농업용 저수지를 고려한 홍수경보 강우량 산정

Estimation of the Flood Warning Rainfall Threshold Considering Agricultural Reservoirs

김응석* · 심규범** · 박재범*** · 박무종**** · 최현일*****

Kim, Eung Seok · Sim, Kuy Bum · Park, Jae Beom · Park, Moo Jong · Choi, Hyun Il

Abstract

Most flood forecasting and warning systems provide flood predictions without considering the storage effects of reservoirs for small and mid-sized watersheds in Korea. It is due to lack of data available for the flood routing in most agricultural reservoirs, leading to flood control functions. Therefore, this study has estimated the flood warning rainfall amount for the threshold runoff considering the reservoir storage effects in the Nam River watershed located in Gyeongsangnamdo. The watershed delineation and basin characteristics are constructed using HEC-GeoHMS and ArcGIS, and the flood runoff is simulated by HEC-HMS. For flood warning rainfall estimates, this study has characterized agricultural reservoirs located in Gyeongsangnamdo and performed regression analysis of their four main factors that have significant impacts on runoff in small and mid-sized watersheds, based on results from the previous research. The analysis of agricultural reservoir characteristics analyzed for city/county/town units in Gyeongsangnamdo show that the average of reservoir storage rate is 79.2%, and the actual additional water storage capacity is approximately 20% in the rainy season from June to September. As a result of the new method proposed in this study, the flood warning rainfall threshold for 20-minute duration is obtained from the threshold runoff estimated by the flood simulations considering agricultural reservoir effects.

Key words : Flood warning rainfall, Threshold runoff, Agricultural reservoir, Storage effect

요 지

현재 우리나라 중소하천에서의 홍수 예경보 시스템은 저수지의 저류효과를 고려하지 않고 홍수를 예측하는 경우가 대부분이다. 이것은 대부분 홍수조절 능력이 방치되고 있는 농업용 저수지에 대한 홍수추적 자료 확보에 어려움이 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 경상남도에 위치한 남강유역을 대상으로 저수지의 저류효과를 고려한 한계유출량에 따른 경보강우량을 산정하였다. 소유역 구분 및 유역특성은 ArcGIS와 HEC-GeoHMS를 이용하여 자료를 구축하였으며, HEC-HMS를 이용하여 홍수량을 산정하였다. 경보강우량을 산정하기 위하여 경상남도에 위치한 농업용 저수지의 특성을 분석하였으며, 선행 연구결과를 바탕으로 소하천 유역의 유출에 큰 영향을 미치는 4개의 주요 인자를 산정하여 상관분석을 수행하였다. 경상남도 시군구별 농업용 저수지 특성분석결과, 6월부터 9월까지 우기시 평균 저수율은 79.2%이고, 잉여수량을 저류할 수 있는 능력은 실제 약 20%내외로 조사되었다. 본 연구에서 제안된 새로운 방법의 결과로, 농업용 저수지 영향을 고려하여 모의된 홍수량으로 산정한 한계유출량으로부터 강우 지속시간 20분에 대한 경보강우량을 산정하였다.

핵심용어 : 경보강우량, 한계강우량, 농업용 저수지, 저류효과

1. 서 론

우리나라의 대부분의 농업용 저수지는 농업용 이수 및 가
뿔, 홍수에 대한 치수 기능을 하는 등 주요 농업기반시설로

써 그 역할을 담당하고 있다. 우리나라의 경우 6월부터 9월
까지인 우기시 태풍 및 계절성 집중호우로 인한 홍수가 발
생되며 기후변화로 인한 가뭄이 자주 발생한다. 가뭄과 홍수
에 대비하기 위해서는 저수지의 저수위와 그에 따른 저수량

*정회원. 선문대학교 토목공학과 부교수(E-mail: hydrokes@sunmoon.ac.kr)
Member. Professor, Department of Civil Engineering, Sunmoon University

**정회원. 선문대학교 토목공학과 박사과정
Member. Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Sunmoon University

***정회원. 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정
Member. Ph.D Candidate, Department of Civil & Environmental Engineering, Busan University

****정회원. 한서대학교 토목공학과 교수
Member. Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

*****교신저자. 정회원. 영남대학교 건설시스템공학과 부교수(Tel: +82-53-810-2413, Fax: +82-53-810-4622, E-mail: hichoi@ynu.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil Engineering, Yeungnam University

자료의 확보가 필수적으로 선행되어야 한다. 홍수가 발생했을 경우 저수지에서 홍수를 방어할 수 있는 공간을 확보하여야 하지만 실질적으로 방치되어지고 있는 저수지가 대부분이어서 저수를 확보에 어려움이 있다. 우리나라의 경우 약 18,000개의 농업용 저수지가 있으며, 한국농어촌공사에서 관리되어지고 있는 농업용 저수지의 수는 약 3600개 정도이다. 한국농어촌공사에서 관리되어지고 있는 저수지를 제외하곤 나머지 저수지는 방치되어지고 있다.

한계유출량에 관한 문헌조사를 살펴보면 최현 등(2006)은 지형기후학적순간단위유량도와 Clark 순간단위도 등 단위도기법을 이용하여 실측호우사상에 의한 유출분석결과와 비교하고, 미세측 미소유역의 돌발 홍수예보를 위한 한계유출량을 산정하는데 지형기후학적순간단위유량도의 적용성을 검토하였다. 돌발홍수예보를 위한 한계강우량 산정은 매우 중요한 일이다(배덕효 등, 2002; 이상진 등, 2005) 배덕효 등(2007)은 기상 및 수문요소로 구성된 돌발홍수 예측 시스템의 국내 적용성 여부를 검토하기 위해 한강유역을 선정하여 한국형 돌발홍수 시스템 수문 및 기상학적 구성 요소 개발 및 적용결과를 분석제시 하였다. 또한 Fread(1992)는 한계유출량 계산기법에 대한 연구를 수행한 바 있으며 Carpenter and Georgakakos(1993)은 GIS 프로그램인 GRASS 기반 한계유출량 산정의 4가지 방법에 대한 특성을 여러 대상유역을 바탕으로 분석하였다. 또한 저수지 유출에 있어 소유역에 저수지가 있을 경우 유출에 큰 영향을 미치는 주요 인자는 저수지의 유효저수량, 저수지 유역면적, 총저수량, 설계홍수량 등의 4개의 인자로 파악하였다(송이호, 1992; 안승섭, 1994; 김영표, 2007).

저수지를 포함하는 소하천을 대상으로 기존에 수행한 연구결과를 중심으로 문헌조사를 살펴보면 소하천에서의 저수지 용량결정에 관한 연구가 진행된 바 있다(윤용남 등, 1986; 장인수 등, 1985; 최한규 등, 1986). 또한 홍수저감을 위해 농업용 저수지를 고려한 소규모 유역에서의 유출모의에 관한 연구가 진행되어 지고 있다(백원현 등, 2007; 김보경 등, 2009). 농업용 저수지를 고려한 수문분석은 매우 중요한 일이며 많은 연구가 진행되어 왔다(박근애 등, 2010; 김상우 등, 2010; 김성준 등, 2009). 강인식(1996)은 소하천 유역은 수위-유량 등이 관측되지 않는 미세측유역으로 이에 따른 정확한 유출량 산정을 위해 기존의 유출해석 모형중 저류함수법, 선형 이산화 입출력 모형, 선형저수지 모형을 이용하여 유출해석을 비교하였다. 이연길 등(2003) 지리정보시스템과 강우-유출모형의 연계하여 소하천 유역의 홍수유출을 해석하였으며 박민지 등(2007)은 SLURP모형을 이용하여 농업용 저수지의 수문학적 영향을 분석을 위해 안성천 유역의 농업용 저수지(고삼, 금광저수지)를 고려한 장기 유출모형을 수행하고 저수지 유무에 따른 하천유출량 변화를 분석 하였다. 이용준 등(2008)은 HEC-GeoRAS모형과 GIS모형을 연계하여 가야산 국립공원의 가야천을 중심으로 국지성 돌발강우에 따른 침수 예상지역 모의수행 및 침수예측지도 작성하였으며 김기홍 등(2008)은 50개 소하천유역의 각 하천에서 2~5개 단면에 대해 총 176개 대한 지형조사 자료를 바탕으로 산지 소하천유역의

지형학적 특성 분석하였으며 유철상 등(2008)은 전국 18,060개 농업용저수지를 대상으로 7개 항목(허가면적, 수혜면적, 유효저수량, 만수면적, 유역면적, 제당길이, 제당높이)를 대상으로 히스토그램 및 파레토 분석을 수행하였다. 종합적인 문헌조사 결과 한계유출량 및 농업용 저수지를 고려한 유출량에 관한 문헌 등이 미비하며 이에 따른 경보강우량 산정에 관한 연구가 미비하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 낙동강수계에 위치하고 있는 남강유역을 대상으로 농업용 저수지를 고려한 경보강우량을 산정하였다. 남강유역의 경우 소유역 1개당 1개의 저수지가 포함되어 있기 때문에 남강유역을 대상으로 선정하였다. 농업용 저수지를 고려한 경보강우량을 산정하기 위하여 남강유역이 위치하고 있는 경상남도의 농업용 저수지의 특성을 분석하였으며 6월부터 9월까지의 경상남도 시군구의 저수율을 분석하였다. 농업용 저수지를 고려한 경보강우량 산정은 저수지의 유출용적을 기준으로 새로운 방법을 제안하여 경보강우량을 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 경보강우량 산정

본 연구에서는 한계유출량에 따른 경보강우량을 산정하기 위하여 ArcGIS의 HEC-HMS를 이용하여 자료를 구축하였으며 구축된 자료를 이용하여 HEC-HMS를 이용하여 홍수유량을 산정하였다. 산정된 홍수유량을 이용하여 한계유출량을 산정하였으며 지속시간 20분에 따른 경보강우량을 산정하였다. 경보강우량 산정 흐름도는 다음 Fig. 1과 같이 나타내었다.

2.1.1 한계유출량 산정방법

한계유출량(threshold runoff)은 토양이 완전히 포화된 상태에서 소하천의 제방을 월류하기 시작하여 홍수를 일으키기 시작할 때의 유효우량(effective rainfall)으로 정의되며 이는 유역면적, 경사, 하도단면의 형상 및 크기 등 유역 및 하천 특성에 따라 결정된다. 따라서 한계유출량은 식 (1)과 같이 단위도의 침투유량(cfs/mi²/in)에 유역 면적(mi²)과 유효우량 R(in)을 곱한 값이 유역 출구점에서 홍수유량(cfs)과 동일하다는 근거하에 산정할 수 있다. 즉, 단위도의 유효우량으로 인

Fig. 1. Flowchart of warning rainfall calculation

Fig. 2. Threshold runoff calculation methods

해 발생하는 직접유출 수문곡선으로 유효우량 R 은 식 (2)와 같이 나타 낼 수 있으며 이는 한계유출량에 해당한다.

$$Q_p = q_{pr}RA \quad (1)$$

$$R = \frac{Q_p}{q_{pr}A} \quad (2)$$

한계유출량을 산정하는 방법은 홍수유량 Q_p 를 산정하는 방법과 단위도의 침투유량을 산정하는 방법에 따라 4가지로 분류할 수 있다. 또한, 홍수유량은 토양이 완전히 포화된 상태에서 소하천의 제방을 월류하기 시작하여 홍수를 일으키기 시작할 때의 제방월류유량과 인명피해 적인 측면을 고려한 위험유량으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 대상유역을 중소하천 소유역 및 본류 소유역으로 나누어 한계유출량을 산정하였으며 중소하천 소유역의 경우 인명피해적인 요소를 고려하여 위험유량을 이용하였으며 본류 소유역에서는 제방월류유량을 이용하였다. 한계유출량을 산정하는 방법은 총 4가지로 구분되면 Fig. 2와 같이 나타내었다.

2.1.2 경보강우량 산정 방법

경보강우량은 경보발령의 기준이 되는 한계수심이 결정되면 그에 따른 홍수유량이 산정되고 특정 강우지속시간과 연계되어 유효우량인 한계유출량이 산정 후 이를 바탕으로 토양수분을 고려한 총강우량이 산정가능하게 되는데 이를 경보발령을 위한 경보강우량으로 정의한다.

본 연구에서는 소유역 분할 및 상세 하천도를 추출하기 위하여 ArcGIS 프로그램에 HEC-GeoHMS를 이용하였다. 또한, 지형정보자료인 유역도, 하천망도, 강우 및 유량 관측소 위치도와 같은 벡터형 자료와 DEM(Digital Elevation Model), 토양도, 토지이용도와 같은 라스트형 자료는 수자원정보시스템을 이용하여 자료를 구축하였다.

HEC-GeoHMS의 HMS Project Setup 기능을 이용하여 프로젝트를 생성 후 해당 유출모형의 매개변수 산정을 위한 유역면적, 유로연장, 유역 경사 및 하도경사, 유출곡선지수, 티센계수 등에 대한 정보를 산정하였다. 산정된 매개변수를 HEC-HMS에 적용하여 지속시간별 강우량-침투유량 관계 곡선을 산정 후 단계별 홍수유량을 산정하였다.

기준에 중소하천 유역에 설치된 자동우량국의 발령기준은 10분당 4 mm 이상의 강우가 지속되면 경계경보가 발령되고

10분당 6 mm 혹은 8 mm 이상이 지속되면 각각 대피경보 1과 대피경보 2를 발령하고 있다(신현석, 2004). 기존 경보발령 기준은 10분당 4 mm로 설정되어 있으나 이는 유역의 지형학적, 지질학적, 기후학적 특성을 전혀 고려하지 못하고 이에 대한 정량적인 근거도 거의 전무한 실정이다. 본 연구에서는 하천의 수리학적 특성을 고려하여 한계수심 0.5 m에 따른 위험유량을 산정하고 이에 해당하는 지속시간 20분에 해당하는 총강우량을 “경계경보”에 해당하는 경보강우량으로 설정하였다.

2.2 저수지를 고려한 경보강우량 산정방법

경보강우량은 소유역에 경보강우량 발생시 직접유출에 기여하는 유효우량이며 일반적으로 우리나라의 경보강우량은 약 15~40(mm/20 min)범위를 가지고 있다. 경보강우량 산정은 여러 단계를 걸쳐 계산이 되어 지고 있으며 현재까지 분석되는 경보강우량은 농업용 저수지를 고려하지 않은 경보강우량으로써 농업용 저수지에 저수율을 고려한다면 홍수시 홍수량 절감에 기여 할 것으로 판단된다. 또한 소유역에서 홍수 발생시 큰 피해를 줄 수 있으며 빠른 경보강우량 분석이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 Geo-HMS를 이용하여 소유역으로 구분하였으며 저수지의 저류효과를 고려한 경보강우량 산정에 필요한 기본적인 이론은 NRCS에서 제안한 CN방법을 바탕으로 농업용 저수지를 고려한 경보강우량 산정 방법을 제안하였다. 아래의 Fig. 3(a)는 Geo-HMS를 이용하여 소유역을 구분하여 각 소유역별로 저수지를 고려하지 않는 경보강우량(TR_1)을 산정한 것이며, Fig. 3(b)는 저수지의 저류효과를 고려한 경보강우량(TR_{11})을 나타낸 것이다. 따라서, 저수지의 저류효과를

(a) Schematic without considering the presence of a reservoir (b) Schematic considering the presence of a reservoir

Fig. 3. Warning rainfall calculation with or without considering the presence of a reservoir

고려한 한계강우량을 산정하기 위해 필요한 자료는 아래의 Fig 3(b)와 같이 저수지가 없는 경우에 산정된 전체 유역면적(BA_1), 유역별 유출계수 값(CN), 경보강우량(TR_1 , TR_{11})과, 저수지 있는 경우 저수지 상류유역면적(RA_1)이다.

경보강우량은 대부분이 홍수기에 발생되므로 초기의 발생되는 강우손실($I_a = 0.2S$)은 거의 “0”에 가깝다고 가정하였다. 따라서 잠재보유수량(S) 및 유효우량(P_e)은 다음 식 (3)과 같다.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254, \quad P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad \text{에서}$$

$$I_a = 0.2S \quad I_a = 0.2S \approx 0 \quad (3)$$

여기서, P 는 저류효과를 고려하지 않은 경보강우량(TR_1)이다. 즉, 유효우량을 다시 정리하면 다음 식 (4)와 같다.

$$P_e = \frac{(P)^2}{(P + S)} = \frac{TR_1^2}{(TR_1 + S)} \quad (4)$$

여기서, P_e 값은 경보강우량 발생시에 유역에서 발생하는 직접 유출에 기여하는 한계강우량(유효우량)이 된다. 저수지의 유역면적(RA_1)에서 한계유출량(P_e)에 의해 발생하는 유출용적(V_1)은 다음 식 (5)과 같다.

$$V_1 = P_e \times RA_1 \quad (5)$$

유출용적(V_2)는 홍수기 저수지의 홍수조절용량으로 다음 식 (6)와 같다.

$$V_2 = \text{저수지의 유효저수량} \times (1 - \text{저수지의 저수율}) \quad (6)$$

유출용적(V_3)는 저수지(RA_1)의 설계홍수용적(V_3)이다. 따라서, 3개의 유출용적 중에서 가장 작은 값이 경보강우량 발생시의 저수지가 저류할 수 있는 유출용적($V_{\min}$)으로 산정하였다. 경보강우량(TR_1) 발생시 저류효과에 따른 증가되는 경보강우량(ΔTR)은 다음 식 (7)와 같다.

$$\Delta TR = V_{\min} / BA_1 \quad (7)$$

따라서, 저수지의 저류효과를 고려한 경보강우량은 다음 식 (8)로 표현 할 수 있다.

$$TR_{11} = TR_1 + \Delta TR \quad (8)$$

3. 적용 및 결과

3.1 농업용저수지의 특성 및 상관분석

3.1.1 대상유역

본 연구의 대상지역인 남강은 낙동강의 제1지류로서 동경 127° 29'~128° 28', 북위 35° 00'~35° 46' 사이의 낙동강 유역 남서쪽에 위치한 유역으로, 서쪽으로는 백두대간의 지리산 자락(소백산맥)이 섬진강 유역과 경계를 이루며, 남서쪽으로는 섬진강 하류 중권역, 북쪽으로는 황강 유역과, 남쪽으로는 낙남정맥을 분수령으로 하여 낙동강 남해 대권역과 경계를 이루고 있다. 남강의 유역면적은 3,467.52 km², 유로연장은 189.83 km, 유역평균폭 18.27 km, 형상계수는 0.10이며 유역

Fig. 4. Reservoirs in Namgang

형상은 하천형태학적으로 수지상 형태로 유수가 발생하며, 유역의 평균고도는 EL. 319.96 m이고, 평균경사는 31.86%이다. 유역을 구성하고 있는 행정구역은 경상남도 함안군, 함양군, 산청군, 진주시, 합천군, 의령군, 하동군, 사천시, 고성군 및 전라남도 구례군, 전라북도 남원시 등 3도 3시 8군으로 이루어져 있으며 2007년말 총 184,127가구에 518,188명의 인구가 거주하고 있다. 유역의 토지이용현황은 3,467.52 km²중에서 산림면적이 2,402.35 km²로 유역면적의 69.3%를 차지하며, 농경지 면적은 593.32 km²로 유역면적의 17.1%를 차지한다. 기타 도심지·초지·나대지·수역 등은 유역면적의 13.6%인 471.58 km²로 유역의 대부분은 산지로 구성되어 있다. 본 연구에서는 한국농어촌공사에서 관리하는 저수지 자료를 수집 하였다. 남강유역내의 농업용 저수지는 총 59개이며 1개의 소유역에 1개의 저수지가 포함되어 있기 때문에 남강유역을 대상으로 경보강우량을 산정 하였다. Fig. 4은 남강 중권역 및 한국농어촌 공사 농업용 저수지 위치를 나타내었다.

3.1.2 농업용 저수지 특성 및 상관분석

본 연구에서는 남강유역이 위치하고 있는 경상남도의 농업용 저수지의 통계값을 분석하였으며 Table 1과 같이 나타내었다. 또한 본 연구에서는 기존의 참고문헌의 결과를 바탕으로 소하천에 있어 유출에 큰 영향을 미치는 주요 4인자의 상관분석을 수행하였다(송이호, 1992; 안승섭, 1994; 김영표, 2007). 상관분석은 2개 이상의 통계적 변량 사이에 존재하는 상호 관계로서 항목간의 관계를 잘 파악할 수 있는 평가방법이라 하겠다. 따라서 상관분석을 통한 유출에 영향을 미치는 주요 4인자 항목간의 관계를 파악 하였다. 소하천에 있어 유출에 큰 영향을 미치는 주요 4인자의 유역면적은 평균 293.0(ha), 총저수량은 412.5(10³×m³), 유효저수량은 367.5(10³×m³), 설계 홍수량은 42.9(m³/sec)로 분석되었다. 경상남도의 농업용 저수지의 주요 4인자의 상관분석 결과 다음 Fig. 5와 같이 나타났으며 저수지의 주요 자료별 회귀식 및

Table 1. Characteristics of agricultural reservoirs in Namgang Watershed(Korea Rural Community Corporation)

Reservoir number	Statistic	Completion of year	Beneficial area (ha)	Frequency of drought	Permissible area (ha)	Catchment area (ha)	Fullwater area (ha)	Total storage (10 ³ ×m ³)	Effective storage (10 ³ ×m ³)	Dam height (m)	Dam length (m)	Spillway length (m)	Tailrace length (m)	Design floods (m ³ /sec)
330	최소	1922	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	0.9	0.9	1.9	24.0	0.0	0.0	0.0
	최대	2007	1034.2	10.0	1166.0	3840.0	355.2	14359.0	9703.0	51.5	3165.0	92.0	300.0	583.0
	평균	1962	62.3	7.4	77.3	293.0	7.1	412.5	367.5	12.6	188.6	17.4	63.7	42.9

Fig. 5. The correlation of catchment area, total storage, effective storage, capacity, and design flood

Table 2. Correlation formulas for major factors of agricultural reservoirs

Correlation	Equation	R ²
Catchment area – Total storage	$Y = 26.068 \times X + 181.212$	0.7051
Catchment area - Effective storage capacity	$Y = 1.268 \times X - 4.077$	0.6577
Catchment area - Design flood	$Y = 0.123 \times X + 6.308$	0.7837
Total storage - Design flood	$Y = 0.052 \times X + 21.311$	0.6088
Effective storage capacity - Design flood	$Y = 0.069 \times X + 17.502$	0.5866

결정계수는 Table 2와 같이 나타났다. 상관분석 결과 전체적으로 인자간의 상관성이 결정계수값이 $R^2=0.5$ 이상으로 비슷한 상관성을 보였다. 수질인자간의 유역면적-설계홍수량의 상관성이 결정계수 $R^2=0.7837$ 으로 가장 높은 상관성을 보였으며 유역면적-총저수량, 유역면적-유효저수량 순으로 비슷한 상관성이 나타났다.

3.1.3 농업용 저수지 저수율 산정

우리나라는 연강 강수량의 약 2/3이 여름철이 6, 7, 8, 9

월인 4개월에 집중되어 홍수가 일어나고, 나머지 기간에는 물이 부족한 상황에 놓이게 된다. 따라서 저수지를 만들어 저수공간에 홍수기의 잉여수량을 저류하였다가 그 다음해 갈수기에 공급하는 것이 농업용 저수지의 목적이다. 농업용저수지의 관리곡선의 저수율은 관개기 직전인 4월말에 100%가 되고 관개기 동안 서서히 감소하며 홍수기에는 홍수의 유입으로 증가하다가 이후 용수공급으로 인해 감소하여 관개기의 끝인 9월 중순에는 최소가 되며, 비관개기에는 증가하여 이듬해 관개기의 직전에 최고가 된다.

Fig. 6. Average Rate of Storage for agricultural reservoirs in Gyeongsangnamdo

현재 한국농어촌 공사에서 실시간으로 저수율을 관리하고 있으며 하루전날 농어촌공사에서 저수율자료를 받아 정보시스템에 적용하면 실시간 홍수예측이 가능한 시스템으로 구축되리라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 대상유역이 위치하고 있는 경상남도를 대상으로 저수지별 저수율에 따른 홍수기의 잉여수량을 저류할 수 있는 능력을 정량적으로 평가하였다. 경상남도의 저수율은 2001년부터 2010년까지의 6월에서 9월의 자료를 대상으로 10년간 평균 저수율을 산정하였으며 Fig. 6과 같이 나타내었다. 10년간 6월부터 9월까지의 농업용 저수지의 저수율 분석결과에서 저수율은 67.5%~85.2%로 평균 79.2%로 나타났으며 홍수기에 잉여수량을 저류할 수 있는 능력은 실제 약 20%내외로 판단되었다. 또한 만수면적이 저수지 상류 면적의 1/20보다 큰 경우에만 저류효과가 있기 때문에 본 연구에서의 대상 저수지에 만수면적과 저수지 상류 면적의 1/20와 비교해본 결과 모든 저수지에서 만수면적이 크게 나타났다.

농업용 저수지 저수율 분석의 결과를 바탕으로 경보강우량 산정시에 저류효과를 미칠 수 있는 대상 저수지를 산정하였다. 저수지의 저수율 분석에서 유효저수량이 50,000 m³인 경우 저수지의 실제 홍수기에 저류할 수 있는 잉여용량 20%내외 이므로 약 10,000 m³되며, 유역면적과 유효저수량의 상관 분석 결과를 고려 할 경우 적절한 유효저수량으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 한국농어촌공사에 관리하고 있는 농업용 저수지 중에서 저수지의 유효저수량이 50,000 m³이상인 저수지를 대상으로 선정하였다. 또한 우리나라의 농업용 저수지 개수는 전국적으로 약 3,600개로 저수지의 저수율을 고려한 경보강우량을 산정할 경우 보다 안전한 저류효과와 증소하천 유역에서의 홍수의 피해를 사전에 줄일 수 있으리라 판단된다. 이에 따라 본 연구에서는 농업용 저수지를 고려한 경보강우량을 산정하였다.

3.2 저수지를 고려한 경보강우량 산정

앞의 결과를 바탕으로 낙동강 유역의 남강에 위치하고 있는 농업용 저수지중 유효저수량이 50,000 m³이상인 저수지를 대상으로 경보강우량을 산정하였다. ArcGIS를 이용하여 남강 중권역을 소유역으로 구분한 결과 총 258개의 소유역으로 구분되었으며 이중 저수지를 포함하고 있는 소유역의 개수는 63개이다. 또한, 대상유역에 위치하고 있는 농업용저수지 개

수는 총 73개이며 유효저수량이 50,000 m³이상 저수지 개수는 59개 이다. 남강유역의 소유역 1개가 저수지 1개를 포함하고 있는 소유역은 49개이며 소유역 1개에 2개의 저수지를 포함하고 있는 소유역은 5개로 구분되었다. 남강유역의 위치하고 있는 GIS상에 저수지의 위치정보를 바탕으로 소유역내의 저수지 면적, 소유역 CN값, 소유역 전체면적 등을 산정하여 적용하였으며 소유역 1개에 2개의 저수지가 위치한 소유역의 경우 2개의 저수지의 상류 유역면적, 유효저수량, 설계홍수량 등을 각각 합산하여 1개의 저수지로 보고 경보강우량을 산정하였다.

남강유역에 위치한 총 59개 농업용 저수지를 대상으로 저류효과를 고려한 경보강우량(TR₁₁)을 산정한 값은 다음 Table 3와 같이 나타내었다. Table 3의 중권역(1란)부터 저수지 평균 저수율(11란)까지 입력데이터 값이며 입력데이터 값은 GIS상 유역특성 및 한국농어촌공사의 저수지 자료를 이용하였다. 한계강우량(12란)부터 면적비(19란)까지 입력데이터에 따른 농업용 저수지의 저수율을 고려한 경보강우량 산정과정이다. 예를들어 Table 3의 특소저수지의 경우 ArcGIS의 HEC-GeoHMS Tool을 이용하여 저수지 상류 유역면적을 구분한 결과 1.00 km²으로 구분 되었었으며 유출곡선지수(CN)는 77.04로 산정되었다. 또한 경보강우량은 HEC-HMS를 이용하여 홍수량을 산정한 후 한계유출량을 계산하여 경보강우량을 산정하였다. 산정결과 16.72(mm/20 min)으로 산정되었으며 한국농어촌공사에서 제공되는 특소 저수지의 유효저수량, 설계홍수량을 이용하였다. 또한 특소저수지가 위치하고 있는 지역의 6월부터 9월까지의 시군구별 평균 저수율을 이용하였다. 한계강우량(12란)부터 위의 식 (3)부터 식 (8)까지를 이용하여 저수지를 고려한 경보강우량을 산정하였으며 경보강우량 증감비율(18란)은 경보강우량(TR₁)에 따른 증감비율을 나타내었으며 마지막 면적비(19란)의 경우 소유역 전체 면적에서 저수지 상류유역면적이 차지하는 비율을 나타내었다. 산정된 결과는 홍수기의 저수지의 평균 저수율을 고려하여 저수지 유역의 경보강우량에 따른 유출용적(V₁), 홍수기에 저수지가 저류할 수 있는 유출용적(V₂)과 저수지의 설계홍수용적(V₃)을 비교하여 저류효과에 영향을 미칠 수 있는 최소값(V_{min})을 선정 후 이를 이용하여 저수지 전체면적으로 나누어 저류효과에 따른 경보강우량 증감량을 산정하였다. 소유역 전체 면적 대비 저수지의 유역면적은 11.11%~98.74%로 다양한 분포의 형태를 보였으며, 경보강우량 평균은 17.13(mm/20 min), 유효저수량의 평균은 479.40(10³×m³)이다. 적용결과에서 저수지의 저류효과를 고려한 경보강우량의 최소값은 유현저수지에서 1.23%가 증가했으며, 최대값은 선동저수지에서 16.95%가 증가하였다. 농업용 저수지를 고려했을 경우의 경보강우량 증가는 평균 1.77(mm/20 min)으로 나타났으며 증가비율은 평균 8.33%, 전체 유역면적(BA)대비 저수지 상류유역면적(RA)의 면적비의 경우 50.25%로 나타났다. 전체적으로 경보강우량 증가비율이 증가 할수록 면적비 또한 증가하는 경향을 보였다.

본 연구에서는 전체유역면적(BA)에서 저수지 상류유역(RA)이 차지하는 비율 및 경보강우량의 증감비율의 상관성을 확인

Table 3. Warning rainfall calculated for the Nam-river Basin considering the effects of agricultural reservoirs

Middle zone station	No	Subbasin code	Reservoir name	Basin area (BA) (km ²)	Reservoirs upstream watershed area(RA) (km ²)	Curve number (CN)	Warning rainfall (TR1) (mm/20min)	Reservoir effective storage (10 ³ m ³)	Reservoir design floods (V3) (10 ³ m ³)	Average rate of storage (%)	Threshold runoff (Pe) (mm)	Threshold runoff according to runoff volume (V1) (10 ³ m ³)	Storage ratio considering flood control volume (V2) (10 ³ m ³)	Minimum storage volume Min (V1, V2, V3) (10 ³ m ³)	Warning rainfall increase ratio TR (mm/20min)	Reservoir according to warning rainfall TR2 (mm/20min)	Warning rainfall rise ratio (%)	Area ratio (RA/BA) (%)
Nam river W2019	1	007	덕암, 가락	13.42	4.70	77.04	16.72	1242.34	73.70	81.30	3.02	14.21	232.32	14.21	1.06	17.78	5.95	35.00
	2	015	득소	8.36	1.00	76.19	18	66.3	42.32	81.3	3.33	3.34	12.40	3.34	0.40	18.40	2.17	12.00
	3	248	서암	9.92	3.87	71.60	20.54	1675.16	224	81.3	3.48	13.46	313.25	13.46	1.36	21.90	6.20	39.00
	4	022	칠곡	6.41	4.10	75.91	17.5	581.62	117.44	81.3	3.12	12.81	108.76	12.81	2.00	19.50	10.25	64.00
	5	026	운암	4.80	1.54	71.92	19.11	258.9	41.96	81.3	3.09	4.74	48.41	4.74	0.99	20.10	4.92	32.00
	6	046	용암	1.53	1.35	74.88	19.39	381.33	30	79.7	3.59	4.84	77.41	4.84	3.16	22.55	14.03	88.00
	7	047	월암, 설매	12.43	10.57	75.86	19.41	529.53	56.00	79.70	3.96	41.85	107.49	41.85	3.37	22.78	14.78	85.00
	8	048	기수	10.05	9.57	77.74	16.93	529.98	26.8	81.3	3.20	30.59	99.11	26.80	2.67	19.60	13.61	95.22
	9	050	아옥	6.09	4.20	78.67	17.57	791.74	57	79.7	3.57	15.00	160.72	15.00	2.46	20.03	12.29	68.97
	10	055	이곡	1.95	1.67	81.35	17.69	199	100.49	82.4	4.12	6.87	35.02	6.87	3.52	21.21	16.61	85.47
	11	057	유현	12.07	2.56	82.63	16.64	45	2.5	82.4	3.95	10.12	7.92	2.50	0.21	16.85	1.23	21.21
	12	060	오방	4.32	2.12	78.84	17.77	486.48	32	79.7	3.67	7.78	98.76	7.78	1.80	19.57	9.20	49.00
	13	061	동향	11.61	1.97	79.28	16.93	535.11	36	79.7	3.44	6.79	108.63	6.79	0.58	17.51	3.34	17.00
	14	064	솔기, 계원	11.25	8.62	74.09	18.92	1120.40	62.00	79.70	3.78	32.63	227.44	32.63	2.90	21.82	13.29	76.66
	15	065	웅석	5.52	2.21	77.56	21.51	771.06	46	79.7	4.87	10.76	156.53	10.76	1.95	23.46	8.31	40.04
	16	068	남성	9.22	6.95	77.89	26.22	1622.71	67	79.7	6.99	48.60	329.41	48.60	5.27	31.49	16.74	75.38
	17	089	임곡	10.42	9.88	76.89	17.26	540	96	82.4	3.18	31.45	95.04	31.45	3.02	20.28	14.88	94.82
	18	098	평관	6.76	3.14	74.29	22.69	959	34.73	82.4	4.66	14.62	168.78	14.62	2.16	24.85	8.70	46.45
	19	105	냉정	5.43	2.44	78.93	17.54	285.86	35	79.7	3.60	8.81	58.03	8.81	1.62	19.16	8.47	45.00
	20	113	혈곡	1.55	1.39	76.11	14.51	177	13.77	82.4	2.23	3.11	31.15	3.11	2.00	16.51	12.14	89.74
	21	120	지내	7.98	3.29	78.07	18.03	550.19	66	79.7	3.64	11.97	111.69	11.97	1.50	19.53	7.68	41.24
	22	123	미산	6.62	3.02	71.67	18.52	318	24.57	82.4	2.88	8.71	55.97	8.71	1.32	19.84	6.63	45.62
	23	126	사촌	3.95	2.03	65.35	25.12	154	10.7	82.4	3.95	8.01	27.10	8.01	2.03	27.15	7.47	51.34
	24	127	박실	3.38	1.06	78.22	22.4	166.32	28	79.7	5.39	5.73	33.76	5.73	1.70	24.10	7.04	31.48
	25	136	한치	6.82	2.22	78.38	19.03	173.92	24	79.7	4.06	9.02	35.31	9.02	1.32	20.35	6.50	32.54
	26	138	지수	1.99	1.72	74.57	18.27	254.28	50	79.7	3.18	5.48	51.62	5.48	2.75	21.02	13.10	86.55
	27	146	금호	8.42	6.37	78.46	17.89	534.36	55	79.7	3.65	23.26	108.48	23.26	2.76	20.65	13.38	75.64
	28	149	사봉, 움골	6.09	3.17	76.94	15.76	479.59	86.00	79.70	2.72	8.60	97.36	8.60	1.41	17.17	8.23	52.03
	29	158	평촌	7.52	5.17	78.94	16.4	597.89	29	79.7	3.20	16.52	121.37	16.52	2.20	18.60	11.81	68.74

Table 3. Continued

Middle zone station	No	Subbasin code	Reservoir name	Basin area (BA) (km ²)	Reservoirs upstream watershed area(RA) (km ²)	Curve number (CN)	Warning rainfall (TR1) (mm/20min)	Reservoir effective storage (10 ³ m ³)	Reservoir design floods (V3) (10 ³ m ³)	Average rate of storage (%)	Threshold runoff (Pe) (mm)	Threshold runoff according to runoff volume (V1) (10 ³ m ³)	Storage ratio considering flood control volume (V2) (10 ³ m ³)	Minium storage volume (V) Min (V1, V2, V3) (10 ³ m ³)	Warning rainfall increase ratio TR (mm/20min)	Reservoir according to warning rainfall TR2 (mm/20min)	Warning rainfall rise ratio (%)	Area ratio (RA/BA) (%)
Nam river W2019	30	165	봉대	6.09	1.64	79.47	15.73	456.61	32	79.7	3.04	4.98	92.69	4.98	0.82	16.55	4.94	26.87
	31	175	하곡	5.18	2.51	77.51	17.93	215.84	37	79.7	3.51	8.81	43.82	8.81	1.70	19.63	8.67	48.50
	32	176	가산	5.52	4.83	80.23	17.51	746.64	21	79.7	3.83	18.50	151.57	18.50	3.35	20.86	16.07	87.57
	33	184	운천	1.75	1.38	78.52	16.9	345.38	33	79.7	3.31	4.55	70.11	4.55	2.60	19.50	13.34	78.65
	34	185	대천	3.69	1.93	77.22	20.72	385	39	79.7	4.49	8.67	78.16	8.67	2.35	23.07	10.19	52.35
	35	190	저동	2.07	1.89	76.39	18.14	426.83	42	79.7	3.40	6.43	86.65	6.43	3.11	21.25	14.62	91.23
	36	192	담천	2.75	2.34	78.43	15.4	581.22	39	79.7	2.78	6.51	117.99	6.51	2.37	17.77	13.33	85.14
	37	193	칠성, 길성	6.12	3.64	77.81	15.9	218.00	73.00	79.70	2.76	10.03	44.25	10.03	1.64	17.54	9.35	59.41
	38	200	백암	2.97	1.25	75.36	20.36	593.64	46	79.7	4.01	5.01	120.51	5.01	1.69	22.05	7.65	42.10
	39	202	반성	6.54	2.76	74.58	19.32	227.83	67	79.7	3.52	9.72	46.25	9.72	1.49	20.81	7.14	42.16
	40	203	갈곡	3.94	1.63	77.09	21.01	135	23	79.7	4.57	7.44	27.41	7.44	1.89	22.90	8.24	41.25
	41	204	발산	5.33	2.44	76.96	15.82	841.6	52	79.7	2.72	6.65	170.84	6.65	1.25	17.07	7.31	45.78
	42	206	송곡	2.85	1.39	79.00	20.88	300.14	41	79.7	4.93	6.86	60.93	6.86	2.41	23.29	10.33	48.80
	43	208	가천	13.40	3.56	76.38	24.13	949.5	209.81	82.6	5.67	20.19	165.21	20.19	1.51	25.64	5.88	26.57
	44	210	인담	5.13	2.99	78.34	16.28	724.57	41	79.7	3.06	9.16	147.09	9.16	1.79	18.07	9.88	58.28
	45	211	가봉	7.84	3.04	79.04	17.88	359	54	79.7	3.75	11.39	72.88	11.39	1.45	19.33	7.52	38.75
	46	214	선동	1.92	1.90	73.24	24.19	546.6	109.3	82.6	5.00	9.48	95.11	9.48	4.94	29.13	16.95	98.74
	47	224	성산	3.29	1.44	75.47	15.89	111.67	34	79.7	2.56	3.68	22.67	3.68	1.12	17.01	6.58	43.66
	48	226	좌면	5.57	2.31	67.43	21.16	950.1	66.53	82.6	3.11	7.19	165.32	7.19	1.29	22.45	5.75	41.49
	49	227	연화	6.73	2.84	64.92	23.33	264.3	60.3	82.6	3.39	9.62	45.99	9.62	1.43	24.76	5.77	42.16
	50	235	갈천	4.49	2.11	62.43	24.19	1207.9	118	82.6	3.31	6.97	210.17	6.97	1.55	25.74	6.03	46.99
	51	238	추계	4.32	1.60	66.17	23.51	162.4	48.25	82.6	3.60	5.76	28.26	5.76	1.33	24.84	5.36	36.97
	52	243	봉성	4.16	2.55	67.12	20.82	780	129.57	82.4	2.98	7.60	137.28	7.60	1.83	22.65	8.07	61.20
	53	245	월정	8.57	3.13	72.02	20.77	498.05	62	79.7	3.61	11.32	101.10	11.32	1.32	22.09	5.98	36.57
	54	258	구례	7.32	2.81	69.00	16.35	229.6	28.1	82.6	2.05	5.77	39.95	5.77	0.79	17.14	4.60	38.44
	Minium			1.53	0.89	62.43	14.51	45.00	2.50	79.70	2.05	2.40	7.92	2.40	0.21	16.15	1.23	11.11
Maximum				13.42	9.88	82.63	15.74	1675.16	224.00	82.60	6.99	48.60	329.41	48.60	5.27	31.49	16.95	98.74
Average				6.49	2.91	75.60	17.13	479.40	52.10	80.60	3.59	10.61	92.57	10.11	1.77	20.67	8.33	50.25

Fig. 7. Percentage change in warning rainfall according to the ratio of reservoir watershed area to total watershed area

하였다. 경보강우량 증감비율과 면적비의 상관관계를 분석한 결과 Fig. 7과 같이 나타났으며 경보강우량 증가비율이 커질수록 면적비 또한 커지는 경향성을 보였으며 결정계수 $R^2=0.8873$ 의 높은 상관관계를 보였다. 따라서 저수지의 저류 효과에 따른 경보강우량이 증가되는 가장 큰 요인은 소유역 전체 유역면적(BA)대비 저수지의 유역면적(RA)의 면적비(RA/BA)가 큰 경우 경보강우량의 증감이 동일하게 크게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강수계의 남쪽에 위치하고 있는 남강유역을 대상으로 농업용 저수지를 고려한 경보강우량을 산정하였다. 경보강우량을 산정하기 앞서 남강유역이 위치하고 있는 경상남도의 농업용 저수지의 특성을 분석하였으며 소하천에서의 저수지 유무에 따른 유출에 큰 영향을 미치는 유역면적, 총저수량, 유효저수량, 설계홍수량 등 4개의 주요인자에 대하여 상관분석을 수행하였다. 또한 6, 7, 8, 9월인 우기시 저수율을 분석하여 저수지의 잉여저수율을 산정하였다. 본 논문에서 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 경상남도의 농업용저수지의 유역면적은 평균 293.0(ha), 총저수량은 $412.5(10^3 \times m^3)$, 유효저수량은 $367.5(10^3 \times m^3)$, 설계 홍수량은 $42.9(m^3/sec)$ 로 분석되었다.
- 2) 주요 4인자에 대한 상관분석 결과 전체적으로 결정계수 값이 $R^2=0.5837 \sim 0.7837$ 의 상관성을 보였으며 유역면적-설계홍수량의 상관성이 결정계수 $R^2=0.7837$ 으로 가장 높은 상관성을 보였다.
- 3) 남강유역이 있는 경상남도에 위치한 한국농어촌공사의 저수지의 유효저수량 평균 저수율은 약 79.2%로 홍수기에 잉여수량을 저류할 수 있는 능력은 실제 약 20%내외로 판단되며 유역면적과 유효저수량의 상관분석 결과를 고려 할 경우 $50(10^3 \times m^3)$ 이상인 저수지가 적절한

유효저수량으로 판단되었다.

- 4) 본 연구의 대상지역인 남강유역의 소유역은 총 258개이며 저수지 포함 소유역은 63개, 농업용저수지 개수는 총 73개이며 유효저수량이 $50(10^3 \times m^3)$ 이상 저수지 개수는 59개, 남강유역의 소유역 1개가 저수지 1개를 포함하고 있는 소유역은 49개이며 소유역 1개에 2개의 저수지를 포함하고 있는 소유역은 5개로 구분되었다.
- 5) 소유역 전체 면적 대비 저수지의 유역면적은 11.11%~98.74%, 경보강우량 평균은 20.56(mm/20 min), 유효저수량의 평균은 $479.40(10^3 \times m^3)$ 나타났다.
- 6) 농업용 저수지를 고려했을 경우의 경보강우량 증가는 평균 3.21(mm/20 min), 증감비율은 평균 9.73%, 전체 유역면적(BA)대비 저수지 상류유역면적(RA)의 면적비의 경우 53.37%로 나타났으며 저수지 상류유역면적이 차지하는 면적비 및 경보강우량 증감비율을 상관분석한 결과 결정계수 $R^2=0.8163$ 로 높은 상관성을 나타냈다.
- 7) 경보강우량이 증가되는 가장 큰 요인은 전체유역 면적(BA)대비 저수지의 유역면적(RA)의 면적비(RA/BA)로 면적비가 큰 경우 한계강우량이 동일하게 증감되는 것으로 판단된다.
- 8) 대부분의 농업용 저수지의 경우 홍수 발생시 저수율을 확보하여야 하지만 실질적으로 방치되어지고 있는 저수지가 대부분이며 기존에 계산되어지는 한계유출량의 경우 농업용 저수지의 저수율을 고려하지 않은 한계유출량으로서 소유역의 홍수저감능력을 판단하기는 어렵다고 판단된다.
- 9) 종합적인 결과 홍수기의 저수용량 및 저수지의 설계홍수량 등을 모두 고려한다면 보다 안전한 저류효과를 분석할 수 있으리라 판단되며 중소하천 유역에서의 홍수의 피해를 사전에 줄일 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발 사업인 “중소하천 홍수에경보 체계 구축[NEMA-자연-2011-45]” 과제의 일환으로 이루어 졌습니다. 이제 감사 드립니다.

References

- An, S.S. (1994) Gyeongsan University academic essay Small catchments of flood runoff characteristics including reservoir.
- Back, W.H., Park, G.B., and Ji, H.G. (2007) Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference Study on the Analysis of the effect of Preparatory discharge in small reservoirs for Farm by flood control.
- Bae, D.H. and Kim, J.H. (2007) Korean Society of Civil Engineers Development of Korea Flash Flood Guidance System: (I) Theory and System Design
- Bae, D.H., Kim, W.T., and Jang, G.H. (2002) Korean Society of Civil Engineers Development of Gridded Threshold Runoff Computation Technique.
- Carpenter, T.M. and Georgakakos, K.P. (1993) The University of Iowa Iowa City IA GIS-based procedures in support of flash

- flood guidance IIHR Report NO 366 Iowa Institute of Hydraulic Research.
- Chol, H. and Lee, S.J. (2006) Journal of The Korean Society for Geo-Spatial Information System Verification about Threshold Discharge Computation using GIUH on ungauged small basin.
- Chol, H.G., Chol, Y.B., and Kim, C.H. (1986) Korea water resources association A study on the determination for stochastic reservoir capacity.
- Fread, D.L. (1992) Proceedings of US/PRC Flood Forecasting Symposium/Workshop Shanghai China NWS river mechanics: some recent developments.
- Jang, I.S. and Lee, S.T. (1985) Korea water resources association A Study on the Storage-Yield Relationship of Reservoir.
- Kang, I.S. (1996) Korea water resources association Comparison of Runoff Models for Small River Basins.
- Kim, B.K., Kim, B.S., and Gyun, H.H. (2009) Korean Society of Civil Engineers Impact Assessment of Agricultural Reservoir on Streamflow Simulation Using Semi-distributed Hydrologic Model.
- Kim, G.H., Sin, Y.C., and Lee, H.R. (2002) Journal of Industrial technology research Institute A Study on Topographical Characteristics of Small Basin in Mountainous Area.
- Kim, S.J., An, S.R., Sin, Y.H., Na, S.J., and Gun, H.J. (2009) GRI Review Development and Application of Hydrological Drought Assessment Technique.
- Kim, S.W. and Maeng, S.J. (2010) Korean National Committee on Irrigation and Drainage Analysis on Hydrologic Stability of Agricultural Reservoir Using Probable Maximum Flood.
- Kim, Y.P. (2007) The Korean Institute of Forest Recreation Inundation Analysis by Flash Rainfall of Stream Watershed in Gaya-National Park Using GIS.
- Lee, S.J., Hwang, M.H., Go, I.H., and Lee, B.S. (2005) Korean Society of Civil Engineers Threshold Discharge Computation using GIUH on small catchment scale.
- Lee, Y.G., Park, S.C., and Lee, G.S. (2003) Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies Flood Runoff Analysis of Small River Basin using Geographic Information System.
- Lee, Y.J., Park, M.J., Park, G.W., and Kim, S.J. (2008) Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies Analysis of Hydrologic Behavior Including Agricultural Reservoir Operation using SWAT Model.
- Park, G.A., An, S.R., Park, M.J., and Kim, S.J. (2010) Korean Society of Civil Engineers Assessment of the Contribution of Weather Vegetation and Land Use Change for Agricultural Reservoir and Stream Watershed using the SLURP model (II).
- Park, M.J., Park, G.A., and Kim, S.J. (2007) Korean Society of Civil Engineers Analysis of Hydrologic Behavior of SLURP Model Including Agricultural Reservoir Operation.
- Sin, H.S., Kim, H.T., and Park, M.J. (2004) Korea water resources association Korea water resources association The Study of the Fitness on Calculation of the Flood Warning Trigger Rainfall Using GIS and GCUH.
- Song, L.H. (1992) Kyungpook national university Institute of Agricultural science & technology Factors and watershed characteristics of reservoirs for Farm peak flow runoff and correlation analysis.
- Yu, C.S. and Park, H.G. (2007) Journal of the Korean Geographical Society Analysis of Morphological Characteristics of Farm Dams in Korea.
- Yun, Y.N. and Yun, K.H. (1986) Korean Society of Civil Engineers Probabilistic Determination of the Active Storage Capacity of A Reservoir Using the Monthly Streamflows Generated by Stochastic Models.

© Received January 9, 2013

© Revised January 11, 2013

© Accepted February 13, 2013