

# 농업용 저수지의 홍수 취약성 지수 개발

## Failure Risk Evaluation to Flood for Irrigation Reservoirs

장민원\*, 최진용(서울대), 이준구(농어촌연구원)

Jang, Min Won·Choi, Jin Yong·Lee, Jun Goo

### Abstract

This study began to establish a risk evaluation method for irrigation reservoirs under the overtopping failure mode. To define the risk, reliability analysis was performed using time series of reservoir flood inflow and spillway outflow. The former was defined as a load and the latter was the resistance component. The method results in failure probability, which is calculated by convolution multiplication between probability distribution functions of both components. The proposed method was applied to 3 reservoir sites and each failure probability was determined as 0.0012, 0.00001, and 0.000001 respectively.

### I. 서론

농업용 저수지의 건설과 관리는 기본적으로 이수목적을 위해 진행되어 왔지만 최근 몇 년간의 기상변화와 빈번한 침수피해는 농업용 저수지의 홍수 억제 기능 강화와 재해 안정성에 대한 많은 논의를 불러일으켰다. 우리나라 농업용 저수지들은 대부분이 노후화되어 있고 소규모이며 필댐(fill dam)이기 때문에 태풍이나 집중호우에 매우 취약한 것이 사실이다. 저수지를 설계할 당시의 기준이 지금의 설계 기준에 미달한 것도 농업용 저수지의 안전을 확신할 수 없게 만드는 원인이다. 그럼에도 불구하고 아직까지 전국 18,000여개 농업용 저수지에 대하여 홍수 대비 시설 안전성에 대한 정확한 평가가 이뤄지고 있다거나 적절한 평가 기법이 정립되어 있다거나 하지는 않은 실정이다. 농업기반공사 관할의 약 2,000여개 저수지에 대하여서는 5년마다 정밀안전진단을 실시하여 체계의 안전을 평가하고 지속적인 개보수사업을 실시하고 있으나 나머지 시군관할의 농업용 저수지에 대해서는 사실상 방치나 다름없다고 할 수 있다. 홍수에 대비하여 농업용 저수지의 파괴 위험을 줄이기 위해서는 현재 보유하고 있는 저수지의 안전도를 확인하는 것이 우선되어야 하며, 각 저수지가 해당 지역에 갖는 중요성에 따라 효율적인 개보수사업을 수행할 수 있도록 우선순위를 정하여야 한다. 그리고 저수지의 안전은 해당 주민들의 생명과 생계와도 밀접한 관계가 있는 만큼 비전문가라도 쉽게 이해할 수 있는 위험 기준을 만들 필요가 있으며 이들을 인식시키고 전파할 수 있는 방법들도 강구되어야 한다. 본 연구에서는 홍수에 대한 농업용 저수지의 취약성을 평가하고 객관화된 취약성 지수를 개발하는데 있어서 우선 저수지의 수문학적 안전성을 평가하기 위한 기준을 만드는 데 목적을 두었다. 특히 필댐의 월류에 의한 파괴 조건에 한하여 저수지 위험도에 대한 평가 기법을 개발하는데 초점을 두었다.

### II. 위험도 평가 방법

취약성(vulnerability)이란 일반적으로 재해로 인해 발생할지 모르는 잠재적 피해량을 의미하는데 큰 규모의 저수지일수록 파괴시 하류피해가 크겠지만 그만큼 파괴 가능성은 낮기 때문에 저수지의 규모나 하류부의 크기만으로 취약성을 판단할 수는 없다. 기존에 저수지의 홍수 취약성이나 위험도는 단일하게 적용된 설계기준에 따라 설계홍수량 혹은 설계빈도로써 나타내고 있으나 저수지 관리나 방재계획에는 사실상 이용되지 못하고 있다. 현재의 정밀안전진단도 구조적 안전측면에 집중되어 있기 때문에 수리수문학적 요인에 의한 저수지 파괴의 문제를 충분히 고려하지 못하고 있

다. 과거 저수지 파괴 사례들에서 파괴 원인의 약 1/3은 월류(overtopping)에 의한 것이었다는 점에서 흙댐인 농업용 저수지의 안전성을 평가하는데 수리수문학적 고려는 간과되어서는 안 된다. 월류에 의한 농업용 저수지의 파괴 위험은 여수로의 방류능력에 좌우된다. 여수로 방류능력이 부족하면 제체의 파손이나 붕괴에 직결되며, 하류부에 대규모의 인명과 재산피해를 야기할 수밖에 없다. 홍수에 대한 저수지의 위험도는 홍수량을 배제할 수 있는 여수로의 능력과 저수지로 유입되는 홍수량의 크기로 평가한다. 저수지 위험도를 파괴확률(failure probability,  $P_f$ )으로써 정의하였고 제체의 파괴에 의해 하류부에 발생할 수 있는 피해량(damage)과의 곱으로 식 (1)과 같이 홍수 취약성을 계산하게 된다.

$$Vulnerability = Failure Probability \times Consequence = P_f \times Damage \quad (1)$$

파괴확률은 신뢰성 분석(reliability analysis)에 따라 확률분포함수를 이용하여 얻어진다. 신뢰성(reliability)이란 시설물의 내용기간 동안 설계목적상의 기능 및 안정성을 확보할 수 있는 확률을 말하는 것으로서 파괴확률( $P_f$ )과 아래 식 (2)와 같은 관계를 가진다. R과 L은 각각 하중과 저항의 크기를 확률론적으로 정의한 확률변수이고,  $F_L(R)$ 은 하중 L에 대한 확률분포함수이다.

$$Reliability = 1 - P_f = 1 - P[(R - L) \leq 0] = P[R \leq L] \quad (2)$$

저수지의 파괴확률 산정 과정은 우선 대상 저수지 유역의 강우자료를 구축하고 설계기준에 따라 PMP(probable maximum precipitation)와 빈도별 확률강우량을 산정한다. 그리고 유역의 강우-유출관계를 모델링하고 유출량의 시간적 분포와 PMF(probable maximum flood)를 계산한다. 만수위 조건에서 저수지 유입량과 여수로 배제 능력에 따라 저수지의 내용적 및 저수위를 추적하고 여유고의 크기를 산정한다. 저수지로 유입되는 유역 유출량과 여유고에 대한 확률분포함수를 결정하고 이로부터 파괴확률을 계산한다. 강우의 시간적 분포는 Huff 방법을 이용하고 유효우량은 SCS 기법을 채용하였다. 저수지 홍수 추적은 Auto ROM 방식에 따라 만수위를 기준으로 유입량과 여수로의 배제량의 차이로 실시하고 저수지 파괴기준은 월류에 의한 것으로만 한정하였다.

### III. 결과 및 고찰

3개 저수지 유역을 선정하여 각각의 유역에 해당하는 입력 자료를 구축하였다. 대상 기상자료는 1995년부터 2004년까지의 10년간 시우량 자료를 사용하였다. 각 유역별 특성은 표 1과 같다.

표 1 대상 저수지별 유역 특성

구분	A	B	C
면적(ha)	1,152	2,590	6,590
유로장(km)	8.5	9.2	17.2
유출곡선지수(CN)	75	83	68
도달시간(hr)	0.9	2.44	1.6
여수로형식	물넘이식	사이폰식	래디에게이트식

표 2는 AMC III조건에서 토지이용도(1:25,000)와 개략토양도(1:50,000)를 이용하여 계산한 SCS CN 값을 정리한 것이다.

표 2 유역의 토지이용 분포와 CN(저수지 A)

토지이용	토 양 형(AMC III 조건)								평균 CN
	A		B		C		D		
	면적	CN	면적	CN	면적	CN	면적	CN	
계	69.6		5.54		7.54		25.68		74.89
주거지	0.31	77	0.04	88	0.34	92	0.05	94	85.64
밭	0.70	85	0.27	91	1.08	93	0.01	95	90.03
논	0.22	80	0.07	88	0.85	92	-	94	89.44
산지	68.41	65	5.16	82	5.27	89	25.62	93	73.92

CN 값을 이용하여 유효우량을 계산하였고 이로부터 그림 1과 같은 합성단위도를 작성하였다. 그림 2에 저수지로 유입하는 첨두 유출량과 여수로를 통해서 배제되는 첨두 방류량을 나타내었다. 하중 항은 저수지로의 유역 유출량으로 계산된 첨두 유출량으로 시계열을 작성하였고 Chi-sq 검정을 통하여 최적 확률분포함수를 결정하였다. 저항 항으로는 여유고로 선정하였고 저수지로의 유입량과 상호독립적이고 확률분포함수는 정규분포함수인 것으로 가정하였다. 저항 항의 처리에 대해서는 추후 연구에서 계속 논의될 것이다. 파괴확률은 저항 항과 하중 항의 확률분포함수를 중첩적분(convolution)하여 계산하였고, 계산 결과는 표 3과 같다.

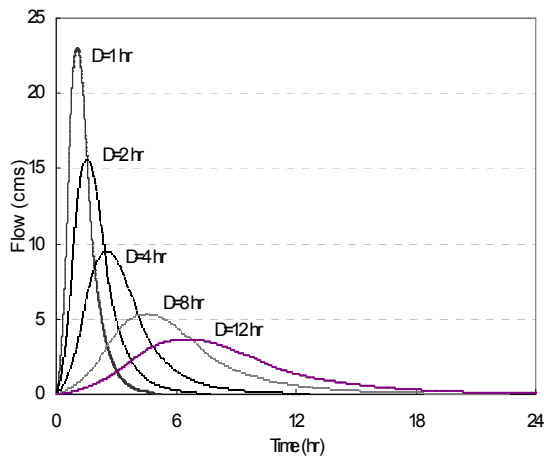


그림 1 합성단위도(저수지 A)

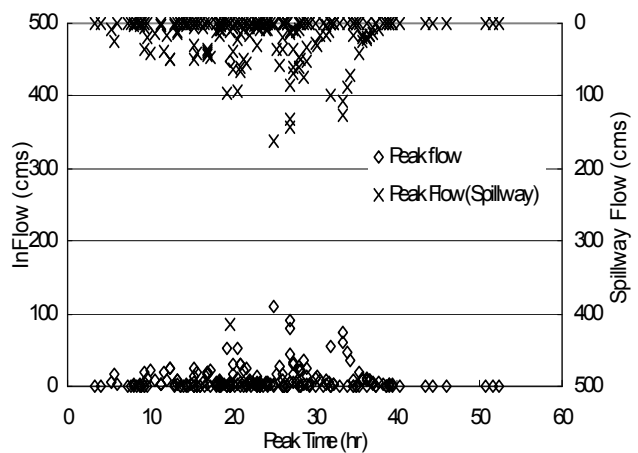


그림 2 첨두 홍수량과 여수로 방류량(저수지 A)

대상 저수지별 설계홍수량, 최대방류가능량 및 파괴확률을 정리하면 표 3과 같다. 대상 저수지 중에서 유역면적은 가장 크지만 도달시간이 짧은 저수지 C의 파괴확률이 약 0.0012로 가장 높게 나타났으며, 저수지 B의 경우엔 약  $10^{-5}$ 정도의 파괴확률을 나타내었다.

표 3 대상 저수지별 파괴확률 결과

구분	A	B	C
설계빈도	200년	200년	200년
설계홍수량	248.0	357.0	561.0
최대방류가능량	298.0	329.6	350.0
파괴확률	0.000001	0.000012	0.001237

저수지의 홍수 취약성을 평가하기 위해서는 파괴확률 이외에 저수지 파괴시에 발생할 수 있는 피해 규모가 필요하다. 따라서 향후 연구는 침수지역을 추출하기 위한 수리모델과 이를 공간적으로 해석할 수 있는 지리정보시스템을 개발하는 것이다. 또한 침수지역의 시설과 토지이용상태를 이용하여 피해가능액을 산정하고 이를 이용하여 최종적으로 저수지별 홍수 취약성을 평가한다. 평가 결과는 저수지 개보수 사업의 우선순위를 판단하고 해당 지역에서의 사회경제적 중요성을 나타내는데 이용될 것이다.

### 참고문헌

1. 한국시설안전기술공단, 2003, 댐 위험도 분석과 대책방안
2. Brown & Root, 2002, Reservoir Safety - Floods and Reservoir Safety Integration, Department for Environment Food and Rural Affairs, United Kingdom
- Wang, Jinwen, X. Yuan, Y. Zhang, and Y. Zhang, 2003, A Reliability and Risk Analysis System for Multipurpose Reservoir Operation, Environmental Fluid Mechanics, Vol. 3, pp.289-303
3. Melchers, R. E., 1987, Structural Reliability, University of Newcastle, Australia
4. US Army Corps of Engineers, 1992, Guidelines for Risk and Uncertainty Analysis in Water Resources Planning, Institute for Water Resources, IWR Report 92-R-1, Unites States
5. US Army Corps of Engineers, 1996, Risk-based Analysis for Flood Damage Reduction Studies, Engineer Manual 110-2-1619, Unites States