

용담 시험유역의 현황



이 현 석 |

한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원
leehs2005@kwater.or.kr



김 영 성 |

한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원
yskim@kwater.or.kr



양 재 린 |

한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원
jyang@kwater.or.kr



고 덕 구 |

한국수자원공사 수자원연구원 연구위원
dkkoh@kwater.or.kr

1. 서 언

수자원기초자료의 신뢰적이고 안정적인 측정, 축적된 자료에 대한 손쉬운 접근 및 활용성 확보 등 '현지에서 생산된 자료를 투명하고 단순한 경로를 통해 연구실의 사용자에게 제공하기 위한 시스템

구축'은 수자원 계획, 수리구조물의 설계·시공 및 수자원 운영 등 모든 수자원 분야 종사자의 바램이다. 그러므로 수자원 기초 조사에 관한 연구는 어떤 연구보다 최우선적으로 시행되어야 한다는 당위성이 있다. 하지만 그럼에도 불구하고, 홍수기에만 반짝하는 국민의 일시적인 관심 및 다른 분야의 연구 성과와 비교되는 수자원 기초조사 분야의 연구 결과들은 '아직 멀었다'고 막연하게 느끼고 있는 현실적 거리감을 잘 반영하고 있다.

이에 한국수자원공사는 미력하나마 국내 수자원 기술의 문제점들을 해결하고, 유역 수자원 활용 계획 및 과학적인 다목적댐 운영방안을 마련하기 위하여, 2001년 용담댐 유역을 수자원 시험유역으로 지정하였다(고익환 외(2001), 한국수자원공사(1999), 한국수자원공사(2000), 한국수자원공사(2001)).

유역면적이 약 930 km²에 이르는 용담 시험유역에는 각종 관측장비를 연구 목적별로 구분 배치하고, 갈수기, 평수기 및 홍수기의 시기적 특성을 고려한 '연중 수문관측체계'를 구축하였다. 또한 수문관측 장비의 선진화 및 우리나라 지형에 적합한 장비 개발의 '시험장'으로서도 활용성을 확대해 나가고 있다.

본 논문에서는 용담 시험유역에서 진행하고 있는 연구들을 댐 운영 및 저수지 관리에 필요한 수자원 기초 조사, 조사에 필요한 관측 장비 개발 및 시

표 1. 우량관측소 현황

관측소명	구분	관측소 위치			해발고 (EL.m)	관측개시일
		주소	동경	북위		
안 천	T/M	전북 진안군 안천면 신괴리 177-1	127-32-48	35-52-01	313	'99-06-15
주 천	T/M	전북 진안군 주천면 주양리 산17-9	127-25-34	35-58-04	303	'00-01-01
부 귀	T/M	전북 진안군 부귀면 황금리 산118-9	127-24-12	35-51-36	396	'99-06-15
상 전	T/M	전북 진안군 상전면 주평리 579-5	127-29-10	35-48-11	334	'99-06-15
천 천	T/M	전북 장수군 천천면 장판리 418-1	127-30-49	35-40-54	409	'99-06-15
장 계	T/M	전북 장수군 장계면 삼봉리 748-4	127-36-03	35-42-54	422	'99-06-15
계 북	T/M	전북 장수군 계북면 원촌리 1050-58	127-37-46	35-48-27	453	'99-06-15

험·검증 사례로서 전자파 표면 유속계 개발 그리고 우리의 실정에 맞는 수리·수문 인자 개발 연구의 일환인 물수지 분석 결과의 순으로 소개한다.

2. 수자원 기초 조사

용담 시험유역은 7개소의 우량관측소를 운영하고 있다. 각각의 우량 관측소는 정복 기준 반시계 방향으로 안천, 주천, 부귀, 상전, 천천, 장계 그리고 계북으로 명명되었으며, 유역 외 무주 우량관측소는 인근 지역의 자료로서 활용되고 있다. 각 관측소별 자료의 전송 방식, 위치, 해발고 및 관측 개시일은 표 1과 같다.

저수지 운영 및 관리에 필요한 가장 기초적인 자료로는 유입 지천 및 호내의 수위 자료를 들 수 있다. 용담 시험유역의 5개 지천에는 각각 1개소의 수위관측소를 운영하고 있으며, 특히 구량천 유역에는 물수지 분석 및 홍수기 지점별 유량 특성 파악을 목적으로 양약1교에 별도의 수위관측소를 신설하였고, 유량조사 대상 지점은 아니지만 폐쇄예정인 봉곡교 수위관측소 및 2009년도에 신설된 구량천 유역내 동향마을의 하향교에서도 수위 모니터링을 실시하고 있다. 또한 홍수기 호내에서의 수위 변동 특성 파악을 위하여 저수지내에 건설된 4개의 다리(사근교, 갈두교, 용평대교, 죽도교) 교각에 수위관

표 2. 수위관측소 현황

관측대상	관측지점	관측장비	전송방식
하천	주천교	기포식 수위계	로거저장, 다운로드
	석정교	기포식 수위계	로거저장, 다운로드
	도치교	기포식 수위계	로거저장, 다운로드
	동향	부자식 수위계	T/M 전송
	천천	부자식 수위계	T/M 전송
호내	양약1교	기포식 수위계	로거저장, 다운로드
	사근교	압력식 수위계	CDMA 저장
	갈두교	압력식 수위계	CDMA 저장
	용평대교	압력식 수위계	CDMA 저장
	죽도교	압력식 수위계	CDMA 저장

측소를 설치하여 운영 하고 있다. 표 2는 용담 시험유역내 수위 관측소 현황이다.

용담시험유역에서 제공하고 있는 유입지천의 유량 자료는 계절적 특성에 따라 3가지 방법으로 측정되고 있다. 즉, 갈수기에는 '파살플룸에 의한 유량 측정', 평수기에는 '도섭법에 의한 유량측정' 그리고 홍수기 '전자파 표면유속계를 이용한 비접촉 유량측정'으로 구분된다. 표 3은 동향지점에서 운영되고 있는 파살플룸의 제원을 보여주고 있다(한국수자원공사(2004)). 퇴사로 인한 보의 월류를 방지하기위해 1년에 2회 준설을 실시하고 있으며, 금년의 경우 6월 중순인 현재까지도 신뢰도 높은 유량값을 생산하고 있다.

용담호에서는 정기적으로 수질 조사를 실시하고 있다. 표 4에 나타낸 바와 같이 2005년부터 2007

표 3. 파살플룸 현황

관측소명	하천	관측소 위치			영점표고 (EL.m)	유역면적 (km ²)	유역평균 고도(EL.m)	관측개시일
		주소	동경	북위				
동향 Parshall	구량천	전북 진안군 동향면 성산리	127-32-31	35-49-43	291.500	165.5	640.38	'02-03

표 4. 호내 수질 조사 현황

조사 형태	구 분	내 용
집중 조사	측정 지점수	10 지점 (상·중·하층 조사)
	측정 주기	2회 / 월
	측정 항목	수온, DO, pH, 전기전도도, BOD, COD, SS, TN, TP, PO ₄ -P, NO ₃ -N, NH ₃ -N, 투명도, 클로로필a, 조류, 금속이온
기본 조사	측정 지점수	4 지점 (상·중·하층 조사)
	측정 주기	1회 / 월
	측정 항목	수온, DO, pH, 전기전도도, BOD, COD, SS, TN, TP, PO ₄ -P, NO ₃ -N, NH ₃ -N, 투명도, 클로로필a, 조류, 금속이온

년까지 실시한 집중조사 기간에는 호내 10개 지점에서 월 2회 수질조사를 실시하였으며, 그 외에는 호내 4개 지점에서 월 1회 수질조사를 수행하고 있다. '다항목수질계'를 이용한 현장조사 및 채수 후 실험실에서의 분석을 통하여 취득한 측정 항목은 표 4에 나타낸 바와 같다.

본 논문에서 소개한 자료 외에도 용담 시험유역에서는 다양한 수자원 기초 자료를 조사·축적하고 있으며, 또한 자료의 신뢰도 개선을 위한 다양한 연구를 수행하고 있다. 이러한 모든 결과들은 현재 구축하고 있는 용담시험유역 홈페이지를 통하여 머지않아 일반에게 제공할 예정이다.

3. 관측 장비 개발

3.1 개발의 필요성 및 현황

1970년대 시작된 다목적댐 건설 이후부터 본격적으로 발전한 한국의 수자원 관리기술은 이와 연관된 하천의 유량측정업무로 지속되어 왔다. 하천

의 유량 측정은 대개의 경우 유속과 수위를 측정하여 이로부터 계산하게 된다. 유량측정이 오래 전부터 시행되어 오늘에 이르고 있지만 정부, 관련 기업 및 학계에서 최근 대두되어 온 문제 중의 하나는 '하천 유량 측정 자료 자체의 신뢰성 부족'이다.

국내의 유량 측정 자료는 전국에 있는 수위 측정 설비로부터 연속 측정되는 수위와 유량 측정결과로부터 산정한 수위-유량식을 이용하여 계산하게 된다. 수위-유량식을 구하기 위하여 사용되는 자료는 수위관측소에서 연속적으로 측정되는 수위와 연간 간헐적으로 측정하는 점유속 자료이다. 그런데 이러한 자료가 가지는 문제점은 유속측정이 간헐적으로 이루어지기 때문에 수위자료와는 달리 연속자료를 축적하지 못한다는 점이다. 따라서 홍수시 첨두 유량도 측정하기가 힘들다. 그리고 설령 첨두유량 발생시간을 예측한다하더라도 현재의 접촉식 프로펠러 유속계로는 이를 물속에 담갔을 때의 항력으로 인한 인명피해의 위험으로 인해 측정이 거의 불가능하다. 이러한 이유로 인하여 홍수기에는 부자를 사용하여 표면유속을 측정하여 이로부터 유량을 계산하고 있으나 그 또한 쉽지 않은 상황이다. 이러

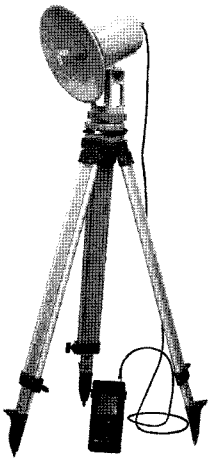


그림 1. 홍수용 전자파 표면유속계

한 어려움을 극복하고자 물과 멀리 떨어져서 하천의 표면유속을 비접촉식으로 측정할 수 있는 전자파표면유속계를 개발하였다(그림 1). 현재 전자파표면유속계는 한국수자원공사 32대를 비롯하여 대학교, 공공기관, 연구소 등에서 43대 등 총 75대를 홍수유량측정 및 연구목적으로 사용 중에 있다.

3.2 실시간 홍수유량측정 시스템

수자원연구원에서는 1999년 이동식 전자파표면유속계를 개선하여 고정식 전자파표면유속계 시제품을 개발하고, 현장실험을 계속하여 운영상의 문제점을 점차적으로 개선하고 있으며 또한 고정식 전자파표면유속계를 이용한 실시간 홍수유량측정 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 측정을 하는 기기이다. '실시간 홍수유량측정시스템'은 홍수기에 실시간으로 유량 자료를 취득하는 방식으로, 3대의 고정식 전자파표면유속계와 1대의 초음파수위계로 실시간 자료를 측정하고, 자료 취득과 동시에 유량을 계산할 수 있도록 프로그램 되었다. 2001년의 장마기간에 대전의 화덕수위표지점에서 수행한 실시간 홍수유량측정 결과는 고정식 전자파표면유속

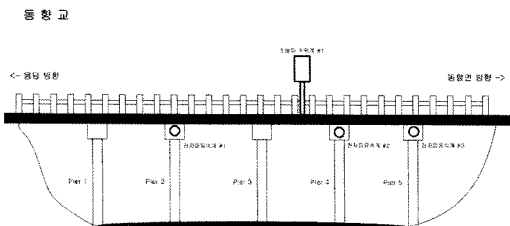


그림 2. 실시간 홍수유량측정시스템 설치 모식도

계를 이용한 실시간 유량측정의 효용성을 확인시켜 주었다.

현재 실시간 홍수유량측정시스템은 자연하천에서 홍수파의 진행에 따른 수위-유량관계의 다이내믹한 거동을 파악하고자, 용담시험유역내 동향수위관측소 용암교에 이전·설치하였다(그림2, 그림3).

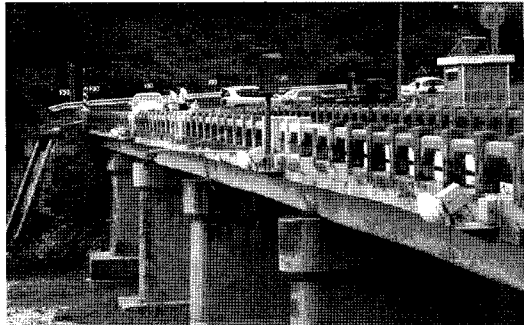


그림 3. 실시간 홍수유량측정시스템

3.3 편각측정용 전자파표면유속계

전자파표면유속계는 홍수유속측정을 위하여 개발된 기기로 유속이 느린 평·갈수기에는 유속측정이 불가능하다. 또한 현재 보급된 전자파표면유속계는 하천의 흐름방향에 나란하게 설치하였을 때만 유속을 측정할 수 있는 기기의 구조상 한계성 때문에 교량이 없는 지점에서는 유속측정이 실질적으로 불가능하며, 교량위에서 유속을 측정할 때에도 기기를 각 측선마다 이동 설치하여야 하는 등 운용상에 어려움이 있다. 이에 홍수 시 유량측정의 효율성을 증대시키고 전자파표면유속계의 활용도를 높이고자 편각측정이 가능하도록 전자파표면유속계의 성능을 개선하였다.

전자파표면유속계에서의 편각 측정은 하천의 유속방향을 기준으로 정면에서 측정하면 수평 편각이 0도가 되며 좌우로 안테나를 회전하면 움직인 각도가 측정 편각으로 결정된다. 현장에서 전자파표면유속계의 사용시 편의성을 높이고 유량측정을 효율적으로 하기 위해서는 가급적 편각을 크게 설정해



그림 4. 편각측정용 전자파표면유속계의 현장 성능 시험

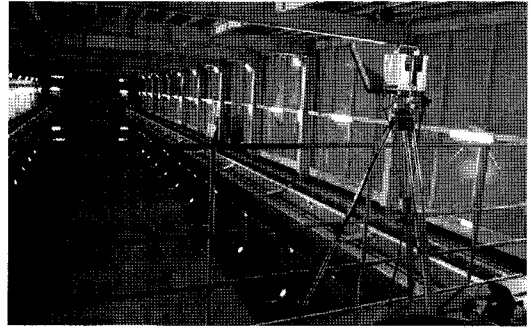


그림 5. 저유속측정용 전자파표면유속계의 실내 성능 시험

서 측정을 해야 하지만, 편각이 증가하면 물에 반사된 신호의 수신 크기가 감소하여 측정이 불가능하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 유속 측정 시 전자파 출력을 기존의 시스템보다 높게 조절하여야 하며 안테나를 포함한 RF 모듈의 수신감도 및 지향성 또한 개선되어야 한다. 그림 4는 본 연구를 통하여 개발된 편각측정용 전자파표면유속계의 현장 검증 상황이다. 측정 편각의 한계로 인하여 교량 정중앙에서 한 번에 모든 지점의 유량을 측정할 수는 없었지만, 장비의 이동을 기존의 약 1/3 이상으로 줄일 수 있었다.

3.4 저유속 측정용 전자파표면유속계

이동식 전자파표면유속계를 이용한 홍수기 유량 측정은 기존의 측정 방법에 수반되어왔던 많은 문제점들(실무자와 유속계의 안전성, 측정방법의 간편성 및 측정유속의 정확성 등)을 혁명적으로 개선하였다. 하천유량측정 실무자들은 이제는 평·갈수기 유량측정도 전자파표면유속계와 같은 비접촉식 방법이 적용가능한지의 문의를 하고 있는 실정이다. 미국에서 1996년도 출판한 USGS의 Hydro-21 Committee에서는 유속 및 수위 측정 그리고 횡단측량까지 비접촉식 방법에 의한 무인 자료취득을 목적으로 연구개발을 실시하여 여러 가지 형태의 Radar를 이용한 기기를 개발하여 현장에서 시

험적용하고 있다. 이와 같은 추세로 볼때 홍수기뿐만 아닌 평·갈수기를 포함한 비접촉식 상시유량측정기의 개발은 차세대 유량측정이 추구해야할 방향으로 판단된다. 이러한 사용자들의 요구와 세계적인 개발 추세에 맞추어 수자원연구원에서는 2008년도에 평·갈수기 유량측정을 비접촉식으로 수행하고자 전자파표면유속계의 성능을 혁신적으로 개선하여 하천에서 발생하는 전체 범위의 유속, 즉 0.03 ~ 10.0 m/s, 측정이 가능한 새로운 개념의 전천후 전자파표면유속계를 개발하였다. 현재 시제품이 개발되어 실내시험에서 0.03 m/s의 유속에 대한 측정을 성공한 상태이며(그림 5), 현장적용을 위한 마무리 작업을 진행하고 있다.

4. 물수지 분석

용담호로 유입되는 지천 중 하나인 구량천 상류에는 농업용 저수지인 양약호가 있으며, 양약호의 물은 관개수로를 통하여 몽리구역으로 공급된다. 몽리구역은 그림 6에 나타낸바와 같이 위로부터 아래로 (A) 마암마을, (B) 주고마을, (C) 당저마을 및 (D) 외림마을 순으로 4구역으로 구분하였으며 위성영상을 통하여 추정한 구역별 몽리면적은 표 5에 나타내었다. 그림 6의 우측하단에 나타낸 유역 외 지역도 4개 구역으로 구분하였으며, 위로부터 반시계방향으로 (A)로부터 (D)까지 구분하여 표 5에 제

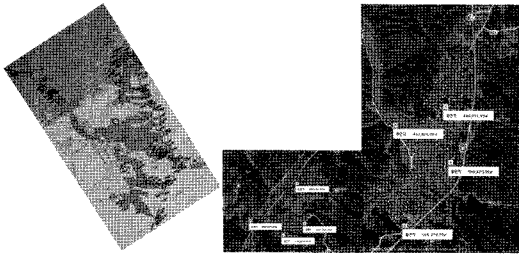


그림 6. 연구대상 지역 및 몽리구역 면적

표 5. 유역내·외 몽리구역 면적

Watershed	Cultivation section	Cultivation area (m ²)	Possession rate of watershed (%)
inside	(A)	448872	17.94
	(B)	433808	17.34
	(C)	952624	38.07
	(D)	666720	26.65
outside	(A)	269664	0
	(B)	464032	
	(C)	278016	
	(D)	307232	
		1318944	

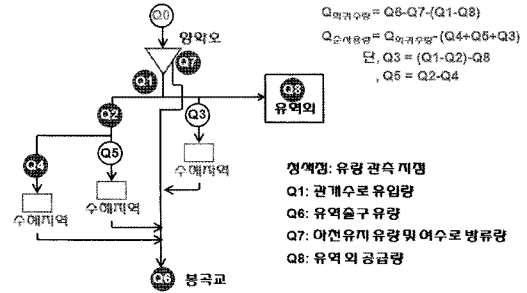


그림 7. 물수지 모식도

표 7. 무강우시 회귀율 분석결과

Days	Daily average of irrigation depth(mm)	Daily average of drainage depth(mm)	Return rate (%)
4/3 ~ 4/6	2.43	0.77	31.64
4/18 ~ 4/21	4.96	3.46	69.89
4/27 ~ 5/12	9.39	5.73	61.00
6/12 ~ 6/17	8.38	4.42	52.70
7/10 ~ 7/11	10.71	6.62	61.81
7/16 ~ 7/17	7.73	5.23	67.60
9/11 ~ 9/13	7.95	4.77	60.06

시하였다.

본 연구대상지의 농업용수 공급원인 양악호의 물은 양수펌프를 이용하여 유역 외로도 공급되고 있으나 공급량이 불명확하다. 따라서 유역 외 공급량은 취수탑으로부터 좌안으로 공급되는 관개량을 유역내(D)구역의 몽리면적인 666,720 m²과 유역외 총 몽리면적인 1,318,944 m²의 비로 분할하였다.

또한 관개량 및 배수량을 산정하기 위하여 수로별 수위-유량 관계식을 도출하고 관측수위로부터 유량을 계산하였다. 도출된 수위-유량 관계식은 표 6과 같다. 식의 Q는 유량이고, H는 하천 및 관개수로에서의 수위이다.

표 6. 관개량과 배수량 파악을 위한 수위-유량 관계식

Measuring station	Rating curve	R ²
Main irrigation canal	$Q = 2,407 \times H^{1.966}$	0.987
After divergence right hand side of irrigation canal	$Q = 1,835 \times H^{2.019}$	0.975
Bongok bridge for drainage quantity measurement	$Q = 78,542 \times (H - 0.385)^{3.018}$	0.987

2008년도 물수지 분석을 위한 개념도는 그림 7과 같다. 관개 후 배수량인 유역 출구 유량은 봉곡교에서 측정하였으며, 본 연구에서는 소유역에서의 회귀수량을 파악하기 위하여 '무강우시 관개수로를 통한 용수의 유입이 없는 상태에서의 유출량'을 조사하고, 홍수기 및 홍수기 전·후의 배수량 또한 파악하였다.

분석 결과는 표 7에 나타내었다. 관개수를 통한 용수공급이 시작된 4월 3일부터 4월 6일까지는 회귀율이 31.64 %로 최저이며 4월 18일부터 4월 21일까지는 69.89 %로 제일 높다. 다시 말해 이 지역은 4월 초순경에는 약 32 %의 낮은 회귀율을 보

였으나, 그 외의 기간에는 53 ~70 % 사이의 비교적 높은 회귀율을 보인다. 2008년 양악천 유역 전구간의 평균 회귀율은 57.82 %이다.

5. 맺음말

용담 시험유역을 운영하고 있는 K-water 연구원은 1) 국내 최고 품질의 수문자료를 제공하는 시험유역을 구축함으로써 2) 수문(기상, 수위, 수량, 수질) 관측 기술의 메카화를 실현한다는 비전을 가지고 있다.

추진전략으로는 1) 국내·외 수문관측 전문 기관(한국건설기술연구원 및 관련 연구기관, US Geological

Survey)과의 기술 협력 및 공동연구를 활성화 하고, 2) '수문 관측 신기술' 도입 및 개발 시, 시험장으로서의 역할을 충실히 수행함은 물론, 3) 매년 수문관측 포럼 또는 전문가 과정을 운영하여 이 분야 최고의 전문가 그룹을 양성하고자 한다.

이러한 모든 비전과 전략의 실현은 관련 기관, 학계 및 현업 종사자의 애정 어린 관심과 충고가 밑거름이 되어야만 가능하며, 시험유역 종사자들의 헌신 또한 절실하다. 오늘도 우리 시험유역 운영팀은 1) 신뢰도 높은 기초자료 취득, 2) 관련 연구자 모두를 위한 투명하고 단순한 자료 제공, 3) 우리나라의 실정에 맞는 한국형 수문인자 파악 및 제공을 위해 노력하고 있다. ☞

참고문헌

1. 고익환 외, 수자원 시험유역 운영계획과 활용방안, 대한토목학회, 2001
2. 한국수자원공사, 수자원 시험유역 운영방안, 1999.
3. 한국수자원공사, 수자원 시험유역 설치 기본 및 실시설계 보고서, 2000.
4. 한국수자원공사, 수자원 시험유역의 수문 분석방안 연구: 용담댐 유역을 중심으로, 2001.
5. 한국수자원공사, 용담시험유역 파살플룸의 유효성 평가, 2004.