



# Numerical simulation of flood water level in a small mountain stream considering cross-section blocking and riverbed changes - A case study of Shingwangcheon stream in Pohang before and after Typhoon Hinnamnor flood

Lee, Chanjoo<sup>a</sup> · Jang, Eun-kyung<sup>b\*</sup> · Ahn, Sunggi<sup>c</sup> · Kang, Woochul<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Senior Researcher, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

<sup>b</sup>Research Specialist, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

<sup>c</sup>Student Researcher, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

<sup>d</sup>Senior Researcher, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

Paper number: 23-071

Received: 27 September 2023; Revised: 18 October 2023; Accepted: 24 October 2023

## Abstract

Small and medium-sized mountain rivers that flow through steep, confined valleys carry large amounts of coarse-grained sediment and woody debris during floods. It causes an increase in flood water level by aggrading the riverbed and the cross-section blockage due to driftwood accumulation during flooding. However, the existing flood level calculation in the river basic plan does not consider these changes. In this study, using the Typhoon Hinnamnor flood in September 2022 as an example, we performed numerical simulations using the HEC-RAS model, taking into account the blockage of a cross-section at the bridge and changes in riverbed elevation that occurred during floods, and analyzed the flood level to predict flood risk. This study's results show that flooding occurs if more than 30% of the cross-section is blocked. The rise of flood water levels corresponds to that of the riverbed due to sediment deposition. These results can be used as basic data to prevent and effectively manage flood damage and contribute to establishing flood defense measures that consider actual phenomena.

**Keywords:** Flood water level, Channel blockage, Riverbed deposition, Numerical simulation

## 단면 폐색과 하상 변화를 고려한 산지 중소하천의 홍수위 수치모의 - 태풍 힌남노 전후의 포항 신광천을 사례로 -

이찬주<sup>a</sup> · 장은경<sup>b\*</sup> · 안성기<sup>c</sup> · 강우철<sup>d</sup>

<sup>a</sup>한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 수석연구원, <sup>b</sup>한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 전임연구원,

<sup>c</sup>한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 학생연구원, <sup>d</sup>한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 수석연구원

## 요 지

경사가 급하고 구속된 골짜기를 관류하는 산지 중소하천은 홍수시 다량의 조립질 토사와 유목이 운반된다. 이로 인해 하상의 상승과 유목 집적으로 인한 교량의 폐색이 발생하며 홍수위가 상승한다. 하지만 기존 하천기본계획에서의 홍수위 계산 방식은 홍수시 발생하는 교량 폐색 혹은 하상 변화로 인한 홍수위 변화를 고려하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 2022년 9월 태풍 힌남노 홍수를 사례로 홍수시 발생할 수 있는 교량 단면의 폐색과 하도에서의 하상고 변화를 고려하기 위해 HEC-RAS 모형을 이용하여 수치 모의를 수행하고 홍수위를 분석하였다. 연구의 결과 단면이 30% 이상 폐색될 경우 홍수 범람이 발생하며, 하상은 퇴적 높이만큼 홍수위가 상승하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 홍수 피해를 예방하고 효과적으로 관리하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있고 실제 현상을 고려한 홍수 방어 대책 수립에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

**핵심용어:** 홍수위, 하도 폐색, 하상 퇴적, 수치모의

\*Corresponding Author. Tel: +82-31-910-0044

E-mail: jang@kict.re.kr (Jang, Eun-kyung)

## 1. 서론

2000년대 이후 최근 장마 및 태풍 내습시 발생하는 집중호우로 인한 피해가 산지 중소하천에 집중되고 있다. 2002년 태풍 루사의 경우 동해안으로 유입하는 중소하천의 다수가 홍수로 인해 큰 피해를 입었다. 2006년 7월 장기간 지속된 집중호우로 인해 강원 영서지역의 산지 하천의 피해가 발생하였다. 가장 최근인 2022년에는 태풍 힌남노에 의해 단기간에 집중된 홍수로 인해 포항과 경주 지역의 산지하천에 피해가 발생하였고 올해 7월에는 경북 북부 예천, 영주의 산지 하천에서 산사태를 동반한 홍수피해가 발생하였다(Lee *et al.*, 2023). 이러한 산지 하천에서의 홍수 피해는 도심하천과 비교하여 인프라, 인적 피해, 직접적인 재산피해에 대해 상대적으로 적을 수 있으나, 하상 경사가 급하고 흐름의 순환이 빠르기 때문에 단시간 내에 큰 홍수 피해가 발생할 수 있다. 특히, 한반도의 경우 여름 장마철에 강우가 집중되는 동시에 하천 길이가 대륙 하천에 비해 짧아 유량변동계수가 큰 특성 때문에, 유황산 지하천에서 홍수에 의한 피해가 발생하기 쉬운 조건에 놓여있다(Kang *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2022). 또한, 국토의 대부분(65%)이 산지로 이루어져 있지만, 산지 하천의 경우 홍수 관리 및 연구가 상대적으로 미흡하여 홍수 예보 및 경보 시스템에 한계가 있을 수 있다.

산지 중소하천은 평지 하천에 비해 하상조도, 우수저항, 난류정도 등이 크고 기반암 돌출부 등이 섞여 있어 지형이 복잡하다(Park and Shin, 2011; Shin *et al.*, 2012). 산지하천은 경사가 급하고 구속된 골짜기를 흐르는 특성을 지니며 이에 따라 집중호우 시 급격한 홍수류가 발생하여 하안을 침식한다(Lee *et al.*, 2023). 산지하천은 하상재료는 대부분 호박돌 이상이며, 상류 및 주변 사면의 산사태가 동반되어 다량의 토사와 유목이 공급되고 빠른 홍수류에 의해 운반되고 집적되면서 하상의 변동을 일으키고 단면을 폐색시켜 홍수위 상승을 가중시키고 교량에 피해를 일으킨다(Kim *et al.*, 2016; Jakob *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2022). 산지 하천의 구속된 하곡 중 만곡부에서는 편수위가 발생하여 홍수위 상승이 가중되기도 한다(Kim *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2014).

산지하천에서 홍수시에 발생하는 흐름은 이렇게 복잡하고 역동적임에도 불구하고 산지하천의 설계 홍수위 산정 방식은 평지를 흐르는 안정적인(regime) 특성을 갖는 중규모 이상의 하천에서 사용하는 홍수위 설계 방식과 큰 차이가 없이 일률적으로 적용되고 있다. 이에 따라 홍수가 발생하는 동안 나타날 수 있는 다양한 하천의 변화를 즉각적으로 반영하는데 한계가 있을 것으로 판단된다. 또한 현재 홍수위 분석 방법은 하천기본

계획 수립시 홍수 전 단면을 활용하여 빈도 유량에 대한 수위를 분석하게 되어 있다. 홍수 전 단면은 큰 홍수 발생 이전에도 여러 번의 홍수 내지 증수로 인해 변동할 수 있으나 이러한 변동은 고려되지 않고 있다. 이러한 현상들이 함께 작용할 경우 하천기 본계획에는 높은 빈도 유량에서도 범람이 발생하지 않은 것으로 설계되었지만 실제에 있어서는 홍수 발생시 범람이 발생하는 경우가 생기기도 한다(Lee *et al.*, 2023).

이러한 배경에서 본 연구에서는 2022년 9월 태풍 힌남노의 홍수 피해가 발생한 포항 신광천을 대상으로 하도 변화를 고려하면서 홍수 발생의 원인을 분석하고자 한다. 이를 위해 단면 폐색 정도에 대한 흐름 차단의 영향 및 특정 구간에서 발생한 퇴적으로 인한 홍수위 변화 등을 수치모의로 분석하였다. 이러한 연구는 홍수 전 단면을 사용하는 기존의 홍수위 산정 방법의 문제점 및 한계를 파악하고 하천 관리의 실질적인 해결책을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 대상하천 및 연구방법

### 2.1 대상하천

본 연구의 대상 하천은 포항시 남구의 신광천으로 설정하였다(Fig. 1). 신광천은 냉천의 제1지류로, 포항시 남구 향사리에서 발원하여 북쪽으로 유하하여 냉천의 좌안으로 합류한다. 유로연장은 12.70 km, 유역면적은 29.37 km<sup>2</sup>이며, 하상경사는 1/100~1/31이다(Gyeongsangbuk-do, 2019). 신광천 유역의 지질은 중생대 불국사 화강암이다. 하천기본계획에 따르면 냉천 하상재료의 입경은 D60 기준 0.26~18.2 mm이며, 신광천은 4.7~20.9 mm이다. 하지만 실제 하천을 답사한 결과 하상에는 잔자갈 및 호박돌이 분포하는 것으로 확인되었다. 2023년 3월 냉천 용산리 현장에서 무작위로 50개의 하상재료를 샘플링하여 측정된 결과 D60은 61.8 mm, D50은 60.0 mm로 나타났으며, 신광천 역시 거의 동일한 하상재료를 나타내고 있음을 고려할 때 자갈하천으로 볼 수 있다(Lee *et al.*, 2023).

### 2.2 태풍 힌남노

2022년 제11호 태풍 힌남노는 8월 28일 북위 25.8도, 동경 149.5도에서 제22호 열대저압부로 발생하였으며 같은 날 21시에 태풍으로 발달하였다. 태풍 힌남노는 9월 6일 03시에서 12시 사이에 대한해협을 거쳐 부산 부근에 잠깐 상륙하였다가 동해안으로 빠져나갔으며, 같은 날 21시에 북위 44.4도, 동경 136.7도에서 온대저기압으로 변질되어 소멸하였다. 부산 부근 통과시 중심기압은 955 hPa, 최대풍속은 초속 40 m/s였

으며, 강풍반경은 400 km에 달하는 강한 태풍이었다.

태풍 힌남노는 냉천과 신광천 유역을 포함하는 포항 지역에서 단기간에 많은 비를 뿌렸다. 9월 5~6일 기간에 1시간 강우량은 81.3 mm이며, 2시간, 3시간, 6시간 강우량은 각각 150.3, 213.6, 315.3 mm로 한국 확률강우량도(HRFCO, 2023)

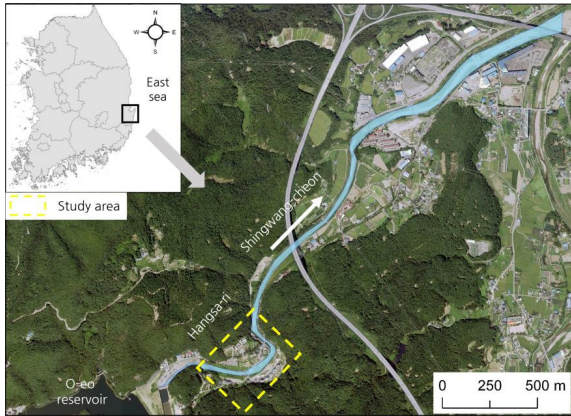


Fig. 1. Study area and the site of analysis



Fig. 2. Inundation of residential land of Hangsa-ri during flooding in Singwangcheon (Chosun Biz, 2022)

및 신광천 하천기본계획(Gyeongsangbuk-do, 2019)을 참고하여 분석할 경우 200년 빈도 확률강우량을 초과하는 것으로 나타났다(Lee *et al.*, 2023)(Fig. 2).

### 2.3 홍수 전후 단면 변화

태풍 힌남노의 영향으로 인한 홍수는 주변 지형에 상당한 변화를 초래하였다(Lee *et al.*, 2023)(Fig. 3). 단면을 추출하기 위해 홍수 직후 드론 촬영을 통해 수치표면모델(Digital Surface Model, DSM)을 분석하였다. 드론 데이터 수집에 의한 DSM은 공중에서 고해상도의 이미지를 촬영을 통해 지형의 상세 정보를 취득하는 방법으로 지형 표면의 높이 정보를 포함하여 이를 통해 3차원 모델을 생성할 수 있다. Lee *et al.* (2023)의 연구에서는 홍수 전후 DSM 정보를 비교하여 지형 변화를 분석하고자 하였으며, 항사리를 모니터링한 결과 홍수류로 인한 하상 변화를 확인하였다. 해당 논문의 지형 모니터링 주요 결과 중 본 논문에서 활용한 내용은 다음과 같다. 먼저 신광천 종점(냉천 합류점)으로부터 2,700 m 지점인 No.2+600 단면(Fig. 3(a))에서는 우측의 대지에서는 수평적으로 하안선이 최대 22.1 m 이동했으며, 좌측 제방 하부에서는 2018년 하천기본계획 단면 및 2023년 3월에 측정된 복구 후 단면을 기준으로 약 4.5 m의 퇴적물이 확인되었다. 붕괴된 건물이 위치했던 하류로부터 2,800 m 지점 No.2+700 단면(Fig. 3(b))에서는 수평적으로 최대 8.0 m의 침식을 보였으며, 좌안에 약 5.1 m의 퇴적이 나타난바 있다. 통수 단면적을 살펴보면 홍수 전과 비교했을 때 홍수 직후에는 단면적이 비슷하거나 줄어든 것으로 보였으나 이후 복구과정에서 홍수 전 단면적을 능가하는 경우가 있었다. No.2+600 단면은 홍수 전, 홍수 직후, 복구 후에 단면적에 큰 차이가 없었지만 단면의 형태가 명확하게 변화한 것으로 나타났다. 또한 No.2+700 단면은 홍수 전에 비해 홍수 직후에 12.7% 감소했지만, 복구 후에 크게 증가하였다.

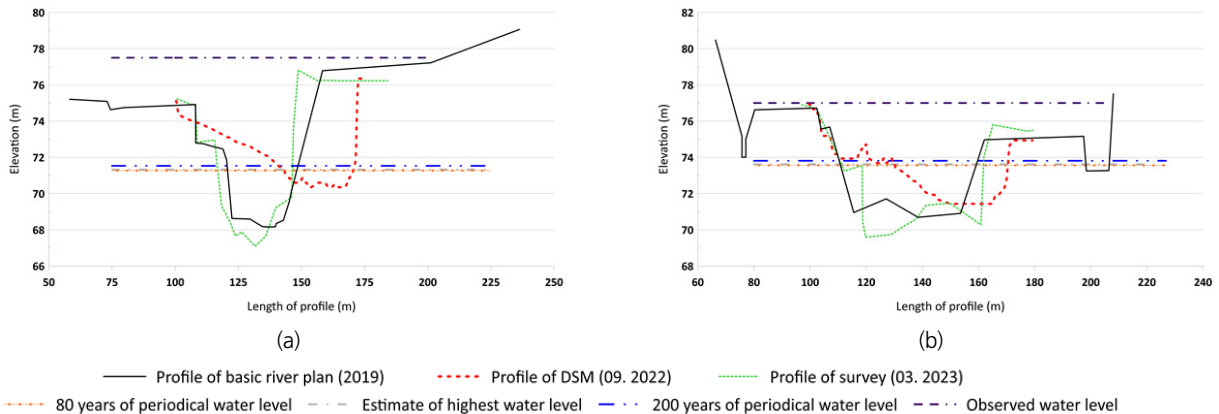


Fig. 3. Cross-section of the study sites before and after the flood from drone-based DSM (a) No.2+600 (b) No.2+700 (Lee *et al.*, 2023)

### 2.4 HEC-RAS 모형 구축

본 연구에서는 태풍 힌남노 홍수시 신광천 향사리에서 나타난 실제 홍수위를 재현하고 분석하기 위해 HEC-RAS 모형 구축을 위해 하도 단면의 경우 하천기본계획자료와 드론 영상에서 제작된 DSM에서 추출한 단면, 현장 실측을 통해 측정된 단면 등 3가지 자료를 모두 활용하였다. 신광천 홍수피해가 발생한 여러 지점 중 홍수로 인한 하도 변화가 가장 크게 발생한 향사리 지점을 대상으로 수리학적 분석을 실시한 연구(Lee et al., 2023)를 참고하였다. 해당 연구에서는 농어촌공사 오어저수지의 5분 수위 변화 자료를 수집하였으며, 오어지의 수위와 저수량 변화 자료를 이용하여 초당 저수량 변화로 환산하여 신광천의 침투 유량을 추정한다. 이렇게 추정한 침투 유량과 계획홍수량(80년 빈도, 345 m<sup>3</sup>/s), 그리고 오어저수지의 홍수 조절을 고려하여 산정된 최대 빈도 홍수량(200년 빈도, 405 m<sup>3</sup>/s)(Gyeongsangbuk-do, 2019) 등 3가지 유량을 상류단 경계조건으로 설정한 후 HEC-RAS 1차원 정류, 부정류 모의를 실시하였다. 즉, 설계 빈도인 80년 빈도와 200년 빈도 및 실제 발생 유량 추정치를 활용한 세 가지 모의 조건을 활용하여 수치모의를 수행하였다. 이중 200년 빈도 유량의 경우 빈도 강우량과 일치하지 않지만 포함 관측소의 최대 강우량이 200년 빈도 이상인 점을 고려하여 발생 가능한 최대 유량을 고려하기 위해 택하였다. 하류단 부근에 수위관측소가 없어 하상경사를 고려한 등류 수심을 기준으로 경계조건을 설정하였으며, 조도계수는 하천기본계획의 조도계수인 0.035를 활용하였다.

**Table 1.** Cross-section area at Hangsa-gyo bridge (below bridge deck)

Condition	Flow Area (m <sup>2</sup> )
10% cut off (Current Condition)	112.82
20% cut off	100.28
30% cut off	87.75
40% cut off	75.21

**Table 2.** Simulated water level at Hangsa-gyo bridge

	80 year		200 year		Estimated peak	
	Water Level (m)	Freeboard (m)	Water Level (m)	Freeboard (m)	Water Level (m)	Freeboard (m)
Without Bridge	69.09	-	69.35	-	69.18	-
10% (Current)	69.42	0.96	69.67	0.71	69.48	0.9
20%	69.8	0.58	70.07	0.31	69.87	0.51
30%	70.09	0.29	70.39	-0.01	70.16	0.22
40%	70.38	0	70.6	-0.22	70.47	-0.09

### 3. 설계 홍수량 별 홍수위 및 단면 폐색을 고려한 흐름 모의 분석 결과

홍수피해가 크게 발생한 향사리 지점을 중심으로 설계 홍수량 별 홍수위 변화와 단면 폐색을 고려한 흐름을 수치모의를 통해 분석하였다. 해당 지점은 황사교가 설치되어 있으며 1.2 m 폭 두 개의 교각이 포함되어 있고 교량 데크의 높이는 가장 낮은 구간에서 70.38 m 이다. 통수 단면적은 데크 하부 구간에 전체 면적에 대해 산정하였다. 즉 현재 상태의 통수 단면적은 교량 하부 면적에서 교각을 제외한 구간으로 하였으며, 현재 상태는 교량이 없을 때와 비교하여 약 10%의 면적을 차지한다. 부유물에 의한 단면 폐색의 영향을 분석하기 위해 황사교 하부 구간을 20%에서 40%까지 차단시킨 후 수치모의를 통해 분석하였다. 현 단면의 교량 설치로 인한 단면 폐색은 전체 단면적의 10%인 것으로 나타났으며, 각각의 차단 조건에 대한 단면적은 Table 1에 정리하였다. 또한 단면 폐색과 별개로 교량이 없는 조건에 대해 분석하여 교량으로 인한 홍수위 변화를 알아보려고 하였다.

흐름 조건은 80년 빈도 계획 홍수량과 200년 빈도 계획 홍수량 및 실제 발생한 홍수에 대한 피크 추정치로 구분하였다. 분석 결과는 Table 2와 같다. 현재 상태인 단면이 10% 폐색된 조건의 경우, 실제로 교량 범람 피해가 발생한 구간임에도 불구하고 모든 흐름 조건에서 최소 0.71 m 이상의 여유고를 갖는 것으로 나타났다. 수치모의 계산상으로 단면 폐색이 20% 발생할 때까지 범람 피해는 발생하지 않을 것으로 예측되었다. 단면 폐색 구간이 30%가 넘어갈 경우, 200년 홍수량에서 범람 피해가 발생하기 시작하여 폐색 구간이 40%가 넘어갈 경우 모든 흐름 조건에서 범람이 발생할 것으로 산정되었다.

단면 폐색의 영향을 황사교를 중심으로 종단적으로 살펴보면 단면 폐색의 영향이 길게는 교량 상류로 150 m 지점까지 미치는 것을 알 수 있다(Fig. 4). 교량 구간 외에도 2,600 m 지점에서는 80년 홍수량 조건으로 단지 10%의 단면 폐색이 발생한다 해도 0.29 m 홍수위 상승이 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 현재와 같은 교량 설치의 영향으로 교량이 없는 경우에 비

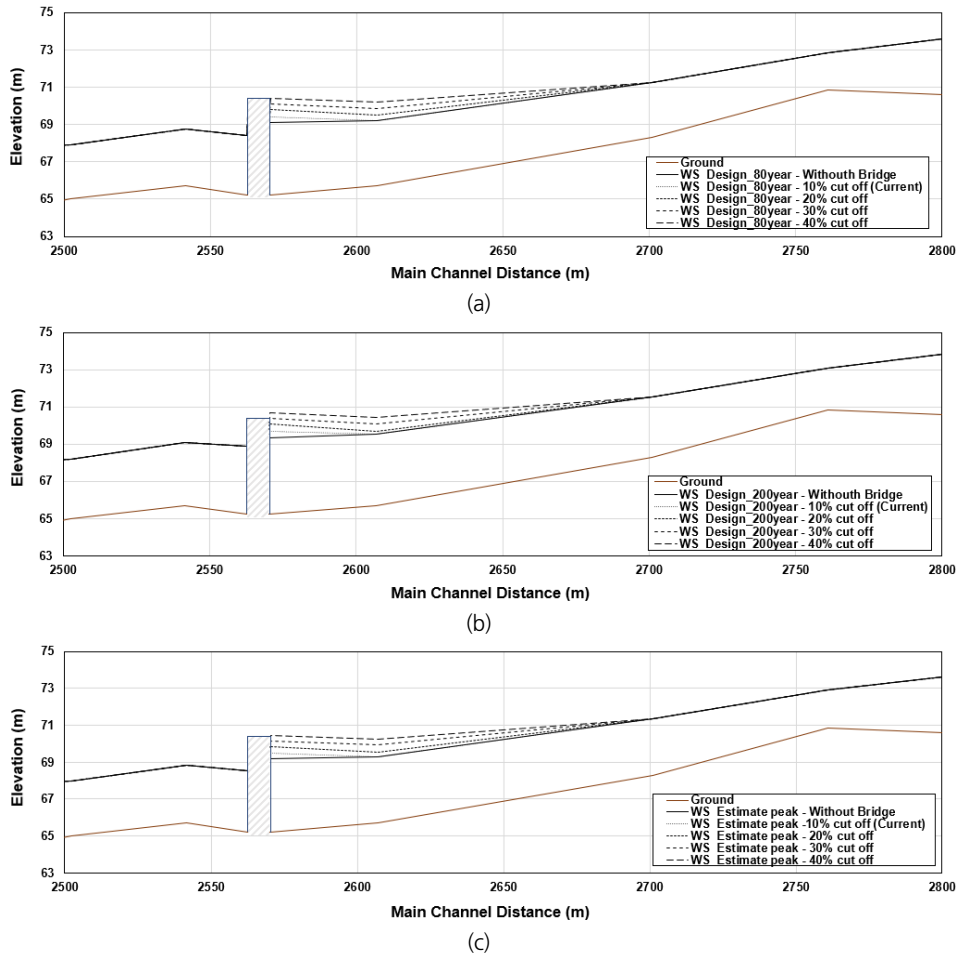


Fig. 4. Longitudinal water level profile at different percentage of cross-section blockage according to simulation conditions (a) 80-year flood (b) 200-year flood and (c) actual peak flood at 6th Sep. 2022

해 0.29 m의 홍수위 상승효과가 있는 것이다. 단면의 40%가 폐쇄된다고 가정할 경우 모든 흐름 조건에서 홍수위 상승폭이 거의 1 m에 이른다. 극단적인 모의 결과라고 가정하더라도 교량 구간에서의 단면 폐쇄가 홍수위 상승과 밀접한 연관이 있다는 점을 알 수 있다.

#### 4. 하상 변화를 가정한 흐름 모의 분석 결과

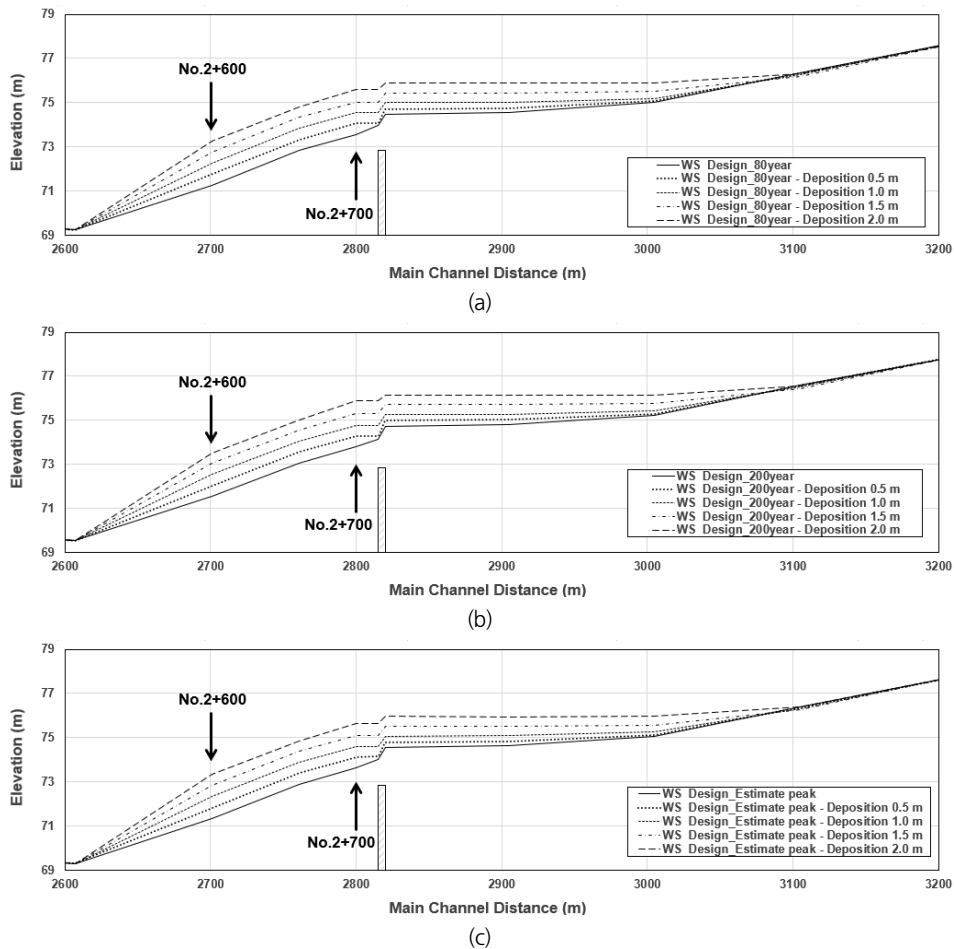
3장에서는 교량 구간의 단면 폐쇄로 인한 홍수위 변화를 알아보았다. 본 절에서는 홍수시 발생하는 하상의 변화로 인한 흐름 변화를 알아보려고 한다. 실제 홍수 발생 후 모니터링 결과에서도 알 수 있듯이(Lee *et al.*, 2023) 해당 하천의 홍수 직후 하상변화는 크게는 5 m 정도의 하상 퇴적이 발생하는 것을 알 수 있었다. 특히 No.2+600부터 No.2+700 구간을 포함

하는 항사리 지점의 경우 하천 중앙으로 약 2 m의 퇴적이 발생하였다. 이를 바탕으로 본 절에서는 해당 구간의 실제 하상 퇴적량을 고려하여 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m 및 2.0 m가 퇴적되었을 경우의 홍수위 변화를 분석하였다(Table 3).

분석결과 인위적인 하상 퇴적을 가정한 2,700 m, 2,800 m 부근 단면의 경우 퇴적시킨 만큼 홍수위 상승효과가 있었으며, 하류에는 큰 수위 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 퇴적으로 인해 상류로 3,105 m 지점까지 수위 영향이 있음을 알 수 있다. 0.5 m 퇴적을 가정한 경우 모든 흐름 조건에서 최대 약 0.26 m의 수위 상승효과가 발생하는 것으로 나타났다. 특히 2.0 m의 극단적인 퇴적을 고려한 경우, 최대 1.7 m 수위 상승효과가 있었으며, 퇴적구간으로부터 약 200 m 떨어진 3,005 m 지점에서도 0.9 m의 수위가 상승되는 것으로 나타났다. 이러한 수위 상승효과는 3,205 m 지점에서 모두 소멸하는 것을 알 수 있다.

**Table 3.** Simulated water level at Hangsa-gyo bridge considering riverbed deposition

Main Channel Distance (m)	80-year with Deposition				200-year with Deposition				Estimate Peak with Deposition			
	0.5 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	0.5 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	0.5 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m
2,701	0.498	0.996	1.494	1.990	0.498	0.995	1.492	1.986	0.498	0.996	1.494	1.987
2,761	0.495	0.989	1.487	1.973	0.494	0.994	1.478	1.959	0.495	0.987	1.490	1.964
2,800	0.491	0.982	1.462	2.017	0.489	0.973	1.484	2.063	0.490	0.981	1.459	2.030
2,815.1	0.116	0.571	1.051	1.606	0.146	0.630	1.141	1.719	0.121	0.587	1.065	1.636
2,819.9	0.220	0.506	0.958	1.404	0.257	0.535	0.984	1.413	0.231	0.514	0.965	1.407
2,820	0.220	0.506	0.958	1.404	0.257	0.535	0.984	1.413	0.231	0.514	0.965	1.407
2,905	0.185	0.444	0.874	1.312	0.221	0.477	0.907	1.342	0.195	0.453	0.883	1.318
3,005	0.042	0.170	0.497	0.889	0.047	0.187	0.517	0.907	0.045	0.177	0.506	0.895
3,105	-0.025	-0.090	-0.153	-0.029	-0.029	-0.105	-0.172	-0.048	-0.027	-0.095	-0.159	-0.036
3,205	0.000	0.000	-0.003	-0.003	0.000	0.000	-0.003	-0.007	0.000	0.000	-0.003	-0.003



**Fig. 5.** Longitudinal water level profile for different riverbed deposition condition (a) 0.5 m (b) 1.0 m and (c) 1.5 m

도출된 홍수위 결과에 대해 종단 방향으로 살펴보면 해당 구간의 상류로 얼마만큼 영향이 있는지 보다 쉽게 확인 할 수 있다(Fig. 5). 퇴적구간인 2,700 m에서 2,800 m로부터 상

류로 약 400 m 지점인 3,100 m 지점까지도 수위상승의 영향이 있는 것을 알 수 있다. 이렇듯 홍수 중 발생할 것으로 예상되는 하상퇴적에 의해 상류 구간 수위상승에 밀접한 영향이



있음을 확인하였다. 이 구간은 2022년 홍수시 상승된 수위로 인해 하안침식으로 하폭이 확장되어 도로가 유실되고 심지어 건물이 붕괴되기도 하였다. 물론 이러한 수위 상승과 하안침식의 원인을 하구폐색 혹은 하상퇴적으로 인한 수위 상승으로 단정 지을 수는 없지만 홍수 피해의 원인을 다양한 관점에서 보다 명확하게 분석하여 피해를 저감시키려는 노력이 필요할 것이다.

## 5. 결론

본 연구는 2022년 9월 태풍 힌남노로 인한 포항의 신광천을 대상으로 홍수의 원인을 알아보고자 하였다. 이를 통해 흐름 차단, 퇴적으로 인한 홍수위 변화를 분석하고, 기존의 홍수위 산정 방법의 한계를 파악하고 실질적인 해결책을 제안하였다.

현재 상태에서 교량 설치로 인한 단면 폐색이 전체 단면적의 10%를 차지하며, 이를 20%에서 40%까지 차단한 경우의 영향을 조사하였다. 결과적으로 현재 상태에서도 실제 교량 범람 피해가 발생한 지역임에도 불구하고, 모든 홍수 조건에서 최소 0.71 m 이상의 여유 공간이 있으므로 모의되었다. 20%의 하구 폐색까지는 범람 피해가 발생하지 않을 것으로 예상되었으나, 30% 이상이 되면 200년 홍수량에서도 범람이 발생할 것으로 예측되었다.

극한 홍수 발생 시 하상에 발생하는 퇴적량을 고려하여 0.5 m부터 2.0 m까지의 퇴적을 가정하고 홍수위 변화를 분석하였다. 결과적으로 퇴적 구간에서는 퇴적된 만큼 홍수위 상승이 발생하며, 상류 지점까지 영향을 미치는 것을 확인하였다. 특히 2.0 m의 극단적인 퇴적 조건에서는 최대 1.7 m의 수위 상승이 발생하며, 상류 3,005 m 지점에서 0.9 m의 수위 상승이 나타났다.

전국적으로 홍수 피해는 거의 매년 발생하지만, 이로 인한 하도 변화에 대한 지형학적 및 수리학적 조사와 분석이 충분히 이루어지지 않는 현실이 있다. 특히 산지 중소하천의 경우 하상경사가 급하고 급격한 홍수류가 발생하므로, 관련 피해를 예방하기 위해서는 홍수에 의한 하도 변화가 하천 설계 및 관리에 충분히 반영되어야 한다. 홍수시 홍수위 상승으로 인한 홍수 피해는 급작스런 호우 발생과 하상 경사, 지반 조건, 사면 경사, 하상 재료, 주변 환경 등 여러 가지 요인이 있을 것이다. 본 연구에서는 1차원 모델링에 하상고의 변화된 조건을 적용하여 단면 폐색 혹은 하상퇴적으로 인해 홍수위 상승에 원인 중 하나가 될 수 있다는 점에 초점을 두고 연구를 수행하였다. 추후 2, 3차원 모델링과 주기적인 모니터링 자료를 이용하여 실제 산지 하천에서 보다 정확한 홍수 관리를 위한 연구

가 수행 될 것이다.

본 연구 결과를 토대로, 홍수 피해 예방 및 피해 감소를 위해 적절한 대책을 마련하고 하천 설계 및 관리에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 더불어, 홍수로 인한 하도 변화에 대한 모니터링과 조사 연구가 더욱 강화되어야 하며, 홍수 관련 정책의 개선과 미래 홍수 피해 예측에 기여할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 한국건설기술연구원 주요사업(기후변화에 대응한 자연기반 하천식생 관리를 위한 생태수문지형 모델 고도화(20230389))의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

## Reference

- Chosun Biz (2022). 'Hinnamno' that brought down even newly built villas... Pohang pool villa, dangerous appearance, accessed 16 October 2023, <[https://biz.chosun.com/topics/topics\\_social/2022/09/06/SHR4K35PTRHLBIX4DBNS5F6SV4/](https://biz.chosun.com/topics/topics_social/2022/09/06/SHR4K35PTRHLBIX4DBNS5F6SV4/)>.
- Gyeongsangbuk-do (2019). *Report on Singwangcheon River basic plan (Revised)*. Report No. 75-6470000-00425-14.
- Han River Flood Control Office (HRFCO) (2023). Water resources management information system, accessed in 12 August 2023, <[http://www.wamis.go.kr:8081/DATA/WSC/%ED%99%95%EB%A5%A0%EA%B0%95%EC%9A%B0%EB%9F%89\(%EC%A7%80%EC%97%AD%EB%B9%88%EB%8F%84%ED%95%B4%EC%84%9D\).xlsx](http://www.wamis.go.kr:8081/DATA/WSC/%ED%99%95%EB%A5%A0%EA%B0%95%EC%9A%B0%EB%9F%89(%EC%A7%80%EC%97%AD%EB%B9%88%EB%8F%84%ED%95%B4%EC%84%9D).xlsx)>.
- Jakob, M., Davidson, S., Bullard, G., Busslinger, M., Collier-Pandya, B., Grover, P., and Lau, C.A. (2022). "Debris-flood hazard assessments in steep streams." *Water Resources Research*, Vol. 58, No. 11, pp. 1-31.
- Kang, W., Jang, E.K., Yang, C.Y., and Julien, P.Y. (2021). "Geospatial analysis and model development for specific degradation in South Korea using model tree data mining." *Catena*, Vol. 200, 105142.
- Kim, S., Chung, J., Lee, J., and Kim, J.T. (2016). "Flood damage estimation causing backwater due to the blockage by debris in the bridges." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 7, No. 4, pp. 59-66.
- Lee, C., An, S., and Jang, E-K. (2023). "Analysis of channel changes in mountain streams due to Typhoon Hinnamnor flood -A case

- study on Shingwangcheon and Naengchen in Pohang.” *Ecology and Resilient Infrastructure (in review)*, Vol. 10, No. 4, 97-106.
- Park, S.D., and Shin, S.S. (2011). “Scheme to reduce the superelevation and characteristic of mountainous river bends.” *Magazine of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 11, pp. 24-30.
- Park, S.D., Lee, S.K., Shin, S.S., and Cho, J. (2014). “Estimation of superelevation in mountainous river bend.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 12, pp. 1165-1176.
- Shin, S.S., Park, S.D., Lee, S.K., and Ji, M.G. (2012). “Estimating critical stream power by the distribution of gravel-bed materials in the meandering river.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 2, pp. 151-163.
- Yang, C.Y., Kang, W., Lee, J.H., and Julien, P.Y. (2022). “Sediment regimes in South Korea.” *River Research and Applications*, Vol. 38, No. 2, pp. 209-221.