J Korean Soc Disaster Secur 16(4): 61-66, 2023
https://doi.org/10.21729/ksds.2023.16.4.61

Print ISSN: 2466-1147 Online ISSN: 2508-285X
www.dssms.org

KSDS

Original Article

2차원 모형을 이용한 삼척오십천 소하천 합류 지점 침수해석에 관한 연구

김도진[1] · 전계원[2]*

[1]강원대학교 방재전문대학원 석사과정, [2]강원대학교 방재전문대학원 교수

Study on the Inundation at the Merging Area of Osipcheon and Local Stream Using a Two-Dimensional Model

Do Jin Kim[1] and Kye Won Jun[2]*

[1]Master Course, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

[2]Professor, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

요 약

본 연구에서는 2020년 9월 태풍 마이삭 · 하이선으로 인한 침수가 일어난 삼척중학교 주변을 분석하였다. 삼척 오십천과 소하천인 등봉천 합류 지점의 침수특성을 분석하기 위해 2차원 수리 모형인 Iber를 적용하였다. 연구에서는 2020년 9월 3일과 9월 7일의 최대유량 및 80년, 100년 빈도 홍수량을 기반으로 침수 깊이와 침수 범위를 모의하였다. 모의 결과, 9월 7일에는 80, 100년 빈도 홍수량에서 미미한 차이를 나타냈으나, 9월 3일에서 9월 7일에 최대 유량 차이가 401 m^3/s로 나타나 침수 깊이에서는 0.8 m, 침수 범위에서는 7.1 m^2의 상당한 차이를 보였다 또한, DEM을 이용한 등고선만을 고려한 분석에서는 삼척중학교 운동장뿐만 아니라 건물까지 침수가 예측되어 고정밀 지형자료인 DSM의 적용이 필요함을 확인하였다.

핵심용어: Iber 모형, 빈도 별 홍수량, 태풍 마이삭 · 하이선, 삼척오십천

ABSTRACT

In this study, we analyzed the flooded area around Samcheok Middle School caused by typhoons MAYSAK · HAISHEN in September 2020. To analyze the confluence of Samcheok Osipcheon, local stream Deungbongcheon, we utilized Iber, a two-dimensional hydraulic model. We simulated the water depth and flood extent based on the peak flows on September 3 and September 7, 2020, and the 80 year and 100 year frequency floods. The simulation results showed that the 80-year frequency flood and the 100-year frequency flood on September 7 were insignificantly different, but the maximum flow rate from September 3 to September 7 was significantly different at 401 m^3/s, resulting in a difference of 0.8 m in water depth and 7.1 m2 in flood area. In addition, the analysis that considered only the contour lines using contour lines predicted inundation of not only the Samcheok Middle School playground but also the building, confirming the need to apply DSM.

Keywords: Iber model, Flood frequencies, Typhoons MAYSAK · HAISHEN, Samcheck Osipcheon

***Corresponding author:** Kye Won Jun, kwjun@kangwon.ac.kr **ORCID:** http://orcid.org/0000-0003-0399-1412

Received: 13 December 2023, **Revised:** 22 December 2023, **Accepted:** 23 December 2023

© Korean Society of Disaster & Security. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

우리나라 홍수기에는 주로 홍수, 태풍 등 풍수해 재난이 발생하여 하천 수위가 증가하면서 하천 주변에 침수 피해가 발생하고 있다. 2020년 9월 태풍 마이삭·하이선 등의 영향으로 인해 삼척 오십천 하류부에 위치한 삼척중학교 및 주변이 침수되는 피해가 발생하였다. 삼척중학교가 위치한 오십천의 상류부는 산악지형을 형성하고 있으며 하류부에는 도시가 형성되어 있어 하상경사가 급하며, 유로의 길이가 짧고 대체로 심한 만곡으로 이루어져 있다(Jun, 2013). 이로 인해 하류부에서는 상류부보다 더 큰 침수피해가 발생하는 경향을 보인다. 연구대상지역인 오십천과 소하천인 등봉천이 합류되는 지점은 이러한 이유로 인해 침수피해가 발생한 지역이다.

Jun(2013)은 삼척 오십천을 중심으로 HEC-RAS를 이용해 태풍 산바의 영향을 분석하는 연구를 진행하였으나 만곡의 영향을 받는 오십천의 특성을 반영하는데는 한계가 있어 2차원 수치해석 모형의 필요성이 대두 되었다. 본 연구에서는 대상지역에 2차원 모형을 적용하기 위해 2차원 천수방정식과 유한체적법을 이용하는 Iber 모형을 이용하였다. Iber 모형은 스페인에서 개발되었으며 최근 도심지 주변의 침수해석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Martins et al.(2018)은 Iber 모형을 활용해 포르투갈의 Amarante(포르투갈 북부)의 10년, 100년, 500년 재현기간을 이용해 홍수에 의한 침수를 분석하였다. 국내에서는 Lee(2022)가 삼척오십천을 대상으로 만곡부의 수리특성을 분석하였고 Jun and Kim(2023)이 Iber 모형을 적용하여 삼척오십천 내 침수위험구간의 수리특성을 분석하였다.

본 연구에서 2차원 모형인 Iber를 이용해 삼척 오십천과 소하천 등봉천의 합류 지점의 수리특성을 분석하고 홍수량 변화에 따른 침수지역 변화를 확인하였다.

2. Iber 모형의 기본이론

2.1 모형의 개요

Iber 모형은 2010년에 스페인 물과 환경 엔지니어링 그룹(GEAMA)과 스페인 수로학 연구센터(CEDEX)의 협력으로 개발한 강과 하구의 자유 표면 흐름을 시뮬레이션하기 위한 2차원 수치 모형이다. Iber 모형은 2차원 수리해석 모형으로 퇴적물 운송, 수질 모델링, 홍수 분석, 유압구조 평가 등에 이용되고 있다. Iber 모형의 특징으로는 비구조적 유한요소망을 이용해 세밀한 격자를 구성해 복잡한 지형에도 적용이 가능하고 유한체적법을 이용해 적분을 취하여 인접한 노드에서의 물리량과 상관관계를 구성해 근사해를 구하는 방법을 이용하고 있다(Lee, 2022).

2.2 지배방정식

Iber 모형은 2차원 천수방정식(2D-Shallow Water Equations)을 기반으로 계산된다. 2차원 천수방정식은 이산화하여 현실적인 문제에서 정확하고 안정적인 결과를 제공한다(García-Navarro et al., 2019). 이를 이용한 수치모델은 해안 및 하천공학, 홍수지역 평가, 하상변동 수질평가 계산에 사용된다(Iber, 2014). 하천의 흐름과 하구의 파도흐름에 이상적으로 나타내는 장점이 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial h U_x}{\partial x}+\frac{\partial h U_y}{\partial y}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial h U_x}{\partial t}+\frac{\partial h U_x^2}{\partial x}+\frac{\partial h U_x U_y}{\partial y}=-gh\frac{\partial Z}{\partial x}+\frac{\tau_{s,x}}{\rho}-\frac{\tau_{b,x}}{\rho}-\frac{g}{p}\frac{h^2}{2}\frac{\partial p}{\partial x}+2\Omega\sin\lambda U_y+\frac{\partial h\tau_{xy}^e}{\partial x}+\frac{\partial h\tau_{xy}^e}{\partial y} \tag{2}$$

$$\frac{\partial h U_x}{\partial t}+\frac{\partial h U_x U_y}{\partial x}+\frac{\partial h U_y^2}{\partial y}=-gh\frac{\partial Z}{\partial y}+\frac{\tau_{s,y}}{\rho}-\frac{\tau_{b,y}}{\rho}-\frac{g}{p}\frac{h^2}{2}\frac{\partial p}{\partial y}-2\Omega\sin\lambda U_x+\frac{\partial h\tau_{xy}^e}{\partial x}+\frac{\partial h\tau_{yy}^e}{\partial y} \quad (3)$$

여기서, h는 침수 깊이, U_x는 x축 유속, U_y는 y축 유속, g는 중력가속도, Z는 자유면 고도, τ_s는 풍력으로 인한 자유면 마찰, τ_b는 하상마찰, ρ는 밀도, Ω는 지구의 회전 각속도, λ는 구간의 위도, τ_{xx}^e, τ_{xy}^e, τ_{yy}^e는 전단응력을 나타낸다.

3. 연구대상지역 선정 및 구축

3.1 연구대상지역 선정

강원도특별자치도 삼척에 위치한 지방하천 삼척 오십천과 소하천 등봉천 합류 지점에 위치한 삼척중학교는 2020년 9월 3일, 9월 7일 태풍 마이삭·하이선의 영향으로 침수가 발생하였다. 9월 3일에는 실제로 삼척중학교에서 0.7 m 이상의 침수심이 발생하였다. 삼척 오십천 유역은 산악지형이 상류부를 형성하고 하류부에는 도시가 형성되어 있고 49.17%의 평균경사를 나타내고 있으며 등봉천은 통수능이 작은 소하천의 특성이 잘 나타나 있다.

Fig. 1은 연구대상지역을 나타내고 Fig. 2는 삼척중학교와 소하천인 등봉천, 2020년 9월 3일 침수 당시의 현장을 보여주고 있다.

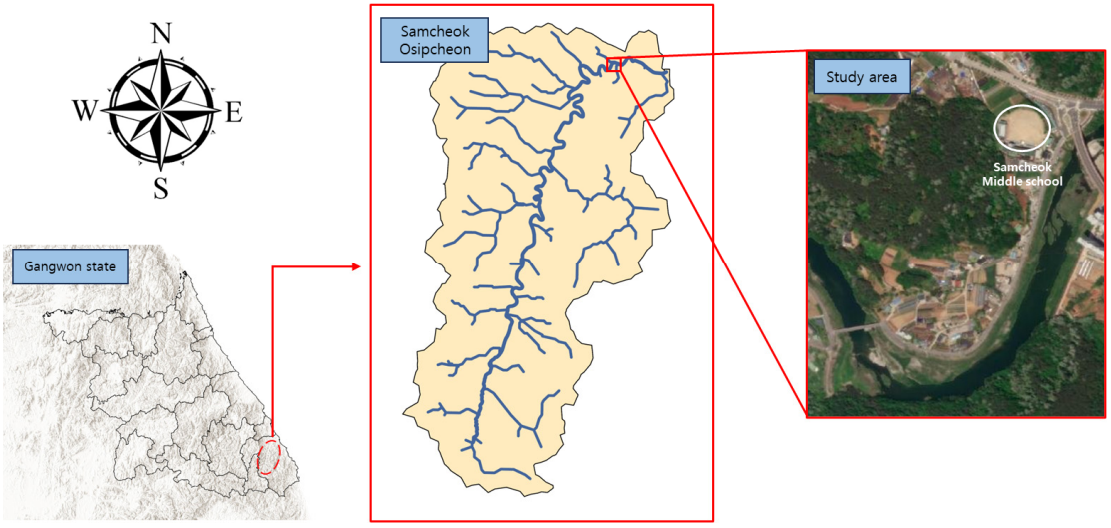

Fig. 1. The selected study area

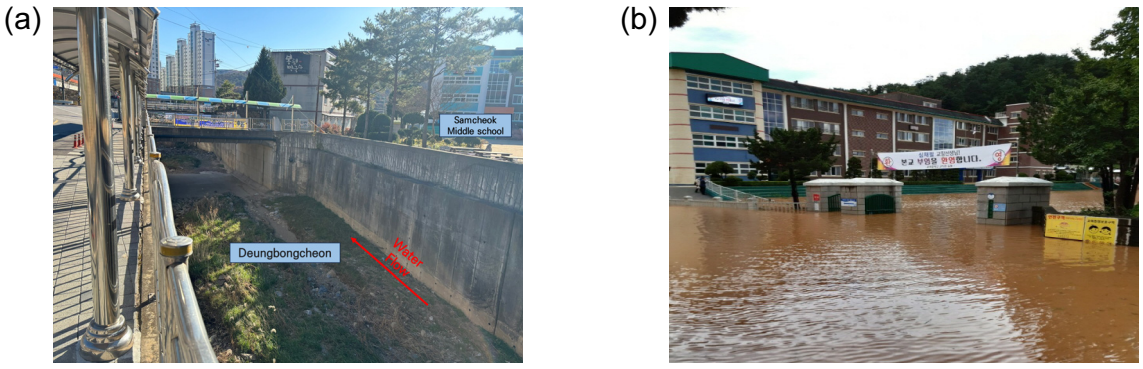

Fig. 2. (a) Samcheok middle school, (b) 2020.09.03. Samcheok middle school flood (Samcheok City, 2020)

3.2 연구대상지역 구축

연구대상지역은 1 m × 1 m 간격의 DEM으로 구축하였으며 Iber 모형의 모의를 위해 구성된 격자망은 Node 106,356개 Elements 211,752개로 이루어졌다. 조도계수는 삼척오십천하천기본계획에 명시된 삼척중학교가 위치한 하류부의 조도계수인 0.035(Samcheok City, 2019)를 입력하였고 주거지역은 Kinematic wave공식의 따른 토지이용 조도계수에서 저밀도 주거지역에 해당하는 0.030의 조도계수를 입력했다(Jeon, 2016). 유량은 한강홍수통제소에서 제시한 엑스포교 상류의 80년, 100년 빈도 홍수량을 활용하였다. 오십천교 수위관측소의 관측된 유량밖에 없는 2020년 9월 3일, 9월 7일 경우 빈도별 홍수량에서 오십천 수위관측소와 엑스포교 상류의 유량 차이가 0.99%차이가 발생하여 2020년 9월 3일, 9월 7일의 한시간 간격의 최대유량을 0.99%를 나누어 적용했다.

Fig. 3은 연구대상지역의 조도계수 적용범위를 나타내고 Table 1, Table 2는 Iber에 적용한 입력 변수를 나타내었다.

Fig. 3. Study area boundary

Table 1. Boundary conditions for Iber

Boundary conditions			
Mesh		Manning	
Node	Elements	River	Residential
106,356	211,752	0.035	0.030

Table 2. Flood discharge by division (HRFCO, 2023; WAMIS, 2023)

Peak flood discharge				
Situation	2023.09.03	2023.09.07	80 yr Flood	100 yr Flood
Discharge (m^3/s)	1,826	2,227	2,332	2,425

4. 결 과

본 연구에서는 침수심과 침수면적을 날짜 별, 빈도 별 최대홍수량을 적용한 결과를 분석하였다. 침수심을 삼척중학교 중앙 위치를 분석한 결과 9월 3일에서 0.6 m로 실제로 발생한 침수심 0.7 m 이상으로 약 0.1 m의 차이가 발생하였다. 9월 7일에서 1.4 m로 분석되었다. 또한 빈도 별 홍수량에서는 80년 빈도 홍수량에서 1.6 m, 100년 빈도 홍수량에서 1.7 m가 분석되

었다. 100년 빈도에서는 2021년 교육부에서 제시한 강원도 중학생 키 평균인 남자 166.2 cm, 여자 159.5 cm로(KOSIS, 2023) 중학생 평균 키를 넘는 침수심이 분석되었다.

Iber 모형을 적용해 모의한 침수 면적을 GIS를 활용하여 분석한 결과 삼척중학교를 포함한 일대에서 침수가 발생한 걸 확인할 수 있었다. 삼척중학교를 포함한 주변의 침수 면적은 9월 3일에서 21.2 m^2, 9월 7일에서 28.3 m^2로 분석되었다. 또한 빈도 별 홍수량에서는 80년 빈도 홍수량에서 30 m^2, 100년 빈도 홍수량에서 31 m^2이 분석되었다.

날짜 별, 빈도 별 모의결과의 침수심 및 침수면적 분석지역은 Fig. 4와 침수심 및 침수 면적의 결과는 Table 3과 같다.

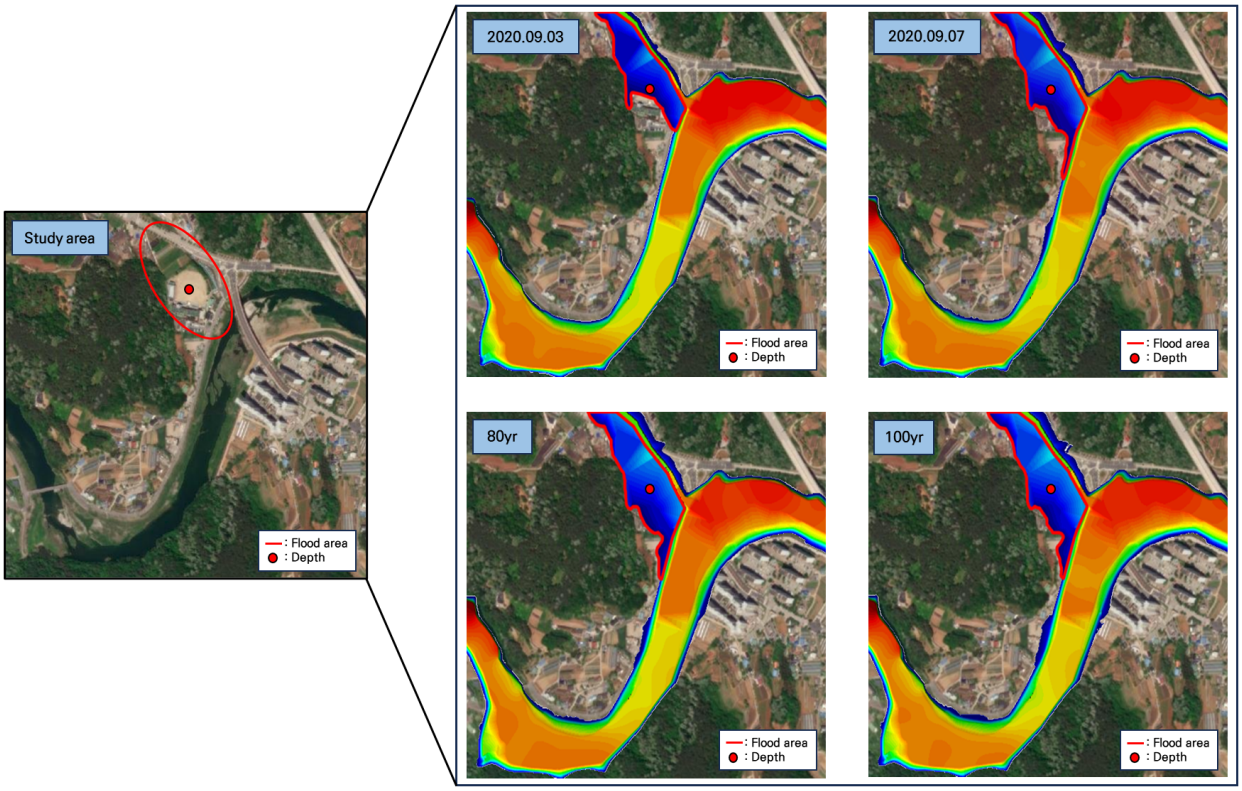

Fig. 4. Simulation results by situation

Table 3. Depth and flood area by situation

Flood area	Depth (m)			
Situation	2020.09.03	2020.09.07	80 yr Flood	100 yr Flood
Depth (m)	0.6	1.4	1.6	1.7
Flood area (m)	21	28	30	31

5. 결 론

본 연구에서는 2020년 9월 3일, 9월 7일에 태풍 마이삭·하이선에 의해 침수가 일어난 삼척중학교 주변의 DEM을 구축하고 침수가 발생한 9월 3일, 9월 7일과 80년, 100년 빈도 홍수량의 최대 유량을 활용해 침수심과 침수 면적을 분석하였다.

Iber 모형의 적용을 통해 얻은 침수심과 침수 면적을 비교 분석한 결과 9월 7일, 빈도 별 홍수량인 80, 100년 빈도 홍수량에서 미미한 차이를 보였지만, 9월 7일과 9월 3일의 최대 유량의 차이가 401 m^3/s를 보여 침수 깊이에서는 0.8 m 차이, 침수 범위에서는 7.1 m^2의 차이를 보여 상당한 차이를 보였다. 하지만 등고선만 적용한 DEM으로 분석한 결과, 9월 7일, 80, 100년

빈도 홍수량에서 삼척중학교의 운동장 뿐만 아니라 건물까지 침수되는 결과가 도출되었다. 향후 연구에서는 보다 정도높은 분석을 위해 고정밀도지형자료(DSM)를 적용한 연구를 수행할 계획이다.

Acknowledgments

This paper work (or document) was financially supported by Ministry of the Interior and Safety as Human Resource Development Project in Disaster Management.

References

García-Navarro, P., J. Murillo, J. Fernández-Pato, I. Echeverribar, and M. Morales-Hernández. (2019). The Shallow Water Equations and Their Application to Realistic Cases. Environmental Fluid Mechanics. 19: 1235-1252.

HAN RIVER Flood Control Office. (2023). Real-Time Hydrological Data (https://www.hrfco.go.kr/). Seoul: HRFCO.

Iber. (2014). IBER Hydarulic Reference Manual. Barcelona: Iber.

Jeon, Seong In. (2016). The Hydrological Characteristics by LID Application for Recovery of Urban Function. Ph.D. Thesis. Chosun University. 20-22.

Jun, Kye Won and Do Jin Kim. (2023). Analysis of Flood Hazard Areas due to Superelevation Using the Iber Model - Focusing on Samcheok Osipcheon -. Crisisonomy. 19(7): 95-102.

Jun, Kye Won. (2013). Analysis of Flood Level Variation in Oship Stream Using HEC-RAS: Focuses on the Impact of the Typhoon Sanba. The Journal of the Korea Contents Association. 13(2): 498-504.

Korean Statistical Information Service. (2023). Current Status of Student's Sampling Physical Examination (Height) by Si, Do (https://kosis.kr/index/index.do). Jeonju: KOSIS.

Lee, Dong Hyeok. (2022). Analysis of Hydraulic Characteristics of River Bend Using IBER Model. Master's Thesis. Kangwon National University. 14.

Martins, M., A. A. Gomes, and P. P. Santos. (2018). Hydraulic Modeling for the Assessment of Flood Hazard Using the Iber Software in the Amarante Urban Center. Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G) Conference Proceedings. 18: Article 4.

Samcheok City. (2019). Samcheok Oscipcheon Basic River Plans (Change). Samcheok: Samcheok City.

Samcheok City. (2020). Inundation in Samcheok Middle School. Samcheok: Samcheok City.

Water Management Information System. (2023). National River Basin Flood and Probability Rainfall Information (http://www.wamis.go.kr/). Seoul: WAMIS.

Korean References Translated from the English

국가수자원관리종합정보시스템 (2023). 전국 하천유역 홍수량 및 확률강우량 정보(http://www.wamis.go.kr/). 서울: 국가수자원관리종합정보시스템.

국가통계포털 (2023). 시 · 도별 학생표본 신체(키) 검사 현황(https://kosis.kr/index/index.do). 전주: 국가통계포털.

삼척시청 (2019). 삼척 오십천 하전기본계획(변경). 삼척: 삼척시청.

삼척시청 (2020). 물에 잠긴 삼척중학교. 삼척: 삼척시청.

이동혁 (2022). 하천 만곡부 수리특성 분석을 위한 IBER모형 적용에 관한 연구. 석사학위논문. 강원대학교. 14.

전계원 (2013). HEC-RAS를 이용한 오십천의 수위변화 해석. 한국콘텐츠학회논문지. 13(2): 498-504.

전계원, 김도진 (2023). Iber 모형을 이용한 편수위 발생에 따른 범람위험지역에 대한 분석 - 삼척 오십천을 중심으로 -. Crisisonomy. 19(7): 95-102.

전성인 (2016). 도시기능 복원시 LID적용에 따른 수문특성. 박사학위논문. 조선대학교. 20-22.

한강홍수통제소 (2023). 실시간 수문자료(https://www.hrfco.go.kr/). 서울: 한강홍수통제소.