

댐 붕괴 홍수해석 모형의 검토

한 건 연 (경북대학교 토목공학과 교수)

1. 서론

공학적인 면에서, 댐 붕괴에 따른 극한 홍수해석은 비상 사태와 위기에 대한 대처방안으로 매우 중요하다. 또한 환경에 대한 영향과 사회-경제적 중요성을 평가하기 위해서도 댐 붕괴로 인한 홍수특성의 평가와 예측이 필요한 시점이다.

댐 붕괴는 극한홍수의 상황이기 때문에 이를 수리 모형실험을 통해서 그 영향을 평가하기는 매우 어렵다. 이 경우 수치모형은 하류지역에서의 홍수의 영향에 대한 평가를 신속하고 정확하게 해석하기 위해 가장 편리한 방법이다. 검토되어야 할 수리학적 영향은 댐 하류부의 지형과 시간의 변화에 따라 침식이나 퇴적양상 및 수위와 유속의 변동 등이다. 또한 설계 단계에서 댐 붕괴 홍수파 해석은 댐 여수로 통수능을 결정하기 위한 수문학적 안정성 평가의 보조적 절차가 될 수 있다. 댐 붕괴모형이 가져야 하는 계산 수행기능의 중요사항은 다음과 같이 요약될 수 있다.

① 모형 영역은 댐 붕괴로 인한 홍수 조건에 대해 더 이상의 추가하여 고려될 항이 없는 중요부분까지 확대되어야 한다. 특히 연속적으로 위치한 댐의 순차적인 붕괴에 따른 동역학적 홍수파를 모의할 수 있어야 한다.

② 저수지와 댐 하류부에 있어 댐 방류에 따른 통상적인 수문곡선이나 댐 붕괴 홍수파에 대한 추적이 모두 하나의 모형에서 수행될 수 있어야 한다.

③ 수치기법은 상류와 사류가 혼합되어 존재하는

경우에 대해서, 자연하천의 불규칙한 하도를 따라 전파되는 급격한 부정류의 양상을 안정되게 재현할 수 있어야 한다.

④ 중력식 댐의 붕괴와 심각한 침식이 예상되는 계곡사이의 홍수추적에 있어 침식이나 퇴적양상을 모의할 수 있어야 한다.

⑤ 모의결과는 잠재적인 구조물의 피해와 비용 손실을 평가하기 용이하여야 한다.

⑥ 수치모의에 의해 작성된 범람도는 선행파와 침투홍수파의 도달시간을 정확하게 제시할 수 있어야 한다. 잠재적 피해위험에 따른 지역의 구분과 대피 우선 순위 등이 제시될 수 있어야 한다.

⑦ 민감도 해석은 계산 모형에 의해 용이하게 수행될 수 있어야 한다. 출력변화의 범위가 파괴부에 관련된 변수, 하도부의 조도, 초기 또는 경계조건에 따라 댐 설계자, 운영자 및 방재업무 관련자가 유용하게 활용할 수 있는 형태로 제시되어야 한다.

댐 붕괴 홍수파 모형의 선택은 댐 저수지와 하류부의 특성, 댐 붕괴 해석의 중요성 및 목적 등에 따른 다양한 인자에 의존한다. 예비적인 연구단계에서는 대략적인 평가를 위해서 단순화된 방법을 활용할 수도 있다. 구체적인 모의 결과를 원하거나 실제상황에 대해 모의하고자 할 경우에는 모형에 제시된 요구사항을 충분히 반영할 수 있도록 완벽한 동수역학 방정식에 기초하여야 한다. 이러한 상황에서 각 모형이 가지는 제약조건과 그 특성을 이해하는 것이 중요하다.

2. 댐 붕괴 모형의 구성요소

댐의 붕괴 양상에 대한 수학적 모형들은 완성도, 수학적 정교함 및 동수역학적인 정확성에 있어서 발전되어오고 있다. 특히 1965년 Cristofano 모형 이후로 지난 30년 동안 댐 붕괴 모의와 이로 인한 홍수 예보에 있어서 상당한 발전이 있었다. 본 절에서는 댐 붕괴 모형에 대해서 이제까지 연구된 바를 종합적으로 검토하였다.

지금까지 개발된 어떠한 모형도 댐 붕괴와 관련된 모든 구성요소를 모의하는데 완벽하지 못하였고, 이 모든 구성요소는 홍수위험에 관한 완화프로그램의 개발을 위해서 반드시 필요하다. 주요한 모의 구성요소는 5개의 주요 그룹으로 분류될 수 있고, 이 각 그룹은 2개 또는 3개의 하위 구성요소를 갖는데, 주요 내용은 다음과 같다.

- ① 홍수 수문학 : 강우강도-유출 관계, 수로-흐름 추적
- ② 저수지의 수리 : 유입 수문곡선의 추적, 저수지의 수위 계산
- ③ 댐 붕괴에 따른 홍수류의 수리 : 댐 정부를 통한 흐름, 붕괴부를 통한 흐름, 붕괴부 직 하류부 흐름
- ④ 붕괴부의 지형조건 : 토사이송, 붕괴부 형상, 측면에 따른 붕괴 양상
- ⑤ 홍수추적 : 하도 추적, 홍수터 추적

다양한 붕괴부 침식 모형에 포함된 구성요소는 표 1에 제시되어 있다. Cristofano (1965)가 붕괴부 침식 모형을 소개한 이후로, 모형을 더욱 포괄적으로 만들기 위하여 더욱 많은 구성요소들이 추가되었다. Cristofano 모형은 단지 붕괴과정과 붕괴부의 흐름만을 고려하였으나, BEED 모형은 위에서 언급한 모든 구성요소를 통합하고 있다.

HW와 BRDAM 모형은 3가지 다른 구성요소를 포함하여 Cristofano 모형을 훌륭하게 확장하였다. PT, Lou 및 Nogueira 모형들은 그들의 구성에 있어서 유사할 뿐만 아니라, Nogueira 모형이 유입수문

곡선의 추적과 측면면에 따른 붕괴양상을 고려하고 있는 것을 제외하고는 모두 동일한 구성요소를 가진다. 자료에 있어서 가장 포괄적이고 상세한 모형인 DAMBRK 모형은 저수지 추적과 하류부 추적과 같은, 추적 측면에 초점을 맞추고 있다. 붕괴부의 형성 과정은 매우 정교하게 고려되지 않는다. 신속한 모의 결과를 얻기 위해서 이 모형을 단순화시킨 것이 SMPDBK 모형이다. 따라서 이들 모형은 동일한 구성요소를 포함하고 동일한 계산원리에 기초하고 있다. BREACH와 BEED 모형은 붕괴부의 형성과정과 붕괴부를 통한 흐름 및 붕괴부 하도를 강조하고 있다. BEED 모형은 DAMBRK 모형과 같이 저수지 추적과 하류부 추적을 고려하고 있다.

표 2에서 나타난 것처럼, 모형들은 다양한 구성요소들을 다루는데 있어서 상당한 차이가 있다. 그러나 저수지의 수리와 그것의 부 구성요소는 이들을 포함하는 모든 모형들에 의해서 비슷하게 다루어진다. 여수로, 방수로 및 발전소를 통한 유출량은 저류추적의 한 부분을 구성한다. 어떤 모형이 이들 유출량을 명시하여 다루고 있지 않다면, 그 모형은 알고리즘에 있어서 큰 변화없이도 그것을 수행할 수 있는 능력을 가지고 있는 것으로 판단된다.

댐을 통한 흐름의 수리학적 영역에서, 모형의 대부분은 넓은 마루공식을 사용하여 붕괴부를 통하는 흐름을 계산한다. 그러나 PT, Lou 및 Nogueira 모형은 예외이다. PT 모형은 붕괴부 상단 폭과 유량 사이의 관계를 이용하는 반면, Lou와 Nogueira 모형은 각각 부정류 방정식과 한계류 방정식을 활용한다. 댐 정부를 통한 흐름은 대부분의 모형에서 명시되어 다루어지지 않고, 이들 모형들은 붕괴부를 통한 흐름과 관련하여 명백하게 이것을 처리한다. 대부분의 모형들은 댐의 직하류부에서 붕괴부를 통한 흐름(즉, 붕괴 하도흐름)을 별도로 고려하지는 않는다. PT, Lou 및 Nogueira 모형은 이 흐름을 모의하기 위하여 Saint-Venant 방정식을 이용하는 반면, BEACH와 BEED 모형은 정상 등류공식을 사용한다. 대부분의 모형들은 댐을 통한 흐름의 수리현상을 다루기 위하여 3가지 부 구성요소를 하나의 구성요

표 1. 댐 붕괴 홍수 모의에 대한 구성요소

모형	저자 (년도)	저수지의 수리		댐 붕괴에 따른 홍수류의 수리			붕괴부의 형성조건		홍수추적	
		유입수문 곡선 추적	저수지의 수위계산	댐 정부를 통한 흐름	붕괴부를 통한 흐름	직하류부의 흐름	토사이동	붕괴부 형상	하도 추적	홍수터 추적
Cristofano 모형	Cristofano (1965)	×	×	×	○	×	○	○	×	×
HW 모형	Harris and Wagner(1967)	×	○	×	○	×	○	○	×	×
BRDAM 모형	Brown and Rogers(1977)	○	○	×	○	×	○	○	○	×
PT 모형	Ponce and Tsvoglu(1981)	×	○	×	○	○	○	○	×	×
Lou 모형	Lou(1981)	×	○	×	○	○	○	○	×	×
Nogueira 모형	Nogueira (1984)	○	○	×	○	○	○	○	×	×
DAMBRK 모형	Fread (1984a)	○	○	○	○	×	×	○	○	○
SMPDBK 모형	Wetmore and Fread(1984)	×	×	○	○	×	×	○	○	×
BREACH 모형	Fread(1984b)	○	○	○	○	○	○	○	×	×
BEED 모형	Singh and Scarlatos (1986)	○	○	○	○	○	○	○	○	○

소로 결합시킨다.

각 모형들은 붕괴부의 형성조건을 서로 다르게 특성화시키고 있다. DAMBRK와 SMPDBK 모형을 제외한 모든 모형들은 토사 이송 방정식을 이용한다. PT, Lou 및 Nogueira 모형은 이송방정식을 Exner의 토사 연속방정식과 연계시켰는데, 적용되는 토사 이송방정식은 Schoklitsch 방정식, Meyer-Peter와 Muller 방정식, DuBoys 방정식 및 Einstein-Brown 방정식 등이다. Cristofano 모형은 그 자체의 침식 방정식을 유도하여 적용한다. Lou 모형은 토사방정식을 파괴시간, 침식성 지표 및 유속의 함수로서 표현한다.

Lou와 PT 모형은 붕괴부 형성에 대해서 전단응력 해석과 침식역학 이론에 기초하여 해석적인 방정식을 도입한 유일한 모형이다. 그 외의 나머지 모형들

은 붕괴 형상을 가정하였다. DAMBRK, SMPDBK 및 BEED 모형은 사다리꼴 형상을 이용하는 반면, 직사각형과 삼각형 형상을 적용할 수도 있다. Cristofano 모형은 일정한 하상과 폭을 가정한 사다리꼴 붕괴부를 이용한다. HW 모형은 포물선 형태를 이용하지만, BRDAM 모형은 45° 측면경사와 포물선 하상을 가진 삼각형 형상에 의해서 붕괴부가 표현된다. BREACH 모형은 붕괴부에서 붕괴부 폭을 수심의 함수로서 표현한다.

단지 Nogueira, BREACH 및 BEED 모형만이 측면경사의 불안정성과 붕괴양상을 고려한다. BEED 모형은 포화 토양 조건을 가정하여 측면 붕괴의 역학을 분석하기 위해 등고선법을 이용한다. 건조 토양 조건을 가정하여 붕괴부의 측면 붕괴를 계산하도록 하는 BREACH 모형에 의해 이용되는 방법과

표 2. 댐 붕괴 홍수모형의 모의과정 요약

모형	저수지의 수리		댐 붕괴에 따른 홍수류의 수리			붕괴부의 형성조건			홍수추적	
	유입수문 곡선추적	저수지의 수위 계산	댐 정부를 통한 흐름	붕괴부를 통한 흐름	직하류부의 흐름	토사이동	붕괴부 형상	측벽면을 따른 붕괴양상	하도 추적	홍수터 추적
Cristofano 모형	-	-	-	넓은 마루 웨어 공식	-	경험식	사다리꼴	-	-	-
HW 모형	-	저류량-수심곡선	-	넓은 마루 웨어 공식	-	수정 Schoklitsch 공식	45° 측면 경사를 가진 포물선 형태	-	-	-
BRDAM 모형	체적평형	저류량-수심곡선	-	넓은 마루 웨어 공식	-	Schoklitsch 소류사 공식	45° 측면 경사를 가진 포물선 형태	-	-	-
PT 모형	-	체적평형	-	상단 폭과 유량 사이의 관계	Manning의 식	Meyer-Peter와 Muller 방정식 + Exner 방정식	일정한 폭	-	-	-
Lou 모형	-	체적평형	-	동역학적 모의	동역학적 모의	DuBoy의 소류사 + Einstein의 부유사 공식	Cosine 형태	-	-	-
Nogueira 모형	체적평형	체적평형	-	동역학적 모의	동역학적 모의	Meyer-Peter와 Muller 방정식 + Exner 연속 방정식	Cosine 형태	지형학적 역학조건	-	-
DAMBRK 모형	체적평형	체적평형	넓은마루 웨어 공식	넓은마루 웨어 공식	-	-	직사각형, 사다리꼴 또는 삼각형 형태	-	동역학적 모의	동역학적 모의
SMPDBK 모형	-	-	넓은마루 웨어 공식	넓은마루 웨어 공식	-	-	직사각형 형태	힘의 평형	-	-
BREACH 모형	질량보존	체적평형	넓은마루 웨어 공식	Manning의 방정식	Manning의 방정식	Meyer-Peter와 Muller 방정식	직사각형, 사다리꼴 형태	-	-	-
BEED 모형	체적평형	체적평형	넓은마루 웨어 공식	넓은마루 웨어 공식	준 정상상태 해석	Einstein-Brown 공식	직사각형, 삼각형 또는 사다리꼴 형태	등고선 방법	Muskingum 방법	Muskingum 방법

유사하다. Nogueira 모형은 활동이 재료의 내부 마찰각의 접선과 동일한 경사를 가진 선을 따라 붕괴부에서 발생한다는 가정에 기초하여 활동으로 인한 횡방향 침식을 해석하기 위하여 6가지 경우에 대해서 고려하였다. 이 경우 침식되지 않는 경계의 서로 다른 위치를 포함하고 있으며, 측면 붕괴에서의 이들 영향을 설명한다.

하도와 홍수터 모두에서의 하류부 흐름 추적은 단지 BEED와 DAMBRK 모형에서만 다루어진다. BEED 모형은 Muskingum 방법을 사용하고, DAMBRK 모형은 Saint-Venant 방정식에 기초를 둔 동역학적 흐름 추적을 사용한다. BRDAM과 SMPDBK 모형 또한 흐름을 추적할 수 있으나, 단지 하류부 하도에서만 가능하다. 전자는 동역학적 모의

를 이용하고 후자는 DAMBRK 모형에 의하여 만들어진 무차원 곡선을 이용한다. 나머지 모형들은 하류부 흐름 추적을 고려하지 않는다.

3. 모형의 매개변수

각 모형들과 관련된 많은 매개변수들은 표 3에 나타난 바와 같다. Cristofano 모형과 HW 모형의 경우와 같이 적게는 2개에서, BEED 모형의 경우와 같이 17개까지 매개변수들을 가지고 있다. 모형들이 많은 다양한 구성요소들을 포함하고 있는 경우에는 이보다 더 많은 수의 매개변수가 필요하다. 일반적으로, 모형이 다양한 구성요소를 많이 가지면 가질수록, 그 모형은 더 많은 매개변수를 필요로 하게 되는 것이다.

BEED 모형을 예로 들면, 대부분의 매개변수들은 주 수로와 홍수터 사이의 상호작용을 결정짓는 하류 지역 범람이나 유사량 추적과 관련이 있다. 나머지 매개변수들 중 4개는 유사 이송 관계(Einstein-Brown 공식)와 관련이 있으며, 나머지 4개는 댐 정부를 통해 월류되는 유량 흐름과 관련이 있다. 다른 한편, Cristofano 모형의 경우에는 유사-유량 관계에서만 2개의 매개변수를 가지고 있으며, 어떤 다른 구성요소도 고려하지 않는다. Cristofano 모형을 확장시킨 HW 모형은 3개의 매개변수를 가지고 있다. 3개의 매개변수 외의 추가적인 매개변수는 하도 홍수 추적으로부터 나온 결과이다.

DAMBRK 모형은 12개의 매개변수를 가지고 있다. 이 매개변수들 중 5개는 어떠한 유사량 추적에 대한 사항 없이 하류 홍수범람 추적에 대한 사항으로 되어있다. 나머지 7개의 매개변수 중 4개는 댐 정부를 통해 월류되는 유량 흐름을 수리학적으로 모의하는 경우에 발생하고, 나머지 3개는 댐 붕괴부 형상을 결정짓는 것과 관련이 있다. PT, Lou, Nogueira 및 BREACH 모형은 6개 내지 7개의 매개변수를 가지고 있다. PT, Lou, Nogueira 모형은 같은 구성요소들을 가지고 있으며, 이는 곧 해당 모형들이 어느 정도 같은 수의 매개변수들을 가지고 있다는 것을 유추

하게 한다. 이와 같은 사항은 BREACH 모형의 경우에도 마찬가지이다.

명백하게 보면, 댐이 파괴되는 것을 완벽하게 모의해야만 한다면 많은 매개변수의 발생은 피할 수 없는 사실이며, 모형의 보정과 검증을 위한 더 많은 자료가 필요하게 될 것이다.

4. 입력변수의 특성

모형을 모의하는데 필요한 입력자료와 초기조건은 각 모형에 따라 다양하다. 앞서 기술한 바와 같이, Cristofano 모형과 HW 모형의 경우 모의를 위한 입력자료와 초기조건은 최소가 된다. 어떠한 모형이 더 많은 구성요소를 가지고 있는 경우, 모형에서 요구되는 입력자료의 수는 그 구성요소에 비례하여 많아진다. 이러한 사항은 각 모형에서 요구되는 입력자료와 초기조건을 요약해 놓은 다음 내용으로 명백해질 것이다.

Cristofano 모형 : 이 모형은 선택된 시간 증분에 대한 붕괴부에서의 초기 침식 깊이를 요구한다. 계산을 수행하기 위해서 토사의 응집력, 유도된 마찰각, 압밀의 정도 및 저수지의 수위 등이 요구된다.

HW 모형 : 초기 수위, 초기 붕괴부 크기 및 초기 붕괴부 측면면 경사가 HW 모형에서 초기조건으로 필요하게 된다. 요구되는 입력자료는 수위-저류량 관계, 유입유량, 방수로로 통해 방류되는 유량, 댐 축조에 사용된 재료의 종류, 제방과 기초암반의 특성 등이 있다.

BRDAM 모형 : 초기 저수지 수위, 하류부 수위 및 댐 정부의 표고 등에 의해 기술되는 초기조건이 필요하다. 요구되는 입력자료로는 댐의 기하학적 형상, 토사의 특성, 저수지의 유입수문곡선, 저수지의 최대·최소 수위, 수위-저류량 관계, 최대·최소 방류 유량, 하류부 하도에서의 유량에 대한 방류 수위, 여수로, 방수로, 발전소 및 홍수저류량, 방류량 자료 등이 요구된다.

PT 모형 : 초기 조건과 요구되는 입력자료로 초기 면적, 폭, 깊이, 유량, 댐과 붕괴부의 형상, 토사의

표 3. 댐 붕괴 모의모형에서의 매개변수

모형	저수지의 수리	댐 붕괴에 따른 홍수류의 수리	붕괴부의 지형조건	홍수추적	매개변수의 총수
Cristofano 모형	-	매개변수 없음	1. 비례상수 Kc 2. 유도된수정 마찰각 또는 구성재료의 안식각 ϕ	-	2
HW 모형	-	매개변수 없음	1. 수리경사 S 2. 토양 입자의 지름 d	-	2
BRDAM 모형	매개변수 없음	매개변수 없음	1. 수리경사 S 2. 토양 입자의 지름 d	조도계수	3
PT 모형	매개변수 없음	1. 수심-면적 관계에서 매개변수 α 2. 수심-면적 관계에서 지수 β 3. 유변-면적 관계에서 매개변수 a1 4. 유변-면적 관계에서 지수 b1 5. Manning의 조도계수	1. Peter-Meyer와 Muller 방정식에서 계수 a 2. 붕괴부 상단 폭	-	7
Lou 모형	매개변수 없음	1. 마찰경사	1. 안식각 θ 2. 상단 폭 3. Dubois 공식에서 매개변수 4. 평균 입자 크기 5. 전단응력	-	6
Nogueira 모형	1. 체적-표고 관계에서 매개변수 α 2. 체적-표고 관계에서 지수 β	1. 마찰경사 2. 수위-유량 관계곡선	1. 하상 구성물질의 안식각 ϕ 중심에서의 최대 수심 y_0 2. Meyer-Peter와 Muller 방정식에서 계수 3. 전단응력	-	6
DAMBRK	매개변수 없음	1. Manning의 조도계수 2. 조절되지 않는 여수로의 유량계수 3. 조절되는 여수로의 유량계수 4. 댐 정부에서 흐름에 대한 유량계수	1. 파괴시간 2. 최종 붕괴부의 크기 3. 붕괴형태	1. 하도추적에 대한 Manning의 조도 2. 하도단면 확대·축소 계수 3. 하도흐름에서 유량에 비례하는 매개변수 4. 좌측 홍수터 흐름의 유입유량에 비례하는 매개변수 5. 우측 홍수터 흐름의 유입유량에 비례하는 매개변수	
SMPDBK 모형	-	-	1. 최종 붕괴 폭 Br 2. 파괴시간 tf	1. 상단 폭-수심 관계에서 매개변수 2. 상단 폭-수심 관계에서 지수 3. Manning의 조도계수	
BREACH 모형	매개변수 없음	1. Manning의 조도계수	1. 붕괴 폭과 수심 관계에서 매개변수 Br 2. 내부 마찰 3. 응집력	-	6

표 3. 댐 붕괴 모의모형에서의 매개변수 (계속)

모형	저수지의 수리	댐 붕괴에 따른 홍수류의 수리	붕괴부의 지형조건	홍수추적	매개변수의 총수
BEED 모형	매개변수 없음	1. Chezy의 마찰계수 2. 댐 정부를 흐르는 흐름과 붕괴부를 통과하는 흐름 관계에서 매개 변수 3. Manning의 조도계수	1. 대표적인 하상토사의 크기 2. 전단응력 매개변수 3. 내부마찰경사 4. 응집에 의한 응력	1. Muskingum 매개변수 Km 2. 가중계수 Xm 3. 흐름 교환에 대한 매개변수 Ac 4. 흐름 교환에 대한 매개변수 Af 5. 흐름 교환 지수 r 6. 침식속도 관계에서의 매개변수 C 7. 침식속도 관계에서의 지수 m 8. 퇴적관계에서의 매개변수 d 9. 주수로에서 홍수터로 유입되는 토사의 부분 f	

특성, 조도계수 및 시·공간적인 입력사항 등이 포함된다.

Lou 모형 : Lou 모형을 모의하기 위해 필요한 입력자료로서는 저수지의 수위-저류량 관계, 여수로와 방수로에 대한 입력사항, 댐 구성재료의 특성, 조도계수, 댐 직하류 단면에서의 수위-유량 관계곡선, 파괴시간, 침식지수 및 시·공간적인 입력사항 등이 포함된다.

Nogueira 모형 : 유입수문곡선, 수위-저류량 관계, 방류량, 초기 단면에서의 침식상태와 수위-유량 관계곡선, 조도계수, 토사 특성, 그리고 시·공간적인 입력사항 등이 요구된다.

DAMBRK 모형 : 초기조건으로서 모의 시작시점에서의 모든 단면에 대한 수위와 유량이 필요하고, 경계조건에는 저수지의 유출수문곡선, 하류단 경계에서의 수위-유량 관계 등이 요구된다. 입력자료로는 댐과 수로 하류부에 존재하는 유출수문곡선의 홍수추적에 대한 사항들이 있다. 초기조건과 경계조건은 붕괴부의 파괴시간, 붕괴부의 최종 바닥 폭, 붕괴부의 측면경사, 붕괴부 바닥의 최종 높이, 초기 저수지수위, 붕괴부가 형성되기 시작할 때의 수위, 댐 정부의 높이, 여수로, 방수로, 발전소, 수위-저류량 관계 등에 관한 정보가 필요하다. 또한 댐 하류부 수로

단면의 조건, 마찰저항계수 및 단면확대 및 축소계수 등이 요구된다.

SMPDBK 모형 : 댐 정부 수위, 최종 붕괴부 바닥 높이, 저수지 저류량과 수표면적, 최종 붕괴부 폭, 붕괴부가 형성되기까지의 시간, 월류되는 유량과 터어빈을 통한 유량, 파괴시간에서의 여수로와 다른 방류 구조물에 대한 입력사항, 하나 이상의 하류단 단면에서의 수위에 대한 상단폭 자료, 각 단면에 대한 조도 계수, 제방의 높이, 그리고 수로바닥 기울기 등이 입력자료로 요구된다.

BREACH 모형 : 댐 구성재료의 특성, 응집력, 토사 입자의 크기, 단위 중량, 댐의 형상, 각 여수로와 방류 구조물에 대한 수위-유량 곡선, 수위에 대한 저수 용량 관계, 붕괴부 형성 시작 시간에서의 초기 수위, 유입 수문곡선, 조도 계수, 붕괴부의 형상 등의 사항들이 BREACH 모형을 사용하기 위한 입력자료로 이용된다. 처음 월류가 시작될 때, 붕괴부 직하류부의 흐름이 존재하는 것으로 가정되고, 깊이에 따른 폭의 침식작용이 하류방향으로 진행되는 것으로 가정된다.

BEED 모형 : 최초 붕괴부의 형상, 크기, 위치가 초기조건으로 요구된다. 댐과 저수지의 기하학적 및 물리적 특성, 그리고 하류단 수로에 대한 사항들

이 모형의 입력자료로 사용된다. 구체적으로 기술하면, 댐의 기하학적 특성, 비중, 토사입자의 직경, 응집력, 내부 마찰각과 같은 토사의 특성 및 조도계수와 같은 사항들이 필요하다. 수위와 유량에 관한 정보는 저수지에 대해서만 뿐만 아니라 여수로와 발전소 방류구에 대해서도 필요하다. 요구되는 단면에서의 하류부 수로의 형상, 크기, 조도계수 등도 필요하다.

5. 맺음말

댐 붕괴 모형에 대해서는 기존에 미국, 유럽 등 선진국에서 많은 모형들이 개발되어 왔으며, 프로그램의 정교함은 비교적 단순한 모형에서부터 매우 정교한 모형에까지 다양하다. 이들 모형을 국내 유

역에 적용하고자 하는 경우에 모형의 기본적인 특성, 모형이 가지는 한계성, 매개변수의 특성, 입력자료 도출 등에 대한 충분한 사전 지식을 갖추지 않은 상태에서의 모의 결과는 무의미한 경우가 많으므로, 이를 충분히 숙지한 후에 모형 적용이 이루어져야 하겠다.

현재 국내에서도 극한강우 등에 의한 중소규모 댐의 안정성이 많이 논의되고 있는 상황에서 댐의 가상붕괴에 따른 하류부의 영향을 파악하고 이를 사전에 대비하는 방재계획이 수립이 필요한 시점으로 판단된다. 이를 위해서는 필요에 따라서는 국내 실무자들이 손쉽게 적용할 수 있고, 국내유역에 적합한 댐 붕괴 홍수해석 모형의 자체개발도 필요한 시점으로 판단된다. ●

〈참고문헌〉

- 김원, 한건연, 김상호 (2001). "음해적 ENO 기법을 이용한 댐 붕괴류 해석", 대한토목학회 논문집, 제21권, 제4-B호, pp. 371-380.
- 이종태, 한건연, 이원환 (1986). "Earth Dam의 가상 파괴로 인한 홍수파의 예측 모형.", 대한토목학회논문집, 제6권, 제4호, pp. 69-78.
- 이종태, 한건연 (1992). "댐 붕괴 홍수파 해석을 위한 무차원 홍수추적곡선의 유도." 대한토목학회논문집, 제12권, 제12호, pp. 87-99.
- 이홍래, 한건연, 조원철 (1998). "댐 붕괴 홍수모의에 대한 불확실도 해석", 한국수자원학회논문집, 제31권, 제3호, pp. 337-345.
- 한건연, 이종태, 이원환 (1985). "Earth Dam 파괴로 인한 유출수문곡선의 유도." 대한토목학회논문집, 제5권, 제2호, pp. 41-50.
- 한건연 (1987). "하천에서의 홍수파 해석을 위한 수치모형의 개발 (효기리 댐 파괴에 따른 홍수파 해석을 중심으로)" 한국수문학회지, 제20권, 제4호, pp. 285-294.
- 한건연 (1990). "댐의 파괴형태와 하도부 양상에 따른 홍수파 전달특성 해석에 관한 연구." 한국수문학회지, 제23권, 제4호, pp. 467-476
- 한건연, 이재영, 이을래, 송재우 (1998). "댐 붕괴 수치모형에 대한 적용성 평가", 한국수자원학회논문집, 제31권, 제2호, pp. 189-198.
- Chen, C.-L. and Armbruster, J.T. (1980). "Dam-break wave model: formulation and verification." *J. of Hyd. Div., ASCE*, Vol. 106, No. HY5, pp. 747-767.
- Fread, D.L. (1981). "Some limitations of dam-breach flood routing models." *Proc. of ASCE Fall Convention*, St. Louis, Mo.
- Fread, D.L. (1977). "The development and testing of a dam-break flood forecasting model." *Proc. of Dam-break Flood Modeling Workshop*, U.S. Water Resources Council, Washington, D.C., pp. 164-197.
- Han, K.Y., Lee, J.T. and Park, J.H. (1998). "Flood inundation analysis resulting from Levee-break." *J. of Hydraulic Research*, Vol.

■ 학술기사

댐 붕괴 홍수해석 모형의 검토

- 36, No. 5, pp. 747-759.
- Ponce, V.M. and Tsivoglou, A.J. (1981). "Modeling gradual dam breaches." *J. of Hyd. Div.*, ASCE, Vol. 107, No. HY7, pp. 829-838.
- Singh, V.P. (1996). *Dam Breach Modeling Technology*. Kluwer Academic Press.