

A Comparative Study on Reservoir Level Prediction Performance Using a Deep Neural Network with ASOS, AWS, and Thiessen Network Data

Hye-Seung Park*, Hyun-Ho Yang**, Ho-Jun Lee***, Jongwook Yoon****

*Professor, Dept. of Software Engineering, Hyupsung University, Hwaseong, Korea

**Professor, School of Computer Software Engineering, Kunsan National University, Gunsan, Korea

***Director, SI Business Division, Suri E&C Co., Ltd., Bucheon, Korea

****Professor, Dept. of Business Administration, Hyupsung University, Hwaseong, Korea

[Abstract]

In this paper, we present a study aimed at analyzing how different rainfall measurement methods affect the performance of reservoir water level predictions. This work is particularly timely given the increasing emphasis on climate change and the sustainable management of water resources. To this end, we have employed rainfall data from ASOS, AWS, and Thiessen Network-based measures provided by the KMA Weather Data Service to train our neural network models for reservoir yield predictions. Our analysis, which encompasses 34 reservoirs in Jeollabuk-do Province, examines how each method contributes to enhancing prediction accuracy. The results reveal that models using rainfall data based on the Thiessen Network's area rainfall ratio yield the highest accuracy. This can be attributed to the method's accounting for precise distances between observation stations, offering a more accurate reflection of the actual rainfall across different regions. These findings underscore the importance of precise regional rainfall data in predicting reservoir yields. Additionally, the paper underscores the significance of meticulous rainfall measurement and data analysis, and discusses the prediction model's potential applications in agriculture, urban planning, and flood management.

▶ **Key words:** ASOS, AWS, Thiessen Network, Reservoir Level Prediction, Deep Learning

-
- First Author: Hye-Seung Park, Corresponding Author: Jongwook Yoon
 - *Hye-Seung Park (hs2000park@oemail.uhs.ac.kr), Dept. of Software Engineering, Hyupsung University
 - **Hyun-Ho Yang (hhyang@kunsan.ac.kr), School of Computer Software Engineering, Kunsan National University
 - ***Ho-Jun Lee (eagle_ff@hotmail.com), SI Business Division, Suri E&C Co., Ltd.
 - ****Jongwook Yoon (biziq@naver.com), Dept. of Business Administration, Hyupsung University
 - Received: 2024. 02. 15, Revised: 2024. 03. 11, Accepted: 2024. 03. 12.

[요 약]

본 논문에서는 기후 변화와 지속 가능한 수자원 관리의 중요성이 증가하는 가운데, 다양한 강우 측정 방법이 저수지 수위 예측 성능에 미치는 영향을 분석하기 위한 연구를 제시한다. 이를 위해 우리는 기상정보개방포털에서 제공하는 종관기상관측장비인 ASOS의 관측 강우, 자동기상관측장비인 AWS의 관측 강우, 그리고 면적강우비에 따라 재산정된 티센망 기반의 강우 데이터를 활용하여 신경망 기반 저수율 예측 모델에 대한 학습을 각각 수행하고, 학습된 모델의 예측 성능을 비교 및 분석하였다. 전라북도 소재 34개의 저수지에 대한 실험을 통해 각 강우량 측정방식이 저수율 예측 정확도 향상에 얼마나 기여하는지 조사하였다. 연구 결과, 티센망 기반의 강우 면적비를 활용한 저수지 강우 데이터가 가장 높은 예측 정확도를 제공한다는 것을 밝혀냈다. 이는 티센망이 주변 관측소들 사이의 정확한 거리를 고려함으로써 각 관측소가 대표하는 지역의 경계를 정의함으로써 각 지역의 실제 강우 상황을 더 정확하게 반영하기 때문이다. 이러한 발견은 정확한 지역 강우 데이터 학습이 저수율 예측에 있어 결정적인 요인 중 하나임을 시사한다. 더불어, 이 연구는 정밀한 강우 측정 및 데이터 분석의 중요성을 강조하며, 농업, 도시 계획, 홍수 관리와 같은 다양한 분야에서 예측 모델의 잠재적 응용 가능성을 제시한다.

▶ **주제어:** ASOS, AWS, 티센망, 저수율 예측, 딥러닝

I. Introduction

전 세계적 인 도전 과제가 증가하는 가운데, 특히 농업 분야에서 물이 전체 자원 사용량의 상당 부분을 차지함에 따라 각 지역 저수지 수위 예측의 정확성을 높이는 것이 점점 더 중요해지고 있다. 저수지 수위 예측의 정확도는 농업 계획, 수자원 관리, 환경 보전에 직접적인 영향을 미치므로, 그 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다.

전통적으로 저수지 수위 예측은 주로 추계학적 방법에 의존해 왔다. 이러한 전통적인 접근법은 유용하지만, 환경 현상에서 내재된 복잡하고 비선형적인 시스템을 다루는 데 있어 적응성과 정확성 측면에서 한계를 나타내는 경우가 많다. 과거 데이터를 사용하여 미래 수준을 예측하는 통계 모델은 이러한 고유한 가정에 의해 제한될 수 있으며 수문학 과정의 동적 특성을 완전히 포착하지 못할 수 있다.

최근에는 LSTM(Long Short-Term Memory)과 같은 고도화된 네트워크를 활용한 딥러닝 기반의 예측 방법이 강력한 대안으로 부상[1]하고 있으며, 복잡한 비선형 데이터 패턴을 다루는 데 있어 상당한 발전을 이루었다 [2-11]. 이러한 방법들은 대규모 데이터셋으로부터 복잡한 패턴을 식별하는 데 능숙한 신경망을 활용하여, 저수지 역학에 대한 세밀한 이해를 제공한다. 그러나 딥러닝 기반의 접근법은 신경망 학습을 위해 상당한 양의 데이터가 필요하며, 복잡한 내부 메커니즘으로 인해 블랙 박스로 간주되는 경우가 많아 해석 가능성과 투명성 측면에서는 단점이 존재하기도 한다.

저수지 수위 예측에서 기상 데이터, 특히 강우량의 역할은 매우 중요하다. 강우량은 저수지 수위 예측에 직접적인 영향을 미치는 요인이며, 예측 모델에서 결코 빠질 수 없는 구성 요소이다. 따라서 강우량 데이터의 정확도는 예측 모델의 성능을 높이는 데 중요한 역할을 한다.

강우량을 측정하는 방법으로는 종관기상관측장비인 ASOS(Automated Surface Observing System), 자동기상관측장비인 AWS(Automatic Weather Station), 티센망(Thiessen network) 등이 사용되며, 각각의 방법은 고유한 장단점을 가지고 있다. ASOS와 AWS는 실시간으로 정확하고 신뢰할 수 있는 기상 데이터를 제공할 수 있다. 다양한 기상 조건을 자동으로 관측하며, 이 데이터는 기상 예보, 기후 연구, 재해 경보 시스템 등에서 널리 활용된다. 주요 단점으로는 공간적 대표성과 관측소의 분포 밀도라고 할 수 있다. 고정된 위치에서 데이터를 수집하기 때문에, 관측소 간의 거리가 있는 경우에 그 사이의 다양한 기상 현상을 정확하게 포착하지 못할 수 있다. 또한 특정 지형이나 지역적 특성으로 인해 발생할 수 있는 강우량의 변동성을 정확히 반영하지 못하는 경우도 있으며, 이로 인해 일부 지역에서는 실제 강우 상황과 관측 데이터 사이에 차이가 발생할 수 있다 [12]. 반면 티센망은 주변 관측소들 사이의 정확한 거리를 고려하여 각 관측소가 대표하는 지역의 경계를 정의한다. 이는 보다 균등하게 공간적으로 분포된 강우 정보를 제공하며, 각 지역의 실제 강우 상황을

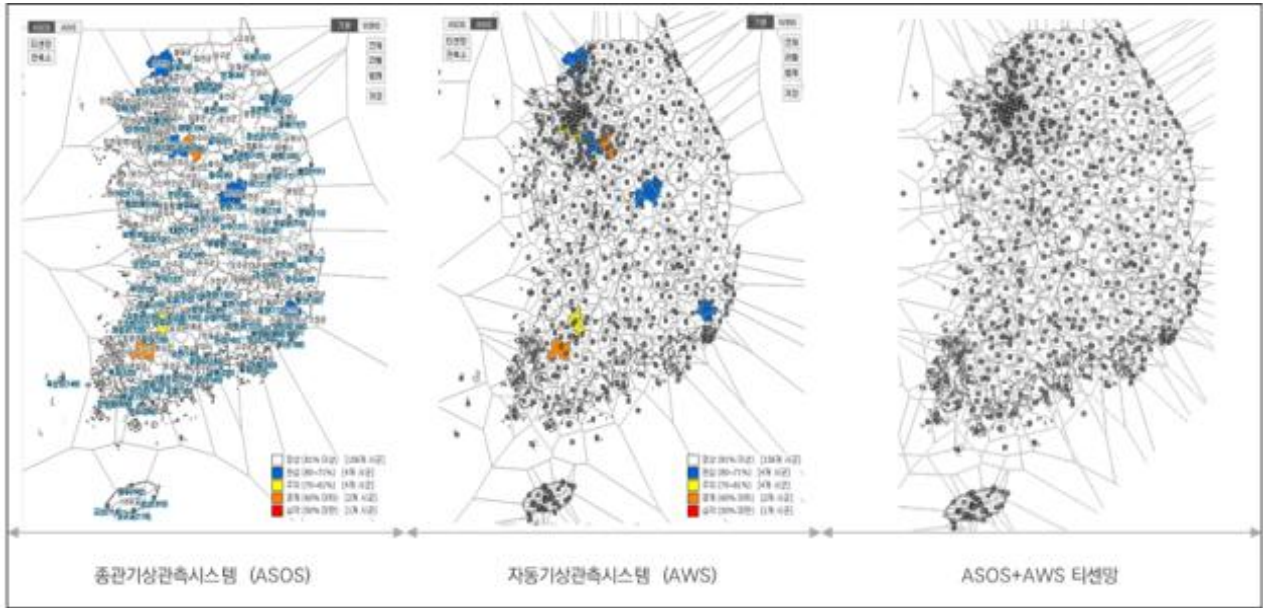


Fig. 1. ASOS+AWS Thiessen Network

더 정확하게 반영한다 [13].

본 연구진은 농촌용수종합정보시스템[14]과 기상정보개발포털[15]로부터 각각 확보 및 정제된 전라북도 34개 저수지에 대한 2015년부터 2020년까지의 일별 저수율, 강우량 데이터(ASOS, AWS, 그리고 티센망)를 활용하여, 저수율 예측 신경망을 학습시켰다. 이에 대한 실험적 분석을 통해, 강우량 측정 방법이 저수지 수위 예측에 어떤 영향을 보이는지 검증하였다. 본 연구 결과는 티센망 데이터의 사용이 수위 예측 정확도를 높이는 데 있어 우수함을 강조하며, 이는 강우 측정방식에 따른 데이터의 품질이 결과적으로 저수지 수위 예측 모델 학습과 일반화 성능에 직접적인 영향을 미치는 것임을 시사한다.

본 논문의 다음과 같은 구성을 갖추고 있다. 먼저, 2장에서는 국내외 관련 연구에 대해서 소개한다. 3장에서는 ASOS, AWS, 그리고 티센망 강우 데이터를 포함한 학습 데이터셋 및 이를 활용한 저수위 예측 신경망 모델 구조를 상세히 다룬다. 4장에서는 학습환경, 평가지표, 실험 및 결과 분석에 대한 내용을 제시한다. 마지막으로 5장에서는 논문의 결론을 도출하며 연구 내용을 종합한다.

II. Preliminaries

1. Related works

최근 딥러닝을 활용한 수위 예측 연구 현황은 다음과 같다. Seo 등 [3]은 충주댐을 대상으로 인공 신경망(ANN ; Artificial Neural Network), 일반화 회귀 신경망(GRNN ;

Generalized Regression Neural Network), 적응형 신경 퍼지 추론 시스템(ANFIS ; (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), 그리고 랜덤 포레스트(RF ; Random Forest)를 포함한 기계 학습 모델의 저수지 수위 예측 효율성을 탐구하였다. 특정 선행 시간에 대해 단일 입력 변수 및 예측 모델 조합 대신 최적의 조합을 적용해야 함을 제시하였고, 전체적으로 ANN 모델이 모든 선행 시간에 걸쳐 가장 우수한 성능을 나타냈다는 결론을 도출하였다. Jung 등 [4]은 금강유역 내 대청댐 상류에 위치한 옥천 관측소에서의 하천 수위 예측을 목적으로 하며, 구글의 딥러닝 오픈소스 라이브러리인 텐서플로우를 활용한 다중선형회귀모형과 LSTM 인공신경망 모형을 구축하였다. 2002년부터 2016년까지의 데이터를 활용하여 학습 및 예측을 진행한 결과, LSTM 모형이 다중선형회귀모형에 비해 높은 정확도와 안정적인 예측 결과를 제공하는 것으로 나타났다. 이 연구는 하천 수위 예측에 있어 딥러닝 기반 모형의 유효성을 입증하며, 특히 LSTM 모형이 수위 예측에 효과적임을 시사한다. Han 등 [6]은 Sequence-to-sequence 구조 기반의 LSTM 딥러닝 모델(LSTM-s2s)을 이용하여 소양강 댐의 유입량을 예측하였다. 모델 성능 평가를 위해 다양한 평가지표를 사용하였으며, 실험 결과 해당 모델이 효율적인 댐 관리 및 운영에 적합하다는 가능성을 확인하였다. Joh 등 [7]은 경기도 이동저수지를 대상으로 단변량 및 다변량 LSTM 모델을 사용하여 농업용 저수지의 저수율을 예측하는 연구를 수행했다. 단변량 모델은 저수율 자체를 입력 변수로 사용하고, 다변량 모델은 추가적으로 강수량과 일자 정보를 입력 변

수로 포함하였다. 연구 결과, 다변량 LSTM 모델이 단변량 모델보다 예측 정확도가 더 높았으며, 이는 강수량의 시간적 범위와 농업활동 시기가 저수율에 중요한 영향을 미친다는 것을 시사한다. Zhang 등 [9]은 수자원과 수력발전에서 중요한 역할을 하는 저수지와 댐의 효율적인 운영 및 관리를 위한 인공지능 기술의 적용에 관한 연구를 수행했다. Backpropagation(BP) 신경망, 서포트벡터회귀 기법, 그리고 LSTM 모델을 이용하여 저수지 운영을 모의하는데 초점을 맞췄으며, 연구 결과 특히 LSTM 모델이 다른 모델에 비해 시간 소비와 메모리 저장소 요구를 효과적으로 줄이면서 낮은 유량 조건과 피크 운영 기간의 유출 곡선을 시뮬레이션하는 능력을 갖추고 있음을 보였다. Das 등 [10]은 저수지 수위를 일별로 예측하기 위한 새로운 확률론적 비선형 모델을 제안했으며, 이 모델은 베이지안 네트워크와 지수 잔차 수정을 결합한 하이브리드 접근 방식을 기반으로 한다. 인도의 마유라크시 저수지 22년간 데이터를 사용하여 일일 수위를 예측하고, 선형 모델(ARIMA) 및 비선형 접근 방법(인공신경망, 표준 베이지안 네트워크)과 다양한 성능 지표 측면에서 비교 연구를 수행했다. Dong 등 [11]은 저수지 생산 예측을 위한 스택형 LSTM(장단기 메모리) 네트워크와 전이 학습을 기반으로 한 새로운 딥러닝 모델을 제안했다. 기존의 구성 시뮬레이션은 많은 계산을 필요로 하고 시간이 오래 걸리는 반면, 제안된 모델은 저수지 생산 과정을 효과적으로 모의할 수 있음을 보였다.

III. The Proposed Scheme

3.1 Training Dataset for Reservoir Level Prediction

강우 측정방식에 따른 저수율 예측 모델의 성능 비교 분석을 위해 본 연구진은 백석, 미룡, 부곡 저수지를 포함하는 전라북도 34개 저수지를 연구 대상으로 선정하였다. 농촌융복합정보시스템과 기상정보개방포털로부터 각각 확

보한 저수지 각각의 2015년부터 2020년까지 일별 저수율, 강우량 데이터(ASOS, AWS)를 활용하여 저수율 예측 신경망을 학습시켰다. 추가적으로 확보한 강우량 데이터를 티센망 면적강우비를 활용 및 정제하여 학습에 사용했다. 강우 측정방식에 따른 저수율 성능 변화에 초점을 맞추기 위하여, 온도, 습도 등과 같은 데이터는 학습에 활용하지 않았다. 하이퍼파라미터 최적화 및 일반화 성능 검증을 위해 데이터셋을 연도별로 구분하여 학습(2015~2017년), 검증(2018년), 테스트(2019~2020년) 데이터로 분리하였다.

ASOS와 AWS는 실시간으로 정확성 및 신뢰성을 갖춘 기상 데이터를 제공하여 실제 기상 예보, 기후 연구, 재해 경보 시스템 등에서 널리 활용된다. 그러나 고정된 위치에서 데이터를 수집하기 때문에, 관측소 간의 거리가 있는 경우 정확한 강우량 반영에 한계가 있다는 단점이 존재하는데, 이는 저수율 예측에 정확하지 않은 정보를 제공함으로써 학습 성능 저하의 요인이 될 수 있다. 따라서 본 연구진은 추가적으로 ASOS와 AWS 관측 데이터를 통합하여 티센망을 구성하고, 이를 통해 면적강우비(Areal Rainfall)를 활용하여 강우량을 재산정하여 저수지 별 강우량이 모델 학습 과정에 보다 정확하게 반영되도록 하였다. Fig. 2를 살펴보면, 성남 저수지는 ASOS 기준 2개 지점으로 겹쳐지나 임실 관측소 강우량으로 측정된다. AWS 기준으로는 1개 지점으로 강우량을 측정한다. ASOS와 AWS를 혼합하여 티센 다각형을 구성하면 조금 더 국소적인 지역 강우량을 반영할 수 있는데, Fig. 2 오른쪽 그림에서 성남 저수지는 임실 관측소 55.24%, 장수 관측소 44.76%의 비율로 겹쳐 있다. 성남 저수지의 강우량은 ASOS 기준으로 28.1mm이나, 티센망으로 연결한 면적강우비 강수량으로는 49.61mm로 두 관측 강우량의 차이가 상당히 크다는 것을 알 수 있다.

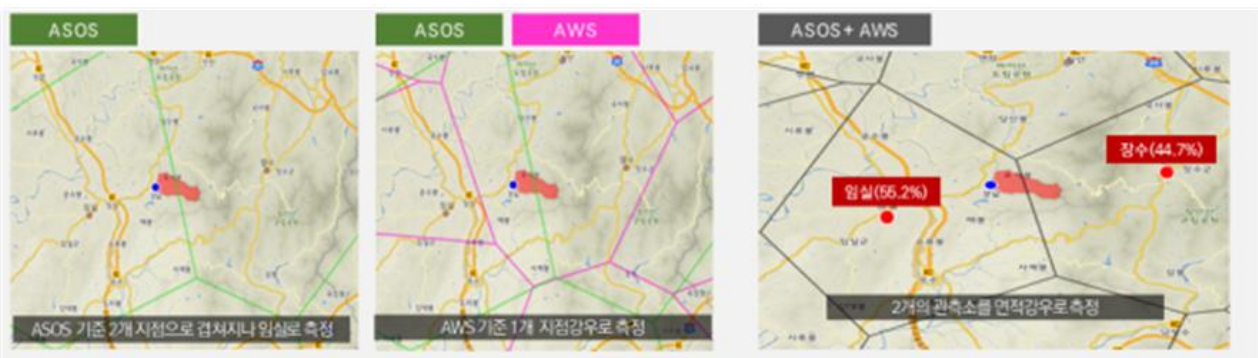


Fig. 2. Thiessen Rainfall Area Ratio of ASOS and AWS in Seongnam Reservoir, Imsil, Jeonbuk

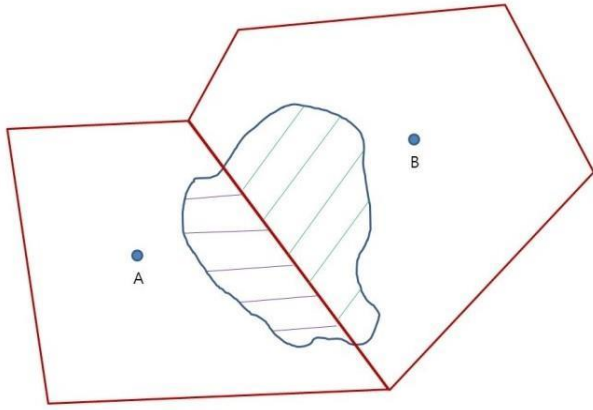


Fig. 3. Calculation of the Areal Rainfall Ratio for Agricultural Reservoirs

Fig. 3에서 A 강우관측소의 티센망은 좌측 다각형이며, B 강우관측소의 티센망은 오른쪽 다각형이다. 그림과 같은 상황에서 유역의 면적강우량 산정은 다음과 같다.

$$R = \frac{\hat{A} * r_a + \hat{B} * r_b}{\hat{A} + \hat{B}} \quad (1)$$

식 (1)의 \hat{A} , \hat{B} 는 각각 영역 내 빗금 친 부분의 넓이를 나타낸다. r_a , r_b 는 각각 A, B 강우관측소의 강우량을 의미한다.

3.2 Reservoir Level Prediction Neural Network

본 연구에서 제안된 예측 모델은 강우 측정방식에 따른 저수위 예측 성능 변화를 주된 연구 목표로 삼고 있으며, 이를 위해 단순화된 완전연결신경망(FNN; Feedforward Neural Network) 구조를 채택하고 있다. 모델은 예측하고자 하는 다음 날 강우량과 하루 전 저수율이라는 2개의 입력채널을 받아들이고, 다음 날의 저수율을 예측하는 1개의 출력채널로 구성된다. 각 은닉층은 동일한 20개의 노드를 포함하며, ReLU 활성화 함수를 사용하여 비선형성을 포함한 데이터의 특징을 학습한다. 또한, 과적합을 방지하고 모델의 일반화 능력을 높이기 위해 배치 정규화(Batch Normalization) 및 드롭아웃(Dropout) 계층이 각 은닉층에 통합되었다. 모델의 각 계층은 입력채널로부터 시작하여 순차적으로 연결되며, 은닉층에서의 처리 후 활성화 함수를 거쳐 다음 계층으로 전달되는 구조이다. 각 은닉층 후에 배치 정규화를 적용하여 학습을 안정화시키고, 드롭아웃을 통해 모델이 더 견고해질 수 있도록 설계되었다. 마지막으로, 이 모델 구조와 매개변수는 광범위한 실험을 통해 최적화되었다.

제안된 모델은 LSTM이나 RNN과 같은 복잡한 시계열 처리 모델 대신 사용되었는데, 이는 강우 데이터의 시간적 순서보다는 측정방식이 예측 성능에 미치는 영향을 명확히 분석하기 위한 선택이다. 본 연구의 주요 목적은 복잡한 시간 의존성을 해석하는 것이 아닌, 각각의 측정 방식이 저수위 예측에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하는 데에 있어서, 상대적으로 간단한 구조의 모델이 해석력 면에서 유리하다고 판단되었다. 또한, 이러한 접근 방식은 실제 환경에서의 적용 가능성을 고려한 효율적인 학습 및 예측 시간을 제공한다.

IV. Experiments

4.1 Training Environment

학습 과정은 두 개의 NVIDIA GeForce RTX 3090 그래픽 카드를 활용하여 진행되었으며, 이는 대규모 데이터셋 처리를 위한 고성능 컴퓨팅 환경을 제공한다. 모델 학습에 적용된 하이퍼파라미터 설정은 배치 크기(Batch Size) 16, 학습률(Learning rate), 그리고 총 100 에폭(Epoch)으로 구성되었으며, 이는 검증 과정을 통해 과적합 없이 충분한 학습이 이루어질 수 있도록 선정되었다. 손실(Loss) 함수로는 실측값과 예측값 간의 절대 차이를 최소화하도록 유도하는 L1 손실을 사용했다. 그리고 효율성과 빠른 수렴 속도를 제공하는 Adam Optimizer를 최적화 함수로 선택했다. 본 모델은 유연성과 사용자 편의성 제공을 통해 복잡한 신경망 모델의 구축 및 실험에 적합한 도구로 평가되는 대표적인 Python 기반의 딥러닝 프레임워크 중 하나인 PyTorch를 활용하여 구현되었다.

4.2 Evaluation Indicators

모델의 예측 성능 평가를 위해 본 연구진은 대표적인 통계적 평가지표인 평균절대오차(MAE; Mean Absolute Error), 평균제곱오차(MSE; Mean Squared Error), 그리고 제곱근평균제곱오차(RMSE; Root Mean Squared Error)를 사용한다.

MAE는 모델의 예측값과 실측값 간의 절대차에 대한 평균을 의미한다. MSE는 예측값과 실측값 간 차이 제곱에 대한 평균을 의미하며, RMSE는 MSE의 제곱근을 나타낸다. 각각의 공식은 다음 식 (2) ~ (4)와 같으며, 각 식의 n , y_i , \hat{y}_i 은 각각 데이터의 개수, 실측값, 예측값을 의미한다.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

4.3 Experiments and Results Analysis

Table 1은 ASOS 지점강우와 ASOS-AWS 조합의 티센망(Thiessen) 기반 면적강우 각각의 데이터에 대해 학습시킨 저수율 예측 모델의 예측 기간(3, 5, 10, 20, 30일)별 평균 성능을 평가지표를 통해 나타낸다. 이 표에 예측 기간을 포함시킨 이유는 강우 측정 방식이 단기는 물론 중장기 예측에서도 저수율 예측의 성능에 미치는 영향을 검증하고, 각기 다른 예측 기간에서의 경향성을 확인하기 위함이다. 실험 결과는 티센망 데이터를 활용했을 때 모든 예측 기간에서 모델의 예측 성능이 향상됨을 보여주어, 티센망 기법이 저수율 예측에 있어서 강우 측정의 정확성을 높이고 결과적으로 예측 정확도를 개선하는 데 기여함을 입증한다.

Table 1. Comparison of performance across rainfall measurement methods(ASOS point rainfall and Thiessen(ASOS+AWS) network areal rainfall) and prediction periods

Method	Prediction Period	MAE	MSE	RMSE
ASOS	3	1.13	10.71	3.05
Thiessen		1.13	10.67	3.05
ASOS	5	1.52	16.00	3.74
Thiessen		1.47	15.28	3.64
ASOS	10	2.37	30.21	5.14
Thiessen		2.35	30.19	5.13
ASOS	20	3.13	46.50	6.36
Thiessen		3.10	45.43	6.23
ASOS	30	4.51	76.26	8.10
Thiessen		4.49	76.84	8.06

Fig. 4를 보면 예측 기간이 증가함(첫 번째 그래프부터 순서대로 3, 5, 10, 20, 30일)에 따라 실측값과 예측값의 차이가 어떻게 변하는지를 시각적으로 나타낸다. 이는 중장기 예측의 정확성을 평가하고, 장기 예측(실험에서 장기 예측은 예측한 저수율 값을 다음 입력 '하루 전 저수율'로 사용하는 방식, 즉 재귀적 방식으로 수행됨)의 오차 누적 경향을 분석하는 데 중요하다. 이러한 분석을 통해 각 예측 기간에서 모델이 겪는 성능 변화를 이해할 수 있으며, 이는 티센망 기반의 강우 데이터가 장기 예측에도 효과적인

임을 보여주는 증거가 된다. 이러한 결과는 강우 측정 방식이 저수율 예측의 정확도에 중요한 영향을 미친다는 논문의 주장을 뒷받침한다.

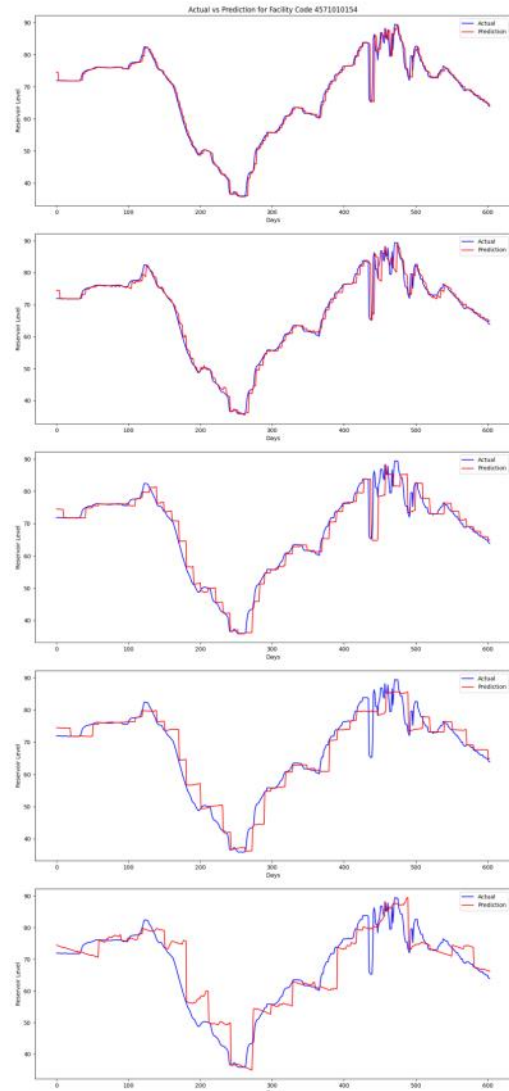


Fig. 4. Comparison of Changing Forecast Performance as the Prediction Period Increases

V. Conclusions

본 연구는 전 세계적으로 중요한 도전 과제인 농업용수 관리에 있어서, 저수율 예측의 정확성을 높이는 방법에 초점을 맞췄다. 전통적인 추계학적 접근법의 한계를 넘어서, 본 연구는 딥러닝 기술을 활용하여 저수율 예측 모델의 개발과 성능 개선에 주목했다. 이 과정에서, 강우량 측정 방법이 예측 모델의 성능에 미치는 영향을 심도 있게 조사하였으며, ASOS, AWS, 그리고 티센망(ASOS+AWS)을 포

합한 다양한 데이터 활용을 통해 예측 정확도를 개선하는 방안을 탐색하였다.

본 연구는 기존의 연구들이 강우 측정 방식에 따른 예측 모델의 성능 변화를 충분히 다루지 않았다는 점에서 의미가 크다. 대부분의 관련 연구에서는 특정 강우 측정 방식에만 집중하거나, 다양한 측정 방식의 통합적 활용 가능성을 탐구하지 않았다. 이에 반해, 본 연구는 ASOS, AWS, 그리고 티센망과 같은 다양한 강우 측정 방식의 성능을 비교 분석함으로써, 저수율 예측의 정확도를 향상시키는 데 있어 각 방식의 장단점과 적용 가능성을 구체적으로 밝혔다.

전라북도 34개 저수지에 대한 본 연구의 실험적 분석 결과는 티센망을 활용한 면적강우비 기반의 데이터가 저수율 예측에 있어서 ASOS나 AWS만을 사용하는 경우보다 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다. 이는 티센망 기반 데이터가 강우량의 국지적 특성과 정확한 양을 더 잘 반영할 수 있기 때문으로 해석된다. 또한, 예측 기간이 늘어나더라도 이러한 경향성이 일정하게 유지된다는 것도 실험을 통해 확인하였다.

따라서, 본 연구는 저수지 수위 예측의 정확도를 향상시킬 수 있는 실질적인 방안을 제공한다. 이러한 방안은 농업용수 관리 분야에서의 의사결정을 지원하는 데 중요한 기여를 할 수 있다. 하지만, 딥러닝 기반의 접근법이 데이터의 양과 품질에 크게 의존한다는 점, 그리고 모델의 복잡성으로 인한 해석 가능성의 제한이라는 도전도 인식되어야 한다. 향후 연구에서는 이러한 도전을 극복하고, 다양한 기상 데이터와 함께 기온, 습도, 작부시기 등 추가적인 변수를 통합하여 모델의 일반화 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 방안에 대한 탐색이 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by an industry-academic cooperation R&D program funded by the LX Spatial Information Research Institute (LXSIRI, Republic of Korea) [Project Name: Prediction of water storage rate against drought in agricultural reservoirs using spatial information-based artificial intelligence analysis / Project Number: 2023-501].

REFERENCES

- [1] Saikia, Pallabi, et al., "Artificial Neural Networks in the domain of reservoir characterization: A review from shallow to deep models", *Computers & Geosciences*, Vol. 135, 104357, February 2020. DOI: 10.1016/j.cageo.2019.104357
- [2] Lim, Heesung et al., "Prediction of pollution loads in agricultural reservoirs using LSTM algorithm: case study of reservoirs in Nonsan City", *Korean Journal of Agricultural Science*, Vol. 49, No. 2, pp. 193-202, June 2022. DOI: 10.7744/kjoas.20220016
- [3] Seo, Youngmin, Eunhyuk Choi, and Woonki Yeo, "Reservoir water level forecasting using machine learning models", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 59, Issue 3, pp. 97-110, May 2017. DOI: 10.5389/KSAE.2017.59.3.097
- [4] Jung, Sungho, et al, "Prediction of river water level using deep-learning open library", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 1 pp. 1-11, January 2018. DOI: 10.9798/KOSHAM.2018.18.1.1
- [5] Jung, Jaeho et al., "A Study on the Use of Geospatial Information-Based Simulation for Preemptive Response to Water Disasters in Agricultural Land", *Smart Media Journal*, Vol.11, No.7, pp. 52-60, August 2022. DOI: 10.30693/SMJ.2022.11.7.52
- [6] Han, Heechan, et al., "Application of sequence to sequence learning based LSTM model (LSTM-s2s) for forecasting dam inflow", *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 54, Issue .3, pp. 157-166, March 2021. DOI: 10.3741/JKWRA.2021.54.3.157
- [7] Joh, Sunguk, and Lee, Yangwon., "Prediction of Water Storage Rate for Agricultural Reservoirs Using Univariate and Multivariate LSTM Models", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 39, No. 5, pp. 1125-1134, October 2023. DOI: 10.7780/kjrs.2023.39.5.4.6
- [8] Seong, Yeongjeong, Kidoo Park, and Younghun Jung, "Flow rate prediction at Paldang Bridge using deep learning models", *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 55, No.8, pp. 565-575, August 2022. DOI: 10.3741/JKWRA.2022.55.8.565
- [9] Zhang, Di, et al., "Modeling and simulating of reservoir operation using the artificial neural network, support vector regression, deep learning algorithm", *Journal of Hydrology* Vol. 565, pp. 720-736, October 2018. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.08.050
- [10] Das, Monidipa, et al., "A probabilistic nonlinear model for forecasting daily water level in reservoir", *Water Resources Management*, Vol. 30, pp. 3107-3122, May 2016. DOI: 10.1007/s11269-016-1334-6
- [11] Dong, Yukun, et al., "Reservoir production prediction model based on a stacked LSTM network and transfer learning", *ACS omega*, Vol. 6, No. 50, pp. 34700-34711, December 2021. DOI: 10.1021/acsomega.1c05132
- [12] Hyun, Jung Hoon, Heeseong Park, and Gunhui Chung, "Effects of the Difference between ASOS and AWS Data on Runoff Characteristics", *Journal of The Korean Society of Hazard*

Mitigation, Vol. 19, No. 7, pp. 443-449, December 2019. DOI: 10.9798/KOSHAM.2019.19.7.443

- [13] Song, Sung-Ho, Seung-Hwan Yoo, and Seung-Jong Bae, "Regional drought assessment considering climate change and relationship with agricultural water in Jeju Island", *Journal of Environmental Science International*, Vol. 22, Issue 5, pp. 625-638, May 2013. DOI: 10.5322/JESI.2013.22.5.625

[14] RAWRIS, <https://rawris.ekr.or.kr>

[15] KMA Weather Data Service, <https://data.kma.go.kr>

Authors



Hye-Seung Park received the B.S. degree in Computer Science from Hanyang University, Korea, in 2012, and the M.S. degree in Electronics and Computer Engineering from Hanyang University, Korea, in 2014.

He received his Ph.D. degree in Computer Science and Engineering from the Korea University of Technology and Education, Korea, in 2021. In 2021, Dr. Park joined the faculty of the Department of Software Engineering at Hyupsung University, Korea, where he is currently an Assistant Professor. His research interests include artificial intelligence, computer vision, and related fields.



Hyun-Ho Yang received his B.S. and M.S. degrees in Electronic Engineering from Kwangwoon University, Korea, in 1986 and 1990, respectively, and his Ph.D. degree in Information and Communication Engineering

from Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), Korea, in 2003. Dr. Yang is a professor in the School of Computer Software Engineering at Kunsan National University, Gunsan, Korea, from 2005. His research interests include deep learning, machine learning, ubiquitous and pervasive computing, and Big Data.



Ho-Jun Lee received his B.S. degree in Control and Instrumentation Engineering from Chung-Ang University, Korea, in 1995. He served as a Division Manager in the Information Business Department at Korea

Spatial Information & Communication Co., Ltd., in 2011, and as the Team Leader of the Integrated Control Platform Team at Naver System Co., Ltd., in 2023. Since 2023, Mr. Yang has been the Director of the SI Business Division at Soory E&C Co., Ltd., Korea.



Dr. Yoon is a professor in the department of business administration at Hyupsung University. He received his Ph.D. in Management Information System from Inha University, Korea, in 1997.

He is interested in Business Intelligence, Big-Data Analysis, and Machine Learning.