

2003년 설마천 시험유역의 운영

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

김동필*, 황석환**, 정성원***, 한명선****

Dong Phil Kim, Seok Hwan Hwang, Sung Won Jung, Myoung Sun Han

요 지

본 연구의 목적은 경기도 파주시 적성면 설마리에 위치한 설마천 시험유역을 대상으로 신뢰성 있는 수문 자료를 지속적으로 수집하여 정확한 수문순환과정을 파악하는데 있다. 2003년 설마천 시험유역의 수문관측은 예년보다 더욱 향상된 결과를 보였다. 노후화된 관측기기의 교체 및 추가 설치, 실시간 전송장비의 보완 및 운영, 각 관측소당 2벌 이상의 동시 관측자료 확보 등을 통해 자료의 결측을 최소화하였고 정확도를 개선하여 예년보다 양질의 자료를 생성할 수 있었다. 관측된 우량과 수위 자료에 대해 일상적인 자료 검토 및 처리 과정을 보다 구체적으로 체계화하여 자료의 질이 향상될 수 있도록 하였다. 특히 유량 측정 및 산정 방법을 국제 기준에 준하여 수행하고, 현장에서 실시간으로 계측자료의 분석 및 검증이 가능한 유량측정용 PDA 시스템을 개발함으로써 예년에 비해 보다 정도 높은 유량측정성과를 확보할 수 있었다.

핵심용어 : 설마천, 시험유역, 수문관측, 자료생성, 자료검토, 처리과정

1. 서론

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 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 2003년의 운영 현황을 중심으로 설마천 시험유역을 소개하고자 한다.

2. 설마천 시험유역 현황

설마천 시험유역은 경기도 파주시 적성면 설마리에 위치한 영국군 전적비교를 출구로 하는 설마천 중상류 유역이다. 유역면적 8.50km², 유로연장 5.80km, 유로경사 2.3%의 특성을 갖는 전형적인 급경사 산지 사행하

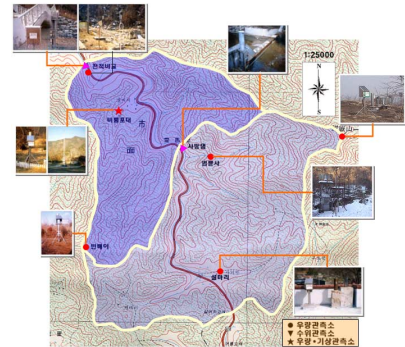
* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : dpkim@kict.re.kr

** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : sukany@kict.re.kr

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : swjung@kict.re.kr

**** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : mshan@kict.re.kr

천이다. 본 시험유역에는 그림 1과 같이 6개의 유량관측소, 2개의 수위관측소 및 1개의 기상관측소가 운영되고 있으며, 결측 최소화와 이상치 발생의 사전 예방을 위하여 주 1회의 관측기기 점검, 2벌 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 유량과 유량, 수질, 기상자료 등을 10분 단위로 생성하며, 수문관련 연구에 활용되도록 수문 D/B에 등록하여 일반에게 제공하고 있다. 또한, 실시간 모니터링 시스템을 통해 설마천 시험유역 홈페이지나 핸드폰을 통해서도 실시간으로 자료를 확인할 수 있도록 하고 있다.



3. 자료처리 및 자료현황

설마천 시험유역에서 관측된 자료는 일상적인 자료처리 과정을 거쳐게 되며, 유량자료는 이상치 검토, 유량계 종류 및 지점에 따른 비교, 인근 기상청 자료와의 비교 등 일련의 검토과정을 거쳐 최종적으로 확정된다. 수위자료는 목자관 수위자료와의 비교, 시간축 보정, 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 약 2배이상의 유량측정을 수행하고 있으며, 평시에도 거의 매주 한번씩, 호우발생시에는 현장에서 상주하면서 수위에 따라 유량측정을 지속적으로 수행하였다. 2003년의 경우 전적비교와 사방댐에서 측정된 유량측정성과는 각각 37회와 43회이며, 그림 2는 2003년 유량측정성결과와 하천단면 형상을 고려하여 작성된 수위-유량관계곡선을 나타내고 있다.

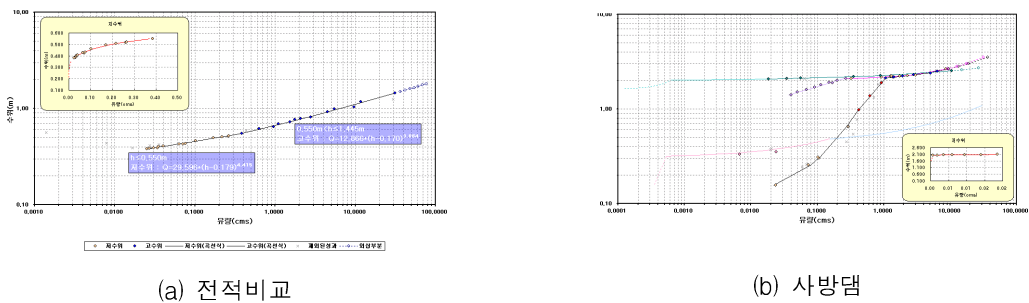


그림 2. 유량측정성결과 및 수위-유량관계 곡선

사방댐의 경우 3월 20일 사방댐 상류부 토사 준설로 인하여 준설 이전에 비해 단면이 급격하게 변화하였다. 이러한 이유로 올해 발생한 여러 차례 호우로 인해 토사가 퇴적되는 과정에서 단면의 변화가 매우 급격하여 수위-유량관계 또한 기간에 따라 민감하게 변화하는 양상을 보였고, 단면이 급격히 변화하는 시점에서는 회귀식으로 산정할 수 없는 부분이 많아 토사의 퇴적으로 인한 통계특성의 변화에 따라 수위-유량관계곡선을 나누어 작성하였다. 유량측정성결과를 이용하여 작성된 수위-유량관계곡선으로 관측된 수위를 유량으로 환산한 후, 주요 호우사상 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 유역평균유량과 두 지점의 유량을 도시한 그림이다.

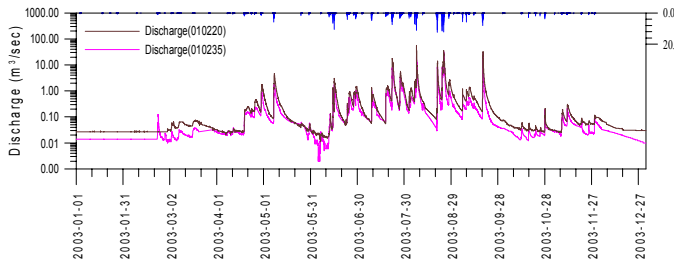


그림 3. 2003년 강우-유출현황

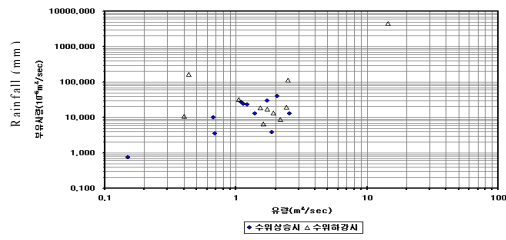


그림 4. 유량-부유사량 관계(전적비교)

설마천 시험유역에서는 유량측정시, 현장에서 시료를 채취하여 부유사 및 수질에 대한 분석을 수행하고 있으며, 그림 4는 2003년 수행된 부유사측정 결과에 대해 대표적인 내용을 도시한 것이다. 설마천에서 생성되는 수문자료는 우량, 유량 등 8종으로 10분 단위 자료를 기본으로 하며, 시 및 일자료로 변환하여 구성된다. 또한 전적비교부터 사방댐까지 하천 중회단 측량을 수행하여 이에 대한 측량성과도 함께 보유하고 있다. 그림 5는 설마천 시험유역의 수준측량 결과를 나타내고 있다.

설마천 시험유역에서 생성되는 수문자료는 우량, 유량 등 8종으로 10분 단위 자료를 기본으로 하며, 시 및 일자료로 변환하여 구성된다. 또한 수문자료 이외에 전적비교에서 사방댐 까지 하천 중회단 측량을 수행하여 이에 대한 측량성과도 함께 보유하고 있으며, 구체적인 자료내역은 표 1과 같다.

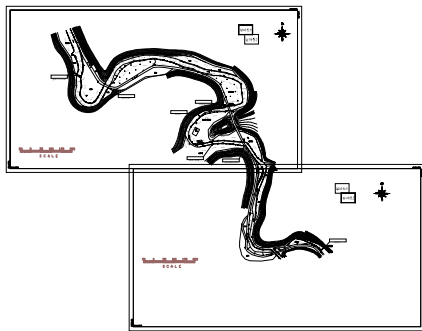


그림 5. 2003년 설마천 시험유역 측량 성과

표 1. 등록자료 종류 및 내역

종류	지점명	시간 간격	자료 항목
지점 우량	전적비교 외 5개지점	10분 /1시간/1일	
유역 평균우량		10분 /1시간/1일	
수위		10분 /1시간/1일	
유량측정 성과	전적비교	수시	관측시점/중점 시간 및 수위, 수심, 유속, 유량, 단면적, 하폭 등
유량	사방댐	10분 /1시간/1일	
수질		유량측정시	pH, 전기전도도, 탁도, BOD, TOC, T-COD, SS, T-N, NH ₃ -N, NO ₃ -N, T-P, DO
부유사량		유량측정시	
기상	비용포대	10분 /1시간/1일	풍향, 풍속, 기온, 지중온도, 노점온도, 상대습도, 수증기압, 포화수증기압, 일사량, 일조시간, 증발량, 토양수분 6종
중회단 측량성과	전적비교 ~ 사방댐	10월	전적비교 하류 200m 지점부터 사방댐 수위 관측소까지 중·회단 및 수준측량성과

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 2002년에 비해 올해 측정성과의 상대적인 정확도가 상당히 많이 개선되었음을 알 수 있다. 전적비교의 경우 2002년 총 불확실도가 11.4%였으나 올해에는 8.4%로 개선되었음을 알 수 있다. 사방댐에서도 2002년 12.9%에서 2003년에는 8.6%로 전적비교와 마찬가지로 불확실도가 감소하였다.

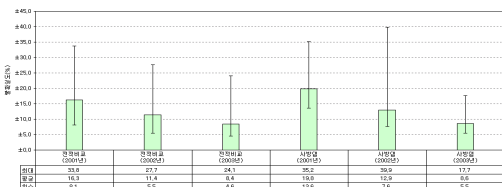


그림 6. 유량측정성과 불확실도 산정결과

설마천 시험유역의 경우 평저수기에는 기본적으로 하폭이 좁아 측선수를 확보하는데 한계가 있으며 유속도 느려 불확실도를 줄이기가 매우 힘든 상황이다. 또한 홍수기에는 산지하천의 특성상 수위가 급변하고 유

속이 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 'Poor'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.

5. 강우-유출특성 분석

5.1 강우특성 분석

설마천 시험유역에서 관측된 우량자료를 이용하여 강우사상 빈도수, 지속기간별 최대강수량, 2개 우량계 간의 강우량 비교, 5개 지점우량의 비교 및 주요 호우사상에 대한 시공간분포 특성 등 기본적인 강우특성 분석을 수행하였다. 그 결과 전적비교 유역평균우량을 기준으로 2003년에는 총 92개 호우사상이 발생한 것으로 분석되었다(12시간 무강우시간 기준). 표 2는 2003년에 발생한 92개 호우사상에 대해 강우량 크기별 분포를 나타낸 것으로, 이 중에서 5mm 미만의 강우량을 보인 사상은 50.0%로 46개이고, 30mm 미만은 74개로 80.4%이며, 50mm 이상인 사상은 11개이다. 2002년과 비교하였을 때 올해에는 50mm 이상의 호우가 상대적으로 빈번하였다. 올해 내린 강우량 중 최대 강우지속기간은 6월 22~25일 발생한 강우로 92.67시간이었으며, 최대 강우강도는 9월 18일 발생한 강우로 8.72mm/hr이었다. 또한 10분, 1시간 및 24시간 최대강우량은 각각 15.0mm, 56.0mm, 190.5mm로 나타났다.

표 2. 2003년 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	24	22	13	15	7	6	5	92
백분율(%)	26.1%	23.9%	14.1%	16.3%	7.6%	6.5%	5.4%	100.0
누가백분율(%)	26.1%	50.0%	64.1%	80.4%	88.0%	94.6%	100.0%	100.0

올해 발생한 호우사상중에서 특이한 사항은 작년과 다르게 태풍의 직접적인 영향으로 인한 큰 호우발생은 없었으나 호우의 발생빈도가 높았다는 점이다.

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 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 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. 또한 유역의 좌안에 위치하고 있는 빈배이 지역은 설마천 유역에서도 가장 강우량이 작은 지역으로 나타나고 있으며, 이러한 현상은 관측소가 위치한 지형적인 조건에 의해 나타나는 것으로 보여진다.

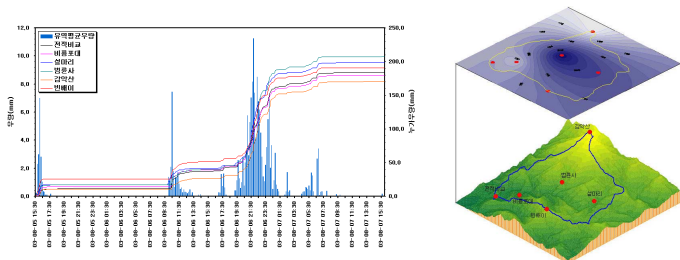


그림 7. 2003년 8월 5일~7일 호우사상의 시공간 분포

5.2 유출특성 분석

올해의 설마천 시험유역의 유출은 예년과 비슷한 특성을 보였다. 5월에 비교적 많은 유출이 있었으나, 점차 줄어들어 6월에는 다시 매우 적은 유출을 보였다. 7~8월에 내린 많은 비로 유출이 많았으며, 이후 다시 유출이 급격히 감소하여 9월에 비교적 많은 유출이 있었던 것을 제외하면 가을에는 적은 유출을 보였다.

2003년 12월을 제외한 2003년도 연간 유출률은 전적비교와 사방댐 지점에서 각각 73%와 69%를 보였다. 이는 2002년도 연간 유출률인 62%(전적비교)와 61%(사방댐) 보다는 비교적 큰 것으로, 올해 2003년의 경우 하절기에 잦은 호우로 유출이 상대적으로 많았던 때문이다. 두 지점에서 비슷한 연간 및 월별 유출량을 보인 것으로 보아 강우-유출자료가 비교적 정확하게 산정되었다고 판단된다.

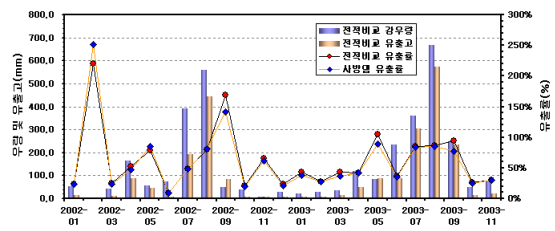


그림 8. 설마천 시험구역의 월별 유출현황

6. 유량측정용 PDA시스템 개발

유량측정 보조장비인 PDA 시스템은 현장에서 유량측정의 정확도를 제고하는데 기여할 수 있도록 현장 조건에 적합한 유량측정방법 및 기준 제시, 유량측정 야장, 유량 산정 및 현장 유량측정결과 비교 검토, 유량 측정결과 전송 기능을 갖는 모듈로 구성된 시스템이다. 본 PDA 시스템은 유량 측정과 산정을 위해 대부분은 ISO 기준을 따랐으며, 세부 사항에 대한 구체적인 방법은 미국 지질조사국(USGS)의 방법을 주로 사용하였다.

7. 결론

설마천 시험구역은 수문관측과 수문자료의 처리에 대한 많은 경험과 기술을 축적하고 있으며, 양질의 수문기상자료를 확보하고 있다. 또한, 우량과 수위관측기기의 충실한 유지관리를 통해 결측을 최소화시키고 있으며, 실시간 모니터링 시스템의 운영 및 PDA 시스템 같은 첨단장비의 적용을 통해 수문자료의 품질을 높이고 있다. 그리고, 관측된 우량, 수위 및 유량측정성과에 대한 자료처리 시스템 및 불확실도 분석 등을 수행함으로써 보다 정교한 자료를 확보할 수 있도록 노력하고 있다. 설마천 시험구역의 수문자료가 본격적으로 각종 수문분석에 활용되기 위해서는 앞으로도 장기간의 자료축적이 필요하므로 본 연구는 지속적으로 진행될 것이다. 또한 프린터 연구사업과 연계하여 설마천 시험구역에서 수행되고 있는 연구의 결과가 함께 확보되고 있으므로, 이후 다른 소유역의 수문순환 과정을 한차원 높여 해석할 수 있는 기반을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1995~2003), 시험구역의 운영 및 수문특성 조사·연구