

FCSR 방법을 활용한 부연저수지의 설계 홍수량 검토*

Analysis of Design Flood at Buyeon Reservoir by using FCSR Method

Hyunmo Kang**, Hyosang Lee***

School of Civil Engineering, 102, E8-6, Chungbuk National University, 52 Naesudong-ro, Heungduk-gu, Cheongju, Korea

Abstract

The failure of small reservoirs in rural communities in Korea, such as Keuyeon reservoir in 2014, have been increased in recent decades. Especially small reservoirs in rural area, which had been built before 1960, remain as a difficult situation which can not cover sharp increase of rainfall in recent decades. This study analyses the design flood of small reservoir(Buyeon which located in Chungbuk) with recently adopted Flood Estimation Manual of Ministry of Land, Infrastructure, and Transport in Korea with FCSR(Flood Control System for Reservoir) method of Korea Rural Community Corporation. it aims to suggest a systematic analysis of the design flood for agricultural small reservoir, a evaluation method in accordance with the general catchment flood estimation method. This study estimates the design flood at Buyeon agricultural reservoir located in Chungbuk and compare the design flood(37.10 m³/s in 100 return period) in 1960 which was built in. Also the enhanced design flood and management regime in reservoir(in 200 year return period with 20% of safety increasing factor) is considered. The design flood of Buyeon is calculated as 42.2 m³/sec, 50.6 m³/sec with FCSR. It was the excess of capacity of about 5.1m³/s and 13.5m³/s compared to design flood in 1960 and enhanced design flood respectively. This study provides the basis for the foundation of a safe

* 본 연구는 국토교통부 건설교통기술 지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(13RDRP-B066173)에 의해 수행되었습니다.

** Tel. +82-43-290-0562. E-mail. khm3274@naver.com

**** Corresponding author. Tel. +82-43-261-2379. Fax. +82-43-275-2377, E-mail. hyosanglee@chungbuk.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Nov. 18, 2014 / Revised: Dec. 10, 2014 / Accepted: Jan. 9, 2015

society in rural areas to estimate the design flood by enhanced recent flood estimation method.

Key words: design flood, FCSR, flood frequency, flood management, reservoir

국문초록

최근 이상기후 및 기후변화 등으로 인하여 자연재해의 위험성이 증대되고 있으며, 특히 농촌지역의 홍수 및 가뭄의 위험성이 커지고 있다. 특히 농촌 지역의 저수지는 1960년대 후반 대부분 시공되어, 최근 급증하는 강수량 증가에 부족한 실정이며, 많은 저수지들이 집중호우나 시설물 노후로 인하여 붕괴되고 있는 실정이다. 따라서 농업용 저수지에 대한 체계적인 설계홍수량 분석이 필요하며, 이를 최근의 한국농어촌공사에서 활용하고 있는 FCSR(Flood Control System for Reservoir) 방법과 검증된 설계홍수량 산정 방법에 따라 평가한다. 본 연구는 충청북도 북이면 부연리에 소재한 농업용 저수지인 부연저수지를 대상으로 한국농어촌공사 저수지 치수관리시스템(FCSR) 방법과 국토교통부의 설계홍수량 산정요령에 따라 설계홍수량을 산정한다. 이를 부연저수지의 최초 준공 당시의 설계 홍수량과 비교하여, 저수지의 허용배제능력을 평가한다. 부연 저수지는 1960년도 준공되어 100년 빈도 37.10 m³/sec의 용량에 안전하도록 설계 및 시공되었다. 본 연구의 FCSR 방법에 의한 설계홍수량은 50.6m³/sec 으로 산정되어 계획 당시 홍수량에 대하여 약 13.5m³/sec의 용량을 초과한다. 본 연구는 농촌지역의 노후화된 소규모 저수지의 안정성을 계획당시의 설계홍수량을 최근의 개선된 설계홍수량 산정 기법으로 재평가 하여 안정성을 검토하여 농촌지역의 안전한 사회기반 조성에 기초자료를 제공한다.

주제어: FCSR, 설계홍수량, 빈도별 홍수량

1. 서론

최근 노후화 된 저수지는 농촌지역의 가뭄 및 홍수관리 기능의 저하 및 구조적인 안정성의 문제가 제기되고 있다. 현재 대부분의 농업용 저수지는 과거 1960~1970년대 농업용수 공급을 목적으로 설계, 시공되었다. 농촌지역의 중소규모 저수지는 농촌지역의 주 수원으로, 농업용수 공급과 소하천 유지용수로 중요한 역할을 수행하고 있다. 그러나 이러한 저수지들은 최근 이상기후 및 기후변화에 따른 수문환경 변화에 적절히 대응하지 못하고 있다. 오늘날 기후변화 및 이상기후 등으로 인하여 집중호우, 가뭄 등의 자연재해의 위험성이 증대되고 있다. 2014년 우리나라에서는 남부지방의 일강수량 200mm 이상의 집중호우(전라북도 고창지역의 일강수량 230.6mm, 경상남도 양산의 284.5mm 등)가 발생하는 등 100년 빈도로 설계 된 노후 저수지의 제체 월류로 인한 붕괴의 위험성이 크다. 최근의 저수지 붕괴(예: 2014년의 괴연 저수지 붕괴 등) 등의 사례에서와 같이 100년 빈도를 초과하는 집중호우 아래 중소규모의 노후저수지 계획홍수량의 면밀한 검토가 필요하다.

1971년부터 2002년까지 한반도에 영향을 준 태풍에 의한 최대일강수량 자료를 조사한 결과 상위 10개중 7개가 1990년대 이후에 발생 하였다. 이중 2002년 태풍 루사에 의한 강릉지역에 내린 870.5mm의 강우량이 가장 큰 것으로 조사되었다. 또한 태풍 루사와 동반한 이상호우로 인해 강원도 강릉의 장현 저수지 및 동막 저수지에 설계홍수량을 초과하는 홍수의 유입으로 여수로의 붕괴뿐만 아니라 저

수지의 제체가 붕괴되는 피해를 입기도 했다. 농업용 저수지의 경우에는 다목적 댐과는 달리 대부분 홍수조절기능이 없기 때문에 이상홍수 발생 시 급격한 수위상승에 따른 댐 월류로 인한 제체붕괴의 위험이 상대적으로 높은 편이다. 또한 유입 홍수를 그대로 방류함으로써 하류 지역의 홍수피해 잠재성이 크며, 대부분의 농업용 저수지는 필댐으로 되어 있어 월류에 의한 위험성이 큰 실정이다(최현수, 2009).

우리나라의 중소 규모의 저수지 및 댐 붕괴 사례는 댐의 설계홍수량 보다 많은 유입량 발생으로 제체 월류시 발생 하였으며, 1961년 전북 남원의 효리기댐이 대표적이다. 1961년 전북 남원군에 위치한 효리기댐 붕괴로 57명이 실종되고 9,800여명의 이재민이 발생하였다. 1996년 이후로 지속적으로 발생하고 있는 이상홍수로 인해 1998년에는 40개, 1999년에는 5개의 소규모 수지가 붕괴되었다. 특히 2002년 태풍 루사 발생시에는 강릉의 장현 저수지와 동막 저수지가 붕괴되어 하류하천변 주거지역 등에 큰 홍수피해를 입힌바 있고, 강릉시 상류부의 오봉댐과 고령군 상류부 성주댐의 경우 댐 월류 직전까지 도달하여 붕괴 위험에 대비한 주민대피 등 큰 혼란이 야기된 바 있다(환경부, 2008).

최근의 피해 사례로는 2013년의 산대저수지 및 2014년 괴연 저수지의 붕괴가 대표적이다. 경북 경주시 안강읍 산대리에 위치한 산대저수지는 둑이 무너져 주변 농경지 1만 여 m^2 가 물에 잠기거나 유실됐고 상가 20여 동, 차량 10여대도 침수 피해를 입었다. 하지만 물길은 주변 아파트지역이 아닌 안강운동장 방면으로 흘러가 다행히 인명피해는 발생하지 않았다. 경북 영천시 괴연동의 괴연저수지는 둑의 10m가 무너지면서 인근마을을 덮쳐 저수지 하류에 있는 본촌과 채신, 괴연 등 3개 마을 주민 100여명이 긴급하게 대피했다. 괴연저수지는 1945년에 축조됐고 둑 길이가 160m, 높이가 5.5m다. 저수량은 6만1천 m^3 다. 괴연 저수지의 안전등급은 B등급으로 비교적 양호한 편이지만, 영천지역에 230여 밀리미터의 많은 비가 내린 탓에 둑이 견디지 못하고 무너졌다(연합뉴스, 2014).

한국농어촌공사(2008)는 전국에 산재되어 있는 농업용 저수지를 17,649개소로 파악하고 있으며, 이중 저수지 붕괴 시 피해 잠재성이 크게 나타날 것으로 예상되는 총저수량 1,000 m^3 이상 저수지는 약 454개소로 조사되었다. 이러한 저수지는 설계홍수량을 초과하거나 예측할 수 없는 이유로 인하여 각 저수지에 발생할 수 있는 비상상황을 시나리오 별로 작성하여 대비체계를 구축하고 있다. 그러나, 많은 수를 차지하고 있는 소규모 시·군관리 저수지들에 대한 체계적인 안전점검 및 진단은 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

댐 및 저수지의 안정성 평가 연구는 오랫동안 주요 연구로서 이루어지고 있다. 최근의 대표적인 연구로 전상민 외(2012)은 기후변화에 따른 태풍, 집중호우 등에 의해 설계홍수량을 능가하는 크기의 홍수 피해에 대하여, 경기도 용인시 이동저수지 유역을 대상유역으로 선정하고 HEC-HMS의 Clark 단위도법을 이용하여 빈도별 홍수량을 각각 산정하여 그 결과에 대하여 비교분석 하여 미래 강우자료에 의한 홍수량 설계의 필요성을 검토 하였으며, 김경덕(2004)등도 소양강댐을 대상유역으로 한 빈도별 홍수량 및 PMF를 홍수 빈도해석 기법과 Clark 단위도 법에 의한 유역유출해석을 통하여 산정하였으며, 그 결과 지점 홍수빈도해석을 통해 외삽 범위에서 큰 재현기간의 확률홍수량을 산정하는 것은 신

퇴성에 문제가 있으나, 결정론적 모형을 이용한 홍수량과 비교할 때는 큰 무리가 없다고 검토되었다. 반면, 농촌지역 농업용저수지 미계측 소유역에 대한 설계홍수량 산정 연구로 황만하(2006) 등은 미 계측 유역인 상관저수지에 대하여 지속시간별 PMP를 산정한 후 임계지속시간을 고려한 PMF(가능최대 홍수량)를 산정하여 유역 내 저수지의 수문학적 안정성을 검토하였는데, 그 결과 최대 첨두홍수량은 Huff 제 4분위에서 나타났으며 첨두홍수량 및 수위는 취수댐의 마루표고 보다는 작은 것으로 수문학적 안정성은 확보된 것으로 검토되었다.

이재홍 외(2011)은 국내의 다목적 댐을 대상으로 강우-유출모형에 의한 과거 홍수량 산정방식과 최근 홍수량 산정방식을 유역 면적, 규모별로 분류하고 비교 분석하였다. 그 결과 최근 홍수량 산정요령 결과가 세계 주요댐의 경향과 잘 일치하여 댐 설계홍수량으로 보편적인 결과임을 확인하였으며, 향후 댐 설계시 설계홍수량 산정방안에 대하여 최근 방식의 관련공식 및 주요인자에 대한 타당성을 설명하였다.

농업용 저수지의 운영관리는 한국농어촌공사에서 담당하고 있으며, 이와 관련된 농업용저수지의 시설물의 설계기준은 1982년 이전까지 100년 빈도를 적용하였으며 1982년 이후부터 200년 빈도로 상향 조정하고 흙 댐의 경우 안전율을 고려하여 20%를 가산하여 반영하고 있다(한국농어촌공사, 2008). 2002년 발생한 태풍 “루사”의 영향으로 인한 강릉지역의 홍수피해(장현 저수지, 동막 저수지 붕괴사례, 2002)를 계기로 200년 빈도로는 시설물의 안전을 담보할 수 없어 유역면적 및 총 저수량의 기준에 따라 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood)을 적용하기 시작하였다. PMF는 2003년부터 유역면적 2,500ha 이상과 총수량 500만^m 이상 저수지에 대해서 적용하고 있으나 이보다 작은 저수지는 현재에도 200년 빈도를 적용하고 있는 실정이다(농림부·한국농어촌공사, 2010).

국내 설계홍수량산정은 국토교통부(2012)에서 제시된 설계홍수량 산정 요령이 적용되고 있다. 이는 현재 수자원관리 실무에서 표준 지침으로 적용되고 있어, 국내 실무에서 적용되고 있는 각종 기준 및 이론 등을 검토하여 설계홍수량 산정 시 문제가 되어 왔던 주관적 판단을 최소화하여 설계홍수량 산정에 대한 객관적 기준 제시하고 있다.

본 연구에서는 한국농어촌공사에서 적용하고 있는 홍수량 산정 시스템(FCSR: Flood Control System for Reservoir)을 최근 국토교통부(2012)에서 제시한 설계홍수량 산정요령으로 적용하여 농촌 지역의 소규모 저수지 계획 홍수량을 검토한다. 이를 저수지의 준공당시 계획홍수량과 현재 계획홍수량을 비교하여, 이에 따른 시설물 안정성에 대하여 평가하고 고찰하는데 본 연구의 목적이 있다. 충청북도 청주시 북이면의 부연저수지는 1960년에 준공된 노후저수지로 현재 북이면 일원에 농업용수를 공급하는 주요 수원공으로 본 연구의 목적에 부합하는 대상지로 선정하게 되었다.

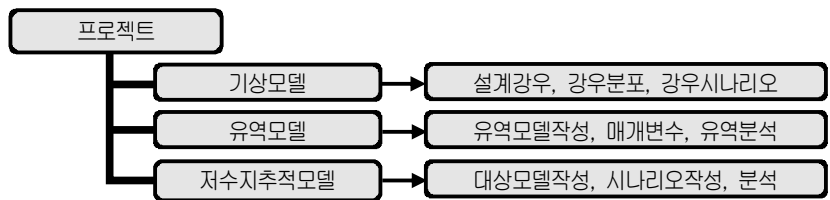
II. 저수지 유역의 홍수량 산정 방법

본 연구에는 국토교통부의 설계홍수량 산정요령에서 제시한 절차에 따라 입력 값을 산정하고 산정된 입력 값을 한국농어촌공사 저수지 치수관리시스템(FCSR: Flood Control System for Reservoir)에 적용하여 충청북도 청주시에 위치한 부연저수지 유역을 대상으로 홍수량을 평가한다. 부연 저수지의 계획 홍수량을 산정하고, 이를 설치 당시의 설계 홍수량과 비교하여 안정성을 검토한다.

1. 저수지 치수관리 시스템(FCSR)

FCSR(Flood Control System for Reservoir)은 한국농어촌공사에서 저수지 치수관리시스템으로 실무에서 적용중인 수문분석프로그램이다. FCSR은 대상유역의 홍수유입량을 산정하고 대상 저수지의 홍수추적을 연속적으로 시행함으로써 설계자 및 관리자에게 신속한 수문분석결과를 제공하여 종합적인 저수지 계획, 저수지 추적 시나리오 설정, 사용자 위주의 편의성, 임계지속시간 고려 등을 제시하기 위하여 설계되었다.

FCSR은 시스템을 전반적으로 관리하는 프로젝트 관리모델과 세부 분석모델인 기상모델, 유역모델 및 저수지추적모델로 구성되어 있다. <그림 1>과 같이 분석모델은 기상자료 분석, 홍수량 산정, 저수지 추적 등 세부적인 분석을 수행할 수 있다.



<그림 1> FCSR 모형의 적용 개요

1) 기상모델

기상모델은 홍수량 산정에 필요한 유역 내 기상학적 인자를 설계목적에 맞도록 재구성하는 모델로서 설계 강우량, PMP(최대가능강수량), 강우의 시간 분포율 산정을 통하여 최종 설계우량추상도를 작성한다.

또한, 기상모델에서는 관측된 강우량 자료를 모델의 입력 자료로 구성하여 실제 강우량에 대한 홍수량 추정도 가능하다. 사용자가 여러 가지 빈도의 확률강우량과 여러 가지 분포율을 입력자료로 선택한 경우에는 강우시나리오 작성시 사용자가 설정한 확률강우량과 분포율을 조합하여 우량추상도를 모두 생성하므로 한번에 여러 가지 확률강우량과 분포율에 대한 홍수량 모의가 가능하다.

2) 유역모델

유역모델은 유역 내 홍수유출량을 산정하기 위한 모델로서 기상모델에서 작성된 자료를 바탕으로 저수지의 유역에서 저수지로의 홍수유입량을 산정하게 된다. 농업용 저수지 유역은 대부분 미세측유역이 많으므로 유역특성자료에 따른 합성단위도법을 사용되고 있다.

농업용 저수지 설계실무에 가장 많이 사용되는 SCS 무차원단위도법, 국토교통부의 하천설계 및 댐설계에 적용하고 있는 Clark 유역추적법, Nakayasu방법 등 다양한 모형의 적용이 가능하다.

3) 저수지 추적모델

저수지추적모델은 유역모델과 연계되어 산정된 홍수량을 저수지 유입량으로 적용하여 저수지 운영 시나리오에 따라 저수지추적을 수행하도록 되어 있다.

저수지추적모델은 홍수유입량, 여수로구조, 저수지 내용적, 운영방법, 관리수위 등을 조합하여 저수지추적 시나리오를 작성할 수 있으며, 시나리오별로 분석된 결과는 분석결과 요약, 그래프 및 테이블로 출력된다. 저수지 운영방법으로는 저수지 운영방식에 따라서는 AROM, RROM, TROM등을 모의할 수 있고 부가적으로 제한수위 및 제한방류량을 고려할 수 있도록 설계되어 있다. 일반적인 농업용 저수지의 운영에 사용되는 AROM(Automatic Reservoir Operation Method) 및 RROM(Rigid Reservoir Operation Method), TROM(Technical Reservoir Operation Method)을 적용할 수 있도록 되어 있다.

2. 설계홍수량 산정요령(국토해양부, 2012)

설계홍수량 산정 요령은 수공 구조물의 규모 등의 결정에 활용되는 설계홍수량의 일관성 있는 산정을 위해 국내 실무에서 적용되고 있는 각종 기준 및 이론 등을 검토하여 설계홍수량 산정 시 문제가 되어 왔던 주관적 판단을 최소화함으로써 설계홍수량 산정에 대한 개관적이며 표준적인 기준 제시하기 위하여 2012년 국토해양부(현 국토교통부)에서 제시하였다.

이 산정요령은 확률홍수량을 최적치 개념의 설계홍수량으로 채택하는 방법에 국한하였으며, 중·대 규모 하천설계에 필요한 설계홍수량 산정요령을 제시하는 것을 적용 범위로 설정하고 있다. 다만, 일부 필요한 항목을 추가하거나 조정할 경우 소하천이나 댐 설계에도 활용이 가능하다.


설계홍수량 산정방법은 실무에서 주로 사용하고 있는 방법인 설계강우-유출 관계분석에 의한 설계홍수량 산정 방법을 채택하고 유출모형으로는 단위도법을 적용하도록 하고 있다. 자세한 내용을 국토해양부(2012)를 참조한다.

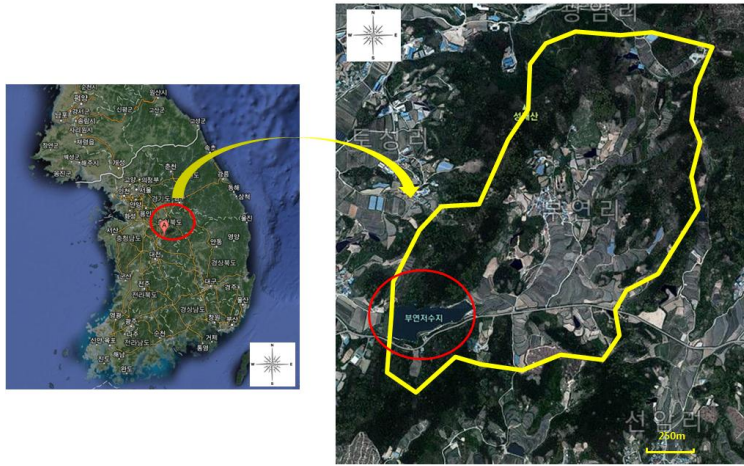
III. 연구유역: 부연저수지

부연저수지 유역은 충청북도 청주시 북이면 부연리에 위치하며 중부지방의 소규모 산지 유역이다. 유역면적은 <그림 2>과 같이 1.75km²로 주로 산지로 구성되어 있다. 총 저수량 27.3만m³, 유효저수량 25.5만m³ 규모의 저수지로 북이면 부연리 일대에 66.6ha의 농경지에 농업용수를 공급하기 위한 시설로이다(한국농어촌공사, 2012). 부연저수지 및 유역의 현황은 <표 1>, <그림 2>와 같다.

부연저수지 유역에 대한 수문자료는 기상청 청주관측소의 자료를 바탕으로 구성되며, 대상 저수지의 시설물 제원 및 각종 수문자료 등은 한국농어촌공사 농업기반시설관리시스템을 참조 한다. 또한 대상유역의 토양군 정보 및 유역정보 등 설계홍수량 산정 기초자료 등은 부연저수지 한국농어촌공사 정밀안전진단보고서(2012) 및 용정지구 수리시설개보수사업(2002) 설계서 등을 참고한다. 관련자료 검토결과 부연저수지는 1960년 준공 후 재해는 없었던 것으로 파악되었으며 1998년 시행된 정밀안전 진단 결과 댐체의 사석이탈 및 침투수 발생으로 일부 포화대가 형성 되어있고, 여수토의 세굴, 균열 및 방수로 세굴 박리 등이 발견되었다. 정밀안전 이후 2001년에서 2002년까지 부연저수지에 대해 개보수 사업이 시행되었으며, 정밀안전진단 시 문제시 되었던 댐체 및 여수토, 방수로에 대한 개보수가 시행 되었다.

<표 1> 부연저수지전경

	<p>시설 주요제원</p> <ul style="list-style-type: none"> - 설치년도: 1960년 12월 - 유역면적: 1.75km²(175 ha) <ul style="list-style-type: none"> · 유역현황(산지 116ha, 경작지 49ha, 기타10ha) - 수혜면적: 0.67km²(67ha) - 총 저수량: 27.3만m³ - 제체형식: 필댐(존형), EL.(+)101.4m - 만수위: EL.(+)99.0m - 홍수위: EL.(+)101.0m
--	--

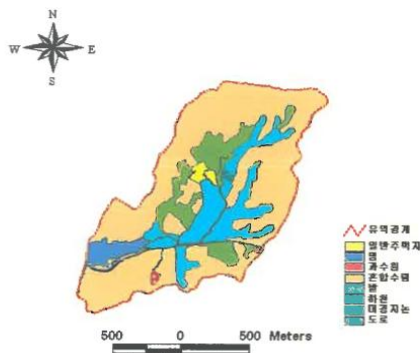


<그림 2> 부연저수지 위치 및 유역 현황

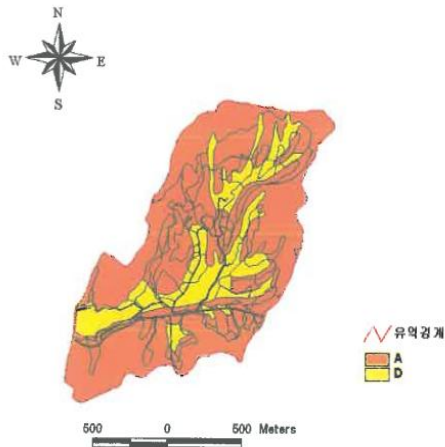
1. 유역 특성

본 유역의 유역면적은 1.75km² 으로, 1:5,000 수치지형도를 이용하여 산정하였으며, 하천의 연장은 유달시간(Time of concentration, Tc)을 좌우하는 요소이며, 유역의 하천시발점에서 저수지까지 산정한 결과 2,400m이다. 유역 주하천의 평균경사는 강우의 침투량이나 유출에 영향을 주는 인자로 지표면에서의 유출속도 즉 강우의 유달시간을 좌우하는 요소 중 하나이다. 유역경사가 급하면 급할수록 지표면 유출속도는 빨라지므로 유달시간이 단축되고 침투유량도 변한다. 유역 주하천의 평균 경사는 0.01444이다.

본 유역의 토지이용 및 수문학적 토양 주제도는 <그림 3>, <그림 4>와 같다.



<그림 3> 부연저수지 유역의 토지이용 현황도



<그림 4> 부연저수지 유역의 수문학적 토양군 주제도

IV. 홍수량 산정결과 및 고찰

본 연구에서 부연 저수지의 계획 홍수량의 빈도를 100년, 200년으로 검토한다. 부연저수지의 규모는 중규모 수리구조물로서 100년 또는 200년을 기준으로 한국농어촌공사 조사설계 실무요령(2011)에서 명시된 기준을 따라 산정하게 되며, 대규모 저수지에 해당치 않기 때문에, PMF를 설계홍수량으로 고려하지 않는다. 국토교통부(2012)에 따라 다음과 같이 부연저수지에 대하여 계획홍수량을 산정한다.

1. 부연저수지 유역의 설계 강우량 산정

부연 저수지의 지배 강우 관측소로 청주시에 위치함 청주기상관측소를 선정한다. <표 2>과 같이 청주관측소는 기상청에서 관리 운영하는 관측소로서, 1967년부터 운영되고 있어, 관측년수가 30년 이상의 신뢰할 수 있는 수문자료를 제공하고 있다.

<표 2> 기상관측소 현황

관측소 명칭	위치			관측 기간	관리청	비고
	행정구역	경도	위도			
청주	충청북도 청주시 흥덕구 북대동 265-14	127-26	36-38	1967 ~ 2013	기상청	

1) 부연저수지 유역의 확률 강우량 산정

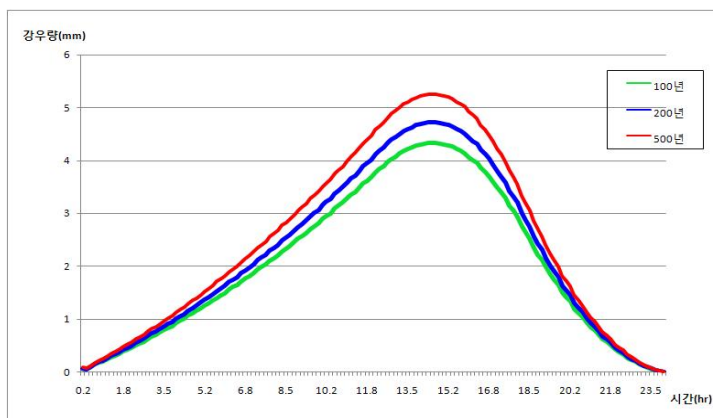
FCSR을 이용하여 청주 기상대 자료를 활용하여 지점확률 강우량을 산정하고자 한다. 확률강우량 산정을 위한 수개의 적용 분포형을 산정하였으며 분포형의 매개변수는 확률가중모멘트 법에 의해 추정하였다. 적용 분포형별로 추정된 매개변수를 적용하여 적합도 검정을 수행한 결과 최종적으로 Gumbel 분포형을 선정하였다. FCSR을 이용하여 산정된 지점 확률강우량 산출결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 부연저수지의 지속기간별 지점 확률강우량(GUMBEL 분포): 청주

재현 기간	지속시간별 확률강우량(mm)						
	60분	120분	180분	360분	720분	1080분	1440분
100년	89.1	125.4	156.9	207.6	256	284.5	296.9
200년	96.8	136.9	172	227.6	280.5	311.3	324.3
500년	107	152	191.9	254.1	312.8	346.7	360.3

2) 부연저수지 유역의 확률강우량 시간분포

설계강우의 시간분포는 홍수량 수문곡선의 모양과 첨두홍수량의 크기에 많은 영향을 미치는 인자이다. 확률강우량 등과 같은 설계강우의 경우에는 시간분포를 알 수 없으므로 인위적으로 분포시키는 방법을 적용한다. FCSR 시스템의 Huff 분포에 의한 설계강우 분포 및 무차원 누가곡선을 산정하고, Huff 분포(3분위법)에 의한 설계빈도별 우량주상도는 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 부연저수지 유역의 빈도별 설계강우량의 시간분포도

2. 홍수량 산정

본 연구에서는 FCSR을 활용하여, 설계홍수량 산정요령에서 제시한, SCS-CN 방법에 의한 유효우량 산정 방법 및 Clark 단위도법을 바탕으로 한 유역 유출 모형을 적용한다. 부연저수지 유역은 신뢰

할 수 있는 유량 관측이 이루어지지 않은 미 계측 지역이므로 Clark 단위도 모형의 매개변수인 도달 시간(T_c)과 저류상수(K)는 연속형 Kraven II공식과 수정 Sabol공식을 각각 적용하여 산정한다.

1) 유효유량 산정

현재 국내 수자원실무에서 사용하고 있는 미국 SCS(현재 NRCS) 방법을 채택하고 있다(국토해양부, 2012). 유효유량 산정을 위한 SCS방법의 유출곡선지수(CN)는 대상유역의 토지이용상태, 식생피복 처리상태, 수직배수 능력을 나타내는 수문학적 조건 및 토양군의 종류 등에 따라 결정된다. 대상유역의 CN 산정결과는 <표 4>와 같다.

본 연구에서는 저수지의 치수적 측면을 감안하여 최대위험성에 대한 안정성을 확보하는 것이므로, 저수지유역의 토양이 이전의 선행강우에 의해 충분하게 포화된 상태로 가정하여, AMC-III (Antecedent Moisture Condition) 조건을 기준으로 설정하였으며, 유역평균 CN값은 86.3으로 산정된다.

<표 4> 유출곡선지수 산정결과

토지 이용상태	수문학적 토양군								면적 계	평균유출 곡선지수
	A		B		C		D			
	면적	CN II	면적	CN II	면적	CN II	면적	CN II		
산림지역	0.61	56	0	75	0.43	86	0.12	91	1.16	71.3
논	0.13	78	0	78	0	78	0.16	78	0.29	78
밭	0.14	62	0	71	0	78	0.05	81	0.19	66
과수원	0.01	59	0	74	0	82	0	86	0.01	59
초지,기타	0	30	0	58	0	71	0	78	0	0
나지	0	59	0	74	0	82	0	86	0	0
연립,단독	0.02	77	0	85	0	90	0	92	0.02	78.8
아파트,상업지	0	83	0	89	0	92	0	93	0	0
도로	0.01	81	0	88	0	91	0.01	93	0.02	84.6
하천 및 저수지	0.02	100	0	100	0	100	0.05	100	0.07	100
유역면적 계	0.94		0		0.43		0.39		1.76	73.2
유출곡선지수산정	AMC II: 73.2									
	AMC III: 86.3									

2) Clark 단위도법의 매개변수 산정

(1) 도달시간(T_c)

본 연구의 FCSR 시스템에서 적용한 Clark 단위도법은 도달시간(T_c)와 저류상수(K)를 입력인자로 하는 2 매개변수 합성단위도 방법이며, 도달시간은 유입시간과 유하시간의 합으로 경험식에 의하여 산정하였다. 본 유역의 경우 유역면적이 대단히 작은 소유역으로 유입 시간을 고려하지 않으면 도달

시간이 지나치게 짧아져 침투홍수량이 과다하게 산정되는 현상이 발생하므로, 현장답사 결과 소유역 인 점을 감안하여 10~30분의 범위 중에서 20분의 유입시간을 적용하였다. 유하시간으로는 자연하천의 경사별 유속을 급경사부와 완경사부로 나누어 도달시간을 산정하는 <식2>의 연속형 Kraven공식을 적용하였다. 본 연구유역의 평균경사(S)는 0.01444로서 급경사부(S>3/400) 회귀식을 적용하였다. 연속형 Kraven공식은 <식1>의 기존 Kraven(II)공식과 동일하며 경사별 유속부분을 개선한 형태이며, 산정결과는 <표 5>와 같다.

$$T_c = 16.667 \frac{L}{V} \dots\dots\dots <식1> \text{ Kraven(II)공식}$$

$$V = 4.592 - \frac{0.01194}{S} \dots\dots\dots <식2> \text{ 연속형 Kraven 회귀식}$$

(T_c : 도달시간(min), L: 유로연장(km), S: 평균경사(무차원), V: 평균유속(m/s))

(2) 저류상수(K)

본 연구에서는 유역저류상수(K)를 산정하기 위한 경험공식 중 <식3>의 Sabol 공식을 적용한다.

- Sabol 공식(Sabol, 1988)

$$K = \frac{T_c}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}} \dots\dots\dots <식3>$$

(K: 유역저류상수(hr), T_c : 도달시간(hr), L: 유로연장(km), A: 유역면적(km²))

- Russel 공식(U.S. Army Corps of Engineers, 1994)

$$K = \alpha T_c \dots\dots\dots <식4>$$

K: 유역저류상수(hr), T_c : 도달시간(hr)

α : 도시지역(developed catchments) 1.1~2.1, 자연지역(rural catchments) 1.5~2.8, 산림지역(forested catchments) 8.0~12.0 범위의 계수,

Sabol 공식은 유역규모를 고려하지 못하는 문제점은 동일하지만 유역형상을 형상계수의 역수 형태로 고려하므로 <식4>의 Russel 공식보다 합리적이라 할 수 있어서 Sabol 공식을 유역저류상수 산정 방법으로 채택하였다(국토해양부, 2012). 매개변수 산정결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 매개변수 산정결과

유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	평균유속 (m/s)	Clark 단위도법		비고
			도달시간(hr)	저류상수(K)	
1.75	2.40	3.76	0.511	0.435	

(3) 부연저수지의 설계홍수 수문곡선 추정

부연저수지의 유입 홍수량 산정은 Clark 단위도법을 이용하여 홍수량을 산정하였으며, 결과는 <표 6>, <표 7>과 같다. 산정된 홍수량을 통한 홍수 수문곡선은 <그림 6>, <그림 7>과 같다.

최대홍수량을 발생시키는 강우의 지속시간을 선정하기 위하여, <표 6>과 같이 각각의 지속시간에 대하여 모의를 수행하였다. 산정결과 3시간의 지속시간을 임계지속시간으로 선정하여, <표 7>과 같이 빈도별 홍수량을 산정한다.

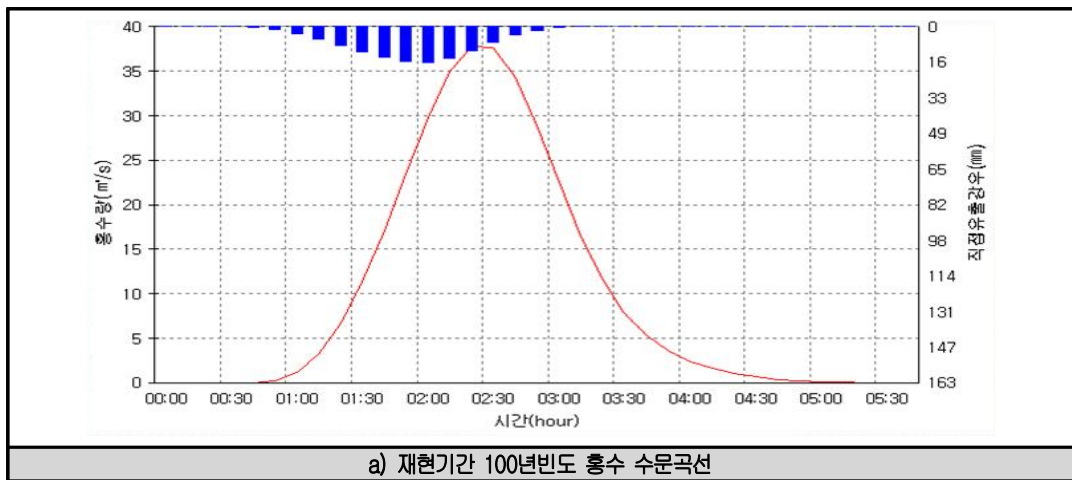
<표 6> 강우의 지속시간별 침투홍수량

(단위: m³/sec)

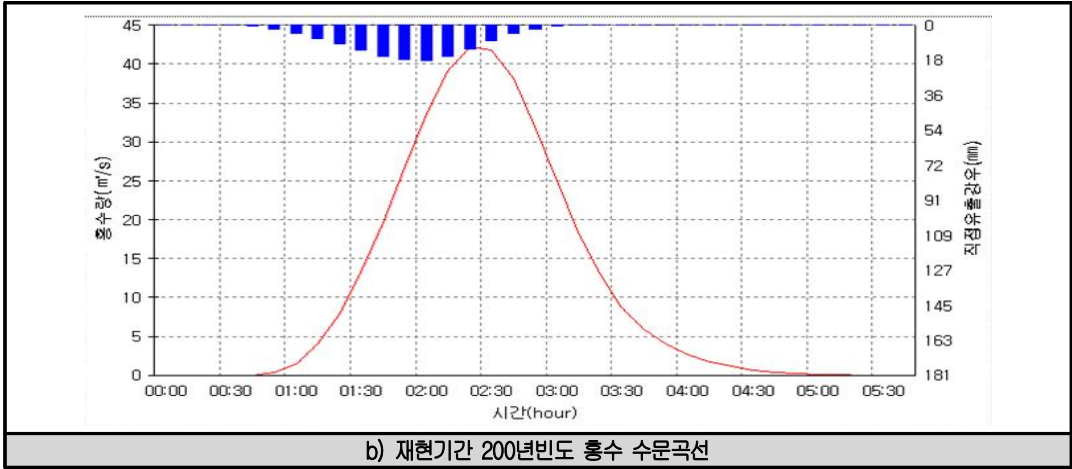
지속 시간 빈도	1hr	2hr	3hr*	4hr	6hr	9hr	12hr	15hr	18hr	24hr	비고
100년	28.9	36.1	37.8	36.8	30.6	23.9	20.3	17.9	15.3	12.1	
200년	32.5	40.3	42.2	41	33.9	26.4	22.4	19.7	16.9	13.3	

<표 7> 빈도별 홍수량 비교

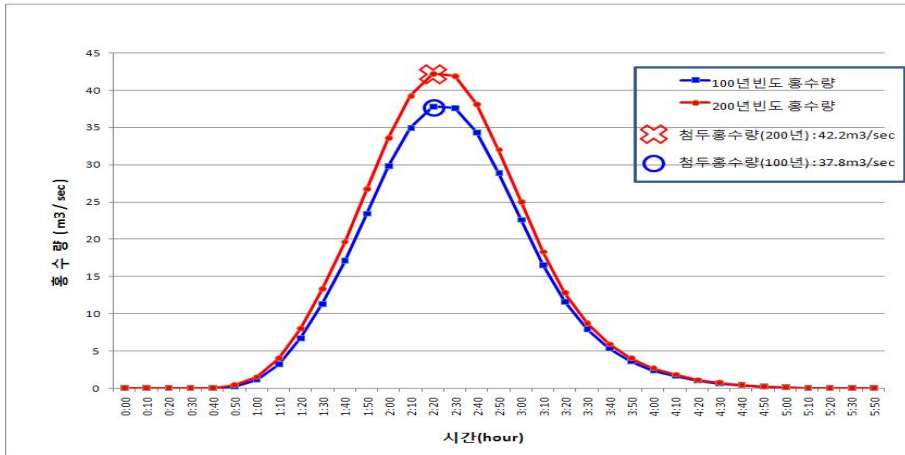
구분	100년(m ³ /sec)	200년(m ³ /sec)	비고
FCSR	37.8	42.2	



<그림 6> 부연저수지의 FCSR방법에 의한 빈도별 홍수 수문곡선



<그림 6> 부연저수지의 FCSR방법에 의한 빈도별 홍수 수문곡선(계속)



3. 고찰

1) 부연저수지의 준공당시 계획홍수량

1960년 준공당시 부연저수지에 대한 시설 상세제원 및 수문계산에 관한 자료는 찾을 수 없다. 1998년 부연지에 대한 정밀안전 진단자료 및 2002년 용정지구 수리시설 개보수 사업 준공도를 기준으로 시설상태에 대하여 판단한다. 1998년 정밀안전진단 결과에 따라 부재별로 손상 원인 및 정도에 따라 개보수가 시행되었으며, 특히 여수로 물넘이 및 방수로에 대하여 개보수가 시행되었다. 준공당시 설계 홍수량과 1998년 정밀안전 진단 시 설계홍수량 결과 값은 <표 8>과 같다.

<표 8> 부연저수지의 준공 및 정밀안전진단시의 설계홍수량

구분	준공시(1960년)	정밀안전진단(1998년)	비고
설계홍수량(m ³ /sec)	37.10	34.03	

2) 준공 및 현재 계획 홍수량의 비교

본 연구의 부연저수지의 100년 빈도의 확률홍수량은 37.8m³/sec으로 산정되며, 이는 1960년의 준공 홍수량(37.1m³/sec)에 비하여 1.8%의 증가된 값을 나타낸다. 이는 적용방법(확률분포형의 상이, 검정 방법의 차이 등)에 의한 결과이나, 최근의 급증한 강우량의 증가 경향을 일부 반영하고 있다고 판단된다.

부연저수지 정밀안전진단 보고서(1998)에서는 <표 9>와 같이 100년 빈도의 확률 홍수량에 안전 여유량 20%를 증가시킨 홍수량(34.03m³/sec)을 부연저수지의 안전 홍수량으로 산정하였다. 이는 1960년의 준공 홍수량(37.1m³/sec)과 비교하여 이중 큰 값인 준공 홍수량을 기준으로 시설물 안전성을 평가하여 댐체에 대한 안전성을 확인하였으며, 여수토 홍수배제능력 또한 양호한 것으로 판단되었다.

<표 9> 1998년 정밀안전진단 결과

(단위: m³/sec)

구분	홍수량	여수토 홍수배제량	배제능력	결과
안전진단결과	34.03	45.65	123%	만족

본 연구에서는 한국농어촌공사 조사설계 실무요령(2011)에서 명시된 기준을 따라 200년빈도 홍수량을 부연저수지에 대하여 산정하고, 추가로 산정된 홍수량에 흙댐에 대한 안전율 20%를 반영하였다. 그 결과 2014년 현재 부연저수지의 계획홍수량은 50.6m³/sec가 산정된다. 저수지 설계(준공)당시의 홍수량 및 본 연구의 결과는 <표 10>과 같으며, 현재 부연저수지의 계획홍수량은 50.6m³/sec로 저수지 계획(준공)당시 홍수량보다 13.5m³/sec가 크게 산정되었다.

<표 10> 부연저수지의 홍수량 비교

구분	준공시(1960년)	연구결과	비고
설계홍수량 (m ³ /sec)	37.10	42.2(산정 값) 50.6(20%여유분 반영)	(+) 5.1 (+) 13.5

3) 저수지 추적을 통한 안정성 검토

(1) 물넘이 안전성 검토

소규모 농업용저수지는 수문 등의 시설물이 설치되어 있지 않고 여수로의 자연월류 형태를 적용하여, 홍수조절능력이 없으므로 홍수 시 댐의 안전을 위하여 여수로 시설이 충분한 홍수배제능력을 갖추어야 한다. 홍수배제능력을 위하여 물넘이 안정성 검토를 <식 5>의 Francis의 유량공식을 적용한다. Francis 유량공식은 월류웨어의 배제량을 구할 수 있으므로 저수지 물넘이의 홍수량 산출에 적용할 수 있다.

- Francis 유량공식

$$Q = C \times L \times H^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots <식 5>$$

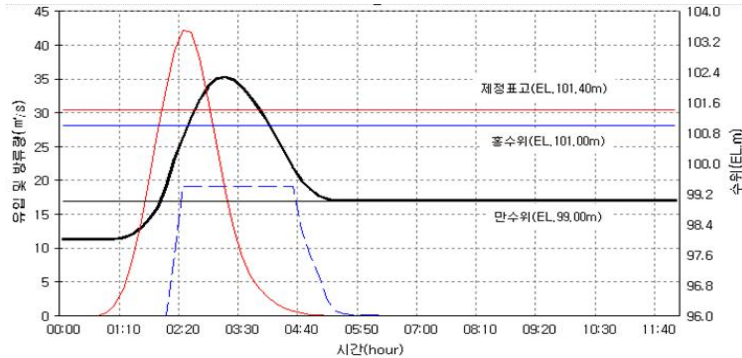
Q: 홍수량, C: 유량계수, L: 여수토 길이, H: 총 수두(설계수두+접근수두)

유량 검토에 필요한 기초값은 유량계수 2.142, 여수토길이 22m, 총 수두 1m이다. 총 수두는 설계수두에 접근수두를 합한 값으로 한다. Francis의 유량공식은 접근수심과 월류수심에 따라 유량계수(C)값이 다르며, 시설물관리대장 확인결과 월류수심 H=1.0m, 접근수심 P=1.0m인 것으로 조사되었다. 이를 토대로 유량계수변화를 산정결과 C=2.142로 산정되었다. 물넘이 배제능력 검토결과 산정 값 42.2m³/sec에 대한 홍수배제량은 47.12m³/sec로 배제능력 111.66%로 검토결과 안정적으로 판단되었다. 반면에 확률홍수량 값에 20%를 추가 반영 시 홍수량은 50.64m³/sec로 홍수배제능력 93.05%로 부족함이 나타났다.

(2) 저수지 추적을 통한 댐체 여유고 검토

본 연구에서 FCSR 시스템을 통하여 산정된 부연저수지의 유입 확률홍수량은 42.2m³/sec 였으나, 흙댐의 안정성 반영을 위한 20% 홍수량을 추가 반영하여 검토 확률홍수량을 50.64m³/sec로 제시한다. 흙댐의 추가 홍수량이 반영되지 않았을 경우 시설물의 허용 배제능력에는 문제가 없었지만, 20% 추가 홍수량 반영시 물넘이의 허용 배제능력은 93.05%로 부족한 것으로 나타났다

이러한 유입홍수량을 바탕으로 FCSR을 통한 저수지추적을 통하여 댐체 여유고 및 수위를 검토한 결과는 <그림 8>과 같다. 침투 홍수량 발생 시 최고 수위가 102.28m 까지 상승하여 제정표고 101.4m 보다 0.88m초과 한 것으로 댐체의 여유고에 대한 추가 확보방안 역시 필요하다고 판단되었다.



<그림 8> 부연저수지 수위 곡선

본 연구는 한국농어촌공사 FCSR 시스템을 기반으로, 최근 실무에 적용중인 설계홍수량 산정요령(국토해양부, 2012)에 따라 부연저수지의 홍수량을 산정하고, 시설물의 안정성을 평가하였다.

1960년에 준공된 부연저수지는 100년 빈도의 설계홍수량(37.1m³/sec)에 안전하도록 설계 및 시공되었다. 본 연구에서는 최근까지 축적된 수문자료와 개선된 홍수량 산정방법을 적용하여 설계홍수량을 산정하였다. 그 결과 100년 빈도의 홍수량은 37.8m³/sec 이며, 200년 빈도의 홍수량은 42.2m³/sec, 안전을 위한 여유(20%)을 고려한 안전홍수량은 50.6m³/sec 으로 산정되었다.

이는 1960년 준공 시 100년 빈도 저수지 설계홍수량 값과는 큰 차이를 나타내고 있지는 않으나, 최근의 이상기후 및 수문환경의 변화를 고려한 저수지 안전관리 빈도인 200년 빈도의 확률 홍수량 및 안전을 위한 여유분을 반영한 홍수량은 저수지의 계획(준공) 홍수량에 대하여 13.54m³/sec를 초과한 값이다. 또한 시설물의 안전성 측면에서 댐체의 여유고 부족(0.88m), 물넘이 벽체의 여유고부족(0.05m)의 결과가 발생함을 알 수 있었다. 이와 같이 산정된 확률홍수량에 흙댐의 안정성 반영을 위한 20% 홍수량 추가 반영 시 물넘이 홍수배제능력은 93.05%로 부족한 것으로 나타났다. 이러한 상황에서 검토홍수량 배제를 위하여 물넘이 언장증가 또는 물넘이 월류수심 증가 방안에 대하여 분석해 보았다. 2가지 방법으로 검토하였는데, 언장을 고정시키고 월류수심을 증가하는 방안과 언장을 증가시키고 월류수심을 고정시키는 방안이다.

Francis의 유량공식을 적용을 통하여, 유량 검토에 필요한 기초값은 유량계수 2.142를 적용하고 언체길이와 월류수심에 관하여 안전값을 찾는 방안으로 진행하였다. 언장을 고정시키고 월류수심을 증가 시킬 경우 언체표고를 0.05m를 증가시켜야 하며, 언장을 증가시킬 경우 1.6m를 증가시켜야 할 것으로 산정되었다. 경제적인 측면이나 시공적인 측면으로 볼 때 언장을 증가시키는 방안보다는 언체 높이의 조절을 통한 방법이 효율적으로 판단된다.

VI. 결론

본 연구는 부연저수지를 대상으로 농촌지역의 노후화된 소규모 저수지의 안정성을 계획(준공)당시의 설계홍수량과 최근까지 축적된 수문자료와 개선된 설계홍수량 산정방법(한국농어촌공사의 FCSR 및 설계홍수량 산정요령(국토교통부, 2012))을 적용하여 산정된 빈도별 확률홍수량으로 비교 검토하여 대상 저수지의 안정성을 평가 하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 최근의 수문자료와 개선된 홍수량 산정방법으로 계산된 부연저수지 유역의 100년 빈도의 홍수량은 $37.8\text{m}^3/\text{sec}$ 로, 1.8%가 증가 하였다. 또한 최근의 소규모 농촌 저수지 설계기준인 200년 빈도의 홍수량은 $42.2\text{m}^3/\text{sec}$ 으로 산정 되었다. 또한 안전을 위한 여유(20%)을 고려한 안전홍수량은 $50.6\text{m}^3/\text{sec}$ 으로 산정되었다.

2) 부연저수지는 1960년 준공시 100년 빈도의 홍수량($37.1\text{m}^3/\text{sec}$)에 안전하도록 설계 및 시공되었다. 본 연구에서 산정한 현재 시점의 안전여유를 반영한 200년 빈도별 확률 홍수량은 현재 저수지의 계획(준공) 홍수량에 대하여 $13.54\text{m}^3/\text{sec}$ 를 초과한 값이다. 시설물의 안전성 측면에서 댐체의 여유고 부족(0.88m), 물넘이 벽체의 여유고부족(0.05m)의 결과가 발생한다.

3) 현재 대부분의 농촌지역 소규모 저수지들은 1970년 이전에 설치된 것들이 많다. 최근 이상기후 및 기후변화로 인하여 자연재해의 위험성이 증대되는 시점에서, 노후화된 농업용저수지들에 대한 개선된 설계홍수량 산정 방안을 통한, 이러한 시설물의 안정성 재평가가 이루어져야한다.

4) 현재 농촌 소유역의 저수지가 대부분인 우리나라 실정상 이에 맞는 설계홍수량 산정요령 역시 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되며, 농어촌공사 실무에서 사용되고 있는 설계홍수량 산정방법과의 비교 분석 또한 이루어져야 할 것으로 판단된다.

향후 농촌소유역 중 소규모의 다양한 저수지에 대한 설계홍수량 산정방법 및 유역특성에 관한 종합적이고 세밀한 검토를 통하여, 시설물의 안정성 검토가 이루어질 필요가 있다.

참고문헌

기상청. 2014. 방재기상 관측월보. 기상청.

김경덕, 권지혜. 2004. 저수지 홍수량 추정. 한국방재학회지. 4(3): 90-103.

국토해양부. 2012. 설계홍수량 산정요령. 국토해양부.

연합뉴스. 2014. 2014 산대저수지, 괴정저수지 붕괴내용 자료출처(<http://www.yonhapnews.co.kr/home0>)

- 9).
- 윤용남, 장수형, 강성규, 박민석. 2004. 설계홍수량 산정을 위한 적정 설계강우분포방법의 개발. 한국수자원학회 학술발표집.
- 윤용남, 정중호, 류재희. 2013. 설계홍수량 산정요령 소개. 물과미래. 46(3): 55-68.
- 이재홍, 이정규, 김태웅, 강지혜. 2011. 댐 설계홍수량 산정방법에 관한 비교연구. 한국수자원학회논문집. 44(12): 941-954.
- 전상민, 강문성, 송인홍, 김지혜. 2012. 기후변화에 따른 설계홍수량의 변화분석. 한국수자원학회 학술발표집.
- 최현수. 2009. 저수지 붕괴 시 홍수분석에 관한 연구동향. 한국관개매수. 16(1): 30-33.
- 한국농어촌공사, 농림부. 2010. 기존저수지 수문조사 지원사업 종합보고서. 한국농어촌공사, 농림부.
- 한국농어촌공사. 2011. 조사설계실무요령. 한국농어촌공사.
- 한국농어촌공사. 1998. 부연저수지 정밀안전진단보고서. 한국농어촌공사.
- 한국농어촌공사. 2012. 부연저수지 정밀안전진단보고서. 한국농어촌공사.
- 한국농어촌공사. 2002. 용정지구 수리시설개보수사업 설계서. 한국농어촌공사.
- 환경부. 2008. 상수전용댐 안전성대책 및 치수능력 증대방안 연구. 환경부.
- 황만하, 이배성, 유양수, 이상진. 2006. 미계측 소유역의 가능최대 홍수량 산정. 한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집.
- 저수지 붕괴사진(장연저수지, 동막저수지, 연천댐, 산대저수지, 괴연저수지) <http://www.google.co.kr/search>.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.

강현모: 경기대학교 토목공학과를 졸업하고 충북대학교 산업대학원에서 석사학위취득 예정(2015. 02)이다. 현재 한국농어촌공사 충북지역본부 사업계획부에서 근무하고 있다. 농촌지역 농업기반시설 노후 및 재난에 관심을 가지고, 국가적 차원에서 노후 시설물에 대한 재난대비 시스템 구축을 바라고 있다(khm3724@ekr.or.kr).

이효상: 충북대학교 토목공학부에 교수로 재직 중이며 영국의 Imperial College London UK에서 박사학위(논문: Regionalisation of Rainfall-Runoff Models in the UK, 2006)를 취득하였다. 주요 연구 분야는 강우-유출모형의 계측 및 미계측 유역의 적용이며 주요 논문으로는 "강우자료의 불확실성을 고려한 강우 유출 모형의 적용(2009)", "미호천 유역의 지역화 연구를 위한 개념적 강우-유출 모형의 적용성 평가(2012)" 등이 있다 (hyosanglee@chungbuk.ac.kr).