

# 2005년 설마천 시험유역의 관측 자료를 이용한 물수지 분석

## Water Balance Analysis using Observation Data of the Seolma-Cheon Experimental Catchment of the 2005 Year

김동필\*, 정성원\*\*, 김성훈\*\*\*

Dong Phil Kim, Sung Won Jung, Sung Hoon Kim

### 요 지

산지 소하천 유역을 대상으로 물순환 과정을 규명하기란 대단히 어려운 실정이다. 1차적으로는 수문자료의 부재가 제일 크며, 자료가 있다 하더라도 홍수기 중심 및 단기간 자료의 축적에 불과하다. 이중 설마천 시험유역은 한국건설기술연구원의 11년간 운영경험을 바탕으로 비교적 장기간의 수문자료를 축적하고 있다. 최근 6년간은 신뢰할 만한 양질의 수문자료를 구축하였으며, 현재는 신뢰도의 완성을 높이는 연구가 활발히 진행 중에 있다.

설마천 시험유역의 유역의 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 중요 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 수문관측 자료를 이용하여 물수지 분석을 수행하였다. 물수지 분석의 대상유역인 설마천 시험유역의 신뢰할 만한 관측자료에는 강우량, 유출량, 지하수이용량이며, 증발산량 산정을 위한 기상관측 및 대형증발계를 통한 실제 증발량 관측은 이루어지나 유역을 대표하는 증발산량의 관측이 연속적으로 이루어지지 못하는 실정이다. 그러나, 설마천 시험유역은 소규모이며, 대체로 동질성 있는 유역이라고 가정하여 1개 기상관측소에서 운영하는 기상자료를 이용하여 증발산량을 산정하고 물수지에 적용하였다.

또한, 그 동안 관측하지 못했던 지하수위 관측을 실시함으로써 정확한 물순환 해석을 할 수 있는 기반을 확보 하였으며, 가용한 장·단기간의 관측자료와 물수지 분석 연산식의 추정치를 바탕으로 관측자료에 의한 물수지 분석을 수행하였다. 분석 결과로 산지 소하천 유역인 설마천 시험유역의 각 수문요소의 물이동간의 정량적인 값을 알 수가 있었으며, 앞으로 추가적이고 지속적인 수문모니터링이 운영되고 물순환 해석 모형에 의한 검증이 수행된다면 정량적인 물순환 관계를 규명할 수 있을 뿐만 아니라 이와 관련된 수문요소기술을 확보할 수 있을 것이다.

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

### 1. 서 론

설마천 시험유역의 유역의 물순환 구조는 자연계의 유입과 유출이 지배적이며, 이들의 수문성분을 규명하기 위해서는 각각의 수문성분들의 관측 및 해석이 필요하며, 각 수문성분들의 물수지 분석을 통하여 정량적

\* 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원E-mail : dpkim@kict.re.kr

\*\* 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원E-mail : swjung@kict.re.kr

\*\*\* 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원E-mail : kimsh@kict.re.kr

인 합의 결과를 가지적으로 확보함이 매우 중요하다. 신뢰도와 정확성에 근거한 관측 자료를 이용한 물순환 해석결과는 수문성분들의 총체적 표현이라 할 수 있는 모형(model)의 중요 입력 자료이며, 모형의 분석결과를 검증할 수 있는 중요한 기준이 된다.

한국건설기술연구원에서 운영하고 있는 설마천 시험유역을 대상으로 관측 자료를 이용하여 물순환 해석을 수행하고자 기초 자료로 강우량, 유출량, 지하수이용량, 지하수위 변화에 의한 유역 저류량 등의 관측 자료를 수집하여 2005년의 연간 물수지 분석을 수행하였다.

## 2. 관측 자료를 이용한 물수지 분석

산지 소하천 유역의 물순환 해석을 위한 자료로 유역 유입량 자료에는 강우( $P_{pre}$ )이며, 유역 유출량 자료에는 하천유출량( $Q_{stream}$ ), 증발산량( $E_{evt}$ ) 및 지하수위 변화에 의한 유역 저류량( $\Delta S$ )이고, 기타에는 지하수 이용량( $Q_{gws}$ )이 있다. 다음과 같이 식 (1)을 이용하여 물수지를 계산하였으며, 관측 자료의 분석은 2005년에 발생한 유역의 유입 및 유출량을 중심으로 수집된 자료의 정리를 통하여 다음과 같이 분석을 수행하였다.

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

### 2.1 강우량 분석

먼저 유역의 유입량자료인 강우 분석에는 6개 우량관측소에서 관측된 자료를 이용하여 연간 강우량을 산정하였다. 유역평균우량의 산정은 티센가중법을 적용하였으며, 2005년에 발생한 호우사상은 표 1에서 보는 바와 같이 54개로 10mm미만의 호우사상은 총 호우사상의 44.5%를 보였다. 그리고 지속시간별 10분, 1시간 및 24시간 최대강우량은 각각 18.5mm, 43.0mm, 105.0mm 이었다. 또한 설마천 시험유역내의 6개 우량관측소간의 강우량을 비교한 결과 지점간의 강우량의 차이는 크게 나타나지 않았으며, 각 지점의 관측우량간의 결정계수는 대부분 0.90~0.98에 근사한 값을 보였다. 그리고 각 관측소의 해발고도는 55m~675m 정도로 비교적 큰 차이를 보이나, 고도에 따른 강우량의 분포가 뚜렷이 나타날 정도로 크게 영향을 미치고 있지 않은 것으로 판단된다. 2005년 호우사상의 시·공간적 분포 특성을 파악하기 위하여 주요 호우사상에 대하여 6개 지점의 10분 누가우량곡선과 전적비교의 유역평균우량을 함께 도시하여 비교하였다. 그림 1은 2005년 9월 13일에 발생한 호우사상을 나타낸 것으로 각 지점간의 강우의 시간분포는 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 이 때 발생한 호우는 열대성 저기압으로 변한 제15호 태풍 '카눈'의 영향으로 발생한 호우로, 크게 4개 정도의 호우로 이루어진 복합호우의 성격을 띠고 있다. 대부분의 강우량은 중반부와 후반부에 집중되어 있으며, 호우 초반부와 후반부의 중심은 범륜사 지점을 중심으로 분포하고 있으며 중반부에만 감악산 지점으로 잠시 호우 중심이 이동했음을 알 수 있다. 이와 같이 강우 분석을 통하여 산정된 2005년의 전적비교의 유역평균우량은 1,321.4 mm이다.

표 1. 호우사상의 강우량 크기 분류(2005년)

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	4	15	5	15	6	9	0	54
백분율(%)	7.4%	27.8%	9.3%	27.8%	11.1%	16.6%	0.0%	100.0%
누가백분율(%)	7.4%	35.2%	44.5%	72.3%	83.4%	100.0%	100.0%	100.0%

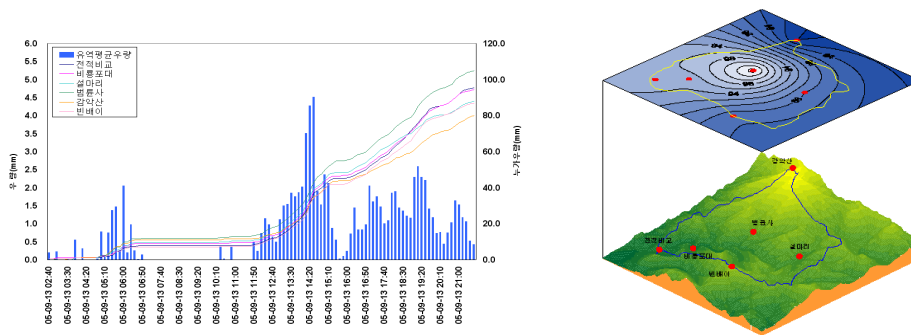


그림 1. 강우의 시·공간 분포(2005년 9월 13일)

## 2.2 하천유출량 분석

다음은 유역의 유출량자료인 하천유출량을 분석하였다. 하천 유출량 자료의 근간이 되는 수위관측은 유역 출구인 전적비교 수위관측소에서 4종의 관측기기에서 관측된 자료는 검토와 수정의 처리 과정을 거쳐 기종별 원시자료를 확정하였으며, 기종별로 검토, 수정된 최종자료는 가장 안정적인 자료를 기본으로 하여 상호 비교 검토를 통해 지점별 대표 수위자료를 확정하였다. 다음으로 유량측정은 전적비교 수위관측소 지점에서 28회를 실시하였으며, 최고와 최저수위에 근접하는 유량측정성과를 확보하였다. 설마천 시험유역에서 준용한 유량측정방법은 국제표준기구(ISO)와 미국지질조사국(USGS)에서 제시한 방법을 적용하였다. 그리고 유량측정성과에 대한 측정오차크기를 통계적 추정치로 표현하는 불확실도를 산정하여 유량측정에 대한 신뢰도를 개선시켰다. 유량측정성과를 바탕으로 작성된 수위-유량관계곡선은 수위-유량관계의 구간 및 기간분리를 고려하여 작성하였으며, 구간분리는 흐름이 0인 수위(Gauge Height of Zero Flow: GZF)를 초기치로 기간분리는 호우기간을 전후하여 수위-유량관계곡선식을 유도하였다. 확정된 수위자료와 구간 및 기간분리가 고려된 수위-유량관계곡선식을 이용하여 유출량 자료로 환산하였다. 환산된 유출량은 전적비교의 상류에 위치한 사방댐 지점과 월별 및 주요 호우사상에 대한 유출량을 비교 검토하여 하천유출량 자료를 확정하였다. 그림 2는 설마천 시험유역 전적비교의 강우-유출현황을 나타내는 것으로 전적비교의 2005년의 년 유출률은 61%를 보였다.

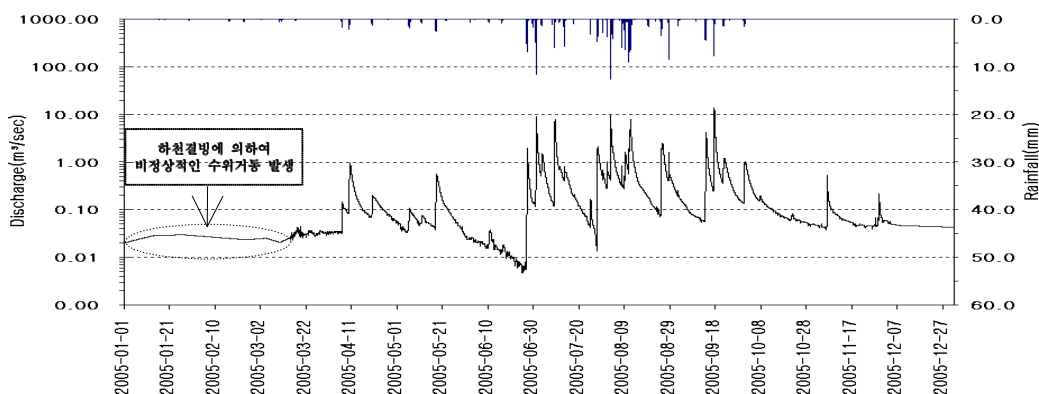


그림 2. 강우-유출 현황(2005년)

## 2.3 증발산량 분석

증발산량 자료의 분석은 신뢰할 만한 자료의 부족과 비연속 관측(21세기 프린터어개발연구사업)으로 어려움이 따랐다. 따라서 다음과 같은 가정을 통하여 유역 증발산량을 산정하였다. 설마천 시험유역은 산림이 대부분을 차지하고 있어 증발산이 활발히 이루어진다고 보았으며, 갈수시의 하천 유출량 측정시 6.0mm미만의 일강우량은 하천 유출량에 기여하지 못하고 있음을 보았을 때 연간 발생한 강우량 중 일강우량 6.0mm미만의

합을 총 증발산량으로 추정하여 분석하였으며 산정된 증발산량은 341.7mm/yr이다.

그리고, FAO Penman-Monteith Equation을 적용하여 잠재증발산량(ETo)을 산정한 후 작물계수(crop coefficient, Kc)를 곱함으로써 실제 증발산량(ETc)을 산정하였다. 그리고 토양수분 감소량 (Fns, Soil Moisture Depletion Fractions for No Stress) = 0.5를 적용하여 최종 증발산량을 산정 하였으며, 산정된 증발산량은 378.9mm/yr이다. 본 연구의 물수지 분석에 적용한 증발산량은 후자의 경우로 선정하였다.

**표 2. FAO Penman-Monteith Equation을 이용한 실제 증발산량 산정(2005년)**

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	합 계
ETo (mm/mon)	135.0	145.5	187.7	219.5	201.2	155.4	116.4	1,160.7
Kc	0.15	0.15	0.63	1.10	1.10	0.68	0.25	-
ETc (mm/mon)	20.3	21.8	118.3	241.5	221.3	105.7	29.1	758.0
ETc×Fns(=0.5) (mm/mon)	10.1	10.9	59.1	120.7	110.7	52.8	14.6	378.9

## 2.4 지하수위 변화에 의한 저류량 분석

설마천 시험유역에는 지하수위 변화 거동을 파악하기 위한 관측정이 없는 관계로 지하수위 변화에 의한 저류량 분석은 불가능한 실정이다. 따라서 식 (1)의 물수지 분석 연산식에서 저류량을 미지의 값으로 하는 이항정리를 통하여 분석을 하였다.

## 2.5 지하수 이용량 분석

유역내의 지하수 이용량은 현지조사를 실시하여 자료를 수집하고 정리 분석하였다. 먼저 지하수 이용량이 상대적으로 많은 3개 군부대를 중심으로 조사를 하였다. 군부대의 생활용수는 대부분 지하수를 펌핑하여 사용하고 있었으며, 3개 군부대의 일일 지하수 이용량은 모두 103m<sup>3</sup>/day로 조사되었다. 다음은 유역내에 상주하는 설마리 주민의 지하수 이용량은 파주시 관내에 공급되는 상수도량, 즉 1인 1일 상수사용량 367ℓ를 적용하였으나, 설마리 마을에는 지표수와 지하수를 공동으로 사용하고 있으므로 1인 1일 상수사용량의 50%를 취하였고, 지하수 사용량에 대한 요금납부가 없는 것과 기타 잡용수로 사용할 것을 추정하여 가중치를 120%로 적용하여 지하수 이용량을 산정하였다. 그리고 하천 주변에 위치한 휴게소에서는 개별적으로 지하수를 생활용수로 이용하고 있다. 또한 휴게소는 여름철에 피서객이 방문하여 쉽터로 이용되고 있는 곳으로 1개 휴게소의 방문객을 조사하여 전체적으로 확대하여 지하수 사용량을 추정하였다. 이로써 설마리 주민과 피서객의 물이용량은 433.2m<sup>3</sup>/day로 산정되었다. 설마천 유역내의 지하수 총 이용량은 536.2m<sup>3</sup>/day(=23.0mm/yr)이다.

## 3. 분석결과

이상과 같이 각 요소별 분석을 통하여 종합한 결과는 표 3과 같다. 표 3에서 보는 바와 같이 각 물순환 구성요소별 연간 유출고(mm)를 산정한 결과는 지하수위 변화에 의한 저류량의 값을 제외한다면 매우 양호한 정량적인 값을 도출하였다고 할 수 있다. 정확한 물순환 과정을 파악하기 위해서는 모든 요소의 정밀관측 및 분석이 필요하다. 설마천 시험유역과 같은 산지 소하천 유역에서의 큰 비중을 차지하고 있는 요소는 강우량 및 하천 유출량이다. 따라서 정밀관측을 위한 투자와 노력이 지속적으로 필요하다. 앞으로 물순환 구성요소들의 정밀관측과 조사를 통하여 각 요소의 불확실성을 개선시켜 나간다면 유역의 물순환 과정을 보다 더 정밀하게 해석할 수 있을 것이다.

표 3. 설마천 시험유역 연간 물수지 분석결과(2005년)

요 소		유출고 (mm/yr)	비 고
유입량	강우량	1,321.4	·설마천 시험유역 강우분석자료
유출량	하천유출량	804.3 (60.9%)	·수위관측 및 유량측정결과(전적비교 수위관측소)
	증발산량	378.9 (28.7%)	·FAO Penman-Monteith Equation 적용 ·일강우량 6mm미만 적용 = 341.7mm
	유역저류량	138.2 (10.5%)	·이항정리에 의한 추정치
기타	지하수이용량	23.0	·현지조사 분석자료

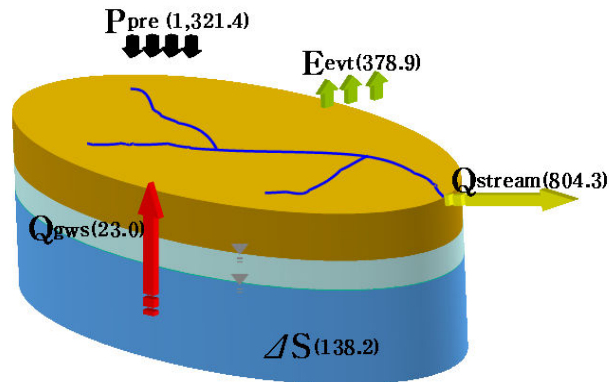


그림 3. 설마천 시험유역 연간 물수지도(2005년)

#### 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, 일부 관련자료의 미흡으로 제한된 분석결과만을 얻는데 만족하였다. 물순환 각 요소별 지속적인 수문 모니터링이 체계적으로 이루어지고, 물순환 해석 모형에 의한 검증이 수행된다면 설마천 시험유역의 물순환 과정을 보다 더 정밀하게 해석할 수 있을 것이며, 이와 관련된 수문요소기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프런티어연구개발사업인 수자원의 지속적확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2005). 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구, 건기연.
2. 김동필, 정성원, 김성훈(2005). 관측자료를 이용한 설마천 시험유역의 물순환 해석, 2005년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회.
3. Techniques of Water Resources Investigations of the USGS(1984). ch. A7, A8, A10.