

2001년 설마천 시험유역의 운영

정성원¹⁾, ○김동필²⁾, 문장원³⁾, 김동희⁴⁾, 한명선⁵⁾

1. 서 론

수자원 계획 및 관리에서 가장 기본적으로 중요한 요소는 우량, 하천 수위, 유속 및 유량 등 기초 수문자료이다. 수문자료는 신뢰성이 있어야 하며 동시에 지속적인 관측에 의해 장기간의 자료가 축적되어야 한다. 신뢰성 있는 수문자료를 획득하기 위해서는 상당한 투자와 노력이 필요하나 이에 대한 인식과 노력의 부족으로 양질의 자료가 절대적으로 부족하여 각종 수문 관련 연구와 설계 등에 많은 어려움을 겪고 있다. 외국의 경우에는 소규모 시험유역을 상당수 운영하여 신뢰성 높은 수문자료를 획득하고 있으나, 우리나라는 IHP 일환으로 평창강, 보청천, 위천의 대표유역과 일부 대학에서 연구 과제와 관련하여 시험유역을 일부 운영하고 있는 실정이다. IHP 대표유역은 비교적 장기간 운영되고 있으나 유역면적이 50~500km² 정도의 중소규모 유역으로 정밀관측이 어려운 실정이며, 대학의 시험유역은 주로 단기적으로 운영하거나 관측자료가 공개되지 않아 활용성이 떨어지고 있다. 따라서 다양한 수리·수문 관련 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 자료 축적을 해오고 있다. 본 연구 논문에서는 그 동안 축적되어온 설마천 시험유역의 신뢰성 높은 수문자료에 대한 공유와 활용성 증대를 위해 2001년의 운영 현황을 중심으로 설마천 시험유역을 소개하고자 한다.

2. 유역 개요

본 연구의 대상유역은 경기도 파주시 적성면 설마천 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구로 하는 유역면적 8.5km², 유로연장 5.8km, 유로경사 2.3%인 전형적인 급경사 산지 사행하천이다. 하천형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태를 보이며, 주 하천은 그림 1의 유역도와 같이 전형적인 곡류하천의 형태를 보인다. 표 1은 수위관측소를 기준으로 한 소유역별 지형특성인자를 나타내고 있다.

시험유역의 지질학적 형상은 작은 절리가 많이 발달되어 있고, 염리의 절리로 작용하는 지질구조상 초기 강우시에는 하천의 수위에 큰 변화를 보이지 않다가 파쇄대를 채우고 난 이후에 하천의 수위가 급격히 증가하는 양상을 보인다.

3. 수문·기상관측소의 운영

설마천 시험유역에는 우량관측소 6개소, 수위관측소 2개소 및 기상관측소 1개소가 설치되어 있다. 우량관측소 6개소와 수위관측소 2개소에 DATApcs사의 실시간 관측기기를 추가로 설치하여 동시에 운영하고 있다. 관측 시간단위는 10분이며, 우량관측소의 밀도는 1.4km²/1개소이다.

3.1 우량관측소

설마천 시험유역은 지형적으로 호우시 낙뢰가 많은 지역으로 관측기기의 피해가 자주 발생하는 지역이므로 관측기기의 유지관리가 어려운 지역이다. 매주 수행하는 일상점검에도 불구하고 일부 지점에서는 장기간 결측이 발생하기도 하였다. 그러나 2001년에는 기존의 우량계와 추가로 설치한 실시간 관측 및 전송 장비를 갖춘 우량계 등 관측소당 2개의 우량관측기기를 운영함으로써

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

표 1. 설마천 시험유역의 지형특성인자

구분	유역별	1번 유역 (사방댐)	2번 유역 (전적비교)	설마천 하구 (하천정비인용)	비고
유역면적		5.08	8.50	18.5	A=km ²
본류 유로연장		3.10	5.80	11.3	L=km
분지류 유로연장		5.76	8.80	-	L'=km
유역의 중심장		1.55	3.61	-	km
유역 평균폭		1.64	1.47	1.64	A/L=km
형상계수		0.53	0.25	0.15	A/L ²
하천밀도		6.53	9.11	-	L ² /A
유역 평균경사		19	20	-	%
유로경사		2.6	2.3	-	%

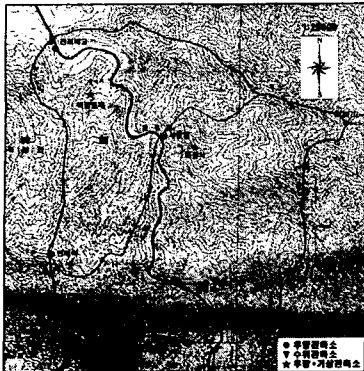


그림 1. 설마천 시험유역 유역도

결측을 최소화할 수 있었으며, 2개 관측자료의 상호 비교 검토를 통하여 자료의 품질을 대폭 향상시킬 수 있었다. 그림 2~4는 6개의 우량관측소 중 하나인 전적비교 우량관측소의 전경 및 기록계를 나타낸 사진이며, 표 2는 우량관측소의 관측기기 내역을 나타내고 있다.

3.2 수위관측소

설마천 시험유역에 운영되고 있는 수위관측소는 전적비교와 사방댐 2개소이다. 그림 5의 전적비교는 시험유역의 대표 수위관측지점으로 음파식, 기포식, 부자식 수위계와 실시간 음파식 수위계 등 4종을, 그림 6의 사방댐에는 음파식 수위계와 실시간 음파식 수위계 2종을 설치하여 운영하고 있다. 표 3은 전적비교와 사방댐 수위관측기기 내역을 나타내고 있다.

2001년에는 관측기와 관측시설물에 대한 꾸준한 정비와 유지관리가 있었다. 전적비교는 실시간 음파식 수위계 설치, 우물통 및 유입관의 유지관리, 음파식 수위계의 데이터 로거의 메인보드 교체와 센서 및 로거의 점검 등이 있었다. 사방댐 또한 실시간 음파식 수위계 설치, 우물통 및 유입관 유지관리, 데이터로거의 메인보드 및 타임보드의 교체가 있었다.

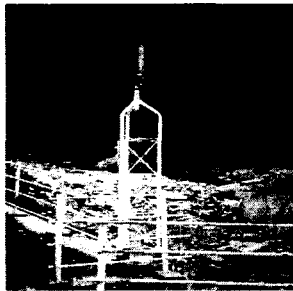


그림 2. 전적비교 우량계(기존)

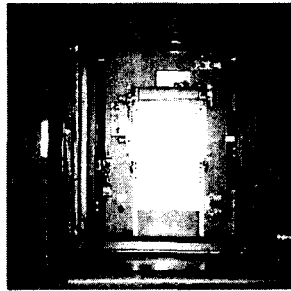


그림 3. 전적비교 우량기록계(기존)

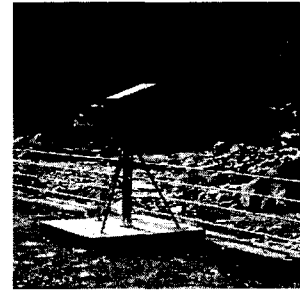


그림 4. 전적비교 실시간 우량계



그림 5. 전적비교 수위관측소

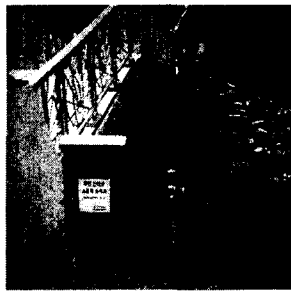


그림 6. 사방댐 수위관측소

표 2. 우량관측소 관측기기 내역

지 점	관측기기	자료수집	기록방식	전 원
전적비교 (010220)	자 기 실시간	자기기록지 로거/실시간	다다미식 전산파일	배터리 상용전원/배터리
비룡포대 (010230)	디지털 실시간 보 통	로거 로거/실시간 현장계측	전산파일 전산파일 점점일지	상용전원/배터리 상용전원/배터리 -
설마리 (010240)	자 기 실시간 보 통	자기기록지 로거/실시간 현장계측	롤 식 전산파일 점점일지	배터리 상용전원/배터리 -
범륜사 (010245)	디지털 실시간	로거 로거/실시간	전산파일 전산파일	상용전원/배터리 상용전원, 배터리(태양전지)
감악산 (010250)	디지털 실시간	로거 로거/실시간	전산파일 전산파일	상용전원/배터리 배터리(태양전지)
번배이 (010237)	실시간	로거/실시간	전산파일	배터리(태양전지)
○ 수수구 제원 - 자기/디지털/실시간 · 직경 : 200mm · 높이 : 450mm · 전도형 - 보통 · 직경 : 200mm · 높이 : 600mm · 원통형 구리관 ○ 최소관측 단위 및 간격 : 0.5mm/10분				

표 3. 수위관측소 관측기기 내역

지 점	관측기기	자료수집	기록방식	전 원
전적비교 (010220)	목자판	목측	점점일지	-
	음파식	로거	전산파일	상용전원/배터리
	기포식	로거	전산파일	배터리
	부자식	자기기록지	롤식	배터리
	음파식 (실시간)	로거/실시간	전산파일	상용전원/배터리
사방댐 (010235)	목자판	목측	점점일지	-
	음파식	로거	전산파일	배터리
	음파식 (실시간)	로거/실시간	전산파일	배터리(태양전지)
○ 최소관측 단위 및 간격 - 0.1cm/10분 - 부자식 : 0.1cm/연속				

3.3 기상관측소

기상관측소는 비룡포대 우량관측소에 함께 설치되어 있으며, 자동기상관측장비로 풍향, 풍속, 기온, 지중온도, 노점온도, 습도, 일사량, 일조량, 토양수분 3종 등 11종의 기상자료를 10분 간격으로 측정하고 있다. 자동기상관측장비의 유지관리는 비교적 쉬우나 전원의 안정적인 공급과 기상센서의 주기적인 점검이 필요하다.

4. 수문자료의 수집 및 검토

4.1 강우관측 및 자료검토

시험유역의 5개 우량관측소는 각 관측소마다 2개의 우량계 관측으로 2벌의 자료를 생성하여 기기의 이상으로 인한 결측을 보완할 수 있었으며, 자료를 상호 비교함으로써 자료의 질을 향상시킬 수 있었다. 이에 따라 거의 모든 기간에 5개 우량관측소의 자료를 동시에 확보할 수 있었다. 관측된 우량자료는 시간축의 일치 여부, 계기 기상에 의한 무강우시 기록되는 이상치의 확인, 두 우량계 자료의 상호 비교 등의 검토과정을 거쳐 최종적으로 확정하였다.

표 4. 우량관측소 관측 현황 (2000. 12. 1~2001. 11. 30)

기종별	자료수	전적비교		비룡포대		설마리		범륜사		감악산	
		결측수	비율(%)	결측수	비율(%)	결측수	비율(%)	결측수	비율(%)	결측수	비율(%)
기존	52,560	1,106	2.10	371	0.71	4,272	8.13	433	0.82	11,583	22.04
실시간	주1)	3,355	8.91	3,455	9.29	11,416	30.32	7,413	19.62	3,515	9.26
확정	52,560	2,736	5.21	2,799	5.33	2,955	5.62	2,745	5.22	3,024	5.75
적설기간 제외	49,824	0	0	63	0.13	219	0.44	9	0.02	288	0.58

주1) 실시간 우량계 총 자료수는 전적비교 37,666, 비룡포대 37,200, 설마리 37,654, 범륜사 37,783, 감악산 37,952임.

4.2 수위관측 및 자료검토

전적비교의 4종의 수위계와 사방댐의 2종의 수위계를 운영하여 관측하였으며, 관측현황은 표 5와 같다. 2001년 3월 중순에 전적비교에 실시간 음파식 수위계를 추가 설치하여 실시간으로 자료를 전송함으로써 장소의 제한을 받지 않고 시험유역의 유출거동을 파악할 수 있었다. 수집 정리된 수위자료는 목자판 수위자료와 시간점점 사항 등을 참고하여 기본적인 검토를 거쳤으며, 수위자료를 도시하여 이상유무를 검토하였다. 일시적인 이상치 및 결측이 발생한 경우에는 홍수기를 제외하고는 상하류 비교, 전후시간대의 변화 및 다른 기종의 수위자료를 참고하여 수정 및 결측을 보완하였다.

표 5. 수위관측소 관측 현황 (2000. 12. 1~2001. 11. 30)

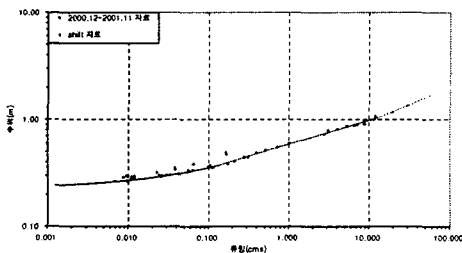
기간	자료수	전적비교										사방댐	
		음파식		기포식		부자식		실시간		최종		음파식(최종)	
		결측수	비율(%)	결측수	비율(%)	결측수	비율(%)	결측수	비율(%)	결측수	비율(%)	결측수	비율(%)
전 체	52,560	5,902	11.23	6,432	12.24	856	2.21	3,646	10.32	3,787	7.21	0	0
동절기 제외 ^{주1)}	41,616	1,614	3.88	863	2.07	856	2.21	3,646	10.32	0	0	0	0

주1) 하천결빙이 발생한 기간(2000년 12월 20일~2001년 3월 6일)을 제외한 것임.

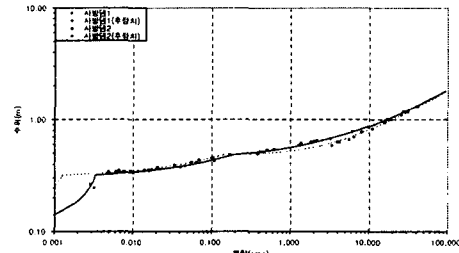
4.3 유량측정 및 자료검토

2001년도 전적비교의 유량측정성과는 총 55회로 측정된 최소 유량은 5월 23일에 측정된 수위 0.263m의 0.007m³/s이며, 최대 유량은 7월 15일에 측정된 수위 1.333m의 29.502m³/s이다. 사방댐에서의 유량측정성과는 총 57회로 최소 유량은 6월 5일 수위 0.263m의 0.003m³/s이며, 최대 유량은 7월 15일 수위 0.945m의 15.839m³/s이다.

전적비교는 2000년 봄 교량 재설치 및 하상정비와 그 해 여름의 홍수 이후 하상 단면이 안정적인 상태로 유지되고 있다. 그러나 2001년 7월 이후 피서객들이 만든 풀에 의해 수위 상승이 발생하였으며, 전이된 수위를 조정하여 수위-유량관계곡선을 하나의 곡선식으로 표현할 수 있었다. 사방댐은 7월 14~15일의 호우로 사방댐 위어의 상단까지 토사가 다시 쌓여 수위-유량관계에 변화를 보여 2개의 수위-유량관계곡선으로 분리 작성하였다. 두 지점에서 작성된 수위-유량관계곡선은 충분한 유량측정성과에 의해 하천 및 위어의 단면 특성을 잘 따라가고 있음을 알 수 있다.



(1) 전적비교

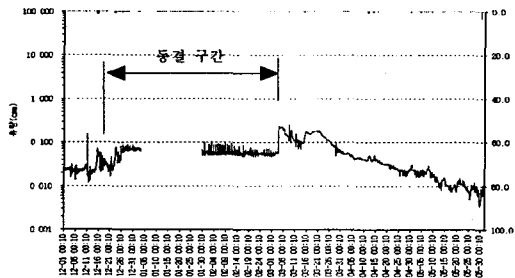


(2) 사방댐

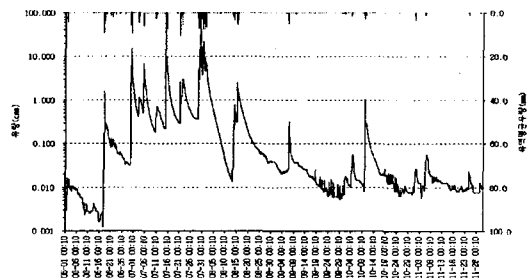
그림 7. 유량측정성과 및 수위-유량관계곡선

4.4 유량 환산

유량측정성과를 이용하여 작성된 수위-유량관계곡선으로 10분 수위를 유량으로 환산한 후 주요 호우사상 및 월별 유출률 검토, 상·하류간 비교, 2개 수위-유량관계곡선의 적용 구간에 대한 검토 등 수위-유량관계곡선의 타당성을 검토하여 필요시 수위-유량관계곡선을 재조정하는 절차를 거쳤다. 이러한 과정을 거쳐 확정된 수위-유량관계곡선을 이용하여 10분 유량자료를 산정하였으며, 이로부터 시유량과 일유량 자료를 환산하였다. 그림 8은 전적비교의 10분 단위의 유역평균유량과 유량을 도시한 그림으로, 동절기의 결빙기간은 자료 이상으로 산정된 유량에서 제외하였다.



2000. 12. 1~2001. 5. 31



2001. 6. 1~2001. 11. 30

그림 8. 전적비교 강우-유출 현황(유역평균유량 및 유량, 10분 단위)

4.5 자료 등록 및 제공

2001년 시험유역에서 관측되거나 산정된 자료는 5개 관측소의 지점우량, 2개 수위관측소의 유역평균우량과 수위, 유량측정성과, 유량, 수질, 부유사량 및 1개 기상관측소의 11종의 기상자료이다. 시간별 자료는 10분 자료를 기본으로 하며, 이를 1시간과 1일 자료로 변환하여 모두 3종류의 자료로 구성하였다. 시험유역의 운영을 통해 생성된 관측자료와 강우-유출자료는 각종 수문 관련 연구에 활용될 수 있도록 한국건설기술연구원에서 운영하는 수문 D/B (HISS: Hydrological Information Support System)에 등록하였다. 등록된 수문 자료는 일반에게 제공되며, 설마천 시험유역 홈페이지(<http://kict.datapcs.co.kr>)의 게시판을 통해 자료의 요청과 제공이 이루어지고 있다.

- 담당자 : 정성원 (설마천 자료) / 김영 (기타 자료)
- 전화 : 031-910-0466 / 0277
- 전자우편 : swjung@kict.re.kr / ky@kict.re.kr
- 주소 : 411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311 한국건설기술연구원 수자원환경연구부
- 전송 : 031-910-0251
- 홈페이지 : <http://kict.datapcs.co.kr>

표 6. 등록 자료 종류 및 내역

종류	지점명	시간 간격	자료 항목
지점 우량	전적비교, 비룡포대 설마리, 범륜사, 감악산	10분/1시간/1일	
유역평균우량	전적비교, 사방댐	10분/1시간/1일	
수위	전적비교, 사방댐	10분/1시간/1일	
유량측정성과	전적비교, 사방댐	수시	관측시점/종점 시각 및 수위, 수심, 유속, 유량, 단면적, 하폭 등
유량	전적비교, 사방댐	10분/1시간/1일	
수질	전적비교, 사방댐	유량측정시	용존산소량, pH, 탁도, 전기전도도, 온도
부유사량	전적비교, 사방댐	유량측정시	
기상	비룡포대	10분/1시간/1일	풍향, 풍속, 기온, 지중온도, 노점온도, 습도, 일사량, 일조시간, 토양수분 3종

5. 강우-유출 특성 분석

5.1 강우특성 분석

2001년 설마천의 강우특성 분석은 자료의 결측이 거의 발생하지 않음에 따라 호우사상 수, 지속시간별 최대강우량, 2개 우량계간의 강우량 비교, 5개 지점우량의 비교, 주요 호우사상에 대한 강우 시공간분포 특성 등 기본적인 특성 분석을 수행하였다.

눈으로 내린 14개 사상을 별도로 하면, 2001년 설마천 시험유역에 비로 내린 호우사상은 56개로 크기별 분포를 보면, 30mm 미만이 46개로 82%를 차지하며, 100mm 이상은 3개에 불과하였다. 10분, 1시간 및 24시간 최대강우량은 각각 17.5mm, 62.0mm, 197.0mm를 보였다.

표 7. 2001년 호우사상의 강우량 크기 분류

강우량(mm)	~0.5 미만	0.5~5.0	5.0~10.0	10.0~30.0	30.0~50.0	50.0~100.0	100.0~	계
호우사상 수	12	22	6	6	4	3	3	56
백분율(%)	21.4	39.3	10.7	10.7	7.1	5.4	5.4	100.0
누가 백분율(%)	21.4	60.7	71.4	82.1	89.2	94.6	100.0	100.0

5개 지점의 2개 우량계 간의 강우량을 비교한 결과, 0.99 이상의 상관성을 보였으며, 비록 자료의 수가 제한적이라 하더라도 약간의 높이와 거리 차이에 상관없이 어느 정도 동일한 강우관측이 가능하다는 것을 보여준다. 5개 지점간의 강우량을 비교한 결과도 0.99 이상의 상관성을 보여 강우량의 크기에 따라 약간의 차이를 보이고 있긴 하나 전반적으로 지점간의 강우량은 비슷한 양상을 보였다.

주요 호우사상에 대한 시공간 분포 특성을 분석한 결과, 설마천 시험유역은 유역이 작고 우량관측소가 비교적 조밀하기 때문에 지점간의 강우의 시간분포는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 강우량은 호우사상에 따라 비교적 큰 차이를 보이기도 했으며, 호우사상에 따라 다양한 공간분포를 보였으며, 2001년 호우의 경우 대부분 호우중심이 유역 중앙의 범륜사에 위치하였다.

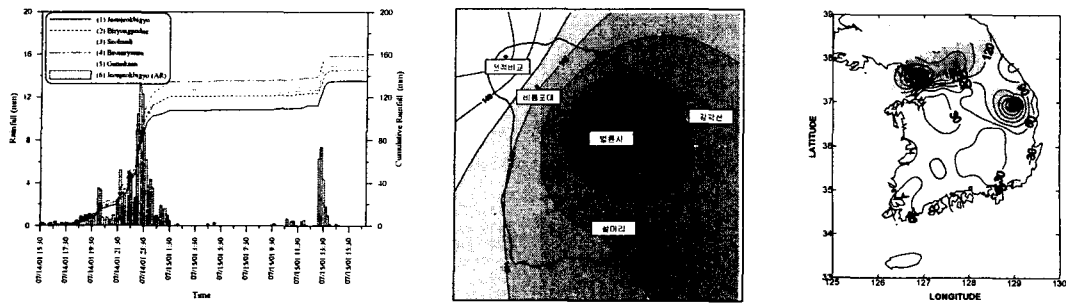


그림 9. 2001년 7월 14일~15일 호우사상의 시공간 분포

5.2 유출특성 분석

2001년 설마천 시험유역의 유출 특성은 4월 중순 이전은 융설 유출, 6월 중순까지는 가뭄에 의한 매우 적은 유출, 8월 초순까지는 연속된 집중호우에 의한 많은 유출, 그 이후에는 적은 강우에 의한 적은 유출을 보이는 등 4가지로 대별되는 유출 특성을 보였다. 표 8은 2000년 12월부터 2001년 11월까지의 연간 및 월별 유출률을 나타낸 것으로 연간 유출률은 전적비교와 사방댐에서 70%와 68%의 유출률을 보였다.

표 8. 연간 및 월별 유출률(2000. 12~2001. 11)

기 간	전적비교			사방댐		
	총강우량(mm)	총유출량(mm)	유출률	총강우량(mm)	총유출량(mm)	유출률
2000. 12	44.5 ^(9.1)	5.1 ^(9.2)	0.11	44.5 ^(9.1)	5.1 ^(9.2)	0.11
2001. 1	43.1 ^(9.1)	4.7 ^(9.2)	0.11	43.1 ^(9.1)	4.7 ^(9.2)	0.11
2001. 2	32.9 ^(9.1)	5.2 ^(9.2)	0.16	32.9 ^(9.1)	5.2 ^(9.2)	0.16
2001. 3	10.2 ^(7.1)	40.2	3.94	10.2 ^(9.1)	36.1	3.54
2001. 4	13.5	10.9	0.81	13.1	10.4	0.79
2001. 5	12.1	4.1	0.34	12.3	4.2	0.34
2001. 6 (6.1~6. 16)	232.7 (7.4)	77.6 (0.9)	0.33 (0.12)	233.1	68.6	0.29
2001. 7	704.8	612.2	0.87	693.2	598.5	0.86
2001. 8	138.8	178.0	1.28	137.2	171.4	1.25
2001. 9	25.6	6.9	0.27	26.8	6.7	0.25
2001. 10	91.1	11.0	0.12	90.9	10.4	0.11
2001. 11	19.3	4.2	0.22	19.0	3.8	0.20
계	1,368.6	960.1	0.70	1,356.3	925.1	0.68

주1) 동절기 월강우량은 강설에 의한 결측으로 동두천 기상대의 자료를 사용함.

주2) 하천 결빙에 따른 동절기 자료 이상으로 목측자료를 이용하여 산정한 사방댐 유출고를 기준으로 함.

6. 결 론

설마천 시험유역은 1995년 설계와 관측기기의 설치를 시작으로 시행착오를 거치면서 수문관측과 수문자료의 처리에 대한 많은 경험과 기술을 축적하면서 양질의 수문기상 자료를 확보하고 있다. 특히 2001년에는 이전에 비해 양과 질적인 면에서 많은 향상이 있었다. 우량과 수위 관측기기의 교체와 추가 설치, 관측기기의 충실한 유지관리를 통해 결측을 최소화시킬 수 있었다. 또한 실시간 전송장비의 설치로 신속히 현장 상황을 파악할 수 있게 되어 관측기기의 신속한 유지관리, 결측 최소화, 유량측정 기회 확대, 신속한 이상치 검토 등이 가능해져 자료의 질을 보다 높일 수 있었다. 또한, 관측된 우량, 수위 및 유량측정성가에 대해 일상적으로 자료를 검토하고 처리하는 자료처리시스템을 구축하여 운영함으로써 보다 정교한 자료를 확보할 수 있었다.

설마천 수문자료가 본격적으로 각종 수문분석에 활용되기 위해서는 앞으로도 장기간의 자료 축적이 필요하므로 본 연구는 지속적으로 진행될 것이다. 또한 올해부터 프런티어 사업과 연계하여 설마천 시험유역에 유역단위의 증발산과 토양수분량 관측이 이루어지므로 산지 소유역의 수문 순환 과정을 한 차원 높여 해석할 수 있는 기반을 축적할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

한국건설기술연구원, 1995-2001, 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구