

## 산청 응석봉군립공원 내 활엽수림유역의 강수와 유출특성

김기대<sup>1</sup> · 최형태<sup>2</sup> · 임홍근<sup>2</sup> · 박재현<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림방재연구과, <sup>2</sup>국립산림과학원 산림복원연구과, <sup>3</sup>경남과학기술대학교 산림자원학과

## Rainfall and Runoff Characteristics on a Deciduous Forest Watershed in Mt. Ungsek, Sancheong

Ki-Dae Kim<sup>1</sup>, Hyung-Tae Choi<sup>2</sup>, Hong-Geun Lim<sup>2</sup> and Jae-Hyeon Park<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

<sup>2</sup>Division of Forest Restoration, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

<sup>3</sup>Dept. of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

**요약:** 본 연구에서는 경상남도 산청군 응석봉군립공원 내 활엽수림유역을 대상으로 산악성 강수특성과 녹색댐 기능을 구명하기 위해 총 6년 동안(2011~2016년) 수문 모니터링을 실시하였다. 산지(시험유역)와 평지(산청 기상관측소)의 강수특성을 비교한 결과, 평지에 비해 산지에서 강수량이 많았으며, 산지에서 강수강도가 높은 것으로 볼 때 산악성 강수효과가 작용하는 것을 알 수 있었다. 또한 조사대상 기간(2011~2016년)은 평년(1981~2010)에 비해 강수량이 증가하였고, 계절적 강수분배 등이 변화한 것은 나타나 기후변화로 인해 산청지역의 강수환경도 변화한 것으로 나타났다. 한편, 유출률은 봄이 가장 높게 나타났고 겨울, 여름, 가을 순으로 나타났으며, 이는 산지적설과 용설의 영향으로 판단된다. 그리고 유출수량은 여름, 봄, 가을, 겨울 순으로 높았으며, 총 유출량은 10,143.8 ton·ha·yr<sup>-1</sup>로 산정되었다.

**Abstract:** This study aimed to investigate orographic precipitation and green dam (water conservation function) characteristics in a deciduous forest watershed in the region of Mt. Ungseok, Sancheong, Gyeongnam, South Korea. The rainfall and runoff of the watershed were monitored for six years (2011~2016) at the weather station and at the weir of the watershed, respectively. During the study period, the rainfall in the watershed (mountainous area) was larger than that of the meteorological station (flat area) nearest to the watershed. Besides, compared to the normal year (1981~2010), the rainfall has increased and the seasonal distribution of rainfall of the mountainous area has changed. These changes might have been caused by climate change. The runoff ratio was highest in spring, followed by winter, summer and fall, whilst the runoff was highest in summer, followed by spring, fall and winter. This difference seems to be due to the melting of snow in dry spring and intensive rainfall in summer. The total runoff in the watershed was calculated as 10,143.8 ton·ha·yr<sup>-1</sup>.

**Key words:** deciduous forest, forest watershed, orographic precipitation, green dam, runoff ratio

## 서론

산림이 수자원함양, 토사유출방지 및 홍수조절 등에 미치는 영향은 과거로부터 경험적으로 인식되어 치산치수의 근간이 되어 왔으며, 물을 자유재로 생각하던 시대에서 이제는 물 전쟁이라는 용어가 익숙할 정도로 물은 국가의 생존과 안보에 중요한 변수로서 산림의 공익적 기능이 정량화됨에 따라 수자원함양 측면에서 그 기능이 더욱 중요시되고 있다(Kim, 2004; Woo et al., 1998).

한편, 우리나라는 가뭄과 홍수가 유난히 많은 나라이고, 다목적댐과 저수지를 만들면서도 해마다 심한 가뭄과 홍수에 대해서는 속수무책이며(Kim and Kim, 2005), 이러한 문제는 현재에 와서도 끊이지 않고 있다.

이에 따라 우리는 물을 이용함과 동시에 물로 발생하는 재해인 홍수예방 측면에서의 이용방안 즉, 이수과 치수의 두 가지 목적을 동시에 도달하기 위해서는 공급원인 강수와 유출현상에 대한 전반적인 이해가 필요하다. 우선 우리나라는 국토의 64%가 산림으로 구성된 산악지형으로 대부분의 강수가 산림으로 유입되고 유출 또한 산림에서 발원하는 것은 당연한 이치이다. 그러나 산림

\* Corresponding author  
E-mail: pjh@gntech.ac.kr

에서의 유출과정과 유출발생은 차단강수와 증발산, 지표 유출과 지하수 침투 등에 따라 대형하천보다 복잡하고, 강수강도 및 지속시간(Jung et al., 2010; Kang, 2006; Lee and Kim., 2002) 등의 시간적 분포, 수종(Kim et al., 2003; Kim et al., 2005), 임령(Kastuyama et al., 2008; Kim et al., 2005)과 같은 임황, 토양 및 기반암(Kastuyama et al., 2008; Tanaka et al., 2000) 등의 지황, 시업의 유무(Choi, 2011; Choi, 2012; Hibbert, 1965; Kim et al., 2005) 등의 공간적 분포와 같이 다양한 변수에 의해 조절되는 것으로, 그에 따른 다양한 연구가 진행되고 있다.

이와 같은 연구는 전국 총 20개소에서 수행되고 있으며(National Institute of Forest Science, 2016), 학계에 보고된 연구를 지역적으로 구분할 때 경기도 광릉(You et al., 2002), 경상북도 팔공산(Lee, 2013a; Park and Lee, 2000), 전라남도 백야산(Ahn et al., 2012) 등으로 경상남도에 위치한 산림유역에 대한 유출특성 보고는 전무한 실정이다.

최근에는 남강댐에서 방류하는 물을 동부경남지역과 부산까지 공급하겠다는 식수원공급 확대방안과 이를 위해 지리산댐 건설을 추진하는 등 정부와 지자체, 관련기관의 다각적인 접근이 시도되고 있으나 이에 따른 지역사회의 의견대립도 만만치 않은 상황이다. 사회적으로는 대부분의 수자원 저장방안으로 대형 인공댐과 다목적댐

에 의존하고 있지만 보상비, 적지관정, 노후화에 따라 주변 환경에 미치는 다양한 영향이 제시되고 있고 그 대표적인 예로 정부의 정책의도와 지역사회 의견대립(Lee et al., 2001)을 비롯해 인근 국지 수문기상환경의 변화(Yoo et al., 2005), 이로 인한 주변 농경지의 농작물 생산성 변화(Shin et al., 1997; Yun et al., 1997), 생태적 단절로 인한 종 다양성 및 조성 변화(Kil, 2008), 방류시기 및 양에 따른 수질변화(Han and Ahn, 2008) 등이 있다.

따라서 본 연구는 지리산댐의 건설유무에 있어서 보다 효과적이고 효율적인 대체 수자원 및 지속가능한 수자원을 제시하기 위한 근거자료 마련과 경상남도 산청군에 위치한 웅석봉군립공원 내 활엽수림유역을 대상으로 강수와 유출특성 구명을 목적으로 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구대상지는 행정구역상 경상남도 산청군 단성면 윤리 산147 일대에 위치한 웅석봉군립공원 내 활엽수림유역으로 웅석봉에서 직선상으로 3.2 km 떨어진 곳(N 35°20' 04.49", E 127°53'02.38")에 위치하고 있다(Figure 1).

시험유역의 총 면적은 75.0 ha이며, 수계는 수지형을 이루고 있고 유역 폭은 1~7 m로 계류가 함유되는 지점에

Table 1. General characteristics of the experimental forest watershed.

Site status	Area (ha)	Altitude (m)	Slope (°)	Bed rock
	75.0	510-984	28/14-42	Granite
Stand status	Age class	Forest type	Forest physiognomy	Dominant specie
	IV	Natural	Deciduous	<i>Quercus mongolica</i>
Meteorology status	Annual average rainfall (mm)		Annual average temperature (°C)	
	1,556.6		12.8 (7.6-19.3)	

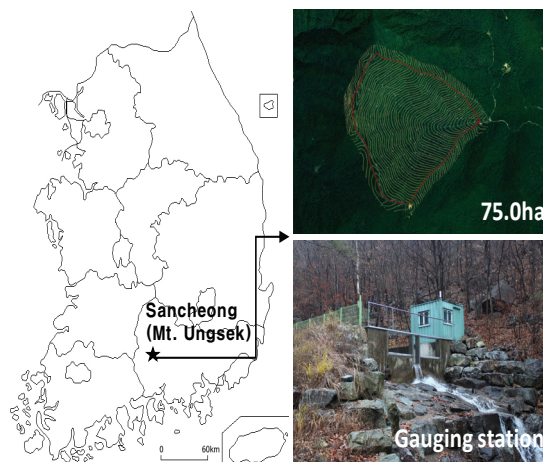


Figure 1. Location of experimental forest watershed at Mt. Ungsek, Sanchung.

서 넓어지는 형상을 나타내고 있다. 표고는 최저부 510 m에서 최상부 984 m에 분포하여 표고차가 크고 평균경사는 28°이며, 14~42°의 분포를 나타내어 상부로 올라갈수록 가파른 형상의 험준한 지역이다. 아울러 본 지역은 화강암을 기반으로 한 갈색산림토양군(B)이 분포하는 지역이나 유역상류에 대부분 암괴가 산재하고 있는 너덜로 토양층은 매우 얇은 상태이다.

임황은 IV영급 천연 활엽수림으로 신갈나무(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.)가 우점하고 있으며, 소나무(*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.), 고로쇠나무(*Acer pictum* subsp. *mono* (Maxim.) Ohashi), 당단풍나무(*Acer pseudosieboldianum* (Pax) Kom.), 말채나무(*Cornus walteri* F.T.Wangerin) 등이 자생하고 있다. 상층임관 아래로는 개비자나무(*Cephalotaxus koreana* Nakai), 비목나무(*Lindera erythrocarpa* Makino), 생강나무(*Lindera obtusiloba* Blume) 등이 분포하고 유역 최상부의 하층식생으로는 대부분 조릿대(*Sasa borealis* (Hack.) Makino)가 분포하고 있다. 이는 An and Choo (2010)가 지리산 응석봉지역이 신갈나무를 비롯해 떡갈나무와 굴참나무 등이 우점하고 대체로 신갈나무의 군집별 상대우점치가 높다고 보고한 것과 유사하였다.

아울러 1981~2010년 동안 기록된 산청군의 기상자료에 의하면 연평균강수량이 1,556.6 mm로 60% 이상이 6~9월인 장마기간에 집중되는 하계 집중형 강수이고 최고, 최저 기온은 각각 19.3, 7.6°C, 연평균기온은 12.8°C로 나타났다 (Korea Meteorological Administration, 2016). 한편, 기상청에서는 산청지역의 적설량을 제공하고 있지 않지만 시험유역을 위시로 매년 겨울철 많은 강설이 유발되고 있으며, 적설 및 계류수 동결현상이 늦봄까지 관측되고 있다.

## 2. 연구방법

시험유역의 수문(강수-유출) 특성을 조사하기 위하여 기설치된 수문관측시설을 이용하였으며, 조사기간은 2011년 1월부터 2016년 10월까지이다. 수문관측시설에는 유량을 관측하기 위한 이수댐을 비롯해 전도형 자기우량계

(Tipping bucket type)와 부자-엔코더식 수위계(Thalimedes, OTT)를 설치하였으며, 이를 이용해 10분 간격으로 강수와 수위데이터를 수집하였다. 단, 수집된 수문데이터 중 이상데이터와 이수댐 준설 등으로 인한 결측된 데이터는 분석에서 제외하였다.

이와 같이 수집된 데이터를 토대로 산지와 평지의 강수 특성 및 시험유역의 유출특성 분석을 실시하였다. 평지강수는 시험유역과 직선상으로 약 8 km 떨어진 산청 기상관측소(Korea Meteorological Administration, 2016)의 관측 값을 이용하여 월평균강수량, 월평균강수일수, 최대일강수량, 강수강도별 빈도분포를 비교하였다. 산지 강수-유출특성의 경우 시계열적 변화에 따른 녹색댐 기능을 구명하기 위해 계절별, 월별 유출률과 유출량을 산정하였다. 단, 계절의 구분은 사계절(봄: 3~5월, 여름: 6~8월, 가을: 9~11월, 겨울: 12, 1~2월)로 하였다. 아울러 유출량과 유출률 변화에 영향을 미치는 인자를 구명하기 위해 강수량과 강수일수를 토대로 Spearman 상관분석을 실시하였다(SAS 9.2).

## 결과 및 고찰

### 1. 산지와 평지의 강수특성 비교

산지(시험유역)와 평지(산청 기상관측소)를 대상으로 강수특성을 비교한 결과, 산지의 월평균강수량은 155.8 mm로 동일기간 평지의 월평균강수량 131.1 mm에 비해 118.8%의 강수량이 발생되었다. 이러한 결과는 응석봉군립공원이 지리산의 산줄기로서의 인접성과 남해상으로부터 수십 km 밖에 떨어져 있지 않아 하층에서 열과 수분의 지속적인 공급으로 인한 대류 불안정으로 국지성 호우가 발생하기 좋은 조건이기도 하며(Kim, 1999; Lee, 2013b), 지리산 및 남부해안가에서 남풍과 함께 호우가 발생하는 경우에 지표면 경사에 크게 영향을 받지 않고도 해안선으로부터의 거리에 비례하기 때문으로 판단된다 (National Institute of Meteorological Sciences, 1978).

평지의 평년(1981~2010년) 월평균강수량 129.7 mm에

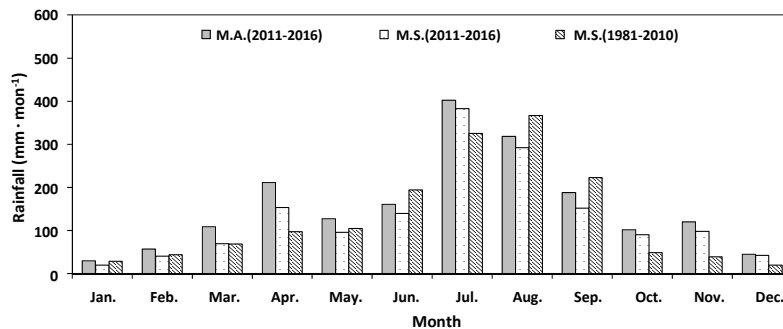


Figure 2. Comparison of monthly rainfall on mountainous area and annual average rainfall for 30years (M.A.: Mountainous area, M.S.: Meteorological station).

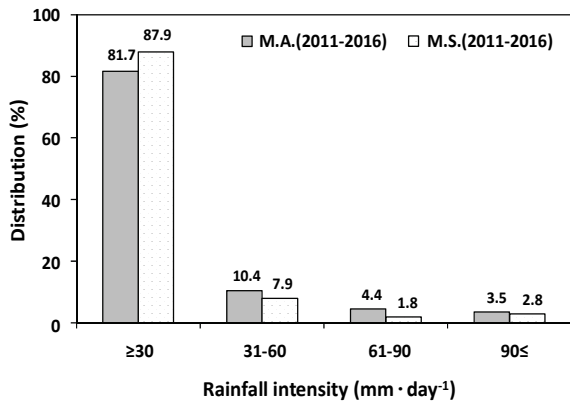


Figure 3. The Distribution of each rainfall intensity between mountainous area and nearby meteorological station (M.A.: Mountainous area, M.S.: Meteorological station).

비해 조사대상 기간 중 산지와 평지의 월평균강수량이 각각 120.1, 101.1%의 강수량이 발생되었다. 아울러 계절별, 월별 강수량 또한 다소 변화한 것으로 나타났는데, 산청지역(산지와 평지의 동일기간)의 여름의 강수량은 증감 폭이 크지 않았지만 봄과 가을, 겨울의 강수량은 평년에 비해 다소 증가한 것으로, 전체적인 강수량이 증가함과 더불어 강수의 계절적 분배의 차이를 나타내었으며 (Figure 2), 이러한 결과는 기후변화에 따른 산청지역 강수패턴의 변화가 기인한 것으로 판단된다.

또한 산지와 평지에서 관측된 월평균강수일수는 각각 9, 10일로 나타났고, 최대일강수량의 경우 모두 2015년 7월 12일에 관측되었고 각각 205.0, 273.5 mm로 나타났다. 아울러 강수강도별 빈도를 비교한 결과, 30 mm·day<sup>-1</sup> 이하의 강수강도는 평지에서 발생빈도가 높았으나 강수강도가 증가함에 따라 산지에서 발생빈도가 약 2배가량 높은 것으로 나타났다(Figure 3). 즉, Kim et al.(2008)이 지리산 국립공원이 평지나 저지대에 비해 강수발생과 돌발강수의 빈도가 높다는 결과와 유사한 결과로 나타났

나 관측기간 동안의 최대일강수량이 평지에서 많았던 것으로 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

한편, 시험유역의 계절적 강수량은 봄 447.0 mm (24.2%), 여름 882.2 mm (47.7%), 가을 390.2 mm (21.1%), 겨울 131.6 mm (7.1%)로 계절적 강수량 분배가 변화함에도 불구하고 여름의 강수량이 지배적인 것으로 나타났다. 그러나 2016년의 경우 산청지역 계절별 강수량(봄 419.9 mm, 여름 403.0 mm, 가을 555.4 mm, 겨울 151.7 mm)의 경우 여름에 비해 봄과 가을의 강수량이 많이 발생된 것으로 나타났으며(Korea Meteorological Administration, 2016), 이는 앞서 제시한 바와 같이 기후변화의 영향으로 판단된다.

### 2. 시험유역의 유출특성

시험유역을 대상으로 시계열적 변화에 따른 유출특성을 분석한 결과(Figure 4), 월평균유출률은 52.9%로 나타났으며, 계절적으로 봄(3월 68.3%, 4월 71.7%, 5월 77.8%)의 평균 유출률이 72.6%로 사계절 중 가장 높은 유출률로 나타났고 5월의 유출률은 연중 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 연중 유량이 적은 갈수기일 때 적설 및 융설의 영향으로 유출률이 증가한다는 선행연구(Kim and Han, 2001)와 유사한 결과로 시험유역에서 동절기 적설과 표토동결에 의한 지표유거수 발생이 유출률 증가에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 1월부터 5월까지 유출곡선이 상승세를 나타내는 것은 고지대 적설 및 토양동결현상이 5월까지 서서히 융해됨에 따라 유출률이 증가한 것으로 해석할 수 있는 결과이다.

이후 여름(6월 32.2%, 7월 74.0%, 8월 45.3%)의 경우 평균 유출률은 50.5%로 나타났으며, 월평균유출률과 유사한 값을 나타내었는데, 적설 및 토양동결의 융해 후 6월까지 하락하던 유출곡선이 7월의 강수량이 증가함에 따라 상승하여 74.0%로 연중 두 번째로 높은 유출률 값이었다. 이러한 결과는 시험유역이 급경사지와 대부분

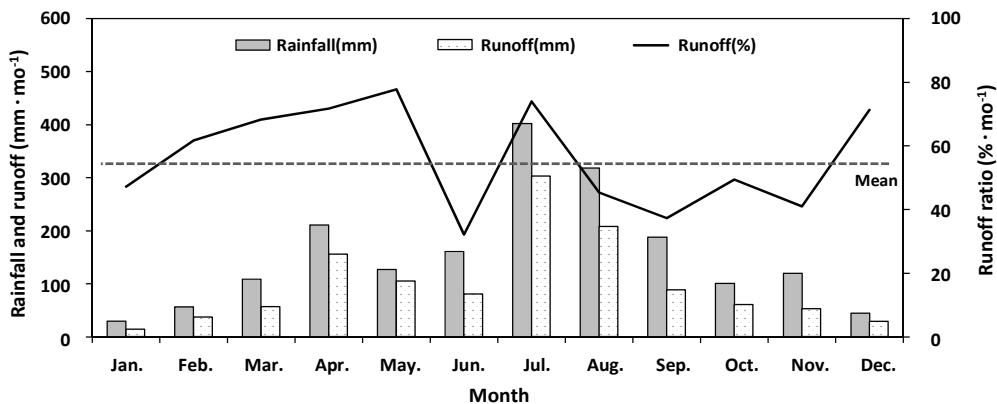


Figure 4. The monthly rainfall-runoff status on the experimental forest watershed.

암피, 얇은 토양층으로 이루어진 입지특성에 의해 토양층의 침투·저류기능이 미진하거나 한계치를 초과하여 대부분 지표유출로 발생한 결과로 판단된다. 또한 여름의 수분공급 효과에 의해 강수량이 비교적 적은 가을에 유출률이 가장 높았던 전남 백야산(Ahn et al., 2012)과는 상반된 결과로서 기반암의 종류에 따른 유출현상 차이 또한 배제할 수 없을 것이다. 선행연구결과(Katsuyama et al., 2008; Tanaka et al., 2000), 편마암과 퇴적암으로 구성된 지역이 화성암의 일종인 화강암으로 구성된 유역에 비해 강우에 대해 유출이 급격히 상승하는 것으로 나타났는데, 본 시험유역에서는 화강암의 잘 발달된 절리가 저류층 역할을 하는 것으로 사료된다.

반면에 가을(9월 31.3%, 10월 27.0%, 11월 32.0%)에는 저조해진 강수량에 따라 평균 유출률은 30.1%로 사계절 중 가장 낮은 값으로 나타났다. 그러나 꾸준한 유출발생으로 볼 때 산림의 갈수완화기능이 효율적으로 작용하고 있음을 유추할 수 있으며, 이는 Gwak et al.(2016)의 가을철 토양의 저류기간이 길어지는 것에 따른 결과와 유사한 것으로 판단된다. 한편, 산림의 홍수완화 및 갈수완화 기능을 여름과 가을 유출률의 단적인 변화만으로 판단하기는 어려우므로 장기간에 걸친 유출해석을 통해 보다 면밀한 연구가 필요할 것이다.

이후 겨울(12월 66.0%, 1월 47.3%, 2월 61.7%)에는 평균 유출률이 58.3%로 여름을 비롯하여 연평균유출률과 유사한 값으로 나타났다. 특히, 12월에 접어들면서 영하로 내려간 기온에 의해 토양과 계류수 동결의 반복으로 인한 지표유출 발생 등이 강수량이 적음에도 유출률 증가에 기인한 것으로 판단되며, 고지대의 적설이 봄의 유출률 증가에도 지속적으로 영향을 준 것으로 판단된다. 이러한 현상은 산지에서 적설이 겨울과 늦봄까지도 유출에 기인하는 것으로(Kim et al., 2007), 강수량이 많을 때 유출률이 증가하는 경향이 있지만 강수량과 유출률은 반드시 비례하지 않는다는 연구결과(Goo, 2010)와 유사한 것으로 판단된다. 또한 고산지대의 경우 건기에 발생하는 대부분의 유출현상은 눈에 의해 발원한다는 결과와 부합하는 것으로 기후변화 및 강수패턴 변화로 인한 산지 적설

이 산림의 물 순환적 측면에서 보다 중요한 구성 요소임을 시사하는 단적인 사례이다(Elliot et al., 2016; Viviroli and Weingartner, 2004; Waring and Schlesinger, 1985).

따라서 시험유역의 계절적 유출률은 봄>겨울>여름>가을 순으로 시험유역의 유출률은 강수의 직접적인 영향을 크게 받지 않는 것으로 사료되나, 유출수량의 경우 봄 200,688.6 ton(26.4%), 여름 410,471.3 ton(54.0%), 가을 100,334.5 ton(13.2%), 겨울 49,292.2 ton(6.5%)로 시험유역의 계절적 강수량 분포와 동일한 형태로 유출률과 유출수량은 서로 다른 인자에 의해 조절되는 것으로 판단된다. 이는 우리나라는 하계 집중형 강수에 의해 대부분의 강수를 공급받으며, 그 시기에 유출이 크게 증가한다는 선행연구(Ahn et al., 2012)와는 다소 상반된 결과이었다. 아울러 시험유역에서는 단위면적당 10,143.8 ton·ha·yr<sup>-1</sup>의 유출수가 발생하는 것으로 전남 백야산 활엽수림 6,780 ton·ha·yr<sup>-1</sup> (Ahn et al., 2012), 광릉 침엽수림 5,094 ton·ha·yr<sup>-1</sup> 및 활엽수림 7,647 ton·ha·yr<sup>-1</sup> (You et al., 2002)보다 높은 것으로 나타났으며, 그 이유는 타 시험유역에 비해 유입되는 강수량이 많기 때문으로 판단된다.

### 3. 유출특성에 미치는 영향인자

시험유역에서 유출수량과 유출률 결과에 영향을 줄 것으로 판단되는 강수량과 강수일수를 토대로 Spearman 상관분석을 실시한 결과(Table 2), 강수량과 일수, 강수량 및 일수는 유출수량과 1% 유의수준 내에서 정의 상관관계를 나타내었다. 즉, 이러한 결과는 시험유역을 위시로 지속되는 강수일수가 강수량의 증가에 기인하며, 장기적으로는 유출수량의 증가에 기인하는 것을 유추할 수 있는 결과이다. 그러나 유출률과 타 인자 간에는 상관관계가 성립하지 않는 것으로 앞서 제시한 바와 같이 유출수량과 유출률은 서로 다른 인자에 의해 조절되는 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 토양과 표층상태, 그리고 토양수분조건(선행강우지수)이나 식생현황(증발산 및 차단), 강설일수와 적설량 등의 인자에 대한 영향은 분석하지 못하였으나 차후 다수의 시험유역을 대상으로 유출특성에 미치는 영향인자를 검토할 필요할 것으로 판단된다.

**Table 2. Spearman correlation between rainfall factors and runoff factors.**

Variable		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
X <sub>1</sub>	Rainfall volume	1.000	0.883**	0.951**	0.035
X <sub>2</sub>	Rainfall day		1.000	0.771**	-0.186
X <sub>3</sub>	Runoff volume			1.000	0.224
X <sub>4</sub>	Runoff ratio				1.000

\*\* Significant at 1% level.

## 결 론

경상남도 산청군 일대에 위치한 웅석봉군립공원 내 활엽수림유역을 대상으로 강수와 유출특성에 대하여 조사한 결과, 산지의 강수량이 평지에 비해 많음과 높은 강수강도에서의 빈도를 볼 때 국지적 산악성 강수의 효과가 작용하는 것을 알 수 있었다. 그러나 일최대강수량의 경우 평지에서 많았던 것과 평지의 강수량이 평년에 비해 많음, 계절적 강수분배 변화와 같은 경향이 지속되는지에 대하여 산악기상관측망과 인접 기상관측소를 위시로 체계적인 연구가 필요할 것이다. 아울러 본 연구에서는 선행연구와는 달리 겨울철 유출률이 매우 높은 것으로 나타나 산림유출에 있어서 강수에 의존하는 우리나라의 특성과는 다소 상반되게 산지적설의 영향으로 판단되며, 이에 따라 기후 및 강수패턴의 변화에 의해 산지적설과 같은 새로운 계절적 영향 또한 배제 할 수 없을 것으로 판단된다. 즉, 이러한 결과를 종합적으로 볼 때 식생과 토양, 기후가 관여하는 독특한 수문환경 또한 그 지역과 산림을 대표하는 인자라 할 수 있을 것이다.

한편, 본 연구에서 이용하지 못한 결측치의 대부분이 계류수가 동결되는 겨울이나 유출이 급격히 증가하는 여름에 포함되어 그 시기의 유출량과 유출률의 변동이 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구가 진행된 산림유역의 경우 연중 유량이 풍부한 것으로 그 시기와 양을 감안한다면 시험유역에서 발원하는 유출수량은 더욱 방대할 것으로 판단되며, 해당 시기의 데이터 수집 및 보완에 있어서 면밀한 검토가 필요할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 ‘남강수계 산림유역 유출특성 조사(과제번호: FE0603-2016-01-2016)’의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

## References

- Ahn, Y.S., Lee, K.H. and Ahn, K.W. 2012. A study on hydrology and nutrient loading in forest catchment which effect aquatic environment in coastal Area - A case study of Mt. Baekah, a deciduous forest in Hwasun county -. The Journal of Korean Island 24(2): 129-138.
- An, H.C. and Choo, G.C. 2010. Vegetation structure of the Woongseokbong in the Jirisan(Mt.). Korean Journal of Environment and Ecology 24(5): 547-555.
- Choi, B.K. 2012. Soil physical and hydrological properties affected by forest harvesting within riparian area of forested headwaters. Journal of Korean Forest Society 101(3): 538-545.
- Choi, H.T. 2011. Effect of forest growth and thinning on the long-term water balance in a coniferous forest. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 13(4): 157-164.
- Elliot, W., Dober, M., Srivastava, A., Elder, K., Link, A. and Brooks, E. 2016. Forest Hydrology of Mountainous and Snow-Dominated Watersheds. pp. 51-68. In: Amata, D.M., Williams, T.M., Bren, L. and Jong, C.D. (2Ed.). Forest Hydrology Management and Assessment. CABI Publishers, Wallingford, U.K.
- Goo, B.H. 2010. Study on rainfall and runoff characteristics out watershed of *Pinus rigida* Mill. stands. Master. Thesis, Chonbuk National University, Jeonji, Korea.
- Gwak, Y.S., Kim, S.J., Lee, E.H., Hamm, S.Y. and Kim, S.H. 2016. Soil water storage and antecedent precipitation index at Gwangneung humid-forested gillslope. Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology. 18(1): 30-41.
- Han, J.H. and Ahn, G.K. 2008. Water quality variation dynamics between artificial reservoir and the effected downstream watershed: The Case Study. Korean journal of limnology 41(3): 382-394.
- Hibbert, A.R. 1965. Forest treatment effects on water yield. International Symposium on Forest Hydrology 527-543.
- Jin, S.W. and Kim, S.H. 2008. Estimation of mean residence time using soil moisture at a hillslope on the forested catchment. Journal of Korea Water Resources Association 41(12): 1199-1210.
- Jung, Y.G., Lee, S.W. and Lee, H.H. 2010. Characteristics of the rainfall-runoff and groundwater level. Journal of Korean Forest Society 99(4): 559-567.
- Kang, S.H. 2006. The Characteristics of runoff response according to rainfall distribution in mountain area. Master Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea.
- Katsuyama, M., Fukushima, K. and Tokuchi, N. 2008. Comparison of rainfall-runoff characteristics in forested catchments underlain by granitic and sedimentary rock with various forest age. Hydrological Research Letter 2:14-17.
- Kil, H.K. 2008. Effects of Dams on Benthic Macroinvertebrate Communities in Korean Streams. Ph.D. Thesis, Seoul Women's University, Seoul, Korea.
- Kim, D.G., Jeong, J.U., Park, J.H. and Park, C.G. 2007. Long-term runoff simulation in consideration of snow pack and snow melt. Journal of Korean Society of Water and Wastewater 21(3): 265-272.
- Kim, D.G. 1999. A numerical study of the orographic effects associated with a heavy rainfall event. Master. Thesis, Yonsei University, Seoul, Korea.



- Kim, D.Y., Lee, S.H., Im, S.J. and Kwon, T.H. 2008. Analysis of correlation properties of daily rainfall amount between flat regions and mountain Regions. *Journal of Agriculture & Life Science* 42(2): 13-19.
- Kim, J.S. and Kim, K.H. 2005. Did they already know forest effects on runoff in the Chosun Dynasty. *Journal of Korea Society of Forest Engineering and Technology* 3(3): 195-207.
- Kim, J.Y. and Han, S.S. 2001. Stand water balance and stream water quality in small forested watershed Yangpyong Gyeonggi-do. *Journal of Forest Science* 17: 18-28.
- Kim, K.H. 2004. Research of water cycle for water resource management in watershed. *Rural Resource* 46(2): 2-8.
- Kim, K.H., Jeong, Y.H., Jeong, C.G., Jun, J.H. and Yoo, J.H. 2003. The impacts of forest type on peak flows in long-term hydrological data at three small forested catchments. *Journal of Korean Forest Society* 92(5): 462-469.
- Kim, K.H., Jun, J.H., Yoo, J.H. and Jeong, Y.H. 2005. Throughfall, stemflow and interception loss of natural old-growth deciduous and planted young coniferous in Gwangeung and the rehabilitated young mixed forest in Yangju, Gyeonggi-do(i) - with a special reference on the results of measurement -. *Journal of Korean Forest Society* 94(6): 488-486.
- Korea Meteorological Administration. <http://web.kma.go.kr>(2016. 11.31)
- Lee, H.H. and Kim, J.H. 2002. The characteristics on the groundwater level change and rainfall-runoff in Moojechi bog. *Korean Journal of Environment and Ecology* 16(3): 239-248.
- Lee, I.S. 2013a. Secular Change Characteristics of Hydrological Environment in the Small Forest Watershed Located at My. Palgong. Master Thesis, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea.
- Lee, S.W. 2013b. Spatio-temporal patterns of orography-associated extreme precipitation events in South Korea. Master Thesis, Jeju National University, Jeju, Korea.
- Lee, S.W., Mun, B.G., Ju, J.B. and Chang, J.D. 2001. Revisited youngwol dam project from the perspective of negotiation: searching for solution to policy conflict. *Journal of Korean Association for Local Government Studies* 13(2): 231-252.
- National Institute of Forest Sciences. 2016. Develop of Long-Term Monitoring Management Technology on Forest Water Resource. Seoul, Korea. pp. 161.
- National Institute of Meteorological Sciences. 1978. Classification of Agroclimatology in the Southern Area of Mt. Ji-ri. pp. 199.
- Park, J.C. and Lee, H.H. 2000. Analysis of runoff characteristics for a small forested watershed using hycymodel. - At a Watershed in Mt. palgong -. *Journal of Korean Forest Society* 89(5): 564-575.
- Shin, M.Y., Kim, J.T. and Shin, J.C. 1997. Effects of an artificial lake on the local climate and the crop production in Suncheon Area. *Journal of the Korean Meteorological Society* 33(3): 410-427.
- Tanaka, Y., Kim, T.H. and Matsukura, Y. 2000. Runoff characteristics in small mountainous basins with granite and gneiss bedrocks. *Journal of the Korean Geographical Society* 35(4): 641-647.
- Viviroli, D. and Weingartner, R. 2004. The hydrological significance of mountains: from regional of global scale. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(6): 1017-1030.
- Waring, R.H. and Schlesinger, W.H. 1985. *Forest Ecosystem; Concept and Management*. Academic Press. New York. pp. 145.
- Woo, B.M., Kim, S.J., Lee, H.H. and Choi, H.T. 1998. Development of rainfall-runoff model for a long and short term runoff analysis in small forested mountain Watershed. *Journal of Korean Forest Science* 87(1): 11-19.
- Yoo, C.S., Ahn, J.H., Kang, S.K., Kim, K.W. and Yoon, Y.N. 2005. Estimation of local change in hydrometeorologic environment due to dam construction. *Journal of Environmental Policy* 4(1): 21-38.
- You, Y.H., Kim, J.H., Mun, T.H. and Lee, C.S. 2002. Input, output and budget of nitrogen and sulphur in forested watershed ecosystems. *The Korean Journal of Ecology* 25(3): 189-195.
- Yun, J.I., Hwang, J.M. and Lee, S.G. 1997. Simulation of local climate and crop productivity in andong after multi-purpose dam construction. *Korean Journal of Crop Science* 42(5): 579-596.