

댐 붕괴 홍수류해석을 위한 1차원 모형의 비교 연구

A Study to comparison of 1-D Model on dam break flood analysis

최병규*, 강태호**, 정요한***, 고재형****, 김강모*****

Byung Kyu Choi, Tae Ho Kang, Yo Han Jung, Jae Hyoung Koh, Kang Mo Kim

요 지

'96년, '98년 임진강 유역과 경기북부 지역 집중호우를 시작으로 '02년 태풍 “루사”, '03년 “매미”, '04년 “메기” 등의 영향으로 대규모 수공 구조물의 설계빈도를 초과하는 폭우를 동반하여 전국적으로 사상 유례없는 막대한 홍수피해를 발생시켰다. 이러한 과정에서 “연천댐”, “장현, 동막저수지” 붕괴 등 댐 붕괴로 인하여 댐 하류지역의 홍수피해가 크게 발생하여 이에 대한 대처계획 수립 필요성 및 이를 위한 댐 붕괴로 인한 홍수류 해석에 대한 연구가 절실히 필요하다.

본 연구에서는 비상대처계획(Emergency Action Plan, EAP)수립 대상 국가시설물 중 하나인 양양양수발전소 하부댐에 대한 댐 붕괴 해석을 실시하였다. DAMBRK를 통하여 댐 지점의 붕괴유출수문곡선을 산정하였으며, 댐 하류하천 수위분석은 1차원 DAMBRK와 HEC-RAS모형을 이용 비교 분석하였고 이를 통하여 댐붕괴로 인한 하류하천 홍수류 해석시 HEC-RAS모형의 적용성을 검토하였다. 검토결과 HEC-RAS모형 계산치가 DAMBRK 모형에 의한 결과 보다 과대하게 산정되었다. 향후 댐 붕괴로 인한 홍수류 해석을 위한 HEC-RAS모형 모의시 주변지형의 홍수터화 등의 기법을 첨가하여 홍수위 분석이 필요한 것으로 사료된다.

핵심용어 : 비상대처계획, 댐 붕괴, 붕괴유출수문곡선, DAMBRK, HEC-RAS

1. 배경 및 목적

우리나라는 최근 엘니뇨(EL Nino)와 라니냐(La Nina)등의 기상이변 등의 기후적 요인으로 매년 크고 작은 수해가 발생하면서 많은 재산과 인명피해를 겪어왔다. 특히 '96년, '98년 임진강 유역과 경기북부 지역 집중호우를 시작으로 '02년 태풍 “루사”, '03년 “매미”, '04년 “메기” 등의 영향으로 대규모 수공 구조물의 설계빈도를 초월하는 폭우를 동반하여 “연천댐”, “장현, 동막저수지” 붕괴와 같은 전국적으로 사상 유례없는 막대한 홍수피해를 발생시켰다. 이러한 재해를 미연에 방지하기 위하여 사전 예방 능력 강화 등 재해방지를 위한 물적·제도적 기반 구축을 위한 효과적인 재해 대응 시스템이 요구되어 비상대처계획(Emergency Action Plan, EAP) 수립을 실시하게 되었다.

우리나라는 2004년 1월 하천법을 개정하여 일정규모 이상의 댐 및 저수지에 대한 비상대처계

* 정회원 · (주)삼안 수력부 부사장 · E-mail : bkchoi@samaneng.com
** 정회원 · (주)삼안 수력부 이사 · E-mail : thkang@samaneng.com
*** 정회원 · (주)삼안 수력부 과장 · E-mail : yhjung@samaneng.com
**** 정회원 · (주)삼안 수력부 대리 · E-mail : jhkoh1@samaneng.com
***** 정회원 · (주)삼안 수력부 대리 · E-mail : kmkim1@samaneng.com

획 수립의 의무화를 실시하였으며, 본 연구에서는 이러한 국가시설물인 댐 및 저수지들 중 하나인 양양양수발전소 하부댐에 대한 EAP 수립시 댐 붕괴로 인한 홍수류 해석을 실시하였다. 이러한 댐 붕괴로 인한 홍수류 해석은 댐의 EAP 수립시 중요한 사항 중에 하나이다.

현재 국내에서 댐 붕괴 홍수류해석은 주로 그 안정성과 정확성이 검증된바 있는 Fread(1984a)의 1차원 모형인 DAMBRK모형을 이용하여 댐 붕괴 홍수류 해석을 실시하고 있다. 이 DAMBRK 모형은 댐 붕괴 유출수문곡선 및 댐 하류의 하도 흐름을 추적할 수 있는 프로그램이다. 그러나 입력자료 중 단면입력의 제한 등의 단점이 있는바, 동일한 1차원 하도흐름을 추적할 수 있으며 단면입력의 제한이 없어 세밀한 하도구간의 해석이 가능하며, 국내 수자원 실무에서 많이 사용되어지고 있는 HEC-RAS모형을 이용 댐 붕괴 홍수류 해석의 적용성을 검토하였다.

본 연구에서는 이와 같은 DAMBRK 모형을 이용하여 댐 지점의 붕괴유출수문곡선을 유도하여 이 댐 지점의 붕괴유출수문곡선으로 하류 하천의 하도 흐름추적을 댐 붕괴 홍수류 해석시 많이 사용되는 1차원 DAMBRK 모형과 대표적인 1차원 하도흐름추적 모형인 HEC-RAS를 비교·분석하여 댐붕괴로 인한 하류하천 홍수류 해석시 HEC-RAS의 적용성을 검토하였다.

2. DAMBRK모형

이 모형은 댐으로부터의 유출 수문곡선의 유도와 하류에서의 홍수추적을 수리학적으로 해석하기 위하여 개발되었다. DAMBRK모형에서 사용하는 지배방정식은 부정류에 관한 1차원 Saint-Venant 방정식으로서 하류구간에서의 급변류, 단면의 변화, 교량 등의 영향을 내부 경계조건으로 수용할 수 있도록 설계되었다. 검토대상 하도구간의 상류 및 하류단에서의 경계조건들을 도입하여 구성된 방정식들은 가중 4점 음해법에 의하여 그 해를 구한다. 하류의 흐름은 상류 및 하류에 대하여 모두 계산 가능하도록 되어있고, 댐지점의 붕괴유출수문곡선은 붕괴 지점의 시간, 크기, 형태 등의 변수들로부터 산정된다. 또한 하도의 홍수터의 영향, 만곡의 영향 등도 고려할 수 있도록 되어있다.

2.1 붕괴유출수문곡선

댐 붕괴로 인한 유출수문곡선을 유도하기 위해서는 저수지내로의 유입량과 유출량에 따른 저수용량의 변화가 고려된 저류 방정식이 사용된다. 임의의 시간 t 에서의 총유출량 Q 는 붕괴부를 통한 유출량 Q_b 와 여수로를 통한 유출량 Q_s 의 합으로 표시된다. 월류에 의한 붕괴의 경우에는 넓은 마루웨어의 공식, 파이핑의 경우에는 오리피스의 유량공식 등이 사용되며 저수지내의 수위, 붕괴부의 형상 및 하류부의 수위 등의 함수로서 다음 식에 의하여 결정된다. 붕괴부에서 홍수량 Q_b 는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$Q_b = c_v k_s [3.1b_f(h-h_b)^{1.5} + 2.45Z(h-h_b)^{2.5}]$$

여기서, c_v : 접근유속 보정치, b_f : 순간붕괴 하저부 폭(m), h : 저수지의 수위(m),

h_b : 붕괴부 바닥의 표고(EL.m), Z : 붕괴부 측벽경사,

k_s : 직하류부 수위와 관계된 잠수 보정치

2.2 홍수추적

DAMBRK의 동역학적 홍수추적에서는 부정류의 Saint-Venant식을 비선형 4점 음형 유한차분법으로 해석하였다. 자연하천에 대해서 일반화된 부정류의 연속방정식과 운동량방정식은 각각 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_0)}{\partial t} - q = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) + L = 0$$

여기서, $S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}} = \frac{|Q| Q}{K_c^2}$, $S_e = \frac{K_e \partial(Q/A)^2}{2g \partial x}$

여기서, Q = 유량, A = 흐름단면적, A_0 = 저류단면적, q = 측방유입량, x = 거리,
 t = 시간, h = 수위, S_f = 마찰경사, S_e = 단면 확대·축소경사, B = 하폭,
 n = 조도계수, L = 지류에 의한 운동량의 변화

3. HEC-RAS모형

미공병단(USACE, U.S Army Corps of Engineers)에 의해 개발되었으며 GUI 환경과 개별적인 수리분석요소, 자료저장 관리도구, 그래픽 및 리포팅 도구로 이루어진 통합 시스템이다. 또한 HEC-RAS모형은 입력단면의 개수 등의 제약이 없으며, 보, 압거, 교량 등 수공구조물의 해석이 가능한 장점이 있다.

3.1 동역학적 하도추적

HEC-RAS는 복잡한 하도망에 대해서도 해석 가능한 1차원 하천모형으로 이 모형에 탑재된 UNET모형에 의해 동역학적 하도추적이 가능하다. UNET모형은 4점 음형 유한차분법을 이용하며, 지배방정식인 Saint-Venant방정식을 선형화하여 해석하기 때문에 발산 가능성이 적어 안정적이며, 횡단면 및 하도 수에 제한이 없고, 수문, 여수로, 교량, 보 등 수리구조물의 영향을 고려하여 해석이 가능하다. UNET모형의 기본방정식은 동역학적 방정식인 Saint-Venant방정식의 연속방정식과 운동량 방정식으로 구성되며 그 식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q_c}{\partial x_c} + \frac{\partial A_c}{\partial t} = q_f(\text{수로}), \quad \frac{\partial Q_f}{\partial x_f} + \frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} = q_c + q_f(\text{홍수터})$$

$$\frac{\partial Q_c}{\partial t} + \frac{\partial(V_c Q_c)}{\partial x_c} + gA_c \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right) = M_f(\text{수로}),$$

$$\frac{\partial Q_f}{\partial t} + \frac{\partial(V_f Q_f)}{\partial x_f} + gA_f \left(\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right) = M_c(\text{홍수터})$$

여기서, x : 수로에 따른 거리, t : 시간, Q : 유량, A : 단면적, S : 저류, q : 단위거리당 측방유입량, g : 중력가속도, S_f : 마찰경사, V : 유속, 아래첨자 c f 는 수로와 홍수터를 나타냄, q_c , q_f : 수로와 홍수터 사이의 물의 교환량, M_c , M_f : 수로와 홍수터 사이에 교환된 단위길이당 운동량 흐름율(flux)

4. 댐 붕괴로 인한 홍수와 해석

4.1 상·하류단 경계조건

DAMBRK를 적용하여 양양양수발전소 하부댐의 PMF유량이 유입될 때 하부댐지점의 붕괴유출수문곡선을 산정하였으며, 이를 DAMBRK 및 HEC-RAS의 상류단 경계조건으로 하였고, 산정된 최대 붕괴유출량은 63,826m³/s로 계산되었다. 또한, 하류단 경계조건은 하부댐의 비상상황시를 고려하고 홍수류가 양양남대천 하구를 통해 동해로 방류되는 것을 고려하여 양양남대천 하구부 인근의 속초항 조위관측소의 대조평균만조위 EL.1.0m를 하류부 경계조건으로 하였다.

4.2 측방 유입조건

본 연구의 해석구간인 양양양수발전소 하부댐 하류부(후천)~동해 하구부(양양남대천 하류) 구간은 크게 오색천, 장승천, 양양남대천, 거마천, 포월천의 유량이 유입되므로 이를 고려하여 댐 붕괴 홍수와 해석을 실시하였다. 측방유입조건은 다음 <표 1> 및 <그림 1>과 같다.

표 1. 측방유입을 고려한 하부댐 하류의 지천 현황

하천명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	첨두홍수량 (m ³ /s)
오색천	77.80	18.7	937
장승천	12.50	8.5	226
양양남대천 상류	196.25	48.6	1,366
거마천	16.60	9.6	117
포월천	6.00	7.2	69

그림 1. 주요지천의 유입수문곡선

4.3. 댐 붕괴 홍수와 해석 결과

DAMBRK 및 HEC-RAS모형을 이용하여 PMF시 양양양수발전소 하부댐 하류부의 댐 붕괴 홍수와 해석결과는 다음 <표 2>, <그림 2>, <그림3>과 같다.

표 2. DAMBRK 및 HEC-RAS의 양양양수발전소 하부댐 하류부 댐붕괴 홍수와 해석결과

하천명	유역면적 (km ²)	DAMBRK		HEC-RAS	
		첨두홍수량 (m ³ /s)	최고홍수위 (EL.m)	첨두홍수량 (m ³ /s)	최고홍수위 (EL.m)
하부댐 직하류	124.90	63,826	112.42	58,792	115.43
오색천 합류후	215.18	16,673	53.77	31,683	66.69
장승천 합류후	239.35	11,687	22.59	21,158	24.84
양양남대천 합류후	438.35	11,059	13.61	15,801	13.90
거마천 합류후	450.85	12,235	13.41	15,276	12.75
포월천 합류후	474.80	11,420	1.91	11,080	4.29

해석결과 홍수위는 대부분 구간에서 HEC-RAS 모의결과치가 더 크게 산정되었으며, 그 크기는 양양남대천 합류후부터 유사한 크기를 나타냈으며, 붕괴홍수량 또한 HEC-RAS가 DAMBRK에 비하여 크게 형성되는 것을 알 수 있다.



그림 2. 댐 붕괴 홍수위 비교

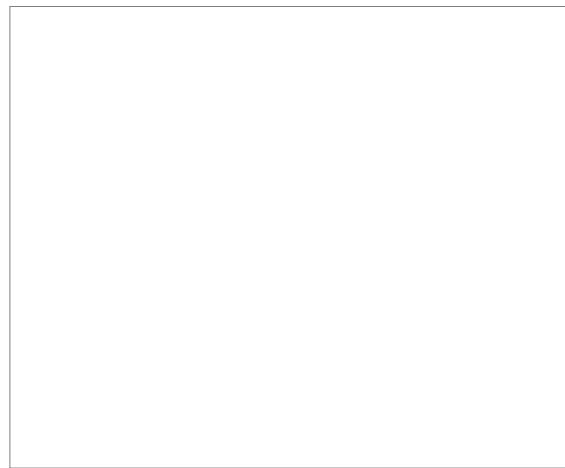


그림 3. 댐 붕괴 유출량 비교

5. 결론

DAMBRK 및 HEC-RAS모형으로 양양양수발전소 하부댐 하류부 구간의 댐 붕괴 홍수와 해석을 실시한 결과는 다음과 같다.

- 댐 직하류 ~ 장승천 합류후 구간은 5~16m의 수위차 및 붕괴유출량 또한 편차가 크게 나타났다.
- 장승천 이후 하류구간에서는 수위 및 유출량 분포가 DAMBRK 및 HEC-RAS 모두 유사한 값을 나타냈다.

추후 HEC-RAS 모형의 수행시 주변지형의 홍수터화 하는 기법 등을 첨가한 수위분석이 필요한 것으로 나타났으며, HEC-HMS모형 등 신기법을 추가한 상용모형에서 급경사 수로에서의 댐 붕괴 홍수파해석 연구가 수행되어야 할 필요성이 있다.

참 고 문 헌

1. 한국수자원학회(2005), 댐설계기준
2. 이상태(1998), 하천제방단면의 주요 특성치 변화에 따른 붕괴부 확대과정에 관한 연구
3. 양양군(2002.9), 하천정비기본계획(양양남대천(변경), 후천, 포월천, 매송천)
4. 한국중부발전(주)(2007.5), 양양양수발전소 토건시설물 초기점검용역
5. 한국전력공사(1997.12), 양양양수발전소 1~4호기 설계기술용역 기본설계
6. Chow V. T.(1973), Open Channel Hydraulics, McGRAW-HILL BOOK COMPANY
7. Fread D. L.(1988), The NWS DAMBRK model : Theoretical Background/User Documentation, NWS, NOAA
8. U.S.ACE(2002), HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 3.1