홍수범람지도 작성을 위한 GIS기반 1차원 동역학적 해석 기법

An Analysis Method of 1D Hydrodynamic Model Based on GIS for Flood Inundation Mapping

김병현* · 최승용** · 한건연***

Kim, Byung Hyun · Choi, Seung Yong · Han, Kun Yeon

Abstract

Flooding as one of the major natural disasters affects country's economy. Most country is establishing a flood inundation maps as a non-structural measures to prevent damages from an abnormal flooding over the design criteria of hydraulic structures such as dams, storages, and levees et al. This study suggests method to establish GIS based inundation map induced by dam-break flood simulated by 1D hydrodynamic model(DAMBRK). In this study, the dam-break hydrograph were simulated by various scenario events and especially for the extreme event, peak discharge, peak water surface elevation, arrival time of flood wave and peak water surface elevation are calculated by flood routing at the control points and peak water surface elevation was compared with levee height to detect inundation. In addition, the detailed flood inundation mapping processes at each water level linking with GIS are presented in this study. The proposed method to establish a flood inundation map is able to complement the limitation of 1D hydrodynamic model in analyses of flood plains.

Key words : Flood inundation map, 1D hydrodynamic model, DAMBRK, GIS

요 지

홍수는 한 국가의 발전에 영향을 미칠 수 있는 주요 자연재해 중 하나이다. 세계 각국에서는 댐, 저류지, 제방 등과 같은 수공 구조물의 설계빈도를 초과하는 이상 홍수가 발생할 경우에 대비하여 비구조적 대책의 일환으로 홍수범람지도를 작성하고 있다. 본 연구는 댐 붕괴에 대한 1차원 하천수리해석 모형(DAMBRK)과 GIS를 연계한 홍수범람지도 작성 방법에 관해 보여 준다. 이를 위해 여러 가지의 댐 붕괴 시나리오에 따라 붕괴유출량을 산정하고, 이 중 가장 극한조건에 대한 하류부 홍수추적을 통해 하류부 주요지점별 침투유량, 최고홍수위, 홍수와 도달시간, 최고홍수위 도달시간을 산정하고 최고홍수위와 좌·우 제방고도 비교한다. 그리고 이러한 하천수리해석 결과를 GIS를 연계하여 수심별 홍수범람지도를 작성하는 방법에 관해 상세하게 보여준다. 본 연구에서 제안한 홍수범람지도 작성방법은 홍수터 해석에 대해 1차원 하천수리해석 모형이 가지는 한계점을 보완할 수 있다.

핵심용어 : 홍수범람지도, 1차원 동역학적 모형, DAMBRK, 지형정보시스템

1. 서 론

홍수는 선진국을 포함하여 한 국가의 발전을 저해할 수 있는 주요 자연재해 중 하나이다. 전세계적으로 매년 홍수로 사회기반시설 파괴로 인한 재산피해 및 수 많은 인명피해가 발생하고 있다. 해마다 반복되는 이러한 재산 및 인명 손실을 막거나 줄일 수 있는 방법 중의 하나는 정확한 홍수범람지도를 통해 홍수위험에 관한 믿을만한 정보를 대중들에게 제공하는 것이다. 그리고 홍수취약지구에 대한 믿을만한 홍수범람지도는 홍수발생시 구조 및 구호 작업에도 매우 유용하

게 사용할 수 있다. 선진국에서는 이미 홍수에 대한 비구조적 대책으로 홍수범람지도에 관한 많은 연구를 시작, 체계화 과정에 있다.

유럽에서는 홍수지도에 관한 연구는 1990년 후반에 시작되어(Høydal et al., 2000; Menendez, 2000; Pettifer, 2000; TAW, 2004), 지금은 유럽의 많은 국가들이 정부기관 혹은 보험회사에서 제작된 홍수범람지도를 가지고 있다(de Moel et al., 2009). 2007년에는 유럽연합의 모든 회원국들이 2015년까지 각 국가의 영토에 대한 홍수범람 위험지도를 제작하도록 하는 새로운 유럽홍수지침(EU Flood Directive)을 마련

*정회원 · 캘리포니아 주립대학교 엘바인 토목환경공학과 & 수문모텔링센터, 박사후연구원(E-mail : bh.kim@uci.edu)

**정회원 · 국립방재연구원 책임연구원(교신저자)

***정회원 · 경북대학교 공과대학 건축 · 토목공학부 교수

하였다(EXSCIMAP, 2007).

미국은 국가홍수보험제도(National Flood Insurance Program, NFIP)의 일환으로, 연방재난관리국(Federal Emergency Management Agency, FEMA)에서 홍수보험요율지도(Flood Insurance Rate Maps, FIRM)를 100년 빈도 홍수를 기준으로 작성 및 갱신하고 있다. FEMA는 19,200개 지역, 약 388,500km² 면적에 대해 100,000장의 홍수위험지도를 작성하였으며(FEMA, 2002), 2004년에는 홍수정보에 대한 저장, 유지, 유통 그리고 갱신에 대해 비용효율적인 디지털 FIRM(s)(DFIRM(s))를 제공하기 위한 지도 현대화 프로그램(Map Mod)을 시작하였다. Map Mod는 새로운 홍수위험지역에 대한 홍수지도의 작성 및 최근의 지형자료를 이용한 기존 위험지도의 갱신도 포함한다(FEMA, 2007). 이와 같이 홍수위험지도 제작지침(Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partner)을 기준으로 제작된 홍수지도는 FEMA 홈페이지(<http://www.fema.gov/hazard/flood/>)를 통해 미국 전역에 대해 서비스를 실시하고 있다.

국내에서의 홍수위험지도 제작 및 활용은 유럽 및 미국에 비해 활발하지 않은 상황이며, 최근 기후변화와 이상기후에 영향으로 홍수가 빈번하게 발생함에 따라 그 필요성이 증가되고 있다. 이에 1999년 수해방지대책기획단에서 비구조적 홍수대책의 일환으로 홍수위험지도 제작 방침이 제시된 이후 2001년 기본조사를 토대로 시범제작단계를 거쳐, 2012년까지 국가하천을 대상으로 홍수위험지도 제작이 추진되고 있는 중이다. 유역별 홍수위험지도 제작현황을 살펴보면, 2002년 한강유역 내 주요 도심지에 대한 홍수위험지도 제작을 시작으로 2004년부터 2007년 까지 낙동강권역, 2008년부터 2011년까지 영산강 및 한강권역의 홍수위험지도 제작이 완료되었으며, 2012년까지 금강 및 섬진강권역에 대해 제작이 완료될 계획에 있다(하천관리지리정보시스템, RIMGIS).

이와 같이 세계 각국에서는 댐, 저류지, 제방 등과 같은 수공 구조물의 설계빈도를 초과하는 이상 홍수가 발생할 경우에 대비하여 비구조적 대책의 일환으로 홍수위험지도를 작성하고 있다. 홍수위험지도는 침수범위, 침수심, 홍수와 도달 시간, 침수 지속시간 및 유속 등 홍수에 대한 기본정보를 제공하여, 홍수의 사전대비, 지역 방재계획, 효율적 토지이용, 풍수해보험 관리지도 작성 그리고 풍수해 저감종합계획 수립 등에 활용이 가능하다(하천관리지리정보시스템, RIMGIS). 우리나라에 하천 홍수범람에 대한 연구는 1980년대부터 시작되어 이종태와 한건연(1989)은 도시하천 제방의 붕괴와 재내지 침수에 대해 연구하였고, 이홍래 등(1998)은 DWOPER 모형을 이용한 제방월류 및 붕괴에 따른 하도 및 재내지에서의 범람해석 프로그램을 Arc/Info와 연계하여 개발하였으며, 안상진 등(2001)은 HEC-RAS 및 HEC-GeoRAS를 이용하여 보청천 유역에 대한 홍수범람 시간, 범람 수심 및 면적을 산정하였다. 박홍균과 이상일(2001)은 HEC-RAS를 이용한 홍수범람지도의 제작 절차를 보여주었으며, 이주현 등(2003)은 저해상도 및 고해상도의 합성 DEM 자료를 이용한 통합 홍수범람 모의 시스템을 구축하였다. 그리고 이종태 등(2006)은 제방붕괴 위치 및 규모 등의 다양한 가상 시나리오 조건에

따른 하천 홍수 특성변화 및 재내지에서의 범람 모의를 수행하고 모의결과를 WMS 및 ArcView를 이용하여 가상침수지도 작성방법을 연구하였다. 이창희 등(2006)은 도시배수시스템과 지표침수해석모형을 GIS를 이용하여 통합시킨 도시침수해석 모형을 개발하여 도시지역에서의 침수예상지도 작성한 바 있다. 이근상과 정일영(2008)은 1차원 수리해석모델인 FLDWAV를 이용한 하천내 홍수위 해석결과를 위성영상과 침수구역도를 함께 연계함으로써 댐하류 하천에 대한 홍수범람 지역을 실시간으로 가시화하는 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 홍수위험지도 작성에 기본이 되는 홍수범람지도 작성을 위해 1차원 동역학적 모형인 DAMBRK 모형을 이용한 하천수리해석 결과와 하천 및 홍수터에서의 수리해석 결과 도시를 위한 GIS의 연계과정을 구현하고자 한다. 이를 위해 대상 댐에 대한 가상 붕괴 시나리오별 붕괴 유량수문곡선을 산정하고, 이 중 가장 극한 조건에 대해 하류부 홍수추적을 수행하여 주요지점별 침투유량, 침투홍수위, 홍수와 도달시간 그리고 최고홍수위 도달시간을 산정하였다. 그리고 산정된 하류부 각 단별면 해석결과를 GIS와 연계하여 최대 홍수범람지도 작성하였으며, 침수심별 홍수범람지도 작성방법을 상세하게 설명하였다. 본 연구에서 제안한 홍수범람지도 작성 방법은 홍수터 해석에서 1차원 하천수리해석 모형이 가지는 한계점을 보완할 수 있다.

2. 지형자료 구축 및 댐의 비상상황 해석

홍수범람지도 제작방법은 크게 지형자료 구축, 홍수시나리오 작성, 홍수범람 해석, 홍수범람지도 제작 및 DB 구축의 단계로 구분할 수 있다.

2.1 연구대상 구간 및 지형자료 구축

본 연구의 적용대상 구간은 보성강댐-주암댐의 약 49 km 구간으로 보성강댐 붕괴에 따른 하류부 홍수추적을 수행하였다. 이러한 적용대상 구간은 보성강댐 붕괴에 따른 영향구간을 해석하여 결정하였다. 즉, 보성강댐 하류의 주요지점에서 댐붕괴로 인한 홍수위와 계획홍수위를 비교하여 댐붕괴 홍수위가 계획홍수위보다 높게 나타나는 구간을 홍수와 해석구간으로 결정하였다. 하도의 단면자료는 보성강댐-댐하류 8 km 구간은 전라남도(1995)의 자료를 이용하였고, 댐하류 8 km~주암댐 구간은 한국수자원공사(2002) 자료를 이용하였다. 그림 1은 대상 적용구간에 대한 평면도 및 모의에 사용한 하천의 HEC 단면번호를 보여준다.

1차원 모형을 이용하여 극한홍수로 인한 범람해석을 수행할 경우, 홍수터의 영향을 충분히 반영할 수 있도록 지형자료를 구축하여야 한다. 이는 극한홍수로 인한 하천의 수위상승으로 제방의 월류 부분이 발생할 경우, 홍수위가 과대 산정되는 것을 막기 위함이다(한건연과 최규현, 2002). 즉, 1차원 모형은 홍수터의 지형을 모형의 모의를 위한 지형구축에 반영하지 못하면, 제방의 월류가 발생하더라도 계산 적용 단면에 대한 단순외삽에 의해 수위를 산정하므로, 홍수터로의 월류 유량이 하천에서의 유량으로 인식되어 홍수 발생시 좌·우

그림 1. 적용 하천단면

홍수터의 영향을 반영하지 못해 하천의 수위를 과대 산정하는 경향이 있다. 따라서 본 연구에서는 댐 붕괴 해석 모의에 앞서, 홍수범람 해석에서 나타날 수 있는 1차원 모형의 이러한 한계점을 해결하기 위해 그림 1과 같은 하천단면을 그림 2와 같이 수치지도의 홍수터 단면과 합성 및 연장하는 과정을 선행하였다. 그림 2의 과정은 댐 붕괴에 대한 범람해석을 위한 홍수터의 영향을 고려하기 위해 반드시 필요한 작업이며, 이 과정을 통해 범람해석에 대한 1차원 하천수리해석 모형의 한계를 어느 정도 보완할 수 있다.

2.2 시나리오에 따른 댐 붕괴 유출량 산정

보성강댐은 그림 3과 같이 콘크리트 중력식댐과 토언제의 2개 형식으로 구성된 복합형 댐이며, 월류가 발생할 경우 토언제 부분에서 붕괴가 먼저 시작되므로 락필댐의 붕괴 시나리오를 적용하였다. 즉, Froehlich (2008)가 제안한 락필댐의 붕괴시나리오에 의해 붕괴지속시간은 1.0시간, 붕괴부 측면경사는 1.0으로 고정하고, 붕괴부 평균폭을 $1.0H_d$ (H_d 는 댐 높

그림 2. 하천 및 홍수터 단면의 합성 및 연장

그림 4. 댐 붕괴 모식도

이), $2.0H_d$, $3.0H_d$ 로 조정하면서 붕괴 시나리오를 구성하여 다양한 붕괴양상을 고려하여 해석하였다. 그림 3에서 빗금친 부분은 붕괴부 측면경사가 1.0, 붕괴부 평균폭이 $3.0H_d$ 인 경우에 대한 결과부의 형상을 보여준다. 각 시나리오별 붕괴유출 침투유량을 산정하기 위해 댐의 초기조건은 상시만수위를, 댐의 붕괴를 유발하는 PMF 유입량은 그림 5의 조건을, 그리고 앞서 기술하였듯이, 보성강댐은 락필댐의 붕괴특성을 가지므로 댐의 저수위가 체체를 월류하는 경우 붕괴가 시작되는 조건을 적용하였다. 그림 4는 보성강댐의 붕괴 모식도를 보여주고 있으며, PMF 유입으로 인해 댐이 시나리오에 따라 붕괴되고, 각 붕괴 시나리오별로 산정된 붕괴유출 침투유량을 표 1에 나타내었다.

그림 3. 댐 결괴부 형상

표 1. 붕괴 시나리오별 침투유량

구 분	붕괴 폭 (m) (H_d 는 댐 높이)	붕괴유출 침투유량 (m^3/s)
BS-A	3.0 H_d	10,410
BS-B	2.0 H_d	9,431
BS-C	1.0 H_d	6,198

2.3 댐 하류부 홍수범람 해석

본 연구에서는 표 1에서 제시한 세 개의 붕괴 시나리오 중에서 붕괴유량이 가장 큰 BS-A 조건에 대해 1차원 하천 수리 해석모형인 DAMBRK 모형을 이용하여 하류부 홍수추적을 수행하였으며, 하류부 경계조건은 주암댐의 상시만수위 적용하였다. 그리고 보성강댐 상류 및 보성강의 유일한 지류인 동북천의 PMF 유입량은 그림 5에 나타내었다. DAMBRK 모

형은 미국 기상청(NWS)에서 개발한 1차원 동역학적 하천 해석 모형으로 저수지의 연속붕괴와 동시붕괴모의를 모두 수행할 수 있고, 저수지 붕괴에 따른 저수지 감수곡선 모의, 그리고 저수지의 저류 추적기법과 동역학적 추적기법 모두 적용 가능하여 저수지의 중형단 지형자료를 구하기가 어려운 국내의 댐 붕괴 해석에 적합한 모형이다(김병현, 2005). 이와 같은 특성으로 DAMBRK 모형은 국내 댐/저수지 비상대처계획수립에 다수 이용된 바 있다(김극수 등, 2009). 표 2는 보성강댐 붕괴로 인한 하류부 주요 지점별 침투유량, 최고홍수위, 홍수와 도달시간, 최고홍수위 도달시간, 그리고 제방고와 같은 홍수와 해석결과를 보여주고 있으며, 주요 지점으로는 보성강댐 직하류, 댐으로부터 7.6 km, 15.8 km, 23.2 km 지점, 동북천 합류후 그리고 댐으로부터 45.2 km 지점을 고려하였다. 그림 6은 댐 붕괴에 따른 보성강댐 하류의 주요 지

그림 5. PMF 유입량

그림 7. 댐 붕괴에 따른 침투유량의 종단형상

그림 6. 댐 붕괴에 따른 지점별 유량수문곡선

그림 8. 댐 붕괴에 따른 최고수위의 종단형상

표 2. 보성강댐 붕괴로 인한 홍수와 해석 결과

지 점 명	침투유량 (m^3/s)	최고홍수위 (EL.m)	홍수와 도달시간 (hr)	최고홍수위 도달시간 (hr)	제방고(EL.m)	
					좌	우
보성강댐 직하류	10,410	128.77	0.210	0.950	118.87	118.87
댐으로부터 5.6 km	5,830	125.66	0.450	1.250	121.43	120.13
댐으로부터 15.8 km	4,566	112.63	0.970	2.050	110.25	111.00
댐으로부터 23.6 km	4,611	109.11	1.160	2.200	120.5	109.81
동북천 합류후	5,534	108.61	1.380	2.150	110.31	112.58
댐으로부터 45.6 km	6,125	108.53	1.740	2.200	산	산

주) 여기서, 시간은 댐 붕괴시작이후의 시간을 의미함.

그림 9. 시간에 따른 유량의 종단형상

그림 10. 시간에 따른 수위의 종단형상

점별 유량수문곡선을 보여준다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, 댐 붕괴로 인해 댐 지점에서 유량이 급격히 증가하였다가 감소하고 있으며, 하류로 전파될수록 유량의 감쇠현상이 나타나고 있다. 하지만 동북천 합류후 지점과 45.2 km 지점에서는 유량이 증가하는 현상을 볼 수 있으며, 이는 동북천에서의 가능최대 홍수량(PMF) 유입으로 인해 발생하는 현상으로 판단된다. 그림 7과 8은 각각 댐 붕괴로 인한 침두유량 종단형상과 침두수위 종단형상을 보여준다. 그림 7에서는 댐 붕괴로 인해 급격히 증가하였던 유량은 하류로 전파될수록 감소하고 있으며, 하류의 주암댐 영향으로 20 km 이후부터는 감쇠현상이 상당히 줄어들었으며, 동북천 합류 이후에는 유량이 소폭 상승하였다. 그림 8에서의 침두수위 종단형상은 하류의 주암댐의 영향으로 수위의 감소현상의 크게 나타나지 않음을 볼 수 있다. 그림 9와 10은 댐 붕괴가 발생 후 시간에 따른 유량의 종단형상과 수위의 종단형상을 보여준다. 그림 9에서 댐 붕괴 후 0.1 hr~1 hr에서 댐 지점에서 침두 붕괴유량이 발생하였음을 알 수 있으며, 그 이후 붕괴유량은 하류로 전파하면서 감쇠되고 있음을 볼 수 있다. 그림 10도 그림 9와 마찬가지로 댐 붕괴 후 0.1 hr~1 hr에서 침두 붕괴수위가 발생하였으며, 댐 지점에서 하류방향으로 20 km 지점부터는 하류부에 위치한 주암댐의 영향으로 수위의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다.

3. 홍수범람 지도 작성

본 연구에서는 댐 붕괴로 인한 1차원 하천 수리해석 결과

홍수범람지도 작성을 위한 GIS기반 1차원 동역학적 해석 기법

그림 11. 홍수범람지도 작성 흐름도

를 GIS와 연계하여 홍수범람지도를 작성하는 방법을 제안하고자 하며, 제안 방법은 홍수터의 범람해석에 대한 1차원 하천수리해석 모형의 한계점을 GIS를 이용하여 보완할 수 있다. 그림 11은 본 연구의 홍수범람지도 작성을 위한 흐름도를 나타내고 있다.

3.1 수치지도를 이용한 Base Map 작성

댐 붕괴로 인한 하류지역의 홍수범람지도를 작성하기 위해서는 대상유역을 포함하고 있는 수치지도가 필요하다. 준비된 수치지도를 Shape 형태로 변환한 다음 필요한 레이어들을 추출하여 그림 12와 같이 대상유역에 대한 지형, 하천 그리고 경계 Shape를 작성하여 홍수범람지도 작업에 사용될 Base Map 을 작성한다.

3.2 계산단면에 대한 홍수위 삽입

홍수범람지도 작성을 위한 기본자료 구축이 완료되면, 구축된 지형 Shape 파일과의 연계를 위해 1차원 수리해석모형으로 계산된 수위를 각 계산단면(그림 2)에 삽입하는 과정이 필요하다. 그림 2와 같이 넓은 홍수터의 영향을 고려하기 위해 HEC 단면을 충분히 연장한 선들에 대한 Shape 파일을 만들고, 그림 13과 같이 Shape 파일의 속성/테이블에 각 단면에서 계산된 1차원 수리모형의 계산결과를 동일 ID에 삽입하는 작업을 수행한다. 이 과정을 통해서 하천의 흐름해석은 물론 홍수파가 전파할 것으로 예상은 되지만 1차원 수리해석 모형에서 충분히 고려하지 못하는 홍수터의 범람해석도 수행할 수 있게 된다.

3.3. TIN 및 Grid 생성

HEC 단면이 연장된 선들에 대해 계산홍수위 삽입이 완료되면, 침수심의 계산을 위해 수위 및 지형에 대한 TIN 및 Grid 를 생성하는 작업이 필요하다. 먼저 수위 TIN은 그림

(a) 지형 Shape

(b) 하천 Shape

(c) 경계 Shape

그림 12. 홍수범람지도 작성을 위한 Base Map

Attributes of W_height.shp			
Shape	Id	Waterlevel	Name
PolyLine	1	129.80	BosunggangDAM
PolyLine	2	129.56	
PolyLine	3	129.60	
PolyLine	4	129.52	
PolyLine	5	129.32	
PolyLine	6	128.89	
PolyLine	7	128.52	
PolyLine	8	128.26	
PolyLine	9	127.58	
PolyLine	10	127.40	
PolyLine	11	127.20	
PolyLine	12	127.05	
PolyLine	13	126.47	
PolyLine	14	125.58	
PolyLine	15	124.13	
PolyLine	16	123.71	
PolyLine	17	123.12	
PolyLine	18	122.22	
PolyLine	19	121.63	
PolyLine	20	120.89	
PolyLine	21	120.20	
PolyLine	22	119.53	
PolyLine	23	119.01	
PolyLine	24	118.82	

그림 13. 계산홍수위 삽입

13에서 홍수위가 입력되어진 단면 Shape 파일로부터 생성하며, 댐 붕괴로 인해 각 단면에서 계산되어진 수위로부터 생성된 TIN은 그림 14(a)에서 보여준다. 그리고 수위 Grid는 수위 TIN을 이용하여 그림 14(b)와 같이 생성할 수 있으며,

계산된 홍수위를 이용한 수위 Grid가 생성되면, 대상유역에 대한 TIN 및 Grid 작업을 수행한다. 대상유역에 대한 TIN 생성을 위해서는 그림 12에서 이미 작성된 지형 및 경계 Shape 파일을 이용하여 그림 15(a)와 같이 지형 TIN을 생성하며, 생성된 지형 TIN 을 이용하여 그림 15(b)와 같이 지형 Grid를 생성한다.

3.4 수심별 범람도의 작성

홍수범람도를 작성하기 위해서는 범람수심을 알아야 한다. 범람수심은 그림 14 및 15에서 생성된 수위 및 지형 Grid를 이용한 연산을 통해 계산할 수 있다. 즉 수심 Grid는 [수위 Grid - 지형 Grid] 연산을 통해 생성할 수 있으며, 이 연산 과정을 통해 얻어진 수심 Grid를 그림 16(a)에 나타내었다. 생성된 수심 Grid를 이용하여 범람지도에 나타내고자 하는 등수심선을 Create Contours를 이용하여 추출하면 각 수심별 범람범위를 확인할 수 있으며, 그림 16(b)는 0.5 m 수심에 대해 추출한 등수심선을 보여준다. 추출된 등수심선의 Polyline 형태를 Polygon 형태로 변환하고, 색상을 지정하면 그림 16(c)와 같은 홍수범람도를 얻을 수 있으며, 위의 과정

(a) 수위 TIN

(b) 수위 Grid

그림 14. 수위 TIN 및 Grid

(a) 지형 TIN

(b) 지형 Grid

그림 15. 지형 TIN 및 Grid

(a) 수심 Grid

(b) 추출된 등수심선

(c) 수심이 0.5m인 홍수범람도

그림 16. 홍수범람도

표 3. 수심별 범람 면적

범람수심 (m)	범람면적 (km ²)
0.0	31.979
0.5	30.334
1.0	29.431
1.5	28.749
2.0	28.079

을 수심별로 반복하면 각 수심별 홍수범람도를 작성할 수 있다. 표 3은 보성강댐 붕괴로 인한 범람수심이 0.0 m, 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m인 경우에 대해 위와 같은 과정을 통해

홍수범람지도 작성을 위한 GIS기반 1차원 동역학적 해석 기법

계산된 범람면적을 보여준다. 표 3에서 볼 수 있듯이, 각 수심별 범람면적은 큰 차이를 보이지 않는다. 이러한 원인은 보성강댐의 하류유역이 경사가 급한 산악지형으로 이루어져 있어 범람될 수 있는 면적이 한정되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 그림 8 및 10에서 확인할 수 있듯이, 댐 지점에서 하류방향으로 20 km 지점부터는 보성강댐 붕괴에도 하류부에 위치한 주암 다목적댐의 저수 및 지형적 영향으로 수위의 변화가 거의 없어 이와 같이 범람면적이 큰 차이를 보이지 않는 것으로 사료된다. 그림 17(a)는 수치지도를 이용하여 생성한 지형 TIN과 최대범람 수심도를 중첩시킨 홍수 범람지도이며, 그림 17(b)는 구글에서 제공하는 위성사진과

(a) 지형 TIN + 최대범람도

(b) 위성사진 + 최대범람도

그림 17. 최대 홍수범람지도

최대범람 수심도를 중첩시킨 홍수범람지도를 3차원으로 보여 준다.

4. 결 론

본 연구는 1차원 하천수리해석 모형과 GIS를 연계한 홍수 범람지도 작성 방법에 관해 보여준다. 이를 위해 보성강댐이 락필댐의 특성을 가지는 것을 고려하여, 붕괴지속시간 1.0시간, 붕괴부 측면경사는 1.0으로 고정하고, 붕괴부 평균곡률 $1.0H_d$ (H_d 는 댐 높이), $2.0H_d$, $3.0H_d$ 에 따른 붕괴 유출유량을 산정하여 비교하였다. 이 중 붕괴유량이 가장 많은 극한 붕괴조건에 대해 1차원 하천수리 해석모형인 DAMBRK 모형을 이용하여 하류부 홍수추적을 수행하고, 하류부 주요지점별 침투유량, 최고홍수위, 홍수와 도달시간, 최고홍수위 도달시간을 산정하였으며, 최고홍수위와 좌·우 제방고도 비교하였다. 그리고 하천수리해석 결과와 GIS를 연계하여 수심별 홍수범람지도를 작성하는 방법에 관해 상세하게 보여주었으며, 본 연구에서는 범람수심이 0.0 m, 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m에 대한 범람면적을 계산하였다. 보성강댐 붕괴로 인한 각 수심별 범람면적은 큰 차이를 보이지 않았으며, 이러한 원인으로는 보성강댐 하류유역을 이루고 있는 산악지형으로 인한 한정된 범람면적과 주암 다목적댐의 저수 영향에서 기인한 것으로 사료된다. 본 연구에서 GIS를 이용하여 제안한 홍수지도 제작방법은 홍수범람해석, 특히 홍수터 해석에 대해 1차원 하천수리해석모형이 가지는 한계점을 보완할 수 있는 하나의 방법이다. 하지만 제방을 월류하는 단면에 대한 하천의 홍수위와 홍수터의 홍수위를 동일한 값으로 가정한 1차원 모형의 근본적인 문제점의 해결에는 여전히 한계를 내포하고

있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 하천 및 홍수터에 대한 2차원 흐름 및 범람해석이나 하천에 대한 1차원 해석과 홍수터에 대한 2차원 해석을 위한 모형의 연계를 통해 극복할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 위에서 언급한 홍수범람 해석 모형의 개발에 지속적인 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원[NRF-2010-357-D00239]과 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 김극수, 김지성, 김원 (2009) 1차원 하천흐름 해석 모형의 비교 분석, **물과미래**, 한국수자원학회, 제42권, 제7호, pp. 56-61.
- 김병현 (2005) 태풍 루사시 장현·동막저수지 붕괴에 따른 홍수범람해석, 석사학위논문, 경북대학교
- 박홍균, 이상일 (2001) 홍수위험지도 : 개발절차와 사니리오, **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 1-4.
- 안상진, 함창학, 김종섭, 김기석 (2001) GIS를 이용한 홍수범람 지역 분석, **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회.
- 이근상, 정일영 (2008) 홍수범람지역 가시화를 위한 3차원 GIS 시스템 개발, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제28권, 제5호, pp. 471-478.
- 이종태, 한건연 (1989) 하천제방의 붕괴로 인한 제내지의 침수 예측모형, **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제22권, 제2호, pp. 223-231.
- 이종태, 허성철, 김정희, 한건연 (2006) 제방붕괴조건에 따른 도

- 시하천의 홍수범람 특성 및 홍수지도 작성 - 중랑천 시험유역을 중심으로, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제5호, pp. 383-394.
- 이주현, 최종진, 이희철, 이은태 (2003) 고해성도 수치고도모형을 활용한 홍수범람도의 작성, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회 제23권, 제68호, pp. 749-757.
- 이창희, 한건연, 김지성 (2006) GIS를 이용한 도시지역 침수해석. **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제9권, 제2호 pp. 115-125.
- 이홍래, 한건연, 김상호, 최현상 (1998) 하천 홍수범람 해석을 위한 수치모형의 개발(I) : GIS와의 연계해석, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제31권, 제4호 pp. 415-427.
- 전라남도 (1995) **외서천등 7개 하천정비 기본계획**, pp. 421-422, 484-450.
- 한건연, 최규현 (2002) 극한홍수추적을 위한 1차원, 2차원 모형의 비교고찰, **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 1-4.
- 한국수자원공사 (2002) **주암(본)댐 퇴사량 조사용역 보고서**.
- de Moel, H., van Alphen, J. and Aerts, J.C.J.H. (2009) Flood maps in Europe—methods, availability and use. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 9, No. 2, pp. 289-301.
- EXSCIMAP(European Exchange Circle on Flood Mapping) (2007) **Handbook on Good Practices for Flood Mapping in Europe**.
- FEMA(Federal Emergency Management Agency) (2007) FEMA's Flood Map Modernization - Preparing for FY09 and Beyond: Integrated Flood Data Update, Risk Assessment, and Mitigation Planning; Draft Concept Paper.
- FEMA(Federal Emergency Management Agency) (2002) **National Flood Insurance Program: Program description(NFPI)**
- Froehlich, D.C. (2008) Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 134, No. 2, pp. 1708-1721
- Høydal, Ø.A., Berg, H., Haddeland, I., Petterson, L.E., Voksø, A., and Øydvin, E. (2000) *Procedures and Guidelines for Flood Inundation Maps in Norway*. Potsdam, Germany, pp. 252-261.
- Menendez, M. (2000) Design Discharge Calculations and Flood Plain Management. *European Commission (Directorate General XII)* : FLOODaware Final report, Cemagref, pp.53-82.
- Pettifer, D.G. (2000) Indicative Floodplain Maps for England and Wales, *WaPUG Autumn Meeting*, Blackpool, UK.
- TAW(Technical Advisory Committee on Flood Defence). (2004) **Floris: flood risks and safety in the Netherlands**.
<http://www.river.go.kr>(하천관리지리정보시스템, RIMGIS)
<http://www.fema.gov/hazard/flood>(연방재난관리국)
- ◎ 논문접수일 : 11년 09월 21일
 ◎ 심사의뢰일 : 11년 09월 26일
 ◎ 심사완료일 : 11년 10월 10일