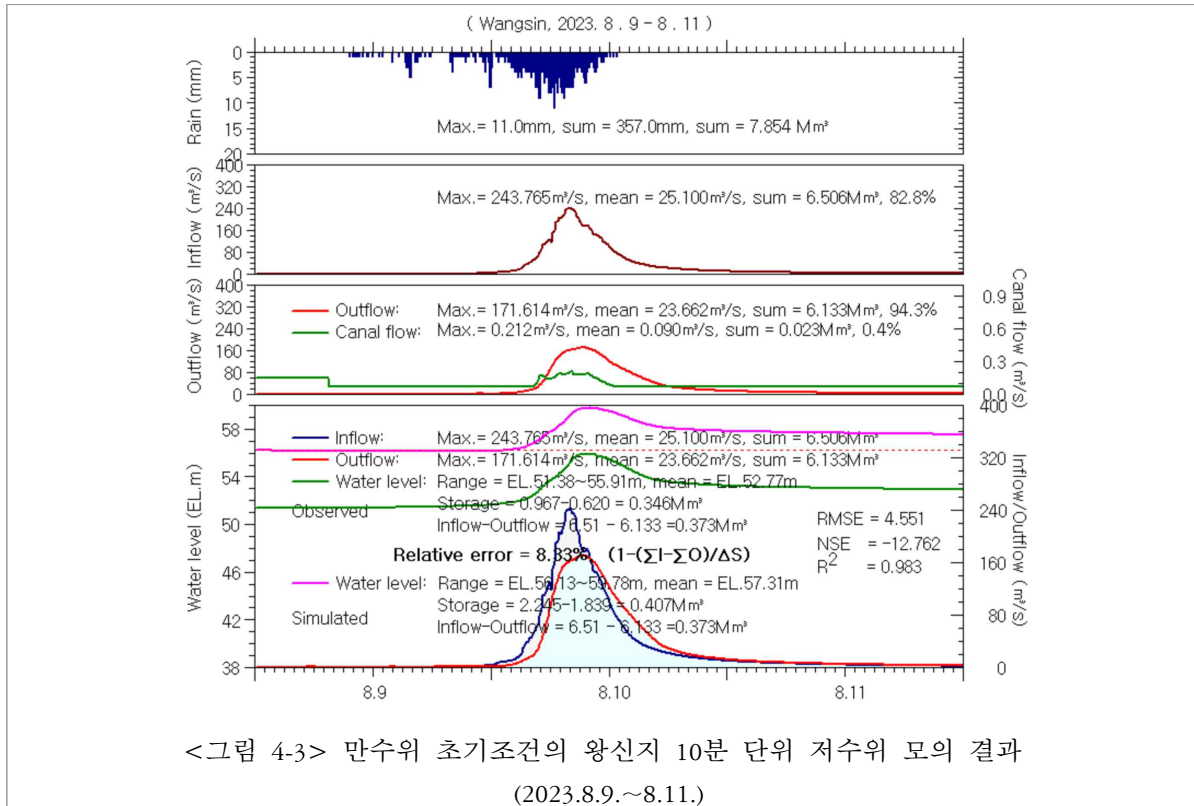
<그림 4-1> 왕신지 제방과 여수로 상태 (2023.11.18.)

- 3.2.1의 10분 단위 왕신지 운영자료 생산결과로부터 2023.8.9.~8.11. 홍수 사상을 정리하면 다음과 같다. 강우량은 10분 최대 11.0mm, 총 강우량 357.0mm(785.4만 $\text{m}^3$ ), 유입량은 10분 최대 243.765 $\text{m}^3/\text{s}$ , 총 유입량 295.7mm(650.6만 $\text{m}^3$ )로, 유출률은 82.8%, 방류량은 10분 최대 171.614 $\text{m}^3/\text{s}$ , 총 방류량 613.3만 $\text{m}^3$ (유입량의 94.3%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.212 $\text{m}^3/\text{s}$ , 총 공급량 2.3만 $\text{m}^3$ 이었고, 총 방류량의 0.4%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.51.38~55.91m(평균 EL.52.77m), 모의저수위 EL.51.30~55.86m(평균 EL.52.77m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.162, NSE 0.983, R2 0.986로 매우 높았다.



<그림 4-2> 왕신지 10분 단위 저수지 운영자료 생산 결과

- 여수로 제정을 낮추지 않은 상태를 가정하고, 초기수위를 만수위인 EL.56.20m로 설정하고 생산한 저수지 운영자료인 유입량과 방류량을 적용하여, 저수위를 모의한 결과는 최고 수위 EL.59.78m를 기록하는 것으로 분석됐다. 이 기록은 제정을 58cm 넘치는 수치다. 여수로 제정을 3m 낮추는 응급조치가 없었더라면 일강우 357mm는 또다시 제정을 월류하는 폭우였다. 이 결과는 유역배율이 높은 저수지에 대해서는 극한홍수에 대한 면밀한 진단과 대책이 필요하다고 말한다.

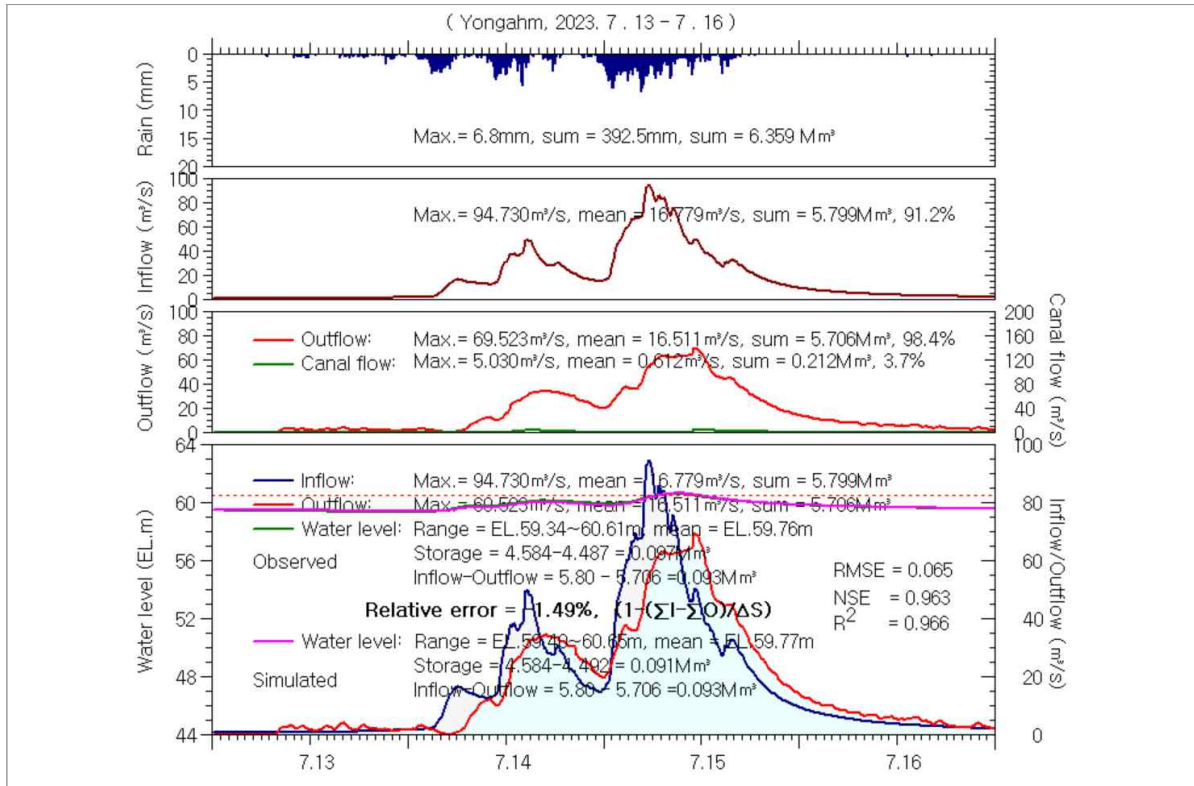


<그림 4-3> 만수위 초기 조건이 왕신지 10분 단위 저수위 모의 결과 (2023.8.9.~8.11.)

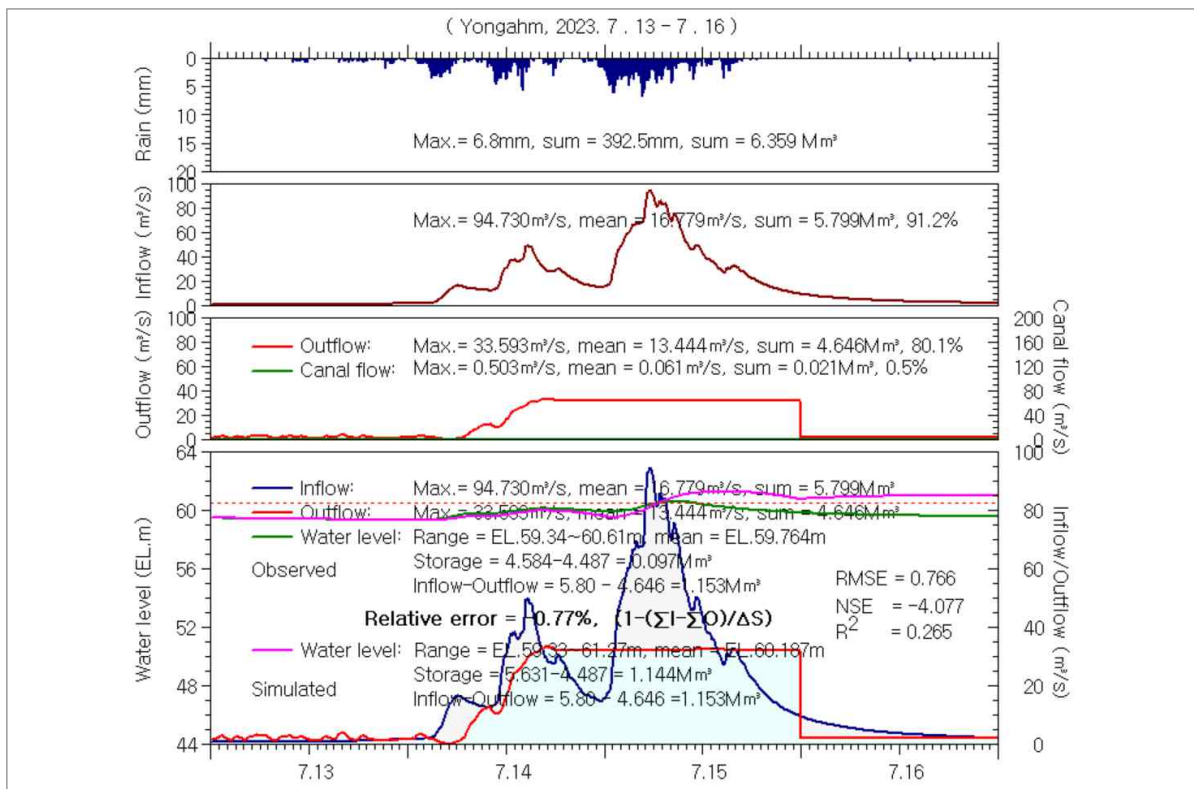
## 2. 충남 저수지 홍수 분석 (2023.7.13.~7.16.)

### (1) 용암지

- 용암지는 유역면적 1,620.0ha, 수해면적 477.5ha, 만수위 EL.60.50m, 사수위 EL.45.50m, 총저수량 528만 m³이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 6.8mm, 총 강우량 392.5mm(635.9만m³), 유입량은 10분 최대 94.730m³/s, 총 유입량 358.0mm(579.9만m³)로, 유출률은 91.2%, 방류량은 10분 최대 69.523m³/s, 총 방류량 570.6만m³(유입량의 98.4%)였다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.59.34~60.61m(평균 EL.59.76m), 모의저수위 EL.59.40~60.65m(평균 EL.59.76m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.065, NSE 0.963, R2 0.966로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.61.30m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 33.593 m³/s, 총 방류량 464.6만m³(유입량의 80.1%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.61.27m였다.
- 첨두 유입량에서 방류량을 뺀 첨두량 저감은 25.207m³/s에서 69.523m³/s로 44.324증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 9.3만m³(총 저수량의 1.7%)에서 125.3만m³(총 저수량의 23.7%)으로 증가했다.



<그림 4-4> 용암지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)

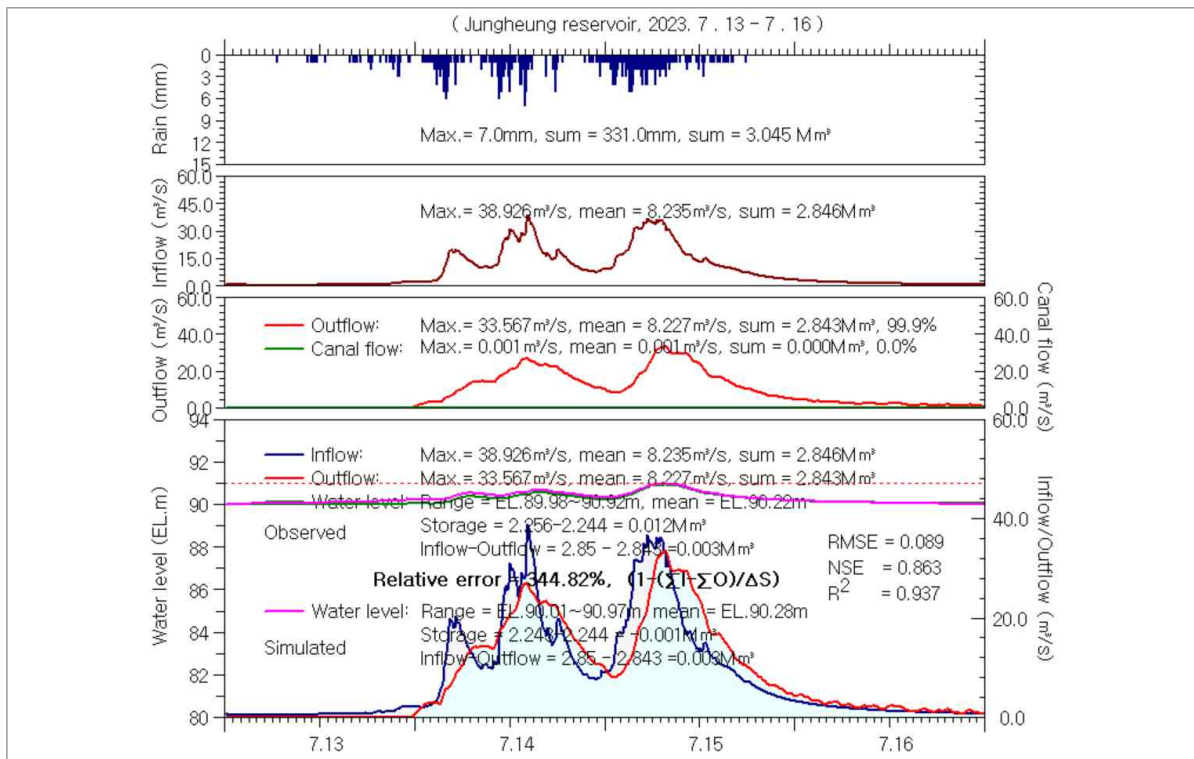


<그림 4-5> 용암지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)



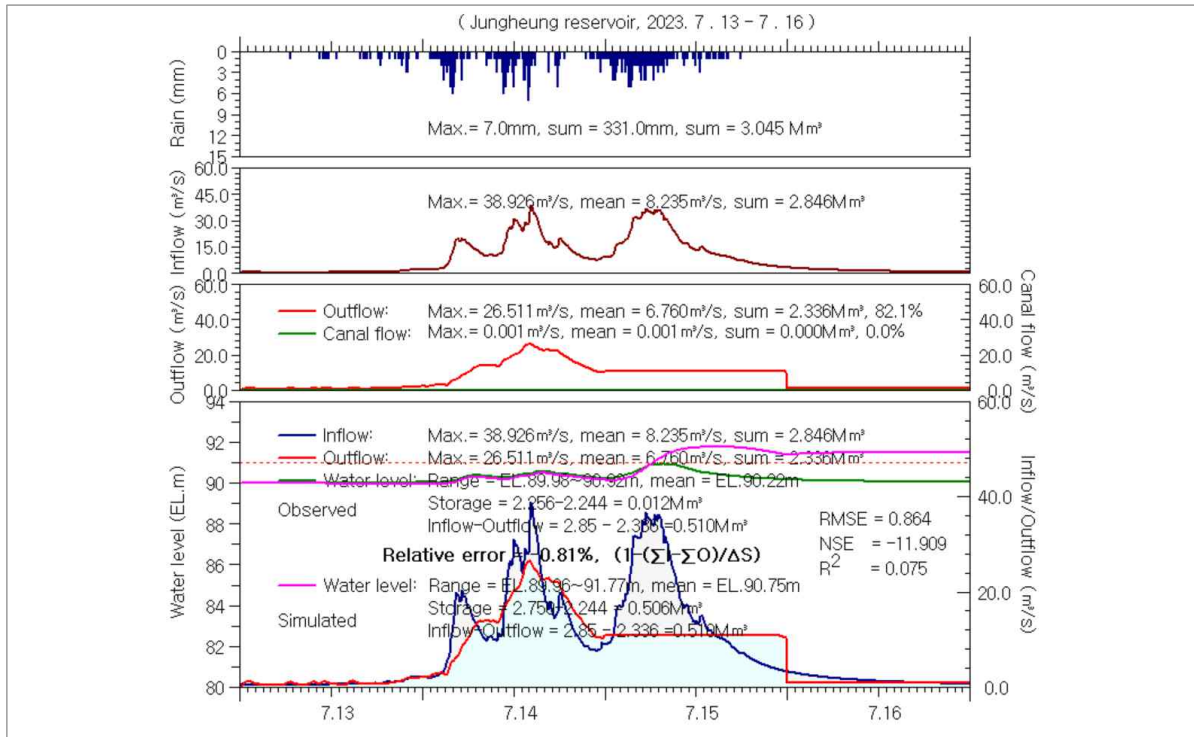
(2) 중흥지

- 중흥지는 유역면적 920.0ha, 수해면적 275ha, 만수위 EL.91.00m, 사수위 EL.75.00m, 총저수량 257만<sup>3</sup>m<sup>3</sup>이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 7.0mm, 총 강우량 331.0mm(304.5만<sup>3</sup>m<sup>3</sup>), 유입량은 10분 최대 38.926<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s, 총 유입량 309.4mm(284.6만<sup>3</sup>m<sup>3</sup>)로, 유출률은 93.5%, 방류량은 10분 최대 33.567<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s, 총 방류량 284.3만<sup>3</sup>m<sup>3</sup>(유입량의 99.9%), 수로 용수공급량은 없었다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.89.98~90.92m(평균 EL.90.22m), 모의저수위 EL.90.01~ 90.97m(평균 EL.90.22m)로 나타났고, 신뢰도는 RMSE 0.089, NSE 0.863, R2 0.937로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.91.80m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 26.511<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s, 총 방류량 233.6만<sup>3</sup>m<sup>3</sup>(유입량의 82.1%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.91.77m였다.
- 첨두 유입량에서 방류량을 뺀 첨두량 저감은 5.359<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s에서 12.415<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s로 7.056<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 0.3만<sup>3</sup>m<sup>3</sup>(총 저수량의 0%)에서 50.7만<sup>3</sup>m<sup>3</sup>(총 저수량의 19.7%)으로 증가했다.



<그림 4-6> 중흥지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)

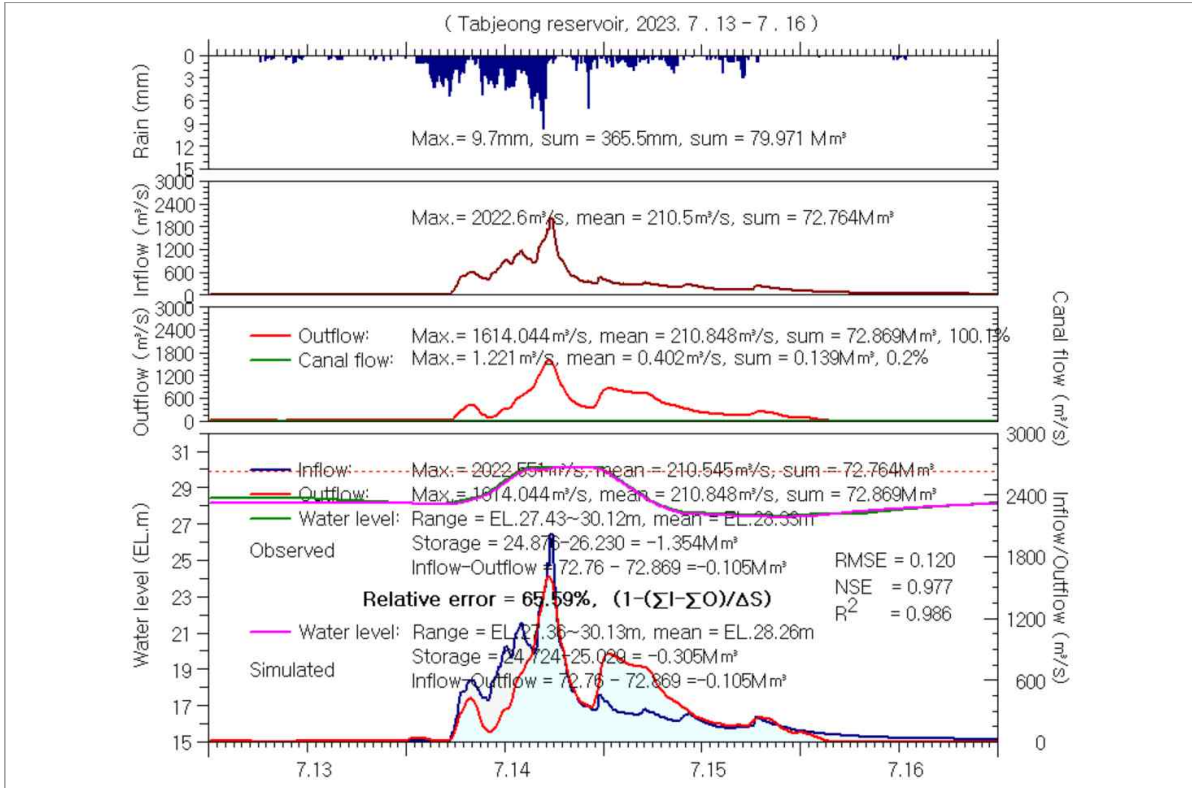




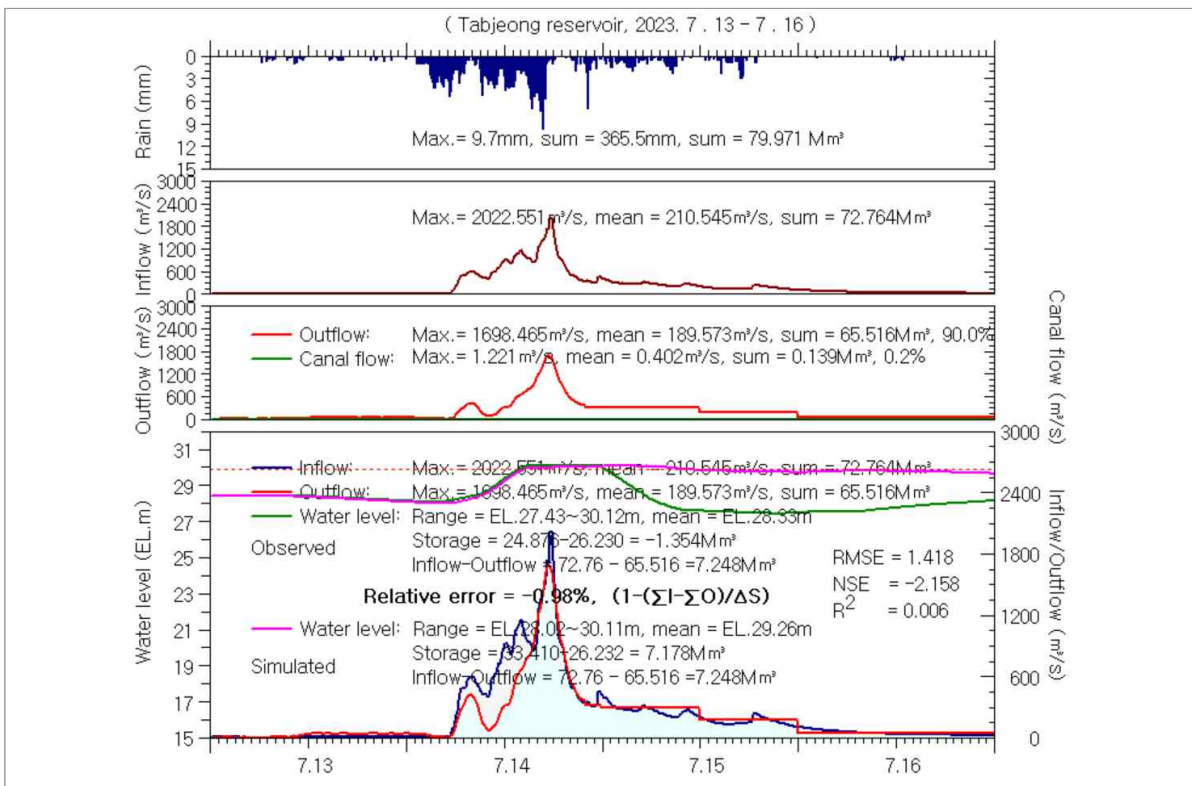
<그림 4-7> 중흥지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

(3) 탐정지

- 탐정지는 유역면적 21,880.0ha, 수혜면적 5,713.3ha, 만수위 EL.29.90m, 사수위 EL.17.10m, 총저수량 3,498만<sup>3</sup>m이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 9.7mm, 총 강우량 365.5mm(7,997.1만<sup>3</sup>m), 유입량은 10분 최대 2,022.55<sup>3</sup>m/s, 총 유입량 332.6mm(7,276.4만<sup>3</sup>m)로, 유출률은 91.0%, 방류량은 10분 최대 1,664.51<sup>3</sup>m/s, 총 방류량 7,508.6만<sup>3</sup>m(유입량의 103.2%), 수로 용수공급량은 13.9만<sup>3</sup>m(총 방류량의 0.2%)에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과, 관측저수위 EL.27.43~30.12m(평균 EL.28.33m), 모의저수위 EL.27.56~30.16m(평균 EL.28.33m)로 나타났고, 신뢰도는 RMSE 0.089, NSE 0.988, R2 0.989로 매우 높았다.
- 하류와 상류의 침수상황을 고려하여 만수위 EL.29.90m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 1,698.46<sup>3</sup>m/s, 총 방류량 6,551.6만<sup>3</sup>m(유입량의 90.0%)으로 나타났고, 최고 수위는 EL.30.11m였다.
- 침투 유입량에서 방류량을 빼 침투량 저감은 358.04<sup>3</sup>m/s에서 391.99<sup>3</sup>m/s로 33.95<sup>3</sup>m/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 빼 홍수조절량은 332.4만<sup>3</sup>m(총 저수량의 -9.5%)에서 724.8만<sup>3</sup>m(총 저수량의 20.7%)으로 증가했다.



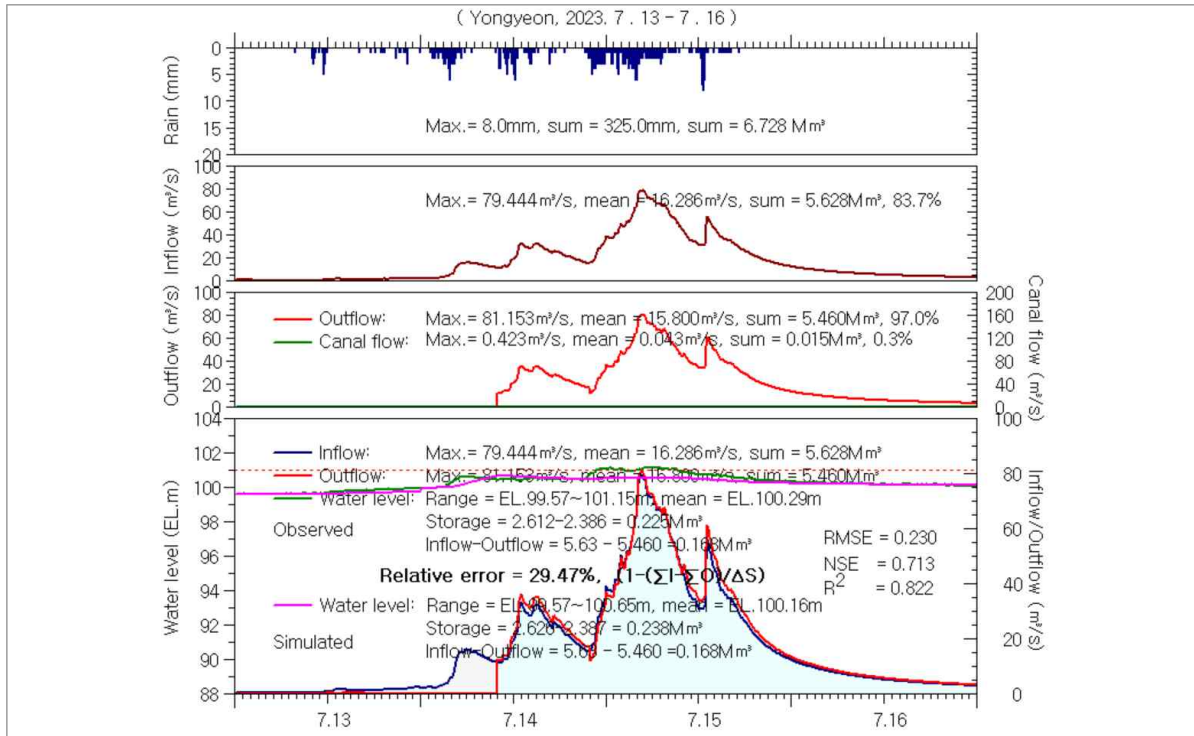
<그림 4-8> 탐정지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)



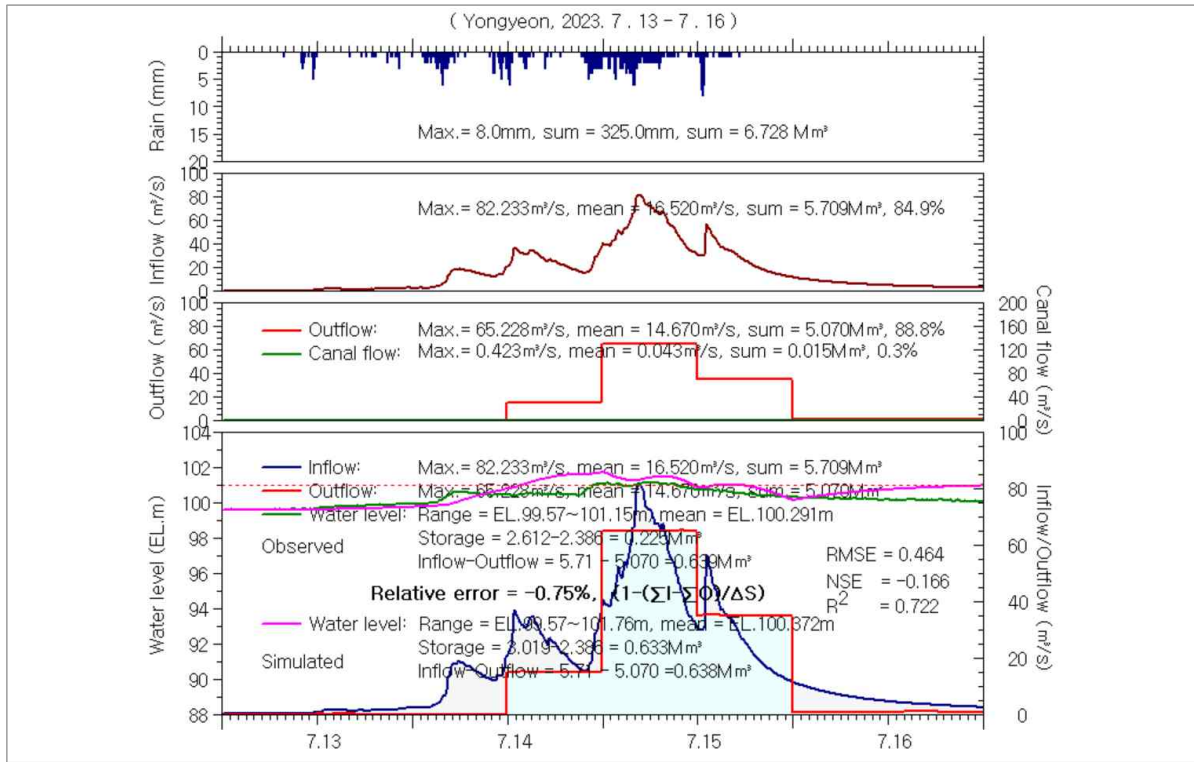
<그림 3-9> 탐정지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

(4) 용연지

- 용연지는 유역면적 2,070.0ha, 수혜면적 421ha, 만수위 EL.101.03m, 사수위 EL.88.63m, 총저수량 305만<sup>3</sup>이다. 홍수운영 결과, 강수량은 10분 최대 8.0mm, 총 강수량 325.0mm(672.8만<sup>3</sup>), 유입량은 10분 최대 79.444<sup>3</sup>/s, 총 유입량 271.9mm(562.8만<sup>3</sup>)로, 유출률은 83.7%, 방류량은 10분 최대 81.153<sup>3</sup>/s, 총 방류량 546만<sup>3</sup>(유입량의 97.0%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.423<sup>3</sup>/s, 총 공급량 1.5만<sup>3</sup>이었고, 총 방류량의 0.3%에相当했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.99.57~101.15m(평균 EL.100.29m), 모의저수위 EL.99.57~100.65m(평균 EL.100.29m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.230, NSE 0.713, R2 0.822로 높았다.
- 홍수위 EL.102.03m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 65.228<sup>3</sup>/s, 총 방류량 507.0만<sup>3</sup>(유입량의 88.8%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.101.76m였다.
- 침두 유입량에서 방류량을 뺀 침두량 저감은 1.709<sup>3</sup>/s에서 14.216<sup>3</sup>/s로 15.925<sup>3</sup>/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 6.8만<sup>3</sup>(총 저수량의 2.2%)에서 55.8만<sup>3</sup>(총 저수량의 18.3%)으로 증가했다.



<그림 4-10> 용연지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)

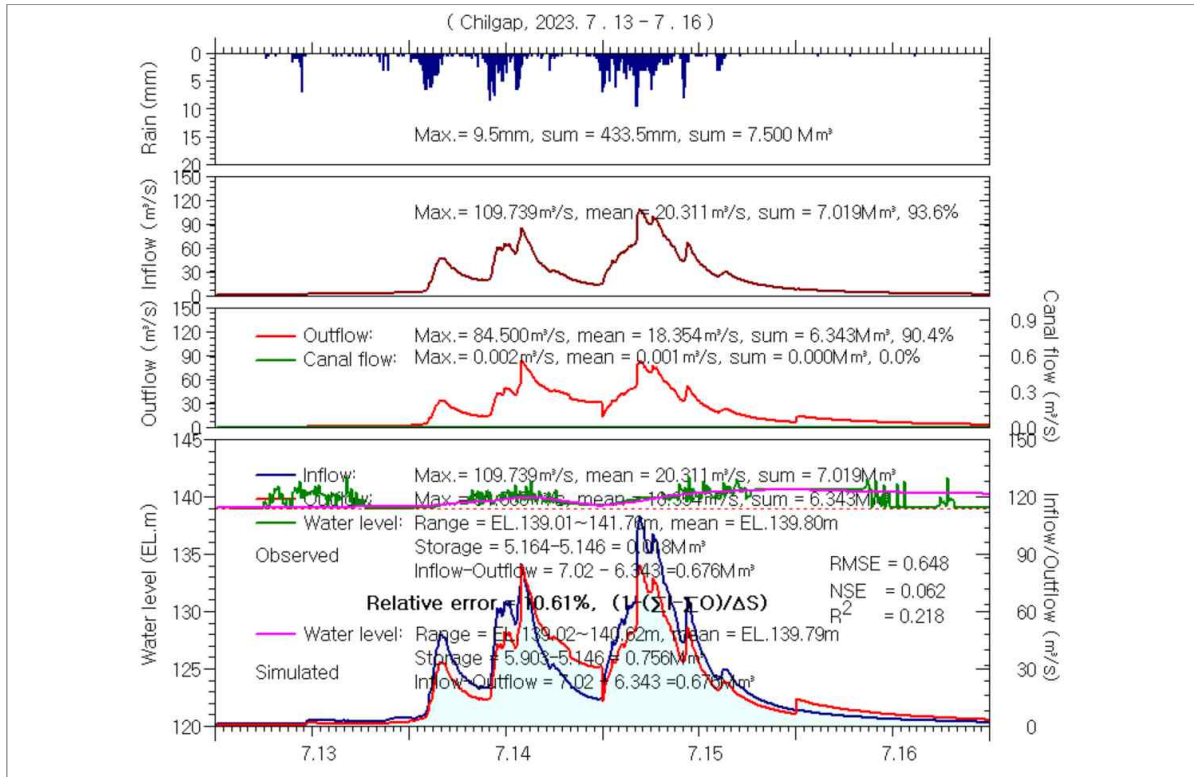


<그림 4-11> 용연지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

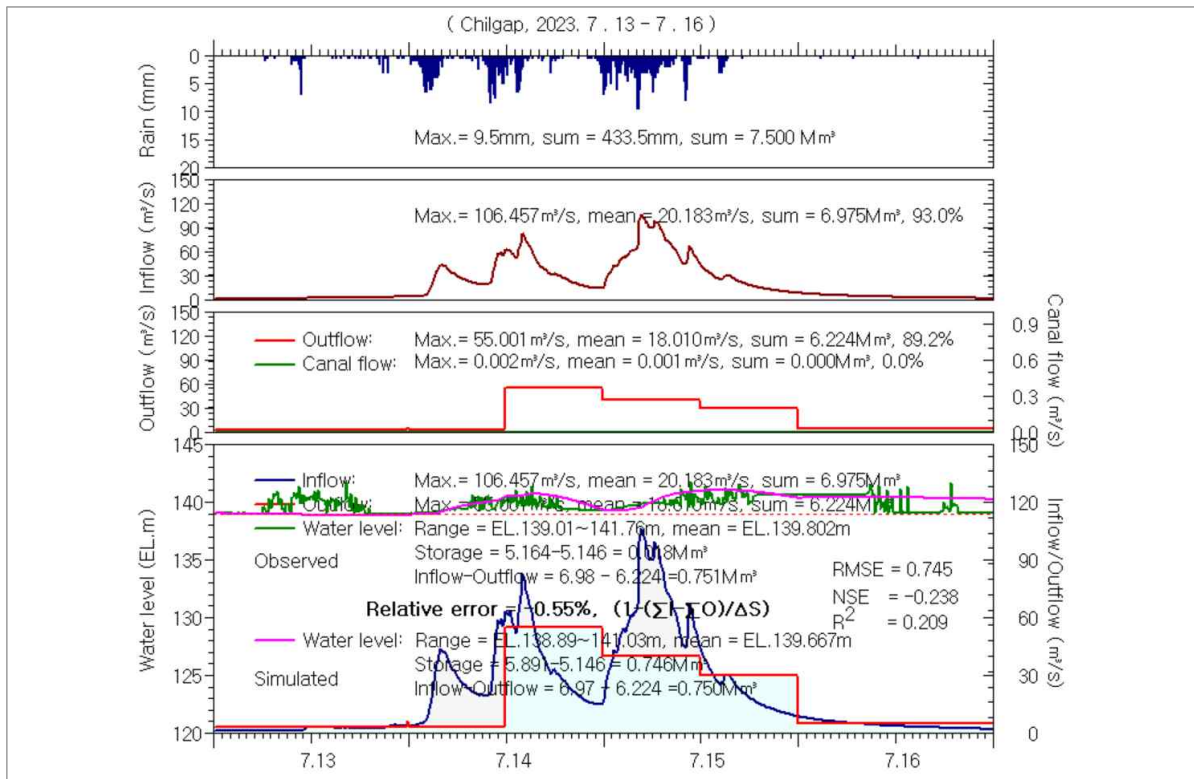
(5) 칠갑지

- 칠갑지는 유역면적 1,730.0ha, 수해면적 682ha, 만수위 EL.139.00m, 사수위 EL.125.00m, 총저수량 513만 m³이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 9.5mm, 총 강우량 433.5mm(750.0만m³), 유입량은 10분 최대 109.739m³/s, 총 유입량 405.7mm(701.9만m³)로, 유출률은 93.6%, 방류량은 10분 최대 84.5 m³/s, 총 방류량 634.3만m³(유입량의 90.4%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.002m³/s, 총 공급량 0.0만m³이었고, 총 방류량의 0.0%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.139.01~141.76m(평균 EL.139.80m), 모의저수위 EL.139.02~140.62m(평균 EL.139.80m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.648, NSE 0.062, R2 0.218로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.141.00m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 55.001 m³/s, 총 방류량 622.4만m³(유입량의 89.2%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.141.03m였다.
- 침두 유입량에서 방류량을 뺀 침두량 저감은 25.239m³/s에서 54.738m³/s로 29.499m³/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 67.6만m³(총 저수량의 13.1%)에서 79.5만m³(총 저수량의 15.5%)으로 증가했다.





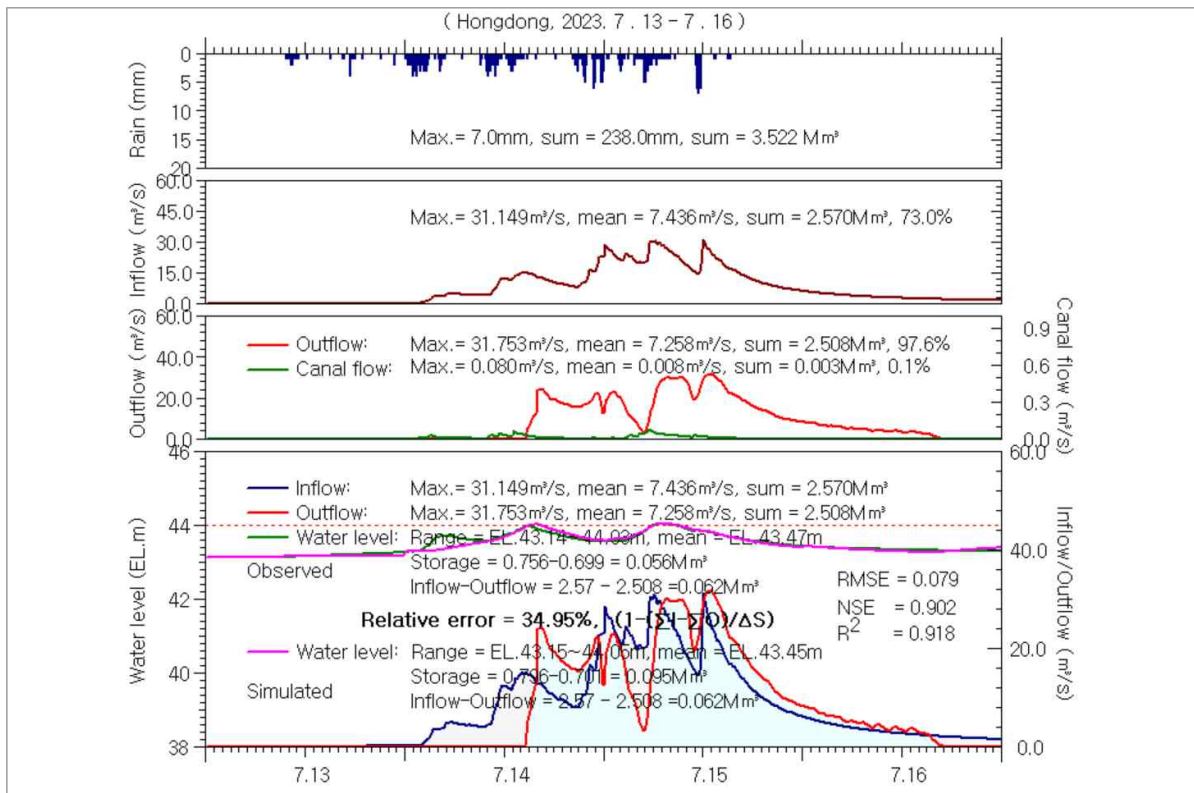
<그림 4-12> 칠갑지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)



<그림 4-13> 칠갑지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

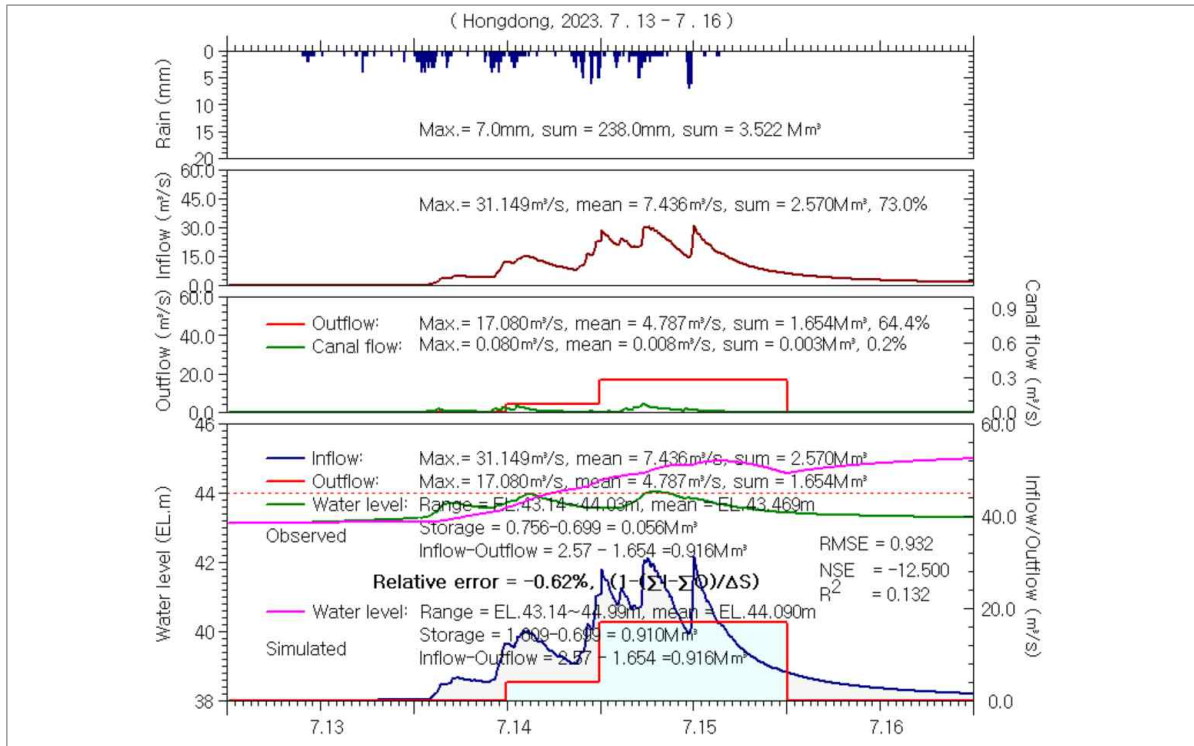
(6) 홍동지

- 홍동지는 유역면적 1,480.0ha, 수해면적 234.5ha, 만수위 EL.44.00m, 사수위 EL.40.30m, 총저수량 106만 m<sup>3</sup>이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 7.0mm, 총 강우량 238.0mm(352.2만m<sup>3</sup>), 유입량은 10분 최대 31.149m<sup>3</sup>/s, 총 유입량 173.7mm (257.0만m<sup>3</sup>)로, 유출률은 73.0%, 방류량은 10분 최대 31.753m<sup>3</sup>/s, 총 방류량 250.8만m<sup>3</sup>(유입량의 97.6%)였다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.43.14~ 44.03m(평균 EL.43.47m), 모의저수위 EL.43.15~44.05m(평균 EL.43.47m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.079, NSE 0.902, R2 0.918로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.45.00m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 17.080 m<sup>3</sup>/s, 총 방류량 165.4만m<sup>3</sup>(유입량의 64.4%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.44.99m였다.
- 침투 유입량에서 방류량을 뺀 침투량 저감은 14.069m<sup>3</sup>/s에서 14.673m<sup>3</sup>/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 6.2만m<sup>3</sup>(총 저수량의 5.8%)에서 91.6만m<sup>3</sup>(총 저수량의 86.4%)으로 증가했다.



<그림 4-14> 홍동지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)

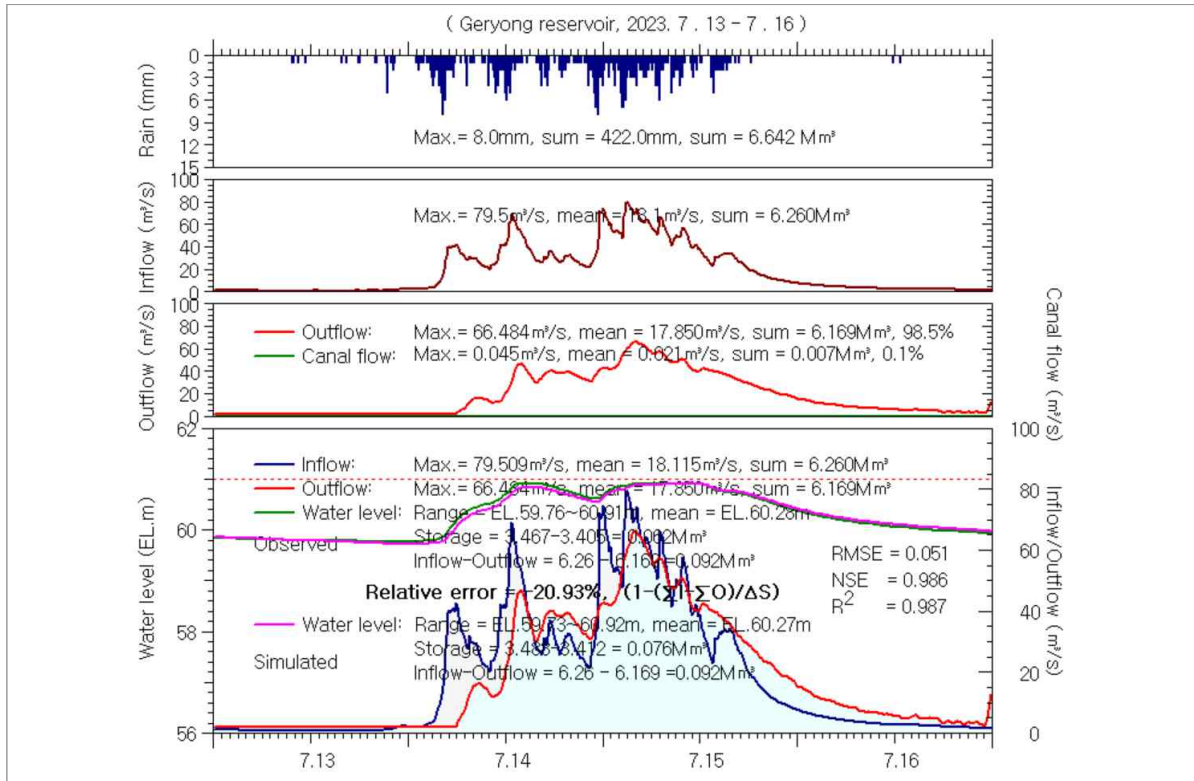




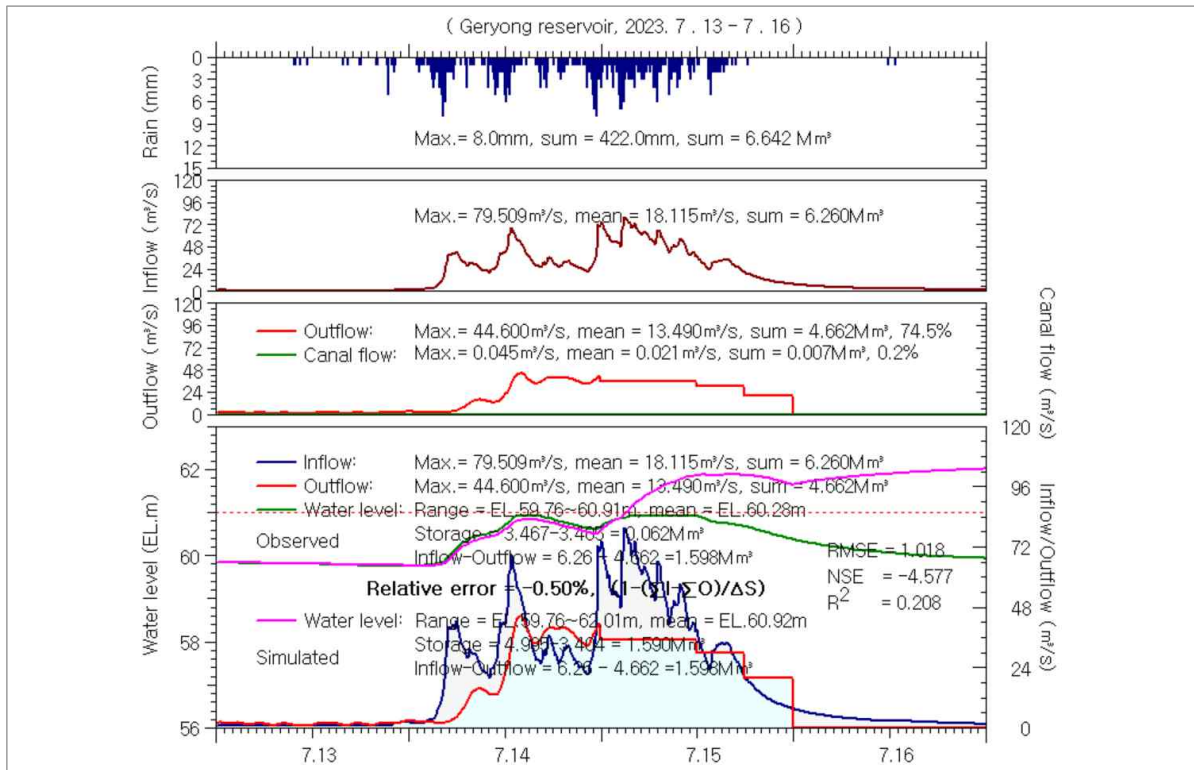
<그림 4-15> 흥동지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

(7) 계룡지

- 계룡지는 유역면적 1,574.0ha, 수해면적 450ha, 만수위 EL.61.00m, 사수위 EL.51.00m, 총저수량 423만m<sup>3</sup>이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 8.0mm, 총 강우량 422.0mm(664.2만m<sup>3</sup>), 유입량은 10분 최대 79.509m<sup>3</sup>/s, 총 유입량 397.7mm(626.0만m<sup>3</sup>)로, 유출률은 94.3%, 방류량은 10분 최대 66.484m<sup>3</sup>/s, 총 방류량 616.9만m<sup>3</sup>(유입량의 98.5%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.045m<sup>3</sup>/s, 총 공급량 0.7만m<sup>3</sup>이었고, 총 방류량의 0.1%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.59.76~60.91m(평균 EL.60.28m), 모의저수위 EL.59.73~60.92m(평균 EL.60.28m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.051, NSE 0.986, R2 0.987로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.62.00m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 44.600m<sup>3</sup>/s, 총 방류량 466.2만m<sup>3</sup>(유입량의 74.5%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.62.01m였다.
- 침두 유입량에서 방류량을 뺀 침두량 저감은 13.025m<sup>3</sup>/s에서 34.909m<sup>3</sup>/s로 21.872m<sup>3</sup>/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 9.1만m<sup>3</sup>(총 저수량의 2.1%)에서 158.8만m<sup>3</sup>(총 저수량의 37.5%)으로 증가했다.



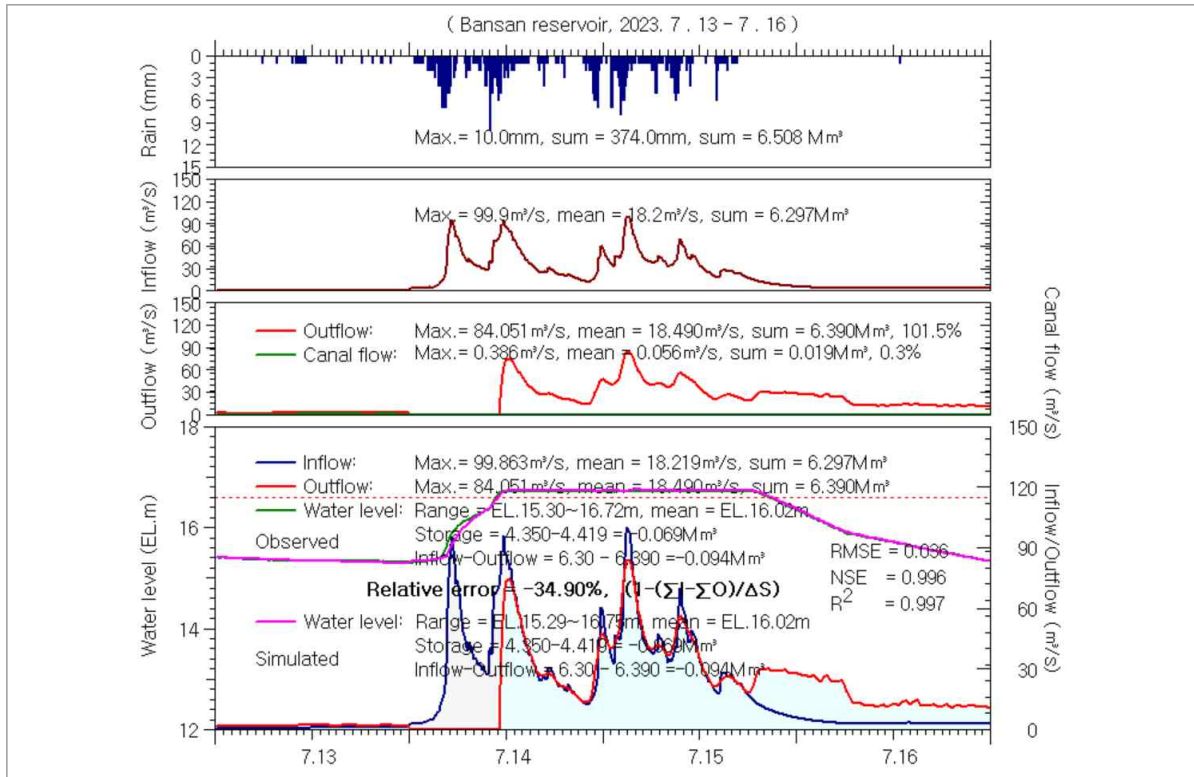
<그림 4-16> 계룡지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)



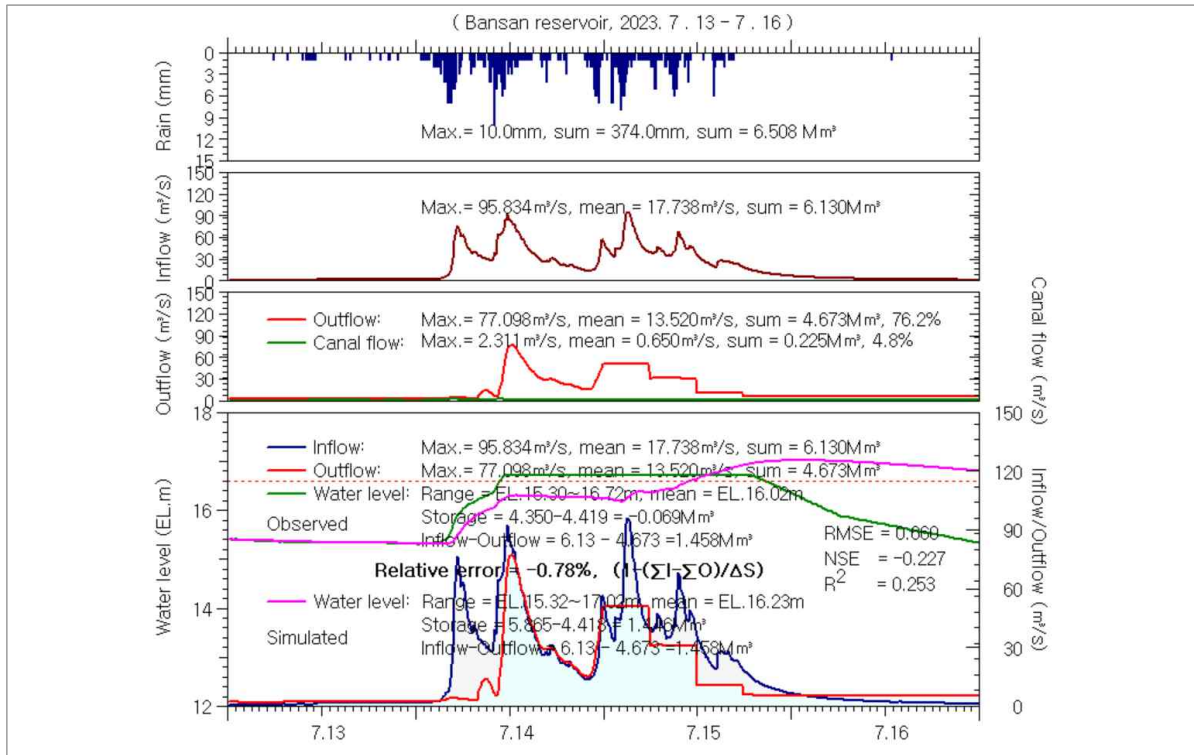
<그림 4-17> 계룡지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

(8) 반산지

- 반산지는 유역면적 1,740.0ha, 수혜면적 765.1ha, 만수위 EL.16.60m, 사수위 EL.8.00m, 총저수량 564만<sup>3</sup>이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 10.0mm, 총 강우량 374.0mm(650.8만<sup>3</sup>), 유입량은 10분 최대 99.863<sup>3</sup>/s, 총 유입량 361.9mm(629.7만<sup>3</sup>)로, 유출률은 96.8%, 방류량은 10분 최대 84.051<sup>3</sup>/s, 총 방류량 639만<sup>3</sup>(유입량의 101.5%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.386<sup>3</sup>/s, 총 공급량 1.9만<sup>3</sup>이었고, 총 방류량의 0.3%에相当했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.15.30~16.72m(평균 EL.16.02m), 모의저수위 EL.15.29~16.75m(평균 EL.16.02m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.036, NSE 0.996, R2 0.997로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.17.80m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 77.098<sup>3</sup>/s, 총 방류량 467.3만<sup>3</sup>(유입량의 76.2%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.17.02m였다.
- 침두 유입량에서 방류량을 뺀 침두량 저감은 15.812<sup>3</sup>/s에서 22.765<sup>3</sup>/s로 7.047<sup>3</sup>/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 -9.3만<sup>3</sup>(총 저수량의 -1.6%)에서 162.5만<sup>3</sup>(총 저수량의 28.8%)으로 증가했다.



<그림 4-18> 반산지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)

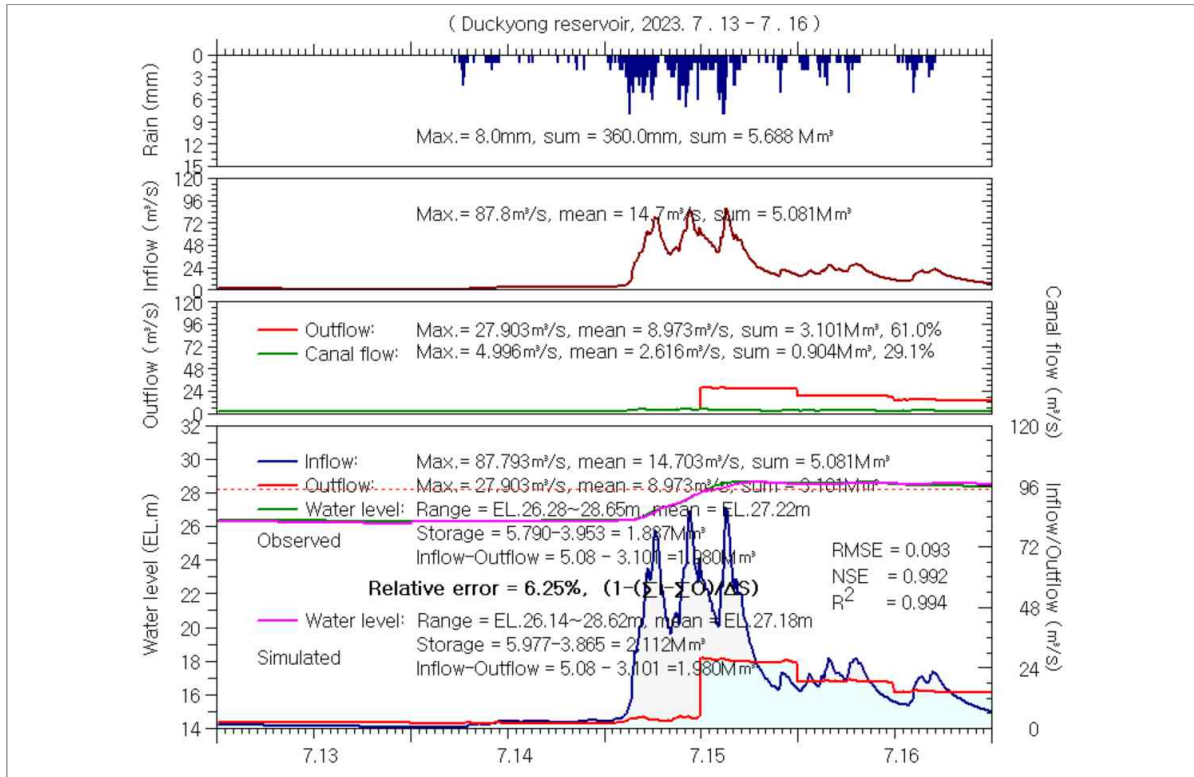


<그림 4-19> 반산지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

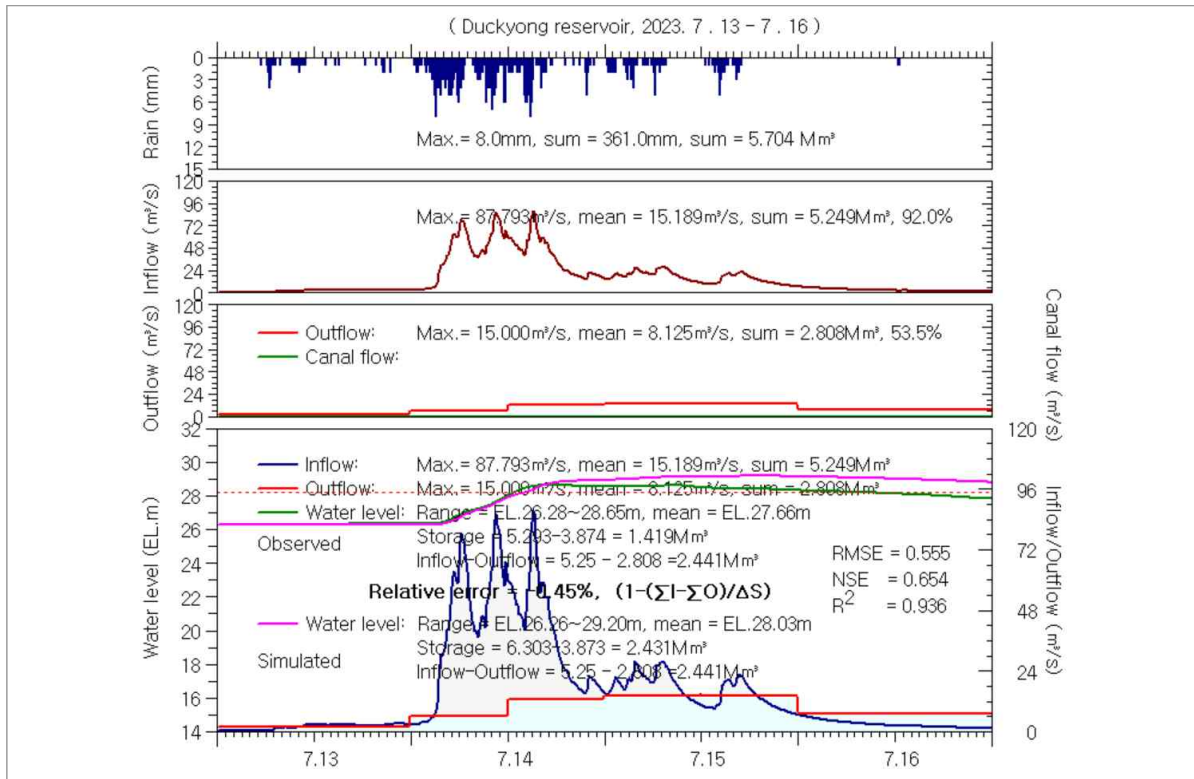
(9) 덕용지

- 덕용지는 유역면적 1,580.0ha, 수해면적 1,071ha, 만수위 EL.28.20m, 사수위 EL.14.80m, 총저수량 567만 m³이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 8.0mm, 총 강우량 360.0mm(568.8만m³), 유입량은 10분 최대 87.793 m³/s, 총 유입량 321.6mm(508.1만m³)로, 유출률은 89.3%, 방류량은 10분 최대 27.903 m³/s, 총 방류량 310.1만m³(유입량의 61.0%), 수로 용수공급량은 10분 최대 4.996 m³/s, 총 공급량 90.4만m³이었고, 총 방류량의 29.1%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.26.28~28.65m(평균 EL.27.22m), 모의저수위 EL.26.14~28.62m(평균 EL.27.22m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.093, NSE 0.992, R2 0.994로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.29.20m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 15.000 m³/s, 총 방류량 280.8만m³(유입량의 53.5%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.29.01m였다.
- 첨두 유입량에서 방류량을 뺀 첨두량 저감은 49.890 m³/s에서 72.793 m³/s로 22.903 m³/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 198만m³(총 저수량의 34.9%)에서 227.3만m³(총 저수량의 40.1%)으로 증가했다.





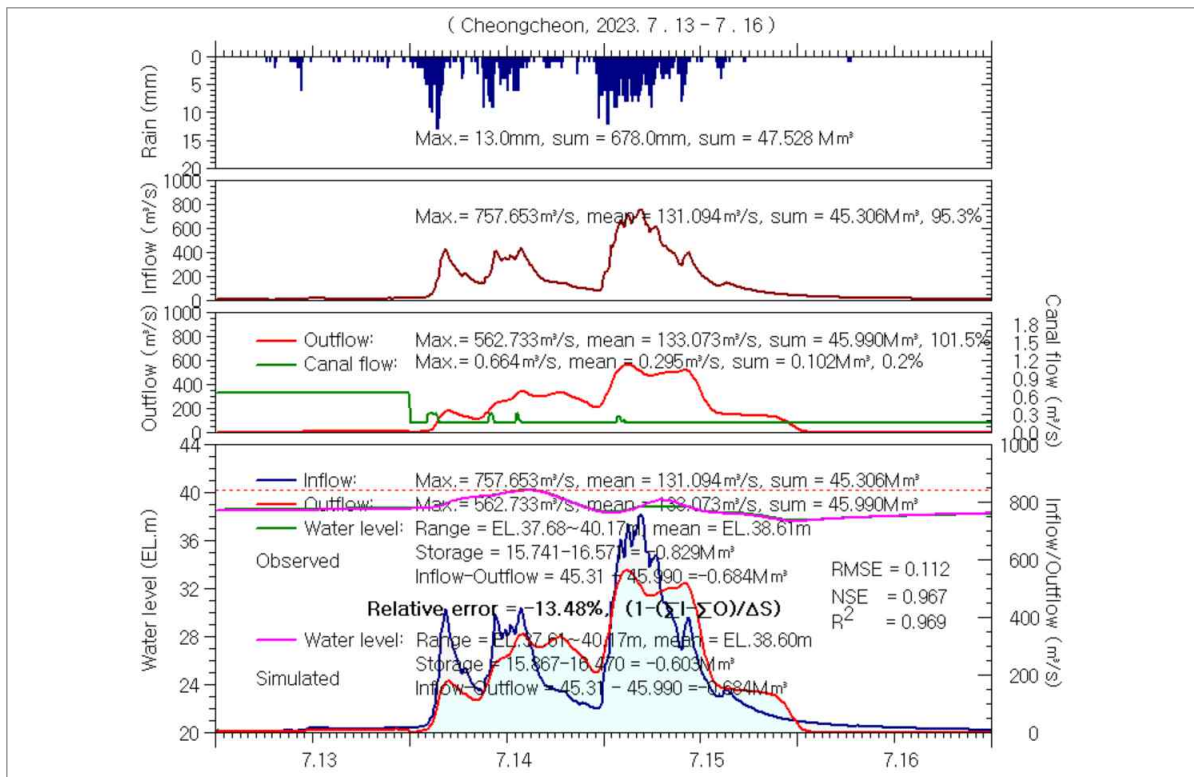
<그림 4-20> 덕용지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)



<그림 4-21> 덕용지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

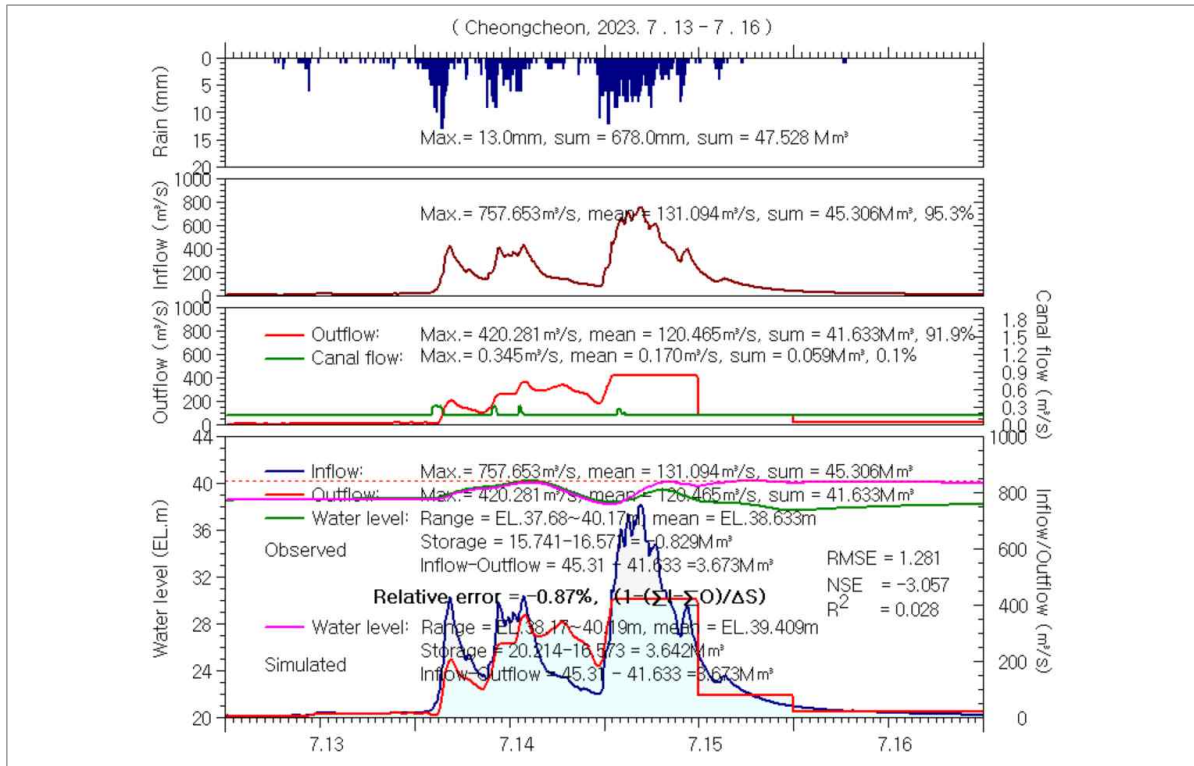
(10) 청천지

- 청천지는 유역면적 7,010.0ha, 수해면적 2,638ha, 만수위 EL.40.20m, 사수위 EL.23.20m, 총저수량 2,080만<sup>3</sup>이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 13.0mm, 총 강우량 678.0mm(4,752.8만<sup>3</sup>), 유입량은 10분 최대 757.653<sup>3</sup>/s, 총 유입량 646.3mm(4,530.6만<sup>3</sup>)로, 유출률은 95.3%, 방류량은 10분 최대 562.733<sup>3</sup>/s, 총 방류량 4,599만<sup>3</sup>(유입량의 101.5%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.664<sup>3</sup>/s, 총 공급량 10.2만<sup>3</sup>이었고, 총 방류량의 0.2%에相当했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.37.68~40.17m(평균 EL.38.61m), 모의저수위 EL.37.61~40.17m(평균 EL.38.61m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.112, NSE 0.967, R2 0.969로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.40.20m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 420.281<sup>3</sup>/s, 총 방류량 4,163.3만<sup>3</sup>(유입량의 91.9%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.40.19m였다.
- 침두 유입량에서 방류량을 뺀 침두량 저감은 194.920<sup>3</sup>/s에서 337.372<sup>3</sup>/s로 142.452<sup>3</sup>/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 8211,68.4만<sup>3</sup>(총 저수량의 8211,3.3%)에서 367.3만<sup>3</sup>(총 저수량의 17.6%)으로 증가했다.



<그림 4-22> 청천지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)

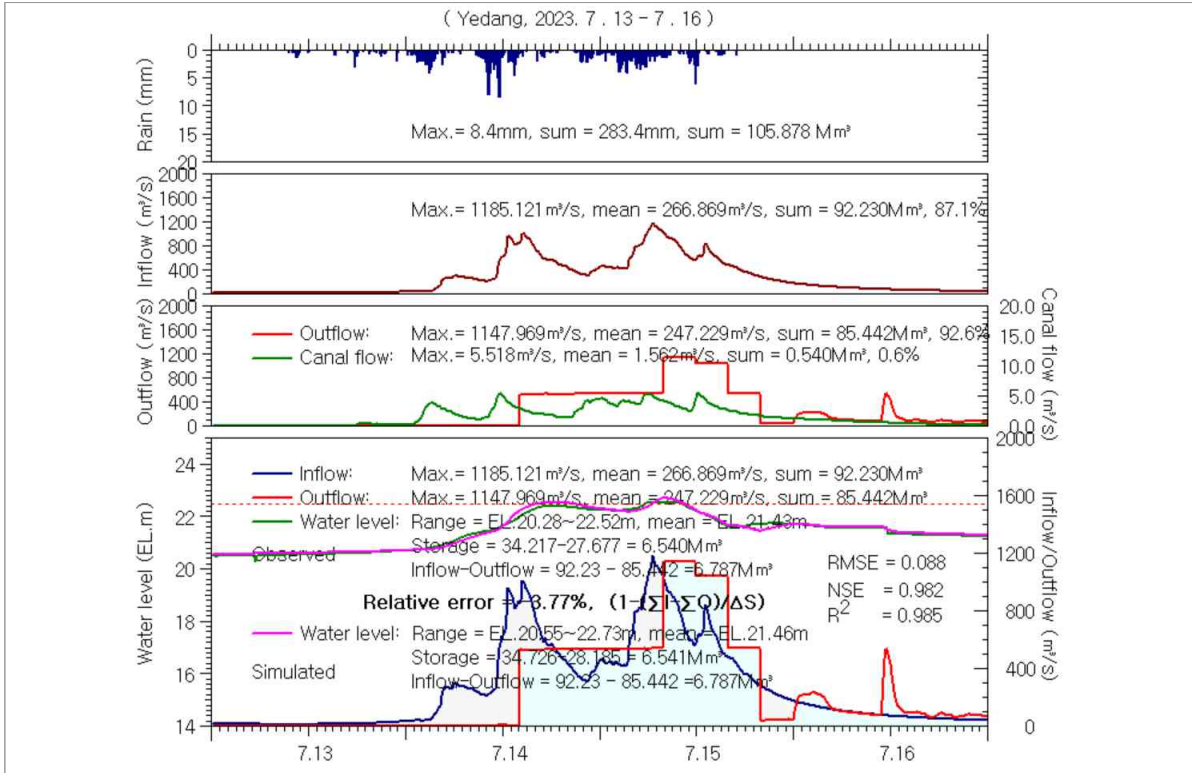




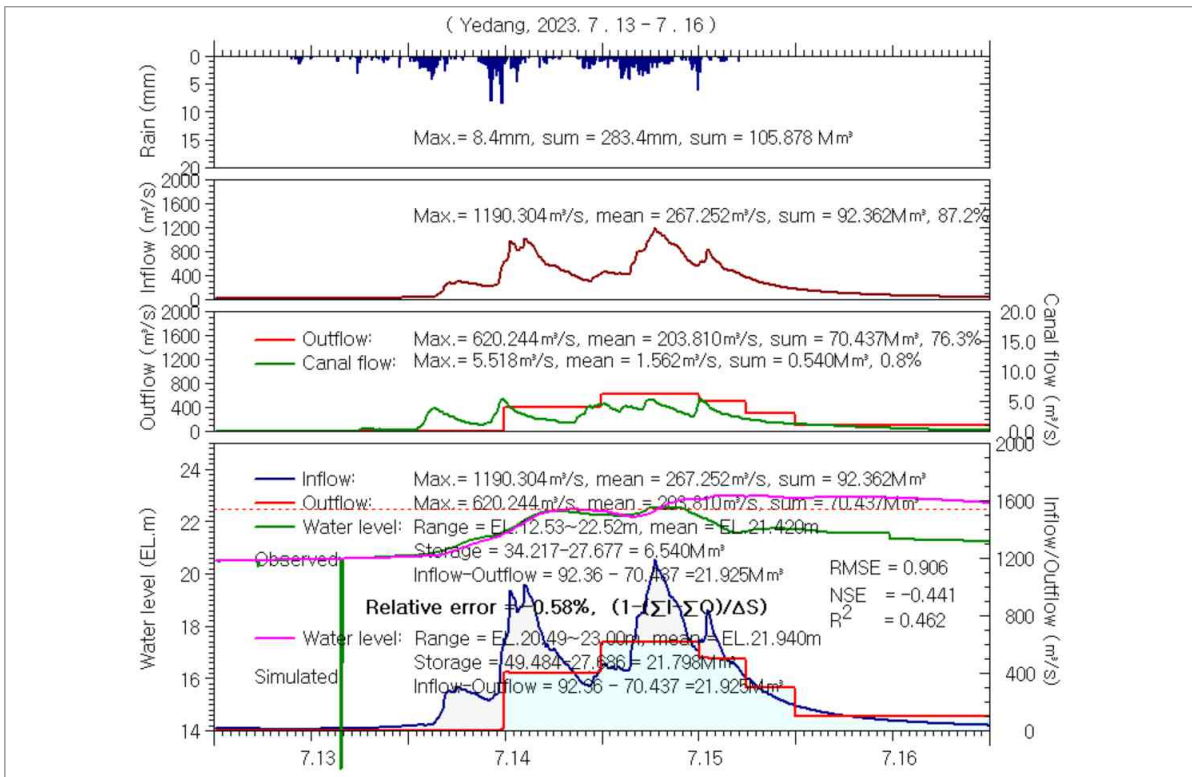
<그림 4-23> 청천지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

(11) 예당지

- 예당지는 유역면적 3만7,360.0ha, 수혜면적 6,917.4ha, 만수위 EL.22.50m, 사수위 EL.14.50m, 총저수량 4,711만m³이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 8.4mm, 총 강우량 283.4mm(1억587.8만m³), 유입량은 10분 최대 1,185.121m³/s, 총 유입량 246.9mm(9,223.0만m³)로, 유출률은 87.1%, 방류량은 10분 최대 1,147.969m³/s, 총 방류량 8,544.2만m³(유입량의 92.6%), 수로 용수공급량은 10분 최대 5.518m³/s, 총 공급량 54.0만m³이었고, 총 방류량의 0.6%에相当했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.20.28~22.52m(평균 EL.21.43m), 모의저수위 EL.20.55~22.73m(평균 EL.21.43m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.088, NSE 0.982, R2 0.985로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.23.00m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 620.244m³/s, 총 방류량 7,043.7만m³(유입량의 76.3%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.23.00m였다.
- 첩두 유입량에서 방류량을 뺀 첩두량 저감은 37.152m³/s에서 564.877m³/s로 527.725m³/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 678.8만m³(총 저수량의 14.4%)에서 2,179.3만m³(총 저수량의 46.2%)으로 증가했다.



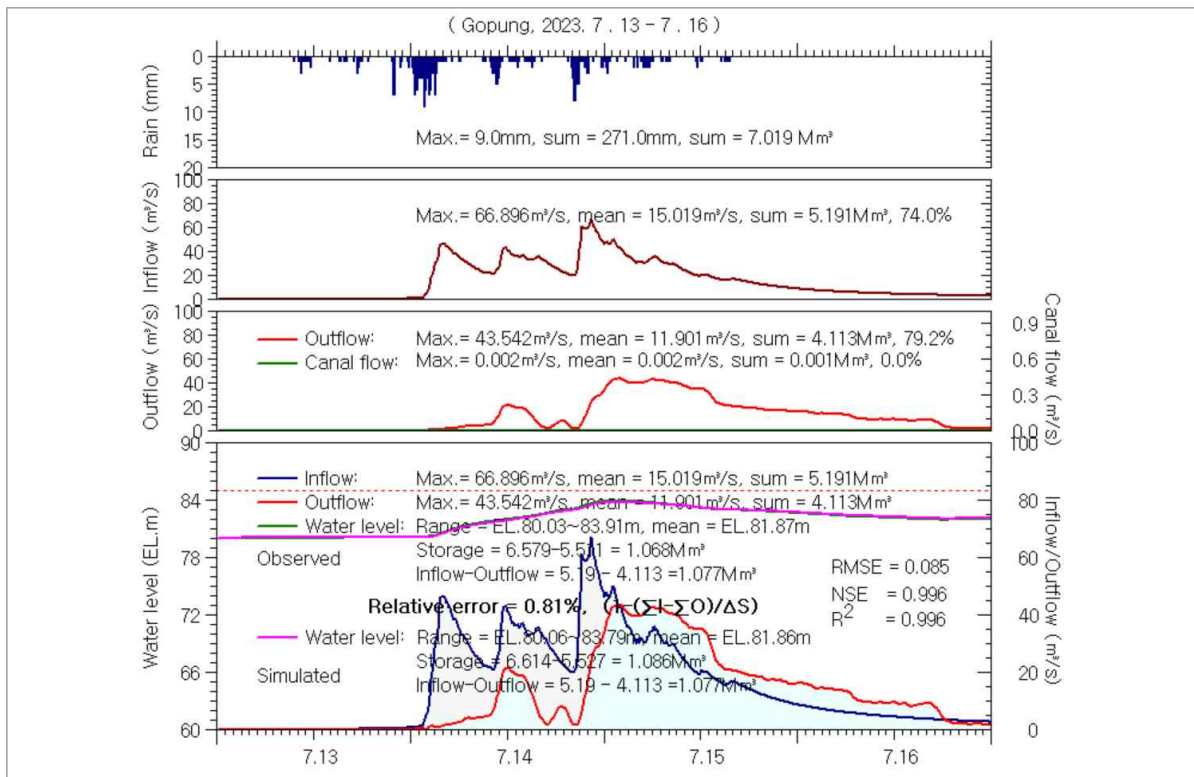
<그림 4-24> 예당지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)



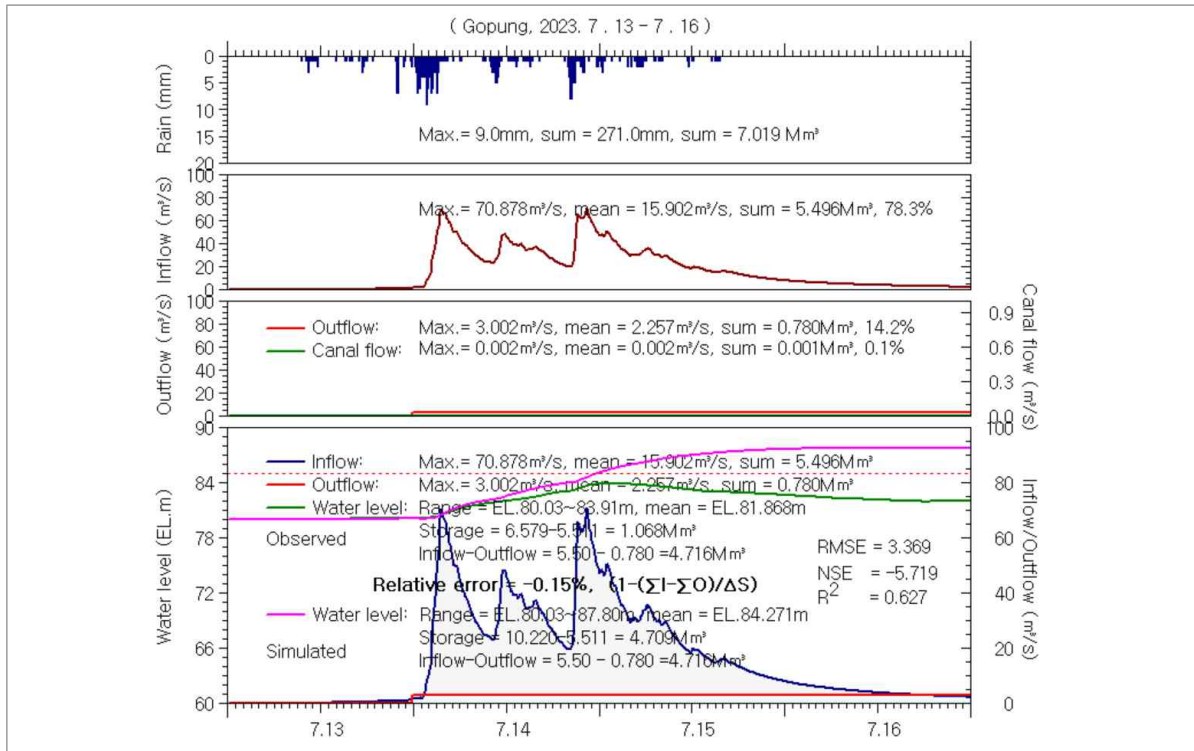
<그림 4-25> 예당지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

(12) 고평지

- 고평지는 유역면적 2,590.0ha, 수해면적 1,293.8ha, 만수위 EL.85.00m, 사수위 EL.65.50m, 총저수량 836 만<sup>3</sup>m이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 9.0mm, 총 강우량 271.0mm(701.9만<sup>3</sup>m), 유입량은 10분 최대 66.896<sup>3</sup>m/s, 총 유입량 200.4mm (519.1만<sup>3</sup>m)로, 유출률은 74.0%, 방류량은 10분 최대 43.542<sup>3</sup>m/s, 총 방류량 411.3만<sup>3</sup>m(유입량의 79.2%)였다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.80.03~ 83.91m(평균 EL.81.87m), 모의저수위 EL.80.06~83.79m(평균 EL.81.87m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.085, NSE 0.996, R2 0.996로 매우 높았다.
- 홍수위 EL.88.20m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 3.002 <sup>3</sup>m/s, 총 방류량 78.0만<sup>3</sup>m(유입량의 14.2%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.23.00m였다.
- 침두 유입량에서 방류량을 뺀 침두량 저감은 23.354<sup>3</sup>m/s에서 63.894<sup>3</sup>m/s로 40.540<sup>3</sup>m/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 107.8만<sup>3</sup>m(총 저수량의 12.9%)에서 389.3만<sup>3</sup>m(총 저수량의 46.5%)으로 증가했다.



<그림 4-26> 고평지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)

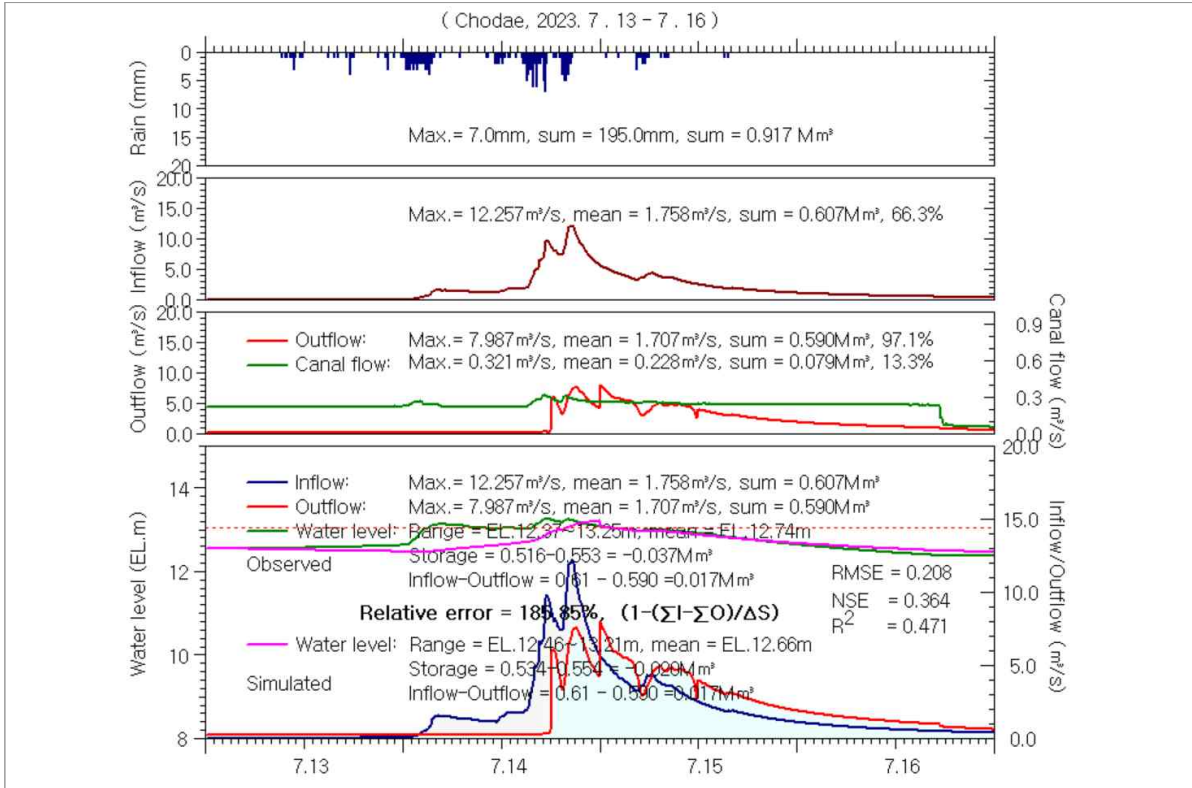


<그림 4-27> 고평지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

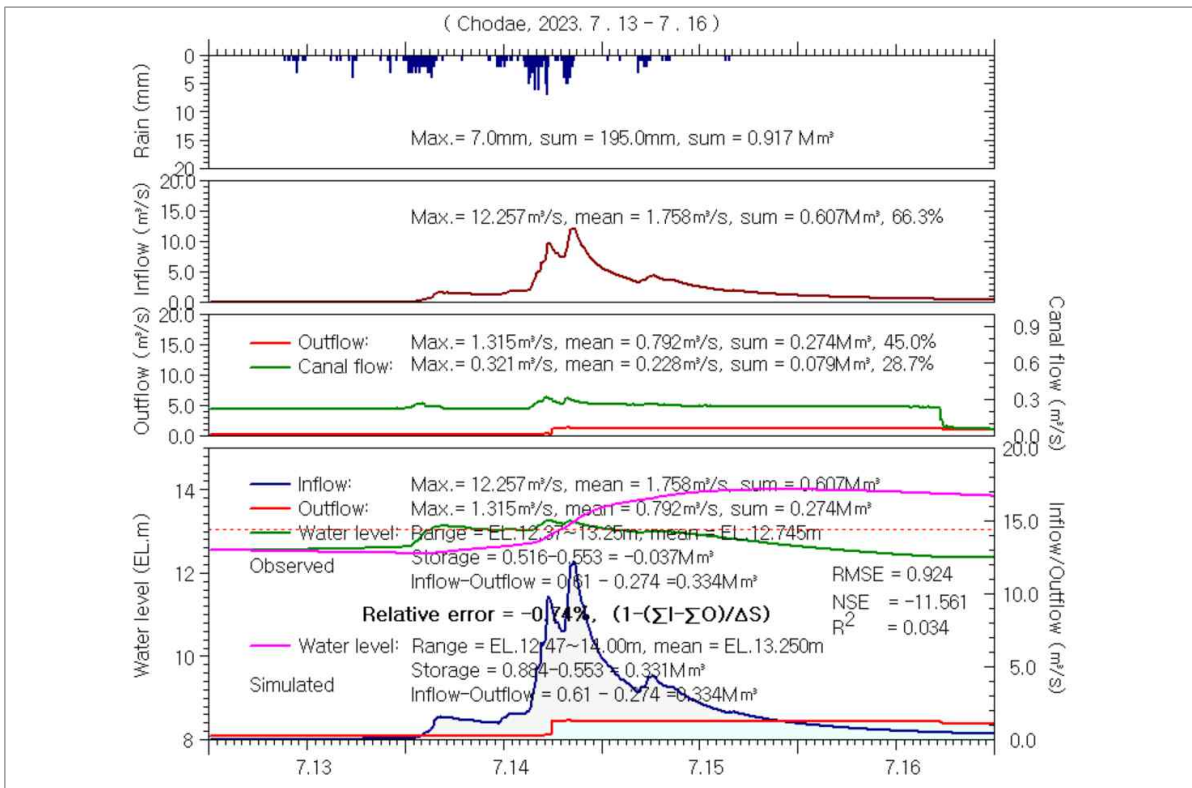
(13) 초대지

- 초대지는 유역면적 470.0ha, 수혜면적 147ha, 만수위 EL.13.05m, 사수위 EL.8.55m, 총저수량 67만m³이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 7.0mm, 총 강우량 195.0mm(91.7만m³), 유입량은 10분 최대 12.257m³/s, 총 유입량 129.2mm (60.7만m³)로, 유출률은 66.3%, 방류량은 10분 최대 7.987m³/s, 총 방류량 59만m³(유입량의 97.1%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.321m³/s, 총 공급량 7.9만m³이었고, 총 방류량의 13.3%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.12.37~13.25m(평균 EL.12.74m), 모의저수위 EL.12.46~13.21m(평균 EL.12.74m)로 나타났으며, 신뢰도는 RMSE 0.208, NSE 0.364, R2 0.471로 낮았다. 신뢰도가 낮은 원인은 내용적이 부정확하고 강우관측소가 유역 외 멀리 위치한다.
- 홍수위 EL.14.05m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 1.315m³/s, 총 방류량 27.4만m³(유입량의 45.0%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.14.00m였다.
- 첨두 유입량에서 방류량을 뺀 첨두량 저감은 4.270m³/s에서 10.942m³/s로 6.672m³/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 1.7만m³(총 저수량의 2.5%)에서 33.3만m³(총 저수량의 49.7%)으로 증가했다.





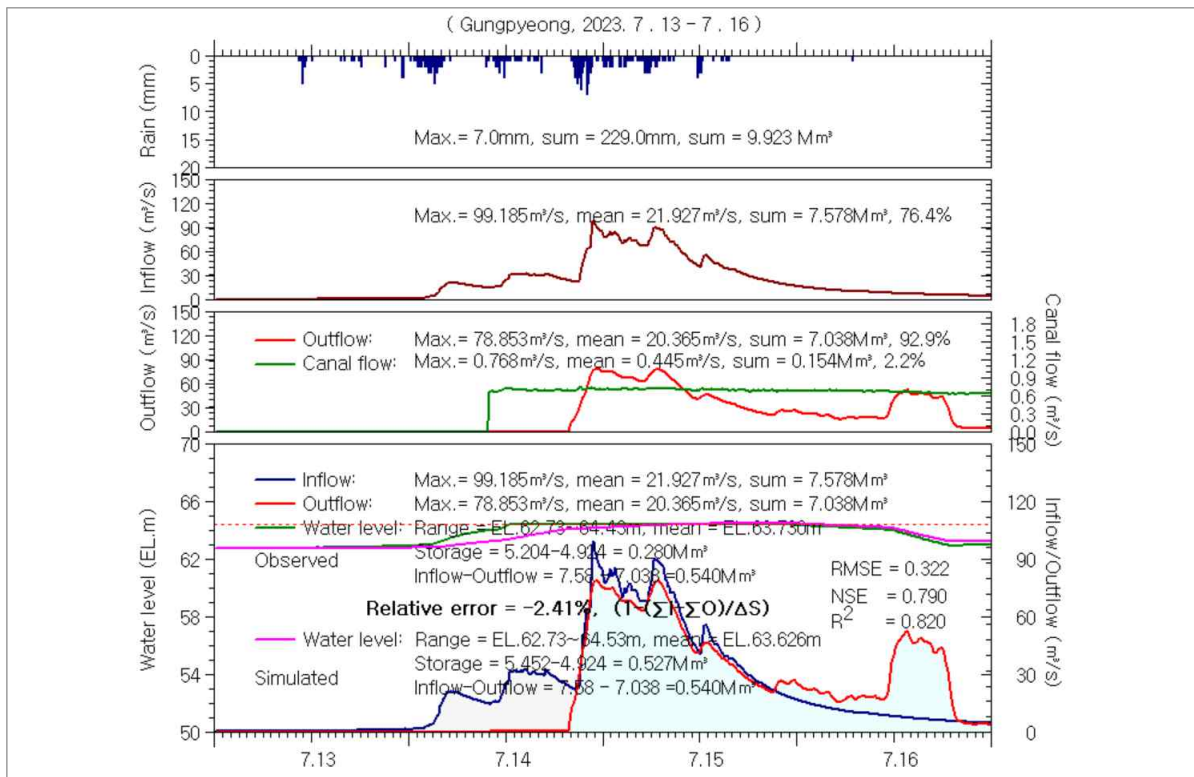
<그림 4-28> 초대지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)



<그림 4-29> 초대지 10분 단위 저수지 홍수자료 개선 (2023.7.13.~7.16.)

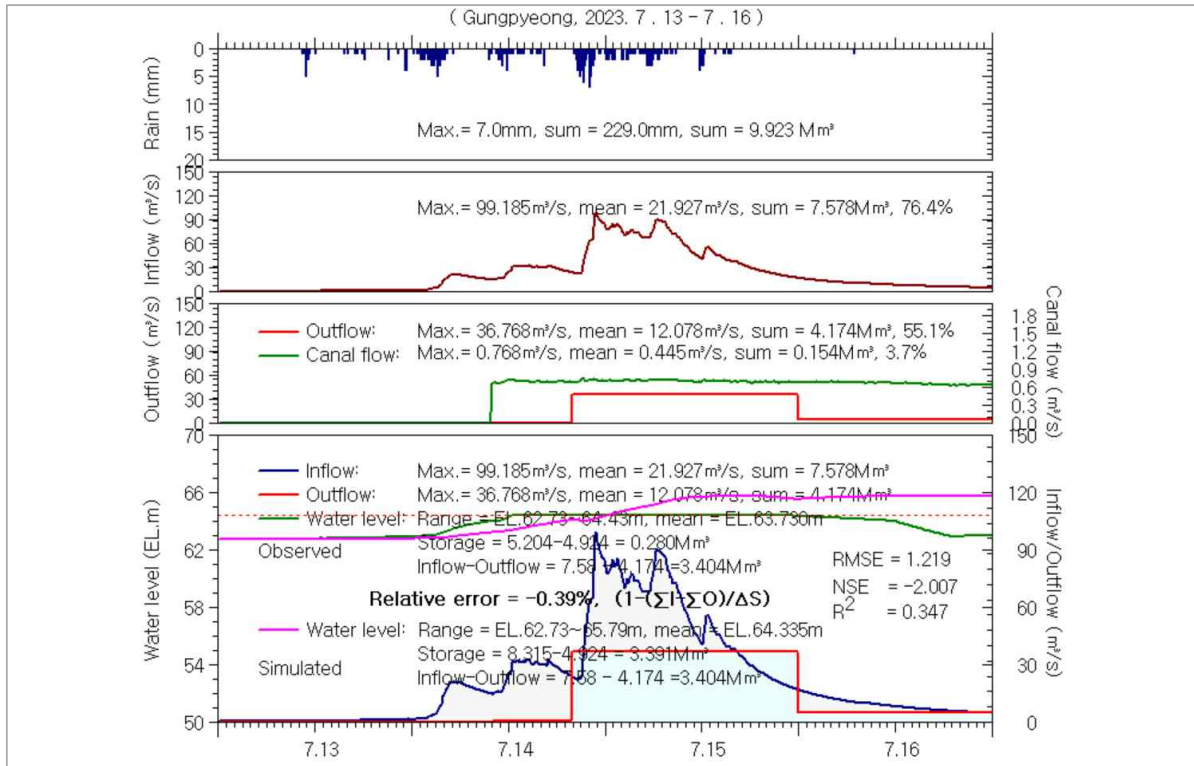
(14) 궁평지

- 궁평지는 유역면적 4,333.0ha, 수해면적 1,108ha, 만수위 EL.64.40m, 사수위 EL.51.50m, 총저수량 672만 m<sup>3</sup>이다. 홍수운영 결과, 강우량은 10분 최대 7.0mm, 총 강우량 229.0mm(9,922.57만m<sup>3</sup>), 유입량은 10분 최대 99.185m<sup>3</sup>/s, 총 유입량 174.9mm(757.8만m<sup>3</sup>)로, 유출률은 76.4%, 방류량은 10분 최대 78.853m<sup>3</sup>/s, 총 방류량 703.8만m<sup>3</sup>(유입량의 92.9%), 수로 용수공급량은 10분 최대 0.768m<sup>3</sup>/s, 총 공급량 15.4만m<sup>3</sup>이었고, 총 방류량의 2.2%에 상당했다. 10분 단위 저수위 검증 결과는, 관측저수위 EL.62.73~64.43m(평균 EL.63.730m), 모의저수위 EL.62.73~64.53m(평균 EL.63.730m)로 나타났고, 신뢰도는 RMSE 0.322, NSE 0.790, R2 0.820였다.
- 홍수위 EL.65.90m를 유지시키도록 방류량을 조정하여 홍수운영을 개선하면, 방류량은 10분 최대 36.768 m<sup>3</sup>/s, 총 방류량 417.4만m<sup>3</sup>(유입량의 55.1%)으로 나타났고, 최고수위는 EL.65.79m였다.
- 침두 유입량에서 방류량을 뺀 침두량 저감은 20.332m<sup>3</sup>/s에서 62.417m<sup>3</sup>/s로 42.085m<sup>3</sup>/s가 증가했고, 총 유입량에서 방류량을 뺀 홍수조절량은 54만m<sup>3</sup>(총 저수량의 8.0%)에서 340.4만m<sup>3</sup>(총 저수량의 50.6%)으로 증가했다.



<그림 4-30> 궁평지 10분 단위 저수지 운영자료 (2023.7.13.~7.16.)





<그림 4-31> 공평지 10분 단위 저수지 홍수운영 개선 (2023.7.13.~7.16.)

### 3. 홍수운영 개선 종합

#### (1) 기존 홍수운영 분석 결과

- 저수지 홍수운영 효과는 유입량의 파고가 감소되고, 발생시간이 지체되어 방류량으로 나타나는, 침투 유입량과 침투 방류량의 차이인 침투량 저감과, 유입량 총량과 방류량 총량의 차이인 홍수조절량으로 나타난다.
- 침투량 감소는 선정된 14개 저수지를 모두 더하면, 유입량 4,765.5 m³/s에서 방류량 3,984.5 m³/s로 나타나 침투량 저감은 770.3 m³/s이다. 이를 총저수량으로 나누면 100만 m³에 5.1 m³/s로 계산된다. 개별 저수지로 보면 용연지, 홍동지는 침투량이 저감되지 않고 오히려 증가했다. 이 원인은 여수로 수문개폐에서 찾을 수 있다. 침투 유입량이 들어오는 시점에서 수문을 열으면 방류량이 오히려 유입량 보다 많을 수 있다. 100만 m³당 침투 저감량이 높은 순서는 탐정지 10.235, 청천지 9.371, 덕용지 8.813 등으로 나타났다.
- 홍수조절량은 선정된 14개 저수지를 모두 더하면, 729.5만 m³이다. 이를 총저수량으로 나누면 100만 m³에 4.788만 m³로 계산된다. 개별 저수지로 보면 탐정지, 반산지, 청천지는 홍수조절량이 감소했다. 말하자면 저수지가 하류 홍수에 기여했다. 이 원인은 수문개폐에 있다. 수문을 닫아야 하는 시점에서 열어놓아 얻은 결과다. 저수지 물관리는 이렇게 어렵다. 잘못하면 상하류 침수에 기여한다. 예컨대 탐정지는 만수위 EL.29.90m를 22cm 넘는 최고수위 EL.30.12m에 이를 무렵 상류 일부 지역에 침수가 발생했다. 여기에 대

응하여 수문 방류량을 증가하여 수위 EL.27.43m까지 낮췄다. 이때 하류는 논산천 제방이 무너져 침수가 발생하는 시점이었다. 100만<sup>m</sup>당 홍수조절량이 높은 순서는 덕용지 34.976, 청천지 9.371, 덕용지 8.813 등으로 나타났다.

- 저수지의 홍수조절효과는 사전방류를 최대로 하고, 홍수시 수문을 닫으면 최대로 나타난다. 이것이 최상의 저수지 홍수운영 방법이다. 사전방류를 하는데 취수문의 통수량은 한계가 있으며, 여수로에 제정을 낮춰 시설한 수문으로 많은 양을 방류할 수 있다. 그런데 홍수가 나면 여수로에 수문이 달린 모든 저수지는 이를 열어 놓는다. 저수지가 무너질까 무서워서 그렇게 한다. 누가 저수지 설계를 독이 무너지게 했겠는가? 특히 유역배율이 높은 저수지에서 불안요소가 크지만, 분석하고 대비하면 된다.
- 여수로에 수문이 설치되지 않은 저수지는 칠갑지뿐이다(표 4-4, 그림 4-30). 100만<sup>m</sup>당 홍수조절량은 13.297으로, 저수량의 13%에 상당한 양이다. 이는 만수위를 가득채우고 수문을 닫아도, 저수지는 이 정도의 홍수조절을 할 수 있다는 것을 말한다.

<표 4-1> 선정 저수지의 202.7.13.~7.16. 홍수운영 개선 종합

저수지	지사	총저수량(만 <sup>m</sup> )	강우량(m)	홍수운영 기존				개선		침수량 저감			홍수조절량	
				유입량		방류량		방류량		기존(m <sup>3</sup> /s)	개선(m <sup>3</sup> /s)	증가(m <sup>3</sup> /s)	기존(%)	개선(%)
				첨두(m <sup>3</sup> /s)	총량(만 <sup>m</sup> )	첨두(m <sup>3</sup> /s)	총량(만 <sup>m</sup> )	첨두(m <sup>3</sup> /s)	총량(만 <sup>m</sup> )					
용암	세종	528.4	392.5	94.730	579.9	69.523	570.6	33.593	464.6	25.207	69.523	44.324	9.3(1.7)	125.3(23.7)
중흥	공주	277.7	331.0	38.926	284.6	33.567	284.3	26.511	233.6	5.359	12.415	7.056	0.3(0.0)	50.7(19.7)
탑정	논산	3483	365.5	2022.55	7264.4	1664.51	7508.6	1698.46	6551.6	358.04	391.99	33.95	-332.4(-9.5)	724.8(20.7)
용연	천안	305.0	325.0	79.444	562.8	81.153	546.0	65.228	507.0	-1.709	14.216	15.925	6.8(2.2)	55.8(18.3)
칠갑	청양	508.4	433.5	109.739	701.9	84.5	634.3	55.001	622.4	25.239	54.738	29.499	67.6(13.1)	79.5(15.5)
홍동	홍성	106.4	238.0	31.149	257.0	31.753	250.8	17.080	165.4	-0.604	14.069	14.673	6.2(5.8)	91.6(86.4)
계룡	공주	471.7	422.0	79.509	626.0	66.484	616.9	44.600	466.2	13.025	34.909	21.872	9.1(2.1)	158.8(37.5)
반산	부여	569.2	374.0	99.863	629.7	84.051	639.0	77.098	467.3	15.812	22.765	7.047	-9.3(-1.6)	162.5(28.8)
덕용	서천	566.1	360.0	87.793	508.1	27.903	310.1	15.000	280.8	49.890	72.793	22.903	198(34.9)	227.3(40.1)
청천	보령	2000	678.0	757.653	4530.6	562.733	4599	420.281	4163.3	194.920	337.372	142.452	-68.4(-3.3)	367.3(17.6)
예당	예산	4703	283.4	1185.121	9223.0	1147.989	8544.2	620.244	7043.7	37.152	564.877	527.725	678.8(14.4)	2,179.3(46.2)
고풍	서산	836.0	271.0	66.896	519.1	43.542	411.3	3.002	78.0	23.354	63.894	40.540	107.8(12.9)	389.3(46.5)
초대	당진	108.0	195.0	12.257	60.7	7.987	59	1.315	27.4	4.270	10.942	6.672	1.7(2.5)	33.3(49.7)
공평	이산	671.7	229.0	99.85	757.8	78.853	703.8	36.768	417.4	20.332	62.417	42.085	54(8.0)	340.4(50.6)
계		13372	349.9	4,765.48	26,505.6	3,984.5	25,677.9	3,114.2	21,488.7	770,287	1,726.9	956.7	729.5(5.94)	4,985.9(35.81)

(2) 개선 홍수운영 분석 결과

- 저수지의 홍수운영 방법은 수문을 닫고 홍수량을 저류시키는 방법이다. 모든 저수지는 홍수위가 설정돼 있으며, 홍수위에도 안전을 보장하도록 설계돼 있다. 여수로를 넘는 홍수량에 따라 수위가 상승한다. 여기서는 홍수위에 가깝게 방류량을 조절하는 홍수운영을 개선한 결과는 다음과 같다.
- 첨두량 감소는 선정된 14개 저수지를 모두 더하면, 유입량 4,765.5 m<sup>3</sup>/s에서 방류량 3,114.5 m<sup>3</sup>/s로 나타나 첨두량 저감은 1,726.9 m<sup>3</sup>/s이다. 이를 총저수량으로 나누면 100만 m<sup>3</sup>에 11.3 m<sup>3</sup>/s로 계산된다. 100만 m<sup>3</sup>당 첨두 저감량은 4~16 m<sup>3</sup>/s에 이르렀다.
- 홍수조절량은 선정된 14개 저수지를 모두 더하면, 4,985.9만 m<sup>3</sup>이다. 이를 총저수량으로 나누면 100만 m<sup>3</sup>에 32.722만 m<sup>3</sup>로 계산된다. 이는 저수량의 35.8%에 상당하는 양이다. 저수지 홍수운영을 개선하면 저수량의 30% 정도는 홍수를 부담할 수 있다는 것을 시사한다. 전체 저수지의 저수량이 30억 m<sup>3</sup>이니까, 저수지가 9억 m<sup>3</sup>의 홍수량을 경감시킬 수가 있다는 계산이다.

<표 4-2> 저수량 100m<sup>3</sup> 당 첨두 저감량




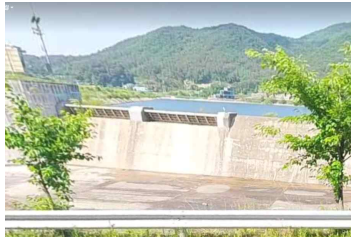






저수지	지사	총저수량 (만 m <sup>3</sup> )	기존 첨두 저감량		개선 첨두 저감량		첨두 저감량 증가	
			(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s/100만 m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s/100만 m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s/100만 m <sup>3</sup> )
용암	세종	528.4	25.207	4.770	69.523	13.157	44.324	8.388
중흥	공주	277.7	5.359	1.930	12.415	4.471	7.056	2.541
탑정	논산	3,498.3	358.040	10.235	391.990	11.205	33.950	0.970
용연	천안	305.0	-1.709	-0.560	14.216	4.661	15.925	5.221
칠갑	청양	508.4	25.239	4964	54.738	10.767	29.499	5.802
홍동	홍성	106.4	-0.604	-0.568	14.069	13.223	14.673	13.790
계룡	공주	471.7	13.025	2.761	34.909	7.401	21.872	4.637
반산	부여	569.2	15.812	2.778	22.765	3.999	7.047	1.238
덕용	서천	566.1	49.890	8.813	72.793	12.859	22.903	4.046
청천	보령	2,080.0	194.920	9.371	337.372	16.220	142.452	6.849
예당	예산	4,710.3	37.152	0.789	564.877	11.992	527.725	11.204
고풍	서산	836.0	23.354	2.794	63.894	7.643	40.540	4.849
초대	당진	108.0	4.270	3.954	10.942	10.131	6.672	6.178
궁평	아산	671.7	20.332	3.027	62.417	9.292	42.085	6.265
계		15,237.2	770.2	5.055	1,726.9	11.333	956.7	6.279

<표 4-3> 저수량 100m³ 당 홍수조절량

저수지	지사	총저수량 (만m³)	기존 홍수조절량		개선 홍수조절량		홍수조절량 증가	
			(만m³/s)	(만m³/100만m³)	(만m³)	(m³/s/100만m³)	(만m³)	(만m³/100만m³)
용암	세종	528.4	9.3	1.760	125.3	23.713	116	21.953
중흥	공주	277.7	0.3	0.108	50.7	18.257	50.4	18.149
탑정	논산	3,498.3	-332.4	-9.502	724.8	20.719	1,057.2	30.220
용연	천안	305.0	6.8	2.230	55.8	18.295	49	16.066
칠갑	청양	508.4	67.6	13.297	79.5	15.637	11.9	2.341
홍동	홍성	106.4	6.2	5.827	91.6	86.090	85.4	80.263
계룡	공주	471.7	9.1	1.929	158.8	33.665	149.7	31.736
반산	부여	569.2	-9.3	-1.634	162.5	28.549	171.8	30.183
덕용	서천	566.1	198	34.976	227.3	40.152	29.3	5.176
청천	보령	2,080.0	-68.4	-3.288	367.3	17.659	435.7	20.947
예당	예산	4,710.3	678.8	14.411	2,179.3	46.267	1500.5	31.856
고풍	서산	836.0	107.8	12.895	389.3	46.567	281.5	33.672
초대	당진	108.0	1.7	1.574	33.3	30.833	31.6	29.259
궁평	아산	671.7	54	8.039	340.4	50.677	286.4	42.638
계		15,237.2	729.5	4.788	4,985.90	32.722	4,256.4	27.934

<표 4-4> 선정 저수지의 수로, 여수로, 수문 규격

저수지	지사	수로명	수로규격 (높이m×폭m)	여수로 (표고EL.m, 길이m)	수문 (길이m, 높이m, 수량)
용암	세종	용암1	1.50×2.05	60.5, 100	12, 1, 3조
중흥	공주	중흥1	1.00×1.20	91, 68	10, 1, 2조
탑정	논산	탑정1	10.00×8.00	29.9, 54(수문)	9, 7.5, 6조
		탑정2	1.60×4.00		
		탑정3	10.00×8.00		
용연	천안	용연1 용연4	0.83×0.97	101.03, 128	12, 1.2, 2조
칠갑	청양	칠갑	0.80×1.20	139, 62	-
홍동	홍성	홍동	1.30×1.40	44, 69	11, 2, 2조
계룡	공주	계룡2	1.00×2.00	61, 111	12, 1, 2조
		계룡3	0.75×1.00		
반산	부여	반산	1.76×2.20	16.6, 80	3, 3, 6조
덕용	서천	덕용동부	1.10×2.00	28.2, 76	3, 3, 2조
		덕용서부	1.50×2.50		
청천	보령	청천	1.60×5.00	40.2, 42	9, 7, 4조
예당	예산	예당	2.00×20.00	22.5, 165(수문)	15, 6.5, 11조
고풍	서산	고풍	2.04×2.30	85, 21.8	8, 6.7, 2조
초대	당진	초대	0.90×1.00	12.82, 58.5	1.2, 1.3, 1조
궁평	아산	궁평	1.50×2.80	64.44, 135	4.5, ,4.5, 8조

		
용암	중흥 (수문 3조)	탑정
		
용운	칠갑	홍동
		
계룡	반산	덕동
		
청천	예당	고풍
		
초대	궁평	

<그림 4-31> 선정 저수지의 여수로, 수문 사진



## 5. 저수지 운영자료 추진계획

### 1. 추진 배경

#### (1) 시범 생산자료 신뢰도

- 15개 저수지를 선정하여 2023년 1월부터 7월까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 시범으로 생산했다. RMSE, NSE, R2로 신뢰도를 평가했으며, 칠갑지와 궁평지를 제외하고 RMSE는 0.028~0.112, NSE는 0.938~0.999, R2는 0.941~0.999로 아주 높게 나타났다. 칠갑지와 궁평지의 신뢰도도 RMSE는 0.389~0.513, NSE는 0.850~0.894, R2는 0.858~0.899로 높게 나타났다. 다소 낮은 것은 관측 저수위 자료에서 많은 오차를 갖는데 원인이 있다.
- 강우 관측소는 환경부 관리를 이용했으며, 유역 내 위치하지 않은 관측소도 많았다. 수로와 저수지 수위도 결측이 많았고, 취수문과 수문의 개폐조작 자료는 전혀 없었다. 그나마 믿을만한 자료는 저수위에 불과했다. 이런 자료로 유입량과 방류량 자료를 생산하며, 모의 저수위를 관측 저수위에 아주 밀접하게 접근시켰다. 이는 무에서 유를 창조한 것과 같다고 말할 수 있다.
- 저수지 운영자료를 생산하는 과정은 입력자료 생성, 유입량 모의, 저수지 물수지 분석을 통한 신뢰도 확보의 반복수행 등 일련의 과정이다. 과업은 기간을 분할하여 분석하고 기간별 결과를 모으는 과정이고, 자동이 아니고, 반자동과 수동으로 하는 과정이다. 수행과정은 상황마다 전문가적 종합판단을 수반한다. 또한 문제가 발생할 때마다 입력자료 보완, 모델 수정 등을 만족할 때마다 해결하는 노력을 견해야 한다. 그럼에도 불구하고 저수지 운영자료 생산 결과는 매우 만족할 수준이었다.
- 시간, 일 단위 자료도 생성해야 한다. 여기서 제시하지는 안했지만 방법은 마찬가지이고, 그 신뢰도도 10분 단위 자료의 성과와 같이 매우 높다. 이상의 높은 신뢰도로부터 저수지 운영자료를 지속적으로 생산하는 당위성과 필요성은 충분하다.
- 빅데이터, AI, 디지털, 스마트, IoT 등 모든 기술의 근본과 핵심은 자료다. 자료는 진실이다. 오차가 크면 자료라 할 수 없다. 자료 없는 이들 고급 기술도 포장에 불과하다. 포장을 거듭해도 속은 비어있는 것과 같다. 자료가 있어야 어떤 기술도 빛이 난다.
- 물관리에서 포장이 필요한 것은 아니다. 포장을 하지 못해 물관리를 잘못하는 것은 아니다. 포장을 걷어내면 자료가 남아 있어야 한다. 포장이 없어도 물관리를 잘해야 한다. 이의 기반은 자료다.
- 저수지의 운영자료는 용수공급, 홍수조절, 하천유량 공급 등 균형 물관리를 위한 기본이 되는 자료다. 이는 선택이 아니고 필수다. 여기서 생산한 저수지 운영자료 신뢰도는 자료생산 추진의 무게추로 작동할 것이다.

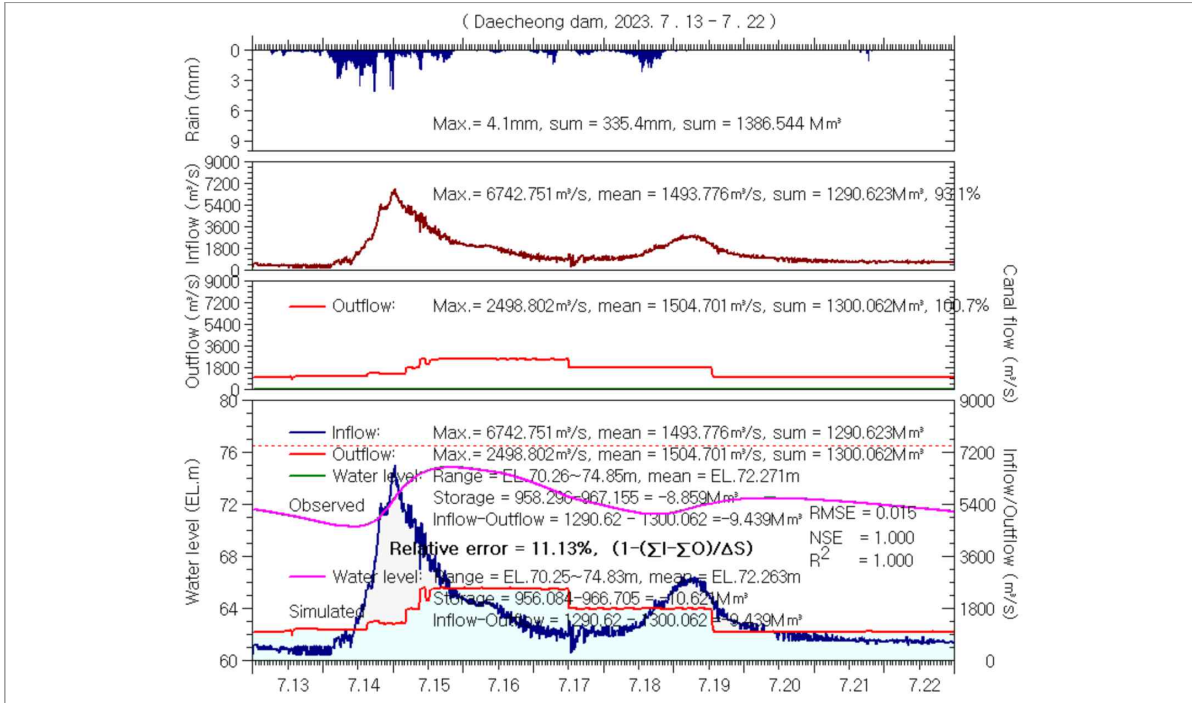
#### (2) 2023 홍수 사후분석 교훈

- 충남의 14개 저수지의 운영자료를 생산하여 2023년 7월 13일부터 16일까지 발생한 홍수 사후분석은 저수지 운영을 대폭 개선해야 하는 것으로 나타났다. 홍수조절량의 실적은 총저수량 100만<sup>3</sup>에 4.788만<sup>3</sup>

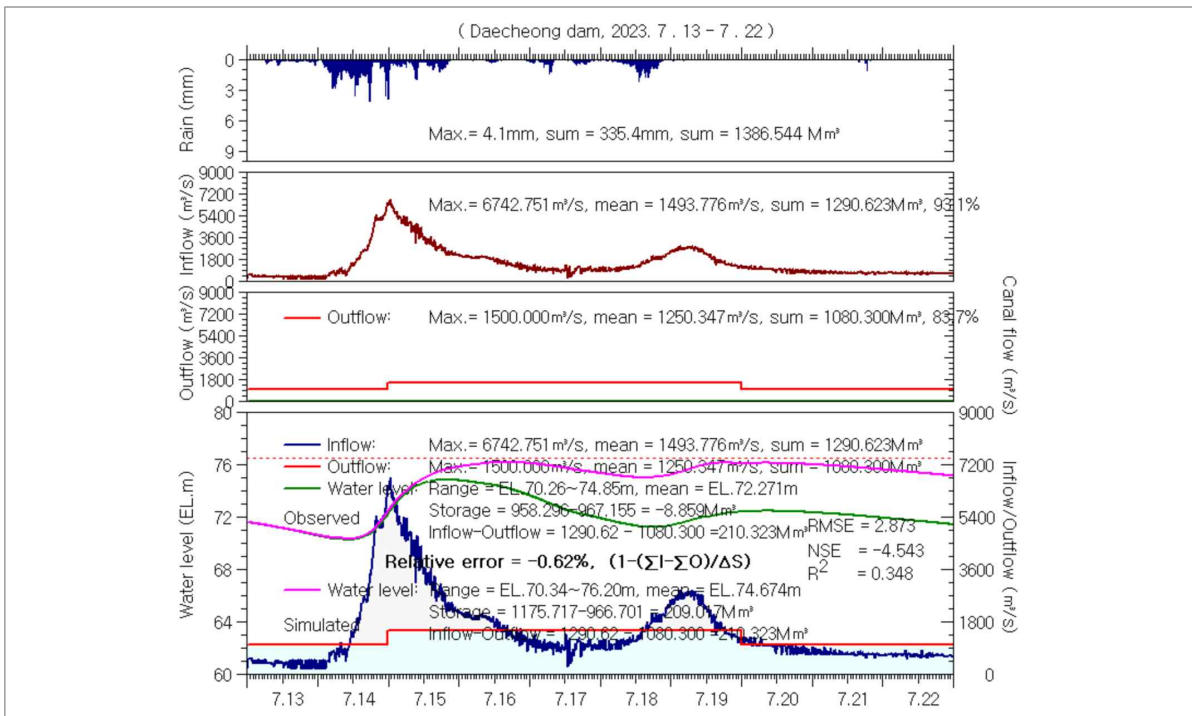


로 나타나는데, 홍수운영을 개선하면 32.722만 $m^3$ 까지 증가되는 것으로 나타났다. 이는 홍수운영을 잘하면, 총저수량의 30% 정도까지도 홍수조절을 할 수 있다는 결과이고 교훈이다.

- 저수지 운영자료를 생산하면, 이를 이용하여 홍수의 사후분석뿐만 아니라 이수관리, 하천유량관리 등 홍수, 가뭄에 대응한 모든 분석을 실행할 수 있다. 사후분석 결과는 현재의 물관리에 반영되고 적용해야 한다. 미래 시나리오에 대해 과거의 물관리 자료로부터, 즉 여기서 생산한 저수지 운영자료로부터 익힌 교훈과 이치를 현재의 물관리에 반영하는 것이 과학적이고 합리적인 물관리다. 이와 같은 과정을 통해 홍수, 가뭄 등에 대비하고 피해를 경감하는 물관리를 자연스럽게 실천하는 체화의 묘미를 갖추게 된다.
- 자료가 있어도 사후분석을 실시하고 훈련하지 않으면, 댐과 저수지의 역할을 제대로 하지 못하는, 과거와 그릇된 물관리를 반복하는 습관을 버리지 못할 것이다. 경험을 하면 반드시 교육이 되어, 다음에는 똑같은 실수를 반복하지 않아야 한다. 자료가 있는데도 그렇지 못한 경우도 있다. 2023년 7월 13일부터 22일까지 대청댐 운영의 결과다. 유입량은 12억9,062만 $m^3$ , 방류량 13억6만 $m^3$ 으로 홍수조절량은 211,936만 $m^3$ 였다. 이때 댐수위는 EL.70.26m~EL.74.85m였다. 만수위가 EL.76.5m인데, 물을 너무 많이 뺐 결과다.
- 만수위를 유지하도록 방류량을 조정하면, 방류량은 10억8,030만 $m^3$ 으로 계산되어 홍수조절량은 2억1,028만 $m^3$ (총 저수량의 14.1%)으로 크게 증가한다. 이때 댐수위는 EL.70.34m~EL.76.20m였다. 만수위가 아니고 홍수위에 가깝게 운영해도 댐 안전에 아무 영향이 없도록 댐은 설계돼 있다. 만수위 유지의 운영으로 나타난 홍수조절의 효과는 여수로에 수문이 없는 저수지가 발휘하는 홍수조절에 불과하다는 사실을 인식해야 한다.
- 수문이 달려있고, 계획홍수위가 EL.80.0m로 설치돼 있는 것을 감안하면 다목적댐의 홍수운영은 개선해야 할 부분이 너무 크고 많다고 할 수 있다. 물론 운영자료가 없는 농업용 저수지는 더욱 말할 필요도 없다. 자료는 유용하고, 철저하게 이용해야 한다. 2023년 7월 금강의 다목적댐 홍수운영은 자료를 무용으로 만들었다.



<그림 5-1> 대청댐 10분 단위 운영 결과 (2023.7.13.~7.22.)



<그림 5-2> 대청댐 10분 단위 방류량 조정운영 결과 (2023.7.13.~7.22.)

(3) 통합물관리 기여

- 통합물관리는 수량, 수질, 생태의 조화, 조율의 물관리다. 농업용 저수지는 모두 지류에 위치한다. 본류에

위치한 다목적댐과 지류에 위치한 농업용 저수지의 균형 물관리 운영도 필요하다. 통합은 전체를 말하고 균형을 말한다. 다목적댐의 저수량은 129억2,300만<sup>3</sup>이고, 저수지의 저수량은 33억923만<sup>3</sup>으로 다목적댐 25.6%를 차지한다. 이 수치는 저수지가 25%는 전체 물관리 균형, 즉 통합물관리의 25%는 기여해야 한다는 의미를 내포한다.

- 그러나 농업용수 이용량은 전체의 60~70%를 차지한다. 이 수치는 하천유지용수를 포함한 것으로 세계적으로 널리 공인된 수치다. 저수지의 저수량이 다목적댐의 25%인데, 용수공급은 60% 이상을 담당해야 한다는 뜻으로 해석된다. 저수지가 농업용수 공급의 50%를 차지하는 것으로 보면, 저수지가 다목적댐과 비슷하게 용수공급의 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다. 14개 저수지의 방류량을 분석한 결과 관개용수 공급량은 22.3%, 하천 방류량은 77.7%를 차지하는 것으로 분석한 결과를 보면, 이 현상을 유출할 수 있다.
- 통합물관리의 뜻은 높다. 그러나 그 뜻의 실체를 알기는 아직은 어렵다고 본다. 농업용수가 통합물관리에 기여하는 정도가 얼마인지 말하기는 어렵다. 자료가 없어 더욱 그렇다. 자료 없이 미뤄 짐작하는 수치를 계속 주장할 수도 없다. 저수지의 운영자료가 모든 것을 말할 수는 없지만, 저수지가 농업용수 사용의 중심이 되고, 방류량 중에서 하천용수의 공급을 77%를 차지하기 때문에, 저수지 운영자료는 큰 의미가 있다. 여기서 하천유량 방류는 대부분 홍수기에 여수로 방류로 나타나는 것을 감안해야 한다.
- 저수지 운영자료가 전체의 농업용수의 거동을 모두 말할 수는 없지만, 통합물관리에서 농업용수 이용의 거동을 파악할 수 있는 근간이 된다.

## 2. 추진 의의

### (1) 자료 기반 물관리

- 자료는 있는 그대로를 반영한다. 모든 현상을 반영한 것이 자료다. 자료 기반은 자연 현상을 반영한 것이 된다. 따라서 자료 기반으로 하는 물관리는 자연스럽다. 홍수도, 가뭄도 그 상태를 반영하여 균형있게 물관리를 할 수 있는 기반이 된다.
- 현재 저수지 운영자료는 저수량만 관리되고 있는 상태다. 유입량도, 방류량도 알아야 저수량을 효율적으로 관리할 수 있는 바탕이 된다. 저수지 운영자료의 생산은 자연스럽게 물관리 할 수 있는 기반이 된다.
- 말하자면 저수지 운영자료를 생산하면, 홍수관리도, 이수관리도, 생태관리도 한정된 수자원을 균형을 이루며 관리할 수 바탕을 마련해 준다. 자료 기반으로 물관리하면 수자원의 균형 이용을 도모한다. 여기에 자료생산의 의미가 있다.

### (2) 물관리 평가 기반

- 평가는 상태를 진단하고, 관리를 개선시킬 수 있는 근거를 마련해준다. 예로 이 연구에서 저수지 운영자료를 생산하고, 이를 이용하여 2023년 7월 충남 14개 저수지의 홍수 물관리를 평가한 결과는 다음과 같다.

- 7월13일부터 16일까지 4일간 14개 저수지의 실적을 평균하여, 총저수량 100만 $\text{m}^3$ 에 침투 저감량은 5.1 $\text{m}^3/\text{s}$ 로, 홍수조절량은 4.8만 $\text{m}^3$ 로 나타났다. 방류량을 홍수위에 접근시키는 방법으로 홍수운영을 개선하면, 침투 저감량은 11.3 $\text{m}^3/\text{s}$ 으로, 32.7만 $\text{m}^3$ 으로 크게 개선되는 결과로 평가됐다.
- 위 결과로부터 여수로에 달려있는 수문은 사전방류할 때 사용해야 하고, 하류 침수상황의 홍수에서는 이를 닫아야 하고, 상류 침수 상황을 고려하여 개문 정도를 결정해야 한다는 저수지 홍수운영의 기본사항을 도출할 수 있었다.
- 이처럼 저수지 운영자료는 홍수운영을 평가하는 기반이 되고, 이수관리에도 마찬가지로, 하천유지용수 공급관리에도 꼭 활용되는 소중한 자료가 된다.

### (3) 정책 자료 제공

- 저수지 운영자료는 용수공급, 홍수조절, 하천유량 관리 등 모든 정책의 기본 자료로 제공된다. 국가물관리 기본계획, 유역관리계획, 수자원장기종합계획, 농어촌용수이용 합리화계획 등에 기본 자료로 제공된다.
- 통합물관리의 3대 혁신정책은 물순환 전 과정의 통합물관리, 참여·협력·소통 기반의 유역관리, 기후위기 시대 국민 안전 물관리 등이다. 국가물관리 기본계획의 6대 분야별 추진전략은 물환경의 자연성 회복, 지속가능한 물이용 체계확립, 물재해 안전체계 구축, 미래 인력양성 및 물 정보 선진화, 물기반 시설관리 효율화, 물산업 육성 및 국제협력 활성화 등이다. 3대 정책과 6대 전략을 수립하는 데도 저수지 운영자료는 기본 자료로 제공된다.
- 농업생산기반 정비계획의 수립의 목표는 복합영농, 물이용, 물안전, 물환경 등으로 구분하고, 주요과제는 논 범용화 기반 조성, 물 관리체계 개선 및 이용 효율성 증진, 시설물 관리 체계화, 안전관리체계 재정립, 재해 증가에도 안전한 기반정비, 안전하고 깨끗한 물공급, 환경·생태를 고려한 기반정비 등이다.

## 3. 추진 내용

### (1) 자료 생산

- 10분, 시간, 일 단위의 저수지 운영자료를 생산한다. 농어촌공사 관리의 3,428개소 저수지 중에서 대상 저수지를 선정하여 단계적으로 적용한다.
- 선정 기준은 규모별, 지사별, 지역별로 배분하는 것을 고려한다. 국가홍수통제 대상, 내용적 조사 대상, 주요 홍수가뭍 대응 저수지 등을 우선 선정한다.
- 현재 상태의 운영자료 생산을 우선하고, 과거 자료를 복원하는 것도 단계적으로 실시한다.

### (2) 자료 검수

- 생산된 자료는 검수하는 과정을 거쳐야 한다. 품질 검사로 자료의 신뢰도를 확인해야 한다. 품질의 기준

설정도 필요하다. 품질은 생산된 유입량과 방류량 자료를 일정 기간별로 저수지 물수지에 의해 관측 저수위와 모의 저수위의 비교로 평가받도록 한다. 유입량에 이상이 있어도, 방류량에 이상이 있어도 저수위 오차는 증가하게 돼 있다.

- 기간은 월별, 분기별 등으로 구분하여 실시한다. 검수한 자료는 공인하는 과정을 거쳐 자료의 공유체제를 구축한다.

### (3) 자료 활용

- 생산된 저수지 운영자료는 실제 저수지 운영에 활용되어야 한다. 용수공급 계획, 홍수조절 계획, 하천유량 공급 계획 등에 활용되어야 한다. 물공급 전망, 시나리오별 홍수조절 계획 등을 월별로 수립할 수도 있다.
- 홍수와 가뭄 사상에 대해서는 사상별로 사후분석하는 체제를 구축한다. 홍수에 대해서는 방류량 의사결정 방법을 수립하여 상·하류 침수를 최소화할 수 있도록 생산된 저수지 운영자료가 활용되어야 한다.
- 생산된 자료는 홍수, 가뭄 대응 전략수립, 각종 계획 등 모든 정책에 기초자료로 제공되어야 한다.

## 4. 추빈 방법

### (1) 예산 확보

- 안정되고 지속적인 자료생산을 위해서 예산 확보는 필수다. 기본적으로 신규 항목을 책정하여 추진하는 것이 바람직하다. 임시로 유지관리비에 일부를 사용할 수도 있고, 내용적 조사 등 조사비용 일부를 활용할 수도 있다.
- 환경부는 ‘제2차 수문조사 기본계획 2020~2029’로 수문자료의 신뢰도를 확보하는 노력을 하고 있다. 농업용수에서는 이와 같은 계획이 없다. ‘저수지 운영자료 생산’에 관련하여 5개년, 10개년 계획수립을 추진할 필요성도 충분하다. 이와 같은 조치가 없으면 앞으로도 자료 없이 농업용수를 관리하는 구태를 벗지 못할 것이다.

### (2) 실천 전략

- 실천 전략은 실무자가 생산된 자료를 실제 업무에 활용하는 것이 가장 바람직하다. 주간 업무계획, 월간 업무계획, 분기별 업무계획 등에 생산된 자료를 활용토록 한다. 또한 사후분석 체제를 도입하여 피드백 과정으로 운영개선을 이끌고, 저수지 운영의 합리화를 도모한다.

### (3) 교육 훈련

- 저수량 자료만으로 유입량과 방류량을 생산하는 체제를 갖추는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 현재는 수동으로 하는 부분이 많다. 앞으로도 자동화는 불가능한 일로 여겨진다. 따라서 실무자가 직접 참여하여

생산 방법을 익히고, 생산 체제를 개선하는 노력을 지속해야 한다. 이는 교육과 훈련이며, 현장을 관찰하고, 강우량, 저수위, 수로수위 등 자료를 수집하고, 자료를 정리하고, 분석하는 과정을 함께해야 한다.

- 분기별로 현장의 물관리 상황을 점검하고, 일정 기간 합숙하며 수집된 자료를 가공하고 저수지 운영자료를 생산하는 교육을 주기적으로 실시하는 것은, 실무자의 업무 능력 향상에 기여하는 것은 물론이고, 저수지와 농업용수의 이름값을 널리 밝히는 일에 큰 도움이 될 것이다.

## 6. 결론

- 최근 3년간 유입량, 저수량, 수로공급량, 여수로 방류량 등 저수지 운영자료를 생산하는 방법에 관련한 논문을 정리했다. 여기서 정립된 방법을 첫째, 2022년 월류가 발생한 경주 왕신지에 대해 2023년 7월부터 9월까지, 그리고 충남의 14개 저수지에 대해 2023년 1월부터 7월까지 10분 단위로 저수지 운영자료를 직접 생산했다. 둘째, 생산된 저수지 운영자료를 활용하여 7월 13일~16일의 홍수 사상을 분석하고, 홍수 운영 개선사항을 도출했다. 셋째, 저수지 운영자료 생산을 위한 추진계획을 정리한 결과, 다음의 결론을 내린다.
- 첫째, 2023년 7월부터 9월까지 왕신 저수지의 운영자료를 10분 단위로 생산한 신뢰도는 RMSE는 0.085, NSE는 0.960, R2는 0.962로 매우 높게 나타났다. 생산된 자료로 8월 9일부터 11일까지 홍수 사상을 분석하면, 강우량은 10분 최대 11.0mm, 총 강우량 357.0mm(785.4만 $\text{m}^3$ ), 유입량은 10분 최대 243.8 $\text{m}^3/\text{s}$ , 총 유입량 295.7mm(650.6만 $\text{m}^3$ )로, 유출률은 82.8%, 방류량은 10분 최대 171.6 $\text{m}^3/\text{s}$ , 총 방류량 613.3만 $\text{m}^3$ (유입량의 94.3%)였고, 저수위 검증 결과는 관측저수위 EL.51.38~55.91m(평균 EL.52.77m), 모의저수위 EL.51.30~55.86m(평균 EL.52.77m)로 나타났다. 그리고, 여수로 제정을 낮추지 않은 상태를 가정하고, 초기수위를 만수위인 EL.56.20m로 설정하고 생산한 저수지 운영자료인 유입량과 방류량을 적용하여, 저수위를 모의한 결과는 최고 수위 EL.59.78m를 기록하는 것으로 분석됐다. 이 기록은 EL.59.20m인 제정을 58cm 넘치는 수치다. 여수로 제정을 3m 낮추는 응급조치가 없었더라면 일강우 357mm는 또다시 제정을 월류하는 폭우였다. 이 결과는 유역배율이 높은 저수지에 대해서는 극한홍수에 대한 면밀한 진단과 대책이 필요하다는 것을 말한다.
- 둘째, 2023년 1월부터 7월까지 14개 저수지의 운영자료를 10분 단위로 생산한 신뢰도는 칠갑지와 궁평지를 제외하고 RMSE는 0.028~0.112, NSE는 0.938~0.999, R2는 0.941~0.999로 아주 높게 나타났다. 칠갑지와 궁평지의 신뢰도도 RMSE는 0.389~0.513, NSE는 0.850~0.894, R2는 0.858~0.899로 다소 낮은 것은 관측 저수위 자료에서 많은 오차를 갖는데 원인이 있다. 유역내 위치하지 않은 환경부 관리의 강우관측소를 이용하고, 수로와 저수지 수위의 많은 오·결측과, 취수문과 수문의 개폐조작 자료가 전혀 없는 상황을 고려하면, 깜짝 놀라운 결과였다.
- 셋째, 7월 13일부터 16일까지 홍수 사상을 분석한 결과, 저수지의 홍수조절효과는 총저수량 100만 $\text{m}^3$ 에 첨두 저감량은 5.1 $\text{m}^3/\text{s}$ 로, 홍수조절량은 4.8만 $\text{m}^3$ 로 나타났다. 용연지와 홍동지는 첨두 저감량이 없었고, 탑정지, 청천지, 반산지는 홍수조절량이 없었다. 홍수조절이 적게 나타난 저수지는 수문조작을 잘못된



것으로 평가했다.

- 넷째, 방류량을 홍수위에 접근시키는 방법으로 저수지 홍수운영을 개선하면, 첨두 저감량은  $11.3\text{m}^3/\text{s}$ 으로, 홍수조절량은  $32.7\text{만}\text{m}^3$ 으로 크게 증가되는 결과로 나타났다. 이로부터 ‘여수로에 달려있는 수문은 사전방류할 때만 열고, 하류 침수상황의 홍수에서는 닫아야 하며, 상류 침수 상황을 고려하여 홍수위에 가깝게 수위를 유지하도록 개문 정도를 결정해야 한다’는 저수지 홍수운영에서 지극히 기본이 되는 사항을 도출하였다.
- 다섯째, 이상의 연구 결과로 저수지 운영자료 생산을 적극 추진해야 한다는 결론을 내렸다. 이를 위해 예산과 인력이 수반되어야 하고, 자료의 생산과 검수 체계를 갖추고, 실무자의 교육과 훈련으로 보다 현장에 적합한 자료 생산을 이뤄야 하는 것으로 봤다.
- 여기서 제시한 방법은 시간, 일 단위에도 똑같이 적용할 수 있다. 현재 발생하는 자료를 우선 생산하고, 과거 자료의 복원도 병행하는 방안을 마련해야 할 것이다. 과거 자료도 가능한 기간은 모두 복원해 놓는 것이 다양한 정책자료의 신뢰도를 확보할 것으로 본다.
- 이 연구에서 제시한 저수지 운영자료의 신뢰도는 다목적 댐에서 실시간으로 생산되는 자료의 신뢰도 보다 월등하게 높다는 것을 인식할 필요가 있다. 실무자가 저수지 운영자료를 생산하면 할수록, 기후변화에 대응하여 어느 홍수와 가뭄에도 유연하게 적응하며 물관리하는 실무자의 역량이, 나도 모르게 자연스럽게 체화될 것으로 확신한다.
- 저수지와 댐의 역할은 홍수와 가뭄을 겪을 때 그 이롭값을 발휘하는 절호의 기회로 나타난다. 특히 홍수 피해는 순식간에 발생한다. 홍수운영은 연습이 아니고 실전하다. 평소 훈련하고 대비하는 자세가 절실하다. 현재 저수지와 댐에서 홍수 대응 능력을 극대화시키지 못하는 것이, 혹여 실무자에게서 나오는 오류는 더 이상 발생하지 않아야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 관계부처 합동, 2021, 제1차 국가물관리 기본계획 2021-2030
- 농림축산식품부, 2023. 2023~2032 농업생산기반 정비계획
- 환경부, 2021, 제2차 수문조사 기본계획 2020~2029
- 농림축산식품부·한국농어촌공사, 2021, 농업기반생산정비통계연보 2021
- 한국농어촌공사 수자원기획처, 2020, 금강유역 내 농업용수의 과학적 모니터링 및 가뭄대비 관개기술 개발
- 국회예산정책처, 2023, 재정분권 정책 및 지방이양 사업 평가
- 노재경, 2020, 2020 용담댐 홍수 유입량 분석, 한국농공학회, 한국농공학회 학술대회초록집, 2020권 0호, p.122
- 노재경, 2020, 우리 농업용 저수지 유입량을 생각하다, 한국농공학회, 한국농공학회 학술대회초록집, 2020권 0호, p.92
- 노재경, 2021, ONE 모형에 의한 2020.8.7. ~ 8.8. 호우의 댐 유입량 모의, 한국수자원학회, 한국수자원학회 2021년도 학술발표회 논문집, 2021(2021-06), p.120
- 노재경·이재남 신형진, 2021, 방류량 자료 없는 저수지 물수지 분석 방안, 한국농공학회, 한국농공학회 학술대회초록집, 2021권 0호, p.63
- 노재경·이재남, 2022, ONE 모형에 의한 연속 홍수모의의 가능성, 한국수자원학회, 한국수자원학회 2022년도 학술발표회 논문집, 2022(2022-05), p.41
- 노재경·이재남, 2022, 준 실시간 저수지 운영자료 생산을 위한 물수지 모형, 한국수자원학회, 한국수자원학회 2022년도 학술발표회 논문집, 2022(2022-05), p.125
- 노재경·이재남, 2022, 준 실시간 저수지 운영자료 시범생산, 대한토목학회, 대한토목학회 2022년도 정기 학술대회 논문집, pp.71-72
- 노재경·이재남, 2022, 여수로 방류량 자료 없는 경우의 준 실시간 저수지 운영자료 생산, 한국농공학회, 한국농공학회 학술대회초록집, 2022권 0호, p.122
- 노재경·이재남, 2023, 수문관측에서 저수량 자료 활용하다, 한국수자원학회, 한국수자원학회 2023년도 학술발표회 논문집, 2023(2023-05), p.67
- 노재경·이재남, 2023, 주기별 평가에 의한 저수지 수문자료 신뢰도 개선, 한국수자원학회, 한국수자원학회 2023년도 학술발표회 논문집, 2023(2023-05), p.106
- 노재경·이재남, 2023, 태풍 힌남노에 따른 왕신저수지의 10분 단위 홍수운영자료 생산 및 평가, 한국수자원학회, 한국수자원학회 2023년도 학술발표회 논문집, 2023(2023-05), p.60

- 노재경·이재남, 2023, 홍수기 저수지 방류량 계산 방법, 한국농공학회, 한국농공학회 학술대회초록집, 2023권 0호, p.81
- 노재경·이재남, 2023, 저수지 운영자료 복원해야 하나?, 한국농공학회, 한국농공학회 학술대회초록집, 2023권 0호, p.83
- 노재경·이재남, 2023, 국가홍수통제 저수지의 운영자료 생산, 한국농공학회, 한국농공학회 학술대회초록집, 2023권 0호, p.82
- 노재경, 2023, 물은 인성이다, 충남대학교 출판문화원, 403p



제  
3  
장

홍수 기후재난 대응  
농업용 저수지 활용 방안

경북대학교 최 경 숙







제3장

## 홍수 기후재난 대응 농업용 저수지 활용 방안

### 1. 서론

#### 1. 배경 및 필요성

- 최근 장마 및 집중호우로 인한 역대급 홍수피해 발생으로 많은 인명피해와 경제적 손실을 초래하여 수자원 관리 선진국으로서 많은 아쉬움이 남는다. 이러한 뼈아픈 홍수피해 경험을 반면교사로 삼아 다시는 똑같은 재해가 발생하지 않도록 치수 안전성을 높이기 위한 선제적 사전대비 정책 방안들을 마련하여야 하겠다.
- 미래에는 현재보다 더 심각한 기후변화 현상에 의해 극한기상 현상들이 더 빈번하게 발생될 것으로 전망되고 있어, 이로 인한 홍수가뭍 등의 재해 발생 확률이 더 높아질 것으로 예견된다. 따라서 선제적이고 체계적인 홍수 위험관리를 위한 인프라 구축이 필요하다.
- 특히 통합물관리 시행에 따라 본류 위주의 치수관리가 아닌 지류·지천을 포함하는 유역단위의 상하류 연계 다면적 홍수조절관리체계 구축이 필요하다. 이러한 측면에서 본류 하천의 홍수량 분산을 위해 지류·지천에 위치한 농업용 저수지의 치수기능 강화 및 보강사업이 적극적으로 추진될 필요성이 제기된다.
- 최근 극한기상 현상 발생에 대해 농업용 저수지의 재해 발생 위험 요소는 상존해 있다. 이는 대부분의 농업용 저수지가 이수 기능에만 치중되어 있고, 큰 규모의 저수지를 제외하고는 치수기능이 거의 없어 홍수재해에 매우 취약하기 때문이다. 또한 소하천 상류유역에 대부분 위치하고 있는 농업용 저수지의 특성상 월류에 의한 붕괴가 발생할 경우 그 피해는 하류 마을 전체를 위협하는 경우가 많다. 여기에 50년 이상 경과된 초고령 저수지가 전체 저수지의 80% 이상을 차지하고 있으나, 노후 저수지 개보수사업 예산은 해마다 줄어들고 있어 폭우, 장마 등에 의한 노후 저수지의 재해발생 위험성에 대한 지속적인 우려를 낳고 있다.
- 따라서 이상홍수 대응을 위한 안전강화를 위해 농업용 저수지의 기능개선이 필요하며, 저수지 하류지역의 홍수재해 발생 가능성을 저하시키고, 본류 하천의 홍수경감에 기여할 수 있도록 저수지 뚝높이기 사업을 통한 치수능력증대사업을 적극적으로 실시할 필요가 있다. 치수 안전성 평가를 통해 저수지 여수로 확장, 비상여수로 및 비상수문 설치 등으로 홍수배제능력을 강화하고, 더 나아가 상류 유역으로부터 물 유입량이 많고 하류 피해 발생 가능 규모가 큰 지역을 선별하여 저수지 물그릇 키우기사업 등을 실시하여 치수능력을 증대하여야 하겠다.
- 저수지 노후화와 기후변화에 따른 이상강우 등 저수지 위험요인 증대에 따른 제방 월류·붕괴 발생으로부

터 사전예방을 도모하기 위해 독높이기사업을 일정 규모 이상의 저수지를 대상으로 실시하여 노후된 저수지의 잠재적 재해 발생 위험으로부터 안전성을 확보하고, 분류와 연계한 지류·지천 홍수조절에 농업용 저수지를 적극 활용함으로써 통합물관리 차원에서의 치수목적 달성에 농업용 저수지가 기여할 수 있기를 기대한다.

## 2. 연구목적 및 내용

- 최근 기후변화에 의한 극한홍수극한가뭄 발생에 대비하여 새로운 신규 댐-저수지의 축조는 지양하는 대신, 기존의 시설을 활용하여 제방독높이기, 준설 등을 통해 저수지의 기능을 개선함으로써 근본적인 안전 대책을 마련하는 것이 필요하다. 이는 치수 목적뿐만 아니라 이수 안전도를 증대하고, 지류-지천의 하천 유지용수 공급에 의한 수질개선에도 이바지할 수 있는 일석삼조의 실익을 도모할 수 있을 것이다.
- 따라서 본 고에서는 해마다 반복되고 있는 홍수재해 대응을 위한 근본적인 해결방안으로 지류-지천 정비 사업과 농업용 저수지의 홍수조절 기능 부여로 치수 등의 다목적 활용을 정책적으로 제안하고자 한다.
- 본 고의 구성은 첫장은 기후변화와 물재해에 대해 언급하며, 과거 대비 현재의 기후변화 현상과 현재 대비 미래의 기후변화 전망을 비교분석하고, 최근에 발생되고 있는 전지구적 기후변화와 관련한 물재해와 우리나라 물재해를 살펴보고자 한다. 또한 이를 통해 사전예방 차원의 선진국형 재해관리의 중요성을 제기하고자 하였다.
- 둘째장은 지금까지 수많은 홍수대비책을 수립해 왔으나 해마다 반복적으로 홍수재해가 발생하고 있어 근본적인 대책으로서의 지류-지천 정비사업과 농업용 저수지의 홍수조절 기능 부여로 하류 홍수제어와 분류와 연계한 홍수분담 역할 방안을 제안하였다. 또한 과거 경험으로써 저수용량 증대를 위해 실시된 저수지 독높이기사업과 하천준설도를 활용한 농경지리모델링사업 효과를 되짚어 보았다.
- 셋째장은 시대적 흐름에 따라 물수요 증가와 환경개선, 물안전을 위한 사회적 요구 증대에 따른 농업용 저수지의 역할 재정립의 필요성 제기와 식량생산을 위한 농업용수 공급기능만을 가지는 농업용 저수지의 다목적·다기능으로의 활용을 확대함으로써 농업용 저수지 가치 증진에 따른 국가와 지역사회를 위해 다방면으로 기여하는 주요시설로서 활용할 것을 제안하였다.

---

## 2. 기후변화와 물재해

---

### 1. 전지구 기후변화와 물재해

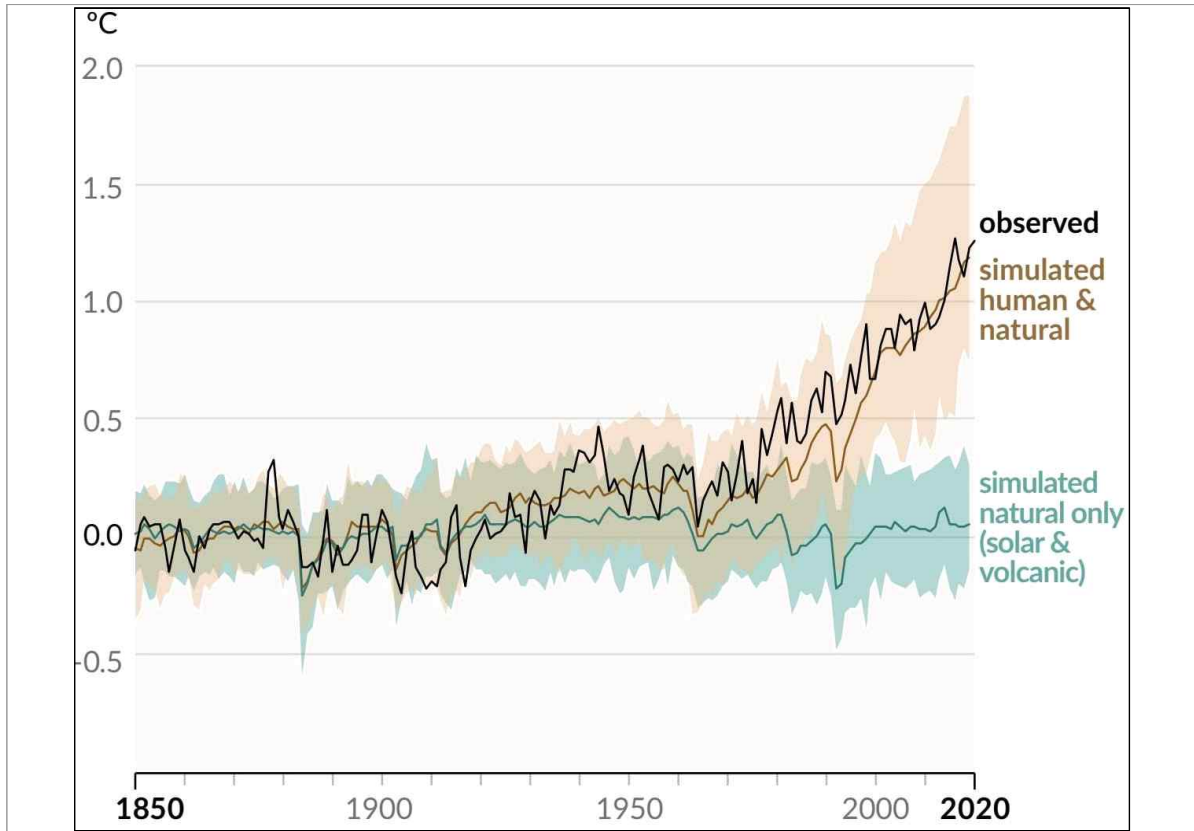
#### (1) 과거 대비 현재의 기후변화

- 'IPCC 제6차 보고서'에서 제시된 바와 같이 전지구적으로 지난 60년간 인간 활동에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량의 약 56%를 매년 흡수하고 있으며, 지구온난화의 91%는 해양 온난화, 5%는 육지 온난화, 3%는 얼음 감소, 1%는 대기 온난화로 설명하고 있다.

- 산업화 이전인 1850~1900년 기간 대비 2011~2020년 동안의 기온은 1.09°C 상승하여 전지구적 온난화 현상을 나타내었으며, 전지구 지표면 온도 상승은 지난 2,000년 중 1970년 이후로 가장 빠른 증가 현상을 보였다. 1950년대 이후 폭염 등의 극한 고온(hot extremes) 현상 발생 빈도와 강도가 증가하고 있으며, 1980년대 이후 이상 고수온 발생빈도는 대략 2배로 증가하였다. 전지구적 폭염, 가뭄 등의 복합적인 극한 기상 현상이 동시 발생 현상이 증가하였다.
- 또한 전지구 평균 강수량은 1950년 이후 증가하는 경향을 보였으며 1980년대 이후 더 빠른 증가 경향을 나타내었다. 1950년대 이후 호우 발생 빈도와 강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 지난 40년간 주요(3~5등급) 열대 저기압의 전지구적 비율이 증가하였으며, 북서태평양 열대 저기압이 최고 강도에 도달하는 위도가 북쪽으로 편향하였다.
- 전지구 평균 해수면은 1901~2018년 동안 0.20m 상승하였으며, 해수면 상승 평균 속도는 1901~1971년 동안 1.3mm/년, 1971~2006년 동안 1.9mm/년, 2006~2018년 동안 3.7mm/년 상승하는 등 최근 더 빠른 해수면 상승 증가 추세를 나타내었다. 1971~2018년 중 전지구 평균 해수면 상승의 50%는 열 팽창, 22%는 대륙 빙하의 감소, 20%는 빙상의 감소, 8%는 육지 물 저장량 변화가 원인이었으며, 대륙 빙하, 빙상의 감소가 2006~2018년 중 전지구 평균 해수면 상승의 지배적 원인으로 파악되었다.
- 표1은 IPCC 제5차 보고서(2013)와 제6차 보고서(2021)에서 나타난 주요 기후변화인자를 비교한 내용을 나타내고 있다. 최근 지구온난화를 유발하는 온실가스 농도의 증가와 산업화 이전 대비 전지구 평균 지표면 기온과 해수면에 대한 차이를 나타내며 제5차 보고서에서 제시된 것 보다 더 증가된 지구온난화 현상을 나타내고 있다.

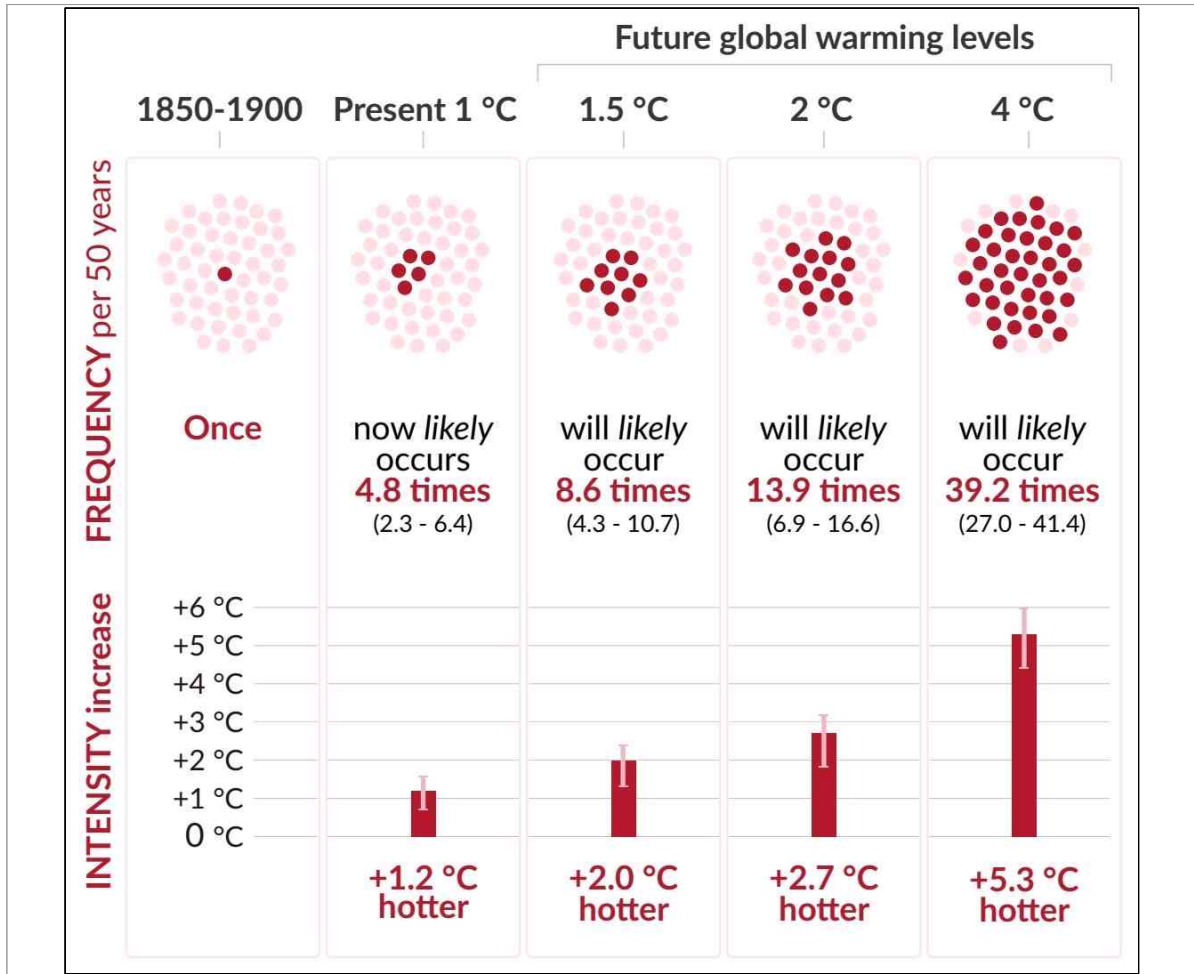
<표 1> IPCC AR6와 AR5 보고서 주요 기후변화인자 비교 (환경부, 2021)

비교 항목		IPCC 제6차 보고서 (2021년)	IPP 제5차 보고서 (2013년)
온실 가스 농도	이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	410ppm	391ppm
	메탄(CH <sub>4</sub> )	1866ppb	1803ppb
	이산화질소(N <sub>2</sub> O)	332ppb	324ppb
이산화탄소 농도 사례		최근 200만년간 전례없음	최근 80만년간 전례 없음
전지구 평균 지표면 기온 (산업화 이전 대비)		1.09°C 상승 (2011~2020년)	0.78°C 상승 (2003~2012년)
전지구 평균 해수면 (1901년 대비)		0.20m 상승 (2018년)	0.19m 상승 (2010년)
총 인위적 복사강제력 (1750년 대비)		2.72W/m <sup>2</sup> 증가 (2019년)	2.29W/m <sup>2</sup> 증가 (2011년)
2081~2100년(세기말) 전지구 평균 지표면 온도 상승 범위**		1.0~5.7°C (산업화 이전 대비)	0.3~4.8°C (1986~2005년 대비)
2081~2100년(세기말) 전지구 평균 해수면 상승 범위**		0.28~1.02m 상승 (1995~2014년 대비)	0.26~0.82m 상승 (1986~2005년 대비)
역사적 이산화탄소 누적 배출량		2390Gt CO <sub>2</sub> (1850~2019년)	1890Gt CO <sub>2</sub> (1861~1880)~2011년)



<그림 1> 과거 동안 전지구 지표면 온도변화 (IPCC, 2021)

- 그림1은 과거 1850~2020년의 170년 동안 전지구의 지표면 온도 변화를 나타낸 것으로 검은 실선은 1850~1900년 대비 관측된 연평균 지표 온도의 변화를 나타내며, 갈색부분은 CIMP6 기후모델로 모의한 1850~1900년 대비 인위적·자연적 인자를 모두 고려한 연평균 지표 온도변화를 나타낸다. 또한 녹색부분은 CIMP6 기후모델로 모의한 1850~1900년 대비 자연적 인자(태양, 화산)만을 고려한 연평균 지표 온도 변화를 나타낸다. 여기서 실선은 다중 모델의 평균값을 나타내며, 음영영역은 모의 결과 중 신뢰도가 매우 높은 범위를 포함한다.
- 실질적으로 전지구의 지표면 온도는 인간 활동의 영향이 없을 경우 과거 대비 현재의 기온에 큰 변화가 없었으나, 인간의 활동이 많아짐에 따라 인간 활동의 영향으로 1850~1900년 대비 평균 1~1.5°C 정도가 파르게 상승하고 있음을 나타낸다.



<그림 2> 산업화 이전 대비 극한고온 발생빈도 및 강도 (IPCC, 2021)

- 그림2는 기후변화에 인간의 영향이 없을 1850~1900년 동안 산업화 이전 대비 산업화로 지구온난화 발생에 의해 1850~1900년 동안 50년 빈도의 일최고기온 발생빈도와 강도를 비교하여 나타내었다. 1850~1900년 과거 대비 2020년 현재는 극한고온이 1.2°C 상승하였으며, 과거대비 4.8회 정도 더 많이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 미래에는 과거 대비 5.3°C 더 높은 극한 고온이 39.2번 이상 발생할 것으로 예견하였다.

(2) 미래 기후변화 전망

- IPCC 제6차 보고서에서는 미래 기후변화 시나리오로 기존의 대표농도경로인 RCP 시나리오에서 채택한 복사강제력 정도와 함께 미래 기후변화 대비 수준에 따라 인구, 경제, 토지이용, 에너지사용 등의 미래 사회경제 상이 어떻게 달라질 것인가를 적용한 경로인 SSP 시나리오를 적용하여 미래의 기후변화를 전망한 결과를 제시하였다.

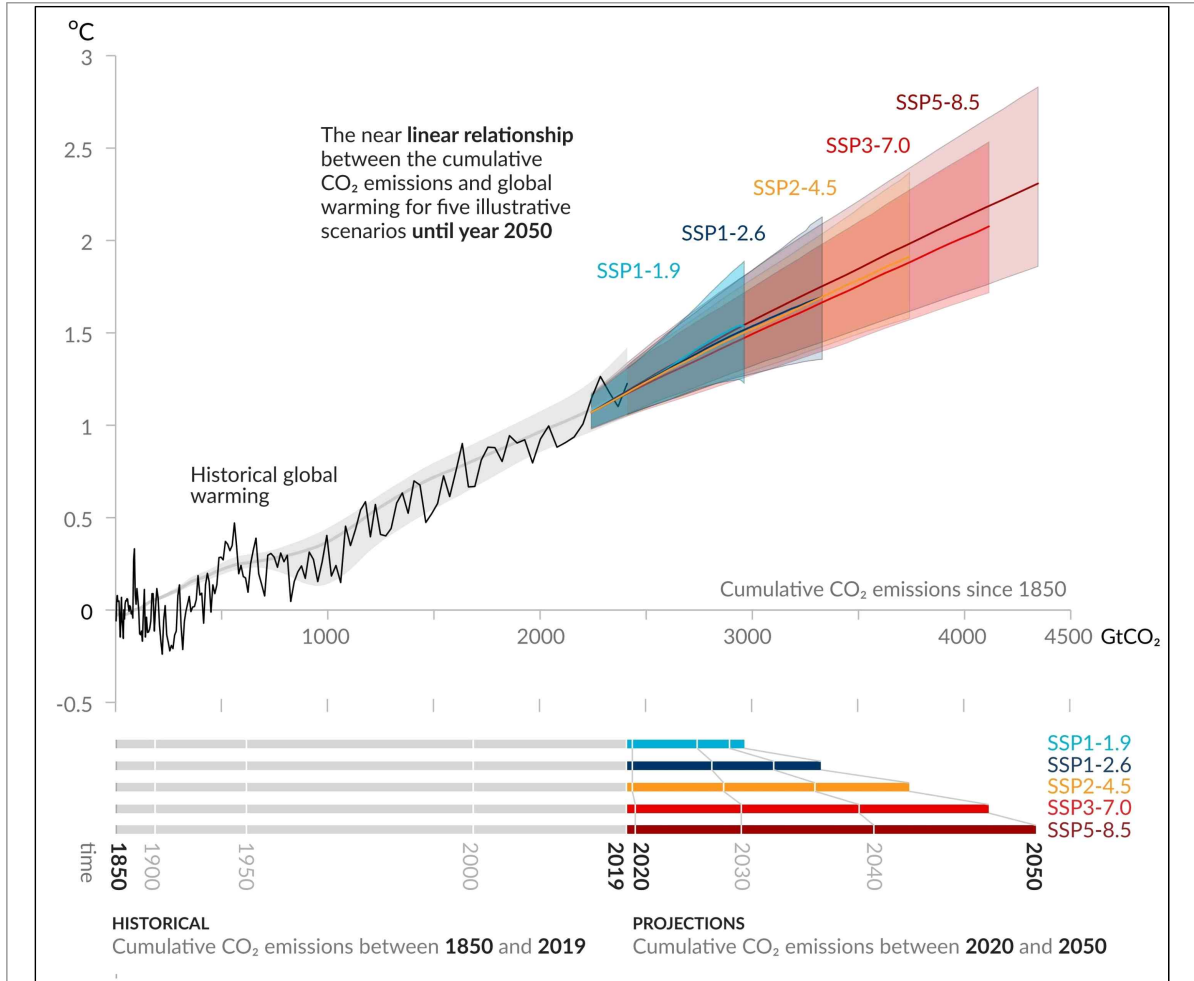
&lt;표 2&gt; SSP 시나리오 (IPCC&lt; 2021)

종류	의미
SSP1~26	재생에너지 기술 발달로 화석연료 사용이 최소화되고 친환경적으로 지속가능한 경제성장을 이룰 것으로 가정하는 경우
SSP2~4.5	기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도가 중간 단계를 가정하는 경우
SSP3~7.0	기후변화 완화 정책에 소극적이며 기술개발이 늦어 기후변화에 취약한 사회구조를 가정하는 경우
SSP5~8.5	산업기술의 빠른 발전에 중심을 두어 화석연료 사용이 높고 도시 위주의 무분별한 개발이 확대될 것으로 가정하는 경우

- SSP 첫 번째 숫자의 의미는 사회발전과 온실가스 감축 정도에 따라 구별되며, SSP1과 SSP5는 사회가 발전되면서 온실가스 감축은 잘하거나(1), 못한(5) 경우, SSP3과 SSP4는 사회 발전이 더디나 온실가스 감축을 잘하거나(3), 못한(4) 경우, SSP2는 다른 사회경제경로의 중간단계 정도의 발전 및 감축을 이룬 경우를 각각 의미한다.
- 또한 SSP 두 번째 숫자의 의미는 온실가스로 인한 추가적인 지구흡수에너지양으로 태양복사에너지 중 지구흡수에너지는 약 238W/m<sup>2</sup>으로써, SSP5~8.5는 태양에너지 8.5W/m<sup>2</sup>가 더 흡수됨을 의미하며, 이는 현재 흡수되는 태양에너지 양의 3.6%에 해당한다.
- 온실가스를 가장 많이 혹은 많이 배출하는 SSP5~8.5와 SSP3~7.0 시나리오에서의 CO<sub>2</sub> 배출량은 각 2050년, 2100년까지 현 수준의 대략 2배 도달하는 것으로 전망된다. 또한 온실가스를 중간 정도로 배출하는 SSP2~4.5 시나리오는 21세기 중반까지 대략 현 수준의 배출량을 유지하며, 온실가스를 가장 적게 혹은 적게 배출하는 SSP1~1.9와 SSP1~2.6 시나리오는 탄소중립 추진으로 각각 2050년쯤에, 혹은 그 이후에 각기 다른 수준으로 CO<sub>2</sub> 넷 네거티브(Net-negative)를 배출하는 전망을 나타내었다. CO<sub>2</sub> 배출량은 시나리오 간 사회경제적 가정, 기후변화 완화 수준, 에어로졸 및 비메탄 오존 선행물질에 대한 제어에 따라 달라진다.
- 전지구 지표면 온도는 지속적으로 상승하며, CO<sub>2</sub>와 다른 온실가스 배출량의 상당한 감축 노력 없이는 1850~1900년(산업화 이전) 대비 2081~2100년 가장 적게 배출하는 시나리오일 때 1.0~1.8°C, 가장 많이 배출하는 시나리오일 때 3.3~5.7°C 상승하는 것으로 전망된다.
- 지구온난화 증가에 따라 극한기후 현상이 더욱 빈번하게 나타날 것이며, 극한 고온, 이상 고수온, 호우, 농업·생태학적 가뭄 빈도와 강도, 열대 저기압 발생 빈도가 증가할 것으로 전망된다.
- 전지구 대부분 지역에서 호우 현상은 강해지고 빈번해지며, 지구온난화가 1°C 증가할 때마다 전 세계의 일일 강수현상은 7% 증가하며, 강력한 열대 저기압의 발생 비율과 열대 저기압의 최고 풍속이 증가할 것으로 전망된다. 모든 SSP 시나리오에서 2050년 이전 최소 한 번은 9월 중 북극 해빙이 거의 다 녹을 가능성이 있음을 전망하고 있다.
- 전지구 연평균 강수량은 1995~2014년 대비 2081~2100년까지 가장 적게 배출하는 시나리오일 때 0~5%, 가장 많이 배출하는 시나리오일 때 1~13% 증가할 것으로 전망된다. 또한 1995~2014년 대비 2100년까지 전지구 평균 해수면은 가장 적게 배출하는 시나리오일 때 0.28~0.55m 상승하며, 2150년까지 0.37~0.86m 상승하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 배출하는 시나리오일 때 0.63~1.01m 상승하며,

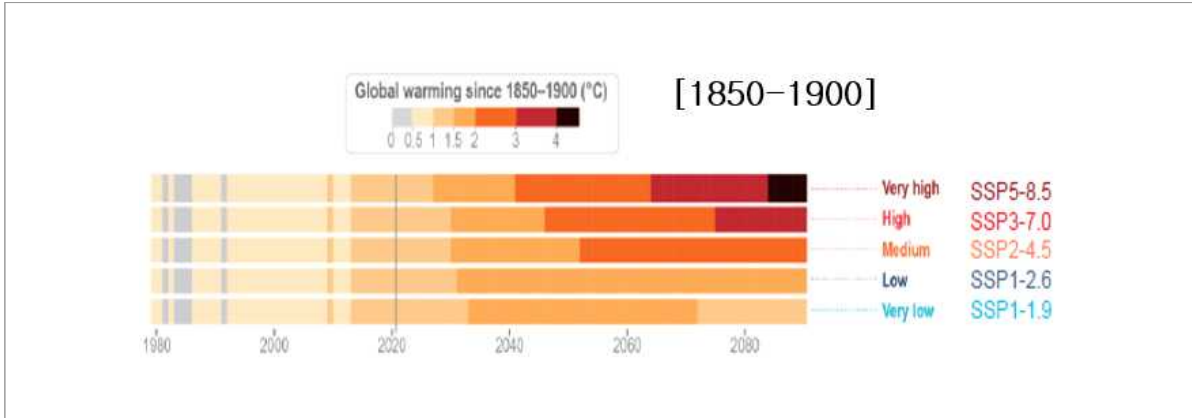


2150년까지 0.98~1.88m 상승하는 것으로 나타났다. 전지구 평균 해수면은 2100년까지 2m 상승하면 2150년까지 5m 상승하는 것으로 나타났다.



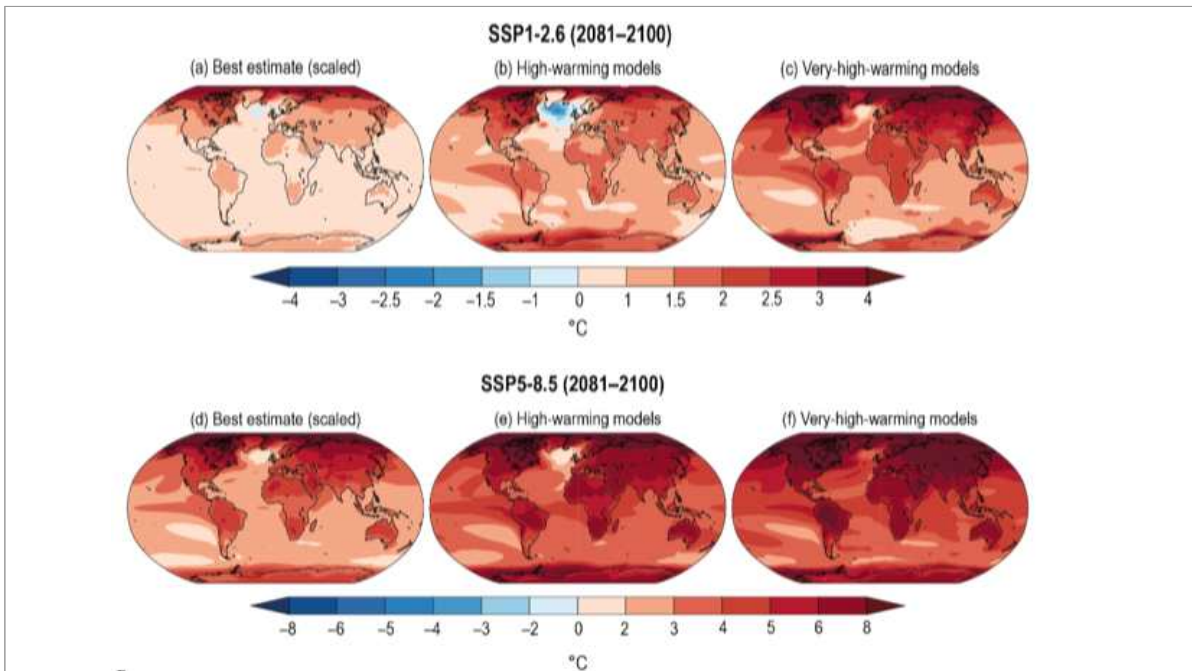
<그림 3> SSP 시나리오에 의한 과거 및 미래 누적 CO2 배출량과 전지구 지표면 온도와의 관계 (IPCC, 2021)

- 그림3은 SSP 시나리오를 적용한 과거 및 미래 누적 CO2 배출량과 전지구 지표면 온도와의 관계를 나타낸다. 그림에서 검정실선은 1850년부터 2019년까지 누적 이산화탄소 GtCO2 배출량의 함수로 1850~1900년 이래로 관측된 전지구 지표면 온도를 나타내며, 회색 영역은 과거 인간에 의한 지표 온난화에 상응하는 추정치를 보여준다. 채색 영역은 SSP 시나리오를 적용한 미래 전망 전지구 지표 온도를 나타내며, 중앙선은 2020년부터 2050년까지 누적 CO2 배출량의 함수로서의 중간 추정치를 보여준다.



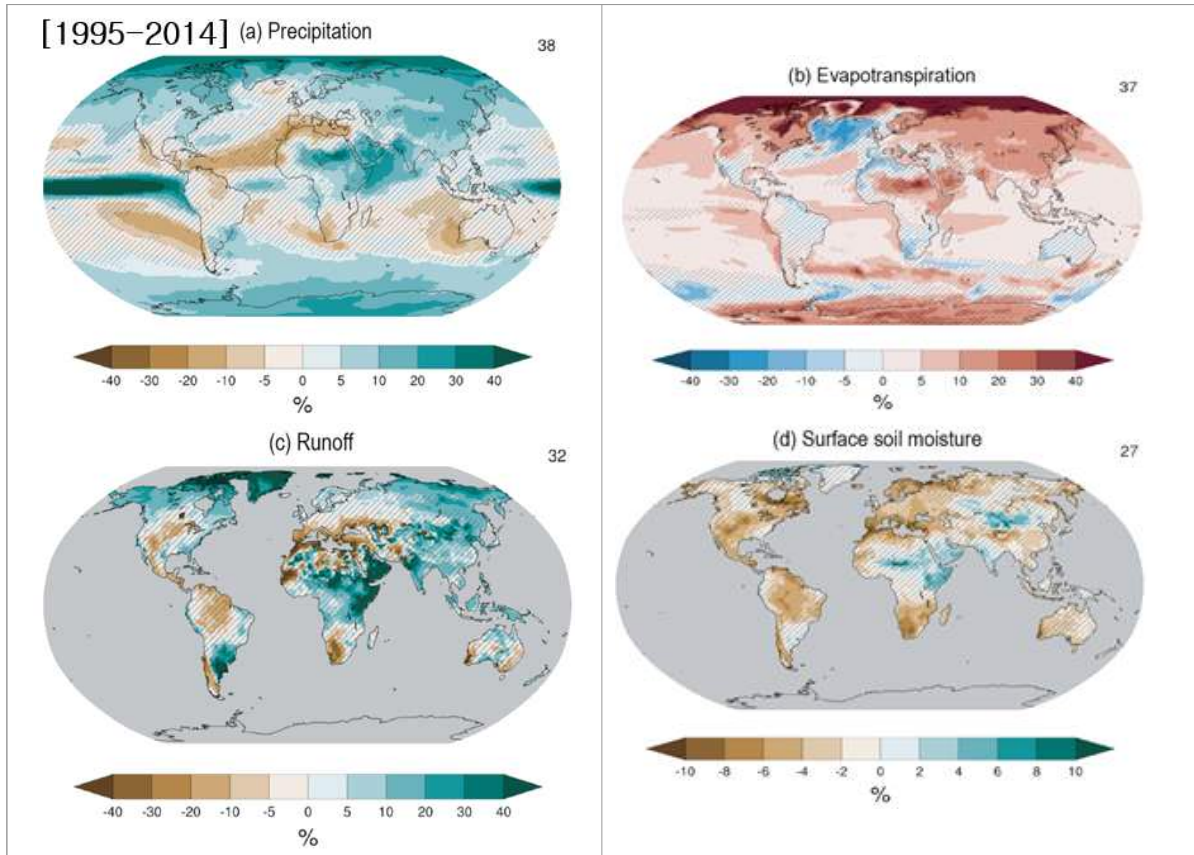
<그림 4> 과거와 현재 대비 미래의 지구온난화 현상 (IPCC, 2021)

- 그림4는 산업화 이전인 1850~1900년 기간 대비 산업화로 지구온난화 발생된 이후 현재와 미래의 전지구 지표면 온도 상승 경향을 보여준다. 과거와 현재의 지표면 온도 상승 현상과 SSP 시나리오를 적용하여 예측한 미래의 전지구 지표면 온도의 상승 경향을 비교해 볼 때 산업화 이후로 현재까지의 지표면 온도 상승 대비 미래로 갈수록 온도 상승이 더 높게 나타나는 경향을 뚜렷이 나타내고 있다.



<그림 5> 미래 지표면 온도 변화 (IPCC, 2021)

- 그림5는 미래의 전지구 지표면 온도의 변화 경향을 SSP1~2.6과 SSP5~8.5 시나리오 조건에서 예측한 결과를 나타낸다. 두 그룹의 미래 기후변화 시나리오 적용 결과에서 볼수 있듯이, 전지구 지표면 온도는 SSP1~2.6 시나리오의 경우 최대 4°C로 상승하는 경향을 보였으며, SSP5~8.5 시나리오의 경우 최대 8°C로 상승하는 경향을 보여 지구온난화에 의해 멸망하는 심각한 결과를 초래하는 것으로 나타났다.

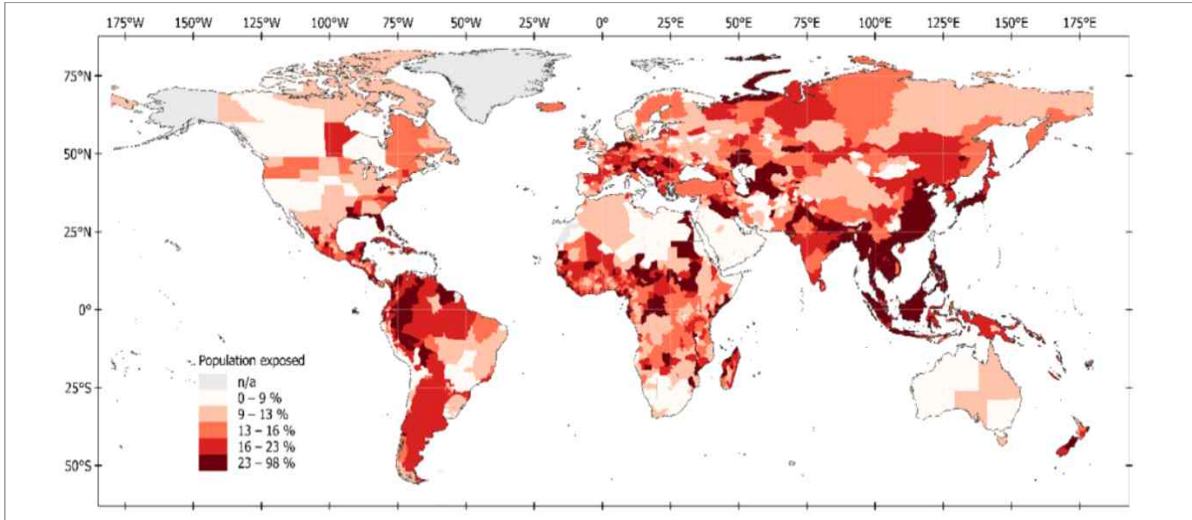


<그림 6> 과거 대비 강수량과 유출량 변화 경향 (IPCC, 2021)

- 그림6은 1995~2014년 대비 미래 SSP2~4.5 시나리오 적용시 2081~2100년 동안의 강수량과 유출량의 증가 경향을 나타내고 있다. 1995~2014년 기간 대비 미래에는 강우량과 유출량이 많게는 40% 증가하고 적게는 40% 감소하는 극한홍수와 극한가뭄의 경향을 동시에 보여주었다.

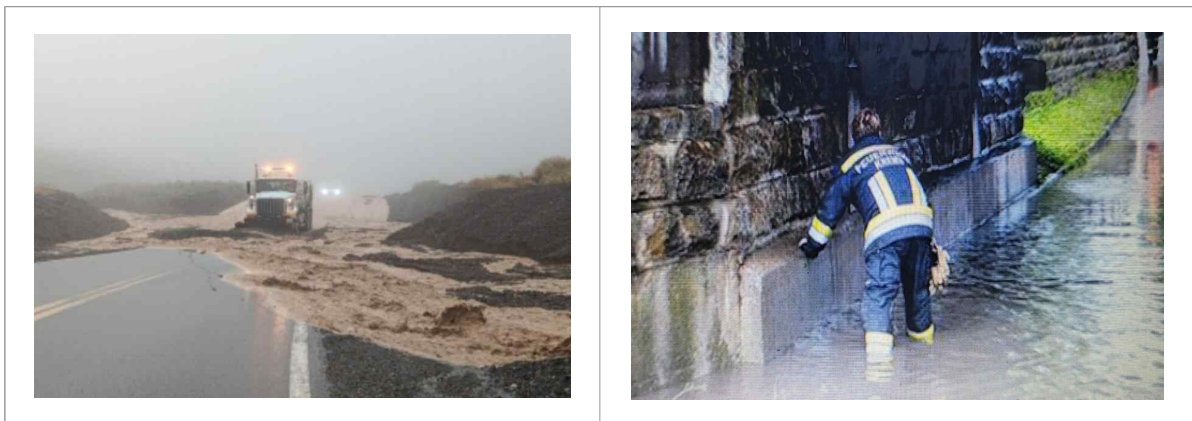
### (3) 세계의 물재해

- 세계은행(2022)는 기후변화에 의한 글로벌 홍수 위험에 대한 경고를 하였다. 기후변화에 의한 홍수위험은 전지구적이며, 세계적으로 18억명의 인구가 홍수재해 발생 위험에 노출되어 있음을 경고하였다(그림 7).



<그림 7> 기후변화로 인한 홍수재해 발생 위험에 노출된 인구 (IPCC, 2021)  
\*Source: Rentschler, J, Salhab, M and Jafino, B. 2022. Flood Exposure and Poverty in 188 Countries. Nature Communications]

- 미국의 서남부 사막으로 유명한 데스밸리 지역에는 역사상 최대 하루 55.9mm의 폭우가 발생하여 많은 피해를 낳았다. 데스밸리 역대 평균 연평균 강수량은 56.9mm로 1년치 강우량이 하루만에 내린 폭우로 물난리가 겪었다. 유럽 슬로베니아에서는 60시간 동안 200mm의 폭우가 발생하여 수천명의 이재민이 발생하였으며, 국토 3분의 2가 홍수 피해를 입었다(그림8).



<그림 8> 미국 데스밸리 홍수(좌)와 유럽 슬로베니아 홍수(우) (2023)

- 파키스탄에서는 2022년 몬순이 시작되는 6월초부터 장기간의 폭우로 인더스 강 유역을 중심으로 역대 최악의 홍수가 발생하여 국토 3분의 1이 수몰되는 심각한 피해를 겪었다. 이재민은 3,300만명 이상, 사망자는 1,200명 이상에 발생하는 재해를 입었다(그림9).





<그림 9> 파키스탄 장마로 인한 홍수피해 (2022)

- 리비아에서는 올해 9월 에게해에서 발생한 사이클론에 의해 리비아 동부 키레나이카 지역을 강타하여 발생한 대규모 홍수로 리비아 동북부 전역이 피해를 입었으며, 특히 데르나에 댐 2개가 연달아 붕괴되어 데르나시 면적의 최소 23%가 침수하였고, 홍수로 인한 사망자는 11,300명, 실종자는 15,000명으로 추정된다(그림10).

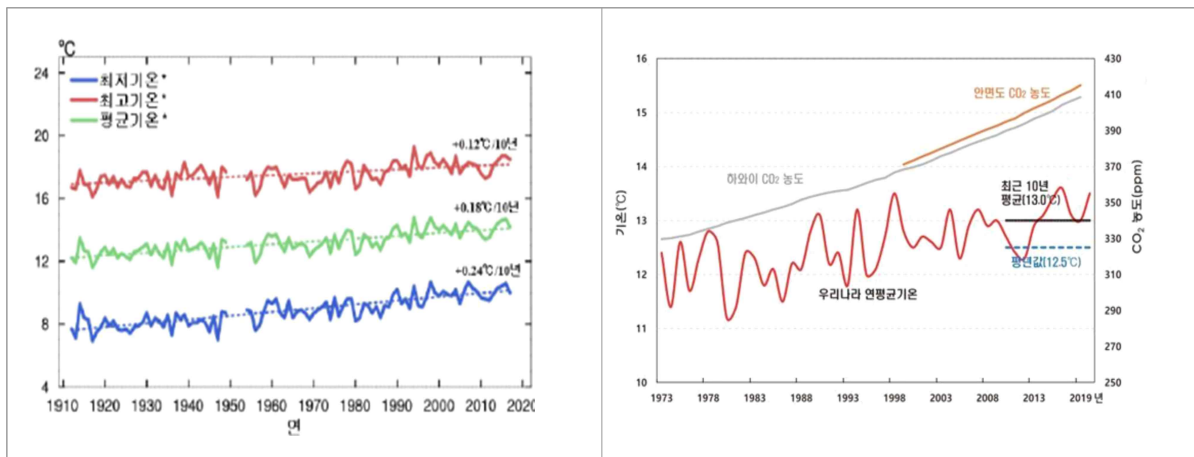


<그림 10> 리비아 데르나 대홍수 (2023)

## 2. 한국의 기후변화와 물재해

### (1) 과거 대비 현재의 기후변화

- 우리나라도 최근 들어 기후변화 현상이 뚜렷하게 나타나는 경향을 보이고 있다. 과거 대비 현재의 기온의 변화는 1912년 이후 2017년까지 1.8°C 상승하였다. 전세계 평균 기온이 과거 대비 1.2°C 상승한 것과 비교해 볼 때 우리나라는 기후변화가 더 가파르게 나타나고 있음을 알수 있다.
- 우리나라의 연평균 기온은 1912~2017 동안 +0.18°C/10년으로 상승하였으며 연평균 일일 최고기온(연속된 24시간 중 가장 높은 기온)은 +0.12°C/10년\*, 일일 최저기온(연속된 24시간 중 가장 낮은 기온)은 +0.24°C/10년\*으로 지속적으로 상승하고 있다. 1912~2017 동안 초기 30년(1912~1941)의 연평균 기온은 12.6°C이었으나, 최근 30년(1988~2017)의 연평균 기온은 14.0°C으로 두 시점 간 비교 시 +1.4°C 상승한 것으로 나타났다.
- 우리나라의 계절별 평균 기온은 1912~2017년 동안 봄(3~5월)은 +0.24°C/10년, 여름(6~8월)은 +0.08°C/10년, 가을(9~11월)은 +0.16°C/10년, 그리고 겨울(12~익년 2월)은 +0.25°C/10년으로 겨울과 봄에 기온 상승폭이 뚜렷한 것으로 나타났다. 장기적인 평균 기온 상승은 겨울(+2.1°C)과 봄(+1.9°C)이 다른 계절에 비해 높은 편이었다. 한편, 4계절(봄, 여름, 가을, 겨울) 모두에서 최고기온보다 최저기온의 상승폭이 더 높았다.



<그림 11> 과거대비 연평균 기온 평화 경향(국립기상과학원, 2018)

<표 3> 과거대비 연평균 기온의 평균 변화 경향 (국립기상과학원, 2018)

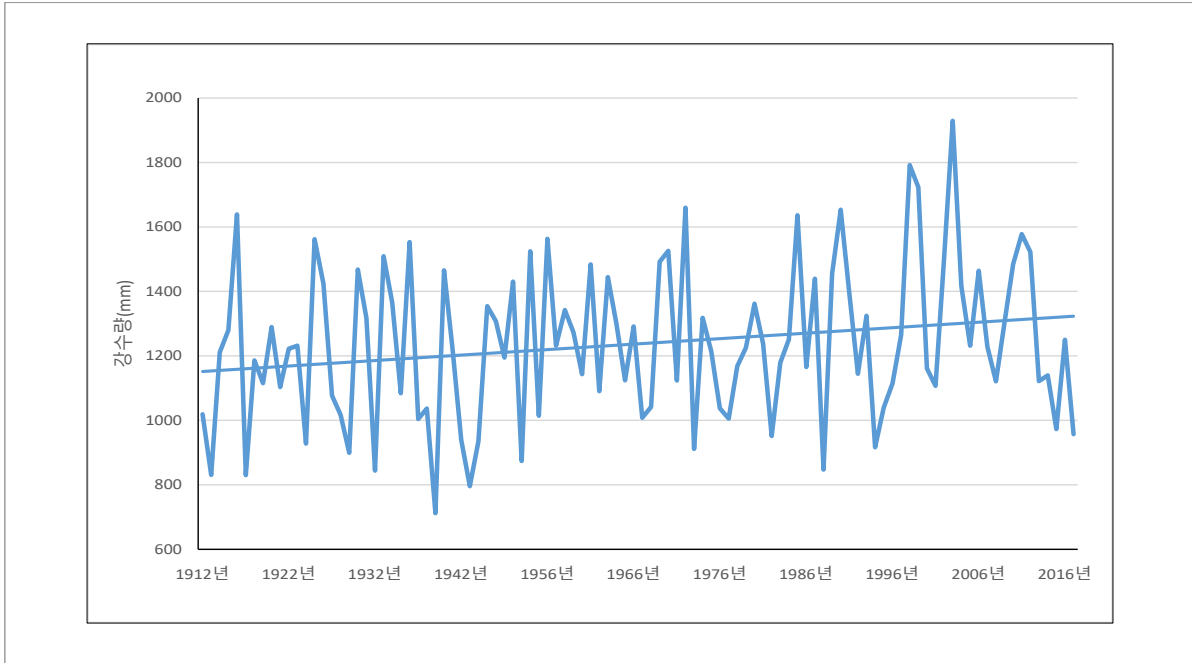
구분	평균	변화경향(/10년)	최근 30년(1988~2017)- 과거 30년(1912~1942)
평균기온(°C)	13.2	+0.18	+1.4 (12.6 → 14.0)
최고기온(°C)	17.5	+0.12	+1.1 (17.1 → 18.2)
최저기온(°C)	8.9	+0.24	+1.9 (8.0 → 9.9)



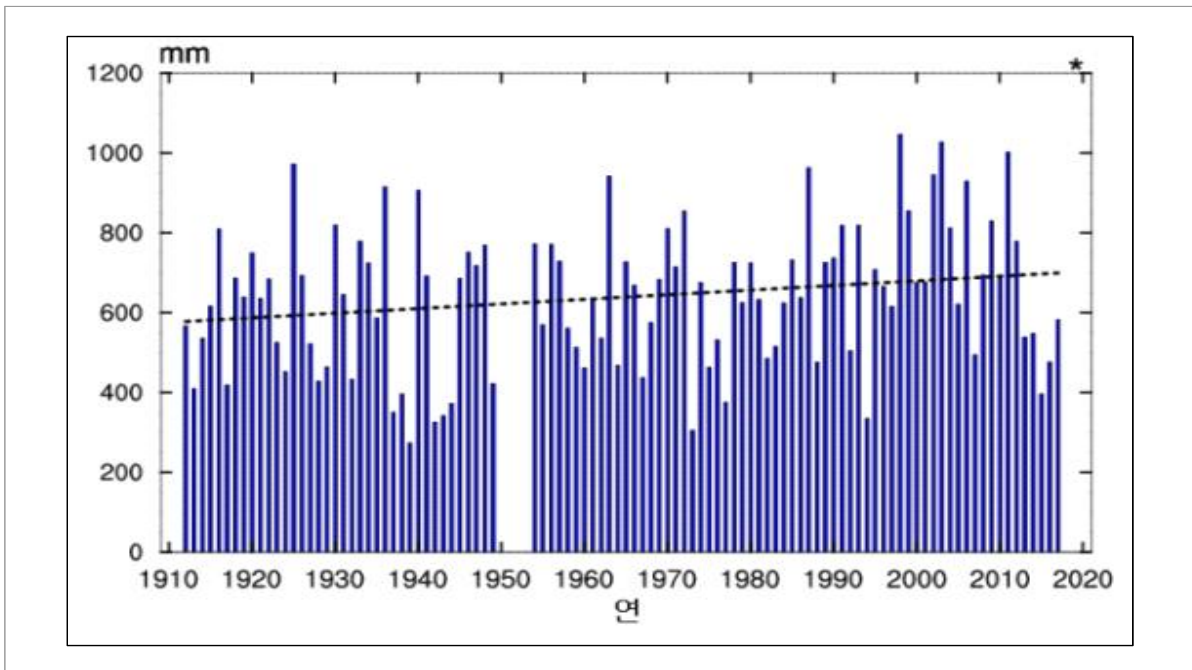
<표 4> 과거대비 연평균 계절기온의 평균 변화 경향 (국립기상과학원, 2018)

계절	구분	평균	변화경향 (/10년)	최근 30년(1988~2017)- 과거 30년(1912~1942)	최근 10년(2009~2017)- 최근 30년(1912~1942)
봄 (3~5월)	평균기온(℃)	12.0	+0.24	+1.9	+0.1
	최고기온(℃)	16.8	+0.20	+1.6	-
	최저기온(℃)	7.2	+0.29	+2.1	+0.3
여름 (6~8월)	평균기온(℃)	24.2	+0.09	+0.6	+0.3
	최고기온(℃)	27.9	+0.01	+0.1	+0.3
	최저기온(℃)	20.4	+0.15	+1.1	+0.5
가을 (9~11월)	평균기온(℃)	15.4	+0.16	+1.3	+0.2
	최고기온(℃)	20.0	+0.08	+0.7	-
	최저기온(℃)	10.9	+0.24	+1.8	+0.4
겨울 (12~익년2월)	평균기온(℃)	1.2	+0.25	+2.1	-0.6
	최고기온(℃)	5.4	+0.21	+1.8	-0.6
	최저기온(℃)	-3.0	+0.29	+2.3	-0.5

- 우리나라의 강수량은 보통 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 감소하고, 내륙지역이 남해안과 동해안 지역보다 적으며, 풍향과 지형에 따라 지역적인 차이가 크다. 또한, 여름에 강수가 집중되며 겨울에는 강수량이 적기 때문에 계절적인 차이도 크다. 지난 1912~2017년 동안 강수량 변화를 확인해본 결과, 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다.
- 강수량의 변동 경향성은 16.78mm/10년인 것으로 나타났으며(그림12), 계절별 강수량의 변동은 여름철 강수량의 변동이 가장 큰 것으로 나타났다(그림13). 여름은 11.6mm/10년, 가을은 3.0mm/10년, 봄은 1.9mm/10년 증가하였고, 겨울은 0.9mm/10년 감소하였다(국립기상과학원, 2018).



<그림 12> 연별 강수량 변화 (기상청)



<그림 13> 여름철 강수량 변화 (국립기상과학원, 2018)

- 강수일수는 일강수량이 0.1mm 이상인 날의 수를 말하는 것으로 우리나라의 평균 강수일수를 살펴보면, 평년(1981~2010)에 비해 최근 10년은 5.8일 증가하였지만, 최근 5년은 0.5일 정도 감소하는 것으로 나타났다(표5). 계절별로 살펴보면, 봄과 가을은 평년에 비해 최근 5년 동안 평균 강수일수가 증가하였으며,

여름과 겨울에 각각 4.0일, 3.4일 정도 감소하는 것으로 나타났다(표6).

<표 5> 전국 평균 강수일수(기상청)

연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
평년 (1981~2010)	6.8	6.5	8.1	7.8	8.6	9.7	14.4	13.2	9.0	5.7	7.1	6.6	103.5
최근 10년	5.9	6.2	8.1	10.1	8.0	9.4	14.7	13.8	9.7	6.6	8.6	8.2	109.3
최근 5년	6.2	5.4	7.2	10.4	7.5	8.9	13.2	11.2	9.7	7.4	8.2	7.7	103.0

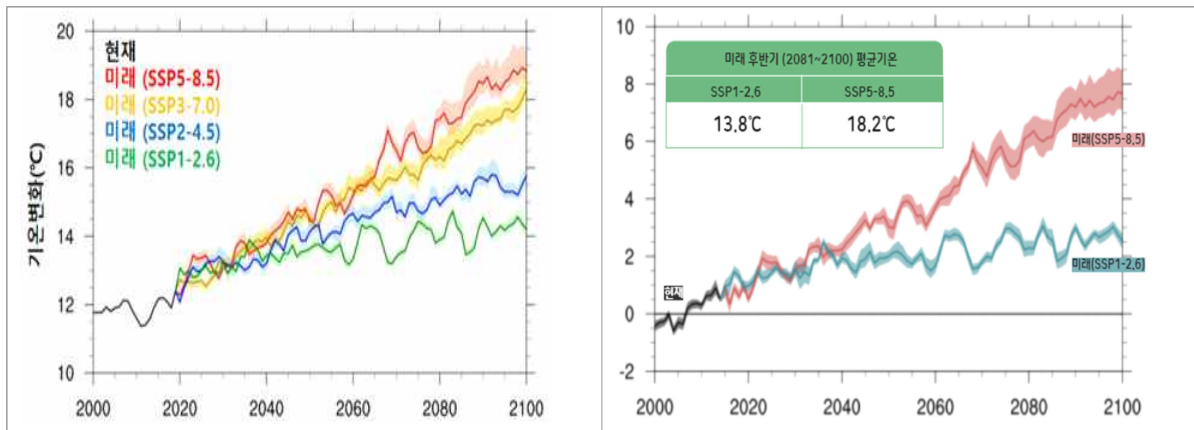
<표 6> 전국 평균 계절별 강수일수 (기상청)

구분	봄 (3월~5월)	여름 (6월~8월)	가을 (9월~11월)	겨울 (12월~익년 2월)
평년 (1981~2010)	24.5	37.3	21.8	19.7
최근 10년	26.1	37.8	24.9	18.7
최근 5년	25.1	33.3	25.3	16.3

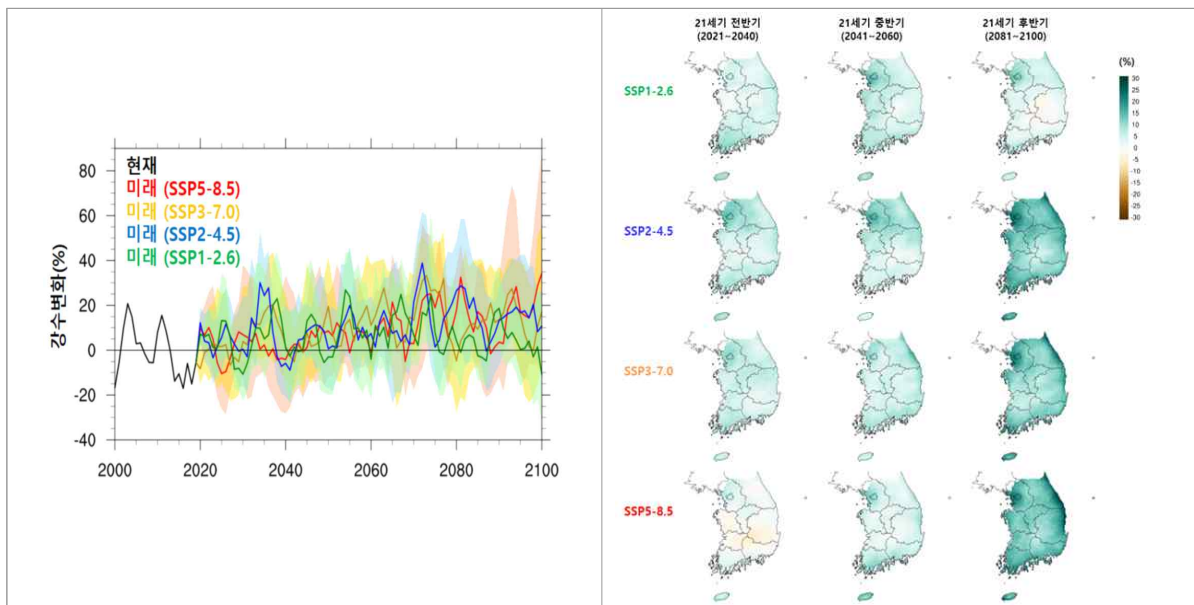
- 최근 30년(1991~2020년) 대비 과거 30년(1912~1940년)의 강수량이 135.4mm 증가하였으며, 강수일수는 21.2일 감소하였다.
- 이상기후보고서(기상청, 2022)에 의하면, 최근의 기후현상이 아래와 같은 과거 대비 강우의 변동성이 크고 예측하기 어려운 이상 강우 현상이 지속적으로 발생하는 것으로 나타났다.
  - 2011년 7월 장마전선에 의한 평년대비 268%이상 강수량 발생
  - 2012년 4개 태풍 한반도 내습(카눈, 볼라벤, 덴빈, 산바)
  - 2019년 역대 최다 태풍의 한반도 내습(여름철 4개, 가을철 3개)
  - 2020년 54일간 역대최장기간 장마(중부 582mm, 남부 573mm)
  - 2022년 중부지방 장마전선에 의한 평년의 2배 이상 강수량 발생

(2) 미래의 기후변화 전망

- 국립기상과학원(2022)에 의하면, SSP시나리오를 적용한 결과, 우리나라 연평균 기온은 현재 대비 2.3~6.3℃ 상승할 것으로 전망되며, 모든 시나리오에서 연평균 기온이 전반기 상승폭은 비슷하나, 중반기 기부터 급격히 상승하는 경향을 보였다. 또한 우리나라 평균 강수량은 SSP시나리오에 따라 현재 대비 4~16% 증가하며, 강수일수는 감소하는 것으로 전망하였다.



<그림 14> 미래 기온 변화 전망 (국립기상과학원, 2022)

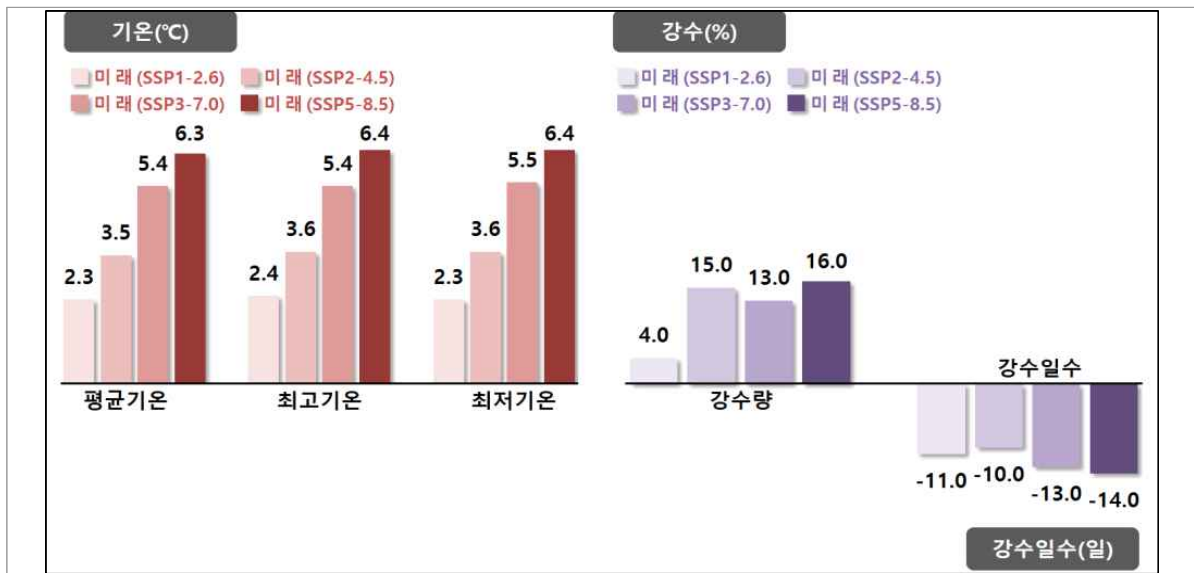


<그림 15> 미래 강수량 변화 전망 (국립기상과학원, 2022)

- 미래 우리나라 극한 강수현상은 현재 대비 증가하며, SSP5~8.8에서는 증가추세가 더 뚜렷하게 나타났다. 현재 대비 5일 최대 강수량은 14~36%로 증가하며, 상위 5% 극한강수일수는 0.2~1.4일로 증가하고 후반

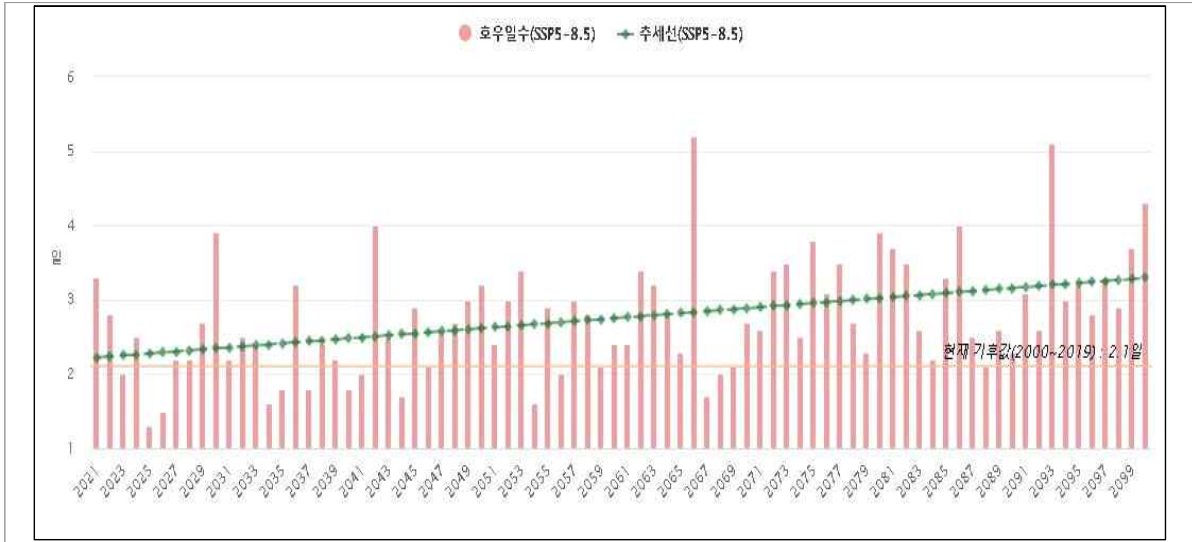
기로 갈수록 기후변화가 가속화되는 경향을 나타내었다.

- SSP1~2.6에서는 전반기부터 후반기까지 극한 강수현상 발생빈도에 큰 변화가 없으며, 현재 대비 5일 최대 강수량은 15~19% 증가하며 상위 5% 극한강수일은 0.3~0.6일 증가하고 후반기로 갈수록 기후변화가 약화되는 경향을 나타내었다.
- 미래에는 기온이 증가하고 강수량도 증가하나 강수일수는 감소하는 단기간 집중 호우성 강우형태가 많아질 것으로 전망하고 있다. 나타냈다.

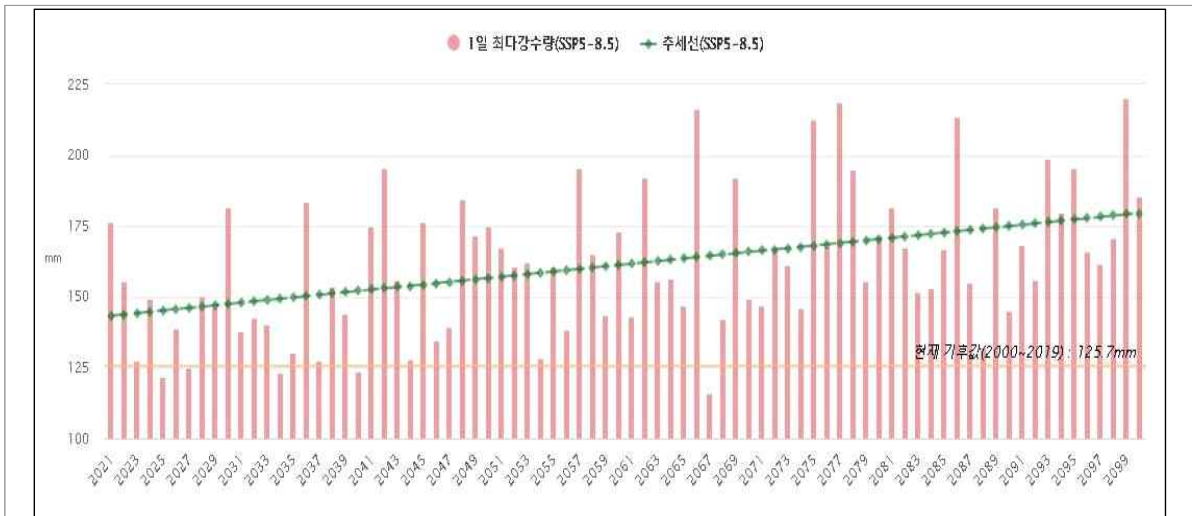


<그림 16> SSP 시나리오에 의한 21세기 기후변화 전망 (국립기상과학원, 2022)

- 기상청 자료에 의하면 호우일수는 SSP5~8.8에서 미래로 갈수록 지속적인 증가추세를 나타내며, 극한기후지수인 1일 최대 강수량은 미래로 갈수록 지속적인 증가 추세를 나타낸다.



<그림 17> 미래 연별 호우일수 전망 (기상청)



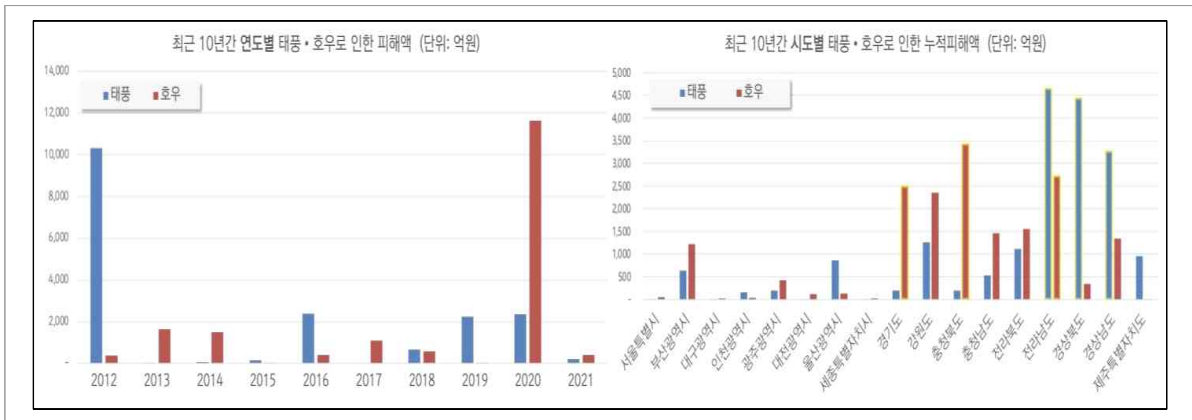
<그림 18> 미래 연별 1일 최다 강수량 전망 (기상청)

### 3. 한국의 물재해

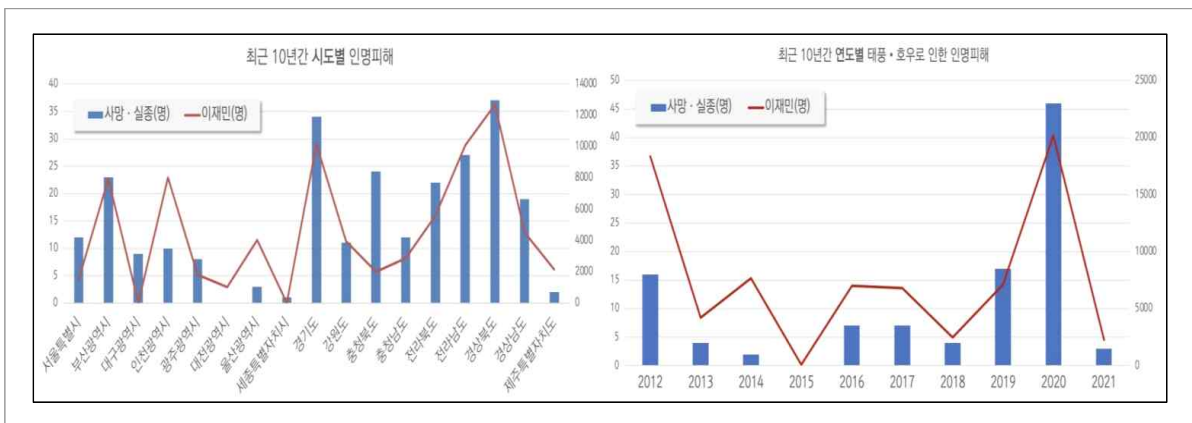
- 최근 10년간 태풍 및 호우로 인한 연평균 인명피해는 12.2명으로 2020년 46명, 2022년 30명이며, 최근 10년간의 태풍호우로 인한 연평균 재산 피해액은 2,797억원으로 2020년 1조 3,176억원, 2022년은 5,728억원을 기록하였다. 최근들어 피해규모가 늘어나는 경향을 나타내고 있다.
- 최근 10년간 태풍 및 호우로 인한 연도별 피해액을 보면, 2012년 태풍 볼라벤/산바로 인한 피해와 2020년 115년 만의 기록적 폭우로 인한 피해가 가장 큰 피해로 나타났다. 시도별 피해액을 봤을 때, 호우는 충북, 전남, 경기 순이었고, 태풍은 전남, 경북, 경남 순으로 피해액이 높게 나타났다.



- 주로 남태평양에서 북상하는 태풍경로, 중부지역에 주로 위치하는 장마전선 등 우리나라에서 발생하는 수해피해는 기후조건에 따라 피해지역의 특성을 어느 정도 파악할 수 있다. 인명피해의 경우, 태풍 볼라벤/산바(2012) 이후 줄어드는 양상을 보였으나, 최근 이상기후(집중호우, 극한강우 등)의 영향으로 피해가 다시 증가하는 양상을 보였다. 2020년 집중호우(태풍 제외) 당시 사망&#65381;실종자가 44명으로 최근 10년간 최대 피해 기록으로 파악되며, 도별로는 경기도, 경상북도에서 가장 많은 인명피해가 발생하였다

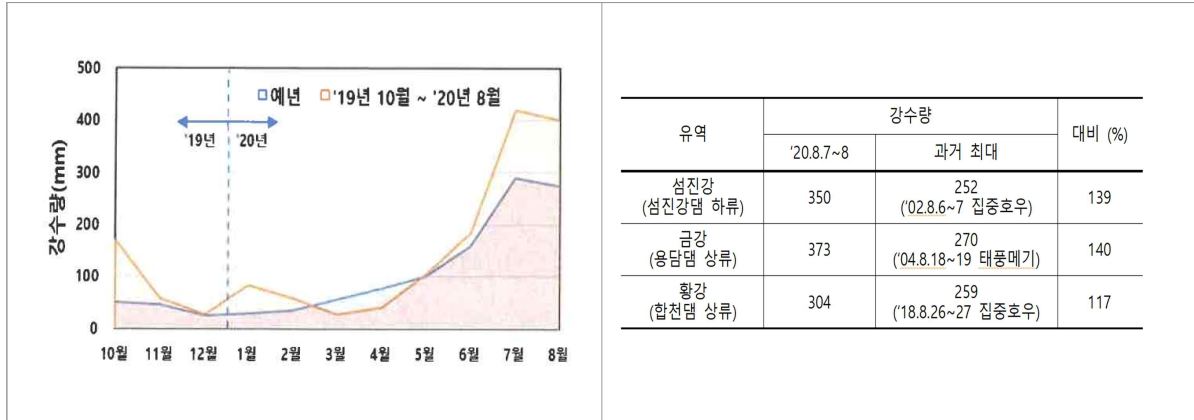


<그림 19> 최근 10년간 태풍 호우 피해 규모 (피해액) (오윤경 등, 2023)



<그림 20> 최근 10년간 태풍 호우 피해 규모 (피해인명) (오윤경 등, 2023)

- 최근 기후변화로 인해 2020년부터 우리나라에 장마, 집중호우, 태풍에 의한 큰 홍수피해를 경험하였다.
- 2020년에는 7~8월 동안의 강수량이 822mm 내려 전국적으로 큰 홍수피해를 발생하였다. 이는 예년 대비 강수량이 146% 증가한 수준으로써, 1973년 우리나라 기상관측 이래 가장 긴 54일의 장마가 지속되었고 장마에 연이은 태풍으로 전국적으로 계획규모를 초과하는 홍수가 발생하여 인명피해 46명, 재산피해 1조 2,600억원이 발생하였다(그림21).



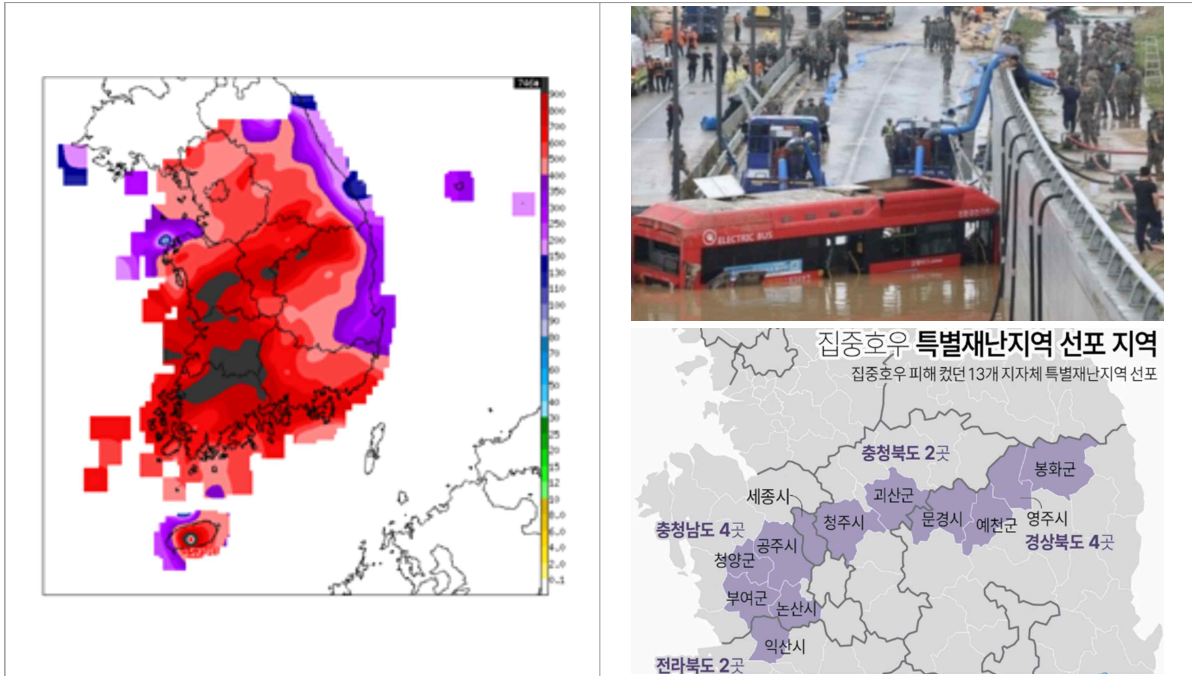
<그림 21> 월별 강수량 변화 (좌, 환경부) 집중호우기간 피해지역 강수량 (우, 기후위기대응홍수대책기획단)

- 또한 2022년에는 8월 집중호우와 9월 태풍 힌남노의 내습으로 500년 빈도 이상의 강우가 발생하여 서울 도심침범으로 신대방역 반지하 침수에 의한 인명 피해와 포항 냉천 범람에 의한 인근 아파트 지하주차장 인명피해가 있었다. 당시 서울은 8.8~8.11일 동안 사흘간의 집중호우로 최대 577mm의 비가 내렸고, 경북포항지역은 태풍 힌남노로 9.5~9.6일 동안 이틀간 378.7mm의 비가 내렸다. 이로 인해 경주 왕신저수지의 월류로 인해 제방 붕괴 직전까지 가는 초유의 비상사태가 발생하기도 하였다(그림22).



<그림 22> 2022.8.8.~8.11. 집중호우 누적강수량 (좌) 2022.9.5.~9.6. 태풍힌남노 누적강수량 (우) (단위 mm)

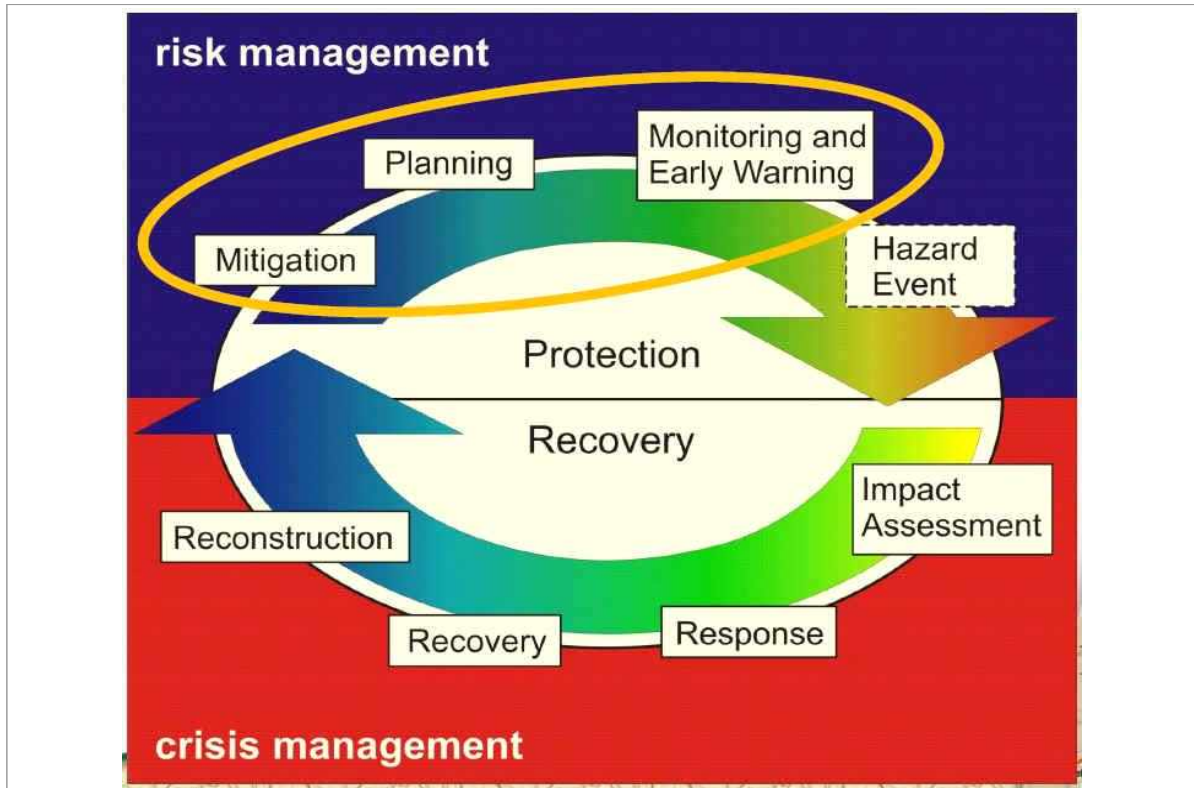
- 2023년도 올해에는 전국적으로 장마기간이 6.25~7.26일동안 발생하였으며, 강수량(648.7mm) 및 강우강도(30.6mm/day) 고려시 역대 1위를 기록하였다. 이는 연강수량의 3분의 1이 6일 동안 내리는 기록이다. 또한 연이은 태풍 카눈의 한반도 관통으로 인한 극한 호우 발생은 청주 미호천 월류에 의한 오송 지하차도 인명피해와 중부지역 산사태 및 침수피해로 특별재난지역이 선포되기도 하였다(그림23).



<그림 23> 2023년 장마철 강수량 분포도 (좌), 2023년 집중호우 피해지역 (우)

### (3) 시사점

- 최근의 기후변화에 의한 홍수재해는 우리에게 시사하는 바가 크다. 과거에 경험하지 못했던 강한 폭우가 어디서든 발생할 수 있다는 메시지와 과거 강우기준으로 축조된 농업생산기반시설은 미래 이상기후에 매우 취약하다는 점이다.
- 미래에는 강우발생 일수, 빈도, 강도가 점점 높아지고, 과거에 발생하지 않던 지역에서도 강우기 집중호우 발생으로 예기치 않은 홍수피해를 유발할 가능성이 높아지고 있다는 사실이다. 여기에 과거의 기준으로 조성된 농업생산기반시설은 현재의 기후변화 조건에서도 취약하나, 미래의 극한기후 조건에서는 더욱 취약할 것으로 예견된다.
- 따라서 기후위기 시대 아무도 경험 못한 재해 발생 가능성과 이에 따른 홍수 취약성을 미리 분석하고 사전에 대비할 필요가 있으며, 예측불허의 기상현상에 대응하여 인명피해와 재산피해를 경감할 수 있는 준비를 철저히 하여야 하겠다.
- 우리나라도 경제규모로 볼때 선진국형 사전대비 재난관리체제로 전환이 필요하며, 미래 기후변화 대비 현재의 선제적 대응은 미래의 불확실한 위기를 대비하는 저축 같은 것으로써, 사전대비를 위한 과감한 재정 투입은 사후재해 비용을 경감하기 위한 사전 대응책으로써 반드시 필요하다. 사전에 현재의 시설기준을 강화하고 예산 등의 자원 투입을 확대가 필요하다.



<그림 24> 위험관리와 위기관리

### 3. 반복되는 홍수재해 대비 방안

#### 1. 지류지천 정비

- 우리나라 홍수재해의 대부분은 하천을 따라 피해가 발생하였기에 주요 수계 등 홍수 위험이 높은 지역은 중앙정부 중심으로 관리를 해 오고 있다. 그러나 상대적으로 중요도가 높은 중앙정부에서 관리하는 국가하천(분류) 중심의 하천정비가 이루어지다 보니 지자체 관할인 지방하천 및 소하천 정비율은 절반도 안 되는 상황이다. 따라서 지류지천은 200년 빈도 치수안전도가 확보된 4대강 분류에 비해 상대적으로 홍수에 매우 취약하다.
- 특히 2020년 재정분권의 일환으로 지방하천 및 소하천정비, 생태하천정비가 지자체로 이양되면서 하천 관리가 더욱 소홀해 지고 있는 게 현실이다. 국세인 부가가치세 일부를 지방세로 전환해 하천정비사업재정을 확보하였으나, 지자체장 관심 및 예산 배정 순위에서 밀려 실제 지방하천 정비율은 중앙정부가 직접 관리하는 국가하천에 비해 낮은 실정이다. 2021년 말 기준, 국가하천 정비율은 79.2%, 지방하천 정비율은 49.1%로 큰 차이를 보였다.
- 이로 인해 최근과 같이 집중호우 발생시 하천재해 발생은 국가하천보다 낮은 하천정비율을 낮은 대부분이 지방하천에서 일어나고 있다. 실제 환경부 홍수피해 상황조사보고서(2017~2022)에 의하면, 이상기후

에 의한 집중호우시 지류지천에서 대부분 재해가 발생하는 것으로 조사되었다. 시설 피해 발생기준으로는 국가하천 7%, 지방하천 93%를 차지하며, 피해 발생액 기준으로는 국가하천 16.2%, 지방하천 83.8%를 차지하는 것으로 나타나, 최근에 발생한 홍수 피해 중 93%가 지방하천에 집중되면서, 피해액은 국가하천의 5배가 넘는 것으로 파악되었다.

- 사실 지류지천은 4대강 본류보다 지역주민의 실생활과 매우 밀접한 수계이므로, 지류지천에서 홍수 대응이 제대로 되지 않으면 지역에 피해를 줄 수 있는 재난 위험성이 매우 높아질 수밖에 없다. 그러나 현재 지류 지천의 복개를 통해 도로, 주차장 활용 등에 따른 통수기능 저하는 홍수범람, 침수 재해 발생 위험성을 더욱 높이는 실정이다.
- 금년 7월 호우로 인한 예천, 봉화 등 농촌 산간지역에서의 많은 인명 및 재산피해 발생 원인으로 산사태(토석류)와 마을내 소하천 복개구간 통수기능 상실이 주요 요인으로 지적되기도 하였다. 우기에 산사태 발생시 복개 구간의 하천 통수기능 저하, 하천흐름 장애 발생에 따른 홍수범람, 침수로 수많은 이재민이 발생하는 비극을 초래하였다.
- 이와 같이 홍수피해는 대부분이 지방하천에 집중하여 발생하고 있는 실정이므로, 지역주민의 삶과 밀접한 지류지천의 홍수재해를 경감하고 미래 기후변화에 대응하기 위해서는 지류지천의 하천정비를 체계적으로 조속히 진행하는 것이 매우 필요한 실정이다. 지류지천별 홍수 취약성을 고려하여 위험도를 평가하고 이를 반영한 홍수방어능력을 높이는 노력이 필요하다. 하천 준설 등을 통해 통수능을 증대시키고, 하천제방의 안정성을 확보하는 등의 하천시설 관리 기준을 강화할 필요가 있다.

## 2. 농업용 저수지로 지류지천 홍수제어

- 우리 사회 전반을 위협하는 기후변화에 대응하기 위해서는 안전하고 지속가능한 홍수 대응 체계를 마련하는 것이다. 본류와 더불어 지류지천의 홍수대응을 위해서는 지류지천 정비사업과 지류지천 홍수량 분담이며, 이를 위해 홍수조절용 댐을 새롭게 축조하는 것은 적정부지 확보의 어려운 점과 환경에 미치는 부정적 영향, 추진과정이 오래 소요되는 점 등의 다양한 이유로 어려움이 따른다.



● 다목적 댐?? **NO!!**  
16개로 대부분 본류에 위치

● 치수능력을 향상시킨  
농업용 저수지? **YES!!**  
● 갯수가 많고 분산적으로 분포 (지류)

<그림 25> 농업용 저수지로 지류지천 홍수제어

○ 따라서 지류지천에서 발생하는 홍수제어는 지류지천에 위치하고 있는 농업용 저수지를 적극 활용할 필요가 있다. 농업용 저수지는 전국에 산재해 있으며, 지류지천에 대부분 분포해 있으므로 본류와 연계된 새로운 홍수조절용 댐을 축조하는 것 보다는 더욱 경제적인 방안이 될 수 있다. 전국에 산재해 있는 농업용 저수지를 이용하여 다목적으로 활용할 수 있도록 물그릇을 키우는 방안은 여러 가지 측면에서 많은 장점을 가진다. 이는 기존 시설을 활용하는 측면에서 새로운 부지확보의 어려움이 없고, 환경영향을 최소화하면서 지역 갈등 유발 없이, 효율적으로 홍수 대응이 가능하다는 점이다.





<그림 26> 저수지 홍수조절기능 부여

- 유역단위의 홍수 대응을 위해 수계별로 홍수량 할당제를 도입하고, 농업용 저수지를 적극 활용하여 4대 강 분류의 홍수 부담 능력을 지류지천에서 분담하도록 하는 방안이 새로운 치수담을 짓기 보다는 효율적이면서, 경제적인 치수 대책이라 할 수 있다.
- 유역단위에서 홍수를 체계적으로 대응하기 위해서는 유역단위의 하천별 홍수량 분담을 결정하고, 지류지천의 홍수량을 농업용 저수지가 분담하도록 하여 농업용 저수지와 기존 분류 댐과의 연계 운영을 강화하여 수계별로 유기적인 홍수 대응이 가능하도록 하여야 하겠다.
- 농업용 저수지의 치수기능 강화를 위한 추진 방안으로는 지류지천을 대상으로 큰 피해가 우려되는 인구 밀집 지역과 홍수 취약 지역을 우선적으로 고려하여 선정하고, 지류지천 홍수 부담방어 능력 제고를 위한 저수지 뚝높이기, 여수로, 비상방류시설 설치, 퇴적토 준설, 배수문 확장 등을 고려할 수 있다. 또한 농업용 저수지 홍수조절 저수지 운영 매뉴얼을 마련하고, 치수관련 설계기준도 마련하여야 하겠다.



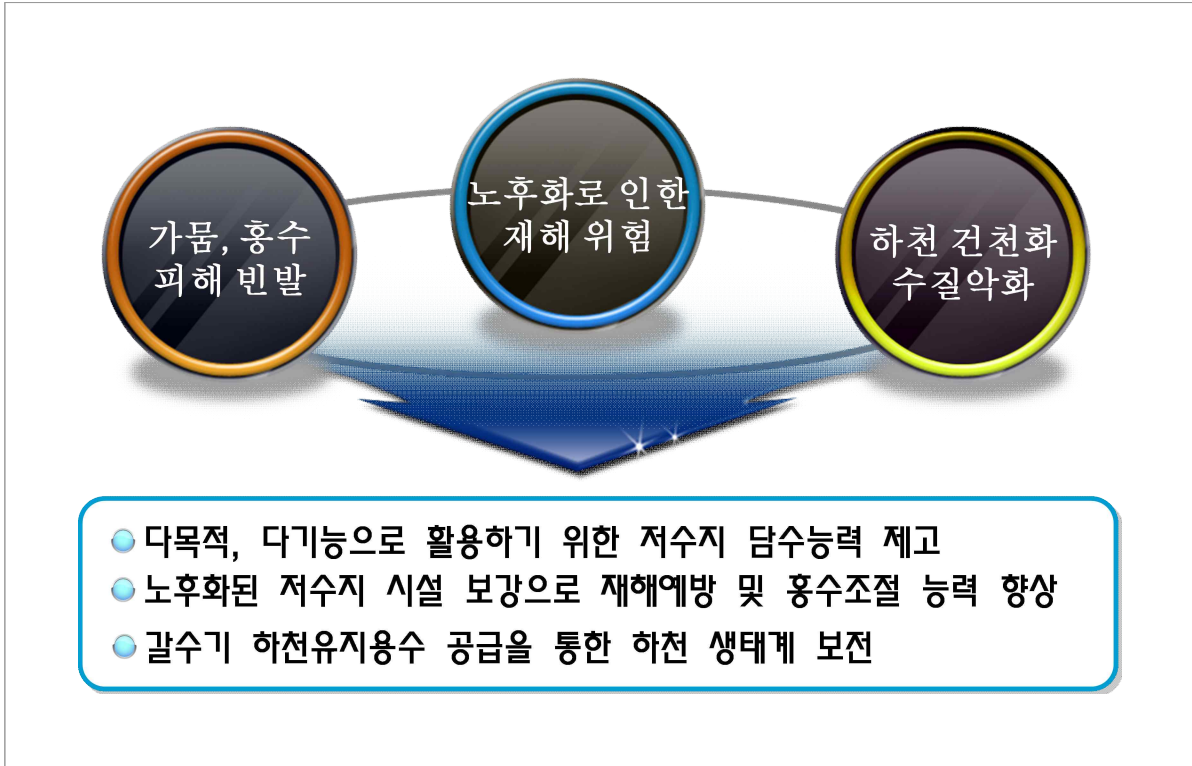
<그림 27> 저수지 치수기능 증대

### 3. 저수지 독높이기 및 농지 리모델링 사업 과거 경험

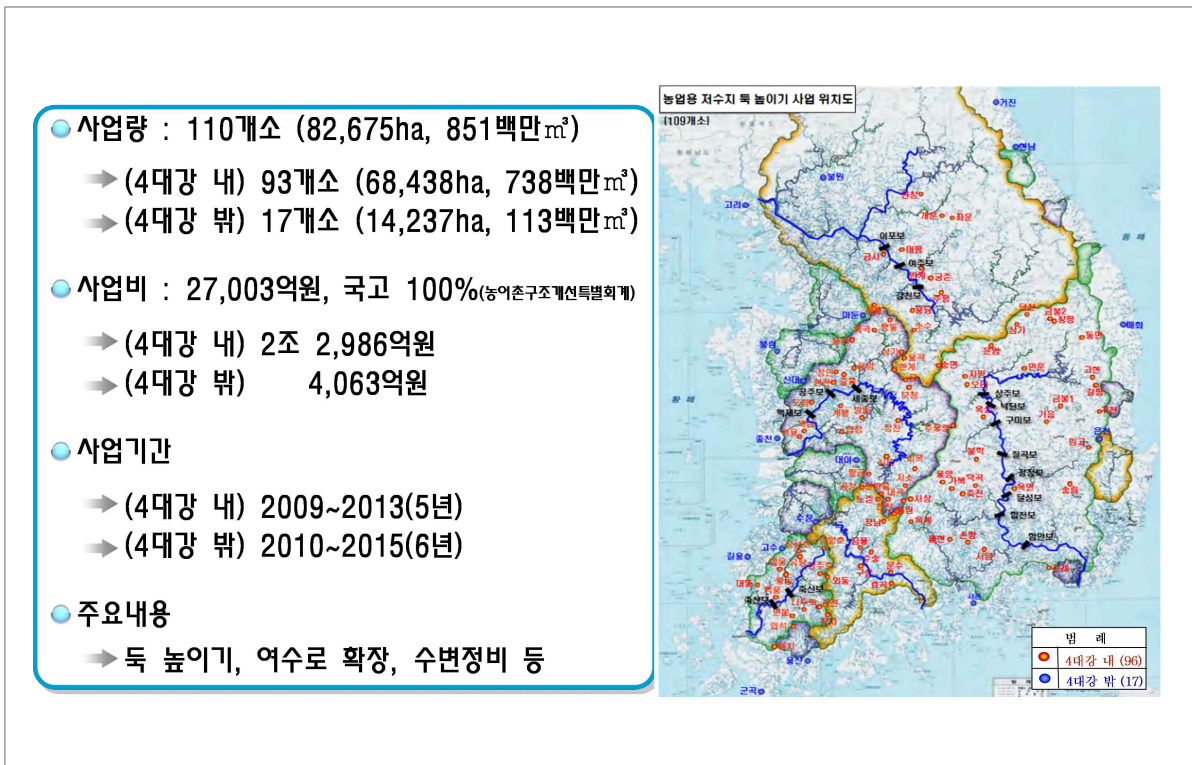
- 저수지 독높이기 및 농지 리모델링 사업은 기후변화에 따른 극한의 가뭄 및 홍수 예방, 수질 및 생태계 개선, 레저문화 공간 확충, 경제위기 극복 등을 위해 정부에서 2009년부터 5년간 추진한 4대강 사업의 일환으로 추진한 농업부문 사업이다.
- 본 사업들에 대한 추진내용과 효과는 다음절에 나타내었으며, 과거에 추진했던 저수지 독높이기 사업과 농지리모델링 사업을 실시한 경험을 살려서 현재와 미래의 기후위기로부터 농촌지역과 국가 전체의 안전한 홍수대응체계 마련에 필요한 지류지천 정비사업과 저수지 치수 기능 부여를 위한 독높이기 사업 추진이 필요하다.

#### (1) 저수지 독높이기 사업

- 가뭄 홍수 대응 저수지 담수 능력을 제고함으로써 홍수조절 능력을 향상시켜 저수지를 다목적 다기능으로 활용하고자 하였으며, 노후화된 저수지를 보강하여 재해 위험으로부터 안전성을 보장하고, 갈수기 하천유지용수 공급을 통한 하천 건천화로 인한 수질 악화를 저감하고 하천생태계 보전을 목표로 수행된 사업이다. 전국적으로 110개 저수지를 선정하여 사업비 2조 7천억원으로 2009년부터 2015년까지 추진되었으며, 저수지 독높이기, 여수로 확장, 수변정비 등을 실시한 사업이다.

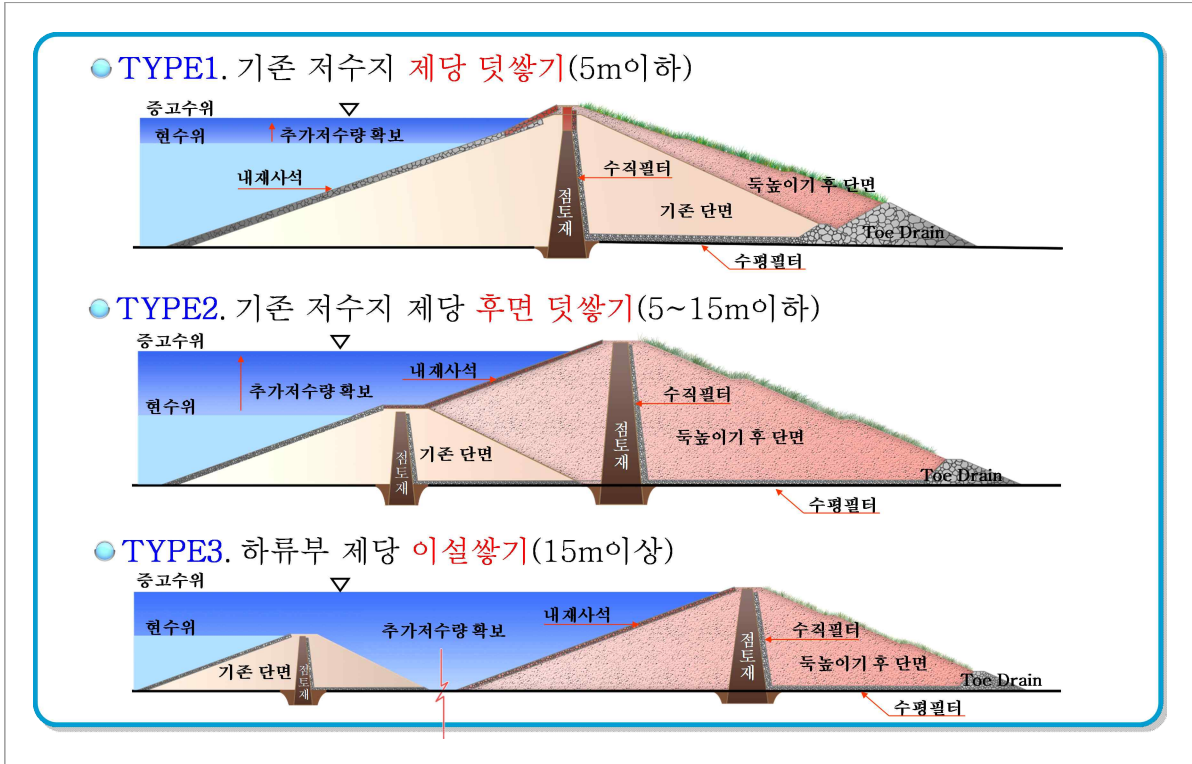


<그림 28> 저수지 뚝높이기 사업 목적



<그림 29> 저수지 뚝높이기 사업 내용





<그림 30> 저수지 독높이기 방식

- **기능과 안전 위주로 축조하던 저수지를 복합문화공간으로 조성**
- **주민의 심터와 농어촌 소득원으로 개발**
  - ➔ 저수지 독 높이기 사업시 수변공간에 조경, 주민편의시설 등 설치
  - ➔ 향토음식점, 토산품판매장 등 마을주민 공동 운영 등 주민 소득 창출 기여

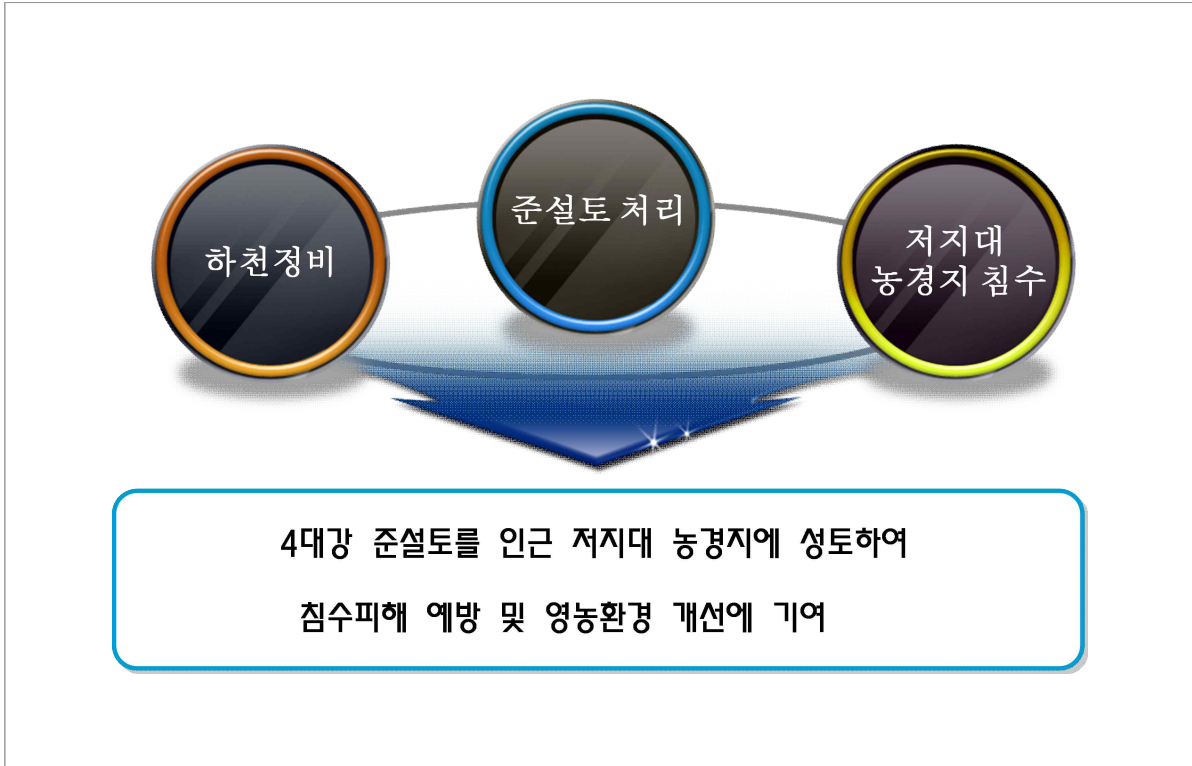


<그림 31> 저수지 복합문화공간 조성

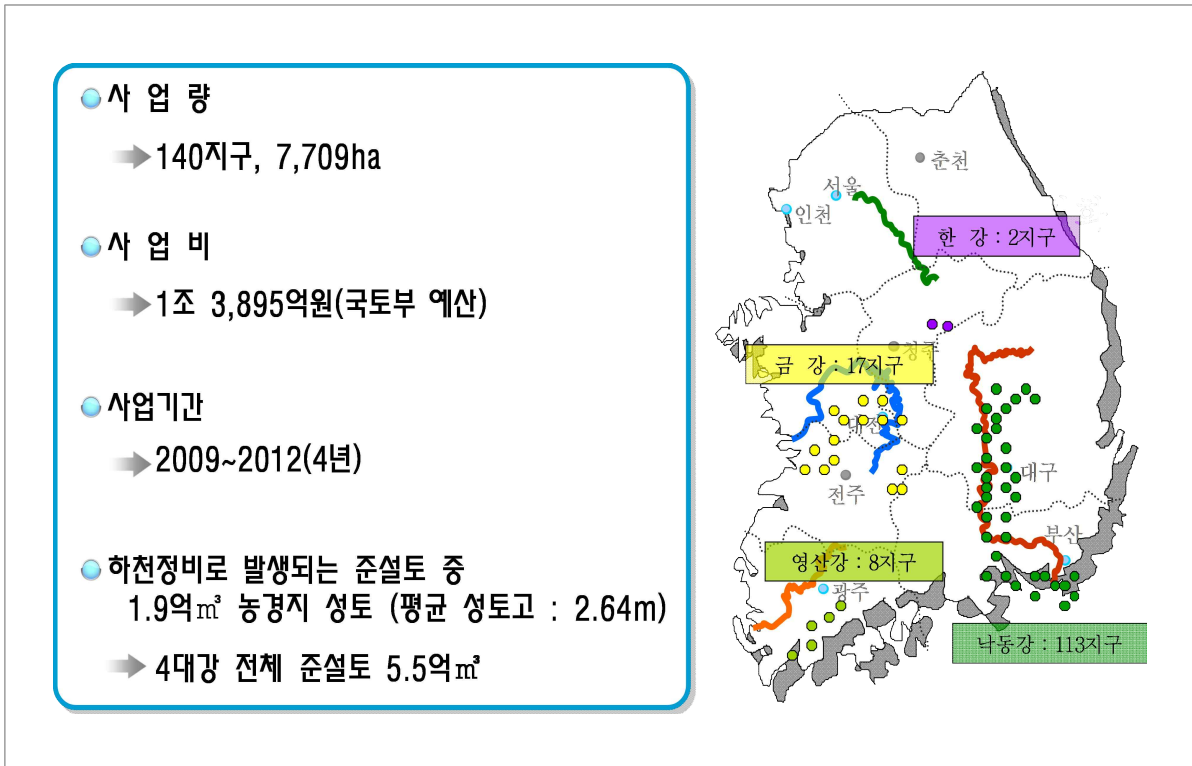
- 183.6백만 $m^3$ , 유효저수량 평균 194.4백만 $m^3$ , 사업후 제체고 및 홍수위 증가 효과는 제체고 평균 5.8m 증가와 홍수위 평균 4.5m 증가하였고, 홍수배제 능력은 평균 105.1 $m^3/sec$  증가하였다. (4대강사업조사평가 보고서, 2014). 또한 저수지 뚝높이기 사업 후 저수지 홍수조절 효과는 홍수기 여유 저수량이 55.9백만  $m^3$  증가하였으며, 홍수량 지체시간은 설계홍수량 200년 빈도 기준 평균 31.1분 증가하였으며, 수문이 있는 저수지의 경우 홍수기 제한수위 증가 효과가 있어 결론적으로 뚝높이기 사업을 통해 농업용 저수지의 저수용량과 홍수조절율이 증가하는 효과가 있었다. 또한 환경용수 방류 가능량이 307.8백만톤으로써 안정적인 농업용수 확보와 하천유지용수, 환경용수 등을 포함한 다양한 지역용수로 활용가능하게 된 점이 다(이관재 등, 2013).

## (2) 농지 리모델링사업

- 농지 리모델사업은 4대강 정비사업으로 발생하는 하천 준설토를 제방 인근 상습 저지대 농경지에 성토하여 농지 지반을 높임으로서 하천토량 처리 및 농경지 침수 피해를 예방하고 농지의 이용율을 높이는 등 영농환경을 개선하는 목표로 수행된 사업이다. 전국 총 140개지구 7,709ha 면적에 사업비 1조 3,900억원으로 2009년부터 2012년까지 4년동안 추진되었으며, 성토작업을 통해 농지 증고, 배수장 증설, 보강 및 신설, 용배수 체계 개선 등을 실시한 사업이다.
- 4대강 하천정비로 발생된 준설토 5.5억 $m^3$  중에 2.01억 $m^3$ 이 저지대 농경지 성토에 사용되었다. 농경지 평균 성토고는 2.64m 정도이며, 평균 성토고 2m 이하가 35.7%, 3m 이하가 37.2%, 4m 이하는 15.0%, 5m 이하는 9.3%, 5m를 초과하는 경우는 2.8%를 차지하였다.

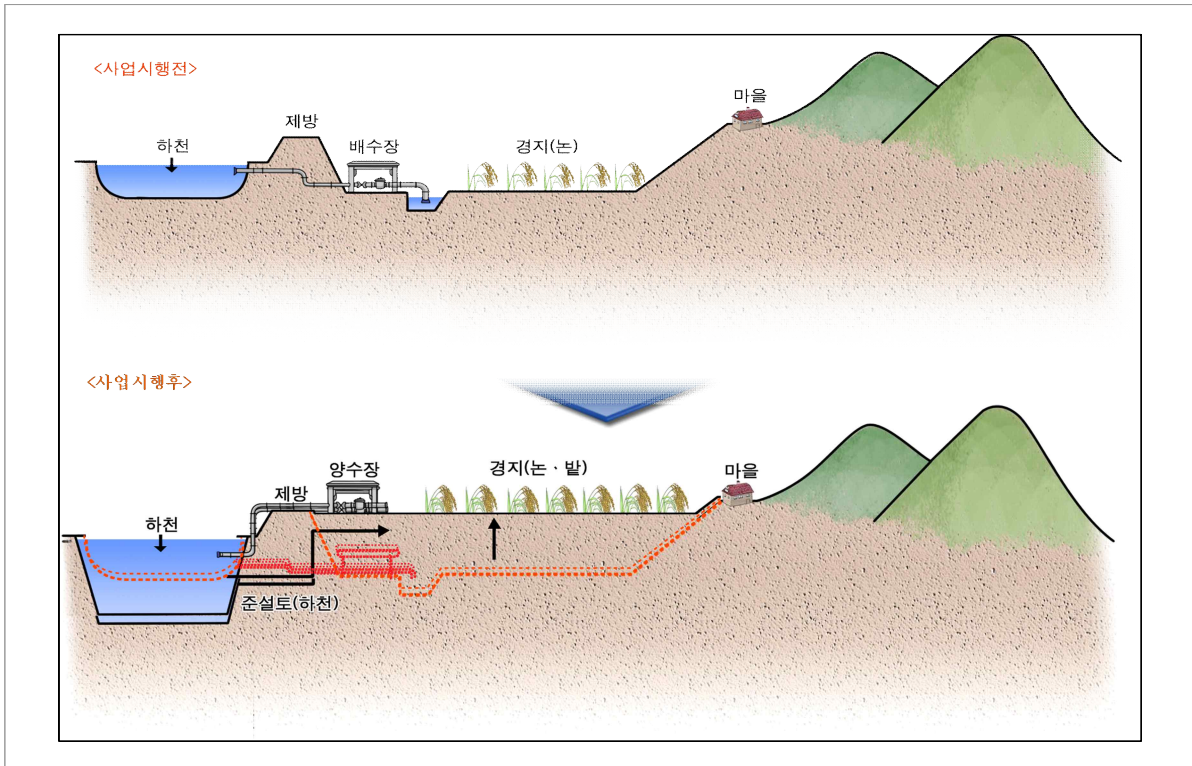


<그림 32> 농지 리모델링 사업 목적



<그림 33> 농지 리모델링 사업 내용





<그림 34> 농지 리모델링 방식



<그림 35> 농지 리모델링 사례 지구 (경남 창원 외산지구)

- 농지리모델링의 사업효과는 침수피해 완화 효과로서, 농경지 표고 상승 및 용배수 체계 정비로 배수 문제 개선과 침수피해 경감이다.
- 사업전 침수지구 120개소, 침수면적 2,782ha → 사업후 침수지구 1개소, 침수면적 5ha (준설토량이 계획 토량 보다 부족하여 충분한 성토고 미확보 지구는 침수개선 효과 제한적)
- 또한 농경지 리모델링 사업에 의한 배수 개선 효과로 원활한 배수가 가능하여 밭작물과 시설작물 재배가 가능하게 되므로서 이모작 가능 및 재배작목 선택의 폭이 다양하게 증가되는 효과가 있다. 이와 더불어 용수 체계의 정비로 용수의 안정적인 공급이 가능하여 안정적인 작물 생산이 가능하게 된 점이다.
- 지역 활성화 효과도 있었으며, 특히 배수 개선으로 작부체계 개선에 의한 작물생산 증가로 농가 소득이 증가하였으며, 만성적인 침수문제가 해결됨으로써 농경지 지가가 상승하는 효과가 있었다.

---

## 4. 농업용 저수지 다목적 활용 방안

---

### 1. 농업용 저수지 역할 재정립

#### (1) 농업용 저수지 기능

- 지금까지 우리나라의 식량안보를 이루는 데 큰 역할을 한 농업생산기반시설 마련은 한국이 경제부국으로 성장하는데 밑거름이 되었다. 이중에 농업용 저수지는 쌀 증산을 위한 농업용수개발에 있어 주요 시설로서의 역할을 담당하였으며, 그 동안 식량정책에 기반하여 저수지 시설을 포함한 수리시설이 확충되어 왔다.



<그림 36> 농업용수 개발사업 변천 과정

- 따라서 지금까지의 저수지 축조의 주목적은 식량생산을 위한 이수목적을 위주로 농업용수를 공급하기 위한 시설로 축조되었다. 따라서, 기존의 농업용 저수지는 홍수조절을 가지는 치수기능이 전무하거나 매우 제한적인 상태이다. 현재까지는 개보수 사업을 통해 어느 정도 홍수 위험성을 견뎌내고 있지만 미래에는 지금까지 경험하지 못한 유례없는 대규모 홍수 발생에는 농촌지역이 재해 위험에 고스란히 놓여 있다고 해도 과언이 아니다. 최근 몇 년간의 집중호우와 태풍이 연이어 한반도를 강타하였을 경우에 실제 많은 농촌지역에서 홍수재해로부터 안전하지 못했음을 경험하였다.

## (2) 농업용 저수지 축조 방식

- 저수지 축조 방식은 대부분이 필댐형식으로 축조되었으며, 점토, 모래 자갈 등의 천연재료를 사용한다는 점에서 경제적이며, 축조하는 곳의 지형이나 지질 등에 대한 제약조건이 비교적 적은 장점이 있는 반면 홍수의 제체 월유시 붕괴하거나, 강우에 의한 제체 세굴 및 유실되는 경향이 많고, 시공 후 상당기간 암밀로 인한 제체의 변형과 부등침하 발생 가능성이 높은 점이 단점이다.
- 현재까지 농업용 저수지를 필댐으로 축조한 가장 큰 이유는 위에서 언급한 여러 장점과 더불어 가장 경

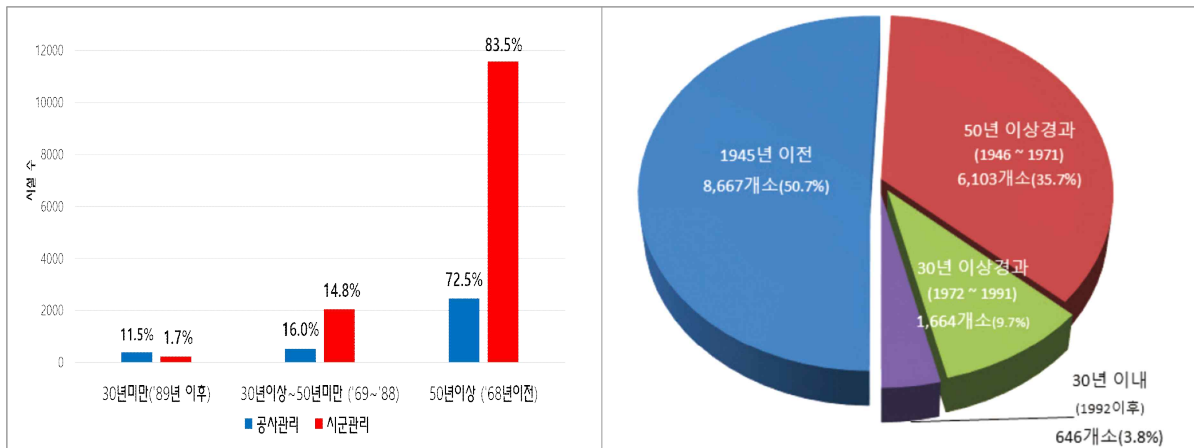
제적인 시공 방법이기 때문이다. 농업용 저수지 축조에 경제성을 고려할 때 지금까지의 쌀 생산 위주의 경제성 분석에서 탈피하여 농업용 저수지의 다원적 가치를 고려한 경제성을 반영하여 미래가치를 가지는 구조물로 개선할 필요가 있다.

<표 7> 농어촌공사 관리 저수지 축조 형식 (농어촌공사, 2023)

합계	필댐				콘크리트댐
	존형	균일형	코어형	표면치수벽형	중력형
3,428	3,197	149	63	13	6

(3) 저수지 노후화 문제 해결 및 다목적 · 기능화

- 현재 우리나라 저수지는 총 17,080개이며, 농업용수 공급량의 60% 이상을 담당하고 있는 중요한 생산기반시설이다. 그러나 이들 저수지의 대부분이 노후화로 재해에 취약하며, 관리 효율성이 떨어진다.
- 농업용 저수지의 경과연수는 공사관리 저수지의 경우 50년 이상이 72.5%, 30~50년 미만이 16%, 30년 미만이 11.5%를 차지하며, 시군관리 저수지의 경우 50년 이상이 83.5%, 30~50년 미만이 14.8%, 30년 미만이 1.7%를 차지한다. 저수지 내구연한 50년을 기준으로 공사 시군 합쳐서 내구연한이 경과한 저수지(50년 이상)는 81.3%를 차지하여 저수지 노후화의 문제가 심각함을 알 수 있다.

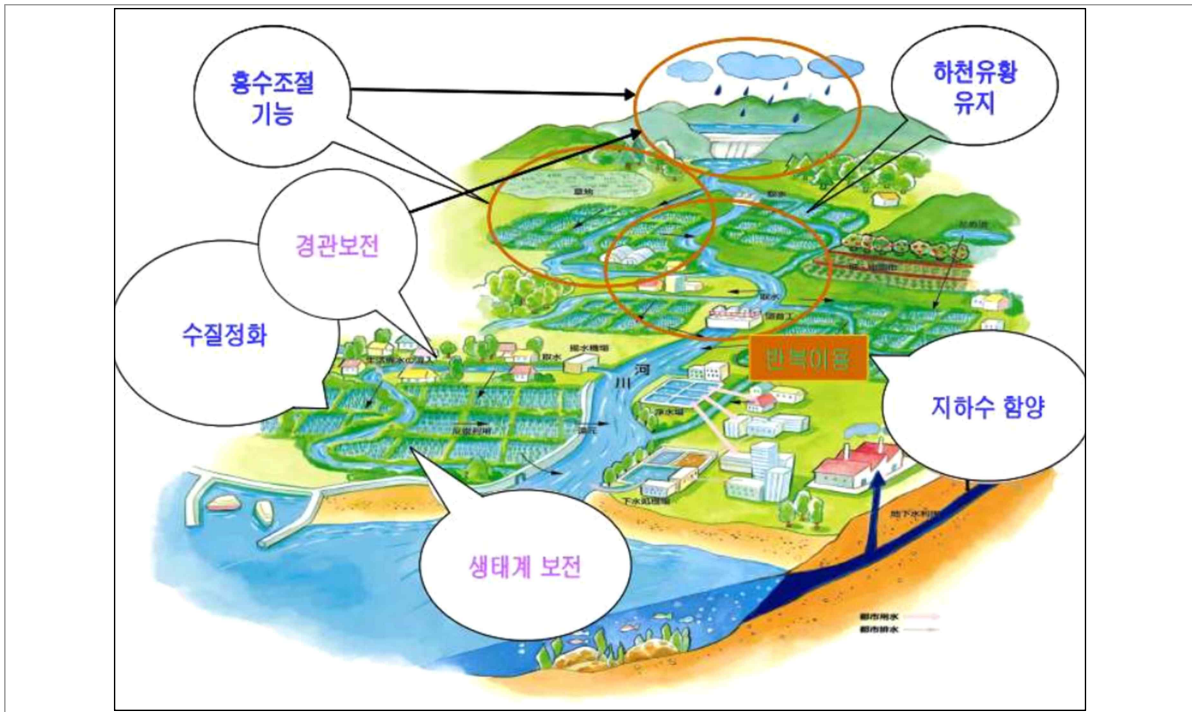


<그림 37> 저수지 경과연수 (농업생산기반통계연보, 2021)

- 산대저수지 붕괴사건(2013) 이후로 저수지 안전진단 강화, 30만톤 이상 저수지 대상 EAP 수립하고 있으며, 해마다 저수지 개보수 비용을 6천여억 정도 투입하여 수리 및 보수를 통해 연장 활용하고 있으나, 본래에 기능에만 충실한 개보수 사업이 추진되고 있는 실정이며, 미래를 대비한 저수지 시설 활용측면에서 아쉬움이 따른다.
- 향후에는 저수지 노후화 문제를 해결하고 미래의 다양한 물수요 증대에 부응하기 위한 안정적인 용수 확보와 기후변화에 탄력적으로 대응할 수 있는 재해에 안전한 치수기능 확보, 지역에서 요구하는 다양한



친수기능과 환경개선에 대응하기 위한 다목적 다기능의 미래지향적인 저수지 리모델링을 추구하기 위해 현재 실시하고 있는 개보수 사업의 취지와 방향성을 재검토할 필요가 있다.



<그림 38> 농촌용수 공익적 기능 (2007)

## 2. 농업용 저수지 가치 증진 다목적 활용 방안

### (1) 신 개념의 저수지 역할

- 앞절에서 언급한 바와 같이 농촌지역의 홍수재해 대응 뿐만 아니라 향후에 농업용 저수지의 역할은 이수 기능을 넘어서 치수, 친수, 환경 등의 다양한 기능을 가지는 저수지 효용성의 가치를 증가시키는 방향으로 전환하는 작업이 필요하다.
- 현재 쌀 생산 위주의 농업생산기반시설 구축 및 운영의 식량생산 목적으로만 활용되고 있는 농업용 저수지의 국가적 기반시설로서의 중요성에 대한 사회적 인식이 점점 저하되고 있다. 또한 저수지 노후화로 인한 농촌지역 잠재적 재해 발생 가능성과 만약의 경우 극한홍수 발생시 재해 경감을 위한 탄력적인 대처가 어려워 농촌지역 주민의 삶과 터전의 안전성 확보가 필요하다. 그리고 사회경제적 급격한 발전에 따른 지역의 다양한 물수요가 증가함에 따라 농업용 저수지를 활용한 안정적인 용수 공급원의 확보가 필요하며, 생활수준 향상에 따른 지역 주민의 삶의 질 향상을 위한 다양한 기능의 시설로 거듭날 필요가 있겠다.
- 따라서 저수지의 주기능을 식량 생산을 위한 농업용수 공급용으로만 활용하는데 국한하지 않고, 국민 안전 확보와, 농촌 삶의 질 향상, 농촌 어머니티 증대를 위해, 지역사회, 생활공간, 환경, 생태, 문화, 역사 등

을 아우르는 다양한 기능과 역할을 하도록 가치를 부여하여 저수지의 역할을 극대화 하므로써 농업용 저수지를 국가와 지역사회에 다방면으로 기여하는 주요 시설로 재탄생시킬 필요가 있다.

(2) 다양한 공익적 기능을 고려한 신기술 · 신개념의 저수지

- 저수지 시설의 활용 측면에서 미래지향적 형태로 바꾸기 위한 노력이 필요하다. 기능과 안전 위주의 변화없는 동일 방식 축조에서 향후는 다양한 가치 증진을 고려한 명품화를 추진하여 장기적으로 안전하게 다방면으로 효용성 있게 활용하는 것이 필요하다.
- 우리나라 경제 및 생활 수준에 부응한 농업용 저수지의 활용성을 제고하고, 저수지 시설투자 경제성 분석에 쌀생산을 기준으로 하기 보다는 다양한 다원적 가치 평가를 고려하여 저수지에 시설 투자가 필요하다. 그리고 지금까지 수행해온 단순한 저수지 시설 유지관리와 시설 개보수 수준에서 지역사회에서 요구하는 다양한 물서비스를 제공 하는 서비스 개념과 경영 차원에서 저수지를 관리하고 운영하는 수준으로 업그레이드 시킬 필요가 있다.
- 따라서 미래 세대에게 물려줄 저수지를 명품화하고 고급화하는 작업을 이제는 고민할 때이며, 새로운 패러다임의 저수지 축조 및 운영을 통해 지속가능한 물기반을 구축하는데 농업용 저수지가 주요한 시설로서의 역할을 할수 있도록 여러 기능을 부여하여야 하겠다.
- 미래지향적 저수지는 생산성, 안전성, 효율성, 예술성, 쾌적성 등을 모두 고려하는 것이며, 이를 통해 지역사회와 국가에서 중요한 시설로서 재탄생할 수 있도록 우리 모두의 의식 전환과 노력이 필요하다.
- 일본의 킨담의 사례에서 보듯이, 사다리꼴 CSG 공법을 세계 최초로 도입한 정교하고 아름다운 친환경적 신기술의 저수지 축조 방식과 856만톤의 중규모 댐으로서 이수, 치수, 환경 등을 고려한 다목적 역할을 하도록 설계하고, 지역주민 및 도시 방문객들과 함께하는 다양한 기능을 반영한 명품 저수지로 만들어 지역사회에 중요한 시설로 활용하고 있는 것이 우리보다 앞선 선진국이 지향하는 모델로 여겨진다.

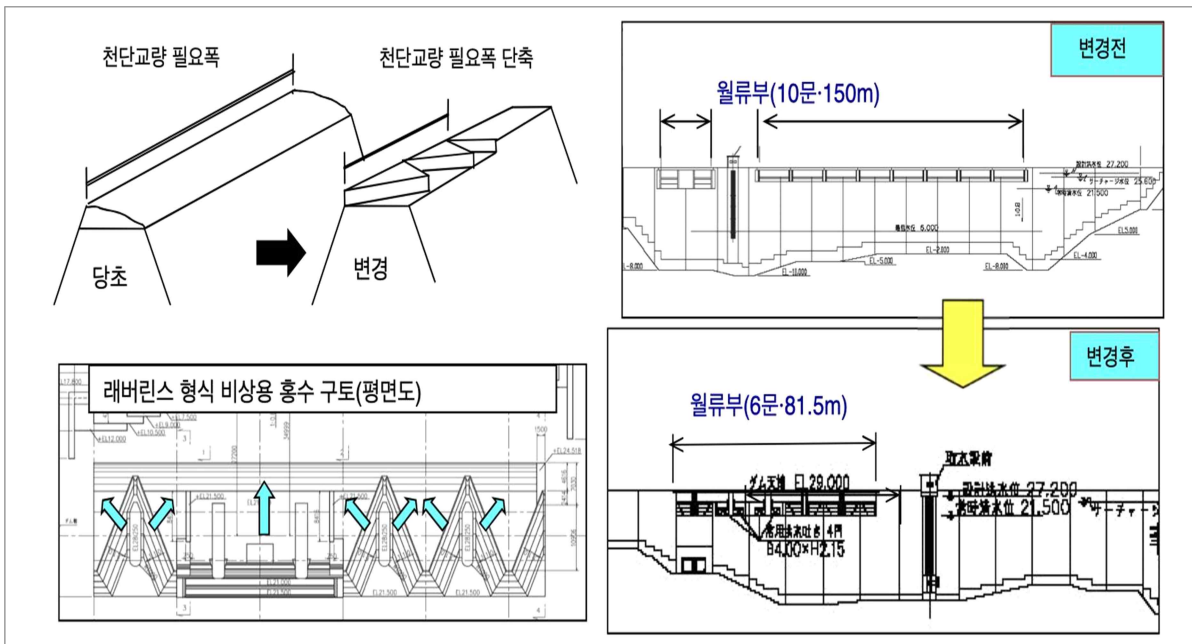


<그림 39> CSG 공법





<그림 40> 킨댐 전경 및 용수 배분 현황



<그림 41> 래버린스형식 여수로



<그림 42> 저수지 부대시설

킨댐의 오키나와 북부 댐 관광 및 지역권 프로젝트			킨 댐 자료관	
주요테마	오키나와 북부 댐 관광 댐 관리 시설 메뉴	지방권 지역에서의 프로젝트 등		
아외 학습 및 학습	댐 자료관(킨댐) 사업	<ul style="list-style-type: none"> <li>•네이처 미래관</li> <li>•억수천 맹그로브 카누 체험</li> <li>•킨발 훈련장 유적지 이용 계획</li> </ul>	킨댐 자료관	킨댐 자료관 이용 상황
<p>네이처 미래관</p> <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>네이처 미래관</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>네이처 미래관 코티지</p> </div> </div>			<p>킨발 훈련장 유적지 이용 계획</p>	
<p>억수천 맹그로브 카누 체험</p> <p>※네이처 미래관은 자연 체험형 숙박시설로, 코티지나 캠프장에서 숙박이 가능하며, 또한 억수천 맹그로브 카누 체험, 논 놀이, 색칠체험, 오키나와 섬 모조 예술 등의 프로그램을 이용자에게 제공.</p>			<p>※킨마을에서는, 2011년 7월에 반환된 억수천 하류 최안의 킨발 훈련장의 타지 이용 계획을 추진하고 있어, 지금까지 야구장, 축구장, 지역 의료 시설, 재활 관련 시설 등이 정비되어 있다.</p>	

출처 : 북부 댐 통합 관리 사무소 HP, 오키나와 북부 댐 관광과 지역 프로젝트와의 연계, 네이처 미래관 HP, 킨마을 HP, 홍보 킨

<그림 43> 지역 관광프로그램과 연계한 댐 관광

## 5. 결론 및 제언

- 고대로부터 우리의 선조는 치산치수를 중요시 여겼으며, 적재적소에 저수지 축조를 통해 그 시대 여건에 적합한 슬기로운 물관리를 해 왔다. 최근 기후변화에 의한 극한홍수에 대비하여 저수지의 기능이 단순히 이수기능에만 국한하지 않고 치수기능을 부여하여 지혜롭게 홍수관리에 활용한다면, 국가차원에서도 시설의 효율적 이용과 더불어 통합물관리 미래 가치 실현에도 이바지할 수 있을 것이라 여겨진다.
- 본 고에서는 우리사회 전반을 위협하는 기후위기에 대응하기 위해 사전예방 차원의 선진국형 재해관리의 중요성을 제기하였으며, 해마다 반복되고 있는 홍수재해에 대한 근본적인 해결방안으로 지류지천 정비사업과 농업용 저수지의 홍수조절 기능 부여로 국가차원의 치수목적의 중요한 시설로 활용할 것을 정책적으로 제안하였다.
- 지역주민의 삶과 밀접한 관계가 있는 지류지천의 홍수대응은 지역주민의 생명과 생활터전을 지키기 위해 반드시 필요한 만큼 본류 위주의 치수정책에서 지류지천의 치수정책을 지금보다 더 강화할 필요가 있다. 또한 미래 기후위기로부터 지류지천의 홍수제어 기능을 가지기 위해서는 전국에 산재해 있는 농업용 저수지를 잘 활용한다면, 홍수조절용 신규댐을 축조하기 위해 투입해야 하는 시간과 재정에 비해 상당히 효율적이고 실효성 있는 방안이 될 것으로 여겨진다.
- 유역단위의 체계적이고 선제적인 홍수대응을 위해 지류지천의 본류 수준의 홍수 안전성 확보와 쾌적한 생활환경 조성을 위해 체계적이고 지속적인 지류지천 정비가 필요하다. 또한 지류지천에 위치한 농업용 저수지의 독높이기 사업을 통해 하류 홍수제어와 본류와 연계한 홍수분담 역할을 하는 것이 필요하다.
- 더 나아가 농업용수 공급기능 위주로 활용되고 있는 현재의 농업용 저수지 역할을 다목적 다기능화로 확대하여 농업용 저수지 효용 가치를 증진함으로써 국가와 지역사회를 위해 다방면으로 기여하는 주요시설로서 활용할 것을 제안한다. 이는 치수 목적뿐만 아니라 이수 안전도를 증대하고, 지류지천의 하천유지 용수 공급에 의한 수질개선, 지역에 다양한 물수요 측면에서도 이바지할 수 있는 실익을 도모할 수 있다.
- 농업용 저수지의 다목적 다기능 활용을 위해서는 우선적으로 농업인들의 이해와 국민적 공감대 형성이 선행되어야 하며, 사업추진을 위한 특별법 마련을 통해 적정 예산이 함께 수반되어야 하겠다.

## 참 고 문 헌

- 국립기상과학원, 2018, 한반도 100년의 기후변화
- 국립기상과학원, 2022, SSP 시나리오 남한상세 기후변화 시나리오를 통한 우리나라 미래 전망, 기후연구
- 기상청, 2022 기상청 보도자료
- 농식품부, 2021, 농업생산기반통계연보
- 오윤경, 류현숙, 박상진, 2023, KIPA Issue Paper, 반복적 수해발생의 현황과 문제 진단: 관리적 관점을 중심으로
- 이관재 등, 2013, 농업용 저수지 뚝높이기 사업의 홍수조절효과 분석, 한국물환경학회
- 4대강사업조사평가단, 2014, 4대강사업조사평가보고서
- IPCC, 2021, 제6차 보고서

제  
4  
장

## 저수지 운영 자료 생산 방안

후쿠시마대학교 신 문 호







## 제4장

## 유역 치수

## 1. 유역치수

- 본장은 일본 국토교통성(국토교통부)의 「유역치수의 기본적인 개념, 2022년」, 농림수산성(농림축산식품부)에서 발행한 「논담 안내서, 2022년」 등의 공개자료 및 츠쿠바대학 사토마사요시 명예교수의 논문을 참조하여 작성하였으며 그림, 표는 해당 자료에서 인용하여 일부 수정하였다.

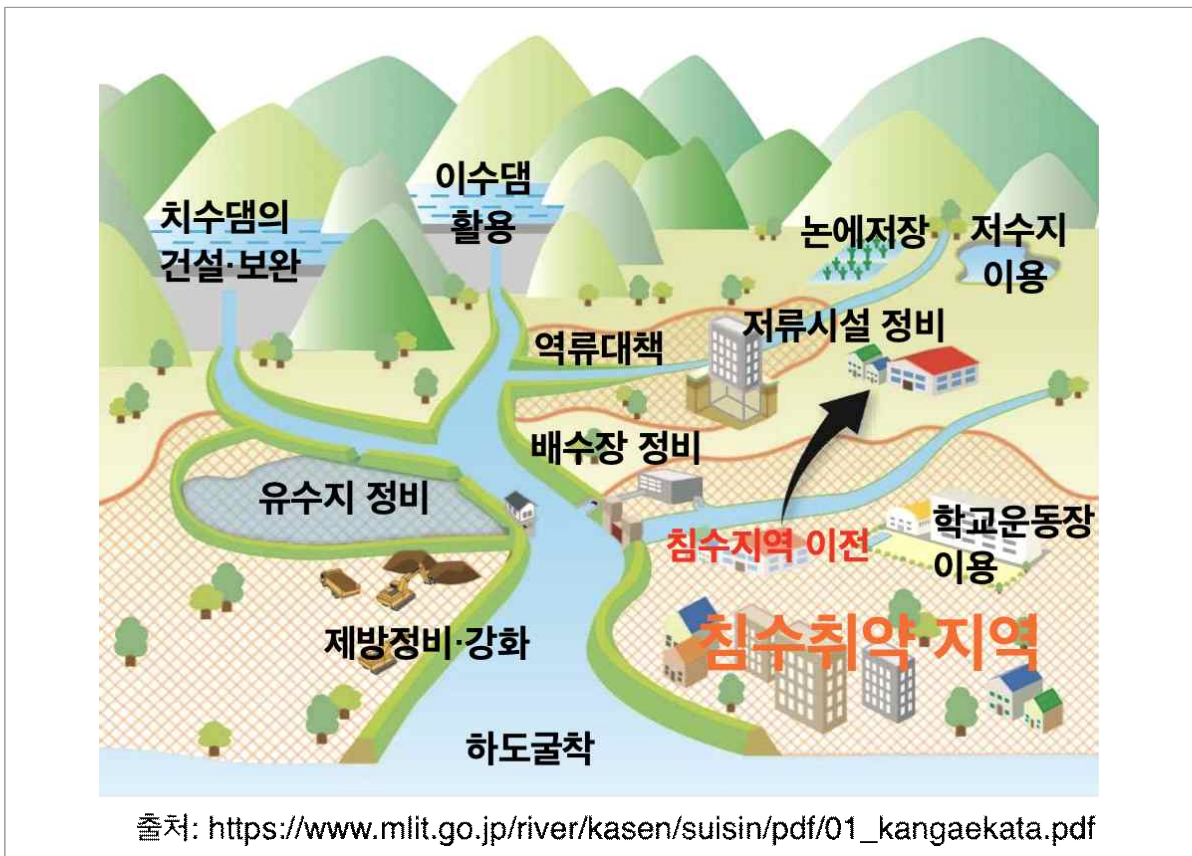
## 1. 유역치수의 개요

- 최근 일본에서는 2018년 7월 집중호우, 2019년 동일본 태풍(제19호) 등 전국 각지에서 집중호우 등으로 인한 수해와 토사재해가 발생하는 등 인명 및 사회경제에 막대한 피해가 발생하고 있다.
- 이를 바탕으로 국토교통성 대신(장관)은 사회자본정비심의회 의장에게 '기후변화를 고려한 수해 대책의 방향에 대해' 자문을 받아 2020년 7월에 보고서를 정리하였다.
- 이 보고서를 바탕으로 기후변화에 따라 빈번히 발생하고 심화되는 수해, 토사재해 등에 대해 방재 및 재해 예방이 주류가 되는 사회를 목표로 '유역치수' 개념을 바탕으로 제방 정비, 댐 건설, 시설물의 갱신 등의 대책을 더욱 가속화하는 한편, 집수역에서 범람역에 이르는 유역의 모든 관계자가 수해 대책을 추진하기로 하였다.
- 유역치수란 기후변화로 인한 수해의 심화, 빈발화 등을 감안하여 제방 정비, 댐 건설 및 재생 등의 대책을 더욱 가속화하고, 집수구역(빗물이 하천으로 유입되는 지역)에서 범람구역(하천 등의 범람으로 침수가 예상되는 지역)에 이르는 유역에 걸쳐 모든 관계자가 협력하여 수해대책을 수립하는 개념이다.
- 수해대책을 '기후변화에 따른 강우량 증가 등을 고려한 것'으로 재검토하고 집수구역과 하천구역 뿐만 아니라 범람지역을 포함한 하나의 유역으로 보고 지역 특성에 따라 ① 범람을 최대한 방지하고 줄이는 대책, ② 피해 대상을 줄이기 위한 대책, ③ 피해 경감, 조기 복구 또는 복구를 위한 대책 등, 하드웨어와 소프트웨어의 일체형으로 다층적으로 추진한다.
- '유역'에 내린 폭우는 하천으로 흘러 들어 홍수가 된다. 이를 그대로 받아들여 댐과 제방 등의 정비를 통해 안전하게 바다로 흘러내리게 하는 것이 전통적인 하천 정비 사업이었다. 그러나 현재 여러 가지 요인으로 인해 '유역'에서 나오는 홍수를 기존의 정비방식으로 처리하기 어려운 상황이 발생하였고 제방 붕괴, 홍수 범람 등이 발생했을 때 수해가 극심해지는 상황이 되었다고 볼 수 있다.

- 여기서 '유역'이란 하천의 자연유역을 의미하는 것이 아니라 그 중 하천구역을 제외한 부분을 말한다. 즉, 종래에는 하천을 관리함에 있어 하천구역과 그 외의 '유역'을 분리하여 생각하고 하천 부문에서는 '유역'에서 유입되는 일정 규모의 홍수(계획홍수)까지는 하천구역 내에서 처리한다는 원칙과 목표를 가지고 하천 정비를 담당해 왔다.
- 이 '유역'은 홍수를 내는 것이고 하천은 홍수를 받아들이는 것이라는 구분 및 단방향의 관계를 바꾸어 앞으로는 "하천에서 '유역'에 대해 같은 비가 와도 홍수 유출이 억제될 수 있도록 하며, 침수 등에서도 수해가 작아질 수 있도록 고안하고 유역 전체에서 모든 관계자와 협력하면서 수해 억제는 큰 과제에 대응한다"라는 것이 「유역치수」이다.
- 유역치수(流域治水)라는 용어는 2014년 3월 시가현 가다 유키코(嘉田由紀子) 당시 지사(도지사)의 강력한 정책으로 공표·시행된 '시가현 유역치수 조례(시가현, 2014)에서 찾아볼 수 있다. 이에 앞서 2012년 시가현은 「시가현 유역치수 기본방침」(滋賀? `2012)을 정하고, 그 안에서 유역치수를 「어떤 홍수에도 ① 인명피해를 피하고(최우선), ② 생활재건이 곤란한 피해를 피하기 위해 자조·공조가 일체화하여 강 안의 대책과 더불어 강 밖의 대책을 종합적으로 추진하는 치수"라고 정의했다.
- 국토교통성과 현에서는 치수상의 입장이 다르기 때문에 같은 '유역치수'라는 용어라도 그 내용이 동일하다고는 할 수 없지만, 국토 교통성도 위의 ① 및 ②를 표방하고 있어 사고방식으로는 두 '유역치수'에 공통된 흐름이 있다고 보아야 할 것이다.
- 현재, 2019년 동일본 태풍으로 큰 피해가 발생한 7개 수계(아부쿠마강, 나루세강 수계 요시다강, 쿠지강, 나카강, 아라강 수계 이리마강, 타마강, 센구리강을 포함한 시나노강)에 대해서는 재해 방지를 위해 긴급히 실시해야 할 대책을 밝힌 「긴급 수해 대책 프로젝트」에 근거하여 국가, 도도후현(서울시, 광역시, 도), 시정촌(시군) 뿐만 아니라 유역의 다양한 관계자가 연계하여 '유역치수'의 개념을 도입한 대책을 선제적·집중적으로 실시하고 있다.
- 또한 7대 수계 이외의 지역에서도 언제 어디서든 집중호우로 인한 재해가 발생할 수 있는 상황이기 때문에 유역 전체에서 시급히 시행해야 할 하천대책, 유역대책, 소프트대책으로 구성된 '유역치수 프로젝트'를 국가, 도도부현(서울시, 광역시, 도), 시정촌(시군) 등으로 구성된 협의회를 설치하여 국민에게 알기 쉽게 제시하고 있다.
- '유역치수'는 하천, 하수도 등의 관리자가 주체가 되어 시행하는 기존의 치수대책에 더해, 집수구역과 하천구역 뿐만 아니라 범람지역을 포함한 하나의 유역으로 보고 국가, 도도부현, 시정촌, 기업·주민 등 모든 관계자가 함께 참여하여 아래의 대책을 을 종합적이고 다층적으로 추진하는 것이다(그림1-1).
  - 범람을 최대한 방지·감소시키기 위한 대책
  - 피해 대상을 감소시키기 위한 대책
  - 피해 경감, 조기 복구·부흥을 위한 대책
- 전국 109개의 1급수계 등(2급수계 포함)에서 모든 관계자의 협업을 통한 '유역치수 프로젝트'로 수립·공표하고 본 프로젝트를 실행함으로써 '유역치수'를 추진한다.
- 또한 '유역치수'의 실효성을 높이기 위해 유역치수 관련법에 따라 국가, 도도부현, 시정촌 등 관계자가 한

자리에 모여 빗물 저류 침투대책 강화, 침수지역 토지이용 등을 협의하는 '유역수해대책협의회' 제도를 신설하고, 협의결과를 유역수해 대책계획에 반영하여 다양한 주체가 유역 수해대책을 확실하게 시행하는 등 유역 수해 계획·체제를 강화한다.

- 그동안 치수는 국토교통성, 이수는 농림수산성에서 담당하였으나 '유역치수'의 도입으로 인하여 농림수산성에서도 저수지의 사전방류, 논댐 등의 치수대책을 원활하게 수립하게 되었다.



<그림 1-1> 유역치수의 개요

## 2. 논댐을 이용한 홍수조절

- 본장은 일본 농림수산성(농림축산식품부)에서 발행한 「논댐 안내서, 2022년」, 후쿠시마현의 「논댐 기술 매뉴얼, 2022년」, 국토교통성(국토교통부)의 「유역치수의 기본적인 개념, 2022년」 등의 공개자료와 니이가타대학의 요시카와 교수 연구팀의 논문을 참조하여 작성하였으며 그림, 표는 해당 자료에서 인용하여 일부 수정하였다.
- 최근 지구온난화에 따른 기후변화의 영향 등으로 홍수 등으로 인한 수재해가 빈발하고 심해지면서 수재

해 위험의 증가가 우려되는 가운데, 일본에서는 농사를 지으면서도 지역 방재와 재해 경감에 기여할 수 있는 '논댐'의 활동이 주목받고 있다.

- 논은 식량을 생산하는 본연의 기능 외에도 다면적인 기능 중 하나로 폭우 시 빗물을 일시적으로 저장하고 시간을 두고 천천히 하류로 흘려보내는 기능(이를 빗물 저류기능이라고 한다)으로 홍수 피해를 예방하고 완화하는 역할을 한다.
- '논댐'은 작은 구멍이 뚫린 조정판 등 간단한 장치를 논 배수물꼬(낙수구)에 부착해 유출량을 억제함으로써 논에 빗물 저류기능을 강화해 주변 농경지 및 마을, 하류 지역의 침수 피해 위험을 줄이는 효과가 있다. 대규모 시설을 조성할 필요가 없고 비용이 적게 들며 효과가 빠르게 나타나는 것이 큰 특징이며 각지에서 시행이 확대되고 있다.
- '논댐' 사업을 시작할 때는 '논댐'의 효과, 농작물 수확량 및 품질에 미치는 영향, 사업에 필요한 노력 등의 정보를 농업인, 지역주민, 행정기관, 토지개량구(한국의 구토지개량조합) 등 농업 관련 기관, 방재 관련 기관 등 모든 관계자가 공유하는 것이 중요하다. 관계자 간 협의를 통해 추진 내용 및 추진 체제를 정비하는 과정을 거치면 관계자들 간의 이해가 깊어지고 유대감이 강화되어 지역 전체의 협업을 통한 지속적인 추진을 실현할 수 있다.

## 1. 논댐 안내서 작성의 목적

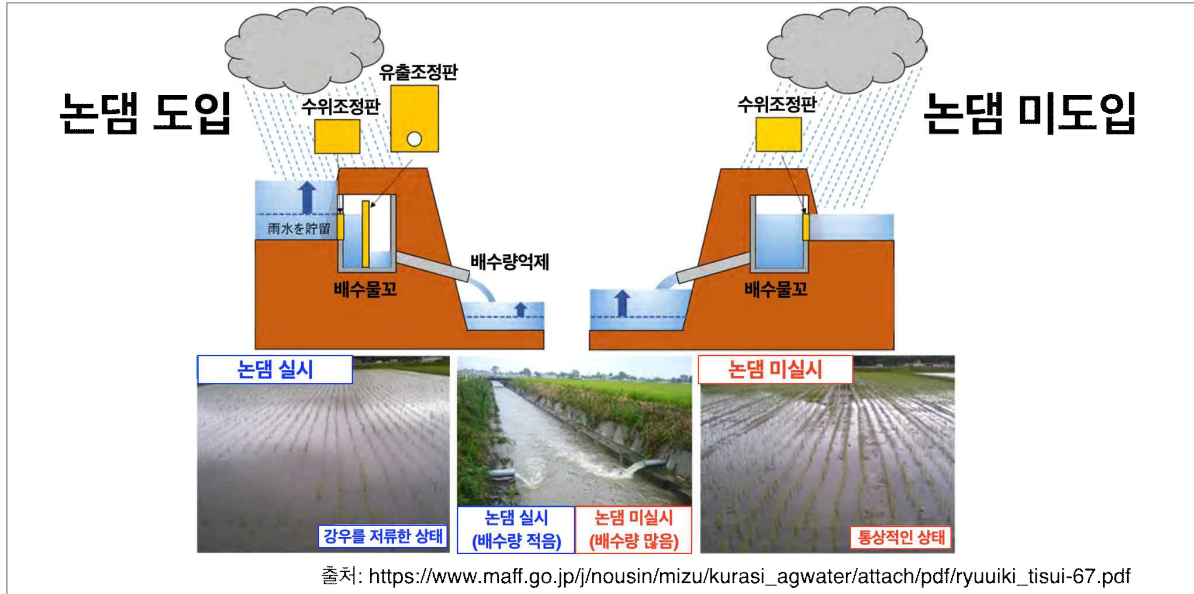
- '논댐' 사업을 도입하고 지속적으로 시행하는데 있어 지역 내 논의의 기초가 되는 정보와 기본적 사고방식을 정리하여 '논댐' 사업에 참여하는 모든 관계자에게 참고가 될 수 있도록 하는 것을 목적으로 일본 농림수산성에서는 논댐 안내서(2022년)를 발행하였다. 안내서 작성에 있어서는 전문적 지식을 가진 학식 경험자와 '논댐'을 실시하고 있는 지역 지자체 등의 실무 경험자, 국토교통성 물관리·국토보전국, 국토기술정책종합연구소, 국립연구개발법인 토목연구소, 국립연구개발법인 농업·식품산업기술종합연구기구, 농림수산성으로 구성된 「논이 가지고 있는 빗물 저류 기능의 활용을 위한 검토회」에서의 논의와 의견을 바탕으로 농림수산성이 정리하였다.
- 수해로 이어질 수 있는 폭우는 언제 발생할지 알 수 없다. 따라서 지역이 '논댐'의 효과를 보기 위해서는 지역에서 농업이 지속적으로 운영되고 농지가 건강하게 보전되며 '논댐' 사업이 지속적으로 진행되어야 한다. '논댐'을 통해 지역 농업과 방재·감재에 대한 이해가 깊어지고 지역 주민과 다양한 관계자들 간의 연결이 강화될 필요가 있다.

## 2. 논댐의 개요

### (1) 논댐이란?

- '논댐'은 '논댐'을 실시하는 지역과 그 하류 지역의 침수 피해 위험을 줄이기 위한 노력이다. 그림2-1 처럼 논 배수물꼬(낙수구)에 유출량을 억제하기 위한 수위조정판(Weir board) 이나 작은 구멍이 뚫린 유출조정판 등의 기구(이하, 유출량 조절기구)를 설치하여 논에 내린 빗물을 시간을 두고 천천히 배수시켜 수로나 하천의 수위 상승을 조정함으로써 수로나 하천에서 넘쳐나는 물의 양과 범위를 억제할 수 있다. 논댐은

2002년 니가타현(新潟) 무라카미시(村上市) 하류 지역 마을에서 상류 지역 마을에 홍수피해를 호소하면서 시작되었다.



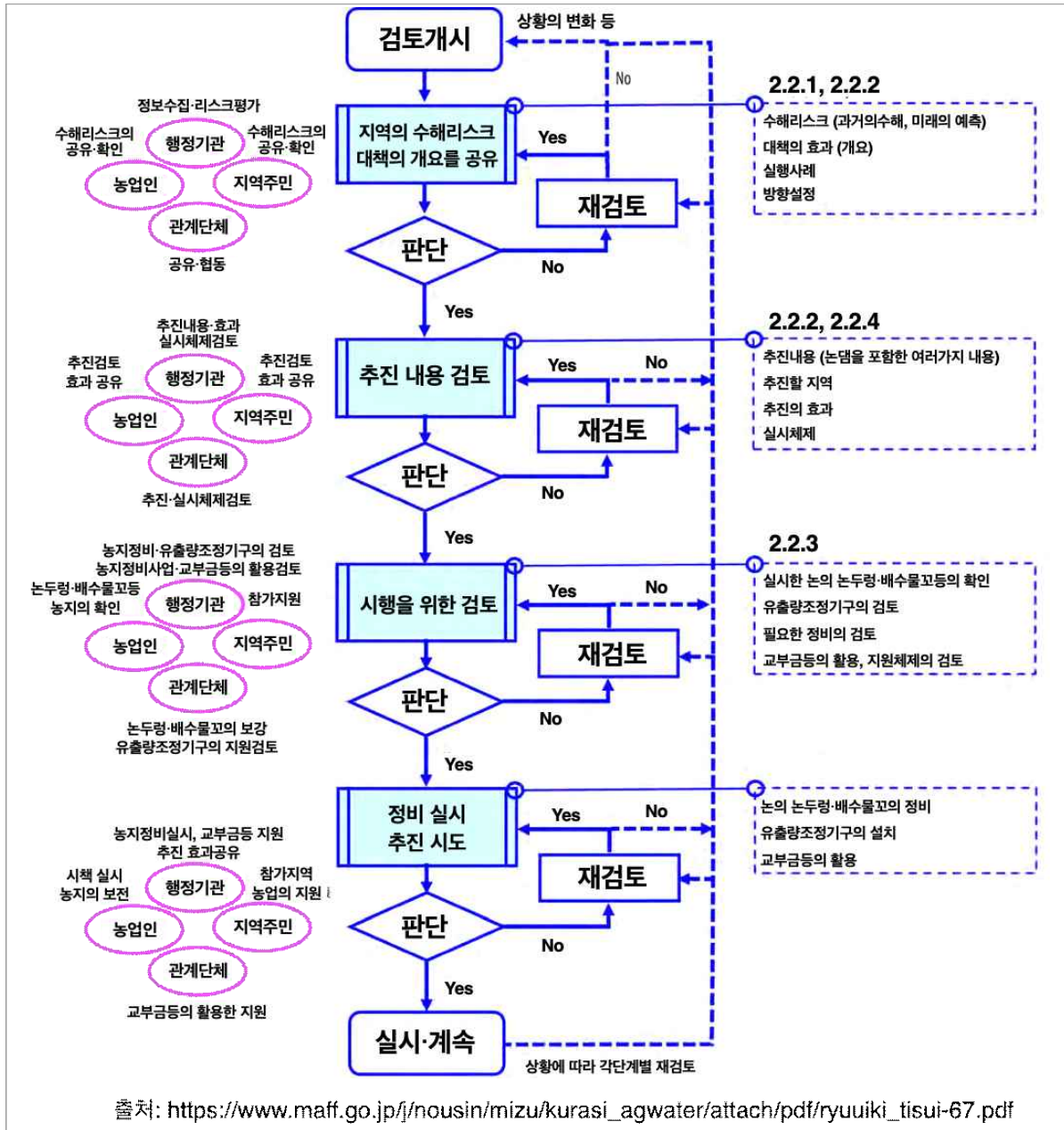
<그림 2-1> 논댐을 실시하고 있는 논 배수물꼬(낙수구)

- '논댐'이라는 단어는 이해하기 쉽고 흥미를 불러 일으키는 동시에 오해를 받기도 한다. 오해하기 쉬운 아래의 사항에 대해 '논댐'의 관계자들 간에 공통된 이해를 도모한 후 지역이 하나가 되어 대처하는 것이 중요하다.
  - 논댐은 논 배수물꼬에 조정판 등을 설치하는 시책(활동)이며 댐이나 유수지와 같은 시설이 아니다. 안내서에서는 시설물이 아닌 노력이라는 의미를 담아 '논댐'에 '댐(논댐)'이라는 표기를 붙이고 있다. 지속적인 노력을 통해 효과를 지속적으로 발휘할 수 있기 때문에 지자체 등 행정기관을 중심으로 지속적인 지원과 다양한 관계자가 협력하는 지역 전체의 노력으로 시행하는 것이 중요하다.
  - 논에 내린 비를 저장하는 '논댐'은 논에 내린 비를 일시적으로 저장하는 활동이다. 배수로나 하천에서 논으로 물을 끌어들이는 것이 아니다.
  - 농작물 생산에 영향을 주지 않는 범위에서 실시하는 '논댐'은 농작물 생산에 영향을 주지 않는 범위에서 농업인의 협조를 얻어 실시하는 사업이다. 콩이나 밀 등 침수의 영향을 많이 받는 작물을 재배하는 논에서는 실시할 수 없다. 또한, 농작업에 미치는 영향과 노력의 수고를 최소화하기 위한 노력이 필수적이다.

(2) 논댐의 기본 개념 및 도입 검토방법

- 새롭게 '논댐'을 추진할 경우, 행정기관을 중심으로 농업인, 지역주민, 관계기관과 협의하여 지역 전체의 노력으로 합의점을 도출하는 것이 중요하다. 그림2-2에 기본적인 검토의 흐름을 보여주고 각 단계별로 검토할 내용을 (2)-1 이후부터 제시하고자 한다.





<그림 2-2> 농담 실시를 위한 흐름도

(2)-1. 예상되는 수해 리스크

- '논담'은 배수로, 하천 등의 유허능력이나 배수장의 배수능력을 초과하는 강우량이 발생하더라도 배수로 나 하천의 수위 상승을 조정하여 범람하는 물의 양과 범위를 억제함으로써 피해를 줄일 수 있다. 구체적으로 다음과 같은 수해 위험에 대한 효과를 기대할 수 있다.

① 실시 지역의 밀, 콩 등의 피해

- '논담'의 효과는 우선적으로 사업을 시행하는 논 배수로에서 발휘된다. 밀과 콩은 습해에 약하고, 습해를 받으면 발아불량이나 생육불량으로 인해 수확량과 품질이 저하되기 때문에 논에서는 배수대



책을 철저히 하는 것이 중요하다.

- 사진2-1과 같이 '논댐'을 설치하면 배수로의 수위 상승을 조정하고 배수로에서 넘쳐흐르는 물의 양과 범위를 억제할 수 있어 밭, 콩 등 습해에 취약한 작물의 피해를 줄일 수 있다.



(a) 논댐 미실시

(b) 논댐 실시

<사진 2-1> 논댐사례 (니이가타현 카메다코우 토지개발구 제공)

② 실시 지역 및 하류 지역의 배수로와 소하천의 침수 피해

- "논댐"은 우선 시행하는 지역의 배수로와 소하천에서 효과를 볼 수 있으며 나아가 하류 지역의 배수로와 소하천에도 효과를 발휘한다. 예를 들어, 사진2-2에서 보는 바와 같이 배수로나 소하천의 폭이 좁은 곳이나 굴곡부 등 유하능력이 낮은 곳에서 물이 넘쳐 주변 농경지, 주택 등에 피해가 발생할 우려가 있다. '논댐'을 설치하면 시행 지역 뿐만 아니라 하류 지역의 배수로와 소하천의 수위 상승을 조정하여 범람하는 물의 양과 범위를 억제할 수 있기 때문에 침수 피해를 줄일 수 있다.



<사진 2-2> 논댐사례 (니이가타현 카메다코우 토지개발구 제공)

### ③ 본류와의 합류부 침수 피해

- 사진2-3와 같이 배수로나 소하천과 본천의 합류부에서도 침수피해가 발생할 우려가 있다. 합류부에 수문이 있고 배수장 시설이 정비되어 있는 경우 폭우로 인해 본천 수위가 높아지면 본천의 역류를 막기 위해 배수문을 닫고 배수장에서 배수를 실시한다.
- 배수장 용량을 초과하는 강우가 내릴 경우 침수 피해가 발생할 우려가 있지만 '논댐'을 통해 배수로나 소하천의 수위 상승을 조정하고 넘쳐 흐르는 물의 양과 범위를 억제함으로써 피해를 줄일 수 있다.
- 합류부에 수문이 없는 경우 본류 수위가 높아지면 배수로와 소하천의 흐름이 본류의 영향을 받아 합류부에서 물이 넘쳐 피해가 발생할 우려가 있다. '논댐'을 설치하면 배수로와 소하천의 유량을 억제하는 효과가 있어 범람하는 물의 양과 범위를 줄이는 효과를 기대할 수 있지만 '논댐'을 설치하지 않은 다른 유역에서 홍수가 범람하여 침수되는 경우가 있기 때문에 하천관리자가 본류와 지류의 수위를 낮추는 하천 정비와 빗물 유출을 억제하는 '논댐' 등의 추진을 다층적으로 시행하는 것이 중요하다.



<사진 2-3> 소하천의 침수(2011년 홍수 히노가와 수계 고마쓰다니강)

### ④ 본천으로 인한 침수 피해

- '사진2-4와 같이 배수로나 소하천이 합류하는 본천의 유하량을 초과하는 강우가 내릴 경우 본천 하류 지역에서 물이 범람하여 피해가 발생할 우려가 있다. '논댐'을 설치하면 배수로나 소하천에서 본류로 유입되는 유출량을 억제하는 효과가 있기 때문에 침수 범위와 피해를 줄일 수 있다. 그러나, 전

체 집수구역에서 차지하는 사업 면적이 작으면 큰 효과를 기대할 수 없으므로 하천관리자가 시행하는 본류의 수위를 낮추는 하천정비와 지류 등으로의 빗물 유출을 억제하는 '논댐' 등의 사업을 유역 전체에서 다층적으로 시행하는 것이 중요하다.



<사진 2-4> 본천의 침수(2017년 오모노강 수계 오모노강)

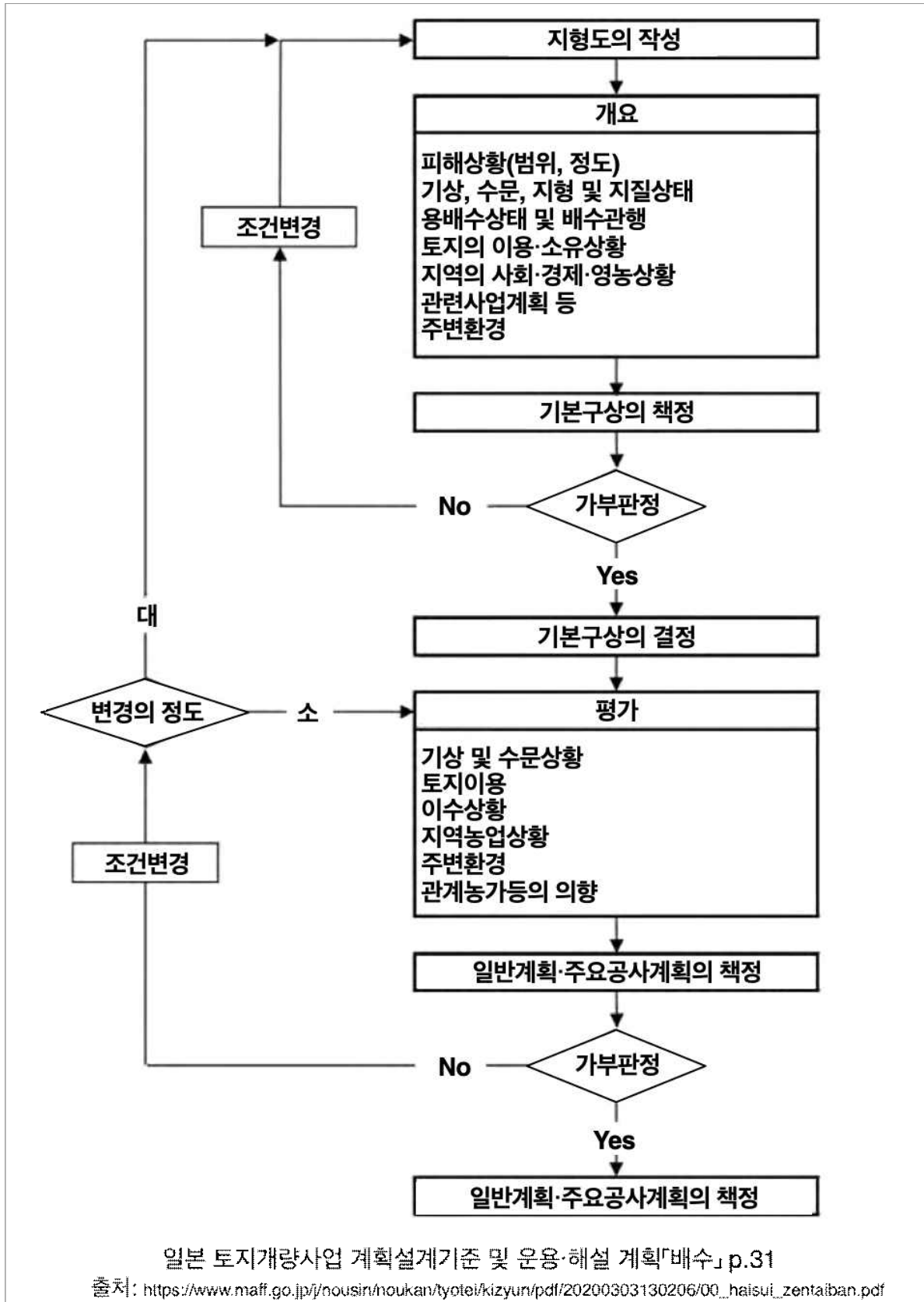
(2)-2. 수해 위험 및 대책 검토 및 공유

① 농업, 하천 등 관련 행정기관이 연계하여 검토

- '수해 리스크와 대책을 검토할 때는 지역 내 행정기관이 협력하는 것이 중요하다. 예를 들어 토지개발사업 등을 통해 배수로나 펌프장을 정비할 때는 그림2-3와 같은 절차로 조사를 진행하며 기존 자료 수집과 함께 관계기관, 농가 및 주민을 대상으로 설문조사를 실시하여 피해 상황과 배수불량 원인 등을 확인한다.
- 농업용 배수로 및 펌프장 주변의 침수피해 경감을 검토하는 경우, 이러한 기존 자료와 더불어 시설 정비 후의 상황도 고려하여 토지개발사업 관련 행정기관을 중심으로 위험성 확인 및 대책 검토가 이루어져야 할 것으로 예상된다. 마찬가지로 하천으로부터의 침수피해 저감을 검토하는 경우, 하천정비를 수행하는 하천관리자 등 행정기관을 중심으로 검토하는 것이 필요하다. 이러한 검토는 상류측 배수로와 하류측 하천에서 관련되어 있으므로 유역치수협의회 등을 활용하여 각 기관이 연계하여 검토하는 것이 중요하다.

② 농업인·지역주민과 협력 공유하여 주인의식의 고찰

- '논담'을 새롭게 시작할 때, 농업인의 협조를 얻고 지속적으로 추진하기 위해서는 농업인과 지역 주민에게 '남의 일'이 아닌 '내 일'로 인식시키는 것이 중요하다. 따라서 농업인과 하류지역을 포함한 지역 주민이 협력하여 수해 위험을 확인하고 '논담'을 시행하는 지역과 하류지역에서 기대할 수 있는 효과를 행정기관이 알기 쉽게 제시하는 것이 중요하다.
- 이러한 공유와 협업을 통해 농업인과 지역 주민의 방재 의식이 향상되고, '논담'이 농업인만의 노력이 아닌 하류 지역 주민을 포함한 지역 전체의 노력으로 '내 일'이 될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.



<그림 2-3> 일반적인 배수사업계획 수립을 위한 조사 절차



## (2)-3. '논담' 시행을 위한 검토

- 지역의 수해 위험과 '논담'의 효과를 공유한 후 '논담'을 실행에 옮길 때는 다음과 같은 확인과 검토를 한다. '논담'을 실시하는 논에서는 충분한 높이(30cm 정도)의 견고한 논두렁이 필요하다

## ① 충분한 높이(30cm 정도)의 견고한 논두렁

- 논두렁의 높이가 낮으면 저류할 수 있는 물의 양이 적어지고 견고하지 않으면 누수가 발생하여 논두렁을 손상시킬 우려가 있다. 토지개량사업계획 설계기준 및 운용·해설 계획 「논두렁정비(논)」에서 논두렁에 대해서는 다음과 같이 명시되어 있다.
  - 논두렁의 단면은 상폭 30cm, 높이 30cm, 경사도 1:1 정도의 사다리꼴을 표준으로 하되, 한랭지 등에서는 심수관개의 필요성과 결빙에 의한 붕괴를 고려하여 상폭 50cm, 높이 40cm 정도(경사지에서는 별도 검토가 필요)까지 확대할 수 있다.
  - 논두렁 축조에 있어서는 누수 방지 관점 및 방제 등 재배 관리작업시 밟는 압력 등을 고려하여 충분히 견고하게 만들 필요가 있다.
- 충분한 높이의 견고한 논두렁은 '논담'을 위해서 뿐만 아니라 농사를 짓는 데에도 필요하다. '논담'을 계기로 논지의 논두렁을 적절히 정비하고 유지하는 구조를 만드는 것이 지역 농업을 지속하는 데에도 효과적일 것으로 보인다. 사진2-5는 논두렁 재구축과 논두렁 도장 작업의 모습이다.
- 누수되거나 낮아진 논두렁을 재건하는 경우에는 농지정비사업을 활용할 수 있고 논두렁 도장 등 논두렁 보강에는 다면적기능직불금을 활용할 수 있다. 이러한 제도를 활용하여 농업인의 부담을 경감시키는 것이 중요하다.



<사진 2-4> 논두렁의 재구축 및 도장정비

## ② 저류된 빗물을 신속하게 배수할 수 있는 낙수구(배수물꼬)

- '논담'을 시행하는 논에서는 저수된 빗물을 단시간에 배수할 수 있는 낙수구가 필요하다. 저수된 물을 단시간에 배수하지 못하면 농기계를 활용한 농작업 등에 영향을 미칠 우려가 있다. 토지개량사업계획 설계기준 및 운용·해설 계획 「논두렁정비(논)」에서 낙수구에 대해서는 다음과 같이 명시



되어 있다

- 경지면적 확대에 따라 대형 농기계 주행에 필요한 지력 확보, 강화 및 새로운 재배방법과 논밭 환원 등의 도입에 대응하기 위해 신속한 낙수가 필요하게 될 것이다. 이를 위해 신속한 배수를 할 수 있는 각종 조건(논면 평탄화, 토층개량, 암거배수, 논배수 소도랑, 낙수구 등)을 정비해야 한다. 각 경작지의 논 배수는 낙수 시작 후 1~2일 이내에 완료하는 것이 바람직하다.
  - 낙수구는 논바닥 침수를 배수지거에 효과적으로 배제할 수 있도록 설치 개수, 배치 및 구조를 결정해야 한다. 낙수구는 각 경작지의 배수지거를 따라 1개소 이상, 간격 50m 이내로 설치하는 것이 바람직하다. 단, 낙수구가 1개소일 경우에는 하류측에 설치한다.
  - 낙수구의 수는 수심이 큰 단계에서는 1ha 이상에 1개소라도 충분하지만 수심이 얕아진 후의 논 배수를 고려하면 50m 이내마다 1개소씩 설치해야 한다. 또한, 논밭을 이용하는 경우에는 암거에 의한 배수 등을 고려하여 개수와 배치를 결정한다.
  - 낙수구의 설치 높이는 논 배수의 신속화를 위해 논면보다 5~10cm 낮추는 것이 필요하지만 논 반환지 등으로 발작물 도입을 중시하는 경우에는 설치 높이를 더욱 낮추어 15~20cm로 낮출 필요가 있다.
- 신속한 배수가 가능한 낙수구는 '논댐'을 위해서 뿐만 아니라 농업을 영위하는 데에도 필요하다. '논댐'을 계기로 낙수구를 적절히 정비하고 유지하는 구조를 만드는 것이 지역 농업을 지속하는 데에도 효과적일 것으로 보인다. 낙수구를 정비하는 경우에는 농지정비사업을 활용할 수 있고, 보강에는 다면적기능직불금을 활용할 수 있다. 이러한 제도를 활용하여 농업인의 부담을 경감시키는 것이 중요하다.

① 예상 강우량 및 낙수구에 맞는 유출량 조정 장치

- 예상 강우에 대해 빗물 저류 기능을 발휘하고 저류한 물을 단시간에 배수하기 위해서는 낙수구 및 예상 강우량에 따라 적절한 유출량 조정기구를 선정하는 것이 중요하다. 유출량 조정기구는 강우가 예상될 때마다 설치하는 것이 아니라, 설치한 채로 두는 것이 기본이다. 그래야 항상 효과를 발휘할 수 있고, 설치 및 관리의 수고를 줄일 수 있다. 유출량 조정기구는 크게 다음과 같은 종류가 있다(그림2-4).

① 기능분리형

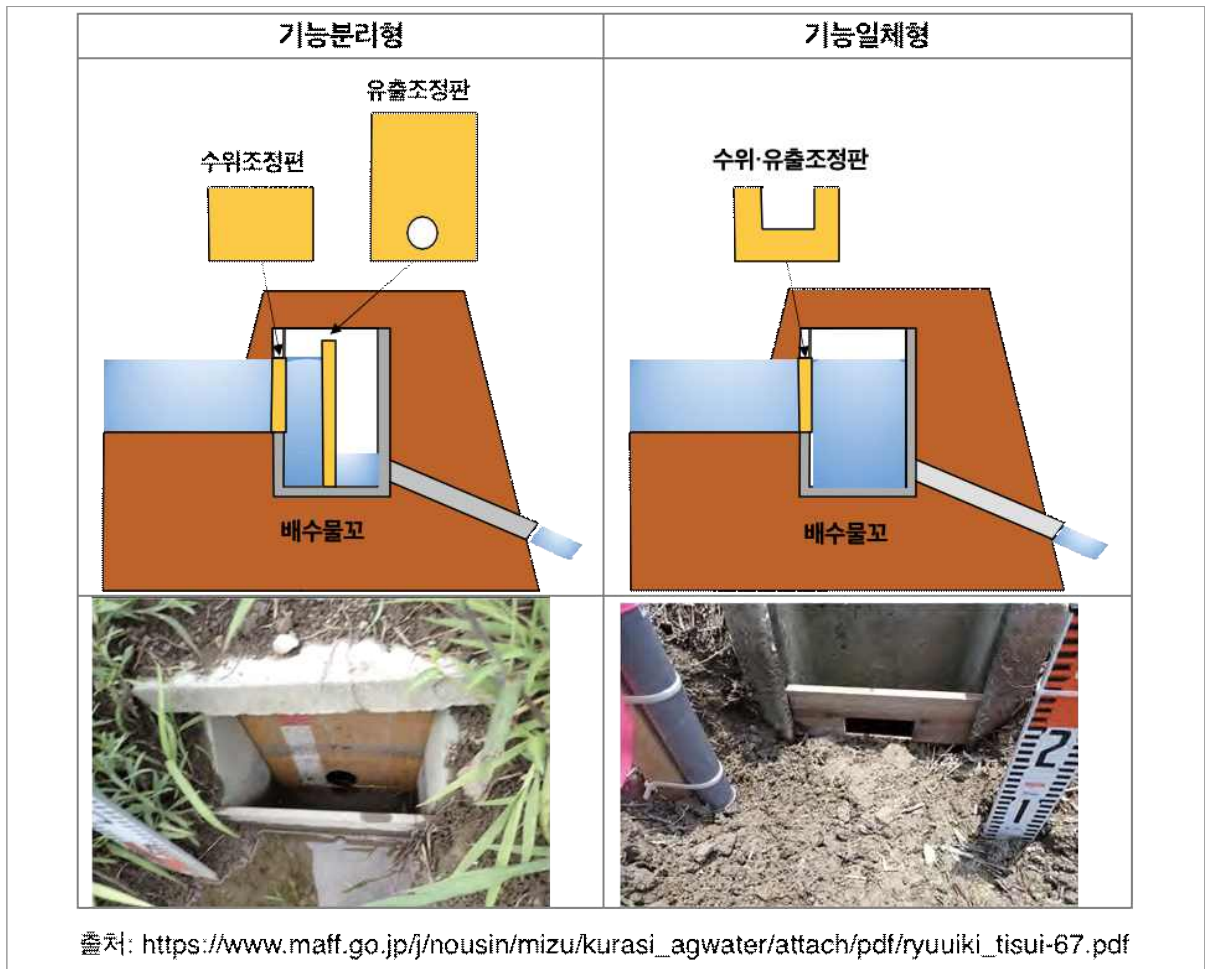
- 논의 물관리를 하는 일반 수위조정판(Weir board)과 별도로 유출량을 조절하는 판 등의 유출량 조정 기구를 설치하는 것으로 다음과 같은 특징이 있다. 소규모 강우에는 빗물을 저장하지 않고 대규모 강우에 저장한다.
  - 기능일체형보다 단시간에 배수할 수 있다.
  - 판을 세 개 이상 설치할 수 있는 배수물꼬 또는 전용 기구가 필요하다.
  - 소규모 강우에는 빗물을 저장하지 않기 때문에 중간 낙수기나 수확 하기전에 논을 말려야 하는 시기에는 유출량 조정기구가 설치되어 있어도 영향을 줄일 수 있다.

② 기능일체형

- 논 물 관리를 하는 일반 수위조정판(Weir board)이 유출량을 조절하는 기능까지 겸비한 것으로 다음

과 같은 특징이 있다.

- 소규모 강우량에서 빗물을 저류
- 기능분리형보다 배수에 시간이 오래 걸림
- 일반 배수통에 설치 가능
- 소규모 강우에도 빗물을 저류하기 때문에 중간 낙수기나 수확하기 전에 논을 말려야 하는 시기 등 영농에 영향이 예상되는 경우에는 일시적으로 수위조정판(Weir board)을 제거할 수 있다.



<그림 2-4> 기능분리형과 기능일체형 개요

- 유출량 조정기구는 자체 제작도 가능하지만 다양한 기구가 판매되고 있다. 유출량 조정기구에 대해서는 다면적기능직불금을 활용할 수 있으며 농지 정비 사업에서 '논댐'을 실시하기 위해 논두렁이나 낙수구 정비를 하는 경우에는 해당 사업을 활용할 수 있다. 이러한 제도를 활용하여 농업인의 부담을 줄이는 것이 중요하다.

(2)-4. '논댐' 시행을 위한 체제 정비

- 지역의 수해 위험과 '논댐'의 효과를 공유한 후 '논댐'
  - '논댐'의 추진을 시작할 때는 (2)-1~(2)-3과 같은 검토 결과, '논댐'의 효과, 영농에 미치는 영향 등의 정보를 농업인, 지역 주민, 행정기관, 토지개량구 등 농업 관련 기관, 방재 관련 기관 등 모든 관계자가 공유하는 것이 중요하다.
  - 이 사업은 토지개량사업, 농업, 하천정비, 방재 등 서로 다른 분야가 관련되어 있으며, 국가, 시도부현, 시정촌, 농지개량구, 다면적기능직불금 활동조직 등 평소 수행하는 업무의 대상 지역도 다른 다양한 기관이 관련되어 있다.
  - 따라서 '논댐' 사업을 시작하고 지속적으로 실시하기 위해서는 다양한 분야, 다양한 지역의 관계자들 간에 정보를 공유하고 상담과 협의를 거듭하여 사업 내용과 실시 체제를 정비하는 등의 과정을 통해 관계자 상호간의 이해를 깊게 하고 관계를 강화하며 지역 전체가 협력하는 것이 필수적이다.
  - '논댐'을 계기로 지역의 협동심과 방재 의식이 높아짐과 동시에 지역의 농업에 대한 이해와 관심이 깊어지고 농업을 응원하는 사람들이 늘어날 것으로 기대된다.

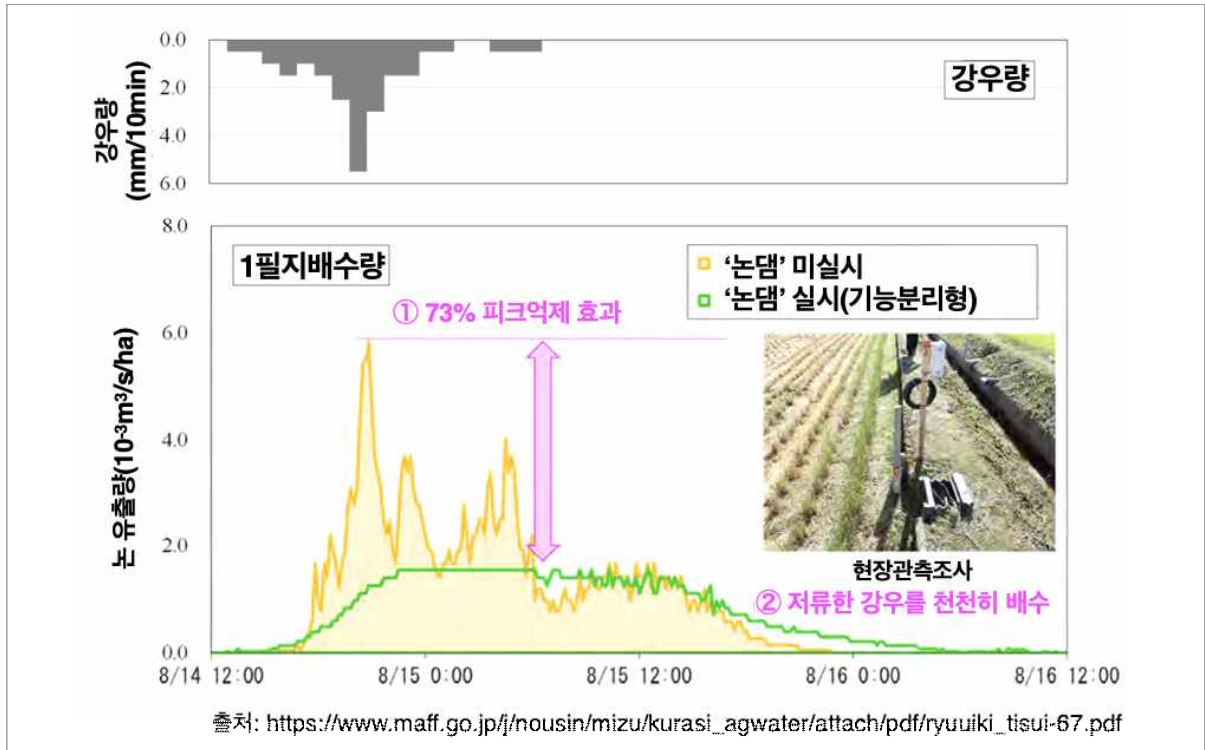
3. 논댐의 효과

- '논댐'은 배수로와 하천의 유하능력이나 배수장 배수능력을 초과하는 강우량이 발생하더라도 배수로와 하천의 수위 상승을 조정하여 범람하는 물의 양과 범위를 억제함으로써 피해를 줄일 수 있다. 본 장에서는 '논댐'의 효과에 대해 논에서 유출량 억제 효과, 배수로 및 하류 하천의 수위 상승 억제 효과, 침수량 및 침수 면적 감소 효과를 소개한다

(1) 논에서의 유출량 억제 효과

(1)-1. 논에서의 유출량 피크 조정

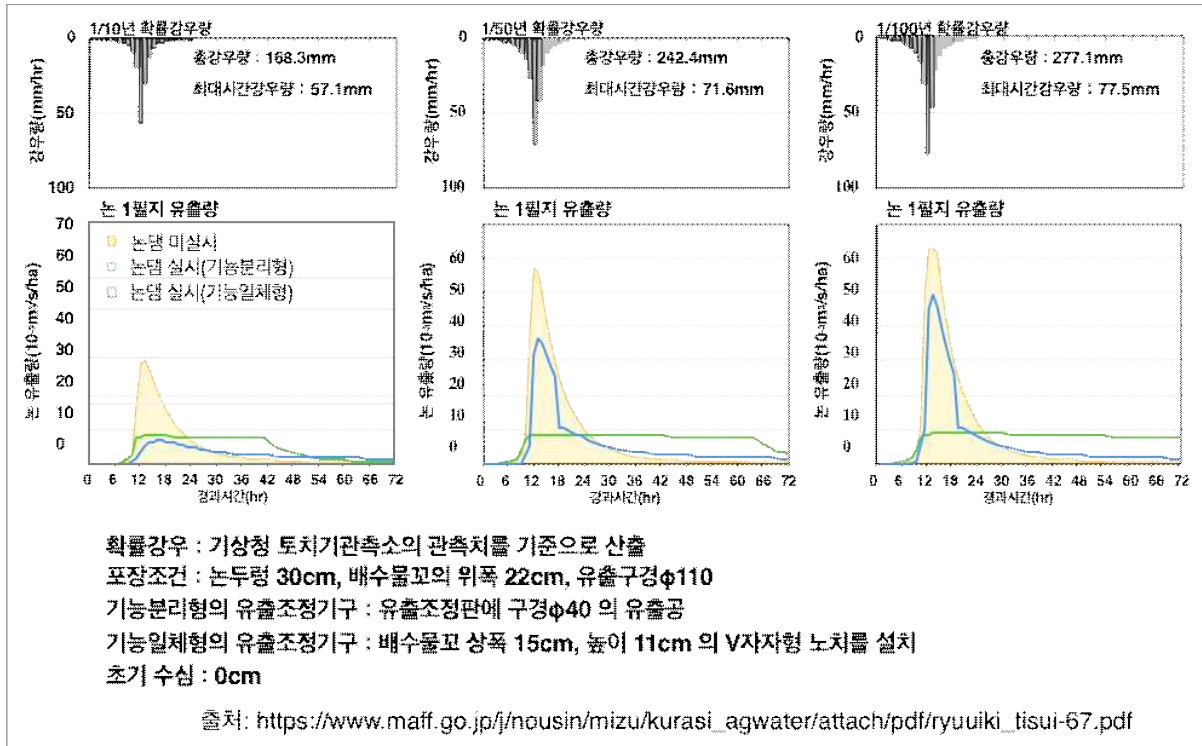
- '논댐'은 논 배수구에 유출량을 조정하기 위한 수위조정판(Weir board)이나 작은 구멍이 뚫린 조절판 등을 설치하여 논에 내린 비를 시간을 두고 천천히 배수함으로써 유출량의 피크(최대 유출량)를 억제하는 효과가 있다. 논에서 유출량 억제 효과는 일정하지 않으며 논두렁 등의 상황, 유출량 조절 장치, 비 내리는 방식 등에 따라 달라진다.
- 2021년도 '스마트 논댐 실증사업'(이하, 실증사업)에서 관측된 유출량 피크 억제효과를 살펴보면 '논댐'을 실시하지 않은 경우와 비교하여 유출량 피크를 73% 억제할 수 있었다(그림2-5).



<그림 2-5> 기능분리형과 기능일체형 개요

(1) -2. 다양한 규모의 강우에 효과를 발휘

- '논댐'은 작은 규모의 강우부터 큰 규모의 강우까지 다양한 규모의 강우에 대해 효과를 발휘할 수 있다. 또한, 2.2.3에서 언급했듯이, 강우량에 따라 적절한 유출량 조정기구를 선정하면 더 큰 효과를 기대할 수 있다. 실증사업에서 실시한 시뮬레이션 결과는 그림2-6와 같다.
- 10년에 1회 정도(최대 시간 강우량 57.1mm, 총 강우량 168.3mm) 규모의 강우에서는 논에서 발생하는 최대 유출량을 기능일체형에서 약 78%, 기능분리형에서 약 74% 억제하는 효과가 나타났으며 50년에 3회 정도(최대 시간 강우량 71.6mm, 총 강우량 242.4mm) 규모의 강우에서는 기능일체형에서 약 36%, 기능분리형에서 약 85%, 100년에 1회 정도(최대 시간당 강우량 77.5mm, 총 강우량 277.1mm) 규모의 강우에서는 기능일체형에서 약 21%, 기능분리형에서 약 86% 억제하는 효과가 나타나 대규모 강우에 대해서는 기능분리형이 더 큰 효과를 발휘할 수 있을 것으로 판단되었다.



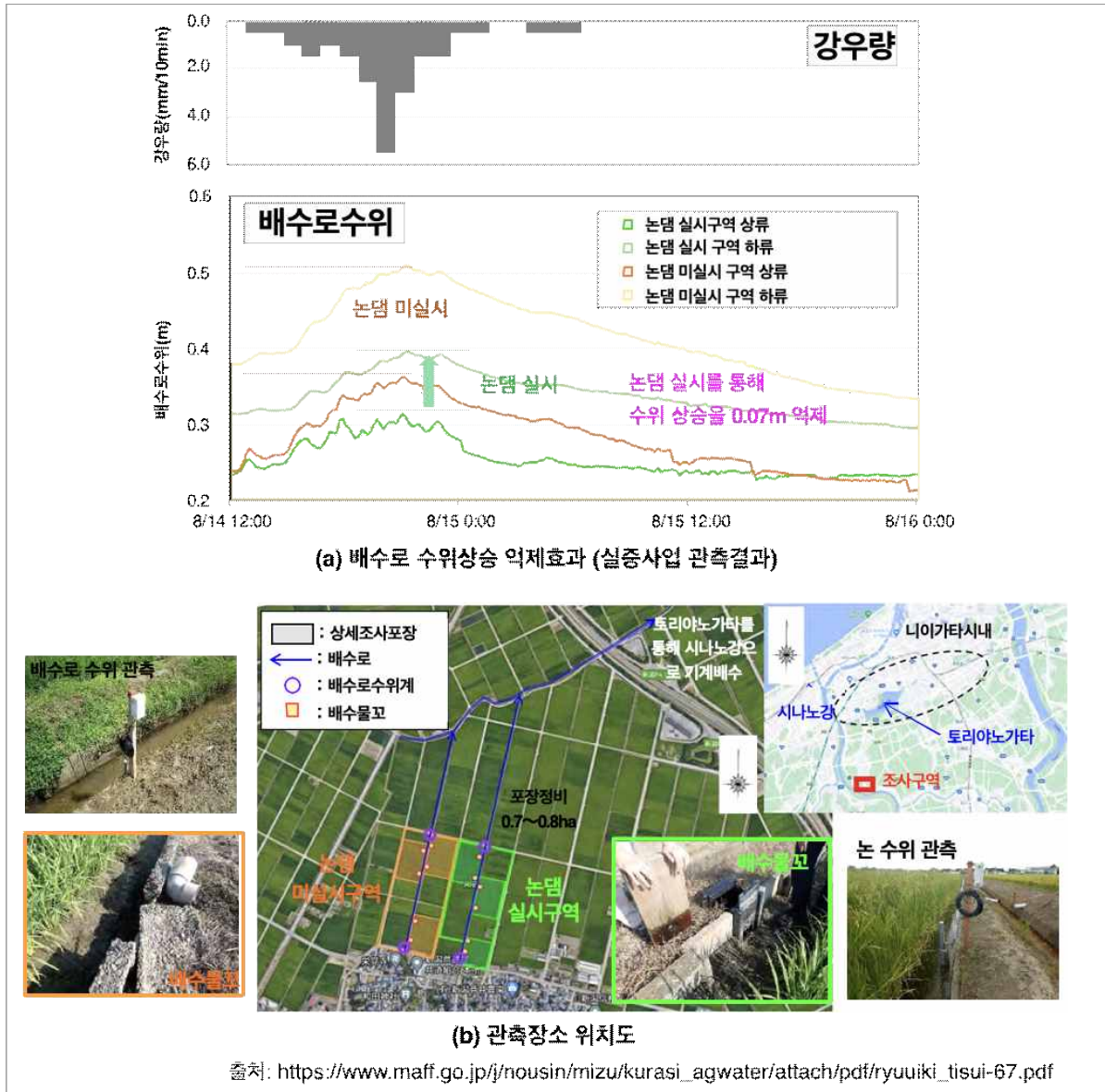
<그림 2-6> 논에서의 유출량 억제 효과(실증사업 시뮬레이션 결과)

(2) 배수로 및 하류 하천의 수위 상승 억제 효과

(2)-1. 배수로 및 하류 하천의 수위 상승 억제

- '논댐'을 설치한 논에서 발생하는 피크 유출량을 조정함으로써 배수로와 하천의 수위 상승을 억제하는 효과를 얻을 수 있다. 실증사업에서 배수로의 수위를 관측한 결과 '논댐'을 설치한 지역의 수위 상승량이 억제되는 효과가 확인되었다.
- 효과의 일례로 니가타현(新潟?) 니가타시(新潟市)에서 실시한 실증조사의 관측 결과 및 관측 지점의 위치는 그림2-7과 같다.
- '논댐'을 실시하지 않은 논 배수로의 수위 상승이 약 0.15m인 반면, '논댐'을 실시한 논 배수로의 수위 상승은 약 0.08m로 배수로의 수위 상승을 억제하는 것을 확인할 수 있었다.



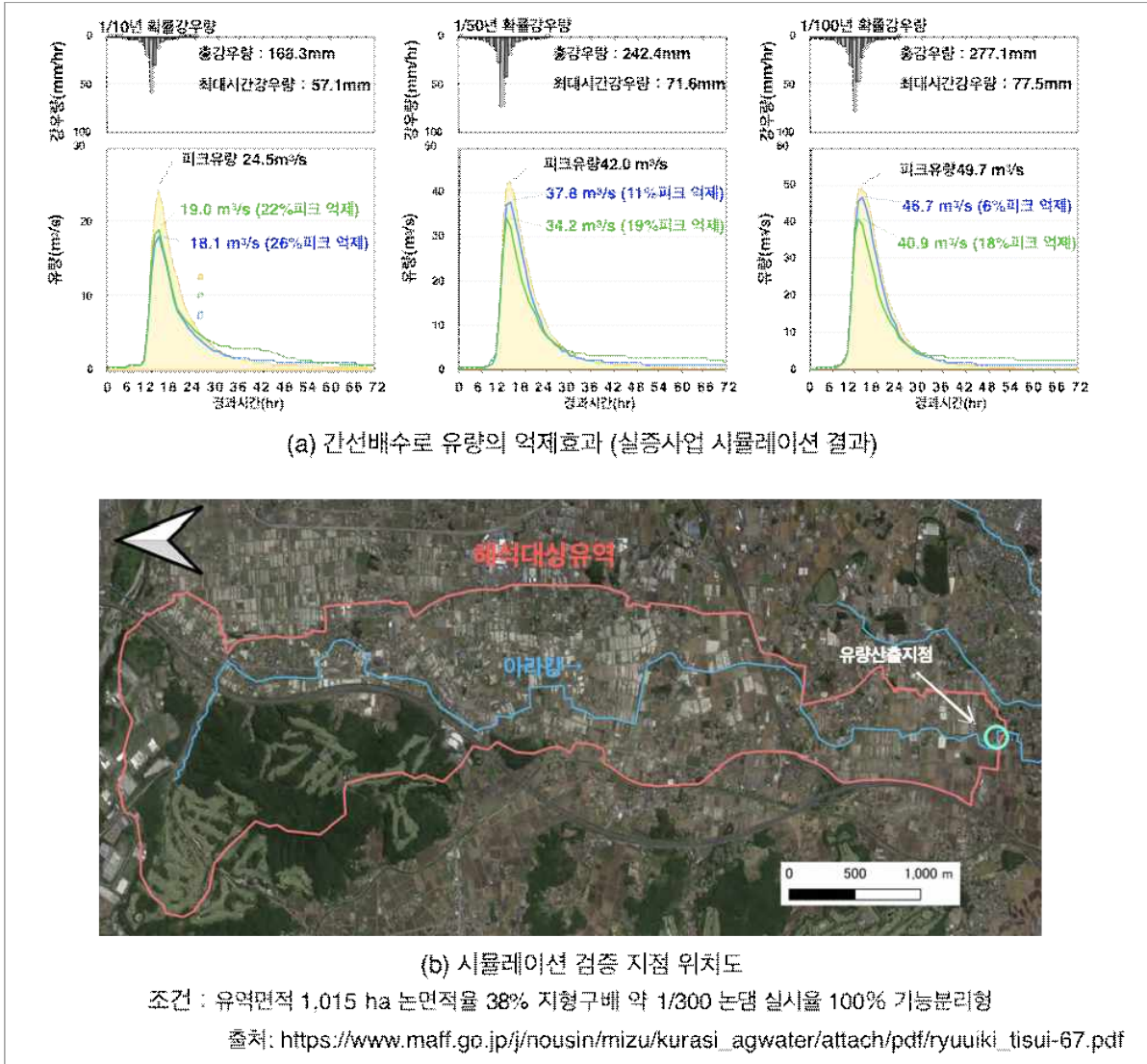


<그림 2-7> 논댐 효과 실측시(배수로 수위)

(2) -2. 다양한 규모의 강우에 대한 효과

- (1)에서 언급한 바와 같이, '논댐'은 작은 강우부터 큰 강우까지 다양한 규모의 강우에 대해 효과를 발휘할 수 있다. 실증사업에서 실시한 시뮬레이션 결과 및 유량 산출 지점의 위치는 그림 2-8과 같다.
- 10년에 1회 정도(최대 시간 강우량 57.1mm, 총 강우량 168.3mm) 규모의 강우에서는 간선 배수로의 피크 유량을 기능일체형에서 약 26%, 기능분리형에서 약 22% 억제하는 효과를 발휘하고 있으며 50년에 1회 정도(최대 시간 강우량 71.6mm, 총 강우량 242.4mm)의 강우에서는 기능일체형에서 약 11%, 기능분리형에서 약 19%, 100년에 3회 정도의 강우(최대 시간당 강우량 77.5mm, 총 강우량 277.1mm)에서는 기능일체형에서 약 11%, 기능분리형에서 약 18% 억제하는 효과가 나타나 대규모 강우에 대해서는 기능분리형이 더 큰 효과를 발휘할 것으로 판단되었다.

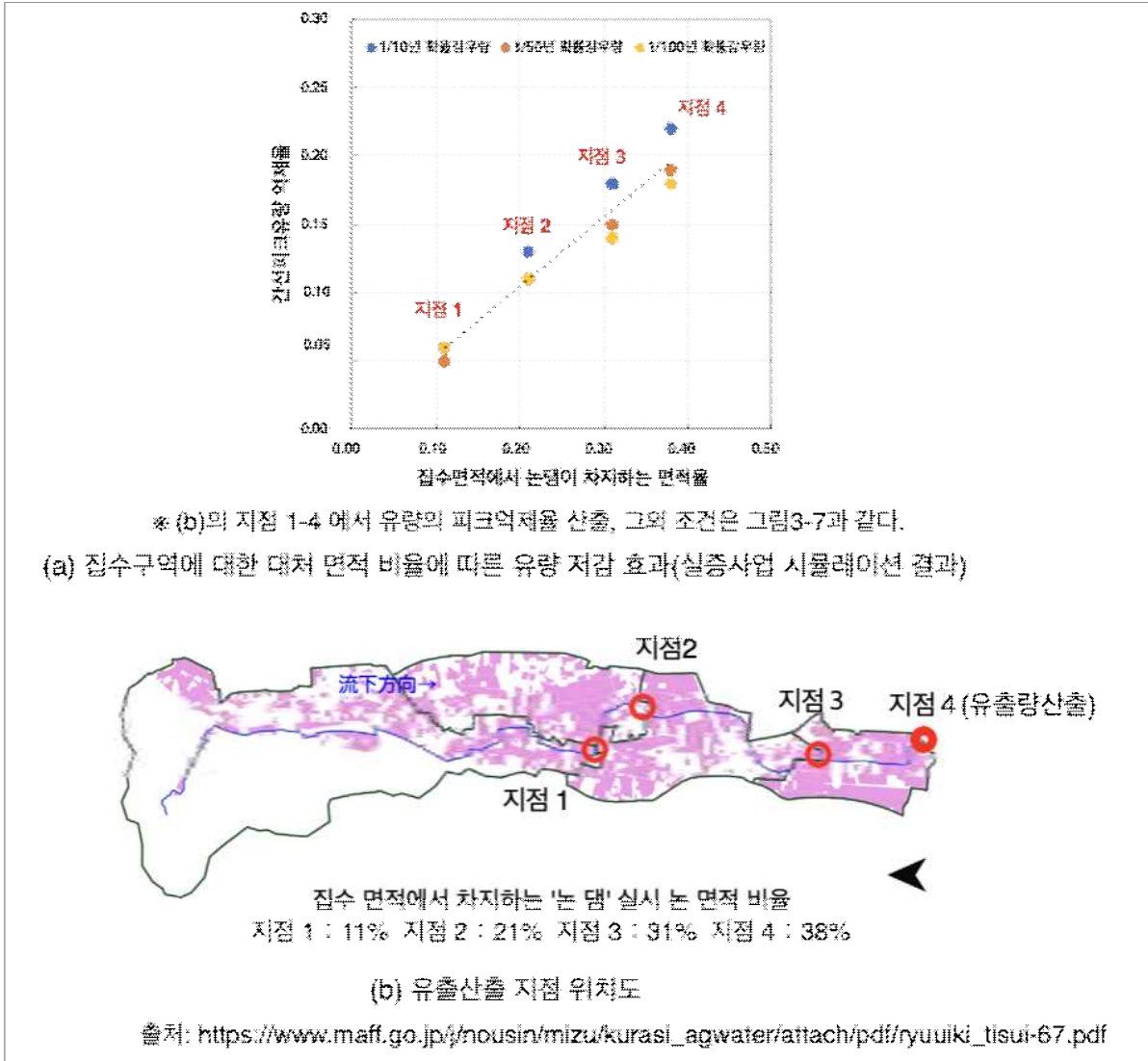




<그림 2-8> 논댐 효과 시뮬레이션(간선배수로)

(2)-3. 집수구역에서 면적비율에 따른 효과

- '논댐'의 면적에 따라 수위 상승을 억제하는 효과가 달라진다. 집수구역에서 차지하는 면적 비율이 크면 배수로와 하천의 유량에 미치는 영향도 커지지만 집수구역에서 차지하는 비율이 작으면 집수구역에 내린 비가 집수구역 외의 다른 구역에 미치는 영향이 커지기 때문에 효과가 작아진다.
- 그림2-9는 실증사업에서 실시한 시뮬레이션 결과 및 유량 산출 지점의 위치를 나타낸다. 강우 규모에 관계없이 집수구역에서 차지하는 대책 면적의 비율이 클수록 피크 유량 억제 효과도 커진다. 집수구역에서 차지하는 대책 면적이 작은 경우 '논댐'만으로는 큰 효과를 기대할 수 없지만 집수구역 전체에서 '논댐'을 포함한 다양한 대책을 검토하여 피해 경감을 위해 조금씩이라도 효과를 쌓아가는 것이 중요하다.



<그림 2-9> 논댐 면적 비율에 따른 저감효과

(3) 침수량, 침수면적 감소 효과

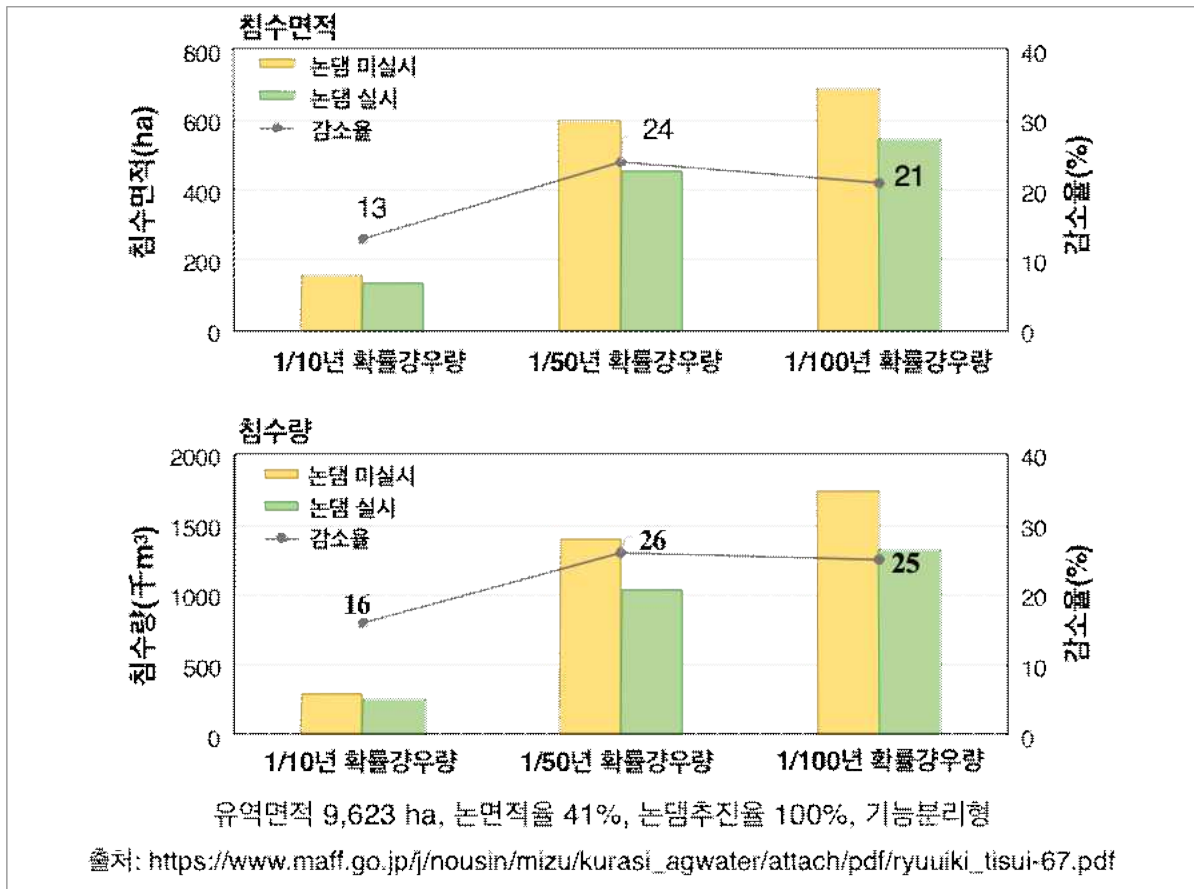
(3)-1. 침수량 및 침수 면적 감소

- '논댐'은 논에서 배출되는 피크 배수량을 조정하고 배수로와 하천의 수위 상승을 억제함으로써 배수로와 하천의 침수량과 침수 면적을 줄이는 효과를 가져온다. 실증사업에서 실시한 시뮬레이션 결과, 낮은 평지, 경사지 등 지형 조건이 다른 지역에서도 침수량과 침수면적을 줄이는 효과가 나타났다.

(3)-2. 낮은 평지에서 침수량, 침수 면적 감소

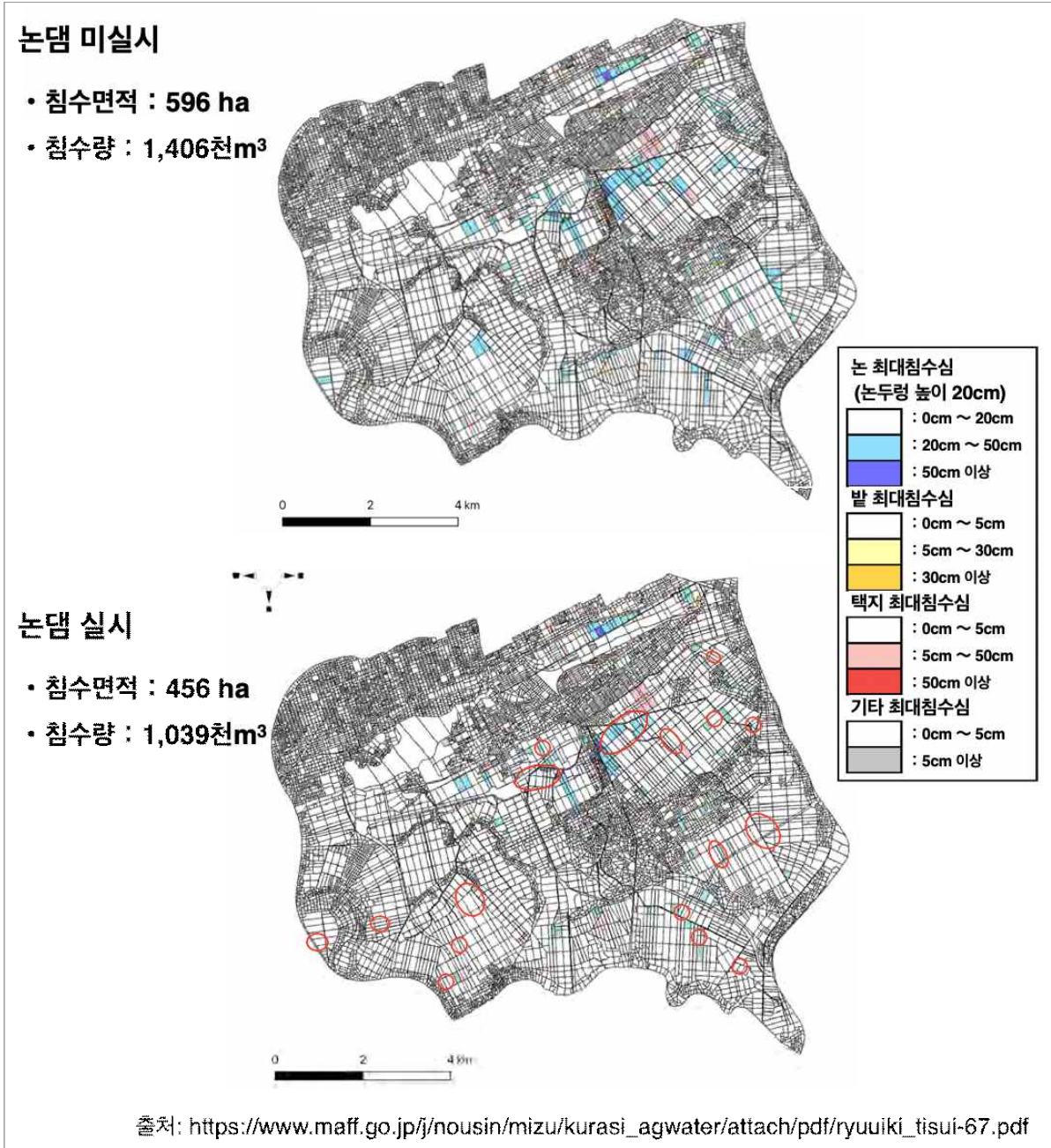
- '논댐'은 낮은 평지에서 효과를 발휘할 수 있다. 실증사업에서 배수장에서 상시 배수를 하고 있는 저평야 지인 니가타현(新潟) 니가타시(新潟市) 와다(和田)지구를 대상으로 실시한 시뮬레이션 결과는 그림2-10 과 같다. 50년에 3회 정도의 강우(최대 시간당 강우량 54mm, 총 강수량 171mm)의 경우 침수량이 26%, 침

수면적이 24% 감소하는 효과가 나타났다. 10년에 3회 정도의 강우(최대 시간당 강우량 40mm, 총 강수량 133mm)와 100년에 3회 정도의 강우(최대 시간당 강우량 62mm, 총 강수량 176mm)에서도 침수량, 침수 면적을 감소시키는 효과가 나타났다.



<그림 2-10> 침수량, 침수면적 저감 효과(실증사업 시뮬레이션 결과)

- 50년에 1회 정도의 강우가 내렸을 경우 시뮬레이션 결과는 그림2-11과 같다. '논댐'을 시행한 지역의 특정 장소가 아닌 다양한 장소에서 침수 깊이와 침수 면적이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

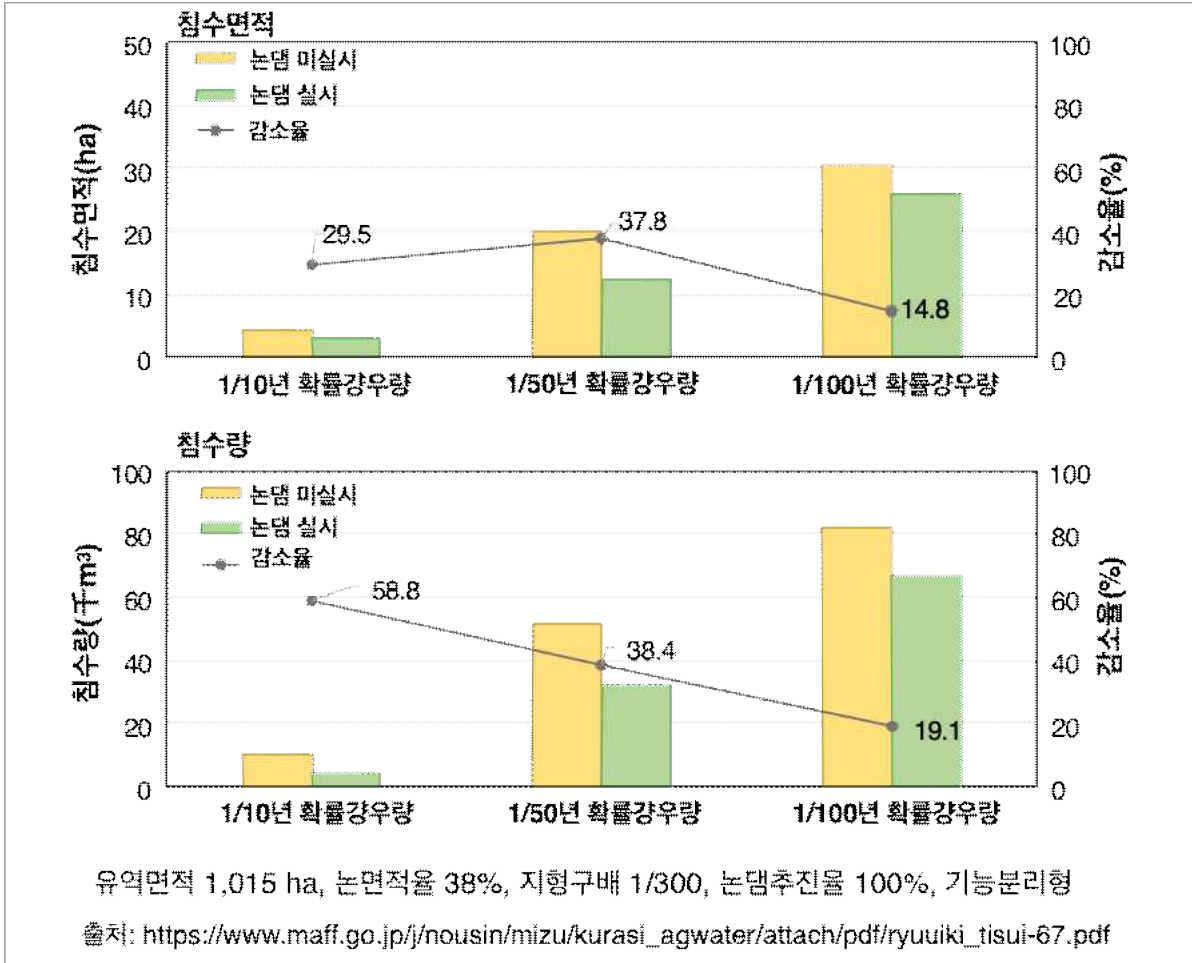


<그림 2-11> 침수 시뮬레이션 결과(니가타현 니가타시 와다지구 1/50년 확률 강우량)

- (3) -3. 경사지에서 침수량, 침수 면적 감소났은 평지에서 침수량, 침수 면적 감소
- "논 댐은 경사지에서도 효과를 발휘할 수 있다. 실증사업에서 경사지인 도치기현(?木?) 도치기시(?木市) 후키아게(吹上) 동부지역을 대상으로 실시한 시뮬레이션 결과는 그림2-12와 같다. 50년에 3회 정도의 강우(최대 시간당 강우량 72mm, 총 강우량 242mm)의 경우 침수량, 침수면적 모두 약 40%의 침수량 저감 효과를 보였으며 10년에 3회 정도의 강우(최대 시간당 강우량 57mm, 총 강우량 167mm), 100년에 3회 정도의 강우(최대 시간당 강우량 77mm, 총 강우량 277mm) (최대 시간당 강우량 57mm, 총 강우량 168mm),

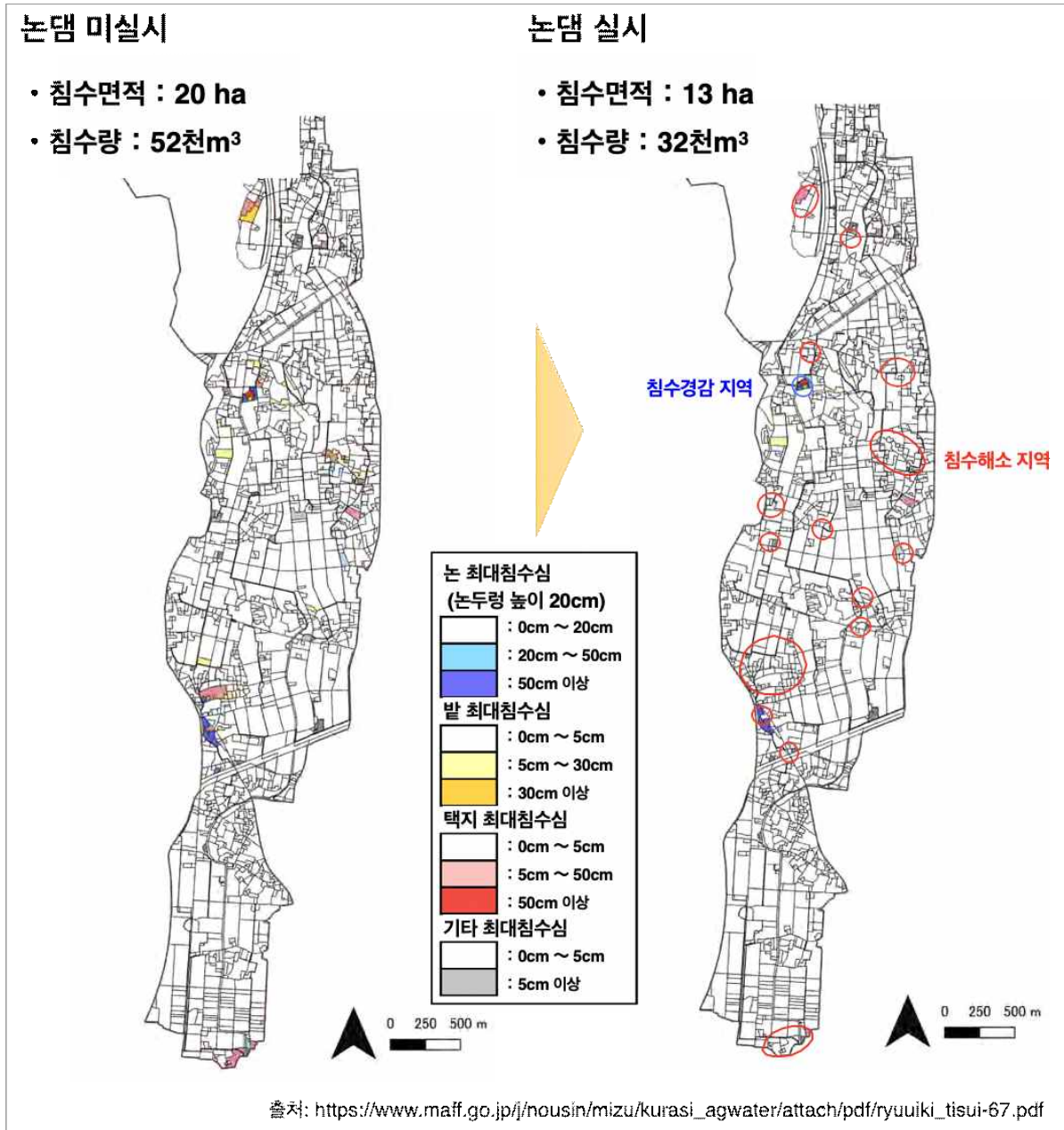


100년에 3회 정도의 강우(최대 시간당 강우량 77mm, 총 강우량 277mm)에서도 침수량, 침수면적을 감소시키는 효과가 나타났다.



<그림 2-12> 침수량, 침수면적 저감 효과(도치기현 도치기시 후키아게 동부지역 시뮬레이션 결과)

- 50년에 1회 정도의 강우가 내렸을 경우의 시뮬레이션 결과는 그림2-13과 같다. 하류 지역뿐만 아니라 상류와 중류 지역까지 포함하여 '논댐'을 시행하고 있는 지역 곳곳에서 침수량과 침수 면적이 감소하고 있다.



<그림 2-13> 침수 시뮬레이션 결과도치기현 도치기시 후키야게 동부지역 1/50년 확률 강우량

(3)

#### 4. '논댐'이 농업에 미치는 영향

- '논댐'은 농작물 생산에 영향을 주지 않는 범위 내에서 농업인의 협조를 얻어 시행하는 것으로 지속적인 시행을 위해서는 농작업에 미치는 영향과 시행 노력을 최소화하기 위한 노력이 필수적이다. 이 장에서는 '논댐' 실시로 인한 벼의 수확량 및 품질에 미치는 영향, 관리 노력에 미치는 영향, 농작업에 미치는 영향을 줄이기 위한 노력에 대해 설명한다.



### (1) 비의 수확량 및 품질에 미치는 영향

- 토지개량사업계획 설계기준 및 운영·해설 계획 「배수」에서는 30cm의 침수는 허용범위 내로 규정하고 있으며, '논댐'의 실시로 논두렁의 범위 내(30cm 정도)에서 빗물을 저류해도 비의 품질이나 수확량에는 영향을 미치지 않습니다. 토지개량사업계획 설계기준 및 운영·해설 계획 '배수'에는 다음과 같이 명시되어 있다.
  - 허용 침수 깊이는 「[참고]논지대의 허용 침수 깊이의 개념에 대하여」에서 30cm를 표준으로 한다. 또한, 허용 침수 깊이를 초과하는 침수가 발생할 경우, 그 지속 시간을 24시간 이내로 한다.
  - 수잉기(배동바지)에 침수 피해가 가장 발생하기 쉽다. 일본에서 수해가 7~9월에 걸쳐 많이 발생하며, 이 시기의 비의 높이는 30cm 이상인 것을 고려하여 허용 침수 깊이는 30cm를 표준으로 한다.
  - 또한 30cm를 초과하더라도 수잉기 이외에는 1~2일 침수 시 피해도 5~30% 정도이고 3일 이상이면 피해가 급증하는 점, 수잉기에도 잎 끝이 노출되면 1~2일 침수 시 20% 정도의 피해이기 때문에 허용 침수 깊이를 초과하는 경우 침수 지속 시간은 24시간 이내로 한다.
  - 발작물은 원칙적으로 침수를 허용할 수 없으므로 밭이나 범용 논밭 이용 시에는 침수를 고려하지 않는다.
- 또한, 논두렁의 높이를 초과하는 침수가 발생하는 경우는 논에 내린 비로 인해 물이 고이는 것이 아니라, 지역의 배수 능력을 초과하는 강우로 인해 배수로나 하천 등에서 물이 넘쳐 논으로 역류하는 것이 원인이며, '논댐' 대책의 실시와 무관하게 발생하는 현상이다.

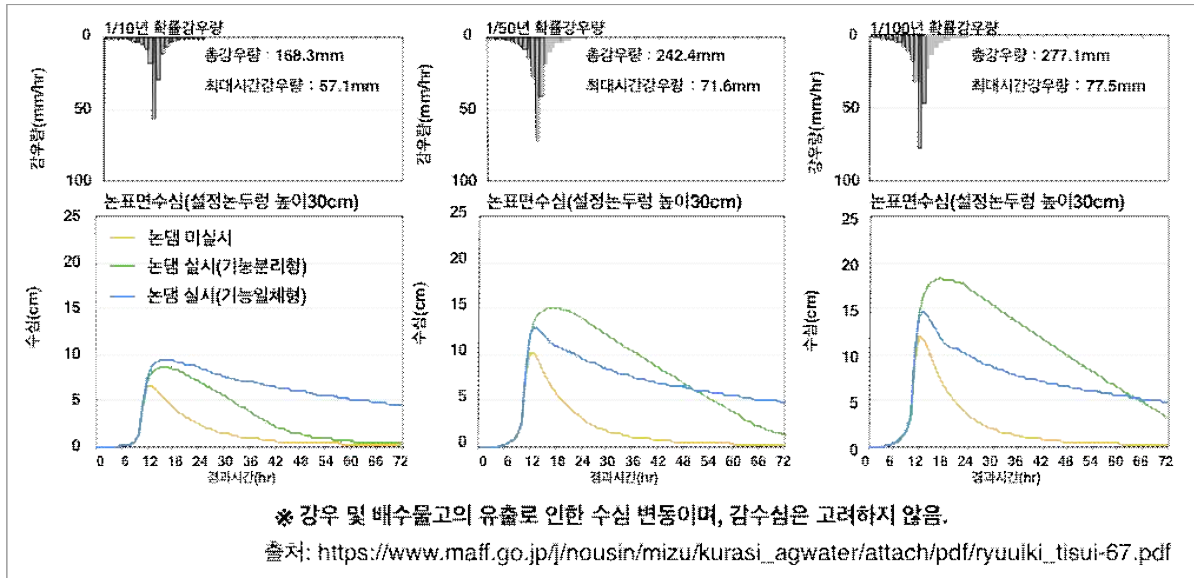
### (2) 농작업에 미치는 영향

#### (2)-1. 농작업에 큰영향을 미치지 않도록 신속한 배수가 중요

- '논댐'은 논에 내린 빗물을 시간을 두고 천천히 배수하는 방식이지만, 2.2.3에서 설명한 바와 같이 저장한 물을 단시간에 배수하지 못하면 농기계를 활용한 농작업 등에 영향을 미칠 우려가 있기 때문에 저장한 빗물을 신속하게 배수하는 것이 중요하다.
- 이미 '논댐'을 시행하고 있는 선행지구(4년~20년 지속한 12개 지구 응답자 16명)를 대상으로 실시한 설문조사에서도 빗물을 저장한 후 수위가 낮아지는데 시간이 걸려 농작업에 영향을 받았다는 응답은 1명에 불과했다. 이를 통해 낙수구 정비와 유출량 조절기구의 선정으로 농작업에 미치는 영향을 최소화할 수 있으며 이러한 노력의 지속성을 확보하는 것이 중요하다고 판단된다.

#### (2)-2. 신속한 배수를 위한 낙수구 정비 및 유출량 조절 장치 선정

- (2)-3에서 설명한 바와 같이, 논바닥의 침수를 신속하게 배수하기 위해서는 적절한 수를 배치하고 낙수구 설치와 함께 유출량 조절장치의 선정이 중요하다. 그림2-14는 실증사업에서 실시한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 강우 규모가 커질수록 기능분리형이 침수 깊이는 깊어지지만 강우 후에는 기능일체형보다 단시간에 수심이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해, 논바닥의 침수를 신속하게 배수하기 위해서는 기능분리형을 선택하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.



<그림 2-14> 저류된 빗물의 배수 시간 (도치기현 도치기시 후키야게 동부지구 시뮬레이션 결과)

(2)-3. 충분한 높이의 견고한 제방 정비 등으로 제방을 넘어서는 빗물의 저류 방지

- '논댐'의 실시로 논두렁을 넘어서는 빗물의 저류로 인해 논두렁의 월류가 발생하여 논두렁이 무너지는 등의 피해가 우려되지만 그림3-13의 시뮬레이션 결과에 따르면 기능분리형, 기능일체형 모두 1/100년 확률 강우량(최대 시간당 강우량 77.5mm, 총 강우량 277.1mm)에서도 논두렁 수심이 20cm를 넘지 않는 것으로 나타났다. 277.1mm의 강우량이 발생하더라도 논표면수심은 20cm를 넘지 않는 것으로 보아 충분한 높이의 견고한 논두렁을 정비하면 논두렁을 넘어서는 저류는 발생하지 않고 논두렁으로부터의 월류는 발생하지 않음을 알 수 있다.

### 3. 일본의 저수지의 홍수 조절기능 강화대책 및 사전방류

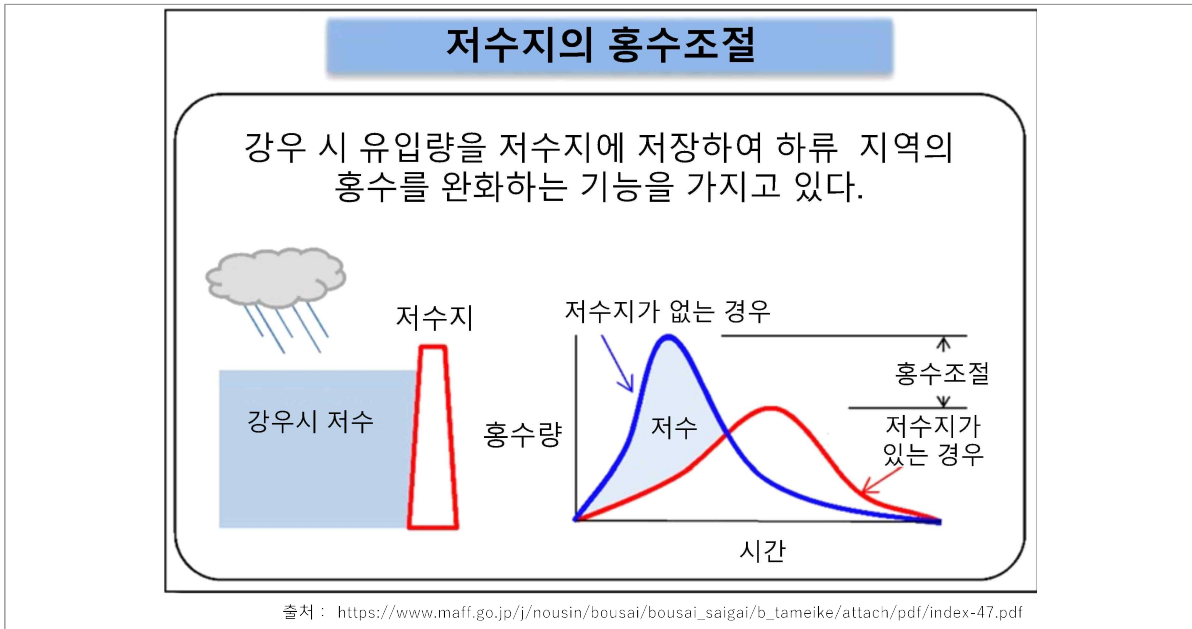
- 본장은 일본 농림수산성(농림축산식품부)에서 발행한 「저수지 홍수조절기능 강화대책 안내서, 2018년」, 내각부(대통령실, 총리실)의 「기존 댐의 활용방침, 2019」, 국토교통성(국토교통부)의 「사전방류 가이드라인, 2020년」 등의 공개자료를 참조하여 작성하였으며 그림, 표는 해당 자료에서 인용하여 일부 수정하였다.

#### 1. 저수지 홍수 조절 기능 강화 개요

- 일본내에 약 20만 개소가 있는 저수지는 '관개'라는 본래의 기능 외에 다면적기능 중 하나로 내린 비를 저장하여 하류의 농경지나 농업용 시설 등의 피해를 경감시키는 홍수 조절 기능도 가지고 있다(그림3-1). 그러나 최근 국지성 집중호우가 빈번하게 발생하고 있는 반면, 저수지의 홍수조절 기능을 강화하기 위한

방안에 대해서는 정리된 것이 많지 않아 보급이 미흡한 실정이다.

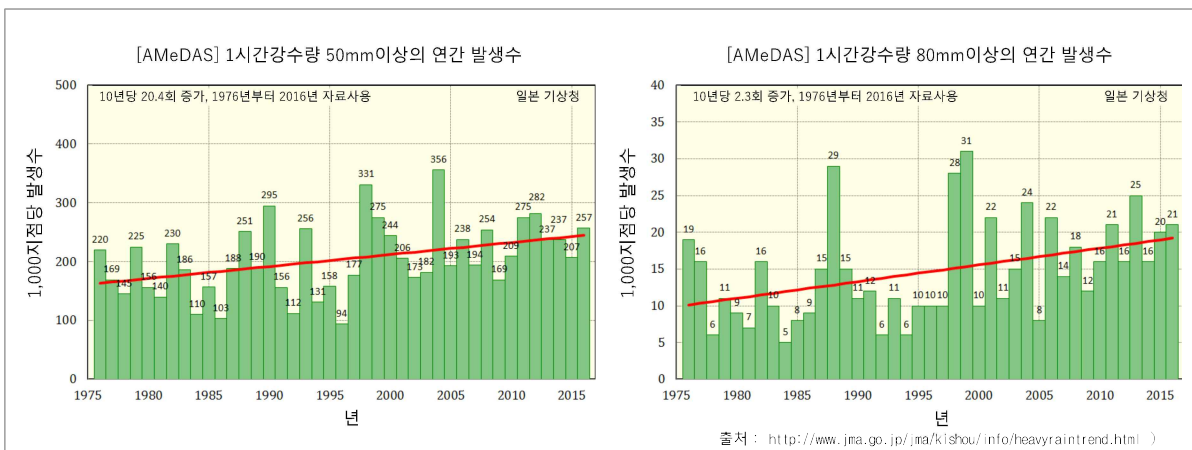
- 이에 일본에서는 저수지가 가지고 있는 홍수조절 기능을 최대한 활용하여 농촌지역의 방재 및 수해를 줄이는 것을 목적으로 전국에서 실시, 운영되고 있는 사례 등을 수집하여 도도부현이나 시정촌, 또는 저수지 관리자가 향후 홍수조절 기능 강화대책을 시행할 때 참고할 수 있도록 저수지 홍수조절기능 강화대책 안내서를 작성하여 배포 중에 있다



<그림 3-1> 저수지의 홍수 조절 기능

## 2. 강우 발생의 경향

- 일본 기상청에서 운영중인 아메다스(AMeDAS)의 최근 30년간의 관측 자료에 따르면 단시간 강우(시간당 50mm 또는 80mm 이상의 강우량)는 뚜렷한 증가 추세를 보이고 있다(그림3-2).



<그림 3-2> 시간당 강수량 연간 발생 수

### 3. 기존 댐의 홍수조절 기능 강화를 위한 기본방침

- 댐을 통한 홍수조절은 하류 전체 하천의 수위를 낮춰 제방 붕괴 위험을 줄이는 동시에 내수 피해와 하천 지류로 역류하는 것을 줄여 효과적인 치수대책으로 자리매김하고 있다.
- 현재 가동 중인 홍수조절 기능이 있는 댐은 1,460개소에 약 180억m<sup>3</sup>의 유효 저수용량을 보유하고 있으나 수력발전, 농업용수 등 다목적으로 정비되어 있어 홍수조절을 위한 저수용량은 약 3분의1 (약 54억m<sup>3</sup>)에 불과한 실정이다.
- 2019년 제19호 태풍 등을 계기로 수해의 심화, 치수대책의 시급성, 댐 정비의 지리적 제약 등을 고려하여 비상시 기존 댐의 유효 저수용량을 홍수조절에 최대한 활용할 수 있도록 관계부처의 긴밀한 협조를 통해 신속하게 필요한 조치를 취하기로 하고 기존 댐의 홍수조절 기능 강화를 위해 기본방침을 정하였다.
- 본 기본방침에 따라 모든 기존 댐을 대상으로 검증을 실시하고 아래의 시책을 조속히 검토하여 국가관리 1급수계(댐이 존재하는 98개수계)에 대해 2020년 취수시기부터 새로운 운용을 시작함과 동시에 도도부현에서 관리하고 있는 2급수계에 대해서도 2020년 4월부터 1급수계 운용대책을 도도부현에 전개하고 시급성 등에 따라 순차적으로 실행해 나가기로 하였다.

#### (1) 치수협정 체결

- 하천관리자인 국토교통성 지방정비국 등과 모든 댐 관리자 및 관련 토지개량구(댐 사용에 대한 권리를 가진 자, 한국의 구농지개량조합) 사이에 수계별 협의의 장을 마련하고 댐 관리자 및 이용자의 이해를 구하여 다음 내용을 포함한 치수협정을 2020년까지 1급수계를 대상으로 수계별로 체결하였다.
- 국토교통성(지방정비국 등)은 본 치수협정에 따라 댐 관리자와 연계하여 수계별로 댐의 통일적인 운영을 도모한다. 2급수계에 대해서도 국가와 지자체의 협의를 통해 순차적으로 수계별 치수협정 체결을 추진한다.
- 홍수조절에 이용 가능한 저수용량과 저수위 운영 등에 대해서는 댐 구조, 댐 관리자의 체제, 관련 토지개량구에 미치는 영향 등 물이용 상황 등을 고려한다.

#### (2) 치수협정의 주요 내용

- 홍수조절기능 강화의 기본방침
  - 수해 발생이 예상되는 경우의 홍수조절 용량과 홍수조절에 이용할 수 있는 이수용량(홍수조절 가능 용량)
  - 시기별 저수위 운영의 개념
- 사전 방류 실시 방침
  - 사전 방류 실시 판단 조건(강우량 등)
  - 사전 방류량(수위 저하량)에 대한 개념

- 비상시 연락체계
  - 하천관리자, 댐관리자, 토지개발구 및 지방자치단체 간에 홍수 시에도 즉각적인 연락이 가능한 체계 구축
- 정보 공유의 방법
  - 하천관리자, 댐관리자 및 관계지방자치단체 간에 공유할 정보(강우예측, 댐의 수위, 유입량, 방류량, 하류하천의 수위, 피난에 관한 발령 상황 등) 및 그 공유 방법
- 사전 방류 등으로 심각한 물 부족이 발생하지 않도록 하기 위한 조치가 있는 경우 그 내용(수계 내 탄력적인 물 유통 방법 등)
- 홍수조절 기능 강화를 위한 시설 개선이 필요한 경우의 대응방안

**(3) 하천관리자와 댐관리자 간의 정보망 정비**

- 상기 치수협정에 따라 비상시 대응에 필요한 각 댐의 수위, 유입량, 방류량 등 방재정보 등의 실시간 데이터를 하천관리자인 국토교통성(지방정비국 등)에 집약하여, 관계자들 간에 공유함으로써 사전 방류 등에 관한 가이드라인과 새로운 운영규정이 효과적으로 운영될 수 있도록 정보망을 정비한다.

**(4) 사전방류 등에 관한 가이드라인 정비 및 운영규정 등에 반영**

- 국토교통성에서 사전방류의 실시에 있어서의 기본 사항을 정하는 사전방류 등에 관한 가이드라인을 2020년까지 마련한다.
- 본 가이드라인에 따라 각 댐의 시설 능력 및 정보 공유 상황 등에 따라 사전 방류의 운영 방법 등을 신속하게 모든 기존 댐의 운영 규정 등에 반영한다.
- 시설능력 향상에 기여하는 시설개선 등을 실시하는 경우에는 이에 따라 운영규정 등을 재검토한다. 또한, 운영규정 등의 내용에 대해서는 필요에 따라 하류 관계자에게 사전 설명한다.

**<가이드라인 주요 내용>**

- 기준 등 설정 방법
  - 사전 방류 개시 기준
  - 사전방류로 인한 수위 저하량
  - 사전방류 시 최대 방류량
  - 사전방류 중단 기준
- 사전방류 후 수위가 회복되지 않은 경우의 대응방안
- 적절한 사전방류 작업을 위한 댐 관리 체계 확보
- 시설 개선이 필요한 경우 대응

**(5) 공정표 작성**

- 기존 댐의 이수용량을 홍수 조절에 최대한 활용할 수 있도록 2020년 6월까지 소프트 대책 및 하드 대책을 효과적으로 조합한 공정표를 1급수계를 대상으로 수계별로 작성한다. 본 공정표에 따라 필요한 조치를 취한다.
- 2급수계에 대해서도 국가와 지방의 협의 등을 통해 순차적으로 수계별 공정표 작성을 추진한다.

**(6) 예측정확도 향상 등을 위한 기술 및 시스템 개발**

- 모든 기존 댐을 최대한 활용하여 효과적인 홍수조절이 가능하도록 댐 주변 기상예보와 전달되는 강우예보 등을 활용하여 수계 전체의 장래 댐 유입량 및 하류 하천의 수위 상황 등의 예측 정확도 향상 등을 위한 기술 및 시스템 개발을 추진한다.
- 또한, 기상예보에 관한 기술개발 체제 강화 및 시스템 고도화 등을 통해 상기 댐 유입량 및 하류 하천의 수위 상황 등 예측의 정확도 향상에 필수적인 기상예보의 지속적인 정확도 향상 등을 위한 노력을 추진한다.

**4. 사전방류 가이드라인 (2020년 4월 발표)**

- 본 가이드라인은 「기존 댐의 홍수 조절기능 강화를 위한 기본방침 (2019년 12월 12일 기존 댐의 홍수조절기능 강화를 위한 검토회의)」에 따라 기존 댐의 유효 저수용량을 홍수조절에 최대한 활용할 수 있도록 국토교통성 소관 댐 및 하천법 제26조의 허가를 받아 설치된 이수댐을 대상으로 사전방류를 실시함에 있어 기본적인 사항을 정리한 것이다.
- 본 가이드라인의 내용은 향후 기술 및 시스템의 발전과 적용 실적 상황을 고려하여 운영과 정확도를 개선해 나가는 관점에서 필요에 따라 검토해 나갈 예정이다.
- 사전방류는 치수계획 규모나 하천(하도), 댐 등의 시설 능력을 초과하는 홍수<sup>1)</sup>가 발생 시 댐 하류 하천변의 홍수피해 예방 및 경감을 목적으로 한다.
- 본 가이드라인은 국토교통성 소관 댐 및 하천법 제26조의 허가를 받아 설치된 이수댐을 대상으로 한다.

1) 홍수는 일반적으로 강우로 인해 하천의 수량이 평상시보다 증가하거나 하천이 범람하는 것을 의미하나, 본 가이드라인에서는 하천의 수량이 평상시보다 증가하는 것으로 지정하고 있다.

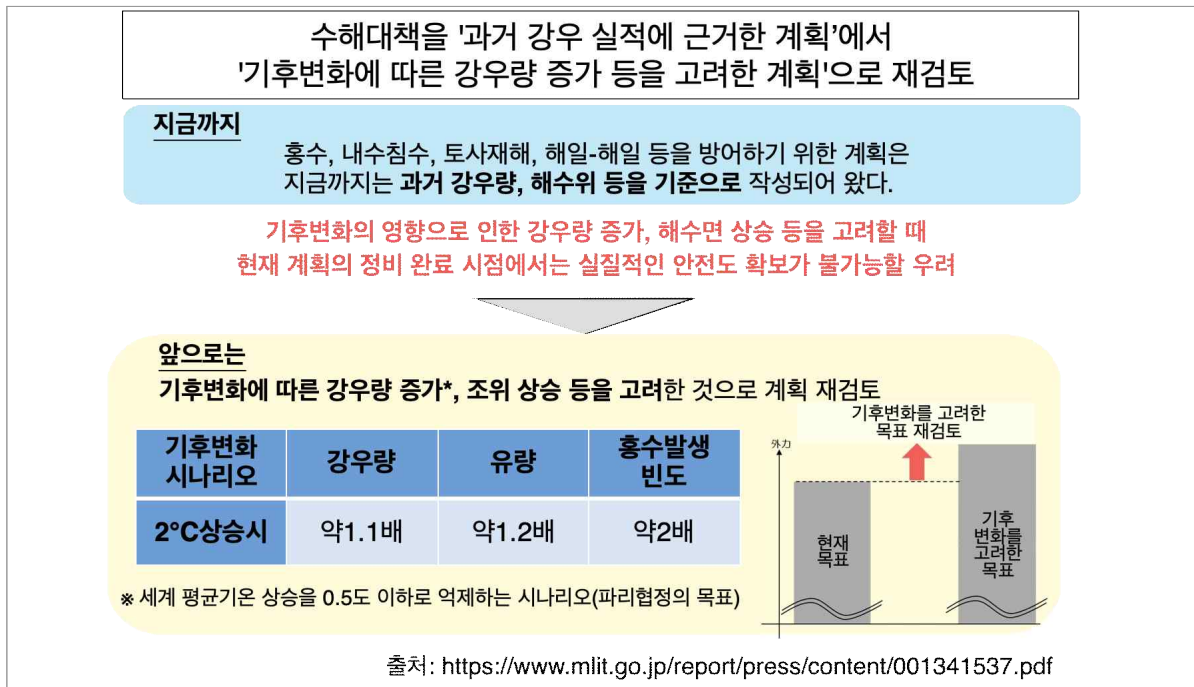


5. 사전방류 가이드라인 (2020년 4월 발표)

(1) 사전방류의 개시 기준 설정

(1) -1. 사전방류의 실시를 판단하는 조건

- 사전 방류 실시를 판단하는 조건은 다음과 같이 하는 것을 원칙으로 한다.
- 기상청에서 전달되는 강우예보에 따른 댐별 상류지역 예측 강우량이 댐별로 설정된 기준강우량 이상일 경우 사전방류를 실시한다.
- 기준강우량은 댐 하류 하천에서 홍수로 인한 범람 등의 피해를 발생시킬 우려가 있는 규모의 강우 지속 시간을 고려한 댐 상류지역의 유역 평균 강우량으로 한다.

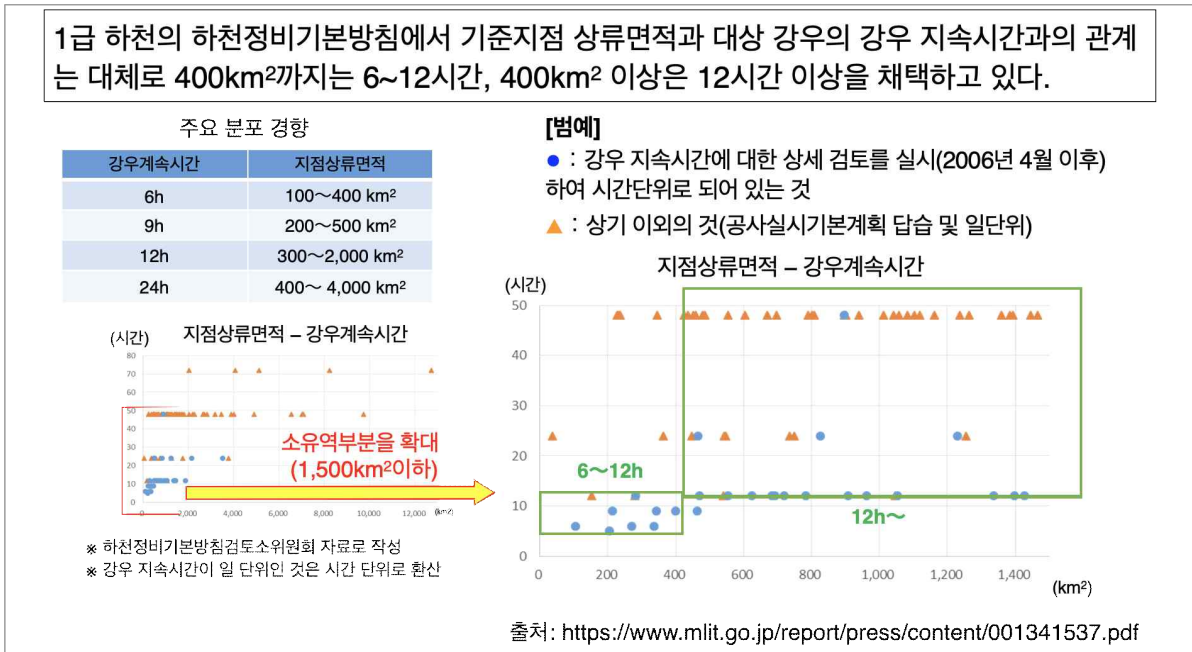


<그림 3-3> 기후변화를 고려한 재검토

(1) -2. 기준강우량 설정방법

- 기준강우량은 해당 댐 하류 하천의 현재 유하능력 (해당 하천의 상하류에 치수목적의 댐이 있는 경우에는 치수댐에 의해 홍수가 조절되는 것을 전제로 한다)에 해당하는 규모의 홍수를 설정하여 산정하는 것을 원칙으로 한다. 기준강우량은 대상 하천의 하천정비계획 점검 시기 등에 맞춰 점검하고 필요에 따라 재검토한다(그림3-3).
- 기준강우량의 강우지속시간 은 댐 상류 유역면적의 크기를 고려하고, 치수목적의 댐의 경우 댐 계획상의 강우지속시간, 수계의 치수계획상의 강우지속시간 등을 참고하여 설정하며 「1급하천의 기준지점 상류

면적과 강우지속시간의 관계」를 참고하고 개별적으로 판단이 곤란한 경우에는 24시간(상류지역이 특히 넓은 경우 등에는 48시간)으로 설정 할 수 있다(그림3-4).



<그림 3-4> 1급하천 기준지점 상류면적과 강우지속시간

(1) -3. 예측강우량 설정방법

- 홍수에 대한 사전 방류 실시 판단은 3일 전 강우량을 기준으로 하며, 이때 예측 강우량으로는 기상청 글로벌 모델(GSM)에 의한 수치예보(84시간 후까지의 예측)에 근거한 시간누적 강우량을 사용하는 것을 기본으로 한다(평균 강우량을 사용하여 댐 상류지역 평균 강우량으로 한다).
- 예측 강우량으로 기상청 메소모델(MSM)에 의한 수치예보(39시간 후까지의 예측)에 근거한 시간누적 강우량도 함께 사용하여 두 가지 예측 강우량 중 더 큰 강우량으로 기준 강우량 이상인지 여부를 확인하도록 한다.
- 예측 강우량은 국토교통성이 댐별로 GSM과 MSM에 의한 수치예보의 댐 상류지역 평균 예측치를 제시하고, 댐 관리자가 국토교통성 시스템에 접속하여 해당 댐 상류지역의 강우량 값을 열람함으로써 얻을 수 있다.

(2) 사전방류를 위한 저수위 저하량의 설정

(2) -1. 저수위 저하량의 설정

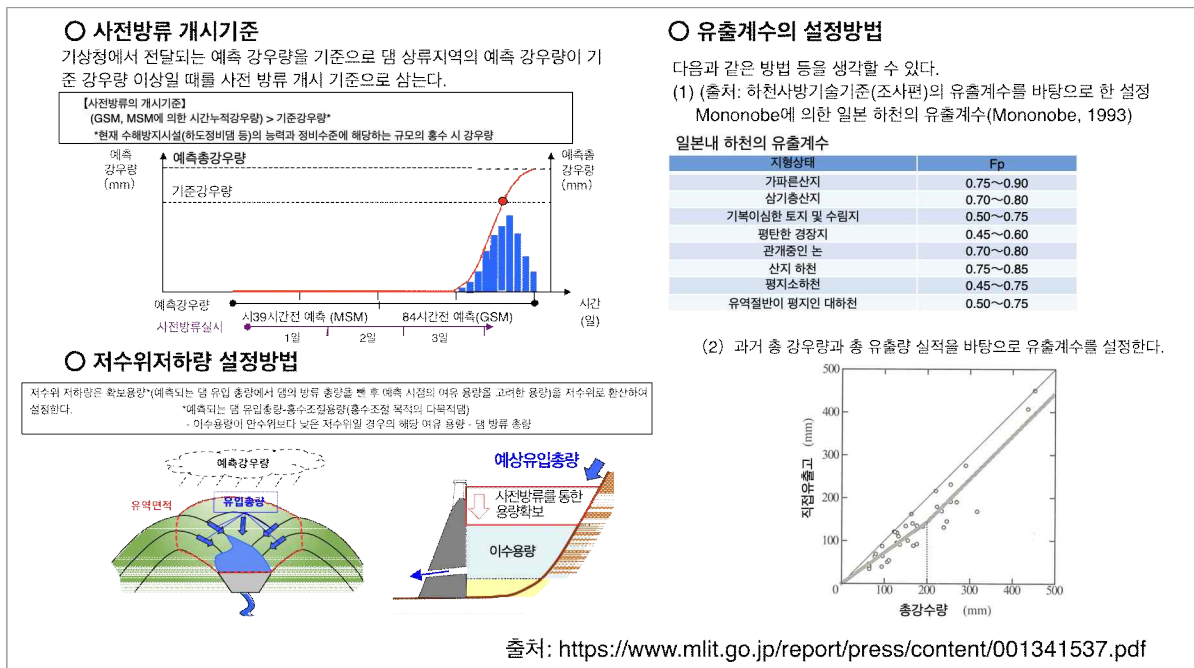
- 사전 방류량(저수위 저하량)은 다음과 같이 하는 것을 원칙으로 한다.

- 댐 상류지역의 예측 강우량이 유출되어 댐 저수지로 유입되는 양을 대상으로, 댐 저수지로 유입되는 총량을 산정하여 앞으로 홍수 시 방류 등 댐에서 방류되는 총량을 뺀다. 또한, 예측 시점에 여유 용량이 있는 경우에는 해당 용량도 뺀 다음 그 총량을 댐의 저수위로 환산하여 저수위 저하량으로 계산한다.
- 사전방류는 기존댐의 홍수조절기능 강화를 위한 기본방침(2019년 12월 12일 기존 댐의 홍수조절기능 강화를 위한 검토회의 결정) 및 수계별로 체결되는 치수협정에 규정된 홍수조절 가능 용량을 활용하여 범 위 내에서 시행한다.

## (2) -2. 저수위 저하량의 산정방법

### (1) 확보할 용량의 산정방법

- [개념] 사전방류에 의해 이수용량의 저수위를 낮추어 확보하는 용량(이하, 확보용량)은 예측되는 댐 유입총량에서 댐에서 방류할 총량을 뺀 후 예측 시점의 여유용량을 고려하여 저수위로 환산하여 설정한다.
- 홍수조절용량이 있는 다목적댐에서는 예측 강우량에 따라 댐 저수지로 유입되는 총량에서 해당 홍수조절용량, 이수 여유용량 및 홍수조절에 따른 방류량의 시간누적량을 뺀 값으로 계산한다. 또한, 하천유지유량이나 용수공급 등을 위한 방류가 필요한 경우에는 그 시간누적량을 줄인 것으로 계산해야 한다.
- 이수댐에서는 이수 여유용량 및 홍수시 방류량(산정 시 운영규정에 규정된 홍수량 등을 가정)의 시간누적량 및 하천유지유량이나 용수공급 등을 위해 방류가 필요한 경우에는 그 시간누적량을 뺀 값으로 계산한다(그림3-5).



<그림 3-5> 사전 방류에 의한 저수위 저하량 설정 방법

- [확보용량의 산정방법]아래 방법을 사용하되, 1)은 산정 정확도가 비교적 높은 반면 비교적 고도의 검토기술이 필요한 점, 2)는 산정작업이 용이한 반면 산정 정확도가 상대적으로 낮아지는 점을 감안 하여 1)2)의 순서로 선택을 검토한다. 2)에 비해 어려운 경우에는 3)을 선택한다. 또한, 예측 강우량에 대해서는 향후 종합적인 강우예측 등 4가지 새로운 예측기법의 활용을 염두에 두고 있으며 예측기법의 발전에 따라 필요한 검토를 거쳐 적용을 검토할 예정이다.

#### 1) 유출 모델 등에 의한 홍수 유출 해석

- 예측 강우량을 입력값으로 하여 저류함수법이나 분포형 유출 모델 등에 의해 유출 계산을 하여 댐으로의 유입량을 예측한다. 치수를 목적으로 하는 다목적댐에서는 해당 댐의 홍수조절기능을 적용하여 홍수를 저류하면서 방류량 계산을 하고 그 결과 홍수조절용량이 부족한 경우 부족해진 시점 이후의 유입총량과 방류총량(홍수시 방재작동으로 전환하지 않고 원칙작동 그대로 방류하는 것을 가정하고)의 차이에서 이수 여유용량을 뺀 것을 산출하여 확보용량으로 한다. 이수댐의 경우 댐에 유입되는 총량 예측치에서 상기 [개념]에 따른 방류 총량과 이수 여유용량을 뺀 것을 확보용량으로 산정한다.

#### 2) 아래의 간이 계산식에 의한 방법(① 또는 ②의 산정 방법)

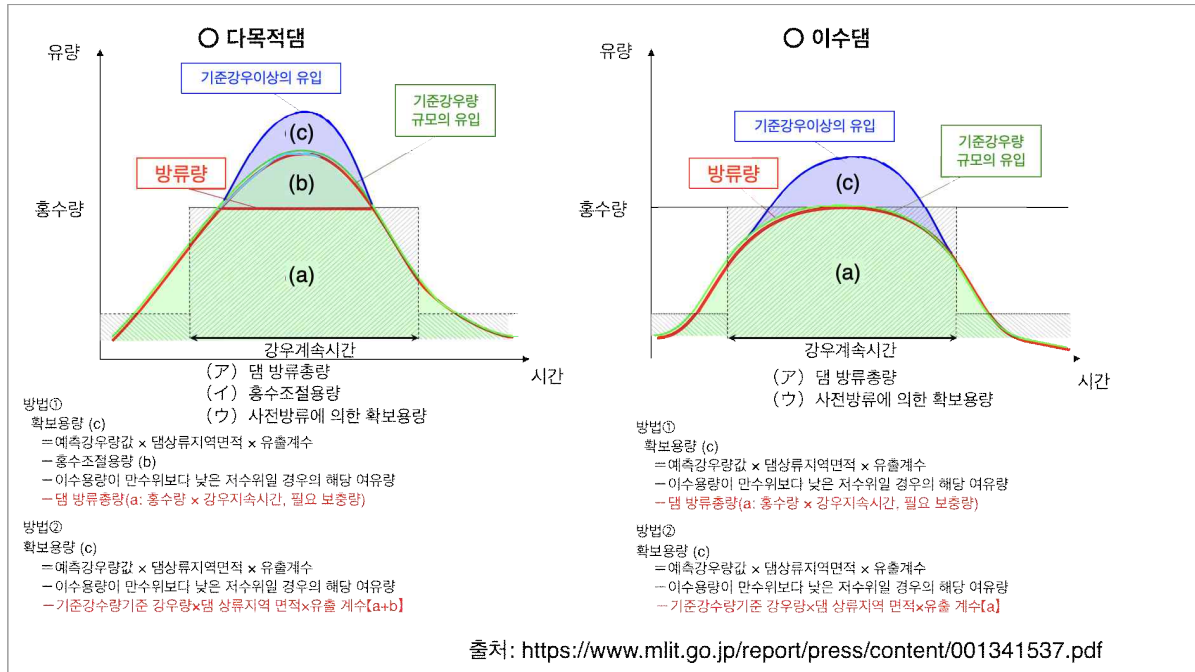
①의 산정방법에서 댐 방류총량 설정이 어려운 경우 등에는 ②의 산정방법을 적용한다(그림3-6).

② 예측 강우량값 × 댐상류지역 면적 × 유출계수 (=댐 유입 총량)

- 홍수조절용량(홍수조절 목적의 다목적댐)
- 이용용량이 만수위보다 낮은 저수위일 경우 해당 여유 용량
- 댐 방류 총량

③ 예측 강우량값6 × 댐상류지역 면적 × 유출계수7 (=댐 유입 총량)

- 용수 용량이 만수위보다 낮은 저수위일 때 해당 여유 용량
- 기준강우량 × 댐상류지역 면적 × 유출계수7 (=댐 방류 총량 + 홍수조절용량)



<그림 3-6> 사전 방류에 의한 저수위 저하량 설정 방법

- 예측 강우량은 기상청의 글로벌모델(GSM) 및 메소모델(MSM)에 의한 수치예보의 평균 강수량에 근거한 댐 상류지역의 강우예측기간(GSM의 경우 72시간, MSM의 경우 39시간)의 누적 강수량이다. 예측강수량 설정 시에는 사전방류를 시작한 이후 시간이 경과함에 따라 수치예보의 시점 갱신에 따라 예측강수량을 재검토하는 것이 바람직하며, 이때 전지구모델(GSM)과 메소모델(MSM)의 수치예보 중 더 큰 값으로 예측강수량을 재검토 하도록 한다(그림3-7).
- ?예를 들어, 다음과 같은 대응으로 예측 강수량에 따라 저수위 저하를 재검토(중단 포함)하는 것으로 3일 전 시점부터 GSM의 예측 강수량을 사용하되 그 갱신(6시간마다) 때마다 최신의 예측 강수량을 사용하도록 한다. GSM보다 일반적으로 예측 정확도가 높은 MSM에 의한 평균 강수량의 39시간 누적값이 GSM 평균 강수량의 72시간 누적값을 상회하는 경우 그 업데이트(3시간마다) 때마다 최신 MSM 평균 강수량의 39시간 누적값을 사용하도록 한다.

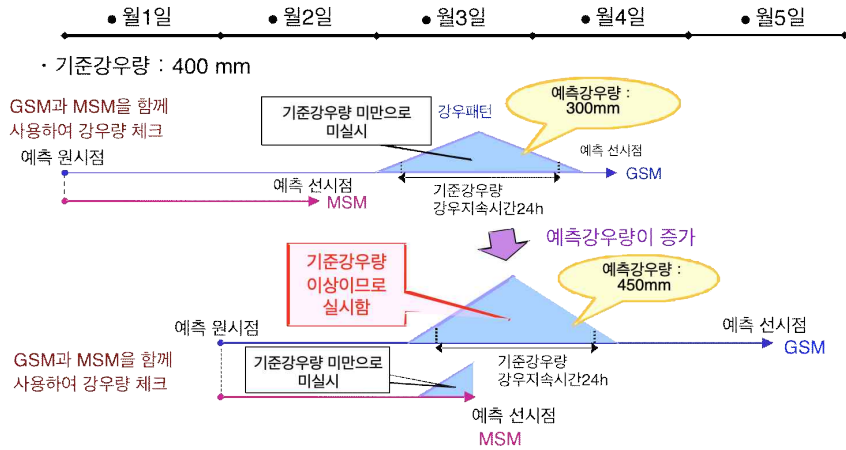
3) 그 외의 방법

- 1)2)에 의한 방법이 곤란한 경우에는 다른 방법으로 한다.

(2) 확보하는 용량에서 저수위 저하량으로 환산하는 방법

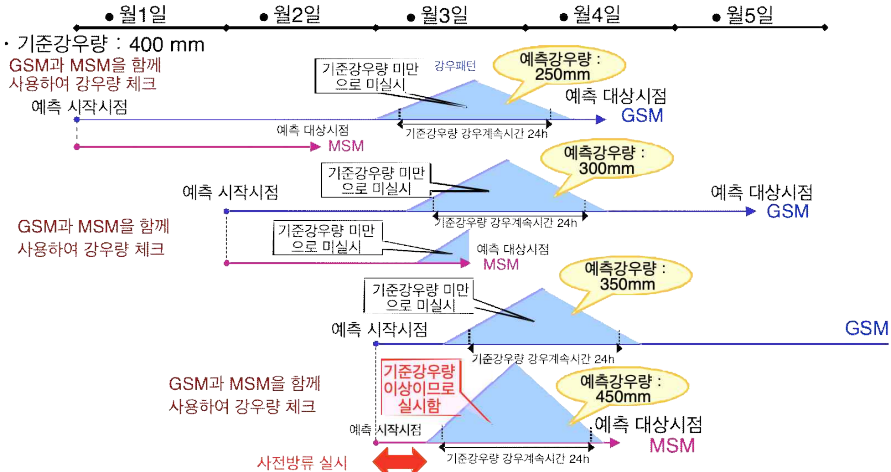
- 댐의 저수위?용량 곡선식을 이용하여 확보 용량을 수위로 환산하여 저수위 저하량을 산정한다. 또한, 이수댐에서 하천법 제44조에 따라 하천의 종전의 기능 유지를 위해 확보하는 여유용량의 하한 수위가 설정되어 있는 경우에는 이 수위에서 더 낮추는 것으로 홍수규모를 고려하여 저수위 저하량을 산정한다.

● GSM과 MSM을 병행하여 강우량을 확인하고 소요시간이 긴 GSM으로 실시를 결정하는 경우



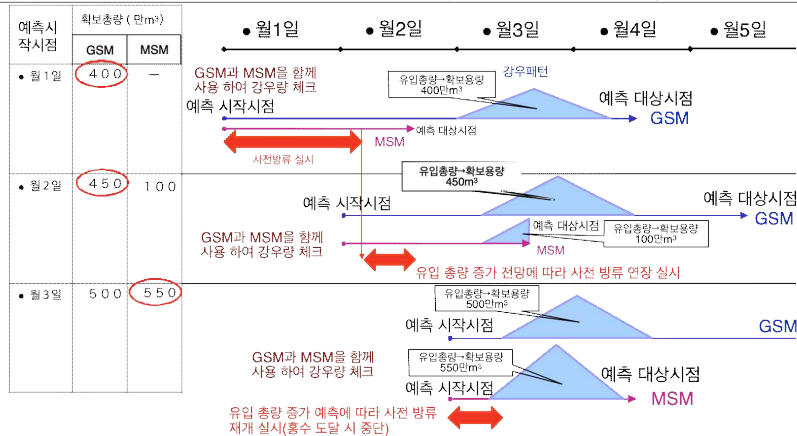
(a) 강우예측과 실시판단(trigger)의 시간경과개념(1)

● GSM과 MSM을 병행하여 점검하지만, 결과적으로 GSM이 아닌 MSM으로 시행을 결정한 경우



(b) 강우예측과 실시판단(trigger)의 시간경과개념(2)

● GSM에 의해 3일 전에 실시를 결정하고 GSM에 의해 확보 용량을 설정하지만, 시간이 지남에 따라 강우 예측량이 증가하여 최종적으로 MSM에 의해 확보 용량을 재검토하는 경우 (일단 종료 후 재개하는 경우)



출처: <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001341537.pdf>

(c) 강우 예측 및 확보 용량 설정의 시간 경과 개념(3)

<그림 3-7> 강우예측과 시간경과 개념

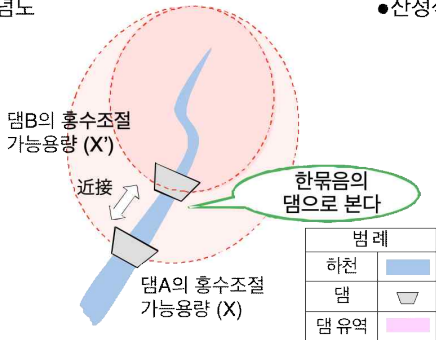


(3) 기타 유의사항

- 수계에 여러 개의 댐이 있는 경우, 배치 상황에 따라 확보용량을 산정해야 한다. 이때 하천관리자, 관련 댐 관리자가 조정하여 확보용량을 설정한다.
- 배치 상황에 따른 확보용량 산정의 기본 개념은 다음과 같다(그림3-8).
- 복수의 댐이 동일 하천에 상하류 연속적으로 근접하여 배치되어 있는 경우 복수의 댐을 하나의 댐으로 간주하여 최하류 댐에서 댐 유입총량 및 댐 방류총량을 설정하여 확보용량을 산출하고 이를 각 댐의 홍수조절가능용량 비율로 비례하여 각 댐에 할당하는 등의 방법으로 각 댐의 확보용량을 산정한다.
- 복수의 댐이 동일 하천에서 상하류 연속적으로 떨어져 배치되어 있는 경우 해당 댐의 상류지역 전체 면적을 대상으로 댐 유입총량을 산정하고, 여기에서 상류에 있는 댐의 확보용량(확보용량을 사용하기 어려운 경우 홍수조절가능용량을 사용할 수도 있음)을 감소시키는 한편, 해당 댐의 방류총량을 줄인 것을 해당 댐의 확보용량으로 한다.
- 상류 유역 면적이 수백 $km^2$  이상 방대하고 상류에 다른 댐이 지류에 분산되어 여러 개 있는 경우(각 댐이 떨어져 있는 경우) 해당 댐의 상류지역 전체 면적을 대상으로 댐 유입 총량을 산출하고 여기에서 상류에 있는 댐의 확보용량(확보용량을 사용하기 어려운 경우에는 홍수조절가능 용량을 사용할 수 있음)을 감소시키고 해당 댐의 방류총량을 감소시킨 것을 해당 댐의 확보용량으로 한다.
- ※단, 개별 댐의 배치 상황과 홍수 조절 가능 용량 및 유역 면적 등에 따라 위의 기본 개념에 따르지 않을 수 있다.

① 동일 하천에 복수의 댐이 상하류 연속적으로 근접하여 배치되어 있는 경우  
 【확보용량 산정방법】 복수의 댐을 하나의 댐으로 간주하고, 최하류 댐에서 댐 유입총량 및 댐 방류총량을 설정하여 확보용량을 산정하고, 이를 각 댐의 홍수조절 가능 용량 비율로 비례 배분하여 각 댐에 할당하는 등의 방법으로 각 댐의 확보용량으로 한다.  
 ※ 복수의 댐이 동일 하천에 상하류 연속적으로 배치되어 있는 경우, 기본적으로 「②복수의 댐이 동일 하천에 상하류 연속적으로 떨어져 배치되어 있는 경우」의 방법을 사용하되, 근접하게 배치되어 하나의 댐으로 볼 수 있는 경우에는 이 방법을 사용한다.

●개념도



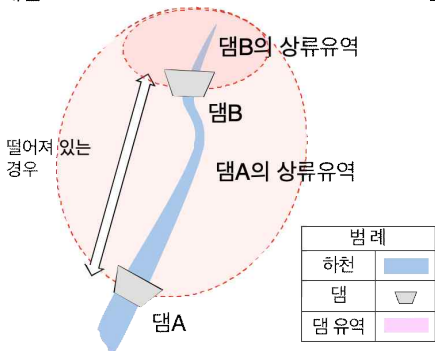
●산정식

- 한류역의 댐의 확보용량 (V)  
 = 댐A의 유입총량  
 - 댐A의 홍수조절용량(치수를 목적으로 하는 다목적 댐)  
 - 댐A의 이수용량이 만수위 미만의 경우 해당 확보용량  
 - 댐A의 방류총량
- 댐A의 확보용량 (VA)  
 =  $V \times \{X \div (X + X')\}$
- 댐B의 확보용량 (VB)  
 =  $V \times \{X' \div (X + X')\}$

※개별 댐의 배치 상황과 홍수 조절 가능 용량 및 유역 면적 등에 따라 위의 기본 개념에 따르지 않을 수 있음.

① 동일 하천에 여러 개의 댐이 상하류 연속적으로 떨어져 배치되어 있는 경우  
 【확보용량 산정방법】 확보용량의 산정방법】 해당 댐의 상류지역 전체 면적을 대상으로 댐 유입총량을 산출하고, 여기에서 상류에 있는 댐의 확보용량을 감액하는 동시에 해당 댐의 방류총량을 감액한 것을 해당 댐의 확보용량으로 한다.

●개념도



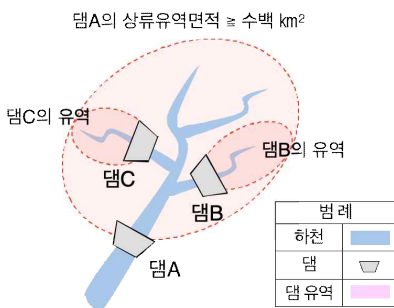
●산정식

- 댐A의 확보용량 (V)  
 = 댐A의 유입총량  
 - 댐A의 홍수조절용량(치수를 목적으로 하는 다목적 댐)  
 - 댐A의 이수용량이 만수위 미만의 경우 해당 확보용량  
 - 댐A의 방류총량
- 댐B의 확보용량

※개별 댐의 배치 상황과 홍수 조절 가능 용량 및 유역 면적 등에 따라 위의 기본 개념에 따르지 않을 수 있음.

① 동일 하천에 여러 개의 댐이 상하류 연속적으로 떨어져 배치되어 있는 경우  
 【확보용량 산정방법】 확보용량의 산정방법】 해당 댐의 상류지역 전체 면적을 대상으로 댐 유입총량을 산출하고, 여기에서 상류에 있는 댐의 확보용량을 감액하는 동시에 해당 댐의 방류총량을 감액한 것을 해당 댐의 확보용량으로 한다.

●개념도



●산정식

- 댐A의 확보용량 (V)  
 = 댐A의 유입총량  
 - 댐A의 홍수조절용량(치수를 목적으로 하는 다목적 댐)  
 - 댐A의 이수용량이 만수위 미만의 경우 해당 확보용량  
 - 댐A의 방류총량
- 댐B의 확보용량
- 댐C의 확보용량

※개별 댐의 배치 상황과 홍수 조절 가능 용량 및 유역 면적 등에 따라 위의 기본 개념에 따르지 않을 수 있음.

출처: <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001341537.pdf>

<그림 3-8> 여러개의 댐의 있는 경우 저수위 저하량 산정방법

(3) 사전 방류 시 최대 방류량

- 사전방류에 의한 최대 방류량은 해당 댐 하류 하천의 유하능력, 하류 하천 이용자의 안전 확보, 방류시설의 방류능력, 제방 및 저수지 법면의 안정성을 확보할 수 있는 수위저하 속도 등을 고려하여 설정한다. 수계에 여러 개의 댐이 있는 경우 방류시설의 방류능력 차이에 대한 기본 개념은 다음과 같다(그림3-9).
- 상류에 A댐, 하류에 B댐이 배치되어 있다고 가정하자.
- A댐과 B댐이 홍수 방류로 사전 방류를 실시하는 경우(A댐의 홍수방류능력  $x \text{ m}^3/\text{s}$ , B댐의 홍수방류능력  $y \text{ m}^3/\text{s}$ ), 일반적으로 하류댐의 홍수방류능력은 상류댐의 홍수방류능력보다 크다고 볼 수 있으며  $x \leq y$  인 경우 각 댐의 방류능력( $x \text{ m}^3/\text{s}, y \text{ m}^3/\text{s}$ )에 따라 사전 방류하는 것을 기본으로 한다.
- 다음으로 A댐과 B댐이 이수방류 설비만을 이용하여 사전방류를 실시하는 경우(A댐의 이수방류능력  $\alpha \text{ m}^3/\text{s}$ , B댐의 이수방류능력  $\beta \text{ m}^3/\text{s}$ ),  $\alpha > \beta$ 일 때, 하류에 위치한 B댐은 사전방류로  $\beta \text{ m}^3/\text{s}$ 를 방류하더라도 상류 A댐의 방류량  $\alpha \text{ m}^3/\text{s}$ 의 유입으로 저수위를 낮추는 것이 어려워질 수 있다.
- 이러한 경우 A댐에서는 사전방류로  $\alpha \text{ m}^3/\text{s}$ 를 방류하지만, 각 댐 모두 사전 저수위 저하(여유용량 확보)로 이어질 수 있는 노력은 해야 하므로, B댐에서도  $\beta \text{ m}^3/\text{s}$  방류를 실시하는 것을 기본으로 한다.
- 또한, A댐과 B댐 각각의 홍수조절 가능 용량은 기본적으로 이수방류능력에 비례한다고 볼 수 있으므로,  $\alpha < \beta$ 와 같이 하류 댐의 이수방류능력이 큰 경우에는 각 댐의 이수방류능력( $\alpha \text{ m}^3/\text{s}, \beta \text{ m}^3/\text{s}$ )을 기준으로 사전 방류하는 것을 원칙으로 한다.

**○ 수계에 복수의 댐이 있는 경우의 방류설비의 방류능력 차이에 대한 기본적 개념**

● 개념도.

범례	
하천	→
댐	▤

● 기본적인 개념

**【A댐과 B댐이 홍수방류로 사전 방류를 실시하는 경우】**

- 일반적으로 하류 댐의 홍수방류능력은 상류 댐의 홍수방류능력보다 크다고 생각되며  $x \leq y$  인 경우 각각의 방류능력 ( $x \text{ m}^3/\text{s}, y \text{ m}^3/\text{s}$ ) 을 기준으로 사전방류를 하는 것을 원칙으로 한다.

**【A댐과 B댐이 이수 방류 설비만을 이용하여 사전방류를 실시하는 경우】**

○  $\alpha > \beta$ 의 경우

- 댐B는 사전 방류로  $\beta \text{ m}^3/\text{s}$  를 방류해도 댐A에서 방류량  $\alpha \text{ m}^3/\text{s}$ 로 인해 저수위를 낮추는 것이 어렵다.
- 이 경우, 댐A에서는 사전 방류로  $\alpha \text{ m}^3/\text{s}$ 를 방류하지만, 각 댐 모두 사전 저수위 저하(여유 용량 확보)로 이어질 수 있는 노력을 해야 한다. 따라서 댐 B에서도  $\beta \text{ m}^3/\text{s}$ 의 방류를 실시하는 것을 기본으로 한다.

○  $\alpha < \beta$ 의 경우

- 댐B의 홍수 방류능력이 큰 경우, 각 댐의 홍수 방류능력 ( $\alpha \text{ m}^3/\text{s}, \beta \text{ m}^3/\text{s}$ ) 에 따라 사전 방류하는 것을 원칙으로 한다.

※ 개별 댐의 배치 상황과 홍수 조절 가능 용량 및 유역 면적 등에 따라 위의 기본 개념에 따르지 않을 수 있음.

출처: <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001341537.pdf>

<그림 3-9> 여러개의 댐이 있는 경우 댐의 방류량

- ※  $\alpha > \beta$ 이지만 상류 A댐의 홍수조절가능용량이 하류 B댐의 홍수조절가능용량보다 작은 경우, 또는  $\alpha < \beta$ 이지만 상류 A댐의 홍수조절가능용량이 하류 B댐의 홍수조절가능용량보다 큰 경우, 사전방류 실시를 결정한 후 홍수발생까지의 기간 동안 A댐과 B댐 각각에 대해 얼마나 많은 시간 동안 사전방류를 실시

하느냐에 따라 두 댐에서 확보하는 용량을 최대화하는 최적화의 문제가 될 수 있으며 위의 기본적인 사고 방식에 따르지 않을 수 있다.

#### (4) 사전 방류 중단 기준

- 사전 방류작업 중단 판단 기준은 다음과 같으며 댐의 구조적 한계 등으로 댐별로 적절히 판단한다.
- (1) 사전방류 작업을 실시하는 경우, 유입량이 운영규칙 또는 시설관리규칙에 규정된 홍수량 등과 같아지면 사전방류 작업을 중단하고 홍수조절작업 또는 홍수시 조치(홍수시 작업)로 전환한다.
- (2) 사전방류 작업을 실시하는 경우, 확보용량이 확보된 상태가 되어 더 이상 저수위를 낮출 필요가 없어진 경우에는 사전방류 작업을 중단하고 유입량이 홍수시 규정된 홍수량과 같아질 때까지 중단시의 저수위 유지에 노력하여야 한다.
- (3) 사전방류 작업을 실시하는 경우, 예측 강우량이 당초의 예측 강우량에서 변화하여 2.1의 사전방류 실시 판단 조건에 해당하지 않게 된 경우에는 사전방류 작업을 중단한다.
- (4) 사전방류 작업을 실시하는 경우, 유입량이 운영규칙 또는 시설관리규칙에 규정된 홍수량 등에 도달하지 않고 최대가 되었을 경우 사전방류 작업을 중단한다.
- (5) 상기 (1)~(4)에 관계없이 기상·수위 기타 상황으로 인해 사전방류 작업을 중단할 필요가 발생한 경우에는 중단 당시의 저수위를 유지하거나 그 이후의 유입수를 저류하여 수위가 상승하도록 노력하여야 하며, 사전방류를 계속할 필요가 없어졌다고 인정되는 경우에도 그 이후의 유입수를 저류하여 저수위가 상승하도록 노력하여야 한다.

#### (5) 사전 방류 실시 시 유의사항

- (1) 하천관리자, 댐관리자, 관련 이해관계자는 사전에 협력하여 수계별로 체결한 수문협정의 내용 등 사전방류 실시에 대해 관계 지방자치단체(댐하류 기준)에 설명하여야 한다.
- (2) 댐 관리자는 사전방류를 실시함에 있어 하천관리자, 관련 이해관계자 및 관계 지방자치단체와 연락을 취하여 방류 개시 및 중단에 관한 정보를 공유하여야 한다.
- (3) 댐 관리자는 댐의 홍수방류 또는 방류관에서 방류(해당 방류 중도에 방류량이 현저하게 증가하여 하류에 위해가 발생할 우려가 있는 것을 포함한다)를 실시할 때에는 운영규정, 시설관리규정, 운영규정 등에 따라 관계기관에 통지하고 일반에 알리기 위한 조치를 취하여야 한다.
- (4) 하천관리자인 국토교통성은 재해나 사고의 예방 등을 위해 필요한 경우(예를 들어, 복수의 댐이 배치된 수계의 본지천에서 상류 각 댐의 사전방류 방류량이 합쳐질 때 하천 이용 등에 미치는 영향이 인정되는 경우)에는 댐 관리자에게 사전방류의 방류량을 조정하는 등 필요한 조치를 요청할 수 있다.
- (5) 하천관리자인 국토교통성은 기상청으로부터 해당 수계에 관한 「태풍에 관한 기상정보(전반적인 태풍정보)」, 「(폭우에 관한) 전반적 기상정보」가 발표되었을 때, 또는 이러한 기상정보가 발표되지 않았

음에도 불구하고 인근의 다른 수계에서 사전방류가 개시된 경우 등 필요하다고 판단한 경우 때에는 댐 관리자에게 그 취지를 알리고 사전 방류를 실시할 태세 에 들어가도록 전달한다.

- (6) 하천관리자인 국토교통성은 기상정보와 하천의 상황을 종합적으로 판단하여 대응이 불필요하다고 판단되면 댐 관리자에게 사전방류 실시 태세를 해제하도록 전달한다.
- (7) 하천관리자, 댐관리자, 관련 이해관계자 및 지방자치단체 간에 사전방류를 실시할 태세를 갖출 경우, 아래 정보를 수시로 각각의 방법을 통해 공유한다.

### 6. 사전방류 후 수위가 회복되지 않은 경우의 대응 방안

- 본 지침에 따른 사전방류를 실시한 후 낮아진 수위가 회복되지 않아 댐으로부터의 보충에 의한 물이용이 어려워질 우려가 있는 경우, 하천관리자는 물이용 조정과 관련하여 이해관계자의 협의에 응하여 필요한 정보(댐의 저류제한 완화 가능성, 취수시기 변경 가능성 등)를 제공함으로써 관계자들 간의 물이용 조정이 원활히 이루어질 수 있도록 노력한다(표3-1).

<표 3-1> 저수지 정보를 이용한 사전방류 실시 방법

정보	방법
기존 댐의 저수위, 유입량, 방류량 (실시간 수치)	정보를 가진 각자가 국토교통부의 공유시스템 에 정보를 전송하고, 국토해양부는 집약된 정보를 관계기관에 제공하는 동시에 일반인에게도 공개한다.
사전 방류를 실시할 때 필요한 기상정보 (강우량 예측 등)	댐 관리자가 기상청에서 발표하는 기상정보(강우예측기법 등) 중 GSM과 MSM 중 어느 것을 이용하고 있는지에 대해 국토교통성(하천관리자)에 정보를 제공한다.
기존 댐 하류의 하천 수위	정보를 가진 각자가 국토교통부의 공유시스템12에 정보를 전송하고, 국토해양부는 집계된 정보를 관계자 간 제공과 함께 일반인에게도 공개한다.
피나에 관한 준비상황 및 권고사항 및 지시사항 발령 현황	각자가 ●●현, ●●시의 방재정보 사이트 등을 이용한다.

- 또한, 이러한 경우에 대비하여 대체시설에 의한 보충 등으로 최대한 피해가 발생하지 않도록 사전에 가능한 범위 내에서 대응방안을 검토한다. 하지만, 필요한 수량을 확보할 수 없어 이용자에게 특별한 부담 이 발생하는 경우에는 다음과 같은 손실보전제도를 마련할 수 있다.

#### 【손실보전제도】

##### ① 손실보상을 받을 수 있는 시설 등

- 국토교통성 및 수자원기구(JWA)가 관리하는 댐 및 하천법 제26조의 허가를 받아 1급수계에 설치된 이수 댐을 대상으로 한다.

##### ② 손실보전 내용

- 손실보전이란 사전방류에 사용한 이수용량 등이 회복되지 않아 종전의 기능이 현저하게 저하되고 기상 청의 강우예측과 실적에 현저한 차이가 발생한 것에 합리적인 이유가 있는 경우, 기능회복을 위해 소요

된 조치 등에 대해 이수사업자의 제안에 따라 지방정비국 등과 이수사업자(이수댐의 관리자 및 댐에 대한 권리를 가진 자)가 협의하여 필요한 비용을 취입보 유지비 또는 수자원개발사업 교부금으로 부담하는 것이다.

a) 발전

- 사전 방류에 사용한 이수용량이 종전과 동일하게 회복되지 않음으로 인해 발생하는 전력 감소에 대한 화력발전소 가동 등 대체 발전비용의 증액분으로 한다. 화력발전소 추가 가동 등에 따른 비용은 감소된 발전량에 발전사업자의 화력발전소 추가 가동 등의 발전단가를 곱한 비용으로 한다. 사전 방류에 의한 추가 발전이 있는 경우 이를 고려한다.

b) 상수도

- 사전방류로 인해 취수용량이 종전과 동일하게 회복되지 않는 경우, 취수제한의 신규 발생 및 그 기간의 연장 및 취수제한을 증가에 따라 발생하는 취수사업자의 홍보 등 활동비용 및 급수차 출동 등 대책비용의 증액분으로 한다.

c) 공업용수

- 사전방류로 인해 취수용량이 종전과 동일하게 회복되지 않는 경우, 취수제한의 신규 발생 및 그 기간의 연장 및 취수제한을 증가에 따라 발생하는 용수사업자의 홍보 등 활동비용 및 대체수원 등 대책비용의 증액분으로 한다.

d) 관개

- 사전방류로 인해 용수용량이 종전과 동등하게 회복되지 않는 경우로서 취수제한의 신규 발생 및 그 기간의 연장 및 취수제한을 증가에 따라 발생하는 토지개량지구 등의 방수활동비 및 대체수원 대책비용 등의 증액분으로 한다.

③ 손실보전 대상기간 및 제안기간

- 손실보전 대상기간은 사전방류에 사용한 용수용량 등이 종전에 회복되지 않은 시점부터 이후 회복된 시점까지의 기간으로 한다. 수위가 회복되지 않은 사실 및 회복된 사실에 대해서는 국토교통성 및 수자원기구(JWA)가 관리하는 댐 관리자로부터 이수사업자 중 해당 댐에 권리를 가진 자 또는 이수댐 관리자로 부터 이수사업자 중 해당 댐에 권리를 가진 자 및 하천관리자에게 통지하여야 한다. 제안은 이수사업자가 지방정비국장 등에게 하며 제안기간은 댐관리자로부터 통지를 받은 날로부터 6개월 이내를 원칙으로 한다. 구체적인 절차 및 산정방법에 대해서는 별도 절차로 정리할 예정이다.

## 7. 적절한 사전 방류 작업을 위한 댐의 관리 체제 확보

### (1) 적절한 체제 확보

- 사전방류는 강우예측에 따라 적시에 실시하는 것으로 댐 운영 및 관계기관에 대한 연락, 일반인 안내 등을 수반하는 것이므로 사전방류 실시에 필요한 체제를 확보하여 신속한 소집체제를 갖추어야 한다.



## (2) 관측, 계측, 기록, 점검 및 정비

- 사전 방류를 정확하게 수행한다는 관점에서 운영규칙, 시설관리규정, 운영규정 등을 근거로 댐, 저수지 및 댐에 관한 시설 등을 항상 양호한 상태로 유지하기 위해 필요한 관측, 계측, 정기적인 점검 및 정비를 실시하여야 한다.

## 8. 적절한 사전 방류 작업을 위한 댐의 관리 체제 확보

- 효과적인 사전방류(한정된 기간에 최대한 방류하는 것)를 실시함에 있어서는 방류시설의 방류능력이 작아 제약이 있는 등의 경우, 시설개선을 통해 본 수계의 홍수조절기능 강화에 일정한 효과가 인정되는 댐에 대해서는 하천관리자와 해당 댐 관리자 및 관련 물이용자가 협력하여 필요한 대응을 추진하기로 한다.

## 참 고 문 헌

- 국토교통성, 유역치수의 기본적인 개념, 流域治水の基本的な考え方  
[https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/pdf/01\\_kangaekata.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/pdf/01_kangaekata.pdf)
- 농림수산성, 논댐 안내서, 田んぼダムの手引き  
[https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/kurasi\\_agwater/attach/pdf/ryuuiiki\\_tisui-67.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/kurasi_agwater/attach/pdf/ryuuiiki_tisui-67.pdf)
- 사토마사요시(佐藤政良), 유역치수에서 농지의 역할, 流域治水における農地の位置と役割  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/35/1/35\\_41/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr/35/1/35_41/_pdf/-char/ja)
- 사토마사요시(佐藤政良), 국가하천, 지방하천, 논과 하천의 관계에서 수해를 막을 수 있을까?, 大水害は防げるか国河川・県河川・水田の関係から考える  
<https://researchmap.jp/read0018481/misc/40621761>
- 농림수산성, 논댐 안내서, 田んぼダムの手引き  
[https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/kurasi\\_agwater/attach/pdf/ryuuiiki\\_tisui-67.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/kurasi_agwater/attach/pdf/ryuuiiki_tisui-67.pdf)
- 후쿠시마현, 논댐 기술 매뉴얼, 田んぼダム技術マニュアル  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/564979.pdf>
- 국토교통성, 유역치수의 기본적인 개념, 流域治水の基本的な考え方  
[https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/pdf/01\\_kangaekata.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/pdf/01_kangaekata.pdf)
- 요시카와나츠키(吉川夏樹), 논댐의 공익적 평가와 기술적 가능성, 田んぼダムの公益的機能の評?と技術的可能性 <https://researchmap.jp/read0018481/misc/40621761>
- 농림수산성, 저수지 홍수조절 기능강화 대책 안내서, ため池の洪水調節機能?化?策の手引き  
[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/attach/pdf/index-47.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-47.pdf)
- 내각부, 기존 댐 활용 검토회의, ?存ダムの洪水調節機能?化に向けた?討?議  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kisondam\\_kouzuichousetsu/index.html](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kisondam_kouzuichousetsu/index.html)
- 내각부, 기존 댐 활용 기본방침, ?存ダムの洪水調節機能の?化に向けた基本方針  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kisondam\\_kouzuichousetsu/pdf/kihon\\_hoshin.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kisondam_kouzuichousetsu/pdf/kihon_hoshin.pdf)
- 국토교통성, 사전방류 가이드라인, 事前放流ガイドライン  
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001341537.pdf>
- 국토교통성, 사회자본정비심의회, 社?資本整備審議?  
[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/bunkakai/dai57kai/](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/bunkakai/dai57kai/)

제  
5  
장

농업용 저수지 치수능력 향상을 위한  
인공지능 적용 방안

강원대학교 임 경 재





제5장

## 농업용 저수지 치수능력 향상을 위한 인공지능 적용 방안

### 1. 배경 및 필요성, 그리고 목적

- 전국에 존재하는 17,000여개 농업용 저수지는 기본적으로 농업용수를 수혜지역 논에 안정적으로 공급하기 위해서 설계되었다. 저수지의 유효저수량이 농업용수의 연간 수요량을 충분히 충당할 수 있도록 설계되었으며, 농업용 저수지의 수위는 농업용수의 공급량을 조절할 수 있도록 관리되고 있다.
- 최근 큰 규모의 농업용 저수지는 홍수 조절 기능도 수행할 수 있도록 설계되고 있다. 이는 집중호우 등으로 인한 하류지역의 홍수 피해를 줄이기 위한 목적으로 설계되었다. 현재 저수지의 저수용량이 홍수량을 충분히 저류할 수 있도록 설계되고 있으며, 저수지의 여수토 방수로 등 홍수 방류시설이 적절하게 설치되고 있다.
- 그동안 농업용수 공급을 목적으로 저수지가 설계되고 이용되어 왔으나 최근에는 200년빈도 확률홍수량, 기왕 최대 홍수량, 지역 최대 홍수량 중 큰 값으로 저수지를 설계하고 있다. 이중 유역면적이 2,500ha 이상, 저수용량 500만 $m^3$  수준의 저수지의 경우 붕괴에 따른 인적, 물적 피해가 크게 예상되기에 가능최대홍수량 (PMF)으로 설계하고 있다. 일반적으로 저수지의 물넘이 방류 능력은 댐 설계 홍수량을 안전하게 유하시킬 방류 능력을 갖는 물넘이를 설치하여 운영하고 있으나, 최근 춘천, 순천, 담양 등 500년 빈도 이상의 강우가 자주 발생하기에 일반적으로 200년 빈도로 설계된 저수지의 경우 극한강우 사상 대비하기 위한 비상 방류 수문 설치 시도가 많아지고 있다.
- 그동안 농어촌공사는 기후변화/기후위기 시대 큰 규모 저수지의 치수능력을 위해 전국 30여개 저수지에 수문을 설치하여 홍수시 수문방류를 통해 저수지 안전을 확보하고 있다. 이외에도 주요 저수지에 사전(비상)방류 시설 등을 설치하고 있다.
- 그동안 이러한 수문방류는 예보 강우량 및 현재 저수율을 기준으로 저수지 관리 경험이 많은 관리자의 결정에 따라 방류를 하면서 유입량과 저수율을 변화를 고려하여 저수지 수위를 관리하고 있으며, 수십여년 이상의 저수지 운영 경험을 바탕으로 홍수기 제한 수위, 즉 장마시기에는 유효저수량의 80%, 태풍시기에는 유효저수량의 85%, 그 외 기간에는 100% 관리 수위에 맞추어 저수지 수위를 관리하고 있다.
- 이러한 운영 기준을 바탕으로 호우시 저수지를 운영하는데 큰 어려움이 없었다. 그러나 2023년 기후변화/기후위기 시대 집중 호우 패턴의 변화로 인해 저수지 운영의 어

려움이 증가되고 있으며, 특히 2022년 여름 집중 호우시 OO저수지 월류 위험 등 저수지 관리에 있어서 패러다임의 전환이 필요하다.

- 집중 호우에 의한 홍수량을 사전 예측하여 미리 방류를 하게 되면, 최대 홍수량 즉 설계홍수량을 사전에 나누어 방류할 수 있기에 저수지 안전 및 하류 수해지역내 수리 구조물과 하류 유역/하천의 안전을 미리 확보할 수 있으리라 생각된다.
- 그동안 설계홍수량을 산정하기 위해서는 실무에서는 수문학 교과서나, 재해영향평가에서 사용되는 IDF 곡선과 설계 홍수량 산정 방법을 이용하여 설계홍수량을 산정하여 저수지나 하천 설계, 그리고 수리 구조물 설계 등에 활용하여 왔다. 이러한 설계홍수량 산정시 실측 자료와의 비교를 통한 검증 사례는 거의 이루어지지 않고 있다.
- 최근들어 국내외에서 인공지능을 이용한 치수/이수 관리 사례가 많이 늘어나고 있다. 특히 홍수량 예측이나 이수관점에서의 유량 예측 분야에 인공지능 적용 사례는 기존의 프로세스 기반 시뮬레이션 모형의 적용 사례보다 더 많아지고 있으며 그 정확성도 크게 증가하고 있다.
- 특히 시시각각 변화하는 기상현황과 현재 저수량 등 실측 자료를 반영하여 하루에 N번 홍수량을 예측하여 사전 방류를 하게 된다면 기후위기 시대 급변하는 강우 패턴을 반영한 스마트 방류가 가능할 것으로 판단된다.
- 이러한 실시간 자료와 예보자료를 병행하여 저수지 수위를 예측하고, 수문이 있는 저수지의 방류량을 반영하여 하루에 N번 예측을 하게 된다면, 현재 200년 빈도로 설계된 저수지의 치수 능력을 높일 수 있을 것으로 판단되며, 또한 최근 많이 이용되는 디지털트윈 기술을 이용한 저수위 예측 및 스마트 방류 및 하류 지역 범람 예측 등 기술이 농업용 저수지 유지관리에 이용된다면 그 활용성은 매우 크리라 판단된다.

본 원고의 목적은

- 1) 기존의 농업용 저수지 설계 홍수량 산정 방법 및 이를 이용한 농업용 저수지 관리/치수 방법을 검토하고,
- 2) 인공지능을 활용한 농업용 저수지의 치수 능력 향상 방안을 제시하는 것이며,

또한 3) 디지털트윈과 농업용수 치수분야 활용성을 제안하는네 있다.



## 2. 기존 농업용 저수지 설계홍수량 산정 방법 및 홍수기 저수지 관리 방안

### 1. 농업용 저수지 설계 홍수량 산정 방법

- 농업용 저수지/댐은 수혜지역에 관개용수를 공급하는데 목적 이외에 생활용수, 공업용수, 축산 및 환경용수, 수력발전 및 홍수조절, 위락용수 및 수변공간, 생태계 보전 및 유량 조절을 목적으로 설계되어야 한다. 우리나라 연강수량의 2/3가 여름철에 집중되어 있고, 유역내 토양의 표토층이 얇고 유로연장이 짧아 경사가 급하여 홍수가 일시에 유출되어 하상계수가 매우 큰 특성을 가진 유역이 대부분이다. 이러한 이유로 홍수 위험이 상존하고 가뭄 취약성이 큰 특성이 있다. 또한 지역별 연강수량의 차이로 인해 연평균 1,000mm 정도에서 1,500mm 이상 연강수가 내리는 지역도 있다. 이러한 이유로 인해 농업용 저수지를 설계할 때, 저수지로 유입되는 첨두홍수량을 줄일 수 있도록 설계한다.
- 그동안 용수 공급 목적으로 설계된 저수지의 치수능력 확보를 위하여, 우리나라 농업용댐의 설계홍수량은 농업생산기반 정비 사업 계획 설계 기준상 200년 확률홍수량, 기왕 최대홍수량, 지역 최대홍수량 중 큰 값을 설계홍수량으로 하며, 필댐에서는 20%를 증가시킨 유량을 설계홍수량을 산정하고 있다. 그러나 일정규모 이상 또는 붕괴에 따른 인적, 물적 피해가 크게 예상되는 지구는 가능최대홍수량 (PMF - 가능최대강수량으로 인한 홍수량을 의미하며, 가능최대 강수량이란 주어진 지속기간 동안 어느 특정 유역에 대해 연중 어느 기간에 물리적으로 발생할 수 있는 이론 최대 강수량을 의미)을 설계홍수량으로 설정하고 저수지의 규모 및 하류 하천의 특성을 고려하여 수위별 수문조작 계획을 수립하고 있다. 하천 설계 기준에 의하면 홍수조절용 저수지의 조절용량은 저수용량의 20% 정도로 하는 경우가 많이 있다.

#### 농업용 댐 유지관리 KDS 67 10 45

##### 4.1.1 위치 및 규모

(1) 물넘이의 위치는 댐과 떨어진 저수지 주변이 가장 적당하나 그렇지 못할 경우에는 물넘이 자체의 안전은 물론 댐 본체의 안전과 경제성 등을 고려하여 위치를 선정해야 한다. 댐 설계홍수량을 안전하게 유하시킬 방류능력을 갖는 물넘이를 설치해야 한다.

- 농업생산기반정비사업계획 (2002)에 의하면 수문식 물넘이 구조로 된 저수지의 경우 홍수유입량 관측시설, 수위계측시설, 홍수위험경보 시설 등 홍수 예경보 시설을 설치하여 홍수피해를 대비할 수 있도록 규정하고 있다. 홍수조절용량(저수지 유입홍수량과 유출홍수량의 차이)을 별도로 확보하지 않은 저수지는 홍수기 제한수위를 설정하여 홍수조절을 할 수 있다. 이때 홍수기 제한수위는 유효저수량의 70-80% 수준에서 설정하여 운영하고 있다.

## 2. 홍수기 농업용 저수지 관리 방법

- 농업용 저수지의 홍수기 관리 조작성은 방류로 인해 하류 지역에 피해가 생기지 않음과 동시에 저수지/댐 시설 자체가 피해를 입지 않도록 수위를 관리해야 한다. 그동안 큰 규모의 농업용 저수지는 큰 저수용량을 가지고 있기에 홍수시 유출수를 전부 저류할 수 있는 경우 홍수시 관리조작의 어려움이 없었으나, 수혜지역에 용수를 공급하는 시기, 즉 관개기의 비교적 단기간 홍수유출로 인해 단기간 조작 방류하는 경우가 가장 어려운 시기 (농업생산기나정비사업 설계 기준, 2002)이다. 특히 소유역이나 저수용량이 적은 규모의 저수지에서는 쉽지 않은 일이다. 홍수시 방류는 1) 수문을 가지고 있는 물넘이와, 2) 수문이 없는 물넘이로 구분하여 다음과 같은 단계로 조작해야 한다.

- 기상 및 수문상황의 파악
- 유입량 예측
- 기계 및 기구의 점검
- 댐 조작 상황의 통보
- 방류 결정
- 방류시 관계 기관의 통지
- 방류시 일반인에게 통지
- 기록의 정리

- 기후변화로 인해 농업용댐 수리 시설물 붕괴, 하류하천 범람, 용수 부족 등 사회·환경·경제적 피해가 지속적으로 발생하고 있으며, 최근 춘천, 순천, 담양 등 500년 빈도 이상의 강우 발생하였고, 2022년 영산강·섬진강 유역 주요 다목적댐 용수댐 가뭄 심각 단계 진입하기도 하였다. 그러나 기후변화로 인한 농업용댐의 설계홍수량 변동은 불가피하기 때문에 설계홍수량과 물넘이 방류능력에 대한 검토를 통해 시기별 관리수위의 기준 마련이 필요하게 되었다.

- 또한 우리나라 농업용댐의 저류는 상시 만수위 이하로 하며, 홍수조절용량이 확보되지 않았을 때의 홍수기 운영은 댐 관리 규정에 따라 홍수기 제한수위(유효저수량의 70 ~ 80% 수준)를 기준으로 하고 있으나, 대부분의 농업용댐은 10년 빈도 한발 시의 공급량을 기준으로 설계되었기에 극한 가뭄 발생 시 홍수기에 충분한 저수용량을 확보하는데 취약한 조건을 가지고 있다.

### 농업용 댐 유지관리 KDS 67 10 90

#### 5.1.4.3 저류의 최고한도

- ① 댐 방재의 입장에서부터 댐 상시만수위를 확인하고 홍수시의 서차지수위 (surcharge water level) 등의 특별한 경우를 제외하고는 저수지의 수위를 상시 만수위 이하로 유지하는 것을 규정하고 있다.

#### 5.1.4.13 홍수관리기준 강화에 따른 기설 댐의 시설 보강

- ④ 홍수기 제한수위 설정과 홍수 예·경보 시스템 구축

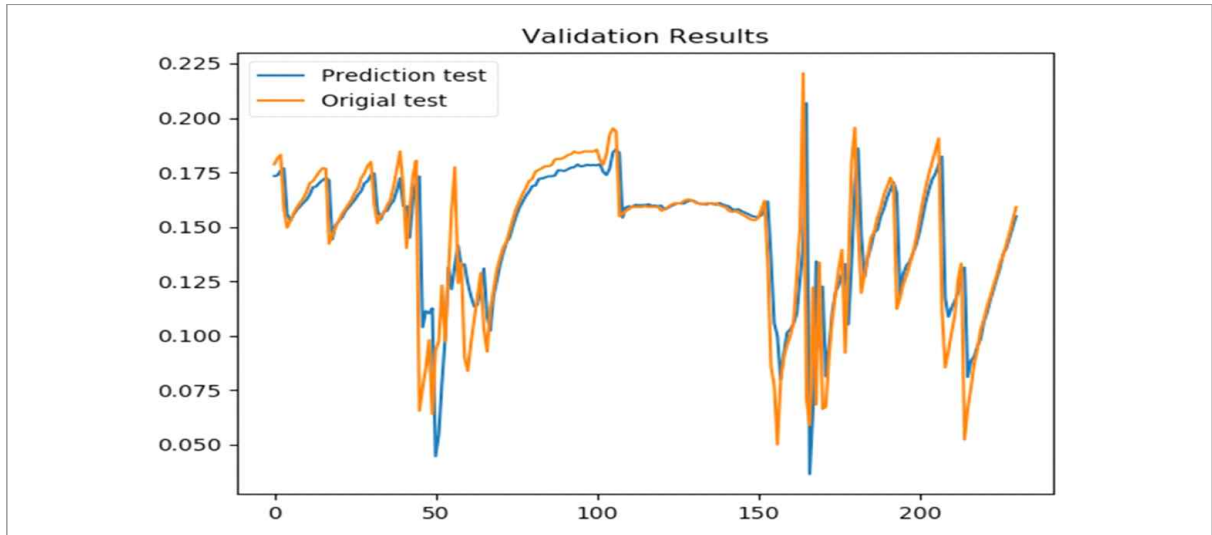
나. 홍수조절용량을 별도로 확보하지 않은 저수지는 **홍수기 제한수위를 설정하여 홍수조절**을 할 수 있다. 저수지 수위관리는 하천법 제38조 규정에 의한 댐 관리 규정을 별도로 작성하여 지자체의 승인을 받아 관리하도록 되어 있다. 따라서, **홍수기 제한수위는 댐 관리 규정에 따라 설정하여야 한다. 다만, 유효저수량의 70 ~ 80 % 수준에서 설정하는 것을 참고한다.**

- 따라서 극한 홍수 및 가뭄 시기 홍수기 홍수조절능력 증대와 비홍수기 용수 공급(농업용수/환경용수 등)의 안정성 확보를 위한 농업용댐의 효율적인 저수위 관리가 중요하며, 유역·기상 특성을 반영한 AI·빅데이터 기반의 홍수량·저수위 예측 기술이 필요하다.

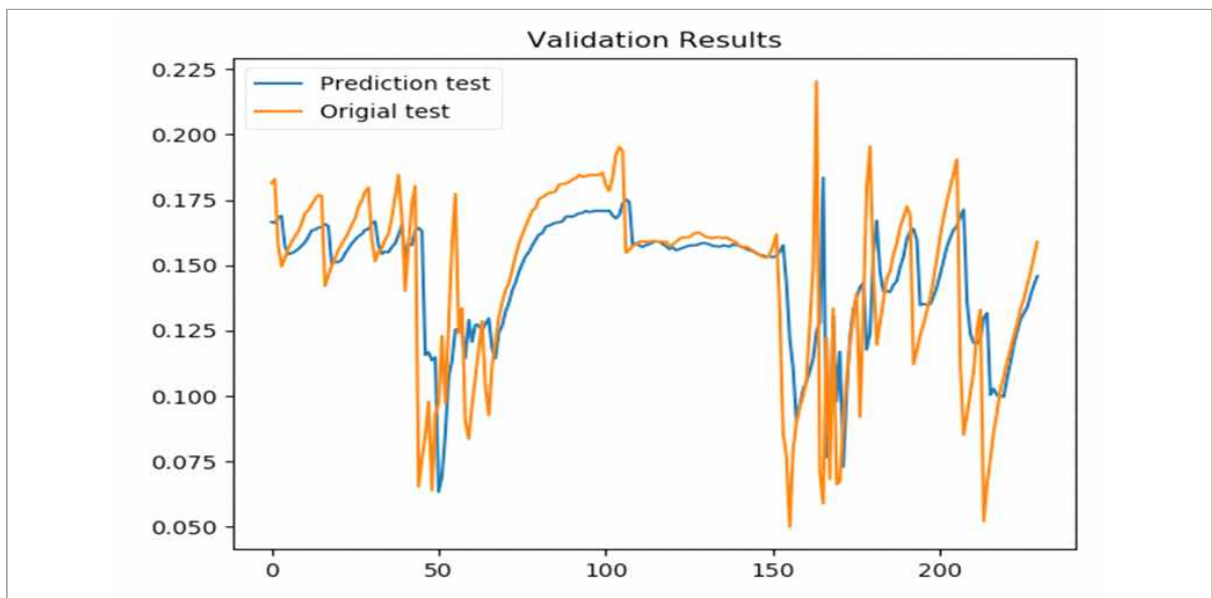
### 3. 치수분야 인공지능 적용 사례

#### 1. 하천 범람 분야 인공지능 적용 사례

- 최근들어 인공지능(AI) 기술을 활용한 다양한 사례가 등장하고 있다. 인공지능은 홍수 관련 데이터 분석, 홍수 예측 모델링, 치수 관련 의사 결정 지원 등 다양한 영역에서 활용될 수 있으며, 이상강우시 발생가능한 범람 등 치수분야에서 혁신적인 기술을 제공하고 있습니다. 이러한 인공지능 적용 사례는 다음과 같다.
- 김동현 등 (2022)은 작은 소하천에서의 홍수위 예측 및 홍수 피해 예경보 기법을 개발하고자 AI 기반 모형의 적용성을 검토하였다. 이때 DNN과 LSTM 모형을 이용하여 홍수위 예측을 실시한 결과 DNN 모형의 예측 정확성을 확인할 수 있었다(NRMSE = 0.06). 뿐만 아니라 XGBoost 모형과 Random Forest 모형을 이용하여 최적의 홍수피해 분류 모형을 개발하였고 F1-score 기준 0.92로 매우 우수한 예측력을 보였다. 이처럼 AI 기반 모형을 이용한 홍수위 예측 및 홍수피해 위험 정보를 제공하는 예경보 기법은 재난분야 담당자들의 현장 의사결정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있으리라 판단된다.
- 이준석과 윤광석 (2021)은 AI 기반의 홍수 예측 알고리즘을 RTU에 탑재하여 실시간으로 수집되는 강우, 수위자료에 대한 홍수 예측 분석 (이준석, 2021)을 수행하여 자동으로 경보를 발령할 수 있는 기술의 실증화 연구를 수행하였다. 이를 위해 강우시나리오별 경보에 해당하는 수위 도달시간 산정을 통해 경보발령 기준을 설정하였으며, 시나리오 기반의 홍수 예측 알고리즘에 AI 기반 DepAR 모델을 활용하여 홍수 예측 알고리즘의 자동 보정 기술을 적용하였으며, IoT 기반 수위 및 우량, 그리고 경보시설을 통합하여 홍수 예경보 발령이 가능한 일체형 장치 기술을 개발하였다. 이를 활용하여 AI 기반 장치를 이용한 홍수 자동 경보 발령 체계로 전환이 가능할 것이며, 인명 피해 및 재산 피해를 줄일 수 있는 골든 타임 확보에 활용될 수 있을 것이라 판단된다.
- 박세현과 김현재 (2020)은홍수 통제소의 2014년부터 2018년까지 5개년의 6월부터 9월 자료를 이용하여 LSTM 모형을 학습하여 연구대상 지점의 하천 수위를 예측할 수 있는 시스템을 구축하였다. 아래 그림 1에서 보이는 바와 같이 6시간 후, 그리고 12시간 후(그림 2)의 홍수위를 예측하였는데 전체적으로 그 수위 변동 경향을 제대로 예측하였으나 일부 수위 증가 및 감소 시기에는 다소 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 다양한 원인에 의해서 발생 가능하다고 판단된다.



<그림 1> 6시간 후의 수의 예측 (박세현과 김현재, 2020)

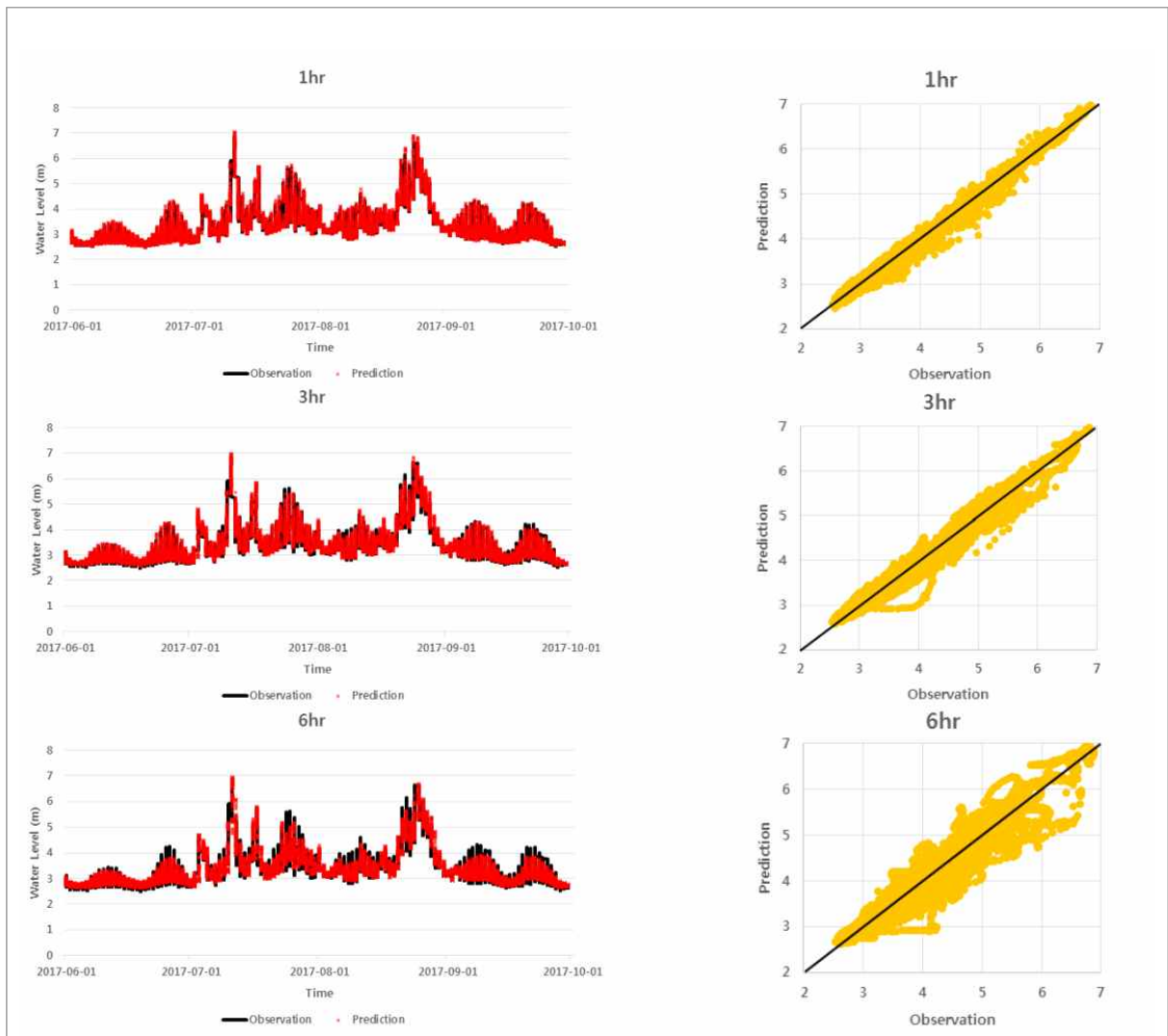


<그림 2> 12시간 후의 수의 예측 (박세현과 김현재, 2020)

- 정부는 최근 국가하천을 중심으로 운영했던 홍수특보지점을 지방하천 위주로 추가해 홍수 대응을 강화하기 위하여 2024년에는 총 본류와 지류 지점을 포함하여 총 223곳으로 확대하여 인공지능 기반 홍수 예보를 할 계획이다. 현재 지방하천의 경우 12곳에 대해 홍수특보지점으로 운영하고 있으나 향후 129곳으로 홍수 특보지점을 확대 운영할 계획이며, 이때 인공지능을 이용하여 예보할 계획이다. 이를 위해 과거 10여년치 학습 정보 DB를 구축하였고 이를 이용하여 매 10분마다 자동 분석, 위험사항을 알리기 위함이다 (전자신문 기사, "홍수특보지점 75→223곳 확대...AI 예보 모형 연말까지

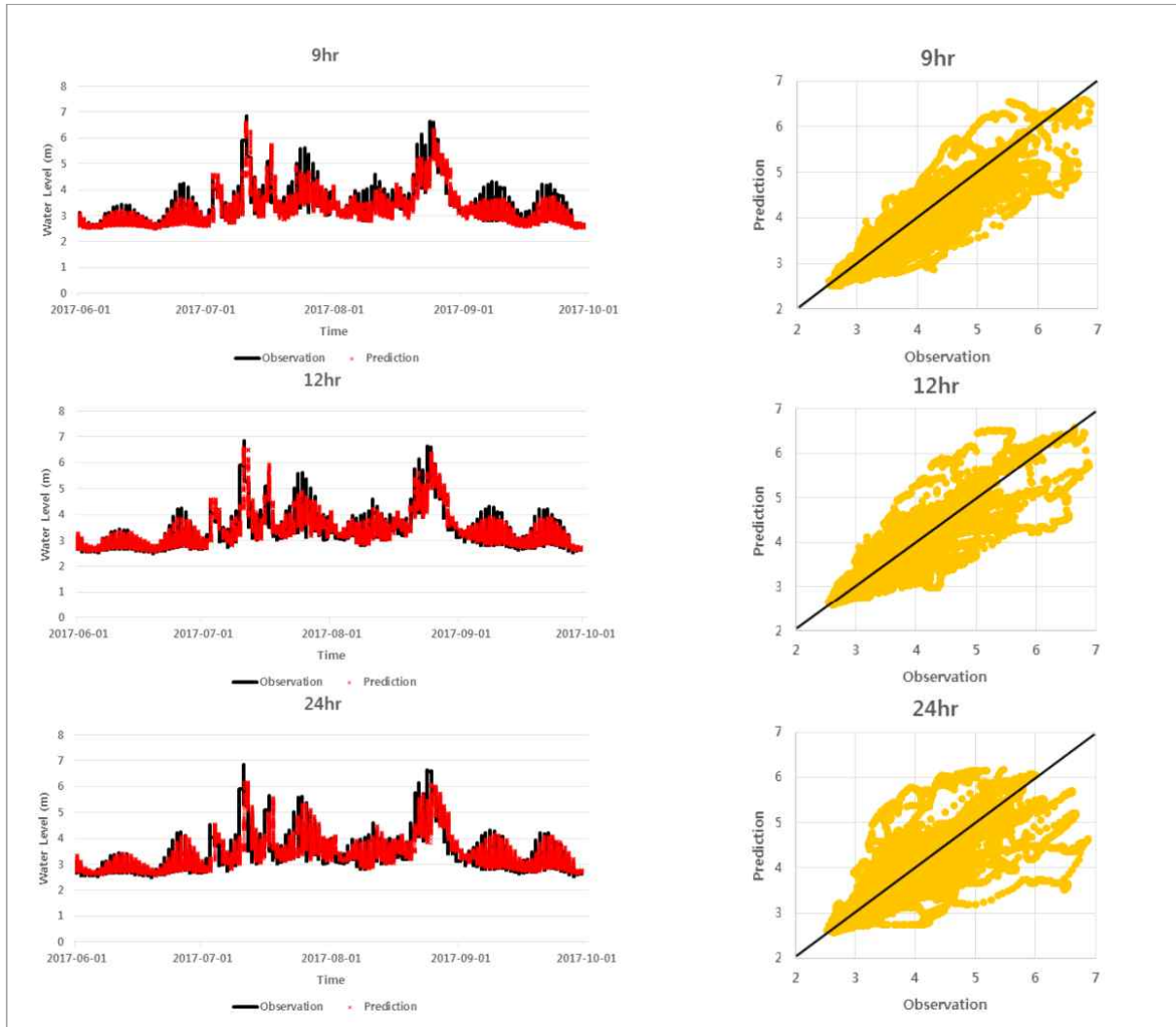
구축", 2023년 11월 15일)

- 정성호 등 (2018)은 감조하천 수위예측을 위하여 LSTM 모형을 이용하여 다양한 매개 변수 조건별 모형을 학습하고 예측능력을 평가하였다. 10분단위 잠수교의 수위와 팔당댐 방류량 그리고 강화대교의 예측조위, 총 3가지의 자료를 이용하여 모형을 학습하고 선행 시간에 대한 잠수교 수위를 예측하였다. 선행시간이 길어질수록 RMSE는 증가하고 NSE도 감소하는 것으로 나타났다. 이는 선행 시간이 길어질수록 예측자료의 불확실성이 커지기 때문일 수도 있다. 분석결과 (그림 3, 그림 4, 그림 5)를 살펴보면 선행 시간이 짧아질 수록 저수위와 고수위 예측이 안정적이라는 것을 알 수 있다. 반면 선행시간이 길어질수록 중수위~고수위의 예측 결과가 정확하지 않다는 것을 알 수 있다.

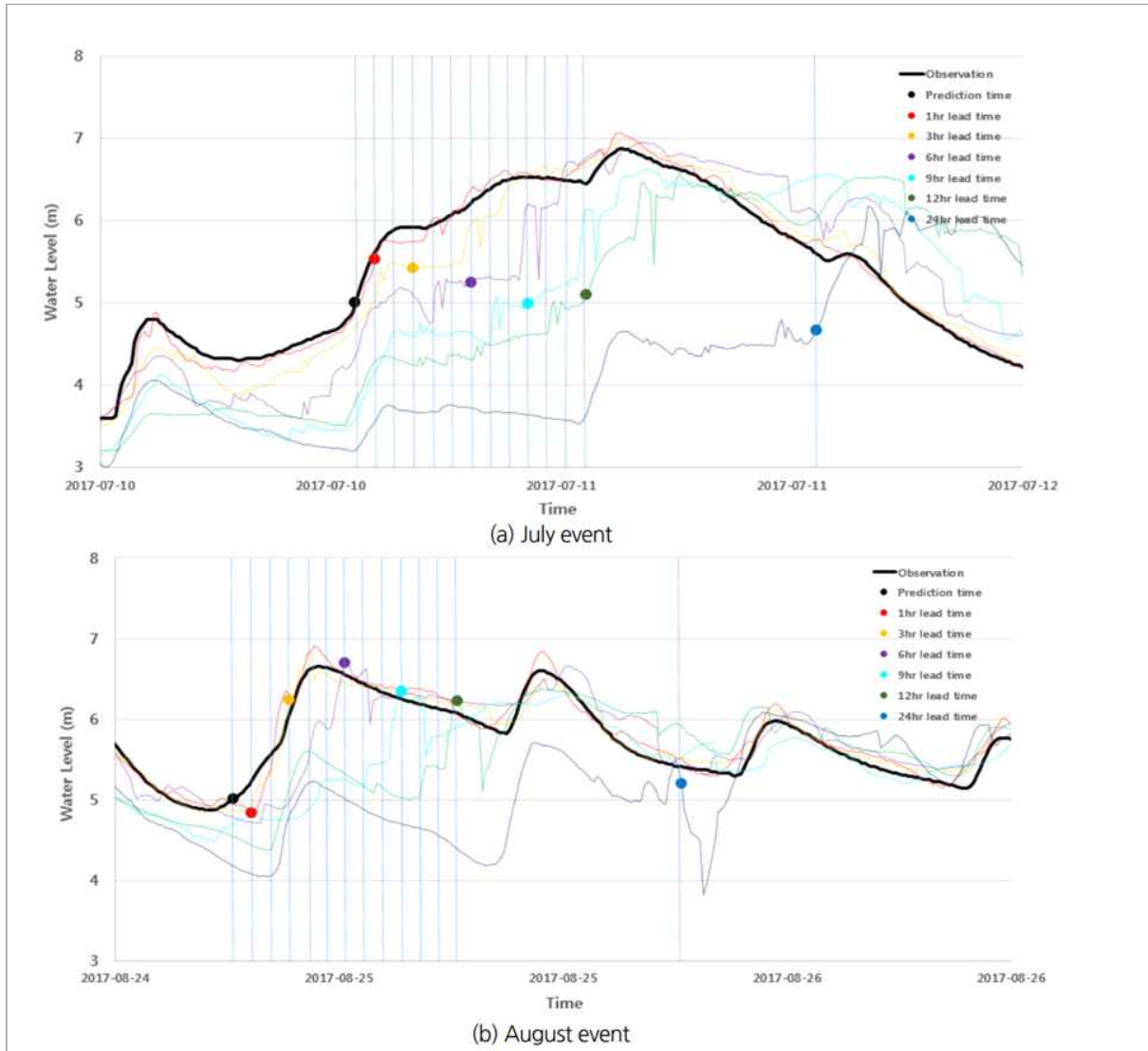


<그림 3> 선행시간에 따른 예측 및 실측 수위 비교-1시간, 3시간, 6시간 (정성호 등, 2018)



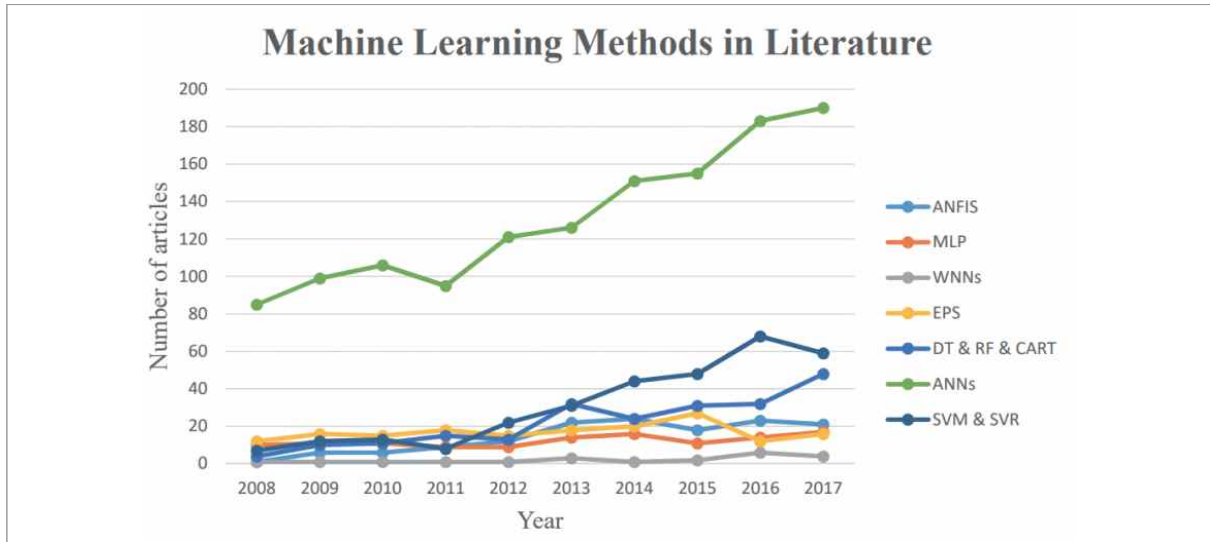


<그림 4> 선행시간에 따른 예측 및 실측 수위 비교-9시간, 12시간, 24시간 (정성호 등, 2018)



<그림 5> 선행시간에 따른 예측 및 실측 수위 비교 (정성호 등, 2018)

- 최근들어 홍수 분야 인공지능 관련 연구가 급격히 증가하고 있다 (그림 6). 기존 머신러닝 모형과 달리 RNN모형은 입력자료의 sequence 처리가 용이하며 일반적인 딥러닝 모형과는 달리 선행시간에 도출된 예측결과를 다시 입력 값으로 활용하여 학습 및 예측을 하기때문에 시계열 자료의 연속성에 대한 정보를 확보하여 예측이 가능하다. 이러한 RNN 모형은 시계열 자료의 연속성 정보를 확보할 수 있으나 long-term dependency 와 같은 문제로 인해 과거의 정보를 충분히 활용할 수 있는 LSTM (Long Short-Term Memory) 기법이 개발되어 이용되고 있다.



<그림 6> 홍수 예측 분야 AI 기법 적용 논문 (Mosavi et al., 2018)

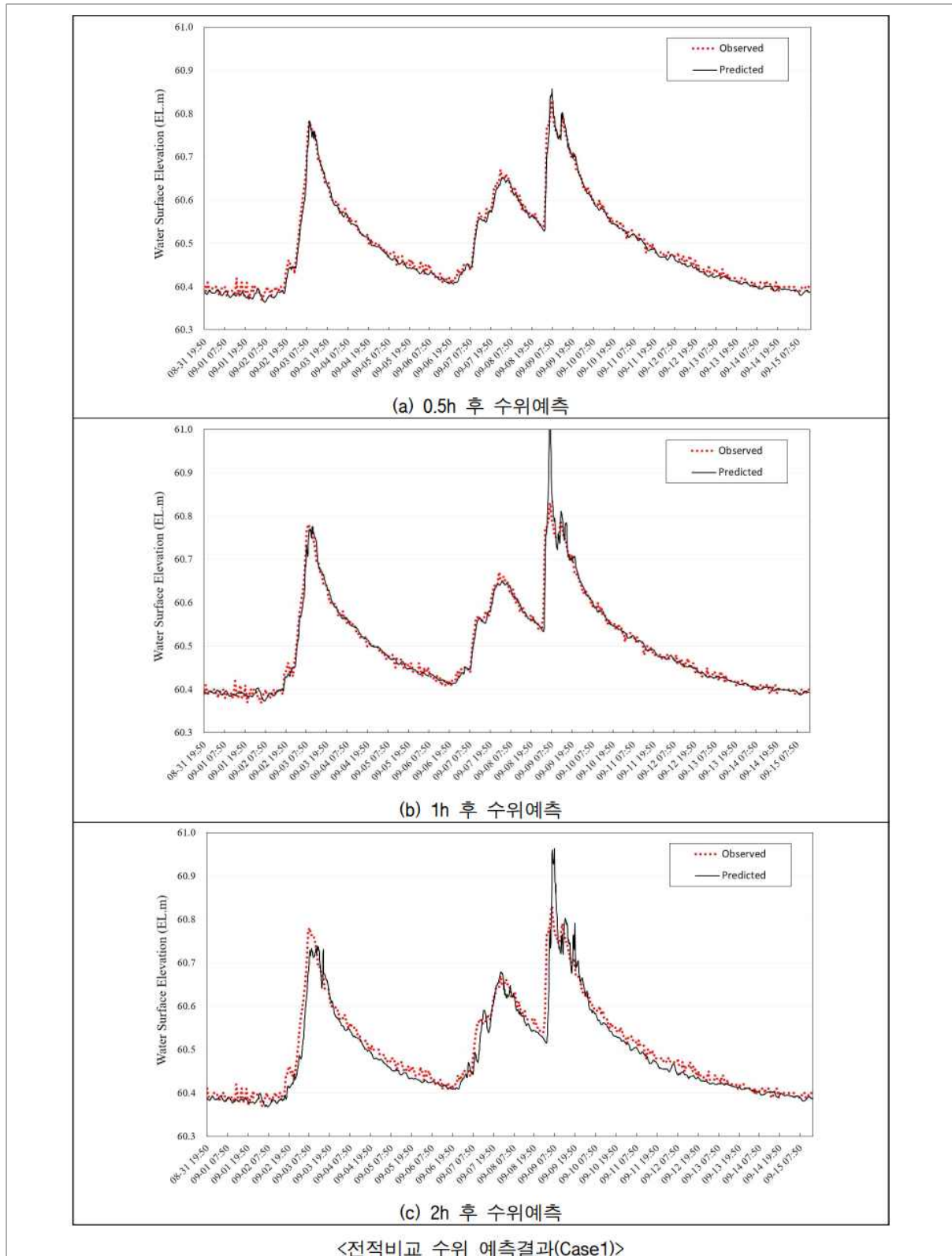
○ 윤광석 등 (2023)은 하천에서의 홍수 예측을 위해 강우량, 상류 수위 자료, 그리고 예측 지점의 과거 수위 관측 자료와 같은 시계열 자료와 예측값의 시계열 자료 (표 1)를 학습자료로 구성하여 모형을 구성하였으며, 이때 시계열 자료 처리에 최적화된 모형을 선정하여 홍수 예측 모형을 설마천 유역에 구축하였으며, 3가지 케이스를 구성하여 분석하였다 (그림 7)

- 각 관측소의 수위예측에 해당관측소의 강우량과 수위 관측값을 활용하는 인공지능 모델을 구축함 (Case1, Case2)
- 추가적으로 Main staion(전적비교)의 수위를 예측하기 위해 Reference station(사방댐)의 자료를 함께 활용하는 케이스로 구분하여 모형을 구축(Case3)
- 입력자료는 전적비교 및 사방댐 지점의 10분 단위 강우량(mm)과 수위(EL.m)와 현재시점 기준 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간 후의 수위를 학습자료 구축

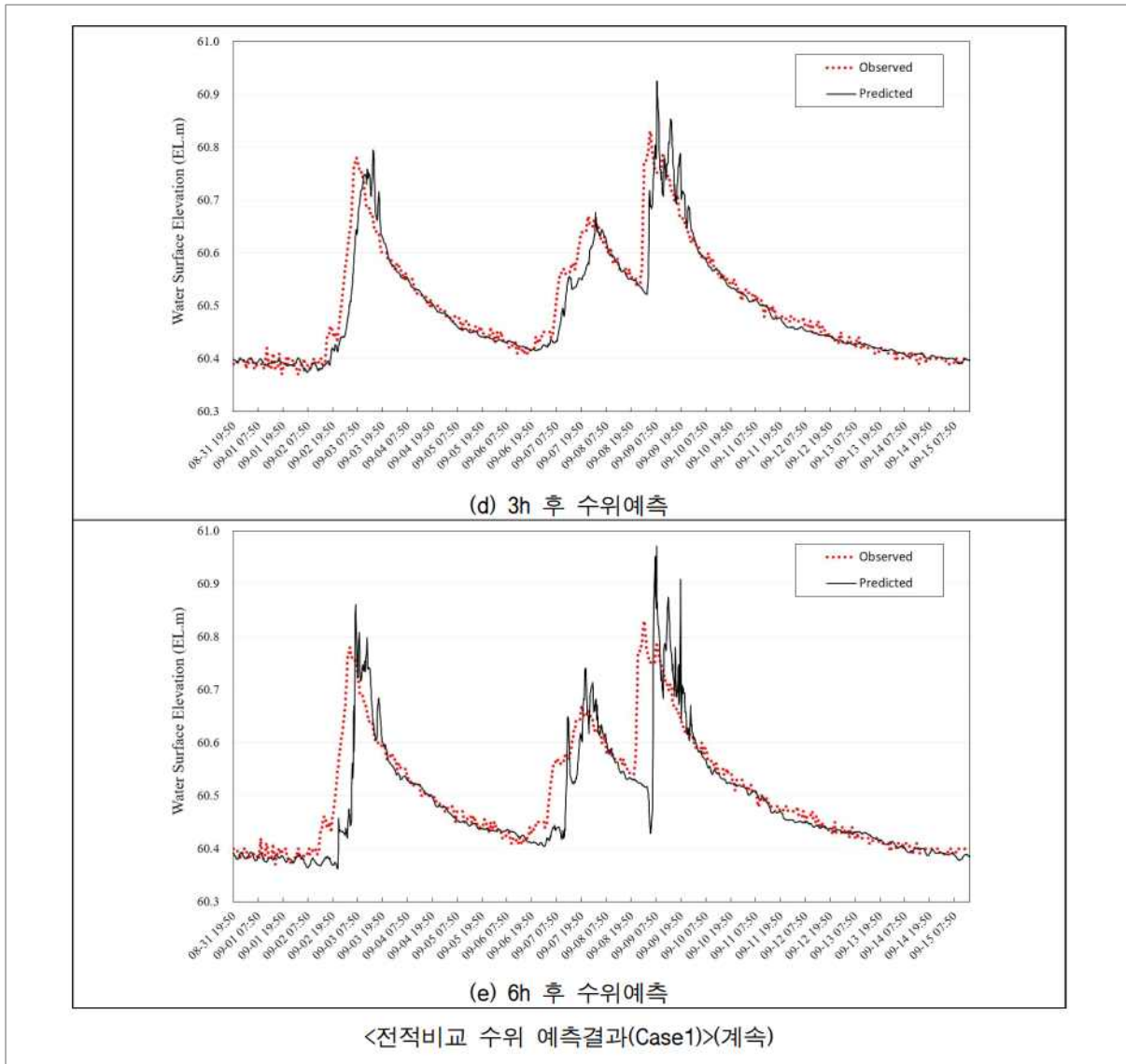
○ 전체적으로 0.5시간 그리고 1시간과 2시간, 예측 정확도는  $R^2$ 와 NSE 기준 0.90 이상이었으며, 3시간 예측정확도는 0.85 이상, 그리고 6시간 예측값은 NSE기준 0.50 이상,  $R^2$ 는 0.60으로 나타났다. 이처럼 AI를 이용한 실용화 사례는 그리 많지 않은 것으로 생각되며, 인공지능의 적용 가능성은 충분히 알 수 있다.

<표 1> 홍수 사상 기간 정보 및 누적강우량 (윤광석 등, 2023)

구분	기간	누적강우량(영국군전적비)	비고
Case 1	2020-09-02 00:00 - 2020-09-07 00:00	84.0 mm	
Case2	2020-09-07 00:00 - 2020-09-14 00:00	122.5 mm	



<그림 7-1> 0.5시간,1시간,2시간 후 수위예측 결과(살미천 유역시 학습 모형의 수위예측결과 Case 1 (윤광석 등, 2023))

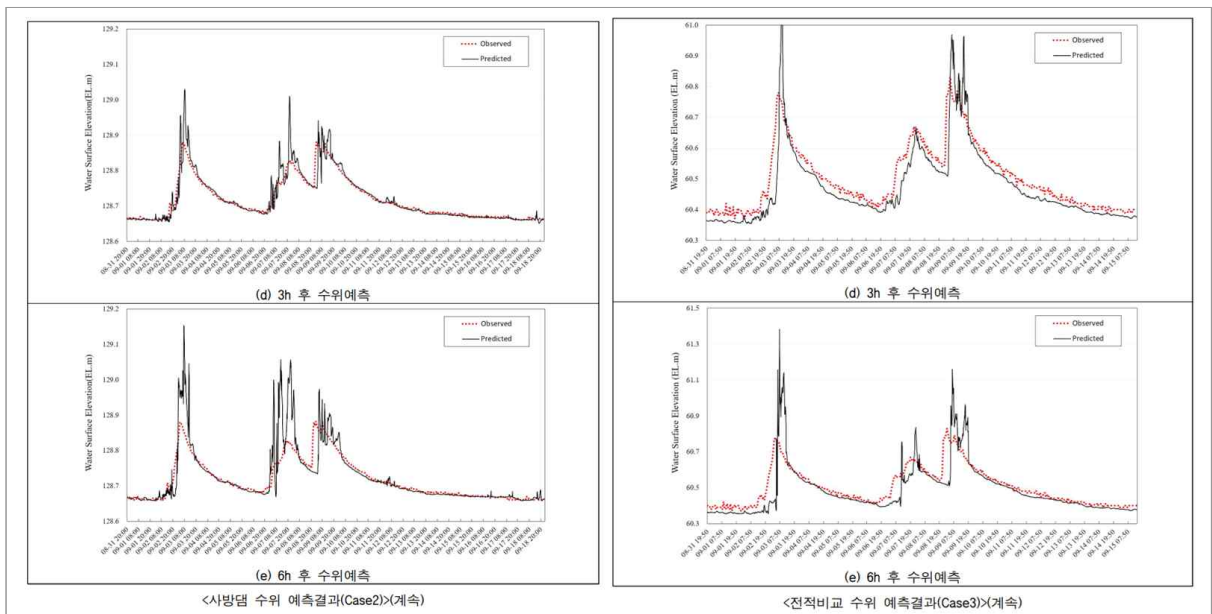


<그림 7-2> 3시간,6시간 후 수위예측 결과(설마천 유역시 학습 모형의 수위예측결과 Case 1 (윤광석 등, 2023))

- Case1~Case3에서 학습한 모형을 활용하여 2021년 관측값을 입력자료로 활용하여 수위를 예측하였다. (표 2, 그림 8) 모든 Case에 대해서 2020년 자료를 활용한 경우와 거의 동일한 정확도를 나타내며 이는 유역 및 관측소의 특성이 모델에 정확히 반영되어 연도에 관계없이 활용성을 확보한 것으로 평가된다.

<표 2> 2021년 자료 예측 분석 결과-Case1 (윤광석 등, 2023)

적합도 지표	0.5h	1h	2h	3h	6h
NSE	0.9623	0.9510	0.9049	0.8817	0.7850
RMSE	0.012	0.014	0.019	0.021	0.028
$R^2$	0.969	0.955	0.924	0.896	0.791
첨두오차	0.0186	0.0342	0.0667	0.1093	0.1704
최대오차	0.126	0.147	0.176	0.202	0.242
MAE	0.008	0.009	0.013	0.013	0.017
MAPE	0.013%	0.015%	0.021%	0.022%	0.027%



<그림 8> 설마천 유역 AI 학습 모형의 수위 예측 결과-Case 2와 3 (윤광석 등, 2023)

## 2. 도시 침수 분야 인공지능 적용 사례

- 이승수 등 (2022)은 도시 침수 연구 자료 분석을 통해 최근들어 딥러닝과 같은 데이터 기반 모의 기술이 도시 침수 해석의 새로운 분야로 자리매김하고 있다고 제시하였으며, 이러한 데이터 기반 모형의 성공적 적용을 위해서는 모형 훈련을 위한 극한 기상 조건에 대한 침수 실측 자료의 한계로 인해 학습 데이터 문제가 늘 발생하기에, 정확도 물리 모형과 데이터 기반 모형이 서로 보완 활용될 수 있어야 한다고 제시하였다. 이처럼 학습데이터의 중요성은 다양한 데이터 기반 모델링의 핵심 이슈이기에 학습 데이터에 대한 지속적 관심과 구축이 필요하다.
- Kang and Lee (2015)는 MLP 기법을 이용하여 서울특별시 전 지역에 대한 침수 발생 가능성을 분석한 연구를 수행하였으며, Tran and Song (2017)은 RNN (Recurrent Neural Network), RNN-BPTT (Backpropagation Through Time), LSTM (Long Short-Term Memory) 모



델로 수위 자료를 학습한 후 약 30분과 60분후의 침수 가능성을 예측하였다. 이때 LSTM 모형의 예측 정확도를 상대적으로 높게 분석되었다. 이처럼 인공지능 모형의 침수 예측 분야 적용성은 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

- Kim et al. (2020)과 Kim et al. (2021) 연구에서는 LSTM 모형을 이용한 월류량 예측 및 Random Forest 회귀 모형으로 침수 범위를 예측한 연구가 수행되었다. 이처럼 인공지능 기법을 이용한 도시 침수분야 적용, 침수심 및 침수범위, 침수 위험 기준추정 및 예측 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구에서도 마찬가지로 안정적 학습데이터 확보의 중요성을 극복해야 할 이슈로 제시하였다.
- 환경부 (2023)에서는 서울 관악구 소재에 도시침수 방지 위한 인공지능(AI) 홍수 예보 신속 추진 사업을 추진중에 있다. 홍수 대응 차원으로 도림천에 인공지능 홍수예보 시범운영 추진상황을 파악하고 지자체 협력 체계를 점검하고 있다. 지난 2002년 140mm 집중호우로 인한 인근 도로 및 지하 침수 피해로 인한 어려움을 극복하고자 인공지능을 이용하여 6시간 후 하천범람 및 하수도 역류로 인한 침수범위 등을 예측하여 위험정보를 사전에 제공하고 있다.
- 국립재난안전연구원(2018)은 딥러닝 기반 도시 침수 위험기준 추정 모델 설계 연구사업을 통해 대상 지역의 강우자료와 유역 특성자료를 이용하여 딥러닝 모델을 설계하고 위험지역 추정을 위한 Random Forest, SVM, Neural Network 총 3가지 모델 검증 및 선택을 통해 상습침수구역에서의 위험 지역을 예측하도록 하였다.
- 과학기술정보통신부와 환경부(2023)는 디지털트윈과 인공지능 기술을 이용하여 도시 침수 예보 및 대응 체계를 2024년까지 총 160여억원의 예산으로 구축하려 한다. 이를 위해 광주시, 경상북도, 경상남도와 업무협약을 체결하였으며, '디지털 트윈 기반 도시침수 스마트 대응 시스템' 업무협약의 주요 내용은 소통협력체계 구축, 기존 시스템 및 데이터 연계 및 공유, 그리고 연구개발 및 제도개선 등이다. 이는 22년 9월 태풍으로 인한 침수 피해가 발생한 지역의 기상천 예보 자료를 이용한 침수 위험 정보 등을 제공하는 디지털트윈 기반 도시 침수 대응 시스템을 실증하려 한다. 이를 위해 도시침수 분석·예측을 위한 데이터 수집체계 구축, 실시간 침수 모니터링 및 스마트 원격 제어 시스템 구축, 내·외수 연계 도시침수 예측 가상모형(디지털 트윈) 기반 시뮬레이션 구축, 도시침수 통합관제 시스템 및 대응 매뉴얼 구축 등을 진행한다. 이처럼 디지털트윈 기반으로 한 하천 홍수와 도시 피해 최소화, 그리고 신속한 대응이 가능하도록 분산된 자료를 통합하고 고정밀 공간자료를 이용하여 인공지능 예측 시스템을 개발하여 통합 대응 기반을 마련하고자 한다.



<그림 9> 도시 침수 예측 절차 (과학기술정보통신부와 환경부, 2023)

## 4. 물분야에 활용되는 다양한 머신러닝/딥러닝 알고리즘

### 1. 물분야 예측에 사용되는 머신러닝 알고리즘

- 현재 머신러닝은 의료, 금융, 제조, 교육, 건축, 토목, 환경, 언어처리 등 다양한 분야에서 그 적용성을 인정받아 데이터 기반 예측분야에 널리 이용되고 있다. 머신러닝 분야 알고리즘에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있으며 매년 새로운 알고리즘이 개발되어 공개/활용되어 오고 있다. 그동안 물분야 예측에 사용되는 머신러닝 알고리즘을 살펴보면 다음과 같다.

- 의사결정트리 (Decision Tree, DT) : 의사결정트리(Decision tree, DT)는 노드(속성)를 선택하고, 최적의 분할을 선택함으로써 브랜치를 구성하고, 이는 노드(속성)들이 나무와 같은 형태를 구성한다. 노드에서 브랜치가 되는 과정을 반복 진행하면서 정보 이득이라는 개념을 통해 속성이 선택되며, 하나의 노드에서의 속성에 대한 정보 이득을 계산하면서 점진적으로 분류가 진행된다. Wu et al. (2021)은 의사결정트리를 이용하여 측정되지 않은 하천의 미관측 값을 예측하는 연구를 한 바 있다.
- 다층 퍼셉트론(MultiLayer Peceptron, MLP) : 신경망은 대량의 데이터에 내재된 정보를 잡아내고 매우 복잡한 모델을 만들 수가 있다. 충분한 연산 시간과 데이터를 주고 매개변수를 세심하게 조정하면 신경망은 분류와 회귀 문제에서 모두 종종 다른 머신러닝 알고리즘을 뛰어넘는 성능을 낸다. 여러 층을 가진 신경망인 다층 퍼셉트론(Multi Layer Peceptron, MLP)은 역전파를 이용하여 훈련되는 신경망으로 피드-포워드 방식으로 연결된 복수의 계산 단위로 구성되어 하위 단위에서 후속 계층의 단위로 직접 연결된다. MLP의 기본 구조는 입력 계층, 하나 이상의 은닉층, 하나의 출력 계층으로 구성되며, 장치의 출력은 후속 계층에서 장치에 대한 입력으로 사용되며, 후속 계층에서 단위 사이의 연결은 관련 가중치를 갖게 된다. Widiyasi & Nugroho (2017)는 MLP를 이용하여 홍수 예측 모델을 구축하였다.

- K-최근접 이웃 알고리즘(K- Nearest Neighbor, KNN) : K-최근접 이웃 알고리즘(K- Nearest Neighbor, KNN)은 훈련 데이터로부터 새로운 데이터 포인트에서 가장 가까운 'K개'의 이웃을 찾고 이 이웃들의 클래스 중 빈도가 가장 높은 클래스를 예측값으로 사용하는 알고리즘이다. 훈련 자료 집합을 단순 저장하는 것이 모델을 만드는 과정의 대부분으로, 새로운 데이터 포인트에 대해 예측할 때 알고리즘이 훈련 자료 집합에서 가장 가까운 데이터 포인트, 즉 '최근접 이웃'을 찾게 되는 것이다. 대용량의 훈련데이터가 주어졌을 때 노동 집약적인 방법이기 때문에, 1960년대 이전까지는 명성을 얻지 못하였으나 계산 환경이 좋아진 현재에는 패턴인식(pattern recognition)의 분야에서 널리 사용되고 있다. Liu et al. (2020)은 중국 내 다양한 기후대에서의 실시간 홍수 예측 연구를 진행하는데에 LSTM-KNN 알고리즘을 이용하였다.
- 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM) : 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM)은 강력한 모델이며 다양한 자료 집합에서 잘 작동한다. 서포트 벡터 머신 알고리즘은 주어진 데이터 집합을 바탕으로 하여 새로운 데이터가 어느 카테고리에 속할지 판단하는 비확률적 이진 선형 분류 모델을 만든다. 만들어진 분류 모델은 데이터가 사상된 공간에서 경계로 표현되는데 서포트 벡터 머신 알고리즘은 그 중 가장 큰 폭을 가진 경계를 찾는 알고리즘이다. 신경망과 함께 서포트 벡터 머신은 분석하기가 어려워 예측이 어떻게 결정되었는지 이해하기 어렵고 비전문가에게 모델을 설명하기가 어려운 편이다. SVM은 선형 분류와 더불어 비선형 분류에서도 사용될 수 있다. 비선형 분류를 하기 위해서 주어진 데이터를 고차원 특징 공간으로 사상하는 작업이 필요한데, 이를 효율적으로 하기 위해 커널 트릭을 사용하기도 한다. Wang et al. (2013)은 SVM을 중국 황하의 강우량-유출량 예측에 이용하였다.
- 랜덤 포레스트(Random Forest, RF) : 랜덤 포레스트(Random Forest, RF)는 Breiman에 의해 개발된 분류기법으로 의사결정나무 기법 중 CART (Classification And Regression Tree) 알고리즘과 앙상블 기법 중 배깅 알고리즘을 적용한 기법이다. 결정 트리 하나만으로도 머신러닝을 할 수 있다. 하지만 의사결정 트리의 단점은 훈련 데이터에 과적합(Overfitting)이 되는 경향이 있다는 것이다. 이를 보완하기 위해 여러 개의 의사결정 트리를 통해 랜덤 포레스트를 만들면 과적합(Overfitting) 되는 단점을 해결할 수 있다.
- 그래디언트 부스팅(Gradient Boost, GB) : 그래디언트 부스팅(Gradient Boost, GB)은 결정 트리를 위한 앙상블 학습으로 부스팅 알고리즘을 학습하는 앙상블이다. 그래디언트 부스팅에서는 그래디언트가 현재까지 학습된 모델의 약점을 드러내는 역할을 하고, 다른 모델이 그걸 중점적으로 보완해서 성능을 부스팅한다. 예측 모델의 오류를 정량화해주는 손실함수를 최소화하는 매개변수를 찾아야 하며, 가능하다면 다른 손실함수도 얼마든지 쓸 수 있다는 것이 장점이다. 손실함수의 특성은 그래디언트를 통해 자연스럽게 학습에 반영되며 예측 모델의 오류를 정량화해준다. He et al. (2020)은 그래디언트 부스팅을 이용하여 월 유량을 예측하였다.
- 익스트림 그래디언트 부스트(eXtreme Gradient Boost, XGBoost) : 익스트림 그래디언트 부스트(eXtreme Gradient Boost, XGBoost)는 그래디언트 부스팅 트리 알고리즘에서 유명하고 효율적인 오픈 소스를 구현하는데, 더욱 단순하고 약한 모델 세트 추정치의 앙상블을 결합하여 대상 변수를 정확하게 예측하려고 시도하는 지도 학습 알고리즘이다. 그래디언트 부스팅의 단점인 느린 수행시간 및 과적합 규제(Regularization) 부재 등의 문제를 해결해서 각광 받고 있으며, 분류와 회귀영역에서

뛰어난 예측 성능을 발휘한다. Naghibi et al. (2020)은 지하수 샘 잠재력 평가에 XGBoost를 이용하였다.

- 라이트 그래디언트 부스팅 머신(Light Gradient Boosting Machine, LGBM) : 라이트 그래디언트 부스팅 머신(Light Gradient Boosting Machine, LGBM)은 리프 중심 트리 분할(leaf wise) 방식을 사용하여, 학습에 걸리는 시간이 적고 메모리 사용량이 적음. 리프 중심 트리 분할이란 트리의 균형을 맞추지 않고, 최대 손실값 (max delta loss)을 가지는 리프 노드 분할 방식으로 예측 오류 손실을 최소화할 수 있는 대신 트리의 깊이가 깊어지고 비대칭적인 구조를 생성한다.
- 엑스트라 트리(Extra Tree, ET) : 엑스트라 트리(Extra Tree, ET)는 랜덤 포레스트와 유사하게 다수의 의사결정 트리를 통해 포레스트를 구성하며, 다른 트리 기반 앙상블 방식과 다르게 노드 분할 과정에서 최적의 임계값을 찾지 않고 무작위 분할을 통해 최상의 분할을 선택하며, 부트스트랩(bootstrap) 과정을 거치지 않고 전체 학습 데이터를 사용해 트리를 구성한다 랜덤 포레스트와 다르게 최적화 과정을 거치지 않기 때문에 학습 속도가 빠르다는 장점이 있다.
- 앙상블(ensemble) : 앙상블(ensemble)은 여러 머신러닝 모델을 연결하여 더 강력한 모델을 만드는 기법으로 배깅(bagging)과 부스팅(boosting) 알고리즘이 대표적이다. 알고리즘들은 분석용 데이터에서 재표본(resampling)으로 얻어진 데이터에 의해 각 분류자가 형성되고 단일 데이터 마이닝 기법보다 더 좋은 성능을 갖는 것으로 보여왔다. 대표적으로 많이 사용되고 있는 랜덤 포레스트, 그래디언트 부스팅, 익스트림 그래디언트 부스트 기법이 있다. Hong et al. (2020)은 앙상블 알고리즘들을 이용하여 소양강댐의 유입량 예측에 이용하고 각각의 알고리즘을 평가하였다.

## 2. 기계학습 자동화 프로세스 - AutoML

- AutoML은 "Automated Machine Learning"의 약어로, 기계 학습 모델을 자동으로 구축하고 최적화하는 프로세스를 의미한다. AutoML은 기존에는 전문가나 데이터 과학자가 많은 수고를 들여야 했던 모델 선택, 특성 공학, 하이퍼파라미터 튜닝 등과 같은 여러 단계를 자동화하여 머신러닝의 활용을 더욱 간편하게 제공하는 장점이 있어 최근에 다양한 분야에 널리 이용되고 있다.
- AutoML은 일반적으로 다음과 같은 주요 기능을 포함한다.
  - 자동 모델 선택: AutoML은 다양한 기계 학습 알고리즘과 모델 구조 중에서 최적의 모델을 선택함. 이는 데이터에 가장 적합한 모델을 찾는 데 도움이 됨.
  - 특성 공학 자동화: 데이터의 특성을 변환하고 생성하는 프로세스를 자동화하여 모델의 성능을 향상
  - 하이퍼파라미터 최적화: AutoML은 모델의 하이퍼파라미터(모델의 학습에 영향을 미치는 매개 변수)를 최적화하여 최상의 성능을 달성
  - 앙상블 구축: 여러 모델을 조합하여 높은 성능을 내는 앙상블 모델을 자동으로 생성
  - 평가 및 선택: AutoML은 생성된 여러 모델 중에서 최적의 모델을 선택하고 성능을 평가

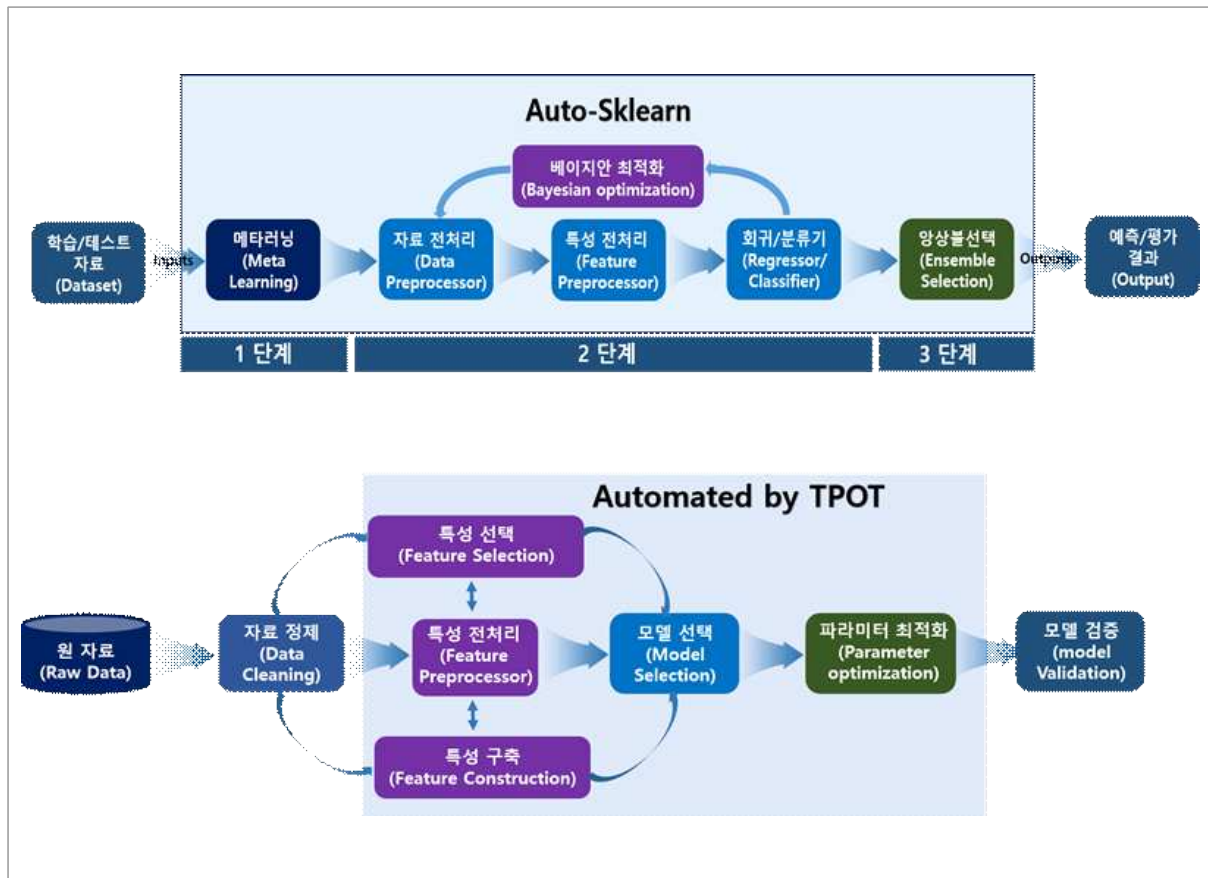
- 배포 및 서비스화 지원: 최종 모델을 배포하고 서비스화하는 과정을 자동화하여 실제 운영 환경에서 모델을 활용
- AutoML은 전문적인 기계 학습 지식이 없는 사용자들도 쉽게 머신러닝 모델을 만들 수 있도록 도와 주며, 이를 통해 머신러닝을 적용하기 위한 기술적인 장벽을 낮추어 주고, 비전문가들도 효과적으로 모델을 활용할 수 있다.
- TPOT과 Auto-sklearn은 둘 다 AutoML(자동화된 기계 학습) 프레임워크로, 기계 학습 모델을 자동으로 찾고 최적화하는 데 사용되며, 특징은 다음과 같다.
  - TPOT (Tree-based Pipeline Optimization Tool):
  - TPOT은 자동화된 파이프라인 최적화 도구로, 머신러닝 파이프라인의 구성과 하이퍼파라미터를 탐색하고 최적화
  - TPOT은 유전 알고리즘을 사용하여 여러 종류의 머신러닝 모델과 전처리 단계를 조합하여 가장 성능이 좋은 파이프라인 구성
  - 사용자는 최적화하고자 하는 목표 지표와 실행할 시간 등을 설정 가능
  - TPOT은 Python에서 사용할 수 있으며, Scikit-learn과의 통합이 중요
- Auto-sklearn:
  - Auto-sklearn은 Scikit-learn을 기반으로 하는 AutoML 도구로, 주로 분류 및 회귀 문제 적합
  - Bayesian Optimization과 메타모델링을 통해 최적의 모델과 하이퍼파라미터 조합 구성
  - Auto-sklearn은 TPOT과 유사하게 자동으로 파이프라인을 조정하고 최적화
  - Scikit-learn의 인터페이스를 따르기 때문에 Scikit-learn과의 통합이 용이
- 두 도구 모두 사용자가 기계 학습 모델을 최적화하기 위해 많은 수작업을 하지 않고도 쉽게 활용할 수 있도록 고안되었고, 각각의 도구는 내부적으로 다른 최적화 전략과 알고리즘을 사용하며, 사용자의 목표나 데이터에 따라 어떤 도구를 선택할지는 상황에 따라 다를 수 있다.
- TPOT과 Auto-sklearn의 특성 및 차이점을 살펴보면 다음 표 x와 같다. 이러한 차이점을 고려하여 선택해야 할 도구를 결정할 때는 사용자의 목적, 데이터의 특성, 그리고 사용성과 편의성을 고려하는 것이 중요하다.
- AutoML은 데이터 전처리, 피처 엔지니어링, 모델 선택, 하이퍼파라미터 최적화(HPO: Hyper-Parameter Optimization), 예측 결과 분석과 같은 반복적인 작업에서 시간과 노력을 아낄 수 있는 좋은 방법으로 최근에는 오픈소스 AutoML 솔루션이 다양한 분야에 적용되고 있으며 사이킷런(Scikit-Learn) 라이브러리로 Auto-Sklearn과 TPOT이 있으며 Auto-Sklearn는 베이지안최적화 방안을, TPOT은 진화 최적화 방안을 적용하여 하이퍼파라미터 탐색이 이루어짐. Auto-Sklearn의 큰 장점

은 메타러닝(Meta Learning) 과정을 거침으로 인해 빠른 시간 안에 학습데이터와 유사한 데이터의 우수 알고리즘을 매칭할 수 있는 장점이 있으며, 베이지안 최적화는 함수 값을 예측하면서 불확실성을 고려하여 최적화를 수행하고, 진화 최적화는 후보 해를 생성하고 적응도를 기반으로 다음 세대의 후보를 진화시켜 최적화를 수행함으로써 TPOt 계산 속도가 조금 더 빠른 장점이 있음(표 3, 그림 10).

<표 3> TPOT과 Auto-sklearn의 특성 및 차이점

특성 / 차이점	TPOT	Auto-sklearn
최적화 방법	유전 알고리즘	Bayesian Optimization 및 메타모델링
모델 선택	다양한 모델과 파이프라인 조합	Scikit-learn 기반으로 주로 분류 및 회귀 모델
구현 및 확장성	Python에서 사용 가능	Python에서 사용 가능, Scikit-learn 통합 강조
특징	파이프라인 최적화에 중점	최적의 모델과 하이퍼파라미터 찾기에 중점
활용	다양한 머신러닝 모델과 전처리 기술 활용 가능	Scikit-learn 모델과 호환되는 API 제공





<그림 10> AutoML 인 Auto-Sklearn과 TPOT 프로세스

### 3. 물분야 예측에 사용되는 딥러닝 알고리즘

- 시계열 자료 예측에 적합한 RNN(Recurrent Neural Network) 모델 중에서 주로 사용되는 몇 가지 모델이 있습니다. RNN은 순차적인 데이터의 특성을 잘 이해하고 처리할 수 있는 모델로, 시계열 데이터에 잘 적용됩니다. 몇 가지 주요한 RNN 기반의 시계열 예측 모델은 다음과 같다.
  - SimpleRNN (단순한 순환 신경망):가장 기본적인 RNN 모델 중 하나로, 이전 타임 스텝의 정보를 현재 타임 스텝에 전달하는 구조를 가지고 있다. 단점으로는 장기 의존성을 잘 처리하지 못하는 "기울기 소실" 문제가 있다.
  - LSTM (Long Short-Term Memory):LSTM은 단순한 RNN의 한계를 극복하기 위해 제안된 모델로, 장기 의존성 문제에 강건하게 대처한다. LSTM은 게이트 메커니즘을 도입하여 정보의 흐름을 제어하고, 장기 및 단기 메모리 셀을 사용하여 시계열 데이터의 장기 의존성을 처리한다.

- GRU (Gated Recurrent Unit): GRU는 LSTM과 유사한 구조를 가지고 있지만, 더 간단한 구조로 메모리 셀의 갱신을 처리합니다. LSTM보다 적은 매개변수를 가지며, 학습 속도가 빠르게 수렴하는 장점이 있다.
- Bidirectional RNN (양방향 RNN): Bidirectional RNN은 입력 시퀀스를 앞뒤 양방향으로 처리하여 모델이 과거와 미래의 정보를 모두 활용할 수 있도록 한다. 이는 시계열 데이터에서 발생할 수 있는 패턴을 더 잘 캡처할 수 있게 한다.
- Attention-based Models: Attention 메커니즘을 사용한 모델은 특정 시점에 높은 가중치를 부여하여 모델이 주의를 기울일 부분을 동적으로 선택하게 하며, 이는 특정 시간대의 정보에 더 중점을 둘 수 있게 도와준다.
- TCN (Temporal Convolutional Network): TCN은 합성곱 신경망(CNN)을 시계열 데이터에 적용한 모델로, 장기 의존성 문제를 해결하고자 설계되었으며, RNN과 비교했을 때 계산 효율적이면서도 좋은 성능을 보이는 특징이 있다.
- DNN (Deep Neural Network): DNN (Deep Neural Network)는 ANN기법의 여러문제가 해결되면서 모델 내 은닉층을 많이 늘려서 학습의 결과를 향상시키는 방법으로 등장하였고, DNN은 은닉층을 2개 이상 지닌 학습 방법을 말한다. 인공신경망(ANN)에서 복잡한 문제를 해결하기 위해서 신경망의 층수를 깊게 할수록 역전파 학습과정에서 데이터가 사라져 학습이 잘되지 않는 현상이 발생하였으며, 또한 학습한 내용은 잘 처리하나 새로운 사실을 추론하는 것, 새로운 데이터를 처리하는 것을 잘 하지 못하는 한계를 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 DNN은 깊은 층수의 신경망을 학습 시 사전 학습을 통해서 학습함으로써 신경망의 층수를 깊게 할수록 역전파 학습과정에서 데이터가 사라져 학습이 잘되지 않는 현상을 해결하였고, 새로운 데이터를 처리하는 것을 잘하지 못하는 한계를 보완하기 위해서 고의로 데이터를 누락시키는 Dropout을 사용하여 해결하였다. Sezen et al. (2019)에 따르면, ANN과 DNN이 Regression Tree 모델보다 카르스트지형에서의 일유량 예측을 더 효과적으로 하는 것으로 분석되었다.
- Transformer: Transformer는 딥러닝 모델 중 하나로, 주로 자연어 처리(NLP) 분야에서 뛰어난 성능을 보이는 모델이다. Transformer는 Attention 메커니즘을 기반으로 하며, 뛰어난 병렬 처리 기능과 장기 의존성을 처리할 수 있는 능력으로 인해 널리 사용되고 있으며, Transformer의 대표적인 구조로는 "Transformer Encoder"와 "Transformer Decoder"가 있으며, 주요 특징과 구성 요소에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.
  - Attention Mechanism (어텐션 메커니즘): Transformer의 가장 중요한 특징 중 하나는 어텐션 메커니즘이며, 이를 통해 모델은 입력 시퀀스의 다양한 부분에 가중치를 부여하여 주의를 기울일 수 있다. Self-attention이라 불리는 이 메커니즘은 특정 위치의 정보에 더 집중하거나, 두 단어 간의 관계를 강조할 수 있다.
  - Transformer Encoder: 입력 시퀀스의 정보를 잘 추상화하고 표현하는 역할을 하며, 여러 개의 Encoder 층이 쌓여 전체 모델이 구성된다. 각 Encoder 층은 셀프 어텐션 메커니즘과 피드포워드 신경망으로 구성되어 있다.
  - Transformer Decoder: 출력 시퀀스를 생성하는 역할을 한다. 여러 개의 Decoder 층이 쌓여 전체

모델이 완성되면, 각 Decoder 층은 셀프 어텐션 메커니즘과 인코더-디코더 어텐션 메커니즘, 그리고 피드포워드 신경망으로 구성된다.

- Positional Encoding (위치 인코딩): Transformer는 단어의 순서 정보를 알 수 없기 때문에, 입력 토큰의 상대적인 위치 정보를 전달하기 위해 위치 인코딩을 사용한다.
  - 마스킹 (Masking): 트랜스포머의 디코더에서는 미래의 정보를 참조하지 않도록 하는 마스킹 기법을 사용함으로써, 모델은 현재 시점 이전의 정보만을 활용하여 예측한다.
- 다만, 주의할 점은 Transformer가 주로 순서에 민감하지 않다는 특성 때문에, 순서 정보가 중요한 시계열 데이터에서 다른 모델보다 성능이 떨어질 수 있다. 이러한 이유로 시계열 예측 문제에 특화된 모델이나 전통적인 시계열 모델들과 비교하여 성능을 평가하는 것이 중요하다.
- Informer 등 적용 방안
- Informer는 시계열 데이터 예측을 위한 딥러닝 기반의 모델 중 하나입니다. 특히, 긴 시퀀스에 대한 효과적인 예측을 수행하기 위한 Transformer 기반의 아키텍처를 사용하며, Informer는 긴 시계열 데이터에서 발생할 수 있는 정보 손실 문제를 개선하고, 강건한 예측 성능을 제공하는 것을 목표로 개발된 모형이다. Informer의 주요 특징과 구성 요소는 다음과 같다.
  - Probabilistic Forecasting (확률적 예측): Informer는 예측의 불확실성을 고려하여 확률적 예측을 수행하는 방식을 제공하며, 이는 예측 값의 분포를 통해 모델이 얼마나 확신하는지를 나타내는데 사용된다.
  - Encoder-Decoder 구조: Transformer와 유사하게, Informer는 Encoder-Decoder 구조를 가지고 있으며, 긴 시퀀스를 처리하기 위해 각각의 Encoder와 Decoder가 여러 층으로 구성되어 있다.
  - Attention Mechanism: Informer는 self-attention 메커니즘을 사용하여 입력 시계열의 다양한 부분에 가중치를 부여하고, 중요한 정보에 집중할 수 있도록 한다.
  - Temporal Attention: 시계열 데이터의 특성에 맞게, Informer는 Temporal Attention을 도입하여 시간적인 패턴을 더 잘 캡처할 수 있도록 한다.
  - Encoder Inputs: Informer의 Encoder에는 입력으로 시계열 데이터와 함께 외부 정보(External Variables)를 포함할 수 있으며, 이를 통해 외부 변수가 예측에 어떻게 영향을 미치는지 모델링할 수 있음.
  - 해상도 다운샘플링: 긴 시계열에 대한 처리를 효과적으로 하기 위해 Informer는 해상도 다운샘플링을 수행하며, 이는 입력 데이터의 크기를 줄여 계산 효율성을 높이는 데 도움이 된다.
- Informer는 긴 시계열 데이터에 대한 예측 작업에 강건하고 성능이 우수한 모델 중 하나로 평가되고 있으며, 확률적 예측을 통해 모델의 불확실성을 고려하여 예측을 수행할 수 있는 장점이 있다.

## 5. 인공지능을 활용한 농업용 저수지 수위 예측 방안

### 1. 농업용 저수지의 저수위 변동에 영향을 주는 인자

- 농업용 저수지의 저수위 변동을 사전에 예측하기 위해서는 저수지의 수위 변동에 영향을 주는 인자를 파악하고, 이를 DB화 하여 학습할 수 있는 자료여야 한다. 이러한 이유로 다양한 시간 및 공간 변동 자료구축이 중요하며, 향후 근미래 저수지의 수위를 예측하기 위해서는 현재 저수위 등 현재 계측 자료도 중요하지만, 근미래를 예측하기 위한 다양한 형태의 예보자료 확보가 중요하다. 이러한 특성을 고려하여 저수지 수위 예측을 위한 DB/시스템 구축에 관한 고민도 필요하며 갱신 주기도 같이 검토되어야 할 주요 사항이라 할 수 있다.
- 머신러닝 모델의 학습자료로 사용하기 위한 기상자료는 기상자료개방포털에서 제공하는 파일셋 데이터(.csv파일)로 기상청\_초단기실황, 기상청\_초단기예보, 기상청\_단기예보 자료를 수집하는 방법과 공공데이터 포털의 오픈 API를 사용해 지정된 시간마다 갱신되는 초단기실황, 초단기예보, 단기((구)동네)예보 자료를 수집하는 방법 2가지가 있다.

#### • 초단기 실황 및 예보 자료

- 초단기실황 정보를 수집하는 첫 번째 방법으로 기상청 기상자료 개방포털의 데이터-기상예보-동네예보-초단기실황 탭에서 지정된 기간과 행정구역 내의 강우형태, 습도, 강우, 하늘상태, 기온, 뇌전, 풍향, 풍속값을 수집할 수 있음(표 4).
- 기상자료개방포털에서 파일셋 형태로 수집할 수 있는 최대 기간은 2010년 6월 데이터부터 조회일 기준으로 전월 자료까지의 데이터를 제공하고 있음. 2018년 7월 11일 이전의 초단기실황 자료는 AWS에서 관측한 값이 아닌 분석값을 제공하고 있음. 기상자료개방포털에서 초단기실황 데이터를 수집할 때 제공되는 시간이 UTC(협정 세계시로 제공되어 한국 표준시에서 -9 값으로 저장되기 때문에 기상자료개방포털에서 자료를 수집시 데이터 활용할 때 한국표준시로 변환한 후 사용해야함.
- 오픈 API 방식으로 제공하는 기상청\_단기예보((구)\_동네예보)조회 서비스는 초단기실황, 초단기예보, 단기((구)동네)예보, 예보버전 정보를 조회할 수 있는 서비스임. 공공데이터포털의 오픈 API를 활용해 초단기실황정보, 초단기예보, 단기예보를 제공받을 수 있음.
- 초단기 실황 정보는 기상청의 5km 해상도 격자인 동네예보구역에 대한 대표 AWS 관측값을 의미하며 파일셋과 오픈API 자료를 수집할 수 있음.
- 초단기실황데이터를 수집할 수 있는 두 번째 방법으로는 공공데이터포털 API를 통해 수집하는 것임. 자료는 기온, 1시간 강우량, 동서바람성분, 남북바람성분, 습도, 강우형태, 풍향, 풍속 항목을 제공하며 1시간 단위로 갱신되고 매 시 40분 이후 호출이 가능함. 연구대상 저수지의 저수

위 예측을 위해서 1시간 강수량 초단기실황 데이터를 저수위 예측에 활용함.

- 공공데이터포털의 오픈 API를 통해 수집할 수 있는 초단기예보 데이터는 기온, 1시간 강수량, 하늘상태, 동서바람성분, 남북바람성분, 습도, 강우형태, 낙뢰, 풍향, 풍속값을 제공하고 있으며 매 시 초단기 예보값은 30분에 발표되고 45분 이후 API를 통해 수집할 수 있음. 연구대상 저수지의 저수위 예측을 위해 1시간 강수량 초단기예보 데이터를 수집하여 저수위 예측에 활용함 (표 5)

<표 4> 기상청 초단기실황 제공 데이터

예보구분	항목값	항목명	단위	압축 bit수
초단기실황	T1H	기온	℃	10
	RN1	1시간 강수량	mm	8
	UUU	동서바람성분	m/s	12
	VVV	남북바람성분	m/s	12
	REH	습도	%	8
	PTY	강우형태	코드값	4
	VEC	풍향	deg	10
	WSD	풍속	m/s	10

<표 5> 기상청 초단기예보 제공 데이터

예보구분	항목값	항목명	단위	압축 bit수
초단기예보	T1H	기온	℃	10
	RN1	1시간 강수량	범주(1mm)	8
	SKY	하늘상태	코드값	4
	UUU	동서바람성분	m/s	12
	VVV	남북바람성분	m/s	12
	REH	습도	%	8
	PTY	강우형태	코드값	4
	LGT	낙뢰	코드값	4
	VEC	풍향	deg	10
	WSD	풍속	m/s	10

• 단기 예보 설명

- 공공데이터포털 API를 통해 수집할 수 있는 단기예보는 02:00, 05:00, 08:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00, 23:00를 기준으로 10분 이후인 02:10, 05:10, 08:10, 11:10, 14:10, 17:10, 20:10, 23:10부터 조회 가능하며 1일 8회 제공됨.
- 공공데이터포털에서 API로 제공하는 기상청의 단기예보데이터는 강우확률, 강우형태, 1시간 강수량, 습도, 1시간 신적설, 하늘상태, 1시간 기온, 일 최저기온, 일 최고기온, 풍속(동서성분), 풍속(남북성분), 파고, 풍향, 풍속값을 제공하며 통해 얻을 수 있는 단기예보는 3시간마다 갱신되는 값임 (표 6).
- 공공데이터포털 API를 사용해 조회할 수 있는 기상청 단기예보 조회 서비스(2.0)은 읍면동 행정 구역 단위로 기상 예보정보를 제공함.

<표 6> 단기에보 제공 데이터

예보구분	항목값	항목명	단위	압축 bit수
초단기에보	POP	강우확률	%	8
	PTY	강우형태	코드값	4
	PCP	1시간 강우량	범주(1mm)	8
	REH	습도	%	8
	SNO	1시간 신적설	범주(1cm)	8
	SKY	하늘상태	코드값	4
	TMP	1시간 기온	℃	10
	TMN	일 최저기온	℃	10
	TMX	일 최고기온	℃	10
	UUU	풍속(동서성분)	m/s	12
	VVV	풍속(남북성분)	m/s	12
	WAV	피고	M	8
	VEC	풍향	deg	10
	WSD	풍속	m/s	10

- 실측 저수위 WEB CRAWLING 통해 RAWRIS 자료 구축
  - RAWRIS에서 웹크롤링을 통해 수집한 저수위/저수량 자료와 공공데이터포털API를 통해 수집한 초단기실황, 초단기에보, 단기에보 기상자료를 빅데이터로 구축하였으며 저수지별 저수위 예측을 위한 머신러닝의 학습자료로 이용함(그림 11).
  - 지도기반 농촌용수정보를 제공하는 시스템(RAWRIS)에서 저수지 계측정보를 웹 페이지의 HTML 코드를 읽고, 그 중에서 필요한 정보를 추출하거나 분석하는 기술인 웹크롤링 방식으로 가져와서 10분마다 업데이트되는 저수위, 저수량, 전일과 금일 저수율 등을 활용할 수 있으며 이때 사용되는 파이썬 오픈 라이브러리는 'selenium'으로 버전에 따른 텍스트 처리 방식을 적용하면 됨



<그림 11> RAWRIS 웹 크롤링 방법을 이용한 실시간 저수지 수위 DB 구축 방안



## 2. 농업용 저수지의 저수의 변화에 영향을 주는 기타 인자

- 저수지의 수위 변동을 예측하기 위해서는 저수지의 수위 변동에 영향을 주는 인자를 분석하는 것이 중요하다. 대부분의 농업용 저수지는 이수목적으로 개발되었기에 용수 공급 목적이 뚜렷하다. 이러한 패턴을 학습하여 저수지의 수위 변동을 예측하는 것이 가능하다.
- 그러나 농업용수 공급량보다 생활용수를 더 많이 공급하는 경우 이러한 공급량을 고려한 유입량, 이로 인한 저수량의 변동성 예측이 중요하다.
- 또한 수문 방류를 통해 저수지의 관리수위를 관리하는 경우 수문방류를 고려하여 저수지 변동성을 예측하는 것이 중요하다.
- 다양한 영향 인자를 이용하여 저수지 수위 변동을 예측하는 것이 중요하나, 만약 유입하천의 실측 유입량을 계측하거나 예측할 수 있다면 이를 활용한 기계학습 결과의 예측 정확도는 매우 높으리라 판단된다.
- 현재 농어촌공사에서 제공하는 저수지의 저수위값은 RAWRIS에서 웹크롤링 방식으로 가져와서 표출 및 학습에 이용되고 있다. 향후 OpenAPI를 통해 저수지의 수위를 제공한다는 계획이 있기에 보다 효율적인 예측 DB관리가 가능하리라 생각된다.
- 현재 농어촌공사 저수지의 경우 내용적 곡선표를 제공하고 있으며 이를 이용하여 현재 저수위에 해당하는 저수량을 산정할 수 있으며, 이를 이용하여 방류량 계획에 따른 향후 저수지의 변화, 이를 통해 관리 수위 추정 및 적정 방류량 결정이 가능하리라 판단된다.
- 현재 농어촌공사에서 관리하는 3,400여개 저수지의 규모 및 수혜 지역의 특성, 수문, 비상(방류)수문, 소규모 저수지에 따라서 저수지 수위 예측에 따른 대응 방안도 달라져야 한다. 이러한 특성을 고려한 저수지 수위 변동 예측 기술의 범위가 필요하다.

## 3. 저수지의 수문 여부/규모별 저수위 예측시 고려해야 할 사항

- 농업용 저수지의 유입되는 홍수파와 그리고 여수토 방류량, 수문 방류량, 비상(방류)수문의 방류량, 복통 방류량 등을 고려하여 저수지 예측 모형을 구성해야 한다.
- 특히 큰 규모의 수문이 있는 경우 수문 방류량을 고려하여 모형을 구성해야 하며, 비상(방류)수문을 가진 저수지의 경우 수문 방류보다는 그 영향이 크지 않지만, 가급적 방류량을 학습 자료에 이용해야 한다.
- 그러나 규모가 작은 저수지의 경우 저수위 자료만을 이용하여 학습 모형을 구축하면 된다.
- 특히 저수지의 저수위 급변에 영향이 크지 않는 자료는 홍수지 유입되는 홍수파의 침투유량에 비해 작기에 고려하지 않아도 되나, 다양한 강수 패턴과 농번기 기간 등의 계절적 영향 또한 연중일(1~365)과 같은 정보에 의해 학습이 함께 되기 때문에 장기간의 학습과 고수위 시나리오 정보들을 보장한다면 저수위 예측 성능을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 인공지능(머신러닝과 딥러닝)을 이용한 저수지 유입량 설계 방법

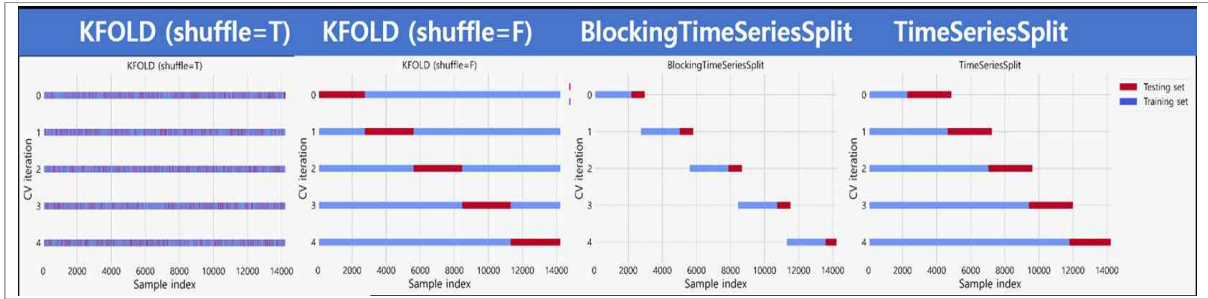
- 앞에 기술된 바와 같이 저수지의 수위에 영향을 미치는 인자, 그리고 저수지의 규모 및 수문 여부에 따라 학습 모형 구성을 달리해야 한다. 인공지능을 이용한 저수지의 수위 예측 모형을 구성하기 위해서는 입력자료 구축 및 예측 저수위 DB를 구축하는 것이 중요하며, 선택되는 모형에 따라 머신러닝 또는 RNN계열의 딥러닝 모형 선정이 필요하다.
- 현재 기상청 초단기 실황 및 예보자료, 그리고 기상청 단기 예보 자료이외에 농어촌공사에서 제공하는 RAWRIS 실측 저수위 자료 등이 필요하며 경우에 따라서는 파생변수 ( $t, t-1, t-2, \dots, t-n$ ) 를 구성하여 머신러닝 모형의 학습이 필요하다. RNN 계열의 모형인 Informer 등을 이용할 경우 sequence, batch, epoch, loss function 등에 대한 매개변수 조정이 중요하다.
- 아래 표 7은 기상청 초단기 실황 자료와 저수지 실측 수위자료를 이용한 머신러닝 모형의 학습 데이터 구조를 보여준다. 이처럼 저수지의 규모와 수문 여부/규모에 따라서 학습 데이터 구조를 달리 해야 한다.

<표 7> 저수지 유입량 설계를 위한 DB 구축 방안(예시)

데이터 명	단위/표기형태	내용	비고
baseDate	YYYYMMDD	기준일	학습시 율리우스력(1~365)형태로 변환
baseTime	HHOO	기준시각	
w_obs	mm	초단기실황 강우량	백록저수지 면적비율 반영
o_wl	EL.m	저수위	RAWRIS실측데이터
w_t_add_{k}	mm	초단기실황 누적강우량	기준시간+1시간~K시간까지 강우량 합
w_fcst_add_{k}	mm	예보(초단기+단기) 누적강우량	1,3시간은 초단기예보 /6,12 예보는 초단기+단기예보 누적 합
wl_b1~12	EL.m	저수위	1시간전-12시간전 저수위

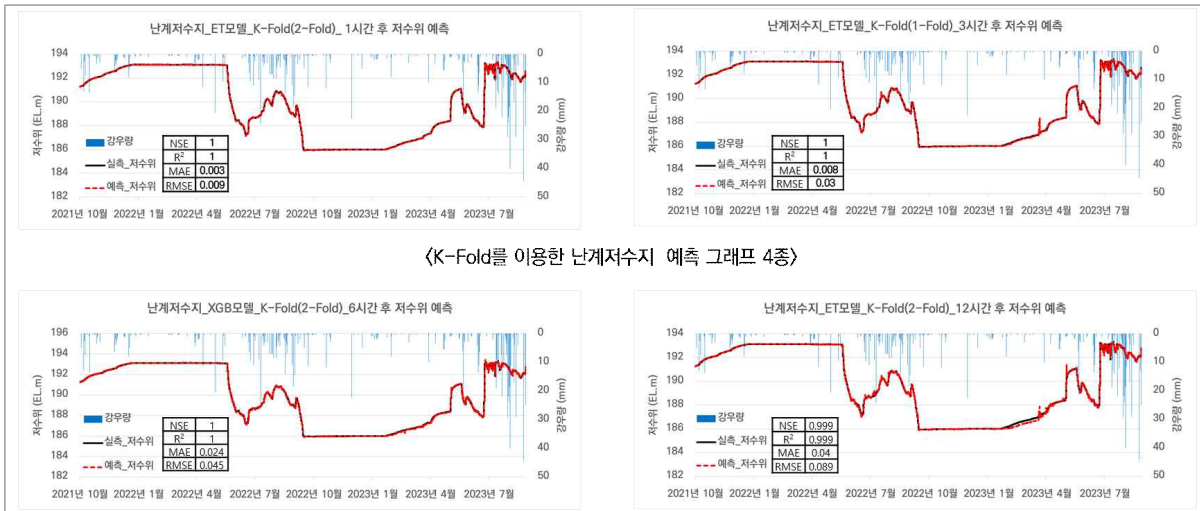
#### 5. 저수지 유입량 학습/검증 방법 및 예측 결과

- 저수지 수위변동을 학습 한 후에 학습모형을 이용한 예측을 위해서는 다양한 규모의 강우-유출 및 저수지 수위 변동 학습 자료가 중요함. 최근 기존의 검증 방법의 한계를 극복하고자 다양한 형태의 교차 교차 검증 방법(CV: Cross-validation) (그림 12) 이 널리 이용되고 있다.



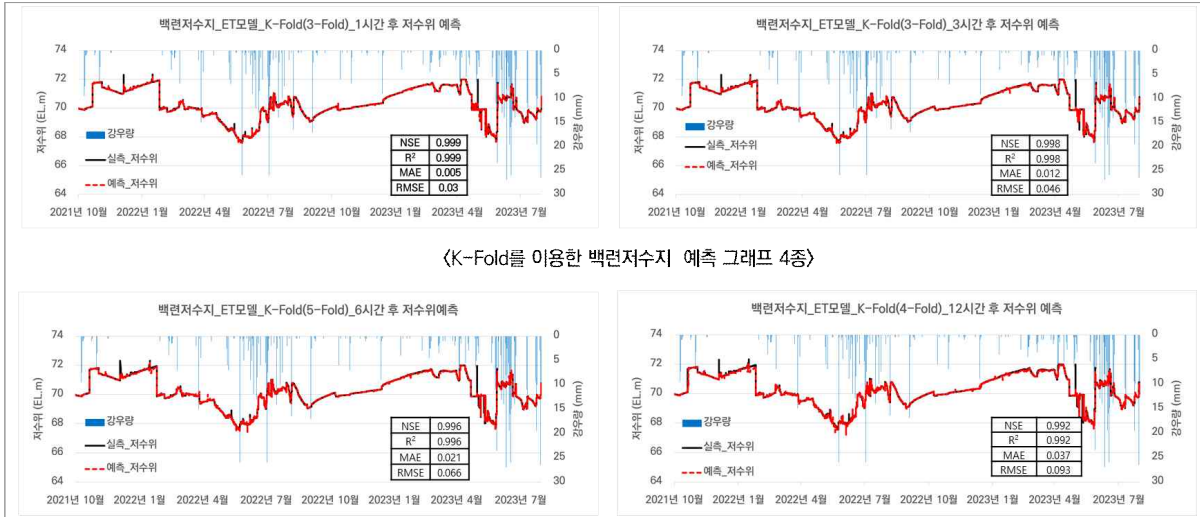
<그림 12> 교차검증 방법

- 아래 그림 13 ~ 그림 14는 기상청 실황(실측) 강수량과 실측 저수위를 이용하여 학습된 모형을 이용하여 예측한 (Test) 저수위 결과이다. 그림에서 보이는 바와 같이 중소 규모 저수지의 수위를 예측하는데 큰 어려움이 없는 것으로 판단할 수 있다.
- 또 아래 그림 15에서 보이는 바와 같이 TPOT 모형을 이용하여 하이퍼 파라미터 튜닝, 최적 알고리즘 선정을 통해 결정된 모형으로 예측된 저수위가 실측치를 잘 표현 (아래 그림 16은 Training/Validation과정을 통해 그리고 n-fold 방법을 통해 교차 검증을 수행한 후 학습된 모형으로 예측된 결과를 제시한 결과)하는 것으로 나타났다. 그림 17과 18은 다른 저수지 적용결과이다. 이 결과에 보이는 바와 같이 중소규모 저수지에서의 예측 강우 자료를 이용하여 저수지 사전 예측이 가능하다는 것을 알 수 있다.

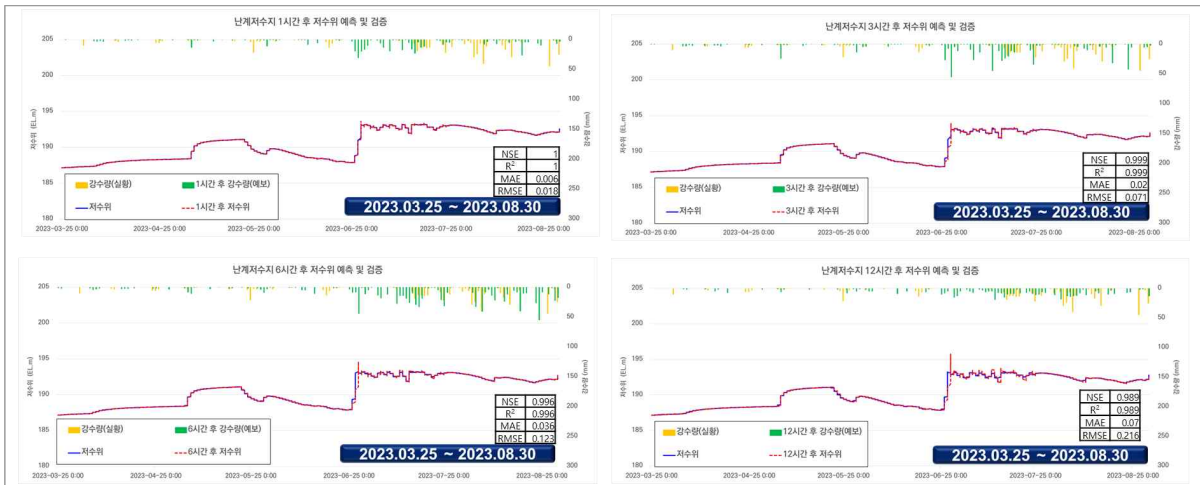


<K-Fold를 이용한 남계저수지 예측 그래프 4종>

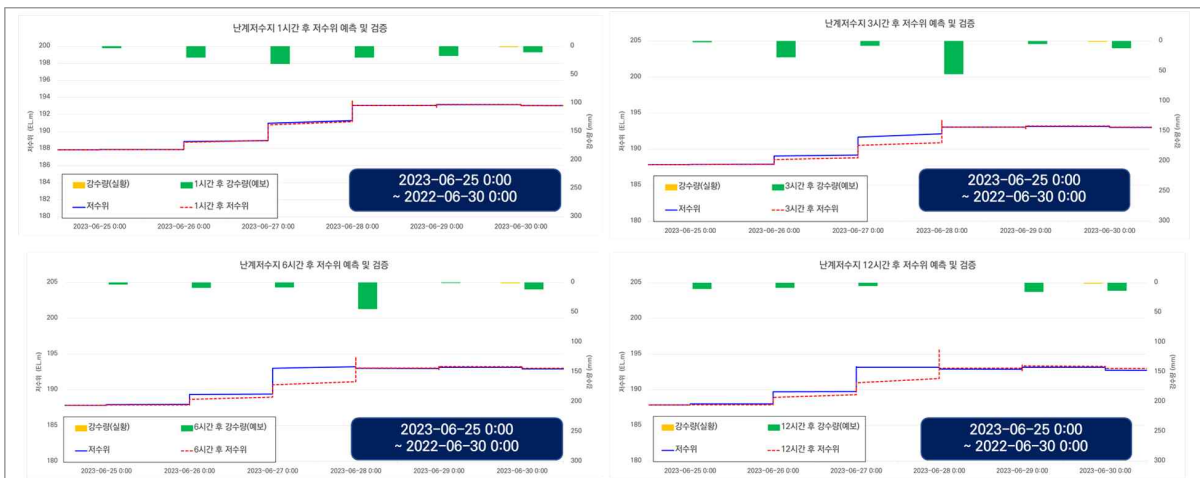
<그림 13> 남계 저수지 예측 결과 (실측 강우량으로 실측 저수량 예측) (농어촌연구원,2023)



〈그림 14〉 백련 저수지 예측 결과 (실측 강우량으로 실측 저수량 예측) (농어촌연구원,2023)



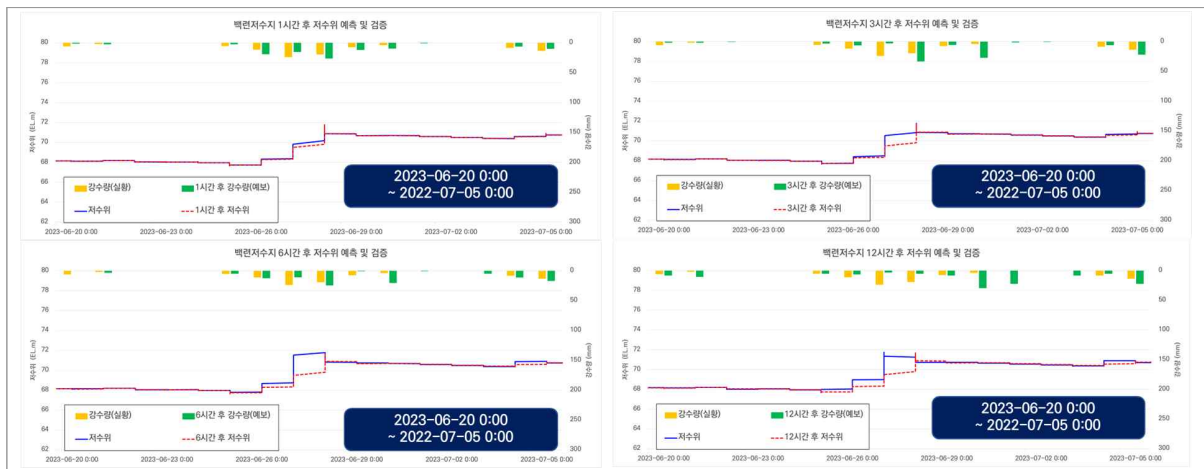
〈그림 15〉 난계 저수지 예측 결과 (TPOT 최적 모형 학습 후 예측 결과) (농어촌연구원,2023)



〈그림 16〉 난계 저수지 1,3,6,12시간후 저수지 수위 예측 모형 교차 검증(TimeSeriesSplit) 및 강우시 Test 결과 (예시)



<그림 17> 백련 저수지 예측 결과 (TPOT 최적 모형 학습 후 예측 결과) (농어촌연구원,2023)

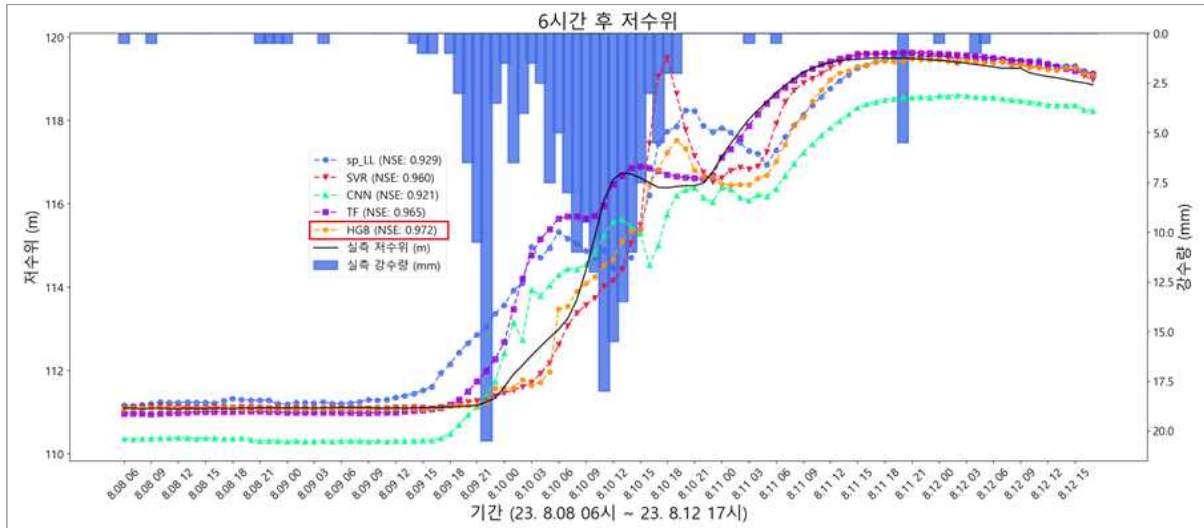


<그림 18> 백련 저수지 1,3,6,12시간후 저수지 수위 예측 모형 교차검증(TimeSeriesSplit) 및 강우시 Test 결과 (예시)

## 6. 큰 규모 저수지 저수위 변화 예측

- 작은 규모 저수지와 달리 큰 규모 저수지의 경우 급변하는 강우-유출 특성, 그리고 하도 추척, 저수지의 물공급 및 수문을 통한 관리수위 변화등을 평가하 위해서는 중소규모 저수지와 달리 모형을 구성하여 학습/테스트가 필요하다.
- 2023년도 태풍 '카눈'기간 동안에 6시간 후 저수위 예측에 있어서 Auto-Sklearn이 추천해주는 히스토그램 그래디언트 부스팅(HGB: Histogram Gradient Boosting) 알고리즘의 결과가 NSE 0.972의 결과.
- OO저수지 저수위 전체 학습자료를 기반으로 TPOT과 Auto-Sklearn이 추천해주는 다양한 알고리즘들로 성능평가를 비교한 그래프(그림 19)를 살펴보면, Auto-Sklearn에 의해 추천된 히스토그램 그래디언트 부스팅(HGB) 알고리즘의 결과가 1, 3, 6, 12시간 후 시계열분할 5차 교차검증 평균 그래프에서 모두 우수한 결과를 나타내기에 현재 OO저수지 시스템에서는 저수위 예측 알고리즘으로 히스토그램 그래디언트 부스팅을 이용하여 실시간 모델을 시범적용하고 있다. 이뿐 아니라 현재 RNN 모형의 시범 적용 가능성을 검토중에 있다.





<그림 19> 00 저수지 6시간 사전 예측 결과 (다양한 모델 적용 결과 HGB 적요 가능성 예시)

## 6. 저수지 예측 수위와 저수지 운영을 고려한 스마트 방류 방안

### 1. 기존의 저수지 홍수 조절 방법

- 농업용 저수지는 처음 설치 목적 자체가 농업용수 공급이라는 목적으로 설계되었기에 안정적인 농업용수 공급과 저수지 체체의 안정이 최우선 운영 목적이라 할 수 있다. 따라서 이수측면으로 설계된 저수지를 치수측면에서 운영하기 위한 구체적인 홍수조절 기능과 홍수기 적정 운영 방법에 대해서는 많은 연구가 수행되지 않았다(한국농어촌공사, 2019).
- 저수지의 홍수 관리 기법은 크게 Auto ROM, SRC-ROM, Rigid ROM, Technical ROM 으로 구분할 수 있다(농어촌연구원, 2021). 농업용 저수지의 치수능력을 극대화 하기 위해서는 홍수시 유입수문곡선에 따라 방류량을 적절하게 조절하여 홍수조절 효과를 극대화 시킬 수 있는 방법인 Technical ROM과 Rigid ROM이 효율적으로 활용될 수 있는 방법이나 농업용 저수지에 적용하는데 적합하지는 않다.
- 농업용 저수지의 경우 기본적으로 SRC-ROM 을 기본으로 하고 있으나 실제 홍수기 제한수위를 설정하여 Auto ROM 형태로 운영하고 있다. 저수지 홍수관리 기법(표 8)을 살펴보면 다음과 같다.
  - Auto ROM(Automatic Reservoir Operation Method): Auto ROM은 만수위를 목표수위로 정해놓고 만수위에 도달하기 전까지는 여수토를 통한 방류를 하지 않다가 만수위에 도달한 후에는 여수토 방류능력에 따라 방류하여 저수지내 지체효과로 홍수조절 효과가 발생
  - SRC-ROM(Spillway Rule Curve Reservoir Operation Method): SRC ROM은 설계홍수량 유입시 저수지 수위를 홍수위 이하로 유지하면서 저수지 수위에 의해서만 방류하여 조절할 수 있는 수문조작 방법인 SRC(Spillway Rule Curve)를 작성하여 방류



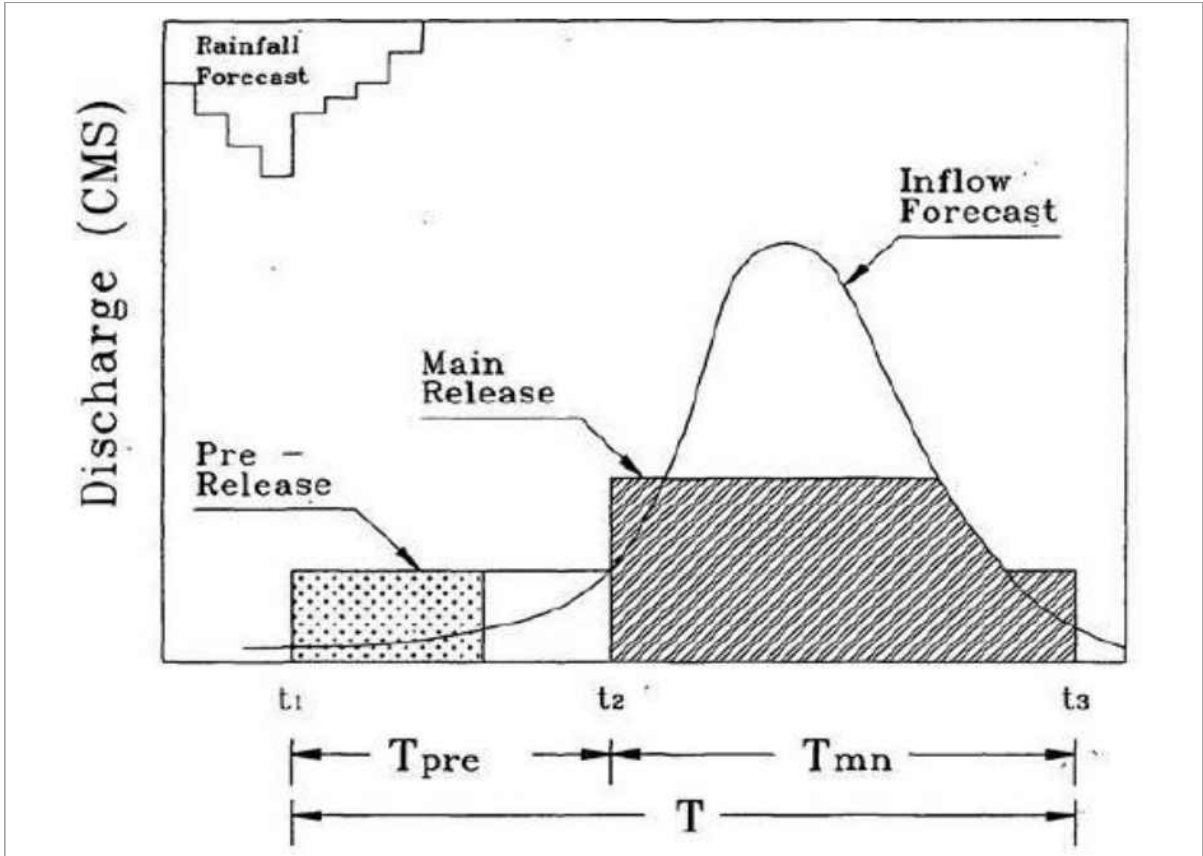
- Rigid ROM(Rigid Reservoir Operation Method): Rigid ROM은 홍수기 제한수위에 도달한 후, 총 방류기간 중의 홍수저류 총량이 저수지의 홍수조절 용량과 일치하도록 운영되며 침투 이후의 일정량의 방류를 통해 유입량이 일치될 때 저수지 수위도 동시에 목표로하는 수위(홍수위 등)에 도달하게 되는 방법
- Technical ROM(Technical Reservoir Operation Method): Technical ROM은 방류기간 중의 홍수저류 총량이 저수지의 홍수조절용량과 일치토록 하여 침투 이후의 일정 방류량과 유입량이 일치할 때 저수지 수위도 동시에 목표로 하는 수위(홍수위 등)에 도달시키는 방법

<표 8> 저수지 운영방법 장단점 분석

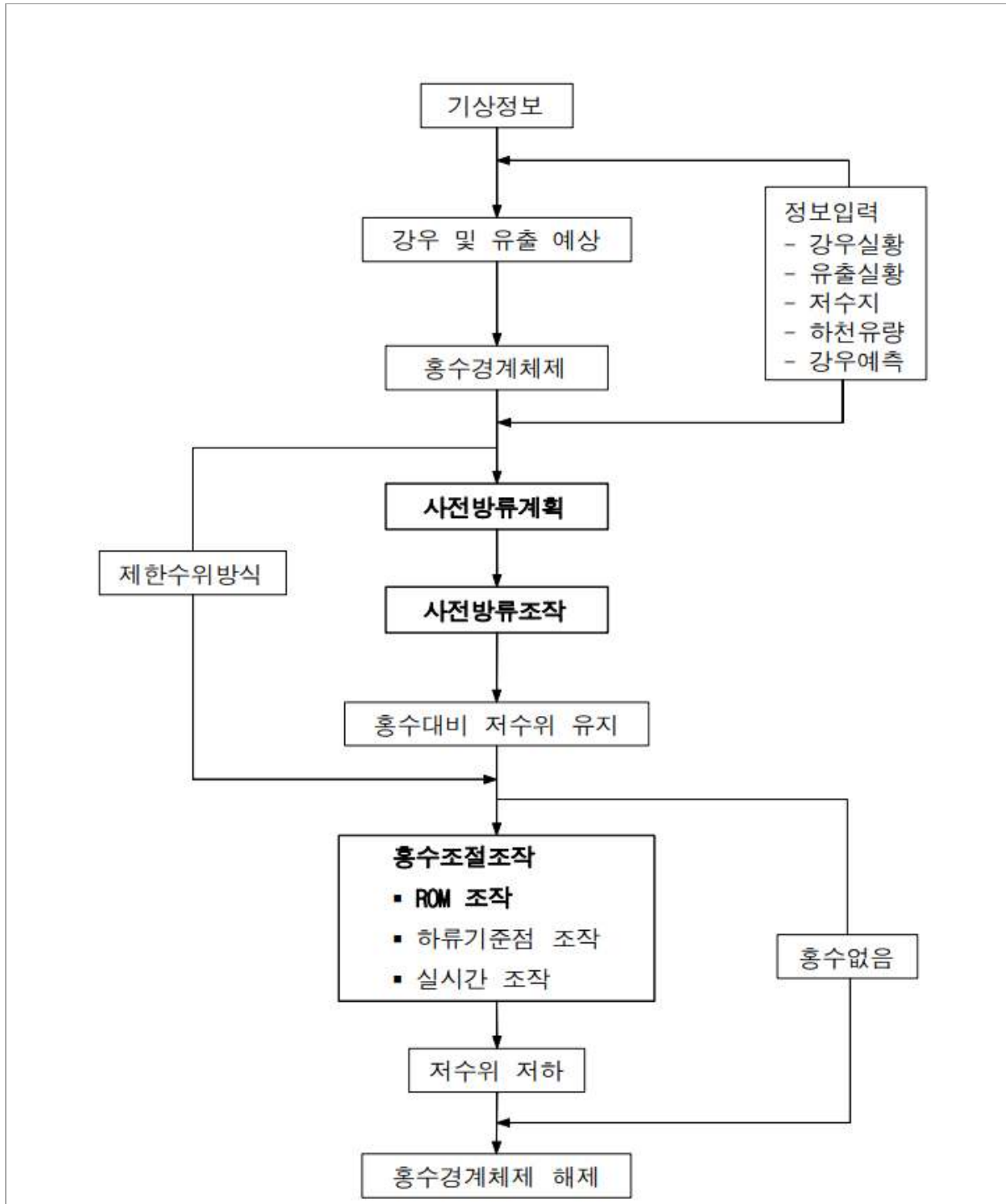
구분	장점	단점
Auto ROM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수예측 필요없음</li> <li>• 홍수 관리 인력 필요없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수조절효과가 아주 낮음</li> <li>• 저류휴과로 인한 지체로 홍수조절 효과가 발생</li> </ul>
SRC ROM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수예측 필요없음</li> <li>• 정해진 톨로 조절 홍수관리 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수조절효과가 낮음</li> <li>• 홍수발생시 홍수상황 반영 못함</li> </ul>
Rigid ROM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수조절효과가 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 침투까지 정확한 홍수예측 필요</li> <li>• 수문조작 실시가 매우 어려움</li> </ul>
Technocal ROM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수조절효과가 매우 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수수문곡선의 정확한 예측 필요</li> </ul>

## 2. 저수지 홍수 조절을 위한 방류 방법

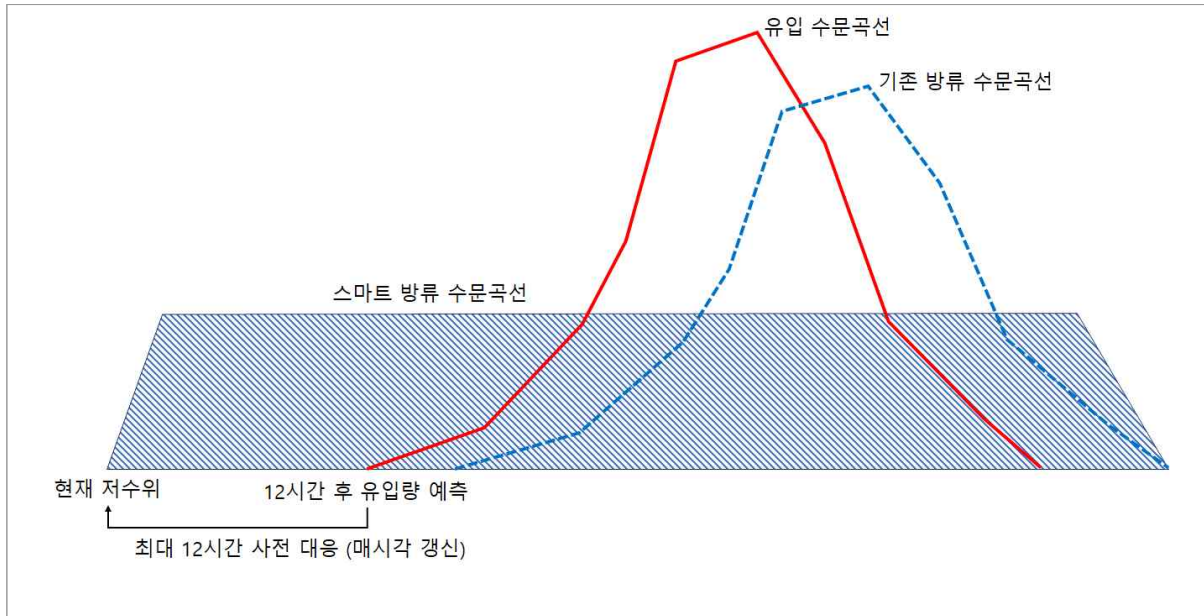
- 저수지 홍수조절을 위한 방류 방법은 크게 (1) 홍수기 제한수위 방식과 (2) 홍수기 예비방류 방식 (그림 20)으로 구분(농어촌연구원, 2021) 할 수 있다. 홍수기 제한수위 방식은 홍수기에 만수위 이하의 수위를 유지하는 일정 제한수위 방식과 기간별 제한수위를 탄력적으로 운영하는 가변 제한수위 방식이다. 홍수기 예비방류 방식은 유입되는 예측 홍수 유입수문곡선에 대해 홍수조절 용량이 부족하다고 판단되면 예비 방류를 통해 홍수조절용량을 확보하는 방식으로, 예상되는 홍수 수문곡선을 고려하여 방류를 실시하여 홍수 조절을 하는 실시간 저수지 운영 방법이다.
- 홍수기 예비방류방식은 홍수유입전 또는 홍수초기에 조작성 완료하여야하므로 정확한 홍수유입수문곡선을 예측하여야 한다. 예비방류를 위한 시간은 사전방류 예보시간을 포함하여 홍수유입 전 최소 8~13시간의 여유가 필요하다(한국수자원공사, 1992).
- 아래 그림 21과 같이(수자원공사, 1992년) 저수지 유입 홍수량에 대한 사전 예측이 어렵고 짧은 시간이 분석해야만 하기에 고도의 저수지 수문분석 기술이 필요하다. 이러한 한계로 이러한 홍수기 예비 방류 방식을 도입하기에는 어려움이 많았으나, 인공지능의 시대에는 학습데이터만 충분하다면 인공지능 기반 예측을 통한 사전 방류가 가능하리라 생각된다. 특히 장기간의 다양한 학습자료 구축을 통해 학습 시간은 오래걸리지만, 예측하는데 1-2분도 안 걸리기에 매 1시간마다 실측 자료를 반영한 사전 예측(그림 22)을 통해 홍수기 예비방류 방식의 구현이 가능하리라 생각된다.



<그림 20> 예비방류와 본 방류의 정의 (한국수자원공사, 1992)



<그림 21> 예비방류에 의한 홍수조절 흐름도 (한국수자원공사, 2019)



<그림 22> 기존 홍수기 유입 수문곡선을 고려한 방류 방법과 사전예측을 통한 스마트 방류 방안

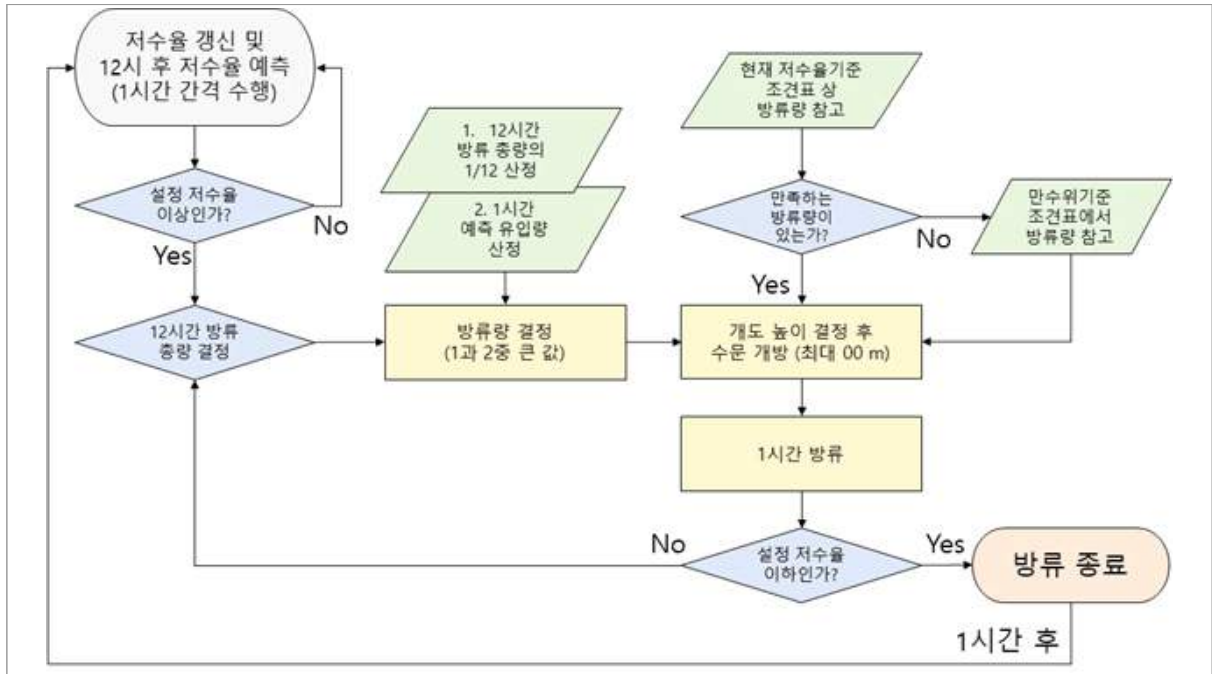
- 홍수기 예비방류의 시기와 규모를 정하기 위한 저수지 운영절차를 살펴보면 다음과 같다.
  - 기상정보로부터 강우의 크기와 유입량의 분포형을 예상하고 홍수시 유입량의 크기와 시간별 분포 예측·홍수조절 계획기간(예비방류 기간과 본 방류 기간)을 설정
  - 홍수 운영을 위한 계획기간 중 예비방류와 본 방류가 필요한지 판단? 예비방류를 포함한 본 방류가 일어나는 시점과 최대방류량의 크기 및 유역의 도달시간 계산
  - 저수지에서 방류하는 최대 방류량이 댐 하류에 피해를 초래할 정도라고 판단되면 예비방류 계획
  - 예비방류가 필요하면 예비방류의 한계를 고려하여 방류계획을 결정하고 예비 방류 중 홍수기 제한수위(가변제한수위)에 이르는 시점부터 홍수조절을 위한 예비 방류
- 한편, 홍수조절을 위해 예비방류로 저수위를 낮추었으나 예상홍수가 발생하지 않거나 적은 규모의 홍수가 유입한 경우에는 홍수기말 만수위를 확보하지 못하여 남은 기간 동안은 이수에 큰 영향을 미치게 되는데 이때는 저수지 운영률을 조정하거나 물 절약 등을 유도하는 등의 별도의 이수대책이 필요하게 된다(한국농어촌공사, 2019). 따라서 최근 인공지능의 학습모델로는 매 1시간마다 예측하고, 이때 현재 저수지의 수위와 상황강우량을 고려하여 저수지의 변동을 예측할 수 있기에 보다 효율적인 예비 방류와 관리수위 유지가 가능하다.
- 과거에는 이러한 비구조적 방법에 의한 농업용저수지의 홍수조절 기능을 강화하는 방안은 아직까지 구체화된 사례나 연구 실적이 많지 않은 상황이었으나, 최근에는 인공지능을 이용한 농업용저수지의 유지관리 관련 연구가 다양한 규모 저수지에 시범 적용되고 있다. 현재 농어촌공사와 농어촌

연구원에서 이와 관련된 연구를 진행중에 있으며, 이러한 성과물을 확대 적용하기 위한 검증 단계에 있다.

- 이와같은 저수지 운영률을 적용하기 위해 우선 농업용저수지의 특성이고려된 최적의 홍수기 저수지 운영 기법(규정곡선, ROM)이 개발되어야하며, 효율적인 홍수관리를 위하여 지속적인 조사 및 연구가 필요하다.
- 또한, 유입량을 예측할 수 있는 실시간 홍수예측 모형과 저수위에 따른방류량 조절로 저수지 상하류의 침수피해를 최소화할 수 있는 저수지상하류 구역의 예경보 모형의 구축도 필수적이다.

### 3. 사전 예측을 통한 저수지 홍수 조절을 위한 방류 방안

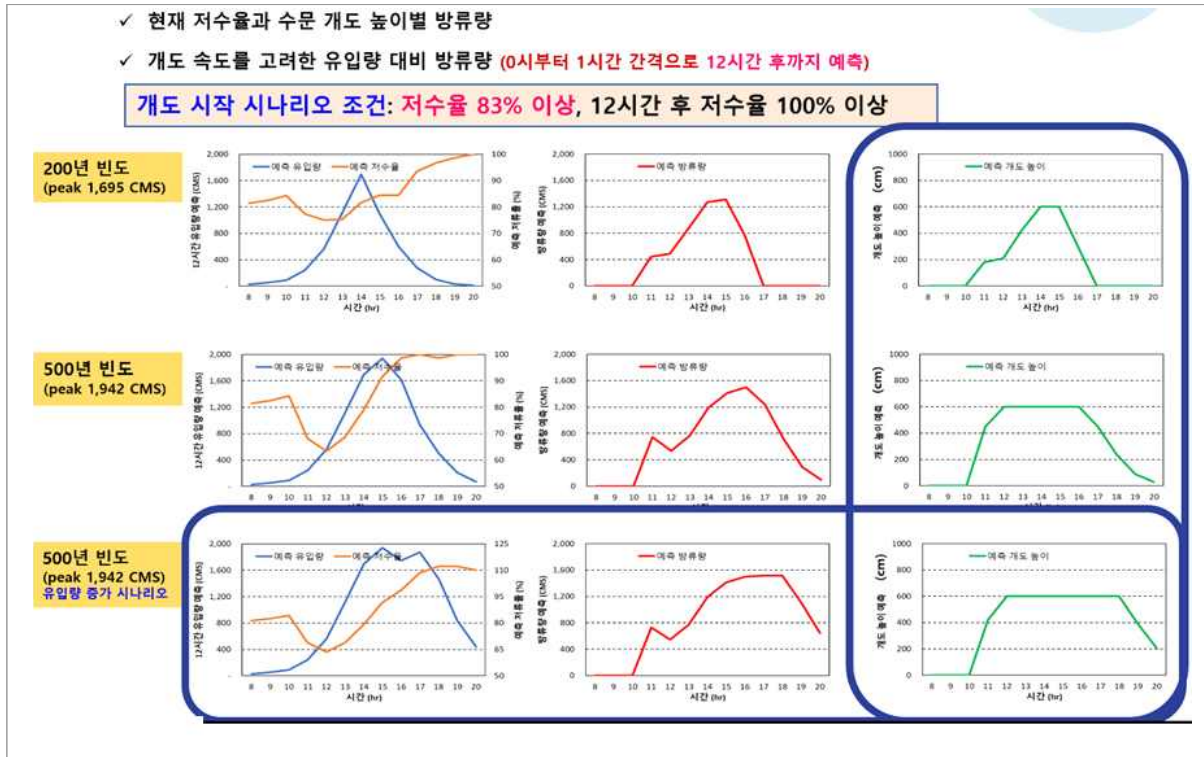
- 수문 방류가 가능한 경우(사전예측을 고려한 스마트 방류량 결정 기술개발)
  - 큰 규모의 저수지에서 기후변화/기후위기로 인한 홍수량을 방류하기 위하여 큰 규모의 수문을 설치하는 경우, 사전 예측을 통해 스마트 사전방류가 가능
  - 따라서 최적방류량 결정 시나리오를 기반으로 이상기후 시나리오를 통해 산정된 고유량 유입 조건에 대한 스마트 방류량 결정 기술을 개발하기 위한 학습자료 확보가 중요
  - 모니터링 시스템 및 머신러닝 결과를 활용하여 사전예측된 정보와 실시간 유입량 자료를 통해 얻어진 정보와 연계되어 12시간 이전에 방류 계획을 수립하는 스마트 방류량 결정 기술 개발이 필요
  - 저수지 사전 예측을 통한 스마트 방류량 결정은(그림 23)와 같은 형태로 구성
    - ① 현재 저수율이 설정된 저수율 이상 또는 12시간 후 예측된 저수율이 설정된 저수율을 초과하는 경우, 12시간 개도 계획을 수립함
    - ② 12시간 개도 계획은 설정된 저수율까지의 방류 총량을 산정하고, 매시간 1/12에 해당하는 방류량 또는 1시간동안 유입되는 량 중 큰 값을 1시간 동안 방류하도록 계획함
    - ③ 개도 시점의 저수위에 따라 방류 조건표를 참고하여 개도 높이를 산정하되, 저수위가 만수위 이상으로 예측되는 경우에는 만수위 기준 조건표를 적용
    - ④ 매시각 방류 계획에 따라 운영되어 방류를 진행한 경우로 가정하고, 1시간 후 예측 저수율과 12시간 예측 유입량을 재산정하고, 그에 따라 다시 방류량(개도높이)이 결정되도록 시스템을 구성하여, 이러한 과정이 1시간 단위로 반복되어 향후 12시간 동안 방류 계획이 매시각마다 갱신되도록 개발함
    - ⑤ 12시간 후 저수율이 100% 미만인 시점을 고려하여 수문을 단계적으로 닫아 방류 계획이 종료됨



<그림 23> 저수지 수위 사전 예측을 통한 스마트 방류 흐름도 (한국농어촌공사, 2023)

- 12시간 예측을 통해 사전 방류 계획을 구성하므로, 예측 유입량의 급격한 감소와 증가에도 탄력적인 방류량 계획을 구성하므로 댐 하류의 홍수 영향을 최소화하며, 댐 저수율을 충분히 유지할 수 있는 장점이 있음(그림 24)
- 따라서, 유입량 규모에 따라 댐 하류의 홍수피해를 최소화할 수 있는 다양한 수문 개도 시나리오를 생성하여 DB로 구축하면 최적의 수문 관리 모형을 제공할 수 있음. 이를 위해서는 다양한 규모의 유입량 시나리오가 필요하며 머신러닝을 통해 학습된 유입량 시나리오를 추가 적용하여 보완이 필요함
- 사전(방류) 수문 방류가 가능한 경우(사전예측을 고려한 일부 홍수량 방류량 결정 기술개발)
  - 큰 규모의 수문이 없는 경우 유입 홍수량을 방류하기 위해서는 사전 예측을 통해서 가능하다. 최근 기후변화로 인해 강우-유출의 급격한 변화에 따라 기존 홍수량 예측 방법을 사용하기에는 한계
  - 최근 저수지의 치수 기능을 확보하기 위하여 수문이 설치되지 않은 저수지에 사전(방류) 수문을 설치하는 사례가 늘어나고 있다. 저수지 수위의 사전 예측 기술을 이용하여 어느정도 홍수량을 사전 방류가 가능
  - 따라서 중소규모 저수지의 사전(방류) 수문을 설치할 경우 설계 홍수량을 어느정도 사전에 방류해야 하는지에 따라서 그 규모가 결정될 것이며, 인공지능을 활용한 사전방류 선행 시간에 따라 그 효과는 달라질 수 있을 것이라 판단





<그림 24> 다양한 유입홍수량 조건별 수문 개도 방안

- 따라서 비상(방류) 수문 설치 저수지의 규모와 저수지 수위 변동 인공지능 모형의 예측 정확도에 따라 운영 방법이 달라질 수 있을 것이라 판단된다. 특히 중소규모 저수지의 저수위 변동 사전 예측 정확도가 큰 규모 저수지보다는 정확하기에 12시간 사전 예측을 통해 사전(방류) 수문을 활용한다면 보다 효율적인 홍수 사전 방류가 가능하리라 판단
  - 현재 사전(방류) 수문을 설치한 저수지에 대한 저수지 수위 사전 예측 기술 적용 및 이에 따른 스마트 방류 기술 적용 사례가 없기에 이에 대한 실무 적용이 필요하리라 생각
  - 특히 저수지 수위 사전 예측 기술을 이용하더라도 특정 규모 이상의 이상강우로 인해 홍수과가 유입될 경우, 어느 시점에 하류 지역에 살고 있는 주민에 대한 사전 경고를 전달해야 하는지에 대한 지침이 필요함.
- 수문 및 사전(방류) 수문 방류가 불가능한 경우(여수토와 복통을 통한 방류)
    - 일반적인 농업용저수지 구조상 만수위 이하의 저류용량을 사전에 방류할 수 있는 시설이 취수탑이나 사통을 이용한 통관 방류밖에 없기 때문에 단시간에 저수지 수위를 저하시킬 수 있는 비상수문이나 Radial Gate 등이 설치되어 있지 않은 농업용 저수지의 경우 이상강우로 인한 홍수 취약성은 상대적으로 크다 판단
    - 이러한 이유로 저수지 수위의 사전 예측을 통해 홍수량을 미리 방류는 할 수 없지만, 하류 지역의 침수나 지역 주민에 대한 대피 등은 가능하리라 생각

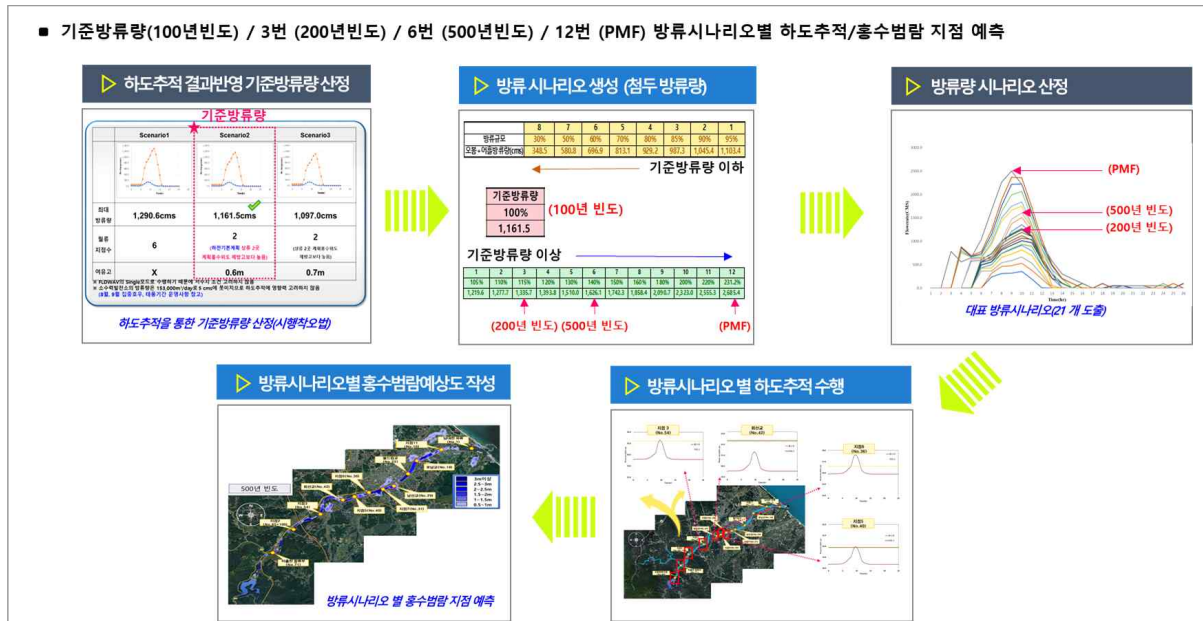
## 7. 스마트 방류 기술을 활용한 하류 지역 범람 예경보 기술

### 1. 스마트 방류 기술 개발의 배경 및 필요성

- 다양한 실측 및 예보 자료를 이용하여 저수지 수위 변동을 사전(1시간, 3시간, 6시간, 그리고 12시간)에 예측이 가능할 경우 수문이 설치된 큰 규모의 저수지의 경우 이러한 사전 예측 정보와 현재 저수위, 그리고 하류 하천의 수위 및 향후 유입량 등을 고려하여 하류 지역 범람 지역을 예측할 수 있다
- 그동안 댐/저수지 방류 및 집중호우에 의한 유입 홍수량 증가에 따른 하천의 범람을 예측하기 위해서 다양한 설계강우량에 따른 홍수량 산정 및 이를 이용한 홍수위 예측 연구/적용은 다양한 치수 연구/사업에서 널리 이용되어 왔다. 특히 이를 위해서 홍수량 산정후 다양한 수리 모형 적용을 통해 홍수위의 시간적 및 공간적 변화를 예측하여, 하천 설계에 이용하였다.
- 그러나 이런 설계 결과를 이용하여 실제 강우-유출 및 저수지 방류 규모에 따른 홍수량을 시간 예측을 하기 위해서는 댐 유입량과 저수지 변동성, 그리고 댐방류량 및 하류 유입 지류의 홍수량, 그리고 하류 하천의 시간적 변화 특성을 실시간으로 반영하여 하류 하천의 홍수량을 예측해야 한다.
- 특히 일반적인 지방하천의 경우 100년빈도로 설계되는 경우가 많으며, 다양한 유입지류의 홍수량 변화, 그리고 사전방류(6시간~12시간)에 의한 유입홍수량 및 방류량의 변화 등을 고려하여 하류 하천의 범람을 예측하는데 많은 차이가 있을 수 있다.
- 따라서 다양한 방류 특성을 고려한 분석을 통해 하류 지역의 범람을 예측하기에는 분석 시간 및 조건 변화를 다양하게 변화시켜 수리모형을 운영하여 그 결과를 도출해야 한다. 그러나 이러한 변화를 모두 고려하여 모형을 운영하는데 많은 어려움이 있기에 이러한 다양한 변동성을 고려한 분석 기술에 대한 고민도 필요하다.
- 앞에서 언급된 바와 같이, 인공지능을 이용하여 기존의 기작 기반의 모형의 거동을 학습할 수 있기에, 이러한 다양한 여건을 고려한 홍수위 예측 모형의 모의 결과를 학습하게 된다면, 하천의 홍수위 예측에 있어서 학습된 인공지능 모형의 활용도 가능하리라 판단된다.

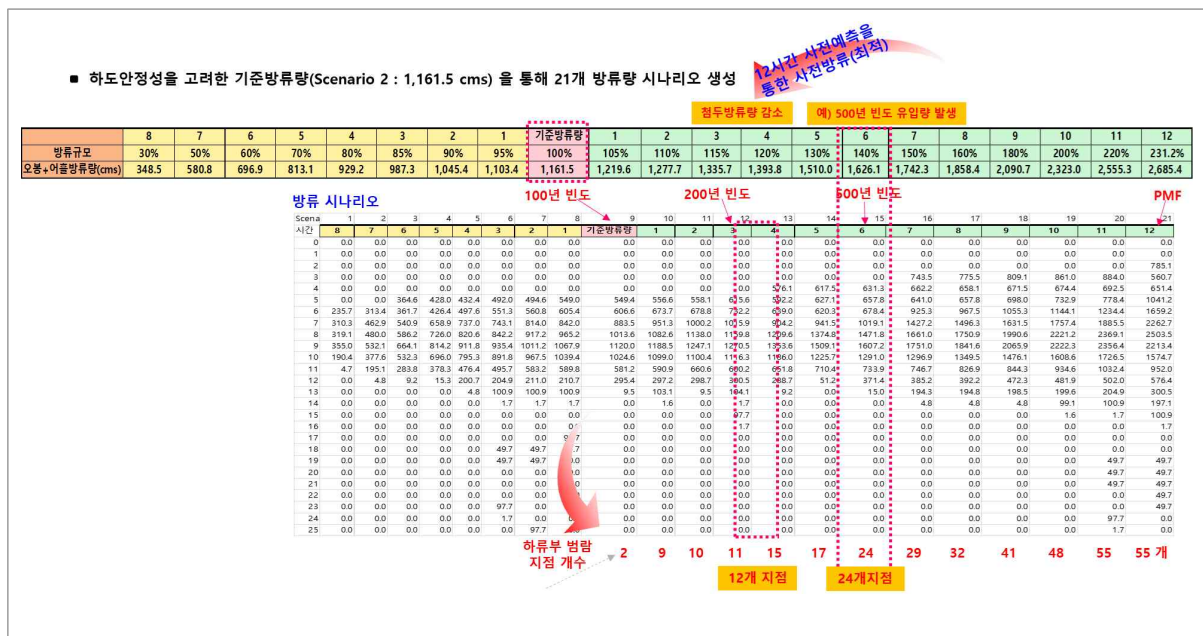
### 2. 상류 여건을 고려한 하류지역 범람 예경보 시스템개발

- 먼저 스마트 방류에 따른 하류 지역 범람 여부를 파악하기 위해서는 다양한 여건별 하류 지역 홍수위 검토를 수행해야 한다. 이를 위해서 HEC-RAS 나 FLDWAV와 같은 해석 모형을 이용하여 다양한 방류 조건 및 지류 유입 조건을 고려한 하천 지점별 홍수위에 대한 예측 및 검증이 필요하다.
- 이를 위해서 먼저 기준방류량(100년빈도 - 하류 하천 설계 빈도) 대비 큰 규모의 홍수량 유입(200년 빈도, 500년 빈도, 그리고 PMF)시, 그리고 작은 규모의 홍수량 유입시, 하류 하천 수위를 고려한 하류 하천 지점별 침투 홍수량을 산정하여 학습 자료로 활용하면 인공지능(머신러닝) 모형을 이용하여 다양한 조건별 지점별 홍수량을 예측할 수 있다(그림 25).



<그림 25> 스마트 방류에 따른 하류 지역 범람 예측 방안 (한국농어촌공사, 2023)

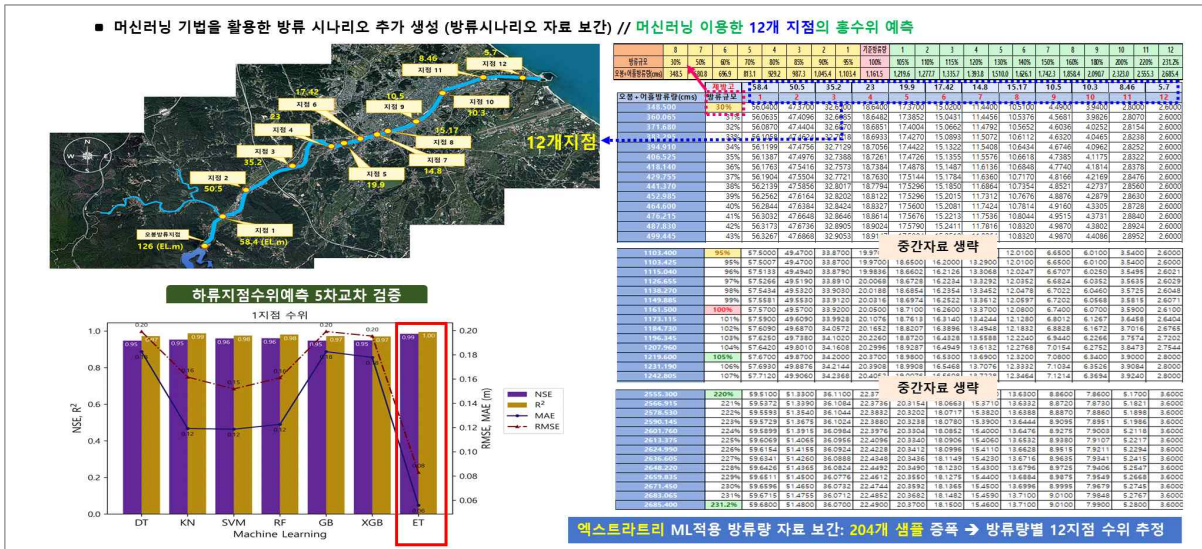
- 아래 그림 26 에서 보이는 바와 같이 다양한 홍수량 조건별 (하류 지역의 유입지류 홍수량 포함) 지점별 홍수위 분석 자료를 학습 자료로 이용할 경우 인공지능 모형을 이용하여 보다 효율적으로 하류 지역 침수 예측이 가능하리라 판단된다. 특히 12시간 사전 방류 기술과 결합되어 활용된다면 효율적인 치수 방안 도출이 가능하리라 생각된다(그림 26).



<그림 26> 다양한 홍수량 조건별 하류 지역 방류 시나리오, 그리고 지점별 홍수위 검토 결과 (한국농어촌공사, 2023)

I · 농어촌 기반 정보사업 기준의  
 II · 저수지 운영 자료 생산 방안  
 III · 홍수 기록제 내 대응 대응 홍수 기록제  
 IV · 운영 치수  
 V · 농어촌 기반 정보사업 기준의

- 이렇게 홍수위 검토 분석 모형의 결과를 학습 자료로 이용할 경우 실제 추가적인 분석을 수행하지 않더라도 잘 학습된 인공지능 모형을 이용하여 홍수위 검토 모형의 분석 결과에 준하는 홍수위 검토가 가능하리라 판단된다. 하류 지점 수위 예측 5차 교차 검증 결과를 보면 기존 프로세스 기반 모형의 예측 정확성을 충분히 모의 하는 것을 알수 있다(그림 27).



<그림 27> 다양한 홍수량 조건별 하류 지역 범람 지역 예측 학습 결과 (한국농어촌공사, 2023)

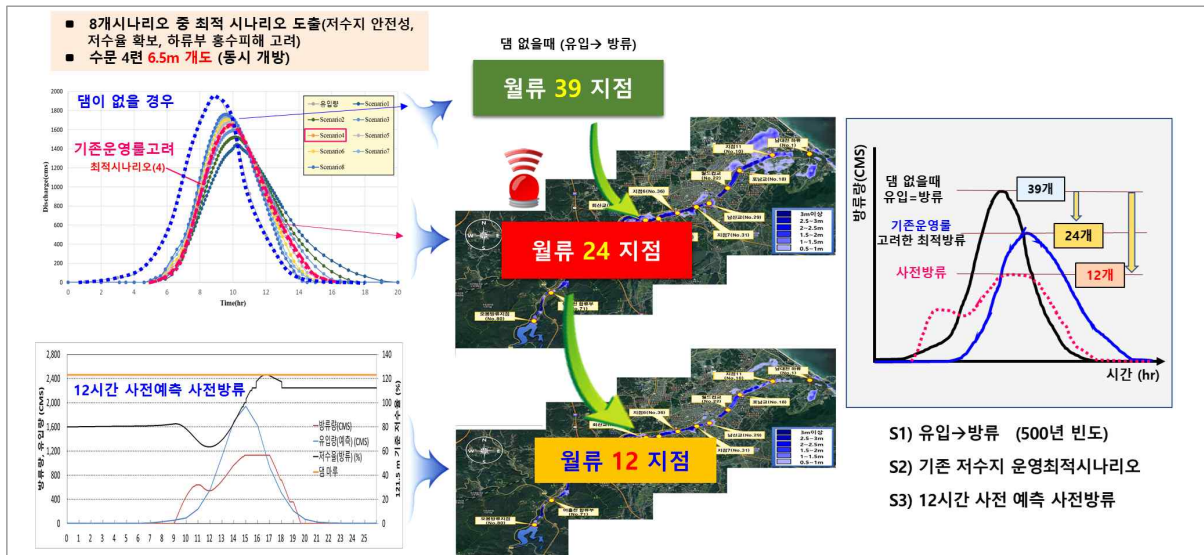
- 아래 그림 28 에서 보이는 바와 같이 인공지능을 이용한 저수지 수위 변동성 예측, 그리고 이를 활용한 스마트 방류 기술을 이용한다면 강우시 사전 방류를 통해 하류 지역에 미치는 영향을 줄일 수 있으며, 문자 등을 이용하여 관리자 및 하류 지역 지자체 담당자에게 방류 및 폭우에 대한 하천 수위 변화량 정보를 제공할 수 있다. 또한 대쉬보드를 통해 제시되는 정보중 홍수위에 따른 영향을 색으로 변경/표현하여 시간별 홍수위 변화에 따른 경고가 가능하리라 생각된다.





<그림 28> 인공지능을 이용한 저수지 수위 예측 및 스마트 방류 시스템 대쉬 보드 예시 (한국농어촌공사, 2023)

- 앞에 기술된 이러한 스마트 정보 기술을 바탕으로 하류 지역에 영향을 덜 줄 수 있는 댐 운영 룰 개발이 가능하리라 생각되며 이를 바탕으로 하류 지역에 영향을 덜 주며 저수지를 운영할 수 있는 자료 확보를 통해 향후 스마트 운영 룰 개발의 학습자료로도 활용할 수 있을 것으로 판단된다(그림 29).

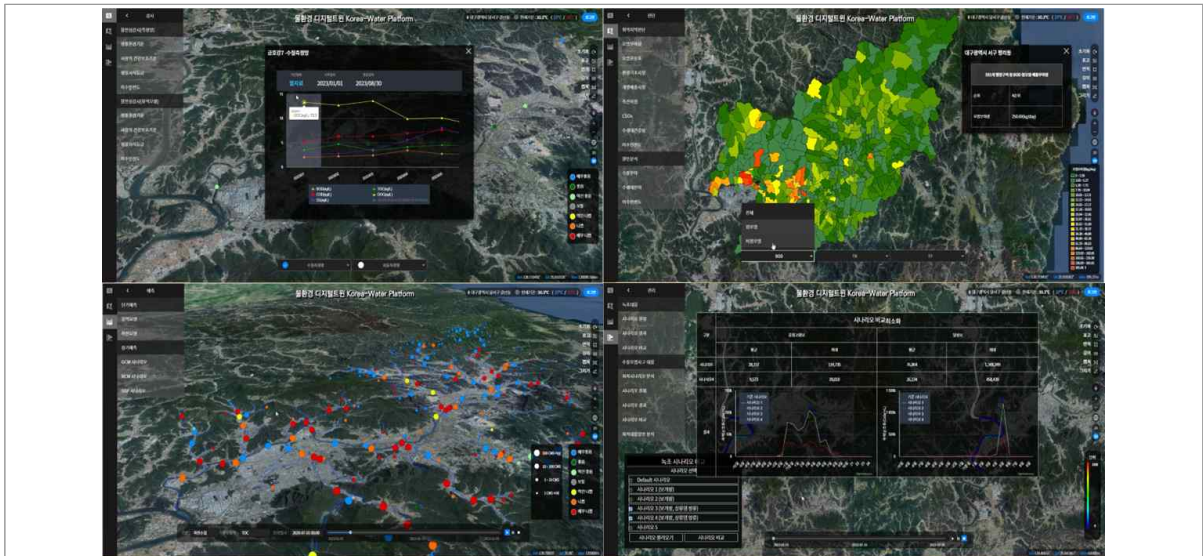


<그림 29> 저수지 수위예측 및 스마트 방류를 통한 하류 지역 침수 예방(예시) (한국농어촌공사, 2023)

## 8. 디지털트윈을 활용한 농업용 저수지 치수 관리 시스템

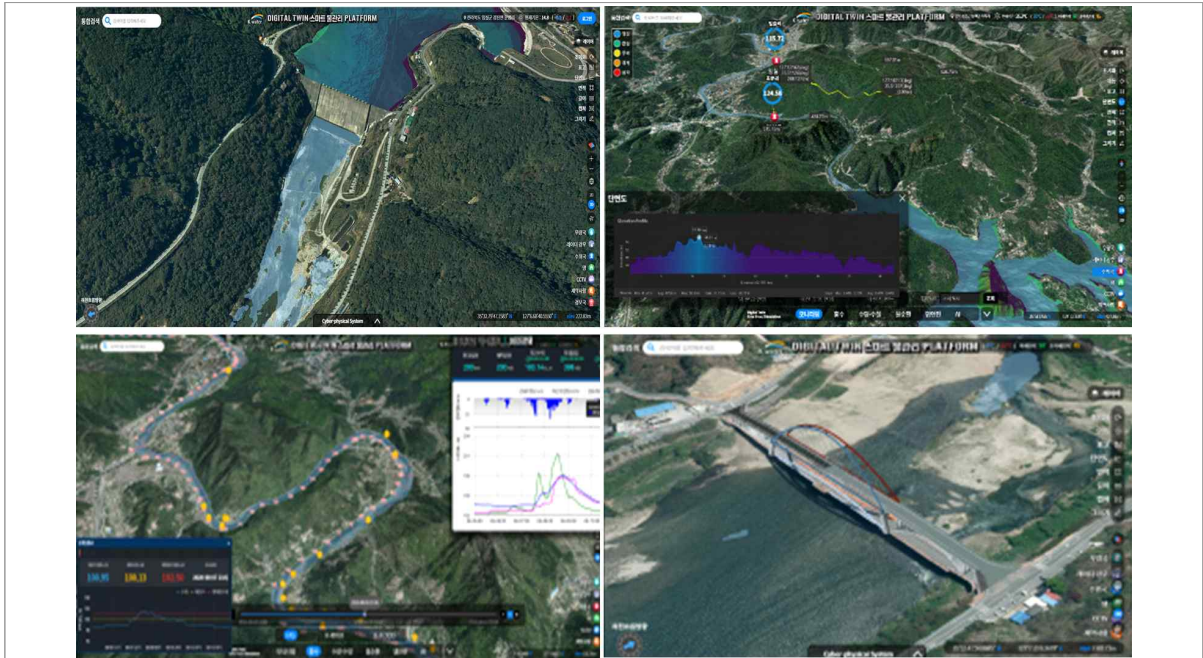
### 1. 디지털트윈 기반 농업용 저수지 치수관리 시스템

- 그동안, 환경부 그리고 홍수통제소, 수자원공사에서는 하천의 수량-수질-수생태, 그리고 홍수량 및 침수 등을 사전에 막기 위하여 다양한 형태의 의사결정 지원시스템을 만들어 운영하여 왔다. 아래 그림 30 ~ 그림 31에 보이는 바와 같이 국립환경과학원에서는 유역에서의 수량-수질-수생태을 예측 평가하고, 관리대책에 따른 수질 개선 효과를 평가하기 위하여 디지털트윈 시스템을 구축하고 있다. 홍수통제소와 수자원공사에서도 댐방류에 따른 하류 하천의 침수 특성을 평가하기 위한 디지털트윈 사업을 추진중에 있다.



<그림 30> 국립환경과학원 DTK-W (디지털트윈 코리아 워터) 시스템 (예시)





<그림 31> 수자원공사 디지털트윈 시스템 (예시)

## 2. 디지털트윈 기반 농업용 저수지 치수관리 시스템

- 한국농어촌공사에서는 OO저수지 수위 예측 결과와 스마트 방류 결과를 실시간으로 평가할 수 있도록, 그리고 하류 하천에 대한 영향을 평가하기 위하여 디지털 트윈 시스템을 구축하고 있다(그림 32).
- 한국농어촌공사 농어촌연구원에서는 KRC 시범 유역인 백마저수지(괴산군)에 대한 디지털트윈사업을 추진중에 있으며 이때 저수지의 용수 현황을 반영한 최적 용수 공급 시나리오 결정을 위한 디지털트윈 기반 저수지 상류, 저수지, 그리고 저수지 하류 수혜지역에 대한 3차원 모델(수로 및 논, 수문 등)을 구축하여 디지털트윈 기반 시스템을 개발중에 있다(그림 33).



<그림 32> 농어촌공사 00저수지 디지털트윈 시스템 (예시) (한국농어촌공사, 2023)



<그림 33> 농어촌공사 농어촌연구원 KRC 시범유역 디지털트윈 시스템 (예시) (한국농어촌공사, 2023)

## 9. 디지털트윈 기반 저수지 수위 예측 및 스마트 방류 시스템 개선 방안

- 인공지능을 이용한 저수지 수위 예측 및 이를 활용한 스마트 방류 시스템을 개선하기 위해서 다양한 측면에서 개선사항을 고민해야 한다. 다양한 저수위/시기별/강우강도 및 지속시간 등을 고려한 학습 데이터 구축을 통한 예측 모델의 정확성 고도화, 스마트 방류 시스템의 개선, 그리고 하류 지역 홍수 범람 예측 모델의 한계를 고려한 하류 홍수 범람 인공지능 모형의 개선, 그리고 이를 구현하는 디지털트윈 측면에서의 개선사항은 다음과 같다.

### 1. 저수지 수위 예측 개선 방안

- 저수지 수위를 직접 예측하기 보다는 유입지류에 대한 학습 데이터 확보를 통해 물수지 분석 수행을 통한 예측 및 관리 기술 확보
- 증발량, 침투량, 그리고 용수 공급(생활, 공업, 농업 용수 등) 자료 학습
- 만수위 이상 저수지 수위 변화 학습 자료 확보
- 기상청 초단기/예보 자료의 안정화/고도화(기상청 측면)
- 머신러닝, AutoML 이외에도 RNN/LSTM/Transformer/Informer 등 적용 방안

### 2. 스마트 방류 개선 방안

- 수문 개도에 따른 방류량 고도화
- 만수위 이상 수위에서의 수문 개도에 따른 조건표 확대 적용 방안
- 비상(방류)수문 저수지 및 소규모 저수지의 사전방류를 위한 24시간 수위 예측 및 이에 따른 사전 방류의 적절성 및 대응 규모 결정

### 3. 하류지역 홍수 범람 예측 개선 방안

- 하류 지역 홍수 범람 예측을 HEC-RAS/FLDWAV 등의 모형 결과를 이용하여 학습 자료 구축하였으나, 실제 홍수시 홍수흔이나 실측자료로 검증된 모형을 이용하여 학습 자료 구축 필요
- 설계 강우량이외에도 실제 기왕 강우자료를 고려한 홍수량의 변화 예측 자료를 학습자료로 이용하여 홍수 범람 예측
- 지류의 유입유량으로 인한 방류 홍수량의 변화를 제대로 반영할 수 있는 학습 데이터 구축
- 수혜지역내 다양한 실측 자료를 이용한 학습 자료 구축 및 의사결정 기술 개발

#### 4. 디지털트윈 시스템 구축 개선 방안

- 현장 센서 및 계측 자료를 이용한 디지털 트윈 핵심 실시간 자료 구축
- 현장과 사이버세상을 연계할 수 있는 살아있는 시공간 실측 자료
- 현장 측정결과를 실시간으로 반영할 수 있는 디지털트윈 기반 구축
- 계측자료를 이용한 인공지능(머신러닝/딥러닝) 자동 학습 플랫폼 구축
- 머신러닝 뿐만 아니라 딥러닝 알고리즘 자동 학습을 위한 학습용 서버 구축



## 참 고 문 헌

- 과기정통부와 환경부 (2023). 디지털트윈 인공지능 기반 도시침수 예보 및 대응 체계 구축한다. AI 타임스. <https://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=150487>. Last accessed Nov. 20, 2023.
- 국립재난안전연구원 (2018). 딥러닝 기반 도시 침수 위험기준 추정 모델 설계, 발간번호 11-1741056-000105-01.
- 김동현, 이기성, 황보종구, 김형수, 김수전 (2022). AI 기반 모형을 이용한 홍수위 예측 및 홍수피해 예경보 기법 개발. 한국방재학회논문집 22(4): 146-156. <https://www.j-kosham.or.kr/upload/pdf/KOSHAM-2022-22-4-145.pdf>
- 농업생산기반정비사업계획 설계기준, 2002: 필담편 (2002). 농업기반공사(\*현 한국농어촌공사)
- 박세현과 김현재 (2020). 하천 범람 예측을 위한 인공지능 수위 예측 시스템 설계. 한국정보통신학회논문지, 24(2): 198-203.
- 정성호, 조효섭, 김정엽, 이기하. (2018). 딥러닝 기반 LSTM 모형을 이용한 감소하천 수위 예측. 한국수자원학회 51(12): 1207-1216.
- 오형석, 황두성, 김원겸. (2020). "토르 웹사이트 핑거프린팅을 위한 트래픽 시퀀스의 벡터화와 앙상블 알고리즘 분류. 전자공학회논문지 57.5 (2020): 55-62.
- 윤광석, 김형준, 김수영, 정재원, (2023). AI와 하천홍수예보. 물과 미래, 56(6), 8-17. 한국수자원학회.
- 이승수, 김보미, 최현진, 노성진. (2022). 도시침수 모의 기술 국내 연구동향 리뷰. 한국수자원학회지 10(2022): 707-721.
- 이준석. (2021). 실시간 홍수 예측을 위한 AI 기반의 모형 개발 및 적용에 관한 연구. 인하대학교 대학원 박사학위 논문.
- 이준석과 윤광석 (2021). AI 기반 홍수예측 알고리즘을 이용한 독립형 홍수 예경보 시스템 실증화 최종보고서. 과학기술정보통신부. 한국토코넷과 한국건설기술연구원
- 한국농어촌공사 농어촌연구원 (2021). 대형저수지(성주호) 사전방류 매뉴얼 구축 및 하류하천 홍수피해 분석 연구. 한국농어촌공사 연구보고서
- 한국농어촌공사(2019). 하류부 홍수피해 저감을 위한 대규모 저수지 수문운영 모델 개발 연구(I).
- 농어촌연구원 (2021) 농업용 저수지 가뭄-홍수를 고려한 저수율관리기준 마련 연구
- 한국수자원공사(1992) 다목적 댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책연구.
- 전자신문 (2023) "홍수특보지점 75→223곳 확대...AI 예보 모형 연말까지 구축", 2023년 11월 15일. 전자신문 기사 - <https://www.etnews.com/20231115000145> Last accessed on Nov. 17, 2023
- 환경부(2023). 도시침수 방지 위한 인공지능(AI) 홍수예보 신속 추진.

- He, X., Luo, J., Li, P., Zuo, G., & Xie, J. (2020). A hybrid model based on variational mode decomposition and gradient boosting regression tree for monthly runoff forecasting. *Water Resources Management*, 34(2), 865-884.
- Hong, J., Lee, S., Bae, J. H., Lee, J., Park, W. J., Lee, D., ... & Lim, K. J. (2020). Development and Evaluation of the Combined Machine Learning Models for the Prediction of Dam Inflow. *Water*, 12(10), 2927.
- Kang, J.-E., and Lee, M.-J (2015). "Analysis of urban infrastructure risk areas to flooding using neural network in Seoul." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 35, No. 4, pp. 997- 1006.
- Kim, H.-I., Han, K.-Y., and Lee, J.-Y. (2020). "Prediction of urban flood extent by LSTM Model and logistic regression." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 40, No. 3, pp. 273-283.
- Kim, H.I., Lee, Y., and Kim, B. (2021). "Real-time flood prediction applying random forest regression model in urban areas." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 54, pp. 1119-1130.
- Liu, M., Huang, Y., Li, Z., Tong, B., Liu, Z., Sun, M., ... & Zhang, H. (2020). The applicability of LSTM-KNN model for real-time flood forecasting in different climate zones in China. *Water*, 12(2), 440.
- Mousavi, S. S., Schukat, M., and Howley, E. (2016). Deep reinforcement learning: an overview.", In *Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference*, 426-440. Springer, Cham
- Naghibi, S. A., Hashemi, H., Berndtsson, R., & Lee, S. (2020). Application of extreme gradient boosting and parallel random forest algorithms for assessing groundwater spring potential using DEM-derived factors. *Journal of Hydrology*, 589, 125197.
- Tran, Q.-K., and Song, S. (2017). "Water level forecasting based on deep learning: A use case of trinity River-Texas-The United States." *Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 44, No. 6, pp. 607-612
- Wang, W. C., Xu, D. M., Chau, K. W., & Chen, S. (2013). Improved annual rainfall-runoff forecasting using PSO-SVM model based on EEMD. *Journal of Hydroinformatics*, 15(4), 1377-1390.
- Widiyari, I. R., & Nugroho, L. E. (2017, November). Deep learning multilayer perceptron (MLP) for flood prediction model using wireless sensor network based hydrology time series data mining. In *2017 International Conference on Innovative and Creative Information Technology (ICITech)* (pp. 1-5). IEEE.
- Wu, D., Del Rosario, E. A., & Lowry, C. (2021). Exploring the use of decision tree methodology in hydrology using crowdsourced data. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 57(2), 256-266.





2023년도  
농어촌물포럼  
정책개발 보고서