수문조사사업(증발산량조사)

1. 추진배경

1.1 수문조사의 필요성

ㅇ 물 순환 과정을 정량적으로 파악하기 위하여 물 순환 요소를 관찰하고 측정하는 것으로 하천의 수위·유량·유사량 및 하천유역의 강수량·토양수분량·증발산량을 과학적으로 조사·분석

- 물의 이수(利水), 치수(治水), 환경(環境)을 위한 수자원의 이용, 홍수피해방지, 수질관리 등 국가 수자원관리의 기초자료로 활용

1.2 법적근거

ㅇ 하천·댐·지하수 등 특정 시설·공간 위주로 시행되고 있는 수자원의 조사, 수자원계획의 수립·집행 및 수자원 관리 효율화 업무를 전 국토 공간에 대하여 체계적·통합적으로 시행하도록 함으로써 수자원을 과학적으로 관리하고 홍수·가뭄 등 물 관련 재해로부터 안전한 국민 생활환경을 조성하고,

- 수문조사 자료를 안정적으로 생산·제공하기 위해 수문조사 전담 기관을 지정·운영하도록 「수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률」(이하 「수자원법」)이 제정(2017.1.17.)·시행(2017.7.18.)됨

ㅇ 「수자원법」 제9조(수문조사의 실시)에 따라

- 수자원의 조사, 수자원에 관한 계획 수립, 하천의 유지, 하천시설의 설치 및 각종 구조물 설계, 하천 주변지역의 이용 및 관리, 홍수 및 갈수 예보, 그 밖에 수자원관리에 필요한 사항 등을 위하여 수문조사 실시

2. 증발산량조사

2.1 개요

○ **(목적)** 신뢰성 있는 증발산량을 조사하고 이를 통한 물의 손실을 정량화하여, 효율적인 국가의 수자원 계획 수립 및 물 순환 과정의 규명 등에 필요한 기초자료 제공

○ **(정의)** 수표면, 토양면, 식물의 엽면을 통해 대기 중으로 방출되는 증발량과 증산량의 합인 증발산량을 조사하고 분석하는 것

○ **(사업근거)** 「수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률」 제9조, 환경부고시 제2020-200호 「수문조사 전담기관의 지정 및 운영에 관한 규정」

○ **(사업범위)** 한강 수계 증발산량관측소 2개소

○ **(필요성)** 물 순환과 강우-유출모형의 검증과 개발, 수자원 계획 및 개발, 작물의 소비수량 산정, 수자원의 손실량 산정 등에 이용되는 기본 자료

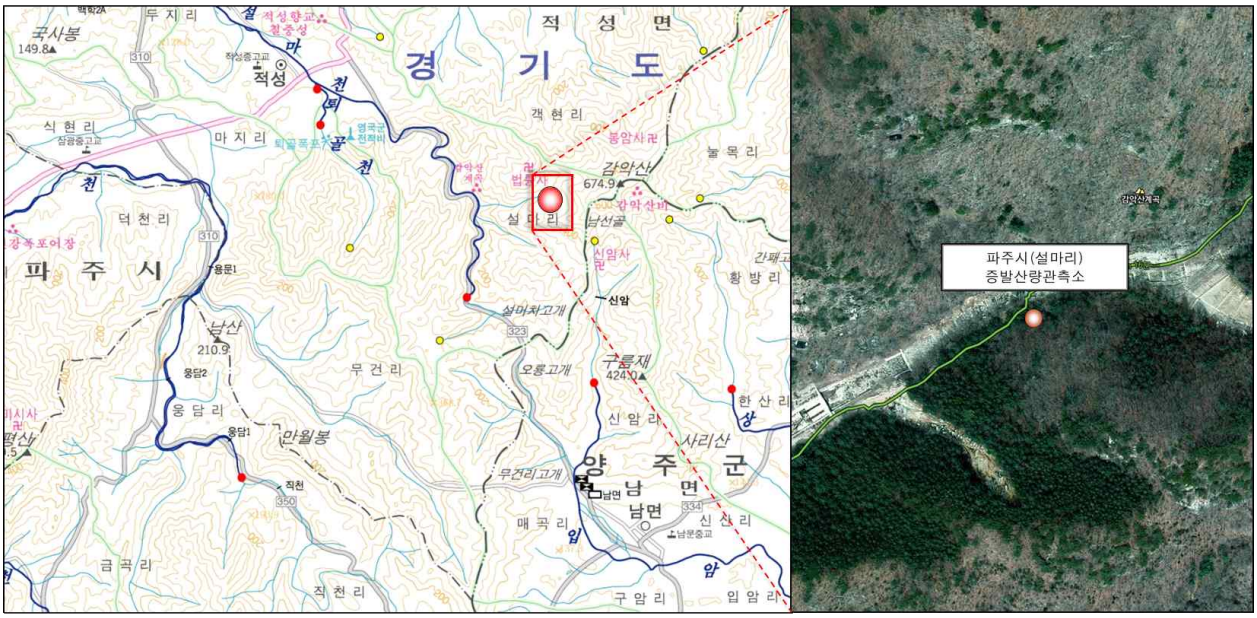
2.2 사업내용

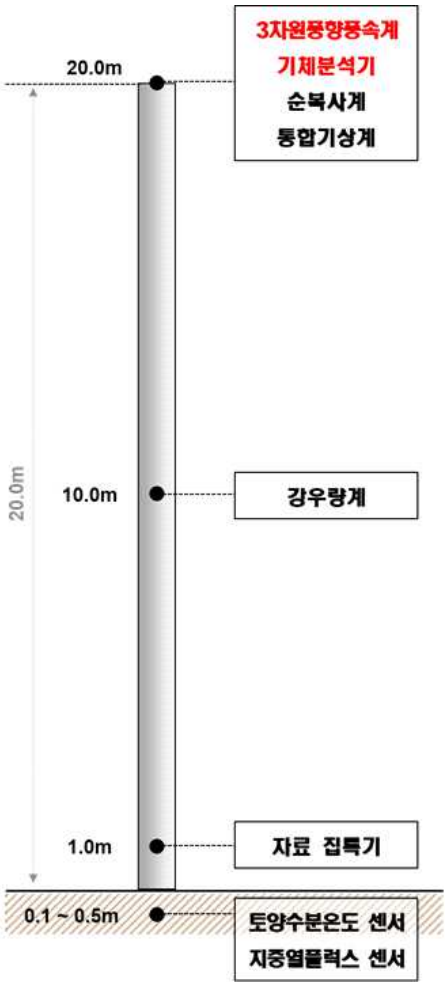
○ 유역별 관측소 운영현황

구 분	'23년					'22년	증감	비고
	한강	낙동강	금강	영산강	계			
증발산량 관측소	2	-	-	-	2	2	-	

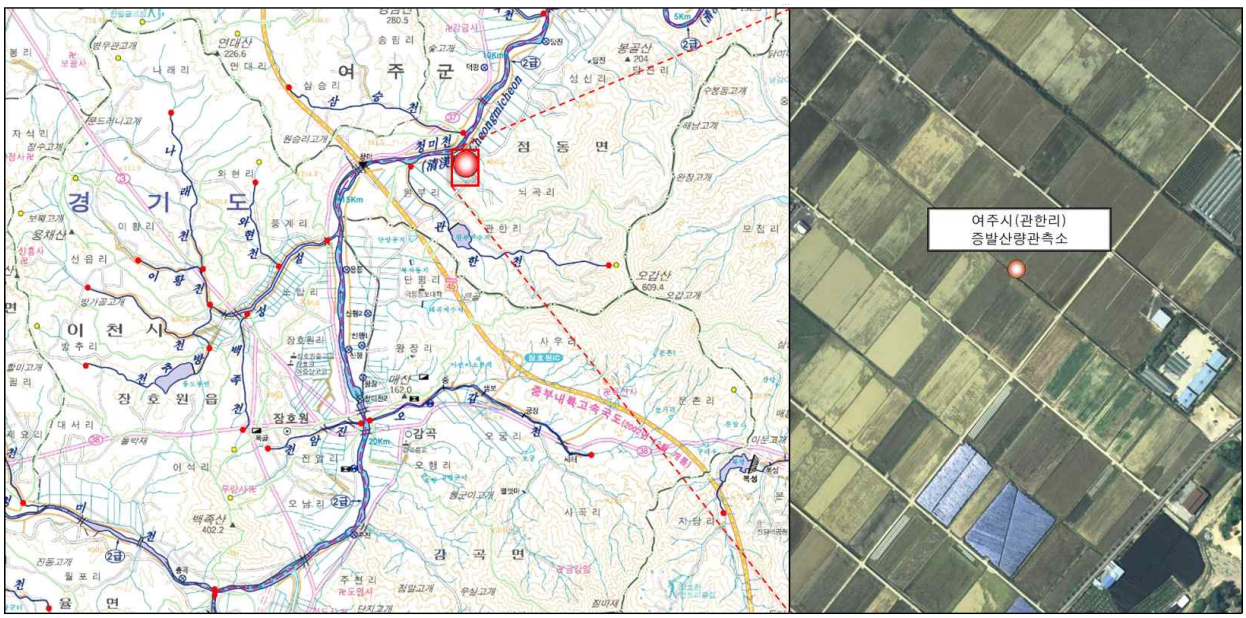
○ 대상 관측소

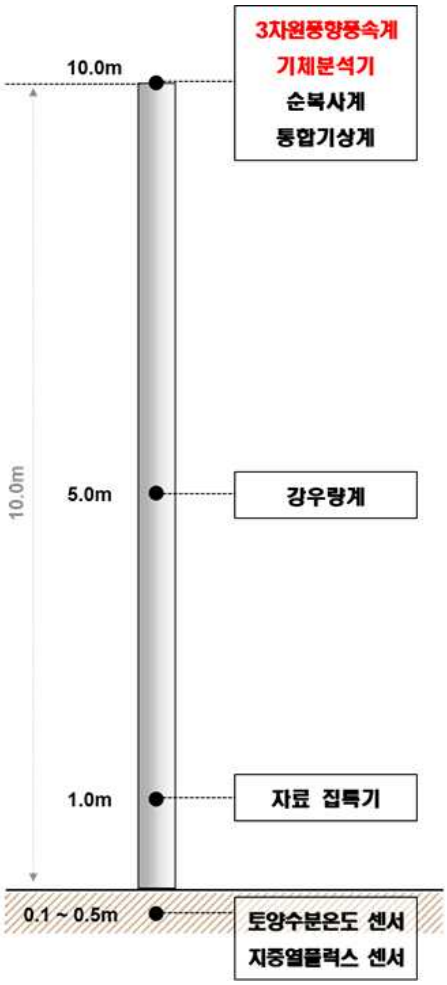
관측소코드	관측소명	수계명	하천명	관측소 위치	관측항목
1023801	파주시 (설마리)	한강	설마천	경기도 파주시 적성면 설마리 산 21-1	증발산량 및 관련 미기상자료
1007801	여주시 (관한리)	한강	청미천	경기도 여주시 점동면 관한리	증발산량 및 관련 미기상자료





증발산량조사 지점 및 시스템 설치 모식도(파주시(설마리))





증발산량조사 지점 및 시스템 설치 모식도(여주시(관한리))

2.3 증발산량 관측 원리

○ **(플럭스 관측 원리)** 플럭스(flux)는 물질이 단위 시간당 단위 면적당 이동되는 양

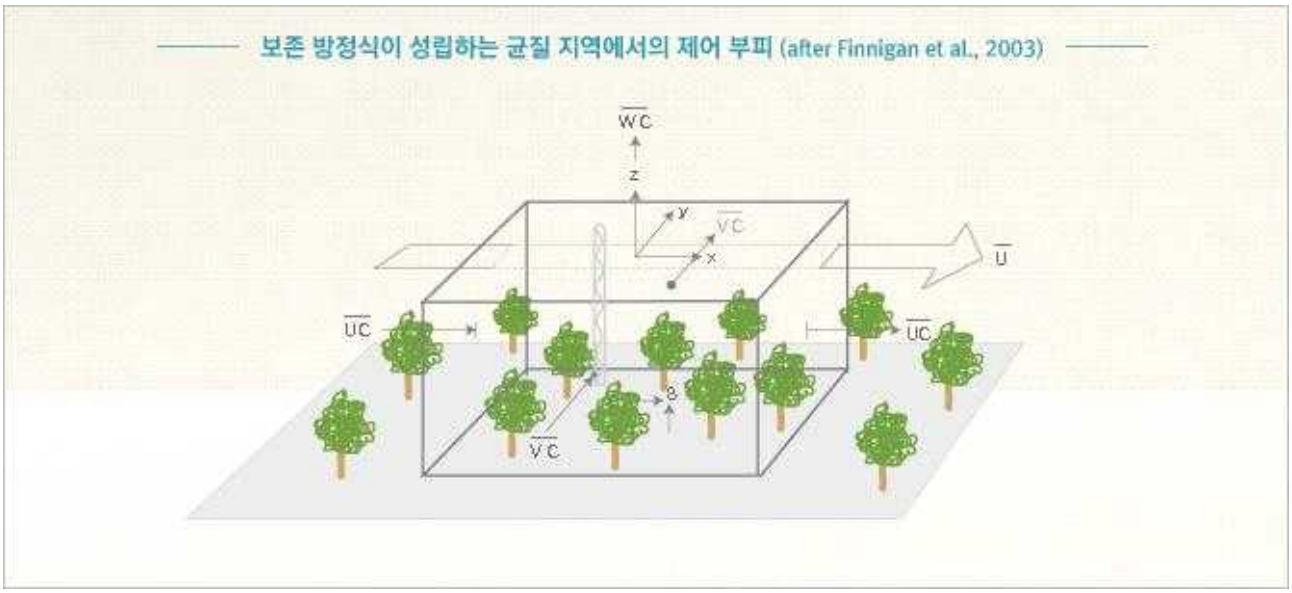
○ 기술원은 에디공분산 방법으로 측정

- 에디공분산 방법 : 난류의 연직 플럭스와 수증기 농도를 측정하여 보존방정식에 근거하여 증발산량 계산

$$NEE_{H_2O} = \underbrace{\int_0^h \left[\frac{\partial \overline{c}}{\partial t}\right] dz}_{\mathrm{I}} + \underbrace{\left(\overline{w'c'}\right)_h}_{\mathrm{II}} + \underbrace{\int_0^h \overline{w}(z)\frac{\partial \overline{c}}{\partial z} dz}_{\mathrm{III}} + \underbrace{\int_0^h \overline{u}(z)\frac{\partial \overline{c}}{\partial x} dz}_{\mathrm{IV}}$$

여기서, NEE_{H2O}는 증발산(또는 수증기 플럭스, 즉 단위 시간당 단위 면적당 관측 높이 하부의 식생 군락이 대기와 교환한 순 수증기량), c는 수증기 농도, u와 w는 유선 속도와 연직 속도, h는 관측 높이, -는 시간 평균, ′는 평균으로부터의 변동분

(I)항은 저류항으로 관측 높이 아래에 저장된 수증기양 (II)항은 에디 공분산항으로 연직 풍속과 수증기 농도의 공분산으로 계산되는 난류 수증기 플럭스를 나타냄 (III)항과 (IV)항은 각각 연직 이류항과 수평 이류항으로 연직 혹은 수평적으로 발생하는 수증기 농도 차가 연직 혹은 수평적으로 이류되는 수증기 양을 나타냄



2.4 증발산량 관측 시스템

ㅇ 파주시(설마리) 관측소 측정장비

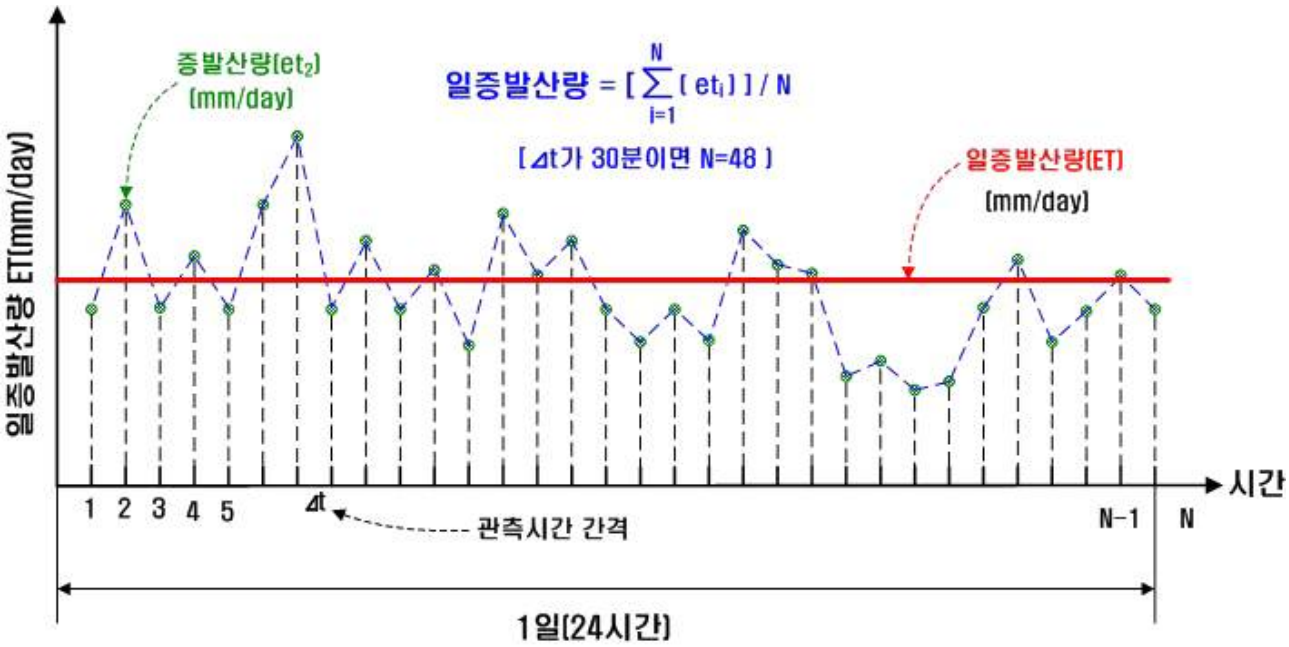
측정기기	모델명	관측높이(m)	관측 목록
3차원 풍향풍속계	CSAT3	20.0	3차원 풍향풍속
기체분석기 (폐회로)	EC-155	20.0	H2O, CO2
순복사계	CNR4	20.0	단파, 장파 복사량
강우설량계	WDSA-200	10.0	강우량 강설량
통합기상계	WS600	20.0	온도, 습도, 풍향속, 기압
토양수분 온도센서	CS655	0.1 × 3ea 0.3 × 3ea 0.5 × 3ea	토양 온도수분
지중열 플럭스센서	HFP01	0.1 × 3ea	지중열
자료집록기	CR6 CR1000X	1.0	관측자료 처리

ㅇ 여주시(관한리) 관측소 측정장비

측정기기	모델명	관측높이(m)	관측 목록
3차원 풍향풍속계	CSAT3	10.0	3차원 풍향풍속
기체분석기 (폐회로)	EC-155	10.0	H2O, CO2
순복사계	CNR4	10.0	단파, 장파 복사량
강우량계	ZRS-200P	5.0	강우량 강설량
통합기상계	WXT520	2.0	온도, 습도, 풍향속, 기압
토양수분 온도센서	CS655	0.1 × 3ea 0.3 × 3ea 0.5 × 3ea	토양 온도수분
지중열 플럭스센서	HFP01	0.1 × 3ea	지중열
자료집록기	CR3000, CR1000	1.0	관측자료 처리

2.5 증발산량 자료 생산

○ 에디공분산 시스템에서 30분 간격으로 자료를 관측하였다면 일증발산량은 30분 간격의 증발산량 자료 총 48개를 더해서 자료수(48개)로 나누어 주면 산정



단위(㎜)

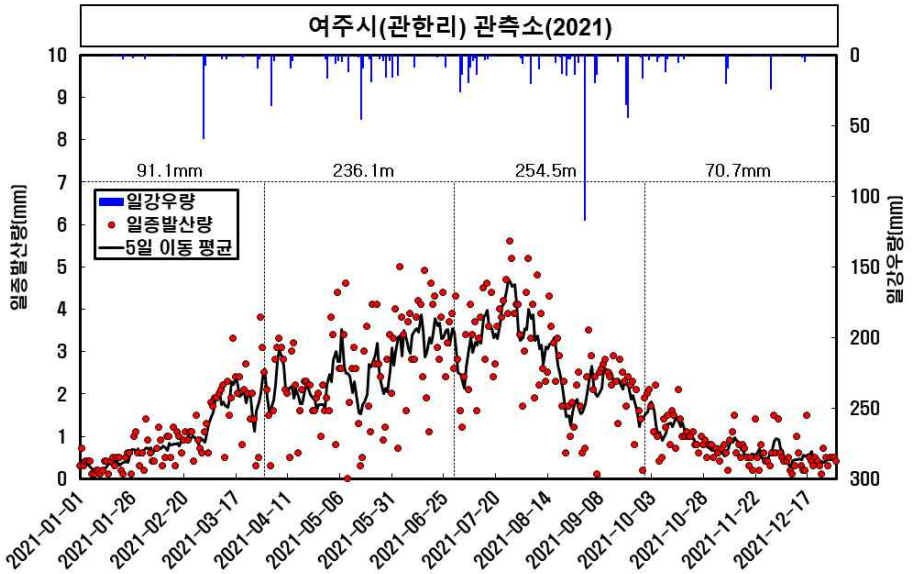
일 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1	0.3	0.2	1.1	1.5	3.8	4.0	2.8	1.7	2.4	2.1	0.5	0.6
2	0.7	1.4	1.3	0.3	3.4	0.7	1.6	3.0	3.5	1.7	0.7	1.4
3	0.3	0.9	0.6	1.6	0.8	5.0	1.2	4.4	2.9	1.1	0.6	0.6
4	0.4	0.6	1.8	2.8	4.4	3.8	2.4	5.2	2.1	2.2	0.4	0.5
5	0.4	0.4	1.7	3.1	2.6	3.4	3.4	3.3	2.4	1.0	0.7	0.4
6	0.4	0.4	1.9	3.3	2.6	1.6	2.1	4.1	0.1	0.4	0.8	0.4
7	0.1	0.7	1.9	3.1	3.4	3.7	4.1	1.9	2.5	0.5	0.6	0.5
8	0.1	1.2	2.0	2.8	4.6	3.9	3.4	4.8	2.6	1.4	0.2	0.2
9	0.2	0.9	2.1	2.1	0.0	2.8	3.7	2.2	2.7	1.2	0.9	0.1
10	0.2	0.3	2.2	2.0	1.8	2.8	1.6	3.9	2.8	1.5	1.1	0.3
11	0.1	0.5	0.5	0.5	2.6	3.8	3.3	2.6	2.5	0.8	1.5	1.0
12	0.2	1.0	2.3	3.0	3.1	4.2	3.8	2.3	2.4	1.6	0.6	0.6
13	0.4	1.0	1.5	3.2	2.6	4.1	4.5	2.5	2.2	1.5	0.8	0.3
14	0.4	0.5	1.9	2.2	1.3	2.4	2.8	4.3	2.9	0.7	0.5	0.2
15	0.1	1.2	3.3	0.6	0.3	4.9	4.6	3.6	2.3	2.1	0.8	0.2
16	0.4	0.3	2.4	1.6	0.5	1.9	3.6	3.2	1.3	1.4	0.7	1.5
17	0.5	1.1	2.0	2.1	3.0	1.1	4.4	2.3	2.8	1.0	0.5	0.5
18	0.3	1.0	2.4	2.3	3.6	4.6	2.4	3.3	2.5	1.0	0.3	0.4
19	0.5	0.6	0.8	2.3	1.7	4.1	2.7	2.9	2.3	1.1	0.5	0.3
20	0.5	0.9	2.1	2.2	1.1	4.3	3.6	1.7	1.7	1.0	0.2	0.5
21	0.2	1.1	2.7	2.2	4.1	3.1	4.0	2.3	2.4	1.0	1.4	0.4
22	0.1	0.9	2.0	1.6	2.7	2.8	3.8	0.6	2.2	1.1	0.5	0.3
23	0.5	1.1	1.4	1.6	4.1	3.8	4.2	1.7	2.3	0.8	0.2	0.1
24	0.6	1.1	2.0	1.9	2.7	4.4	4.7	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
25	0.6	0.4	1.4	2.0	2.4	2.4	3.9	1.8	2.1	0.6	0.6	0.5
26	0.1	1.5	0.3	1.0	0.9	3.2	5.6	1.2	1.6	1.0	0.4	0.3
27	1.0	0.9	0.5	2.2	1.2	3.7	5.2	2.2	1.4	0.8	0.4	0.5
28	1.1	0.7	3.8	1.6	2.8	3.9	3.9	2.5	0.2	0.9	0.3	0.5
29	0.6	0.6	3.1	1.9	3.4	2.6	4.1	1.7	1.9	0.5	0.6	0.5
30	0.3		2.5	1.6	2.0	4.3	4.1	0.6	2.0	0.8	1.5	0.4
31	0.6		2.1		3.3		3.4	0.7		0.8		0.0
월최대	1.1	1.5	3.8	3.3	4.6	5.0	5.6	5.2	3.5	2.2	1.5	1.5
월최저	0.1	0.2	0.3	0.3	0.0	0.7	1.2	0.6	0.1	0.4	0.2	0.1
월평균	0.4	0.8	1.8	2.0	2.4	3.3	3.5	2.7	2.1	1.1	0.6	0.5
월증발산량	12.2	22.8	56.1	60.7	75.1	100.3	109.8	82.2	62.5	35.6	18.9	16.2
연증발산량	652.4											

* 진한체는 모의값(Gap Filled Data)임

2.6 증발산량 자료 분석

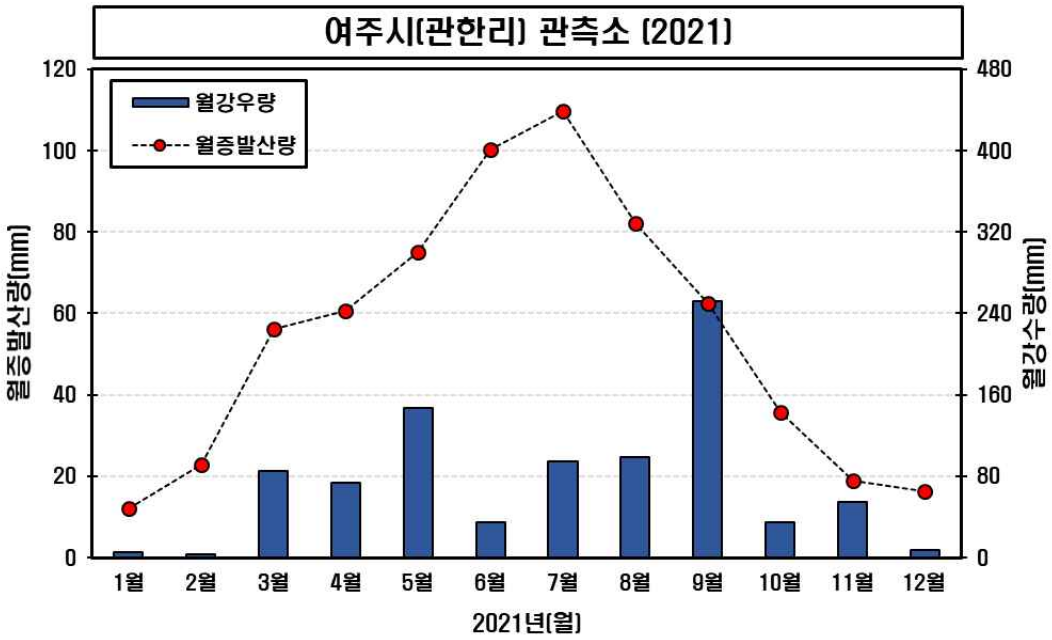
○ **(일증발산량)** 해당 년의 일증발산량 자료가 생산되면 통계량과 시계열의 특성을 파악해서 일증발산량의 변동성을 분석

일증발산량(㎜)					
여주시(관한리) 관측소	최대	최소	평균	표준편차	1년 누계
	5.6	0.0	1.8	1.3	652.4



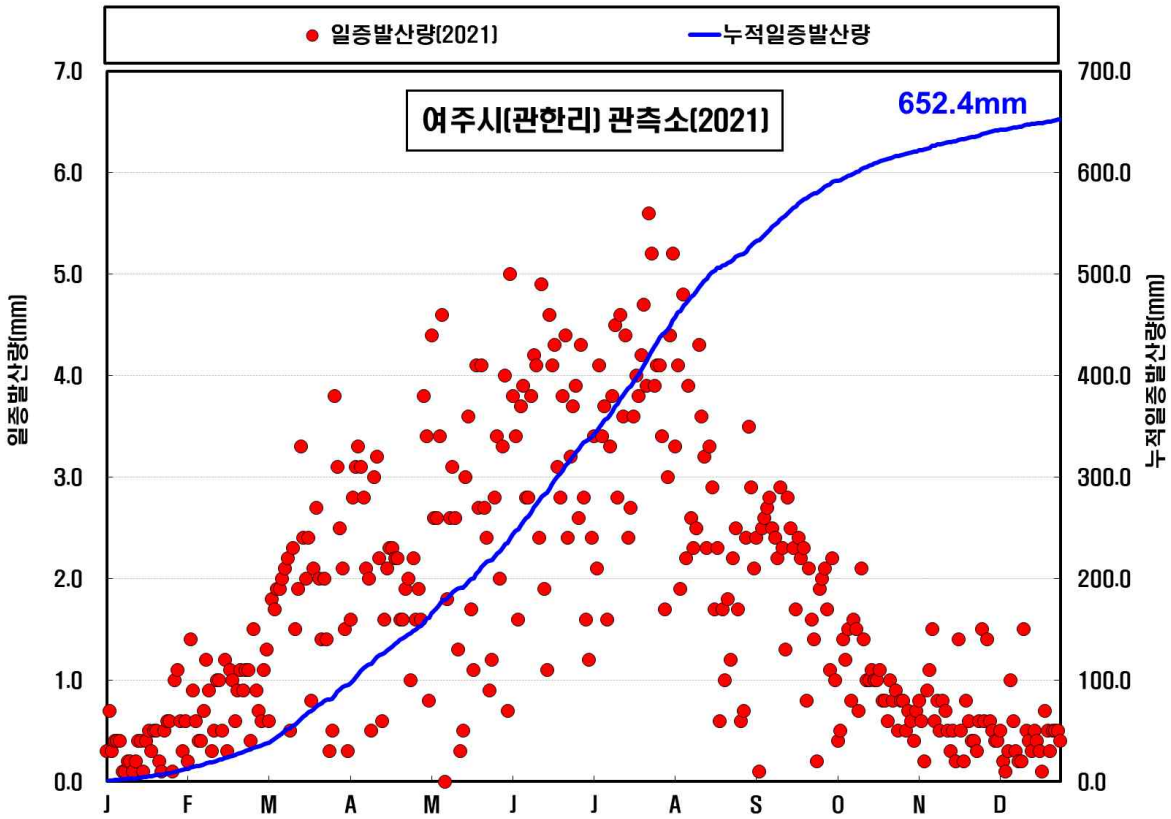
○ **(월증발산량)** 해당 년의 월증발산량 자료가 생산되면 해당 년의 월증발산량의 시간적 변동성을 분석

월	월증발산량 (㎜)	월강수량 (㎜)	월강수량 대비 증발산 비율(%)	월별 증발산 비율(%)
1월	12.2	5.5	221.8	1.9
2월	22.8	3.5	651.4	3.5
3월	56.1	85.5	65.6	8.6
4월	60.7	73.0	83.2	9.3
5월	75.1	147.5	50.9	11.5
6월	100.3	35.0	286.6	15.4
7월	109.8	95.0	115.6	16.8
8월	82.2	98.5	83.5	12.6
9월	62.5	251.5	24.9	9.6
10월	35.6	34.5	103.2	5.5
11월	18.9	54.5	34.7	2.9
12월	16.2	7.0	231.4	2.5
합계	652.4	891.0	73.2*	100.0
평균	54.4	74.3	162.7	8.3
최대	109.8	251.5	651.4	16.8
최소	12.2	3.5	24.9	1.9
표준편차	33.5	71.2	175.3	5.1



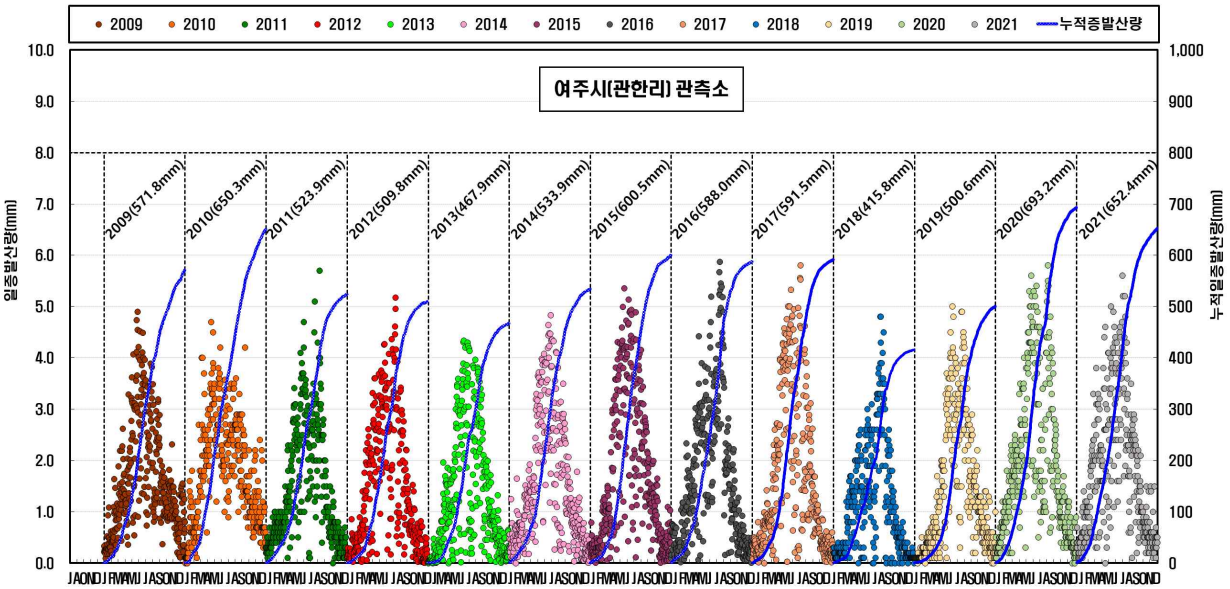
○ **(연증발산량)** 해당 년의 연증발산량 자료가 생산되면 연강수량 대비 증발산량 비율을 산정

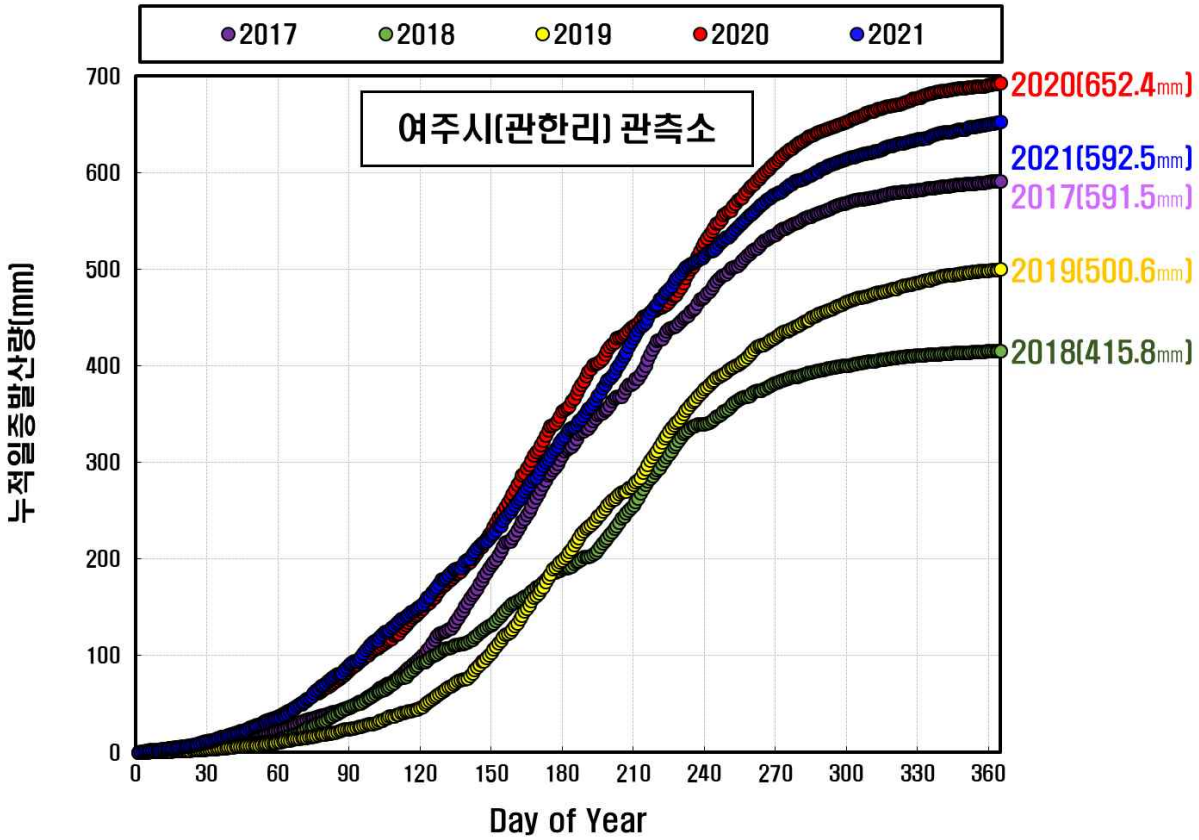
연도	연증발산량 (㎜)	연강수량 (㎜)	비율 (%)
2021	652.4	891.0	73.2

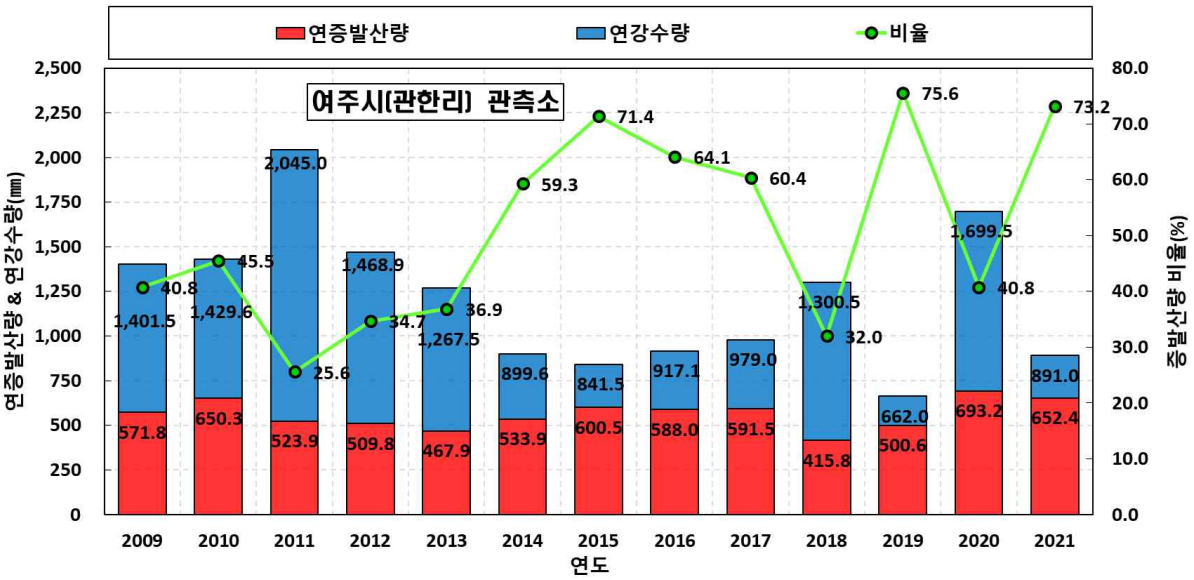


- (경년적 변화 특성 분석) 증발산량의 규모와 증발산 비율의 변동에 주안점을 두고 분석

연도	연증발산량(㎜)	연강수량(㎜)	비율(%)
2009년	571.8	1,401.5	40.8
2010년	650.6	1,429.6	45.5
2011년	523.9	2,045.0	25.6
2012년	509.8	1,468.9	34.7
2013년	467.9	1,267.5	36.9
2014년	533.9	899.6	59.3
2015년	600.5	841.5	71.4
2016년	588.0	917.1	64.1
2017년	591.5	979.0	60.4
2018년	415.8	1,300.5	32.0
2019년	500.6	662.0	75.6
2020년	693.2	1,699.5	40.8
2021년	652.4	891.0	73.2
평균	554.0	1,242.6	48.9
최대	693.2	2,045.0	75.6
최소	415.8	662.0	25.6
표준편차	77.7	399.9	16.5




2017
2018
2019
2020
2021
여주시(관한리) 관측소
2020(652.4㎜)
2021(592.5㎜)
2017(591.5㎜)
2019(500.6㎜)
2018(415.8㎜)
누적일증발산량(mm)
Day of Year


연증발산량
연강수량
비율
여주시(관한리) 관측소
연증발산량 & 연강수량(㎜)
증발산량 비율(%)
연도
2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021
1,401.5 1,429.6 2,045.0 1,468.9 1,267.5 899.6 841.5 917.1 979.0 1,300.5 662.0 1,699.5 891.0
571.8 650.3 523.9 509.8 467.9 533.9 600.5 588.0 591.5 415.8 500.6 693.2 652.4
40.8 45.5 25.6 34.7 36.9 59.3 71.4 64.1 60.4 32.0 75.6 40.8 73.2