



간편법에 의한 소규모저수지의 수문학적 안전성 평가

Hydrologic Safety Evaluation of Small Scale Reservoir by Simplified Assessment Method

이주현* · 양승만**† · 김성준*** · 강부식****

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

ABSTRACT

Based on the statistical annual report, there are 17,649 reservoirs are operating for the purpose of agricultural water supply in Korea. 58 % of entire agricultural reservoirs had been constructed before 1948 which indicate the termination of required service life and rest of those reservoirs have also exposed to the dam break risk by extreme flood event caused by current ongoing climate change. To prevent damages from dam failure accident of these risky small size dams, it is necessary to evaluate and manage the structural and hydrological safety of the reservoirs. In this study, a simplified evaluation method for hydrologic safety of dam is suggested by using Rational and Creager formula. Hydrologic safety of small scale dams has evaluated by calculating flood discharge capacity of the spillway and compares the results with design frequency of each reservoir. Applicability and stability of suggested simplified method have examined and reviewed by comparing the results from rainfall-runoff modeling with dam break simulation using HEC-HMS. Application results of developed methodology for three sample reservoirs show that simplified assessment method tends to calculate greater inflow to the reservoirs than HEC-HMS model which lead lowered hydrologic safety of reservoirs. Based on the results of application, it is expected that the developed methodology can be adapted as useful tool for small scale reservoir's hydrologic safety evaluation.

Keywords: Dambreak; PMF; hydrologic safety; reservoir

1. 서 론

2008년도 통계연보 기준에 의하면 우리나라에는 약 17,649 개의 농업용 중·소규모 저수지가 운영되고 있으며 이중에서 비교적 규모가 큰 3,326개의 저수지는 한국농어촌공사에서 관리하고, 나머지 14,323개는 시, 군, 구 등의 지자체에서 관리하고 있는 실정이다. 특히 시, 군, 구에서 관리하는 저수지의 58 %인 8,352개의 저수지가 1948년 이전에 축조된 저수지로써 내구연한이 경과한 시설로 분류되고 있다. 내구연한이 경과한 저수지들은 관리 및 운영상의 위험도가 크게 증가하며, 특히 최근의 이상기후에 의한 강우 및 홍수의 대형화로 인한 집중호우 발생 시 시설물의 노후화와 토사물의 퇴적 등으로 인

한 효율성과 안전성이 저하되어 저수지의 붕괴나 월류가 발생하여 인명피해가 일어나거나 농작물이 잠기는 등 많은 피해의 원인이 될 가능성이 매우 크다. 이러한 피해를 방지하기 위해 내구연한이 경과된 저수지들의 구조적, 수문학적 안정성을 평가하여 체계적으로 관리하는 방안이 시급히 필요하지만 현재 중·소규모 저수지들에 대한 안전성 평가 및 피해예측 분석방법이 따로 마련되어있지 않은 실정이다.

저수지 및 제방의 안전성 평가와 관련된 기존의 선행 연구들을 살펴보면 댐 및 하천제방에 대한 위험도의 해석기법에 관한 연구 (Han et al., 1997), 댐의 사면안정 검사를 통한 댐의 노후도 평가 (Jang et al., 1998), 계측시스템에 의한 저수지 체체의 안정성 평가 (Kim, 2009) 등이 있으며, 또한 Kim and Lee (2010)은 가능최대홍수량 (PMF)을 적용하여 저수지의 여유고 및 여수토의 배제능력을 이용하여 저수지 및 제방의 수문학적 안전성을 평가하였다.

앞에서 검토된 기존의 선행 연구는 대규모 댐이나 저수지들의 현장답사 및 복잡한 수리, 수문학적인 해석절차 등을 통한 안전성 평가를 실시하여 평가에 많은 시간과 노력이 소요된다는 단점이 있어 전국에 분포되어 있는 17,649여개의 저수지에 개별적으로 적용하기에는 많은 제약과 어려움이 따른다.

* 중부대학교 토목공학과 교수
 ** 중부대학교 대학원 토목공학과 석사과정
 *** 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수
 **** 단국대학교 토목환경공학과 부교수
 † Corresponding author Tel.: +82-2-3271-3238
 E-mail: ysm_83@korea.kr

2010년 10월 26일 투고
 2011년 2월 9일 심사완료
 2011년 2월 9일 게재확정

따라서, 본 연구에서는 전국에 산재되어 있는 중·소규모 댐 및 저수지의 수문학적 안전성을 보다 효율적으로 평가할 수 있는 간편법을 개발하여 제시하였다. 본 연구에서 제시된 간편법은 댐 붕괴모의 등과 같이 복잡했던 수문 및 수리해석 기법을 단순화하기 위하여 개념적 경험공식을 이용함으로써 기존의 복잡한 수리, 수문 해석과정을 매우 단순화하여 시간·경제적 비용을 최소화 하였다. 한편 개발된 간편법의 실제 적용가능성을 검증하기 위하여 강우-유출 모형 및 댐 붕괴 모의모형 등을 이용한 결과와 비교, 검토하였다.

II. 연구 방법 및 이론

1. 연구 방법

본 연구는 Fig. 1과 같이 경험공식을 활용하여 간편법을 개발하기 위한 일련의 개발과정과 함께 간편법의 적용성을 검증하기 위하여 강우-유출 모의 및 댐 붕괴 모의를 동시에 수행할 수 있는 HEC-HMS를 활용하였다.

빈도별 침투홍수량 산정방법으로 강우-유출 모의에 의한 침투홍수량 산정 방법은 Clark단위도를 적용하였고, 간편법을 이용한 침투홍수량 산정은 합리식을 적용하였다. 가능최대홍수량(PMF) 산정은 구축된 강우-유출모형과 가능최대강수량도(PMP도)를 적용하여 산정하였으며, 간편법에서는 Creager공식을 적용하여 가능최대홍수량(PMF)을 산정하였다.

댐의 안전성 평가는 강우-유출모형인 HEC-HMS에서는 댐 붕괴 모의 모듈을 통하여 댐 붕괴 모의를 실시한 뒤 빈도별 홍수량 및 가능최대홍수량에 대한 안전성 평가를 실시하였고 간편법을 이용한 평가 방법은 저수지 여수호가 몇 년 빈도의 홍수량에서 댐 본체로의 월류 현상 없이 원활하게 소통시킬 수

있는가에 대하여 검토함으로써 저수지의 설계홍수량을 역으로 추정하는 방법을 적용하였다.

2. 연구이론

가. 침투 홍수량산정

1) 빈도별 침투홍수량

저수지로의 빈도별 침투 유입홍수량을 산정하기 위해서 2가지의 방법이 적용되었다. 첫 번째는 표본저수지에 적용하기 위한 강우-유출 해석 방법으로 HEC-HMS모형을 구축하여 산정하였고, 두 번째 방법으로는 본 연구를 통하여 개발된 간편법으로 소규모 유역의 침투홍수량 산정을 위한 경험공식인 합리식을 적용하였다.

가) 강우-유출 모형

유역의 유출량 산정을 위한 대표적인 강우-유출 모형인 HEC-HMS는 유역의 지형학적 자료, 강우자료 및 각종 수문자료를 통하여 빈도별 침투홍수량을 산정하게 된다. 유출량 산정을 위한 단위도로는 Clark 합성단위도, Snyder 합성단위도, SCS 합성단위도 등이 있으며, 유역추적, 저수지 추적 및 하도추적의 과정을 통하여 유역 출구점에서의 홍수량을 산정하게 된다.

나) 합리식

합리식은 소규모 유역의 침투홍수량을 산정하기 위한 경험공식으로 강우-유출 해석에 의한 유출량 추정이 용이치 않은 경우에 유역면적, 유출계수, 강우강도 등과 같은 간단한 정보를 통하여 유역의 침투 유출량을 추정할 수 있다.

합리식을 이용하여 침투홍수량을 산정하기 위하여 다음 식을 이용하게 된다.

$$Q = 0.2778 CIA \quad (1)$$

여기서 Q는 유출량 (m³/sec), C는 유출계수, I는 강우강도 (mm/hr), A는 유역면적 (km²) 이다.

합리식에 적용되는 유출계수 (C)는 유역의 토지이용상태에 따라 결정하며, 강우강도 (I)는 통합형 강우강도식을 이용하여 산정하였으며, 식은 다음과 같다.

$$I(T,t) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (2)$$

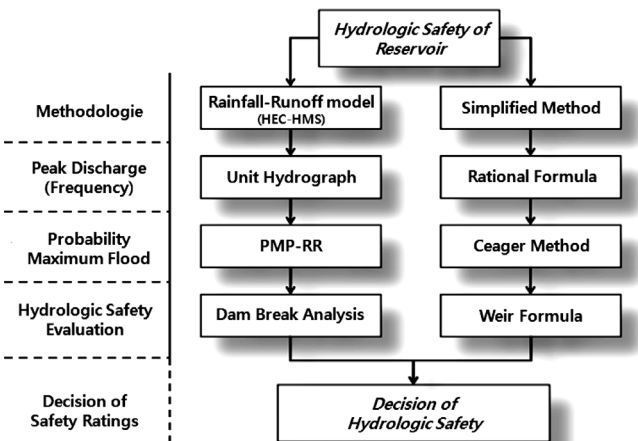


Fig. 1 Schematic diagram for dam safety analysis

여기서 T는 재현기간 (년), t는 강우지속기간 (min)이고, a, b, c, d, n은 지점별로 결정되는 지역상수이다 (Lee, 2007).

2) 가능최대홍수량 (PMF)

가) PMP 및 강우-유출 모형

가능최대홍수량을 산정하기 위해서는 우선 가능최대강수량 (PMP)을 산정하여야 한다. 가능최대강수량 (PMP)을 산정하는 방법에는 수문기상학적 방법과 최대우량 포락곡선방법 및 통계학적 방법의 세 가지가 있으나 수문기상학적 방법이 물리적으로 가장 타당한 방법이며, 실무에서 주로 사용되고 있다 (Jung and Yoon, 2009).

수문기상학적 방법에는 실제호우전이법과 가능최대강수량도 (PMP도)를 이용하는 방법이 있으며, 본 연구에서는 가능최대강수량도 (PMP도)를 이용하여 가능최대강수량을 산정하였는데 가능최대강수량도 (PMP도)는 이미 작성된 가능최대강수량도와 면적감소곡선의 상관관계를 이용하여 계획유역의 가능최대강수량도를 추정하고자 하는 대상유역의 위치와 유역면적 및 유역중심을 결정하여 산정하는 방법이다.

산정된 가능최대강수량을 시간분포 시킨 후, 구축된 강우-유출 모형의 각 변수들에 대한 조정 작업을 통하여 각 소유역별로 가능최대홍수량을 산정한다.

나) Creager 공식

Kang et al. (2004)에 의하면 Creager 공식은 유역면적과 가능최대홍수량 (PMF)사이의 비선형성을 수식화하여 제공하는 방법으로써 주로 다목적댐의 설계홍수량 산정시 사용되며 대규모에서 소규모에 이르기까지 다양한 규모의 유역에 적용된 바가 있다.

Creager 공식의 장점은 강우-유출 모형에 의한 유출해석 절차 없이 유역의 가능최대강수량을 쉽게 추정할 수 있으며, 주로 기본계획이나 개략공사비 산출시 간편하게 사용할 수 있어 본 연구에서의 가능최대홍수량 (PMF) 산정의 간편법으로 채택하였다.

Creager식은 SI단위계로 다음과 같이 표시할 수 있으며, 이를 분해하면 유역면적 1,500 km² 이하에서는 $Q \propto A^{3/4}$, 1,500 km² 이상에서는 $Q \propto \sqrt{A}$ 로 대략 구성된다.

$$q = 0.503C(0.3861A)^k \quad (3)$$

여기서 k는 $0.936A^{-0.048} - 1$ 이며, q는 단위면적당 유량 (m³/sec/km²), C는 Creager상수, A는 유역면적 (km²)이다.

나. 댐 붕괴 모의

댐 붕괴 모의를 위해서는 댐 붕괴 매개변수 (Dam Breach Parameter)의 산정이 선행되어야 한다. 댐 붕괴 매개변수는 주로 붕괴지속시간 (t_f), 붕괴폭 (B), 붕괴측면 경사 등과 같은 붕괴부의 물리적 특성을 규정하는 것으로서 대부분 과거의 관측 자료를 통한 경험공식에 의존하고 있다. 댐 붕괴 매개변수 산정을 위해서 MacDonald and Monopolis (1984), Froehlich (1987, 1995), Von Thun and Gillette (1990) 등의 경험공식을 검토하였으며, Houston (1984)이 Breaching characteristics of dam failures (MacDonald and Monopolis, 1984)에 대해 분석한 논문을 참고하였다.

기존에 제시된 여러 가지의 댐 붕괴 매개변수 산정을 위한 경험공식중에서 본 연구에서 검토한 방법은 Table 1과 같이 MacDonald & Monopolis, Froehlich 공식 및 Von Thun & Gillette 공식이 있으며 최종적으로 Froehlich 공식을 적용하는 것으로 결정하였다.

Table 1 Dam breach parameter estimation methods

| Methods | Formula | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|-----|---------|----|--|------|-------------|----|--|------|--------------|-----|------------------------|------|----------|-----|
| MacDonald & Monopolis (1984) | $V_{eroded} = 0.0261 (V_{out} \times h_w) 0.769 \text{ (Earthfill)}$ $V_{eroded} = 0.00348 (V_{out} \times h_w) 0.852 \text{ (Non-Earthfill)}$ $t_f = 0.0179 (V_{eroded}) 0.364$ $Breach_{size} = f (V_{eroded})$ $W_b = \frac{V_{eroded} - h_b^2 (CZ_b + h_w Z_b Z_3 / 3)}{h_b (C + h_b Z_3 / 2)}$ <p>W_b = width of the bottom of the breach, h_b = height of breach, V_{eroded} = volume of eroded material, C = crest width of dam, Z_b = side slope of breach (h:v); 0.5 is suggested by MacDonald</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Froehlich (1995) | $B_{ave} = 0.1803K_0 V_w^{0.32} h_b^{0.19}$ $t_f = 0.00254 V_w^{0.53} h_b^{-0.90}$ <p>B_{ave} is the average width of the trapezoid in meters, K_0 = 1.4 for overtopping; 1.0 otherwise, h_b is the height of the breach in meters and is assumed to be from the top of the dam to the bottom of the breach, V_w is the volume of water behind the dam in cubic meters, t_f is the time of formation in hours</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Von Thun & Gillette (1990) | $B_{avg} = 2.5h_w + C_b$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Reservoir Size, m³</th> <th>C_b, meters</th> <th>Reservoir Size, acre-feet</th> <th>C_b, feet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 1.23×10⁶</td> <td>6.1</td> <td>< 1,000</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>1.23×10⁶~6.17×10⁶</td> <td>18.3</td> <td>1,000~5,000</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>6.17×10⁶~1.23×10⁷</td> <td>42.7</td> <td>5,000~10,000</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td>> 1.23×10⁷</td> <td>54.9</td> <td>> 10,000</td> <td>180</td> </tr> </tbody> </table> <p>$t_f = 0.02h_w + 0.25$ (erosion resistant) $t_f = 0.015h_w$ (easily erodible)</p> <p>B_{avg} is the avg. breach width, h_w is the hydraulic depth of water above the breach bottom at the dam, C_b is a funtion of reservoir size, t_f is the breach formation time in hours</p> | Reservoir Size, m ³ | C _b , meters | Reservoir Size, acre-feet | C _b , feet | < 1.23×10 ⁶ | 6.1 | < 1,000 | 20 | 1.23×10 ⁶ ~6.17×10 ⁶ | 18.3 | 1,000~5,000 | 60 | 6.17×10 ⁶ ~1.23×10 ⁷ | 42.7 | 5,000~10,000 | 140 | > 1.23×10 ⁷ | 54.9 | > 10,000 | 180 |
| Reservoir Size, m ³ | C _b , meters | Reservoir Size, acre-feet | C _b , feet | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| < 1.23×10 ⁶ | 6.1 | < 1,000 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.23×10 ⁶ ~6.17×10 ⁶ | 18.3 | 1,000~5,000 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.17×10 ⁶ ~1.23×10 ⁷ | 42.7 | 5,000~10,000 | 140 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 1.23×10 ⁷ | 54.9 | > 10,000 | 180 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Table 2 Specifications of 3 reservoirs

| Reservoir | River Basin | Basin Area (km ²) | Reservoir Storage (10,000 m ³) | Dam Height (m) | Dam Length (m) | Type of Spillway | Length of Spillway (m) |
|-----------|-------------|-------------------------------|--|----------------|----------------|------------------|------------------------|
| Chang-Ri | WanJang | 20.1 | 41.9 | 7.0 | 158 | Side Channel | 38.7 |
| Joong-Ri | MyoBong | 6.15 | 10.1 | 6.3 | 113 | Side Channel | 15.0 |
| Ri-Hyeon | DoGok | 0.75 | 3.0 | 4.4 | 92 | Side Channel | 6.7 |

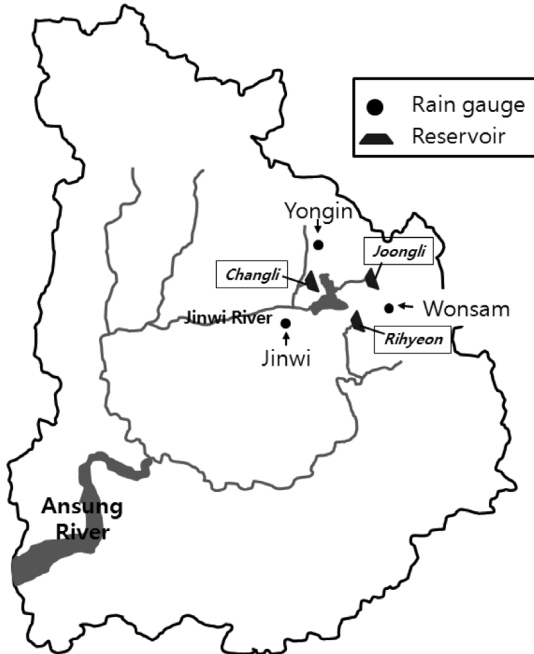


Fig. 2 Location of 3 selected sample reservoir and rain gauge stations

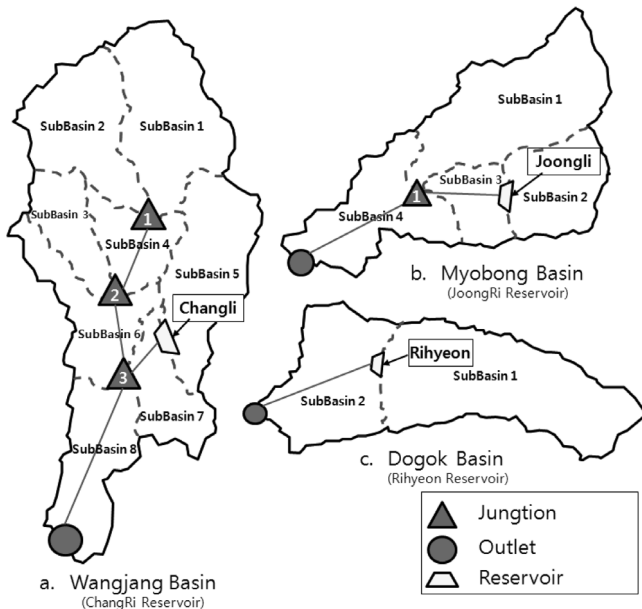


Fig. 3 Basin maps for Wan Jang, Joong Ri and Myo Bong river

III. 대상 저수지선정 및 유출모형 구축

본 연구의 대상 저수지는 안성천 수계에 포함되어 있는 창리, 중리, 이현 저수지 등 총 3개의 저수지를 간편법 적용을 위한 표본저수지로 선정하였다. 창리저수지는 안성천 수계의 완장천 유역, 중리저수지는 모봉천 유역, 이현저수지는 도곡천 유역에 각각 위치하고 있으며 유역내에는 강우관측소가 전무한 관계로 Fig. 2와 같이 유역 외에 위치한 용인, 진위, 원삼 관측소 등, 3개 강우관측소의 강우기록을 이용하는 것으로 결정하였다. 각 저수지별 해당유역 및 저수지 제원은 Table 2에 나타내었으며 Fig. 3은 각 저수지별 유역도를 나타낸 것이다.

IV. 결과의 분석

1. 빈도별 첨두 유입 홍수량의 산정

강우-유출 해석을 통한 빈도별 첨두홍수량을 산정하기 위해서 진위천수계의 하천기본계획 수립 보고서 (Gyeonggi-do, 2006)에서 수립한 확률강우량을 이용하였다. 강우의 시간분포는 Huff 방법을 이용하였으며, 지역별 설계강우의 시간별 분포를 위해서 기분석된 수원측후소의 무차원 누가확률 곡선 및 다중 회귀분석에 의한 회귀식을 유도하여 적용하였고, 중호우 기준으로 최빈구간인 2분위를 적용하였다.

강우-유출해석 및 경험공식에 의한 빈도별 첨두 홍수량을 산정하기 위하여 도달시간을 산정하였으며, 각 유역별 도달시간은 유속의 변화량이 적고 결과값이 안정적인 Kirpich 공식을 적용하였고 강우-유출 해석을 위해서 적용된 방법은 Clark 합성단위도를 이용하였다. 이와 같은 방식을 적용하여 산정한 유역별 홍수도달시간은 Table 3이고, 유역별, 빈도별 첨두홍수량은 Table 4와 같다.

2. 가능최대홍수량 (PMF)의 산정

강우-유출 해석에 의한 가능최대홍수량 (PMF)을 산정하기 위해서는 가능최대강수량 (PMP)이 산정되어야 하며, 본 연구에서는 완장천 유역에 대한 가능최대강수량 (PMP)은 기존에 제시된 전국 PMP 재작성 보고서 (MLTM, 2004)에 있는 PMP도를 이용하였으며 산정된 결과는 Table 5와 같다.

Table 3 Time of concentration for each subbasin

| River Name | Subbasin | Area (km ²) | Channel Length (km) | Time of Concentration (min) | | | | | | | | Selection |
|------------|----------|-------------------------|---------------------|-----------------------------|-----|-------|-----|-------------|-----|-------|------|-----------|
| | | | | Kirpich | | Kerby | | Kraven (II) | | Rziha | | |
| | | | | min | m/s | min | m/s | min | m/s | min | m/s | |
| Wan Jang | Basin 1 | 3.89 | 1.56 | 14.7 | 1.7 | 54.1 | 0.4 | 43.2 | 0.6 | 5.1 | 5.1 | 14.7 |
| | Basin 2 | 3.07 | 1.86 | 11.9 | 2.1 | 41.8 | 0.6 | 34.8 | 0.7 | 3.8 | 6.8 | 11.9 |
| | Basin 3 | 1.50 | 1.10 | 12.9 | 2.0 | 44.7 | 0.5 | 33.6 | 0.7 | 4.3 | 6.0 | 12.9 |
| | Basin 4 | 1.54 | 1.54 | 12.3 | 2.1 | 37.1 | 0.7 | 19.8 | 1.3 | 4.3 | 6.0 | 12.3 |
| | Basin 5 | 3.26 | 2.49 | 15.3 | 1.7 | 54.1 | 0.4 | 37.2 | 0.7 | 5.5 | 4.7 | 15.3 |
| | Basin 6 | 2.32 | 1.73 | 19.4 | 1.3 | 65.1 | 0.4 | 31.8 | 0.8 | 7.8 | 3.3 | 19.4 |
| | Basin 7 | 1.88 | 1.34 | 12.3 | 2.1 | 38.2 | 0.6 | 22.2 | 1.1 | 4.2 | 6.1 | 12.3 |
| | Basin 8 | 2.69 | 2.76 | 18.9 | 1.3 | 61.5 | 0.4 | 28.2 | 0.9 | 7.7 | 3.3 | 18.9 |
| Myo Bong | Basin 1 | 2.56 | 2.92 | 24.0 | 1.1 | 34.4 | 0.7 | 13.9 | 1.8 | 4.1 | 6.3 | 24.0 |
| | Basin 2 | 1.25 | 1.34 | 14.4 | 1.8 | 24.0 | 1.0 | 6.4 | 4.0 | 1.9 | 13.8 | 14.4 |
| | Basin 3 | 0.71 | 1.28 | 15.6 | 1.6 | 24.8 | 1.0 | 6.1 | 4.2 | 2.1 | 12.6 | 15.6 |
| | Basin 4 | 1.63 | 1.90 | 24.6 | 1.1 | 32.2 | 0.8 | 9.1 | 2.8 | 3.7 | 6.9 | 24.6 |
| Do Gok | Basin 1 | 0.46 | 1.47 | 18.0 | 1.4 | 26.2 | 0.9 | 7.0 | 3.7 | 2.3 | 11.1 | 18.0 |
| | Basin 2 | 0.29 | 0.92 | 13.8 | 1.8 | 24.3 | 1.0 | 4.4 | 5.9 | 2.1 | 12.3 | 13.8 |

Table 4 Results of peak inflow discharge to reservoir

| Reservoir | Frequency (yr) | Peak Inflow Discharge (CMS) | | Deviation (%) |
|-----------|----------------|---------------------------------|------------------|---------------|
| | | HEC-HMS (Clark Unit hydrograph) | Rational Formula | |
| Chang-Ri | 20 | 29.4 | 45.9 | 36.0 |
| | 30 | 32.8 | 48.8 | 32.8 |
| | 50 | 37.4 | 52.4 | 28.6 |
| | 80 | 42.1 | 55.7 | 24.4 |
| | 100 | 44.3 | 57.2 | 22.6 |
| | 200 | 51.3 | 62.0 | 17.2 |
| Joong-Ri | 20 | 22.3 | 33.4 | 33.3 |
| | 30 | 25.4 | 35.6 | 28.7 |
| | 50 | 30.0 | 38.3 | 21.8 |
| | 80 | 35.5 | 40.8 | 13.0 |
| | 100 | 38.3 | 42.0 | 8.7 |
| | 200 | 47.3 | 45.5 | -4.0 |
| Ri-Hyeon | 20 | 8.8 | 12.2 | 28.0 |
| | 30 | 9.9 | 13.0 | 23.9 |
| | 50 | 11.4 | 14.0 | 18.6 |
| | 80 | 13.2 | 14.9 | 11.8 |
| | 100 | 14.0 | 15.4 | 8.7 |
| | 200 | 16.8 | 16.6 | -0.8 |

Table 5 Probable maximum precipitation (PMP)

| Duration | 1hr | 2hr | 4hr | 6hr | 8hr | 12hr | 18hr | 24hr |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| PMP (mm) | 167 | 250 | 384 | 509 | 567 | 683 | 856 | 1030 |

Table 6 Results of peak inflow discharge to reservoir (PMF)

| Reservoir | Peak Inflow Discharge (CMS) | | Deviation (%) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------|---------------|
| | HEC-HMS (PMF) | Creager Formula (PMF) | |
| Chang-Ri | 135.3 | 156.2 | 13.4 |
| Joong-Ri | 66.1 | 73.0 | 9.4 |
| Ri-Hyeon | 24.3 | 28.7 | 15.3 |

한편, 간편법에 의한 가능최대홍수량 (PMF)은 Creager 공식에 유역정보를 대입하여 산정하였고 Creager 상수는 100을 적용하였다.

Table 6는 HEC-HMS 및 간편법에 의한 가능최대홍수량 (PMF) 산정결과를 각 저수지별 유입지점에 대해서 비교한 것으로서 빈도별로 약간의 차이는 있지만 전체적으로 간편법에 의한 산정결과가 HMS에 의한 산정결과에 비해서 다소 크게 산정되는 것으로 나타났다.

3. 댐 붕괴 모의 및 여수로 한계유출량 산정

가. 댐 붕괴 매개변수 산정

댐 붕괴 모의를 위한 매개변수 산정은 Prediction of Embankment Dam Breach Parameters (Tony, 1998)을 참고하였고, 댐 붕괴 모의를 위한 각 저수지별 매개변수 산정은 Froehlich 공식에 의한 산정결과를 이용하였다.

댐 붕괴 모의 산정결과 Table 7과 같이 창리저수지는 댐 붕괴에 걸리는 소요시간이 약 25분, 붕괴단면의 하부폭은 23.02 m

Table 7 Result of dam breach parameter

| Reservoir | Methods | Breach Width (m) | Breach Formation time (hrs) | Breach Side slope (h:v) |
|-----------|-----------|------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Chang-Ri | Froehlich | 23.02 | 0.42 | 1.4 |
| Joong-Ri | | 15.05 | 0.21 | 1.4 |
| Ri-Hyeon | | 9.05 | 0.15 | 1.4 |

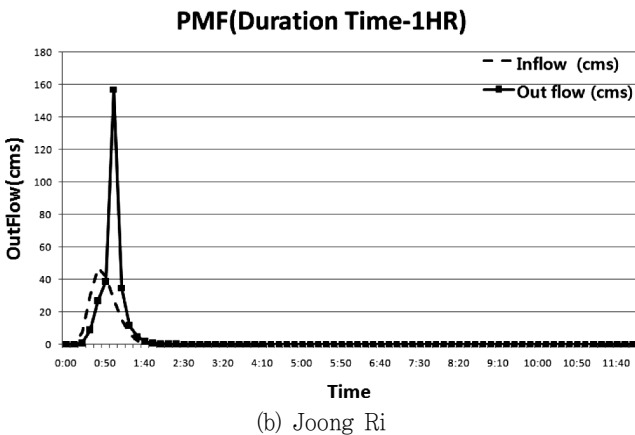
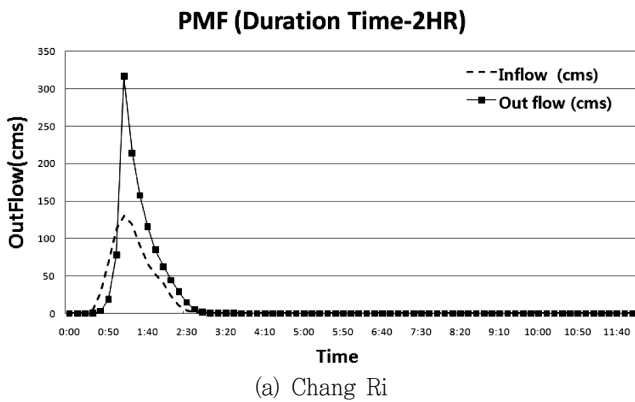


Fig. 4 Results of dam break simulation using HEC-HMS

이고, 중리저수지는 댐 붕괴에 걸리는 소요시간이 약 13분, 붕괴단면의 하부폭은 월류일 땐 15.05 m, 이현저수지는 댐 붕괴에 걸리는 소요시간이 9분, 붕괴단면의 하부폭은 월류일 땐 9.05 m, 파이핑일 땐 6.47 m로 각각 산정되었다.

나. 댐 붕괴 모의 결과

Simmler and Samet (1982), Jo (2009), Han (2009) 및 Hong (2009) 등은 댐 붕괴 모의를 위하여 HEC-HMS 모형을 국내외의 댐 유역에 적용하여 적용성에 대한 검증을 시도한 바 있다. 본 연구의 댐 붕괴 모의를 위해서 빈도별 및 지속시간별 강우량과 가능최대강수량 (PMP)를 이용하여 3개의 대상 저수지에 대한 댐 붕괴 모의를 수행한 결과, 창리저수지는 100~

200년 빈도 홍수량에서 댐 붕괴가 발생하는 것으로 모의되었고 중리저수지는 PMF ~ 200년 빈도 홍수량에서 댐 붕괴가 발생하는 것으로 모의되었다. 하지만 이현저수지의 경우는 각 빈도별 홍수량 및 PMF일때도 댐 붕괴가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 아마도 이현저수지 상류의 유역면적이 지나치게 작은 이유에서 나타난 결과라고 판단된다.

Fig. 4는 HEC-HMS 모형을 이용하여 각 저수지별 댐 붕괴 모의시 댐 붕괴가 발생하였을 때의 침투홍수량을 나타낸 것이다. 댐 붕괴시에 침투홍수량 발생은 창리저수지는 가능최대강수량 (PMP)의 지속시간이 2 hr일 때 최대인 316.59 cms의 홍수량이 발생하였고, 중리저수지는 가능최대강수량 (PMP)의 지속시간이 1 hr일 때 최대인 155.34 cms의 홍수량이 발생되었다.

다. 간편법에 의한 한계유출량 산정

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

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (4)$$

여기서 Q는 방류량 (m³/sec), C는 유량계수, L은 여수로의 폭 (m), 최대 월류 수심 (m)이다.

위의 위어공식을 이용하여 각 저수지의 여수로제원에 따른 홍수소통능력을 산정결과, 창리저수지의 최대 허용 방류량은 69.5 m³/sec, 중리저수지는 44.1 m³/sec, 이현저수지는 25.9 m³/sec로 각각 산정되었다.

간편법을 이용한 여수로 한계유출모의는 합리식을 이용한 침투홍수량과 Creager공식으로 산정한 가능최대홍수량을 여수로의 홍수소통능력과 비교함으로써 여수로의 홍수소통능력을 초과하는 홍수량이 발생하였을 경우를 댐 붕괴로 정의하여 분석을 실시하였다. Fig. 5는 각 저수지별 여수로의 홍수소통능력과 침투홍수량 및 가능최대홍수량을 나타낸 것이다.

간편법에 의한 여수로의 한계유출 모의결과, 창리저수지의 홍수소통능력은 100~200년 빈도사이에서 댐 월류를 유발하는 것으로 분석되었고, 중리저수지는 100~200년 빈도사이, 이현저수지는 200년 빈도~PMF사이에서 댐 월류를 유발하는 것으로 나타났다.

4. 저수지의 수문학적 안전성 평가

저수지들의 준공년도에 따른 설계빈도의 차이로 인해 평가기준이 따로 마련되어있지 않음을 판단하여 본 연구에서는 저수지의 수문학적 안전성 평가를 위해 빈도별 유입 홍수량과 PMF에 따른 안전도 기준으로서 Table 8과 같이 저수지의 홍

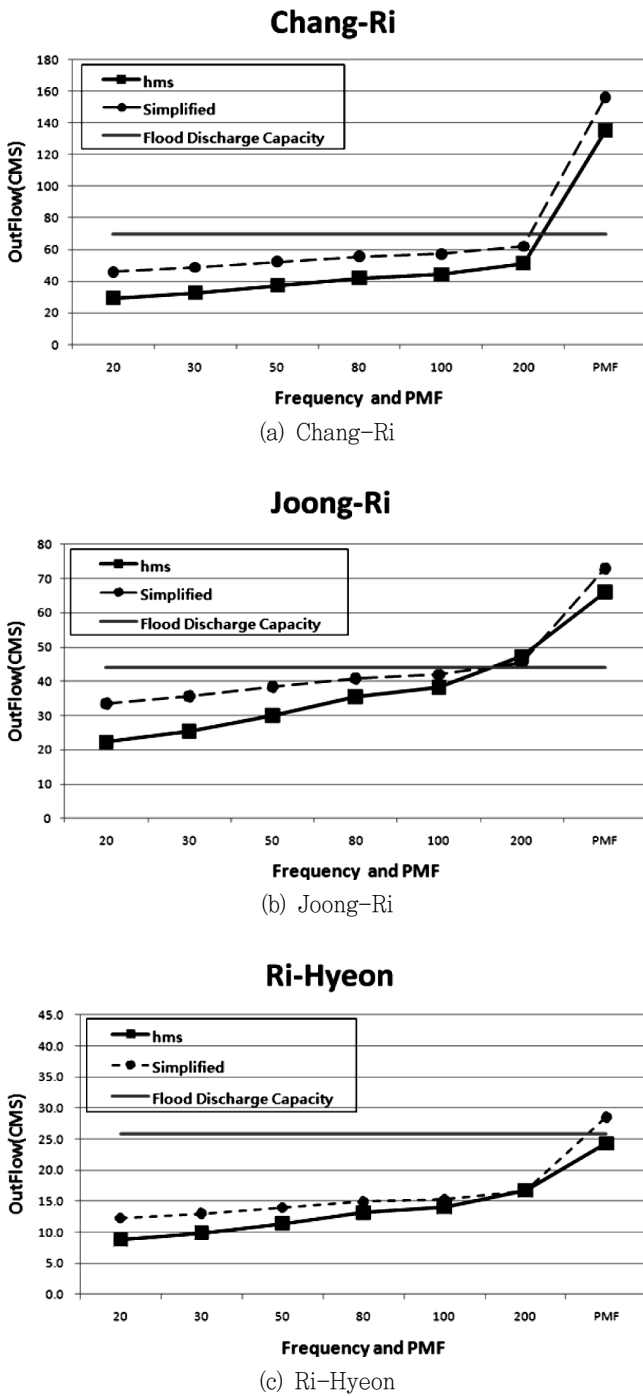


Fig. 5 Outflow discharge capacity of spillway for 3 reservoirs

수소통이 가능한 빈도별 홍수량과 가능최대홍수량을 기준으로 하여 수문학적 안정성 평가기준을 제시하였다.

평가기준은 다음과 같이 나뉘는데 PMF의 홍수에도 월류를 유발하지 않고 안전하게 홍수량을 하류로 방류할 수 있는 저류능력을 보유하고 있는 저수지를 (I)등급으로 분류하여 ‘매

Table 8 Hydrologic safety evaluation for 3 reservoirs

| Safety Rating | | I | II | III | IV |
|---------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| Estimated Frequency of Spillway | | PMF | PMF-200yr | 200yr-100yr | Less than 100yr |
| Hydrological Safety | | Very safe | Safe | Relatively safe | Dangerous |
| Changli | HMS | | | ○ | |
| | Simplified Method | | | ○ | |
| Joongli | HMS | | ○ | | |
| | Simplified Method | | | ○ | |
| Rihyeon | HMS | ○ | | | |
| | Simplified Method | | ○ | | |

우 안전’, (II)등급은 200년 빈도 이상의 홍수량을 안전하게 하류로 방류할 수 있는 경우로 ‘안전’, (III)등급은 100년 빈도 이상의 홍수량에서 월류를 유발하지 않는 경우로 ‘다소 불안전’, 그리고 100년 빈도 이하의 홍수에서도 월류 현상이 나타나는 경우 (IV)등급인 ‘매우 불안전’, 이렇게 4가지의 등급으로 구분하여 본 연구에서 댐 붕괴 모의를 수행한 3군데의 저수지에 적용하였다.

창리저수지의 HEC-HMS 모형에 의한 댐 붕괴 모의결과의 경우에는 (III)등급인 200~100년 빈도의 사이의 홍수량에 대하여 안전한 것으로 나타났고, 간편법에 의한 한계유출 모의결과 역시 (III)등급인 200~100년 빈도의 사이의 홍수량에 대하여 안전한 것으로 나타나 창리저수지의 수문학적 안전도는 ‘다소 불안전’하다는 것으로 평가되었다. 중리저수지의 수문학적 안전도의 경우 댐 붕괴 모의 결과는 (II)등급인 ‘안전’하다는 것으로 평가되었고, 간편법에 의한 한계유출 모의 결과는 (III)등급인 ‘다소 불안전’하다고 평가되었다. 이현저수지의 수문학적 안전도는 HEC-HMS에 의한 댐 붕괴 모의결과의 경우에는 (I)등급인 PMF에 대하여 ‘매우 안전’으로 평가되었고, 간편법에 의한 한계유출 모의 결과는 (II)등급인 ‘안전’으로 평가되었다.

V. 결 론

본 연구에서는 국내에 산재되어 있는 농업용 저수지의 수문학적 안정성을 평가하기 위한 간편법을 개발하여 제시하였으며, 제시된 간편법의 적용가능성을 검증하기 위하여 강우-유출 모형인 HEC-HMS를 활용하여 빈도별홍수량, PMF 등을 산정한 후, 댐 붕괴 모의를 수행하여 본 연구에서 제시한 간편법에 의한 결과와 비교, 분석하여 간편법의 적용성 가능여부를 판단

하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 저수지의 빈도별 침투 유입량 산정을 위한 합리식의 적용과 가능최대 홍수량 산정을 위한 Creager 공식의 적용결과, 강우-유출 해석에 의한 방법과 매우 유사한 결과를 나타내었으며 특히 Creager 공식의 경우에는 매우 간단한 경험공식을 활용하여 가능최대 홍수량을 산정할 수 있다는 점에서 그 적용성이 입증되었다.

2. 표본 저수지 3개에 대한 댐 붕괴 모의 결과, 창리 및 중리 저수지는 200년 빈도 이상의 홍수가 발생하는 경우에 댐붕괴가 일어나는 것으로 나타났으며, 유역면적이 매우 작은 이현 저수지의 경우에는 PMF에서도 붕괴가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 보다 많은 저수지를 대상으로 분석할 필요가 있지만, 우리나라 중·소규모 저수지의 경우에는 대부분 200년 빈도 이상의 홍수에 대해서는 수문학적으로 안전하지 않을 것으로 예상된다.

3. 수문학적 안전성 평가 결과 창리저수지의 안전도는 HMS 모의와 간편법으로 모의한 결과가 같은 (III)등급으로 평가되었지만 중리·이현 저수지의 경우에는 HMS로 모의한 결과보다 간편법으로 모의한 안전성 평가가 한 등급 낮게 평가되었는데 안전율을 고려하여 만들어진 경험공식인 합리식과 Creager공식을 통하여 산정되었기 때문이라고 판단된다.

4. 간편법을 통한 소규모저수지의 수문학적 안전성평가를 한 결과 HEC-HMS에 의한 결과와 거의 일치하고 특히 빈도별 홍수량 산정 결과 및 PMF 산정결과의 경우에는 그 편차가 적은 것으로 나타나 본 연구에서 제시된 간편법을 활용하여 효율적으로 중·소규모 저수지의 수문학적 안전성을 평가할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 간편법의 적용은 현재 안성천 수계의 3개의 표본저수지를 적용하여 수문학적 안전성을 평가한 것이므로 타 저수지에 적용할 때에는 주의를 요하며 추후 다른 수계 및 저수지의 제원의 특성에 대하여 파악하고 수문학적 안전성 평가에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-09-NH-05] 연구비 지원으로 한국농어촌공사와 공동으로 수행되었으며 세심한 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Froehlich, D. C., 1987. Embankment-dam breach parameters. *Proceedings of the 1987 ASCE National Conference on Hydraulic Engineering* 570-575.
2. Froehlich, D. C., 1995. Embankment-dam breach parameters revisited. *International Conference Proceeding on Water Resources Engineering* 887-891.
3. Gyeonggi-Do, 2006. Master plan for Jinwi river development and management (in Korean).
4. Han, K. Y., J. S. Lee, and S. H. Kim, 1996. Risk assessment model for safety analysis of dam and levee. *Journal of KSCE* 195-198 (in Korean).
5. Han, S. B., 2009. A study on the hydrologic modeling for dam failure simulation. Master of Science South Korea: Joongbu University (in Korean).
6. Hong, S. J., 2009. Dam break analysis with HEC-HMS and HEC-RAS. Master of Science South Korea: Inha University (in Korean).
7. Houston, M., 1984. Discussion of "Breaching characteristics of dam failures" by T. C. Macdonald and J. Langridge-Monopolis. *Journal of Hydraulics Engineering* 111(7): 1125-1129.
8. Jang, B. W., Y. G. Park, and W. C. Woo, 1998. Evaluation of and safety of small agricultural reservoir, *Journal of KSAE* 40(1): 49-56 (in Korean).
9. Jo, D. J., 2009. Hydrologic evaluation for dam breach parameter using rainfall-runoff model. Master of Science South Korea: Joongbu University (in Korean).
10. Jung, J. H., and Y. N. Yoon, 2009. *Manual for hydrologic design*, Seoul: Goomibook.
11. Kang, B. S., K. S. Kim, I. H. Ko, and W. H. Lee, 2004. Estimation of design flood for ungaged watershed using creager curve. *KSCE Annual Conference* 4037-4042 (in Korean).
12. Kim, S. W., 2010. Hydrologic safety analysis of agricultural reservoir by PMF. *Transactions of the KSAE* 52(2): 63-68 (in Korean).
13. Kim, M. H., and D. W. Lee, 2009. Safety evaluations of reservoir embankment by instrument system. *KSAE Annual Conference* 202-206 (in Korean).
14. Lee, J. S., 2007. *Hydrology*, Seoul: Goomibook.
15. MacDonald, T. C., and J. L. Monopolis, 1984. Breaching characteristics of dam failures, *Journal of Hydraulic Engineering* 110(5): 567-586.
16. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2004. PMP development for Korea (in Korean).
17. Park, S. H. and Y. I. Mun, 2008. A study on flood

- discharge capacity and hydraulic characteristic of labyrinth weir as a side-channel spillway, *Journal of KWARA* 41(1): 65-74 (in Korean).
18. Simmler, H., and L. Samet, 1982. Dam failure from overtopping studied on a hydraulic model. *In Fourteenth International Congress on Large Dams* 427-445.
19. Tony, L. W., 1998. Prediction of embankment dam breach parameters, 10-15. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Dam Safety Office.
20. Von Thun, J. L., and D. R. Gillette, 1990. Guidance on breach parameters. Internal Memorandum, U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Denver, CO.