

# 저수지 붕괴 홍수파 3차원 수치해석 방법론 개발<sup>†</sup>

이중혁\* · 최 원\*\*

\*서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학전공 박사과정 · \*\*서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학전공 부교수 · 농업생명과학연구원 겸무연구원 · 융합전공 글로벌 스마트팜전공 참여교수

## I. 서론

2018년 기준으로 국내 17,240개의 저수지 중 81.2%가 축조 후 50년이 지난 노후화 시설물이며(농어촌공사, 2018), 최근 기후 변화로 인해 기상재해가 증가하면서 저수지의 붕괴 사고가 빈번히 발생하고 있다. 현재 저수지의 붕괴로 인한 피해를 사전에 예측하고, 비상대처계획 수립을 위해 일부 큰 규모의 저수지에 한해 홍수위험지도가 구축되어 관리되고 있으나, 실제 지형특성과 유체의 난류 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다(Jeon *et al.*, 2020). 특히, 홍수파 해석 시 지형조건에 따른 유체의 동역학적 변화는 홍수파 도달 범위 산정에 지대한 영향을 미치기에, 이를 고려한 홍수위험지도 구축이 절실히 요구된다.

따라서 본 연구는 저수지 붕괴로 인한 하류부 홍수파 도달 범위를 정밀하게 예측하기 위한 3차원 정밀 수치해석 방법을 개발하여, 저수지의 비상대처계획(emergency action plan, EAP) 수립에 활용되는 홍수위험지도의 정확성을 높이는 방법론을 제시하고자 하였다.

## II. 본론

저수지 붕괴로 인해 발생하는 홍수파는 제방의 파괴유형 및 하천의 형상과 수목, 건물 등이 복합적으로 얽힌 지형특성과 붕괴 당시 강우현황 등에 영향을 받는다. 따라서 홍수파 해석 기법은 급격한 홍수파의 확산과 제내지의 지형조건에 의해 변화하는 홍수파를 모두 해석할 수 있어야 한다. 이를 위해 첫째, UAV-SfM을 이용하여 범람지역의 3차원 지형자료를 구축하였다. 둘째, 자유수면을 묘사할 수 있는 Renormalized group 동적 난류 모델을 기반으로 3D 수치해석을 통해 복잡한 기하학적 토폴로지와 흐르는 물의 유체 역학적 에너지를 모두 고려하는 정밀 홍수파 해석 체계를 구축하였다. 셋째, 실제 홍수파 도달 흔적도와 비교하여 구축된 홍수파 해석 체계를 평가하고 기존 침수 해석방법과 비교하여 본 연구에서 제시하는 방법론의 필요성을 검토하였다.

## 1. 연구 대상 및 지형자료 구축

본 연구의 대상 지역은 2018년 7월 1일 붕괴되었던 충청남도 보성군 회천면 회령리에 위치한 모원저수지 하류부 일대이다. 모원저수지 붕괴 직후 하류부 일대를 UAV-SfM을 이용하여 pointcloud 데이터로 구축하였으며, 현장조사결과, 홍수파는 주변 약 22,816.67 m<sup>2</sup>에 피해를 입힌 것으로 분석되었다.

## 2. 경계조건 설정

저수지 붕괴 모의 시 홍수파 해석은 제체의 붕괴에 따른 유출량과 초기 저수지의 수위, 그리고 하천의 기저 수위에 지배된다. 다만 연구 대상지는 붕괴 당시 모니터링된 저수지 및 하천 수위 계측자료가 존재하지 않았기 때문에 저수지와 하천의 붕괴 당시 수위를 상황을 재현하기 위한 환경부(2019)의 홍수량 산정 방법을 이용하여 하도 구간별 홍수 유입량을 산정하였다. 또한 parametric breach prediction model(MacDonald and Langridgeonopolis(1984), Froehlich(1995), Froehlich(2008), Von Thun and Gillete(1990), Xu and Zhang(2009)을 이용해 저수지 붕괴 원인과 붕괴 지속시간, 붕괴 형상을 산정하여 해석 경계조건으로 설정하였다.

## 3. 홍수파 해석

구축된 지형자료, 경계조건을 3차원 자유수면 유동해석 모델인 FLOW-3D(v 11.2)와 기존 침수해석모델인 HEC-RAS 2D 모델(v 5.0.7)에 입력하고, 저수지 붕괴 모의를 수행한 후 실제 홍수파 도달 흔적과 비교하여 해석모델별 홍수파 확산 재현율을 평가하였다.

## III. 결과

실제 홍수파 도달 흔적과 비교해 해석모델별 홍수파 확산 재현율을 평가한 결과는 Table 1과 같다.

<sup>†</sup> 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농업기반 및 재해대응 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호: 321066-3)

Table 1. Comparison of estimated flood wave travel domain

Case	Domain A <sup>a</sup> (m <sup>2</sup> )	Domain B <sup>b</sup> (m <sup>2</sup> )	Comparison of A and B (B / A)
FLOW-3D	22,816.67	21,728.01	95%
HEC-RAS 2D		13,041.96	57%

a: Actual flood wave travel domain

b: Numerical flood wave analysis results

이러한 해석 결과의 차이는 2차원 모델의 경우, 해석 격자(mesh)마다 평균 깊이 계산방식을 취하고 있어, 3차원 모델에 비해 해석 격자 크기에 따라 지형 인식률에 영향을 크게 받는 것으로 분석되었다. 같은 mesh 크기를 가지고 있더라도 3차원 해석 모델은 mesh 내부의 부피비율 인식 방법(fractional area volume obstacle representation, FAVOR)을 이용함으로써 대상지역의 복잡한 지형을 인식하는데 2차원 모델보다 유리하였다. 또한 FAVOR는 유한체적법(finite volume method, FVM)을 이용한 홍수파 해석 시 mesh 내 유체의 분율을 고려할 수 있기 때문에 일반적인 유한체적법에 비해 자유수면을 고려할 수 있어, 비산 및 쇄파의 복잡한 난류해석이 가능하다고 분석되었다.

본 결과를 토대로 기존 홍수파 해석 방법과 비교하여 본 연구

에서 제시하는 홍수파 해석 방법론은 홍수파의 저수지 붕괴에 따른 홍수파의 확산 범위를 더욱 정확하게 예측할 수 있다고 판단되어 EAP 구축 시 더욱 높은 정확도를 가지는 홍수위험지도 구축에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

## References

1. 농어촌공사(2019) 농업생산기반정비 통계연보 2018.
2. 환경부(2019) 홍수량 산정 표준지침. 발간등록번호: 11-148000-001604-14.
3. Froehlich, D. C.(1995) Peak outflow from breached embankment dam. *Journal of Water Resources Planning and Management* 121(1): 90-97.
4. Froehlich, D. C.(2008) Embankment dam breach parameters and their uncertainties. *Journal of Hydraulic Engineering* 134(12): 1708-1721.
5. Jeon, J. B., S. S. Yoon and W. Choi(2020) Development of downstream flood damage prediction model based on probability of failure analysis in agricultural reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 62(3): 95-107 (in Korean).
6. MacDonald, T. C. and J. Langridge-Monopolis(1984) Breaching characteristics of dam failures. *Journal of Hydraulic Engineering* 110(5): 567-586.
7. Von Thun, J. L. and D. R. Gillette(1990) Guidance on breach parameters. Internal Memorandum, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver.
8. Xu, Y. and L. M. Zhang(2009) Breaching parameters for earth and rock fill dams. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 135(12): 1957-1970.