

2015

용담시험유역 운영백서

최근 기후변화로 인해 전세계적으로 많은 이상 현상이 급증하고 있습니다. 특히 수자원 분야에서는 홍수와 가뭄, 사막화가 전지구적으로 많은 이슈가 되고 있습니다. 1998년 및 2000년 동유럽 홍수, 1995년 중국 홍수, 전국토의 60%가 침수된 2004년 방글라데시 홍수 등 전 지구적으로 집중호우와 폭풍우에 의한 홍수가 빈번하게 발생하고 있습니다. 이러한 홍수와 더불어 아프리카 지역에서는 연평균 강수량이 감소함으로 인한 사막화 현상이 가속화되고 가뭄현상도 점점 더 증가하고 있는 현상이 발생하고 있습니다.

국내에서도 많은 홍수와 가뭄피해가 발생하고 있습니다. 특히 연평균 강수량은 평년의 72% 수준인 948.2mm로, 1973년 이래 1988년과 1994년에 이어 역대 세 번째로 비가 적게 내렸습니다. 또한 가뭄으로 39개 시·군의 논밭 7,358ha가 피해를 입었습니다. 이와 반대로 11월에는 '가을장마'가 찾아와 한 달 중 15일이나 비가 지속되었으며, 월강수량은 역대 11월 중 두 번째로 많은 127.8mm로써, 11월 평균 강수량의 약 3배에 달했습니다.

이렇듯 국·내외에서 가뭄과 홍수로 인해 많은 인명과 재산의 피해가 발생하고 있으며, 효율적인 수자원 관리가 더욱 더 절실하게 느껴집니다. K-water에서는 효율적인 수자원관리를 목표로 '99년부터 용담시험유역을 운영하고 있습니다. 용담댐 유역은 금강의 최상류에 위치하며, 전라도와 충청도의 주요 용수공급원으로써 수질 및 수량 관리가 중요한 지점입니다. 이러한 용담댐 유역에서 시험유역 운영을 통하여 효율적인 수자원 관리를 위한 수문인자확보, 한국형 관측기술개발 등 지속적인 연구를 추진해 오고 있으며, 또한 '15.03월 UNESCO-IHP 한국대표 시험유역에 선정되어 수자원 관리 연구를 선도하고 확보된 선진 조사기술을 제공함으로써 글로벌 시험유역으로 서의 위상을 정립하게 되었습니다.

금번에 발간하는 "2015년도 용담시험유역 백서" 는 용담댐 시험유역의 현황과 관측 시설, 관측된 자료에 대한 설명과 더불어 기초수문자료를 포함하고 있습니다. 본 백서에 포함된 자료를 통하여 대학, 기업 및 지자체 등에 많은 도움이 되길 바라며, K-water 연구원에서는 용담시험유역을 통하여 통합물관리(IWRM)와 국민 물복지 실현을 이룰 수 있는 발판이 되기를 진심으로 바랍니다.



2016. 5

K-water연구원장 민경진

용담시험구역

1. 용담댐 시험구역 개요

1.1 구역 개황

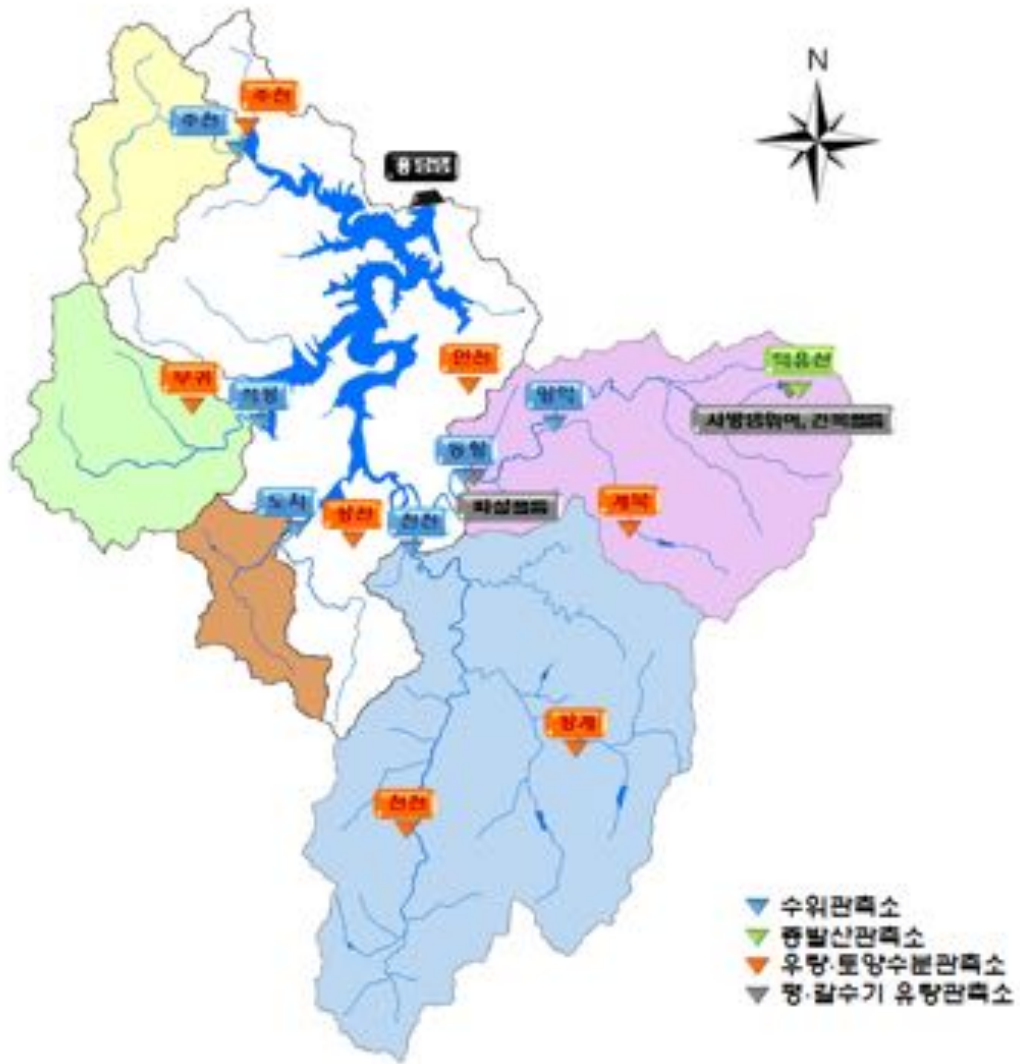
용담시험구역은 북위 36 ° 00' ~ 35 ° 35', 동경 127 ° 20' ~ 127° 45'에 해당하는 금강유역의 최상류 지역으로 구역 동측은 국립공원 덕유산 향적봉(1,614 m)에서 동북으로 금강 지류인 남대천 유역, 동측으로 낙동강의 지류인 황강유역과 경계를 이루고 있다. 구역의 남측으로는 장안산(1,237 m), 사두봉(1,015 m), 신무산(897 m), 팔공산(1,151 m), 성수산(1,059 m), 마이산(678 m)을 경계로 하여 섬진강 유역과 접하고 있다. 서측으로는 운장산(1,126 m)을 경계로 만경강 유역과 접하고 있다.

용담댐 시험구역은 8개의 소유역으로 이루어져 있으나, 용담댐 건설 후 수몰지가 포함된 본류의 3개 유역을 제외한 장계천, 구량천, 진안천, 정자천, 주자천 유역 등 5개의 소유역으로 구성 되어 있다.

용담댐 시험구역은 13개의 우량관측소가 위치하며, K-water는 이중 7개소를 관리하고 있다. 안정적인 댐 운영을 위해 5개의 유입하천을 대상으로 수위, 유량 등 수자원에 대한 기초조사를 실시하고 있으며, 평·갈수기 유량조사를 위한 플룸이 4개 있다. 그리고 과거에는 양악호 유역을 대상으로 물수지 분석을 실시하였다.

또한 2007년 하천법 개정에 따라 토양수분과 증발산이 수자원 기초조사 항목으로 지정됨에 따라 7개 지점의 토양수분 관측망을 구축하고 있으며, 증발산량 관측을 위한 플럭스 관측타워가 위치하고 있다.

구역면적은 약 930 km²에 이르며, 이는 서울 면적의 약 1.5 배 큰 면적이다. 용담시험 구역 내에는 장수군, 진안군, 무주군의 3개군 2개읍 12개면이 위치하고 있다. 총면적은 1,164 km²이며 농경지 158.5 km²(13.6 %), 임야 920.9 km²(79.1 %), 기타 85.3 km²(7.3 %)로 구성되어 있다. 구역은 대부분 임야지역인 산악지대로 분류된다. 수계에 따라 농경지가 분포하고 있으며, 일부 농경지에서 사용하는 농약에 의한 오염원 외에는 특별한 토양 오염원이 없다.



[용담댐 시험유역도]

[용담댐 소유역별 토지이용도]

유역	논		밭		임야		대지		기타		계
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²
주천	3.25	5.9	12.47	22.6	39.15	70.8	0.38	0.7	0.03	0	55.28
석정	5.68	6.6	15.72	18.4	62.90	73.5	1.12	1.3	0.14	0.2	85.56
도치	3.07	9.4	8.28	25.4	19.87	61.0	1.26	3.9	0.09	0.3	32.57
동향	17.16	10.4	29.77	18.0	115.05	69.7	2.85	1.7	0.24	0.1	165.07
천천	26.62	9.2	54.95	19.0	200.97	69.6	5.79	2.0	0.48	0.2	288.81

※ 본류 : 302.71 km

I. 주요 추진현황

□ 추진경위

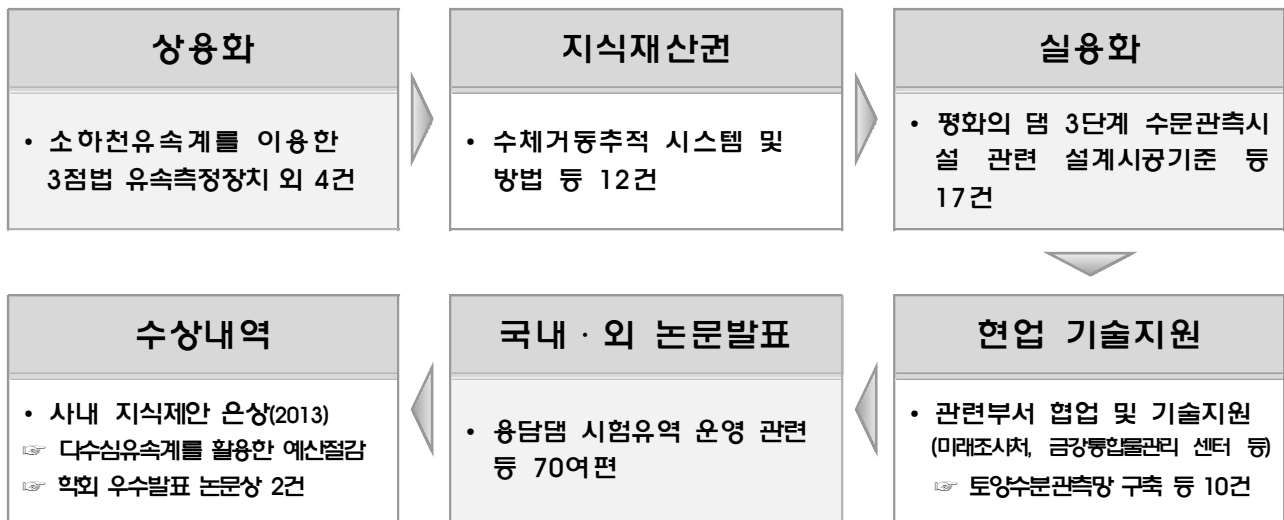
- 수자원시험유역 운영방안 연구수행 : '99.11
 - 시험유역 관리 업무 이관 : 조사처 → K-water연구원
- 시험유역운영 개선 계획 수립 : '07.12
- 시험유역 재정비 추진 : '08.12
- 용담댐 시험유역 M/P 수립 및 운영 : '10.06
- 덕유산 플렉스타워 운영계획 수립 및 운영백서 최초발간 : '11.02
- 용담댐 토양수분관측망 운영계획 수립 : '12.11
 - 「하천법」 제17조 제1항 개정 반영(증발산량, 토양수분 측정 조사)
- 용담시험유역 IHP 대표시험유역 참여방안 계획 수립 : '14.04
- 3G 실시간 통신망 구축(수위, 토양수분관측소) : '14.08
- 용담시험유역 홈페이지 개선 : '14.12
 - 실시간 데이터 모니터링, 공동데이터 개방 시스템 구축
- UNESCO-IHP 한국대표 시험유역 선정 : '15.03
- K-water연구원-한국수자원학회 MoU 체결 : '15.06
- 수위관측소 수위측정기기 검정(4개소) : '15.09



□ 비전 및 추진전략



□ 그간 추진성과



□ 기대효과

- (수자원 기초조사 글로벌 표준제시) 수자원 관리 연구를 선도하고 확보된 선진 기술을 제공함으로써 글로벌 수자원 기초조사 표준 제공
- (맞춤형 수자원관리 실현) 한국형 수자원 인자를 활용한 자료분석 및 활용기술의 정확도를 향상시킴으로써 맞춤형 수자원관리 실현
- (UNESCO-IHP 활용) 해외 R&D 사업교두보 마련(KOICA연계사업 등)을 위한 시험유역 성과 및 관리·운영기술의 해외사업화 초석마련
- (성과확산 파트너십) 集團知性을 활용한 현업과의 개방형 기술 소통체계 구축, K-water와 중소기업이 Win-Win할 수 있는 협력적 생태조성 및 성과확산 파트너십 구축
- (개방성 확대) 생산자료의 체계적인 데이터 관리 및 공공데이터 개방의 효율성 극대화 및 다양한 이해관계자와 전문지식 및 기술정보 공유의 장을 형성하여 각 기관 연구자들의 교류 활성화

□ 국제시험유역(UNESCO-IHP) 선정

1. 목적

기존 운영되고 있는 K-water 용담시험유역이 국제시험유역(UNESCO-IHP)에 선정되어 물관리 전문기관으로서의 위상제고 및 산·학·연 첨단기술 실험 공간으로 활용하고자 함

2. 국내 시험유역 현황 및 문제점

2.1 국내 시험유역 운영 현황 : 용담시험유역, 설마천, 청미천, IHP 시험유역 등 운영

시험유역		수계	유역면적(km ²)	비 고
용담시험유역(K-water) (2001~현재), 2015~2021 7단계 확정		금강	930.42	- 수자원 기초자료 생산 - 한국형 수자원 인자개발 - 맞춤형 수자원관리 기술개발 - 유역면적 大, 多 소유역
설마천유역(전기원) (1995~현재)		한강	8.48	- 산지하천 홍수예측 목적
IHP*	평창강유역 (1982~2006)	한강	1,774.32	- 단기강우-유출모의, - 강우-유출에 따른 유출모형 매개변수고찰 연구에 초점
	보청천유역 (1982~2006)	금강	553.38	
	위천유역 (1982~2006)	낙동강	1403.06	
	청미천유역 (2007~2015.04) 운영중단	한강	399.42	- 수문순환/자연생태 운영목적
	대동천유역 (2007~2015.04) 운영중단	금강	20.49	- 도시/방재 운영목적

2.2 기존 IHP 시험유역 문제점

- 예산축소 및 운영 노력 부족 등으로 지속성 결여
- 대학 및 일부 기관의 특정 목적에 따른 단기 운영 및 변경
- 사업과 지속적인 관계를 가지지 못한 독자적 운영 후 중단

📖 국토교통부(2014.11) : 조사품질 저하 및 시험유역의 지속성 결여로 발생하는 문제 해결위해 한국대표시험유역 단일화 결정

3. 기대효과

- UNESCO-IHP 대표시험유역 지정에 따른 용담시험유역의 국제적 위상확보
 - 저개발국 조사기술 전파에 따른 국제위상 제고
 - 용담시험유역 조사자료의 국제적 공공성 확보
- AWC 및 KOICA 사업 등과 연계한 해외 R&D 사업 교두보 마련
 - AWC 및 KOICA 사업연계를 통한 사업(캄보디아 기초조사 등) 및 R&D 진출방안 모색
 - 용담시험유역 국제 교육의 장으로 활용(UNESCO-IHP 교육센터 연계)
- K-water 주도의 산·학·연 첨단기술 실현 공간 활용 및 지속성 확보
 - 학회·연구종사자·중소기업 상생 기술개발 Testbed로 활용
- ※ 중소기업과 공동으로 개발한 우수 제품의 상호평가를 위한 테스트베드 제공을 통한 교류협력 및 해외진출 기회 제공
 - 시험유역 생성 공공데이터 개방·활용 공유체계 구축·활용
- 수문위성 활용 등 시험유역 공동 연구에 따른 물 관리 기술 고도화
 - 중점 연구분야 분업 및 협업에 따른 중복투자 방지 및 효율성 증대
 - 시험유역 성과 및 관리·운영기술의 해외사업화 초석마련
 - 수자원학회 MOU를 통한 용담시험유역 성과공유 및 연구결과 확산
- ※ 양 기관간 이해증진, 정보공유 및 수질모니터링 시스템 등 상화 관심 분야에 대한 공동 연구 및 기술지원



□ K-water · 한국수자원학회 MOU 체결

1. 추진배경 및 목적

- 기존 국내 IHP 시험유역의 문제점(조사품질 저하 및 지속성결여 등)으로 인한 한국 대표 시험유역 단일화 결정
- 용담시험유역의 UNESCO-IHP 선정에 따른 시험유역 성과 도출 및 정보교류, 공동연구를 위한 협력강화 필요성 증대
- MOU를 통한 연구 성과 공유 및 상생협력을 통하여 미래 물 산업 선도를 기대
- K-water · 한국수자원학회간 MOU를 통한 공동협력업무 및 연구개발을 통하여 통합물관리(IWRM) 기반강화와 기후변화 대비 국가적 물 문제 선제적 공동대응

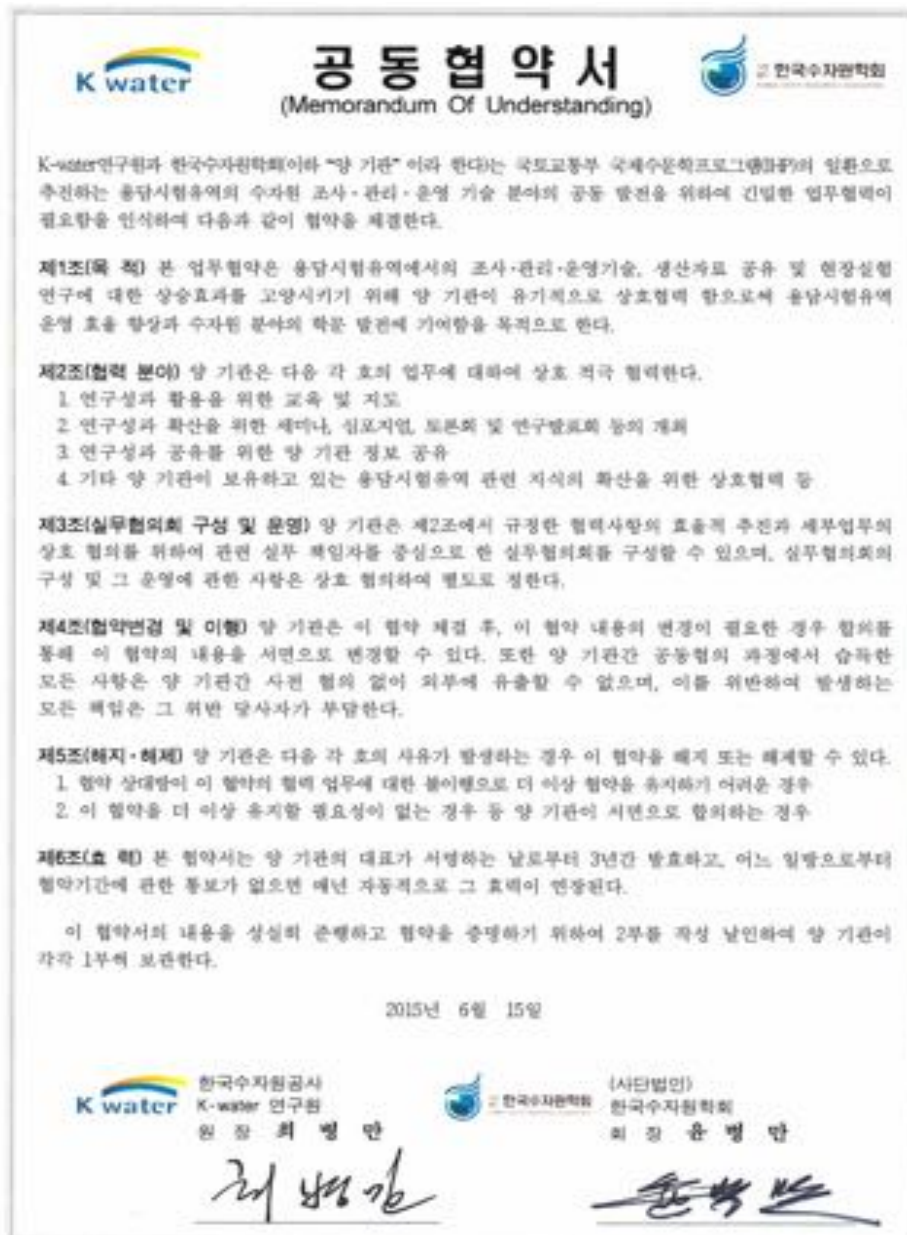
2. 추진방향



3. 기대효과

- (인력교류) 인력교류에 의한 시험유역 품질 신뢰도 향상
- (기술교류) 기존 자료 분석과 다른 수문자료의 분석 방법 확대
- (정보공유) 양 기관 관심 분야에 대한 정보 공유 및 공동연구 추진
- (연구성과 확산) 시험유역 생산자료의 개방·활용 공유체계 구축

[K-water · 한국수자원학회 MOU 협약서]



□ 국제시험유역(UNESCO-IHP) 1차년도 연구 성과

최근 이상기후로 인한 가뭄 및 홍수의 빈도는 점점 증가하고 있으며 또한 그 강도 또한 점점 증가하고 있어 수자원관리에 어려움이 증대되고 있다. 2014~2015년의 중부 지방 가뭄 등으로 인하여, 충청권 서북부 지역(당진, 아산 등)에서 단수사태가 발생하였으며, 2010~2012년 서울 및 수도권 남부 지방에 발생한 게릴라성 집중호우는 많은 인명 및 재산상의 피해를 발생시켰다. 이에 K-water 연구원에서는 국제시험유역(UNESCO-IHP)에 참가하였고, 국제시험유역으로 선정된 용담댐에서 생산되고 있는 수문 및 기상관측 자료를 바탕으로 최근 급격하게 변화하고 있는 기후변화를 대비하여 수문 계측 및 품질관리의 고도화 기술 확보를 하고자 한다. 또한 용담시험유역 내의 저수지 및 다양한 지천을 활용하여 대하천 상·하류 및 하구 등에 적용이 가능한 한국형 수자원 관리기술을 개발하고자 한다.

용담시험유역에서 생산된 다양한 현장자료는 수문학적 홍수 시 저수지 유입량 산정 기법, 수면증발량 관측 기술, 증발산량 신뢰도 개선 기술 및 토양수분량 신뢰도 개선 기술 등 각 분야의 세부 연구자에 의해 분석되었다. 연구 성과는 수위-유량곡선식 적용개선을 통한 유량의 신뢰도 향상 및 홍수기 유량 모니터링 기술 검토, 용담시험유역 내 구량천 유역에서의 건기/습윤기 유출 특성 분석, 증발산량 신뢰도 개선을 위한 관측방법 개선, 수면 증발량 관측 기술 확보를 위한 온도 특성 조사 및 토양수분량 신뢰도 개선을 위한 관측자료 검증 등으로 구분하였다. 향후 지속적인 연구를 통해 성과들이 축적된다면 가까운 미래에 용담시험유역의 특성을 고려한 수문 계측 및 품질관리 고도화 실현이 가능할 것이며, 지구촌 곳곳의 지형 및 기후 특성을 반영한 수문계측 및 품질관리 기술의 고도화를 선도할 수 있을 것으로 사료된다.

현재 용담 국제시험유역(UNESCO-IHP)은 1차년도 과제를 마치고 2차년도 과제를 수행하고 있다. 1차년도 주요 연구내용은 다음과 같으며, 1차년도 보고서는 용담시험유역 홈페이지를 통하여 확인이 가능하다(<http://www.ydew.or.kr>).

□ 1차년도 주요 연구내용

- 평·갈수기 및 홍수기 유량 신뢰도 개선
- 증발산량 신뢰도 개선
- 토양수분량 신뢰도 개선
- 홍수기 유량 모니터링 기술
- 수문학적 홍수시 저수지 유입량 산정기법
- 수면증발량 관측 기술

□ 용담시험유역 주요 관측소 수문자료 공인

1. 수문자료 공인

그 동안 수문자료는 국토부, 환경부, 수자원공사, 농어촌공사, 지자체 등 각 기관에서 자체적으로 생산·관리하고 있었다. 그러나 각 기관마다 생산자료의 품질관리 기준 및 관리의 차이로 그 자료의 신뢰성이 의심되며, 또한 자료의 공동 활용이 미흡해 국가 수자원관리의 일관성 부족 및 국가 예산의 중복투자 등의 문제점이 있었다. 이를 개선하기 위해 국토부에서는 물관리의 가장 기초가 되는 수문(水文)자료(강수량, 하천수위, 하천유량, 증발산량 등을 측정하는 수문조사(水文調査)를 통해 얻어지는 자료)의 신뢰성 및 활용성을 높이기 위해 각 기관에서 생산하는 수문자료를 관계기관과 전문가 의견을 수렴하여 국가가 검증하고 공인해 배포하는 시스템을 도입하였고, 각 기관에서 생산된 수문자료를 매년 초에 수문자료공인심의위원회(위원장 한강홍수통제소장)에서 수문자료의 적합성을 심의해 공인하고 있다.

2. 용담시험유역 수문자료 공인

용담시험유역에서는 그동안 운영을 통하여 꾸준히 수문자료를 생산하였고 자체적으로 수문자료에 대한 생산·관리를 수행하였다. 이에 용담시험유역에서 생산되는 수문자료의 공인을 통하여 생산 자료의 객관성을 확보하고 수문자료 공인인증에 따른 자료의 신뢰도 향상 및 전문적인 품질 관리를 목적으로 하고 있다. 수문자료 공인으로 생산된 수문자료의 활용성이 매우 증대될 것으로 기대되며, 검증된 수문자료를 통하여 신뢰도 높은 가공자료의 생산 및 분석이 가능할 것으로 판단된다.

3. 수문자료 공인 대상 관측소

용담시험유역은 2015년 관측 및 생산된 수문자료에 대한 공인을 신청하였다. 수문자료 공인 대상 관측소는 주천, 석정 2개의 수위관측소, 주천, 안천, 상전, 부귀, 계북, 천천 6개의 토양수분 관측소 및 1개의 덕유산 플렉스 타워이다. 수문자료 공인대상 항목은 수위, 유량, 토양수분량, 증발산량 등 총 4개 항목에 대해 공인 신청을 실시하였으며, 현재 수문자료 공인이 진행 중에 있다(2016. 6월 공인완료 예정).

☐ 용담시험유역 수위계 검정

용담시험유역에는 주천, 석정, 도치, 양악 등 총 4개의 수위관측소에서 기포식 수위계를 운영하고 있다. 하지만 그 동안은 수위계의 검정 없이 운영하고 있어, 이에 K-water 연구원에서는 수위자료의 신뢰성을 확보하고자 수위계 검증을 실시하기로 하였다. 2015년 9월 17일에 유량조사사업단에 의해 현장검정을 실시하였다. 수위계의 검정은 유량조사사업단의 압력식 수위계와 현장에 설치된 수위계를 1m 높이의 원통형 수조에 각각 설치하여, 각 수심별 수위 측정값을 서로 비교·검정하는 방식으로 진행되었다. 검정 결과 용담시험유역의 모든 수위계는 이상이 없다고 판별되어, 용담시험유역의 수위자료는 신뢰도가 높다고 판단된다.



[수위계 검정 모습]



[검정필증(주천 수의관측소)]

[illegible][illegible][illegible][illegible]

검정증명서 및 성적서(주최 수위관측소)

검정증명서 및 성적서(석정 수위관측소)

[illegible]

출시시 번호 : 2019-01-368

검정성적서

(출시시 기간: 2019년 1월 1일부터 2019년 12월 31일까지, 단, 2019년 12월 31일 현재까지 접수된 신청서와 합격자 명단) 출시시 번호 : 2019-01-368

출시시 번호 : 2019-01-368

출시시 번호

검정성적서

출시시 번호

No	출시시 번호	출시시 번호	출시시 번호	출시시 번호	출시시 번호
1	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368
2	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368
3	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368
4	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368
5	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368
6	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368
7	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368
8	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368
9	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368
10	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368	출시시 번호 2019-01-368

[illegible][illegible]

[검정증명서 및 성적서(도치 수위관측소)]

[검정증명서 및 성적서(양악 수위관측소)]

Ⅱ. 주요 관측시설 현황

□ 수위관측소

관측 소명	관측소 위치			영점표고 (EL. m)	관측 개시일	관측 방법	자료취득
	주 소	경도	위도				
동향	전북 진안군 동향면 성산리 산193	127°32'48"	35°49'49"	293.11	1999.06	부자식 수위계	T/M
천천	전북 장수군 천천면 연평리	127°31'48"	35°47'09"	273.50	1999.06	부자식 수위계	T/M
주천	전북 진안군 주천면 주양리 634-6	127°25'58"	35°58'03"	270.86	2001.09	기포식 수위계	T/M
석정	전북 진안군 정천면 월평리 1380	127°26'24"	35°51'16"	266.48	2001.09	기포식 수위계	T/M
도치	전북 진안군 진안읍 운산리 488-3	127°27'10"	35°48'17"	265.46	2001.09	기포식 수위계	T/M
양악	전북 진안군 동향면 능금리 223-1	127°35'25"	35°51'04"	342.42	2009.06	기포식 수위계	현장취득

※ 동향, 천천 관측소 운영은 K-water 용담댐관리단 담당
 ※ 수위계 검정 완료(유량조사사업단) : 2015. 09. 17

□ 평·갈수기 유량관측소

관측 소명	관측소 위치			영점표고 (EL. m)	관측 개시일	관측 방법	자료 취득
	주 소	경도	위도				
동향 Parshall	전북 진안군 동향면 성산리 산193	127°32'31"	35°49'43"	291.50	2002.03	기포식 수위계	T/M
천천 Parshall	전북 장수군 천천면 연평리	127°32'37"	35°47'10"	273.50	2002.03	기포식 수위계	T/M
사방댐 위어	전라북도 무주군 안성면 덕산리 산6	127°42'58"	35°51'58"	-	2012.11	기포식 수위계	현장취득
긴목 플룸	전라북도 무주군 안성면 덕산리 산6	127°42'57"	35°51'58"	-	2012.11	목측	현장취득

※ 천천 지점은 민원발생으로 관측하지 않음

□ 토양수분량 관측소

관측 소명	관측소 위치			해발고 (EL. m)	관측 개시일	관측 방법	자료 취득
	주 소	경도	위도				
안천	전북 진안군 안천면 신괴리 177-1	127°32'48"	35°52'01"	313	2013.04	TDR	T/M
주천	전북 진안군 주천면 주양리 산17-9	127°25'34"	35°58'04"	303	2013.04	TDR	T/M
부귀	전북 진안군 부귀면 황금리 산118-9	127°24'12"	35°51'36"	396	2013.04	TDR	T/M
상전	전북 진안군 상전면 주평리 579-5	127°29'10"	35°48'11"	334	2013.04	TDR	T/M
계북	전북 장수군 계북면 원촌리 1050-58	127°37'46"	35°48'27"	453	2013.04	TDR	T/M
천천	전북 장수군 천천면 장판리 418-1	127°30'49"	35°40'54"	409	2013.04	TDR	T/M

□ 우량 관측소

관측 소명	관측소 위치			해발고 (EL. m)	관측 개시일	관측 방법	자료 취득
	주 소	경도	위도				
안천	전북 진안군 안천면 신괴리 177-1	127°32'48"	35°52'01"	313	1999.06	Tipping Bucket	T/M
주천	전북 진안군 주천면 주양리 산17-9	127°25'34"	35°58'04"	303	2000.01	Tipping Bucket	T/M
부귀	전북 진안군 부귀면 황금리 산118-9	127°24'12"	35°51'36"	396	1999.06	Tipping Bucket	T/M
상전	전북 진안군 상전면 주평리 579-5	127°29'10"	35°48'11"	334	1999.06	Tipping Bucket	T/M
계북	전북 장수군 계북면 원촌리 1050-58	127°37'46"	35°48'27"	453	1999.06	Tipping Bucket	T/M
천천	전북 장수군 천천면 장판리 418-1	127°30'49"	35°40'54"	409	1999.06	Tipping Bucket	T/M
장계	전북 장수군 장계면 삼봉리 748-4	127°36'03"	35°42'54"	422	1999.06	Tipping Bucket	T/M

※ 우량관측소 운영은 K-water 용담댐관리단 담당

□ 증발산량 관측소

관측 소명	관측소 위치			해발고 (EL. m)	관측 개시일	관측 방법	자료 취득
	주 소	경도	위도				
덕유산 플렉스타워	전라북도 무주군 안성면 덕산리 산6	127°43'02"	35°51'53"	688.57	2011.04	에디공분산	현장취득

※ 2011년 12월 ~ 2012년 2월 기기 오작동으로 결측

□ 에디공분산 시스템 기기 목록

기기 목록	기기 모델	관측높이 (m)	관측 목록
3차원 풍향 풍속계	CSAT3	24	풍향, 풍속
CO ₂ /H ₂ O 기체분석기	EC155	24	CO ₂ , H ₂ O
순복사	CNR4	23	순복사
웨더 센서	WXT510	2, 19	강우
토양온도 센서	TCAV	- 0.05	토양온도
지중열 플럭스	HFP01	- 0.05	지중열
토양수분	CS616	- 0.1, 0.2, 0.4, 0.8	토양수분
우설량계	WDR-205	2, 16	강우
결로 센서	237-L35	4, 9, 16	이슬점

Ⅲ. 수자원 기초조사

용담댐 시험유역에서는 신뢰도 높은 수문자료를 생산하기 위하여 2003년을 시작으로 매년 홍수기 유량조사를 실시하고 있다(2011년 제외). 현재 용담시험유역을 운영한지 약 10년이 넘어 하상이 안정화 단계에 들어섰다고 판단된다. 동향, 천천 지점은 금강홍수통제소에서 격년으로 1지점씩 수자원 기초조사를 실시하고 있으며, 나머지 3개 지점(주천, 석정, 도치)은 K-water연구원에서 매년 수자원기초조사를 실시하고 있다.

또한 2007년 하천법 개정으로 인한 증발산량 및 토양수분량이 신규 수문조사 항목으로 추가됨에 따라 증발산관측을 위해 2011년 플렉스타워를 설치하였고, 4월 1일부터 덕유산의 증발산 및 미기상 자료를 수집하고 있으며, 에디공분산법을 이용하여 증발산 자료의 분석을 실시하고 있다. 또한 용담시험유역 내 6개 유량관측소와 덕유산 플렉스타워에 TDR방식의 토양수분계를 설치하여 운영하고 있다. 용담시험유역은 이와 같은 수자원 기초조사 체계 구축을 통하여 수문인자의 과학적인 측정 및 높은 신뢰도를 목적으로 수행되고 있다.

□ 조사 내용

- 각 소유역별 강우량, 토양수분량 관측
- 각 유역출구의 유량관측
- 산지를 대표하는 증발산량 관측 및 소유역 물수지 분석
- 평·갈수기 유량측정을 위한 파샬플룸, 긴목플룸 및 사방댐위어 테스트베드
- 분포형 강우유출모형(K-DRUM) 검증

□ 수문자료 수집 및 검토

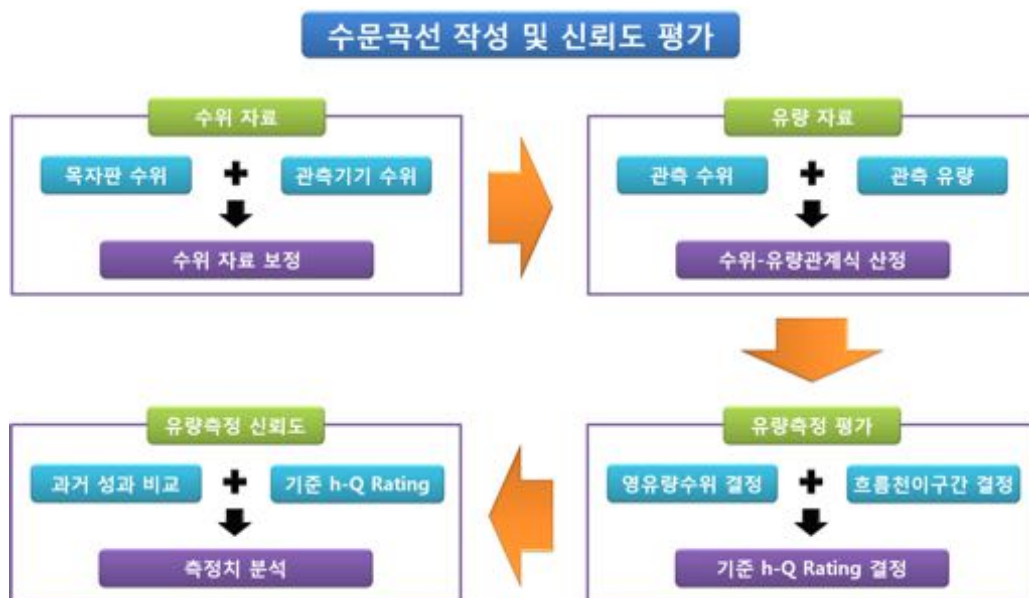
- 각 지점별 2주 1회 데이터 취득 및 필요시 수위표(목자판)을 기준으로 수위 보정
- 연간 평·갈수기 및 홍수기 유량측정
- 관계식으로부터 산출된 유량과 관측유량간의 비교
- 시료채취에 의한 토양수분 검증(필요시)
- 물수지 분석을 통한 증발산량 검증

1. 수위·유량조사

1.1 배경 및 목적

용담시험유역에서는 용담댐으로 유입되는 5개의 지류하천에 대해 수위 및 유량을 조사하고 있다. 평·갈수기 및 홍수기 유량측정을 통해 정확하고 신뢰성 있는 수위-유량관계 곡선을 개발하고, 신뢰성 분석을 통해 용담댐의 상·하류 유출분석 및 홍수예보 업무에 활용하기 위해 용담 시험유역에서는 매년 유량조사를 실시한다. 평·갈수기 유량조사는 매년 20회 이상 실시하며, 프로펠러 유속계를 사용한 도섭법으로 유량을 측정한다. 홍수기 유량측정은 6 ~ 9월까지의 많은 강우에 의한 홍수가 예상될 경우 실시한다. 풍수위 이상의 3개 사상에 대해 15회 이상의 측정을 실시한다. 홍수기 유량측정은 전자파 표면유속계를 이용하여 측정하며, 관측된 데이터를 바탕으로 회귀분석을 통하여 수위-유량 관계곡선식을 작성하고 있다. 수문곡선의 검토를 위해 홍수기 전·후 측정 지점의 단면측량을 통하여 하상의 변동을 조사한다. 또한, 최종적으로 관계식을 통하여 산출유량과 관측유량을 비교하여 신뢰도를 검토하고 있다. 아울러 홍수기시의 수질 샘플링 및 수질분석을 실시하여 수문기초자료로 활용함을 목적으로 수행하고 있다.

또한 덕곡제 소유역의 물수지 분석을 위해 덕곡제 출구인 사방댐에 위어를 설치하여 유량을 측정하고 있으며, 덕곡제에는 강우, 증발산, 토양수분 등의 관측이 동시에 이루어져 보다 정확한 물수지 분석이 가능 할 것으로 기대된다.



[수문자료 처리절차]

1.2 용담댐 시험유역 수위·유량관측소 현황

1.2.1 주천

가. 유역현황

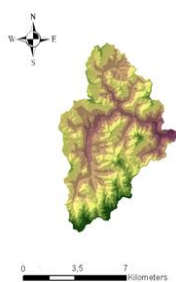
- 전라북도 진안군 주천면에 분포하고 있으며, 동경 127 ° 20'30" ~ 127 ° 25'55", 북위 36 ° 01'23" ~ 35 ° 54'42" 사이에 위치
- 주천교 관측소는 전라북도 진안군 주천면 주양리에 위치하며, 유역면적은 49.16 km² 이며, 형상계수가 0.18로 직사각형 정방형 형상임
- 표고별 면적분포는 유역의 약 58.54 %에 해당하는 면적이 EL. 400 ~ 600 m 구간에 분포하는 것으로 나타났으며, 유역의 평균표고는 EL. 551 m임
- 경사별 면적분포는 유역의 약 87.39 %에 해당되는 면적이 10 ~ 40 ° 구간에 고르게 분포하는 것으로 나타났으며, 유역의 평균경사는 23 °로 분석됨
- 상류부는 대체로 하상경사가 비교적 급하고 유속이 빠른 반면, 중하류는 하천변에 경지정리가 비교적 잘된 농경지와 주거지 주변을 만곡하여 흐르고 있어, 하상경사가 대체적으로 완만하고 하폭이 넓음
- 유역의 토지이용 현황은 전체면적 중 임야의 면적이 70.8 %를 점하며, 농경지 면적은 약 6 % 차지

[주천관측소 유역현황]

하천명	유수계통			하천 등급	위치		하천 연장 (km)	유로 연장 (km)	유역 면적 (km ²)
	본류	제1지류	제2지류		기점	종점			
주자천	금강	주자천		지방	전북 진안군 주천면 대불리 2084번지선	전북 진안군 용담면 주양리 금강(국가) 합류점	15.00	17.22	72.81
무릉천	금강	주자천	무릉천	지방	전북 진안군 진안읍 무릉리 254번지선	전북 진안군 진안읍 무릉리 주자천(지방) 합류점	4.00	5.52	13.19

[주천관측소 유역특성]

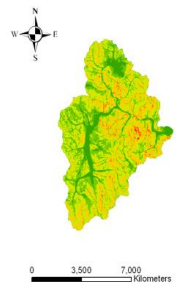
관측소	하천	유로연장 (L, km)	유역면적 (A, km ²)	유역평균폭 (A/L, km)	형상계수 (A/L ²)	영점표고 (EL. m)
주천	주자천	16.41	49.16	3.00	0.18	272.190



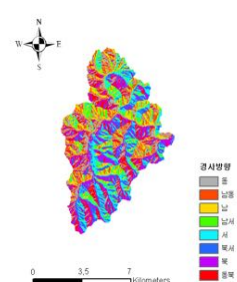
(a) 표고분포도



(b) 음영기복도



(c) 경사분포도



(d) 경사방향도

[주천 유역 GIS 데이터]

나. 단면 및 하도통제

- ☐ 주천관측소 인근 하류에 교각이 설치되어 있으나, 단면통제에 영향을 주지는 않음
- ☐ 교량 상류부 220 m에서 좌안쪽으로 만곡, 하류부 200 m에서 좌안쪽으로 만곡을 이루고 있으나 유량조사에 영향을 미치지 않음
- ☐ 지속적인 가뭄으로 우안에 수초 밀집, 1차 홍수기 유량측정 이후 수초 제거 작업 실시
- ☐ 좌·우 제방은 하천정비로 인해 안정적이며 하류 약 1.5 km에서 금강과 합류하며 배수위 영향은 없음



[주천관측소 상류 전경(평·갈수기)]



[주천관측소 하류 전경(평·갈수기)]



[주천관측소 상류 전경(홍수기)]



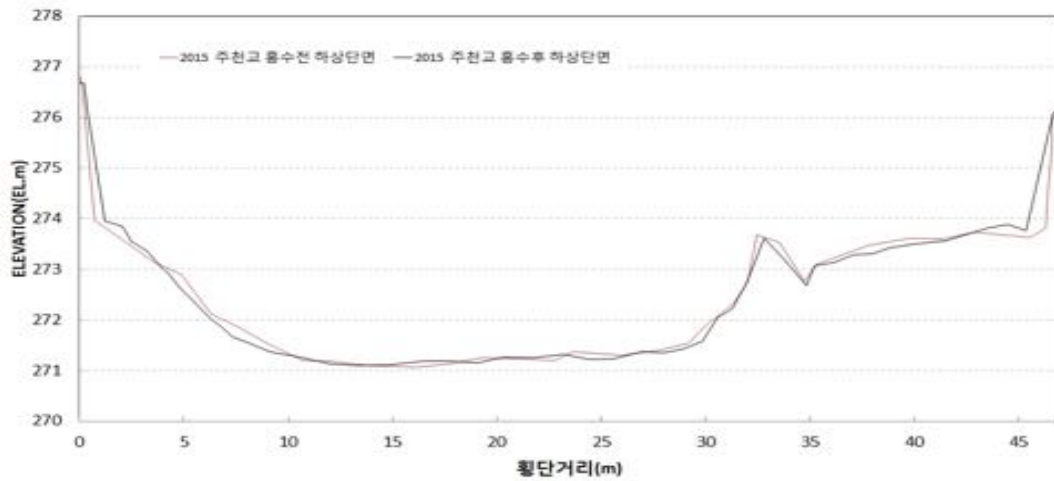
[주천관측소 하류 전경(홍수기)]



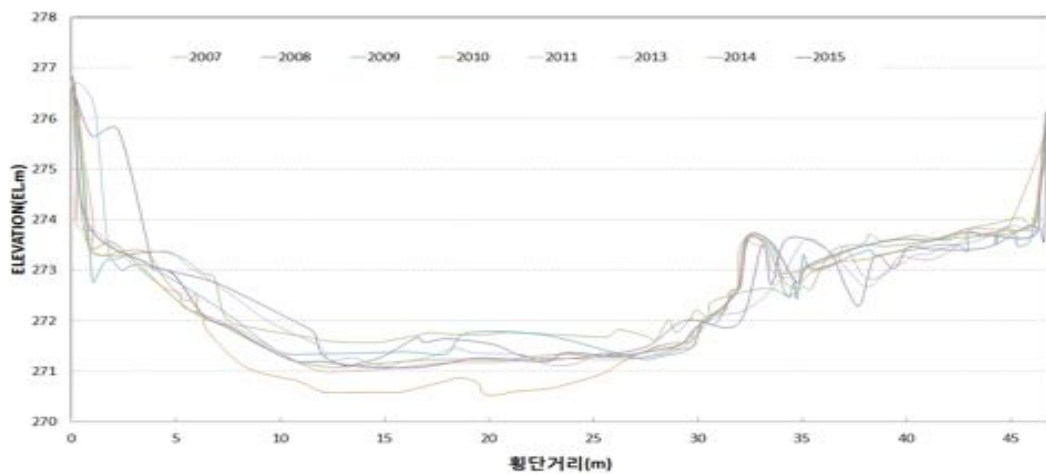
[주천관측소 수초 제거 작업 모습]

다. 하상변화

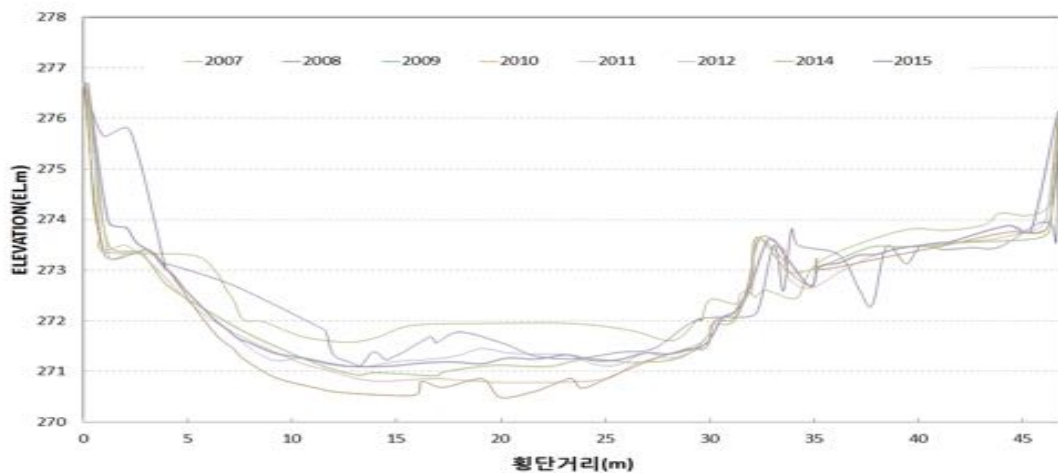
- 주천관측소 지점은 하상이 작은 자갈 및 모래로 이루어져 홍수 후, 주수로 부분이 전반적으로 침식되어 평·갈수기 유량에 영향을 미칠 것으로 판단됨



[2015 주천관측소 홍수기 전·후 하상변화]



[주천관측소 하상형상 경년변화(홍수전, 우 → 좌 상류 약 5 m)]



[주천관측소 하상형상 경년변화(홍수후, 우 → 좌 상류 약 5 m)]

라. 유황분석

- 유황분석은 일평균수위 자료에 대해 수위-유량관계곡선식을 적용하여 일유출량을 산정하여 분석해야하지만, 2013년 수위-유량관계식의 부재로 일 평균 수위만으로 유황을 분석

[주천관측소 유황분석]

구분	최고수위	풍수위	평수위	저수위	갈수위
2003	1.74	0.80	0.61	0.52	0.37
2004	1.51	0.70	0.58	0.49	0.20
2005	1.84	0.76	0.64	0.61	0.60
2006	1.83	0.73	0.62	0.49	0.38
2007	1.50	0.61	0.48	0.42	0.33
2008	1.30	0.53	0.44	0.37	0.33
2009	1.95	0.47	0.41	0.35	0.31
2010	1.72	0.62	0.5	0.4	0.35
2011	1.78	0.69	0.54	0.4	0.35
2012	1.66	0.87	0.71	0.53	0.45
2013	1.52	0.67	0.57	0.52	0.45
2014	2.75	0.63	0.52	0.48	0.39
평균	1.76	0.67	0.55	0.47	0.37

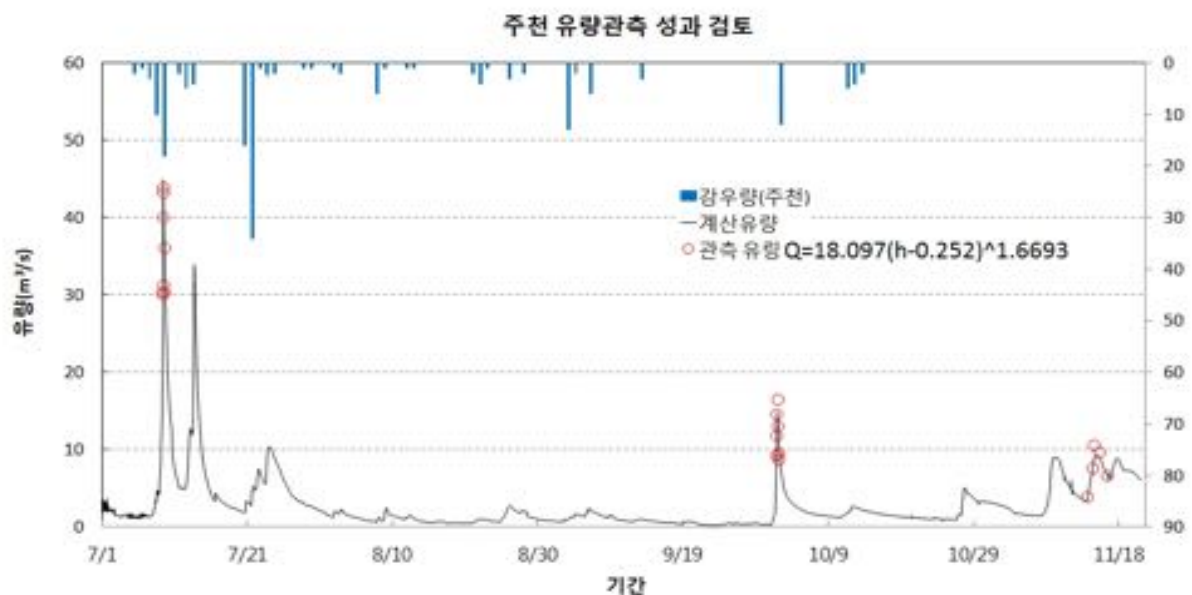
(단위 : m)

마. 유량측정성과

- ☐ 평·갈수기 유량측정은 2월부터 실시하여 12회, 홍수기 유량측정은 3개 사상에 대하여 16회 측정
- ☐ 홍수기 유량측정시 각 사상에 대하여 채수 후 수질측정(부록1참고)
(온도, pH, 전기전도도, 용존산소)
- ☐ 전기간에 대한 수위-유량곡선식은 $Q = 18.097(H - 0.252)^{1.669}$ 로 산정되었으며, 99 % 이상의 상관관계를 보임



[주천 관측소 수위-유량곡선]



[주천 관측소 유량측정 신뢰도 평가]

1.2.2 석정

가. 유역현황

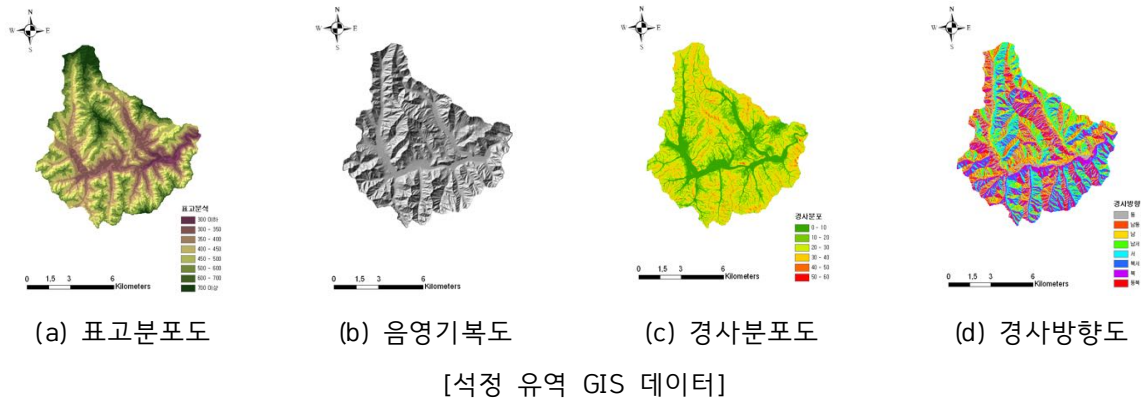
- 전라북도 진안군 부귀면에 유역이 분포하며, 동경 127 ° 20'57" ~ 127 ° 21'32", 북위 35 ° 50'10" ~ 35 ° 51'28" 사이에 위치
- 석정교 관측소는 전라북도 진안군 정천면 월평리에 위치하며, 유역면적은 80.54 km² 이며, 형상계수가 0.18로 직사각형 형태의 정방형 형상임
- 표고별 면적분포는 유역의 약 56.66 %에 해당되는 면적이 EL. 400 ~ 600 m 구간에 분포하는 것으로 나타났으며, 유역의 평균표고는 EL. 466.7 m로 분석됨
- 경사별 면적분포는 유역의 약 87.39 %에 해당되는 면적이 10 ~ 40 ° 구간에 고르게 분포하는 것으로 나타났으며, 유역의 평균경사는 21.9 °로 분석됨
- 상류부는 대체로 하폭이 작고 유속이 빠른 형태를 보이며 중·하류부터는 흐름이 완만한 형태를 이루고 있으며, 농경지를 관류하여 흐름
- 유역의 토지이용 현황은 전체면적 중 임야의 면적이 73.58 %를 점하며, 농경지 면적은 약 7 % 차지

[석정관측소 유역현황]

하천명	유수계통			하천 등급	위치		하천 연장 (km)	유로 연장 (km)	유역 면적 (km ²)
	본류	제1지류	제2지류		기점	종점			
정자천	금강	정자천		지방	전북 진안군 부귀면 황금리 611번지선	전북 진안군 정천면 월평리 금강(국가) 합류점	20.0	20.0	144.14
황금천	금강	정자천	함금천	지방	전북 진안군 부귀면 황금리 611번지선	전북 진안군 부귀면 수향리 정자천(지방) 합류점	7.0	10.0	19.57

[석정관측소 유역특성]

관측소	하천	유로연장 (L, km)	유역면적 (A, km ²)	유역평균폭 (A/L, km)	형상계수 (A/L ²)	영점표고 (EL. m)
석정	정자천	21.08	80.54	3.82	0.18	267.100



나. 단면 및 하도통제

- 석정관측소 인근 하류에 단면통제에 영향을 줄 수 있는 자연 및 인공물은 존재하지 않음
- 교량 상류부 60 m에 교각이 위치한다. 하류부 150 m에서 우안쪽으로 만곡을 이루며, 하류 약 3 km에서 금강과 합류하며 배수위 영향은 없음



[석정 수위관측소 상류 전경(평·갈수기)]



[석정 수위관측소 하류 전경(평·갈수기)]



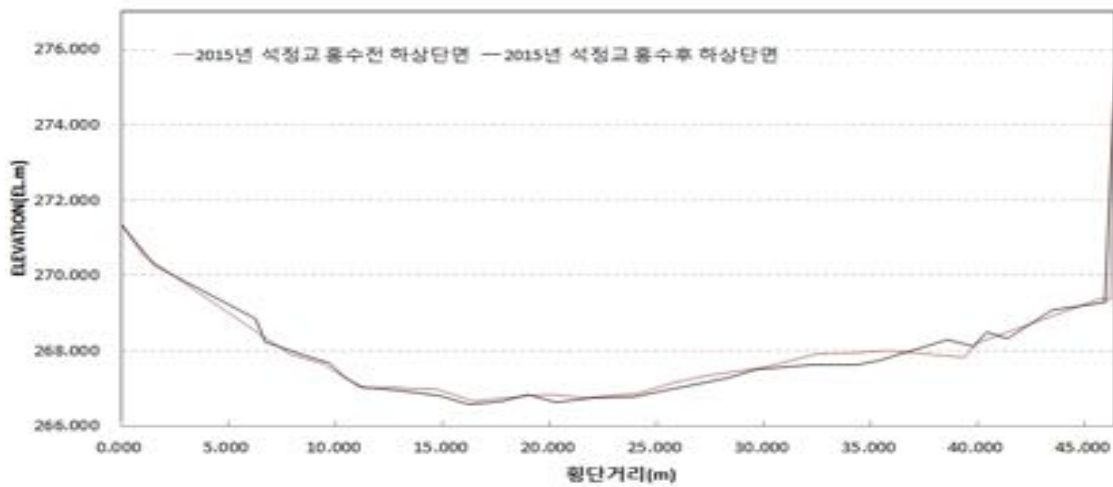
[석정 수위관측소 상류 전경(홍수기)]



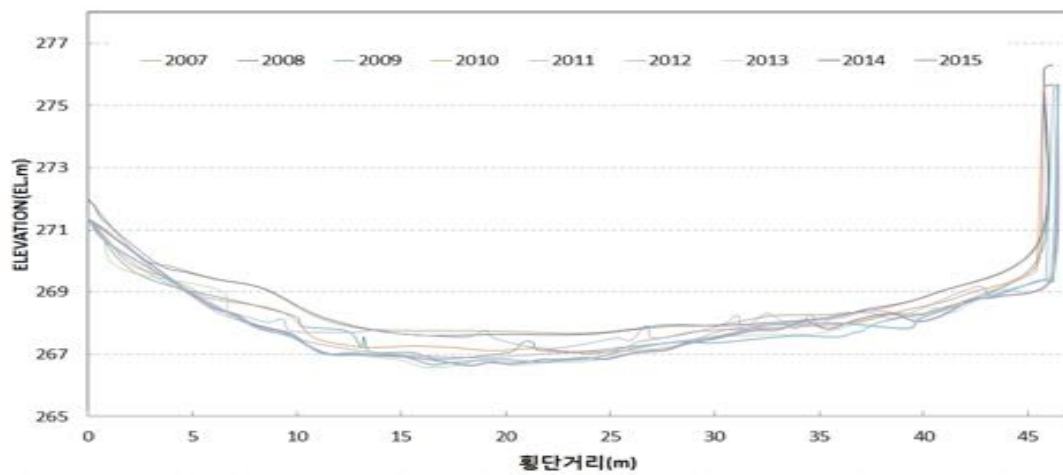
[석정 수위관측소 하류 전경(홍수기)]

다. 하상변화

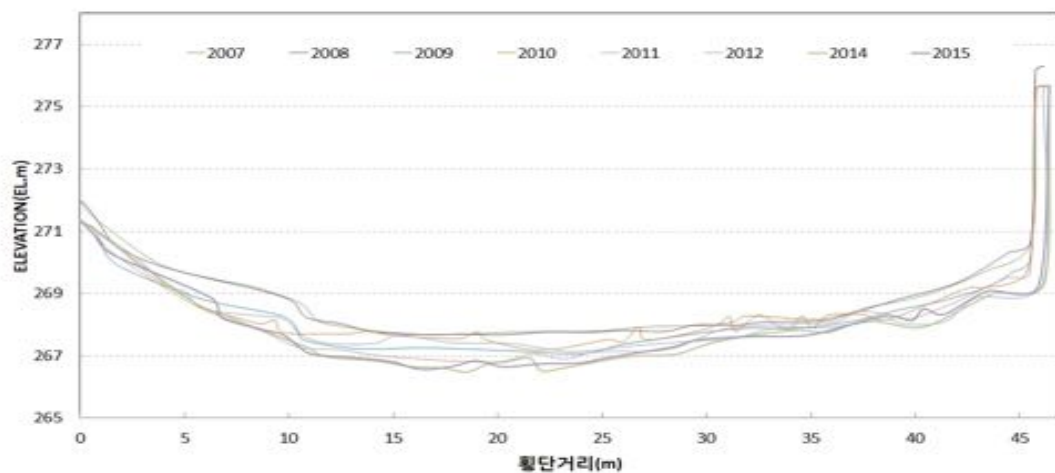
- 석정관측소 지점은 하상이 호박돌로 이루어져있어, 홍수 전·후의 하상변화는 크지 않음



[2015 석정관측소 홍수기 전·후 하상변화]



[석정관측소 하상형상 경년변화(홍수전, 좌 → 우 상류 약 10 m)]



[석정관측소 하상형상 경년변화(홍수후, 좌 → 우 상류 약 10 m)]

라. 유황분석

- ☐ 유황분석은 일평균수위 자료에 대해 수위-유량관계곡선식을 적용하여 일유출량을 산정하여 분석해야하지만, 2013년 수위-유량관계식의 부재로 일 평균 수위만으로 유황을 분석
- ☐ 석정관측소 지점은 2012년 제방정비를 실시함에 따라 하상이 내려가 과거 10년의 수위 자료로 풍수위를 산정하면 과대산정, 2013년은 큰 강우가 발생하지 않아 최고수위가 낮아서 풍수위가 과소산정
- ☐ 2012년 제방정비 실시에 따라 평균 유황은 2013년부터 2014년까지 평균자료를 활용

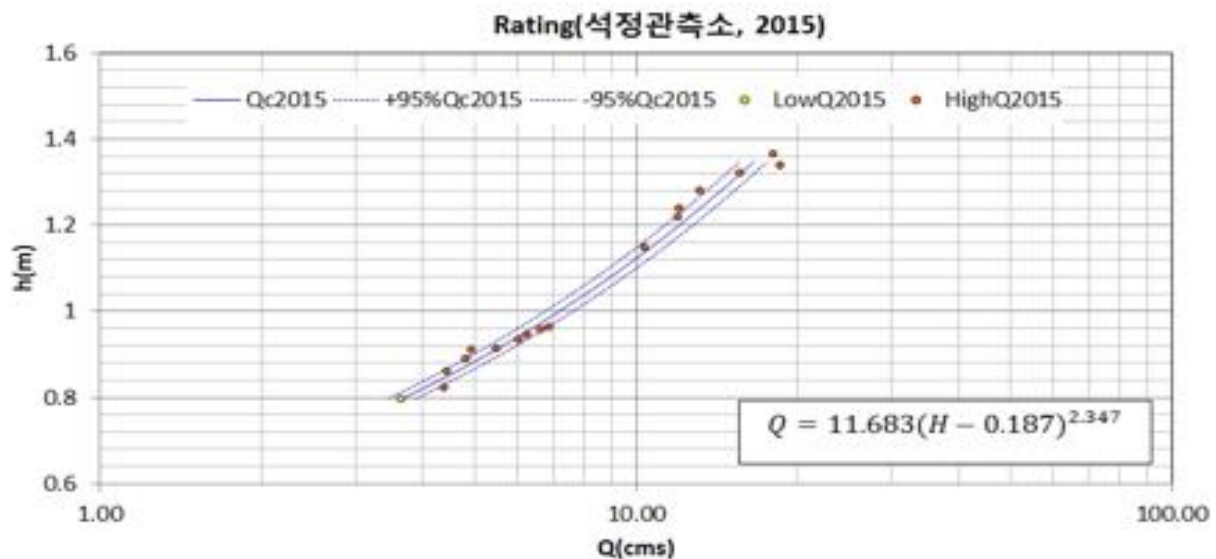
[석정관측소 유황분석]

구분	최고수위	풍수위	평수위	저수위	갈수위
2003	2.48	1.32	1.19	1.02	0.97
2004	2.33	1.19	1.03	0.98	0.97
2005	3.12	1.21	1.08	1.03	0.96
2006	2.37	1.20	1.13	1.09	1.03
2007	2.51	1.28	1.15	1.07	1.01
2008	1.91	1.13	1.05	0.96	0.90
2009	2.21	1.18	1.12	0.76	0.70
2010	2.35	1.07	0.9	0.86	0.72
2011	2.49	1.11	0.94	0.72	0.6
2012	1.77	0.94	0.8	0.63	0.56
2013	1.76	0.70	0.62	0.59	0.49
2014	2.314	0.712	0.623	0.57	0.497
평균	2.04	0.71	0.62	0.58	0.49

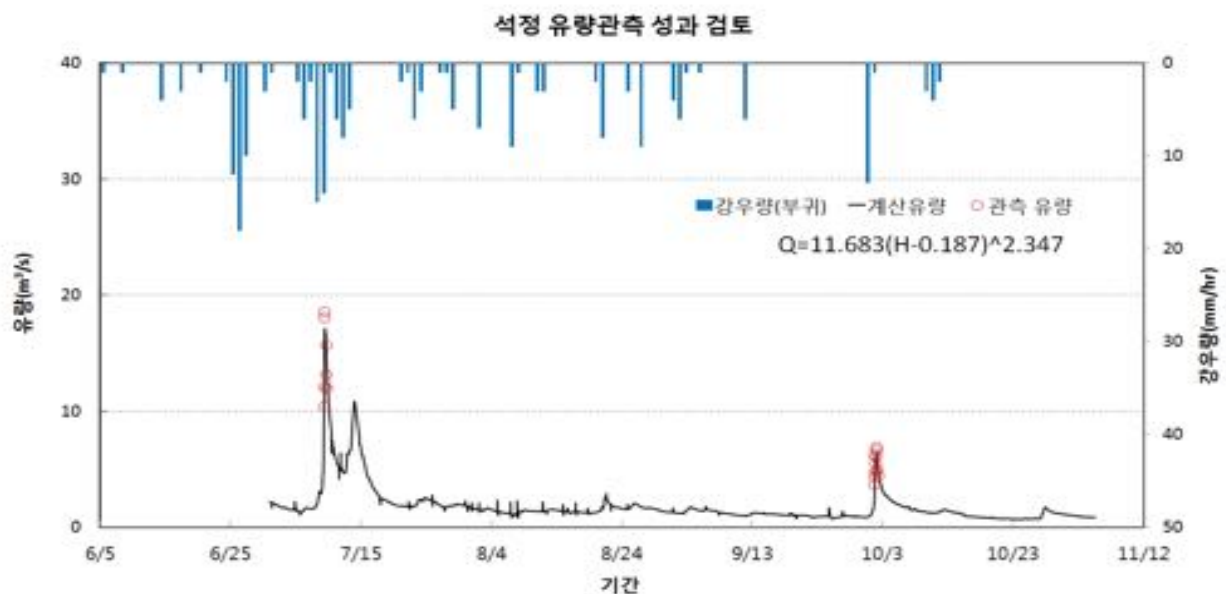
(단위 : m)

마. 유량측정성과

- ☐ 평·갈수기 유량측정은 1월부터 실시하여 18회, 홍수기 유량측정은 2개 사상에 대하여 17회 측정
- ☐ 홍수기 유량측정시 각 사상에 대하여 채수 후 수질측정(부록1참고)
(온도, pH, 전기전도도, 용존산소)
- ☐ 전기간에 대한 수위-유량곡선식은 $Q = 11.683(H - 0.187)^{2.347}$ 로 산정되었으며, 99 % 이상의 상관관계를 보임



[석정 관측소 수위-유량곡선]



[석정 관측소 유량측정 신뢰도 평가]

1.2.3 도치

가. 유역현황

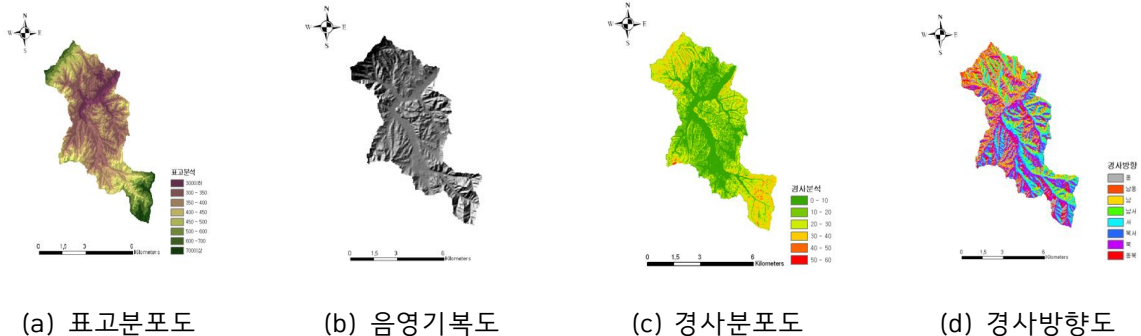
- 전라북도 진안군 진안읍에 유역이 분포하며, 동경 127 ° 23'46" ~ 127 ° 28'32", 북위 35 ° 43'45" ~ 35 ° 49'29" 사이에 위치
- 도치 관측소는 전라북도 진안군 진안읍 운산리에 위치하며, 유역면적은 32.91 km² 이며, 형상계수는 0.20으로 직사각형태의 정방형 형상임
- 표고별 면적분포는 유역의 약 59.4 %에 해당하는 면적이 EL. 300 ~ 400 m 구간에 분포하는 것으로 나타났으며, 유역의 평균표고는 EL. 401.24 m로 분석됨
- 경사별 면적분포는 유역의 약 87.39 %에 해당되는 면적이 10 ~ 30 ° 구간에 고르게 분포하는 것으로 나타났으며, 유역의 평균경사는 16.4 °로 분석됨
- 유로형상은 대체적으로 수지상이라 할 수 있으며, 유로가 굴곡사행을 하면서 유역을 통과할 때 하폭이 작고 유속이 빠른 몇 개소의 협곡을 통과함
- 유역의 토지이용 현황은 전체면적 중 임야의 면적이 61.0 % 를 점하며, 농경지 면적은 약 9 % 차지

[도치관측소 유역현황]

하천명	유수계통			하천등급	위치		하천연장(km)	유로연장(km)	유역면적(km ²)
	본류	제1지류	제2지류		기점	종점			
진안천	금강	진안천		지방	전북 진안군 진안읍 반월리 586번지선	전북 진안군 상전면 물곡리 금강(국가) 합류점	8.00	12.0	89.03
상림천	금강	진안천	상림천	지방	전북 진안군 진안읍 군상리 1152번지선	전북 진안군 진안읍 군상리 진안천(지방) 합류점	3.40	3.0	5.52

[도치관측소 유역특성]

관측소	하천	유로연장(L, km)	유역면적(A, km ²)	유역평균폭(A/L, km)	형상계수(A/L ²)	영점표고(EL. m)
도치	진안천	12.77	32.91	2.58	0.20	270.168



[도치 유역 GIS 데이터]

나. 단면 및 하도통제

- ☐ 인공물은 존재하지 않으나 여울과 굽은 자갈로 인해 도치고 하류 100 m 구간은 평·갈수기 유량측정에 적합하지 않음
- ☐ 도치고는 상류부 약 220 m 정도의 직선구간을 이루나 흐름이 교량과 직교하지 않아 유량측정 지점으로 적합하지 않음
- ☐ 하류 500 m에 있는 송대교로 이동하여 측정, 좌·우 제방은 하천정비로 인해 안정적이며 수초가 존재하나 측정에 영향을 주지 않음



[도치 수위관측소 상류 전경(평·갈수기)]



[도치 수위관측소 하류 전경(평·갈수기)]



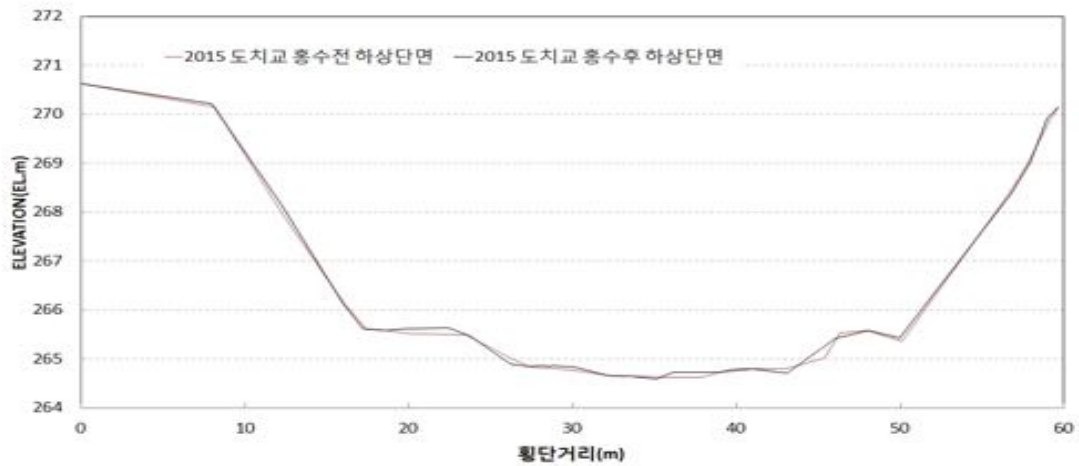
[도치 수위관측소 상류 전경(홍수기)]



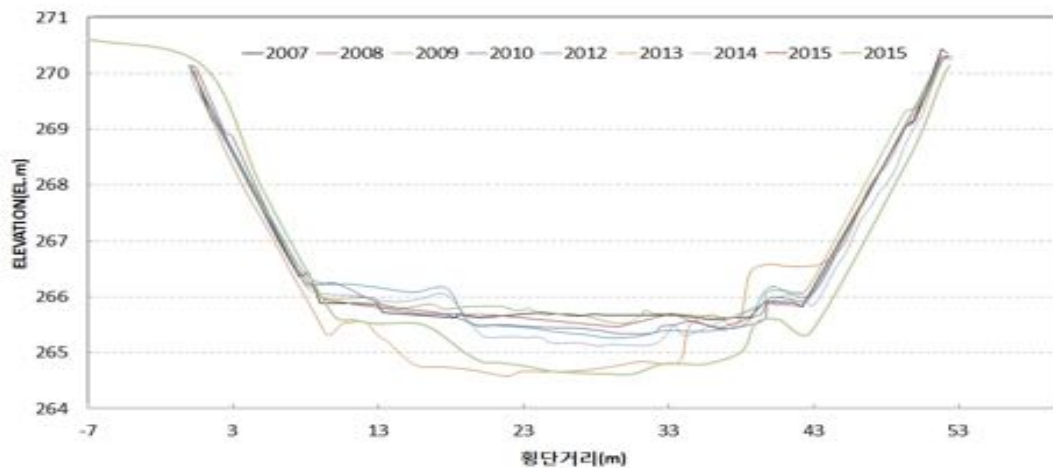
[도치 수위관측소 하류 전경(홍수기)]

다. 하상변화

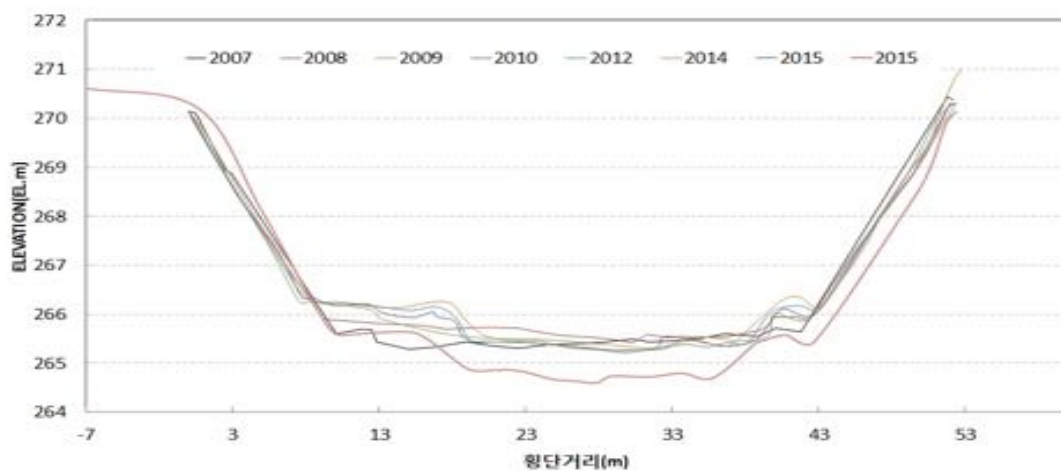
- 도치관측소 지점은 하상이 모래로 이루어져있어 홍수 후, 주수로 및 좌안 고수부지까지 침식이 발생
- 풍수위까지 유량에 영향을 미칠 것으로 판단되나, 침식정도가 심하지 않아 그 차이는 크지 않을 것으로 판단됨



[2015 도치관측소 홍수기 전·후 하상변화]



[도치관측소 하상형상 경년변화(홍수전, 우 → 좌 상류 7 m)]



[도치관측소 하상형상 경년변화(홍수후, 우 → 좌 상류 7 m)]

라. 유황분석

- 유황분석은 일평균수위 자료에 대해 수위-유량관계곡선식을 적용하여 일유출량을 산정하여 분석해야하지만, 2013년 수위-유량관계식의 부재로 일 평균 수위만으로 유황을 분석

[도치관측소 유황분석]

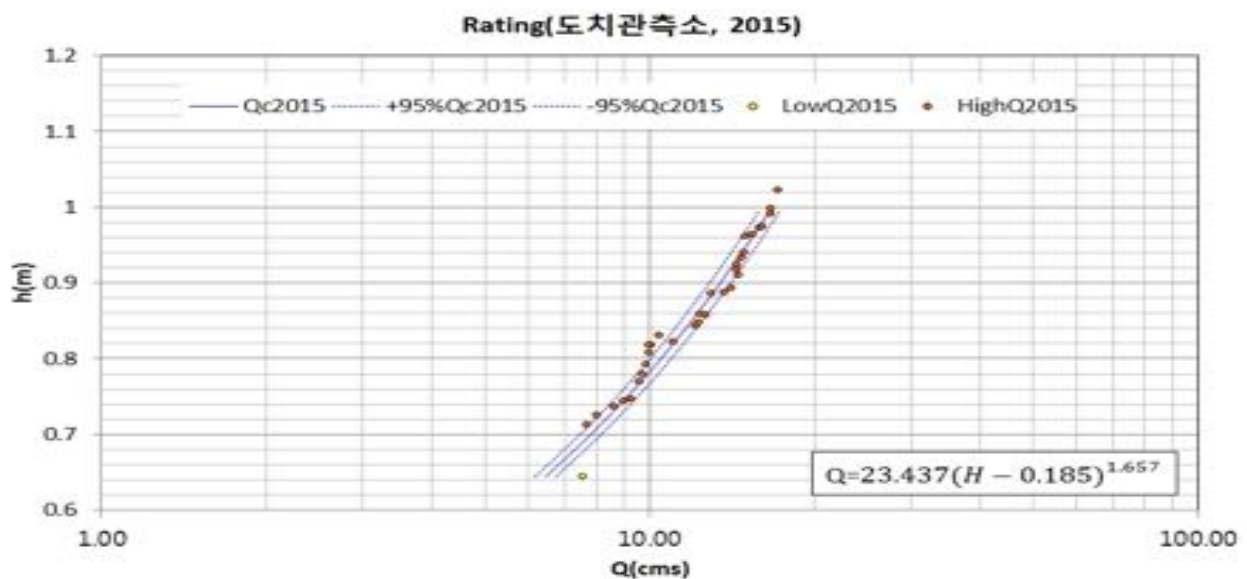
(단위 : m)

구분	최고수위	풍수위	평수위	저수위	갈수위
2003	1.50	0.70	0.64	0.56	0.50
2004	1.27	0.52	0.20	0.20	0.20
2005	1.32	0.56	0.42	0.20	0.20
2006	1.25	0.59	0.55	0.53	0.52
2007	1.31	0.62	0.57	0.54	0.50
2008	1.06	0.59	0.56	0.54	0.52
2009	1.50	0.6	0.57	0.54	0.52
2010	1.6	0.69	0.64	0.6	0.54
2011	1.65	0.67	0.62	0.57	0.42
2012	-	-	-	-	-
2013	1.56	0.58	0.53	0.45	0.42
2014	2.03	0.58	0.52	0.48	0.45
평균	1.46	0.61	0.53	0.47	0.44

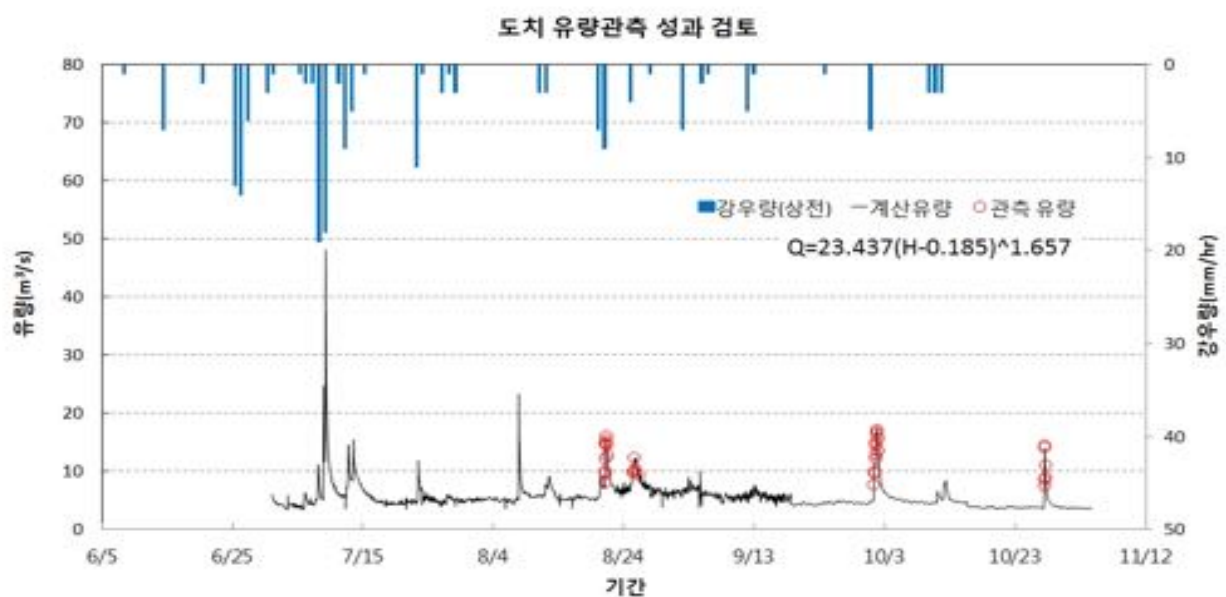
※ 2012년 수위 자료 결측(2~6월, 수위계 고장)

마. 유량측정성과

- 평·갈수기 유량측정은 1월부터 실시하여 20회, 홍수기 유량측정은 4개 사상에 대하여 33회 측정
- 홍수기 유량측정시 각 사상에 대하여 채수 후 수질측정(부록1참고)
(온도, pH, 전기전도도, 용존산소)
- 전기간에 대한 수위-유량곡선식은 $Q = 23.437(H - 0.185)^{1.657}$ 로 산정되었으며, 97 % 이상의 상관관계를 보임



[도치 관측소 수위-유량곡선]



[도치 관측소 유량측정 신뢰도 평가]

1.2.4 양악

가. 유역현황

- ☐ 전체적으로 남동방향의 긴 수지상(Dendrifrom Basin)으로 주요 지천은 하천 상류부에 양안으로 합류되는 소하천들이 있으며, 상류부는 급경사를 형성하고 있는 농경지 하천
- ☐ 양악천은 전라북도 장수군 계북면에 위치한 무용산 능선을 발원지로 전라북도 장수군 계북면 양악(지소)저수지를 시점으로 북동쪽으로 유하

[양악관측소 유역현황]

하천명	유수계통			하천 등급	위치		하천 연장 (km)	유로 연장 (km)	유역 면적 (km ²)
	본류	제1지류	제2지류		기점	종점			
양악천	금강	구량천	양악천	지방	전북 장수군 계북면 양악리 1번지선	전북 진안군 동향면 구량천(지방) 합류점	14.00	16.18	42.10

[양악관측소 유역특성]

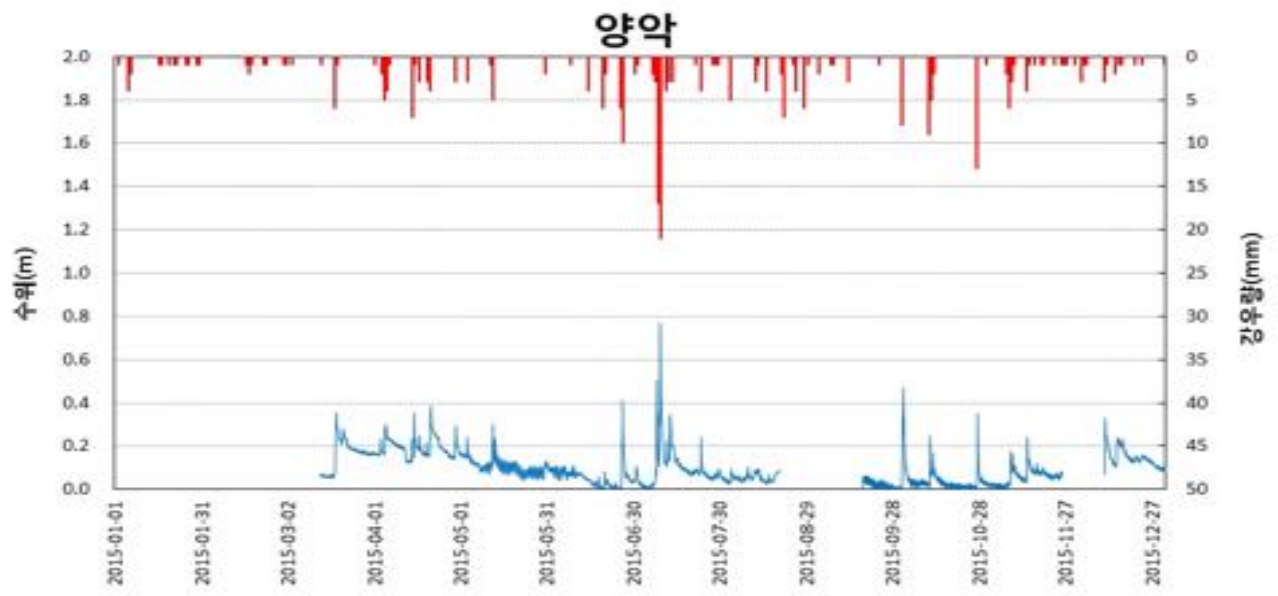
관측소	하천	유로연장 (L, km)	유역면적 (A, km ²)	유역평균폭 (A/L, km)	형상계수 (A/L ²)	영점표고 (EL. m)
양악	구량천	16.47	42.2	2.56	0.15	342.42

나. 단면 및 하도통제

- ☐ 하류 50 m지점에 어도로 인해 평·갈수기 수위는 일정하게 유지되며 관측소 주변은 수초와 자갈로 형성
- ☐ 교량 아래로 하천이 갈라져 있고 수초가 존재하여 홍수시에 유량측정의 장애요인이 되나 상·하류로 하천이 곧고 제방 정비가 잘 되어 있어 단면이 안정적임
- ☐ 약 850 m에서 금강 제1지류인 구량천과 합류하며 배수위에 대한 영향 없음

다. 수위측정성과

- ☐ 양악지점에 설치된 기포식 수위계는 OTT社의 구형모델인 Orphimedes로 건전지로 작동하며 통신지원이 되지 않음
- ☐ 수위변동이 심하거나 온도가 떨어지는 경우 결측이 자주 발생
- ☐ 동절기 배터리 수명이 짧아지므로 동절기 배터리 관리 철저 필요



[양악 수위 및 강수량]



[양악 수위관측소 상류 전경(평·갈수기)]



[양악 수위관측소 하류 전경(평·갈수기)]

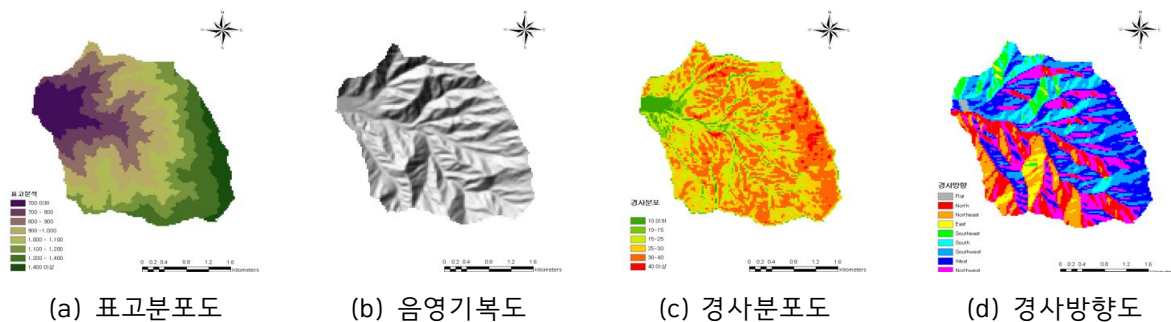
1.2.5 사방댐 위어

가. 유역현황

- ☐ 사방댐은 구량천의 상류부의 덕곡제 유역내 위치
- ☐ 덕곡제 유역은 동경 127 ° 42'23"~127 ° 44'53", 북위 35 ° 50'47"~ 35 ° 52'50" 사이로 유역의 동측으로는 전라북도 무주군 설천면, 북측으로는 무주군 적상면, 남쪽으로는 경상남도 거창군 북상면이 위치
- ☐ 유역의 표고별 면적분포는 유역의 약 60.77 %에 해당하는 면적이 EL. 900 ~ 1400m 구간에 분포하며 유역의 평균표고는 EL. 1,007.58 m
- ☐ 경사별 면적분포는 유역의 약 89.04 %에 해당되는 면적이 15 ~ 40 ° 구간에 고르게 분포 하며 평균경사는 26.89 °
- ☐ 덕곡제 유역면적은 9.27 km²이며, 유로연장은 3.48 km, 유역 평균 폭은 2.66 km, 형상계수는 0.77
- ☐ 유역 내 토지이용은 대부분 산림, 임상 분포는 침활 혼효림과 낙엽송림 분포

[사방댐위어 유역특성]

관측소	하천	유로연장 (L, km)	유역면적 (A, km ²)	유역평균폭 (A/L, km)	형상계수 (A/L ²)	영점표고 (EL. m)
사방댐 위어	구량천	3.48	9.27	2.66	0.77	-



[덕곡제 유역 GIS 데이터]

나. 단면 및 하도통제

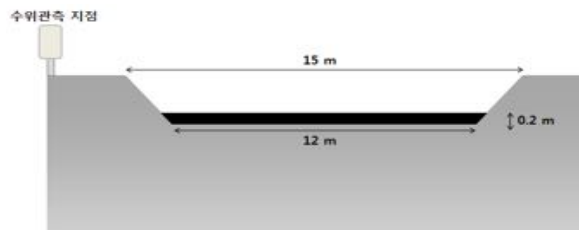
- ☐ 인공물은 존재하지 않으며 하천경사가 급하여 퇴적물이 많이 쌓이지만, 매년 준설작업으로 사방댐의 POND를 유지하고 있음
- ☐ 사방댐 위어의 직하류는 낙차가 있어 배수위의 영향은 없음
- ☐ 하류 500 m에 위치한 긴목플류를 활용하여 평·갈수기 유량측정 검증 가능



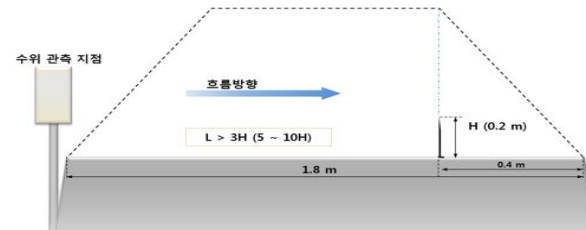
[사방댐 위어 전경]



[사방댐 하류의 긴목플름]



[사방댐 위어 제원]



[사방댐 위어 설치 모식도]

다. 수위측정성과

- ☐ 사방댐유역의 플렉스타워에서 측정한 강우자료와 사방댐위어 수위자료 패턴 분석
- ☐ 강우발생시 즉각적인 수위증가를 보이며, 이는 경사가 급한 산지의 특성을 잘 보여줌
- ☐ 유량공식은 Francis의 weir공식($Q = 1.84bH^{3/2}$)을 사용하며, 양 끝단의 미소유량은 무시
- ☐ 수위증가에 따른 단면 변화로 인해 풍수위 이상의 수위에서는 유량의 정확도가 떨어짐
- ☐ 1, 2월에 강우발생이 없음에도 수위가 올라가는 것은 융설에 의한 유량증가로 판단됨



[사방댐위어 수심 및 강우량]

1.2.5 긴목플름

가. 개요

- 평·갈수기 유량측정 활용 검토를 위한 testbed로 설치(2012년 11월)
- 2013년 운영시 평·갈수기는 유사의 퇴적없이 잘 운영되었으나, 홍수기시 자갈의 퇴적이 발생하여 산지하천에서의 적용성 어려움 확인
- 2014년 3월 준설시 큰 바위를 이용해 상류의 유사 및 자갈의 진입을 막고 POND를 형성
- 홍수기시 자갈의 유입으로 인한 매년 정기적인 준설 필요
- 평·갈수기 및 홍수기시 운영상태 양호
- 2016년 수위계를 설치하여 사방댐과의 유량 비교예정



(a) 설치(2012.11)



(b) 평·갈수기(2013.03)



(c) 홍수후(2013.07)



(d) POND 형성(2014.3)



(e) POND 퇴적(2015.8)



(e) POND 재형성(2015.9)

[긴목플름 운영 과정]

2. 토양수분관측소

2.1 배경 및 목적

토양수분은 생태수문학에서 식생과의 상호작용의 중요한 인자이자, 대기와의 상호작용으로 인한 총체적인 물 순환에 밀접한 관련이 있다. 수문학적으로는 증발, 침투, 지하수 함량, 토양 침식, 식생분포 등을 지배하는 중요한 요소이고, 특히 시·공간적 분포특성은 강수 사상 후 토양으로의 침투 및 토양수분의 재분포, 증발산과 불 포화대에서의 오염물의 이송을 예측하는데 매우 중요하다.

또한, 가뭄은 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄 등 다양한 형태의 가뭄으로 분류할 수 있는데, 이 중 토양의 수분함량에 따라 가뭄의 정도를 판단할 수 있는 농업적 및 수문학적 가뭄에 대해서 정확한 가뭄의 평가가 가능하며, 이를 위하여 토양의 특성에 따른 토양수분측정기의 설치를 통한 향후 농업적 가뭄 및 유출률 분석 등의 다양한 업무에 활용할 수 있다. 2007년 하천법 개정으로 증발산량 및 토양수분량이 신규 수문조사 항목으로 추가됨에 따라 현재 용담시험유역 내 6개의 강우관측소와 1개의 증발산관측소에 토양수분센서가 설치되어 있다.

2.2 토양수분 관측

토양수분은 토양입자나 공극사이에 양적으로 내포되어 중력에 역행하여 스며들어 있는 물을 말한다. 이것은 토양의 건습정도를 나타내고 %, pF(압력) 또는 cmHg, 전기저항(Ω) 단위로 표시된다.

토양수분의 관측방법은 여러 가지 방법이 있으나 토양을 채취하여 관측하는 직접법과 자연상태의 토양을 그대로 관측하는 간접법으로 두 가지 방법이 있다. 직접법은 시료를 샘플링 하여 건조시킨 후 건조된 수분함량을 토양의 무게비로 표시하는 건토중량법이다. 간접법으로는 일반적으로 센서법이 있는데, 크게 FDR(Frequency Domain Reflectometry)과 TDR(Time Domain Reflectometry)이 있다. 측정원리는 같으나 현재 TDR 방식은 FDR 방식에 비해 전기전도도의 영향을 받지 않으므로 안정적이다.

용담시험유역에는 TDR 방식의 토양수분센서가 설치되어 있으며, 각 토심별 자료를 10 Hz로 측정하며, 평균하여 30분단위로 저장한다. TDR 방식은 일정토양의 물량을 계산하기 편한 용적수분함량을 측정하며, 단위는 %로 나타난다. 용적 수분함량은 본질적으로 전체 공극률과 동일하다. 한 유역에 존재하는 토양들의 최대용수량과 평균 깊이에 대한 자료들은 얼마나 많은 빗물이 일시적으로 토양에 저장되는지 나타낸다. 아울러 유역 수자원 함유량 및 지하수 함량을 추정하는데에 유용하게 이용될 수 있다.

2.3 토층분석 및 시료샘플링

센서를 설치하기 전에 주변의 지형과 비교하여 자연생성지형인지 인위적으로 변형된 지형인지 판단하여 샘플링 후 표층이 어느 정도 깊이로 존재하는지 확인한다. 그 다음 선택된 지점의 단면을 굴착 및 토색을 확인하고, 단면의 특성을 파악하여 심도분류 및 심도별 시료 채취한다. 그 후 심도를 대표할 수 있도록 토심별 센서를 설치한다. 또한 건토중량법으로 토양수분을 측정하여 센서의 정확도를 판단한다.

[토양수분관측소별 토양토층분석결과]

관측소	토양층위	토심 (cm)	토양층 특성 및 구성					토성 (USDA)
			전기전도도 (dS/m)	유기물 (g/kg)	모래 (%)	미사 (%)	점토 (%)	
주천	표토1	0~10	0	16.2	39	38	23	사질식양토
	심토1	10~19	0	14.8	22	46	32	사질식양토
	심토2	19~34	0	8.3	21	45	34	사양토
	심토3	34~52	0	2.4	38	31	31	사양토
	기층1	52~80	0	2.1	34	41	25	식양토
부귀	표토1	0~13	0.24	12.4	24	45	31	미사질식양토
	심토1	13~25	0.1	12.8	18	49	33	사질식토
	심토1	25~55	0.1	7.2	18	52	30	사질식토
	심토2	55~80	0.19	9.7	17	50	33	사질식양토
상전	표토1	0~13	-	8.6	34	27	39	식토
	심토1	13~26	0.51	3.4	16	47	37	사질식양토
	기층1	26~47	0.53	3.1	45	16	39	식양토
	기층2	47~61	0.52	2.1	47	14	39	식토
	기층3	61이하	0.53	3.1	52	18	31	식토
안천	표토1	0~10	0	8.3	34	25	41	식양토
	심토1	10~21	0	4.8	50	18	32	미사질식양토
	심토2	21~36	0.05	2.8	39	27	34	미사질식양토
	기층1	36~61	0.16	4.8	31	13	56	미사질식양토
	기층2	61이하	0.35	4.1	15	23	62	양토
천천	표토1	0~11	0	8.6	41	39	20	식양토
	심토1	11~20	0.28	4.8	46	36	18	식양토
	기층1	20~46	0.09	3.8	50	34	17	식양토
	기층2	46~65	0	3.1	48	36	16	양토
	기층3	65이하	0.06	2.8	44	33	24	양토
계북	표토1	0~13	0.36	6.5	66	11	23	양토
	기층1	13~41	0.37	4.0	71	6	23	양토
	기층2	41~60	0.72	2.4	80	2	18	양토
	기층3	60이하	0.39	2.8	82	3	15	양토

2.4 토양수분계 설치

- 2008년 K-water 조사처에서 FDR 방식의 토양수분센서를 최초 설치하였다. 이후 K-water 연구원으로 이관되면서 2012년 11월 6개 관측소 총28개의 센서 중, 11개의 센서가 고장으로 판정되어 2013년 3월 TDR 방식으로 전면 교체하였다.
- 최초 센서 설치 시 토양통 분석결과에 따라 표토, 심토, 기층을 대표할 수 있도록 설치하였으므로 기존 토양수분 센서의 설치 개수 및 위치는 동일하다.
- 주천, 부귀 관측소는 4개(-10, 20, 40, 60 cm), 안천, 천천, 상전, 계북 관측소는 5개(-10, 20, 40, 60, 80 cm)의 센서를 설치하였으며, 센서 설치장소를 모두 수위관측소 국사내로 결정 하였다. 그러나 그 이동거리는 크지 않으며 관측소 주변은 성토지반이 아닌 원지반이므로 토성은 많은 변화가 없을 것으로 판단된다.

[토양수분관측소별 토양특성 및 센서 설치 현황]

관측소	토양통명	토양기호	센서 갯수	설치위치 (cm)	비고
주천	석토통	StC	4	-10, 20, 40, 60	* 토양기호 : StC - St(토양성질), C(경사도) : AsC2 - As(토양성질), C(경사도), 2(침식정도) * 경사도 : A - 0 ~ 2 %, B - 2 ~ 7 %, C - 7 ~ 15 %, D - 15 ~ 30 %, E - 30 ~ 60 %, F - 60 ~ 100 %
부귀	안릉통	ArC	4	-10, 20, 40, 60	
상전	아산통	AsC2	5	-10, 20, 40, 60, 80	
안천	아산통	AsC2	5	-10, 20, 40, 60, 80	
천천	삼각통	SgC2	5	-10, 20, 40, 60, 80	
계북	삼각통	SgD2	5	-10, 20, 40, 60, 80	

[토양수분 센서 설치 장소 변경]

관측소명	기존 센서 위치	현재 센서 위치	특이사항
주천			국사외 ↓ 국사내
부귀			국사내
상전			국사외 ↓ 국사내
안천			국사내
천천			국사내
계북			국사외 ↓ 국사내

2.5 토양수분 측정결과

- ☐ 센서 설치 장소 변경에 따른 TDR 센서의 검증은 위하여 시료채취에 의한 토양수분량 측정 결과와 비교한다.(단, 함수량은 시료채취의 경우 질량비이며 TDR은 부피비)
- ☐ 시료채취는 인력타격에 의한 시추방식을 선택하였으며, 채취된 시료는 수분의 증발을 막기 위해 밀봉하고, 시료상자에 공변, 심도, 지층명, 색상 등을 기록 정리하였으며, 실내시험은 건토중량법으로 토양수분량 산정하였다.
- ☐ 토양수분함량을 표시하는 방법은 질량비 또는 용적비로 나타낼 수 있으며, 여기서 용적 수분함량은 토양의 단위 부피당 수분함량을 의미하며, 중량수분함량(단위 무게당 수분 함량)에 용적밀도를 곱하여 구할 수도 있다. 일반적으로 용적수분함량의 최대치는 토양의 공극율과 같으며 이 때 토양의 공극은 완전히 수분으로 채워진다.
- ☐ 일반적으로 TDR 센서는 다짐밀도의 증가에 따라 그 값이 증가하는 경향을 보인다. 따라서 다짐밀도가 큰 관측소의 경우 TDR 센서 측정값이 클 수도 있다.

[측정 방법별 토양수분 비교]

토양통	관측소	토심 (cm)	토양수분 (%)				차 (TDR-시료분석)
			관측시간	시료분석	관측시간	TDR	
석토통	주천	-10	2014.10.07. 14:30	17.8	2014.10.07. 14:30	25.46	7.66
		-20		20.7		22.38	1.68
		-40		21.5		21.69	0.19
		-60		23.5		27.61	4.11
아산통	상전	-10	2014.10.08. 12:55	21.8	2014.10.08. 13:00	35.29	13.49
		-20		28.0		25.29	-2.71
		-40		30.7		35.34	4.64
		-60		27.8		34.04	6.24
		-80		29.3		27.64	-1.66
	안천	-10	2014.10.08. 13:35	23.8	2014.10.08. 13:30	38.35	14.55
		-20		29.2		40.54	11.34
		-40		31.9		32.41	0.51
		-60		27.9		47.37	19.47
		-80		27.5		30.83	3.33
안룡통	부귀	-10	2014.10.08. 11:30	17.0	2014.10.08. 11:30	14.71	-2.29
		-20		16.6		15.63	-0.97
		-40		22.9		21.69	-1.21
		-60		14.5		18.05	3.55
삼각통	천천	-10	2014.10.07. 16:55	15.5	2014.10.07. 17:00	24.18	8.68
		-20		19.8		25.84	6.04
		-40		20.2		19.63	-0.57
		-60		15.7		23.61	7.91
		-80		12.5		20.97	8.47
	계북	-10	2014.10.07. 15:55	20.4	2014.10.07. 16:00	28.52	8.12
		-20		20.9		24.11	3.21
		-40		20.3		25.65	5.35
		-60		23.0		28.66	5.66
		-80		23.5		33.44	9.90

2.6 토양수분 센서 보정

- TDR에 의한 토양수분 측정은 탐침사이를 왕복하는 신호의 주기를 측정하여 2차식에 대입하여 토양수분으로 계산하게 된다. 센서 제조사인 Campbell社에서 제시한 2차식은 크게 3가지가 있으며, 각 조건별 계산식은 다음과 같다.

[토성에 따른 토양수분 변환식]

구분	점토구성비	전기전도도	2차식
일반식	30 % 이하	0 ~ 0.5 dS/m 이하	$y = 0.0007x^2 - 0.0063x - 0.0663$
보정식 1	30 % 이상	0.45 ~ 0.75 dS/m	$y = 0.0006x^2 - 0.007x - 0.018$
보정식 2		0 ~ 0.45 dS/m	$y = 0.001x^2 - 0.0211x + 0.095$

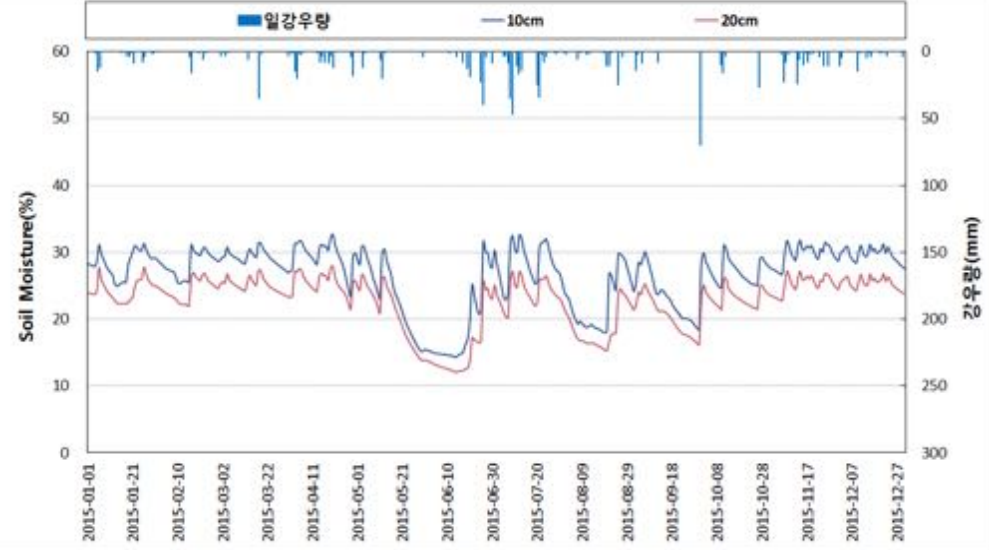
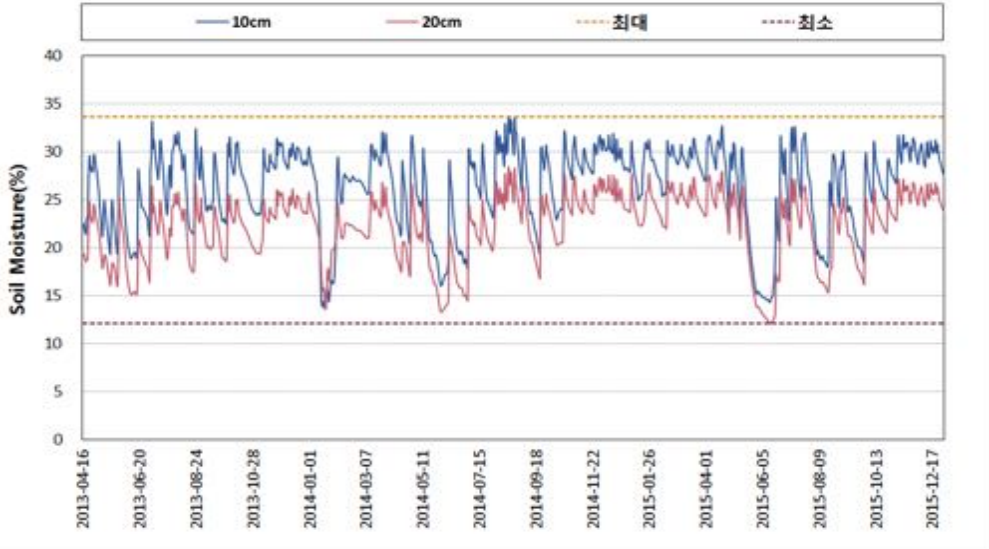
- 각 지점별 토양구성비와 전기전도도 조건을 고려하여 각 층별 계수적용을 달리 하여 센서 보정을 실시하였다. 기존의 일반식을 적용한 토양수분값은 각 조건별로 재계산을 할 수 있으므로 이전자료는 복구가능하다. 재계산된 2013년 토양수분자료는 용담시험유역 홈페이지에서 확인할 수 있다(www.ydew.or.kr).
- 단, 상전과 안천지점의 경우 토양의 구성이 점토함유율이 높고 유기질 함유량이 높아 Campbell社에서 제공하는 일반적인 보정방정식은 적합하지 않으며, 현장함수비 보정이 필요하다고 판단된다.

2.7 토양수분 경향파악

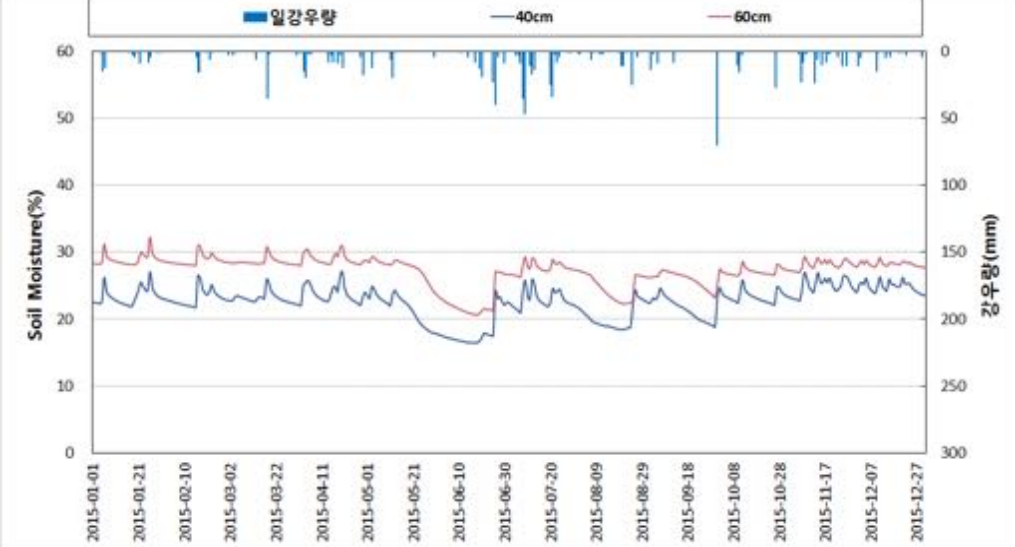
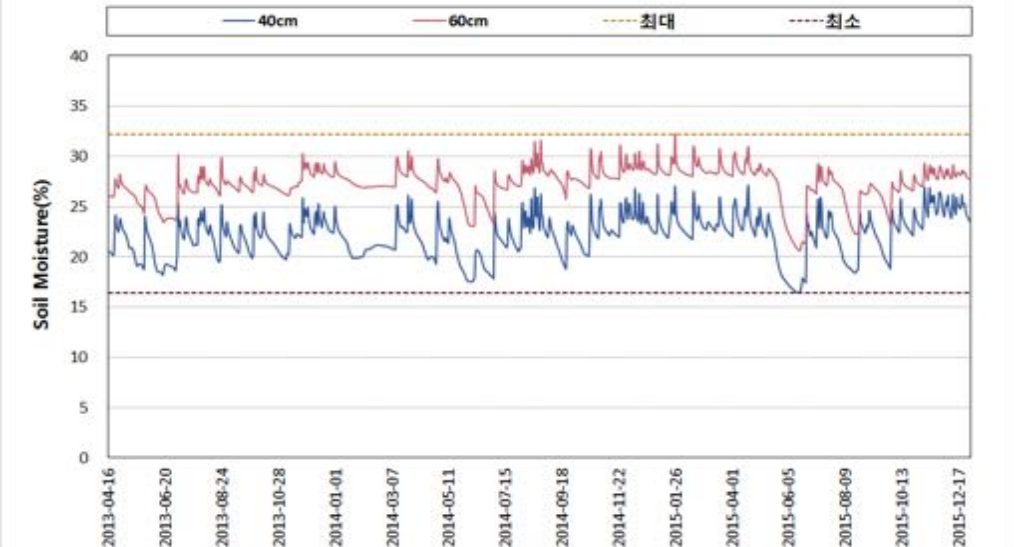
- 모든 관측소에서 토양수분은 강우에 즉각 반응하였으며, 변화패턴은 강우발생시 급격하게 증가했다가 서서히 감소하지만, 태양복사열이 많아지는 3월 말부터 홍수기 전까지는 계속 감소하여 토양수분이 감소하여 6월에 최저로 떨어진다.
- 4월부터 10월 까지 토양수분 변화는 강우발생에 의하여 월별 변화가 크게 나타났으며, 60cm 이하 토층은 변화폭이 상부 토층보다 적게 나타내었다.
- 모든 층별의 토양수분량은 강우에 직접적으로 반응하지만, 상대적으로 심층에 해당하는 40 cm이하의 지점은 지속강우에 반응하며 반응정도도 적은편이다.
- 모든 관측소에서 1 ~ 2월 사이에 표층의 토양수분이 급격히 하락하였는데, 이는 대기온도 저하로 수분이 얼음으로 변화하여 함수비 데이터가 감소한 것으로 판단된다.
- 아산통(상전, 안천)은 점토비율이 상당히 높아 전반적으로 토양수분량이 크게 나타나며, 안천의 60, 80 cm지점은 강우발생시 포화상태에 도달하였다가 급격히 줄어드는 특이한 경향을 보인다.
- 덕유산 지점은 토양수분의 증가 및 감소의 기울기가 4개 지점 모두 비슷한 것으로 보아 플렉스타워지점이 배수(유출)가 잘되는 것으로 판단되며, 다른 관측소에 비해 평균 토양수분이 낮은 것을 확인할 수 있는데 이는 유출률이 큰 산지에 위치하기 때문으로 판단된다.

2.7.1 주천 토양수분 관측소

■ 주천 10, 20 cm 지점

토양수분량 (10, 20 cm)	
10, 20 cm 지점의 경년변화	
검토결과	♦ 10, 20 cm 깊이에서의 토양수분은 강우사상에 즉각적으로 반응하는 현상을 보여주고 있으며, 강우가 없을 시 토양수분량이 꾸준히 감소하는 것이 보인다 ♦ 2014년도와 2015년도에는 2013년도에 비해 강우사상이 적어 토양수분이 봄철과 가을철의 토양수분량의 일시적인 증가 외에 감소 현상을 보이며, 특히 2015년에 토양수분량의 최저치를 기록하였다 ♦ 이러한 토양수분량 특성은 강우량이 적은 년도의 토양수분 특성을 보임

■ 주천 40, 60 cm 지점

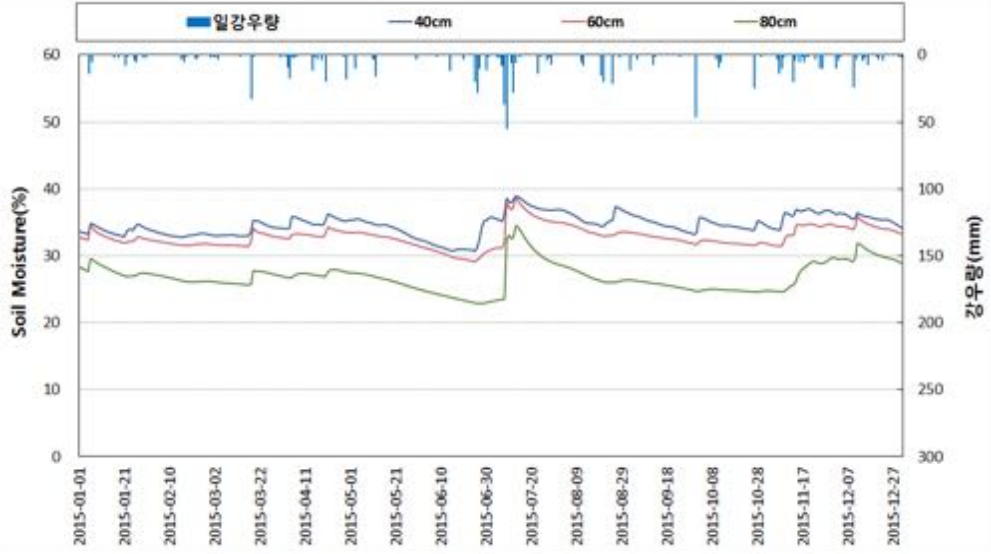
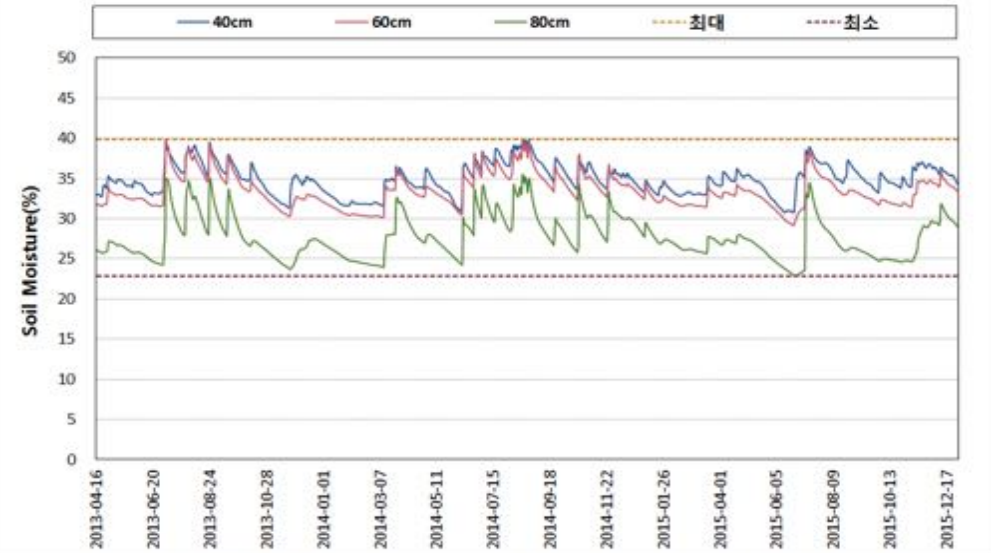
토양수분량 (40, 60 cm)	
40, 60 cm 지점의 경년변화	
검토결과	◆ 10, 20 cm 의 토양층에 비해 강우사상에 대해 즉각적인 반응을 보이지 않지만, 20 mm 이상의 일강우량에 대해 반응을 보인다 ◆ 모든 토양층에 비해 깊이 60 cm의 토양수분이 강우에 대한 가장 높은 토양수분량 값을 유지하고 있다 ◆ 2014년도와 2015년도에는 2013년도에 비해 강우사상이 적어 토양수분량이 낮게 나오지만 10 ~ 20 cm 의 토층보다 40 ~ 60 cm 의 토층에서는 그 차이가 크게 나타나지 않는다

2.7.2 상전 토양수분 관측소

■ 상전 10, 20 cm 지점

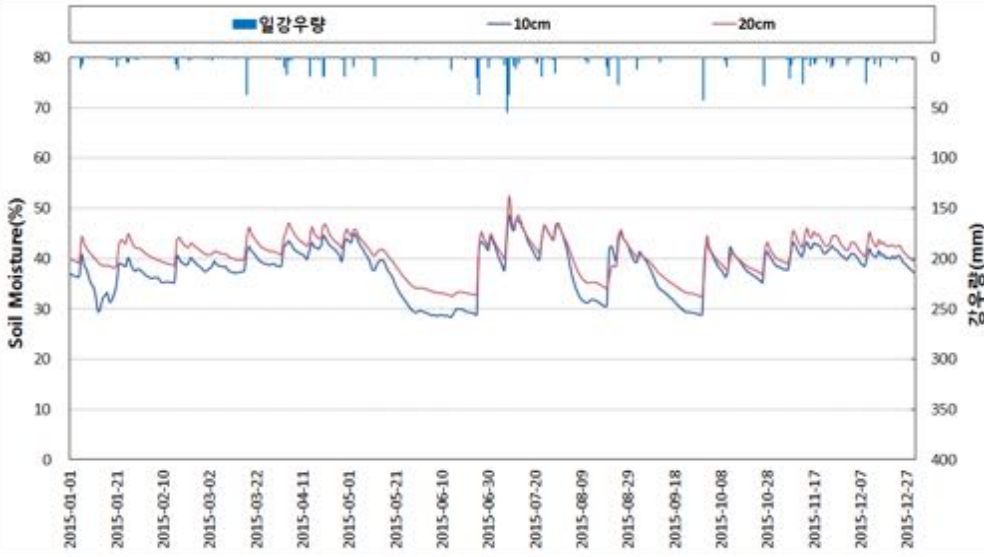
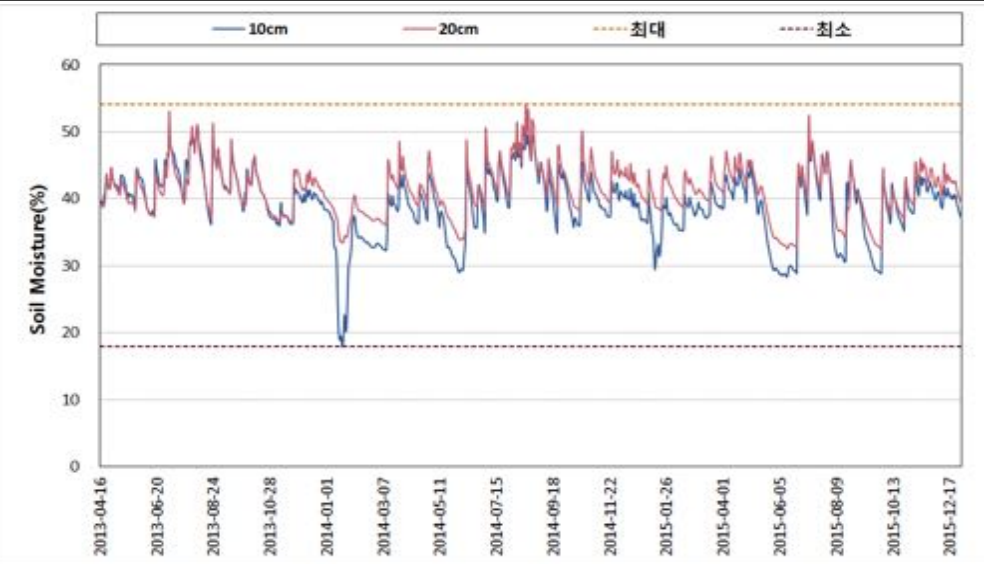
토양수분량 (10, 20 cm)	
10, 20 cm 지점의 경년변화	
검토결과	10 cm의 토양수분량은 10 mm 이상의 강우에 반응을 보이지만 20 cm의 토양수분량은 25 mm 이상의 강우에 반응을 보이는데 이는 상전 토양수분관측소의 토양특성이 점토비율이 높아 강우가 침투하지 못하고 표토에서 차단되는 것으로 판단된다 - 전반적으로 다른 지점에 비해 토양수분량이 크게 나타나는데 이는 점토비율이 높은 아산토 토양특성을 반영하는 것으로 판단된다 2014년도와 2015년도에는 강우사상이 적어 토양수분이 2013년에 비해 상당히 낮은 현상을 보이며, 특히 2014년에 토양수분량의 최저치를 기록하였다

■ 상전 40, 60, 80 cm 지점

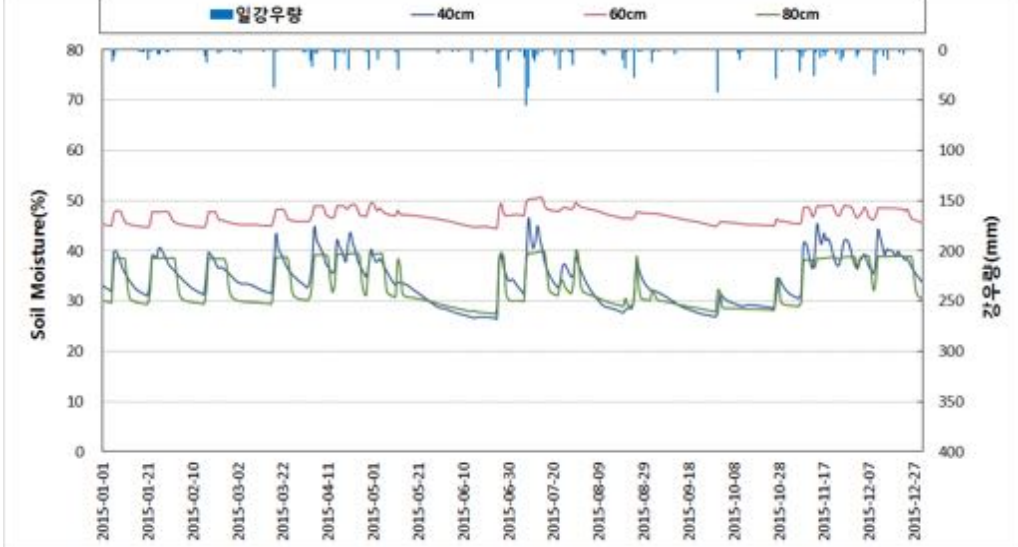
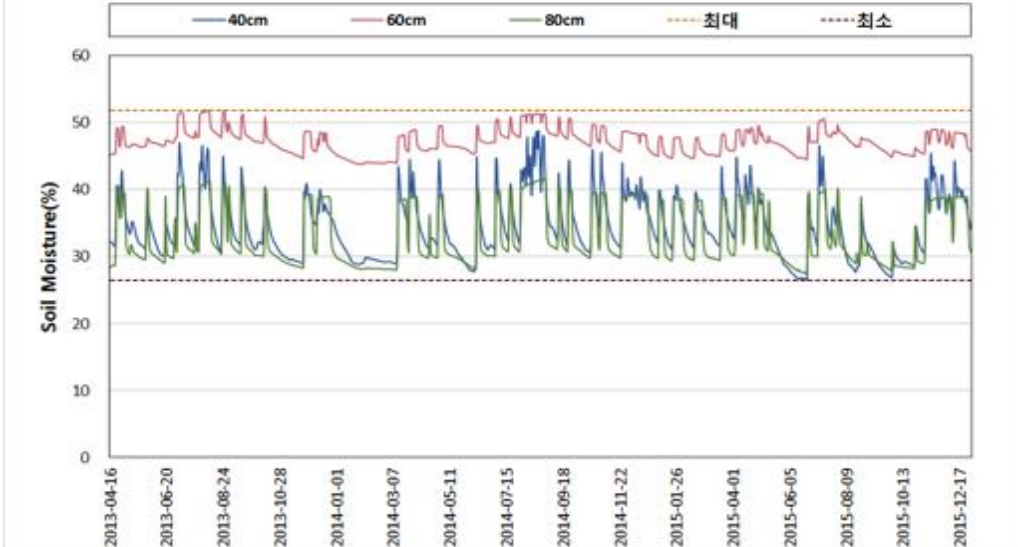
토양수분량 (40, 60, 80 cm)	
40, 60, 80 cm 지점의 경년변화	
검토결과	- 표층(10, 20 cm)에 비해 강우에 의한 반응이 크게 나타나지 않으며, 이는 점토 비율이 높은 토양 특성을 반영하는 것을 알 수 있다 2013년에 비해 2014년도와 2015년도에는 강우사상이 적어 다른 토양수분관측소에서는 일반적으로 토양수분이 낮은 현상을 보이지만, 상전지역의 심토층은 경년별 큰 차이를 보이지 않는다

2.7.3 안천 토양수분 관측소

■ 안천 10, 20 cm 지점

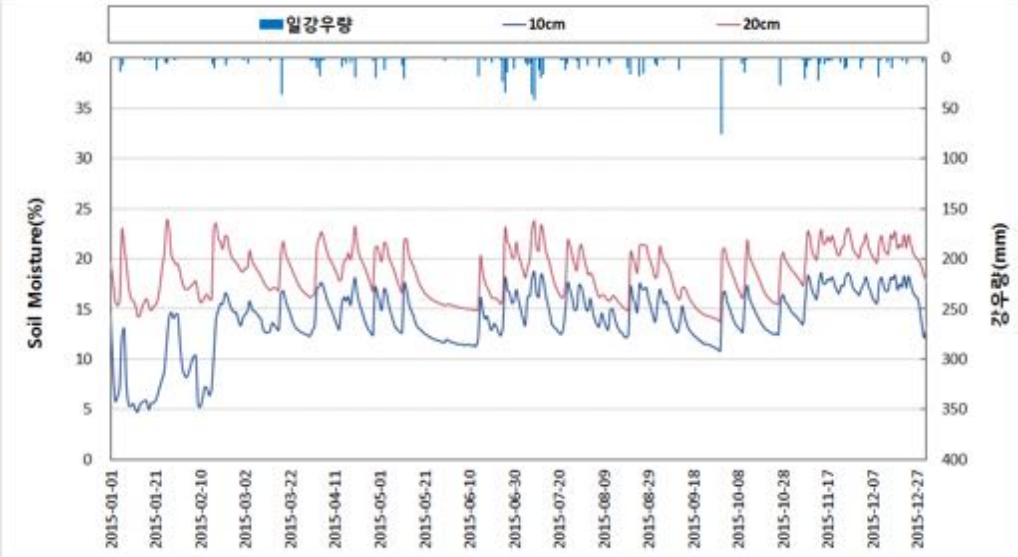
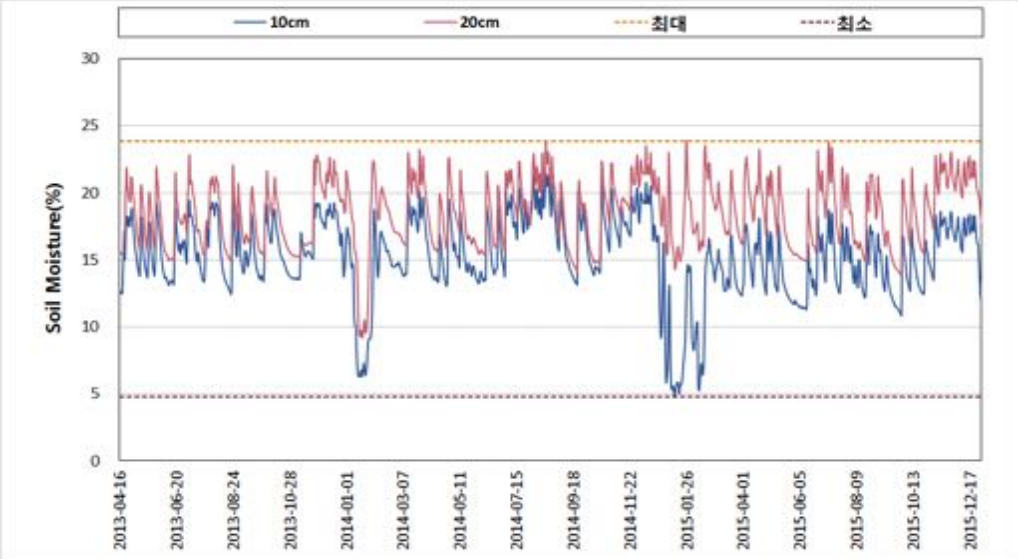
토양수분량 (10, 20 cm)	
10, 20 cm 지점의 경년변화	
검토결과	10, 20 cm 깊이에서의 토양수분은 강우사상에 즉각적으로 민감한 반응을 보이며, 강우가 없을 시 토양수분량이 꾸준히 감소하는 것이 보임 2014년도와 2015년도에는 2013년도에 비해 강우사상이 적어 토양수분이 감소하는 모습을 보이며, 특히 2014년도와 2015년도에 토양수분량이 여러 차례 낮은 모습을 보여 강우사상이 매우 없었음을 알 수 있음

■ 안천 40, 60, 80 cm 지점

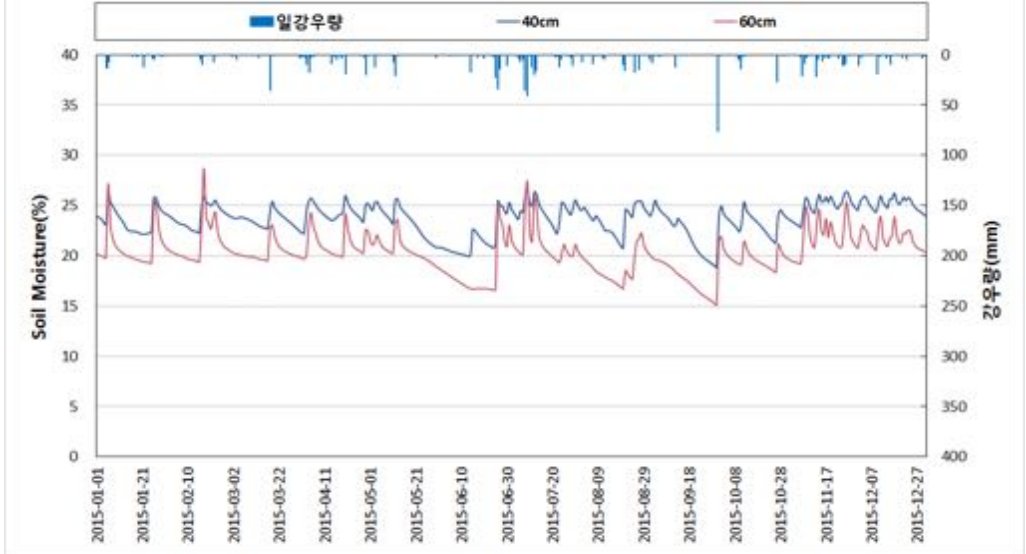
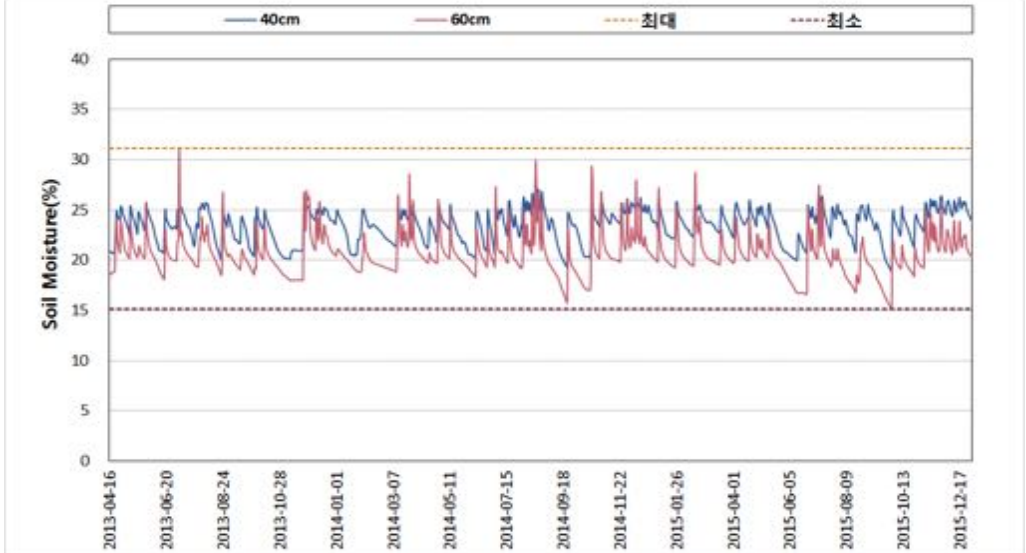
토양수분량 (40, 60, 80 cm)	
40, 60, 80 cm 지점의 경년변화	
검토결과	- 표층(10, 20 cm)에 비해 강우에 의한 민감한 반응이 나타나지 않지만, 60, 80 cm 지점은 강우 발생 시 포화상태에 도달하였다가 급격히 하락하는 모습을 경향을 보임 - 최근 3년간의 경향 분석 결과 안천지역의 심토층은 가뭄에 민감한 경향을 보이지 않으며, 토양수분 그래프의 기울기로 보았을 때 2014년과 2015년도에 많은 강우 사상이 없음을 나타냄

2.7.4 부귀 토양수분 관측소

■ 부귀 10, 20 cm 지점

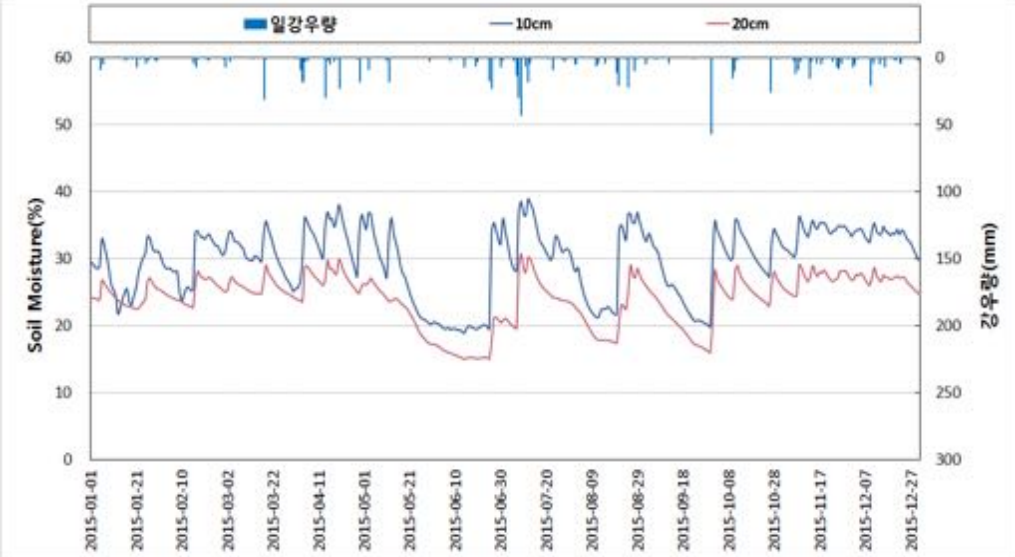
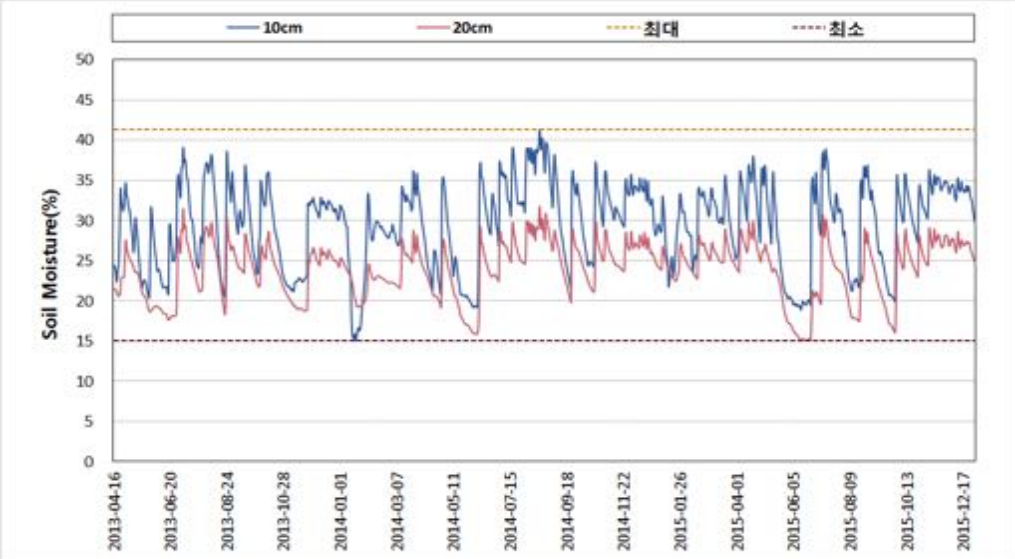
토양수분량 (10, 20 cm)	
10, 20 cm 지점의 경년변화	
검토결과	◆ 적은 강우 사상에도 급격한 변화를 나타내며, 이는 배수가 양호한 안릉동 토양의 특성이 영향을 미친다고 판단되며, 봄철에 급격한 토양수분량의 상승을 나타내는 것은 겨울 동안 쌓인 눈이 녹으면서 토양수분이 증가한다고 판단됨 ◆ 3년 동안의 경년 변화를 통해 토양수분량의 최소치가 강우가 적은 2014, 2015년에 낮은 것으로 나타난 것으로 보아, 가뭄에 매우 민감한 것이라 판단됨

■ 부귀 40, 60 cm 지점

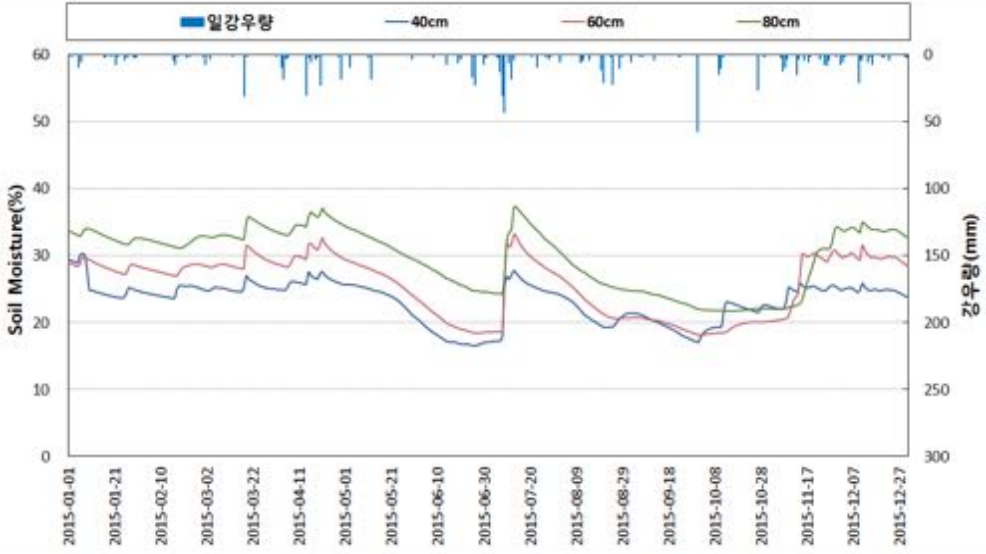
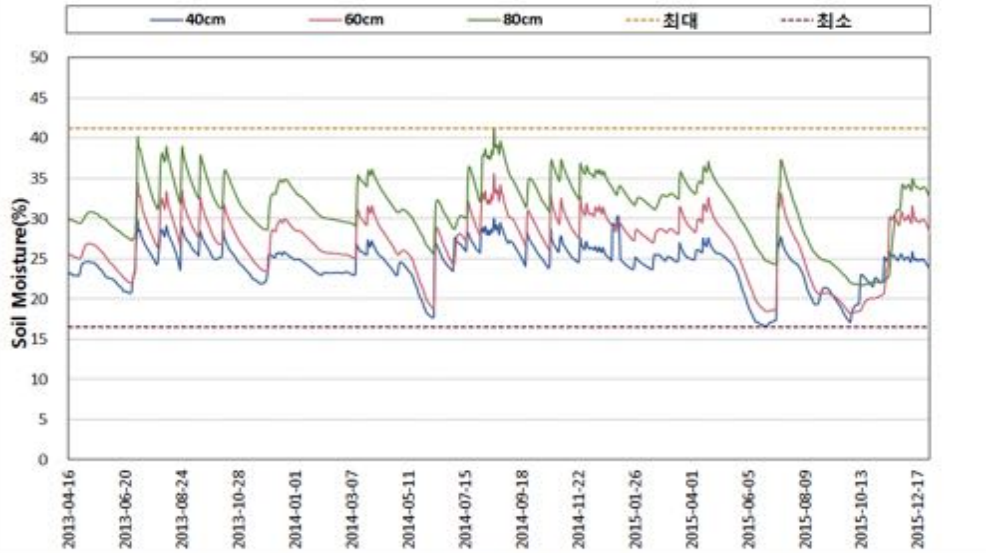
토양수분량 (40, 60 cm)	
40, 60 cm 지점의 경년변화	
검토결과	◆ 다른 지점의 심층에 비해 적은 강우에 대한 토양수분량의 반응이 민감한 것으로 보아 10 ~ 20 cm 의 토양층이 배수가 매우 잘되며, 심층부 또한 배수가 양호한 것으로 판단됨 ◆ 3년 동안의 경년 변화를 통해 토양수분량의 변동 폭이 심한 것으로 보아 강우에 민감함을 알 수 있으며, 2014, 2015년도에 토양수분량이 낮은 것으로 보아 2014, 2015년도에 2013년도에 비해 강우 사상이 적었음을 보여줌

2.7.5 계북 토양수분 관측소

■ 계북 10, 20 cm 지점

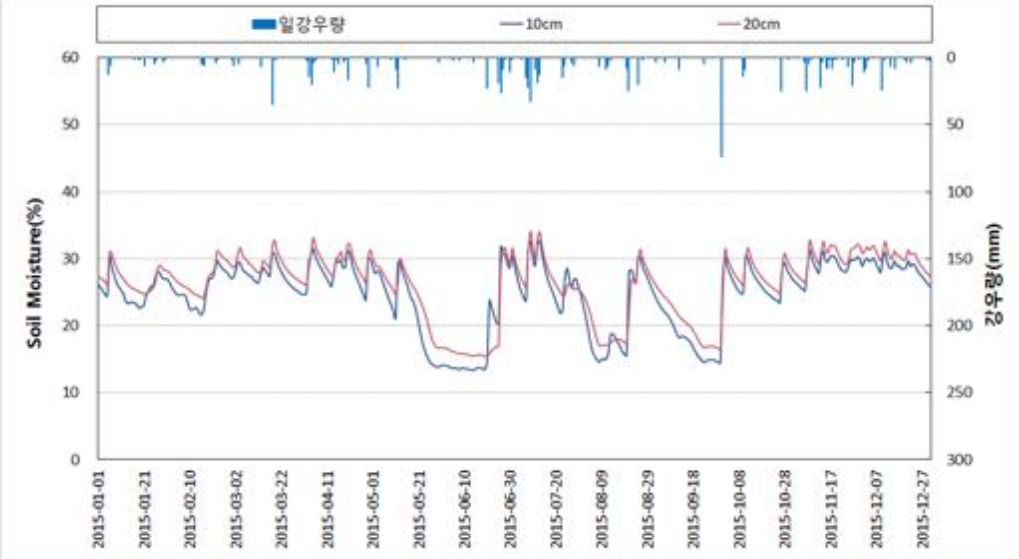
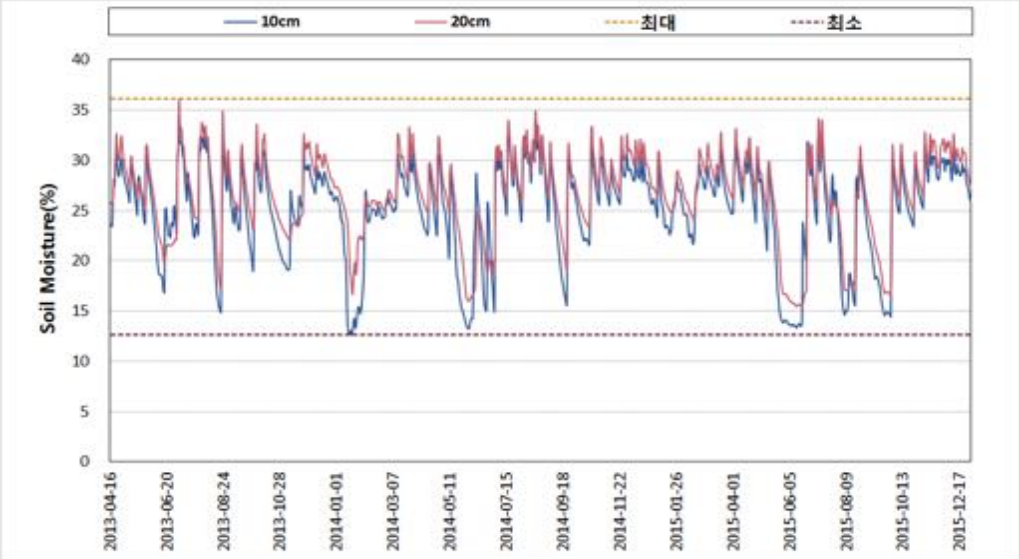
토양수분량 (10, 20 cm)	
10, 20 cm 지점의 경년변화	
검토결과	10 ~ 20 cm 의 토양층에서는 매우 적은 강우사상에도 즉각적인 반응을 보여주며, 무강우시 토양수분량의 급격한 감소를 보이며, 이는 삼각통 토양의 대표적인 특성을 나타냄 2014년도와 2015년도에는 2013년도에 비해 강우사상이 적어 토양수분량의 급격한 감소를 보이며, 특히 봄철에 토양수분량이 매우 낮음을 알 수 있다

■ 계북 40, 60, 80cm 지점

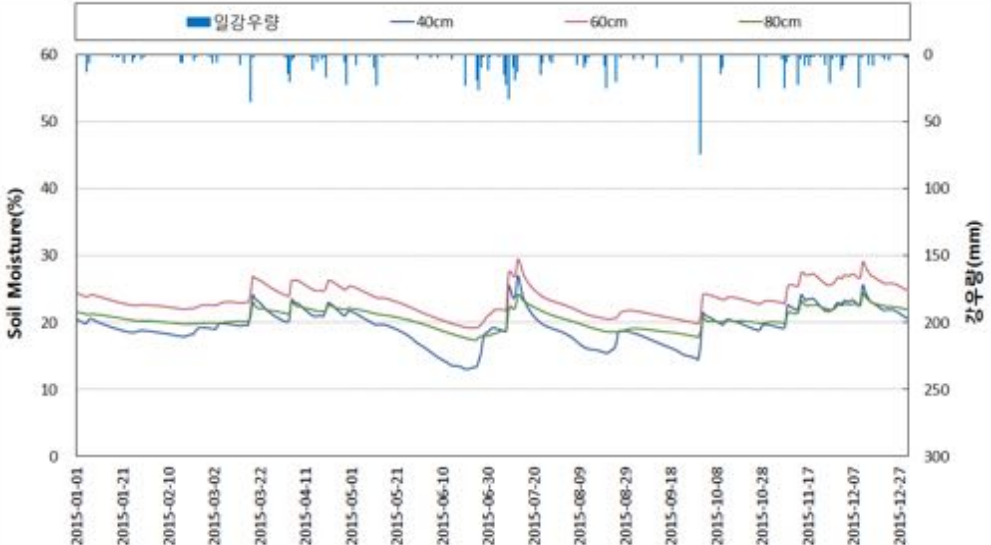
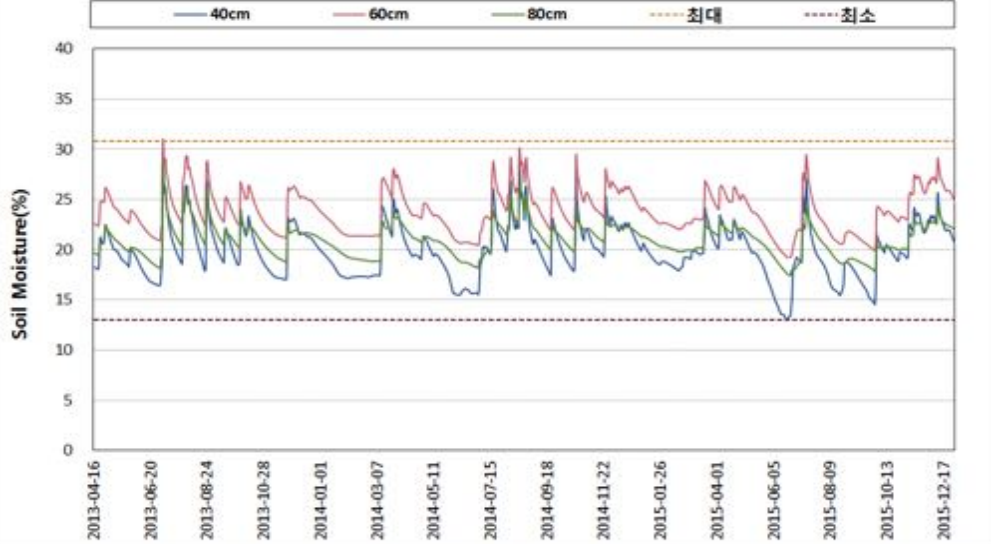
토양수분량 (40, 60, 80cm)	
40, 60, 80cm 지점의 경년변화	
검토결과	10 ~ 20 cm 의 토양층에 비해 강우사상에 대한 반응은 즉각적이지 않고 서서히 반응하는 모습을 보며, 적은 강우량에 대해 반응을 보이지 않음 2015년도에는 토양수분량 그래프의 변화가 많이 없는 것으로 보아 다른 해에 비해 강우사상이 많이 없음을 알 수 있으며, 이로 인해 봄철과 늦여름 철에 토양수분량이 매우 낮음을 알 수 있음

2.7.6 천천 토양수분 관측소

■ 천천 10, 20cm 지점

토양수분량 (10, 20cm)	
10, 20cm 지점의 경년변화	
검토결과	♦ 보통 25% 내외의 토양수분을 유지하고 있으며, 적은 강우사상에도 즉각적인 반응을 보여주며, 무강우시 토양수분량의 급격한 감소를 보이며, 이는 삼각통 토양의 대표적인 특성을 나타냄 ♦ 2014년도와 2015년도에는 2013년도에 비해 강우사상이 적어 토양수분량의 급격한 감소를 보이며, 특히 2014, 2015년에 토양수분량이 낮은 것을 보아가뭇은 상태임을 알 수 있음 ♦ 이러한 토양수분량 특성은 강우량이 적은 년도의 토양수분 특성을 보임

■ 천천 40, 60, 80cm 지점

토양수분량 (40, 60, 80cm)	
40, 60, 80cm 지점의 경년변화	
검토결과	♦ 보통 25% 내외의 토양수분을 유지하고 있으며, 적은 강우사상에도 즉각적인 반응을 보여주며, 무강우시 토양수분량의 급격한 감소를 보임 ♦ 최근 3년 동안 토양수분의 최대치는 비슷하지만 2015년도에는 강우사상이 없거나 적은 현상이 오랫동안 지속되어 토양수분량이 제일 낮은 것을 보여준다

2.7.7 덕유산 토양수분 관측소

■ 덕유산 10, 20, 40, 60 cm 지점

토양수분량 (10, 20, 40, 60 cm)	
10, 20, 40, 60 cm 지점의 경년변화	
검토결과	◆ 10, 20 cm 의 표층부와 40, 60 cm 의 심층부 층의 구분이 뚜렷함 ◆ 모든 토양층에서 강우에 대한 반응 패턴이 비슷한 것으로 보아, 토양층의 배수 능력이 뛰어난다고 판단됨 ◆ 최근 3년 동안 토양수분의 최대값을 비교해보았을 때 2013년에 많은 강우가 있음을 알 수 있으며, 최소값은 비슷한 값을 보이는 것을 보아 덕유산 플렉스 지점은 가뭄에 많은 영향을 받지 않는 것으로 판단됨(2014, 2015년 가뭄).

3. 에디공분산법을 이용한 증발산량 관측

3.1 배경 및 목적

물 순환과정의 주요 구성요소로는 강수량, 유출량, 토양수분량, 증발산량 등이 있다. 수자원 개발을 위한 계획의 수립과 수자원 시스템의 운영 면에서 수문 기초자료의 정량적인 파악은 필수적이다.

2007년 하천법 개정에 따라 기존 강수량, 수위, 유량 및 유사량 조사와 더불어 증발산량 및 토양수분량이 새롭게 수문조사 항목으로 추가됨에 따라 증발산의 인식이 높아지고 증발산의 정량화에 대한 연구가 늘어나고 있다. 증발산량 및 토양수분량에 대한 체계적인 관측 및 운영을 위한 설치, 자료 획득, 분석 및 활용 등에 대한 종합적인 기준 수립 필요성이 제기되었다.

증발산은 토양 표면에서 일어나는 증발 과정과 식물의 광합성 작용으로 인해 일어나는 증산 작용을 포함하는 수문기상인자로서 외부 환경에 민감하게 작용한다. 증발산은 전지구적으로 볼 때 총 육상강수량의 약 60 %를 차지하는 순환과정에 매우 중요한 요소이다.

K-water연구원은 2011년 덕유산에 플렉스타워를 설치하여 에디공분산법으로 증발산을 측정하고 있다. 에디공분산법은 다른 증발산 측정방법에 비해 안정적이며, 단위시간에 대한 수증기의 이동량을 직접적으로 관측을 하게 되므로 실제 증발산량을 구할 수 있다. 이 방법은 주변 생태계에 미치는 영향이 가장 적으며, 관측지의 환경에 따라 넓은 지역을 대표할 수 있는 장점이 있다.

3.2 덕유산 플렉스 타워

- ☐ 덕유산 플렉스 타워는 구량천의 상류부의 덕곡제 유역 내 위치
- ☐ 동경 127 ° 42'23" ~ 127 ° 44'53", 북위 35 ° 50'47" ~ 35 ° 52'50"사이로 중부 지방에 위치한 유일한 증발산관측 타워
- ☐ 유역의 동측으로는 전라북도 무주군 설천면, 북측으로는 무주군 적상면, 남쪽으로는 경상남도 거창군 북상면이 위치함
- ☐ 덕곡제 유역면적은 9.27 km²이며, 유로연장은 3.48 km, 유역 평균 폭은 2.66 km, 형상계수는 0.77이며, 덕유산 플렉스 타워의 표고는 EL. 688.568 m
- ☐ 유역 내 토지이용은 대부분 산림, 임상 분포는 침활 혼효림과 낙엽송림 분포

[덕유산 플렉스타워 제원]

관측소명	덕유산 플렉스타워	수계/하천망	금강/구량천
지 명	전라북도 무주군 안성면 덕산리 산 6	표고	EL. 688.568 m
경도	127° 43' 02"	위도	35° 51' 53"
제작년월	2011년 3월	관측 개시	2011년 4월

* 2011년 12월 ~ 2012년 2월은 기기 오작동으로 결측



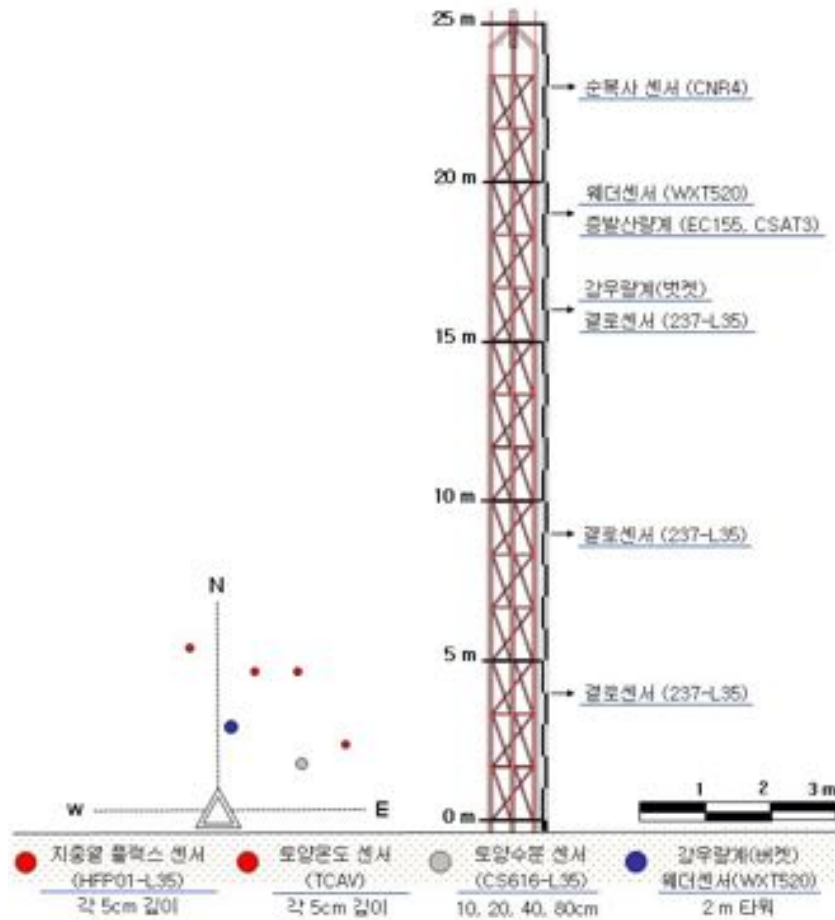
[덕유산 플렉스타워 위치]

3.3 증발산 및 미기상 관측

- ☐ X, Y, Z 방향의 풍속자료와 CO_2 , H_2O 농도 및 각 미기상자료를 10 Hz로 측정
- ☐ 순복사, 지중열, 잠열, 현열의 플렉스자료와 풍향, 풍속, 강우, 온도, 습도, 토양수분 등의 기상 및 토양변수를 측정

[에디공분산 및 미기상 관측 기기 목록 및 관측 높이]

기기 목록	기기 모델	관측높이 (m)	관측 목록
3차원 풍향 풍속계	CSAT3	19 → 24	풍향, 풍속
CO_2/H_2O 기체분석기	EC155	19 → 24	CO_2 , H_2O
순복사	CNR4	23	순복사
웨더 센서	WXT510	2, 19	강우
토양온도 센서	TCAV	- 0.05	토양온도
지중열 플렉스	HFP01	- 0.05	지중열
토양수분	CS616	- 0.1, 0.2, 0.4, 0.8	토양수분
우설량계	WDR-205	2, 16	강우
결로 센서	237-L35	4, 9, 16	이슬점



[플렉스타워 센서 배치도]

3.4 에디 공분산을 이용한 증발산량 산정

에디공분산법(Eddy Covariance Method)은 지표면이 수평적으로 균일하고 편평하며 어떤 흡원과 발원이 존재하지 않는 이상적인 조건을 가정하며, 난류에 의한 평균 연직 플럭스는 $F = -\overline{w\rho}$ 로 정의된다(ρ 는 어떤 물리량, w 는 연직 풍속). 여기서 잠열(H_2O 의 플럭스)을 측정하여 자료처리 및 단위환산을 하게 되면 시간에 따른 수분의 이동량을 파악할 수 있다. 플럭스가 (+)이면 발원지는 토양 또는 산림이 되며, 지표 및 식생으로부터의 증발산량이 된다.

□ 잠열 플럭스(Latent Heat Flux)

$$LE = \frac{L_V \times H_2O_U_{Z_cov} \times 0.018 \times amb_press_mean}{R \times (Tc_mean + 273.15)}$$

여기서, $H_2O_U_{Z_cov}$: 수증기 농도(몰분압비)와 보정된 연직 바람과의 공분산($mmol \cdot m/mol \cdot s$)

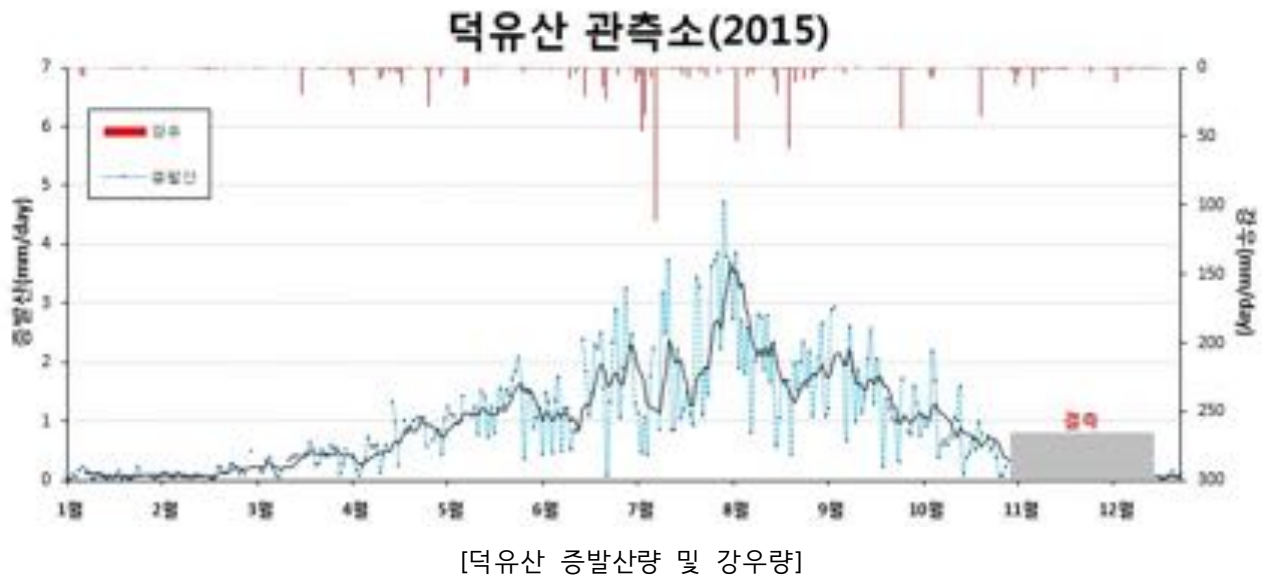
0.018 : H_2O 1 $mmole$ 의 분자량, amb_press_mean : 기압의 평균(kpa)

Tc_mean : 보정된 온도의 평균($^{\circ}C$), L_V : 물의 기화열(J/g)

R : 공기의 기체상수($(kpa \cdot m^3)/(k \cdot mol)$)

- 데이터 처리는 30분 간격으로 H_2O 와 바람의 공분산을 구했으며, 30분간의 데이터 18,000개 중 취득률 90 %이상의 데이터를 대상으로 분석하였다.
- 덕곡제의 경사진 지형의 보정을 위해 평판맞추기(Planar Fit Method)를 실시하였으며, 평판은 30 °간격으로 12개의 평판으로 분할하였다.

3.5 증발산량 분석



[월 누적 증발산량]

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
증발산량	1.64	2.75	10.47	15.87	35.07	40.12	59.77	68.83	47.84	30.29	0.56	0.49	313.7
강우량	14.02	4.68	20.32	90.96	35.91	79.85	241.99	178.02	22.26	95.35	45.54	20.5	849.4
비율 (%)	11.70	58.76	51.53	17.45	97.66	50.24	24.70	38.66	214.91	31.77	1.23	2.39	36.93

(단위 : mm/day)

- 증발산 패턴은 1월부터 서서히 증가하지만 활발하지는 않고, 4월부터 증발산이 활발해져 8월에 최대치에 이른다. 평소 홍수기인 8월에는 강우일수가 많아 증발산이 적게 발생하지만 급년엔 9월에 많은 강우가 집중하여 9월에 증발산이 적게 발생하였으며, 강우시기가 끝나면서 다시 증발산은 활발해진다. 10월부터 급격히 감소하여 11, 12월에는 증발산이 거의 발생하지 않는다.
- 일 증발산량은 -0.07 ~ 4.92 mm/day의 변동폭을 가지며, 전체평균 일증발산량은 1.07 mm/day로 나타남. 강우발생일은 증발산은 거의 나타나지 않으며 다음날 증발산이 활발해지는 것을 볼 수 있다.
- 월별 증발산은 증발산이 가장 활발한 5 ~ 8월에 평균 1.73 mm/day였으며, 1 ~ 4월에 평균 0.29 mm/day, 9 ~ 12월에 1.15 mm/day로 성장기와 비성장기의 구분이 명확함.
- 강우대비 증발산량은 36.9 %로 전년(25.04 %)보다 증가하였다.

3.6 특이사항

- 2015년도는 1월부터 12월까지 전 기간에 대한 자료취득이 가능하였으나, CF카드 오류로 인한 데이터 결측이 발생하였다(부록 3 참고).
- 금해의 기기자체의 진단 결과 CF 카드의 오류로 인하여 데이터가 상당수 누락되었지만, 증발산이 거의 없는 11 ~ 12월 결측으로 신뢰도 높은 관측치로 판단된다.
- 2015년 일증발산량의 전반적인 변동패턴은 전년과 비슷하였다. 시간에 따른 증발산량은 일조시간 패턴과 거의 같게 나타났으며, 식생의 성장기인 2, 3분기에 집중하여 증발산이 이루어지는 것으로 나타났다. 3분기는 우기가 포함되어 가장 크게 나타났으며, 1분기는 증발산이 거의 나타나지 않았다.
- 성장기의 일최대 증발산량보다 월평균 일증발량이 훨씬 작게 나오는 것은 강우발생시 순복사량이 급격히 떨어지므로 증발산이 거의 없기 때문으로 판단된다.

IV. 부록

1. 용담댐 수자원기초조사 [수위관측소]
2. 용담댐 수자원기초조사 [토양수분관측소]
3. 용담댐 수자원기초조사 [증발산관측소]
4. 용담댐 수자원기초조사 [기타관측소]

참여자 현황

소 속	성 명
K-water 연구원 수자원 연구소	채 효석
	임광섭
	문덕영

K-water연구원 수자원연구소는 용담시험유역 관련 관측자료 및 연구성과 등을 제공합니다.

대표전화 : 042) 870 - 7436

용담시험유역 홈페이지 : <http://www.ydew.or.kr>



2015 용담시험유역 운영백서