

A Study on the performance Evaluation of the
Integrated Greening System in Goyang City
Building

고양시 건물 통합 녹화시스템 성능 평가 연구 I

임 지 열
오 나 경

A Study on the performance Evaluation of the Integrated Greening
System in Goyang City Building

고양시 건물 통합 녹화시스템 성능 평가 연구 I

연구책임자

임지열(고양시정연구원, 도시정책연구실, 부연구위원)

공동연구자

오나경(고양시정연구원, 도시정책연구실, 연구원)

발행일 2022년 10월 30일

저자 임지열, 오나경

발행인 정원호

발행처 고양시정연구원

주소 10393 경기도 고양시 일산동구 태극로 60 빛마루방송지원센터 11층

전화 031-8073-8341

홈페이지 www.gyri.re.kr

S N S <https://www.facebook.com/goyangre/>

I S B N 979-11-91726-73-2

이 보고서의 내용은 연구진의 개인적인 견해로서, 고양시정연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.
해당 보고서는 고양시서체를 사용하여 제작되었습니다.

목 차

요약	i
제1장 서론	01
제1절 연구 개요	03
제2절 연구 목표	06
제2장 옥상녹화 정책 및 현황	09
제1절 고양시 옥상녹화 정책 및 현황	11
제2절 국내 옥상녹화 정책 및 현황	20
제3절 해외 옥상녹화 정책 및 현황	27
제3장 연구 대상 시설, 방법 및 현황	33
제1절 연구 대상 시설 개요	35
제2절 연구 대상 시설 건물 통합녹화시스템 구축 상황	36
제3절 모니터링 방법(모니터링 항목 및 측정 지점)	39
제4장 건물 통합녹화시스템 분석 결과	43
제1절 일별 온도 비교	45
제2절 주간별 온도 비교	83
제3절 측정 위치에 따른 온도 비교	119
제4장 결론	121

참고문헌	125
부록	127
Abstract	229

표 목차

[표 1-1] 세부 연구 내용 및 연구 방법	6
[표 1-2] 성능 평가 항목	7
[표 2-1] 사유지의 녹화기준 및 녹화계획	13
[표 2-2] 세부 연구 내용 및 연구 방법	14
[표 2-3] 도시 소생태계 조성사업 개요	17
[표 2-4] 일산서구청 청사 옥상녹화 계획도	18
[표 2-5] 서울시 옥상녹화·텃밭 조성사업 추진 실적(2002~2019)	21
[표 2-6] 경기도 녹색건축 관련 조례 제정 현황	25
[표 2-7] 건축물 옥상녹화 권장 및 지원 조례 주요내용 (안양시 조례 기준)	26
[표 2-8] 옥상녹화 시스템 시장 규모	28
[표 4-1] 옥상포장 바닥면 표면층 온도	49
[표 4-2] 일반형 옥상녹화 표면층 온도	50
[표 4-3] 모듈형 옥상녹화 표면층 온도	51
[표 4-4] 모듈형 옥상녹화 표면층 온도	55
[표 4-5] 모듈형 옥상녹화 토양층 온도	56
[표 4-6] 모듈형 옥상녹화 수층 온도	57
[표 4-7] 일반형 옥상녹화 표면층 온도	61
[표 4-8] 일반형 옥상녹화 토양층 온도	62
[표 4-9] 옥상포장 바닥면 표면층 온도	67
[표 4-10] 일반형 옥상녹화 토양층 온도	68
[표 4-11] 모듈형 옥상녹화 수층 온도	69
[표 4-12] 옥상포장 바닥면 표면층 온도	74
[표 4-13] 일반형 옥상녹화 토양층 온도	75
[표 4-14] 모듈형 옥상녹화 수층 온도	76
[표 4-15] 측정기간 동안 외부 환경	84

그림 목차

[그림 1-1] 기후위기 대응을 위한 옥상 빗물저금통 활용 건물 통합녹화시스템 모식도	5
[그림 2-1] 고양시 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례	12
[그림 2-2] 고양지역자활센터 옥상정원 모식도	15
[그림 2-3] 고양지역자활센터 옥상정원	15
[그림 2-4] 일산수질복원센터 옥상공원	16
[그림 2-5] 서울시 서초구 대법원 옥상녹화	21
[그림 2-6] 서울시 옥상녹화 가이드라인	23
[그림 2-7] 서울시 옥상녹화 가이드라인	24
[그림 2-8] 목초지 지붕	27
[그림 2-9] 독일 옥상녹화 사례	28
[그림 2-10] 영국 옥상녹화 사례	29
[그림 2-11] 미국 시카고 그린루프	30
[그림 2-12] 싱가포르 옥상녹화 사례	31
[그림 2-13] 일본 옥상녹화 사례	32
[그림 3-1] 연구 대상 시설(토당청소년수련관 옥상)	35
[그림 3-2] 연구 대상 시설(토당청소년수련관 옥상)	36
[그림 3-3] 실험군 및 대조군 설치 모습	37
[그림 3-4] 실험군 및 대조군 단면도	39
[그림 3-5] 센서 설치 위치	40
[그림 3-6] 옥상녹화 모니터링 프로그램 화면 구성	42
[그림 4-1] 표면층 온도 비교 위치 설명	45
[그림 4-2] 표면층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)	46
[그림 4-3] 표면층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)	47
[그림 4-4] 모듈형 옥상녹화 온도 비교 위치 설명	48
[그림 4-5] 모듈형 옥상녹화 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)	49

[그림 4-6] 모듈형 옥상녹화 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)	50
[그림 4-7] 일반형 옥상녹화 온도 비교 위치 설명	51
[그림 4-8] 일반형 옥상녹화 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)	52
[그림 4-9] 일반형 옥상녹화 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)	53
[그림 4-10] 바닥층 온도 비교 위치 설명	54
[그림 4-11] 바닥층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)	55
[그림 4-12] 바닥층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)	56
[그림 4-13] 토양층 온도 비교 위치 설명	57
[그림 4-14] 토양층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)	58
[그림 4-15] 토양층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)	59
[그림 4-16] 옥상포장 바닥면 날짜별 표면층 온도	60
[그림 4-17] 일반형 옥상녹화 날짜별 표면층 온도	61
[그림 4-18] 일반형 옥상녹화 날짜별 토양층 온도	62
[그림 4-19] 모듈형 옥상녹화 날짜별 표면층 온도	63
[그림 4-20] 모듈형 옥상녹화 날짜별 토양층 온도	64
[그림 4-21] 모듈형 옥상녹화 날짜별 수층 온도	65
[그림 4-22] 9월 10일 ~ 16일 표면층 온도 비교	85
[그림 4-23] 9월 17일 ~ 23일 표면층 온도 비교	86
[그림 4-24] 9월 24일 ~ 30일 표면층 온도 비교	87
[그림 4-25] 10월 1일 ~ 7일 표면층 온도 비교	88
[그림 4-26] 10월 8일 ~ 14일 표면층 온도 비교	89
[그림 4-27] 10월 15일 ~ 19일 표면층 온도 비교	90
[그림 4-28] 모듈형 옥상녹화 온도 및 온도저감효과 분석	91
[그림 4-29] 9월 10일 ~ 16일 모듈형 옥상녹화 온도 비교	92
[그림 4-30] 9월 17일 ~ 23일 모듈형 옥상녹화 온도 비교	93
[그림 4-31] 9월 24일 ~ 30일 모듈형 옥상녹화 온도 비교	94

[그림 4-32] 10월 1일 ~ 7일 모듈형 옥상녹화 온도 비교	95
[그림 4-33] 10월 8일 ~ 14일 모듈형 옥상녹화 온도 비교	96
[그림 4-34] 10월 15일 ~ 19일 모듈형 옥상녹화 온도 비교	97
[그림 4-35] 일반형 옥상녹화 온도 및 온도저감효과 분석	98
[그림 4-36] 9월 10일 ~ 16일 일반형 옥상녹화 온도 비교	99
[그림 4-37] 9월 17일 ~ 23일 일반형 옥상녹화 온도 비교	100
[그림 4-38] 9월 24일 ~ 30일 일반형 옥상녹화 온도 비	101
[그림 4-39] 10월 1일 ~ 7일 일반형 옥상녹화 온도 비교	102
[그림 4-40] 10월 8일 ~ 14일 일반형 옥상녹화 온도 비교	103
[그림 4-41] 10월 15일 ~ 19일 일반형 옥상녹화 온도 비교	104
[그림 4-42] 바닥층 온도 및 온도저감효과 분석	105
[그림 4-43] 9월 10일 ~ 16일 바닥층 온도 비교	106
[그림 4-44] 9월 17일 ~ 23일 바닥층 온도 비교	107
[그림 4-45] 9월 24일 ~ 30일 바닥층 온도 비교	108
[그림 4-46] 10월 1일 ~ 7일 바닥층 온도 비교	109
[그림 4-47] 10월 8일 ~ 14일 바닥층 온도 비교	110
[그림 4-48] 10월 15일 ~ 19일 바닥층 온도 비교	111
[그림 4-49] 토양층 온도 및 온도저감효과 분석	112
[그림 4-50] 9월 10일 ~ 16일 토양층 온도 비교	113
[그림 4-51] 9월 17일 ~ 23일 토양층 온도 비교	114
[그림 4-52] 9월 24일 ~ 30일 토양층 온도 비교	115
[그림 4-53] 10월 1일 ~ 7일 토양층 온도 비교	116
[그림 4-54] 10월 8일 ~ 14일 토양층 온도 비교	117
[그림 4-55] 10월 15일 ~ 19일 토양층 온도 비교	118
[그림 4-56] 옥상포장 바닥면 표면층 대비 온도 저감 효과 비율	120

요 약

1. 서론

□ 연구 개요

- 탄소 중립 달성을 위한 기초자치단체의 역할과 책임이 강조되고 있으며, 기초자치단체의 적극적인 탄소 중립 정책 추진 의지가 요구되고 있음
- 기존 건물의 경우, 현장 상황의 한계로 신규 건물 수준의 적극적인 제로에너지 건물을 위한 기술 도입이 어려운 상황임
 - 기존 건물을 대상으로 한 적극적인 에너지 자립 방안 도입이 요구됨
- 고양시는 ‘기후위기 대응을 위한 옥상 빗물저금통 활용 건물 통합녹화시스템’ 특허를 통해 건물의 에너지 소비 절감과 신재생 에너지 생산을 통한 에너지 자립화를 구현하고, 도시 개발로 발생한 도시 환경 문제에 대응할 계획임
 - 특허를 기반으로 고양시 내 시범 사업을 추진할 계획임

□ 연구 목표

- ‘기후위기 대응을 위한 옥상 빗물저금통 활용 건물 통합녹화시스템’ 시범 사업 시설의 효율성 평가, 개선 방안 제시, 향후 고양시 확대 적용 방안 제안
- 건물 통합녹화시스템과 관련된 정책과 사례 조사, 현장 측정 데이터 기반 데이터 분석 그리고 개선, 확산 방안 도출
 - 문헌 조사를 통한 옥상녹화 정책, 사례, 현황 조사
 - 현장 조사, 데이터 분석, 전문가 자문을 통한 현장 데이터 분석
 - 데이터 분석 특허를 기반으로 고양시 내 시범 사업을 추진할 계획임

2. 옥상녹화 정책과 현황

□ 고양시 옥상녹화 정책과 현황

- 공원녹지기본계획에서 수립한 도시녹화계획을 바탕으로 녹화가 필요한 중점녹화지구를 지정하여 녹화정비계획을 수립함
 - 「고양시 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례」 제정
- 고양시는 공공건축물 옥상에 녹지 공간을 조성해 무더위 쉼터로 활용하도록 공공시설 옥상녹화 사업 진행
 - 도시 소생태계 조성 사업에 선정되어 일산서구청 청사 옥상녹화 추진
- 빗물저금통을 활용한 옥상녹화 시스템을 적용하여 일산서구청 청사 옥상에 도시 소생태계를 조성하고, 주교6공원, 주교청소년자유공간, 주교1경로당 건물에 옥상 빗물저금통을 추가 설치해 본격적으로 옥상녹화 추진

□ 국내외 옥상녹화 정책과 현황

- 국내 옥상녹화 정책과 현황
 - 서울특별시: ‘옥상녹화 활성화 추진계획’ 수립
 - 경기도: 제2차 경기도 녹색건축물 조성계획 수립
- 해외 옥상녹화 정책과 현황
 - 독일: 1993년부터 모든 신축 건물을 대상으로 옥상녹화 설치 의무화
 - 영국: 런던에서 2017년 ‘세계 최초의 국립공원도시’ 정책 발표
 - 미국: 건물 옥상에 녹색 지붕을 입히는 그린루프 프로젝트 시행
 - 싱가포르: 국가 비전 하늘녹화에 따라 인센티브를 통해 옥상녹화 장려
 - 일본: 모든 신축 건축물 옥상면적 20% 녹화 의무화

3. 연구 대상 시설과 방법, 현황

□ 연구 대상 시설 개요

○ 토당청소년수련관 건물 옥상 태양광패널이 설치되어 있는 부근에 테스트베드 설치

– 토당청소년수련관: 고양시 덕양구 중앙로 633번길 25(토당동)

□ 연구 대상 시설 건물 통합녹화시스템 구축 상황

○ 토당청소년수련관 건물 옥상 테스트베드에 실험군과 대조군 설치

– 실험군: 식생, 흙, 공기, 수층으로 구성된 모듈형 박스

– 대조군: 식생과 흙으로만 구성된 일반형 옥상녹화 박스와 옥상 표면

□ 모니터링 방법(모니터링 항목 및 측정 지점)

○ 실험군과 대조군의 데이터 축적과 분석을 위한 온도센서 설치

– 대조군(모듈형 옥상녹화): 표면층, 토양층, 수층

– 실험군(일반형 옥상녹화): 표면층, 토양층

– 실험군(옥상포장 바닥면): 표면층

○ 옥상녹화 모니터링 프로그램을 통해 실시간으로 모니터링되며, 10분 간격으로 자동 저장

○ 일(24시간) 간격으로 축적된 데이터를 폴더에 자동 저장

4. 건물 통합녹화시스템 분석 결과

□ 일별 온도 비교

○ 표면층 온도 비교

– 최저기온이 섭씨 25도 이상인 열대야현상을 녹화를 통해 예방

○ 모듈형 옥상녹화 온도 비교

– 토양층에서 41~60%, 수층에서 42~65%의 온도 저감 효과 나타남

iv | 요약

○ 일반형 옥상녹화 온도 비교

- 48~68%의 온도 저감 효과 나타남

○ 바닥층 온도 비교

- 옥상 포장 바닥면과 일반형 옥상녹화의 토양층은 최대 63%의 온도 저감 효과 나타남

- 모듈형 옥상녹화의 수층은 최대 58%의 온도 저감 효과 나타남

○ 토양층 온도 비교

- 옥상 포장 바닥면과 일반형 옥상녹화의 토양층은 최대 63%의 온도 저감 효과 나타남

- 모듈형 옥상녹화의 토양층은 최대 41%의 온도 저감 효과 나타남

□ 주간별 온도 비교

- 일별로 측정된 데이터를 효과적으로 분석하기 위해 일주일(7일)을 분석 대상으로 선정함

- 전체 분석 기간의 날씨와 물 제공 일수를 나타내고 비교 분석함

5. 결론

- 녹화를 통해 밤 최저기온이 섭씨 25도 이상인 열대야현상의 예방 효과가 확인됨
- 녹지에 흡수되는 빗물이 잠열을 갖게 됨으로써 건물 온도를 낮추고, 도심의 열섬현상 완화 효과를 보임
- 같은 면적, 같은 높이로 시공 시 모듈형이 일반형보다 추가 하중에 따른 건물 안전성이 높을 것으로 판단됨

제 1 장 서론

제1절 연구 개요

제2절 연구 목표

제절 연구 개요

현재 기후변화는 전 지구적인 핵심 이슈로 기후변화로 오는 환경적 위기의 감축과 적응을 위해 도시와 경제, 사회 등 전 분야에서 혁신적인 변화의 필요성이 제시되고 있다. 이에 우리나라에서도 2050 탄소중립선언, 한국판 뉴딜 계획 발표, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제정 등 기후변화에 대응하기 위한 적극적인 정책을 수립해 추진하고 있다. 여기서 탄소중립 관련 정책 추진 구조도 과거 중앙정부 중심 구조에서 기초자치단체 중심 구조로 변화하고 있다는 점은 주목해야 할 부분이다. 정리하면 탄소중립 달성을 위한 기초자치단체의 역할과 책임이 강조되고 있으며, 기초자치단체의 적극적인 탄소중립 정책 추진 의지가 요구되고 있다고 해석할 수 있다. 고양시는 전 지구와 중앙정부의 탄소 중립에 적극적으로 동참하기 위해 2019년 ‘과리기후변화협약 준수를 위한 환경정책’을 수립하였고, 이후 자체적 이행 점검을 통해 추진 상황을 모니터링하고 평가를 수행하는 상황이다.

고양시와 같은 일반적인 도시에서 온실가스 배출 비중이 높은 분야는 건물과 교통이며, 대부분 에너지(화석에너지) 소비에 기인한 것으로 보고되고 있다. 그중 건물은 시민에게 주거와 상업, 문화 등 시민 생활과 밀접한 공간을 제공하는 도시 구성의 기본적인 시설물이다. 즉, 도시에서 건물 분야(특히 에너지 분야) 발생 온실가스 배출 감축은 도시의 탄소중립을 위해 반드시 필요하다고 할 수 있다. 일정 규모 이상 신규 건물의 경우(규모별 기준 상이), 에너지 소비 절감과 신재생 에너지 보급 등(제로에너지 건물, 에너지 자립 건물)이 의무적으로 적용되고 있다. 하지만 기존 건물의 경우, 현장 상황의 한계(주민 협조, 비용 부담, 안정성 등)에 따라 신규 건물 수준의 적극적인 제로에너지 건물화를 위한 기술 도입이 어려운 상황이다. 이와 같은 상황이 지속되어 신규 건물에서 일정 수준 이상의 에너지 자립률을 확보하게 되면, 기존 건물과 에너지 소비량의 격차가 증가할 것

이다. 이에 따라 기존 건물을 대상으로 한 적극적인 에너지 자립 방안의 도입이 요구된다.

기존 건물 대상의 에너지 자립 방안으로는 창호 교체, 노후 설비 교체, 균열 보강 등 다양한 방안이 제시되고 있으나, 최근에는 옥상 녹화에 관심이 높아지고 있다. 옥상 녹화는 식물과 토양의 자연적 기능 등을 활용하여 발생하는 온실가스를 저장하고, 태양 복사에너지 흡수와 반사율 증가 등 건물 내 기온 상승 영향 인자를 제한함으로써 최종적으로 건물 내외부 온도 감소 효과를 기대할 수 있다. 그리고 이 같은 건물의 온도 감소 효과는 에너지 사용량 절감과 시민 생활환경 개선 등 다양한 기후변화 대응 방안으로 활용될 수 있다. 또한 도심 녹지(생태) 공간 조성, 물순환 기여 등 다양한 도시 문제의 해법으로도 기여할 수 있다.

옥상녹화에 관심이 증가하는 상황에서 2021년 11월 고양시는 ‘기후위기 대응을 위한 옥상 빗물저금통 활용 건물 통합녹화시스템’ 특허출원(출원인: 경기도 고양시 / 출원번호: 10-2021-0151540 / 등록번호: 10-2386824)을 완료하였으며, 2022년 4월 특허등록이 결정되었다. 이 특허의 목적은 건물의 에너지 소비 절감과 신재생 에너지 생산을 통한 에너지 자립화를 구현하고, 도시 개발에 따라 발생하는 도시 환경 문제(물순환, 열섬, 열대야, 온실가스 배출)에 대응할 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해 건물 내 옥상 녹화를 기반으로 옥상 빗물저금통, 물리·화학적 수처리(DAF: Dissolved Air Flotation, 용존 공기 부상분리법) 설비, 태양광 설비, 중력 침전식 저류조, 물순환 시설(LID), 도로 열섬 저감 설비 등을 포함하고 있다. [그림 1-1]에서는 이 특허의 모식도를 보여준다.

[그림 1-1] 기후위기 대응을 위한 옥상 빗물저금통 활용 건물 통합녹화시스템 모식도



2022년 고양시 환경정책과는 [그림 1-1]의 특허를 기반으로 고양시 내 시범 사업을 추진할 계획이며, 이를 위해 예산 1억 원을 책정하였다. 시범 사업에는 설계, 시공, 통합 관리용 APP 개발과 모니터링 시설(운영, 유지관리용) 등이 포함(예산과 안정성 등을 이유로 수소에너지 설비 제외)되어 있다. 하지만 시범 사업의 명확한 효율 평가를 위해서는 대조군(옥상 녹화 미설치 건물)과 시범 시설 지역의 추가 측정이 필요한 상황이다. 이에 본 연구에서는 데이터(온도와 사용자 만족도) 측정을 통해 건물 통합녹화시스템 시범 시설의 공학적이며 정량적인 효율을 평가하고자 한다. 확보된 결과는 추후 고양시가 확보한 건물 통합녹화시스템의 성능 자료와 녹색 건물 보급 기초 자료 등 건물 분야 탄소중립을 위한 다양한 사업의 핵심 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 이를 통해 고양시 내 건물 부문 탄소중립 활성화에 기여할 수 있다.

제2절 연구 목표

본 연구의 목적은 ‘기후위기 대응을 위한 옥상 빗물저금통 활용 건물 통합녹화시스템(이하 ‘건물 통합녹화시스템’)’ 시범 사업 시설의 효율성 평가, 개선 방안 제시, 향후 고양시 확대 적용 방안을 제안하는 것이다.

본 연구의 핵심 연구 내용은 건물 통합녹화시스템과 관련된 정책과 사례 조사, 현장 측정 데이터 기반 데이터 분석 그리고 개선 방안과 확산 방안 도출이며, 세부 연구 내용과 연구 방법은 아래 [표 1-1]에 정리하였다.

[표 1-1] 세부 연구 내용 및 연구 방법

연구 내용	연구 방법
국내외 옥상녹화 정책 조사	문헌 조사
국내외 옥상녹화 사례 조사	문헌 조사
국내외 옥상녹화 연구 동향 조사	문헌 조사
고양시 옥상녹화 정책 조사	문헌 조사
고양시 옥상녹화 현황 조사	문헌 조사
현장 데이터 분석 : 온도, 사용자 만족도	<ul style="list-style-type: none"> - 현장 조사(데이터 측정) : 시범 시설 및 대조군 측정 : 이용자 인터뷰(또는 설문조사) - 데이터 분석 - 전문가 자문
성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 데이터 분석과 전문가 자문

[표 1-2] 성능 평가 항목

항목	분석 내용	분석 방법	비고
온도	건물 온도 저감 효율 분석	시범 사업 및 대조군 건물 온도 측정 결과 분석을 통한 온도 저감 효과 분석	2022년
전력소비량	건물 전력소비량 측정	시범 사업 및 대조군 건물 전력 소비량 측정 결과 분석을 통한 건물 전력소비량 측정(냉방 사용량 집중) *가능할 경우 냉방시설 개별적 전력소비량 측정	
전력생산량	건물 전력생산량 측정	태양광 에너지 시설 구축을 통한 건물 내 신재생 에너지 생산량 측정	
에너지 자립률	건물 전력소비량 / 전력생산량	측정된 건물 전력 생산량과소비량 자료를 기반으로 건물 에너지 자립률 분석	
미세먼지 저감 효율	건물 미세먼지 농도 측정	옥상 및 건물 주변 미세먼지 농도 측정 분석	
물순환 개선 효과	빗물 유출 저감 및 저장 효과 분석	건물 옥상 녹화 및 물순환 설비에 따른 빗물 유출 저감 및 침투유량 저감 효과 분석	
탄소 저감량(전력)	전력 부문 탄소 저감량 분석	전력 소비량과 생산량을 기반으로 탄소 저감량 분석	
탄소 저감량(흡수원)	흡수원 부문 탄소 저감량 분석	조성 식생에 따른 탄소 저감량 분석(원단위 기반 분석 또는 탄소 흡수원 실측 자료 기반 분석)	
사용자 만족도	시범 시설 사용자 만족도 조사	건물 통합녹화시스템 적용된 시설의 실제 사용자 대상으로 만족도 조사	

제 2 장

옥상녹화 정책 및 현황

제1절 고양시 옥상녹화 정책 및 현황

제2절 국내외 옥상녹화 정책 및 현황

제1절 고양시 옥상녹화 정책 및 현황

고양시는 「고양시 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례」를 제정하여 도시지역 내 기존의 녹지를 보전하고 녹지가 부족한 공간에 녹지를 창출하여 인간이 자연과 더불어 살아갈 수 있는 건강하고 쾌적한 도시 환경을 조성하고자 한다.

공원녹지기본계획에서 수립한 도시녹화계획을 바탕으로 녹화가 필요한 중점녹화지구를 지정하여 녹화정비계획을 수립한다. 중점녹화지구의 지정은 공원녹지기본계획을 통하여 도시의 전반적인 녹지배치계획과 연계하여 녹지네트워크 형성 계획과 상호 연결 되도록 한다. 제6조(도시녹화정비계획의 수립 방법 및 절차) 3항에서는 중점녹화지구를 대상으로 한 녹화정비계획은 현황 파악을 기초로 중점적으로 녹화가 필요한 장소, 녹화가 가능한 장소 등을 유형별로 분류하고, 녹화추진계획 작성을 위한 중점녹화지구의 녹화과제를 도출하도록 하고 있으며, 공원 등의 시설녹지 공간, 나대지, 마을 공터, 철도변, 하천변, 둔치, 도로, 공공건물의 벽면과 옥상 등 녹화가 가능한 공간을 추출하도록 되어 있다.

[그림 2-1] 고양시 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례

<p style="text-align: center;">고양시 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례</p> <p style="text-align: center;">[시행 2016. 7. 5.] [광기도고양시조례 제178호, 2016. 7. 5., 일부개정]</p> <p>□ 제6조(도시녹화정비계획의 수립 방법 및 절차) 도시녹화정비계획은 다음 각 호의 방법 및 순서에 따라 수립한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 중점녹화지구가 지정되면 녹화정비계획의 방향을 설정한다. <ol style="list-style-type: none"> 가. 중점녹화지구에 대한 녹화정비계획의 기본방향은 기존의 녹지를 보전하고 녹지가 부족한 공간에 녹지를 창출하며 단절된 생태계의 연결 등을 고려하여 계획한다. 나. 인간과 자연이 더불어 살아가 수 있는 건강하고 풍요로운 환경을 배려하여 계획하는 방향으로 수립한다. 2. 녹화정비계획을 수립할 때에는 중점녹화지구의 녹지에 대한 현황파악이 충분히 이루어져야 하며, 다음의 사항을 파악하여야 한다. <ol style="list-style-type: none"> 가. 토지이용상황 나. 도시녹화물(생태면적 등) 다. 공공의시설 및 사유지(주택, 상업업무지, 공장 등)의 녹화상황과 녹화 가능한 공간 등의 파악 라. 도로 및 하천의 녹화상황과 녹화 가능한 공간 등의 파악 마. 주민이나 기업 등의 녹화활동에 대한 참가의향 파악 3. 중점녹화지구를 대상으로 한 녹화정비계획은 현황파악을 기초로 종합적으로 녹화가 필요한 장소, 녹화가 가능한 장소 등을 유형별로 분류하고, 녹화 및 녹화추진계획 작성을 위한 중점녹화지구의 녹화과제를 도출한다. <ol style="list-style-type: none"> 가. 공원 등의 시설녹지 공간, 내대지, 마을의 공터, 철도변, 하천변, 하천부지, 도로, 공공건물의 벽면 및 옥상 등 녹화 가능한 공간을 추출한다. 나. 지정된 중점녹화지구에 대하여는 녹화상황 등 현황을 파악하여 녹화과제를 도출한다. 4. 녹화과제 추출을 바탕으로 해당 중점녹화지구의 여건에 적합한 주제를 따라 미래상을 설정하고 구체적이고 실천 가능한 방향(목표, 목표기간 등)을 제시한다. <ol style="list-style-type: none"> 가. 유형별로 녹지로 확보해야 할 구역을 구체화하는 도면을 작성하여 녹화 및 배치계획을 수립한다. 5. 녹화공간을 대상으로 설계로 루시도나 조감도, 스케치 등을 그려 이해하기 쉽게 작성한다. <ol style="list-style-type: none"> 가. 녹화공간을 대상으로 계획 전후의 모습을 시각적 이미지로 표현하여 조성효과를 파악한다. 6. 녹화계획의 효율성을 높이기 위하여는 민간의 다양한 참여가 가능하도록 녹화프로그램의 도입 및 녹화계약을 체결하고, 민간기업, 행정 등의 각 주체를 역할과 범위를 구체화하여 실질적인 녹화추진이 이루어지도록 한다. 	
---	--

[표 2-1] 사유지의 녹화기준 및 녹화계획

[별표 2]

사유지의 녹화기준 및 녹화계획

⋮

2. 사유지 유형별 녹화기준

가. 공업지 녹화

- (1) 도시경관 개선의 측면에서 이전이 어려운 공장지를 녹화하고 아울러 공장 주변부에 완충녹지대를 조성함으로써 도시 환경의 쾌적성을 높이고 오염 발생 시설 이미지를 완화하는 효과를 거둘 수 있도록 한다.

나. 상업업무지 녹화

- (1) 유동인구가 많은 상업지역 및 대형건물은 도시의 중심부에 주로 위치하여 도시의 이미지를 형성하는 중요한 요소이므로 상업지를 녹화하여 녹지공간을 확보하고 도시 이미지를 개선한다.
- (2) 건축물 옥상녹화: 녹지 확보가 어려운 도심부의 건축물 옥상을 녹화함으로써 도시경관을 개선함은 물론이고 자연과 쉽게 접할 수 없는 도시민에게 휴식 공간을 제공하며, 도시녹지 공간을 확충할 수 있다.
- (3) 대형건물 진입부 주변 녹화: 공공기관과 관공서의 전면부는 기관의 이미지를 나타내는 곳이고, 상업 및 업무 지역의 출입 공간은 많은 사람이 왕래하는 곳으로, 이 같은 대형건물의 진입부와 주변 공간을 녹화하는 것은 도시의 녹화 측면뿐만 아니라 쾌적한 도시 이미지를 제고할 수 있다.
- (4) 신축 건물의 공개공지 확보와 녹화: 신축 건물의 경우 일정 면적 이상을 공개공지로 제공하면 용적률 등을 완화하는 제도를 통하여 도심의 오픈스페이스를 다각도로 확보하고 이를 녹화함으로써 시민에게 휴식 공간을 제공하고 도시경관의 개선과 쾌적성 향상을 도모한다.

[표 2-2] 세부 연구 내용 및 연구 방법

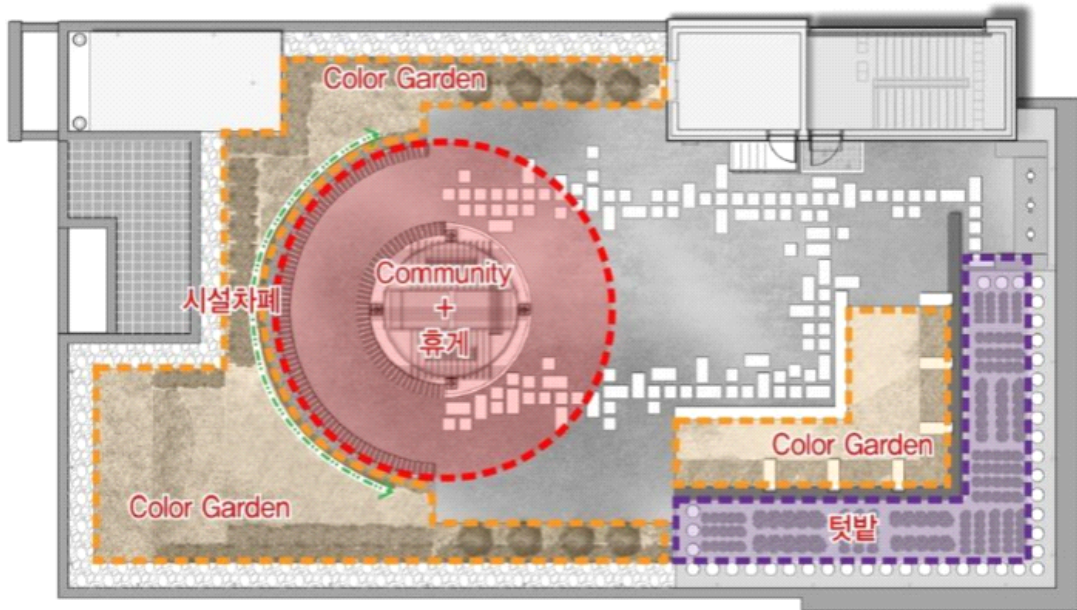
[2021년 12월 말 기준]

건물명	조성 연도	소재지	면적(m ²)	조성 내역
화정도서관	2004	경기도 고양시 덕양구 은빛로 77번길 8	442	홍단풍 등 40종 8,256본 식재
백석도서관	2004	경기도 고양시 일산동구 일산로 118	437	홍단풍 등 35종 6,108본 식재
고양경찰서	2015	경기도 고양시 덕양구 화중로 12	97	화살나무 등 8종 3,170본 식재
고양시청	2015	경기도 고양시 덕양구 고양시청로 10	66	감국 등 11종 2,156본 식재
관산동 행정복지센터	2021	경기도 고양시 덕양구 통일로 789	400	남천 등 5종 280본
고양자활센터	2021	경기도 고양시 일산서구 하이파크3로 75	350	에머탈드그린 등 15종 2,913본
계			1,792	

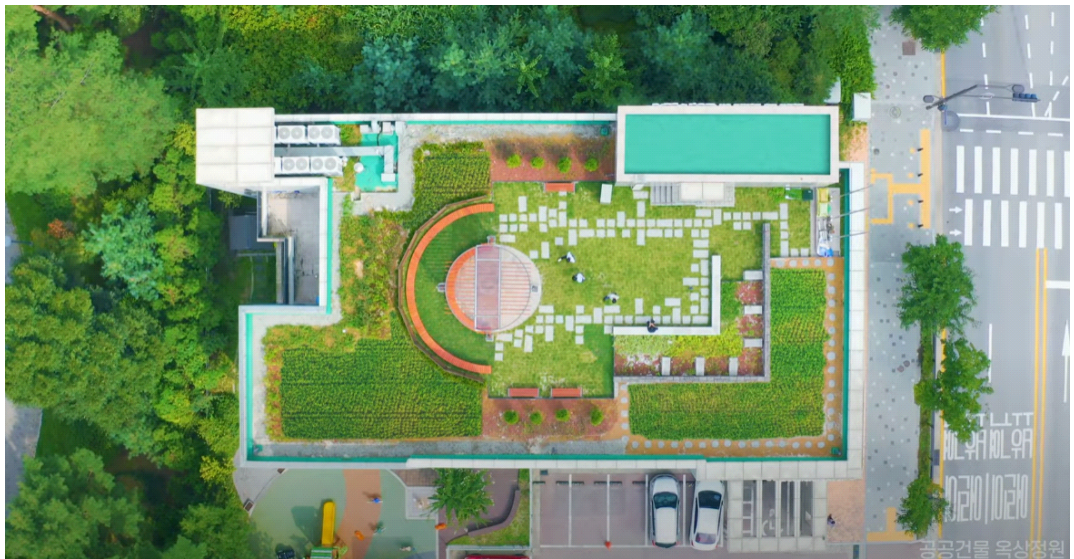
〈자료〉 고양시청 홈페이지

고양시는 공공시설의 옥상을 녹화해 주민 쉼터로 탈바꿈하여 기후위기 극복과 주민 친화 공간 제공을 동시에 이루고자 다양한 사업을 추진하고 있다. 고양시에서 진행 중인 공공시설 옥상녹화 사업은 공공건축물 옥상에 녹지 공간을 조성해 무더위 쉼터로 활용하도록 하는 사업이다. 이 사업의 추진으로 일산서구 덕이동에 위치한 고양지역자활센터 건물 옥상에 조성되어 있던 기존 옥상정원을 리모델링하였다. 사업 면적은 350m²이며, 옥상의 포장을 제거해 잔디를 심어 이를 통해 에너지 효율 상승 효과를 노렸으며, 기존 노후 시설물을 정비하고 파골라, 벤치 등 휴게 시설물을 설치하여 더 쾌적한 휴식공간으로 재탄생시켰다. 센터 1층에는 시립 어린이집, 2층에는 고양여성창업지원센터가 입주해 있어 센터 방문객을 위한 쉼터로서 활용도도 높을 것으로 보인다.

[그림 2-2] 고양지역자활센터 옥상정원 모식도



[그림 2-3] 고양지역자활센터 옥상정원



고양시는 옥상녹화를 통한 무더위 쉼터 조성 외에도 주민 친화 공간 마련을 위해 공시시설의 옥상 공원화를 추진하고 있다. 2020년 6월 일산서구 대화동 ‘일산수질복원센터 상부 공원화 조성사업’으로 센터 건물 옥상의 일부를 공원으로 조성했다. 이 사업은 방치된 옥상 공간을 활용한 수목 식재를 통해 주민 휴식 공간을 조성하도록 하는 사업이다. 일산수질복원센터의 주민 친화도와 시설 활용도를 높여 이미지 개선을 도모하고 있다. 옥상 공원화는 1만m² 규모의 옥상을 3개 구역으로 나눠 단계별로 시행 중이다. 그중 1구역이 2020년 6월 완공되었으며, 1구역 사업 면적은 전체 옥상 1만m² 중 4,600m²이다. 중앙에는 아이들이 뛰어놀기 좋은 원형 잔디밭이, 그 옆에는 생활체육이 가능한 다목적 운동공간이 마련됐다. 공원을 둘러싸는 순환산책로와 맨발 지압로가 있어 가볍게 걷기에도 좋으며, 곳곳에 휴식을 취할 수 있는 벤치와 정자도 설치되어 있다. 수목 식재를 통해 수질복원센터에서 발생하는 소음과 악취에 대비한 완충녹지 공간이 마련됐다는 데도 의미가 있다.

[그림 2-4] 일산수질복원센터 옥상공원



또한 고양시는 환경부 도시 소생태계 조성 사업에 선정되어 이를 통해 일산서구청 청사의 옥상녹화를 추진하고 있으며, 도시 내 생태계 연결다리를 놓아주는 역할을 도모하고 있다. 해당 사업에서 활용될 옥상녹화는 우수 유출수를 저류, 지연시킨 후 하수처리 시설로 배출하는 기술로 빗물 유출 저감 효과뿐만 아니라 도시 열섬현상 감소, 공기 정화, 온실가스 배출 감소 등에도 효과적이다.

[표 2-3] 도시 소생태계 조성사업 개요

건물명	제안 과제명	발주처
2022년 도시 소생태계 조성사업	도시 소생태계(옥상 비오톱) 조성사업 - 일산서구청 옥상녹화 -	환경부
추진 배경 및 필요성		
<ul style="list-style-type: none"> 기후변화로 폭염 피해가 심화될 것으로 전망됨에 따라 폭염 피해 예방과 기후변화 대응 등 선제적 대비 필요 대부분의 무더위 쉼터 옥상이 콘크리트로 이루어져 건물 온도 상승 등에 따른 냉방기 사용으로 에너지 효율이 떨어지고 도심 열섬현상을 가중하고 있음 		
사업 제안 내용		
<ul style="list-style-type: none"> 도시지역의 생태계 안정화와 종다양성 증진을 위한 소생태계 조성과 지역주민의 생태 체험, 휴식 등을 위한 공간을 조성하고자 일산서구 대화동에 위치한 ‘일산서구청’ 청사 옥상녹화를 진행하고자 함 대상지인 ‘일산서구청’은 반경 2km 이내에 다수의 근린공원이 위치하고 있으며, 대상지가 이들을 이어주는 교두보 역할을 하여 인근 녹지축의 확장이 가능할 것으로 판단되어 사업 대상지로 제안하였음 		

[표 2-4] 일산서구청 청사 옥상녹화 계획도



고양시는 2022년 4월 최종 등록된 옥상녹화 시스템의 시범사업 추진을 위해 ‘도심 생태축 구축 및 옥상녹화시스템 적용 통합모델 시범사업 연구용역’을 위해 1억 원의 예산을 책정했다. 고양시는 빗물저금통을 활용한 옥상녹화 시스템을 적용하여 일산서구청 청사 옥상에 도시 소생태계를 조성하고, 주교6공원, 주교청소년자유공간, 주교1경로당 건물에 옥상 빗물저금통을 추가 설치해 본격적으로 옥상녹화를 추진할 계획이다.

제2절 국내외 옥상녹화 정책 및 현황

1. 국내 옥상녹화 정책 및 현황

1) 서울특별시

옥상녹화 사업은 서울시가 가장 앞서고 있다. 서울시는 2002년부터 옥상공원화사업을 시작한 이래 2021년 12월까지 약 20년간 총 785개 건축물(공공·민간) 옥상에 녹지공간을 조성했다. 그중 2021년 조성 완료한 건축물은 총 21개소(공공 16개소·민간 5개소)로 대법원, 동주민센터, 소방서 등 공공건축물 16개소에 옥상정원을 조성했다. 2005년부터 민간건축물 옥상녹화를 선도할 수 있는 공공건축물 옥상녹화 사업을 새로이 시작하였고, 옥상녹화에 필요한 기술과 유지관리 정보 등을 전달하는 옥상녹화 아카데미 개최, 모니터링, 기획홍보 등을 통하여 옥상녹화 보급률을 높여 가고 있다. 민간 건축물의 경우, 참여를 활성화하기 위해 매칭펀드 방식으로 추진해 왔다. 공공건축물 옥상녹화에 이어 특히 관광객과 시민이 많이 찾는 남산 가시권역 건물의 옥상녹화를 촉진하여 도시미관을 향상하고, 시민의 관심과 공공의 요구가 높아지는 옥상공원화 사업을 확대해 나가고 있다. 또한 시는 옥상을 생태·환경 중심의 휴식공간으로 전환하는 ‘옥상녹화 활성화 추진 계획’을 수립하고 2020부터 2024년까지 정원도시 서울, 1,000개의 초록지붕 프로젝트라는 비전 아래 공공·민간 건축물의 옥상녹화를 추진하고 있다. 삭막한 도시경관을 아름답게 가꾸고 시민이 도심 속에서도 녹지를 쉽게 경험하게 한다는 목표를 세웠다.

[그림 2-5] 서울시 서초구 대법원 옥상녹화



[표 2-5] 서울시 옥상녹화·텃밭 조성사업 추진 실적(2002~2019)

사업비는 시비만 기록(구비 등 자부담금액 제외)

조성 연도	예산액(백만 원)			조성 물량(개소, 면적)		
	합계	민간	공공	합계	민간	공공
2002	640	640	-	11개소 5,455㎡	11개소 5,455㎡	-
2003	640	640	-	10개소 3,322㎡	10개소 3,322㎡	-
2004	320	320	-	9개소 2,670㎡	9개소 2,670㎡	-
2005	430	280	150	6개소 3,970㎡	6개소 3,970㎡	(‘05년착공 ‘06년준공)
2006	580	280	300	14개소 5,611㎡	10개소 2,263㎡	4개소 3,348㎡
2007	5,588	1,783	3,805	62개소 24,154㎡	25개소 11,218㎡	37개소 12,936㎡
2008	12,323	4,803	7,520	106개소 59,221㎡	64개소 33,297㎡	42개소 25,924㎡
2009	9,662	3,323	6,339	120개소 47,001㎡	73개소 25,091㎡	47개소 21,910㎡

2010	11,229	3,323	7,906	108개소 49,838㎡	59개소 23,061㎡	49개소 26,777㎡
2011	8,810	5,585	3,225	101개소 40,649㎡	55개소 21,219㎡	46개소 19,430㎡
2012	5,010	2,350	2,650	69개소 22,515㎡	50개소 13,541㎡	19개소 8,974㎡
2013	4,106	732	3,374	45개소 13,836㎡	14개소 3,791㎡	31개소 10,045㎡
2014	2,318	-	2,318	19개소 8,082㎡	-	19개소 8,082㎡
2015	2,000	50	1,950	17개소 5,595㎡	1개소 350㎡	16개소 5,245㎡
2016	2,262	555	1,707	20개소 7,075㎡	4개소 2,271㎡	16개소 4,804㎡
2017	2,163	-	2,163	15개소 6,453㎡	-	15개소 6,453㎡
2018	1,498	75	1,423	11개소 5,029㎡	1개소 377㎡	10개소 4,652㎡
2019	1,372	-	1,372	15개소 5,056㎡	-	15개소 5,056㎡
합 계	70,951	24,739	46,202	758개소 315,532㎡	392개소 151,896㎡	366개소 163,636㎡

〈자료〉 서울정보소통광장

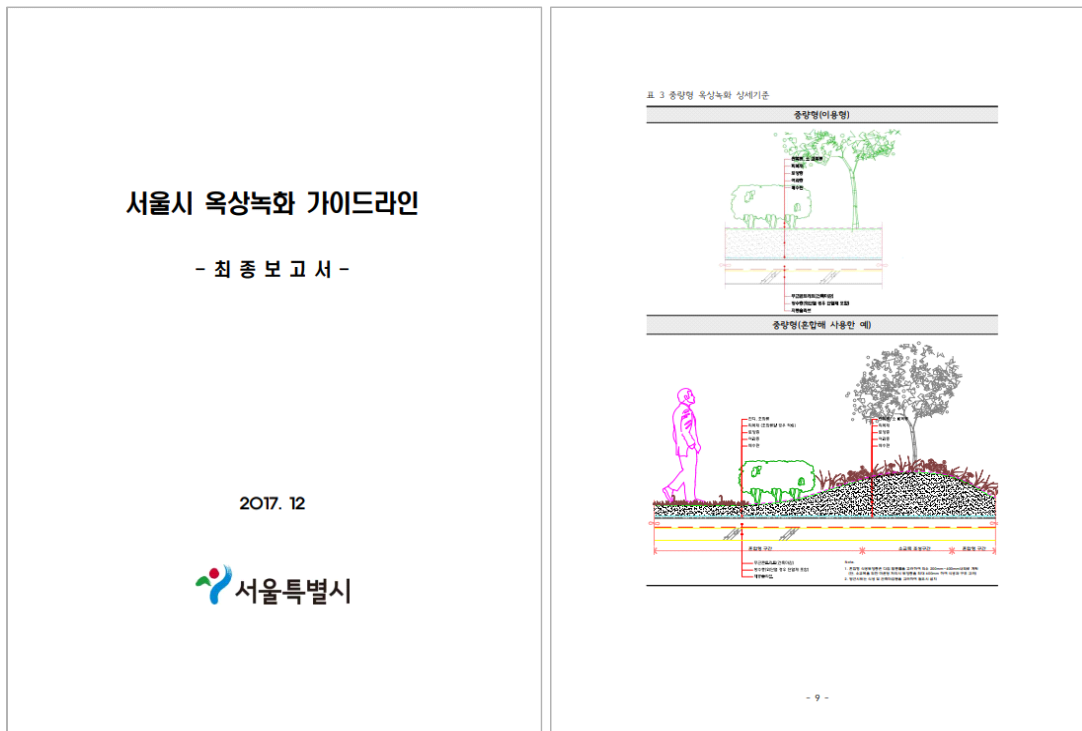
서울시는 옥상녹화를 촉진하기 위하여 건축법 개정을 건의하는 등 제도 개선을 추진하는 한편 시민지원을 위한 예산 확보에도 노력을 기울이고 있다. 2020년 3월 「서울특별시 옥상녹화 지원에 관한 조례」를 제정하여 옥상녹화사업 추진계획의 수립, 시행을 의무화하고, 매년 서울시가 조성 대상지를 선정해 옥상녹화 조성비를 지원하도록 했다. 조례에 따라 서울시는 매년 옥상녹화선정심의회를 구성해 운영하게 된다. 지원 대상으로 선정된 서울시 건축물과 가로구조물에는 옥상녹화비용을 100% 지원하고, 자치구·공공기관·민간 건축물에는 조성비의 70%를 지원한다. 조례에는 옥상녹화 조성지역을 유지하기 위한 설치 기준과 관리대책도 함께 담겨 있다.

[그림 2-6] 서울시 옥상녹화 가이드라인

<p>서울특별시 옥상녹화 지원에 관한 조례 [시법 2021. 3. 25.] [서울특별시조례 제7912호, 2021. 3. 25. 타법개정]</p> <p>서울특별시(조경과), 02-2133-2121</p>	
<p>□ 제1조(목적) 이 조례는 도시 열섬화 완화와 미세먼지 저감 등 기후 변화에 적극 대응하고 도시의 경관 향상 및 녹지 복원을 위하여 건축물 · 가로구조물 옥상녹화를 추진함에 있어 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.</p> <p>□ 제2조(용어의 정의) 이 조례에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.</p> <p>1. "건축물"이란 「건축법」 제2조제1항제2호에 따른 건축물을 말한다.</p> <p>2. "가로구조물"이란 「도로법」 제2조제2항에 따른 도로의 부속물을 말한다.</p> <p>3. "옥상녹화"란 건축물 · 가로구조물의 옥상에 수목 · 초화류 · 건지 등을 식재하여 생태적 · 경관적 · 환경적 효용을 얻기 위해 환경 친화적으로 조성하는 것을 말한다.</p> <p>4. "옥상녹화 기능단위"란 건축물 · 가로구조물의 옥상면적 중에 사람의 출입 및 시설물 관리에 필요한 면적을 제외한 녹화 가능한 면적을 말한다.</p> <p>5. "관리책임자"란 건축물 · 가로구조물의 소유자 또는 관리주체를 말한다.</p> <p>□ 제3조(적용범위) ① 이 조례는 서울특별시(이하 "시"라 한다) 행정구역 안에 소재한 건축물 · 가로구조물 옥상에 시행하는 옥화사업에 대하여 적용한다. 다만, 「조경법」 과 「건축법」 등 건축 인 · 허가와 관련한 법의 위임조항의 경우에는 적용하지 아니한다.</p> <p>② 옥상녹화 지원에 관하여 다른 법령 등에서 규정한 것을 제외하고는 이 조례에 따른다.</p> <p>□ 제4조(시장의 책무) 서울특별시장(이하 "시장"이라 한다)은 옥상녹화를 활성화하기 위하여 시책을 개발 · 보급하고 시정에 적극 반영하여야 한다.</p> <p>□ 제5조(사업 추진 및 지원) ① 시장은 효율적인 옥상녹화사업의 추진을 위하여 시안추진계획을 수립 · 시행하여야 한다.</p> <p>② 시장은 옥상녹화 활성화를 위하여 다음 각 호의 사업을 추진할 수 있다.</p> <p>1. 건축물 · 가로구조물의 옥상녹화</p> <p>2. 옥상녹화 설계기반 및 컨설팅제도서 작성 · 보급</p> <p>3. 옥상녹화와 관련된 행사 및 강연회, 워크숍 등 교육</p> <p>4. 소식지, 인문 등을 통한 옥상녹화 관련 홍보</p> <p>5. 옥상녹화 조성지역에 대한 모니터링 및 유지관리 지원</p> <p>6. 그 밖에 옥상녹화 활성화를 위하여 시장이 필요하다고 인정하는 사업</p> <p>③ 시장은 제2항에 따른 옥상녹화 등에 소요되는 비용의 일부 또는 전액을 지원할 수 있다.</p> <p>④ 제2항제1호에 따른 옥상녹화사업의 보조금 지원 비율은 「별표1」과 같으며, 예산의 범위에서 조정하여 지원할 수 있다.</p>	

2017년 12월 서울시는 2008년 발행한 「옥상녹화시스템 설계지침 및 관련 도서 작성지침」을 개정한 「서울시 옥상녹화 가이드라인」을 발표하였다. 이 가이드라인은 지상 조경설계와 차별되는 옥상녹화의 계획부터 설계, 시공, 유지관리 방법의 기본적인 기준까지 제시하고 있어 서울시 내에서 진행되는 옥상녹화를 체계적으로 수행할 수 있도록 하였다.

[그림 2-7] 서울시 옥상녹화 가이드라인



2) 경기도

국가 온실가스 감축 목표의 성공적인 이행을 위해서 기후변화 대응 핵심 주체인 지방자치단체의 역할이 매우 중요하며 이를 위해 국가 감축 목표와 부합하는 지자체 중심의 건물 부문 에너지 절감과 효율 개선을 위한 녹색건축물 조성계획의 필요성이 증대되고 있다. 경기도는 「제2차 경기도 녹색건축물 조성계획」을 통해 지역 특성에 맞는 녹색건축물 조성의 효율적인 추진 계획과 활성화 방안을 수립하였다. 그중 생태면적 확보, 열섬효과 저감을 위해 옥상녹화를 권장하고 이를 통해 에너지 절감을 도모하고자 한다. 경기도 내 일부 지자체는 건축물 옥상녹화 권장 및 지원 조례를 제정하여 미세먼지·열섬현상 완화 등 도시환경 개선과 녹지공간 확보를 통한 경관 향상 등 쾌적한 도시환경 조성을 위하여 건축물 옥상녹화 지원과 관리 등에 필요한 사항을 규정하고 있다. 과천, 광명, 부천, 성남, 수원, 시흥, 안양, 의왕 등 8개 지자체가 시행하고 있으며 주요 내용은 [표 2-15]와 같다.

[표 2-6] 경기도 녹색건축 관련 조례 제정 현황

관련 조례	경기도	가평	고양	과천	광명	광주	구리	군포	김포	남양주	동두천	부천	성남	수원	시흥	안산
녹색건축물 조성 관련	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○
건축물 옥상녹화 권장 및 지원 조례				○	○							○	○	○	○	
관련 조례	안성	안양	양주	양평	여주	여천	오산	용인	의왕	의정부	이천	파주	평택	포천	하남	화성
녹색건축물 조성 관련	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
건축물 옥상녹화 권장 및 지원 조례		○							○							

〈자료〉 제2차 경기도 녹색건축물 조성계획 수립

[표 2-7] 건축물 옥상녹화 권장 및 지원 조례 주요내용 (안양시 조례 기준)

구분	주요 내용
보조금 지원	<p>제5조(보조금 지원)</p> <p>① 옥상녹화사업을 추진하는 관련 기관 법인 단체 개인 등에 옥상녹화 사업 지원계획에 따라 예산의 범위에서 보조금 지원</p> <p>② 보조금은 총사업비의 100분의 50 이내의 범위에서 지원하며, 3천만 원을 초과할 수 없다</p> <p>제6조(지원 대상 건축물)</p> <p>① 병원 복지 문화시설 등 시민의 활용도와 공공성이 높은 건축물</p> <p>② 어린이집 유치원 등 체험학습장이나 환경학습장으로 활용이 가능한 건축물</p> <p>③ 시민의 자유로운 출입이 가능하고 옥상녹화 활용도가 높은 상업용·업무용 및 지식산업센터 공장 연구소 건축물</p> <p>④ 그 밖에 시장이 옥상녹화사업 지원이 필요하다고 인정하는 건축물</p>
옥상녹화 기준	<p>제7조(옥상녹화 기준)</p> <p>① 옥상유효면적이 300제곱미터 이상일 때 150제곱미터 이상</p> <p>② 옥상유효면적이 300제곱미터 미만일 때 옥상유효면적의 2분의 1 이상 (최소면적은 100제곱미터)</p> <p>③ 옥상유효면적, 각종 설비나 유지·관리 조건 이용 목적 등을 감안하여 옥상녹화면적의 80% 이상을 식재면적으로 확보</p>

〈자료〉 제2차 경기도 녹색건축물 조성계획 수립

제2절 국내외 옥상녹화 정책 및 현황

1. 국외 옥상녹화 정책 및 현황

옥상녹화 시스템은 북유럽 국가에서 수세기 전부터 자연적으로 주택에 적용해 온 시스템으로, 겨울의 혹한을 피하기 위해 건축 자재의 부족 등을 이유로 주변에 흔한 목초지의 일부를 떼어 지붕에 덮어주는 것으로부터 시작되었다. 이후 정식 건축 자재로서 제품화한 것은 고급 자재를 원했던 18세기 독일의 영향이 컸다.

[그림 2-8] 목초지 지붕



독일은 1980년대부터 제도적으로 옥상녹화를 장려해 왔으며, 이후 유럽 전역으로 확대되었고 20세기에 들어서면서 북미에 보급되기 시작하였다. 해외 선진국은 일찍이 옥상정원을 ‘공공 자원’이라고 인식하고, 이를 유도하기 위해 지방자치단체에서 법적 의무 사항으로 정해 놓거나 재정적 지원을 아끼지 않고 있다. 다양한 지원 정책과 환경과 관련한 소비자의 인식 제고는 옥상녹화 시장을 성장시키는 데 긍정적인 영향을 미치고 있다.

[표 2-8] 옥상녹화 시스템 시장 규모

(단위: 억 달러, 억 원)

구분	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	CAGR(%)
세계 시장	54.4	58.0	61.7	65.7	70.0	6.5
국내 시장	1,294	1,372	1,454	1,541	1,732	6.0

〈자료〉 KISTI Market Report(2014)

1) 독일

독일은 옥상녹화를 연방자연보호법, 연방건설법 등에 의거하여 자연 침해의 보상 조치로서 의무화하고 있으며, 보조금 지급, 하수도 요금 경감 등의 재정적 지원을 하고 있다. 슈투트가르트의 경우, 1986년부터 옥상녹화 설치 비용의 약 50% 또는 최대 m^2 당 17.90유로를 지원하며, 1993년부터 모든 신축 건물의 옥상녹화 설치를 의무화하고 있다. 뒤셀도르프의 경우, 설치비용 중 m^2 당 15달러를 지원하며, Storm-water 세금 50%를 감면해 주고 있다. 독일의 항구도시 브레멘에서는 옥상녹화 의무화법이 제정될 예정이다. 발표된 초안에 따르면 100m^2 이상의 모든 평평한 지붕에 뿌리를 내릴 수 있는 최소 10cm 두께의 토층이 필수 항목으로 지정될 것이며, 기울기 15도의 경사진 지붕에도 적용된다.

[그림 2-9] 독일 옥상녹화 사례



2) 영국

런던에서는 2000년대 생물종 다양성 전략으로 서식지 조성을 위해 장려하기 시작하였으며, 최근에는 기후변화 대응을 위한 계획적 수단으로 장려하고 있다. 런던은 2017년 ‘세계 최초의 국립공원도시’ 정책을 발표하여 2050년까지 런던의 50% 이상을 녹화한다는 거대한 계획을 세웠다. 이러한 목표를 실천하기 위해 옥상과 벽면 녹화, 태양광과 옥상녹화(Biosolar roofs), 빗물저장형 옥상녹화(Blue green roofs), 생물다양성 옥상녹화 등으로 분류하여 설명하였다. 기존의 옥상녹화는 대부분 생태형(Extensive green roofs: 경량형, 저관리형), 이용형(Intensive green roofs: 중량형, 관리형), 혼합형(Hybrid green roofs)으로 분류하고 그 효과만 언급한 데 비하면 보다 다양한 분류를 통해 옥상공간의 효용성을 높여 목표를 달성하려고 한 것이 중요한 포인트이다.

[그림 2-10] 영국 옥상녹화 사례

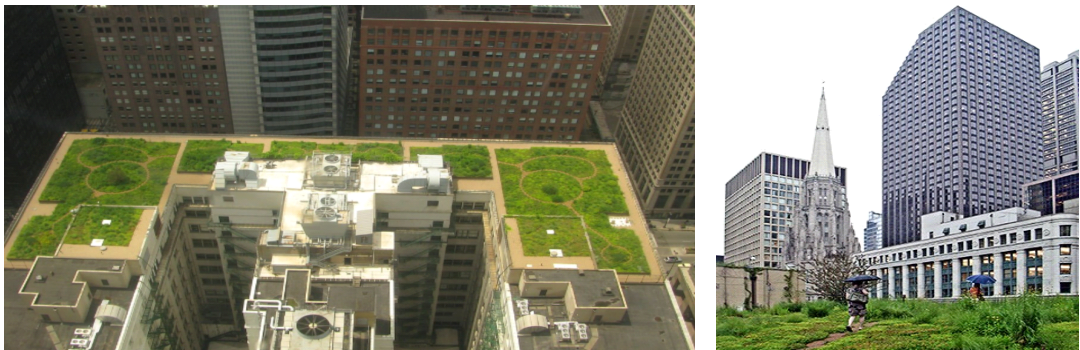


3) 미국

고층 건물로 가득한 시카고시는 1995년 폭염으로 5,000명 이상의 사망자가 발생하였다. 시카고시는 이를 해결하기 위해 건물 옥상에 녹색지붕을 입히는 그린루프 (Green Roof) 프로젝트를 시행하여, 섭씨 70도까지 올라가던 건물 옥상의 온도를 44도까지로 낮추며 폭염 피해를 저감하고 도시의 공기질 개선과 에너지 절감효과를 보았으며, 현재 까지도 성공적인 환경 프로젝트로 평가받고 있다.

미국은 1998년 도시열섬 완화계획에 따라 시카고, 배턴루지, 휴스턴 등 5개 도시에 서 시범사업을 추진하였다. 시카고는 신축 공공건축물이나 시의 보조를 받는 민간 건축물에는 옥상녹화를 의무화하고, 그 외의 민간 건축물은 지붕의 50% 이상 또는 2,000㎡ 이상 옥상녹화를 설치하는 경우 건폐율 규정을 완화하고 있다. 포틀랜드는 설치비용 중 ㎡당 54달러를 지원하며, 뉴욕은 설치 시 1년간 세액을 ㎡당 48달러 공제해 주고 있다.

[그림 2-11] 미국 시카고 그린루프



4) 싱가포르

싱가포르는 옥상녹화를 하늘녹화(Skyrise Greenery)라는 국가 비전에 따라 인센티브를 통해 장려하기 시작하였으며, 건축물 중간의 하늘 테라스, 주거용 건축물의 발코니 면적, 공용공간으로 활용하는 지붕 덮인 옥상 등은 총건축면적 산정 시 제외된다. 또한 옥상녹화 연구개발과 교육 프로그램을 운영하여 옥상녹화 관심도를 높이고 있으며, 옥상녹화 설치 비용의 약 50%를 지원하여 옥상녹화 설치를 확대해 나가고 있다.

[그림 2-12] 싱가포르 옥상녹화 사례



5) 일본

일본은 1950~60년대 심각한 대기오염이 발생하여 호흡기 질환 발생률이 크게 증가하였다. 이를 해결하기 위해 옥상녹화를 확대했으며, 2011년 미세먼지에 관심이 높아지면서, 대기오염 방지를 위해 신축 건물의 녹색 공간 설치 의무화, 지붕 녹화 사업을 시행하였다. 도쿄의 녹화는 초원이 아닌 초목에 목적을 두어 나무를 중심으로 녹화공간을 조성하고자 했다.

일본의 옥상녹화는 기후변화 대응과 도시 열섬현상 완화 측면에서 2005년부터 모든 신축 건축물의 옥상면적 20% 녹화를 의무화하고, 용적률 완화, 세금 경감, 용자제도 등의 인센티브를 제공하고 있다. 도쿄도의 경우 2001년부터 자연보호조례에 따라 1,000㎡ 이상의 대지에 건물을 신축, 증축, 개축할 경우, 지상과 옥상의 일정 비율을 녹화하도록 의무화하고 있다.

[그림 2-13] 일본 옥상녹화 사례



제 3 장

연구 대상 시설과 방법, 현황

제1절 연구 대상 시설 개요

제2절 연구 대상 시설 건물
통합녹화시스템 구축 상황

제3절 모니터링 방법(모니터링 항목 및
측정 지점)

제절 연구 대상 시설 개요

고양시 덕양구 중앙로 633번길 25(토당동) 지도공원 내에 위치한 토당청소년수련관 건물 옥상 태양광패널이 설치되어 있는 부근에 테스트베드를 설치하였다. 토당청소년수련관은 고양시 최초 청소년 수련시설(2003년 개관)로서 청소년의 건강하고 균형 있는 성장과 행복한 삶의 질 향상을 위해 다양한 활동 공간을 제공하고 청소년 참여 프로그램도 운영하고 있다.

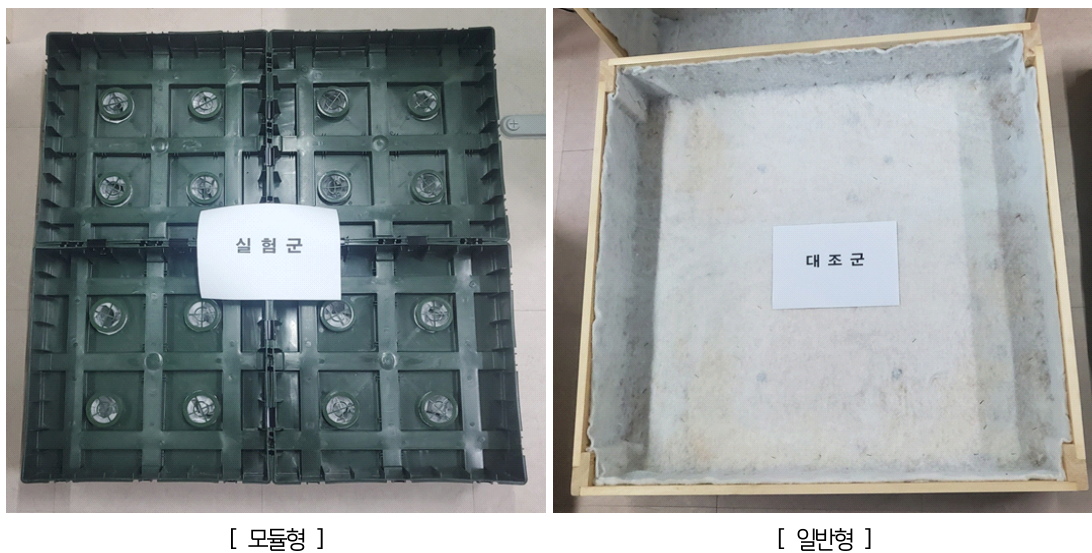
[그림 3-1] 연구 대상 시설(토당청소년수련관 옥상)



제2절 연구 대상 시설 건물 통합녹화시스템 구축 상황

토당청소년수련관 옥상 테스트베드에 실험군과 대조군을 설치하였다. 실험군은 식생, 흙, 공기, 수층으로 구성된 모듈형 박스를 대상으로 하였고, 대조군은 식생과 흙으로만 구성된 일반형 옥상녹화 박스와 옥상 표면을 대상으로 하였다.

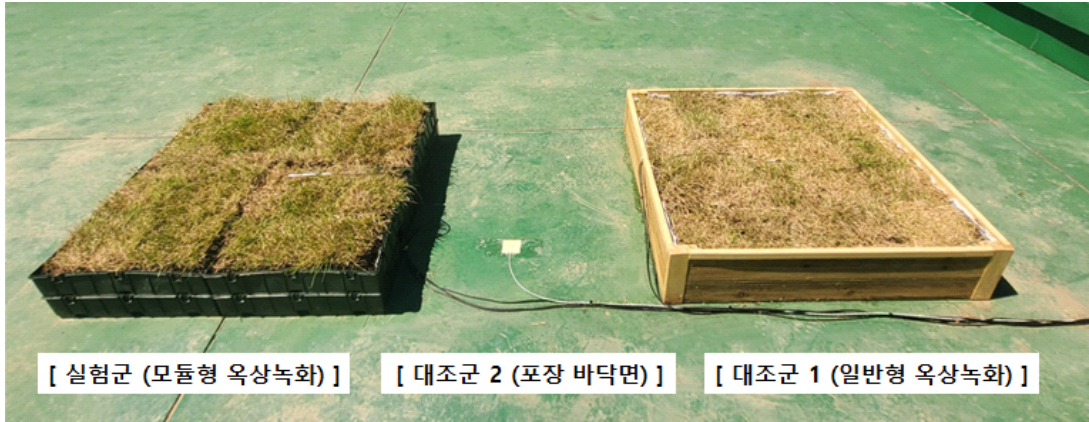
[그림 3-2] 연구 대상 시설(토당청소년수련관 옥상)



실험군과 대조군 옥상녹화 모듈은 건물 옥상 태양광패널 부근에 설치하였고, 옥상 기계실 안쪽에 전기패널과 PC를 설치하여 모니터링 결과를 확인하고 데이터 축적이 가능하도록 하였다.

[그림 3-3] 실험군 및 대조군 설치 모습

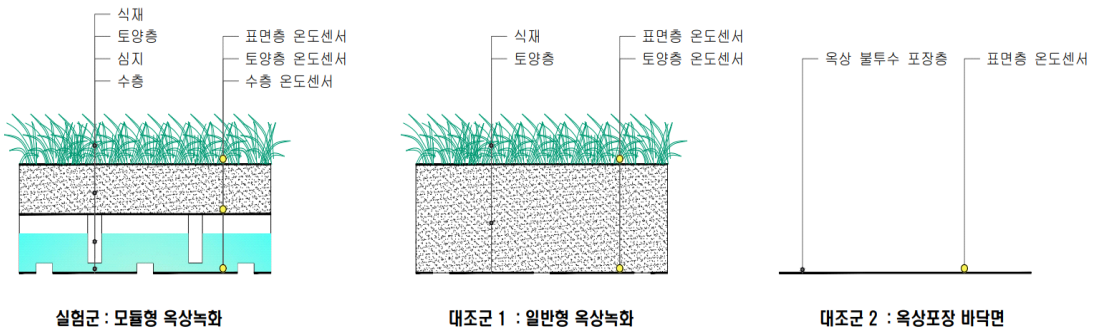




제3절 모니터링 방법 (모니터링 항목 및 측정 지점)

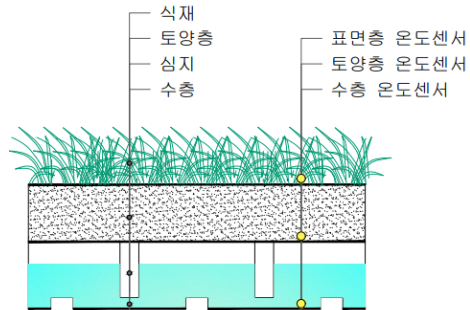
실험군과 대조군의 데이터 축적과 분석을 위해 실험군에는 표면층, 토양층, 수층 등 3개 온도센서를 설치하였고, 일반형 옥상녹화인 대조군 1에는 표면층, 토양층 등 2개 센서, 옥상포장 바닥면인 대조군 2에는 표면층 온도센서 1개를 각각 설치하였다. 센서 설치 위치는 아래 [그림 3-3]과 같다.

[그림 3-4] 실험군 및 대조군 단면도

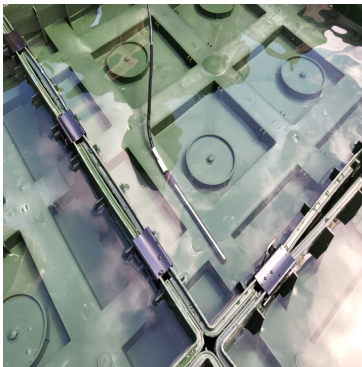


센서를 통해 측정된 데이터는 옥상녹화 모니터링 프로그램을 통해 실시간으로 모니터링되며, 10분 간격으로 자동 저장되도록 하였다. 그리고 1일(24시간) 간격으로 축적된 데이터를 폴더에 자동 저장되도록 하였다. 또한 화면에서 실험군과 대조군의 온도 차이 값을 바로 볼 수 있도록 구성하였다.

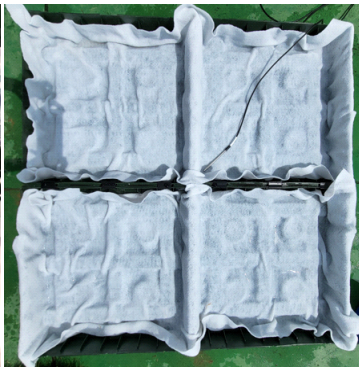
[그림 3-5] 센서 설치 위치



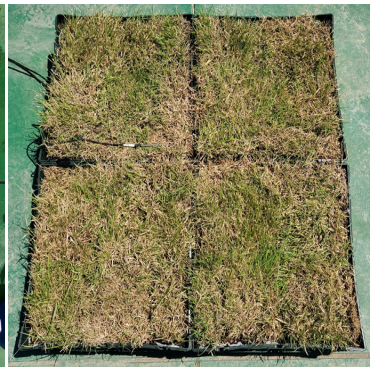
실험군 : 모듈형 옥상녹화



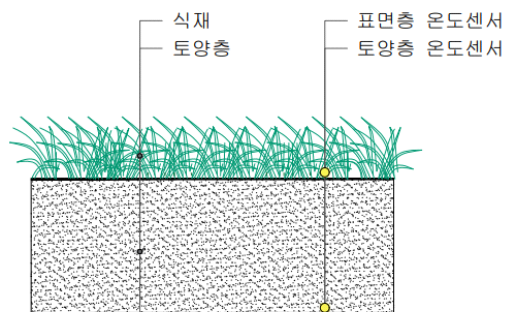
[수층 온도센서]



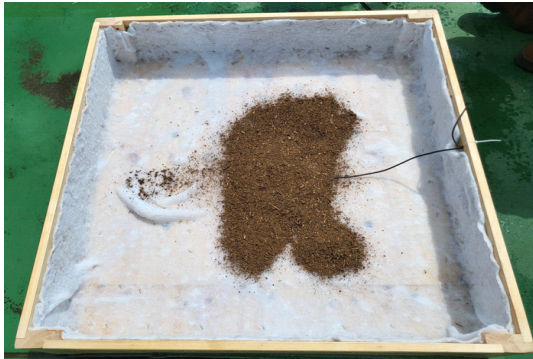
[토양층 온도센서]



[표면층 온도센서]



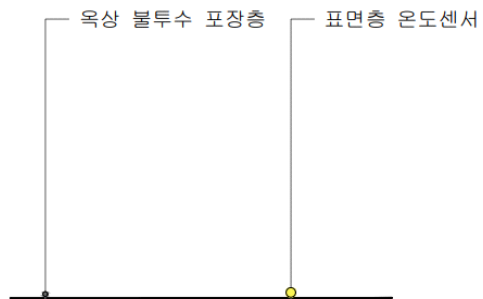
대조군 1 : 일반형 옥상녹화



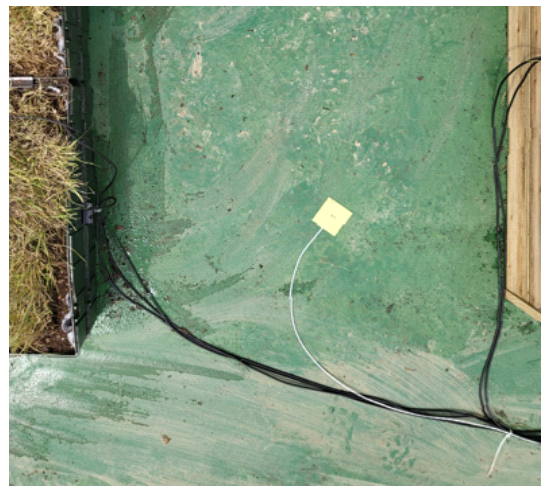
[토양층 온도센서]



[표면층 온도센서]



대조군 2 : 옥상포장 바닥면



[표면층 온도센서]

[그림 3-6] 옥상녹화 모니터링 프로그램 화면 구성

	<p>메인화면으로서 실험군과 대조군의 각 온도 값을 실시간으로 확인할 수 있음</p>
	<p>원하는 항목의 실시간 온도 변화를 선택할 수 있는 화면</p>
	<p>선택한 항목의 실시간으로 변하는 온도 경향을 확인할 수 있는 화면</p>

제 4 장

건물 통합녹화시스템 분석 결과

제1절 일별 온도 비교

제2절 주간별 온도 비교

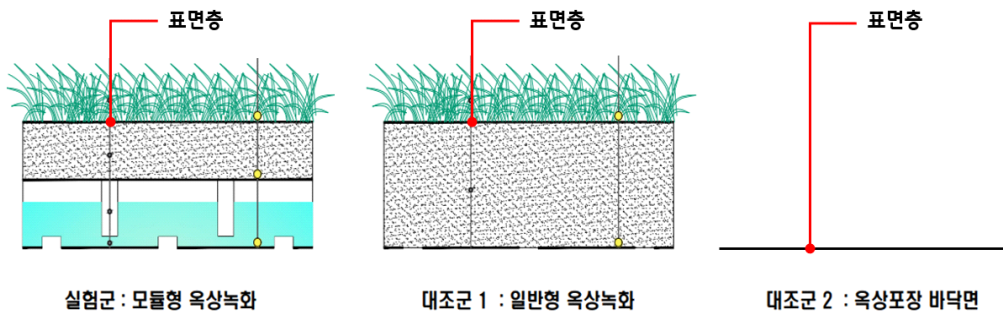
제3절 측정 위치에 따른 온도 비교

계절 일별 온도 비교

1. 표면층 온도 비교

옥상녹화시스템의 효과를 검증하기 위해 모듈형 옥상녹화, 일반형 옥상녹화, 옥상포장 바닥면의 표면층 온도를 날짜별로 비교하였다. [그림 4-1]에는 분석에 사용된 각 위치를 표시하여 나타내었다. 모듈형 옥상녹화와 일반형 옥상녹화는 표면층 온도센서에 측정된 데이터를 사용하였으며, 옥상포장 바닥면은 표면층 온도센서에 측정된 데이터를 사용하였다.

[그림 4-1] 표면층 온도 비교 위치 설명



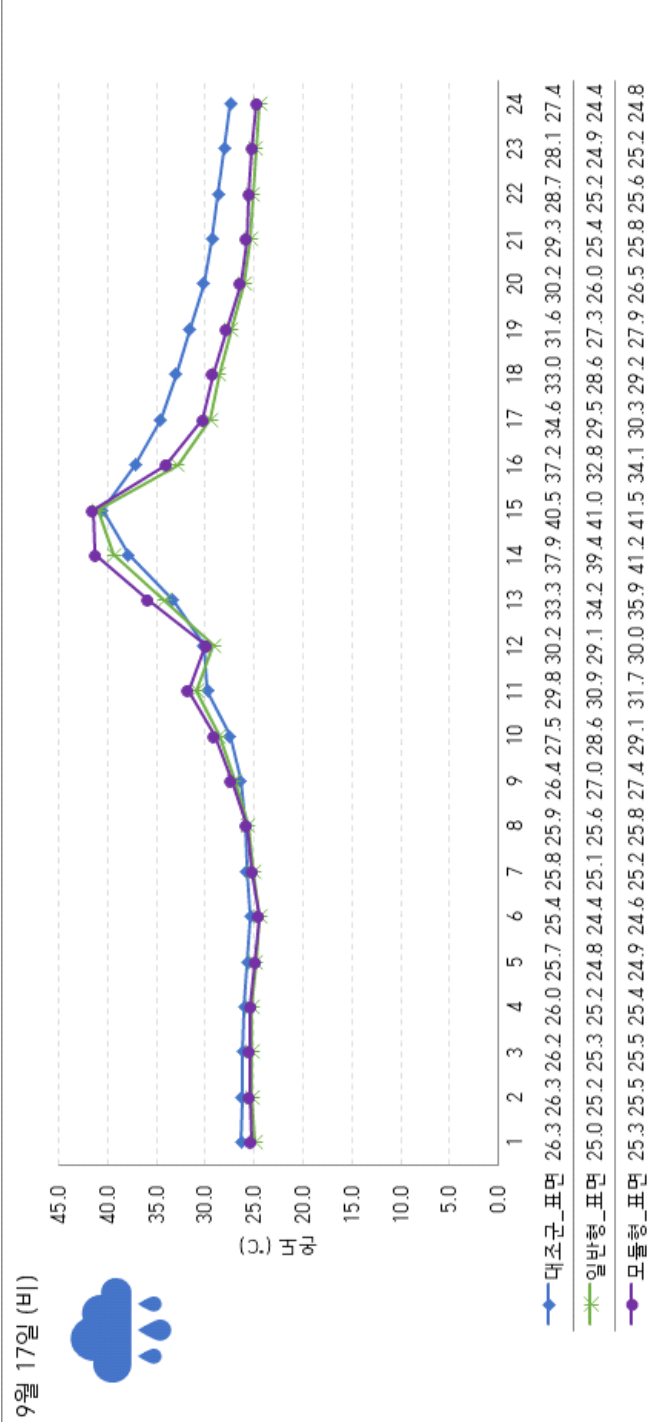
온도 측정 기간은 2022년 9월 10일부터 2022년 10월 19일까지 총 42일 동안 진행하였다. 이에 따라 날짜별 표면 온도 변화는 [그림 4-2] ~ [그림 4-3]에 나타내었으며, 해당 일의 최소, 최대 및 평균 온도는 [표 4-1] ~ [표 4-3]에 정리하였다.

대조군 2의 경우, 측정 기간 동안 10월 18일 최저 온도 7.3℃와 9월 18일 최대 온도 45.8℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 23.4℃ (중앙값 기준 22.8℃)로 분석되었다. 일반형의 경우, 측정 기간 동안 10월 18일 최저 온도 4.4℃와 9월 10일 최대

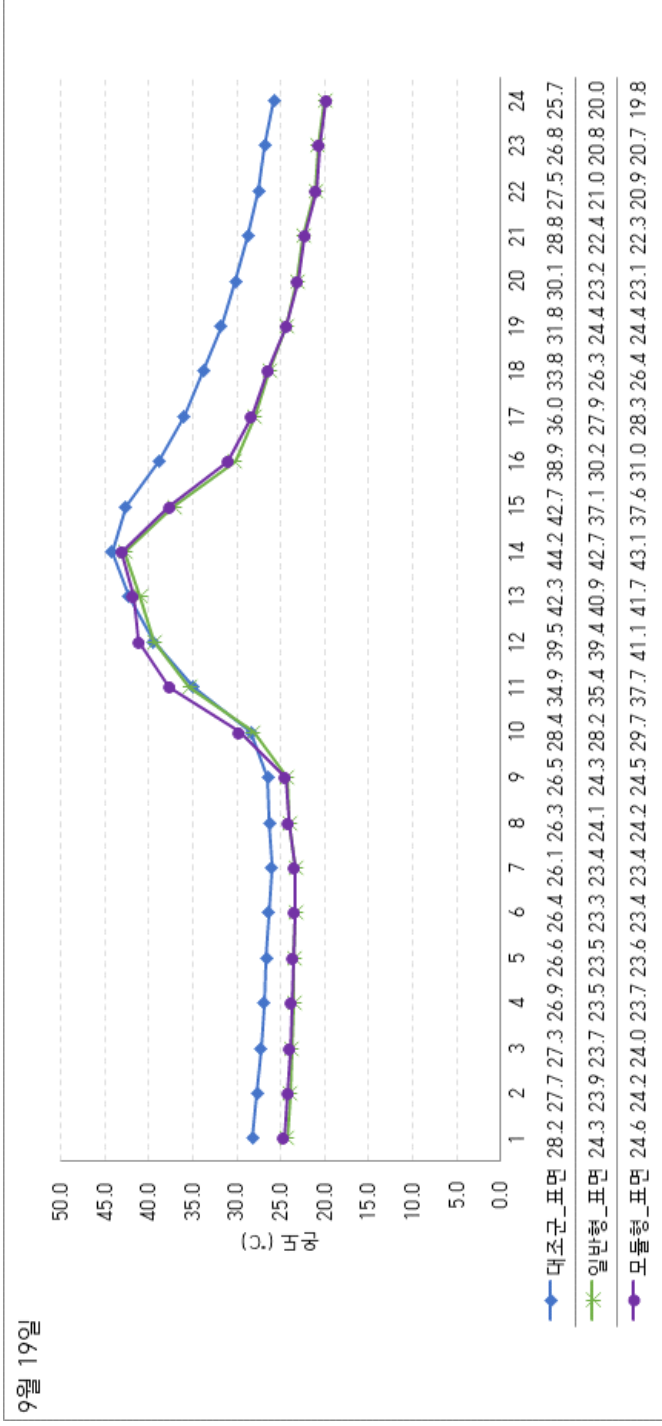
온도 49.2℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 21.0℃ (중앙값 기준 18.1℃)로 분석되었다. 마지막 모듈형의 경우, 측정 기간 동안 10월 18일 최저 온도 3.1℃와 9월 18일 최대 온도 48.6℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 21.4℃ (중앙값 기준 18.7℃)로 분석되었다.

대조군, 일반형 및 모듈형의 측정값을 비교한 결과, 최저 온도는 모듈형에서 관찰되었으며, 최고 온도는 일반형에서 나타났다. 또한, 평균 값을 기준으로 비교하였을 때 일반형에서 가장 낮은 표면 온도를 보이는 것으로 분석되었다. 특히, 옥상포장 바닥면의 평균 온도는 섭씨 26.5도, 일반형과 모듈형 옥상녹화 표면층의 평균온도는 23.3도로 녹화 시스템의 녹화를 통해 밤 최저기온이 25도 이상인 열대야현상의 예방 효과가 있는 것으로 판단된다.

[그림 4-2] 표면층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)



[그림 4-3] 표면중 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)



[표 4-1] 옥상포장 바닥면 표면층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	43.3	24.2	28.8	30.9	5.8
2	9월 11일	36.0	25.3	27.2	28.7	3.1
3	9월 12일	37.4	23.2	27.7	28.8	4.7
4	9월 13일	35.9	24.4	28.0	28.6	3.3
5	9월 14일	36.8	24.8	27.0	28.5	3.4
6	9월 15일	34.4	23.5	28.6	28.7	3.8
7	9월 16일	40.0	25.6	27.5	30.2	4.5
8	9월 17일	41.4	25.2	28.3	29.7	4.3
9	9월 18일	45.8	25.1	29.9	31.6	6.0
10	9월 19일	45.2	25.1	28.1	31.4	6.0
11	9월 20일	36.5	20.6	22.4	24.0	4.1
12	9월 21일	41.0	17.4	23.6	25.7	7.4
13	9월 22일	40.3	18.7	24.9	26.0	6.1
14	9월 23일	34.5	18.4	22.2	23.5	4.1
15	9월 24일	38.1	15.5	21.8	23.3	7.0
16	9월 25일	39.5	18.2	22.8	24.9	6.3
17	9월 26일	38.5	18.1	22.9	24.7	5.9
18	9월 27일	40.6	17.4	23.4	25.3	7.1
19	9월 28일	35.4	19.0	22.5	24.2	4.5
20	9월 29일	39.2	19.5	23.3	25.9	6.2
21	9월 30일	39.4	18.2	23.3	25.5	6.7
22	10월 1일	39.1	17.7	24.5	25.6	6.6
23	10월 2일	25.9	19.4	22.1	22.2	1.9
24	10월 3일	26.1	19.8	22.9	22.2	1.4
25	10월 4일	31.7	19.1	25.8	24.9	2.9
26	10월 5일	33.9	17.4	19.6	22.0	4.8
27	10월 6일	28.0	14.8	18.8	19.8	3.5
28	10월 7일	27.5	13.3	16.7	17.9	3.9
29	10월 8일	30.7	12.0	17.1	18.6	5.7
30	10월 9일	22.2	10.5	11.8	13.5	3.2
31	10월 10일	16.8	11.8	15.9	15.3	1.3
32	10월 11일	27.8	8.6	12.8	15.0	6.0
33	10월 12일	30.5	8.5	15.1	16.3	7.0
34	10월 13일	33.5	11.3	17.3	18.9	7.0
35	10월 14일	29.8	14.3	18.8	19.6	4.6
36	10월 15일	34.3	14.3	20.4	21.3	6.1
37	10월 16일	24.2	16.6	18.4	19.1	2.0
38	10월 17일	27.1	10.6	14.8	16.1	4.9
39	10월 18일	26.2	7.3	10.9	13.3	5.8

[표 4-2] 일반형 옥상녹화 표면층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	49.2	18.6	23.1	26.7	8.5
2	9월 11일	40.0	21.1	23.7	25.9	4.5
3	9월 12일	40.7	21.0	24.3	26.8	5.7
4	9월 13일	38.4	22.4	25.0	26.7	4.3
5	9월 14일	40.9	21.4	23.8	25.9	4.6
6	9월 15일	37.6	20.6	25.4	26.5	4.9
7	9월 16일	43.7	23.5	25.3	28.5	5.7
8	9월 17일	44.3	24.1	25.7	28.1	4.7
9	9월 18일	48.7	23.3	26.3	29.1	6.8
10	9월 19일	44.8	19.6	24.1	27.3	6.7
11	9월 20일	42.0	16.2	18.0	21.2	7.1
12	9월 21일	44.6	13.1	18.6	22.6	9.9
13	9월 22일	45.4	14.8	19.9	23.0	8.3
14	9월 23일	33.3	14.3	17.6	19.5	4.7
15	9월 24일	40.8	11.5	17.0	20.4	8.8
16	9월 25일	45.1	14.7	18.1	22.2	8.7
17	9월 26일	41.9	13.8	18.0	21.8	8.2
18	9월 27일	45.6	13.5	17.9	22.6	10.0
19	9월 28일	40.3	14.9	19.2	22.0	7.1
20	9월 29일	44.8	16.2	19.1	24.0	9.0
21	9월 30일	47.8	13.9	18.6	23.1	9.9
22	10월 1일	47.9	13.1	20.0	23.5	10.3
23	10월 2일	26.4	16.4	18.9	20.3	2.5
24	10월 3일	23.8	19.3	23.2	22.2	1.5
25	10월 4일	30.9	15.0	20.6	20.5	3.4
26	10월 5일	36.6	14.9	16.6	19.5	5.7
27	10월 6일	30.8	12.7	16.5	17.9	4.5
28	10월 7일	28.4	10.2	13.4	15.3	4.5
29	10월 8일	34.7	9.5	13.7	16.5	7.1
30	10월 9일	23.7	8.3	10.0	11.4	3.2
31	10월 10일	16.8	10.6	14.0	14.1	1.4
32	10월 11일	30.8	6.9	9.4	13.2	7.4
33	10월 12일	34.9	5.7	10.8	14.2	9.2
34	10월 13일	37.2	8.2	13.0	16.7	9.2
35	10월 14일	34.0	10.8	15.7	17.7	6.3
36	10월 15일	37.6	11.5	16.7	19.4	8.0
37	10월 16일	26.5	13.8	15.4	17.1	3.2
38	10월 17일	27.8	5.8	11.2	13.2	6.0
39	10월 18일	29.9	4.4	7.1	11.0	8.1

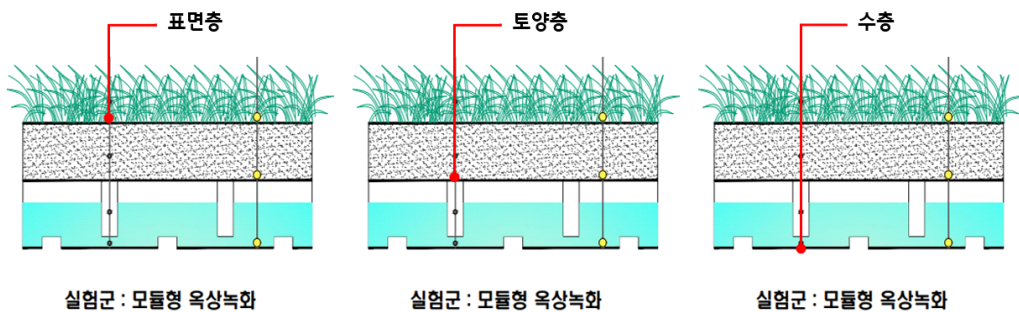
[표 4-3] 모듈형 옥상녹화 표면층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	47.3	18.6	23.4	27.0	8.5
2	9월 11일	40.4	21.1	23.8	26.2	4.7
3	9월 12일	43.4	20.9	24.5	27.4	6.5
4	9월 13일	38.6	22.3	25.3	27.1	4.6
5	9월 14일	40.9	21.2	23.8	26.0	4.6
6	9월 15일	39.4	20.4	25.8	26.9	5.3
7	9월 16일	44.8	23.9	25.5	29.0	6.0
8	9월 17일	45.1	24.2	26.0	28.7	5.0
9	9월 18일	48.6	23.7	26.7	29.8	7.2
10	9월 19일	45.4	19.3	24.3	27.6	7.1
11	9월 20일	44.3	15.6	17.7	21.5	8.2
12	9월 21일	45.7	12.5	18.7	22.8	10.4
13	9월 22일	46.6	14.6	20.2	23.4	8.7
14	9월 23일	34.0	14.3	17.8	19.9	5.1
15	9월 24일	41.7	11.3	17.4	20.8	9.3
16	9월 25일	46.4	15.1	18.7	22.8	9.0
17	9월 26일	41.9	14.4	18.7	22.5	8.3
18	9월 27일	45.8	14.1	18.9	23.4	10.0
19	9월 28일	39.4	15.8	20.2	22.6	6.6
20	9월 29일	44.6	17.3	20.3	24.8	8.4
21	9월 30일	46.4	15.3	20.0	23.9	9.2
22	10월 1일	45.4	14.6	20.9	24.0	9.1
23	10월 2일	25.9	17.9	19.4	20.6	2.1
24	10월 3일	24.3	19.3	23.7	22.6	1.7
25	10월 4일	33.2	14.6	21.0	20.8	3.7
26	10월 5일	39.0	14.5	16.4	19.7	6.5
27	10월 6일	33.9	12.0	16.4	18.0	5.0
28	10월 7일	28.8	9.4	13.1	15.3	5.2
29	10월 8일	37.3	8.7	13.8	16.8	8.1
30	10월 9일	26.0	7.9	9.6	11.4	3.8
31	10월 10일	16.9	10.4	13.9	14.0	1.4
32	10월 11일	32.6	6.0	9.3	13.5	8.4
33	10월 12일	37.2	5.3	12.4	15.2	10.1
34	10월 13일	39.8	9.1	14.6	18.3	9.7
35	10월 14일	34.7	12.0	16.6	18.7	6.3
36	10월 15일	39.9	12.3	17.6	20.4	8.3
37	10월 16일	27.4	14.6	15.7	17.4	3.0
38	10월 17일	28.1	4.9	11.0	12.9	6.3
39	10월 18일	30.8	3.1	6.6	10.7	8.8

2. 모듈형 옥상녹화 온도 비교

옥상녹화 시스템의 효과를 검증하기 위해 모듈형 옥상녹화의 표면층과 토양층, 수층 온도를 날짜별로 비교하였다. [그림 4-44]에는 분석에 사용된 각 위치를 표시하여 나타내었다.

[그림 4-4] 모듈형 옥상녹화 온도 비교 위치 설명

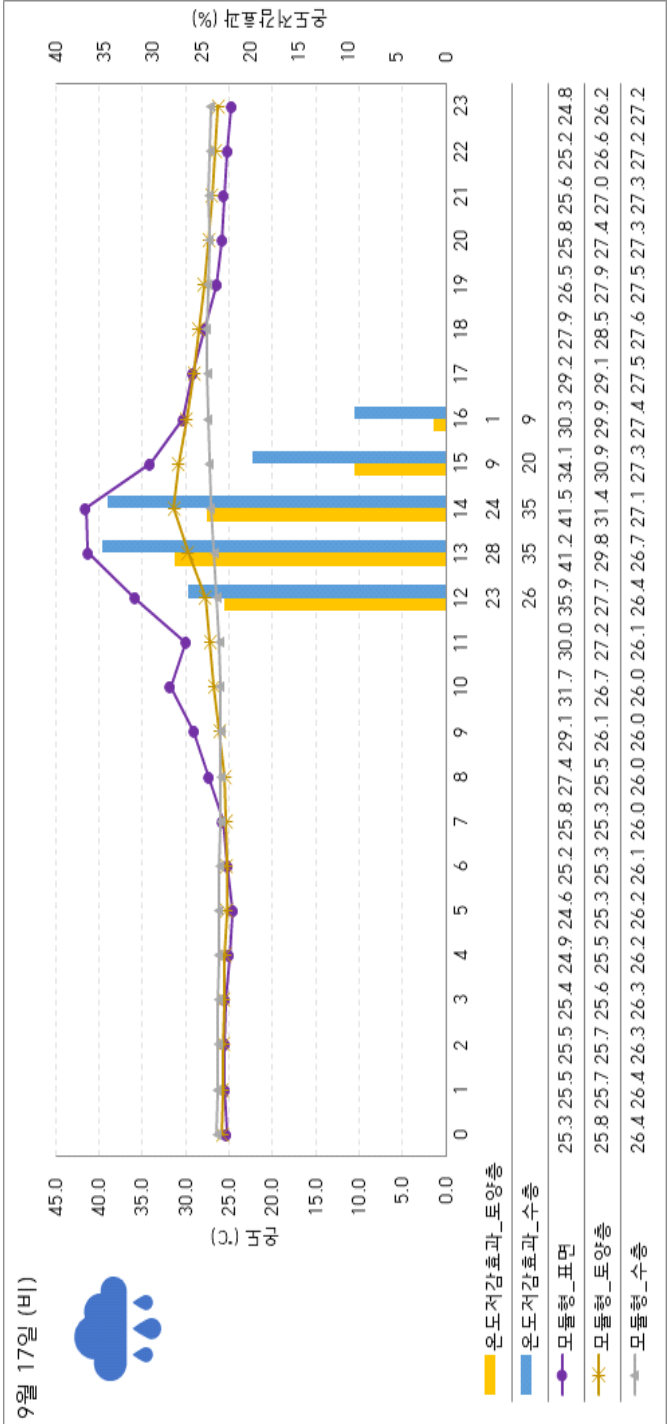


온도 측정 기간은 2022년 9월 10일부터 2022년 10월 19일까지 총 42일 동안 진행하였다. 이에 따라 날짜별 표면 온도 변화는 [그림 4-5] ~ [그림 4-6]에 나타내었으며, 해당 일의 최소, 최대 및 평균 온도는 [표 4-4] ~ [표 4-6]에 정리하였다.

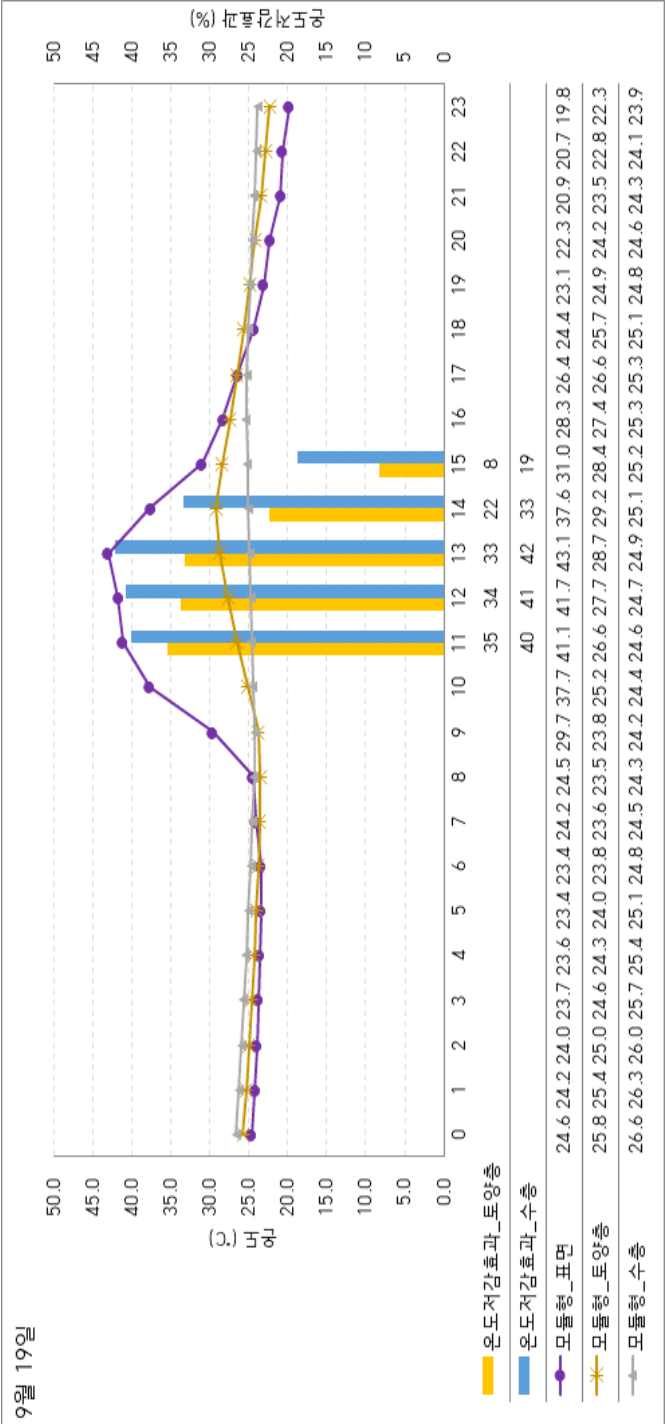
표면층의 경우, 측정 기간 동안 10월 18일 최저 온도 3.1℃와 9월 18일 최대 온도 48.6℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 21.4℃ (중앙값 기준 18.7℃)로 분석되었다. 토양층의 경우, 측정 기간 동안 10월 18일 최저 온도 7.7℃와 9월 18일 최대 온도 32.6℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 20.3℃ (중앙값 기준 20.8℃)로 분석되었다. 마지막 수층의 경우, 측정 기간 동안 10월 11일 최저 온도 10.1℃와 9월 18일 최대 온도 27.8℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 20.5℃ (중앙값 기준 21.0℃)로 분석되었다.

표면층, 토양층 및 수층의 측정값을 비교한 결과, 최저 온도와 최고 온도는 표면층에서 관찰되었다. 또한, 평균 값을 기준으로 비교하였을 때 토양층에서 가장 낮은 온도를 보이는 것으로 분석되었다.

[그림 4-5] 모듈형 옥상녹화 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)



[그림 4-6] 모듈형 옥상녹화 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)



[표 4-4] 모듈형 옥상녹화 표면층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	47.3	18.6	23.4	27.0	8.5
2	9월 11일	40.4	21.1	23.8	26.2	4.7
3	9월 12일	43.4	20.9	24.5	27.4	6.5
4	9월 13일	38.6	22.3	25.3	27.1	4.6
5	9월 14일	40.9	21.2	23.8	26.0	4.6
6	9월 15일	39.4	20.4	25.8	26.9	5.3
7	9월 16일	44.8	23.9	25.5	29.0	6.0
8	9월 17일	45.1	24.2	26.0	28.7	5.0
9	9월 18일	48.6	23.7	26.7	29.8	7.2
10	9월 19일	45.4	19.3	24.3	27.6	7.1
11	9월 20일	44.3	15.6	17.7	21.5	8.2
12	9월 21일	45.7	12.5	18.7	22.8	10.4
13	9월 22일	46.6	14.6	20.2	23.4	8.7
14	9월 23일	34.0	14.3	17.8	19.9	5.1
15	9월 24일	41.7	11.3	17.4	20.8	9.3
16	9월 25일	46.4	15.1	18.7	22.8	9.0
17	9월 26일	41.9	14.4	18.7	22.5	8.3
18	9월 27일	45.8	14.1	18.9	23.4	10.0
19	9월 28일	39.4	15.8	20.2	22.6	6.6
20	9월 29일	44.6	17.3	20.3	24.8	8.4
21	9월 30일	46.4	15.3	20.0	23.9	9.2
22	10월 1일	45.4	14.6	20.9	24.0	9.1
23	10월 2일	25.9	17.9	19.4	20.6	2.1
24	10월 3일	24.3	19.3	23.7	22.6	1.7
25	10월 4일	33.2	14.6	21.0	20.8	3.7
26	10월 5일	39.0	14.5	16.4	19.7	6.5
27	10월 6일	33.9	12.0	16.4	18.0	5.0
28	10월 7일	28.8	9.4	13.1	15.3	5.2
29	10월 8일	37.3	8.7	13.8	16.8	8.1
30	10월 9일	26.0	7.9	9.6	11.4	3.8
31	10월 10일	16.9	10.4	13.9	14.0	1.4
32	10월 11일	32.6	6.0	9.3	13.5	8.4
33	10월 12일	37.2	5.3	12.4	15.2	10.1
34	10월 13일	39.8	9.1	14.6	18.3	9.7
35	10월 14일	34.7	12.0	16.6	18.7	6.3
36	10월 15일	39.9	12.3	17.6	20.4	8.3
37	10월 16일	27.4	14.6	15.7	17.4	3.0
38	10월 17일	28.1	4.9	11.0	12.9	6.3
39	10월 18일	30.8	3.1	6.6	10.7	8.8

[표 4-5] 모듈형 옥상녹화 토양층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	29.6	22.1	24.8	25.2	2.3
2	9월 11일	27.8	23.4	24.8	25.1	1.3
3	9월 12일	28.9	22.8	25.4	25.5	2.1
4	9월 13일	28.5	23.5	25.3	25.5	1.6
5	9월 14일	27.3	22.6	24.3	24.5	1.2
6	9월 15일	27.2	21.7	25.3	24.5	2.1
7	9월 16일	28.9	23.8	24.7	25.7	1.9
8	9월 17일	31.6	25.2	26.6	27.2	1.8
9	9월 18일	32.6	24.6	26.6	27.3	2.3
10	9월 19일	29.3	22.1	24.8	25.3	1.9
11	9월 20일	24.2	18.6	20.3	20.4	1.4
12	9월 21일	27.8	17.0	20.9	21.3	3.3
13	9월 22일	26.5	17.4	21.4	21.4	2.8
14	9월 23일	22.7	17.5	19.9	20.0	1.2
15	9월 24일	24.5	15.1	19.1	19.1	2.9
16	9월 25일	27.2	17.8	20.2	20.9	2.9
17	9월 26일	26.5	17.8	20.5	21.0	2.5
18	9월 27일	28.5	17.8	21.1	21.7	3.4
19	9월 28일	26.6	19.0	21.7	21.9	2.4
20	9월 29일	28.8	20.3	22.2	23.1	2.8
21	9월 30일	28.4	19.1	22.0	22.6	2.9
22	10월 1일	27.5	18.7	22.2	22.4	2.9
23	10월 2일	22.0	19.2	20.8	20.8	0.7
24	10월 3일	23.1	19.3	21.7	21.4	1.4
25	10월 4일	23.0	16.9	21.0	20.8	1.7
26	10월 5일	23.3	15.9	17.7	18.4	2.4
27	10월 6일	20.4	14.8	17.0	17.3	1.7
28	10월 7일	18.3	13.1	15.3	15.3	1.4
29	10월 8일	21.2	12.0	15.6	15.6	3.1
30	10월 9일	13.9	9.9	11.7	11.8	1.1
31	10월 10일	15.6	13.2	14.8	14.7	0.6
32	10월 11일	17.8	8.5	11.8	12.1	3.0
33	10월 12일	21.0	9.3	15.4	14.3	4.0
34	10월 13일	24.1	12.7	17.4	17.3	3.6
35	10월 14일	22.6	15.2	18.2	18.1	2.4
36	10월 15일	24.9	15.6	19.1	19.3	2.9
37	10월 16일	19.9	16.9	18.0	18.1	0.8
38	10월 17일	16.9	9.7	13.5	13.6	2.1
39	10월 18일	16.2	7.7	10.3	10.9	2.7

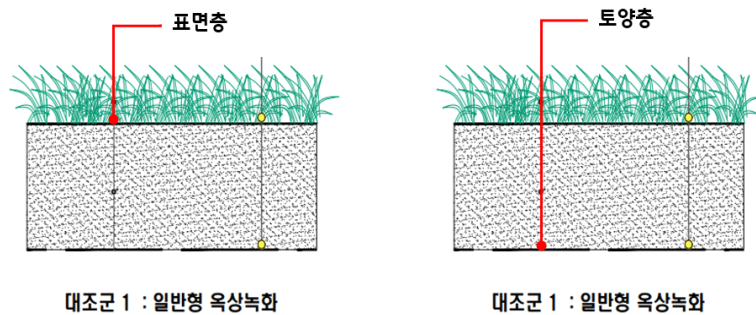
[표 4-6] 모듈형 옥상녹화 수층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	27.2	24.8	26.4	26.2	0.8
2	9월 11일	26.8	25.5	26.2	26.2	0.3
3	9월 12일	26.7	24.5	25.9	25.8	0.7
4	9월 13일	26.4	22.6	25.8	25.7	0.6
5	9월 14일	25.8	23.5	24.9	24.9	0.4
6	9월 15일	26.0	22.9	24.6	24.8	0.9
7	9월 16일	26.9	24.6	25.4	25.5	0.6
8	9월 17일	27.6	25.5	26.4	26.7	0.6
9	9월 18일	27.8	25.8	26.9	26.8	0.6
10	9월 19일	26.8	23.8	24.9	25.0	0.7
11	9월 20일	24.1	21.3	22.3	22.4	0.9
12	9월 21일	23.0	18.6	21.8	21.6	1.1
13	9월 22일	22.8	18.9	22.0	21.7	1.0
14	9월 23일	22.7	19.5	21.0	21.2	0.9
15	9월 24일	20.5	16.7	19.4	19.4	0.9
16	9월 25일	21.6	19.5	20.3	20.5	0.7
17	9월 26일	21.8	20.1	21.0	21.0	0.5
18	9월 27일	22.6	20.1	21.4	21.4	0.8
19	9월 28일	23.4	21.1	22.2	22.2	0.7
20	9월 29일	23.5	20.5	22.5	22.4	0.7
21	9월 30일	23.3	20.5	22.4	22.3	0.8
22	10월 1일	23.2	20.8	22.3	22.2	0.7
23	10월 2일	23.1	20.8	21.8	21.9	0.6
24	10월 3일	22.9	20.5	20.9	21.3	0.7
25	10월 4일	22.7	18.5	20.8	20.8	1.1
26	10월 5일	19.3	17.0	18.3	18.3	0.6
27	10월 6일	18.3	16.7	17.6	17.5	0.4
28	10월 7일	17.5	14.9	15.7	15.9	0.7
29	10월 8일	16.8	14.5	15.5	15.6	0.8
30	10월 9일	14.9	11.0	12.1	12.5	1.0
31	10월 10일	16.5	14.9	15.8	15.8	0.4
32	10월 11일	13.0	10.1	11.0	11.5	1.0
33	10월 12일	19.5	11.8	12.9	14.0	2.0
34	10월 13일	17.9	14.0	16.0	16.2	1.2
35	10월 14일	18.8	15.6	17.4	17.6	0.9
36	10월 15일	19.5	16.8	18.4	18.5	0.8
37	10월 16일	19.4	18.2	18.6	18.7	0.3
38	10월 17일	18.3	12.5	13.5	14.3	1.8
39	10월 18일	12.7	10.9	12.1	12.0	0.5

3. 일반형 옥상녹화 온도 비교

옥상녹화시스템의 효과를 검증하기 위해 일반형 옥상녹화의 표면층과 토양층 온도를 날짜별로 비교하였다. [그림 4-87]에는 분석에 사용된 각 위치를 표시하여 나타내었다.

[그림 4-7] 일반형 옥상녹화 온도 비교 위치 설명

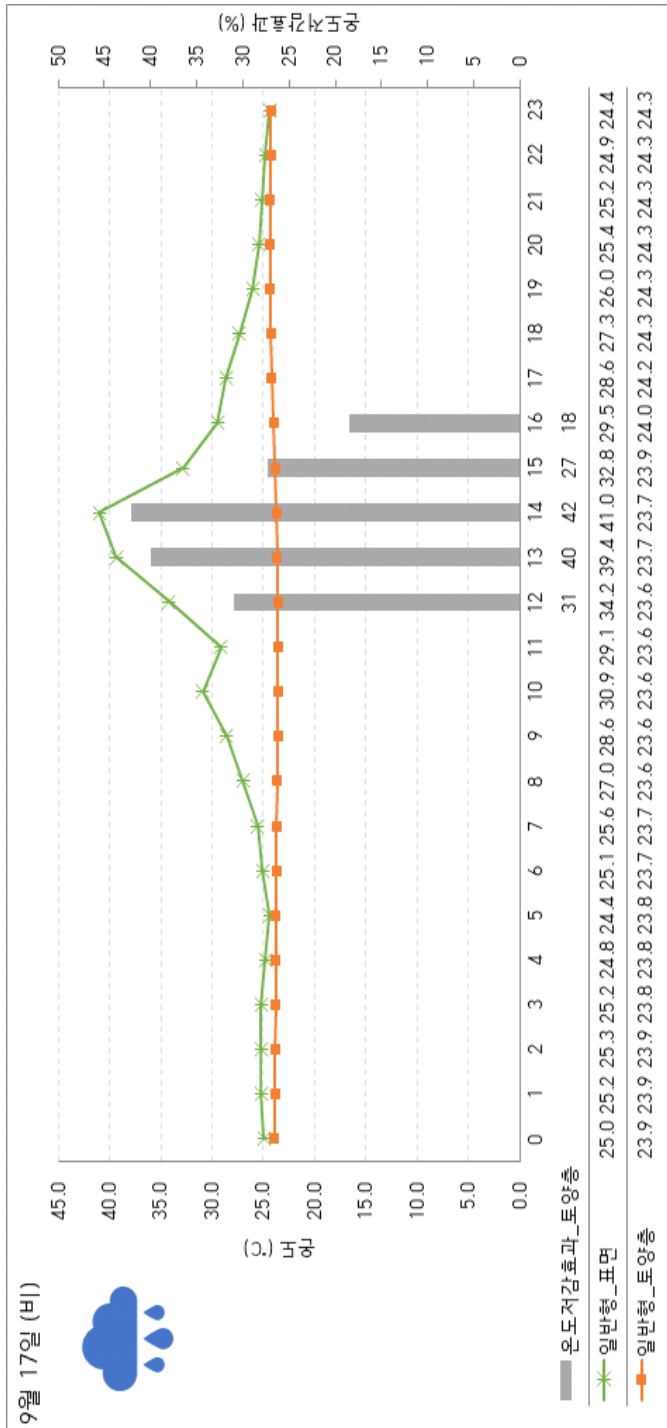


온도 측정 기간은 2022년 9월 10일부터 2022년 10월 19일까지 총 42일 동안 진행하였다. 이에 따라 날짜별 표면 온도 변화는 [그림 4-8] ~ [그림 4-9]에 나타내었으며, 해당 일의 최소, 최대 및 평균 온도는 [표 4-7] ~ [표 4-8]에 정리하였다.

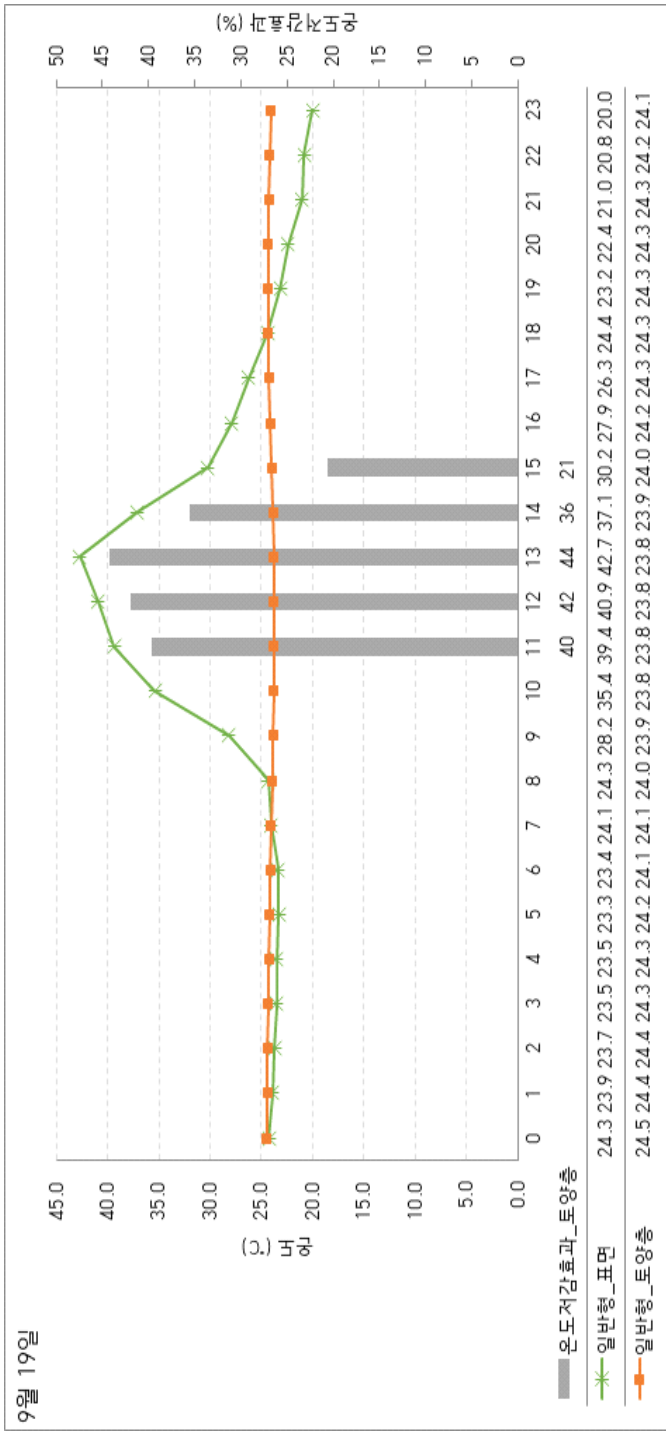
표면층의 경우, 측정 기간 동안 10월 18일 최저 온도 4.4℃와 9월 10일 최대 온도 49.2℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 21.0℃ (중앙값 기준 18.1℃)로 분석되었다. 토양층의 경우, 측정 기간 동안 10월 12일 최저 온도 10.7℃와 9월 18일 최대 온도 24.6℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 18.8℃ (중앙값 기준 19.2℃)로 분석되었다.

표면층 및 토양층의 측정값을 비교한 결과, 최저 온도와 최고 온도는 표면층에서 관찰되었다. 또한, 평균 값을 기준으로 비교하였을 때 토양층에서 낮은 온도를 보이는 것으로 분석되었다.

[그림 4-8] 일반형 옥상녹화 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)



[그림 4-9] 일반형 옥상녹화 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)



[표 4-7] 일반형 옥상녹화 표면층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	49.2	18.6	23.1	26.7	8.5
2	9월 11일	40.0	21.1	23.7	25.9	4.5
3	9월 12일	40.7	21.0	24.3	26.8	5.7
4	9월 13일	38.4	22.4	25.0	26.7	4.3
5	9월 14일	40.9	21.4	23.8	25.9	4.6
6	9월 15일	37.6	20.6	25.4	26.5	4.9
7	9월 16일	43.7	23.5	25.3	28.5	5.7
8	9월 17일	44.3	24.1	25.7	28.1	4.7
9	9월 18일	48.7	23.3	26.3	29.1	6.8
10	9월 19일	44.8	19.6	24.1	27.3	6.7
11	9월 20일	42.0	16.2	18.0	21.2	7.1
12	9월 21일	44.6	13.1	18.6	22.6	9.9
13	9월 22일	45.4	14.8	19.9	23.0	8.3
14	9월 23일	33.3	14.3	17.6	19.5	4.7
15	9월 24일	40.8	11.5	17.0	20.4	8.8
16	9월 25일	45.1	14.7	18.1	22.2	8.7
17	9월 26일	41.9	13.8	18.0	21.8	8.2
18	9월 27일	45.6	13.5	17.9	22.6	10.0
19	9월 28일	40.3	14.9	19.2	22.0	7.1
20	9월 29일	44.8	16.2	19.1	24.0	9.0
21	9월 30일	47.8	13.9	18.6	23.1	9.9
22	10월 1일	47.9	13.1	20.0	23.5	10.3
23	10월 2일	26.4	16.4	18.9	20.3	2.5
24	10월 3일	23.8	19.3	23.2	22.2	1.5
25	10월 4일	30.9	15.0	20.6	20.5	3.4
26	10월 5일	36.6	14.9	16.6	19.5	5.7
27	10월 6일	30.8	12.7	16.5	17.9	4.5
28	10월 7일	28.4	10.2	13.4	15.3	4.5
29	10월 8일	34.7	9.5	13.7	16.5	7.1
30	10월 9일	23.7	8.3	10.0	11.4	3.2
31	10월 10일	16.8	10.6	14.0	14.1	1.4
32	10월 11일	30.8	6.9	9.4	13.2	7.4
33	10월 12일	34.9	5.7	10.8	14.2	9.2
34	10월 13일	37.2	8.2	13.0	16.7	9.2
35	10월 14일	34.0	10.8	15.7	17.7	6.3
36	10월 15일	37.6	11.5	16.7	19.4	8.0
37	10월 16일	26.5	13.8	15.4	17.1	3.2
38	10월 17일	27.8	5.8	11.2	13.2	6.0
39	10월 18일	29.9	4.4	7.1	11.0	8.1

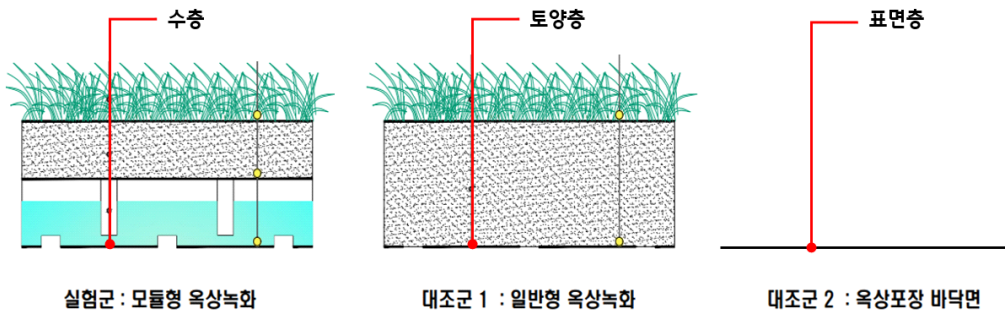
[표 4-8] 일반형 옥상녹화 토양층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	23.9	22.7	23.3	23.3	0.4
2	9월 11일	24.0	23.4	23.7	23.7	0.2
3	9월 12일	23.9	23.0	23.6	23.5	0.3
4	9월 13일	23.7	23.0	23.4	23.4	0.2
5	9월 14일	23.7	23.0	23.3	23.3	0.2
6	9월 15일	23.2	22.2	22.7	22.7	0.3
7	9월 16일	23.5	22.9	23.1	23.1	0.1
8	9월 17일	24.4	23.6	23.8	23.9	0.3
9	9월 18일	24.6	23.5	24.0	24.1	0.4
10	9월 19일	24.5	23.7	24.2	24.1	0.2
11	9월 20일	24.1	22.4	23.3	23.3	0.5
12	9월 21일	22.6	20.6	21.4	21.4	0.5
13	9월 22일	21.3	20.0	20.8	20.7	0.4
14	9월 23일	21.0	19.6	20.2	20.3	0.3
15	9월 24일	19.7	18.0	18.7	18.7	0.4
16	9월 25일	19.3	18.0	18.5	18.6	0.5
17	9월 26일	19.5	18.4	19.0	19.0	0.4
18	9월 27일	20.1	18.5	19.2	19.3	0.5
19	9월 28일	20.3	19.2	19.7	19.7	0.4
20	9월 29일	20.7	19.4	20.0	20.0	0.4
21	9월 30일	20.7	19.4	20.2	20.1	0.4
22	10월 1일	20.7	19.4	20.2	20.1	0.4
23	10월 2일	20.6	19.8	20.2	20.2	0.2
24	10월 3일	19.8	18.9	19.1	19.2	0.3
25	10월 4일	19.4	18.4	19.0	19.0	0.2
26	10월 5일	18.4	17.2	17.6	17.6	0.3
27	10월 6일	17.5	16.4	16.8	16.8	0.3
28	10월 7일	16.7	15.2	15.6	15.8	0.4
29	10월 8일	15.2	14.1	14.7	14.6	0.3
30	10월 9일	14.1	11.9	12.7	12.9	0.6
31	10월 10일	14.9	14.1	14.5	14.5	0.2
32	10월 11일	11.9	10.8	11.4	11.3	0.3
33	10월 12일	12.3	10.7	11.3	11.4	0.5
34	10월 13일	13.8	11.8	12.2	12.5	0.7
35	10월 14일	15.0	13.5	13.7	14.0	0.5
36	10월 15일	16.0	14.6	15.0	15.2	0.5
37	10월 16일	16.1	15.7	15.9	15.9	0.1
38	10월 17일	16.0	13.7	14.7	14.9	0.7
39	10월 18일	13.7	11.9	12.2	12.5	0.5

4. 바닥층 온도 비교

옥상녹화 시스템의 효과를 검증하기 위해 모듈형 옥상녹화, 일반형 옥상녹화, 옥상 포장 바닥면의 바닥층 온도를 날짜별로 비교하였다. [그림 4-130]에는 분석에 사용된 각 위치를 표시하여 나타내었다. 모듈형 옥상녹화는 수층, 일반형 옥상녹화는 토양층 온도센서로 측정된 데이터를 사용하였으며, 옥상포장 바닥면은 표면층 온도센서로 측정된 데이터를 사용하였다.

[그림 4-10] 바닥층 온도 비교 위치 설명



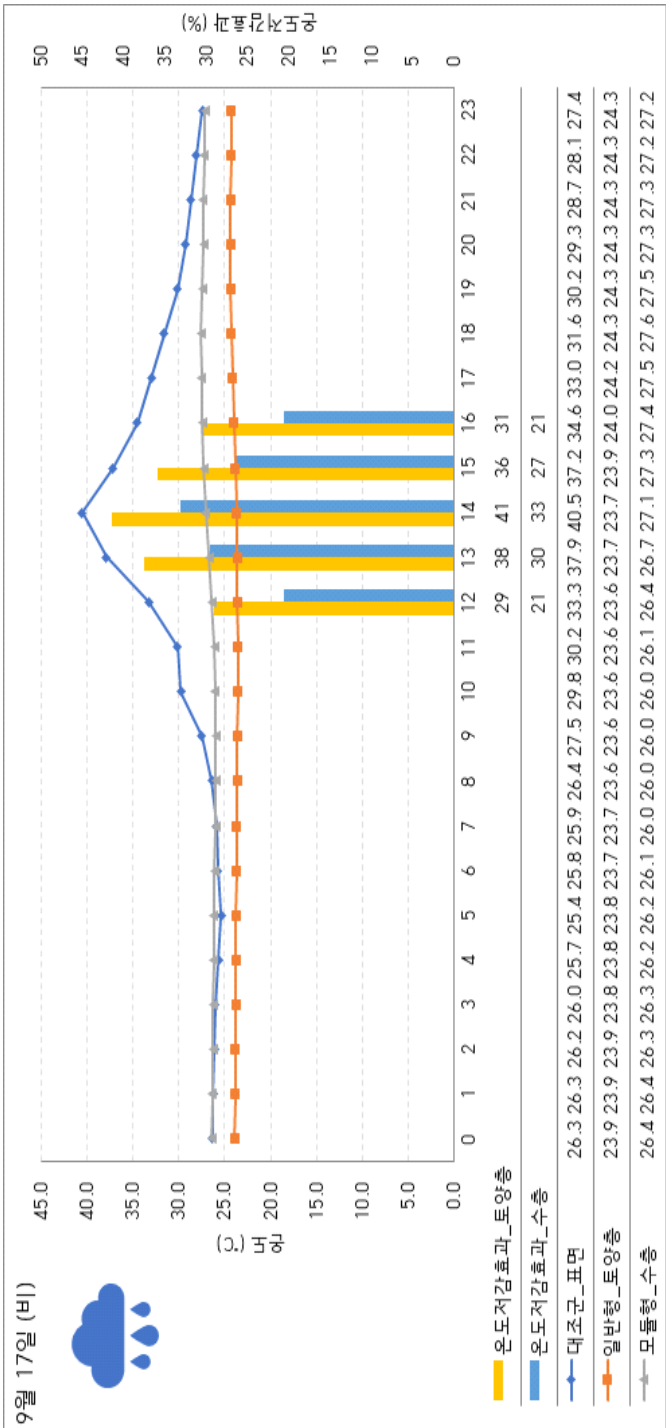
온도 측정 기간은 2022년 9월 10일부터 2022년 10월 19일까지 총 42일 동안 진행하였다. 이에 따라 날짜별 표면 온도 변화는 [그림 4-11] ~ [그림 4-12]에 나타내었으며, 해당 일의 최소, 최대 및 평균 온도는 [표 4-9] ~ [표 4-11]에 정리하였다.

대조군 2의 경우, 측정 기간 동안 10월 18일 최저 온도 7.3℃와 9월 18일 최대 온도 45.8℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 23.4℃ (중앙값 기준 22.8℃)로 분석되었다. 일반형의 경우, 측정 기간 동안 10월 12일 최저 온도 10.7℃와 9월 18일 최대 온도 24.6℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 18.8℃ (중앙값 기준 19.2℃)로 분석되었다. 마지막 모듈형의 경우, 측정 기간 동안 10월 11일 최저 온도 10.1℃와 9월 18일 최대 온도 27.8℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 20.5℃ (중앙값 기준 21.0℃)로 분석되었다.

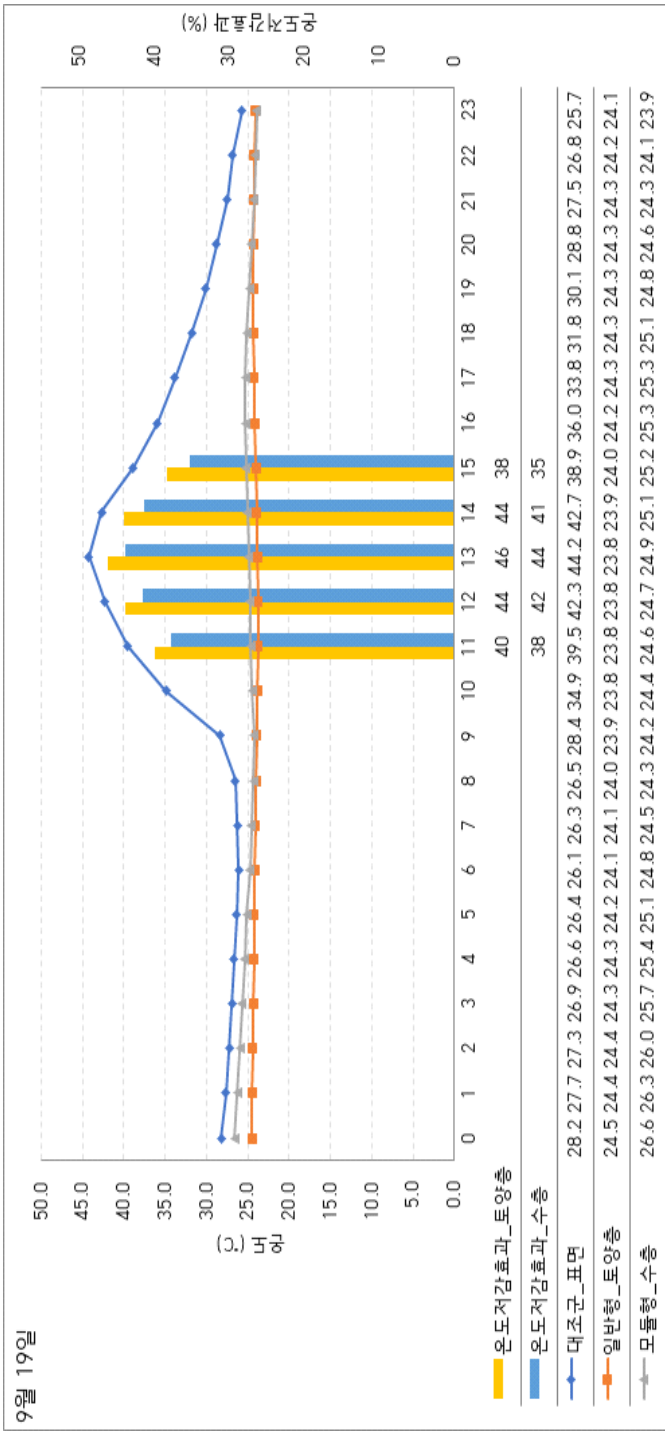
대조군, 일반형 및 모듈형의 측정값을 비교한 결과, 최저 온도 및 최고온도는 대조군

에서 관찰되었다. 또한, 평균 값을 기준으로 비교하였을 때 일반형에서 가장 낮은 표면 온도를 보이는 것으로 분석되었다.

[그림 4-11] 비덕층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)



[그림 4-12] 비타중 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)



[표 4-9] 옥상포장 바닥면 표면층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	43.3	24.2	28.8	30.9	5.8
2	9월 11일	36.0	25.3	27.2	28.7	3.1
3	9월 12일	37.4	23.2	27.7	28.8	4.7
4	9월 13일	35.9	24.4	28.0	28.6	3.3
5	9월 14일	36.8	24.8	27.0	28.5	3.4
6	9월 15일	34.4	23.5	28.6	28.7	3.8
7	9월 16일	40.0	25.6	27.5	30.2	4.5
8	9월 17일	41.4	25.2	28.3	29.7	4.3
9	9월 18일	45.8	25.1	29.9	31.6	6.0
10	9월 19일	45.2	25.1	28.1	31.4	6.0
11	9월 20일	36.5	20.6	22.4	24.0	4.1
12	9월 21일	41.0	17.4	23.6	25.7	7.4
13	9월 22일	40.3	18.7	24.9	26.0	6.1
14	9월 23일	34.5	18.4	22.2	23.5	4.1
15	9월 24일	38.1	15.5	21.8	23.3	7.0
16	9월 25일	39.5	18.2	22.8	24.9	6.3
17	9월 26일	38.5	18.1	22.9	24.7	5.9
18	9월 27일	40.6	17.4	23.4	25.3	7.1
19	9월 28일	35.4	19.0	22.5	24.2	4.5
20	9월 29일	39.2	19.5	23.3	25.9	6.2
21	9월 30일	39.4	18.2	23.3	25.5	6.7
22	10월 1일	39.1	17.7	24.5	25.6	6.6
23	10월 2일	25.9	19.4	22.1	22.2	1.9
24	10월 3일	26.1	19.8	22.9	22.2	1.4
25	10월 4일	31.7	19.1	25.8	24.9	2.9
26	10월 5일	33.9	17.4	19.6	22.0	4.8
27	10월 6일	28.0	14.8	18.8	19.8	3.5
28	10월 7일	27.5	13.3	16.7	17.9	3.9
29	10월 8일	30.7	12.0	17.1	18.6	5.7
30	10월 9일	22.2	10.5	11.8	13.5	3.2
31	10월 10일	16.8	11.8	15.9	15.3	1.3
32	10월 11일	27.8	8.6	12.8	15.0	6.0
33	10월 12일	30.5	8.5	15.1	16.3	7.0
34	10월 13일	33.5	11.3	17.3	18.9	7.0
35	10월 14일	29.8	14.3	18.8	19.6	4.6
36	10월 15일	34.3	14.3	20.4	21.3	6.1
37	10월 16일	24.2	16.6	18.4	19.1	2.0
38	10월 17일	27.1	10.6	14.8	16.1	4.9
39	10월 18일	26.2	7.3	10.9	13.3	5.8

[표 4-10] 일반형 옥상녹화 토양층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	23.9	22.7	23.3	23.3	0.4
2	9월 11일	24.0	23.4	23.7	23.7	0.2
3	9월 12일	23.9	23.0	23.6	23.5	0.3
4	9월 13일	23.7	23.0	23.4	23.4	0.2
5	9월 14일	23.7	23.0	23.3	23.3	0.2
6	9월 15일	23.2	22.2	22.7	22.7	0.3
7	9월 16일	23.5	22.9	23.1	23.1	0.1
8	9월 17일	24.4	23.6	23.8	23.9	0.3
9	9월 18일	24.6	23.5	24.0	24.1	0.4
10	9월 19일	24.5	23.7	24.2	24.1	0.2
11	9월 20일	24.1	22.4	23.3	23.3	0.5
12	9월 21일	22.6	20.6	21.4	21.4	0.5
13	9월 22일	21.3	20.0	20.8	20.7	0.4
14	9월 23일	21.0	19.6	20.2	20.3	0.3
15	9월 24일	19.7	18.0	18.7	18.7	0.4
16	9월 25일	19.3	18.0	18.5	18.6	0.5
17	9월 26일	19.5	18.4	19.0	19.0	0.4
18	9월 27일	20.1	18.5	19.2	19.3	0.5
19	9월 28일	20.3	19.2	19.7	19.7	0.4
20	9월 29일	20.7	19.4	20.0	20.0	0.4
21	9월 30일	20.7	19.4	20.2	20.1	0.4
22	10월 1일	20.7	19.4	20.2	20.1	0.4
23	10월 2일	20.6	19.8	20.2	20.2	0.2
24	10월 3일	19.8	18.9	19.1	19.2	0.3
25	10월 4일	19.4	18.4	19.0	19.0	0.2
26	10월 5일	18.4	17.2	17.6	17.6	0.3
27	10월 6일	17.5	16.4	16.8	16.8	0.3
28	10월 7일	16.7	15.2	15.6	15.8	0.4
29	10월 8일	15.2	14.1	14.7	14.6	0.3
30	10월 9일	14.1	11.9	12.7	12.9	0.6
31	10월 10일	14.9	14.1	14.5	14.5	0.2
32	10월 11일	11.9	10.8	11.4	11.3	0.3
33	10월 12일	12.3	10.7	11.3	11.4	0.5
34	10월 13일	13.8	11.8	12.2	12.5	0.7
35	10월 14일	15.0	13.5	13.7	14.0	0.5
36	10월 15일	16.0	14.6	15.0	15.2	0.5
37	10월 16일	16.1	15.7	15.9	15.9	0.1
38	10월 17일	16.0	13.7	14.7	14.9	0.7
39	10월 18일	13.7	11.9	12.2	12.5	0.5

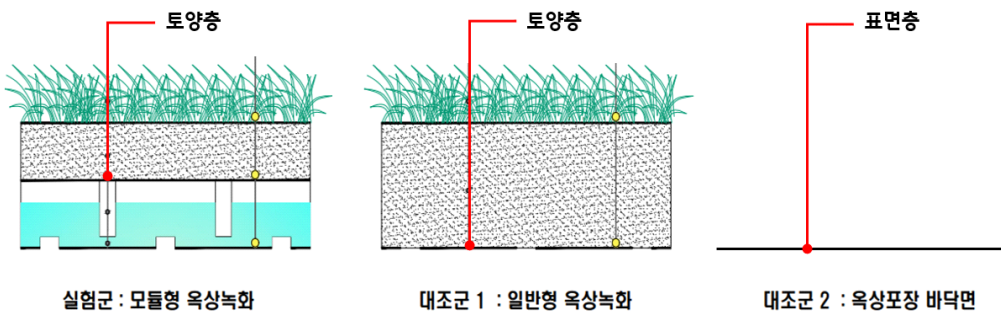
[표 4-11] 모듈형 옥상녹화 수층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	27.2	24.8	26.4	26.2	0.8
2	9월 11일	26.8	25.5	26.2	26.2	0.3
3	9월 12일	26.7	24.5	25.9	25.8	0.7
4	9월 13일	26.4	22.6	25.8	25.7	0.6
5	9월 14일	25.8	23.5	24.9	24.9	0.4
6	9월 15일	26.0	22.9	24.6	24.8	0.9
7	9월 16일	26.9	24.6	25.4	25.5	0.6
8	9월 17일	27.6	25.5	26.4	26.7	0.6
9	9월 18일	27.8	25.8	26.9	26.8	0.6
10	9월 19일	26.8	23.8	24.9	25.0	0.7
11	9월 20일	24.1	21.3	22.3	22.4	0.9
12	9월 21일	23.0	18.6	21.8	21.6	1.1
13	9월 22일	22.8	18.9	22.0	21.7	1.0
14	9월 23일	22.7	19.5	21.0	21.2	0.9
15	9월 24일	20.5	16.7	19.4	19.4	0.9
16	9월 25일	21.6	19.5	20.3	20.5	0.7
17	9월 26일	21.8	20.1	21.0	21.0	0.5
18	9월 27일	22.6	20.1	21.4	21.4	0.8
19	9월 28일	23.4	21.1	22.2	22.2	0.7
20	9월 29일	23.5	20.5	22.5	22.4	0.7
21	9월 30일	23.3	20.5	22.4	22.3	0.8
22	10월 1일	23.2	20.8	22.3	22.2	0.7
23	10월 2일	23.1	20.8	21.8	21.9	0.6
24	10월 3일	22.9	20.5	20.9	21.3	0.7
25	10월 4일	22.7	18.5	20.8	20.8	1.1
26	10월 5일	19.3	17.0	18.3	18.3	0.6
27	10월 6일	18.3	16.7	17.6	17.5	0.4
28	10월 7일	17.5	14.9	15.7	15.9	0.7
29	10월 8일	16.8	14.5	15.5	15.6	0.8
30	10월 9일	14.9	11.0	12.1	12.5	1.0
31	10월 10일	16.5	14.9	15.8	15.8	0.4
32	10월 11일	13.0	10.1	11.0	11.5	1.0
33	10월 12일	19.5	11.8	12.9	14.0	2.0
34	10월 13일	17.9	14.0	16.0	16.2	1.2
35	10월 14일	18.8	15.6	17.4	17.6	0.9
36	10월 15일	19.5	16.8	18.4	18.5	0.8
37	10월 16일	19.4	18.2	18.6	18.7	0.3
38	10월 17일	18.3	12.5	13.5	14.3	1.8
39	10월 18일	12.7	10.9	12.1	12.0	0.5

5. 토양층 온도 비교

옥상녹화시스템의 효과를 검증하기 위해 모듈형 옥상녹화, 일반형 옥상녹화, 옥상포장 바닥면의 바닥층 온도를 날짜별로 비교하였다. [그림 4-130]에는 분석에 사용된 각 위치를 표시하여 나타내었다. 모듈형 옥상녹화는 수층, 일반형 옥상녹화는 토양층 온도 센서로 측정된 데이터를 사용하였으며, 옥상포장 바닥면은 표면층 온도센서로 측정된 데이터를 사용하였다.

[그림 4-13] 토양층 온도 비교 위치 설명



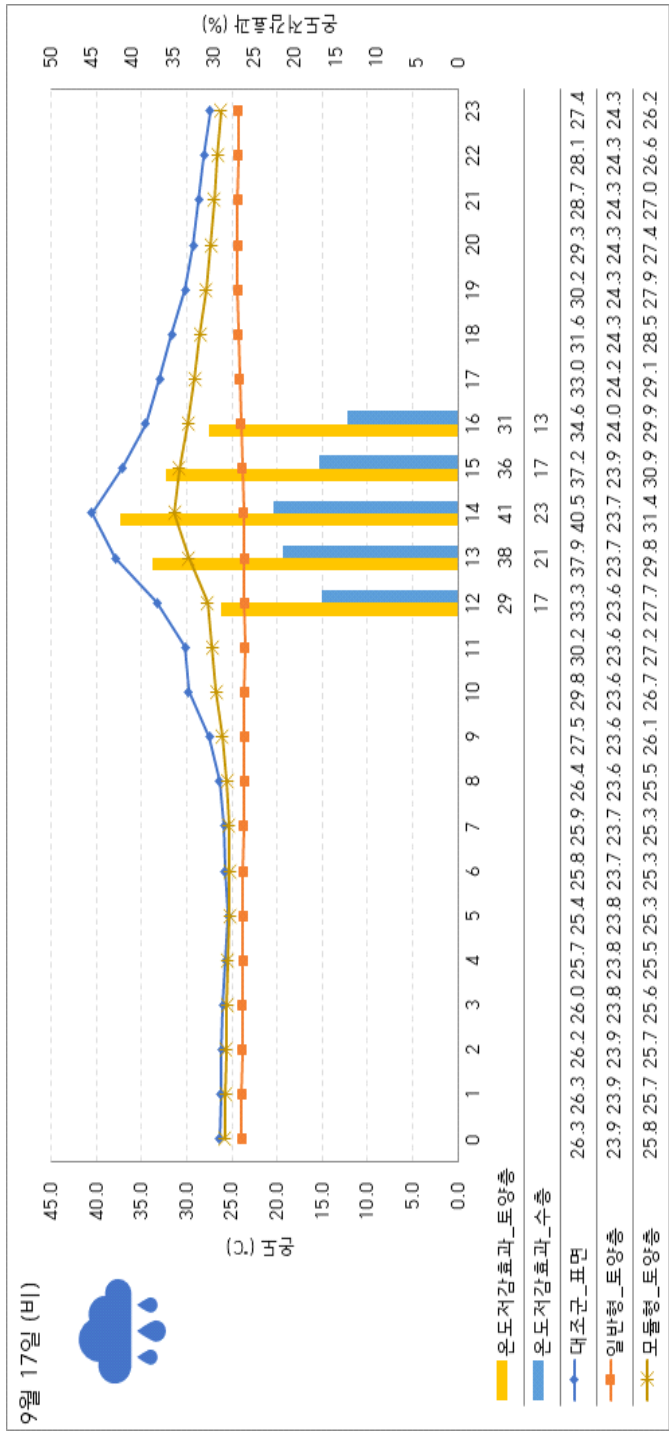
온도 측정 기간은 2022년 9월 10일부터 2022년 10월 19일까지 총 42일 동안 진행하였다. 이에 따라 날짜별 표면 온도 변화는 [그림 4-14] ~ [그림 4-15]에 나타내었으며, 해당 일의 최소, 최대 및 평균 온도는 [표 4-12] ~ [표 4-14]에 정리하였다.

대조군 2의 경우, 측정 기간 동안 10월 18일 최저 온도 7.3℃와 9월 18일 최대 온도 45.8℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 23.4℃ (중앙값 기준 22.8℃)로 분석되었다. 일반형의 경우, 측정 기간 동안 10월 12일 최저 온도 10.7℃와 9월 18일 최대 온도 24.6℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 18.8℃ (중앙값 기준 19.2℃)로 분석되었다. 마지막 모듈형의 경우, 측정 기간 동안 10월 18일 최저 온도 7.7℃와 9월 18일 최대 온도 32.6℃가 관측되었으며, 측정 기간 동안 평균 온도는 20.3℃ (중앙값 기준 20.8℃)로 분석되었다.

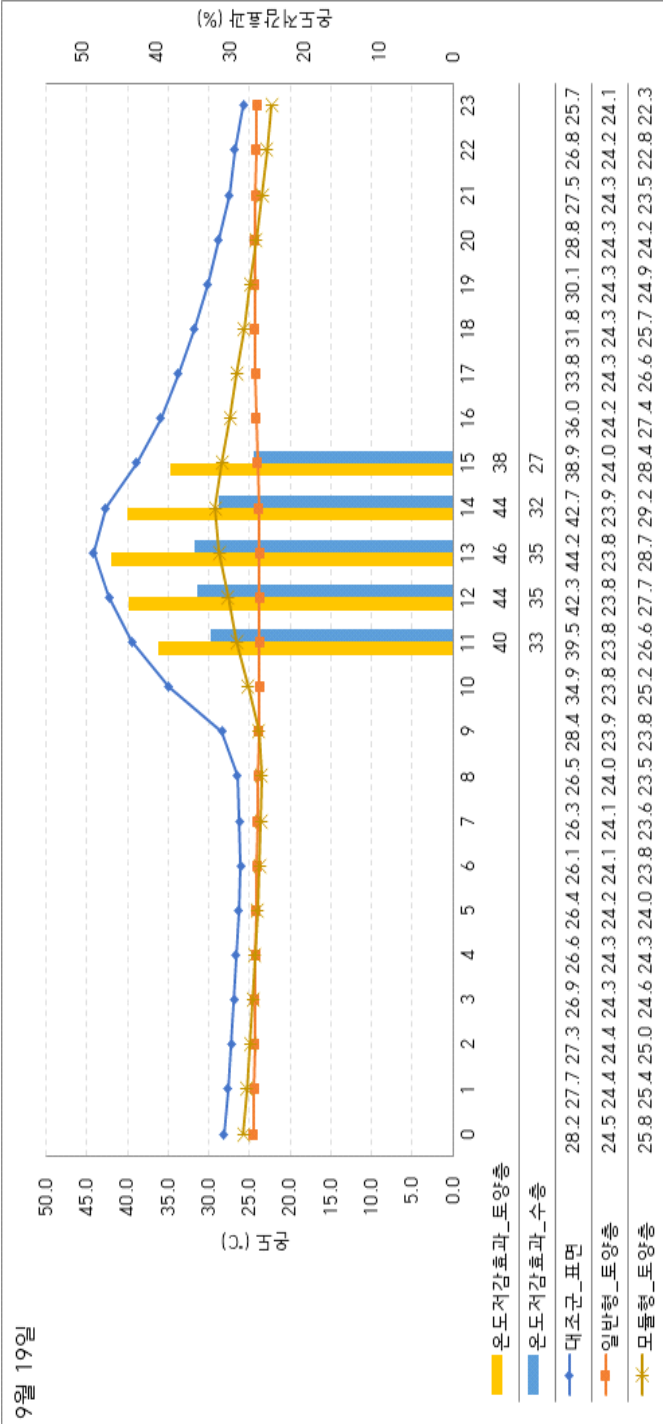
대조군, 일반형 및 모듈형의 측정값을 비교한 결과, 최저 온도 및 최고온도는 대조군

에서 관찰되었다. 또한, 평균 값을 기준으로 비교하였을 때 일반형에서 가장 낮은 표면 온도를 보이는 것으로 분석되었다.

[그림 4-14] 토양층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 17일 그래프)



[그림 4-15] 토양층 온도 비교 (예시, 2022년 9월 19일 그래프)



[표 4-12] 옥상포장 바닥면 표면층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	43.3	24.2	28.8	30.9	5.8
2	9월 11일	36.0	25.3	27.2	28.7	3.1
3	9월 12일	37.4	23.2	27.7	28.8	4.7
4	9월 13일	35.9	24.4	28.0	28.6	3.3
5	9월 14일	36.8	24.8	27.0	28.5	3.4
6	9월 15일	34.4	23.5	28.6	28.7	3.8
7	9월 16일	40.0	25.6	27.5	30.2	4.5
8	9월 17일	41.4	25.2	28.3	29.7	4.3
9	9월 18일	45.8	25.1	29.9	31.6	6.0
10	9월 19일	45.2	25.1	28.1	31.4	6.0
11	9월 20일	36.5	20.6	22.4	24.0	4.1
12	9월 21일	41.0	17.4	23.6	25.7	7.4
13	9월 22일	40.3	18.7	24.9	26.0	6.1
14	9월 23일	34.5	18.4	22.2	23.5	4.1
15	9월 24일	38.1	15.5	21.8	23.3	7.0
16	9월 25일	39.5	18.2	22.8	24.9	6.3
17	9월 26일	38.5	18.1	22.9	24.7	5.9
18	9월 27일	40.6	17.4	23.4	25.3	7.1
19	9월 28일	35.4	19.0	22.5	24.2	4.5
20	9월 29일	39.2	19.5	23.3	25.9	6.2
21	9월 30일	39.4	18.2	23.3	25.5	6.7
22	10월 1일	39.1	17.7	24.5	25.6	6.6
23	10월 2일	25.9	19.4	22.1	22.2	1.9
24	10월 3일	26.1	19.8	22.9	22.2	1.4
25	10월 4일	31.7	19.1	25.8	24.9	2.9
26	10월 5일	33.9	17.4	19.6	22.0	4.8
27	10월 6일	28.0	14.8	18.8	19.8	3.5
28	10월 7일	27.5	13.3	16.7	17.9	3.9
29	10월 8일	30.7	12.0	17.1	18.6	5.7
30	10월 9일	22.2	10.5	11.8	13.5	3.2
31	10월 10일	16.8	11.8	15.9	15.3	1.3
32	10월 11일	27.8	8.6	12.8	15.0	6.0
33	10월 12일	30.5	8.5	15.1	16.3	7.0
34	10월 13일	33.5	11.3	17.3	18.9	7.0
35	10월 14일	29.8	14.3	18.8	19.6	4.6
36	10월 15일	34.3	14.3	20.4	21.3	6.1
37	10월 16일	24.2	16.6	18.4	19.1	2.0
38	10월 17일	27.1	10.6	14.8	16.1	4.9
39	10월 18일	26.2	7.3	10.9	13.3	5.8

[표 4-13] 일반형 옥상녹화 토양층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	23.9	22.7	23.3	23.3	0.4
2	9월 11일	24.0	23.4	23.7	23.7	0.2
3	9월 12일	23.9	23.0	23.6	23.5	0.3
4	9월 13일	23.7	23.0	23.4	23.4	0.2
5	9월 14일	23.7	23.0	23.3	23.3	0.2
6	9월 15일	23.2	22.2	22.7	22.7	0.3
7	9월 16일	23.5	22.9	23.1	23.1	0.1
8	9월 17일	24.4	23.6	23.8	23.9	0.3
9	9월 18일	24.6	23.5	24.0	24.1	0.4
10	9월 19일	24.5	23.7	24.2	24.1	0.2
11	9월 20일	24.1	22.4	23.3	23.3	0.5
12	9월 21일	22.6	20.6	21.4	21.4	0.5
13	9월 22일	21.3	20.0	20.8	20.7	0.4
14	9월 23일	21.0	19.6	20.2	20.3	0.3
15	9월 24일	19.7	18.0	18.7	18.7	0.4
16	9월 25일	19.3	18.0	18.5	18.6	0.5
17	9월 26일	19.5	18.4	19.0	19.0	0.4
18	9월 27일	20.1	18.5	19.2	19.3	0.5
19	9월 28일	20.3	19.2	19.7	19.7	0.4
20	9월 29일	20.7	19.4	20.0	20.0	0.4
21	9월 30일	20.7	19.4	20.2	20.1	0.4
22	10월 1일	20.7	19.4	20.2	20.1	0.4
23	10월 2일	20.6	19.8	20.2	20.2	0.2
24	10월 3일	19.8	18.9	19.1	19.2	0.3
25	10월 4일	19.4	18.4	19.0	19.0	0.2
26	10월 5일	18.4	17.2	17.6	17.6	0.3
27	10월 6일	17.5	16.4	16.8	16.8	0.3
28	10월 7일	16.7	15.2	15.6	15.8	0.4
29	10월 8일	15.2	14.1	14.7	14.6	0.3
30	10월 9일	14.1	11.9	12.7	12.9	0.6
31	10월 10일	14.9	14.1	14.5	14.5	0.2
32	10월 11일	11.9	10.8	11.4	11.3	0.3
33	10월 12일	12.3	10.7	11.3	11.4	0.5
34	10월 13일	13.8	11.8	12.2	12.5	0.7
35	10월 14일	15.0	13.5	13.7	14.0	0.5
36	10월 15일	16.0	14.6	15.0	15.2	0.5
37	10월 16일	16.1	15.7	15.9	15.9	0.1
38	10월 17일	16.0	13.7	14.7	14.9	0.7
39	10월 18일	13.7	11.9	12.2	12.5	0.5

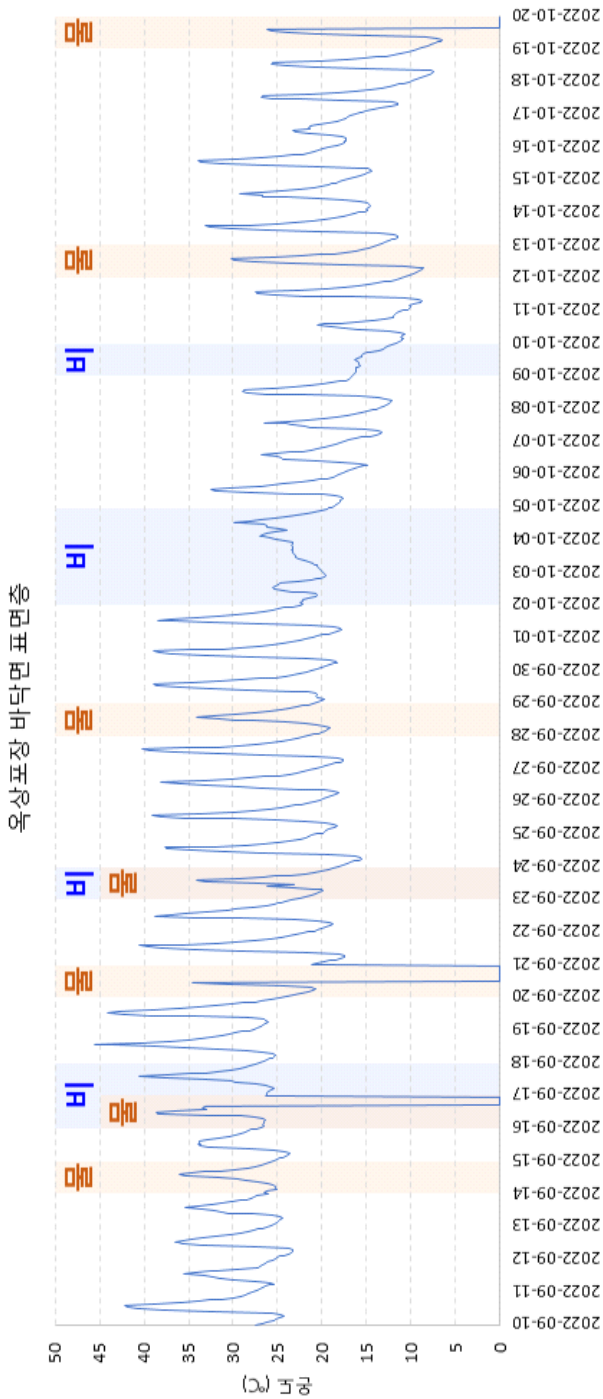
[표 4-14] 모듈형 옥상녹화 수층 온도

	날짜	최고온도	최저온도	중간온도	평균온도	표준편차
1	9월 10일	27.2	24.8	26.4	26.2	0.8
2	9월 11일	26.8	25.5	26.2	26.2	0.3
3	9월 12일	26.7	24.5	25.9	25.8	0.7
4	9월 13일	26.4	22.6	25.8	25.7	0.6
5	9월 14일	25.8	23.5	24.9	24.9	0.4
6	9월 15일	26.0	22.9	24.6	24.8	0.9
7	9월 16일	26.9	24.6	25.4	25.5	0.6
8	9월 17일	27.6	25.5	26.4	26.7	0.6
9	9월 18일	27.8	25.8	26.9	26.8	0.6
10	9월 19일	26.8	23.8	24.9	25.0	0.7
11	9월 20일	24.1	21.3	22.3	22.4	0.9
12	9월 21일	23.0	18.6	21.8	21.6	1.1
13	9월 22일	22.8	18.9	22.0	21.7	1.0
14	9월 23일	22.7	19.5	21.0	21.2	0.9
15	9월 24일	20.5	16.7	19.4	19.4	0.9
16	9월 25일	21.6	19.5	20.3	20.5	0.7
17	9월 26일	21.8	20.1	21.0	21.0	0.5
18	9월 27일	22.6	20.1	21.4	21.4	0.8
19	9월 28일	23.4	21.1	22.2	22.2	0.7
20	9월 29일	23.5	20.5	22.5	22.4	0.7
21	9월 30일	23.3	20.5	22.4	22.3	0.8
22	10월 1일	23.2	20.8	22.3	22.2	0.7
23	10월 2일	23.1	20.8	21.8	21.9	0.6
24	10월 3일	22.9	20.5	20.9	21.3	0.7
25	10월 4일	22.7	18.5	20.8	20.8	1.1
26	10월 5일	19.3	17.0	18.3	18.3	0.6
27	10월 6일	18.3	16.7	17.6	17.5	0.4
28	10월 7일	17.5	14.9	15.7	15.9	0.7
29	10월 8일	16.8	14.5	15.5	15.6	0.8
30	10월 9일	14.9	11.0	12.1	12.5	1.0
31	10월 10일	16.5	14.9	15.8	15.8	0.4
32	10월 11일	13.0	10.1	11.0	11.5	1.0
33	10월 12일	19.5	11.8	12.9	14.0	2.0
34	10월 13일	17.9	14.0	16.0	16.2	1.2
35	10월 14일	18.8	15.6	17.4	17.6	0.9
36	10월 15일	19.5	16.8	18.4	18.5	0.8
37	10월 16일	19.4	18.2	18.6	18.7	0.3
38	10월 17일	18.3	12.5	13.5	14.3	1.8
39	10월 18일	12.7	10.9	12.1	12.0	0.5

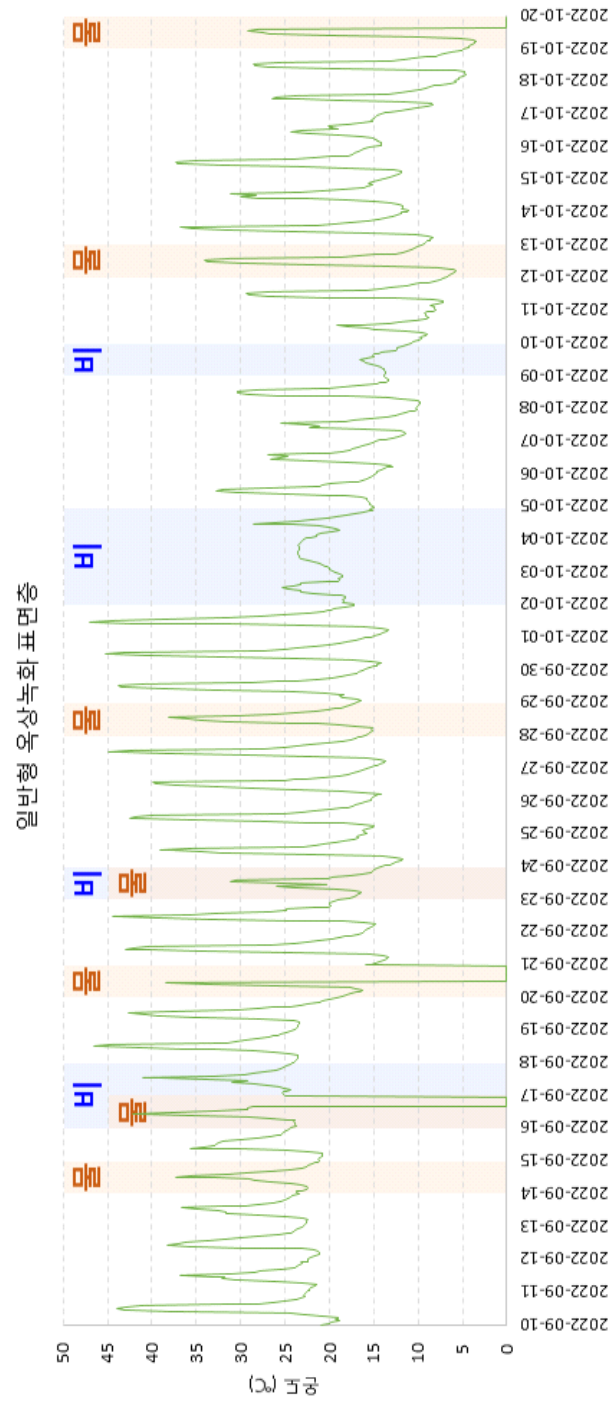
6. 측정 위치 별 온도 (9월 10일 ~ 10월 20일)

옥상포장 바닥면과 일반형 및 모듈형 옥상녹화의 측정 위치에 따른 온도 값을 [그림 4-16] ~ [그림 4-21]에 나타내었다.

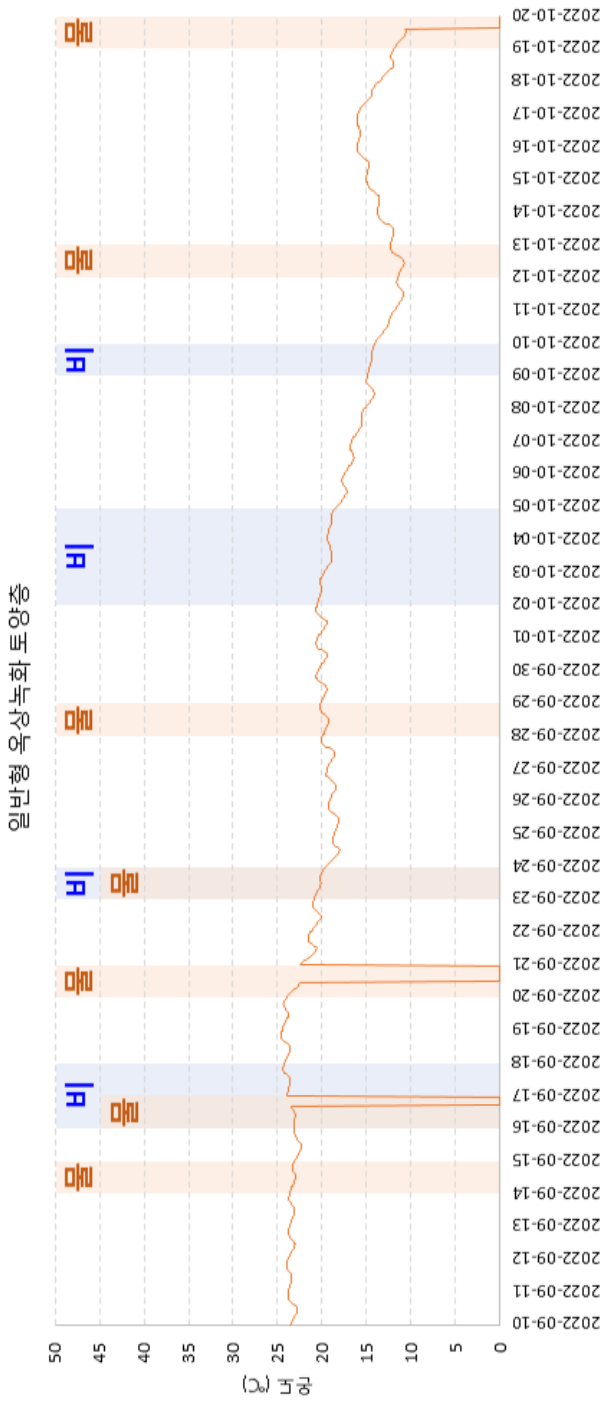
[그림 4-16] 옥상포장 바닥면 날짜별 표면층 온도



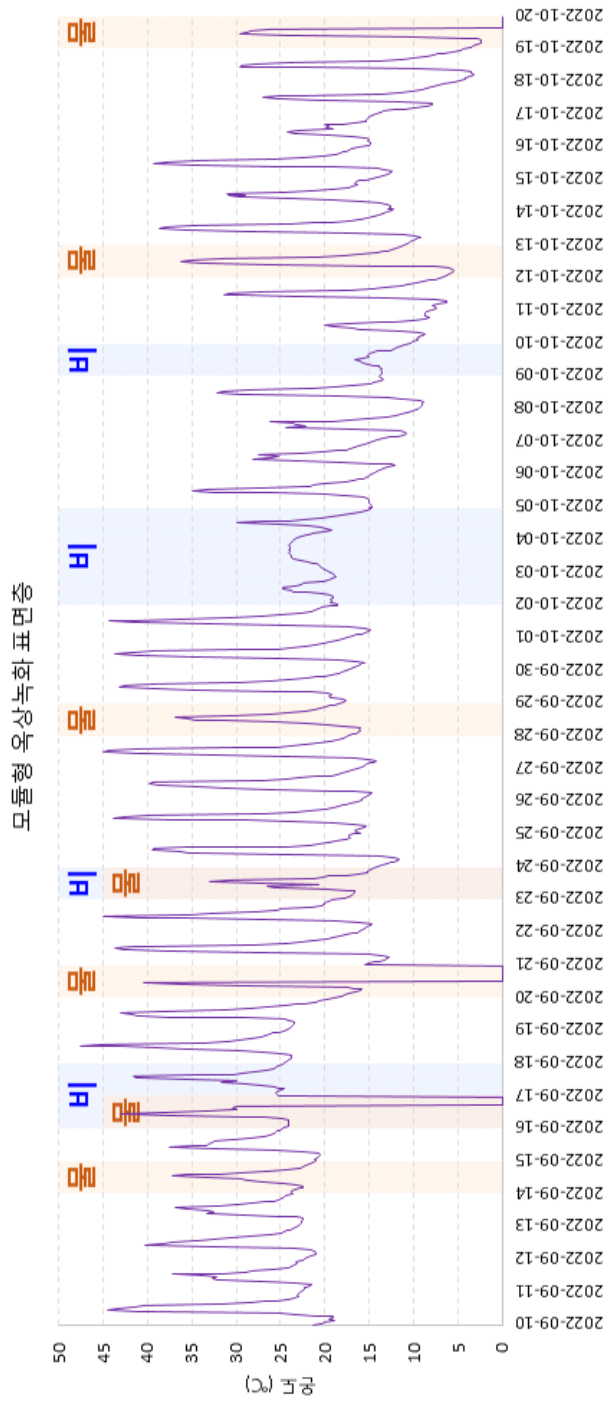
[그림 4-17] 일변형 응상녹화 납배열 표면층 온도



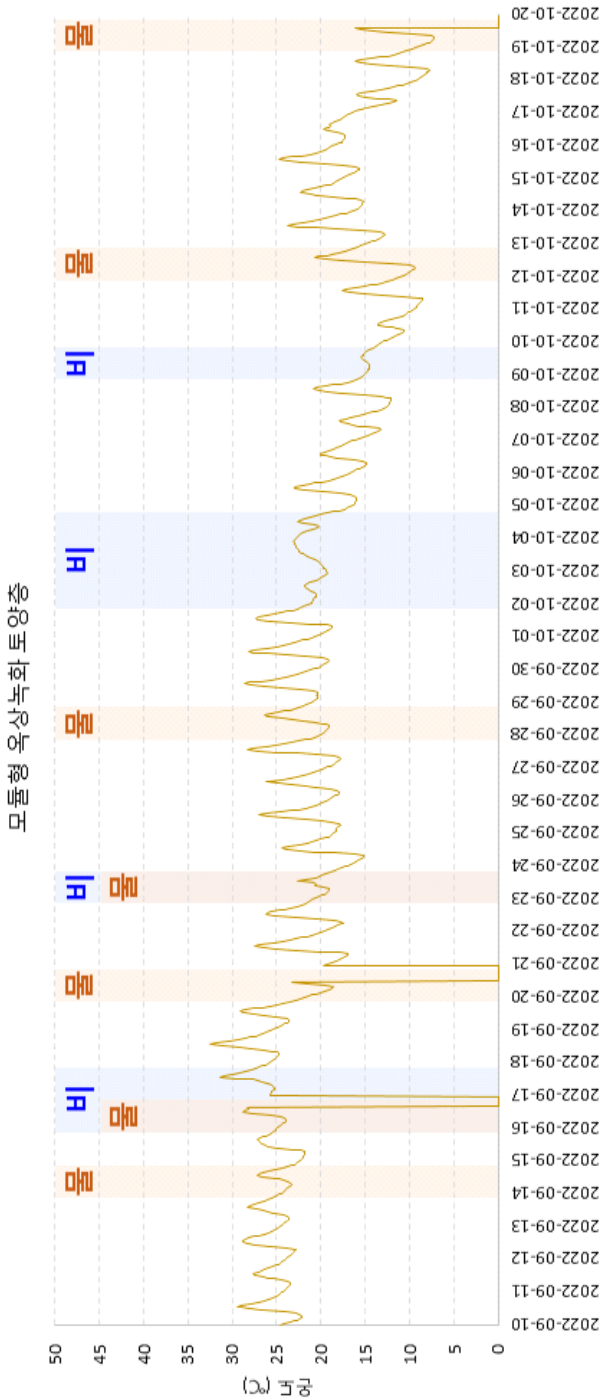
[그림 4-18] 일사형 응급복화 시스템 토양층 온도



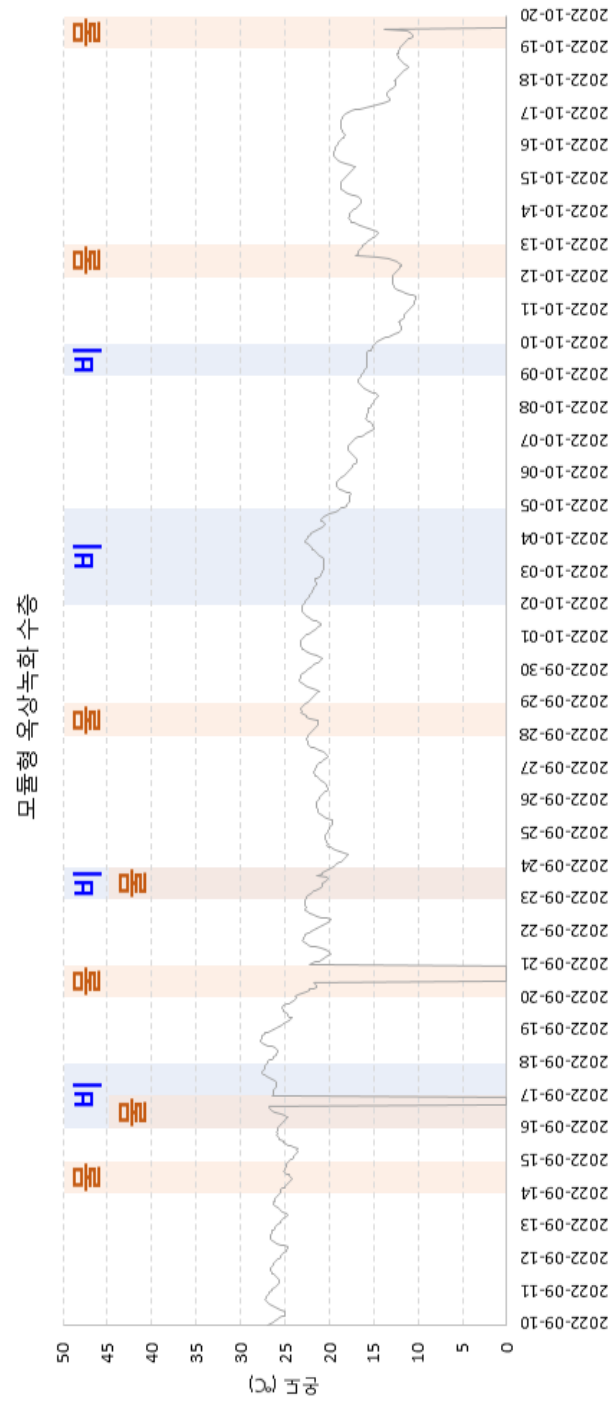
[그림 4-19] 모듈형 응상노화 11개별 표면중 온도



[그림 4-20] 모뎀형 에너지복합 시스템 토양층 온도



[그림 4-21] 모듬형 응상녹화 납재별 수중 온도



제2절 주간별 온도 비교

일별로 측정된 데이터를 효과적으로 분석하기 위해 일주일(7일)을 분석 대상 기간으로 선정하였으며 15일 이후는 5일으로 [표 4-1]은 기상청 자료를 통해 전체 분석 대상기간의 최고기온, 강우량, 최고습도 및 최대순간풍향을 나타내었다. 온도측정기간동안 9월 16일, 17일, 23일 및 10월 2일, 3일, 4일, 9일 비가 왔으며, 9월 14일, 16일, 20일, 23일 및 10월 12일, 19일 모듈형 옥상녹화에 물을 제공했다.

분석 대상 기간으로 선정된 1주차 ~ 6주차 동안 최고기온의 평균은 각 28℃, 28℃, 28℃, 22℃, 20℃ 및 19℃이었으며 최고습도의 평균은 90%, 86%, 80%, 77%, 80% 및 84%이었다. 또한, 최대순간풍향의 평균은 196m/s, 189m/s, 322m/s, 232m/s, 253m/s 및 219m/s이었다.

1. 표면층 온도 비교

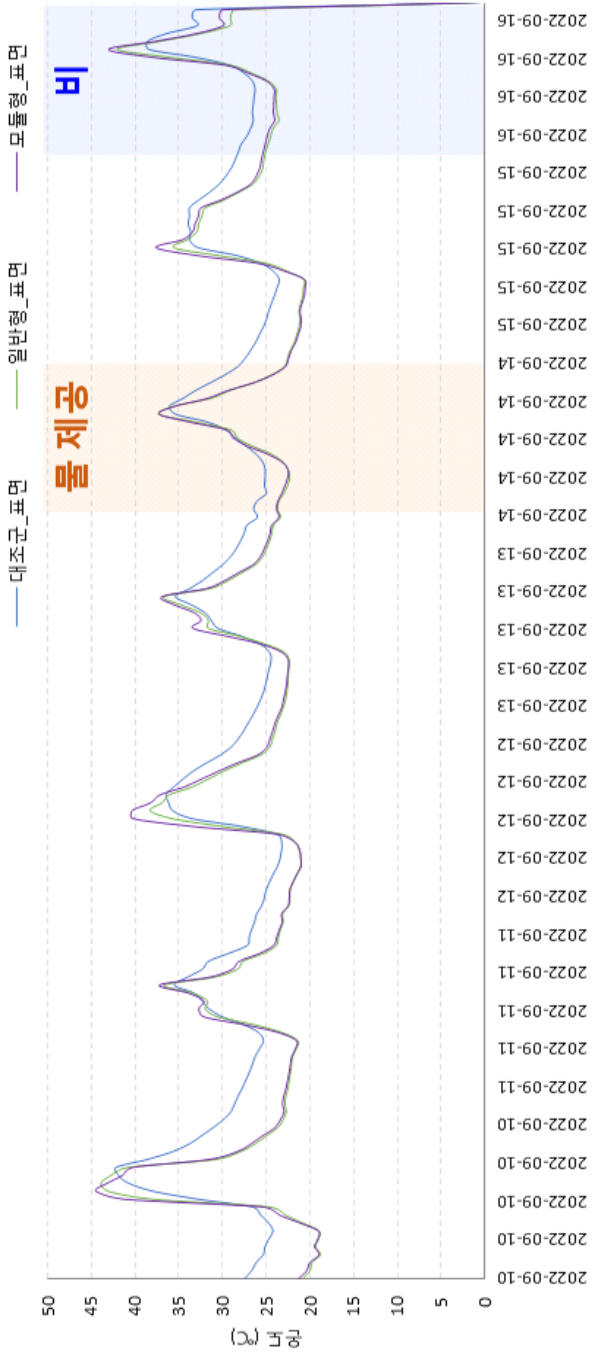
[그림 4-22] ~ [그림 4-27]에는 모듈형 옥상녹화, 일반형 옥상녹화 및 옥상포장 바닥면의 표면층 온도를 분석 대상 기간에 따라 비교 분석하였다. 분석 결과 오전 11시부터 오후 3시까지 표면층의 온도는 비슷한 수준이었으며, 오후 7시부터 그다음 날 오전 7시까지는 일반형과 모듈형 옥상녹화의 온도가 22.8℃ 수준으로 열대야 현상의 예방 효과가 있는 것으로 나타났다. 모듈형 옥상녹화에 물을 제공한 날은 제공하지 않은 날과 비슷한 수준이었으나, 비가 온 날에는 대부분 표면층의 온도차가 적었다.

[표 4-15] 측정기간 동안 외부 환경

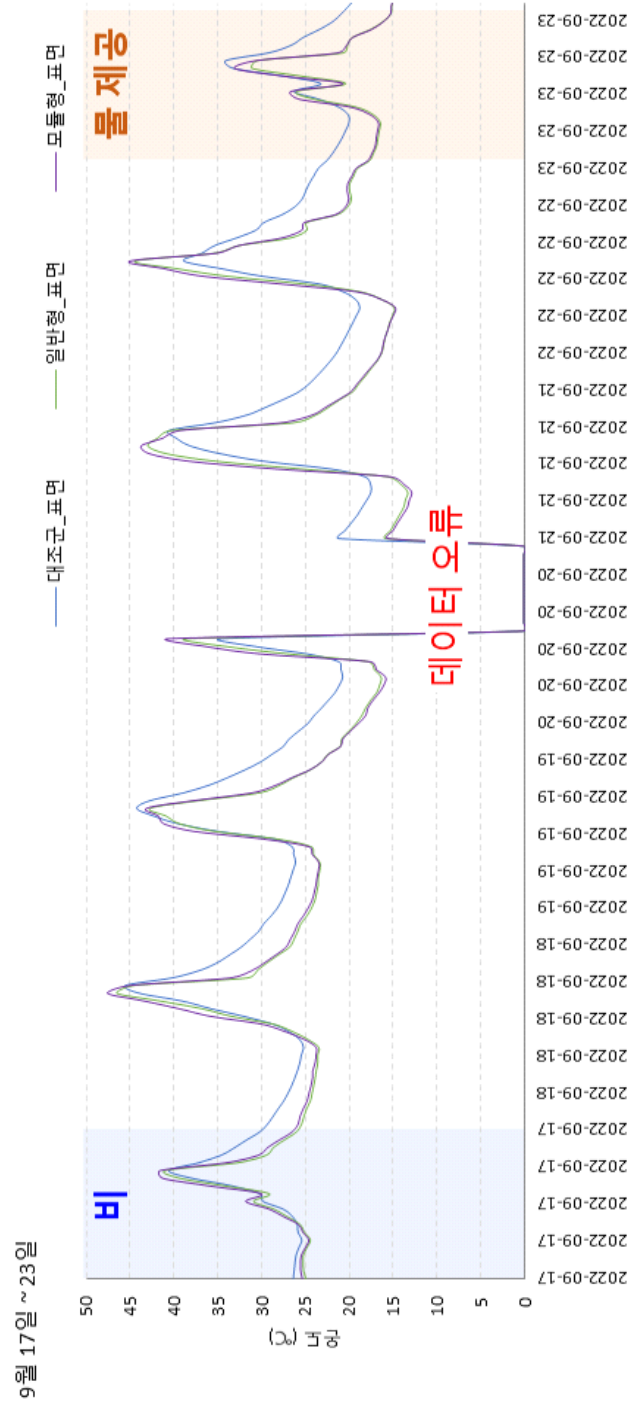
	날짜	최고기온	강우량	최고습도	최대 순간 풍속	풍향	비고
1	9월 10일	29	0	84	168.8	S	
2	9월 11일	26.6	0	93	331.9	NNW	
3	9월 12일	28.1	0	95	343.1	NNW	
4	9월 13일	27.2	0	92	90	E	
5	9월 14일	28.3	0	86	101.3	ESE	물제공
6	9월 15일	28.4	0	84	165.9	SSE	
7	9월 16일	31.5	6.5	94	168.8	S	물제공
8	9월 17일	30.5	1	96	185.6	S	
9	9월 18일	34.2	0	95	8.4	N	
10	9월 19일	29.8	0	82	90	E	
11	9월 20일	25.6	0	87	329.1	NNW	물제공
12	9월 21일	26.5	0	90	180	S	
13	9월 22일	26	0	69	171.6	S	
14	9월 23일	23.4	4	85	357.2	N	물제공
15	9월 24일	25.8	0	84	329.1	NNW	
16	9월 25일	26.9	0	82	340.3	NNW	
17	9월 26일	27.4	0	76	345.9	NNW	
18	9월 27일	29	0	78	284.1	WNW	
19	9월 28일	27.3	0	77	323.4	NW	물제공
20	9월 29일	27.5	0	79	320.6	NW	
21	9월 30일	28.9	0	82	309.4	NW	
22	10월 1일	28.7	0	76	298.1	WNW	
23	10월 2일	22.8	15.5	82	163.1	SSE	
24	10월 3일	19.7	10.5	78	194.1	SSW	
25	10월 4일	20.2	8	70	300.9	WNW	
26	10월 5일	22.3	0	76	5.6	N	물제공
27	10월 6일	20.5	0	79	323.4	NW	
28	10월 7일	20.5	0	77	340.3	NNW	
29	10월 8일	22.3	0	80	191.3	SSE	
30	10월 9일	15.1	18	81	275.6	W	
31	10월 10일	14.3	0	81	348.8	N	
32	10월 11일	17.9	0	78	345.9	NNW	
33	10월 12일	21.3	0	81	135	SE	
34	10월 13일	23.9	0	81	160.3	SSE	
35	10월 14일	23.9	0	80	315	NW	
36	10월 15일	25.2	0	80	312.2	NW	
37	10월 16일	20.8	0	78	0.0 / N	N	
38	10월 17일	16.7	0	78	343.1	NNW	
39	10월 18일	15.6	0	91	216.6	SW	

[그림 4-22] 9월 10일 ~ 16일 표면중 온도 비교

9월 10일 ~ 16일

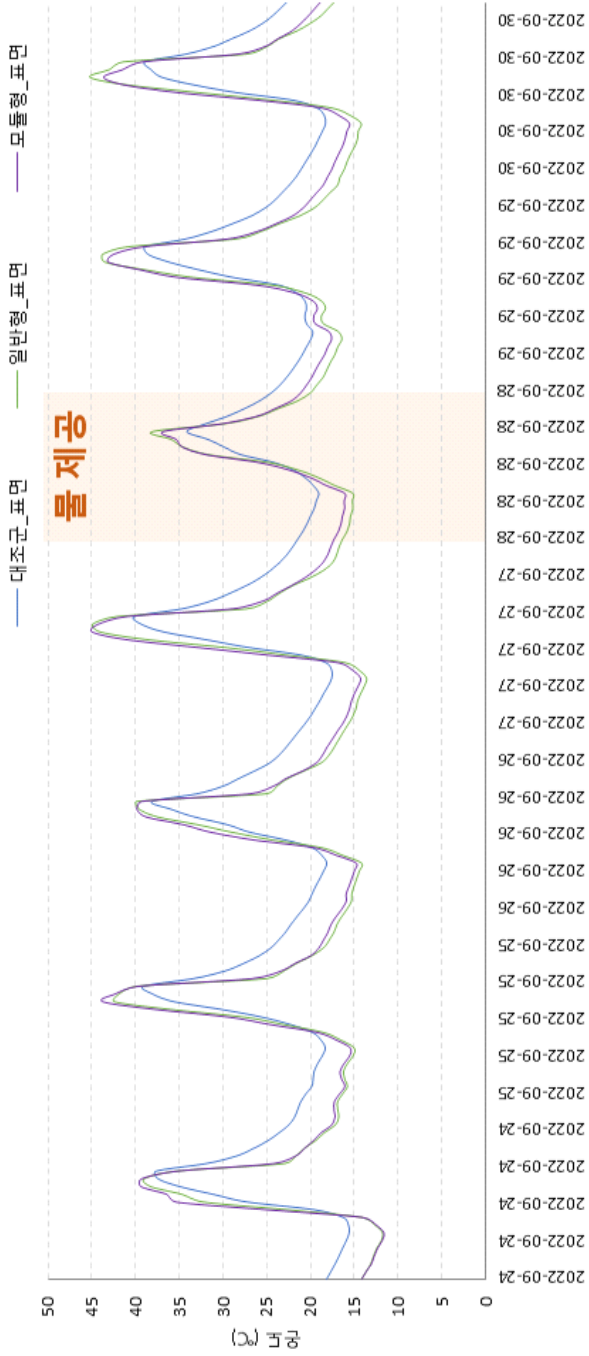


[그림 4-23] 9월 17일 ~ 23일 표면층 온도 비교

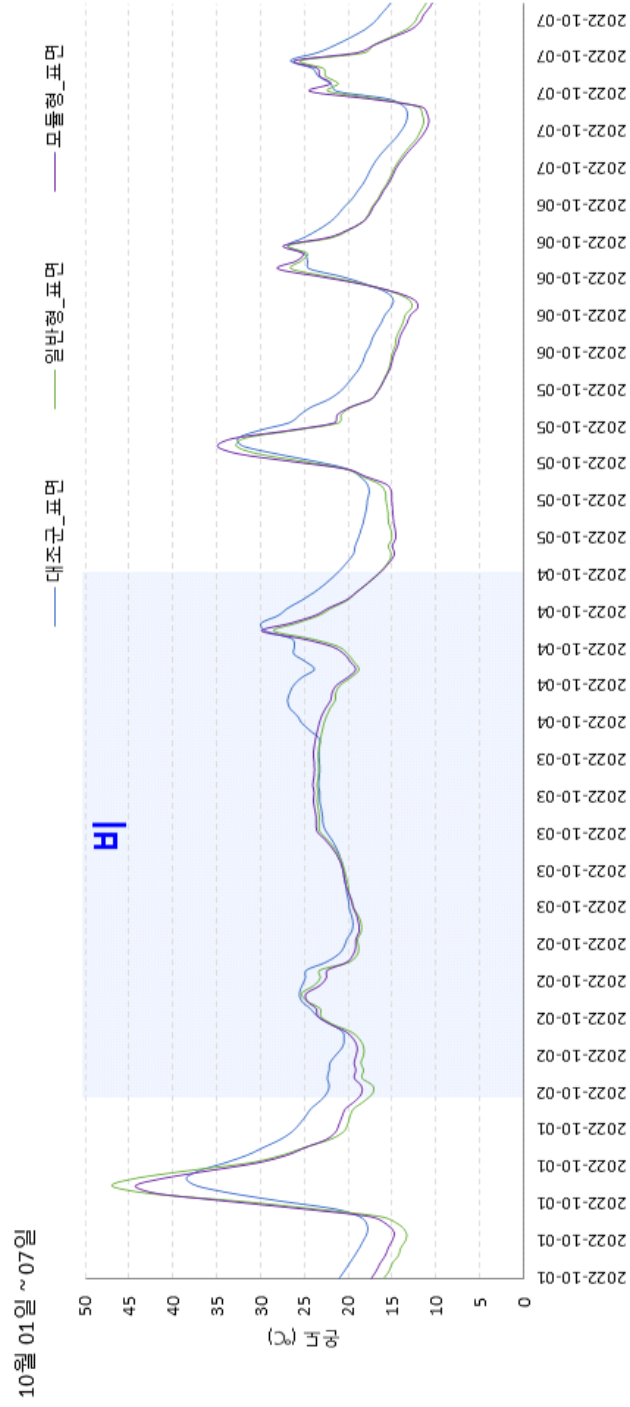


[그림 4-24] 9월 24일 ~ 30일 표면층 온도 비교

9월 24일 ~ 30일

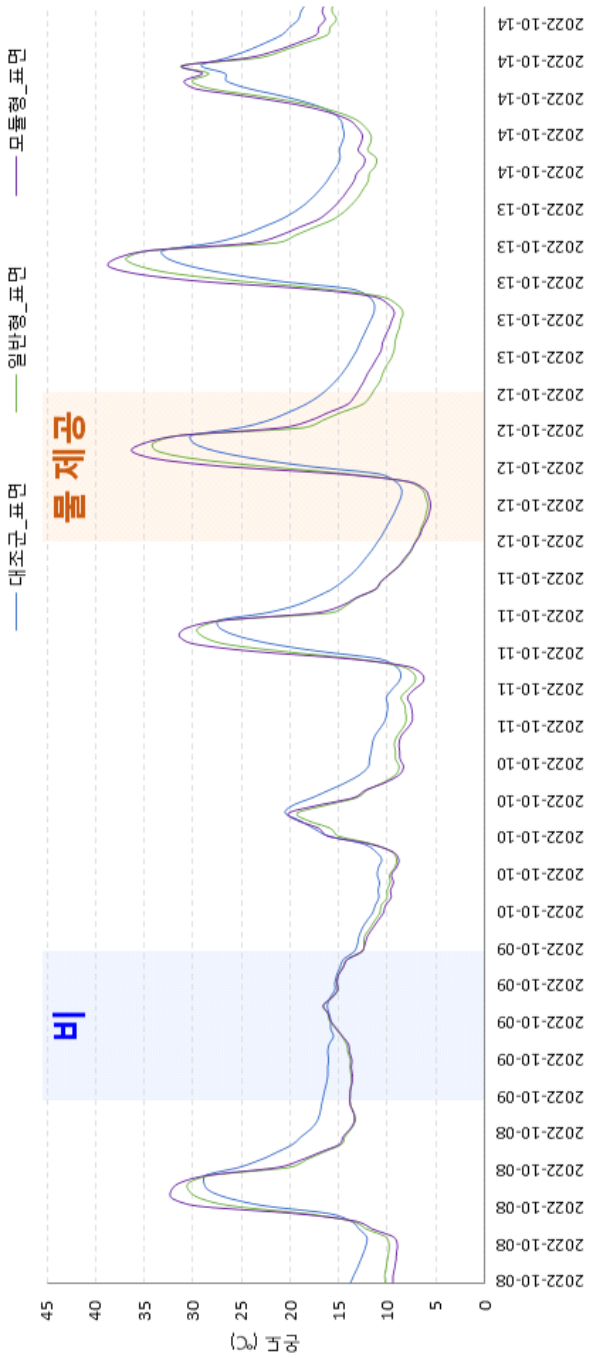


[그림 4-25] 10월 1일 ~ 7일 표면층 온도 비교



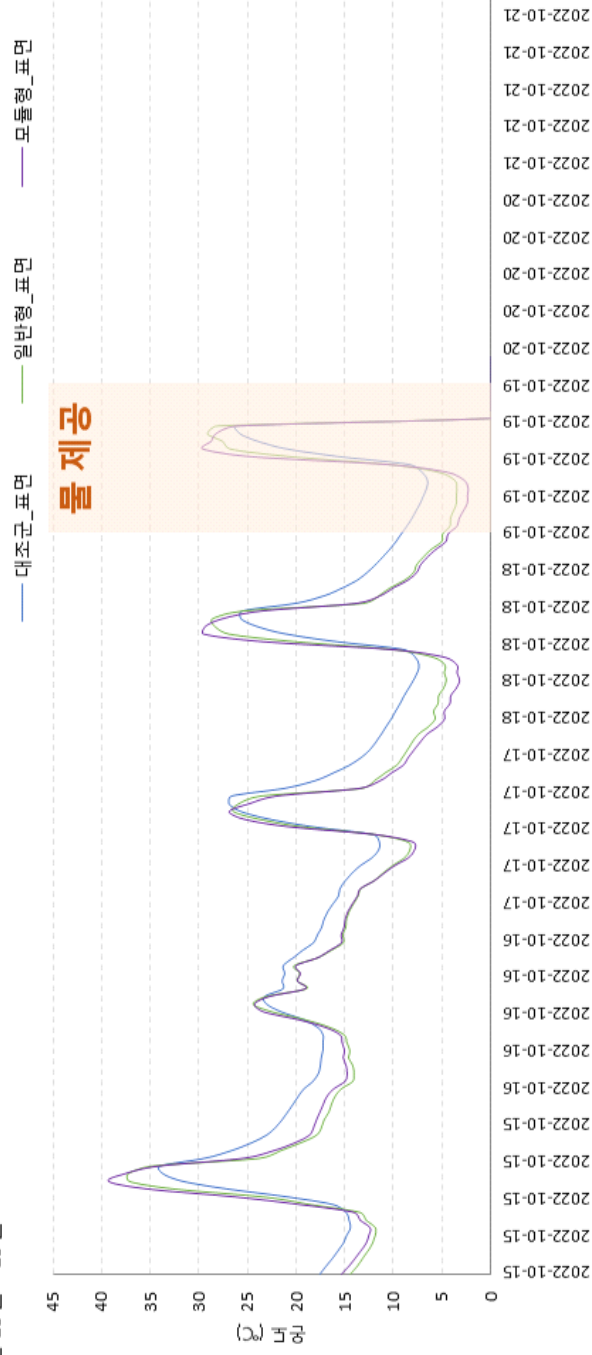
[그림 4-26] 10월 8일 ~ 14일 표면중 온도 비교

10월 08일 ~ 14일



[그림 4-27] 10월 15일 ~ 19일 표면층 온도 비교

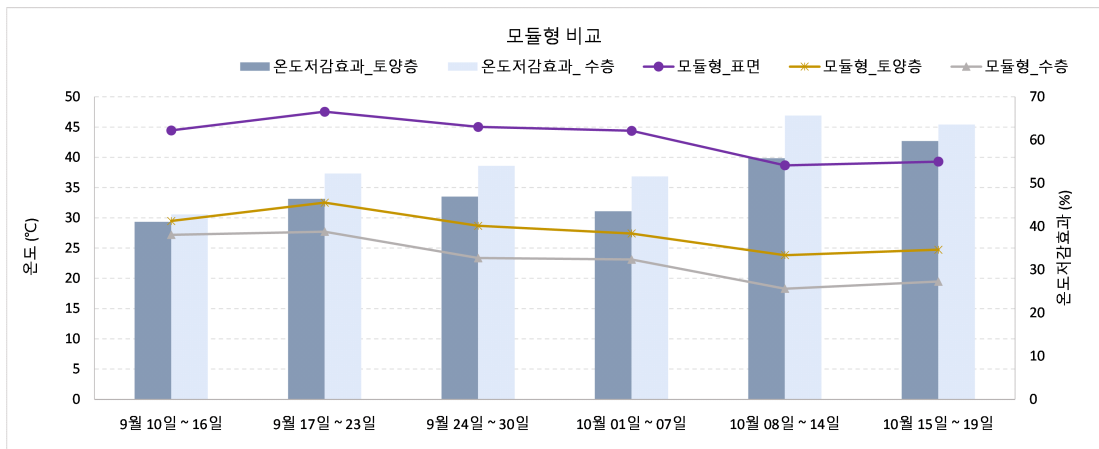
10월 15일 ~ 19일



2. 모듈형 옥상녹화 온도 비교

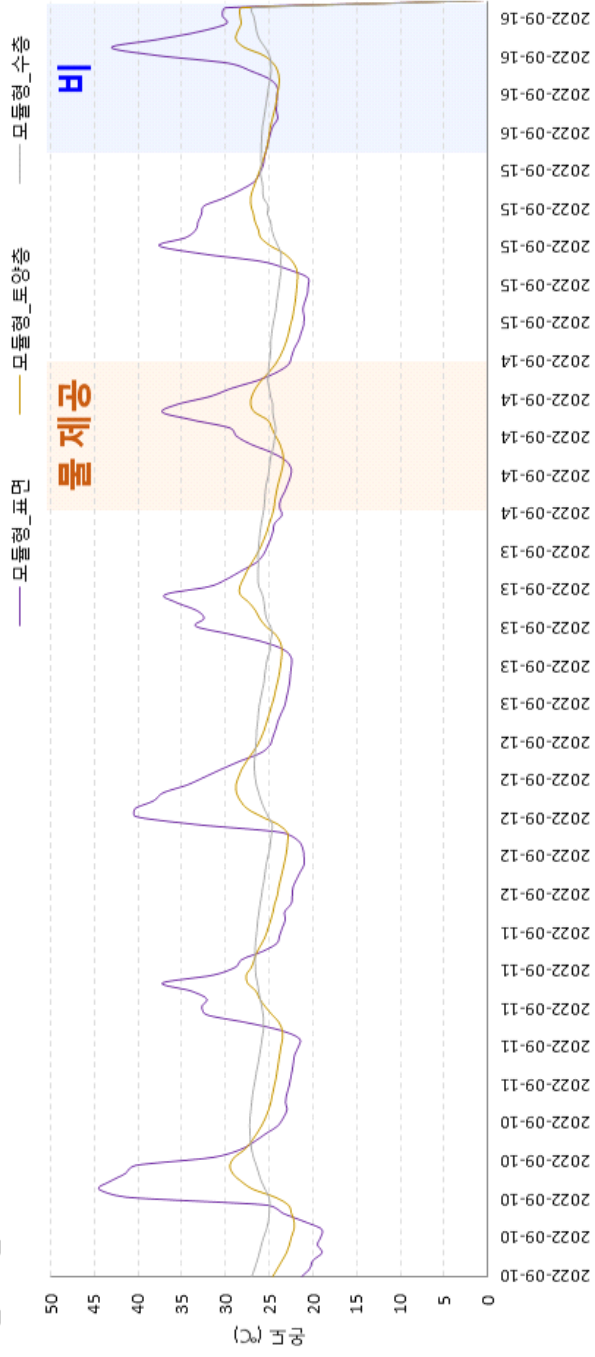
[그림 4-28]에는 모듈형 옥상녹화 온도측정 데이터 및 온도저감효과의 최대값을 나타내었다. [그림 4-29] ~ [그림 4-34]에는 모듈형 옥상녹화의 표면층, 토양층 및 수층 온도와 온도저감 효과를 분석 대상 기간에 따라 비교 분석하였다. 분석 결과, 모듈형 옥상녹화는 표면층이 가장 높은 온도 값을 보였으며, 수층이 가장 낮은 온도 값을 보였다. 또한, 표면층 대비 온도 저감 효과는 토양층보다 수층에서 높은 저감 효과가 나타났다. 수층은 모듈형 옥상녹화의 물 주입구 등의 외부환경에 노출되어 외부 온도에 대한 영향을 감안하여 효과적인 온도저감효과를 보인다고 판단된다. 모듈형 옥상녹화에 물을 제공한 날은 제공하지 않은 날과 비슷한 수준이었으나, 비가 온 날에는 대부분 표면층의 온도차가 적었다.

[그림 4-28] 모듈형 옥상녹화 온도 및 온도저감효과 분석



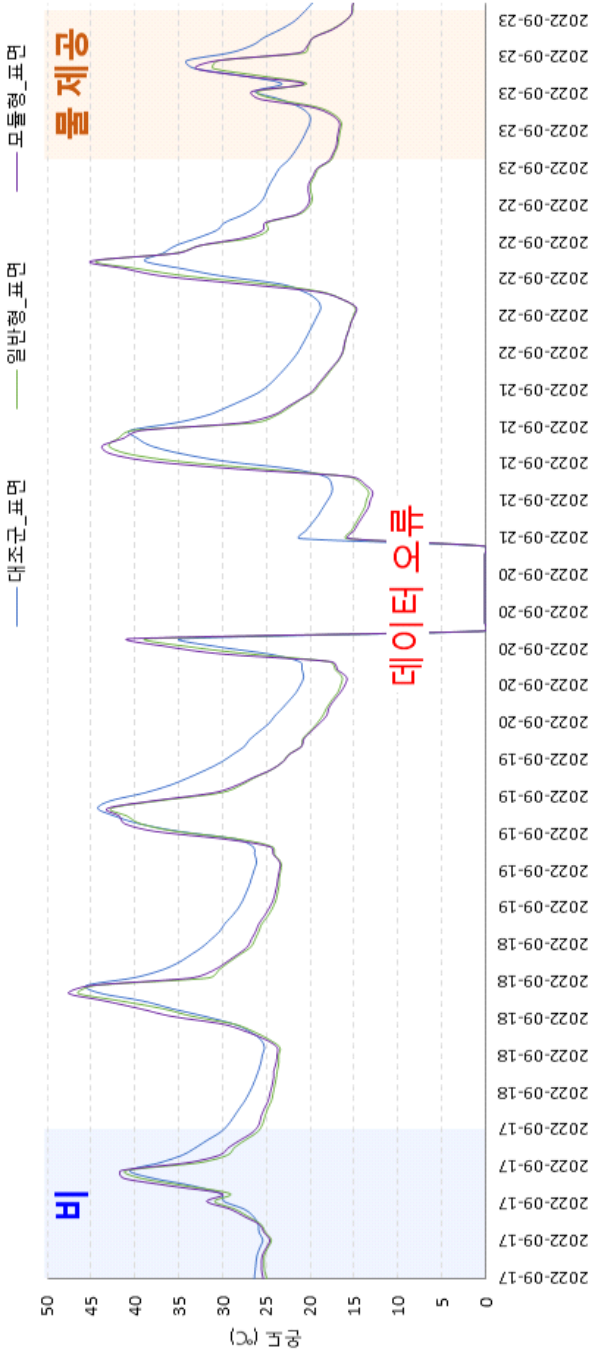
[그림 4-29] 9월 10일 ~ 16일 모퉁형 옥상농화 온도 비교

9월 10일 ~ 16일

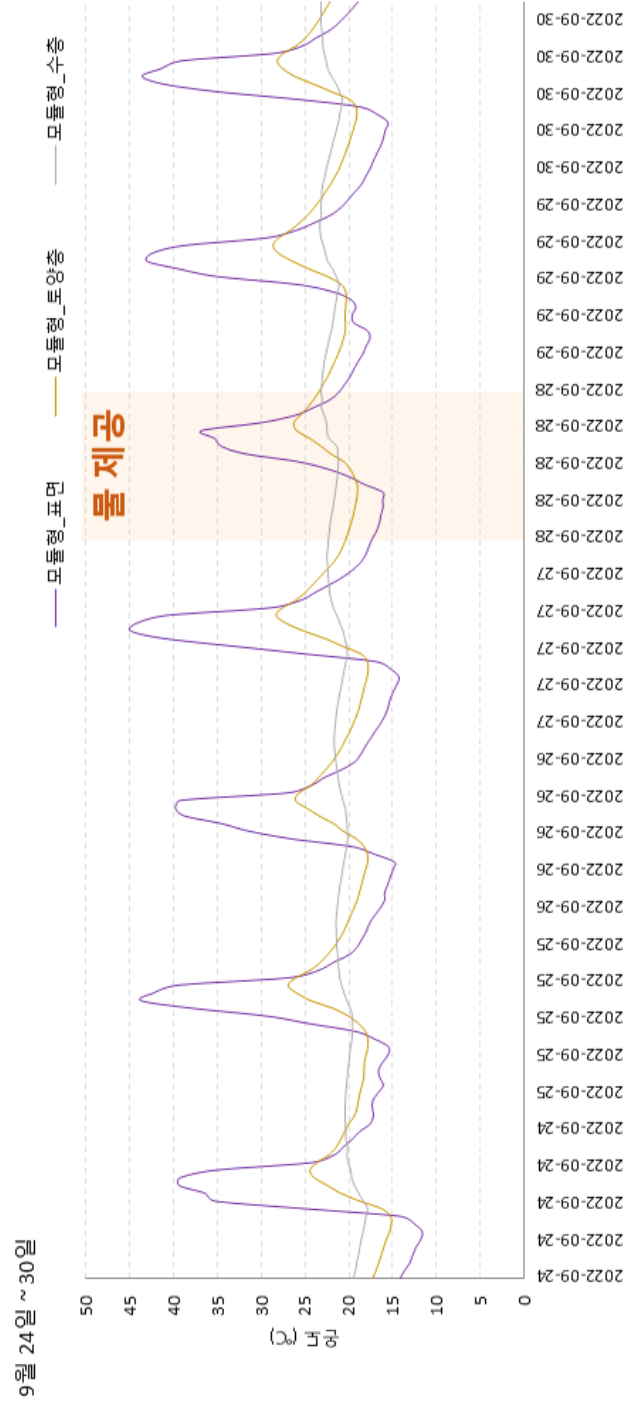


[그림 4-30] 9월 17일 ~ 23일 모듈형 옥상농장 온도 비교

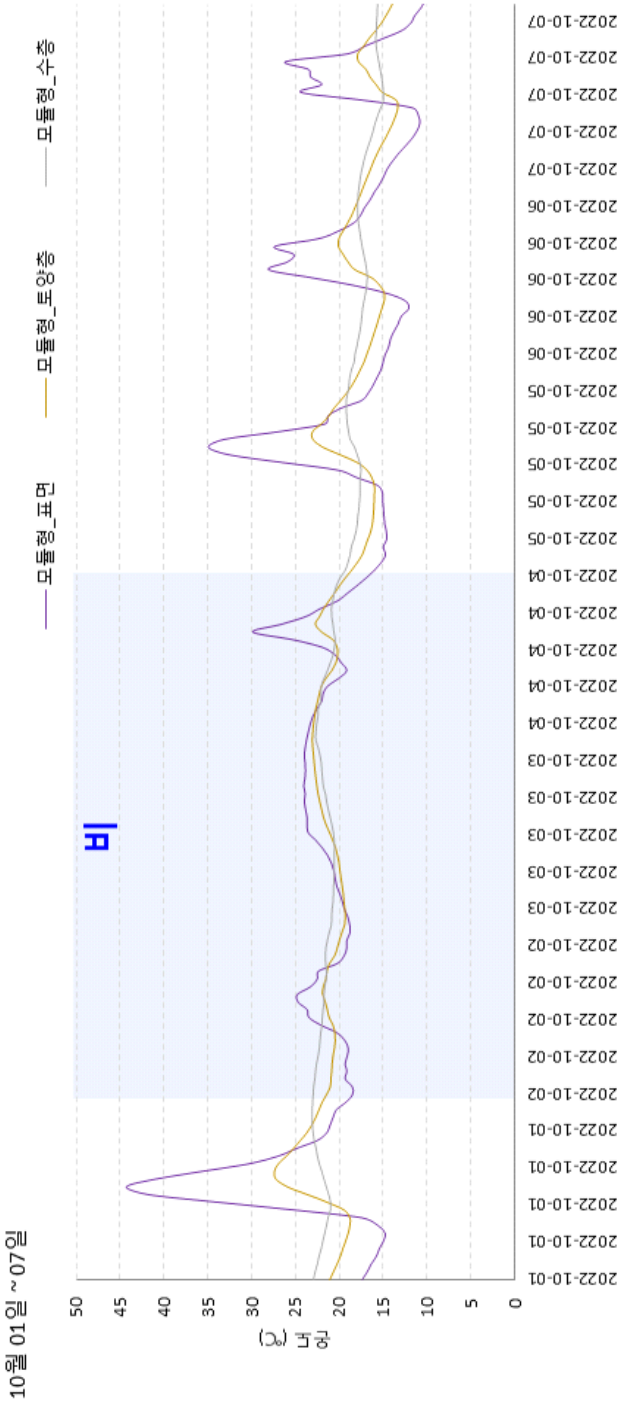
9월 17일 ~ 23일



[그림 4-31] 9월 24일 ~ 30일 모델링 예상노화 온도 비교

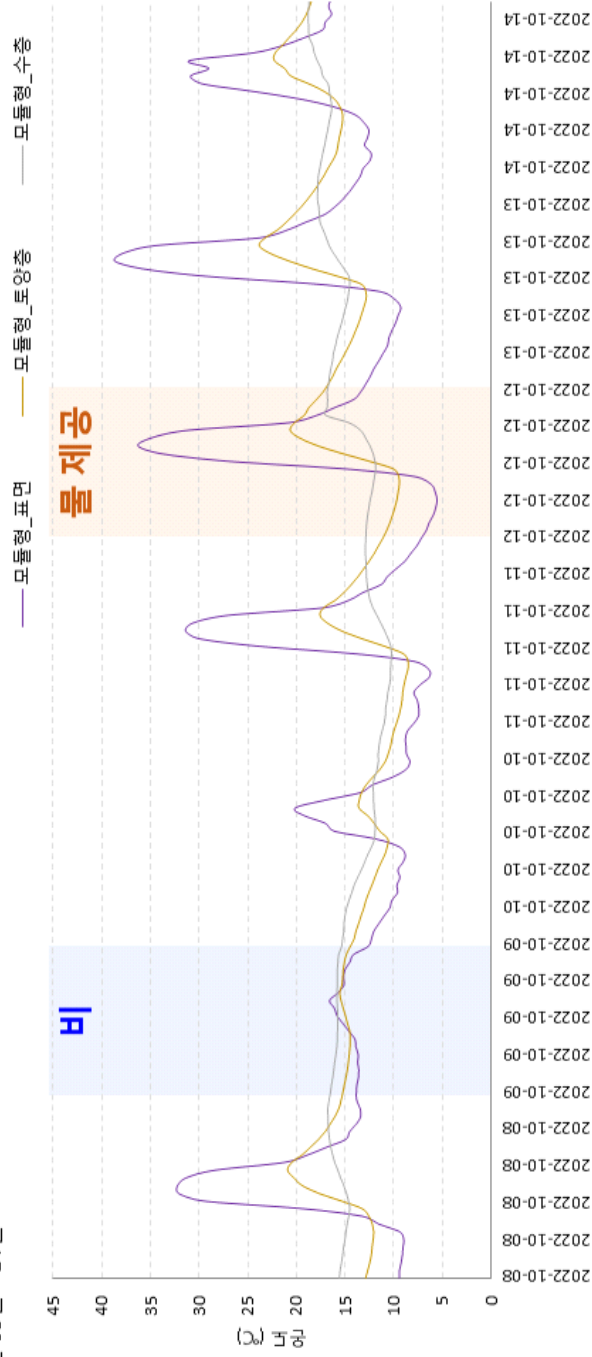


[그림 4-32] 10월 1일 ~ 7일 모듈형 응상보환 온도 비교



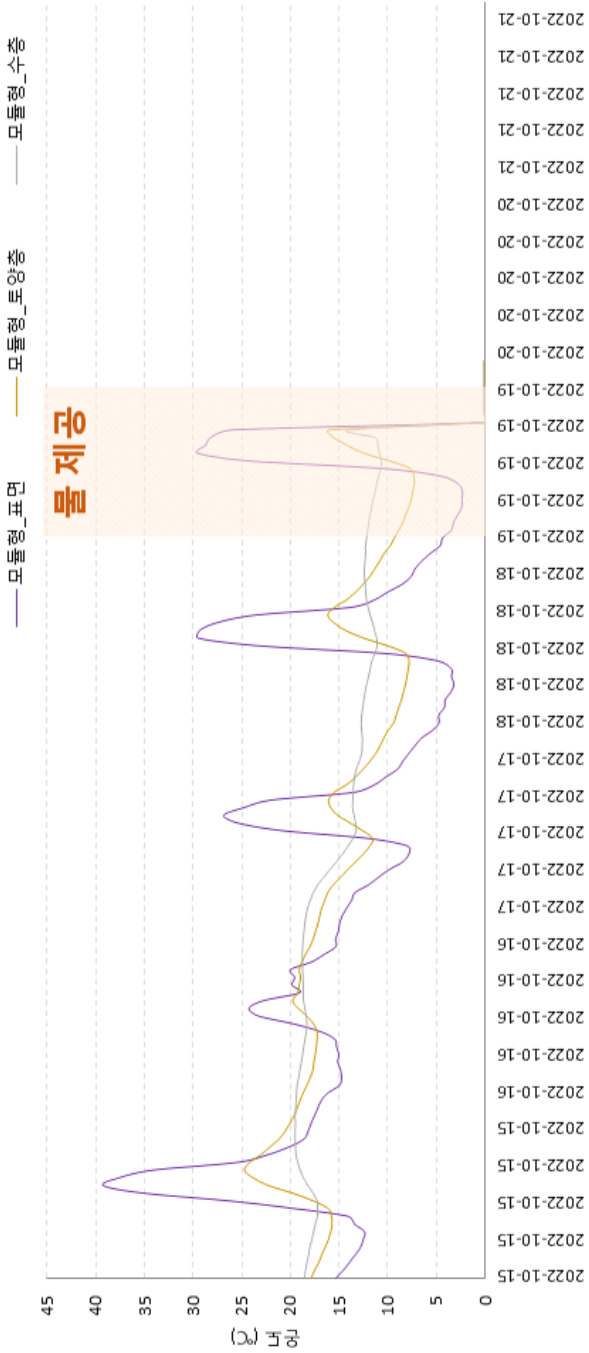
[그림 4-33] 10월 8일 ~ 14일 모듈형 옥상농화 온도 비교

10월 08일 ~ 14일



[그림 4-34] 10월 15일 ~ 19일 모듈형 응상축화 온도 비교

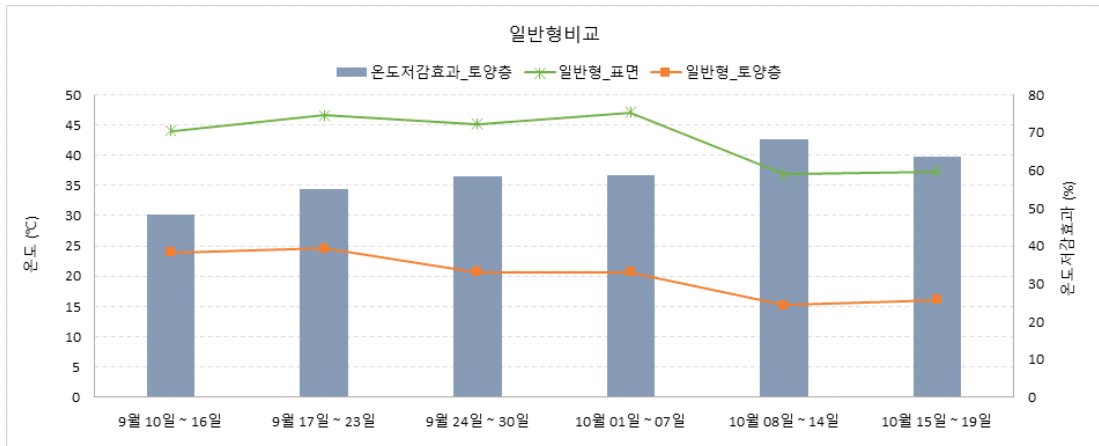
10월 15일 ~ 19일



3. 일반형 옥상녹화 온도 비교

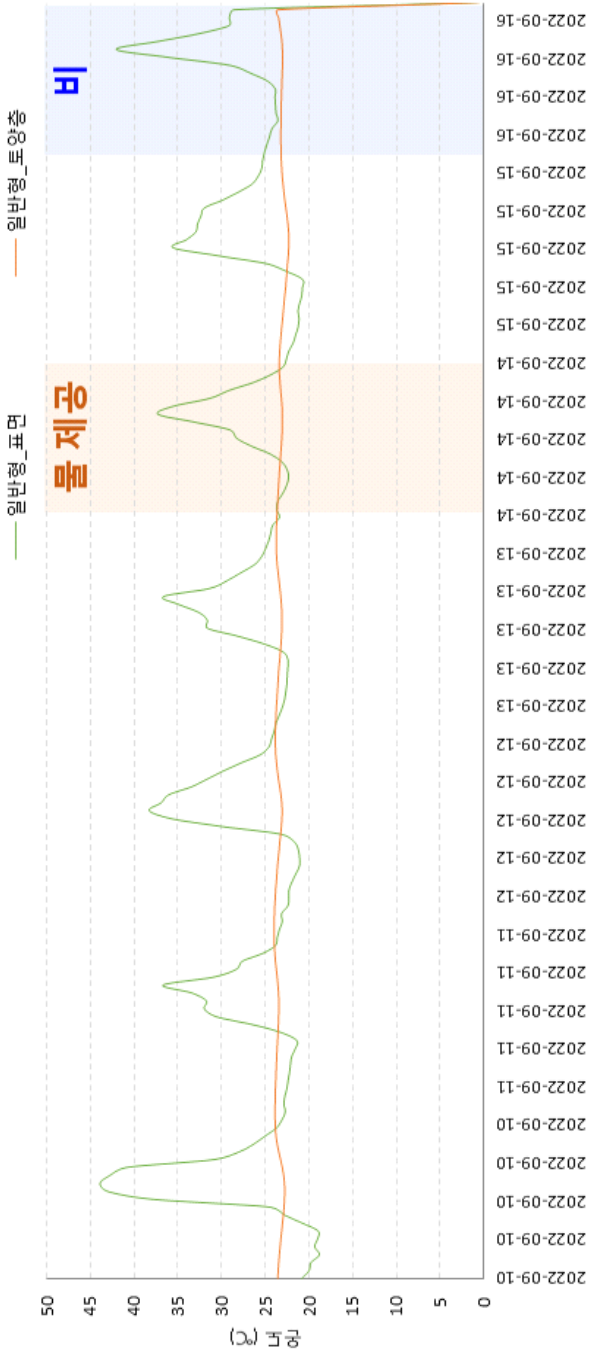
[그림 4-35]에는 일반형 옥상녹화 온도측정 데이터 및 온도저감효과의 최대값을 나타내었다. [그림 4-36] ~ [그림 4-41]에는 일반형 옥상녹화의 표면층 및 토양층 온도와 온도저감 효과를 분석 대상 기간에 따라 비교 분석하였다. 분석결과, 일반형 옥상녹화의 토양층은 25℃ 이하로 낮은 수준이었으며 외부 온도에 대한 영향이 매우 낮았다. 일반형 옥상녹화의 토양층은 비가 온 날에 영향을 받아 온도가 낮게 나타났다.

[그림 4-35] 일반형 옥상녹화 온도 및 온도저감효과 분석

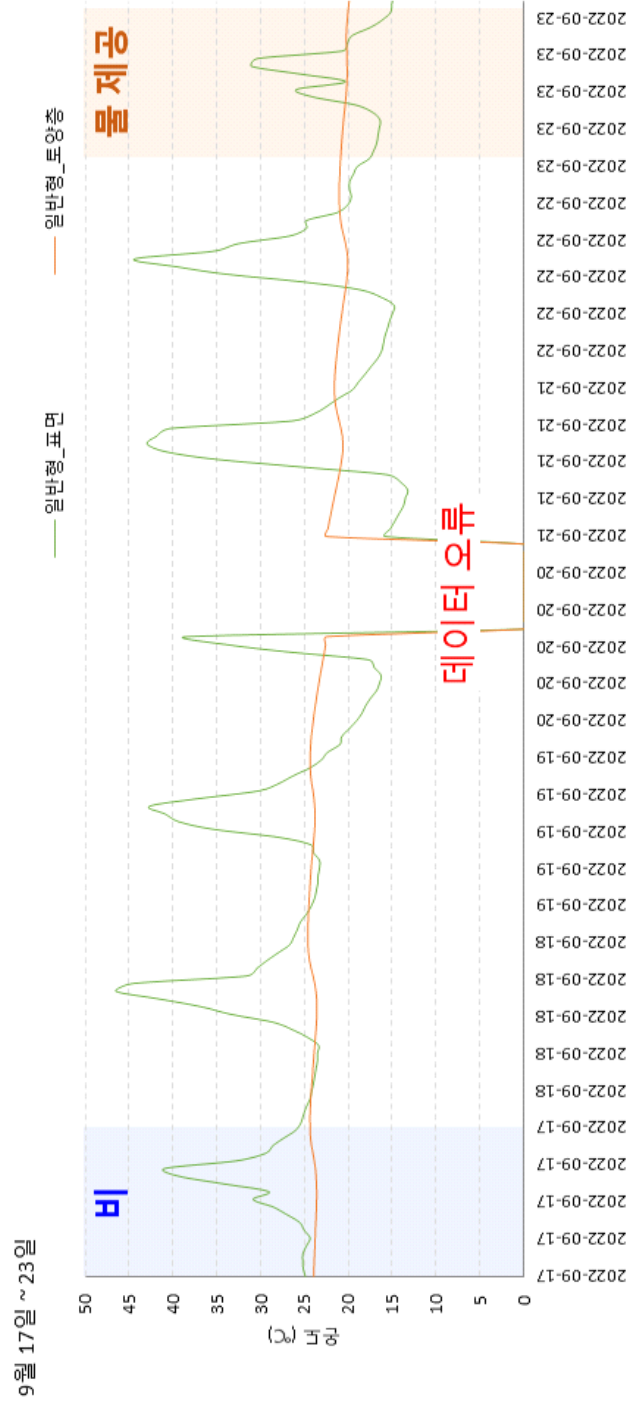


[그림 4-36] 9월 10일 ~ 16일 일변형 옥상녹화 온도 비교

9월 10일 ~ 16일

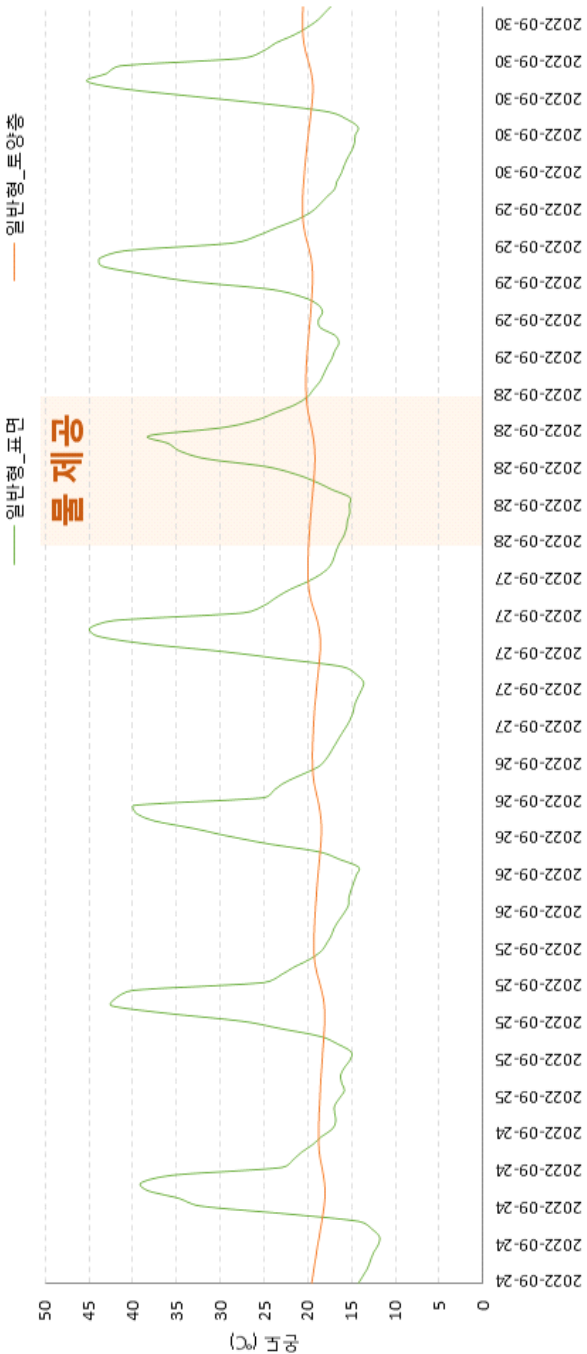


[그림 4-37] 9월 17일 ~ 23일 일반형 옥상노화 온도 비교



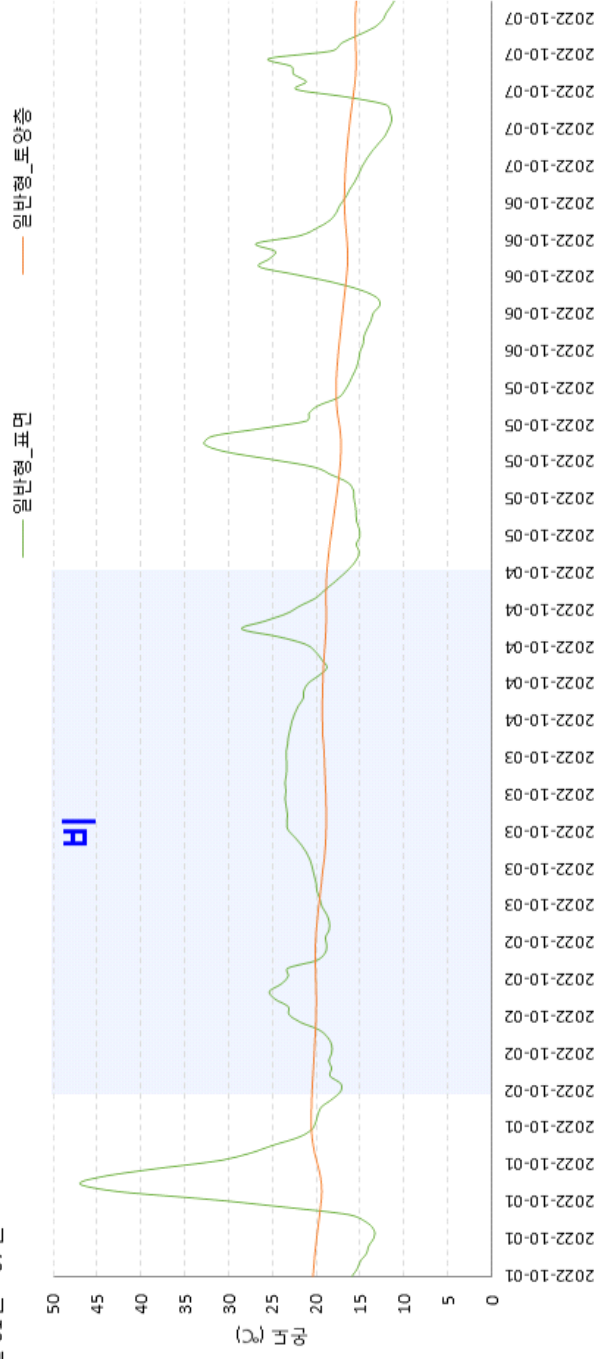
[그림 4-38] 9월 24일 ~ 30일 일변형 응상녹화 온도 비

9월 24일 ~ 30일



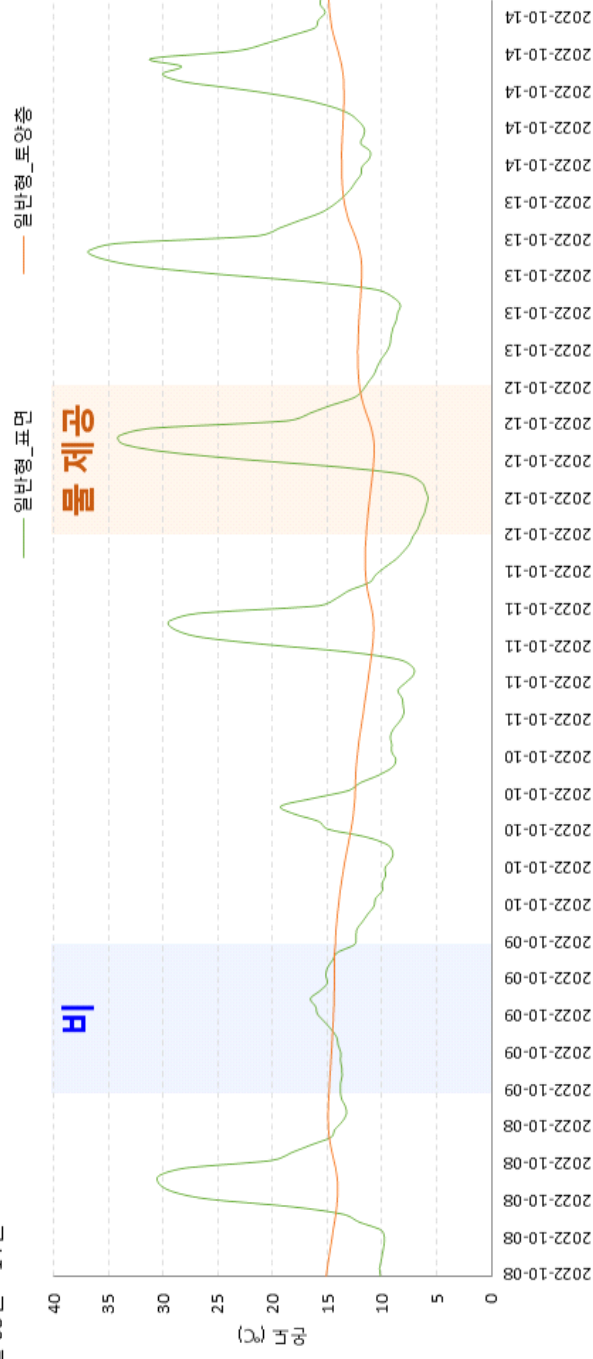
[그림 4-39] 10월 1일 ~ 7일 일일형 외산보화 온도 비교

10월 01일 ~ 07일



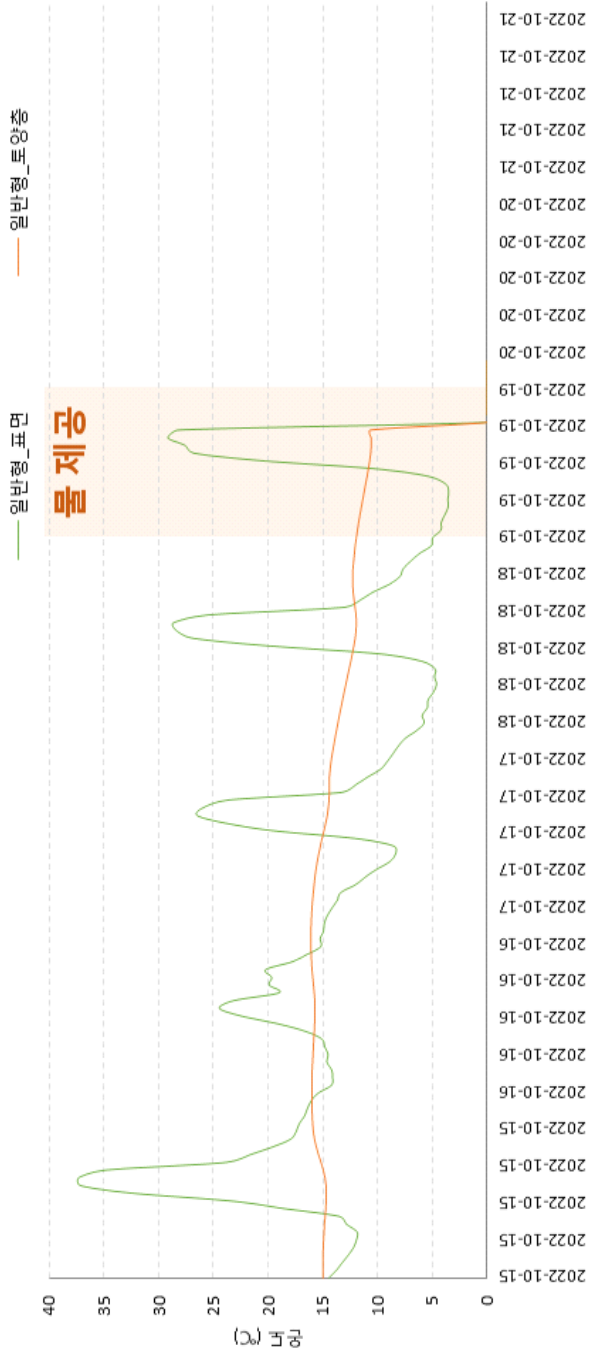
[그림 4-40] 10월 8일 ~ 14일 일비형 기상보화 온도 비교

10월 08일 ~ 14일



[그림 4-41] 10월 15일 ~ 19일 일간형 응상능률화 온도 비교

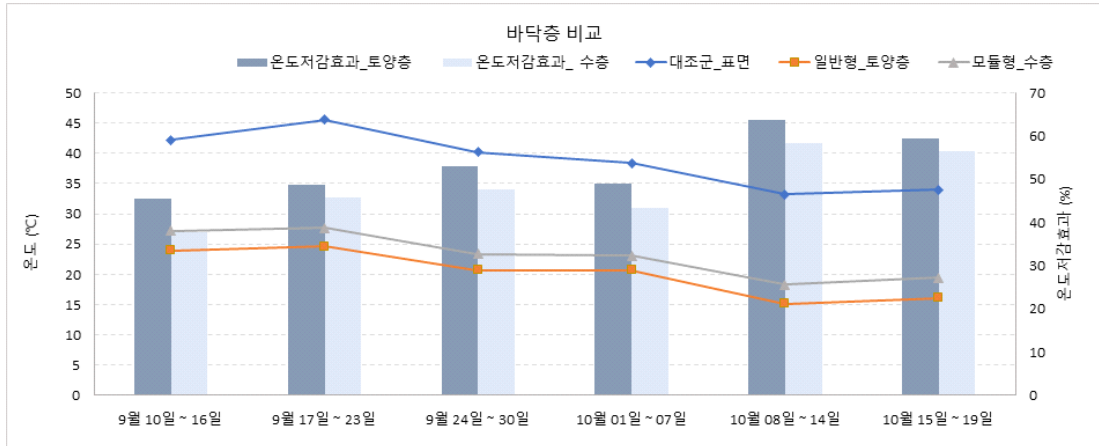
10월 15일 ~ 19일



4. 바닥층 온도 비교

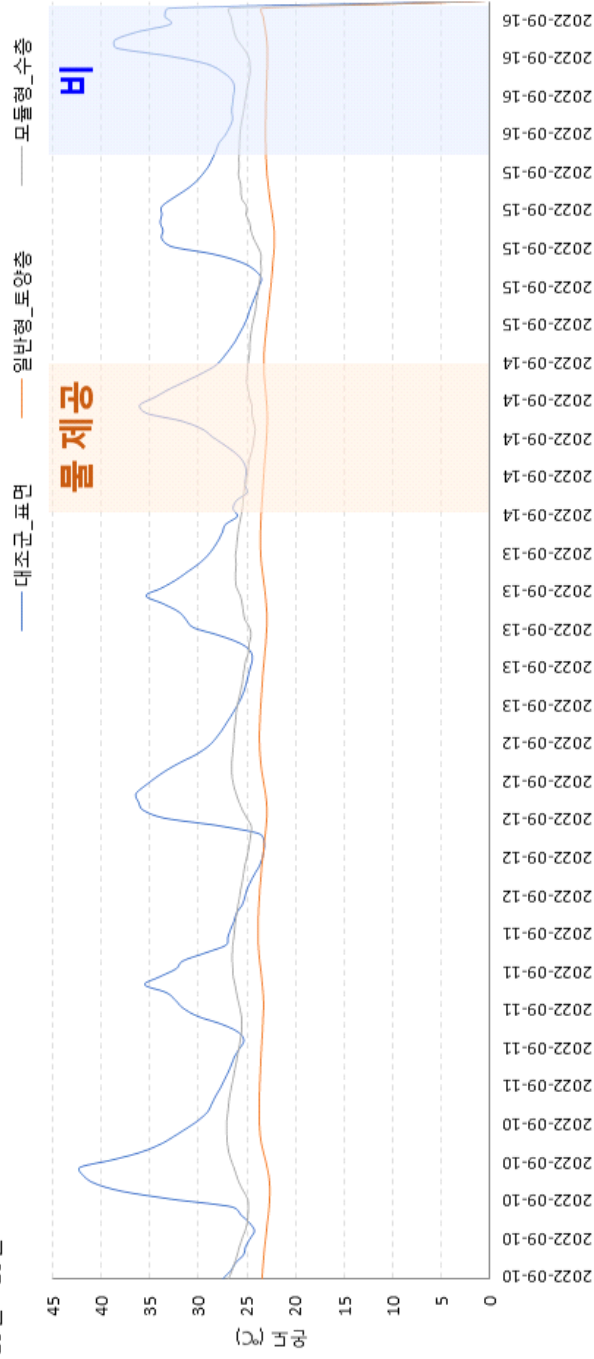
[그림 4-42]에는 바닥층 온도측정 데이터 및 온도저감효과의 최대값을 나타내었다. [그림 4-43] ~ [그림 4-48]에는 모듈형 옥상녹화의 수층, 일반형 옥상녹화의 토양층 및 옥상포장 바닥면의 표면층 온도와 온도저감 효과를 분석 대상 기간에 따라 비교 분석하였다. 분석 결과, 옥상포장 바닥면의 표면층이 일반형 옥상녹화의 토양층과 모듈형 옥상녹화의 수층보다 높은 온도 값을 보였으며, 모듈형 옥상녹화의 수층이 일반형 옥상녹화의 토양층보다 높은 온도 값을 보였다. 또한, 옥상포장 바닥면의 표면층 대비 온도저감 효과는 일반형 옥상녹화 토양층에서 더 높은 경향을 보였지만 수층이 외부환경에 노출되어 외부 온도에 대한 영향을 받는 것을 감안하여 효과적인 온도저감효과를 보인다고 판단된다.

[그림 4-42] 바닥층 온도 및 온도저감효과 분석



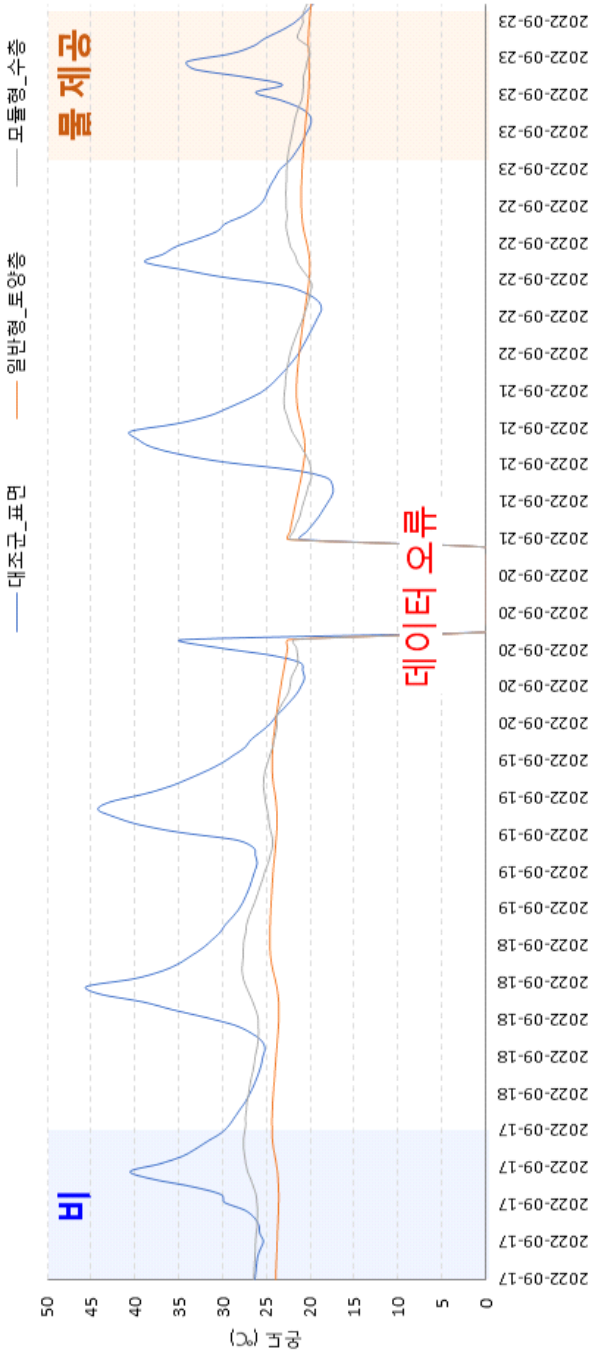
[그림 4-43] 9월 10일 ~ 16일 바닥층 온도 비교

9월 10일 ~ 16일



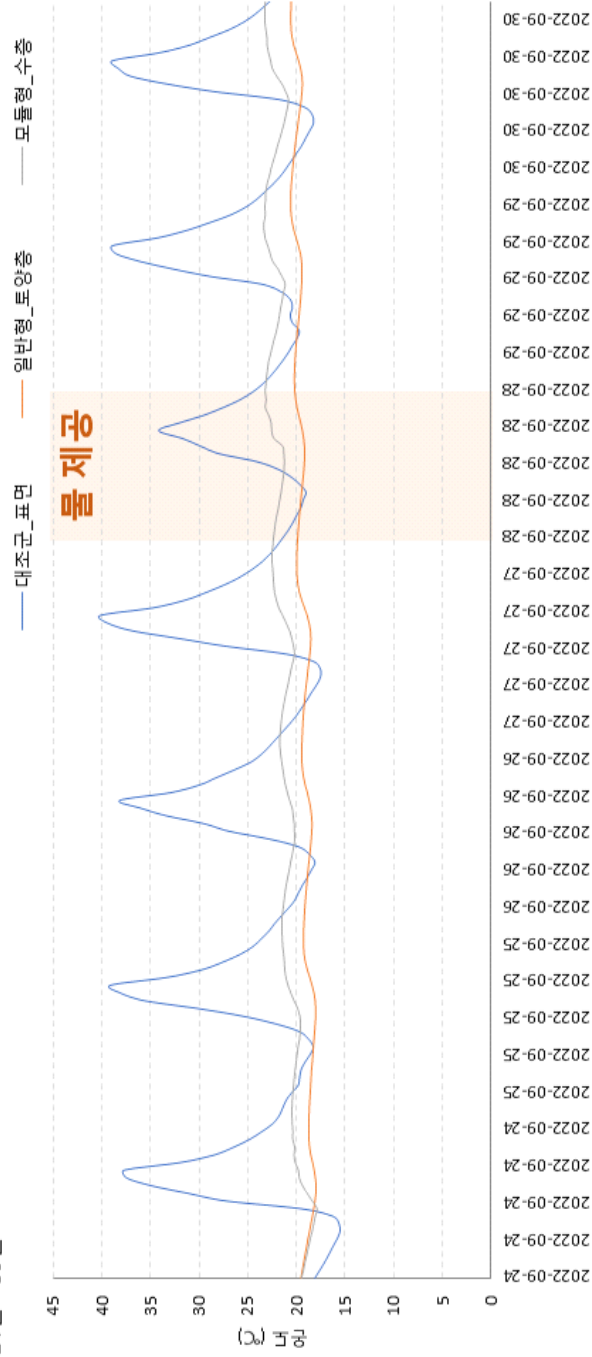
[그림 4-44] 9월 17일 ~ 23일 바닥층 온도 비교

9월 17일 ~ 23일



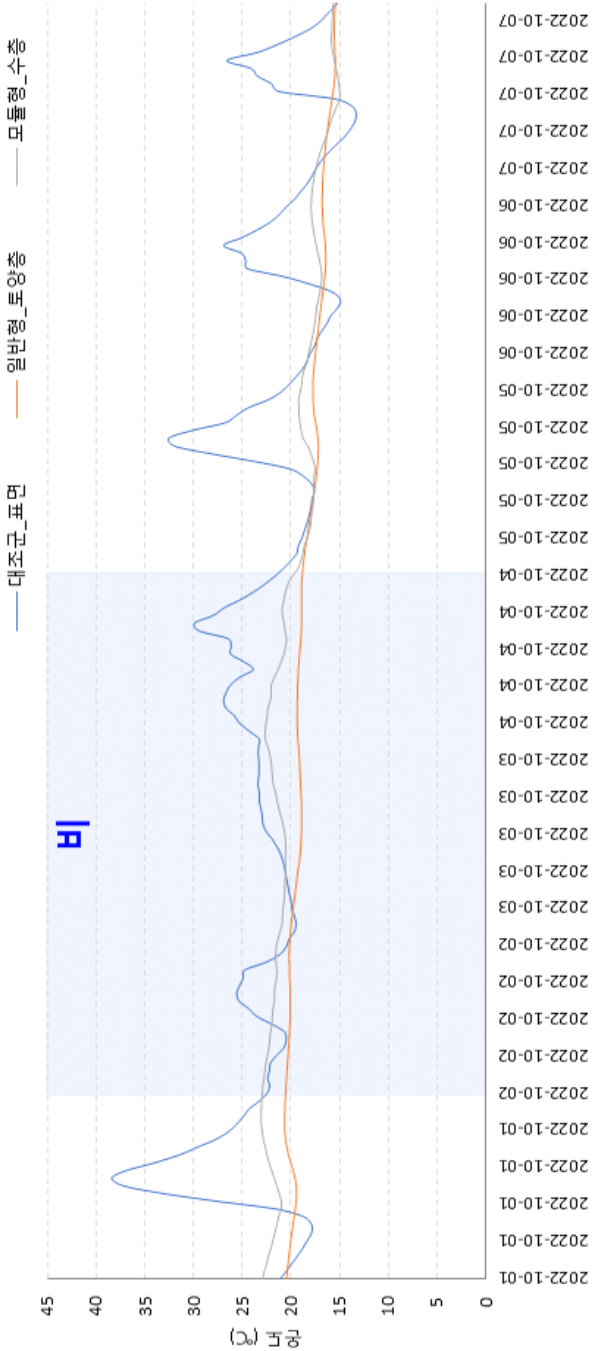
[그림 4-45] 9월 24일 ~ 30일 비타중 온도 비교

9월 24일 ~ 30일



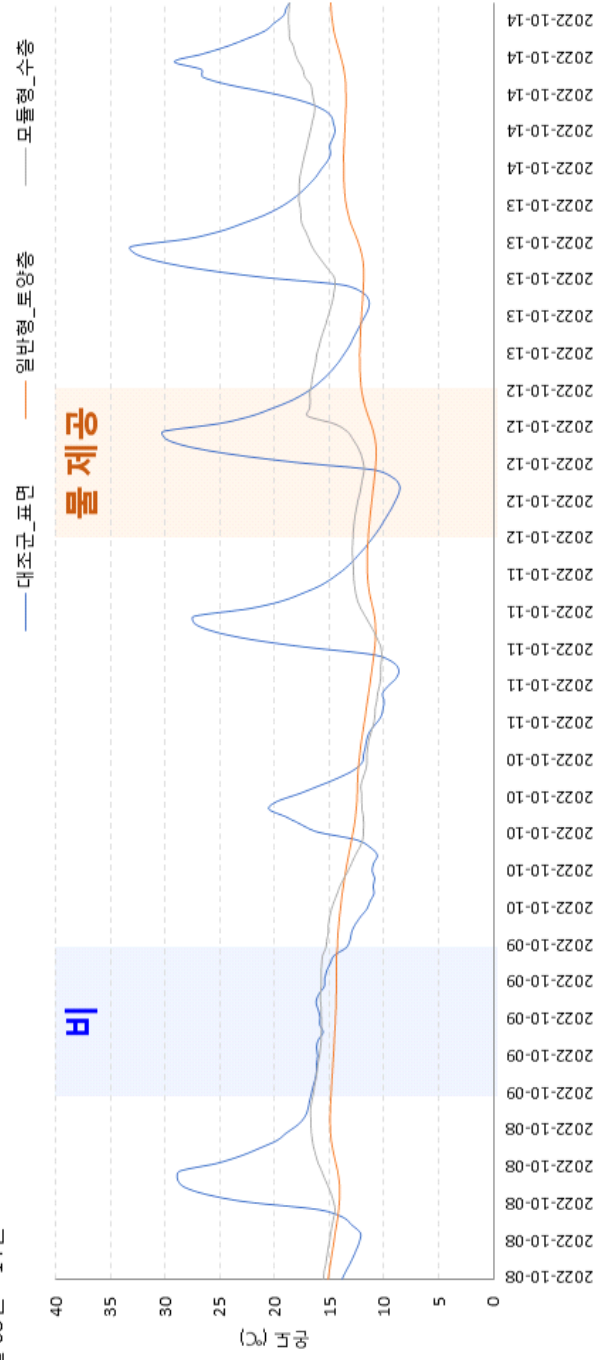
[그림 4-46] 10월 1일 ~ 7일 비타중 온도 비교

10월 01일 ~ 07일



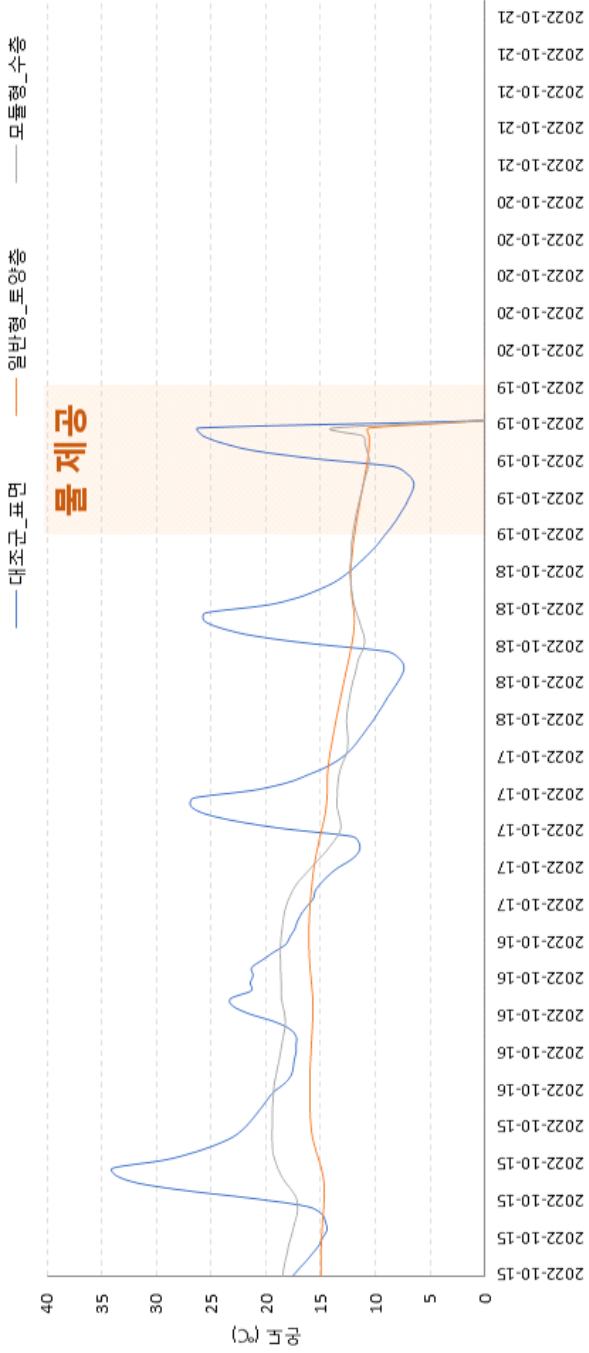
[그림 4-47] 10월 8일 ~ 14일 바다중 온도 비교

10월 08일 ~ 14일



[그림 4-48] 10월 15일 ~ 19일 바닥중 온도 비교

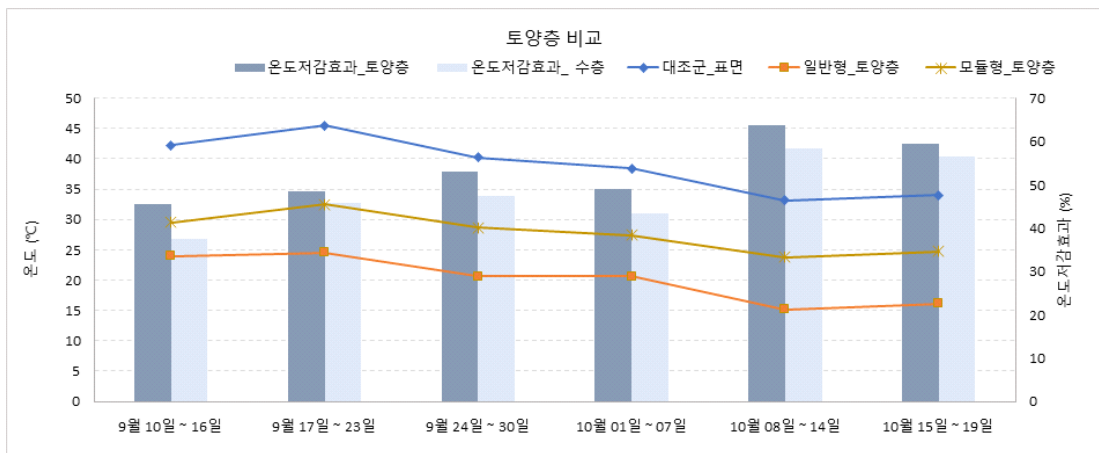
10월 15일 ~ 19일



4. 토양층 온도 비교

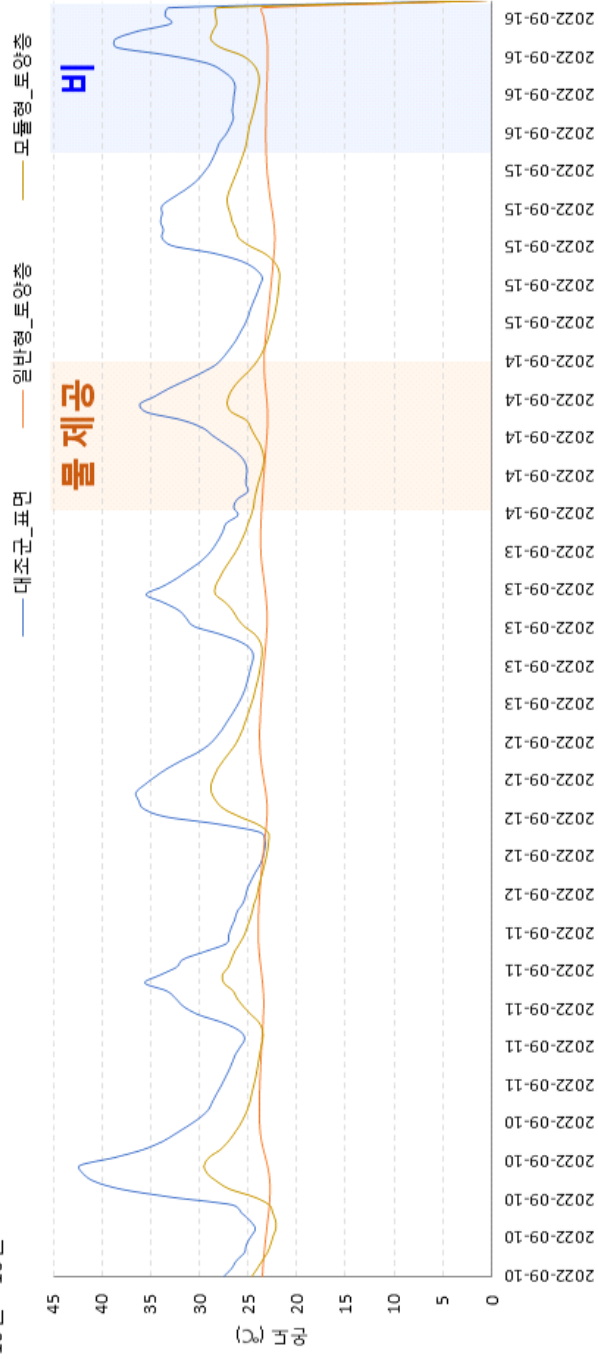
[그림 4-49]에는 토양층 온도측정 데이터 및 온도저감효과의 최대값을 나타내었다. [그림 4-50] ~ [그림 4-55]에는 모듈형 옥상녹화 및 일반형 옥상녹화의 토양층 및 옥상포장 바닥면의 표면층 온도와 온도저감 효과를 분석 대상 기간에 따라 비교 분석하였다. 옥상포장 바닥면의 표면층 온도는 일반형 및 모듈형 옥상녹화의 토양층보다 높은 온도 값을 보였으며 일반형 옥상녹화의 토양층보다 모듈형 옥상녹화의 토양층이 높은 온도 값을 보였다. 이는 모듈형 옥상녹화의 토양층이 수층으로 인해 일반형 옥상녹화의 토양층 두께보다 감소하였기 때문이다.

[그림 4-49] 토양층 온도 및 온도저감효과 분석



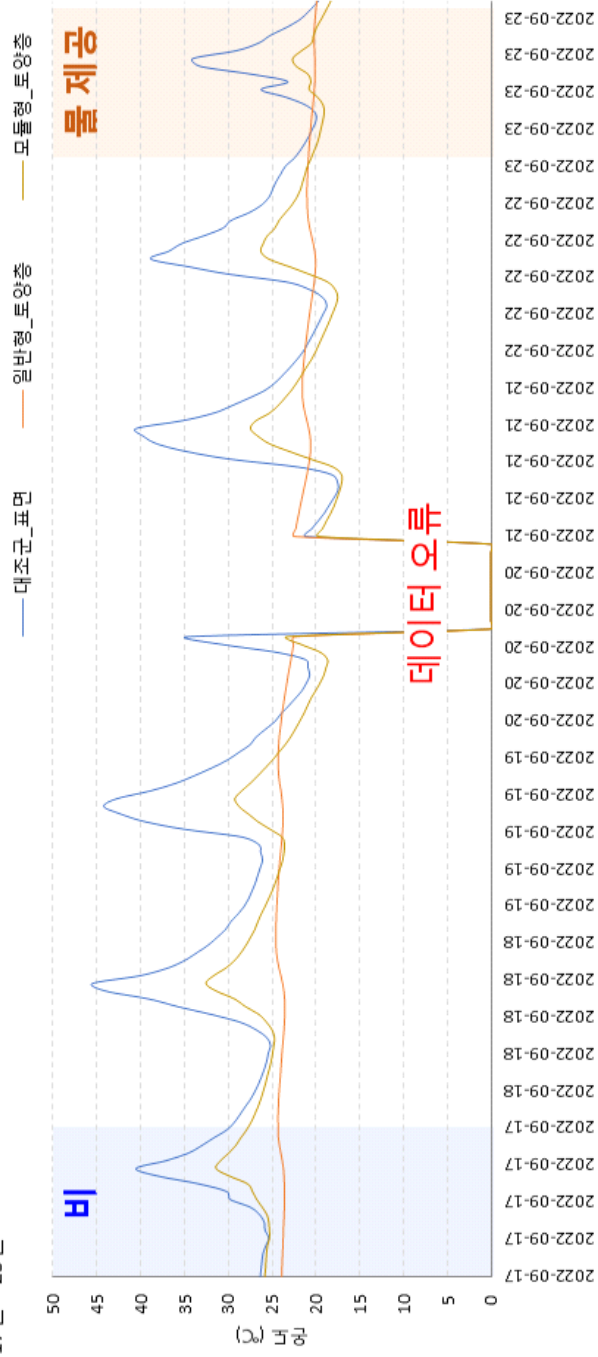
[그림 4-50] 9월 10일 ~ 16일 토양층 온도 비교

9월 10일 ~ 16일



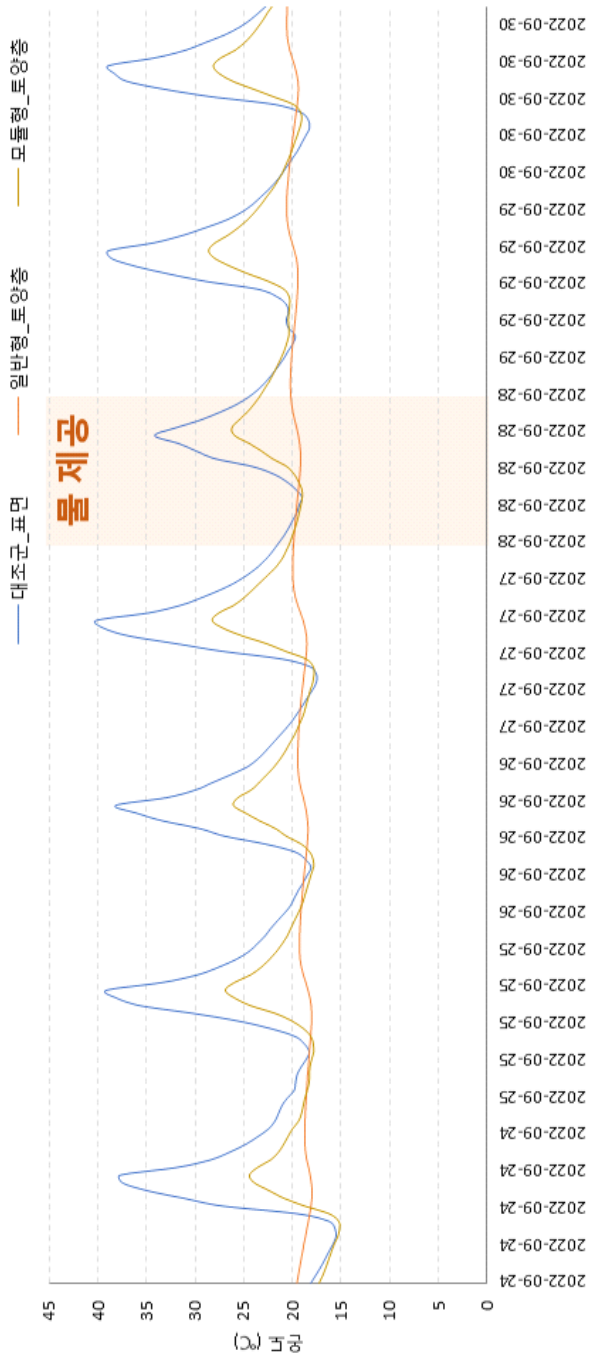
[그림 4-51] 9월 17일 ~ 23일 태양광 온도 비교

9월 17일 ~ 23일



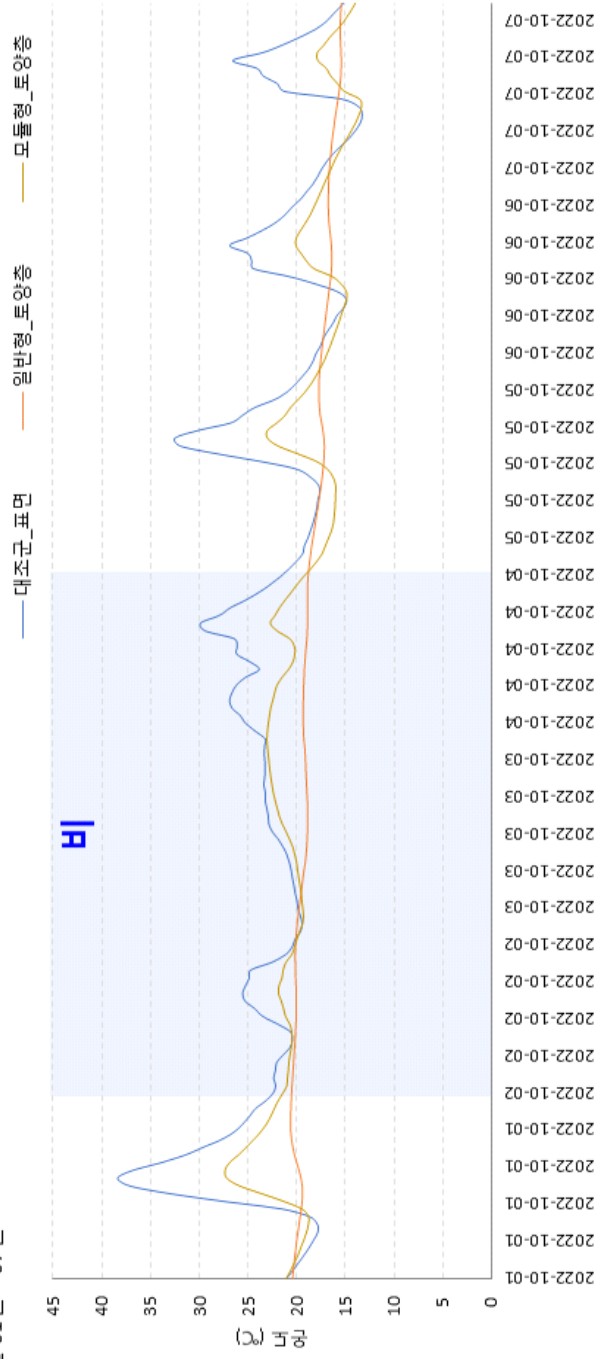
[그림 4-52] 9월 24일 ~ 30일 태양광 온도 비교

9월 24일 ~ 30일



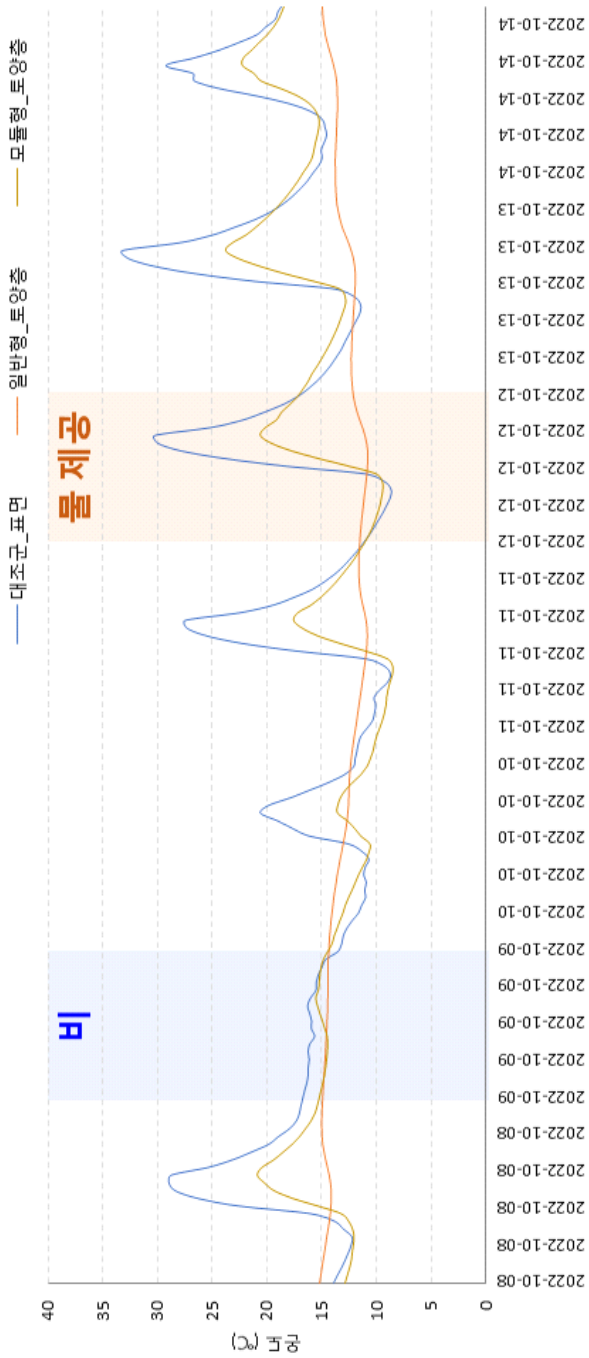
[그림 4-53] 10월 1일 ~ 7일 토양층 온도 비교

10월 01일 ~ 07일



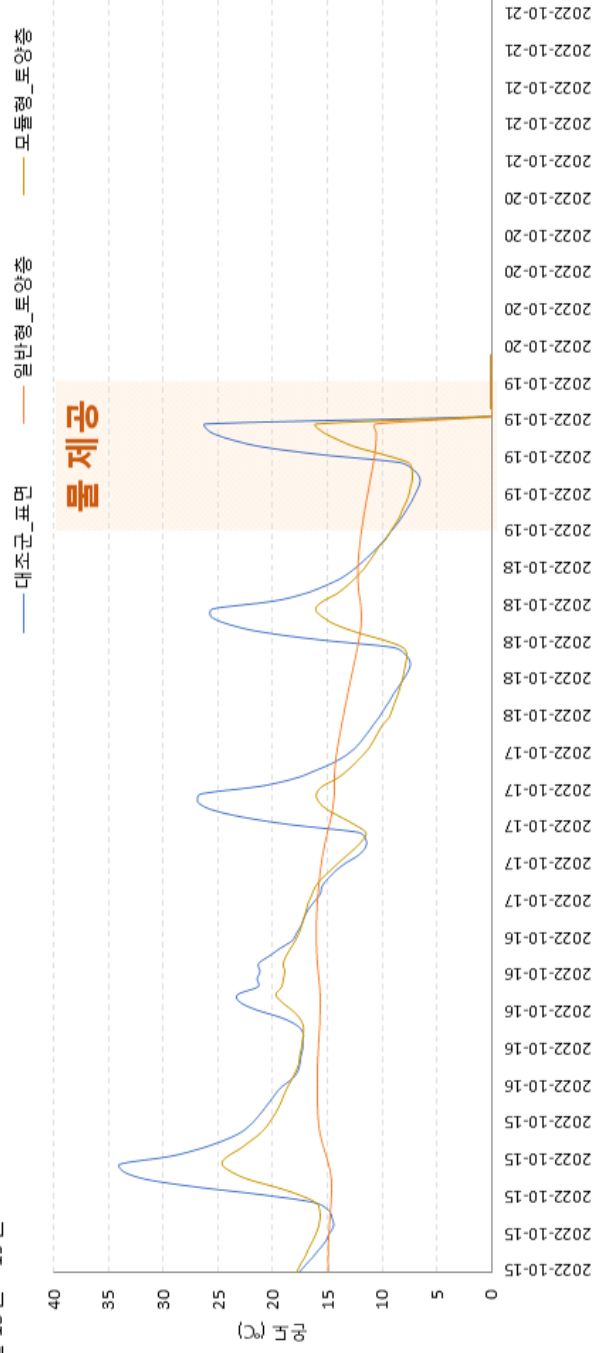
[그림 4-54] 10월 8일 ~ 14일 토양층 온도 비교

10월 08일 ~ 14일



[그림 4-55] 10월 15일 ~ 19일 태양중 온도 비교

10월 15일 ~ 19일



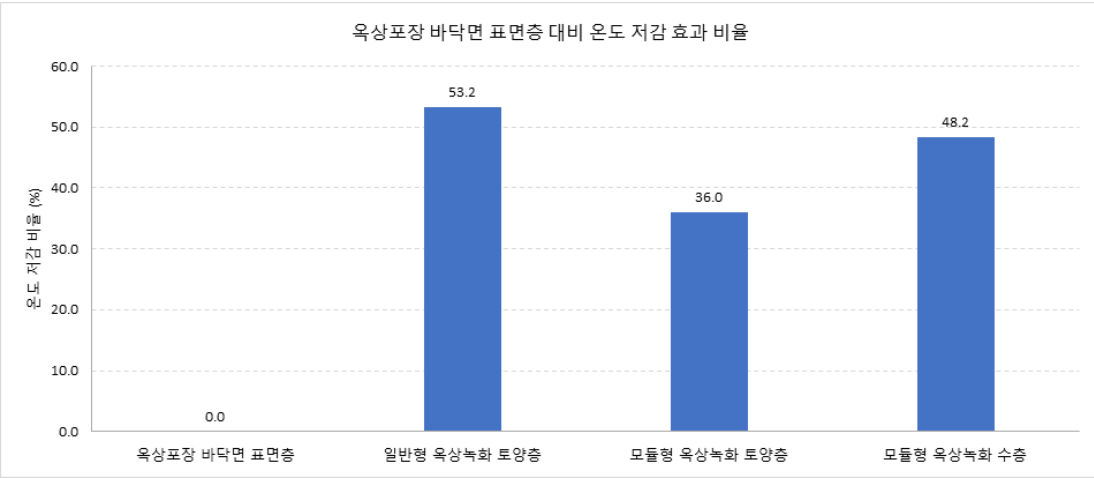
제3절 측정 위치에 따른 온도 비교

옥상포장 바닥면의 표면층의 온도는 6.5 ~ 45.5°C 수준이었으며, 최대, 최소, 중간, 평균 온도는 각각 47.5°C, 22.4°C, 27.8°C, 26.6°C로 표준편차는 5.5이었다. 일반형 옥상녹화 표면층 및 토양층의 온도는 3.5 ~ 47.0°C 및 10.6 ~ 24.6°C 수준이었다. 일반형 옥상녹화 표면층 및 토양층의 최대 및 최저온도는 23.5°C 및 20.2°C, 24.5°C 및 23.3°C이었으며, 중간 및 평균 온도는 각각 24.5°C 및 23.3°C, 23.3°C 및 27.0°C로 표면층 및 토양층의 표준편차는 각각 0.4 및 5.8이었다.

모듈형 옥상녹화 표면층, 토양층 및 수층의 온도는 2.4 ~ 47.5°C, 7.2 ~ 32.5°C 및 10.2 ~ 27.7°C 수준이었다. 모듈형 옥상녹화 표면층, 토양층 및 수층의 최대온도는 47.0°C, 24.6°C 및 45.5°C이며, 최저온도는 20.6°C, 19.4°C 및 19.6°C이며, 중간온도는 24.9°C, 24.8°C 및 25.6°C이었다. 또한, 모듈형 옥상녹화 표면층, 토양층 및 수층의 평균온도는 25.2°C, 25.6°C 및 23.4°C로 표준편차는 각각 1.9, 0.8 및 9.1이었다.

옥상포장 바닥면 표면층 대비 일반형 옥상녹화의 토양층과 모듈형 옥상녹화의 토양층 및 수층의 온도 저감 효과에 대한 비율은 [그림 4-56]에 나타내었으며 각각 53.2%, 36.0% 및 48.2%이었다. 모듈형 옥상녹화의 토양층 및 수층은 비교적 낮은 온도 저감 효과를 보였으나 모듈형 옥상녹화 수층으로 인한 토양층의 두께의 감소와 물 주입구 등 외부 온도에 대한 영향으로 인한 수층 온도의 증가를 감안한다면 효과적인 온도 저감 능력을 보인다고 판단된다.

[그림 4-56] 옥상포장 바닥면 표면층 대비 온도 저감 효과 비율



제 5 장

결론

결론

본 연구에서는 태양복사에너지가 가장 먼저 도달하는 건물 옥상(비녹화 구역)에 녹화를 통하여 식물로 태양복사에너지의 흡수를 낮추거나 차단하고, 일반적인 옥상녹화와 모듈형 옥상녹화의 차이를 알아보고자 하였다. 또한 모듈형 옥상녹화의 효율 평가 방안과 개선 방안 제시, 향후 고양시 확대 적용 방안을 제안하였다.

1. 열대야현상 예방 효과

오후 7시부터 그다음 날 오전 7시까지 대조군 표면(비녹화 구역)의 평균 온도는 섭씨 26.5도, 일반형(대조군)과 모듈형(실험군) 녹화 표면(녹화 구역)의 평균온도는 22.8도로서 녹화를 통해 밤의 최저기온이 25도 이상인 열대야현상의 예방 효과가 있는 것으로 나타났다(모듈이 25도 이하여야 함).

2. 결과 비교

－ 모듈형 옥상녹화

표면온도가 가장 높았던 오전 11시부터 오후 3시까지 온도 저감 효과는 토양층에서 15~28%, 수층에서 18~34%로 나타났고, 가장 높은 효율을 나타낸 시간은 오후 1시로 토양층 28%, 수층 34%로 수층이 6% 높게 나타났다. 수층의 온도가 높게 나타난 것은 모듈형 옥상녹화의 물 주입구 등 그 외에 외부 환경에 접촉되어 있어 수층이 외부온도에 영향을 받았기 때문이다. 추후 연구에서 문제 사항을 개선한 실험을 통해 모듈형 옥상녹화의 성능을 검증해야 한다.

－ 일반형 옥상녹화

표면온도가 가장 높았던 오전 11시부터 오후 3시까지 온도 저감 효과는 21~38%로 나타났고, 가장 높은 효율을 나타낸 시간은 오후 1시로 38%의 온도 저감 효과를 나타냈다.

3. 열섬현상 저감 효과

옥상녹화 시 비가 내리면 녹지에 흡수되는 빗물로 잠열을 갖게 되어 건물 온도를 낮추고, 도심의 열섬현상 완화 효과를 보인다. 따라서 일반녹화(대조군)와 비교하여 모듈녹화(실험군)는 지속적인 물 공급으로 비가 내리는 효과를 유지하여 식물과 토양의 증발작용 시 잠열 형태로 대기 중의 에너지를 사용하여 현열 증가를 억제해 주변 대기의 기온을 낮추는 효과로 열섬현상이 저감하는 것으로 판단된다.

4. 옥상녹화로 추가 하중에 따른 건물 안전성

건물을 건축하거나 대수선하는 경우 해당 건축물의 설계자는 국토교통부령으로 정하는 구조기준 등에 따라 그 구조의 안전을 전문 건축구조기술사나 건축사를 통해 확인해야 한다. 일반적인 옥상녹화의 단층 구성은 식재와 흙으로 구성되어 있고, 본 실험에 사용한 모듈형은 식재, 흙, 공기, 물 층으로 구성되어 있다. 옥상녹화에 따른 중량 산출 시 단위중량이 가장 큰 흙의 경우 모듈형(실험군)은 일반형(대조군)의 40% 정도만 사용되었고, 나머지는 물과 공기층으로 구성하였다. 따라서 같은 면적, 같은 높이로 시공 시 모듈형이 일반형보다 추가 하중에 따른 건물 안전성이 더 높을 것으로 판단된다.

참고문헌

[국내문헌]

김현수(2012). “경량형 옥상 녹화 유형 정의와 적용 현황.” 한국생태환경건축학회논문집.

윤은주 외(2010). “그린홈 적용을 위한 옥상녹화 방안 연구.” 한국건설기술연구원.

양다혜(2015). “녹색건축인증 공동주택의 옥상녹화 관리현황 및 제도개선 방안.”

석사학위논문, 서울여자대학교.

이기덕(2011). “옥상녹화 활성화 방안 연구.” 석사학위논문, 가천대학교.

[기타자료]

고양시청 홈페이지(www.goyang.go.kr)

경기신문(<https://www.kgnews.co.kr/news/article.html?no=698066>)

구청뉴스(http://www.gynews.co.kr/front/news/view.do?articleId=ARTICLE_00021755)

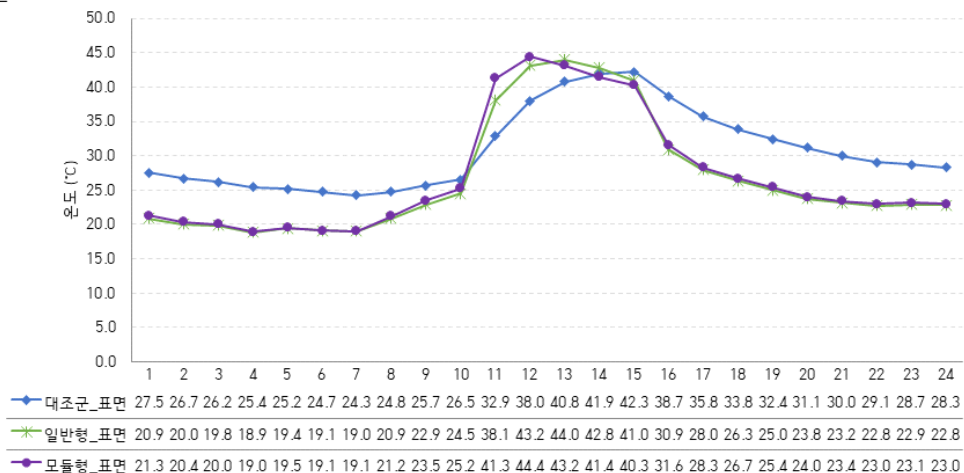
서울열린데이터광장(<https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-15635/F/1/datasetView.do>)

서울정보소통광장(<https://opengov.seoul.go.kr>)

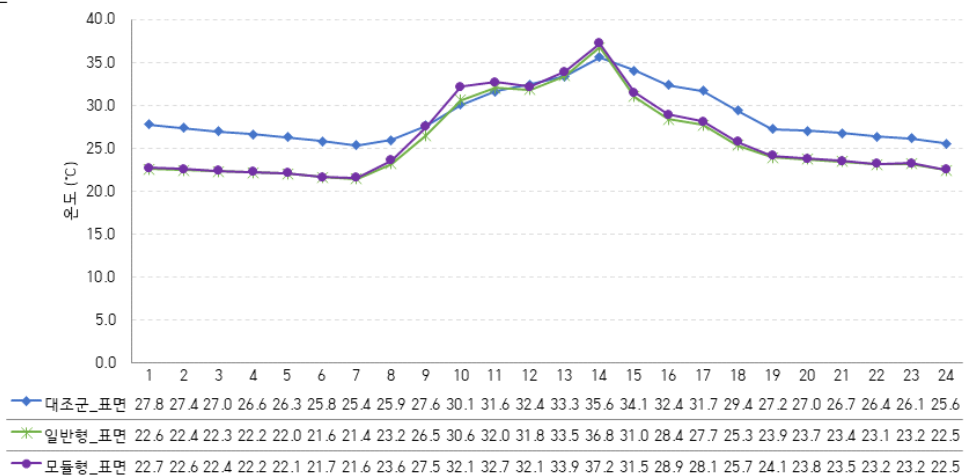
부 록

온도 비교 그래프

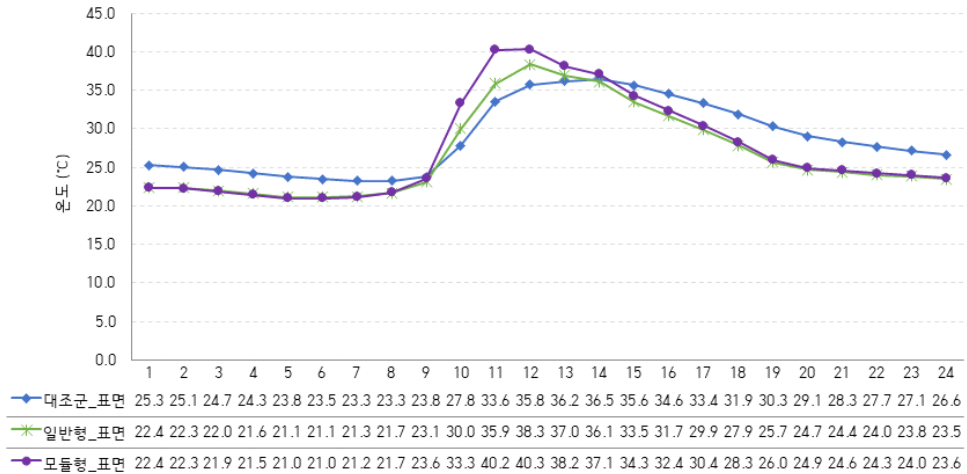
9월 10일



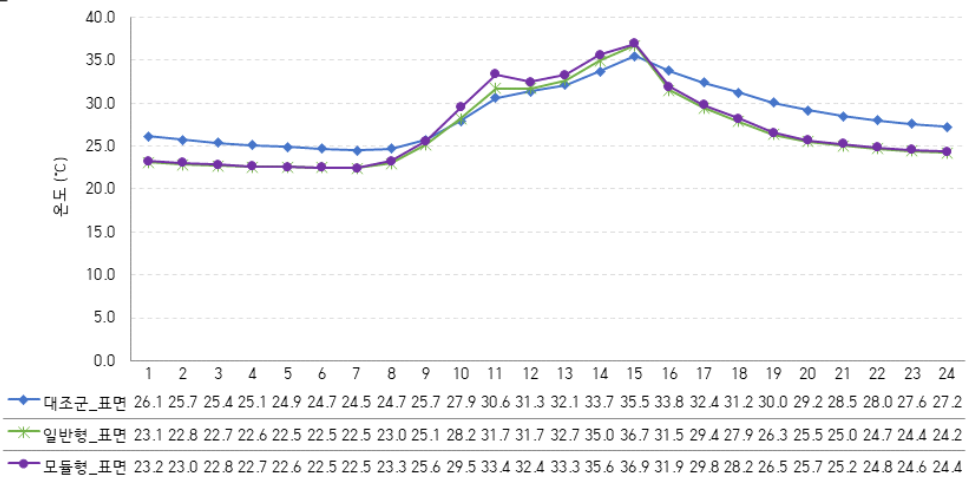
9월 11일

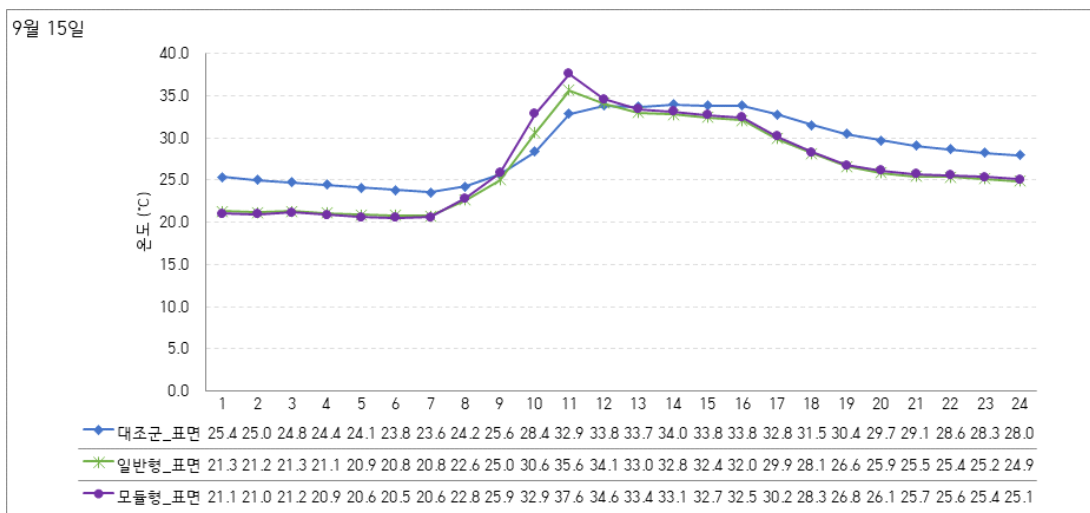
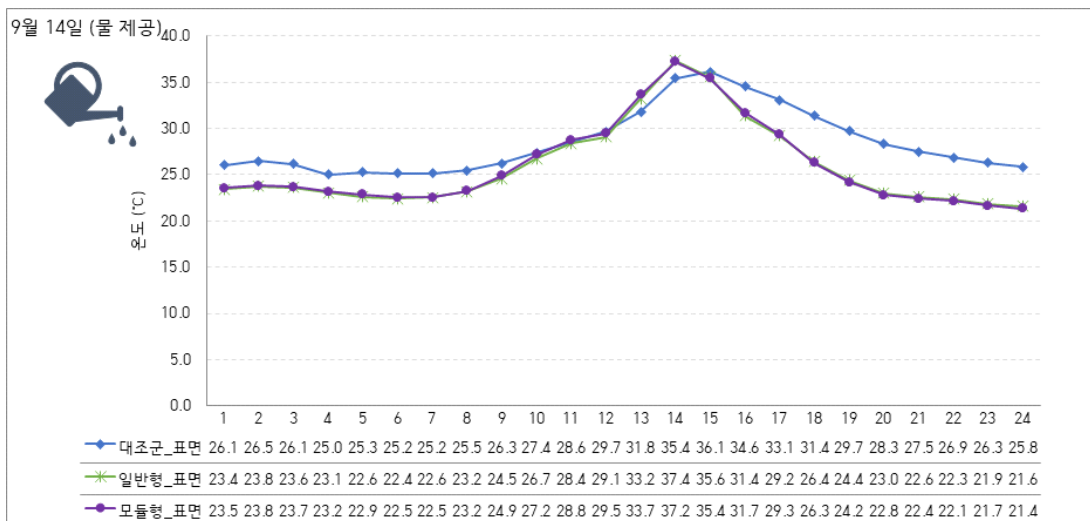


9월 12일

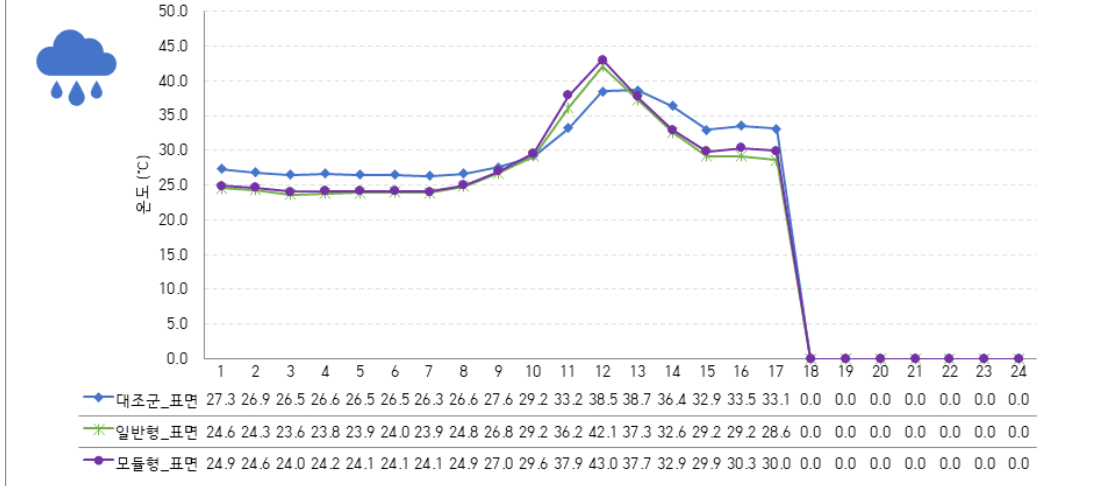


9월 13일

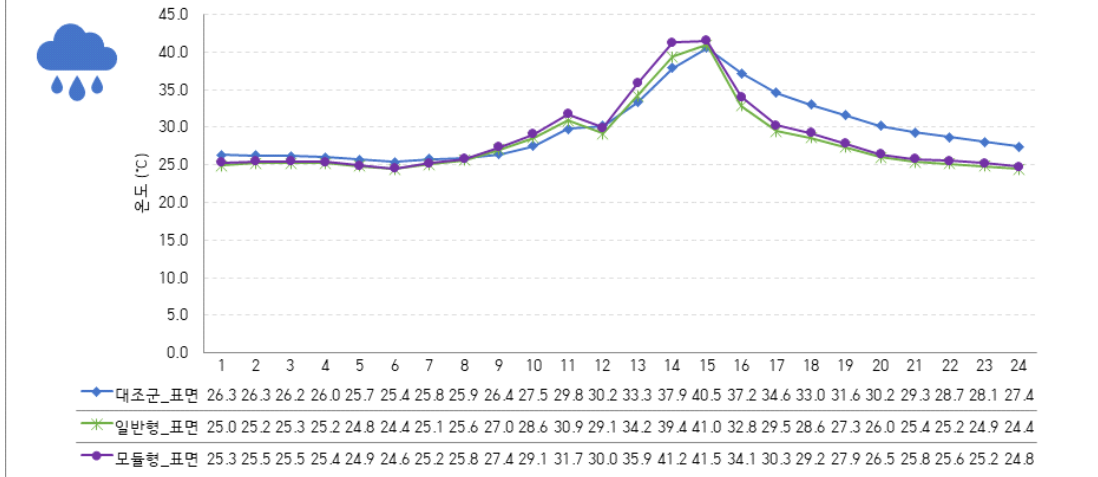




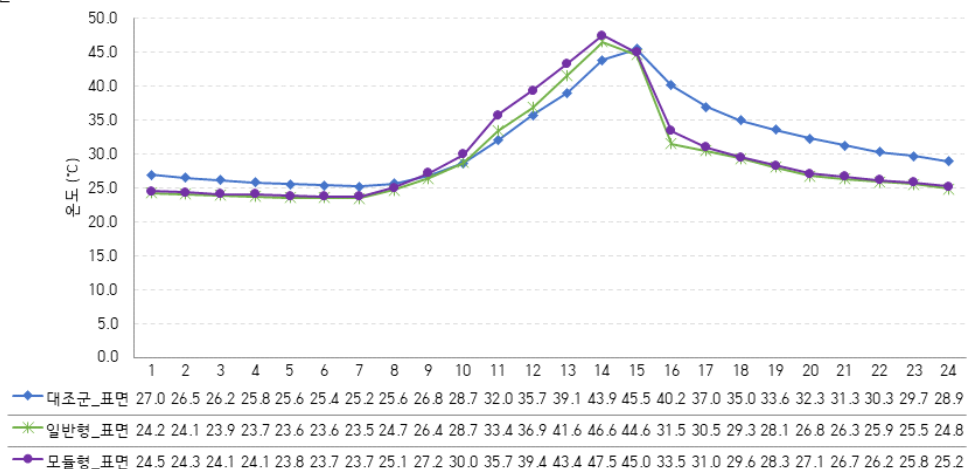
9월 16일 (비)



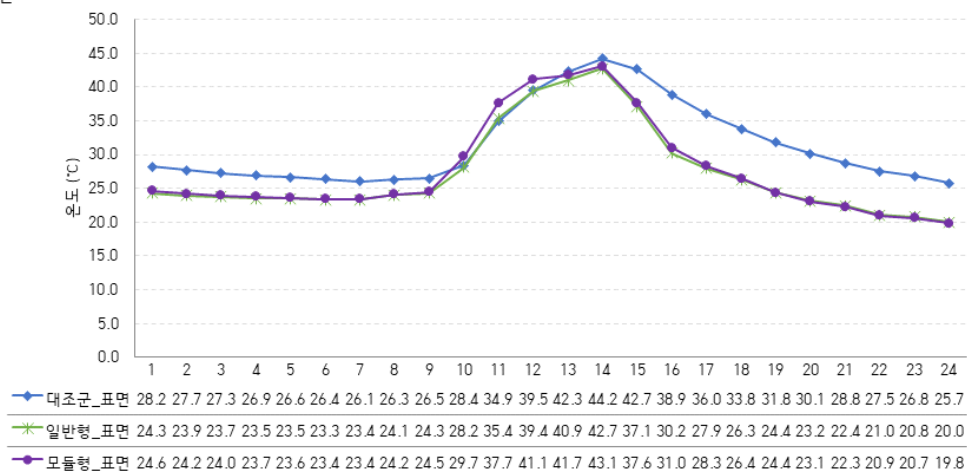
9월 17일 (비)



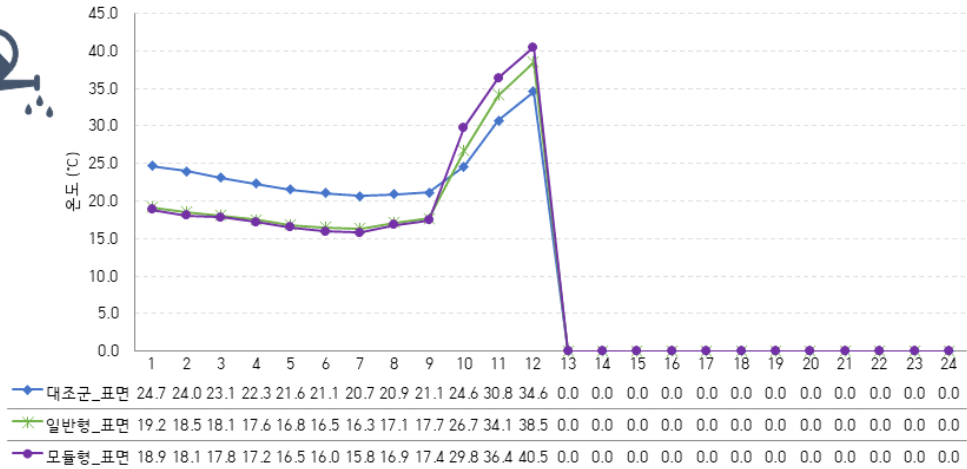
9월 18일



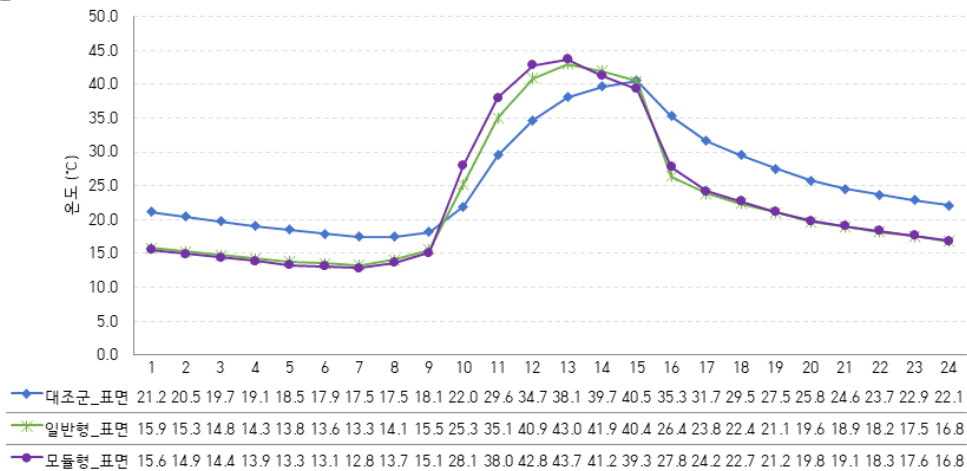
9월 19일



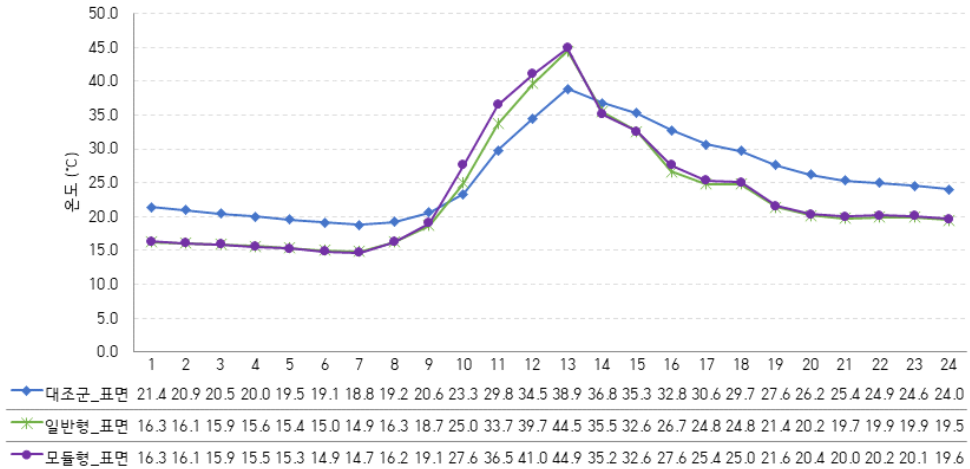
9월 20일 (물 제공)



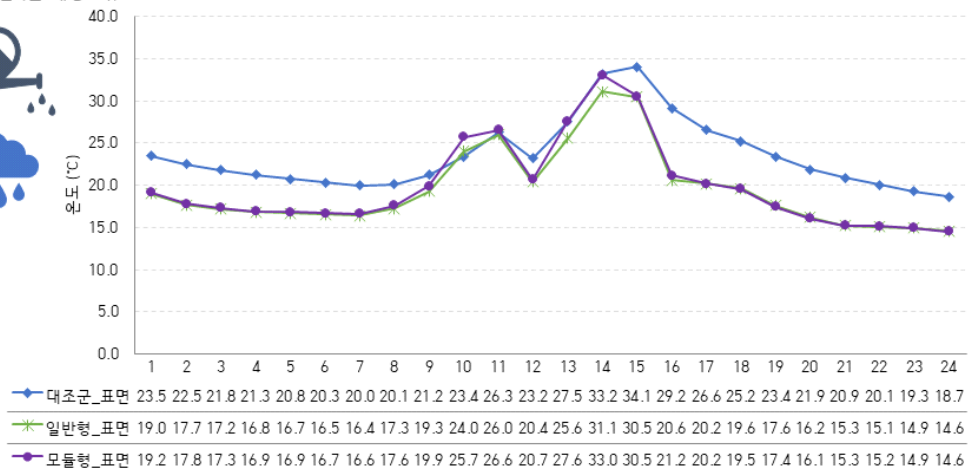
9월 21일



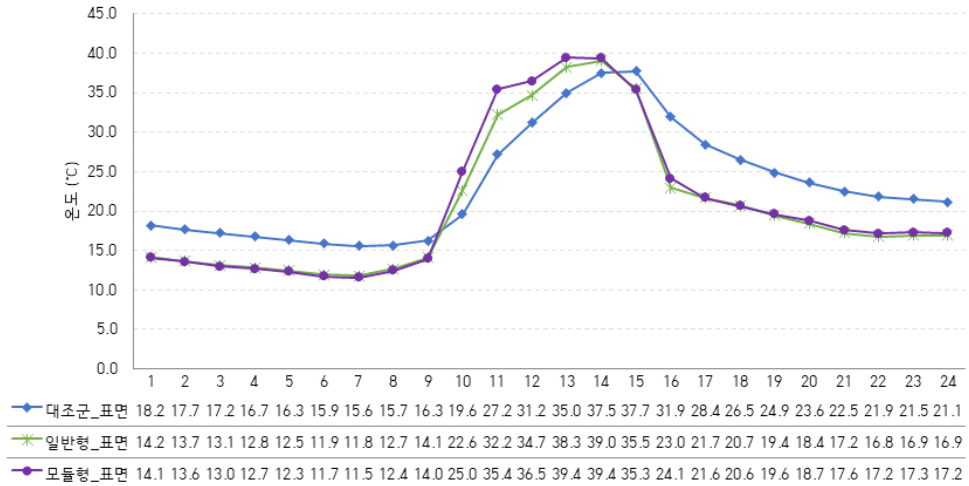
9월 22일



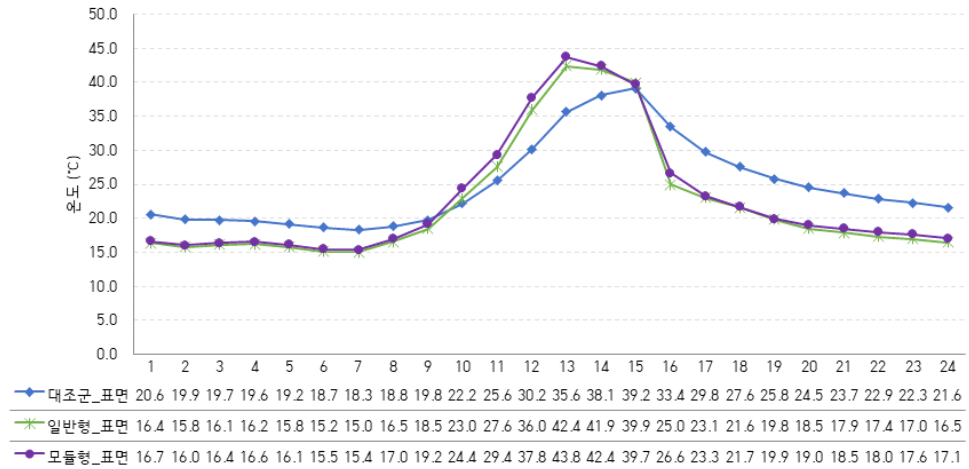
9월 23일 (물 제공/비)



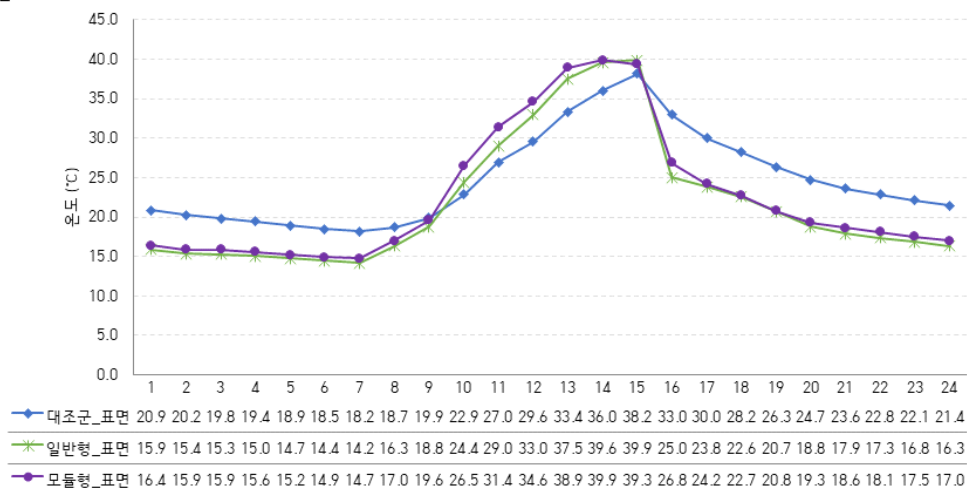
9월 24일



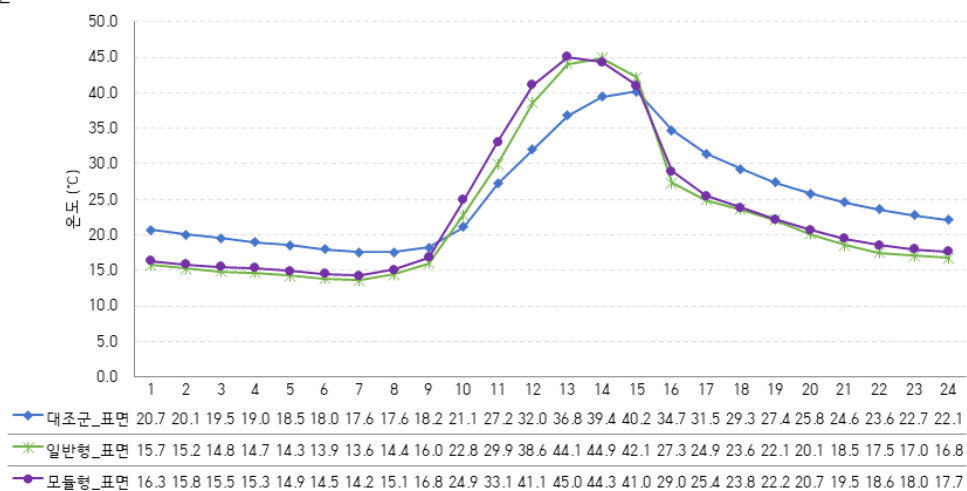
9월 25일



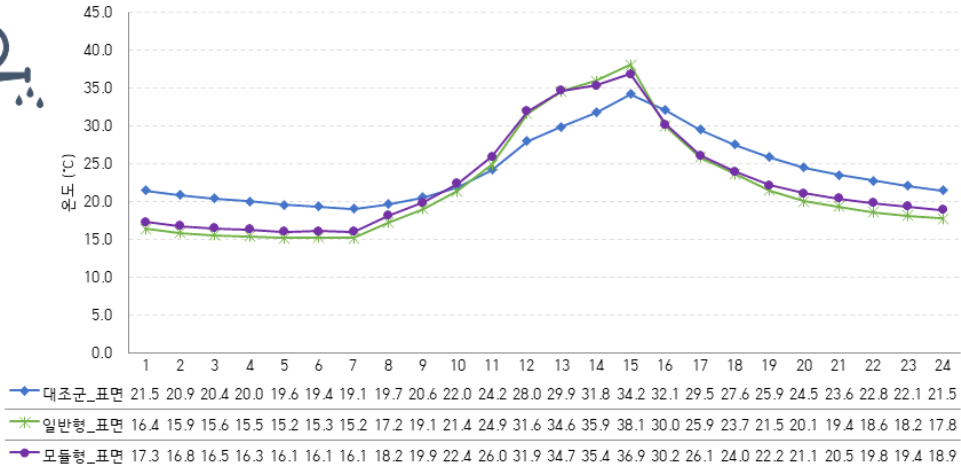
9월 26일



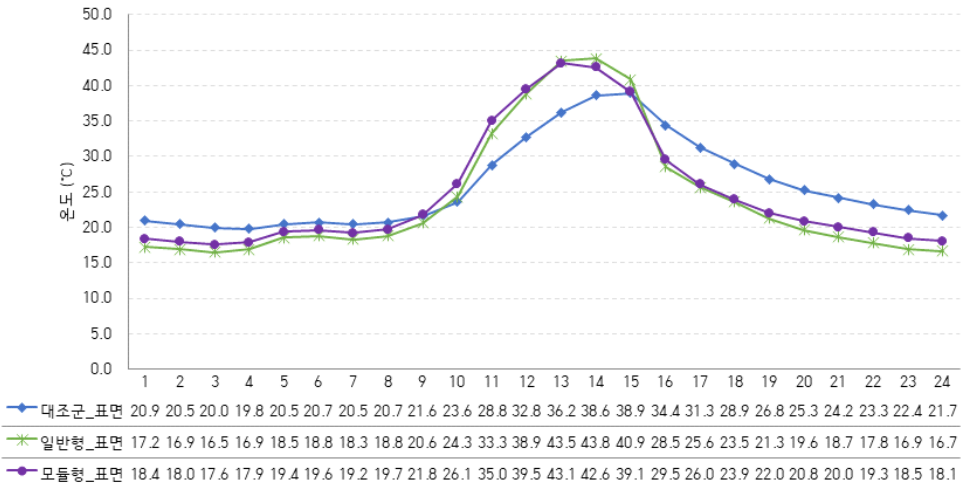
9월 27일



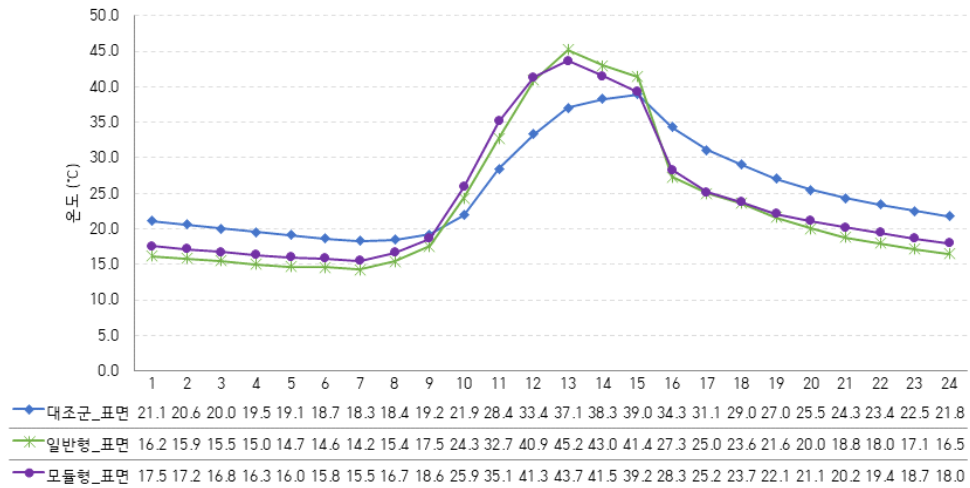
9월 28일 (물 제공)



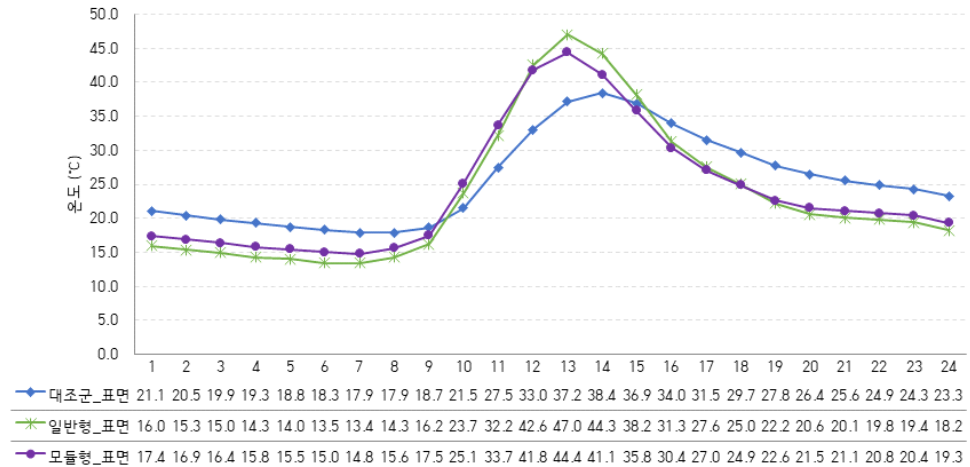
9월 29일



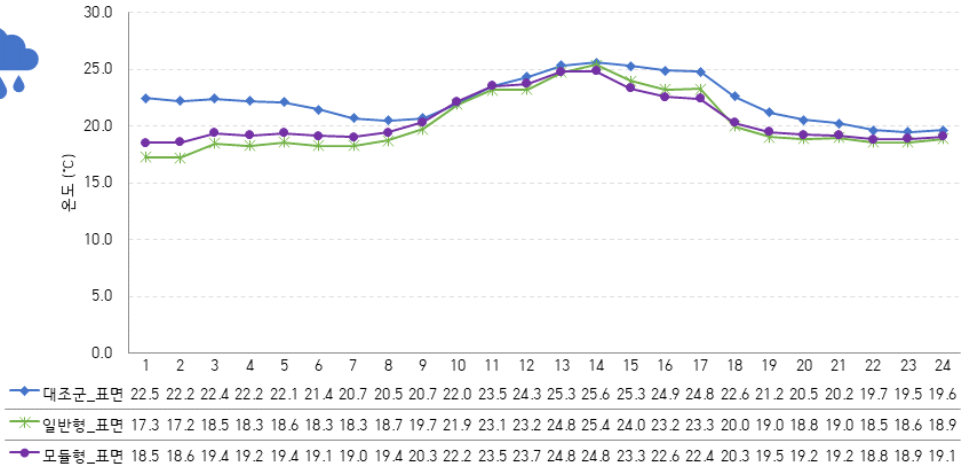
9월 30일



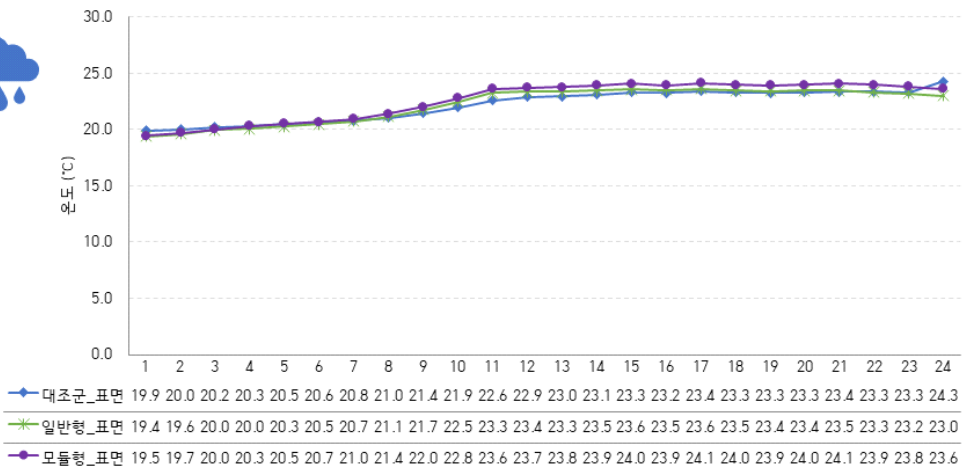
10월 1일



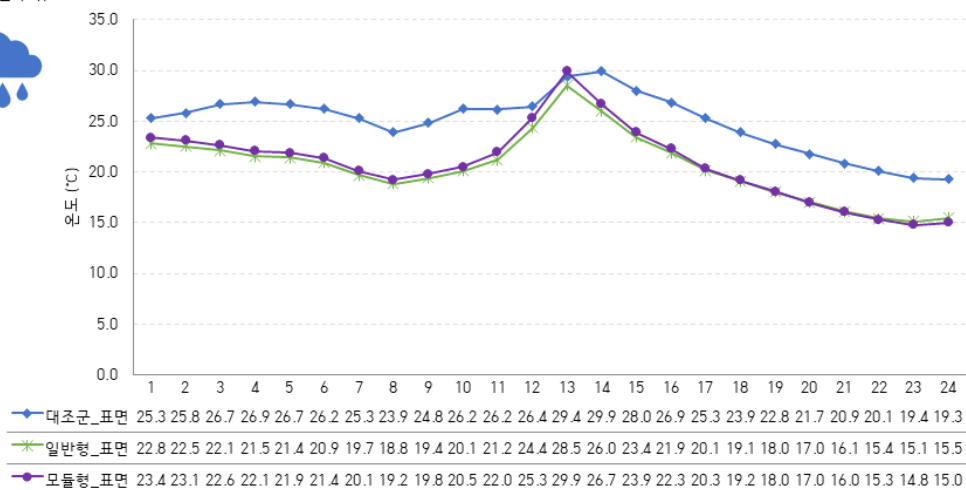
10월 2일 (비)



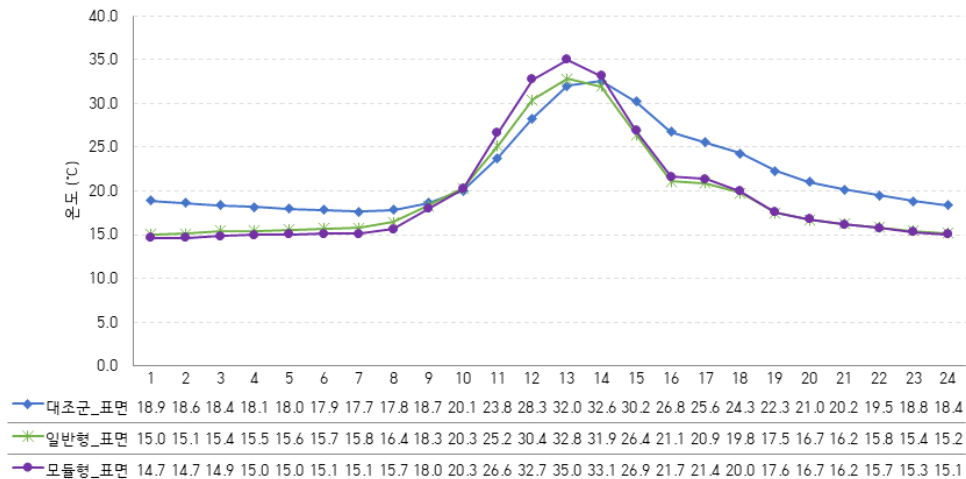
10월 3일 (비)



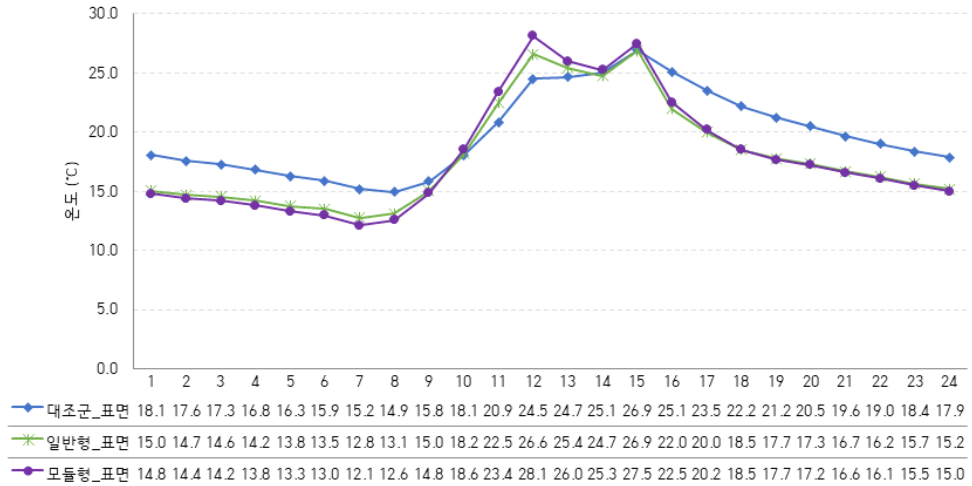
10월 4일 (비)



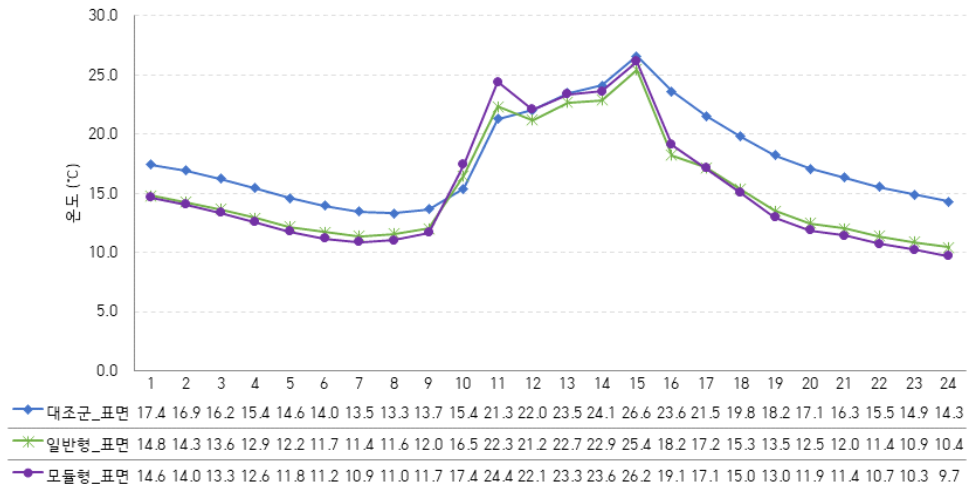
10월 5일

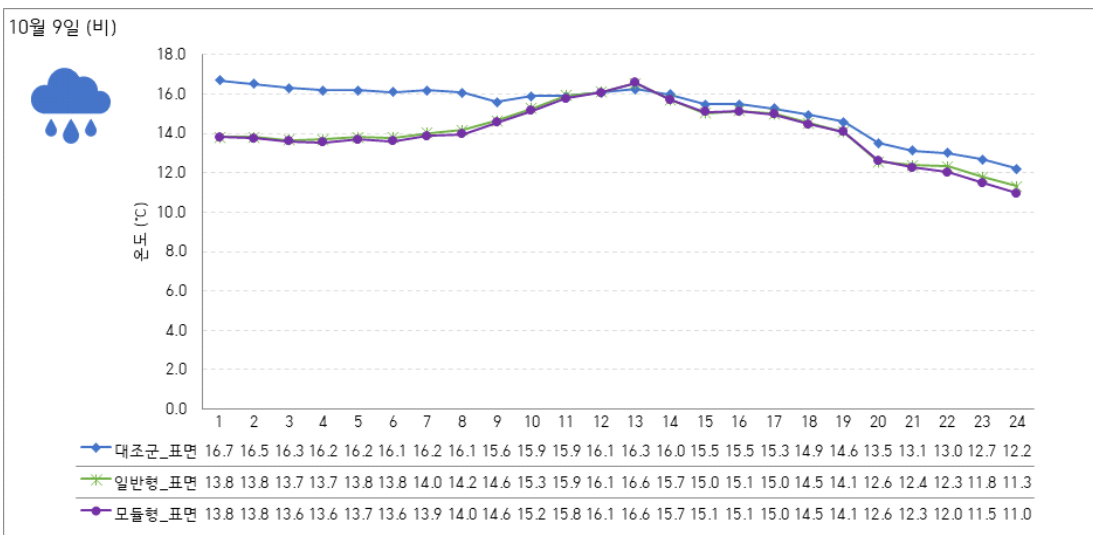
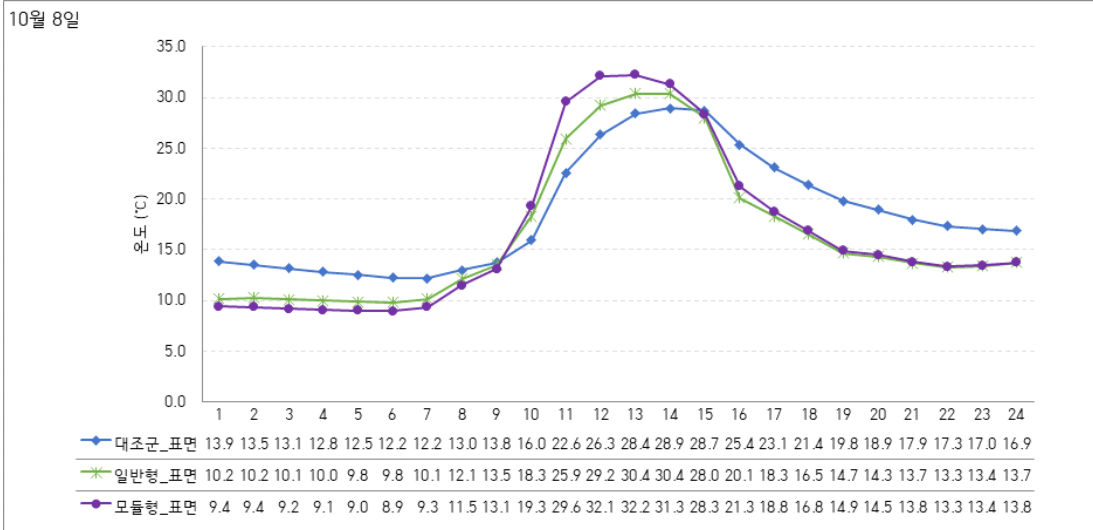


10월 6일

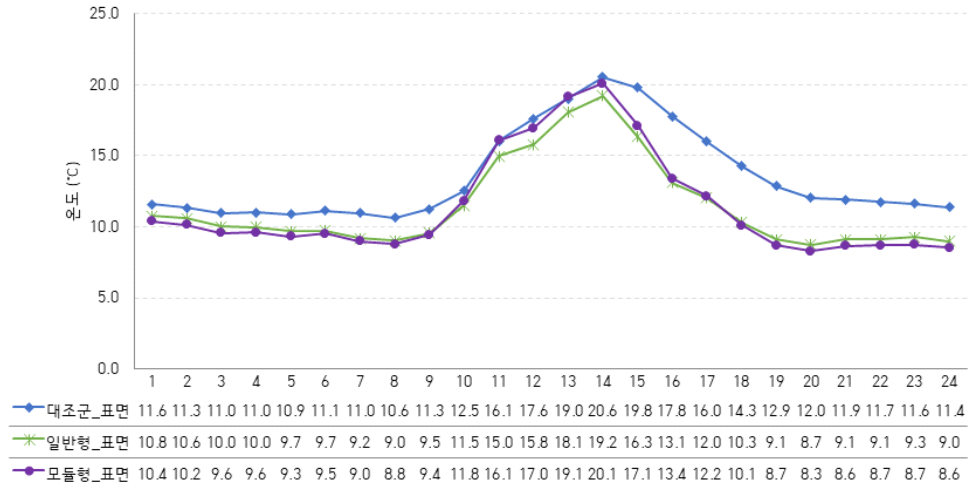


10월 7일

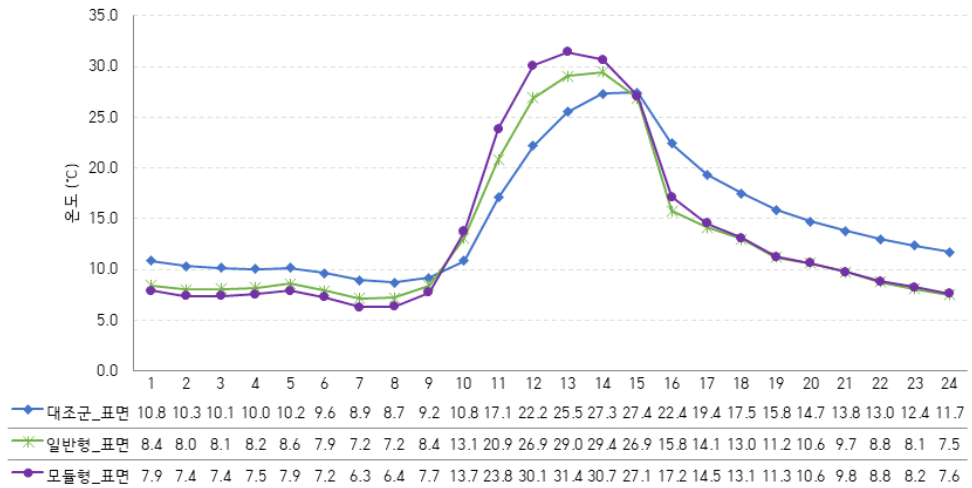




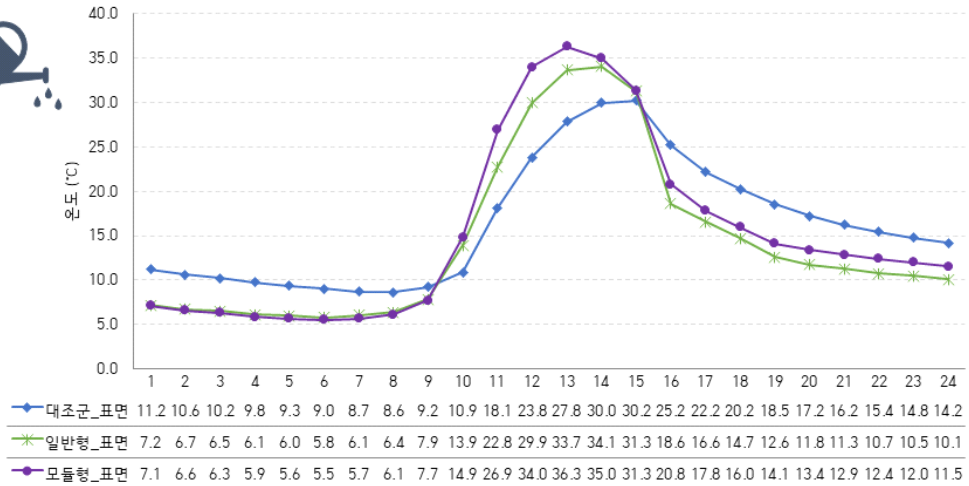
10월 10일



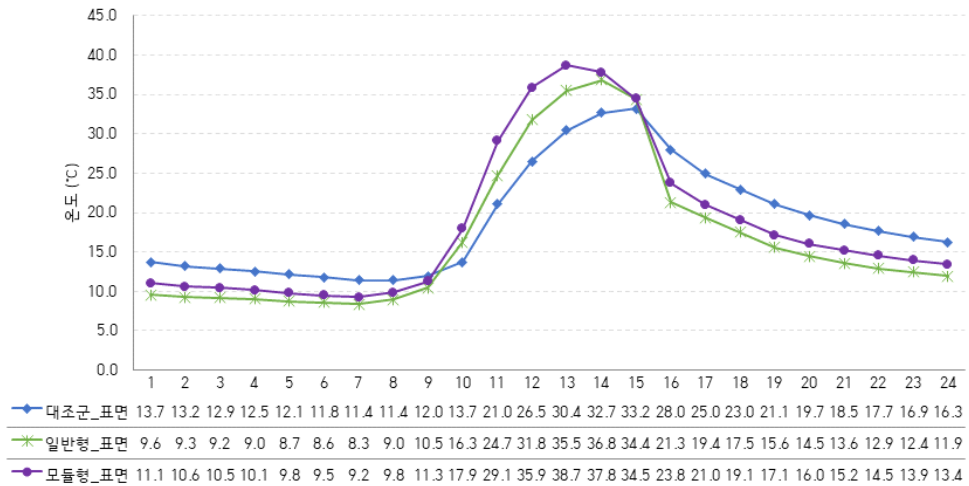
10월 11일



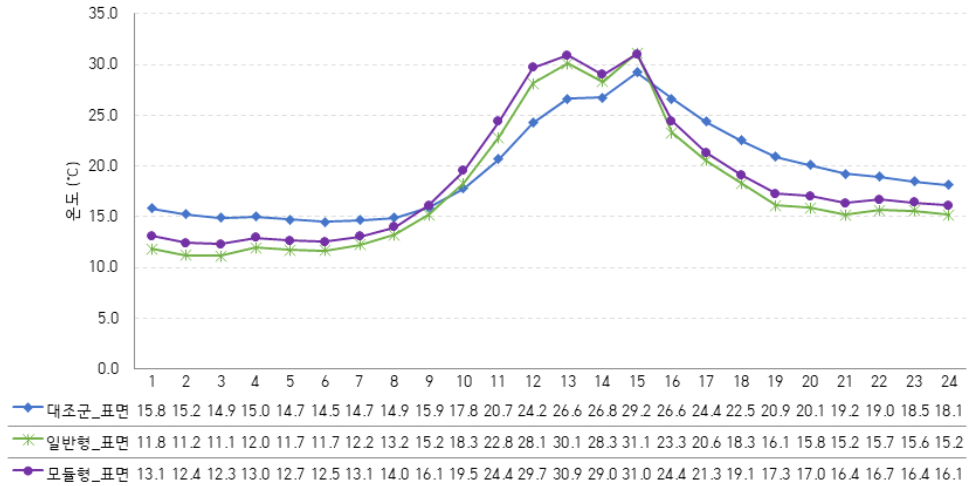
10월 12일 (물 제공)



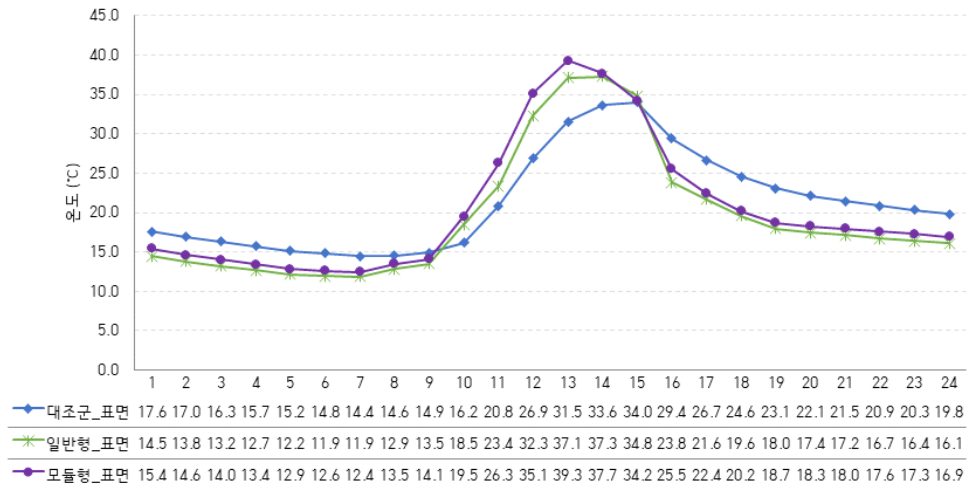
10월 13일



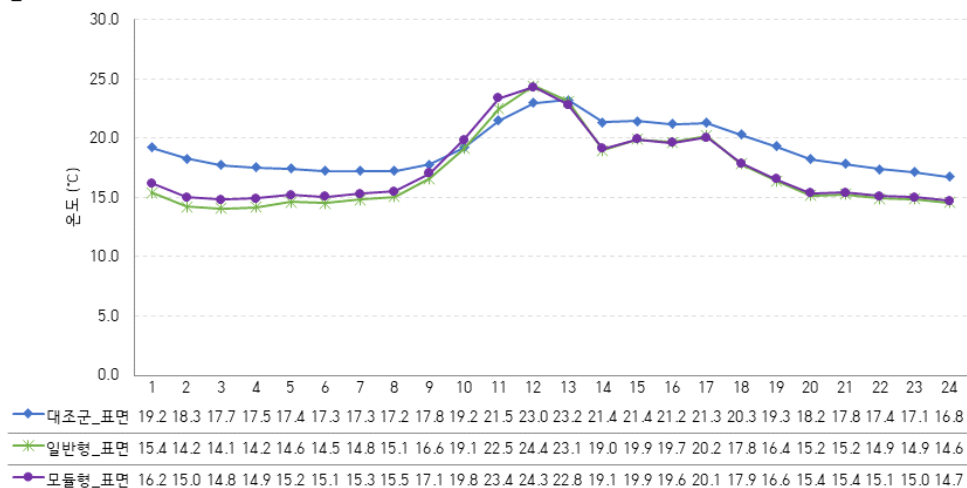
10월 14일



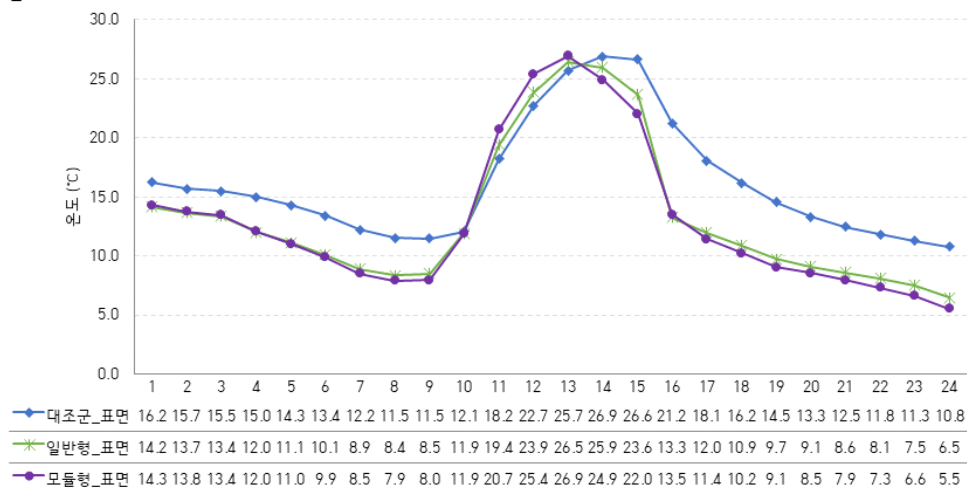
10월 15일



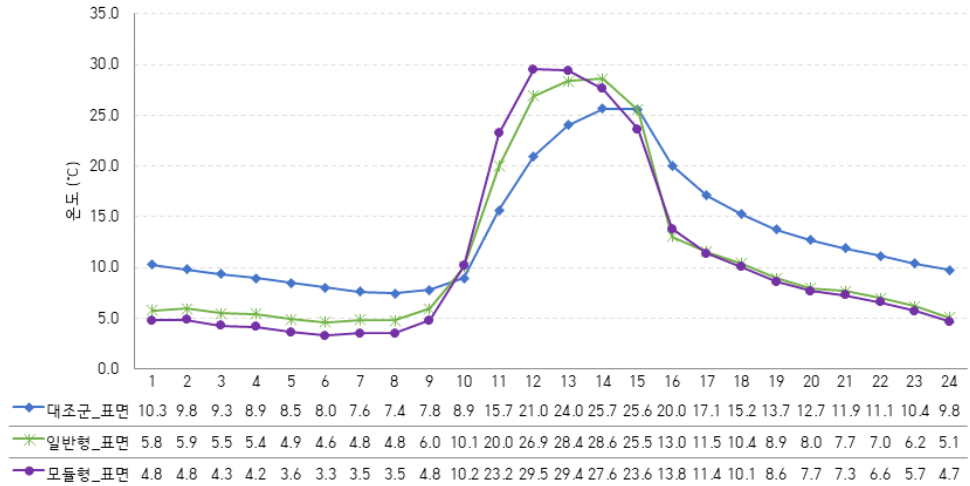
10월 16일



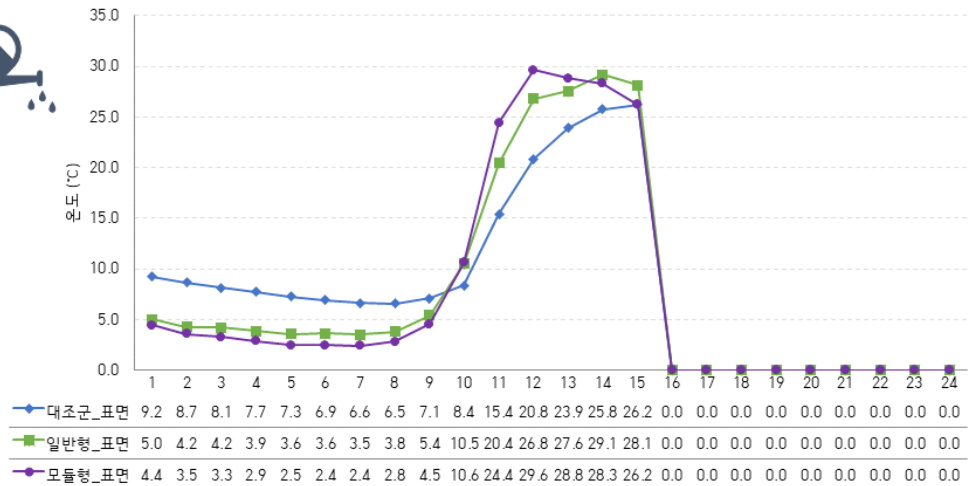
10월 17일



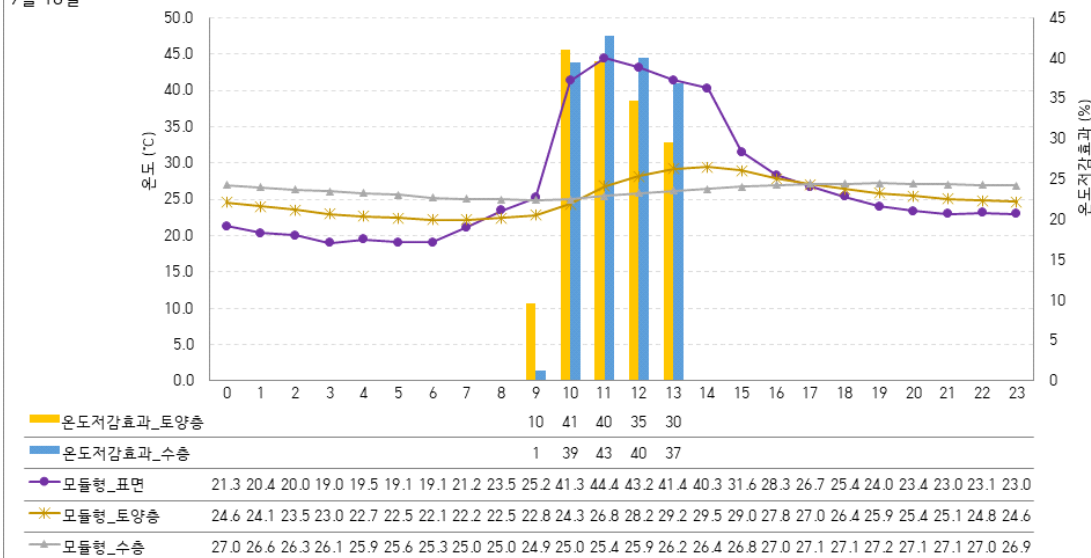
10월 18일



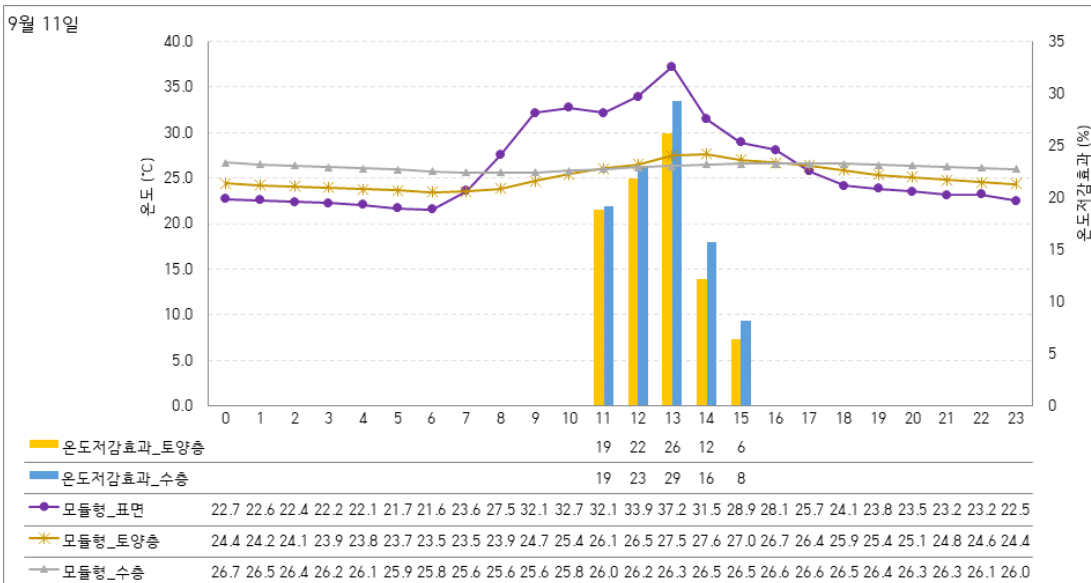
10월 19일 (물 제공)

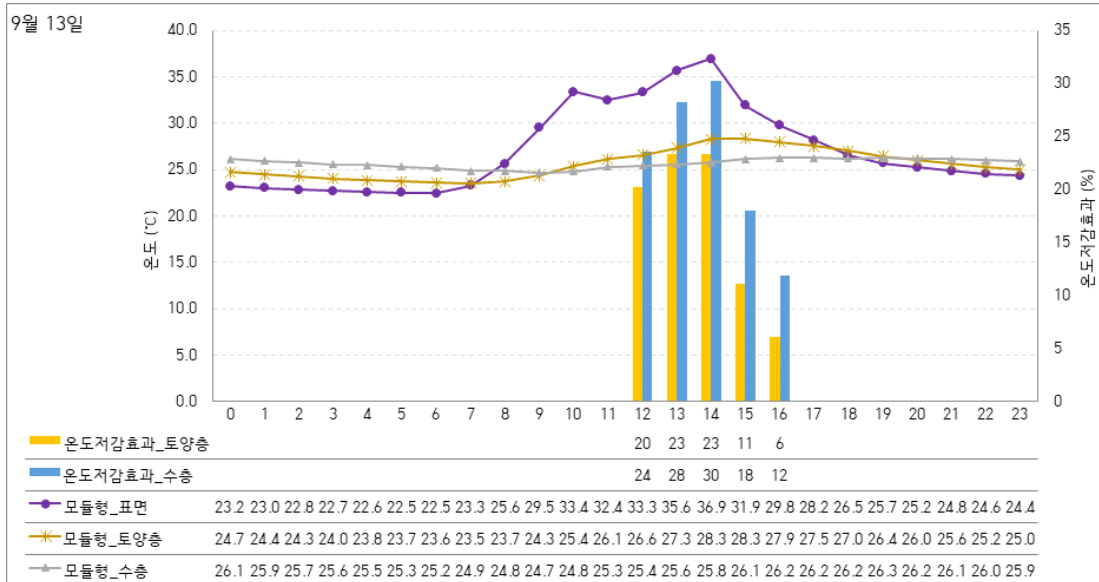
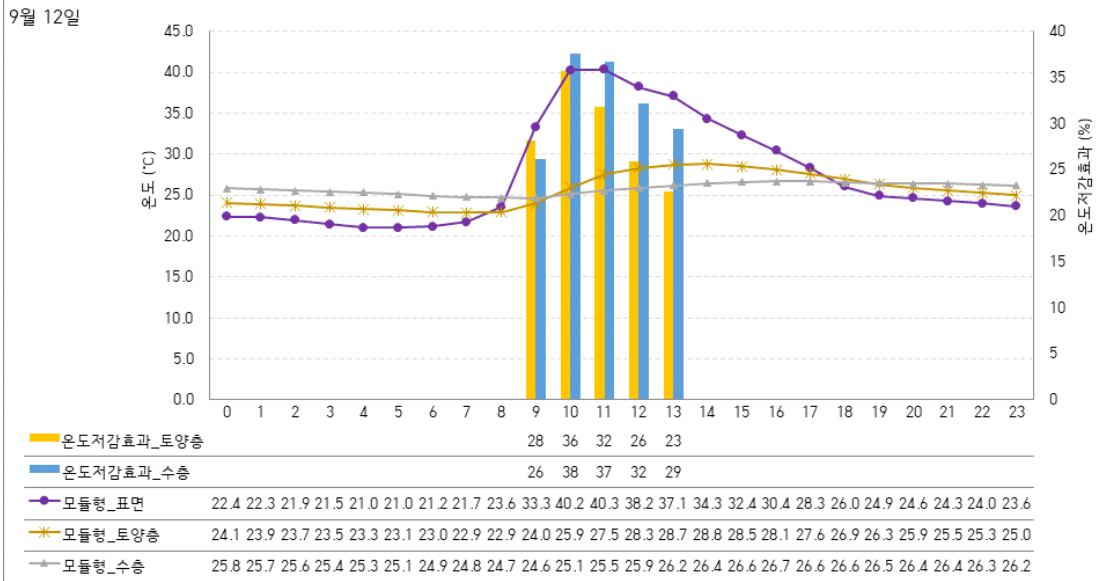


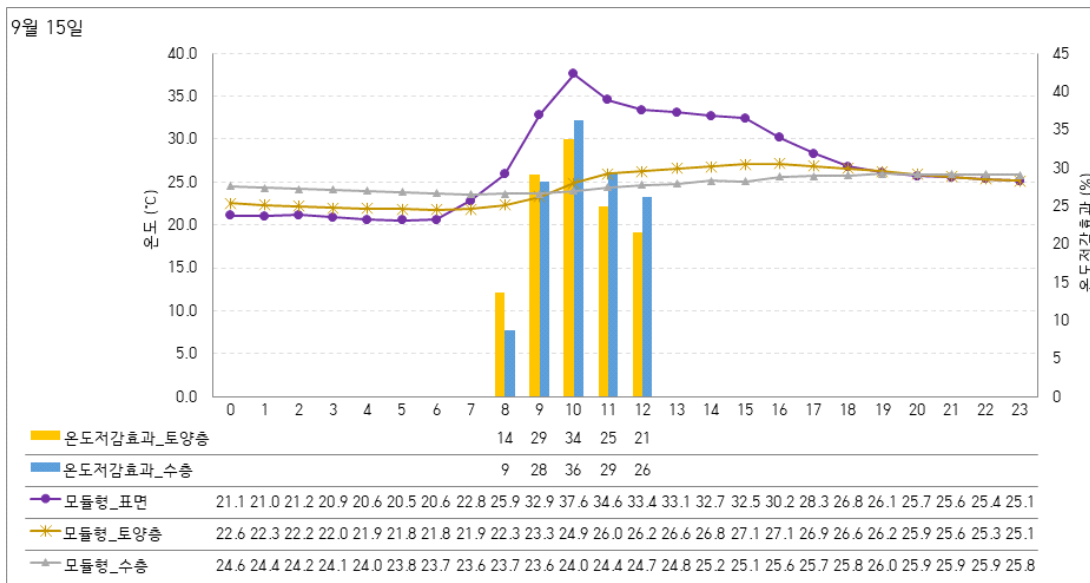
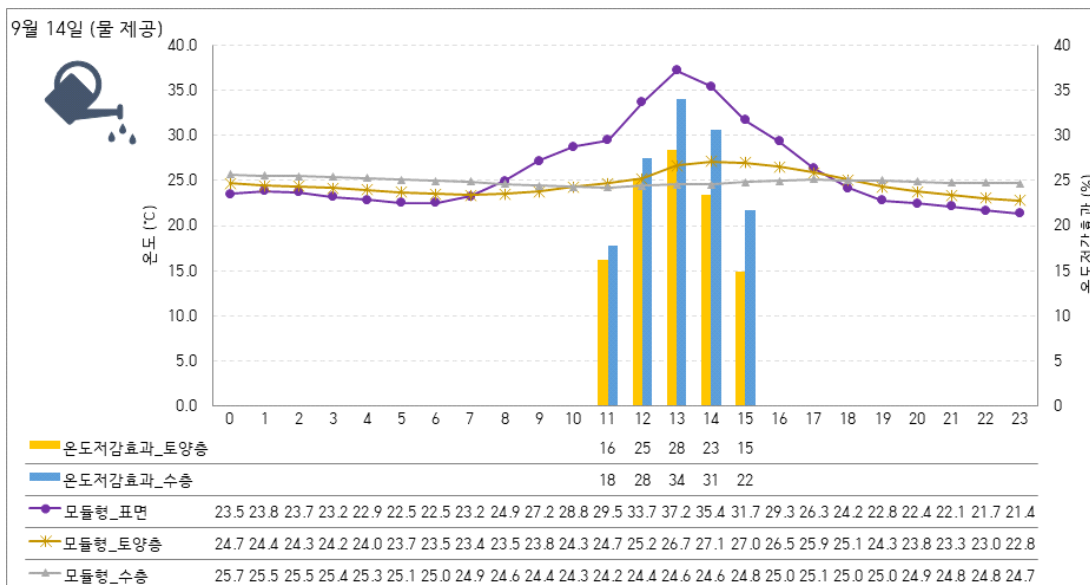
9월 10일



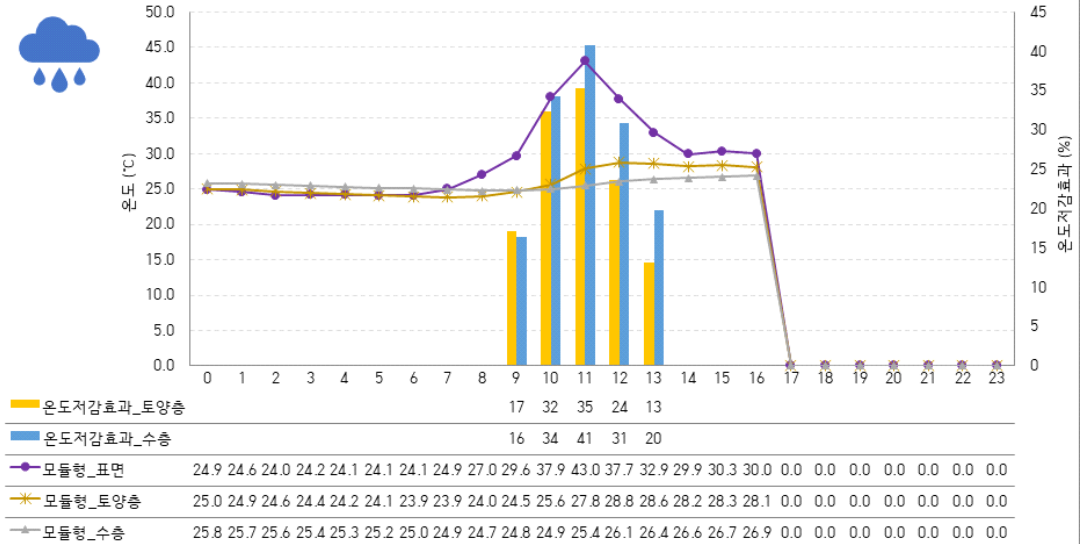
9월 11일



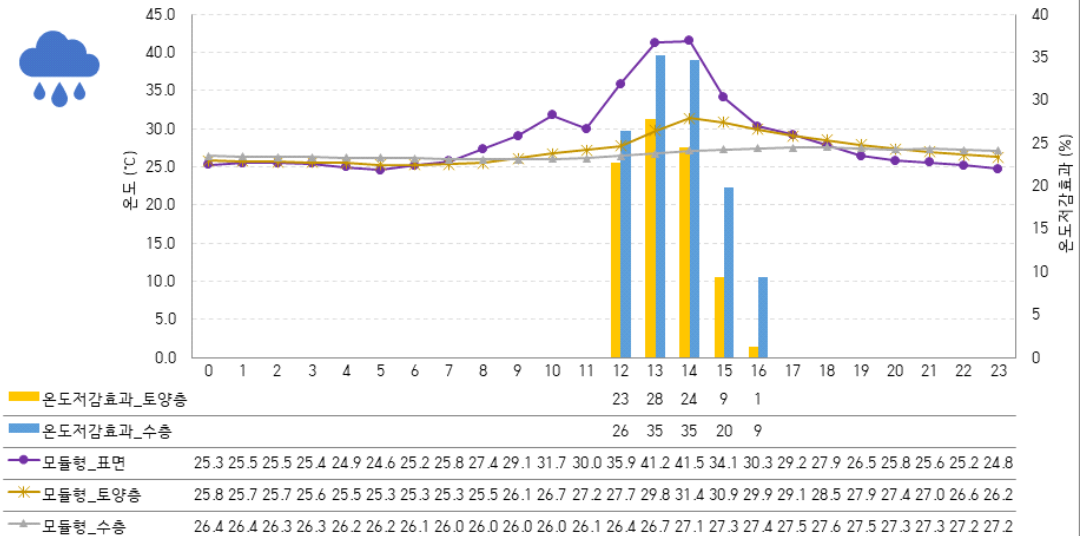




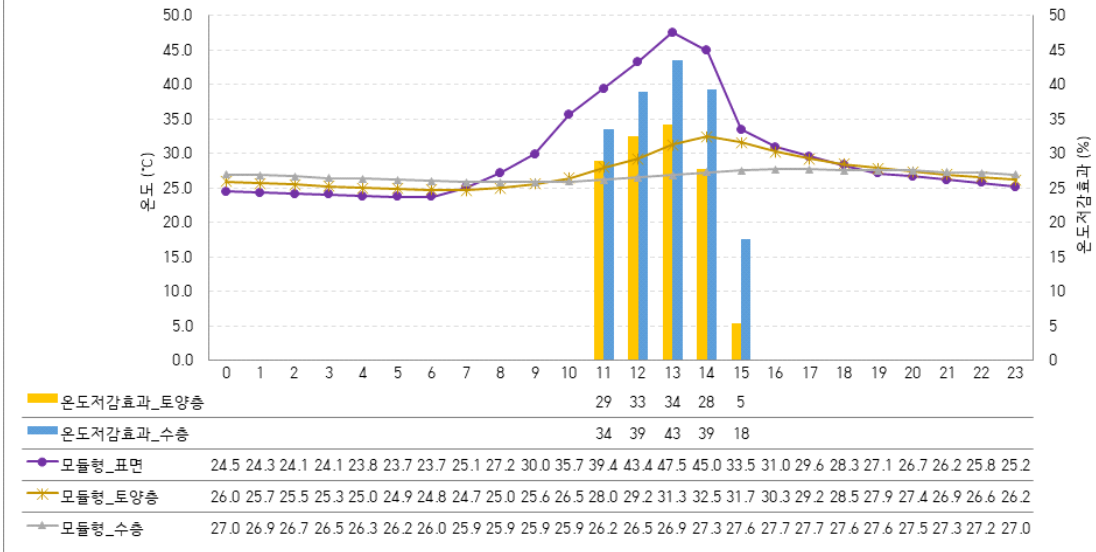
9월 16일 (비)



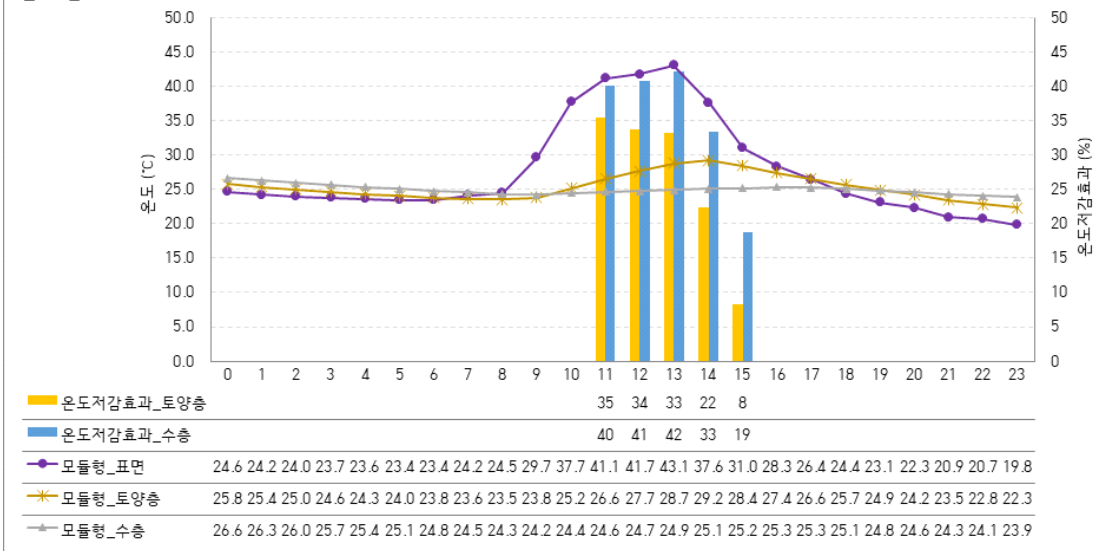
9월 17일 (비)



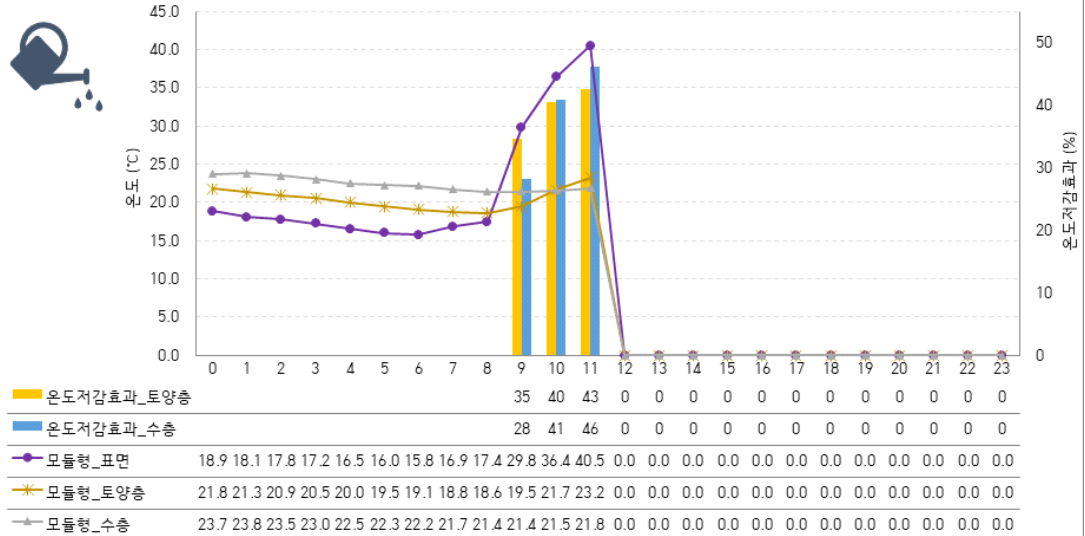
9월 18일



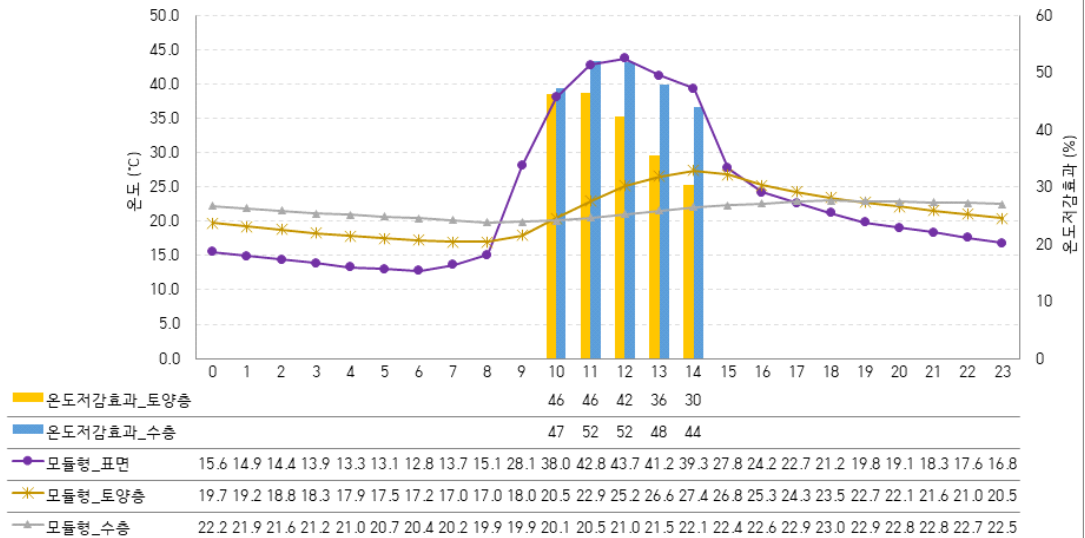
9월 19일



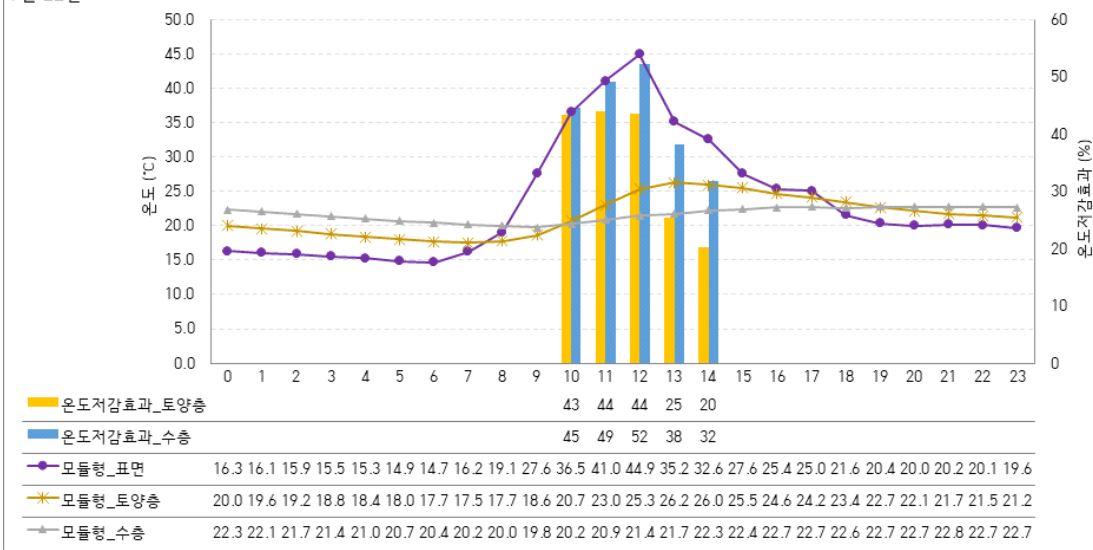
9월 20일 (물 제공)



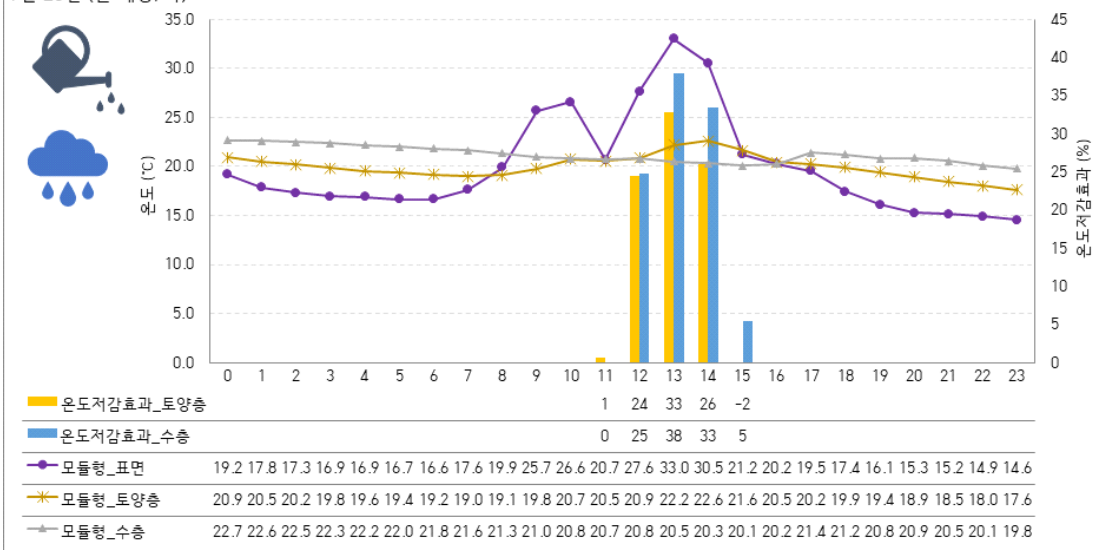
9월 21일



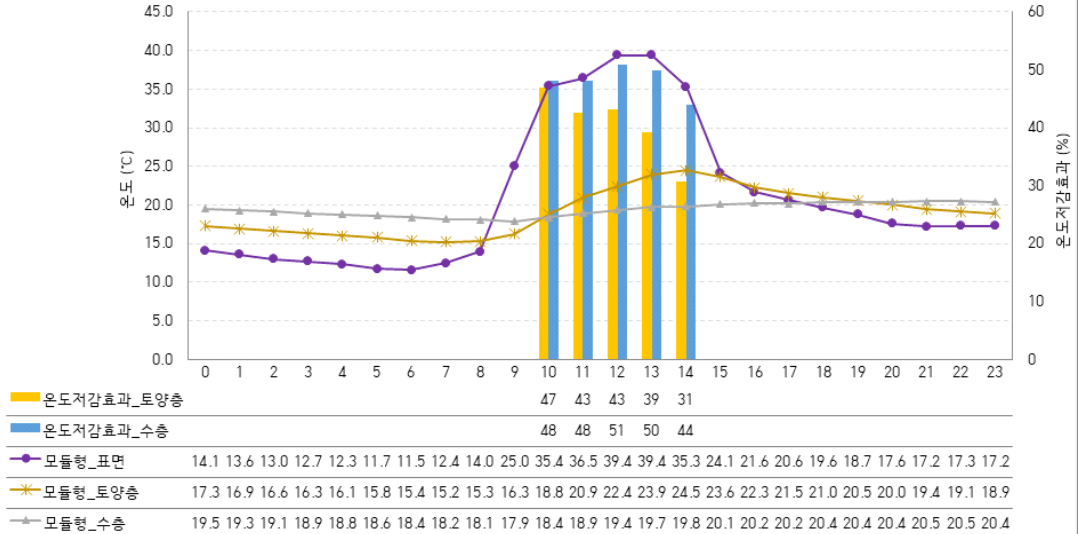
9월 22일



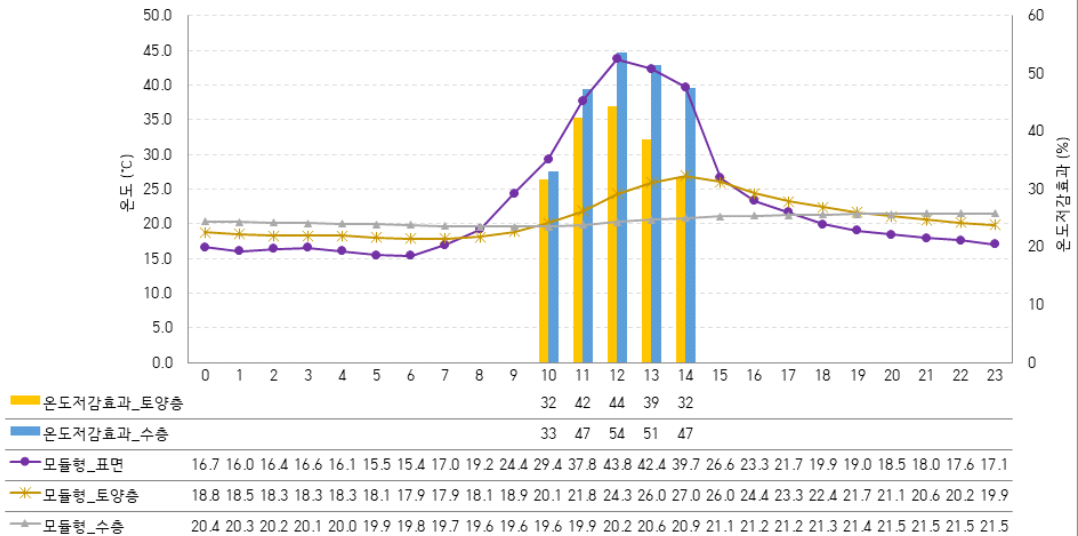
9월 23일 (물 제공/비)



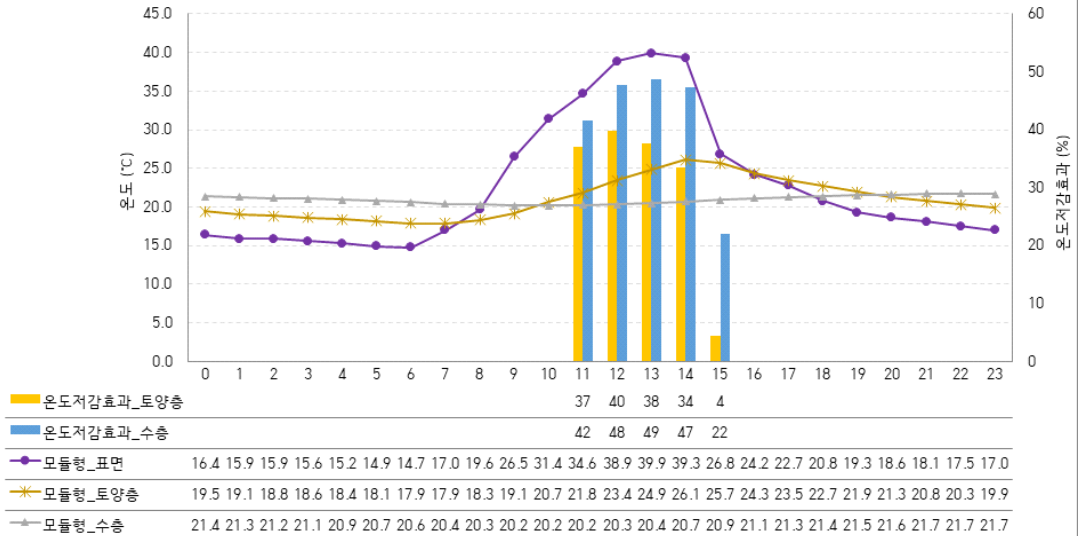
9월 24일



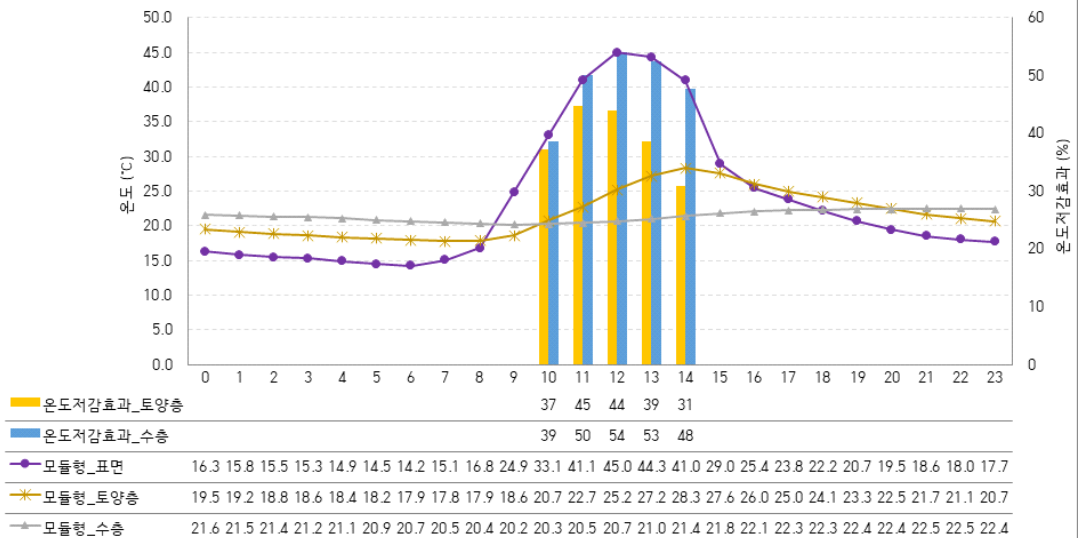
9월 25일



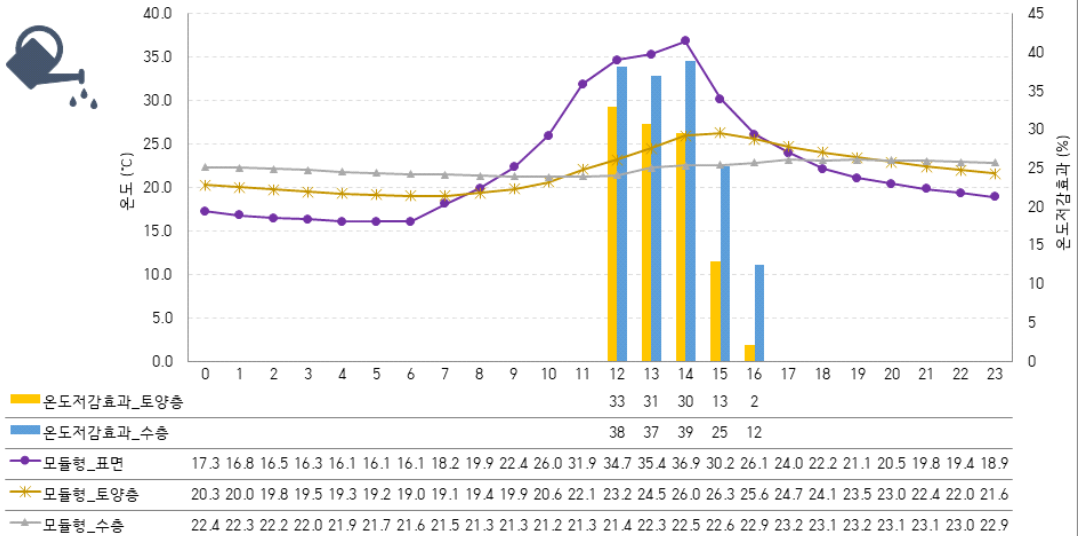
9월 26일



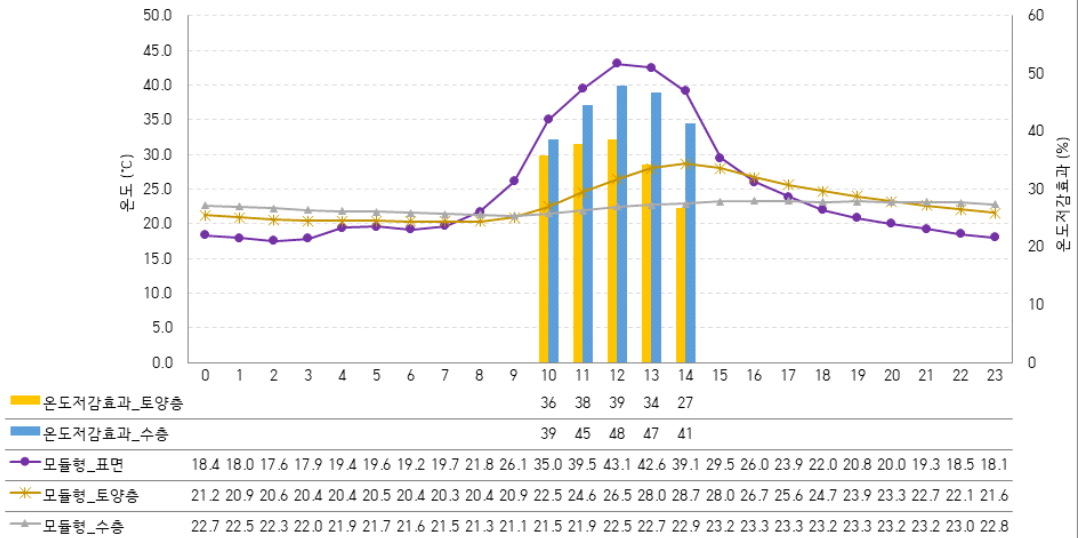
9월 27일



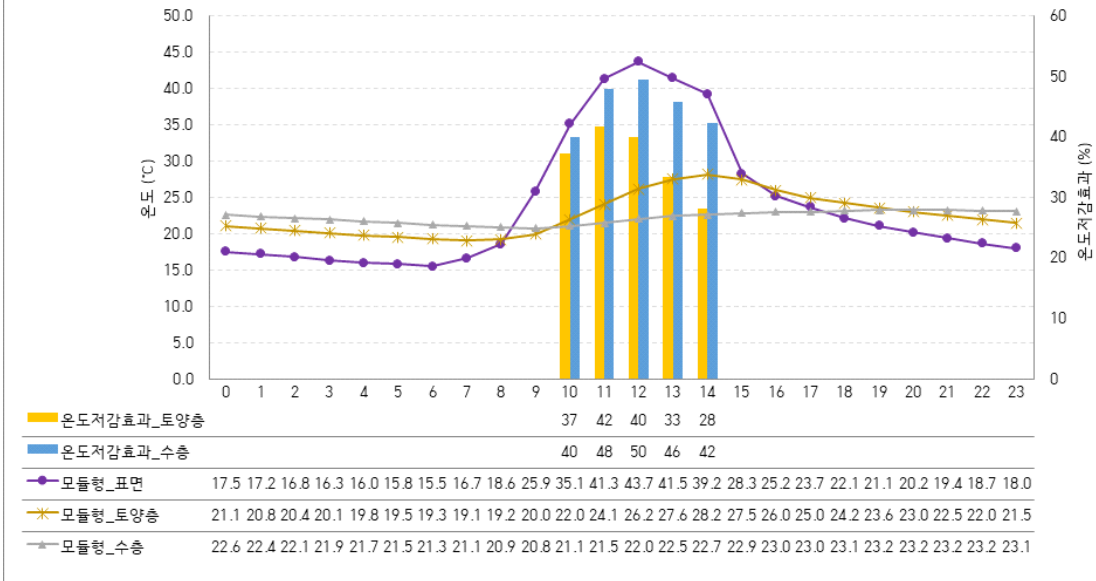
9월 28일 (물 제공)



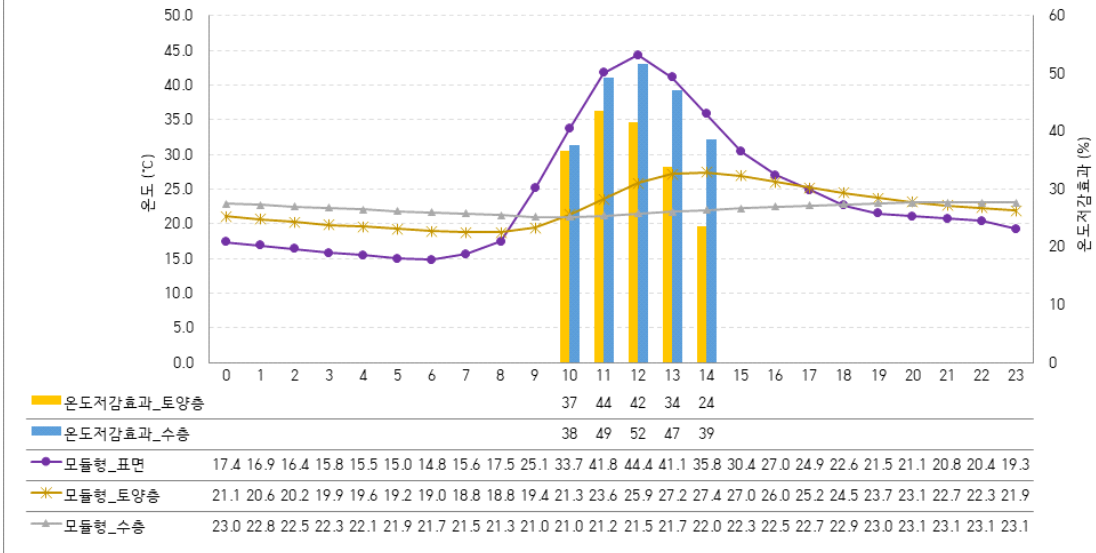
9월 29일



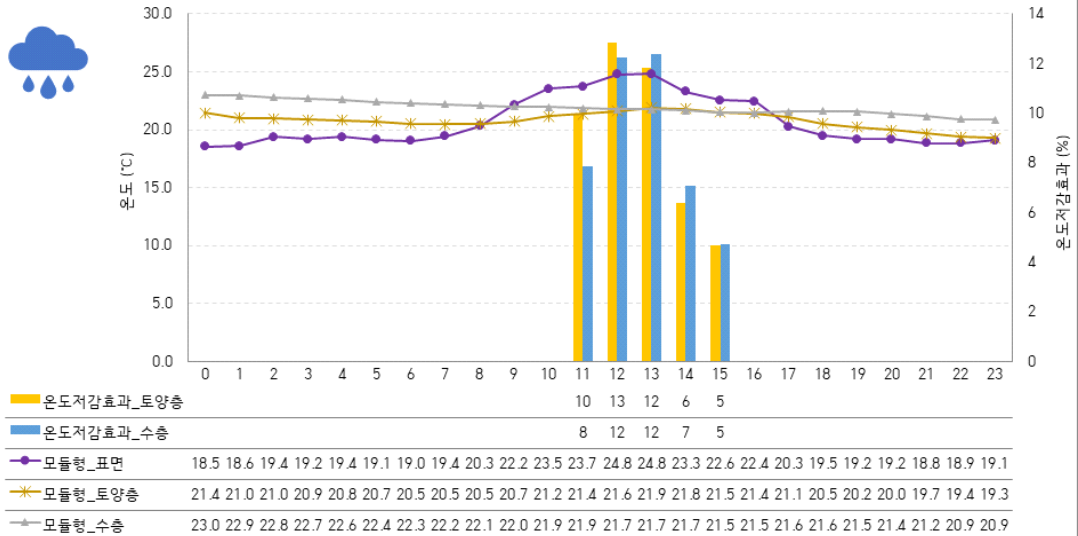
9월 30일



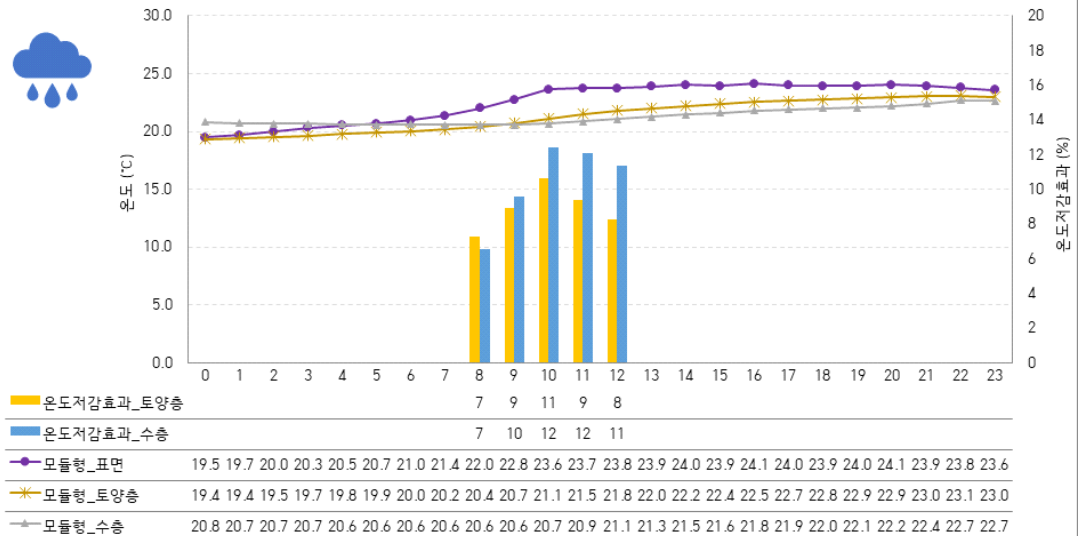
10월 1일



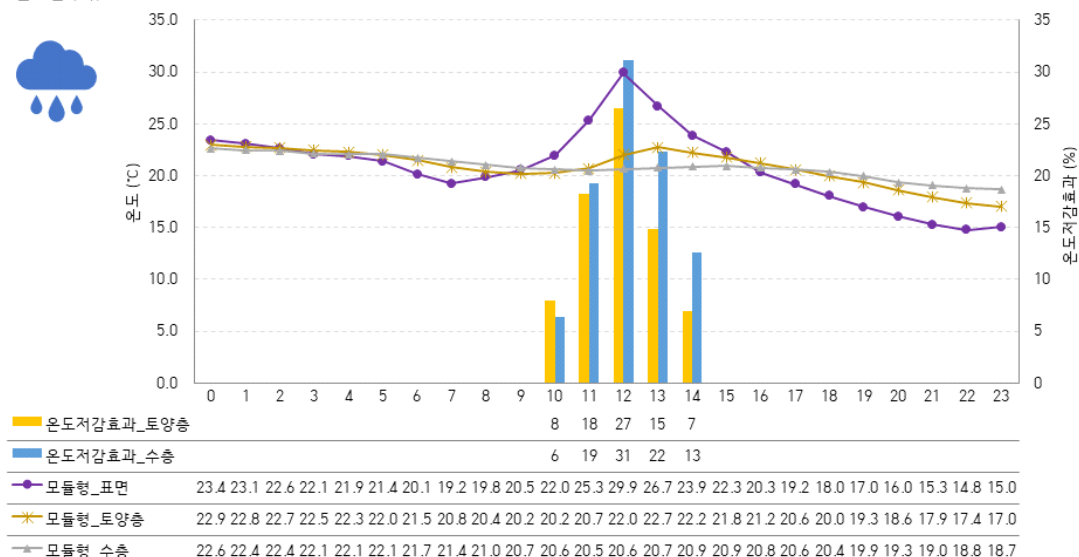
10월 2일 (비)



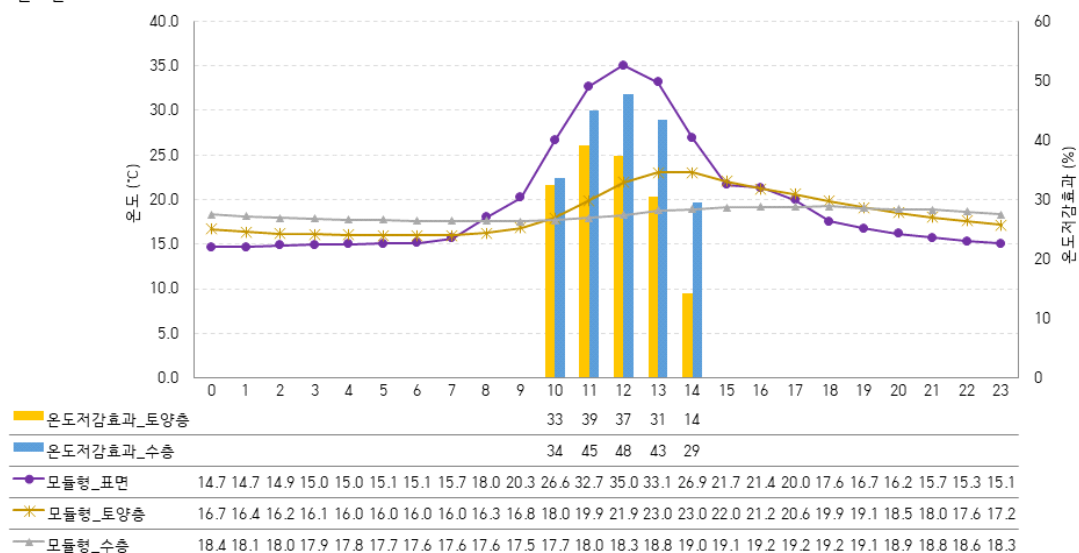
10월 3일 (비)



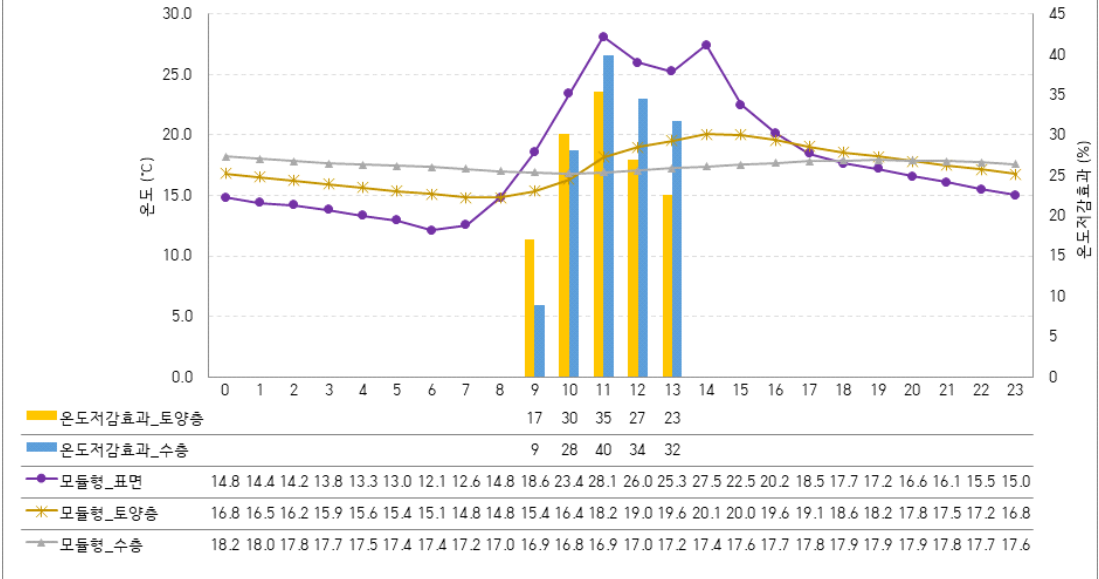
10월 4일 (비)



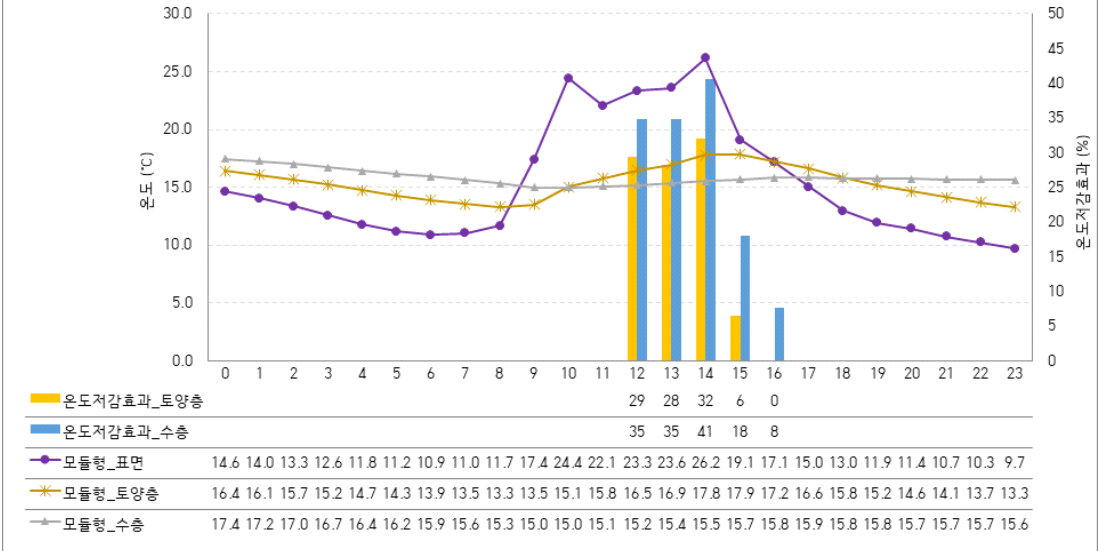
10월 5일



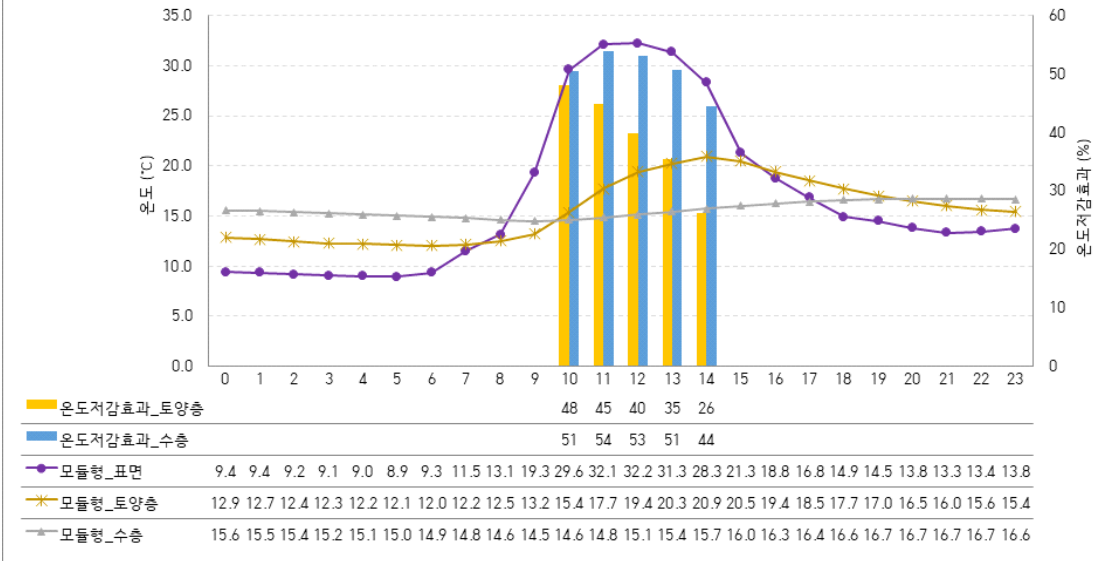
10월 6일



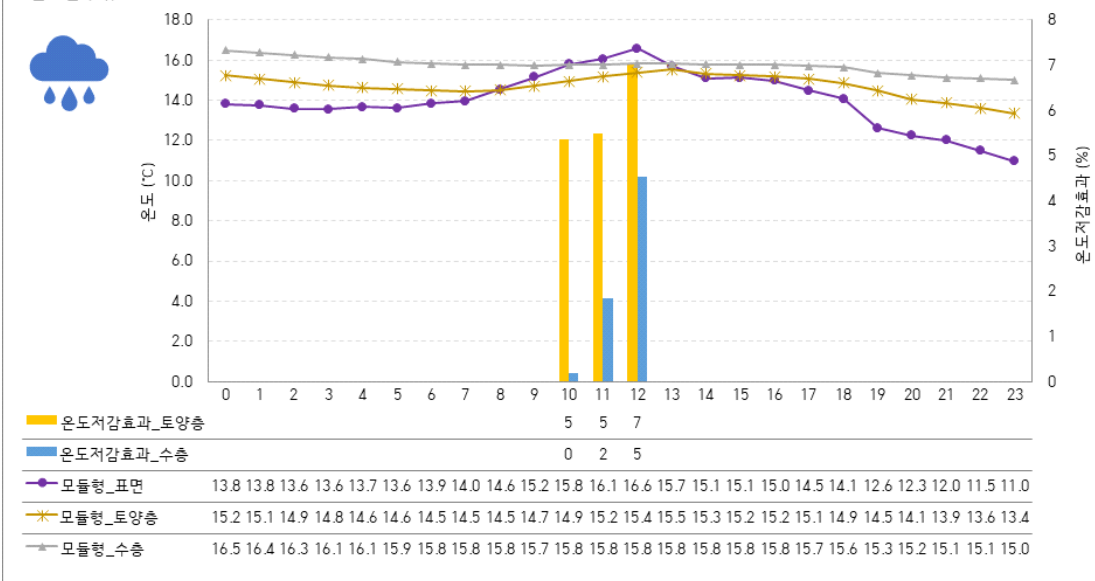
10월 7일



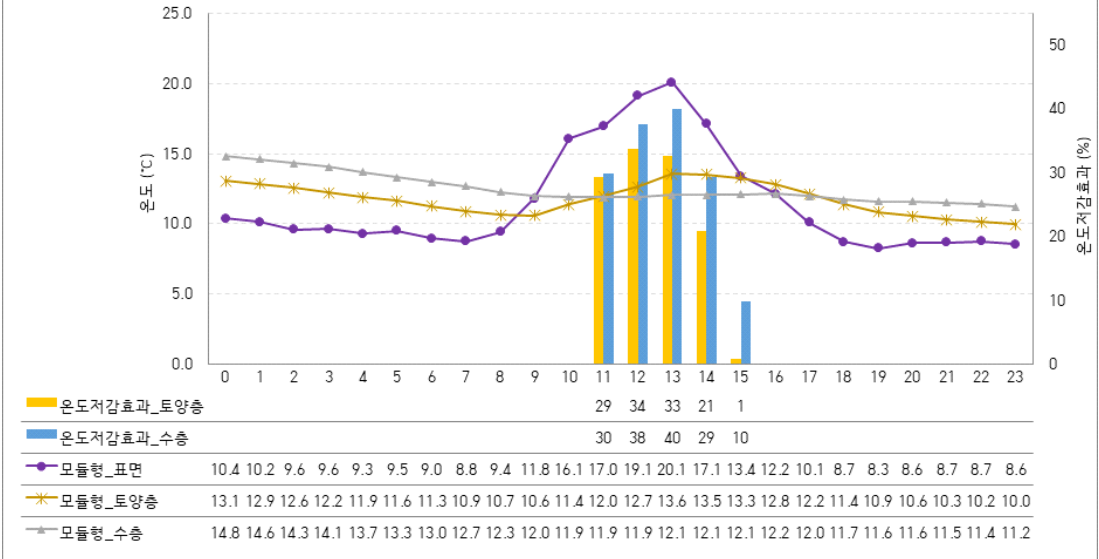
10월 8일



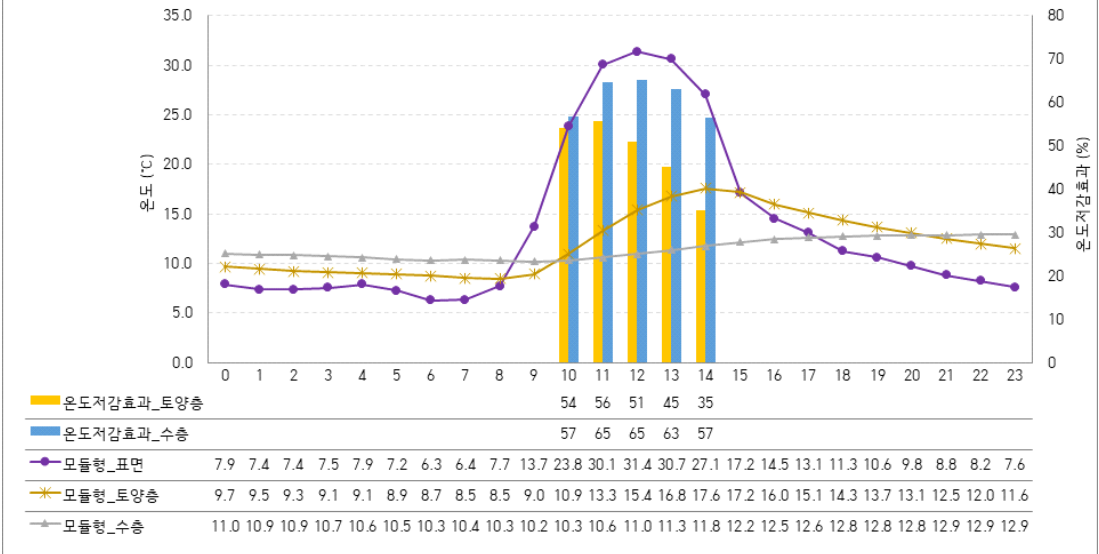
10월 9일 (비)



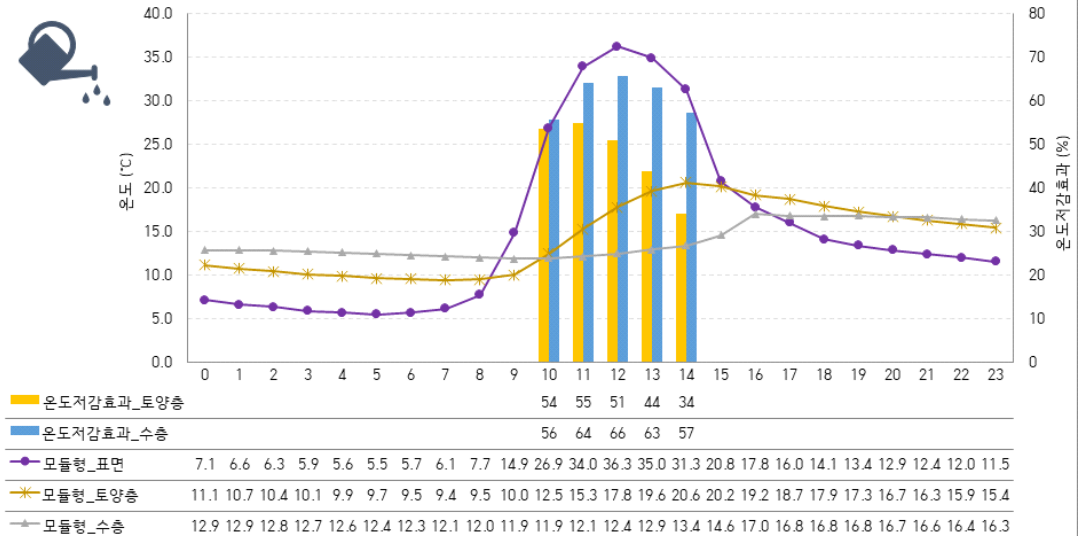
10월 10일



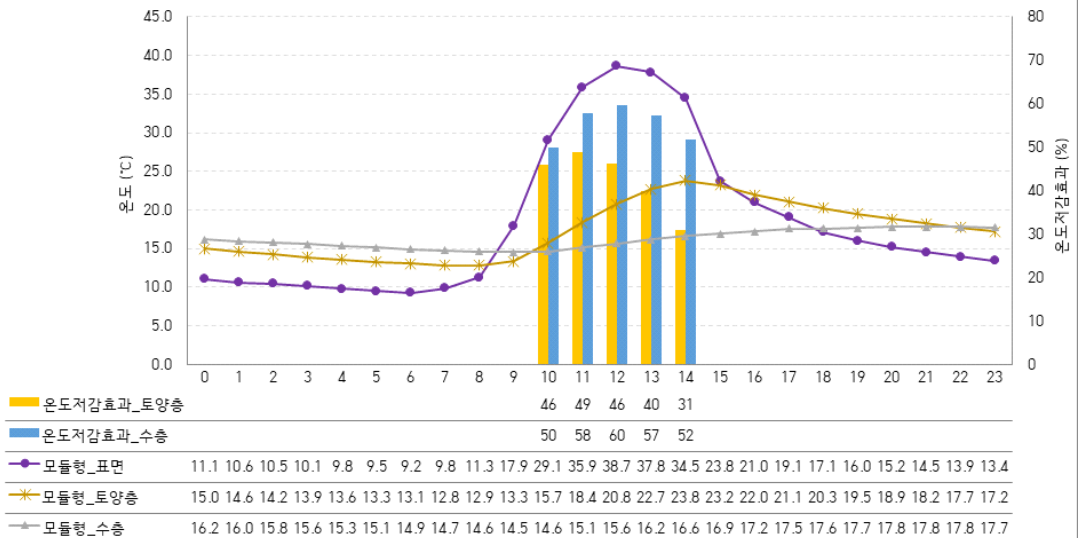
10월 11일



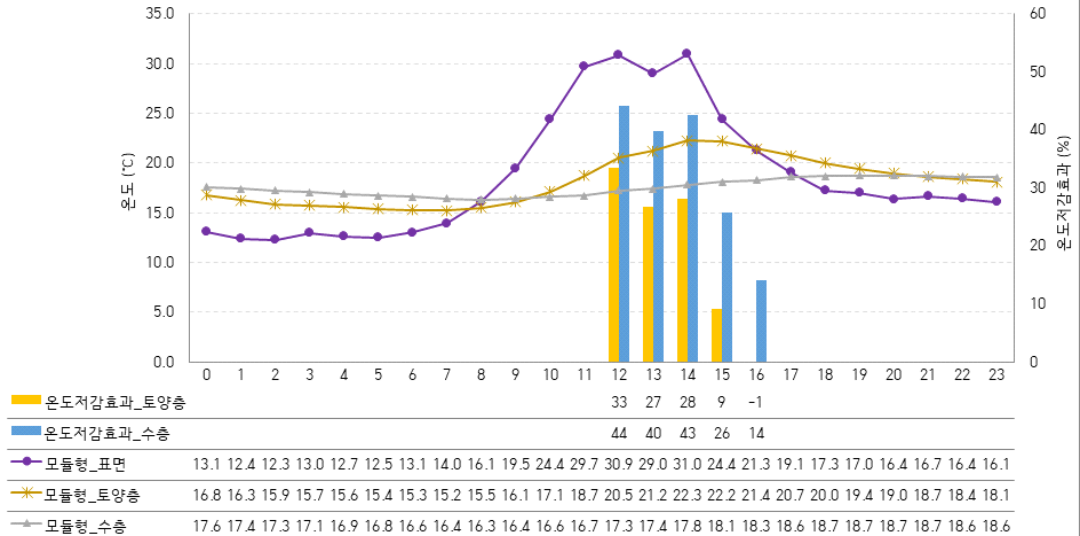
10월 12일 (물 제공)



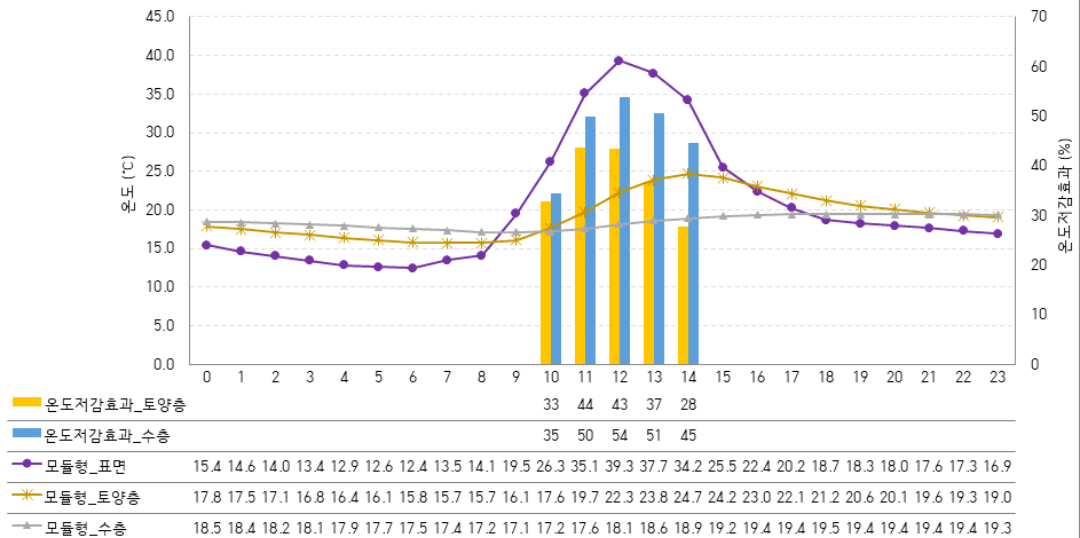
10월 13일



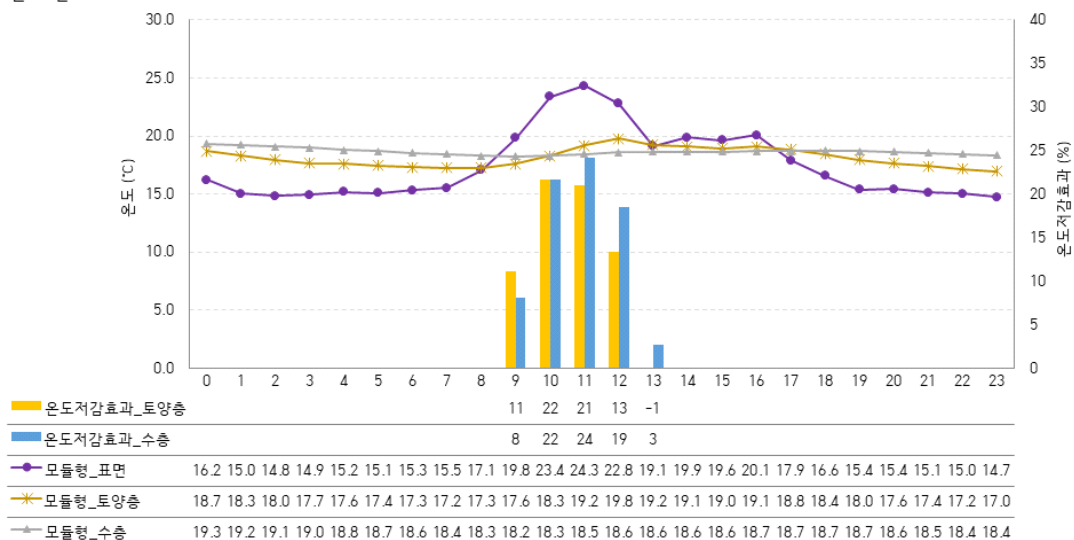
10월 14일



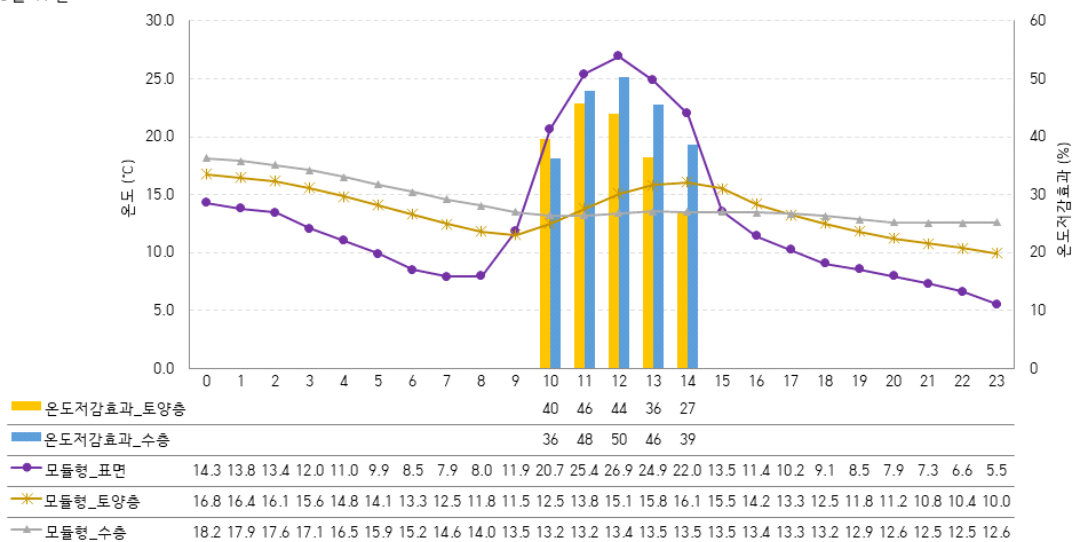
10일 15일



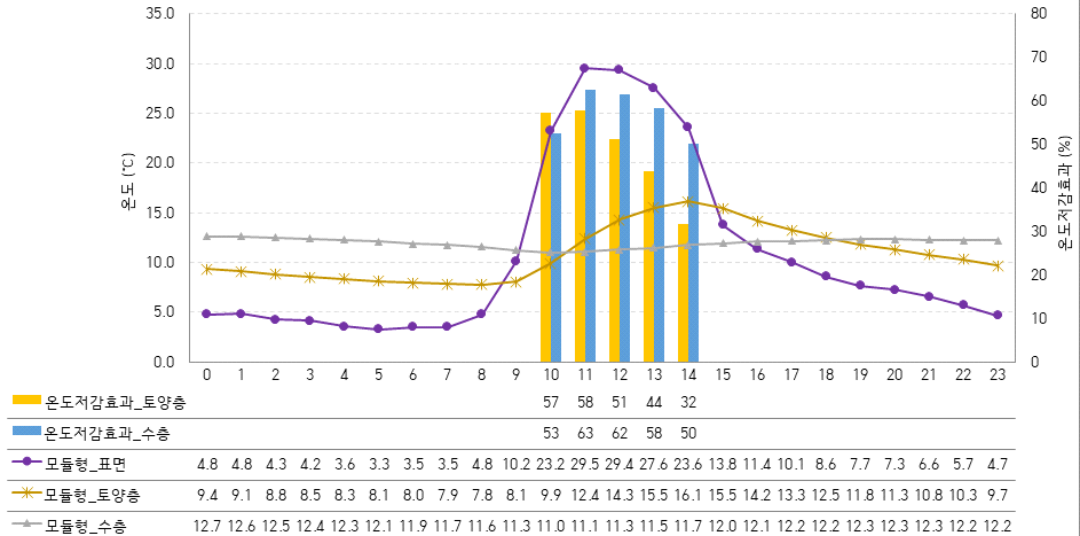
10월 16일



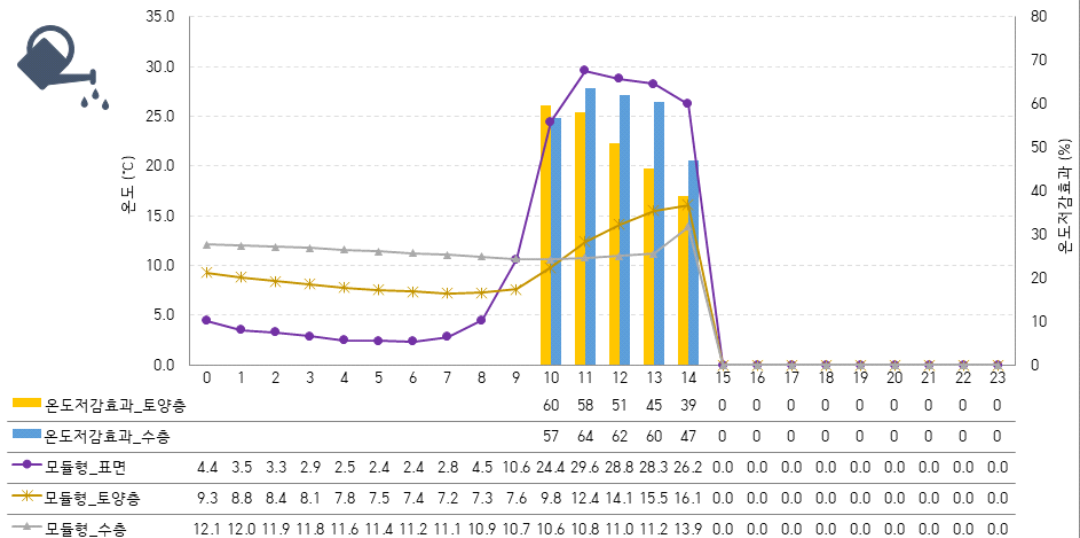
10월 17일

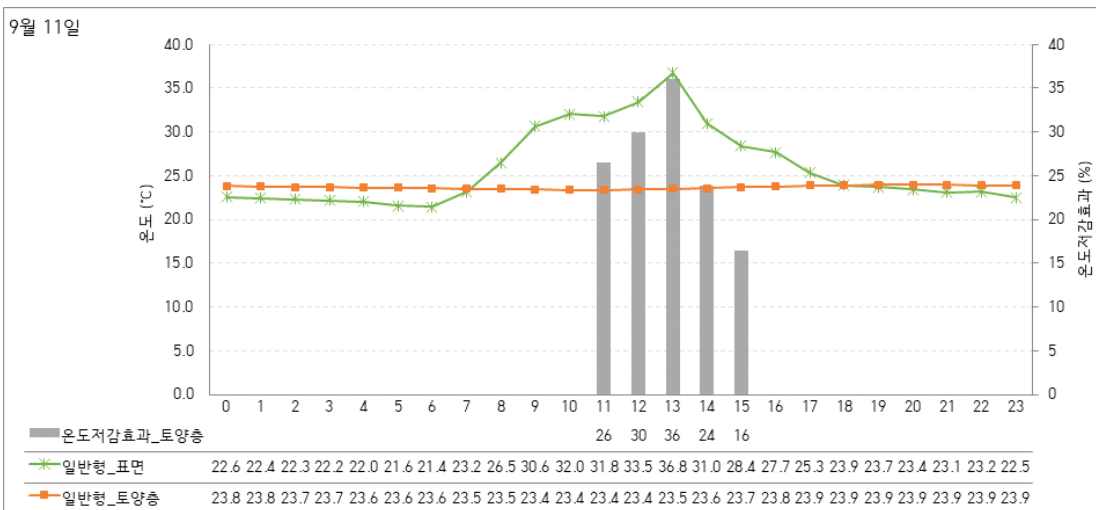
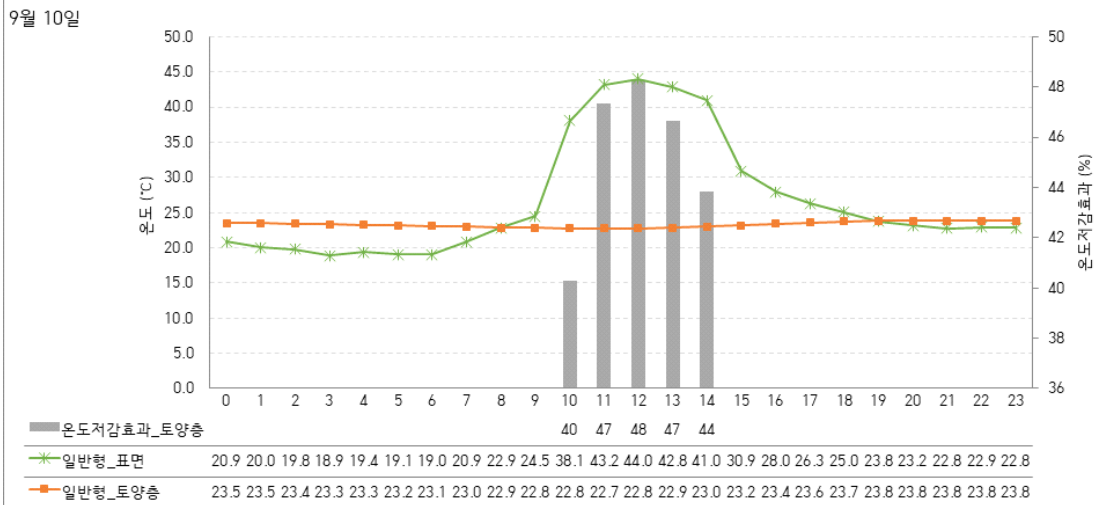


10월 18일

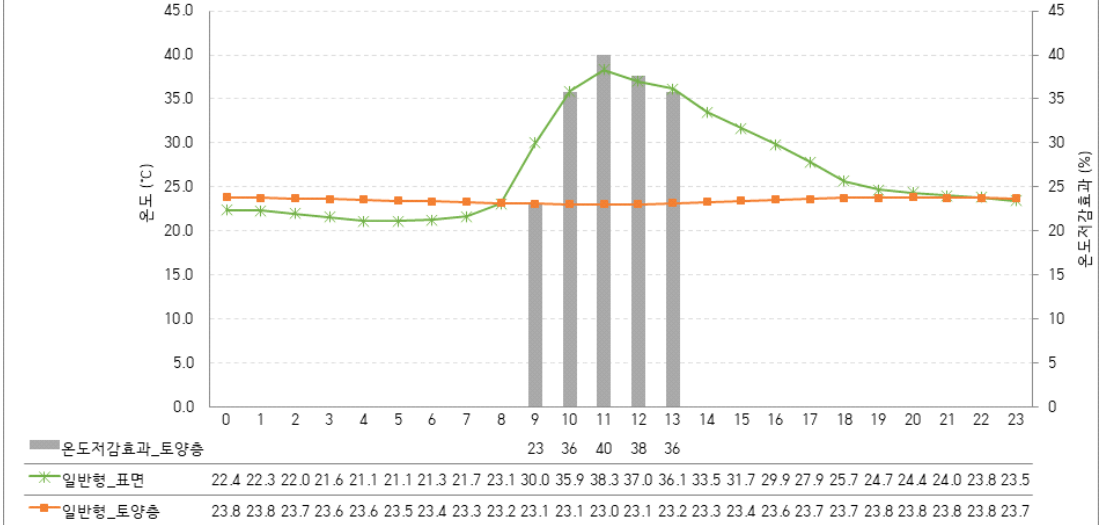


10월 19일 (물 제공)

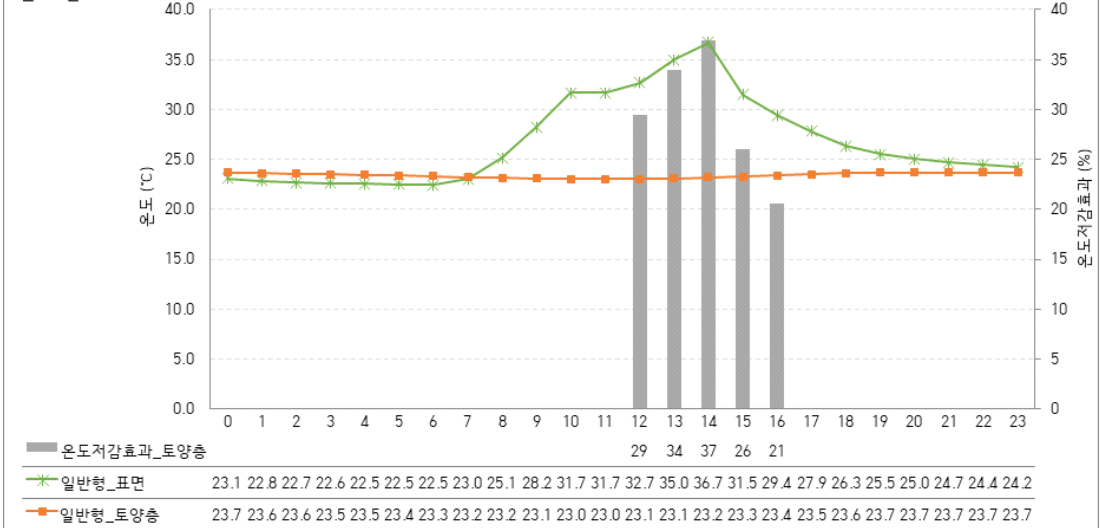


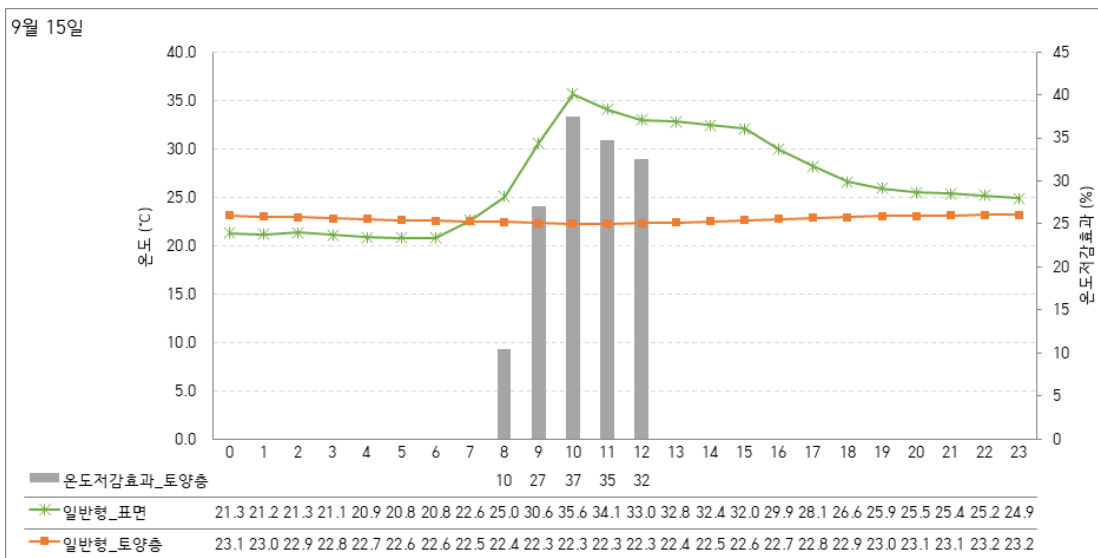
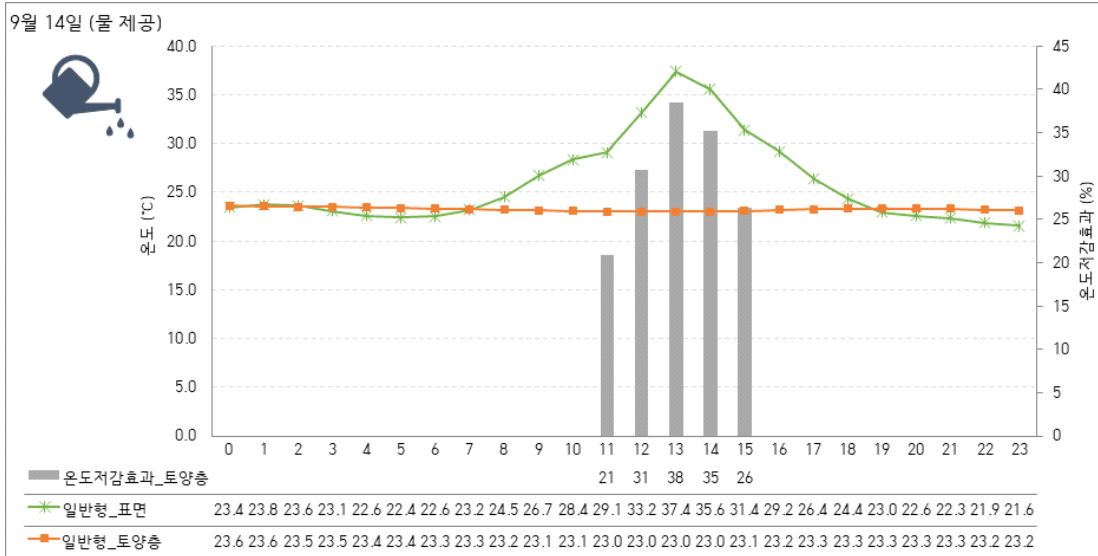


9월 12일

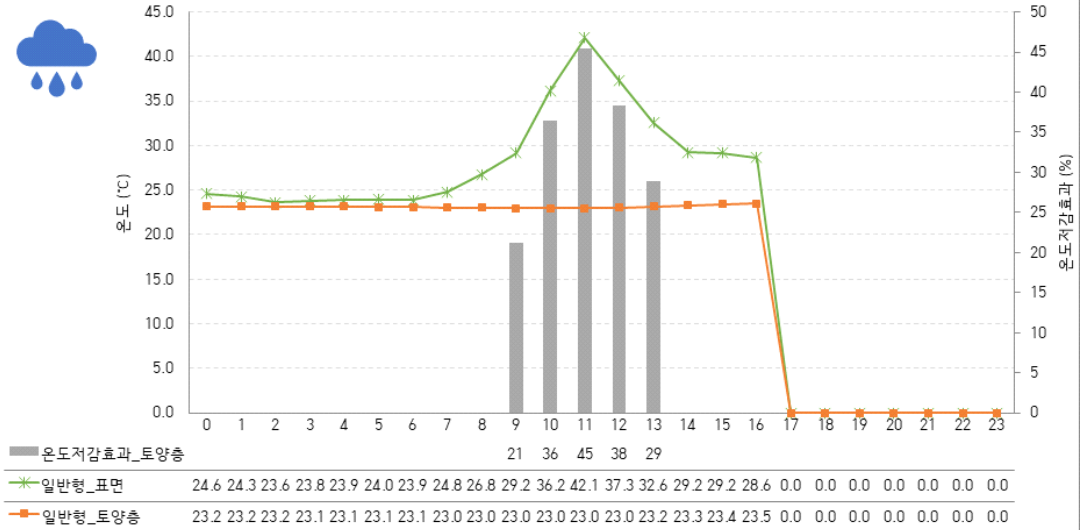


9월 13일

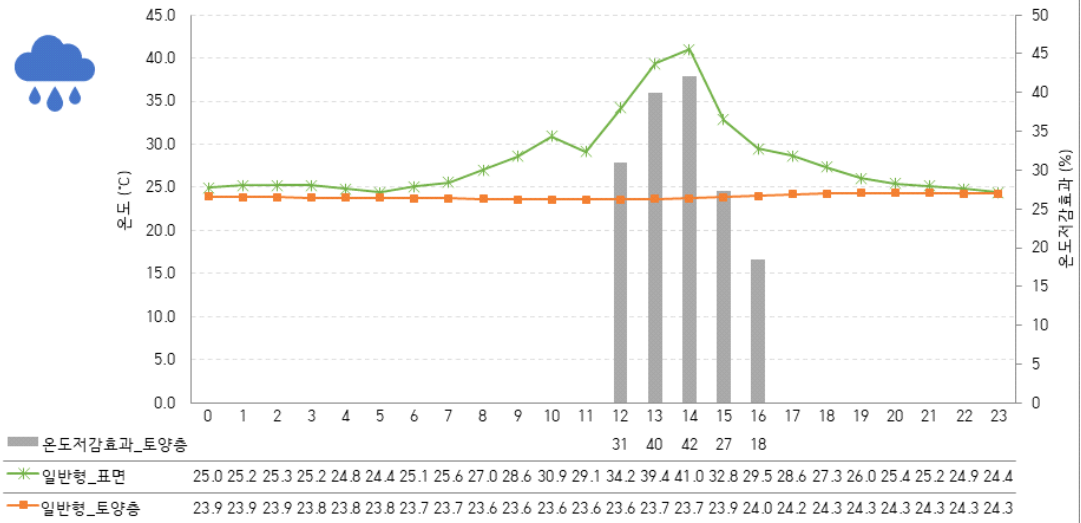


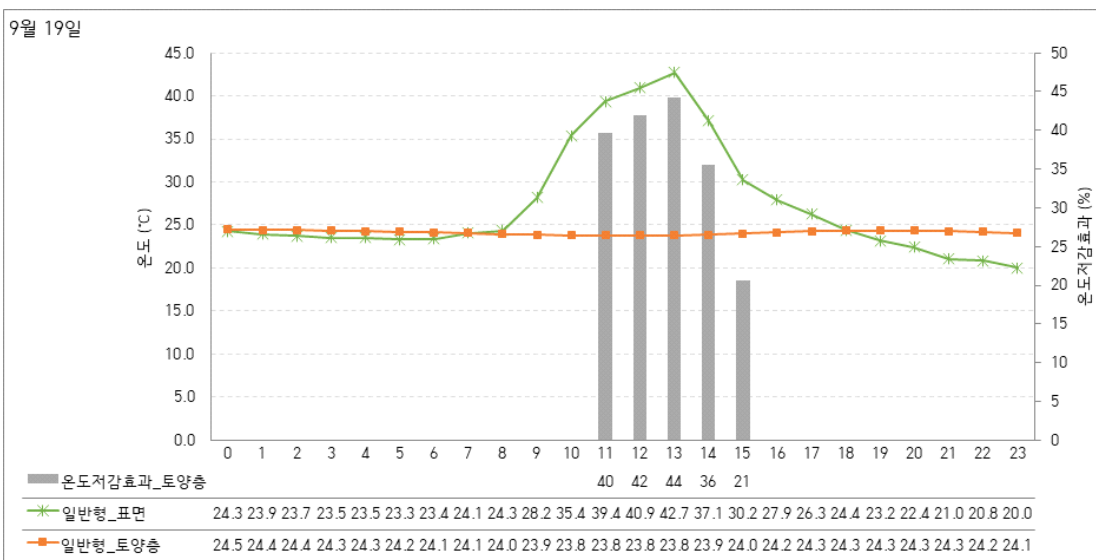
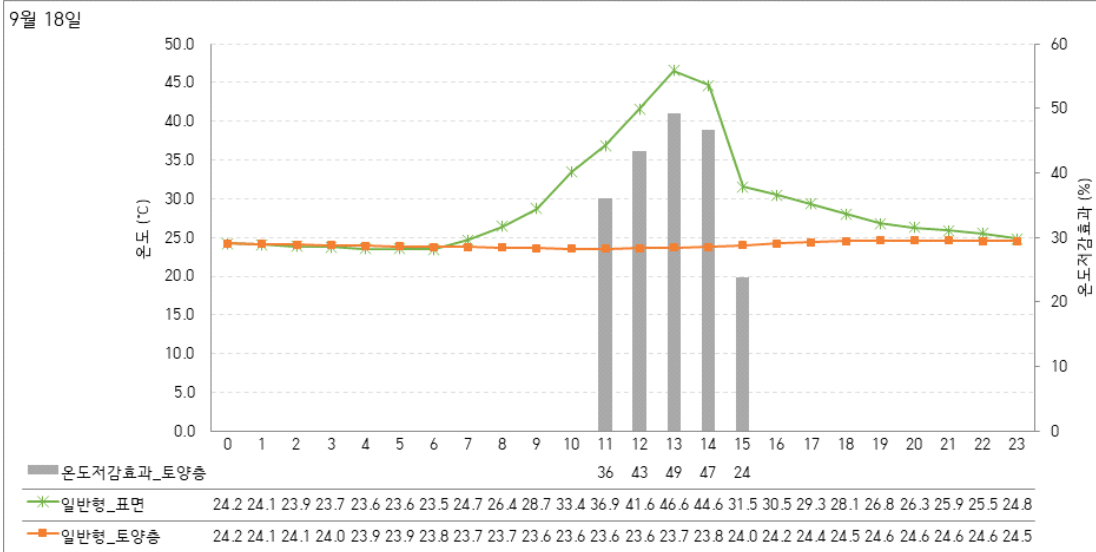


9월 16일 (비)

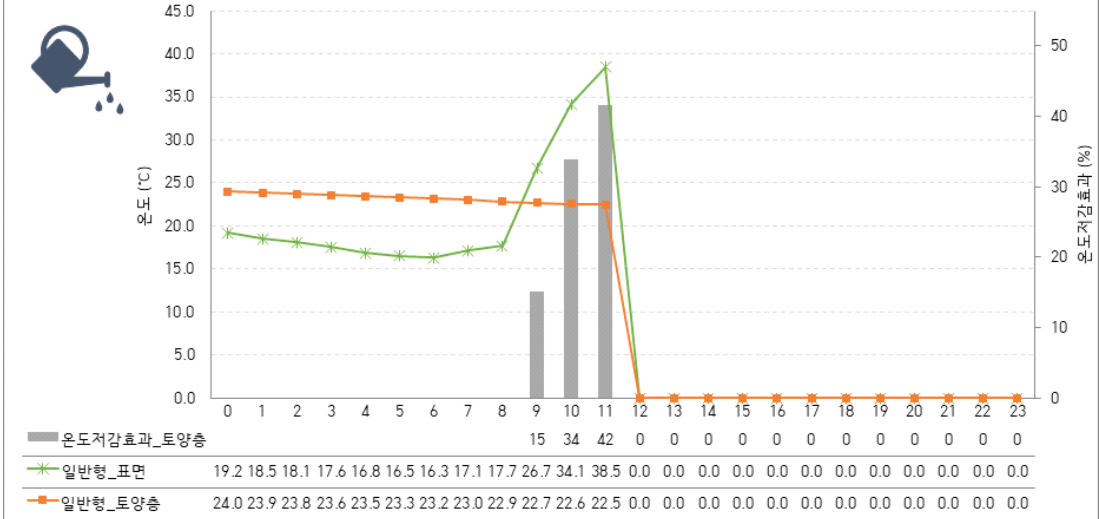


9월 17일 (비)

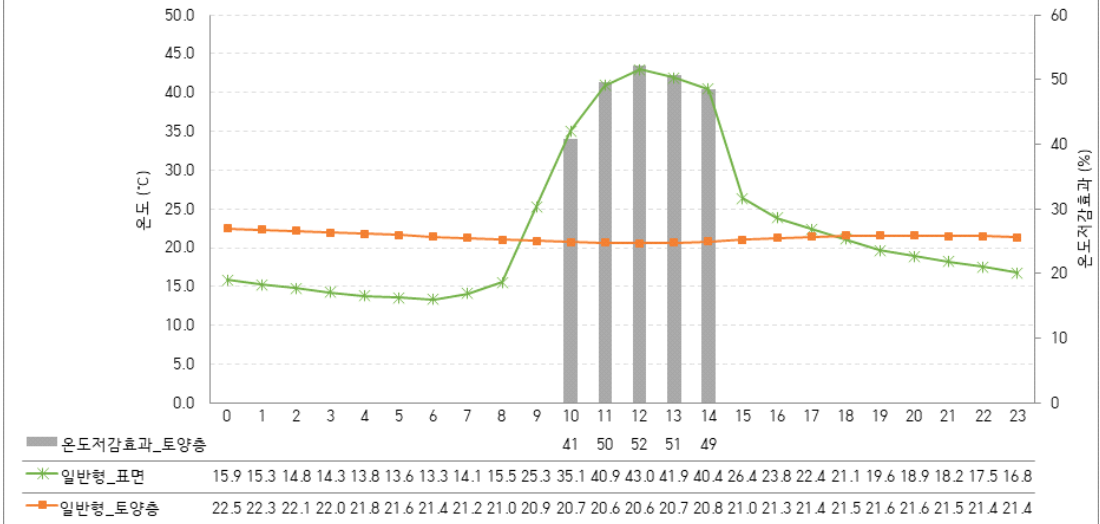


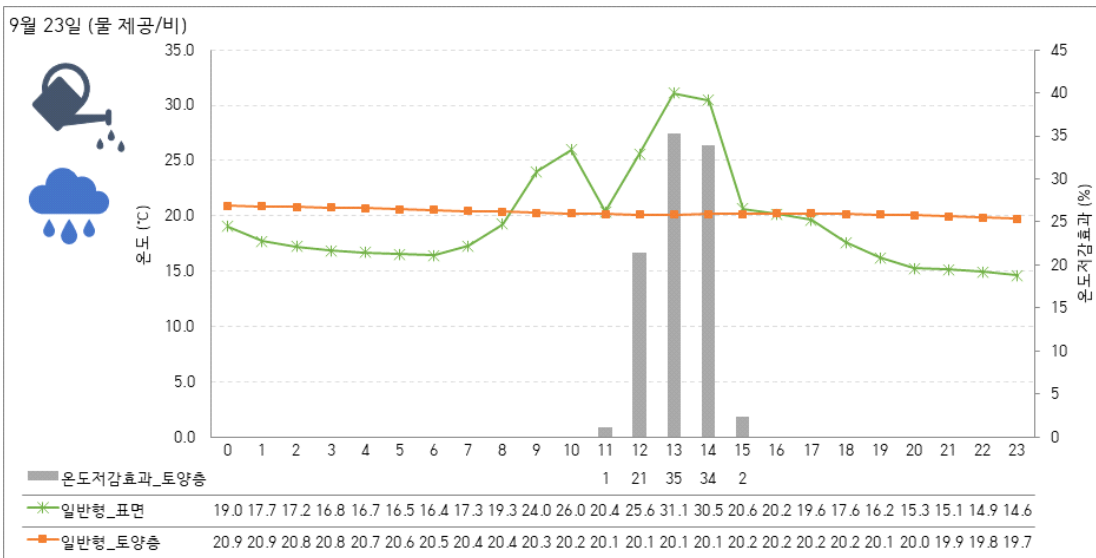
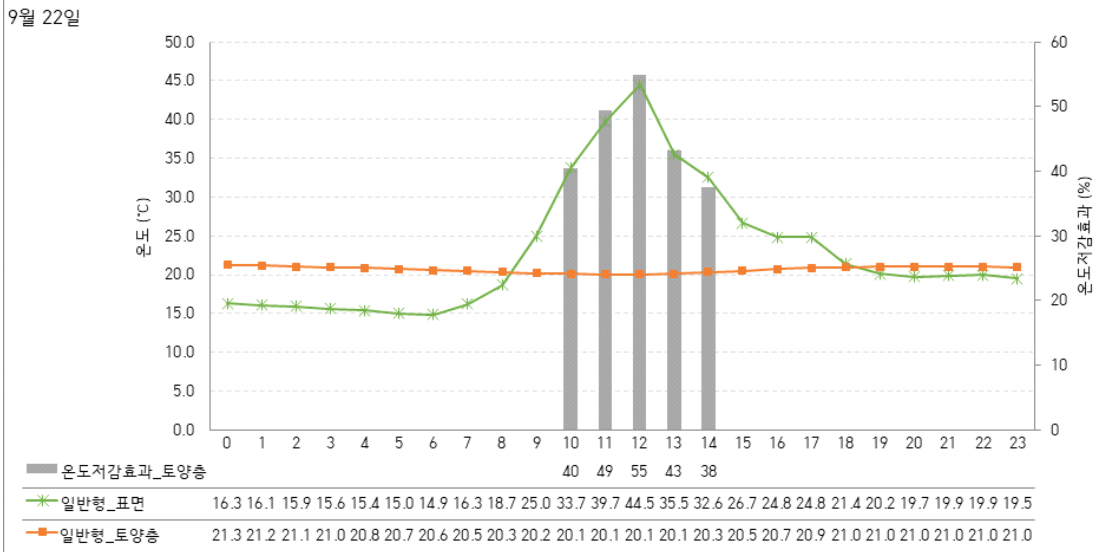


9월 20일 (물 제공)

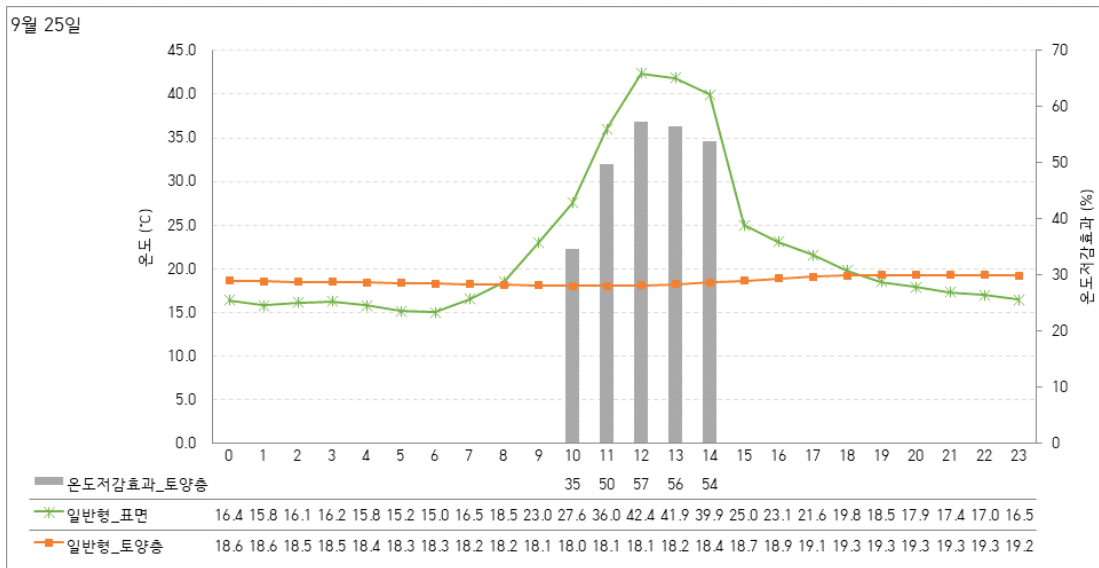
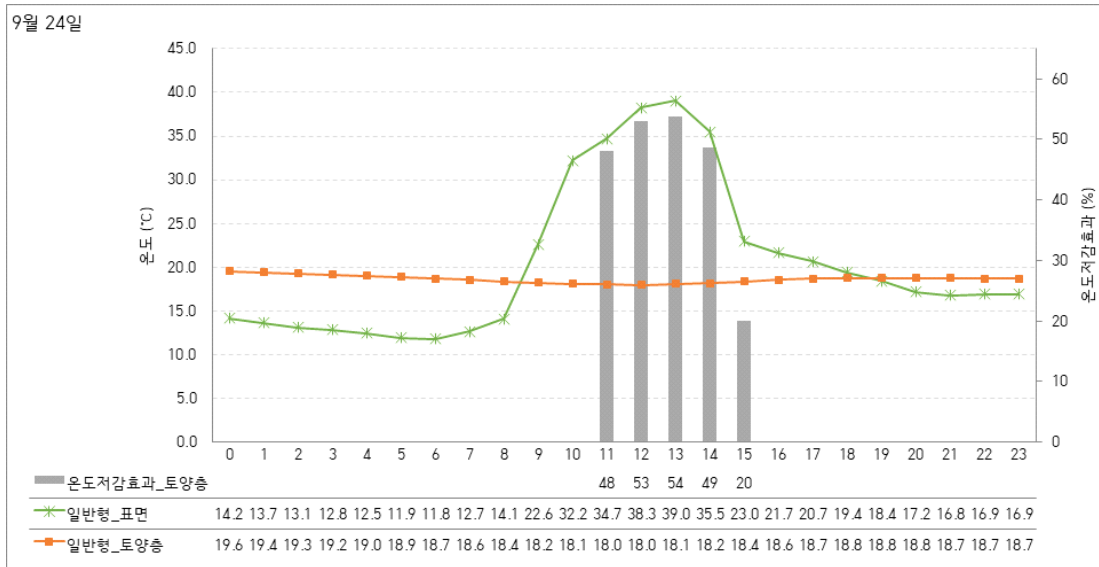


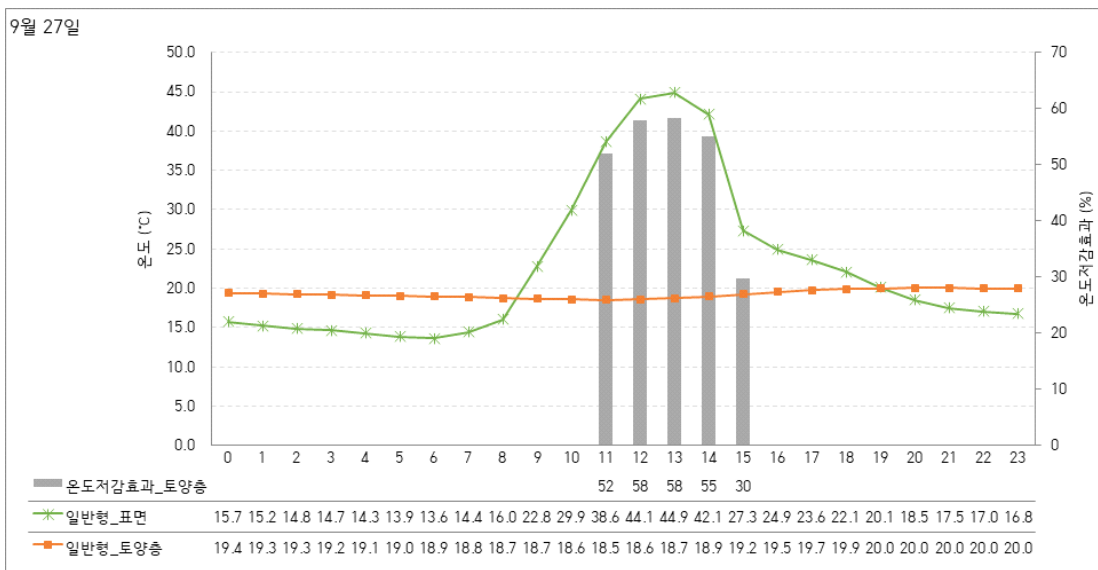
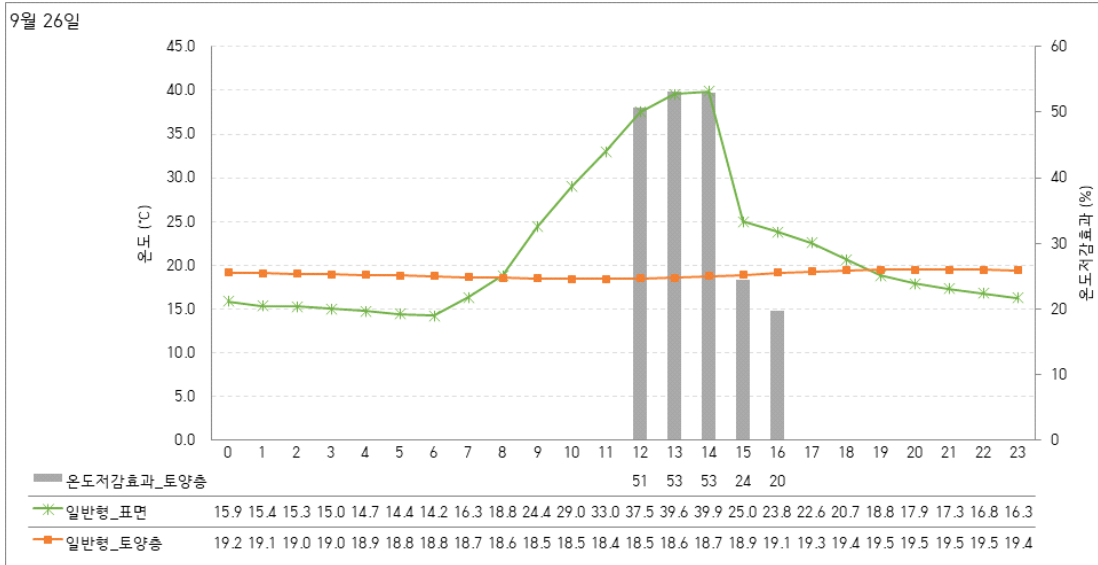
9월 21일



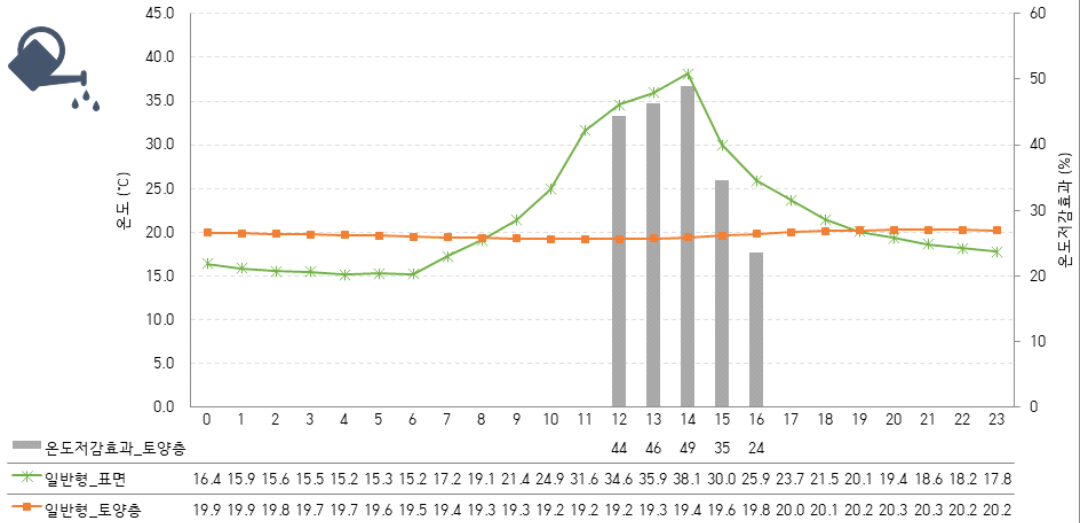


9월 24일

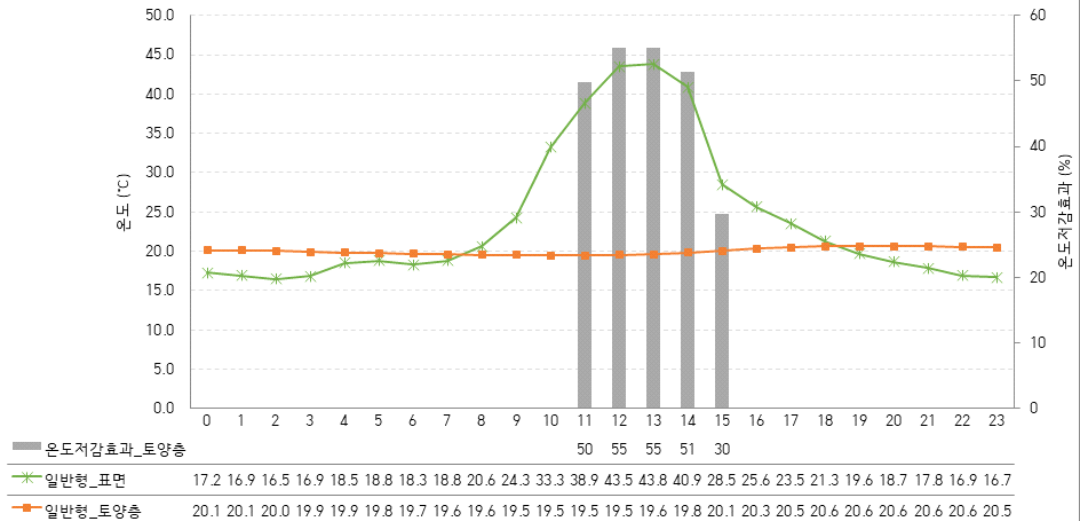


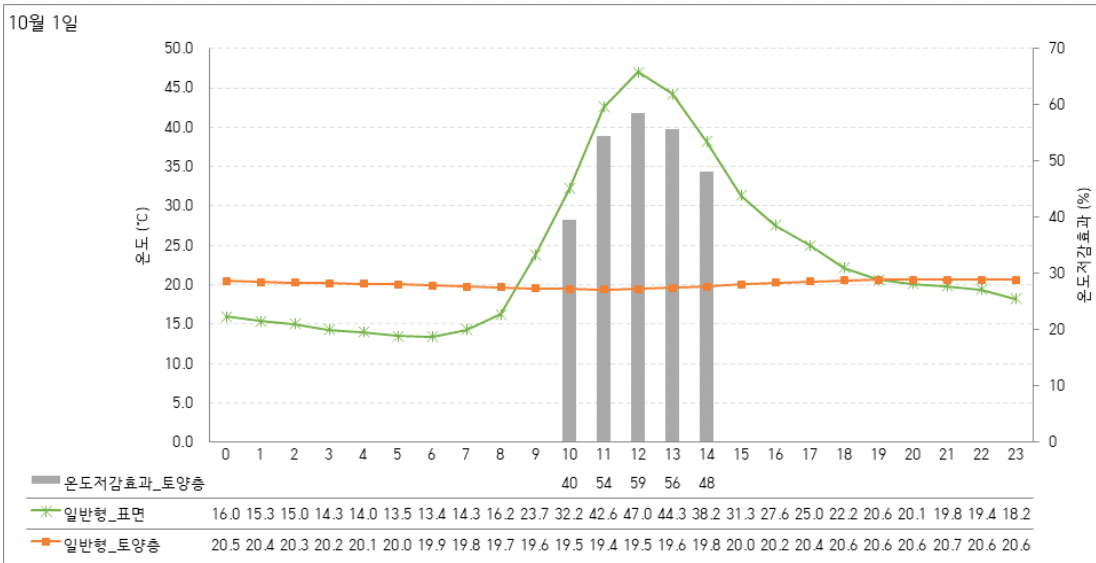
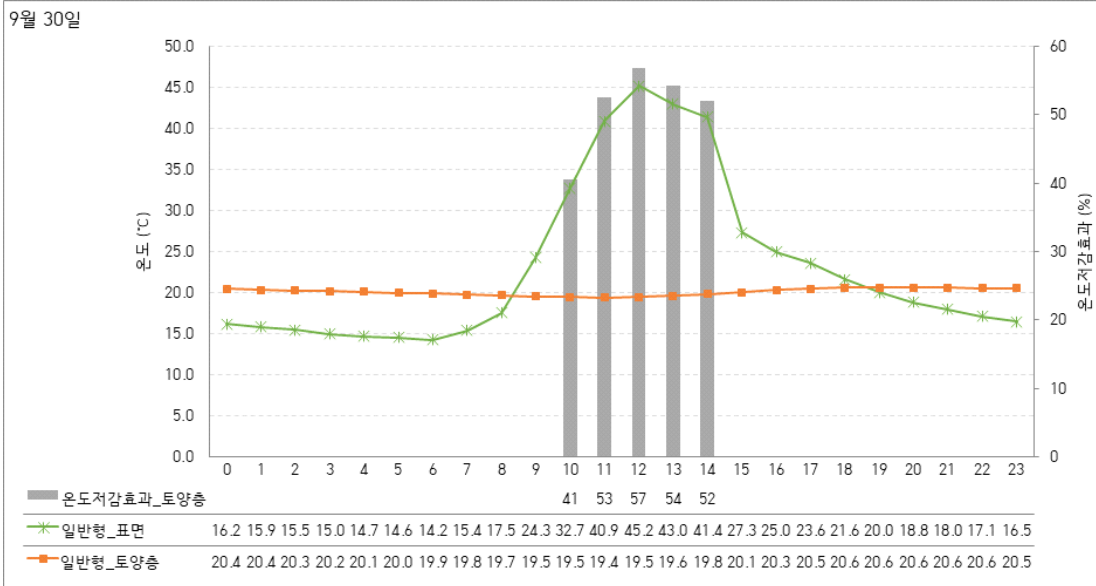


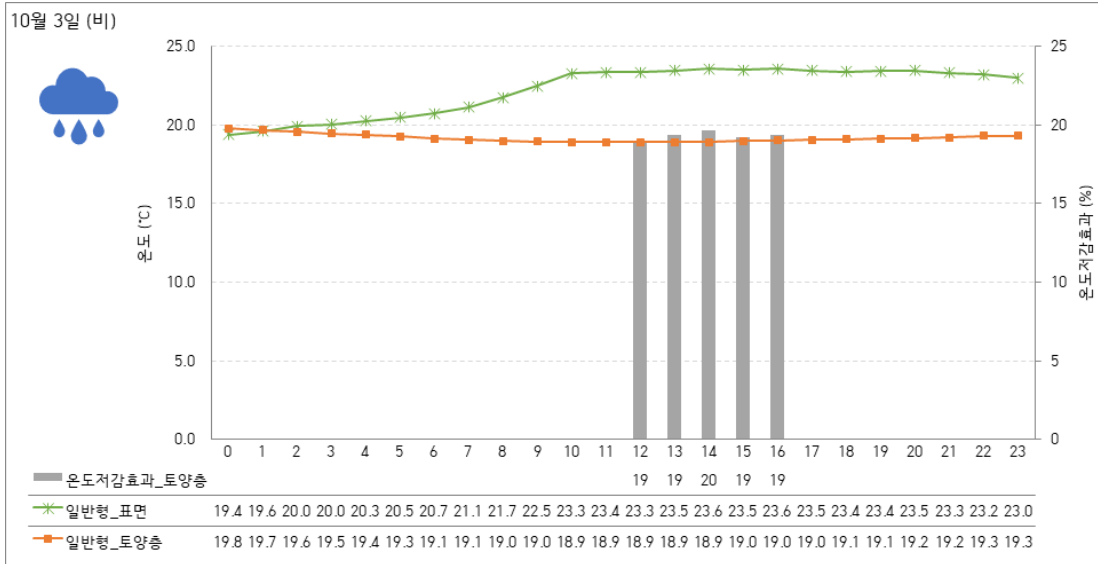
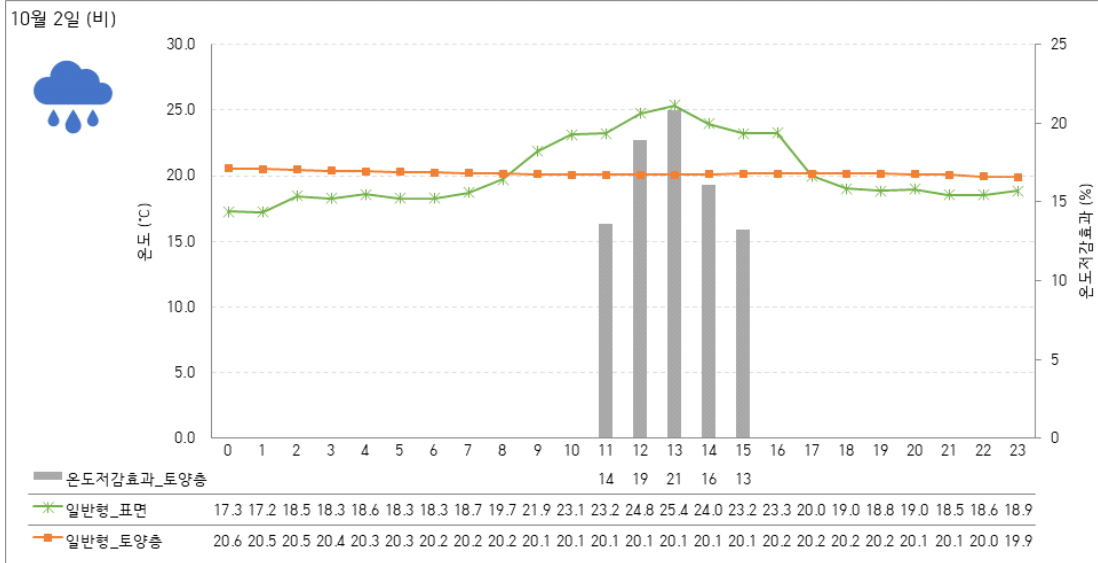
9월 28일 (물 제공)



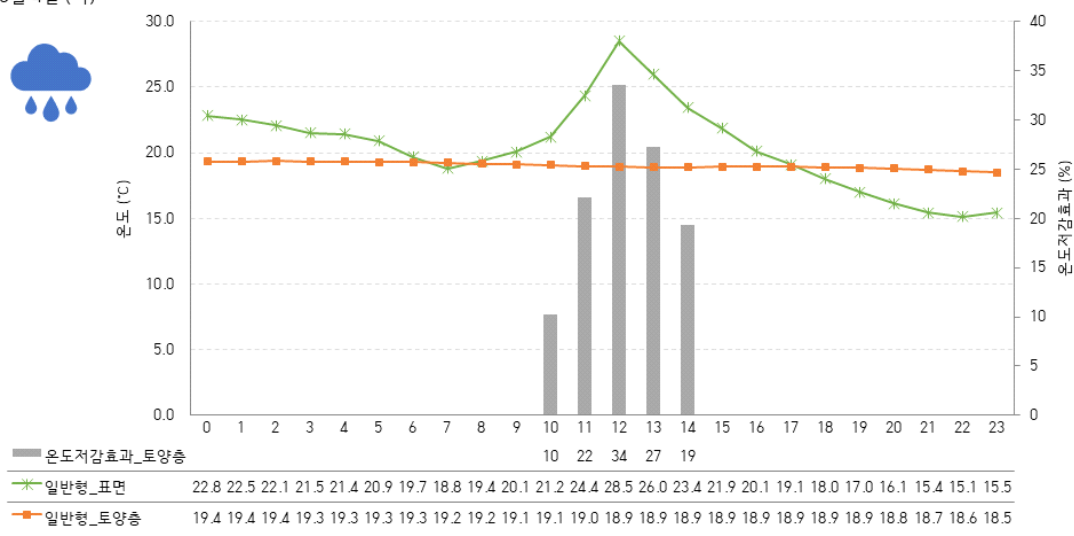
9월 29일



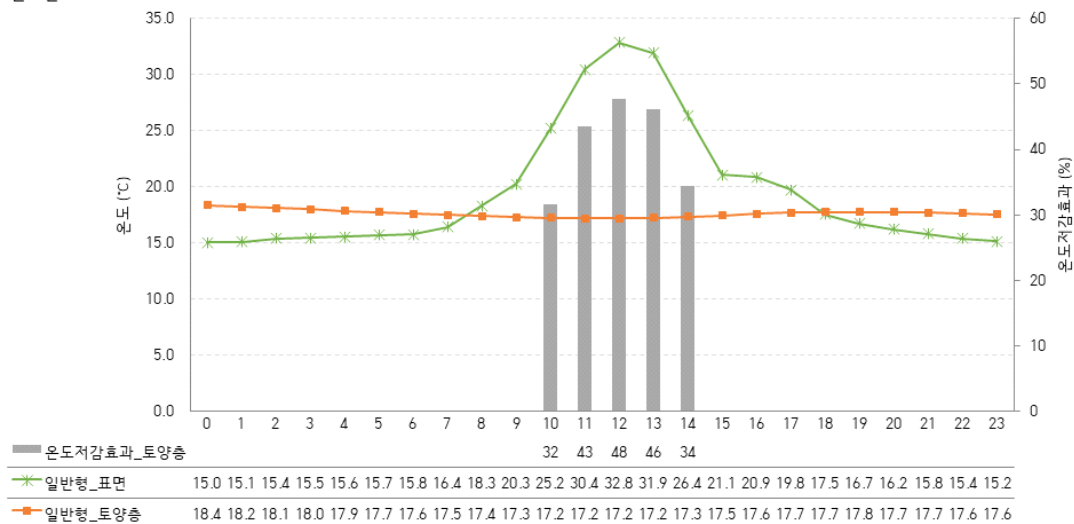


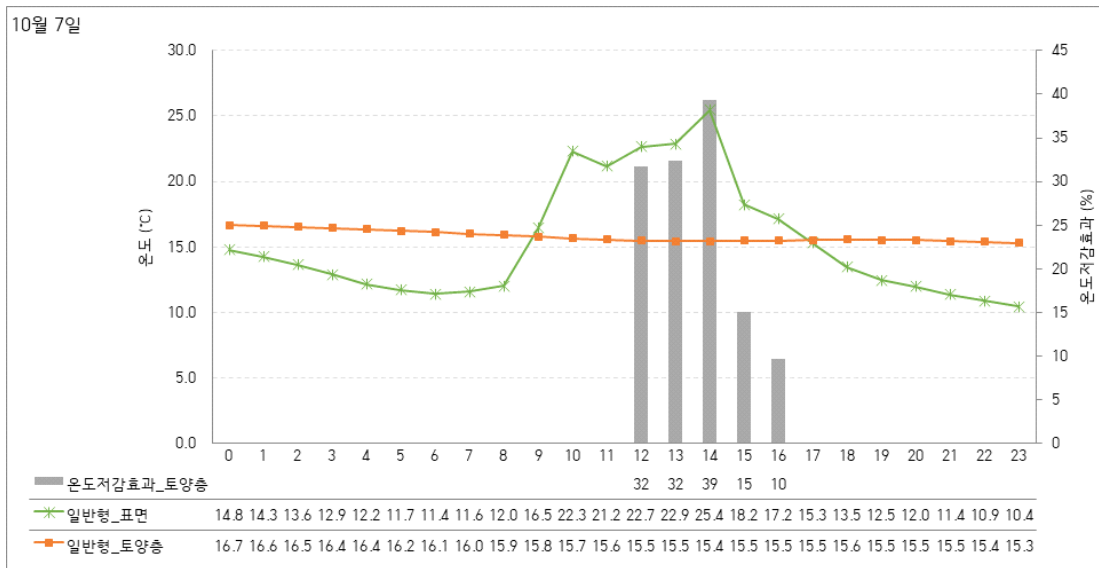
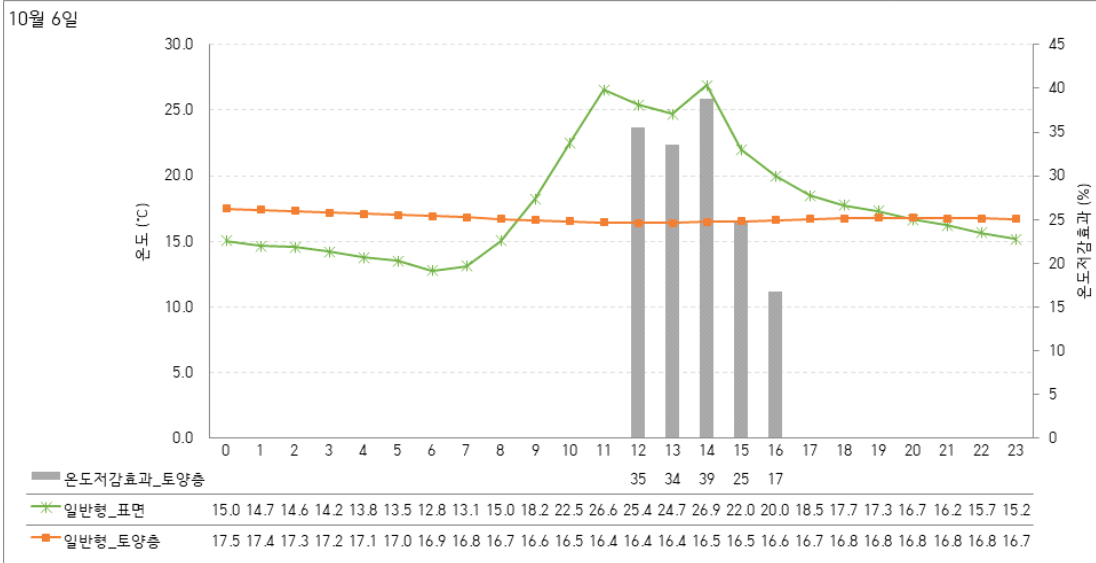


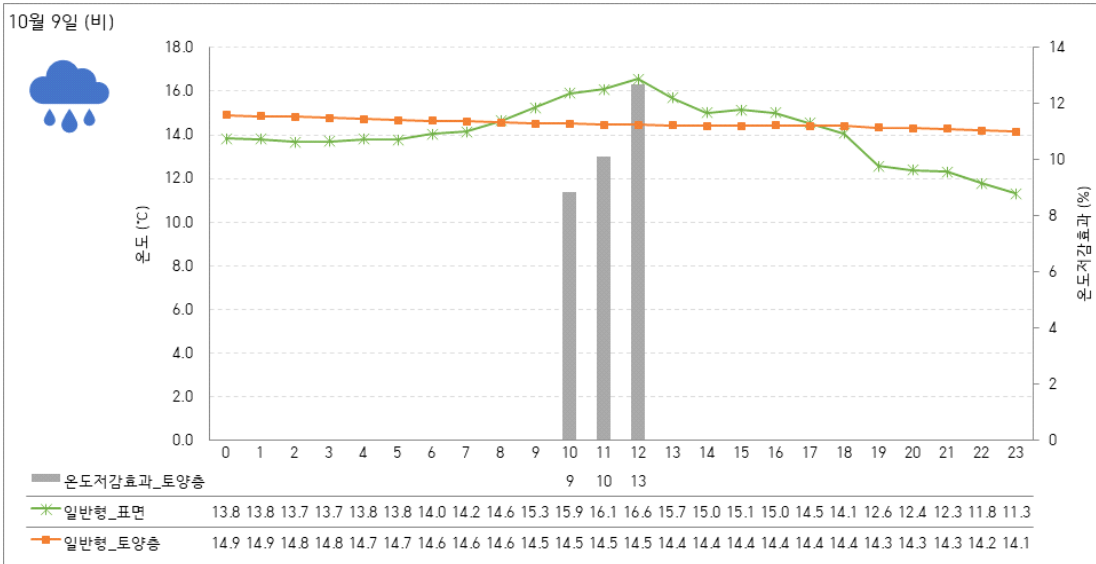
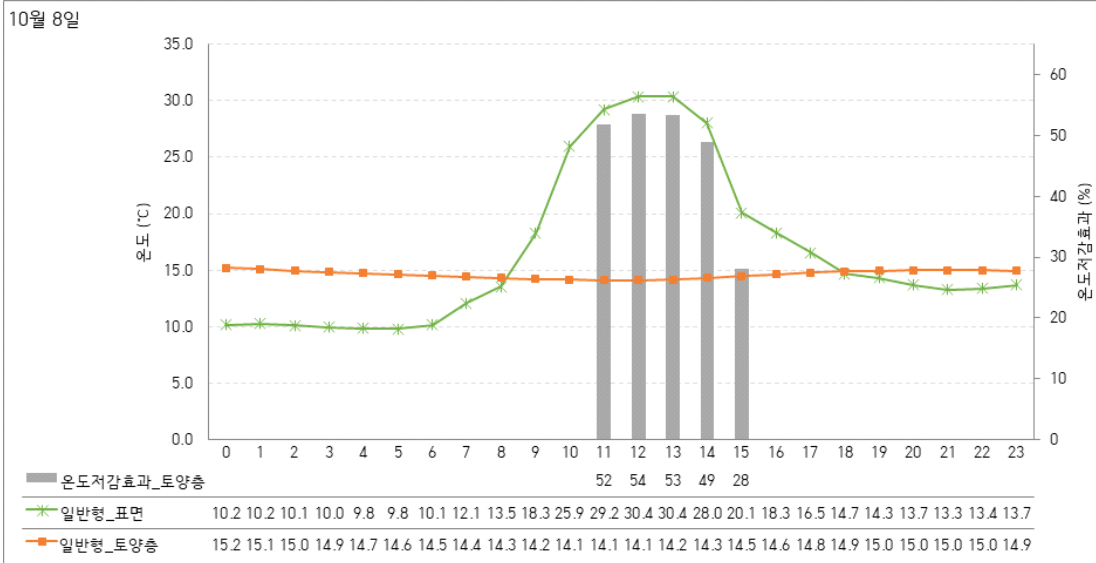
10월 4일 (비)

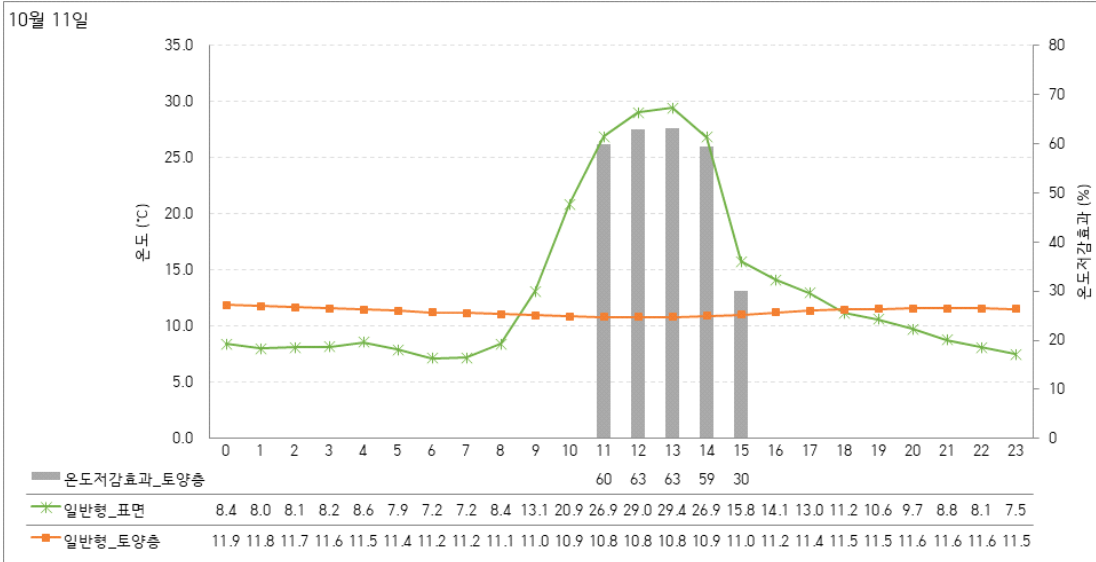
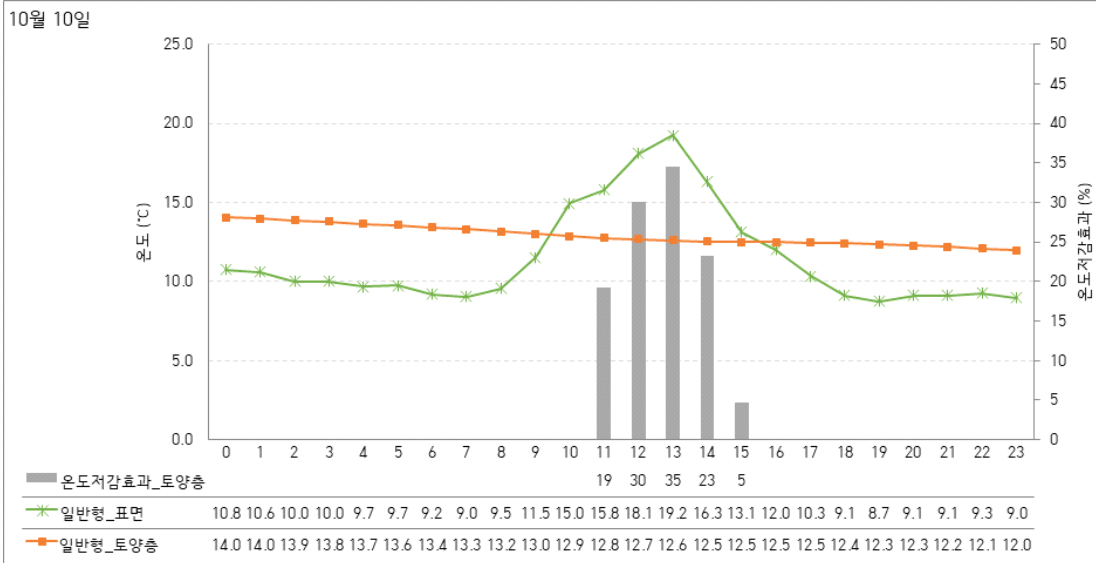


10월 5일

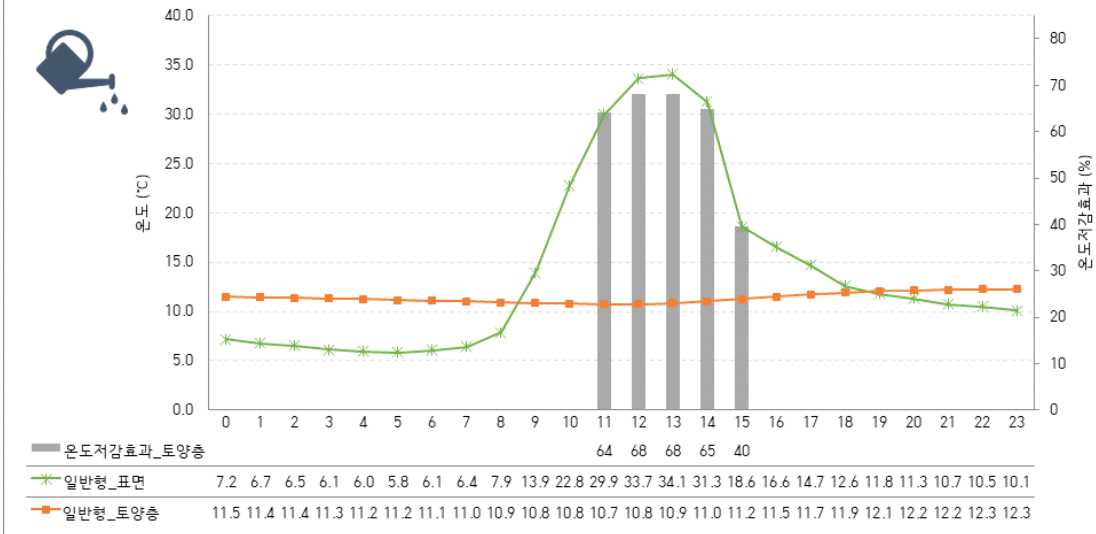




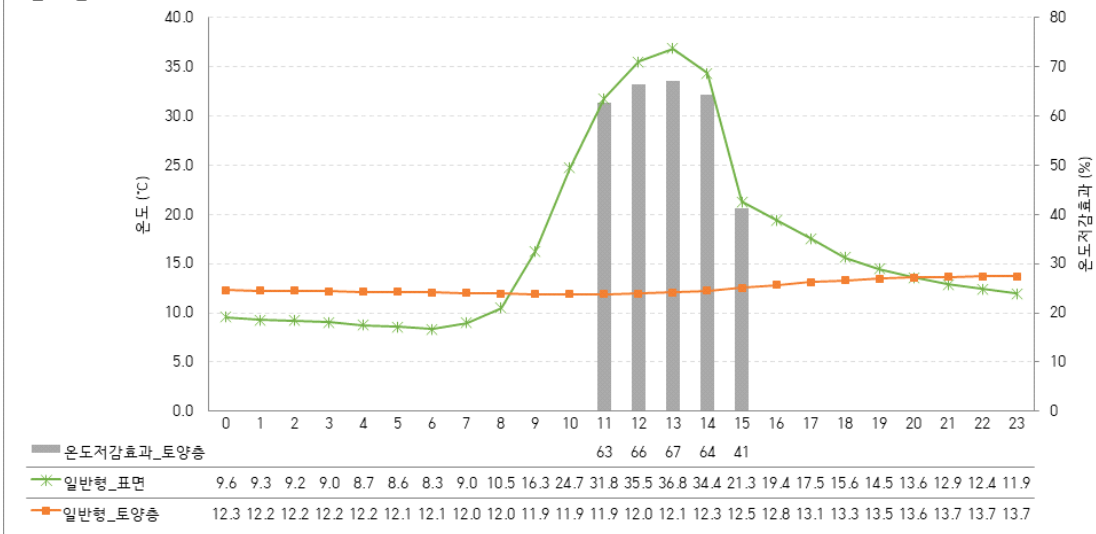


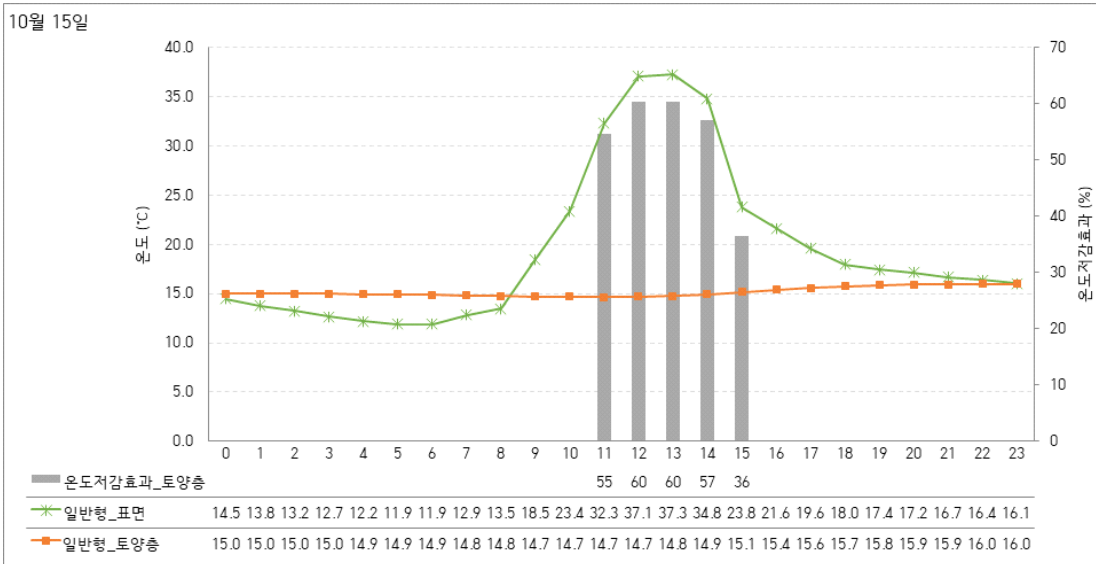
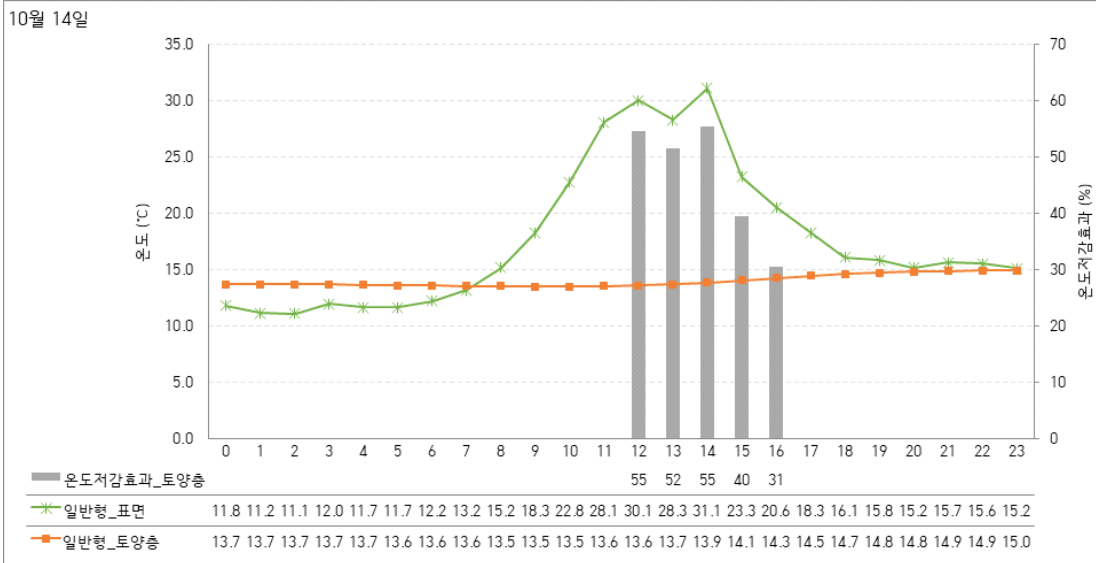


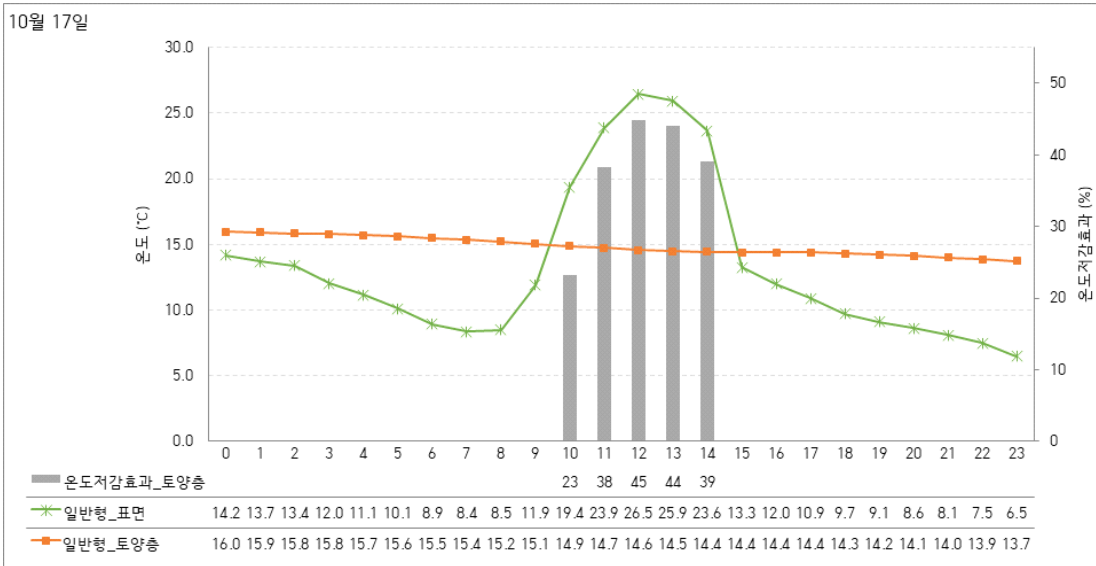
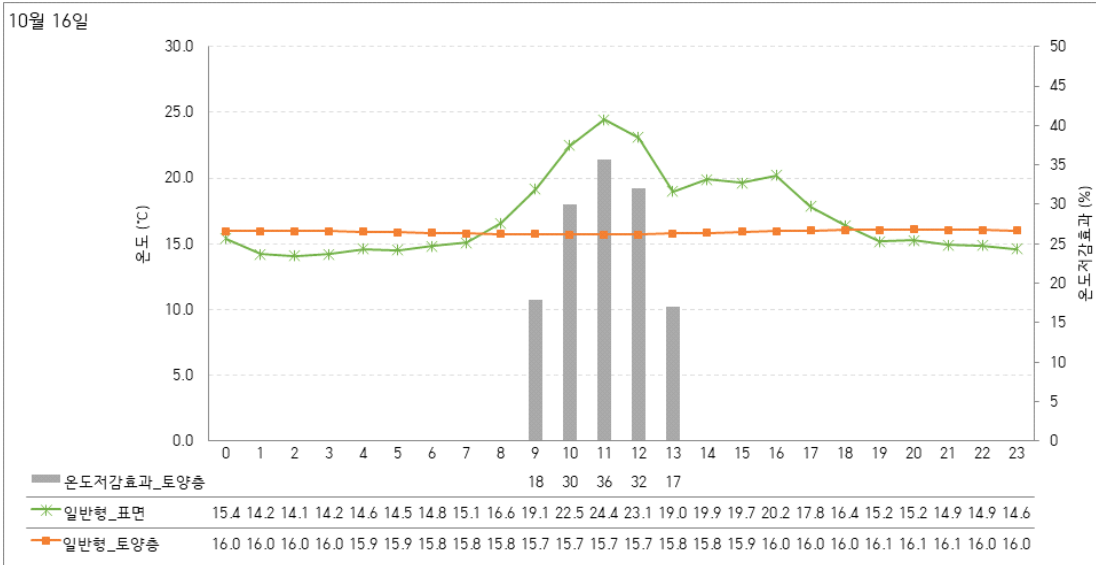
10월 12일 (물 제공)



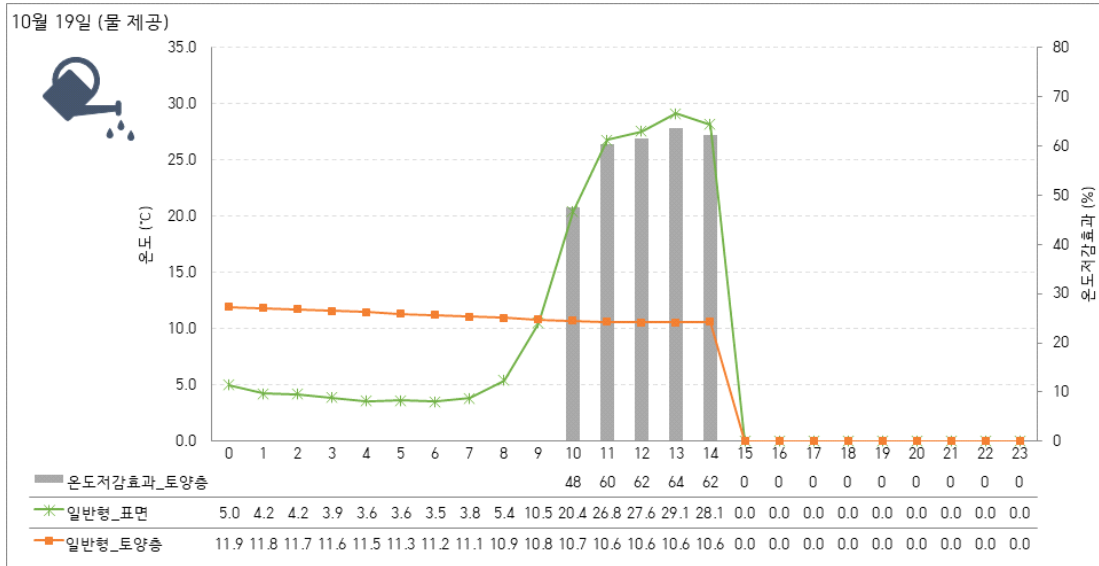
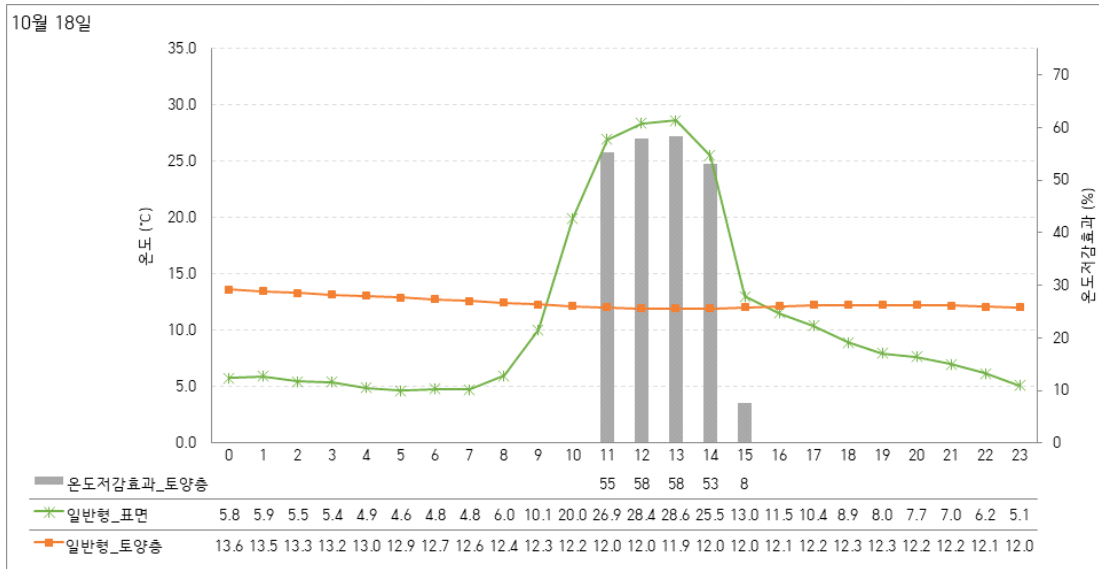
10월 13일

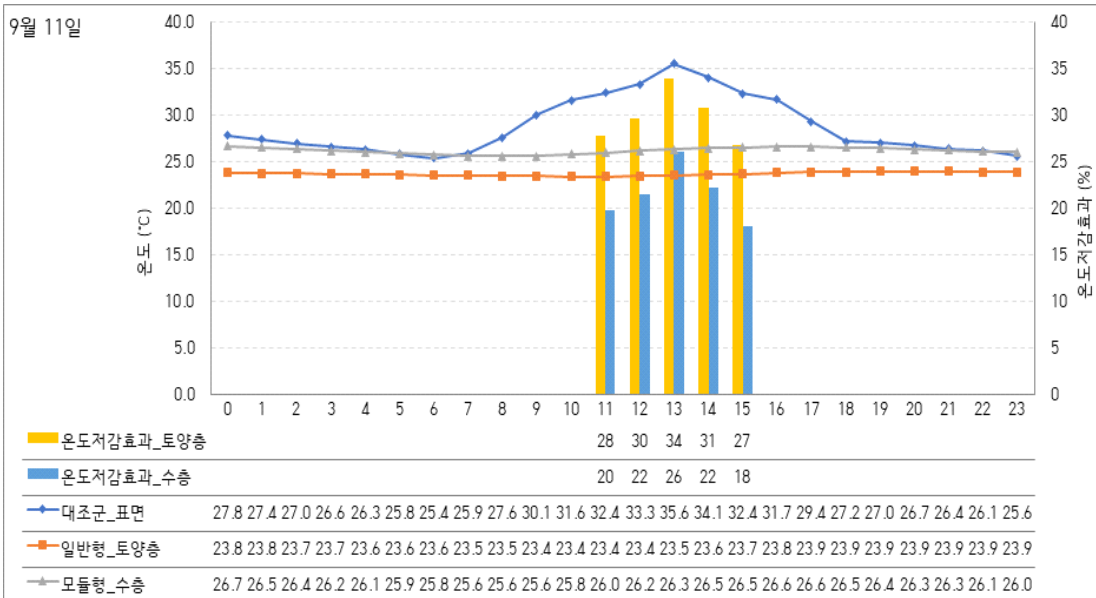
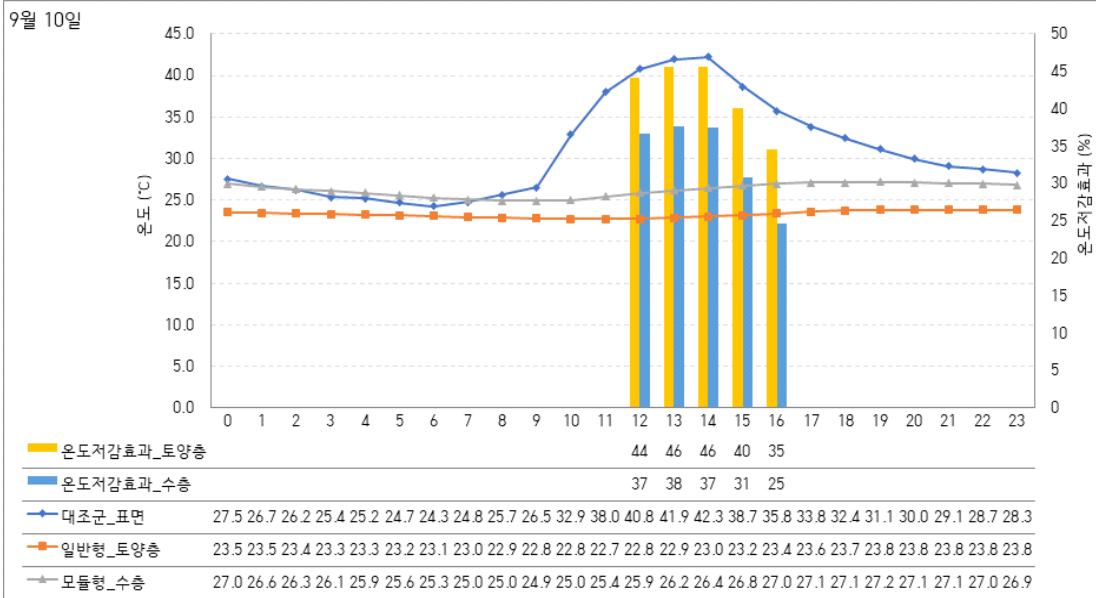




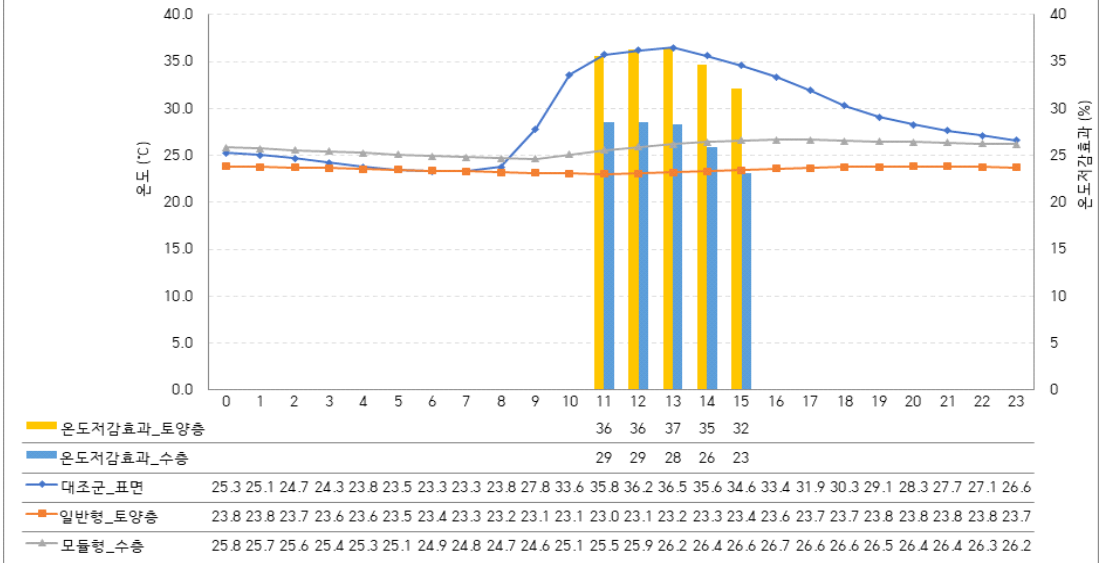


10월 18일

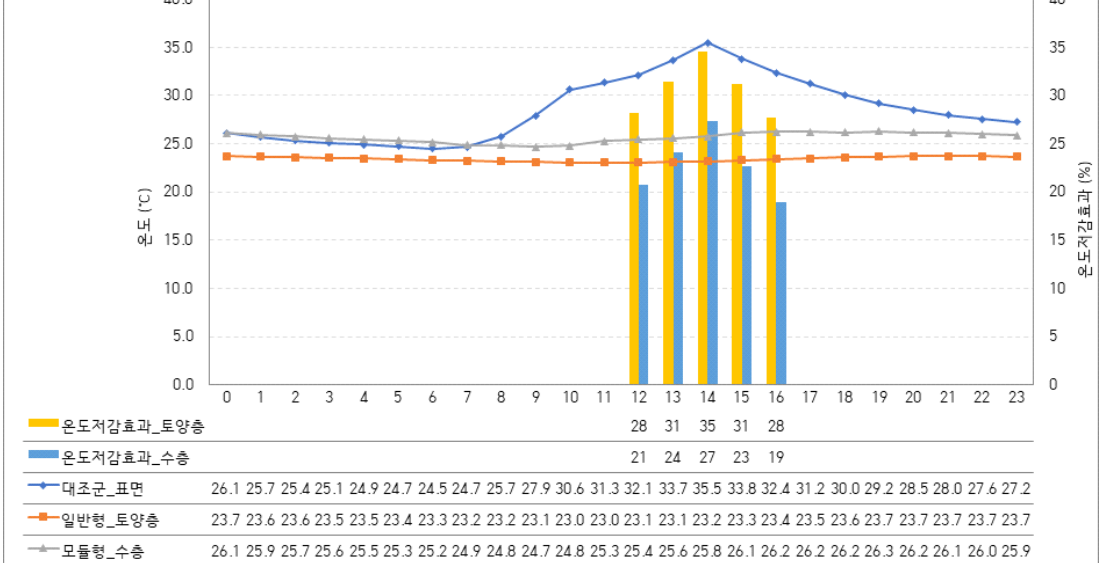


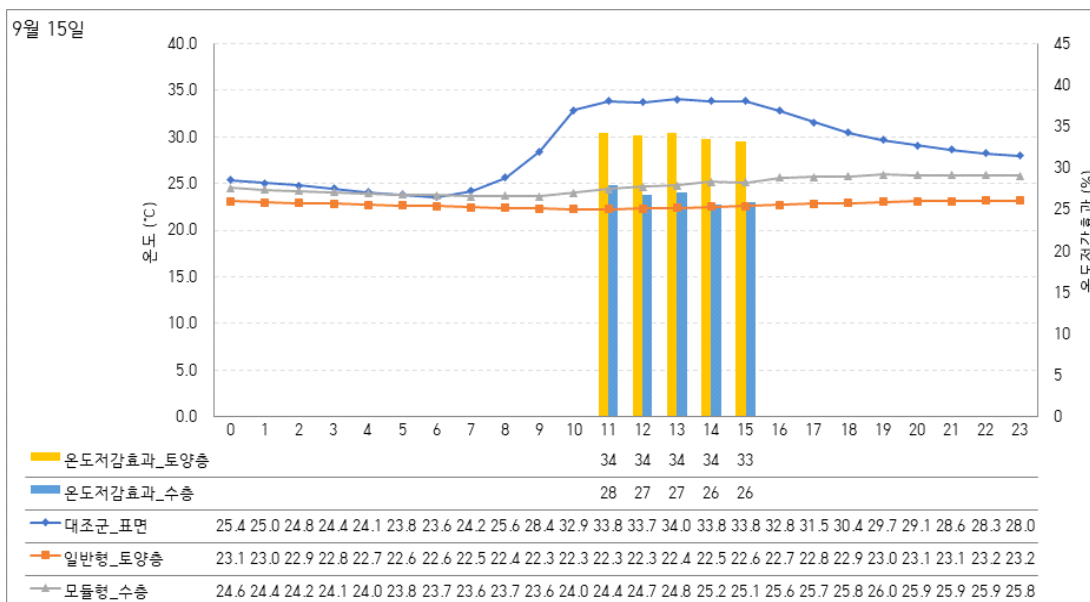
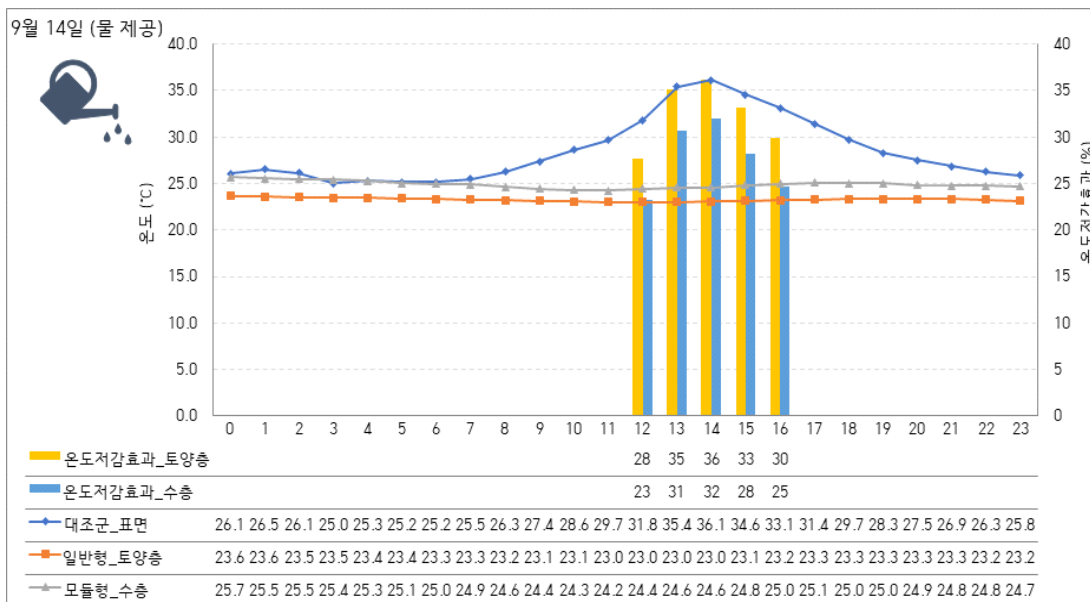


9월 12일

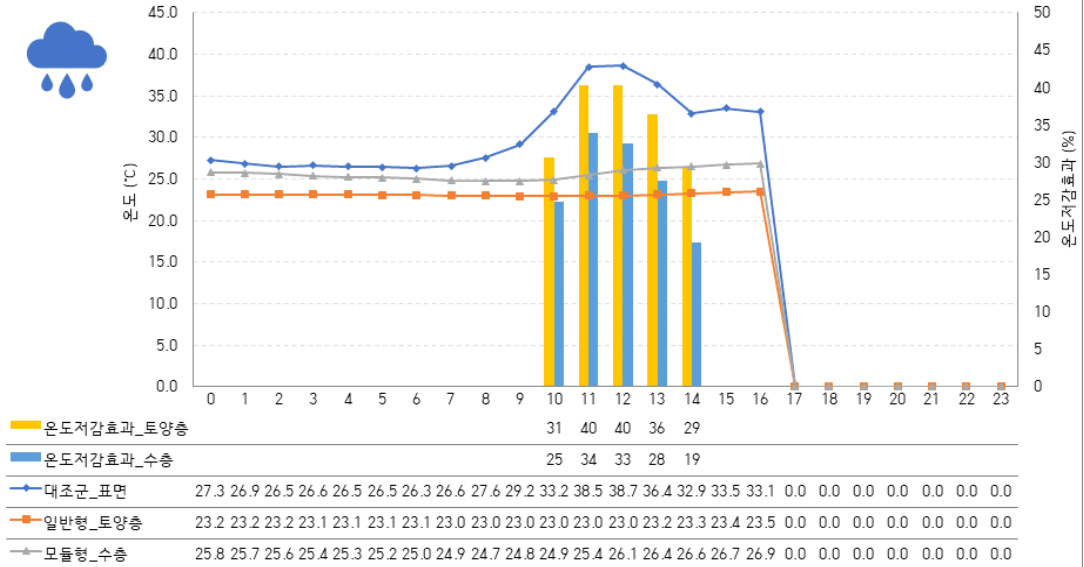


9월 13일

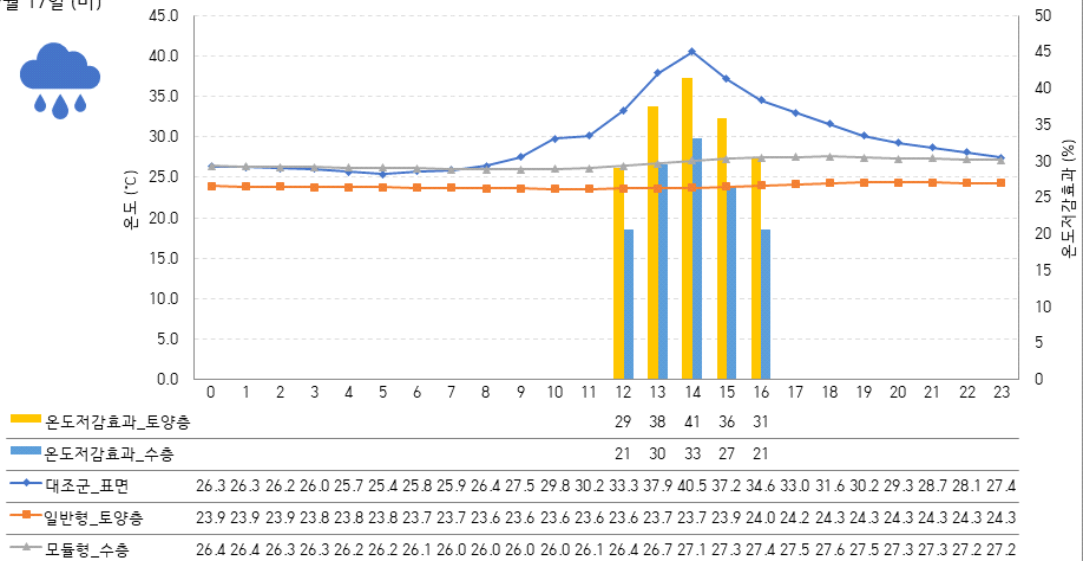


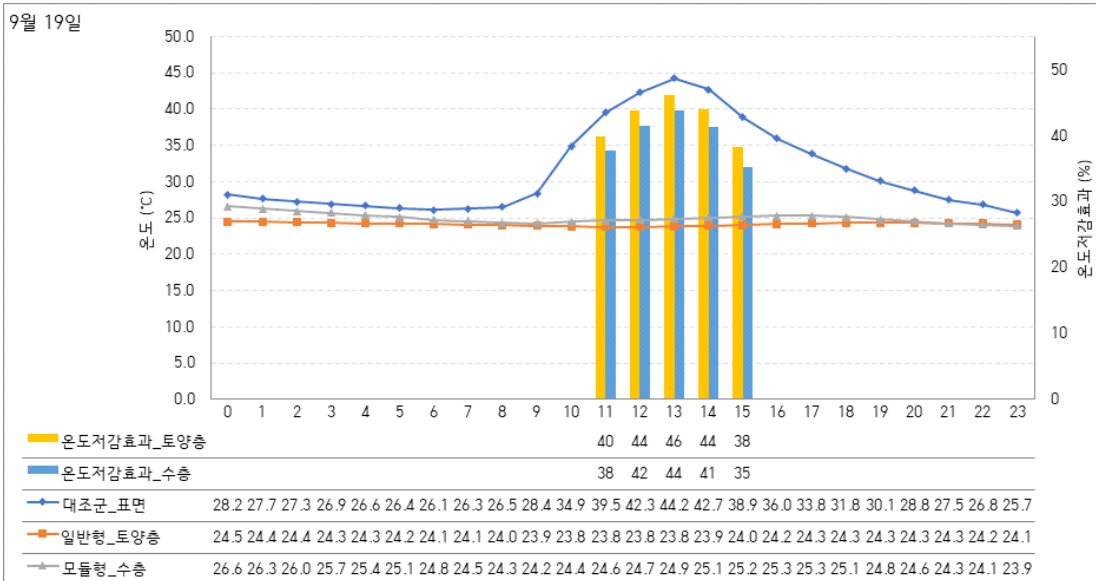
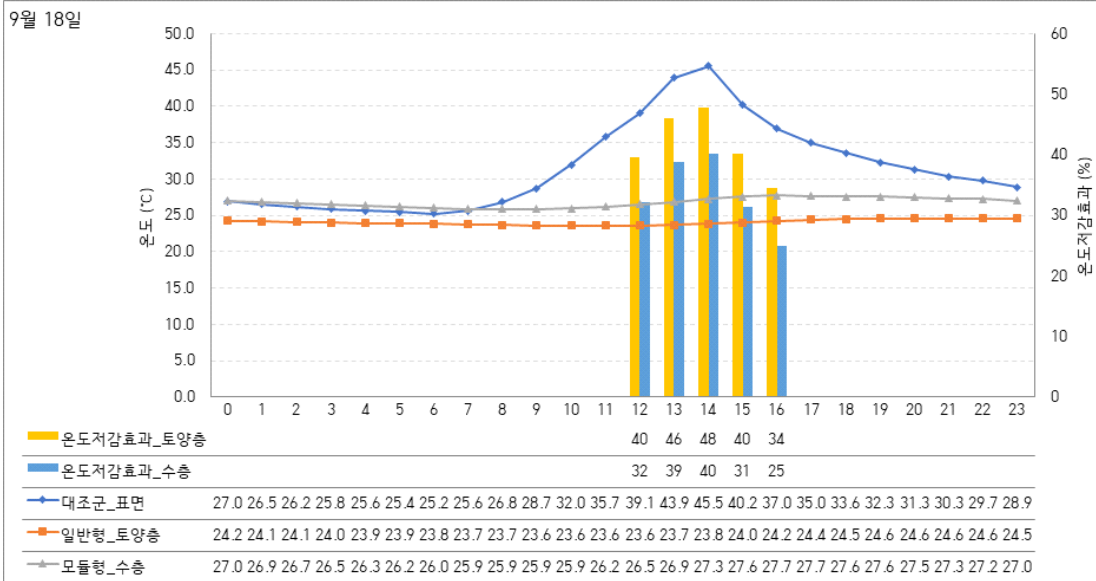


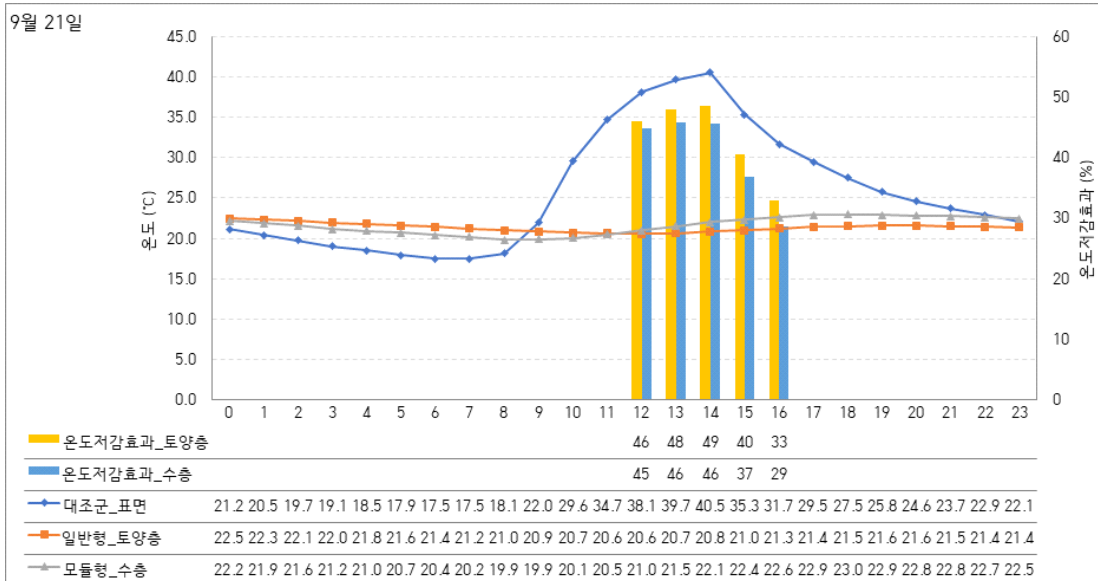
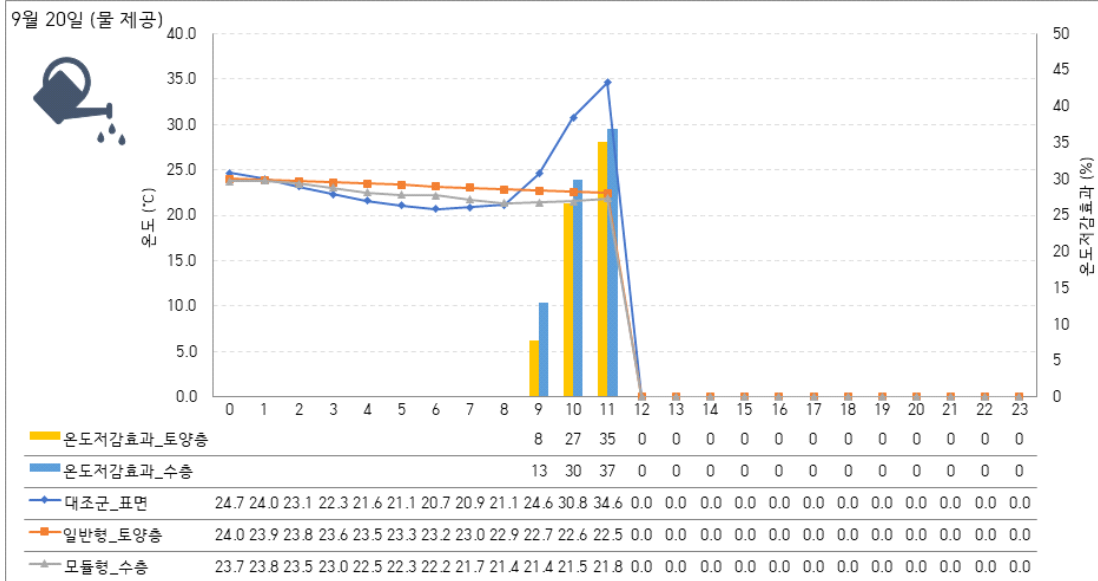
9월 16일 (비)

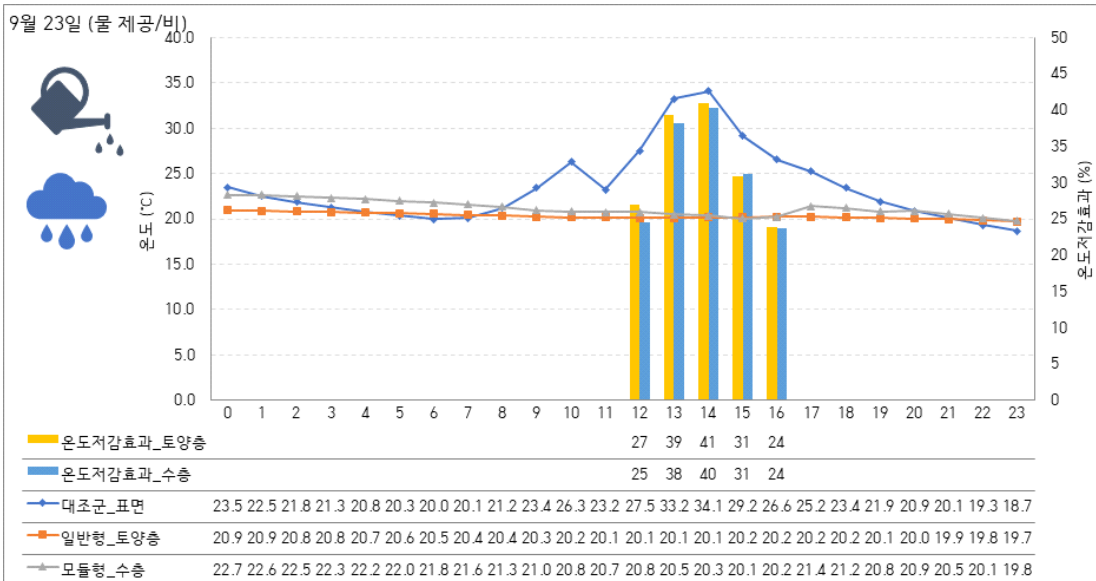
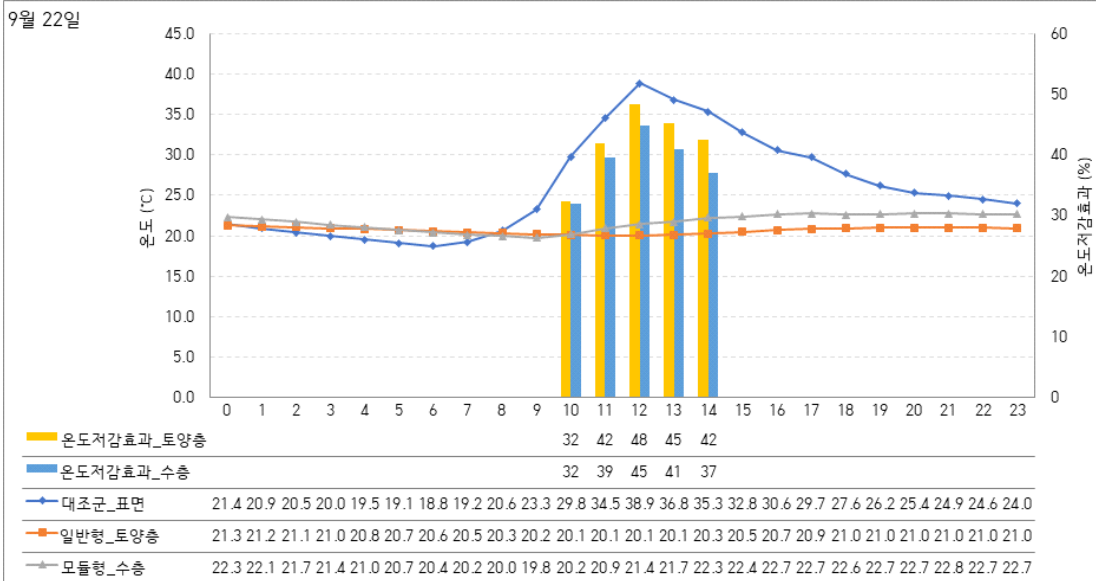


9월 17일 (비)

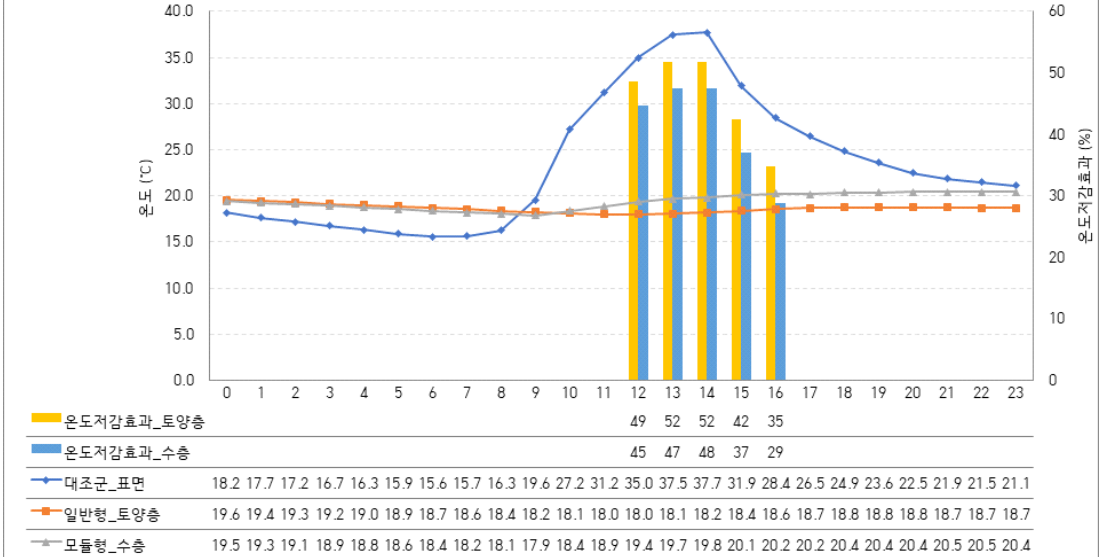




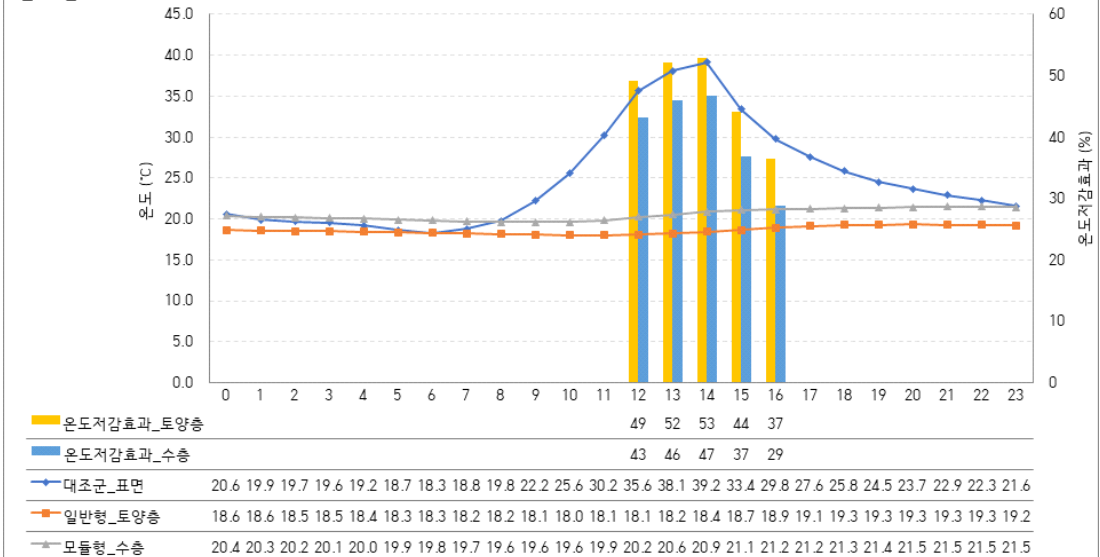




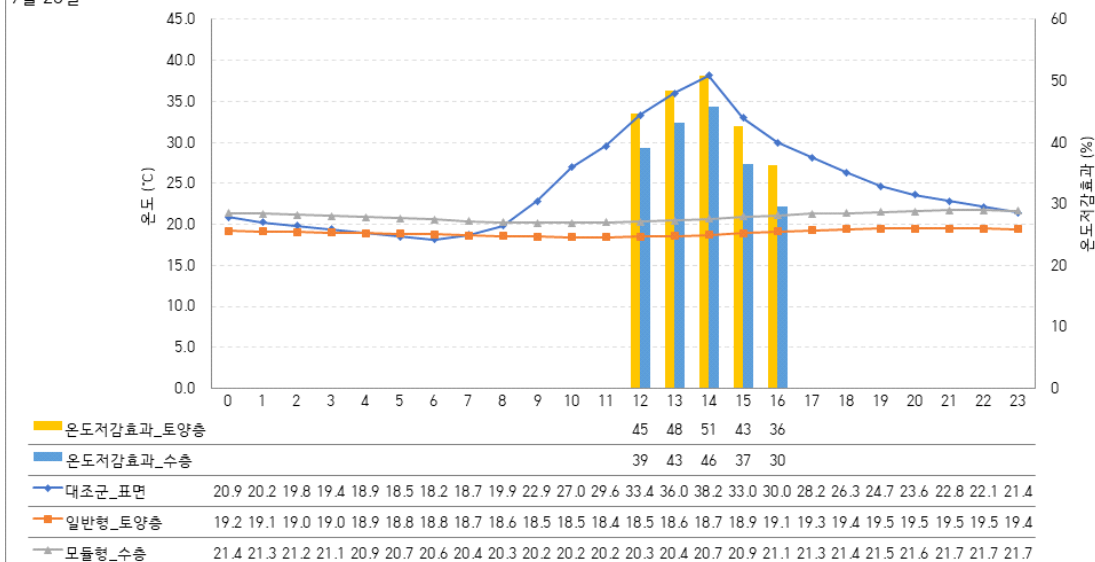
9월 24일



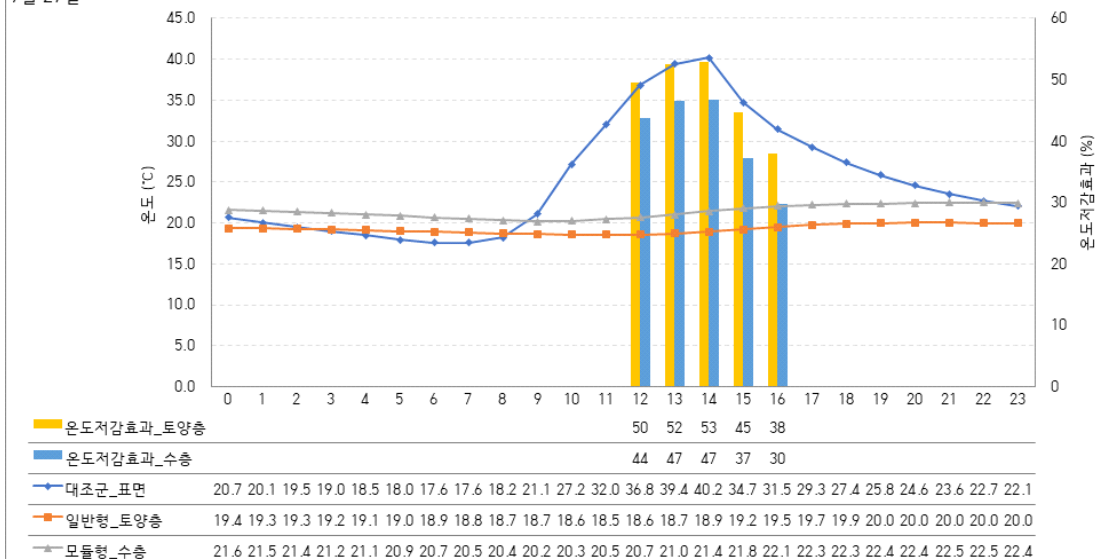
9월 25일



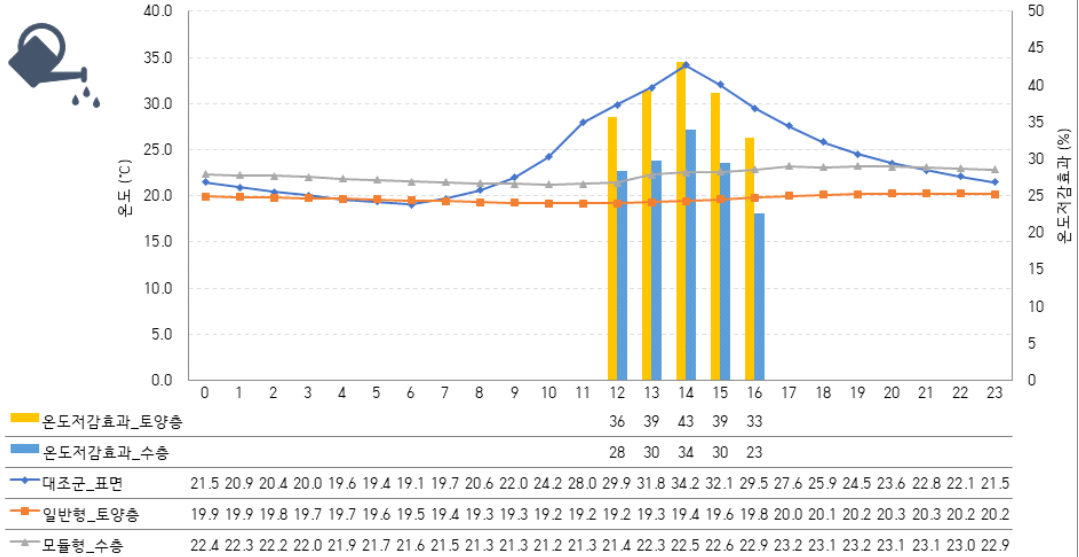
9월 26일



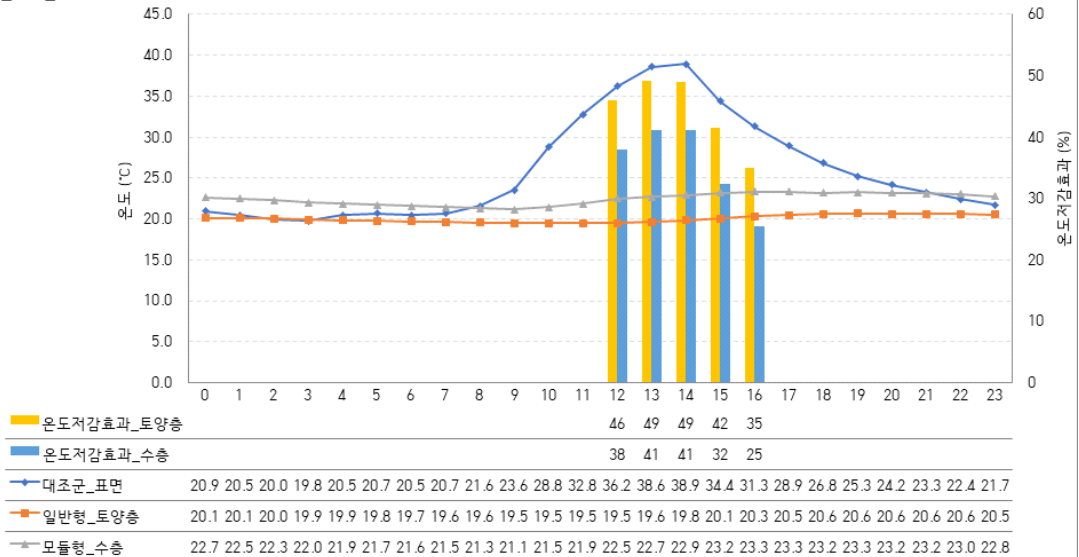
9월 27일

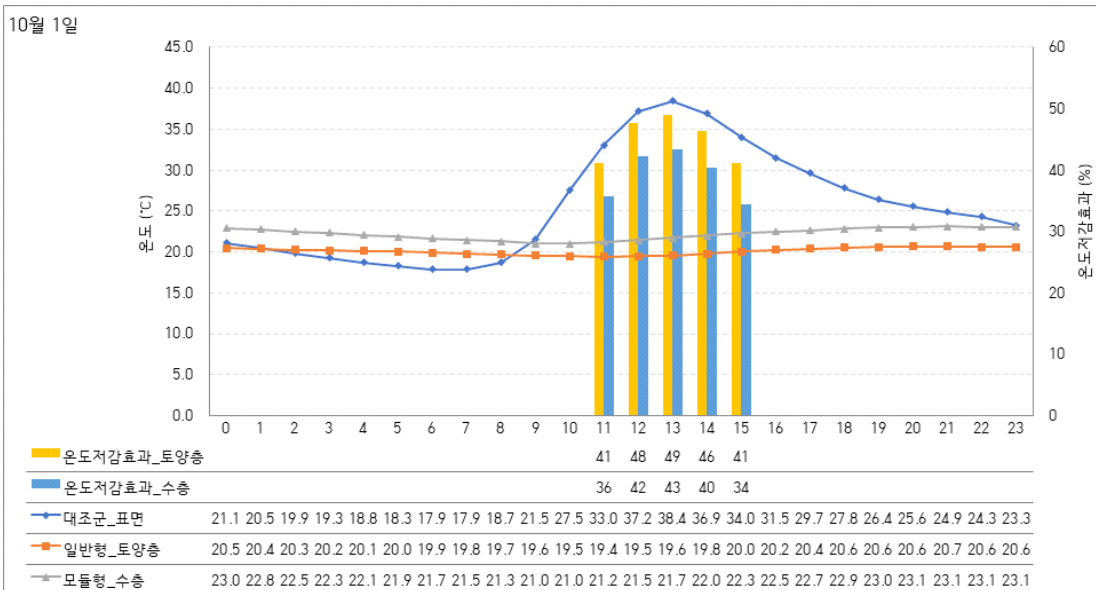
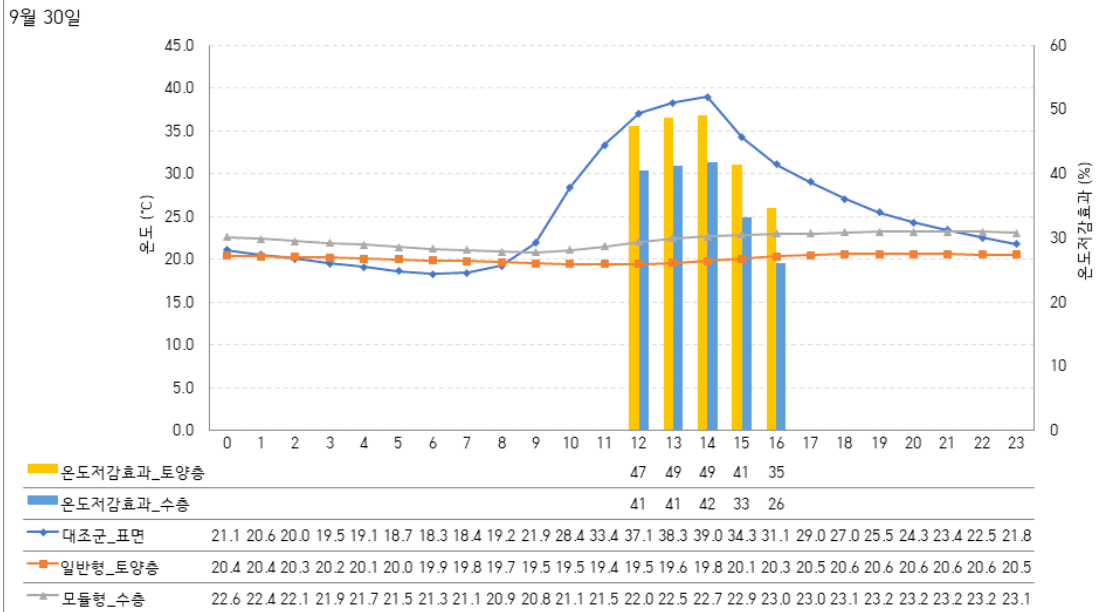


9월 28일 (물 제공)

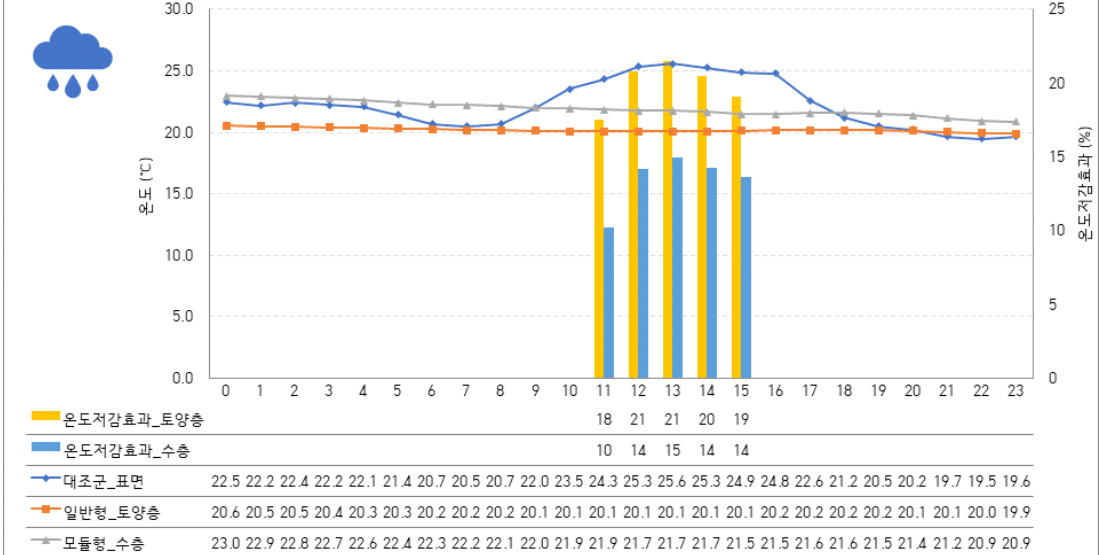


9월 29일

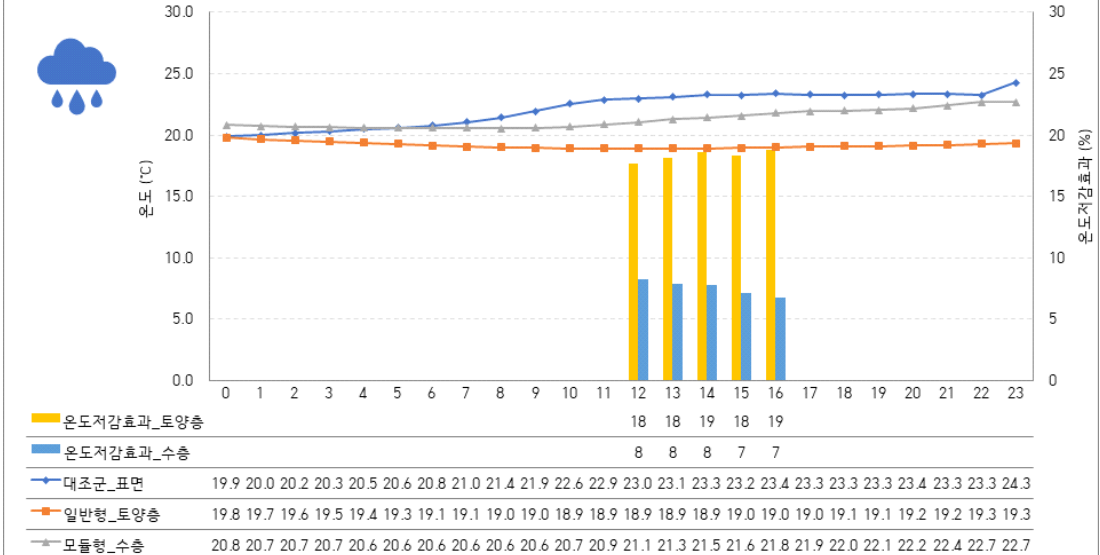




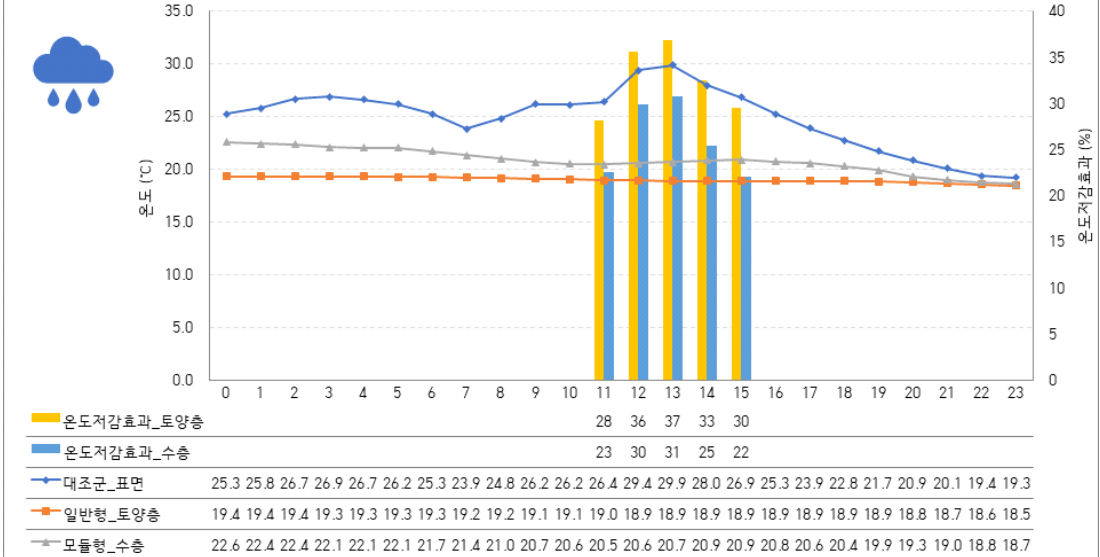
10월 2일 (비)



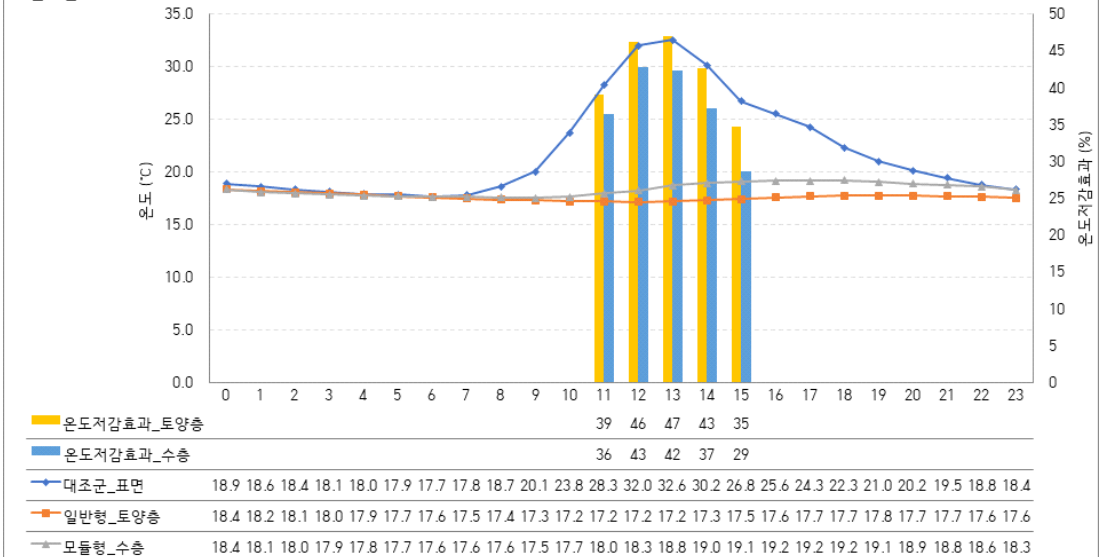
10월 3일 (비)



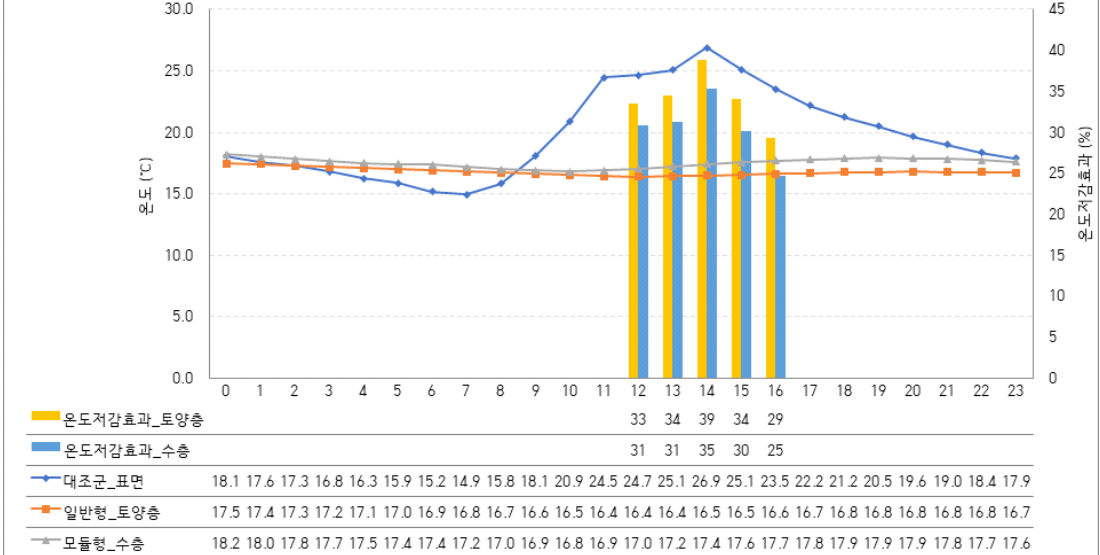
10월 4일 (비)



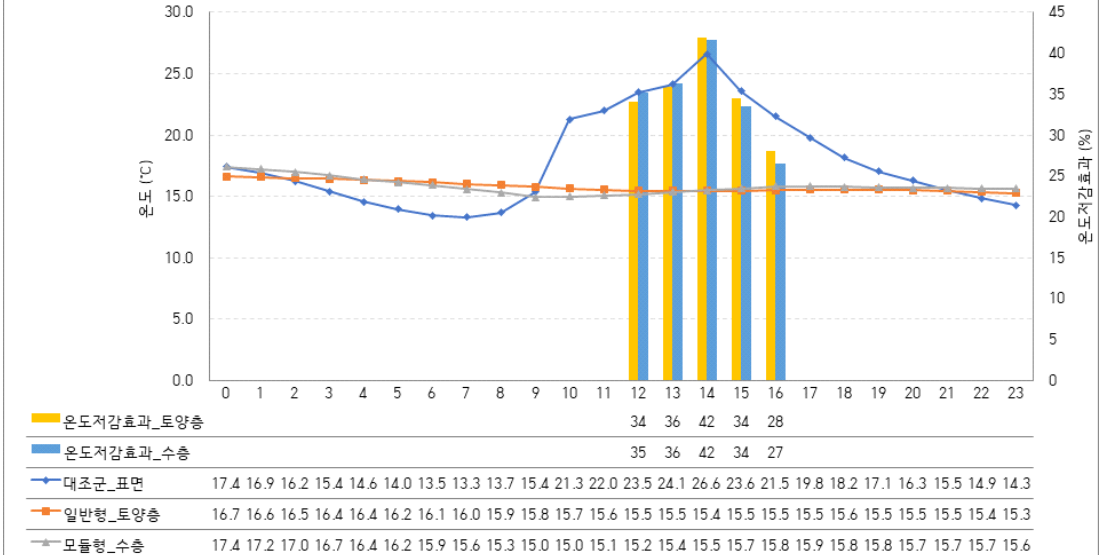
10월 5일

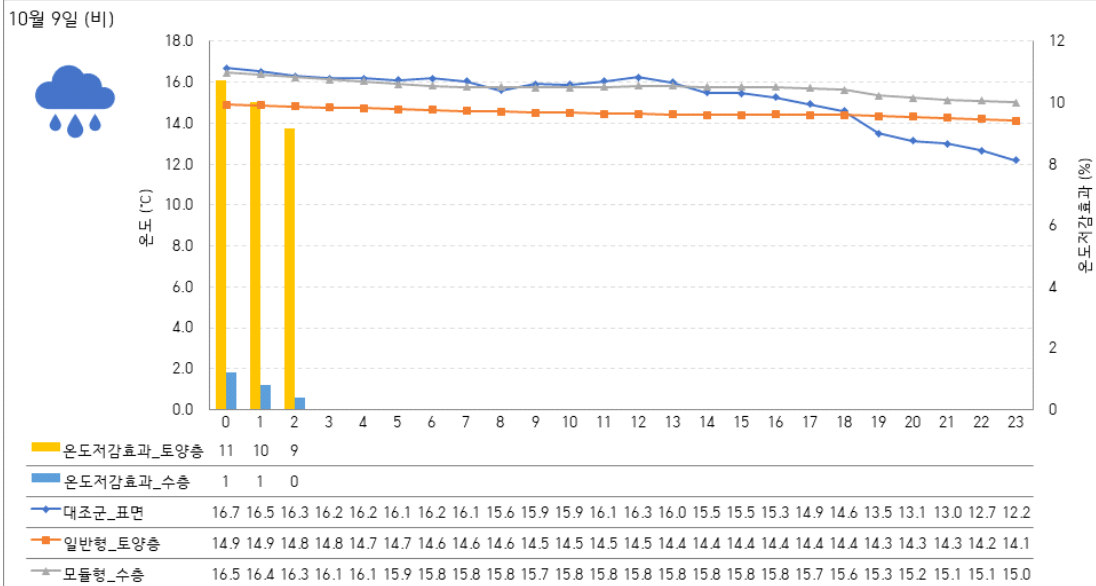
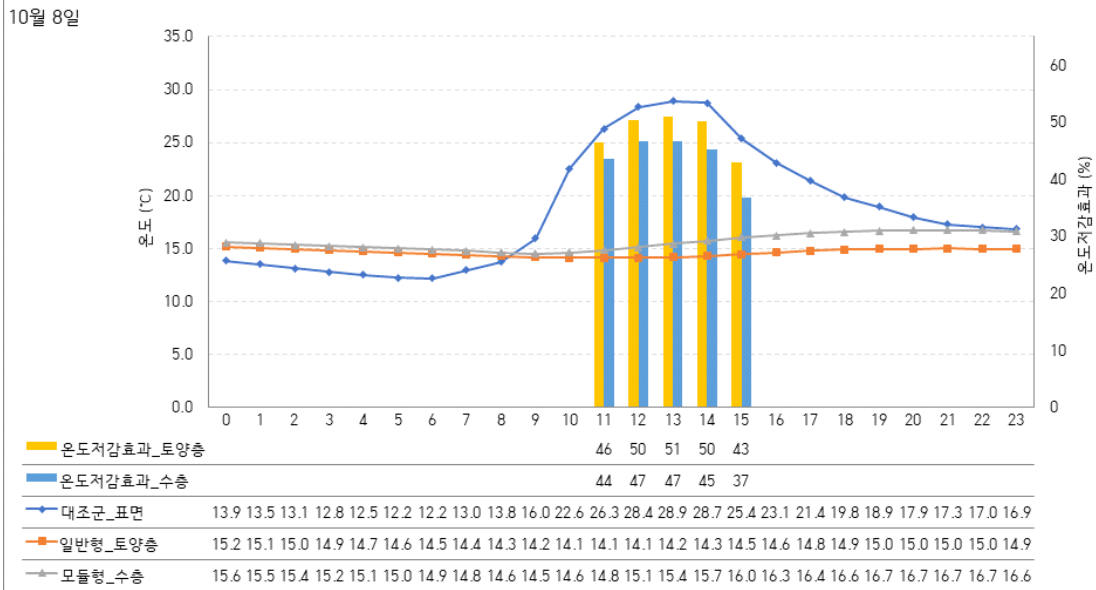


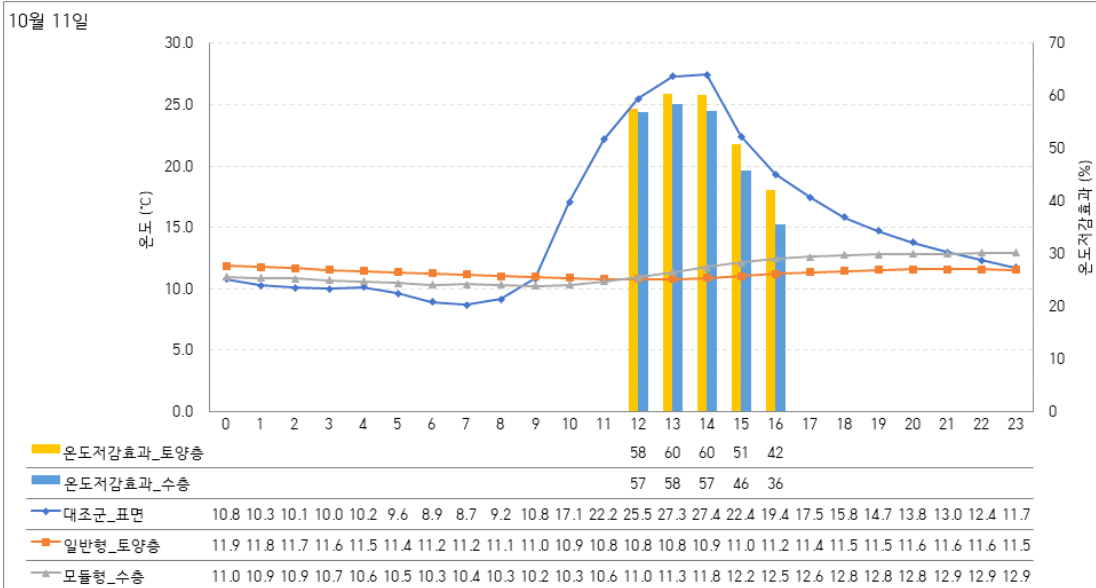
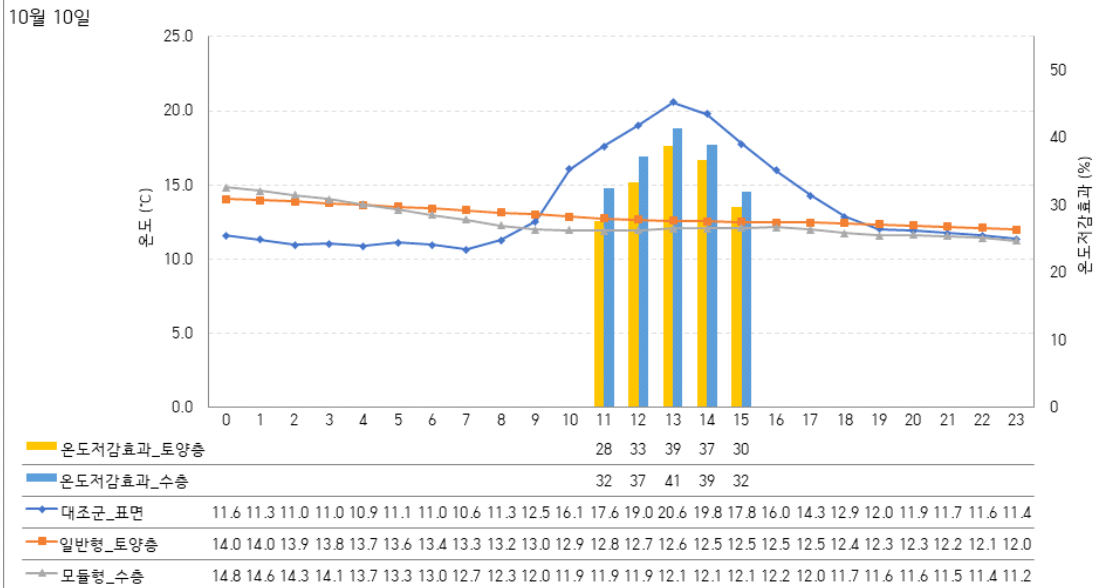
10월 6일

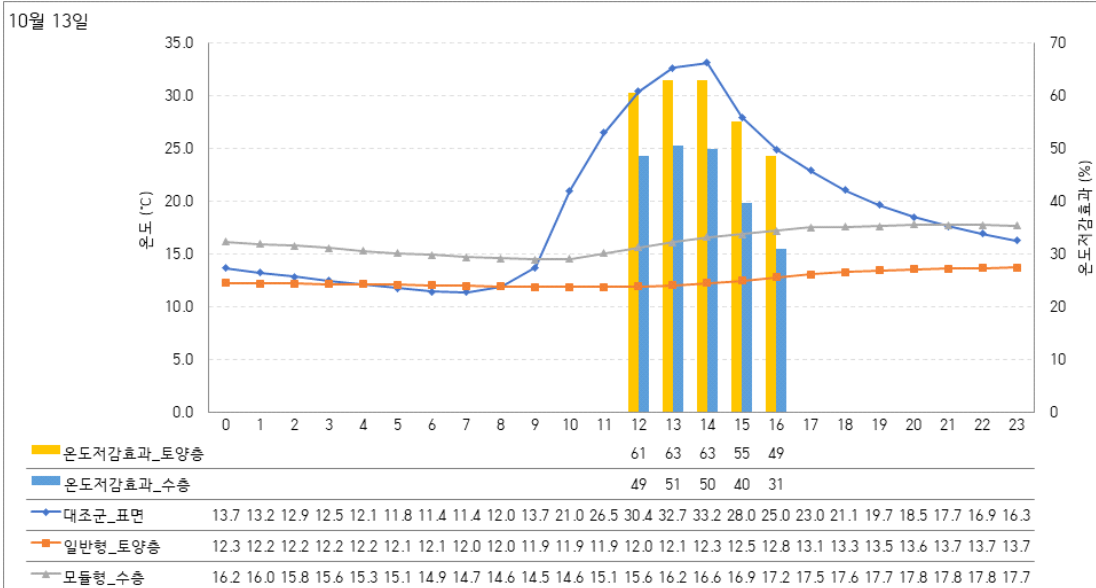
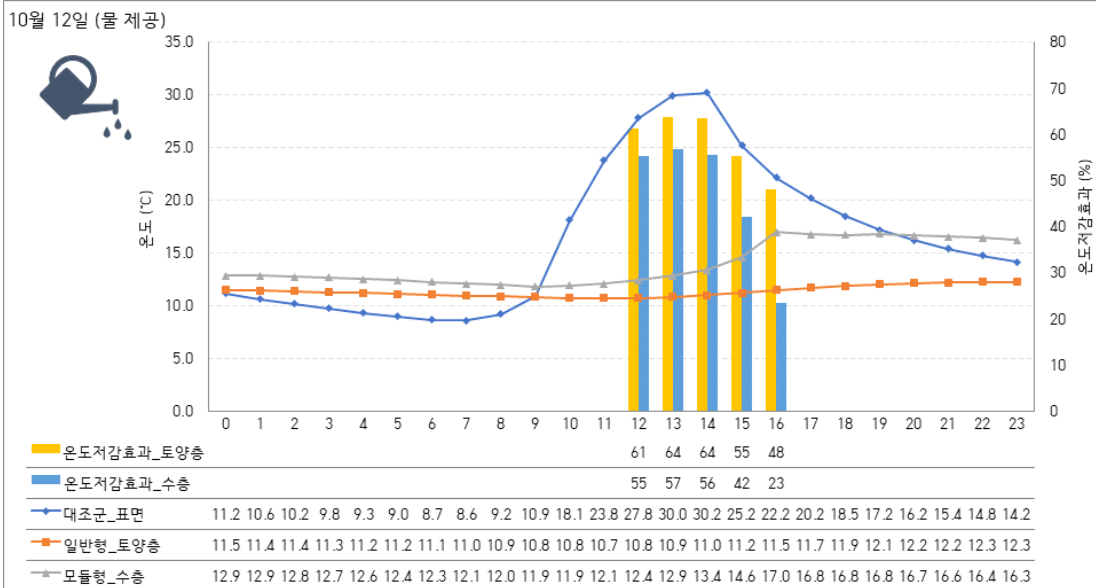


10월 7일

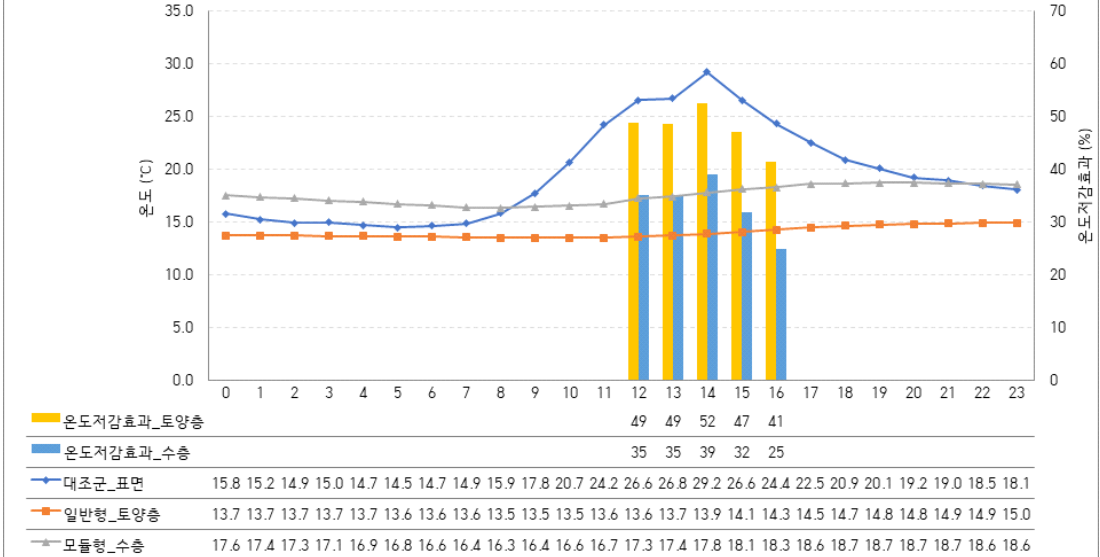




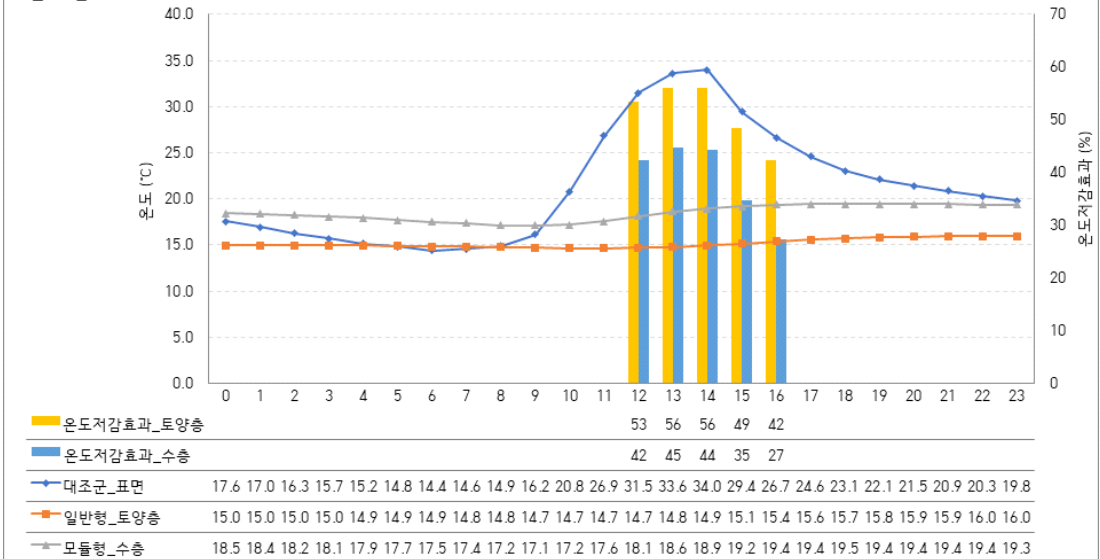


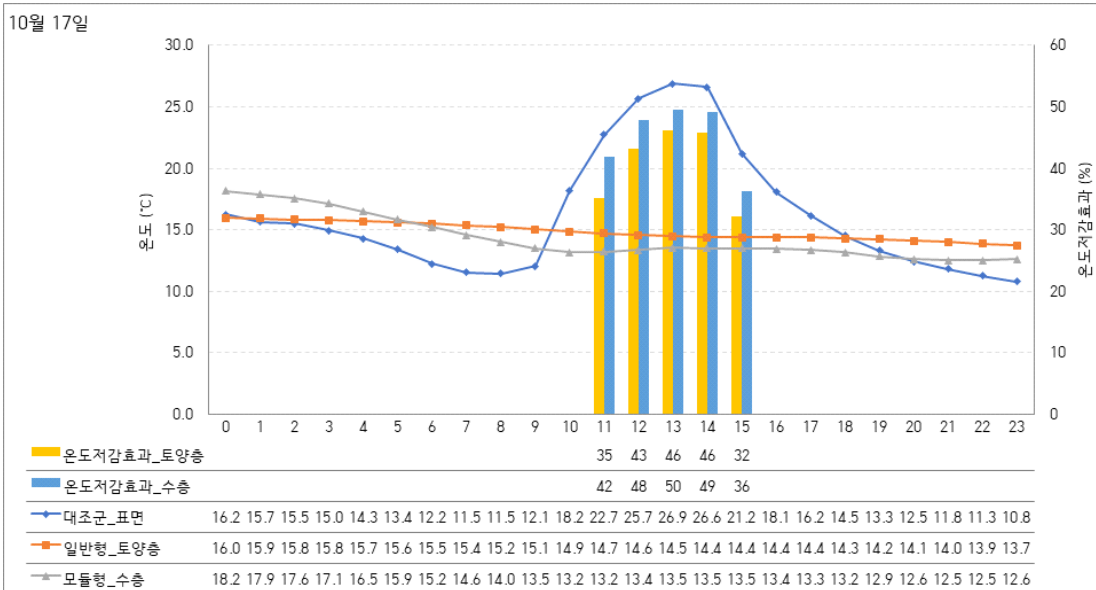
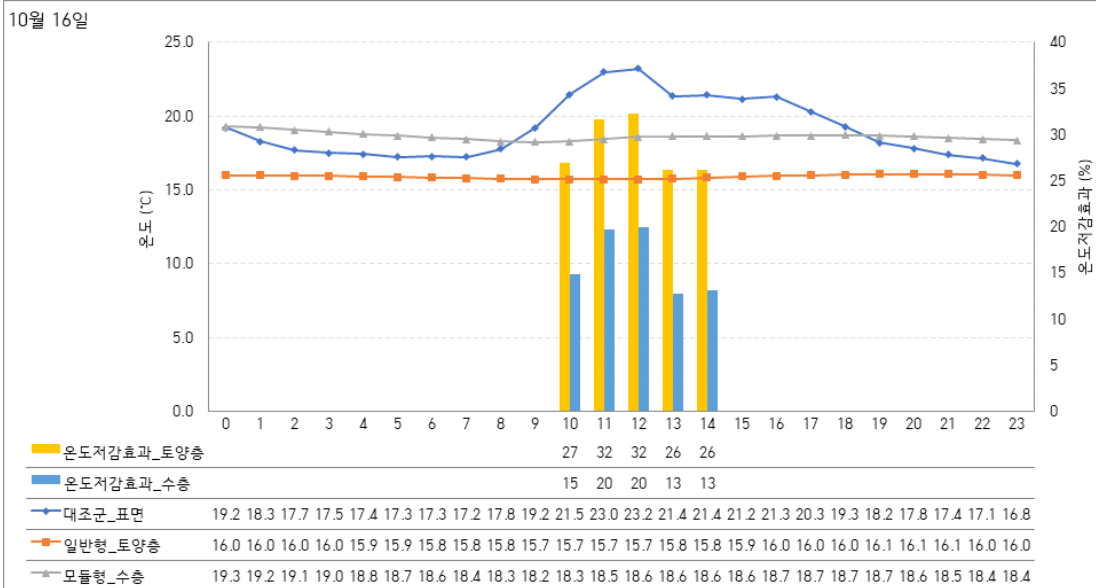


10월 14일

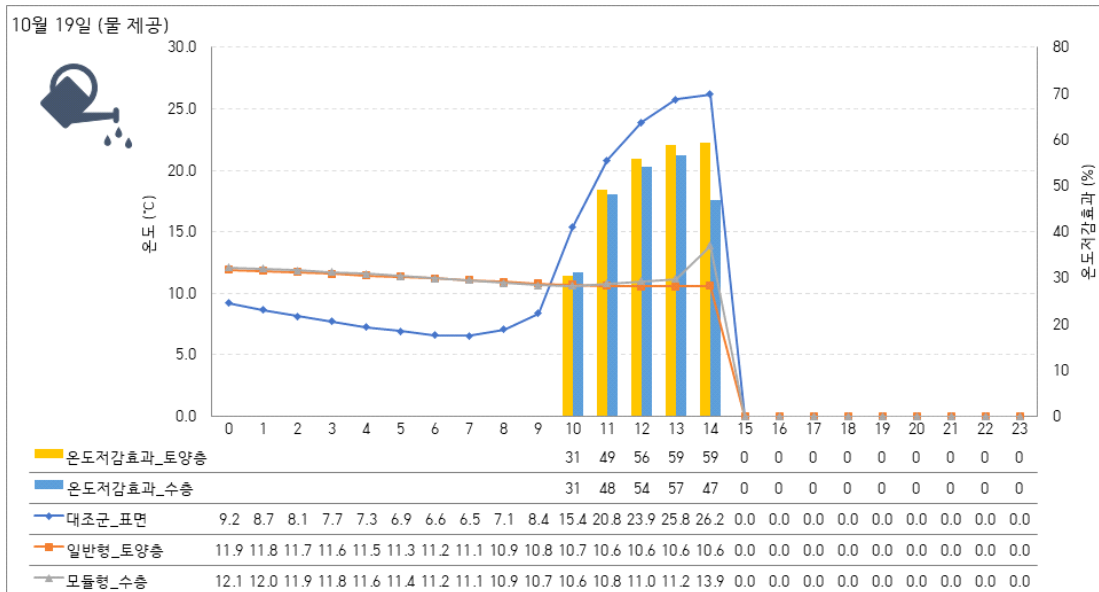
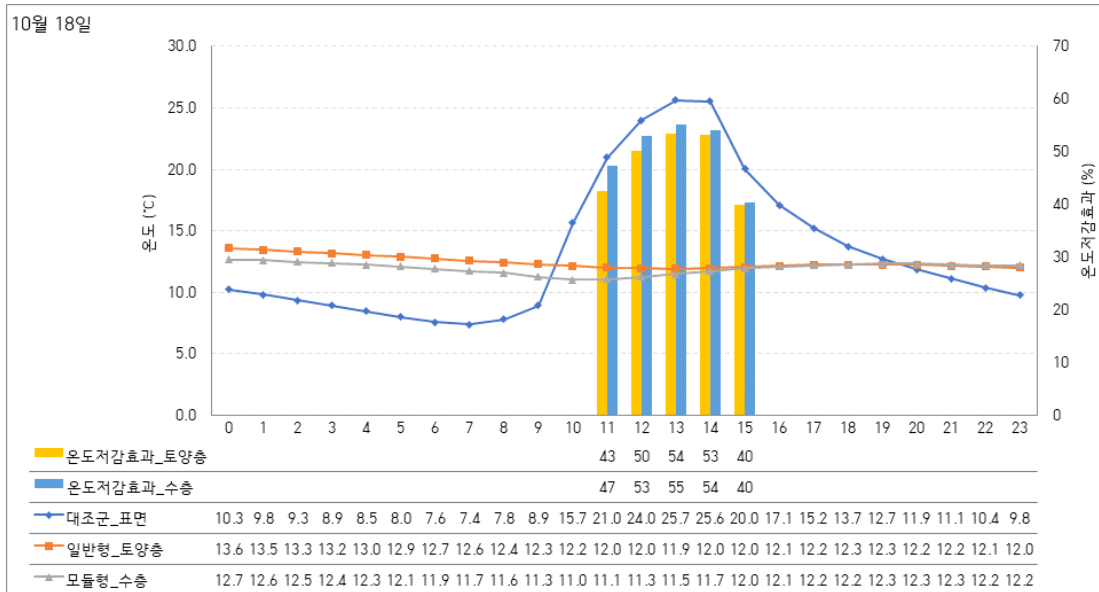


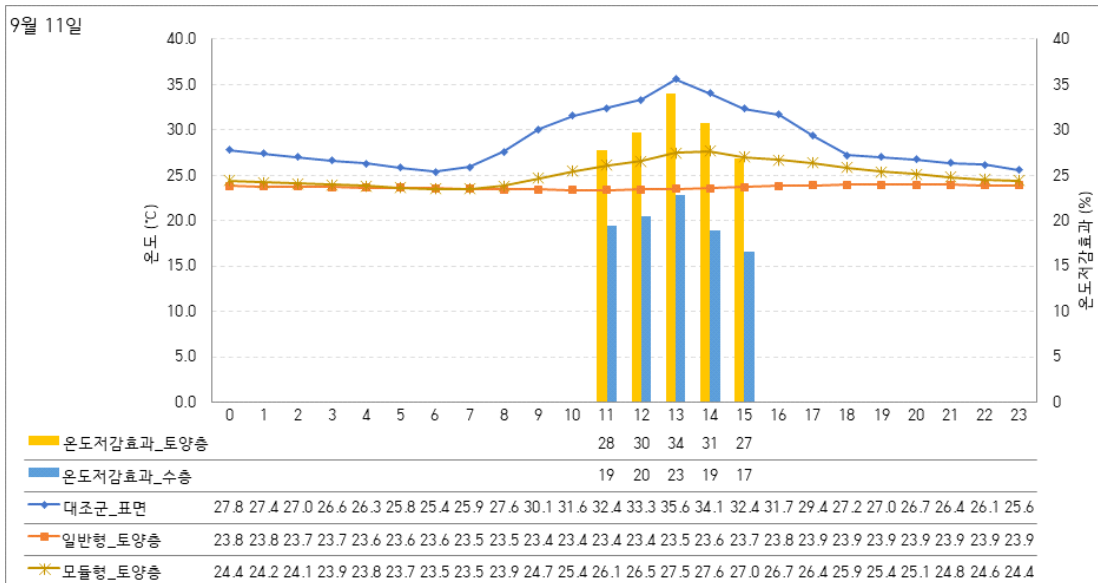
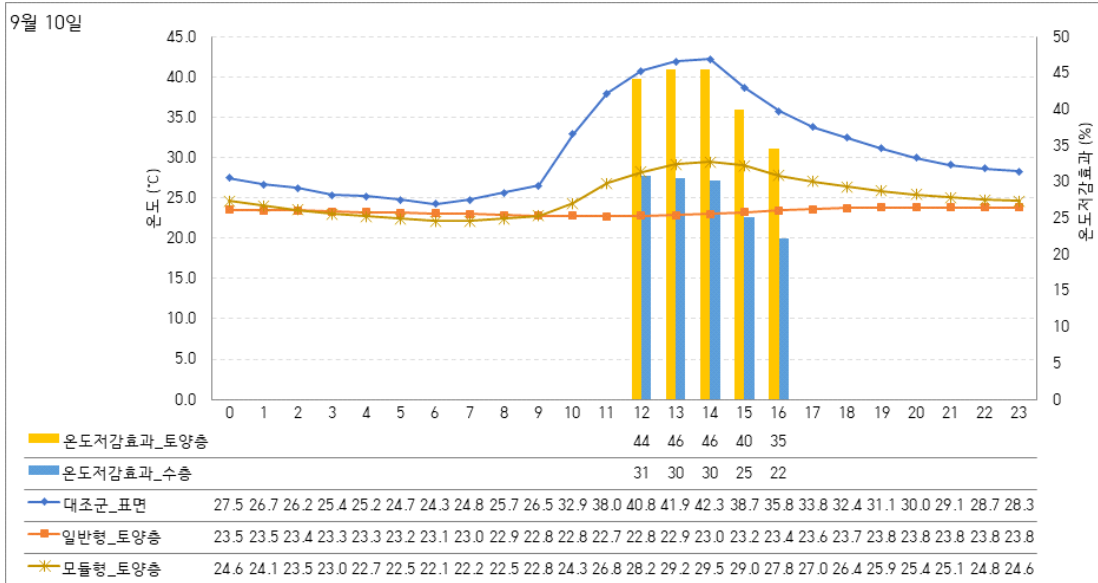
10월 15일

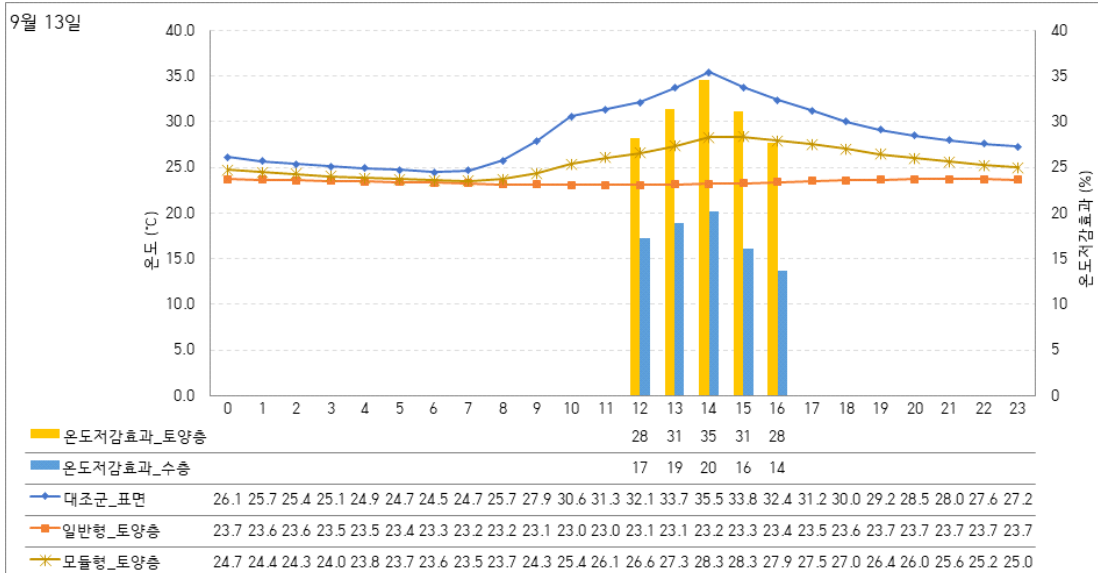
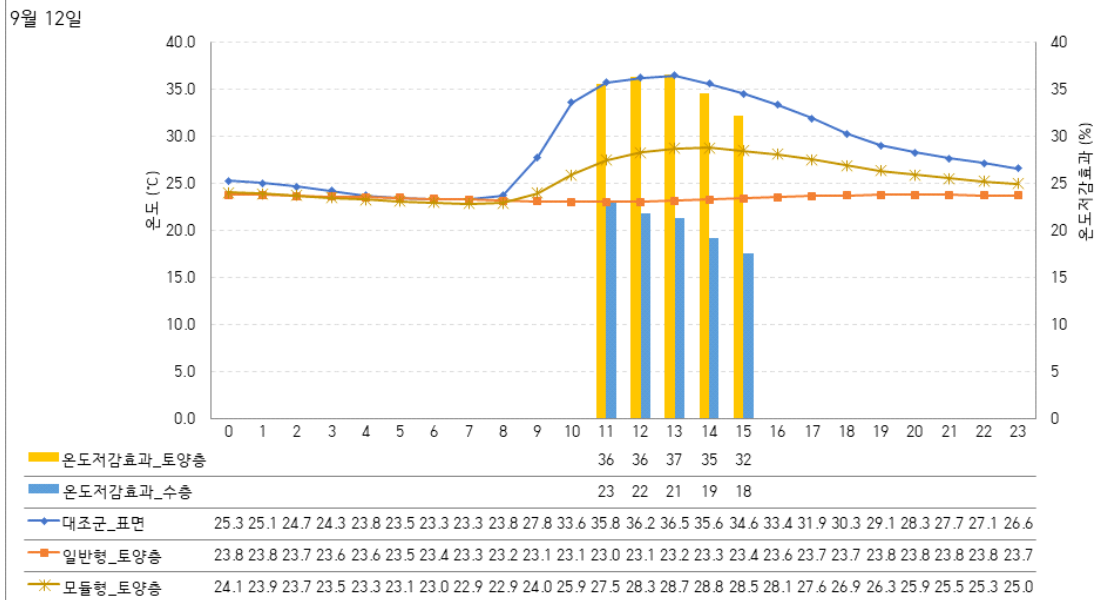


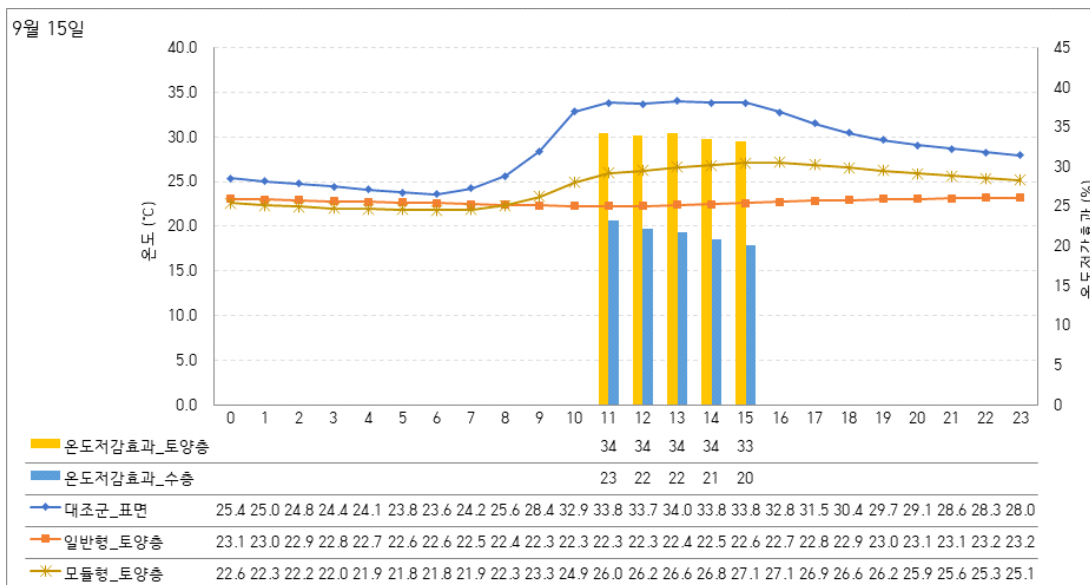
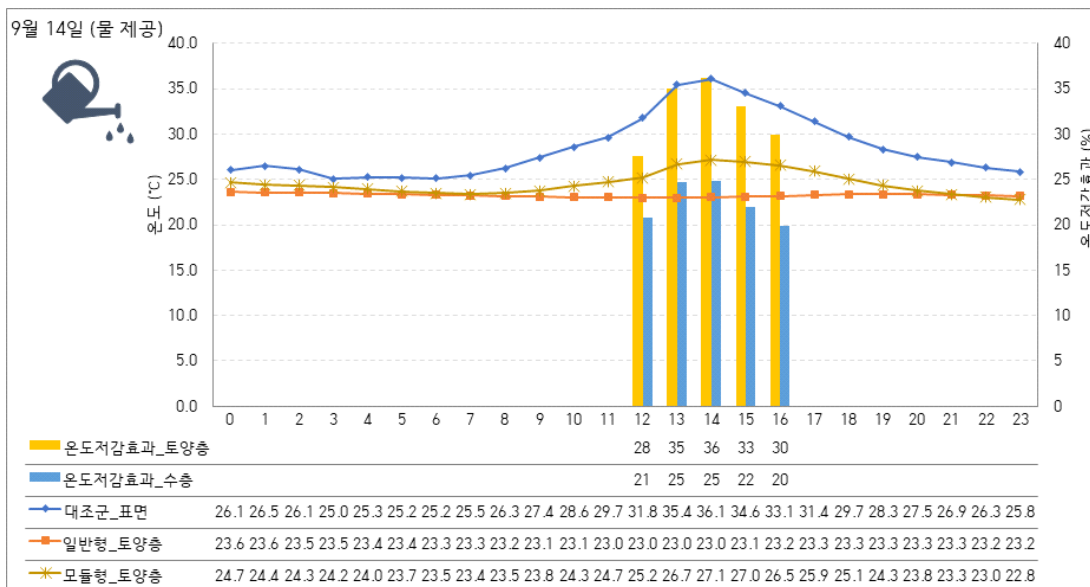


10월 18일

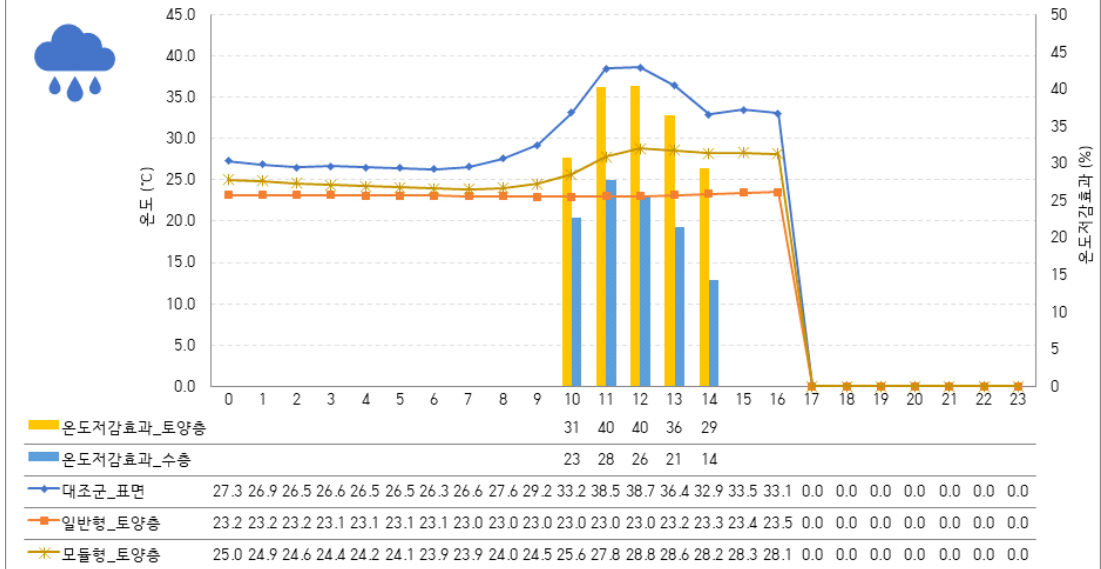




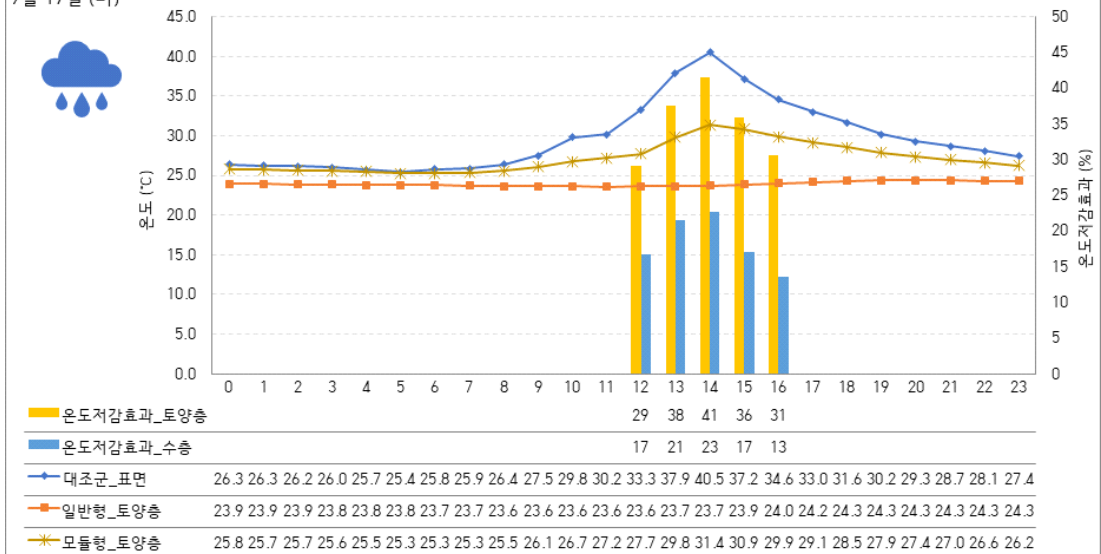




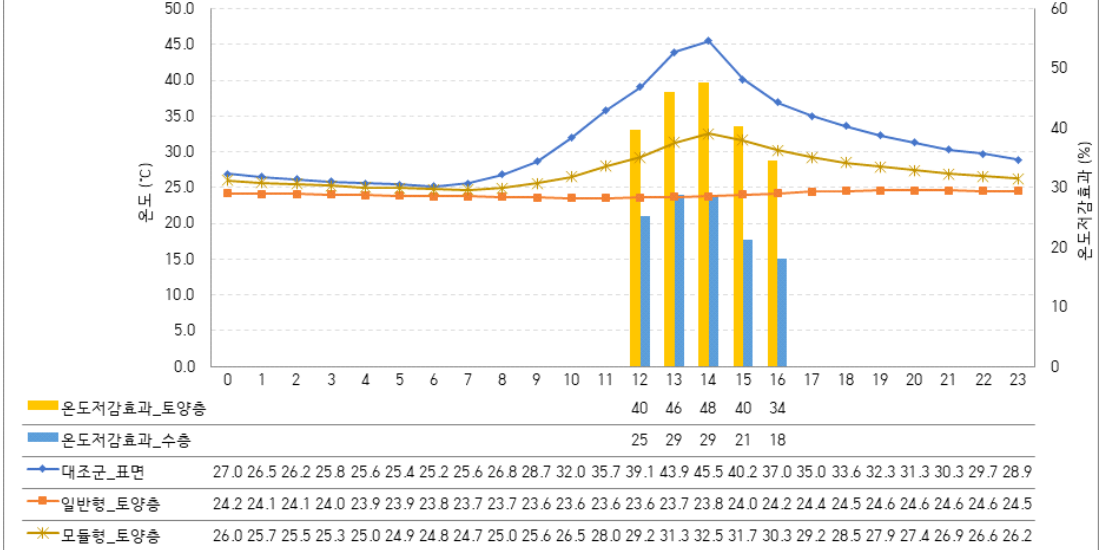
9월 16일 (비)



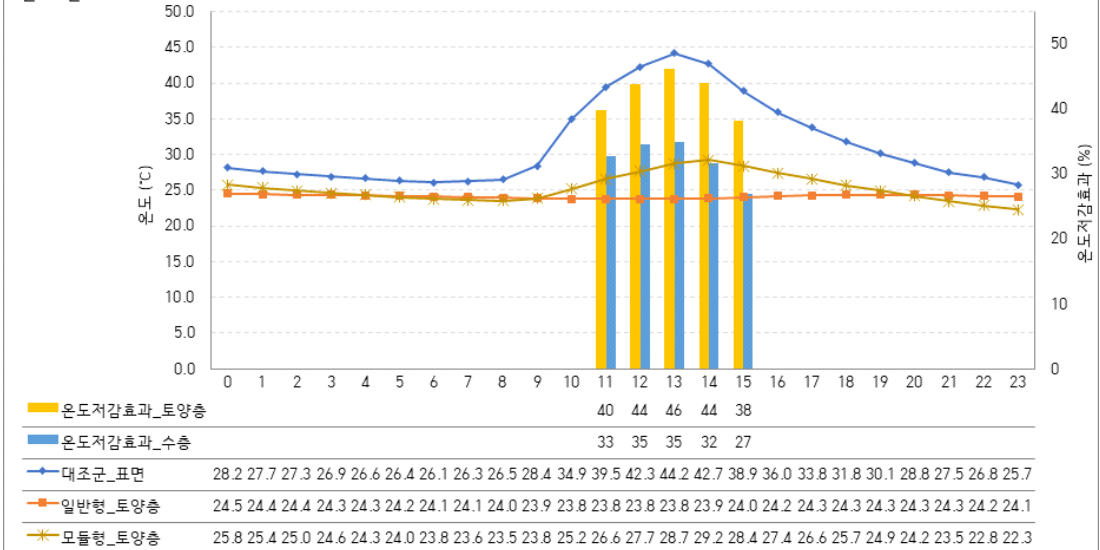
9월 17일 (비)



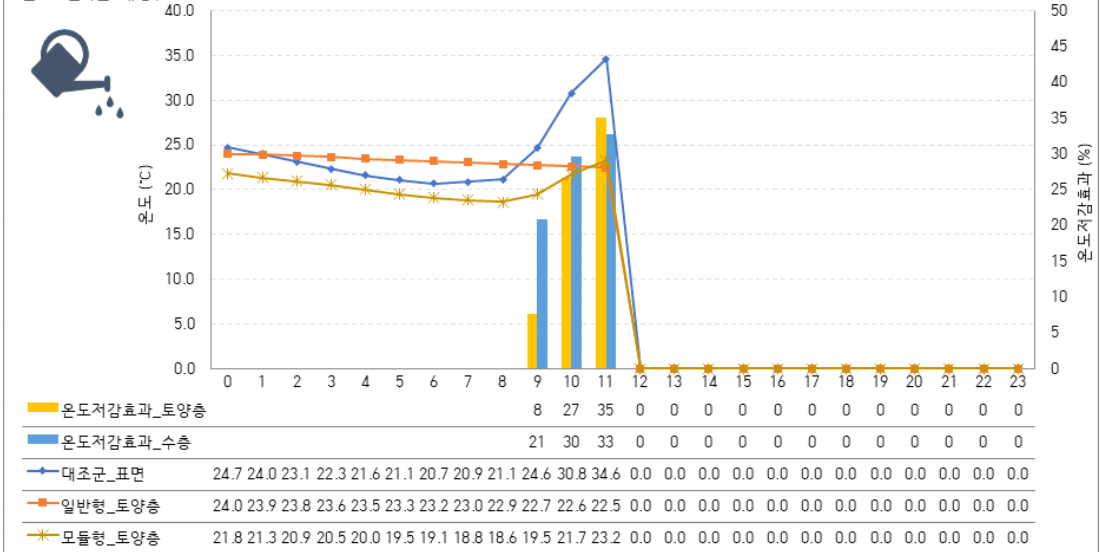
9월 18일



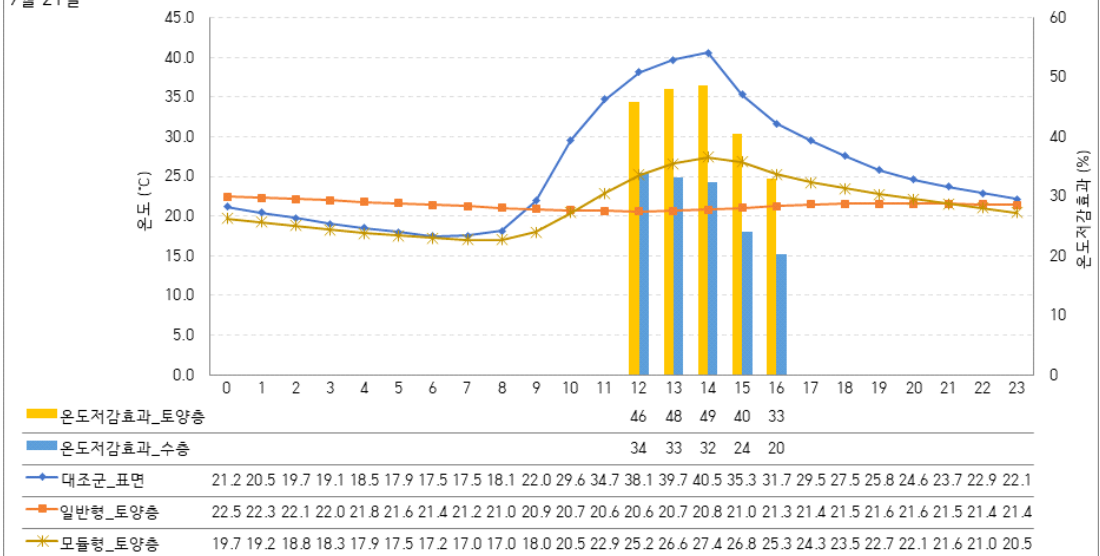
9월 19일

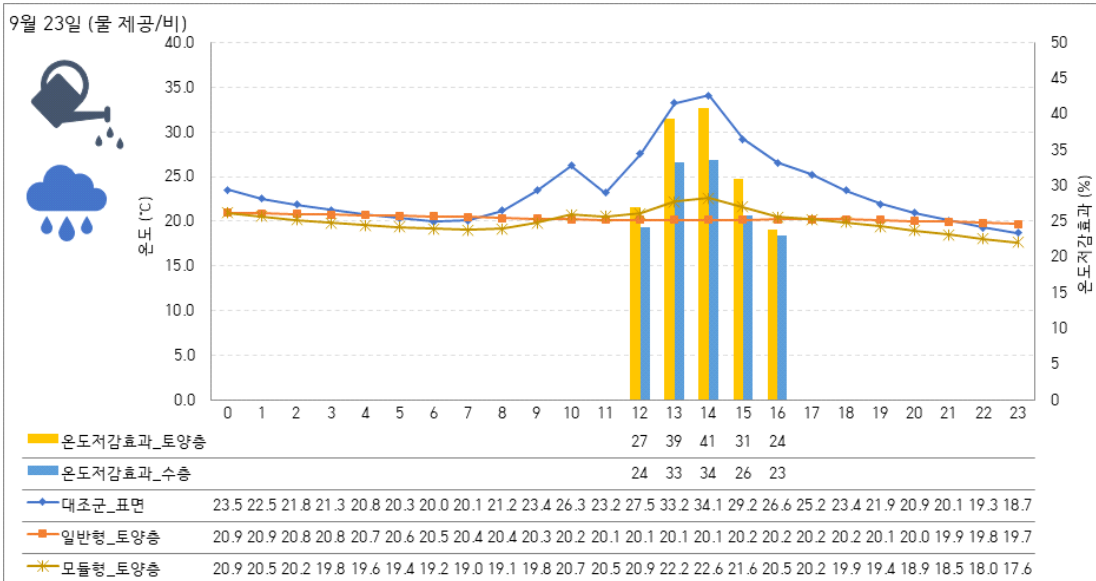
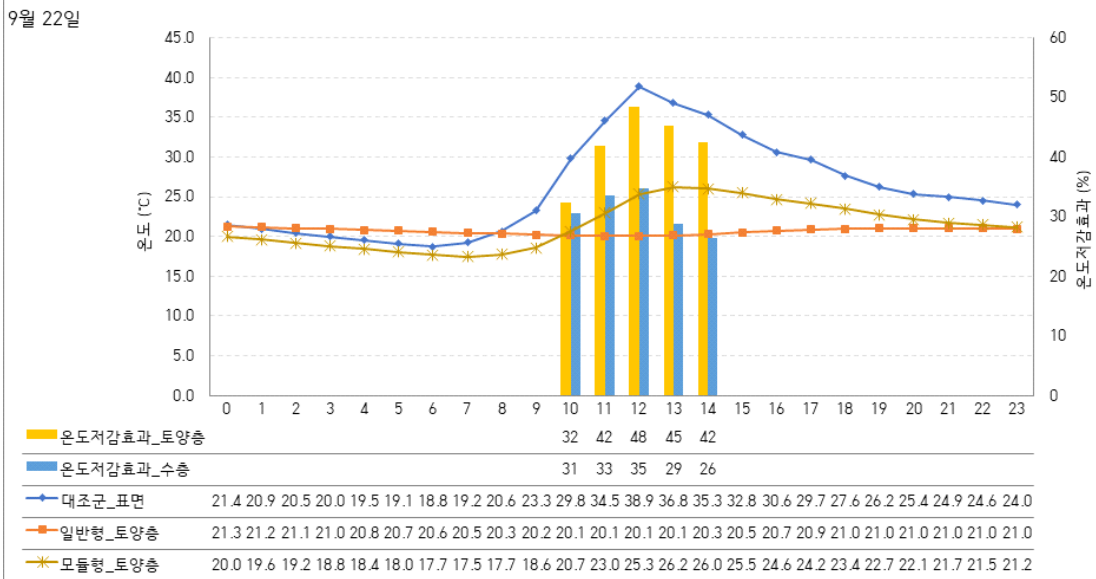


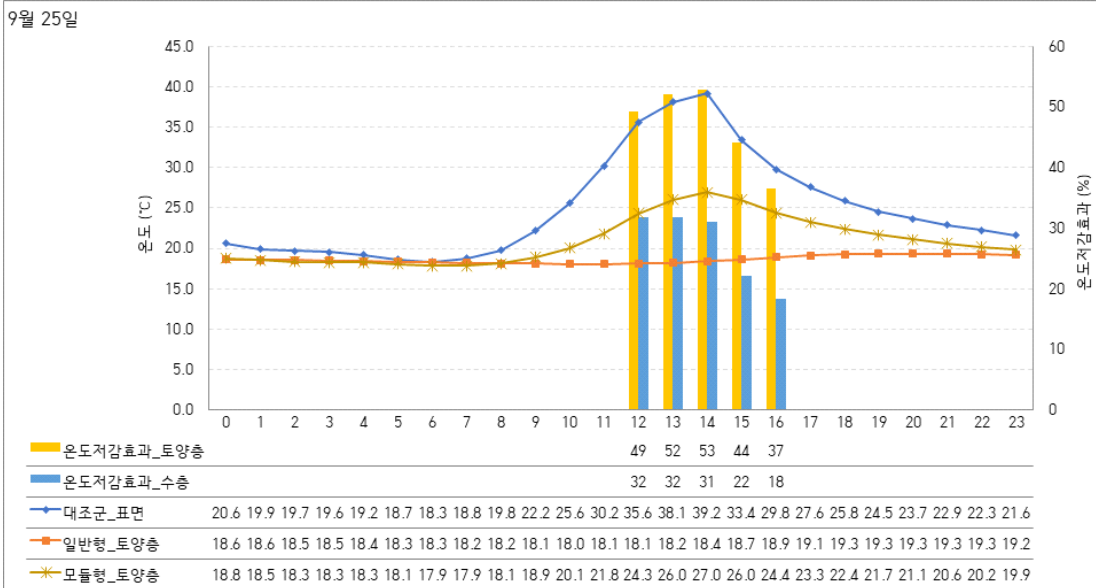
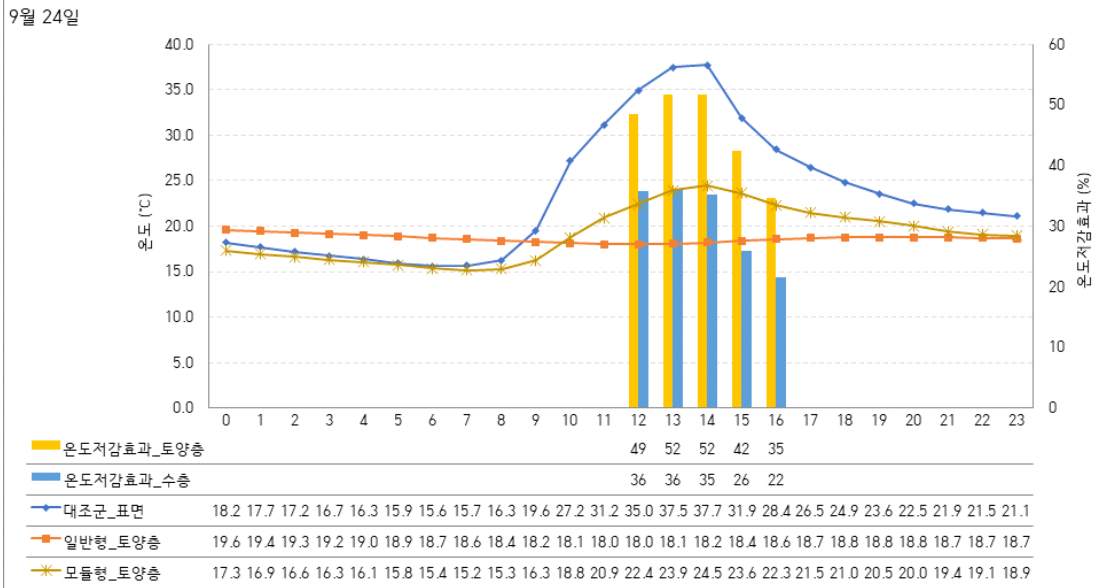
9월 20일 (물 제공)



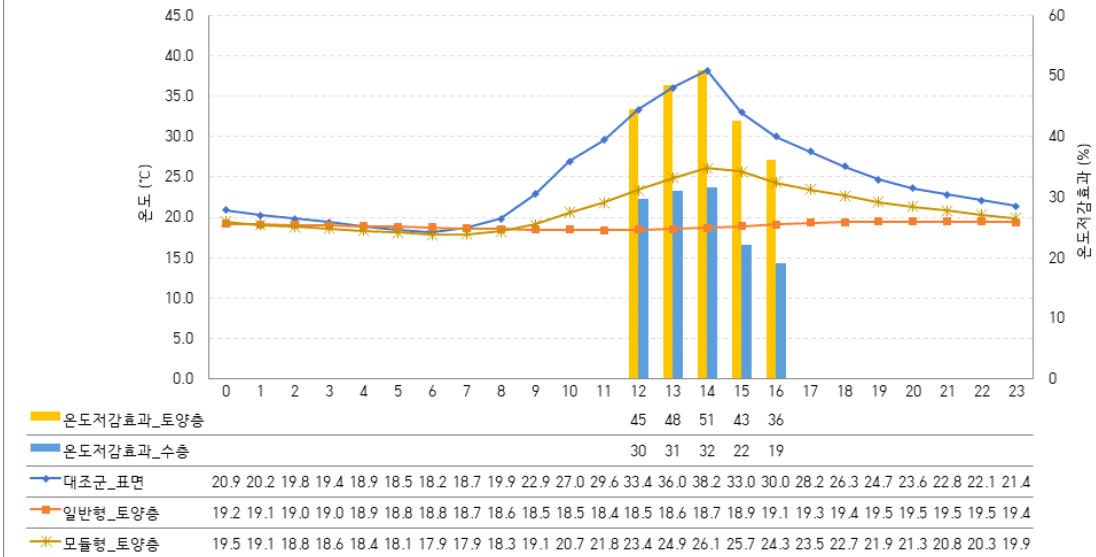
9월 21일



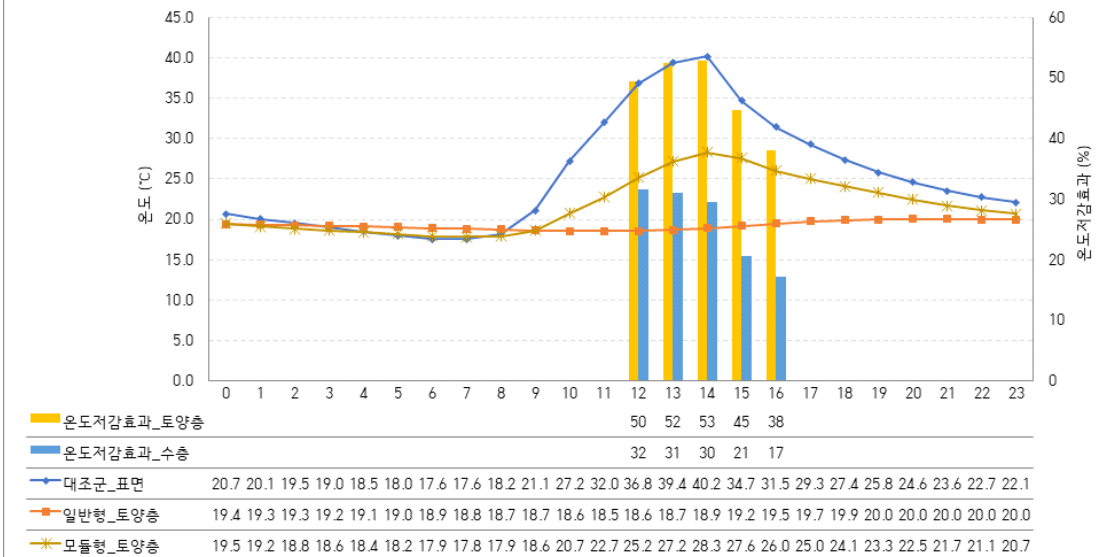




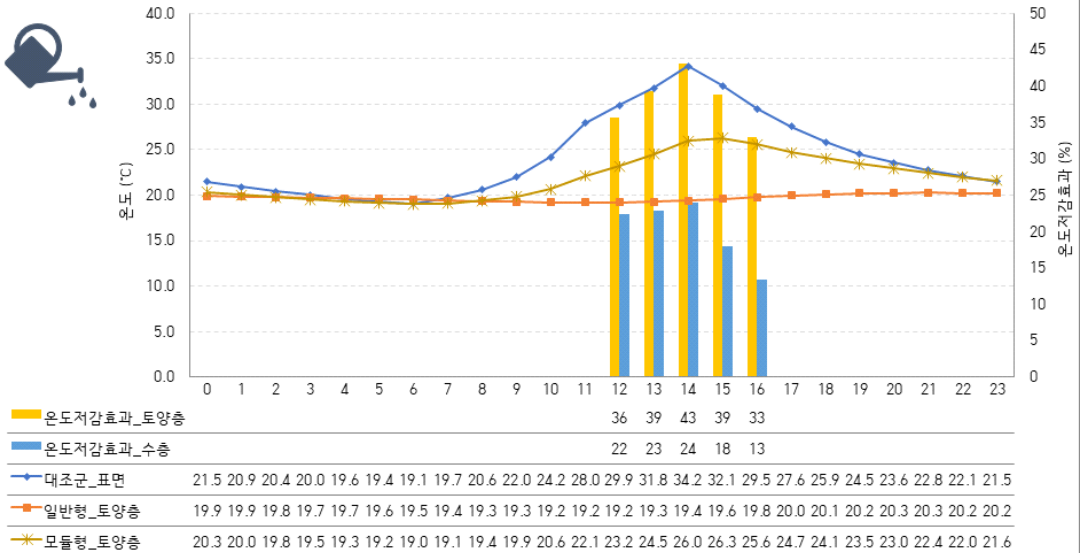
9월 26일



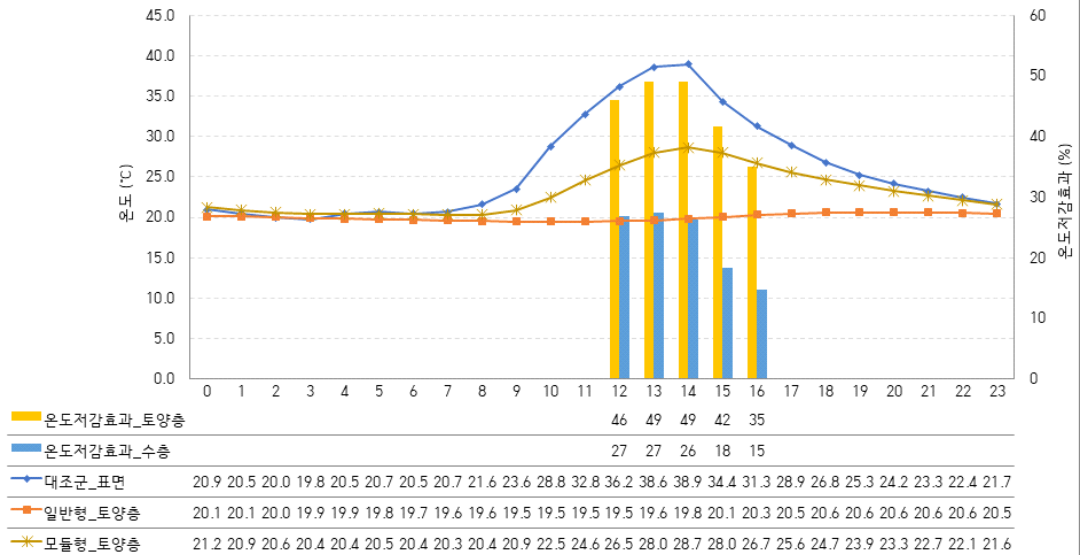
9월 27일

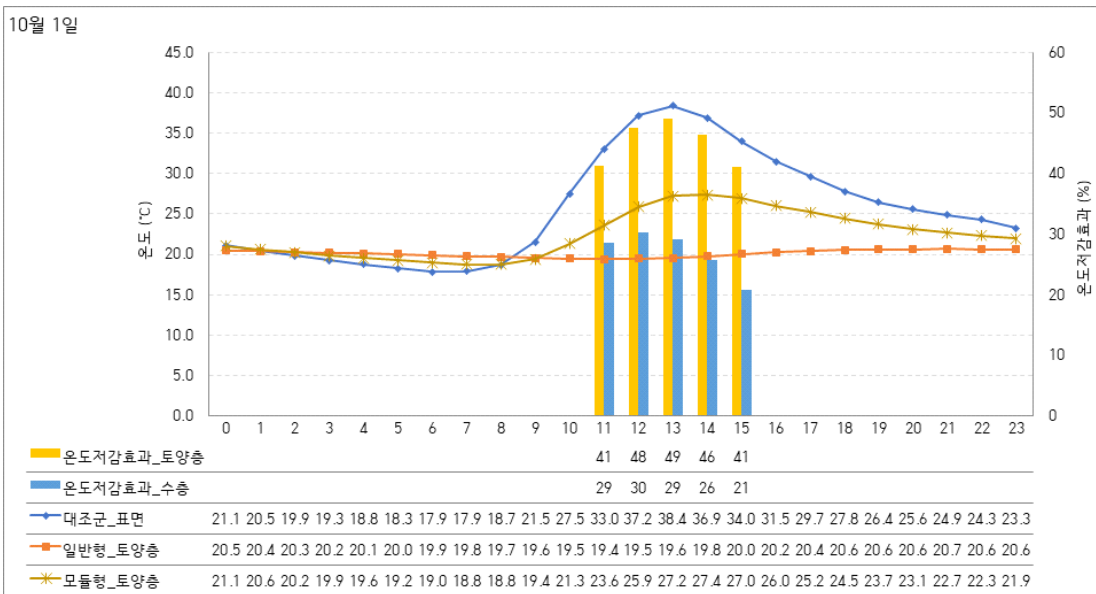
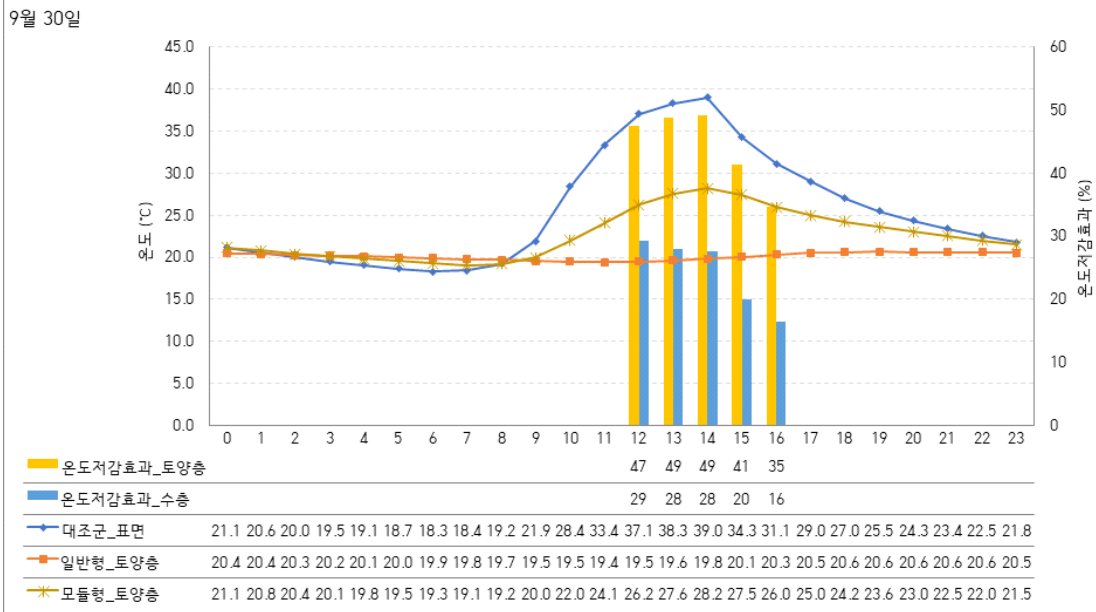


9월 28일 (물 제공)

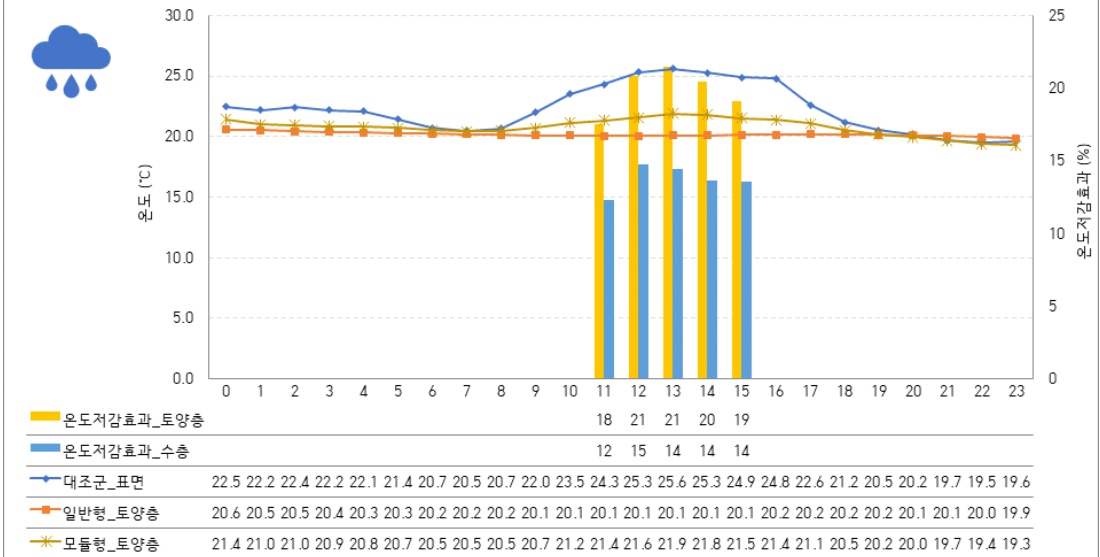


9월 29일

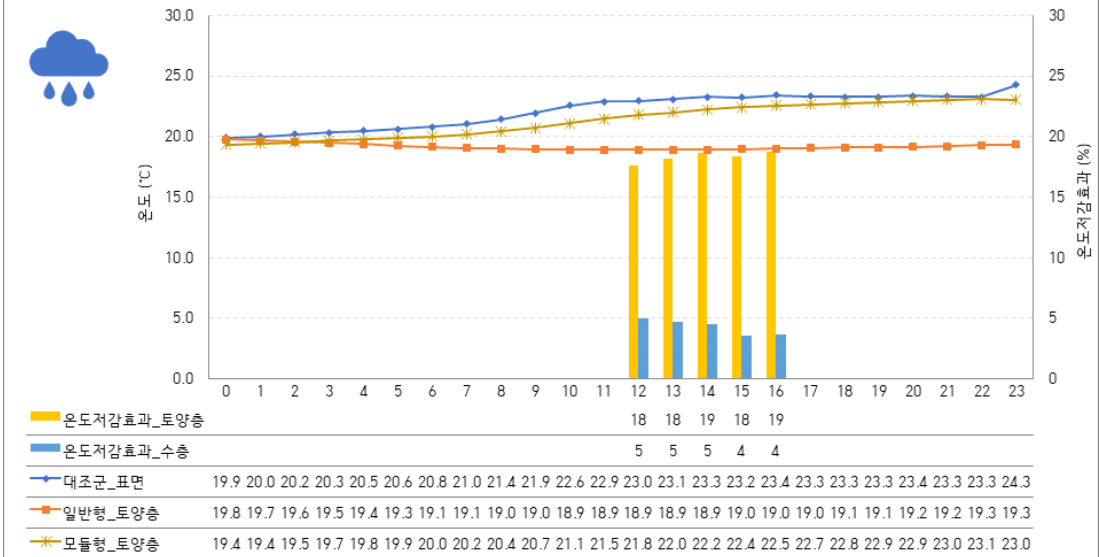




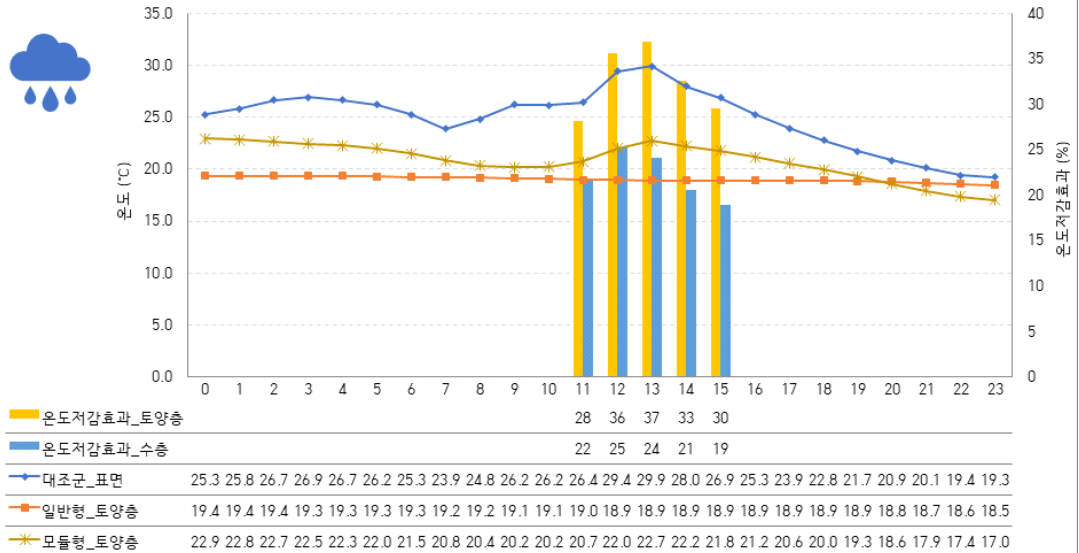
10월 2일 (비)



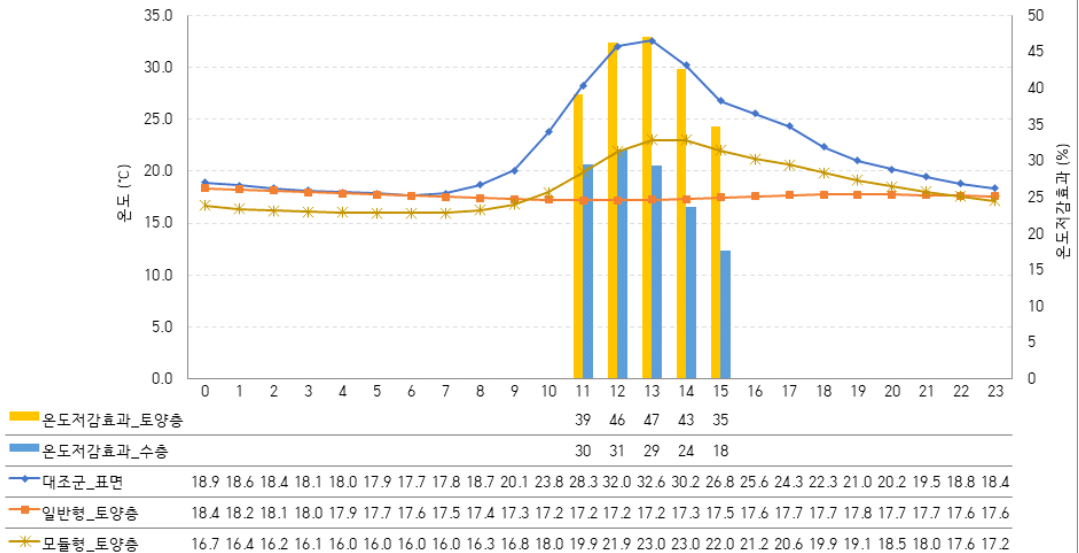
10월 3일 (비)

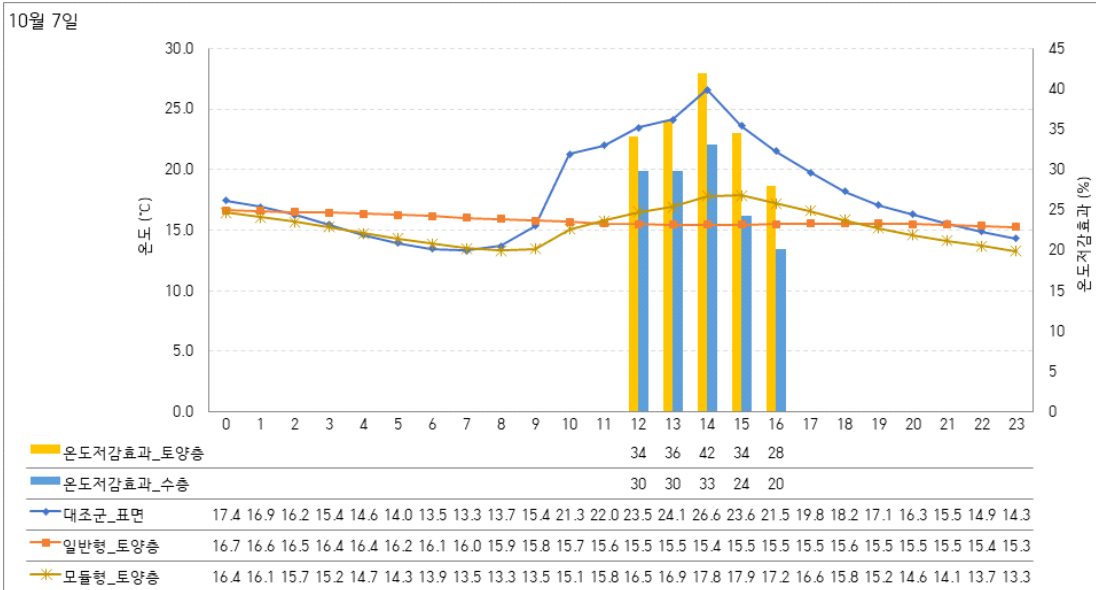
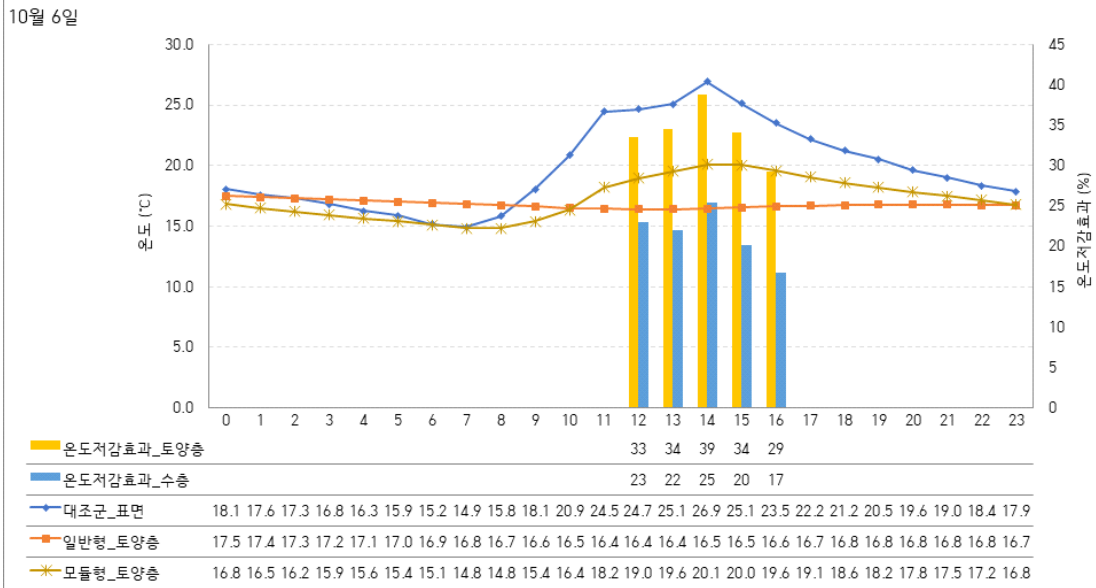


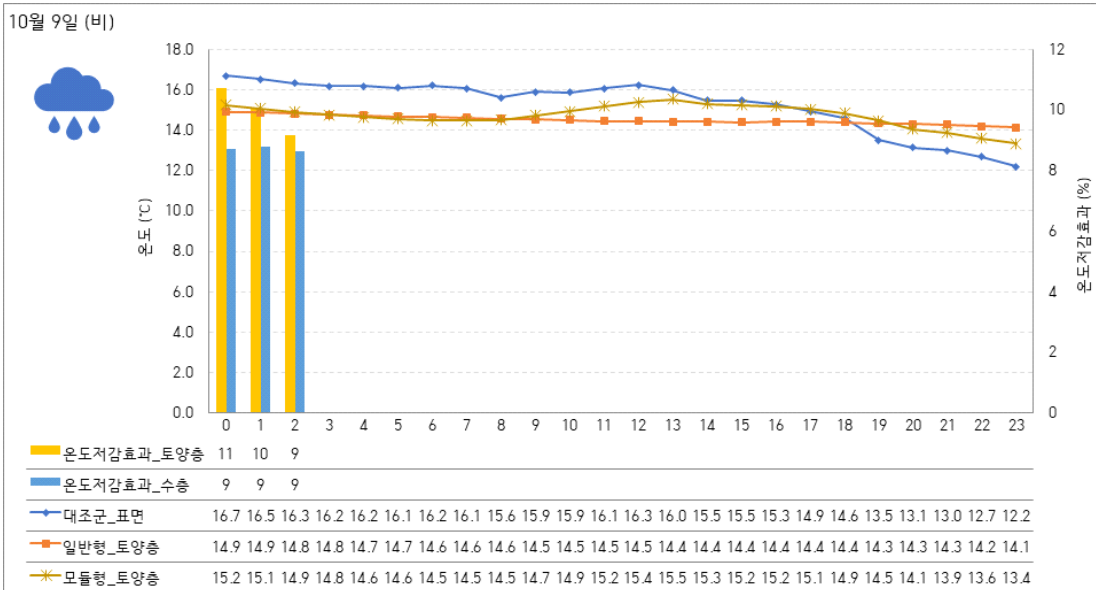
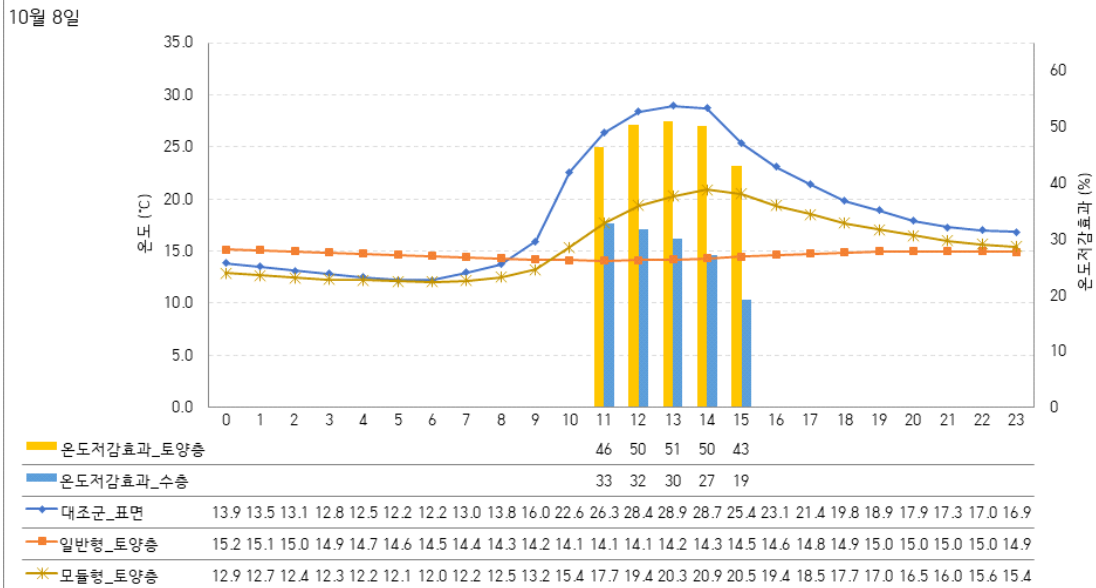
10월 4일 (비)



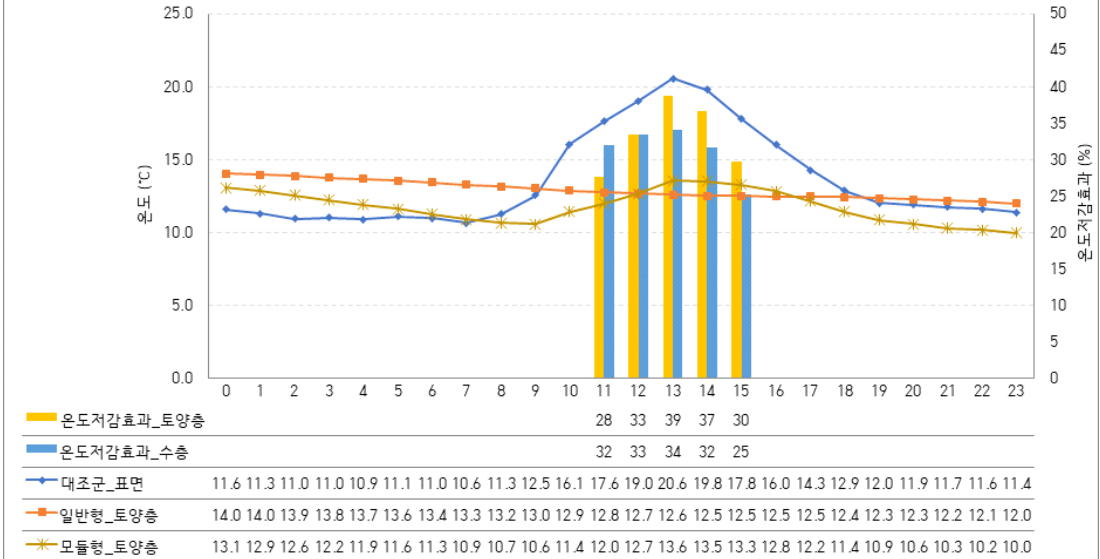
10월 5일



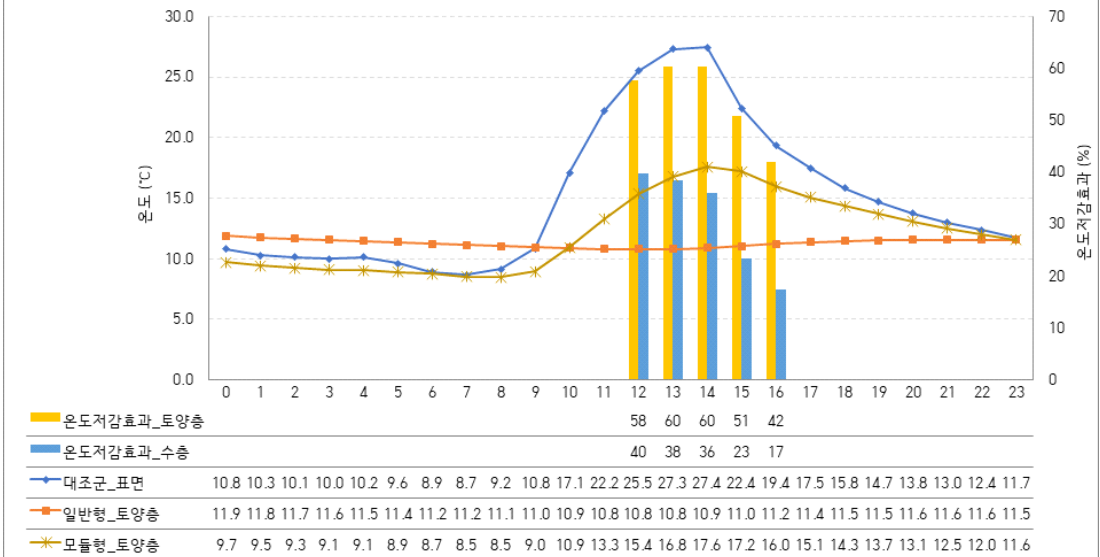




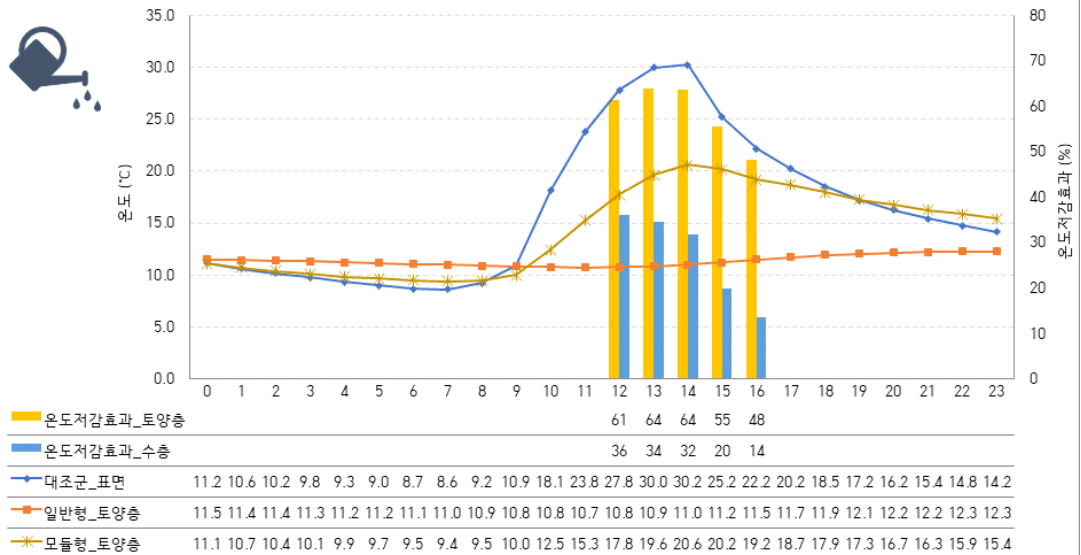
10월 10일



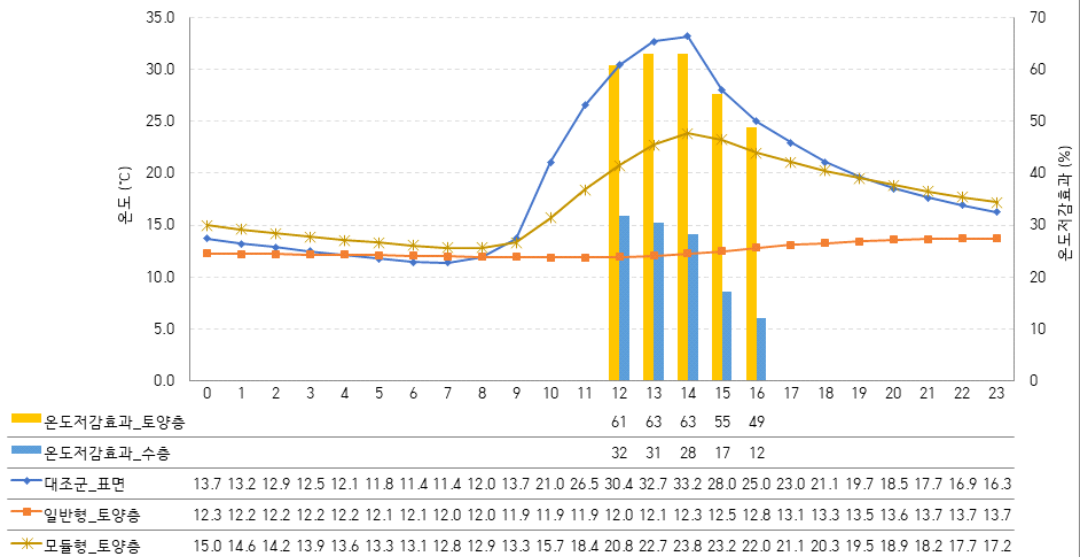
10월 11일



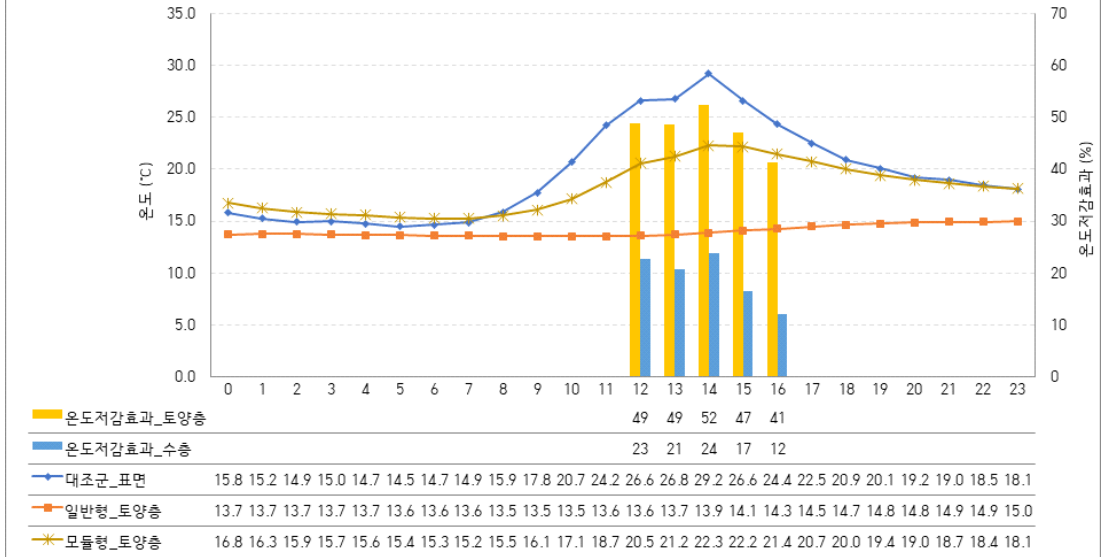
10월 12일 (물 제공)



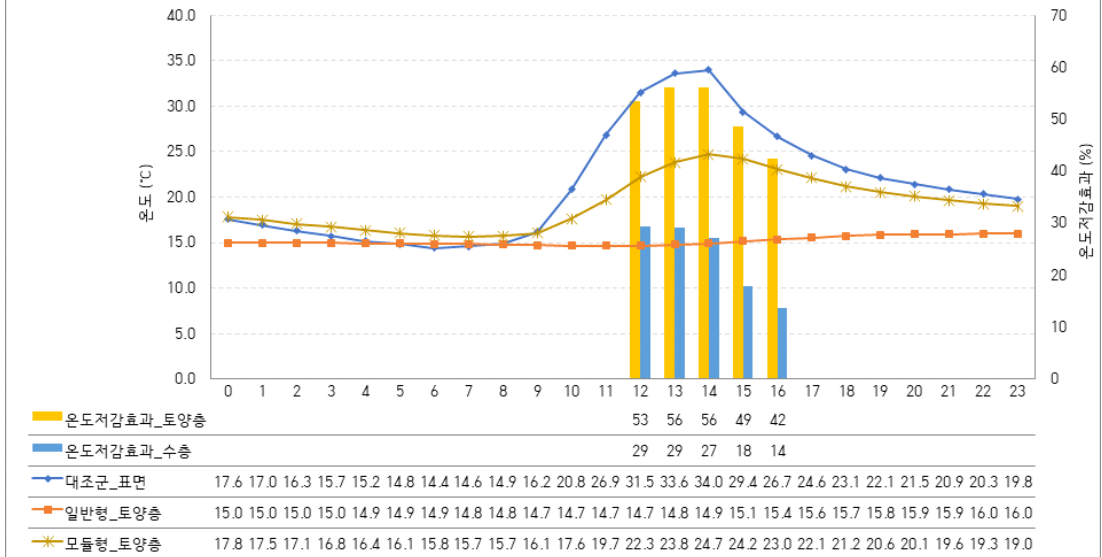
10월 13일

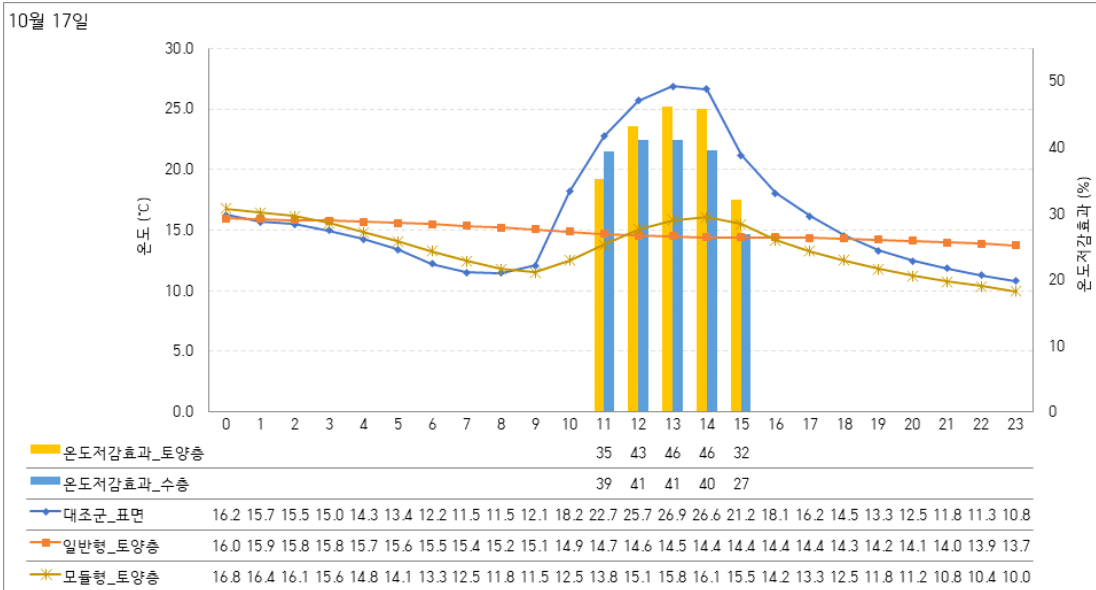
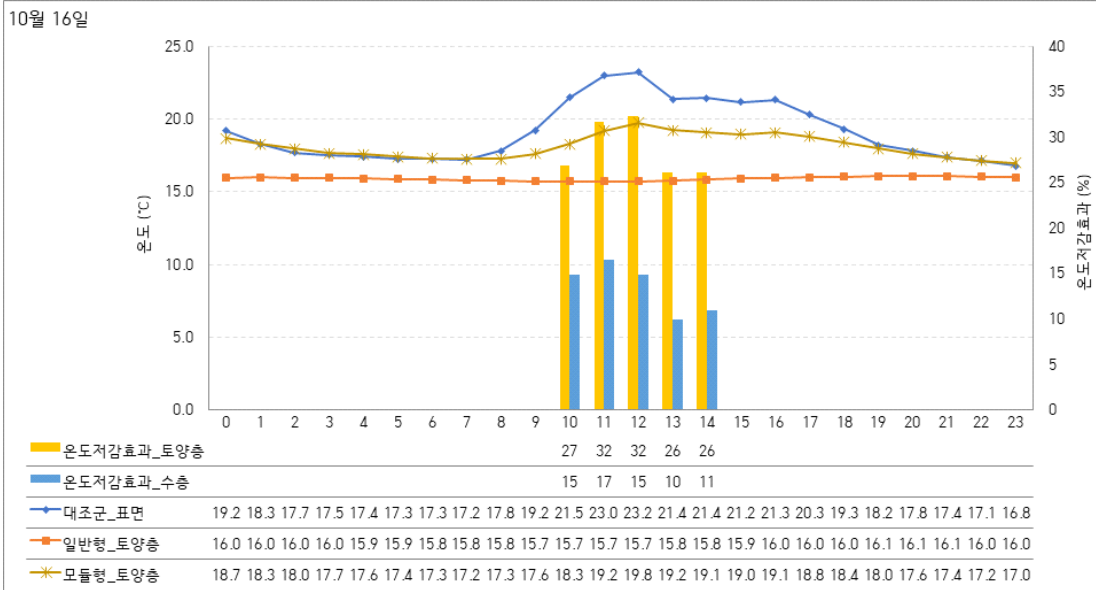


10월 14일

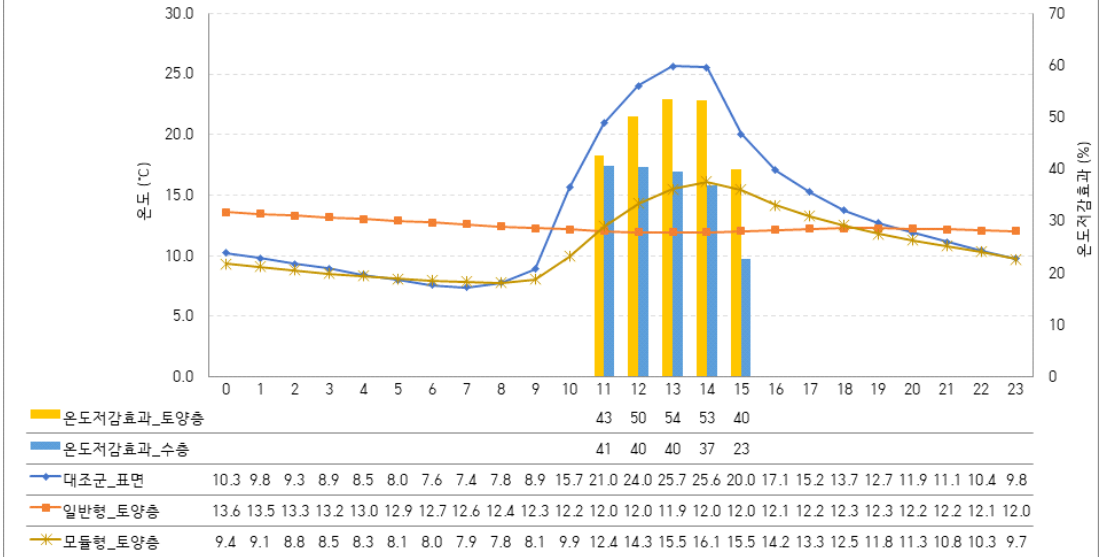


10일 15일

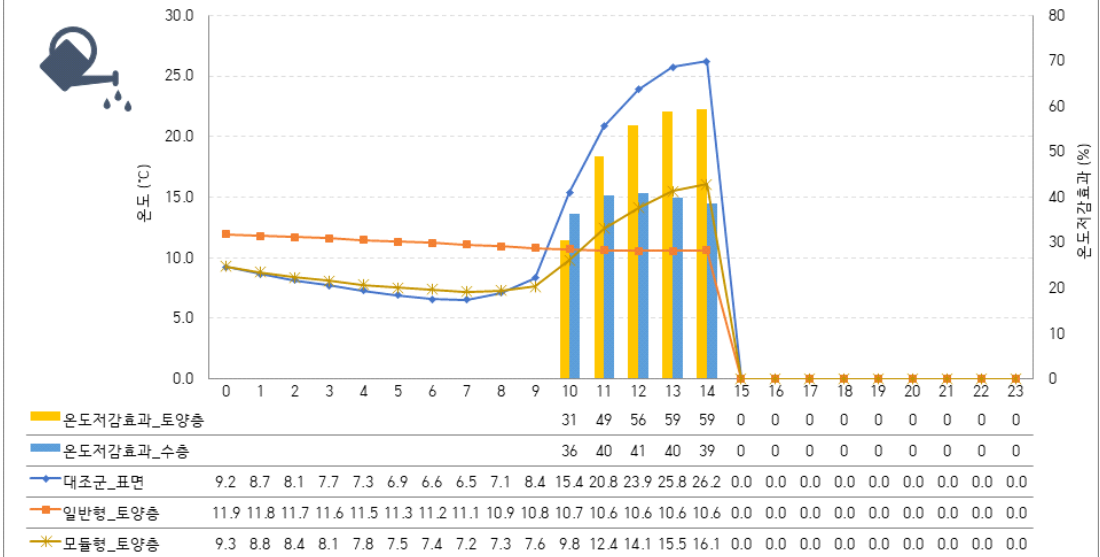




10월 18일



10월 19일 (물 제공)



Abstract

A Study on the performance Evaluation of the Integrated Greening System in Goyang City Buildin

Jiyeol Im*, Nakyung Oh**

This study attempted to reduce or block the absorption of solar radiation energy into plants by recording on the roof of a building (non-green area) where solar radiation energy reaches first, and to find out the difference between general rooftop greening and modular rooftop greening. In addition, a plan to evaluate and improve the efficiency of modular rooftop greening was proposed, and a plan to expand and apply Goyang-si in the future was proposed. rom 11 a.m. to 3 p.m. when the surface temperature was the highest, the temperature reduction effect was 15–28% in the soil layer and 18–34% in the water layer, and the highest efficiency was 1 p.m., with 28% in the soil layer and 34% in the water layer. From 11 a.m. to 3 p.m., when the surface temperature was the highest, the temperature reduction effect was 21 to 38%, and the time with the highest efficiency was 1 p.m., showing a temperature reduction effect of 38%. When it rains during rooftop greening, it has latent heat with rainwater absorbed in the green area, lowering the temperature of the building and reducing the heat island phenomenon in the city center. Therefore, compared to general greening (control group), module greening (experimental group) maintains the rain effect by continuously supplying water, and reduces the temperature of the surrounding atmosphere by using energy in the form of latent heat during plant and soil evaporation. When constructing or repairing a building, the designer of the

* Research Fellow, Goyang Research Institute, South Korea

** Research, Goyang Research Institute, South Korea

building shall confirm the safety of the structure through a professional architectural structural engineer or architect in accordance with the structural standards prescribed by the Ordinance of the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. The fault composition of general rooftop greening consists of vegetation and soil, and the modular type used in this experiment is composed of vegetation, soil, air, and water layers. In the case of soil with the largest unit weight when calculating the weight according to rooftop greening, only 40% of the general type (control group) was used, and the rest consisted of water and air layers. Therefore, it is judged that the modular type will have higher building safety due to additional load than the general type when constructing with the same area and height.