

소규모저수지의 수문학적 안전성 평가기법 개발

Development of Hydrologic Safety Evaluation System for Small Scale Reservoir

이주현*, 양승만**, 김성준***, 강부식****

Joo Heon Lee, Seung Man Yang, Seong Joon Kim, Boo Sik Kang

요 지

국내에는 약 14,000개의 중·소규모의 저수지들이 있다. 최근에 이상기후로 인한 많은 강우가 발생하여 저수지들의 월류나 파이핑으로 인한 붕괴가 지속적으로 일어나고 있어 많은 인명 및 재산피해가 발생하고 있다. 특히 설계홍수량을 초과하는 월류로 인한 댐 붕괴 발생 시 피해규모가 크기 때문에 전국적으로 분포되어 있는 저수지들의 설계홍수량을 시급히 파악하여 저수지의 수문학적 안전성을 판단하고 설계홍수량이 작은 저수지의 경우 별도로 관리 할 수 있어야 한다. 하지만 기존에 저수지의 안전여부를 판단 할 수 있는 댐 붕괴 모의의 경우 많은 시간과 노력이 요구 되어 저수지의 안전여부를 보다 쉽고 빠르게 판단 할 수 있는 기준 마련이 시급히 필요하다. 본 연구에서는 보다 쉽고 빠르게 소규모저수지의 수문학적 안전성 평가를 할 수 있는 간편법에 대하여 연구 하였다.

연구 방법은 HEC-HMS를 이용한 댐 붕괴와 본 연구에서 제시한 간편법을 통하여 홍수량의 비교·검토 및 저수지의 수문학적 안전성을 평가를 하였다. HEC-HMS의 첨두홍수량은 빈도별·지속시간별 확률강우량을 이용하여 산정하였으며, 가능최대홍수량(PMF)은 실제호우전이법으로 산정한 가능최대강수량(PMP)을 이용하였다. 간편법의 첨두홍수량은 합리식과 통합형 강우강도식을 이용하여 산정하였고, 가능최대홍수량(PMF)은 Creager공식을 이용하여 산¹⁾정하였다. 댐 붕괴의 경우 HEC-HMS에서는 댐 붕괴 모듈을 실행하여 모의를 하였고, 간편법의 댐 붕괴는 여수로의 한계 유출을 파악할 수 있는 위어공식을 이용하여 댐 붕괴 모의를 하였다. 마지막으로 산정된 첨두홍수량과 가능최대홍수량(PMF)을 작성된 수문학적 안전성 평가표에 기입하여 비교·분석하였다.

연구결과 HEC-HMS로 산정한 빈도별 첨두홍수량·가능최대홍수량(PMF)과 간편법으로 구한 빈도별 첨두홍수량·가능최대홍수량(PMF)의 차이는 약 편차가 50%정도로 간편법으로 구한 첨두홍수량·가능최대홍수량(PMF)이 더 크게 산정되었다. 편차의 발생 이유는 본 연구에서 제시한 간편법의 경우 안전율을 고려한 경험공식을 사용하였기 때문이라고 판단되며, 간편법을 통한 소규모저수지의 수문학적 안전성 평가를 다른 대상지역의 소규모저수지에도 적용하여 보고 수문학적 평가방법이 올바르게 적용 될 수 있는지 확인이 필요하다고 판단된다.

핵심용어 : 댐붕괴모의, 가능최대홍수량, 수문학적 안전성, 소규모저수지

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

우리나라는 약 14,000여개의 중·소규모의 저수지들이 있다. 특히 소규모저수지들은 그 수가 많고 준공년

* 정회원 · 중부대학교 토목공학과 부교수 · E-mail : leejh@joongbu.ac.kr

** 중부대학교 토목공학과 석사 과정 · E-mail : didaksdl@naver.com

*** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

**** 정회원 · 단국대학교 토목환경공학과 부교수 · E-mail : bskang123@naver.com

도가 오래된 것들이 많이 있으며 전국적으로 퍼져있어 관리하기 어려운 실정이다. 이러한 저수지들은 국지성 호우나 태풍 같은 집중호우 발생시 저수지의 붕괴나 월류가 발생하여 많은 인명피해가 일어나거나 농작물이 잠기는 등 많은 피해의 원인이 될 수도 있다. 이러한 피해발생을 예방하고자 댐 붕괴모의를 통하여 저수지들의 안전성을 파악하고자 하지만 많은 시간이 소비되는 단점이 있다. 그래서 짧은 시간투자와 효율적으로 소규모저수지들을 관리할 수 있게 기준이 될 수 있는 소규모저수지들의 수문학적 안전성 평가기법을 개발하고자 본 연구를 수행하였다.

1.2 연구 내용

본 연구에서는 소규모저수지들의 수문학적 안전성 평가기법을 개발하기 위하여 HEC-HMS를 이용한 기존의 댐 붕괴 모의 결과와 본문에 의해 제시된 간편법을 비교하였다. HEC-HMS를 이용한 댐 붕괴 모의는 「진위천수계 하천기본계획(2006)」에서 산정한 빈도별 강우량과 본문에 의해 산정한 가능최대강수량(PMP)을 입력자료로 하여 빈도별 홍수량과 가능최대홍수량(PMF)을 산정하여 댐 붕괴 유무를 판단한 것이다. 간편법은 소규모저수지의 안전성을 보다 빠르게 판단할 수 있도록 합리식과 크리거(Creager)공식을 이용하여 홍수량을 산정하고 산정한 홍수량을 위어공식에 대입하여 저수지의 월류 여부를 판단할 수 있도록 한 방법이다.

비교 방법은 댐 붕괴 모의와 간편법으로 산정한 홍수량과 댐 붕괴 시점을 비교 하였으며, 비교한 자료를 토대로 간편법의 적용성 여부를 판단하였다.

2. HEC-HMS와 간편법을 이용한 댐 붕괴 모의

2.1 대상 지역 및 저수지의 제원

완장천은 안성천의 제 2지류이고 본 논문의 연구대상인 창리저수지를 포함하는 하천으로써 유로연장 8.86 km, 유역면적은 20.25km² 이다. 창리저수지는 총 저수용량 약 41.9만m³, 유역면적이 3.47km²이며, 토언제 중심 코어형 저수지로서 1971년에 준공된 저수지이다.

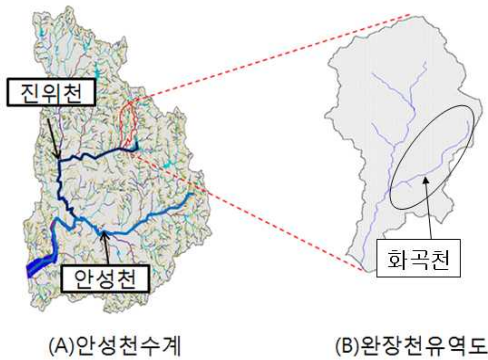


그림 1. 완장천의 유역도

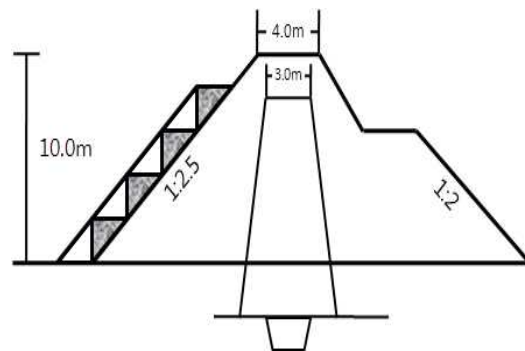
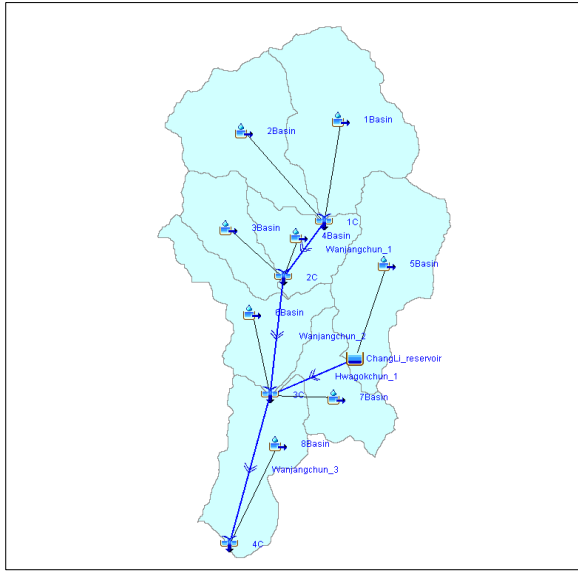


그림 2. 댐의 제원

2.2 유효우량 산정(Curve Number)

유역의 유효우량을 산정하기 위해서는 미국 천연자원보존국(NRCS)의 유효우량 산정 방법을 적용하였으며, 이 방법을 이용하기 위해서는 소유역별 유출곡선(CN)값을 결정해야 한다. 본 연구에서는 기구축된 완장천유역도를 WMS에 토양도 및 토지이용도와 토지이용도표를 WMS에 중첩시켜 소유역별 유출곡선지수(CN)를 산정하였다. 소유역별로 산정한 결과 값은 다음과 같다.



유역명	CN		
	AMC- I	AMC- II	AMC- III
Basin 1	20.5	38.0	58.5
Basin 2	11.1	23.0	40.7
Basin 3	21.9	40.0	60.5
Basin 4	40.7	62.0	79.0
Basin 5	25.6	45.0	65.3
Basin 6	35.8	57.0	75.3
Basin 7	41.7	63.0	79.7
Basin 8	48.3	69.0	83.7

그림 3. 소유역 분할과 CN값 산정결과

2.3 빈도별 침투홍수량의 산정

본 연구에서 HEC-HMS를 이용한 홍수량산정은 「진위천수계의 하천기본계획(2006)」에서 수립한 확률강우량과 강우의 시간분포를 이용하여 홍수량을 산정하였다. 강우의 시간분포는 Huff 방법에 의한 시간분포를 사용하였으며, 「지역별 설계강우의 시간별 분포 (2000. 6 건설교통부)」에서 기분석한 수원측후소의 무차원누가확률 곡선을 이용하였으며, 다항 회귀분석에 의한 수식을 유도하여 적용하였고, 중호우 기준으로 최빈구간인 2분위를 적용하였다.

간편법을 이용한 홍수량 산정은 합리식을 이용하였고, 지역상수는 통합형 강우강도식중 수원의 지역상수를 이용하여 홍수량을 산정하였다.

$$I(T,t) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (1)$$

여기서 T는 재현기간(년), t는 강우지속기간(min)이고 a,b,c,d,n은 지점별로 결정되는 지역상수이다.

다음 표는 HEC-HMS 및 간편법에 의한 빈도별 홍수량 및 가능최대강수량 산정결과를 창리저수지 유입 지점에 대해서 비교한 것으로서 빈도별로 약간의 차이는 있지만 전체적으로 보면 간편법에 의한 산정결과가 HMS에 의한 산정결과에 비해서 크게 산정되는 것으로 나타났다.

표 1. 빈도별 홍수량산정 결과 비교

홍수량산정 지점	빈도	홍수량(CMS)		편차(%)
		HEC-HMS	간편법	
창리저수지 유입점	20	29.4	55.04	56.4
	30	32.8	58.51	78.4
	50	37.4	62.82	66.2
	80	42.1	66.75	58.6
	100	44.3	68.60	54.9
	200	51.3	74.29	44.8

2.4 가능최대홍수량(PMF) 산정

HEC-HMS의 가능최대홍수량(PMF)은 가능최대강수량(PMP)에 의해 산정된다. 가능최대강수량(PMP)은 수문기상학적 방법은 실제호우 전이방법과 가능최대강수량도 이용법(PMP도 이용법)이 있는데, 실제호우전이법의 경우 대상호우를 산정한 후에 그 호우에 전이비 즉 수분최대화비, 수평 및 수직 전이비, 지형영향비 등을 산정하여 관측한 호우사상에 가중치를 적용함으로써 가능최대강수량의 강우깊이-면적-지속기간(DAD : Depth - Area - Duration)를 산정하게 된다. 그리고 산정한 가능최대강수량(PMP)을 Huff에 의한 시간분포를 하여 HEC-HMS에 적용하여 가능최대홍수량(PMF)을 구하였다.

간편법을 이용한 가능최대홍수량(PMF)은 Creager공식을 이용하여 산정하였다. Creager공식은 유역면적과 가능최대강수량(PMF)사이의 비선형성을 수식화하여 제공하는 방법이다.

$$q = 0.503 C (0.3861A)^k \quad (2)$$

여기서 k는 $0.936A^{-0.048}-1$ 이며, q는 단위면적당 유량($m^3/sec/km^2$), C는 Creager상수, A는 유역면적(km^2)이다.

표 2. 가능최대홍수량(PMF)산정 결과 비교

홍수량산정 지점	빈도	가능최대 홍수량(CMS)		편차 (%)
		HEC-HMS	간편법	
창리저수지 유입점	PMF	104.2	159.76	53.32

2.5 댐 붕괴 모의 결과

HEC-HMS에 의한 댐 붕괴 모의 결과 빈도별 홍수량에 의해서는 200년빈도 지속시간6(hr)일 때, 가능최대홍수량(PMF)에 의해서는 지속시간이 4~24(hr)일 때 댐 붕괴가 일어났다.

간편법에 의한 저수지의 월류를 발생하는 여수로 한계유출 모의는 위어공식을 통하여 산정하였다.

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (3)$$

여기서 Q는 방류량(cms), C는 유량계수, L은 여수로의 폭(m), 최대 월류 수심(m)이며, 간편법으로 산정한 창리저수지 여수로의 최대 방류량은 $69.52m^3/sec$ 이다.

위와 같이 산정된 댐 붕괴 모의결과를 이용하여 저수지의 수문학적 안전성을 평가기준을 제시하였으며, 다음과 같이 정리하였다.

표 3. 저수지의 수문학적 안전성 평가기준

안전등급		I	II	III	IV
빈도		PMF (가능최대홍수량)	PMF~200년빈도	200~100년빈도	100년빈도 이하
설명		PMF에 대하여 안전	200년빈도 이상의 홍수량에 대하여 안전	100년빈도 이상의 홍수량에 대하여 안전	100년빈도 미만의 홍수량에 대하여 취약
수문학적 안전도		매 우 안 전	안 전	보 통	매 우 불 안전
창리 저수지 안전도	HMS		○		
	간편법			○	

3. 결론

본 연구에서는 기존의 HEC-HMS를 이용한 댐 붕괴 모의와 본문에서 제시한 간편법을 통한 저수지의 안전성을 비교하였다.

- (1) HEC-HMS로 모의한 댐 붕괴는 창리저수지 유역을 대상으로하여 「진위천수계 하천기본계획(2006)」에서 산정한 빈도별 · 시간별 최대강우량과 매개변수 등을 입력 자료로 하여 빈도별 · 시간별 침투홍수량을 산정하였다. 산정된 홍수량을 이용하여 댐 붕괴를 모의한 결과 200년빈도~가능최대홍수량(PMF)사이에서 붕괴가 발생한 것을 알 수 있었다.
- (2) 간편법으로는 합리식과 Creager공식으로 산정한 침투홍수량 및 가능최대홍수량(PMF)을 위어공식으로 산정한 여수로의 최대 한계유출량과 비교하였다. 비교 결과 여수로의 최대 방류량인 $69.52\text{m}^3/\text{sec}$ 을 초과하며 댐 월류가 발생하는 홍수량은 200~100년빈도 사이에 발생한다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 표 3.에 의한 저수지의 수문학적 안전성평가 결과 위와 같이 HMS 모형에 의한 결과의 경우에는 (II) 등급인 PMF~200년 빈도의 홍수량에 대하여 ‘안전’으로 나타났으며, 간편법에 의해 산정된 결과의 경우에는 200~100년 빈도의 홍수량에 대하여 안전한 것으로 나타났으므로 안전등급이 (III)이며 수문학적 안전도는 ‘보통’으로 나타났다.
- (4) 간편법으로 평가한 저수지의 수문학적 안전성 평가가 HEC-HMS에서 댐 붕괴 모의를 한 결과보다 더 낮게 평가된 이유는 안전성을 중점으로 만들어진 경험공식인 합리식과 Creager공식을 통하여 산정한 침투홍수량과 가능최대홍수량(PMF) 때문이라고 판단된다.
- (5) 간편법을 통한 소규모저수지의 수문학적 안전성평가를 다른 대상지역의 소규모저수지에도 적용하여 보고 수문학적 평가방법이 올바르게 적용 될 수 있는지 확인이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-09-NH-05] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 강부식, 김기석, 고익환, 이완호 (2004), Creager 곡선을 이용한 미세측유역에서의 가능최대홍수량 산정, 대한토목학회 정기학술대회 논문집(2004), P4034-4039.
2. 건설교통부 (2000), 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 제2권, 한국 가능최대강수량 추정.
3. 건설교통부(2004), 전국 PMP도 제작성 보고서.
4. 경기도 (2006), 진위천수계 하천기본계획(변경).
5. 김두희 (2008), 소유역의 침투유출량 산정방법 비교연구, 한양대학교 석사학위논문
6. 이재수 (2005), 수문학, 구미서관.
7. 정종호, 윤용남 (2007), 수자원설계실무, 구미서관.
8. 조동진 (2009), 강우-유출모형을 이용한 댐 붕괴 매개변수의 수문학적 고찰, 중부대학교 석사학위논문.
9. 한상범 (2009), 댐붕괴 모의를 위한 수문모형의 적용에 관한 연구, 중부대학교 석사학위논문.

10. 홍승진 (2008), HEC-HMS와 HEC-RAS를 이용한 댐 붕괴 해석, 인하대학교 석사학위논문.
11. DAM SAFETY OFFICE (1998), Prediction of Embankment Dam Breach Parameters, USA.
12. Froehlich, David C (1996), Peak Outflow from Breached Embankment Dam, Journal of Water Resources Planning and Management.
13. FEMA (2004), Federal Guidelines for Dam Safety, Hazard Potential Classification System for Dams.
14. Tony A.Atallah (2002), A REVIEW ON DAMS AND BREACH
15. UNIVERSITY OF Rhode Island (2007), Assessment of Downstream Hazard Potential for Dam Failure in Rhode Island.