

2018년 설마천 유역의 수문학적 특성 분석

Analysis of the Hydrological Characteristics of the Seolmacheon Catchment 2018

김동필*

Dong Phil Kim

요 지

우리나라는 전 국토의 70%가 산지이고 하천경사가 다른 나라에 비해 상대적으로 급하여 홍수 관리에 매우 불리한 조건을 가지고 있으며, 특히 홍수기간의 집중호우 및 돌발홍수는 인명과 재산의 막대한 피해를 입히고 있다. 최근은 기후변화로 인하여 극심한 홍수, 가뭄 등 재해의 발생빈도가 증가하는 추세로 기후변화의 영향을 최소화할 수 있는 수재해 방재관리가 필요한 상황이다. 중·대하천의 경우에는 비교적 수재해 방재관리가 잘 이루어지고 있으나, 소하천(일부 중하천 포함)의 경우에는 취약한 구조를 보이고 있다. 특히 홍수기간(7월~9월)의 인명과 재산의 피해는 주로 소하천 위주로 발생하고 있으며, 사전 사후의 체계적인 대응이 이루어지지 못하고 있다. 수재해 방재관리를 위해서는 일차적으로 수문자료의 획득에 있으며, 그 이후 해당 유역에 적합한 수재해 대응을 위한 체계적인 방법론과 방재시스템 개발·운영이 수반되어야 안전한 방재관리를 할 수 있다. 따라서 수재해 방재관리 체계를 구축하기 위해서는 중·소규모 유역 단위를 대상으로 지속적이고 신뢰성 있는 자료의 획득과 축적이 중요하므로 중·소규모 유역 단위의 대표성 있는 시험유역의 운영은 매우 의미가 있다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 한국건설기술연구원에서 운영하는 설마천 시험유역(유역면적 8.48km², 유로경사 2.15%, 경기도 파주시 적성면 소재)의 신뢰성 높은 2018년 관측자료를 이용하여 강우특성, 유출특성, 증발산량과 지하수 함양량 산정 등 수문특성을 분석하였으며, 2017년 관측결과와 비교하였다. 강우특성 분석으로는 호우사상 분리, 주요 호우사상 분석, 지속기간별 최대강우량, 시간분포 등이 있다. 2018년은 2017년보다 최대 강우지속기간은 작게, 평균 강우지속기간은 크게 나타나며, 최대 강우강도와 평균 강우강도도 크게 나타나는 호우의 특징을 보인다. 2018년 지속기간별 최대강우량의 경우 지속기간 1시간까지는 2017년과 유사한 패턴을 보이나 그 이후는 많은 강우량을 보인다. 2018년의 하천유출률은 58.1%로 2017년 연간 유출률인 64.8% 보다는 적은 유출률을 보인다. 이의 원인으로는 연간 총강우량은 2017년보다 397.9mm 많으나 2018년의 7월~8월 집중호우기간의 강우량이 2017년 7월~8월 강우량보다 적어 하천유출에 적게 기여한 결과로 판단된다. 2018년의 증발산량(555.8mm)과 지하수 함양량(32.0mm)은 2017년의 증발산량(328.8mm)과 지하수 함양량(24.8mm)보다 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 이와 같이 산정된 수문자료는 수재해 방재와 유역의 물순환 과정 규명을 위한 기초자료로 매우 유용하게 활용될 수 있으며, 수재해 방재관리를 위한 의사결정 과정에 중요한 역할을 할 수 있으므로 지속적인 시험유역의 운영은 매우 필요하다.

핵심용어 : 설마천 유역, 수문관측 자료, 수문특성 분석

1. 서 론

우리나라는 전 국토의 70%가 산지이고 하천경사가 다른 나라에 비해 상대적으로 급하여 홍수 관리에 매우 불리한 조건을 가지고 있으며, 특히 홍수기간의 집중호우 및 돌발홍수는 인명과 재산의 막대한 피해를 입히고 있다. 최근은 기후변화로 인하여 극심한 홍수, 가뭄 등 재해의 발생빈도가 증가하는 추세로 기후변화의 영향을 최소화할 수 있는 수재해 방재관리가 필요한 상황이다. 중·대하천의 경우에는 비교적 수재해 방재관리가 잘 이루어지고 있으나, 소하천(일부 중하천 포함)의 경우에는 취약한 구조를 보이고 있다. 특히 홍수기간

* 정희원 · 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 연구위원 · E-mail : dpkim@kict.re.kr

간(7월~9월)의 인명과 재산의 피해는 주로 소하천 위주로 발생하고 있으며, 사전 사후의 체계적인 대응이 이루어지지 못하고 있다. 수재해 방재관리를 위해서는 일차적으로 수문자료의 획득에 있으며, 그 이후 해당 유역에 적합한 수재해 대응을 위한 체계적인 방법론과 방재시스템 개발·운영이 수반되어야 안전한 방재관리를 할 수 있다. 따라서 수재해 방재관리 체계를 구축하기 위해서는 중·소규모 유역 단위를 대상으로 지속적이고 신뢰성 있는 자료의 획득과 축적이 중요하므로 중·소규모 유역 단위의 대표성 있는 시험유역의 운영은 매우 의미가 있다고 볼 수 있다. 논문에서는 한국건설기술연구원에서 운영하는 설마천 유역을 대상으로 신뢰성 있는 2018년 관측자료를 이용하여 수문학적 특성을 분석하였다.

2. 유역 개요

설마천 유역(경기도 파주시 적성면 소재)은 설마천 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구로 하는 상류 유역이다. 설마천 유역은 유역면적 8.48km², 유로연장 5.59km인 전형적인 산지 하천이다. 수계형상은 대체로 수지상의 모양을 보여주고 있으며 유역형상은 수엽상에 흡사하다. 유역의 상류에는 마을을 중심으로 일부 논과 밭을 경작하고 가축을 사육하고 있다. 이 유역의 대부분은 산악지형으로 이루어져 있으며, 유역의 동쪽엔 유역에서 가장 높은 감악산(EL. 675m)이 위치하고 있다. 도로를 따라 위치하는 주 하천은 그림 1의 유역도에서 보는 바와 같이 전형적인 곡류하천의 형태를 보이고 있다.

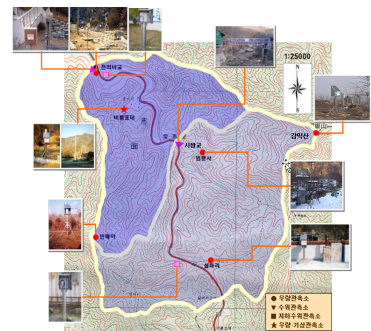


그림 1. 설마천 유역도

3. 관측자료를 이용한 수문특성 분석

설마천 유역의 수문특성 분석을 위한 유입량 자료에는 강우량(P_{pre}) 있으며, 유출량 자료에는 하천유출량(Q_{stream}), 증발산량(E_{evt}) 및 지하수위 변화에 의한 지하수 함양량(ΔS)이 있고, 그 밖에는 지하수 이용량(Q_{gws})이 있다. 2018년에 생성된 유역의 유입량, 유출량 자료를 중심으로 식 (1)과 같이 수문특성을 분석하였다.

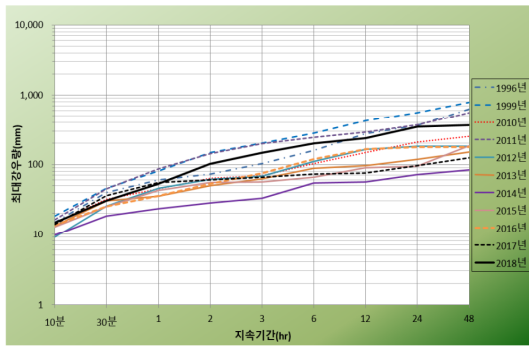
$$P_{pre} = Q_{stream} + E_{evt} + \Delta S \quad (1)$$

3.1 강우량 분석

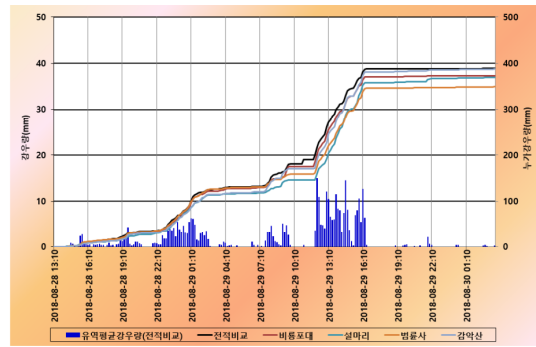
먼저 유역의 유입량 자료인 강우량 분석을 위하여 설마천 유역의 경우에는 6개 강우량관측소에서 관측된 자료를 이용하여 연 강우량을 산정하였다. 유역평균강우량의 산정은 티센가중법을 적용하였으며, 2018년에 발생한 호우사상은 표 1에서 보는 바와 같이 62개로 50mm 이상의 호우사상은 6개로 나타났다. 그리고 지속기간별 10분, 1시간 및 24시간 최대강우량은 14.9mm, 53.0mm, 349.5mm 이었다(그림 2(1)). 2018년 호우사상의 시간적 분포 특성을 파악하기 위하여 주요 호우사상에 대하여 각 지점의 10분 누가우량곡선과 전적비교(설마천 유역 출구)의 유역평균강우량을 함께 도시하여 비교하였으며, 그림 2(2)는 2018년 8월 28일~8월 30일에 발생한 호우사상이다. 이와 같이 강우량 분석을 통하여 산정된 2018년의 설마천 유역 전적비교의 유역평균강우량은 1,402.4mm 이다.

표 1. 호우사상의 강우량 크기 분류(설마천 유역)

강우량(mm)		~0.5	0.5 ~5.0	5.0 ~10.0	10.0 ~30.0	30.0 ~50.0	50.0 ~100.0	100.0~	계
호우사상수	2017년	19	19	12	11	2	4	2	69
	2018년	15	8	12	17	4	4	2	62



(1) 지속기간별 최대강우량



(2) 10분 누가강우량곡선(2018.08.28~08.30)

그림 2. 지속기간별 최대강우량 및 10분 누가강우량곡선(설마천 유역)

3.2 하천유출량 분석

하천유출량 자료의 근간이 되는 수위관측은 유역출구인 전적비교 수위관측소의 관측기에서 관측된 자료의 검토와 수정의 처리 과정을 거쳐 기종별로 자료를 확정하였다. 기종별 자료를 상호 비교 검토하여 직접 대표 수위자료를 확정하였다. 2018년의 유속계에 의한 저·중수위 구간의 유량측정성과 과거의 유량측정성과를 이용하여 수위-유량관계곡선식을 개발하였다. 구간분리를 고려하여 작성하였으며, 구간분리는 흐름이 "0"인 수위(GZF)와 단면형상을 기본으로 분리하였다.

확정된 하천수위자료와 수위-유량관계곡선식을 이용하여 유출량 자료로 환산하였다. 설마천 유역의 경우 환산된 유출량은 과거의 유출률 자료와 비교 검토하여 하천유출량을 확정하였다. 표 2는 전적비교의 2017년~2018년의 유출률을 나타낸 것으로 총강우량 대비 각각 64.8%, 58.1%로 분석되었다.

표 2. 연 유출률(설마천 유역, 전적비교)

구분	2017년			2018년		
	총강우량(mm)	총유출고(mm)	유출률(%)	총강우량(mm)	총유출고(mm)	유출률(%)
계	1,004.5	650.9	64.8	1,402.4	814.6	58.1

3.3 증발산량 분석

증발산량 분석은 다음의 가정을 통하여 유역 증발산량을 산정하였다. 설마천 유역은 대부분 산림이 차지하고 있으므로 증발산이 활발히 이루어진다고 보았으며, 6.0mm 미만의 일강우량은 하천 유출량에 기여하지 못하고 있으므로 판단하여 연간 발생한 강우량 중 일강우량 6.0mm 미만의 합인 336.3mm를 증발산량으로 추정하였다.

또한, 유역내 설마리 기상관측자료와 인근의 기상청 관할 동두천, 파주 기상관측소의 자료(설마리 기상관측자료 부분 결측 시 보완자료로 활용)를 이용하여 FAO Penman-Monteith Equation을 적용하여 잠재증발산량(E_{tr})을 산정한 후, 작물계수(crop coefficient, k_c)와 토양계수(soil coefficient, k_s)를 곱하여 실제증발산량

($E_t = k_s k_c E_{tr}$)을 산정한 결과는 555.8mm 이다. 본 논문의 수문특성 분석에 적용한 증발산량은 후자의 경우로 하였다. 여기서 산정된 잠재증발산량은 892.9mm(총 강우량의 63.7%)이다. 1~3월, 11~12월은 작물의 생장이 없으므로 작물계수 적용기간에서 최저값인 0.2를 적용하였다. 작물중에 따른 세부적인 작물계수 산정, 유역에 적합한 단일 토양계수 추정에 따른 불확실성을 내포하므로 전체적인 물수지 평형을 고려하여 작물계수 및 토양계수를 추정하였다.

표 3. FAO Penman-Monteith Equation을 이용한 증발산량 산정(설마천 유역)

구분	2017년		2018년	
	유출고(mm)	비율(%)	유출고(mm)	비율(%)
강우량	1,004.5	-	1,402.4	-
잠재증발산량(E_{tr})	668.5	66.5	892.9	63.7
실제증발산량(E_t)	328.8	32.7	555.8	39.6

3.4 지하수 함양량 분석

설마천 유역의 지하수 함양량 분석은 설마리 지하수위관측소에서 관측된 자료를 이용하여 지하수위 변동 곡선 해석법으로 지하수 함양량을 산정하였다. 지하수계는 지하수의 함양과 배출에 의해 장기적으로 동적 평형상태를 유지하는 가정조건을 지닌 지하수위 변동곡선 해석법은 강수 시 발생하는 지하수위변화에 대해 비산출률을 곱하여 지하수 함양량(R)을 산출하는 방법으로 식 (2)와 같다.

$$R = S_y \cdot \Delta h + \Delta Q \quad (2)$$

설마천 유역의 지질은 경기편마암 복합체로 구성되어 있으며, 편마암은 근본적으로 화강암에서 기원한 것이므로 비산출률값은 화강암(0.09%)의 경우로 적용하였다. 그 결과 지하수 함양량은 32.0mm로 분석되었다. 여기서, S_y 는 자유면 대수층의 비산출률, Δh 는 지하수위 변동량, ΔQ 는 함양기간 동안 대수층으로부터 배출된 지하수량으로 나타낼 수 있으며, ΔQ 는 실제 관측할 수는 없지만 지하수 함양이 짧은 시간 동안 발생한다고 가정할 때 무시될 수 있다.

3.5 분석 결과

각 요소별 수문특성을 분석한 결과는 표 4와 같다. 증발산량과 지하수 함양량은 추정된 매개변수를 이용하여 산정된 결과로 나타나지만 전반적으로 볼 때, 매우 양호한 정량적인 값을 도출하였다고 볼 수 있다. 그리고 지하수 이용량은 현지조사를 통하여 정리한 값이다.

표 4. 수문특성 분석 결과(설마천 유역)

요소		2017년		2018년		비고
		유출고(mm)	비율(%)	유출고(mm)	비율(%)	
유입량	강우량	1,004.5	-	1,402.4	-	· 강우량 분석자료
유출량	하천유출량	650.9	64.8	814.6	58.1	· 수위관측 및 유량측정결과
	증발산량	328.8	32.7	555.8	39.6	· FAO Penman-Monteith Equation 적용
	지하수 함양량	24.8	2.5	32.0	2.3	· 지하수위 변동곡선 해석법 적용
기타	지하수 이용량	-	-	-	-	· 현지조사 분석자료

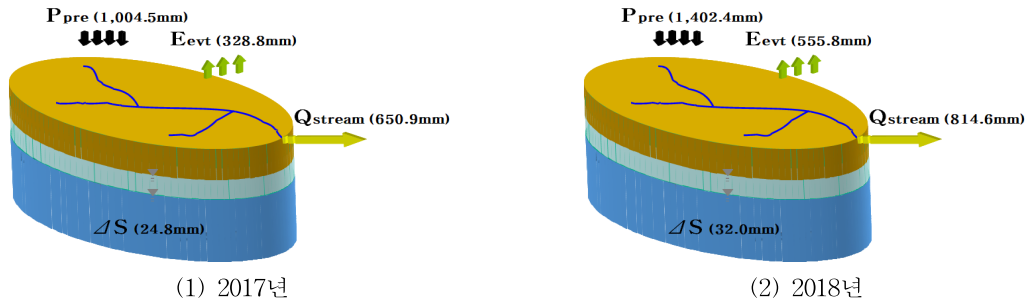


그림 3. 수문특성 분석결과(설마천 유역)

4. 결론

본 논문에서는 설마천 유역의 2018년 관측자료를 이용하여 수문특성을 분석하였으며, 2017년 관측결과와 비교 분석하였다. 2018년은 2017년보다 최대 강우지속기간은 적게, 평균 강우지속기간은 크게 나타나며, 최대 강우강도와 평균 강우강도도 크게 나타나는 호우의 특징을 보인다. 2018년 지속기간별 최대강우량의 경우 지속기간 1시간까지는 2017년과 유사한 패턴을 보이나 그 이후는 많은 강우량을 보인다. 2018년의 하천유출률은 58.1%로 2017년 연간 유출률인 64.8% 보다는 적은 유출률을 보인다. 이의 원인으로는 연간 총 강우량은 2017년보다 397.9mm 많으나 2018년의 7월~8월 집중호우기간의 강우량이 2017년 7월~8월 강우량보다 적어 하천유출에 적게 기여한 결과로 판단된다. 2018년의 증발산량(555.8mm)과 지하수 함양량(32.0mm)은 2017년의 증발산량(328.8mm)과 지하수 함양량(24.8mm)보다 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 이와 같이 산정된 수문자료는 수재해 방재와 유역의 물순환 과정 규명을 위한 기초자료로 매우 유용하게 활용될 수 있으며, 수재해 방재관리를 위한 의사결정 과정에 중요한 역할을 할 수 있으므로 지속적인 시험유역의 운영은 매우 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 수재해 방재 대응을 위한 수문조사의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 설마천-차탄천 수문정보시스템(<http://seolmacheon.kict.re.kr>).
2. 한국건설기술연구원 (2017), 수재해 방재 대응을 위한 수문조사, KICT 2017-092.
3. 한국건설기술연구원 (2018), 수재해 방재 대응을 위한 수문조사, KICT 2018-061.