

2004년 설마천 시험유역의 운영

A Study on the Operation of the Seolma-Cheon Experimental Catchment

김동필* , 정성원** , 김성훈***

Dong Phil Kim, Sung Won Jung, Sung Hoon Kim

요 지

본 연구의 목적은 경기도 파주시 적성면 설마리에 위치한 설마천 시험유역을 대상으로 신뢰성 있는 수문 자료를 지속적으로 수집하여 정확한 물 순환과정을 규명하는데 있다. 2004년 설마천 시험유역의 수문관측은 2003년보다 더욱 향상된 결과를 보였으며, 관측기기의 추가 설치, 실시간 전송장비의 보완 및 운영, 각 관측소당 2종 이상의 동시 관측자료 확보 등을 통해 자료의 결측을 최소화하였고 정확도를 개선하여 양질의 자료를 생성할 수 있었다. 관측된 우량과 수위 자료에 대해 일상적인 자료 검토 및 처리 과정을 보다 구체적으로 체계화하여 자료의 질적 향상을 꾀하였다. 특히 유량 측정 및 산정 방법을 국제 기준에 준하여 수행하고, 현장에서 실시간으로 관측자료의 분석 및 검증이 가능한 유량측정용 PDA 시스템을 활용함으로써 보다 정도 높은 유량측정성과를 확보할 수 있었다.

핵심용어 : 설마천 시험유역, 수문관측, 자료생성, 자료검토

1. 서론

국가 수자원 계획 및 관리, 수문설계 등에 기본적으로 필요한 요소는 우량, 하천수위, 유속, 유량과 같은 기초 수문자료이다. 높은 품질수준 및 장기간의 자료축적을 위해서는 상당한 투자와 노력이 필요하지만, 인식과 노력의 부족으로 양질의 자료가 절대 부족하여 각종 수문관련 연구와 설계 등에 많은 어려움을 겪고 있다.

외국의 경우 소규모 시험유역을 상당수 운영하여 정밀한 수문자료를 획득하고 있으나, 국내에서는 국제수문개발계획(IHP)의 일환으로 운영되는 3개 대표유역과 일부 기관 및 대학에서 연구과제와 관련하여 시험유역을 일부 운영하고 있으나, 정밀관측이 어려운 실정이고 단기적으로 운영하거나 관측자료 비공개 문제로 활용성이 떨어지고 있다. 따라서 다양한 수리·수문 연구를 위해서는 시험유역 수의 확대와 장기간의 운영으로 고품질의 다양한 수리·수문자료를 확보하는 것이 무엇보다도 필요한 상황이다. 이에 한국건설기술연구원에서는 1995년부터 설마천 시험유역을 운영하면서 산지 소유역의 특성변화와 수문·기상 등 기초자료에 대한 지속적인 관측과 자료 축적을 해오고 있다. 본 논문에서는 그동안 축적되어온 설마천 시험유역의 신뢰성 높은 수문자료에 대한 공유와 활용성 증대를 위해 2004년의 운영 현황을 중심으로 설마천 시험유역을 소개하고자 한다.

2. 설마천 시험유역 현황

설마천 시험유역은 경기도 파주시 적성면 설마리에 위치한 영국군 전적비교를 출구로 하는 설마천 중상

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

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

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

류 유역이다. 유역면적 8.50km², 유로연장 5.80km, 유로경사 2.3%의 특성을 갖는 전형적인 급경사 산지 사행하천이다. 본 시험유역에는 그림 1과 같이 6개의 우량관측소, 2개의 수위관측소 및 1개의 기상 관측소가 운영되고 있으며, 결측 최소화와 이상치 발생의 예방을 위하여 주 1회의 관측기기 점검, 2종 이상의 관측기기 운영, 실시간 모니터링 시스템의 운영 등을 수행하고 있다. 일상적인 관측기기의 유지관리와 수문기상관측 및 관측자료의 검토 등 일련의 수문관측 및 자료처리 과정을 통해 양질의 우량, 수위, 유량 및 기상자료 등을 10분 단위로 생성하며, 수문관련 연구에 활용되도록 수문 D/B에 등록하여 일반에게 제공하고 있다. 또한, 실시간 모니터링 시스템을 통해 설치된 시험유역 홈페이지(<http://kict.datapcs.co.kr>)나 핸드폰을 통해서도 실시간으로 자료를 확인할 수 있도록 하고 있다.

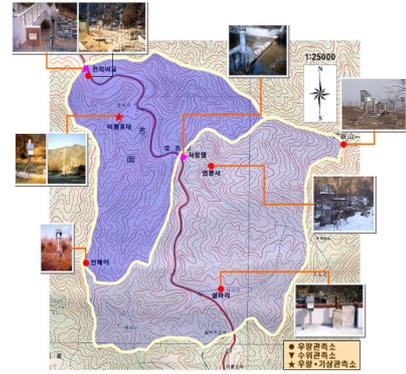
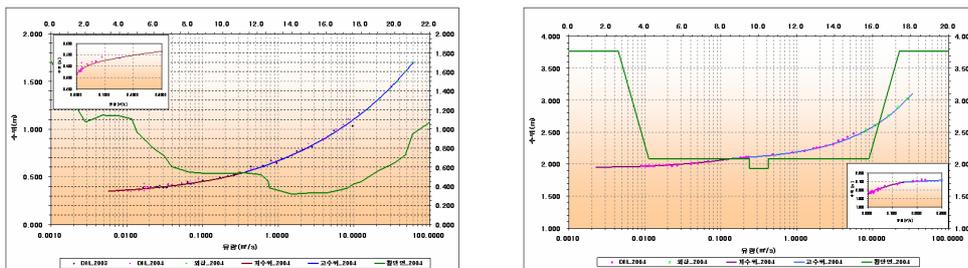


그림 1. 유역도 및 관측소 현황

3. 자료처리 및 자료현황

설마천 시험유역에서 관측된 자료는 일상적인 자료처리 과정을 거치게 되며, 우량자료는 이상치 검토, 시간축 보정, 우량계 종류 및 지점에 따른 비교, 인근 기상청 자료와의 비교 등 일련의 검토과정을 거쳐 최종적으로 확정된다. 수위자료는 목자수위표 수위자료와의 비교, 이상치 검토, 동절기 하천결빙자료 처리, 기종간 비교, 상하류 비교, 강우-수위관계 검토 등의 과정을 거쳐 확정된다.

설마천은 산지하천으로 하천경사가 크며, 하상의 세굴과 퇴적이 반복해서 발생하므로, 큰비가 오면 수위-유량관계가 빈번하게 변화하는 특성을 갖는다. 따라서 정밀한 유량자료를 확보하기 위해 일반적인 유량측정 횟수인 연간 20~30회의 수준을 상회하는 유량측정을 수행하고 있으며, 평상시에는 거의 매주 한번씩, 호우 발생시에는 현장에서 상주하면서 수위에 따라 유량측정을 지속적으로 수행하였다. 2004년의 경우 전적비교와 사방댐에서 측정된 유량측정성과는 각각 39회와 35회이며, 그림 2는 2004년 유량측정성과와 하천단면 형상을 고려하여 작성된 수위-유량관계곡선을 나타내고 있다.



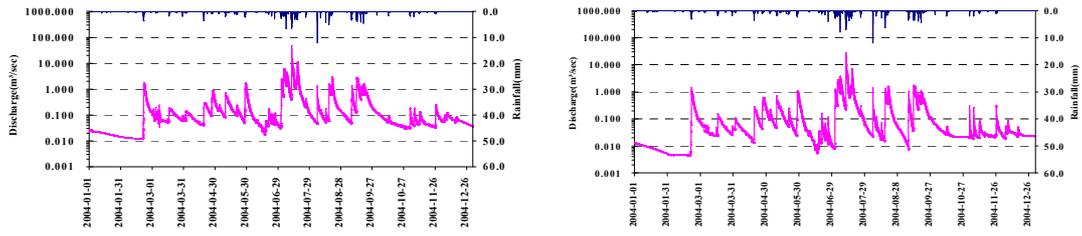
(a) 전적비교

(b) 사방댐

그림 2. 유량측정성과 및 수위-유량관계 곡선

수위-유량관계곡선을 작성하기 위해서는 수위와 유량측정성과의 점검, 곡선식 적용 기간과 구간의 분리 결정, 수위-유량관계곡선식 유도 및 유출 검토 등 단계별로 충실한 검토가 요구된다. 하천단면자료와 수위 및 유량측정성과 자료가 어느 정도 충분히 축적된다면, 하천의 흐름특성과 흐름단면의 특성을 잘 표현하는 수위-유량관계곡선이 가능하다는 것을 보여주는 하나의 좋은 예라고 할 수 있다.

유량측정성과를 이용하여 작성된 수위-유량관계곡선으로 관측된 수위를 유량으로 환산한 후, 주요 호우 사상 및 월별유출률 검토, 상·하류간 비교 등 수위-유량관계곡선의 타당성을 검토한 후 필요시 이를 재조정하는 절차를 거친다. 이러한 과정을 거쳐 확정된 수위-유량관계곡선을 이용하여 유량자료를 산정하며, 그림 3은 전적비교 지점의 10분 단위 유역평균우량과 두 지점의 유량을 도시한 그림이며, 하천결빙이 발생하는 동절기의 유량환산은 현장점검시 목자수위표를 기록하였다가 유량환산시 참조하여 유량을 산정하였다.



(a) 전적비교

(b) 사방댐

그림 3. 2003년 강우-유출현황

설마천 시험유역에서는 유량측정시, 현장에서 시료를 채취하여 부유사 및 수질에 대한 분석을 수행하고 있으며, 그림 4와 그림 5는 2004년에 수행된 부유사 및 수질측정 결과에 대한 내용을 도시한 것이다. 설마천에서 생성되는 수문자료는 우량, 유량 등 8종으로 10분 단위 자료를 기본으로 하며, 시 및 일자료로 변환하여 구성된다. 또한 전적비교부터 사방댐까지 하천 종횡단 측량을 수행하여 이에 대한 측량성과도 함께 보유하고 있으며, 구체적인 자료내역은 표 1과 같다.

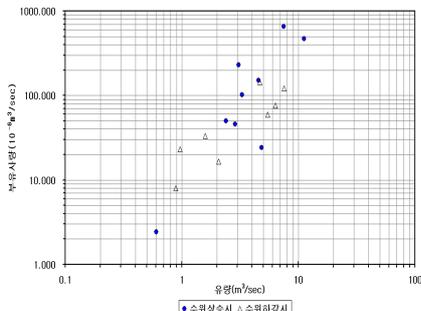


그림 4. 유량-부유사량 관계(전적비교)

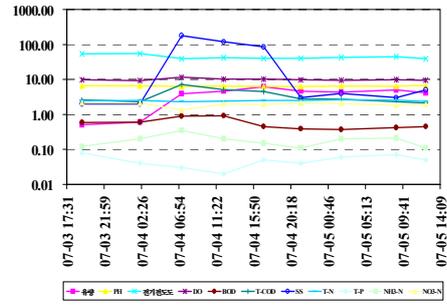


그림 5. 수질측정결과(전적비교)

표 1. 등록자료 종류 및 내역

종류	지점명	시간 간격	자료 항목
지점 우량	전적비교의 5개지점	10분/1시간/1일	
유역평균우량	전적비교/사방댐	10분/1시간/1일	
수위		10분/1시간/1일	
유량측정성과		수시	관측시점/중점 시각 및 수위, 수심, 유속, 유량, 단면적, 하폭 등
유량		10분/1시간/1일	
수질		유량측정시	DO, pH, 전기전도도, 탁도, BOD, COD, SS, T-N, T-P, NH3-N, NO3-N
부유사량		유량측정시	
기상	비룡포대	10분/1시간/1일	풍향, 풍속, 기온, 지중온도, 노점온도, 상대습도, 수증기압, 포화수증기압, 일사량, 일조시간, 증발량, 토양수분 6종
종횡단측량성과	전적비교 ~ 사방댐		전적비교 하류 200m 지점 ~ 사방댐 수위관측소

4. 유량측정성과 불확실도 분석

올해 설마천 시험유역의 운영을 통해 확보된 유량측정성과의 정확도를 판단하기 위해 ISO 748 등에 제시된 방법을 기준으로 개별 유량측정성과의 불확실도를 산정하였다. 그림 6를 통해 알 수 있듯이 해를 거듭할수록 불확실도가 상당히 개선되었음을 알 수 있다. 전적비교의 경우 2003년 총 불확실도가 8.4%였으나 2004년도에는 7.9%로 개선되었음을 알 수 있다. 사방댐에서도 2003년 8.6%에서 2004년에는 8.4%로 전적비교와 마찬가지로 불확실도가 감소하였다.

설마천 시험유역의 경우 평저수기에는 기본적으로 하폭이 좁아 측선수를 확보하는데 한계가 있으며 유속도 느려 불확실도를 줄이기가 매우 힘든 상황이다. 또한 홍수기에는 산지하천의 특성상 수위가 급변하고 유속이 매우 빠르기 때문에 측정시간과 측선수 및 측정수를 확대하는데 제한이 있다. 이러한 원인으로 인해 비교적 많은 측선수와 긴 측정시간을 확보하였음에도 불구하고 개별 유량측정성과에 대한 불확실도는 미국 지질조사국의 분류기준으로 'Fair(3등급)/Poor(4등급)'에 해당하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 현장상황을 고려하여 등유량 개념에 맞게 측선을 적절히 배분하고 점유속의 측정시간을 늘린다면 현재의 수준보다는 불확실도의 크기를 일정수준 이하로 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

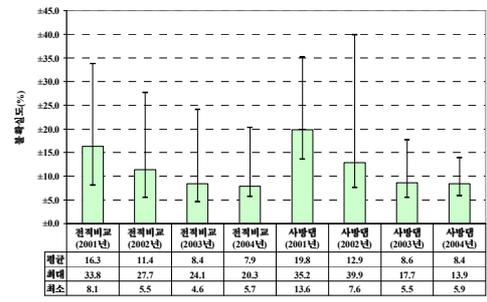


그림 6. 유량측정성과 불확실도 산정결과

5. 강우-유출특성 분석

5.1 강우특성 분석

설마천 시험유역에서 관측된 우량자료를 이용하여 강우사상 빈도수, 지속기간별 최대강수량, 2개 우량계간의 강우량 비교, 5개 지점우량의 비교 및 주요 호우사상에 대한 시공간분포 특성 등 기본적인 강우특성 분석을 수행하였다. 그 결과 전적비교 유역평균우량을 기준으로 2004년에는 총 68개 호우사상이 발생한 것으로 분석되었다(12시간 무강우시간 기준). 표 2는 2004년에 발생한 68개 호우사상에 대해 강우량 크기별 분포를 나타낸 것으로, 이 중에서 5.0mm 미만의 강우량을 보인 사상은 41.2%로 28개이고, 30mm 미만은 51개로 75.0%이며, 50.0mm 이상인 사상은 10개이다. 2003년과 비교하였을 때 2004년도 50.0mm 이상의 호우사상수는 비슷하나 양적으로는 적었다. 2004년도에 내린 강우량 중 최대 강우지속기간은 8월 16~20일 발생한 강우로 105.67시간이었으며, 최대 강우강도는 5월 18일 발생한 강우로 3.44mm/hr이었다. 또한 10분, 1시간 및 24시간 최대강우량은 각각 16.5mm, 36.0mm, 159.5mm로 나타났다.

표 2. 2004년 강우사상의 강우량 크기별 분류

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	13	15	12	11	7	6	4	68
백분율(%)	19.1%	22.1%	17.6%	16.2%	10.3%	8.8%	5.9%	100.0%
누가백분율(%)	19.1%	41.2%	58.8%	75.0%	85.3%	94.1%	100.0%	100.0%

2004년에 발생한 호우사상 중에서 특이한 사상은 2003년과 다르게 태풍의 직접적인 영향으로 인한 큰 호우발생은 없었으며, 호우의 발생빈도는 2003년도보다 적었고 평균 강우강도의 세기가 높았다. 설마천 시험유역은 유역면적이 작고 우량관측소가 비교적 조밀하기 때문에 그림 7에서 알 수 있듯이 지점간의 강우의 시간분포는 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 공간분포의 경우 호우사상에 따라 다양하게 나타나고 있으며, 대부분 범륜사와 설마리를 호우중심으로 하고 있었다. 특히 그리고 범륜사 지점의 경우 매년 우량이 다른 지점에 비해 다소 큰 값을 보이고 있는데 이러한 현상은 기상요소의 영향이나 고도차에 의한 영향일 가능성도 있겠으나 유역이 크기가 작아 관측소별로

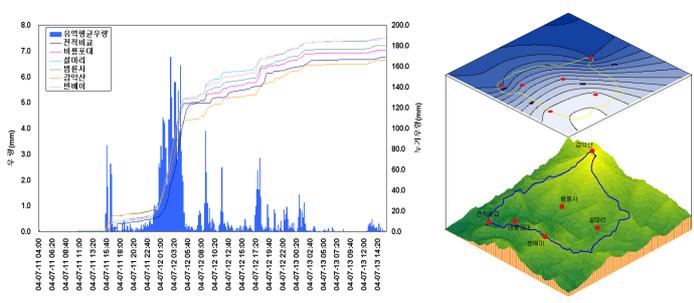


그림 7. 2004년 7월 11일 ~ 13일 호우사상의 시공간 분포

기상요소간 차이는 크지 않다고 보여지며, 다른 관측소 위치와 비교해 볼 때 고도별로 우량의 크기에 일관성이 없어 기상요소나 고도차가 주된 요인으로 작용하고 있다고 보여지진 않는다. 다만, 다른 관측소와는 달리 범륜사 관측소의 경우 계곡에 위치하고 있다는 점을 고려할 때 주로 지형적 영향에 의한 결과로 판단된다.

5.2 유출특성 분석

2004년의 설마천 시험구역의 유출은 2003년과 다른 유출특성을 보였다. 5월 이전까지는 48%~79% 정도의 유출을 보였으나, 점차 줄어들어 6월에는 33% 정도의 다시 매우 적은 유출을 다시 보였다. 7월에는 많은 비로 유출이 많았으며, 이후 다시 유출이 급격히 감소하여 10월에 비교적 많은 유출이 있었던 것을 제외하면 가을에는 적은 유출을 보였다. 2004년도 연간 유출률은 전적비교와 사방댐 지점에서 각각 69%와 69%를 보였다. 이는 2003년도 연간 유출률인 74%(전적비교)와 70%(사방댐) 보다는 작은 것으로, 2004년도는 2003년도에 비해 년 강우량이 76%정도에 그쳐 유출이 상대적으로 적었다고 판단된다. 두 지점에서 비슷한 연간 및 월별 유출량을 보인 것으로 보아 강우-유출자료가 비교적 정확하게 산정되었다고 여겨진다.

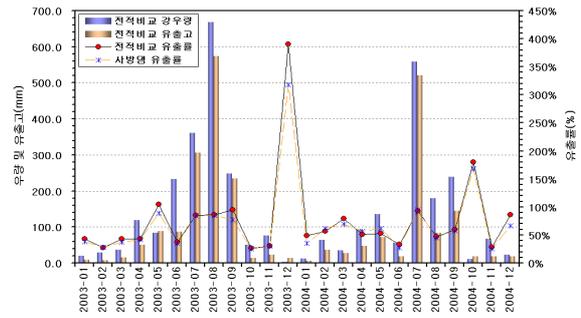


그림 7. 월별 유출률(2003년 ~ 2004년)

6. 결론

올해 설마천 시험구역의 수문관측은 예년에 비해 양과 질에서 많은 향상이 있었다. 우량과 수위 관측기기의 철저한 유지관리 등을 통해 결측을 최소화시킬 수 있었다. 또한 지속적인 실시간 전송장비의 운영을 통해 실시간으로 현장의 상황을 파악할 수 있어 관측기기의 신속한 유지관리, 결측 최소화, 유량측정 기회 확대, 신속한 이상치 검토 등이 가능해져 자료의 질을 보다 높일 수 있었다. 그리고 기 개발된 유량측정용 PDA 시스템 같은 첨단장비의 적용을 통해 수문자료의 품질을 높이고 있다. 관측된 우량과 수위 자료에 대해 일상적인 자료처리 시스템을 구축하여 운영함으로써 보다 정밀한 자료를 확보할 수 있도록 노력하였다. 측정된 유량측정자료는 불확실도 분석 등을 통해 오차를 더욱 줄일 수 있도록 측정방법을 지속적으로 보완하였다.

설마천 시험구역의 수문자료가 본격적으로 각종 수문분석에 활용되기 위해서는 앞으로도 장기간의 자료 축적이 필요하므로 본 연구는 지속적으로 진행될 것이다. 또한 프린티어 연구사업과 연계하여 타 시험구역과의 자료의 공유를 통해 질적 제고를 확보하고 있으므로, 이후 다른 소유역의 수문순환 과정을 한차원 높여 해석할 수 있는 기반을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1995~2004). 시험구역의 운영 및 수문특성 조사·연구.