

상류 수위관측소 자료를 활용한 하류 지점 수위 예측

홍원표* · 송창근**†

Prediction of Water Level at Downstream Site by Using Water Level Data at Upstream Gaging Station

Won Pyo Hong* · Chang Geun Song**†

†Corresponding Author

Chang Geun Song

Tel : +82-32-835-8291

E-mail : baybreeze119@inu.ac.kr

Received : October 22, 2019

Revised : February 29, 2020

Accepted : March 6, 2020

Abstract : Recently, the overseas construction market has been actively promoted for about 10 years, and overseas dam construction has been continuously performed. For the economic and safe construction of the dam, it is important to prepare the main dam construction plan considering the design frequency of the diversion tunnel and the cofferdam. In this respect, the prediction of river level during the rainy season is significant. Since most of the overseas dam construction sites are located in areas with poor infrastructure, the most efficient and economic method to predict the water level in dam construction is to use the upstream water level. In this study, a linear regression model, which is one of the simplest statistical methods, was proposed and examined to predict the downstream level from the upstream level. The Pyeongchang River basin, which has the characteristics of the upper stream (mountain stream), was selected as the target site and the observed water level in Pyeongchang and Panwoon gaging station were used. A regression equation was developed using the water level data set from August 22th to 27th, 2017, and its applicability was tested using the water level data set from August 28th to September 1st, 2018. The dependent variable was selected as the "level difference between two stations," and the independent variable was selected as "the level of water level in Pyeongchang station two hours ago" and the "water level change rate in Pyeongchang station (m/hr)". In addition, the accuracy of the developed equation was checked by using the regression statistics of Root Mean Square Error (RMSE), Adjusted Coefficient of Determination (ACD), and Nach Sutcliffe efficiency Coefficient (NSEC). As a result, the statistical value of the linear regression model was very high, so the downstream water level prediction using the upstream water level was examined in a highly reliable way. In addition, the results of the application of the water level change rate (m/hr) to the regression equation show that although the increase of the statistical value is not large, it is effective to reduce the water level error in the rapid level rise section. Accordingly, this is a significant advantage in estimating the evacuation water level during main dam construction to secure safety in construction site.

Key Words : water level estimation, regression equation, upstream water level, regression statistics

Copyright©2020 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

최근 이상기후로 인한 태풍, 집중호우 및 홍수재해로 인명손실과 재산 피해가 증가하고 있다. 홍수 재해

는 호우로 하천 수위가 상승 및 범람하여 피해를 초래하는 것을 의미하므로 하천 수위를 정확하게 예측하는 것은 홍수재해를 방지하기 위해 매우 중요하다. 또한 홍수피해 저감을 위한 비구조적 대책에 하천 수위 예

*인천대학교 안전공학과 박사과정 (Department of Safety Engineering, Incheon National University)

**인천대학교 안전공학과 부교수 (Department of Safety Engineering, Incheon National University)

측이 포함되므로 홍수 시의 하천 수위를 신속하고 정확하게 예측하는 것은 인명피해를 줄이고 재산을 보호하는데 핵심적인 요소이다.

국내 건설업의 경우 2000년대 중반 이후 해외건설시장에 활발하게 진출하고 있으며, 해외 댐 건설 또한 지속적으로 이루어지고 있다. 댐은 하천을 가로막는 구조물이기 때문에 시공과정에서 가물막이댐(coffer dam)이나 가배수터널(diversion tunnel)과 같은 우수전환을 위한 임시 구조물을 설치하게 되며, 본 댐 시공 시에는 상하류 가물막이댐 사이의 하천 공간에서 공사를 진행하게 된다. 가물막이댐과 배수터널의 경우 비교적 낮은 재현빈도의 홍수량을 기준으로 구조물의 규모를 결정하게 되므로, 안전한 공사를 위해서는 우기시 하천 수위의 예측이 매우 중요한 요소이다. 따라서 댐 시공 과정 중 공사 지점 상의 수위를 예측하는 것이 필수적이다.

우수전환 임시구조물의 홍수량은 댐 지점에서 예상되는 홍수의 특성, 공사기간, 댐의 형식, 공사 중에 홍수로 인한 예상 피해액의 규모 등을 고려하여 결정된다. 가물막이 댐의 설계빈도 홍수량은 본댐의 형식에 따라 달라지는데 본댐이 필댐인 경우 20~25년 빈도, CFRD (Concrete Faced Rock Filldam)의 경우 2~5년 빈도, 콘크리트 댐의 경우 1~2년 빈도의 홍수량을 채택하는 것이 일반적이다¹⁾. 즉, 본댐이 콘크리트댐인 경우 가물막이 댐의 월류 빈도는 1년~2년에 1회이므로 우기의 본댐 공사 시 가물막이 댐의 월류에 대한 대비책을 갖추어야 한다. 홍수발생 시 시공을 중지하고 대피명령을 발효하는 시점을 선포하는 것은 매우 중요하다. 대피명령이 뒤늦게 발효되는 경우 막대한 인명 및 재산 피해가 발생할 수 있으며, 반대로 일찍 발효되는 경우에는 현장에 투입된 건설중장비와 자재가 충분히 활용되지 못하여 막대한 경제적 손실을 초래하기 때문이다.

해외 댐 공사 현장은 대부분 사회기반시설이 없는 열악한 지역에 위치하기 때문에 댐의 상류 구역에는 강우관측소나 수위관측소가 매우 부족한 실정이다. 또한 사람이 거의 거주하지 않는 지역이 대부분이므로 홍수 관련 연구가 전무하며, 따라서 강우-유출 모형을 구축하거나 수위를 해석하기 위한 기초자료를 확보하기 매우 어려운 경우가 많다. 따라서 댐 상류 특정 지점의 수위를 이용하여 홍수 시 피해가 클 하류 주요 지점의 수위를 예측하는 방법을 고안한다면 매우 실효성 있는 정보를 제공할 수 있다. Cho 등²⁾은 홍수 시 콘크리트 중력식댐의 위험도 분석을 위한 파괴확률 산정한 바 있으며, Moon 등³⁾은 홍수피해저감지수를 개발하고 시범적용한 바 있다. 일반적으로 시공 현장은 긴박하게 다수의 공종이 진행되고 고위험도의 구조물 공사가

빈번하므로 업무의 효율을 높이기 위해 비교적 간편하게 수위를 예측할 수 있는 방법이 요구된다. 이러한 측면에서 현장기술자가 쉽게 이해할 수 있는 통계학적 기법을 이용한 홍수 예측기법을 수립하는 경우 공사 현장에서 사용빈도가 높을 것으로 판단된다.

통계학적 모형 기법은 과거 자료를 이용하여 미래를 예측하는데 주로 이용되며, 회귀분석, 통계신경망 등이 있다. Keefer⁴⁾는 기존 수리학적 홍수추적과 통계학적 예보모형의 비교를 통해 통계학적 홍수예보모형의 적용성을 검토한 바 있다. Son과 Lee⁵⁾는 Back propagation 알고리즘, Fletcher-Reeves 알고리즘, 회귀분석 등의 방법을 이용하여 강원도 인북천의 홍수위를 예측하였으며, Fletcher-Reeves 알고리즘이 높은 적용성을 보임을 입증하였다. Hyunh과 Nguyen⁶⁾은 주요지점의 수위를 종속변수로 하고 상류 이전시간 수위와 강우량을 이용하여 다중선형회귀모형을 구축하였으며, 이의 적용성을 검증하였다. Park 등⁷⁾은 신경망을 이용한 홍수유출예측 모형을 GUI 형태로 구현하여 홍수예보시스템의 적용성을 검토하였다. Kim⁸⁾은 저류함수모형과 SSARR 모형을 이용해 금강 미호천 유역에 대하여 홍수모의를 수행하여 통계적 기법인 다중선형회귀분석과 인공신경망모형을 이용하여 홍수예측을 수행하였으며, 다중선형회귀모형이 더 적합함을 보였다. Choi 등⁹⁾은 중량천 유역에 다중선형회귀모형을 적용하여 홍수위 예측을 수행하였으며, 최소자승법, 가중 최소자승법, 단계별 선택법 등을 이용하여 홍수예측모형의 적정성을 검증하였다. Jeon 등¹⁰⁾은 홍수예보지점의 상류 관측수위자료에 인공신경망을 적용하여 30분 이내에 발생 가능한 수위를 예측할 수 있는 기법을 개발하였다. Byeon 등¹¹⁾은 유역평균 강우자료와 수위자료를 독립변수로 하여 다중회귀식을 구성하고, 이의 적용성을 검증하였다.

이상의 연구자들은 다양한 통계학적 기법과 인공신경망 모형을 적용하여 홍수예측을 수행하였으나, 현장 실측자료와 입력자료가 매우 제한적인 해외 댐 건설 현장에서는 기존 방법을 그대로 적용하기 어려운 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구동향을 바탕으로 현장기술자가 쉽고 효과적으로 활용할 수 있도록 상류 수위 자료를 이용하여 하류 수위를 예측할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 수문관측소가 없는 지역의 수위를 비교적 간단한 방법으로 예측하기 위하여 상류 수위 자료와 통계학적 기법을 활용하여 하류 수위를 예측하고,

Table 1. Formula and criterion of regression statistics

Regression statistics	Formula	Criterion
Root mean square error (RMSE)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$	More accurate when RMSE is closer to 0
Adjusted coefficient of determination (ACD)	$1 - \frac{n-1}{n-k-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$	More accurate when ACD is closer to 1
Nach sutcliffe efficiency coefficient (NSEC)	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$	<ul style="list-style-type: none"> - more than 0.9: highly appropriate - 0.9~0.8: Appropriate - less than 0.8: Inappropriate

이의 효과를 분석하고자 한다.

회귀분석은 독립변수와 종속변수의 관계를 추정하는 방법으로, 독립변수의 갯수에 따라 단순 회귀분석 (simple regression analysis)과 다중 회귀분석(multiple regression analysis)으로 나누게 된다. 단순회귀 분석은 종속변수 y 를 하나의 독립변수 x 의 1차식으로 나타내는 것으로 식 (1)과 같이 표현된다.

$$y = a + bx \tag{1}$$

다중 회귀분석은 종속변수 y 를 n 개의 독립변수 $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ 의 1차식으로 관계식을 구하는 방법으로 식 (2)와 같다.

$$y = a + b_1x_1 + \dots + b_nx_n \tag{2}$$

회귀분석의 정확도를 높이기 위해서는 상수 a 와 매개변수 $b_1, b_2 \dots b_n$ 의 최적 조합을 구해야 한다. 본 연구에서는 회귀분석을 통하여 하류 수위 예측 모형을 제안하고 수위 예측의 정확도를 평가하기 위하여 평균제곱근오차(RMSE), 수정결정계수(ACD), 효율계수(NSEC)의 통계지표를 사용하였으며, 이의 특성을 Table 1에 나타내었다. 이 식에서 n 은 자료의 개수, y_i 는 수위 관측값, \hat{y}_i 는 수위 예측값, \bar{y} 는 수위 평균값, k 는 독립변수의 개수를 의미한다.

3. 수위 예측식의 개발 및 적용

3.1 대상 유역 및 수위자료

해외 댐공사 현장은 주로 산지하천에 위치하기 때문에 수위 측정자료를 얻기 어려운 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 하천 중 상류하천(산지하천)에 해

당하면서 수위관측자료가 비교적 양호한 평창강의 판운관측소와 평창관측소의 수위자료(약 21 km 이격)를 이용하여 상류 수위값을 기반으로 하류 수위를 예측하는 연구를 진행하였다.

대상 영역의 유역표고분석도를 Fig. 1에 나타내었다. 유역표고는 고도에 따라 변하는 강우, 증발, 식생 등에 영향을 미치는 인자로서 평창강의 경우 EL. 1,000 m 이상의 고지대가 6.91%정도 차지하고 있으며, EL. 600 m 이상의 고지대의 경우 전체 유역의 64.53%를 차지하는 등, 대부분 산악지형으로 이루어져 있다. 또한 산지하천의 일부구간은 급경사를 이루고 있어 형상학적 인 측면에서 불리함을 알 수 있다¹²⁾.

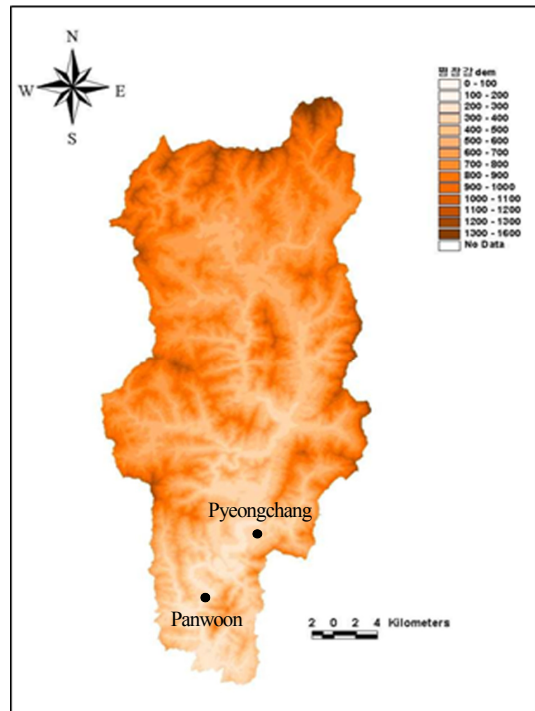


Fig. 1. Digital elevation map of Pyeongchang basin.

Table 2. Information on Pyeongchang and Panwoon gaging station

Gaging station	Location			Datum elevation (EL.m)	Observation start time	Authority
	Address	Longitude	Latitude			
Pyeongchang	Joong-ri, Pyeongchang-eup, Pyeongchang-gun, Gangwon-do	128° 24 ' 30 "	37° 21 ' 54 "	287.74	1958.1.1	Ministry of land, infrastructure and transport
Panwoon	Panwoon-ri, Jucheon-myeon, Yeongwol-gun, Gangwon-do	128° 20 ' 46 "	37° 17 ' 39 "	241.15	1992.6.2	K-water

평창관측소와 판운관측소의 제원을 Table 2에 수록하였다. 회귀식 개발에는 홍수 발생 기간이면서 수위 관측자료가 양호한 2017년 8월 22일~27일의 자료를 이용하였으며, 식의 적용성을 판단하기 위해 2018년 8월 28일~9월 1일 자료를 이용하였다.

3.2 변수 설정 및 수위 예측식 도출

상류에 위치한 평창관측소의 수위 자료(2017년 8월 22일~27일)를 이용하여 하류의 판운관측소의 수위를 예측하기 위해서는 두 관측소의 수위차를 분석하여야 한다. 평창관측소와 판운관측소의 수위차를 평창관측소의 수위와 연계하여 수위가 높아지는 순서로 재배치하여 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에서 평창관측소의 수위가 높아짐에 따라 두 관측소의 수위차가 일정하게 줄어드는 패턴을 보임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 두 관측소의 수위차

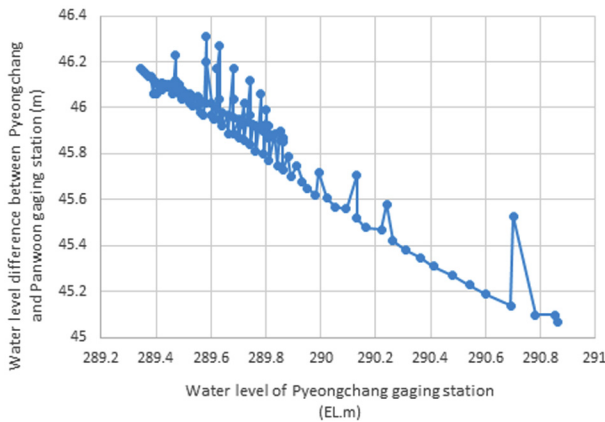


Fig. 2. Water level difference between Pyeongchang and Panwoon gaging station in relation of water level of Pyeongchang gaging station.

를 종속변수로 설정하기로 한다.

단계선택법을 이용하여 회귀식 산정에 의미있는 독립변수를 산정하였다. 두 관측소의 수위차를 종속변수로 하기 때문에, 두 관측소의 수위 상승 및 하강 패턴(시간 등)이 일치하는 것이 유리하다. 상류의 홍수가 하류로 전이되는 것에 착안하여, 상류 수위 자료를 각각 1, 2, 3시간 지체하여 하류 수위의 시간적 변화를 반영할 수 있는 상류수위를 독립변수로 선정하였다. 독립변수 선정 기준은 두 관측소의 최고 수위 발생 시간을 이용하였으며 두 관측소의 수위곡선을 비교함으로써 분석하였다. 상류 관측소의 수위값을 1시간 지체시킨 경우에는 수위 최대값이 실제(하류관측소 수위값)보다 빨리 나타났고, 반대로 3시간 지체시킨 경우에는 수위 최대값이 늦게 나타났으며, 이에 따른 위상차도 발생하였다. 반면, 상류에 위치한 평창관측소의 2시간 전 수위가 하류에 위치한 판운관측소의 수위 상승 및 하강 패턴을 가장 잘 반영하여 이를 독립변수로 설정하였다. 따라서, 선정된 독립변수인 평창관측소의 2시간 전 수위(x_1)와 평창수위 관측소의 시간별 수위변화량(m/hr; x_2)을 이용하여, 종속변수인 두 관측소의 수위차(y)를 예측하였고, 최종적으로 판운관측소의 수위를 예측하였다.

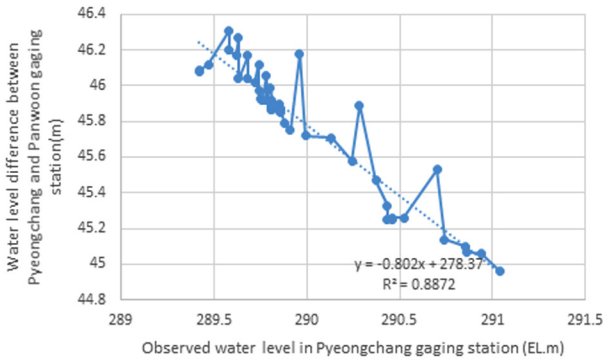
수위 상승 시와 하강 시의 특성이 다를 것을 감안하여, 상승부와 하강부를 구분하여 회귀식을 적용하여 Fig. 3에 도시하였으며, Table 3에 회귀식을 제시하였다.

3.3 적용 및 검증

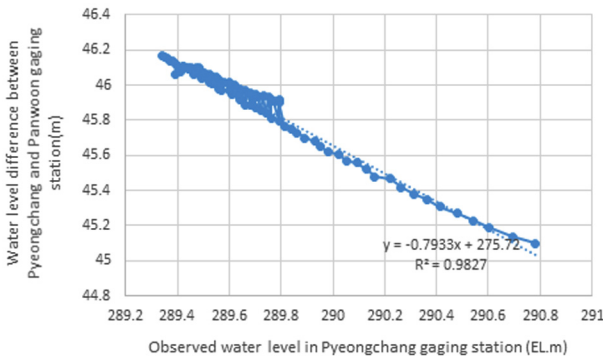
Table 4의 회귀식을 이용하여, 2017년 8월 22일~27일 평창관측소의 수위에서 판운관측소의 수위를 예측하였다. 예측 결과를 Fig. 4에 수록하였으며 이를 정량

Table 3. Linear regression equation for estimation of water level in Panwoon gaging station

Difference of water level between Pyeongchang and Panwoon gaging station (y) = Water level recorded two hours earlier at Pyeongchang gaging station (x_1) + Water level in Pyeongchang gaging station x_2 (water level change rate at Pyeongchang gaging station) is used as a multiple regression variable		
when water level rises	1 variable	$y = -0.802x_1 + 278.37$
	2 variables	$y = (-0.802x_1 + 278.37) + (-0.4476x_2 + 0.0062)$
when water level descends	1 variable	$y = -0.7933x_1 + 275.72$



(a) when water level rises



(b) when water level descends

Fig. 3. Linear regression equation between water level difference of two gaging stations and water level in Pyeongchang.

적으로 평가하기 위한 평균제곱근오차(RMSE), 수정결정계수(ACD), 효율계수(NSEC)의 통계지표를 산정하여 Table 4에 나타내었다.

Table 4에서, 1차 및 2차 회귀식 적용 결과, 평균제곱근오차(RMSE)는 0.065, 0.059, 수정결정계수(ACD)는 0.988, 0.990, 효율계수(NSEC)는 0.988, 0.990으로 나타났다. 결과적으로 통계값이 상당히 높은 값을 나타내기 때문에, 평창관측소 수위 자료(상류)를 이용한 판운관측소 수위(하류)의 예측은 매우 높은 신뢰성을 가지는 것으로 나타났다. 수위 예측 오차는 수위가 급격히 상승하는 구간에서 크게 발생하였으며, 평창관측소의 시간별 수위변화량(m/hr)의 회귀식은 이의 오차를 줄여주는 것으로 나타났다. 비록 통계값의 증가는 크지 않지만, 급격한 수위 상승 구간의 수위 오차를 줄여주기

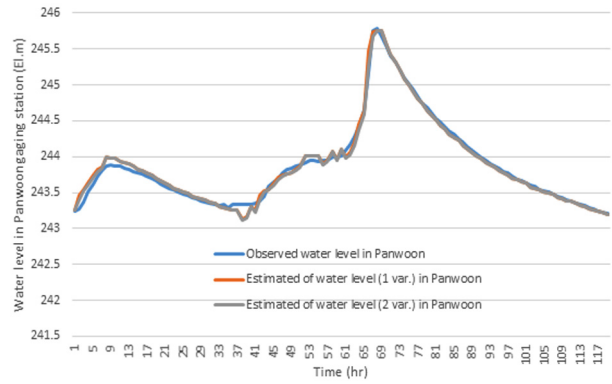


Fig. 4. Performance of developed equation at Panwoon gaging station with water level data from Aug. 22th to 27th, 2017.

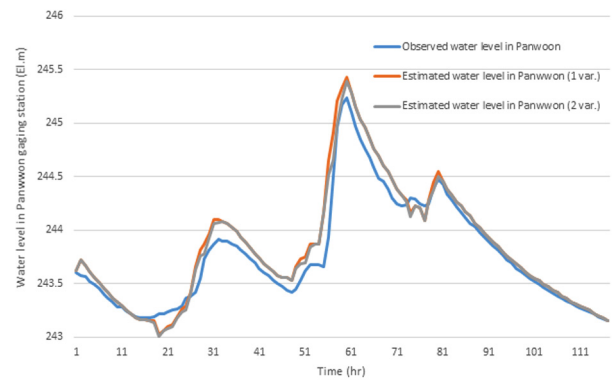


Fig. 5. Application of developed equation at Panwoon gaging station by water level data from Aug. 28th to Sep. 1st, 2018.

때문에, 댐 공사시의 대피수위 예측에 있어서 상당한 장점이라 판단된다.

2017년 8월 22일~27일 자료를 통해 도출된 회귀식의 정확성과 적용성을 평가하기 위해 2018년 8월 28일~9월 1일의 수위 관측 자료를 추가적으로 이용하였다. 평창관측소의 수위에서 판운관측소의 수위를 예측하였으며, 이의 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 또한, 이를 정량적으로 평가하기 위하여 평균제곱근오차(RMSE), 수정결정계수(ACD), 효율계수(NSEC)의 통계지표를 산정하여 Table 4에 나타내었다. 1차, 2차 회귀식 적용시, 평균제곱근오차(RMSE)는 0.142, 0.126, 수정결정계수(ACD)는 0.919, 0.936, 효율계수(NSEC)는 0.919, 0.937으로 나

Table 4. Statistical agreement of water level of estimation at Panwoon gaging station

Attribute	Data set	Etimated by	RMSE	ACD	NSEC
Development	Aug. 22th~27th, 2017	one variable	0.065	0.988	0.988
		two variables	0.059	0.990	0.990
Application	Aug. 28th~Sep. 1st, 2018	one variable	0.142	0.919	0.919
		two variables	0.126	0.936	0.937

타났다. 검증결과, 평창관측소(상류) 수위 자료를 이용한 판운관측소(하류) 수위의 예측은 매우 높은 신뢰성을 가지는 것으로 나타났다.

4. 결론 및 고찰

해외 댐 공사 현장은 대부분이 기반시설이 없는 지역에 위치기 때문에, 댐 상류 지역의 수위를 이용하여 하류 수위를 예측하는 방법을 고안하는 경우 그 활용도가 매우 높다고 할 수 있다. 본 연구에서는 통계학적 방법 중 하나인, 선형회귀모형을 적용하여, 상류 수위 자료를 통해 하류 수위를 예측하는 방법을 제안하였다.

국내 하천 중 상류하천(산지하천)에 해당하면서 수위 관측자료가 비교적 양호한 평창강의 판운관측소와 평창관측소의 수위자료를 이용하여 상류 수위값을 기반으로 하류 수위를 예측하는 연구를 진행하였다. 종속변수는 두 관측소의 수위차로 정하였고 독립변수는 상류에 위치한 평창관측소의 2시간 전 수위와 ‘평창관측소의 수위 상승속도(m/hr)로 하였으며, 독립변수의 특성을 고려하여 각각의 회귀식을 적용하였다.

하류 수위 예측값의 적정성을 평가하기 위하여 평균제곱근오차(RMSE), 수정결정계수(ACD), 효율계수(NSEC)를 이용하였으며, 결과적으로 하류 수위의 예측은 매우 높은 신뢰성을 가지는 것으로 나타났다. 수위 상승속도(m/hr)를 회귀식의 독립변수로 포함한 경우 급격한 수위 상승 구간의 수위 오차를 줄여주기 때문에 댐 공사 시의 대피 수위 예측에 있어서 정확도를 높일 수 있었다.

본 연구에서 제안한 상류 수위를 이용한 하류 수위 예측 방법을 이용하는 경우 실제 댐 공사 현장에서 비교적 간단하고 효율적으로 하천의 수위를 추정할 수 있다. 그러나 수위의 급격한 상승 구간에서의 수위 오차가 많이 발생하며, 그 편차가 매우 큰 것으로 나타났다. 댐 공사는 하천 가물막이 공사 후 기존 하천 공간에서 이루어지기 때문에, 홍수대책 마련에 있어 보수적인 접근이 필요하다. 따라서, 급격한 수위 상승 구간의 오차를 최소화할 수 있는 추가 연구가 수행된다면, 보다 적극적인 홍수대책 마련이 가능할 것으로 판단된다. 또한 상하류 두 관측소의 이격 거리에 따라 발생하는 오차 분석도 수행할 계획이다.

감사의 글: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 19DPIW-C153746-01).

References

- 1) MOLIT, Dam Desgin Criteria. 2011.
- 2) S. J. Cho, S. W. Shin, S. H. Sim and J. Y. Lim, “Failure Probability Assessment for Risk Analysis of Concrete Dam Under Flood”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 31, No. 6, pp. 58-66, 2016.
- 3) S. R. Moon, S. M. Yang and S. H. Choi, “Development and the Application of Flood Disaster Risk Reduction Index”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 29, No. 1, pp. 64-69, 2014.
- 4) T. N. Keeper, “Comparison of Linear Systems and Finite Difference Flow Routing Techinques”, Water Resources Research, Vol. 12, Issue 5, pp. 997-1006, 1976.
- 5) M. W. Son and K. S. Lee, “Forecasting of Flood Stage Using Neural Networks and Regression Analysis.”, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 23, No. 3B, pp. 147-155, 2003.
- 6) H. N. Phien and N. D. A. Kha, “Flood Forecasting for the Upper Reach of the Red River Basin North Vietnam”, Water Research Commission SA, Vol. 29, No. 3, pp. 267-272, 2003.
- 7) S. C. Park, Y. Lee, Y. H. Jin and C. Y. Oh, “A Water Level Forecasting among Upstream and Downstream Points by Using Neural Network Algorithms.”, Journal of Korean Society of Water Science and Technology, Vol. 13, No. 3, pp. 45-54, 2005.
- 8) B. J. Kim, “Comparative Study of Storage Function and SSARR Models for the Flood Hydrograph Forecasting of a Miho Stream”, Inha University, 2007.
- 9) S. Y. Choi, K. Y. Han and B. H. Kim, “Comparison of Different Multiple Linear Regression Models for Real-time Flood Stage Forecasting”, Journal of Korean Society of Civil Engineers. Vol. 32, No. 1, pp. 9-20, 2012.
- 10) H. D. Jeon, J. H. Lee, and M. J. Park, “A Methodology for Flood Forecasting and Warning Based on the Characteristic of Observed Water Levels Between Upstream and Downstream”, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 13, No. 6, pp. 367-374, 2013.
- 11) S. J. Byeon, S. H. Lee, G. W. Choi and K. J. Jung, “Use of Gauged Water Level and Precipitation Data to Predict Short Term Water Level Changes”, Korean Review of Crisis and Emergency Management, Vol. 10, No. 1, pp. 247-264, 2014.
- 12) Kangwon Province, Pyeongchang River Basic Plan (changed) Report, 2012.