

2010년 설마천 시험유역의 관측자료를 이용한 물수지 분석

Water Balance Analysis using Observation Data of the Seolma-Cheon Experimental Catchment of the 2010

김동필*
Dong Phil Kim

요 지

산지하천 유역의 물순환 과정은 도시하천 유역보다는 매우 단순한 과정을 묘사하고 있다. 아무리 단순한 물순환 과정을 묘사한다 할지라도 물순환 요소별 정량적인 관측과 측정, 즉 수문자료의 부재, 수문자료가 있다 하더라도 일부분(홍수기 중심 및 단기간 자료)에 불과 하다면 불가능한 일이다. 한국건설기술연구원에서 16년간 운영해 온 설마천 시험유역은 장기간의 신뢰성 있는 수문자료를 축적하고 있으므로, 정량적인 물순환 과정을 규명할 수 있는 여건을 충족한다고 볼 수 있다.

설마천 시험유역의 물순환 구조는 자연계의 유입과 유출이 지배적이며, 이들의 수문성분을 규명하기 위해서는 각각의 수문성분들의 관측 및 해석이 필요하며, 각 수문성분들의 물수지 분석을 통하여 정량적인 합의 결과를 가지적으로 확보함이 매우 중요하다. 신뢰도와 정확성에 근거한 관측자료를 이용한 물수지 분석결과는 수문성분들의 총체적 표현이라 할 수 있는 모형(model)의 중요한 입력자료이며, 모형의 분석결과를 검증할 수 있는 중요한 기준이 된다. 모형의 결과와의 비교 검토를 통해 산지 소하천 유역의 물순환 관계를 규명하는 기반을 확보하게 될 것이다.

본 연구에서는 신뢰성 있는 수문자료를 이용하여 물수지 분석을 하였다. 설마천 시험유역의 신뢰할 만한 관측자료에는 강우, 하천수위, 지하수위, 기상 등이 있으며, 이들 자료를 이용하여 강우량, 유출량, 지하수 함양량, 증발산량을 산정하였으며, 현지조사 자료로는 지하수이용량이 있다.

이상의 분석결과로 산지하천 유역인 설마천 시험유역의 각 수문요소의 물 이동간의 정량적인 값을 알 수 있었으며, 앞으로 추가적이고 지속적인 수문모니터링이 운영되고 산지하천 유역에 적합한 물순환 해석 모형에 의한 검증이 수행된다면 정량적인 물순환 관계를 규명할 수 있을 뿐만 아니라 이와 관련된 수문요소 기술을 확보할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 물순환 과정, 수문자료, 설마천 시험유역, 물수지 분석, 수문모니터링

1. 서 론

산지하천 유역인 설마천 시험유역의 물순환 과정은 도시하천 유역보다는 매우 단순한 과정을 묘사하고 있다. 아무리 단순한 물순환 과정의 묘사를 위해서라도 물순환 요소별 정량적인 수문자료의 부재와 부족은 이를 불가능하게 한다. 각 요소별 신뢰성 있는 장기간의 수문자료를 축적하고 있는 설마천 시험유역은 정량적인 물순환 과정을 규명할 수 있는 여건을 충족하는 유역으로 볼 수 있다.

설마천 시험유역의 물순환 구조는 자연계의 유입과 유출이 지배적이며, 이들의 수문성분을 규명하기 위해서는 각각의 수문성분들의 관측 및 해석이 필요하며, 각 수문성분들의 물수지 분석을 통하여 정량적인 합의 결과를 가지적으로 확보함이 매우 중요하다. 신뢰도와 정확성에 근거한 관측자료를 이용한 물순환 해석결과

* 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 수석연구원 · E-mail : dpkim@kict.re.kr

는 수문성분들의 총체적 표현이라 할 수 있는 모형(model)의 중요한 입력자료이며, 모형의 분석결과를 검증할 수 있는 중요한 기준이 된다.

따라서, 본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 운영하는 설마천 시험유역을 대상으로 신뢰성 있는 관측 자료를 이용하여 2010년을 중심으로 연간 물수지 분석을 하였다.

2. 시험유역 개요

설마천 시험유역은 설마천 유역(경기도 과천시 적성면 소재)의 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구로 하는 상류 유역이다. 설마천 시험유역은 유역면적 8.48km², 유로연장 5.59km인 전형적인 산지 하천이다. 수계형상은 대체로 수지상의 모양을 보여주고 있으며 유역형상은 수협상에 흡사하다. 유역내의 인문사회 현황으로 유역의 상류에는 21가구(69명)가 분포하고, 마을을 중심으로 일부 논과 밭을 경작하고 가축을 사육하고 있다. 하천을 따라 휴게소(24가구, 81명)가 위치하고 있으며, 유역의 상류와 하류부에는 3개 군부대(287명)가 위치하고 있다(2004년 기준). 이 유역의 대부분은 산악지형으로 이루어져 있으며, 유역의 동쪽엔 시험유역에서 가장 높은 감악산(EL. 675m)이 위치하고 있다. 도로를 따라 위치하는 주 하천은 그림 1의 유역도에서 보는 바와 같이 전형적인 곡류하천의 형태를 보이고 있다.

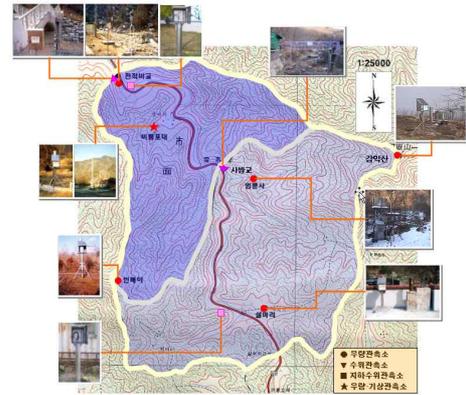


그림 1. 설마천 시험유역도

3. 관측자료를 이용한 물수지 분석

산지하천 유역의 물순환 해석을 위한 유입량 자료에는 강우량(P_{pre}) 있으며, 유출량 자료에는 하천유출량(Q_{stream}), 증발산량(E_{cvt}) 및 지하수위 변화에 의한 지하수 함양량(S)이 있고, 그 밖에는 지하수 이용량(Q_{gws})이 있다. 2010년에 생성된 유역의 유입량, 유출량 자료를 중심으로 식 (1)과 같이 물수지 분석을 하였다.

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

3.1 강우량 분석

먼저 유역의 유입량 자료인 강우량 분석에는 6개 우량관측소에서 관측된 자료를 이용하여 연간 강우량을 산정하였다. 유역평균우량의 산정은 티센가중법을 적용하였으며, 2010년에 발생한 호우사상은 표 1에서 보는 바와 같이 101개로 10mm 미만의 호우사상은 총 호우사상의 64.3%로 나타났다. 그리고 지속기간별 10분, 1시간 및 24시간 최대강우량은 각각 21.0mm, 51.0mm, 150.0mm 이었다. 또한 설마천 시험유역내의 6개 우량관측소 간의 강우량을 비교한 결과 지점간의 강우량의 차이는 크게 나타나지 않았으며, 각 지점의 관측우량간의 결정계수는 대부분 0.960~0.993에 근사한 값을 보였다. 그리고 각 관측소의 해발고도는 55~675m 정도로 비교적 큰 차이를 보이나, 고도에 따른 강우량의 분포가 뚜렷이 나타날 정도로 크게 영향을 미치고 있지 않은 것으로 판단된다. 2010년 호우사상의 시·공간적 분포 특성을 파악하기 위하여 주요 호우사상에 대하여 6개 지점의 10분 누가우량곡선과 전적비교의 유역평균우량을 함께 도시하여 비교하였으며, 그림 2는 2010년 8월 24~27일에 발생한 호우사상을 나타내고 있다. 이와 같이 강우량 분석을 통하여 산정된 2010년의 전적비교의 유역평균우량은 1,946.1mm이다.

표 1. 호우사상의 강우량 크기 분류(2010년)

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
사상수	23	29	13	20	5	6	5	101
백분율(%)	22.8	28.7	12.8	19.8	5.0	5.9	5.0	100.0
누가백분율(%)	22.8	51.5	64.3	84.1	89.1	95.0	100.0	

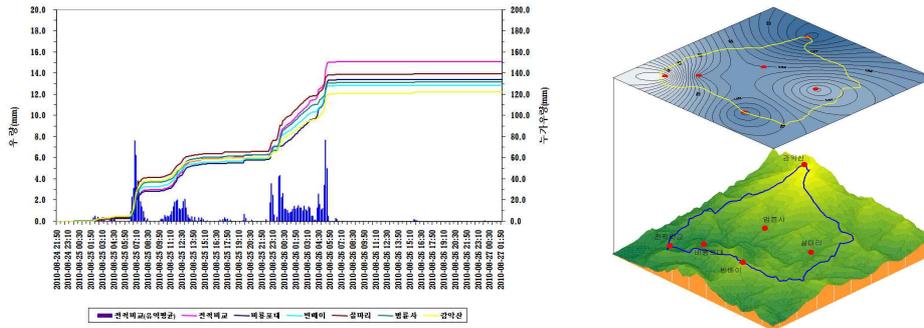


그림 2. 강우의 시·공간 분포(2010년 8월 24~27일)

3.2 하천유출량 분석

다음은 유역의 유출량 자료인 하천유출량을 분석하였다. 하천유출량 자료의 근간이 되는 수위관측은 유역 출구인 전적비교 수위관측소의 4종의 관측기에서 관측된 자료의 검토와 수정의 처리 과정을 거쳐 기종별 자료를 확정하였으며, 기종별로 검토, 수정된 최종자료는 가장 안정적인 자료를 기본으로 하여 상호 비교 검토를 통해 지점별 대표 수위자료를 확정하였다. 유량측정은 전적비교 수위관측소에서 실시하였으며, 유량측정방법은 국제표준기구(ISO)와 미국지질조사국(USGS)에서 제시한 방법을 적용하였다. 그리고 유량측정성과에 대한 측정오차 크기를 통계적 추정치로 표현하는 불확실도를 산정하여 유량측정에 대한 신뢰도를 개선시켰다. 유량측정성결과를 바탕으로 작성된 수위-유량관계곡선은 구간 및 기간분리를 고려하여 작성하였으며, 구간분리는 흐름이 0인 수위(GZF)와 단면형상을 기본으로 분리하였으며, 기간분리는 호우기간 전·후로 뚜렷이 발생하지 않아 고려하지 않았다.

확정된 하천수위자료와 수위-유량관계곡선식을 이용하여 유출량 자료로 환산하였다. 환산된 유출량은 전적비교(유역출구)의 상류에 위치한 사방교와 월별 및 주요 호우사상에 대한 유출률을 비교 검토하여 하천유출량을 확정하였다. 그림 3은 설마천 시험유역 전적비교의 강우-유출현황을 나타낸 것으로 전적비교의 2010년 유출률은 총강우량 대비 81.6%를 보였다.

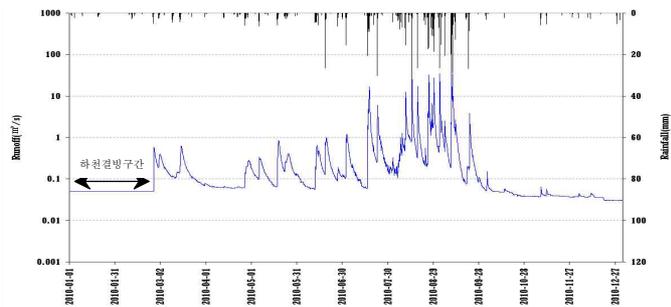


그림 3. 강우-유출 현황(2010년, 전적비교)

3.3 증발산량 분석

증발산량 분석은 다음의 가정을 통하여 유역 증발산량을 산정하였다. 설마천 시험유역은 대부분 산림이 차지하고 있으므로 증발산이 활발히 이루어진다고 보았으며, 갈수시 5.0mm 미만의 일강우량은 하천 유출량에 기여하지 못하고 있으므로 연간 발생한 강우량 중 일강우량 5.0mm 미만의 합인 438.2mm를 증발산량으로 추정하였다.

또한, 유역내 비룡포대 기상관측소에서 관측된 기상자료를 이용하여 FAO Penman-Monteith Equation을 적용하여 잠재증발산량(E_p)을 산정한 후, 작물계수(crop coefficient, k_c)와 토양계수(soil coefficient, k_s)를 곱하여 실제증발산량($E_t = k_s k_c E_p$)을 산정한 결과는 289.5mm이다. 본 연구의 물수지 분석에 적용한 증발산량은 후자의 경우로 하였다. 여기서 산정된 잠재증발산량은 709.5mm(총 강우량의 36.5%)이며, 1~3월, 11~12월은 작물의 생장이 없으므로 작물계수 적용기간에서 제외하였다. 또한 작물중에 따른 세부적인 작물계수 산정, 유역에 적합한 단일 토양계수 추정에 따른 불확실성을 내포하므로 전체적인 물수지 평형을 고려하여 작물계수 및 토양계수를 추정하였다.

표 2. FAO Penman-Monteith Equation을 이용한 실제 증발산량 산정(2010년)

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	합 계
E_p (mm)	72.7	107.2	105.5	96.3	96.5	53.3	44.4	575.9
k_c	0.20	0.20	0.65	1.10	1.10	0.68	0.25	-
k_s	0.795	0.795	0.795	0.795	0.795	0.795	0.795	-
$E_t = k_s k_c E_p$ (mm)	11.6	17.1	54.5	84.3	84.4	28.8	8.8	289.5

3.4 지하수 함양량 분석

설마천 시험유역의 지하수 함양량 분석은 전적비교 지하수위관측소에서 관측된 지하수위자료를 이용하여 지하수위 변동곡선 해석법으로 지하수 함양량을 산정하였다. 지하수계는 지하수의 함양과 배출에 의해 장기적으로 동적 평형상태를 유지하는 가정조건을 지닌 지하수위 변동곡선 해석법은 강수시 발생하는 지하수위 변화에 대해 비산출률을 곱하여 지하수 함양량(R)을 산출하는 방법으로 식 (2)와 같다.

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

설마천 시험유역의 지질은 경기편마암 복합체로 구성되어 있으며, 편마암은 근본적으로 화강암에서 기원한 것이므로 비산출률값은 화강암(0.09%)의 경우로 적용하였다. 그 결과 지하수 함양량은 69.1mm로 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 요소별 분석 결과

이상과 같이 각 물순환 요소별 연간 유출고(mm)를 산정한 결과는 표 3과 같다. 요소 중 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 3. 설마천 시험유역 물수지 분석 결과(2010년)

요 소		유출고(mm)	강우량대비 비율(%)	비 고
유입량	강우량	1,946.1	-	· 설마천 시험유역 강우량 분석자료
	하천유출량	1,587.5	81.6	· 수위관측 및 유량측정결과(전적비교 수위관측소)
유출량	증발산량	289.5	14.9	· FAO Penman-Monteith Equation 적용
	지하수 함양량	69.1	3.5	· 지하수위 변동곡선 해석법
기타	지하수 이용량	23.0	-	· 현지조사 분석자료

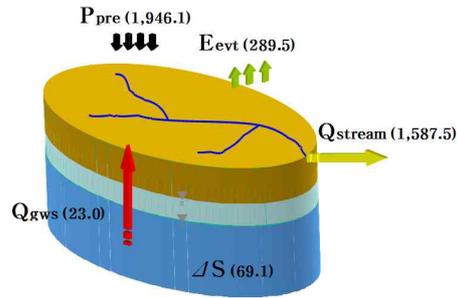


그림 4. 설마천 시험유역 물수지 분석 결과(2010년)

4. 결 론

산지 소하천 유역은 대부분 자연과 일부 인공적인 요소의 이중적 구조를 가지고 끊임없이 물순환을 반복한다. 관측자료를 이용하여 산지 소하천 유역인 설마천 시험유역에 대해 물순환 관계를 해석하였으나, 일부는 관련자료의 미흡으로 제한된 분석결과를 얻는데 만족하였다. 정확한 물순환 과정을 파악하기 위해서는 모든 요소의 정밀관측 및 분석이 필요하다. 설마천 시험유역과 같은 산지하천 유역에서 큰 비중을 차지하고 있는 요소는 강우량, 하천유출량, 증발산량이다. 따라서 정밀관측을 위한 투자와 노력이 지속적으로 필요하며, 앞으로 물순환 요소의 정밀관측과 조사를 통하여 각 요소의 불확실성을 개선시켜 나간다면 유역의 물순환 과정을 보다 더 정밀하게 해석할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 김동필 (2011), 설마천 시험유역 수문자료 분석, 제5회 수문조사 심포지엄.
2. 한국건설기술연구원 (2010), 시험유역의 운영 및 수문특성 조사, 건기연 2010-089.
3. ISO-748:1997(E) (1997), Measurement of Liquid Flow in Open Channels -Velocity-Area Methods.
4. Techniques of Water Resources Investigations of the USGS (1984). ch. A7, A8, A10.