

http://www.kseie.or.kr/ Online ISSN: 2288-8527

ORIGINAL ARTICLE

# 태풍 힌남노 홍수로 인한 산지 중소하천의 하도 변화 분석 - 포항 신광천 및 냉천을 사례로 -

# Analysis of Channel Changes in Mountain Streams Due to Typhoon Hinnamnor Flood - A Case Study on Shingwangcheon and Naengcheon Streams in Pohang -

이찬주<sup>1\*</sup> · 안성기<sup>2</sup> · 장은경<sup>3</sup>

'한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 수석연구원, 2한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 하천실험센터 학생연구원, <sup>3</sup>한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 전임연구원

#### Chanjoo Lee<sup>1</sup>\*, Seong Gi An<sup>2</sup> and Eun-Kyung Jang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Hydro Science and Hydro Engineering Department, Korea Institute of Construction Technology, Andong 36754, Korea

<sup>2</sup>Stutent Researcher, River Experiment Center, Hydro Science and Hydro Engineering Department, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 10223, Korea

<sup>3</sup>Research Specialist, Hydro Science and Hydro Engineering Department, Korea Institute of Construction Technology, Andong 36754, Korea

Received 10 October 2023, revised 7 November 2023, accepted 29 November 2023, published online 31 December 2023

ABSTRACT: This study analyzed morphological changes in the Singwangcheon and Naengcheon streams in Pohang caused by flooding due to Typhoon Hinnamnor. Analysis of the changes in river channel area from the past to recent times using aerial photos and drone-taken images showed that the river width had gradually decreased since the 1960s. However, after the flood, the river width increased again. Changes in the river cross-section before and after the flood show that a large amount of coarse sediment was deposited inside the river bend while the outer bank was eroded. The water levels calculated using HEC-RAS for the pre-flood cross-section based on the flood frequency discharges and estimated discharge from Oer Reservoir were significantly lower than the observed water level, which means that the cross-sectional change was not considered. The results of this study suggest that it is necessary to consider cross-sectional changes due to sediment transport when estimating the flood level of small and medium-sized mountain streams, and it is needed to investigate the geomorphic changes after floods.

**KEYWORDS:** Channel change, Flood, Mountain streams, Typhoon Hinnamnor

요 약: 본 연구에서는 태풍 힌남노에 의해 발생한 홍수로 인해 초래된 포항 신광천 및 냉천 하도의 지형 변화를 분석하였다. 항공사진 및 드론 영상을 이용하여 과거로부터 최근까지 하도의 평면적 변화를 분석한 결과 1960년대 이래로 하폭이 점차 감소였으나 홍수 이후 하폭이 다시 증가한 것으로 나타났다. 드론 및 현장 조사를 통한 홍수 전후의 단면 변화를 보면 만곡부 내측에 다량의 토사가 퇴적되었고 외측에서는 하안 침식이 발생하였다. 오어저수지의 자료와 빈도홍수량을 이용하여 홍수 전 단면을 기초로 HEC-RAS를 이용하여 산정한 홍수위는 실제 관찰된 수위에 비해 크게 낮았는데, 이는 홍수로 인한 단면 변화가 반영되지 않은데. 기인한 것으로 판단된다. 본 연구의 결과를 고려할 때 중소하천의 홍수위 산정 시 토사 운반으로 인한 단면 변화를 고려하는 것이 중요하며 홍수 직후의 지형학적 변화를 조사하는 것이 필요하다.

핵심어: 하도 변화, 홍수, 산지 중소하천, 태풍 한남노

\*Corresponding author: c0gnitum@kict.re.kr, ORCID 0000-0001-9176-2622

© 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. 서 론

최근들어 하천의 홍수 피해는 산지 중소하천을 중심으로 발생하고 있다. 2000년 이후로 대표적인 사례를 보면 2002년 태풍 루사 때는 속초, 강릉, 동해의 중소하 천을 중심으로 홍수 피해가 발생하였고 (Kim et al. 2002, Park 2002), 2003년 태풍 매미 때는 강원, 경남, 경북 지역에서 (WEC 2003), 2006년 집중호우 및 태풍에위니아 때는 남해안, 영남, 강원 영서지방에서(Jun 2006), 2019년 태풍 미탁 때는 영덕, 울진, 삼척의 동해 안 중소하천에서, 2022년에는 태풍 힌남노 때는 포항과 경주 지역 하천에서, 그리고 2023년 7월 장마 때는 경상북도 북부 예천, 영주의 산지하천을 중심으로 홍수 및 집중호우 피해가 발생하였다.

산지 중소하천은 평지 하천에 비해 하상조도, 유수저 항, 난류정도 등이 크고 기반암 돌출부 등이 섞여 있어 지형이 복잡하다(Park and Shin 2011, Shin et al. 2012). 산지하천은 경사가 급하고 구속된 골짜기를 흐 르는 특성을 지니며 이에 따라 집중호우시 급격한 홍수 류가 발생하여 하안을 침식한다. 그에 따라 하천에 인 접한 도로, 옹벽, 건물 등이 붕괴되고 제방과 호안이 유 실되는 피해를 일으킨다. 또한 상류 및 주변 사면의 산 사태가 동반되어 다량의 토사와 유목이 공급되고 하상 재료의 한계소류력을 초과하는 빠른 홍수류에 의해 운 반되면서 하상의 변동을 일으키고 교량 등에 집적될 경 우 단면을 폐색하여 수위 상승과 홍수 피해를 가중시킨 다 (Kim et al. 2007).

국내에서 산지 중소하천의 홍수에 관한 수리학적인 조사 연구는 Shin et al. (2012), Park et al. (2014), Jun (2013) 등의 사례가 있다. 홍수로 인한 하도 변화 양상 등 지형학적인 분석을 다룬 것은 홍수에 의한 측방 이동 을 다루는 Lee et al. (2022)의 사례가 있으며, 그 외에 홍수 피해조사로 실시된 사례 (Kim et al. 2002, Park 2002 WEC 2003, Jun 2006)가 주를 이루고 있다. 이러 한 조사, 연구를 제외하면 대체로 홍수로 인한 지형학 적 변화를 고찰한 연구는 상대적으로 많지 않다. 그 이 유는 여러 가지가 있겠지만, 그 중 하나는 홍수 후 하천 변화에 조사보다는 당면한 피해 복구와 하도 정비가 우 선되기 때문이다. 다만 이에 따라 역으로 홍수 후 하도 변화에 대한 사실적 자료 축적이 어려워 기왕 홍수에 의 한 하도 변화가 하천 설계와 관리에 충분히 반영되기 어 려운 실정이다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 2022년 9월 내습한 태풍 힌남노로 인한 홍수 피해가 발생한 포항 신광천과 냉천을 대상으로 과거의 하도 변화를 살펴보고 아울러 힌남노 홍수 직후에 발생한 하도 변화에 대해 지형학적, 수리학적 분석을 수행하고자 한다.

## 2. 태풍 힌남노에 의한 강우

2022년 제11호 태풍 힌남노는 8월28일 북위 25.8도, 동경 149.5도에서 제22호 열대저압부로 발생하였으며 같은 날 21시에 태풍으로 발달하였다 (Fig. 1). 태풍 힌 남노는 9월 6일 03시에서 12시 사이에 대한해협을 거 쳐 부산 부근에 잠깐 상륙하였다가 동해안으로 빠져나 갔으며, 같은 날 21시에 북위 44.4도, 동경 136.7도에서 온대저기압으로 변질되어 소멸하였다. 부산 부근 통과 시 중심기압은 955 hPa, 최대풍속은 초속 40 m/s였으 며, 강풍반경은 400 km에 달하는 강한 태풍이었다.



Fig. 1. Typhoon Hinnamnor at 23:00 5th Sep. 2022 (KMA Weather Data Service 2023).



Fig. 2. Rainfall of 6 hours on 6th Sep, 2022 at Pohang Meteorological Station.

태풍 힌남노는 냉천과 신광천 유역을 포함한 포항지 역에서 단기간에 많은 비를 뿌렸다. Fig. 2는 2022년 9월 6일 기상청 포항 관측소의 시간별 강우량과 누적 강우량 을 나타낸다. 9월 5 - 6일 중 1시간 최대 강우량은 81.3 mm이며, 2시간, 3시간, 6시간 강우량은 각각 150.3, 213.6, 315.3 mm로 한국 확률강우량도 (HRFCO 2023) 및 신광천 하천기본계획 (Gyeongsangbuk-do 2019)를 참고하면 200년 빈도 확률강우량을 초과하는 것으로 나 타났다.

## 3. 연구 지역 및 방법

#### 3.1 연구지역

본 연구의 대상 하천은 포항시 남구의 냉천과 신광천 이다 (Fig. 3). 냉천은 포항시 남구 오천읍 진전리에서 발원하여 북쪽으로 유하하여 동해로 유입한다. 유로연 장은 19.12 km, 유역면적은 79.40 km<sup>2</sup>이며, 하상경사 는 1/162 - 1/65이다 (Gyeongsangbuk-do 2023). 신광 천은 냉천의 제1지류로, 포항시 남구 오천읍 항사리에 서 발원하여 북쪽으로 유하하여 냉천의 좌안으로 합류 한다. 유로연장은 12.70 km, 유역면적은 29.37 km<sup>2</sup>이 며, 하상경사는 1/100 - 1/31이다 (Gyeongsangbuk-do 2019). 냉천 및 신광천 유역의 지질은 주로 중생대 불국 사 화강암이다.

하천기본계획에 따르면 냉천 하상재료의 입경은 D<sub>60</sub> 기준 0.26 - 18.2 mm이며, 신광천은 4.7 - 20.9 mm이다. 하지만 실제 하천에서 답사 시 여러 지점을 관찰한 결과 이보다 조립질의 잔자갈 및 호박돌이 분포하는 것으로 나타났다. 이에 홍수 이후 2023년 3월 냉천 용산리 현장 조사를 통해 무작위로 50개의 하상재료를 샘플링하여



Fig. 3. Map of the study area.

측정한 결과 D<sub>60</sub>은 61.8 mm, D<sub>50</sub>은 60.0 mm로 나타났 다. 그러므로 두 하천은 전형적인 호박돌 자갈하천으로 볼 수 있다.

연구 지점은 냉천의 용산리와 신광천의 항사리, 문덕 리이다. 냉천과 신광천은 개수율 100%의 하천으로, 세 지점 모두 제방이 축조되어 있다. 용산리는 냉천 하구 에서 약 8.4 km 상류에 위치하며, 양안으로 제방이 축 조되어 있으며 제내지 좌안에는 아파트가 위치한다. 항 사리는 오어저수지 하류에 위치하며 양안에 제방이 축 조되어 있으며, 제내지에는 펜션 등의 근린시설이 존재 한다. 문덕리 지점은 신광천과 냉천의 합류점 구간에서 500 m 상류에 위치하며, 우안 제내지에는 공장 등이 위 치한다.

세 지점은 모두 2022년 9월 6일에 태풍 힌남노로 인 한 홍수 피해가 발생한 지역이다. 냉천의 용산리는 좌 안에 하안침식이 발생하여 아파트 하부의 축대가 드러 났다. 해당 구간은 냉천이 완만하게 만곡하는 수충부에 위치한다. 신광천 항사리는 하천이 U자형으로 만곡하 는 구간이며, 우안 수충부에서 발생한 하안침식으로 침 수 및 건물이 주저앉는 피해가 발생하였다. 문덕리는 하천이 완만하게 만곡하며, 우안 수충부에 하안침식이 발생하여 공장이 일부 붕괴되었다 (Fig. 4).



Fig. 4. Photos of the study sites taken after flooding by Typhoon Hinnamnor (a) Yongsan-ri (b) Hangsa-ri (c) Mundeok-ri.

## 3.2 자료 및 방법

#### 3.2.1 자료 수집

태풍 힌남노 피해 지역의 하도 변화를 분석하기 위해 사용한 자료는 항공사진, 정사영상, 드론 영상이다. 항 공사진및 정사영상은 국토지리정보원(www.ngii.go.kr) 에서 제공하는 자료를 사용하였다(Table 1 and Fig. 5). 냉천 용산리는 1969년 항공사진과 2011년, 2021년의 정사영상을 활용하였다. 신광천 문덕리는 1969년, 1982 년 항공사진과 2011년, 2021년 정사영상을 이용하였 으며, 항사리는 1969년, 1982년, 1992년 항공사진과 2011년, 2021년 정사영상, 그리고 드론 영상을 사용하 였다. 다만, 용산리와 문덕리의 경우 군부대와 인접하 여 보안상의 이유로 항공사진이 제공되지 않는 기간이 존재한다.

드론 영상은 항사리 지점에서만 촬영하였으며, 문덕 리와 용산리에서는 촬영하지 못하였다. 촬영은 태풍 힌 남노로 인한 홍수 발생 직후인 2022년 9월 6일 항사리 지점에서 수행하였다. 촬영된 드론 영상을 바탕으로 항 사리지점의 수치표면모델(DSM, digital surface model) 을 제작하였다. 촬영에는 DJI Phantom 4 드론이 이용 되었으며, 빌트인 카메라 (모델 FC-330, FOV94°)로 촬영하였다. 비행 어플리케이션은 DJI GO 4를 이용하 였다. 해당 지역은 홍수 직후 무선통신이 끊어져서 자동 항법 촬영이 되지 않아 수동으로 드론을 조작하면서 중 첩도를 고려하여 영상을 촬영하였다. 긴급한 홍수 피해 조사로 인해 별도의 지상기준점 (GCP, ground control point) 측량을 실시하지 못하였는데, 이 경우 약 1.5 m 의 수직 오차가 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다(Cho et al. 2020). 이에 드론으로 제작한 DSM의 수직 오차 를 줄이기 위해 촬영된 드론 영상을 국토지리정보원에 서 제공하는 DEM을 이용하여 홍수 전후 변화가 없다 고 판단되는 하천 주변의 아스팔트 포장 도로, 콘크리 트 블록으로 포장된 주차장 등을 대상으로 카카오맵 등

Table 1. Aerial photographs and orthogonal images used in the study

Year	Туре	Map sheet	Scale	Resolution
1969	Aerial photograph	36914	1:12,500	1200 dpi
1982	Aerial photograph	35902	1:20,000	1200 dpi
1992	Aerial photograph	35902	1:20,000	1200 dpi
2011	Ortho-rectified image	35902025 - 27	-	0.51 m/px
2021	Ortho-rectified image	35902025 - 27	-	0.25 m/px
2022	Ortho-rectified image from a drone	This study	-	0.04 m/px



Fig. 5. Aerial and drone photos of Hangsa-ri at different times. Channel areas are shown as polygons.

에서 제공하는 로드뷰를 확인하여 수 개의 평평한 지점 을 고른 후 고도값을 찾아 이를 GCP로 활용하여 후보 정하였다. 항공영상의 합성과DSM 구축은 DroneDeploy 소프트웨어를 이용하였다. 이 방법의 타당성을 추가로 확인하기 위해 2023년 9월에 항사리 지점에서 동일한 방식으로 드론 촬영 후 VRS GPS로 측량한 좌표로 GCP를 삼아DSM을 구축하였다. 동일 단면을 DSM과 광파 측량기로 실측한 단면과 비교하여 유사한 결과를 얻었다.

#### 3.2.2 지형변화 분석 방법

홍수로 인한 하도 변화를 파악하기 위해 GIS 소프트 웨어를 이용하여 각 연도의 항공사진과 홍수 직후 촬영 한 드론 영상을 이용하여 자갈 및 모래 등으로 피복되어 하도로 판단되는 범위를 디지타이징하였다. 생성된 폴 리곤을 바탕으로 하도의 형태적 변화를 분석하였다 (Fig. 5). 또한 양안의 경계를 기준으로 하도 중심선을 추출한 후 하도 중심선의 길이와 폴리곤 면적을 이용하 여 구간의 평균 하폭을 계산하였다.

홍수 전과 직후, 복구 후 단면의 비교를 위해 하도 단 면 자료를 수집하였다. 하도 단면은 하천기본계획 자료 와 드론 영상에서 제작된 DSM에서 추출한 단면, 현장 실측을 통해 측정된 단면 등 3가지 자료를 이용하였다. 단면은 총 4개 지점에서 추출하여 비교하였다. 냉천 하 천기본계획의 용산리 (8+400) 단면, 신광천 하천기본 계획의 항사리 (2+600, 2+700)와 문덕리 (0+500) 단면 등이다. 문덕리와 용산리는 측량이나 드론 촬영을 못하 여 홍수 당시 촬영한 사진과 현장 관찰을 기반으로 홍수 직후의 단면을 추정하였다. 복구 후 단면은 현장을 2023년 3월에 재방문하여 토탈스테이션을 사용해 측 량하였다.

#### 3.2.3 수리학적 분석 방법

세 곳의 연구 지점 중 홍수로 인한 하도 변화가 가장 크게 발생한 신광천 항사리 지점을 대상으로 수리학적 분석을 실시하였다. 힌남노 내습 시간에 수집된 농어촌 공사 오어저수지의 5분 수위 변화 자료를 수집하였다. 오어지의 수위와 저수량 변화 자료를 이용하여 초당 저 수량 변화로 환산하여 신광천의 첨두 유량을 추정하였 다. 이렇게 추정한 첨두 유량과 계획홍수량 (80년 빈 도), 그리고 오어저수지의 홍수 조절을 고려한 산정된 최대 빈도 홍수량인 200년 빈도 홍수량 등 3가지 유량 을 상류단 경계조건으로 HEC-RAS로 1차원 정상류 모 의를 실시하였다. 이 중 200년 빈도 유량의 경우 빈도 홍수량은 빈도 강우량과 일치하지 않지만, 관측된 포항 관측소의 최대 강우량이 200년 빈도 이상인 점을 고려 하여 발생 가능한 최대 유량을 고려하기 위해 택하였다. 하류단은 수위관측소가 없으므로 normal depth 기준 으로 하였으며, 조도계수는 하천기본계획의 값을 사용 하였다.

# 4. 결 과

#### 4.1 1969년 - 2022년 하도 변화

1960년대부터 최근까지 세 지점 모두 하도 경계 및 하폭이 시간의 흐름에 따라 감소하였다. 하지만 태풍 힌남노로 인한 홍수 이후에 하폭이 다시 증가하였다. 1969년의 경우 본격적인 하천변 개발이 이루어지기 전 으로 항공사진은 뚜렷하지는 않지만 당시의 지도를 참







Fig. 7. Change in channel boundary at Hangsa-ri.

고해 보면 신광천의 저수 유로는 폭이 좁은 반면 상대적 으로 넓게 발달한 곡저부를 확인할 수 있다. 이는 현재 확인할 수 있는 하상재료를 고려하면 대부분 자갈로 덮 여 있는 나지 사주에 해당한다. 이 시기에는 하도 경계 (초록색)가 가장 넓었으며, 이후 점차 좁게 변형되었다. 신광천 문덕리의 경우 하도의 경계가 현재에 비해 상당 히 넓은 것으로 나타났다. 하지만 이 지점은 홍수터가 넓게 발달한 곳으로 1992년부터 2021년까지는 제방 축조 후 거의 하도 면적이 비슷하게 유지되었으며, 2022 년 태풍 힌남노 홍수 이후에 우안 쪽 하안침식으로 하폭 이 확장되었다. 냉천 용산리의 경우 1969년에는 지금 에 비해 다소 하폭이 넓었으나 역시 제방 축조 후 2021 년까지 하도 면적이 유지되다가 2022년에 좌안의 하폭 이 증가하였다 (Fig. 6).

항사리의 경우 2021년까지는 하도 면적의 감소 경향 이 뚜렷하다가 태풍 힌남노 홍수 이후 급격하게 다시 증 가하였다(Figs. 5 and 7). 현재와 같은 제방이 없던 1969 년 양안으로 넓은 하도 경계를 보이다가, 1982년 하도 면적이 감소하고 1992년 제방 축조 이후로도 하도 면적 이 계속 감소하였다. 2011년 항공사진에서는 하도 내 부에 식생이 활착하면서 수역 자체는 좁고 불연속적인 모습을 보인다. 2021년에는 식생 제거로 하도의 면적 이 다소 증가하였다. 태풍 힌남노 직후인 2022년에는 하도 면적이 다시 증가하였는데, 이는 우안의 하안침식 에 의한 결과이다. 침식이 집중된 우안의 펜션 대지를 포함한 지역에서 2021년에 비해 힌남노 홍수 후 하안침 식이 일어난 면적은 11,209 m<sup>2</sup>에 달하였다. 태풍 힌남 노에 의한 홍수로 우안 제방의 하부가 침식됨에 따라 하 천이 과거의 형태로 되돌아가는 모습을 보였다.

하도 면적 감소에 따라 하폭도 감소하였다. 냉천 용 산리의 1969년 평균 하폭은 97.6 m이었으나, 2011년 49.2 m로 약 절반으로 감소하였다. 2021년에도 53.3 m 로 비슷한 하폭을 보이다가 태풍 힌남노 이후 72.4 m로 증가하였다. 신광천 문덕리 또한 1969년 평균 하폭은 195.0 m였으나, 1982년 68.6 m로 평균 하폭이 감소하 였다. 그러나 태풍 힌남노 이후 84.5 m로 평균 하폭이 증가하였다. 항사리의 경우 1969년 평균 하폭은 88.3 m 였으나, 1982년 42.1 m로 감소하였고, 2021년에는 23.8 m로 1969년 대비 27%의 평균 하폭을 보였다. 그 러나 태풍 힌남노 내습 시 발생한 홍수로 평균 하폭이 51.5 m로 증가하였다.

#### 4.2 홍수 전후 단면 비교

태풍 힌남노에 의해 발생한 홍수는 하도의 단면 형태 도 크게 변화시켰다(Fig. 8). 드론 촬영으로 DSM을 제



Fig. 8. Cross-section form of the study sites before and after (2022) the flood with computed and observed water levels. Yongsan-ri and Mundeok-ri cross-sections are assumed based on field investigation, while those of Hangsa-ri are extracted from drone-based DSM after the flood.

작하여 단면을 추출한 항사리를 제외하면 태풍 힌남노 홍수 직후의 단면에서 하상의 높이는 현장에서 관찰을 통해 추정한 것이다. 홍수류에 의한 소류사의 퇴적은 잘 나타나 있다(Fig. 4). 냉천 용산리의 경우 좌안 쪽인 아파트 축대 아래쪽에 하안침식이 발생하였는데, 아파 트 내 도로가 유실되고 수평적으로 최대 6.0 m가량의 하안침식이 발생하였다. 반대로 하도 중앙부에는 약 2.0 m의 퇴적이 발생하였다. 신광천 문덕리도 비슷한 결과가 나타났다. 우안의 공장 아래쪽으로 하안침식이 발생하여 최대 4.5 m의 측방 침식이 발생하였으며, 좌 안에는 2.2 m의 퇴적고를 보였다.

항사리에서는 퇴적의 정도가 더욱 심하게 나타났다. 침식이 집중된 우안의 대지에서 수평적으로 하안선은 최대22.1 m 이동하였으며, 좌안 제방 하부에서는 2018 년 하천기본계획 단면 및 2023년 3월 측량한 복구 후 단 면을 기준으로 약4.5 m의 퇴적고를 보였다. 붕괴된 건 물이 위치했던 단면에서는 수평적으로 최대 8.0 m의 침 식을 보였으며, 좌안에 약 5.1 m의 퇴적고가 나타났다. 이 외에도 좌안 주차장 쪽에서도 침식이 발생하였다. 이는 이 구간 상류 쪽 우안에 돌출된 암반으로 인해 좁 은 병목 구간을 통과한 흐름이 좌안 쪽 (주차장)을 1차 로 공격하고 그 다음으로 우안의 대지를 침식한 것으로 추정된다.

통수 단면적을 보면, 홍수 전 단면에 비해 홍수 직후 단면적이 비슷하거나 감소한 것을 알 수 있다(Table 2). 이후 복구 과정에서 홍수 전 단면적 내지는 그 이상으로 재차 단면이 증가하였다. 용산리의 경우 홍수 전의 단 면은 272.9 m<sup>2</sup>이었으나 홍수 직후 하상이 높아지면서 추정 단면적은 약 20% 감소하였다. 하지만 복구로 인 해 단면적은 다시 홍수 전 면적과 동일해졌다. 문덕리 지점의 경우 홍수 전 단면적은 319.1 m<sup>2</sup>이나 홍수 직후 추정 단면적은 14%나 감소하였으며, 복구 후 측량 결 과는 357.3 m<sup>2</sup>로 증가하였다. DSM로 단면을 추출한 항사리의 경우 2+700 단면은 홍수 전보다 홍수 직후 12.7% 감소하였으며, 복구 후 크게 증가하였다. 2+600 단면의경우홍수전,홍수직후,복구후단면적이큰차 이 없이 유지되었으나 단면의 형태는 뚜렷하게 변화되 었다. 용산리와 문덕리 지점은 추정한 단면이므로 항사 리에 비해 단면 형상의 오차가 클 수 있다. 또한 홍수 전 단면이 하천기본계획 단면과 다를 수 있음을 감안하더 라도 홍수 직후 단면적이 감소하거나 유지되는 현상은 하상고 상승에 기인하는 바가 큼을 보여준다. 이는 홍 수시 통수 단면의 부족으로 인해 하안 침식이 발생하는 원인이 된다고 볼 수 있다.

Table. 2	2.	Cross-section	area	in	m²	of	the	selected	sites	(*	estimated,	**	computed	from	DSM	)
----------	----	---------------	------	----	----	----	-----	----------	-------	----	------------	----	----------	------	-----	---

Condition	Yongsan-ri	Mundeok-ri	Hangsa-ri (2+700)	Hangsa-ri (2+600)
Before flooding (River Basic Plan)	272.9	319.1	227.9	253.7
After flooding (on 7th Sep. 2022)	219.4* (⊽19.6%)	273.9* (⊽14.2%)	199.0** (⊽12.7%)	260.5** (▲2.7%)
After recovery work (on 23th Mar. 2023)	275.3	357.2	278.9	247.7



Fig. 9. Water level, storage volume and change in the storage volume of the Oer Reservoir.

#### 4.3 수리학적 분석 결과

신광천 항사리 지점을 대상으로 수리학적 분석을 수 행하기 위해 오어저수지의 저수위, 저수량 정보를 기반 으로 홍수량을 추정하였다 (Fig. 9). 이는 신광천의 경 우 2022년 9월 기준으로 수위관측소가 없고 오어저수 지의 방류량 자료도 얻을 수 없었기 때문이다 (신광천 수위관측소는 홍수 후 신설). 오어저수지에서는 9월 6 일0시경부터 저수량이 급격하게 증가하기 시작하였으 며, 5분 간격의 저수량 변화를 1초 단위로 확산하여 유 량을 추정할 경우 이번 홍수의 첨두 유량은 같은 날 3시 25분에 발생하였고 최대 360.1 m<sup>3</sup>/s로 산정되었다. 이 는 오어저수지의 홍수 조절 효과 (40 m<sup>3</sup>/s)를 고려할 때 100년 빈도 홍수량에 해당한다 (Gyeongsangbuk-do 2019). 이렇게 추정된 9월 6일 첨두유량 (이하 첨두유 량)은 저수량 변화로만 계산한 것으로 수문 배수 및 여 수토 월류로 인한 영향이 충분히 고려되지 못하였다. 이 와 함께 강풍에 의한 수위 계측의 오차 등이 반영되어 있 을 것으로 생각된다. 하지만 본 분석에서는 그대로 사용 하였다.

첨두유량, 80년 및 200년 빈도 홍수량을 기준으로 신 광천 항사리 2+600, 2+700, 그리고 문덕리 등 3개 단면 에서 정상류 조건으로 홍수위를 모의한 결과는 측량 단 면과 함께 Fig. 8에 도시되어 있다. 결과를 보면 2+600 - 2+700 단면의 경우 80년 빈도유량에서 계산된 수위 는 71.27 - 73.56 m, 첨두유량의 경우 71.33 - 73.62 m, 200년 빈도유량의 경우 71.53 - 73.81 m인데, 이는 하 안 침식이 발생한 우안 쪽 강턱의 고도인 74.98 - 75.35 에 1 m 이상 못 미치는 것으로 나타났다. 주민 증언과 촬 영된 동영상에 의한 월류 상황을 고려할 때, 항사리 지 점에서의 1차원 수리해석의 결과는 만곡부의 편수위를 고려하더라도 실제 홍수로 인한 수위에 비해 낮게 나타 났다. 문덕리 (0+500) 단면의 경우 80년 빈도, 추정 첨 두유량, 200년 빈도에서 각각 계산수위는 47.63, 47.67, 47.81로 공장 지대의 고도인 50.70 m에 역시 2 m 이상 못 미치고 있다.

단면 소류력의 경우 2+600에서는 80년, 첨두유량, 200년 빈도 유량에서 각각 302.7, 308.2, 325 N/m<sup>2</sup>이 며, 2+700의 경우 105.4, 108.2, 115.4 이며, 0+500은 50.0, 51.7, 56.6 N/m<sup>2</sup>으로 구간 경사가 급한 2+600에 서 가장 크게 나타났고 하류로 가면서 감소하였다 (Table 3). 이러한 유량에서 계산된 소류력을 바탕으로 한계소류력을 계산하고 Julien (2010)에서 제시한 수 정 Shield 곡선의 한계조건인 τ=0.047을 적용할 경우, 최대 이동 가능한 사력의 입경은 항사리의 경우 138 - 427 mm, 문덕리의 경우 66 - 74 mm로 계산되었다 (Table 3). 항사리의 경우 호박돌부터 거력까지 하천 현 장에서 발견되는 대부분의 소류사를 충분히 운반할 수 있는 것으로 나타났는데, 이는 현장에서 관찰된 것과 일치하며, 하상과 하안의 침식력이 충분함을 의미한다.

## 5. 종합고찰 및 결론

#### 5.1 종합고찰

과거 개수가 이루어지기 전인 1970년대 이전에 신광 천과 냉천은 하폭이 현재보다 넓었지만 제방이 축조되 고 하안이 개발되면서 하폭이 점차 감소해 왔다. 하지 만 2022년 9월 태풍 힌남노 홍수로 인해 하안이 침식되 면서 하폭이 다시 증가하였다. 드론 DSM에 의한 정량 적인 하도 변화를 분석할 수 있는 항사리를 중심으로 보 면, 20여 m의 하폭 증가와 함께 만곡부 내측에서 수 m 이상의 하상고 상승 (퇴적)이 발생하였다. 그리하여 홍 수 전에 비해 통수 단면적은 유지되거나 감소되었다. 종합적으로 보면 홍수에 의해 운반되는 다량의 토사가 유속이 상대적으로 느린 만곡부 내측에 퇴적되고 그에

Table 3. Shear stress and movable particle size for three discharge conditions

		Hangsa-ri (2+600)	Hangsa-ri (2+700)	Mundeok-ri (0+500)
Shear stress (N/m²)	80-year flood	302.7	105.4	50.0
	Peak flood	308.2	108.2	51.7
	200-year flood	325	115.4	56.6
Movable particle size (mm)	80-year flood	397.8	138.6	65.7
	Peak flood	405.1	142.2	68.0
	200-year flood	427.2	151.7	74.4

따라 통수 단면적이 감소하면서 홍수류가 만곡부 외측 으로 집중되어 월류가 발생하고 하안을 침식한 것이다. 신광천 및 냉천에서 나타난 하도 변화는 본질적으로 는 중소 산지하천의 특성과 관련이 있다. 산지하천의 하도는 경사가 급하며 산사면으로 둘러싸여 있어서 집 중호우로 인한 홍수시 상류에서 운반되는 토사와 함께 산사태에 의한 토사의 공급이 발생한다. 토사 공급이 유 수의 운반력을 초과할 경우 하상의 상승과 통수능 저하 가 발생하며, 이로 인해 월류가 발생하거나 지형적 요인 과 결합하여 하안이 침식된다. 본 연구 지점에서의 하도 변화는 이러한 요인들이 작용한 결과로 볼 수 있다.

항사리 지점에서 발생한 20 m 이상의 하안 침식은 하상고의 급격한 상승이 동반된 상태에서 수충부 급류 및 월류 침수가 일어났기 때문으로 볼 수 있다. 이러한 홍수로 인한 하천변 대지의 침수를 해석하기 위해 홍수 전 단면을 기준으로 1차원 모형으로 계산한 수위는 실 제 침수 현상을 반영하지 못한 것으로 나타났다. 비록 시간에 따른 홍수위 변화를 고려하지 못한 정상류 해석 만을 수행한 결과이기는 하지만 200년 빈도 유량을 가 정한 홍수위 계산 역시 실제 발생한 수위에 비해 1 - 2 m 가까이 낮게 모의되었다. 이에 대해서는 별도의 분석이 필요하겠지만 하상 변동이 실제 및 계산 수위 간 차이의 주요 원인으로 생각된다.

#### 5.2 결론

본 연구에서는 포항 신광천 및 냉천을 대상으로 과거 로부터 최근까지의 하폭 변화, 그리고 2022년 태풍 힌 남노 홍수시 발생한 하도 지형 변화를 분석하였다. 또 한 하도 변화를 초래한 수리학적 특성에 대한 분석을 실 시하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

- 과거로부터 최근까지 하도의 평면 변화를 분석한 결 과 1960년대 이래로 하폭은 점차 감소하였으나 힌남 노 홍수로 인해 하폭이 수m - 20m 이상 증가하였으 며 이에 따라 1980년대 하폭 수준으로 복귀한 것으 로 나타났다.
- 2) 항사리를 중심으로 단면 변화를 보면 만곡부 내측에 다량의 토사가 퇴적되어 홍수 전에 비해 홍수 후 하 상이 크게 상승하였고 외측에서는 하안 침식이 발생 하였다.
- 3) 오어지의 저수위 분석 결과 첨두유량은 360.1 m<sup>3</sup>/s

로 산정되었으며 이는 100년 빈도에 해당하며 계산 된 소류력에서 하상 사력은 대부분 운반되는 것으로 나타났다.

4) HEC-RAS를 이용하여 첨두유량과 계획홍수량, 200년 빈도 홍수량으로 산정한 홍수위는 실제 관측 수위에 비해 크게 낮았는데, 이는 퇴적으로 인한 단 면 변화가 홍수위 산정에 고려되지 않은데 기인하는 것으로 보인다.

본 연구의 결과를 기초로 볼 때, 산지 하천에서는 홍 수시 급격한 홍수류에 의해 사력이 운반되고 하상 변동 과 단면 변화가 발생하므로 하천 관리를 위해서는 부정 류 해석이 포함된 하상변동과의 연계성을 고려하는 것 이 필요할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(기후위기 대응 물문제 해결형 이슈 발굴 및 미래선도 기술 개발 (20230155))의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### References

- Cho, H., Oh, J., and Jang, Y. 2020. Analysis of Aerial Survey Accuracy Using Phantom4 and Phantom4-RTK. Proceedings of the conference of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography pp. 138-140. (In Korean)
- Gyeongsangbuk-do. 2019. Report on Singwangcheon River Basic Plan(Revised). Report No. 75-6470000-00425-14. (In Korean)
- Gyeongsangbuk-do. 2023. Basic River Plan for One Additional River besides Naengcheon. Scheduled for Publication. (In Korean)
- HRFCO(Han River Flood Control Office). 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%9 D).xlsx.
- Julien, P. 2010. Erosion and sedimentation. Cambridge University Press, 2nd Edition.
- Jun, K.S. 2006. Investigation of Flood Damages due to the Heavy Rain in July. Magazine of Korean Society of Civil Engineers 54(9): 168-176. (In Korean)
- Jun, K.W. 2013. Analysis of flood level variation in Oship

Stream using HEC-RAS: Focuses on the impact of the Typhoon Sanba. Journal of the Korea Contents Association 13(2): 498-504. (In Korean)

- Kim, N., Kim, C., and Woo, H. 2002. Rainfall and flood damage characteristics of Typhoon Rusa. Proceedings of the Conference of Korean Society of Civil Engineers pp. 1203-1210. (In Korean)
- Kim, S.J., Chung, J.H., Lee, J.H., and Kim, J.T. 2007. Flood damage estimation causing backwater due to the blockage by debris in the bridges. Journal of Korean Society of Hazard Mitigation 7(4): 59-66. (In Korean)
- KMA Weather Data Service. 2023. https://data.kma.go.kr/ cmmn/main.do (Viewed 2023. 9. 21).
- Lee, C., Go, D, Kim, D., and Choi, H. 2022. Quantitative Analysis on the Lateral Migration of an Alluvial River - Case Study on Gopyeong Site of Naeseong Stream -. Journal of the Korean Geomorphological Association 29(2): 25-39. (In Korean)
- Park, C. 2002. Investigation of Flood Damages of Young-

buk Area due to Typhoon Rusa in August. Magazine of Korean Society of Civil Engineers 50(10): 66-72. (In Korean)

- 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 44(11): 24-30. (In Korean)
- 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, 47(12): 1165-1176. (In Korean)
- 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 45(2): 151-163. (In Korean)
- WEC (Water Engineering Committee). 2003. River damage due to Typhoon Maemi. Magazine of Korean Society of Civil Engineers 51(10): 4-15. (in Korean)