



웹기반 홍수관리시스템 구현을 위한 홍수분석모듈개발

Development of Flood Analysis Module for the Implementation of a Web-Based Flood Management System

정인균* · 박종윤** · 김성준*** · 장철희****,†

Jung, In Kyun · Park, Jong Yoon · Kim, Seong Joon · Jang, Cheol Hee

Abstract

This study was to develop the flood analysis module (FAM) for implementation of a web-based real-time agricultural flood management system. The FAM was developed to apply for an individual watershed, including agricultural reservoir. This module calculates the flood inflow hydrograph to the reservoir using effective rainfall by NRCS-CN method and unit hydrograph calculated by Clark, SCS, and Nakayasu synthetic unit hydrograph methods, and then perform the reservoir routing by modified Puls method. It was programmed to consider the automatic reservoir operation method (AutoROM) based on flood control water level of reservoir. For a 15.7 km² Gyeryong watershed including 472×10⁴ m³ agricultural reservoir, rainfall loss, rainfall excess, peak inflow, total inflow, maximum discharge, and maximum water level for each duration time were compared between the FAM and HEC-HMS (applied SCS and Clark unit hydrograph methods). The FAM results showed entirely consistent for all components with simulated results by HEC-HMS. It means that the applied methods to the FAM were implemented properly.

Keywords: Agricultural Reservoir; Design Flood; Flood Analysis; Flood Hydrograph

1. 서 론

전국적으로 한국농어촌공사와 시군에서 관리되고 있는 농업용저수지는 2011년 통계기준 17,505개소로 집계되었으며 그중 한국농어촌공사 관리 저수지는 3,372개소로 19.3%를 차지하고 있다. 주로 시군관리 농업용저수지가 용도폐기 등으로 인하여 미소하게 감소하는 추세를 보이고 있으나 상당히 많은 저수지가 산재해 있음은 분명하다. 농업용저수지를 준공시기별로 나누어 살펴보면, 1945년 이전에 준공된 저수지가 9,082개소로 전체의 51.9%를 차지하고, 50년 이상경과 (1946~1961) 2,654개소 (15.2%), 30년 이상경과 (1962~

1981) 4,865개소 (27.8%)이며, 30년 이내 (1982년 이후) 준공된 저수지는 904개소로 전체의 5.2%에 불과하다. 유효저수량 규모에 따라 분류하면 30만 m³ 미만 저수지가 16,295개소로 전체의 93.1%를 차지하고 있으며, 30만 m³ 이상 100만 m³ 미만저수지가 735개소 (4.2%), 100만 m³ 이상저수지가 475개소로 전체의 2.7%를 나타내고 있다. 특히, 축조된 지 60년 이상 된 시설물들은 공용내구연한이 경과한 시설로서 노후손상부위를 복구해야 함은 물론 이상기후에 따른 강우사상의 변화로 설계빈도를 달리하여 재해대비 보강이 필요한 실정이다 (Park et al., 2011).

농업용저수지는 농업용수의 공급을 목적으로 할 뿐만 아니라 가뭄에 대비한 이수기능을 수행하며 일정규모 이상의 저수지의 경우에는 홍수에 대한 치수기능을 수행하는 중요한 기반시설물이다. 그러나 2000년대 들어 집중호우의 발생빈도가 급격하게 증가하고 있는 상황이지만 앞서 기술한 통계와 같이 상당수의 저수지가 노후된 상태이고 홍수조절 기능을 위한 수문이나 비상방류시설이 확보되어 있는 대규모 댐과는 달리 농업용저수지의 대부분은 홍수조절을 위한 시설이 미비할 뿐만 아니라 대다수의 농업용저수지는 경사가 급한 산지에 위치하고 있어 집중호우 발생시 급격한 유입량증가와 수위상승, 이로 인한 방류는 저수지 비상상황 발생 및 하류지역의 홍수위험을 증가시키게 된다. 실제로 2002년에는 집중호우와 태풍 루사로 인하여 저수지 붕괴 등 심각한 피해가 발

* Research Institute, Water Management Co. Ltd., Namyangju-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea.

** Texas A&M AgriLife Research, Vernon, Texas, USA.

*** Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Konkuk University, Seoul, Republic of Korea.

**** Water Resources Research Division, Water Resource & Environment Research Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea.

† Corresponding author

Tel.: +82-31-910-0745 Fax: +82-31-910-0757

E-mail: chjang@kict.re.kr

Received: October 22, 2014

Revised: October 29, 2014

Accepted: November 12, 2014

생된바 있으며, 이를 계기로 2003년에는 수리시설 설계기준이 강화되었다. 홍수배제 능력이 부족한 시설물에 대한 보강계획을 수립하고 피해가 우려되는 농업용저수지에 대한 점검 및 개선 사업을 진행해 오고 있다.

한편, 한국농어촌공사에서는 농촌홍수 물관리정보화 사업을 추진하여 2002년부터 공사 관리 주요농업용저수지를 대상으로 자동수위계를 설치하였으며 자동수위측정결과를 “농촌홍수종합정보시스템 (RAWRIS)”을 통해 제공하고 있다. 자동수위 측정자료는 농업홍수공급 및 계획수립에 활용할 수 있을 뿐만 아니라 집중호우에 대비하여 농업용저수지 홍수유입에 따른 수위변화 및 방류량을 분석·예측하는 등 비구조적인 홍수대책에 중요한 기초자료로 활용될 수 있다. 한국농어촌공사에서는 홍수기 농업용저수지 운영시 의사결정 지원 및 홍수대응에 활용할 수 있도록 주요 저수지의 자동수위 측정자료 및 기상청 기상자료를 연계하여 호우발생에 따른 저수지상황을 광역적으로 파악하고, 저수지별 예상 강우에 의한 유입량 및 방류량변화를 사전에 분석할 수 있도록 웹기반의 농촌홍수관리시스템을 개발하였으며 현재 378개 저수지 (100만 m³ 이상 320개소)가 적용되어 있다. 이 시스템은 실시간 측정자료 D/B, 매개변수 및 분석결과가 저장되는 홍수관리 D/B, 홍수분석모듈 프로그램, 실시간분석 및 사용자 운영프로그램으로 구성되어 있으며, Jung et al. (2012)의 논문을 통해 시스템 구성과 운영에 관련된 내용들을 제시한 바 있다. 그러나 이는 시스템을 구성과 운영 측면에 중점을 두고 있어 농업용저수지 자동수위측정자료 및 기상자료를 연계한 실시간 웹기반 홍수분석시스템 구현의 핵심기능이라고 할 수 있는 홍수분석모듈프로그램을 중심으로 다룰 필요가 있다고 판단하였다. 이에 본 연구에서는 홍수분석모듈의 개발방향, 산정방법, 개발형식 및 시스템적용을 위해 개발된 모듈 프로그램의 구조를 제시하고, 최종적으로 농업용저수지를 대상으로 본 연구의 홍수분석모듈과 검증된 모형과의 모의결과 비교를 통하여 계산정확성을 파악함으로써 개발된 홍수분석모듈 프로그램의 적정성을 검토하고자 하였다.

II. 모듈프로그램 개발

1. 개발방향

전국 17,505개소의 농업용저수지 유효저수량 규모별 평균 유역면적은 30만 m² 미만인 0.59 km², 30만 m² 이상 100만 m² 미만인 4.97 km², 100만 m² 이상 300만 m² 미만인 10.54 km², 300만 m² 이상은 45.16 km²이다. 유역면적 기준으로는 전체의 99.5%가 25 km² 이하 소규모유역으로 분류된다. 섬진강댐, 예

당저수지를 제외하면 약 0.5%의 저수지가 25~250 km²의 중규모유역으로 분류된다. 0.5%의 중규모유역 저수지중 유역면적 25~50 km²가 59.1%, 50~100 km²가 27.3%이며, 100 km² 이상의 유역면적인 저수지는 13.6%에 불과하다.

유역규모에 따른 유출특성과 관련하여 소규모유역은 강우의 공간분포가 균일하며 유출의 형태는 표면류 흐름이 지배적이며 하도저류효과를 무시할 수 있다. 중규모유역 또한 강우의 공간분포가 균일하며 유출의 형태는 표면류 흐름과 하도흐름으로 구성되어 있으나 하도저류효과를 무시할 수 있다. 즉, 유역면적이 약 250 km² 이하인 경우는 하도저류효과를 무시할 수 있기 때문에 하도추적 제외방법을 적용하며 소유역 분할이 없고 홍수량 산정지점의 상류유역을 1개의 단일유역으로 취급하여 홍수량을 산정할 수 있다 (Yoon et al., 2013). 따라서 농촌홍수관리시스템에 탑재될 홍수분석모듈 프로그램은 중소규모의 저수지유역을 1개의 단일유역으로 취급하여 저수지의 홍수유입량을 산정하고 저수지 홍수추적기능을 포함하여 저수지의 수위, 저수율, 방류량의 변화를 산정할 수 있도록 개발하였다.

2. 홍수량산정방법

홍수분석모듈에서의 홍수량 산정은 현재 수자원실무에서 사용하고 있는 방법들을 적용하였으며 자세한 사항은 수자원 설계실무 (Jeong and Yoon, 2005), 수문학 (Lee, 2006), 수문학: 기초와 응용 (Yoon, 2007), 설계홍수량산정요령 (MLTM, 2012) 등을 참고할 수 있으므로 다음과 같이 간단히 기술하였다.

가. 강우자료 및 유효우량 산정

실시간 강우 및 저수위를 연계한 홍수분석의 경우 10분~1시간 간격으로 측정된 강우정상도가 입력된다. 또한, 사용자가 기상예보 등을 통하여 예상되는 지속시간 및 강우의 총량을 직접 입력하여 저수지의 홍수량을 분석할 수 있는 기능구현에 이용할 수 있도록 8가지 강우의 시간분포방법을 적용하였다. 강우기록의 통계학적 분석으로 통하여 제시된 무차원 누가 곡선으로 강우를 시간분포 시키는 방법으로 수자원실무에 주로 적용하고 있는 Huff 방법을 기본으로 하며, 그 외에 전진형, 중앙집중형, 지연형의 Mononobe (物部) 방법 및 삼각형우량정상도법, 그리고 전체지속시간에 강우를 등분포시키는 방법을 고려할 수 있도록 하였다. Huff 분포를 적용하는 경우 10% 간격으로 작성되어 있는 무차원 누가강우곡선을 5차~7차 다항회귀분석하여 시간분포에 적용하는 절차가 필요하기 때문에 본 홍수분석모듈에서는 최소제곱법으로 다항회귀식의 계수를 자동으로 추정할 수 있도록 하였다. 유역의 평

균유출곡선지수 (CN)을 사용하여 NRCS 방법에 의해 저수지 유역의 유효우량주상도를 작성할 수 있도록 하였다. CN 값으로 CN-II를 입력하되 선형토양함수조건 (AMC)의 설정에 따라 CN-I, CN-III로 환산되어 계산에 적용될 수 있도록 하였다.

나. 단위유량도

현재 농업용저수지는 수위만을 계측하고 있어 단위도 유도가 곤란하므로 미계측 유역에 적용하는 합성단위도 방법을 홍수량 산정에 사용하였으며, 국내 실무에서 사용되고 있는 Clark, SCS, Nakayasu (中安) 단위도법을 적용하였다. Clark 단위도를 유도하는 과정에는 시간면적곡선의 작성이 필요하며 산정식을 이용하거나 GIS분석 등을 이용하여 산정한 시간면적곡선을 이용할 수 있도록 하였다.

다. 홍수수문곡선 계산

저수지로 유입되는 홍수수문곡선을 계산하기 위하여 유효우량주상도와 단위도를 합성하는 과정을 적용하였다. 홍수수문곡선 합성과정에서 유역의 도달시간이 짧아 계산시간격이 조밀한 경우 강우자료 기록 시간간격과 차이가 발생할 수 있는데 정수배법에 의해 단위도를 지체시킴으로서 강우자료와의 시간간격을 일치시켜 분석할 수 있도록 하였다. 합성된 홍수수문곡선은 기저유량이 반영되지 않은 직접유출수문곡선으로 기저유량을 반영한 홍수수문곡선 (total flood hydrograph)이 되어야 한다. 유량관측자료가 있는 경우 연도별 풍수기 최대유량이 발생하는 월의 일최저 유량의 평균치 등을 기저유량으로 채택할 수 있으나, 농업용저수지와 같은 미계측유역의 경우 해당저수지가 포함되거나 인근에 위치한 유역의 하천기본계획 자료를 활용하여 결정하는 방법 등을 고려할 수 있을 것이다. 그러나 기저유량은 첨두홍수량에 미치는 영향이 상대적으로 미미하고 대상저수지의 유역면적규모가 대부분 크지 않으므로 기저유량을 반영하지 않은 직접유출수문곡선을 저수지로 유입되는 홍수수문곡선으로 하였다.

라. 저수지추적

농업용저수지의 유입량 증가에 따른 수위, 저수율, 방류량 변화를 산정하기 위한 저수지 홍수추적에는 Puls, 수정Puls, 시산법, 계수법, Could함수법 및 누가곡선법 등이 있으며, 그 중 가장 보편적인 추적방법인 수정Puls법을 적용하였다. 수정 Puls법은 저류지시법으로 계산과정에서 저류량-유출량 관계곡선의 값을 보간 하는 방법에 의해 저수지에서 나가는 유출량을 구하게 되며 보간방법으로는 선형보간법을 적용하였다. 저수지운영기법으로는 홍수수문곡선의 예측과 관계없

이 마루표고가 만수위와 동일한 소규모 저수지에 적용하도록 제안된 Auto ROM (Automatic Reservoir Operation Method)을 적용하였다. 이는 농업용저수지의 수문설치 유무에 상관없이 해당 저수지관리 주체에서 기준으로 하고 있는 홍수기 관리수위를 반영한 분석이 될 수 있도록 하기 위함이다.

마. 매개변수 및 강우자료

분석모듈에 필요한 매개변수들은 수치지형도, DEM, 유로경사, 토양도, 토지피복도, 저수지제원 자료를 이용하여 산정한다. 각 항목별 필요매개변수는 Table 1과 같고 이들 매개변수 산정과 관련된 상세한 방법들은 하천설계기준 (Korea Water Resources Association, 2009), 설계홍수량 산정요령 (MLTM, 2012) 등에 자세히 설명되어 있다. 단위도의 경우 공통적으로 유역면적이 입력되며, 방법별로 도달시간, 저류상수, 지체시간, 최장유로연장이 입력된다. 도달시간은 자연하천유역에서 적용할 수 있는 Kirpich, Kerby, Rziha, California Culvert Practice, SCS Lag 공식, Kraven (I), Kraven (II) 및 수정 Kraven (II) 공식 등을 이용하여 산정가능하다. 농업용저수지유역에 대한 도달시간은 대부분 California Culvert Practice식에 의한 값을 주로 적용하고 있는데 산지유역에서 Kraven, Rziha공식은 도달시간이 짧게 산정되는 경향이 있고 Kirpich, Kerby식의 경우 상대적으로 길게 산정되는 경향이 나타나기 때문이다. 저류상수는 Russel 및 Sabol 공식을 이용하여 산정 할 수 있다. 지체시간은 SCS 또는 McCuen의 공식을 이용하여 산정가능하다. 유효우량 산정을 위한 CN값은 토양도와 토지피복도를 이용하여 GIS기법에 의해 산정할 수 있다. 저수지추적에 필요한 수위-내용적의 제원은 한국농어촌공사에서 구축한 자료를 이용하며, 수위 증가에 따른 웨어마루의 방류량은 Francis 유량공식을 이용하여 추정한다.

Table 1 Parameters and data for a Flood Analysis Module Program

Items	Methods	Parameters
Unit Hydrograph	Clark	Area, Time of concentration, Storage coefficient
	SCS	Area, Lag-time
	Nakayasu	Area, Longest length of flow path
Loss	NRCS	Curve Number (CN-II), AMC condition
Reservoir	Modified-Puls	Initial water level, Target water level for ROM Elevation-Storage-Discharge function
	Gauged	10min~hourly gauged rainfall(average)
Hyetograph	Total	Time distribution condition, Total rainfall, Huff cumulative rainfall distribution, Mononobe n

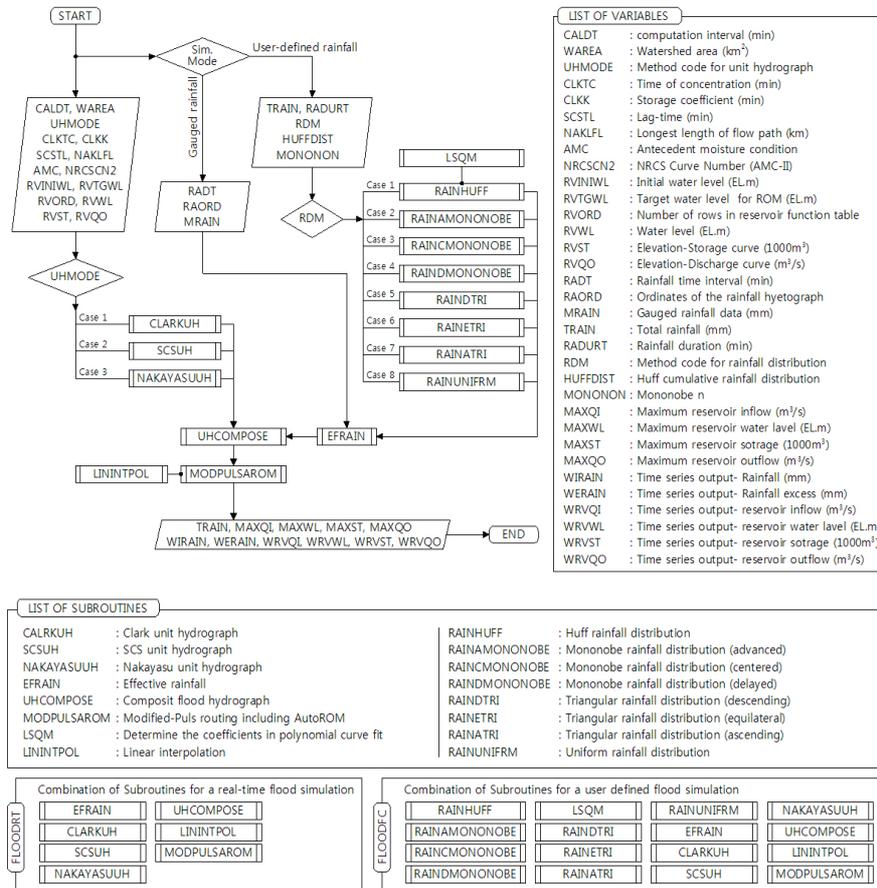


Fig. 1 Schematic diagram of RESTful web service

초기저수위는 자동수위계의 수위측정결과를 이용한다. 강우는 10분-1시간 간격으로 계측된 강우자료를 이용하거나 총 강우량 및 강우분포형을 적용할 수 있다. 강우분포형은 확률 강우량도 개선 및 보완 연구 (MLTM, 2011)에 제시된 값을 적용한다. 농업용저수지 유역내 강우관측소는 일반적으로 1개 인경우가 대부분이지만 유역내 강우관측소가 여러 개소인 경우 지배관측소별 티센계수 등을 적용하여 산정된 유역평균 강우량이 입력되어야 한다.

3. 프로그램의 개발

농촌홍수관리시스템은 RAWRIS와 연계 운영되는 시스템으로서 실시간으로 수신되어 RAWRIS 통합 D/B에 구축 관리되는 일강우, 시강우, 자동수위 측정 자료를 연계 활용하며, 설정된 운영 스케줄에 맞추어 실시간으로 다수의 저수지에 대한 분석을 수행해야하며 설정된 스케줄 외에도 사용자에 의해 임의의 시기에 특정 저수지에 대한 분석을 수행하는 운영특성을 가지고 있으므로 홍수분석을 위한 계산모듈부분,

제어관리 표출을 위한 웹기반 프로그램부분으로 구분하여 개발하였다. 그 중 본 연구의 홍수분석모듈 프로그램은 수치 계산에 적합한 Fortran 90 언어를 이용하여 동적링크라이브러리 (Dynamic Link Library, DLL) 형태로 구현하였고 웹기반 프로그램의 경우 RAWRIS와 동일하게 C#과 ASP.Net으로 개발하였다. 라이브러리 (Library)는 소프트웨어를 만들 때 쓰이는 클래스 (Class)나 서브루틴 (subroutine)의 모임을 의미하며 동적링크라이브러리와 정적링크라이브러리 (Static Link Library, LIB) 형태로 구분된다. LIB는 컴파일러가 소스 파일을 컴파일 할 때 참조되는 프로그램 모듈로서 LIB의 코드는 컴파일 된 실행프로그램의 일부가 되는 반면 DLL은 이를 참조하는 실행프로그램과 독립적으로 존재하며 필요한 함수를 호출할 경우에만 참조되기 때문에 실행프로그램의 크기가 줄어들어 시스템 메모리가 절약되고 프로그램의 실행속도가 향상되며 DLL에 포함된 함수를 개선해야 하는 경우 실행 프로그램을 수정할 필요 없이 DLL만 수정하면 되기 때문에 기능보완에 유리한 장점이 있다고 할 수 있다. 또한 다른 언어와의 연결성이 용이하기 때문에 DLL에 내장된 함수 중 필요

한 기능을 활용하여 별도의 응용프로그램을 편리하게 개발할 수 있다. 본 연구의 홍수분석모듈 프로그램은 단일유역 설계홍수분석 프로그램 및 라이브러리인 CALDF, CALDP, HYDF90L (Jung et al., 2007)로 부터 본 프로그램의 계산목적에 필요한 코드들을 참고하여 개발하였다. 웹기반 시스템 적용에 적합하고 다른 개발언어와의 연결성을 원활하게 하기 위하여 코드의 구조 및 계산능력을 개선하였으며 최종적으로 DLL로 컴파일 하였다. 홍수분석 모듈프로그램의 함수와 변수 구조는 Fig. 1과 같고 모듈의 함수를 조합한 프로그램들도 내장되어 있다. 본 연구의 홍수분석 모듈프로그램을 적용하여 개발된 농촌홍수관리시스템의 구성, 운영 및 실측자료를 이용한 적용성 평가에 대한 사항은 “웹 GIS 기반 실시간 농촌홍수관리시스템 개발” (Jung et al., 2012) 논문에서 상세하게 제시되어 있다.

III. 홍수모의결과 비교

본 연구에서 개발된 홍수분석모듈과 미 공병단의 HEC-HMS에 의한 홍수모의 결과의 유사성을 비교함으로써 홍수분석모듈의 계산정확도를 파악해 보고자 하였다. 농촌홍수관리시스템에 적용된 바 있는 계룡저수지를 대상지역으로 선정하였다. 계룡저수지는 충남 공주시 계룡면 하대리에 위치하고 있는 총저수량 3,412천 m³로 규모가 큰 농업용저수지 중 하나이며 450ha의 농경지에 농업용수를 공급하고 있다. 현재

는 독높임사업으로 제당이 1.9 m 증고되었으며 1,305천 m³의 저수량이 증가되어 총저수량이 4,717 m³이다. 저수지의 형식은 필댐이며, 독높임사업 후 제당고 17.1 m, 제당연장 300 m, 여수로 111 m (측구식 L=87 m, 전도식 게이트 L=12 m H=1.2 m 2련), 방수로 98 m로 주요제원이 변경되었다. 1964년 설계당시 100년빈도 설계강우량을 적용하였으나 독높임사업 후 PMF유입에서도 수문학적 안정성을 확보할 수 있게 되었다. 유역면적은 15.74 km², 최장유로연장은 7.31km로 소규모유역으로 분류될 수 있으며 유역형상은 수지상 유역에 가까운 형상을 하고 있다. 유역의 평균표고는 EL.209.7 m이고 평균경사는 20.1°로 경사지를 이루고 있다. 유역의 토지이용분포는 산지가 65.6 %로 대부분을 차지하고 있으며, 논 18.1 %, 밭 5.9 %, 수면 5.5 %, 기타 토지이용이 5.5 %를 구성하고 있다. 토양은 대부분이 배수매우양호 (A) 및 대체로 양호 (B)로 구성되어 있어 침투율이 높은 토양특성을 나타내고 있다. 분석에 이용될 유역관련 매개변수 및 저수지 수위-내용적-방류량 관계를 계룡지구 농업용저수지 증고사업 기본계획 (MFAFF, 2009)의 내용을 참고하여 Table 2와 Table 3에 정리하였다. 도달시간은 California Culvert Practice식, 저류상수는 Sabol공식에 의한 산정된 값이다. SCS 단위도 적용을 위한 지체시간은 보고서에 제시된 사항이 없어 기본계획에 제시된 빈도별 확률강우 및 강우분포형을 입력하여 계획홍수량이 재현되는 값을 추정하였다. 계룡저수지 유역에 인접한 강우관측소는 대전측후소로 본 연구에서는 강우의 시간적 분포 및 확률강우량을 최근의 값으로 반영하고자 확률강우량도

Table 2 Parameters for Geryong reservoir

Area (km ²)	Time of concentration (min)	Storage coefficient (min)	Lag time (min)	Length of flow path (km)	NRCS-CN (AMCIII)	Initial Water Level (EL,m)	Target Water Level (EL,m)
15.74	60,000	51,473	41,89	7,31	84,00	61,00	61,00

Table 3 The relationship between water level, storage, and discharge on Geryong reservoir

Water Level (EL,m)	Storage (1,000m ³)	Discharge (m ³ /s)	Remarks	Water Level (EL,m)	Storage (1,000m ³)	Discharge (m ³ /s)	Remarks	Water Level (EL,m)	Storage (1,000m ³)	Discharge (m ³ /s)	Remarks
49.00	0,30	0,0		57.00	2,167,60	0,0		61.80	5,394,90	167,28	
50.00	33,20	0,0		58.00	2,766,70	0,0		62.00	5,564,20	342,57	H,W,L
51.00	117,90	0,0		59.50	3,412,40	0,0		62.20	5,729,98	420,39	
52.00	258,10	0,0		61.00	4,717,70	0,0	N,W,L	62.40	5,895,76	506,96	
53.00	455,80	0,0		61.10	4,802,40	6,25		62.60	6,061,54	595,83	
54.00	740,20	0,0		61.20	4,887,00	18,34		62.80	6,227,32	690,51	
55.00	1,129,00	0,0		61.40	5,056,30	54,83		63.00	6,393,10	789,87	
56.00	1,612,80	0,0		61.60	5,225,60	105,03		64.00	7,347,60	1,342,30	

Table 4 Huff cumulative rainfall distribution for a 2nd quartile at Daejeon station (50% probability)

Qua.	% of duration										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1st	0.0	17.9	42.2	58.2	69.9	79.2	84.3	90.7	95.2	98.4	100.0
2nd	0.0	3.8	15.2	33.7	56.4	73.2	84.6	90.5	95.8	98.4	100.0
3rd	0.0	2.9	8.1	15.4	26.5	38.7	59.3	80.0	92.1	97.6	100.0
4th	0.0	2.7	7.3	12.7	17.4	26.1	35.9	45.0	68.5	91.8	100.0

Table 5 Probability rainfall at Daejeon station (mm)

Year	Duration (min)									
	10	30	60	120	180	240	360	720	1440	
30	26.19	50.65	75.52	110.24	135.09	154.40	183.35	235.14	287.43	
50	27.70	53.96	80.95	118.82	145.97	167.10	198.79	255.65	313.13	
80	29.11	56.92	85.89	126.73	155.98	178.69	212.69	273.60	335.71	
100	29.77	58.35	88.27	130.52	160.78	184.27	219.45	282.70	347.65	
200	31.78	62.81	95.49	141.94	175.40	201.44	240.49	310.39	381.05	

개선 및 보완 연구(MLTM, 2011)의 내용을 참고하여 입력자료를 구성하였으며, Table 4와 Table 5와 같다.

각 모형에 방법별 매개변수를 입력하고 계류저수지의 지배관측소인 대전측후소의 200년 빈도 확률강우량을 HUFF 분포방법을 이용하여 시간분포 하였으며, 모의시간간격은 10분으로 설정하였다. HUFF 분포 적용시 대전측후소의 최빈 분위인 2분위의 무차원누가강우량을 6차 다항회귀식을 이용하여 지속시간 90~480분까지 30분 간격의 지속시간마다 10분 간격의 강우추상도로 분포시켰다. 유효우량 산정은 AMC-III 조건을 적용하였으며, 저수지 홍수추적을 위한 초기수위 및 목표수위는 만수위인 EL.61.0 m를 가정하였다. HEC-HMS는 Nakayasu 단위도를 모의할 수 없으므로 SCS와 Clark 단위도법에 홍수모의를 수행하였으며, 홍수분석모듈은 Nakayasu 단위도를 포함하여 모의하였다.

Table 6은 홍수분석모듈과 HEC-HMS를 이용한 손실우량, 초과우량, 침투유입량, 총유입량, 최대방류량, 최고수위 모의결과를 소수점 2자리까지 정리한 것이다. 손실우량 및 초과우량의 경우 홍수분석모듈과 HEC-HMS의 모의결과가 동일한 값을 나타내었다. SCS 및 Clark 단위도법의 적용결과에서도 침투유입량, 총유입량, 최대방류량, 최고수위 모의결과가 완전히 일치하는 결과를 나타내고 있어 전체적으로 홍수분석모듈에 적용된 유효우량산정방법, 단위도법, 저수지추적 방법들이 적절하게 구현되었음을 파악할 수 있었다. 단, Clark 단위도법을 적용하는 경우 두 모형의 결과에 미소한 차이가 발생할 수 있는데 이는 홍수분석모듈이 도달시간과 저류상수를 분으로 입력하는 반면 HEC-HMS는 시간으로 입력

하기 때문인 것으로 추정 된다. Clark 합성단위도법은 유역의 도달시간 Tc 간의 시간구간별 기여면적을 결정된 시간면적곡선을 작성한 후 저류상수 K와 함께 선형저수지 개념을 통해 시간면적곡선을 추적함으로써 단위도를 얻는 방법으로 선형추적계수는 저류상수 K와 시간간격 Δt를 이용하여 산정하게 된다. 만일 도달시간이 59.50분이고 저류상수가 51.47분일 때 이를 시간단위로 변환하면 0.992시, 0.858시가 되며, 다시 분으로 환산하면 59.52분, 51.48분이 되어 원래의 시간과 차이를 나타낸다. 이것은 결국 홍수분석모듈과 HEC-HMS에서 Clark 단위도 결정을 위한 시간면적곡선 및 선형추적계수 산정결과에 미소한 차이를 나타내는 원인이 된다고 할 수 있다. 그러나 도달시간 및 저류상수 입력시 소수점 이하 4~5자리까지 입력하면 차이를 최소화 할 수 있으며, 본 연구와 같이 소수점 이하 3자리까지 입력하는 경우에서도 홍수분석모듈과 HEC-HMS모형의 분석결과가 소수점 2째 자리까지 일치하고 있을 뿐만 아니라 홍수수문곡선에서도 ±0.1 %범위 이내의 미소한 차이를 나타내므로 홍수분석모듈의 적용에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

Table 6의 분석결과로부터 계류저수지 유역의 200년 빈도 강우 적용시 산정방법별로 침투유입량이 발생하는 임계지속시간은 SCS, Clark, Nakayasu 방법 순으로 210분, 270분, 300분으로 나타났으며 이때의 홍수량은 323.91 m³/s, 267.72 m³/s, 200.11 m³/s로 분석되어 SCS 단위도에 의한 분석결과가 가장 빠른 임계지속시간과 가장 큰 침투홍수량이 유입되는 것으로 나타났다. 최고수위는 SCS 단위도의 EL. 61.958 m로 나타났다. 단위도 산정방법별로 지속시간별 침투홍수량

Table 6 Summary of results by applying Flood analysis module program and HEC-HMS

Dur. (min)	Total Rainfall			SCS				Clark				Nakayasu			
	Rain (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Peak Inflow (m³/s)	Total Inflow (mm)	Peak Release (m³/s)	Max W.L. (EL,m)	Peak Inflow (m³/s)	Total Inflow (mm)	Peak Release (m³/s)	Max W.L. (EL,m)	Peak Inflow (m³/s)	Total Inflow (mm)	Peak Release (m³/s)	Max W.L. (EL,m)
Flood Analysis Module															
90	120,93	43,39	77,54	260,01	77,54	145,46	61,733	197,74	77,54	116,38	61,638	141,46	77,54	80,25	61,507
120	141,94	45,10	96,84	293,73	96,84	180,02	61,836	227,63	96,84	147,36	61,739	163,14	96,84	103,44	61,594
150	159,83	46,27	113,57	313,26	113,57	207,04	61,903	246,13	113,57	170,14	61,808	177,32	113,57	122,03	61,657
180	175,40	47,13	128,28	322,15	128,28	246,61	61,931	257,51	128,28	186,67	61,855	186,40	128,28	134,65	61,700
210	189,15	47,78	141,37	323,91	141,37	265,60	61,945	263,23	141,37	198,45	61,888	193,49	141,37	144,83	61,731
240	201,44	48,31	153,13	321,31	153,13	276,94	61,953	266,89	153,13	214,36	61,908	197,27	153,13	152,55	61,755
270	212,55	48,74	163,81	316,20	163,81	282,60	61,957	267,72	163,81	225,94	61,917	198,94	163,81	158,78	61,774
300	222,66	49,10	173,56	309,64	173,56	283,66	61,958	266,32	173,56	233,42	61,922	200,11	173,56	163,60	61,789
330	231,94	49,41	182,53	302,62	182,53	281,42	61,956	263,50	182,53	236,91	61,925	199,91	182,53	167,08	61,799
360	240,49	49,67	190,82	295,50	190,82	277,54	61,954	259,74	190,82	238,22	61,925	198,74	190,82	169,61	61,807
390	248,43	49,91	198,53	288,11	198,53	272,69	61,950	255,96	198,53	237,90	61,925	197,63	198,53	171,61	61,812
420	255,82	50,11	205,71	280,62	205,71	267,22	61,946	251,78	205,71	236,28	61,924	196,01	205,71	172,69	61,815
450	262,74	50,29	212,45	273,22	212,45	261,35	61,942	247,27	212,45	233,53	61,922	193,98	212,45	173,06	61,816
480	269,23	50,46	218,78	265,96	218,78	255,26	61,938	242,56	218,78	229,64	61,919	191,75	218,78	172,88	61,816
HEC-HMS															
90	120,93	43,39	77,54	260,01	77,54	145,46	61,733	197,74	77,54	116,38	61,638	-	-	-	-
120	141,94	45,10	96,84	293,73	96,84	180,02	61,836	227,62	96,84	147,36	61,739	-	-	-	-
150	159,83	46,27	113,57	313,26	113,57	207,04	61,903	246,12	113,57	170,14	61,808	-	-	-	-
180	175,40	47,13	128,28	322,15	128,28	246,61	61,931	257,50	128,28	186,67	61,855	-	-	-	-
210	189,15	47,78	141,37	323,91	141,37	265,60	61,945	263,22	141,37	198,45	61,888	-	-	-	-
240	201,44	48,31	153,13	321,31	153,13	276,94	61,953	266,89	153,13	214,36	61,908	-	-	-	-
270	212,55	48,74	163,81	316,20	163,81	282,60	61,957	267,71	163,81	225,93	61,917	-	-	-	-
300	222,66	49,10	173,56	309,64	173,56	283,66	61,958	266,31	173,56	233,41	61,922	-	-	-	-
330	231,94	49,41	182,53	302,62	182,53	281,42	61,956	263,50	182,53	236,91	61,925	-	-	-	-
360	240,49	49,67	190,82	295,50	190,82	277,54	61,954	259,74	190,82	238,22	61,925	-	-	-	-
390	248,43	49,91	198,53	288,11	198,53	272,69	61,950	255,95	198,53	237,89	61,925	-	-	-	-
420	255,82	50,11	205,71	280,62	205,71	267,22	61,946	251,77	205,71	236,28	61,924	-	-	-	-
450	262,74	50,29	212,45	273,22	212,45	261,35	61,942	247,27	212,45	233,52	61,922	-	-	-	-
480	269,23	50,46	218,78	265,96	218,78	255,26	61,938	242,56	218,78	229,63	61,919	-	-	-	-

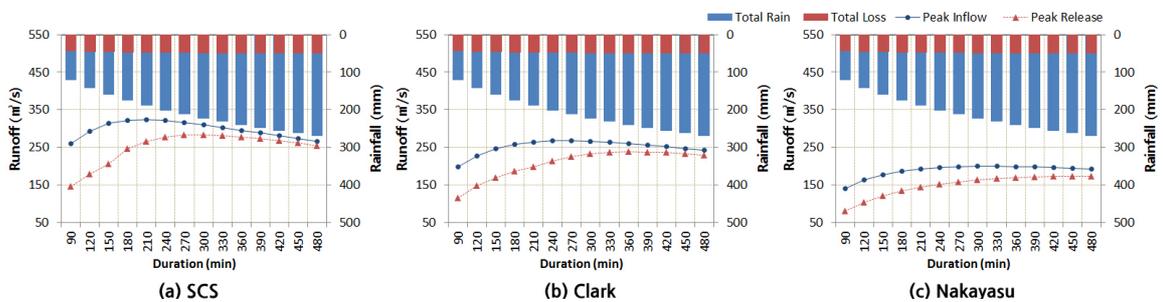


Fig. 2 Peak inflow and outflow curve by rainfall duration

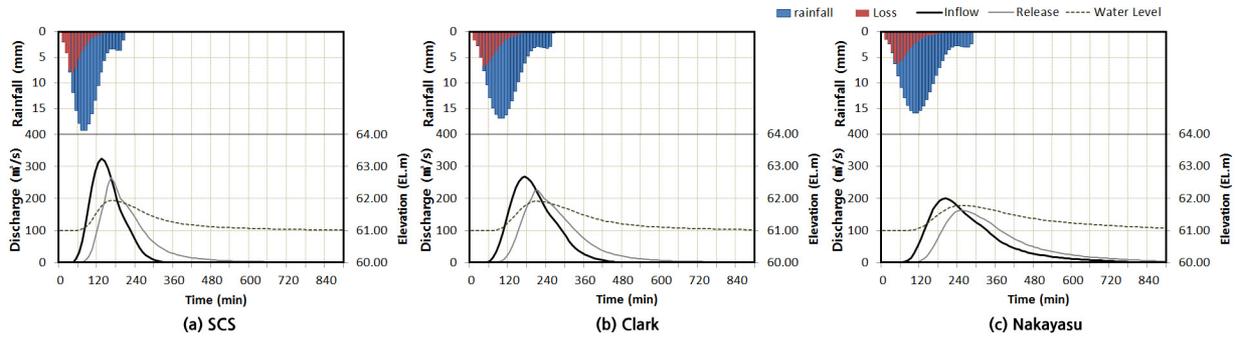


Fig. 3 Flood hydrograph for critical duration

및 최대방류량, 임계지속시간에서의 홍수수문곡선은 Fig 2 와 Fig. 3와 같다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 웹기반 농업용저수지 실시간 홍수분석시스템인 농촌홍수관리시스템의 핵심이라고 할 수 있는 홍수분석 모듈프로그램의 개발사항을 제시하고 시스템에 적용된 농업용저수지 유역을 대상으로 홍수분석모듈프로그램과 HEC-HMS 모형에 동일한 강우 및 매개변수들을 적용한 모의 결과의 비교를 통하여 계산정확성을 파악함으로써 본 홍수분석 모듈프로그램의 적정성을 검토해 보고자 하였다.

본 연구의 홍수분석모듈프로그램은 웹시스템의 적용성 및 농업용저수지유역의 통계적 특성을 고려하여 유역면적 250 km²이하의 중소규모 저수지 유역을 1개의 단일유역으로 취급하여 저수지로의 홍수유입량을 산정하고 저수지 홍수추적기능을 통해 수위, 저수율, 방류량의 변화를 산정할 수 있는 최소한의 분석기능을 적용하여 개발하였다. 프로그램은 계측된 강우뿐만 아니라 입력된 강우량 및 지속시간에 대하여 Huff 방법을 포함한 8개방법으로 강우를 시간 분포할 수 있도록 하였으며, NRCS 방법에 의해 유효우량주상도를 작성한다. Clark, SCS, Nakayasu (中安) 방법에 의하여 단위유량도를 산정하며 유효우량주상도와 합성을 통해 저수지로 유입되는 홍수수문곡선을 계산한다. 저수지 홍수추적을 위해 수정 Puls법을, 저수지 운영기법으로는 Auto ROM을 적용하였다. Fortran 90 언어를 이용하여 실시간 웹기반시스템 개발에 적합할 뿐만 아니라 별도의 홍수량산정관련 응용프로그램을 편리하게 개발할 수 있도록 동적링크라이브러리 (DLL) 형태로 개발하였다. 모듈의 적용을 위한 주요매개변수는 유역평균 강우량, 무차원누가강우곡선, 강우지속시간, 유역면적, 도달 시간, 저류상수, 지체시간, 최장유로연장, NRCS-CN, 초기수위, 목표수위, 수위-내용적-방류량 관계표 등이며, 계측자료,

경험공식, GIS기법 및 보고서자료를 이용하여 구축가능하다.

계산정확도를 파악하기 위한 대상유역으로 유역면적 15.74 km², 총저수량 472만 m³ 규모의 계룡저수지 유역을 선정하고, 홍수분석모듈과 HEC-HMS의 SCS 및 Clark 단위도를 적용하여 지속시간별로 모의된 손실우량, 초과우량, 침두유입량, 총유입량, 최대방류량, 최고수위를 정리하여 비교하였다. 그 결과 홍수분석모듈의 모든 산정결과가 HEC-HMS와 소수점 2자리까지 일치하는 값을 나타내었으며 홍수분석모듈에 적용된 방법들이 적절하게 구현된 것으로 파악되었다. 방법별 홍수량 산정결과에서는 잘 알려진 바와 같이 SCS, Clark, Nakayasu 순으로 침두홍수량이 나타났으며, SCS 단위도에 의한 분석결과가 가장 빠른 임계지속시간과 침두홍수량, 방류량, 최고수위를 나타내었다.

본 연구의 홍수분석모듈프로그램을 농업용저수지 유역에 적용하여 모의된 결과가 검증된 모형인 HEC-HMS와 동일한 결과를 산출할 수 있음을 확인하였으며 개발된 모듈프로그램이 농촌홍수시스템의 계산 기능을 적정히 수행할 수 있음을 파악할 수 있었다. 개발된 홍수분석모듈은 계산의 정확성 뿐만 아니라 DLL 형태로 개발되어 있는 만큼 저수지 포함 또는 미포함의 단일유역을 대상으로 하는 중소규모 유역의 계획설계 및 영향평가분야의 홍수량 검토를 위한 간편한 응용프로그램 개발에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 현재의 홍수분석모듈에서의 저수지추적은 고정된 수위-내용적-방류량곡선에 의해 모의되므로 수문이 함께 설치된 저수지에 대한 적용에는 부족한 측면이 있는바 저수지 운영곡선을 적용할 수 있는 방향으로의 기능을 개선할 필요가 있으며 현재까지 시스템 운영을 통해 축적된 계측자료들을 활용하여 저수지 유형별 매개변수를 산정해 봄으로써 기적용 저수지의 매개변수 개선 및 추가되는 저수지의 모듈적용을 위한 기본 매개변수 D/B를 구축하는 연구가 추가적으로 수행될 필요가 있다고 생각되는 바이다.

REFERENCES

1. Jeong, J. H. and Y. N. Yoon, 2005. Design practices in water resources. Goomi Press, Seoul (in Korean).
2. Jung, H., I. K. Jung, J. Y. Park, and S. J. Kim, 2012. Development of a web GIS-based real-time agricultural flood management system. *Journal of the Korean Association of Geography Information Studies* 15(4): 15-25 (in Korean).
3. Jung, I. K., J. S. Kwak, and Beak-du Eng. Co., 2007, Design Flood Analysis Program and Library for a Single watershed (CALDF, CALDP, HYDF90L), S-2011-007823, Korea Copyright Commission (in Korean).
4. Korea Water Resources Association, 2009. Commentary of rivers design standard. Korea Water Resources Association (in Korean).
5. Lee, J. S., 2006. Hydrology. Goomi Press, Seoul (in Korean).
6. MFAFF. 2009. Master plan of the dam heightening project for a Gyeryong agricultural reservoir. Korea Rural Community Corporation, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Korea (in Korean).
7. MFAFF. 2012. 2011 Statistical yearbook of land and water development for agriculture. Korea Rural Community Corporation, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Korea (in Korean).
8. MLTM. 2011. Improvement and Supplement of Probability Rainfall in South Korea. Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, Korea (in Korean).
9. MLTM, 2012. Design flood estimation guide. Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, Korea (in Korean).
10. Park, J. Y., H. K. Joh, I. K. Jung, K. S. Jung, J. H. Lee, B. S. Kang, C. J. Yoon, and S. J. Kim, 2011. Modeling downstream flood damage prediction followed by dam-break of small agricultural reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(6): 66-73 (in Korean).
11. Yoon, Y. N., 2007. Hydrology: Fundamental and application. Cheongmungak Press, Gyeonggi-do (in Korean).
12. Yoon, Y. N., J. H. Jeong, and J. H. Ryu, 2013. Introduction of design flood estimation guide. Korea Water Resources Association, *Water for Future* 46(3): 55-68 (in Korean).