Korean Journal Of Agricultural Science

pISSN : 2466-2402
eISSN : 2466-2410

ENGINEERING

Estimating the rating curve of irrigation canals in the Cheongju Sindae area

Mikyoung Choi[1], Inhyeok Song[2], Heesung Lim[3], Hansol Kang[2], Hyunuk An[2,*]

[1]Division for Integrated Water Management, Korea Environment Institute, Sejong 30147, Korea
[2]Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea
[3]Rural Research Institute or Agricultural and Fisheries Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Naju 58327, Korea

[*]Corresponding author: hyunuk@cnu.ac.kr

Abstract

As the frequency and intensity of heavy rains increase, the vulnerability of agriculture to disasters also increases. Consequently, there is a need to improve flood and inundation predictions. To enhance the accuracy of inundation predictions, it is essential to monitor water level and discharge data within agricultural areas. This study was conducted to monitor water levels and rainfall in the Cheongju Sindae area from 2022 to 2023, and the data was utilized as input and validation data for agricultural inundation modeling. Four irrigation drainage canals were installed to a square-shaped concrete structure where the water level gauge is. It was then confirmed that the water level rises with rainfall. The flow velocities were monitored during periods of heavy rainfall. The rating curve, which estimates water level and flow velocity based on observations, was estimated using the software K-HQ. The resulting curve was presented with the Coefficient of Determination (R^2). K-HQ was also used to calculate the equation for the rating curve, taking outliers into account at each data point. Outliers were extracted and the rating curve was recalculated. As the coefficient of determination of three out of four stations exceeded 0.95, the estimated rating curve may be considered reliable for discharge estimation. This study provides critical data for enhancing agricultural inundation modeling accuracy and drainage improvement projects.

Keywords: discharge, irrigation drainage canal, K-HQ, rating curve, water level

Check for updates

OPEN ACCESS

Citation: Choi M, Song I, Lim H, Kang H, An H. 2024. Estimating the rating curve of irrigation canals in the Cheongju Sindae area. Korean Journal of Agricultural Science 51:79-86. https://doi.org/10.7744/kjoas.510107

Received: November 03, 2023
Revised: December 08, 2023
Accepted: December 27, 2023

Copyright: © 2024 Korean Journal of Agricultural Science

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

최근 기후변화로 인한 가뭄과 집중호우의 빈도와 강도가 증가함에 따라 기후의존성이 높은 농업의 재해 취약성이 높기 때문에, 작물 생산이나 병해충과 같은 농작물 분야, 농업용수나 생산기반시설분야 등의 기후변화 영향 및 취약성 평가를 추진하고 있다(Jung et al., 2019; ME, 2020). 그리고 30 cm의 침수심을 허용하는 기존 담수답에서 침수 발생 시 농작물의 피해가 즉시 발생하는 다양한 작물재배로의 전환이 확대되고 있기 때문에 농경지 침수 피해 저감

대책을 위한 사회적인 요구와 관심도 증가하고 있다(KRC, 2023).

농경지 피해 저감을 위한 침수 예측을 위하여 농경지의 지형자료뿐만 아니라 대상지의 배수장 가동 현황, 인근 하천 수위와 강우 데이터와 같은 수리·수문 자료가 필요하다(Jun et al., 2021). 기존의 농경지 침수해석은 인접한 하천에서의 외수 침수 범람 해석을 위하여 하천의 수위·유량 자료를 활용하거나(Jun et al., 2018; 2019), 농경지 내부의 배수 지연으로 인한 내수 침수 모의를 위하여 인근 기상관측소의 강우자료를 활용하여 침수영역 및 유량을 추정하고 있다(Jun et al., 2018; Kim et al., 2021). 하지만 구축한 침수 모형의 정확도 향상을 위하여 농경지 내부 용배수로의 실제 수위나 유량과 같은 흐름 특성을 반영하여 검증에 활용한 사례는 거의 없다. 농경지 용배수로의 수위나 유량을 산정하여 활용하는 사례는 주로 농업용수 공급 효율화를 평가하기 위하여 관개용수량을 산정하고, 관개용수로의 손실량을 산정하기 위하여 용배수로 주요지점에 수위 및 유량관측을 수행하여 활용하고 있다(Park et al., 2012; Hong et al., 2015; Bang et al., 2021).

본 연구에서는 농경지 침수 모의의 입력자료와 검증자료로 활용하기 위하여 다년간 강우와 수위 모니터링을 통하여 농경지 유역의 강우량과 농경지 내부의 배수로 수위를 파악하고, 홍수기 유속 측정을 통하여 배수로 수위-유량 곡선을 산정하여 배수로의 유량을 제시함으로서 농경지 침수 모의 및 홍수기 배수 현황 파악을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

Materials and Methods

연구 대상지는 충청북도 청주시 흥덕구 서촌동에 위치하고 1977년 경지정리사업이 완료된 신대지구이다. 유역면적은 1,100 ha로 과거 상습침수로 2006년 배수장 확대사업에 의해 배수펌프 용량 확대가 이뤄졌다. 용수원은 미호저수지이며 작전보에서 양수하여 지구 내로 유입하고, 배수본천은 석남천이며 미호천과 합류하여 국가 하천인 금강으로 흐른다.

지구 내 배수로는 대부분이 콘크리트 구조이며, 일부 흙수로가 존재한다. 신대지구의 배수량을 파악하기 위하여 주 배수간선 2지점, 주 배수간선으로 유입되는 배수간선 2지점을 선정하여 총 4지점에 부자식 수위계를 설치하였다(Fig. 1 and 2). 주 배수간선 1지점(WL G_1) 상류는 흙수로였다가 2022년 배수개선사업이 진행되면서 콘크리트 수로로 공사가 진행되고 있으며, 배수간선 2지점(WL G_2)은 외부에서 유입수가 배수로를 유하하여 지구내로 합류한다. 3지점(WL G_3)은 주 배수간선 말단부이며, 4지점(WL G_4)은 지구내 배수량을 주 배수간선으로 이동시키는 배수로 중 하나이다(Fig. 2). 수위 관측 지점별 배수로 제원은 Table 1과 같다. 수위 데이터는 2022년 5월부터 10월, 2023년 5월부터 7월까지 10분 단위로 취득하였다. 수위 관측기 고장으로 2022년은 수위 1지점, 2023년은 수위 3지점 데이터 수집은 어려웠다. 하지만 유속 측정 시 스태프를 이용하여 측정한 수위 3 지점의 수위 데이터는 그래프에서 점으로 표기하였다.

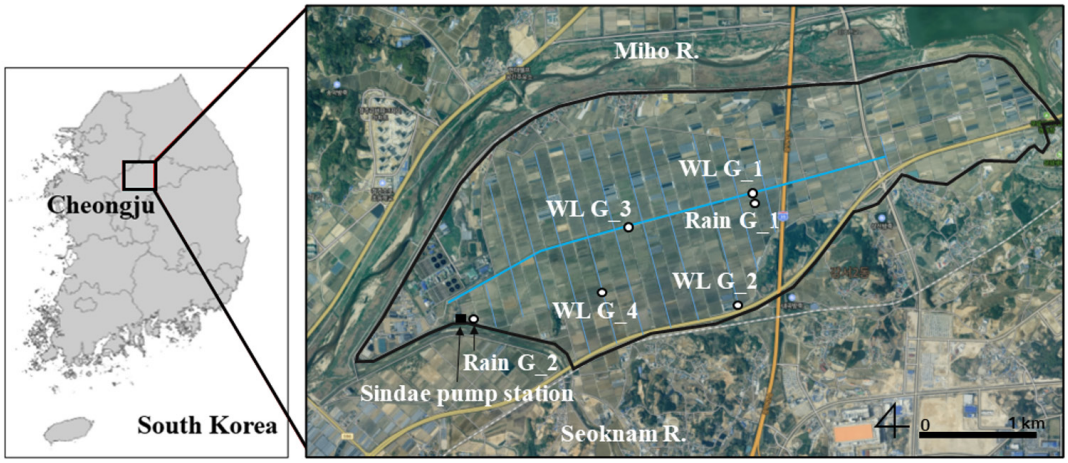

Fig. 1. Study area and water level and rainfall gauges. WL G, water level gauge; Rain G, rainfall gauge.

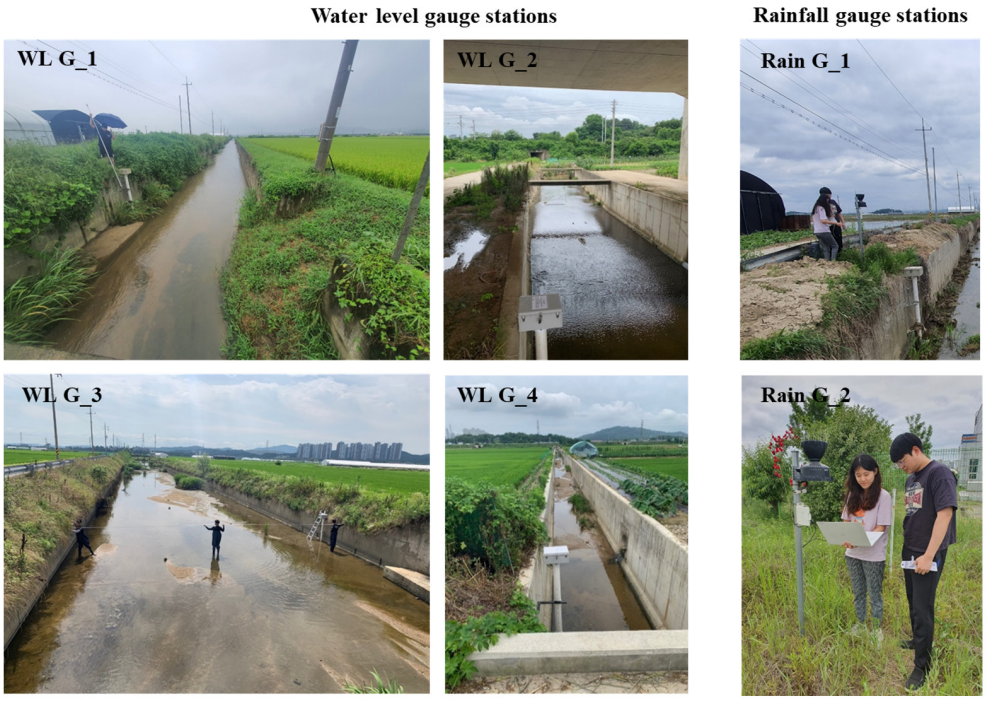

Fig. 2. Image of drainage equipped with water level gauge and rain gauge. WL G, water level gauge; Rain G, rainfall gauge.

Table 1. Specifications of a drainage equipped with water level gauges.

Station	Abbreviation	Width (mm)	Depth (mm)	Type
Water level gauge_1	WL G_1	6,100	2,100	Concrete
Water level gauge_2	WL G_2	5,000	2,000	Concrete
Water level gauge_3	WL G_3	13,900	1,500	Concrete
Water level gauge_4	WL G_4	2,600	2,000	Concrete

연구 대상지내 강우 자료 확보를 위하여 수위 1지점 옆 강우 1지점(Rain G_1)과 배수장 저수지 인근 강우 2지점(Rain G_2)에 전도형 강우계를 설치하였다(Fig. 2). 강우량 센서는 HOBO사의 0.2 mm 강우량 스마트 센서(Onset HOBO S-RGF-M002, Onset Computer Corporation, USA)를 사용하였으며, 10분 간격으로 측정하였다. 강우데이터는 2022년 6월부터 9월, 2023년 5월부터 7월의 자료를 10분 단위로 취득하였으나, 강우 1지점의 센서 오류로 강우 2지점의 데이터만 사용하였다. 강우 2지점의 데이터는 가장 인접한 ASOS (automated synoptic observing system) 청주 기상관측소(대상지와의 거리 5.75 km)와의 상관분석에서 R^2는 0.741, RMSE (root mean squared error)는 1.311로 데이터의 적정성을 확인하였으며(Fig. 3), 강우 발생 시점과 수위 상승 시점이 동일한지 확인하기 위하여 강우 데이터 미 취득 시기에는 ASOS 청주 기상관측소의 데이터를 활용하였다. Fig. 4의 시간당 수위와 강우 데이터 그래프에 따르면 강우 발생 시점에 전 구간의 수위가 상승하는 것을 확인할 수 있기 때문에 데이터가 확보된 기간의 데이터는 타당한 것으로 판단하였다.

홍수기 유속은 2023년 7월 5 - 20일동안 각 지점 10회 이상 각 지점 배수로폭을 3등분하여 3회씩 전자파표면유속계(MU, Mutronics, Korea)를 사용하여 측정하였다(Fig. 5). 유속 측정 시 스태프(CAS-5508, Sincon, Korea)를 이용하여 수위를 측정하여 수위계 데이터와 비교하였다.

K-water에서 개발한 수위-유량 관계곡선식 산정 소프트웨어인 K-HQ (K-water, Korea)를 사용하여 수위-유량 관계곡선식을 산정하였다. K-HQ를 통한 수위-유량 관계곡선은 자동구간분리, 이상치 추출 및 최저 변곡점을 선정할 수 있다. 이상치 추출을 위하여 standardized residuals을 계산 값이 2보다 크거나 작은 경우 이상치로 제시한다(Kim et al., 2015; 2018). 신대지구의 데이터를 이용하여 수위-유량 관계곡선을 생성하고 곡선식의 결정계수와 이상치 추출 결과를 제시하고, 이상치 제거 후 재 산정하여 결정계수를 비교하여 수위유량 관계곡선의 적정성을 판단하였다.

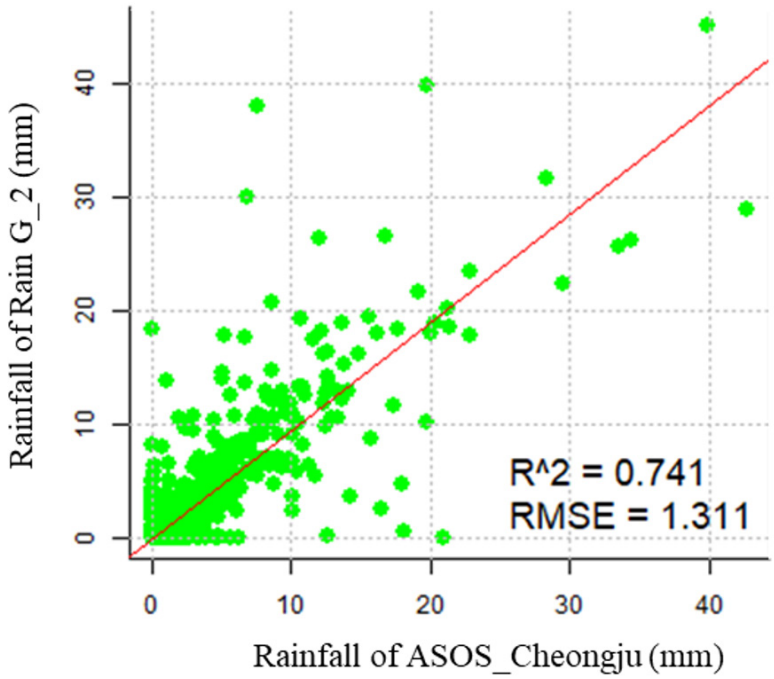

Fig. 3. Rainfall comparison of ASOS_Cheongju and Rain G_2. R^2, coefficient of determination; RMSE, root mean squared error; ASOS, automated synoptic observing system.

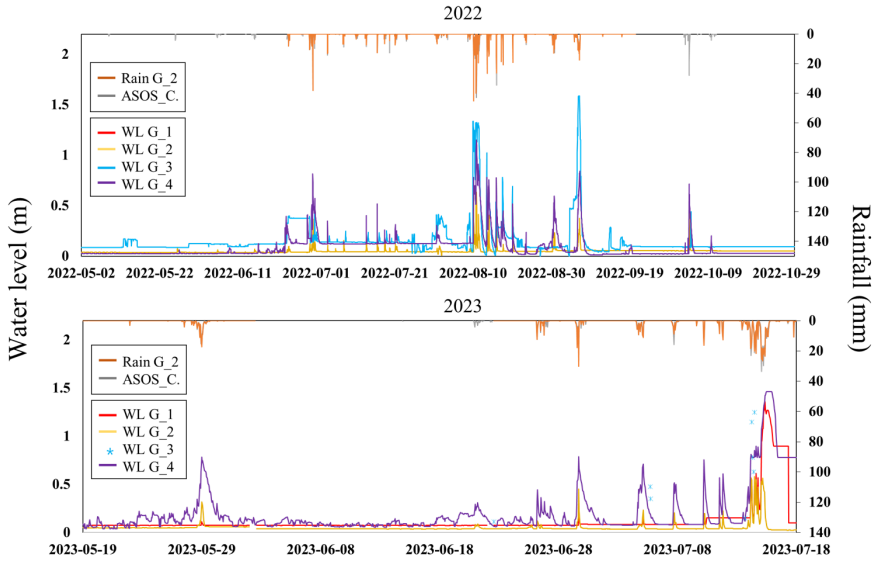

Fig. 4. Rainfall and water level data from 2022 to 2023. Rain G, rainfall gauge; ASOS_C., ASOS (automated synoptic observing system) Cheongju data; WL G, water level gauge.

Fig. 5. Image of field monitoring of flow velocity using microwave water surface current meter. WL G, water level gauge.

Results and Discussion

K-HQ를 이용하여 산정한 각 지점의 이상치를 포함한 수위유량 관계곡선식과 이상치 추출 그래프는 Fig. 6과 같다. 이상치 추출 그래프에서 이상치가 아닌 구간은 파란색으로 표시되고 파란색을 벗어난 구간에 위치한 관측점들이 이상치를 나타낸다. 수위 1지점의 수위유량 곡선식의 결정계수는 0.937이며, 이상치 1개 측정값이 발견되었다. 수위 2지점의 결정계수는 0.917이며, 이상치는 2개 측정값에서 발견되었다. 수위 3지점의 결정계수는 0.804이며 이상치는 2개 측정값이 나타났으며 수위 4지점의 결정계수는 0.933, 이상치는 1개 측정값에서 발견되었다.

Fig. 7과 Table 2는 수위유량 관계곡선식에서 이상치를 제외하고 재 생성한 관계곡선식과 결정계수를 나타낸다. 수위 1지점의 결정계수는 이상치 제외 전 0.937에서 이상치 제외 후 0.951로 증가하였다. 수위 2지점의 결정계수도 이상치 제외 전 0.917에서 이상치 제외 후 0.982로 증가하였다. 수위 3지점도 0.804에서 0.843으로 증가하였고, 수위 4지점도 0.933에서 0.952로 증가하였다. 이상치를 제외한 수위유량 관계곡선식의 결정계수가 증가함에 따라 수위 3지점을 제외한 모든 지점의 결정계수가 0.95를 상회하기 때문에 수위유량 관계곡선식이 적정하게 추정되었다고 판단된다.

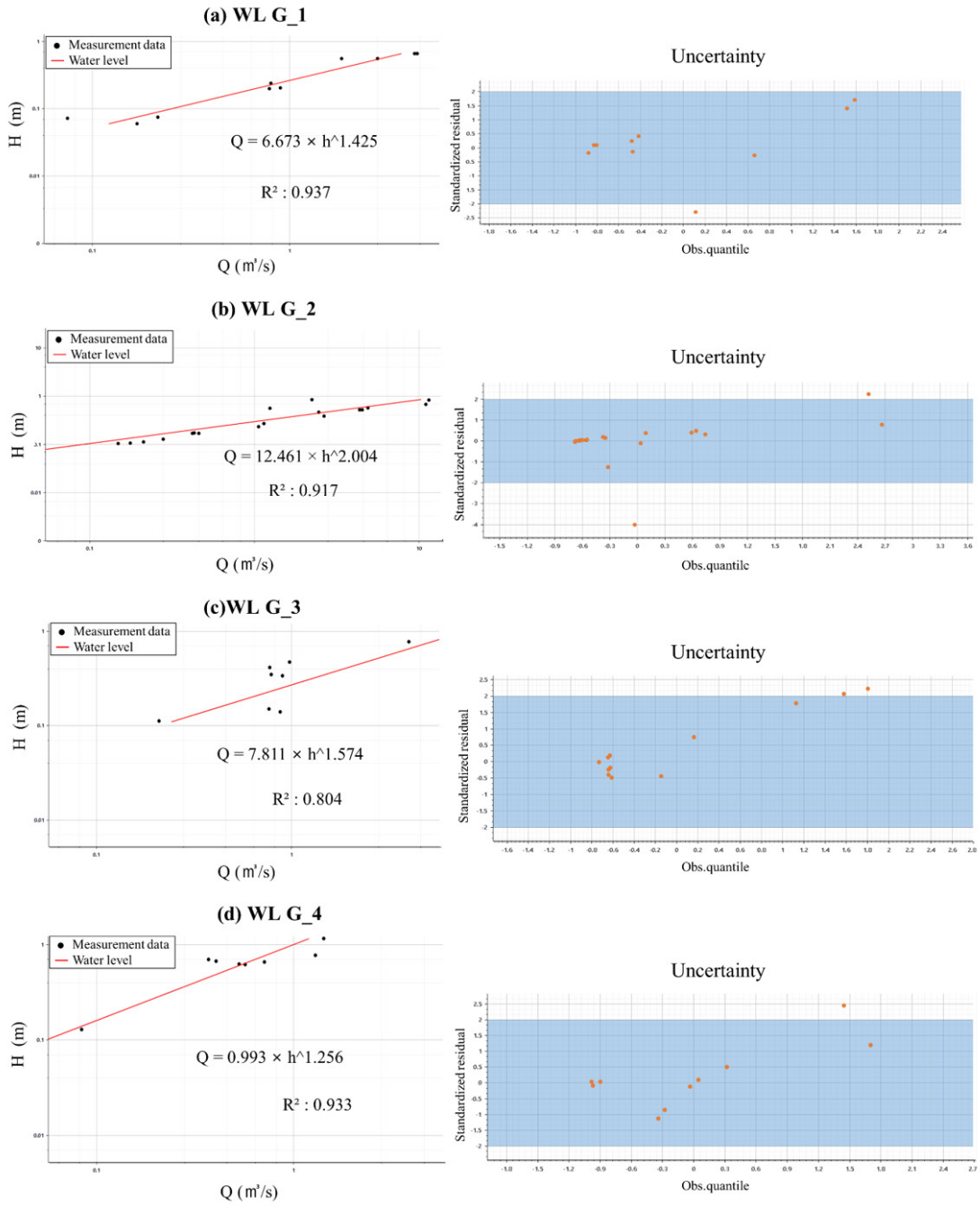

Fig. 6. Rating curve before outlier elimination and uncertainty graph each gauge station. WL G, water level gauge; H, water level; Q, discharge; Obs., observed; R^2, coefficient of determination.

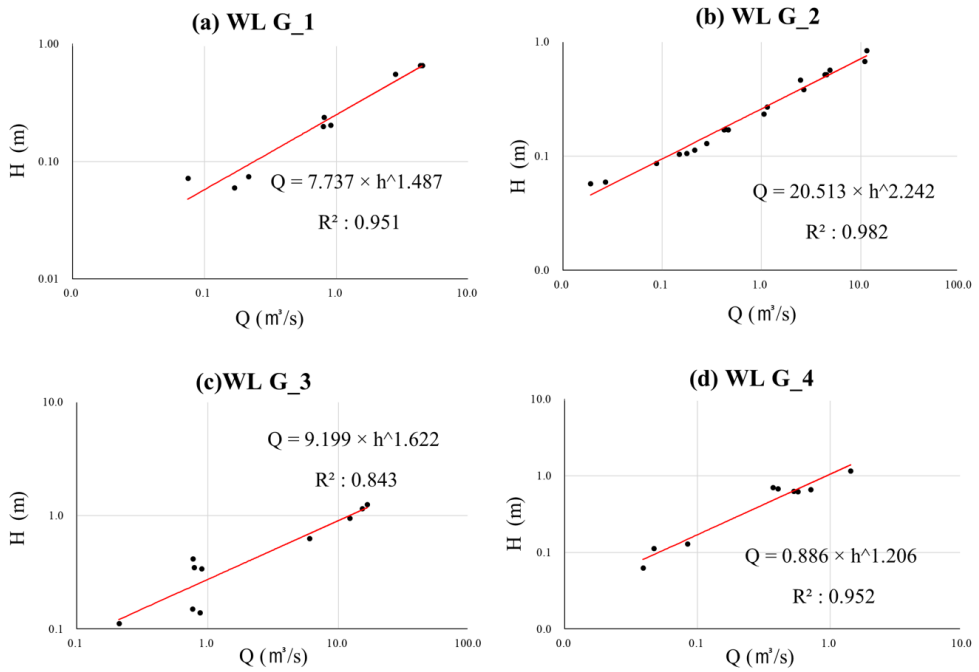

Fig. 7. Rating curve after outlier elimination each gauge station. WL G, water level gauge; H, water level; Q, discharge; R^2, coefficient of determination.

Table 2. Comparison water level-discharge equation and R^2 of rating curve before and after outlier elimination.

Station	Before outlier elimination		After outlier elimination	
	Equation	R^2	Equation	R^2
WL G_1	Q = 6.673 × H^1.425	0.937	Q = 7.737 × H ^1.487	0.951
WL G_2	Q = 12.461 × H ^2.004	0.917	Q = 20.513 × H ^2.242	0.982
WL G_3	Q = 7.811 × H ^1.574	0.804	Q = 9.199 × H ^1.622	0.843
WL G_4	Q = 0.993 × H ^1.256	0.933	Q = 0.886 × H ^1.206	0.952

WL G, water level gauge; H, water level; Q, discharge; R^2, coefficient of determination.

Conclusion

본 연구에는 농경지 침수 모의의 입력자료와 검증자료로 활용하기 위하여 2022년부터 2023년까지 2년간 홍수기의 강우 수위자료를 취득하였으며, 유속측정을 통하여 배수로의 수위유량 곡선을 산정하였다. 수위 1지점의 결정계수는 0.951, 2지점은 0.982, 3지점은 0.843, 4지점은 0.952로 농경지 내의 신뢰성 높은 유량을 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 농경지의 침수 모의를 위한 입력 자료 및 검증 자료로 활용함으로서 배수개선사업 및 침수 예측 고도화에 기여할 것으로 기대한다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농업기반 및 재해대응기술 개발사업 (321071-3)의 지원으로 수행되었습니다.

Authors Information

Mikyoung Choi, https://orcid.org/0000-0003-3199-1794
Inhyeok Song, https://orcid.org/0009-0006-0703-7756
Heesung Lim, https://orcid.org/0000-0002-1922-3680
Hansol Kang, https://orcid.org/0000-0001-5037-9723
Hyunuk An, https://orcid.org/0000-0002-4566-5159

References

Bang J, Choi JY, Yoon P, Oh CJ, Maeng SJ, Bae SJ, Jang MW, Jang T, Park MS. 2021. Assessing irrigation water supply from agricultural reservoir using automatic water level data of irrigation canal. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 63:27-35. [in Korean]

Hong EM, Choi JY, Nam WH, Lee SH, Choi JK, Kim JT. 2015. Analysis of water loss rate and irrigation efficiency in irrigation canal at the Dong-Jin District. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 57:93-101. [in Korean]

Jun SM, Kim JH, Kang MS. 2021. Improvement of agricultural flooding simulation model in rural watersheds. Magazine of Korea Water Resources Association 54(11):62-68. [in Korean]

Jun SM, Lee HJ, Hwang SH, Song JH, Choi SK, Kang MS. 2019. General inundation modeling of paddy field districts considering drainage delay. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 61(4):87-96. [in Korean]

Jun SM, Song JH, Choi SK, Lee KD, Kang MS. 2018. Combined 1D/2D inundation simulation of riverside farmland using HEC-RAS. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 60(5):135-147. [in Korean]

Jung K, Song S, Oh S. 2019. Survey on the impact of climate change on rural water and agricultural production infrastructure. Magazine of Rural Resources 61(1):58-64. [in Korean]

Kim DY, Lee SW, Maeng SJ, Hong EB, Kim MS, Park HK. 2021. Analysis of flood damage in agricultural inland during flood season. pp. 496-499. In Proceedings of Korea Academia-Industrial cooperation Society. [in Korean]

Kim YS, Kim JY, Ah HU, Jung KS. 2015. Improvement of the method using the coefficient of variation for automatic multi-segmentation method of a rating curve. Journal of Korea Water Resources Association 48:807-816. [in Korean]

Kim YS, Noh JW, Kim SH, Park KW. 2018. Improvement of the method using the coefficient of variation for automatic multi-segmentation method of a rating curve. Magazine of Water for Future 51:47-54. [in Korean]

KRC (Korea Rural Community Cooperation). 2023. Agricultural production management plan. KRC, Naju, Korea. [in Korean]

ME (Ministry of Environment). 2020. Third national climate change adaptation step summary. ME, Sejong, Korea. [in Korean]

Park CE, Kim JT, Oh ST. 2012. Analysis of stage-discharge relationships in the irrigation canal with auto-measuring system. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 54:109-114. [in Korean]