

2014년 설마천 유역의 수문특성 분석

Analysis of Hydrological Characteristics of the Seolmacheon Catchment 2014

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 기후변화의 영향으로 집중호우 및 돌발홍수는 증가하는 추세에 있다. 이것은 홍수의 위험성 및 자연재해의 발생을 증대시키므로 이에 대한 하천유역 단위의 홍수량 예측 및 재해방지를 위한 설계기법의 개선과 개발, 신뢰성 있는 수문정보 획득을 위한 정밀 수문조사는 매우 필요한 상황이다. 기후변화에 대응하기 위한 수문조사의 방향은 새로운 전환기에 이르렀다고 볼 수 있다. 기존의 수문조사 방법을 통해 획득했던 수문량의 초과치를 벗어난 극대값의 수문량 관측 및 측정을 극복하는 문제, 홍수량 산정 및 예측을 위한 새로운 설계기법의 개발 또는 기존 방법의 개선 등 문제 해결을 위한 방향이 모색되어야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 중·소규모 유역 단위를 대상으로 지속적이고 신뢰성 있는 자료의 획득과 축적이 중요한 상황이다. 중·소규모 유역 단위의 대표성 있는 시험유역의 운영은 이러한 문제의 해결을 가능하게 할 수 있다. 본 논문에서는 설마천 유역(유역면적 8.48km², 유로경사 2.15%, 경기도 파주시 적성면 소재)의 2014년 관측자료를 이용하여 수문특성을 분석하였으며, 2013년 관측결과와 비교 분석하였다. 2014년 연간 유출률은 연간 총강우량의 감소에 기인하여 2013년 보다 매우 적은 유출률을 보이고 있다. 그 원인으로는 2013년보다 강우지속기간(평균, 최대), 강우강도(평균, 최대)가 적게 나타나는 호우 특징과 강우일수의 감소(약 20일)에 기인한 증발산량의 증가(2013년 대비 31.7% 증가)에 있다. 따라서 2014년 설마천 유역은 2013년 대비 하천유출량과 지하수함양량은 매우 큰 감소가 있었으며, 증발산량은 크게 증가한 수문특성을 보이고 있다.

핵심용어 : 수문조사, 설마천 유역, 관측자료, 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 기후변화의 영향으로 집중호우 및 돌발홍수는 증가하는 추세에 있다. 이것은 홍수의 위험성 및 자연재해의 발생을 증대시키므로 이에 대한 하천유역 단위의 홍수량 예측 및 재해방지를 위한 설계기법의 개선과 개발, 신뢰성 있는 수문정보 획득을 위한 정밀 수문조사는 매우 필요한 상황이다. 기후변화에 대응하기 위한 수문조사의 방향은 새로운 전환기에 이르렀다고 볼 수 있다. 기존의 수문조사 방법을 통해 획득했던 수문량의 초과치를 벗어난 극대값의 수문량 관측 및 측정을 극복하는 문제, 홍수량 산정 및 예측을 위한 새로운 설계기법의 개발 또는 기존 방법의 개선 등 문제 해결을 위한 방향이 모색되어야 한다. 이러한

* 정회원 · 한국건설기술연구원 창의전략연구소 중소기업협력실 수석연구원 · E-mail : dpkim@kict.re.kr

문제점을 해결하기 위해서는 중·소규모 유역 단위를 대상으로 지속적이고 신뢰성 있는 자료의 획득과 축적이 중요한 상황이다. 중·소규모 유역 단위의 대표성 있는 시험유역의 운영은 이러한 문제의 해결을 가능하게 할 수 있다. 본 논문에서는 한국건설기술연구원에서 운영하는 설마천 유역을 대상으로 신뢰성 있는 2014년 관측 자료를 이용하여 수문특성을 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. 유역 내의 인문사회 현황으로 유역의 상류에는 21가구(69명)가 분포하고, 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 주하천은 그림 1의 유역도에서 보는 바와 같이 전형적인 곡류하천의 형태를 보이고 있다.

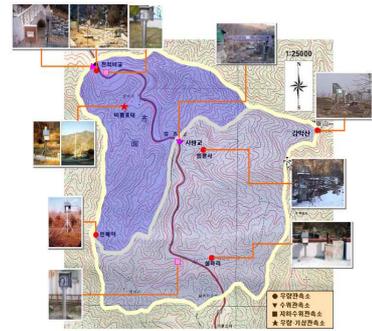


그림 1. 설마천 유역도

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. 2014년에 생성된 유역의 유입량, 유출량 자료를 중심으로 식 (1)과 같이 수문특성을 분석하였다.

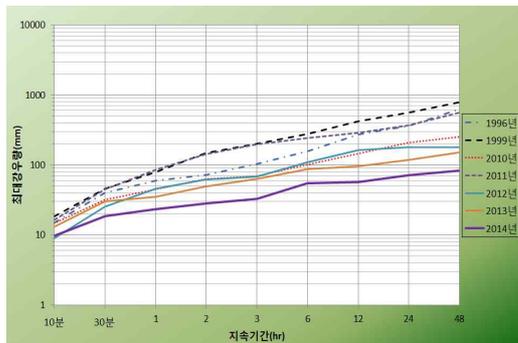
$$P_{pre} = Q_{stream} + E_{evt} + \Delta S \quad (1)$$

3.1 강우량 분석

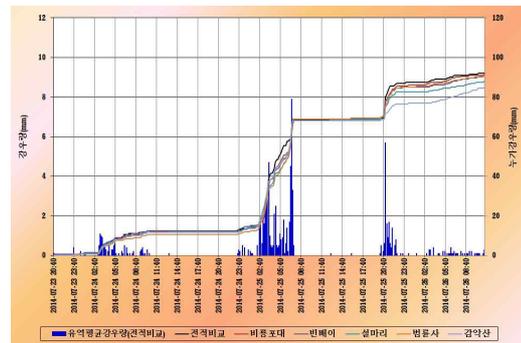
먼저 유역의 유입량 자료인 강우량 분석을 위하여 설마천 유역의 경우에는 6개 우량관측소에서 관측된 자료를 이용하여 연 강우량을 산정하였다. 유역평균강우량의 산정은 티센가중법을 적용하였으며, 2014년에 발생한 호우사상은 표 1에서 보는 바와 같이 76개로 50mm 이상의 호우사상은 2개로 나타났다. 그리고 지속기간별 10분, 1시간 및 24시간 최대강우량은 9.7mm, 23.4mm, 72.1mm 이었다(그림 2(1)). 2014년 호우사상의 시간적 분포 특성을 파악하기 위하여 주요 호우사상에 대하여 각 지점의 10분 누가우량곡선과 전적비교(설마천 유역 출구)의 유역평균강우량을 함께 도시하여 비교하였으며, 그림 2(2)는 2014년 7월 23일~7월 26일에 발생한 호우사상이다. 이와 같이 강우량 분석을 통하여 산정된 2014년의 설마천 유역 전적비교의 유역평균강우량은 652.7mm 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	2013년	15	34	11	17	1	5	2	85
	2014년	15	34	9	11	5	2	0	76



(1) 지속기간별 최대강우량



(2) 10분 누가강우량 곡선(2014.07.23.~07.26)

그림 2. 지속기간별 최대강우량 및 10분 누가강우량 곡선(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 지점 대표 수위자료를 확정하였다. 유량측정은 전적비교 수위관측소에서 실시하였으며, 유량측정방법은 국제표준기구(ISO)와 미국지질조사국(USGS)에서 제시한 방법을 적용하였다. 그리고 유량측정성가에 대한 측정오차 크기를 통계적 추정치로 표현하는 불확실도를 산정하여 유량측정에 대한 신뢰도를 개선시켰다. 유량측정성가를 바탕으로 작성된 수위-유량관계곡선은 구간 및 시간분리를 고려하여 작성하였으며, 구간분리는 흐름이 '0'인 수위(GZF)와 단면형상을 기본으로 분리하였다.

확정된 하천수위자료와 수위-유량관계곡선식을 이용하여 유출량 자료로 환산하였다. 설마천의 경우 환산된 유출량은 과거의 유출률 자료와 비교 검토하여 하천유출량을 확정하였다. 표 2는 전적비교의 2013년~2014년 유출률을 나타낸 것으로 총강우량 대비 각각 74.8%, 32.0%를 보였다.

표 2. 연 유출률(설마천 유역, 전적비교)

구분	2013년			2014년		
	총강우량(mm)	총유출고(mm)	유출률(%)	총강우량(mm)	총유출고(mm)	유출률(%)
계	1,477.1	1,105.5	74.8	652.7	208.8	32.0

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 283.2mm를 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 418.8mm 이다. 본 논문의 수문특성 분석에 적용한 증발산량은 후자의 경우로 하였다. 여기서 산정된 잠재증발산량은 785.5mm(총 강우량의 120.3%)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	2013년		2014년	
	유출고(mm)	비율(%)	유출고(mm)	비율(%)
강우량	1,477.1	-	652.7	-
잠재증발산량(E_{tr})	630.6	42.7	785.5	120.3
실제증발산량(E_t)	317.9	21.5	418.8	64.2

3.4 지하수 함양량 분석

설마천 유역의 지하수 함양량 분석은 설마리 지하수위관측소에서 관측된 자료를 이용하여 지하수위 변동곡선 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 25.1mm로 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		2013년		2014년		비고
		유출고(mm)	비율(%)	유출고(mm)	비율(%)	
유입량	강우량	1,477.1	-	652.7	-	· 강우량 분석자료
유출량	하천유출량	1,105.5	74.8	208.8	32.0	· 수위관측 및 유량측정결과
	증발산량	317.9	21.5	418.8	64.2	· FAO Penman-Monteith Equation 적용
	지하수 함양량	53.7	3.6	25.1	3.8	· 지하수위 변동곡선 해석법 적용
기타	지하수 이용량	23.0	-	23.0	-	· 현지조사 분석자료

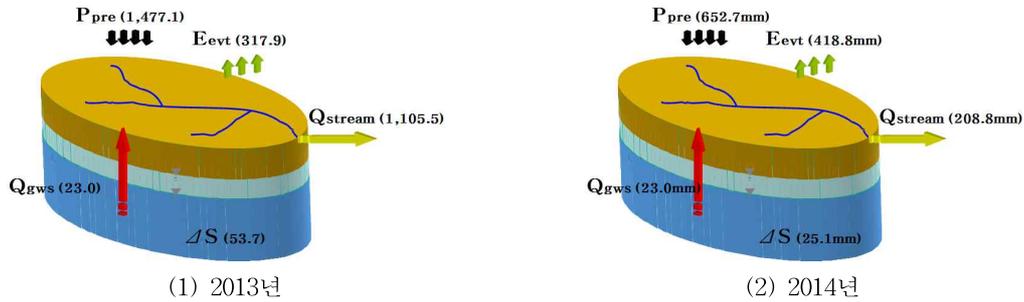


그림 3. 수문특성 분석 결과(설마천 유역)

4. 결론

본 논문에서는 설마천 유역(유역면적 8.48km², 유로경사 2.15%, 경기도 과주시 적성면 소재)의 2014년 관측 자료를 이용하여 수문특성을 분석하였으며, 2013년 관측결과와 비교 분석하였다. 2014년 연간 유출량은 총강우량의 감소에 기인하여 2013년 보다 매우 적은 유출률을 보이고 있다. 그 원인으로는 2013년보다 강우지속기간(평균, 최대), 강우강도(평균, 최대)가 적게 나타나는 호우 특징과 강우일수의 감소(약 20일)에 기인한 증발산량의 증가(2013년 대비 31.7% 증가)에 있다. 따라서 2014년 설마천 유역은 2013년 대비 하천유출량과 지하수함양량은 매우 큰 감소가 있었으며, 증발산량은 크게 증가한 수문특성을 보이고 있다.

유역의 정확한 수문특성을 분석하기 위해서는 정밀관측을 위한 투자와 노력이 지속적으로 필요하며, 앞으로 수문특성 요소의 정밀관측과 조사를 통하여 각 요소의 불확실성을 개선시켜 나간다면 유역의 물의 순환 과정을 보다 더 정밀하게 해석할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 산지하천 유역의 홍수예측을 위한 수문조사의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 설마천-차탄천 수문정보시스템(<http://seolmacheon.kict.re.kr>).
2. 한국건설기술연구원 (2013), 산지하천 유역의 홍수예측을 위한 수문조사, 건기연 2013-106.
3. 한국건설기술연구원 (2014), 산지하천 유역의 홍수예측을 위한 수문조사, 건기연 2014-102.
4. ISO-748:1997(E) (1997), Measurement of Liquid Flow in Open Channels-Velocity-Area Methods.
5. Techniques of Water Resources Investigations of the USGS (1984). ch. A7, A8, A10.