

중소형 필댐의 정밀점검 우선순위 도출을 위한 간이 위험도 분석 방법

Risk Analysis Method for Deriving Priorities for Detailed Inspection of Small and Medium-sized Fill Dam

김진영¹⁾ · 강재모[†]
Jinyoung Kim · Jaemo Kang

Received: August 18th, 2020; Revised: September 7th, 2020; Accepted: September 28th, 2020

ABSTRACT : Korea's agricultural reservoir is one of the country's major infrastructures and plays an important role in people's lives. However, aging reservoirs are a risk for life and property. Currently, large and small dams and reservoirs have been constructed nationwide for more than 40 years of aging. Dams and reservoirs built nationwide are managed by various institutions. Therefore, it is difficult to manage all dams and reservoirs due to cost and time. Managers in the field with less management personnel and lack of expertise should be able to quickly identify risk factors for multiple reservoirs. In this study, risk factors such as seepage, leakage, settlement slide, crack and erosion were selected. To assess the risk of the items, we used the analytical hierarchical process (AHP), one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. The analysis showed that seepage has the greatest impact on reservoir collapse. It is judged that the priority of detailed diagnosis can be determined by evaluating the risk of dam reservoir collapse in a convenient way in advance using the calculated weight.

Keywords : Aging Dam and reservoir, Small and medium reservoirs, Risk analysis, Analytical hierarchical process

요지 : 우리나라의 농업용 저수지는 국가 주요 기반시설 중 하나로 국민의 삶에 중요한 역할을 수행하고 있다. 하지만 노후화된 저수지가 인명과 재산에 대한 위험 요소로 작용하고 있는 실정이다. 현재 전국에 40년이 넘는 노후화가 진행된 크고 작은 댐과 저수지가 건설되어 있다. 전국에 건설된 댐, 저수지의 관리주체는 여러 기관으로 나뉘어져 있다. 따라서 비용과 시간적 문제로 모든 댐, 저수지의 관리가 어려운 실정이다. 그렇기 때문에 적은 관리 인력과 전문지식이 부족한 현장의 관리자도 다수의 저수지에 대하여 위험요인을 신속히 파악하고 시설물을 상태를 파악할 수 있는 소규모 저수지에 최적화된 안정성 평가 시스템이 구축되어야 한다. 본 연구에서는 위험인자로 침투, 누수, 침하, 활동, 균열, 침식으로 항목들을 선정하였으며 항목들의 위험도를 평가하기 위해 다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making : MCDM) 방법 중 하나인 계층적 분석 과정(AHP) 기법을 활용하였다. 분석 결과 침투, 누수, 균열, 활동, 침하, 침식 순으로 나타났다. 산정된 가중치를 활용하여 사전에 간편한 방법으로 댐 저수지 붕괴 위험도를 평가하여 정밀진단 우선순위를 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 댐 저수지 노후화, 중소형 저수지, 위험도 분석, AHP 분석

1. 서론

농업용 저수지는 국가 주요 기반시설 중 하나로 국민의 삶에 중요한 역할을 수행하고 있다. 하지만 노후화된 댐, 저수지는 인명과 재산에 대한 큰 위험 요소로 작용하고 있는 실정이다. 우리나라는 약 17,000여개의 저수지가 건설되어 있으며, 생활용수, 공업용수, 농업용수 등을 확보하기 위한 목적으로 전국에 크고 작은 댐과 저수지가 건설되어 있다. 건설된 댐과 저수지 중 88.5%가 1972년도 이전에 만들어진 시설물로 건설된 수가 40년이 넘어 댐 저수지의 노후화가 진행되고 있다. 현재 전국에 건설된 댐, 저수지의 관리주체

는 여러 기관으로 나뉘어져 있다. 크게 보면 다목적 댐과 생활용수, 공업용수 전용 댐과 같은 대형 댐은 수자원공사에서 관리하고, 농업용수 공급을 위한 중, 소형 저수지는 한국농촌공사와 각 시도의 지방자치단체에서 나눠서 관리하고 있다. Table 1에서 볼 수 있는 것처럼 80%가 넘는 대부분의

Table 1. Number of reservoirs by managing body in Korea

Management authority	Korea water resources corporation	Korea rural community corporation	Local government
Number of reservoir	34	3,376	14,322
Ratio (%)	0.2	19.1	80.7

1) Senior Researcher, Construction Automation Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

† Senior Researcher, Underground Space Safety Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (Corresponding Author : jmkang@kict.re.kr)

중, 소형 저수지를 지방자치단체에서 관리하고 있는 실정이다. 이와 같이 지자체 및 농촌공사에서 관리하고 있는 댐, 저수지 개수가 관리인원 및 예산에 대비해 상당히 많은 실정이다.

현재 지자체에서 관리하는 14,000개의 댐, 저수지는 Table 2에 나타난 것처럼 약 56%가 1963년 이전에 축조된 것으로 노후화가 진행된 상황이다. 특히 재정 능력이 취약한 시, 군, 구에서 관리하고 있는 소규모 저수지의 경우 예산과 전문 관리 인력의 부족으로 인해 체계적인 안전관리가 이뤄지지 않고 있다. 이러한 문제들 때문에 최근에 중, 소형 댐의 붕괴가 빈번히 발생하고 있다.

Table 2. Reservoir status by year

Division	Sum		~30yr ('84~)			
	EA	%	EA	%		
Sum	17,427	100	851	4.9		
KRC	3,377	19.4	453	2.6		
Local government	14,050	80.6	398	2.3		
Division	30yr~('64~83yr)					
	Sum		30~50yr ('64~'83)		50yr~ (~'63)	
	EA	%	EA	%	EA	%
Sum	16,567	95.1	4,482	25.7	12,094	69.4
KRC	2,924	16.8	651	3.7	2,273	13.1
Local government	13,652	78.3	3,831	22.0	9,821	56.3

국내의 댐 붕괴 사례를 살펴보면 국제대댐회(ICOLD)에 서는 전세계적으로 20세기 이후에 대략 200개소의 댐사고가 발생하여 약 238,000명이 사망하였으며, 1950년 이전에 건설된 댐은 2.2%, 그 이후에 건설된 댐은 0.5%가 붕괴되었다고 발표했다. 이와 같이 노후화된 댐에 붕괴가 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 국내의 댐 붕괴사례 144개소에 대해 붕괴 원인을 분석해 보면 Fig. 1과 같이 파이핑 현상

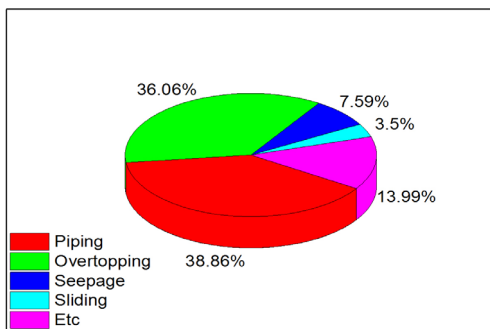


Fig. 1. Type of destruction reservoirs in overseas

이 가장 많았고, 그 뒤로 월류, 누수, 지진, 기타 순으로 나타났다.

우리나라의 경우 다목적 댐과 같은 대규모 댐이 붕괴된 사례는 없으나 농업용인 소규모 댐이나 저수지의 붕괴사례가 대부분을 차지하고 있다. 집중호우로 인한 월류, 댐체와 여수로 접속부의 파괴, 파이핑 등에 기인한 사례가 보고되었다. 농업용 저수지와 같은 필댐에서 붕괴사례를 정리해 보면 Fig. 2와 같이 파이핑, 월류, 누수, 지진 등으로 외국의 댐 붕괴 원인과 비슷하게 나타났다(Sim, 2011).

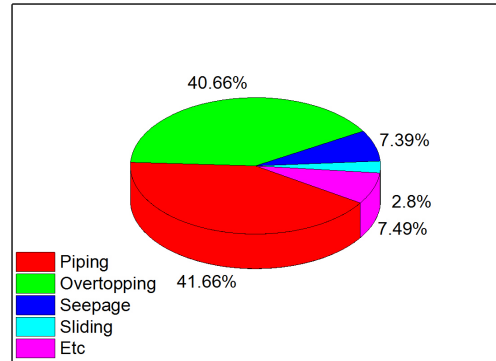


Fig. 2. Type of destruction reservoirs in Korea

집중 호우와 같은 직접적인 유발원인이 없음에도 불구하고 댐, 저수지의 안전관리 미흡과 내구연한 초과에 따른 균열 등 복합적인 구조적 문제로 인해 소규모 댐 저수지의 붕괴가 발생하고 있다. 따라서 수많은 댐 수지 중에 상대적으로 위험도가 높은 댐 저수지를 선별하여 정밀진단을 하는 것이 필요하다. 또한 적은 관리 인력과 전문지식이 부족한 현장 관리자도 다수의 저수지에 대하여 위험요인을 파악하고 시설물의 상태를 파악할 수 있는 소규모 저수지에 최적화된 안정성 평가 시스템이 구축되어야 한다.

2. 댐체 및 양안부의 위험 영향 인자 도출

일반적으로 구조물의 위험도란 구조물에 적용되는 위험요인들을 파악하고 이로 인해 발생하는 피해를 예측하여 고려함을 뜻한다. 위험도 평가는 위험도 분석의 결과와 가이드라인을 고려하여 추가의 위험에 대해 감소 대책을 수립하는 절차이다. 국내의 댐, 저수지 위험도 관리를 위한 몇몇 연구가 진행되었다. 필댐의 안전성을 파악하기 위한 점검 항목, 항목별 평가방법이 정립되어 있지 못한 상태로 유지관리가 이루어지고 있지 못해 규모가 큰 댐, 저수지에 비해 파괴 가능성이 높은 것으로 지적하였다(Yoo & Park, 2007). 이러한 문제를 해결하기 위해 국내의 댐 저수지 평가를 위

해 적용하고 있는 기법을 조사 분석 하였다. 이에 대한 연구 중 하나로 파괴에 대한 통계사례를 조사하고, 소규모 저수지를 대상으로 현장 조사를 하여 저수지의 구성 및 발생 손상의 특성, 주요 파괴원인을 분석하여 평가 인자를 도출한 연구가 진행되었다(Shin, 2013). 또한 AHP(Analytic Hierachy Process)기법을 활용하여 댐마루, 상류사면, 하류사면 등의 항목들의 상대적인 가중치를 산정한 연구도 진행되었다(Shin, 2013). 이처럼 다양한 연구들이 진행되어 왔지만 소규모 농업용 댐, 저수지의 특성을 바탕으로 위험도 분석을 위한 정량적인 유형화를 시도한 연구는 부족한 실정이다.

현재 농업용 저수지 관리를 위한 안전진단을 실시하고 있다. 하지만 농업용 저수지 안전진단을 위한 상태평가 기준은 대규모 댐을 대상으로 만들어진 것으로 중, 소규모 농업용 저수지에 대해 상태평가를 적용하는 것은 과대하다. 기존 상태평가 기준은 미국의 수력용 발전 댐을 위해 만들어진 기준을 국내 기준에 그대로 준용하였기 때문에 중, 소규모 댐에 적용하기에는 어려움이 있다. 주요 내용으로는 중요 결함 항목인 댐마루의 중, 횡방향 균열은 기존에는 균열 깊이 1~5m로 적용하였으나, 농업용 저수지 적용에는 저수지 마루폭이 1.8~3.0m등으로 매우 얇기 때문에 적용하기 어려움이 있다. 또한 댐마루 침하의 경우 기존에는 침하량 10~50cm로 기준을 산정하였으나, 농업용 저수지의 경우 제정고가 매우 낮은 문제가 있다. 하류사면 누수의 경우는 누수의 징후가 시작되는 경미한 상태를 평가하지만, 농업용 저수지는 제체 길이가 짧아 적용이 어려운 실정이다. 마지막으로 댐마루 수평변위의 경우는 기존에는 과도한 수평변위의 징후가 존재하거나 경미한 상태(용기 0~50cm, 측방이동 30cm)를 평가하지만, 농업용 저수지의 경우는 저수지 제정고가 매우 낮아 평가가 어렵다.

실제 붕괴가 많이 발생하는 중, 소형 댐 저수지의 위험도 평가를 위해 현행 상태평가를 정리해보면, 현재 농어촌 공사에서 제시하고 있는 필댐의 상태평가 항목은 총 50개로 이중 기계와 전기시설을 제외한 40여개 항목(제체, 여수로, 취수 및 배수시설)을 제시하고 있어 평가 시에 고려해야 할 항목들이 많다.

또한 기존 문헌에서 제체, 여수로, 취수시설을 대상으로 위험도를 AHP 분석을 통해 정량화한 연구가 진행 된 사례가 있다(Shin, 2013). 본 연구에서는 제체, 여수로, 취수시설 중 저수지 붕괴에 주요 요인으로 작용하는 제체를 대상으로 위험항목들을 평가하고자 한다. 또한 각종 규정 및 지침에서 수행하고 있는 저수지 점검 리스트와 파괴 사례 및 붕괴 원인을 분석하여 댐체와 양안부를 대상으로 위험인자를 기존 문헌연구 및 전문가 자문을 받아 6개의 항목들로 선정하였다.

- Factor 1 : 침투
- Factor 2 : 누수
- Factor 3 : 침하
- Factor 4 : 활동
- Factor 5 : 균열
- Factor 6 : 침식

선정된 항목들의 세부 항목과 이에 따른 위험도 평가 인자 항목은 아래 Table 3과 같다. 세세부 항목은 세부 항목별로 발생할 수 있는 위험도를 분석하여 설정하였다.

Table 3. Selected subsection and sub-subsection

Sub-Criteria	Alternatives
Seepage	No excessive seepage Seepage some occurs Ditch formed due to excessive seepage
Leakage	No leakage state Leakage signs start state More than double the usual leakage
Settlement	No settlement state Settlement and differential settlement conditions Excessive settlement and differential settlement Conditions
Slide	No slide state Some slope collapse state Local slope collapse and cracking state
Cracks	No crack state Partial occurrence of shallow cracks and activity Deep cracks and partial occurrences of activity
Erosion	No erosion state Some erosion occur A lot of erosion occur state

3. 저수지 붕괴 위험도 평가를 위한 AHP 분석

본 연구에서는 중소형 저수지 위험도 분석을 위한 항목별 가중치를 결정하는데 있어 기존의 실무자의 판단이나 단순한 사례 분석을 통한 방법을 개선하여 현재 위험도 분석에 다양하게 적용되고 있는 계층분석방법을 활용하였다. 기존 문헌연구 및 전문가 조사를 해 선정된 항목들의 위험도를 평가하기 위해서는 각각의 영향인자가 댐, 저수지 붕괴 위험도에 미치는 영향력을 정량화할 필요가 있다. 영향력 지수를 설정하기 위한 방법으로 다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making : MCDM) 방법 중 하나인 계층적 분석 과정(AHP) 기법을 활용하였다. 의사결정 문제인 댐 저수지 붕괴 위험인자를 계층화한 후 각 평가 기준의 관점에서 대안들의 상대적 중요도와 평가 기준들 간의 상대적 중요도를 상대 비교(pairwise comparison)에 의해 측정하였다. 통계

분석 중 하나인 AHP기법은 전문가들의 집단 의사결정을 체계화할 수 있는 통계적인 방법이며, 의사결정의 대상들에 대한 상대적 중요도를 결정하는데 유용한 방법으로서 구조화된 설문문을 통하여 전문가들의 의견을 수집 분석하여 종합한 가중치를 산정할 수 있다는 점에서 기존 위험도 분석 방법에 비해 댐 저수지 붕괴 위험도를 예측하는데 있어 적합한 방법론으로 판단된다.

AHP기법은 Vargas(1990)에 의하여 관리기법에 관한 연구에 폭넓게 적용되었으며 Saaty(1983, 1986, 1994)에 의해 다기준 의사결정에서의 적용 연구가 많이 이루어졌다. 계층적 분석 과정은 논리가 쉽고 객관적 평가요인뿐만 아니라 전문가의 주관적 요인도 포함하는 편리한 의사결정방법으로 국내외에서 의사결정에 많이 이용되고 있다. 국내에서는 상수관의 노후도를 판정하기 위한 방안으로 활용된 바 있으며, 하천 수질개선 우선순위(Park et al., 2014) 선정 등의 연구가 진행된 바 있다. 재난 예측과 관련해서는 산사태 위험지역을 분석하기 위한 방법(Lee et al., 2006), 하수관로에 의한 지반함몰 예측 연구(Kim, 2017) 등에 AHP 기법이 활용된 바 있다.

3.1 의사결정 요소들의 쌍대 비교(Pairwise Comparison) 행렬 작성

저수지 붕괴 위험도를 산정하기 위해서 계층구조를 설정해야 한다. 계층구조의 설정이란 해결하고자 하는 문제의 요소를 파악하고, 요소를 동질적인 집합으로 군집화하여, 이 집합을 상이한 수준에 배열하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 저수지 붕괴 위험도 분석을 통해 도출된 영향 인자 6가지 항목은 Sub-Criteria에 위치하며, 평가구간은 Alternatives에 위치하게 된다. 영향인자들의 중요도에 대한 의사결정자의 선호도를 평가하는 단계로서 각 계층 내의 평가요소들을 서로 비교하여 쌍대 비교 행렬을 작성하였으며, 각 요소들 간의 중요도를 판단하는 기준이 되는 쌍대 비교 척도는 Table 4와 같다.

중요도의 척도에 따라 쌍대 비교를 통해 행렬 Eq. (1)이 구성되는데, 이는 주 대각선의 원소들이 모두 1이 되는 역

Table 4. Comparing the criteria for importance with respect to the goal

Semantic Scale	Value
A, B equally important	3
A weakly more important Than B	2
A strongly more important Than B	1
A very strongly more important Than B	1/2
A absolutely more important Than B	1/3

수행렬이다. 여기서, w_i 와 w_j 는 i 번째 속성과 j 번째 속성의 가중치이며, $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ 이다.

$$A_{ij} = w_i/w_j \quad (1)$$

3.2 일관성 검증(Consistency test)

설문조사 결과의 타당성 검증을 위해서 일관성 검증이 필요하다. 비교 대상을 서로 비교한 후 일관성 여부는 일관성 지수(Consistency Index, CI)와 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)을 구함으로써 검증할 수 있다. 일관성 지수 CI는 λ_{max} 를 이용하여 아래의 Eq. (2)와 같이 구할 수 있다.

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1) \quad (2)$$

여기서 RI는 무작위 일관성 지수(Random consistency Index)를 말하며 1에서 9까지 정수들을 무작위 추출하여 역수 행렬을 작성한 후 이로부터 일치지수를 구한 것을 말하며 표본 500개로부터 무작위 지수를 구하여 평균한 값은 다음의 Table 6과 같다. 즉, 쌍대비교를 통해 상대적 중요도를 산정하고자 하는 요소들의 개수(n)에 따른 무작위 일관성 지수 RI값을 Table 6을 통해 구할 수 있으며, 이를 통해 일관성 지수 CR값을 구할 수 있다. CR값이 0.1 이하일 경우에는 일관성이 있다고 말하고, 0.10~0.20 사이일 경우에는 일관성을 인정하는 정도이다. 그러나 만약 0.20을 넘으면 일관성이 없다고 보고 다시 설문을 해야 하거나, 그룹 설문일 경우에는 중요도 산정에서 제외시켜야 한다.

4. 저수지 붕괴 위험도 평가를 위한 AHP 분석 결과

4.1 붕괴 위험도 우선순위 결과

앞의 문헌연구를 통해서 선정된 세부 항목 6개(침투, 누수, 침하, 활동, 균열, 침식)의 댐 저수지 붕괴에 미치는 단순 중요도 비교를 위해 우선순위를 분석하기 위한 설문조사를 30여명의 토목 및 농공학 전문가들에게 실시하였다. 그 결과 Fig. 3과 같이 누수, 균열, 침투, 활동, 침하, 침식 순으로 나타났다. 침투, 누수, 침하가 미치는 중요도는 비슷한 것으로 나타났다.

기존 문헌에서는 제체 붕괴에 가장 영향을 미치는 영향 인자로 침투, 누수, 균열 및 수직변위, 침하, 침식 및 식생으로 분석되었다(Shin, 2013).

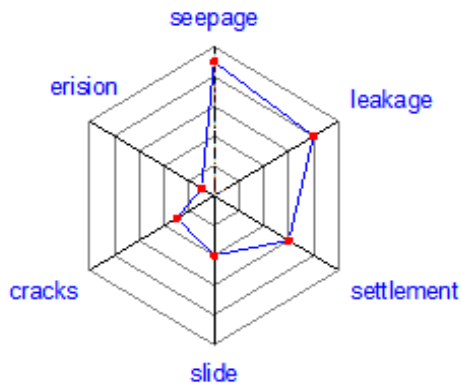


Fig. 3. Reservoir collapse influence factor priorities

4.2 AHP 분석 결과

6개의 세부항목들을 활용하여 쌍대비교 설문지를 만들어 전문가 26명에게 배포하였다. 저수지 붕괴 위험도를 분석하기 위해서 여러 전문가들의 다양한 지식과 경험을 토대로 신뢰도 높은 가중치를 산정하기 위해서 설문 응답자는 업무 관련성이 있는 공공기관, 학계의 전문가로 선정하였다. 설문지의 내용은 선정된 지표들의 상대적인 중요도를 판단할 수 있는 내용들로 구성하였으며, 평가 항목들의 쌍대비교를 묻는 형식으로 작성하였다. 설문 분석을 위하여 각 평가항목 간의 상대적 분석도(가중치), 일관성지수를 검토하였다. AHP분석 결과 Table 5와 같이 일관성 지수 부적합이 2건으로 나타나 이 두건을 배제하고 24명의 설문조사 결과를 분석하여 오차범위를 최소화하였다.

24명의 AHP 분석 결과 침투, 누수, 침하, 균열, 활동, 침식 순으로 나타났다. 각 항목별 가중치는 Table 6과 같다.

직접 중소형 저수지를 관리하는 농어촌 공사(KRC) 직원들의 설문 조사 결과를 살펴보면 Table 7과 같이 나타났다.

Table 6. Weighting factors analysis result

	Seepage	Leakage	Settlement	Slide	Cracks	Erosion
Weight	0.185	0.184	0.182	0.167	0.175	0.107
Ranking	1	2	3	5	4	6

Table 7. Weighting factors analysis result (KRC)

	Seepage	Leakage	Settlement	Slide	Cracks	Erosion
Weight	0.222	0.211	0.114	0.142	0.211	0.099
Ranking	1	2	5	4	3	6

전체 설문조사의 결과는 각 항목별 가중치의 우선순위는 기존 문헌과 조금 차이가 있었지만 직접 중소형 댐관리를 하는 농어촌공사 직원들의 결과를 분석해 보면 Fig. 4와 같이 기존 문헌과 우선순위가 비슷한 것으로 나타났다.

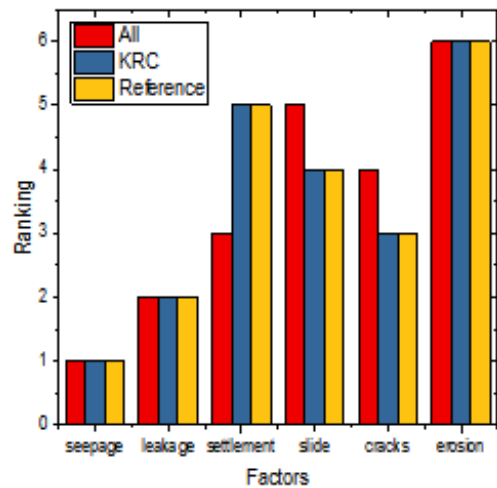


Fig. 4. Reservoir collapse influence factor priorities (All, KRC, Reference)

Table 5. Result of CI, CR (Analytic Hierarchy Process)

Number	Consistency index	Consistency ratio	Suitability	Number	Consistency index	Consistency ratio	Suitability
1	0.2191	0.1767	Unsuitability	14	0.0536	0.0432	Suitability
2	0.1799	0.1450	Unsuitability	15	0.0299	0.0241	Suitability
3	0.0399	0.0322	Suitability	16	0.0594	0.0479	Suitability
4	0.0351	0.0283	Suitability	17	0.0678	0.0546	Suitability
5	0.0300	0.0242	Suitability	18	0.0528	0.0426	Suitability
6	0.0472	0.0380	Suitability	19	0.5164	0.0416	Suitability
7	0.0403	0.0325	Suitability	20	0.0369	0.0297	Suitability
8	0.0474	0.0382	Suitability	21	0.0707	0.0571	Suitability
9	0.0325	0.0262	Suitability	22	0.0201	0.0162	Suitability
10	0.0249	0.0201	Suitability	23	0.0320	0.0258	Suitability
11	0.0924	0.0745	Suitability	24	0.0600	0.0484	Suitability
12	0.0549	0.0443	Suitability	25	0.0330	0.0267	Suitability
13	0.0426	0.0343	Suitability	26	0.0837	0.0675	Suitability

5. 결 론

본 연구에서는 중소형 저수지의 붕괴위험도를 판단하기 위해 설문조사 결과를 활용하여 통계분석을 통해 각 항목별 가중치를 분석하였다. 본 연구에서 얻을 수 있는 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 국내의 문헌조사를 통해서 농업용 저수지 붕괴의 주요 원인에서 가장 중요하게 고려되는 항목이 제체인 것으로 분석되었다. 그 중 하류 사면에서 붕괴발생 가능성이 가장 높은 것으로 나타났다. 하류 사면에서 붕괴를 유발할 수 있는 인자들을 추출하였다.
- (2) 문헌 조사를 통해 선정된 저수지 붕괴 유발 인자들의 단순 중요도 평가를 한 결과 침투, 누수, 침하, 활동, 균열, 침식 순으로 나타났다.
- (3) 저수지 붕괴 유발 위험인자들의 항목별 가중치를 산정하기 위해서 통계기법 중 하나인 AHP 분석을 실시하였다. 기존 문헌과의 우선순위 비교를 한 결과 전체 설문조사 결과가 아닌 직접 댐 관리를 하고 있는 농어촌 공사 사람들의 설문조사 결과가 타당한 것으로 판단되며, 우선순위 결과는 침투, 누수, 균열, 활동, 침하, 침식 순으로 나타났다.

이와 같은 위험도 분석을 통해 중소형 저수지의 상대적인 위험도를 분석하여 정밀진단 우선대상지를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 간이 상태평가를 통해 도출된 위험지구를 대상으로 위험을 감지할 수 있는 추가적인 IoT 센서를 부착하여 위험 인자들의 자동 계측을 통해 중소형 댐, 저수지 제체의 안전관리를 위한 실시간 상태평가를 할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 2020년 국토교통기술사업화 지원사업(사물인터넷 기반 댐·저수지의 실시간 구조상태평가 및 재해 예측 시스템 개발)지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. Kim, J. Y. (2017), Correlation analysis of sewer integrity and ground subsidence, *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 18, No. 6, pp. 31~37.
2. Luis G. Vargas. (1990), An overview of the analytic hierarchy process & its applications. *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, pp. 2~8.
3. Park, J. S. and Lee, K. H. (2014), Items and indicators of evaluation for decision of priority in improving river water quality, *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 80, pp. 83~100.
4. Shin, E. C. (2013), Determination of agricultural reservoirs checklist by analysis of the weights, *J. Korean Geosynthetics Society*, Vol. 12, No. 3, pp. 81~86.
5. Sim, J. G. (2011), A study on the establishment of emergency plan (EAP) for agriculture reservoir, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Rural Resources*, Vol. 53, No. 4, pp. 2~13.
6. Thomas L. Saaty (1983), Priority setting in complex problems, *IEEE Transactions on Engineering management*, Vol. EM 30, No. 3, pp. 140~155.
7. Thomas L. Saaty (1986), Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process, *Management Science*, Vol. 32, No. 7, pp. 843~857.
8. Thomas L. Saaty (1994), Highlights and critical points in the theory and application of the analytical hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, Vol. 74, pp. 426~447.
9. Yoo, C. S. and Park, H. K. (2007), Analysis of morphological characteristics of farm dams in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 42, No. 6, pp. 940~954.