

# 2024년 7월 압록강 홍수량 및 홍수범람 범위 추정<sup>1)</sup>

김주훈 | 한국건설기술연구원 연구위원 | jh-kim@kict.re.kr

## I. 머리말

지난 10월 13일은 ‘세계 자연재해 감소의 날(International Day for Disaster Risk Reducrion)’이었다. 이날은 국제연합(United Nations: UN)이 1989년 총회서 기후변화로 인한 자연재해의 위험성을 알리고 자연재해 발생 위험을 경감하기 위한 기념일 제정을 촉구한 것을 계기로 시작됐다.

그러나 벨기에 루뱅대학 부설 재난역학연구센터(The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters: CRED) 2023년도 보고서는 [그림 1]에서 보는 바와 같이 과거 2003~22년까지 연평균 369건에서 2023년도는 399건으로 기후변화에 의한 자연재해는 지속 증가하고 있으며, 재해 발생 원인 중 물이 적어서(drought) 발생하는 재해가 5% 내외이고, 홍수 등 물이 많아서(flood, storm) 발생하는 비율이 전체 자연재해 발생률 중에서 약 80% 내외로 전체적으로 물과 관련된 자연재해가 많은 것으로 보고한다.

21세기 화두가 지구온난화이며, 지구온난화의 가속화로 인한 기후변화로 극한 기상 현상이 빈번히 발생하고 있으며, 재난 대응 역량이 부족한 저개발국가는 더 심각한 피해를 야기하고 있다. 북한의 경우 UNDRR(United Nations Office for Disaster Risk Reduction)의 National Report of DPR Korea(2022)에 따르면, 2015년부터 2021년까지 거의 매년 자연 재난이 기록되고 있다. 2015년 8월에는 집중호우로 나선시와 선봉 일대가 침수 피해를 보았으며, 2016년 태풍 라이언록에 의해 함경북도 북부지역이 홍수와 산사태 피해를 보았는데 이는

1) 보고는 『대한토목학회논문집』, Vol.44, No.5에 게재한 내용이 포함되어 있다.

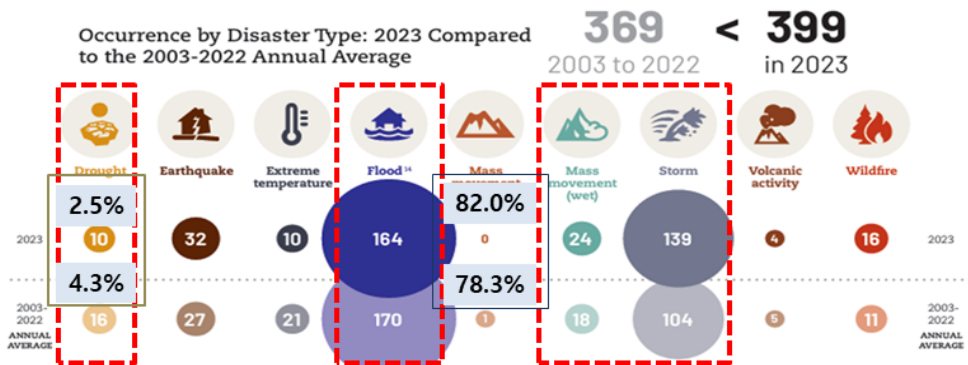
1945년 이래 최대의 대재앙으로 기록된다. 2019년 태풍 링링의 영향으로 서해안 지역인 황해북도와 평안북도, 그리고 함경남도 일부 지역이 피해를 보았으며, 2020년 8월부터 9월까지 이어진 3개의 태풍으로 인해 광범위한 재산 피해가 발생하였고, 2021년 8월 함경남도에 내린 폭우로 농경지 유실, 교량 파손 등의 피해가 발생한 것으로 보고한다.

독일 환경단체 Germanwatch는 북한 글로벌 기후리스크 지수를 7위로 제시하며(German watch, 2012), 유엔 산하 재해경감 전략기구(United Nations Office for Disaster Risk Reduction: UNISDR)와 CRED가 발표한 보고서에 의하면 2018년 북한에서 자연 재난으로 사망한 사람은 237명으로 전 세계 9위에 해당한다. 또한 2018년 발표한 「경제적 손실과 빈곤, 재난 1998~2017」 보고서(Economic Losses, Poverty & DISASTERS 1998~2017)에서 북한은 지난 20년간 GDP 대비 자연 재난 피해가 가장 큰 10개국 중 하나로 동 기간 평균 연간 GDP의 7.4% 손실을 보았다고 발표했다(CRED and UNISDR, 2018).

최근에 발표된 ‘2024 세계 기아 지수’ 보고서(2024 Global Hunger Index)에서는 북한이 118위를 기록해 ‘세계에서 가장 기아 상태가 심각한 10개국’ 중 하나라고 제시하고 있는데 이는 국가 인프라 시설 특히 물과 관련된 인프라 시설이 부족하거나 노후화된 것이 식량부족의 원인 중 하나로 판단된다.

북한 압록강 홍수에 대한 기록은 1995년, 2010년 등이 있으며, 2010년 홍수의 경우 2010년 8월 19일부터 이틀간 최고 600여mm의 폭우가 내렸다고 언론(연합뉴스, 2010. 8. 24)에서 보도했다. 2024년도는 2010년과 비슷한 규모로 7월 25일부터 29일까지 압록강 유역에 많은 비가 내려 평안북도(신의주 등), 자강도, 양강도가 피해를 보았으며, 북한이 밝힌 공식 수치로만 이재민 1만 5,400명이 발생하는 등 대규모 홍수 피해를 보았다.

[그림 1] 세계 자연재해 발생 현황



자료: CRED, 2023 Disasters in numbers, 2024.

그러나 북한 홍수 피해의 정량적 규모에 대한 분석은 거의 제시되고 있지 않다. 이는 북한이 대표적인 비접근지역이고, 관측자료 또한 시공간적으로 관측 밀도가 낮은 지역으로 북한 관련 데이터 수집의 어려움과 군사기밀, 보안 등으로 인한 접근의 어려움 등 북한 관련 자료의 불충분/정보 부재에 기인한 것으로 판단된다.

본고에서는 2024년 압록강 하류인 신의주지역에 발생한 홍수에 대하여 언론보도에 나타난 정보와 위성으로부터 유도된 위성강수 자료, 글로벌 지형 정보인 AW3D30 등 이용 가능한 자료를 활용하여 홍수규모를 정량 분석하고 홍수규모에 따른 침수 범위를 추정하는 것을 목적으로 하였다.

## II. 2024년 압록강 홍수

### 1. 강우량 분석

북한 기상수문국이 밝힌 바에 따르면 2024년 7월 25일 00시부터 28일 20시까지 평안북도 천마군 635mm, 운산군 642mm, 대관군 487mm, 자강도 송원군 554mm, 만포시 472mm 강수가 내려 압록강 하류에 대규모 홍수가 발생하였다고 보도하였다.

본 연구에서는 북한 신의주 부근의 홍수량 분석을 위해 북한 기상수문국이 언급한 북한 5개 지역(2024년 7월 25일 00시~2024년 7월 28일 20시)의 총강우량과 WMO(World Meteorological Organization)의 GTS(Global Telecommunication System)를 통해 강우 자료 수집이 가능한 연구지역 인근 관측소 6개소(중강, 강계, 수풍, 신의주, 구성, 희천)에 대하여 2024년 7월 24일 21시~2024년 7월 28일 21시까지 관측 강우량 자료를 수집하였으며, 이 기간 총강우량은 <표 1>과 같다.

<표 1> 지상 관측 총강우량

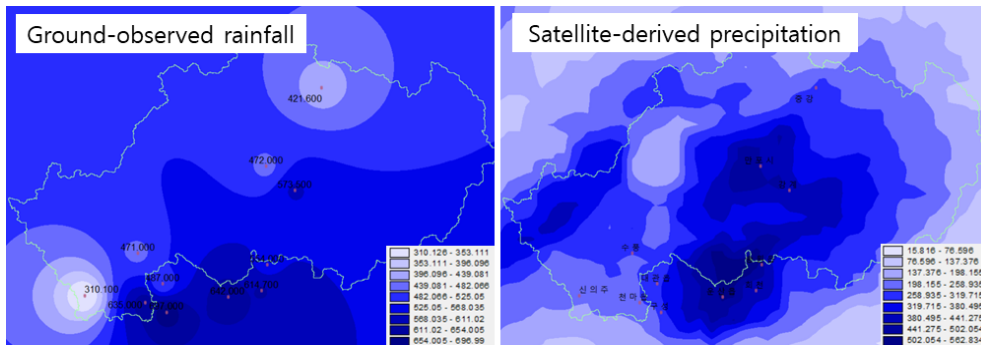
관측소	총강우량(mm)	관측소	총강우량(mm)
천마군	635.0	중강	387.3
대관군	487.0	강계	474.7
운산군	642.0	수풍	445.0
만포시	472.0	신의주	283.9
송원군	554.0	구성	615.0
		희천	539.0

북한의 기상수문국에서 제시한 지상 계측 강수량 자료는 최근 6시간 간격의 12시간 총강우량만을 제시하고 있다. 한편, 위성강수자료(Satellite precipitation products: SPPs)는 최근 수십 년 동안 주요 강수량 측정 방법 중 하나로 등장하였으며, 미국 NASA의 IMERG(Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM) 위성강수를 비롯해 NOAA기후예측 센터의 CMORPH(NOAA CPC Morphing), 일본 JAXA의 GSMaP(Global Satellite Mapping of Precipitation) 등 다수의 다중위성강수가 생산되고 있다.

GSMaP 위성강수는 GPM 위성에 탑재된 GMI의 수동 마이크로파 정보를 사용하여 JAXA에 의해 생산되며, 공간 및 시간 해상도는 각각  $0.10^{\circ} \times 0.10^{\circ}$  및 1시간으로 북한 관측소에서 제시하는 지상 계측 자료보다 시·공간 해상도가 우수하다. 본 연구에서는 북한에서 제시한 총강우량을 참값으로 하고 총강우량에 대한 시간 분포는 GSMaP의 1시간 간격 자료의 시간 분포를 이용하였다.

<표 1>에 제시된 총강우량을 이용하여 IDW 공간 보간을 통해 총강우량에 대한 공간 분포를 [그림 2]와 같이 나타냈으며, 위성강수자료는 전 세계 남북위  $60^{\circ}$  범위에 대하여  $0.10^{\circ} \times 0.10^{\circ}$  격자의 공간 강수 자료를 제공하고 있으며, [그림 2]와 같이 연구 범위를 추출하여 나타낸 것이다. 지상 관측 자료의 경우 관측소를 중심으로 강우가 분포되는 Bull's eye가 나타나는 양상을 보이나 두 자료 모두 평안북도지역에 많은 강우가 관측되어 대체로 유사한 공간 분포를 보이는 것으로 판단된다.

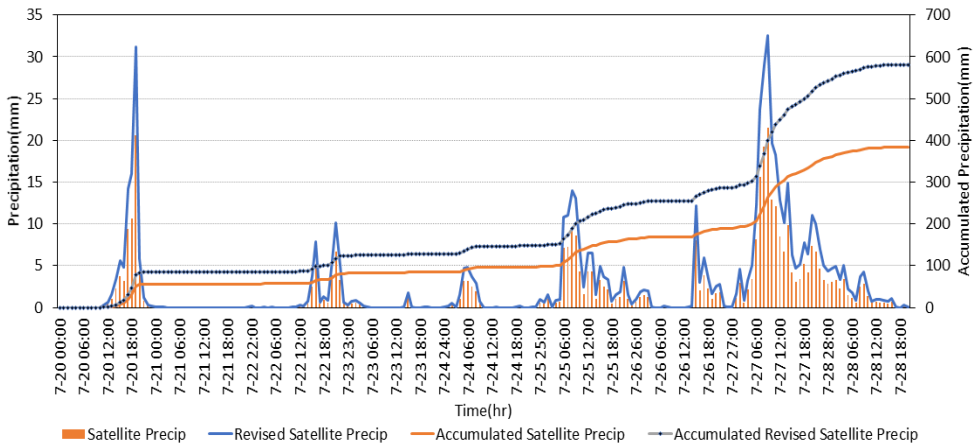
[그림 2] 강우 공간 분포



지상 총강우량을 이용하여 위성강수를 [그림 3]과 같이 보정하였으며, 2024년 7월에 나타난 압록강 유역의 72시간 지속기간을 갖는 위성보정강수의 총강우량은 563.4mm로 분석되었다. 이 총강우량에 대한 빈도는 한국건설기술연구원(2020)의 『위성자료를 이용한 북한 홍수범람

분석 기술 개발』의 자료에서 제시한 6개 관측소의 72시간 지속시간을 갖는 500년 빈도 강우량인 강계(226.2mm), 신의주(442.7mm), 희천(586.2mm) 등과 비교한 결과 500년 빈도를 상회하는 것으로 나타났다.

[그림 3] 위성강수와 보정위성강수

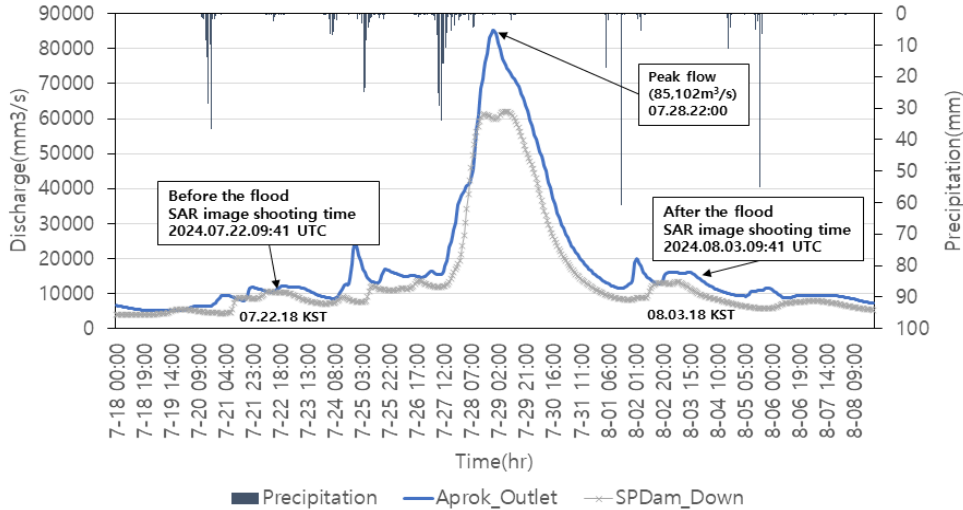


## 2. 홍수량 분석

범람 분석대상 지역인 압록강지역의 홍수량 계산을 위해 한국건설기술연구원에서 개발한 GRM 모형을 이용하였다. 넓은 미계측 지역에 있는 임의 지역의 침수 평가를 위해서는 미계측 지역 내 임의 지점에서 유역 홍수량 산정이 가능해야 한다. 이를 위해서는 분포형 모형 활용이 적합하며, 본 연구에서는 국내외에서 적용성이 충분히 검증되고, 기술이 공개된 GRM(Grid based Rainfall-runoff Model) 모형을 적용하였다.

GRM 모형은 정형 사각 격자를 기반으로 하는 물리적 분포형 강우-유출 모형으로 증발산, 용설, 차단, 지표면 유출, 지표하 유출, 기저유출 등을 모의할 수 있다. 운동파 방정식을 이용해서 지표면 흐름을 해석하며, 토양으로의 침투는 Green - Ampt 방정식을 이용한다. 본 연구에서는 증발산, 용설, 차단외의 모의를 제외하고 강우-유출 사상을 모의하였다. GRM 모델에 대한 상세 사항은 최윤석·김경탁(2024)을 참고할 수 있다. 강우량 자료는 지상 계측 총강우량과 위성강수의 시간 분포 자료를 이용하고, 위성강수 보정계수를 적용한 [그림 3]의 위성보정강수를 GRM 모형의 입력 자료로 적용하였다.

[그림 4] 압록강 출구점의 유출수문곡선



모형 적용 결과 [그림 4]와 같이 압록강 출구점의 침투유출이 발생한 시간은 7월 28일 22시(Korea Standard Time, KST)이고, 침투유출량은 85,102 m<sup>3</sup>/s로 분석되었다. 한국건설기술연구원(2020) 『위성자료를 이용한 북한 홍수범람 분석 기술 개발』의 압록강 유역 출구점에 대한 지속기간 24시간 - 재현기간 200년 빈도의 홍수량 분석에서 홍수량이 약 40,000m<sup>3</sup>/s 정도로, 금번 홍수량이 200년 빈도 홍수량을 크게 상회하는 결과로 나타나 앞서 제시한 강수량 분석의 500년 빈도를 상회하는 결과와 부합하는 것으로 판단된다. [그림 4]의 두 개의 유출량 시계열 자료는 각각 압록강 출구점(파란색)과 압록강의 상류에 위치한 수풍댐 하류부(회색)에서의 유출량을 나타낸 것이다.

### III. 침수 범위 분석

#### 1. 홍수방어 시설(수방벽)

중국의 단둥 시까지 압록강 변에는 일제 강점기 때부터 가동된 수방벽이 있다. 단둥 곳곳에 널려 있는 노천 탄광을 압록강 범람에서 지키기 위해 일제가 설치한 것을 중국이 꾸준히

시설을 보완·유지해 오고 있다(연합뉴스, 2010. 8. 24). 유사시에는 [그림 5]와 같이 도로 좌우에 설치된 5m 높이의 콘크리트 기둥 사이에 철제 빔을 세우고 5cm 두께 목재를 층층이 쌓아 홍수방지문을 만들어 압록강이 범람하더라도 강물이 시가지로 들어오는 것을 차단할 수 있는 시설이다.

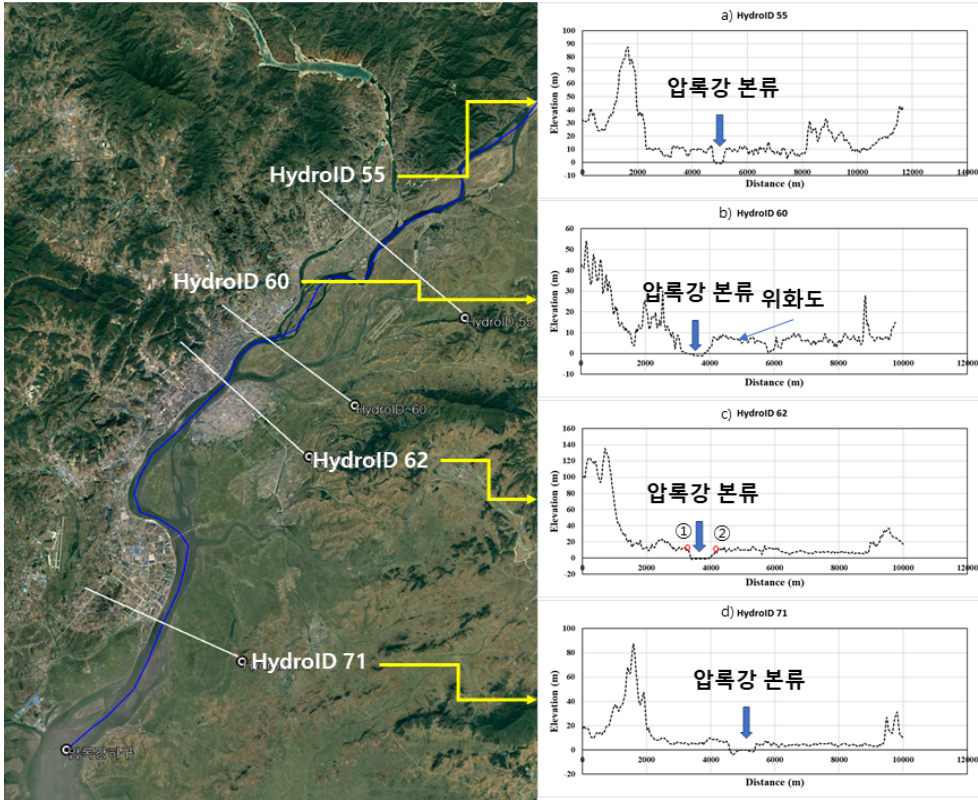
[그림 5] 단둥시 수방벽 및 홍수방지문



## 2. 지형 특성 분석

압록강을 사이에 둔 단둥지역과 압록강지역의 지형분석을 위해 일본 JAXA에서 제공하는 ALOS World 3D-30m(AW3D30) DSM을 이용하였다. AW3D30 자료를 이용하여 압록강 횡단면 자료를 추출한 결과 [그림 6]과 같이 중국 단둥지역의 고도가 높고 신의주지역이 낮다는 것을 확인할 수 있다. [그림 6]의 a) HydorID 60지점이 조종우의교 근처 횡단면 자료이다. 이 지점의 단둥지역인 ①번의 해발고도는 12.37m이고 신의주지역인 ②번이 10.54m로 분석되어 약 2m 정도의 고도차가 있는 것으로 분석되어 압록강이 범람할 경우 단둥지역보다는 신의주지역이 홍수에 취약한 것으로 판단된다.

[그림 6] 압록강 횡단면도

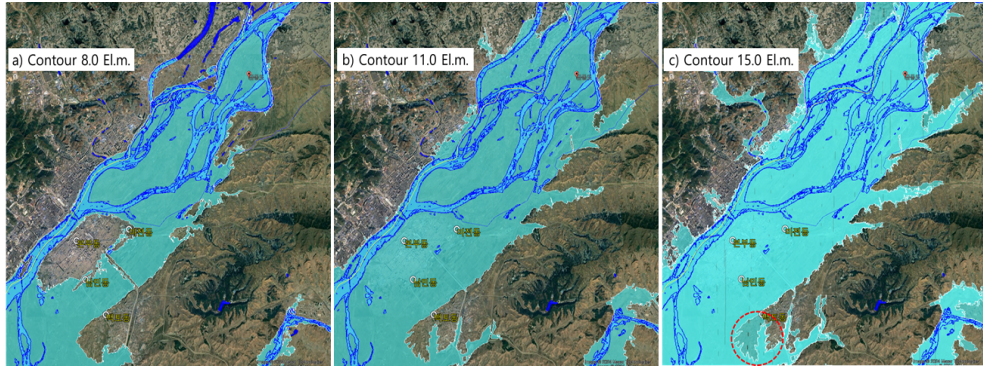


### 3. 지형 자료를 이용한 침수 범위 분석

DEM은 홍수모델링과 함께 홍수 매핑 및 모델링을 돕기 위해 다양한 방식으로 사용되어 왔다. 본 연구에서는 AW3D30를 이용하여 1m 간격의 등고선을 추출하였고, 등고선 고도별에 따른 침수 범위를 분석하였다.

언론에서는 “신의주 본부동, 강안동 일대는 아파트 3~4층까지 물이 차고 마전동, 남민동, 신상동, 백토동, 상단동, 하단동 등지의 피해가 심각하다”고 보도(『SPN 서울평양뉴스』)하고 있으며, AW3D30로 추출한 8m 등고선에서는 [그림 7]의 a)와 같이 신의주 본부동이 침수되기 전이며, 등고선 높이 9m부터 침수되기 시작하였고, [그림 7]의 c) 등고선 높이 15m에서 빨간색 원이 백토동 지역으로 등고선 15m에서 침수된 것으로 분석되어 신의주 본부동, 마전동, 남민동, 백토동 등의 지역에서 AW3D30의 등고선 높이 15m 이상의 범위가 침수

[그림 7] AW3D30를 이용한 신의주 지역 홍수 범람 분석



범람 구역으로 판단된다. [그림 7]에서 보는 바와 같이 압록강을 사이에 두고 단둥지역보다는 신의주지역이 홍수 범람 범위가 매우 넓게 분포된 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 단둥지역보다 신의주지역의 지면 고도가 낮은 것에 기인하는 것으로 판단되며, 단둥지역의 수방벽의 효과를 고려한다면 신의주지역에 더 넓은 범위의 침수 면적이 나타날 것으로 판단된다.

#### IV. 맺음말

북한은 대표적으로 계측 자료 확보가 곤란하고 접근 불가능한 지역으로 북한지역에 대한 홍수 발생 시 즉각적인 홍수 분석을 수행하기 어려운 지역이다. 이러한 지역에 대한 정보들은 언론을 통해 제시되는 정보들과 WMO의 GTS 기상 자료, 그리고 위성 영상으로 EO와 SAR 등의 자료 취득이 가능하며, 미국 NASA의 IMERG와 일본 JAXA의 GSMaP 등의 위성강수, 그리고 글로벌 GIS 자료 등을 이용하여 분석이 가능하다.

본 연구에서는 상기 가용한 자료를 이용하여 2024년 7월 압록강 하류지역의 홍수범람 분석을 수행하였다. 본 연구를 통해 도출한 결과, 한계점 및 향후 개선방안은 다음과 같다.

2024년 7월 압록강에 내린 강우량 규모는 언론보도에서 제시된 값을 기본으로 위성강수자료와 보완 분석을 통해 72시간 지속시간을 갖는 총강우량이 500년 빈도를 상회하는 것으로 분석되었으며, 이 자료를 이용하여 홍수량을 분석하였다.

강수량 분석에서 위성강수가 과소 추정되는 경향이 있으나 언론에서 제시한 정보와 WMO의 GTS를 통해 획득한 자료를 이용하여 위성보정강수를 생산할 수 있으며, 이를 이용한 홍수량을 산정할 수 있음을 제시하였다.

언론에서 제시한 홍수 정보와 글로벌 지형 자료를 이용하여 직접적으로 계측하거나 자료를 취득할 수 없는 북한지역의 홍수 범람 범위를 간접적으로 추정하기 위해 DEM/DSM 자료를 이용하여 의미있는 홍수 범람 범위를 추출할 수 있음을 확인하였다.

본고에는 기술하지 않았지만 ESA(European Space Agency)의 Sentinel-1A 영상을 이용하여 홍수 전·후의 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상(그림 4의 촬영 시점 참조)으로부터 수체를 탐지하여 홍수 범람 범위 분석을 수행하였다. 영상 분석결과 침투홍수가 발생한 2024년 7월 28일 22시(KST)보다 늦은 8월 3일 18시(KST) 영상으로 최대 침수 범위를 추출하는데 한계가 있음을 확인하였다. 이는 본 연구에서 활용한 Sentinel-1 영상의 경우 재방문 주기가 12일이고, 침투홍수가 발생한 시점의 영상 획득이 어렵기 때문이다.

향후 계산된 홍수량 자료를 바탕으로 1차원 및 2차원의 수리·수문학적 모형의 활용을 통해 보다 과학적인 홍수 범람 범위를 추출할 수 있는 연구가 필요하다.

## 참고문헌

최윤석 · 김경탁, 『Grid based rainfall-runoff model user's manual』, 한국건설기술연구원, 2024.

한국건설기술연구원, 『위성자료를 이용한 북한 홍수범람 분석 기술 개발(3차년도)』, 2020.

CRED, “2023 Disasters in Numbers”, 2024.

CRED and UNISDR, “Economic Losses, Poverty & Disasters 1998–2017”, 2018.

Germanwatch, “Global Climate Risk Index 2013”, 2012.

UNDRR, “National Report of DPR Korea”, 2022.

<웹사이트>

『SPN 서울평양뉴스』(<https://www.spnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=83508>,  
접속일: 2024. 7. 29).

『연합뉴스』(<https://www.yna.co.kr/view/AKR20100824076700097>, 접속일: 2024. 9. 26).