



체계 신뢰성 기법을 이용한 소규모 저수지군의 시스템적 안전도 평가

Evaluation of Systematic Safety for a Small Reservoir Group based on System Reliability Technique

박진선* · 전정배* · 윤성수*[†]

Park, Jin-Seon · Jeon, Jeong-Bae · Yoon, Seong-Soo

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the safety of the small reservoir, which is distributed in a rural area, based on systemic reliability. It has been estimated that safety of respective reservoir the calculation of failure probability for individual reservoirs can evaluate the safety of the reservoir of the study area. The change of safety for watershed could be figured out as that result. Probability of failure was increased from 3.90×10^{-5} to 1.35×10^{-4} in Naesu-inpyung reservoir, from 1.33×10^{-5} to 4.77×10^{-5} in Buyeon reservoir and from 4.24×10^{-5} to 2.55×10^{-2} in Dalakmal respectively. From the results, the collapse of the upper stream reservoir was analyzed qualitatively that may affect the safety of the reservoir on the downstream area.

Keywords: Small Reservoir group; System Reliability; Series Connection; Probability of Failure

1. 서 론

농업용 저수지는 이수를 목적으로 축조되어 치수의 개념이 상대적으로 약화된 구조물이나 기후 변화와 같은 원인으로 집중 호우 및 국지적 호우가 빈번하게 발생함에 따라 치수의 기능이 부가되고 있다(Hwang et al., 2012). 우리나라에는 17,569개의 농업용 저수지가 운영 중이며, 이 중 공용 연수 70년 이상 경과한 저수지가 68% 이상을 차지하여 저수지의 기능저하와 안전도 하락은 불가피한 상황이다(KRC, 2010). 1970년 이전의 축조된 저수지들은 대개 관개수량의 확보를 우선하였기 때문에 안전의 관점에서 볼 때 많은 위험 요소가 내재되어 있다(Han, 2002). 또한 농업용 저수지는 농업용수 공급 이외의 전력생산 등을 목적으로 하지 않기 때문에 방대한 양의 수량 확보를 필요로 하지 않으며, 따라서 저수지의 규모는 지역의 농업 생산 능력과 지리적 여건에 따라 중소형의 크기로 결정되어 산재되어 있어, 시공품질의 적절성 확보와 세심한 유지관리의 수행이 곤란하다는 한계를 내포하고 있다(KRC, 2001). 상기한 문제점들을 인지하고, 농업용 저수지의 안전도 증대와 효율적인 시설물 관리방안을 모색하는 노력이 지속되어 그 결과 개별 저수지의 안전도를 평가하기 위한 체

계와 기법의 틀이 어느 정도 완성되었다(Lee, 2014).

그러나, 현행 저수지 안전도 평가에 적용된 자료는 확정론적 방법에 의한 평균값으로 변수들의 분산 특성은 고려되지 않는다. 이와 같은 일련의 진단 과정은 모두 1종 및 2종의 대형 시설물을 대상으로 하며, 단일 저수지의 안전도 평가에 국한되어 있어 농업용 저수지와 같은 중소형 저수지는 진단 범위에 미치지 못하는 경우가 빈번하고, 저수지 축조과정에서 발생하는 재료 및 품질관리에 수반되는 불확실성을 평가에 적용할 수 없다는 한계를 지닌다.

저수지의 파괴를 정확하게 예측하려면 먼저 저수지에 부과되는 하중과 구조물의 저항능력을 정확하게 추정할 필요가 있는데, 자연현상과 시공 중 발생하는 오차들을 모두 제어한다는 것은 현실적으로 불가능하며(Kim et al., 1995), 이러한 자료 수집 과정에서 하중과 저항을 대표하는 변수들은 이미 불확실성을 내포하게 된다. 이에 따라, 구조물의 안전도를 평가하기 위해서는 구조물에 내재된 불확실성을 반영할 수 있도록 신뢰성 개념의 도입이 필연적이다. 또한 저수지는 유역의 관점에서 보면 같은 목적을 갖는 구조물들의 집합 내에 존재하는 하나의 요소로 볼 수 있다. 따라서 단일 저수지의 파괴는 완전히 독립적인 거동이라 확신할 수 없고, 상호 연관된 개연성을 공유하고 있으므로(Kim et al., 2010) 저수지의 안전도는 유역의 안전도라는 거시적인 범위 안에서 평가하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 저수지 구조물이 내포하고 있는 불확실성을 고려하여 단일 저수지의 안전도를 파괴확률의 산출을 통해 평가하고, 저수지가 시스템적으로 거동하는 것에 착안하여 개별 저수지의 파괴확률이 저수지군의 안전도에 미치

* Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

† Corresponding author

Tel.: +82-43-261-2575, Fax: +82-43-271-5922

E-mail: yss@cbnu.ac.kr

Received: April 10, 2015

Revised: April 21, 2015

Accepted: May 20, 2015

는 영향을 평가한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지역 현황

본 연구의 대상지역은 충청북도 청주시 청원구 내수읍에 위치한 석화천 유역을 선정하였다. 석화천은 국가하천인 미호천 지류로 지방 2급 하천으로 지정되어 있으며, 목방천과 덕암천을 지류로 포함하고 있다. 유역면적은 약 80 km², 유로 연장은 총 15 km이며, 유역 내 34개소의 저수지를 포함하고 있다 (건설교통부, 1992).

본 연구에서는 1:25,000 수치지형도를 이용하였으며, 지형도 상 포함된 유역의 저수지는 총 34개로 조사되었고, 이 가운데 한국농어촌공사 관리의 저수지는 3개소이고 시군관리 저수지는 31개소이다. 그러나 현장 조사 결과 시군관리 저수지 중 10개소가 매립 후 논, 공장부지, 도로 등으로 용도 전환된 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구는 공사 관리 저수지 3개소를 포함하여 총 24개 저수지를 포함하는 석화천 유역 저수지군을 대상으로 수행하였으며, 개별 저수지의 소유역을 파악하기 위하여 해당 지역의 Digital Elevation Model (DEM) 자료와 ArcSWATTM을 이용하여 대상 저수지의 소유역을 Fig. 1과 같이 설정하였다.

본 유역의 저수지는 석화천을 중심으로 직렬 또는 병렬 체계를 이루어 연결되어 있고, 이 중 3곳은 직렬연결 체계를 이루고 있다.

2. 요소 신뢰성 개념을 도입한 저수지의 파괴확률 산출방법

본 연구에서는 저수지 구조물 중 여수토를 대상으로 구조적 파괴확률과 재료적 파괴확률을 산출하였으며, 이를 위해 개선된 일계이차모멘트법 (AFOSM : Advanced First Order Second Moment; Ang and Tang, 1984)을 적용하였고, 기하 모델링과 유한요소 프로세스의 구현은 MATLABTM을 이용하였다.

여수토에 작용하는 하중은 여수토의 말단까지 물이 만수되었을 때의 수압과 접근수로까지 작용하는 토압을 고려하였으며, 수압은 모든 저수지에서 변동이 없다고 가정하여 확정값을 취하였고, 토압의 계산은 γ_t 를 확률변수로 정하여 구조물의 파괴확률을 산출하였으며 값은 Table 1 (KRC, 2001)과 같다.

구조적 파괴확률의 산출을 위해 전도, 활동, 침하에 대해 고려하였으며, 신뢰성 개념을 도입하여 각각의 파괴확률 산출을 위한 한계상태함수를 정의하였다. 전도에 대한 한계상태함수로 나타내면 다음의 식(1)과 같다.

$$g(X) = \Sigma M_R - \Sigma M_T \quad (1)$$

where, $\Sigma M_R = \Sigma V_i X_i$

또한, 전도를 유발하는 전도 모멘트 M_T 는 식(2)와 같이 정의된다.

$$\Sigma M_T = \Sigma P_i Y_i \quad (2)$$

여기서, P_i 는 활동파괴에서와 같으며, Y_i 는 그 요소에 대

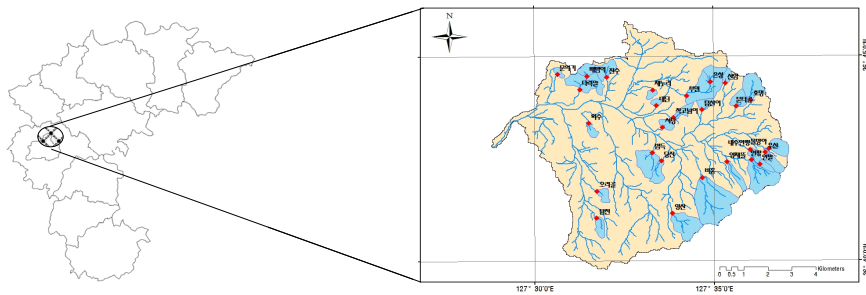


Fig. 1 Watershed of Sukhwacheon

Table 1 Random variables of concrete and geotechnical properties

	Average	Standard deviation
Concrete	$\mu_{\gamma_c} : 24 \text{ kN/m}^3$	$\sigma_{\gamma_c} : 2.4 \text{ kN/m}^3$
Soil parameter	$\mu_{\gamma_t} : 18,894 \text{ kN/m}^3$	$\sigma_{\gamma_t} : 1,096 \text{ kN/m}^3$

한 작용점에서 기준점까지의 거리를 의미한다. 활동에 대한 한계상태함수는 식(3)과 같다.

$$g_1(X) = \Sigma F_R - \Sigma F_D \quad (3)$$

where, ΣF_R : Sum of horizontal resistance force

ΣF_D : Sum of horizontal reaction force

수평저항력의 합은 다음의 식(4)과 같다.

$$\Sigma F_R = \Sigma V_i \tan \Phi_2 \quad (4)$$

침하에 대한 한계상태함수를 정리하면 식(5)와 같다.

$$g_3(X) = q_u - q_{\max} \quad (5)$$

여기서, q_u 는 극한지지력이며, q_{\max} 는 최대지반반력이다.

재료적 파괴확률을 산정하기 위해선 유한요소법을 이용한 von Mises 응력을 검토하였다. von Mises 응력이 재료의 항복 강도에 도달할 때 항복에 의한 파괴가 발생한다는 이론을 바탕으로, 응력은 아래의 식 (6)과 같이 설정하였다.

$$\sigma_{vm} = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2} \right]^{1/2} \quad (6)$$

또한 콘크리트의 항복강도는 콘크리트 구조설계 규준에 의한 허용 휨 압축응력의 허용응력인 $0.4f_{ck}$ 를 기준으로 사용하였으며, 이를 기준으로 설정된 한계상태함수는 식(7)과 같다.

$$g_4(X) = \sigma_{von} - \sigma_{allow} \quad (7)$$

3. 체계 신뢰성 기법을 이용한 유역의 안전도 평가

실제 구조물의 신뢰성 해석을 수행하는 것은, 구조물이 두 개 이상의 요소 또는 부재로 구성되어 있고 각 부재별로 발생할 수 있는 파괴 모드가 매우 다양하고 구조물 마다 상이하므로 어느 부재가 또는 단일 구조물이 전체 구조물의 파괴를 지배하는지 대해 인지하는 것은 전체 구조물의 안전도를 관리하는데 중요한 절차이다. 요소의 안전도를 산출하여 전체 구조물의 안전도를 판단하는 일은 그 경우의 수가 다양한 만큼 직관적으로 알아내기 어려운 문제이며, 따라서 이러한 경우 전체 구조물을 시스템으로 모델링하여 신뢰성 개념을 도입하는 체계 신뢰성 기법의 이용이 매우 유용하다 (Cho et al.,

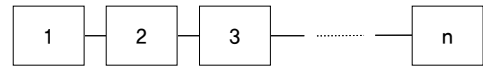


Fig. 2 Series system consisting n elements

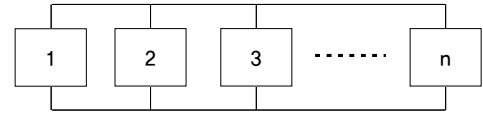


Fig. 3 Parallel system consisting n elements

1997). 구조계에서 각 요소 중 어느 요소가 파괴에 이르면 전체 시스템이 곧 파괴 또는 붕괴상태에 이르는 구조 체계를 직렬 체계 (Series System)라 하고, Fig. 2와 같이 모식화하여 나타낼 수 있다. 직렬구조계의 파괴확률은 시스템 파괴확률 산출값 중 상한값으로 대표될 수 있으며 식(8)과 같이 정리할 수 있다.

$$\max_{i=1}^n P(F_i = 1) \leq P_f \leq 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(F_i = 1)) \quad (8)$$

병렬체계에서는 구조계를 형성하는 단일요소의 파괴가 항상 전체 구조계의 붕괴를 초래하는 것은 아니다. 이것은 부정정 구조의 경우나 또는 기능 상 하나의 구조물로 작동하지만 구조적으로 단일 구조물의 조합으로 이루어진 경우 일부 구조물이 파괴된다 하여도 나머지 요소들이 하중을 재분배하여 외부하중을 부담하기 때문이다. Fig. 3 (Cho et al., 1995)과 같은 병렬체계에서는 파괴기구를 형성하는 모든 요소들이 파괴되었을 때 비로소 구조물이 붕괴된다. 따라서 병렬체계는 여분의 안전도 (Redundancy)를 확보하여 안전성 향상에 기여할 수 여지가 있다.

일반적으로 병렬구조계의 파괴 가능성은 시스템적 파괴확률의 하한값의 산출로 대푯값을 설정할 수 있고, 식(9)와 같이 정리할 수 있다.

$$\prod_{i=1}^n P(F_i = 1) \leq P_f \leq \min P(F_i = 1) \quad (9)$$

4. 입력자료 구축

본 연구에서 대상으로 삼고 있는 저수지는 현장 조사를 기반으로 한 24개 저수지의 여수토를 대상으로 파괴확률을 산출하고자 기하 및 하중모델을 작성하였다. 대상 저수지는 이미 공용연수가 상당히 경과하여 설계 당시 자료의 유무가 분명치 않고, 이후 여러 번의 개보수 과정을 거치며 현재까지만

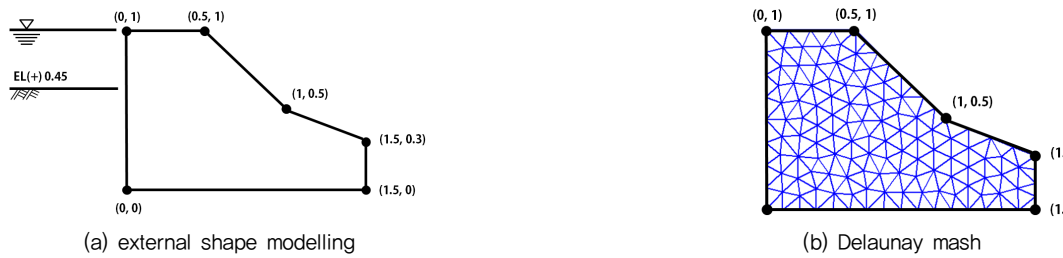


Fig. 4 Shape modeling of spillway for Dalakmal

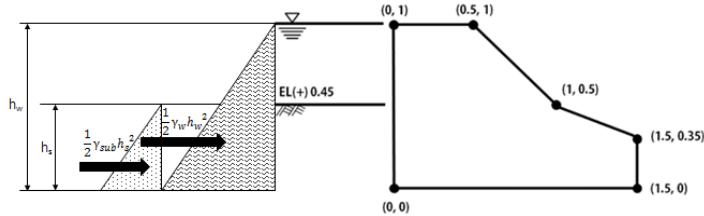


Fig. 5 The Concept of loading with Earth and Hydraulic Pressure

영되고 있는 점을 감안하여 자료의 구독이 곤란한 경우에는 현장 실측을 통하여 여수토의 기하자료를 수집하였다.

Fig. 4는 다락말지의 여수토를 구조해석 하기 위해 기하 모델링을 수행한 결과로 Fig. 4(a)는 실측한 자료를 토대로 여수 토 구조물을 형상화 한 것이고, Fig. 4(b)는 재료적 관점에서 해석을 위한 삼각망 작성 결과이다.

본 연구에서는 개별 저수지의 파괴확률 산출을 위해 앞서 설정한 기하조건에 모델링한 하중을 부과하였다. 하중은 접 근수로에 해당하는 토압과 만수위일 때의 수압의 조합으로 Fig. 5와 같이 설정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 개별 저수지의 구조적 파괴확률 산출결과

저수지군의 구조적 안전도를 평가하기 위해 24개 저수지의 여수토를 전도, 활동, 침하에 대해 파괴확률을 Table 2와 같이 산출하였다.

저수지군의 파괴확률을 산출한 결과 전도에 의한 파괴확률은 10^{-30} 이상의 값을 보이는 저수지를 비롯하여 10^{-6} 을 갖는 저수지까지 파괴확률의 범위가 매우 크게 나타났고, 전도에 의한 파괴 가능성은 없을 것으로 사료되는 저수지도 13개로 조사되었다.

Fig. 6은 저수지군의 개별 저수지들이 어떠한 요인으로 안전도의 지배를 받는지 도시한 것으로 활동과 침하에 의한 지배가 양분되어 나타남을 확인 할 수 있다. 구조적 파괴확률 산출의 결과 또한 비홍 저수지가 가장 큰 파괴확률을 보였으며,

Table 2 Distribution of Pf in Sukhwacheon watershed

Reservoir	Probability of failure			Maximize
	Overturning	Sliding	Bearing capacity	
Dalakmal	≈ 0	4,24E-05	1,07E-04	1,07E-04
Dangjin	≈ 0	5,21E-05	8,15E-05	8,15E-05
Daedin	≈ 0	1,33E-05	2,67E-06	1,33E-05
Debami	4,11E-14	4,38E-08	3,46E-03	3,46E-03
Munuiki	≈ 0	2,55E-05	8,52E-05	8,52E-05
Mulbanga	≈ 0	5,21E-05	5,40E-06	5,21E-05
Bubdeuk	3,86E-18	2,06E-05	6,79E-06	2,06E-05
Booyeon	≈ 0	1,33E-05	2,67E-06	1,33E-05
Bunteugol	1,99E-23	1,01E-06	5,95E-09	1,01E-06
Bihong	8,52E-06	2,41E-04	2,61E-02	2,61E-02
Seodang	≈ 0	3,44E-05	6,15E-07	3,44E-05
Seonam	≈ 0	8,83E-05	6,40E-04	6,40E-04
Anmal	≈ 0	3,61E-05	9,56E-05	9,56E-05
Youngsan	≈ 0	4,06E-05	3,90E-05	4,06E-05
Youngjaeddel	2,16E-17	5,90E-05	1,26E-03	1,26E-03
Woosan	3,86E-18	1,85E-04	1,00E-03	1,00E-03
Eunsan	≈ 0	3,44E-05	1,33E-05	3,44E-05
Inpyung	≈ 0	1,65E-05	1,35E-03	1,35E-03
Naesu Inpyung	2,62E-21	3,90E-05	1,06E-05	3,90E-05
Jakgonumi	5,05E-17	8,49E-05	9,19E-05	9,19E-05
Jaenori	3,11E-14	3,36E-04	1,03E-03	1,03E-03
Tapseoni	1,99E-23	1,01E-06	1,06E-08	1,01E-06
Tapjeon	6,62E-19	5,90E-05	1,22E-03	1,22E-03
Homyung	≈ 0	2,06E-05	4,38E-08	2,06E-05

침하에 의해 지배될 것으로 나타났다.

저수지의 구조적 안전도 평가에서 여수토 구조물은 전도에 대한 저항성이 매우 큰 것으로 평가되었는데, 이는 구조물의 사용 목적이 가지는 특성에 기인하는 것으로 생각할 수 있다. 전도에 대한 파괴확률이 전체 저수지의 안전도를 지배하는 곳은 나타나지 않았으나, 비홍 저수지의 전도에 의한 파괴확률이 8.52×10^{-6} 으로 산출되었는데, 이 값은 활동 또는 침하에 의한 파괴확률과 비슷한 범위이나 전도에 대한 다른 저수지의 저항성이 상대적으로 매우 작을 것으로 평가되어 Fig. 7과 같이 비홍 저수지가 전도에 의한 파괴의 취약성이 큰 것으로 도시되었으나, 값으로 비교할 때 전도에 대한 저항성도 일정 수준 확보되었다고 판단할 수 있다.

2. 개별 저수지의 재료적 파괴확률 산출 결과

본 연구에서 파괴확률은 구조적 파괴상태인 전도, 활동, 침하와 재료적 파괴상태인 응력의 파괴를 고려하고자 하였으나, 전도, 활동, 침하의 경우에는 파괴확률이 약 $10^{-2} - 10^{-6}$ 의 값이 추출되었다. 그러나 응력의 경우에는 주어진 토질정수와 콘크리트의 탄성계수 및 포아송비를 이용한 유한요소법

모델에서 파괴확률이 약 10^{-300} 이하의 파괴확률이 산정되었다. 구조적인 파괴에 비하여 상대적으로 재료적 파괴확률은 미소하기 때문에 재료적 파괴는 발생하지 않는다고 판단된다.

재료적 파괴는 내수인평 저수지를 대상으로 토질정수, 콘크리트의 탄성계수 및 포아송비의 편차의 길이를 조절하여 Table 3과 같이 파괴확률을 산출하였다. 1편차의 범위에서부터 150편차를 기준으로 설정하여 파괴확률을 도출한 결과, 재료의 von Mises 응력이 약 130편차에서 한계상태에 도달하였고, 그 전까지 파괴확률은 매우 미소하여 '0'으로만 산출되었다. 130편차 이후 파괴확률이 의미 있는 값으로 최초 산출되었으며, 이때의 값이 약 10^{-300} 의 값을 갖는 것으로 나타났다. Table 3은 편차거리에 따른 파괴기준의 결과를 도시하고 있다. 파괴기준은 재료의 한계응력과 외부하중에 의한 요소의 von Mises응력의 비율을 이용하여 1이상의 경우 최초의 파괴가 일어나는 값을 의미한다.

Table 3 Distribution of Pf according to distance of standard deviation

Range deviation	Limit stress (kPa)	von Mises stress (kPa)	Ratio
0	7200	404,7898	0,056
10	7200	938,7991	0,130
20	7200	1473,086	0,204
30	7200	2006,917	0,278
40	7200	2540,707	0,352
50	7200	3074,538	0,427
60	7200	3608,328	0,501
70	7200	4142,159	0,575
80	7200	4675,949	0,649
90	7200	5209,739	0,723
100	7200	5744,565	0,797
110	7200	6278,355	0,871
120	7200	6812,186	0,946
130	7200	7345,975	1,020

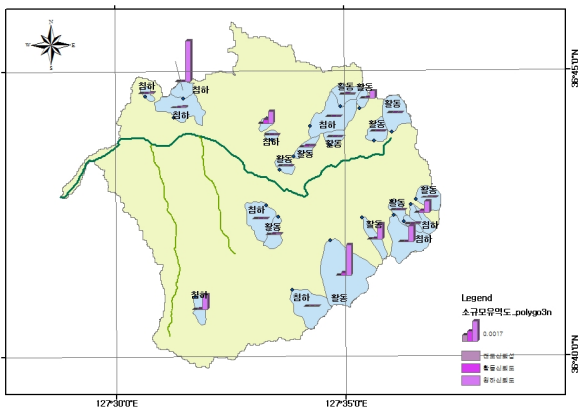
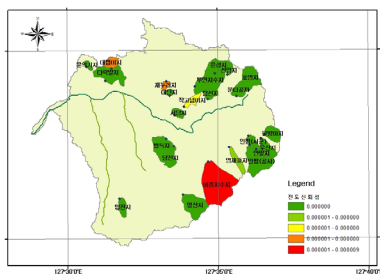
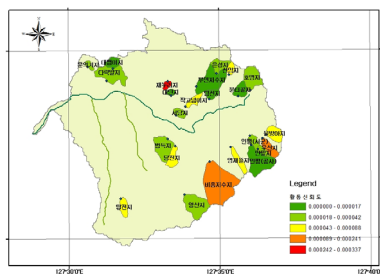


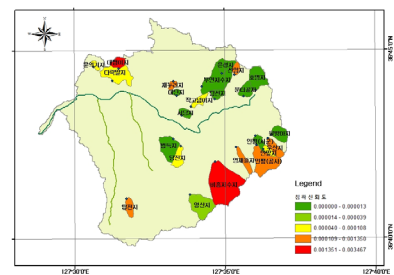
Fig. 6 Distribution of probability of failure



(a) Overtuning



(b) Sliding



(c) Bearing Capacity

Fig. 7 Distribution of probability of failure

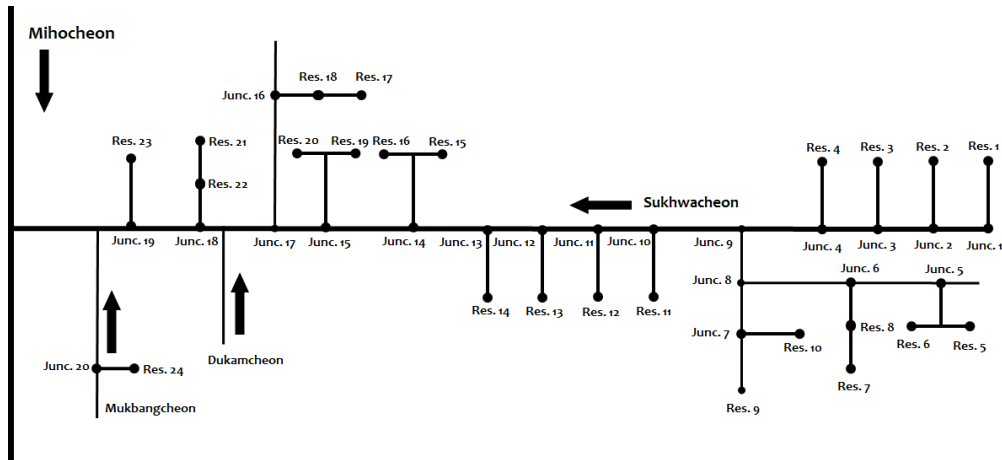


Fig. 8 Schematic diagram of objective reservoirs

3. 체계 신뢰성 개념에 기초한 유역 안전도 평가 결과

본 연구에서는 24개의 저수지를 개별 요소로 간주하고, 이 저수지들을 포함하는 유역을 전체 시스템으로 보고 개별 저수지의 파괴확률을 통해 직렬연결체계 및 병렬연결체계를 가질 때 파괴확률의 변동을 살펴보고자 한다.

체계 신뢰성 개념에서 저수지군의 저수지 분포를 Fig. 8과 같이 모식화하여 나타낼 수 있고, 24개의 저수지 중 안말지 (Res.7)-내수인평지 (Res.8), 은성지 (Res.17)-부연 저수지 (Res.18), 대땀이 (Res.21)-다락말지 (Res.22)의 세 지구가 직렬연결 체계를 갖고, 그 밖의 지구는 저수지와 저수지, 저수지와 하천이 병렬연결로 구성되어 있다.

저수지시스템의 안전도를 평가하는데 있어서는 직렬 체계의 저수지시스템의 위험도가 병렬 체계보다 상대적으로 크다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 8에서 도시한 24개 저수지의 직렬 및 병렬연결 시스템의 저수지군의 파괴확률 분포를 모두 살펴본 유역의 안전도에 더 큰 영향을 미칠 수 있는 직렬 체계로 연결되어 있는 저수지의 안전도를 우선적으로 고찰하도록 한다.

안말지 (Res.7)-내수인평지 (Res.8)는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 석화천의 상류에 위치하고 있으며, 석화천을 중심으로 fish bone 형태로 분포한 다른 저수지시스템과 달리 인근지역에 4개의 저수지와 밀집해 또 하나의 작은 저수지시스템을 이루고 있는 지구이다. 안말지 (Res.7)는 상류에 위치한 저수지로 개별 파괴확률 9.57×10^{-5} 로 산출되었고, 하류에 위치한 내수인평지 (Res.8)는 3.90×10^{-5} 로 산출되었다. 두 저수지의 직선거리는 769.80 m이고 실제 유로거리 또한 923.80 m로 매우 인접해 있으며, 두 저수지 사이에 인평 (공사)저수지가 위치해 있다. 그러나 안말지 (Res.7)에서 하류로 방류되는 수

로 시스템과 인평 (공사)저수지와 상당한 고도 차이가 발생하여 안말지 (Res.7)는 내수인평지 (Res.8)로 유입되는 직렬 체계를 가진다. 또한 이 두 저수지의 방수로를 비롯한 수로 시스템은 마을을 관통하여 지나며, 내수인평지 (Res.8)는 지방도와 매우 인접하게 위치해 있다. 안말지 (Res.7)와 내수인평 (Res.8)의 경우 두 저수지가 동시에 파괴될 확률은 상한값 1.35×10^{-4} , 하한값 2.29×10^{-10} 으로 산출되어 개별 저수지가 갖는 파괴확률 보다 증가한 값을 보였으나, 석화천으로 유입되는 동안 인근지역의 저수지와 합류하는 과정에서 합류점이 파괴에 이르는 데는 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

다음은, 은성지 (Res.17)-부연 저수지 (Res.18)이다. 은성지는 마을 고지대에 위치한 저수지로 주거지와 인접하며, 반면 부연 저수지 (Res.18)는 석화천 유역에서 두 번째로 큰 규모의 저수지로 유효저수량 255,000톤에 이르며, 지방도와 인접해 있고 하류는 주로 밭으로 구성된 농경지이다. 부연 저수지 (Res.18)의 규모에 비해 은성지 (Res.17)는 유효저수량 7,000톤에 불과한 작은 규모이며, 직선거리 1177.30 m, 유로 연장도 1585.04m로 비교적 원거리에 위치해 있다. 개별 파괴확률은 은성지 3.44×10^{-5} , 부연 저수지 1.33×10^{-5} 으로 산출되었으며 체계 신뢰성의 관점에서 볼 때 파괴확률은 4.77×10^{-5} 로 계산된다. 구해진 바와 같이 안말지 (Res.7)-내수인평지 (Res.8)에 비해 작은 폭의 증가를 보이는데, 그 이유는 상류 저수지와 하류 저수지의 면적의 비에서 기인하는 것으로 판단된다. 상하류의 면적의 비가 비슷한 안말지 (Res.7)-내수인평지 (Res.8)에 비해 상대적으로 하류에 큰 규모의 저수지를 가지고 있는 은성지 (Res.17)-부연 저수지 (Res.18)의 경우가 안정적이라고 할 수 있다.

마지막 직렬체계 지구는 대땀이 (Res.21)-다락말지 (Res.22)로 미호천과 인접한 석화천의 하류에 위치하고 있으며, 다

Table 4 The results of structural and systematic P_f

P_f on Component				Systematic P_f	Probability of Failure	
					MAX	MIN
Res,1	2,06E-05				2,06E-05	2,06E-05
Res,2	1,02E-06				1,02E-06	1,02E-06
Res,3	6,41E-04				6,41E-04	6,41E-04
Res,4	1,02E-06				1,02E-06	1,02E-06
Res,5	5,22E-05	Res,6	1,00E-03	5,22E-08	1,00E-03	5,22E-08
Res,7	9,57E-05	Res,8	2,56E-03	1,35E-04	1,35E-04	2,29E-10
Res,9	1,35E-03	Res,10	1,26E-03	1,70E-06		
Res,11	2,56E-05				2,56E-05	2,56E-05
Res,12	9,20E-05				9,20E-05	9,20E-05
Res,13	1,33E-05				1,33E-05	1,33E-05
Res,14	9,57E-05				9,57E-05	9,57E-05
Res,15	9,19E-05	Res,16	3,44E-05	3,16E-09	9,19E-05	3,16E-09
Res,17	3,44E-05	Res,18	1,33E-05	4,77E-05	4,77E-05	1,33E-05
Res,19	1,07E-05	Res,20	1,04E-03	1,11E-08	1,04E-03	1,11E-08
Res,21	3,47E-03	Res,22	1,07E-04	2,55E-02	2,55E-02	3,47E-03
Res,23	8,52E-05				8,52E-05	8,52E-05
Res,24	1,22E-03				1,22E-03	1,22E-03

른 지구와 달리 경사도가 완만하고 다락말 (Res.22) 하류에는 농경지 일부와 산업단지가 조성되어 있다. 대뱀이 (Res.21)의 경우 3.47×10^{-3} 의 파괴확률을 가졌고, 다락말 (Res.22)은 2.21×10^{-2} 로 산출되었다. 이 두 저수지는 체계신뢰성의 개념을 적용하여 파괴확률을 재계산하면 2.55×10^{-2} 으로 Table 4에 도시한 바와 같이 유역의 안전도를 지배하는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 저수지 구조물이 단일 개체로 거동하는 것이 아니라 시스템을 이루어 운영되며, 용수의 이용뿐만 아니라 안전도에 있어서도 상호 개연성을 갖는다는 점에 착안하여 상류 저수지의 안전도가 하류 저수지의 안전도 증감에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고자 하였다. 연구 수행의 결과 다음 사항을 확인하였다.

1. 파괴확률을 산출하여 안전도를 평가한 결과 전도에 의한 파괴는 발생하지 않는 것으로 나타났고, 침하에 의한 파괴도 12개소로 안전율로 평가할 경우 14개소와 큰 차이를 보이지 않았다. 여기서 주목할 것은 활동에 의한 파괴가 비약적으로 증가하여 침하와 같이 12개소가 활동에 지배를 받

는 것을 확인하였다.

2. 저수지가 단일 요소로 거동하지 않는 것에 기인하여 본 연구에서는 저수지시스템 안에서 안전도의 전파가 어떻게 이루어지는지 살펴보기 위하여 체계 신뢰성 개념을 도입하여 상류 저수지와 하류 저수지의 파괴의 개연성을 확인하였으며, 그 결과 직렬로 연결된 세 저수지시스템에서 하류 저수지의 파괴확률이 석화천의 상류에 위치한 내수인 평지의 경우 두 저수지가 동시에 파괴될 확률은 상한값 1.35×10^{-4} , 부연저수지 4.77×10^{-5} , 다락말지 2.55×10^{-2} 로 산출되었다.

3. 저수지군의 안전도를 평가하기 위해 시공과 유지관리, 재료의 불확실성을 고려한 파괴확률의 산출을 통해 안전도를 평가하는 것이 보다 타당할 것으로 사료되며, 더 나아가 저수지군의 파괴확률 전파과정을 규명하여 유역의 안전도를 평가함으로써 구조물의 안전뿐만 아니라 유역 내 농경지, 주거지, 산업 단지 등의 재해 위험도를 낮출 수 있는 통합 안전성 체계를 고려한 유지관리의 개념을 제시하였는데 의의가 있다.

사 사

이 논문(도서, 작품)은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of Chungbuk National University in 2012)

REFERENCES

1. Ang, A.H.S., Tang, W.H.(1984), "Probability concepts in engineering design" Vol. 2: Decision, Risk and Reliability, Wiley, New York
2. Cho, H. N., C. G. Gang, H. I. Park, 1995, System Reliability analysis and Safety Assessment of Strut System for Supporting Earth Retaining Walls, Korean Society of Civil Engineers, 15(2): 305-314 (in Korean)
3. Cho, H. N., J. K. Lim, W. G. Lee, 1997, System Reliability-Based Safety Assessment and Berth-Capacity Rating of Aged Wharf Structures of Pier Type, Korean Society of Civil Engineers, 17(1-2): 177-186
4. Han, H. G., 2002, Assessment of Agricultural Reservoir Safety Inspection, Korea Disaster Prevention Association, 4(3): 78-88 (in Korean)
5. Hwang, S. H., M. S. Kang, J. H. Kim, J. H. Song, S. M. Jun, S. H. Lee, J. Y. Choi, 2012, Assessment of Flood Impact on Downstrea of Reservoir Group at Hwangryong River Watershed, Journal of the Korea society of Agricultural Engineers, 54(3): 103-111 (in Korean)
6. Kim, B. S., 2013, Study on the flooding characteristics in the serial Dam collapse, Thesis of Master Degree (in Korean)
7. Kim, H. K., S. H. Lee, C. Y. Choi, 2010, Reliability Analysis in Designing of Reinforced Soil Structures using Uni-Modal Bounds, Journal of Korean Geosynthetics Society, 9(4): 17-25 (in Korean)
8. Kim, S. H., S. H. Lee, 1995, Application of NDT for the Safety and Maintenance of Bridges, The Korean Society for Nondestructive Testing, 15(3): 431-438 (in Korean)
9. Korea Rural Community Corporation, 2010, Development of Practical Guide for Value Engineering Process of Agricultural Infrastructure Installations under Design
10. Korea Rural Community Corporation, 2001, Development of the Maintenance Management System and Standardization of Periodical Inspection Method for the Irrigation Structures
11. Lee, J. G., Development of integrity evaluation model for small reservoirs and dams using the analytic hierarchy process, 2014, Ph.D. diss. Incheon National University
12. Ministry of Construction & Transportation, 1992, The Fundamental Planning Report for River Improvement Works
13. Shin, E. C., C. G. Shin, J. M. Ryu, J. G. Lee, 2013, Determination of Agricultural Reservoirs Checklist by Analysis of the Weights, Korea Geosynthetics Society, 12(3): 81-86 (in Korean)