

AHP를 이용한 농업용저수지 수문학적 안전성평가 방법 개발 및 적용

이재주* · 박종석+ · 이경훈

* 한국농어촌공사

전남대학교 토목공학과

Development and Application of Hydrological Safety Evaluation Guidelines for Agricultural Reservoir with AHP

Jae ju Lee* · Jong Seok Park+ · Kyoung Hoon Rhee

* Korea Rural Community Corporation

Dept. Civil Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea

요 약

현재 국내 일정규모 이상 댐들에 대해서는 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(댐)」 기준에 따라 정밀안전진단을 수행하고 있다. 하지만 여러 평가 기준 중 수문학적 안전성 평가는 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood, PMF)에 대한 기존 댐 안전성을 평가하는 것으로 대부분의 농업용저수지에 대해서는 적용성이 많이 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 계수화 모델과 AHP 기법을 통해 다각적 위험요인을 고려한 농업용저수지의 수문학적 안전성을 재평가하고자 한다. 이를 위하여 농업용저수지의 다양한 인자를 반영하기 위한 수문학적 안전성 상·하위 평가항목을 선정하여 계수화 모델을 개발하였다. 평가항목 별 지표 점수의 총합을 산출한 후 전문가 집단의 응답에 대한 검증절차를 실시하였고, 평가항목의 가중치를 산정하여 최종적으로 다각적 위험요인을 고려한 농업용저수지의 수문학적 안전성 평가를 위한 실용계수를 산정하였다. 본 연구 결과 기존 평가기준은 댐의 가능최대홍수량에 대한 수문학적 안전성을 평가하는 기준으로 대부분의 농업용저수지에 대해서는 홍수방어능 부족에 따른 제체의 월류로 저수지의 파괴위험성이 큰 것으로 분류되었다. 그리고 가능최대홍수량에 대한 여유고 기준을 만족하는 저수지에 대해서는 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가만으로 필댐을 평가하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 수문학적 안전성평가, 가능최대홍수량, 농업용저수지, 분석적 계층화 과정

Abstract

According to the 「Safety Evaluation Detailed Instructions (Dam)」, precise safety inspection is carried out for dams that exceed a certain scale. However, as the Hydrological Safety Evaluation from various evaluation standards is designed to evaluate the safety of existing dams considering PMF, the evaluation is much less applicable for most agricultural reservoirs. Therefore, the Hydrological Safety Guidelines for agricultural reservoirs are expected to be re-evaluated considering the diverse risk factors with the coefficient model and AHP in this study. The coefficient model has been developed by selecting the hydrological safety superordinate-subordinate evaluation factors to reflect diverse risk factors of agricultural reservoirs. After calculating the sum of indicators score for each evaluation factors, validation procedures were performed for the questionnaire which a panel answered. The practical coefficient has eventually been estimated for the hydrological safety evaluation considering the diverse risk factors. The conclusions acquired based on the study done are that both most agricultural reservoirs were classified as flood defense capability is insufficient and agricultural reservoirs which meet embankment-freeboard standards considering PMF was overestimated.

Key words : Hydrological Safety Evaluation, Probable Maximum Flooding, Agricultural Reservoir, Analytic Hierarchy Process

+ Corresponding author : victorypjs@jnu.ac.kr

1. 서론

현재 국내 일정규모(총 저수용량 1백만 m^3) 이상 댐들에 대해서는 재해 및 재난을 예방하고 시설물의 효용성을 증진시키기 위하여 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(댐)」 기준에 따라 정밀안전진단을 수행하고 있다. 이 세부지침은 1996년 제정 시 댐의 형식이나 재료적, 구조적 상태와 관계없이 여유고 확보 여부, 월류 여부에 따라 수문학적 안전성을 평가하고 있었으나, 2009년 3단계에 걸쳐 댐의 형식과 월류 여부, 댐 자체의 구조적 안전성뿐만 아니라 댐 하류부의 피해정도를 평가하여 보다 합리적이고 객관적인 댐의 능력을 평가하도록 개정되었다. 하지만 여러 평가 기준 중에 수문학적 안전성 평가는 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood, PMF)에 대한 기존 댐 안전성을 평가하는 것으로 대부분의 농업용저수지에 대해서는 적용성이 많이 떨어진다는. 개정된 세부지침 기준에 따라 농업용저수지의 수문학적 안전성을 평가한다면 대부분 홍수위 조절을 할 수 없는 여수로를 가진 구조로써 기준에 제시되어 있는 비구조적 대책에 대한 평가기준을 적용할 수 없을 뿐만 아니라, 댐 상태 및 구조 등에 상관없이 가능최대홍수량은 그 크기가 평균적으로 현재의 농업용저수지 계획홍수량의 3배 이상이기 때문에 홍수방어능 부족에 따른 제체의 월류로 저수지의 파괴 위험성이 큰 것으로 판단되므로 과소평가가 이루어진다. 또한 댐의 재료적, 구조적 상태와 관계없이 가능최대홍수량에 대한 여유고 기준을 만족하는 저수지에 대해서는 과대평가가 이루어질 수밖에 없다.

따라서 본 연구에서는 농업용저수지의 수문학적 안전성에 영향을 미치는 다양한 인자를 파악하고 수문학적 안전성을 체계적이고 객관적으로 평가할 수 있는 평가항목 및 지표를 활용한 계수화 모델을 개발하고자 한다. 그리고 평가항목에 따른 지표 점수의 총합을 산출한 후 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 통해 도출된 각 평가항목별 복합 가중치를 적용하여 다각적 위험요인을 고려한 농업용저수지의 수문학적 안전성을 재평가하고자 한다.

저수지의 수문학적 안전성을 평가함에 있어 영향을 미치는 평가항목과 평가방법에 대한 분석과 연구는 다각적인 분야에서 활발히 진행되었다.

Yi and Nam(2007)은 다기준의사결정기법을 이용한 안동다목적댐의 수문학적 안정성 증대방안 결정에서 선정된 다목적댐의 수문학적 안정성 증대를 위해 다양한 기준들을 고려하고, 여러 가지 대안들 중에서

최선의 대안을 찾기 위해 다기준의사결정기법을 적용하였다.

Bang(2009)의 연구에서는 PMF에 대한 수문학적 안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토되는 모든 댐에 대하여 동일한 기준에 의해 수문학적 안전성 평가를 실시하는 것은 합리적이지 못하며, 방류능력 증대를 위한 막대한 예산 소요 및 하류부에 과도한 불안감 야기 등의 부작용을 초래할 수 있다고 판단하였다. 이에 댐의 구조형식과 현장진단 결과에 의한 댐의 상태에 따라 1차적으로 검토를 수행하고 여유고 부족 또는 월류 발생 등의 1차적인 조건을 만족시키지 못할 경우 그에 따른 댐체의 구조적이 안전을 검토하고, 최종적으로 댐 붕괴 발생 시 하류에 미치는 인적·경제적 위험요인을 기준으로 평가하는 단계적인 평가방법을 제시하였다. Yang(2010)의 연구에서는 저수지의 여수도가 몇 년 빈도의 홍수량에서 댐 본체로의 월류 현상 없이 원활하게 소통시킬 수 있는가에 대해서 검토함으로써 저수지의 설계홍수량을 역으로 추정하는 방법을 적용하여 저수지의 수문학적 안전성을 평가하는 방법을 제안하였다. 제안된 간편법에서는 첨두홍수량 산정을 위해 합리식을 PMF 산정을 위해 Creager공식을 사용하였으며, 댐 붕괴 모의는 위어공식을 사용하여 저수지로 유입되는 홍수량이 여수로의 허용 방류능력을 초과하는 홍수로 인한 댐 월류가 유발하는 시점의 홍수량을 이용하여 저수지의 수문학적 안전도를 평가하였다. Kim(2009)의 연구에서는 농업용저수지 재개발 우선순위 결정을 위하여 기준영역항목을 “가능성”과 “제한성”으로 구분하고 “가능성”의 세부영역항목을 「개발여건」, 「유역여건」, 「수요여건」을 설정하고 “제한성”에 「지역여건」, 「환경여건」, 「재해여건」을 설정하였다. 모델 진행과정은 먼저 6개의 세부영역지표별로 각각의 기준에 의거 우선순위를 선정하여 지수화한 뒤 6개의 세부지표에 대한 가중계수를 산정하여 최종적인 우선순위지수(Priority Index)를 선정하도록 하였다. Kim(2010)의 연구에서는 기존 농업용저수지의 계획 당시 적용한 계획수문량 대신에 최근의 강우현상이 반영된 수문자료를 사용하여 새로이 산정된 빈도별 확률홍수량 및 PMF 분석과 대상홍수에 대한 홍수추적을 수행하여 기존 농업용저수지의 여유고 및 여수토의 배제능력을 이용한 수문학적 안전성을 재검토 하였다.

선행연구를 살펴보면 대부분 농업용저수지의 수문학적 안전성평가를 위하여 구조형식과 현장진단 결과, PMP 산정 등을 바탕으로 분석하였다. 하지만 댐의 수문학적 안전성을 증대시키기 위한 방안을 결정

하기 위해서는 다양한 기준들을 고려하여 최적의 방안을 선정해야 한다. 현재 농업용저수지의 수문학적 안전성평가를 위해서 대부분 모의기법, 혹은 최적화 기법이 사용되고 있지만, 이들 방법으로부터 각 수문학적 안전성 증대방안이 이러한 다양한 기준에 영향을 포괄적으로 분석할 수 있는 기법은 아직 제시되고 있지 않다(Yi and Nam, 2007).

본 연구는 전남 지역에 위치하며 한 일정규모 이상의 저수지 중 재해에 따른 위험성이 클 것으로 예상되는 저수지를 선정하여 우선적으로 수문조사를 실시하고 계수화 모델 개발에 필요한 기초 수문자료를 확보 하였다. 그리고 앞서 서술한 바와 같이 수문학적 안전성 평가항목 및 기준 적용이 곤란한 물넘이 형식이 율류식인 필댐(농업용저수지)을 연구 대상으로 선정 하였다.

먼저 농업용저수지의 수문학적 안전성 평가항목 도출을 위해서 현행 평가기준의 항목을 바탕으로 기존의 선행연구 및 문헌조사를 통해 도출된 요인들을 분석 후, 업계 전문가 2인과 연구원 2인의 심층면접을 통한 사전 조사를 실시해 1차 구조화된 반 폐쇄형 질문 형태를 제시했고 이를 통해 농업용저수지의 수문학적 안전성 평가항목에 대하여 전문가의 다양한 의견을 수렴하였으며, 다시 2차 반 폐쇄형 질문을 통해 각 항목간의 전문가 집단의 반응에 대하여 상호작용을 분석하고 전문가의 합의를 도출하여 최초 평가항목을 구성하였다.

앞서 구성된 최초 평가항목을 기준으로 5점 척도를 이용한 2차례의 반 폐쇄형 설문조사를 재차 실시했으며, 모집된 분석 대상 설문지는 SPSS Ver.20 통계프로그램을 이용하여 분석하여 최종 평가항목들을 선정함으로써 AHP를 위한 평가항목들을 구성하였다. 이후 각 항목 간 쌍대비교를 통해 가중치를 결정하는 AHP 설문지를 작성하여 조사를 실시하였으며, 마지막으로 설문조사 결과를 AHP 분석 전문 프로그램인 Expert Choice 2000과 연계하여 세부 평가항목들 간의 가중치를 결정함으로써 농업용저수지의 수문학적 안전성 평가를 위한 계수화 모델을 도출하는 과정을 수행하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상 및 위치

본 연구는 전남 지역에 위치한 「시설물의 안전관

리에 관한 특별법」의 기준에 따라 2중 저수지(총 저수용량이 100만^m이상)에 해당하지만 하류하천이 지방하천 이상으로 제방 율류로 많은 인명과 재산 피해가 발생 할 소지가 있는 저수지를 연구대상으로 선정하였다. 연구대상 저수지 범위는 전남에 위치한 3,226개 저수지 중 한국농어촌공사에서 관리하는 996개에서 구만, 백운저수지를 포함한 24개 저수지를 선정하여 분석하였으며, 연구대상 범위는 Table 1과 같다.+

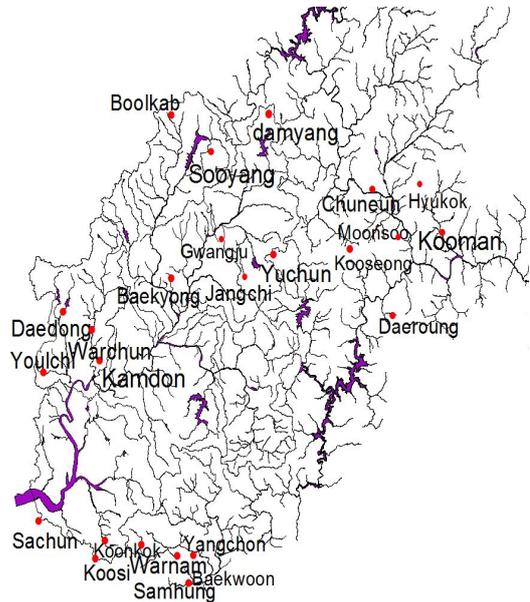


Fig 1. The Location of Target Reservoirs

Table 1. The Scope of Target Reservoirs

Region	Embankment type	Spillway type	Total reservoir capacity	Class of Downstream river
Jeonnam	Fill dam (agricultural reservoirs)	Overflow spillway (Side channel)	Above 100 Mil ^m	Above regional river

2.2 전문가 선정 및 평가항목 결정

본 연구는 농업용저수지의 수문학적 안전성에 영향을 미치는 다양한 인자에 대하여 전문가들의 경험과 직관을 동원하여 합의를 추출하고 전문가 집단의 의견을 수집하고 정제하여 최종 요인을 도출하는 델파이 기법을 활용하였다.

Yoon and Lee(2003)는 전문가 집단으로서 패널 선정에 대해 신중하게 고려해야 할 사항으로 참여자의 대표성, 적절성, 전문적 지식능력, 참여의 성실성, 참

+ 전남에 위치한 농업용저수지 : 총 3,226개(지사체 관리: 2,230개, 한국농어촌공사 관리: 996개)

가자의 수 등을 제시하였다. 본 연구의 표본은 농업 용저수지 설계분야에서 10년 이상의 경험을 가진 업계 전문가와 농업용저수지 설계분야에 근무한 경력이 있는 박사 학위 및 기술사 자격을 소지한 연구원으로 총 23명을 선정하였다.

연구 목적을 달성하기 위해서는 각 요인들을 계층적으로 구조화하는 것이 필요하다. 이때 계층의 구조화 과정에서 유의해야 할 점은 논리적 타당성을 확보하는 문제이며 이를 위해 본 연구에서는 최초 평가항목을 기준으로 5점 척도를 이용한 반 폐쇄형 1차 설문조사를, 1차 설문조사에서 도출된 평가항목을 기준으로 2차 설문조사를 실시했으며 모집된 분석 대상 설문지 23부는 SPSS Ver.20 통계프로그램을 이용하여 분석하였다.

Yoon and Lee(2003)는 전문가들의 응답에 대하여 평균값, 중앙값 또는 최빈치와 같은 집중화 경향 값과 표준 편차 또는 사 분위 값 등을 구하여 전문가들 간의 합의 수준을 확인해 볼 수 있다는 결과를 얻었다. 이에 따라 본 연구에서는 5점 척도를 이용한 전문가 설문 결과값의 평균이 3.0 이하이거나 표준편차가 0.8이상인 요인은 제거하고 또 전문가들의 의견을 취합해서 최종 6개의 상위항목과 11개의 하위항목을 도출했다. 사전조사에 의한 최초 평가항목과 2차 설문조사 후 정제된 최종 평가항목은 Table 2, Table 3과 같다.

정제도중 제거된 평가항목으로는 저수지 상·하류부 재산피해 및 인명피해, 가능최대강우량(PMP)은 표준편차가 0.8이상으로, 농업용저수지의 기타 방류시설(취수탑, 통관 등)은 치수가 아닌 이수목적의 시설이므로 도출과정 중에 제거되었다. 추가되었다가 제거된 평가항목으로는 비구조적 대책인 홍수위 조절용 수문과 비상대체계획(EAP) 수립이며, 형식 및 규모의 불규칙성과 결과 값이 수립·미수립으로 이분화 된다는 의견에 따라 최종 평가항목에서 제거되었다.

그 밖에, 현 수문학적 안전성 평가기준(PMF)과 농업용저수지 설계기준(200년빈도 확률홍수량)의 불일치에 따른 평가의 괴리를 좁히고자 두 가지 홍수량에 의한 체체(비일류부)의 여유고와 하류하천 제방의 여유고를 평가항목에 포함시켜 평가의 현실성을 높이도록 하였다. 또한 하류하천의 여유고 상위항목의 200년빈도 확률홍수량 발생 시 저수지의 홍수방류량에 대한 하류하천 제방의 여유고는 소하천의 경우 200년 빈도 확률홍수량에 대한 검토는 너무 과다한 평가기준이 될 수 있다는 전문가들의 의견에 따라 연구범위를 지방하천 이상을 하류하천으로 두고 있는 농업용

저수지로 한정하도록 하였다.

최종적으로 도출된 평가항목의 정의는 다음과 같다.

- 1) 체체의 여유고 = 체체의 높이 - (홍수위 or 설계기준 최고수위 + 여유고)
- 2) 여수로의 방류능력 = 여수로의 확률홍수량에 대한 가능방류량 - 여수로 최대방류예정량
- 3) 하류하천 제방의 여유고 = 현재 하류하천 제방의 높이 - 하류하천 최고 예정수위
- 4) 유지관리 상태 = 시설물 안전점검 상태평가 등급
- 5) 잠재 홍수피해 = PMF 발생 시 상류부 침수면적
- 6) 홍수량 산정인자 = 홍수량 산정에 영향을 미치는 주요 변수

2.3 평가항목의 지표 구간

Choi(1996)의 연구에서 지표는 특정 현상 혹은 공간의 시계열적 변화에 관한 기존의 자료를 정량적으로 평가하기 위한 척도로 정보 이상의 의미로 확대 해석이 가능하다. 지표의 작성 시 ‘현상’의 범위설정 방법, ‘기존자료’의 양, 어느 정도까지 ‘정량화’할 것인지, ‘평가주체’는 누구인지에 따라 지표의 역할이 크게 좌우되지만, 복잡한 자료를 가능한 한 이해하기 쉽게 변환시키는 것이 지표의 가장 중요한 역할이라고 정의하였다.

본 연구에서는 실험이나 관찰을 통하여 수집된 자료집단의 확률분포는 대부분 정규분포를 따르기 때문에 각각의 평가항목에 대하여 평균과 표준편차를 구한 후 1~5점까지의 확률변수의 범위를 설정하였다. 확률변수의 범위가 (-)값을 나타낸 구간은 히스토그램에서 5개 구간으로 구분하여 각 구간별 정규분포의 확률 범위로 수정하여 산정하였다. 평가항목 지표 구간을 5단계로 구분한 것은 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(담)」의 수문학적 안전성평가 기준이 A~E의 5등급으로 구성되어 있기 때문이다. 평가항목의 지표 구간을 설정하기 위하여 통계프로그램인 SPSS Ver.20을 사용하였다.

2.4 평가항목별 중요도

최종 6개 상위 평가항목과 11개 하위 평가항목을 선정하였으나 추출된 항목의 동일한 배점만으로 평가지표를 제안할 경우 수문학적 안전성에 대한 평가는

가능하겠지만 그 결과는 평가 지표의 목적과는 다르게 나타날 가능성이 크다. 이러한 문제는 평가 항목간의 수문학적 안전성에 대한 중요도, 즉 가중치를 부여하여 구체화 할 수 있다.

상·하위 평가항목은 사회적 요구, 환경적 요구 등에 따라 중요도의 위계가 구분될 수 있다. 물론 경우에 따라서는 동일한 수준이라고 판단되는 부분도 있겠으나 전체적으로 볼 때는 큰 위계속의 작은 부분으로 볼 수 있으므로 이러한 항목간의 위계가 조절되어

야 실제 농업용저수지의 수문학적 안전성 계수화가 결정 될 수 있다.

중요도를 부여하는 방식으로는 일반적으로 객관화된 수치가 있을 경우 회귀분석, 요인분석, 상관관계 분석 등의 통계적 기법에 따라 가중치를 산정할 수 있으나 평가 항목간의 정량적인 분석의 기준이 없이 평가 항목간의 상대적인 비교에 따라 가중치 값을 결정해야 하므로 평가 항목별 쌍대비교를 통한 상대적인 중요도를 효과적으로 획득할 수 있는 AHP 기법을 활용하여 평가항목별 중요도를 산정 하였다.

Table 3. The Last Evaluation Factors

Evaluation factors	
Superordinate factors	Subordinate factors
Embankment-freeboard	Considering probable precipitation(frequency of 200years)
	Considering probable maximum flood
Discharge capacity of outlet channel	Considering Probable precipitation(frequency of 200years)
	Considering probable maximum flood
Levee-freeboard	Considering spillway discharge in case of probable precipitation(frequency of 200years)
Maintenance status	Maintenance status class of Safety evaluation
Potential flood losses	Upstream flooded area in case of probable maximum flood
Precipitation estimation factors	Probable precipitation(frequency of 200years)
	Catchment area
	Runoff curve number(CNIII)
	Time of concentration(Tc)

Table 2. The First Evaluation Factors

Evaluation factors	
Superordinate factors	Subordinate factors
Embankment-freeboard	Considering probable precipitation(frequency of 200years)
	Considering probable maximum flood
Discharge capacity of outlet channel	Considering design flood
Levee-freeboard	Considering spillway discharge in case of probable precipitation(frequency of 200years)
Maintenance status	Active storage
	Embankment
	Spillway and outlet channel
	Intake works
	Mechanical and electrical facilities
Potential flood losses	Flooded area in case of flooding
	Up/downstream property losses in case of flooding
	Up/downstream life losses in case of flooding
Precipitation estimation factors	Probable precipitation(frequency of 200years)
	Probable maximum precipitation
	Catchment area
	Runoff curve number(CNIII)
	Time of concentration(Tc)

2.5 종합평가 방식

Korea Forest Conservation Association(2005)의 연구에 따르면 지표의 등급화를 위하여 백분위수(Percentile)를 적용하면 적용상황에 따라 적절한 등급화가 가능하다고 하였다. 예를 들어 지수를 5등급으로 구분하고 등급 간의 수준을 일정하게 설정할 경우에는 백분위수의 구분을 20%, 40%, 60%, 80%로 하여 도출된 지표를 설정하면 되고, 이와는 달리 등급 간의 수준을 달리하여 설정할 수도 있는데 즉, 첫 번째 1 등급과 마지막 5 등급의 수준을 상·하위 5%로 설정하고 2 등급과 4 등급 수준을 상·하위 20%로 설정하고 나머지 3등급을 50%를 포함하게 설정할 수도 있다. 결국 등급화는 적용 기준에 따라 원하는 대로 등급수를 결정할 수 있으며 등급 간의 간격의 수준을 동일하게 하거나 혹은 변화를 주어 등급화 할 수도 있다.

본 연구에서는 최종 도출된 계수를 5 등급으로 구분하고 시설물 안전점검 상태평가 등급에서의 평가 방식과 동일하게 등급 간의 수준을 20%씩 일정하게 설정하였다. 수문학적 안전성이 가장 낮은 등급부터 E-D-C-B-A 순서로 설정하여 E 등급이 정밀안전진단 및 개보수 우선순위에 해당한다.

3. 수문학적 안전성 평가 결과

3.1 평가항목별 지표 구간 산정결과

Fig 2는 지표 구간 결과값을 나타내기 위해 평균, 표준편차를 산출하고 히스토그램 위에 정규분포 곡선을 나타낸 것이다. 전체적으로 왼쪽에 치우쳐 분포하는 비정규분포를 따르고 있는 것으로 나타났으며 확률변수의 범위가 (-)값을 나타낸 경우 (+)값이 되도록 확률변수의 범위를 조정하였다.

각 평가항목별 점수는 농업용저수지의 수문학적 안전성에 작용하는 정도에 따라 1 점에서 5 점까지 구분하였으며, 5 점은 수문학적 안전성에 긍정적으로 작용하는 정도가 가장 큰 점수이다. 총 합은 최저 11 점에서 최고 55 점까지 구분된다. 평가항목 중 저수지 상류부 침수면적과 홍수량을 증가시키는 인자로 작용하는 200년빈도 확률강우량, 유역면적, 유출곡선 지수는 클수록 낮은 점수를 부여하였고, 나머지 평가항목은 결과값이 클수록 저수지의 수문학적 안전성에 긍정적으로 작용하므로 높은 점수를 부여하였다.

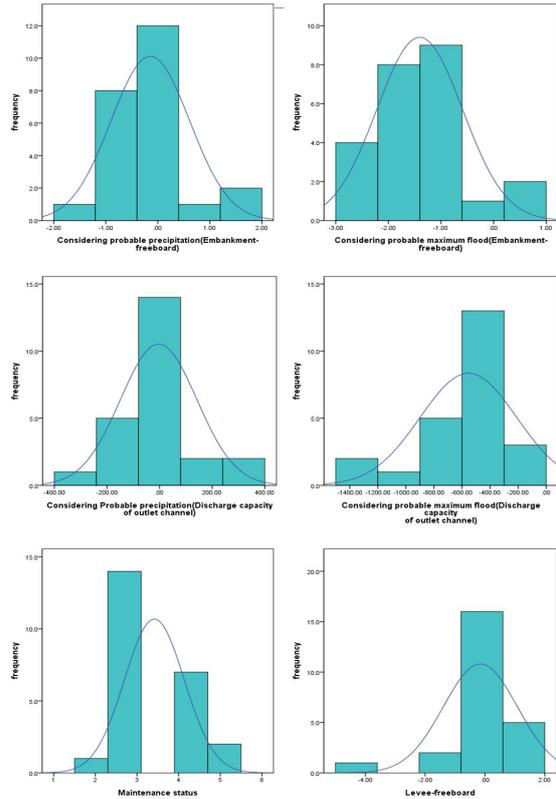


Fig 2. The range of indicators for Each Evaluation Factors

3.2 평가항목별 중요도 산정결과

평가항목별 중요도(Priority)는 AHP 기법에 의하여 각 항목 간 쌍대비교를 통해 산정하도록 하였다.

의사결정 참여자들의 초기 판단에서는 일반적으로 정보의 부족, 순간적 판단의 실수, 관대화/일반화 경향 등으로 인해 적지 않은 오류가 발생한다. 이를 개선하기 위해 판단결과를 Feedback하여 비논리적인 부분을 하나씩 재검토하여 판단을 수정 또는 보완하는 과정을 수행하였다. 논리의 일관성은 어느 기준에 대한 비교대상이 3개 이상일 경우 검증이 가능하므로, AHP 분석에서는 계층구조의 복잡성에 따라 상이하기는 하나 일반적으로 일관성비율(Consistency ratio)의 값이 0.1이내이면 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 0.2이내일 경우는 용납할 수 있으며 0.2보다 크면 일관성이 부족한 것으로 판단한다.

그 결과 전체 평가항목에 대한 의사결정 참여자별 일관성비율이 기준치인 0.1 이내로 개선되었다. Table 4는 판단자들의 논리적 일관성에 관한 검증을 타나낸 것이며, Table 5와 같이 최종 중요도를 도출하였다.

3.3 종합평가 산정결과

농업용저수지의 수문학적 안전성에 영향을 미치는 다양한 인자에 대하여 전문가들의 경험과 직관을 동원하여 합의를 추출하고 전문가 집단의 의견을 수집하고 정제하여 최종 요인을 도출하는 델파이 기법과 정제된 요인을 바탕으로 요인 별 쌍대비교를 통해 요인간의 중요도 및 우선순위를 결정할 수 있는 계층적 의사결정법(AHP)을 활용하여 도출된 각 인자별 복합 가중치를 적용하여 계수화 모델을 도출하여 점수를 파악한 결과 수문학적 안전성이 가장 취약한 곳(E

등급)은 기존 평가기준에 의해 월천저수지 등 4개 저수지였던 것에 비하여 단 한 곳도 없었으며, 가장 양호한 곳(A등급)은 기존 평가기준에 의해 양촌저수지 등 2개 저수지였던 것에 비하여 역시 단 한 곳도 없는 것으로 나타났다.

기존 평가기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침)에 의한 농업용저수지의 수문학적 안전성 평가 결과와 수문학적 안전성 계수화 모델의 적용 결과는 Table 6와 같으며, A등급은 수문학적 안전성 상위 20%, B등급은 40%, C등급은 60%, D등급은 80%, E등급은 100%의 등급 범위를 나타낸다.

Table 4. Consistency ratio of a panel

No.	Before verification		No.	After Verification	
	Superordinate factors	Subordinate factors (Precipitation estimation factors)		Superordinate factors	Subordinate factors (Precipitation estimation factors)
1	0	0	1	0	0
2	0.3388	0	2	0.0765	0
3	0.0896	0.0053	3	0.0896	0.0053
4	0.1292	0.1292	4	0.0511	0.0511
5	0.0618	0	5	0.0618	0
6	0.145	0.1292	6	0.0728	0.0817
7	0.2809	0	7	0.0896	0
8	0.4151	0.2071	8	0.0511	0.0511
9	0	0.4151	9	0	0.0765
10	0	0.4151	10	0	0.0765
11	0.3501	0.1764	11	0.0308	0.0817
12	0	0.1292	12	0	0.0817
13	0.0174	0.0053	13	0.0174	0.0053
14	0.2809	0	14	0.0679	0
15	0.2809	0.0174	15	0.0896	0.0174
16	0.0817	0.2809	16	0.0817	0.0679
17	0.0035	0.0511	17	0.0035	0.0511
18	0	0	18	0	0
19	0.2809	0.4151	19	0.0765	0.0679
20	0.2809	0.496	20	0.0765	0.0511
21	0.0174	0.0025	21	0.0174	0.0025
22	0.1986	0.1179	22	0.0765	0.0896
23	0	0	23	0	0

Table 5. The Last Priority of Each Evaluation Factors

Superordinate factors	Priority (Local)	Subordinate factors	Priority	
			Local	Global
Embankment-freeboard	26.8%	Embankment-freeboard considering probable precipitation(frequency of 200years)	78.7%	21.10%
		Embankment-freeboard considering probable maximum flood	21.3%	5.70%
Discharge capacity of outlet channel	18.8%	Discharge capacity of outlet channel considering Probable precipitation(frequency of 200years)	64.2%	12.08%
		Discharge capacity of outlet channel considering probable maximum flood	35.8%	6.72%
Maintenance status	27.0%	-	100.0%	27.00%
Levee-freeboard	5.5%	-	100.0%	5.50%
Potential flood losses	11.6%	-	100.0%	11.60%
Precipitation estimation factors	10.3%	Probable precipitation (frequency of 200years)	40.4%	4.16%
		Catchment area	36.7%	3.78%
		Runoff curve number	13.1%	1.35%
		Time of concentration	9.8%	1.01%

Table 6. The Result of Hydrological Safety Evaluation

Class	Existing evaluation standards (Safety Evaluation Detailed Instructions)			Alternative evaluation standards (Coefficient model)		
A	Yangchon(5.0)	Daeryoung(5.0)				
B	Koosi(4.0) Samhung(4.0) Jangchi(4.0) Kamdong(4.0) Boolkab(4.0) Youlchi(4.0)	Hyokok(4.0) Damyang(4.0) Sooyang(4.0) Baekyong(4.0) Kooman(4.0) Baekwoon(4.0)	Sachun(4.0) Moonsoo(4.0) Koonkok(4.0) Chuneun(4.0) Warnam(4.0) Daedong(4.0)	Yangchon(4.24)	Daeryoung(3.81)	Koosi(3.70)
C	-			Hyokok(3.42) Samhung(3.41) Jangchi(3.32) Kamdong(3.23) Yuchun(3.13) Youlchi(3.04) Boolkab(2.83)	Sachun(3.41) Damyang(3.39) Sooyang(3.31) Warchun(3.18) Kooman(3.07) Gwangju(2.97)	Baekyong(2.83) Moonsoo(3.34) Koonkok(3.29) Chuneun(3.16) Warnam(3.07) Daedong(2.85)
D	-			Kooseong(2.49)	Baekwoon(2.25)	
E	Warchun(1.3) Kooseong(1.3)	Yuchun(1.3)	Gwangju(1.3)			

4. 결론

본 연구에서는 댐의 형식, 물리적 상태 및 지리적 위치 등을 모두 고려하여 농업용저수지의 수문학적 안전성을 평가하기 위한 합리적이고 현실적인 방안을 마련하고자 하였다. 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존의 선행연구 및 문헌조사를 통해 도출된 요인들을 바탕으로 업계 전문가 및 연구원의 심층 면담을 통한 사전 조사를 실시해 6개의 상위 평가항목과 17개의 하위 평가항목을 선정하였다.
- 2) AHP 기법을 활용하여 도출된 평가항목별 중요도는 안전점검 상태평가 등급이 27.0%를 차지하여 가장 중요도가 높은 것으로 나타났으며, 200년빈도 확률홍수량에 대한 저수지 체체의 여유고가 21.1%, 200년빈도 확률홍수량에 대비 여수로의 방류능력 12.08%, 가능최대홍수량 발생 시 저수지 상류부 침수면적 11.60% 순으로 나타나 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났다.
- 3) 대부분 평가항목의 중요도는 산정되기 이전에 기대했던 범위에서 크게 벗어나지 않는 구간에 위치해 있으나, 예외적으로 저수지 상류부 침수

면적은 4순위에 위치 할 만큼 큰 중요도를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 설문에 참여한 전문가들이 댐의 재료적인 현재 상태, 구조형식, 한계 월류수심 분석 및 댐체의 구조검토 결과와는 별도로 잠재적인 위험의 정도를 농업용저수지의 수문학적 안전성에 영향을 미치는 중요한 인자로 인식하고 있다는 반증이다.

- 4) 전남지역에 위치한 24개 연구대상 농업용저수지에 대하여 현재 정밀안전진단시 수행되는 수문학적 안전성 평가기준에 의해 평가한 그룹과 평가항목의 지표 구간을 통계적으로 구한 후 전문가 집단을 대상으로 AHP 기법을 적용하여 가중치를 산정하여 환산한 점수를 종합평가한 그룹을 비교했을 경우

첫째, 기존 평가기준에 의한 평가 결과가 E등급이었던 월천저수지 등 4개 저수지가 계수화 모델의 적용 결과 구성저수지(D등급)를 제외하고 모두 C등급으로 상향 조정되었다. 이러한 원인은 서론에서 언급한 바와 같이 기존 평가기준은 댐의 가능최대홍수량(PMF)에 대한 수문학적 안전성을 평가하는 기준으로 대부분의 농업용저수지에 대해서는 홍수방어능 부족에 따른 체체의 월류로 저수지의 파괴 위험성이 큰 것으로 분류되어 비합리적인 평가가 이루어진 것으로 판단된다.

둘째, 기존 평가기준에 의한 평가 결과가 A등급이었던 양촌저수지 등 2개 저수지가 계수화 모델의 적용 결과 모두 B등급으로 하향 조정되었고 나머지 대부분의 저수지 또한 C등급으로 하향 조정되었다. 이러한 원인은 기존 평가기준(제 I 단계)이 가능최대홍수량에 대한 여유고 기준을 만족하는 저수지에 대해서는 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가만으로 필댐을 평가하고 있어 특징을 종합적으로 고려한 계수화 모델의 적용 결과에 비하여 과대평가 된 것으로 판단된다.

References

- American Society of Civil Engineers (ASCE). (1988). *Evaluation Procedures for Hydrologic Safety of Dams*, 978-0-87262-652-2/ 0-87262-652-0, Task Committee on Spillway Design Flood Selection of the Committee on Surface Water Hydrology of the Hydraulics Division, New York, pp.107.
- Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD). (2000). *Guidelines on Assessment of the Consequences of Dam Failure*, ANCOLD, Tasmania.
- Bang, DS (2009). *A study on evaluation guideline of hydrological safety for dam considering potential hazard of downstream*, Master's Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea. [Korean literature]
- Choi, JY (1996). *The Development of a Comprehensive Water Quality Indicators*, 1996-RE-10, KETRI. [Korean literature]
- Kim, HD (2009). *Study on the Priority Decision for the Redevelopment of Agricultural Reservoirs*, Ph.D Thesis, Konkuk University, Seoul, Korea. [Korean literature]
- Kim, SW (2010). *Analysis on hydrologic stability of agricultural reservoir using probable maximum flood*, Master's Thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea. [Korean literature]
- Korea Forest Conservation Association (KFCA). (2005). *A Report of Development and improvement of forest health monitoring indicators and standards Classification Alternative*, KFCA. [Korean literature]
- Korea Hydro & Nuclear Power Corporation (KHNP). (2007). *Research of Hydrological Safety Evaluation Guidelines Regarding Overflow of Dams*, KHNP. [Korean literature]
- Korea Maritime institute (KMI). (2007). *Development of Coastal Research Index System*, KMI.. [Korean literature]
- Korea Rural Community Corporation (KRC). (2010). *A Report of Existing Reservoir Hydrological Research Support Project*, KRC. [Korean literature]
- Ministry for Food Agriculture Forestry and Fisheries (MFAFF). (2011). *Maintenance Regulation of Agricultural Production Infrastructure*, MFAFF. [Korean literature]
- Ministry of Agriculture and Forestry (MIAF). (2002). *Design Guidelines of Agricultural Production Infrastructure Maintenance Business(Fill Dam)*, MIAF. [Korean literature]
- Ministry of Agriculture and Forestry (MIAF). (2003). *Revised Design Guidelines of Irrigation Facilities for Disaster Preparedness*, 13, MAF. [Korean literature]
- Ministry of Land Transport and Maritime Affairs (MLTMA). (2009). *Safety Evaluation Detailed Instructions (Dam)*, MLTMA. [Korean literature]
- Rural Development Corporation (RDC). (1999). *Overview of Agricultural Production Infrastructure Maintenance Business*, RDC. [Korean literature]
- Sung, GY (2010). *Vision-based Terrain Classification Technique for Autonomous Off-road Navigation of Unmanned Vehicles*, Ph.D Thesis, Chungnam National University, Daejeon, Korea. [Korean literature]
- Yang, SM (2010). *Development of Simplified Assessment Method for Hydrologic Safety Evaluation of Small Scale Reservoir*, Master's Thesis, Joongbu University, Geumsan-Gun, Korea. [Korean literature]
- Yi, JE and Nam (2007). *Determination of Hydrologic Stability Increase Alternative for Andong Multi-Purpose Reservoir Using Multi-Criteria Decision Analysis*, *The Korea Spatial Planning Review*, 53, pp. 93-110. [Korean literature]
- Yoon, MS and Lee, KH (2003). *A Study on the Awareness of the Yearly Income System among Dental Personnels*, *J. of Dental Hygiene Science*, 5(3), pp. 5-10. [Korean literature]

○ 논문접수일 : 2014년 01월 10일

○ 심사의뢰일 : 2014년 01월 16일

○ 심사완료일 : 2014년 03월 17일