

충청북도 초강 유역의 관측자료를 바탕으로 한 유출특성분석

안상억¹, 이승민², 이효상², 천호권^{1*}
¹주식회사 솔마, ²충북대학교 토목공학부

Analysis of Runoff Characteristics with Measured Hydrological Data at Chogang, Chungbuk

Sang-Eok Ahn¹, Seung-Min Lee², Hyo-Sang Lee², Ho-Kwon Cheon^{1*}
¹Solma Corporation
²School of Civil Engineering, Chungbuk National University

요약 우리나라는 최근 들어 대규모 홍수, 가뭄 등이 발생하여 수자원 관리의 어려움을 경험하고 있어, 이를 반영한 정밀한 유역 수문 분석이 필요하다. 초강 유역은 2019년부터 증발산량 관측시설이 운영되고 있는 유역으로, 충청북도에 서 유일하게 수자원 분석의 기초자료인 강우, 유출, 증발산이 모두 실측되는 유역으로 활용 가능성이 크다. 초강 유역의 실측자료(2019-2021)를 바탕으로 연 단위, 홍수기(6월~9월), 비 홍수기(10월~5월)로 나누어 물 수지와 유황 곡선을 분석한다. 관측자료의 분석 결과, 유출비(유출량/강우량)는 연, 홍수 및 비 홍수 기간 평균 0.53, 0.56, 0.43을 나타내고 있다. 초강 유역의 장기수자원관리를 위한 유출비는 우리나라의 일반적인 유출비 0.6보다 작은 0.4가 적합하다. 관측 실증발산량(AET)과 잠재 증발산량(PET)의 비는 비 홍수기 기간(0.63, 0.75, 0.79, 0.72)과 홍수기(1.25, 1.29, 1.49, 0.72)로 차이가 나며, 이는 여름철에 물 공급이 충분하고 식생이 활발히 활동하여 AET가 PET보다 많이 발생하고 있음을 실측치로 확인하였다. 우리나라 중부지방의 소규모 산지 유역의 홍수기 및 비홍수기의 증발산량 경험 계수 ($K_s=AET/PET$)로 각각 1.2, 0.7을 제시한다. 향후 유역 내의 수문 관측자료의 축적을 바탕으로 신뢰할 수 있는 충청북도 소규모 산지 유역의 유출 특성을 제시하고자 한다.

Abstract There is increasing risks in water-resources management in South Korea due to large-scale floods and droughts in recent years. A detailed analysis of water budget in catchment scale is required. Hydrological data including precipitation, stream flow, and evapotranspiration, are highly valuable and crucial for water resource studies. Chogang catchment in Chungbuk is important because evapotranspiration data have been measured at the Yuelli site in the catchment since 2019. This study analyzed the water balance and flow duration curve with measured hydrological data in the period of 2019-2021. The water balance analysis shows the potential of period analysis in the flood season (June-September) and non-flood season (October-May). The runoff ratio (runoff/rainfall) was 0.53, 0.56, and 0.43 in a year, in the flood season, and in the non-flood season, respectively. A runoff ratio of 0.42 should be applied for water resource management in the Chogang. This is smaller than South Korea's general runoff ratio of 0.6. The ratio of the observed empirical emission (AET) to potential evapotranspiration (PET) differed between the non-flood period (0.63, 0.75, 0.79, and 0.72) and the flood season (1.25, 1.29, 1.49, and 0.72), indicating that AET is greater than PET in summer due to sufficient water supply and active plant growth. The coefficients for actual and potential evapotranspiration were 1.2 and 0.7 for the flood period and non-flood period, respectively. In the future, reliable runoff characteristics of mountainous basins in Chungcheongbuk-do will be suggested based on the accumulation of hydrological observation data within the basin.

Keywords : Water Balance Analysis, Catchment Runoff, Flow Duration Curve, Mountainous Catchment, Chungbuk

*Corresponding Author : Ho-Kwon Cheon(Solma.)

email: hyosanglee@chungbuk.ac.kr

Received August 11, 2023

Revised October 10, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 30, 2023

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 이상기후 등의 영향으로 대규모 홍수, 가뭄 등을 경험하고 있으며, 이로 인하여 수자원 관리의 어려움이 더욱 커지고 있다. 특히 수문-지형학적 영향으로 우리나라는 계절적, 지역적으로 큰 강우-유출량의 편차를 갖고 있다. 강수량은 주로 여름-홍수기(6월~9월)에 집중적으로 발생하고 있으며, 강물로의 유출이 일 년 치의 2/3가 이 시기에 발생하고 있다. 우리나라 대부분 유역은 상대적으로 작은 유역 면적을 갖고 있으며, 많은 부분(국토의 2/3 이상)이 산악지형으로 분류되고 있다. 이러한 이유 등으로 짧은 유로 연장, 급한 사면 경사 등을 갖게 되어 강수 후 짧은 시간에 빠른 유출이 발생하는 특성이 일반적이다. 또한, 연도별로 유출량의 큰 편차 나타내고 있고, 이러한 경향성은 더 강화되고 있다 [1].

수자원 관리를 위한 유역 수문분석에는 강수량, 유역 유출량, 증발산량 자료 등이 필수적이다. 우리나라에서는 매년 환경부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사 등의 수문 조사 기관에서 관측한 수문 자료를 수문 자료 심의위원회를 통하여 관계 법령에 따라 공인하고 있으며, 이 자료를 한국 수문 조사 연보로 발간하여 검증된 수문 자료를 활용한 수자원 관리의 효율화를 도모하고 있다 [1].

우리나라의 유역 수자원 분석 실무에서는 대상 유역 면적에 연평균 강우량을 곱하여 산정한 수자원 총량에서 하천유출량을 뺀 값을 증발산량으로 적용한다 [2]. 우리나라 육지를 기준으로 수자원 총량의 약 59%, 약 41%를 각각 하천유출량과 증발산량으로 추정하고 있다 [2]. 이러한 분석방법은 소규모 유역의 분석에도 그대로 적용되고 있다. 증발산량은 유역 물 수지 분석의 중요한 자료이나, 증발량과 증산량의 측정은 비용과 시간이 많이 들어 일부 시험 유역을 제외한 대부분 유역에서는 확보하기 어렵다 [3]. FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations)에서는 기존의 증발량 및 경험 공식으로부터 산정하여 오던 다양한 방식 등을 비교 검토한 후 증발산량의 표준방법으로 Penman-Monteith 공식을 적용하도록 권고하고 있다 [4]. 우리나라의 기상청에서는 2018년 이후 기존의 증발량 측정을 중지하고, 이를 표준방법으로 채택하여 증발산량 자료를 제공하고 있다.

또한, 우리나라에서는 수문 조사 선진화 5개년계획(2005년)을 통하여 증발산량 관측 및 조사의 토대를 마

련하여, 총 12개의 에디 공분산 플렉스 타워가 운영 중이다. 한강 유역의 5개소(평창, 여주, 인제, 홍천, 파주), 금강권역에 4개소(무주, 진안, 영동, 공주), 섬진강 유역에 1개소(장흥), 영산강 유역에 1개소(무안), 영산강 서해 유역에 1개소(고창)가 각각 환경부(한강, 금강과 영산강 홍수 통제소)와 K-water에서 운영하고 있다. 이 중 영동 관측소가 충북에는 영동군 용산면 울리에 있으며, 2019년부터 자료를 제공하고 있다 [1].

유역 물 순환 분석을 실측 증발산량으로 비교 분석한 연구는 [3,5-7] 등이 대표적이다. [5] 은 소양강댐과 섬진강댐의 물 순환을 분석하였으며, 증발산량 자료를 물 수지 방법, FAO penman Monteith 방법, 실측 방법으로 비교한 결과, 유사한 결과를 제시하고 있다. [6] 은 괴산댐, 섬진강댐, 소양강댐, 안동댐, 합천댐에서의 물 수지 분석을 통하여 실제 증발산량을 산정하고, 기상 자료를 활용하여 다변량 회귀식으로부터 산정된 증발산량과 비교·검토하였다. [7] 은 금강 상류의 구량천 유역에 대하여 유역 강우 유출(PDM, Probability Distributed Model) 모형을 적용하여 홍수기, 갈수기 기간을 나누어 실 관측량으로 유출 분석을 수행하였으며, 우리나라 유역의 유출 분석을 위해서는 기간 분리의 필요성을 제시하였다.

본 연구에서는 충청북도의 증발산량 관측이 이루어지고 있는 초강 유역을 대상으로 관측된 강우량, 유량 및 증발산량 자료(2019-2022)를 바탕으로 물 수지 분석을 수행하며, 충북 산지 유역의 유출 특성을 분석한다.

2. 본론

2.1 연구유역_초강 유역

초강 연구유역은 한반도 중부지방, 충청북도 영동군에 있는 금강으로 유입되는 지류 하천 유역이며, 하천의 길이는 총연장 60.20km이며, 유역 면적은 665.57km²이다. 초강 유역은 주로 산지(487.31km², 73.2%), 농경지(142.57km², 21.4%)로 활용되고 있는 자연 유역이다. Fig. 1은 연구유역인 초강의 위치도이다.

초강 유역은 증발산량 관측시설이 있는 유역으로 수자원 분석의 기초자료인 강수량, 유출량(유량), 손실(증발산량)이 모두 관측되는 충청북도의 유일한 유역이다. 향후 자료가 축적된다면 충북의 주요 연구유역으로 활용될 수 있다.

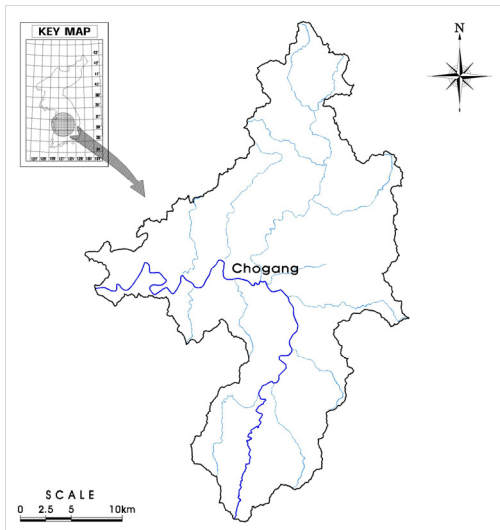


Fig. 1. Chogang at Simcheon, Chungbuk

강수량은 일정 시간 동안 모든 하늘에서 내리는 수량을 단위면적당 깊이(mm)로 나타낸다. 우리나라에서는 구경 200mm의 수수구를 갖는 보통우량계가 적용되고 있다. 연구대상 유역인 초강 유역 내 위치한 강우관측소

는 환경부에서 1973년 1월부터 운영하는 영동군(궁촌리) 강수량 관측소(295 수문 조사 연보, 300554020)와 1984년부터 운영하는 영동군(옹북리) 강수량 관측소(298 수문 조사 연보, 30054060)가 있다.

유역의 유량은 하천의 횡단면을 단위시간에 통과하는 물의 부피이며, 유역에서 유출량을 전량으로 측정하는 유일한 수문 관측자료이다. 환경부에서 운영 중인 지점은 수위를 측정하고 주기적으로 수위 유량 관계를 관측하고 수위-유량 관계곡선식을 도출한다. 유량의 단위는 m^3/s , 분석에서는 유출고(mm)를 적용한다. 초강 유역의 수위관측소는 충청북도 영동군 심천면 심천리 심천교 지점(3005590)에 있으며, 금강홍수통제소에서 관리하고 있다.

증발산량은 지면 또는 수면으로부터 대기로 증발하는 증발량과 식물의 잎으로부터 대기 중으로 배출되는 증산량을 합한 양으로 유역의 대표적인 손실량이다. 이는 지구 물 순환, 유역의 수자원 분석을 위한 기초 수문 자료로 매우 중요하다. 충북에는 영동군 용산면 울리 산 38-1에 유일한 플렉스 타워 관측소가 있으며, 2019년부터 실제 관측된 증발산량(AET, Actual Evapotranspiration)을

Table 1. Hydrological Data in Year at Chogang at Simcheon, Chungbuk

Year	P (mm)	AET (mm)	PET (mm)	Q (mm)	Q/P (%)	P-Q: Loss	P-(Q+AET)	Loss/AET	AET/PET	H (%)
2019	1173	853	866	466	0.40	707	-146	0.83	0.98	71
2020	1688	802	817	1545	0.92	143	-659	0.18	0.98	75
2021	1129	955	841	456	0.40	673	-282	0.70	1.14	75
2022	929	486	857	370	0.40	558	72	1.15	0.57	72
Average	1230	774	845	709	1	520	-254	0.72	0.92	73

(Where, P: Measured Precipitation AET: Measured Actual EvapoTranspiration_observed, PET: Estimated Potential EvapoTranspiration_estimated, Q: Measured flow, Runoff Flow depth (Flow is divided by catchment area), Q/P: runoff ratio(runoff flow depth is divided by precipitation), Loss: Percipitation - Runoff, H: Relative Humidity)

Table 2. Hydrological Data in Flood period(W) and Non-Flood Period(D) at Chogang at Simcheon, Chungbuk

Year	Period	P (mm)	AET (mm)	PET (mm)	Q (mm)	Q/P (%)	P-Q: Loss	P-(Q+AET)	Loss/AET	AET/PET	H (%)	
2019	D	1.1~5.31	200	206	326	78	0.39	122	-84	0.59	0.63	61
	W	6.1~9.30	719	542	435	243	0.34	476	-66	0.88	1.25	78
2020	D	10.1~5.31	528	317	424	260	0.49	268	-49	0.84	0.75	71
	W	6.1~9.30	1371	507	394	1402	1.02	-31	-538	-0.06	1.29	83
2021	D	10.1~5.31	374	323	411	119	0.32	255	-68	0.79	0.79	70
	W	6.1~9.31	703	614	431	318	0.45	385	-229	0.63	1.42	72
2022	D	10.1~5.31	234	325	416	120	0.51	114	-211	0.35	0.78	70
	W	6.1~9.31	677	302	417	285	0.42	393	91	1.30	0.72	83
Average	W		868	491	419	562	0.56	418	-186	0.94	1.17	79
	D	Ex. 2019	501	364	418	265	0.43	190	-103	0.64	0.74	68

자료를 제공하고 있다 [1]. 잠재증발산량(PET, Potential Evapotranspiration)은 보온 기상관측소의 수문 기상 자료를 바탕으로 물 공급이 충분한 경우의 대상 초지에 서의 증발산량을 FAO Penman Monteith 공식으로 산정한 결과이다.

수문 관측자료는 기상청, 수문 자료데이터 포털(www.wamis.go.kr) 등에서 원자료를 실시간으로 제공하고 있으나, 국가에서는 수문 연보를 통하여 자료의 품질을 인증한 수문 자료 및 통계자료를 제공하고 있다. 이 자료는 국가에서 공인한 품질을 공인한 수문통계자료로써 의미가 있다. 본 연구에서는 해당 유역의 활용 가능한 최신의 인증 관측자료(2019-2022)를 바탕으로 정리한 내용은 Table 1과 Table 2와 같다.

2.2 년 관측자료를 바탕으로 한 물 수지 분석

유역 내 물 수지는 유역 내 다양한 수문작용을 통하여 물의 유입, 저류 및 유출 과정을 시-공간적으로 분석하고, 질량(여기서는 물)보존법칙에 따라 유역 내에서 각각의 과정에서의 물을 선정하는 복합적인 분석과정이다. 일반적으로 많은 수문 자료와 물리 기반의 모형의 적용 등 복잡한 과정을 거친다. 본 연구에서는 최근 4년간(2019년~2022년)의 초강 유역 내에서 관측된 수문 자료(강수량, 유출량 및 증발산량)를 바탕으로 자료 수준에서 가능한 총복 소규모 산지 유역의 유출 특성을 물 수지 분석을 통하여 분석한다. 강수량을 유역 유입량으로, 증발산량을 손실량, 유량을 유출량으로 살펴보면, 이를 연 기간, 홍수기(6월~9월), 및 비 홍수기(10월~5월)로 나누어 유출 특성을 검토한다.

이는 자료기반의 간단한 물 수지 분석이며, 관측이 어려운 지하수 등의 유입, 하천수 취수 등과 같은 기타 손실량 등은 고려하지 않고 있다. 상대적으로 단기간(1년, 4개월, 8개월), 상대적으로 수위변동이 적은 1월~12월, 6월~9월, 10월~5월을 적용하여 유역 내 저류량의 변동은 작을 것으로 가정한다. 향후 정밀한 관측자료, 장기간의 토양 저류 등을 고려하여 정밀한 분석이 필요하다.

Table 1의 연 단위 물 수지를 살펴보면, 2020년은 중부 지역의 집중호우가 발생한 해로 다른 년에도 비하여 많은 강수량(1688mm)이 많이 발생하였으며, 이로 인한 유출량도 많이 발생하였다. AET은 853mm(2019년), 802mm(2020년) 955mm(2021년), 486mm(2022년)로 관측되었다. 특이한 사항은 2022년에 486mm가 관측된 사항으로 2021년 증발산량의 약 50%이다. 반면, 잠재적으로 증발 가능한 PET는 817~866mm의 값이 산

정되었다. 전년도 대비 200mm가 감소한 이유는 상대적으로 적은 강수량(929mm)의 영향으로 판단되며, 유역에서의 물 공급이 증발산량에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

기간을 분리하여 Table 2의 홍수기 물 수지는 다음과 같다. 2019년의 물 수지, 2020년의 물 수지, 2021년의 물 수지에서 모두 증발산량+유출량이 강우량보다 크게 관측되었다. 그러나, 2022년도의 경우 677mm(P) > 302mm(AET)+285mm(Q)로 강우량이 크게 산정되었다. 이는 앞서 연 단위의 사례에서와같이 여름철 유역의 물 스트레스로 인한 증발산량의 감소가 관측된 결과로 판단된다. 2021년 대비 약 50%의 감소량을 보인다. 향후 국가 공인자료로서의 품질확보를 위하여 정밀한 자료 검토가 필요하다.

비 홍수기(10월~5월)의 물 수지를 살펴보면, 2020년의 물 수지, 2021년의 물 수지, 2022년의 물 수지에서 증발산량과 유출량이 강우량보다 크게 관측되었다. 유입량보다 손실량과 유출량이 많게 관측되어, 상대적으로 건조한 시기의 증발산량이 영향을 미친 것으로 판단된다.

특히 2019년, 2021년은 상대적으로 유사한 강우량(1173-1129mm) 및 유출량(466-456mm)을 나타내고 있으며, 이러한 경향성은 홍수기 및 비 홍수기에도 유사하게 관측되며, 이를 유역의 대표 특성으로 활용할 수 있는지 앞으로 추가 자료 검토가 필요하다.

1) 강우량-유출량

유출은 강우에 영향을 크게 받으며, 2020년에는 1688mm의 강우량에 1545mm의 유출량을 기록하여, 0.92의 유출비를 기록하고 있다. 2019년, 2021년, 2022년의 유출비가 0.4인데 비하여 2020년이 높은 유출비를 갖는 이유는 홍수기 유출이 영향을 주었으며, 이는 유역에 장기간 이어진 선행강우로 인하여 포화한 상태에서 발생한 강우가 모두 유출된 상황으로 이해된다.

유역의 유출비를 기간으로 나누어 본 결과, 홍수기 평균 0.56 (0.34, 1.02, 0.45, 0.42), 비 홍수기 평균 0.44 (0.49, 0.32, 0.51)를 나타내고 있다. 유출비는 홍수기가 비 홍수기보다 큰 값을 나타내고 있다. 이는 2020년의 유출비(1.02)에 영향으로 판단되며, 분석 기간에 선행하여 발생한 강우가 유출로 연결된 경우 또는 단기간의 분석을 수행하여 지체된 유출의 시차가 발생한 경우로 판단된다. 이 수치를 제외한다면 홍수기의 평균 유출비는 0.4이다. 2020년을 제외한 년 유출비 0.4와 유사한 값이다. 이러한 수치는 전반적으로 우리나라 평균적인 유출

비 0.6(59.7%)과 금강 유역의 유출비 0.57(56.6%)에 못 미치는 수치이다(환경부, 2023). 유출량을 확보하기 위하여, 유역의 증발산량 등 손실량 관리가 필요한 사항이다.

또한, 홍수기 특히 대규모 홍수 사상이 있는 기간의 유출은 유역이 포화한 상태의 많은 경우가 직접 유출로 연결된 상황으로 이를 유역 유출의 일반적인 특성으로 일반화하기 어렵다. 유역 수자원 관리를 위하여 장기간 유출이 발생한 홍수 때 유출비(0.92)와 이를 제외한 연 유출비(0.42)로 나누어 제시하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 이는 홍수 때 대부분의 유출이 유역에서 활용되지 못하고 바다로 유출되는 상황을 고려하여야 한다. 본 유역의 수자원 관리를 위한 장기 유출비는 0.4(0.42)로 적용하여야 한다. 이는 우리나라의 일반적인 유출비 0.6 보다 작은 값이며 향후 유역의 안정적인 수자원확보를 위한 노력이 필요하다.

2) 증발산량-상대습도

AET은 산림(토지 이용의 73.2%)이 우세한 지역의 플럭스 타워에서 측정된 자연 상태에서의 증발산량이다. 반면에 PET는 물 공급의 제한이 없는 표준 초지에서의 증발산량을 산정한 가상의 증발산량 결과이다. 연간 AET/PET의 비율이 0.57~1.14를 나타내고 있다. 이를 홍수기, 비 홍수기로 살펴보면 홍수기에는 125%(2019년), 129%(2020년), 142%(2021년), 72%(2022년)이며, 비 홍수기에는 75%(2020년), 79%(2021년), 78%(2022년)의 수치를 나타내고 있다.

증발산량이 작게 관측된 2022년의 홍수기와 나머지 모든 비 홍수 기간의 평균 상대습도와 AET/PET의 비가 61%~0.63, 71%~0.75, 70%~0.79, 70%~0.78, 83%~0.72의 비로 유사한 수치를 제시하고 있다. Fig. 2의 초강의 AET/PET의 비와 상대습도를 나타낸 그래프와 같이 특히 비 홍수기에는 이러한 경향이 강함을 확인할 수 있다. 식생의 성장과 물 공급을 반영한 AET와 PET의 경험 계수로 ($K_s=AET/PET$)로서 일반적으로 적용되는 0.7의 수치가 비 홍수기에는 적정한 것으로 판단된다. Table 1과 2에서 제시된 바와 같이 유역의 평균 상대습도가 70~83%를 나타내고 있어, 장기간 평균적으로 적용할 수 있는 식생과 물 공급을 고려한 지수로서의 중요성을 확인할 수 있다. 그러나, 유역의 토양수분량 또한, 중요하게 고려되어야 할 중요사항이다. 향후 울리 증발산량 관측지점의 토양 수분 자료가 축적된다면 증발산량의 발생 강도들을 정밀하게 추정할 수 있을 것으로 기대된다.

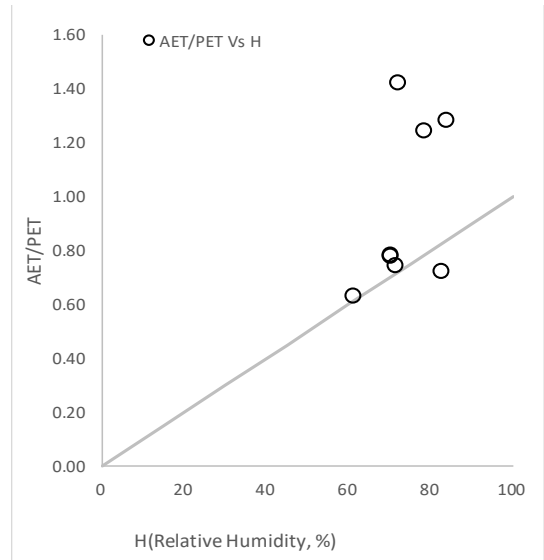


Fig. 2. Actual ET/Potential ET Vs. Relative Humidity at Simcheon, Chungbuk

그러나 Fig. 2의 오른쪽 위의 점들에서와 같이 홍수기의 관측 AET은 산정된 PET보다 큰 값을 2019년(542-435mm), 2020년(507-394mm) 2021년(614-431mm)에 나타내고 있다. AET(302mm)이 PET(417mm)보다 작은 값을 나타내고 있는 2022년의 수치는 Fig. 2의 45도 선상의 아래에 있으며, 예외적인 현상으로 정밀한 자료 검토가 필요하다. 2022년을 제외한 나머지 연도에서는 실제 많은 증발산량이 발생할 수 있음을 실제 관측자료로 확인된 사례이다. 식생 생장이 활발한 여름 시기에 숲에서 많은 증산이 이루어지고 있다고 판단된다. 이러한 결과는 Amatya와 Harrison이 미국의 남 캐롤라이나의 초지 및 산림 유역에서 Penman Monteith 공식을 적용하여 잠재증발산량을 산정한 결과와 유사하다 [8]. 이들의 연구결과의 예를 살펴보면 2011년도에 1032mm가 대표 초지에서 산정된 반면 1351mm가 대표 숲에서 산정되었다. 2012년, 2013년, 2014년도 유사한 결과를 제시하여 숲의 증발산량이 초지보다 크게 산정됨을 나타내고 있다.

본 연구도 확인한 바와 같이 특히 초지의 잠재증발산량보다 실제 산림이 대부분을 차지하는 유역의 실제 증발산량이 많이 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 우리나라의 많은 산림이 우세한 유역에서 홍수기-여름철의 AET과 PET의 경험 계수로 1.2를 적용하는 것이 타당하다.

2.3 유황 곡선 분석

유황 곡선은 하천의 연간 관측 유량 값과 그 값을 초과하는 시간 비의 관계를 나타내며, 유역의 장기 유출 분석, 특히 하천 유량의 변동성을 시각적으로 나타낸다. 하천의 유황을 분석하기 위한 필수적인 검토사항이다. 심천교 지점의 2010~2022년의 유량 자료를 적용한 그래프와 주요 수치는 Fig. 3과 Table 3과 같다.

Table 3. Flow Duration Curve Index flow and coefficient at Simcheon station, Chogang Catchment, Chungbuk

Period	Flow(m ³ /s)					FD. Coeff. II
	Q10	Q95	Q185	Q275	Q355	
2019	55.6	5.4	2.6	1.9	1.2	44.8
2020	379.4	9.6	4.0	2.1	1.5	259.6
2021	64.3	7.5	3.5	2.2	1.5	44.4
2022	41.8	4.9	2.1	1.3	0.7	64.4
2019-2022	166.4	7.5	3.4	2.1	1.4	118.9

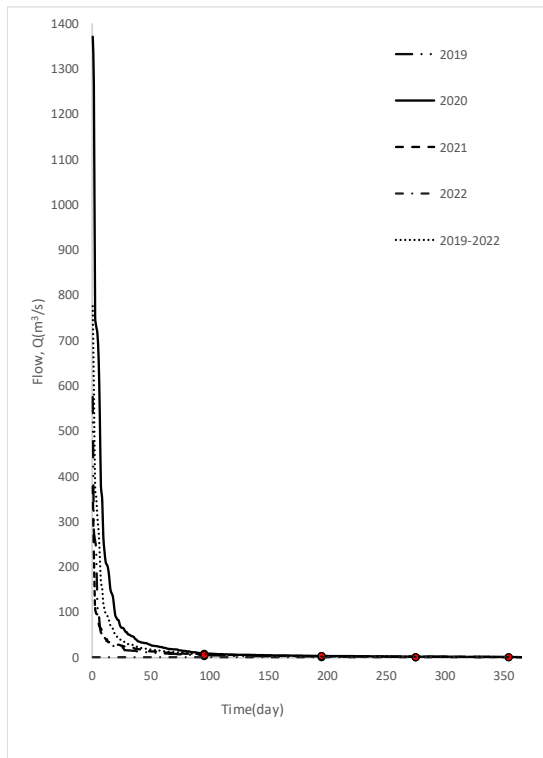


Fig. 3. Flow Duration Curve at simcheon, Chogang, Chungbuk

유황 곡선의 1년의 10일, 95일, 185일, 275일, 355일을 이상의 기간을 유지하는 최소 유량을 홍수량(Q10), 풍수량(Q95), 평수량(Q185), 저수량(Q275), 갈 수량(Q355)을 2019, 2020, 2021년도 및 2010년부터 2021년까지의 평균과 유황 계수는 Table 3과 같다. 유황 계수는 홍수량의 대표치 Q10과 갈수량의 대표치 Q355의 비로서 하천 유량의 변화 정도를 나타낸다.

Fig. 3의 굵은 실선으로 표시된 2020년의 유황 곡선은 극단적인 홍수의 경우를 나타내는 것으로 타 연도와는 Q10 이하에서 확연히 다른 곡선을 나타내고 있으며, 연도별 유출 특성이 상이함을 확인하였다. 최대유량(Q1)이 1372m³/s이며 2019년의 575.2m³/s, 2021년의 377m³/s의 수치보다 큰 수치이다. 이러한 경향은 Q10, Q95까지 큰 값을 나타내나, 평수량 이하의 수치 Q185, Q275, Q355에서는 유사한 수치를 제시하고 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 홍수기의 특성이 유황 곡선의 고유량 부분에서 확인할 수 있으며, 기간을 분리하여 유출 특성을 분석하는 것이 바람직함을 확인할 수 있다. 비 홍수기(저유량의 경우)는 모든 해에 유사한 곡선과 수치를 나타내고 있다. 향후 연구에서는 홍수 또는 가뭄이 발생한 연도 등을 분류하여 기준이상/이하의 강우-유출이 발생한 연도 등을 고려하여 유출 특성을 분석하는 것이 필요하다고 판단된다.

3. 결론

본 연구는 충청북도 영동군 초강 유역을 대상으로 유역 내 관측된 공인 수문 자료(강우량, 증발산량 및 유량)를 바탕으로 연 단위, 홍수기(6월~9월), 비 홍수기(10월~5월)로 나누어 물 수지와 유황 곡선을 분석한 주요 결론은 다음과 같다.

- 초강 유역의 유출비(유출량/ 강우량)는 연, 홍수 및 비 홍수 기간 평균 0.53, 0.56, 0.43을 나타내고 있다. 초강 유역의 장기수자원관리를 위한 유출비는 우리나라의 일반적인 유출비 0.6보다 작은 0.4로 적용하는 것이 필요하다. 이는 우리나라 및 금강 유역의 평균보다 작은 수치이며, 여름철 홍수 발생 시 유출은 별도로 분석하는 것이 바람직하다.
- 관측 실증발산량(AET)과 잠재 증발산량(PET)의 비는 비 홍수기 기간(0.63, 0.75, 0.79, 0.72)과 홍수기 기간(1.25, 1.29, 1.49, 0.72)이 차이가 나며, 이는 여름철에 AET이 PET보다 많이 발생하고 있음

을 실측치로 나타내고 있다. 우리나라 산지 유역의 홍수기 및 비 홍수기 증발산량 경험계수($K_s=AET/PET$)로 각각 1.2, 0.7이 적정하다. 또한, 상대습도와 실증발산량/잠재증발산량의 비의 유사성이 있으며, 상대습도를 활용한 증발산량 발생 여지 및 AET/PET의 계수로 적용 가능성을 확인하였다.

- 연도별 유출 특성이 상이함을 유황 곡선으로 확인하였으며, 일정 수준 이상 또는 이하의 유출 특성을 갖는 연도를 별도로 분석하여 홍수 및 가뭄 발생 시 유역의 유출 특성 및 유황 특성을 살펴보는 것이 바람직하다.

향후 유역 내의 수문 관측자료가 축적된다면, 이를 바탕으로 신뢰할 수 있는 충청북도의 소규모 산지 유역의 유출 특성을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Ministry of Environment, Annual Report of Hydrological Survey on Korea (2022), Statistics Report, Ministry of Environment, Korea, pp. 389.
- [2] Ministries of related in Korean Government, 1st National Water Management Basic Plan 2021-2030, Plan Report, Ministries of related in Korean Government, Korea, pp212.
- [3] D. P. Kim, and N. H. Lee, "Water Balance Analysis using Observation Data of the Seolmacheon and Chatancheon Experimental Catchment of the 2012", *Journal of Korea Water Resources Association*, pp. 631-635, 2013.
- [4] FAO, Chapter 2 - FAO Penman-Monteith equation, FAO, 1998, Available From: <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e06.htm> (accessed Aug. 08, 2023)
- [5] H. Yang, "Water Balance Change of Watershed by Climate Change", *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 3, No.42, pp. 405-420, 2007.
- [6] C. Rim, G. Lim, S. Yoon, "A Study on the Hydroclimatic Effects on the Estimation of Annual Actual Evapotranspiration Using Watershed Water Balance", *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No.12, pp. 915-928, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2011.44.12.915>
- [7] S. Kim, H. Chang, H. Lee, "Assessment of Small Mountainous Catchment Runoff at Yongdam-dam, Guryang", *Journal of the Korea Academia-Industrialcooperation Society*, Vol. 19, No. 4 pp. 633-641, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.4.633>
- [8] D. M. Amatya, C. A. Harrison, "Grass and Forest Potential Evapotranspiration Comparison Using Five

Methods in the Atlantic Coastal Plain", *Journal of Hydrological Engineering*, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001341](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001341)

안 상 역(Sang-Eok Ahn)

[정회원]



- 2010년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (수공학석사)
- 2018년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (수공학박사수료)
- 2010년 3월 ~ 2022년 10월 : ㈜이산 부장
- 2022년 11월 ~ 현재 : 주식회사 솔마 부장

<관심분야>

수문, 수자원, 수력에너지, 환경

이 승 민(Seung-Min Lee)

[준회원]



- 2018년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 토목공학부 (학사과정)

<관심분야>

토목, 수자원, 수력에너지, 환경

이 효 상(Hyo-Sang Lee)

[정회원]



- 2001년 10월 : 임페리얼 칼리지 토목환경공학과 (석사)
- 2006년 5월 : 임페리얼 칼리지 토목환경공학과 (박사)
- 2006년 7월 ~ 2007년 6월 : 독일 햄름홀츠 환경연구소 마리퀴리연구원
- 2007년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 토목공학부 교수

<관심분야>

수문, 수자원, 수력에너지, 환경

천 호 권(Ho-Kwon Cheon)

[정회원]



- 1998년 2월 : 동의대학교 토목공학과 (학사)
- 2020년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과 (석·박사통합수료)
- 1997년 12월 ~ 2020년 3월 : (주)이산 상무
- 2020년 3월 ~ 현재 : (주) 솔마 대표

〈관심분야〉

수문, 수자원, 수력에너지, 환경