

기존댐의 수문학적 안전성 평가기준 개선방안

Improvement of Hydrological Safety Evaluation Guideline for Existing Dams



신철식 |

한국시설안전기술공단 진단2본부 수리시설실 부장
csshin@kistec.or.kr



류근준 |

한국시설안전기술공단 진단2본부 수리시설실 실장
ryukj@kistec.or.kr



조경석 |

한국수력원자력(주) 발전처 수력실 실장
choks2@khnp.co.kr



배봉원 |

한국수력원자력(주) 발전처 수력실 과장
bongweon@khnp.co.kr

1. 서론

국내 일정규모 이상의 댐들에 대한 정밀안전진단 시 수행되고 있는 수문학적 안전성 평가(또는 여수로 방류능력 검토)는 건설교통부에서 고시하고 있는 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(댐)(건설교통부, 2003)」(이하 세부지침)의 기준을 따르고 있다. 현재의 수문학적인 안전성 평가는 댐의 형식이나 댐의 재료적, 구조적 상태와 관계없이 여유고 확보 여부, 월

표 1. 현행 댐체 여유고에 대한 평가기준

평가 등급	평가 점수	상 태
A	5	검토 여유고 높이가 필댐 여유고를 만족하는 경우
B	4	검토 여유고 높이가 필댐 여유고를 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우 (하류부 피해정도가 경미)
C	3	검토 여유고 높이가 필댐 여유고를 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우 (하류부 피해정도가 중대)
D	2	댐월류가 발생하는 경우 (하류부 피해정도가 경미)
E	1	댐월류가 발생하는 경우 (하류부 피해정도가 경미)

류 여부 및 하류부 위험도에 따라 필댐의 경우(콘크리트, 복합, CFRD에 대해서도 동일하게 적용하고 있는 실정임)에 대해 표 1 기준에 따라 수행되고 있다.

그러나 수문학적 안전성 평가는 댐의 구조형식과 현장진단 결과에 의한 댐의 상태에 따라 1차적으로 수행될 필요가 있다. 여유고 부족 또는 월류 발생 등의 1차적인 조건을 만족시키지 못할 경우 그에 따른 댐체의 구조적인 안전을 검토하고, 최종적으로 댐 붕괴 발생 시 하류에 미치는 인적, 경제적 위험요인을 기준으로 평가하는 단계적인 평가가 필요한 실정이다.

댐 설계에 필요한 유입홍수량을 결정하는 데에는 두 가지 개념이 있다. 하나는 경제적인 측면을 고려하여 댐 구조물의 목적에 알맞은 홍수량을 채택하는 경우이고 다른 하나는 댐의 안전을 목적으로 홍수량을 채택하는 경우이다. 하나의 댐이라 하더라도 구조물 목적에 알맞은 홍수량과 댐의 안전을 꾀하는 홍수량을 각각 둘 수 있으나, 설계홍수량은 순전히 댐의

안전성을 고려한 홍수량으로 간주한다. 이 때, 저수지 유입 설계홍수로 가능최대 홍수량을 선택함이 좋으며, 그 이하 규모의 홍수량을 채택하고자 할 때에는 특별한 이유가 있어야 한다(댐설계기준, 2005).

확률 홍수량 개념으로 설계된 기존댐의 수문학적 안전성평가 시 댐설계기준에서 제시하고 있는 안전성을 고려한 유입 설계홍수량(즉, PMF)을 채택하고 있으며, 그에 따라 발생하는 여유고 부족, 월류 가능성 등의 수문학적 문제점은 사회, 경제적 및 환경적인 논란의 대상이 될 수 있다. 또한, 지리적 위치, 댐의 목적 및 유형 등에 따라서 치수능력 증대를 위한 구조적 및 비구조적 대책수립 등이 가능하거나 또는 불가능할 수 있다. 댐의 붕괴가 하류에 미치는 영향의 정도는 막대할 수도 그리고 경미한 수준이 될 수도 있으므로 유입홍수량에 대해 댐이 갖고 있는 실제적인 안전성을 평가할 수 있는 적절한 기준의 정립은 관리주체에게는 유지관리비용의 절감을 가져다주고 하류 지역 주민들에게는 사회, 경제적인 불안감을 해소할 수 있는 방안의 하나가 될 수 있다.

본 고에서 제시하고 있는 기존 댐에 대한 수문학적 안전성 평가기준 개선(안)은 국내·외 댐 안전성평가 항목, 기준 등의 분석 결과로부터 한국수력원자력(주), 한국농촌공사, 한국수자원공사 등 여러 관리주체에서 운영하고 있는 댐들의 극대홍수에 대한 수문학적 안전성을 보다 합리적이고 현실적으로 평가할 수 있는 항목 및 기준을 제안하여, 궁극적으로 댐의 정밀안전진단 시 활용될 수 있는 방안을 마련하는데 그 목적이 있다고 할 수 있다.

2. 수문학적 안전성 평가 기준 개선(안)

현재의 수문학적인 안전성 평가는 댐의 형식이나 댐의 재료적, 구조적 상태와 관계없이 여유고 확보 여부, 월류 여부 및 하류부 위험도에 따라 수행되고 있다.

조사된 국외 문헌에 의하면 수문학적 안전성 평가는 댐의 구조형식과 현장진단 결과에 의한 댐의 상태

에 따라 수행될 필요가 있다. 따라서, 여유고 부족 또는 월류 발생 등의 1차적인 조건을 만족시키지 못할 경우 그에 따른 댐체의 구조적인 안전성을 검토하고, 최종적으로 댐 붕괴 발생 시 하류에 미치는 인적, 경제적 위험요인을 기준으로 평가하는 단계적인 평가기준의 도입이 요구된다.

본 개선(안)에서는 기존댐의 PMF에 대한 수문학적 안전성 평가기준을 아래와 같이 1~3단계로 구분, 연계하여 설정하고자 하였다.

- ① 제 I 단계 : 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가(표 2)
- ② 제 II 단계 : 가능최대홍수량(PMF)에 대한 구조적 안전성 평가(표 3)
- ③ 제 III 단계 : 하류부의 위험도에 따른 평가(표 4)

2.1 제 I 단계 평가

제 I 단계 평가는 표 2에 나타나 있다. 여기서, 댐의 상태는 댐 정밀안전진단 시 수행된 상태평가등급을 의미한다. 즉, 여유고가 부족하더라도 상대적으로 댐의 상태가 양호한 댐은 보다 나은 점수를 받을 수 있는 가능성을 부여한다는 것이다. 콘크리트댐과 필댐 등은 월류 시 댐체의 안전성에 차이가 나타날 수 있기 때문에 필댐, 복합댐 및 CFRD는 보다 보수적인 기준을 적용했다.

현재의 저수지 운영률(Reservoir Operation Method, ROM)에 따른 여수로 방류능력 검토결과 여유고가 부족하거나 또는 댐체를 월류할 경우 보다 효과적인 ROM을 적용하여 홍수소통의 가능 여부를 재검토할 필요가 있다. 또한, 조절수문을 갖고 있는 댐의 경우 홍수량 유입 예측 시 초기수위를 저하시켜 최대한의 소통능력을 확보한 후 제체의 월류를 방지할 수 있는지를 검토하며, 댐의 현재 상태에 따라 추가적인 II, III 단계의 평가수행 여부를 결정하도록 한다. 또한, 다양한 비구조적 대책에 의해 제체의 월류가 불가피하거나, 월류 방지수준이지만 댐의 상태가

표 2. 제 I 단계 : 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가

단계	등급	점수	댐의형식	댐의상태	평가기준	비고
I	a	5	①, ②	모든등급	- 검토 여유고 높이가 여유고 기준을 만족하는 경우	I 단계 평가만 수행
	b	4	①, ②	A~C	- 검토 여유고 높이가 여유고 기준을 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우	
	c	3	①, ②	D, E	- 검토 여유고 높이가 여유고 기준을 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우	
				A~C	- 댐 월류가 발생하나 비구조적 대책에 의해 월류가 방지될 수 있는 경우	
	d	2	①, ②	D, E	- 댐 월류가 발생하나 비구조적 대책에 의해 월류가 방지될 수 있는 경우	- ①의 경우 II, III 단계 평가 - ②의 경우 III 단계 평가 수행
e	1	①, ②	모든등급	- 댐 월류가 발생하며 비구조적 대책에 의해 월류방지가 불가능한 경우		

주) 1. 댐의 형식 : ① 콘크리트댐, ② 필댐, 복합댐 및 CFRD

2. 댐의 상태 : 댐 토목시설물의 상태평가등급(A~E)

부실한 경우로 분석된다면 e 및 d등급의 결과를 갖고 II 및 III 단계의 평가결과와 연계하여 최종평가가 수행되게 된다.

2.2 제 II 단계 평가

제 II 단계 평가는 가능최대 홍수량에 대한 구조적 안전성 평가로서, 콘크리트 댐의 경우 제 I 단계에서 d 및 e등급의 판정을 받은 경우에만 수행된다. 필댐, 복합댐 및 CFRD의 경우 비구조적 대책에 의해서도 월류 시(제 I 단계 e등급) 그리고 비구조적 대책에 의해 월류가 방지되는 경우(제 I 단계 d등급)는 II 단계 평가 없이 바로 제 III 단계 평가가 수행된다.

구조적 안전성 평가는 크게 수문, 월류부 및 비월류부 콘크리트댐체로 구분하여 수행하는 것으로 하였다. 각 구조적인 안전성은 PMF 유입시 댐체에서의 수리·수문학적인 분석자료(여유고 부족 또는 댐체를 월류할 경우)를 사용하여 구조해석을 수행한 후 결정될 수 있으며, 각 검토항목은 활동, 전도, 지지력 및

구조물의 응력비로 구분되고 각각의 항목에 대한 평가기준과 종합적인 구조적인 안전성 평가절차는 현행 세부지침을 따른다.

표 3의 월류수심 조건의 공식은 미국 연방재난관리청(FEMA, 1985)에서 제시한 콘크리트 댐체의 붕괴여부를 결정짓는 한계수심(Critical Depth, h_c)으로, 이보다 큰 수심으로 월류할 경우 허용이 어려울 것으로 판단하여 d 및 e등급 구분의 기준으로 삼았다.

2.3 제 III 단계 평가

제 III 단계 평가는 댐의 PMF 유입 시 발생할 수 있는 하류부의 위험도에 따른 평가로서 콘크리트댐의 제 I 단계 d 및 e 등급에 경우에 대해 제 II 단계와 연계하여 평가하고 필댐, 복합댐 및 CFRD의 경우 제 I 단계 d 및 e 등급의 경우에 대해 제 II 단계 평가 없이 수행되도록 하였다.

“댐의 월류나 붕괴 시 하류부의 범람정도가 붕괴되

표 3. 제Ⅱ 단계 : 가능최대 홍수량(PMF)에 대한 구조적 안전성 평가

단계	등급	점수	평가기준	비고
Ⅱ	a	5	- PMF 유입 시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)의 구조적 안전성이 확보되는 경우	
	b	4	- PMF 유입 시 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)는 구조적 안전성이 확보되나 수문의 구조적 안전성이 확보되지 않는 경우	
	c	3	- PMF 유입 시 비월류부 콘크리트 댐체의 안전성은 확보되나 월류부 콘크리트 댐체와 수문의 안전성이 확보되지 않는 경우	
	d	2	- PMF 유입 시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)가 모두 구조적 안전성을 확보하지 못하면서 댐마루 월류수심이 $h_c \leq 0.52H_d^{0.45} - 0.3$ 의 조건인 경우	
	e	1	- PMF 유입 시 수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)가 모두 구조적 안전성을 확보하지 못하면서 댐마루 월류수심이 $h_c > 0.52H_d^{0.45} - 0.3$ 의 조건인 경우	

주) 1. 구조적 안전성 검토항목 : 활동, 전도, 지지력 및 구조물의 응력비(안전성 확보여부는 건설교통부에서 고시하는 세부지침의 평가기준을 따른다.)

2. h_c ≡댐마루 월류수심(m), H_d ≡댐 높이(m)

지 않은 상태와 큰 차이가 없을 것으로 판단되는 경우”란 댐의 붕괴 시 하류부에 추가적인 수위상승이 미미하여 잠재적인 위험이 낮은 댐의 경우로 해석될 수 있다. 이에 대한 연구는 미국연방재난관리청(FEMA, 2004)과 Bowles(1989) 및 미국토목학회(ASCE, 1988) 등에서 수행된 바 있다. 특히, 미국연방재난관리청은 저수지 용량이 작거나 댐이 붕괴되더라도 유출 홍수량을 크게 증가시키지 않으며, 하류부에 추가적인 수위상승을 유발하지 않는다면 댐 하류의 범람 정도는 댐 붕괴의 유무와 관계없이 근본적으로 동일하다고 볼 수 있으므로 용납할 수 있는(Acceptable) 성질의 것으로 간주하고 있다. 따라서 이러한 경우에는 하류부의 위험도를 b등급으로 설정하고자 하였다.

미국 Arizona주(2001)에서는 댐의 보수·보강 우선순위를 결정하기 위해 6개의 평가항목에 대한 평가 기준을 설정하였는데 그 항목 중 댐 붕괴 시 하류부의 위험에 처할 인원수(Number of Persons at Risk, PAR)를 0~300인 이상의 범위에서 5단계로 나누고 있다. 캐나다 Québec주(2007)의 경우에는 위험에 처할 인원수를 0~10,000인 이상의 범위에서

6단계로 나누어 위험도를 평가하고 있다. 국내의 경우 「댐 붕괴 등에 따른 비상대처계획 수립지침 작성방안 연구」(한국방재협회, 2004)에서는 농업용 댐에 대한 큰 피해잠재성을 갖는 경우 인명손실이 50가구(50×3인≒150인) 이상으로 설정하고 있으며, 하류 지역의 주택 및 산업시설의 밀집화 정도와 총저수용량 규모에 따라 피해잠재성을 분류하고 있다. 또한 미국 공병단이나 미국개척국(USBR, 1997) 등에서는 위험에 처할 인명을 0~6인 이상의 범위에서, 그리고 경제적 손실은 미미함, 상당함, 과도함으로 각각 3단계로 나누어 평가하고 있다.

본 평가기준 개선방안에서는 하류부의 인명피해 및 경제적 손실은 진단 대상 댐의 EAP(비상대처계획)을 참조하여 책임기술자가 판단하도록 하며, EAP가 수립되지 않은 댐에 대해서는 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」의 1종 및 2종 시설물의 범위(1종: 1,000만톤 이상, 2종: 100만톤 이상)를 기준으로 총저수용량의 규모에 따라 위험도 등급을 다음 표 4와 같이 결정하도록 하였다.

표 4. 제Ⅲ단계 : 하류부의 위험도에 따른 평가

단계	등급	점수	평가기준	비고
Ⅲ	a	5	- 댐의 붕괴 시 하류부의 인명 및 경제적 손실이 거의 없는 경우	상·하류 수위차가 적을 것으로 예상되는 경우
	b	4	- 댐의 붕괴 시 하류부의 범람정도가 붕괴되지 않은 상태와 큰 차이가 없을 것으로 판단되는 경우	
	c	3	- 댐의 붕괴가 댐 구조물 자체의 경제적 손실 이상의 피해는 거의 발생하지 않고 하류부에 주택 및 산업시설 등이 적어 인명피해의 가능성이 낮을 것으로 예상되는 경우, 또는 - 총 저수용량 100만 m ³ 미만인 경우	총 저수용량 규모는 EAP가 미수립된 댐에 대해 적용
	d	2	- 댐의 붕괴가 광범위한 경제적 손실을 초래하며 하류부에 주택 및 산업시설 등이 산재하여 인명피해의 가능성이 상당할 것으로 예상되는 경우, 또는 - 총 저수용량 100만 m ³ 이상 1,000만 m ³ 미만인 경우	
	e	1	- 댐의 붕괴가 대규모 경제적 손실을 초래하며 하류부에 주택 및 산업시설 등이 밀집되어 인명피해의 가능성이 높을 것으로 예상되는 경우, 또는 - 총저수용량 1,000만 m ³ 이상인 경우	

주) 1. 경제적 손실과 인명피해의 범위는 기 수립된 각 댐의 EAP(비상대처계획) 내용등을 참조하여 책임기술자가 판단하고, EAP가 수립되지 않은 댐에 대해서는 총 저수용량의 규모에 따라 결정한다.

2. 총 저수용량 규모는 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」의 1종 및 2종 시설물의 범위(1종 : 1,000만톤 이상)를 기준으로 설정하였다.

3. 수문학적 안전성 평가절차

제안된 수문학적 안전성 평가기준은 2~3 단계로 구분하여 평가가 수행되기 때문에 각 단계의 평가점수를 통합하여 종합적인 등급을 판정할 수 있는 절차가 필요하다.

현재 건설교통부에서 고시, 사용하고 있는 세부지침의 안전성 평가방법은 오른쪽 식과 같으며, 활동, 전도, 지지력, 수문학적 안전성 평가 등 다수의 별개 항목에 따라 최소평가점수를 바탕으로 평가가 수행되고 있다. 이는 본 보고서에서 제안된 수문학적 안전성 평가기준 같은 각 단계별 연계성을 갖는 평가기준에 따른 점수계산을 위한 도구로는 부적합한 것으로 판단된다. 이 수식에 의해 산출되는 안전성 평가점수는 각 검토항목(활동, 전도, 지지력, 수문학적 안전

성, 수문의 안전성 등)의 안전성 평가점수 중 가장 낮은 점수보다 다소 상향된 결과로 평가된다.

$$\begin{aligned} \text{안전성평가점수} &= L + 0.3(H-L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N-2)}, \quad (N > 2) \\ &= L + 0.3(H-L), \quad (N = 2) \end{aligned}$$

여기서, N : 안전성 검토항목 수

L : 검토항목의 안전성평가 점수 중 최소값

H : 검토항목의 안전성평가 점수 중 최대값

M : 검토항목의 최대 및 최소값을 제외한 나머지 값들

미국 공병단(US Army)에서 사용하고 있는 댐 시설물 전체의 상태 및 안전성 평가방법과 절차도 위의

세부지침과 유사하다. 그러나 수문학적 안전성에 대한 가장 보편적인 등급은 각 상황을 상세히 분석한 위험도분석을 통해서 얻어질 수 있겠지만, 대부분의 경우 등급 채점제를 적용하는 것으로도 충분하다고 미국 공병단의 연구에서는 제안하고 있다. 이는 댐 붕괴 시 고려할 수 있는 6가지 요소에 대해 1~5 사이의 수치로 등급을 부여한 뒤 이를 합산하고, 합산된 점수를 바탕으로 각 관리주체가 소유한 댐들의 상대적인 안전도를 평가하고 보수·보강의 우선순위 결정에 편리하게 사용될 수 있다. 이러한 방법은 재개발이 요구될 수 있는 많은 댐들의 상대적인 우선순위 결정에 6가지 요소의 결과를 평균개념을 갖고 평가한 것으로 해석될 수 있다.

이러한 등급 채점제(평균개념)는 본 개선(안)의 수문학적 안전성 평가등급 산정에 적용 가능할 것으로 판단된다.

캐나다의 Québec주에서는 댐의 형식, 규모 등의 불변 물리적 항목과 댐의 경과년수, 방류시설 신뢰도, 댐의 상태, 댐 붕괴 시 하류부 위험도 등의 변동 항목에 대해 각 상태에 따라 1~8점 또는 1~10점 등의 점수를 부여하고 그 점수를 합산, 평균개념을 도입하여 댐이 사람이나 재산에 영향을 끼칠 수 있는 위험의 정도에 따라 댐의 등급을 평가하고 있다.

포르투갈의 경우 댐의 외관상태와 파괴로 인한 영향을 고려하여 ①홍수 등 외부환경 조건 ②댐상태/신뢰성 ③인적/경제적 위험도 등의 3개로 대분류한 뒤 11개의 세부 평가항목으로 나누어 평균개념을 도입, 1단계 평가를 수행하고 대표 평가점수(Global Index)는 각 3개 대분류의 값을 곱하여 결정하고 있다.

본 개선(안)에서는 앞 절의 I~III 단계에서 평가된

평가점수를 바탕으로 아래와 같이 평균개념과 가중계수를 적용한 2가지의 평가절차를 제안하고자 하였다.

① 평균개념의 평가방법: 각 단계의 점수를 평균

$$\begin{aligned} & \text{수문학적 안전성 평가점수}(S_{ij}) \\ & = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i, \quad i = 1 \sim N(N=2 \text{ 또는 } 3) \end{aligned}$$

② 가중계수를 고려한 평가: 각 단계별 평가점수에 가중치를 부여

$$\begin{aligned} & \text{수문학적 안전성 평가점수}(S_{ij}) \\ & = \sum_{i=1}^N S_i W_i, \quad i = 1 \sim N(N=2 \text{ 또는 } 3) \end{aligned}$$

여기서, N은 평가단계의 수이며, S_i 및 W_i는 각 단계의 평가점수와 아래 표 5와 같이 결정되는 가중계수이다.

여기서 콘크리트댐에 적용된 중요도는 수문학적 안전성 평가의 가장 중요한 부분이 가능최대홍수량 유입시의 홍수 소통능력으로 판단하여 50%를 부여하고 구조적 안전성 여부 및 하류부의 위험도를 각각 30%, 20%로 적용하였다. 그리고 II 단계의 평가가 수행되지 않는 필댐, 복합댐 및 CFRD의 경우는 제 I 단계 및 III 단계의 중요도 배분을 각각 70% 및 30%로 하여 가중계수를 0.7 및 0.3으로 적용하고자 하였다.

위의 복수로 제안된 평가방법들은 평가기준 적용성 검토를 통해 기존의 평가방법 등과 비교, 검토하여 합리적으로 선택될 수 있을 것으로 판단된다.

표 5. 각 단계별 가중 계수

댐형식	제 I 단계 (W ₁)	제 II 단계 (W ₂)	제 III 단계 (W ₃)	비 고
콘크리트댐	0.5	0.3	0.2	
필댐, 복합댐, CFRD	0.7	-	0.3	

4. 평가기준 개선(안) 적용성 검토

제안된 평가기준 개선(안)과 절차를 국내의 다양한 형식의 댐들에 대해 그 적용성을 검토해 보고자 하였다. 댐의 목적에 따라서 발전용댐, 다목적댐 및 용수 전용댐 등으로 구분하고 댐의 구조형식에 따라서는 콘크리트 중력식댐 및 필댐 또는 복합댐으로 분류하여 기준에 수문학적 안전성 평가 시 검토되었던 안전성 여부를 기준으로 10여개의 댐을 적용성 대상으로 선정하였다.

적용성 검토는 현재 수문학적 안전성 평가기준인 세부지침(2003)을 준용한 평가결과와 평가기준 개선(안) 및 절차를 비교하여, 두 기준이 갖고 있는 보편 타당한 평가점수(등급)를 비교함으로써 보다 현실적인 평가기준 및 방법을 찾고자 하는데 있다.

제안된 평가기준 개선(안)을 적용하는데 있어서 제 II 단계 콘크리트댐의 구조적 안전성은 본 고에서 판단이 어려우므로, 전체가 안전한 경우와 수문부만 구조적인 불안전성이 존재한다고 가정하고 검토를 수행하였으며, 실제 정밀안전진단 수행 시 구조적인 안전 여부를 검토한다면 현실적인 평가가 가능할 것이다.

또한, 본 고에서 제안된 평균개념 및 가중계수 고려방법의 두 가지 평가방법을 병행 적용하였다.

제안한 평가기준 개선(안)에 따른 평가결과는 대부분의 경우 현행 세부지침의 평가결과와 유사한 수준을 보이고 있는 것으로 판단된다.

그러나, 콘크리트댐인 발전용댐 일부의 경우 기존 세부지침에 없었던 PMF 유입시 댐체를 월류할 경우에 대한 구조검토의 결과에 따라 그리고 하류부에 미칠 위험도의 종류에 따라 평가기준 개선(안)의 결과가 다소 상향평가되는 경향을 보여주고 있다. 이는 구조적인 안전성이 확보된다는 전제와 그리고 댐의 붕괴 시 하류부에 미칠 추가적인 위험도가 상대적으로 적다는 판단에 기인한 것으로 여겨진다.

일부 다목적댐의 경우 PMF 유입 시 비구조적 대책으로는 댐마루 월류를 막을 수 없는 경우로 현행 세부지침의 경우 하류부의 중요도를 고려한다면 최하

등급 판정이 예상될 수 있으나, 월류 시 구조적인 안전성이 확보되거나 또는 수문의 구조적 안전성만이 문제가 있을 경우 제안된 평가기준 개선(안)에서는 한 단계 상향 평가된다.

그러나, 정밀안전진단 수행결과에 따른 PMF 유입시 댐체의 구조적인 안전성 여부에 따라 평가등급이 유동적일 수 있다.

평가방법 중 가중계수를 고려한 방법이 평균개념보다는 보수적인 결과를 가져다주며, 정밀안전진단의 중요성과 단계별 중요도를 고려한다면 가중계수를 고려한 평가방법이 수문학적 안전성 평가에 합리적인 것으로 판단된다.

5. 맺음말

댐의 수문학적 안전성은 여수로의 방류능력에 의해 결정되고 방류능력의 부족은 댐의 파손이나 붕괴로 직결될 수 있으며 하류부에 위치한 인명과 재산피해를 동반한다. 기존 댐의 정밀안전진단 시 이에 대한 검토는 필수적이라 할 수 있다.

현재 운영중인 국내의 일부 다목적댐, 용수전용댐 및 발전용댐들의 경우 유입홍수량으로 가능최대홍수량(PMF)을 적용, 수문학적 안전성을 검토할 경우 댐체를 월류하거나 여유고가 부족한 것으로 나타난다.

특히 국내의 일부 발전용댐들의 경우 PMF 유입시 댐체를 월류하는 것으로 분석되고 있으나 댐의 증고, 비상여수로 설치 등의 구조적 대책과 저수지 운영 수위 및 방법의 변경 등을 통한 비구조적인 대책수립이 현실적으로 어려운 실정이다.

현재 국내의 댐 정밀안전진단 시 수행되는 수문학적 안전성평가(즉, 여수로 방류능력 평가)는 건설교통부에서 고시하고 있는 세부지침의 여유고 확보 및 월류 여부에 따라 그리고 하류부에 미치는 잠재적인 위험의 정도에 따라 수행되고 있다. 이러한 안전성 평가기준을 적용한 평가결과는 때때로 댐의 구조적인 안전성 여부와 하류부에 미치는 추가적인 위험의 정

도에 대한 분석 없이 하류지역의 인명 및 재산의 위협요소로 간주될 수 있으며, 수문학적 안전성 확보를 위한 막대한 예산을 소모시킬 수 있다. 특히 북한강 유역에 위치한 발전용댐들의 경우 하천을 횡단하고 있는 구조물의 성격을 갖고 있으며 댐 유역에 PMP가 발생할 경우 댐 상·하류의 수위차가 크지 않아 수중보의 상태가 될 가능성이 크다. 이러한 상태에서 극한조건에서 발생할 수도 있는 댐의 붕괴에 따른 하류지역에의 추가적인 위험도는 허용가능한 수준이 될 수도 있다.

여유고가 부족하거나 또는 월류가 발생하게 되는 경우 댐의 구조형식과 댐체의 재료적인 상태나 붕괴의 가능성 그리고 붕괴 시 하류부의 추가적인 범람 정도 등의 검토에 따른 실질적인 댐의 능력평가가 요구된다.

따라서, PMP 유입 시 실질적인 댐의 능력을 평가하기 위해서는 댐의 재료적인 현재상태, 구조형식, 한계월류수심 분석 및 댐체의 구조검토 결과를 고려한 복합적인 수문학적 안전성 평가기준이 필요하다.

본 고에서는 국내, 외의 수문학적 안전성 평가방법 및 기준에 대한 검토와 댐의 월류에 대한 사례조사, 수문학적 안전성 해석분야 및 댐 하류부에 대한 잠재적 위험도 분석을 통하여 국내 기존 댐에 대한 수문학적 안전성 평가기준 개선(안)과 평가방법을 제안하였다. 또한, 현재 정밀안전진단이 수행 중이거나 기존에 수행되었던 다양한 유형의 댐들에 대해 평가기준 개선(안)과 평가방법에 대한 적용성 검토를 수행하여 기존 평가기준을 이용한 결과와 비교하였다.

본 보고서에서 제안한 평가기준 개선(안)과 평가절차 그리고 적용성 검토결과는 다음과 같다.

- 가능최대홍수량(PMF)의 유입에 따른 현행 수문학적 안전성 평가기준은 댐의 형식에 관계없이 여유고 확보 및 월류 여부에 따른 기준을 적용하고 있으나, 본 보고서에서 제안된 평가기준 개선(안)은 댐의 형식 및 토목시설물의 상태평가등급에 따라 여유고 확보여부 그리고 월류발생 시 비

구조적 대책을 고려한 검토 등을 포함한 제 I 단계 평가를 수행하고 비구조적 대책수립에 의해서도 월류가 방지되지 못할 경우 제 II 단계 평가로서 PMF 유입 시 수문 및 콘크리트 댐체 구조물의 구조적인 안전성 확보 여부와 월류 수심의 조건을 반영한 평가를 수행하도록 하고 있다. 제 III 단계인 하류부 위험도에 따른 평가는 댐 붕괴 발생 시 하류부에 미치는 인명피해 및 경제적 손실과 붕괴에 따른 추가적인 범람의 정도에 따라 수행되도록 하였다.

- 콘크리트댐의 경우 I~III 단계의 평가가, 그리고 필댐, 복합댐 및 CFRD의 경우는 월류 발생 시 붕괴된다고 가정하여 II 단계의 기준적용 없이 I 단계에서 III 단계의 평가가 바로 이루어질 수 있도록 하였다.
- 각 단계의 평가등급을 통합하기 위한 절차로서 평균개념을 적용한 방법과 가중계수를 이용한 방법으로 구분하여 적용한 결과 가중계수를 이용한 방법이 보다 보수적인 결과를 보인다. 정밀안전진단의 보수적인 측면을 고려한다면, 여유고 확보 및 월류여부에 비중을 둔 가중계수를 적용한 방법을 수문학적 안전성 평가방법으로 제안하고자 하였다.
- 국내의 댐 목적 및 형식 별 10여개 댐에 대한 적용성 검토결과 필댐 및 복합댐의 경우는 현행 세부지침을 적용한 결과와 평가등급에서 차이를 보이지 않는다. 그러나, 콘크리트댐의 경우 댐 붕괴 시 하류부에 추가적인 범람의 영향이 크지 않을 것으로 예상되는 댐은 등급이 상향되며, 추가적인 영향이 크더라도 월류 시 구조적인 안전성 확보 여부에 따라 안전성 평가등급에 변동을 보인다. 이는 구조적인 안전성이 확보된다는 전제와 그리고 댐의 붕괴시 하류부에 미칠 추가적인 위험도가 상대적으로 작다는 판단에 기인한

것으로 여겨진다.

현재 국내에서 사용 중인 수문학적 안전성 평가기준은 이를 보다 합리적으로 개선시키기 위해서 댐 자체가 갖고 있는 PMF에 대한 현실적인 안전성 확보능력을 평가하는데 가장 효율적인 수단이 되어야 한다. 본 고에서 제안한 수문학적 안전성 평가기준 개선(안) 및 평가방법은 이러한 목적과 국내 다양한 유형의 댐들이 갖고 있는 실정에 적합한 것으로 판단되며, 이러한 분석결과는 향후 개선될 세부지침의 반영을 통해 국내 기존 댐들의 정밀안전진단 시 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 한국시설안전기술공단(2003). 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(댐).
2. 건설교통부(2005). 댐설계기준.
3. 한국방재협회(2004). “댐 붕괴 등에 따른 비상대처계획(EAP) 수립지침 작성방안 연구”.
4. Arizona Department of Water Resources(2001). Arizona Numerical Ranking System for Jurisdictional Dams with Safety Deficiencies.
5. ASCE(1988). “Evaluation Procedures for Hydrologic Safety of Dams”, A report prepared by the Task Committee on Spillway Design Flood Selection, Committee on Surface Water Hydrology, Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, New York.
6. Australian National Committee on Large Dams(1986). Guidelines on design floods for dams, ANCOLD.
7. Berga, L.(1992). “New trends in design flood assessment”, International Symposium on Dams and extreme Floods, Vol. III, pp. 87-112, Spangold, Granada.
8. Bowles, D. S.(1989). “Risk Assessment in Dam Safety Decision making”, Proceedings of 4th Conference/EF/WR Div./ASCE, Santa Barbara, CA/October pp.15-20.
9. Federal Emergency Management Agency(2004). Federal Guidelines for Dam Safety - Hazard Potential Classification System for Dams.
10. Federal Emergency Management Agency(1997). Federal Guidelines for selecting and accommodating Inflow Design Floods, Washington D.C..
11. ICOLD(1992). Selection of Design Flood - Current methods, Bulletin 82, Paris.
12. McCann, M.W., J.B. Franzini, E. Kavazanjian, and H.C. Shah(FEMA, 1985). Preliminary safety evaluation of existing dams. Report Prepared for Federal Emergency Management Agency by Department of Civil Engineering, Stanford University, November.
13. Québec, Centre d'expertise hydrique(2007). Dam Safety Regulation, Dam Safety Act.
14. US Bureau of Reclamation(1997). Guidelines for Achieving Public Protection in Dam Safety Decision Making, Denver, Colorado.