

2002년 설마천 시험유역의 운영

○문장원¹⁾, 정성원²⁾, 김동필³⁾, 한명선⁴⁾, 김동희⁵⁾

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 국제수문 개발계획(IHP)의 일환으로 운영되는 3개 대표유역과 일부 대학에서 연구과제와 관련하여 시험유역을 일부 운영하고 있는 실정이다. 따라서 다양한 수리·수문 연구를 위해서는 시험유역 수의 확대와 장기간의 운영으로 고품질의 다양한 수리·수문자료를 확보하는 것이 무엇보다도 필요한 상황이다.

이를 위해 한국건설기술연구원에서는 1995년부터 설마천 시험유역을 운영하면서 산지 소유역의 특성변화와 수문·기상 등 기초자료에 대한 지속적인 관측과 자료축적을 해오고 있다. 본 논문에서는 그동안 축적되어온 설마천 시험유역의 신뢰성 높은 수문자료에 대한 공유와 활용성 증대를 위해 2002년 운영현황과 함께 확보된 수문관측자료를 이용하여 수행된 연구내용을 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 사행하천으로, 하천형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태를 나타내는 특성을 갖는다.

본 유역의 지질학적 형상은 작은 절리가 많이 발달되어 있고, 엽리의 절리로 작용하는 지질구조상 강우 초기에는 하천수위에 큰 변화를 보이지 않다가 파쇄대를 채운 후에 수위가 급격히 증가하는 양상을 보인다.

본 시험유역에는 그림 1과 같이 우량 6개소, 수위 2개소 및 1개의 기상관측소가 운영되고 있으며, 결측 최소화 및 이상치 발생의 사전 예방을 위하여 주 1회의 관측기기 점검, 2별 이상의 관측기기 운영, 실시간 모니터링 시스템의 운영 등을 수행하고 있다. 일련의 수문관측 및 자료처리 과정을 통해 양질의 우량, 유량, 수질, 기상자료 등을 10분 단위로 생성하며, 관련 연구에 활용되도록 수문 D/B에 등록하여 일반에게 제공하고 있다. 또한, 실시간 모니터링 시스템을 통해 시험유역 홈페이지나 핸드폰을 통해서도 실시간으로 자료를 확인할 수 있도록 하였다.

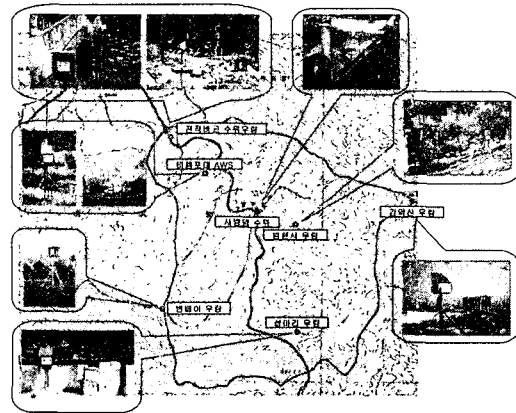


그림 1. 유역도 및 관측소 현황

3. 실시간 모니터링 시스템

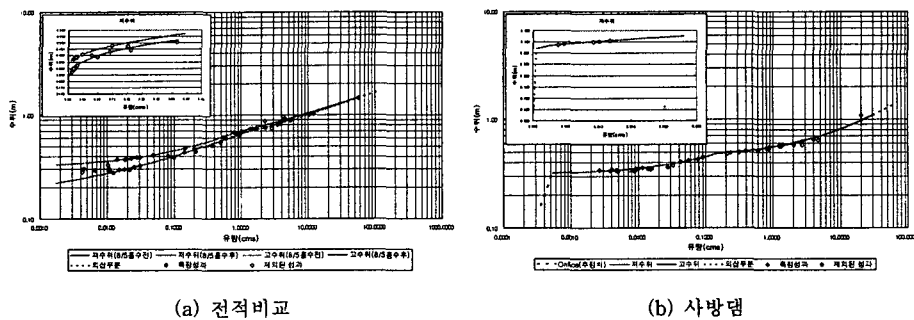
실시간 모니터링 시스템은 현장의 우량과 수위 상황을 신속하게 파악하여 관측기기의 신속한 유지관리와 유량측정의 신속한 대응을 위한 것으로 자료의 품질향상과 홈페이지를 통한 관측자료의 실시간 제공을 목적으로 구축되었다. 이 시스템은 PCS 이동통신을 근간으로 하는 무선 인터넷을 이용한 시스템으로 현재 설마천에 설치되어 운영되고 있으며, 그동안 축적된 설마천 시험유역의 수문자료 활용도를 높이기 위해 설마천 시험유역 홈페이지(<http://kict.datapcs.co.kr>)를 함께 운영하고 있다.

1) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원 (E-mail : jwmoon@kict.re.kr)
2) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원 (E-mail : swjung@kict.re.kr)
3) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원 (E-mail : dpkim@kict.re.kr)
4) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원 (E-mail : mshan@kict.re.kr)
5) 한국건설기술연구원 건설기술품질센터 연구원 (E-mail : dhkim@kict.re.kr)

4. 자료처리 및 자료현황

설마천 시험유역에서 관측된 자료는 일상적인 자료처리 과정을 거치게 되며, 우량자료는 이상치 검토, 우량계 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 2배 이상의 유량측정을 수행하고 있으며, 평시에는 거의 매주 한번씩, 호우발생 시에는 현장에서 상주하면서 수위에 따라 유량측정을 지속적으로 수행하였다. 2002년의 경우 전적비교와 사방댐에서 측정된 유량측정성과는 각각 50회와 44회이며, 그림 2는 2002년 유량측정성결과 하천단면 형상을 고려하여 작성된 수위-유량관계곡선을 나타내고 있다.



(a) 전적비교

(b) 사방댐

그림 2. 유량측정성결과 및 수위-유량관계곡선

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 유역평균우량과 유량을 도시한 그림이다.

설마천 시험유역에서는 유량측정을 수행할 때, 현장에서 시료를 채취하여 부유사 및 수질에 대한 분석을 수행하고 있으며, 그림 4와 5는 2002년에 수행된 부유사와 수질측정 결과에 대해 대표적인 내용을 도시한 것이다.

설마천에서 생성되는 수문자료는 우량, 유량 등 8종으로 10분 단위 자료를 기본으로 하며, 시 및 일자료로 변환하여 구성된다. 또한 수문자료 이외에 전적비교부터 사방댐까지 하천 총횡단 측량을 수행하여 이에 대한 측량성결과도 함께 보유하고 있으며, 구체적인 자료내역은 표 1과 같다.

표 1. 등록 자료 종류 및 내역

종류	지점명	시간 간격	자료 세부항목
지점우량	전적비교 외 5개지점	10분 /1시간/1일	
유역평균우량		10분 /1시간/1일	
수위		10분 /1시간/1일	
유량측정성결과	전적비교	수시	관측 시각 및 수위, 수심, 유속, 유량, 단면적, 하폭, 측선수
유량	사방댐	10분 /1시간/1일	
수질		유량측정시	용존산소량, pH, 탁도, 전기전도도, 온도, BOD, COD, SS, T-N, T-P, NO3-N, NH3-N, TOC
부유사량		유량측정시	
기상	비룡포대	10분 /1시간/1일	풍향, 풍속, 기온, 지온, 노점온도, 상대습도, 포화수증기압, 일사량, 일조시간, 증발량, 토양수분 6종
총횡단측량성결과	전적비교 ~ 사방댐	홍수기 전후	전적비교 하류 200m 지점부터 사방댐까지 종단 및 횡단측량성결과

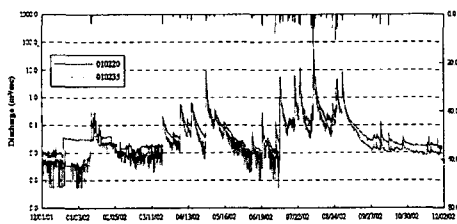


그림 3. 2002년 강우-유출현황

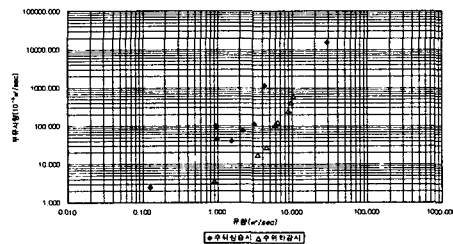


그림 4. 유량-부유사량 관계(전적비교)

5. 유량측정성과 불확실도 분석

2002년 설마천 시험유역의 운영을 통해 확보된 유량측정성과의 정확도를 판단하기 위해 ISO 748 등에 제시된 방법을 기준으로 개별 유량측정성과의 불확실도를 산정하였다. 이 때 비교를 위해 2001년의 유량측정성과에 대해서도 동일한 분석을 수행하였으며, 유량측정방법을 등간격법에서 등유량 개념으로 변경 적용한 2002년 5월을 기준으로 이전과 이후의 양상을 비교하였다. 그림 6은 2001년, 2002년 및 2002년 5월 이후(유량측정방법 변경 이후)의 유량측정성과에 대해 산정된 불확실도의 평균, 최대, 최소를 정리하여 그림으로 나타낸 것이다.

그림 6을 통해서 알 수 있듯이 2001년에 비해 2002년 측정성과의 상대적인 정확도가 상당히 많이 개선되었음을 알 수 있다. 전적비교의 경우 2001년 총 불확실도의 평균이 16.3%이었으나 2002년에는 11.4%, 특히 2002년 5월 이후에는 9.5%로 거의 절반 정도로 낮아진 결과를 나타내고 있다. 사방댐에서도 2001년 19.8%에서 2002년에는 12.9%, 2002년 5월 이후에는 11.1%로 전적비교와 마찬가지로 거의 절반 수준으로 불확실도가 감소하였다.

ISO 748 등에 제시된 불확실도 분석 방법을 살펴보면, 측정성과의 불확실도는 측선수와 유속에 의해 영향을 많이 받으며, 이러한 측면에서 볼 때 설마천 2개 지점은 매우 불리한 상황이라고 볼 수 있다. 즉, 평저수기에는 기본적으로 하폭이 좁아 측선수를 많이 확보할 수 없으며, 유속도 느려 불확실도를 줄이기가 매우 힘들다. 또한 홍수기에는 산지하천의 특성상 수위가 급변하고 유속이 매우 빠르기 때문에 측정시간과 측선수 및 측정수를 확대하는 데 제한이 있다. 이러한 원인으로 인해 비교적 많은 측선수와 긴 측정시간을 확보하였음에도 불구하고 개별 유량측정성과에 대한 불확실도는 미국 지질조사국의 분류기준으로 가장 낮은 4등급 수준인 'Poor'에 해당하는 것으로 나타나고 있었다. 하지만 평저수기에는 현장상황을 고려하여 등유량 개념에 맞게 측선을 적절히 배분하고 유속을 고려하여 점유속의 측정시간을 더욱 늘린다면 현재의 수준보다는 불확실도의 크기를 상당 수준 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

6. 강우-유출특성 분석

6.1 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 2002년에는 총 80개의 강우사상이 발생한 것으로 분석되었다(12시간 무강우시간 기준). 표 2는 2002년에 발생한 80개 강우사상에 대해 강우량 크기별 분포를 나타낸 것으로 5mm 미만의 강우량을 보인 사상은 45개로 전체의 56.3%를 차지하고 있으며, 30mm 미만인 70개(87.6%), 50mm 이상인 사상은 6개에 불과하였다. 또한, 10분, 1시간 및 24시간 최대강우량은 각각 19.5mm, 68.5mm, 329.5mm로 나타났다.

각 우량관측지점에서 운영되고 있는 2개 우량계 간의 관측강우량을 비교한 결과, 모든 지점에서 0.99이상의 상관성을 나타내고 있었으며, 이러한 결과는 비록 이용된 자료의 수가 제한적이기는 하나 약간의 높이와 거리차에 상관없이 어느 정도 동일한 강우관측이 가능하다는 것을 보여준다. 또한 유역내 6개 우량관측소간 강우량을 비교한 결과, 범륜사와 감악산이 나머지 지점에 비해 전반적으로 큰 강우량을 보였으며, 빈배이는 가장 작은 강우량을 나타내고 있었다. 이는 고도에 의한 영향 등 해당 지점의 지형적인 특성에 의해 나타난 결과로 보여지며, 빈배이의 경우 유역의 좌안 끝에 위치하고 있어 다른 지역과 강우특성이 다르게 나타나고 있기 때문인 것으로 판단된다.

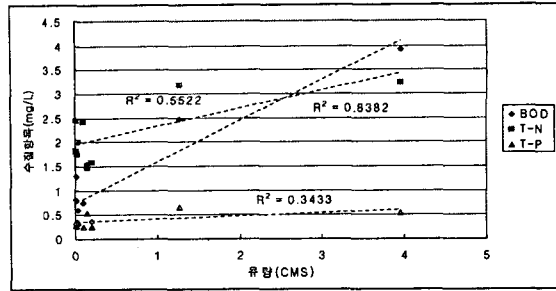


그림 5. 유량~BOD, T-N 및 T-P (전적비교)

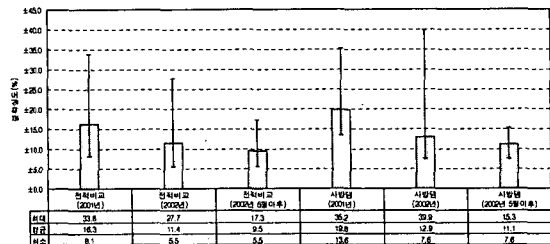


그림 6. 유량측정성과 불확실도 산정결과

표 2. 2002년 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	26	19	5	20	4	3	3	80
백분율(%)	32.5	23.8	6.3	25.0	5.0	3.7	3.7	100.0
누가백분율(%)	32.5	56.3	62.6	87.6	92.6	96.3	100.0	100.0

주요 호우사상에 대한 시간 및 공간분포 특성을 분석한 결과, 설마천 시험유역은 유역이 작고, 우량관측소가 비교적 조밀하게 분포하고 있어 시간분포는 거의 동일한 경향으로 나타나고 있었다. 공간분포의 경우 호우사상에 따라 비교적 다양하게 나타나고 있었으나, 대부분 호우의 중심이 범륜사와 감악산 주변으로 분포하고 있는 경우가 많이 나타나고 있었다.

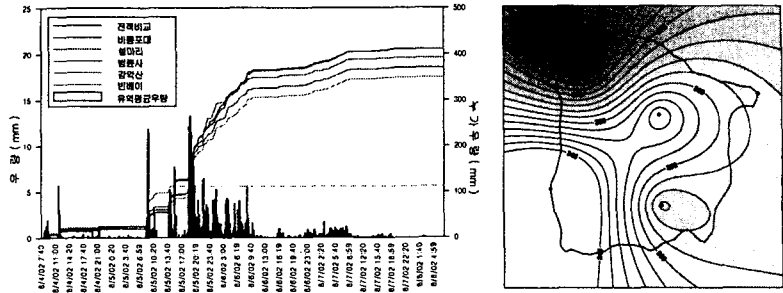


그림 7. 2002년 8월 4일~8일 호우사상의 시공간 분포

6.2 유출특성 분석

2002년 설마천 시험유역의 유출은 예년과 비슷한 특성을 보였다. 지난 겨울철에는 1월 중순에 내린 적지 않은 겨울비로 유출이 다소 있었으나, 이후 점차 줄어들어 3월에는 적은 유출을 보였으며, 4월에 비교적 많은 비로 유출이 다시 많아졌으나, 점차 줄어들어 6월에는 다시 매우 적은 유출을 나타내고 있었다. 7~8월에 내린 많은 비로 유출이 크게 증가하였으며, 이후 다시 유출이 급격히 감소하여 가을에는 적은 유출을 보이고 있었다. 2002년 연간 유출률은 전적비교와 사방댐 지점에서 각각 63%, 61%로 나타나고 있었으며, 두 지점에서 연간 및 월별 유출량이 유사하게 나타난 점으로부터 시험유역의 강우-유출자료가 비교적 정확하게 산정되었다고 판단할 수 있다.

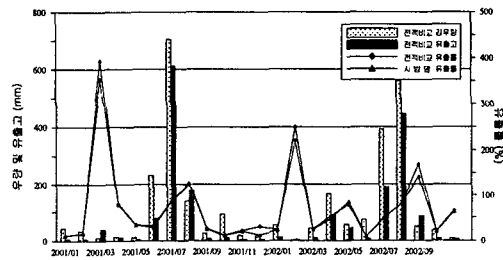


그림 8. 설마천 시험유역 월별 유출현황

7. 결론

설마천 시험유역은 1995년 설계와 관측기기의 설치를 시작으로 시행착오를 거치면서 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 등을 통해 수문자료의 품질을 높이고 있다. 그리고, 관측된 우량, 수위 및 유량측정성상에 대해 자료처리 시스템 및 불확실도 분석 등을 수행함으로써 보다 정교한 자료를 확보할 수 있도록 노력하고 있다.

설마천 시험유역의 수문자료가 본격적으로 각종 수문분석에 활용되기 위해서는 앞으로도 장기간의 자료 축적이 필요하므로 본 연구는 지속적으로 진행될 것이다. 또한, 프론티어 연구사업과 연계하여 설마천 시험유역에서 수행되고 있는 유역단위의 중발산과 토양수분 관련 연구의 결과가 함께 확보되고 있으므로, 이후 산지 소유역의 수문순환 과정을 한차원 높여 해석할 수 있는 기반을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

8. 감사의 글

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

9. 참고문헌

한국건설기술연구원(1995~2002) 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구