

취·
방류수량
계측 및
취·방류
시설물
최적
운영을
통한
하천수
이용효율
향상 기법
개발

최
종
보
고
서

2020

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

취·방류수량 계측 및 취·방류 시설물 최적 운영을 통한 하천수 이용효율 향상 기법 개발 최종보고서

2020. 12. 31.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 한국수자원조사기술원
공동연구기관 / (주)리버앤씨

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

‘취방류수량 계측 및 취방류 시설물 최적 운영을 통한 하천수 이용효율 향상 기법 개발’(연구 개발 기간 : 2018. 2. 23 ~ 2020. 12. 31) 과제의 최종보고서 13부를 제출합니다.

2020. 12. 31.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 한 승 현



공동연구기관명 : 한국수자원조사기술원 (대표자) 강 복 규



공동연구기관명 : (주)리버앤씨 (대표자) 최 광 태



주관연구기관책임자: 박 문 형

공동연구기관책임자: 김 치 영

공동연구기관책임자: 최 광 태

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	20AWMP-C 140010-03	해당 단계 연구 기간	2018.2.23. ~ 2020.12.31	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명	물관리연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	취·방류수량 계측 및 취·방류 시설물 최적 운영을 통한 하천수 이용효율 향상 기법 개발			
	세부과제명	취·방류수량 계측 및 취·방류 시설물 최적 운영을 통한 하천수 이용효율 향상 기법 개발			
연구책임자	박문형	해당단계 참여연구원 수	총: 17명 내부: 17명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:239,000천원 민간: 84,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:323,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 24명 내부: 24명 외부: 명	총 연구비	정부:716,000천원 민간:252,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:968,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국건설기술연구원			참여기업명: (주)리버앤씨	
공동연구	연구기관명: 한국수자원조사기술원			연구책임자: 김치영	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반[✓], 보안[]
-------------------------	--------------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	13		1			10					

요약 ○ 기계학습 기법을 기반으로 취·방류량 측정 자료를 활용하여 용도별 취수량 및 하폐수방류량 예측할 수 있는 hybrid 모델 개발 및 설명변수의 중요도 평가 ○ 취·방류수량 예측 값을 반영하여 하천수 과부족을 예측할 수 있는 물수지분석 모형을 개발하고 시범하천에 적용하여 이용효율의 개선 정도 평가 ○ 객관적인 환산방법, 활용지침을 마련할 수 있도록 간접계측 방법의 적용성 평가 및 정확도 개선 등을 수행하고, 시험하천 운영을 통해 검증할 수 있는 방안 마련 ○ 첨단유속계측기기를 활용하여 취·방류 형태에 따른 활용성 검토 등을 통해 정확도를 확보할 수 있는 기기별 최적 운영범위 제시 및 운영시스템 개발 ○ CDMA/위성을 이용한 통일된 형식의 데이터 수집 및 전송할 수 있는 실시간 원시 자료수집 및 계측과 제어가 가능한 통합프로그램 개발 ○ 소규모 하천에 적용하기 위해 소형화, 저전력, 간편화된 시스템 개발	보고서 면수 125
---	----------------------

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 취·방류수량 예측 모형개발을 통해 물소비 양상 변화에 대응하여 공급량을 조절할 수 있는 기반 구축 ○ 하천의 가용유량을 보다 현실적으로 도출하기 위한 직·간접 실시간 관측방안 모색 및 하천수 유입·유출 모형 구축 ○ 취·방류수량 측정방법 현장검증을 위한 시험하천 선정 및 구축계획 수립 ○ 기존 하천수 취·방류수량 측정 방법 평가 ○ 저비용으로 다항목 계측시스템의 제어와 계측자료 전송이 가능한 시스템 설계				
연구개발성과	○ 하천수 사용 예측모형을 적용한 물수지분석 모형 개발 - 물수지 분석의 입력인자인 하천수 취수량과 하·폐수방류량에 대한 기계학습 예측 모형 개발 - 개발된 예측 모형을 통해 산정된 값을 활용하여 개선된 물수지분석 기법을 이용하여 허가시스템을 운영시 하천수 이용효율의 향상 가능성 확인 ○ 하천수 취수량 계측 표준 지침(안) 제시 - 하천수 취수량 계측지점의 취수규모, 취수방식, 지점특성에 따라 최적의 계측기법 선정 방안 마련 - 하천수 사용량 일별 자료의 월별 보고에서, 실시간 자료의 확보를 통해 통합적인 하천수 관리에 도움이 될 것으로 기대 ○ 통합 운영 시스템 구축을 위한 프로그램 - S/W 등록 : 원시자료수집, 서버, 데이터 표출 프로그램 - 도플러초음파 방식, 전자유량계, 레이더 방식의 유속계 최적 운영을 위한 측정 주기, 센서설정, 자료수집 지원을 하는 저전력, 소형 로거 개발				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 기술적 측면 - 취·방류량 계측, 자료수집, 모니터링 기술 등 IT기술을 기반으로 하는 실시간 자동화 계측기술을 통해 하천수의 효율적인 관리체계 마련 가능 - 다양한 하천수 사용시설별 원격계측 및 모니터링 체계 구축과 더불어 사용목적 별 조건에 적합한 다양한 형태의 유량계측기법 개발을 통해 취·배수를 포함한 실시간 물이용 현황 파악 가능 ○ 경제적·산업적 측면 - 정확하고 정밀한 자료의 생산과 관리를 통해 한정된 수자원을 합리적으로 사용할 수 있도록 관리가 가능 - 사용 목적별로 하천수 사용처가 매우 방대하기 때문에 기존의 방법을 평가하고 이를 개선하여 활용할 수 있는 방안을 마련함으로써 경제적인 하천수 취·방류수량 자료 수집이 가능 ○ 사회적 측면 - 수자원의 안정적인 공급 및 물사용자 간의 사회적인 분쟁과 마찰을 최소화할 수 있도록 하천수 사용에 대한 정확한 수요와 사용량을 파악				
국문핵심어 (5개 이내)	하천수 관리	취·방류수량	실시간 계측	기계학습	계측 표준
영문핵심어 (5개 이내)	water management in river	intake and discharge in river	measurement in real time	machine learning	metering standard

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
1.1 연구개발의 개요	1
1.2 연구개발 대상의 국내외 현황	4
1.3 연구개발의 중요성	10
2. 연구수행내용 및 성과	12
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	119
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	120
붙임. 참고 문헌	122

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 개요

- 실시간 취·방류량 자료를 활용하여 단기 미래에 물의 과부족을 예측하여 하천수 사용허가, 지역 간 수원 연계 등 하천수 관리를 물리적·경제적으로 최적화할 수 있는 모형 개발 및 의사결정지원 시스템 개발
 - 기계학습 기법을 기반으로 실시간 취·방류량 자료를 활용하여 시설별 취·방류량 예측 모형 개발
 - 개별 취·방류수 시설별 이용량을 반영하여 계절별 하천수 과부족을 예측할 수 있는 물수지 분석 모형 개발
- 현장여건에 적합한 계측기법 개발 및 현장적용을 위한 표준지침 제시 및 확대방안 제시
 - 객관적인 환산방법, 활용 지침을 마련할 수 있도록 간접 계측방법의 적용성 평가 및 정확도 개선 등을 수행하고, 시험하천 운영을 통해 검증할 수 있는 방안 마련
 - 첨단 유속 계측기기(초음파 유속계, 수직음향도플러유속계 등)를 활용하여 취·방류형태에 따른 활용성 검토 등을 통해 정확도를 확보할 수 있는 기기별 최적 운영범위 제시 및 운영시스템 개발



그림 1. 연구개발 개요

표 1. 연구개발 목표 및 내용

구분	내용
최종 목표	○ 취수량 예측 모형 개발하여 합리적인 물소비 패턴을 유도하고 하천유량을 관리를 위한 정책적 지표로 활용이 가능 ○ 하천의 가용유량을 보다 현실적으로 도출하기 위한 직·간접 실시간 관측방안 모색 및 하천수 유입·유출 모형 구축 ○ 하천수의 이용효율을 향상, 단수 등 이용자의 불편함 해소, 지역 간 물분쟁 해소, 하천의 건전성 유지를 위해 개발된 모형을 적용하여 하천수를 효율적으로 분배할 수 있는 도구를 마련 ○ 취·방류수량 측정방법 현장검증을 위한 시험하천 선정 및 구축계획 수립 ○ 기존 하천수 취·방류수량 측정 방법 평가 ○ 저비용으로 다항목 계측시스템의 제어와 계측자료 전송이 가능한 시스템 설계
세부 목표	(가) 하천수 관리 모형 개발 ① 예측 모델링을 수행하기 위해 취수량 및 하·폐수방류량와 설명변수(기후인자, 수위 등)의 DB 구축 ② 예측 모델 선정 및 신뢰성 높은 자료의 선정 및 전처리를 위하여 취수량과 하·폐수방류량의 자료 특성을 검토 ③ 다양한 통계적 기법(best, subset method, 상관성 분석, t-test 분석 등)을 통해 주요 인자를 도출하였으며, 취·방류수량에 대한 각 설명변수의 중요도 평가 ④ 용수 목적별(생활용수, 농업용수) 취수량, 하·폐수방류량 예측 모델 개발 ⑤ 시험하천에 대해 물수지 분석 수행 및 하천수 이용효율 평가 (나) 취·방류수량 실시간 측정기법 개발 및 현장 적용 ① 기존 취·방류수량 측정방법 평가 및 시험하천 구축 ㉠ 기존 측정방법 평가 ㉡ 시험하천 구축 ② 시험하천 계측방법 적용 및 DB 구축 ㉠ 직접 계측방법 적용 및 평가 ㉡ 간접 계측방법 적용 및 평가 ㉢ 시험하천 운영 DB 구축 ③ 취·방류수량 계측방법 표준지침 및 연계방안 마련 ㉠ 취·방류수량 표준 계측기법 제시 ㉡ 취·방류수량 표준지침 개발 및 연계방안 제시

구분	내용
	(다) 실시간 자료 전송 체계 구축
	① 소형데이터로거 시스템 설계 및 개발
	② 프로그램 개발

(2) 연구수행 체계도



1-2. 연구개발 대상의 국내외 현황

□ 국내 취·방류수량의 관리 현황

○ 하천수사용(취수량) 관리 현황

- 일정규모(생활 5,000m³/일, 공업 1,000m³/일, 농업 8,000m³/일) 이상 하천수 사용자는 계측시설(유량계 등)을 설치하고, 매월 사용계획과 실적 보고



그림 2. 하천수사용관리 체계

- 2015년 말 보고대상 764건 중 계측기 설치현황은 289건(37.8%)으로 미흡하고, 475건(62.2%)는 양수시간, 전력사용량 등 간접 추정 방법을 이용하기 때문에 신뢰성 확보 곤란
- 간접 추정방법의 경우 그 정확도에 대하여 검토된 바 없으며, 유량계를 설치한 사용자도 잦은 유량계 고장 등의 원인으로 유량계 활용이 미흡한 실정
- 하천수 사용량 보고는 피허가자의 자발적인 보고에 의존하고 있어, 객관성 확보가 어렵고, 선사용 후보고 체계이기 때문에 하천수 사용량 자료를 실시간 물관리에 활용 곤란

○ 생·공용수의 회귀수(하·폐수 방류량) 현황

- 생·공용수의 회귀수에 해당하는 하·폐수의 배출량은 전국 기준으로 96.54%가 실시간으로 모니터링(표 2).

표 2. 하·폐수방류량 시설 현황

구분 (’16년기준)	전국운영		TMS 설치·운영		모니터링 비율 (%)	
	개소	방류량(천m ³ /일)	개소	방류량(천m ³ /일)	개소	방류량
공공하수	3,938	19,232	570	19,004	14.47	98.81
공공폐수	187	1,030	118	1,020	63.10	99.03
배출사업장	14,536	1,744	248	1,221	1.71	70.01
전체	18,661	22,006	936	21,245	5.02	96.54

[출처] 2017 수질TMS·생태독성 합동연찬회 발표자료(환경부, 수질관리과)

○ 방류수량 관련 주요자료 및 부서(기관)별 관리현황(표 3)

- 환경부 수자원관리과와 한강홍수통제소 수자원정보센터는 각 수계별 하천수의 사용 허가·관리업무 및 수량관리 업무, 물관리정보유통시스템(WINS)* 운영

* 13개 기관 82개 분야 물정보를 사유

- 환경부 수질관리과와 한국환경공단은 공공하수·공공폐수·폐수배출사업장 수질원격감시체계(www.soosiro.or.kr)*를 운영중이며, 실시간(일)자료 등을 생산

- 환경부 생활하수과는 공공·개인하수도 정보, 하수도통계연보를 발간하며, 국가하수도 정보시스템* 운영

* 공공하수처리시설 등의 수질자료, 재이용수 현황, 500m³/일 이상 처리시설의 분기·반기 운영자료 공개(www.hasudoinfo.or.kr)

- 국립환경과학원은 산업계 폐수, 환경기초시설(공공하수·폐수) 전국오염원조사 결과를 발간

표 3. 하·폐수방류량 자료 관리 현황

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전국 오염원 조사			자료제출 및 검증		확정자료 제공 (지자체)			조사자료 확정		보고서 발간		
하수도 통계					자료작성 (입력)						자료 최종검토	
산업 폐수			자료제출 및 검증		확정자료 제공 (지자체)			조사자료 확정			보고서 발간*	
수질 TMS	n-6월 품질관리 및 잠정자료		...									연간통계

○ 국외 하천수 취수량 관리 현황

- 영국의 경우 일사용량이 20m³/일 이상의 사용자는 취수허가가 필요하며, 취수제한 유량 또는 수위 이하에서는 취수 중단을 조건으로 부여하며, 강수량, 수위, 유량의 모니터링과 함께 소유역 단위로 물수지를 시행하여 물이용 가능성 평가

- 뉴질랜드는 2010년부터 농업용수 사용자들에게 유량계 설치를 의무화*하고, 2016년부터 수자원 사용자들이 수자원의 연속적인 사용기록을 매년 제공하도록 요구

* (유예기간) 20 l/s 이상의 취수시설 2년, 5 l/s 이상의 취수시설 6년 이내

- 미국 뉴햄프셔지질조사국의 경우 월간 물사용량*을 등록하고 보고하도록 규정하고, 세부적인 물수지분석을 위해 미등록자에 의한 물사용량을 추정하는 방법 개발

* 7일 평균 사용량이 75.7 m³/일 이상, 또는 30일 총량이 2,271.2 m³/일 이상 취수, 사용, 방류하는 물 사용자

□ 기술동향

- 하천수 사용량의 신고를 사용자의 자발적 신고의 의존하고 있어 하천수 사용량 보고 시 제출하는 유량자료는 자료의 검증과 계측방법의 표준화가 미흡하여 자료의 신뢰성 확보 곤란
 - 양수장의 경우, 전력량법과 가동시간법 등을 이용한 취수량의 간접적 산정 가능
 - 취수보의 경우, 구조물법 등의 이론식을 이용하거나, 수문개도율에 따른 유량 산정표를 이용하여 하천수 취수량을 보고
- 실시간 자료 확보가 용이한 초음파법, 전자파법 등의 직접 계측방법과 전력량법 등의 간접 계측방법은 테스트베드에서 검증
 - 한강 여주~이포 구간, 만경강 고산~봉동 구간 등 시험하천의 운영을 통해 계측기기의 정확도 검증 수행
 - 본 과업의 만경강 시험하천을 대상으로도 계측기기 자료의 정확성과 관련한 연구논문 게재 등이 이루어지고 있음

□ 정책동향

- 하천수는 수계별 홍수통제소에서 사용량에 대한 허가를 득한 후 사용하고 있으며 사용료의 산정 및 징수는 지자체의 조례로 규정
 - 하천수 사용료 산정 대상 물량이 있는 15개 시·도(제주 제외) 중 2개 지자체(대구, 전남)만 사용량을 기준으로 사용료를 부과 중
 - 허가량 기준으로 징수하는 현재 상황을 고려할 때, 사용량의 정확한 계측은 하천수 사용료 부과에 영향이 적을 것으로 판단됨
- 국민권익위의 권고사항('15.11월)*과 대법원의 판례('18.6월)** 등을 감안할 때, 하천수 사용료 징수를 포함한 하천수의 공정하고 투명한 관리를 위해서는 정확한 사용량 측정기술 필요

* 하천수 사용료와 하천 관리 체계를 공정·투명하게 관리하여 물부족에 적극 대처할 수

있도록 관련 법령에 대한 부패영향평가를 실시하였으며, ① 하천수 사용료 징수에 대한 합리적 규정 개선, ② 허가량 조정 권한 강화 등 권고

** 허가량 기준으로 하천수(공업용수)의 사용료를 징수하는 것이 위법하다는 소송제기에 대하여 허가량이 아닌 ‘실제 사용량’에 요금단가를 곱하여 산정하는 것으로 해석하여야 한다고 판시하여 원심 파기환송

○ 하천수 관리를 위한 원천기술(사용량 계측 및 예측 등)을 개발하여, 하천수 관리의 정책 변화에 연구결과 반영 등 적극 대응 예정

- 사용량을 고려한 허가량 조정, 시기별 탄력적 하천수 사용 허가제 등

- “실시간 자료기반 하천수 관리체계 수립(한강홍수통제소)” 과제 수행 중

□ 시장동향

○ 전세계적인 데이터로거 시장 규모의 증가 경향

- 유럽, 아시아, 오세아니아 등과 같은 선진국가의 성장률이 높으며, 아프리카, 남아메리카 등의 개발도상국 성장률은 저조

- 산업에서 측정과 제어 운영에 대한 높은 수요가 데이터로거 시장의 확대를 촉진하며, 장치의 수명의 연장과 효율의 향상에 대한 필요성 대두

- 특히, 높은 비용이 데이터로거 시장에 대한 제약으로 작용

□ 기술개발 성숙도

표 4. 연구개발 성숙도

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☒	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☒	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	☐	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☒	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

○ 연구 착수: 기운영된 기법의 성능평가 및 시험 단계

- 기존 시험하천 운영 등을 통하여 개발된 기법의 성능평가 등을 통하여 시설종별, 시설 목표별 적정 측정 기법 선정

○ 연구 종료: 시제품 설치 및 성능시험 단계

- 테스트베드를 구축하여 시제품 설치 및 효과 검증(성능 시험)

□ 국내외 관련 연구 문헌조사

○ 물수요 예측 모델링 기법 관련 기존 연구

- Jain & Ormsbee(2001)는 주단위 물수요를 예측하기 위해 4개의 통계기법을 검토한 결과 전문가 시스템과 인공신경망 기법을 결합한 모델이 우수한 결과 도출
- Bougadis 등(2005)은 주단위 물수요를 예측하기 위해 3개의 통계기법을 검토한 결과 인공신경망 모델의 우수성 확인
- Ishmael 등(2008)은 장단기 물수요량을 예측하기 위해 ANN과 SVM(Support Vector Machine)을 비교하여 ANN이 우수한 결과 도출
- Altunkaynak & Nigussie(2017)은 월단위 물수요를 예측하기 위해 두 종류의 인공신경망 모델인 BRF(Radial Basis Function)과 MLP(Multilayer Perceptron)을 비교하여 MLP기반 모델의 우수성 확인

○ 입력인자 관련 기존 연구

- Altunkaynak & Nigussie(2017)은 강수량, 온도, 습도, 증발량 등의 수문학적 및 기상학적 변수들을 고려한 모델을 개발할 수 있으나 경제성을 고려하여 과거의 물사용 실적자료만 이용하여 모델 구축, 정확도를 향상하고 예측기간을 확장하기 위해 기후, 사회경제적 요소들을 입력자료로서 이용할 수 있음으로 제안
- 조용준과 김종문(1998)은 기온을 입력자료로 한 다원 ARMA를 이용하여 물수요 예측
- 김화수 등(2008)은 실거주인수의 증감에 따라 용도별 사용량의 차이가 발생함을 확인하였으며, 기온의 영향은 0℃까지 물 사용량이 급격하게 증가하는 경향을 보였으나 0℃이상에서는 큰 변화가 없음을 확인

표 5. 물수요 예측 모델 관련 선행 연구

Author (Date)	Data (Train:Test)	Input variables	Lead time	Test bed	Models
Jain & Ormsbee, (2001)	1982-1992 (6:5)	water use prec. max. temp. per week	week	city in Kentucky	regression-disaggregation models time series models expert system models* ANN models*
Bougadis et al., (2005)	summer in 1993-2002 (9:1)	water use prec. max. temp. per week	week	city in Canada	3 regression: MLR-1,2,3 7 time series analysis: ARIMA 3 ANN: ANN-1,2,3*
Gato et al., (2007)	1990-2010 (10:11)	water use prec. temp.	day	suburb in East Doncaster	time series model (base use + seasonal use)
Herrera et al., (2010)	2005.1-2005.4 (8:2)	water use temp, prec. wind speed	hour	city in Spain	ANNs projection pursuit regression multivariate adaptive regression splines random forests SVR* VR(Vector auto-regression)*
Altunkaynak, & Nigussie, (2017)	1992-2014	water use	month	Istanbul	MSA-MLP(ANNs)
Rafael Benitez et al. (2019)	2014.1.1.-2016 .09.19	water use	minute	city, industrial area, suburb	Time series decomposition + kNN

1-3. 연구개발의 중요성

○ 기후변화에 따른 물부족 심화

- A2 기후변화 시나리오를 기준으로 평년(1971 ~ 2000년) 강수량 1,230 mm 대비 2030년대 9% 증가, 2060년대 6% 증가, 2090년대 14% 증가할 것으로 전망되며, 강우패턴의 변화와 기온상승으로 인한 증발산량의 증가는 유역 물 순환에 변화를 주어 가용 수자원의 계절적인 편차 심화

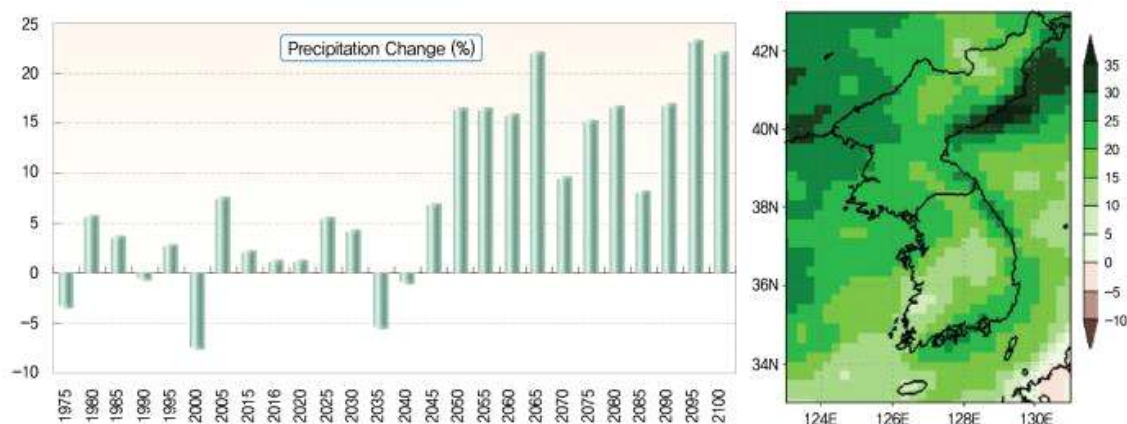


그림 3. 강수량 변화 전망

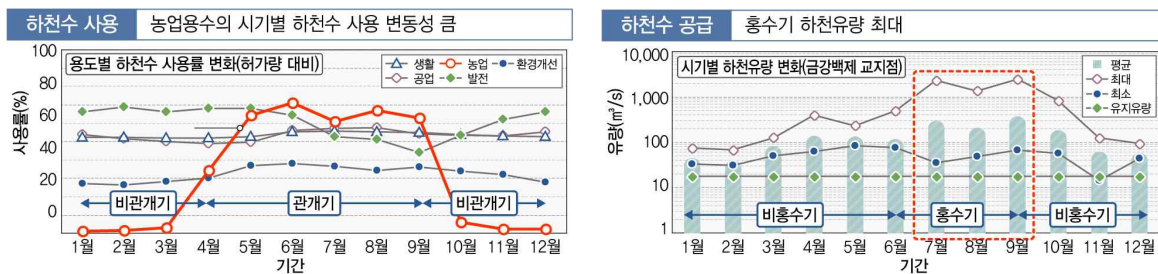
- 강수량의 변동 폭 증가(심한 홍수와 가뭄 초래 원인)로 인해 극단적인 가뭄 발생* 빈도가 증가할 것으로 전망

* [예] 2015년에 발생한 가뭄은 1973년 이래 역대 3위의 최저 강수량 기록

- 취·방류량 계측, 자료수집, 모니터링 기술 등 IT 기술을 기반으로 하는 실시간 자동화 계측 기술을 통해 하천수의 효율적인 관리체계 필요
- 하천수는 수계별 홍수통제소에서 사용량에 대한 허가를 득한 후 사용하며, 2015년 말 기준허가량 대비 실사용량은 60.8 %로 물수지분석 방법을 현실화하여 이용효율 향상 필요
- 물수지분석에 있어서 실제 사용량이 아닌 허가량을 기준으로 일 년 단위의 분석을 수행하고 있으므로 실제 하천수 가용량을 충분히 반영하지 못함.
- 기후, 사회·경제적 변화, 자료의 신뢰도 향상을 통해 정확한 하천수량을 예측하여 기후 변화에 따라 증가되는 수자원관리의 불확실성에 대비할 필요
- 측정기법의 표준화를 통해 자료의 적정수준의 신뢰도를 확보하여 건전한 하천 유지 및 수자원 관리에 기여

- 하천수사용자의 사용량 보고에 의존하므로 측정 방법 또는 자료 구축 방식에 따라 자료의 신뢰도 상이
- 개인 사용자의 경우 주로 검증되지 않은 간접추정기법을 활용하고 있어 하천수 사용량 계측의 신뢰성 미흡하고 물의 이동을 정확히 파악하기에 어려움이 있음.
- 취수량 계측에 있어서 중하천 이상의 지점에 편중되어 소규모 하천에 적용하기에는 계측기의 규모가 크고, 고비용 등의 경제성이 낮음.
- 다양한 형태의 유량계측기법 적용을 통한 최적화된 시스템 부족
 - 하천수 사용시설별 필요로하는 형태가 다름에 따라 다양한 센서에 따라 독립적으로 운영되는 형태가 많아 이를 통합한 다양한 형태의 유량계측기법을 운용할 수 있는 시스템 필요
- 시기별/용도별 하천수 사용특성을 고려하지 않고 허가기간 동안의 일률적인 하천수허가량 (최대 수요량)을 적용하여 무효 유량 발생
- 시기별 용도별 사용특성을 반영한 허가량 제시로 하천수의 이용효율 향상 필요

AS-IS(현황진단)



TO-BE(개선방향)

- 시기별 용도별 사용특성을 고려한 중·단기 예측을 통해 하천수 사용효율 향상

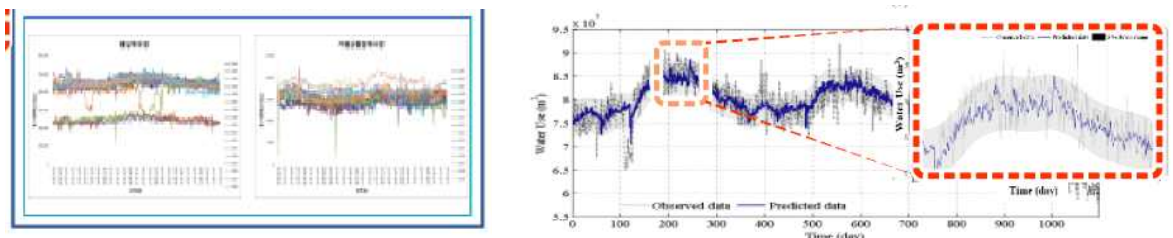


그림 4. 하천수 관리 개선방향

2. 연구수행내용 및 성과

(1) 과제 개요

- 우리나라의 경우 하천유지용수를 제외한 물사용량의 30 %를 생활용수, 9 %를 공업용수, 61 %를 농업용수로 사용(MOLIT, 2016).
 - 생활용수와 농업용수가 전체의 91 %인 228억m³로 수자원 이용의 많은 부분을 차지하며, 취수량 모델과 하·폐수방류량(회귀수량) 모델을 제시하고 물수지 분석에 적용
- 농업용수는 가장 많은 양의 물을 소모하는 용수로서, 자연환경에 물을 돌려보내고 재사용하는 다른 용수와 달리 농업용수의 50% 이상은 증발산으로 손실
 - 농업용수의 정확한 사용현황 모니터링이 중요하며, 농업용수 사용 모니터링 및 현황 분석, 예측 및 계측방법 개발 등의 연구 수행
 - 고품질 데이터를 추가 수집하고 조사하는 것만으로도 관개용수 사용 추정치의 정확성 및 불확실성 개선 가능성 제시

(2) 연구수행 내용 및 결과

(가) 하천수 관리 모형 개발

- 물수지 분석은 하천의 불규칙한 과거 자연유량과 장래 용수수요의 시기별 분포를 비교, 검토하여 물 부족 여부를 판단하는 계산 과정으로 물수지 분석 시 공급은 자연유량과 댐에서의 용수공급량, 그리고 용수공급 후의 회귀수량으로 이루어짐.
- 수자원 관리, 특히 고갈 위험에 처한 수자원 관리를 위해서는 물 수요 및 생태적 필요에 대한 추정이 필요함.
- 전체 물사용량의 91 %를 차지하는 생활용수 및 농업용수 취수량과 하·폐수 방류량 모델을 개발하였으며, 단, 시설의 규모가 작고 용도에 따라 특성이 크게 다른 공업용수 시설은 본 연구에서 다루지 않았음.

① 농업용수 예측 모델 개발

㉠ 개요

- 관개용수를 예측하는데 있어서 선행기후조건과 계측된 관개량과의 관계에서 모델을 도출하는 방식과 토양수 수지를 통해 기후, 토양 및 식물 특성을 기준으로 일일 작물별 필요 용수량을 결정하는 방식이 있음.
 - 전자의 경우 고품질, 일일 또는 주간 관개 데이터가 있는 지역에서 유리한 것으로 알려져
-

있으며, 후자의 경우 관개 데이터가 부족한 지역에 대한 적용성이 높음.

- 본 연구에서는 전자의 방식을 적용하여 선행기후조건을 설명변수로 활용하여 로지스틱회귀, 기계학습 등의 다양한 모델을 기반으로 관개의 발생을 예측하고 그 결과를 비교
 - 첫째, 로지스틱 회귀모형과 다양한 기계학습 모형을 적용하여 선행기상자료를 기반으로 관개의 발생을 예측하였으며, 정확도 비교를 통해 가장 적합한 모델을 도출
 - 둘째, 관개발생이 예측된 날에 대해 평균 사용량을 곱하여 관개용수 월사용량을 추정
 - 셋째, 관개가 발생된 날의 관개량을 예측하기 위해 시계열분해모델과 회귀모델을 결합한 hybrid model을 개발

㉔ 농업용수 자료 취득 및 선별

□ 자료 취득

- 국내의 경우 일정규모(생활 5,000m³/일, 공업 1,000m³/일, 농업 8,000m³/일 이상) 이상 하천수 사용자는 계측시설(유량계 등)을 설치하고, 매월 사용계획과 실적 보고
- 생활용수의 경우 상수도로 공급하는 용도로 취수하는 대규모 시설로서 유량계측기에 의해 측정되고, 따라서 고품질의 취수량 계측 자료 확보 가능
- 이에 반해, 농업용수의 경우 계측에 의한 자료인지, 평균 양수 횟수 추정에 의한 자료인지, 기타 방식에 의한 자료인지 등의 면에서 매우 다양
 - 신고 의무가 있는 시설에 대해 요구하는 정보는 관개량, 관개면적, 관개 방법, 수원 등
- 농업용수의 경우 특히 품질보증이 미흡한 경우가 많아 활용성이 제한적
- 이에 조사대상 지역을 고품질 관개량 자료라고 볼 수 있는 유량계측기가 부착된 시설이 많은 하천구간(충주댐 하류~팔당댐 상류)을 선정(그림 5)
- 조사 지역에 위치한 시설에서 보고된 관개 데이터를 선별하여, 하천수 사용 예측모델 개발에 사용하였으며, 자료 품질 또는 정확성에 관한 문제 가능성을 파악
- 농업용수 자료의 경우 비계측 자료이거나 관개시설의 양수 용량을 양수기 작동 시간으로 곱하여 추정한 자료 대부분.
 - 이러한 물 사용 추정의 불확실성으로 인해 데이터에 노이즈가 발생하는데, 이러한 노이즈가 있을 경우 허용 가능한 정도의 유의미성을 지닌 통계모델을 개발하고나 관개용수 사용 신고 데이터로 물리적 작물 모델을 검증하는 것이 불가능함

-
- 이러한 비일관적인 데이터가 실제일 수도 있으나, 계측 미흡 또는 신고 대상 정보에 대한 관심 부족으로 인한 신고 오류의 결과일 가능성이 더 높음
 - 계측 자료는 추정 데이터에 비해 더 정확하나, 여러 조건으로 인하여 계측의 정확성이 떨어질 수 있음
 - 예를 들어, 작동을 정지한 후 우물 또는 공급 파이프 안의 음압으로 인하여 계측기 임펠러가 역방향으로 작동할 수 있으며, 계측치를 인위적으로 줄이는 경우도 있음. 반대로 양수기 작동 정지 후 지하수 수위 상승으로 인하여 분배선 내 기압이 증가하여 기록된 관개량이 실제 관개량보다 커질 수 있음.
 - 시설에 따라 허가기간이 다르므로 축적된 자료의 기간도 다르며, 본 연구에서는 주로 10년 이상 허가된 시설의 자료를 확보하여 분석 및 학습을 수행
 - 일자료를 취수시설별(14개 표준유역, 95개소)로 구분하여 DB 구축 완료
 - 관개 예측 모델의 입력인자로 사용되는 기온, 강수량 등 기상인자를 측정하는 관측소의 데이터를 확보하였으며, 기후관측소와 근접한 농업용수 취수시설을 매칭하여 모델링에 반영(그림 5)
 - 사용된 기상자료는 기상청에서 구축하고 있는 관측망 중 종관기상관측(Automated Synoptic Observing System, ASOS), 방재기상관측(Automatic Weather Station, AWS)으로 목적에 따라 다른 기상요소를 측정 중

□ 자료의 전처리

- 하천수 사용 허가관리에 있어서 관개용수 사용의 경우데이터의 측정방식이 표준화되어 있지 않아 양수기 작동시간, 전력사용량 등을 바탕으로 추정하는 간접 추정방식을 사용하는 경우가 대부분임.
 - 또한, 취수량 실적자료의 취득 방식에 있어서 사용자의 보고에 의존하고 있어 자료의 품질관리가 어려운 상황
 - 그 결과 관개량이 매년 동일하거나 한 달 동안 일정하게 유지되는 등 데이터의 비일관성이 상당수 존재하며, 이러한 요인들은 예측의 불확실성을 증가
 - 데이터를 선별하여 문제가 있는 데이터는 최대한 배제하였지만, 선별 작업이 주관적이어서 데이터 집합에 오류 데이터가 분석에 활용되었을 가능성이 남아있음.
-

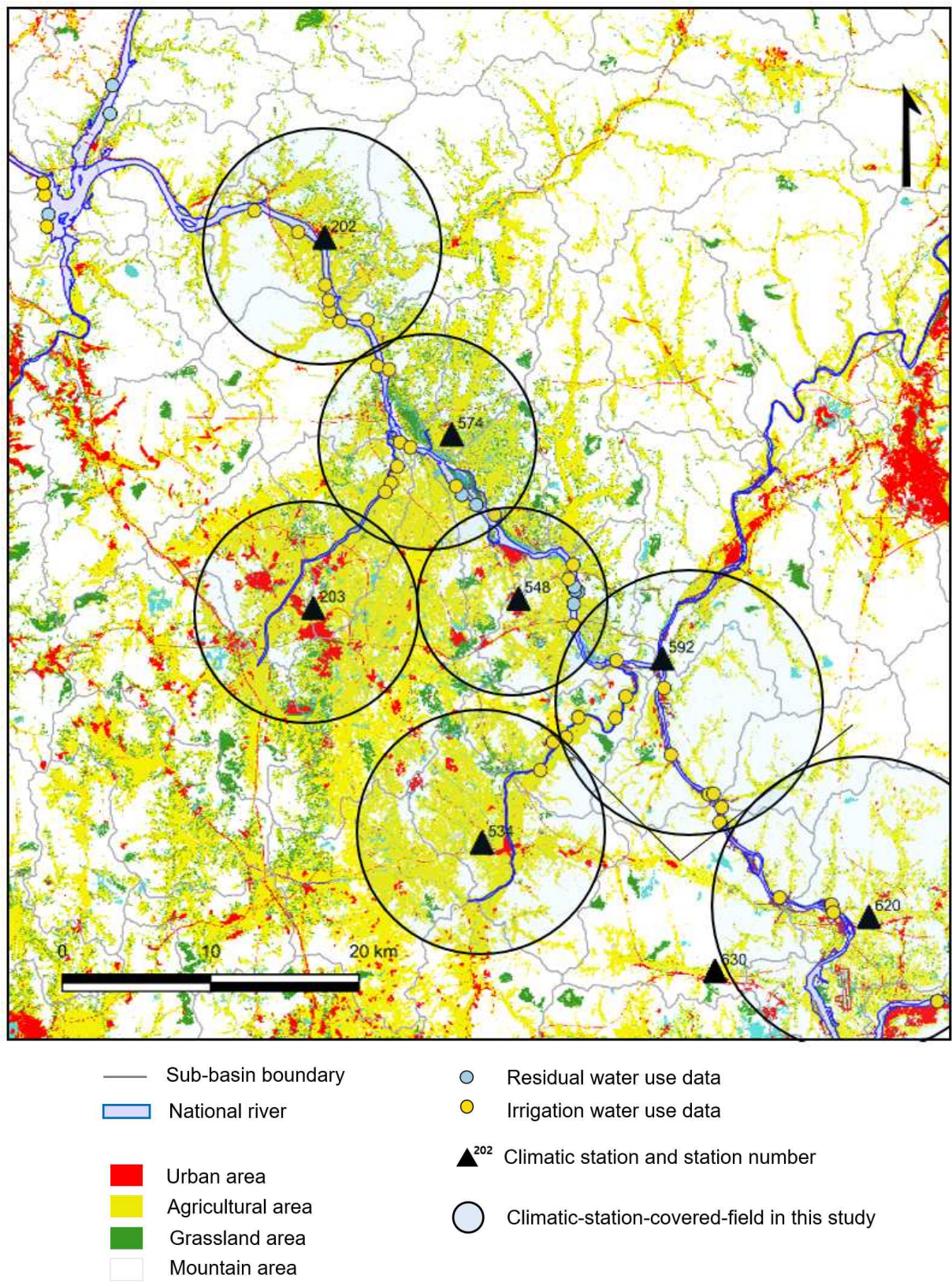


그림 5. 대상하천 내 취수지점과 기상관측지점

- 보고의 오류를 포함한 시설을 식별하기 위해 시계열 분석을 수행하고 분석에서 배제
 - FFT(Fast Fourier Transform)을 이용하여 취수실적 자료의 비정상적인 주기를 확인
 - 대부분 시설에서 1년 정도의 주기를 갖는 것으로 나타나며, 비정상적인 주기가 확인되는 자료는 신뢰성이 낮은(매일 취수량의 실적 기재를 성실하게 수행하지 않은) 자료로 간주하고 모델링 대상에서 제외(그림 6)

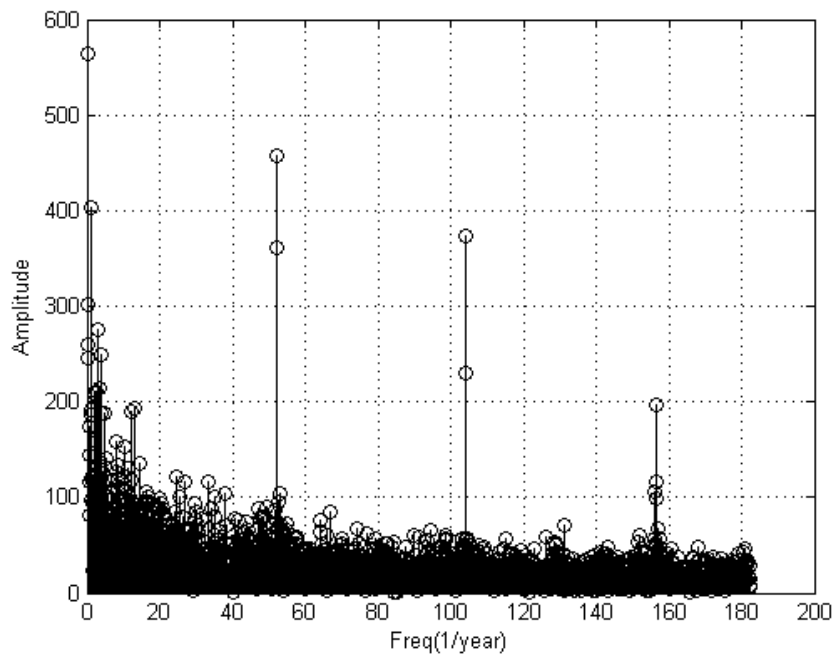


그림 6. 취수실적 자료에 대한 FFT 분석 결과 예시

- 영농기인 5월 ~ 8월을 모델링 대상기간으로 설정한 이유는 비관개기 데이터가 모델링에 포함될 경우 입력인자와 출력인자의 관계 해석에 오류 발생하기 때문임.
- 로지스틱 회귀식의 경우 범주형 자료가 필요하며, 규모가 다른 시설들에 대해 동시에 선행 기상자료와의 관계분석 등을 수행하기 위한 표준화 작업이 필요함.
 - 원자료(그림 7a)를 허가량(일반적으로 펌프용량)으로 나누는 방식으로 무차원화한 후(그림 7b), 범주형 변수로 변환하기 위해 최적의 임계점인 0.2를 기준으로 0과 1의 값으로 변환(그림 7c). 즉, 취수를 하는 날의 경우 1, 취수를 하지 않는 날의 경우 0의 값이 부여됨.

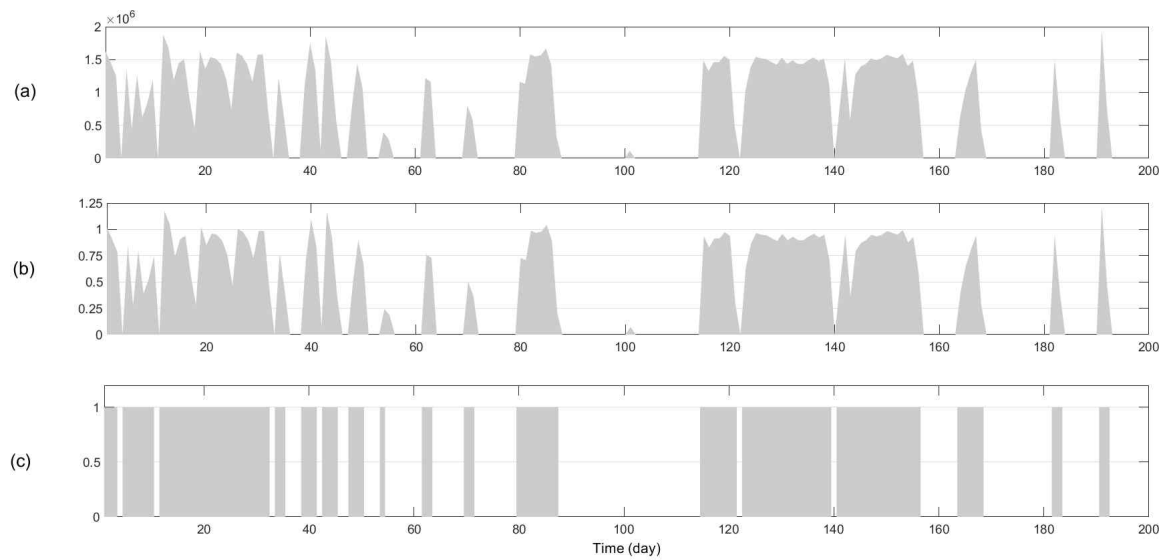


그림 7. 농업용수 취수량 자료에 대한 범주형 변수로의 변환 과정

- 모델 검증을 위해 10 %를 평가자료, 90 %를 모델개발을 위한 자료로 독립적으로 사용하였으며, 90 %의 자료 중 20 %를 검증자료, 80 %를 학습자료로 사용하여 과적합 방지를 위해 사용되는 기법인 5-fold validation을 수행

㉔ 관개 추정 방식

□ 이론적 배경

○ 로지스틱 회귀분석

- 사건이 발생할 확률을 P라고 할 때 확률은 0~1값으로 제한되기 때문에 승산(odd)이라는 개념을 이용하며, 이는 발생하지 않을 확률에 대한 발생할 확률의 로그값으로 정의

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m = \alpha$$

- p 에 대해 정리하면,

$$p = \frac{1}{1 + \exp^{-\alpha}}$$

- 최대우도추정 기법을 이용하여 로지스틱 회귀식 추정

○ 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM)

- Vapnik(1995)에 의해 제안된 SVM은 분류 또는 회귀분석에 사용되는 데이터 분석 및 패턴을 도출하는 학습알고리즘과 관련된 지도학습 모델

$$R(f) = \int \Gamma(x, y, f(X)) dP(X, y)$$

$$f(f) = \langle W, X \rangle + b \quad \text{with } W \in X, b \in R$$

$$f(f) = \sum_{j=1}^K w_j x_j + b$$

여기서, b : 절편, W : 기초함수, $\langle \cdot, \cdot \rangle$: 내적, K : 입력 자료의 차원, Γ : 손실함수, P : 조건확률분포

- 이 모델은 선형함수에 의해 구동된다는 점에서 로지스틱 회귀와 유사하며, 로지스틱 회귀와 다르게 SVM은 확률을 제공하지 않지만 해당 계급을 출력
- 입력 자료를 고차원 특성공간으로 사상시키고 Kernel 함수를 이용하여 학습 자료를 최적화시키는 초평면(hyper-plane)을 탐색. SVM에 주로 사용되는 Kernel 함수의 종류로는 linear, polynomial, RBF(radial basis function), sigmoid 등이 있으며, 가우시안(or RBF) 커널이 가장 일반적으로 사용되며 식은 아래와 같음.

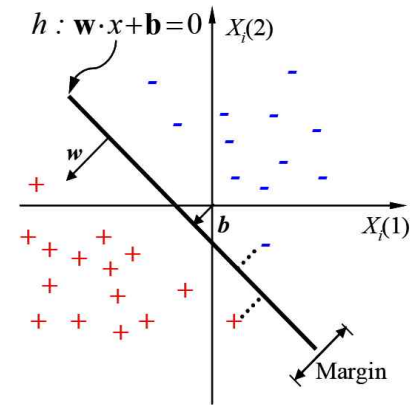


그림 8. SVM 개념도

$$k(u, v) = N(u - v; 0, \sigma^2 I)$$

여기서, $N(x; \mu, \Sigma)$ 은 표준정규밀도

- 유효한 학습 자료를 서포트 벡터(Support vectors; SVs)라고 하며, 초평면함수는 이 벡터들의 결합으로 표현

□ 로지스틱 회귀식을 이용한 관개 발생 예측 모델 개발

- 로지스틱 회귀 모델을 관개발생 예측에 처음 적용한 것은 Zarriello와 Bent(2004)이며, 그 목적은 비계측 현장에서의 잔디농장의 관개용수 사용을 추정하고 시간에 따른 관개용수 사용량을 기존 기후조건 자료에 따라 추정하는 것임.
- 이후 Levin과 Zarriello(2013)는 주간 관개 발생 가능성을 주간 선행기후조건을 바탕으로 예측하기 위해 조지아주의 옥수수, 면, 땅콩, 대두 작물에 대한 로지스틱 회귀방정식을 개발. 이들은 일일 데이터가 존재하는 현장의 수가 제한됨에 따라 결과가 미흡하다고 판단하여 주간(weekly) 관개 발생 예측을 수행
- 이와 같이 기존 방식의 경우 선행기후조건에 기반하여 경작물 종류별로 모델을 구현하여 관개량을 예측하였을 경우 동일한 기후 관측소를 공유하는 범위 내 지점의 경우 동일한

결과를 갖는다는 한계, 주 단위의 모델링을 수행하여 관개량의 변동성이 재현되지 않는다는 한계가 있음. 이에 본 연구에서는 국내에서 다년간 보고된 관개량을 기반으로 시설별로 일일 관개 발생 예측 모델을 개발 및 분석

- 평균온도, 강우계속시간, 1시간최다강수량, 일강수량, 평균풍속, 평균상대습도와 취수량의 상관계수를 산정하였으며 변수의 유효시간(Effect time)과 지연시간(Lag time)을 변화시켜 가며 아래와 같이 상관성분석을 수행(그림 9 참고)

$$\rho(\tau) = \frac{\sum_{t=\lambda+\tau+1}^T [q_t - \bar{q}][\bar{P}_t - \bar{\bar{P}}]}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (q_t - \bar{q})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^T (\bar{P}_t - \bar{\bar{P}})^2}}$$

여기서, p 는 독립변수(기후조건), q 는 종속변수(취수량), $\bar{P}_t(\tau, \lambda) = \frac{1}{\lambda} \sum_{k=t-\lambda-\tau}^{t-1-\tau} p_k$, λ 는 유효시간(Effect time)으로 현재 취수에 영향을 미칠 것으로 예상되는 선행 기후조건인 기간, τ 는 지연시간(Lag time)으로 영향인자의 효과가 나타나기까지 걸리는 기간

- 시설별 검토 결과 그 정도는 시설마다 다르나 평균온도, 일강수량, 상대습도에서 일관성 있게 약한 상관관계가 있는 것으로 나타나며, 상대습도는 온도와 강수량과 상관성이 있고 (Betts et al., 2014), 관측소마다 측정여부가 달라 본 연구에서는 온도와 강수량을 입력변수로 선정. 그러나 상대습도의 경우 취수량과의 상관성이 가장 높게 나타났기 때문에 향후 입력변수로 고려하면 모델의 정확도가 개선될 수 있을 것으로 기대됨.
- 유효시간을 검토했을 때 예측하고자 하는 날의 전일 보다 선행10일 동안의 평균값과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타남. 또한 지연시간은 없는 것으로 보임. 이와 관련하여 stepwise regression, best subset method 등의 통계적 기법을 통해 자세히 검토함으로써 입력변수를 선정함.
- 단계별 선택법(stepwise regression)이란 모든 변수가 포함된 모델에서 출발하여 다양한 기준통계치(AIC, BIC, C_p 등)에 따라 가장 도움이 되지 않는 변수를 삭제하거나 모델에서 빠져있는 변수 중에서 기준통계치를 가장 개선시키는 변수를 추가하는 방식

Akaike Information Criterion (AIC) : $AIC = -2\log -likelihood + 2p$

Bayesian Information Criterion (BIC) : $BIC = -2\log -likelihood + p\log n$

- Johns Hopkins 대학교의 자료에서는 기준통계치에 기반한 전수조사방법을 추천하며, 따라서 본 연구에서는 두가지 방식을 모두 적용하여 상호 검증하였음.

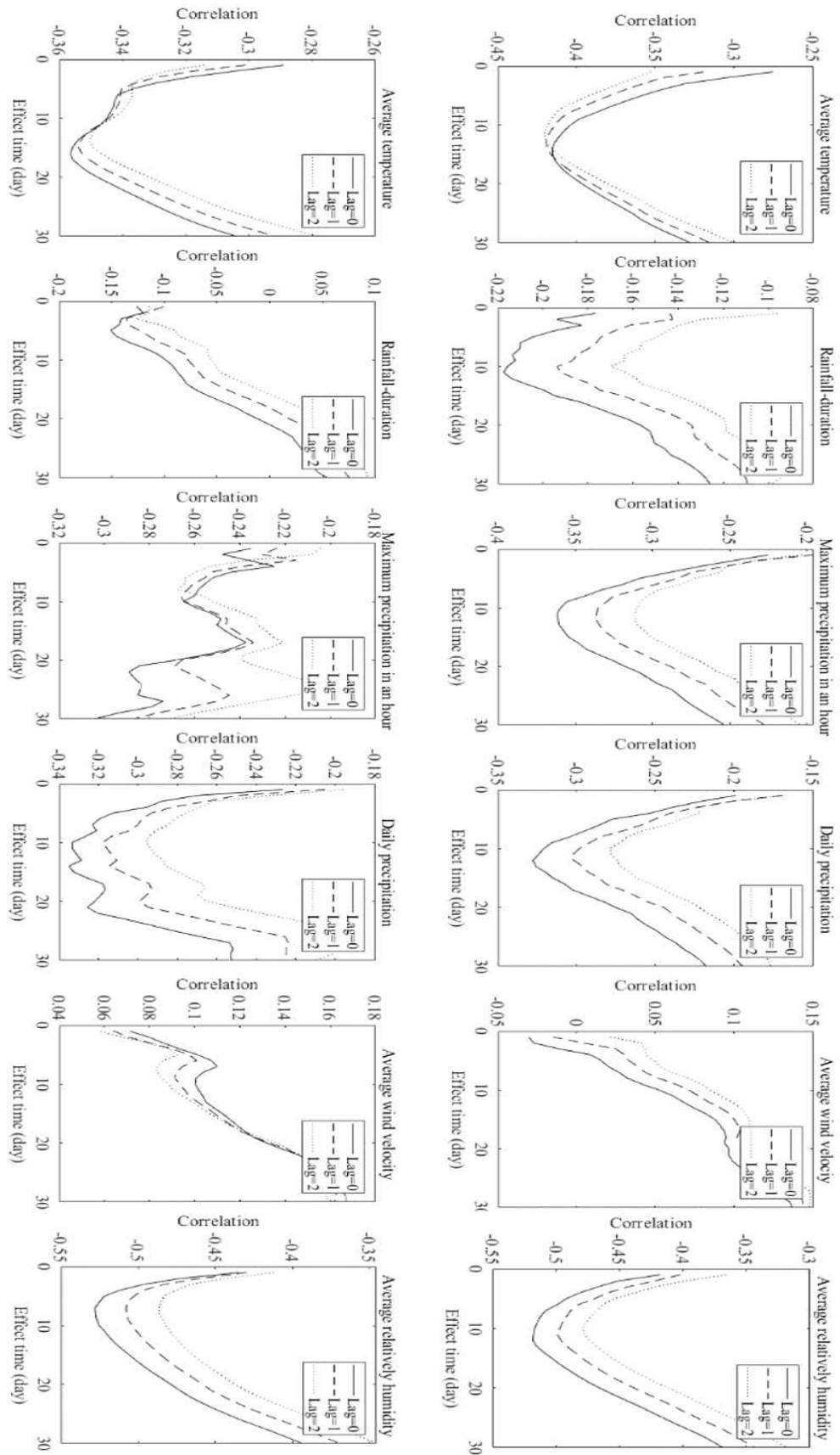


그림 9. 유효기간에 따른 영향인자와 무차원 농업용수 취수량 상관성 변화

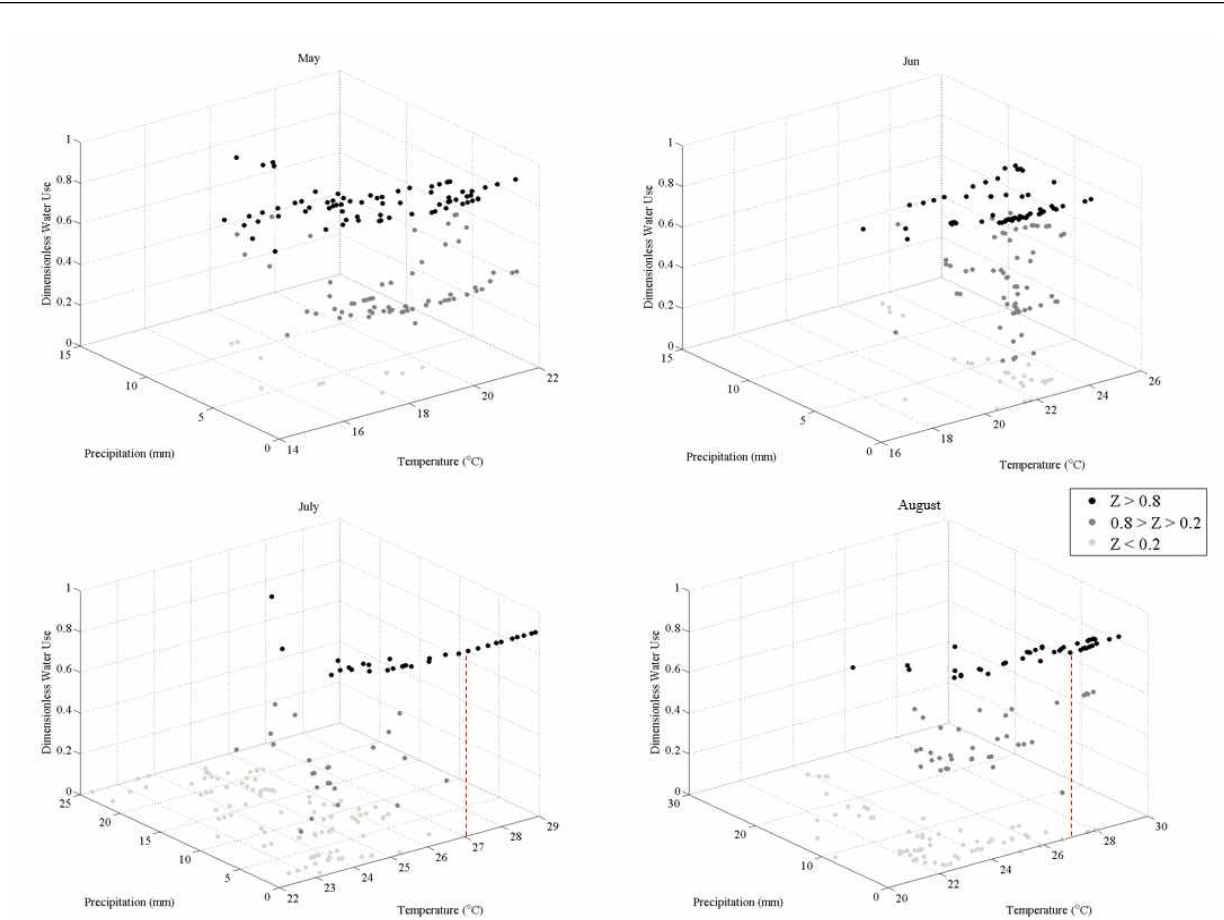


그림 10. 월별 온도, 강수량, 무차원 농업용수 취수량 관계

- 온도, 강수량, 취수량을 월별로 검토했을 때 5~6월은 강수량이 적어 높은 취수율을 나타내며, 7~8월은 강수량이 많고 취수를 안하는 날이 많음. 7~8월 호우가 집중되는 우리나라의 계절적 특성이 온도와 상대습도의 높은 상관성의 원인으로 보임(그림 10, 그림 11).

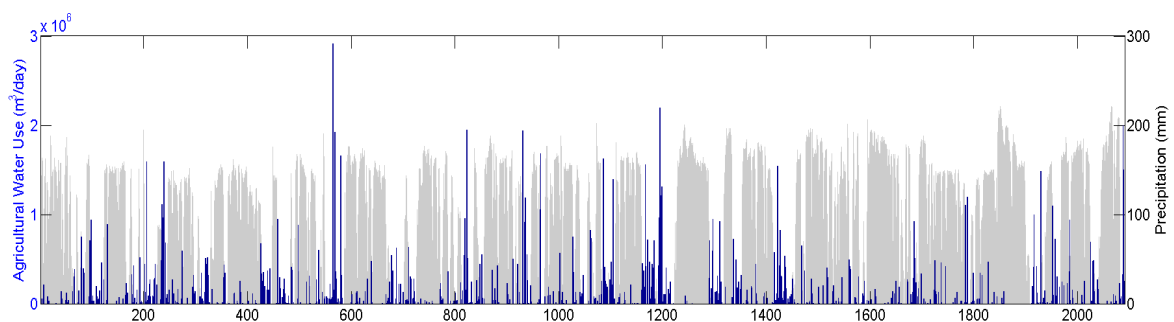


그림 11. 2002~2018년 5~8월의 농업용수 취수량 관측 값과 일강수량 비교

- 기상학적 설명변수는 선행 2, 5, 10, 15, 20일 동안의 평균온도와 총강수량 값을 검토
- 독립변수들 간에 상관성이 높은 경우 부적절한 결과가 도출될 수 있으므로(Helsel and Hirsch, 1992), 상관관계가 높은 변수의 동시 사용은 지양
- 모든 선행기간의 온도는 상호간의 높은 상관관계를 보임. 또한 서로 다른 선행기간의 강수량 변수 또한 상호간의 높은 상관관계를 보였으나, 온도와의 상관관계는 없었음.
- 입력변수 선정은 모든 가능한 설명변수 조합에 대해 적합성(goodness-of-fit) 통계를 기준으로 최종모델을 선택하는 best subsets method을 이용하여 수행(그림13)
- 이때 아카이케 정보 기준(AIC)와 베이지안 정보 기준(BIC)검증을 실시하여 각 시설에 대한 후보 방정식의 적합성을 평가함
- 분석 결과 그림 12와 같이 입력변수 개수에 따른 최적모델의 기준값들을 비교해보고, 정확도와 계산상의 경제성, 다중공선성을 고려했을 때 3개의 입력변수(선행 20일의 평균온도(T20), 선행 2일, 10일의 총강수량(P2, P10))가 관개 발생예측을 위한 최적의 입력변수로 판단
- 온도의 경우 토양수분함유량, 증발산량에 대한 영향뿐만 아니라 관개시기에 대한 농업용수 취수의 패턴을 설명하는 인자로 보이며, 이는 과거 데이터의 평균적인 물 사용량 패턴을 보면 알 수 있음.
- 강수량은 수자원으로서 토양수분함유량 및 저수율, 증발산량의 변화를 야기하고, 이에 따른 관개수요량에 영향을 미칠 것으로 예상

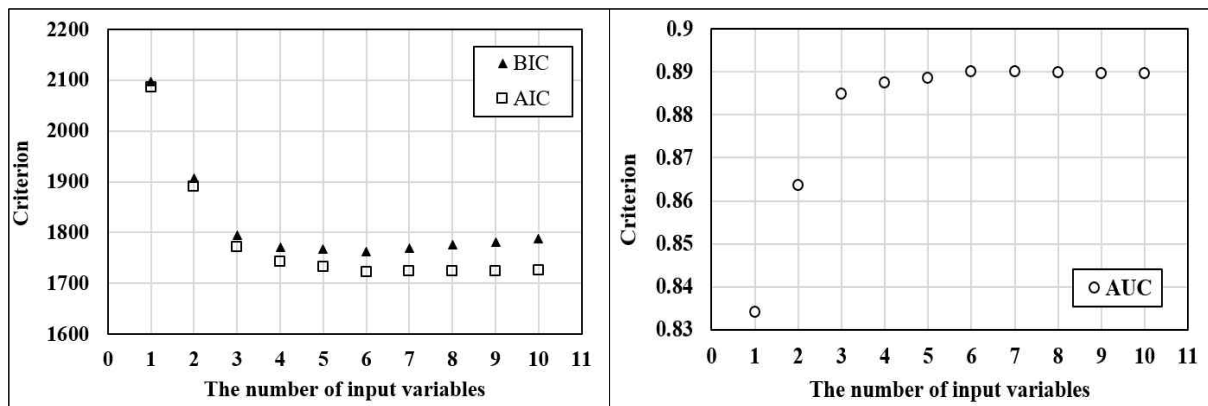


그림 12. 입력변수 개수에 따른 최적모델의 기준(AIC, BIC, AUC) 비교

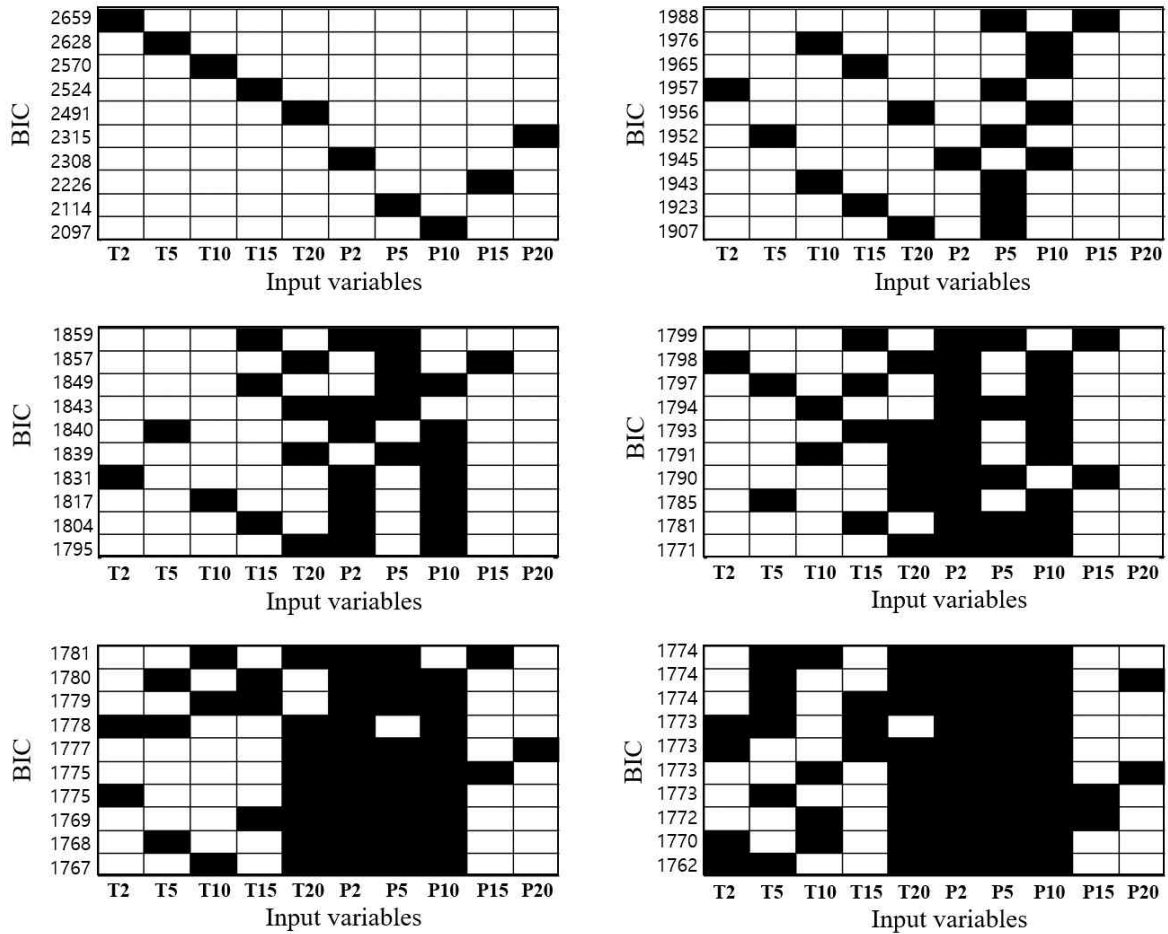


그림 13. 입력변수 개수(1개~6개)에 따른 BIC 값

- 농업용수 취수 유무를 결정하는 로지스틱 회귀식의 형태는 아래와 같으며, 시설별 최적화를 통한 계수 산정

$$P = \frac{e^{(C_1 + C_2 \times T20 + C_3 \times P2 + C_4 \times P10)}}{1 + e^{(C_1 + C_2 \times T10 + C_3 \times P2 + C_4 \times P10)}}$$

여기서, C_1, C_2, C_3, C_4 는 계수, $T20$ 은 선행 20일 동안의 평균온도, $P2, P10$ 은 선행 2일과 10일 동안의 총강수량

- 이 식에 의해 예측된 확률은 0~1의 값을 갖게 되며, 임계점(일반적으로 0.5)을 통해 취수 여부를 추정하게 됨.
- 15개소 농업용수 취수시설에 대해 검토한 결과 평균적으로 정확도는 78 %, AUC*는 84 %로 나타났으며, 전체적으로 77~92 %의 범위 내에서 발생

* AUC(Area Under the Curve) : 관측 값이 편향된 자료를 예측할 때의 정확도가 가진 문제점을 보완하기 위한 분류모델의 성능 평가 방법으로 1에 가까울수록 좋은 모델

- 최종 로지스틱 회귀모델은 적합성 통계를 기초로 검증하였으며, 모든 모델은 영모델과 비교할 때 95 % 신뢰구간에서 통계적 유의성을 보임(표 6).

표 6. 관개발생을 예측하기 위해 개발된 로지스틱회귀식의 통계 요약

	Intercept	T20	P2	P10
Best-fit model variables				
Model coefficients	6.040	-0.193	-0.124	-0.161
Standard error	0.396	0.017	0.012	0.014
T-statistic	15.219	-11.160	-10.641	-11.387
p-value of equation coefficient estimates	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Goodness-of-fit metrics of the best-fit model				
AIC	1.56E+03			
BIC	1.58E+03			
Chi^2-statistic	1.01E+03			
Degrees of freedom	1878			
p-value of Chi^2-statistic	<0.0001			
Predictive accuracy of the best-fit model				
Number of data points	1882			
Percent of correct predictions	0.8061 (1517)			
Percent of false positives	0.1318 (248)			
Percent of false negatives	0.0622 (117)			

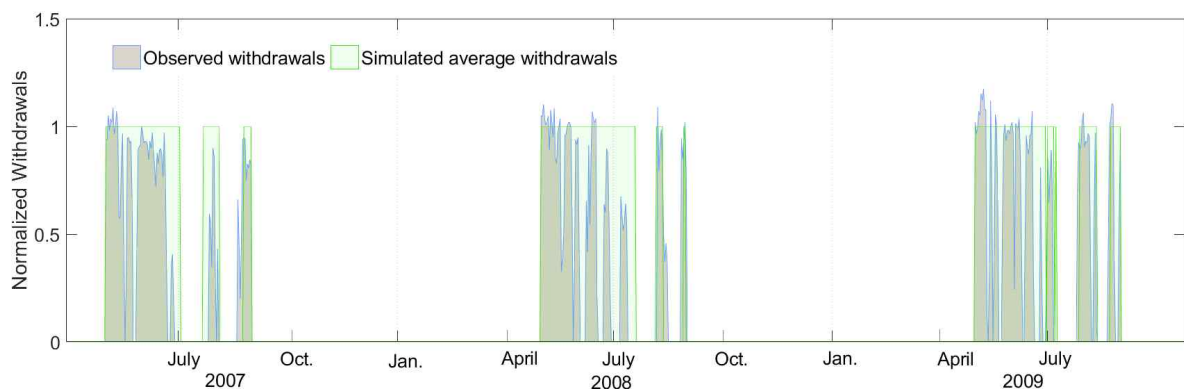


그림 14. 관개 발생 예측결과와 보고된 관개량 비교

- 그림 14에서 보고된 관개량과 모의된 취수 발생을 비교했을 때 취수의 발생과 종료 시점을 잘 예측하는 것으로 나타나며, 2008년 5~6월에 관측과 예측의 차이가 발생되며, 이는 해당 농가의 향후 강수량 예상, 가뭄 발생으로 인한 단수, 양수 용량 등 다양한 오차의 원인에 의해 발생할 수 있음.
- 관개발생에 대한 설명변수별 영향을 검토하기 위해 모든 변수를 0~1의 값으로 rescaling하였으며, 이로 인한 정확도의 유의미한 변화는 없었기 때문에 실제 적용 시 변수에 대한 보정이 필요하지는 않을 것으로 보임.
- 각 시설에 대한 로지스틱 회귀식의 변수별 계수는 그림 15에 제시하였으며, 선행 2일 동안의 총강수량의 계수가 평균 -10.5로 나타나 설명력이 가장 높으며, 시설별로 설명력의 차이가 상대적으로 크게 나타남. 다음으로 선행 10일 동안의 총강수량의 계수가 평균 -7.6으로 나타나 2일 강수량 보다 적거나 유사한 정도의 중요도를 갖는 인자인 것으로 나타남. 선행 20일 동안의 온도의 경우 가장 낮은 중요도를 갖는 인자이며 시설별 변동도 적게 나타남.

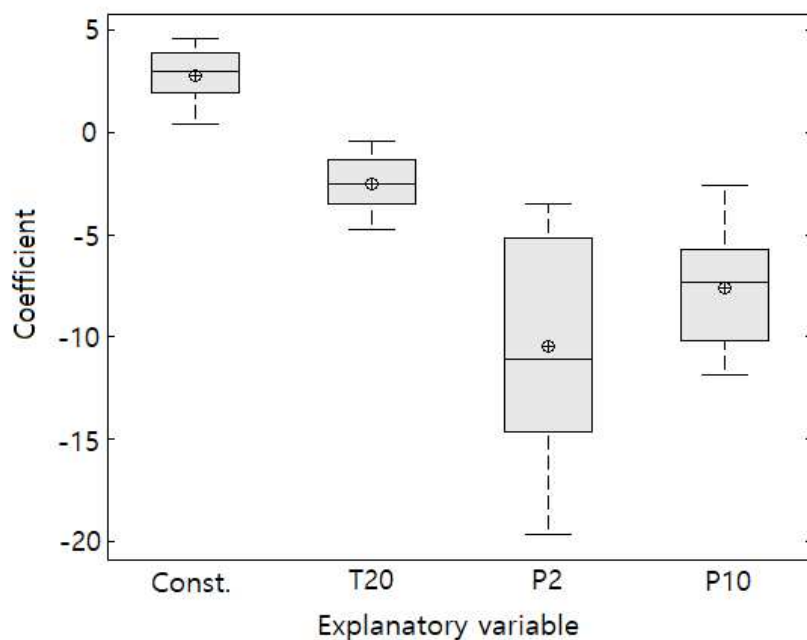


그림 15. 로지스틱 회귀식의 계수 분포

□ 기계학습을 적용한 관개 발생 예측 모델 개발

- 관개 발생 예측을 위한 최적의 모델을 개발하기 위해 로지스틱 외 6개의 기계학습 모델 (결정나무, 판별분석, 나이브베이즈, SVM, kNN(k-nearest neighbor), 가중kNN)과 5개의 앙상블모델(Boosted Trees, Bagged Trees, Subspace Discriminant, Subspace kNN, RUSBoost Trees)을 비교·검토함.
- 15개의 관개시설의 학습 데이터와 평가 데이터에 12개의 모델을 적용한 결과를 그림 16에 제시하였으며, 로지스틱 회귀 모델과 비교했을 때 Boosted 결정나무 모델과 SVM 모델이 우수한 것으로 나타남. 두 모델 모두 학습과 평가 데이터에서 평균 정확도가 개선되었고, 학습 데이터 적용 후 평가 데이터 적용 시 정확도의 감소가 나타나지 않아 과적합(overfitting)의 가능성도 적을 것으로 판단됨.
- 로지스틱 회귀식은 분류 경계를 추정하는데 있어서 SVM 보다 더 간단한 기법임. 이는 조정 매개변수가 없으며, 예측 방정식은 대부분의 소프트웨어를 사용하여 간단히 구현하기 쉽다는 장점이 있음.
- 모든 시설에 대해 평균 정확도를 비교했을 때 로지스틱회귀식보다 높은 모델은 로지스틱회귀 75.9 %, 중간 트리 76.1 %, 가우스 SVM 80.8 %, 가중 kNN 76.4 %, 부스팅 트리 79.1 %로 나타나며, 가우스 SVM 모델이 로지스틱 회귀식에 비해 평균적으로 4.9 %의 정확도가 향상됨. 다음으로 부스팅 트리가 3.2 %의 정확도 향상이 나타남.
- 본 연구에서 사용된 기계학습 모델별 매개변수는 표 7에 제시
- 이러한 결과를 이용하여 1개월간 취수가 발생된 것으로 예측된 일수와 일평균 취수량을 곱하여 월취수량을 예측하여 표 8과 그림 17에 제시함. 본 연구에서 도출한 최적 모델인 가우스 SVM모델과 적합도와 경제성면에서 이점이 있는 로지스틱 회귀 모델을 비교
- 로지스틱 회귀식의 경우 RMSE 오차가 4.6 ~ 10.5 까지 나타났으며, SVM의 경우 RMSE 오차가 3.9 ~ 8.9 까지 나타나 오차가 감소함을 확인
- 그림 16에서 제시한 바와 같이 월취수량을 추정하는데 적용할 경우 일반적으로 모델 예측 결과가 관측값보다 과대추정되는 경향
- 그림 17과 같이 로지스틱 회귀의 경우 시설 5와 6과 같이 과소추정이 발생하는데, 이는 물관리 안정성의 측면에서 불리. 취수량의 변동범위가 증가하는 경향이 발생하여 취수량 예측에 있어서도 SVM모델이 더 적합한 것으로 판단됨

표 7. 관개 발생 예측을 위해 적용된 기계학습 모델별 주요 매개변수

모델 종류	모델별 주요 매개변수		
기계학습 모델			
중간트리	최대분할수: 20	분할기준: 지니의 다양성 지수	
선형판별	공분산 구조: full		
커널나이트베이즈	숫자형 변수의 분포: 커널	커널 유형 : 가우스	
중간가우스SVM	커널 함수: 가우스	커널 스케일 1.7	상자제약조건: 1
조밀 kNN	이웃수 1	거리측정법: 유클리드	
가중 kNN	이웃 수: 10	거리측정법: 유클리드	가중치: 제곱 역수
앙상블 모델			
	앙상블 방법	최대분할수/부분공간차원	앙상블 모델 개수
부스팅 트리	AdaBoost	20	30
배깅 트리	배깅	1881	30
부분공간 판별	부분공간	2	30
부분공간 kNN	부분공간	2	30
RUSBoosted 트리	RUSBoost	20	30

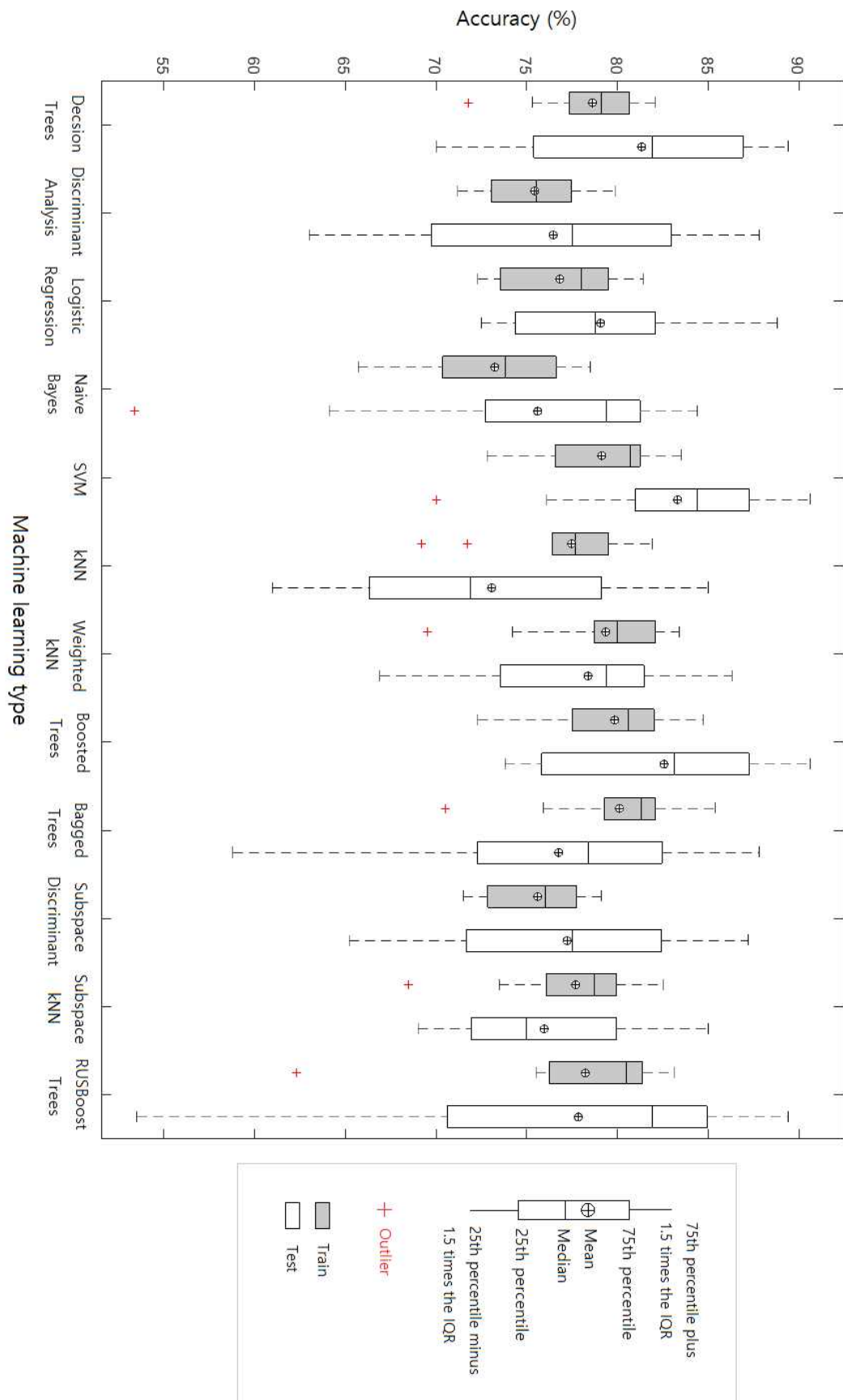


그림 16. 기계학습 모델별 학습 데이터와 평가 데이터에 대한 정확도 비교

표 8. 시설별 월관개량 예측 결과

Year	Average dimensionless irrigation, per month		
	Observed	Logistic regression model	SVM model
FAC1			
2016	24.4	28.5	27.0
2017	19.1	22.5	21.8
2018	29.2	21.5	25.0
Mean	24.2	24.2	24.6
RMSE		10.0	7.9
FAC2			
2016	20.8	23.0	22.8
2017	20.5	17.0	17.0
2018	25.9	23.0	24.8
Mean	22.4	21.0	21.5
RMSE		7.0	7.0
FAC3			
2016	20.4	23.0	21.8
2017	14.0	20.8	20.3
2018	19.4	23.0	25.0
Mean	17.9	22.3	22.3
RMSE		5.0	5.9
FAC4			
2016	22.5	23.3	22.5
2017	16.6	21.5	20.5
2018	21.1	25.0	25.3
Mean	20.0	23.3	22.8
RMSE		4.6	4.2
FAC5			
2016	21.8	17.75	18.0
2017	17.2	17.5	17.3
2018	22.0	19	24.0
Mean	20.3	18.1	19.8
RMSE		7.3	3.9
FAC6			
2016	19.0	18.0	22.0
2017	13.8	14.0	13.8
2018	19.6	16.3	22.5
Mean	17.4	16.1	19.4
RMSE		10.5	5.6
FAC7			
2016	17.1	24.0	23.5
2017	11.4	16.0	15.3
2018	15.5	20.5	24.8
Mean	14.7	20.2	21.2
RMSE		9.0	8.9
FAC8			
2016	19.6	20.0	22.0
2017	17.9	21.8	21.0
2018	22.9	21.5	22.8
Mean	20.1	21.1	21.9
RMSE		6.6	4.4

* RMSE : Root Mean Squared Error

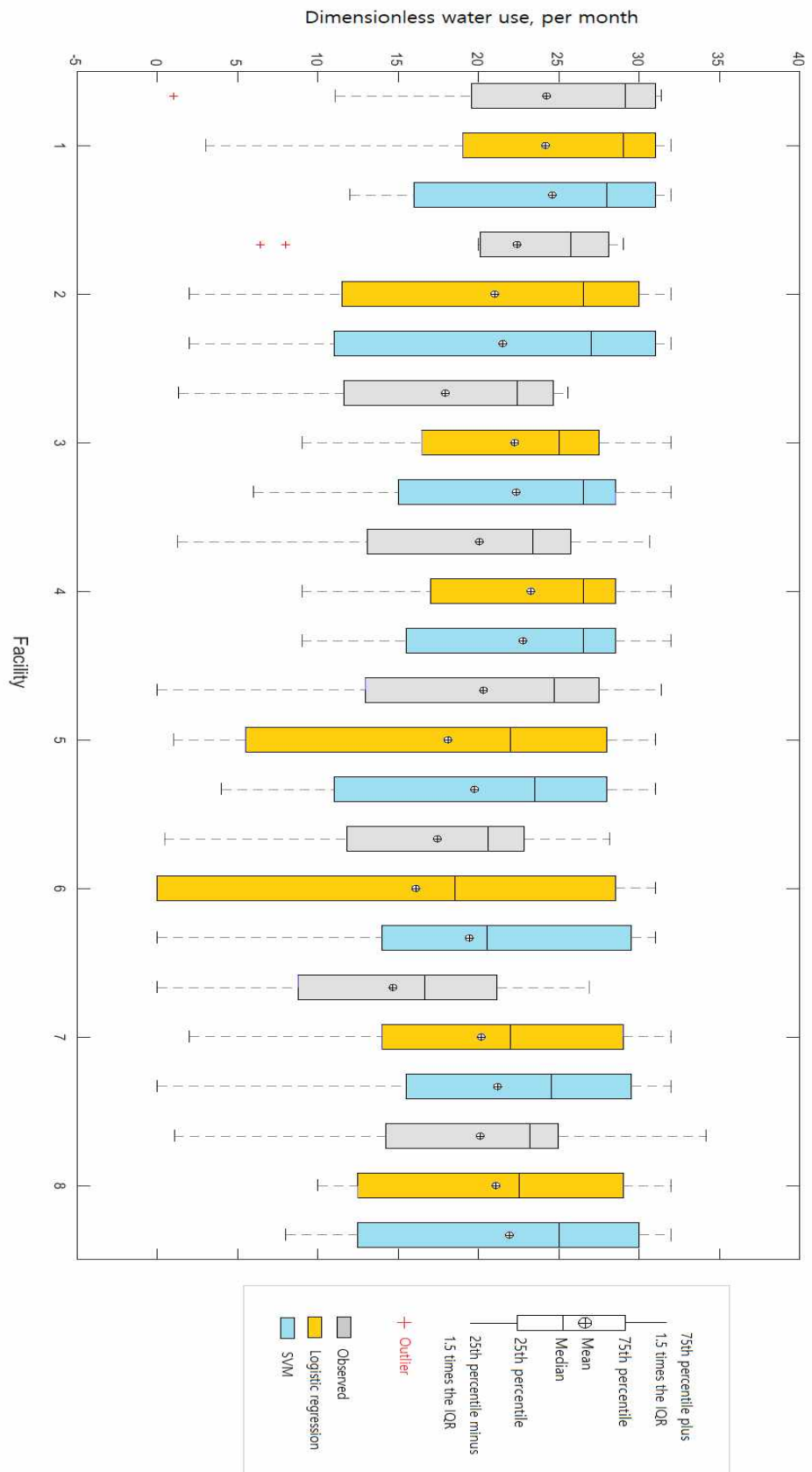


그림 17. 시설별 월관개량 예측결과 분포

㉔ 관개량 예측

- 앞서 관개가 발생하는 것으로 예측되는 날에 적용할 수 있는 관개량을 예측할 수 있는 모델을 제안하고자 함. 일반적으로 보고된 관개량이 계측기가 아닌 간접적인 계측방식을 사용하기 때문에 이분화된 값으로 되어 있어 관개량을 예측하기에는 적합하지 않다고 판단하여 계측된 자료인 1개의 시설에 대해 시범적용하였으며, 따라서 향후 추가적인 검증이 필요할 것으로 사료됨.
- 관개량 예측을 위해 작물의 식재일, 추수일 등에 따른 물수요의 시계열적 패턴과 온도, 강수량의 영향을 받는 관개량의 특성에 따라 시계열분해모형과 기상조건을 고려한 회귀 모델을 결합한 hybrid 모델을 개발함.
- 우선 학습데이터(14년, 82 %)를 이용하여 관개의 발생과 관개량을 예측하는 모델을 개발하였으며, 이 모델을 이용하여 평가 데이터(3년, 18 %)에 대해 관개의 발생과 관개량을 예측하여 관측값과 비교검증 하였음.

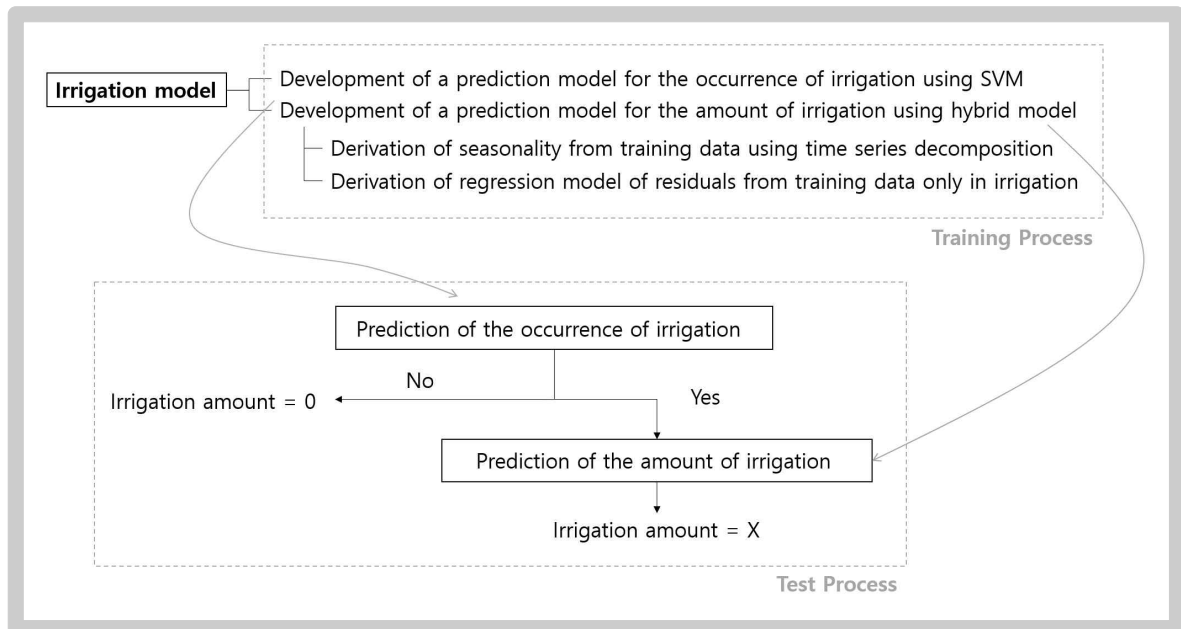


그림 18. 관개 예측 모델 개발 및 검증 과정

- 시계열분해모형의 경우 일반적으로 경향성분(trend), 계절성분(seasonality), 잔차성분(residuals)으로 구성되며, 관개량의 패턴을 분석한 결과 일관적인 증가 또는 감소 경향을 나타내는 경향성은 없을 것으로 판단하고 계절성분과 잔차성분으로 분해함

$$Q_t = Seasonality_t + Residuals_t$$

$$Residuals_t = f(T20_t, P2_t, P10_t)$$

- 계절성분은 연간패턴을 나타내는 성분으로 중간값, 평균값, 분포도 등을 이용하여 도출할 수 있으며 본 연구에서는 동일한 시기의 값을 평균하는 방식을 이용하여 도출한 계절성분을 그림 19(a)에 제시
- 관개량의 분포 특성상 관개량의 계절성분을 도출하는 데 있어서 중간 값을 사용하는 것보다 평균값을 사용하는 것이 적합. 중간 값을 사용하는 경우 강수가 많거나 작물의 성장 주기에 따라 물수요가 적은 시기에 0의 값이 발생

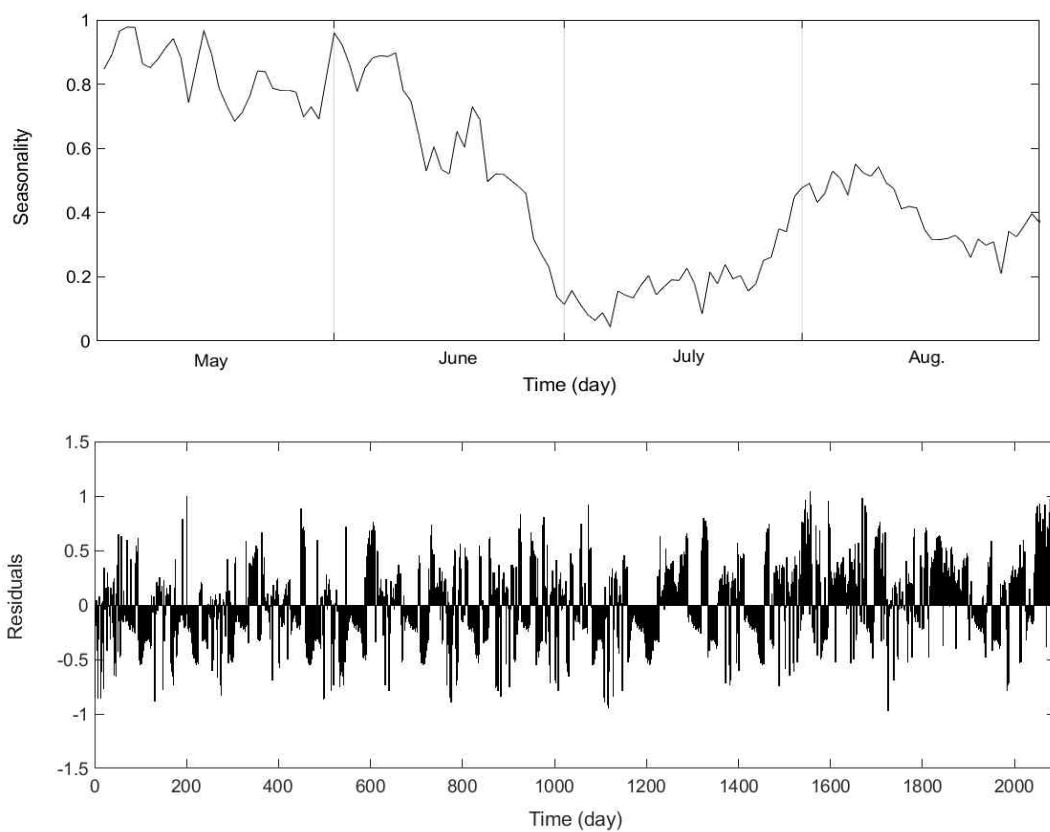


그림 19. 시계열분해 결과 추출된 관개량의 계절성분(a)과 잔차성분(b)

- 잔차성분은 원자료에서 계절성분을 제거하고 남은 값을 의미하며, 관개 발생 예측모델에서 설명변수로서 사용된, T20, P2, P10을 동일하게 사용하였으며, 선형회귀식 등 다양한 회귀모델을 이용하여 적합한 모델을 검토(표 9)
- 과적합을 방지하기 위해 5-fold validation을 진행하였으며, 유리 2차 가우스과정회귀 (Gaussian Process Regression, GPR) 모델이 RMSE가 0.237, 결정계수(R)가 0.39로 가장

적합한 것으로 나타남.

- 표 8의 모델별 결정계수가 낮게 나타난 이유로는 관개용수 사용량은 기후조건 뿐만 아니라 토양 유형, 수원, 양수용량, 개별 관개시설의 유형과 효율성, 물의 가용성, 경제적 요인과 같이 개별 농가의 관개 여부 결정에 영향을 미치나 모델에 반영되지 않은 요인 또한 다양하며, 이 요인들은 모델 추정치의 신뢰도에 영향을 미칠 것으로 예상

표 9. 잔차성분에 대한 기계학습 모델의 정확도 비교

	RMSE	결정계수	MSE	MAE
선형회귀	0.253	0.30	0.0641	0.196
성긴트리	0.245	0.35	0.0598	0.186
중간 가우스	0.246	0.34	0.0604	0.185
부스팅트리	0.242	0.36	0.0587	0.184
배경트리	0.244	0.35	0.0593	0.182
유리 2차 GPR	0.237	0.39	0.0561	0.178

- 모델에서 산정된 잔차성분과 최종 도출된 값인 관개량을 관측값과 비교한 결과를 그림 20에 제시하였으며, 관개량의 결정계수는 0.74로 관개량을 예측하기 위해 적합한 모델인 것으로 평가

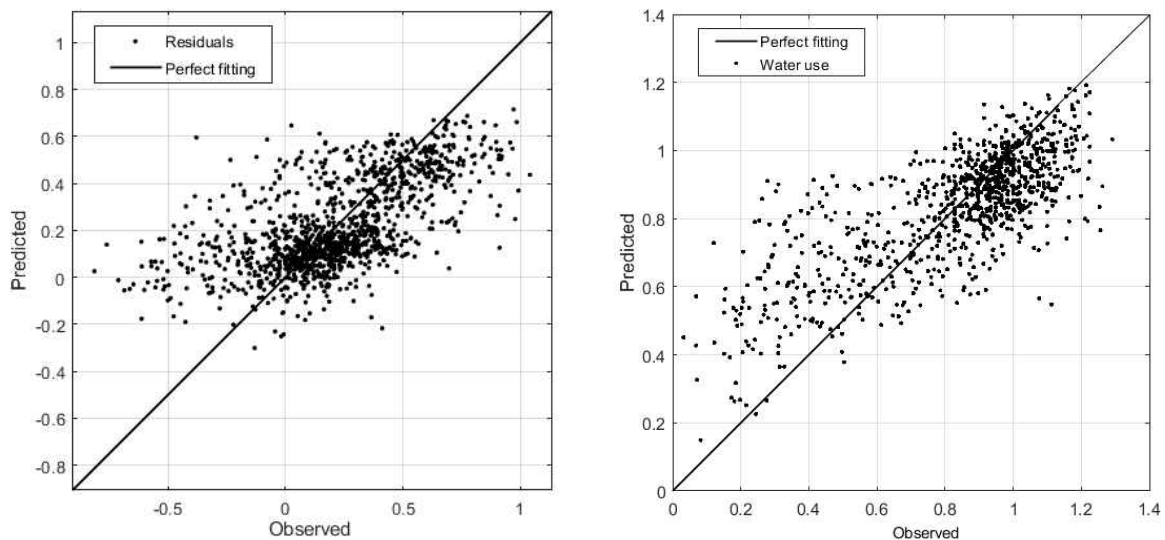


그림 20. 관측값과 예측값 비교: (a) 잔차성분, (b) 계절성분과 잔차성분을 결합한 관개량

- 평가데이터에 대한 관개량의 관측 값과 예측 값을 그림 21에 제시하였으며, 예측 값이

관측 값을 잘 재현하는 것으로 나타남.

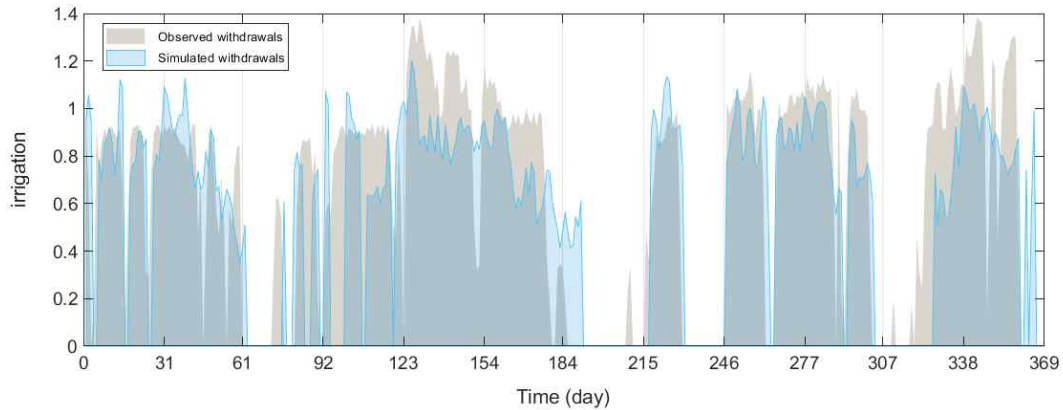


그림 21. 관개 모델을 이용하여 관개의 발생과 양을 예측한 결과

- 본 연구를 통하여 현재 관측자료에서 적용이 가능한 관개 발생 예측 모델을 개발하고 평가를 수행하였으며, 향후 측정방식의 개선을 통해 관측자료의 품질이 향상되고, 품질 높은 자료의 축적을 통해 모델을 학습시킨다면 모델의 정확도가 향상될 것이며 본 연구에서 제안한 hybrid 관개량 예측방식을 통해 관개량 예측까지 가능할 것으로 예상

② 생활용수 예측 모델 개발

㉠ 개요

- 생활용수 취수시설이란 상수도관을 통해 각 가정에 수도물을 공급하기 위한 시설로서 시설의 개소수는 상대적으로 적지만 한 포인트에서 대규모 물사용이 발생하는 만큼 물수지분석에 있어서 생활용수 예측은 중요함.
- 계절, 인구이동 등 다양한 인자의 영향을 받는 생활용수를 효과적으로 예측할 수 있는 모델을 개발하는 것이 목적이며, 이에 따라 선행연구들을 검토하여 생활용수 예측에 적합한 기계학습 모형을 도출하고 적용하였으며, 새로운 모델을 제안하고자 함.
 - 첫째, 자료기반의 생활용수 예측모형 개발을 위해 기계학습 모형에 대한 생활용수 단기 예측 정확도 비교를 통하여 새로운 생활용수 예측 모델을 개발
 - 둘째, 기계학습 모델별로 예측기간 증가에 따른 정확도의 변화를 검토

㉡ 생활용수 취수량 자료 취득 및 선별

- 농업용수 모델과 마찬가지로 대상 유역 내 하천수 취수량은 홍수통제소에서 확보하였으며, 온도, 강수량과 같은 기후 관련 자료는 기상청에서 기상관측자료를 취득하여 취수시설들과 가장 인접한 관측소의 데이터를 연계하여 사용
- 취득한 데이터의 약 80 %인 2002~2014(13년) 자료를 활용하여 모델 개발을 수행하였으며, 학습데이터에 대한 과적합을 방지하기 위해 10-fold CV를 수행하였으며 학습과 검증 데이터는 9:1로 사용, 약 20 % 데이터인 2015~2017(3년) 자료에 대해 평가를 수행

㉔ 생활용수 예측

□ 배경 이론

- 본 연구에서는 시계열 분해(Time Series Decomposition, TSD) 기법과 SVM 모델을 사용하였으며, 분류를 수행했던 관계 발생 예측 모델과 달리 생활용수 취수량 예측 모델에서는 SVM를 이용하여 회귀를 수행하고자 함. 이는 Smola(1996)이 제안한 거리를 측정할 수 있는 손실함수로 수정함으로써 동일한 이론에 기반하여 작동. 앞서 SVM 이론을 설명하였으므로 아래에 TSD 기법에 대해 설명하고자 함.
- 시계열 자료는 시계열분해기법을 통해 경향성분(Trend, T_t), 계절성분(Seasonality, S_t), 잔차(Residuals, R_t) 성분으로 구분할 수 있음.

$$x_t = T_t + S_t + R_t$$

- 경향성분은 시계열의 지속적인 증가 또는 감소 추세를 나타내며, 계절성분은 주기적으로 반복되는 경향을 의미하고, 잔차성분은 불규칙한 변동성분을 나타냄.
- 본 연구에서는 국소회귀(Local Regression or LOESS)을 이용하여 경향성분을 추출하였으며, 계절성분은 1년 자료들을 중첩 및 평균하여 추출, 원자료(x_t)에서 T_t 와 S_t 를 빼면 잔차성분 R_t 을 구할 수 있음.
 - 국소회귀(LOESS) 기법은 자료의 부분집합을 설명변수들이 반응변수를 추정하도록 저차원 (본 연구에서는 2차원) 다항식으로 피팅하며, 다항식은 가중최소제곱법(weighted least squares)을 이용하여 추정되는 값과 가까운 값에 더 가중치를 주는 방식으로 피팅. 여기서, 부분집합은 span 값을 특정함으로써 결정되며, 본 연구에서는 계절성분을 가장 잘 재현하는, 즉 진폭을 가장 크게 재현하는 기간을 최적의 span으로 판단
- span 길이에 따른 계절성분의 재현성을 분석한 결과는 그림 21에 나타내었으며, 모든 취수 데이터에서 span 길이가 3년 이후로 계절성분의 진폭이 수렴되므로 계산상의 경제

성을 고려하여 3년이 적합한 것으로 판단

- 따라서 국소회귀를 통해 경향성분 추출 후 계절성분을 결정할 수 있으며, 경향성분 예측 시에는 가장 최근의 국소회귀 매개변수를 이용하였음.

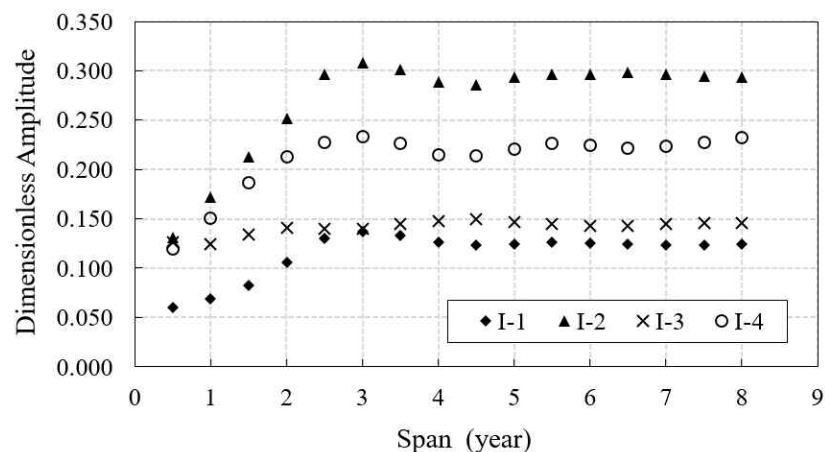


그림 22. Span 길이에 따른 계절성분의 진폭 변화

□ 생활용수 예측 모델

- 생활용수 수요 예측과 관련된 선행 연구들을 검토한 결과 외부인자로는 기온, 강수량이 주로 사용되며(Jain and Ormsbee, 2001; Bougadis et al., 2005; Kim et. al., 2008; Altunkaynak and Nigssie, 2017), 통계적 특성상 자기상관성이 높기 때문에 계산상 경제성을 고려하여 과거자료만을 입력인자로 사용한 경우도 있음
- 생활용수 취수량 예측 모델의 입력인자를 선정하기 위해 온도, 체감온도, 강수량을 그림 31과 같이 검토하였으며, 온도의 경우 취수량과의 상관계수가 시설별로 0.2 ~ 0.6의 범위에서 나타나 약한 상관성이 있음을 보임. 그림 23(a) 제시한 바와 같이 온도에 따른 취수량의 민감도를 검토했을 때 15도 이하에서는 온도의 영향이 거의 없으며, 그 이상의 고온에서 선형적 관계가 뚜렷하게 나타나는 것으로 보임. 그림 23(b)에서 온도의 변화에서는 0.6 ~ 0.8로 높은 상관관계를 나타냄.
- 또한, 온도와 습도를 통해 계산되는 체감온도를 고려했을 때 온도의 상관성이 거의 유사한 반면, 강수량은 생활용수 취수량과 상관계수가 0~0.1로 나타나 예측인자로서 적합하지 않다고 판단
- 국내 생활용수 취수량의 자기상관성을 검토하기 위해 그림 24와 같이 편자기상관분석을 수행하였으며, 2일 전까지 상관계수 0.2 이상으로 현재 취수량에 영향이 있는 것으로

나타났으므로, 본 연구에서는 1일전과 2일전 취수량을 입력인자로 고려

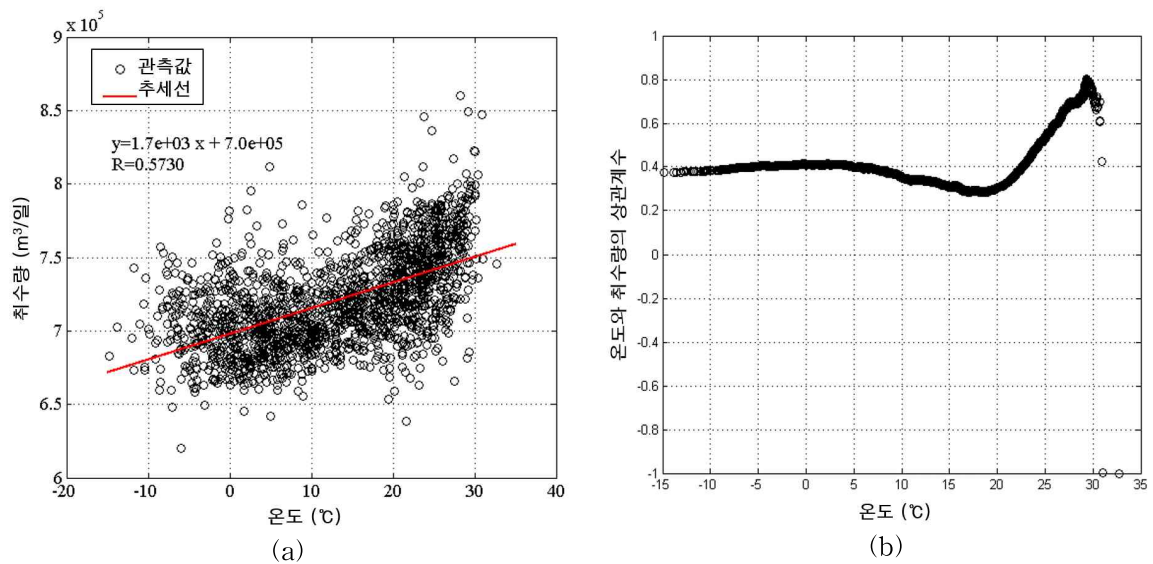


그림 23. 취수량에 대한 온도의 영향 검토: (a) 온도와 취수량의 관계, (b) 온도의 감소에 따른 온도와 취수량의 상관성 변화

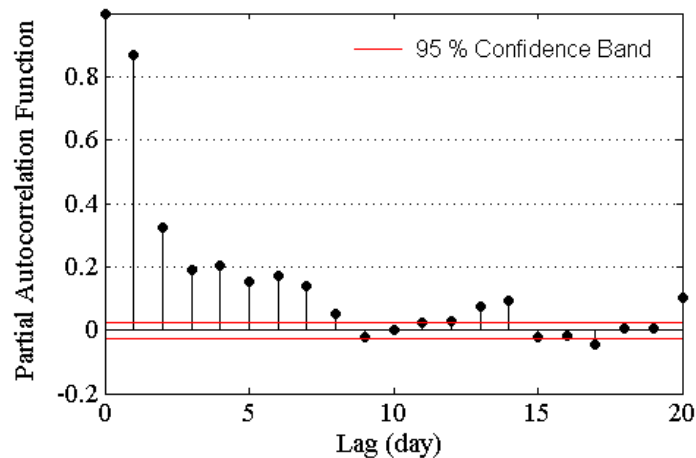


그림 24. 생활용수 취수량의 편자기상관분석 결과

- 관련된 선행 연구들에서 물수요 예측에 있어서 우수한 것으로 나타난 모델들은 ANNs, SVMs, 시계열분해모델 등이 있으며, 인공지능망이 주로 많이 적용됨을 확인. 따라서, 본 연구에서는 시계열분해모델, 인공지능망, SVM 모델을 적용하였으며, 시계열분해와 SVM을 결합한 모델을 개발
- 생활용수 취수량을 예측하기 위해 시계열분해기법을 통해 경향성분과 계절성분을 도출하였으며,

잔차성분 예측을 위해 SVM 모델을 적용하였으며, 모델링 과정은 그림 25에 도식화하였음.

- 자세히 설명하자면, 1) 학습을 위한 취수량자료를 시계열 분해 기법을 통해 경향성분, 계절성분, 잔차성분으로 분해, 2) 경향성분을 예측하기 위해 학습데이터 중 가장 최근의 부분 자료를 이용하여 도출된 2차 회귀식을 이용, 3) 계절성분을 예측하기 위해 시계열 분해 기법을 통해 추출된 365일에 대한 계절성분 값을 그대로 적용, 4) 잔차성분을 예측하기 위해 1일, 2일 전 취수량, 1일전 온도 값을 입력인자로 이용하며, 이들의 비선형적 관계를 반영하기 위해 SVM 모델을 사용, 5) 각각의 예측된 경향, 계절, 잔차 성분의 결합을 통해 미래의 취수량 값을 예측
- SVM의 성능은 커널함수에 따라 크게 달라질 수 있음에서 불구하고, 데이터에 따라 적합한 커널 함수를 선택하는 방법에 대한 이론이 존재하지 않는다는 적용상의 한계점이 있음 (Amari and Wu, 1995; Byun and Lee, 2002). 따라서, 자료의 특성에 따라 적절한 커널함수를 선정하기 위해 매개변수를 탐색하는 과정을 거쳐야 하며 본 연구에서는 grid-search 방식을 이용하여 매개변수를 선정

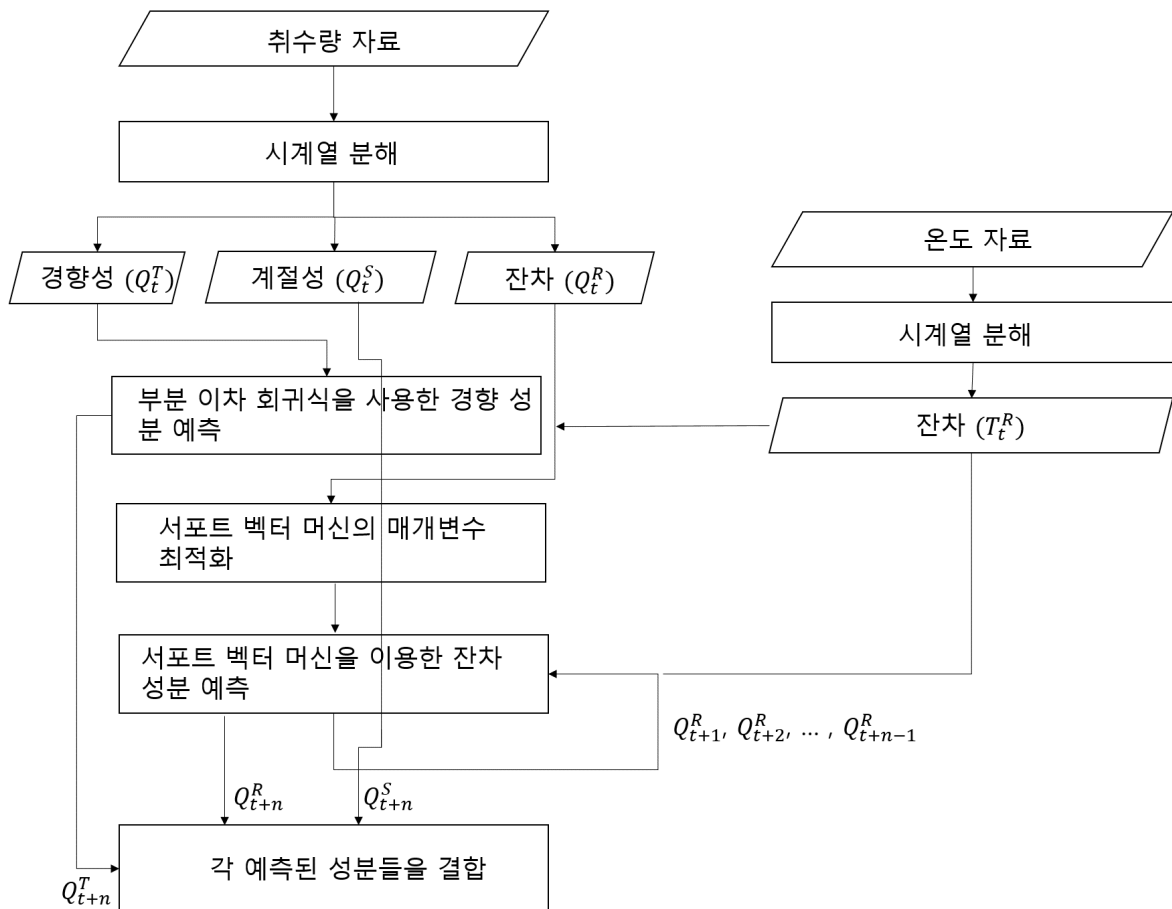


그림 25. 생활용수 예측 알고리즘

- SVM의 매개변수의 최적화 결과는 시설에 따라 Epsilon은 0.01, kernel scale은 $1 \times 10^{-11} \sim 1.5 \times 10^{-7}$ 의 범위에서 나타났으며, 에러와 margin 사이의 trade-off 값인 C는 550~50,000의 범위에서 나타남.
- 또한, 학습데이터에 편향적으로 적합도가 높은 현상을 의미하는 과적합(overfitting)을 방지하기 위해 10-fold 교차검증(cross-validation, CV) 기법을 사용
- 표 10에 모델링 수행대상인 4개의 생활용수 시설물의 평균, 표준편차, 왜도, 첨도, 변동계수를 제시하였으며, 왜도는 -0.4~0.2의 값을 나타내며, 첨도는 2.0~3.0의 값을 나타내므로 정규분포에 근접

표 10. 모델링의 사용된 생활용수 취수량 자료의 통계적 특성

	From	To	Train	Test	Ave.	SD	Skew.	kurt.	CV
I-1	2002	2017	4745	1095	756,232	56,059	0.11	2.69	0.07
I-2	2002	2017	4745	1095	2,922	936	-0.16	2.25	0.32
I-3	2002	2017	4745	1095	32,653	5,301	-0.38	2.93	0.16
I-4	2002	2017	2190	1095	13,196	1,293	-0.19	3.07	0.10

- MAE 값의 경우 시설별로 규모가 크게 달라 비교가 어려우므로 관측값의 평균으로 나누는 방식으로 표준화하여 검토함. 즉, 평균 사용량 대비 오차율을 나타내며 작을수록 좋은 모델임을 의미하며 0.2 이하가 권고. IoA 지표는 0~1 사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 관측값과 일치함을 나타내며 일반적으로 0.8 이상이 권고됨(De Jager, 1994; Barioni et al., 2014).
- 기계학습 모델인 순환신경망(RNN)모델 중 하나인 LSTM과 서포트벡터머신(SVM), 시계열분해 모형과 SVM모형을 결합한 모델(TDSVM)의 1일 예측 결과를 비교한 결과 (표 11), TDSVM이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 서포트벡터머신, 순환신경망 순으로 적합도가 높게 나타남.
- 모든 시설에 대해 IoA값은 0.8 이상으로 나타나므로 생활용수 취수량 예측에 적절한 모델인 것으로 평가되며, 시계열분해기법으로 전처리했을 때 일치도(IoA)가 평균적으로 0.86으로 나타남
- 본 연구에서 개발한 TDSVM 모델은 IoA 지표 기준으로 LSTM 모델보다 6 %, SVM 모델보다 2 % 개선효과가 있었으며, 1일예측의 경우 모델별 정확도가 유사하게 나타남

표 11. 사용된 기계학습 모형에 따른 정확도 비교

Lead time	Facility	MAE (%)			IoA		
		LSTM	SVM	TDSVM	LSTM	SVM	TDSVM
1day	I-1	3.32	2.81	2.56	0.88	0.92	0.94
	I-2	6.84	5.81	5.30	0.78	0.81	0.83
	I-3	6.27	5.31	4.19	0.65	0.77	0.84
	I-4	4.52	4.43	4.35	0.80	0.85	0.83

㉔ 생활용수 취수량 예측기간 연장

- 중장단기 예측의 가능성을 검토하기 위해 1~2 달로 예측기간을 증가시켜 모델별 정확도의 변화를 비교·검토하고자 하며 결과를 표 12과 그림 26에 제시하였음.
- 1일 예측 결과와 마찬가지로 TDSVM 모델이 가장 적합한 것으로 나타나며, TDSVM 모형은 일반적으로 IoA 0.8 이상, MAE 20 % 이하로 취수량 중단기 예측에 적절한 것으로 보임. 또한 1달에서 2달로 예측기간이 증가할 때 정확도가 0~13 % 감소.
- 생활용수 취수량 예측에 있어서 TDSVM모형은 시계열 분해시 LOESS 기법을 이용하여 최근(3년) 경향성을 반영한다는 점에서 시간에 대한 고려가 없는 SVM의 단점을 보완하여 다른 두 모델에 비해 중장기 예측에 상대적으로 유리한 것으로 판단됨.
- 1일 예측 결과와 달리 SVM 보단 LSTM이 모델링에 유리한 것으로 나타나는데 이는 SVM의 경우 시간에 대한 고려가 없는데 반해 LSTM은 게이트를 통해 과거자료의 입력값을 기억 또는 배제할 수 있기 때문인 것으로 보임.

표 12. 예측기간 연장에 따른 모델의 정확도

Lead time	Facility	MAE (%)			IoA		
		LSTM	SVM	TDSVM	LSTM	SVM	TDSVM
1달	I-1	4.80	4.60	3.71	0.6592	0.6890	0.8521
	I-2	8.96	8.84	6.57	0.6175	0.5699	0.8309
	I-3	6.92	6.71	4.75	0.5966	0.5548	0.7317
	I-4	6.58	6.41	5.34	0.5679	0.5482	0.8000
2달	I-1	5.64	5.24	3.71	0.4608	0.4651	0.8513
	I-2	9.86	10.36	6.57	0.4827	0.3399	0.8303
	I-3	7.15	7.55	4.75	0.4152	0.4068	0.7294
	I-4	7.03	6.87	5.34	0.3847	0.3096	0.8000

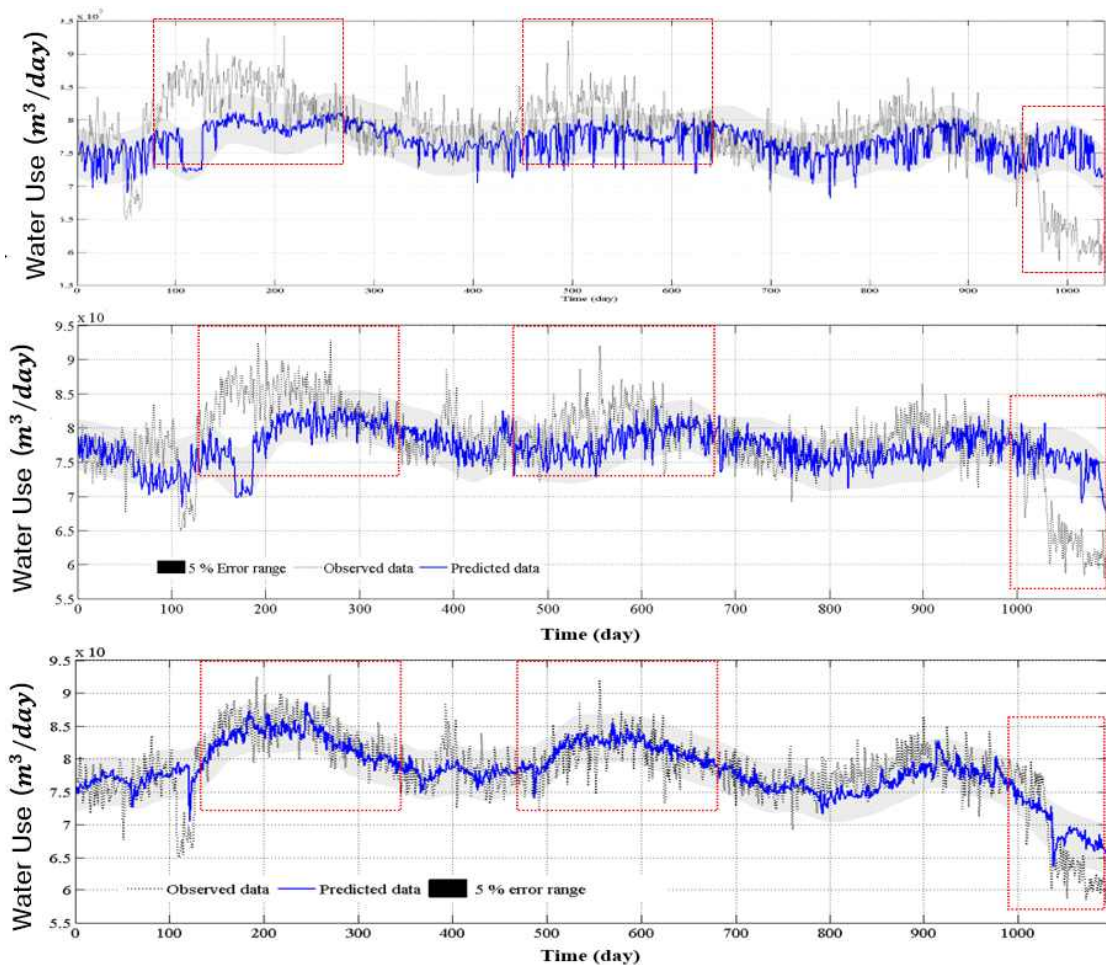


그림 26. 모델별 예측 결과(lead time=2 month, I-1): (a) LSTM, (b) SVM, (c) TDSVM

③ 하·폐수 방류량 예측 모델 개발

- 회귀수량은 물 수요를 충족시킨 후 다시 하천으로 유입되는 물의 양으로 수자원장기종합 계획에서 제시된 회귀율은 생활·공업용수의 회귀율은 65%, 농업용수의 회귀율은 35 %
- 국내의 한 선행연구(Song et al., 2015, Kwater, 2010) 결과, 농업용수 회귀율의 경우 32~86 %로 주로 35 %를 상회하며 지역에 따른 물공급시설, 기후, 경작물에 따라 차이가 있음. 생활용수 회귀율의 경우도 60~95.4 %으로 용수별로 일률적인 회귀율을 적용하여 산정하는 문제점
- 따라서, 하천수 사용관리 측면에서 회귀수량의 정확한 예측을 위해 모델을 개발할 필요

㉑ 개요

- 본 연구는 시계열 특성을 가지고 있는 하수종말처리장의 방류량 예측을 위한 최적의 기계학습 모형을 선정하기 위하여 시계열 자료 예측에 사용되는 주요 기계학습 모형(SVR, LSTM,

GRU) 별 예측정확도(accuracy of forecasting)를 평가

○ 예측기간을 단기와 장기로 나누었으며,

- 첫째, 자료기반의 방류량 예측모형 개발 및 다양한 기계학습 모형에 대한 방류량 예측 정확도 비교를 통하여 최적의 하·폐수 방류량 예측모형 선정(단기 예측: 1일)
- 둘째, 방류량 장기예측의 정확도 향상을 위한 하·폐수 방류량 예측용 학습자료 생성 최적화기법 개발 및 적용(장기예측: 1달)

㉠ 하·폐수 방류량 자료 취득 및 선별

- 하·폐수 방류량 자료의 경우 전국오염원조사에서 공개하고 있는 2012년 ~ 2018년 방류량 자료를 확보하였으며, 일자료를 방류시설별(전국, 4598개소)로 구분하여 DB 구축 완료
- 하·폐수 방류량 자료의 경우 정규분포를 이루고 있으므로 하·폐수방류량의 통계적 특성에 따라 가우시안 분포를 이용하여 이상치를 제거
- 청평댐 유역에 있는 하·폐수 방류량 3개소를 대상으로 하였으며, 총 7년간의 입력자료 중 6년간의 자료(2012년 ~ 2017년)를 학습 데이터(training data set)로 사용하였으며, 1년간의 자료(2018년)를 평가 데이터(test data set)로 설정. 데이터는 독립적으로 사용되며 학습데이터를 통해 학습 후 평가데이터 적용을 통해 모형의 예측결과와 비교하여 case별 방류량 예측모형의 성능평가를 RMSE 및 NSE로 비교
- 방류량 예측 시 사용된 입력자료는 강수량, 온도, 신청평대교 수위, 하수종말처리장의 유입량, 방류량이며, 각각 기상청, 한강홍수통제소 및 국립환경과학원에서 일 단위로 2012년부터 2018년까지 7년간 측정된 자료를 이용
- 방류량예측 모형의 정확도 및 학습속도의 향상을 위하여 입력 자료의 정규화를 수행하였으며, 정규화 방법은 MinMax 정규화를 통해 입력자료를 0~1의 값으로 스케일링

㉡ 하·폐수 방류량 예측 방식

□ 배경 이론

○ LSTM(Long Short-Term Memory)

- 순환신경망(Recurrent Neural Network, RNN)모형의 한 종류로서, 순환신경망은 현재 들어온 입력 자료와 과거에 입력 받았던 자료를 동시에 고려하는 모델로 시계열 자료 예측에 주로 사용
 - RNN 모형의 한계점인 최적화 오류 및 오차경사의 기울기 소실(vanishing gradient) 문제를 해결한 모형이 LSTM모형으로 은닉층이 보다 복잡한 구조로 구성
-

-
- LSTM 모형은 시간에 따라 상태(state)를 유지할 수 있는 메모리이동 셀(cell)과 셀의 안과 밖으로 데이터의 이동을 조절하는 세 개의 게이트로 구성: 입력게이트(input gate, i_t), 망각게이트(forget gate, f_t) 그리고 출력게이트(output gate, o_t)

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

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

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

여기서, σ 는 시그모이드 활성화함수를 나타내며, W_f 는 망각게이트의 가중치, b_f 는 망각게이트의 편향(bias), W_i, W_n 는 각각 입력게이트와 후보 셀의 가중치, b_i, b_n 는 입력게이트와 후보 셀의 편향, W_o 는 출력게이트의 가중치, b_o 는 출력게이트의 편향을 나타냄.

- 입력게이트의 경우 입력정보를 셀에 저장할 것인지를 결정하고 업데이트 하며, 망각게이트의 경우 입력정보의 유지여부를 결정하고, 출력게이트의 경우 셀 상태의 어느 부분을 출력하고자 하는지 결정하게 됨.

○ GRU(Gated Recurrent Units)모형

- Cho et al.(2014) 에 의하여 소개되었으며, LSTM 모형과 유사한 게이트 개념을 적용한 순환 신경망의 한 종류
- GRU 모형은 두 개의 게이트를 이용하여 입력을 연산하며 각각의 게이트는 갱신게이트(update gate, u_t)와 초기화게이트(reset gate, r_t)로 구성(그림 27)
- 갱신게이트는 과거의 셀 상태와 현재의 셀 상태 중 어느 값에 더 가중치를 주는가를 결정하며, 초기화게이트를 통해 과거 시점의 셀 상태를 새로운 현재 시점의 출력 후보 셀에 얼마나 포함시킬 것인지 결정

$$u_t = \sigma(W_u \cdot [C_{t-1}, x_t] + b_u)$$

$$r_t = \sigma(W_r \cdot [C_{t-1}, x_t] + b_r)$$

여기서, σ 는 시그모이드 활성화함수, W_u 는 갱신게이트의 가중치, C_{t-1} 은 과거 시점의 셀 상태, x_t 는 현재 시점의 입력 값, b_u 는 갱신게이트의 편향을 의미, W_c 와 b_c 는 가중치 및 편향을 나타내고, r_t 는 초기화게이트 값, W_r 와 b_r 은 초기화 게이트의 가중치 및 편향을 의미

- 최종적으로 연산한 결과를 토대로 현재시점의 출력 셀 상태를 결정하며 아래식으로 나타냄.

$$C_t = u_t N_t + (1 - u_t) C_{t-1}$$

여기서, N_t 는 현재 시점의 출력 후보 셀 상태

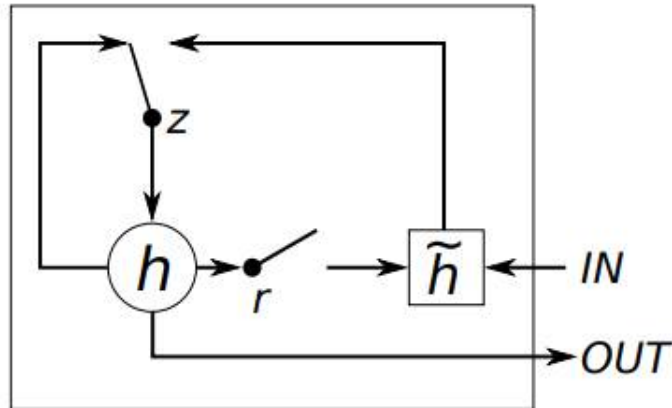


그림 27. GRU 모형 구조 (Cho et al., 2014)

□ 하·폐수방류량 예측 모델

- 수집된 입력자료(강수량, 온도, 수위, 유입량, 방류량)가 방류량 예측 시 필요한 주요한 인자인지 판단하기 위하여, 구축한 입력자료 별 t -test 분석 및 p -value를 도출하였으며, 예측인자인 방류량과 입력자료 간의 선형적 관계분석을 위해 상관성분석 수행(표 13)
- 일반적으로 p -value의 값이 0.05 이하의 값을 가지면 그 인자는 유의미한 인자로 판단할 수 있으나, 두 집단의 평균 차이를 표현하는 효과크기(effect size)는 p -value의 값에 영향을 크게 미치기 때문에 효과크기의 값을 고려하여 유의미한 인자를 판단해야 함(Ruxton, 2006).
- t -test 분석 및 p -value 도출 결과 강수량 및 수위는 온도와 하수종말처리장의 유입량 및 방류량에 비해 효과크기 값이 크기 때문에 p -value 값이 작게 산정되었다고 판단되어 방류량 예측 시 온도, 유입량 및 방류량 자료에 비하여 가중치를 작게 설정

표 13. 입력자료의 t -test 분석 및 상관성 분석

입력자료	t -score	p -value	effect size	PCC*	Significant Factor**
강수량	438.24	~0.00	12.25	0.23	○
온도	9.20	~0.00	0.26	0.97	◎
수위	438.26	~0.00	12.25	0.28	○
유입량	9.30	~0.00	0.26	0.96	◎
방류량	9.80	~0.00	0.27	0.91	◎

* PCC = Pearson Correlation Coefficient

** Weight : ○ = 1.0, ◎ = 2.0

- 또한 그림 28에서 제시된 바와 같이 다양한 상관분석을 수행한 결과 하·폐수방류량의 2일 전까지의 방류량이 유의한 상관이 있는 것으로 분석

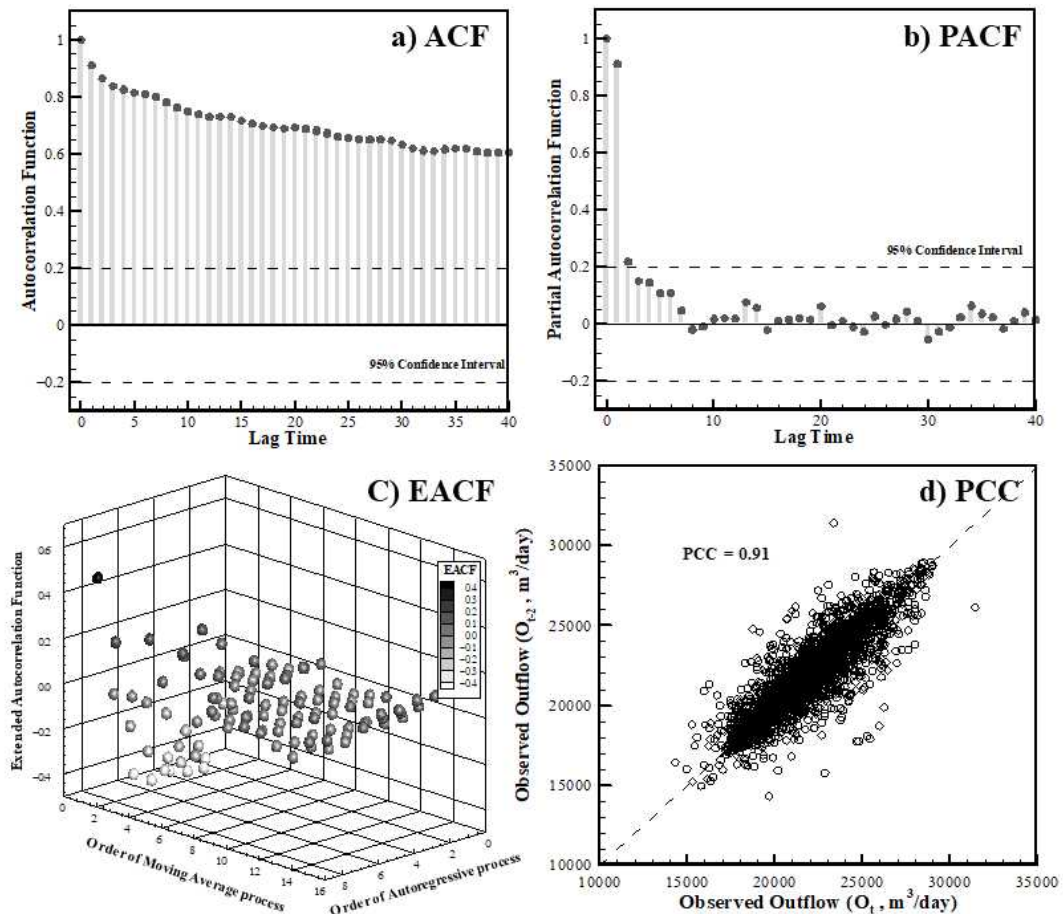


그림 28. a) 자기상관계수, b) 편자기상관계수, c) 확장 자기상관계수, d) 하수종말 처리장 방류량의 상관성 분석

- 시나리오에 따라 모의를 수행하기 위하여 총 7년간의 입력자료 중 6년간의 자료 (2012년 ~ 2017년)를 학습 데이터(training data set)로 사용하였으며, 1년간의 자료(2018년)를 평가 데이터(test data set)로 설정
- 본 연구에서는 다양한 방류량 예측모형의 성능을 평가하기에 앞서 SVR 모형, LSTM 및 GRU 모형 내에 있는 여러 인자에 대하여 민감도 분석을 수행, 각 예측 모형별 도출한 매개변수의 최적 값을 적용하고자 함.

- 각 모형 내에서 설정 가능한 인자는 총 4가지로 각 인자별 민감도 분석을 수행할 Case를 표 14에 정리하였으며, 각 인자별로 30번의 반복과정을 통하여 인자별 불확실성을 표준편차로 나타냄.

표 14. LSTM, GRU & SVR 모형 민감도 분석 조건 (*: 참조 값)

매개변수	모형	값	평가지표
Hidden Layer	LSTM GRU	1*,3,5,10,20	Standard deviation (Uncertainty)
Learning Rate		0.005,0.01*,0.02,0.05,0.1	
Sequence Length		1*,2,3,5,10	
Iterations		10,100*,1000,5000,10,000	
C	SVR	1, 3*, 5, 10, 100	
epsilon		0.01,0.05,0.1*,0.5,1.0	
kernel		linear, poly, rbf*, sigmoid	
tolerance		0.0000001,0.00001,0.001*,0.1	

- 표 15와 같이 민감도 분석 결과 본 연구에서 예측 모형별 선정된 인자별 최적의 값은 LSTM 모형의 경우, Hidden Layer 개수 10개, Learning Rate 0.05, 반복계산 횟수 1000번, 시퀀스 길이는 2일로 나타남,
- GRU 모형의 경우, Hidden Layer 개수 20개, Learning Rate 0.10, 반복계산 횟수 1000번, 시퀀스 길이는 2일로 나타남.
- SVR 모형의 경우, Coefficient 1.0, Epsilon 0.10, Kernel은 radial basis function, Tolerance 0.001로 나타남(표 16).

표 15. LSTM과 GRU의 인자에 대한 민감도 분석 결과

Parameter	Value	Uncertainty (m ³ /day)	
		LSTM	GRU
Hidden Layer	1	1858.29	1842.39
	3	1539.92	1368.80
	5	1444.92	1405.67
	10*	1385.71	1362.85
	20**	1424.09	1357.50
Learning Rate	0.005	1956.74	2195.74
	0.01	1858.29	1842.39
	0.02	1507.38	1714.72
	0.05*	1348.23	1366.06
	0.10**	1622.78	1350.09
Sequence Length	1	1858.29	1842.39
	2*,**	1503.39	1509.37
	3	1520.32	1641.64
	5	1785.88	1857.33
	10	1880.99	1915.30
Iterations	10	2274.08	2280.95
	100	1858.29	1842.39
	1000*,**	1297.30	1293.21
	5000	1311.20	1315.21
	10000	1301.32	1303.72

*: Optimal value for outflow forecasting model(LSTM)

**: Optimal value for outflow forecasting model(GRU)

표 16. 민감도 분석결과 요약 (SVR)

Parameter	Value	Uncertainty (m ³ /day)
Coefficient	1*	1283.56
	3	1286.85
	5	1303.10
	10	1345.39
	100	1681.27
Epsilon	0.01	1342.43
	0.05	1322.31
	0.10*	1286.85
	0.50	2279.90
	1.00	2279.90
Kernel	linear	1287.85
	polynomial	1526.09
	rbf*	1286.85
	sigmoid	2399.2
Tolerance	0.0000001	1287.75
	0.00001	1287.74
	0.001*	1286.85
	0.1	1402.75

*: Optimal value for outflow forecasting model(SVR)

- 본 연구는 각각의 기계학습 모형별 하수종말처리장의 방류량 예측 정확도를 비교하여 최적의 모형을 선정 및 장기예측 가능성을 확인하기 위하여 모의 Case를 설정하였고 표 17에 정리

표 17. 단기 예측 및 장기 예측 모형 Case

Case	하수종말 처리장	기계학습 모형	예측 종류	비고
I-(1)	화도	SVR	단기예측 (1 day)	-
I-(2)		LSTM		
I-(3)		GRU		
II-(1)	삼봉	SVR		
II-(2)		LSTM		
II-(3)		GRU		
III-(1)	서중	SVR		
III-(2)		LSTM		
III-(3)		GRU		
IV-(1)	서중	GRU	장기예측	변동성 미고려
IV-(2)			(1 month)	변동성 고려

- 학습 데이터를 통하여 학습 후 평가데이터 적용을 통해 모형의 예측결과와 관측결과를 비교하여 Case 별 방류량 예측모형의 성능평가를 RMSE 및 NSE로 비교하여 표 18에 결과를 정리. 또한 모형별 예측결과와 관측결과를 비교하여 그림 29와 그림 30에 제시

표 18. 각 Case 별 방류량 예측 결과 (평가지표)

Case	RMSE (m ³ /day)	NSE
I-(1)	1,425	0.61
I-(2)	830	0.87
I-(3)	804	0.88
II-(1)	89	0.54
II-(2)	39	0.91
II-(3)	37	0.92
III-(1)	158	0.41
III-(2)	93	0.80
III-(3)	80	0.85

- 학습 데이터를 통하여 학습 후 평가데이터 적용을 통해 모형의 예측결과와 관측결과를 비교한 결과 GRU 모델이 가장 우수한 것으로 나타남(표 18, 그림 29참고)

-
- SVR 모형은 화도, 삼봉, 서중 하수처리장의 방류량에 대한 RMSE가 각각 1,425, 89, 158 m³/day, NSE가 0.61, 0.54, 0.41로 나타남.
 - LSTM 모형은 RMSE가 각각 830, 39, 93 m³/day, NSE가 0.87, 0.91, 0.80로 나타남.
 - GRU 모형의 경우, RMSE가 각각 804, 37, 80 m³/day, NSE가 0.88, 0.92, 0.85로 방류량 예측 정확도 측면에서 가장 우수한 것으로 확인
 - LSTM과 GRU 모형의 오차가 SVR 모형에 비하여 작은 원인으로는 방류량의 자기상관성 분석 시 2일 전까지의 방류량이 유의한 상관이 있는 것으로 분석되었으며(그림 28 참고), 이후의 선행시간을 고려할 경우 예측 정확도가 떨어질 것으로 판단되는데 LSTM과 GRU 모형의 경우, 각각 게이트(LSTM의 경우 input, forget, output, GRU의 경우, reset, update)를 통하여 시퀀스를 효율적으로 기억해줄 수 있기 때문에 모형의 성능이 뛰어난 것으로 판단
 - 또한 GRU 모형이 LSTM 모형 보다 예측정확도가 높은 원인으로는 GRU 모형은 출력게이트가 존재하지 않기 때문에 과거의 예측 값에만 영향을 받게 되고 또한 본 연구에서 구축된 입력 자료의 수가 적기 때문에 적은 입력자료 수에서도 학습이 가능한 GRU 모형의 예측정확도가 LSTM 모형보다 우수하다고 판단(Chung et al., 2014; Jozefowicz et al., 2015).
 - LSTM 모형의 경우 출력게이트(output gate)를 통하여 현재 예측이 다음 예측에 얼마나 영향을 줄 건지 정하게 되고, 학습에서 발생된 오차가 중첩되어 예측 값의 오차가 커질 수 있음.
 - 그러나 본 연구에서 적용된 모든 예측 모형은 극값 주변에서 과소 및 과대 산정되는 결과를 확인하였다. 이는 현재 구축되어진 LSTM 및 GRU 모형의 일반적인 기울기 손실(vanishing gradient)로 인한 문제이며, 이에 대한 문제를 해결하기 위해서는 극한사상(event)에 대한 입력 자료의 수가 많이 구축되어야 하며, 현재 구축된 자료의 최소 시간 단위를 일 단위에서 시 단위 또는 분 단위로 축소시켜야 될 것으로 판단
-

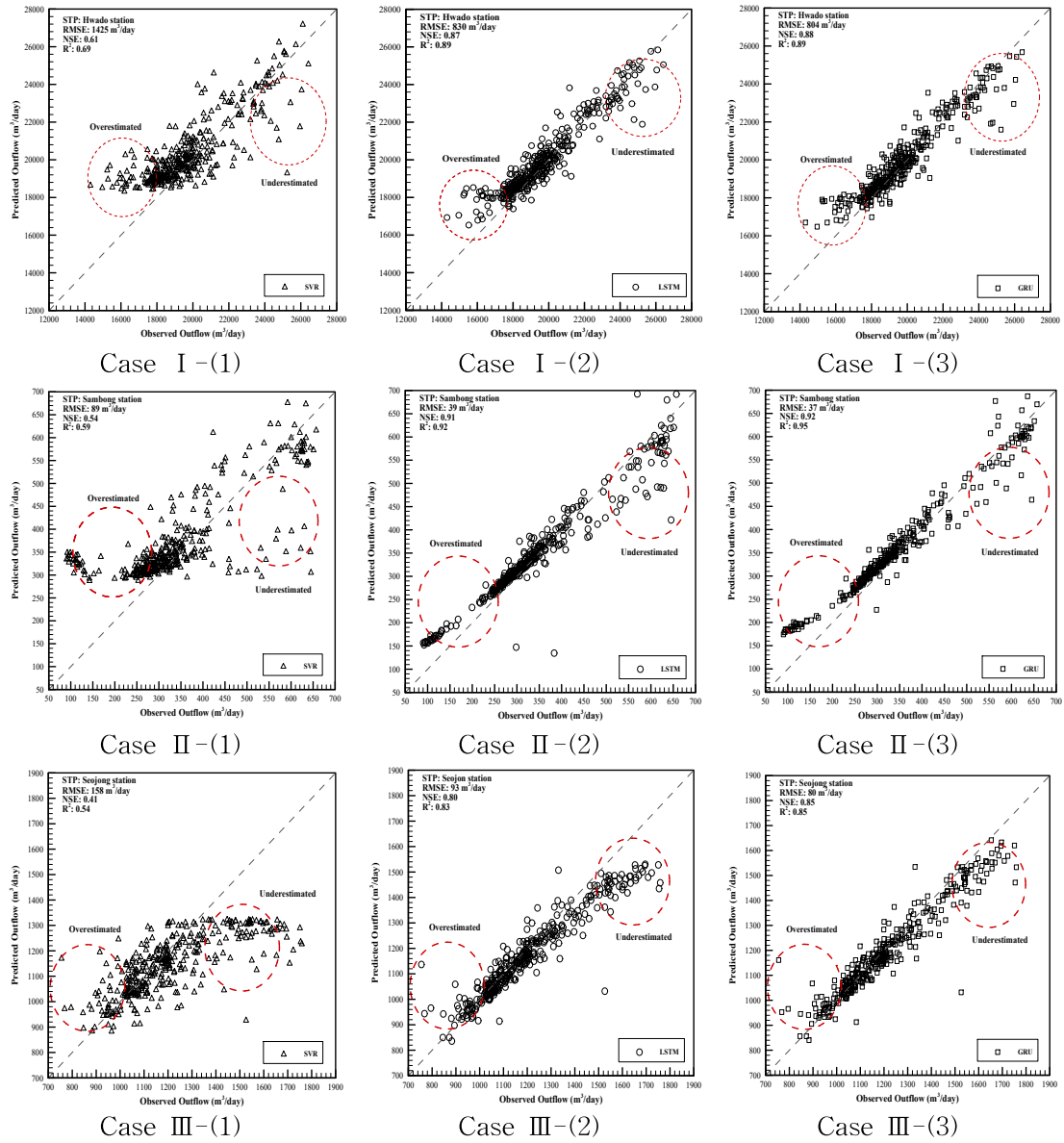


그림 29. 기계학습 모형 별 산포도 결과

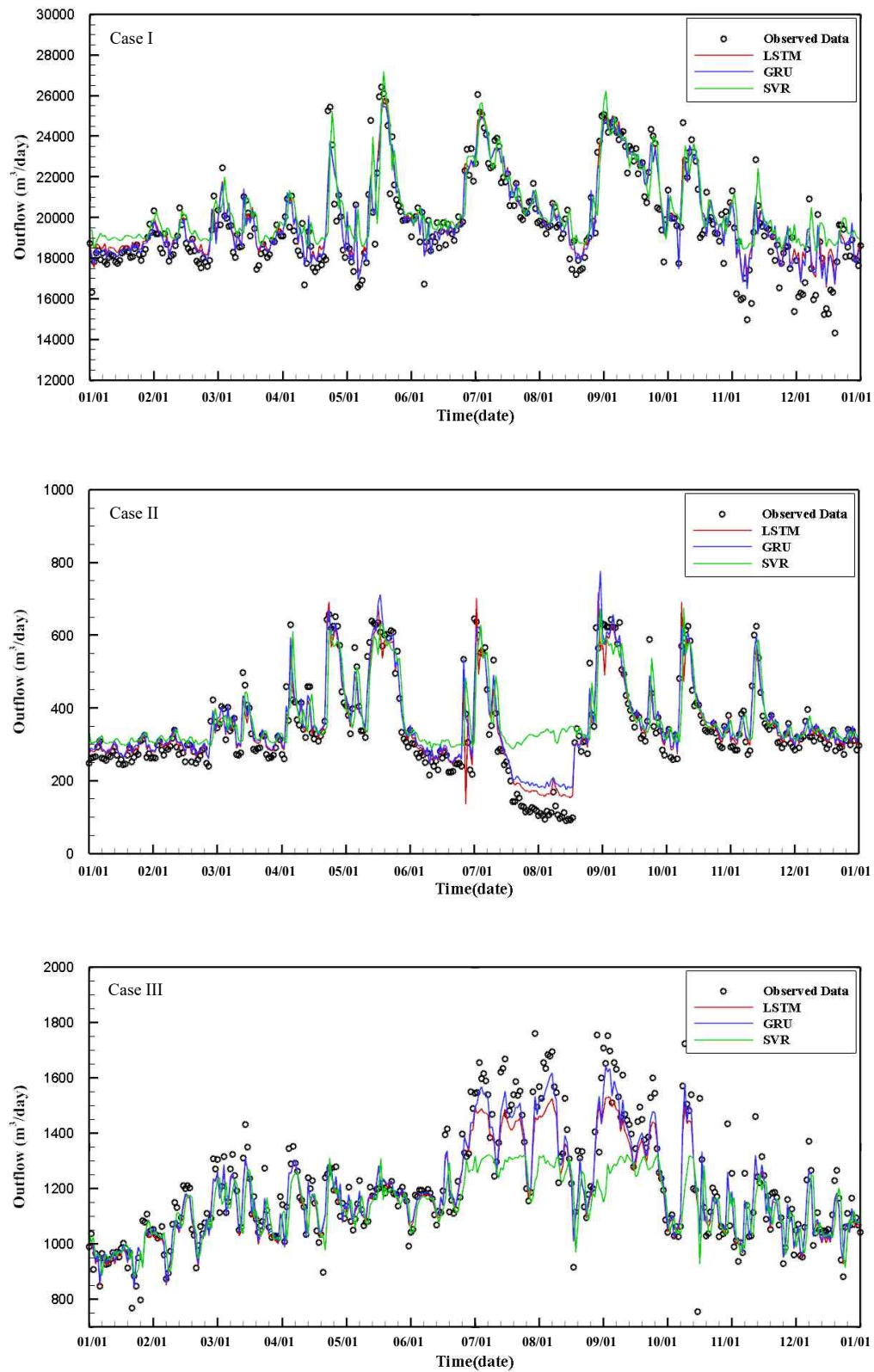


그림 30. 기계학습모형 별 방류량 예측 결과

㉔ 하·폐수 방류량 예측 기간 연장

- 앞서 GRU 모형이 하수종말처리장 방류량 예측에 최적의 모형임을 확인하였으며, 방류량 장기예측의 정확도 향상을 위한 변동성 분포 최적화기법 개발 및 적용
- 방류량 자료의 최적 분포형태를 카이제곱 검정(chi-squared test)을 통하여 선정하였으며, 관측 값과 분포사이의 잔차(residual)의 경우, 복합삼각함수 형태로 가정하여 다음 식과 같이 나타냄

$$r(x) = a_1 \sin(a_2 x) + a_3 \cos(a_4 x)$$

여기서, $r(x)$ 는 관측 값과 확률분포 사이의 잔차(residual)이고, $a_1 \sim a_4$ 는 상수 값

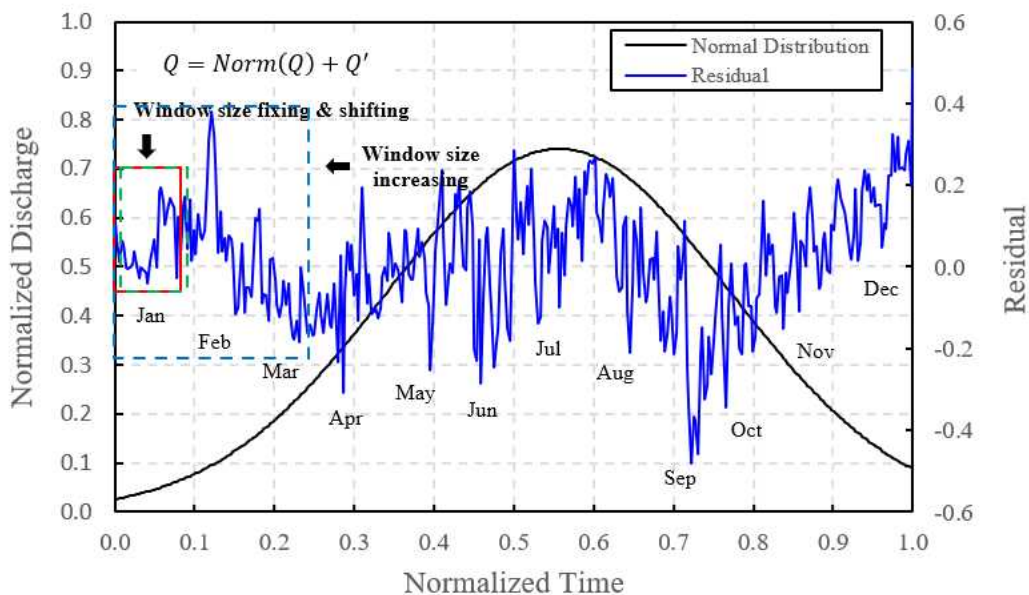


그림 31 시계열 자료의 변동성 분포구성 예시

- 변동성 성분의 경우, 학습기간의 방류량 자료를 이용하여 총 5개의 분포형(Weibull, Gumbel, Normal, GEV, Gamma)을 검토하였으며, 각 분포별 오차는 표 19에 정리
- 관측 값과 비교 시 정규분포 형태가 RMSE 값이 가장 최소로 나왔으며, p -value 값이 0.05 보다 크므로 유의미 하지 않은 관계를 나타나 본 연구에서는 변동성 성분으로 정규분포를 선정하여 학습 자료를 구축

표 19. 변동성 성분 검토 시 최적분포 결과

분 포	RMSE (m ³ /day)	p-value	최적 분포선정
Weibull	816.0	~0.00	◎
Gumbel	820.2	~0.00	
Normal	813.1	0.06	
GEV	818.7	~0.00	
Gamma	818.6	~0.00	

- 또한 정규분포로 부터의 변동성 부분은 최적의 값을 도출한 결과 계수 $a_1 \sim a_4$ 의 값 표 20에 정리

표 20. 변동성 성분(복합삼각함수) 최적계수 산정 결과

계 수	값	p-value	적합성 여부
a_1	-0.36	0.007	O
a_2	100.05	~ 0.00	O
a_3	0.22	0.036	O
a_4	200.02	~ 0.00	O

- 학습 데이터를 통하여 학습 후 평가데이터 적용을 통해 모형의 예측결과와 관측결과를 비교하여 Case 별 방류량 예측모형의 성능평가를 RMSE 및 NSE로 비교하여 표 21에 결과를 정리. 또한 모형별 예측결과와 관측결과를 비교하여 그림 32과 그림 33에 제시
- 변동성을 고려하지 않을 경우, 하·폐수 방류량의 RMSE는 889.26 m³/day, NSE가 0.18로 나타났고, 변동성을 고려하였을 경우 하·폐수 방류량의 RMSE는 819.43 m³/day, NSE가 0.72로 나타남.
- 변동성을 고려하였을 경우, 정확도 상승한 원인으로는 정규분포 형태가 계절성을 간접적으로 재현하였기 때문이라고 판단

표 21. 변동성 고려 유무에 따른 방류량 예측 결과

Case	RMSE (m ³ /day)	NSE
IV-(1)	889.26	0.18
IV-(2)	819.43	0.72

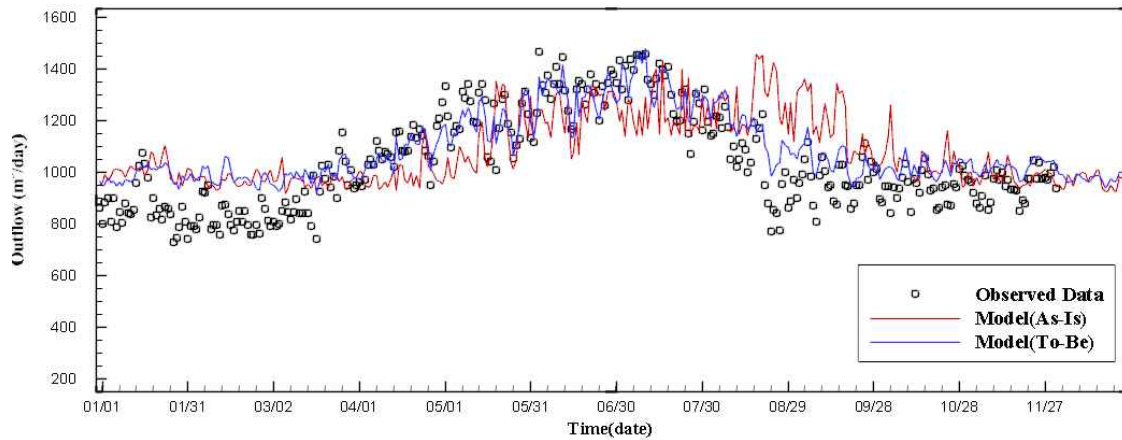


그림 32. 변동성 고려유무에 따른 방류량 예측 결과

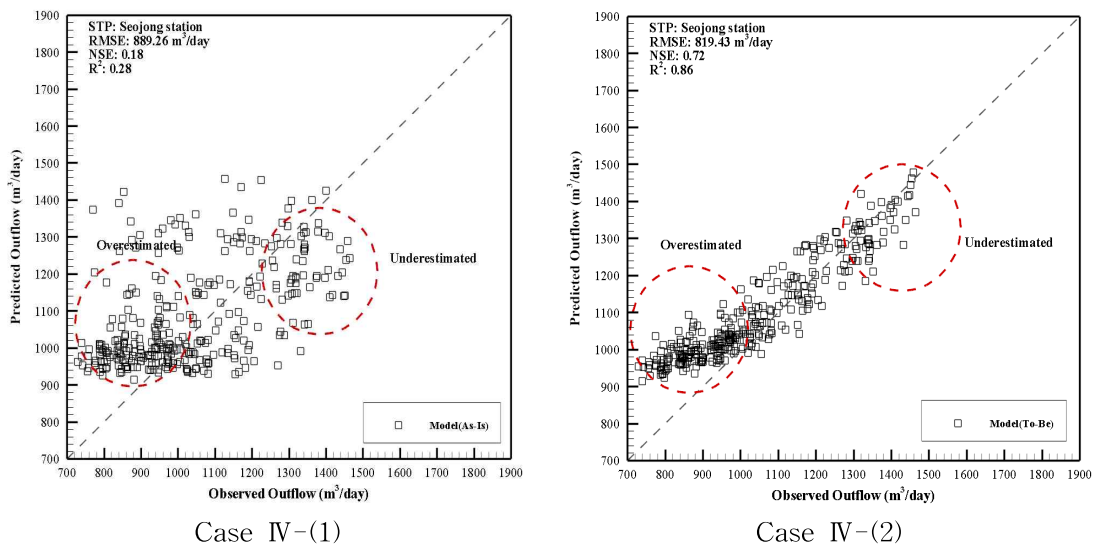


그림 33. 변동성 고려유무 별 산포도 결과

- 기존의 물수지 분석 시 용수별 회귀율을 통하여 일률적으로 회귀수량을 산정하는 방법과 비교하여 기계학습을 통하여 본 연구에서 구축한 방류량 예측 모형을 적용할 경우 상대적으로 정확한 방류량 예측을 통하여 합리적인 하천수 관리체계 구축이 가능할 것으로 판단
- 향후에는 예측하고자 하는 대상지의 용수이용량 검토를 추가적으로 고려하고 자료의 최소시간 단위를 축소시켜 본 연구에서 제안한 모형의 예측 결과를 이용하면, 기후변동성에 대비하여 실시간 가용수량을 보다 정확히 확인할 수 있을 것으로 기대

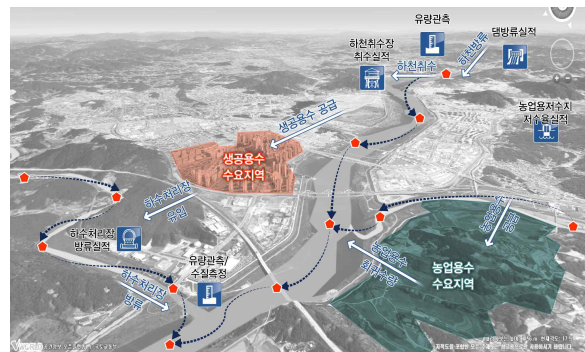
③ 하천 물수지 분석을 통한 이용효율 평가

㉠ 개요

- 수자원 분야에서 물순환 또는, 물수지 분석은 크게 두 가지 측면 고려 가능
 - (수평적 물수지 분석) 수문기상학적인 측면에서의 물수지 분석. 이는 강수, 증발 및 증산, 침투 및 침투, 하천유출 등 수문순환 과정을 구성하는 각각의 요소에 대한 균형 검토를 수행하는 분석 과정을 의미
 - (수직적 물수지 분석) 수자원 관리(이수) 측면에서의 개념. 이는 분석 대상 유역 또는 하천구간에서 요구되는 물 수요와 공급 가능한 물의 양에 대한 균형 검토를 수행하여 수요 대비 부족 발생 여부 등을 판단하기 위한 분석 개념
- 하천수 관리 측면의 물수지 분석은 수평적 물순환을 의미하며, 대상 유역 또는 하천구간에서 특정 시기에 대해 분석을 수행한 후 물 부족이 예상될 경우, 이에 따른 대안을 마련하고 그 효과를 검토하기 위해 이용



(a) 수직적 물수지 분석



(b) 수평적 물수지 분석

그림 34. 물수지 분석의 개념

㉡ 물수지 분석 방법

* 물수지 분석 방법과 관련하여 한강홍수통제소(2020)에서 제시한 방법을 정리

□ 용어의 정의

- (가용유량) 하천수 사용허가 가용유량은 「허가기준유량」에서 「하천관리유량」을 뺀 나머지 유량(음수일 경우에는 0으로 판단)
- (허가기준유량) 하천에서 항시 안정적으로 흐를 것으로 기대되는 유량으로 하천수 사용허가의 기준이 되는 갈수량
- (하천관리유량) 하천의 정상적인 기능을 유지하기 위해 필요한 유량으로서 하천유지유량과

하천수 허가량의 합

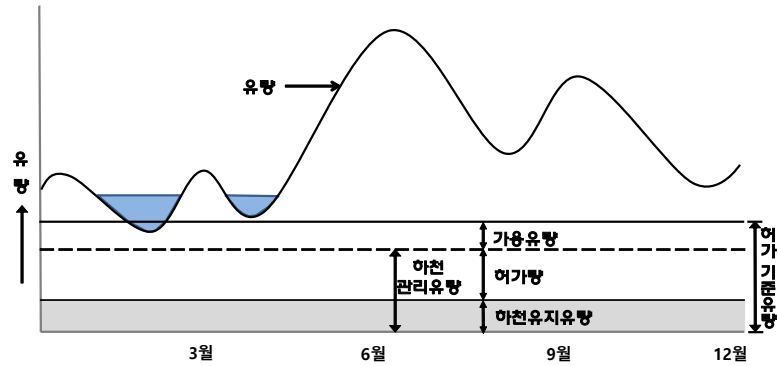


그림 35. 물수지 분석에 사용되는 주요 용어

□ 관리유량 산정

- 유입량, 취수량, 환원량 등을 고려하여 구분된 하도의 유지유량 및 하천수사용량을 만족하는 유량을 대표지점에서 산정
- 연중 일정한 값을 설정할 수 있으나, 하천유지유량과 하천수 사용의 시기별 양상을 감안하여 기간을 구분하여 설정

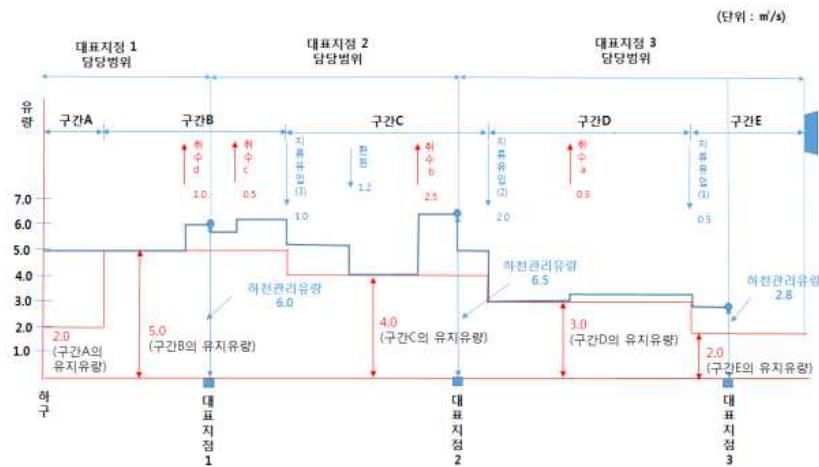


그림 36. 관리유량(청색) 산정 예시

- 현재 시행하고 있는 하천수 허가 기준에서는 관측갈수량 대신 기준갈수량*을 사용하며 취수량은 하천수 허가량, 회귀량의 경우 취수량에 회귀율(생활·공업용수: 65%, 농업용수: 35%)을 적용하여 산정

* 수자원장기계획 보완(2006)에서 사용된 자연유량자료(1967~2003년; 37년)를 2005년까지 확장하여 중권역별 10년 빈도 갈수량을 산정하고, 면적비를 이용하여 표준유역별로 산정

○ 관리유량 산정과 이용효율 산정시 적용 자료

- 관리유량 산정에는 유입량으로는 기준갈수량, 용도별 회귀량 고려, 사용량으로는 허가량 (기존방법)과 본 연구의 예측값을 적용한 경우에 대해 비교
- 이용효율은 각 시설의 실 사용량과 허가량의 비율로서 허가량을 연간 일정값을 적용하는 기존 방법과 금회 연구에서 제시한 예측값을 적용하는 경우 이용효율의 변화 분석

㉔ 시범하천 적용

- 시범하천은 여주시(남한강교)수위표~팔당댐 구간(그림 5)
- WINS에서 제공하고 있는 댐방류량, 유입량(m^3/d) 사용하였으며, 기상청, 한강홍수통제소, 국립환경과학원에서 제공하고 있는 기후 및 취·방류수량의 2017년 자료를 확보하였으며, 취·방류량은 학습을 위해 과거자료 이용
- 시범하천 구간 내에서 조사되어 있는 시설물은 표 22와 같으나, 그 중 규모가 작아 보고 대상이 아닌 시설, 보고 대상이나 취수 없음(0)으로만 보고되는 시설, 관측기간이 5년 이내로 짧은 시설(1개소)은 모델링에 적합하지 않으므로 배제하였으며, 농업용수와 생활용수 사용시설 각각 9, 6개소 적용
- 물수지분석을 위한 시범구간의 하천수사용 시설물의 위치는 그림 34에 제시되어 있는데, 생·공·농업용수는 각각 삼각형·원형·사각형으로 제시하였으며, 이번 연구에서 개발한 기법을 적용한 대상은 생활용수와 농업용수를 각각 파랑과 초록으로 구분
- 한강 상류유역으로 하·폐수시설이 적고 취수시설이 상대적으로 많으며, 주변이 주로 농업 지역으로 구성되어 농업용수 시설의 개소수와 취수량이 많고 도시가 인접하여 하류에 생활용수 취수량이 큰 특징
- 하·폐수 방류량은 기존방법과의 일관성 유지를 위하여 고려하지 않고 회귀율을 고려

표 22. 시범하천 유입/유출 지점 및 관측시설

하천 유입/유출 구분		지점/개소수	평균유량 (m^3/d)
관측시설	수위, 유량	6	-
사용시설	생활용수 취수시설	8	68.25
	농업용수 취수시설	23	13.99
	공업용수 취수시설	4	1.46
	하·폐수방류시설	6	0.70
지류유입		12	79.90
표준유역유출량		14	23.57

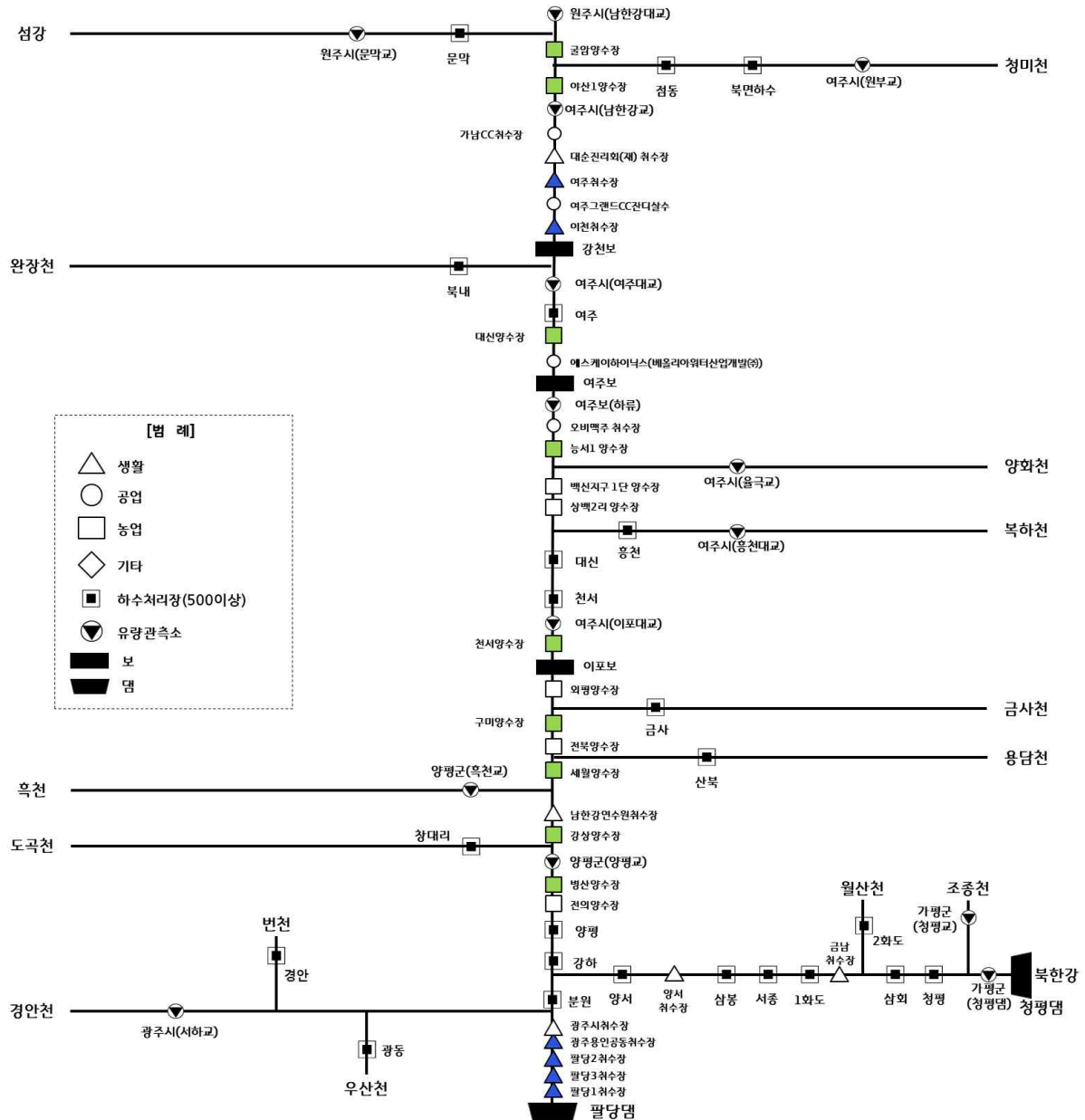


그림 37. 시범구간 모식도

- 개발된 모델을 시범하천에 적용하였을 때 예측 정확도를 표 23에 제시하였으며, 농업용수의 경우 84.6 %의 정확도를 나타내며, 생활용수는 4.1 %, 하·폐수 방류량은 5.0%로 표준화된 평균절대오차 값이 5 %이내에서 사용량 및 방류량의 예측이 가능하였음.

표 23. 시범하천 구간 내 시설별 예측 정확도

	Accuracy	Sensitivity	Specifity
Irrigation facilities	84.9%	87.2%	81.5%
	86.9%	92.3%	81.7%
	81.0%	100.0%	66.7%
	83.6%	92.3%	72.1%
	90.1%	90.7%	89.3%
	88.0%	94.4%	77.4%
	77.4%	94.2%	66.7%
	86.1%	98.6%	71.4%
	83.0%	94.4%	69.8%
	Standardized MAE		
Residential facilities		4.4%	
		5.2%	
		2.5%	
		4.1%	
		4.3%	
	Standardized MAE		
Wastewater facilities		3.2%	
		3.4%	
		6.1%	
		3.9%	
		4.4%	
		9.2%	

㉠ 이용효율 산정

- 본 연구에서는 사용량과 허가량의 비를 이용효율로 정의하였으며, 이용효율이 높을수록 하천수를 적절하게 관리하는 것으로 판단할 수 있음
- 시나리오 상에서 일일 허가량은 예측 값으로 대체하여 기존의 허가량을 사용하는 방식에서 이용효율의 개선정도를 검토하고자 함. 이 때, 예측 시 발생하는 무작위성 잔차를 고려하여 일일 허가량은 예측 값의 110 %로 설정하였음.
- 그림 38에서 제시한 바와 같이 이용효율 검토 결과 농업용수는 모든 시설에서 약 18.7 % 정도의 낮은 이용효율을 나타냈으나, 예측 모델링을 통한 개선된 물관리 방안에서는 평균 69.1 %, 범위는 50 % ~ 87 %에서 나타남. 농업용수의 경우 관개기에만 물을 취수하는 경향이 있으며 날씨와 농작물 생장에 따른 필요수량의 영향을 받아 변동 폭이 크므로 개선에 따른 효과도 50.3 %로 크게 나타남.
- 그러나 농업용수의 경우 취수량이 크고 취수유무에 따른 변동성이 크다는 점에 주의가 필요하며, 주요 설명변수인 강수량의 장기예측이 어렵기 때문에(Hyun et al., 2020) 예측기간의 연장에 한계가 있음.

- 생활용수는 기존허가시스템에서 평균 61.5 %의 이용효율을 가지며, 개선 후에는 평균 88.2 %, 범위는 80 ~ 90 %로 나타남. 즉, 26.7 %의 개선 효과를 나타내며, 자기상관성이 높아 농업용수보다 장기 예측이 유리하다는 점에서 현장적용에 이점이 있음.
- 생활용수의 경우 그림 39과 같이 1년 전체에 걸쳐 균일한 정도의 이용효율 개선효과
- 농업용수의 경우 그림 40와 같이 모든 시설에서 비관개기에 개선효과가 있었으며, 관개기에는 높은 강수량으로 인해 관개량이 감소하는 7 ~ 8월에 이용효율 개선효과 나타남
- 녹조가 빈발하는 7, 8월 등에 수질개선 용수 활용 등이 가능할 것으로 기대

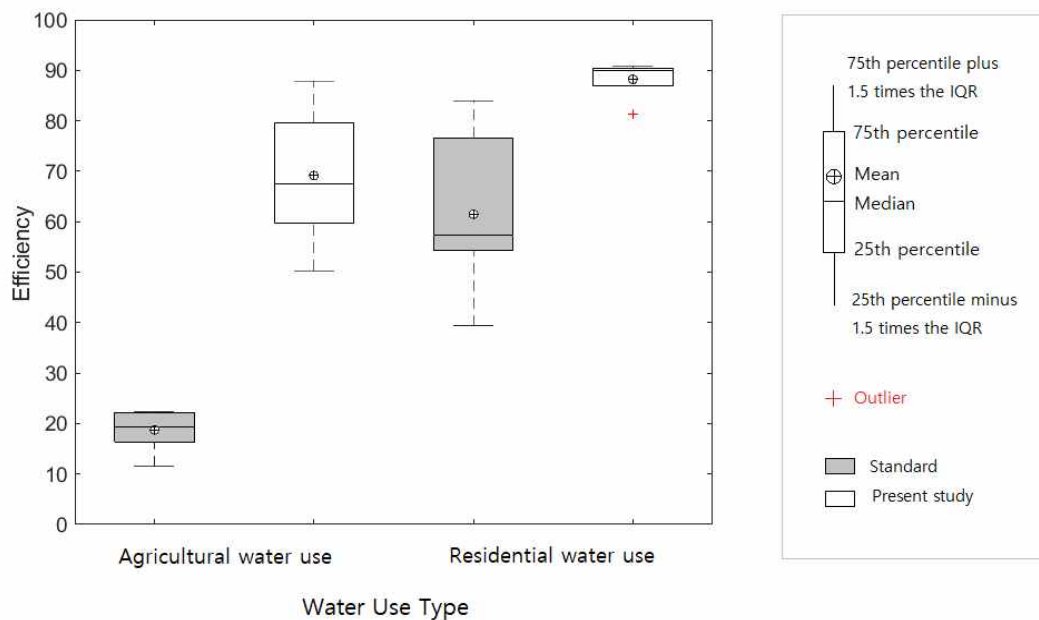


그림 38. 물수요 예측 모델 적용에 따른 시설의 이용효율 변화

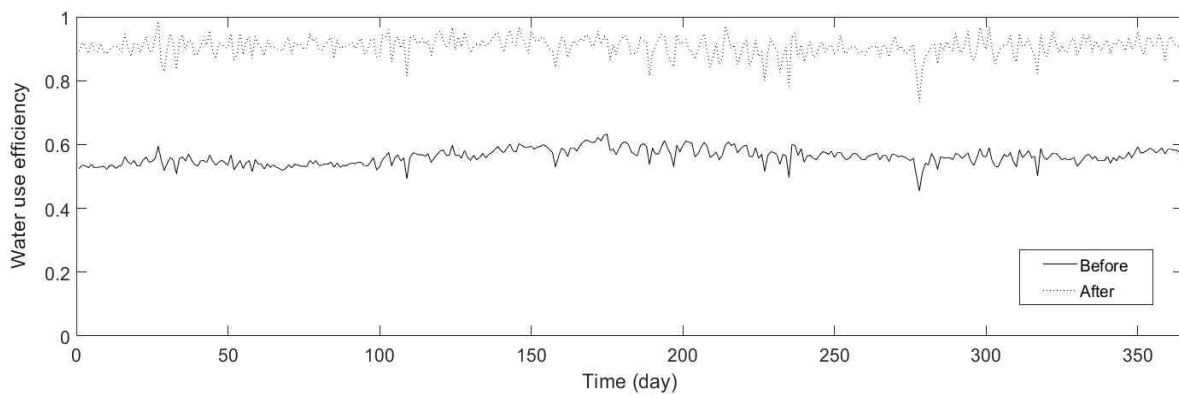
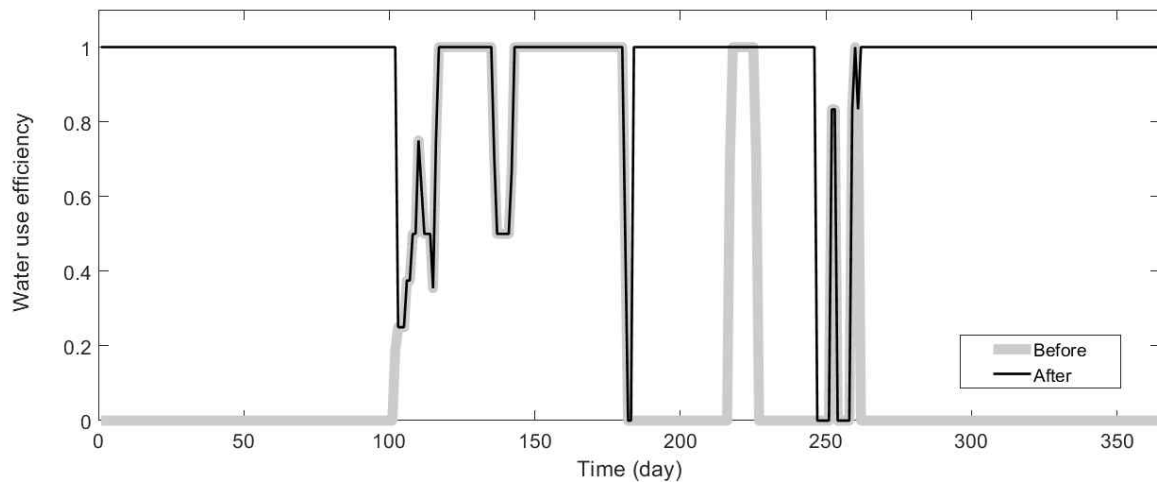
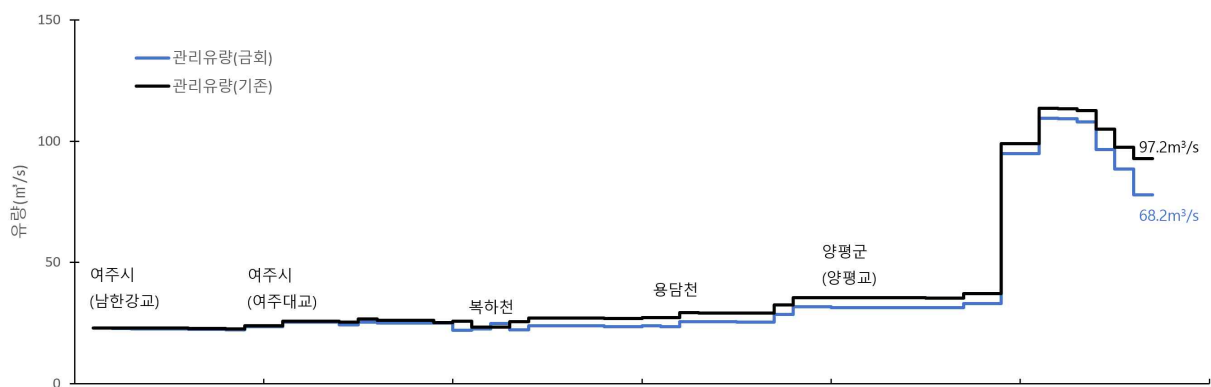


그림 39. 시범하천 구간 내 생활용수 시설의 2017년 이용효율 변화



④ 물수지 분석(관리유량 산정)



(나) 취·방류수량 실시간 측정기법 개발 및 현장 적용

① 기존 취·방류수량 측정방법 평가 및 시험하천 구축

㉔ 기존 측정방법 평가

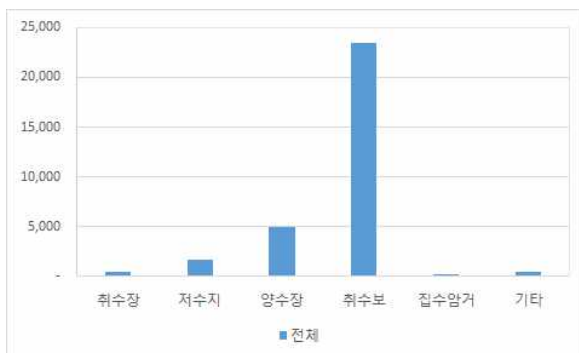
□ 기존 취·방류수량 자료 수집체계 검토

○ 하천수 취수시설 현황 분석

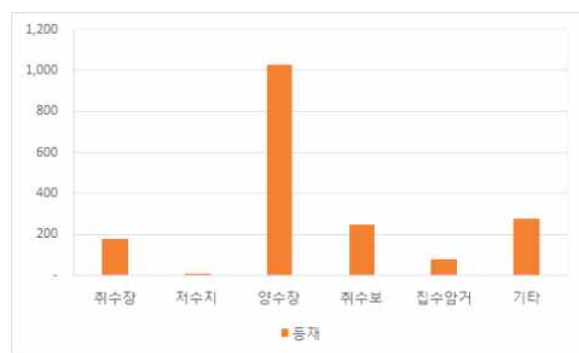
- 전국수리권일제조사(2015) 결과, 취수장(478개소), 양수장(4,925개소), 취수보(23,474개소), 집수암거(219개소), 기타(533개소)로 조사됨(표 21)
- 취수형태별로 취수보(74.8%), 양수장(15.7%) 순으로 나타났으며, 등재시설만을 고려하면 양수장(56.8%), 취수보(13.8%) 순으로 나타남(그림 33)
- 등재시설은 과거 국토교통부에서 관리하는 시설로 대하천 취수시설로 양수장이 다수, 반면 지방하천에 주로 위치하고 있는 미등재 시설은 취수보가 다수임

표 24. 전국 수리권 일제조사 조사현황

구분	합계	등재				미등재			
		소계	지자체	한국농어촌공사	기타	소계	지자체	한국농어촌공사	기타
합계	31,363	1,810	509	753	548	29,553	24,422	5,035	96
취수장	478	178	115	0	63	300	280	7	13
저수지	1,734	1	0	1	0	1,733	792	937	4
양수장	4,925	1,028	251	605	172	3,897	2,071	1,815	11
취수보	23,474	250	63	131	56	23,224	20,972	2,249	3
집수암거	219	77	19	2	56	142	125	15	2
기타	533	276	61	14	201	257	182	12	63



<전체시설>



<등재시설>

그림 42. 하천수 사용 수리시설물 현황

○ 하천수 취수시설 계측기 설치 및 계측방법 조사

- 2017년 말 기준 하천수 사용허가 총 2,393개소(허가량 254.6백만 m³/일) 중 보고대상은 863개소(36.1%), 허가량은 73.6백만 m³/일(28.9%)임
 - 2017년 말 기준 하천수사용허가 보고 대상 863건 중 전자유량계 336건(38.9%), 기타 계측기기 17건(2.0%), 미설치 현황은 510건(59.1%)임
 - 공업·발전·환경개선 용수 계측기 설치 비율이 60% 이상 농업용수는 25.6%로 저조함
 - 미설치 시설 510건은 농업용수 404건(79.2%), 공업용수 55건(10.8%), 생활용수 49건(9.6%) 순임
 - 하천수 취수량 계측방법은 생활용수의 경우 유량계, 공업용수는 유량계 또는 양수시간(일별 수기 기록), 농업용수는 양수시간(일부 유량계와 수문조작)을 이용하여 산정함
- * 대부분 지자체별 상수도사업소에서 취수량 자동 계측 및 제어

표 25. 하천수 사용 허가시설 중 보고대상 현황(2017년 말 기준)

구분	허가현황		허가시설물 중 보고대상		비율(%)	
	개소수	허가량 (백만m ³ /일)	개소수	허가량 (백만m ³ /일)	개소수	허가량
계	2,393	254.6	863	73.6	36.1	28.9
생활·공업·농업	2,233	65.1	844	62.2	37.8	95.6
발전·환경개선·기타	160	189.5	19*	11.4	11.9	6.0

표 26. 용도별 계측기 설치현황(2017년 말 기준)

용도	합계	전자유량계		기타 계측기기		미설치	
		건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)
합계	863	336	38.9	17	2.0	510	59.1
생활	103	54	52.4	0	0.0	49	47.6
공업	182	126	69.2	1	0.5	55	30.2
농업	559	143	25.6	12	2.1	404	72.3
발전	11	7	63.6	2	18.2	2	18.2
환경개선	3	3	100.0	0	0.0	0	0.0
기타	5	3	60.0	2	40.0	0	0.0

○ 하천수 취수량 계측방법 현황

- 하천수 취수량 조사에 활용 가능한 계측방법은 직접 계측방법(관수로 유량측정, 개수로

유량측정)과 간접 계측방법으로 구분 가능함

- 직접 계측방법은 수위, 유속, 압력 등 요소를 측정하는 다양한 방법에 따라 세부적으로 구분되며, 측정요소를 계측하는 다양한 기술이 개발되고 있음
- 간접 계측방법은 다양한 조건에서 정확도와 적용성의 검증이 필요함

표 27. 하천수 취수량 계측방법 현황

구분	기술 분류	계측방법	적용
관수로 유량측정	기계식	venturi meter, 유량측정용 nozzle, 오리피스, 피토투관, 회전식 유량계	양수장, 취수장 등
	자기식 유량측정기	전자기 유량계	양수장, 취수장 등
	초음파식 유량측정기	시간차 초음파 유속계, 도플러 유속계	양수장, 취수장 등
개수로 유량측정	구조물법	위어, 플룸, Sluice Gate 등	취수보, 양수장의 개수로부 등
	수위-유량관계	수위-유량법, 수위-경사-면적법, 유 량공식법 등	취수보, 양수장 개수로부 등
	수위-유속법	ADCP, 비접촉식 유속계(레이더, 전 자파, 영상 등)	취수보, 양수장 개수로부 등
간접법	양수 시간법	펌프가동시간법	양수장
	전력량-유량관계법	전력량-유량관계법	양수장
	기타	수요량 추정 등	취수보 등

□ 유량 산정방법 검토 및 활용성 평가

○ 유량 산정방법 검토

- 대상지점 : 만경강 유역 내의 어우보(어우보)
- 측정 방법 : 수위-유량관계법(Rating curve method, RCM), 지표유속법(Index velocity method, IVM), 유속분포법(Velocity profile method, VPM)
- 수위-유량관계법(RCM)
 - 수위와 유량 간의 일정한 관계로 유량을 산정함

$$\cdot Q = a(H - b)^c$$

- 지표유속법(IVM)

· 지표유속과 평균유속 간의 일정한 관계로 유량을 산정함

$$\cdot \bar{u} = u_i(s + bh) + c$$

- 유속분포법(VPM)

· Chiu의 유속분포식 : 단면상의 동일한 유속을 가지는 점들을 연결하는 등유속선(isovel) ξ 와 직교선 η 로 구성되는 ξ - η 좌표계를 이용함

$$\cdot \xi = Y(1 - Z)^{\beta_i} \exp(\beta_i Z - Y + 1)$$

○ 유량 산정방법 활용성 평가

- 산정유량과 실측유량 상대오차 : RCM 15.82%, IVM : 2.81%, VPM : 3.42%

- 각 방법을 이용하여 저·평수기인 2018년 2월과 홍수기인 2018년 8월의 유량을 산정함

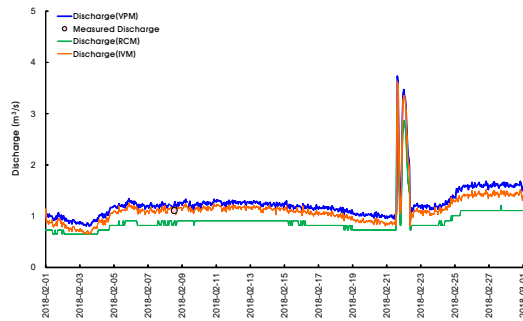
- 산정 결과 RCM은 상대적으로 오차가 큼

- IVM과 VPM을 비교 시 저유량에서는 VPM, 고유량에서는 IVM이 크게 산정됨

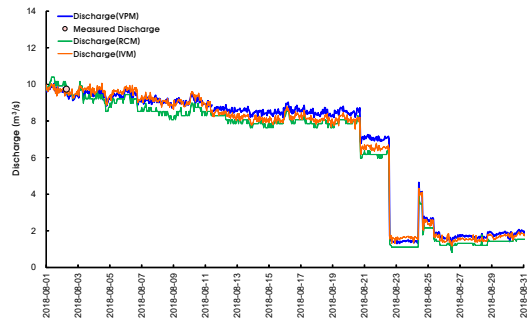
- 2월에는 평균 10.85%, 8월에는 2.57%의 편차를 보임으로 저수위에 상대적으로 작은 유량을 고려한다면 지표유속법과 유속분포법으로 산정한 유량은 의미 있는 차이가 아니라고 판단됨

표 28. 어우보 지점의 계측방법별 산정유량 비교

No.	측정일시	측정유량 (m ³ /s)	상대오차(%)		
			RCM	IVM	VPM
1	2017. 02. 10.	1.20	7.78	0.00	3.67
2	2017. 03. 10.	1.63	12.45	1.23	0.48
3	2017. 06. 10.	8.40	3.96	3.10	0.84
4	2017. 08. 01.	5.99	0.31	6.18	3.02
5	2017. 10. 20.	1.15	44.19	1.74	8.43
6	2017. 11. 10.	1.35	22.83	2.22	3.51
7	2018. 02. 08.	1.11	17.91	3.60	1.56
8	2018. 04. 23.	5.46	21.17	4.95	8.17
9	2018. 08. 02.	9.75	11.79	2.26	1.12
평균			15.82	2.81	3.42



(a) 2018년 2월



(b) 2018년 8월

그림43. 어우보 지점 계측방법별 산정유량 시계열 비교

㉔ 시험하천 구축

□ 기존 시험하천 사례 검토 및 대상유역 선정

○ 기존 시험하천 사례 검토 및 후보지 선정

- 선행연구 경험이 있는 한강유역의 여주~이포 구간, 만경강 상류 유역의 고산~봉동 시험하천과 경안천 유역, 한탄강 유역을 후보 대상지로 선정하여 기초조사를 수행함

표 29. 대상하천의 시설물 현황

대상유역	시설물(개소)						
	양수장	저수지	집수암거	집수정	취수보	수질자동 측정소	기타
여주보~이포보	24	5	0	1	269	2	4
경안천	24	5	0	1	269	2	4
한탄강댐	32	5	0	0	99	2	0
만경강 상류	22	22	2	1	306	7	0

○ 시험하천 대상유역 선정

- 최적의 계측방법 설치 및 운영을 위해 아래와 같은 조건으로 대상지점을 선정함

- ① 생활, 공업용수에 비해 비중은 크나, 사용료의 면제로 사용량 파악이 어려운 농업용수 비중이 큰 지점
- ② 개소수는 많으나, 상대적으로 사용량 조사가 어려운 취수보(규모별)가 존재하여 다양한 계측기법 적용이 용이한 지점
- ③ 저비용으로 다양한 계측시설 검증이 가능한 시험하천을 선정하고, 필요시 시험하천

이외의 지점을 선정하여 계측기법 적용 및 검증이 가능한 지점

- 취수보의 취수량 계측방법 검증을 위해 계측시설(조음과 유속계, 수위계 등)이 기구축 및 운영되고 있는 만경강 상류의 어우보와 읍내보를 시험하천으로 선정함
- 양수장의 취수량 계측방법 검증을 위해 만경강 상류에 위치한 남봉양수장(과거 신기양수장)을 선정함

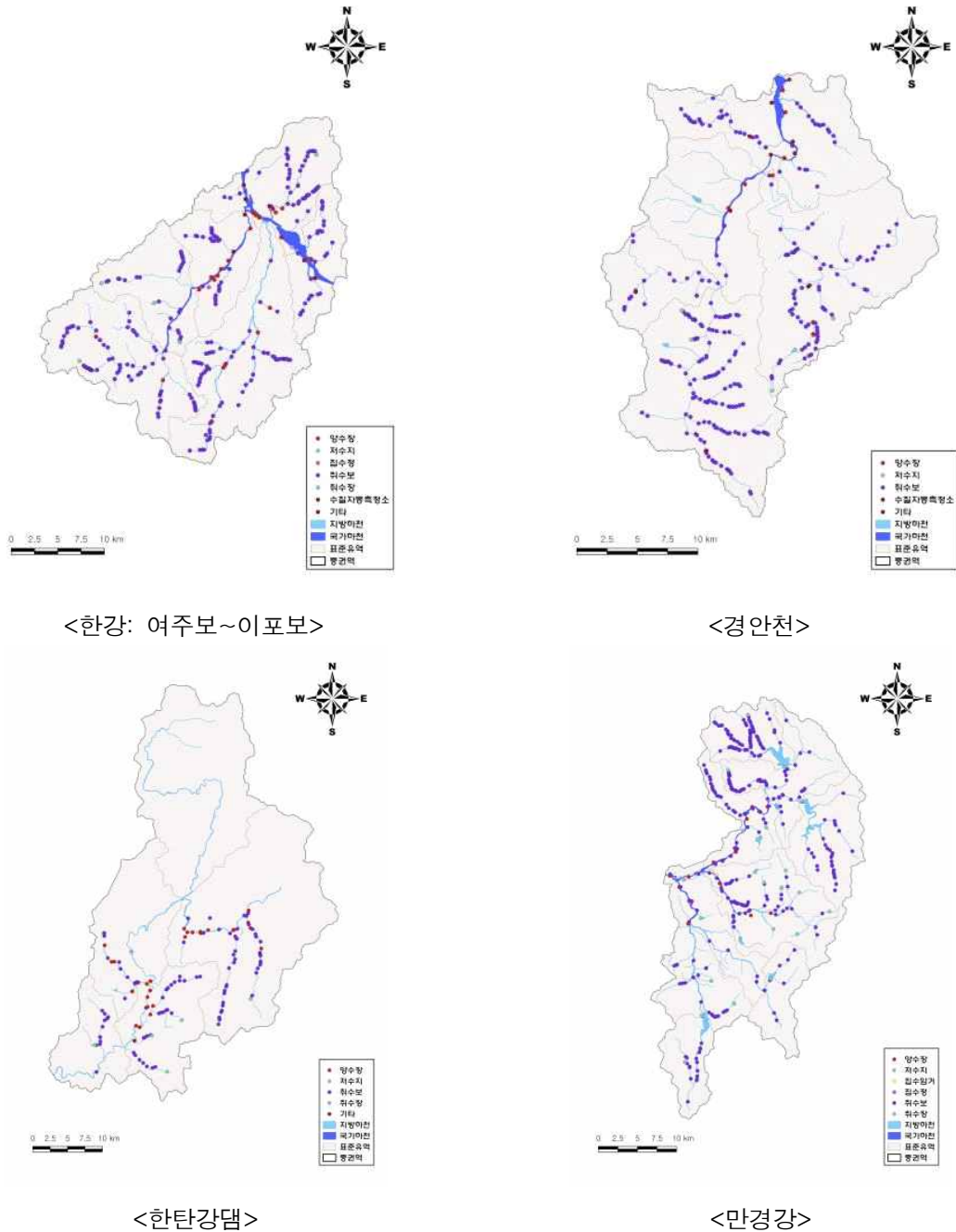


그림 44. 시험하천 후보지 선정

표 30. 시험하천 대상유역 비교 분석

대상유역	장점	단점	선정
여주보 ~이포보	- 대규모 취수시설이 존재하여 양수시설에 대한 계측기법 적용이 용이 - 기존 시험하천 운영성과를 연구자료로 활용하기 용이	- 구간 내에 취수보 시설이 없어 계측기법 적용 다양성 확보 곤란 - 하천유량 대비 취수량이 미소하여 물수지를 통한 정확도 검증에 어려움 - 계측시설을 철거한 상태로 시설구축 비용 증가	-
경안천	- 소규모 취수보가 다수로 소규모 취수 시설의 계측기법 적용 및 검증 용이 - 지역적으로 인접하여 현장 방문을 통한 시험하천 관리에 용이	- 계측시설 신규구축이 필요하여 비용 및 연구 소요기간 증가 - 도시지역으로 하·폐수 처리수 방류가 우세하여 취수량이 하천에 미치는 영향이 작음 - 소규모 취수시설 위주로 다양한 계측기법 적용 곤란	-
한탄강댐	- 소규모 취수보가 다수로 소규모 취수 시설의 계측기법 적용 및 검증 용이 - 지역적으로 인접하여 현장 방문을 통한 시험하천 관리 용이	- 계측시설 신규구축이 필요하여 비용 및 연구 소요기간 증가 - 소규모 취수시설 위주로 다양한 계측기법 적용 곤란	-
만경강 상류	- 대·중·소규모 취수시설이 다양하게 존재하여 계측기법 적용 및 검증 용이 - 기구축된 계측시설 활용(기술원 운영 중)이 가능하여 저비용으로 추가시설 구축하여 다양한 계측기법 적용 및 검증 가능	- 용담댐, 대아·경천저수지의 물공급이 지배적으로 유역물수지 적용 어려움 - 만경강 대간선 수로로 용수공급이 이루어져 하류까지 물공급이 진행 - 사용 후 회귀수에 대한 해석 어려움	선정



그림 45. 만경강 상류 후보지 현황

□ 시험하천 구축 및 운영 계획 수립

○ 시험하천 적용 계측방법 선정

- 직접 계측방법으로는 취수보에서 사용가능한 구조물법(이론식, 수문개도 등), 수위-유량 관계법, 초음파법, 전자파법 등을 이용한 유량산정 기법의 적용성을 검토함
- 개수로에 적용 가능한 계측방법*의 비교 평가를 통해 정확성, 경제성, 효율성, 편의성을 고려한 하천수 사용량 조사를 위한 적정기술을 도출함

* 구조물법, 수위-유속법(초음파법, 비접촉식), 수위-경사-유량관계, 유량공식법 등

- 간접 계측방법은 외수위 변화가 있는 양수장에 적용하여, 양정고 변화에 따른 전력사용량-유량 관계의 변동성을 이용한 기법을 검토함
- 전력사용량-유량의 관계를 이용하되, 보다 간단한 방법으로 유량을 산정할 수 있는 펌프 운영시간법을 검토함

< 펌프를 이용한 유량산정 >

$$Q_p = \frac{\eta_p \eta_m}{9.8(H+h)} \times P_p$$

여기서, Q_p 는 양수량(m^3/s), H 는 평균양정, h 는 양수시의 손실수두, η_p , η_m 은 각각 펌프와 전동기의 효율, P_p 는 양수에 필요한 전력량

○ 시험하천 대상유역 취수시설 조사

- 문헌조사를 통해 계측시설 설치 가능할 것으로 판단된 18개소(취수보 16개소, 양수장 1개소, 취수장 1개소)를 현장조사를 수행함
- 현장조사 결과를 토대로 계측시설 구축 가능성 평가한 결과, RCM(10개소), 수위-경사(10개소), 구조물법(6개소), 초음파법(10개소), 전력량법(2개소)에 대한 시험구축이 가능한 것으로 판단함

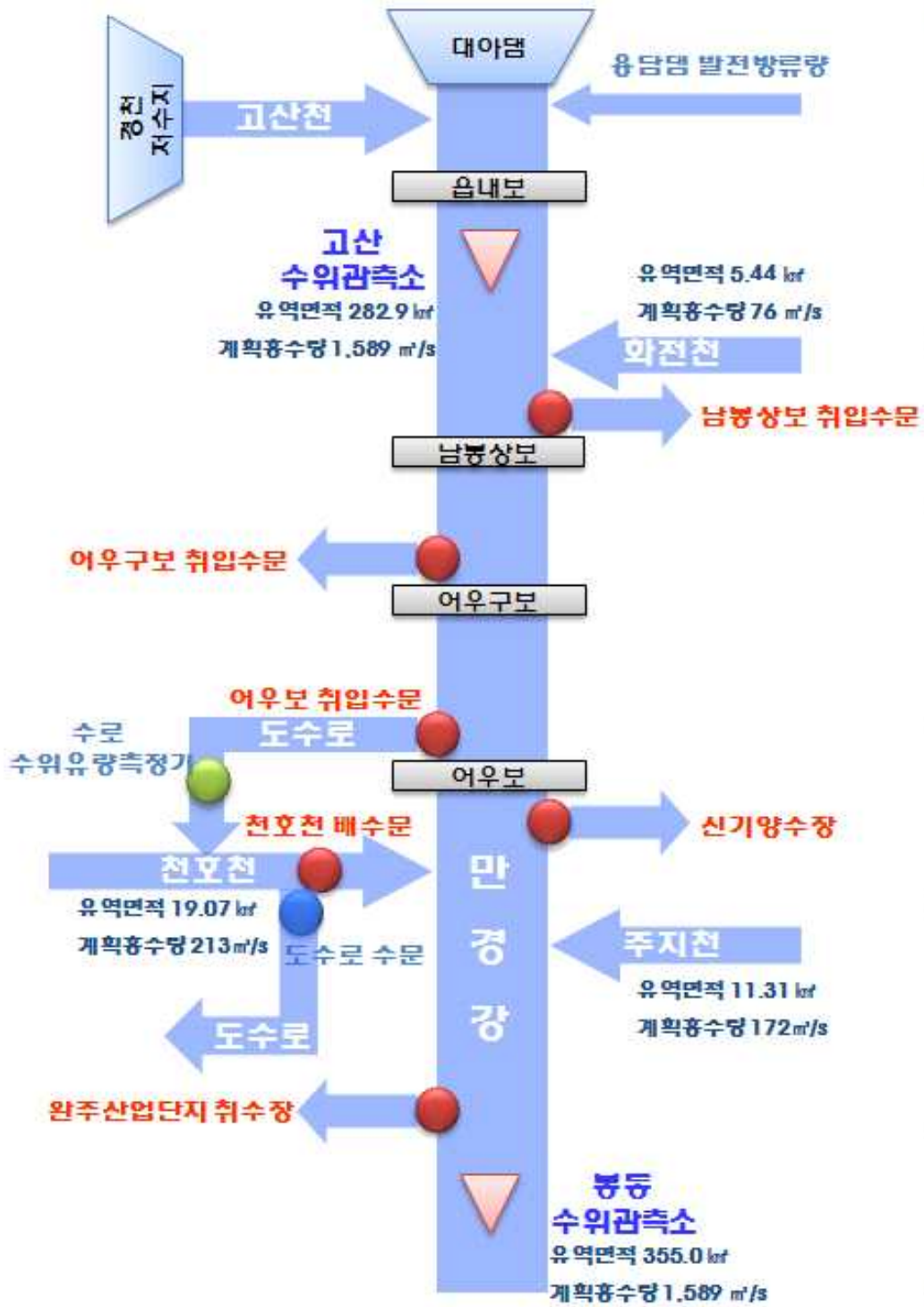


그림 46. 만경강 상류 물이동 계통도

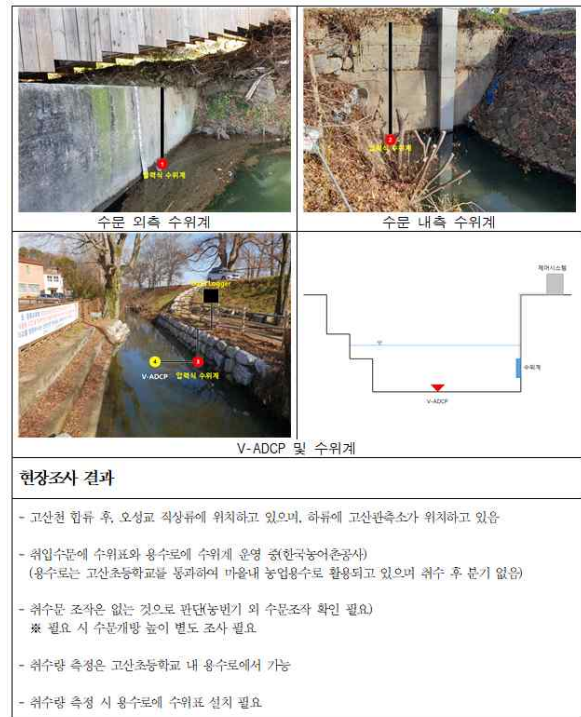
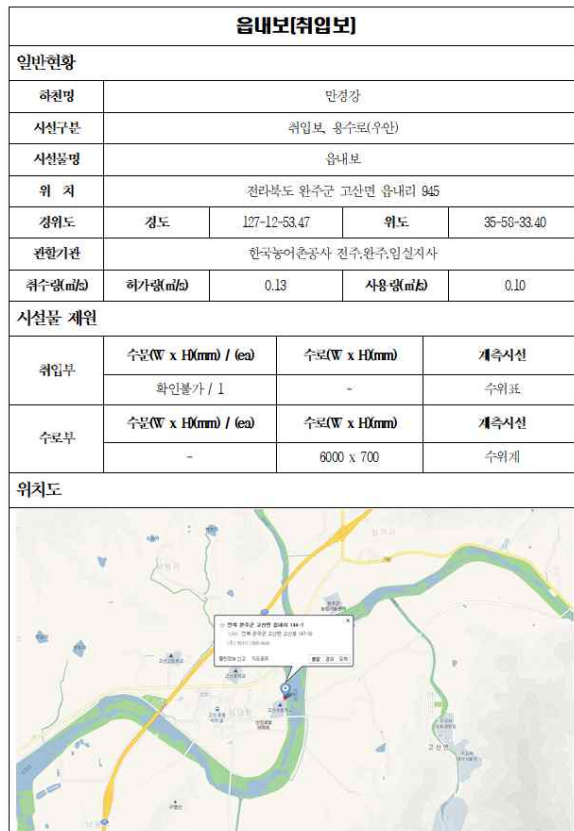


그림 47. 만경강 상류 현장조사

○ 시험하천 계측시설 구축 및 운영 계획

- 선정된 계측방법과 현장조사 결과를 토대로 시험하천 구간 내 계측기기 설치 및 운영 계획을 수립함
- 계측방법 검증을 위해 3개 취수시설을 선정하고, 취수시설별 계측기기 설치(안) 마련함
- 초음파법(2개소), 전자파법(1개소), 수위-유량법(2개소), 수면경사법(1개소), 구조물법(2개소), 전력량법 및 가동시간법(1개소)를 계획함
- 초음파법 설치 시 오염 또는 유사량의 영향을 최소화하기 위해 수로측면에 설치하는 방안 등 다방면을 고려하여 계획함
- 읍내보, 어우보, 남봉양수장 등 3개소는 직접 유량측정(유속-면적법)을 통해 검증하고, 전미보와 성덕취수장은 자료협조를 통해 전자유량계 측정치와 비교 분석을 수행함

표 31. 만경강 상류 현장조사 결과분석

시설물명	수위-유량 관계법	수위-경사	구조물법 (수문)	초음파법	전력량계	비고
신당보	x	x	x	x	x	수로접근 곤란
성당보	O	O	O	O	x	
와룡보	O	O	x	O	x	
오산보	O	O	x	O	x	
읍내보	O	O	x	O	x	
남봉상보	O	O	O	O	x	
어우구보	O	O	O	O	x	
어우보	O	O	O	O	x	
남봉양수장	x	x	x	x	O	
상제자보	x	x	x	x	x	취수시설 폐쇄
제자보	O	O	x	O	x	
마근보	O	O	O	O	x	
구만상보	x	x	x	x	x	취수량 미소
구만하보	x	x	x	x	x	취수량 미소
장자보~삼레천 하류	x	x	x	x	x	취수량 미소
하리보	O	O	O	O	x	
장구보	x	x	x	x	x	취수시설 폐쇄
전미보(취수장)	x	x	x	x	O	관유량계자료 활용

표 32. 대상지점별 시설구축 계획

지점	허가량 (m ³ /day)	취수방식	시설구축	적용기법
읍내보	11,059	취수보 (농업용수)	-V-ADCP(신설) -압력식수위계 2개(신설) -제어시스템 1식(신설)	수위-유량관계법, 초음파법, 구조물법
어우보	1,728,000	취수보 (농업용수)	-RQ-30 1개(신설) -V-ADCP 1개(기구축) -기포식수위계 1개(기구축) -압력식수위계 2개(신설) -제어시스템 1식(신설)	수위-유량관계법, 전자파법, 초음파법, 수면경사법, 구조물법
남봉양수장	3,456	양수장 (농업용수)	-수위계 1개(신설) -제어시스템 1식(신설)	전력량법, 가동시간법

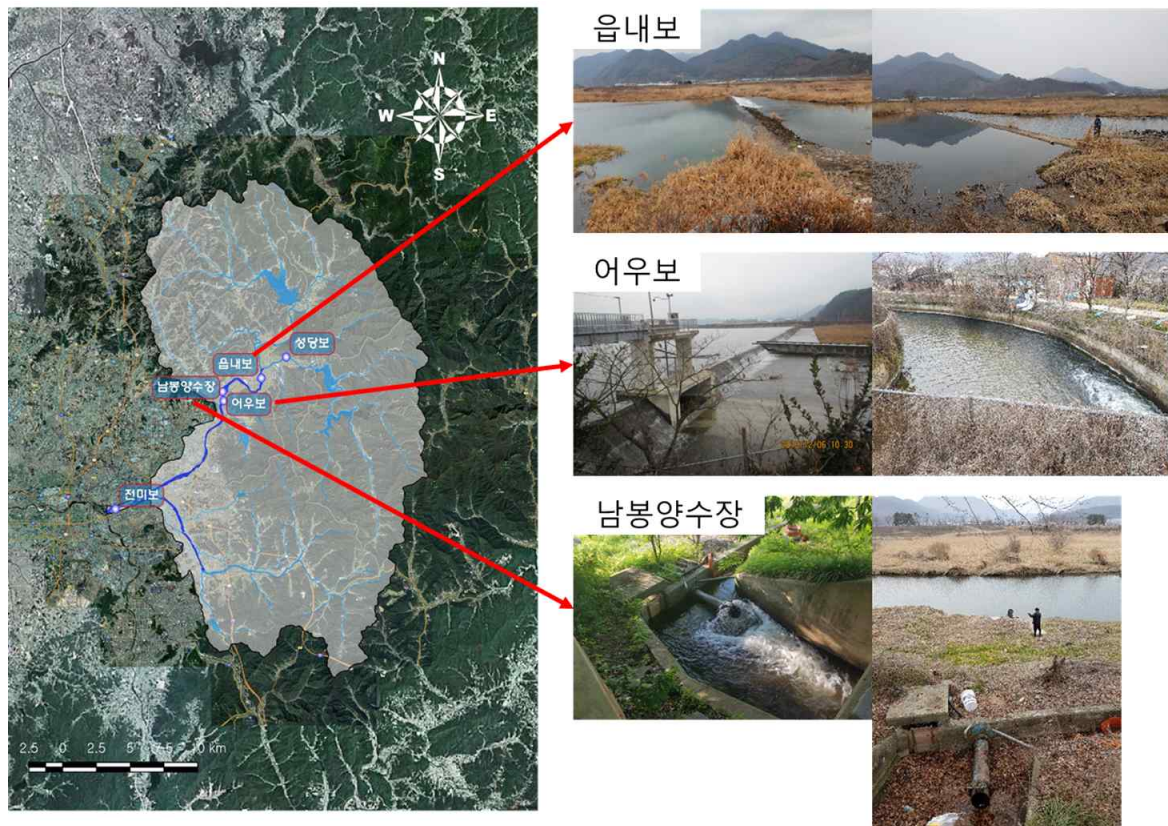


그림 49. 만경강 상류 유역 대상지점 위치

○ 시험하천 대상유역 수리시설 선정

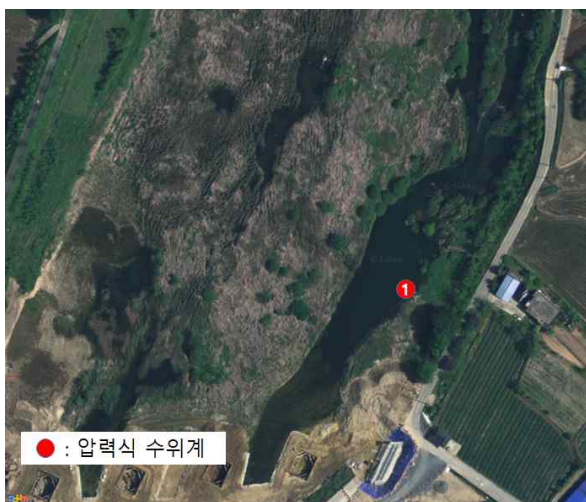
- 만경강 상류의 취수시설물 중 어우보, 읍내보, 남봉양수장 등 3개 지점을 대상으로 직·간접 유량 계측방법 연구를 위한 시험하천을 운영함
- 어우보와 읍내보는 농업용수 취수를 목적으로 설치된 보로서, 관개기 보 우안의 취수문으로 취입되고, 농업용수로로 관개함
- 남봉양수장은 어우보 하류 하천의 좌안에 위치하여 양수설비를 이용해 농업용수 목적의 하천수를 취수하여 관개기에 운영하고 있음
- 어우보는 수혜면적 15,340 ha에 1,728,000 m³/일의 관개용수를 공급함
- 어우보는 수혜면적에 11,059 m³/일의 관개용수를 공급함
- 남봉양수장은 수혜면적 30 ha에 3,456 m³/일의 관개용수를 공급함



<어우보 계측시설 설치 계획>



(b) 읍내보 계측시설 설치 계획



(a) 남봉양수장 계측시설 설치 계획

그림 50. 시험하천 대상지 계측시설 설치 계획

표 33. 대상지점 계측기기 설치 현황

지점	상세구분	계측기기	수집자료	운영기간	비고
읍내보	수로 중앙	초음파 유속계	수위	19.07.23.~20.12.31.	-
			유속		-
	취수문 내측	압력식 수위계	수위	19.07.23.~20.12.31.	-
	취수문 외측	압력식 수위계	수위	19.06.25.~20.12.31.	-
어우보	어우교 상류 5 m 지점	전자파 표면 유속계	수위	19.03.21.~20.12.31.	-
			유속		
		초음파 유속계	수위	17.02.28.~20.12.31.	-
			유속		
		레이다식 수위계	수위	20.06.17~20.12.31.	
		가스식 수위계	수위	20.10.20~20.12.31.	
		기상 모니터링	풍향·풍속	20.06.17~20.12.31.	
	어우교 교각	기포식 수위계	수위	17.02.28~20.12.31.	-
	취수문 내측	압력식 수위계	수위	19.03.21.~20.12.31.	-
	취수문 외측	압력식 수위계	수위	19.04.20.~20.12.31.	-
남봉양수장	펌프 방류지점	전자기식 유량계	유량	19.07.01.~20.12.31.	-
		전력사용량 계량기	전력량	19.07.01.~20.12.31.	-
		가동시간 체크기	가동시간	19.07.01.~20.12.31.	
	취수펌프 직하류	압력식 수위계	수위	19.07.01.~20.12.31.	-

- 직접 계측시설물이 집중된 어우보 지점을 주요 연구대상으로 설정하였고, 읍내보는 어우보의 직접 계측방법 검증용 지점으로 운영하고, 남봉양수장은 간접 계측방법 주요 대상지로 운영함
- 직접 계측방법은 읍내보와 어우보에서 검증할 수 있도록 전자파 표면유속계(RQ-30), 초음파 유속계(V-ADCP), 수위계 등을 설치하였음
- 간접 계측방법은 남봉양수장에서 검증할 수 있도록 전자기식 유량계, 전력사용량 계량기, 수위계 등을 설치함
- 시험하천에 설치된 계측시스템의 연속적인 자료 확보와 오·결측 최소화를 위해 유·무선 송수신 시스템을 구축하여 자료의 실시간 송·수신 및 저장을 수행하였음
 - 실시간 자료의 모니터링을 수행하며, 오·결측 자료 상시 확인
 - 특이사항 발생시, 현장 유지관리 수행
 - 실시간 확보한 자료의 품질관리 수행



그림 52. 시험하천 계측자료 송수신 시스템

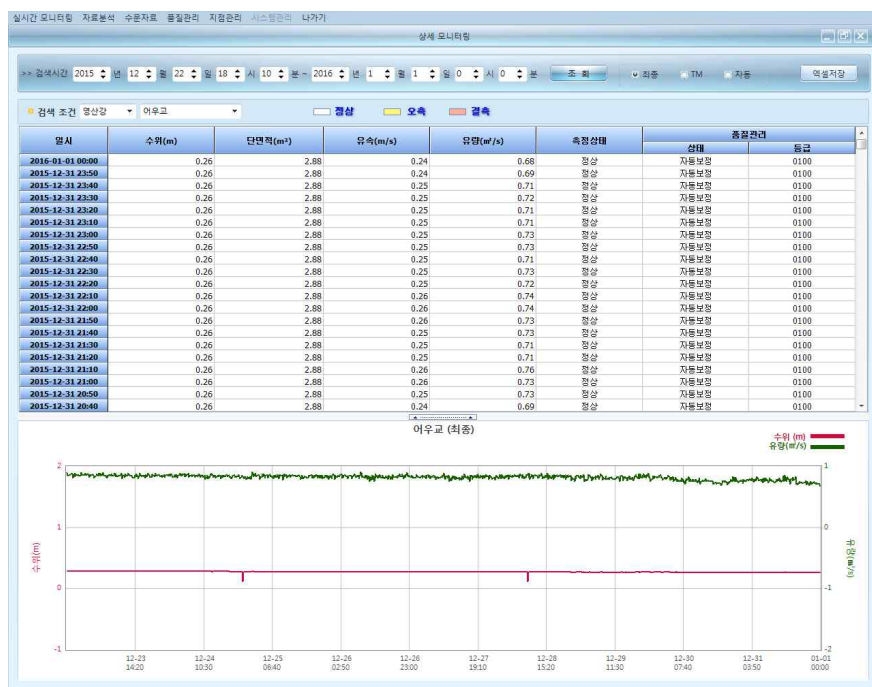


그림 53. 송수신 시스템을 이용한 실시간 모니터링

② 시험하천 계측방법 적용 및 DB 구축

㉦ 직접 계측방법 적용 및 평가

□ 직접 계측방법의 적용

○ 지점별 직접 계측방법 적용 현황

- 어우보 지점은 전자파 표면 유속계(RQ-30)와 초음파 유속계(V-ADCP)의 직접 유속 계측기기를 통해 지표유속자료를 계측하고, 수위자료를 이용해 평균유량자료를 생산함
- 초음파 유속계(V-ADCP) : 2017년 2월 기구축(10분단위 계측) 되어있고, 어우보 상류방향 수로 바닥에 설치되어 수로바닥에서 수면방향으로 수직 초음파 송수신을 통해 수위를 계측하고, 3방향 초음파 빔을 통해 셀단위 유속을 계측함
- 전자파 표면유속계(RQ-30) : 2019년 3월 21일 설치(10분단위 계측)되었고, 어우보 상류 방향에 설치되어 계측기기와 수직하단 수표면까지의 전자파 높이 측정을 통해 수위를 계측하고, 대각선 방향 빔을 통해 표면 유속을 계측함

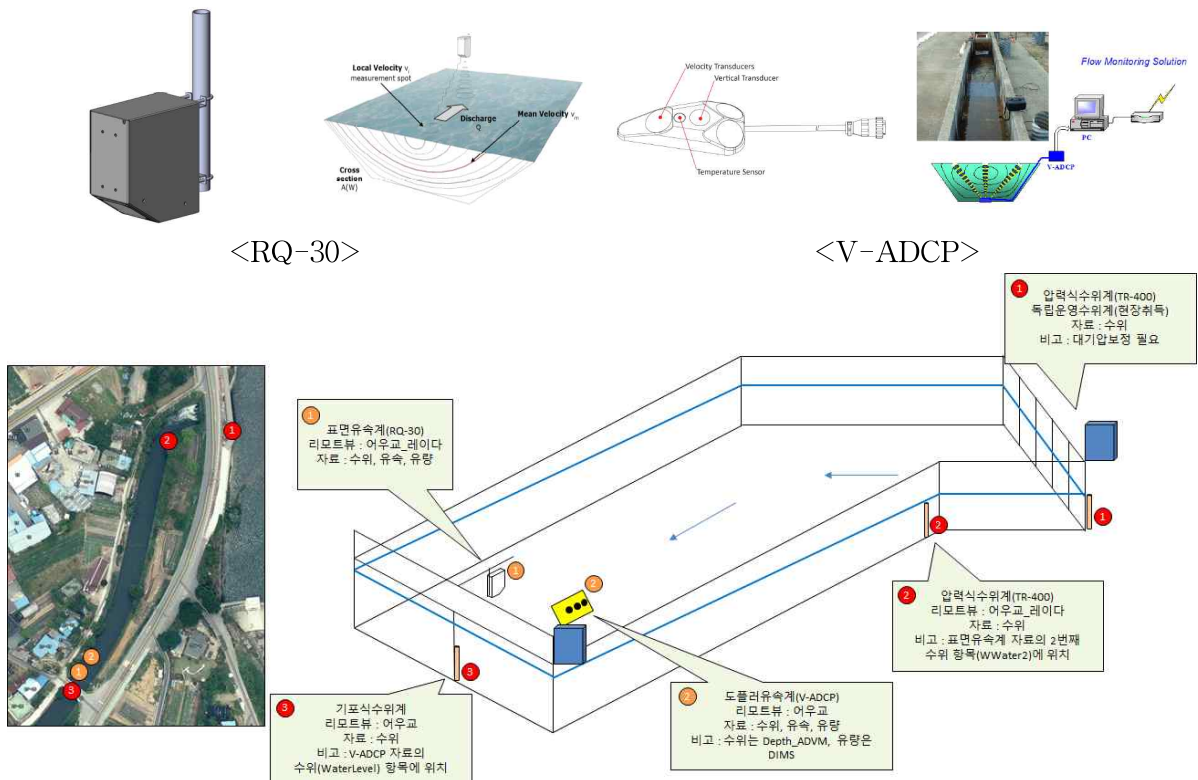


그림 54. 어우보 지점 계측기기 현황

○ 수위-유량관계식 개발

- 어우보 지점의 직접 계측방법 적용에 대한 유량의 검증을 위해 초음파 유속계와 전자파 표면유속계가 계측하고 있는 어우교 상류 5 m 지점의 하단 현장 측정을 수행함
- 어우보 지점의 17년 2월 초음파 유속계(V-ADCP) 관측 이래, 현재까지 총 17회의 현장 유량측정을 수행하였고, 전자파표면유속계(RQ-30) 관측 이래로는 총 5회의 현장 측정을 바탕으로 수위-유량관계식을 개발함



그림 55. 어우보 지점 현장 유량측정 및 검증

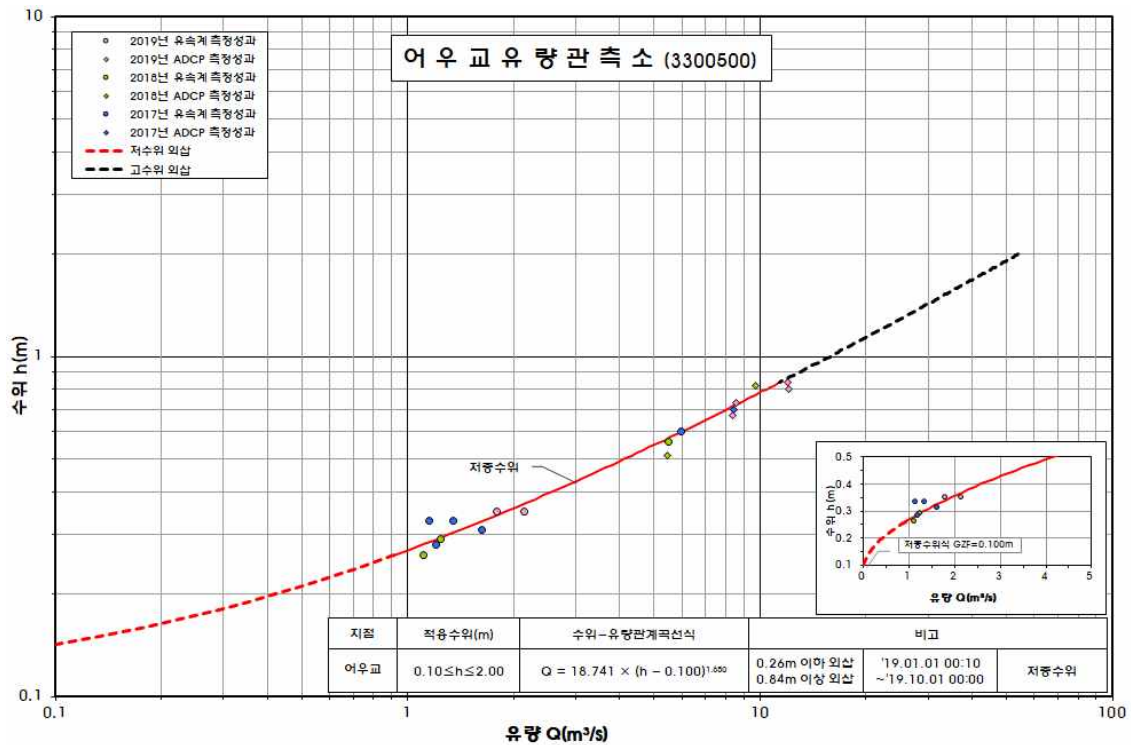


그림 56. 어우보 지점 수위-유량관계식

□ 직접 계측방법의 평가

○ 계측기기별 수위자료 검토

- 어우보 인근에 설치된 수위계는 총 5개로, 어우교 교각에 기포식 수위계, 어우교 상류에 초음파 유속계(V-ADCP) 수위계와 전자파 표면유속계(RQ-30) 수위계, 레이다식 수위계, 가스식 수위계를 설치함
- 2017년부터 계측을 수행하였고, 실측 수위계와의 검증 등 자료의 정확성이 가장 높다고 판단되는 초음파 유속계(V-ADCP) 자료를 기준값으로 설정함
- 초음파 유속계(V-ADCP) 수위계와 전자파 표면유속계(RQ-30) 수위계, 레이다식 수위계, 가스식 수위계는 교량 상류에 위치하여 수위자료의 경향성이 유사하고, 오차가 매우 작은 것에 비해, 기포식 수위계는 교각에 위치하여 고유량시 유속에 의한 수위 단차가 발생하여 타 수위계에 비하여 계측자료가 일정하지 못함
- 전자파 표면유속계(RQ-30) 수위계와 초음파 유속계(V-ADCP) 수위계, 레이다식 수위계, 가스식 수위계의 계측 결과가 매우 근사하여 계측기기의 신뢰도가 높음

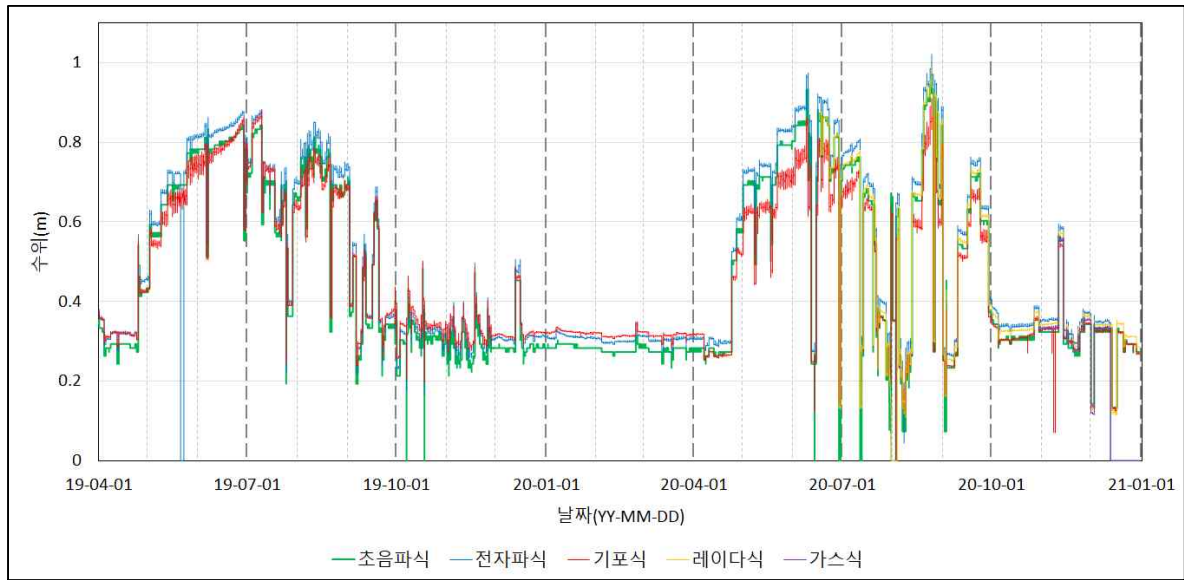


그림 57. 어우보 지점 수위 시계열 자료(전체기간)

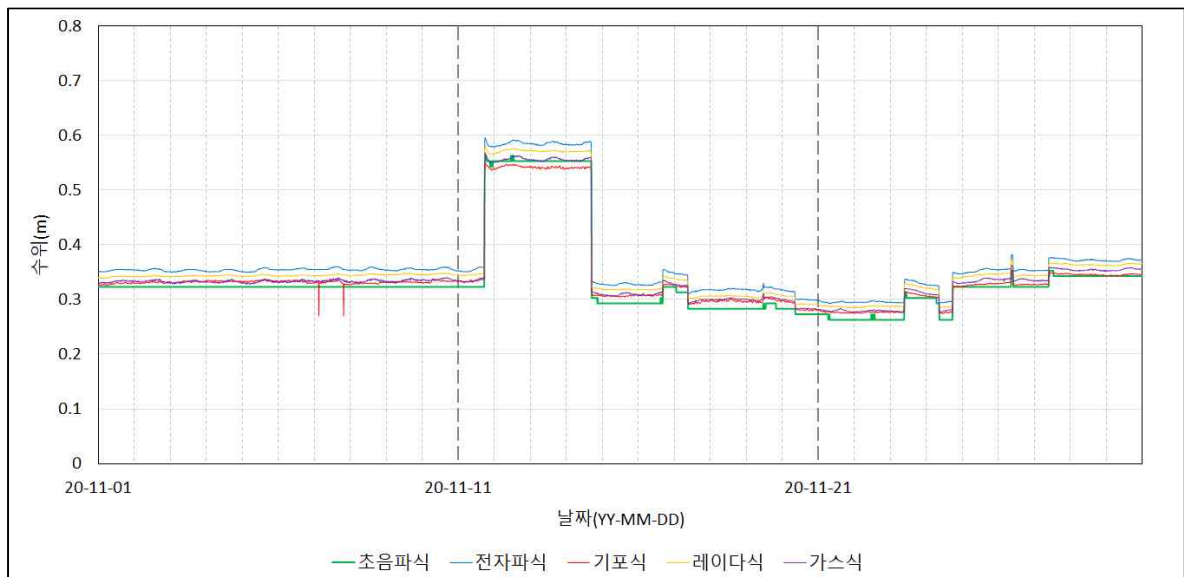


그림 58. 어우보 지점 수위 시계열 자료(20년 11월)

○ 계측방법별 지표유속법 개발 및 자료 신뢰도 평가

- 전자파 표면유속계(RQ-30)와 초음파 유속계(V-ADCP)에서 계측한 지표유속을 실측 유속과의 회귀식(지표유속식)으로 환산하여, 수위별 단면적을 고려한 평균유량을 산정함
- 초음파 유속계(V-ADCP)는 평수위와 고수위의 회귀식이 상이하어, 수위구간별 지표유속식을

구분하여 적용함

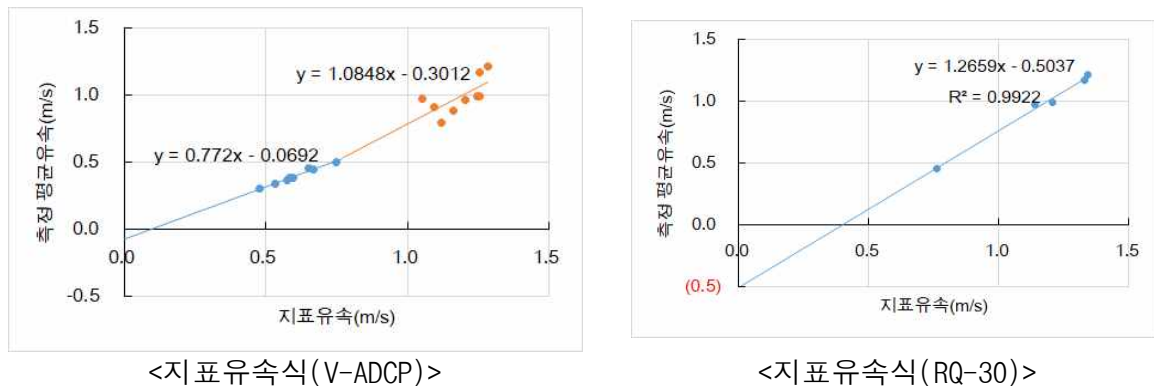


그림 59. 지표유속-평균유속 회귀식

- 어우보의 기준유량으로 설정한 초음파 유속계(V-ADCP)는 17회의 실측자료를 바탕으로 보정한 유량자료로, 전자파 표면유속계(RQ-30) 자료의 신뢰도 확인 연구를 수행함
- 초기의 보정 기간에 전자파 표면유속계(RQ-30)의 설정이 안정화되지 못하여 계측자료가 산포되는 것으로 확인되나, 2020년 7월 20일 이후 안정적인 결과를 생산하고 있음
- 전자파 표면유속계(RQ-30)는 표면유속을 계측하기 때문에, 기준유량에 비해 저수위와 고수위에서 과소 혹은 과대하게 산정되는 경향이 있음
- 저수위 구간을 제외한 관개기(4월~9월)에는 좀 더 높은 상관성을 가지는 것으로 확인됨
- 전자파 표면유속계(RQ-30)는 안정화 이후 신뢰도 높은 취수량 자료를 생산하는 것으로 확인되어 개수로의 직접 취수량 계측방법으로 유효한 것으로 판단함

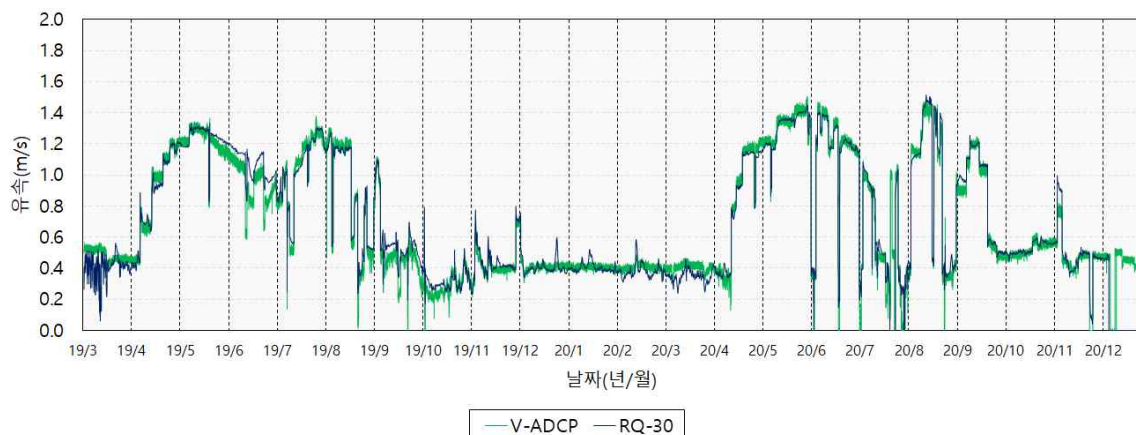


그림 60. 어우보 지점 계측방법별 유량자료 결과 비교

표 34. 계측기기별 유량산정 결과

계측기기	총 유량 (m ³)	R ²	백분율 차이(%)			RMSE	
			전체구간	관개기	7월중순 이후	RMSE(m ³ / s)	변동성(%)
V-ADCP	116,780,641 (100.00%)	0.9901	86.35	90.79	86.81	0.5551	9.21
RQ-30	118,283,296 (101.29%)						

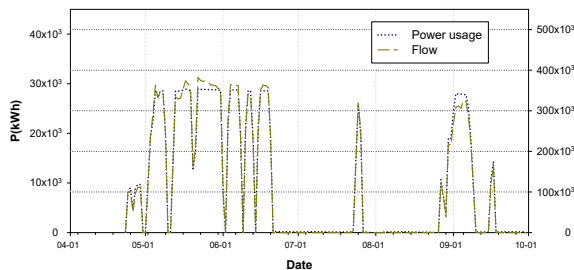
- 농업용수 목적의 하천수를 사용하는 취수보와 양수장에서는 지점특성에 따라 다르지만, 일반적인 개수로 상황에서 유량을 계측할 수 있음
- 취수보의 개수로, 양수장의 토출부를 통해 자연유하식으로 하천수를 수요지에 도수하고 있음
- 개수로의 규모 차이는 있을 수 있으나, 직사각 단면의 콘크리트 수로가 일반적임
- 일반 하천에 비해 식생의 영향이나, 단면의 변형이 거의 없어 한번의 수위-유량관계식이 개발로 장기간 유효한 취수량 자료를 확보할 수 있음
- 앞서 계측방법의 적용성 연구로 초음파법과 전자파법의 계측자료 신뢰도가 높은 점을 확인하였기 때문에, 초음파법과 전자파법을 이용해 개수로의 수위-유량관계식을 개발하고 검증하게 된다면, 정확한 취수량 자료의 확보가 가능함
- 초음파법과 전자파법으로 수위-유량관계식을 결정짓는 것은, 인력에 의해 수위-유량관계법을 적용하는 것보다 훨씬 높은 비용이 필요함
- 하천수 허가량이 많은 취수량 계측에 중요성이 높은 지점에서는 초음파법, 전자파법을 적용하는 것이 적정하고, 허가량이 낮아 비교적 중요성이 낮다고 판단되는 지점에서는 인력에 의한 수위-유량관계법을 적용하는 것이 적정할 것으로 판단함

㉔ 간접 계측방법 적용 및 평가

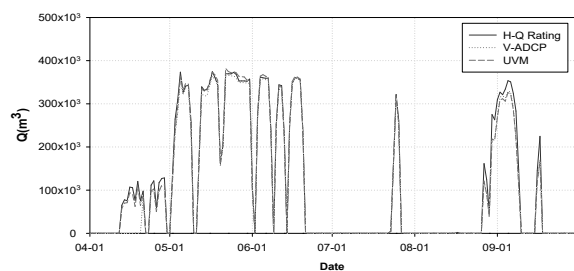
□ 간접 계측방법의 적용

○ 전력량법 적용

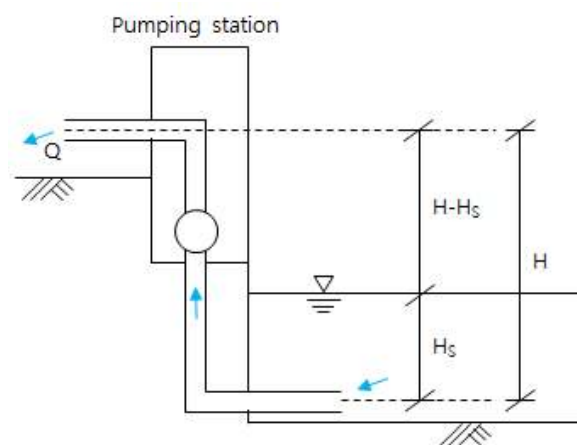
- 한국전력공사에서는 500 kWh/월 이상을 사용하는 고압전력 사용자에게는 실시간 전력사용량을 제공하고 있음
- 전력량법은 실시간 전력사용량 자료의 확보가 가능한 대규모 양수장 지점에서 적용이 가능한 간접 계측방법으로, 전력사용량과 유량간의 상관관계를 이용하여 관계식을 산정함
- 전력량법을 적용하여 능서양수장의 취수량을 산정하였고, 직접 계측방법인 횡방향 초음파 유속계(UVM)를 설치하여 기준유량 대비 산정된 취수량의 신뢰도 검증을 수행함
- 전력량법은 펌프의 운영에 따라 전력사용량이 0이거나, 일정사용량인 두가지 경우만 있기 때문에, 실측 유량의 변동성과 상이한 점이 있음
- 양수장의 외수위인 흡입부 쪽의 수위계측을 통해 전력량법의 신뢰도 개선 연구를 수행함



<유량과 전력량의 상관관계>



<양수장 기준유량 선정>



$$Q = \left(\frac{\eta_P \eta_g \eta_e}{K \gamma (H - H_s) (1 + R)} \right) P$$

<하천수위를 고려한 전력량법>

그림 61. 양수장의 전력량법 적용

- Case를 구분하여 전력량법의 취수량 산정 결과와 기준유량(Q_m)을 비교분석함
- Case 1은 이론식에 의한 유량 산정방법(QP), Case 2는 양정고를 고려한 전력량법(QP(H)), Case 3은 하천수위를 고려한 전력량법(QP(H-Hs))으로 구분하였음
- 시계열별 취수량을 산정한 결과, 양수장의 펌프 운영에 따라 생성되는 유량자료는 변동성이 있으나, 총량은 유사한 것으로 나타남
- 하천 수위를 고려한 전력량법(QP(H-Hs))으로 산정한 취수량이 기존의 전력량법(QP)과 양정고만을 고려한 전력량법(QP(H))에 비하여 기준유량(Q_m)과 가장 일치하는 것으로 나타남

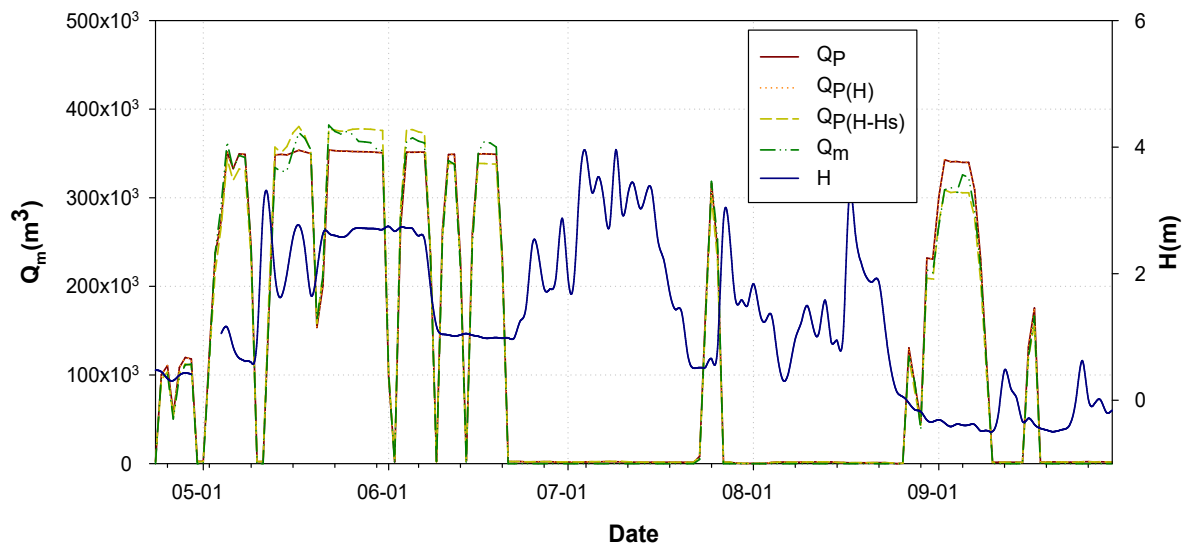


그림 62. Case별 전력량법으로 산정한 시계열 유량

- R2, 백분율 차이, RMSE 등의 상관성 분석 결과, 하천수위를 고려한 전력량법(QP(H-Hs))이 기준유량과(Q_m)의 상관성이 가장 높은 것으로 나타남
- 하천수위를 고려하였을 때 저수위 구간에서 높은 정확도 개선이 이루어진 것으로 나타남
- 이상의 결과로 미루어, 전력량법을 적용하여 대상지점의 유량을 간접 계측시 하천수위를 고려한다면 보다 신뢰도 있는 취수량 자료를 확보할 수 있을 것으로 판단함

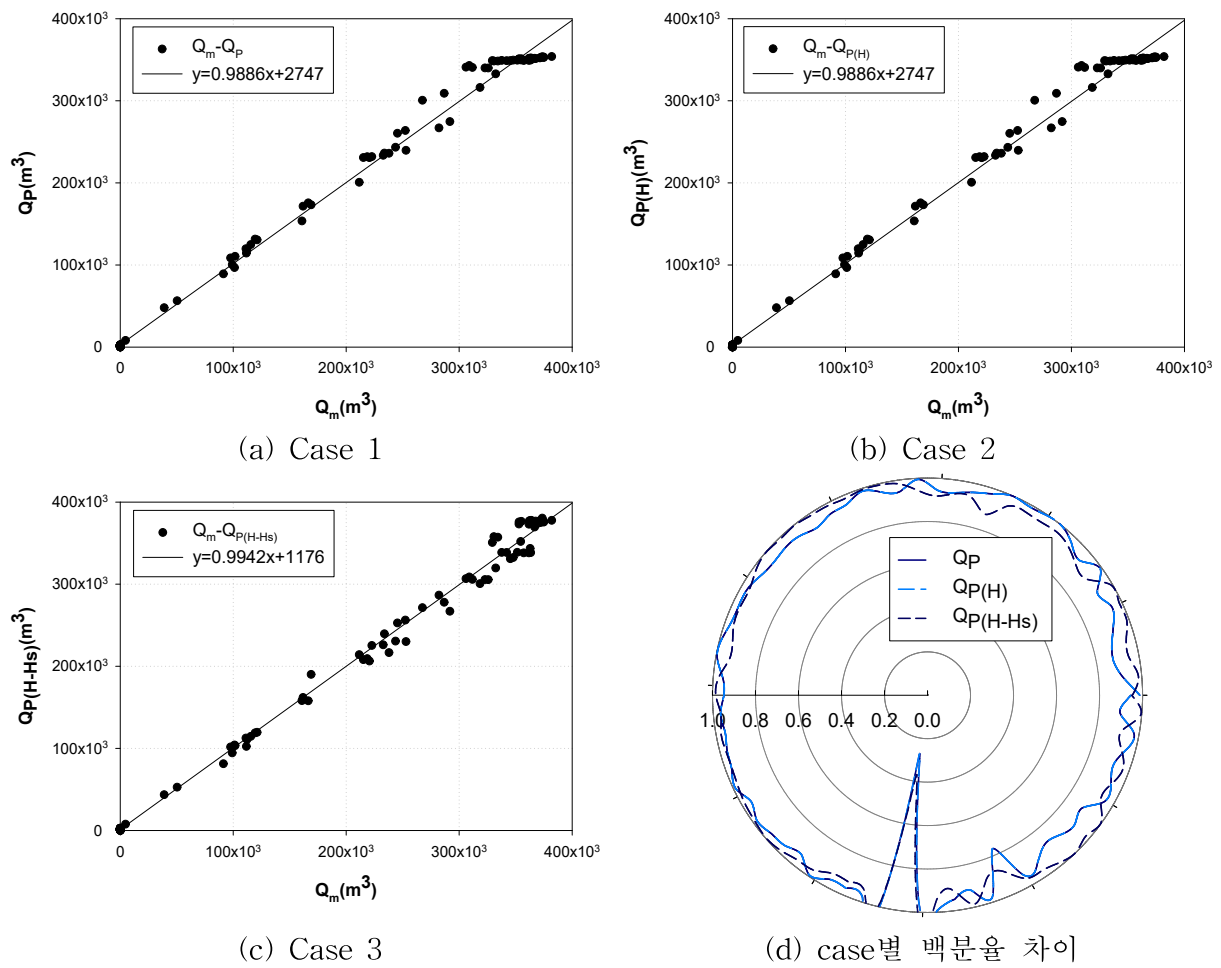


그림 63. Case별 기준유량과 전력량법 유량의 상관관계

표 35. 기간별 전력량법 상관성 분석

구분		상관성 분석			
		R^2	백분율 차이 (%)	RMSE	
				결과 (m')	변동성 (%)
전체기간	Case 1	0.9961	94.13	9410	8.05
	Case 2	0.9961	94.13	9410	8.05
	Case 3	0.9968	95.31	8468	7.25
고수위 구간	Case 1	0.9859	96.15	14083	4.52
	Case 2	0.9859	96.14	14093	4.52
	Case 3	0.9921	96.54	13205	4.24
저수위 구간	Case 1	0.9941	91.73	21354	9.18
	Case 2	0.9941	91.74	21339	9.17
	Case 3	0.9937	95.11	10310	4.43

○ 가동시간법 적용

- 가동시간법은 실시간 전력사용량을 제공받을 수 없는 소규모 양수장과 같은 시설에서 펌프의 운영시간만으로 취수량을 산정할 수 있는 방법임
- 소규모 양수장인 남봉양수장을 대상으로 펌프 운영시간 등의 기초자료와 전자기식 관유량계를 이용한 실측유량을 확보하여 가동시간법 검증을 수행함
- Case 1은 기본 이론식을 이용한 가동시간법(QO1)을 적용하였고, Case 2는 하천수위를 고려한 가동시간법(QO2)을 적용하여 취수량을 산정하였음
- 계측기간 초기의 고수위 구간에서는 기준유량대비 오차 범위가 넓지만, 수위가 안정된 이후 하천수위를 고려한 가동시간법(QO2)으로 취수량을 산정하였을 때, 기준유량 대비 취수량 자료의 신뢰도가 높은 것으로 나타남
- 특히, 상승곡선과 하강곡선 구간에서 수위의 변동 경향에 기준유량이 반응하는 것을 확인할 수 있는데, 이런 부분에서는 일반 가동시간법 만의 적용보다는 하천수위를 고려하였을 때, 실제 취수량을 반영할 수 있을 것으로 판단함

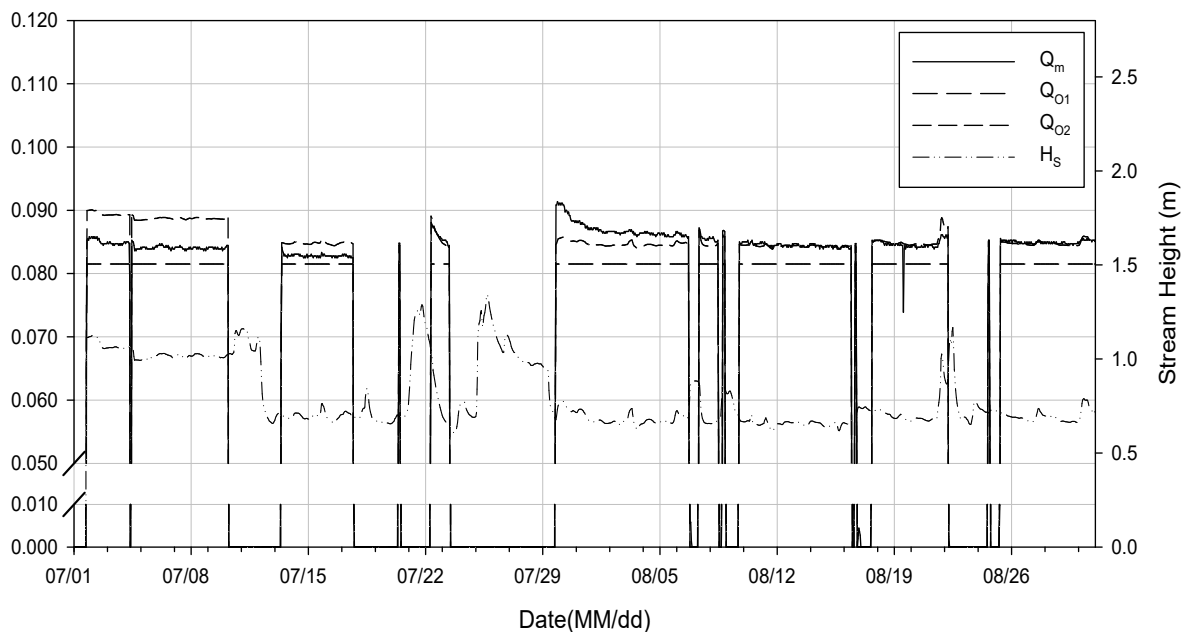


그림 64. Case별 가동시간법으로 산정한 시계열 취수량

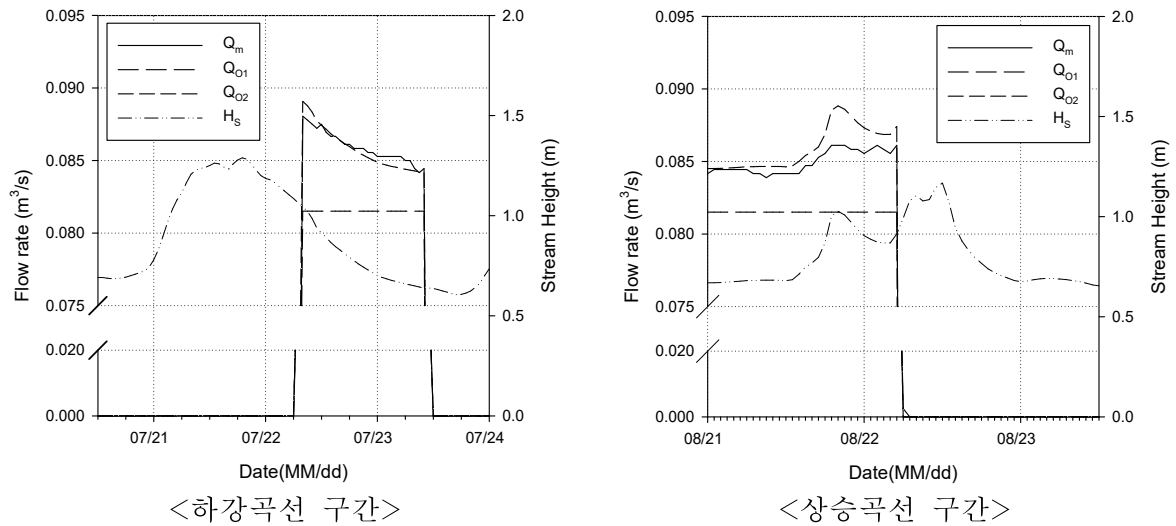


그림 65. 가동시간법으로 산정한 취수량

- 백분율 차이와 RMSE 방법을 이용해 기준유량 대비 가동시간법으로 산정한 유량의 상관성을 분석하였음
- 하천수위를 고려하여 취수량을 산정(QO2)하였을 때, 기존의 방식(QO1)보다 기준유량 대비 근사한 것으로 나타나 취수량 산정 시 신뢰도가 높을 것으로 판단함
- 하천수위를 고려하였을 때, 정확도 개선이 이루어지는 것으로 확인되고, 특히, 수위 하강 시와 상승 시에 실제 취수량을 반영할 수 있을 것으로 판단함

표 36. 기간별 가동시간법 회귀분석

구분		회귀분석		
		백분율 차이 (%)	RMSE	
			결과 (m³/s)	변동성 (%)
전체구간	case1	95.94	0.0031	5.61
	case2	97.80	0.0020	3.70
하강곡선 구간	case1	94.85	0.0046	5.39
	case2	99.16	0.0009	1.04
상승곡선 구간	case1	95.32	0.0041	4.84
	case2	98.28	0.0018	2.07

□ 간접 계측방법의 평가

- 간접 계측방법으로 신뢰도 있는 취수량 자료를 확보할 수 있음
 - 지점별 현장 상황에 따라 다를 수 있겠지만, 본 연구 결과에 따르면 월단위 혹은 관개기 취수량 총량 대비 5 % 내외의 취수량 오차를 보이는 것으로 나타나 간접 계측방법의 취수량 산정 정확도가 높은 것으로 판단함
 - 양수장의 외수위인 하천의 수위 자료를 확보한다면 보다 개선된 자료의 확보가 가능함
- 간접 계측방법은 직접 계측방법 대비 높은 경제성을 가질 수 있음
 - 직접 계측방법은 침단 계측기기가 적용되기 때문에, 시설의 구매 및 설치비용이 크고 유지관리 비용이 소요되어 취수 허가량이 높은 지점에서의 적용에 효과가 있음
 - 간접 계측방법은 추가적인 계측장비의 설치없이, 양수장 시설관리자에 의한 양수장 운영 현황이 기록되는 일지만으로도 취수량 자료의 산정이 가능함
 - 직접 계측방법에 비해 자료의 신뢰도가 다소 낮을 수 있으나, 중·소규모의 양수장에서 적용한다면 적은 비용으로 많은 지점의 취수량을 확보할 수 있어 효율적일 것으로 판단함
- 계측방법별 초기 시설 설치에 투자되는 비용만을 고려하여 단순 비교 분석을 수행

표 37. 계측방법별 설치비용 예시

계측방법	비용(원)
수위-유량 관계식	8,140,000
전자파 표면 유속계	18,000,000
초음파 도플러 유속계	24,000,000
전자식 유량계	3,080,000
가동시간법	1,640,000

표 38. 계측방법별 설치비용 예시 비교

구분	수위-유량 관계식	전자파 표면 유속계	초음파 도플러 유속계	전자식 유량계	가동시간법
수위-유량관계식	-	221%	295%	38%	20%
전자파 표면 유속계	45%	-	133%	17%	9%
초음파 도플러 유속계	34%	75%	-	13%	7%
전자식 유량계	264%	584%	779%	-	53%
가동시간법	496%	1,098%	1,463%	188%	-

㉔ 시험하천 운영 DB 구축

□ 시험하천 운영 DB 구축

○ 시험하천 운영 DB 현황

- 시험하천 대상지점인 만경강 유역의 어우보, 읍내보, 남봉양수장의 운영을 통해 취수량 산정을 위한 수위, 유속, 유량 등의 자료 취득 및 DB(Database)화
 - 시험장비 구축 이후 운영기간 동안의 일부결측(수문외측 수위계)을 제외하고, 2019년, 2020년의 2년간 취수량 관련 계측자료를 확보하였음
 - 어우보 취득 자료
 - 수위 : 전자파식, 초음파식, 기포식, 레이다식, 가스식, 압력식 수위 자료
 - 유속 : 초음파 유속계(V-ADCP), 전자파 표면유속계(RQ-30)
 - 기타 : 기상 모니터링센서
 - 읍내보 취득 자료
 - 수위 : 초음파식, 압력식 수위 자료
 - 유속 : 초음파 유속계(V-ADCP),
 - 특이사항 : 19년 9월 태풍으로 인한 일부 결측자료와 읍내보 수문개보수 작업으로 일부 결측이 발생함
 - 남봉양수장 취득 자료
 - 수위 계측기기 : 압력식 수위 자료
 - 유량 계측기기 : 전자기식
 - 특이사항 : 19년 9월 태풍으로 인한 일부 결측자료와 20년 8월 이후 시설관리자의 요청으로 인한 측정 중단으로 일부 결측이 발생함
-

표 39. 대상지점 자료 취득 현황

관측 시간	어우보										읍내보			남봉 양수 장
	수위							유속		기타	수위		유속	유량
	수로중앙부					수문내 측	수문외 측	수로중앙부		수로중 앙부	수로 중앙부	수문외 측	수로 중앙부	수로 중앙부
	기포식	전자파 식	초음파 식	레이다 식	가스식	압력식	압력식	전자파 식	초음파 식	기상모 니터링	초음파 식	압력식	초음파 식	전자 유량계
‘19.03.	○	○	○	—	—	○	—	○	○	—	—	—	—	—
‘19.04.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	—	—	—	—
‘19.05.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	—	—	—	—
‘19.06.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	—	—	—	—
‘19.07.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	○	○	○	○
‘19.08.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	○	○	○	○
‘19.09.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	—	—	—	—
‘19.10.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	○	—	○	○
‘19.11.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	○	—	○	○
‘19.12.	○	○	○	—	—	○	—	○	○	—	○	—	○	○
‘20.01.	○	○	○	—	—	○	—	○	○	—	○	—	○	○
‘20.02.	○	○	○	—	—	○	—	○	○	—	○	—	○	○
‘20.03.	○	○	○	—	—	○	—	○	○	—	○	—	○	○
‘20.04.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	○	○	○	○
‘20.05.	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	○	○	○	○
‘20.06.	○	○	○	○	—	○	○	○	○	—	○	○	○	○
‘20.07.	○	○	○	○	—	○	○	○	○	—	○	○	○	○
‘20.08.	○	○	○	○	—	○	○	○	○	—	○	○	○	—
‘20.09.	○	○	○	○	—	○	○	○	○	—	○	○	○	—
‘20.10.	○	○	○	○	—	○	○	○	○	—	○	○	○	—
‘20.11.	○	○	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	○	—
‘20.12.	○	○	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	○	—

○ 시험하천 수위자료 결과

- 어우보 수로내 어우교량 주위에서 계측기기별(기포식, 전자파식, 초음파식, 레이다식, 가스식) 수위자료를 비교 분석함
- 기포식은 어우보 농업용수에 위치한 어우보의 교각에 설치되어 있어, 고유속과 저유속 시 교각의 영향에 의해 수면 경사가 발생하기 때문에, 계측기기 설치 시 교각보다는 수로의 좌우 벽면에 설치하는 것이 적절할 것으로 판단함
- 수위 계측자료는 자료의 경향성이 일치하여 오프셋(offset) 조정을 통해 동일한 계측결과를 얻을 수 있는 것으로 나타남
- 신뢰도 높은 수위자료의 확보를 위해서는 계측 장비의 설치 위치, 계측되는 위치 등의 사전조사가 반드시 필요할 것으로 판단함

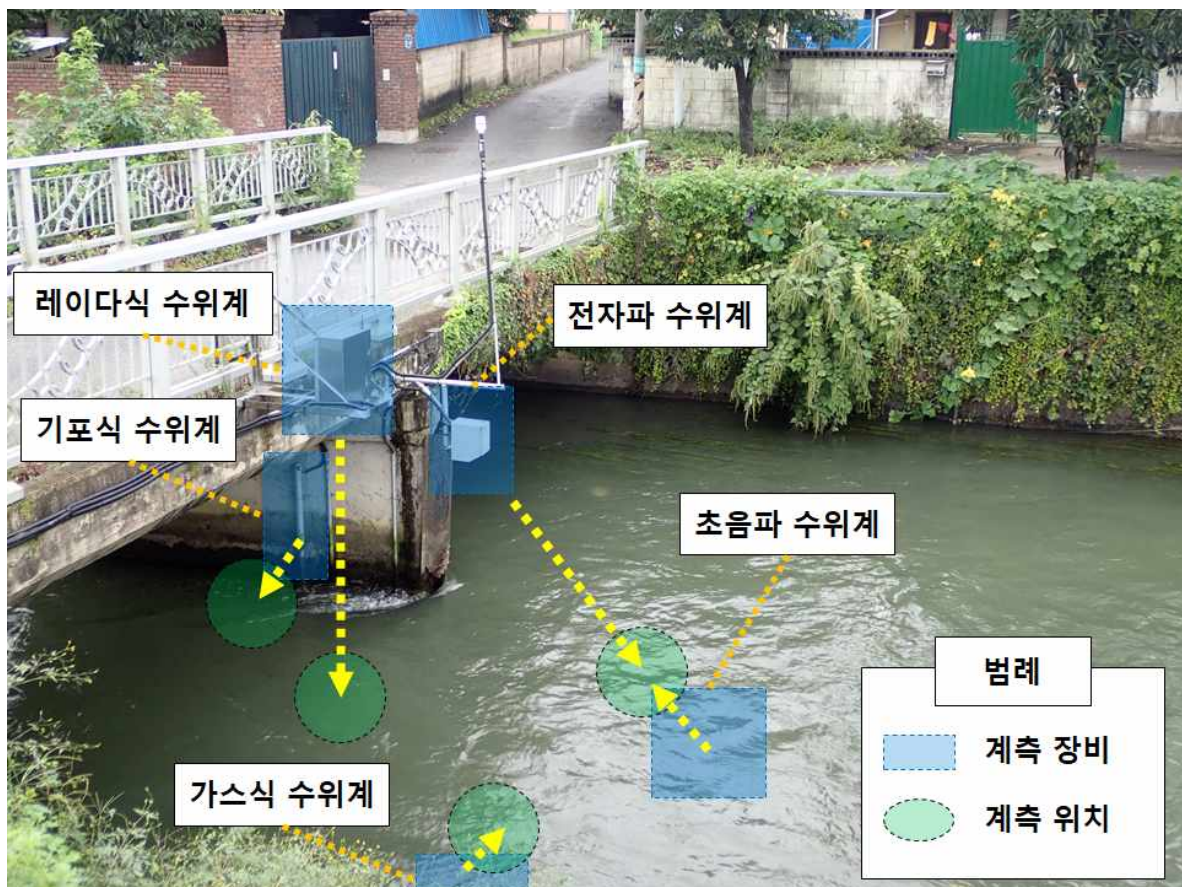


그림 66. 어우보 지점 수위 계측기기 현황

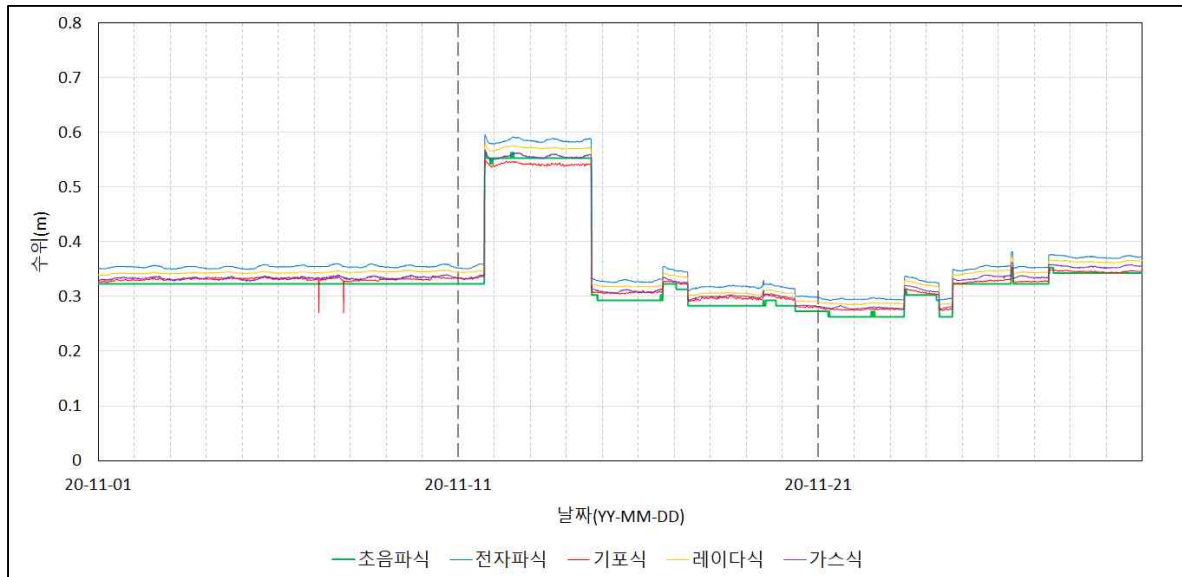


그림 67. 어우보 지점 수위 계측기기별 계측자료 비교

○ 시험하천 유속자료 결과

- 어우보 수로내 어우교량의 5 m 상류지점에서 초음파 유속계(V-ADCP)와 전자파 표면유속계(RQ-30)를 설치하여 유속 계측자료를 비교 분석함
- 초음파 유속계는 수로 하단에 부착된 접촉식 계측기기로서, 수로 하단부에서 수표면으로 수직 발사된 빔의 송수신을 통해 유속 계측이 이루어지고, 계측위치 단면의 셀단위 수직 유속 분포 계측을 통해 단면의 평균 유속 산정이 가능함
- 전자파 표면유속계는 교량 난간에 부착된 비접촉식 계측기기로서, 수표면의 파랑에 발사된 빔의 송수신을 통해 유속 계측이 이루어지고, 계측위치의 수표면 유속 산정이 가능함
- 두 계측장비는 국소적인 영역의 계측을 통해 전체 단면의 평균 유속자료를 측정하기 때문에, 지표유속법(Index velocity method, IVM), 유속분포법(Velocity profile method, VPM) 등의 일부 자료로 전체를 대변할 수 있는 자료를 만드는 환산방법의 적용이 필요함

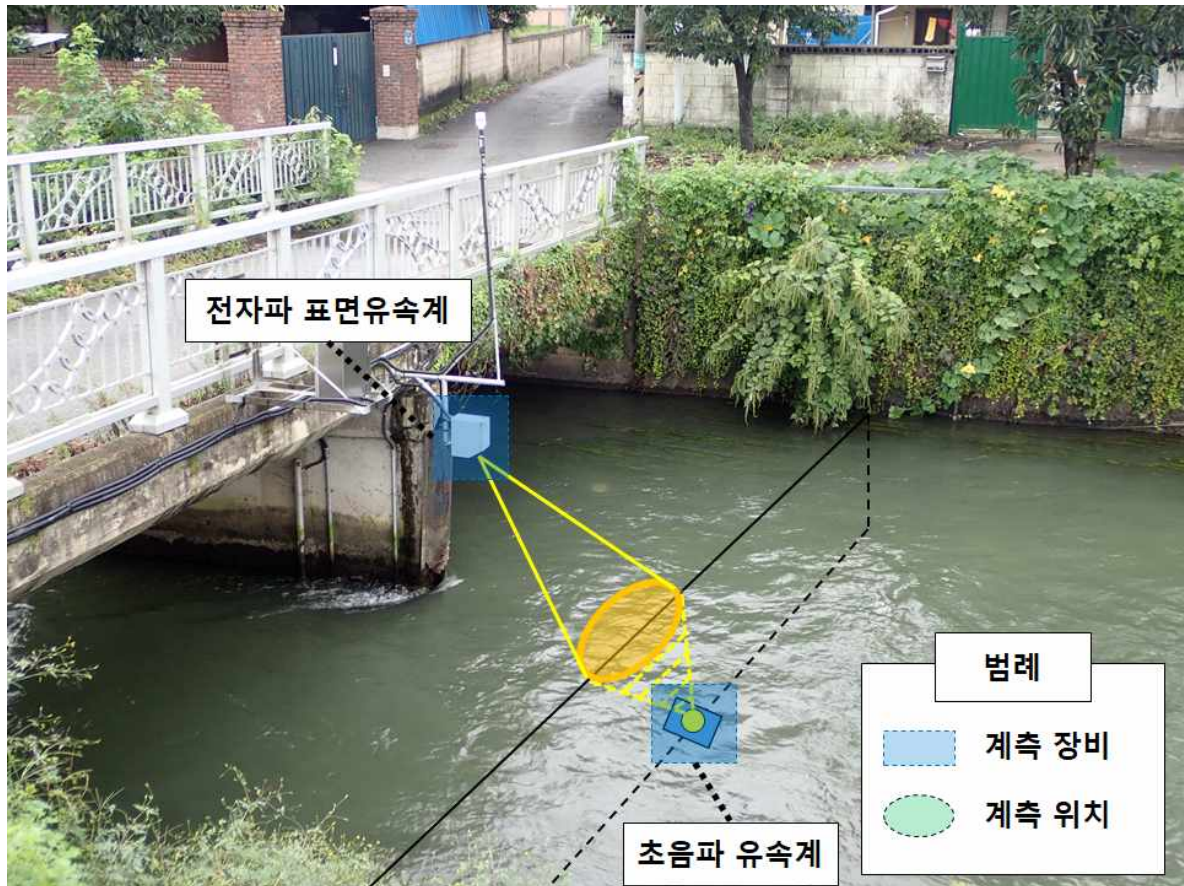


그림 68. 어우보 지점 유속 계측기기 현황

- 초음파 유속계는 총 18회의 현장측정을 통해 실측유량과의 검증을 수행하여 대상지점의 기준 유속자료로 설정하였고, 계측 유속자료와 실측유량의 단면 평균유속 자료간의 지표유속법을 통해 환산유속을 산정하였음
- 전자파 표면유속계는 대상지점 설치 이후, 총 6회의 현장측정을 통해 실측유량과의 검증을 수행하였고, 전자파 표면유속계로 계측한 표면유속 자료와 실측유량의 단면 평균유속 자료간의 지표유속법을 통해 환산유속을 산정하였음
- 초음파 유속계로 계측한 전체 자료의 결정계수는 0.954, 고유속시 결정계수는 0.481, 저유속시 결정계수는 0.915로 고유속시 다소 낮은 결과를 보이나, 전체자료의 결정계수는 높은 것으로 나타났고, 전자파 표면유속계의 결정계수는 0.974로 나타남

표 40. 지표유속과 평균유속간의 회귀식과 결정계수

구분	회귀식	결정계수
초음파 유속계(전체)	$y = 0.995x - 0.197$	0.954
초음파 유속계(고유속시)	$y = 1.120x - 0.345$	0.481
초음파 유속계(저유속시)	$y = 0.760x - 0.056$	0.915
전자파 표면 유속계	$y = 1.093x - 0.290$	0.974

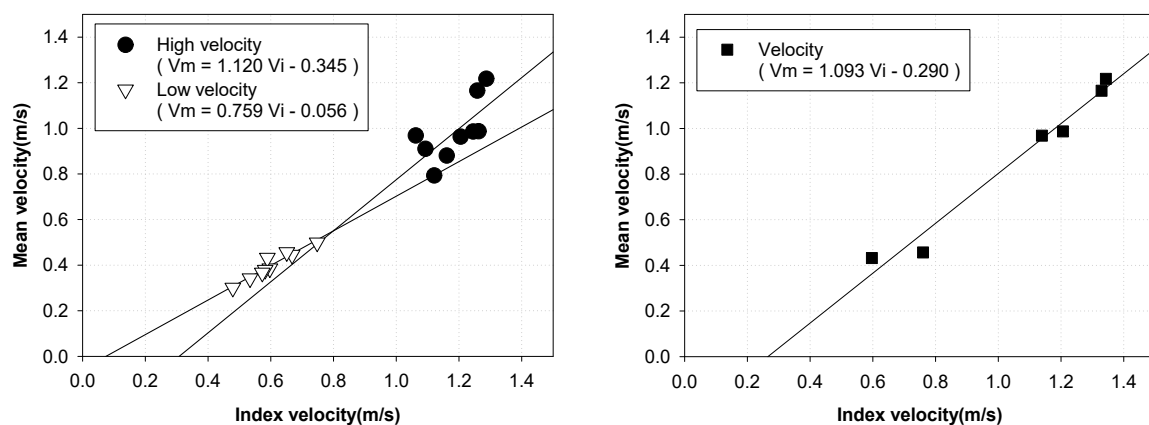


그림 69. 초음파 유속계와 전자파 표면유속계의 지표유속-평균유속 관계

표 41. 대상지점 실측유량 및 지표유속법

날짜	수심 (m)	단면적 (m ²)	측정유량 (m ³ /s)	평균유속 (m/s)	지표유속 (m/s)		환산유속 (m/s)	
					초음파식	전자파식	초음파식	전자파식
2017-02-10 11:00	0.29	3.27	1.20	0.367	0.573	-	0.379	-
2017-03-10 09:10	0.32	3.66	1.63	0.445	0.668	-	0.451	-
2017-06-10 09:50	0.71	8.72	8.40	0.963	1.205	-	1.004	-
2017-08-01 15:00	0.62	7.55	5.99	0.793	1.121	-	0.910	-
2017-10-20 10:40	0.33	3.79	1.14	0.301	0.479	-	0.307	-
2017-11-10 09:00	0.34	3.92	1.34	0.342	0.534	-	0.349	-
2018-02-08 12:50	0.26	2.88	1.11	0.385	0.597	-	0.397	-
2018-04-23 16:00	0.50	6.00	5.46	0.910	1.093	-	0.879	-
2018-08-02 06:20	0.80	9.89	9.75	0.986	1.245	-	1.049	-
2018-10-25 13:50	0.29	3.27	1.24	0.379	0.582	-	0.385	-
2018-12-20 10:00	0.52	6.26	5.51	0.880	1.161	-	0.955	-
2019-03-13 11:00	0.37	4.31	2.15	0.499	0.748	-	0.511	-
2019-06-20 13:50	0.80	9.89	12.04	1.217	1.287	1.343	1.096	1.178
2019-06-26 10:30	0.83	10.28	11.98	1.165	1.258	1.329	1.064	1.163
2019-07-03 15:10	0.72	8.85	8.57	0.968	1.062	1.139	0.844	0.955
2019-07-24 13:40	0.69	8.46	8.35	0.987	1.263	1.206	1.069	1.028
2019-09-25 08:50	0.34	3.92	1.79	0.457	0.651	0.760	0.438	0.541
2020-04-16 17:30	0.27	3.01	1.30	0.432	0.589	0.597	0.391	0.373

- 유속자료 계측시 특이사항

- 초음파 유속계와 전자파 표면유속계 설치 이후 초기 안정화 기간과 2019년의 일부구간에서 계측자료가 일부 상이한 것으로 나타남
- 2020년 7월 30일에서 8월 3일까지 연속된 호우와 태풍 등의 영향으로 인해 전자파 표면유속계 자료가 일부 결측되었음
- 2017년 최초 1년간의 현장 유지관리를 통해 결측과 오측을 최소화하여 2020년 계측결과를 비교하였을 때는 두 자료가 거의 유사한 것으로 나타남
- 그래프상 2019년 10월에서 2020년 4월까지의 0.4 m/s 규모의 유속 구간에서는 초음파 유속계와 전자파 표면유속계간의 자료 유사성이 다소 떨어지는 것으로 나타남
- 저유속 구간에서 전자파 표면 유속계로 계측한 표면유속자료 만으로는 초음파 유속계로 계측한 유속 변화를 모두 반영하지 못하는 것으로 나타남
- 자료의 안정화 이후 두 계측자료는 상당부분 일치하는 것으로 확인됨
- 개수로에서의 하천수 취수량 계측 목적으로 초음파법과 전자파법은 신뢰도 있는 자료를 계측할 수 있는 방법으로 판단됨

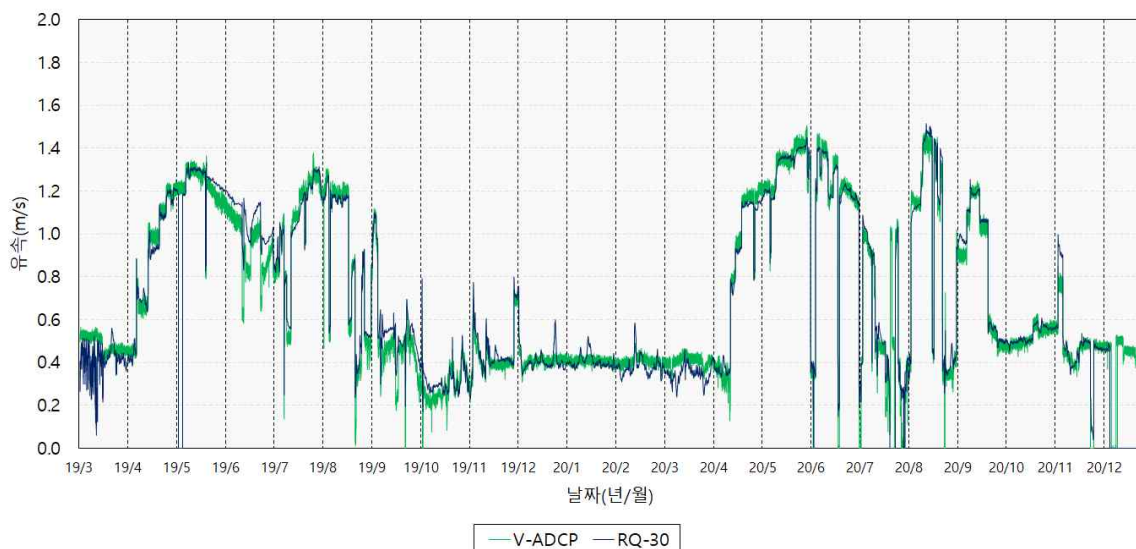


그림 70. 어우보 지점 유속 계측기기별 유속 계측자료 비교

○ 시험하천 운영 DB 결과(유량)

- 유량자료는 유속 계측자료의 결과에 수위별 단면적을 곱한 결과이기 때문에, 유속 계측자료와

비례하는 결과가 나타남

- 수위별 유속과 단면적의 비가 다르기 때문에 낮은 유속에서는 1~2 m³/s 규모의 유량이 산정되고, 높은 유속에서는 최대 16~18 m³/s 규모의 유량이 산정되었음
- 유속자료에 비해 스케일이 커졌기 때문에, 두 계측자료간의 유량 편차가 훨씬 줄어든 것으로 나타남

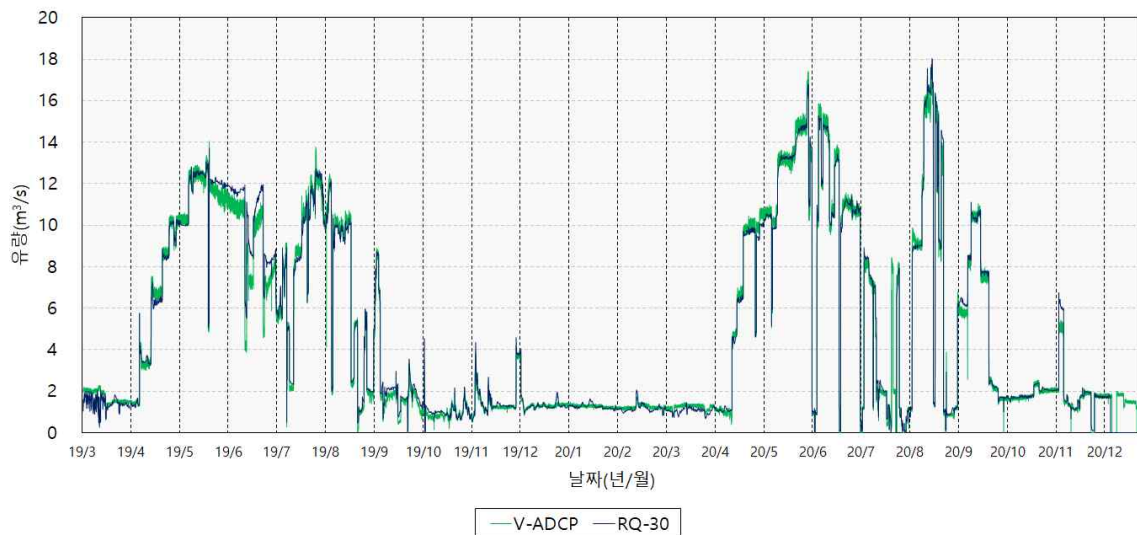


그림 71. 어우보 지점 유속 계측기기별 유량 계측자료 비교

- 2019년은 설치초기라 자료의 안정화 및 보정 기간으로 설정하였고, 2020년의 자료를 중심으로 산정된 유량자료간의 비교 분석을 수행함
- Case를 기간별로 구분하여 산정된 유량자료의 상관성 분석을 수행하였음
- 총 5개의 Case로 구분하였는데, Case 1은 전체기간의 유량자료, Case 2는 2019년 유량자료, Case 3은 2020년 유량자료, Case 4는 2020년 저유속시 유량자료, Case 5는 2020년 고유속시 유량자료에 대해 비교 분석하였음

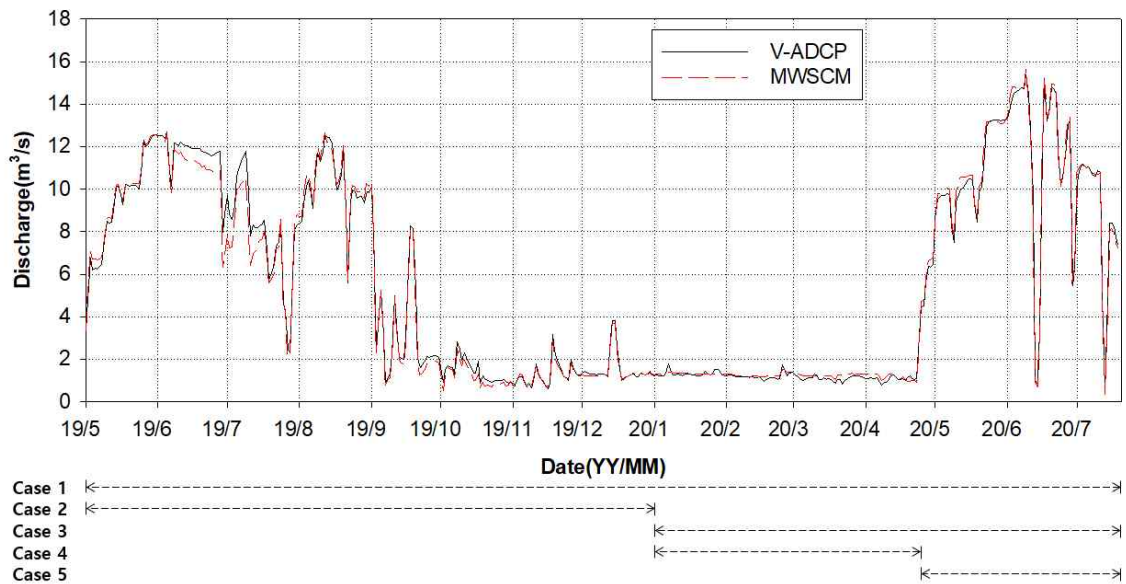
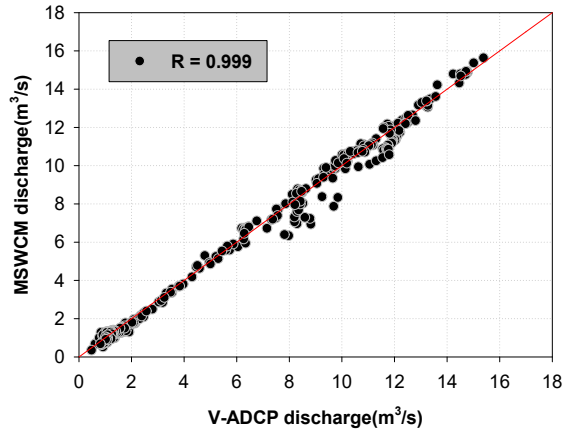


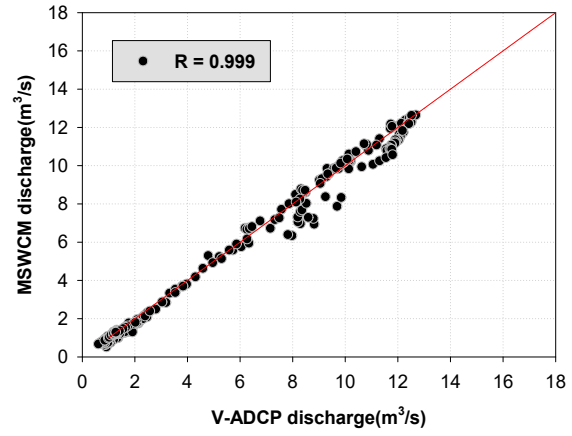
그림 72. 우보 지점 계측기기별 유량자료 비교

- 두 계측기기로 산정한 유량자료를 Case별로 피어슨의 상관계수(Pearson's correlation coefficient)와 산포도를 작성하여 상관관계를 분석하였음
- 산정된 상관계수는 Case 1은 0.999, Case 2는 0.999, Case 3은 0.999, Case 4는 0.844, Case 5는 0.999로 산정되었음
- Case별 상관계수 산정을 통해 저유속시의 상관계수가 다소 떨어지는 것으로 보이나, 전체적으로 높은 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타남
- 평균 제곱근 오차를 이용해 기준유량(초음파 유속계 자료)과 산정된 유량(전자파 표면유속계 자료)간의 편차를 산정하였음
 - 산정된 평균제곱근오차는 Case 1에서 0.353 m³/s, Case 2에서 0.443 m³/s, Case 3에서 0.195 m³/s, Case 4에서 0.141 m³/s, Case 5에서 0.249 m³/s가 산정되었음
 - 평균유량 대비 평균제곱근오차로 변동성을 확인한 결과, Case 1에서 6.50%, Case 2에서 7.82%, Case 3에서 3.78%, Case 4에서 11.39%, Case 5는 2.41%의 변동성이 산정되었음
 - Case 1, 2, 3은 경향성이 높은 것으로 확인되는데, 특히, 2020년 계측자료인 Case 3은 기준유량(초음파 유속계 자료) 대비 상당부분 일치하는 것으로 확인됨
 - Case 4는 변동성이 11.39%로 비교적 높게 산정되었으나, 평균제곱근오차가 0.141 m³/s로 양적인 차이는 적은 것으로 나타남

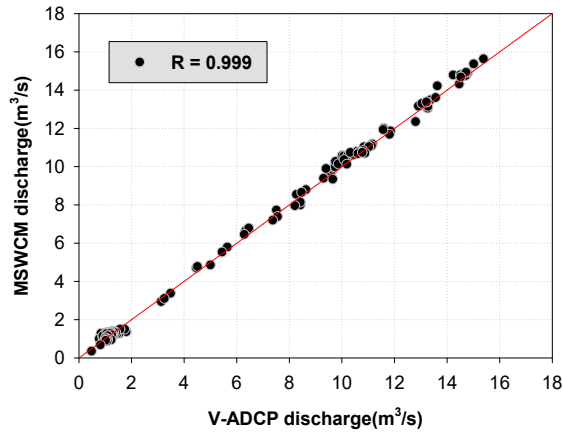
- Case 5의 결과는 고유속시에 전자파 표면유속계의 자료가 높은 정확도를 나타내는 것으로 판단할 수 있음



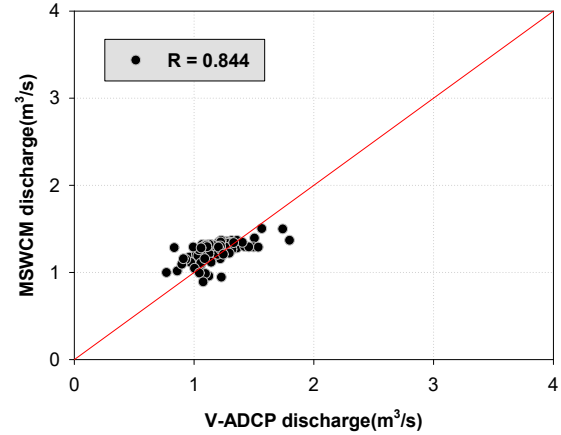
(a) Case 1



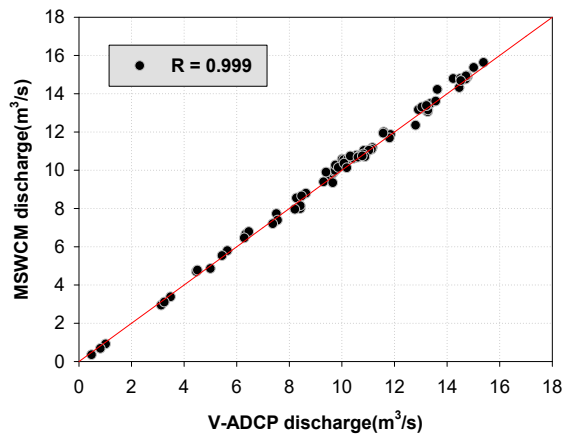
(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4



(e) Case 5

그림 73. Case별 상관계수와 산포도

표 42. 초음파 유속계와 전자파 표면유속계의 Case별 취수량 결과 비교

구분	적용 방법				
	상관계수	절대오차 (%)	평균유량 (m ³ /s)	평균제곱근오차 (m ³ /s)	평균제곱근오차 변동성 (평균제곱근오차/평균유량, %)
Case 1	0.999	6.99	5.440	0.353	6.50
Case 2	0.999	7.00	5.661	0.443	7.82
Case 3	0.999	6.98	5.169	0.195	3.78
Case 4	0.844	10.19	1.241	0.141	11.39
Case 5	0.999	2.78	10.317	0.249	2.41

- 10분단위로 산정된 유량자료를 월단위 총량으로 합산하여 총량적인 비교를 수행하였음
- 전체기간동안 월별 유량자료의 평균오차율은 4.6%, 2019년의 평균오차율은 5.4 %, 2020년의 평균오차율은 3.7 %로 나타남
- 2020년의 경우, 월별 유량 중 2월, 3월, 4월 등 고유량에 비해 저유량시에 오차율이 큰 것으로 나타난 것으로 미루어, 큰 오차는 아니나 전자파 표면 유속계로 보다 정밀한 계측을 원한다면 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단함
- Case별 결과로는, 총량을 비교할 수 있는 Case 1에서 초음파 유속계 211백만 m³, 전자파 표면유속계 210백만 m³으로, 오차율이 0.9% 이하로 오차율로 산정되었고, Case 2에서 2.8%, Case 3에서 1.7%, Case 4에서 5.2%, Case 5에서 1.0%로 산정되었음
- 저유속시에 두 계측자료간의 상관관계가 다소 낮은 것으로 확인되나, 일단위나 월단위의 총량적인 관점에서는 거의 유사한 값을 나타내고 있어, 하천수 취수량 보고를 목적으로 설치하는 경우에는 충분한 역할을 할 수 있을 것으로 판단함

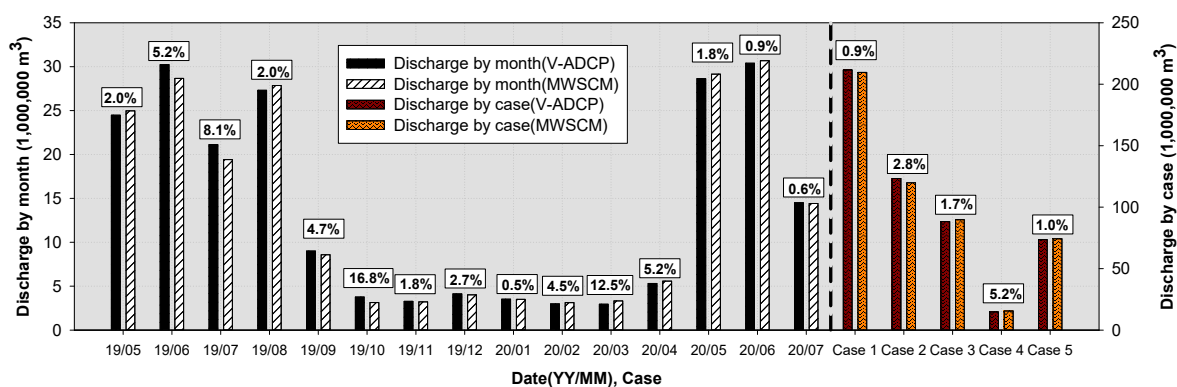


그림 74. 취수량 자료의 총량 비교

③ 취·방류수량 계측방법 표준지침 및 연계방안 마련

㉔ 취·방류수량 표준 계측기법 제시

□ 취·방류수량 계측 대상 분석 및 적정 계측기법 제시

○ 취·방류 시설형태별 계측 대상

- 앞선, 2017년 수리권일제조사 자료 분석 결과, 용수목적별로 구분하였을 때, 생활·공업용수 등에 비해 농업용수의 사용량 및 보고량의 신뢰도가 비교적 낮아 농업용수를 대상으로 보다 개선된 계측방법이 필요함
- 수리권일제조사(2020년 7월 기준)에 의하면 33,769건의 하천수 사용시설물 중 제원이 부정확한 자료를 제외하면 33,067건의 수리시설물 정보를 확인할 수 있음
- 이중, 하천수 사용량 등을 파악할 수 있는 유효한 자료는 14,575건으로 개소수에 비하면 44.1%이나, 양적인 측면에서는 대부분에 해당함
- 전체 14,575건 중 농업용수는 12,954건으로 개소수 기준 88.9 %, 허가량 기준 39.0 %임
- 농업용수 12,954 건 중 양수장과 취수보가 개소수 기준 88.56 %, 허가량 기준 73.8 %를 차지하고, 이중 저수지를 제외하면, 개소수 기준 98.2%, 일사용량 기준 98.4%를 차지함
- 결론적으로, 농업용수 목적의 수리시설물은 양수장과 취수보로 구분하여도 무방함

표 43. 용도 및 시설종류별 하천수 사용시설물 현황

구분	합계		생활		공업		농업		발전		환경개선		기타	
	개소수	일사용량	개소수	일사용량	개소수	일사용량	개소수	일사용량	개소수	일사용량	개소수	일사용량	개소수	일사용량
합계	14,575	419.04	943	32.99	378	4.54	12,954	163.54	74	214.60	121	1.60	105	1.78
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
취수장	401	26.29	280	21.86	70	3.06	21	0.07	1	0.34	25	0.63	4	0.32
	(2.8)	(6.3)	(29.7)	(66.3)	(18.5)	(67.4)	(0.2)	(0.0)	(1.4)	(0.2)	(20.7)	(39.6)	(3.8)	(18.3)
저수지	1,546	46.21	247	4.98	1	0.03	1,270	40.79	1	-	-	-	27	0.41
	(10.6)	(11.0)	(26.2)	(15.1)	(0.3)	(0.7)	(9.8)	(24.9)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(25.7)	(23.2)
양수장	3,716	101.66	65	5.25	70	0.97	3,536	92.18	2	2.32	13	0.17	30	0.77
	(25.5)	(24.3)	(6.9)	(15.9)	(18.5)	(21.5)	(27.3)	(56.4)	(2.7)	(1.1)	(10.7)	(10.4)	(28.6)	(43.6)
취수보	8,165	176.55	103	0.18	45	0.06	7,939	29.44	39	146.59	17	0.16	22	0.12
	(56.0)	(42.1)	(10.9)	(0.6)	(11.9)	(1.4)	(61.3)	(18.0)	(53.4)	(68.3)	(14.0)	(9.8)	(21.0)	(6.7)
집수암거	44	0.35	1	0.11	7	0.05	35	0.19	-	-	-	-	1	-
	(0.3)	(0.1)	(0.1)	(0.3)	(1.9)	(1.1)	(0.3)	(0.1)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(1.0)	(0.0)
측정소	50	0.01	-	-	13	0.00	-	-	-	-	34	0.00	3	0.00
	(0.3)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(3.4)	(0.1)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(28.1)	(0.0)	(2.9)	(0.1)
기타	653	67.98	247	0.61	172	0.36	153	0.87	31	65.35	32	0.64	18	0.15
	(4.5)	(16.2)	(26.2)	(1.9)	(45.5)	(7.8)	(1.2)	(0.5)	(42.5)	(30.5)	(26.4)	(40.3)	(17.1)	(8.2)

○ 취·방류 규모별 계측 대상

- 「하천법 시행령[시행 2020 1. 21.]」의 농업용수 기준 허가량 8,000 m³/일 이상의 시설물에 대해 취수량 자료를 보고하도록 하고 있음
- 허가량 8,000 m³/일 이상의 농업용수 취수시설물인 양수장과 취수보에 대한 적정 계측방법의 선정이 필요함
- 수리권일제조사(2020년 7월 기준)의 농업용수 11,475건(양수장 3,536건, 취수보 7,939건)을 대상으로 분석함
- 11,475건 중 「하천법 시행령[시행 2020 1. 21.]」의 농업용수 기준 8,000 m³/일 이상의 시설 2,261건(17.7%)을 대상으로 계측한다면, 일사용량 122백만 m³/일 중 105백만 m³/일 (86.0%)를 확보할 수 있음
- 이상의 분석결과를 토대로, 8,000 m³/일 이상을 사용하는 농업용수 목적의 하천수 사용 시설물에서 계측자료를 설치하여 자료를 확보한다면 개소수 대비 높은 취수량 자료를 확보할 수 있어, 효율적인 취수량 자료 확보 방안으로 판단함

표 44. 농업용수 목적의 하천수 취수시설물 사용량 규모 분석

구분(m ³ /일)	시설		비율	
	개소수	일사용량(m ³ /일)	개소수(%)	일사용량(%)
>=1,000,000	13	25,119,265	0.1%	20.7%
>=500,000	31	36,475,282	0.3%	30.0%
>=250,000	61	46,835,312	0.5%	38.5%
>=100,000	190	67,226,434	1.7%	55.3%
>=50,000	355	79,054,005	3.1%	65.0%
>=25,000	700	90,732,108	6.1%	74.6%
>=16,000	1,004	96,781,703	8.7%	79.6%
>=12,000	1,275	100,620,414	11.1%	82.7%
>=10,000	1,468	102,660,874	12.8%	84.4%
>=8,000	1,696	104,629,159	14.8%	86.0%
>=6,000	2,255	108,497,800	19.7%	89.2%
>=5,000	2,526	109,974,462	22.0%	90.4%
>=2,500	4,267	115,844,940	37.2%	95.3%
>=1,700	5,443	118,072,890	47.4%	97.1%
>=1,000	6,419	119,393,164	55.9%	98.2%
>=900	6,566	119,555,844	57.2%	98.3%
>=800	8,021	120,802,527	69.9%	99.3%
>=500	8,732	121,252,242	76.1%	99.7%
전체	11,475	121,616,882	100.0%	100.0%

○ 취·방류 시설물별 적정 계측방법

- 취·방류량 계측방법은 크게 직접 계측방법과 간접 계측방법으로 구분됨

- 직접 계측방법으로는 관수로와 개수로에서 수행하는 유량측정이 있고, 간접 계측방법으로는 유량과의 상관성을 가질 수 있는 변수를 통해 추정하는 방법 등이 있음
- 직접 계측방법은 기계식, 전자식, 초음파식 등 유량계측기로 현장 측정하는 방법, 위어, 플룸 등 구조물 관련 이론식으로 산정하는 방법, 초음파 및 전자파 등 계측기기를 현장에 설치하여 지속적으로 자료를 계측하는 방법 등으로 구분할 수 있음
- 간접 계측방법은 전력사용량과 유량간의 상관관계로 유량을 산정하는 방법, 펌프의 가동 시간을 통해 유량을 산정하는 방법, 수해면적의 상황을 고려해 취수량을 추정하는 방법 등으로 구분할 수 있음

표 45. 양수장과 취수보의 하천수 취수량 계측방법

시설물 종류	계측위치	계측방법			특이사항
양수장	양수관	직접	초음파식	이동시간차방식	- 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 관외부에 부착하여 기존관 형태 유지
			기타	터빈식, 전자식, 가스식, 순간식, 질량식 등	- 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 기존관에 연결이 필요하여 변경 필요
		간접	전력량법	전력사용량-유량 관계	- 비교적 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 전력사용량 제공이 되는 고압사용 지점
			가동시간법	펌프가동시간-유량 관계	- 비교적 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 펌프 제원의 자료 확보가 필요함
			수요량 추정	수해면적 비율 추정	- 자료의 신뢰도가 낮음 - 농사방식, 작물 등의 편차가 큼
	개수로	직접	기계식	회전식, 전자기, 초음파 유속계 등을 이용한 수위-유량관계법	- 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 어려움 - 측정 전문인력 상시 필요
			초음파식	도플러방식, 이동시간차방식	- 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 설치후 검증용 측정 필요
			전자파식	도플러방식	- 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 설치후 검증용 측정 필요
			구조물법	구조물별 이론식	- 현장 특이사항 등에 따라 이론식으로 신뢰도 높은 자료 확보가 어려움 - 제원, 운영방식 등의 자료가 필요함
취수보		간접	수요량 추정	수해면적 비율 추정	- 자료의 신뢰도가 낮음 - 농사방식, 작물 등의 편차가 큼

㉔ 취·방류수량 표준지침 개발 및 연계방안 제시

□ 시설물별 표준 계측방안 및 지침 개발

○ 양수장의 표준 계측방안

- 양수장에서 하천수 취수량을 계측할 수 있는 위치는 양수관과 개수로임
- 양수장의 양수관에서 취수량을 계측할 수 있음
 - 직접 계측방법으로는 관에 직접 설치하는 관유량계를 들 수 있는데, 방식에 따라 초음파식, 터빈식, 전자식, 가스식, 순간식, 질량식 등으로 구분할 수 있음
 - 초음파식(이동시간차방식)은 정확도가 검증된 계측기기를 직접 관에 설치하기 때문에 높은 정확도를 가질 것으로 판단되고, 관의 외부에 부착하여 유량을 측정할 수 있어 기존의 양수관에 영향을 미치지 않고 설치할 수 있음
 - 그 외의 기타 방식으로 계측된 관유량계는 초음파와 마찬가지로 높은 정확도를 가지고 있으나, 양수관의 중앙 부분 혹은 토출부(말단)에 설치하게 되어 기존관의 형태를 변화시킬 수 있어 계측기기 설치 시 양수장 관리기관의 동의가 필요함
- 양수장 토출부의 개수로에서 취수량을 계측할 수 있음
 - 기계식, 초음파식, 전자파식의 직접 계측방법과 수요량 추정 등의 간접 계측방법으로 구분할 수 있음
 - 기계식의 경우, 현장 유량측정을 의미하며, 유량측정을 통해 수위-유량관계 곡선식을 개발할 수 있어 높은 정확도를 가지고 있으나, 측정 당시의 유량값으로 전체 기간의 유량을 추정하기 때문에 자료의 연속성은 다소 낮은 것으로 판단되며, 필요시마다 전문 측정인력과 계측기기가 투입되기 때문에 상당한 비용이 발생할 것으로 판단함
 - 초음파식과 전자파식은 시험하천을 통해 검증을 수행한 결과, 높은 정확도와 연속적인 자료 생산이라는 측면에서 가장 적합한 계측방법인 것으로 확인되나, 설치이후 검증을 위한 현장측정, 계측기기의 높은 가격 등으로 비용이 크게 발생한다는 단점이 있음
 - 수요량 추정은 작물의 종류, 재배방식 등에 따라 필요한 수량이 각기 다르고, 수혜면적의 정확한 현황 정보를 확보하기 어려워 정확도나 연속성이 낮음

○ 취수보의 적용가능한 표준 계측방안

- 취수보에서 하천수 취수량을 계측할 수 있는 위치는 취수보와 연결된 개수로임
-

- 취수보의 개수로에서 취수량을 계측할 수 있음
- 양수장의 개수로와 같은 방식으로 기계식, 초음파식, 전자파식의 직접 계측방법과 구조물법, 수요량 추정 등의 간접 계측방법으로 계측이 가능함
- 기계식의 경우, 현장 유량측정을 의미하며, 유량측정을 통해 수위-유량관계 곡선식을 개발할 수 있어 높은 정확도를 가지고 있으나, 측정 당시의 유량값으로 전체 기간의 유량을 추정하기 때문에 자료의 연속성은 다소 낮은 것으로 판단되며, 필요시마다 전문 측정인력과 계측기기가 투입되기 때문에 상당한 비용이 발생할 것으로 판단함
- 초음파식과 전자파식은 시험하천을 통해 검증을 수행한 결과, 높은 정확도와 연속적인 자료 생산이라는 측면에서 가장 적합한 계측방법인 것으로 확인되나, 설치이후 검증을 위한 현장측정, 계측기기의 높은 가격 등으로 비용이 크게 발생한다는 단점이 있음
- 구조물법은 취수 구조물의 제원에 따라 이론식을 적용할 수 있는데, 실측 방법에 비해 정확도가 낮을 수 있고, 구조물별 운영방식이 상이하고 변동될 수 있다는 단점이 있음
- 수요량 추정은 작물의 종류, 재배방식 등에 따라 필요한 수량이 각기 다르고, 수혜면적의 정확한 현황 정보를 확보하기 어려워 정확도나 연속성이 낮음

표 46. 양수장과 취수보의 취수량 계측방법 평가

시설물 종류	계측 위치	계측방법		자료의 정확도			자료의 연속성			설치 및 유지관리 비용		
				상	중	하	상	중	하	상	중	하
양수장	양수관	직 접	초음파식	이동시간차방식	√			√			√	
			기타	터빈식, 전자식, 가스식, 순간식, 질량식 등	√			√			√	
		간 접	전력량법	전력사용량-유량 관계		√		√			√	
			가동시간법	펌프가동시간-유량 관계		√		√			√	
			수요량 추정	수혜면적 비율 추정			√			√	√	
취수보	개수로	직 접	기계식	회전식, 전자기, 초음파 유속계 등을 이용한 수위-유량관계법	√					√		√
			초음파식	도플러방식, 이동시간차방식	√			√				√
			전자파식	도플러방식	√			√				√
		간 접	구조물법	구조물별 이론식		√			√		√	
			수요량 추정	수혜면적 비율 추정			√			√	√	

□ 실시간자료 수집체계 구축 및 시스템 연계방안 제시

○ 실시간자료 수집체계 구축 방안

- 하천 유량, 취수량, 방류량에 따라 자료 수집체계를 구분할 수 있음
 - 하천 유량은 대부분 검증된 장비에 의해 측정되고 있어 비교적 신뢰도가 높음
 - 취수량은 유량계 등의 측정기가 운영되고 있는 지점도 있으나, 상당수가 수기입력 및 자발적인 보고에 의해 운영되고 있어 비교적 자료의 신뢰도가 낮은 상황임
 - 한강홍수통제소의 WINS 시스템을 이용해 유관기관별 유량과 관련한 실시간 자료를 유통 및 공유하고 있음
 - 정량적인 농업용수 취수량의 관리를 위해서 실시간·비실시간 자료의 확보가 필요함
 - 「하천법」 제52조, 같은 법 시행령 제60조 및 같은 법 시행규칙 제29조에 따라 허가량 8,000 m³/일 이상의 지점에서는 신뢰도 높은 취수량 자료의 확보가 필요함
 - 일부 허가량이 높은 중요지점에서는 실시간자료의 확보가 필요함
 - 중요도가 낮은 지점에서도 「하천수규칙[2018.6.14.]」 제7조4항을 따라 최소 일단위의 자료 확보가 필요함
 - 하천수 취수량 자료 수집체계 현황
 - 한강홍수통제소의 하천수사용관리시스템으로 취수 허가에서부터 사용자별 취수량 등록, 관리를 총괄하고 있음
 - 피허가자별로 허가정보를 관리하고 있고 월단위로 일단위의 실적보고를 입력함
 - 시설물이 위치한 하천의 물수지를 제공하고 있어, 하천의 유량 대비 취수가 이루어지고 있는 정도를 확인할 수 있음
 - 취수량 자료의 수집단위 통일이 필요함
 - 국가수자원관리종합정보시스템, 자동유량측정시설운영관리시스템, 수문자료품질관리시스템 등 유량 관련 시스템은 10분 단위의 실시간 자료 공급 및 제공 체계로 이루어져있음
 - 연속적인 통합물관리 시스템 구축을 위해서는 시스템간 자료수집 주기의 통일이 필요
 - 측정기기를 이용하여 하천수 취수량 자료를 수집한다면 10분단위의 측정자료 주기의 통일이 가능할 것으로 판단함
-

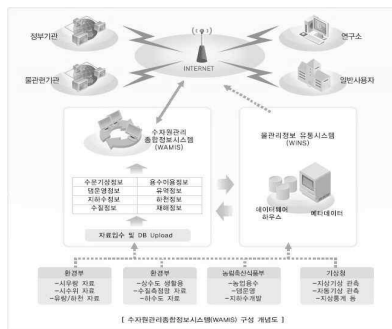
- 표준화된 계측방법을 통해 수리시설물별 하천수 취수량 계측을 수행하고, 통일된 주기와 자료형식에 맞춰 사용량을 보고하여 시스템상에서 자료의 수집 및 연계 수행

표 47. 자료수집체계 및 시스템 현황

구분		주요내용
자료수집 체계	취수량	- 생활용수 등 자체시스템을 보유한 수요기관의 사용량 조사체계 - 시스템 연계 가능성, 실시간 관리 가능 여부(시간별/일별/월별) - 하천수사용관리시스템을 통한 수기 입력에 의존하는 자료수집 체계
	유량	- 하천, 댐·보 등 유량 자료 수집체계 - 자동유량측정시설의 실시간 유량자료 수집체계
	방류량	- 수질원격감시체계의 방류량 자료 수집체계 - 12년부터 WINS를 통해 수집되고 있는 자료의 특성 - 전국오염원조사 자료수집 체계
시스템	취수량	- 홍수통제소의 하천수사용관리시스템 - 한국수자원공사 및 한국농촌공사의 취수량 관련 시스템 - 국가상수도정보시스템(상수도정보통합DB) - 지자체의 취수량 정보 관련 시스템
	유량	- 수위·유량자료 수집 국가수자원관리종합정보시스템(표준수문DB) - 자동유량측정시설 운영관리시스템 - 수문자료품질관리시스템
	방류량	- 수질TMS(SOOSIRO)시스템 - 전국오염원조사시스템 - 물관리정보유통시스템(WINS)



<하천수 사용 관리시스템>



<국기수자원관리종합정보시스템>



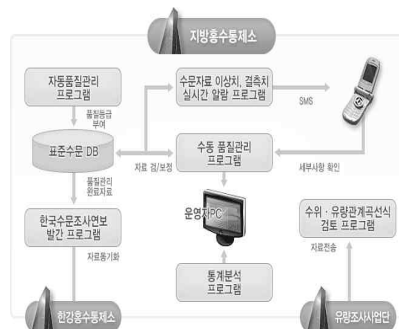
<농촌용수종합정보시스템>



<자동유량측정시설운영관리시스템>



<국가상수도정보시스템>



<수문 자료 품질 관리 시스템>

그림 75. 취수량 및 유량 관련 시스템 조사 현황

표 48. 자료수집체계 및 관리 현황

구분	주요내용
계측 기술 및 산정기법 측면	- 직접계측(수위, 유속, 유량)의 계측항목과 계측 주기와 자료형식 - 간접산정 기법에 따른 필요자료의 종류와 형식 등
자료 수집 방법 측면	- 시스템 연계를 통한 취수량 자료 수집체계 - 지자체 시스템의 직접연계에 의한 자료수집 체계 - 물관리정보유통시스템을 경유한 실시간 정보 수집 체계 - 자동유량측정시설 운영관리시스템과의 연계 방안 - 일시적 하천수 사용량, 문서에 의한 보고 등에 따른 관리자에 의한 수기 입력 - 연간 확정자료 등 파일형식의 자료 관리 체계 고려
자료의 단계 측면	- 실시간자료(시간별, 일별, 월별, 년별) 전송체계 - 비실시간 자료 입력 주기와 자료 형식 - 잠정자료 및 확정자료(통계연보) 등
품질관리 측면	- 품질관리 이전의 원시자료, 품질관리 이후의 자료 관리 - 취수량 자료의 품질관리 방안을 고려한 수문자료품질관리시스템과 관계
활용 측면	- 유역단위 물수지 기법을 고려한 자료형식과 제공 주기 - 실시간 물배분체계의 활용 - 기간별 통계작성 및 연보 발간

○ 실시간 자료 수집 시스템 연계방안

- 하천수사용관리시스템 등을 이용한 현재의 하천수 사용량 수집·관리 체계는 하천수 사용자의 자발적인 보고가 용이하도록 일단위 계측과 월단위 보고로 이루어져 있음
- 하천수 취수량 실시간자료 수집 시스템 연계방안
 - 기존의 유관기관별 하천수 취수량 관리 시스템들이 구축되어있고, 적절한 운영이 이루어지고 있기 때문에, 기존의 시스템을 최대한 활용하여 연계하는 것이 적정함
 - WINS 시스템을 이용해 기관별 자료를 최대한 공유하여 관리하되, 농업용수 취수량 실시간 자료는 별도의 시스템(한강홍수통제소의 IRDIMS(Integrated Real-time Discharge Information Management System) 등)을 통해 자료의 품질관리를 수행하고, 확정자료를 하천수사용관리시스템에서 관리하는 것이 적정함
 - 하천수 취수량 자료는 사용자 등에게 CS 접속 관련 정보를 제공하여 실시간 확인이 가능하도록 하고, 오·결측시 자료의 품질관리를 수행할 수 있도록 해야 함
 - 실시간 잠정자료 및 확정자료는 필요시 유관기관과의 원활한 자료 공유가 가능하도록 하여 통합물관리에 도움이 될 수 있도록 하는 것이 적정함
- 하천수 취수량 실시간자료 수집 시스템 보완방안
 - 실시간자료는 이상자료의 보정 등 품질관리가 필수적인데, 하천수사용관리시스템에 연계하기 전에 유지관리 시스템(IRDIMS 등)을 별도로 두어 계측자료의 수집, 품질관리 등이 되도록 할 필요
 - 기존에 운영중인 하천수사용관리시스템은 일단위 사용량 자료를 관리하고 있기 때문에, 실시간 사용량 자료는 별도의 시스템(IRDIMS등)에서 관리하여 일단위의 자료를 하천수 사용관리시스템으로 연계하는 등의 시스템 개선이 필요함
 - 실시간자료를 IRDIMS에서 관리하기 위해서는 기존의 운영시스템과 별도의 구분을 두어 취수량 자료를 구분관리할 수 있도록 시스템의 보완이 필요함
 - 하천수 사용량 보고의 측면에서 실시간자료 제공과 월단위 보고의 중복은 불필요하기 때문에, 효율적인 하천수 허가 및 관리를 위해서 실시간자료의 전송만으로 하천수 사용량 보고를 인정해주는 제도개선이 필요함

(다) 실시간 자료 전송 체계 구축

① 소형데이터로거 시스템 설계 및 개발

㉠ 시스템 설계

○ 개발 배경

- 사용되고 있는 계측방법(UVM, V-ADCP, 수위, 전력량, 표면유속)을 사용하는 제품은 각 제품별로 독립된 소프트웨어 또는 하드웨어를 사용하여 제어, 저장 및 데이터 전송 등의 기능 중 전부 또는 일부 기능만을 수행
- 일부 기능만을 수행할 경우 별도의 저장, 전송 시스템을 추가해야 하는 불편함 및 제각각인 비용 및 유지보수에 대한 효율이 낮음
- 각 계측방법을 동시 또는 개별 사용하더라도 원활한 데이터 제어, 통일된 형식의 데이터 저장 및 전송 그리고 시스템의 알람기능 등이 포함된 통합관리 체계가 필요
- 또한 비용 절감 및 유지보수의 용이성, 정형화된 규격을 통해 관리체계 수립 가능

○ 개발 조건

- 하천수 및 각 계측방법의 특성을 반영할 수 있게 기존 측정설정방법 포함 및 커스텀 설정이 가능한 시스템 구조로 제작하여 시험유역에 설치

표 49. 계측방법별 기본설정

계측방법(센서)	기본설정
UVM	매 30초 측정평균
V-ADCP	매 1초 측정 평균
수위	매 10초 측정 평균
전력량	트리거 카운팅을 통한 횟수 측정
표면유속	매 30초 측정 평균

- 통일된 형식의 데이터로 변환하여 각 계측별 측정값의 비교, 검증 용이
- 소규모 하천에 적용하기 위해 시스템 상 저전력, 소형화, 간편화 및 태양광등의 자체전력, 무정전전원시스템이 포함된 시스템으로 구성
- 알람시스템(전원, 데이터 이상변이 등) 및 센서자가테스트 시스템을 도입하여 빠른 문제점 파악 및 대처 가능하도록 구성

㉡ 시제품 제작

○ 통합 제어 시스템 요구조건

-
- 대표적으로 사용되고 있는 계측방법 (V-ADCP, 표면유속, 수위, 전력량)들의 각 제품별 독립소프트웨어, 하드웨어를 이용하여 제어, 저장 등의 기능이 통일되지 않아 각 계측 방법을 설치 시 각각의 전송장치가 필요하여 이를 통합하여 제어할 수 있는 시스템 제작
 - 계측방법(센서)의 측정 설정 방법을 확인하고 추가로 커스텀 설정이 가능한 구조로 제작
 - 각 계측센서의 출력을 통일된 형식의 데이터로 제작하여 수집단에서 이를 쉽게 정의하여 분리하도록 제작
 - 저전력, 소형화, 간편화 및 저비용으로 제작하여 쉽게 사용가능하도록 제작
- 계측방법별 대표 센서 및 특성 적용
- 초음파 도플러 유속계 (TRDI사 V-ADCP)
 - 수중에 설치하는 초음파를 송신하여 도플러방식을 이용하여 수신된 반향음의 주파수 차이를 이용하여 유속을 측정하는 센서로 수십별 프로파일을 모두 측정할 수 있는 장점이 있는 센서로, 센서에서 출력되는 데이터는 수십별 유속값 및 반향음의 세기, 신호상태 등의 정보를 바이너리형식으로 출력. 제어시스템에서 고려사항으로 센서의 설정이 가능하도록 하며 센서동작을 멈추기 위해 브레이크 신호(300ms 시간으로 TX, RX를 단락)를 하드웨어로 구현해야 하고 일반적으로 운영하는 시간인 10분을 기준으로 바이너리 형식의 데이터 출력을 저장.
 - 비접점 레이더 유속계 (Sommer사 RQ-30)
 - 교각이나 구조물 등을 이용하여 센서를 물에 넣지 않고 레이더 주파수로 표면 유속을 역시 도플러방식을 이용하여 주파수 차이를 이용하여 측정하여 표층유속을 얻고 이를 바탕으로 평균유속을 구하는 센서로 초음파 도플러 유속계에 비해 더 적은 시간동안 측정이 가능하고 시리얼통신이 가능하여 시리얼로 데이터 수신 저장 및 통합자료로 만들기 위해 바이너리 형식으로 변환.
 - 전자유량계 (Korea Flowmeter Ind사 KTM-800)
 - 페러데이의 전자유도법칙, 즉 <도체가 자기계내에서 운동할 때 그 도체내 자기방향 및 운동방향의 양 방향에 직각방향으로 기전력이 발생하고, 그 크기는 자속밀도와 속도에 비례한다>라는 법칙에 기초를 두고 전자기장을 이용하여 유체의 평균유속을 구하고 관구경의 면적에 의해 유량으로 계산을 할 수 있는 장비로 Modbus 바이너리 형식의 데이터로 센서에 직접 데이터를 요청하여 그때까지 누적된 데이터를 전달받아 이를 저장.
 - 압력식 수위계 (In-Situ사 LT400)
-

- 압력센서를 이용하여 수압을 수심으로 변환하여 사용하는 압력식 수위계로 대기압 보정이 되지 않는 센서로 추가적인 대기압 보정을 할 수 있는 기압계 설치 추가 및 Modbus의 바이너리 형식 데이터로 이를 버퍼에 받아 받은 값을 대기압과 함께 평균하여 계산 및 저장
- 간접적인 계측방법인 펌프 운영시간 측정
 - 유량펌프의 로드단에 전원공급기를 설치하여 이를 트리거 신호로 사용하여 펌프작동시 트리거신호가 올리면 시간을 기록하고 펌프의 전원이 차단되면 트리거 신호 역시 차단되어 정지 시간을 기록하여 총 운영시간을 기록하여 펌프의 토출량과 계산을 통해 유량을 산출

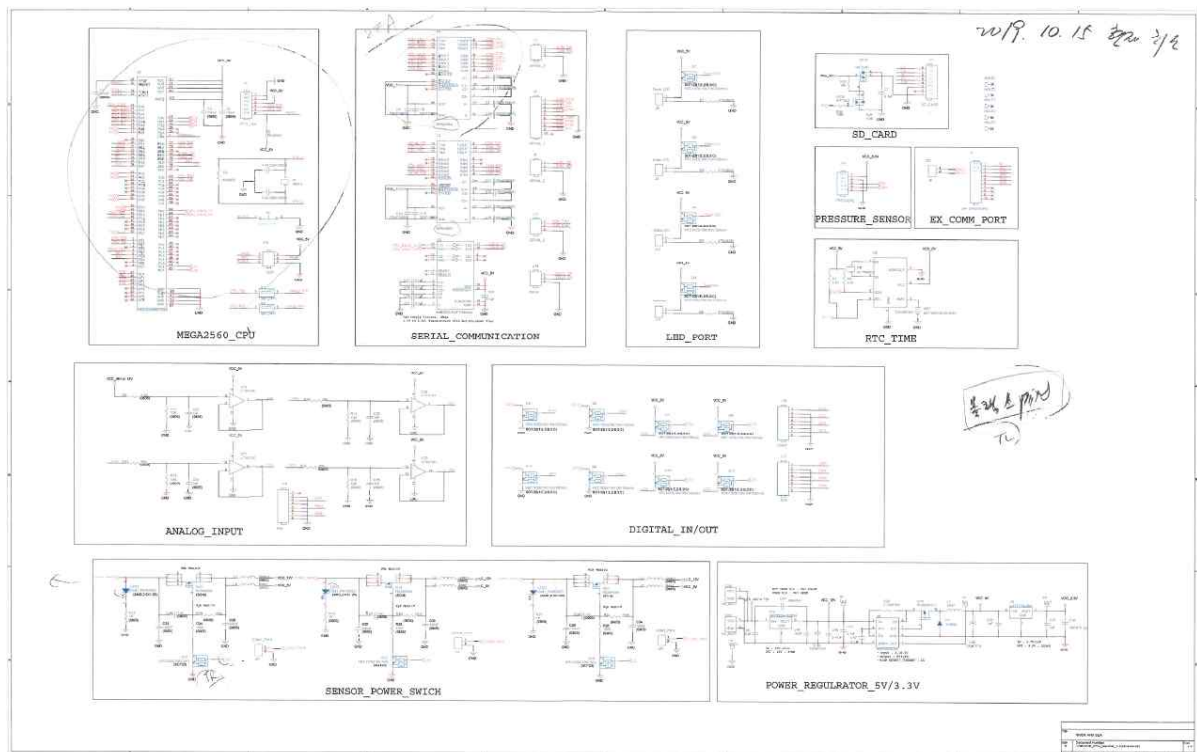


그림 76. 시제품 회로도 (Version 1)

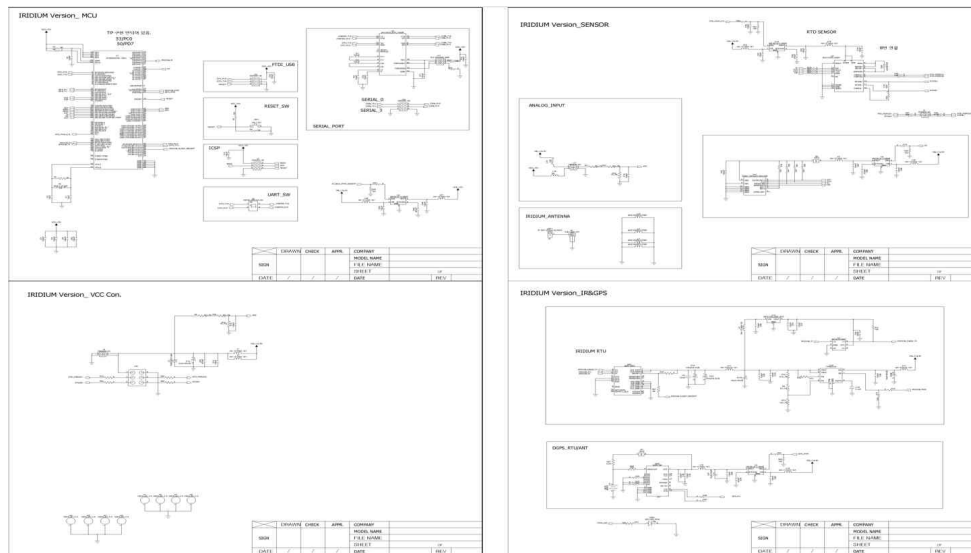


그림 77. 시제품 회로도 (Version 2 Iridium 통신)

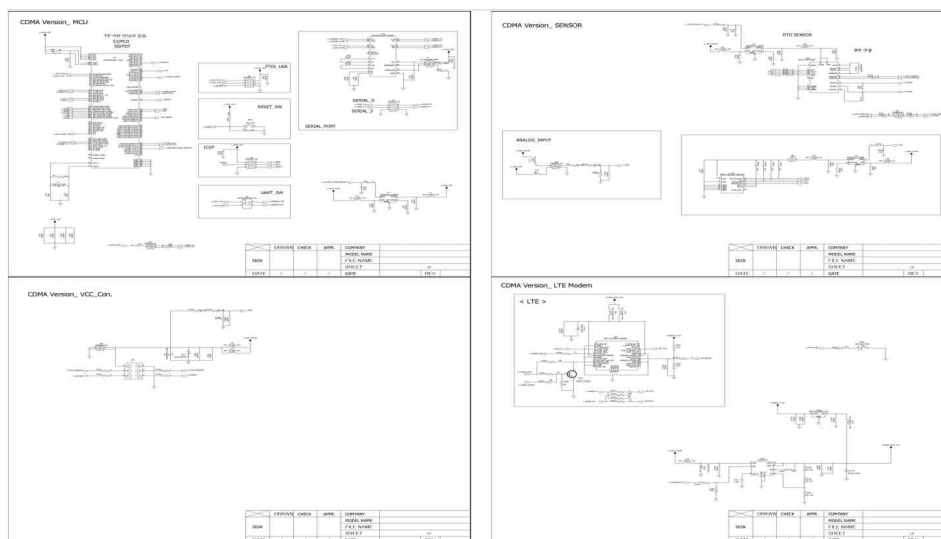


그림 78. 시제품 회로도 (Version 2 CDMA 통신)

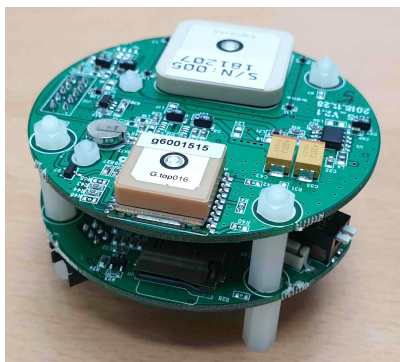


그림 79. 소형데이터로거

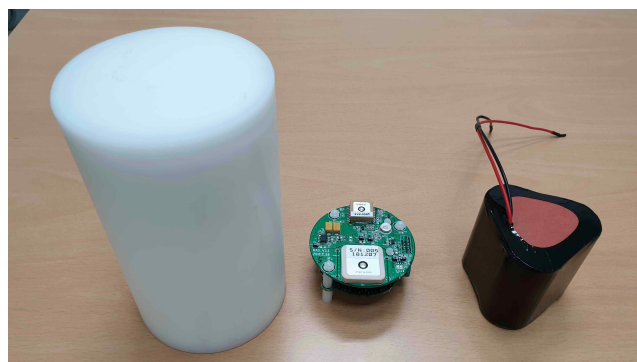


그림 80. 소형데이터로거 구성품

○ 시제품 특성

- 구성은 총 2개 층으로 로거와 통신보드로 구성 (크기 65mm x 높이 35mm)
- 통신보드는 다양한 통신을 지원할 수 있게 하였으며, 기본적으로 CDMA와 Iridium 모뎀을 사용하여 연결하여 전송할 수 있도록 구성
- 기존 당사에서 보유하고 있는 Rmeasure 보드 대비 전력소모를 약 50%로 줄임
- 위성 및 CDMA 방식으로 각각 월 통신비 (위성 : 60,000/월, CDMA : 5,000/월)가 소모됨.
- 방수하우징 (지름 100mm X 높이 190mm) 사용 시 별도 함체 없이 우천 등 사용가능
- 연결가능 센서
 - 도플러유속계 : TRDI ChannelMaster ADCP, V-ADCP
 - 접점 레이더 유속계 : Sommer RQ-30, RG-30
 - 압력식 수위계 : In-Situ LT400, LT500
 - 트리거 신호 수신

○ 시험하천 제어센서 설치



그림 81. 어우교 레이더유속계, 압력식 유속계 시스템 설치



그림 82. 남봉(신기)양수장 전자유량계,수위계,펌프가동식 시스템 설치



그림 83. 읍내보 V-ADCP, 수위계 시스템 설치

- 현장 설치시 전원이나 케이블 등 추가적인 배선이 필요하여 기존 소형하우징으로는 장시간 운영 및 보존 등 안전성 문제로 별도의 함체를 이용하여 설치진행
- 어우보 지점
 - 레이더유속계, 압력식 수위계를 로거에 연결하여 매 10분 간격으로 각각의 데이터를 수집, 저장 전송하도록 구성. 각 센서는 로거를 통해 최초 설정을 완료 후 정해진 설정 시간마다 데이터를 수집하도록 함
- 신기(남봉)양수장 지점
 - 전자유량계, 압력식수위계 및 펌프가동시간 측정으로 구성하여 로거에 연결하고 매 10분 간격으로 전자유량계는 센서에 데이터를 요청하여 측정된 데이터를 얻고, 수위계의 값은 지속적인 데이터를 버퍼에 저장하여 이를 평균하여 기록, 저장함. 이와 별개로 펌프가동 시간은 트리거 신호를 일일 단위로 끊어 신호 시작시간, 종료시간 및 신호기간으로 표기하여 펌프의 가동시간을 확인하도록 구성
- 읍내보 지점
 - 도플러유속계 및 압력식 수위계로 구성하여 로거에 연결하여 매 10분 간격으로 유속계에서 나오는 값을 저장하고 수위계는 지속적인 데이터를 버퍼에 저장하여 이를 평균하여 기록, 저장하도록 구성. 각 센서는 로거를 통해 최초 설정을 할 수 있도록 함.
- 시제품 운영상태
 - 각 현장별 시스템구성이 정상적으로 되어있는지 확인(압력식 수위계, 도플러 유속계, 전자유량계, 레이더식 유속계 장비와 통신가능)

- 각 계측센서의 데이터 포맷 정의를 통해 데이터의 수집 및 전송이 정상적으로 이루어지고 있는지 확인
- 데이터의 통합 및 저장을 위해 각 계측센서별 데이터에 Head파일을 붙여 구분하고 그에 맞게 저장하도록 확인
- 통신모뎀(CDMA, Iridium)을 통해 데이터 전송이 정상적으로 이루어지는지 확인

② 프로그램 개발

㉓ 원시수집프로그램

- 소형데이터로거에 탑재되는 프로그램으로 Arduino 기반으로 개발
- 다양한 계측방법별 센서의 데이터 형식 확인 및 별도 저장기능 개선
- 계측기의 측정설정 표준 방법 적용 및 커스텀 설정 기능 추가
- 통일된 데이터 저장 및 CDMA/위성 모듈 컨트롤 및 자료 전송

```
COM4 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
PIC32MX575F512L
Last Compiled : Oct 14 2020 13:38:30
=====
START TIME : 2020-10-16 08:40:16
RLOGGER $ MODEM PROCESS INIT
AWAC PROCESS INIT
DATA ACQUISITION FINISH
ERROR: AWAC PREFIX CAN'T FIND [$PINORE]
AWAC PROCESS DONE [3466]
PRE POS [93825]
SAVE TO FILE [20201016]
SAVE AWAC INFO [3466:1014:1024]
SAVE AWAC INFO [3466:2038:1024]
SAVE AWAC INFO [3466:3062:1024]
SAVE AWAC INFO [3466:3466:403]
SAVE AWAC INFO COMPLETED
SEND TO SERVER [1:1]
FILE OPEN FOR SEND [20201016]
SEND FIELD TIME: 2020-10-16 09:00:00 [3466]
SEND FRAME MAKE COMPLETED [1/7, 1052]
SCMD : ATE0
MRCV : OK
SCMD : AT+QICFG="dataformat",1,1
MRCV : OK
SCMD : AT+QICFG="viewmode",1
MRCV : OK
SCMD : AT+QIOPEN=1,0,"TCP","203.239.47.135",5842,0,1
MRCV : OK
MRCV : +QIOPEN: 0,0
SCMD : AT+QISEND=0,526
SEND TCP MESSAGE
SRCV :
SRCV : SEND OK
SRCV : +QIURC: "recv",0,5,3030353132
SERVER SEND OK
MODEM ACK SUCCESS
SEND FRAME MAKE COMPLETED [2/7, 1052]
SCMD : AT+QISEND=0,526
SEND TCP MESSAGE
SRCV : "recv",0,5,3030353132
```

그림 84. 원시자료수집프로그램 운영화면

㉔ 서버프로그램

- Socket 통신방식에 의한 서버DB 저장

- 통합데이터 형식 저장 및 각 계측기별 별도 데이터 분리 저장
- 설치지점은 ID로 구분하고 각 데이터는 일별로 DB에 저장

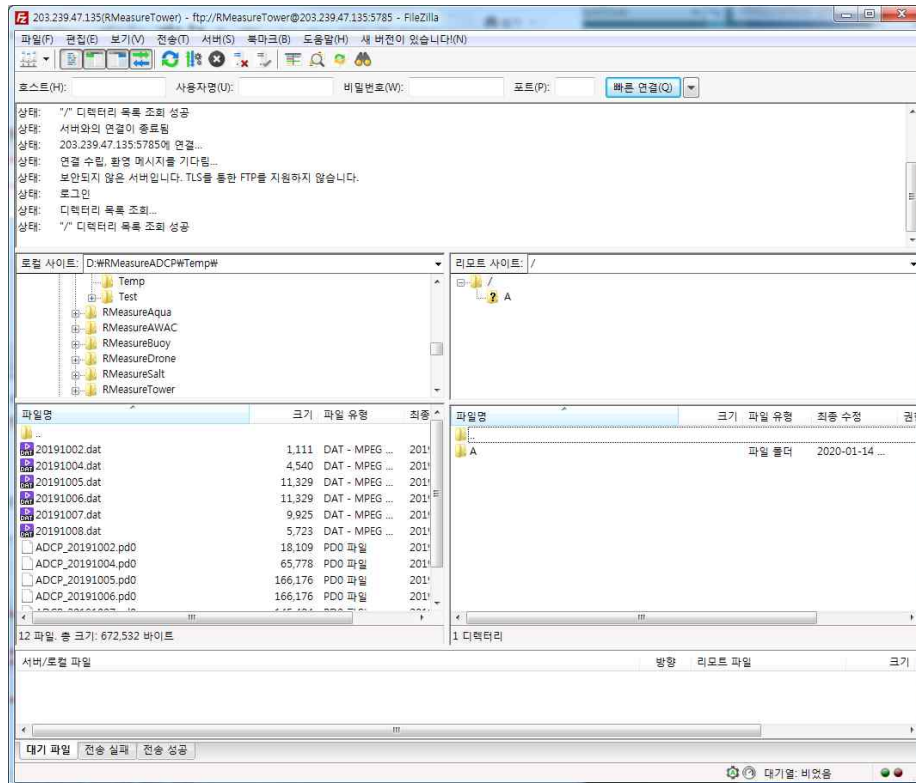


그림 85. 서버프로그램 데이터루트 접속화면(Filezilla 이용)

- ㉔ 데이터 표출 프로그램
- 수집된 서버DB에서 각 계측별 데이터 표출
- 간별 데이터 그래프 제공에 따른 상태 변화량 확인 및 출력기능 제공

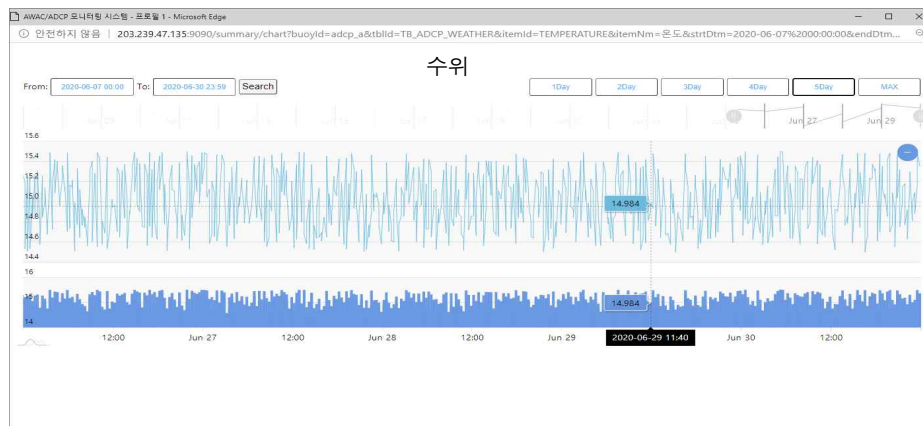


그림 86. 수위데이터 표출 화면

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표 및 목표 달성여부

(1) 질적 성과목표 및 달성도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		3차년도 성과점검기준				
				질적 성과지표		목표치	측정방법	달성도
A	하천수 관리 모형 개발	A-1	시험하천 적용	①	시험하천 적용	1건	논문	100%
		A-2	하천수 관리 모형 구축	①	기계학습 기반 예측 알고리즘 설계	1건	구축여부	100%
		B-1	모형 구축	①	모형 구축	1건	구축여부	100%
		B-2	하천수 이용효율	①	하천수 이용효율 향상(시나리오 기반)	20 %	하천수 이용효율	100%
B	기존 하천수 취·방류수량 측정 방법 평가	C-1	시험하천 구축 및 운영	①	기술검증을 위한 현장 적용 건수	3건 이상	논문	100%
		C-2	간·직접 계측방법 적용 및 평가	①	간·직접 계측 방법 정확도	3건 이상	논문	100%
		C-3	취·방류량 표준 계측기법 제시	①	기술 검증을 위한 현장 적용 건수	3건 이상	논문	100%
C	실시간 자료 전송 체계 구축	D-1	통합운영 시스템 구축	①	소프트웨어	1건	SW 등록여부	100%

(2) 양적 성과목표 및 달성도

과제명	성과지표 종류	양적 성과점검기준					
		양적 성과지표		목표치	측정방법	달성치	달성도
취·방류수량 계측 및 취·방류 시설물 최적 운영을 통한 하천수 이용효율 향상 기법 개발	학술적 성과	①	SCI논문/비SCI논문	0/13	논문 게재 건수	13건	100%
		②	국내외학술회의 발표	0건	발표 건수	8건	초과 달성
	기술적 성과	①	시제품	1건	시제품 제작	1건	100%
		②	소프트웨어 등록	2건	소프트웨어 등록 건수	10건	초과 달성
		③	기고서 제출	0건	기고서 제출 건수	1건	100%
		④	현장적용	0건	현장적용 건수	6건	초과 달성

4 연구개발성과의 활용 계획 등

(1) 연구개발성과의 활용 방안

-
- 물부족에 대비하기 위해 공공재인 하천수의 효율적 관리의 기초가 되는 정확한 취·방류수량 측정 및 관리시스템과 관련된 연구로서 하천수 관리자인 환경부 및 유관기관(수자원공사, 농어촌공사, 지자체 등)에 연구성과를 공개하여 공공이익 도모
 - 현재 환경부에서 구축중인 “가용수량 모니터링 및 배분 체계”에 반영
 - 환경부에서 수립한 “유역단위의 하천수 취수량 수집체계와 관련한 기본계획”은 전국 단위의 주요 농업용수 취수시설 계측을 목적으로 하고 있으므로, 본 연구에서 작성한 ‘하천수 취수량 계측 표준지침’을 바탕으로 지자체, 한국농어촌공사 등이 운영 중인 취수 시설에 직접 적용하여 취수량 계측의 정확도 향상 가능
 - 월간 사용량을 사용자가 익월 신고하는 하천수 사용 신고제를 (준)실시간 파악이 가능한 표준 제시(제도 개선의 기반 제공)
 - 허가량 기준으로 하천수 사용료를 징수하는 절차를 실사용량 기준으로 징수가 가능하도록 2020년 법령이 개정되었으므로, 이 연구에서 제시한 계측 표준과 연계하여 하천수사용량의 (준)실시간 파악이 가능하도록 제도 개선 가능
 - 수자원 관련 개도국 지원사업의 원천기술 제공
 - ODA 등의 유무상 원조사업에서 수자원과 관련한 사업은 홍수예경보 등 치수사업 위주에서 통합수자원관리(IWRM)사업으로 확대되고 있는 추세
 - 본 연구에서 제시한 하천수의 실시간 현황 파악 및 예측 기술을 기초로 수원국 별 적정 기술을 변경하여 중소/중견기업의 해외시장 진출 지원
 - 시험하천의 계측장비는 과업종료 이후에도 지속적으로 운영 계획하고 있음
 - 어우보 지점은 한강홍수통제소에서 관리하는 자동유량관측소로 운영되어 기운영 장비들은 변동 없이 연속적으로 하천수 취수량의 검증과 연구를 위해 활용됨
 - 읍내보, 남봉양수장은 과업 종료 이후 운영되던 장비를 회수하여 한강홍수통제소의 하천수 취수량 계측과 관련한 연구용역 등을 위해 한국수자원조사기술원에서 적소에 배치하여 활용할 계획임
 - 기운영 장비들을 활용하여 지속적으로 하천수 취수량 계측 관련 DB를 구축 및 연구를 수행하여 ‘하천수 취수량 계측 표준지침’을 개선 및 수정보완을 계획하고 있음
 - 연구성과를 바탕으로 계측 대상의 확대와 실무에의 적용 가능
-

- 본 연구에서 수행한 취·방류 계측방법의 검증과 표준화를 통해 한강홍수통제소에서 계획하고 있는 유역단위의 하천수 취수량 수집체계 구축과 관련한 연구의 기반기술을 제공할 수 있을 것으로 기대함
- 하천수 취수량의 계측방법 표준화를 통해 정량적인 하천수 취수량 확보 방안을 마련하였고, 추후 하천 유량자료와의 통합적인 연계를 통한 유역단위의 물수지 분석으로 안정적이고 효율적인 물배분 시스템을 구축할 것으로 계획하고 있음.

○ 시제품을 바탕으로 추가 검증 및 상용품 제작을 계획하고 있음

- 본 연구를 통해 개발된 시제품의 추가 검증 및 상용품 제작으로 진행하기 위해 수자원조사기술원에서 진행하는 계측방법 표준화 진행을 지원하여 계측방법 표준화 내용을 시제품에 보완 적용 및 검증을 지속적으로 진행계획하고 있음
- 시제품 상용화를 위해 교각, 하천둑, 콘크리트수로, 배관 등 다양한 환경 및 현장에 각각 적용할 수 있는 표준 모델화 및 각각의 형태에 맞는 모델형태의 디자인 추가 개발진행

표 86. 성과 활용 목표 및 계획

년 도	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
단 계	실용화 추진	실용화 추진	실용화 추진	시장수용단계	시장수용단계
	추가 보완 및 검증	표준화 및 디자인 개선	시스템 구축 운영 및 제품 홍보	현장적용 및 제품 홍보	
내용	한강유역 하천수 모니터링 시스템 구축			하천 하천수 현장모니터링 현장	
목표 개소	3개소			5개소	

붙임. 참고문헌

1. 국토교통부(2016), 수자원장기종합계획(2011~2020).
 2. 기상청 (2012). 한반도 기후변화 전망보고서.
 3. 김미경 & 홍철의. (2016). “계절 및 날씨 정보를 이용한 인공지능망 기반 전력수요 예측 알고리즘 개발”. 전자공학회논문지, 53(1), 71-78.
 4. 소병진, 권현한, 박세훈, & 문영일. (2011). “강수-온도-습도-일조량 연동 추계학적 모의 기법 개발.” 한국수자원학회 학술발표회, 386-386.
 5. 유형주, 이승오, 최서혜 & 박문형. (2020). “합리적인 하천수 관리체계 구축을 위한 자료기반 방류량 예측모형 개발.” 한국방재안전학회논문집, 한국방재안전학회, 13(4), 75-92.
 6. 조용준, & 김종문. (1998). “Wavelet Transform 을 이용한 물수요량의 특성분석 및 다원 ARMA 모형을 통한 물수요량예측.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 31(3), 317-326.
 7. 최서혜, 권현한, & 박문형. (2019). “TDSVM 을 이용한 하천수 취수량 예측.” 한국수자원학회논문집, 52(12), 1075-1086.
 8. 한국수자원공사 (2010), 생공용수 회귀수량 표본조사 학술용역 최종보고서.
 9. 현유경, 박진경, 이조한, 임소민, 허슬잎, 함현준, & 김윤재. (2020). “현 기후예측시스템에서의 기온과 강수 계절 확률 예측 신뢰도 평가.” 대기, 30(2), 141-154.
 10. 한강홍수통제소(2020). 하천수의 합리적인 사용을 위한 관리체계 개선 연구 최종보고서.
 11. Altunkaynak, A., & Nigussie, T. A. (2017). “Monthly water consumption prediction using season algorithm and wavelet transform - based models.” Journal of Water Resources Planning and Management, 143(6), 04017011.
 12. Amari, S., and Wu, S. (1999). “Improving support vector machine classifiers by modifying kernel functions.” In Proceedings of International Conference on Neural Networks, Vol. 12, No. 6, pp. 783-789.
 13. Baek, J. S., Kim, C. Y., Cha, J. H., Song, J. H. (2019). “A study on the applicability of power usage method for the analysis of river water intake.” Journal of Korea Water Resources Association, KWRA, Vol. 52, No. 12, pp. 975-984.
-

-
14. Baek, J. S., Kim, C. Y., Cha, J. H., Song, J. H. (2020). "A study on the estimation of river water intake using the operating time of the pumping station." *Journal of Korea Water Resources Association, KWRA*, 53(2), 89–96.
 15. Baek, J. S., Kim, C. Y., Lee, K. S., Kang, H. W., Song, J. H. (2020). "A comparative study on direct instrument methods in open channel for measuring river water usage." *Journal of Korean Society Disaster Security, KSDS*, 13(4), 65–74.
 16. Baek, J. S., Kim, C. Y., Lee, K. S., Kang, H. W., Song, J. H. (2020). "Application of microwave water surface current meter for measuring agricultural water intake." *Journal of Korea Water Resources Association, KWRA*, 53(12), 1071–1079.
 17. Barioni, L.G., Bellocchi, G., Touhami, H.B., Conant, R., Chang, J., Coltri, P.P., Hassen, A., Martin, R., Silvestri, S., Sicerly, J., Tesfamariam, E.H., and Viovy, N. (2014). Report on model- data comparison and improved model parameterisation. INRA, France, p. 5.
 18. Betts, A. K., Desjardins, R., Worth, D., & Beckage, B. (2014). "Climate coupling between temperature, humidity, precipitation, and cloud cover over the Canadian Prairies." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(23), 13–305.
 19. Bougadis, J., Adamowski, K., & Diduch, R. (2005). "Short term municipal water demand forecasting." *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(1), 137–148.
 20. Byun, H., and Lee, S.W. (2002). "Applications of support vector machines for pattern recognition: a survey." *International Workshop on Support Vector Machines*. Springer, pp. 213–236.
 21. Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H. and Bengio, Y. (2014). "Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation." *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 1724–1734, , Doha, Qatar
 22. Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K. and Bengio, Y. (2014). "Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling." *arXiv preprint arXiv:1412.3555*.
-

-
23. Gato, S., Jayasuriya, N., & Roberts, P. (2007). "Forecasting residential water demand: case study." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133(4), 309–319.
 24. Han River Flood Control Office (HRFCO) (2019). Republic of Korea, accessed 11 November 2019, <<http://ras.hrfco.go.kr/>>.
 25. Herrera, M., Torgo, L., Izquierdo, J., & Pérez-García, R. (2010). "Predictive models for forecasting hourly urban water demand." *Journal of Hydrology*, 387(1-2), 141–150.
 26. Jain, A., & Ormsbee, L. E. (2001). "A decision support system for drought characterization and management." *Civil Engineering Systems*, 18(2), 105–140.
 27. Jozefowicz, R., Zaremba, W. and Sutskever, I. (2015). "An empirical exploration of recurrent network architectures." *International Conference on Machine Learning* 2342–2350.
 28. Korea Electric Power Corporation (KEPCO) (2019). Republic of Korea, accessed 11 November 2019, <<https://pccs.kepco.co.kr/iSmart/>>.
 29. Levin, S.B., and Zarriello, P.J., (2013), Estimating irrigation water use in the humid eastern United States: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2013 - 5066, 32 p., <http://pubs.usgs.gov/sir/2013/5066/>.
 30. Li, S., Meng, W., & Xie, Y. (2017). "Forecasting the amount of waste-sewage water discharged into the Yangtze river basin based on the optimal fractional order grey model." *International journal of environmental research and public health*, 15(1), 20.
 31. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2018). Pump Design for Pumping Station. KDS 67-30-20, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Korea, pp. 20–23.
 32. Rafael Benitez et al. (2019). "A short-term data based water consumption prediction approach." *Energy*, 12, 2359.
 33. Ruxton, G. D. (2006). "The unequal variance t-test is an underused alternative to Student's t-test and the Mann - Whitney U test." *Behavioral Ecology*, 17(4), 688–690.
 34. Shirreffs, S. M. (2012). "Global patterns of water intake: how intake data affect
-

-
- recommendations.” *Nutrition reviews*, 70(suppl_2), S98–S100.
35. Smola, A. J. (1996). “Regression estimation with support vector learning machines”. Master’s thesis, Technische Universität München.
36. Song, J. H., Park, M. H., Cha, J. H., Kim, C. Y. (2019). “Applicability evaluation of velocity profile method by V-ADCP measuring real-time river water use.” *Journal of Korea Water Resources Association, KWRA*, 52(1), 83–96.
37. Song, J. H., Song, I., Kim, J. T., & Kang, M. S. (2015). “Characteristics of irrigation return flow in a reservoir irrigated district.” *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 57(1), 69–78.
38. United States Geological Survey. (2012). *Computing Discharge Using the Index Velocity Method*, United States Geological Survey, United State, 35–59.
39. Yun Bai et al. (2014). “Dynamic forecast of daily urban water consumption using a variable-structure support vector regression model.” *Journal of. Water Resources Planning and Management*, 131(3).
40. Zarriello, P.J., and Bent, G.C., 2004, *A precipitation-runoff model for the analysis of the effects of water withdrawals and land-use change on streamflow in the Usquepaug Queen River basin, Rhode Island*: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004 - 5139, 75 p.
-

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 물관리연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 물관리연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.