

부정류 모의 기반 오프라인 저류지 조성에 따른 홍수위 변화 민감도 분석

Sensitivity Analysis on Flood Level Changes by Offline Storage Creation Based on Unsteady Flow Modeling

장은경^{1*} · 지운^{2,3} · 김상혁⁴ · 류지원⁵

¹한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 박사후연구원, ²한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 연구위원, ³과학기술연합대학원 건설환경공학 교수, ⁴(주)이산 수자원부 과장, ⁵과학기술연합대학원대학교 건설환경공학 석박사통합과정

Eun-kyung Jang^{1*}, Un Ji^{2,3}, Sanghyeok Kim⁴ and Jiwon Ryu⁵

¹Research Specialist, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

²Research Fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

³Professor, Civil and Environmental Engineering, KICT School, University of Science and Technology, Goyang 10223, Korea

⁴General Manager, Department of Water Resources, Isan Corporation, Anyang 14066, Korea

⁵Ph.D. Student, Civil and Environmental Engineering, KICT School, University of Science and Technology, Goyang 10223, Korea

Received 11 December 2023, revised 22 December 2023, accepted 22 December 2023, published online 31 December 2023

ABSTRACT: This study analyzed the effect of flood level reduction in the case of creating and operating offline storage for the Jangdong district, which can be used as a flood buffer space for the Geumgang River, through one-dimensional unsteady flow numerical simulation. In particular, the sensitivity analysis of changes in the height and width (length) of transverse weirs on flood level changes was performed to provide quantitative information necessary for flood control facility (embankment) design. As a result of analyzing the flood control effect of the offline storage based on the peak flood discharge and level, spatially, the flood control effect at the planned flood buffer space site and the downstream end was confirmed, and it was confirmed that the flood reduction effect at the downstream occurred the most. By design conditions of the transverse overflow weir, the greatest flood reduction effect was found under the condition that the overflow weir height based on the 50-year frequency flood level and the transverse overflow weir width (length) of 125 m were considered. The effect of delaying the time to reach the maximum flood due to the operation of the offline storage site was also presented based on unsteady flow modeling.

KEYWORDS: Flood buffer space, Flood control facility, Offline storage, Transverse flow weir, Unsteady flow modeling

요 약: 본 연구에서는 금강 장동지구를 대상으로 홍수완충공간을 오프라인 저류지로 조성하여 운영하는 경우에 대해 홍수위 저감 효과를 1차원 부정류 수치모의를 통해 분석하였다. 특히 오프라인 저류지의 횡월류 위어 높이와 폭 (길이)의 변화에 따른 수위변화의 민감도를 분석하여 홍수관리시설 (제방) 설계에 필요한 정보를 정량적으로 제공하였다. 첨두 홍수량 및 홍수위를 기준으로 오프라인 저류지의 홍수조절효과를 분석한 결과, 공간적으로는 홍수완충공간 조성 예정지와 하류구간에서 홍수조절효과가 확인되었으며, 특히 하류에서 가장 큰 홍수저감 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 횡월류 위어의 설계 조건별로는 50년 빈도 홍수위 기준의 월류고와 125 m의 횡월류 위어 폭 (길이)을 고려한 조건에서 가장 큰 홍수저감 효과가 나타났다. 오프라인 저류지 조성으로 최대홍수량 도달 시간이 지연되는 효과 또한 부정류 모의를 통해 제시하였다.

핵심어: 홍수완충공간, 홍수관리시설, 오프라인 저류지, 횡월류 위어, 부정류 모의

*Corresponding author: jang@kict.re.kr, ORCID 0000-0002-4925-5018

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

금강의 장동지구는 대청댐 상류와 용담댐 하류 사이에 위치한 지역으로, 댐 방류 확대에 의한 빈번한 홍수 피해가 제내외지에서 발생하는 지역이다. 2020년 8월 집중호우로 인해 금강과 제1지류인 봉황천 합류부에서 침수피해가 발생한 바 있으며, 시항천과, 학산천 합류부에서도 침수피해가 발생하였다. 지난 2023년 7월에는 금강 일대 충남 청양 지천과 논산 성동면 등 여러 지역에서 제방이 붕괴되어 농경지가 침수되는 피해가 발생하였다. Kim et al. (2004)의 연구에 따르면 금강 대청댐 유역의 유출 변동가능 폭은 현재 상태보다 커질 것으로 예상된다. 국내 하천의 경우 여름에 강우가 집중되는 기후 특성과 지형적 특성의 영향으로 하천 공간 내 하상변화가 발생하기 때문에 홍수 해석은 단순한 하도 중심의 분석보다는 하천 공간 전체로 확대한 정략적 분석이 요구된다(Kang et al. 2021, Kang and Jang 2022). 금강 장동지구의 경우 홍수 저감을 위한 대책으로 대규모 매수토지 구간을 대상으로 제방 후퇴/이설에 따른 홍수터 확장의 홍수원충공간 조성이 고려되고 있다(Ji et al. 2022). 홍수원충공간은 하천의 홍수소통 공간을 확장하는 방식으로 극한 홍수가 발생했을 때 최대홍수량을 일시적으로 지연 또는 저감시켜 피해를 최소화하는 목적이 포함되어 있다(KICT 2021, Lee et al. 2023, Ryu et al. 2023). 금강 장동지구의 경우 매수토지 비율이 높아 홍수원충공간과 홍수관리시설(제방)의 다양한 유형이 적용 가능하며, 현재 계획되어 있는 제방 후퇴에 따른 홍수터 확장 방법 외에 천변저류지와 같은 오프라인 저류지 조성도 적용될 수 있다. 천변저류지와 같은 오프라인 저류지의 경우 저류 공간이 하도 구간 내에 편입되지 않고 횡월류 위어 형태의 홍수관리시설을 적용하여 홍수량의 일부가 저류지로 월류될 수 있도록 설계된다(Woo 2023, Ryu et al. 2023).

지금까지 오프라인 저류지의 설계와 성능 검증, 저류지 용량 및 구조 최적화, 수질 향상을 위한 설비 등을 고려한 연구가 다수 수행된 바 있다. Kim et al. (2012)는 부정류 수리실험을 수행하여 강변저류지가 있는 하도에서의 HEC-RAS를 이용한 부정류 수치모의 적용성을 검토하였고, 두 방법의 오차를 비교한 바 있다. Ahn (2013)은 청미천에서 월류제 형식과 수문 형식에 따른 홍수저감효과를 비교하였으며, 수문 형식이 월류제 형식보다 홍수저감효과가 크다고 제시하였다. Cho et al.

(2014)의 연구에서는 천변저류지 조성에 따른 홍수위 저감효과를 분석하기 위해 1차원과 2차원 모형을 활용하였다. 분석결과, 월류고가 비교적 낮은 경우 저류지 설치로 인한 홍수위 저감효과가 미미한 것으로 나타났다. Lee et al. (2023) 연구에서는 다양한 홍수원충공간 조성 가능 구역을 대상으로 오프라인 저류지 조성에 대한 홍수위 및 홍수량 저감의 치수효과를 수치모의를 통해 검토하였다. 그러나 현장 적용을 대상으로 설계되는 오프라인 저류지의 효과를 정밀하고 정확하게 분석하기 위해서는 저류지 상세 제원을 고려하여 월류부 마루고와 폭에 대한 다양한 수리해석이 필요하다. 오프라인 저류지의 경우 저류지 조성의 제원과 홍수 조건을 연계한 논의가 필요할 뿐만 아니라 월류부의 마루고와 폭에 대한 민감도 분석과 함께 오프라인 저류지 조성으로 인한 상하류단 수위 변화에 미치는 공간적 분석이 수행될 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 금강의 대청댐 상류 상수원보호 구역의 일부 구간 중 홍수원충공간 조성을 계획하고 있는 장동지구를 대상으로 오프라인 저류지로 조성 및 운영할 경우 홍수위 저감 효과를 1차원 부정류 수치모의를 통해 정량적으로 분석하고자 한다. 특히, 횡월류 위어의 마루고와 길이 변화에 따른 수위변화의 민감도 분석을 통해 홍수관리시설(제방)의 설계에 필요한 정보를 정량적으로 제공하고자 한다. 설계홍수량을 제방과 같은 홍수관리시설로 대응하는 기존의 방식과 함께 이를 초과하는 극한 홍수가 발생할 경우를 대비한 홍수원충공간의 조성을 고려하는 것이 기후위기 시대의 홍수 피해 저감 및 하천시스템의 회복탄력성을 극대화할 수 있는 지속가능한 하천 홍수관리 방안이라고 할 수 있다. 홍수원충공간의 조성이 홍수 저감 효과를 가져올 수 있는지, 그 영향의 정도는 어느 정도인지를 파악하여, 지속적인 관리 및 개선에 대한 기초자료를 마련하는 것이 연구의 주된 목표이다.

2. 연구 방법

2.1 대상구간의 개요

금강의 장동지구는 충청북도 영동군 장동리 일원의 금강 본류 우안의 제내지로 면적은 약 243,000 m²이다(Fig. 1 (a)). 장동지구 남측으로 국가하천인 금강이 동에서 서로 흐르고 있으며, 장동지구 북측에서 소하천 3

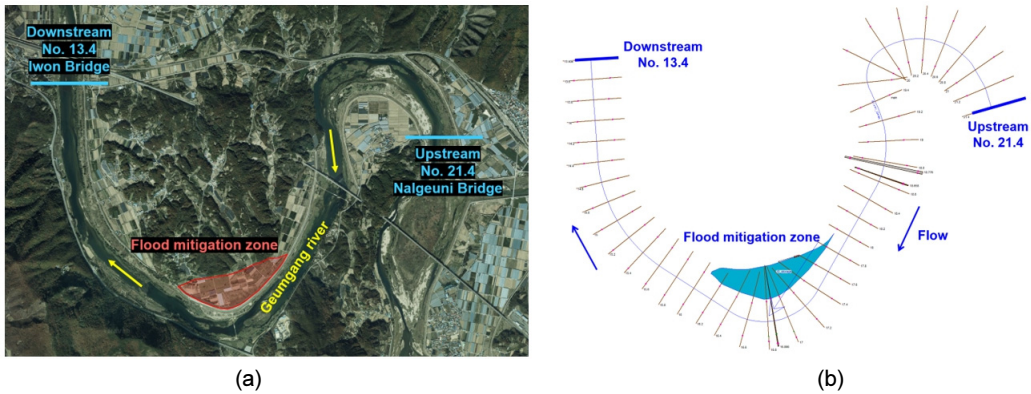


Fig 1. Study Area (a) Satellite Image of the Simulated Section, (b) Cross Sections for HEC-RAS Modeling.

개소가 지구 내로 유입된다. 장동지구는 금강의 대청댐 상류와 용담댐 하류 사이에 위치한 조절하천 구간의 제내지 측에 위치하고 있으나 금강 우안 제방도로의 표고보다 약 7 m 낮은 저지대 지역으로 빈번한 홍수피해 및 내수침수 피해가 발생하는 구간이다. 이로 인해 해당 구간은 대청댐 수환경 개선을 위한 홍수터 복원 연구 (KICT 2021)를 통해 자연성기반 기술의 도입이 고려되었으며, 현재는 제방의 후퇴/이설을 통한 홍수터 확장에 따른 홍수완충공간 조성이 계획되어 있다. 홍수완충공간으로 조성하고자 하는 제내지는 주로 농경지 및 특용작물지로 활용되어 오염원 저감을 위한 매수토지 비율이 높은 지역이다. 이미 매수토지 비율이 높아 해당 구간의 활용도가 높은 만큼 홍수 저감을 위한 오프라인 저류지로서 활용 가능성도 고려될 수 있을 것이다. 장동지구의 오프라인 저류지 조성을 고려할 경우 저류지 설치로 인한 홍수위 변화가 반드시 검토되어야 하며, 이를 위해 시공간적 제약에서 자유로우며 다양한 수리조건의 분석이 가능한 수치모의를 활용하는 것이 효과적이다. 따라서 본 연구에서는 장동지구를 대상으로 Fig. 1 (b)와 같이 오프라인 저류지 조성을 고려한 1차원 수치모형을 활용한 월류류 홍수위 분석을 수행하였다.

2.2 모형 구축

2.2.1 활용 모형의 개요

하천 내 계획홍수량에 대한 수문곡선과 실측된 수위를 반영한 수위-유량관계곡선을 활용하여 오프라인 저류지의 월류류 위어 제원에 따른 민감도 분석 및 정량적 저류효과 분석을 위해서는 1차원 부정류 모의가 필요하다. 본 연구에서는 미육군공병단에서 개발한 HEC-

RAS (ver. 6.3.1)를 활용하였으며, 이 모형은 연속방정식과 운동량방정식을 기반으로 1차원 정상류, 1·2차원 부정류 모의와 유사이송해석 등을 수행할 수 있는 모델이다 (US Army Corps of Hydraulic Engineers 2023). 특히 1차원 HEC-RAS 모델링의 경우 비교적 단순한 입력 자료와 짧은 러닝타임을 필요로 하며 상대적으로 긴 하천 구간에 대해 모의가 가능하여 현재 실무에서 널리 사용되고 있다 (Pappenberger et al. 2005, US Army Corps of Hydraulic Engineers 2023). 특히 각 단면 및 지점별로 시간 변화에 따른 수위 및 유속, 유량 등의 흐름 특성 계산이 가능하고 오프라인 저류지의 저류 효과 분석의 정확도가 높은 것으로 알려져 있다 (Kim 2013). 또한 하천 지형자료에 기초하여 최적 월류부 위치 및 유출부 위치 등의 평가가 가능하며 입력된 모든 측정에서 홍수량과 홍수위 변화 값의 도출이 가능하다 (Kim 2013).

2.2.2 지형구축 및 경계조건

대상구간의 상류단(No.21.4)은 초강 직하류 지점이며, 단면 자료로는 금강 상류 하천기본계획 (MoE 2022)에 수록된 지형 자료를 활용하였다. 장동지구로부터 약 3 km 하류지점에 이원대교가 위치하고, 한국수자원공사에서 이원대교 지점에서 다년간 홍수기 실측을 통해 작성한 수위-유량곡선을 활용하였다. HEC-RAS 부정류 모의를 위한 경계조건으로 상류 유량 조건은 이원수위표 (K43)의 홍수 수문곡선을 적용하였으며, 이는 용담댐의 방류량이 고려된 계획홍수량에 대한 수문곡선이다. 장동지구의 설계빈도는 금강 본류의 계획 빈도와 동일하게 100년으로 결정하였다. 적용 수문곡선은 Fig. 2 (a)와 같으며, 첨두홍수량은 $7,930.6 \text{ m}^3/\text{s}$

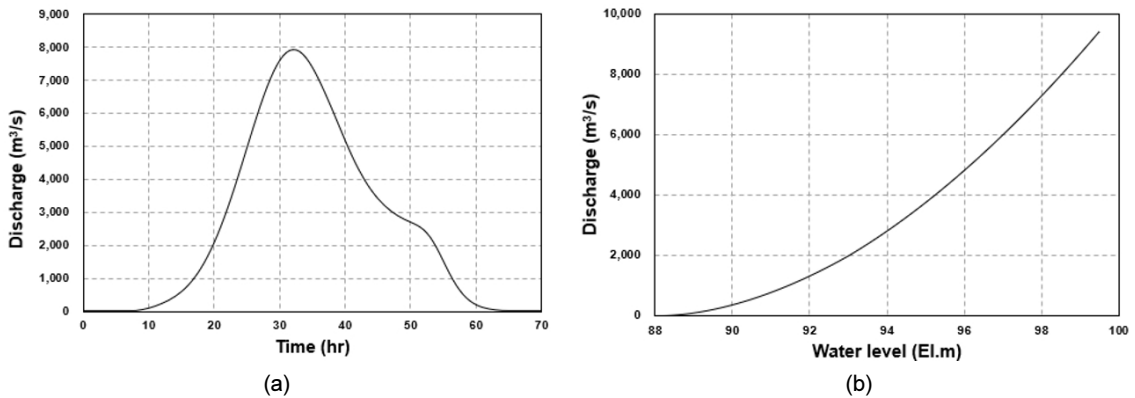


Fig 2. Boundary Conditions: (a) Upstream Design Flood Hydrograph (b) Downstream Rating Curve.

Table 1. Weir Crest Elevation Conditions

Case	Weir Crest (El.m)	Increase (m)	Note.
A	99.38	-	10-year frequency
B	100.00	+0.62	-
C	100.66	+0.66	30-year frequency
D	101.20	+0.54	50-year frequency

이고, 본 연구에서 적용한 이원대교 수위-유량 관계곡선은 Fig. 2 (b)와 같다.

2.2.3 횡월류 위어를 포함한 부정류 해석을 위한 매개변수 결정

오프라인 저류지를 포함한 부정류 모형 구축시 필요한 매개변수로는 하천의 조도계수와 저류지 제원, 월류부의 횡월류 위어 유량계수가 있다. 금강 본류의 조도계수는 금강 상류 하천기본계획 (MoE 2022)을 참고하여 모의구간 전체에 대해 0.035로 설정하였다. 저류지 바닥고는 현재의 지형을 고려하여 El.95.5 m로 결정하고, 장동지구 경계면을 기준 내측 사면경사는 1:2로 계획하는 것으로 가정하여 저류용량을 산정하였다. 저류지의 월류부(유입부) 위치는 상류단 No.17.6으로 결정하였다.

HEC-RAS를 이용하여 오프라인 저류지를 포함하는 하도의 부정류 흐름 모의를 위해서는 횡월류 위어 유량계수의 입력이 필요하다. HEC-RAS에서 횡월류량 (Q_w)의 산정은 위어의 형상과 하천의 흐름을 고려한 Hager (1987)의 표준위어 (standard weir) 횡월류량 (transverse flow) 공식이 적용된다 (Eq. 1). Hager (1987)의 공식은 표준위어 상류에서의 유속과 하류에서의 유속, 그리고 표준위어의 각 계수와 관련이 있다. 표준위

어의 횡월류량은 수리모형실험 등을 통해 얻은 실험 데이터를 기반으로 다음과 같이 유도되었다.

$$Q_w = \frac{5}{3} cL \sqrt{gH^3} (y - W)^{3/2} \left(\frac{1 - W}{3 - 2y - W} \right)^{1/2} \left\{ 1 - (\theta + S_0) \left[\frac{3(1 - y)}{y - W} \right]^{1/2} \right\} \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, c 는 위어 형상계수, S_0 는 하도 바닥 경사, g 는 중력가속도 (m/s^2), y 는 h/H , H 는 수로 바닥에서의 에너지 수두, W 는 w/H , θ 는 하도 수축각이다.

2.2.4 횡월류 마루고와 폭의 변화를 적용한 부정류 모의 조건

저류지 조성에 의한 횡월류는 마루고에 따른 흐름의 영향과 폭에 의한 흐름 영향으로 구분할 수 있다. 횡월류 마루고는 10년 빈도 (Case A)와 20년 빈도 (Case C), 50년 빈도 (Case D) 홍수위를 고려하였으며, 10년 빈도와 30년 빈도의 큰 마루고 차를 보완하기 위해 100.00 El.m 홍수위 (Case B)를 추가로 고려하였다 (Table 1). 횡월류 폭(길이)에 의한 변화를 검토하기 위해 최소 50 m (Case a)에서 최대 150 m (Case e)까지 25 m 간격으로 총 5개의 횡월류 폭 모의 조건을 설정하였다 (Table 2).

형월류 마루고와 폭 (길이)에 의한 각각의 모의조건에 대한 조합을 활용하여 최종적으로 총 20개의 모의 조건을 적용한 부정류 모의를 수행하였다.

3. 모의 결과

3.1 침투 홍수량 및 홍수위에 의한 홍수조절효과

홍수조절효과를 분석하기 위해 현 상태의 침투홍수량과 최대홍수위 조건을 먼저 분석하였으며, 주요 지점인 No.14, No.17 및 No.20에서의 분석결과는 Table 3

과 같다. 주요 지점의 선정은 상류단(No.20)과 하류단(No.14), 저류지 조성 예정지(No.17)를 고려하여 선정하였다. 분석 결과, No.14에서의 침투유량은 7,865.05 m³/s, No.17에서의 침투유량은 7,874.82 m³/s, No.20에서의 침투유량은 7,905.39 m³/s로 산정되었으며, 최대홍수위는 각각 101.49 El.m, 102.4 El.m, 103.57 El.m로 산정되었다. 홍수조절효과는 현 상태의 분석 결과인 Table 3을 기준으로 변화량을 산정하여 확인할 수 있다.

2.2.4절에서 설정한 모의 조건을 활용하여 HER-RAS 부정류 모의를 수행한 후 저류지 조성에 의한 홍수조절효과를 분석하였다 (Table 4). 분석 결과, No.20 구간에

Table 2. Weir Width Conditions

Case	Weir Width (m)	Increase (m)	Note.
a	50		-
b	75	+25	-
c	100	+25	-
d	125	+25	-
e	150	+25	-

Table 3. Simulation Results of Current Condition for Peak Flood Discharge and Level

Location	Qp (m ³ /s)	Hp (El.m)
No.14	7,865.05	101.49
No.17	7,874.82	102.4
No.20	7,905.39	103.57

Table 4. Flood Control Effect Analysis Results (- value: flood discharge and level increase, + value: flood discharge and level decrease)

Location		No.14		No.17		No.20	
Crest	Width	Q _c (m ³ /s)	H _c (m)	Q _c (m ³ /s)	H _c (m)	Q _c (m ³ /s)	H _c (m)
A	a	4.46	-0.89	14.23	0.02	4.09	0.02
	b	11.52	0.02	11.58	0.01	2.67	0.02
	c	10.38	0.01	10.89	0.01	2.18	0.02
	d	9.85	0.01	10.13	0.01	1.93	0.01
	e	9.53	0.01	9.79	0.01	1.79	0.01
B	a	35.75	0.05	29.09	0.04	12.71	0.04
	b	21.58	0.03	19.29	0.03	7.16	0.03
	c	16.94	0.02	16.04	0.02	5.08	0.02
	d	14.7	0.02	13.8	0.02	4.1	0.02
	e	13.42	0.02	12.89	0.02	3.53	0.02
C	a	113.2	0.16	112.45	0.14	-3.93	0.11
	b	73.57	0.1	56.81	0.09	-5.45	0.09
	c	50.04	0.07	39.93	0.06	-5.77	0.06
	d	39.2	0.05	31.46	0.05	14.2	0.05
	e	32.42	0.04	26.76	0.04	12.13	0.04
D	a	62.19	0.09	62.47	0.08	-2.89	0.06
	b	89.35	0.12	87.94	0.11	-4.17	0.09
	c	114.57	0.16	111.79	0.14	-5.27	0.11
	d	130.72	0.18	124.77	0.16	-6.27	0.13
	e	103.79	0.14	88.2	0.13	-7.16	0.12
Min		4.46	-0.89	9.79	0.01	-7.16	0.01
Max		130.72	0.18	124.77	0.16	14.2	0.13
Average		47.86	0.02	44.52	0.06	1.53	0.05

비해 No. 14의 홍수조절효과가 평균 47.86 m³/s로 가장 컸으며, 홍수위 조절효과는 저류지 조성 지점인 No. 17 지점이 평균 0.06 m로 가장 크게 나타났다. 특히, 횡월류 마루고를 50년 계획홍수위로 설정한 Case D의 경우, No.20 구간에서 횡월류 폭과 관계없이 오히려 유량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 저류지 조성 구간에서 급격히 단면이 확대되어 상류의 유량이 오히려 상승하는 효과로 판단할 수 있다. 또한 10년 빈도 홍수위의 월류마루고와 50 m 폭을 활용한 Case A-a의 경우 일부 구간이긴 하나 오히려 최대홍수위가 0.89 m 상승하는 것으로 나타나 주의가 필요하다.

모의 조건 별 분석 결과를 상세히 분석해 보면, 먼저 Case 별로는 횡월류 마루고의 영향이 횡월류 폭보다 더 큰 영향이 있음을 알 수 있으며, 횡월류 마루고가 30년 빈도 계획홍수위 이상 일 때 홍수저감효과가 더 큰 것을 알 수 있다 (Fig. 3). 또한 Case C의 경우, 횡월류 폭이 커질수록 홍수저감효과가 감소한 반면, Case D의 경우는 오히려 횡월류 폭이 커질수록 홍수저감효과가 증가하

는 경향을 보였다. 가장 큰 홍수저감효과는 50년 빈도 계획홍수위의 횡월류 마루고와 125 m의 횡월류 폭 (Case D-d)을 적용한 조건에서 나타나는 것을 알 수 있다.

위치별로는 조성 구간에서 하류로 갈수록 저감효과가 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. No. 14 지점에서 Case D의 횡월류 마루고 조건을 활용할 경우 평균 약 100 m³/s 이상의 홍수조절효과가 있을 것으로 기대된다 (Fig. 4 (a)). 홍수위의 경우에도 최대 0.18 m의 홍수조절효과가 있을 것으로 예상된다 (Fig. 4 (b)). 홍수량을 기준으로 No.20 지점에서 홍수조절효과는 미미할 것으로 판단된다.

가장 큰 홍수조절효과가 예상되는 Case D-d 조건에 대해 모의 전구간의 종방향 홍수위를 현 상태의 홍수위와 비교하였다 (Fig. 5). 전 구간에 걸쳐 현 상태의 홍수위에 비해 홍수위 저감 효과가 있는 것으로 나타났으며, 하류 지점 (No.13.4)에서 0.19 m의 최대 저감효과가 발생하였다. 결론적으로 장동지구에 대한 저류지 조성을 통한 홍수저감 효과를 기대할 수 있다.

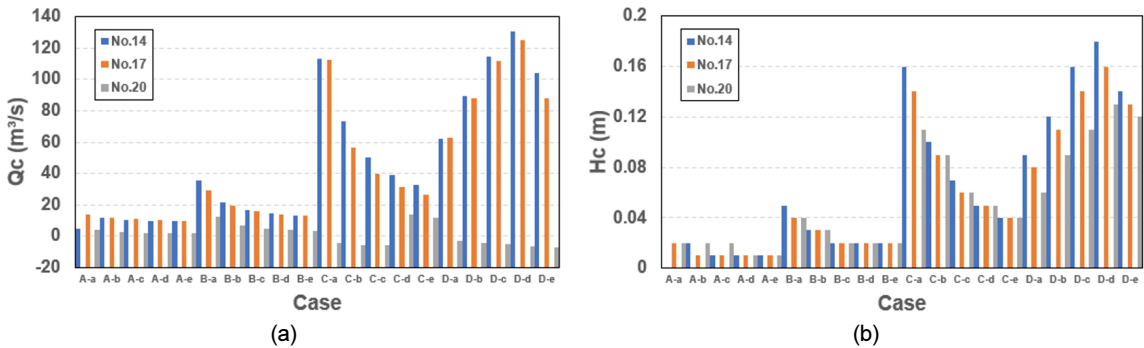


Fig. 3. Flood Control Effects at Different Locations (a) Flood Discharge (b) Flood Level.

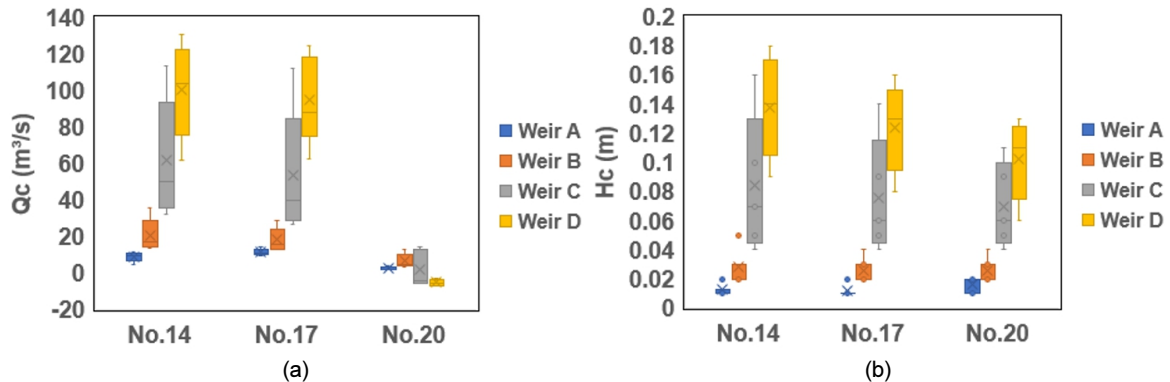


Fig. 4. Flood Control Effects at the Major Locations (a) Flood Discharge (b) Flood Level.

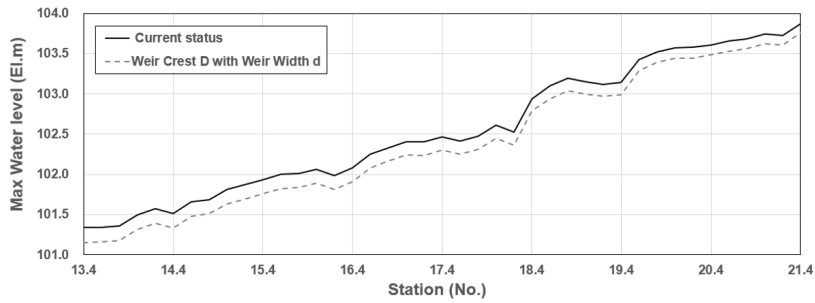


Fig. 5. Longitudinal Comparison of the Flood Level Changes for the Case D-d and the current condition.

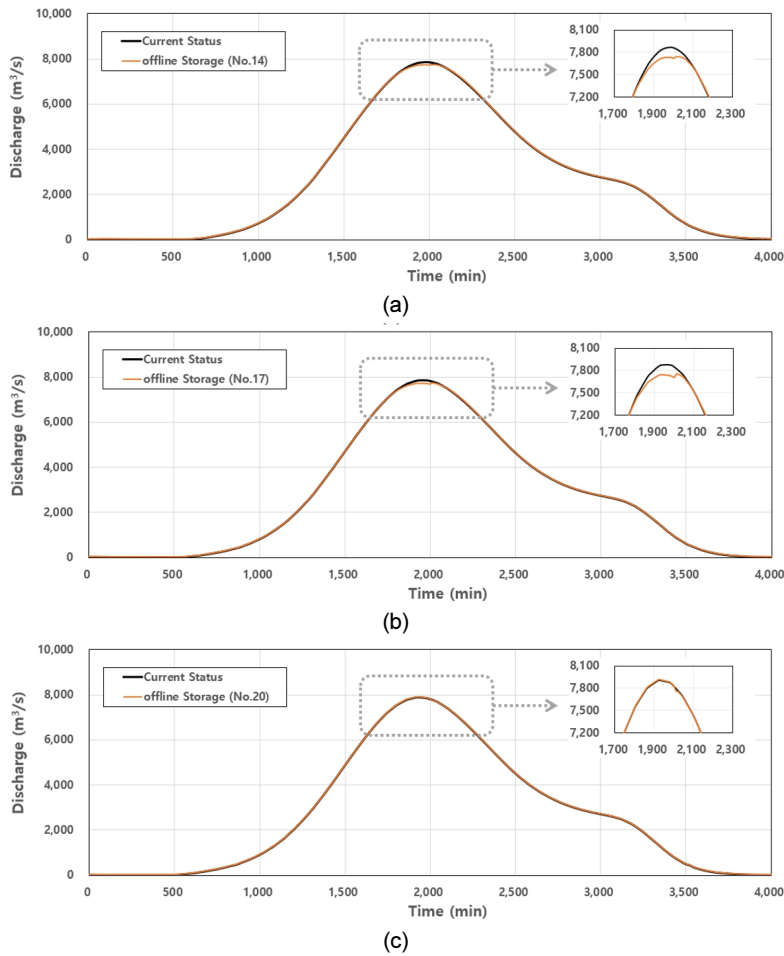


Fig. 6. Numerical Modeling Results of Flood Discharge Hydrographs in Geum River at (a) No. 14, (b) No. 17, and (c) No. 20 sections.

3.2 시간에 따른 홍수조절효과

부정류 모의를 통해서 최대홍수량 도달 시점을 예측하고, 이를 통해 홍수 지속시간 등을 예측할 수 있다. 본 절에서는 앞에서 분석한 주요 지점에 대한 최대유량 도달 시기와 홍수위를 시간에 따라 분석하였다. 저류지

조건은 최대 저감효과가 나타난 Case D-d 조건을 활용하였다. 총 모의 시간은 4,000분이었으며, 최대홍수는 약 2,000분쯤 발생하는 조건이었다. 분석결과, No.14 지점에서의 기존 최대홍수량은 1,990분 경과 후 도달하였으나, 저류지 조성 후 2,030분으로 최대홍수량 도달 시간을 40분 지연시키는 것으로 나타났다(Fig. 6(a)).

최대홍수량 기준으로는 130.72 m³/s의 저감효과가 발생하였다 (Table 4). No.17 지점에서 No.14 지점과 유사하게 기존 최대홍수량은 1,960분 경과 후 도달하였으나, 저류지 조성 후 2,010분으로 최대홍수량 도달 시간을 50분 지연시키는 효과가 있었다 (Fig. 6 (b)). 그러나 상류인 No.20 지점에서는 저류지 설치 후에도 현상태와 크게 차이가 없음을 확인할 수 있다 (Fig. 6 (c)).

4. 결론

본 연구에서는 금강 장동지구를 대상으로 제내지의 홍수완충공간 조성 예정지를 오프라인 저류지로 활용할 경우 홍수조절효과를 정량적으로 검토하였다. 이를 위해 최신의 지형 및 수문 분석 자료와 경계조건을 반영하여 HEC-RAS 부정류 모의를 수행하였다.

분석 결과, 오프라인 저류지 조성에 따른 홍수저감 효과는 횡월류 마루고가 횡월류 폭 (길이)보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 50년 빈도 계획홍수위와 동일한 높이의 월류고와 125 m의 횡월류 폭을 고려한 조건에서 가장 큰 홍수저감 효과가 나타났다. 공간적으로는 하류에서 홍수량 저감 효과가 가장 크게 나타났고, 조절지 조성 예정구간에서는 홍수위 조절 효과가 크게 나타났다. 또한, 최대홍수량 도달 시간을 고려한 시간에 따른 홍수저감 효과 분석에서는 저류지 조성으로 인한 최대홍수량 도달 시간 지연을 정량적으로 확인할 수 있었다. 저류지 설치 후 효과는 홍수량 저감에 목적이 있지만 실제적으로 도달시간을 지연시키는 것 또한 치수적 목적에 부합될 수 있다. 이는 저류지의 홍수 제어 효과를 나타내는 중요한 분석 결과로 볼 수 있다.

본 연구를 통해 제시된 부정류 모의 기반 오프라인 저류지의 홍수완충공간 조성에 따른 홍수저감 효과의 정량적 분석 결과는 저류공간을 계획하고 횡월류 위어 높이와 폭을 결정하는 홍수완충공간과 홍수관리시설 (제방)의 설계에서 반드시 고려해야 할 기초 자료로 판단된다. 향후 50년 이상의 홍수빈도 등 다양한 모의 조건 및 실증 실험을 통한 결과 분석을 통해 개선된 홍수관리시설 (제방) 설계를 제안할 수 있을 것으로 기대된다. 특히 홍수완충공간과 홍수관리시설의 유형을 선택하는 과정에도 이러한 분석 결과를 반영할 필요가 있다. 또한 조도계수의 민감도 분석연구를 통해 확보되는 홍수터 영역에 대한 다양한 활용 방안을 기대해 볼 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 기후변화대응환경기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (과제번호 022003460002).

References

- Ahn, T.J. 2013. An approximate study on flood reduction effect depending upon weir or gate type of lateral overflow structure of washland. *Journal of Wetlands Research* 15(4): 573-583. (in Korean)
- Cho, G., Rhee, D.S. and Kim, H.J. 2014. Numerical model application for analysis of flood level mitigation due to retention-basin. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 15(1): 495-505. (in Korean)
- Hager, W.H. 1987. Lateral outflow over side weirs. *Journal of Hydraulic Engineering* 113(4): 491-504.
- Ji, U., Jang, E., Bae, I., Ahn, M. and Bae, J. 2022. A Study on the Site Selection Method for the Creation of a Flood Buffer Section Considering the Nature-based Solution - Case Study from Upstream of Daecheong Dam to Downstream of Yongdam dam. *Ecology and Resilient Infrastructure* 9(3): 131-140. (in Korean)
- Kang, W. and Jang, E.K. 2022. Review of Land Cover Classification Potential in River Spaces Using Satellite Imagery and Deep Learning-Based Image Training Method. *Ecology and Resilient Infrastructure* 9(4): 218-227. (in Korean)
- Kang, W., Choe, H., Jang, E.K., Ko, D., Kang, J. and Yeo, H. 2021. Determination of Stream Reach for River Environment Assessment System Using Satellite Image. *Ecology and Resilient Infrastructure* 8(4): 179-193. (in Korean)
- KICT. 2021. Fundamental Investigation Study on Floodplains to Improve Water Environment of Daecheong Dam. Final report for Geum River Watershed Management Committee. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. (in Korean)
- Kim, S.H. 2013. Analysis on flood-control effect of side-weir detention basin considering the flow pattern over the weir. Master's thesis, Myongji University (in Korean).
- Kim, S.J., Hong, S.J., Yoon, B.M. and Ji, U. 2012. Feasibility analysis of HEC-RAS for unsteady flow simulation in the stream channel with a side-weir detention basin. *Journal of Korea Water Resources Association* 45(5): 495-503. (in Korean)
- Kim, U.T., Lee, D.R. and Yoo, C.S. 2004. Effects of climate change on the streamflow for the Daecheong dam watershed. *Journal of Korea Water Resources Association* 37(4): 305-314. (in Korean)

- Lee, D.J., Ji, U., Kim, S., Ahn, H.K. and Jang, E. K. 2023. Determination of Floodplain Restoration Area Based on Old Maps and Analysis on Flood Storage Effects of Flood Mitigation Sections. *Ecology and Resilient Infrastructure* 10(2): 40-49. (in Korean)
- MoE. 2022. River Management Basic Planning for Geum River Upstream Section. Ministry of Environment - Geum River Basin Environment Office. (in Korean)
- Pappenberger, F., Beven, K., Horritt, M. and Blazkova, S. 2005. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. *Journal of Hydrology* 302(1-4): 46-69.
- Ryu, J., Ji, U., Kim, S. and Jang, E. K. 2023. Analysis of Flood Level Changes Nature-based Flood Buffering Section, *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research* 43(6): 735-747. (in Korean)
- US Army Corps of Hydraulic Engineers. 2023. HEC-RAS User's Manual. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/6.5.beta>
- Woo, H. 2023. Natural, Nature-based Features (NNbF)-A Comparative Analysis with Nature-based Solutions (NbS) and Assessment of Its Applicability to Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* 10(2): 31-39. (in Korean)