

농업용 저수지 치수능력 증대를 위한 기존 사례 검토



이봉국
한국농어촌공사 농어촌연구원
/ 선임연구원
LBK0206@ekr.or.kr



이규상
한국농어촌공사 농어촌연구원
/ 기후변화적응연구부장
leegs@ekr.or.kr



용환호
한국농어촌공사 농어촌연구원
/ 수석연구원
yonghwanho@ekr.or.kr



임경재
강원대학교
/ 교수
kylim@kangwon.ac.kr

1. 머리말

농업용 저수지는 전국에 약 17,000개소이며 수혜구역에 농업용수를 안정적으로 공급하기 위한 이수 목적으로 설계되었다. 저수지의 유효저수량이 농업용수의 연간 수요량을 충분히 충족할 수 있도록 설계되었으며, 농업용 저수지의 수위는 농업용수의 공급량을 조절할 수 있도록 관리되고 있다.

그러나 기후변화 시대 집중호우 패턴의 변화로 인해 저수지 운영의 어려움이 증가되고 있으며, 특히 여름철 집중 호우시 저수지 월류 및 붕괴 위험등이 발생되어 저수지 관리에 있어서의 패러다임 전환이 필요하다.

그동안 설계홍수량을 산정하기 위해서는 실무에서는 수문학 이론, 재해영향평가에서 사용되는 IDF 곡선과 설계 홍수량 산정 방법을 이용하여 저수지나 하천 설계, 그리고 수리 구조물 설계 등에 활용되어 왔다. 이러한 설계홍수량 산정시 실측 자료와의 비교를 통한 검증 사례는 거의 이루어지지 않고 있다.

최근 들어 국내외에서 인공지능을 이용한 치수·이수 관리 사례가 많이 늘어나고 있다. 특히 홍수량 예측이나 이수 관점에서의 유량 예측 분야에 인공지능 적용 사례는 기존의 프로세스 기반 시뮬레이션 모형의 적용 사례보다 더 많아지고 있으며 그 정확성도 크게 증가하고 있다.

이러한 실시간 자료와 예보자료를 병행하여 저수지 수위를 예측하고, 수문이 있는 저수지의 방류량을 반영하여 하루에 N번 예측을 하게 된다면, 현재 200년 빈도로 설계된 저수지의 치수 능력을 높일 수 있을 것으로 판단되며, 또한 최근 많이 이용되는 인공지능(AI) 기술을 이용한 저수위 예측 및 스마트 방류 및 하류 지역 범람 예측 등의 기술이 농업용 저수지 유지관리에 이용된다면 그 활용성 및 효과는 매우 높을 것으로 판단된다.

2. 홍수기 농업용 저수지 관리 방법

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



그림 1. 농업용저수지 홍수시 방류 단계

기후변화로 인해 농업용 저수지 수리 시설물 붕괴, 하류하천 범람, 용수 부족 등 사회·환경·경제적 피해가 지속적으로 발생하고 있으며, 최근 춘천, 순천, 담양 등 500년 빈도 이상의 강우 발생하였고, 2022년 영산강·섬진강 유역 주요 다

목적댐 용수댐 가뭄 심각 단계 진입하기도 하였다. 그러나 기후변화로 인한 농업용 저수지의 설계홍수량 변동은 불가피하기 때문에 설계홍수량과 물넘이 방류능력에 대한 검토를 통해 시기별 관리수위의 기준 마련이 필요하게 되었다.

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

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

3. 하천 범람 분야 인공지능 적용 사례

최근 들어 인공지능(AI) 기술을 활용한 다양한 사례가 등장하고 있다. 인공지능은 홍수 관련 데이터 분석, 홍수 예측 모델링, 치수 관련 의사결정 지원 등 다양한 영역에서 활용될 수 있으며, 이상강우시 발생가능한 범람 등 치수분야에서 혁신적인 기술을 제공하고 있다. 이러한 인공지능 적용 사례는 다음과 같다.

김동현 등(2022)은 작은 소하천에서의 홍수위 예측 및 홍수 피해 예경보 기법을 개발하고자 AI 기반 모형의 적용성을 검토하였다. 이때 DNN과 LSTM 모형을 이용하여 홍수위 예측을 실시한 결과 DNN 모형의 예측 정확성을 확인할 수 있었다(NRMSE

= 0.06). 뿐만 아니라 XGBoost 모형과 Random Forest 모형을 이용하여 최적의 홍수피해 분류 모형을 개발하였고 F1-score 기준 0.92로 매우 우수한 예측력을 보였다. 이처럼 AI 기반 모형을 이용한 홍수위 예측 및 홍수피해 위험 정보를 제공하는 예경보 기법은 재난분야 담당자들의 현장 의사결정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있으리라 판단된다.

정부는 최근 국가하천을 중심으로 운영했던 홍수특보지점을 지방하천 위주로 추가해 홍수 대응을 강화하기 위하여 2024년에는 총 본류와 지류 지점을 포함하여 총 223곳으로 확대하여 인공지능 기반 홍수 예보를 할 계획이다. 현재 지방하천

의 경우 12곳에 대해 홍수특보지점으로 운영하고 있으나 향후 129곳으로 홍수 특보지점을 확대 운영할 계획이며, 이때 인공지능을 이용하여 예보할 계획이다. 이를 위해 과거 10여년치 학습 정보 DB를 구축하였고 이를 이용하여 매 10분마다 자동 분석, 위험사항을 알리기 위함이다 (전자신문 기사, “홍수특보지점 75→223곳 확대 AI 예보 모형 연말까지 구축”, 2023년 11월 15일)

윤광석 등(2023)은 하천에서의 홍수 예측을 위해 강우량, 상류 수위 자료, 그리고 예측 지점의 과거 수위 관측 자료와 같은 시계열 자료와 예측값의 시계열 자료(표 1)를 학습자료로 구성하여

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

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

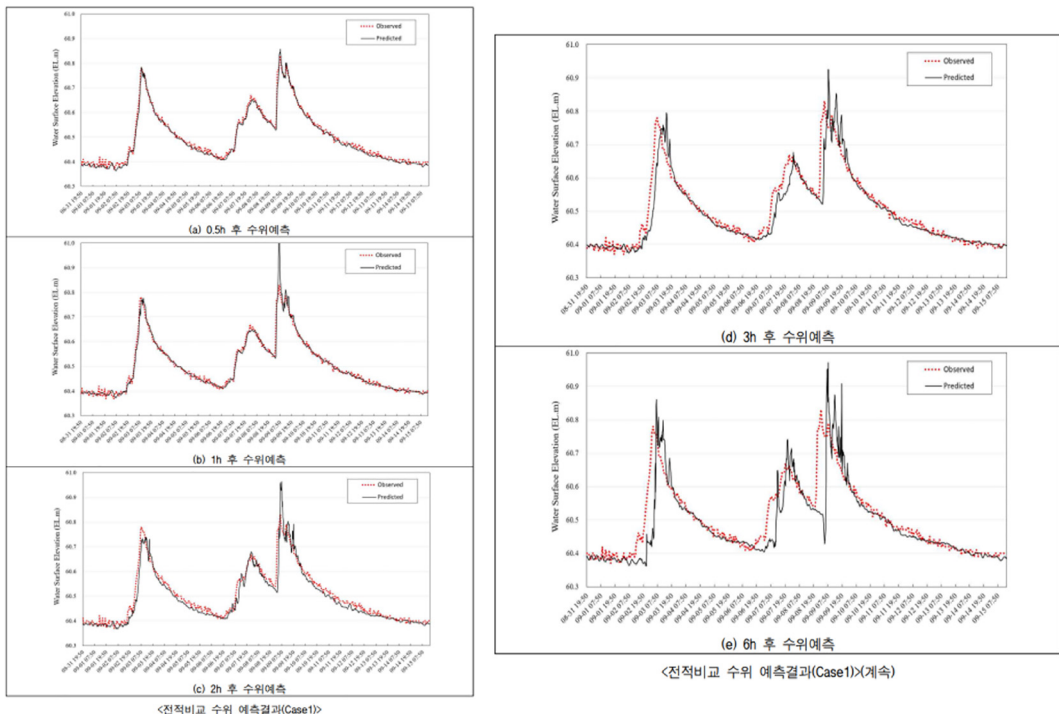


그림 2. 0.5, 1, 2, 3, 6시간 후 수위 예측 결과(설마천 유역 AI 학습 모형의 수위 예측 결과- Case 1(윤광석 등, 2023))

모형을 구성하였으며, 이때 시계열 자료 처리에 최적화된 모형을 선정하여 홍수 예측 모형을 설마천 유역에 구축하였으며, 3가지 케이스를 구성하여 분석하였다.(그림 2)

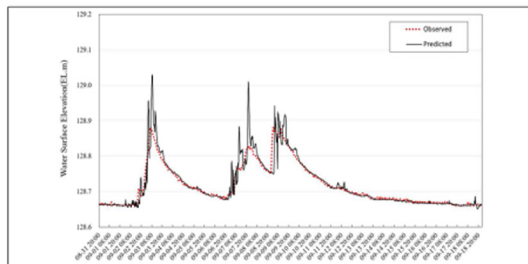
각 관측소의 수위예측에 해당관측소의 강우량과 수위 관측값을 활용하는 인공지능 모델을 구축(Casel, Case2), 추가적으로 Main staion(전적비교)의 수위를 예측하기 위해 Reference station(사방댐)의 자료를 함께 활용하는 케이스로 구분하여 모형을 구축(Case3), 입력자료는 전적비교 및 사

방댐 지점의 10분 단위 강우량(mm)과 수위(EL, m)와 현재시점 기준 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간 후의 수위를 학습자료 구축하였다.

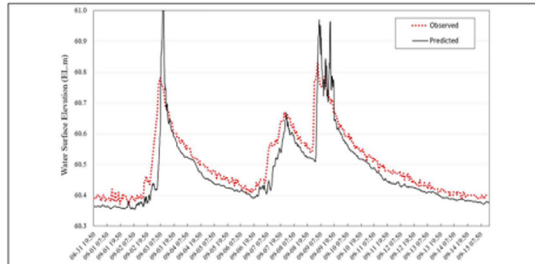
전체적으로 0.5시간 그리고 1시간과 2시간, 예측정확도는 R^2 와 NSE 기준 0.90 이상이었으며, 3시간 예측정확도는 0.85 이상, 그리고 6시간 예측값은 NSE기준 0.50 이상, R^2 는 0.60으로 나타났다. 이처럼 AI를 이용한 실용화 사례는 그리 많지 않은 것으로 생각되며, 인공지능의 적용 가능성은 충분히 알 수 있다.

표 2. 국토부 토지이용현황도 분류체계

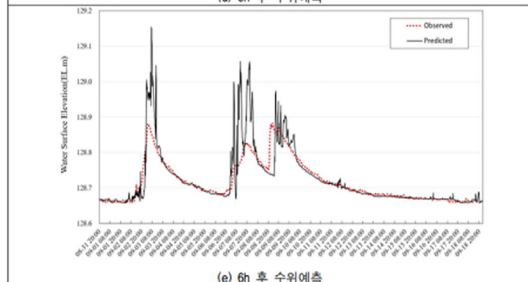
적합도 지표	0.5h	1h	2h	3h	6h
NSE	0.9623	0.9510	0.9049	0.8817	0.7850
RMSE	0.012	0.014	0.019	0.021	0.028
R^2	0.969	0.955	0.924	0.896	0.791
첨두오차	0.0186	0.0342	0.0667	0.1093	0.1704
최대오차	0.126	0.147	0.176	0.202	0.242
MAE	0.008	0.009	0.013	0.013	0.017
MAPE	0.013%	0.015%	0.021%	0.022%	0.027%



(d) 3h 후 수위예측

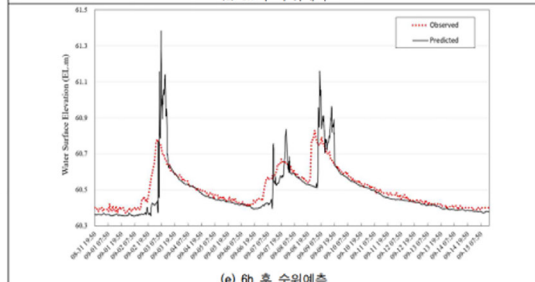


(d) 3h 후 수위예측



(e) 6h 후 수위예측

<사방댐 수위 예측결과(Case2)>(계속)



(e) 6h 후 수위예측

<전적비교 수위 예측결과(Case3)>(계속)

그림 3. 설마천 유역 AI 학습 모형의 수위 예측 결과—Case 2와 3 (윤광석 등, 2023)

Case1~Case3에서 학습한 모델을 활용하여 2021년 관측값을 입력자료로 활용하여 수위를 예측하였다.(표 2, 그림 3) 모든 Case에 대해서 2020년 자료를 활용한 경우와 거의 동일한 정확도를 나타내며 이는 유역 및 관측소의 특성이 모델에 정확히 반영되어 연도에 관계없이 활용성을 확보한 것으로 평가된다.

4. 농업용 저수지의 저수위 변동에 영향을 주는 인자

농업용 저수지의 저수위 변동을 사전에 예측하기 위해서는 저수지의 수위 변동에 영향을 주는 인자를 파악하고, 이를 DB화하여 학습할 수 있는 자료여야 한다. 이러한 이유로 다양한 시간 및 공간 변동 자료구축이 중요하며, 향후 근미래 저수지의 수위를 예측하기 위해서는 현재 저수위 등 현재 계측 자료도 중요하지만, 근미래를 예측하기 위한 다양한 형태의 예보자료 확보가 중요하다. 이러한 특성을 고려하여 저수지 수위 예측을 위한 DB/시스템 구축에 관한 고민도 필요하며 갱신 주기도 같이 검토되어야 할 주요 사항이라 할 수 있다.

머신러닝 모델의 학습자료로 사용하기 위한 기상 자료는 기상자료개방포털에서 제공하는 파일셋 데이터(.csv파일)로 기상청_초단기실황, 기상청_초단기예보, 기상청_단기예보 자료를 수집하는 방법과

공공데이터 포털의 오픈 API를 사용해 지정된 시간마다 갱신되는 초단기실황, 초단기예보, 단기((구)동네)예보 자료를 수집하는 방법 2가지가 있다.

현재 농어촌공사 저수지의 경우 내용적 곡선표를 제공하고 있으며 이를 이용하여 현재 저수위에 해당하는 저수량을 산정할 수 있으며, 이를 이용하여 방류량 계획에 따른 향후 저수지의 변화, 이를 통해 관리 수위 추정 및 적정 방류량 결정이 가능하리라 판단된다.

현재 농어촌공사에서 관리하는 3,400여개 저수지의 규모 및 수혜 지역의 특성, 수문, 비상(방류)수문, 소규모 저수지에 따라서 저수지 수위 예측에 따른 대응 방안도 달라져야 한다. 이러한 특성을 고려한 저수지 수위 변동 예측 기술의 범위가 필요하다.

저수지의 수위 변동을 예측하기 위해서는 저수지의 수위 변동에 영향을 주는 인자를 분석하는 것이 중요하다. 대부분의 농업용 저수지는 이수목적으로 개발되었기에 용수 공급 목적이 뚜렷하다. 이러한 패턴을 학습하여 저수지의 수위 변동을 예측하는 것이 가능하다. 그러나 농업용수 공급량보다 생활용수를 더 많이 공급하는 경우 이러한 공급량을 고려한 유입량, 이로 인한 저수량의 변동성 예측이 중요하다. 또한 수문 방류를 통해 저수지의 관리수위를 관리하는 경우 수문방류를 고려하여 저수지 변동성을 예측하는 것이 중요하며, 다양한 영향 인자를 이용하여 저수지 수위 변동을 예측하

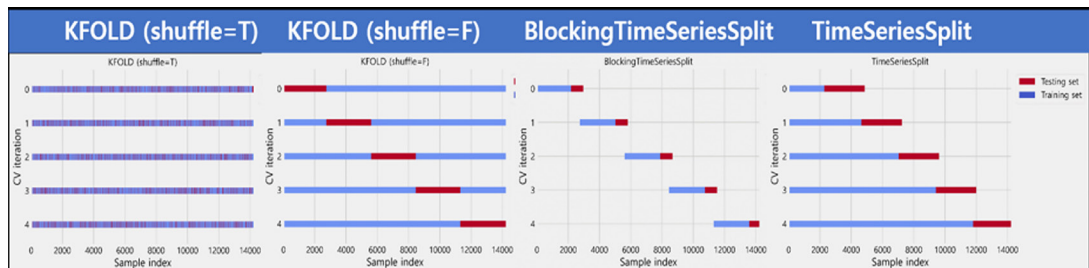


그림 4. 교차검증 방법

는 것이 중요하나, 만약 유입하천의 실측 유입량을 계속하거나 예측할 수 있다면 이를 활용한 기계학습 결과의 예측정확도는 매우 높으리라 판단된다.

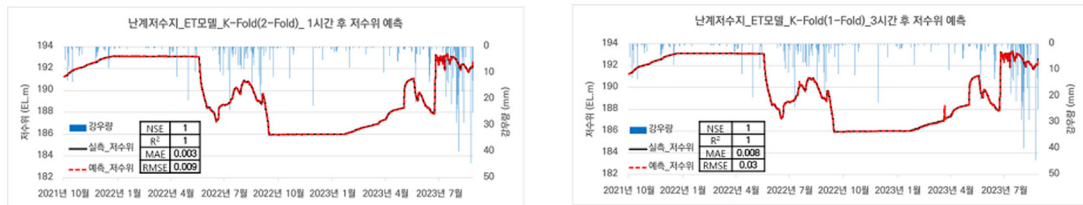
5. 저수지 유입량 학습/검증 방법 및 예측 결과 사례

저수지 수위변동을 학습 한 후에 학습모형을 이용한 예측을 위해서는 다양한 규모의 강우-유출 및 저수지 수위 변동 학습 자료가 중요하다.

최근 기존의 검증 방법의 한계를 극복하고자 다양한 형태의 교차 교차 검증 방법(CV: Cross-validation) (그림 4)이 널리 이용되고 있다.

아래 그림 5는 기상청 실황(실측) 강수량과 실측 저수위를 이용하여 학습된 모형을 이용하여 예측한 (Test) 저수위 결과이다. 그림에서 보이는 바와 같이 중소형 규모 저수지의 수위를 예측하는데 큰 어려움이 없는 것으로 판단할 수 있다.

또 아래 그림 6에서 보이는 바와 같이 TPOT 모형을 이용하여 하이퍼 파라미터 튜닝, 최적 알고



<K-Fold를 이용한 난계저수지 예측 그래프 4종>

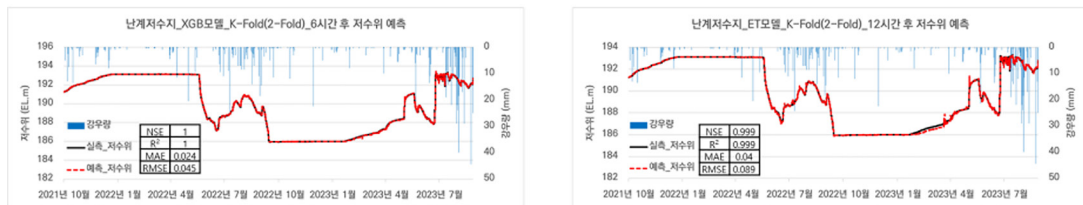


그림 5. 난계 저수지 예측 결과 (실측 강수량으로 실측 저수량 예측) (농어촌연구원, 2023)



그림 6. 난계 저수지 예측 결과 (TPOT 최적 모형 학습 후 예측 결과) (농어촌연구원, 2023)



그림 7. 난계 저수지 1, 3, 6, 12시간후 저수지 수위 예측 모형 교차 검증(TimeSeriesSplit) 및 강우시 Test 결과 (예시)

리즘 선정을 통해 결정된 모형으로 예측된 저수위가 실측치를 잘 표현 (아래 그림 6은 Training/Validation과정을 통해 그리고 n-fold 방법을 통해 교차 검증을 수행한 후 학습된 모형으로 예측된 결과를 제시한 결과)하는 것으로 나타났다. 이 결과에 보이는 바와 같이 중소형 규모 저수지에서의 예측 강우 자료를 이용하여 저수지 사전 예측이 가능하다는 것을 알 수 있다.

6. 결론

본 고에서는 기후변화 시대에 적응하기 위한 농업용 저수지의 치수능력 증대를 위한 기존 사례를 검토하였다. “기존 홍수기 농업용 저수지 관리 방법”에서 효율적인 저수위 관리를 위해 유역 및 기상 특성을 반영한 AI 기반의 홍수량 예측이 필요함을 확인하였고, “하천 범람 분야 인공지능 적용 사례”를 조사하여 인공지능을 기반으로한 예측 모델링의 적용 가능성을 충분히 알 수 있었다. “농업용 저수지의 저수위 변동에 영향을 주는 인자”에서는 강수량의 예보자료의 확보 및 구축의 중요성과 유입량 예측자료를 활용할 때 저수위 예측의

정확도가 더 높아짐을 알 수 있다. 그리고 “저수지 유입량 학습/검증 방법 및 예측 결과 사례”를 통하여 인공지능(AI) 학습을 통한 저수량 예측결과를 통하여 중소형 규모 저수지에서의 저수율 사전 예측 가능성 및 정확도를 확인하였다.

향후 농업용 저수지의 치수 능력을 증대하기 위한 정확도 높은 저수율의 예측을 위해서는 농업용 저수지 상류 유역의 강우량, 유입량의 예측이 확대되어야 할 것이며, 예측자료 기반 인공지능(AI) 모델의 학습을 통한 정확한 저수율 예측 연구를 통해 급격한 기후변화 시대에 발생하는 재해를 선제적으로 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 농업생산기반정비사업계획 설계기준, 2002: 필담편 (2002). 농업기반공사(*현 한국농어촌공사)
2. 김동현, 이기성, 황보종구, 김형수, 김수전 (2022). AI 기반 모형을 이용한 홍수위 예측 및 홍수피해 예경보 기법 개발. 한국방재학회논문집 22(4): 146-156. <https://www.j-kosham.or.kr/upload/pdf/KOSHAM-2022-22-4-145.pdf>

3. 과기정통부와 환경부 (2023). 디지털트윈 인공지능 기반 도시침수 예보 및 대응 체계 구축한다. AI 타임스. <https://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=150487>. Last accessed Nov. 20, 2023.
4. 윤광석, 김형준, 김수영, 정재원, (2023). AI와 하천홍수예보. 물과 미래, 56(6), 8-17. 한국수자원학회.
5. 한국농어촌공사 농어촌연구원 (2023). 빅데이터 기반 저수위 예측 모델을 이용한 시계열 저수위 변동예측 연구. 한국농어촌공사 연구보고서.