

국립공원내 홍수피해 저감을 위한 미계측 산림지역의 설계홍수량 추정

Estimation of Design Flood Runoff in Ungaged Forest Watershed to Reduce Flood Damage within the National Park

김상민* · 임상준**† · 이상호** · 김형호*** · 마호섭*** · 정원옥****

Kim, Sang Min* · Im, Sangjun**†, Sang Ho · Kim, Hyung Ho*** · Ma, Ho Seop*** · Jeong, Won Ok****

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the design flood runoff for ungaged forest watershed to reduce the flood damage in national park. Daewonsa watershed in Jirisan National Park was selected as study watershed, of which characteristic factors were obtained from GIS data. Flood runoff was simulated using SCS unit hydrograph module in HEC-HMS model. SCS Curve Number (CN) was calculated from forest type area weighted average method. Huff's time distribution of second-quartile storm of the Sancheong weather station, which is nearest from study watershed, was used for design flood runoff estimation. Critical storm duration for the study watershed was 3 hrs. Based on the critical duration, the peak runoff for each sub-watershed were simulated. It is recommended to monitor the long-term flow data for major stream stations in National Park for a better reliable peak runoff simulation results.

Keywords: Forest watershed; SCS; HEC-HMS; Huff; peak runoff; critical storm duration

1. 서 론

수해는 이상적인 자연현상과 인위적인 원인에 의해 인간의 생활에 가해지는 인명과 재산상의 피해로서 아직 인간이 근본적으로 재해를 차단하기에는 불가항력적인 요소가 많이 있다. 특히 최근 들어 지구온난화, 엘니노 등의 기상이변으로 인하여 예기치 못한 집중호우와 국지성 호우의 발생빈도가 증가하고 단위시간당 강우량도 과거의 기록을 매년 갱신할 정도로 커지고 있어 이에 따른 재산피해 및 인명피해가 늘어나고 있다.

우리나라의 경우 강우의 계절적 분포가 여름철에 집중되어 있고 최근의 기상이변에 의해 수해가 반복적으로 일어나고 있는 실정이다. 1987년 태풍 셀마 (Thelma), 1995년 재니스 (Janis), 1998년 야니 (Yanni), 2002년 루사 (Rusa), 2003년 매미 (Maemi) 그리고 2006년의 에위니아 (Ewiniar)에 이르기까지 과거 20년 동안의 지속적인 수해피해를 들 수 있으며, 특히 90년대 중반 이후 국지성 집중호우에 의한 홍수피해 발생빈도가 급격히 증가하는 추세이다.

이러한 강우량의 증가는 총 유출량의 증가와 더불어 침투유량을 증가시키고, 홍수도달시간을 짧게 하여 침수 등의 홍수재해를 유발한다. 국립공원과 같이 유역의 경사가 급하고 하천의 계상기울기가 급한 지역에서는 홍수도달시간이 더욱 짧게 되어 단위시간당 홍수량이 더 많아지게 된다. 특히 대부분의 집중호우가 국립공원 탐방객이 급증하는 여름철에 집중되기 때문에 예기치 못한 호우재해로부터 인명이나 재산을 보호하기 위한 적절한 대책 수립이 요구되고 있다.

국립공원에서의 홍수로 인한 피해를 저감하기 위해 강우에 따른 침투홍수량을 추정할 필요가 있다. 침투홍수량은 대상지

* 경상대학교 지역환경기반공학과 (경상대학교 농업생명과학연구원)

** 서울대학교 산림과학부 (서울대학교 농업생명과학연구원 겸임연구원)

*** 경상대학교 환경산림과학부 (경상대학교 농업생명과학연구원)

**** 국립공원관리공단 국립공원연구원

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4759

Fax: +82-2-873-3560

E-mail address: junie@snu.ac.kr

2009년 3월 17일 투고

2009년 9월 21일 심사완료

2009년 9월 28일 게재확정

역의 기상인자와 지형, 토양 및 지질, 토지이용, 식생피복상태 등의 지상인자에 따라 좌우된다. 과거의 침투홍수량의 산정은 합리식 등을 이용하여 단순히 침투유량만을 고려하였다. 최근에는 보다 적절한 침투홍수량의 추정을 위하여 세밀한 수문곡선의 예측이 요구되고 있으며, 과거에 이용되었던 확률강우량 만으로는 불충분하여 실제 강우의 분포현상을 충실히 표현할 수 있는 강우의 시간분포를 고려한 홍수량의 추정 기법을 도입하고 있다. 강우의 지속시간은 지금까지 대부분의 설계에 있어서는 합리식을 사용하여 최대평균강우강도가 발생하는 시간으로 설정하였으며, 일반적으로 평균강우강도에 해당하는 홍수 도달시간을 강우의 지속시간으로 설정하여 사용하였다. 기존의 방식은 불투수성 면적이 매우 많은 지역에 있어 전체 유역면적에 의해 강우의 영향을 받는 시간보다 더 큰 침투유량이 발생할 가능성이 매우 크므로 임계지속시간 (critical storm duration) 을 고려하여 침투홍수량을 추정할 필요가 있다 (Koo, 2001).

본 연구의 목적은 국립공원에서의 홍수로 인한 피해를 저감하기 위해 국립공원내 미세측 산림유역에서의 침투홍수량을 추정하는 데 있다. 이를 위해 산림유역에서의 CN값 추정방법을 제시하고 이를 홍수량 산정에 적용한다. 또한, 대상지역을 선정하고 강우자료를 분석하여 확률강우량과 확률강우의 시간분포를 추정하고 이로부터 대상지역의 임계지속시간을 산정하고 침투홍수량을 추정한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지역

본 연구의 대상유역으로 지리산국립공원내에 위치한 대원사 계곡을 선정하였다. 대원사 계곡은 경남 산청군 삼장면 유평리에 위치하고 있으며, 고지대인 새재마을에서 삼거리마을, 유평마을, 대원사지역을 포함하고 있다. 지리적으로는 위도 35° 23' 32.13" ~ 35° 20' 28.64", 경도 127° 44' 2.01" ~ 127° 49' 20.97"에 위치하고 있다. 대원사 유역의 면적은 74.4 km²이며, 표고는 330~1,850 m까지 폭넓게 분포하고 평균표고는 922 m, 경사는 최대 60°까지 나타나고 평균경사는 25.4°이다. 토지이용현황을 보면, 임야가 97.9 %로 대부분을 차지하며 구거 (0.7 %), 하천 (0.4 %), 전 (0.4 %), 답 (0.3 %)의 순으로 나타났다. 임상분포를 살펴보면 활엽수림 (H)이 전체의 74.3 %, 낙엽송림 (PL) 11.8 %, 혼효림 (M) 9.6 %이며, 경작지가 1.5 % (37.3 ha) 분포하는 것으로 나타났다. 임상분포에서 침엽수림과 활엽수림은 각각 침엽수 (혼효림), 활엽수 (혼효림)의 수관 점유면적 또는 입목본수 비율이 75 % 이상인 임분을 나타내며, 침활혼효림은 침엽수와 활엽수의 수관 점유면적 또는 입목본수 비율이

각각 25 % 이상, 75 %미만인 임분을 나타낸다. 소나무림, 잣나무림, 낙엽송림은 각각 단일 수관 점유면적 또는 입목본수 비율이 75 % 이상인 임분을 나타낸다. 다음의 Fig. 1은 대상유역의 유역경계 및 하천도, 표고와 임상분포를 보여주고 있다. 대상유역의 토양은 97 %이상이 암쇄토 (Mac)로 토성은 사양

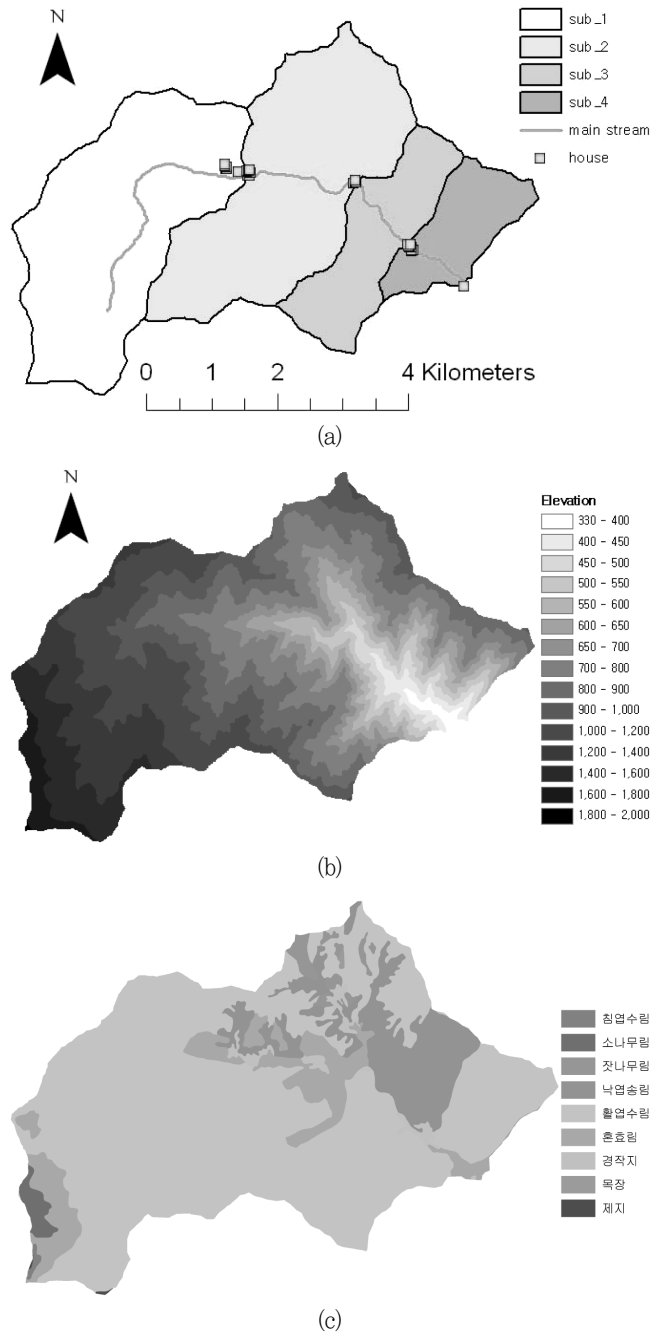


Fig. 1 Watershed and stream map (a), digital elevation map (b), and spatial distribution of forest type (c) in study watershed

질 내지 식양질이며 배수는 매우 양호한 특성을 지니며, 나머지 3 %는 암석노출지 (Ro)로 구성되어 있다.

2. 강우자료

가. 지속시간별 확률강우량

국립공원 대상구역의 확률 강우량 산정을 위해서는 해당 국립공원 혹은 대상구역에서 관측된 자료를 이용하여 산정해야 하나 거의 대부분 관측 자료를 보유하고 있지 않으며, 자동우량관측시설 (AWS)을 통해 관측 자료를 보유하고 있는 국립공원도 있으나, 관측 기간이 짧아 확률 강우량을 산정하기 위한 자료로 이용할 수 없어 대상구역으로부터 거리가 가장 가깝고, 확률강우량을 산정하기 위해 1973년부터 현재까지 30년 이상의 자료기간을 보유하고 있는 산청 기상관측소를 선정하였다.

재현기간별 강우강도-지속시간은 다음 식을 이용하여 계산하였다 (MOCT, 2000). 이를 통해 얻어진 결과는 다음의 Fig. 2에서 보여주고 있다. Fig. 2에서 지속시간 50분, 60분 구간이 매끄럽게 연결되지 않은 것은 재현기간별 강우강도-지속시간을 산정하기 위한 10분 단위 강우자료기간이 12년으로 비교적 짧아 확률강우량의 산정시 발생한 오차로 사용에 주의를 요한다 (MOCT, 2000).

$$I(t, T) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (1)$$

여기서, $I(t, T)$ 는 강우강도 (mm/hr), t 는 강우 지속시간 (분, min), \ln 은 자연대수, T 는 재현기간 (년, year)이며, a, b, c, d, n 은 각 지점마다 산정되는 회귀상수를 나타낸다.

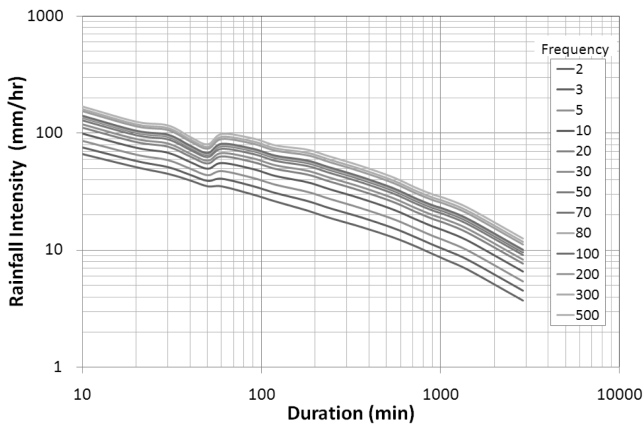


Fig. 2 Rainfall intensity-duration-frequency graph for Sancheong weather station

나. 확률강우량의 시간분포

Huff (1967)는 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량이 시간적 분포를 나타내는 무차원 시간분포곡선을 제시하였다. 즉, 강우의 누가곡선을 이용하여 강우지속기간을 4등분하여 강우 초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제1구간호우 (First-quartile storm), 다음 2/4구간에 있으면 제2구간호우 (Second-quartile storm), 다음 3/4구간에 있으면 제3구간호우 (Third-quartile storm), 마지막 구간일 경우는 제4구간호우 (Fourth-quartile storm)로 나타내었다. 이와 같이 4개 그룹으로 분류된 강우를 시간적으로 무차원화 시키기 위하여 개별 강우의 누가지속 기간과 이에 따른 강우량을 각각 다음의 백분율로 표시하였다.

$$PT(i) = \frac{T(i)}{T_o} \times 100\% \quad (2)$$

$$PR(i) = \frac{R(i)}{R_o} \times 100\% \quad (3)$$

여기서, $PT(i)$ 는 임의시간 $T(i)$ 에서의 강우지속기간 비, $T(i)$ 는 강우시간후 i 번째 시각의 경과시간, T_o 는 총강우지속기간, i 는 단위증분회수, $PR(i)$ 는 임의시간 $T(i)$ 에서의 강우량 비, $R(i)$ 는 임의시간 $T(i)$ 까지의 누가우량, R_o 는 지속기간 T_o 의 총우량을 나타낸다. 본 연구에서는 국내의 강우에 대하여 한국건설기술연구원에서 기본석한 결과에 따라 제2구간 호우로 계산하여 적용하였다. 다음의 Fig. 3은 산청 기상관측소에 대한 확률강우량의 시간분포를 보여주고 있다.

3. 홍수유출량 추정방법

가. HEC-HMS 모형

유역규모, 유역특성, 유출량의 특성 등을 고려한 대상유역의

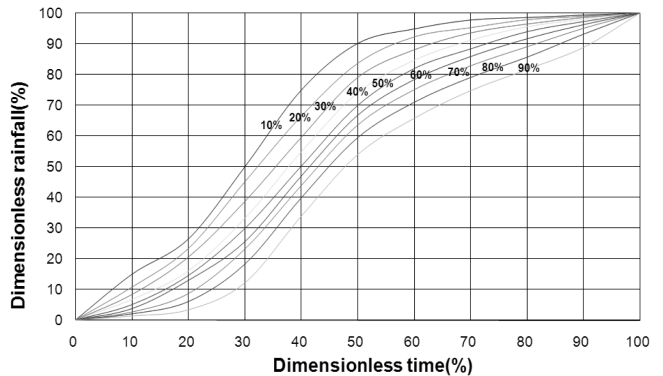


Fig. 3 Huff's time distribution of second-quartile storm for Sancheong weather station

홍수량 산정을 위하여 HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center, 2001) 모형을 선정하였다. HEC-HMS 모형은 미 육군 공병단에서 개발한 모형으로, 기존의 HEC-1 모형에 입출력 작업을 위한 GIS 기능 추가, 사용자편의시스템 강화, 분포형 개념의 도입 등을 통하여 더욱 발전시킨 모형이다. HEC-HMS 모형은 강우에 의한 유역의 지표면 유출을 산정하기 위해 강우-유출 과정의 수문학적 현상을 유역 특성과 연계하여 모의하도록 구성되어 있으며, 지표면 유출성분, 하도 유출성분, 저수지 유출성분 등을 추정할 수 있다 (Kim et al., 2003; Seong et al., 2008).

나. SCS 단위도법

SCS (미국 토양보전국, Soil Conservation Service) 단위도법은 HEC-HMS 모형에서 유역에서의 유출량을 추정하는 방법중 하나로 유출량은 총강우량과 보유수량에 의해 결정되며, 강우초기에 발생하는 일정량의 손실량을 고려하여, SCS에서는 총강우량과 유효우량간의 관계를 다음의 식으로 정의하고 있다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \tag{4}$$

여기서, P는 호우별 총우량 (mm), S는 유역의 최대잠재보유수량 (mm), Q는 직접유출량에 해당하는 유효우량 (mm)을 나타낸다.

이 때, S는 유역의 토양이나 토지이용 및 처리상태 등 이른바 수문학적 토양-피복형에 따른 유역의 유출 특성을 나타내는 유출곡선번호 CN (runoff curve number)을 이용하여 다음과 같이 산정한다.

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \tag{5}$$

유효우량 Q는 SCS 무차원단위도법을 이용한 단위도 합성을 통하여 유출수문곡선을 생성하게 된다. 첨두시간 (t_p)는 삼각형 단위도로부터 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$t_p = \frac{1}{2}D + t_L \tag{6}$$

여기서, D는 유효강우의 지속시간 (hr)이고, t_L 은 지체시간 (hr)을 나타낸다. 또한, SCS의 실험결과로부터, 유역의 지체시간 (t_L)과 홍수도달시간 (t_c)과의 관계는 다음의 식으로 계산할 수 있다.

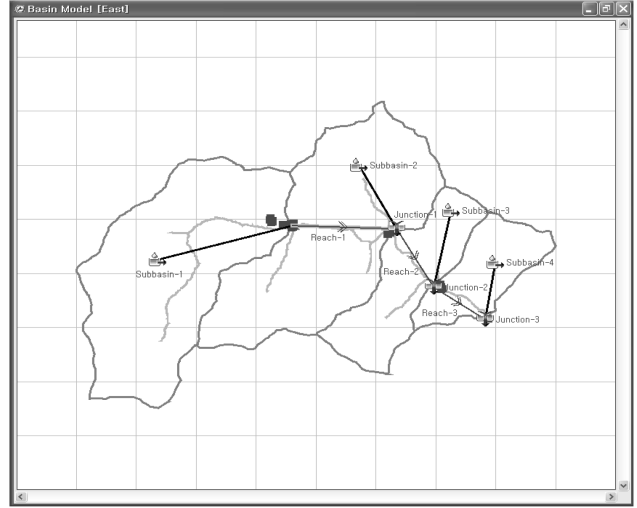


Fig. 4 Established schematic diagram of sub-watershed and stream flow network for study watershed using HEC-HMS

$$t_L = 0.6t_c \tag{7}$$

4. HEC-HMS를 이용한 입력자료 구축

지리산국립공원 대원사 유역의 홍수량 산정을 위하여 지형자료, 임상자료, 토지이용자료 등을 이용하여 유역과 하천에 대한 인자를 추출하고 HEC-HMS 모형의 입력자료를 구축하였으며, 4개의 소유역으로 구분하여 구축한 입력자료는 다음의 Fig. 4와 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 산림에서의 CN값 산정

산림에서의 CN 값의 결정은 부식토 층의 두께 (Humus depth)에 의해 결정된 산림수문조건등급 (Forest Hydrologic Condition Class)과 수문학적 토양그룹 (Hydrologic Soil Group)에 의해 결정된다. 국내 산림의 경우는 부식토 층의 두께가 깊지 않은 것으로 알려져 있으며, SCS의 CN Table에 있는 Forest의 값은 부식토 층이 가장 얇은 조건에서의 값이다 (Cho, 1998). 본 연구에서는 산림에 대한 CN값을 추정하기 위해 식생피복과 토지이용과 수문학적 토양군에 따른 CN 값을 추정하는 방법 (US. SCS, 1972)을 이용하지 않고 산림유역에 대한 Yoon (1995)의 연구결과를 인용하여 임상분류에 따른 CN값을 추정하였다.

Yoon (1995)은 3개 유역의 129개 강우사상을 대상으로 산정한 최대잠재보유수량 (S)을 대상으로 유역별로 그 분포를 log-normal 그래프로 나타낸 후 이를 통해 각각 10 %, 50 %, 90 %의 홍수량을 산정하였다.

Table 1 Potential maximum retention and CN for forest type

Percent of potential maximum retention (%)	Potential maximum retention			CN		
	Coniferous forest	Deciduous forest	Mixed forest	Coniferous forest	Deciduous forest	Mixed forest
10	49	56	37	84	82	87
50	88	100	64	74	72	80
90	156	176	110	62	59	70

90 %에 해당하는 S값을 산정하였으며, 위의 CN과 S의 관계식을 통해 CN값을 산정하였다 (Table 1). Table 1에서 보는 바와 같이 CN값은 S의 백분율에 따라 침엽수림에서는 84, 74, 62의 값을 나타냈고, 활엽수림에서는 82, 72, 59의 값을 나타냈으며, 침활혼효림에서는 87, 80, 70의 값을 나타내었다.

대상유역의 임상 및 토지이용 분석을 통해 임상, 토지이용 형태를 구분하고, 최대잠재보유수량 자료 중 10 %에 해당하는 값을 통해 산정된 CN값을 이용하였으며, 소유역별로 임상과 토지이용 면적에 대한 가중평균을 통해 CN값을 산정하였다. 본 연구에서는 설계홍수량을 산정하고 이로부터 미계측 국립공원 지역의 홍수피해를 저감하기 위한 연구 목적을 위해 최대잠재보유수량에서 10 %의 값을 사용하였으며, 향후 국립공원에 대한 계측자료가 구축이 되면 보다 정밀한 최대잠재보유수량에 대한 값을 쓸 수 있을 것으로 생각된다.

2. 홍수량 추정을 위한 유역 및 하천특성 인자 산정결과

HEC-HMS 모형의 구동을 위해 각 소유역별로 입력된 인자는 유역특성자료와 하천특성자료로 구분하여 다음의 Table 2에 보여주고 있다. 모형의 구동을 위해 유역 홍수 유출량은 SCS의 CN 방법을, 하천에서의 홍수추적은 Kinematic wave 방법을 적용하였다. Table 2의 값은 각 소유역의 값만 산정한 것으로 하류의 소유역의 경우 상류의 소유역과 합산하지 않은 값을 산정하여 보여주고 있다. Table 2의 계산결과는 각 소유역에 대한 계산값으로 유역출구에서의 도달시간 (70 분)과 지체시간 (42 분)은 각 소유역별값을 더하여 얻을 수 있으며, 전체 유역 면적 (74.4 km²) 역시 각 소유역의 면적을 더하여 얻어진다.

3. 임계지속시간과 첨두홍수량의 산정

임계지속시간의 산정을 위해서는 유효우량, 강우의 시간적 분포, 강우-유출모형의 선정 등이 먼저 이루어져야 한다. 본 연구에서는 대상지구의 확률강우량을 이용하여 Huff의 강우분포형에 따른 첨두유량을 SCS 단위도법에 의하여 추정하고, 이를 통하여 첨두유량과 임계지속시간과의 관계를 고찰함으로써 적절한 설계홍수량 추정을 위한 임계지속시간을 제시하도록 하였다. 다음의 Fig. 5는 대상지역에 대한 20년, 50년, 100년, 200년,

Table 2 Watershed and stream characteristic input parameters for HEC-HMS simulation

HEC-HMS Parameters		Sub-1	Sub-2	Sub-3	Sub-4
Watershed parameters	Watershed area (km ²)	9.42	18.46	22.05	24.49
	CN for S10	83	83	83	82
	Lag time (min)	15.4	9.9	8.8	8.0
	Time of concentration (min)	25.6	16.5	14.7	13.3
Stream parameters	Stream length (km)	4.30	1.86	1.34	1.17
	Average stream slope (m/m)	0.147	0.086	0.060	0.060
	Manning's n	0.035	0.035	0.035	0.035

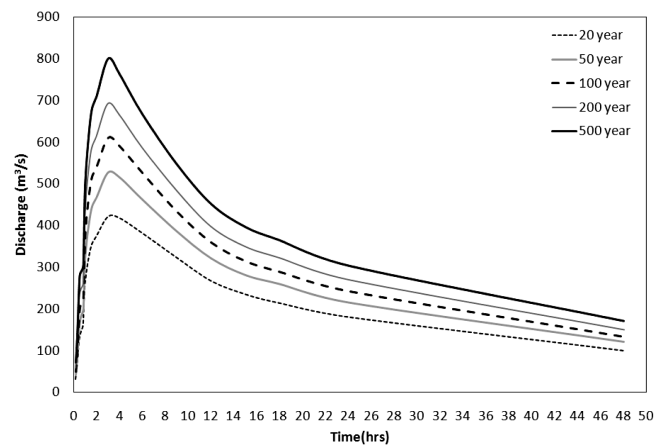


Fig. 5 Critical storm duration of 20, 50, 100, 200, and 500 return period for study watershed

500년 재현빈도에 대한 임계지속시간의 산정결과를 보여주고 있다. 임계지속시간 산정을 위해 10분부터 48시간까지의 확률강우 지속시간에 대한 유출량을 모의하였으며 각 지속시간에 대한 첨두유출량을 도시하여 임계지속시간을 산정하였다. 임계지속시간의 산정을 위해 적용한 확률강우의 지속시간은 10분, 20분, 30분, 40분, 50분, 60분, 90분, 2시간, 3시간, 4시간, 5시간, 6시간, 12시간, 24시간, 48시간을 적용하였으며 재현기간별로 임계지속시간은 3시간으로 모의되었다. Fig. 5의 그림은 보는 사람의 편의를 위해 시간별 축을 이용하여 제시하고 있으나 실제 계산은 10분, 20분, 30분, 40분부터 시작하여 처음의 지속시간은 10분 간격으로 지속시간이 길어질 후부터는 보다 긴 시간간격으로 산정하였다.

Table 3 Simulated peak runoff for critical storm duration which were obtained for each return period and sub-watershed

Return period (year)	Peak runoff (m ³ /s)			
	Sub-1	Sub-2	Sub-3	Sub-4
20	166.9	324.9	378.8	420.5
50	206.5	406.2	481.8	528.2
100	236.3	467.5	555.2	609.8
200	267.3	529.3	629.2	692.1
500	308.1	610.3	726.3	800.1

이러한 방법으로 산정된 임계지속시간 (3시간)에 대하여 대상지점에 대한 확률강우에 대한 재현기간별 침투홍수량을 산정한 결과는 다음의 Table 3과 같다. 대상구역의 각 소유역별로 침투홍수량을 산정하였으며, 시험구역의 출구지점인 대원사지점 (sub-4)에서의 각 재현기간별 침투홍수량 (m³/s)은 420.5 (20년), 528.2 (50년), 609.8 (100년), 692.1 (200년), 800.1 (500년)으로 계산되었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 수문계측망이 부족한 국립공원 내에서의 홍수 피해를 저감하기 위해 미계측 산림지역의 설계홍수량을 추정하였다. 본 연구의 대상구역으로 과거 돌발홍수로 인명피해가 발생한 바 있는 지리산 국립공원 내에 위치한 대원사 유역을 선정하였다.

지형도, 임상도 등의 수치자료를 구득하여 유역의 특성인자와 토지이용, 임상자료를 구축하였다. 대원사 유역 (74.4 km²)은 임야가 97.9 %를 차지하고 있으며, 임상조사 결과 활엽수림이 전체의 74.3 %를 차지하고 낙엽수림 (11.8 %)과 혼효림 (9.6 %)의 순으로 나타났다. 홍수유출량의 추정을 위해 HEC-HMS 모형의 SCS 단위도법 모듈을 이용하였다. 산림지역의 CN값은 임상특성에 따라 분류한 결과를 이용하였으며, 임상에 대한 면적 가중평균을 이용하여 각 소유역별 값을 추출하였다.

대상구역 내에 장기간의 강우관측자료를 보유하고 있는 관측소가 없는 관계로 확률강우량의 산정을 위해 대상구역으로부터 거리가 가장 가깝고, 1973년부터 현재까지 30년 이상의 자료기간을 보유하고 있는 산청 기상관측소의 강우자료를 이용하였다. 이로부터 재현기간별 강우강도-지속시간을 산정하고 Huff의 4분법 중 2분위 자료를 이용하여 확률강우의 시간분포를 추출하였다. 강우지속시간 10분부터 48시간까지의 확률강우량을 대상으로 50년, 100년, 200년에 대한 임계지속시간을 산정한 결과 모든 확률빈도에 대해 임계지속시간은 3시간으로 산정되

었다. 이로부터 확률강우의 재현기간별 임계지속시간에 대한 각 소유역의 침투홍수량을 추정하였다. 시험구역의 출구지점인 대원사지점 (sub-4)에서의 각 재현기간별 침투홍수량 (m³/s)은 420.5 (20년), 528.2 (50년), 609.8 (100년), 692.1 (200년), 800.1 (500년)으로 계산되었다.

이상에서 얻어진 국립공원내 미계측 산림지역의 재현기간별 침투홍수량을 기반으로 홍수 및 침수에 대한 피해방지대책을 마련한다면 효과적일 것으로 생각되며, 산정된 결과의 신뢰성을 제고하기 위해 국립공원내 주요 지점에 대한 장기적인 모니터링 작업을 수행하여 모델링 결과로부터 얻어진 결과의 보정과 검정을 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Cho, J. P., 1998. Applications of AGNPS model with rural watersheds having complex land use characteristics, Master diss., Seoul: Seoul National University (in Korean).
2. Huff, F. A., 1967. Time distribution of rainfall in heavy Storm. *Water Resources Research* 3(4): 1007-1019.
3. Hydrologic Engineering Center. 2001. HEC-HMS (Version 2.1): Hydrologic Modeling System, User's Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
4. Kim, S. M., C. H. Sung, and S. W. Park, 2003. Flood runoff analysis for agricultural small watershed using HEC-HMS model and HEC-GeoHMS module. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(6): 119-127 (in Korean).
5. Koo, J. H., 2001. Integrating Design Support System for Highway Drainage Structures Using Geographic Information System, Ph.D. diss., Seoul: Seoul National University (in Korean).
6. Ministry of Construction and Transportation (MOCT), 2000. Report of water resources management method development: Vol. 1 Mapping of Korea probability rainfall intensity (in Korean).
7. Seong, C. H., S. M. Kim, and S. W. Park, 2008. A comparative study of unit hydrograph models for flood runoff simulation at a small watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(3): 17-27 (in Korean).

8. U.S. SCS, 1972. Hydrology, Section 4, National Engineering Handbook.
9. Yoon, H. J. 1995. Runoff characteristics and unit hydrographs on small forest watersheds, Ph.D. diss., Seoul: Seoul National University (in Korean).