

A Study on the Performance Evaluation and
Introduction of the Wall Greening System of Ilsan
Seo-gu Office I

일산서구청
벽면녹화시스템 성능
평가 및 도입방안 연구 I

임 지 열
정 광 진
오 나 경
이 등 현

A Study on the Performance Evaluation and Introduction of the Wall Greening System of Ilsan Seo-gu Office I

일산서구청 벽면녹화시스템 성능 평가 및 도입방안 연구 I

연구책임자

임지열(고양시정연구원, 도시정책연구실, 부연구위원)

공동연구자

정광진(고양시정연구원, 도시정책연구실, 부연구위원)

오나경(고양시정연구원, 도시정책연구실, 연구원)

이동현(고양시정연구원, 도시정책연구실, 연구원)

발행일 2022년 12월 15일

저자 임지열, 정광진, 오나경, 이동현

발행인 정원호

발행처 고양시정연구원

주소 10393 경기도 고양시 일산동구 태극로 60 빛마루방송지원센터 11층

전화 031-8073-8341

홈페이지 www.goyang.re.kr

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

I S B N 979-11-91726-85-5

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

목 차

요약	i
제1장 연구의 개요	1
제1절 연구 배경	3
제2절 연구 필요성	7
제2장 국내·외 연구 현황	9
제1절 국내 벽면녹화 정책 및 현황	11
제2절 국외 벽면녹화 정책 및 현황	25
제3절 벽면녹화 연구 경향	34
제4절 고양시 벽면녹화 정책 및 현황	46
제3장 연구 대상 시설, 방법 및 현황	51
제1절 연구 대상 시설 개요	53
제2절 연구 대상 시설 건물 통합녹화시스템 구축 상황	55
제3절 모니터링 방법(모니터링 항목 및 측정 지점)	61
제4장 데이터 분석	65
제1절 분석 방법	67
제2절 일별 온도 비교	71
제3절 주간별 온도 비교	89
제4절 측정 위치에 따른 온도 비교	139

제5절 에너지 절감량 분석	150
제5장 결론	153
참고문헌	157
부록	159
Abstract	315

표 목차

[표 1-1] 세부 연구 내용 및 연구 방법	7
[표 1-2] 성능 평가 항목	8
[표 2-1] 미국 벽면녹화 관련 정책	27
[표 2-2] 실제 실험구 및 모니터링 방법	37
[표 2-3] 식재기반 유형	42
[표 3-1] 세 실제 벽면녹화 모니터링 프로그램 화면 구성	64
[표 4-1] 세측정기간 동안 외부환경	67
[표 4-2] 식재기반 유형	70
[표 4-3] 9월 온도저감효과	87
[표 4-4] 10월 온도저감효과	88
[표 4-5] 10월 평가 항목	139
[표 4-6] 10월 평가 항목	151

그림 목차

[그림 1-1] 2050 탄소 배출 제로 및 기후 회복	3
[그림 1-2] 제로 에너지 건물 개념도	4
[그림 1-3] 일산서구청 벽면녹화	6
[그림 2-1] 서울형 수직정원 조성 전·후 모습	11
[그림 2-2] 돈의문 박물관 마을 조감도와 실제모습	12
[그림 2-3] 강북문화 예술회관 수직정원 시범사업 사례	13
[그림 2-4] 서대문구 연희동 주민센터 수직정원 시범사업 사례	13
[그림 2-5] 마포구 연남동주민센터 수직정원 시범사업 사례	14
[그림 2-6] 마포구 신수동주민센터 수직정원 시범사업 사례	14
[그림 2-7] 그린커튼 설치 효과	15
[그림 2-8] 수원시 그린커튼 조성 사례 (화성행궁, 기후변화체험관 두드림)	16
[그림 2-9] 수원시 그린커튼 조성 사례 (팔달구청, 컨벤션센터)	17
[그림 2-10] 그린커튼 조성 메뉴얼	17
[그림 2-11] 경상남도 벽면녹화 정책	19
[그림 2-12] 전라남도 순천시 벽면녹화 시범 사업	20
[그림 2-13] 서울시청 신청사 실내 수직정원	21
[그림 2-14] 천안시청 실내 수직정원	22
[그림 2-15] 강동구청 벽면녹화	24
[그림 2-16] 글로벌 벽면녹화 설치 면적 및 시장 규모	26
[그림 2-17] 일본 후쿠오카 아크로스 빌딩	28
[그림 2-18] 중국 포레스트 시티	29

[그림 2-19] 이탈리아 밀라노 ‘보스코 베르티칼레’	30
[그림 2-20] 인도네시아 ‘인틸란드 타워’	32
[그림 2-21] 프랑스 ‘플라워 타워’	33
[그림 2-22] 벽면녹화 시스템 적용 전·후	34
[그림 2-23] 데이터 모니터링 시스템	35
[그림 2-24] 열관류율 측정값 및 변동 그래프	35
[그림 2-25] 열화상 측정	36
[그림 2-26] 연구 결과	39
[그림 2-27] 대상지 개요	40
[그림 2-28] 식재기반 유형별 물성자료	42
[그림 2-29] 식재 위치별 에너지 성능평가	43
[그림 2-30] 벽면녹화 및 모니터링 시스템 설치	44
[그림 2-31] 벽면 유형과 방향별 열화상 이미지	45
[그림 2-32] 고양시 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례	47
[그림 2-33] 고양시 공동주택 도시녹화 보조금 지원사업	47
[그림 2-34] 일산서구청 벽면녹화	49
[그림 2-35] 양일초등학교 그린커튼	50
[그림 3-1] 연구대상시설 (일산서구청 수직정원)	54
[그림 3-2] 일산서구청 벽면녹화	56
[그림 3-3] 포트형 식생 패널	56
[그림 3-4] 패널 상세도	56
[그림 3-5] 보습매트 및 식물포켓	57
[그림 3-6] 점적관수 표준도	58
[그림 3-7] 연구대상시설 (일산서구청 벽면)	58

[그림 3-8] 실험군/대조군/비교군 설치 모습	59
[그림 3-9] 실험군/대조군/비교군 단면도	61
[그림 3-10] 센서 설치 위치	61
[그림 4-1] 표면온도 비교 위치 설명	71
[그림 4-2] 표면온도 비교 (예시, 2022년 9월 3일 그래프)	73
[그림 4-3] 표면온도 비교 (예시, 2022년 9월 4일 그래프)	74
[그림 4-4] 후면온도 및 표면온도 비교 위치 설명	75
[그림 4-5] 후면 및 표면온도 비교 (예시, 2022년 9월 3일 그래프)	76
[그림 4-6] 후면 및 표면온도 비교 (예시, 2022년 9월 4일 그래프)	77
[그림 4-7] 벽면녹화 및 실내온도 비교 위치 설명	78
[그림 4-8] 벽면녹화 및 실내온도 비교 (예시, 2022년 9월 3일 그래프)	79
[그림 4-9] 벽면녹화 및 실내온도 비교 (예시, 2022년 9월 4일 그래프)	80
[그림 4-10] 유리창, 철제벽면 표면온도 및 실내온도 비교 위치 설명	81
[그림 4-11] 표면 및 실내온도 비교 (예시, 2022년 9월 3일 그래프)	82
[그림 4-12] 표면 및 실내온도 비교 (예시, 2022년 9월 4일 그래프)	83
[그림 4-13] 온도저감효과 비교 (예시, 2022년 9월 3일 그래프)	85
[그림 4-14] 온도저감효과 비교 (예시, 2022년 9월 4일 그래프)	86
[그림 4-15] 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도 최대값 비교 그래프	89
[그림 4-16] 1주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도	90
[그림 4-17] 2주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도	91
[그림 4-18] 3주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도	92
[그림 4-19] 4주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도	93
[그림 4-20] 5주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도	94
[그림 4-21] 6주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도	95

[그림 4-22] 7주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도	96
[그림 4-23] 8주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도	97
[그림 4-24] 9주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도	98
[그림 4-25] 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도 최대값 비교 그래프	99
[그림 4-26] 1주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도	100
[그림 4-27] 2주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도	101
[그림 4-28] 3주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도	102
[그림 4-29] 4주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도	103
[그림 4-30] 5주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도	104
[그림 4-31] 6주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도	105
[그림 4-32] 7주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도	106
[그림 4-33] 8주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도	107
[그림 4-34] 9주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도	108
[그림 4-35] 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도 최대값 비교 그래프	109
[그림 4-36] 1주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도	110
[그림 4-37] 2주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도	111
[그림 4-38] 3주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도	112
[그림 4-39] 4주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도	113
[그림 4-40] 5주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도	114
[그림 4-41] 6주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도	115
[그림 4-42] 7주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도	116
[그림 4-43] 8주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도	117
[그림 4-44] 9주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도	118
[그림 4-45] 실내온도, 유리창 및 철제벽면 표면온도 최대값 비교 그래프	119

[그림 4-46] 1주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도	120
[그림 4-47] 2주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도	121
[그림 4-48] 3주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도	122
[그림 4-49] 4주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도	123
[그림 4-50] 5주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도	124
[그림 4-51] 6주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도	125
[그림 4-52] 7주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도	126
[그림 4-53] 8주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도	127
[그림 4-54] 9주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도	128
[그림 4-55] 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도 최대값 비교 그래프	129
[그림 4-56] 1주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도	130
[그림 4-57] 2주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도	131
[그림 4-58] 3주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도	132
[그림 4-59] 4주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도	133
[그림 4-60] 5주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도	134
[그림 4-61] 6주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도	135
[그림 4-62] 7주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도	136
[그림 4-63] 8주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도	137
[그림 4-64] 9주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도	138
[그림 4-65] 9월 1일 ~ 9월 30일 벽면녹화 표면온도 그래프	140
[그림 4-66] 9월 1일 ~ 9월 30일 벽면녹화 후면온도 그래프	141
[그림 4-67] 9월 1일 ~ 9월 30일 유리창 표면온도 그래프	142
[그림 4-68] 9월 1일 ~ 9월 30일 철재벽면 표면온도 그래프	143

[그림 4-69] 9월 1일 ~ 9월 30일 실내온도 그래프	144
[그림 4-70] 10월 1일 ~ 10월 31일 벽면녹화 표면온도 그래프	145
[그림 4-71] 10월 1일 ~ 10월 31일 벽면녹화 후면온도 그래프	146
[그림 4-72] 10월 1일 ~ 10월 31일 유리창 표면온도 그래프	147
[그림 4-73] 10월 1일 ~ 10월 31일 철재벽면 표면온도 그래프	148
[그림 4-74] 10월 1일 ~ 10월 31일 실내온도 그래프	149

요 약

1. 연구의 개요

□ 연구의 배경

- IPCC는 2100년까지 지구 평균온도 상승폭을 1.5°C 이내로 제한하기 위해서는 전 지구적으로 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 최소 45% 이상 감축하여야 하고, 2050년경에는 탄소중립(Netzero)을 달성하여야 한다는 경로를 제시함.
- 국제 환경의 변화에 능동적으로 대응하며 디지털 전환과 그린 전환에 더욱 속도를 높이고, 격차 해소와 안전망 확충, 사람투자에 더 많은 관심을 기울이는 한 단계 진화한 전략.
- ‘안전망 강화’를 ‘휴먼 뉴딜’로 확대해 디지털·그린 뉴딜과 더불어 또 하나의 새로운 축으로 세워 추진하고 탄소 중립 달성을 위한 기초자치단체의 역할과 책임이 강조되고 있음.
- 에너지 소비 절감 및 신재생 에너지 보급 등(제로에너지 건물, 에너지 자립 건물)이 의무적으로 적용되고 있음. 기존 건물의 경우, 현장 상황의 한계(주민 협조, 비용 부담, 안정성) 등으로 인해 신규 건물 수준의 적극적인 제로에너지 건물을 위한 기술 도입이 어려운 상황임.
- 기존 건물에 대한 에너지 자립 방안으로 창호 교체, 노후 설비 교체 및 균열 보강 등 다양한 방안 제시됨. 최근에는 자연기능이 강조된 벽면 및 옥상 녹화에 대한 관심 증가함. 건물 온도 감소 효과는 에너지 사용량 절감과 시민 생활 환경 개선 등 다양한 기후변화 대응 방안으로 활용함. 도심 녹지(생태) 공간 조성, 물 순환 기여 등 여러 도시문제의 해법으로도 기여함.

- 2021년 고양시에서는 탄소중립·저탄소 녹색생활 실천을 위해 공공청사 녹화 및 녹색정원 조성을 목적으로 일산서구청에 수직정원을 조성하였음. 고양시에서 공공 시설물의 벽면 녹화도입은 선도적인 사업으로 볼 수 있으며, 고양시 전역으로 확산이 필요한 부분임.

□ 연구의 목적

- 본 연구의 목적은 일산서구청에 조성된 벽면 녹화시스템의 성능 평가, 개선 방안 제시 및 향후 고양시 도입 방안을 제안하는 것임. 본 연구의 핵심 연구 내용은 벽면녹화와 관련된 정책 및 사례 조사, 현장 측정 데이터 기반 데이터 분석 그리고 개선 및 확산 방안 도출임.

2. 국내·외 연구 현황

□ 서울시 '서울형 옥외 수직정원' 조성사업

- 서울시는 2019년 '서울형 옥외 수직정원(Vertical Garden)' 사업을 처음으로 시도하여, 종로구에 위치한 '돈의문 박물관 마을'을 1호로 1,000㎡ 규모의 수직정원 조성하였음.
- 벽면녹화의 경우, 건물 외벽에 화분을 꽂을 수 있는 틀을 설치해 화분을 끼워 넣는 방식을 적용하였으며, 수직정원을 지속적이며 효율적으로 관리할 수 있도록 자동관수시스템(점적관수, 미스트관수)이 구축되었음.

□ 경기도 '그린커튼' 조성사업

- 경기도는 2021년부터 도내 관공서, 학교, 도서관, 임대주택 단지 등 87곳을 대상으로 '그린커튼(Green Curtain)' 조성사업을 실시하였음. 수원시의 기존 그린커튼 조성 매뉴얼과 노하우를 토대로, '경기도 그린커튼 만들기' 매뉴얼을 제작하였음.
- 경기도는 심미적 효과가 우수하고 유지관리가 쉬운 그린커튼 도입식물 품종을 추

가 개발하는 등 도심녹화 후속사업도 준비중임.

□ 경상남도 벽면녹화 사업

- 경상남도는 공공시설 옥상과 벽면 등을 녹화하는 인공지반 녹화 사업을 실시하였음. 기후변화에 대응하고 녹색도시 구축을 위해 공공시설 녹화사업을 위한 수요조사를 진행하였음.
- 경상남도는 공공시설 녹화가 확대되면 경관 향상과 더불어 미세먼지 저감, 도시 열섬현황 완화 등 기후변화에 대응할 수 있는 역할을 해 건물뿐만 아니라 전반적인 도시환경 개선에도 효과가 있을 것으로 기대하고 있음.

□ 전라남도 순천시 벽면녹화 사업

- 전라남도 순천시는 인공지반 건축물 녹화 활성화를 위해 시민들의 참여를 독려하고자 공공건축물 벽면녹화 사업을 시범적으로 추진하였음.
- ‘순천형 벽면·옥상녹화’ 모델화를 진행하고 있음. 녹색건축물 조성 아이디어 공모전 등을 개최하여 녹색건축물의 조성 확대를 계획하고 있음.

□ 서울시청 신청사 실내 수직정원

- 서울시청 신청사 내에는 청사 7층 높이(28m) 수직벽에 약 2,000㎡의 세계 최대 규모 실내 대형 벽면녹화를 조성하였음.
- 서울시청 내 수직정원은 계단 형식의 화분에 수관이 있어 물을 공급할 수 있고, 사다리차를 이용해 식물을 꾸준히 관리중임.

□ 천안시청 'IoT 컨트롤 녹색 실내 수직공원'

- 천안시는 산림청 공모사업을 통해 시청 내에 전국 최대 규모 실내정원을 조성하기 위해 시청 1층 민원실과 로비 등에 바닥부터 천정에 이르는 벽면에 공기정화 식물을 식재하였음.
- 1년 365일 관수, 조명, 습도 등을 IoT를 통해 시스템을 가동하고 점검하는 첨단 설비를 적용하여 보다 간편하게 유지관리하고 있음.

□ 서울시 강동구청 벽면녹화

- 강동구는 2016년 2월 구청사(구 성내지구대) 약 500m에 철근콘크리트 구조 3층 정도의 면적으로 벽면녹화 사업을 추진하였음. 식물은 야생화 개화시기를 고려해 배식함으로써 계절별 다양한 경관을 연출하고, 겨울에도 70% 이상 녹색을 유지하고 있음.

□ 미국

- 미국은 벽면녹화를 촉진하기 위해 미국 내 다양한 주들이 자체적인 지원 프로그램 및 정책을 늘려가는 추세임. , 더 많은 빌딩 면적을 녹화할 수 있고 인테리어 측면에서도 독특함을 더할 수 있는 벽면녹화가 새로운 트렌드로 떠오르고 있음.

□ 일본

- 일본의 대표적 수직정원을 적용한 건물은 해체주의 건축가 에밀리오 암바즈가 설계한 자연 친화적 건축물인 ‘후쿠오카 아크로스 빌딩’임. 텐진 중앙공원 쪽에서 바라보는 건물 전면은 수만 그루의 푸른 식물로 뒤덮인 스텝가든(계단식 정원)이기 때문에 주변 녹지와 어우러져 아름다운 경관을 연출함.

□ 중국

- 중국에서는 광시좡족자치구의 류저우 시 당국과 이탈리아 건축가 스테파노 보에리

가 손을 잡고 건설중인 미래형 녹색 신도시 '포레스트 시티(Forest City)' 프로젝트를 추진하였음.

□ 이탈리아 밀라노 '보스코 베르티칼레(Bosco Verticale)' 수직 숲

- '보스코 베르티칼레'에는 높이 3m 이상의 나무 730그루 및 각종 관상목 5,000여 그루와 11,000여 그루의 초화류, 덩굴식물을 식재하였음. 또한 식물을 관리할 때 필요한 용수는 생활 하수를 정수한 물로 사용하도록 설계하였음

□ 인도네시아 자카르타 '인틸란드 타워'

- '인틸란드 타워'는 일반적인 박스형 외관이 아닌 발코니 공간에 열대식물을 심는 방법을 적용하여 도시 환경적 측면은 물론 실내 공간 환경에 긍정적 영향을 줌.

□ 프랑스 파리 '플라워 타워'

- 파리 17구역에 위치한 '플라워 타워'는 건축가 '에드와르 프랑소와'의 설계로, 건물의 한 쪽 파사드를 제외한 3면의 30개 세대의 외부 복도에 건물과 일체가 된 380개의 콘크리트 화분 형태의 구조물을 두고, 화분에는 성장이 빠른 대나무종을 식재하였음.

3. 연구 대상 시설과 방법, 현황

□ 연구 대상 시설 개요

- 고양시 일산서구 중앙로 1600(대화동) 고양종합운동장 맞은 편에 위치한 일산서구청을 테스트 베드로 정하였음. 2022년 건축물 녹화사업의 일환으로 일산서구청 외벽을 수직정원으로 기조성하였기 때문에 별도의 녹화모듈 등의 설치는 제외하고, 구성되어 있는 벽면녹화 시스템에 모니터링 시스템을 구축하여 비교·분석하고자 하였음.

□ 연구 대상 시설 건물 벽면녹화 시스템 구축 상황

- 일산서구청 외벽을 녹화하는 방식은 ‘포트형 식생패널 부착’ 방식으로, 화분을 벽체에 고정하여 식물이 안정적으로 오랜 기간 지속되고 관리가 어렵지 않아 최근 가장 많이 적용되고 있는 방식임.
- 토양층과 급수구가 격막에 의해 분리가 되어 있어 수분의 저류량이 증가함과 동시에 원활한 배수가 가능한 구조로 되어 있으며 물넘이 방식으로 패널 전체에 수분이 공급되는 방식을 사용하였음.
- 식물의 건전한 생육 및 유지관리에 필수적인 수분을 공급량 이상으로 저류시키고 토양에 흡수시키는 역할을 하는 보습매트와 식물생육 기반재인 토양이 담기는 포켓으로 토양 함수율을 높이는 기능을 하는 식물포켓을 적용하였음.
- 실험군, 대조군 및 비교군은 일산서구청 4층 비상상황실 주변에 설치하였고, 실내에 전기패널과 PC를 설치하여 모니터링 결과의 축적 및 확인을 가능하게 하였음.

□ 모니터링 방법

- 실험군, 대조군과 비교군의 데이터 축적 및 분석을 위해 실험군에는 표면, 후면 2개의 온도센서를 설치하였고, 유리창인 대조군 1에는 표면 온도센서 1개, 철제벽면인 대조군 2에도 표면층 온도센서 1개, 실내온도인 비교군에는 실내 온도센서 1개를 각각 설치하였음.
- 센서를 통해 측정된 값들은 벽면녹화 모니터링 프로그램을 통해 실시간으로 모니터링되며, 10분 간격으로 자동 저장되도록 하였음. 그리고 1일(24시간) 간격으로 축적된 데이터 값을 폴더에 자동 저장되도록 하였음.

4. 데이터 분석

□ 측정위치에 따른 온도 비교

- 비녹화 구간인 유리창 및 철제벽면 표면이 녹화구간인 벽면녹화 표면 및 후면보다 높은 최대온도를 나타냈다. 각 표면의 최대온도는 철제벽면 표면 58.88°C, 유리창 표면 54.90°C, 벽면녹화 전면 42.26°C, 벽면녹화 후면 39.66°C로 나타났으며, 철제벽면 표면과 벽면녹화 후면의 온도 차이가 19.22°C로써 최대 차이를 나타냈다.

□ 에너지 저감량 분석

- 일산서구청 전체 연면적을 적용하고, 1일 4시간 냉방을 가동하는 조건으로 월 효과를 분석하였음. 시간, 온도, 면적에 따른 전기 사용량을 통해 CO₂ 배출량을 계산하여 총 저감량을 산정하였음. 이에 대한 탄소거래세를 적용하여 탄소세를 산정하고 나무 한그루 당 연간 CO₂ 흡수량을 통해 나무로 환산하였음.
- 녹화구간으로부터 건물로 전달되는 온도인 벽면녹화 후면온도와 표면온도가 가장 높았던 철제벽면 온도와의 차이를 전력 저감량 및 전력비로 환산한 결과, 전력 저감량 : 9,494 kW, 전력비 : 2,616,527원으로 나타났음.
- ‘온도 저감에 따른 전력 저감 효과 분석’을 통해 얻은 전력 저감량을 토대로 CO₂ 감축량으로 환산한 결과 약 7,785 kg CO₂로 나타났고, 이것을 나무 심는 효과로 나타냈을 때 30년 수령의 중부지방 소나무 약 856그루를 심는 효과를 나타냈음.

제 1 장

연구의 개요

제1절 연구 배경

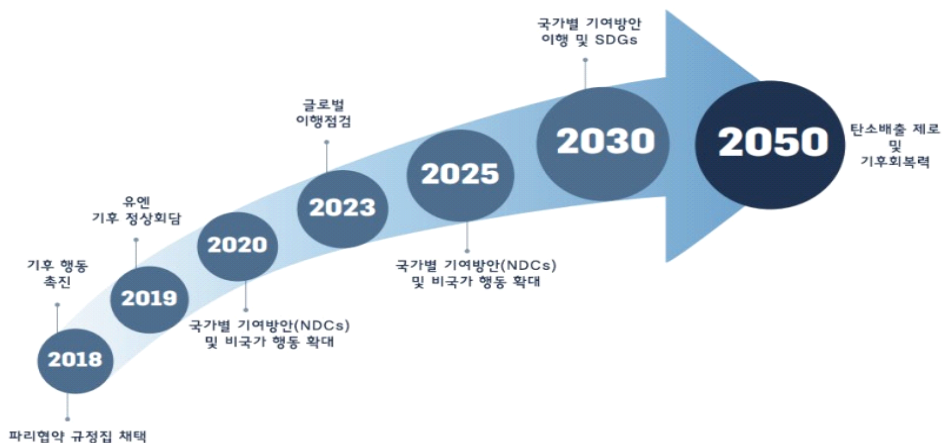
제2절 연구 필요성

제철 연구 배경

1. 탄소 중립 관련 정책 추진 구조

현재 기후변화는 전 지구적인 핵심 이슈로 기후변화 감축 및 적응을 위해 도시, 경제 및 사회 등 전 분야에서 혁신적인 변화 필요성이 제시되고 있다. 이에 우리나라에서도 2050 탄소중립선언, 한국판 뉴딜 계획 발표 및 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제정 등 기후변화에 대응하기 위한 적극적인 정책을 수립·추진하고 있다. 여기서, 탄소 중립 관련 정책 추진 구조도 과거 중앙 정부 중심 구조에서 기초자치단체 중심 구조로 변화하고 있는 것은 주목해야 할 부분이다. 기술한 내용을 정리하면 탄소 중립 달성을 위한 기초자치단체의 역할과 책임이 강조되고 있으며, 기초자치단체의 탄소 중립 정책에 대한 적극적인 추진 의지가 요구되고 있다고 해석할 수 있다. 고양시는 전 지구 및 중앙정부의 탄소 중립에 적극적으로 동참하기 위해 2019년 ‘파리기후변화 협약 준수를 위한 환경정책’을 수립하였고, 이 후 자체적 이행 점검을 통해 추진 상황에 대해 모니터링 및 평가를 실시하는 상황이다.

[그림 1-1] 2050 탄소 배출 제로 및 기후 회복

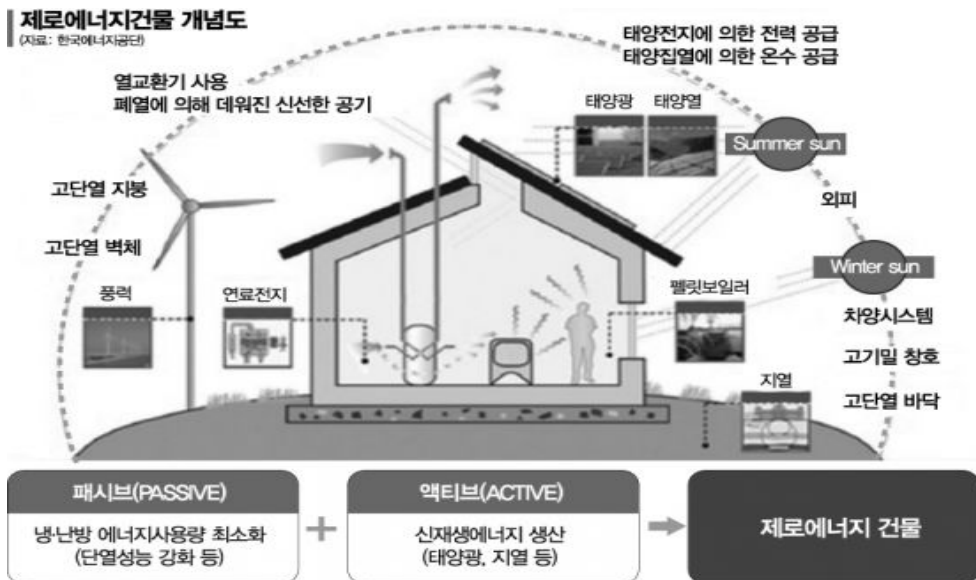


<출처> 유엔글로벌콤팩트 한국협회(www.unglobalcompact.kr)

2. 건물 온실가스 배출 감축

고양시와 같은 일반적인 도시에서 온실가스 배출 비중이 높은 분야는 건물 및 교통 분야이며, 대부분 에너지 소비(화석에너지)로 인한 것으로 보고되고 있다. 그 중 건물은 시민들에게 주거, 상업 및 문화 등 시민 생활과 밀접한 공간을 제공하는 도시 구성의 기본적인 시설물이다. 즉, 도시에서 건물 분야 발생 온실가스 배출(특히, 에너지) 감축은 도시의 탄소 중립을 위해 반드시 필요하다고 할 수 있다. 신규 건물은 규모 별 기준이 상이하지만, 일정 규모 이상일 경우 에너지 소비 절감 및 신재생 에너지 보급 등(제로 에너지 건물, 에너지 자립 건물)이 의무적으로 적용되고 있다. 하지만 기존 건물의 경우, 주민 협조, 비용 부담, 안정성 등의 현장 상황의 한계로 인해 신규 건물 수준의 적극적인 제로 에너지 건물을 위한 기술 도입이 어려운 상황이다. 이와 같은 상황이 지속되어 신규 건물에서 일정 수준 이상의 에너지 자립률을 확보하게 되면, 기존 건물과 에너지 소비량의 격차가 증가할 것이다. 즉, 기존 건물에 대한 적극적인 에너지 자립 방안 도입이 요구되는 시점이다.

[그림 1-2] 제로 에너지 건물 개념도



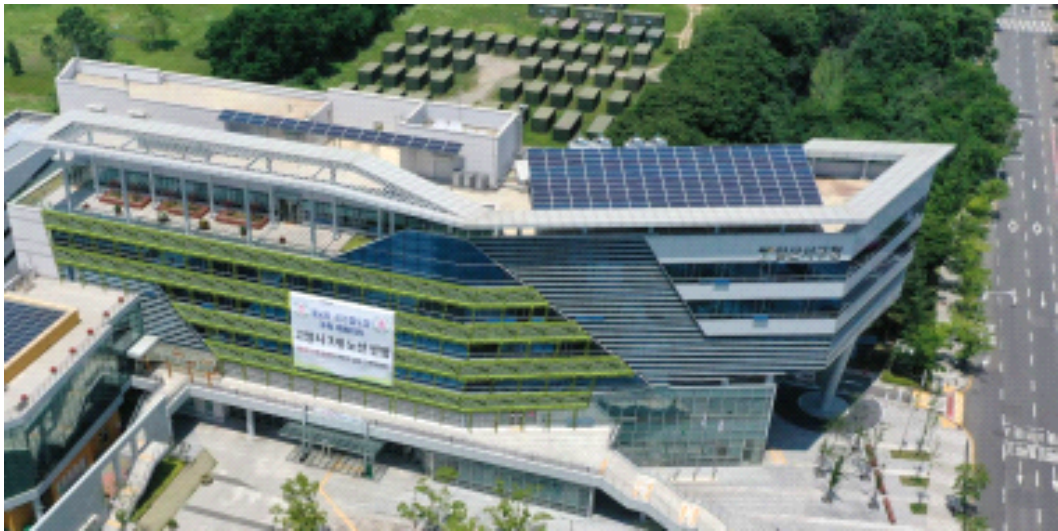
<출처> 한국에너지공단(www.energy.or.kr)

기존 건물에 대한 에너지 자립 방안으로는 창호 교체, 노후 설비 교체 및 균열 보강 등 다양한 방안 등이 제시되고 있으나, 최근에는 자연기능이 강조된 벽면 녹화에 대한 관심이 증가하고 있는 실정이다. 벽면 및 옥상 옥상 녹화는 식물 및 토양의 자연적 기능 등을 활용하여 발생하는 온실가스를 저장하고, 태양복사에너지 흡수 및 반사율 증가 등 건물 내 기온 상승 영향 인자들을 제한함으로써 최종적으로 건물 내·외부 온도 감소 효과를 기대할 수 있다. 그리고 이런 건물 온도 감소 효과는 에너지 사용량 절감과 시민 생활 환경 개선 등 다양한 기후변화 대응 방안으로 활용될 수 있다. 또한, 도심 녹지(생태) 공간 조성, 물순환 기여 등 여러 도시문제의 해법으로도 기여할 수 있다.

3. 고양시 벽면녹화

2021년 고양시에서는 탄소중립·저탄소 녹색생활 실천을 위해 공공청사 녹화 및 녹색정원 조성을 목적으로 일산서구청에 수직정원을 조성하였으며, 그 계획도 및 현황 사진은 아래에 나타내었다. 고양시에서 공공시설물의 벽면 녹화도입은 선도적인 사업으로 볼 수 있으며, 고양시 전역으로 확산이 필요한 부분이다. 또한 이를 위해서는 필연적으로 추진 사업에 대한 공학적 분석 기반의 성능평가가 수반되어야 한다.

[그림 1-3] 일산서구청 벽면녹화



(a) 일산서구청 벽면녹화 계획도



(b) 일산서구청 벽면녹화

<출처> 일산서구청 웹사이트(<https://www.goyang.go.kr/ilswgu/index.do>)

제2절 연구의 필요성

본 연구의 목적은 일산서구청에 조성된 벽면 녹화시스템의 성능 평가, 개선 방안 제시 및 향후 고양시 도입 방안을 제안하는 것이다.

본 연구의 핵심 연구 내용은 벽면녹화와 관련된 정책 및 사례 조사, 현장 측정 데이터 기반 데이터 분석 그리고 개선 및 확산 방안 도출이며, 세부 연구 내용 및 연구 방법은 [표 1-2]에 정리하였으며, 본 연구에서 활용할 성능평가 항목은 [표 1-3]에 정리하였다.

[표 1-1] 세부 연구 내용 및 연구 방법

연구 내용	연구 방법
국내외 벽면녹화 정책 조사	- 문헌 조사
국내외 벽면녹화 사례 조사	- 문헌 조사
국내외 벽면녹화 연구 동향 조사	- 문헌 조사
고양시 벽면녹화 정책 조사	- 문헌 조사
고양시 벽면녹화 현황 조사	- 문헌 조사
현장 데이터 분석 : 온도, 사용자 만족도	- 현장조사 (데이터 측정) 시범 시설 측정 이용자 인터뷰 (또는 설문조사) 실시 - 데이터 분석 - 전문가 자문
성능 평가	- 데이터 분석 - 전문가 자문
개선 및 도입 방안 도출	- 데이터 분석 - 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 내·외부 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 전력생산량 및 전력소비량 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 설비로 인한 빗물유출 저감 및 침투유량 저감 효과 분석	
탄소 저감량 (전력)	전력 부문 탄소 저감량 분석	전력 소비량 및 전력 생산량을 기반으로 탄소 저감량 분석	
탄소 저감량 (흡수원)	흡수원 부문 탄소 저감량 분석	조성 식생으로 인한 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	2022년

제 2 장

국내·외 연구 현황

제1절 국내 벽면녹화 정책 및 현황

제2절 국외 벽면녹화 정책 및 현황

제3절 벽면녹화 연구 경향

제4절 고양시 벽면녹화 정책 및 현황

제절 국내 벽면녹화 정책 및 현황

1. 국내 벽면녹화 정책 현황

1) 서울시 '서울형 옥외 수직정원' 조성사업

서울시는 2019년 '서울형 옥외 수직정원(Vertical Garden)' 사업을 처음으로 시도하여, 종로구에 위치한 '돈의문 박물관 마을'을 1호로 1,000㎡ 규모의 수직정원 조성하였다. 돈의문 박물관 마을 내 서울도시건축센터 및 인접 건축물 5개동에 벽면녹화 552㎡, 옥상정원 170㎡, 온실 1동(77.74㎡) 증축, 가로녹지 등을 포함한다. 설계용역을 통해 조성규모, 녹화유형 및 공법 등을 확정하였으며, 해당 건축물에 대한 구조안전진단도 2018년 8월 완료하였으며, 약 15억원의 예산을 통해 지난 2020년 6월 완공되었다.

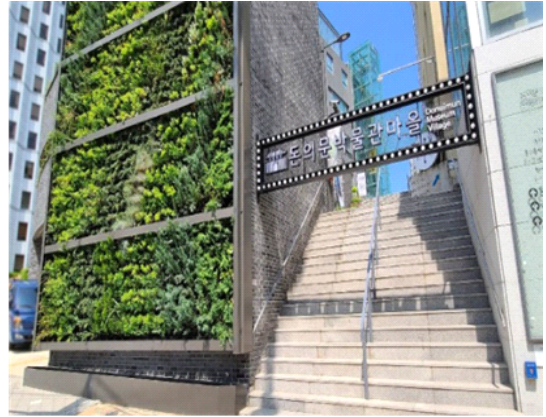
벽면녹화의 경우, 건물 외벽에 화분을 끼울 수 있는 틀을 설치해 화분을 끼워 넣는 방식을 적용하였으며, 겨울에도 푸르게 자라는 쯔눈향, 서양측백, 에메랄드 그린 등의 목본류와 상록기린초, 은사초 등 지피·초화류를 식재하였다. 또한, 수직정원을 지속적이며 효율적으로 관리할 수 있도록 자동관수시스템(점적관수, 미스트관수)이 구축되었다.

[그림 2-1] 서울형 수직정원 조성 전·후 모습



<출처> 서울시청 홈페이지(<https://www.seoul.go.kr/main/index.jsp>)

[그림 2-2] 돈의문 박물관 마을 조감도와 실제모습



[조감도]

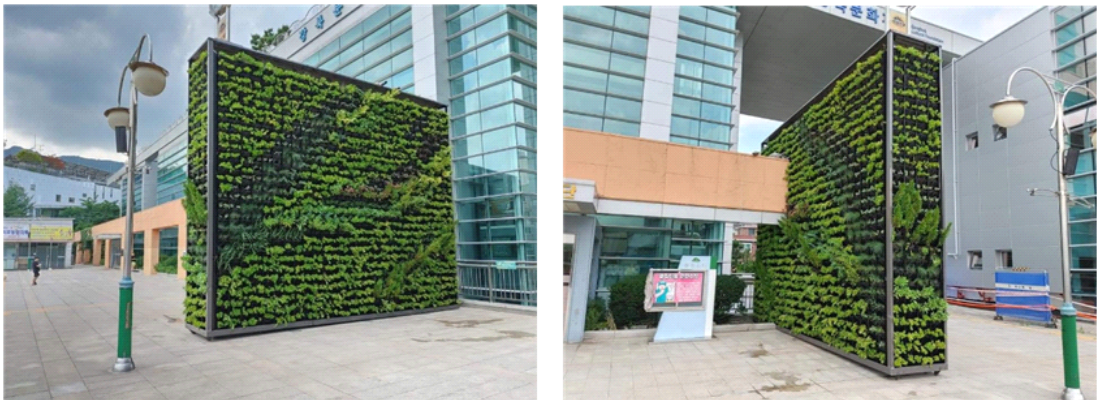
[실제모습]

<출처> 서울시청 홈페이지(<https://www.seoul.go.kr/main/index.jsp>)

서울시는 수직정원 기술을 활용한 건축물과 녹지공간 경계 허물기를 통해 도시녹화의 새로운 방안을 제시하고, 궁극적으로는 시 전역에 수직정원 조성사업에 대한 시민 공감대를 형성할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 또한, 수직정원의 조성으로 열섬현상 완화 및 미세먼지 농도 저감, 에너지 절감, 다양한 생물 서식환경 제공, 녹지 증가, 자연 정취로 인한 편안함·안정감 제공 등의 효과가 기대된다. 서울시는 수직정원을 통해 도심 내 부족한 녹지를 확충하고, 기후변화에 친환경적으로 대응하는 서울의 대표적인 도시녹화 뉴모델로 자리잡기를 바라며, 도시녹화의 새로운 방향성을 제시하고 시민들의 공감대를 형성함으로써 도시녹화문화를 확산할 수 있도록 노력하고 있다.

또한 수직정원 시범사업을 통해 2020년에는 마포구 장애인복지회관, 마포구 신수동 주민센터, 마포구 연남동주민센터, 마포구 홍익문화공원 화장실 등 총 4개소, 2021년에는 서대문구 연희동주민센터 1개소, 2022년에는 강북문화예술회관 1개소에 수직정원을 조성하였으며, 지속적으로 수직정원에 대한 기술력 보완과 모니터링을 실시하여 서울 시내 공공건축물 수직정원을 확산해 나갈 계획이다.

[그림 2-3] 강북문화 예술회관 수직정원 시범사업 사례



<출처> 강북구청 홈페이지(<https://www.gangbuk.go.kr/www/index.do>)

[그림 2-4] 서대문구 연희동 주민센터 수직정원 시범사업 사례



<출처> 서대문구청 홈페이지(<https://www.sdm.go.kr/index.do>)

[그림 2-5] 마포구 연남동주민센터 수직정원 시범사업 사례



<출처> 마포구청 홈페이지(<https://www.mapo.go.kr/site/main/home>)

[그림 2-6] 마포구 신수동주민센터 수직정원 시범사업 사례



<출처> 마포구청 홈페이지(<https://www.mapo.go.kr/site/main/home>)

2) 경기도 ‘그린커튼’ 조성사업

경기도는 2021년부터 도내 관공서, 학교, 도서관, 임대주택 단지 등 87곳을 대상으로 ‘그린커튼(Green Curtain)’ 조성사업을 실시하였다. 그린커튼은 건축물 또는 구조물 외벽에 녹색식물(나팔꽃, 풍선초 등)을 식재하여 여름철 태양광을 차단하여 녹색커튼이라고도 한다. 그린커튼은 여름철 태양광을 차단하여 실내온도 상승을 막아 전기 에너지를 절감할 수 있으며, 식물의 광합성에 의한 물 증발로 주변 온도를 낮추는 효과가 있다. 또한 녹색의 식물커튼은 심신을 안정시키는 힐링 역할과 동시에 시각적 더위를 덜 느끼게 하며, 하층의 외부시선 차단 및 도로변 소음 감소, 먼지 차단효과가 있다. 작물에 따른 계절별 경관을 제공하며, 자외선으로 인한 건물 노후화 및 부식을 감소시킨다.

[그림 2-7] 그린커튼 설치 효과



※ 그린커튼으로 가려진 곳과 햇빛이 직접 닿는 곳의 온도 차이가 15°C 이상

〈출처〉 수원시청 홈페이지(<https://www.suwon.go.kr/intro.jsp>)

경기도가 각 시·군의 정책 중 우수 정책을 발굴해 경기도 전체로 확산하는 정책소통 경로인 ‘경기도형 정책마켓’에서 대상을 수상한 수원시의 그린커튼 조성사업을 경기도 전역에 확대 조성하고자 하였다. 2021년 4월부터 학교 13곳, 도서관 31곳 등 도민 생활과 밀접한 생활 SOC 분야 84개 공간에 우선 설치 및 운영하며, 도민이 직접 거주하는 아파트 단재 내 편의시설 3곳에 시범사업을 추진하였다.

그린커튼은 제한된 도심공간에서 별도의 토지 매입없이 약 10억원의 예산으로 축구장 2개 면적 (14,080㎡)의 녹색 쉼터를 제공한다. 또한 사업의 시행착오를 최소화하기 위해 수원시의 기존 그린커튼 조성 매뉴얼과 노하우를 토대로, ‘경기도 그린커튼 만들기’ 매뉴얼을 제작하였다. 매뉴얼에는 설치 자재와 설치 방법, 설치 후 관리방법까지 알기 쉽게 풀어내어 도민이 그린커튼을 쉽게 이해하고 그린커튼 사업이 전 시·군으로 확산하는데 유용한 자료로 활용하고자 한다. 경기도는 심미적 효과가 우수하고 유지관리가 쉬운 그린커튼 도입식물 품종을 추가 개발하는 등 도심녹화 후속사업도 준비중이다.

[그림 2-8] 수원시 그린커튼 조성 사례 (화성행궁, 기후변화체험관 두드림)



[수원시 화성행궁]



[수원시 기후변화체험관 두드림]

〈출처〉 수원시청 홈페이지(<https://www.suwon.go.kr/intro.jsp>)

[그림 2-9] 수원시 그린커튼 조성 사례 (팔달구청, 컨벤션센터)



[수원시 팔달구청]



[수원 컨벤션센터]

<출처> 수원시청 홈페이지(<https://www.suwon.go.kr/intro.jsp>)

[그림 2-10] 그린커튼 조성 매뉴얼



[수원시 그린커튼 조성매뉴얼]



[경기도 그린커튼 만들기 매뉴얼]

<출처> 수원시청 홈페이지(<https://www.suwon.go.kr/intro.jsp>)

3) 경상남도 벽면녹화 사업

경상남도는 공공시설 옥상과 벽면 등을 녹화하는 인공지반 녹화 사업에 2021년부터 2025년까지 5년간 578억원의 예산을 투입한다. 기후변화에 대응하고 녹색도시 구축을 위해 공공시설 녹화사업을 위한 수요조사를 진행하였으며, 사업 대상은 도내 현재 무더위 쉼터로 지정됐거나 추후 무더위 쉼터로 지정 예정인 공공시설 중 옥상 또는 벽면녹화가 필요한 시설 또는 기존에 완료됐거나 현재 공사 중인 옥상녹화사업 등의 추가 보완사업도 가능하다. 옥상 또는 벽면녹화 사업과 함께 폭염저감시설·휴게시설 등을 설치하는 사업의 건축물 구조안전진단 비용과 사업추진을 위해 필요한 검사비도 사업비에 포함된다. 경상남도는 공공시설 녹화가 확대되면 경관 향상과 더불어 미세먼지 저감, 도시 열섬현상 완화 등 기후변화에 대응할 수 있는 역할을 해 건물뿐만 아니라 전반적인 도시환경 개선에도 효과가 있을 것으로 기대하고 있다.

또한, 환경부가 주관하며 비점오염 발생 우려가 크고 물순환율이 낮은 노후 산업단지 내 도로, 우수관로 등 기반시설 정비에 저영향개발기법(LID)을 적용하여 인접 하천수질 개선과 식생대 조성 등을 통한 탄소중립 실현에 기여하기 위한 ‘저탄소 그린산업단지 조성 공모사업’에 최종 선정되어 진주에 위치한 상평일반산업단지를 새롭게 조성할 계획이다. 주요 사업내용은 ▲ 산업체가 집적된 초기 빗물 제로화 구간에는 침투우수관로 설치, 식생도랑 등 식생형 LID시설을 조성하고 ▲ 기후변화 집중 대응 구간에는 폭우 대응 능력 향상과 열섬 현상 완화, 재비산먼지 저감 개선을 위해 기존 빗물이용시설(지하저류조)과 연계한 도로 투수포장, 옥상녹화 사업 등을 시행하며 ▲ 주거지 인근지역인 탄소흡수원 확대 구간에는 벽면녹화, 식생수로, 식생도랑 등 도시 숲길을 조성할 계획이다.

[그림 2-11] 경상남도 벽면녹화 정책



<출처> 경상남도청 홈페이지(<https://www.gyeongnam.go.kr/index.gyeong>)

4) 전라남도 순천시 벽면녹화 사업

전라남도 순천시는 인공지반 건축물 녹화 활성화를 위해 시민들의 참여를 독려하고 자 공공건축물 벽면녹화 사업을 시범적으로 추진하였다. 건축 조례, 녹색건축물 조성 지원조례 등 자치 법규를 개정하였으며, 이를 통해 건축물의 용도와 규모에 제한없이 공사비의 80%범위 내에서 최대 4천만원까지 지원한다. 녹색건축물 조성 시범사업의 일환으로 공공건축물인 조곡동, 덕연동 행정복지센터에 벽면녹화 시공을 완료하였다. 일반적으로 벽면녹화는 주로 실내나 외부 장식요소 등 소규모로 식재를 하거나, 옹벽 구조물에 덩굴식물을 식재하는 방식이나, 본 시범사업에서는 녹화의 시각효과보다는 도심 생태환경과 시설 유지관리 측면을 고려해 조성하였다. 순천시는 전라남도에서 사업비를 지원받아 공공건축물 시범사업을 추진하고 있으며, 이를 통해 ‘순천형 벽면·옥상녹화’ 모델화를 진행하고 있다. 녹색건축물 조성 아이디어 공모전 등을 개최하여 녹색건축물의 조성 확대를 계획하고 있다.

[그림 2-12] 전라남도 순천시 벽면녹화 시범 사업



[조곡동 행정복지센터]



[덕연동 행정복지센터]

<출처> 전라남도청 홈페이지(<https://www.jeonnam.go.kr>)

2. 국내 벽면녹화 조성 사례

1) 서울시청 신청사 실내 수직정원

서울시청 신청사 내에는 청사 7층 높이(28m) 수직벽에 약 2,000m²의 세계 최대 규모 실내 대형 벽면녹화를 조성하였다. 수평적 서울광장을 수직적 건축물 벽면으로 이어 시정과 시민, 자연이 함께하는 주제를 반영하기 위한 건축물 디자인으로, 실내 벽면에 살아있는 식물을 식재해 공간 활용을 높이고 자연을 재현한 미래형 친환경 공간이다. 2013년 세계 최대 규모로 기록되어 기네스북에 등재되기도 하였다.

스킨답서스, 산호수 등 14종류 약 65,000본의 식물을 식재함에 따라 산소, 음이온을 배출하여 공기정화 효과 및 쾌적한 실내환경을 조성한다. 또한 실내 오염물질(이산화황, 암모니아 등) 및 미세먼지 제거 효과도 있다. 추가적으로 온도, 습도 등 미기후를 조절해주며, 심리적 안정감 기여는 물론 정서 순환 기능도 기대된다. 서울시청 내 수직정원은 계단 형식의 화분에 수관이 있어 물을 공급할 수 있고, 사다리차를 이용해 식물을 꾸준히 관리중이다.

[그림 2-13] 서울시청 신청사 실내 수직정원



<출처> 서울시청 홈페이지(<https://www.seoul.go.kr/main/index.jsp>)

2) 천안시청 ‘IoT 컨트롤 녹색 실내 수직공원’

천안시는 산림청 공모사업을 통해 시청 내에 전국 최대 규모 실내정원을 조성하였다. 시청 1층 민원실과 로비 등에 바닥부터 천정에 이르는 벽면에 공기정화 식물을 식재하였으며, 전체 700㎡에 산호수, 남천, 스킨답서스 등 실내 공기정화식물 10종 28,660본을 심어 식물원에 들어온 느낌을 받도록 조성하였다. 휴게공간 앞 기둥을 활용하여 거대한 생명의 나무가 힘차게 뻗어나가는 이미지를 연출하고자 실제 나무껍질과 목대를 이용해 천안의 특산물인 호두와 호두나무를 형상화하였다. 녹화 구간 중 가장 큰 면적을 차지하는 당직실 벽면 248㎡ 규모에는 테이블 야자 등 10종 14,000여본을 식재하여 사계절 내내 실내 습도 조절 및 푸른 경관을 제공한다. 또한 시민들이 가장 많이 찾는 민원실은 입구 벽면과 안내데스크, 기둥 등을 활용해 살아있는 이끼를 친환경적으로 시공하여 공기 정화와 습도 조절이 가능하도록 하였다. 1년 365일 관수, 조명, 습도 등을 IoT를 통해 시스템을 가동하고 점검하는 첨단 설비를 적용하여 보다 간편하게 유지관리하고 있다.

[그림 2-14] 천안시청 실내 수직정원



<출처> 천안시청 홈페이지(<https://www.cheonan.go.kr>)

3) 서울시 강동구청 벽면녹화

북한강과 남한강의 물줄기가 합쳐진 한강의 물줄기를 가장 먼저 맞이하는 강동구는 서울에서 보기 드문 천혜의 자연환경을 품은 자치구로, 이를 토대로 ‘환경도시’ 이미지도 지속적으로 발전시키고 있다. ‘환경이 쾌적한 친환경 생태도시’를 만들기 위해 노력하며, 지속가능한 행복도시로 나아가기 위해 환경적 지속 가능성을 기본 전제로 벽면녹화를 추진하였다. 건물 외벽 4면에 수직정원을 조성해 도심 열섬 현상을 줄여주고 여름철 건물 내,외의 기온 하강으로 인한 에너지 절약 및 이산화탄소 등을 포함한 미세먼지 흡수원을 늘려 대기오염물질을 저감 효과가 있다. 또한 사계절 녹색의 미관이 유지될 수 있도록 조성해 주민들의 심미감을 높여주고, 강동구가 추진하고 있는 ‘1가구 1정원 만들기’ 사업운동의 대안이 될 수 있음을 제시하는 의미도 담겨져 있다.

강동구는 2016년 2월 구청사(구 성내지구대) 약 500㎡에 철근콘크리트 구조 3층 정도의 면적으로 벽면녹화 사업을 추진하였다. 식물은 야생화 개화시기를 고려해 배식함으로써 계절별 다양한 경관을 연출하고, 겨울에도 70% 이상 녹색을 유지하고 있다. 특히 벽면녹화에 관목이 많은 부분을 차지하고 있다는 것이 색다르다. 일반적으로 실외에 조성되는 수직정원의 가장 큰 애로사항은 겨울철 추위로 인해 초화류가 잎을 떨구고 동면에 들어가 겨울철 경관을 유지하기가 어려운 것이다. 강동구청에 적용한 벽면녹화는 겨울철 피복력을 높이기 위해 관목을 70% 식재하였으며, 그 중의 70%는 상록성 식물이다. 회양목 등 8종 14,480주의 관목과 구절초 등 8종 9,340본의 야생화를 식재했다.

벽면녹화를 안정되고 지속 가능하게 하기 위해 관목을 적용한 이유는 관목이 야생화도 피복밀도가 좋으며, 수직정원 자체가 양분공급이 적어 성장을 둔화시킬 수 있다. 보통 다년생 식물은 생육이 3년 이내에 최고조에 달하고, 그 이후부터는 점차 세력이 약해지나 관목은 보통 10년 정도 유지된다. 관목이 초화류에 비해 꽃이 적은 것은 단점이나 꽃이 피지 않더라도 잎의 색깔이 화려한 식물을 적용하여 경관성을 향상시켰다.

[그림 2-15] 강동구청 벽면녹화



<출처> 강동구청 홈페이지(<https://www.gangdong.go.kr>)

제2절 국외 벽면녹화 정책 및 현황

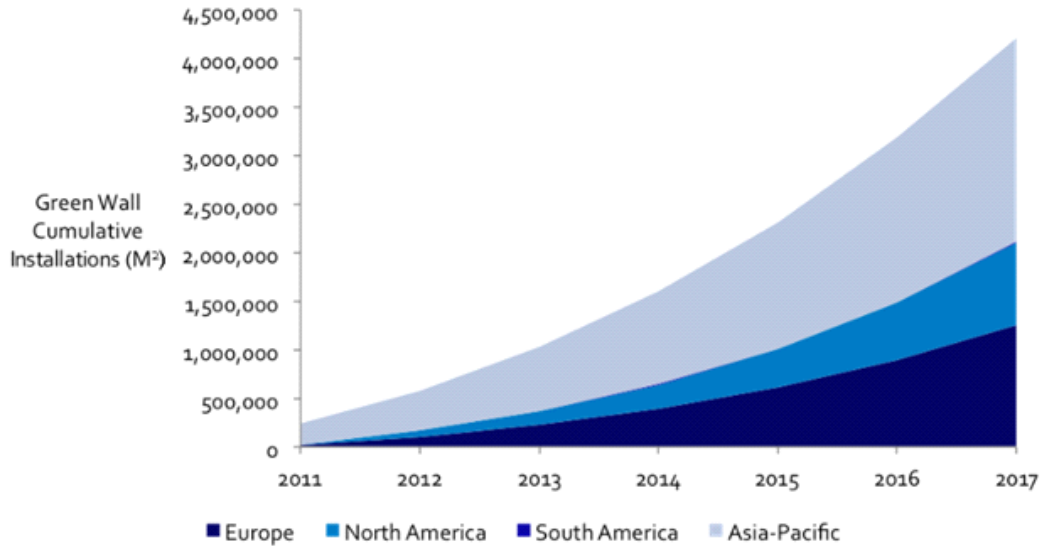
1. 국외 벽면녹화 정책 현황

1) 미국

최근 코로나19로 인한 팬데믹 기간 동안 벽면녹화의 수요가 급증하였으며, IoT 기술과 식물 재배의 결합으로 벽면녹화 시장이 더욱 성장하였다. 과거에는 ‘녹색지붕(Green Roofs)’이 빌딩 녹지화를 위한 대표적인 수단으로 사용되었으나, 더 많은 빌딩 면적을 녹화할 수 있고 인테리어 측면에서도 독특함을 더할 수 있는 벽면녹화가 새로운 트렌드로 떠오르고 있다. 2017년까지 글로벌 벽면녹화 설치면적은 아시아·태평양 지역이 가장 선두를 달리고 있었다. 북미지역은 상대적으로 벽면녹화 시장이 소규모였는데, 이는 아시아에 북미지역이 인구 밀집도가 낮고 교외지역이 넓어 전통 녹지가 많이 조성되어있기 때문이었다. 그러나 전 세계적으로 온실가스 감축 및 친환경 도시 조성이 화두가 되면서 도심지역 중심 벽면녹화 시장은 꾸준히 성장할 것으로 예측된다. 글로벌 벽면녹화 시장은 2019년 2,136억 달러 규모로, 연 평균 8.2% 성장하여 2027년 4,026억 달러 규모까지 성장할 것으로 예측된다.

미국 환경부(EPA)에서는 녹색 기반(Green Infrastructure) 건설에 대해 다양한 자금 지원 프로그램을 운영하고 있다. 옥상녹화는 Green Infrastructure으로 분류되어 연방 차원의 지원 프로그램이 존재하나, 벽면녹화는 환경부에서 Green Infrastructure로 분류하지 않았다. 벽면녹화를 촉진하기 위해 미국 내 다양한 주들이 자체적인 지원 프로그램 및 정책을 늘려가는 추세이다.

[그림 2-16] 글로벌 벽면녹화 설치 면적 및 시장 규모



[2011~2017 글로벌 벽면녹화 설치면적]



[2019~2027 글로벌 벽면녹화 시장전망]

<출처> kotranews(<https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news>)

[표 2-1] 미국 벽면녹화 관련 정책

적용 주 (States)	정책명	주요내용	도입연도
Washington	Green Factor	조경이 필요한 지역에 대해 최소한의 녹색 지표(Green Factor) 점수를 충족할 것을 요구. 녹색 지붕/ 녹색 벽 등의 요소별 평방피트당 점수가 계산됨.	2007
Massachusetts	Viewshed Overlay District Vegetated Rooftops and Vegetated Walls Requirement (974CMR 3.04(8) (i)5)	Viewshed Overlay District의 건물에 대해 가능한 많은 녹색 지붕 및 녹색 벽을 설치하는 설계 표준 요구	2013
Washington D.C.	Green Area Ratio	모든 신축 건물에 대해 적절한 녹지 비율(Green Area Ration)을 충족할 것을 요구하며, 조경요소당 구체적인 충족 기준을 제시 - 녹색 지붕: 최소 5-7종의 식물이 있어야 하며 2년 후 최소 80% 범위 달성 - 녹색 벽: 최소 1입방피트의 토양과 10제곱피트의 녹색 파사드를 포함해야 함.	2013
Washington D.C 외 20개 주	Property Assessed Clean Energy (PACE) Financing	에너지 효율성, 재생 가능 프로젝트 및 건물의 재난 복원력 개선을 위한 자금을 지원하는 프로젝트로 녹색 지붕/벽 설치와 유지 보수 비용에 대해 5~25년 장기 상환 대출 제공	2018

2) 일본

2011년 일본 대지진, 후쿠시마 원전사고로 인해 당시 일본은 전력 공급난에 시달렸다. 이를 극복하기 위해 일본 정부에서 내놓았던 정책 중 하나가 ‘수직정원’ 정책이다. 수직정원의 전력 소비량 감소 효과를 인지한 일본 정부는 당시 관공서 뿐만 아니라 기업과 가정에도 설치를 장려하였다. 실제로 에너지 소비를 감소시키는 효과가 뛰어나 이후 수직정원을 활용한 건물이 본격적으로 급증하였다. 일본의 대표적 수직정원을 적용한 건물은 해체주의 건축가 에밀리오 암바즈가 설계한 자연 친화적 건축물인 ‘후쿠오카 아크로스 빌딩’이다. 아크로스 빌딩은 거리쪽에서 바라보면 평범한 건물처럼 보이나, 반대편 텐진 중앙공원 쪽에서 바라보는 건물 전면은 수만 그루의 푸른 식물로 뒤덮인 스텝가든(계단식 정원)이기 때문에 주변 녹지와 어우러져 아름다운 경관을 연출한다. 대한건설정책연구원 자료에 따르면 옥상녹화나 벽면녹화는 도시에서 열섬현상 완화, 아름다운 도시 공간 형성, 도시의 탈탄소화에 기여하기 때문에 전국적으로 추진되고 있으며, 국토교통성에서는 2000년부터 전국의 옥상·벽면 녹화 시공 실적을 조사하고 있다. 2021년 전국 옥상·벽면 녹화 실적 조사 결과, 옥상녹화는 약 14.4ha, 벽면녹화는 2.8ha 가 시공되었으며, 22년간 누적 옥상녹화는 약 578ha, 벽면녹화는 약 114ha가 진행되었다. 최근에는 상업시설이나 공장, 창고 등에서 옥상녹화 및 벽면녹화가 많이 진행되는 것으로 조사되었다.

[그림 2-17] 일본 후쿠오카 아크로스 빌딩



<출처> 한화건설(<http://blog.hwenc.co.kr/182>)

3) 중국

중국에서는 2017년 대기오염에 대응하기 위해 거주 공간에 친환경 요소를 접목한 친환경 프로젝트인 ‘포레스트 시티(Forest City)’ 프로젝트를 추진하였다. ‘포레스트 시티’는 중국 광시좡족자치구(廣西壯族自治區)의 류저우 시 당국과 이탈리아 건축가 스테파노 보에리가 손을 잡고 건설중인 미래형 ‘녹색 신도시’이다. 일명 ‘수직숲 도시(垂直森林城)’라고 불리기도 한다. 175만㎡ 규모의 부지에 3만명을 수용할 수 있는 미니 신도시급 주거단지를 구축하여 100여종의 식물과 4만여 그루의 나무들을 건물의 지붕, 베란다 등에 식재하였다. 건물 외곽을 감싸고 있는 식물들은 광합성을 통해 연간 22톤의 이산화탄소와 대기오염물질 57톤을 흡수하고 산소 11톤을 생산해내는 효과가 있다. 수직숲 도시에 심어진 모든 나무는 거친 바람을 견디는 내구성 시험을 거쳤으며, 200m 높이에서도 생존 가능하다고 알려져 있다.

[그림 2-18] 중국 포레스트 시티



<출처> 일요신문(https://ilyo.co.kr/?ac=article_view&entry_id=380675)

2. 국외 벽면녹화 조성 사례

1) 이탈리아 밀라노 ‘보스코 베르티칼레(Bosco Verticale)’ 수직 숲

이탈리아 밀라노는 세계에서 대기오염이 가장 심각한 도시 중 하나로 손꼽히는 곳으로, 이를 친환경적으로 해결하고자 전면이 나무와 풀로 조성된 건물(27층 아파트)을 통해 공해를 줄일 수 있는 시도를 하였다. ‘보스코 베르티칼레’에는 높이 3m 이상의 나무 730그루 및 각종 관상목 5,000여 그루와 11,000여 그루의 초화류, 덩굴식물을 식재하였다. 또한 식물을 관리할 때 필요한 용수는 생활 하수를 정수한 물로 사용하도록 설계하였으며, 생활용수 또한 빗물을 정화하여 사용하는 시스템을 구축하여 수자원을 절약하는 효과도 있다. ‘보스코 베르티칼레’에 식재된 식물들은 계절에 따라 관리를 받게되며, 거주민이 임의로 나무나 풀 등을 심을 수 없도록 규정하였다.

‘보스코 베르티칼레’는 지난 2015년 엠포리스 스카이스크래퍼 어워드에서 세계 고층 건축물 중 뛰어난 건축미를 자랑하는 10대 건축물로 선정되었다. 엠포리스 스카이스크래퍼 어워드(Emporis Skyscraper Award)는 지난 2000년부터 매년 그해 완공된 100m 이상의 초고층 빌딩을 대상으로 최고의 빌딩을 선정하는 권위 있는 상으로 보스코 베르티칼레는 10대 건축물 중 2위로 뽑혔다.

[그림 2-19] 이탈리아 밀라노 '보스코 베르티칼레'



<출처> 위스(<https://blog.naver.com/PostView.nhn?isHttpsRedirect=true&blogId=wipsmaster&logNo=50162838467>)

2) 인도네시아 자카르타 ‘인틸란드 타워’

‘인틸란드 타워’는 현재 세계 곳곳에서 시도되고 있는 ‘버티컬 포레스트 타워 (Vertical Forest Tower)’의 시작점으로 알려진 이탈리아 밀라노의 ‘보스코 베르티 칼레’보다 30년 앞서 구현된 건축물로, 아시아와 제3세계권을 중심으로 다양한 활동을 펼쳤던 건축가 ‘폴 루돌프’의 1986년 작품이다. 일반적인 박스형 외관이 아닌 발코니 공간에 열대식물을 심는 방법을 적용하여 도시 환경적 측면은 물론 실내 공간 환경에 긍정적 영향을 준다. 해당 건물 오피스 이용자들은 실내에서 발코니 개구부를 통해 발코니의 식물을 시각적·심리적으로 즐기는 차경효과가 있다.

[그림 2-20] 인도네시아 ‘인틸란드 타워’



<출처> 아시아경제(<https://cm.asiae.co.kr/article/2013092615581552626>)

3) 프랑스 파리 ‘플라워 타워’

파리 17구역에 위치한 ‘플라워 타워’는 건축가 ‘에드워드 프랑소와’의 설계로, 건물의 한 쪽 파사드를 제외한 3면의 30개 세대의 외부 복도에 건물과 일체가 된 380개의 콘크리트 화분 형태의 구조물을 두고, 화분에는 성장이 빠른 대나무종을 식재하였다. 대지 옆에 조성된 작은 공원과 세로로 연장되어 주변환경인 공원과 조화를 이루고 있다. 구조적으로 거주민들은 사생활 보호가 가능하며, 여름철 문을 열어두었을 때 울창한 대나무 숲 사이로 부는 바람소리를 들을 수 있다. 또한 각 화분의 살아있는 대나무들은 공동 물탱크에서 각 구조물까지 물을 끌어올리도록 되어있는 관수 설비 시스템을 적용하였으며, 물탱크 내에 영양제가 첨가되어 1년 내내 대나무가 생육할 수 있다.

[그림 2-21] 프랑스 ‘플라워 타워’



<출처> Sosa 홈페이지(<https://5osa.com/383>)

제3절 벽면녹화 연구 경향

1) 공공건물 벽면녹화에 따른 폭염 저감 및 건물 에너지 절감 효과 분석¹⁾

① 연구목적

- 벽면녹화의 정량적 효과를 도출하기 위한 기초데이터 확보 (건물 외피 열 성능 개선효과, 태양복사에너지의 건축물 축열효과, 증발산에 의한 벽면녹화시설 주변 냉각효과 및 미세먼지 저감효과)
- 벽면녹화 현장실험 및 측정데이터의 물리 조건을 반영한 건물에너지 시뮬레이션 및 건물 에너지 절감효과 정량화

② 연구내용

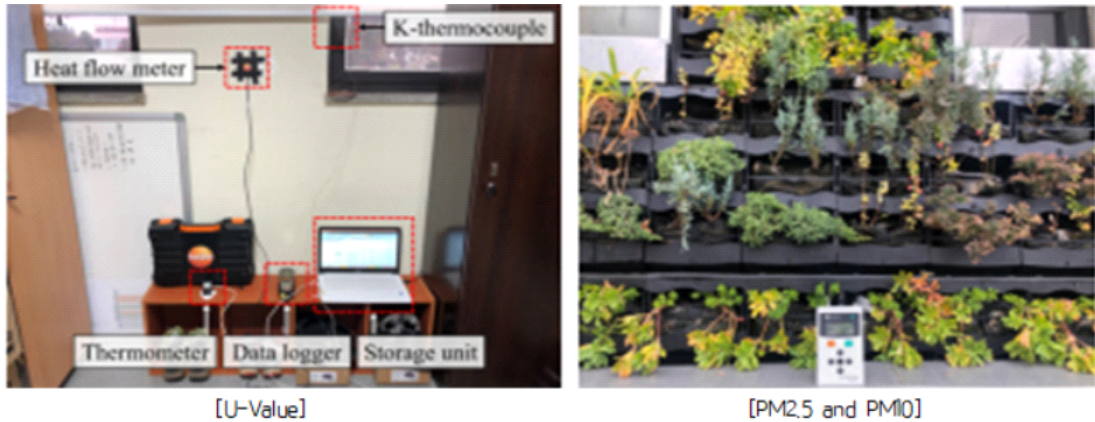
- 벽면녹화시스템 적용 후 데이터 모니터링 (열관류율, 건물 표면온도, 증발산량 추정, 미세먼지 농도, 실내온도 등)

[그림 2-22] 벽면녹화 시스템 적용 전·후



¹⁾ 고범석 외(2022) 공공건물 벽면녹화에 따른 폭염 저감 및 건물 에너지 절감 효과 분석, 조선대학교

[그림 2-23] 데이터 모니터링 시스템

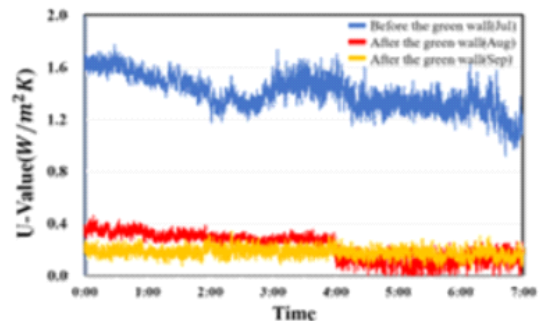


③ 연구결과

- (건물외피 열관류율) 벽면녹화시스템 적용 후 건물 외피를 통해 실내·외로 열이 전달되는 매커니즘을 확인하기 위한 평균 열관류율은 벽면녹화시스템 적용 전 $1.527 [W/m^2K]$ 에서 $0.166\sim 0.175 [W/m^2K]$ 로 크게 향상 → 벽면녹화 시스템에 의한 건물 외피의 열적 성능이 개선되었으며, 건물 외피를 통해 실내·외로 이동하는 전열량을 감소시켜 하절기 및 동절기의 냉·난방 부하 감소와 건물에너지 사용량의 저감 및 재실자 쾌적성 향상 기대

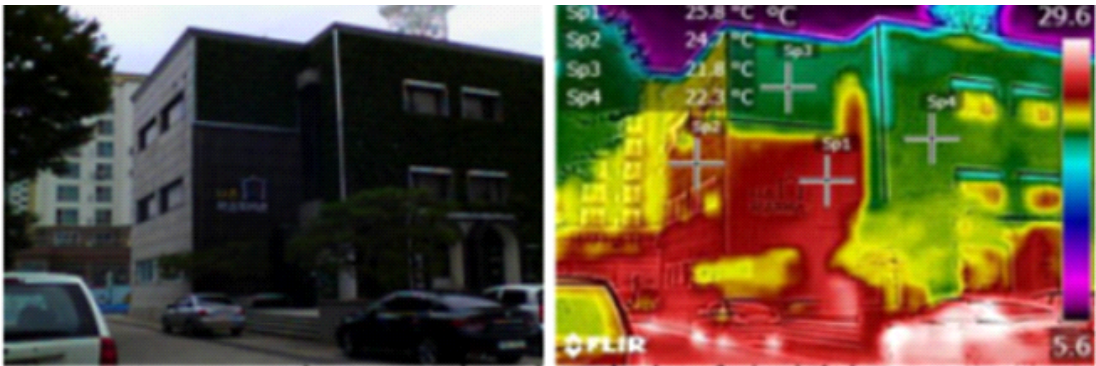
[그림 2-24] 열관류율 측정값 및 변동 그래프

Contents	Date	Ave. U-Value (W/m^2K)
Non-green wall	July 5th-8th, 2021	1.527
Green wall	August 20th-23rd, 2021	0.166
	September 20th-23rd, 2021	0.175



- **(건물 표면온도)** 열화상 이미지 측정법에 의한 건물 표면온도 변화는 벽면녹화시스템 유무에 따라 약 5.4~15.5℃의 온도차가 발생하였고, 실내온도의 변화에도 1℃ 이상의 영향도가 있는 것으로 증명

[그림 2-25] 열화상 측정



- **(증발산 작용에 의한 냉각효과)** 벽면녹화시스템에 포함된 식물 및 토양, 식생 층에 의한 증발산 작용에 따른 냉각효과 확인을 위해 증발산량 및 증발잠열을 에너지로 환산 → 1시간당 약 102.08[kWh]의 증발잠열 에너지 상당의 효과가 예측되어 기화열에 의한 벽면녹화 주변 온도 저감효과 기대
- **(미세먼지 저감효과)** 환경부 대기환경정보의 에어코리아에서 실시간으로 측정되는 미세먼지 농도 데이터와 측정대상건물원 측정 데이터를 비교하여 결과를 도출하고자 하였으나, 옥외 기류의 불규칙성이 커 두 지점에서의 안정적인 미세먼지 측정 데이터를 확보하기가 어려웠으며, 특히 광산관법에 의한 미세먼지 측정센서의 경우, 쿨링포그의 미스트 입자를 미세먼지로 인식하는 기기적 한계가 있어 벽면녹화에 의한 미세먼지 저감효과 검증은 불가능
- **(건물에너지 시뮬레이션에 의한 건물에너지 절감효과)** 냉방에너지 요구량은 한 여름 1개월 기준 약 558[kWh/month], 약 3.47% 건물에너지 절감효과가 기대되며, 연간 에너지 요구량 기준 약 18.5%의 건물에너지 절감 가능한 것으로 분석

2) 방위에 따른 벽면녹화식물의 생육 비교²⁾


① 연구목적

- 실제 벽면녹화를 도시에 적용하기 위해서는 벽면녹화 식물종의 생장특성 및 방위에 따른 생장 차이에 대한 정보 필요
- 벽면녹화에 주로 적용되는 식물 3종 대상 8방위별 식물 생장특성 비교 분석

② 연구방법

- 문헌조사를 바탕으로 국내 벽면녹화에 가장 많이 사용되고 있는 담쟁이덩굴, 송악, 금빛줄사철을 연구대상으로 선정
- 실제 도시건물의 표면과 유사한 8방위 실험구를 제작하여 식물 식재 후 모니터링

[표 2-2] 실제 실험구 및 모니터링 방법

실제 실험구	모니터링 방법
	<ul style="list-style-type: none"> • 각 식물별 실험구 적용 (3ea) → 목재 판자에 시멘트를 발라 건물 표면과 유사하게 재현 • 식물 생육에 가장 중요한 조도, 벽체 표면온도를 방위별 측정 • 식물의 매주 피복률, 식물 길이 측정 • 무관수, 무시비 조건

²⁾ 김다윤 외(2021), 방위에 따른 벽면녹화식물의 생육 비교, 공주대학교

③ 연구결과

- 담쟁이의 경우 북향에서 생육 왕성, 송악, 금빛줄사철은 남향에서 생육 왕성
 - 식물 3종 모두 6~7월에 생육 왕성, 담쟁이는 초장 생육 왕성, 8월에 모든 벽면 100% 피복
 - 송악은 초장 생육속도가 낮았으며, 피복률 또한 평균 45%, 식물 3종 중 지표면 피복률중 송악이 가장 높음
 - 금빛줄사철은 초장 생육속도가 낮았으며, 최종적으로 북, 북서향을 제외한 벽면 100% 피복
- ⇒ 벽면녹화에 사용되는 모든 식물이 동일하게 성장하지 않으며, 방위 영향보다 식물 생육 특성에 따라 성장 차이
- ⇒ 따라서, 식물 생육의 특성을 파악하여 방위별 알맞은 식물을 식재하는 것이 좋을 것으로 판단

[그림 2-26] 연구 결과

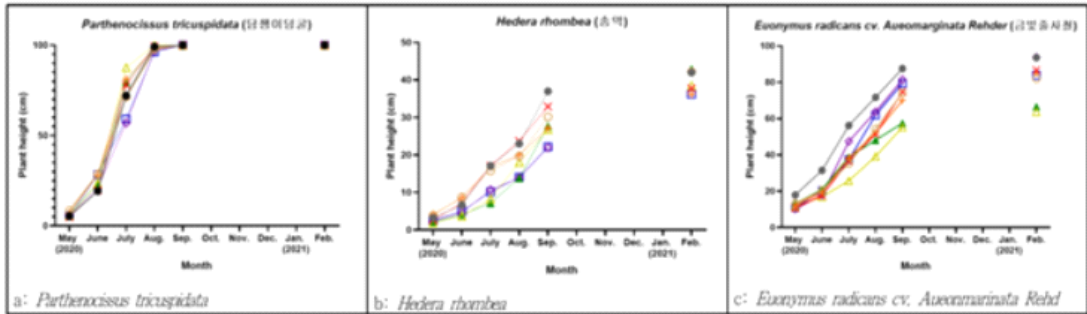


Figure 4. Plant's growth depending on orientations
 Legend: ● S ○ SE × E + NE △ N ▲ NW ◇ W □ SW.

[방위에 따른 식물 성장률]

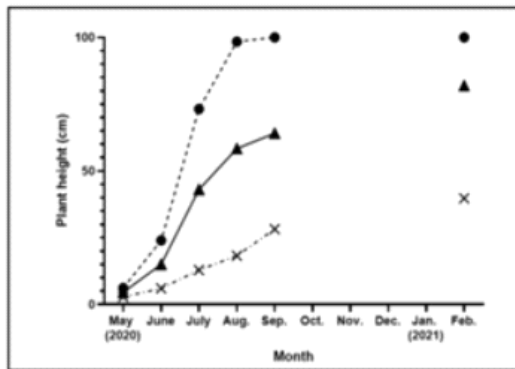


Figure 5. Average plant's growth
 Legend: ● *Parthenocissus tricuspidata* (담쟁이덩굴)
 × *Hedera rhombica* (송악)
 ▲ *Eucnymus radicans cv. Auecomarinata Rehd* (곰빛물사철)

[평균 성장률]

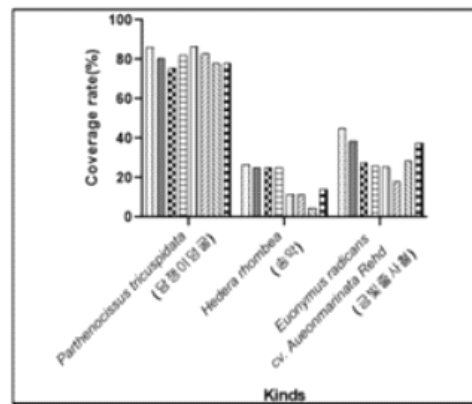


Figure 6. Final coverage rate of plants depending on orientations
 Legend: ▨ S ▩ SE ▧ E ▬ NE □□ N ▨▨ NW ▨▨▨ W ▨▨▨▨ SW.

[방위에 따른 식물 피복률]

3) 친환경 건축물 인증 공동주택 벽면녹화 현황 및 문제점 연구³⁾

① 연구목적

- 벽면녹화 관리 현황 점검기준 마련, 문제점 분석, 개선방향 모색

② 연구방법

- 친환경 건축물 본인증을 획득한 공동주택단지 중 벽면녹화 평가항목에서 점수를 획득한 서울, 경기지역 공동주택을 7곳을 대상으로 벽면녹화 현황조사, 거주 후 평가(POE, Post Occupancy Evaluation) 수행
- 현황조사와 거주 후 평가결과를 바탕으로 도출한 벽면녹화현황 문제점, 재인증 평가 개선방향 도출

[그림 2-27] 대상지 개요

대상단지		A	B	C	D	E	F	G
조사일시		2012.10.14	2012.07.29	2012.08.12.	2012.08.18.	2012.08.18.	2012.08.19.	2012.08.19.
위치		경기도 안산시	경기도 화성시	경기도 김포시	서울특별시 은평구	서울특별시 은평구	서울특별시 은평구	서울특별시 은평구
본인증	인증일	2006.05.19	2008.02.25	2008.04.25	2008.06.12	2008.06.12	2008.06.12	2008.06.12
	유효기간	2006.05.19 ~2011.05.18	2008.02.25 ~2013.02.24	2008.04.25 ~2013.04.24	2008.06.12 ~2013.06.11	2008.06.12 ~2013.06.11	2008.06.12 ~2013.06.11	2008.06.12 ~2013.06.11
건축개요	대지면적	90,736.00㎡	56,476.00㎡	21,248.00㎡	27,242.80㎡	21,395.40㎡	27,322.20㎡	17,087.90㎡
	건축면적	10,837.26㎡	6,736.63㎡	3,056.54㎡	6,266.82㎡	4,646.66㎡	7,281.46㎡	4,113.71㎡
	연면적	220,726.04㎡	140,404.65㎡	52,885.45㎡	61,409.73㎡	54,153.36㎡	61,116.38㎡	32,345.29㎡
	건폐율	11.94%	11.93%	14.38%	23.00%	27.71%	26.65%	24.07%
	용적율	198.31%	179.93%	192.45%	149.51%	177.47%	166.15%	139.27%
	조경율	35.10%	47.97%	46.63%	34.67%	29.83%	36.84%	37.89%
세대수	1,312세대	727세대	360세대	318세대	379세대	335세대	208세대	
벽면녹화 유형	등반감기형	등반감기형	등반감기형	등반감기형	등반감기형	등반감기형	등반감기형	
면담 대상자	직위	관리소장	관리소장	관리소장	관리소장	관리소장	관리소장	관리소장
	성별	남자	여자	여자	남자	남자	남자	남자
관리방식	위탁관리	위탁관리	위탁관리	위탁관리	위탁관리	위탁관리	위탁관리	

자료: 한국토지주택공사 토지주택연구원 홈페이지(http://huri.lh.or.kr/ecohouse/03_01_01.asp)

3) 김보람 외(2013), 친환경 건축물 인증 공동주택 벽면녹화 현황 및 문제점 연구, 서울대학교

③ 연구결과

- 벽면 녹화 현황조사 결과, 녹화구역의 사후 관리가 제대로 이루어지지 않고 있음
 - ✓ 전지, 전정, 관수, 병충해, 고사 식물 보수, 등반 보조재 관리와 같은 사후 관리 지속 시 식생 생육에 적합한 환경이 조성되어야 식생 피복율이 증가할 것
- 벽면녹화구역의 실효성을 위하여 재인증 평가의 벽면녹화 유효면적 산정기준 개선 필요 (실제 식생 피복 면적 반영)
 - ✓ 재인증평가는 본인증 심사기준과 동일한 기준을 적용하기 때문에 식생 피복 상태를 고려하지 않고 벽면녹화 식생 기반 설치면적을 합산하여 평가하므로, 실질적인 사후평가 기능 수행 불가
 - ✓ 사후관리에 대한 제도적 규제방안이 전무하여 벽면녹화의 유지관리 상 문제가 지속 발생
 - ✓ 식생 기반 설치면적이 넓어도 실제 식생 피복 면적이 저조하다면 거주자 만족도 또한 낮아짐
- 등반형 녹화의 획일적 적용에 따른 문제 해결과 벽면녹화 공간유형의 추가 개선 필요
 - ✓ 친환경 건축물 인증 공동주택 벽면녹화 유형은 등반형을 획일적으로 적용 (설치면적대비 비용이 가장 저렴)
 - ✓ 등반형 녹화는 초기 피복율이 낮아 충분한 피복이 이루어지지 않기 때문에 다양한 유형 적용 필요

4) 건물 일체형 패널형 벽면녹화 식재 기반 유형별 건물 에너지 성능 분석⁴⁾

① 연구목적

- 도심의 열 환경 개선 및 건물 에너지 저감효과가 입증된 벽면녹화 중 기존 건물에 적용 가능한 패널형 벽면녹화 식재 기반 유형에 따른 건물 에너지 저감 성능 분석

② 연구방법

- 총 4개의 식재 기반 유형에 따른 건물 에너지 저감 성능 분석 (열전도율, 열관류율, 건물에너지 시뮬레이션)

[표 2-3] 식재기반 유형

모델	식재 기반 유형
Case A	벽면녹화 미적용 유형 (콘크리트 + 단열재)
Case B	식재층 + 무기 다공성 블록+ 콘크리트 + 단열재
Case C	식재층 + 코코피트 블록+ 콘크리트 + 단열재
Case D	식재층 + 마사토 블록+ 콘크리트 + 단열재

[그림 2-28] 식재기반 유형별 물성자료

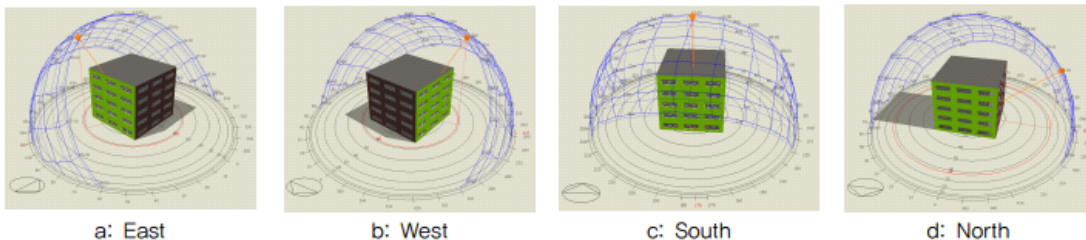
Case	Division	Thickness (mm)	Thermal conductivity (W/m ² · K)	Specific heat (J/kg · K)	Density (kg/m ³)	U-value (W/m ² · K)
A	Concrete	210	1.7	840	2,200	0.329
	Heat Insulating Material	110	0.04	1,400	15	
	Plant	100	0.3	1,000	1,000	
B	Inorganic Porous Block	100	0.1	1,000	2,800	0.228
	Concrete	210	1.7	840	2,200	
	Heat Insulating Material	110	0.04	1,400	15	
C	Plant	100	0.3	1,000	1,000	0.190
	Cocopeat Block	100	0.053	1,888	160	
	Concrete	210	1.7	840	2,200	
D	Heat Insulating Material	110	0.04	1,400	15	0.252
	Plant	100	0.3	1,000	1,000	
	Granite Soil Block	100	0.17	1,000	2,600	
	Concrete	210	1.7	840	2,200	
	Heat Insulating Material	110	0.04	1,400	15	

4) 김정호 외(2015), 건물 일체형 패널형 벽면녹화 식재 기반 유형별 건물 에너지 성능 분석, 건국대학교

③ 연구결과

- 식재기반 유형별 열전도율
 - ✓ C (0.053W/mK) > B (0.1W/mK) > D (0.17W/mK)
- 단위면적당 냉방 피크 부하 저감 (미적용A 대비)
 - ✓ C (1.19%) > B (1.14%) > D (1.01%)
- 단위면적당 난방 피크 부하 저감 (미적용A 대비)
 - ✓ C (2.38%) > B (1.82%) > D (1.50%)
- 연간 냉난방피크 부하 저감
 - ✓ 미적용 A 대비 0.92~1.28% 저감률
- 연간 냉난방에너지 사용량
 - ✓ 미적용 A 대비 3.04~3.22% 저감률
- 연간 이산화탄소 발생량
 - ✓ 미적용 A 대비 평균 996kg 저감
- 식재 위치별 에너지 성능평가 결과
 - ✓ 동향 > 서향 > 남향 > 북향 순

[그림 2-29] 식재 위치별 에너지 성능평가



- 벽면녹화 비율에 따른 에너지 성능평가 결과, 녹화 비율이 높아짐에 따라 양호한 결과
 - ✓ 20~80% 비율보다 100% 녹화 시 약 2배의 저감률

5) 도시 열섬 저감을 위한 저비용 지속 가능형 벽면녹화 시스템 개발⁵⁾

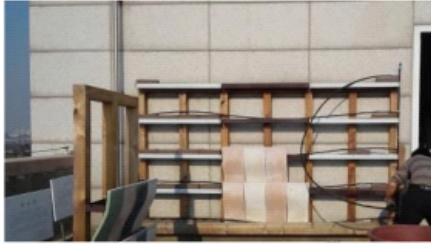
① 연구목적

- 4계절이 뚜렷한 국내의 기상과 다양한 건물 유형별 적용 가능하고, 저비용으로 보급 가능한 벽면녹화시스템 Proto type을 제안하며, 녹화시스템 유형별 지속 가능한 녹화면적 확보를 위한 유지관리 기술의 자동화 기법 및 매뉴얼 및 식물생산기술 보급

② 연구내용

- 벽면녹화의 도시 열섬 저감효과 분석 및 정량화
 - ✓ 이산화탄소 흡수, 그늘에 의한 일사 차단, 식재와 지지층에 의한 단열, 식물과 지지층에 의한 증발산 냉각작용, 바람 차단효과 등

[그림 2-30] 벽면녹화 및 모니터링 시스템 설치



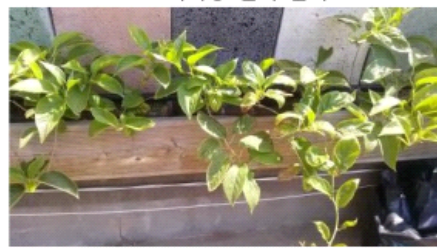
a. 벽면녹화 시스템 설치



b. 모니터링 센서 설치



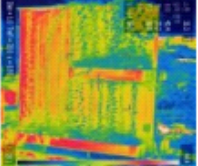
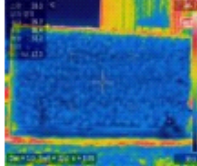
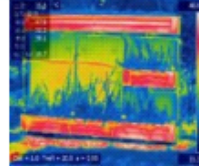
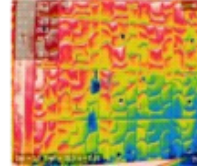
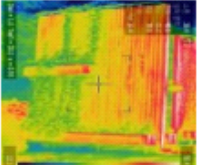
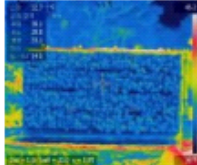
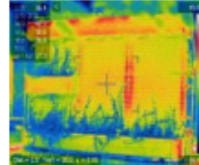
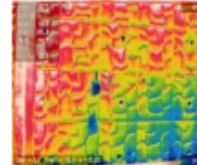
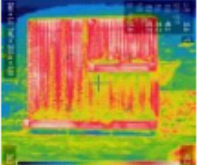
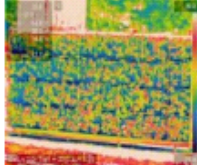
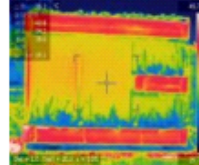
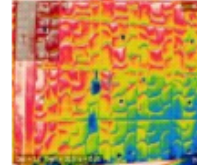
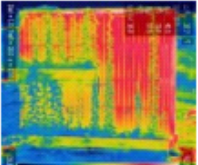
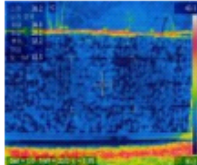
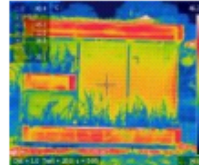
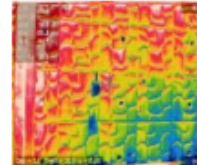
c. 양수분 탱크와 모터 설치



d. 식물 식재

⁵⁾ 장대희 외(2015), 도시 열섬 저감을 위한 저비용 지속 가능형 벽면녹화 시스템 개발, 한국건설기술연구원

[그림 2-31] 벽면 유형과 방향별 열화상 이미지

구분	와이어형	패널형	플랜더형	대조(시멘트벽면)
동향				
	최고 42.4°C	최고 35.7°C	최고 47.9°C	최고 58.3°C
서향				
	최고온도 46.1°C	최고온도 39.1°C	최고온도 42.3°C	최고온도 58.3°C
남향				
	최고온도 48.1°C	최고온도 43.0°C	최고온도 42.8°C	최고온도 58.3°C
북향				
	최고온도 40.5°C	최고온도 36.0°C	최고온도 45.2°C	최고온도 58.3°C

제4절 고양시 벽면녹화 정책 및 현황

1. 고양시 벽면녹화 정책 현황

고양시는 「고양시 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례」를 제정하여 도시지역 내 기존의 녹지를 보전하고 녹지가 부족한 공간에 녹지를 창출하여 인간과 자연이 더불어 살아갈 수 있는 건강하고 쾌적한 도시환경이 조성시키고자 한다.

공원녹지기본계획에서 수립한 도시녹화계획을 바탕으로 녹화가 필요한 중점녹화지구를 지정하여 녹화정비계획을 수립한다. 중점녹화지구의 지정은 공원녹지기본계획을 통하여 도시의 전반적인 녹지배치계획과 연계성을 갖고 녹지네트워크 형성 계획과 상호 연결되도록 한다. 제6조(도시녹화정비계획의 수립 방법 및 절차) 3항에서는 중점녹화지구를 대상으로 한 녹화정비계획은 현황과악을 기초로 중점적으로 녹화가 필요한 장소, 녹화가 가능한 장소 등을 유형별로 분류하고, 녹화 및 녹화추진 계획 작성을 위한 중점녹화지구의 녹화과제를 도출하도록 하고 있으며, 공원 등의 시설녹지 공간, 나대지, 마을의 공터, 철도변, 하천변, 하천부지, 도로, 공공건물의 벽면 및 옥상 등 녹화 가능한 공간을 추출하도록 되어있다.

[그림 2-32] 고양시 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례

고양시 도시공원 및 녹지 등에 관한 조례

[시행 2016. 7. 5.] [경기도고양시조례 제1786호, 2016. 7. 5., 일부개정]

□ 제6조(도시녹화장비계획의 수립 방법 및 절차) 도시녹화장비계획은 다음 각 호의 방법 및 순서에 따라 수립한다.

1. 중점녹화지구가 지정되면 녹화장비계획의 방향을 설정한다.
 - 가. 중점녹화지구에 대한 녹화장비계획의 기본방향은 기존의 녹지를 보전하고 녹지가 부족한 공간에 녹지를 창출하여 단절된 생태계의 연결 등을 고려하여 계획한다.
 - 나. 인간과 자연이 더불어 살아갈 수 있는 건강하고 풍요로운 환경을 배려하여 계획하는 방향으로 수립한다.
2. 녹화장비계획을 수립할 때에는 중점녹화지구의 녹지에 대한 현황파악이 충분히 이루어져야 하며, 다음의 사항을 파악하여야 한다.
 - 가. 토지이용상황
 - 나. 도시녹화율(생태면적율)
 - 다. 공공공익시설 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 녹화장비계획은 현황파악을 기초로 중점적으로 녹화가 필요한 장소, 녹화가 가능한 장소 등을 유형별로 분류하고, 녹화 및 녹화추진계획 작성을 위한 중점녹화지구의 녹화과제를 도출한다.
 - 가. 공원 등의 시설녹지 공간, 내대지, 마을의 공터, 설도변, 하천변, 하천부지, 도로, 공공건물의 벽면 및 옥상 등 녹화 가능한 공간을 추출한다.
 - 나. 지정된 중점녹화지구에 대하여는 녹화상황 등 현황을 파악하여 녹화과제를 도출한다.
4. 녹화과제 수행을 바탕으로 해당 중점녹화지구의 여건에 적합한 주제를 따라 미래상을 설정하고 구체적인 실천 가능한 방향(목표량, 목표기간 등)을 제시한다.
 - 가. 각 유형별로 녹지로 확보해야 할 구역을 구체화하는 도면을 작성하여 녹화 및 배치계획을 수립한다.
 - 나. 녹화공간을 대상으로 실제로 무시도나 조감도, 스케치 등을 그려 이해하기 쉽게 작성한다.
 - 다. 녹화공간을 대상으로 계획 경우의 모습을 시각적 이미지로 표현하여 조성효과를 파악한다.
6. 녹화계획의 효율성을 높이기 위해서는 민간의 다양한 참여가 가능하도록 녹화프로그램의 도입 및 녹화계약을 체결하고, 민간 기업 행정 등의 각 주제별 역할과 범위를 구체화하여 실질적인 녹화추진이 이루어지도록 한다.

또한 2021년 ‘공동주택 조경녹화 지원사업’을 통해 시민들이 주거단지 내 빈 공간을 숲 문화 생활공간으로 리모델링하여 활용할 수 있도록 지원하였다. 단지 내 조경 녹화를 계획중인 모든 공동주택을 대상으로 ① 우리 동네 작은 숲 조성 ② 숲 속 골목 가꾸기 ③ 담장 및 벽면 녹화 등 신규 녹화사업의 총 공사비의 50%, 최대 5,000만원까지 지원하였다. 전문가로 구성된 도시공원 위원회의 공정한 평가를 거쳐 대상지를 선정하고, 최종 선정된 공동주택은 보조금 지원, 무료 맞춤형 조경 컨설팅, 고양시와의 녹화 계약 체결을 통한 5년간 가지치기, 병해충 방제 등 필요한 유지 관리 등의 혜택을 받을 수 있다. 해당 사업을 통해 공동주택의 녹지가 확충되어 기후 위기 등의 환경 문제에 도움이 되고, 시민들이 즐길 수 있는 숲 문화공간을 확대하고자 하였다.

[그림 2-33] 고양시 공동주택 도시녹화 보조금 지원사업



2. 고양시 벽면녹화 조성 사례

1) 일산서구청 벽면녹화

고양시는 2022년 건축물 녹화사업의 일환으로 일산 서구청 외벽을 수직정원으로 조성하였다. 외벽을 녹화하는 방식은 ‘포트형 식생패널 부착’ 방식으로, 화분을 벽체에 고정하여 식물이 안정적으로 오랜 기간 지속되고 관리가 어렵지 않아 최근 가장 많이 적용되고 있는 방식이다. 녹화면적은 215㎡으로, 사계절 푸르름을 유지하는 측백나무, 쯤눈향, 해국, 구절초 등 약 8,600여 본의 식물이 식재되었다.

[그림 2-34] 일산서구청 벽면녹화



2) 양일초등학교, 덕양중학교 그린커튼

도시 열섬 완화 및 생활권 녹색공간 확대를 위해 양일초등학교, 덕양중학교 2개 교에 500㎡ 규모의 그린커튼을 조성하여 큰 호평을 얻었다. 그린커튼은 건물 외벽 창가에 녹색 넝쿨식물을 식재하여 여름철 뜨거운 태양광을 차단하고, 이를 통해 전기 에너지 사용량 절감 및 식물 증산작용에 의한 공기 순환, 소음 감소, 먼지 차단 효과 등이 기대된다. 그린커튼 조성에 선정된 넝쿨식물은 체비콩(흑편두)으로 성장 높이가 15m에 달하며, 가을에는 자주색 열매를 맺기 때문에 수확의 즐거움도 느낄 수 있다.

[그림 2-35] 양일초등학교 그린커튼



제 3 장

연구 대상 시설과 방법 및 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 일산서구 중앙로 1600(대화동) 고양종합운동장 맞은 편에 위치한 일산서구청을 테스트 베드로 정하였다. 2022년 건축물 녹화사업의 일환으로 일산서구청 외벽을 수직정원으로 기조성하였기 때문에 별도의 녹화모듈 등의 설치는 제외하고, 구성되어 있는 벽면녹화 시스템에 모니터링 시스템을 구축하여 비교·분석하고자 하였다. 일산서구청은 중앙정부의 자치분권 등 패러다임 변화에 맞추어 공동체 가치 회복을 위한 시민 참여 행정을 강화하고, 신도시·구도심·농촌지역의 균형발전과 지역문제 해소를 위한 ‘고양일산테크노밸리의 중심, 미래 자족도시 일산서구’를 만들기 위해 사람 중심, 시민 행복의 시민제일 주의 구정 운영에 역량을 집중하고 있다.

2005년 5월 일산구가 일산동구와 일산서구로 분구되면서 일산서구청은 대화동의 민간 오피스텔 빌딩 5개층으로 대신해오다가, 공무원들의 근무 여건이 열악하고 협소한 주차장, 건물 내 공간이동의 불편함 등의 문제로 신규 청사 신축의 당위성이 제기되어왔고, 그 결과 2016년 12월 착공에 들어가 2019년 3월 신청사를 개청하였다. 일산서구청사는 지하 1층, 지상 6층 규모로 건축면적은 3,216㎡(973평)이고 연면적은 1만7846㎡(5,398평)이다. 일산서구청 부설 직장 보육시설은 4개 층 중에서 1층만 어린이집(정원 62명)으로 이용되고, 2층과 3층은 강당, 4층은 옥상으로 이용된다. 직장 보육시설의 연면적 387㎡(117평) 중에서 203㎡(61평)이 놀이터 부지다.

[그림 3-1] 연구대상시설 (일산서구청 수직정원)



제2절 연구 대상 시설 건물 벽면녹화 시스템 구축 상황

고양 2022년 건축물 녹화사업의 일환으로 일산 서구청 외벽을 수직정원으로 조성하였다. 외벽을 녹화하는 방식은 ‘포트형 식생패널 부착’ 방식으로, 화분을 벽체에 고정하여 식물이 안정적으로 오랜 기간 지속되고 관리가 어렵지 않아 최근 가장 많이 적용되고 있는 방식이다.

패널형 벽면녹화는 패널에 있는 각 셀에 왜성 관목류 및 초화류를 선 재배한 형태로 벽면을 전면 피복하는 기능을 하며, 시공 즉시 70% 이상의 녹피율이 확보가 가능하다. 또한 식물망 내 식생용 토양은 식물 생육에 매우 중요한 부분으로 경량성이 확보됨과 동시에 보수성, 배수성, 유기물 함량이 풍부하고, 매토종자가 포함되지 않는 무균 상태의 토양을 사용한다. 적용 식재 수종은 계절감을 느낄 수 있으며 겨울철에도 푸르름을 유지할 수 있도록 상록수종을 50% 이상 배식하였다. (상록기린초, 블루엔젤, 에메랄드그린, 서향측백, 좁눈향, 해국, 구절초, 줄사철, 마삭줄, 꿩의비름 등) 패널은 한 개당 2개의 식재 셀로 구성되어 있으며, 두 개의 배수구와 한 개의 급수구가 있으며, 배수구의 경우 높이 조정이 가능하여 식물의 종류에 따라 저류량을 조절할 수 있어 식물의 생육 및 유지관리에 탁월하며, 식물 1본당 토양량 및 식재 공간이 증대되어 왜성 관목식물까지 식재 가능한 구조이다. 또한 토양층과 급수구가 격막에 의해 분리가 되어 있어 수분의 저류량이 증가함과 동시에 원활한 배수가 가능한 구조로 되어 있으며 물넘이 방식으로 패널 전체에 수분이 공급되는 방식을 사용하였다.

[그림 3-2] 일산서구청 벽면녹화



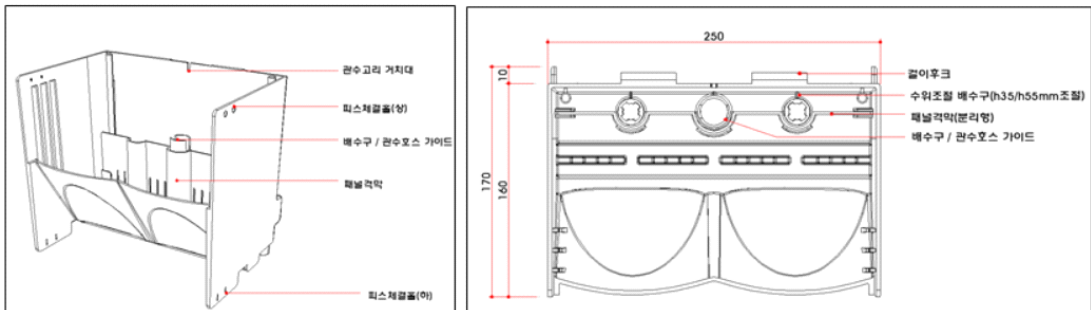
[그림 3-3] 포트형 식생 패널



[패널]

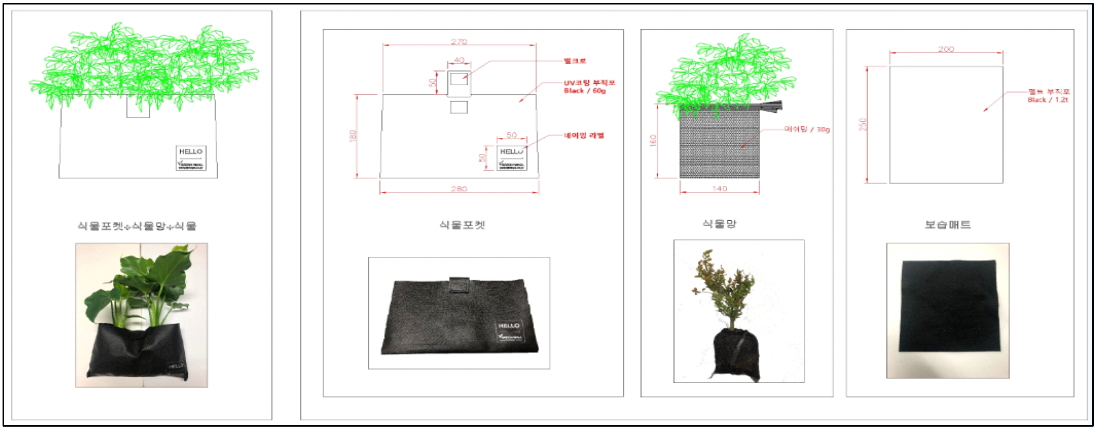
[포트]

[그림 3-4] 패널 상세도



또한 식물의 건전한 생육 및 유지관리에 필수적인 수분을 공급량 이상으로 저류시키고 토양에 흡수시키는 역할을 하는 보습매트와 식물생육 기반재인 토양이 담기는 포켓으로 토양 함수율을 높이는 기능을 하는 식물포켓을 적용하였다.

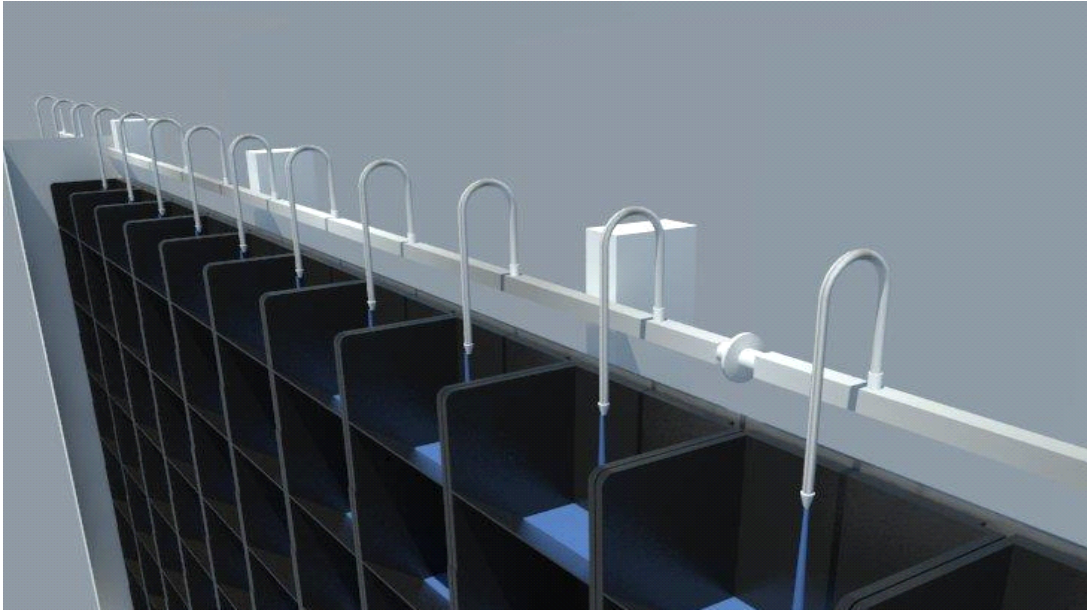
[그림 3-5] 보습매트 및 식물포켓



패널형 벽면녹화는 시공 후 식물 생육관리를 위해 점적관수를 기본적으로 적용하고, 설치와 동시에 관수가 이루어져야 하므로 수도 인입 및 이에 상응하는 제반 여건이 갖추어진 후에 식물이 식재되어야 한다. 점적관수는 관수밸브를 자동으로 조절하는 점적관수 타이머와 벽면을 타고 물을 공급하는 주 관수라인과 패널 위로 지나가면서 물을 공급하는 점적관수 라인 및 노즐 등으로 구성되며, 패널 당 한 개의 노즐을 통해 관수가 되도록 하였다.

본 연구의 실험군은 기조성된 패널형 벽면녹화 시스템이 대상이며, 대조군은 벽면녹화가 적용되지 않은 유리창과 철제벽면 표면을 대상으로 하였다. 벽면녹화 시스템의 성능평가를 위해 실험군과 대조군의 온도와 실내 온도를 비교하고자 하였다. (비교군)

[그림 3-6] 점적관수 표준도



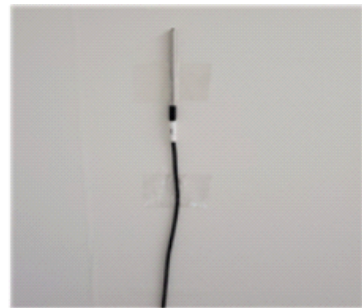
[그림 3-7] 연구대상시설 (일산서구청 벽면)



[벽면녹화 시스템]



[유리창, 철재벽면]

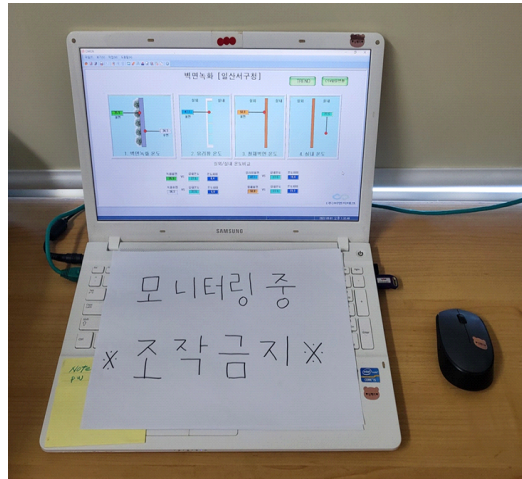


[실내]

실험군, 대조군 및 비교군은 일산서구청 4층 비상상황실 주변에 설치하였고, 실내에 전기패널과 PC를 설치하여 모니터링 결과의 축적 및 확인을 가능하게 하였다.

[그림 3-8] 실험군/대조군/비교군 설치 모습

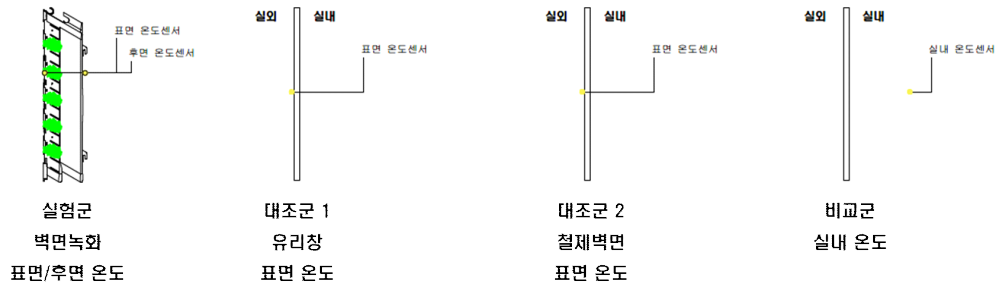




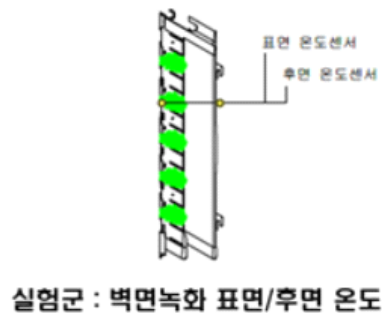
제3절 모니터링 방법 (모니터링 항목 및 측정 지점)

실험군, 대조군과 비교군의 데이터 축적 및 분석을 위해 실험군에는 표면, 후면 2개의 온도센서를 설치하였고, 유리창인 대조군 1에는 표면 온도센서 1개, 철제벽면인 대조군 2에도 표면층 온도센서 1개, 실내온도인 비교군에는 실내 온도센서 1개를 각각 설치하였다. 센서 설치 위치는 아래 그림과 같다.

[그림 3-9] 실험군/대조군/비교군 단면도



[그림 3-10] 센서 설치 위치

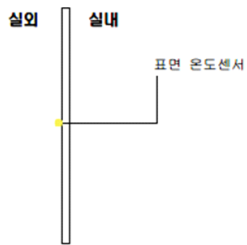




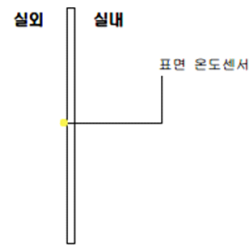
[벽면녹화 표면 온도센서]



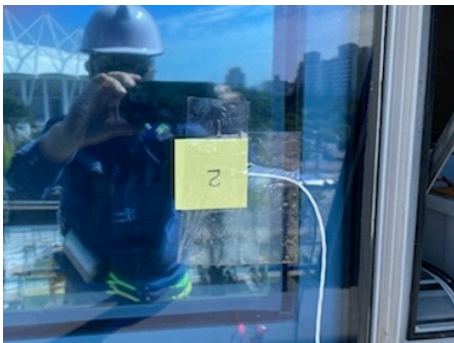
[벽면녹화 후면 온도센서]



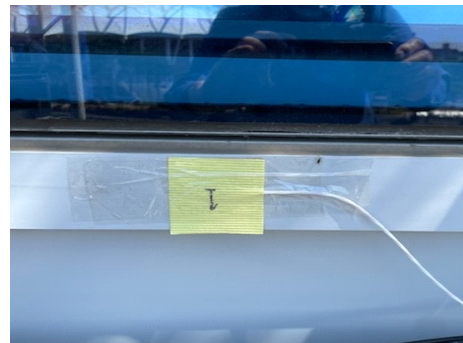
대조군 1 : 유리창 표면 온도



대조군 2 : 철제벽면 표면 온도



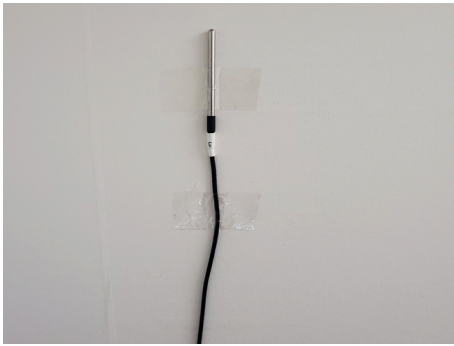
[유리창 표면 온도센서]



[철제벽면 표면 온도센서]



비교군 : 실내 온도



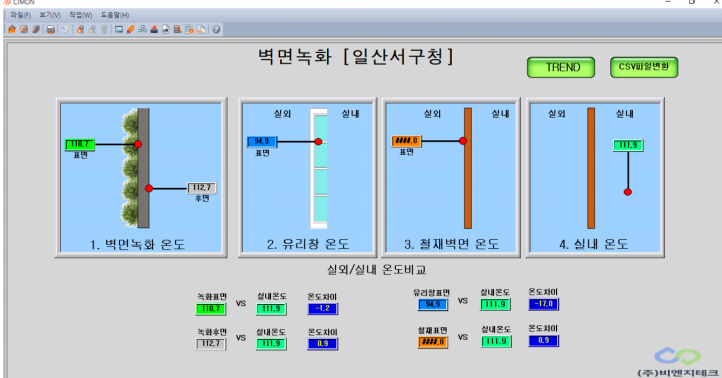
[실내 온도센서]



[전기 패널]

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

[표 3-1] 세 실제 벽면녹화 모니터링 프로그램 화면 구성

모니터링 프로그램 화면	모니터링 프로그램 설명																								
 <p>벽면녹화 [일산서구청]</p> <p>1. 벽면녹화 온도 2. 유리창 온도 3. 절재벽면 온도 4. 실내 온도</p> <p>실외/실내 온도비교</p> <p>녹화표면 온도: 118.7 VS 실내온도 온도차이: 111.3</p> <p>유리창표면 온도: 119.7 VS 실내온도 온도차이: 111.9</p> <p>절재벽면표면 온도: 119.8 VS 실내온도 온도차이: 111.9</p> <p>(주)비엔지테크</p>	<p>메인화면으로서 실험군과 대조군의 각 온도 값을 실시간으로 확인할 수 있음</p>																								
 <p>트렌드 메뉴 1 / 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>표면층 온도비교</th> <th>실외/실내 온도</th> <th>벽면표면vs실내온도</th> <th>벽면후면vs실내온도</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>유리표면vs실내온도</td> <td>절재벽면vs실내온도</td> <td>실외vs실내온도 차이</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	표면층 온도비교	실외/실내 온도	벽면표면vs실내온도	벽면후면vs실내온도	유리표면vs실내온도	절재벽면vs실내온도	실외vs실내온도 차이																		<p>원하는 항목의 실시간 온도변화를 선택할 수 있는 화면</p>
표면층 온도비교	실외/실내 온도	벽면표면vs실내온도	벽면후면vs실내온도																						
유리표면vs실내온도	절재벽면vs실내온도	실외vs실내온도 차이																							
 <p>실외/실내 온도 2 / 7</p> <p>실외/실내 온도</p> <p>22/09/16 14:30:54</p> <table border="1"> <tr> <td>실외온도</td> <td>111.906</td> <td>실내온도</td> <td>112.827</td> </tr> <tr> <td>유리창온도</td> <td>112.713</td> <td>유리창온도-실내온도</td> <td>10.914</td> </tr> <tr> <td>벽면표면온도</td> <td>112.766</td> <td>벽면표면온도-실내온도</td> <td>9.840</td> </tr> <tr> <td>벽면후면온도</td> <td>94.9492</td> <td>벽면후면온도-실내온도</td> <td>-17.877</td> </tr> </table>	실외온도	111.906	실내온도	112.827	유리창온도	112.713	유리창온도-실내온도	10.914	벽면표면온도	112.766	벽면표면온도-실내온도	9.840	벽면후면온도	94.9492	벽면후면온도-실내온도	-17.877	<p>선택한 항목에 대해 실시간으로 변하는 온도 경향을 확인할 수 있는 화면</p>								
실외온도	111.906	실내온도	112.827																						
유리창온도	112.713	유리창온도-실내온도	10.914																						
벽면표면온도	112.766	벽면표면온도-실내온도	9.840																						
벽면후면온도	94.9492	벽면후면온도-실내온도	-17.877																						

제 4 장

데이터 분석

제1절 분석 방법

제2절 일별 온도 비교

제3절 주간별 온도 비교

제4절 측정 위치에 따른 온도 비교

제5절 에너지 저감량 분석

제절 분석 방법

1. 분석 대상 기간 동안 외부 환경

일산서구청 벽면녹화시스템의 효과를 검증하기 위해 분석 대상 기간동안 벽면녹화 전면과 후면의 온도와 유리창 표면, 철재벽면 표면, 실내온도를 비교하였다. 분석 대상 기간은 2022년 9월 1일부터 2022년 10월 31일까지 약 2달을 선정하였으며, 분석 대상 기간 동안의 외부 환경을 [표 4-1]에 정리하였다.

분석 대상 기간 동안 강우량이 측정된 날짜는 9월 4일, 5일 6일, 16일, 17일 및 10월 2일, 3일, 4일, 9일로 총 10일이었다. 분석 대상 기간의 최고 기온 및 강우량은 24.3℃ 및 3.9mm이었으며, 최고 습도 및 최대순간풍향은 87.0% 및 224.8m/s이었다.

[표 4-1] 세측정기간 동안 외부환경

No.	날짜	최고기온 (°C)	강우량 (mm)	최고습도 (%)	최대순간풍향 (m/s)
1	9월 1일	31	0	96	357.2 / N
2	9월 2일	30.4	0	94	90.0 / E
3	9월 3일	29.9	0	87	149.1 / SSE
4	9월 4일	24.7	29.5	95	168.8 / S
5	9월 5일	22.3	122.5	95	64.7 / ENE
6	9월 6일	28.1	20	93	315.0 / NW
7	9월 7일	29.1	0	97	337.5 / NNW
8	9월 8일	30.1	0	95	0.0 / N
9	9월 9일	31.2	0	95	337.5 / NNW
10	9월 10일	29	0	84	168.8 / S
11	9월 11일	26.6	0	93	331.9 / NNW
12	9월 12일	28.1	0	95	343.1 / NNW
13	9월 13일	27.2	0	92	90.0 / E

14	9월 14일	28.3	0	86	101.3 / ESE
15	9월 15일	28.4	0	84	165.9 / SSE
16	9월 16일	31.5	6.5	94	168.8 / S
17	9월 17일	30.5	1	96	185.6 / S
18	9월 18일	34.2	0	95	8.4 / N
19	9월 19일	29.8	0	82	90.0 / E
20	9월 20일	25.6	0	87	329.1 / NNW
21	9월 21일	26.5	0	90	180.0 / S
22	9월 22일	26	0	69	171.6 / S
23	9월 23일	23.4	4	85	357.2 / N
24	9월 24일	25.8	0	84	329.1 / NNW
25	9월 25일	26.9	0	82	340.3 / NNW
26	9월 26일	27.4	0	76	345.9 / NNW
27	9월 27일	29	0	78	284.1 / WNW
28	9월 28일	27.3	0	77	323.4 / NW
29	9월 29일	27.5	0	79	320.6 / NW
30	9월 30일	28.9	0	82	309.4 / NW
31	10월 1일	28.7	0	76	298.1 / WNW
32	10월 2일	22.8	15.5	82	163.1 / SSE
33	10월 3일	19.7	10.5	78	194.1 / SSW
34	10월 4일	20.2	8	70	300.9 / WNW
35	10월 5일	22.3	0	76	5.6 / N
36	10월 6일	20.5	0	79	323.4 / NW
37	10월 7일	20.5	0	77	340.3 / NNW
38	10월 8일	22.3	0	80	191.3 / SSW
39	10월 9일	15.1	18	81	275.6 / W
40	10월 10일	14.3	0	81	348.8 / N
41	10월 11일	17.9	0	78	345.9 / NNW
42	10월 12일	21.3	0	81	135.0 / SE


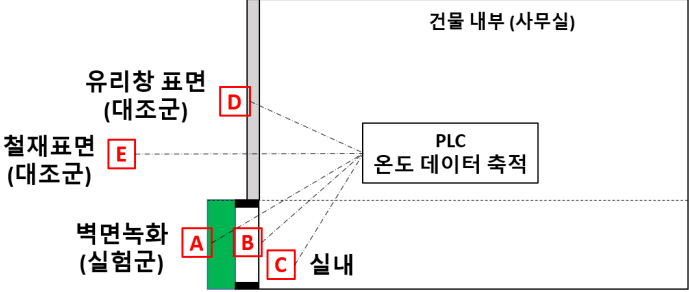
43	10월 13일	23.9	0	81	160.3 / SSE
44	10월 14일	23.9	0	80	315.0 / NW
45	10월 15일	25.2	0	80	312.2 / NW
46	10월 16일	20.8	0	78	0.0 / N
47	10월 17일	16.7	0	78	343.1 / NNW
48	10월 18일	15.6	0	91	216.6 / SW
49	10월 19일	17.9	0	94	225.0 / SW
50	10월 20일	20.8	0	97	219.4 / SW
51	10월 21일	21.6	0	96	219.4 / SW
52	10월 22일	21.5	0	98	247.5 / WSW
53	10월 23일	19.7	0	96	219.4 / SW
54	10월 24일	16.4	0	93	157.5 / SSE
55	10월 25일	18.5	0	94	132.2 / SE
56	10월 26일	18.7	0	91	233.4 / SW
57	10월 27일	20.2	0	97	219.4 / SW
58	10월 28일	21.3	0	98	219.4 / SW
59	10월 29일	22.7	0	98	208.1 / SSW
60	10월 30일	22.1	0	96	233.4 / SW
61	10월 31일	21.6	0	96	143.4 / SE
평균		24.3	3.9	87.0	224.8

〈자료〉 기상청

2. 분석 방법

일산서구청 벽면녹화시스템의 데이터는 일별, 주간별, 월별로 분류하여 분석하였다. 월별 분석은 벽면녹화 표면 및 후면, 유리창 표면, 철재 벽면 표면, 실내온도를 각각 분석하였다. 일별 및 주간별 분석은 유리창, 철재벽면의 표면온도를 벽면녹화 표면온도와 후면온도, 실내온도와 각각 비교하였으며, 실내온도와 벽면녹화 표면 및 후면 온도를 비교하였다. 또한 벽면녹화의 성능 비교를 위해 벽면녹화 표면 온도, 유리창 표면 온도, 철재 벽면 표면온도 대비 벽면녹화 후면온도의 온도저감 효과를 분석하였다.

[표 4-2] 식재기반 유형

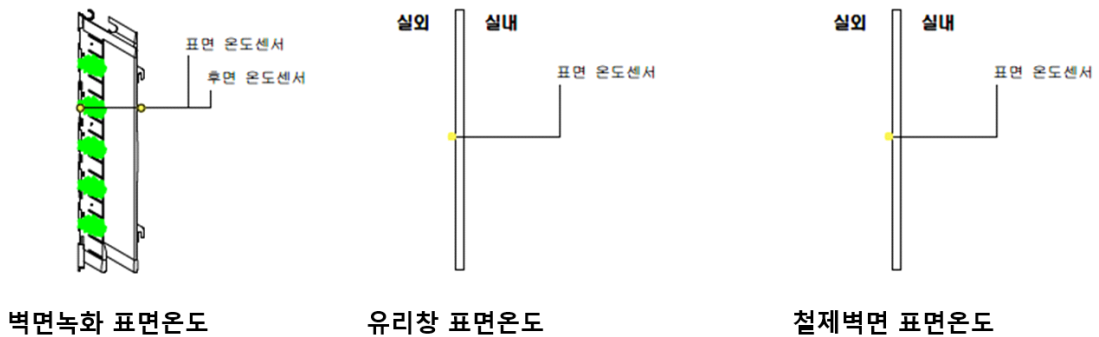
벽면녹화 측정 위치	분석 종류
	A-D-E
	B-D-E
	A-B-C
	C-D-E
	A-B-D-E

제2절 일별 온도 비교

1. 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면 온도 비교

일산서구청 벽면녹화 시스템의 효과를 검증하기 위해 벽면녹화 표면온도, 유리창 표면온도, 철재벽면의 표면온도를 비교하였다. [그림 4-1]에는 분석에 사용된 각 위치를 표시하여 나타내었다. 벽면녹화, 유리창, 철재벽면의 표면의 온도센서에 측정된 데이터를 사용하여 비교하였다.

[그림 4-1] 표면온도 비교 위치 설명

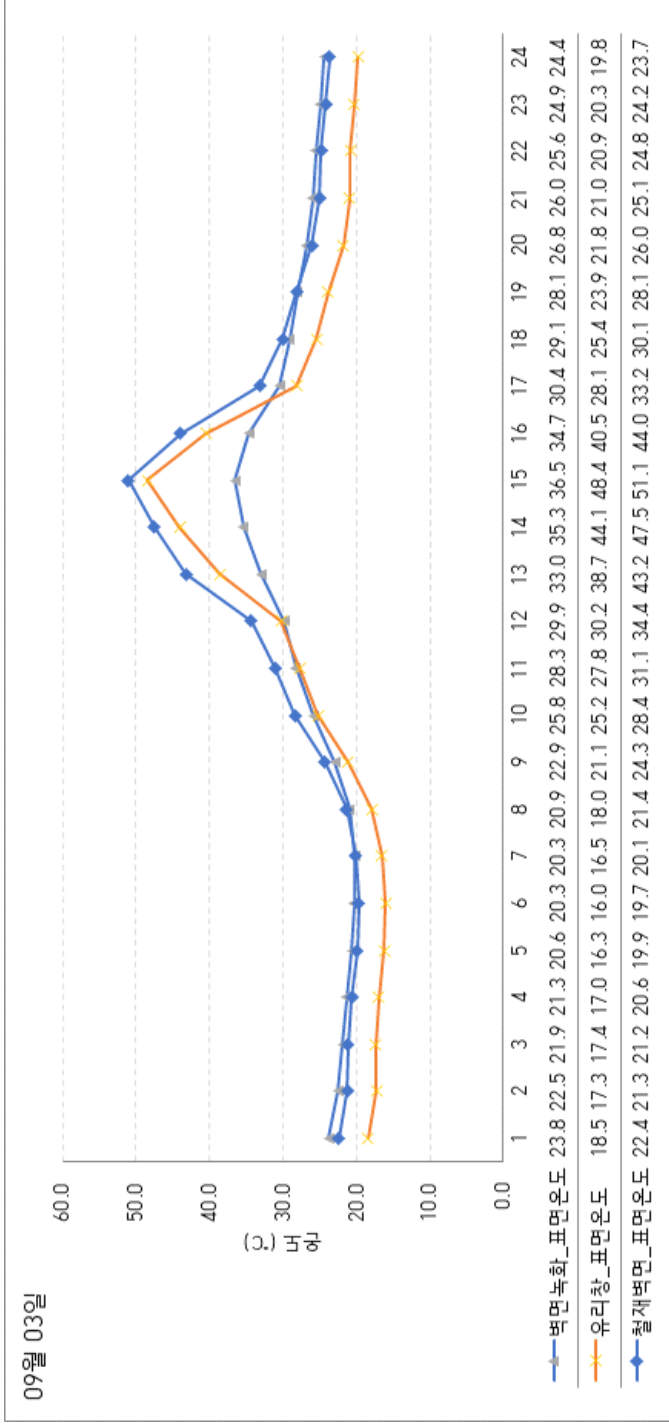


온도 측정 기간은 2022년 9월 1일부터 2022년 10월 31일까지 총 61일 동안 진행하였다. 이에 따라 일별 표면 온도 비교는 총 61개의 그래프로 나타낼 수 있다. [그림 4-2]에는 강우가 없는 날(2022년 9월 3일) 표면온도 비교 그래프의 예시를 나타내었고 [그림 4-3]에는 강우가 있는 날(2022년 9월 4일) 표면온도 비교 그래프의 예시를 나타내었으며, 모든 그래프는 부록에 나타내었다.

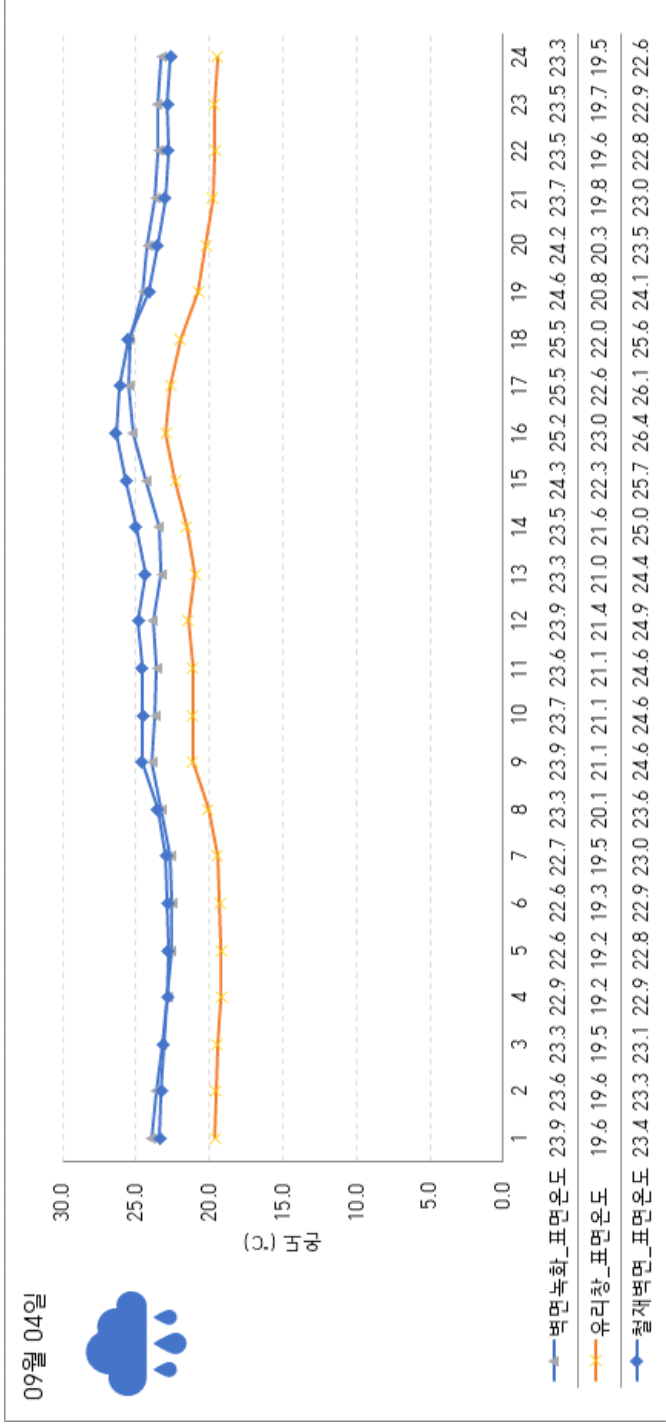
결과적으로 강우가 없는 날은 오전 12시부터 오후 6까지 온도 변화가 크게 나타났으며, 벽면녹화 표면의 최대온도는 유리창 표면과 철재벽면 표면의 최대온도에 비해 약 1

3°C 및 17°C 낮았다. 강우가 있는 날은 오전과 오후의 온도 차이가 다소 미미하였으며, 유리창 표면의 온도가 약 2°C 낮았다.

[그림 4-2] 표면온도 비교 (예시. 2022년 9월 3일 그래프)



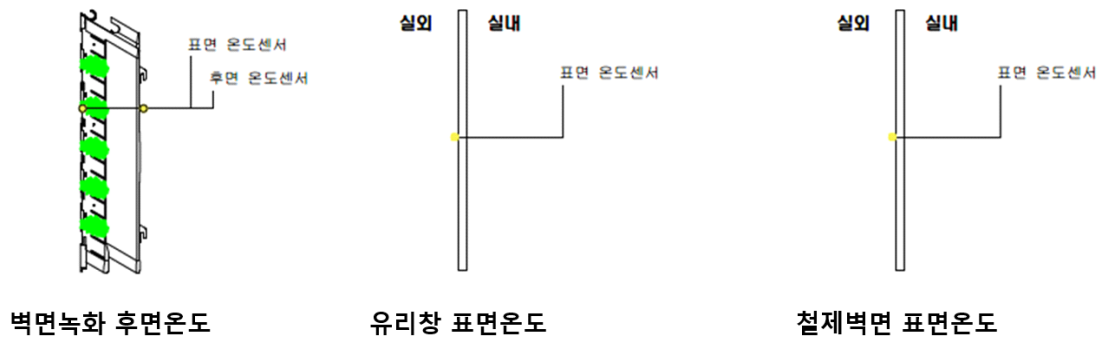
[그림 4-3] 표면온도 비교 (예시. 2022년 9월 4일 그래프)



2. 벽면녹화 후면 및 유리창, 철제벽면 표면 온도 비교

일산서구청 벽면녹화 시스템의 효과를 검증하기 위해 벽면녹화 후면온도, 유리창 표면온도, 철제벽면의 표면온도를 비교하였다. [그림 4-4]에는 분석에 사용된 각 위치를 표시하여 나타내었다. 벽면녹화 후면, 유리창, 철제벽면의 표면의 온도센서에 측정된 데이터를 사용하여 비교하였다.

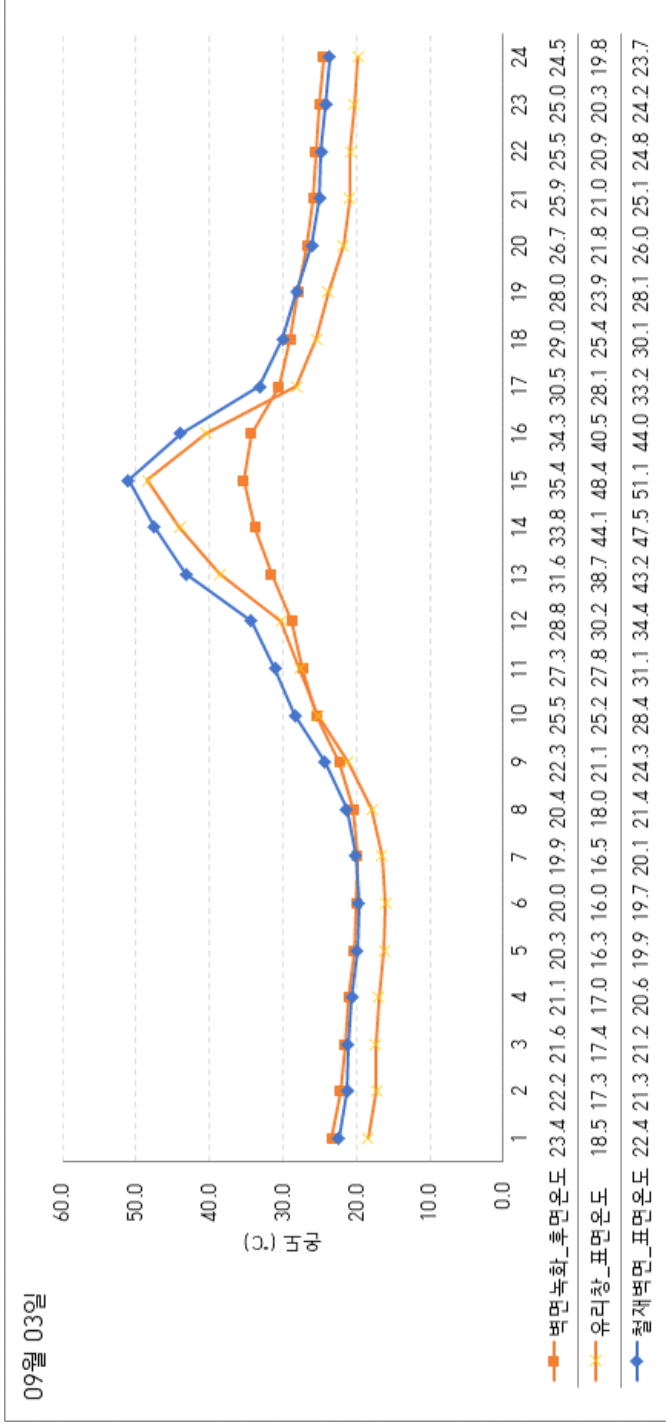
[그림 4-4] 후면온도 및 표면온도 비교 위치 설명



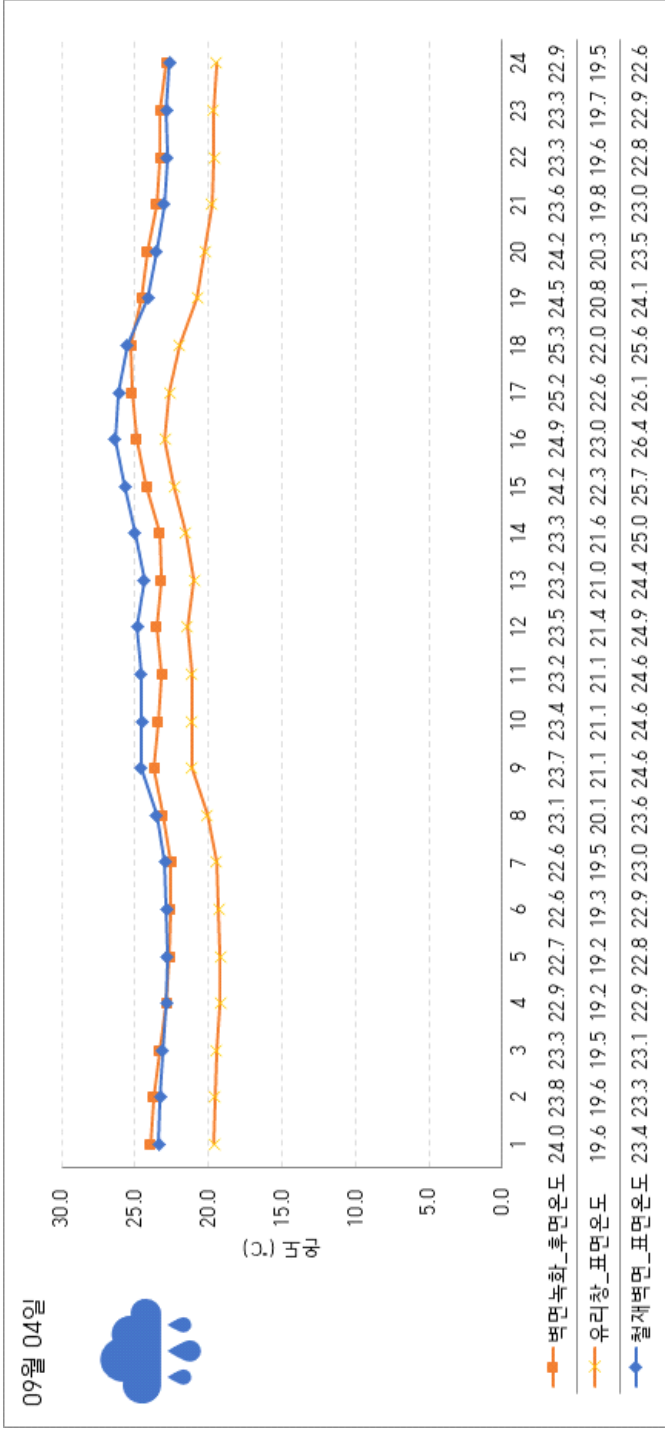
온도 측정 기간은 2022년 9월 1일부터 2022년 10월 31일까지 총 61일 동안 진행하였다. 이에 따라 일별 표면 온도 비교는 총 61개의 그래프로 나타낼 수 있다. [그림 4-5] 및 [그림 4-6]에는 강우가 없는 날(2022년 9월 3일)과 강우가 있는 날(2022년 9월 4일)의 벽면녹화 후면 및 유리창, 철제벽면 표면온도 비교 그래프의 예시를 나타내었으며, 모든 그래프는 부록에 나타내었다.

결과적으로 강우가 없는 날은 오전 12시부터 오후 6까지 온도 변화가 크게 나타났으며, 벽면녹화 후면의 최대온도는 유리창 표면과 철제벽면 표면의 최대온도에 비해 약 15°C 및 19°C 낮았다. 강우가 있는 날은 오전과 오후의 온도 차이가 다소 미미하였으며, 유리창 표면의 온도가 약 2°C 낮았다.

[그림 4-5] 후면 및 표면온도 비교 (예시. 2022년 9월 3일 그래프)



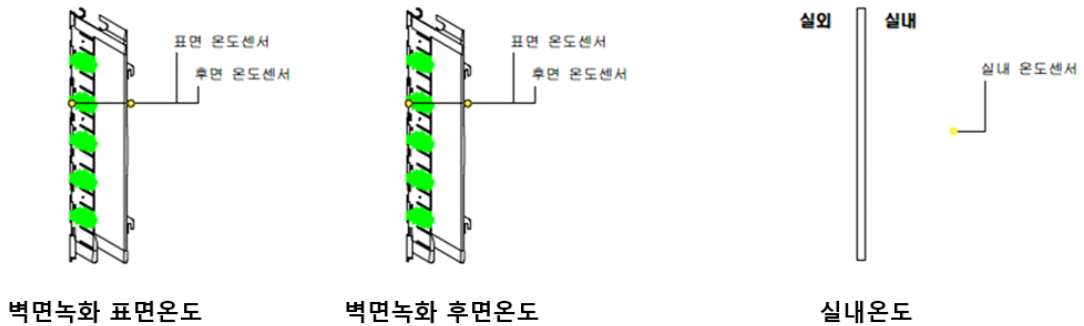
[그림 4-6] 후면 및 표면온도 비교 (예시. 2022년 9월 4일 그래프)



3. 벽면녹화 표면, 후면 및 실내온도 비교

일산서구청 벽면녹화 시스템의 효과를 검증하기 위해 벽면녹화 표면온도와 후면온도, 실내온도를 비교하였다. [그림 4-7]에는 분석에 사용된 각 위치를 표시하여 나타내었다. 벽면녹화 표면 및 후면, 실내의 온도센서에 측정된 데이터를 사용하여 비교하였다.

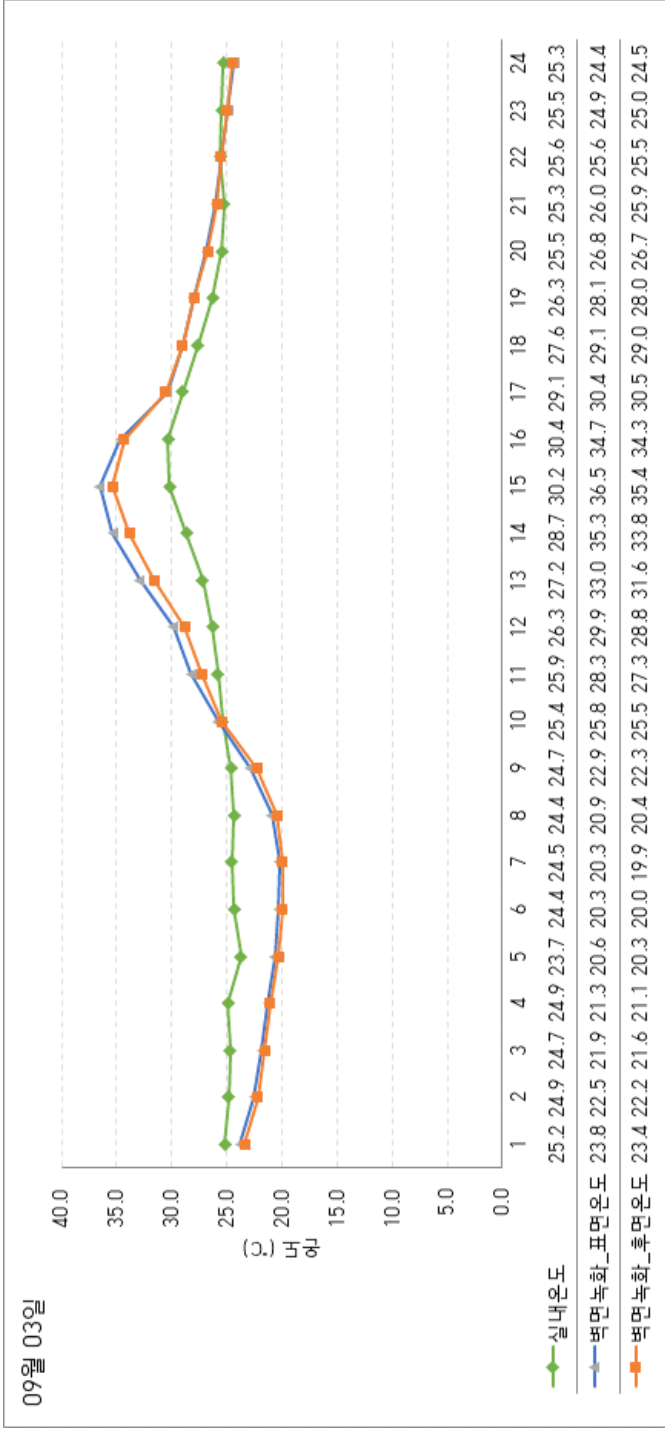
[그림 4-7] 벽면녹화 및 실내온도 비교 위치 설명



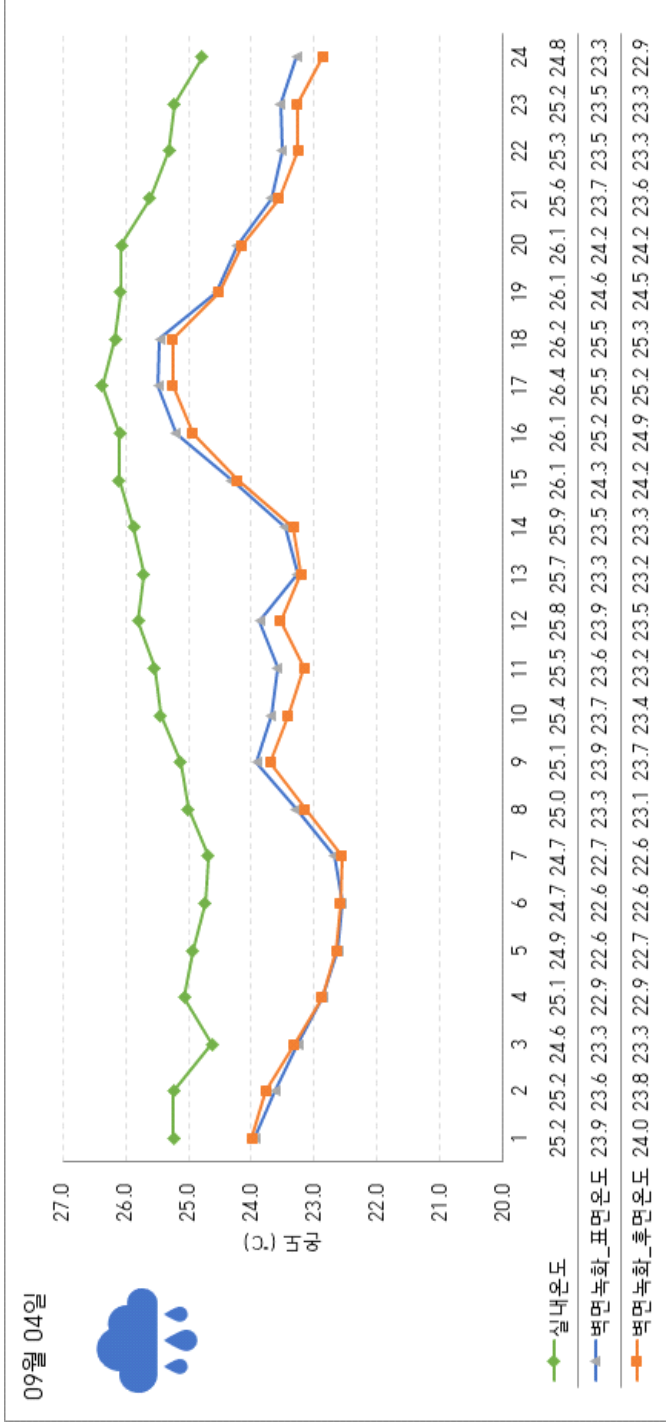
온도 측정 기간은 2022년 9월 1일부터 2022년 10월 31일까지 총 61일 동안 진행하였다. 이에 따라 일별 표면 온도 비교는 총 61개의 그래프로 나타낼수 있다. [그림 4-8] 및 [그림 4-9]에는 강우가 없는 날(2022년 9월 3일)과 강우가 있는 날(2022년 9월 4일)의 벽면녹화 표면과 후면, 실내온도 비교 그래프의 예시를 나타내었으며, 모든 그래프는 부록에 나타내었다.

결과적으로 강우가 없는 날은 오전 12시부터 오후 6까지 온도 변화가 다소 크게 나타났다으며, 벽면녹화 표면과 후면의 최대온도는 실내의 최대온도에 비해 약 5°C 및 2°C 높았다. 강우가 있는 날은 실내온도가 현저히 높았으며 벽면녹화의 표면 및 후면의 온도는 비슷한 수준이었다.

[그림 4-8] 벽면녹화 및 실내온도 비교 (예시, 2022년 9월 3일 그래프)



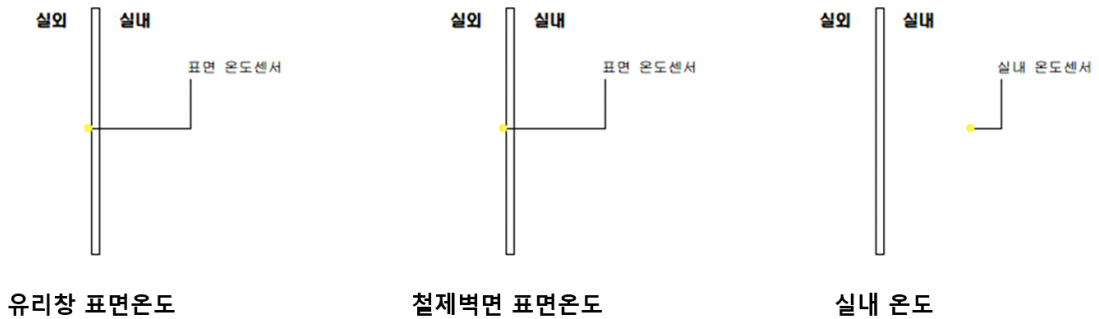
[그림 4-9] 벽면녹화 및 실내온도 비교 (예시, 2022년 9월 4일 그래프)



4. 유리창, 철제벽면 표면온도 및 실내온도 비교

일산서구청 벽면녹화 시스템의 효과를 검증하기 위해 유리창 표면온도, 철제벽면 표면온도, 실내온도를 비교하였다. [그림 4-7]에는 분석에 사용된 각 위치를 표시하여 나타내었다. 유리창 및 철제벽면의 표면, 실내의 온도센서에 측정된 데이터를 사용하여 비교하였다.

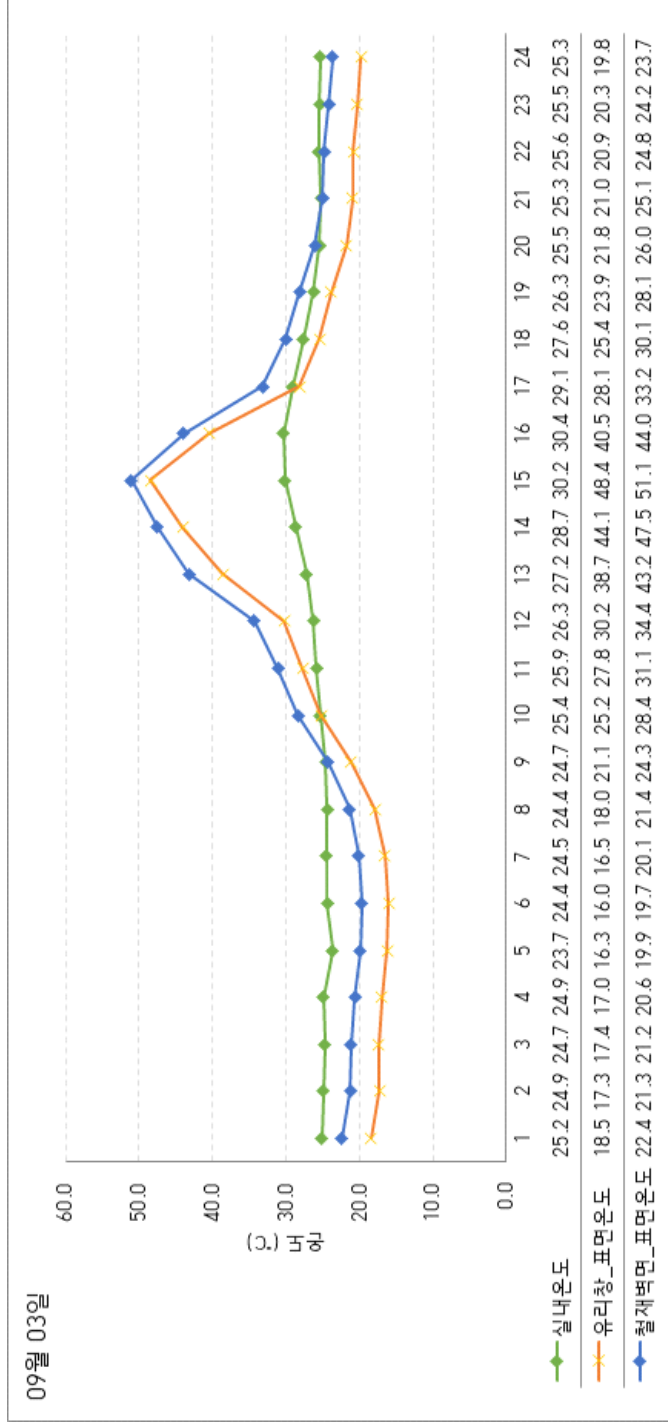
[그림 4-10] 유리창, 철제벽면 표면온도 및 실내온도 비교 위치 설명



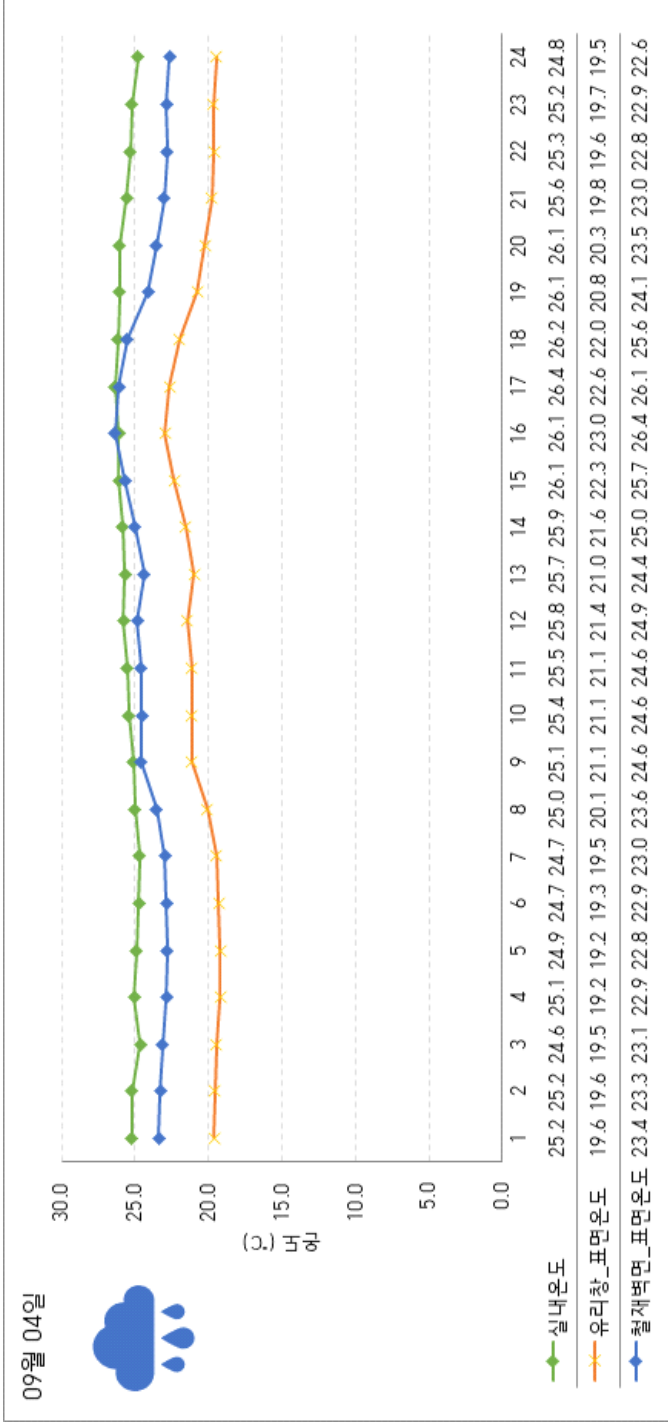
온도 측정 기간은 2022년 9월 1일부터 2022년 10월 31일까지 총 61일 동안 진행하였다. 이에 따라 일별 표면 온도 비교는 총 61개의 그래프로 나타낼 수 있다. [그림 4-11] 및 [그림 4-12]에는 강우가 없는 날(2022년 9월 3일)과 강우가 있는 날(2022년 9월 4일)의 유리창 및 철제벽면의 표면온도, 실내온도 비교 그래프의 예시를 나타내었으며, 모든 그래프는 부록에 나타내었다.

결과적으로 강우가 없는 날은 오전 12시부터 오후 6까지 온도 변화가 크게 나타났으며, 실내의 최대온도는 유리창 표면과 철제벽면 표면의 최대온도에 비해 약 17°C 및 21°C 낮았다. 강우가 있는 날은 오전과 오후의 온도 차이가 다소 미미하였으며, 유리창 표면의 온도가 약 4°C 낮았다.

[그림 4-11] 표면 및 실내온도 비교 (예시, 2022년 9월 3일 그래프)



[그림 4-12] 표면 및 실내온도 비교 (예시, 2022년 9월 4일 그래프)

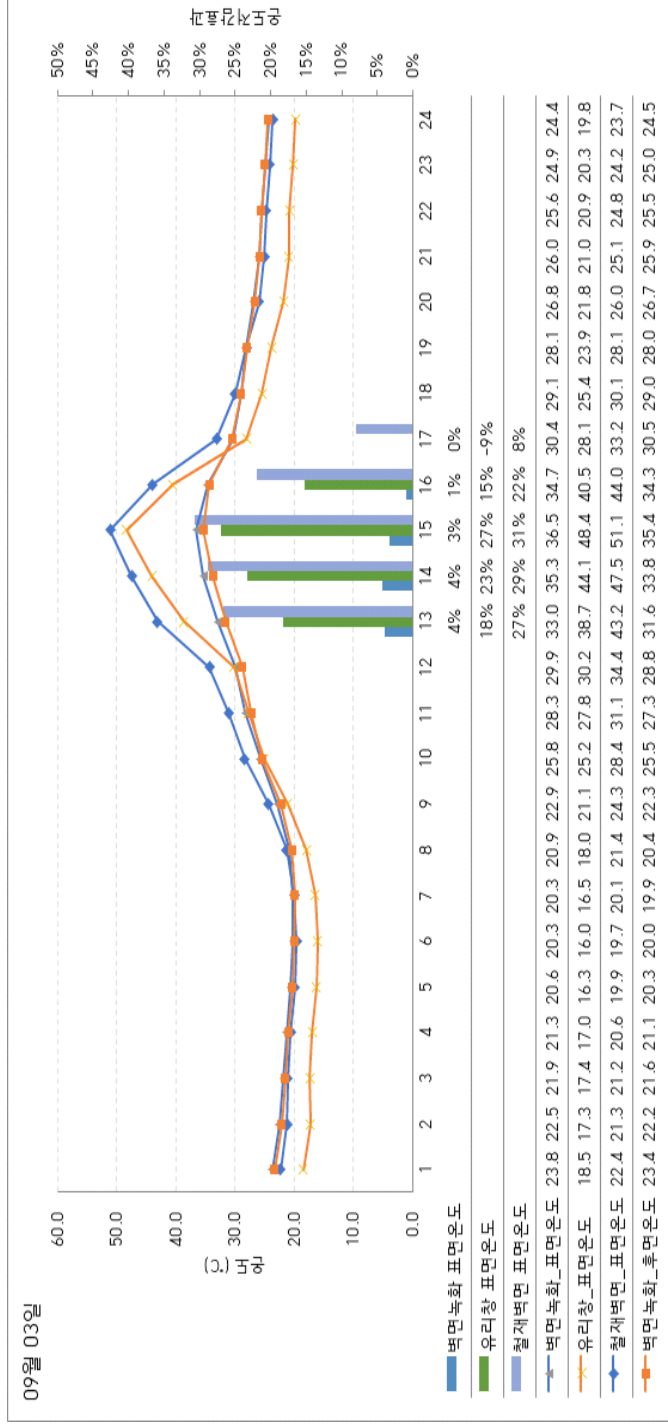


5. 온도저감효과

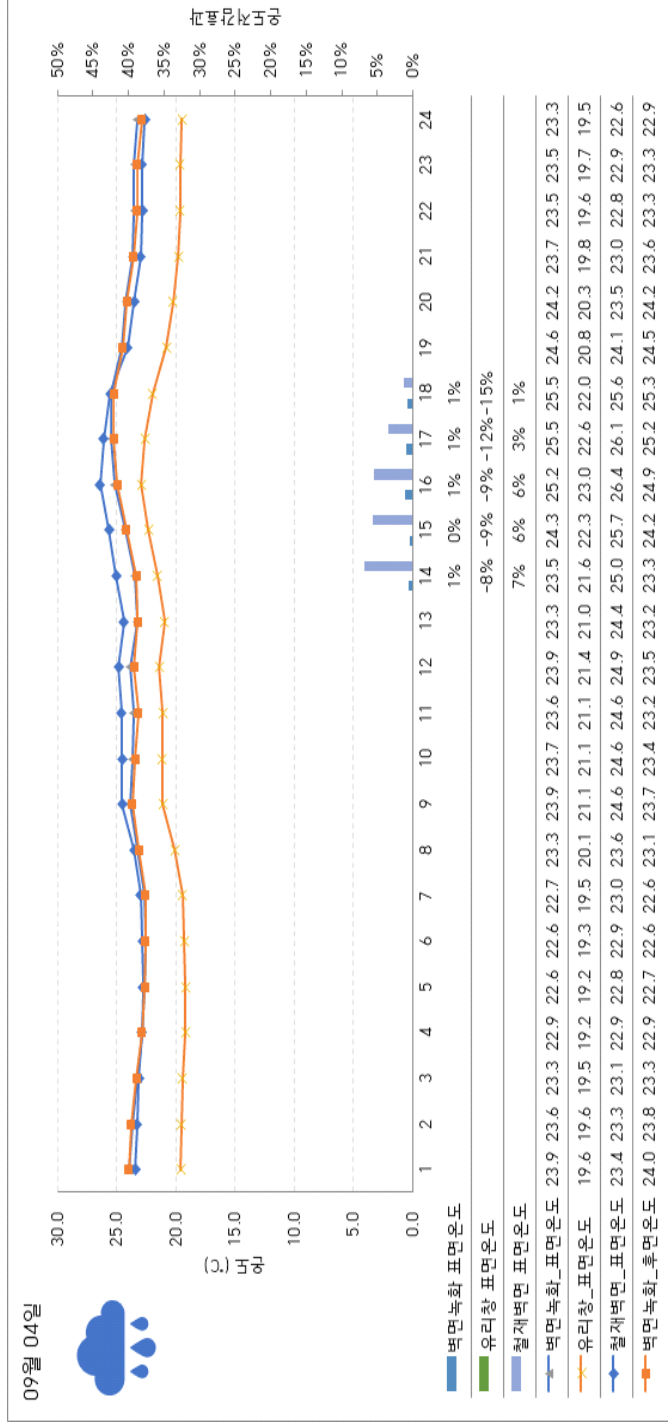
일산서구청 벽면녹화시스템의 효과를 검증하기 위해 벽면녹화 표면, 유리창 표면, 철제벽면 표면에 대한 벽면녹화의 후면의 온도저감효과를 분석하였다. 온도 측정 기간은 2022년 9월 1일부터 2022년 10월 31일까지 총 61일 동안 진행하였다. 이에 따라 일별 표면 온도 비교는 총 61개의 그래프로 나타낼 수 있다. [그림 4-13] 및 [그림 4-14]에는 강우가 없는 날(2022년 9월 3일)과 강우가 있는 날(2022년 9월 4일)의 벽면녹화 표면과 후면, 유리창 표면, 철제벽면 표면과 온도저감효과에 대한 그래프의 예시를 나타내었으며, 모든 그래프는 부록에 나타내었다. [표 4-3] 및 [표 4-4]에는 9월과 10월의 날짜별 온도저감효과를 나타내었다.

결과적으로 벽면녹화 표면, 유리창 표면, 철제벽면 표면에 대한 벽면녹화 후면의 온도저감효과의 9월 평균값은 각각 5%, 24% 및 30%이었으며, 10월의 평균값은 각각 13%, 36% 및 40%으로 유리창과 철제벽면 표면에 대해 높은 온도저감효과를 보였다.

[그림 4-13] 온도저감효과 비교 (예시. 2022년 9월 3일 그래프)



[그림 4-14] 온도저감효과 비교 (예시. 2022년 9월 4일 그래프)



[표 4-3] 9월 온도저감효과

날짜	벽면녹화 후면의 온도저감효과		
	벽면녹화 표면 대비	유리창 표면 대비	철제벽면 표면 대비
09월 01일	6%	27%	32%
09월 02일	5%	25%	31%
09월 03일	4%	27%	31%
09월 04일	1%	-8%	7%
09월 05일	2%	-8%	6%
09월 06일	5%	33%	36%
09월 07일	-1%	34%	38%
09월 08일	0%	31%	35%
09월 09일	1%	32%	37%
09월 10일	0%	24%	30%
09월 11일	0%	0%	12%
09월 12일	6%	12%	22%
09월 13일	3%	1%	11%
09월 14일	2%	11%	18%
09월 15일	6%	8%	18%
09월 16일	4%	6%	18%
09월 17일	4%	27%	32%
09월 18일	6%	29%	32%
09월 19일	5%	31%	35%
09월 20일	7%	33%	35%
09월 21일	8%	38%	42%
09월 22일	7%	34%	39%
09월 23일	9%	42%	44%
09월 24일	9%	38%	40%
09월 25일	8%	36%	38%
09월 26일	8%	32%	33%
09월 27일	9%	34%	37%
09월 28일	7%	21%	26%
09월 29일	10%	33%	37%
09월 30일	8%	32%	36%
평균	5%	24%	30%

[표 4-4] 10월 온도저감효과

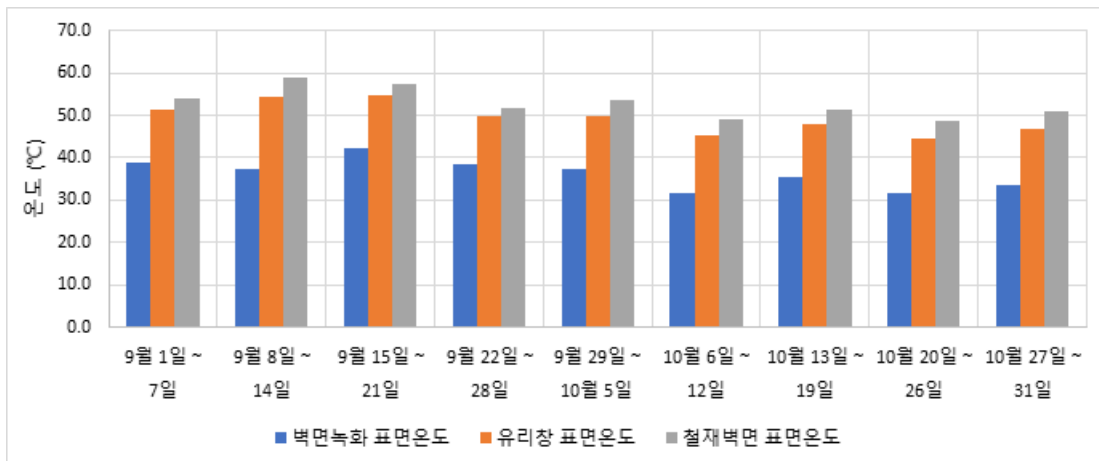
날짜	벽면녹화 후면의 온도저감효과		
	벽면녹화 표면 대비	유리창 표면 대비	철제벽면 표면 대비
10월 01일	10%	32%	36%
10월 02일	1%	0%	9%
10월 03일	4%	-16%	0%
10월 04일	14%	39%	40%
10월 05일	12%	43%	46%
10월 06일	10%	24%	30%
10월 07일	12%	37%	40%
10월 08일	13%	40%	42%
10월 09일	3%	-2%	15%
10월 10일	14%	46%	48%
10월 11일	19%	49%	49%
10월 12일	14%	42%	44%
10월 13일	14%	39%	42%
10월 14일	8%	30%	34%
10월 15일	15%	39%	41%
10월 16일	8%	9%	20%
10월 17일	19%	52%	53%
10월 18일	23%	52%	51%
10월 19일	21%	48%	48%
10월 20일	18%	46%	46%
10월 21일	14%	41%	44%
10월 22일	15%	41%	43%
10월 23일	18%	45%	45%
10월 24일	21%	51%	50%
10월 25일	17%	45%	45%
10월 26일	14%	41%	44%
10월 27일	7%	40%	43%
10월 28일	11%	45%	48%
10월 29일	7%	41%	44%
10월 30일	8%	39%	42%
10월 31일	8%	36%	43%
평균	13%	36%	40%

제3절 주간별 온도 비교

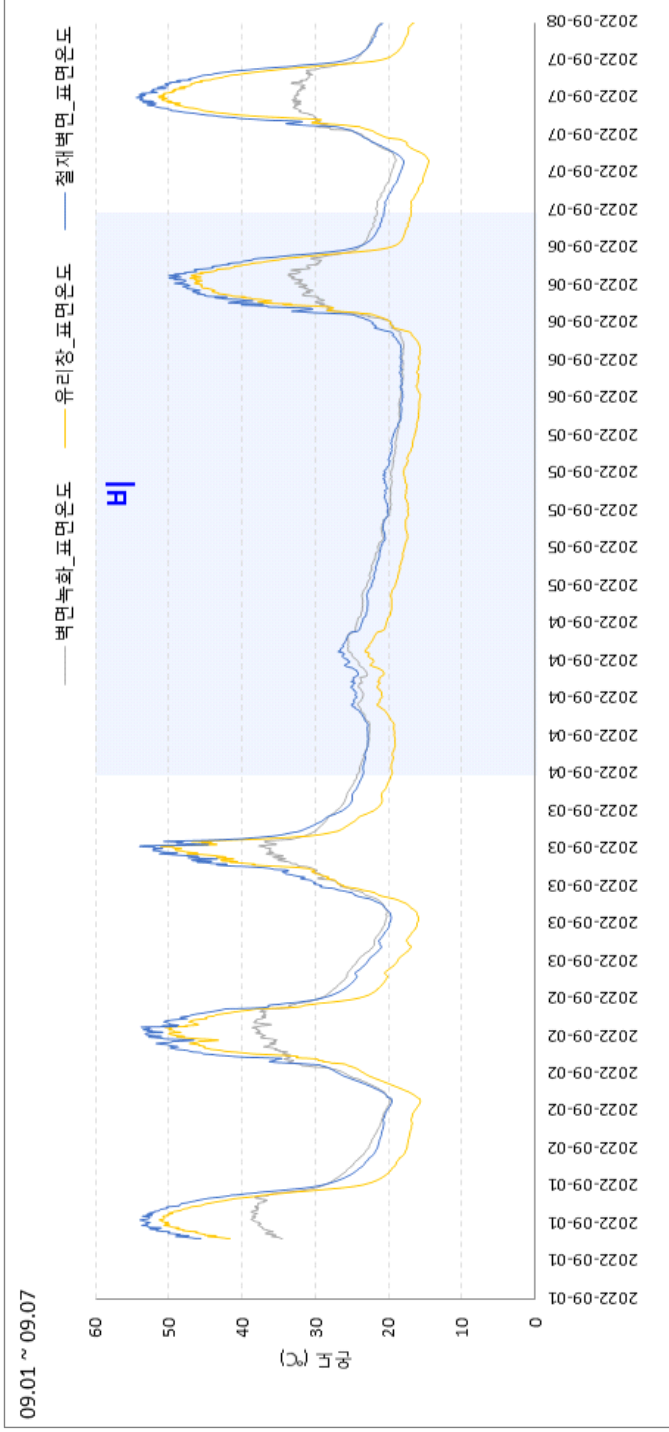
1. 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도 비교

일별로 측정된 데이터를 효과적으로 분석하기 위해 일주일(7일)을 분석 대상 기간으로 선정하였다. 9월 1일부터 10월 31일까지 1 ~ 8주차는 7일, 9주차는 5일로 총 9주차로 나눠서 비교하였다. [그림 4-15]에는 1 ~ 9주차 각각의 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도 최대값을 나타내었다. [그림 4-16] ~ [그림 4-24]에는 1주차(9월 1일 ~ 9월 7일) ~ 9주차(10월 27일 ~ 10월 31일)의 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도를 나타내었다. 1 ~ 9주차의 최대값은 벽면녹화 표면온도에서 31.6°C ~ 42.3°C, 유리창 표면온도에서 44.4°C ~ 54.9°C, 철제벽면 표면온도에서 48.6°C ~ 58.9°C이었다.

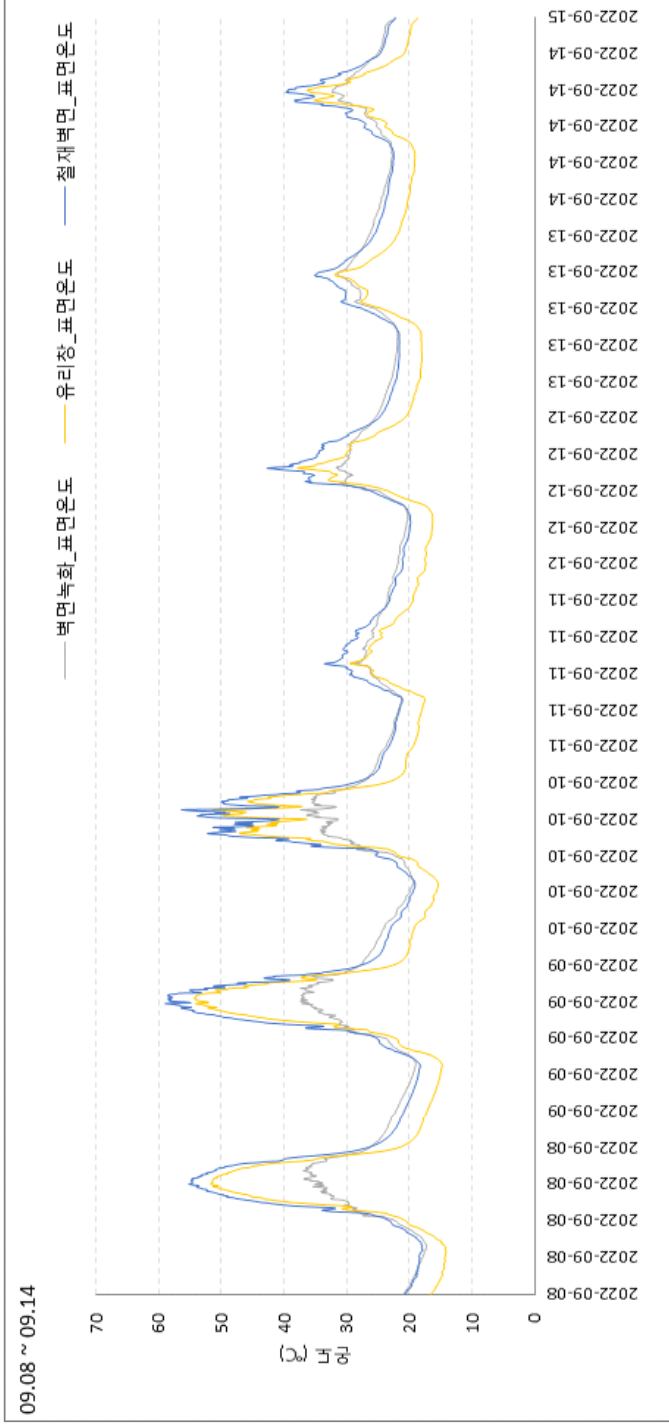
[그림 4-15] 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도 최대값 비교 그래프



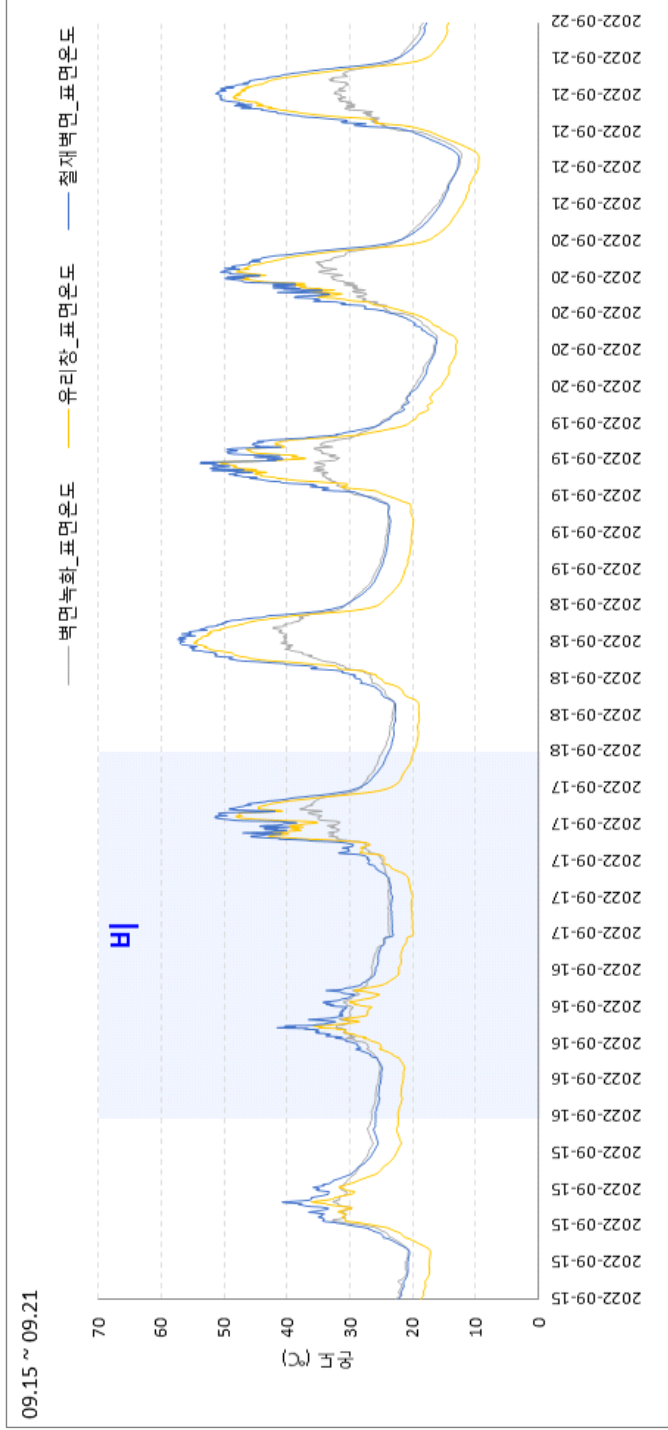
[그림 4-16] 1주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도



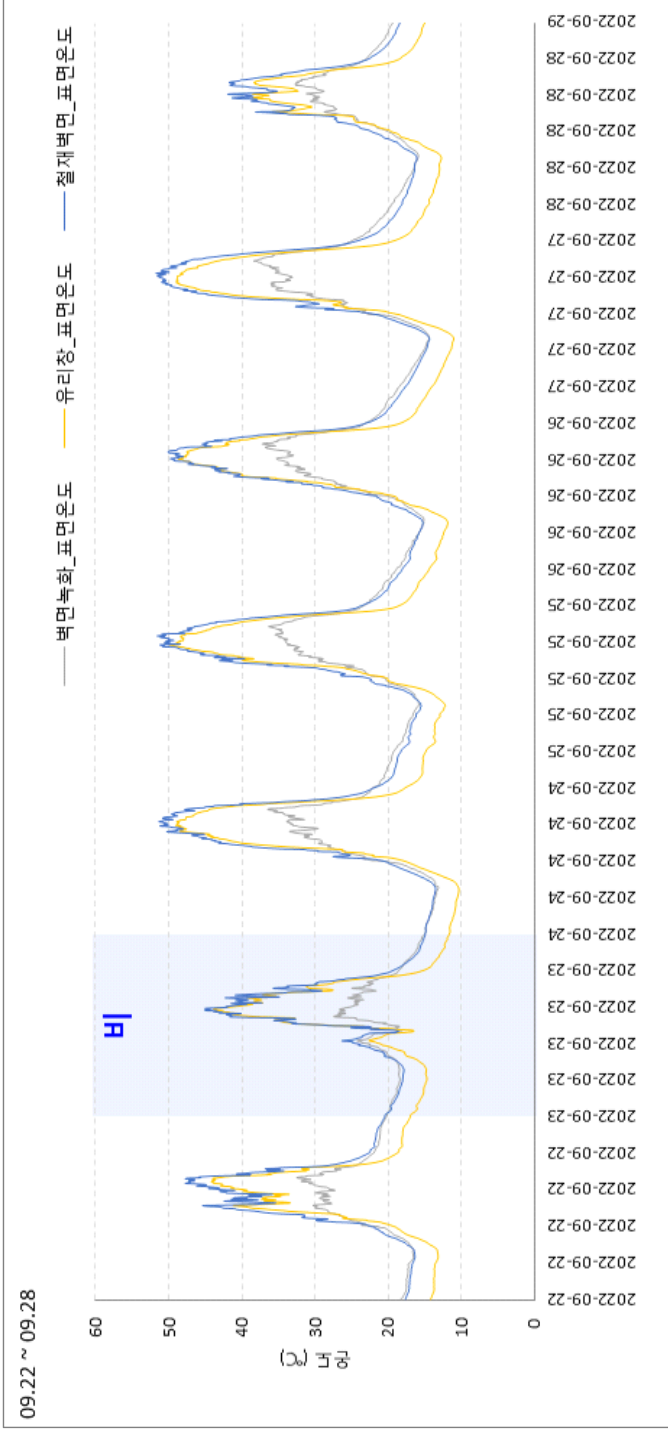
[그림 4-17] 2주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도



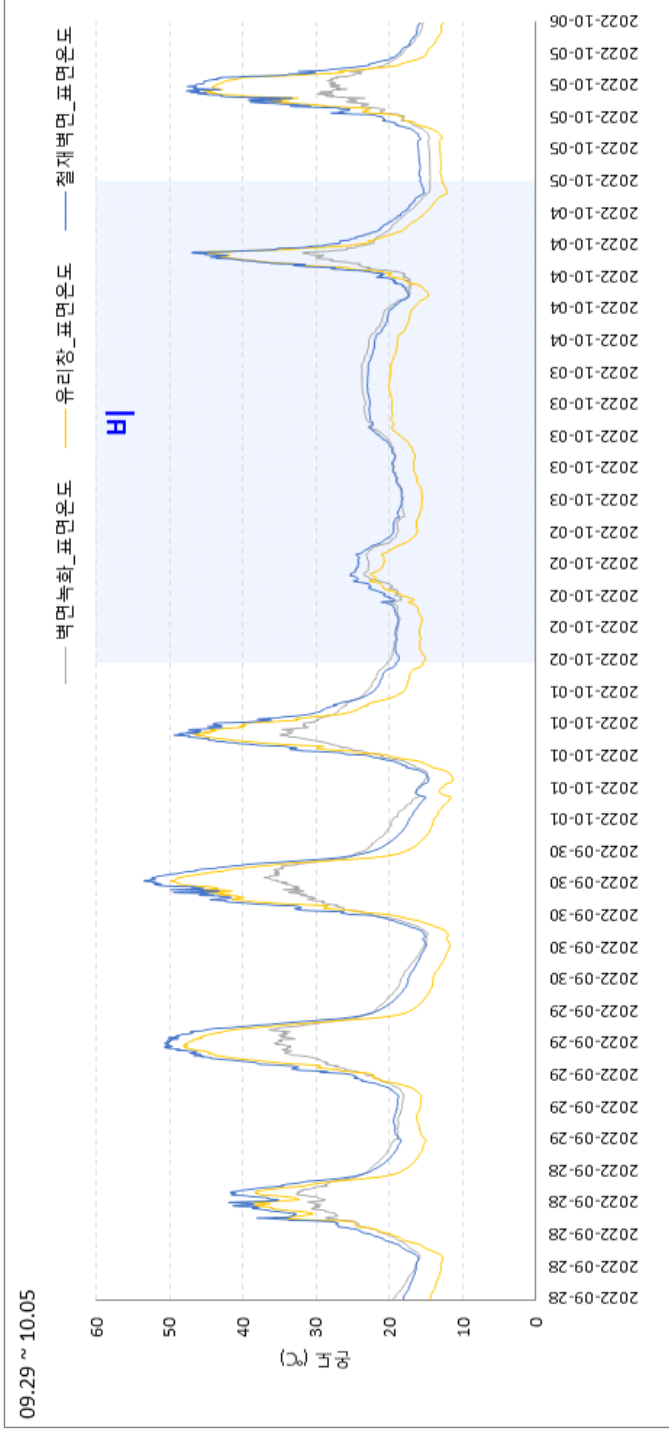
[그림 4-18] 3주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도



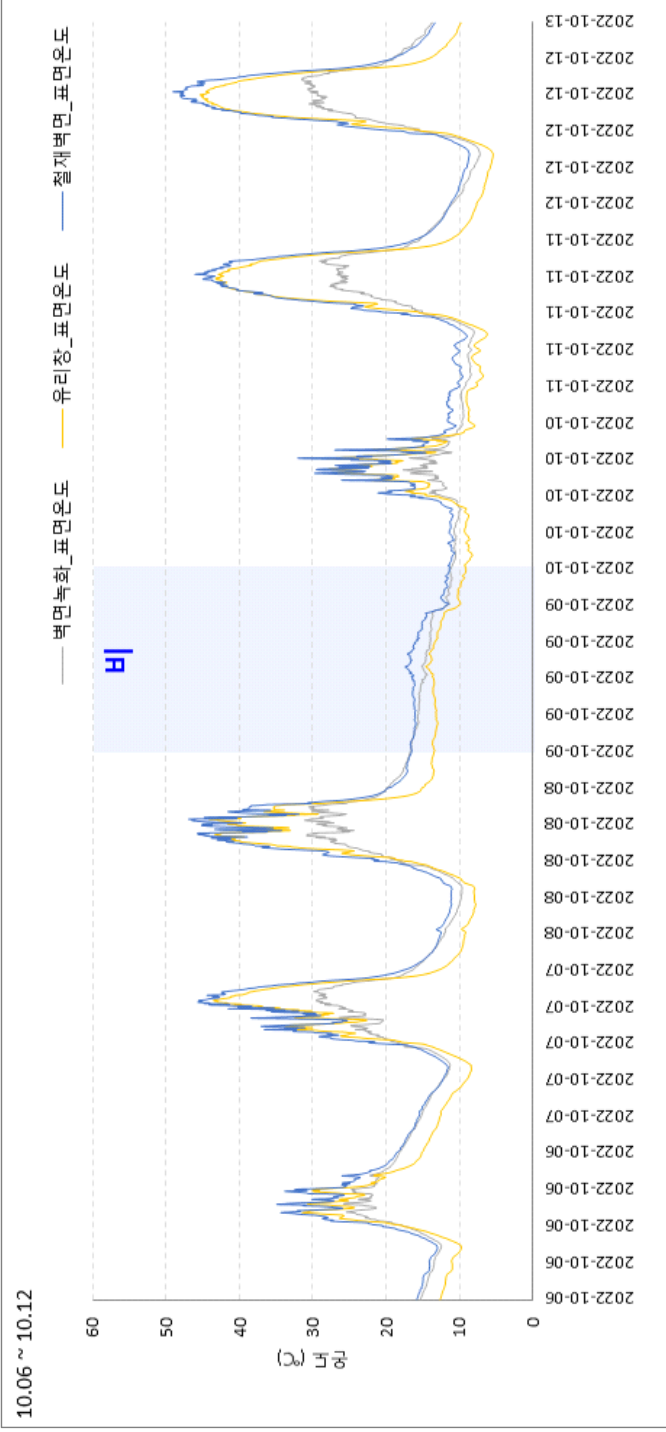
[그림 4-19] 4주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도



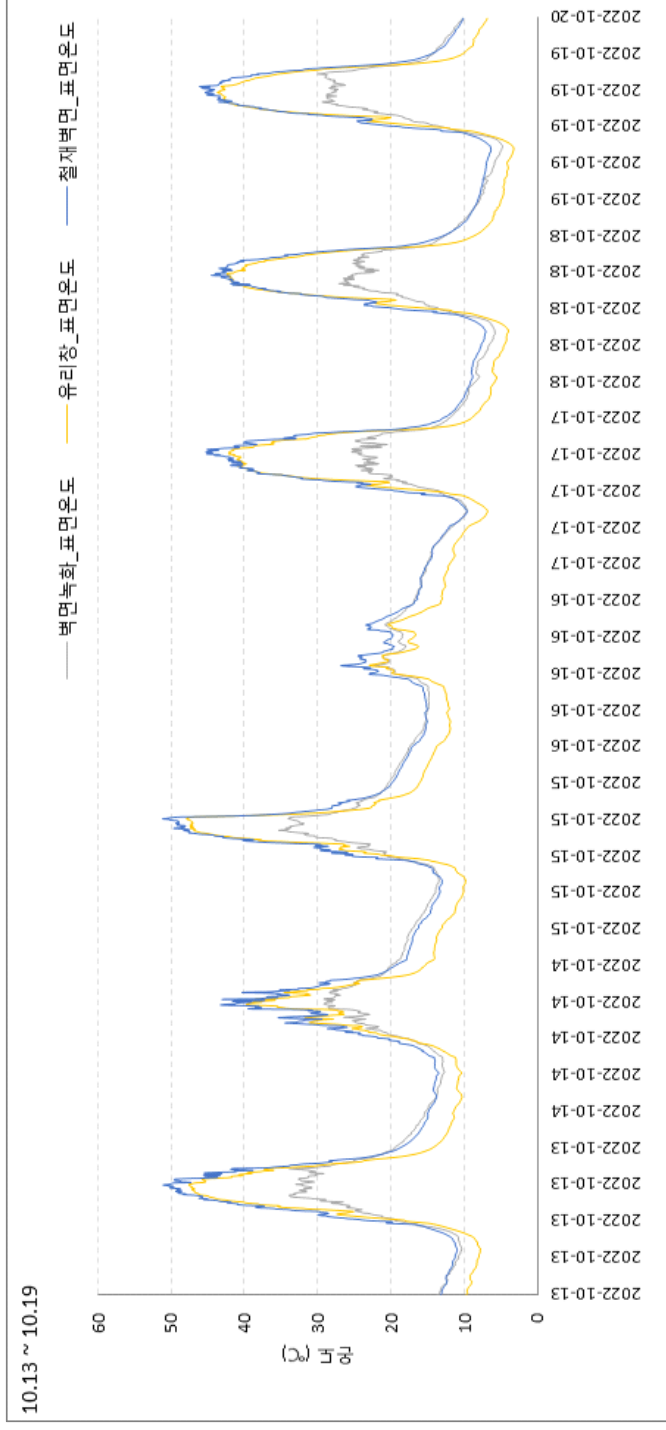
[그림 4-20] 5주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도



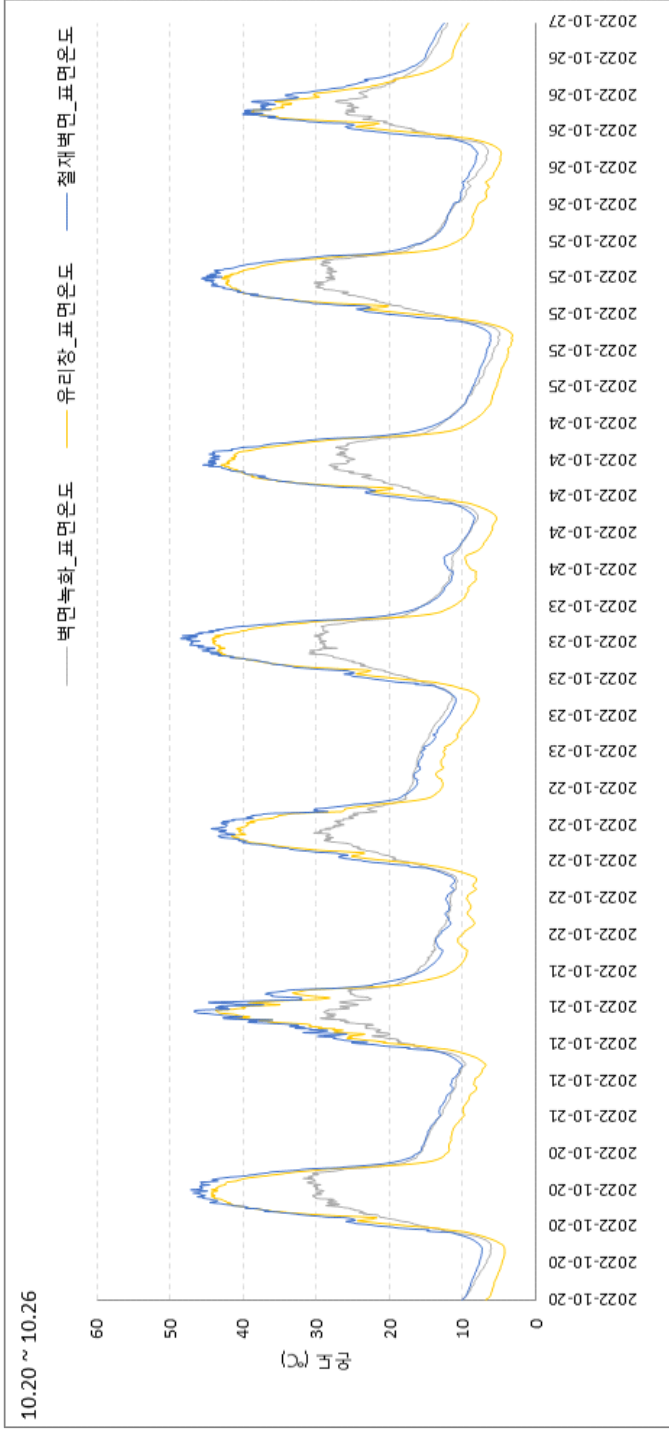
[그림 4-21] 6주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도



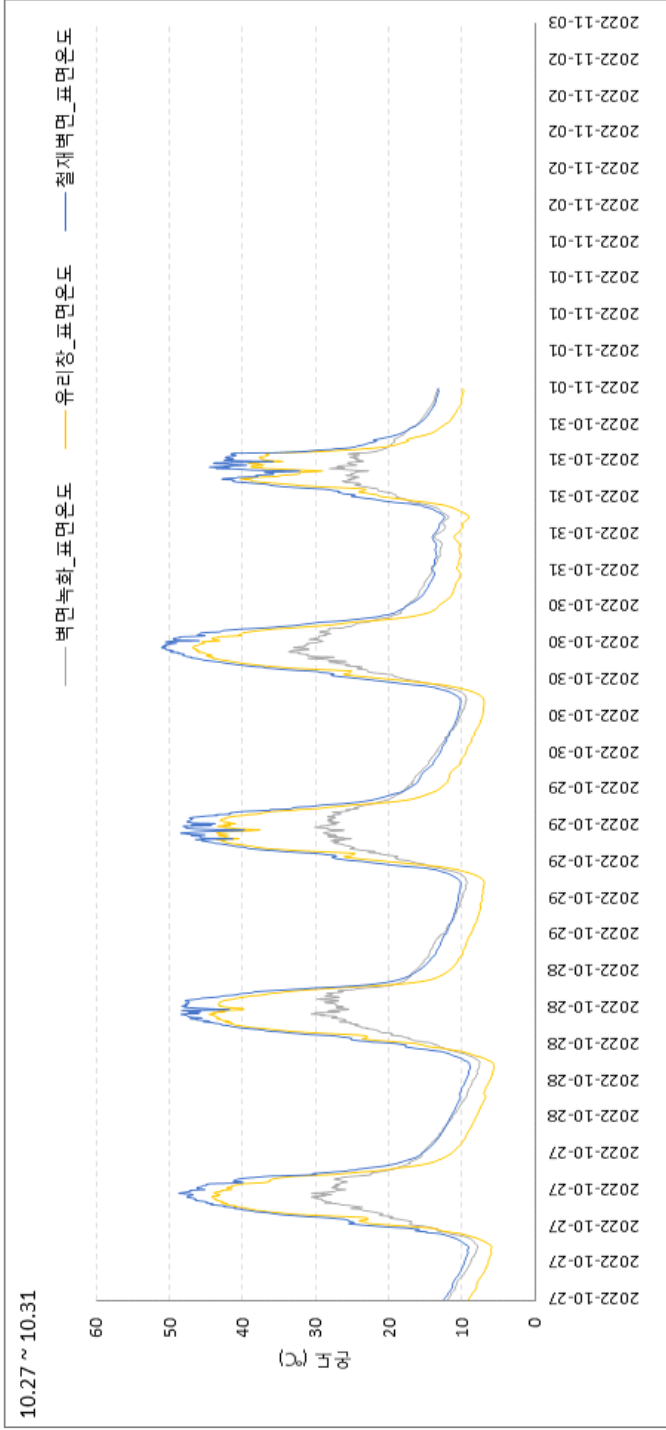
[그림 4-22] 7주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도



[그림 4-23] 8주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도



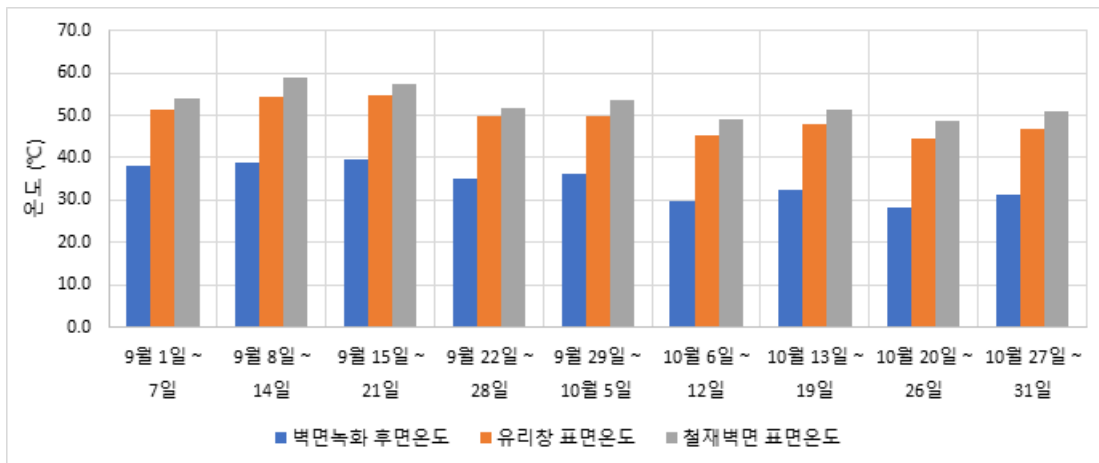
[그림 4-24] 9주차 벽면녹화, 유리창, 철제벽면 표면온도



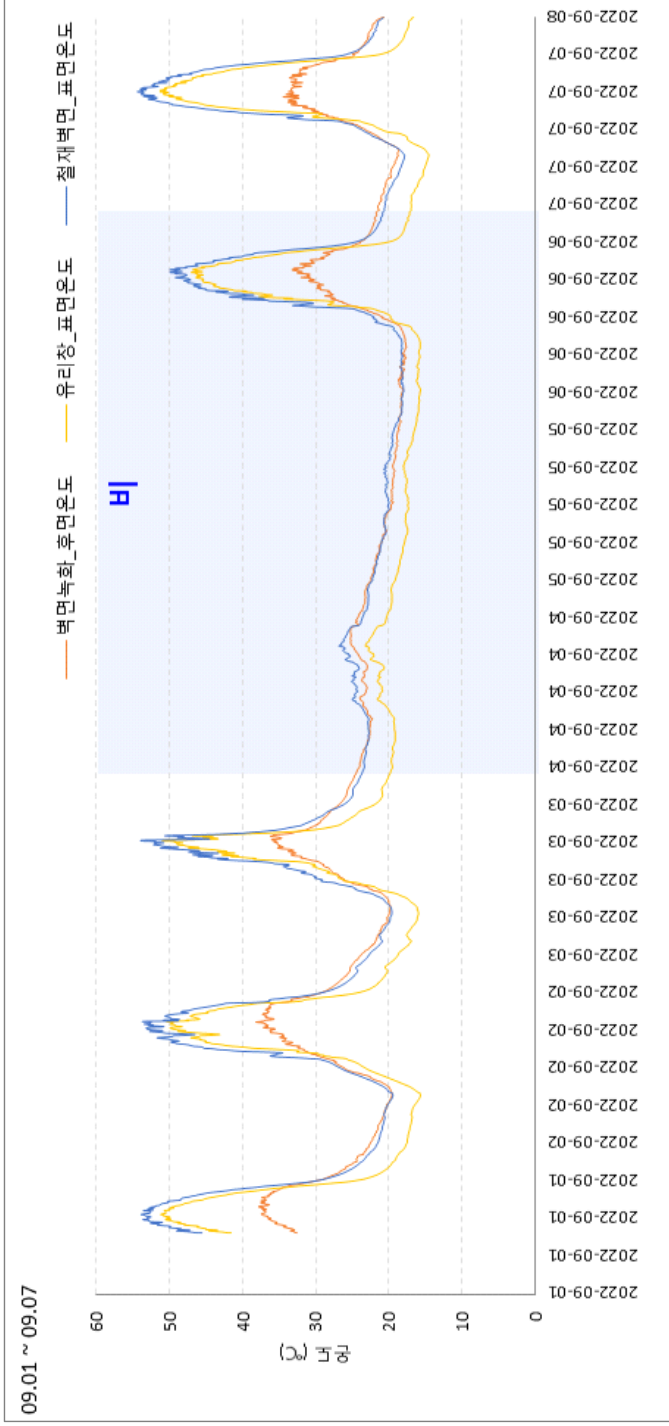
3. 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철재벽면 표면온도 비교

일별로 측정된 데이터를 효과적으로 분석하기 위해 일주일(7일)을 분석 대상 기간으로 선정하였다. 9월 1일부터 10월 31일까지 1 ~ 8주차는 7일, 9주차는 5일로 총 9주차로 나뉘어서 비교하였다. [그림 4-25]에는 1 ~ 9주차 각각의 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철재벽면 표면온도 최대값을 나타내었다. [그림 4-26] ~ [그림 4-34]에는 1주차(9월 1일 ~ 9월 7일) ~ 9주차(10월 27일 ~ 10월 31일)의 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철재벽면 표면온도를 나타내었다. 1 ~ 9주차의 최대값은 벽면녹화 후면온도에서 28.4°C ~ 39.7°C, 유리창 표면온도에서 44.4°C ~ 54.9°C, 철재벽면 표면온도에서 48.6°C ~ 58.9°C이었다.

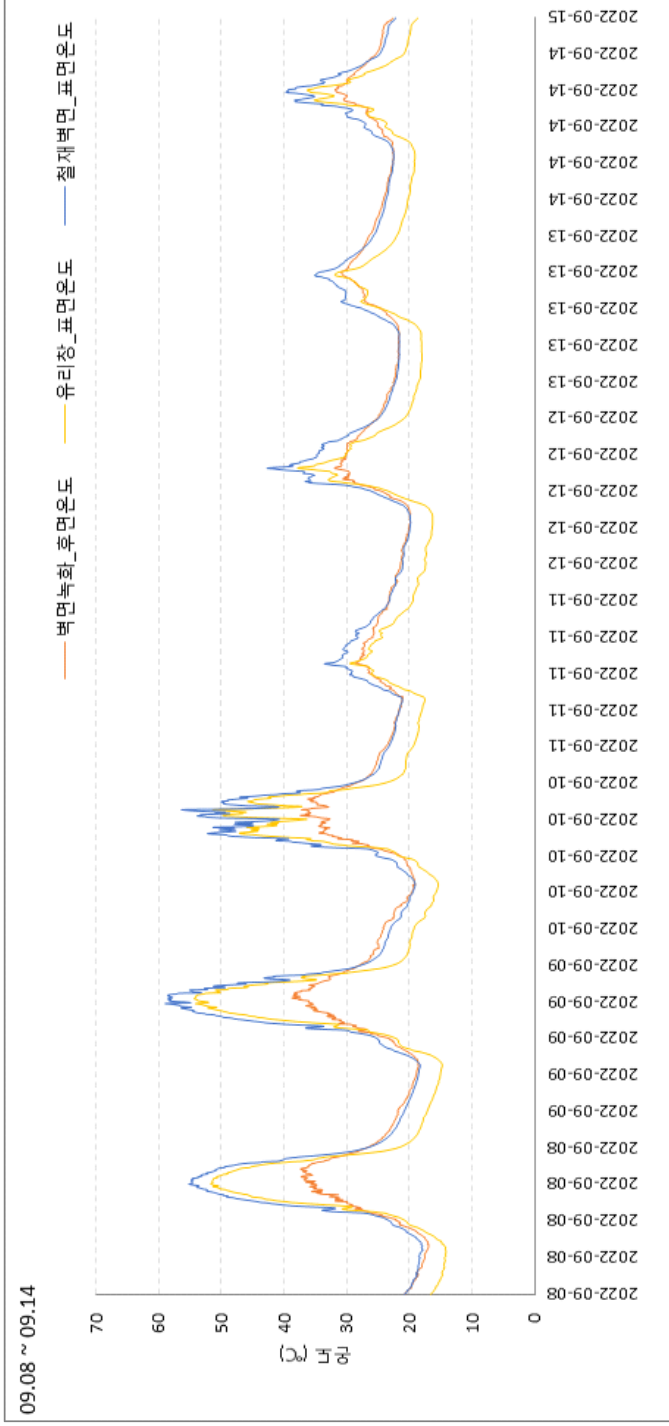
[그림 4-25] 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철재벽면 표면온도 최대값 비교 그래프



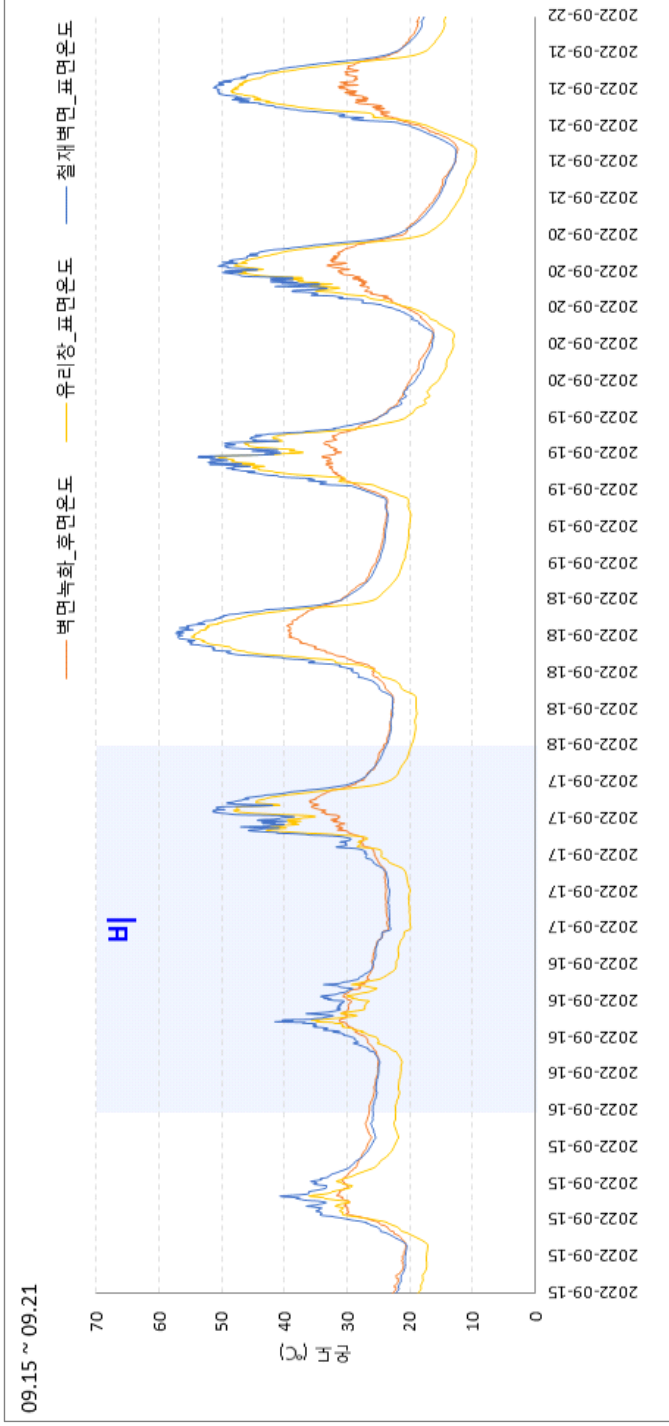
[그림 4-26] 1주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도



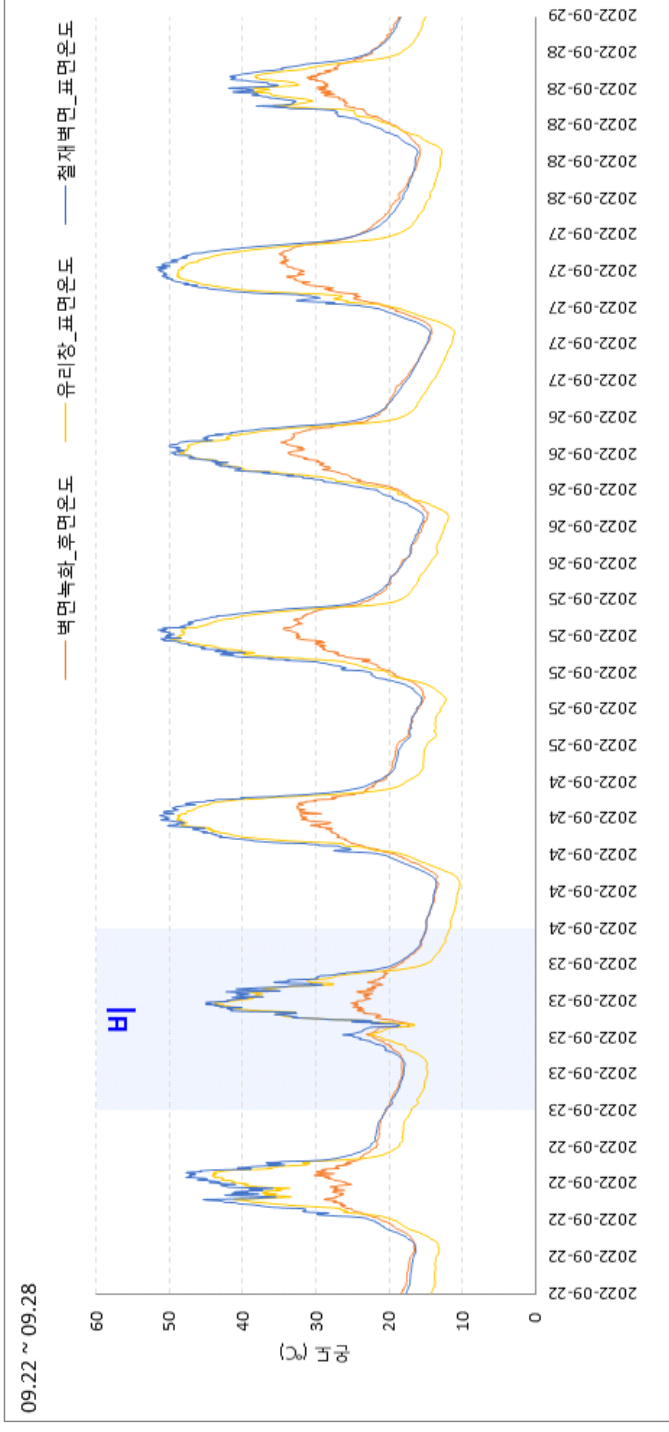
[그림 4-27] 2주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도



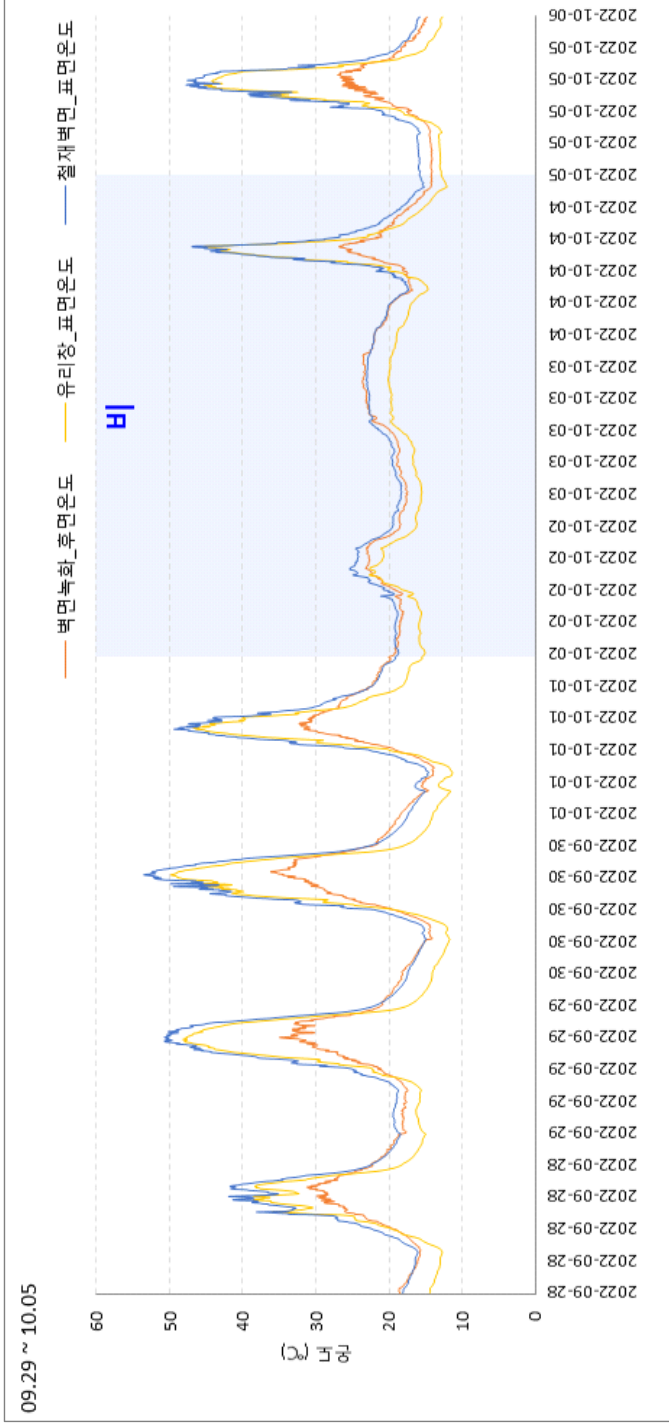
[그림 4-28] 3주차 벽면녹화 후면온도 및 유리장, 철제벽면 표면온도



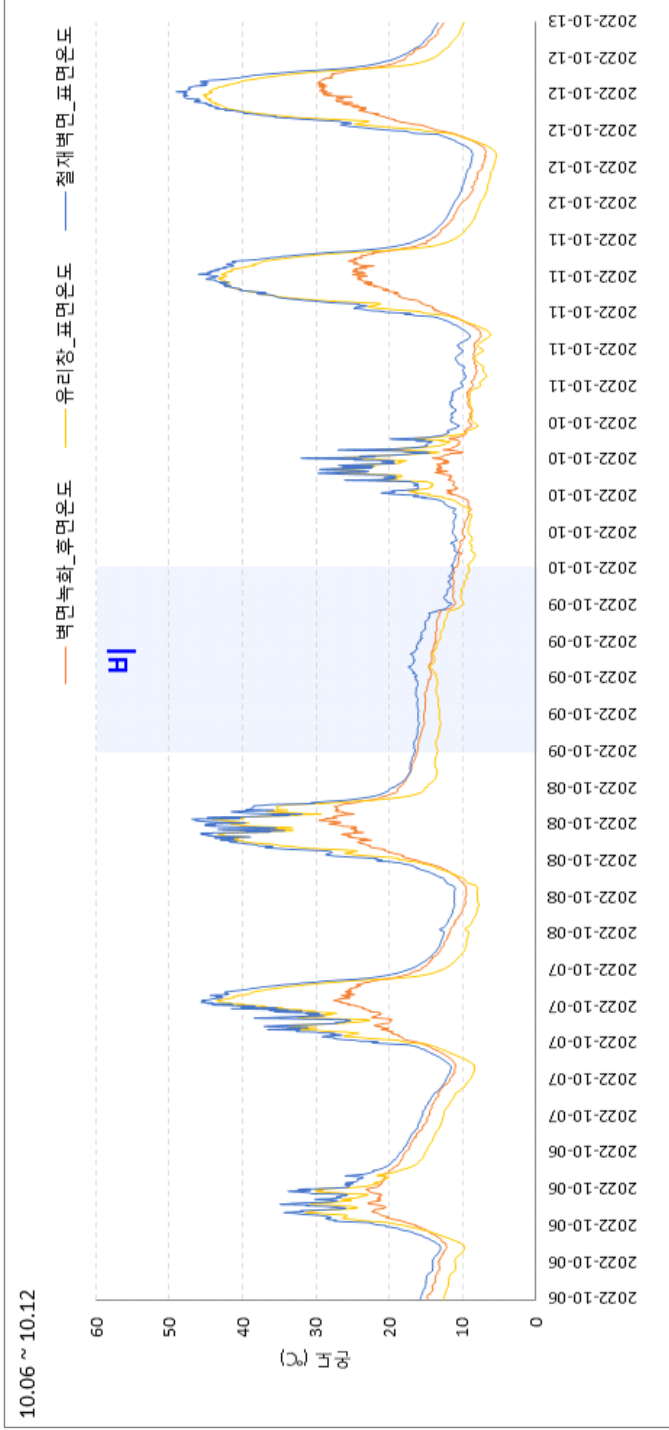
[그림 4-29] 4주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도



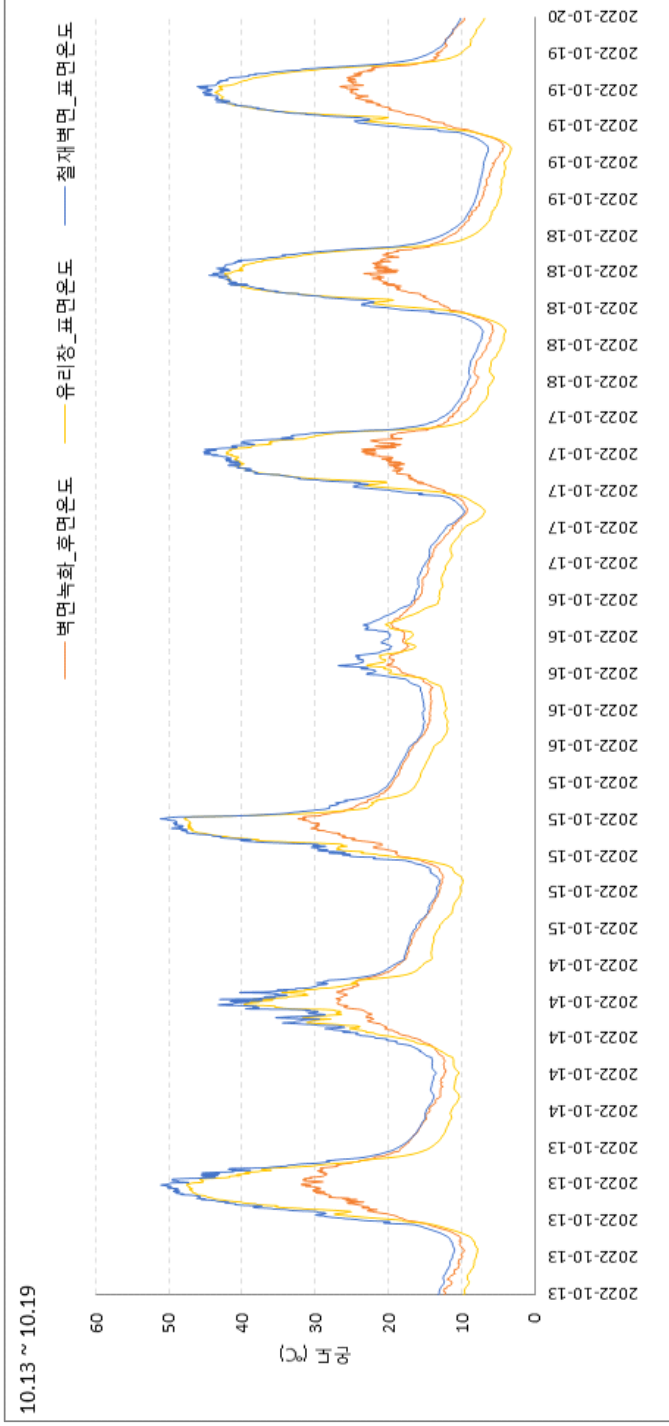
[그림 4-30] 5주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도



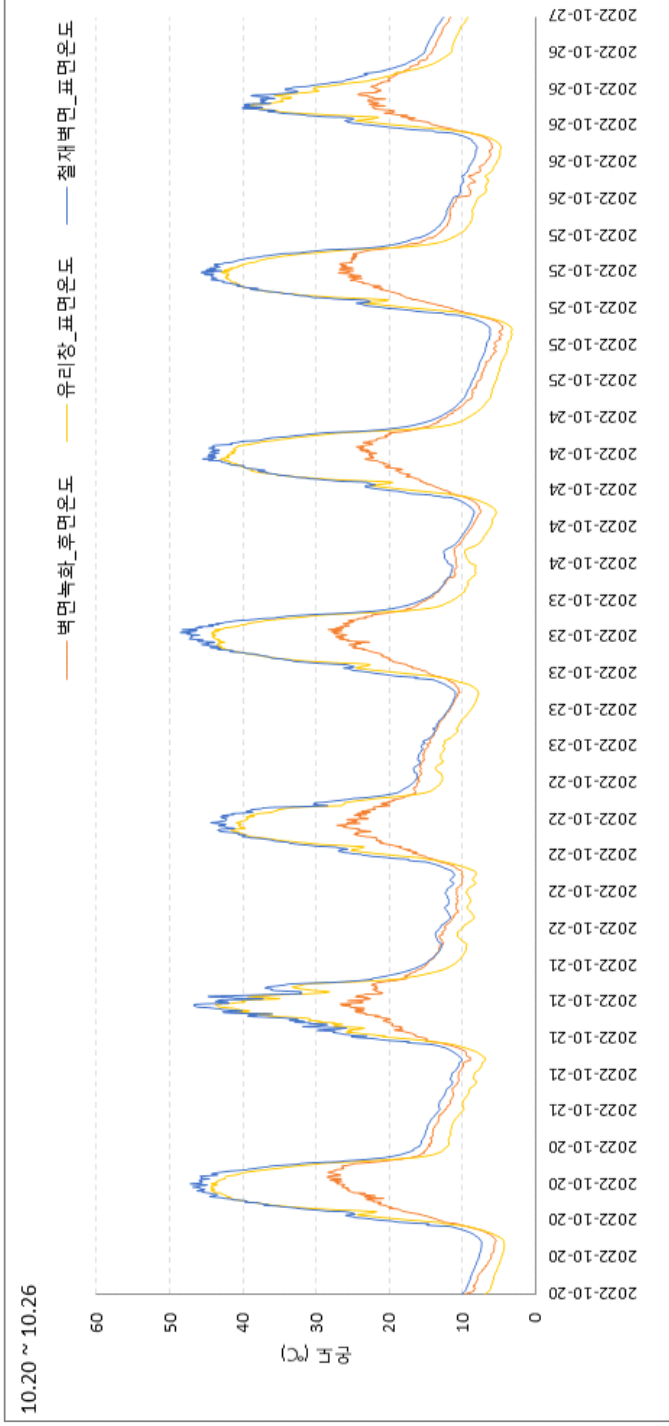
[그림 4-31] 6주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도



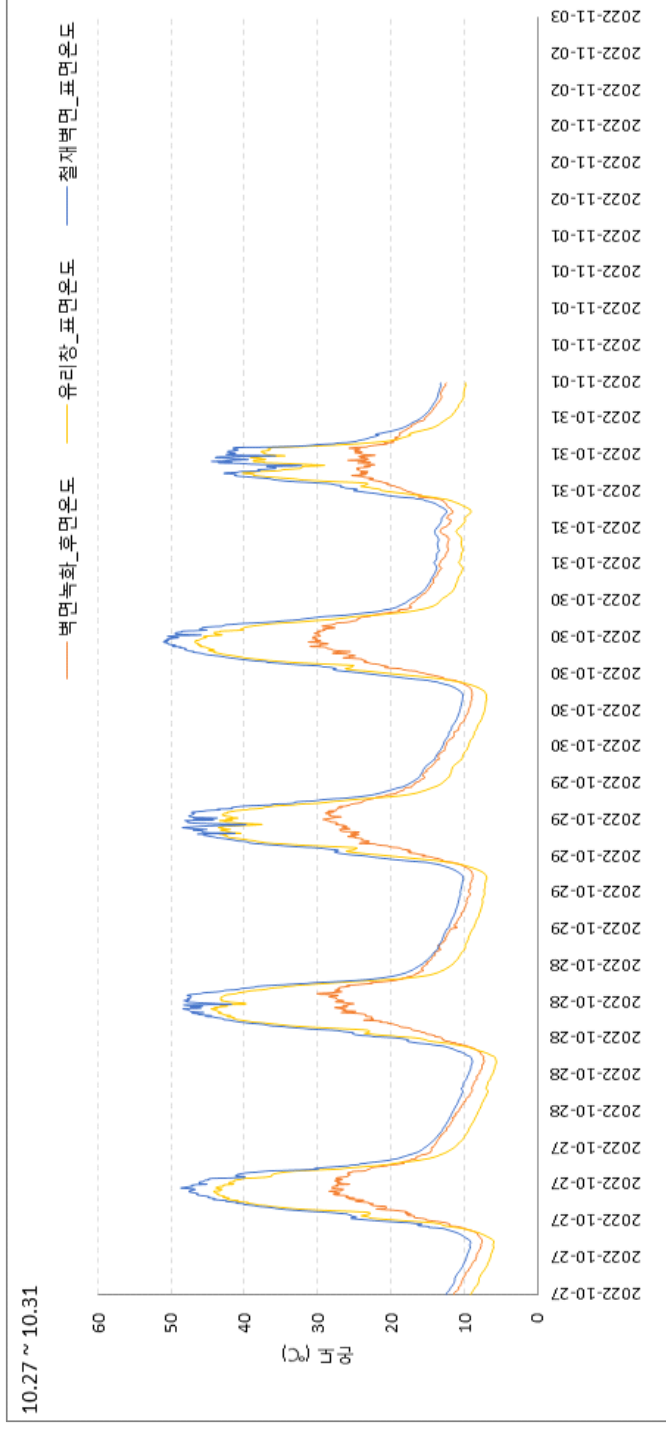
[그림 4-32] 7주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도



[그림 4-33] 8주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도



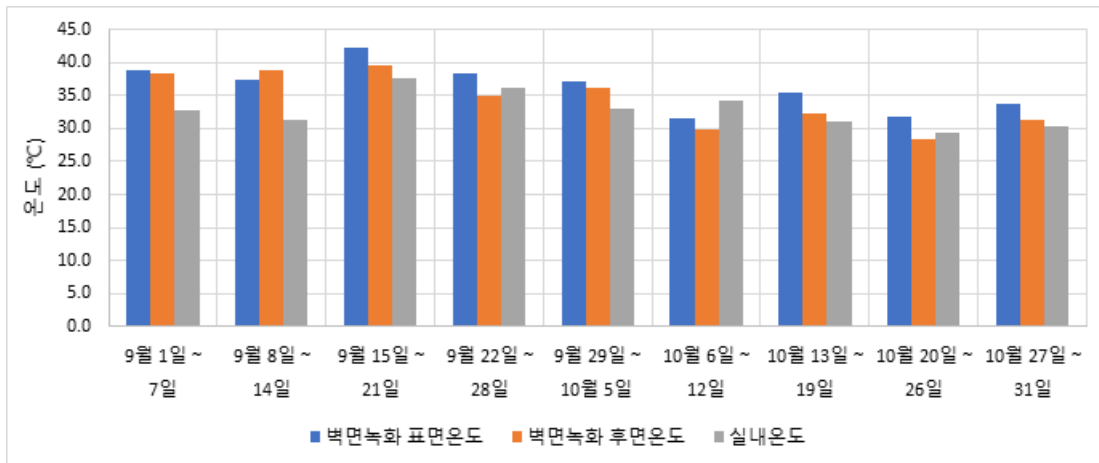
[그림 4-34] 9주차 벽면녹화 후면온도 및 유리창, 철제벽면 표면온도



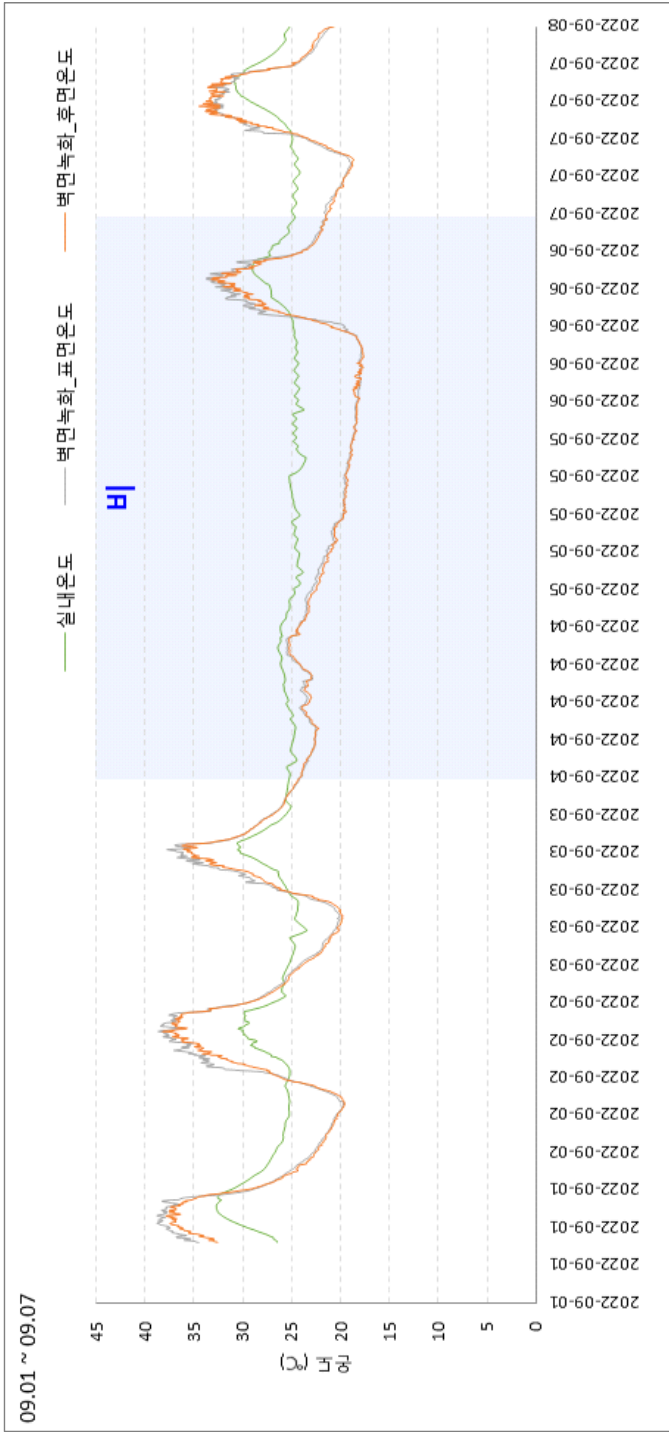
4. 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도 비교

일별로 측정된 데이터를 효과적으로 분석하기 위해 일주일(7일)을 분석 대상 기간으로 선정하였다. 9월 1일부터 10월 31일까지 1 ~ 8주차는 7일, 9주차는 5일로 총 9주차로 나뉘어서 비교하였다. [그림 4-35]에는 1 ~ 9주차 각각의 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도 최대값을 나타내었다. [그림 4-36] ~ [그림 4-44]에는 1주차(9월 1일 ~ 9월 7일) ~ 9주차(10월 27일 ~ 10월 31일)의 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도를 나타내었다. 1 ~ 9주차의 최대값은 벽면녹화 표면온도에서 31.6°C ~ 42.3°C, 벽면녹화 후면온도에서 28.4°C ~ 39.7°C, 실내온도에서 29.3°C ~ 37.6°C이었다.

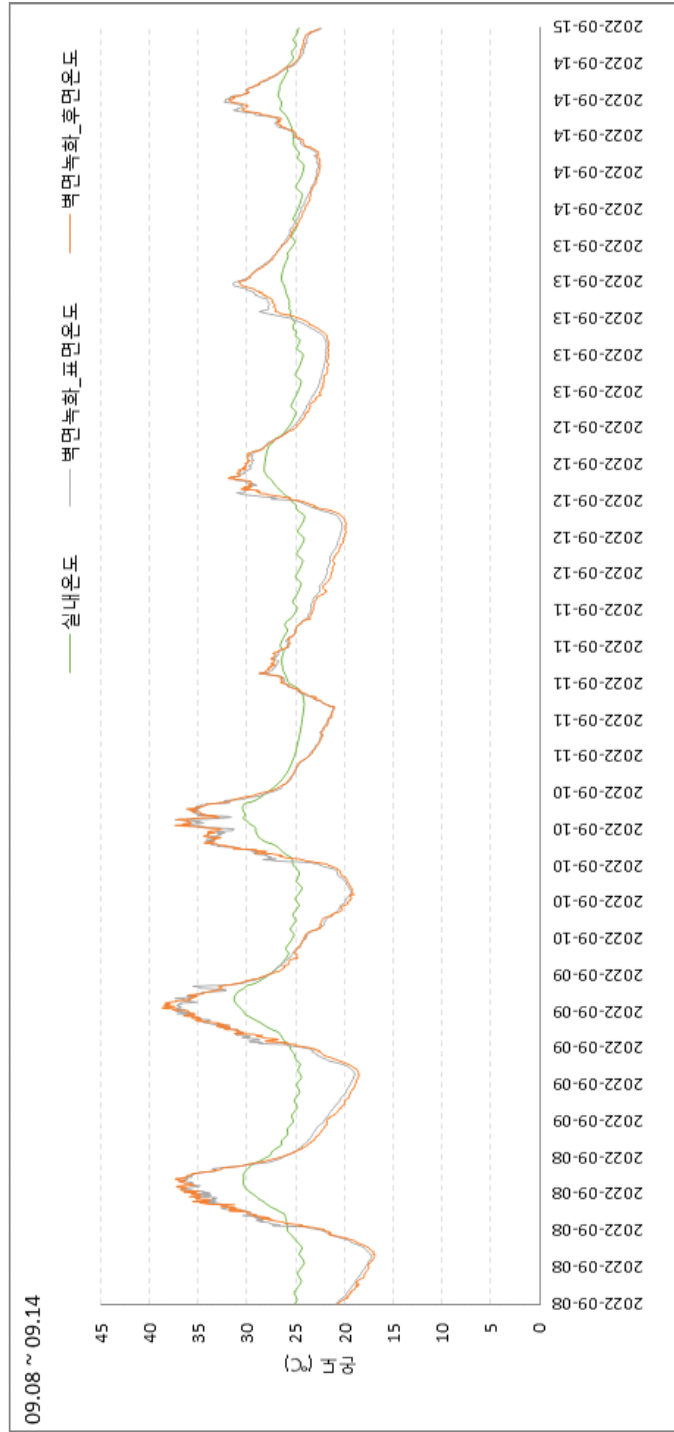
[그림 4-35] 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도 최대값 비교 그래프



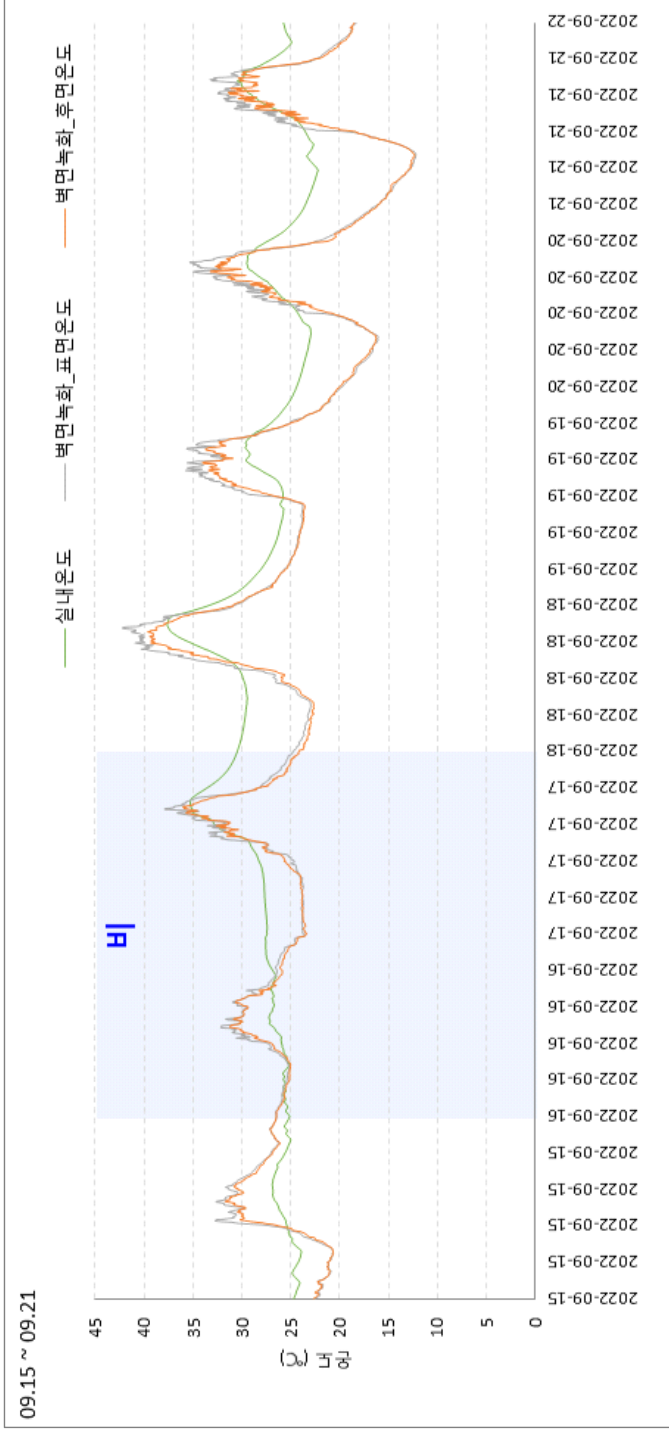
[그림 4-36] 1주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도



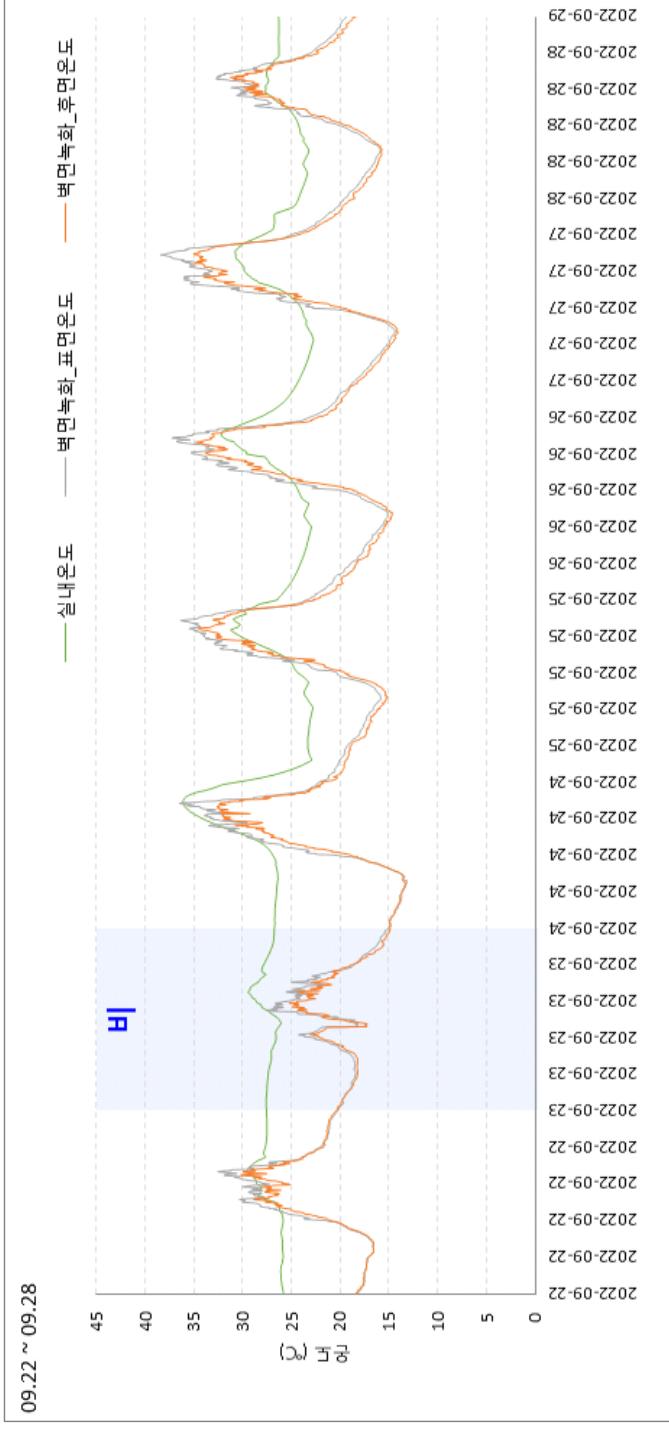
[그림 4-37] 2주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도



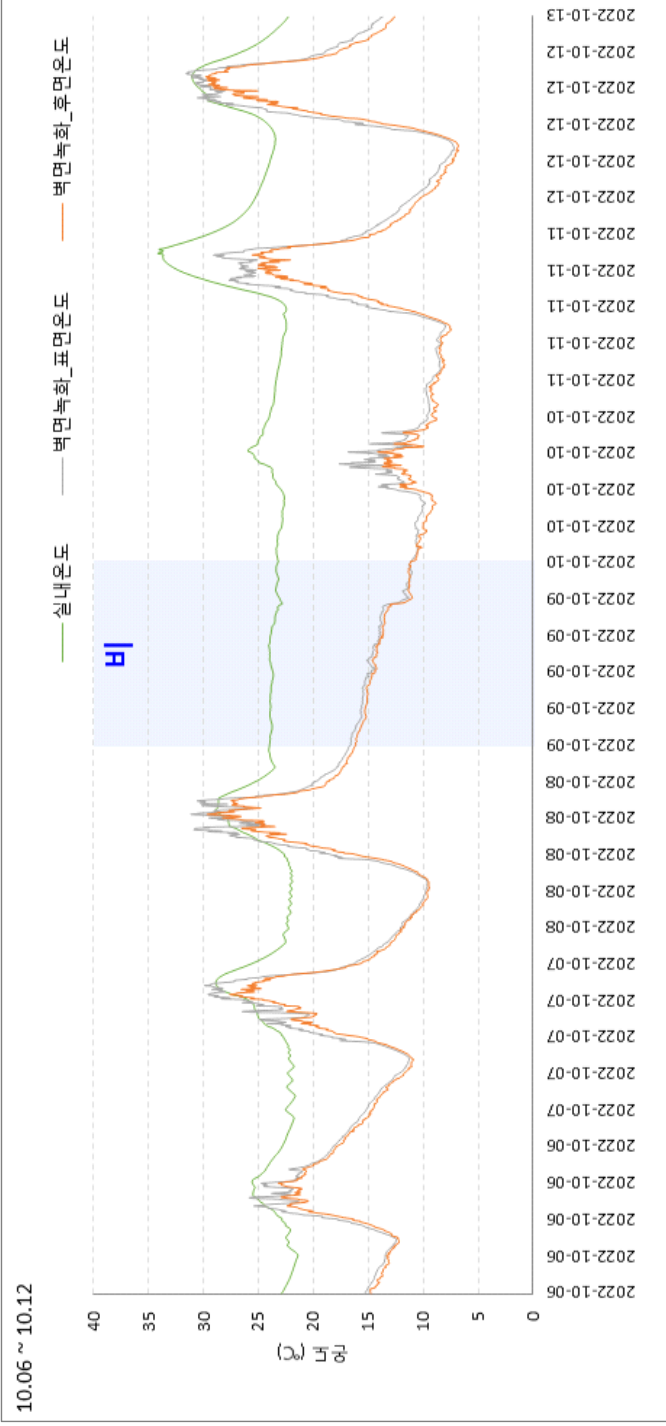
[그림 4-38] 3주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도



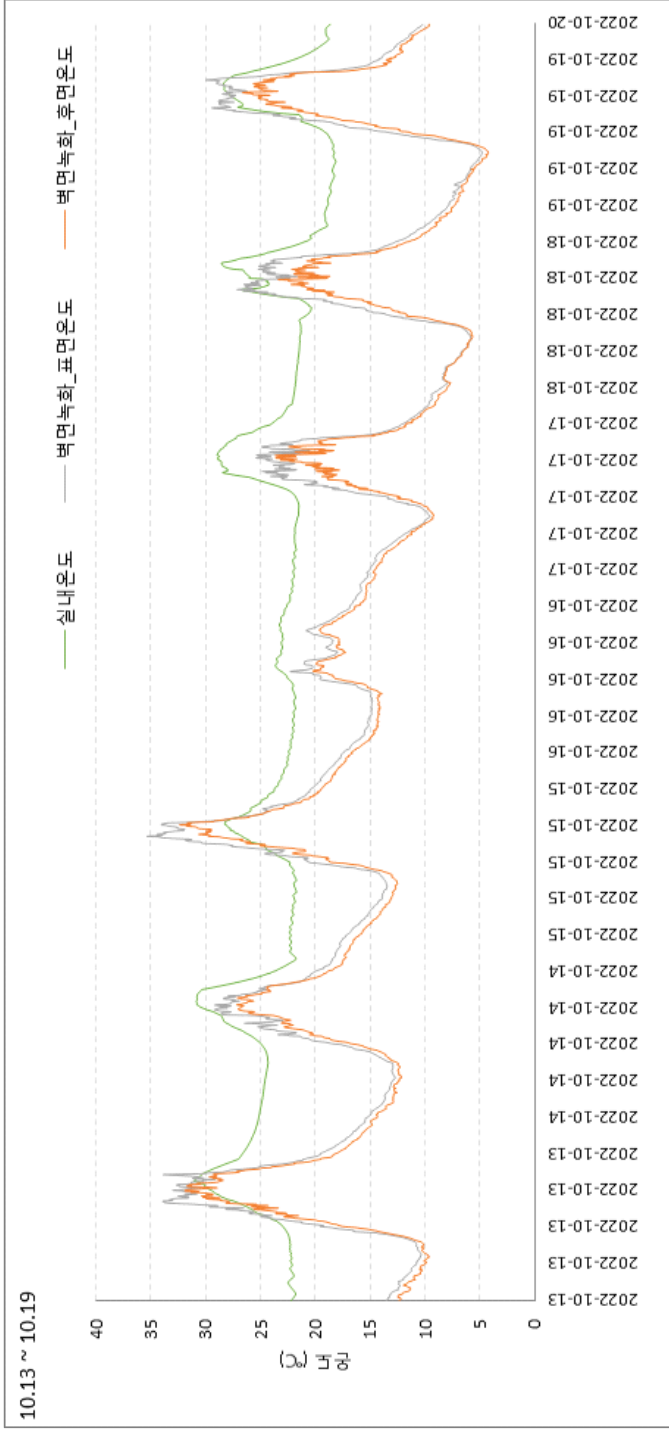
[그림 4-39] 4주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도



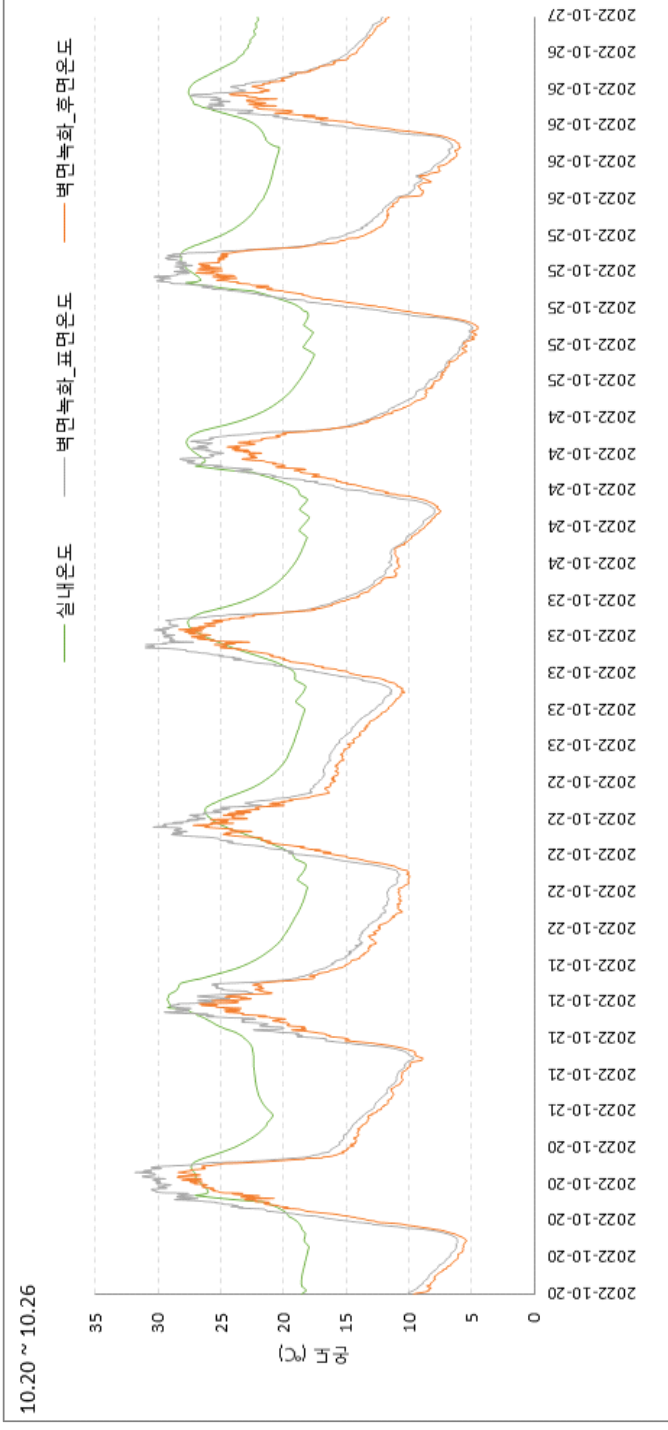
[그림 4-41] 6주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도



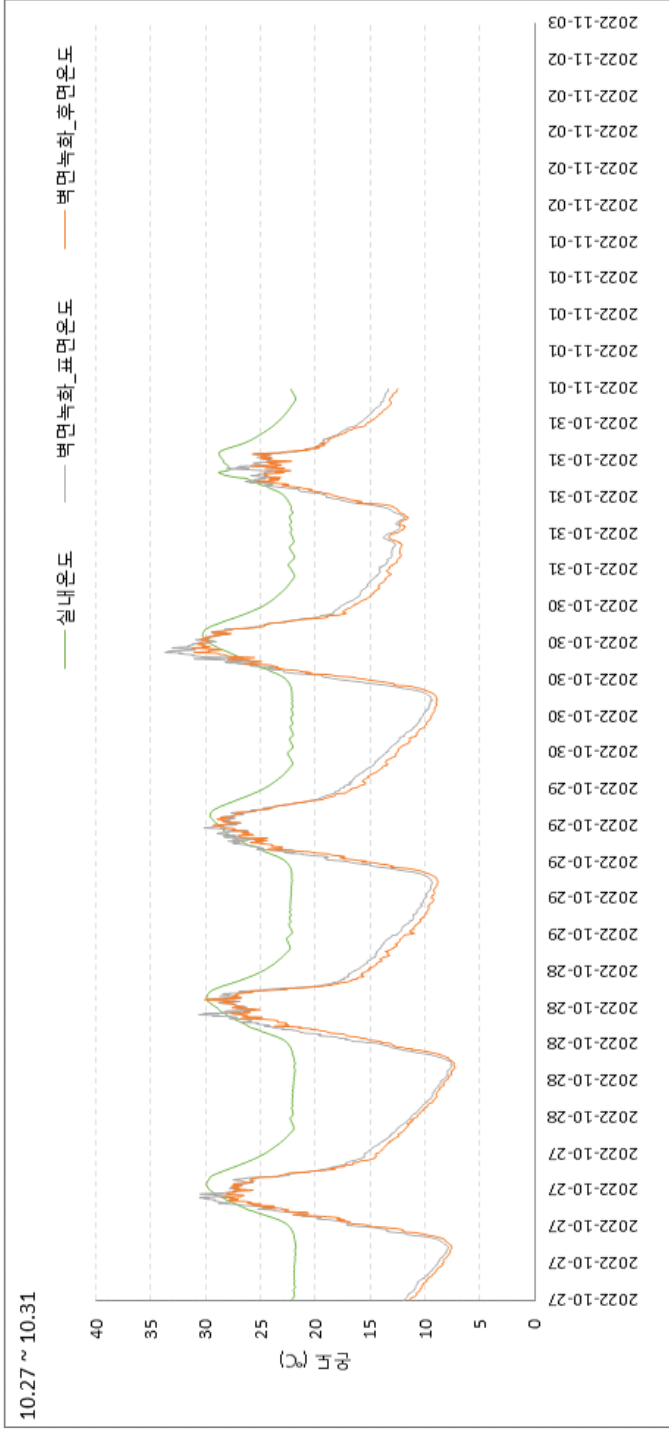
[그림 4-42] 7주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도



[그림 4-43] 8주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도



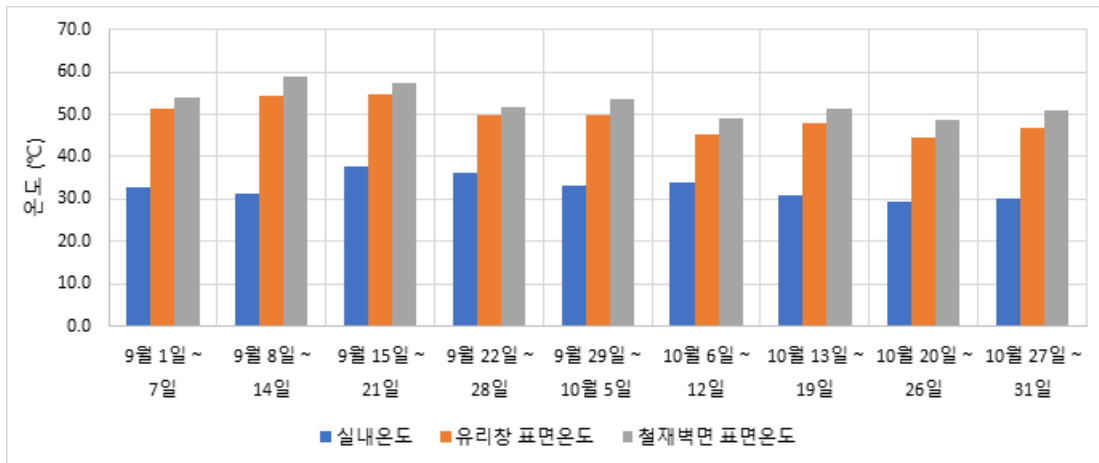
[그림 4-44] 9주차 벽면녹화 표면 및 후면온도, 실내온도



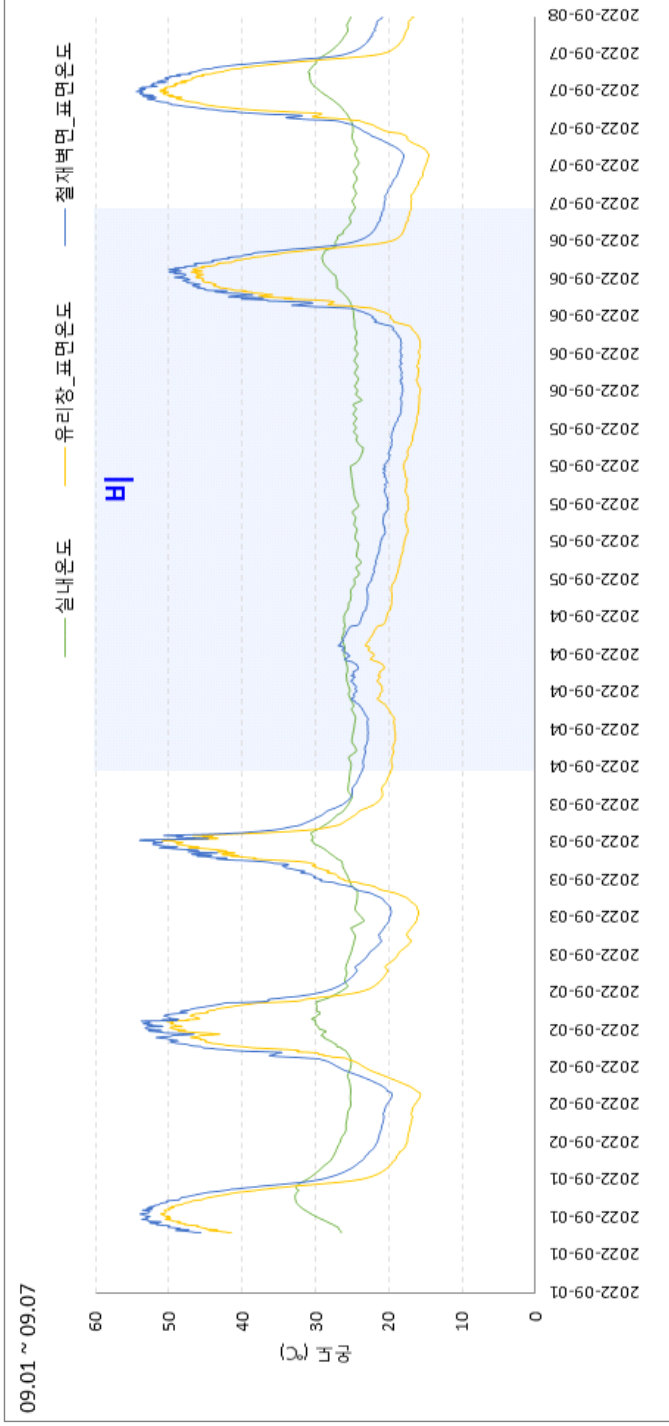
5. 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도 비교

일별로 측정된 데이터를 효과적으로 분석하기 위해 일주일(7일)을 분석 대상 기간으로 선정하였다. 9월 1일부터 10월 31일까지 1 ~ 8주차는 7일, 9주차는 5일로 총 9주차로 나뉘어서 비교하였다. [그림 4-45]에는 1 ~ 9주차 각각의 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도 최대값을 나타내었다. [그림 4-46] ~ [그림 4-54]에는 1주차(9월 1일 ~ 9월 7일) ~ 9주차(10월 27일 ~ 10월 31일)의 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도를 나타내었다. 1 ~ 9주차의 최대값은 실내온도에서 29.3℃ ~ 37.6℃, 유리창 표면온도에서 44.4℃ ~ 54.9℃, 철재벽면 표면온도에서 48.6℃ ~ 58.9℃이었다.

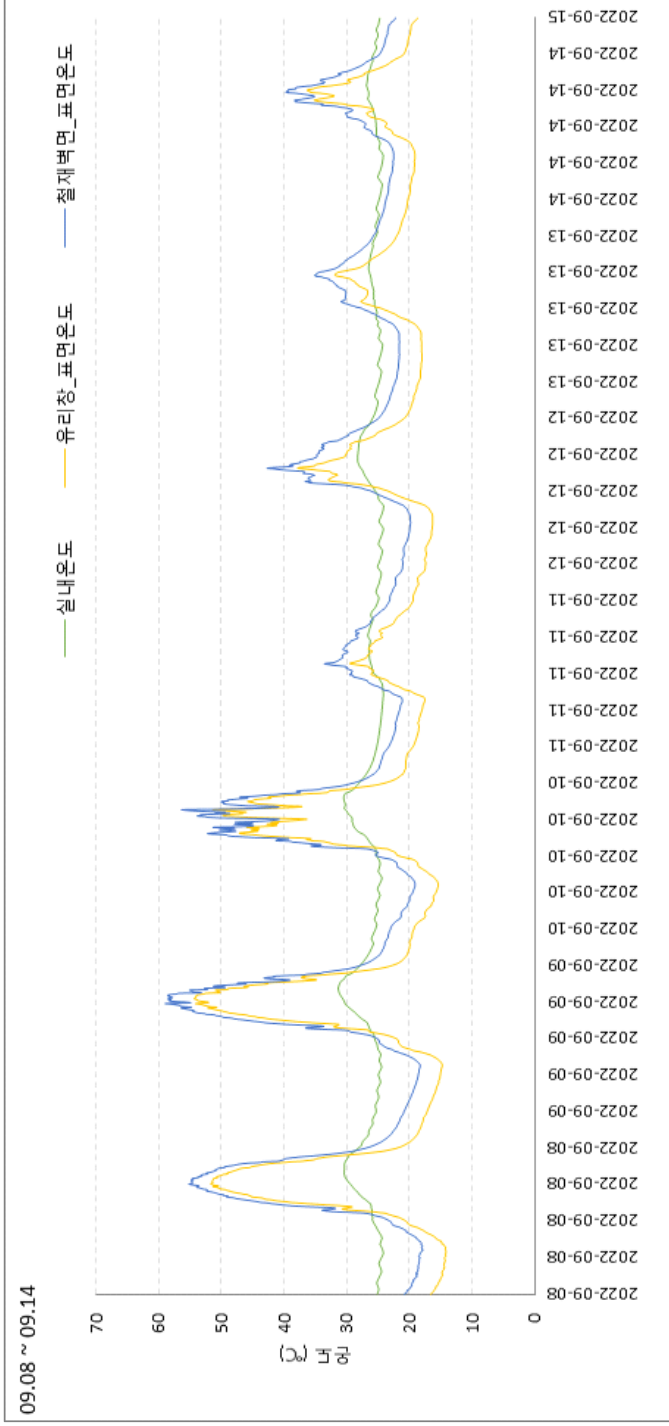
[그림 4-45] 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도 최대값 비교 그래프



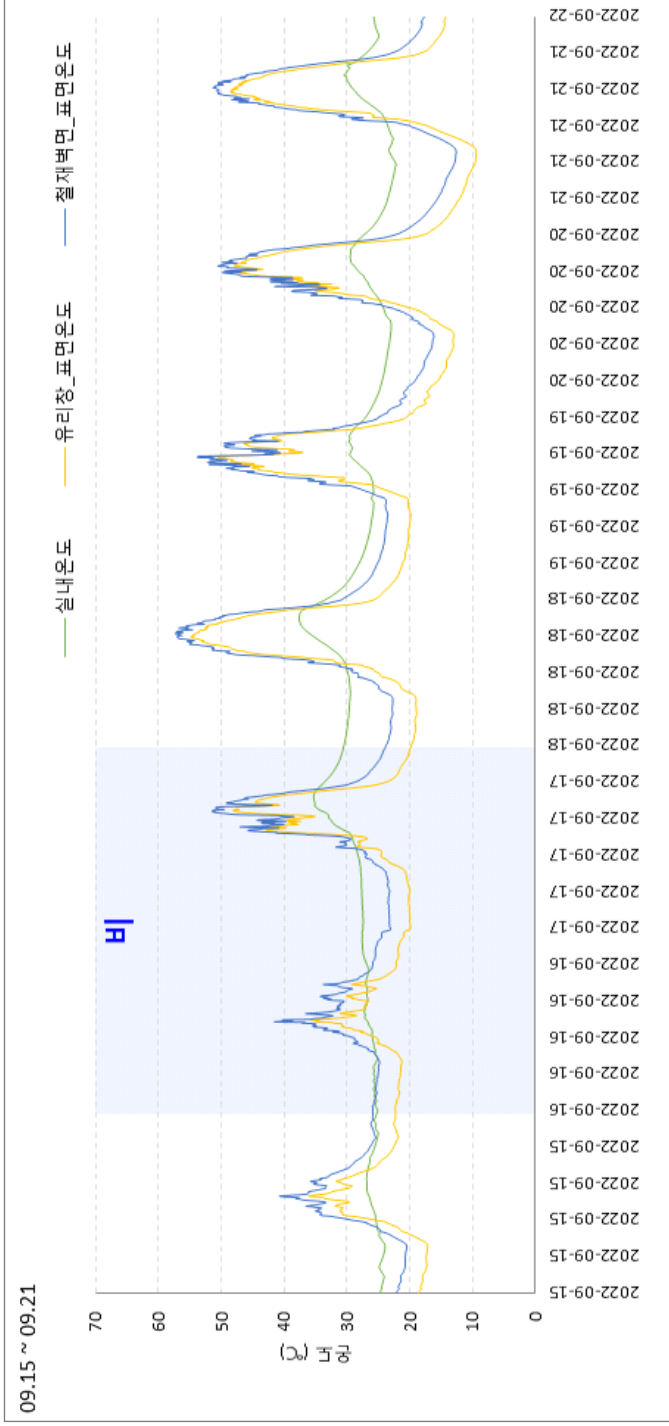
[그림 4-46] 1주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도



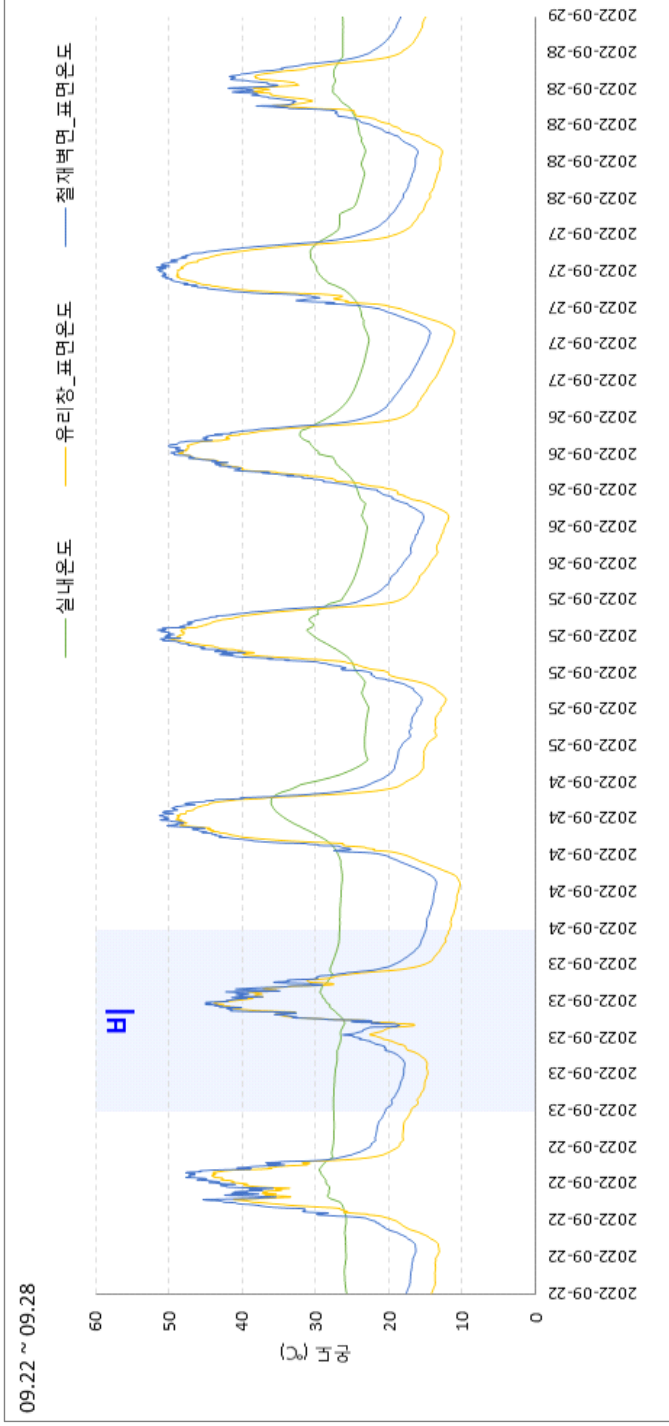
[그림 4-47] 2주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도



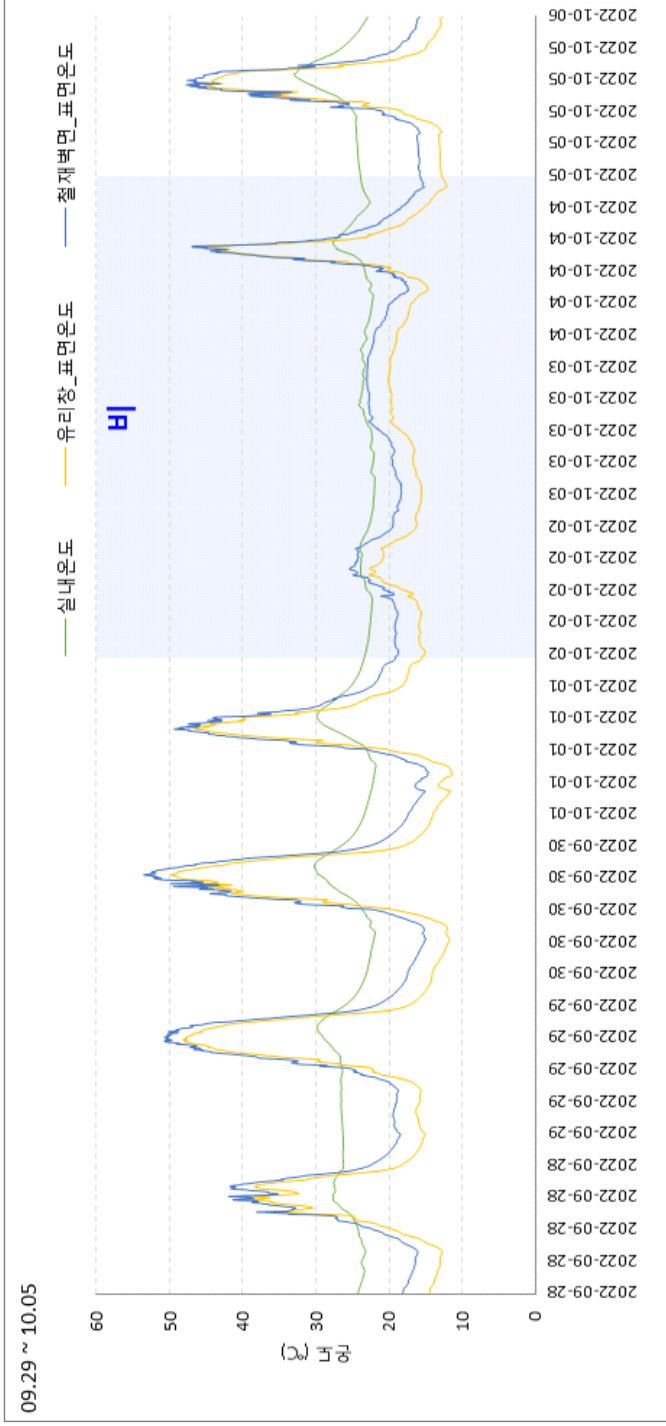
[그림 4-48] 3주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도



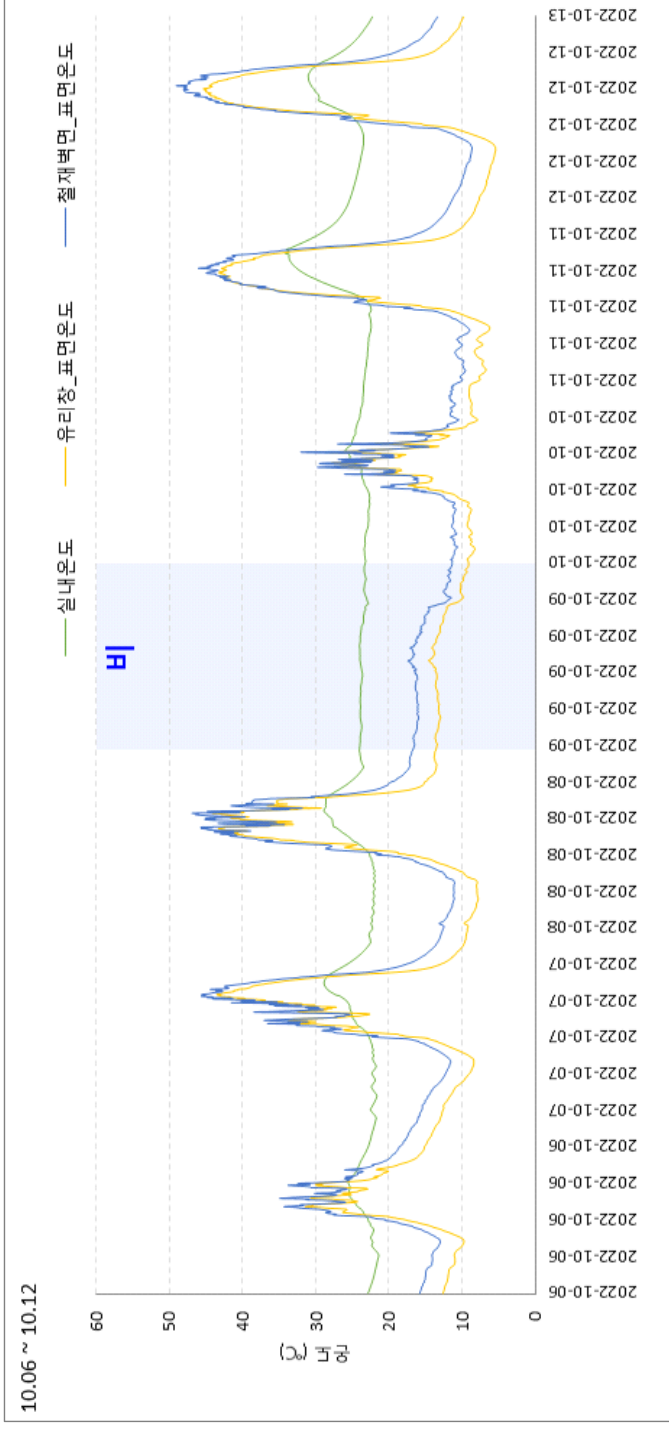
[그림 4-49] 4주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도



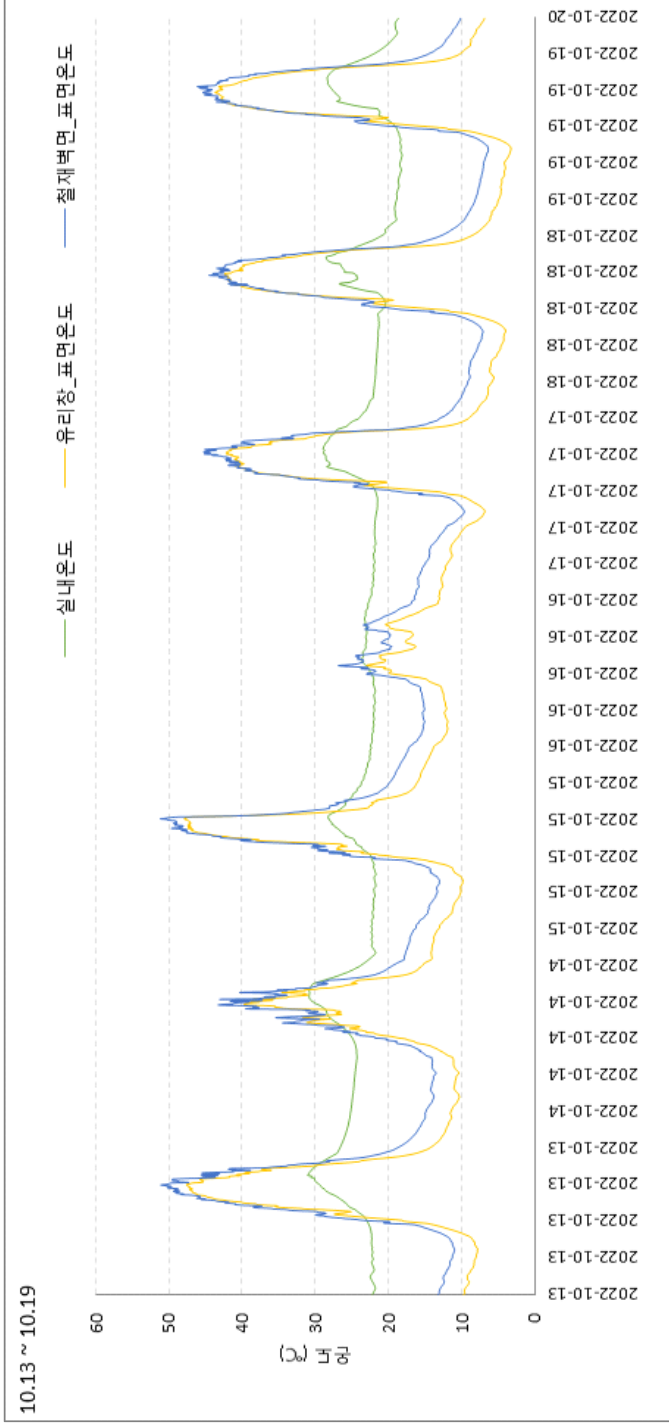
[그림 4-50] 5주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도



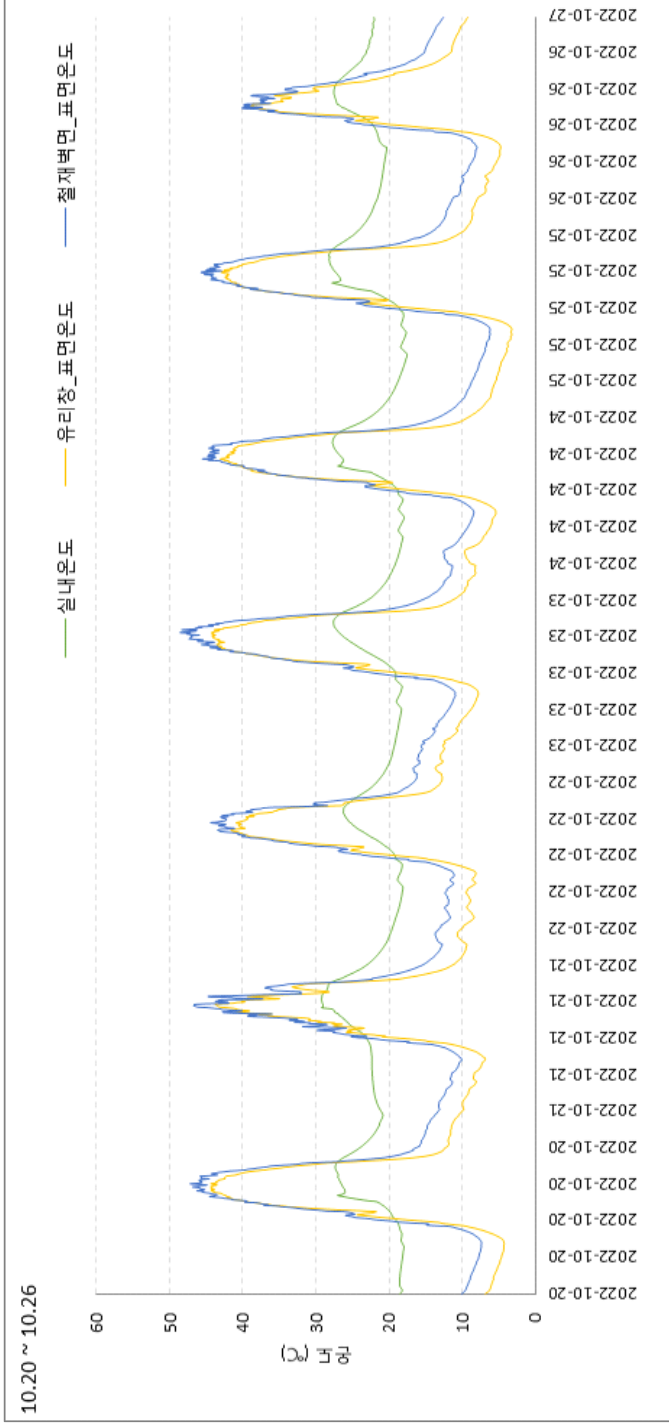
[그림 4-51] 6주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도



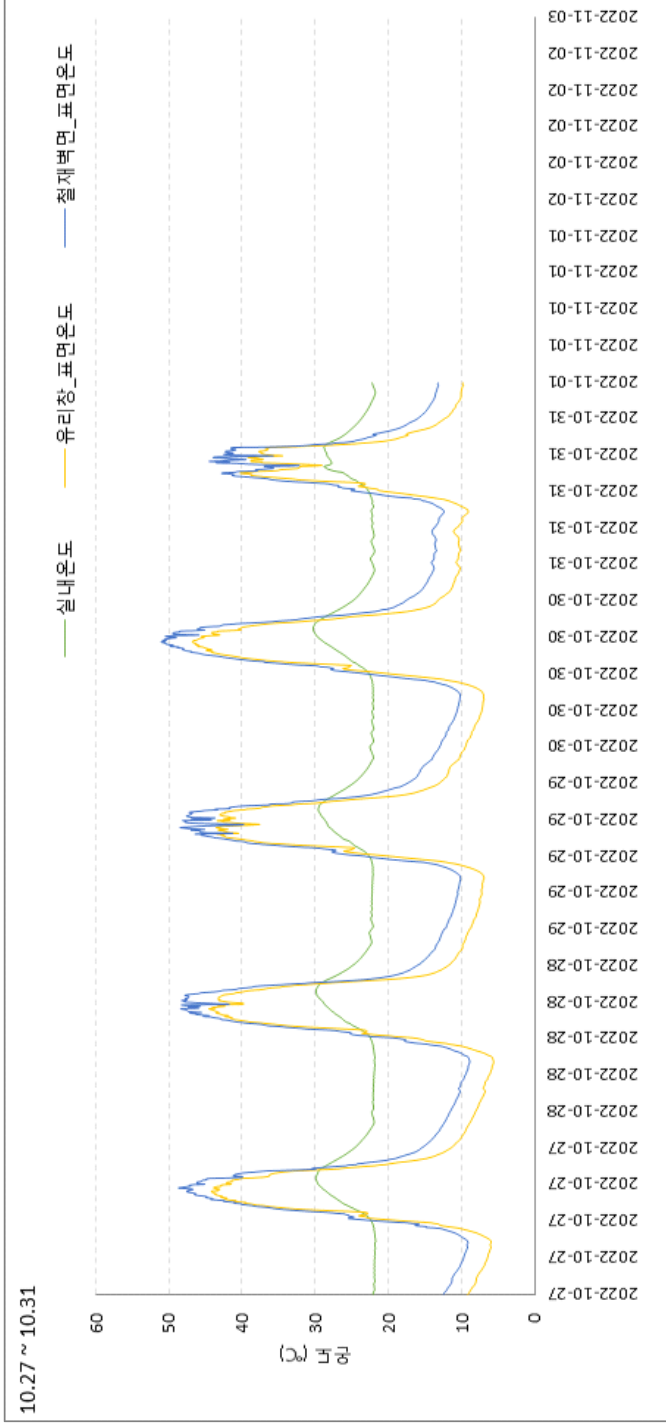
[그림 4-52] 7주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도



[그림 4-53] 8주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도



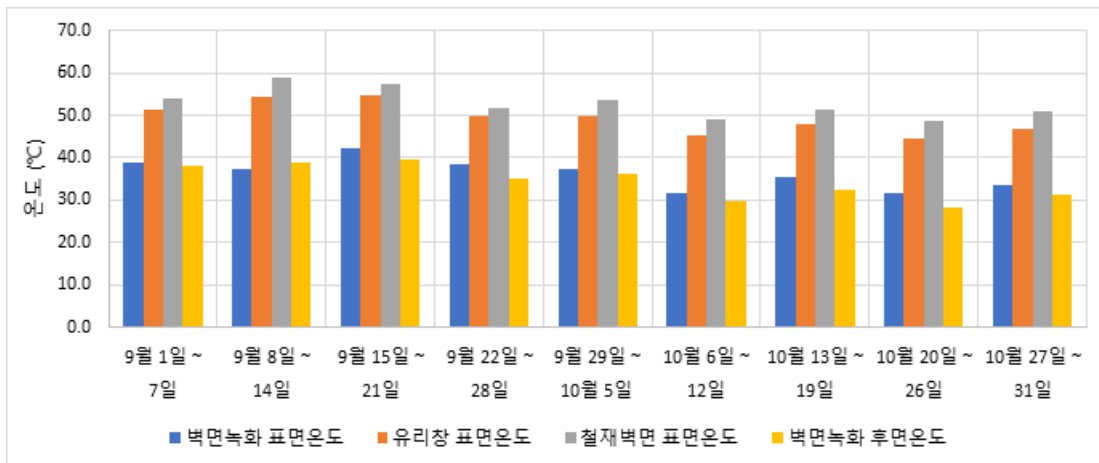
[그림 4-54] 9주차 실내온도, 유리창 및 철재벽면 표면온도



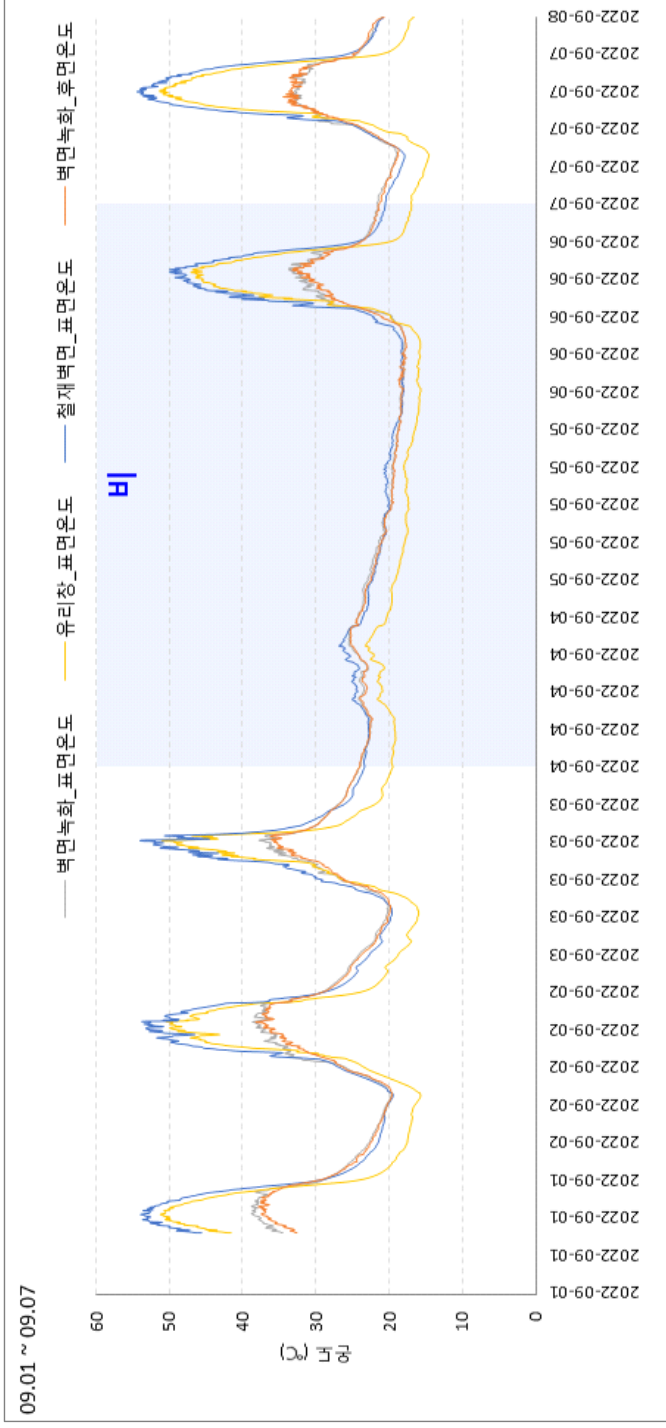
6. 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도 비교

일별로 측정된 데이터를 효과적으로 분석하기 위해 일주일(7일)을 분석 대상 기간으로 선정하였다. 9월 1일부터 10월 31일까지 1 ~ 8주차는 7일, 9주차는 5일로 총 9주차로 나뉘어서 비교하였다. [그림 4-55]에는 1 ~ 9주차 각각의 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도 최대값을 나타내었다. [그림 4-56] ~ [그림 4-64]에는 1주차(9월 1일 ~ 9월 7일) ~ 9주차(10월 27일 ~ 10월 31일)의 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도를 나타내었다. 1 ~ 9주차의 최대값은 벽면녹화 표면온도에서 31.6°C ~ 42.3°C, 유리창 표면온도에서 44.4°C, ~ 54.9°C, 철재벽면 표면온도에서 48.6°C ~ 58.9°C, 벽면녹화 후면온도에서 28.4°C ~ 39.7°C이었다.

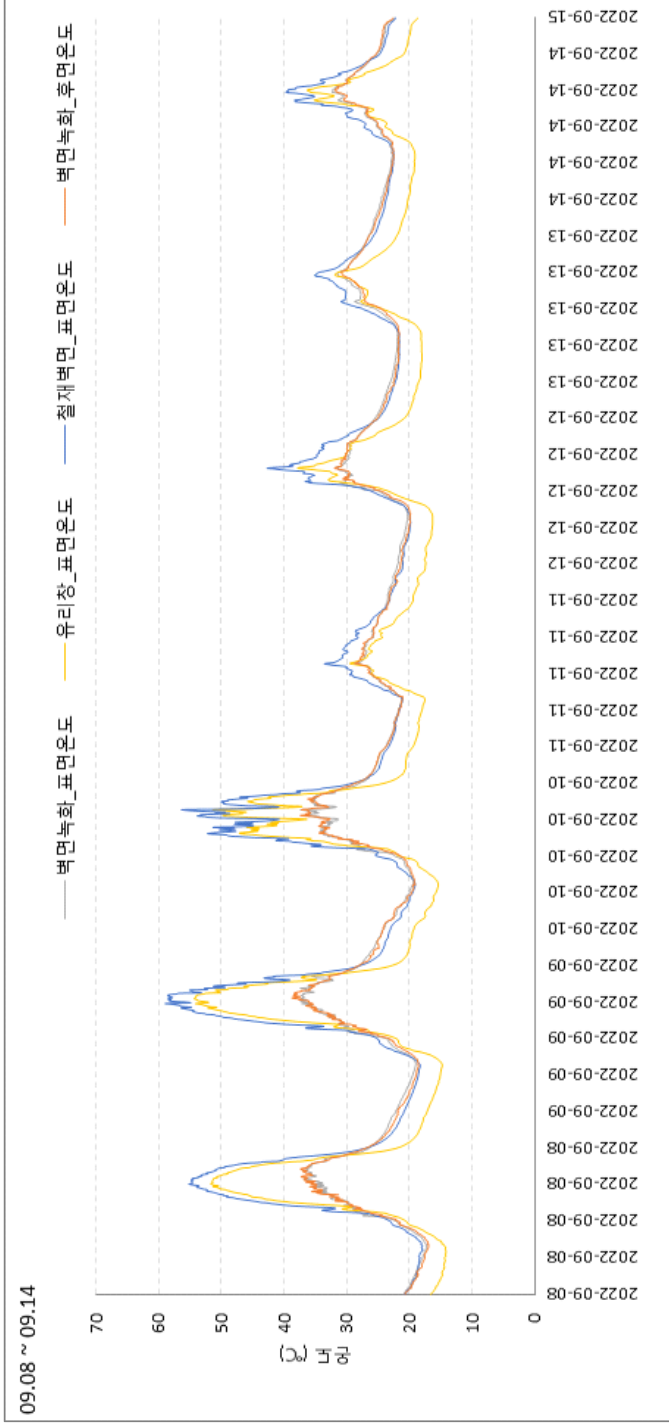
[그림 4-55] 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도 최대값 비교 그래프



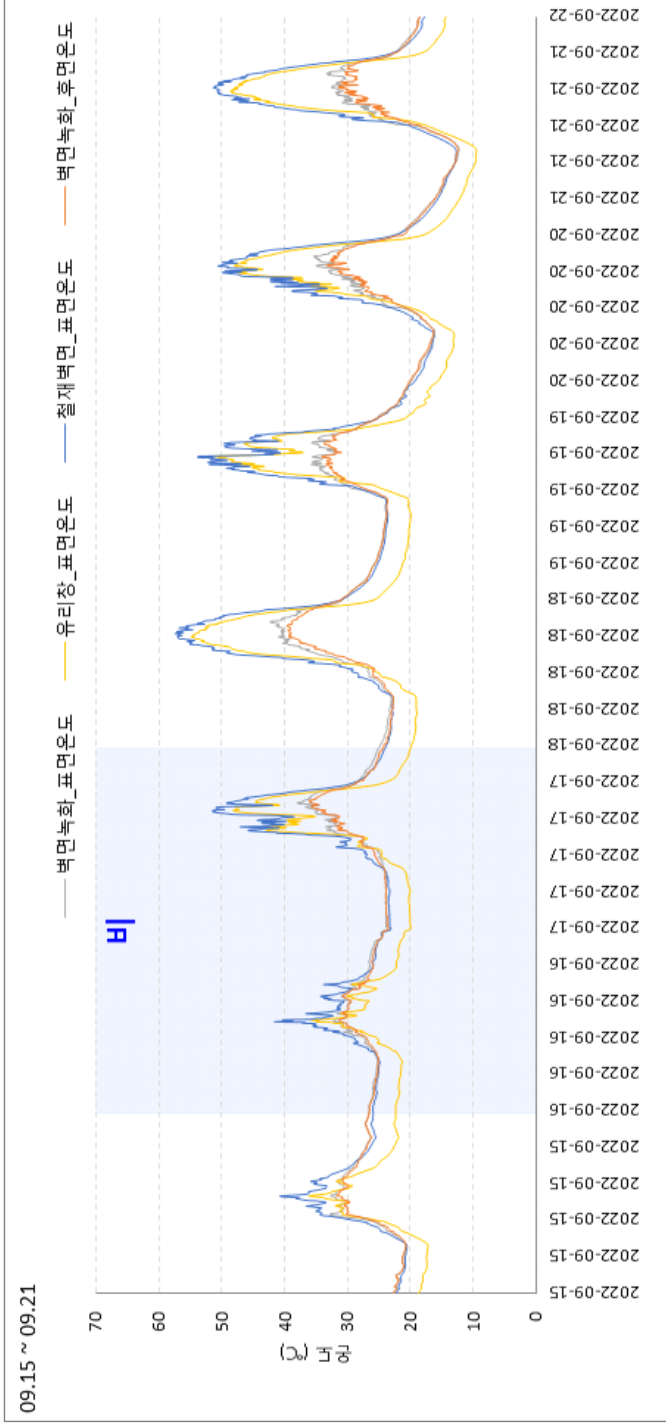
[그림 4-56] 1주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도



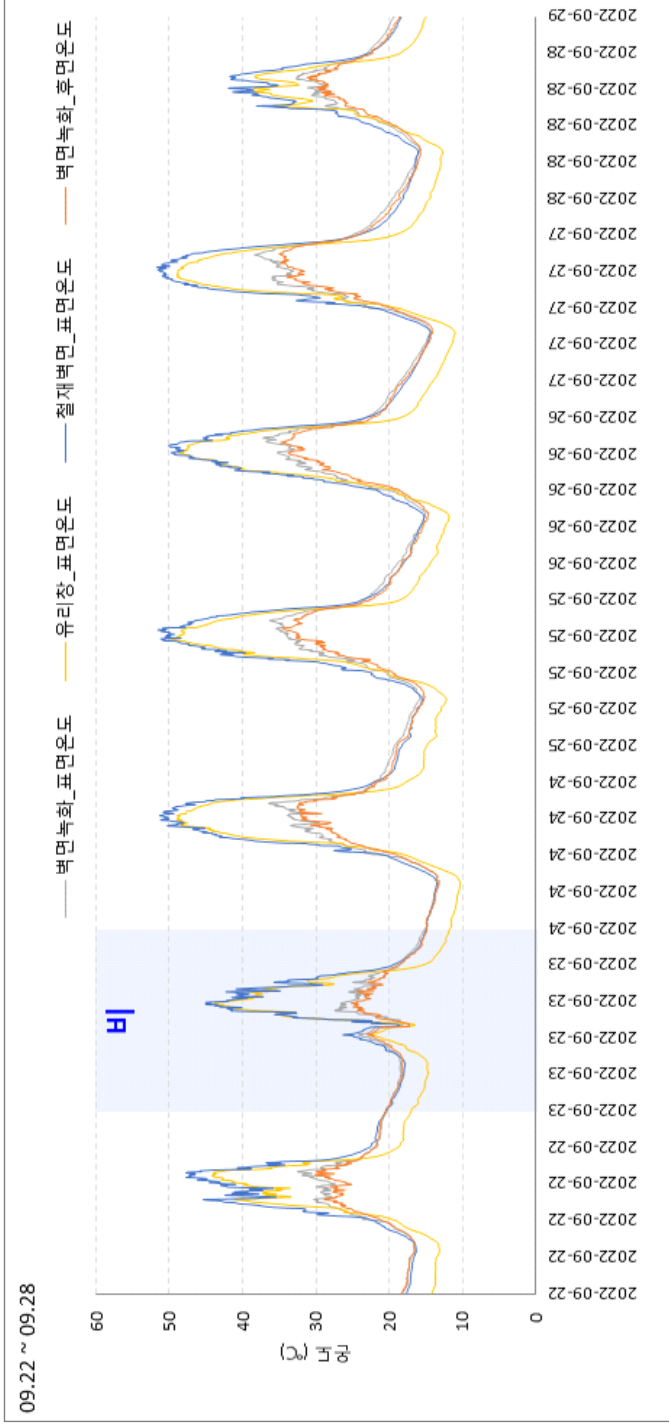
[그림 4-57] 2주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도



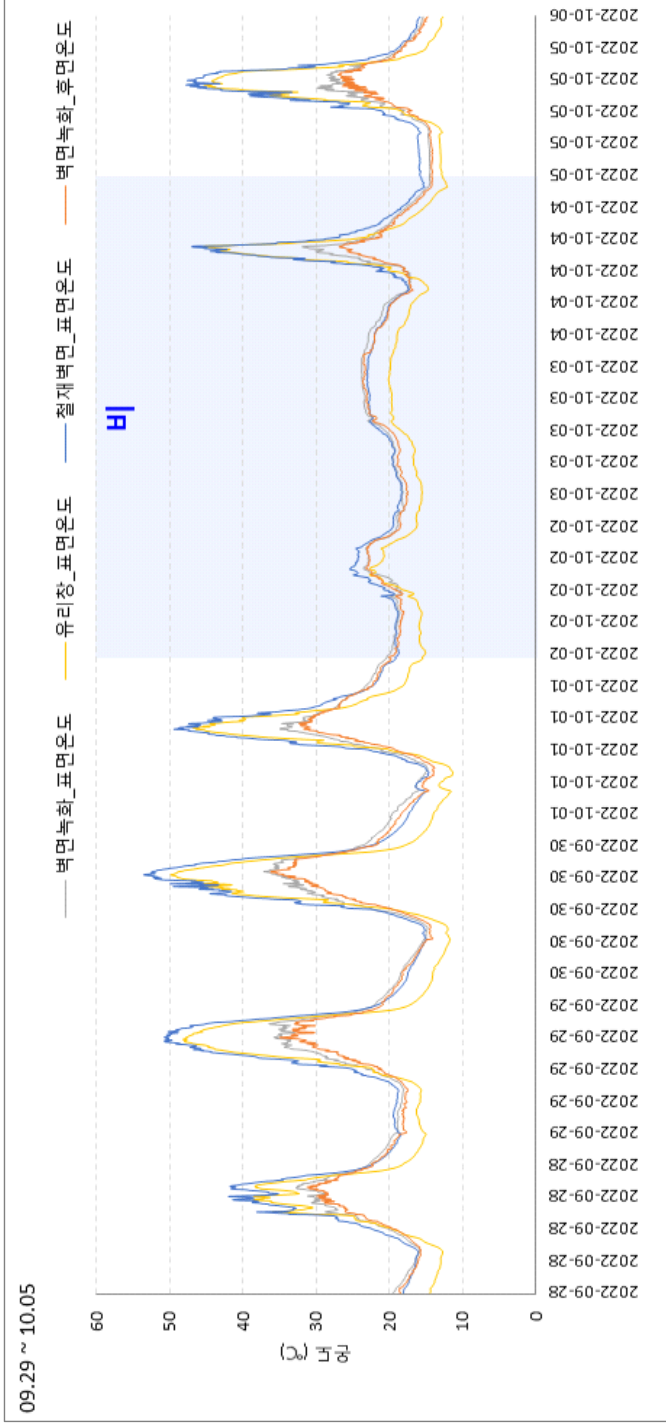
[그림 4-58] 3주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도



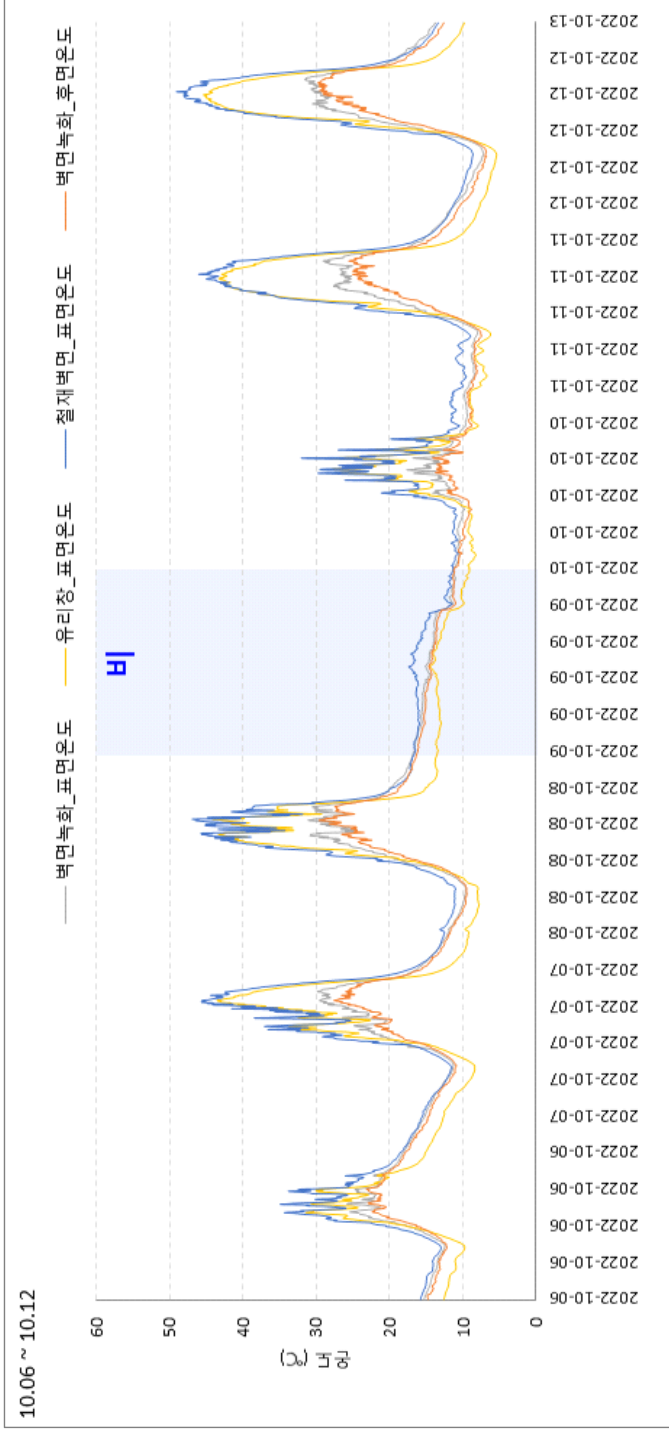
[그림 4-59] 4주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도



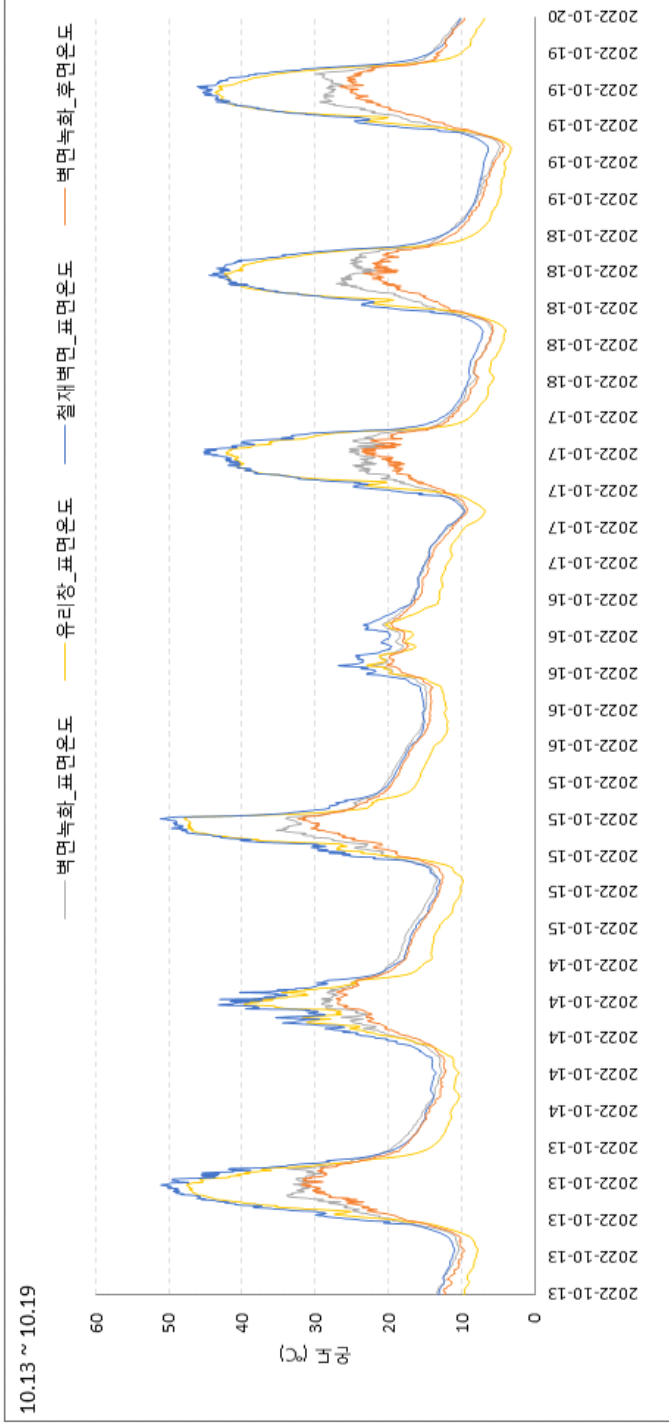
[그림 4-60] 5주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도



[그림 4-61] 6주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도



[그림 4-62] 7주차 벽면녹화, 유리창, 철재벽면 표면온도 및 벽면녹화 후면온도



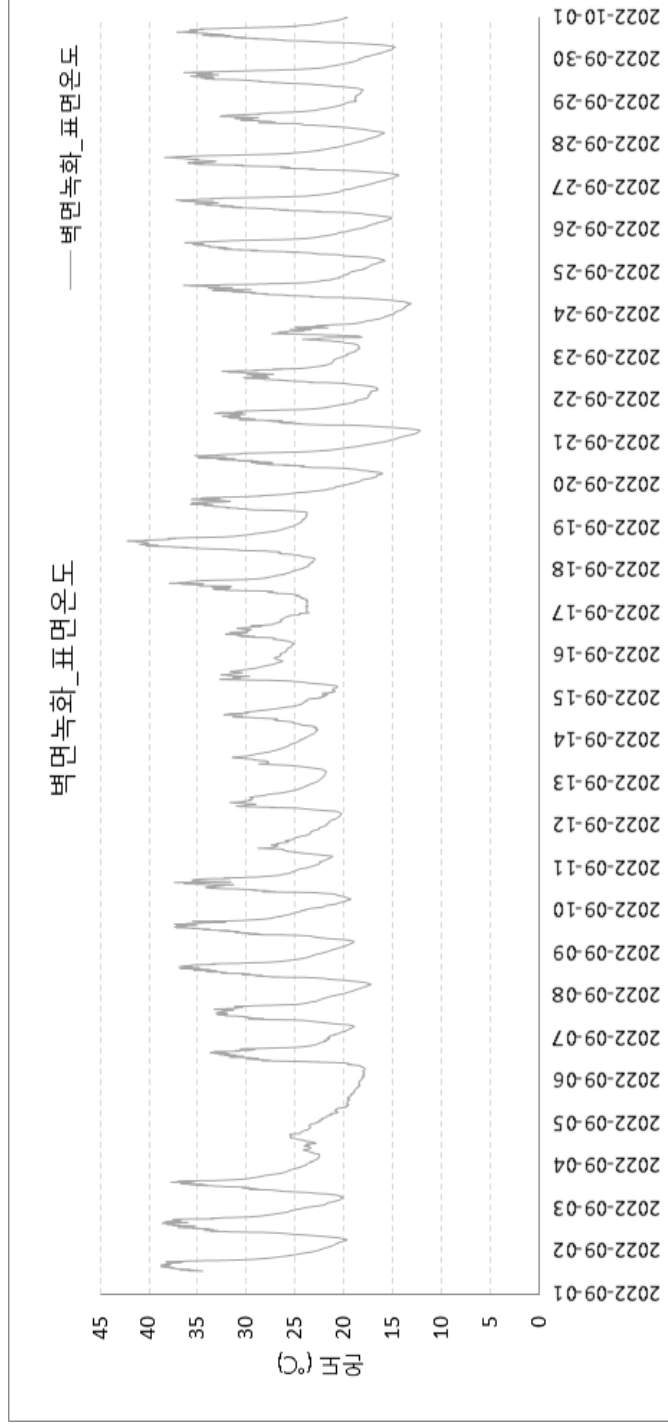
제4절 측정 위치 별 온도 비교

측정 위치 별 온도는 벽면녹화 표면, 벽면녹화 후면, 유리창 표면, 철재벽면 표면, 실내의 온도를 측정하였으며 각 위치에 대한 평균온도, 최소온도, 최대온도, 중간온도, 표준편차에 대한 값을 [표 4-5]에 나타내었다. 측정위치에 대한 각각의 온도 그래프는 [그림 4-65] ~ [그림 4-69]에는 9월 1일부터 30일까지, [그림 4-70] ~ [그림 4-74]에는 10월 1일부터 10월 31일까지 나타내었다.

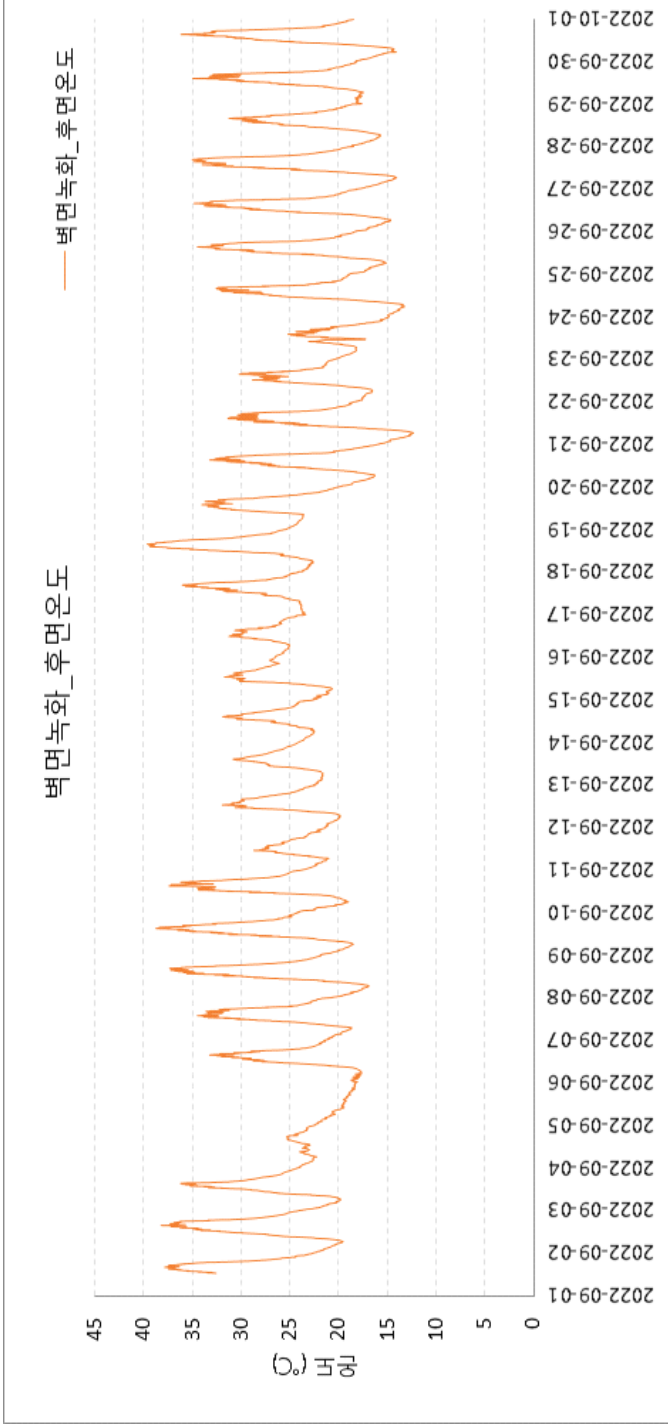
[표 4-5] 10월 평가 항목

항목	평균값	최소값	최대값	중간값	표준편차
벽면녹화 표면	20.70	4.77	42.26	20.56	7.1
벽면녹화 후면	19.86	4.19	39.66	19.79	7.0
유리창 표면	20.57	3.22	54.90	17.62	11.3
철재벽면 표면	23.87	6.18	58.88	21.10	11.2
실내	24.98	17.52	37.65	24.79	3.1

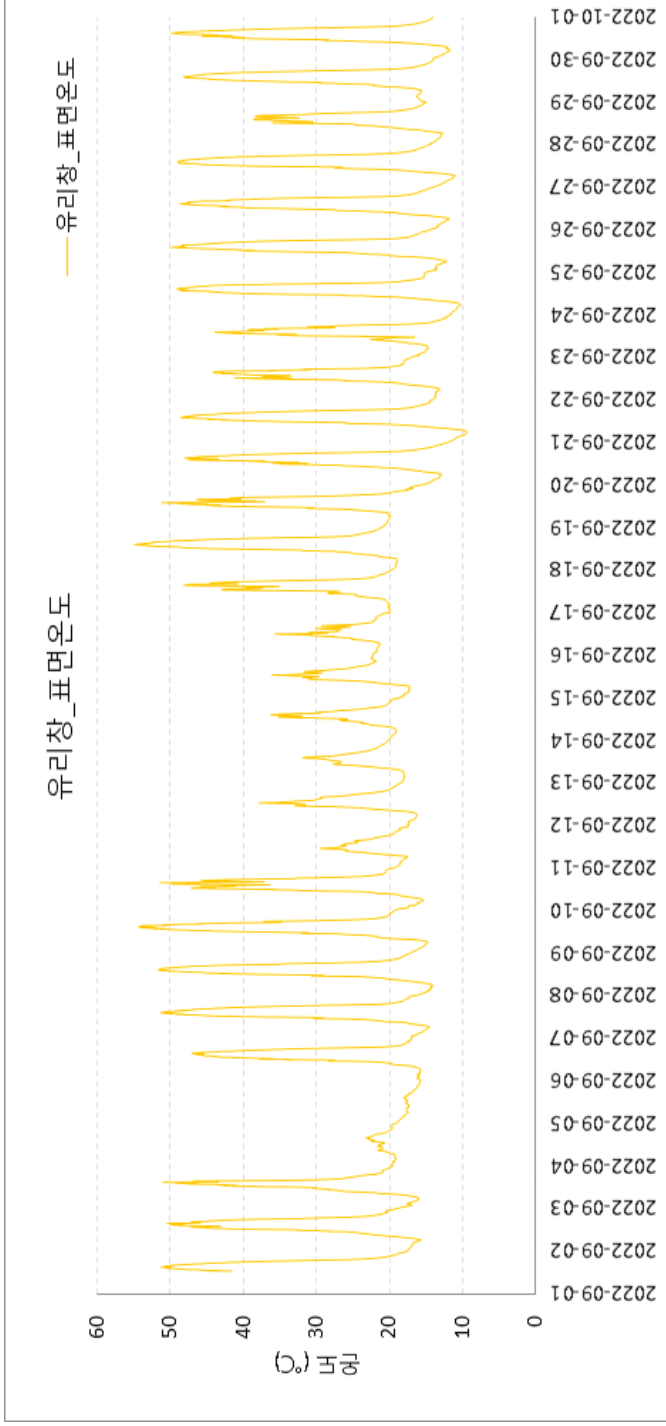
[그림 4-65] 9월 1일 ~ 9월 30일 벼면누화 표면온도 그래프



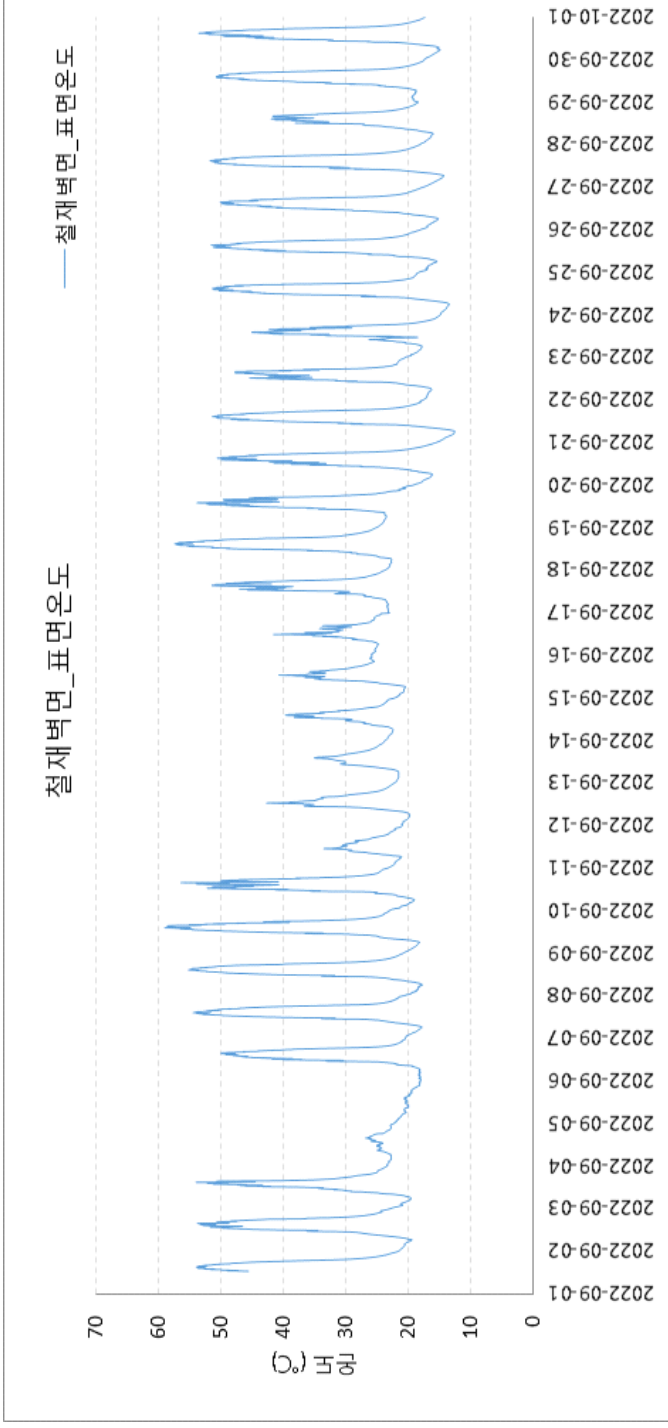
[그림 4-66] 9월 1일 ~ 9월 30일 벽면녹화 후면온도 그래프



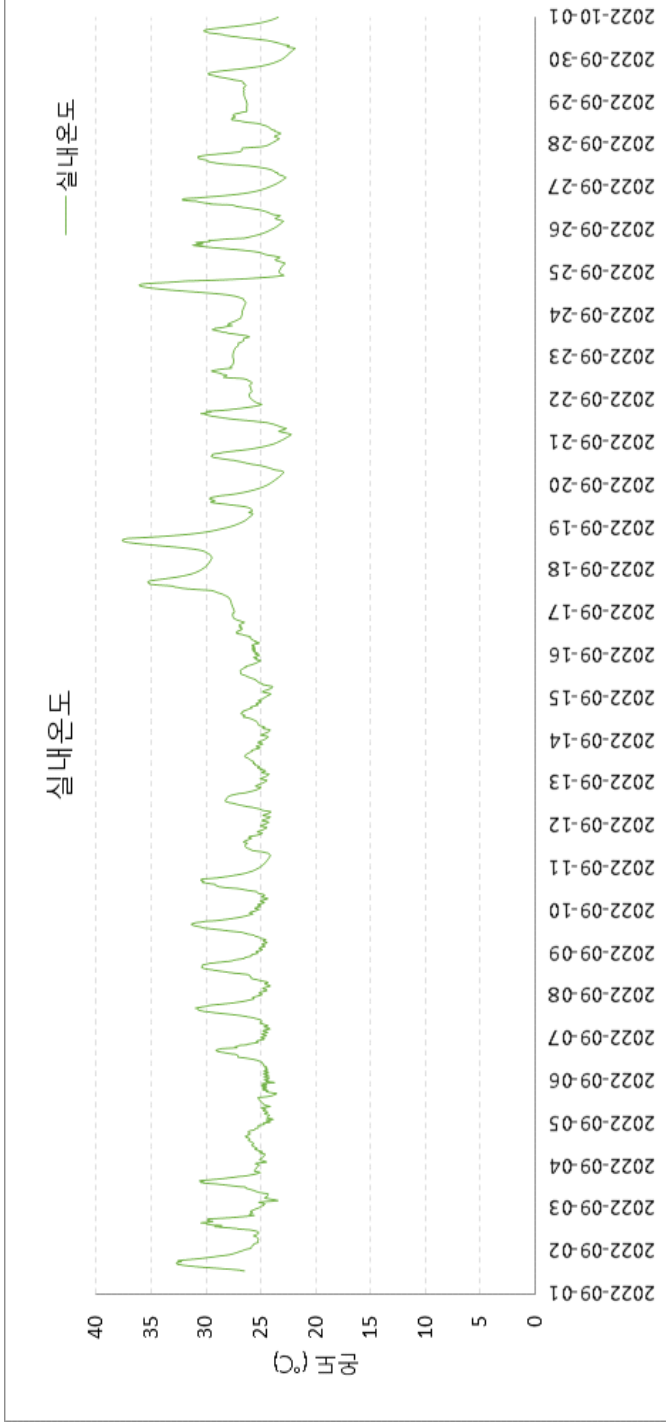
[그림 4-67] 9월 1일 ~ 9월 30일 유리창 표면온도 그래프



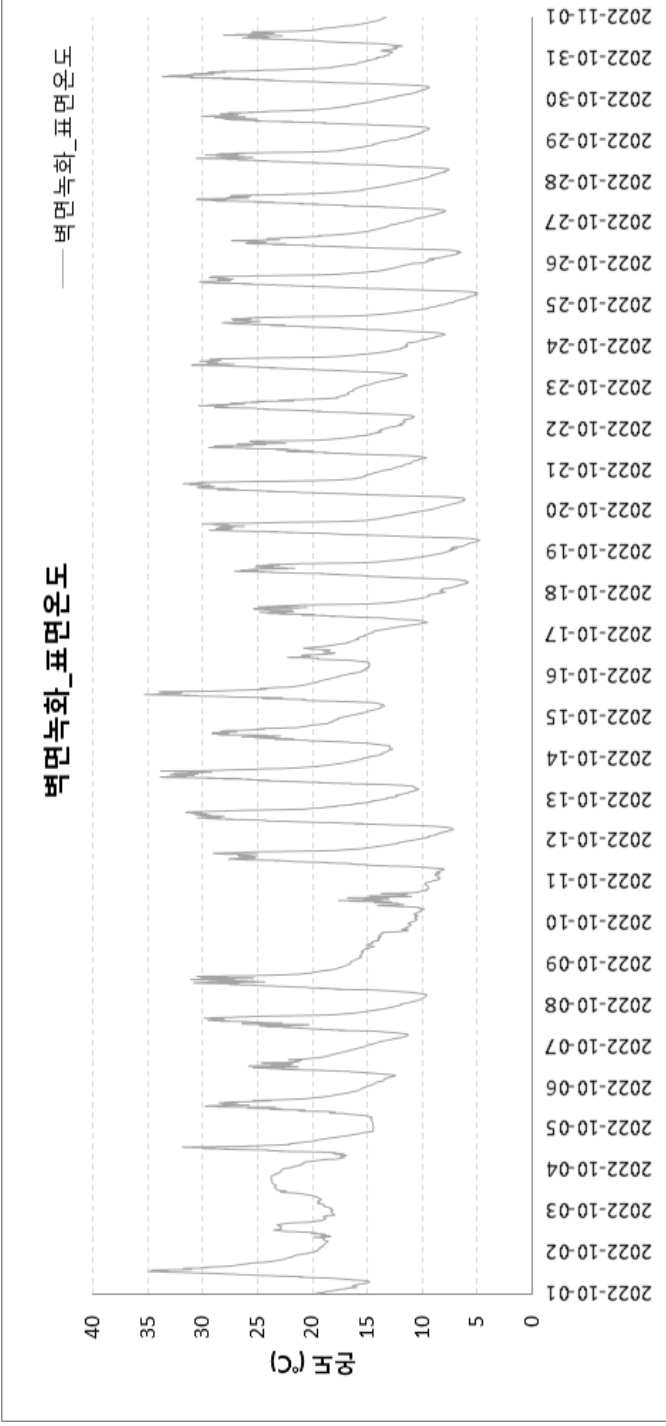
[그림 4-68] 9월 1일 ~ 9월 30일 철재벽면 표면온도 그래프



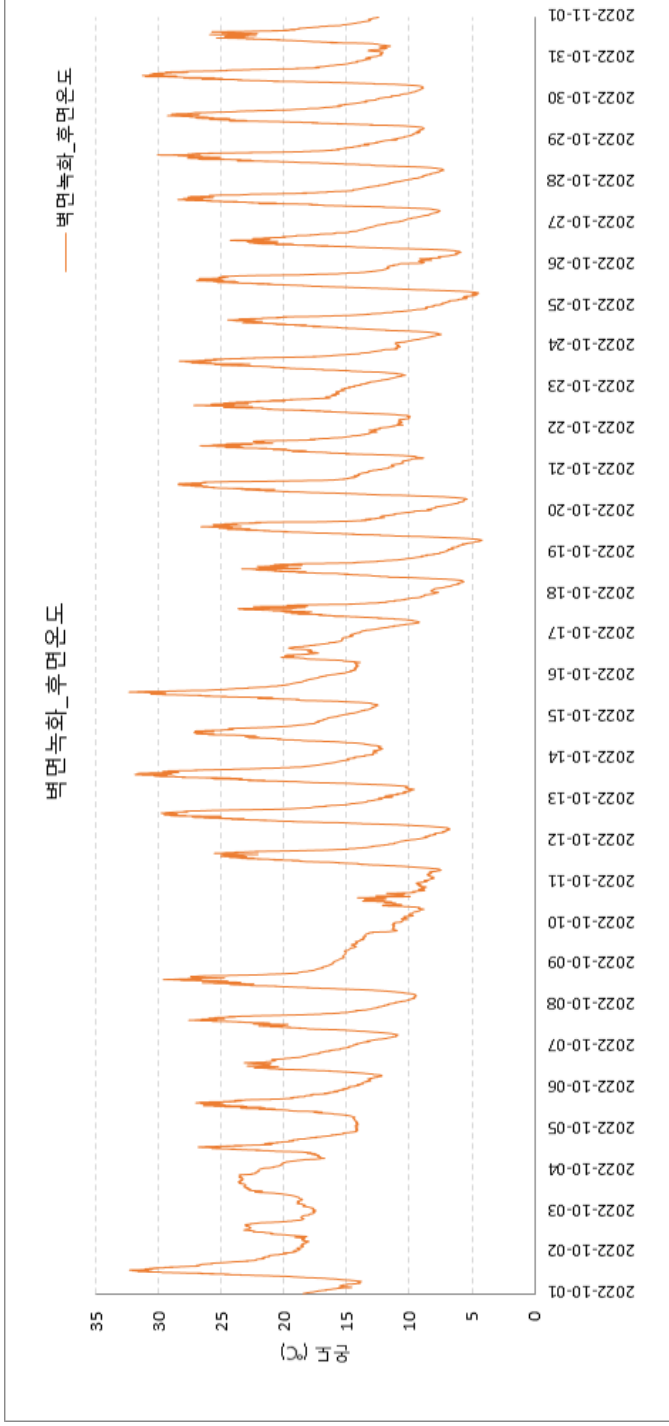
[그림 4-69] 9월 1일 ~ 9월 30일 칩내온도 그래프



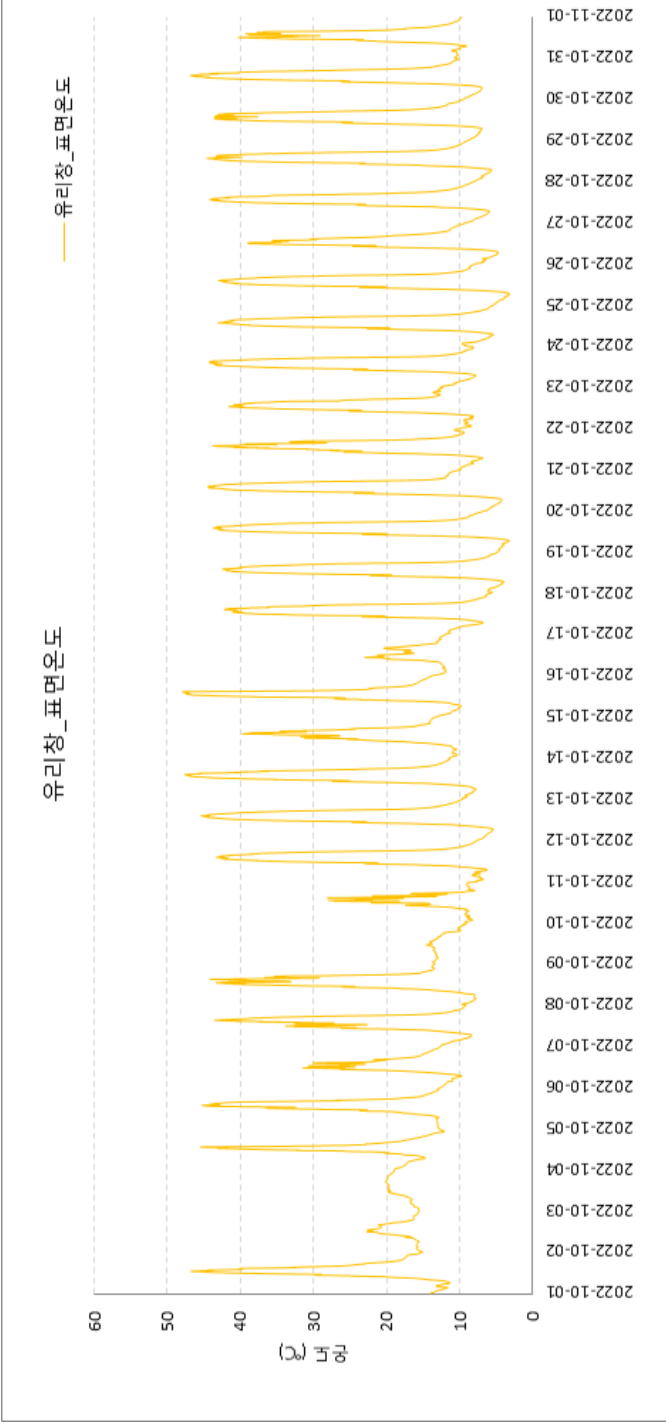
[그림 4-70] 10월 1일 ~ 10월 31일 벽면녹화 표면온도 그래프



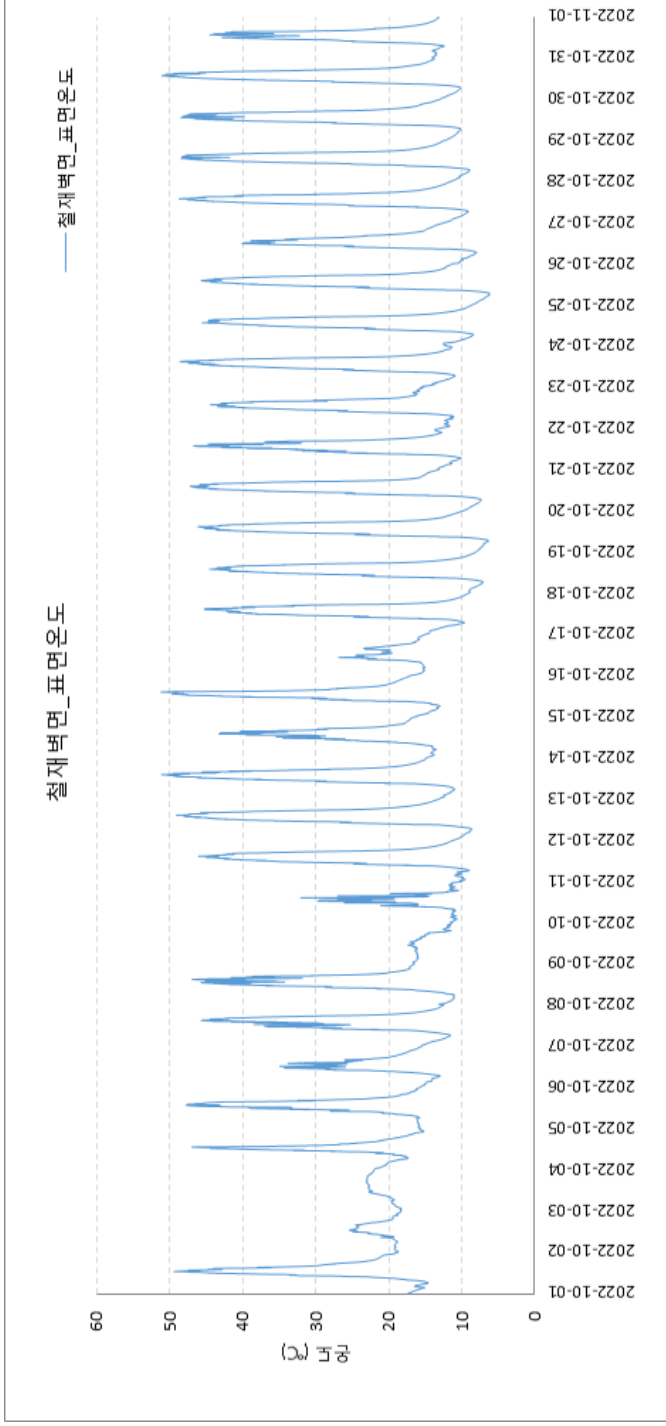
[그림 4-7] 10월 1일 ~ 10월 31일 벽면녹화 후면온도 그래프



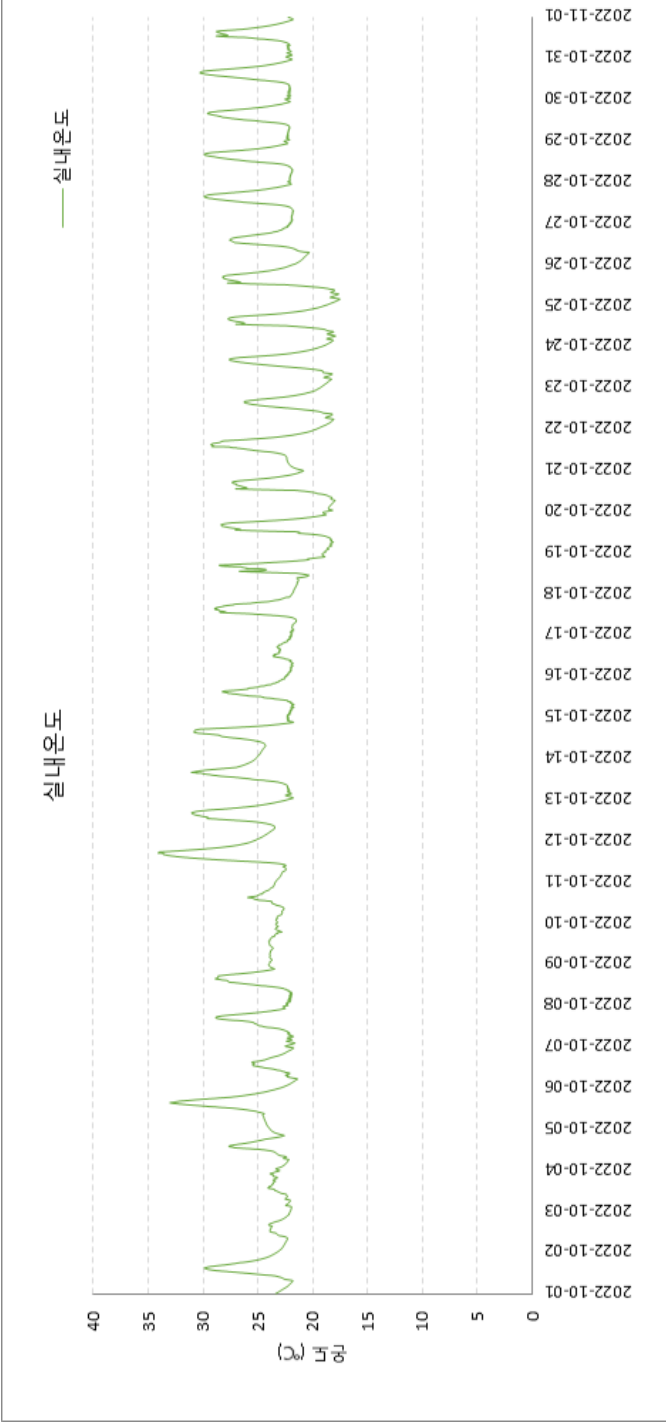
[그림 4-72] 10월 1일 ~ 10월 31일 유리창 표면온도 그래프



[그림 4-73] 10월 1일 ~ 10월 31일 철재벽면 표면온도 그래프



[그림 4-74] 10월 1일 ~ 10월 31일 실내온도 그래프



제5절 에너지 절감량 분석

수직정원 설치에 따른 에너지 절감량에 대한 기대 효과를 분석하였다. 일산서구청을 대상으로 가정하였을 때 일산서구청 전체 연면적을 적용하고, 1일 4시간 냉방을 가동하는 조건으로 월 효과를 분석하였다. 시간, 온도, 면적에 따른 전기 사용량을 통해 CO₂ 배출량을 계산하여 총 저감량을 산정할 수 있다. 이에 대한 탄소거래세를 적용하여 탄소세를 산정하고 나무 한그루 당 연간 CO₂ 흡수량을 통해 나무로 환산할 수 있다. 결과적으로 유리창 표면과 철재벽면 표면에 대한 벽면녹화 표면과 벽면녹화 후면 온도 차이를 통해 일산서구청의 에너지 절감량을 분석하여 [표 4-6]에 나타내었다. 벽면녹화 후면온도와 표면온도가 가장 높았던 철재벽면 온도와의 차이를 전력 저감량 및 전력비로 환산한 결과, 전력 저감량 : 9,494 kW, 전력비 : 2,616,527원으로 나타났다. ‘온도 저감에 따른 전력 저감 효과 분석’을 통해 얻은 전력 저감량을 토대로 CO₂ 감축량으로 환산한 결과 약 7,785 kg CO₂로 나타났고, 이것을 나무 심는 효과로 나타냈을 때 30년 수령의 중부지방 소나무 약 856그루를 심는 효과를 나타냈다.

[표 4-6] 10월 평가 항목

측정 위치	녹화표면 - 유리창	녹화표면 - 철재	녹화후면 - 유리창	녹화후면 - 철재
온도차 (최대값)	-13	-17	-15	-19
전력 저감 (kw)	6,250	8,208	7,516	9,494
전력비 (원)	1,722,547	2,262,206	2,071,418	2,616,527
온실가스 (CO2)	5,125	6,731	6,163	7,785
탄소세 (\$)	92	121	111	140
탄소세 (원)	121,635	159,742	146,270	184,762
나무 환산	563	740	677	856
전력 비율 2021.09	5%	6%	5%	7%
전력 비율 2021.10	5%	7%	6%	8%

제 5 장
결론

결론

본 연구에서는 일산서구청에 설치된 수직정원(벽면녹화)과 비녹화 구간에 온도 센서를 설치구간에 따른 태양복사에너지에 대한 영향을 검토하고, 결과를 토대로 온실가스 저감량, 탄소세, 나무 심는 효과 등 수치 형태로 에너지 절감 효과를 분석하였다.

① 측정위치에 따른 온도 결과

비녹화 구간인 유리창 및 철제벽면 표면이 녹화구간인 벽면녹화 표면 및 후면보다 높은 최대온도를 나타냈다. 각 표면의 최대온도는 철제벽면 표면 58.88℃, 유리창 표면 54.90℃, 벽면녹화 전면 42.26℃, 벽면녹화 후면 39.66℃로 나타났으며, 철제벽면 표면과 벽면녹화 후면의 온도 차이가 19.22℃로써 최대 차이를 나타냈다.

② 온도 저감에 따른 전력 저감 효과 분석

녹화구간으로부터 건물로 전달되는 온도인 벽면녹화 후면온도와 표면온도가 가장 높았던 철제벽면 온도와의 차이를 전력 저감량 및 전력비로 환산한 결과, 전력 저감량 : 9,494 kW, 전력비 : 2,616,527원으로 나타났다.

③ 온실가스 저감효과 분석

‘온도 저감에 따른 전력 저감 효과 분석’을 통해 얻은 전력 저감량을 토대로 CO₂ 감축량으로 환산한 결과 약 7,785 kg CO₂로 나타났고, 이것을 나무 심는 효과로 나타냈을 때 30년 수령의 중부지방 소나무 약 856그루를 심는 효과를 나타냈다.

따라서 벽면녹화를 통해 옥상녹화와 더불어 실내온도를 저감시킴으로써, 에너지 저감효과를 가져올 수 있으며, 이것은 결국 온실가스 저감으로 이어져 기후위기에 대응할 수 있는 녹색기술임을 확인할 수 있었다.

아직 고양시 대부분 건물에 벽면녹화가 적용되지 않는 상태이다. 이번 연구 결과를 토대로 다음과 같은 공공건물에 우선 적용 및 검토를 제안하며, 차후 만족도 조사 및 보완사항을 검토하여 일반건물로의 확대 적용을 방안을 모색하고자 한다.

[적용처 제안]

- 1) 녹색커튼 : 학교 및 유리창이 많은 공공건물
- 2) 모듈형 벽면녹화 : 빌딩 숲 및 도로 옆

참고문헌

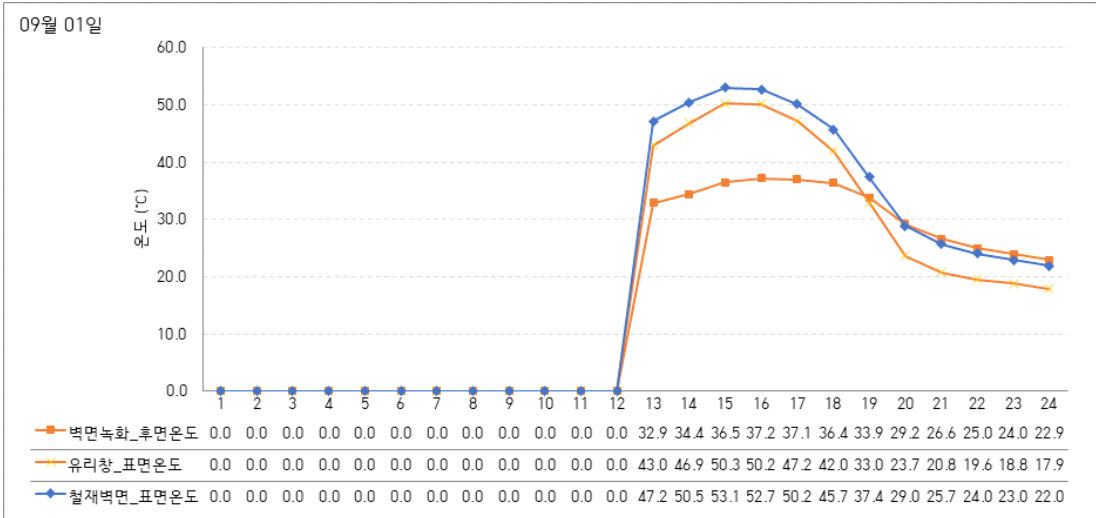
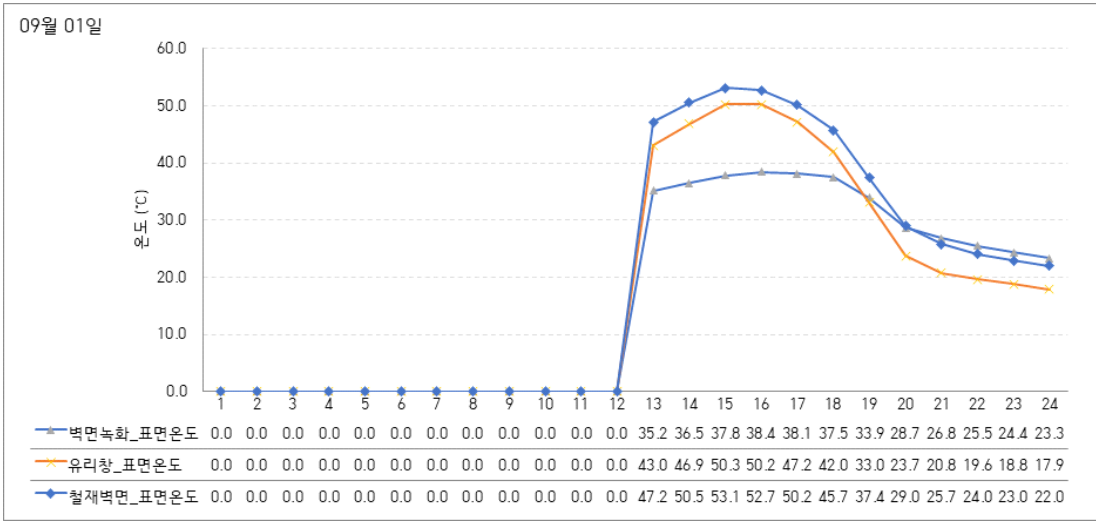
[국내문헌]

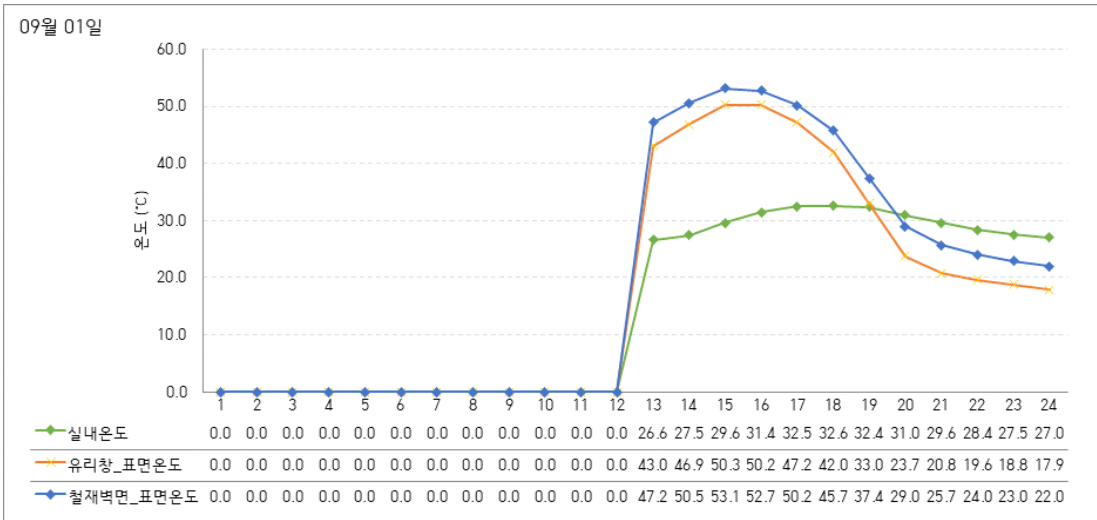
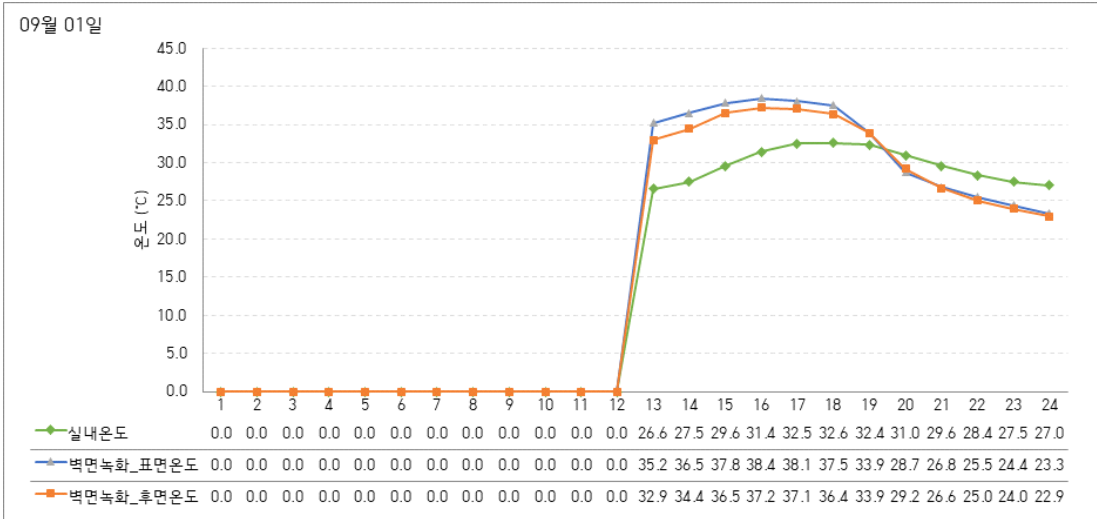
- 유선아 외(2010). [녹색산업기술] 추수원 없는 싱가포르, 물 자급자족도 가능해
- 고범석 외(2022) 공공건물 벽면녹화에 따른 폭염 저감 및 건물 에너지 절감 효과 분석, 조선대학교
- 김다운 외(2021), 방위에 따른 벽면녹화식물의 생육 비교, 공주대학교
- 김보람 외(2013), 친환경 건축물 인증 공동주택 벽면녹화 현황 및 문제점 연구, 서울대학교
- 김정호 외(2015), 건물 일체형 패널형 벽면녹화 식재 기반 유형별 건물 에너지 성능 분석, 건국대학교
- 장대희 외(2015), 도시 열섬 저감을 위한 저비용 지속 가능형 벽면녹화 시스템 개발, 한국건설기술연구원

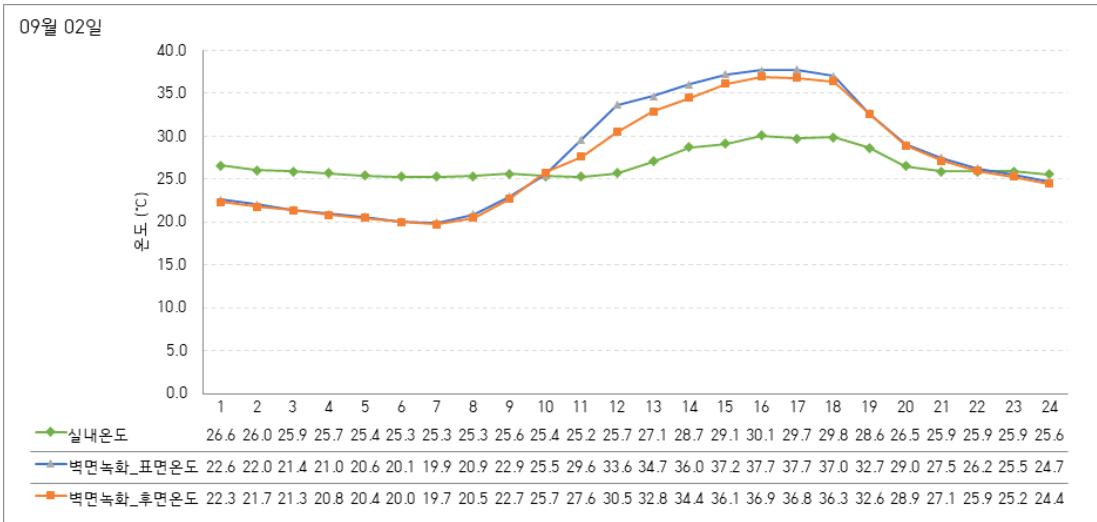
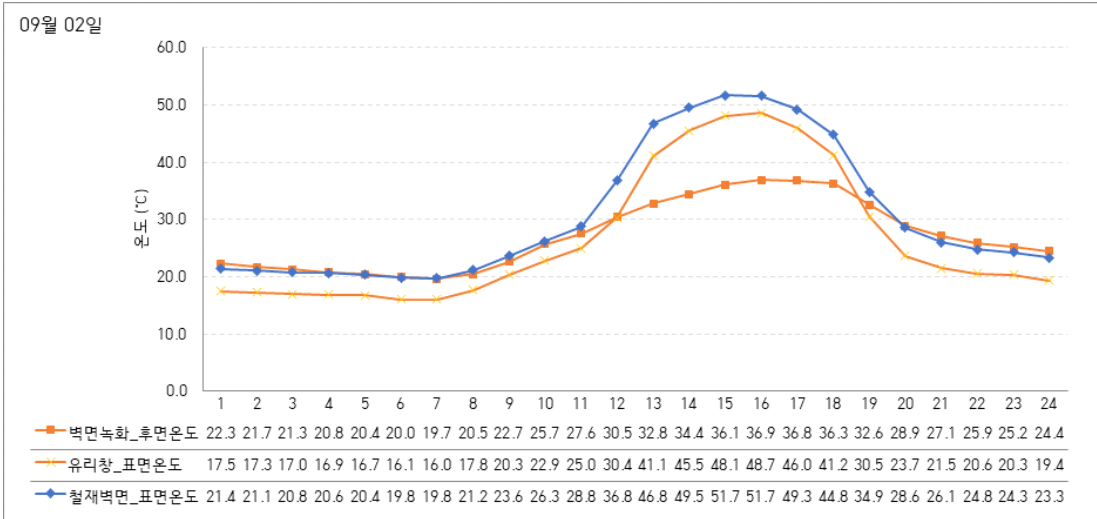
[기타자료]

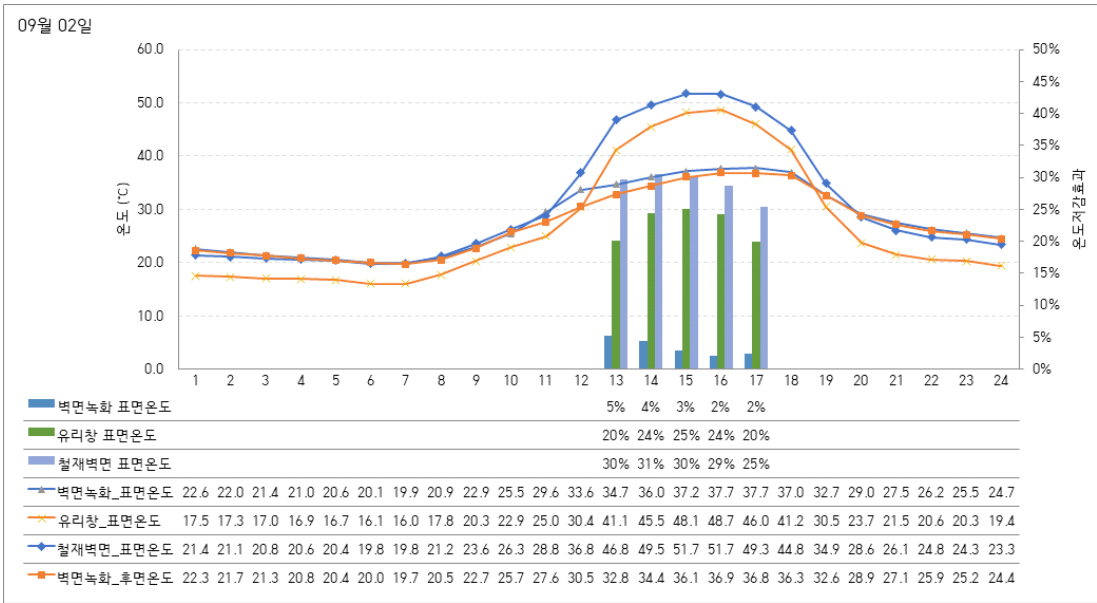
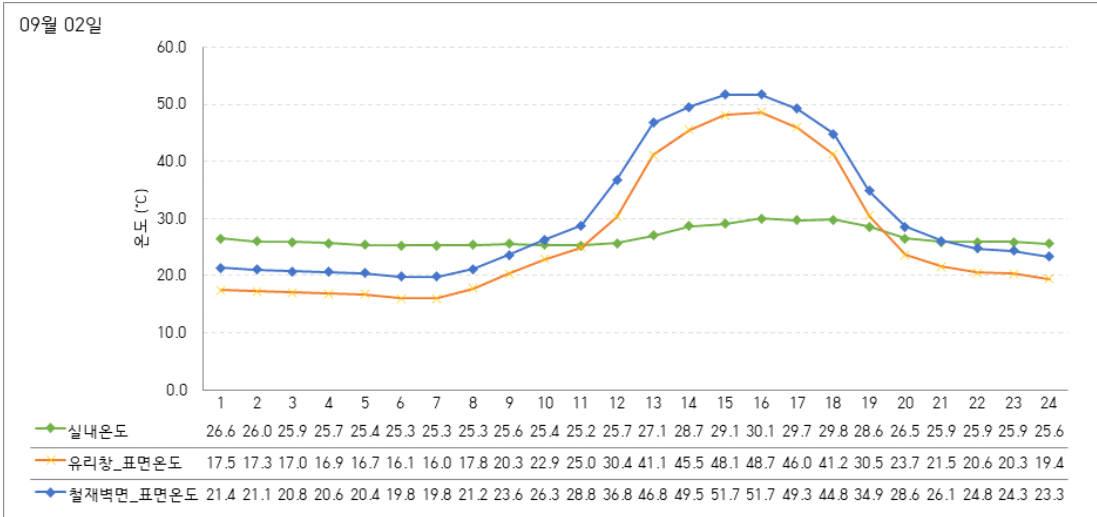
- 유엔글로벌콤팩트 한국협회(www.unglobalcompact.kr)
- 한국에너지공단(www.energy.or.kr)
- 일산서구청 웹사이트(<https://www.goyang.go.kr/ilswgu/index.do>)
- 서울시청 홈페이지(<https://www.seoul.go.kr/main/index.jsp>)
- 강북구청 홈페이지(<https://www.gangbuk.go.kr/www/index.do>)
- 서대문구청 홈페이지(<https://www.sdm.go.kr/index.do>)
- 마포구청 홈페이지(<https://www.mapo.go.kr/site/main/home>)
- 수원시청 홈페이지(<https://www.suwon.go.kr/intro.jsp>)
- 경상남도청 홈페이지(<https://www.gyeongnam.go.kr/index.gyeong>)
- 전라남도청 홈페이지(<https://www.jeonnam.go.kr>)
- 천안시청 홈페이지(<https://www.cheonan.go.kr>)
- 강동구청 홈페이지(<https://www.gangdong.go.kr>)
- kotranews(<https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news>)
- 한화건설(<http://blog.hwenc.co.kr/182>)
- 일요신문(https://ilyo.co.kr/?ac=article_view&entry_id=380675)
- 웍스(<https://blog.naver.com/PostView.nhn?isHttpsRedirect=true&blogId=wipmaster&logNo=50162838467>)
- 아시아경제(<https://cm.asiae.co.kr/article/2013092615581552626>)
- Sosa 홈페이지(<https://5osa.com/383>)

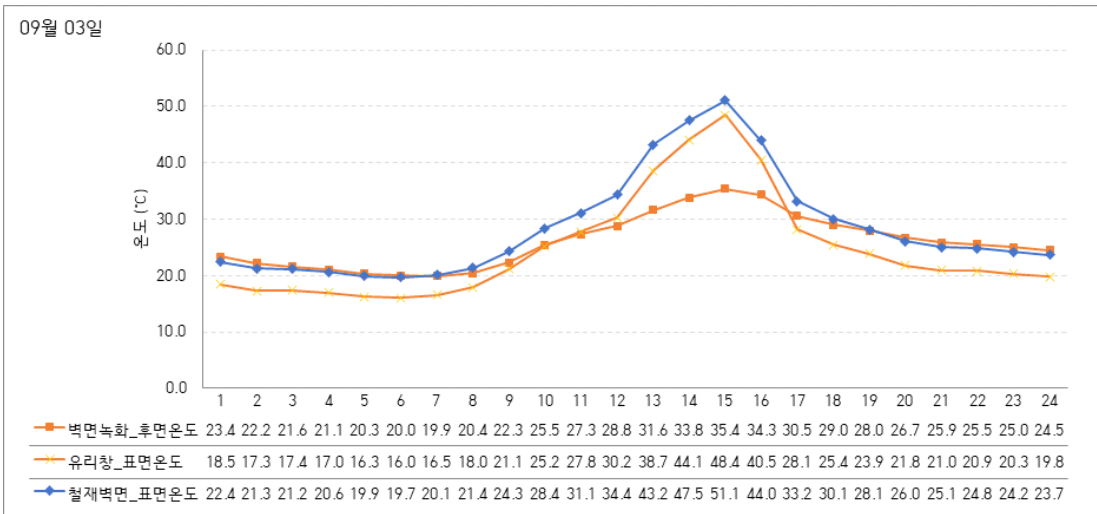
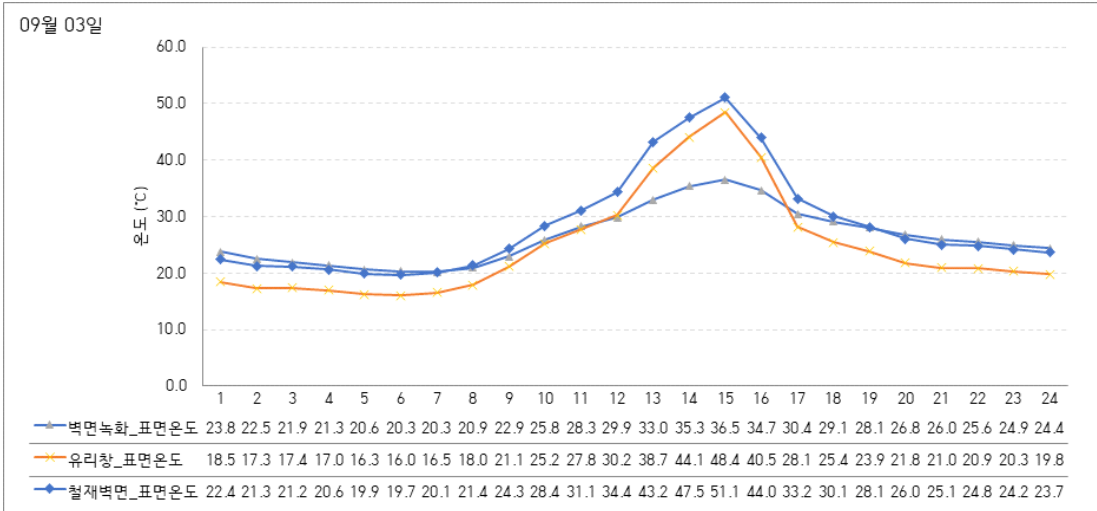
부
가

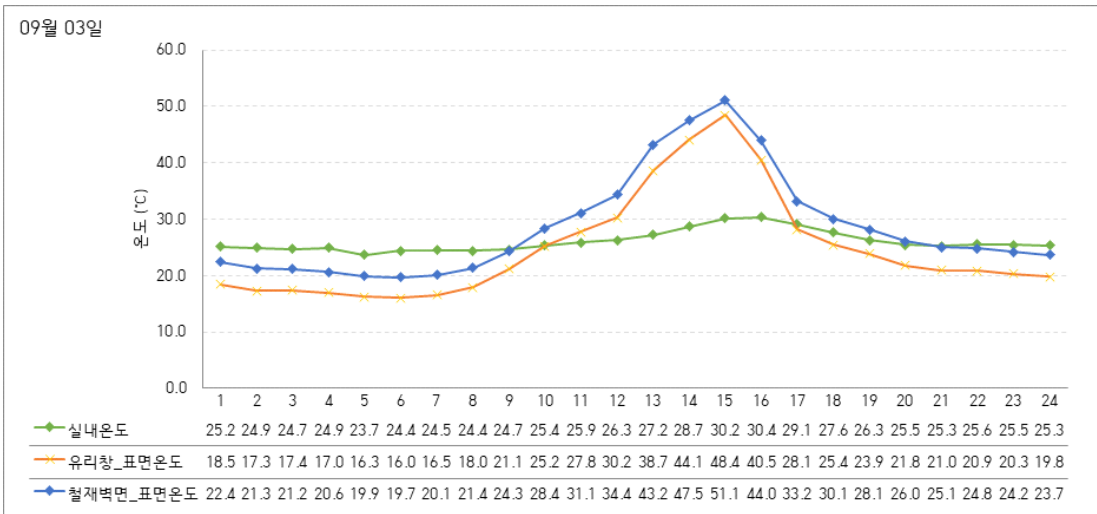
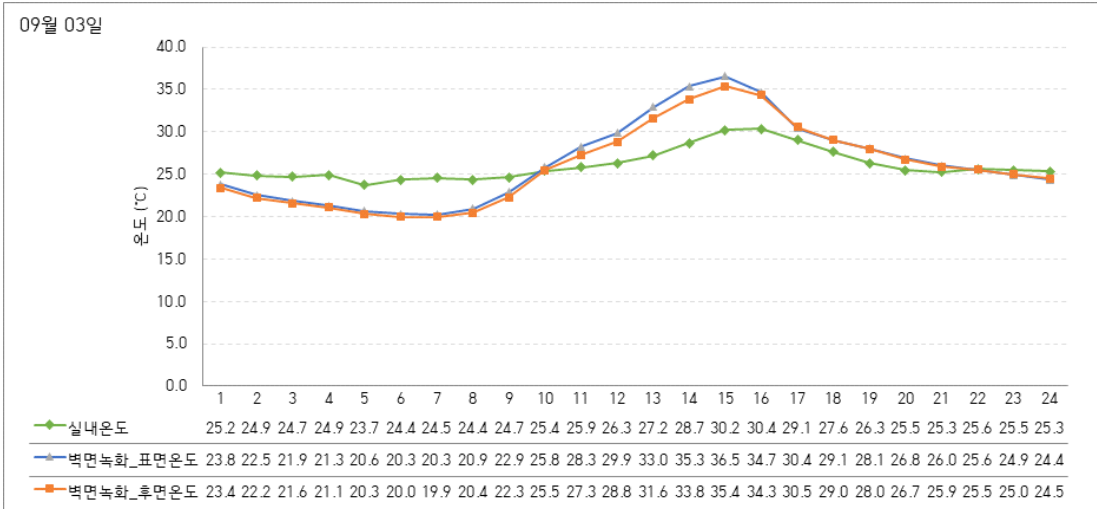


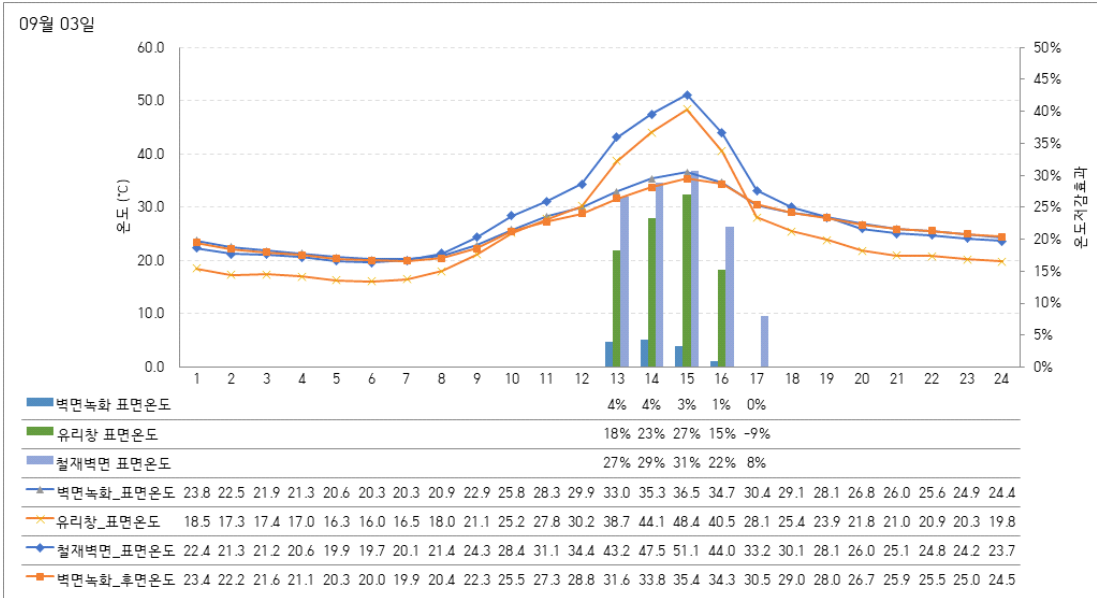


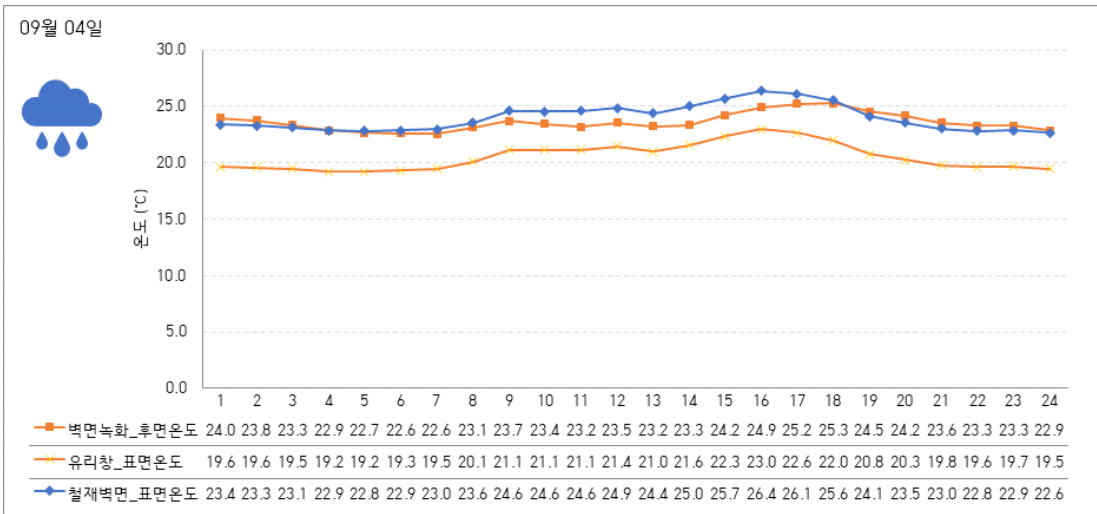
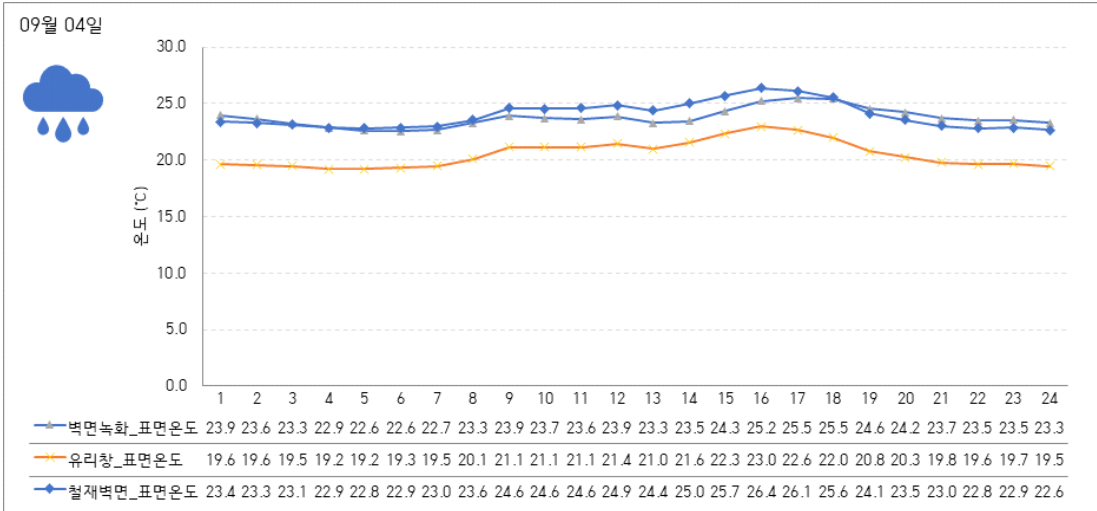


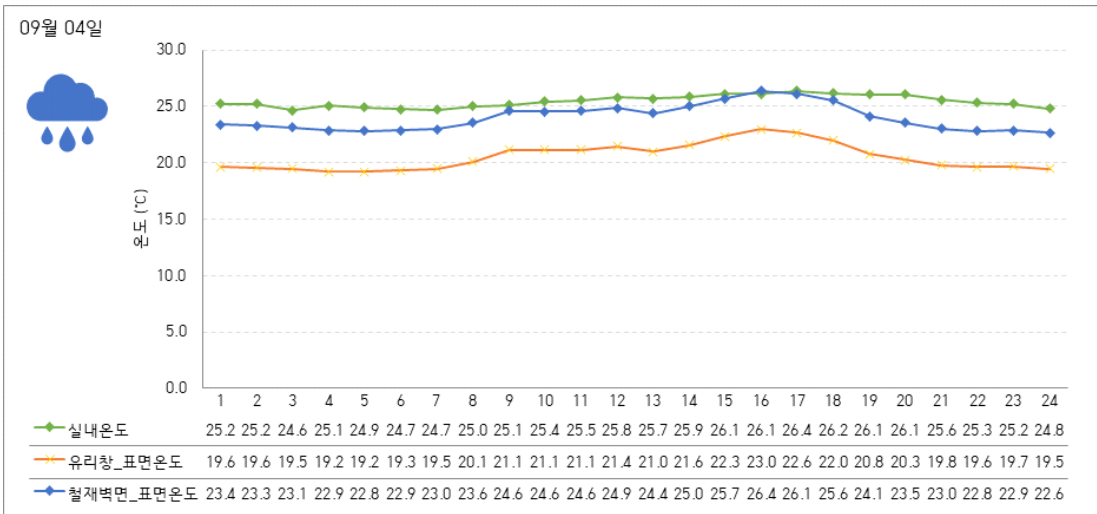
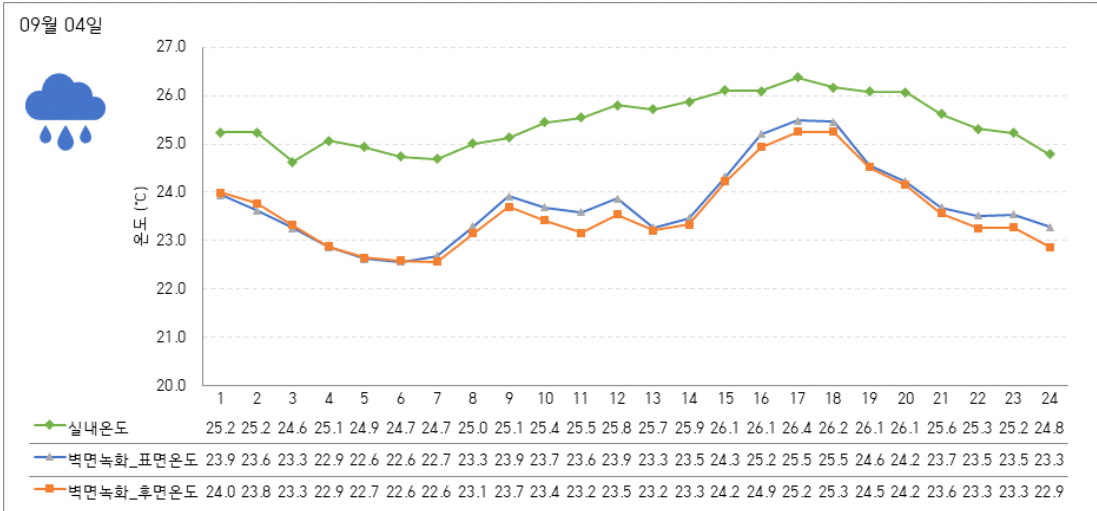


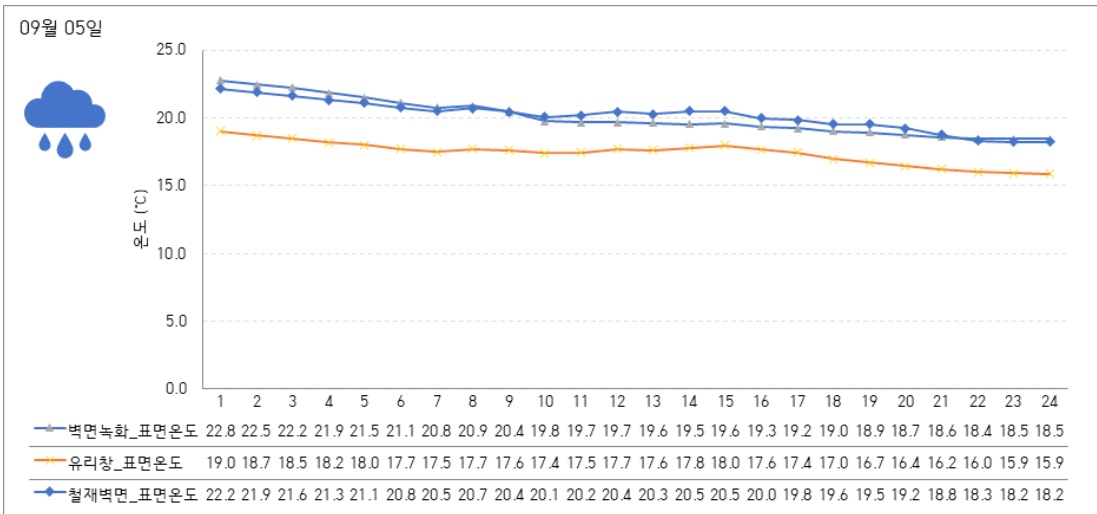
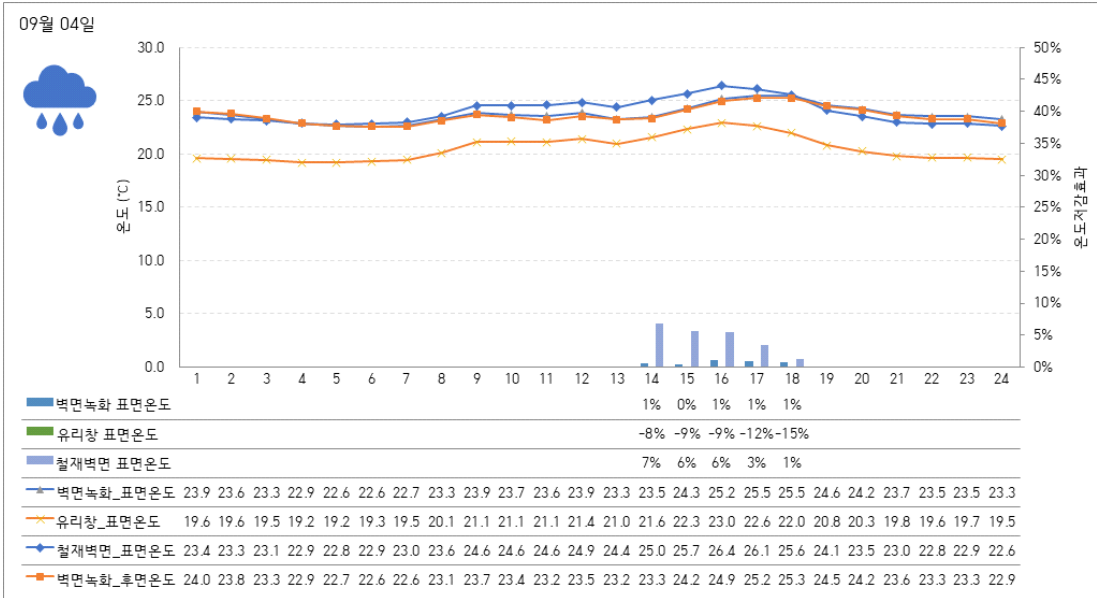


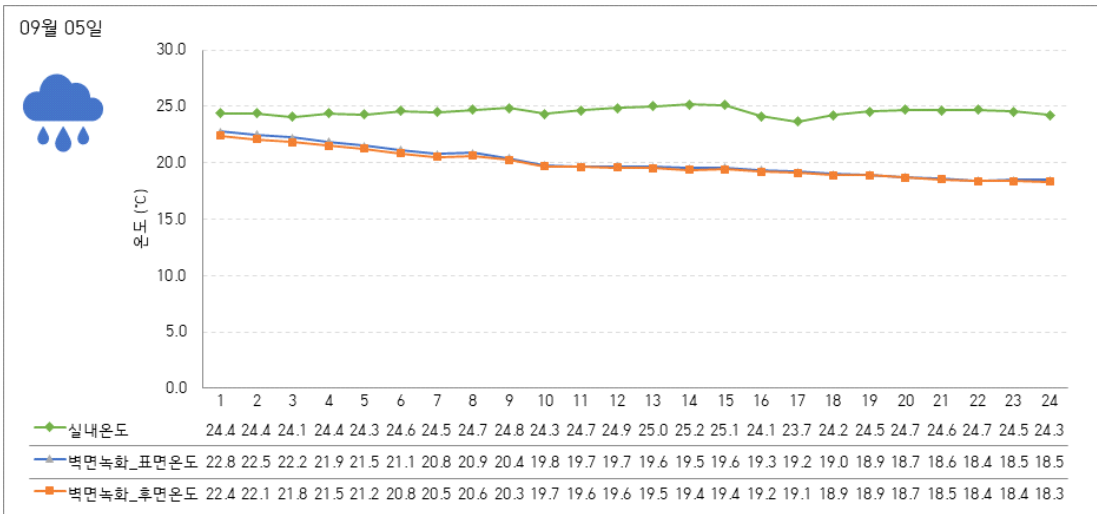
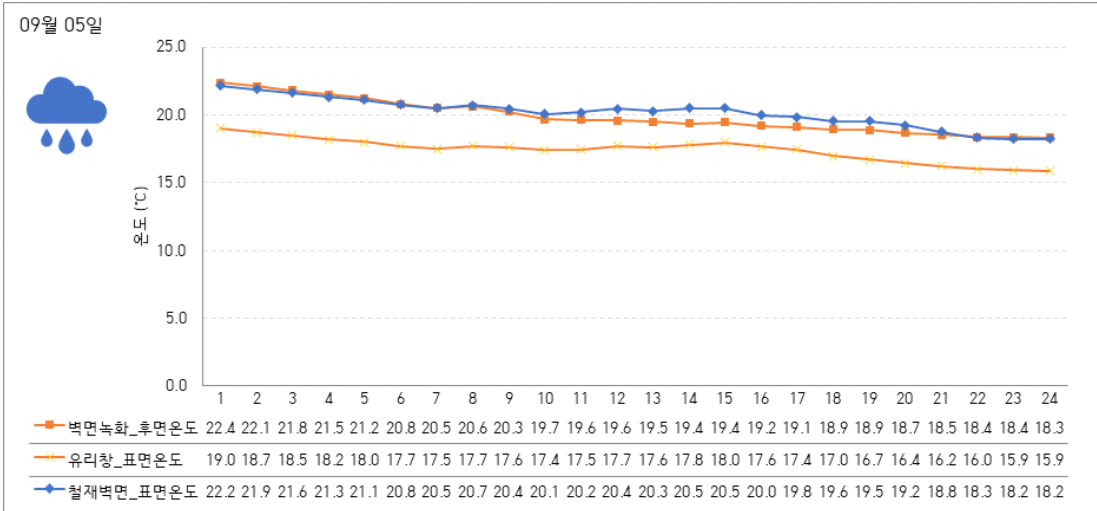


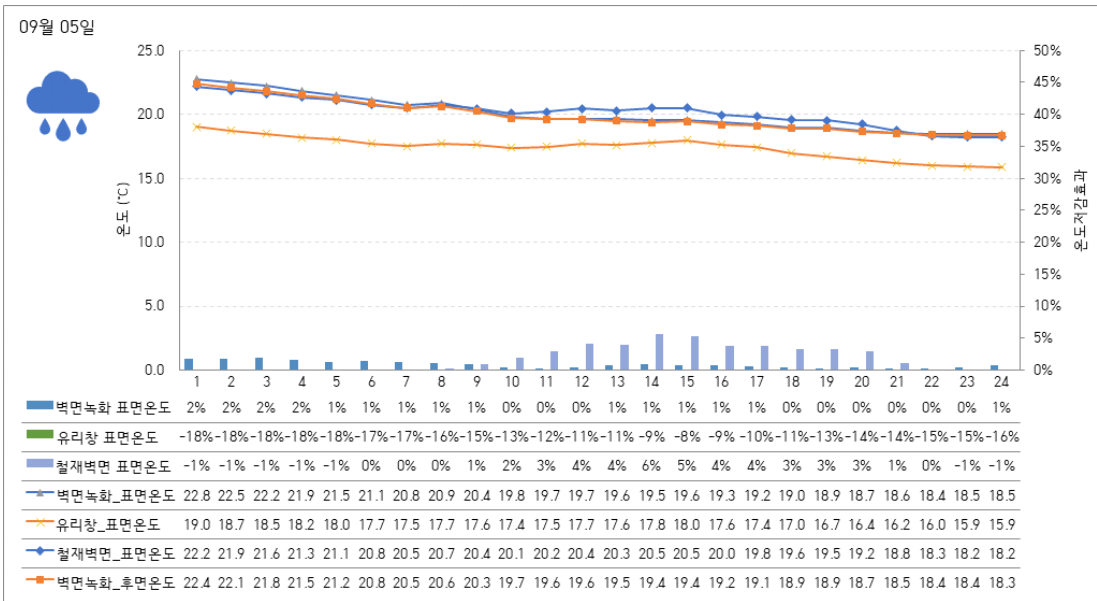
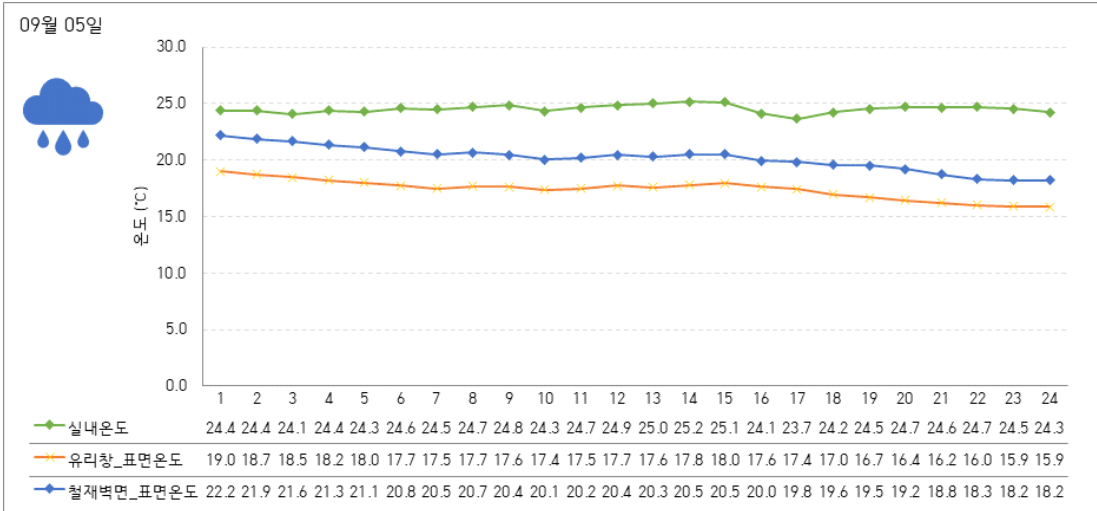


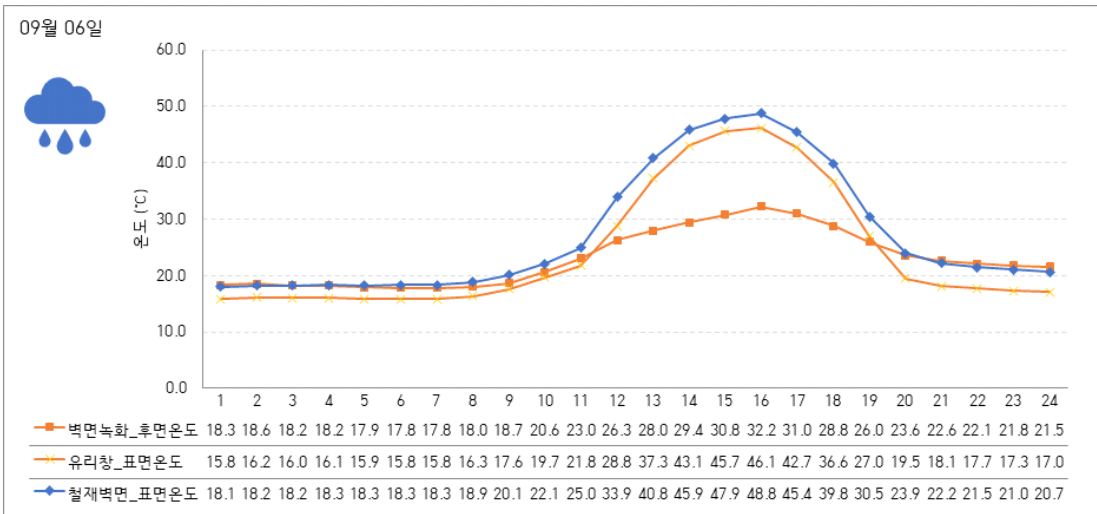
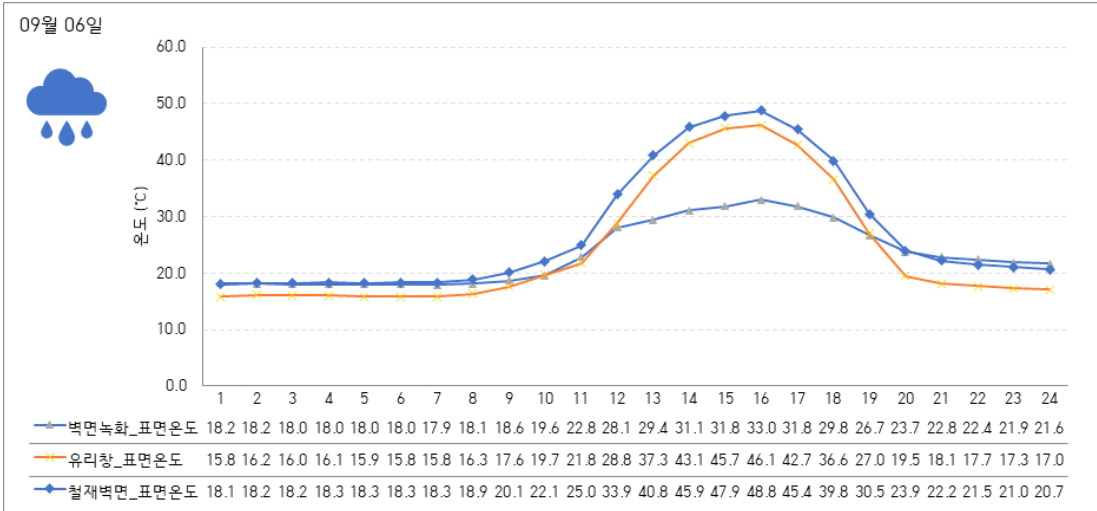


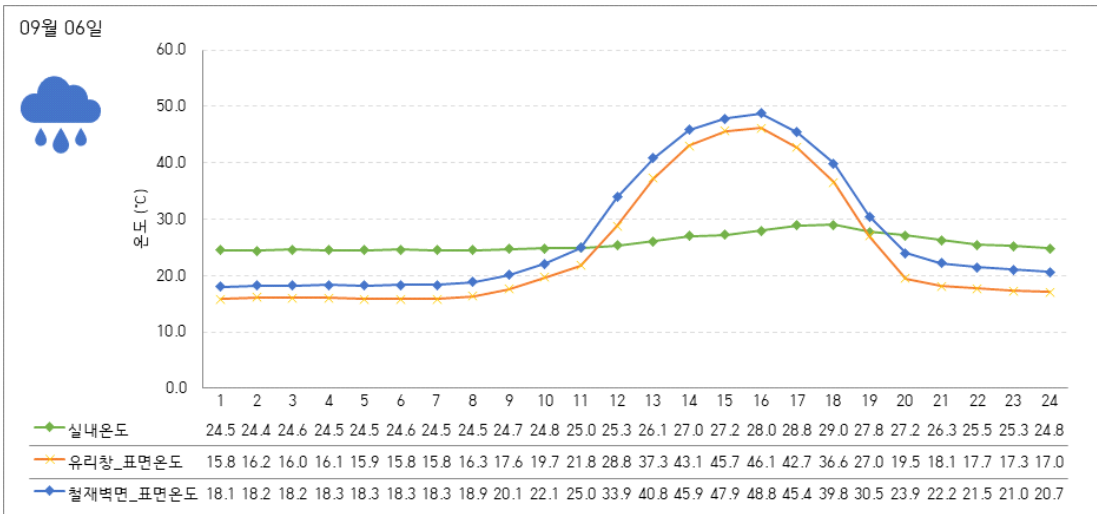
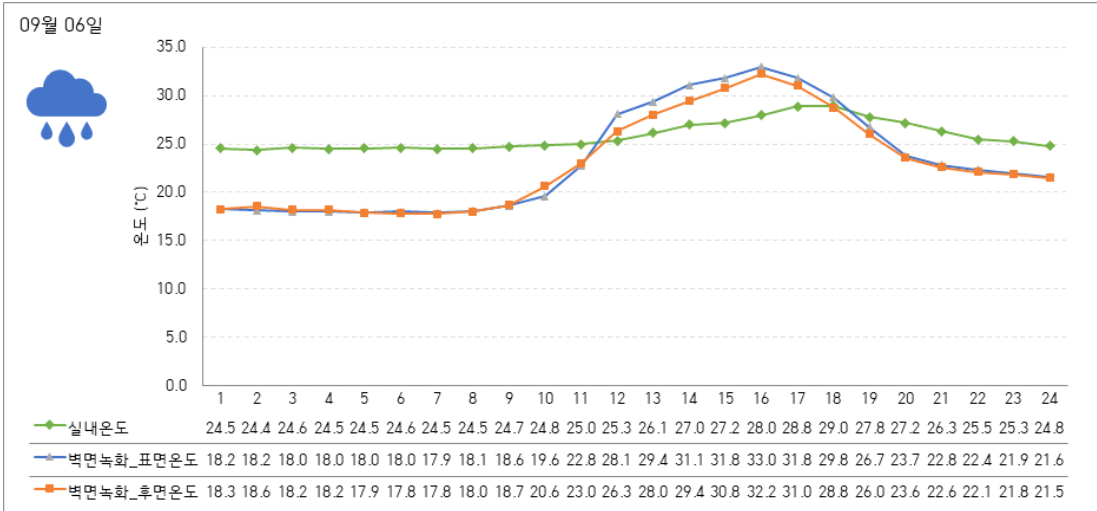


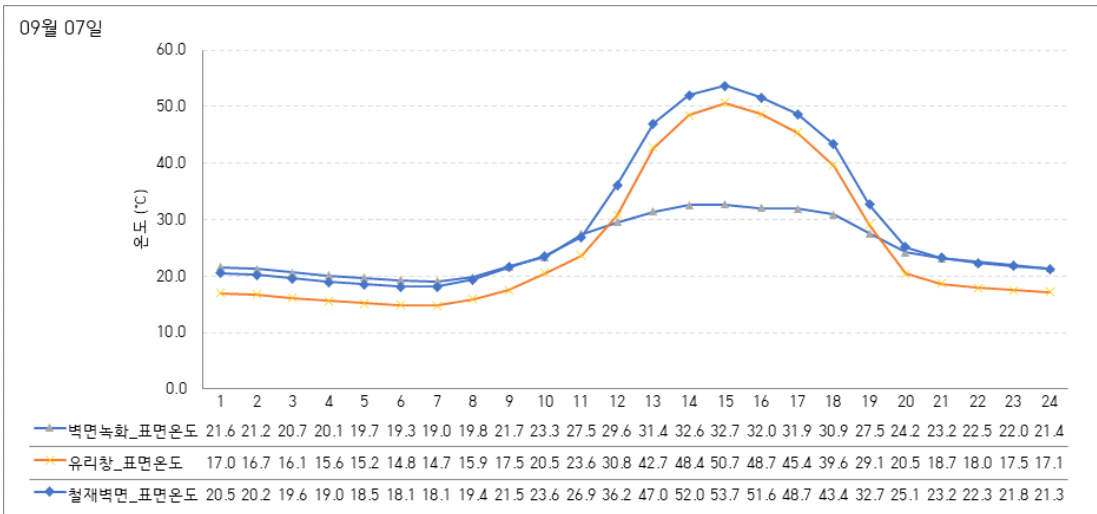
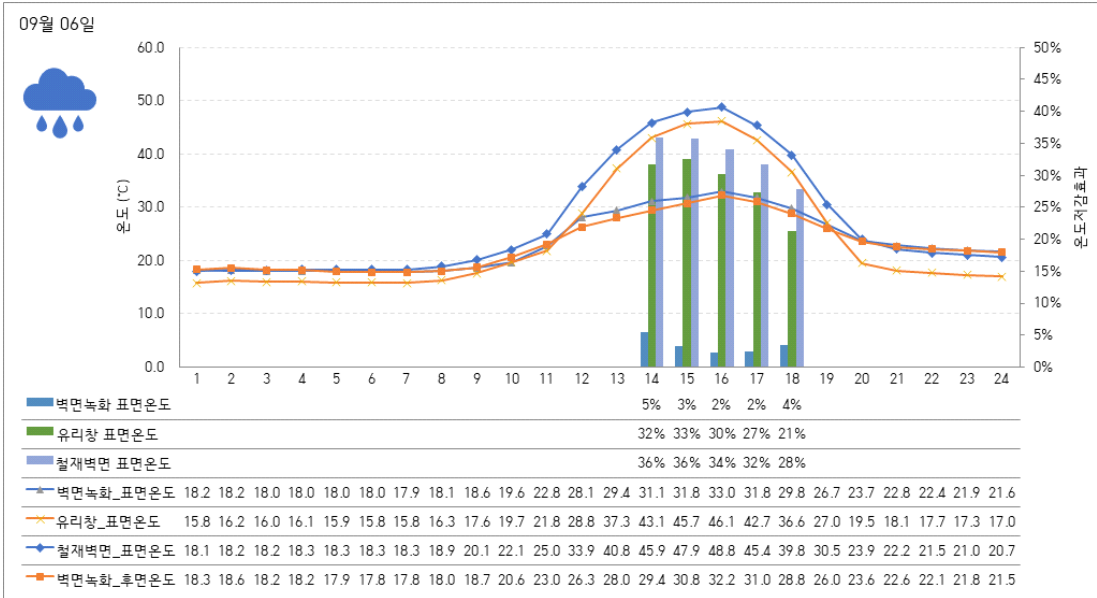


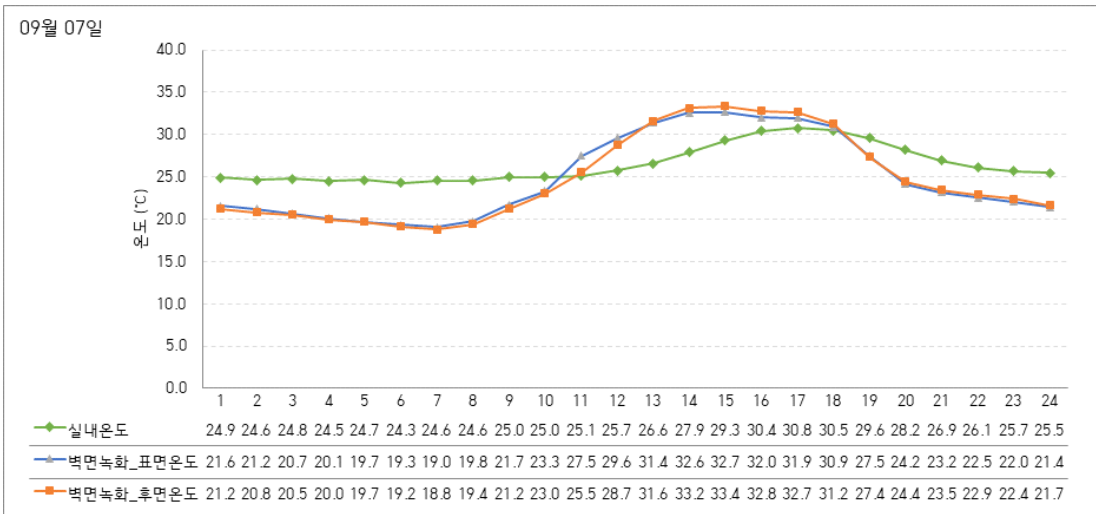
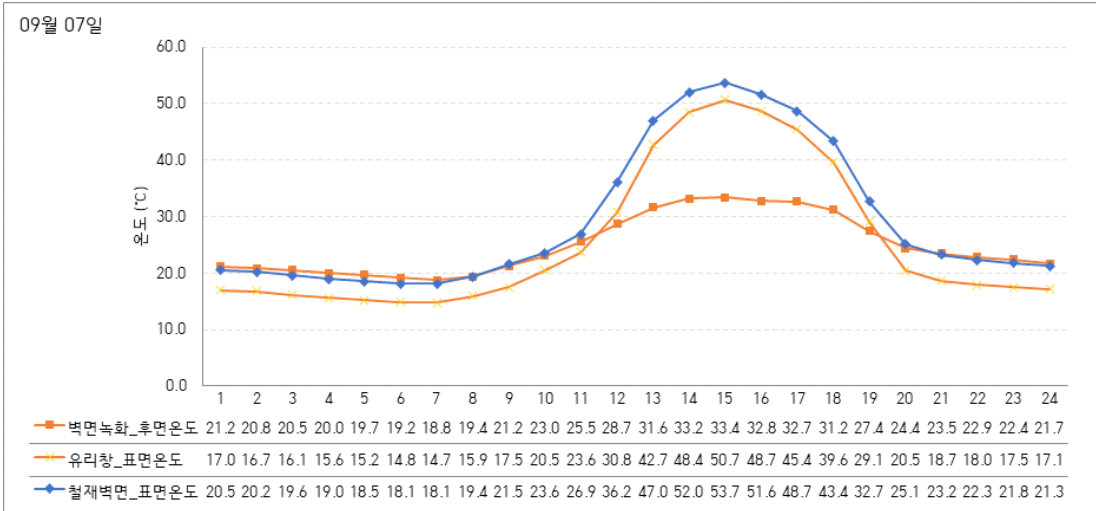


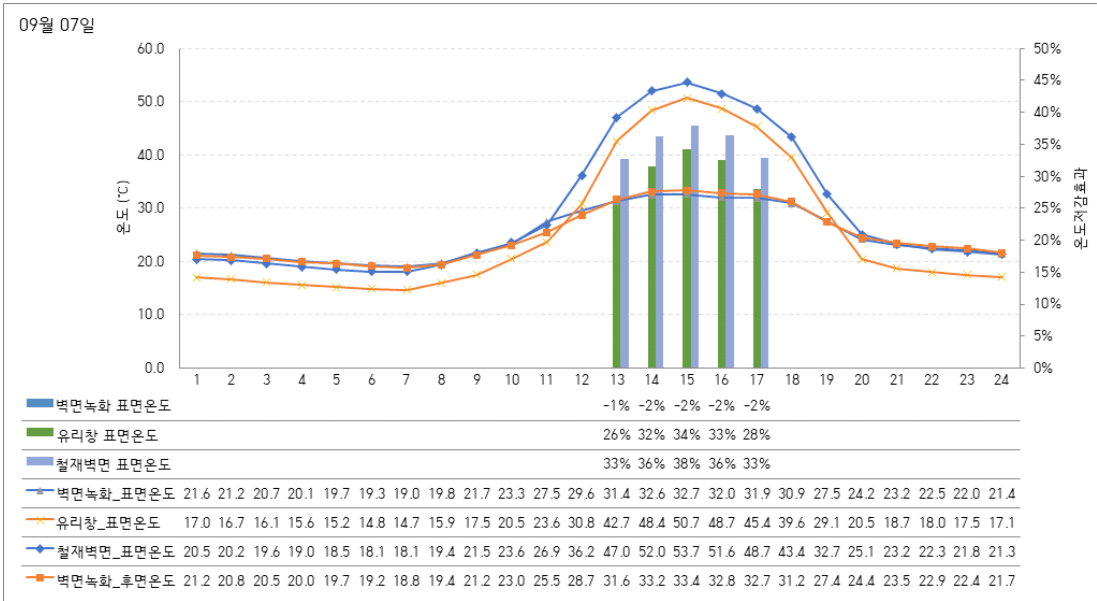
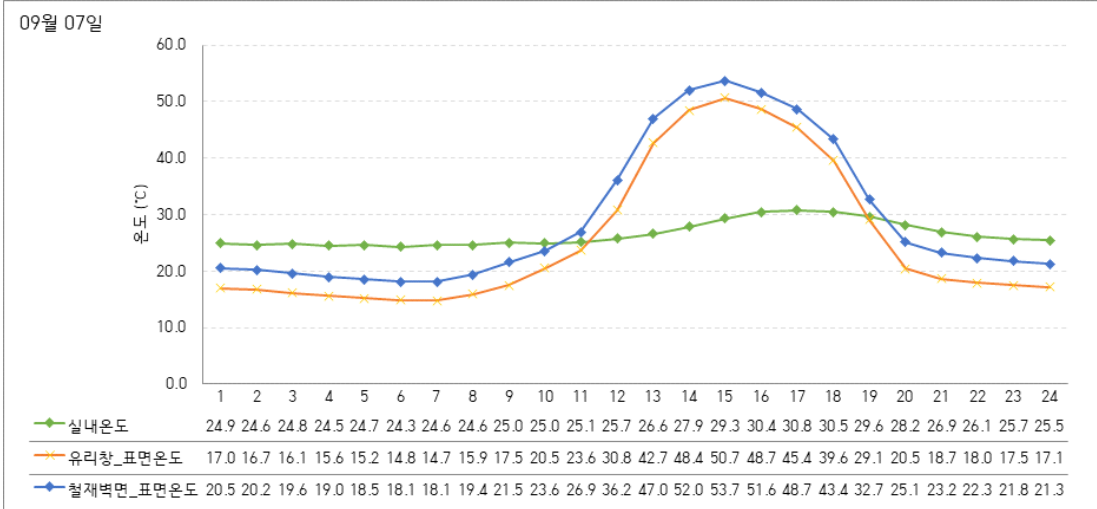


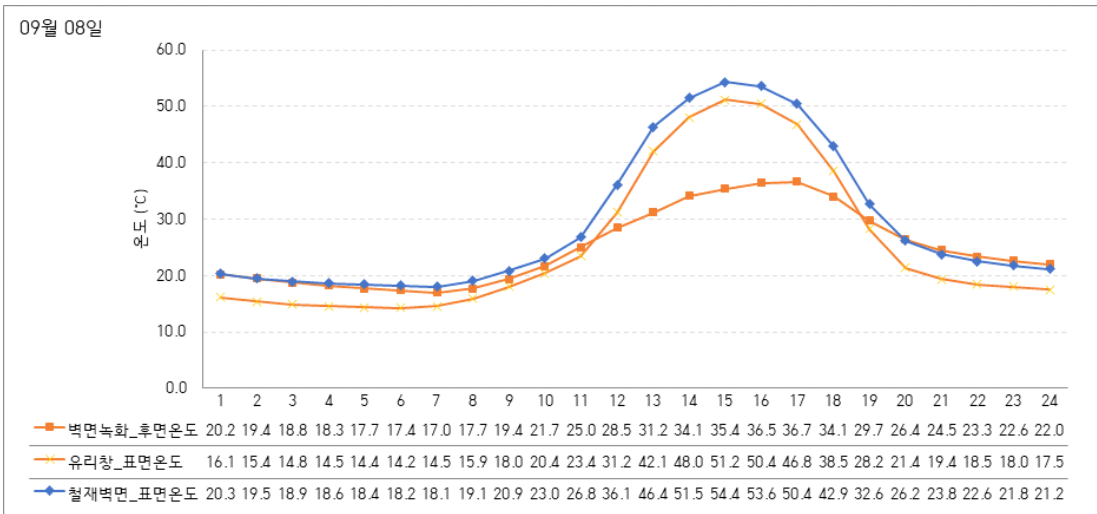
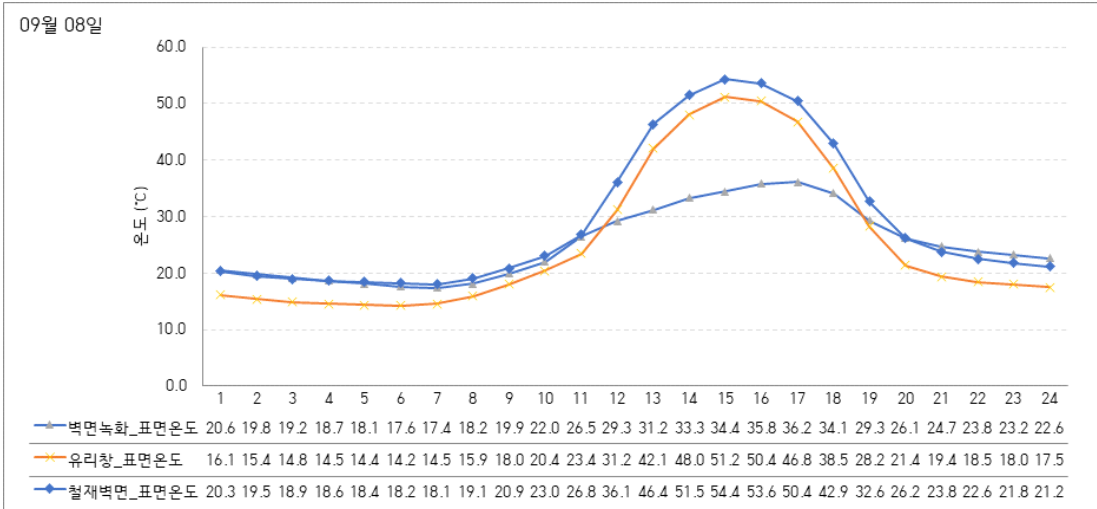


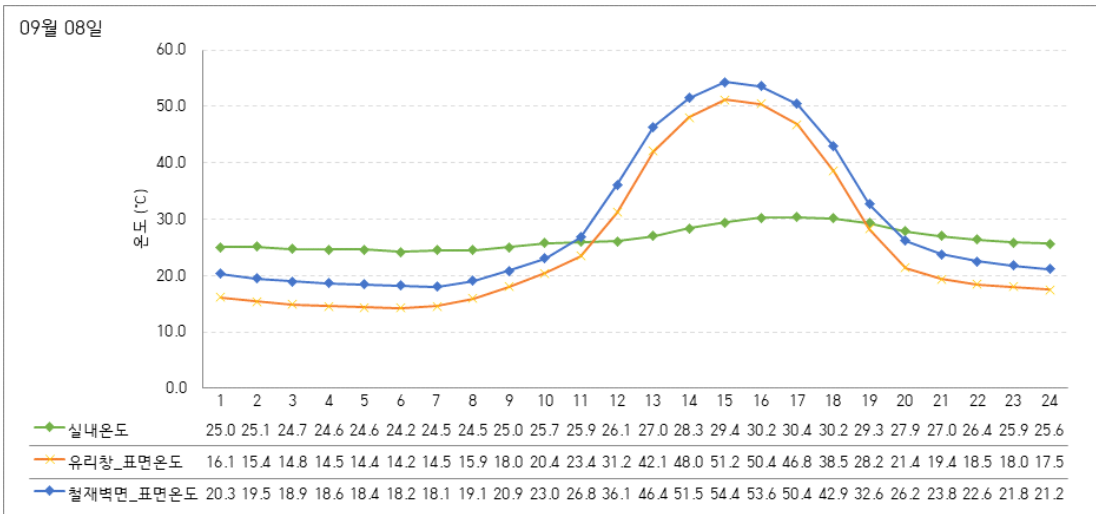
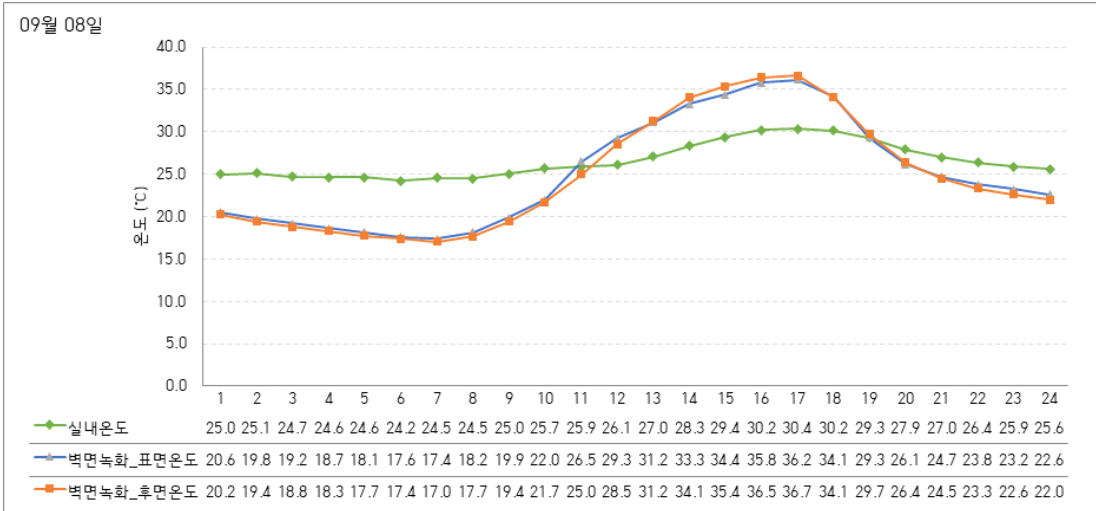


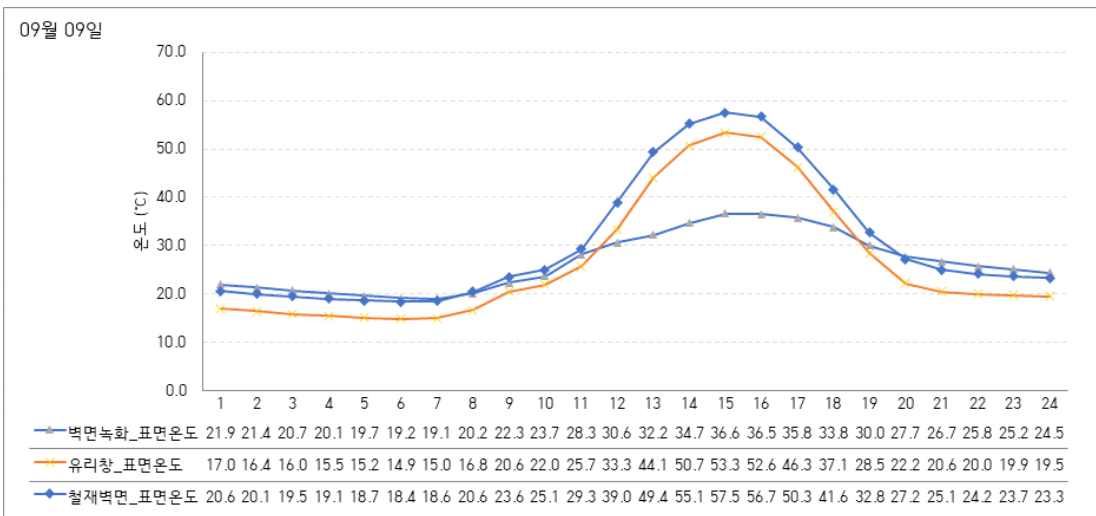
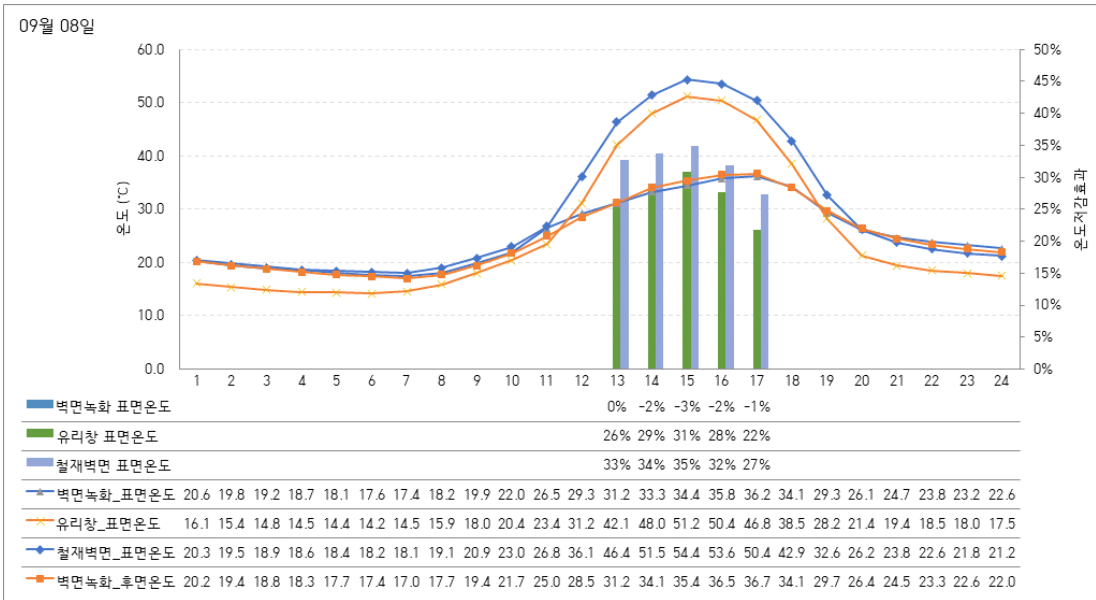


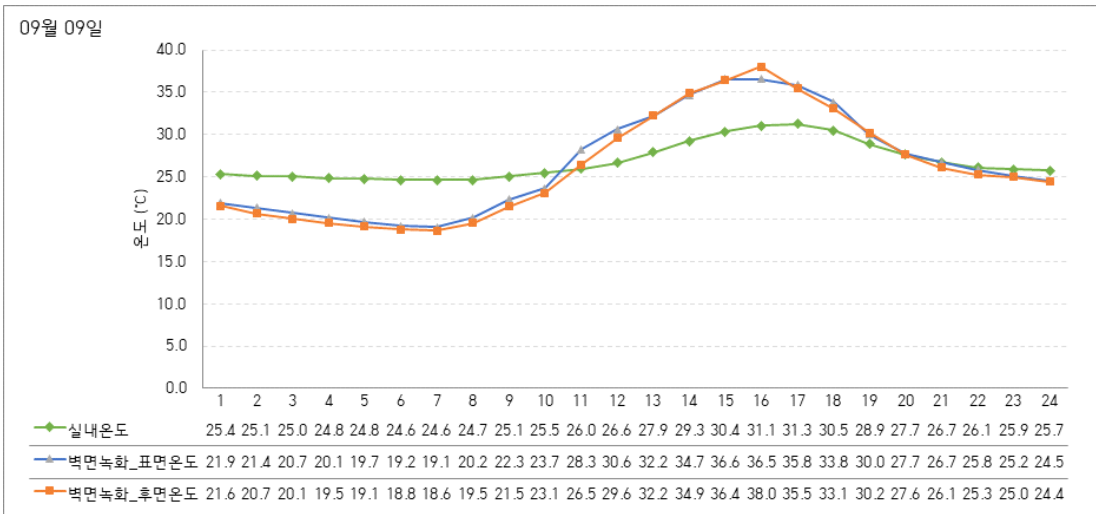
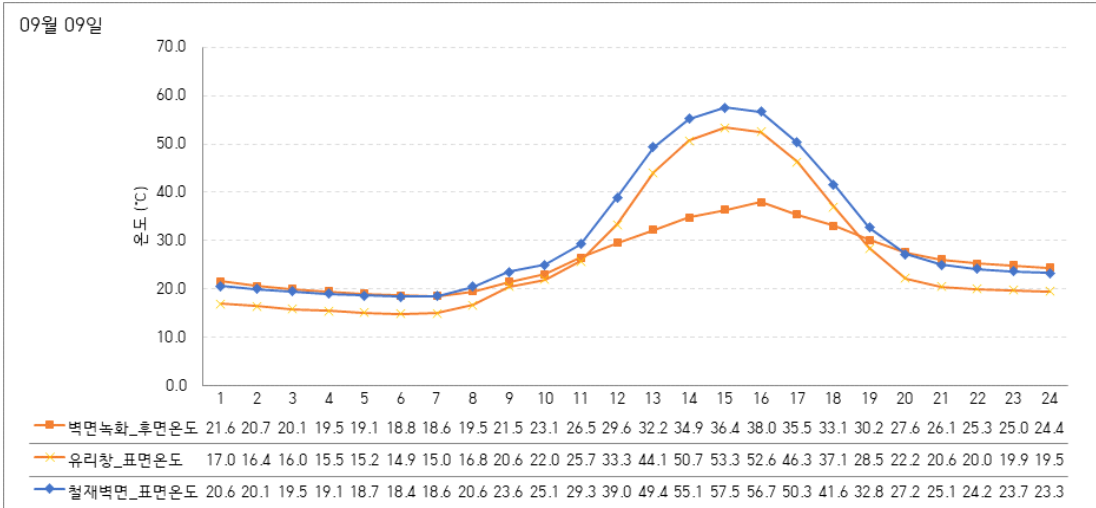


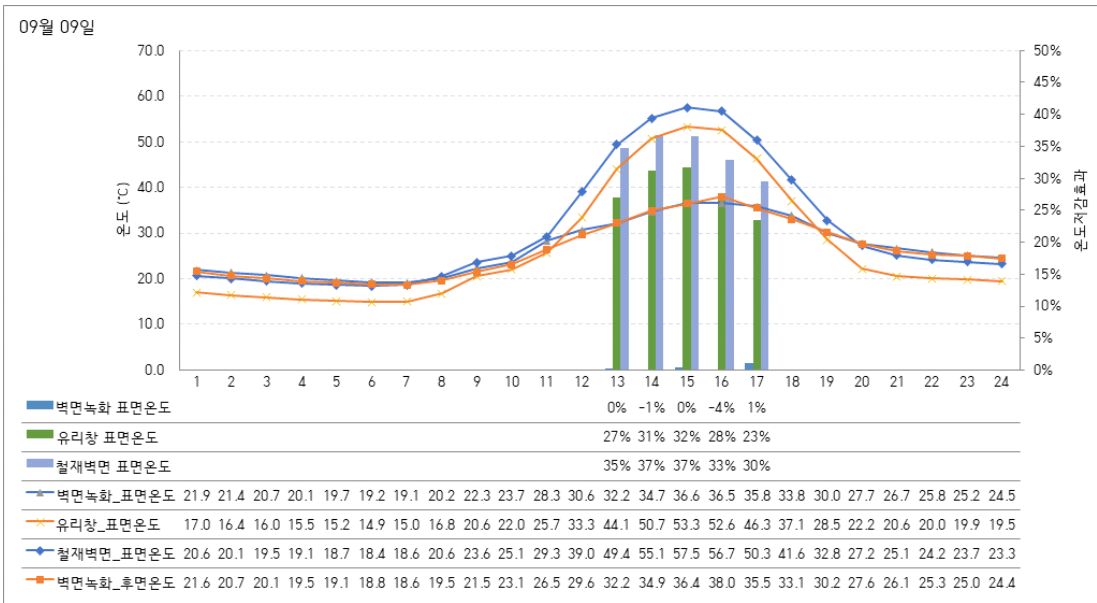
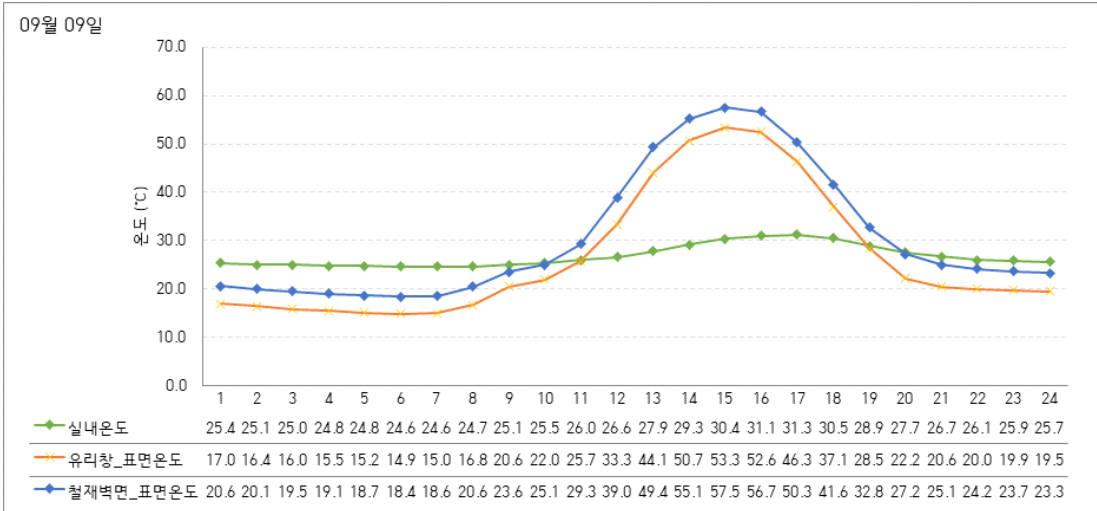


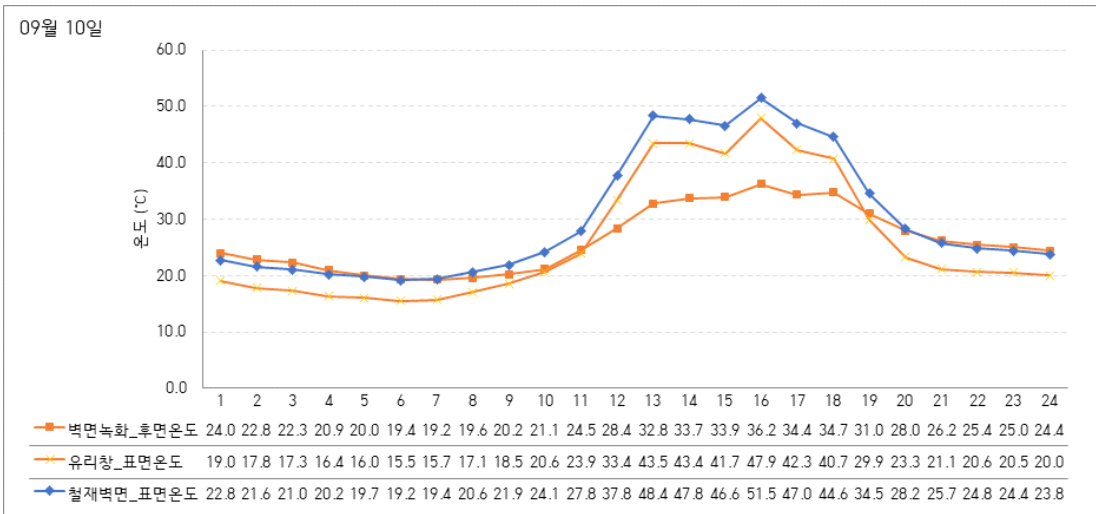
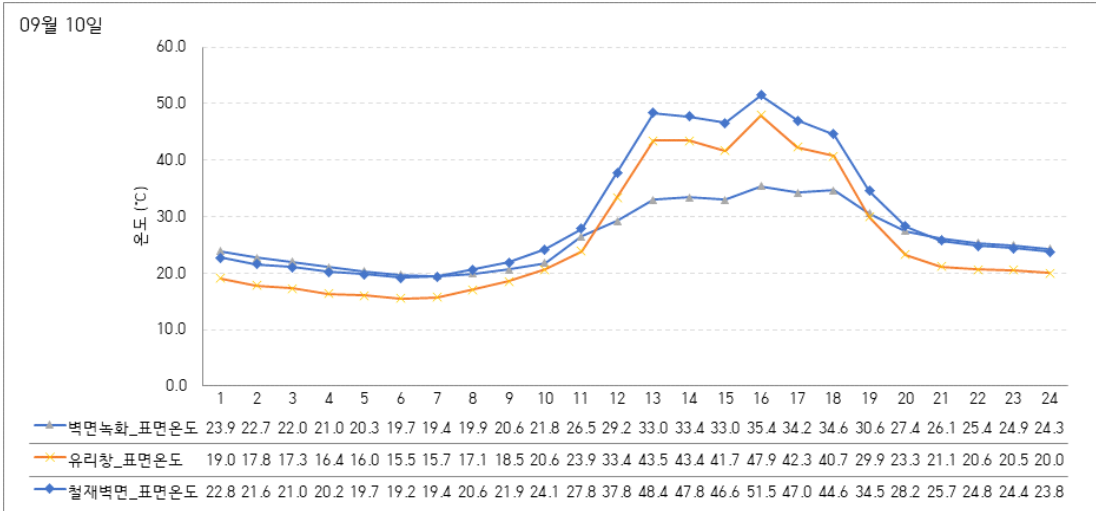


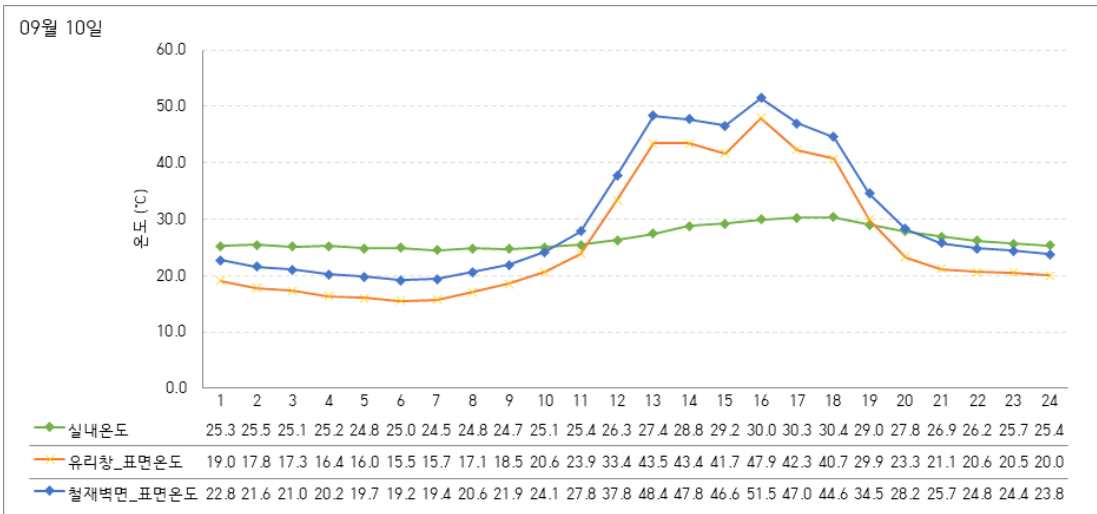
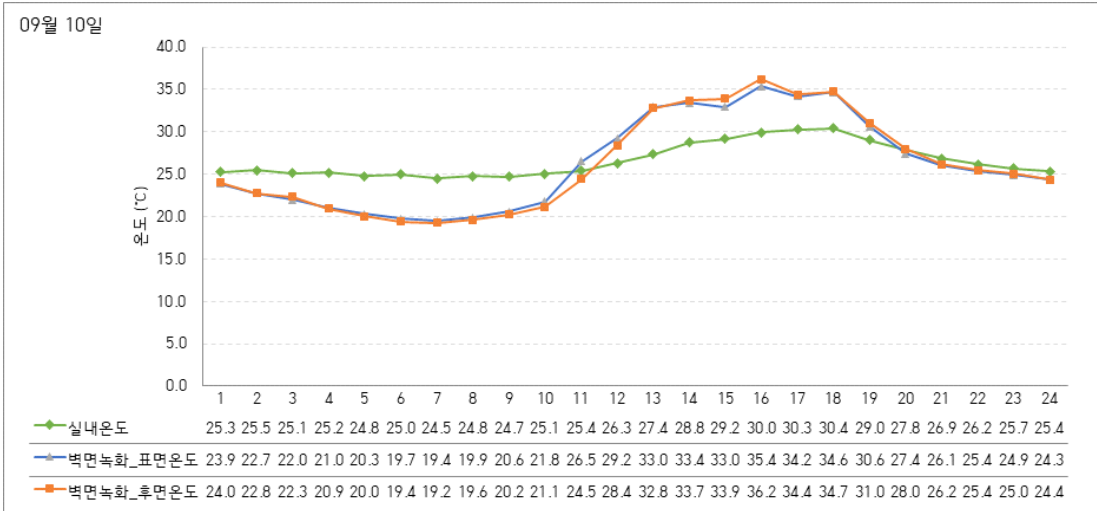


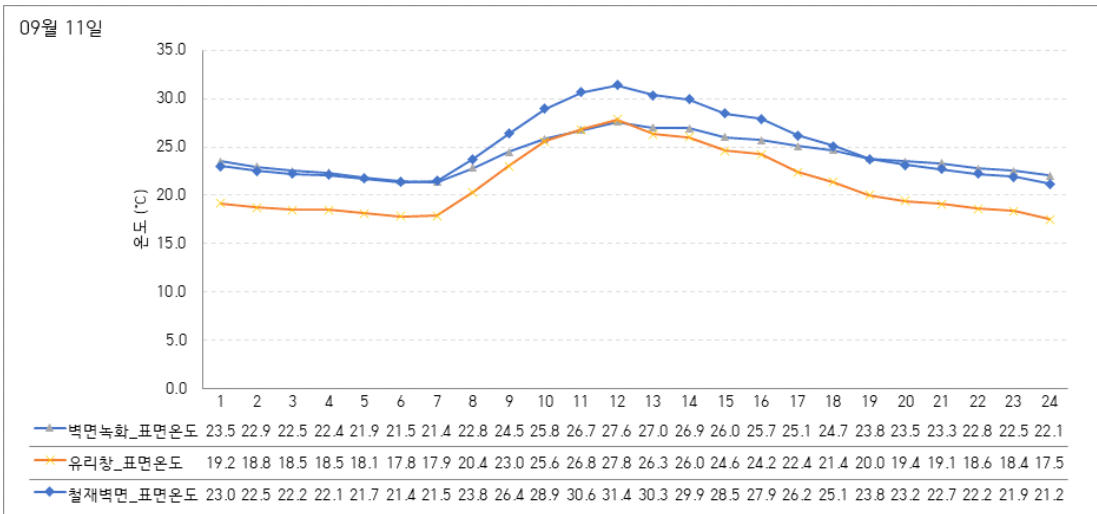
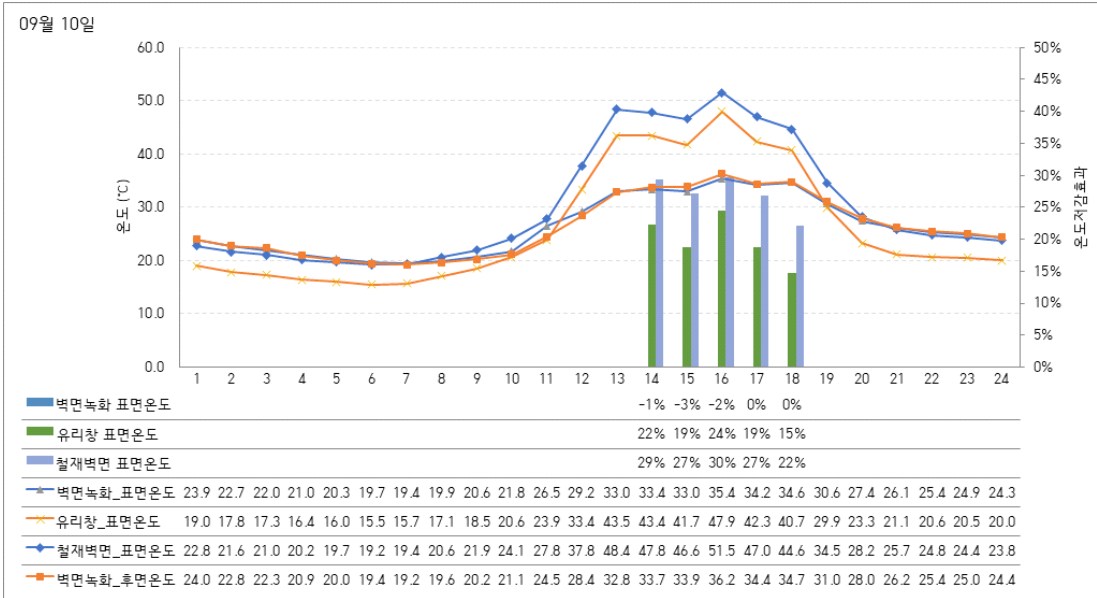


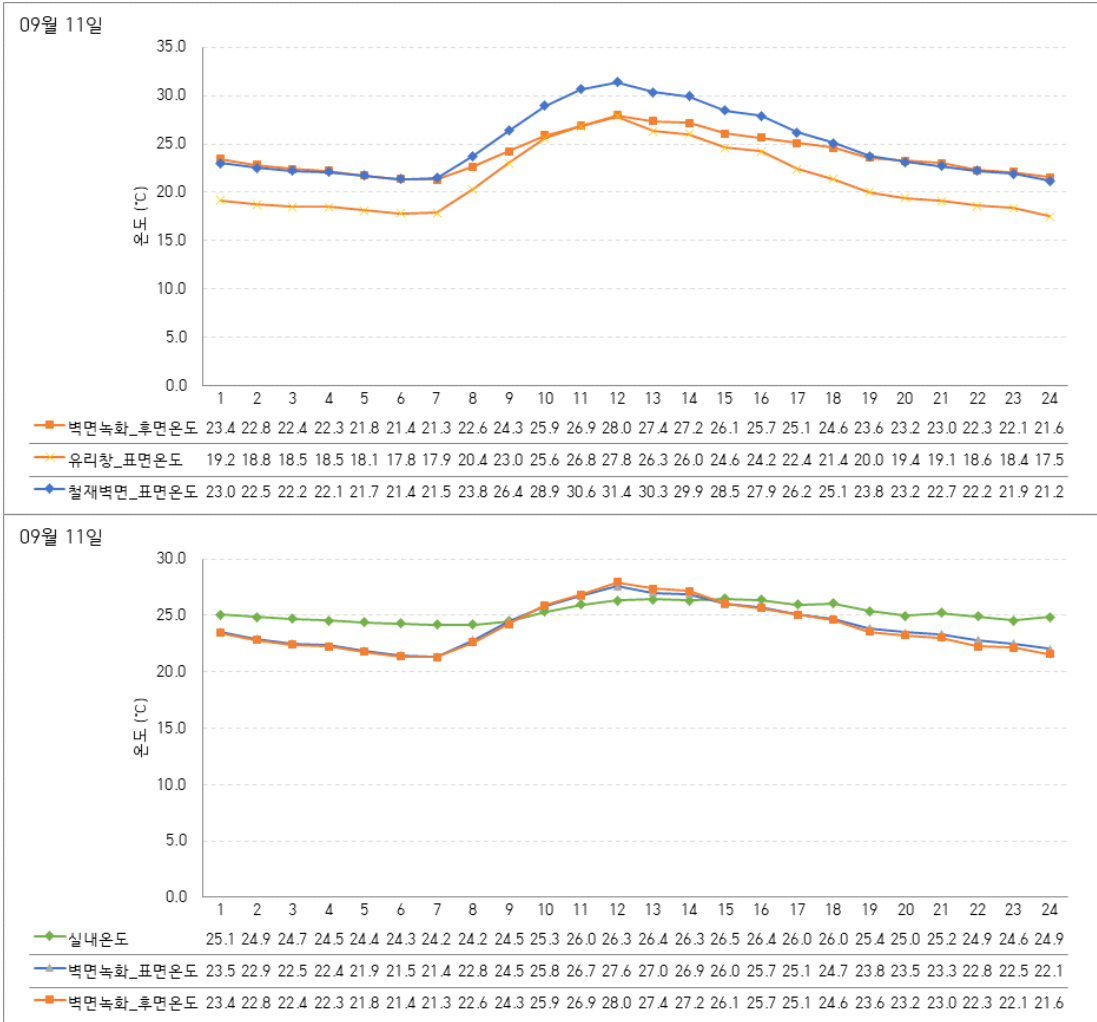


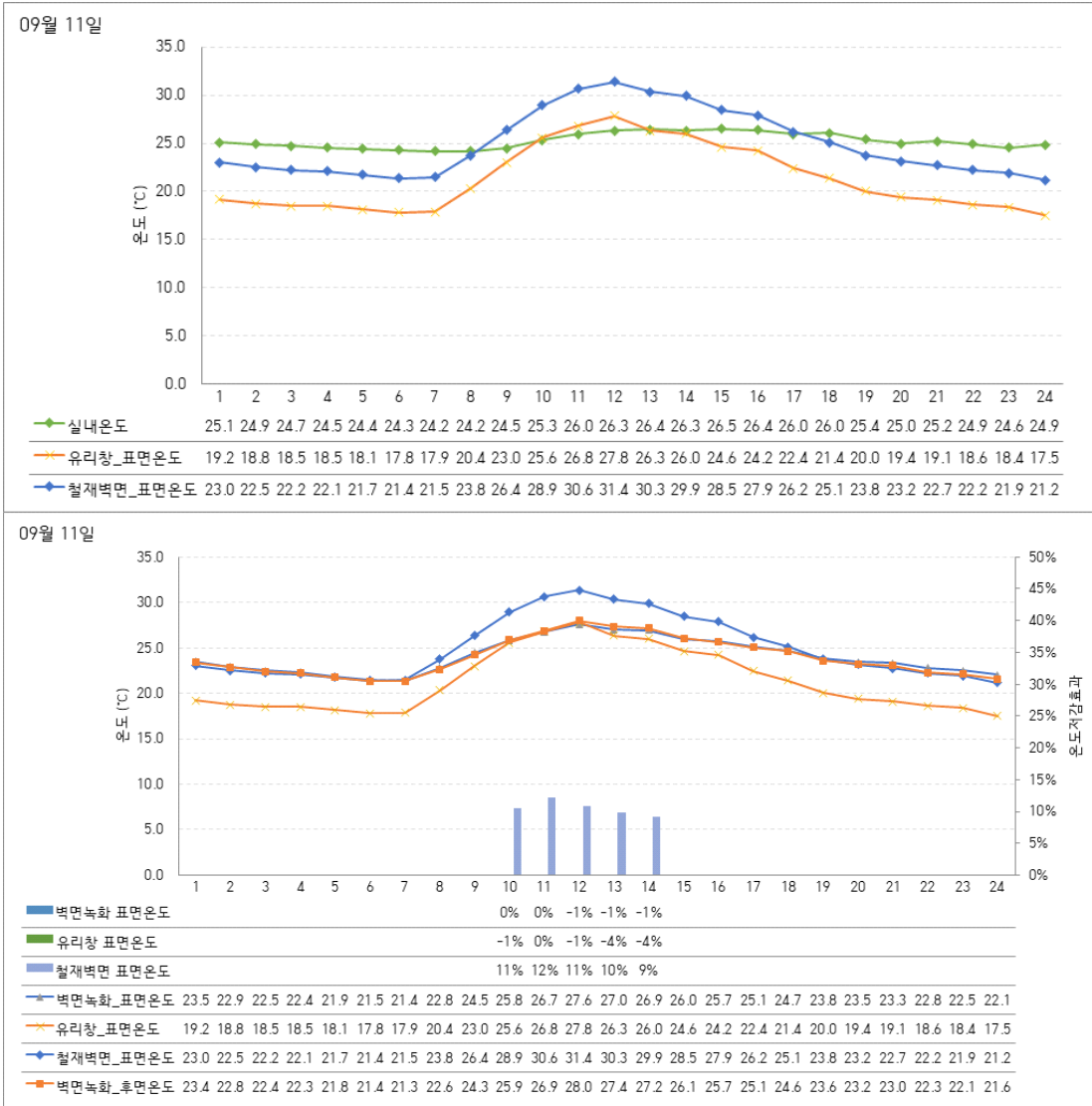


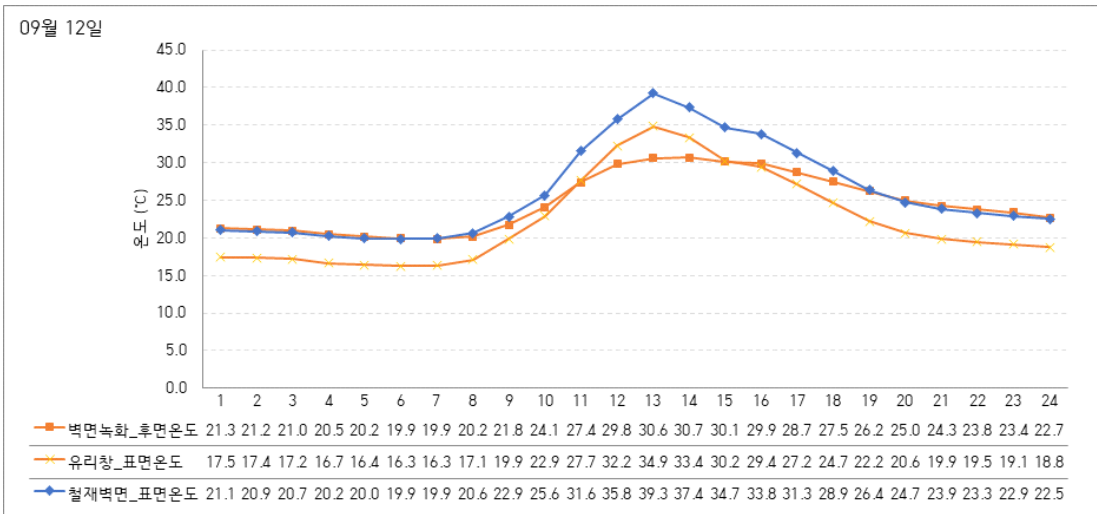
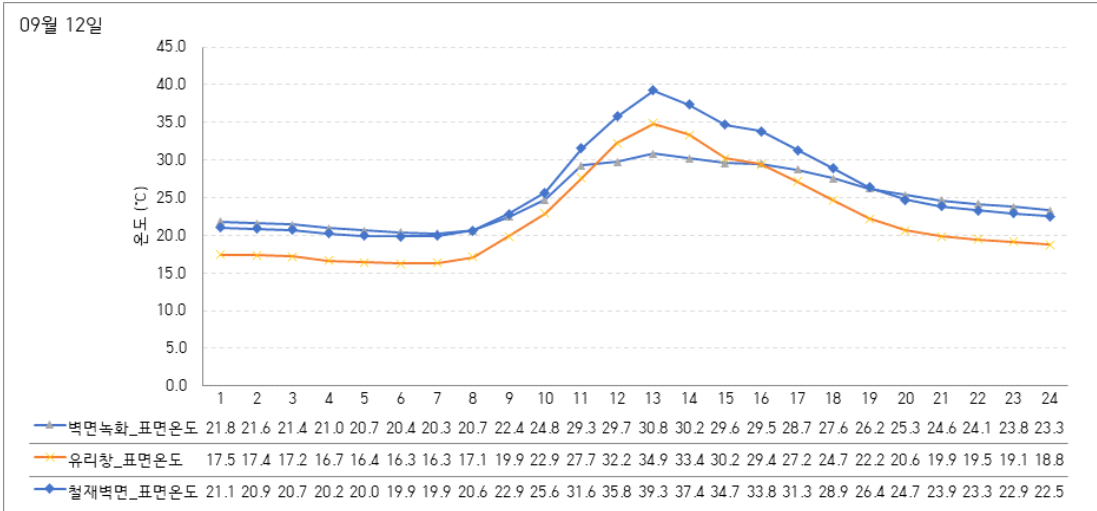


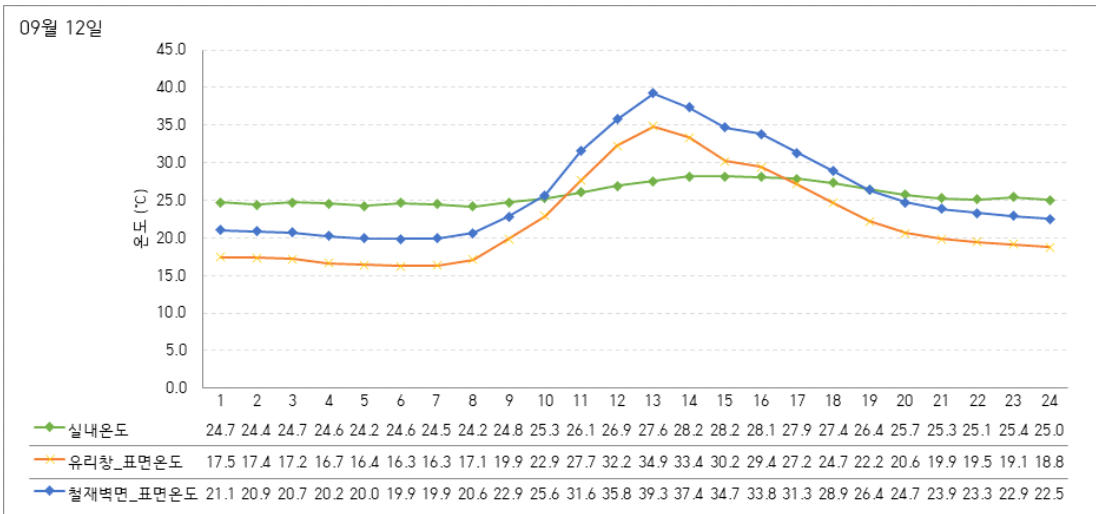
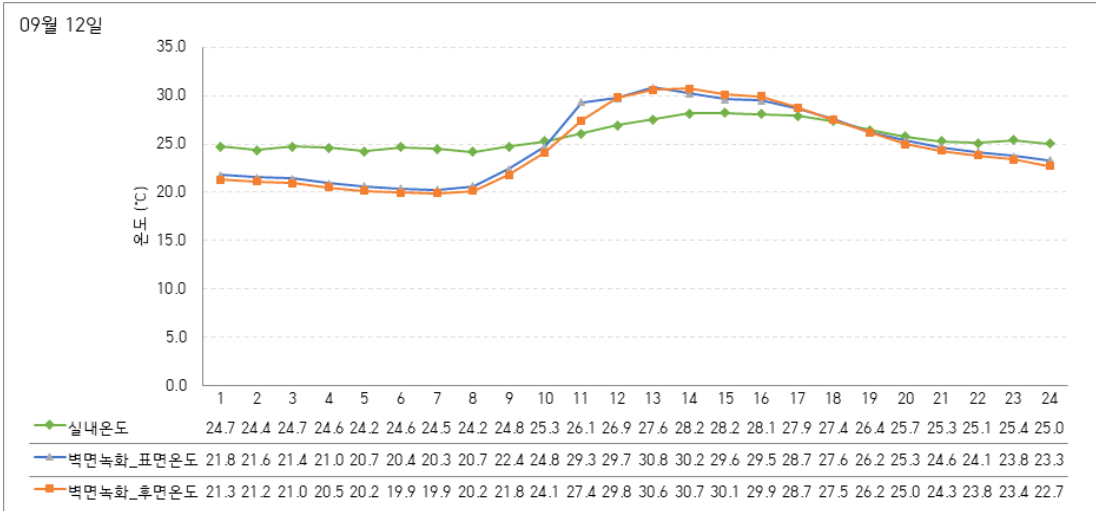


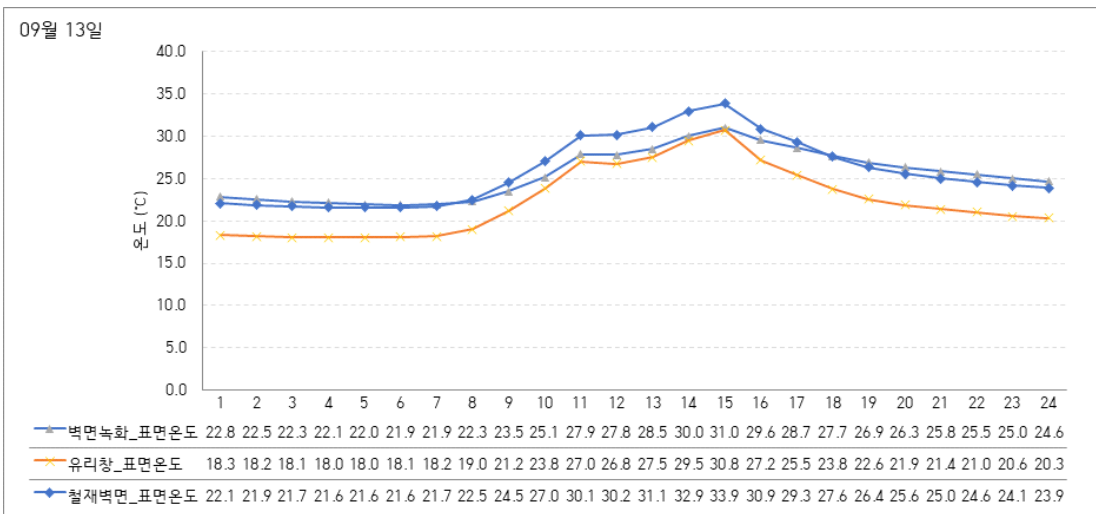
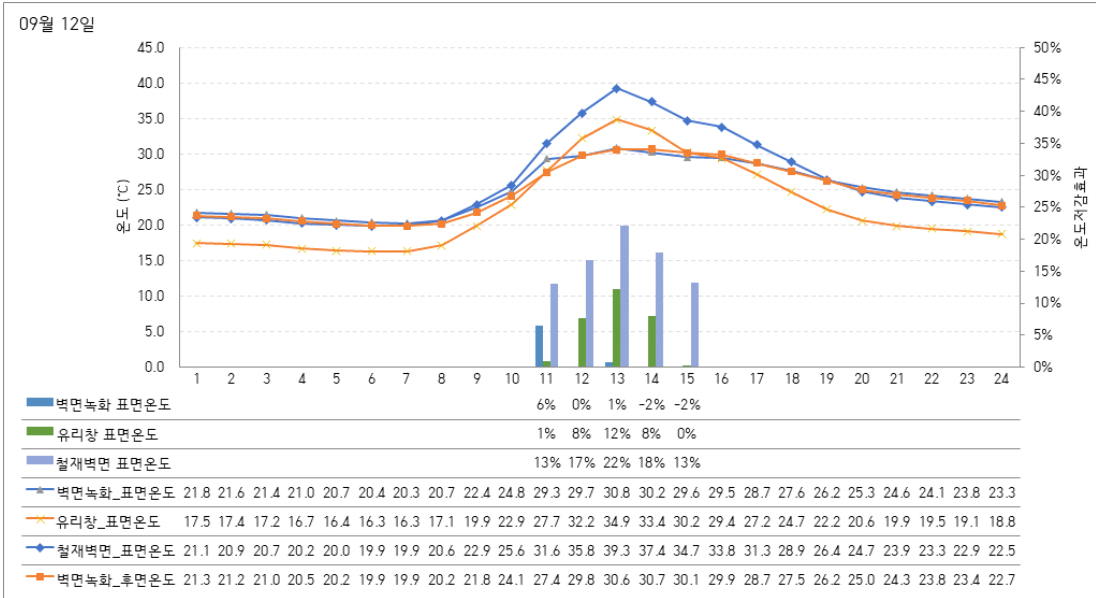


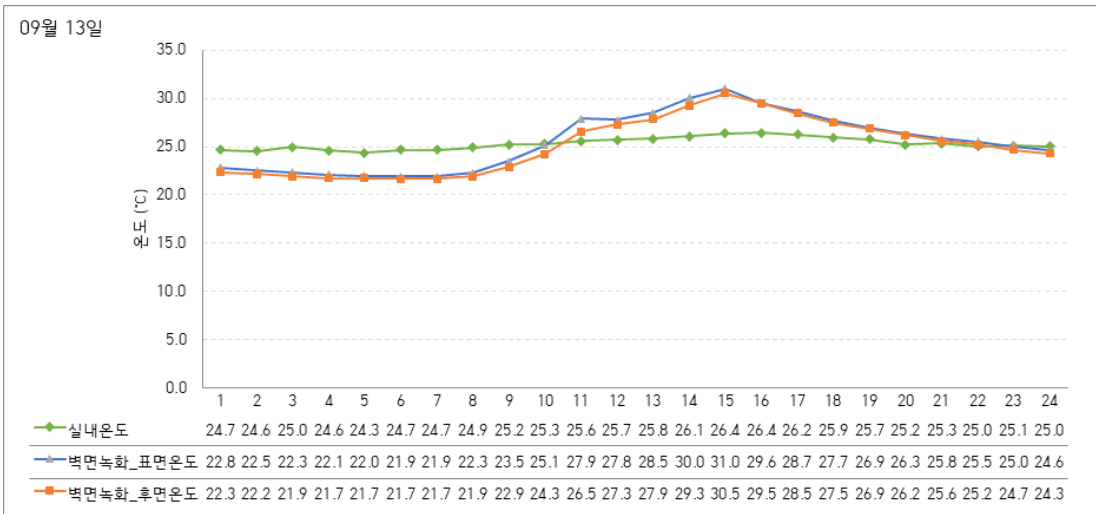
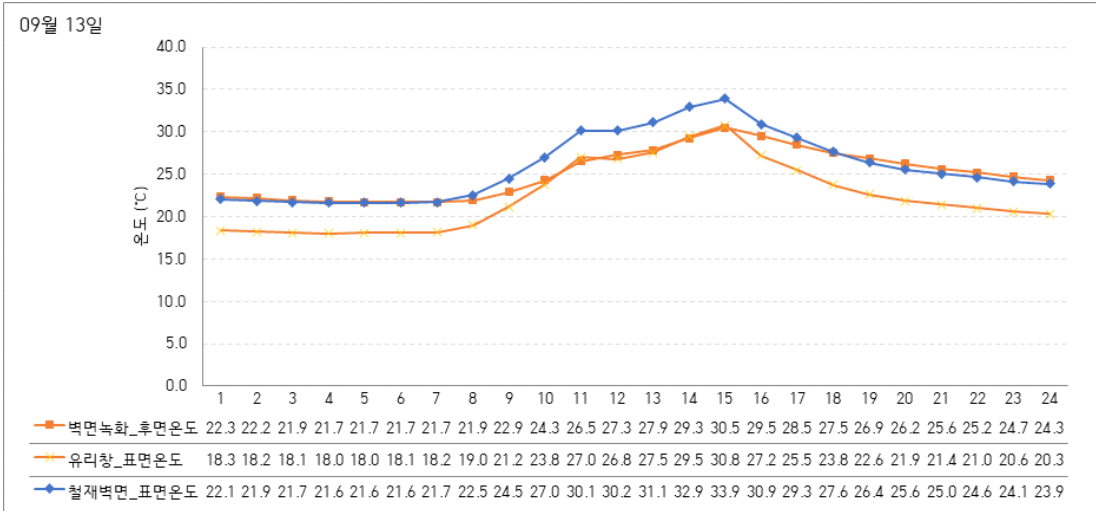


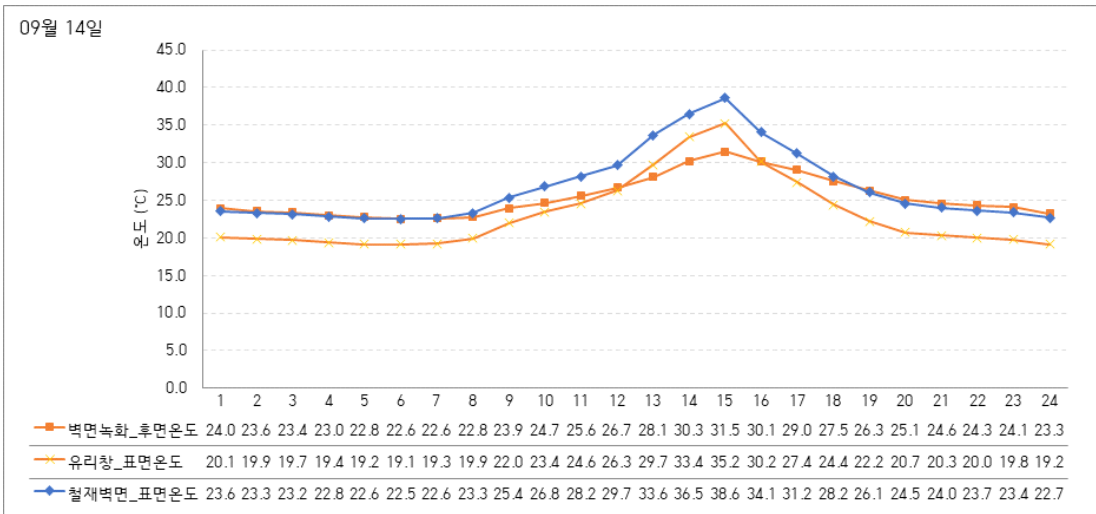
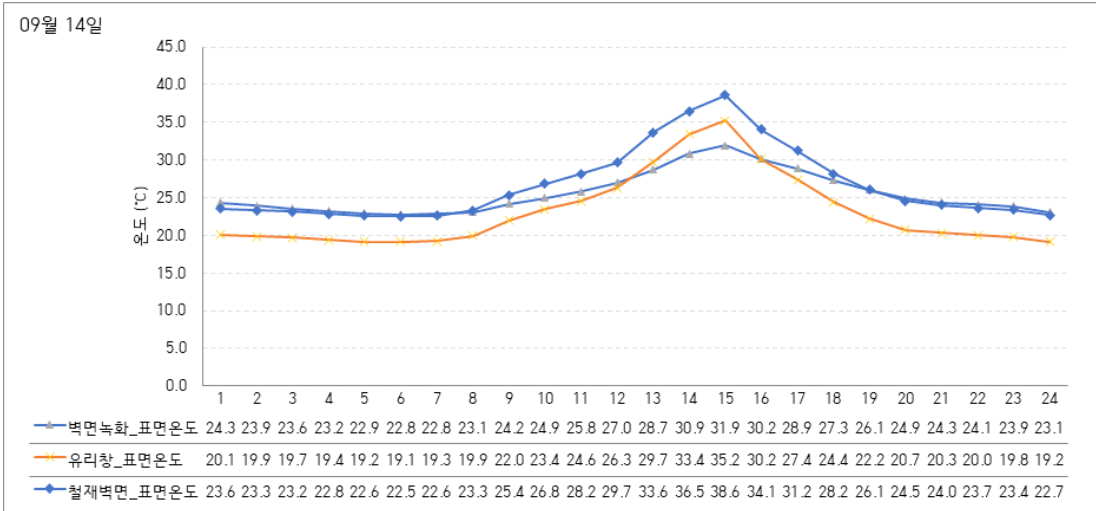


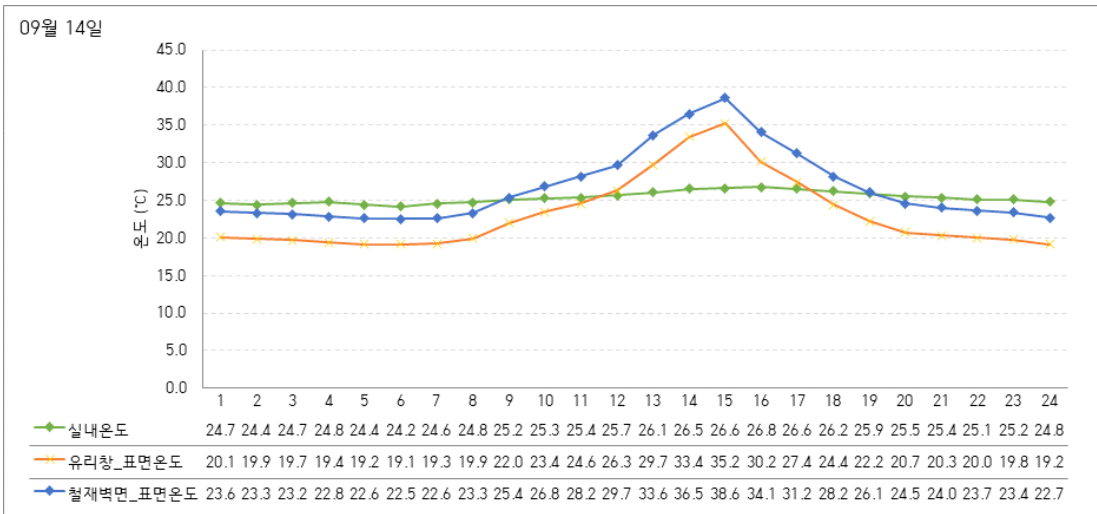
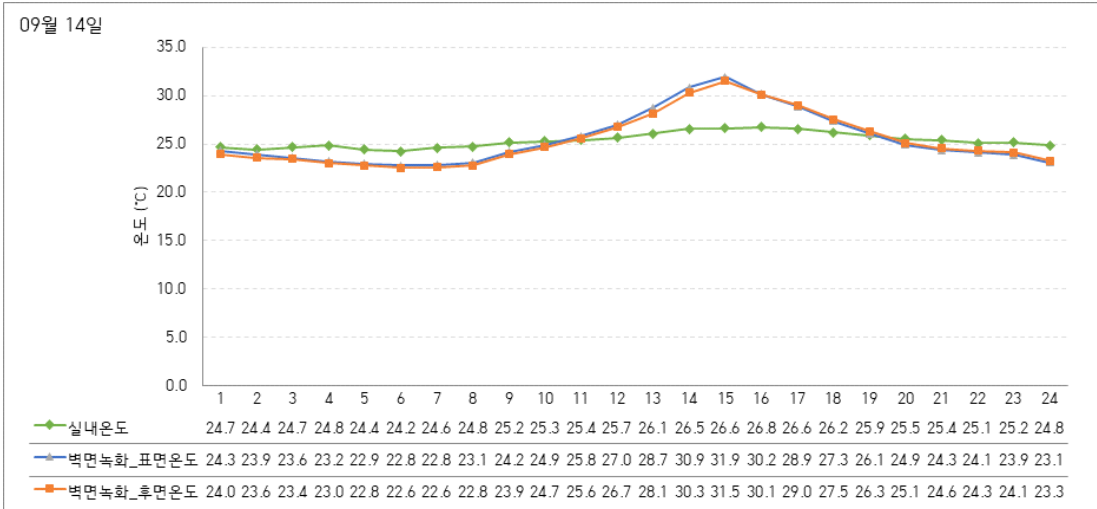


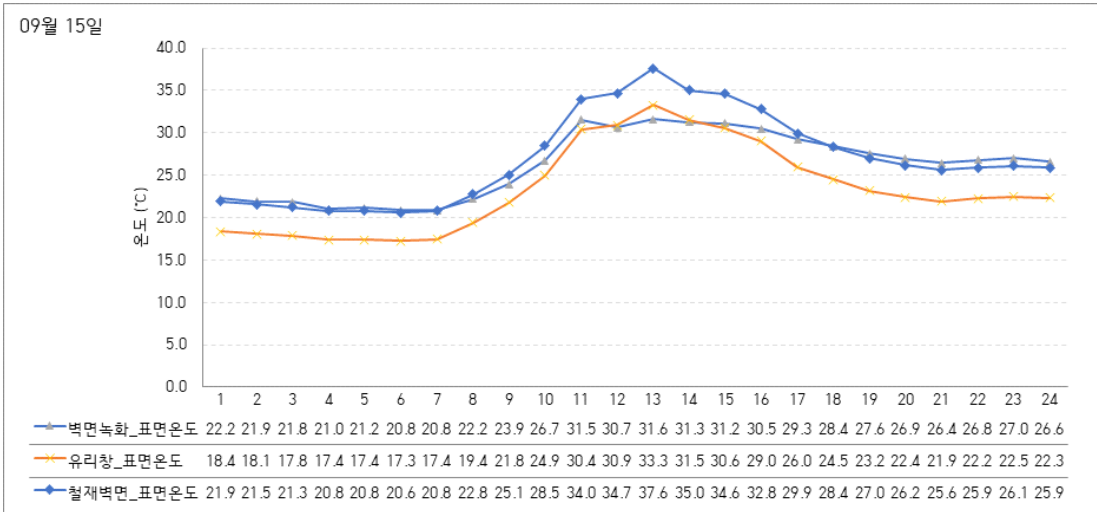
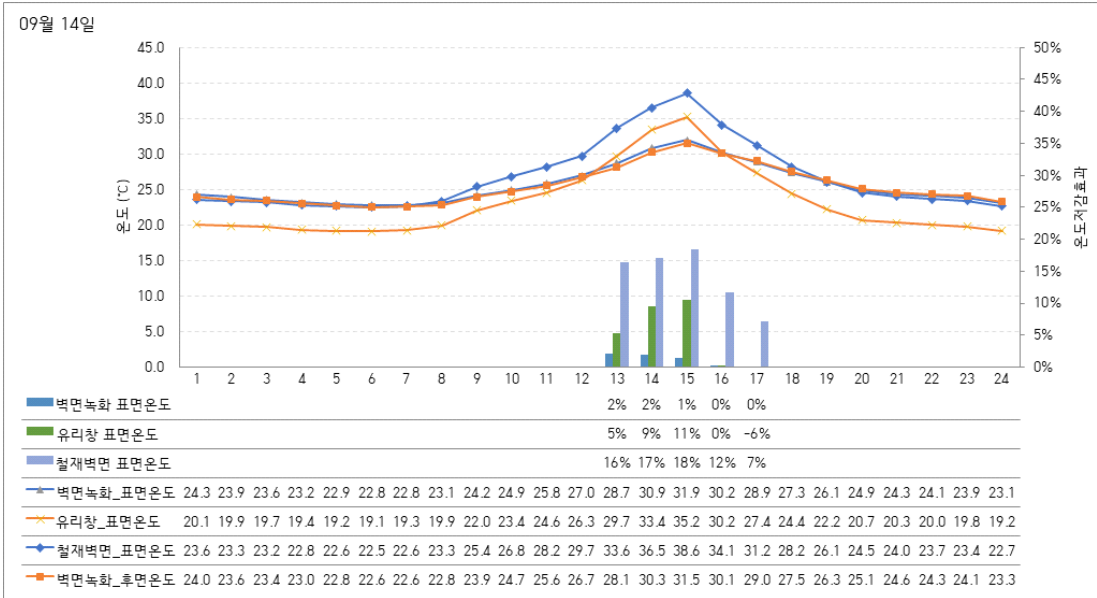


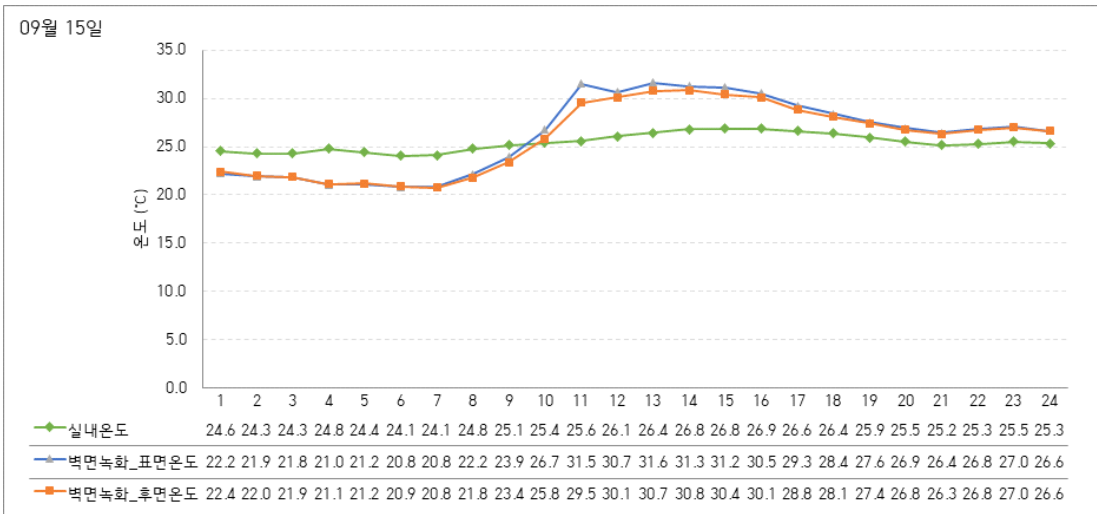
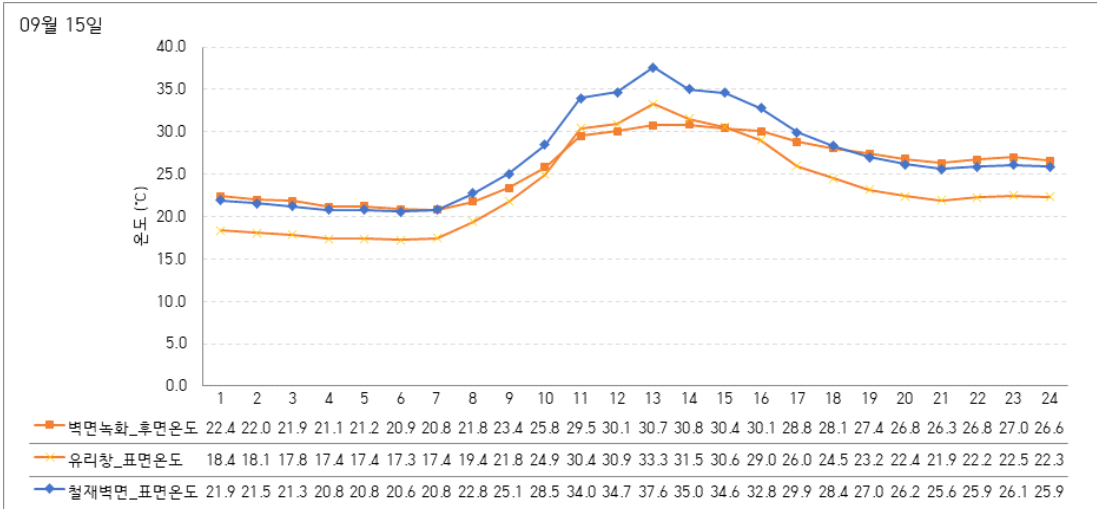


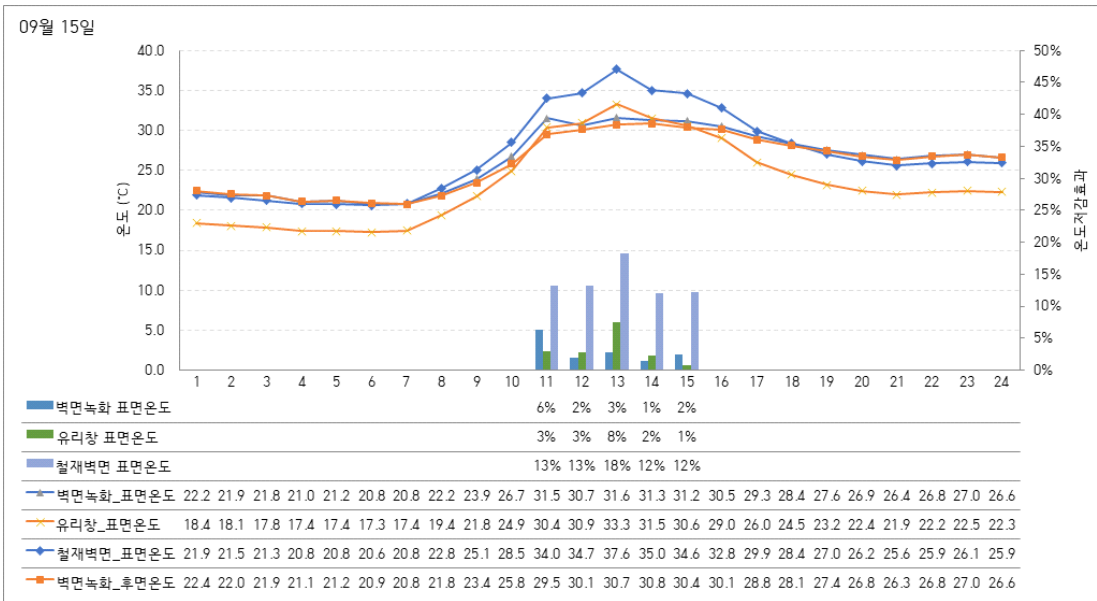
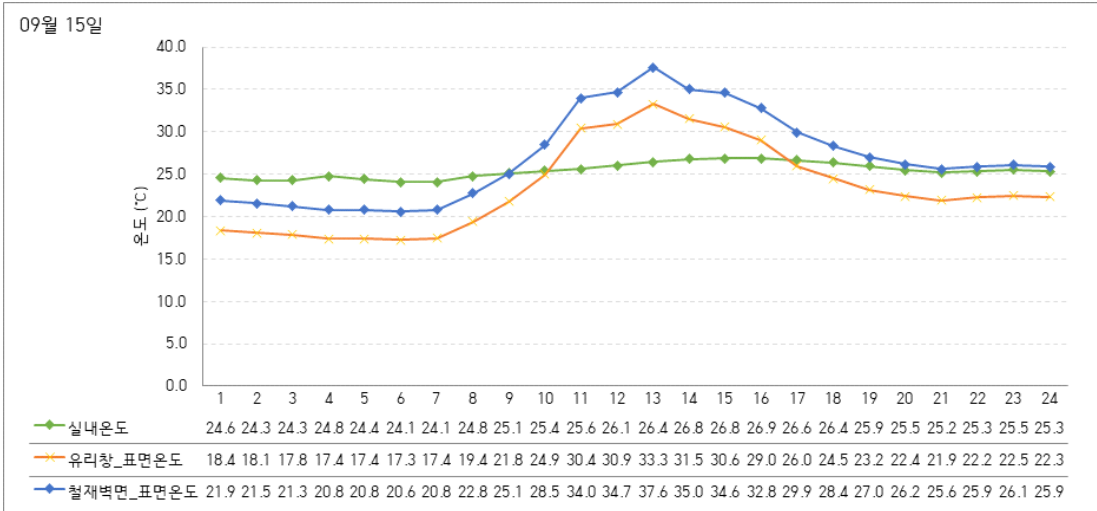


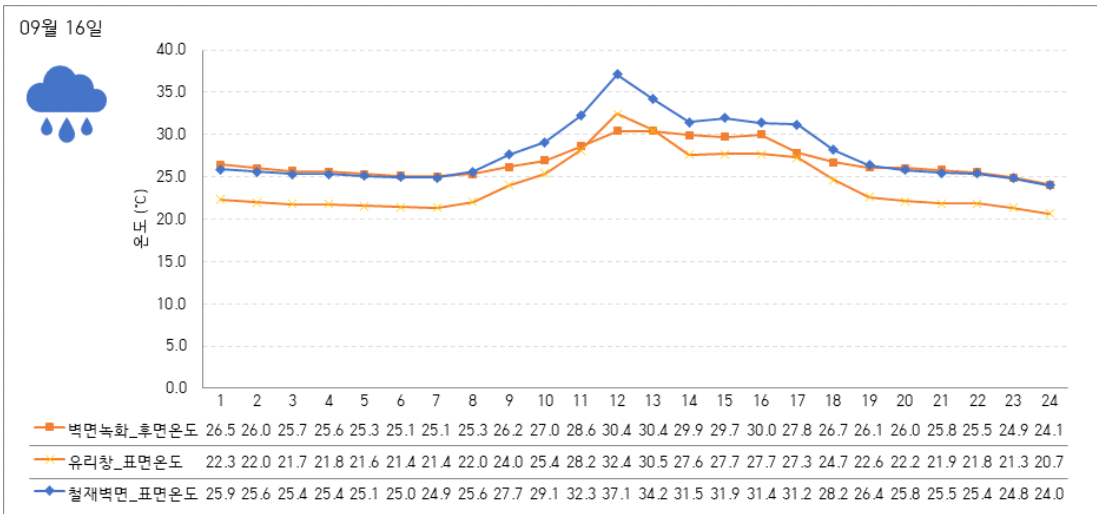
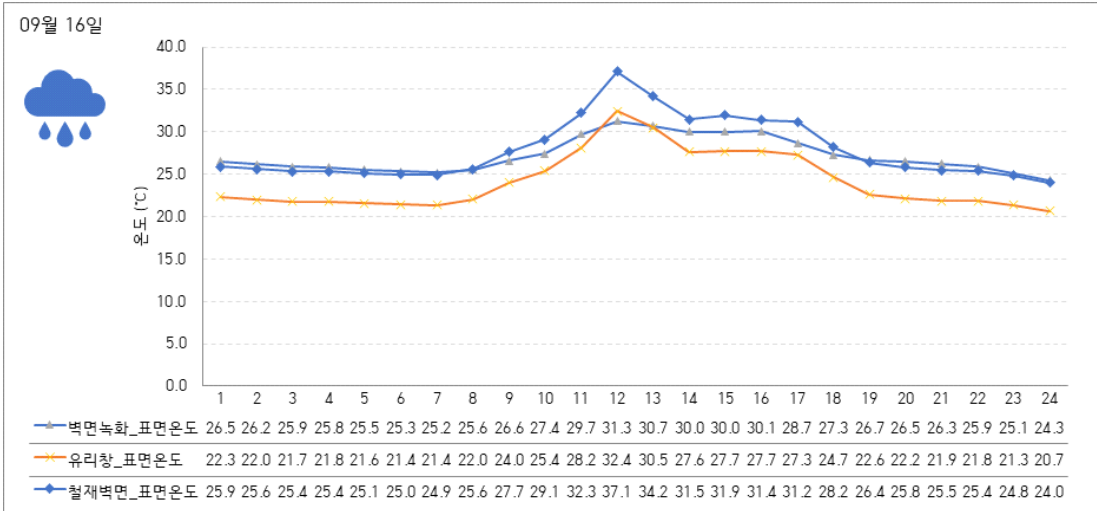




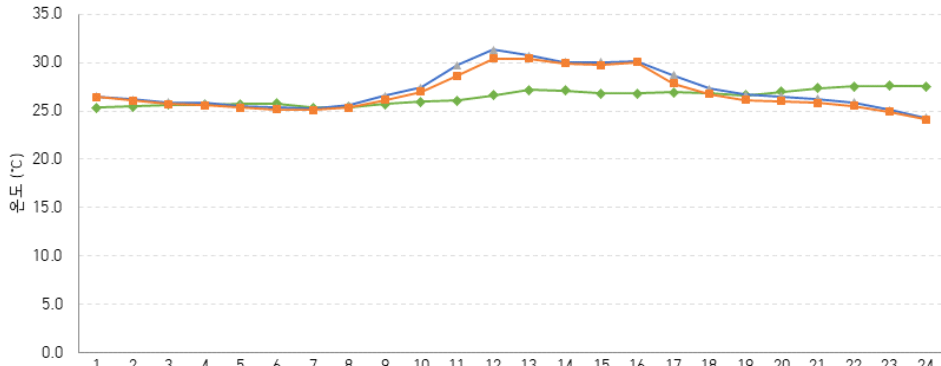






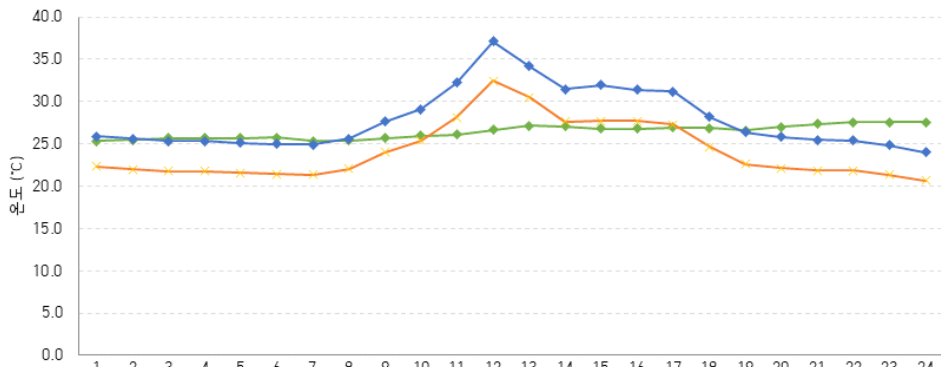


09월 16일

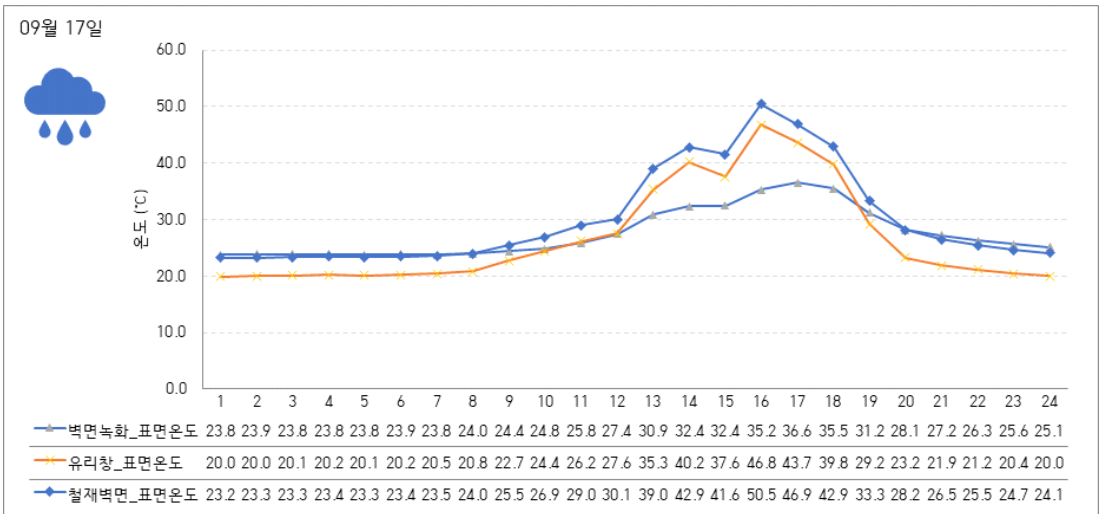
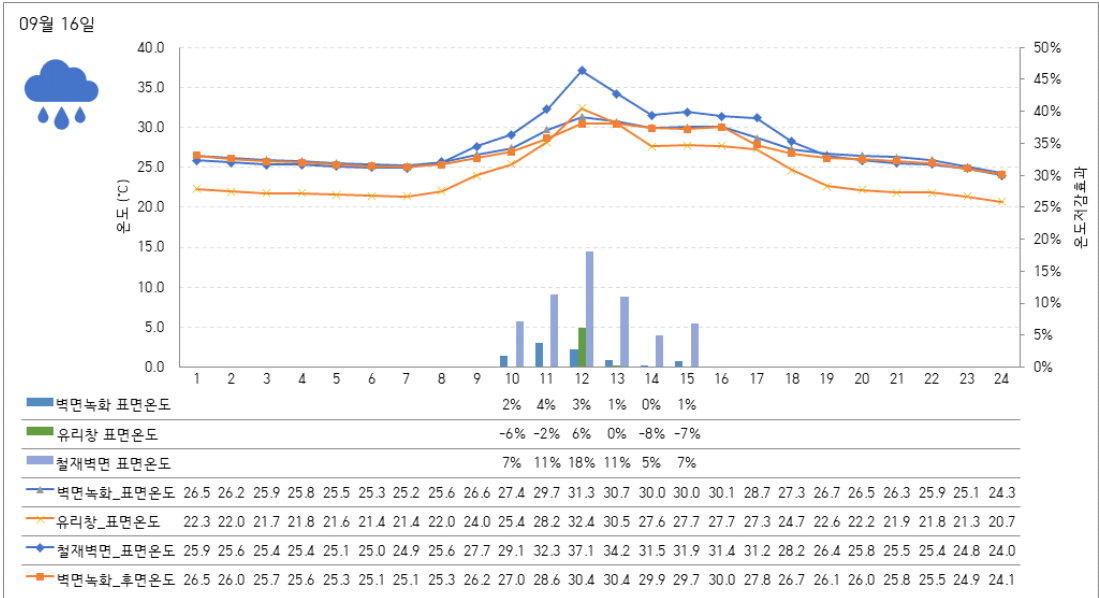


실내온도	25.4	25.5	25.7	25.7	25.7	25.7	25.4	25.4	25.7	25.9	26.1	26.6	27.2	27.1	26.8	26.8	26.9	26.8	26.6	27.0	27.4	27.5	27.6	27.6
벽면녹화_표면온도	26.5	26.2	25.9	25.8	25.5	25.3	25.2	25.6	26.6	27.4	29.7	31.3	30.7	30.0	30.0	30.1	28.7	27.3	26.7	26.5	26.3	25.9	25.1	24.3
벽면녹화_루면온도	26.5	26.0	25.7	25.6	25.3	25.1	25.1	25.3	26.2	27.0	28.6	30.4	30.4	29.9	29.7	30.0	27.8	26.7	26.1	26.0	25.8	25.5	24.9	24.1

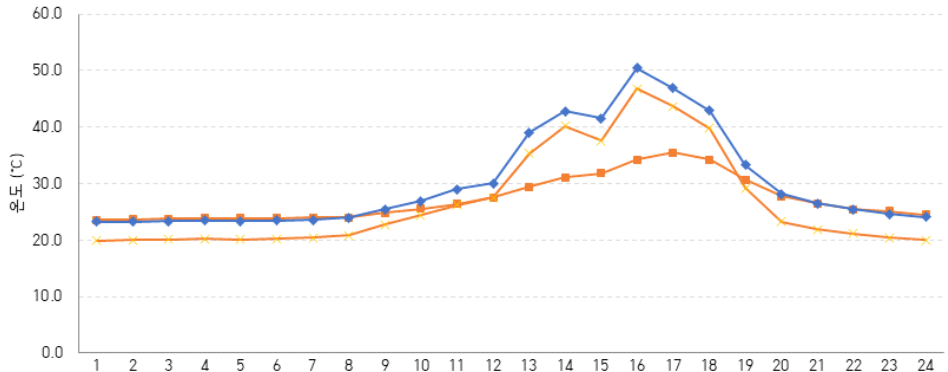
09월 16일



실내온도	25.4	25.5	25.7	25.7	25.7	25.7	25.4	25.4	25.7	25.9	26.1	26.6	27.2	27.1	26.8	26.8	26.9	26.8	26.6	27.0	27.4	27.5	27.6	27.6
유리창_표면온도	22.3	22.0	21.7	21.8	21.6	21.4	21.4	22.0	24.0	25.4	28.2	32.4	30.5	27.6	27.7	27.7	27.3	24.7	22.6	22.2	21.9	21.8	21.3	20.7
철재벽면_표면온도	25.9	25.6	25.4	25.4	25.1	25.0	24.9	25.6	27.7	29.1	32.3	37.1	34.2	31.5	31.9	31.4	31.2	28.2	26.4	25.8	25.5	25.4	24.8	24.0

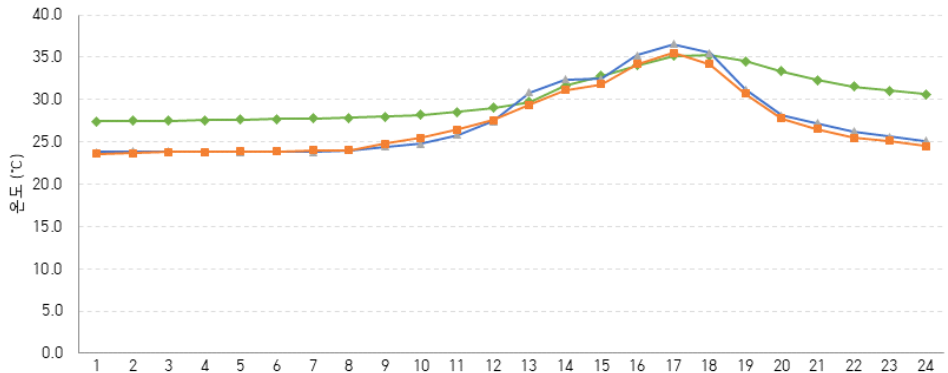


09월 17일

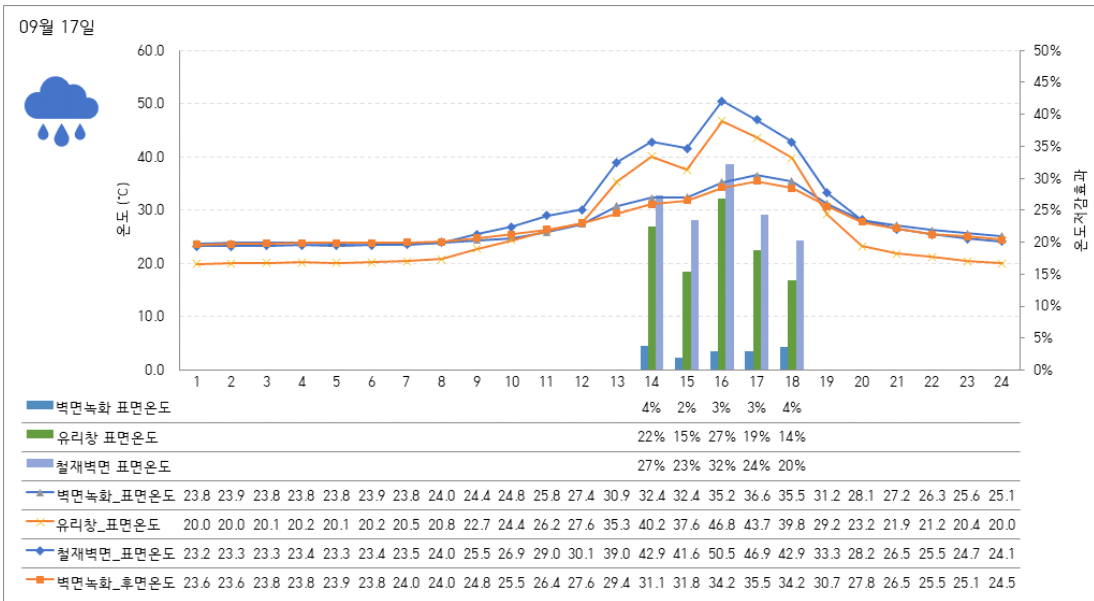
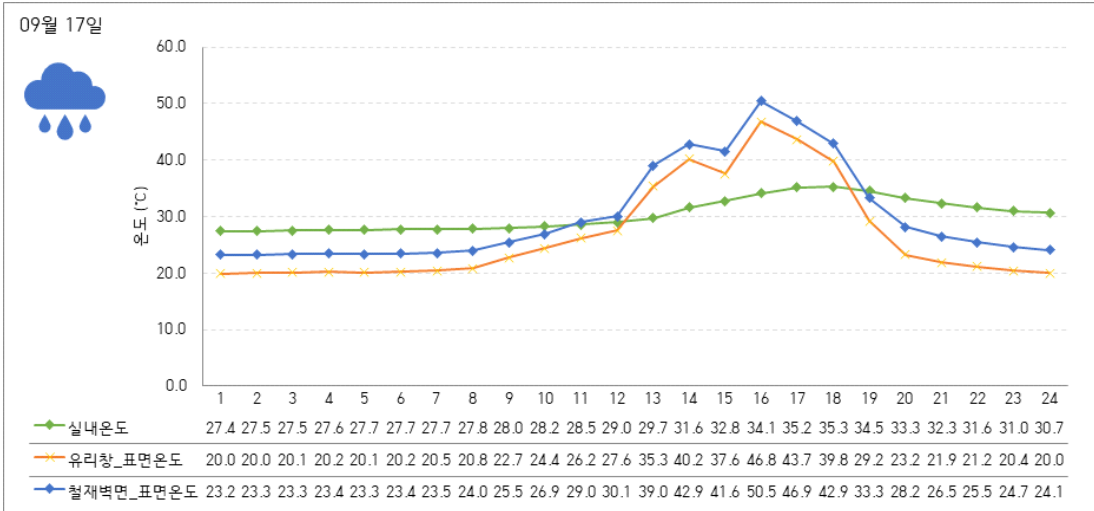


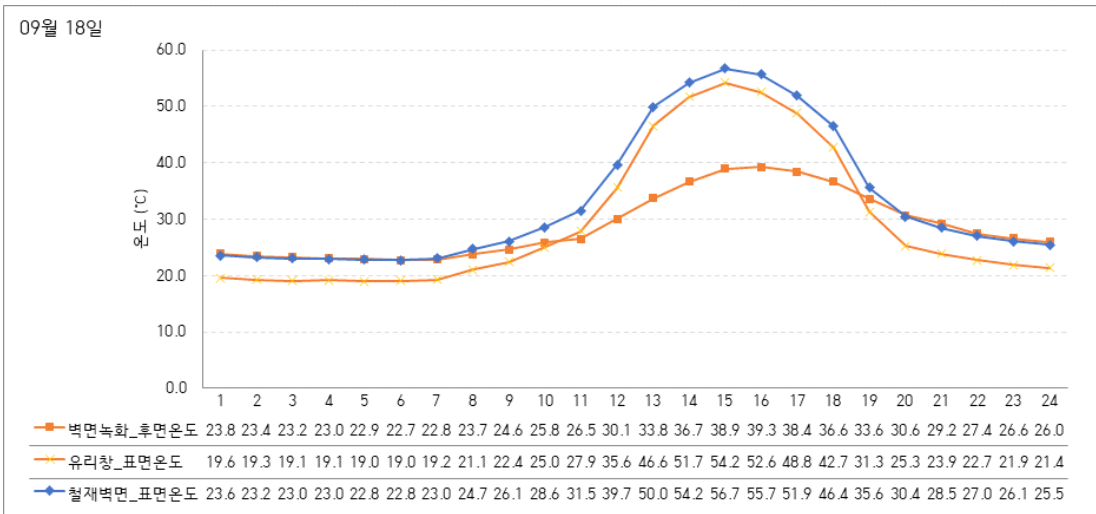
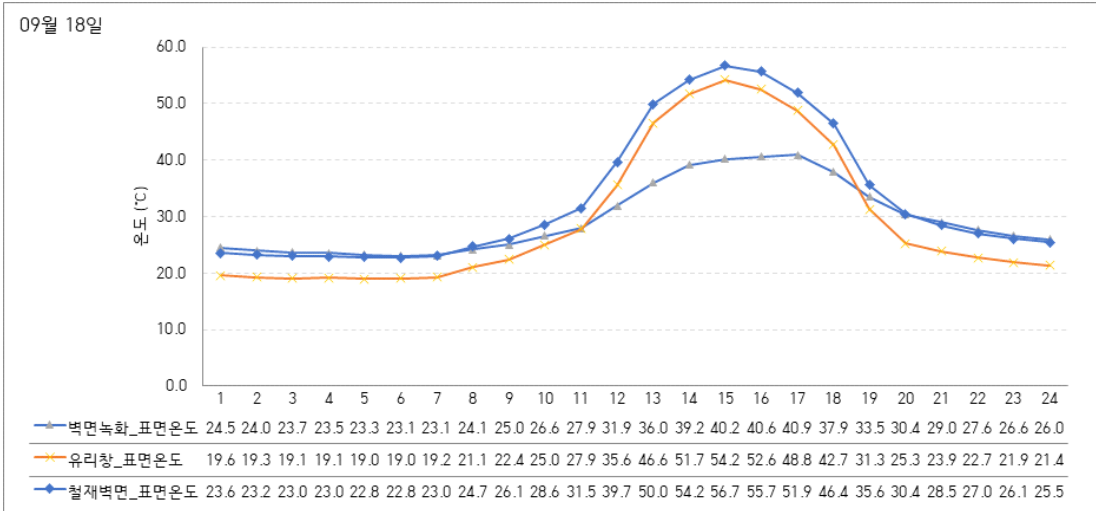
벽면복합_후면온도	23.6	23.6	23.8	23.8	23.9	23.8	24.0	24.0	24.8	25.5	26.4	27.6	29.4	31.1	31.8	34.2	35.5	34.2	30.7	27.8	26.5	25.5	25.1	24.5
유리창_표면온도	20.0	20.0	20.1	20.2	20.1	20.2	20.5	20.8	22.7	24.4	26.2	27.6	35.3	40.2	37.6	46.8	43.7	39.8	29.2	23.2	21.9	21.2	20.4	20.0
철재벽면_표면온도	23.2	23.3	23.3	23.4	23.3	23.4	23.5	24.0	25.5	26.9	29.0	30.1	39.0	42.9	41.6	50.5	46.9	42.9	33.3	28.2	26.5	25.5	24.7	24.1

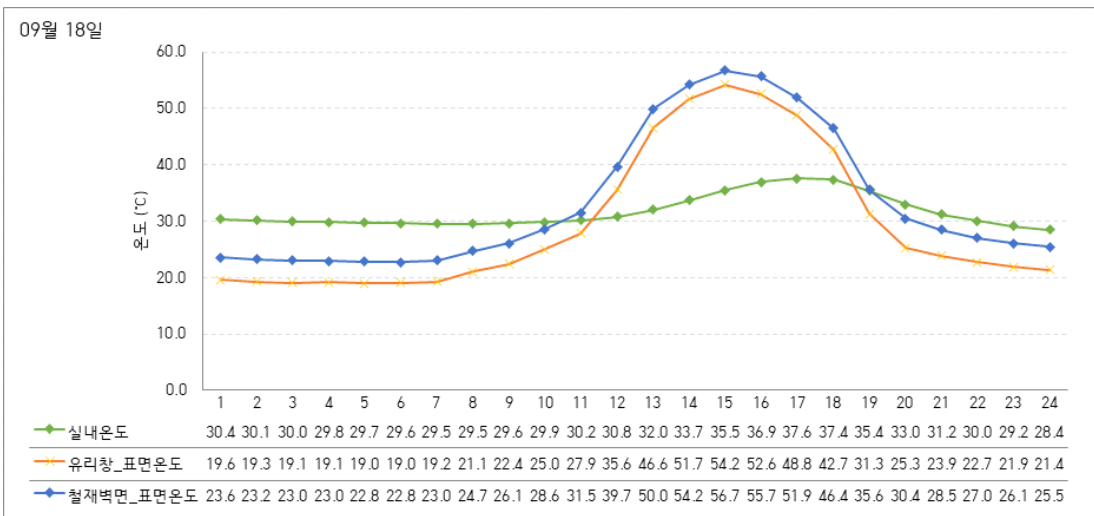
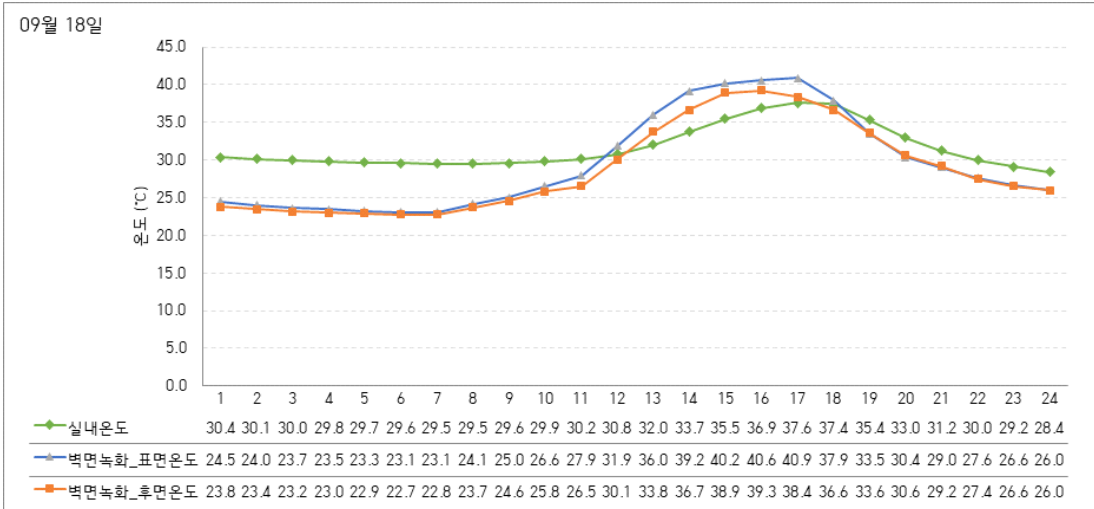
09월 17일

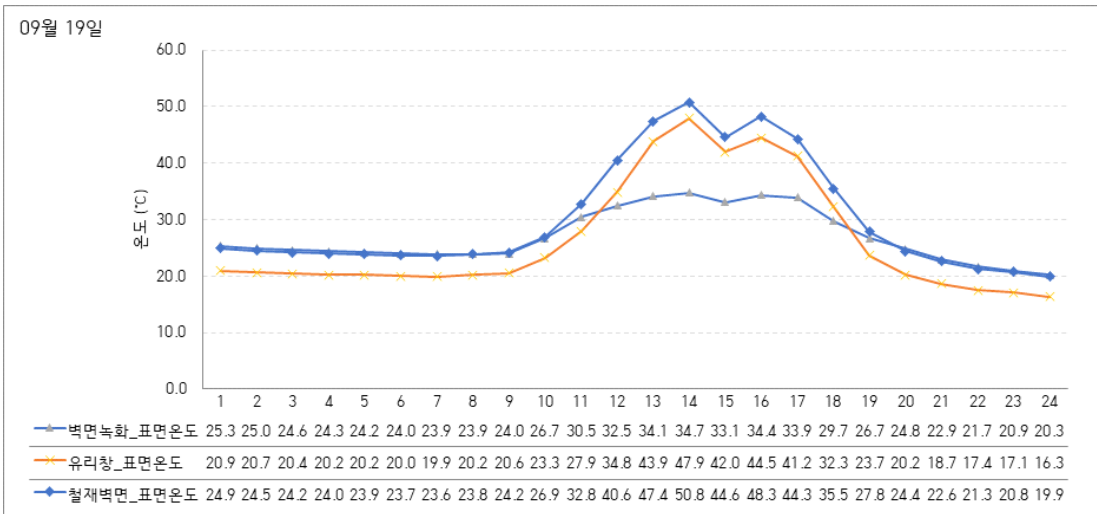
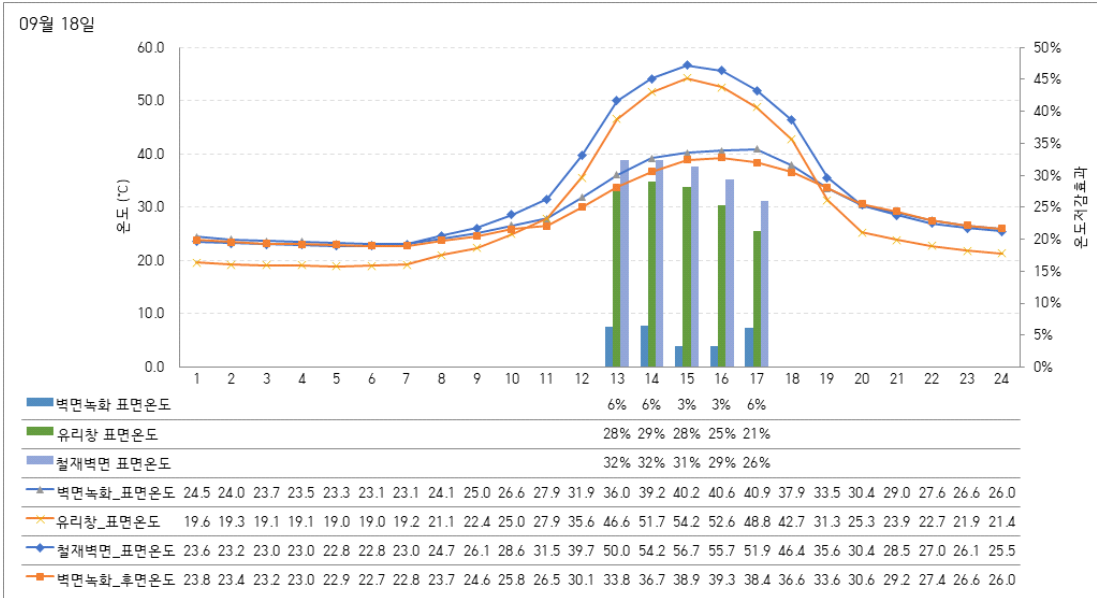


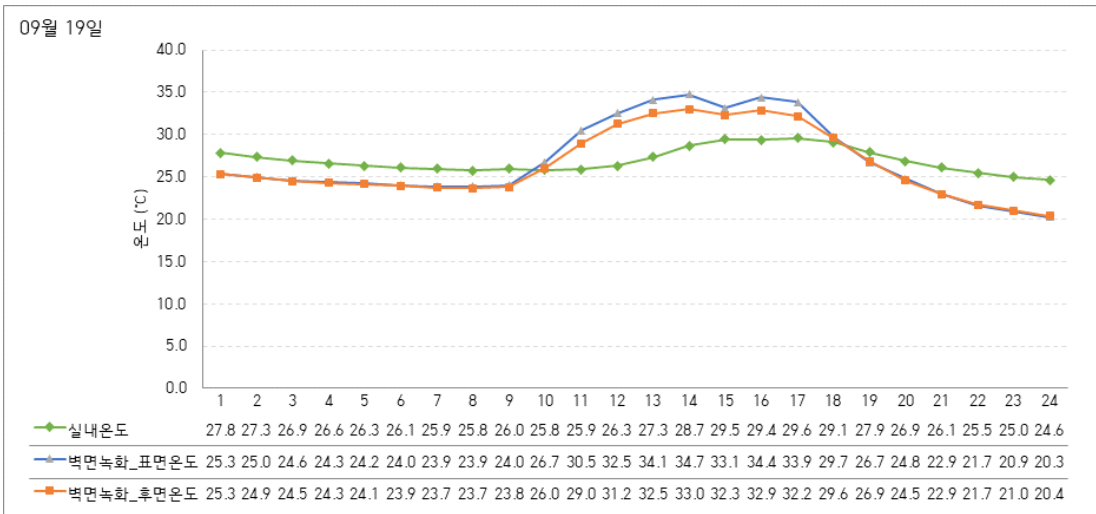
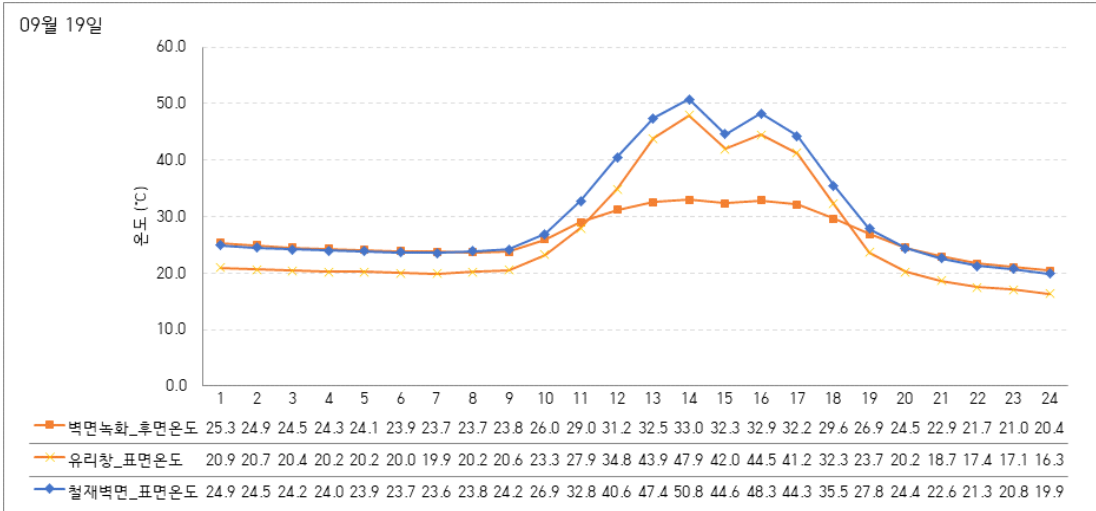
실내온도	27.4	27.5	27.5	27.6	27.7	27.7	27.7	27.8	28.0	28.2	28.5	29.0	29.7	31.6	32.8	34.1	35.2	35.3	34.5	33.3	32.3	31.6	31.0	30.7
벽면복합_표면온도	23.8	23.9	23.8	23.8	23.8	23.9	23.8	24.0	24.4	24.8	25.8	27.4	30.9	32.4	32.4	35.2	36.6	35.5	31.2	28.1	27.2	26.3	25.6	25.1
벽면복합_후면온도	23.6	23.6	23.8	23.8	23.9	23.8	24.0	24.0	24.8	25.5	26.4	27.6	29.4	31.1	31.8	34.2	35.5	34.2	30.7	27.8	26.5	25.5	25.1	24.5

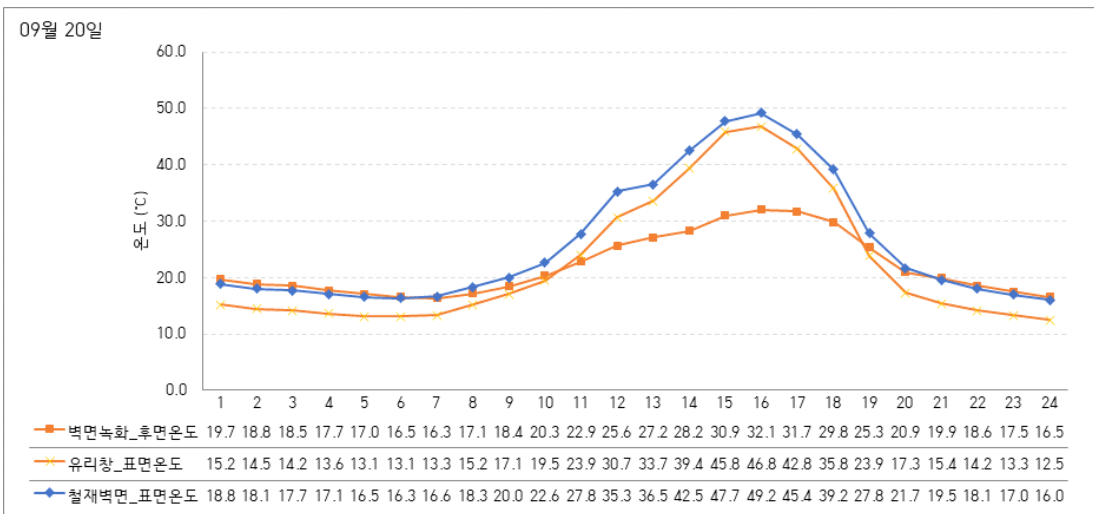
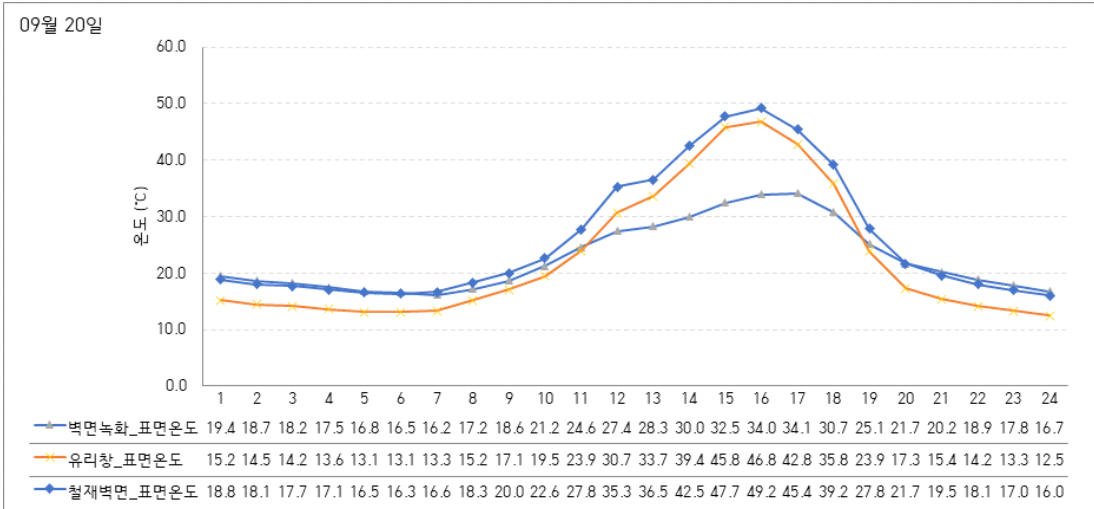


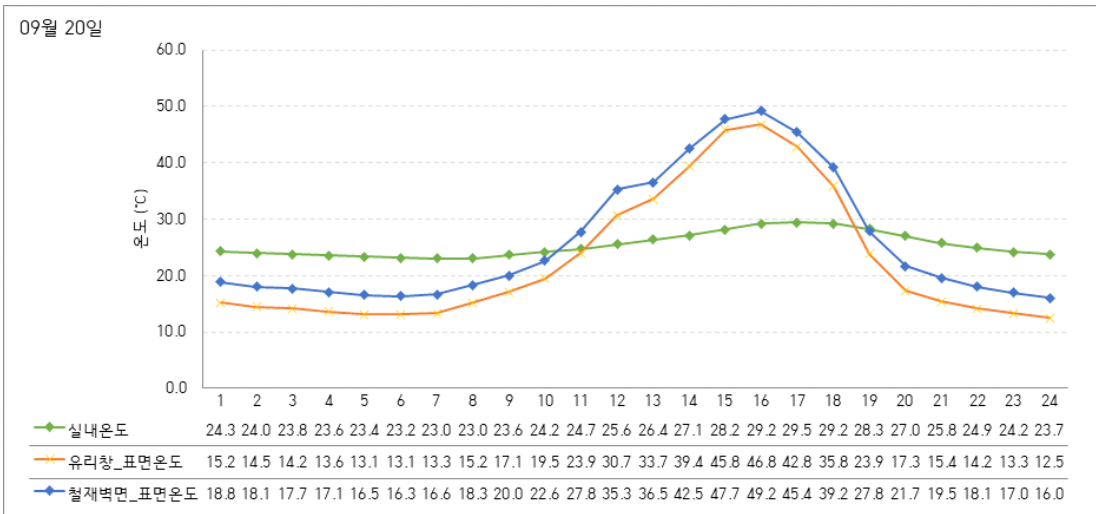
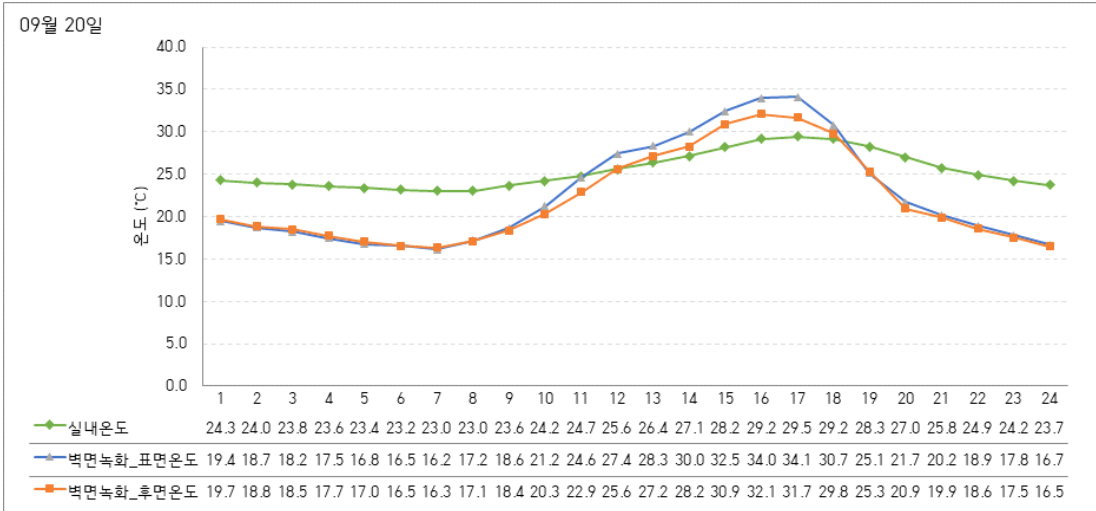


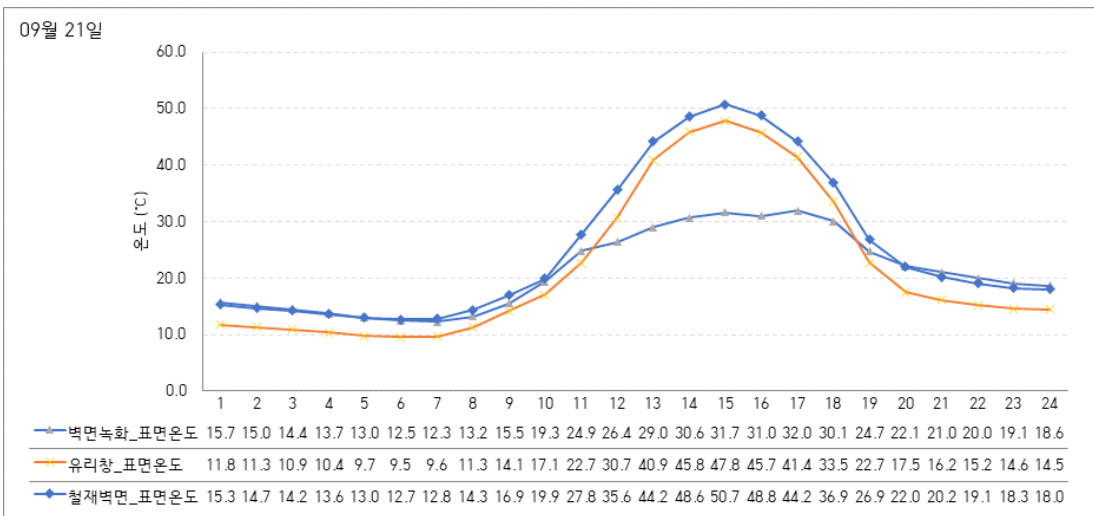
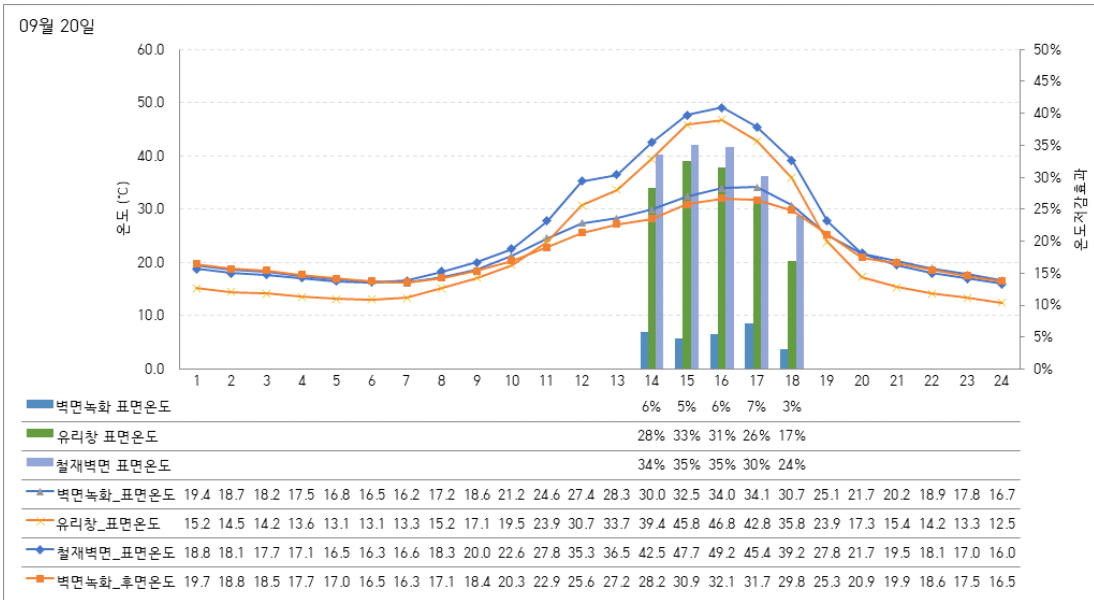


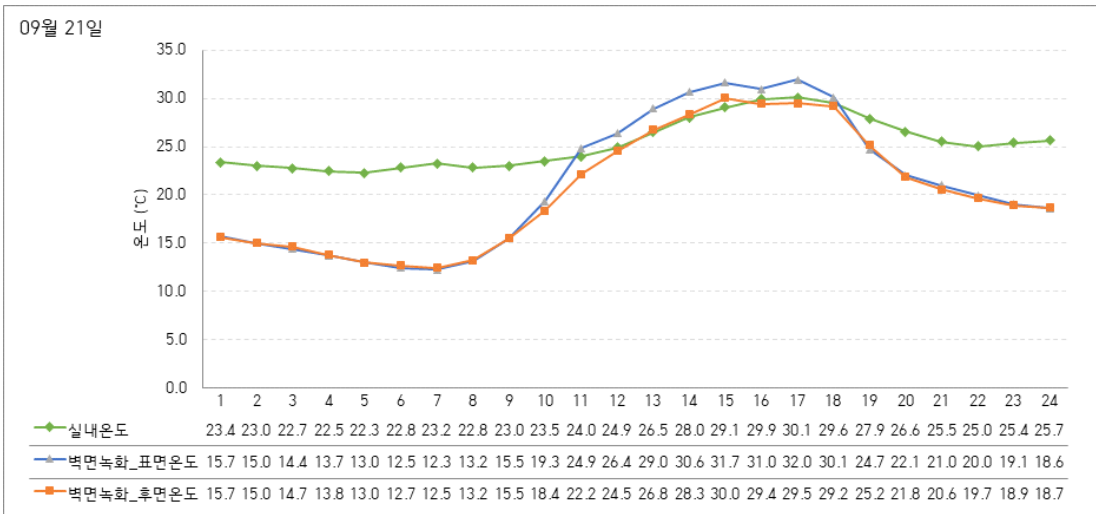
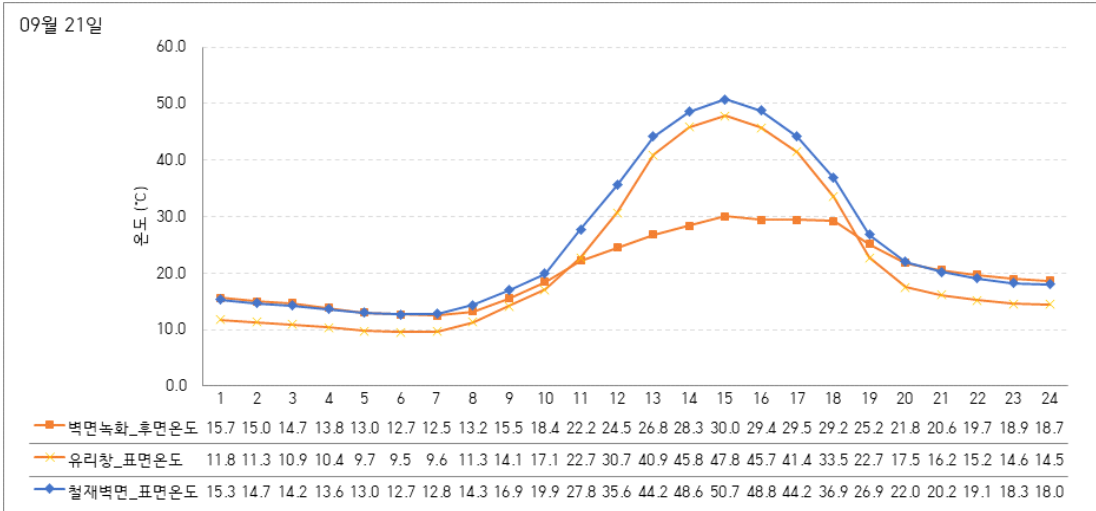


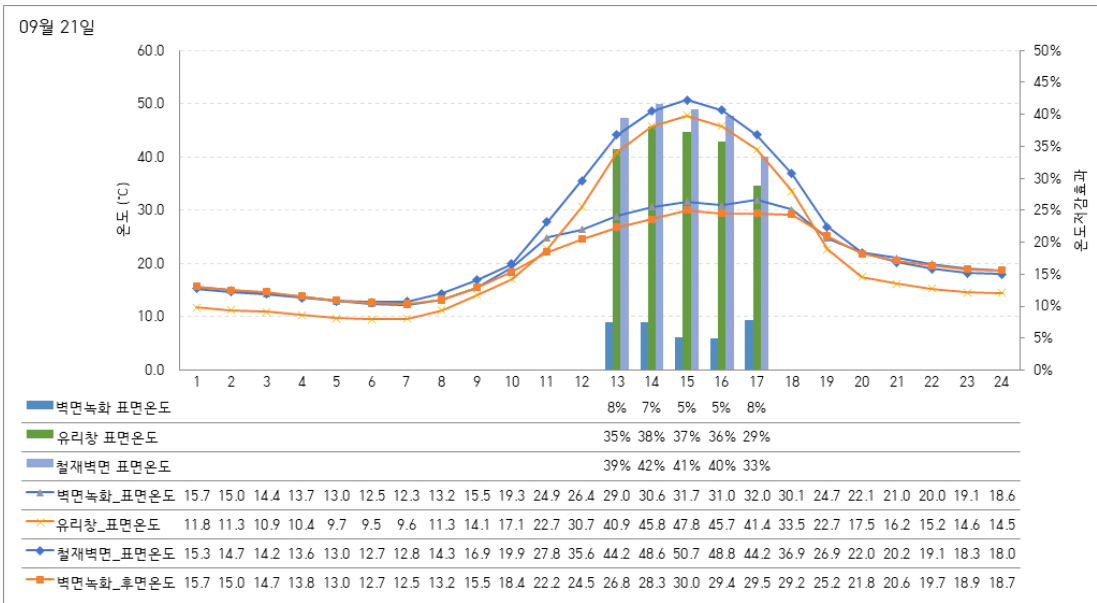
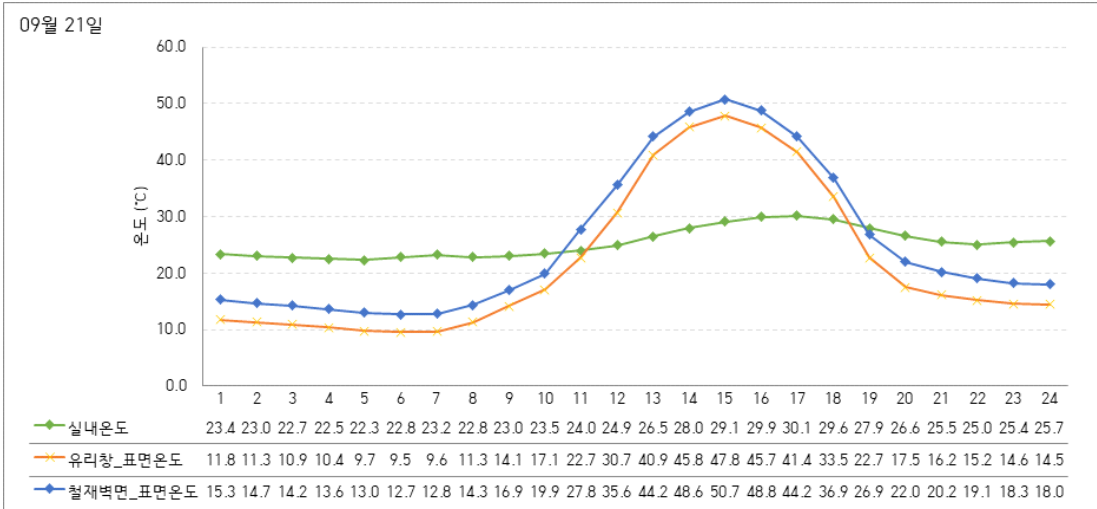


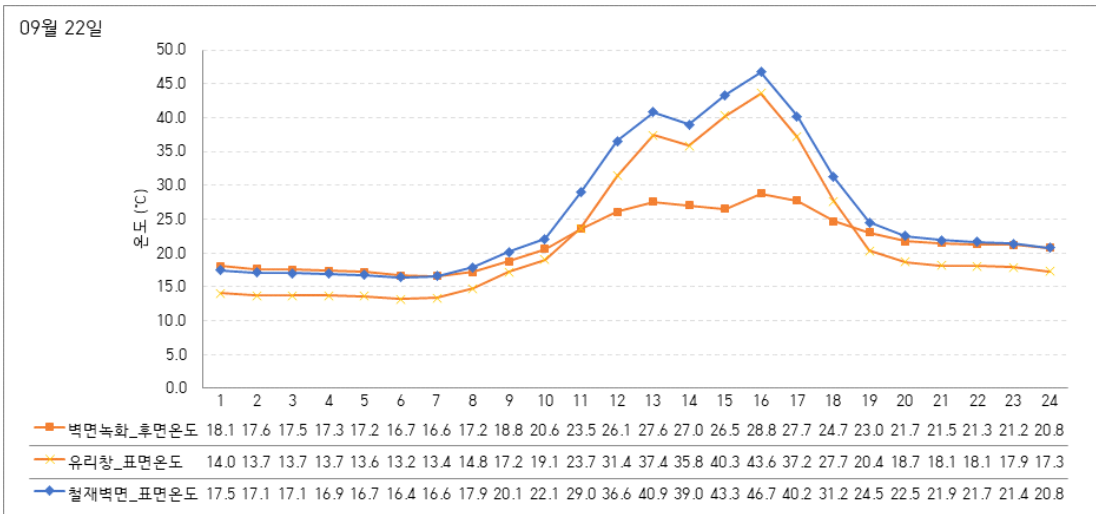
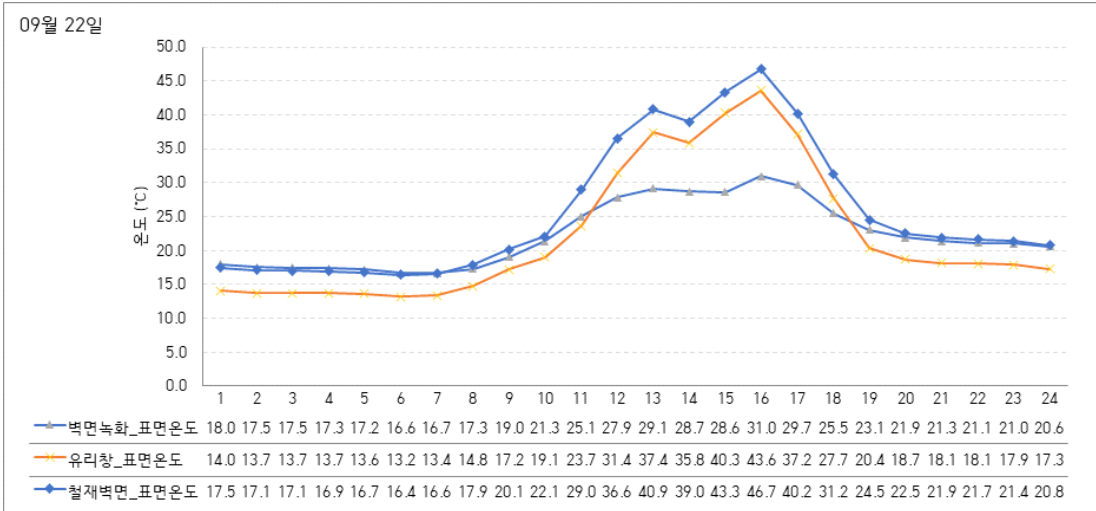


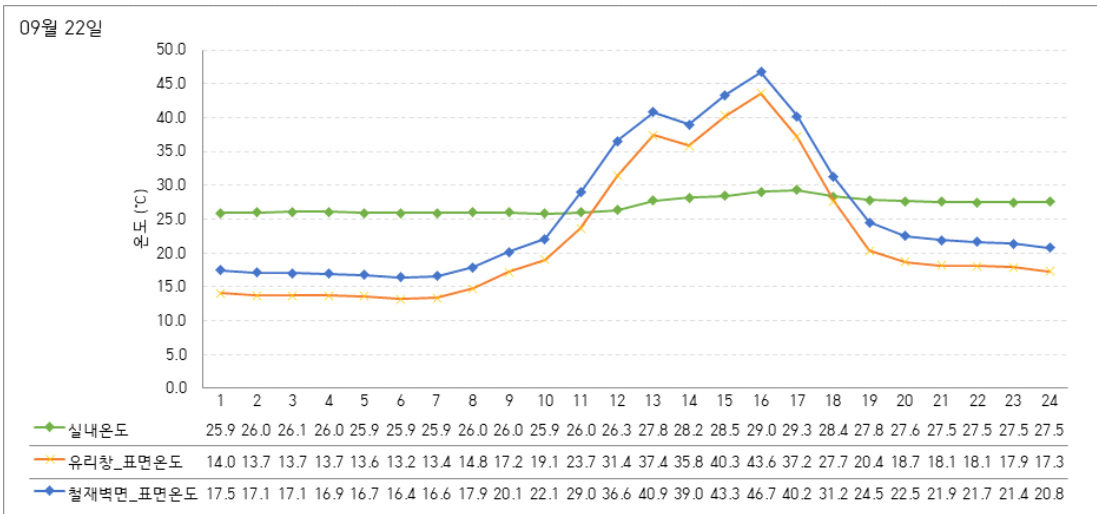
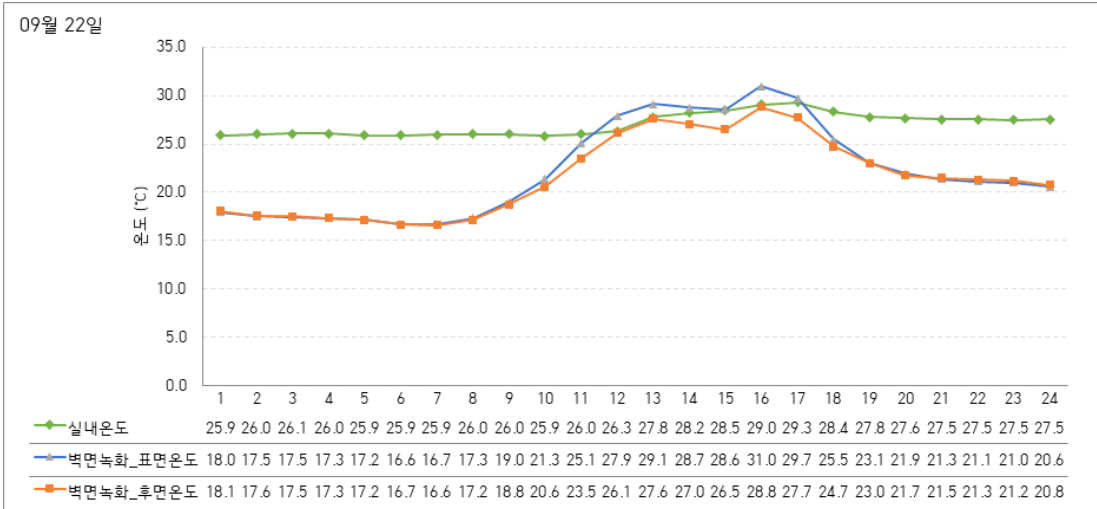


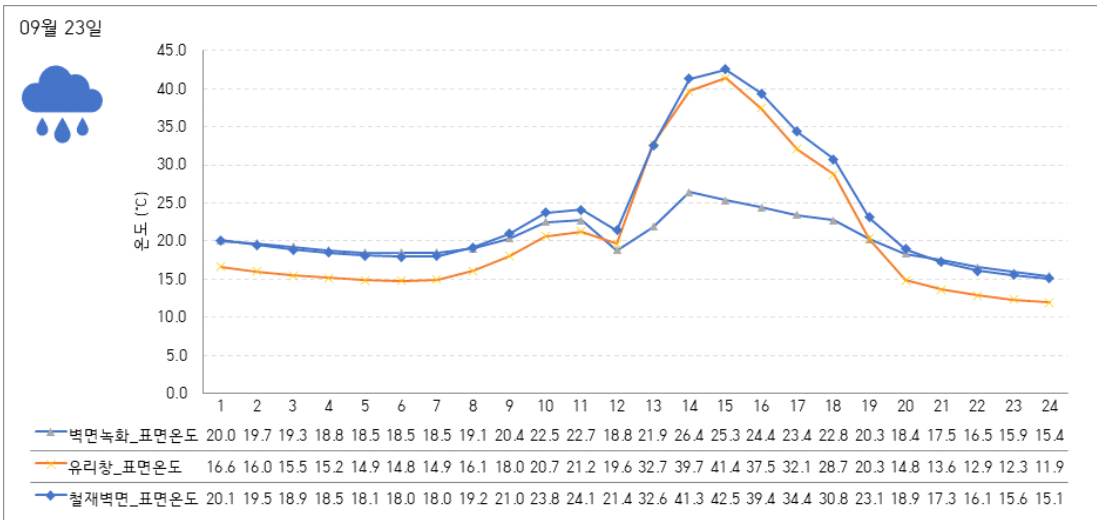
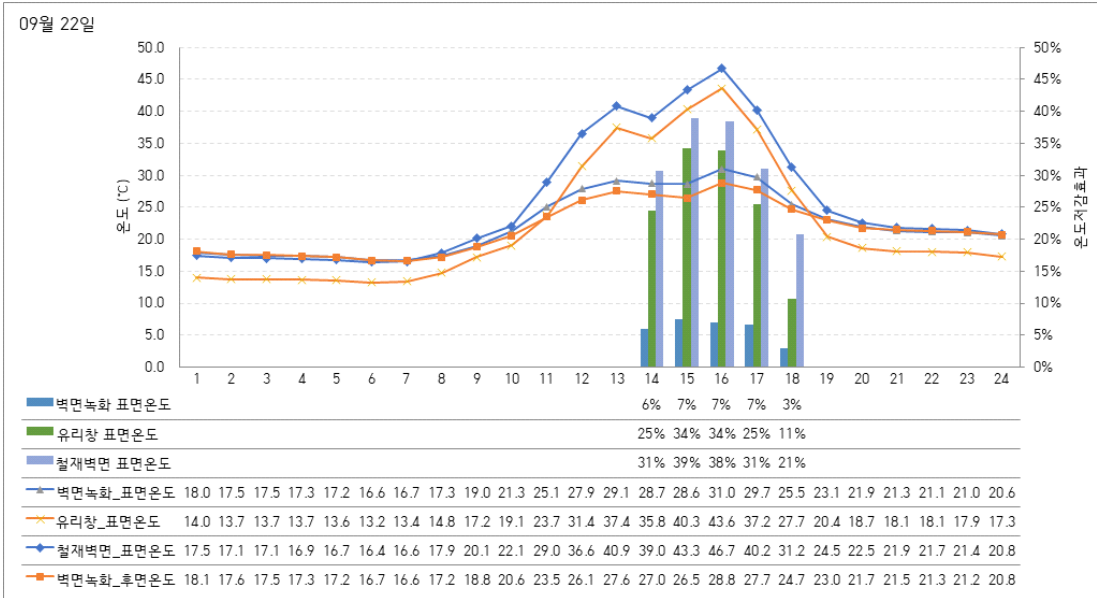


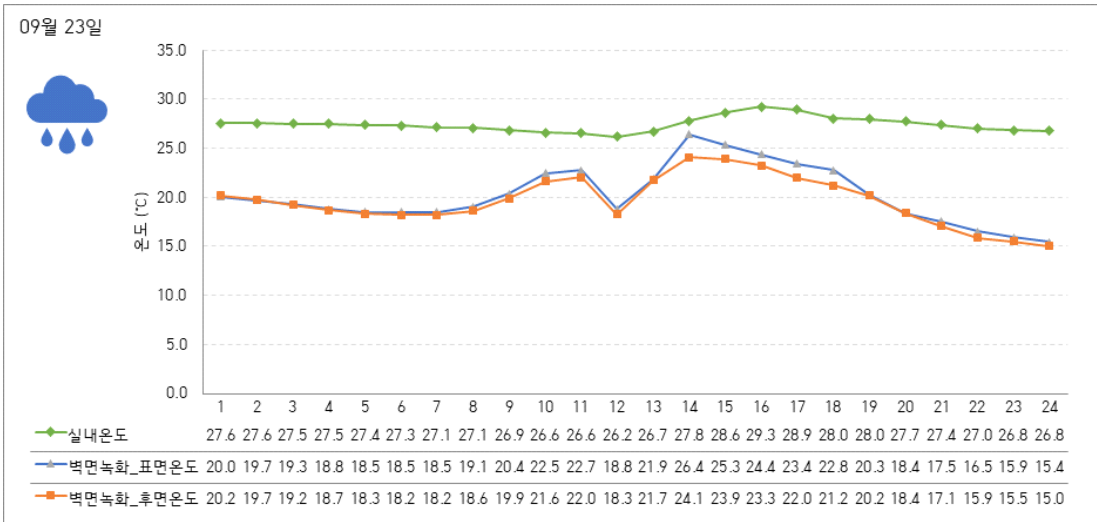
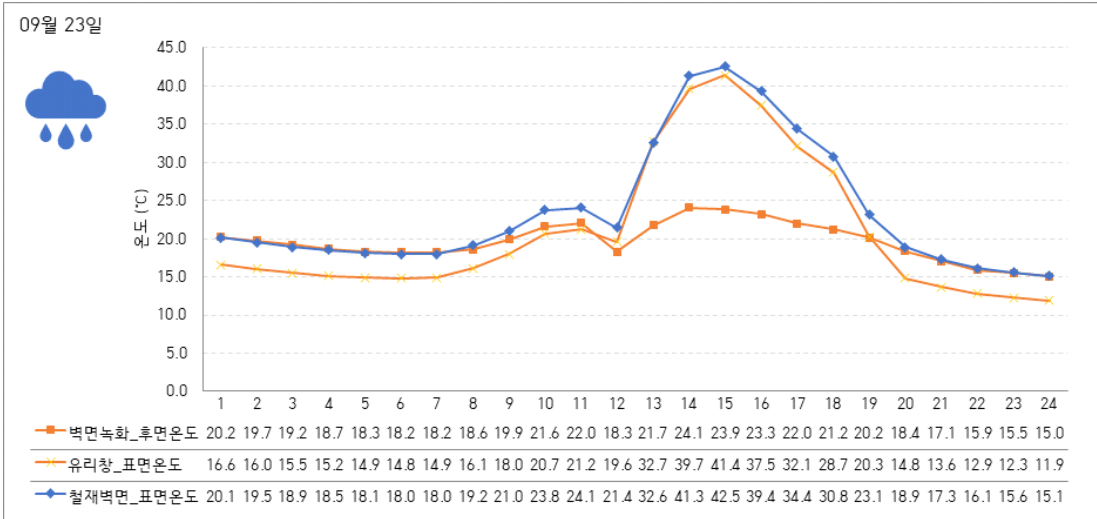


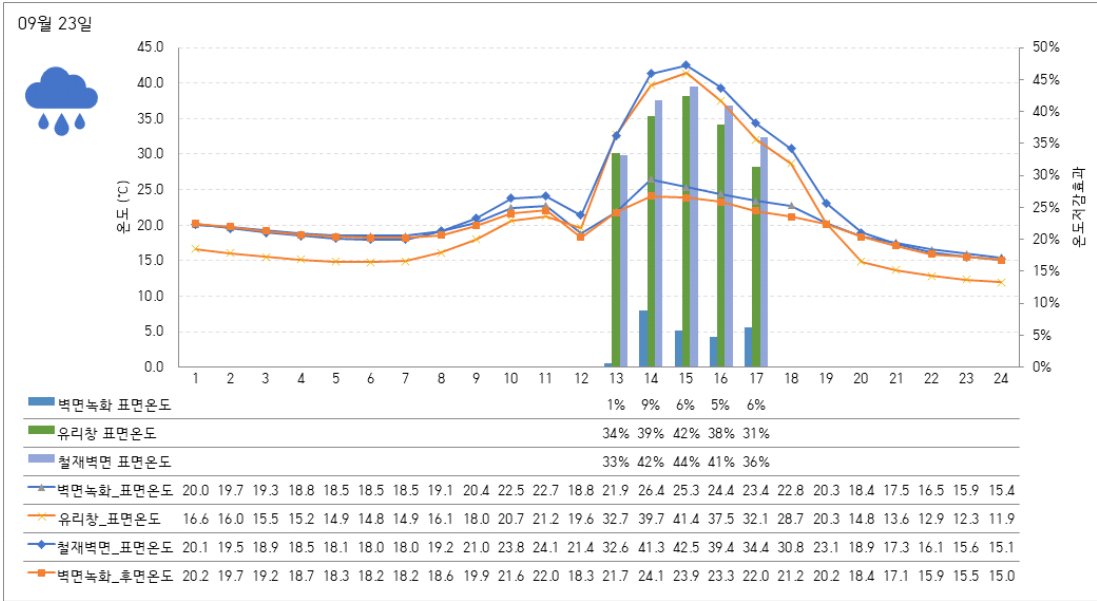
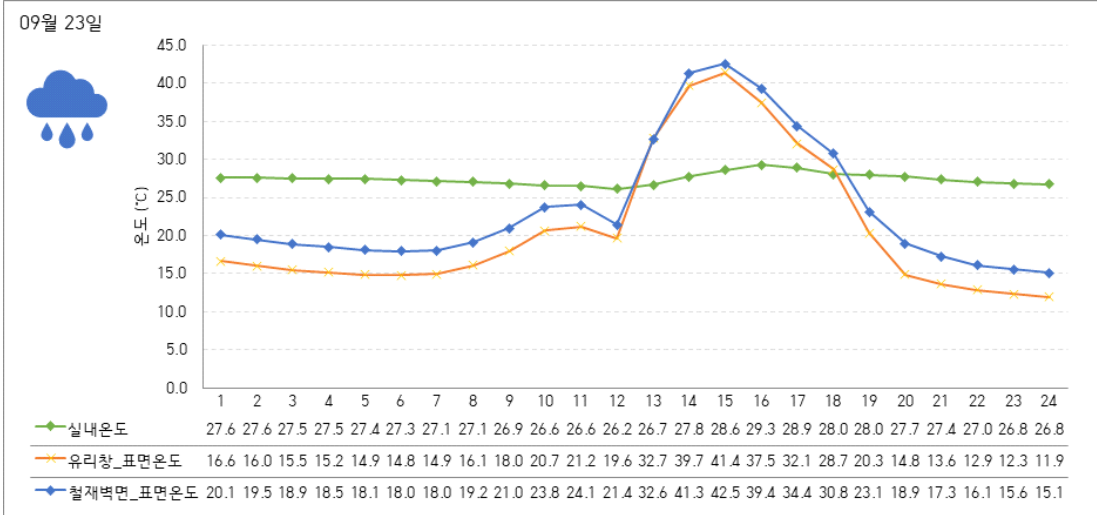


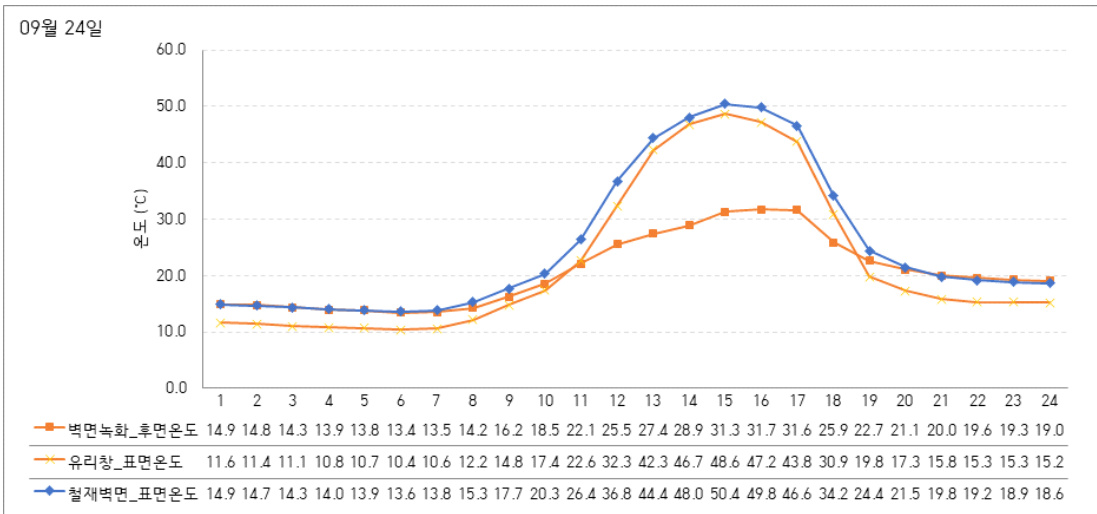
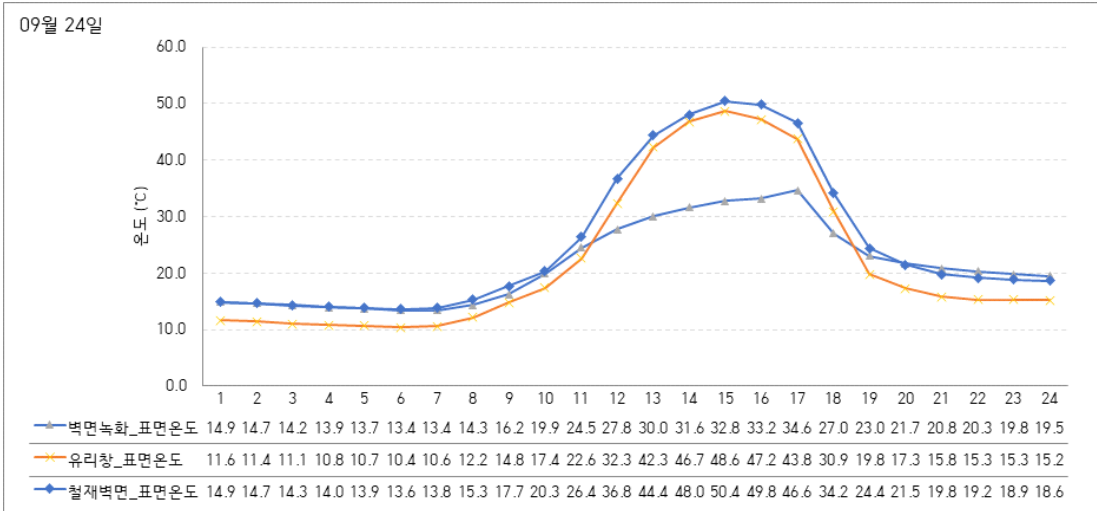


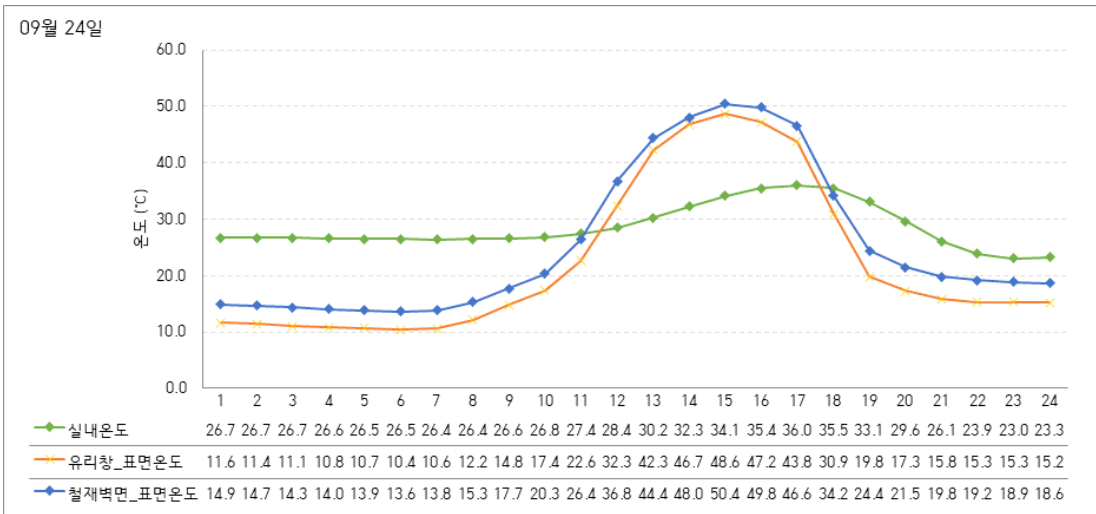
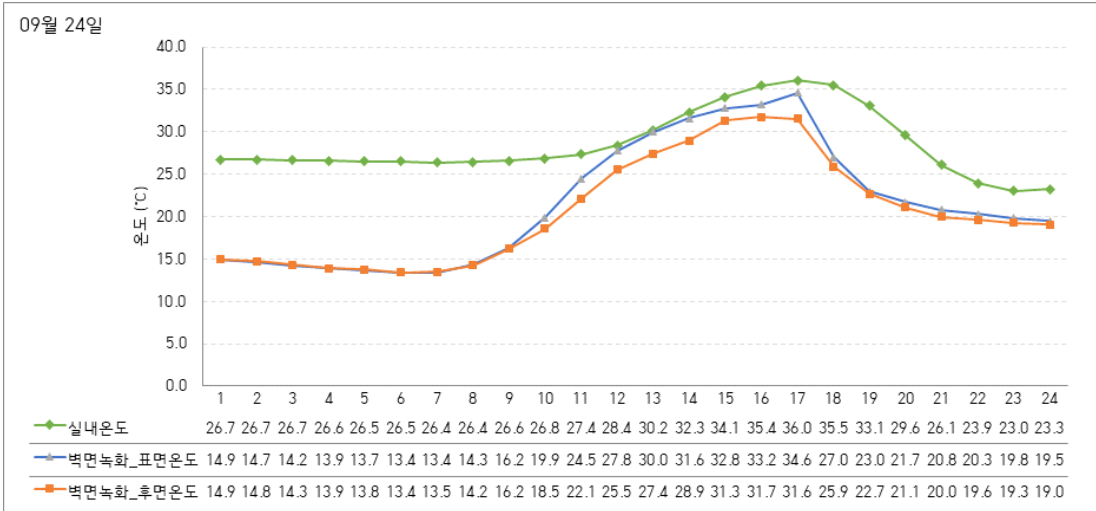


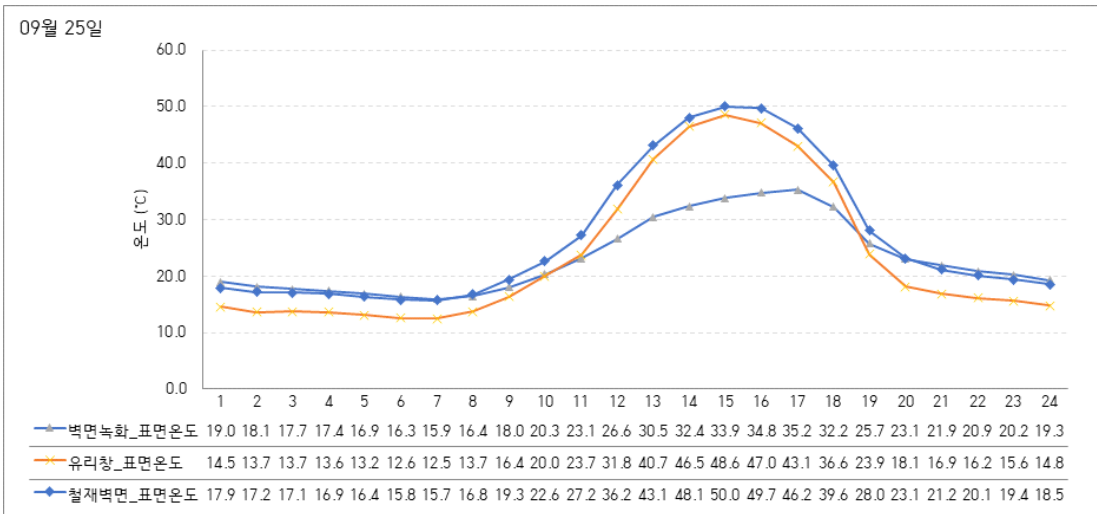
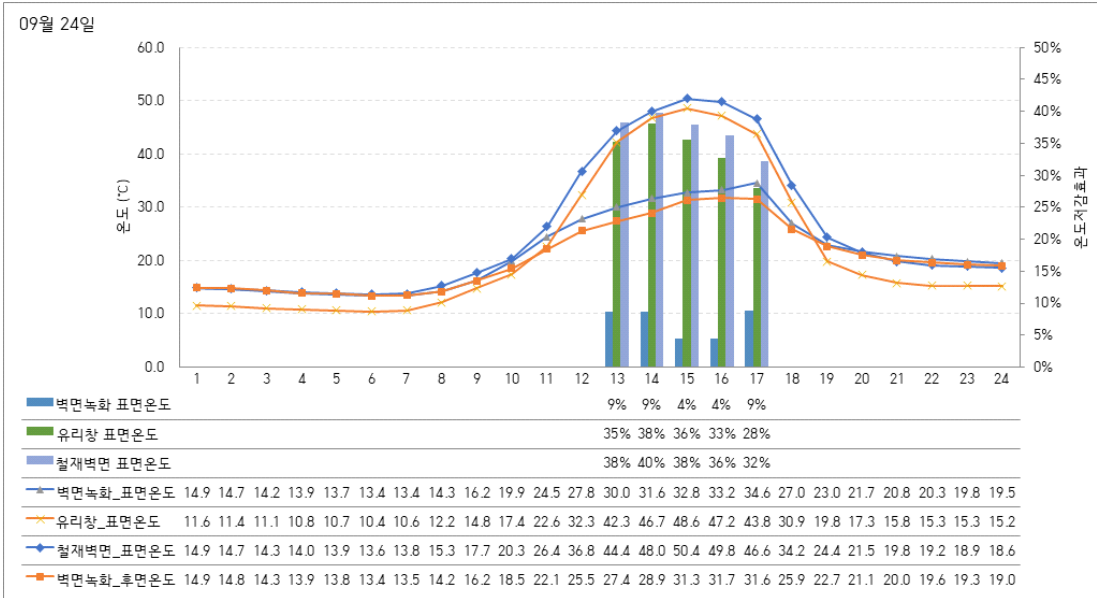


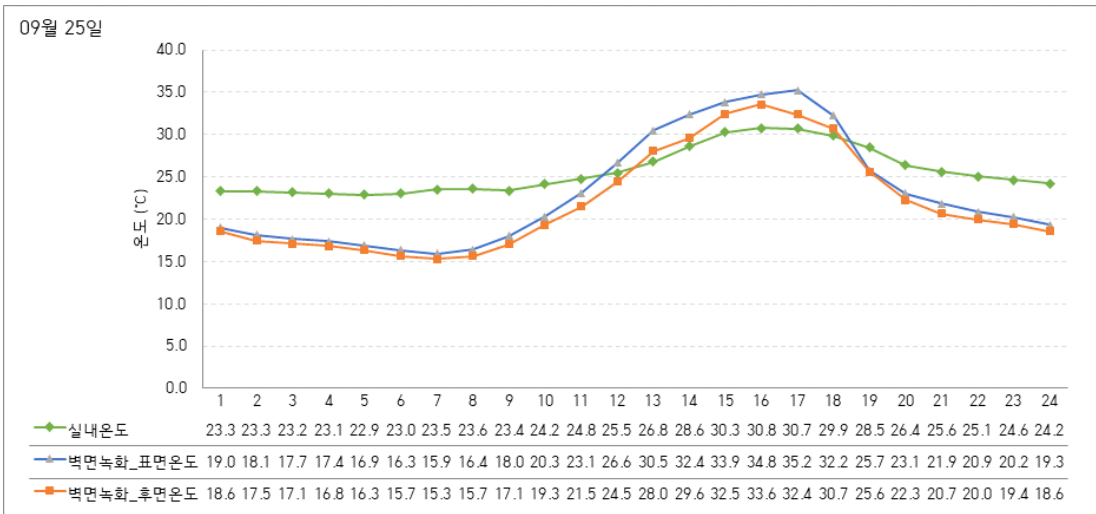
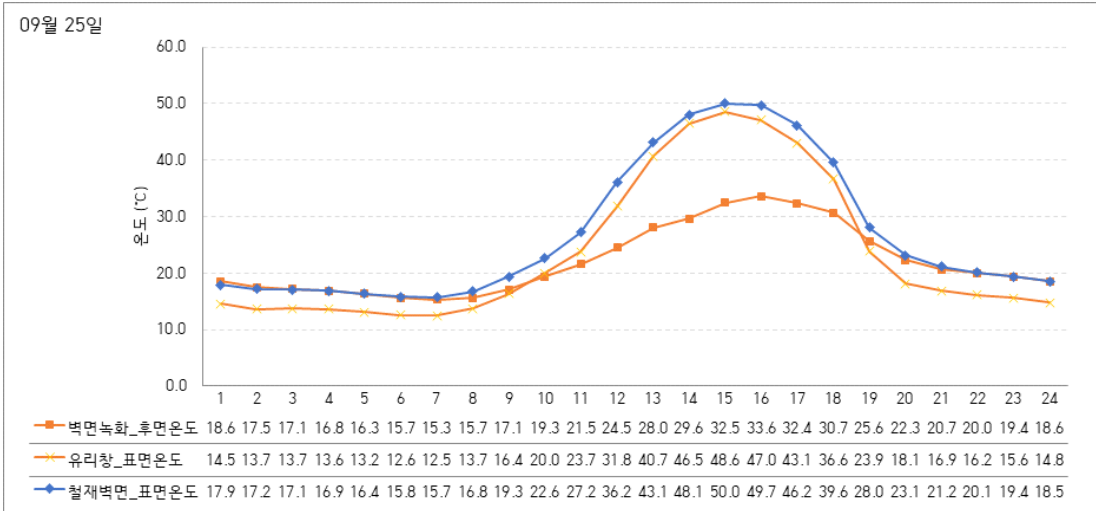


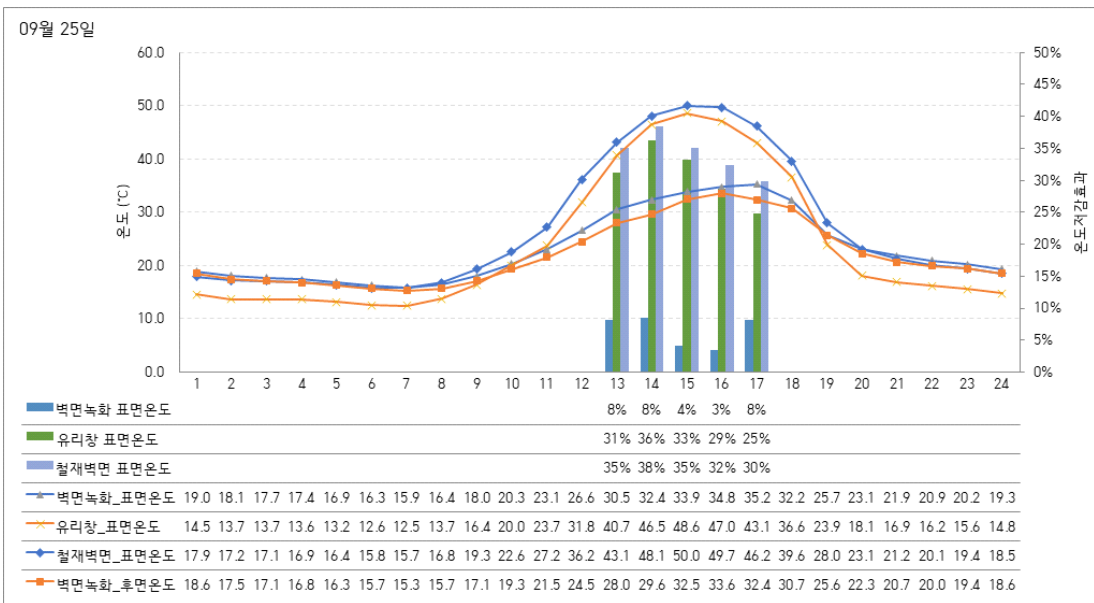
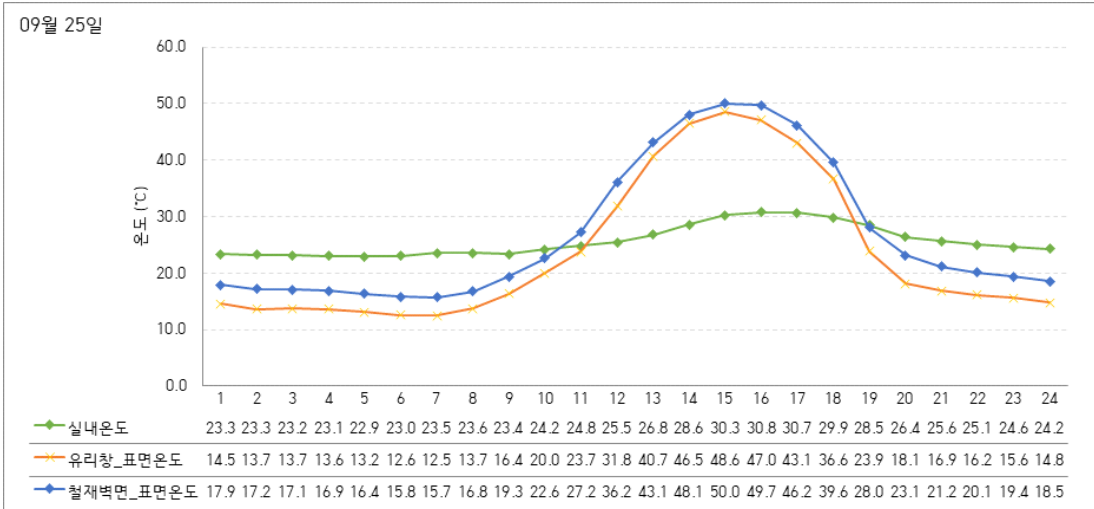


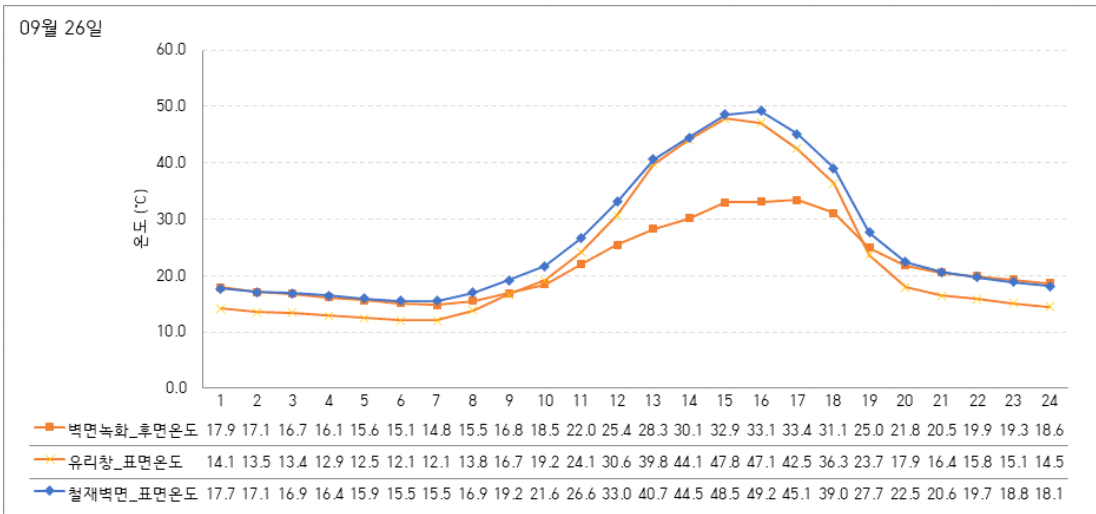
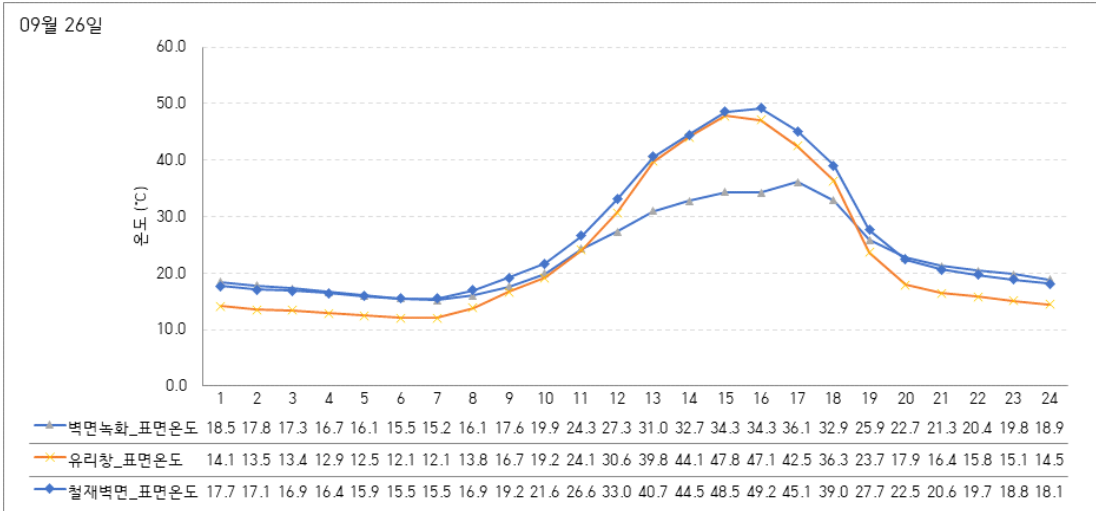


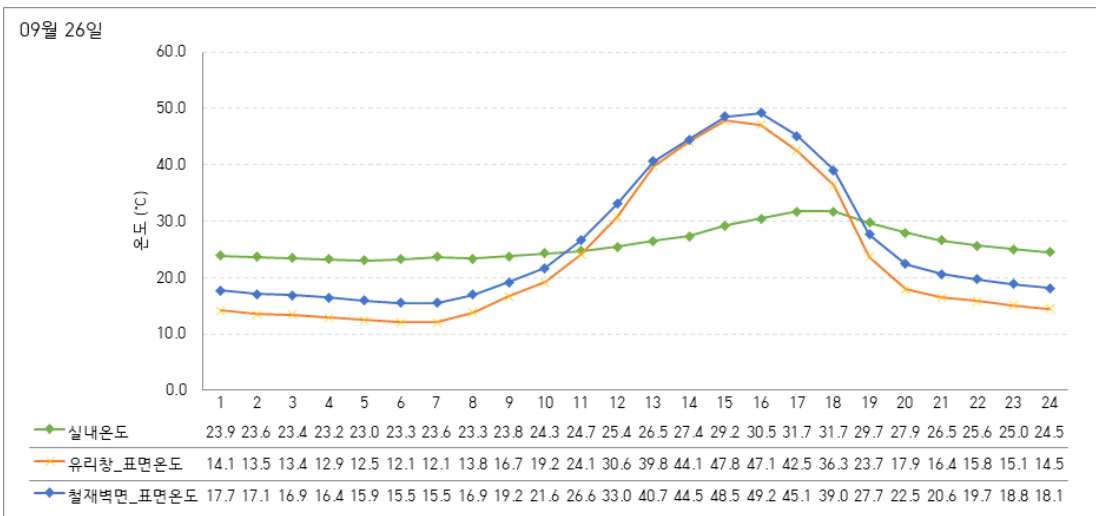
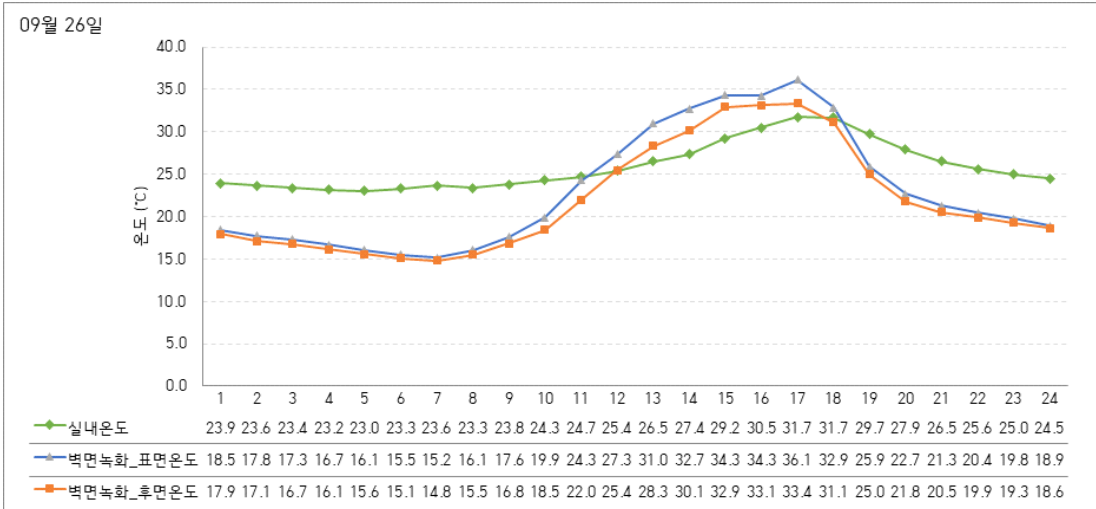


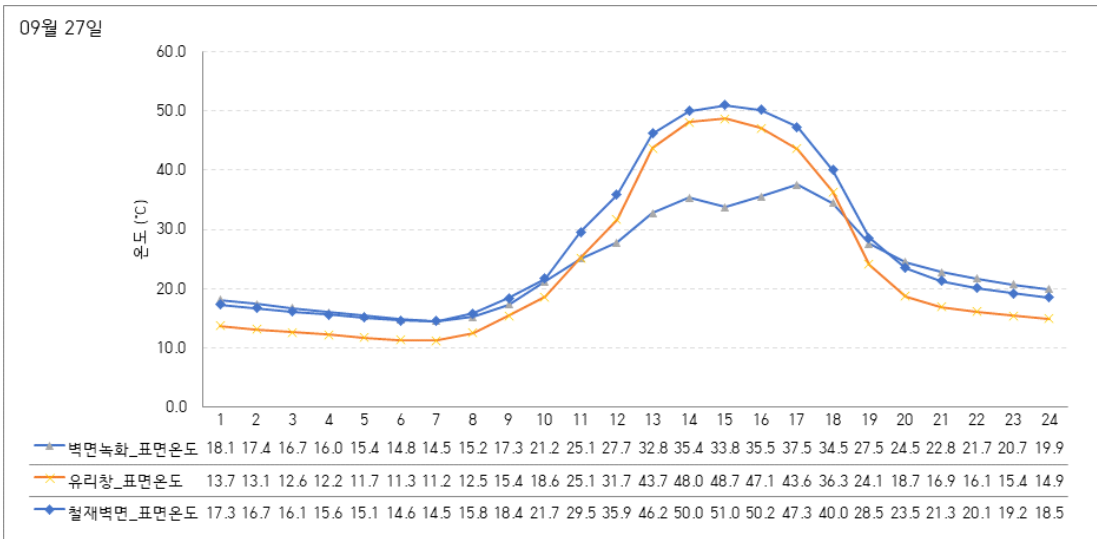
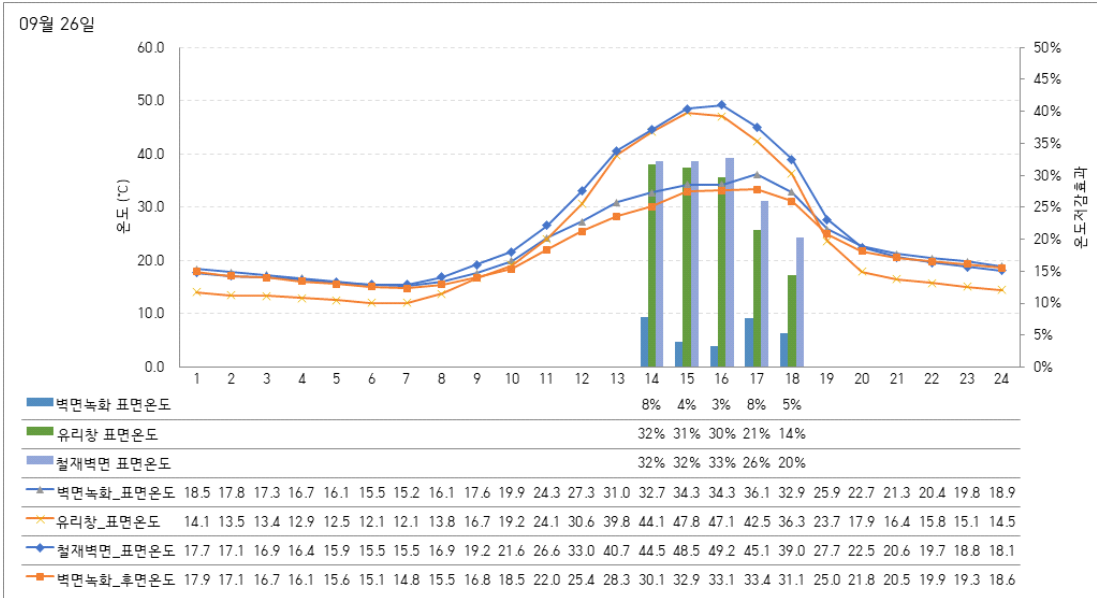


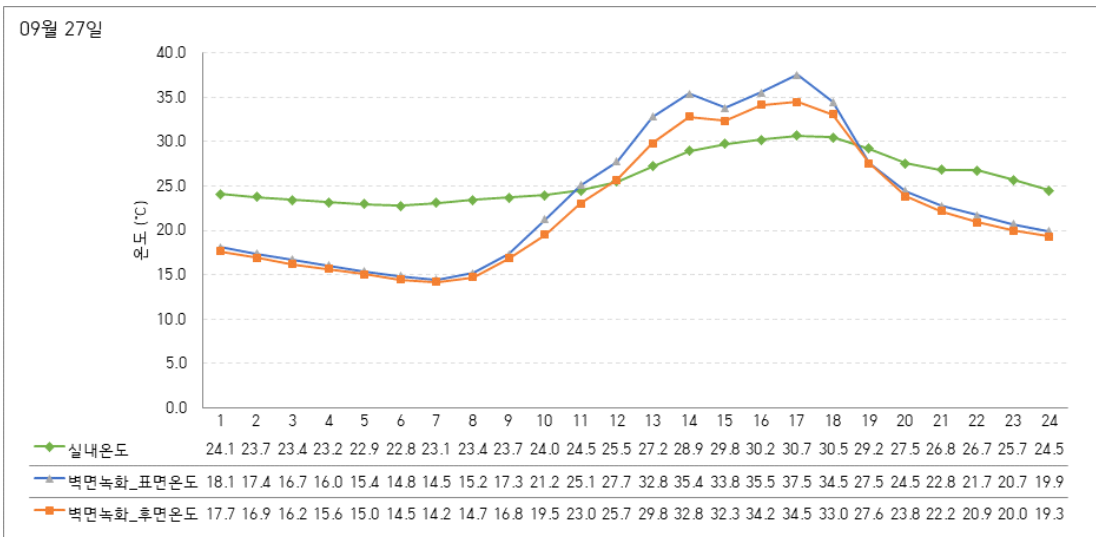
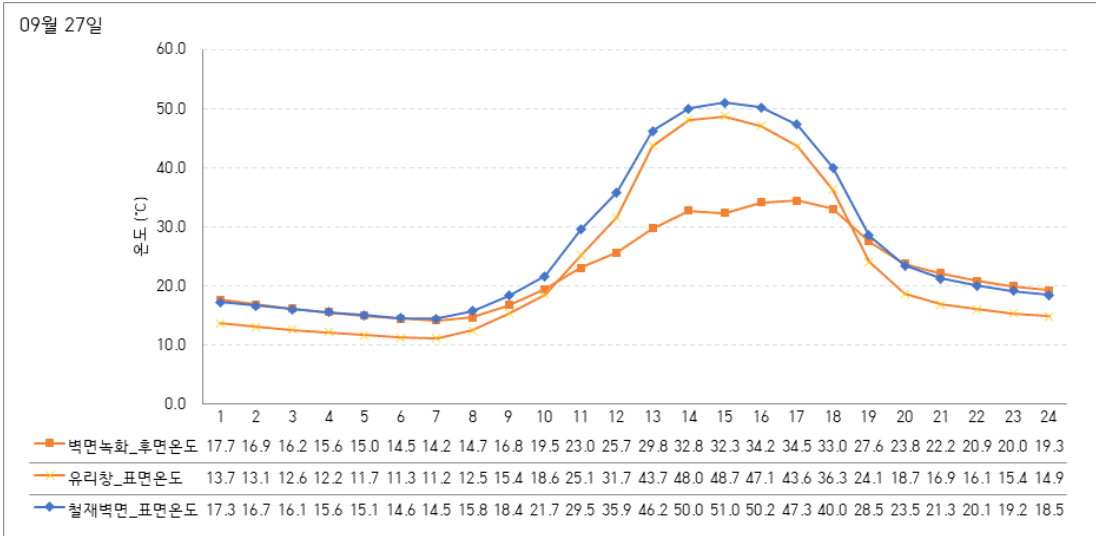


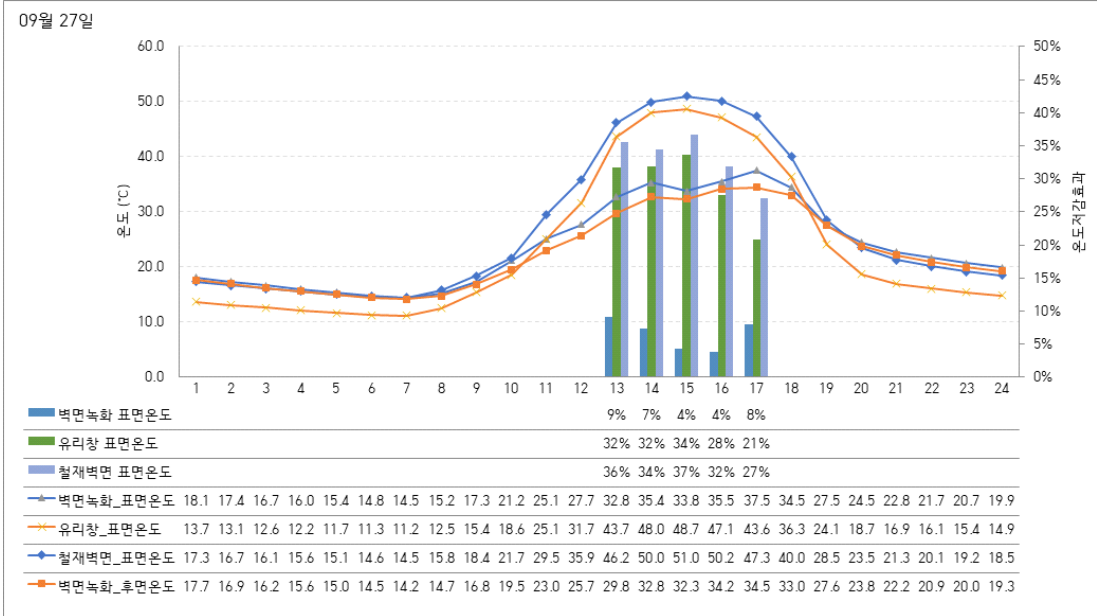
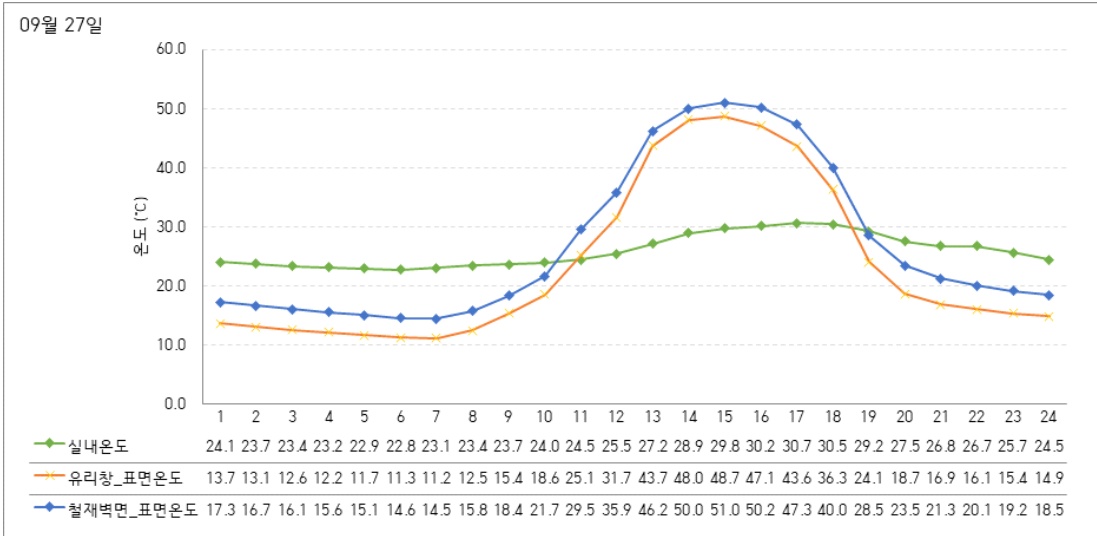


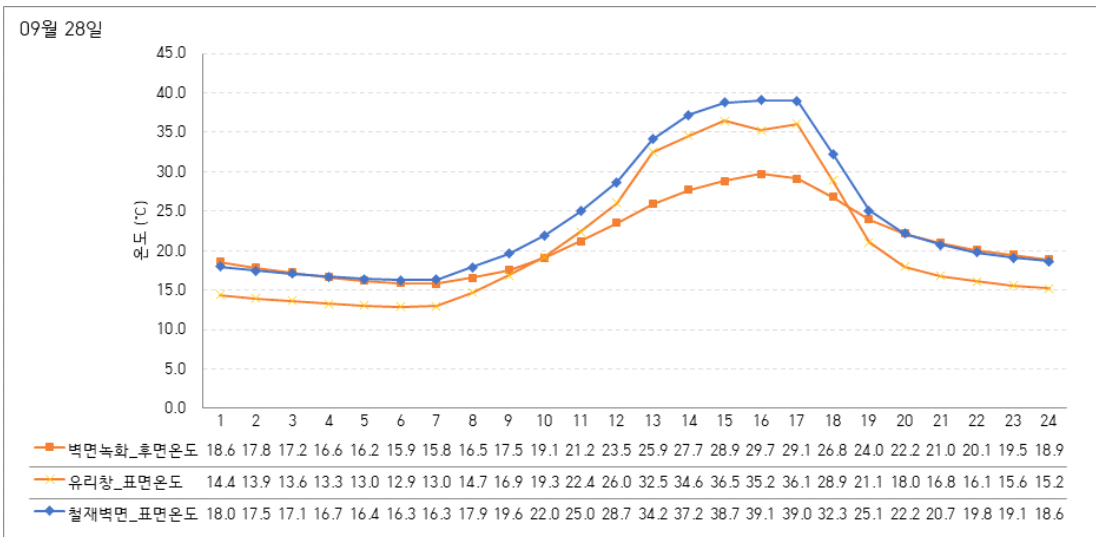
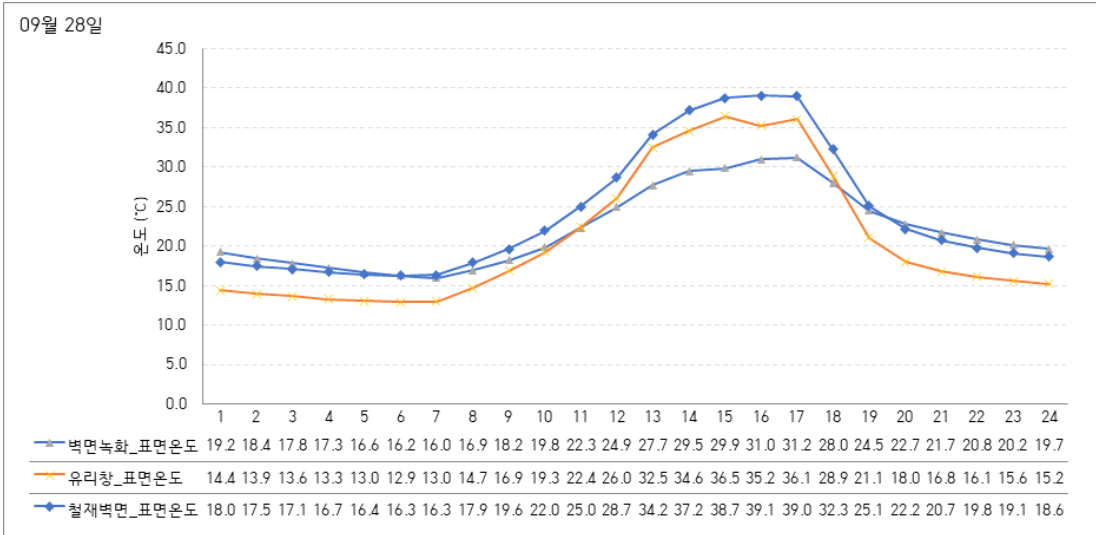


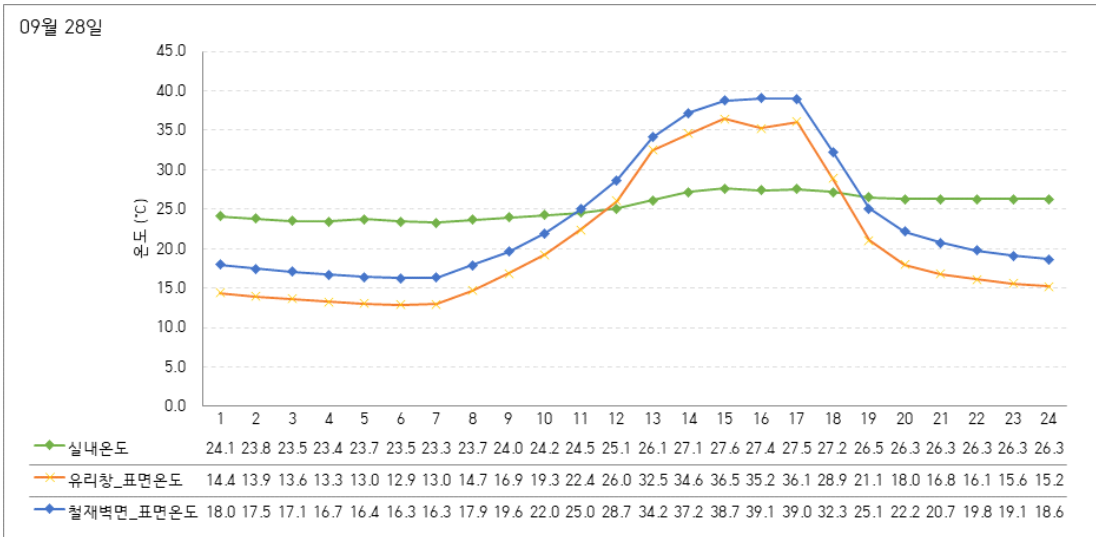
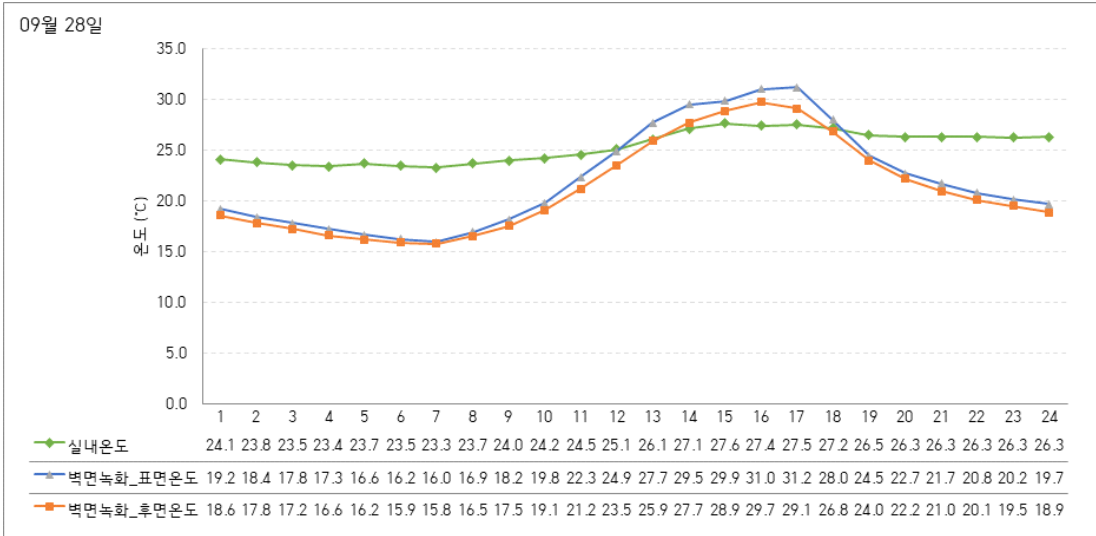


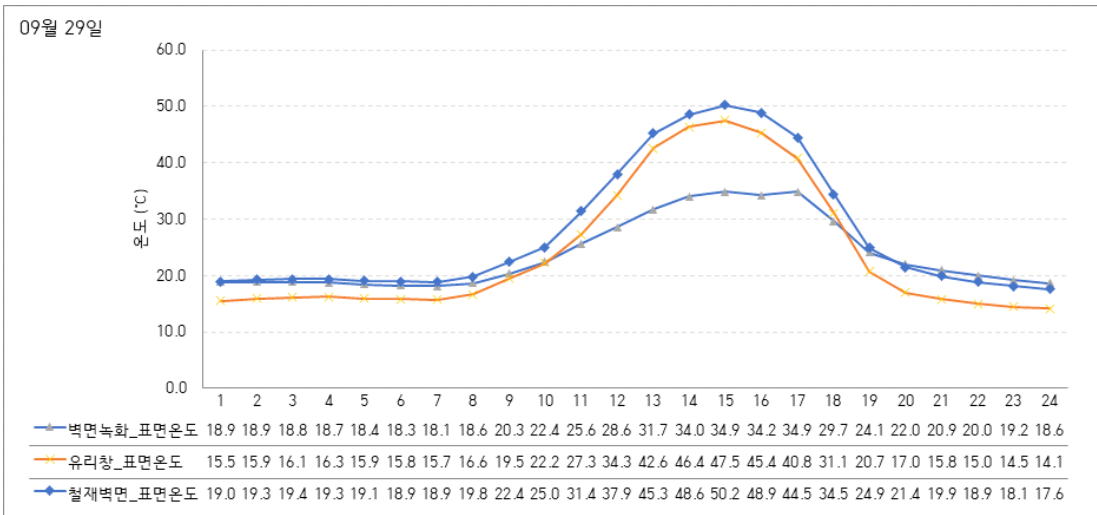
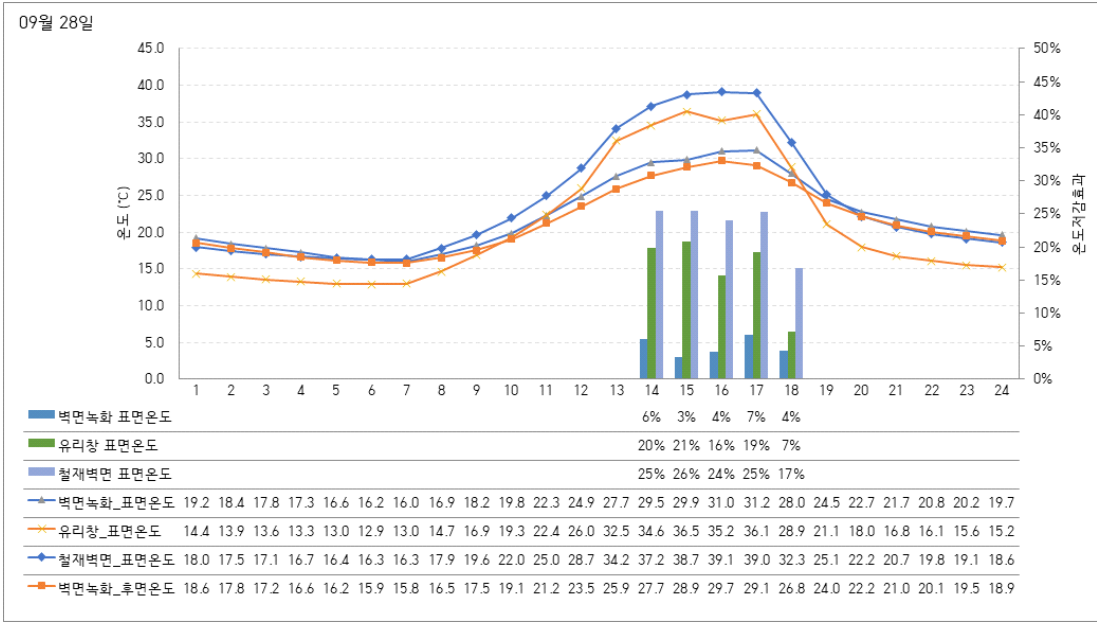




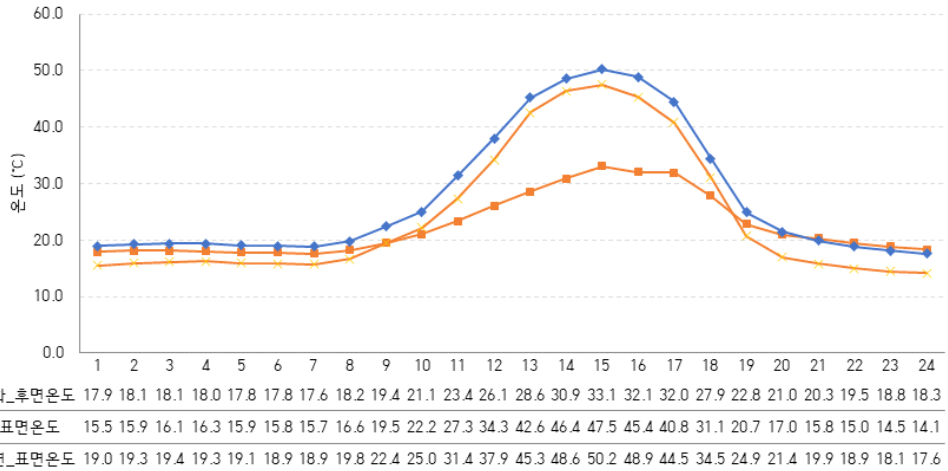




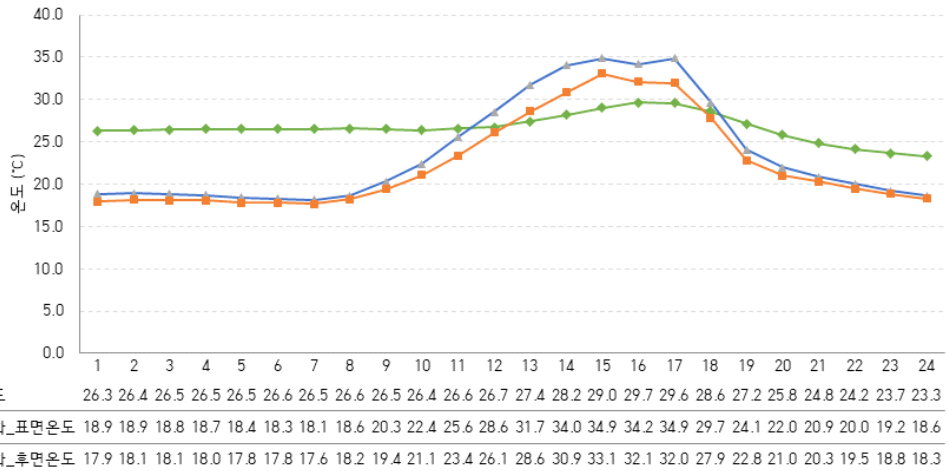


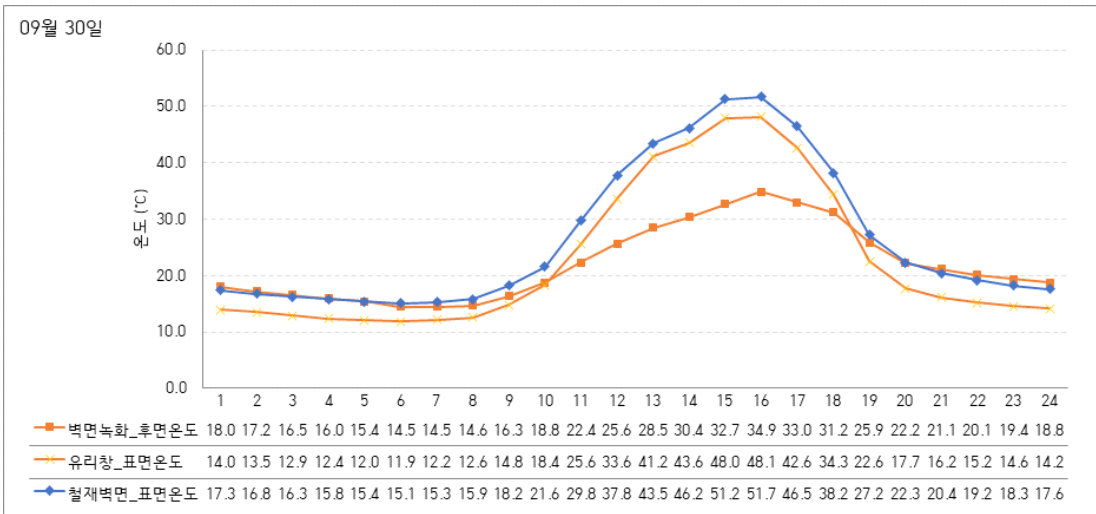
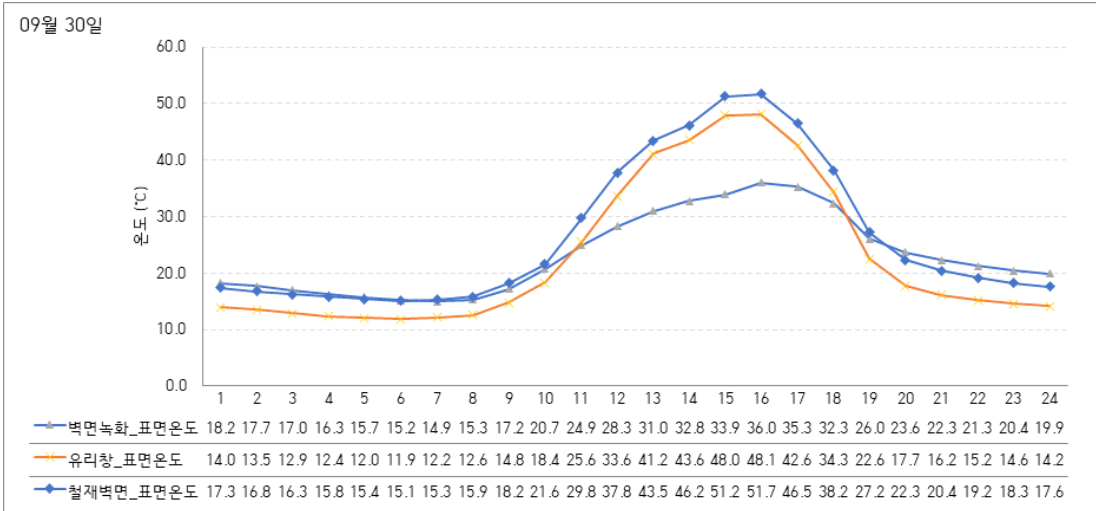


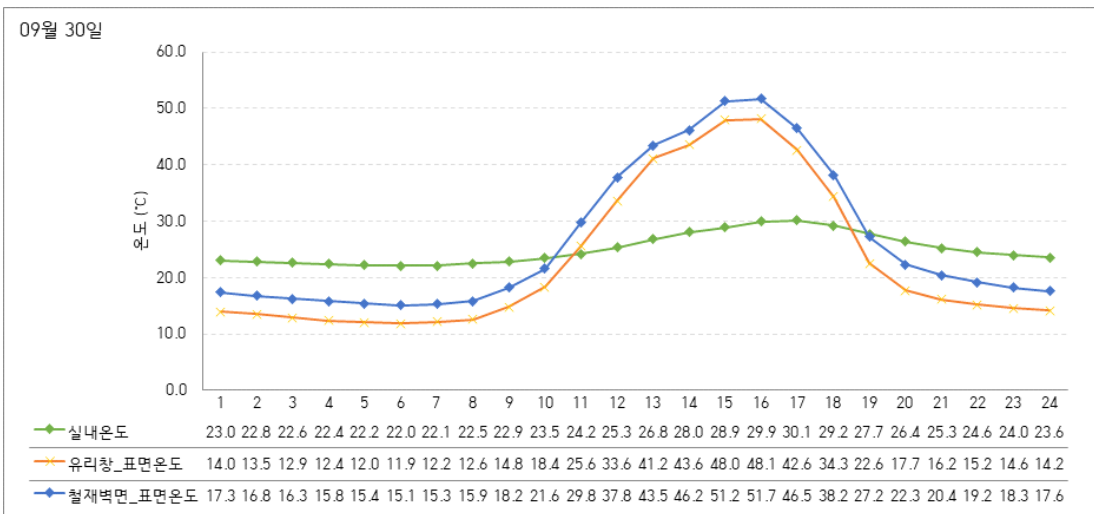
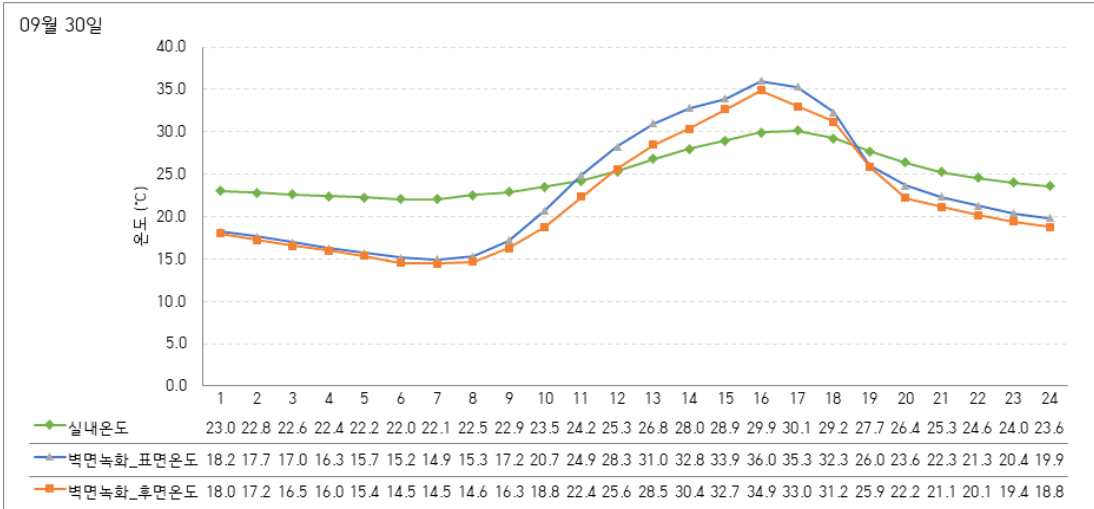
09월 29일

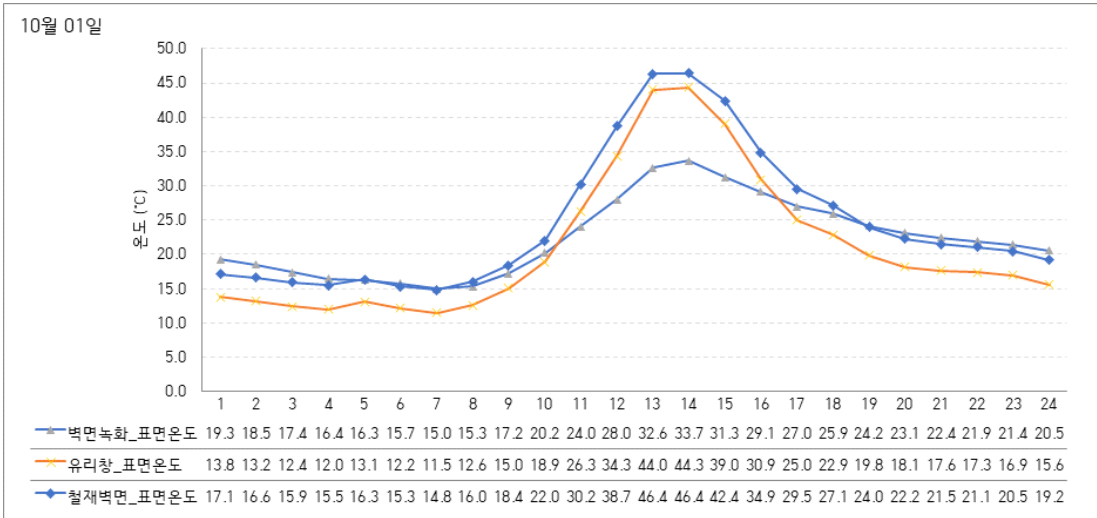
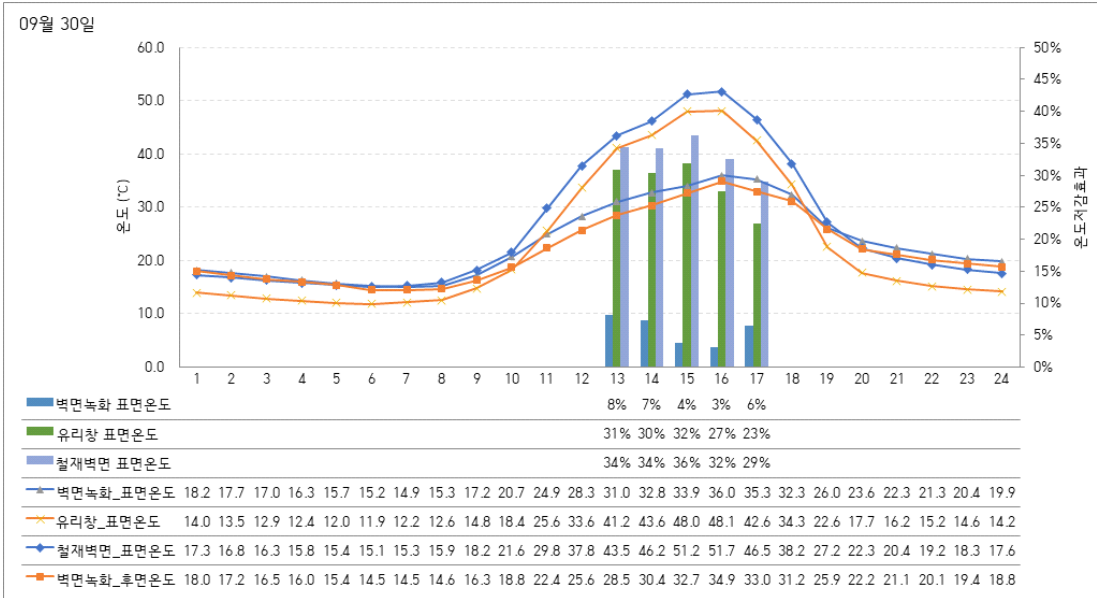


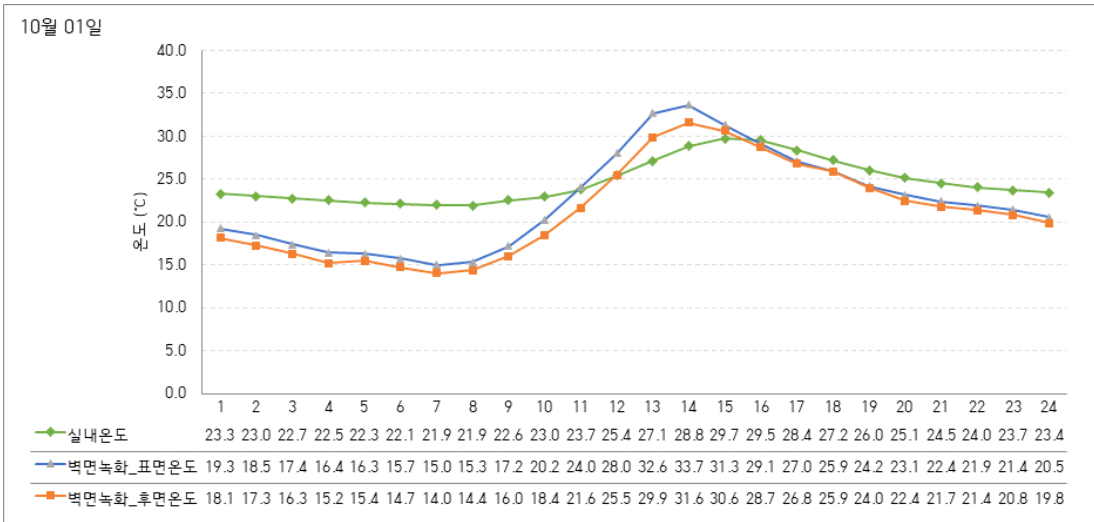
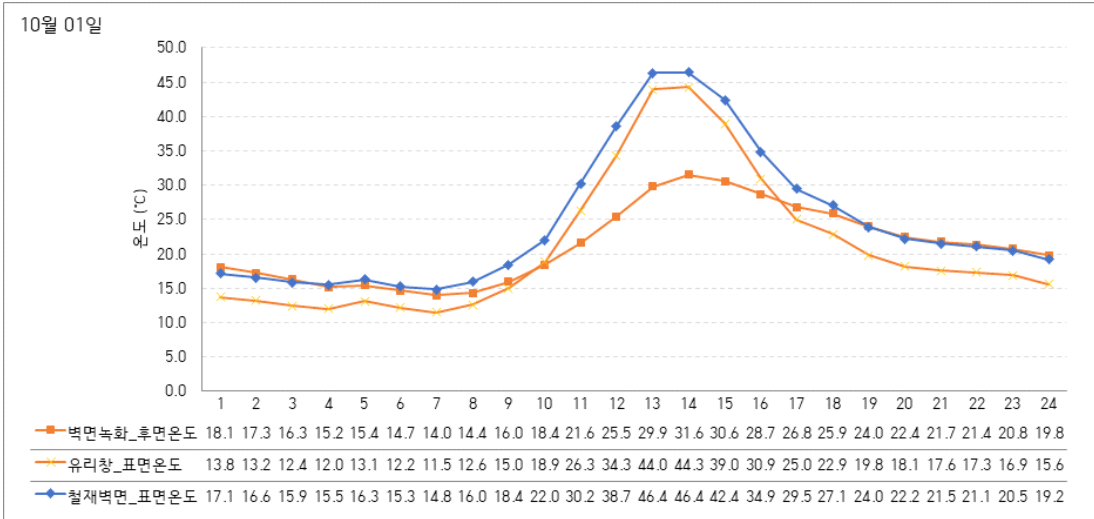
09월 29일

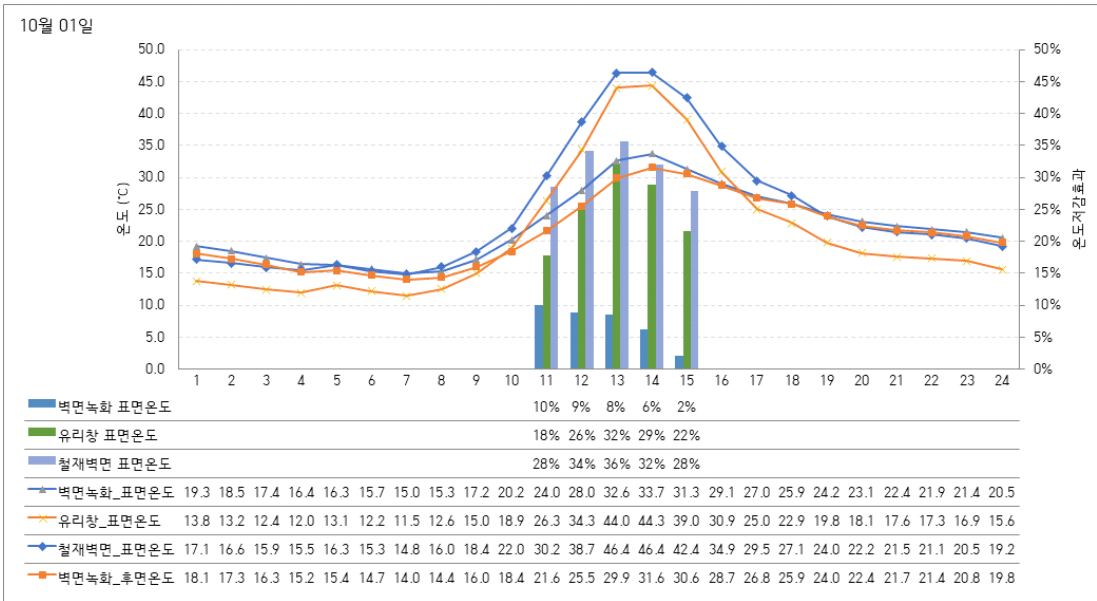
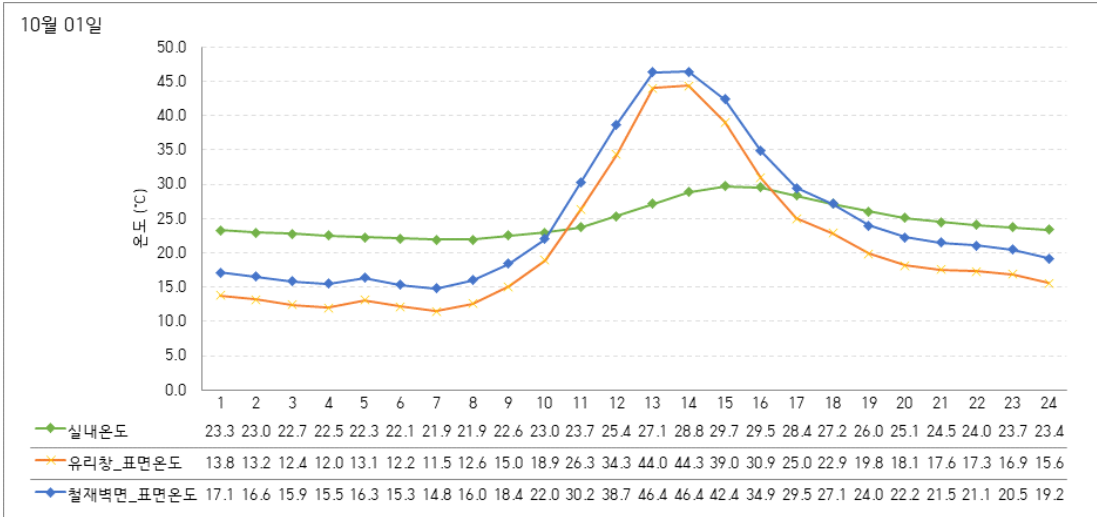


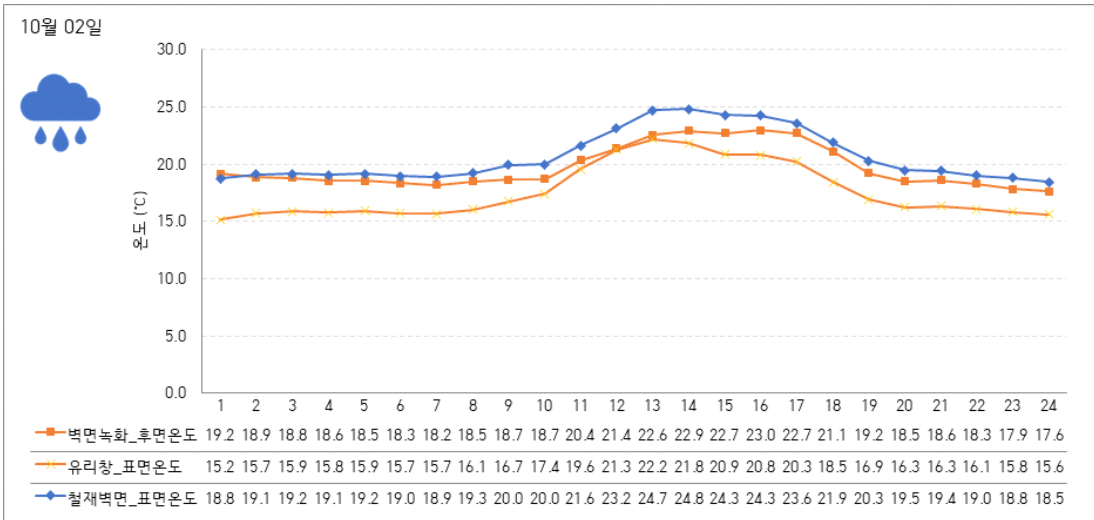
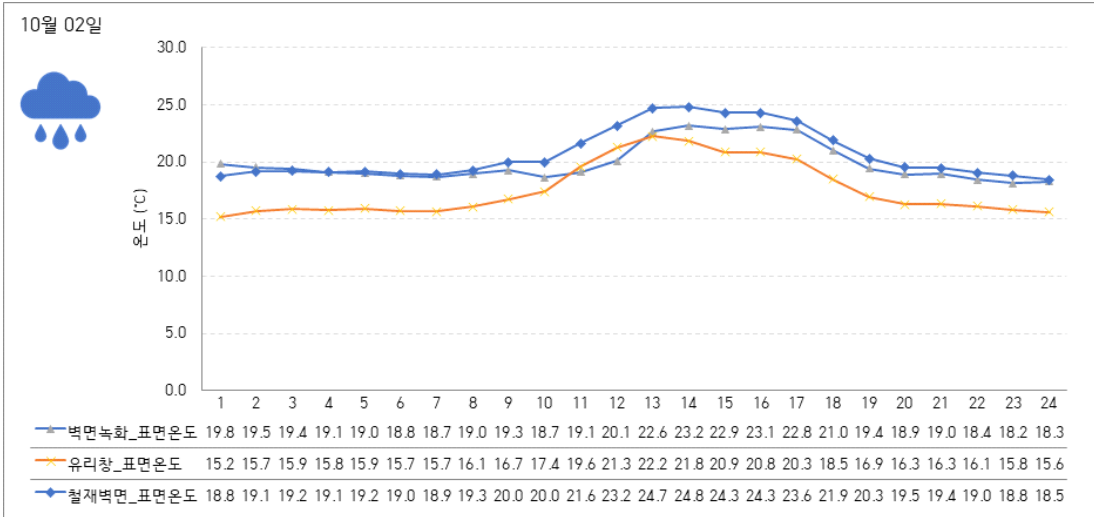


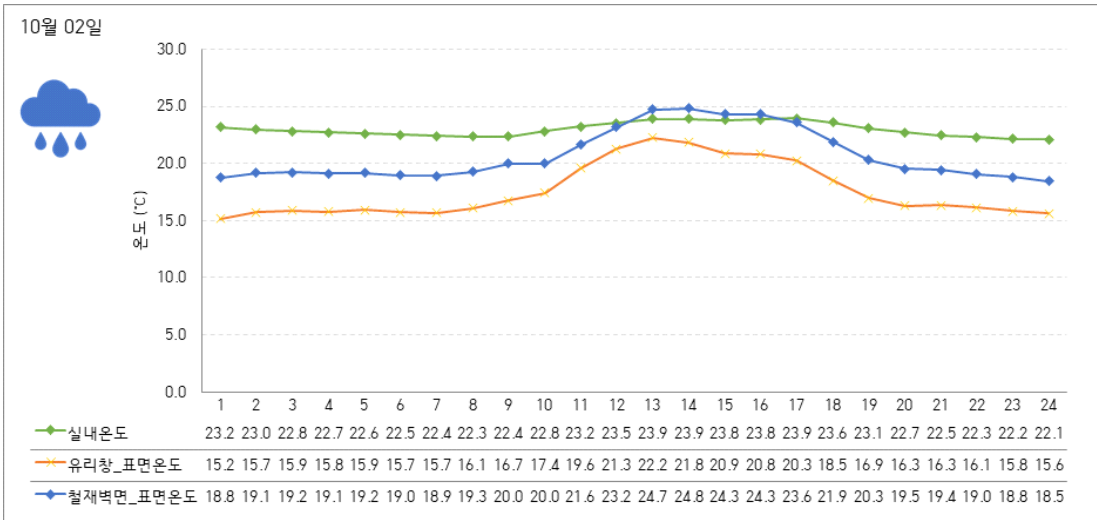
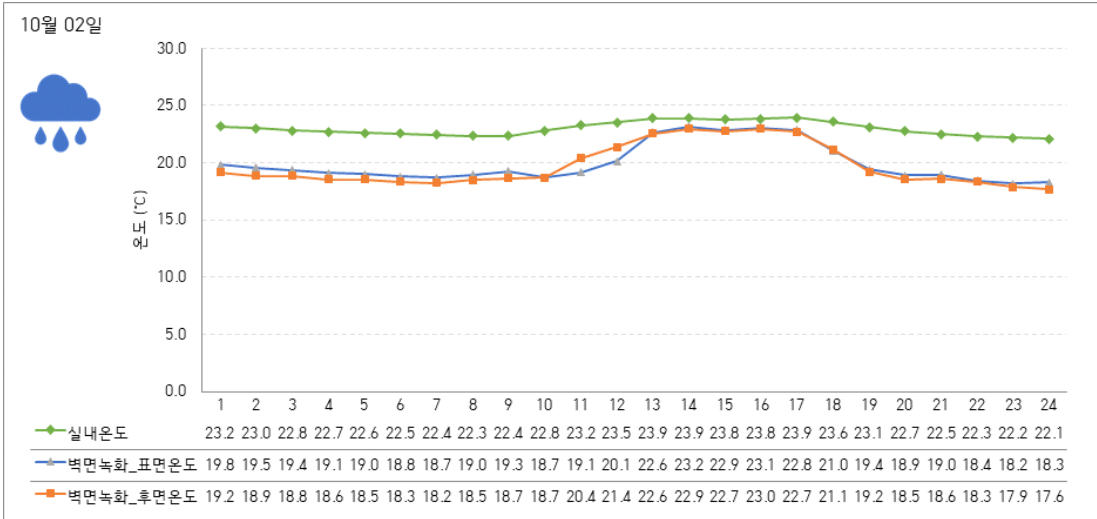


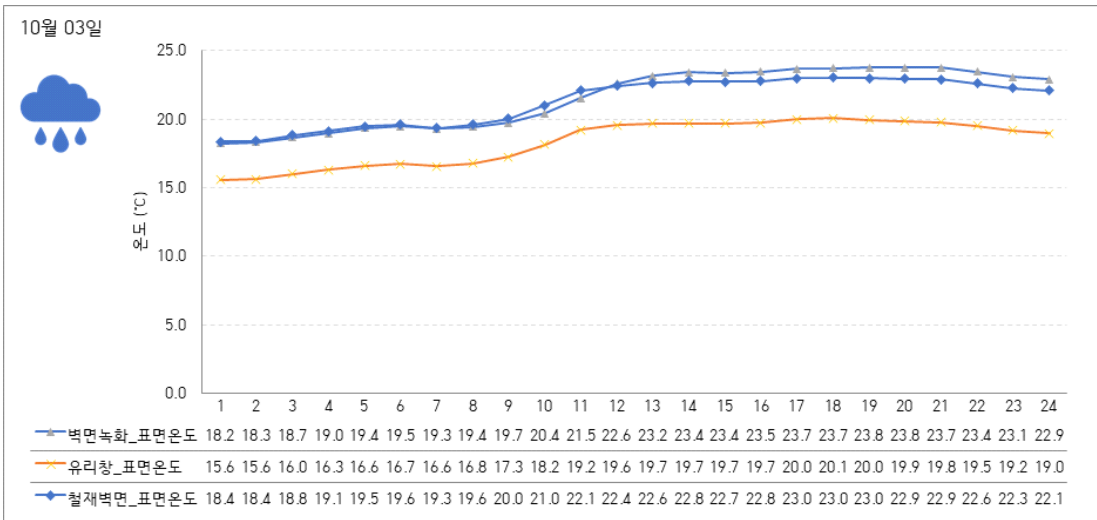
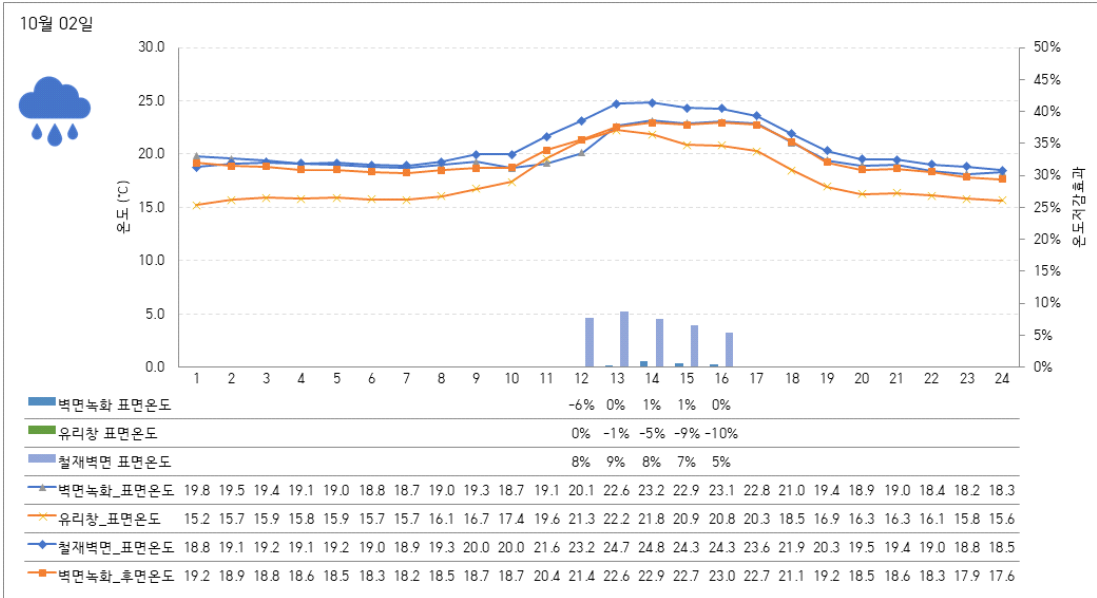


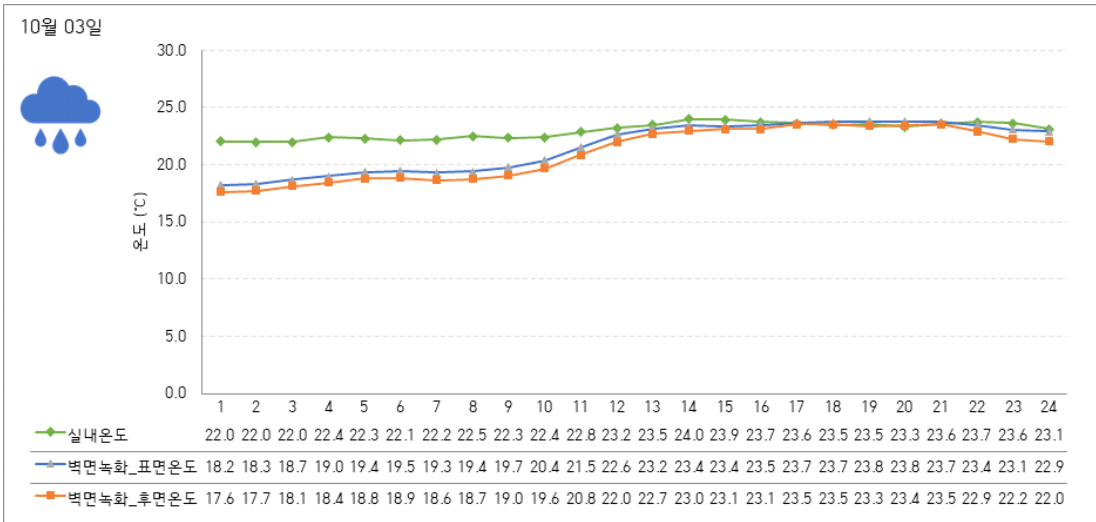
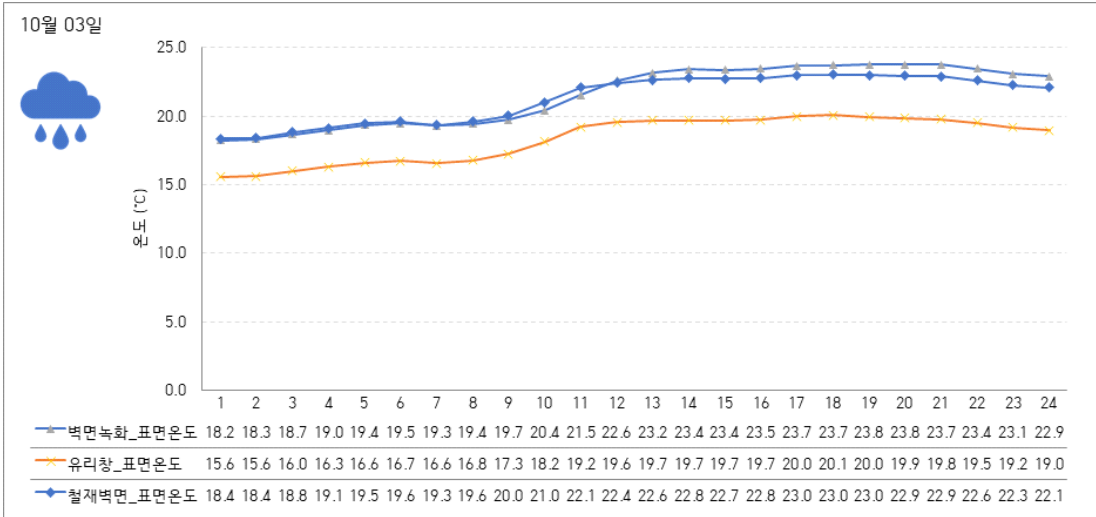


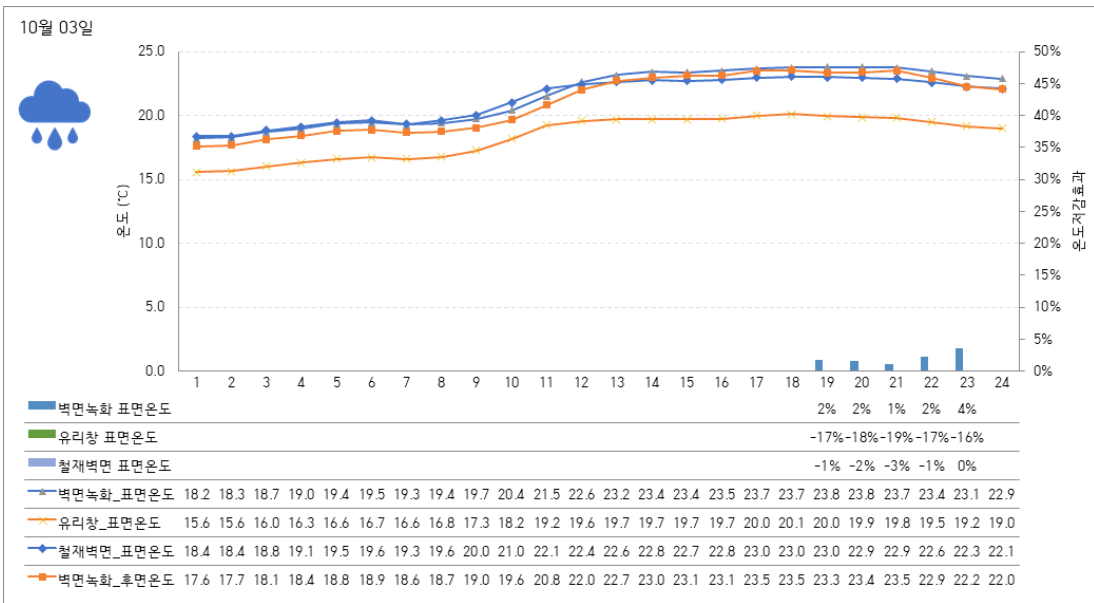
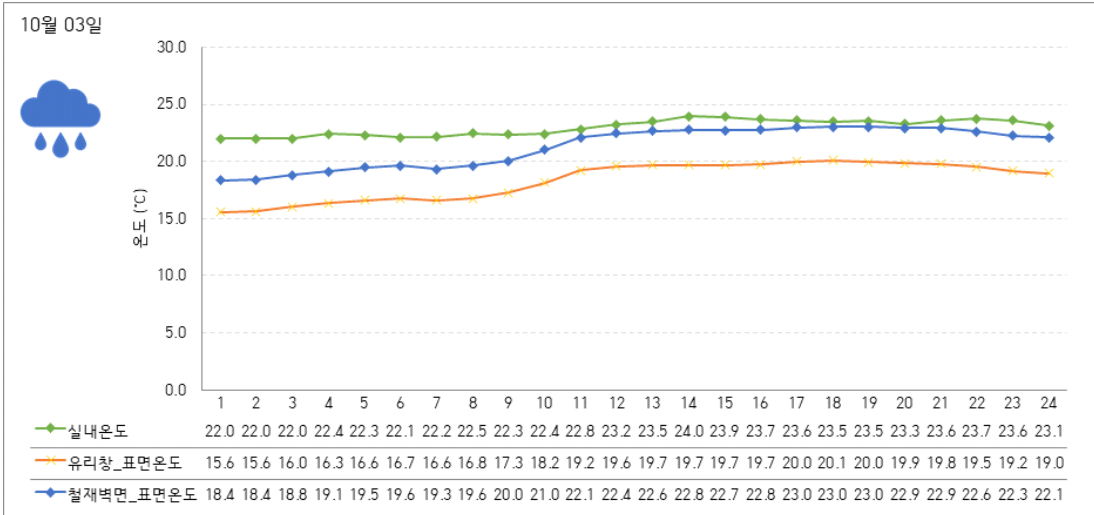


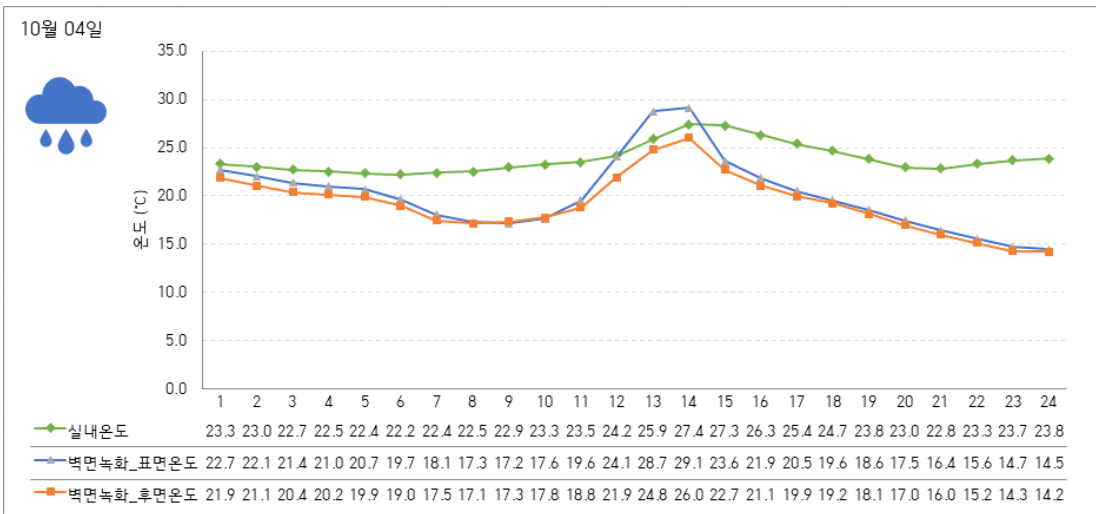
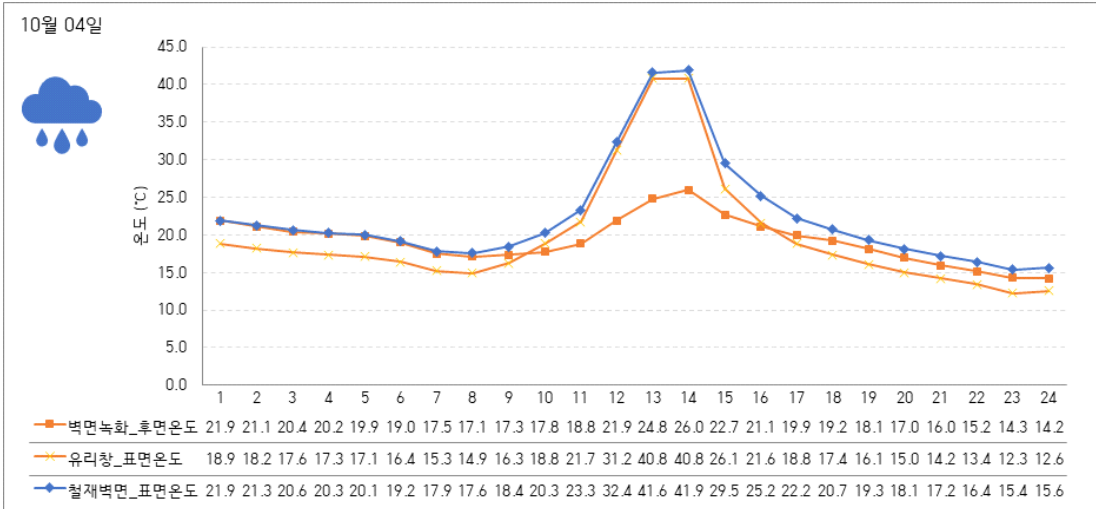


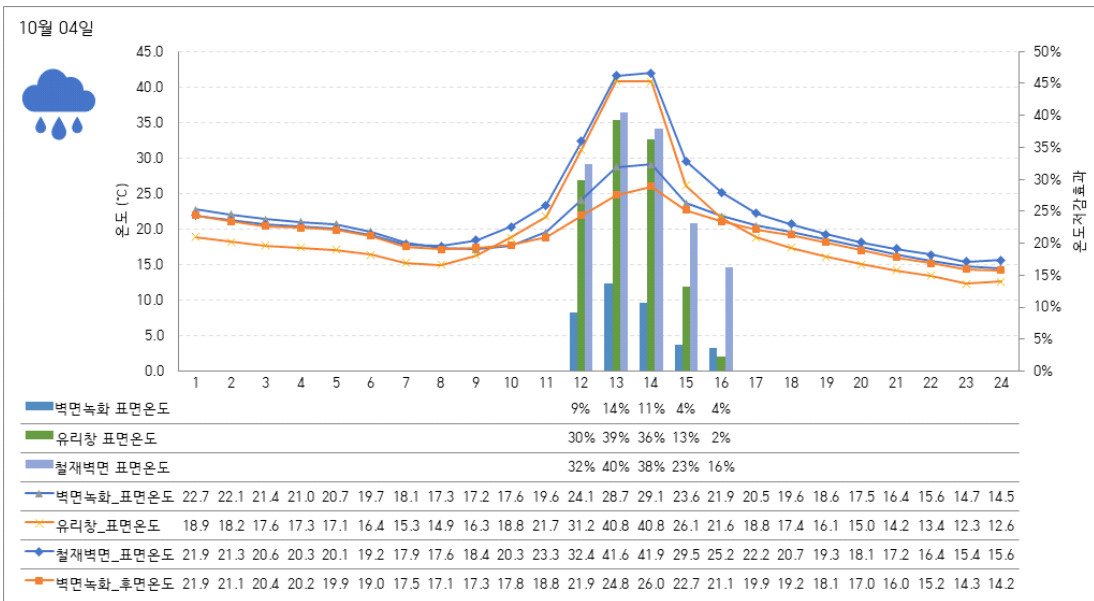
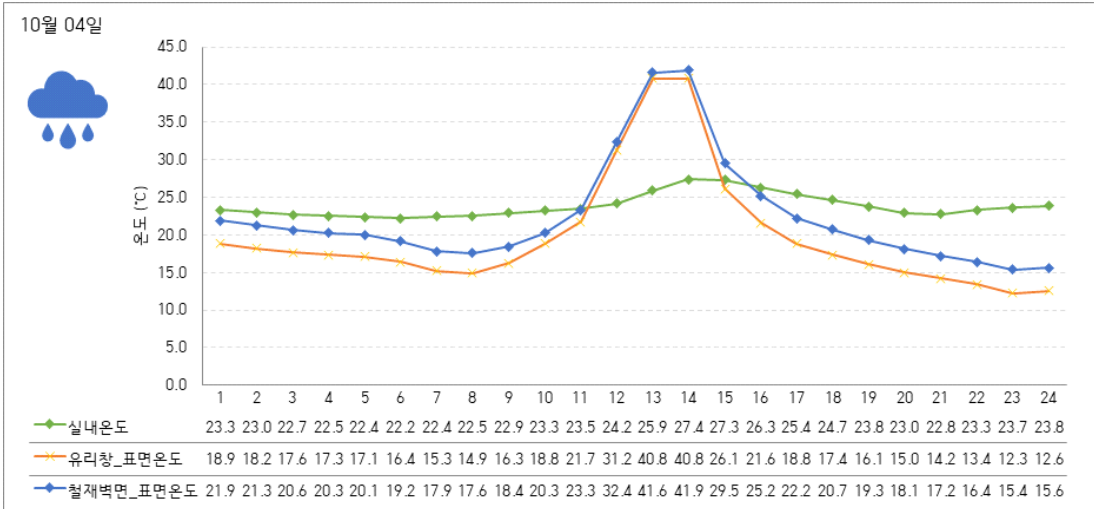


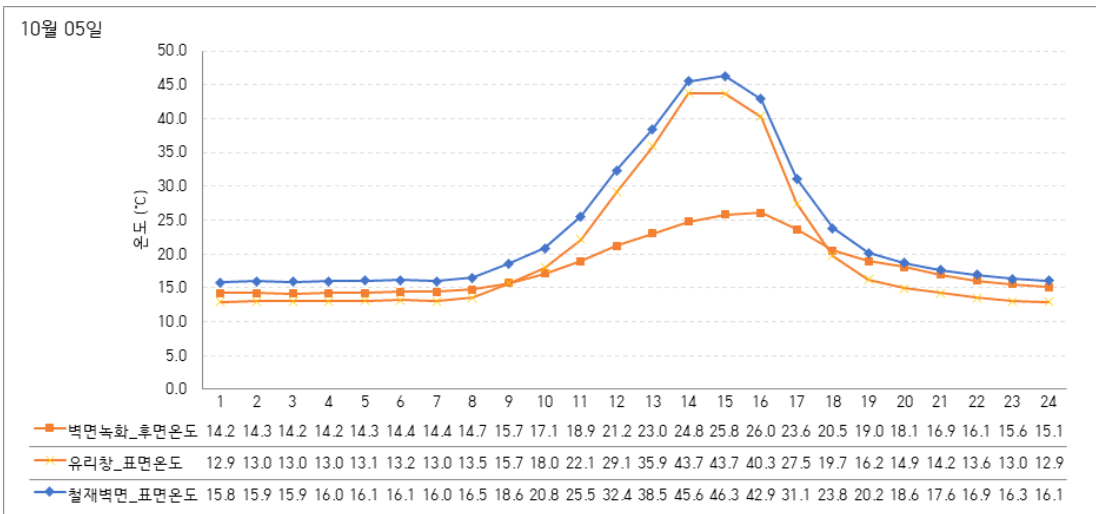
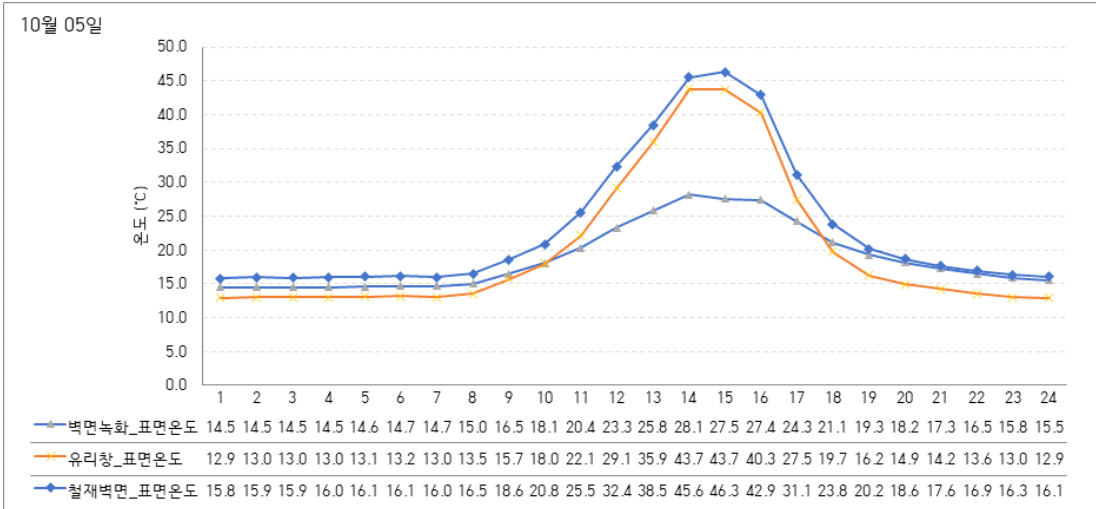


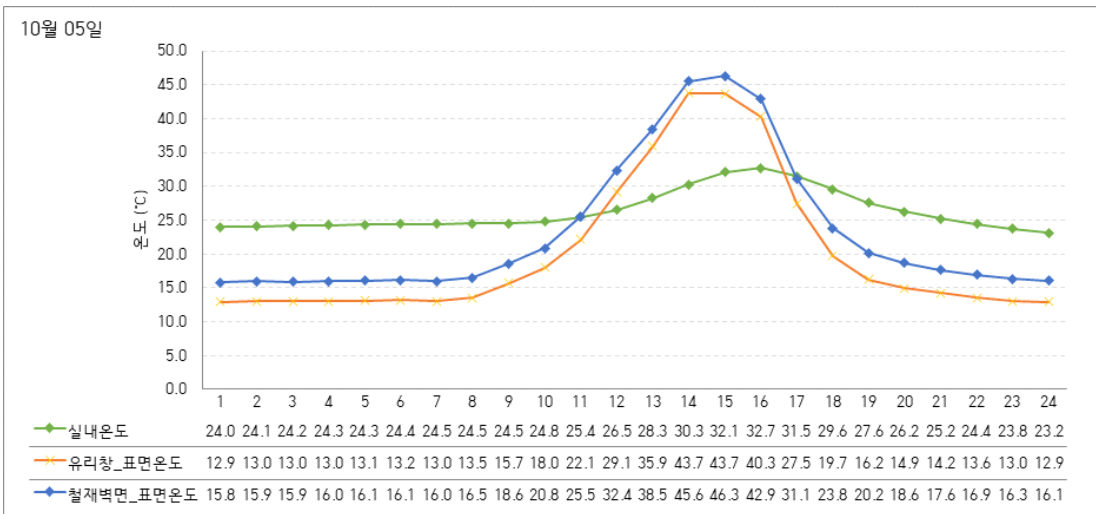
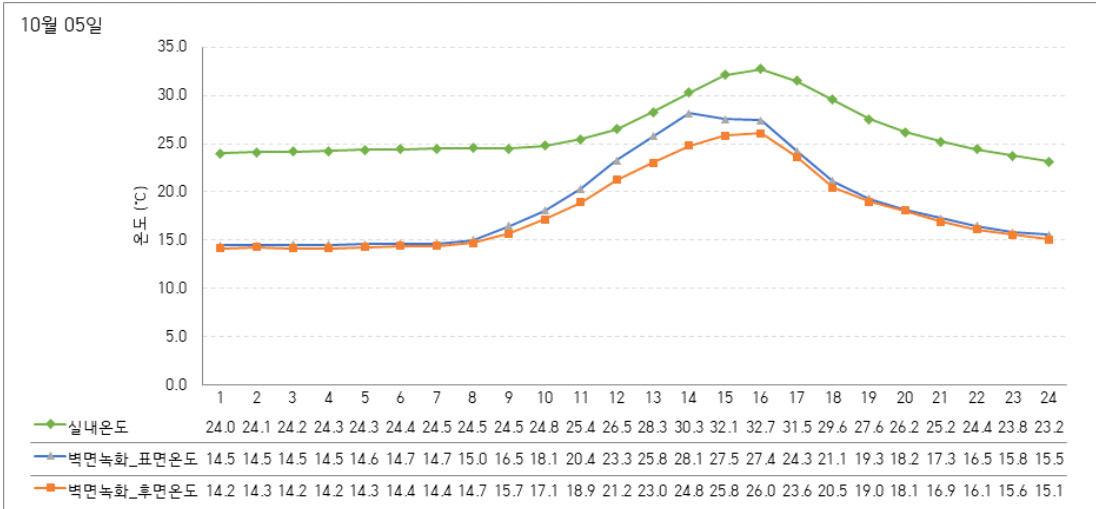


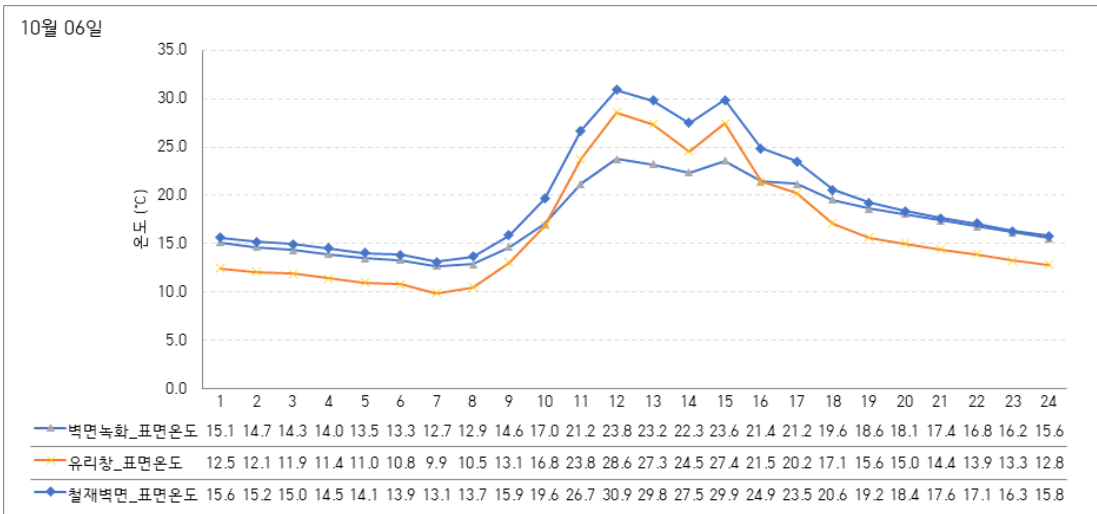
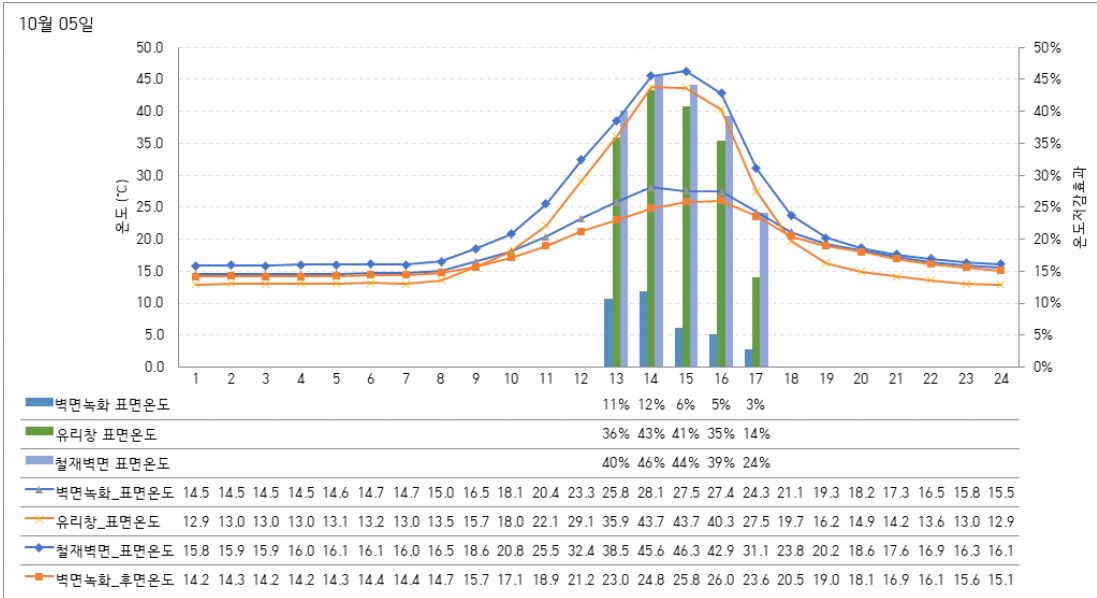


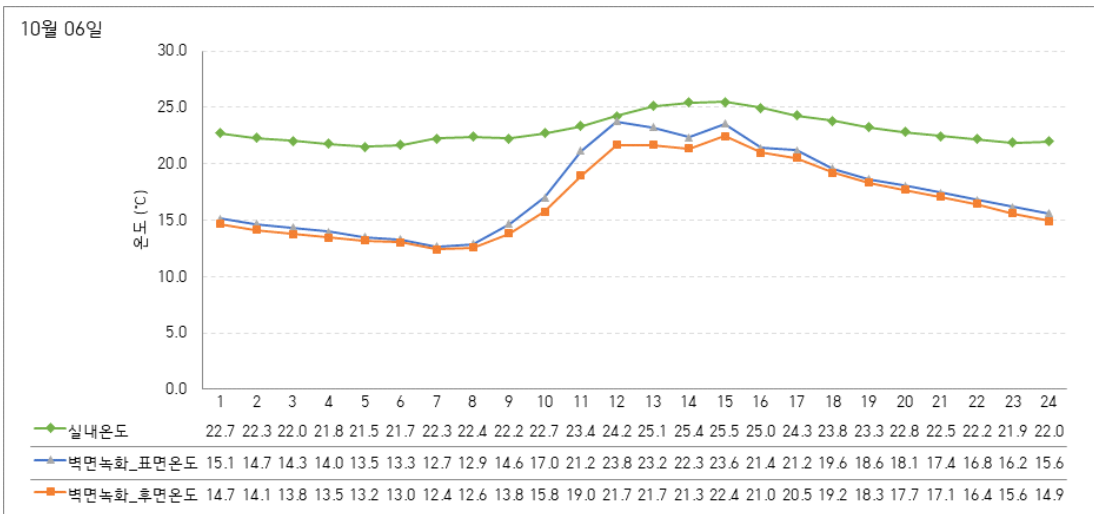
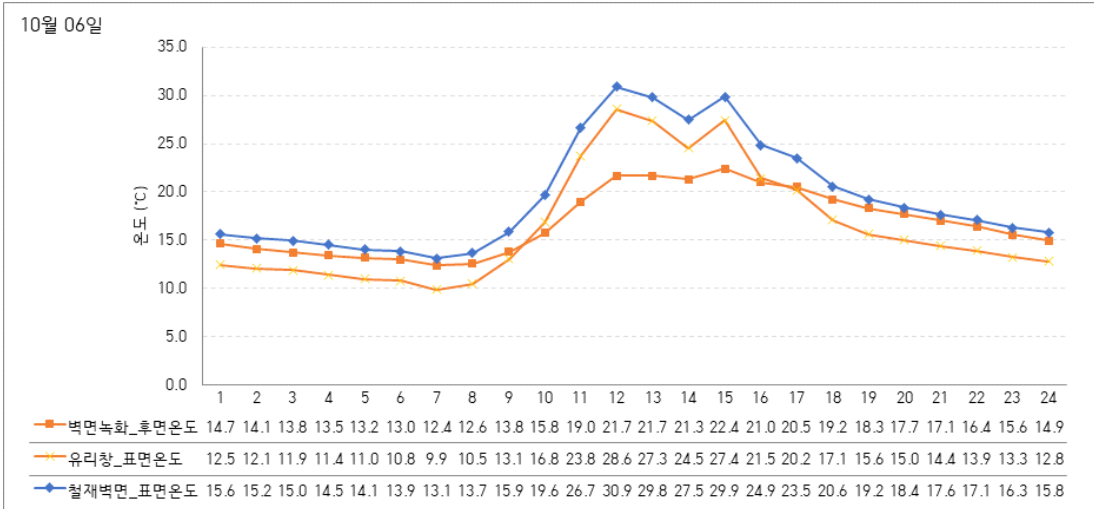


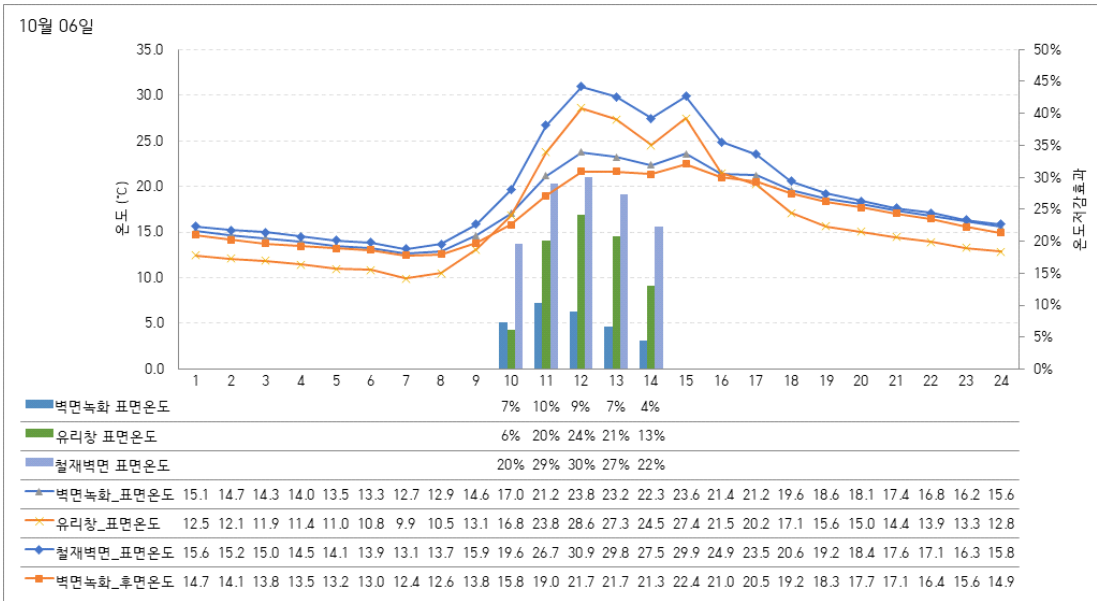
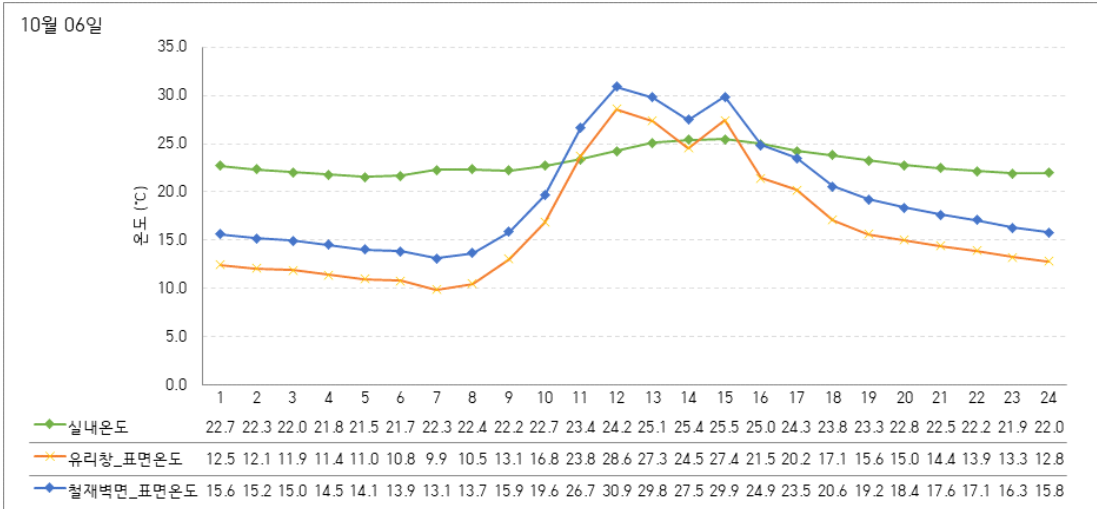


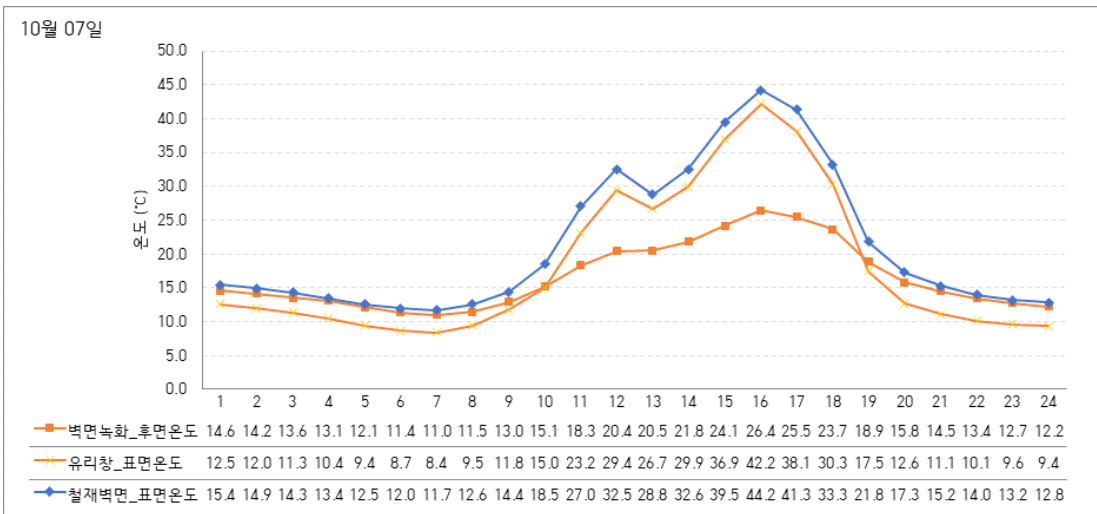
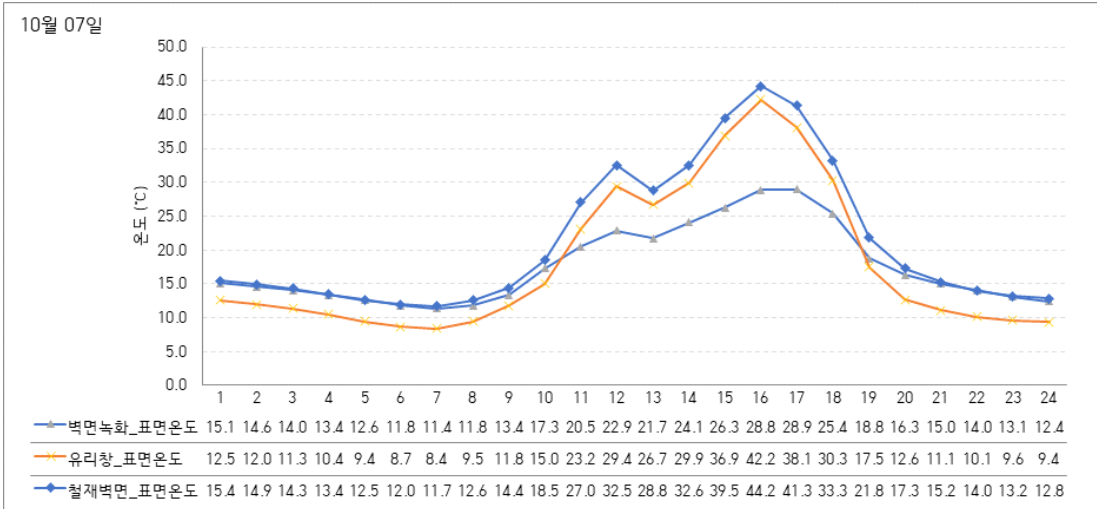


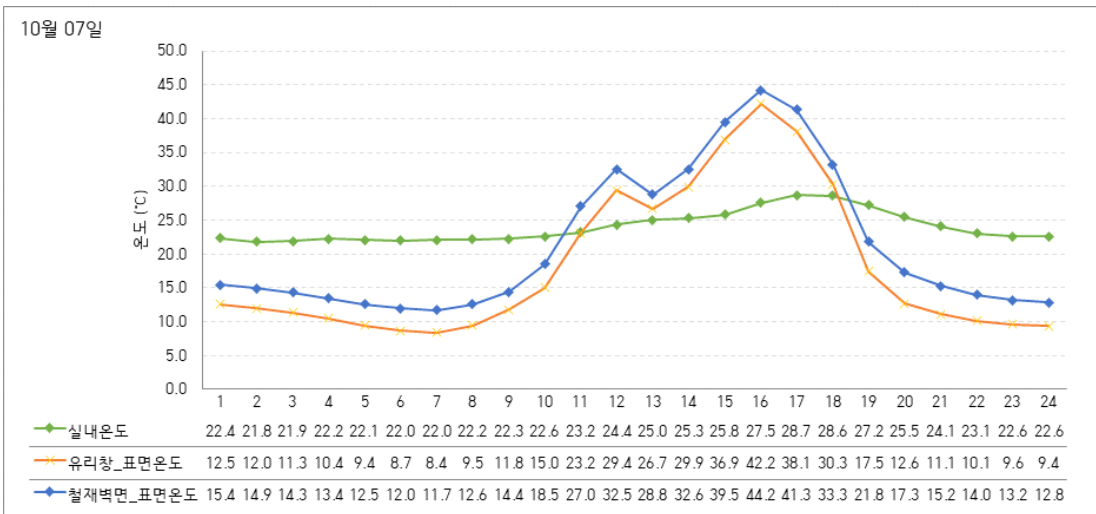
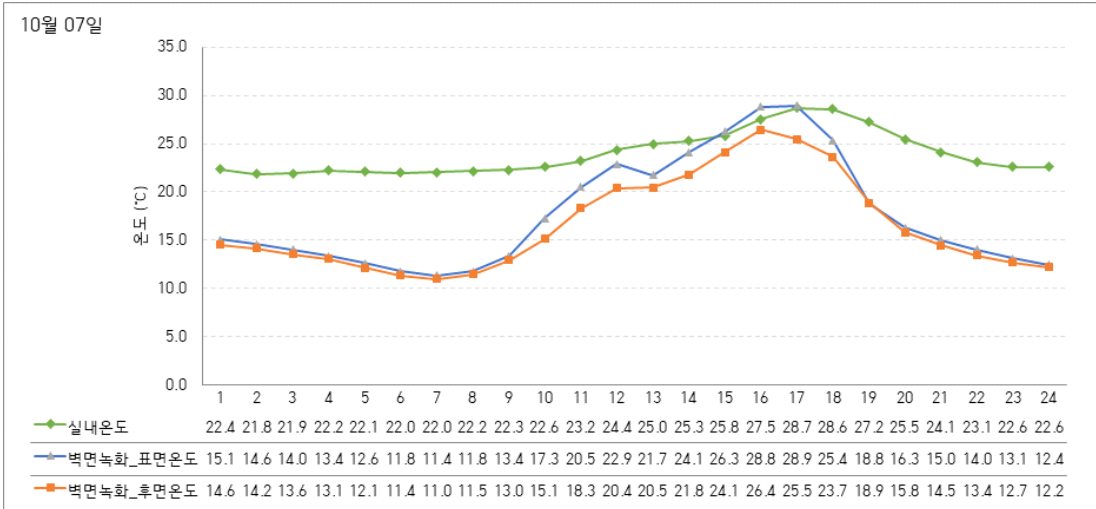


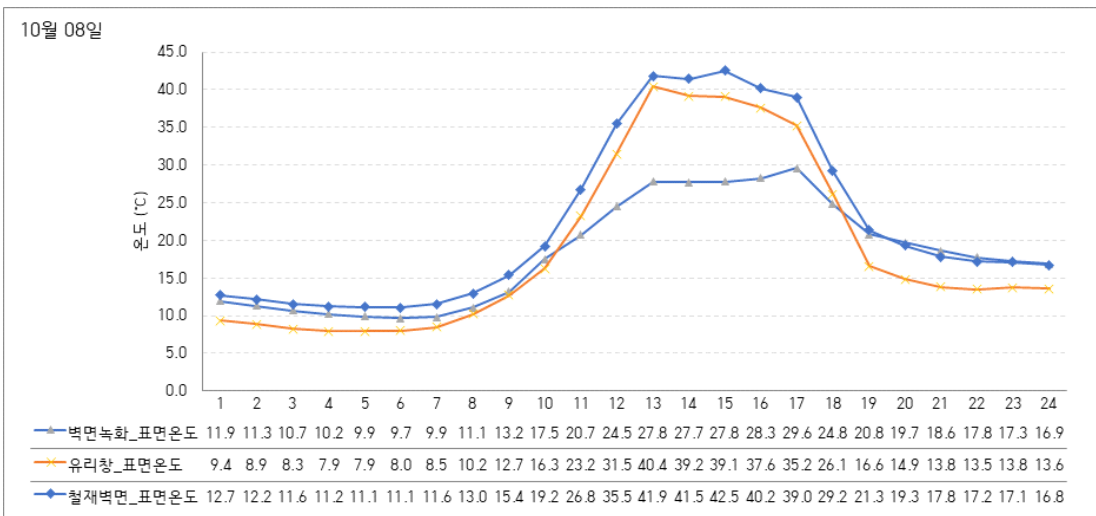
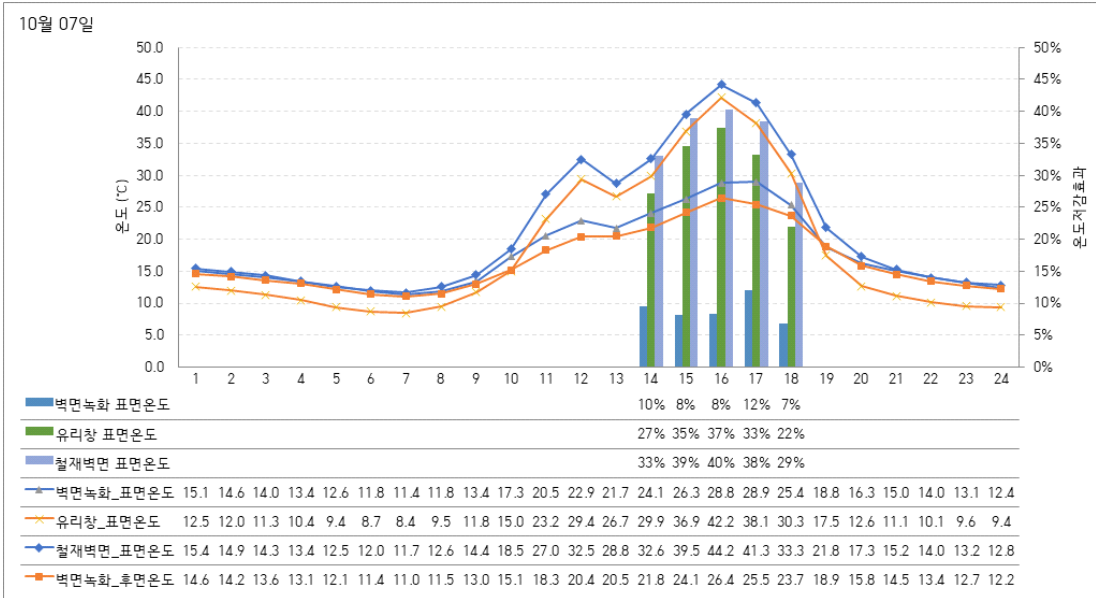


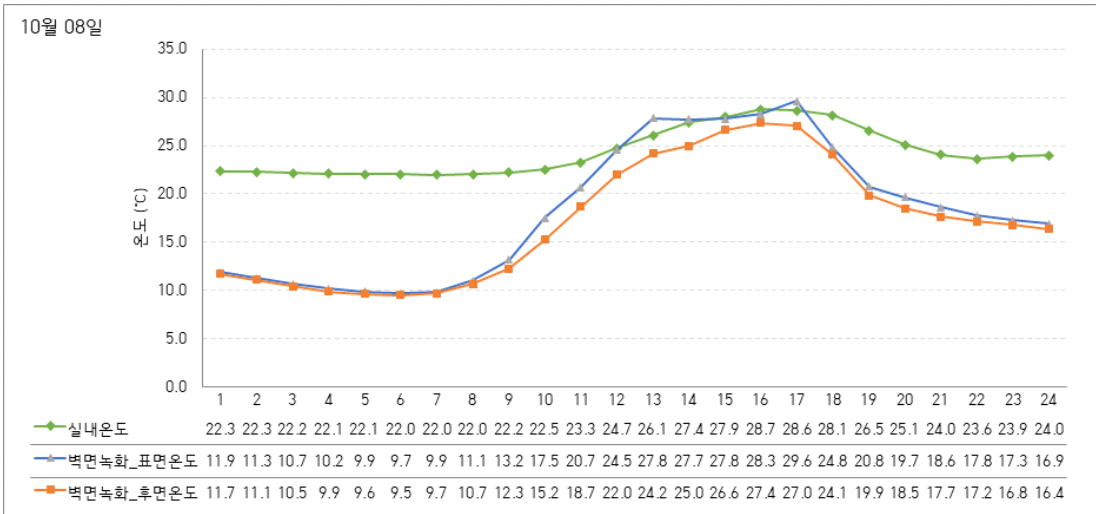
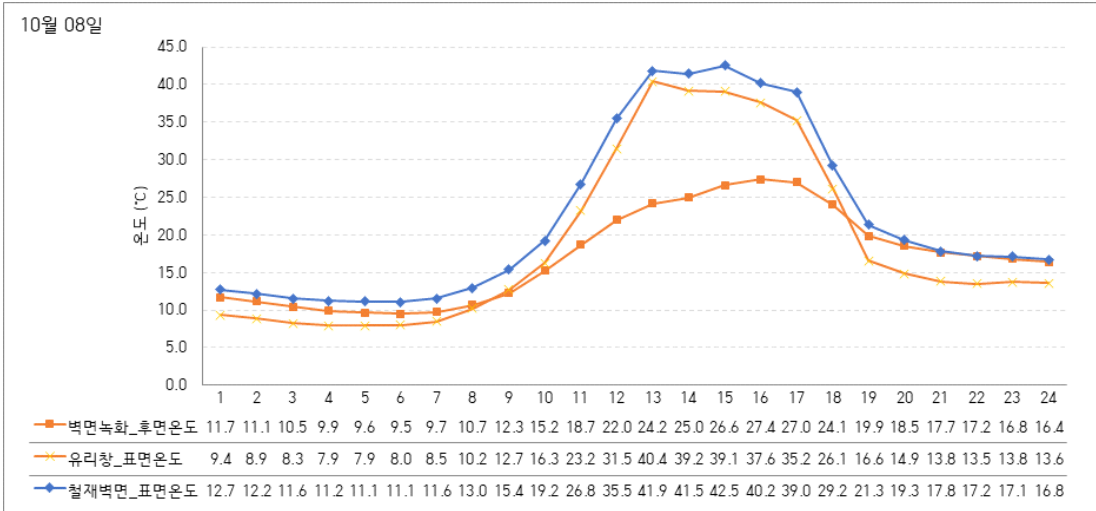


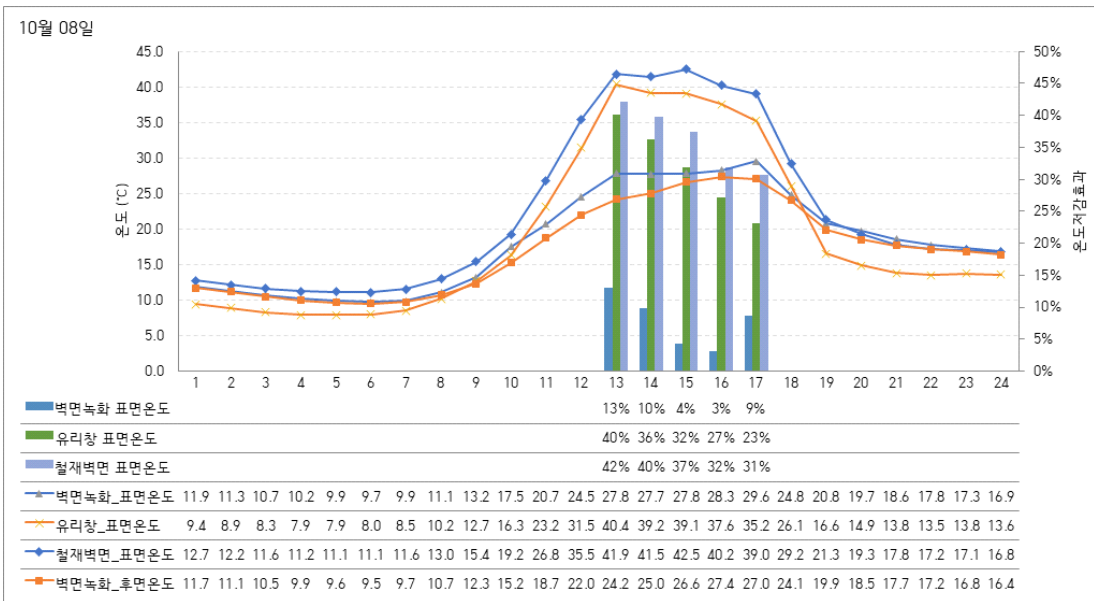
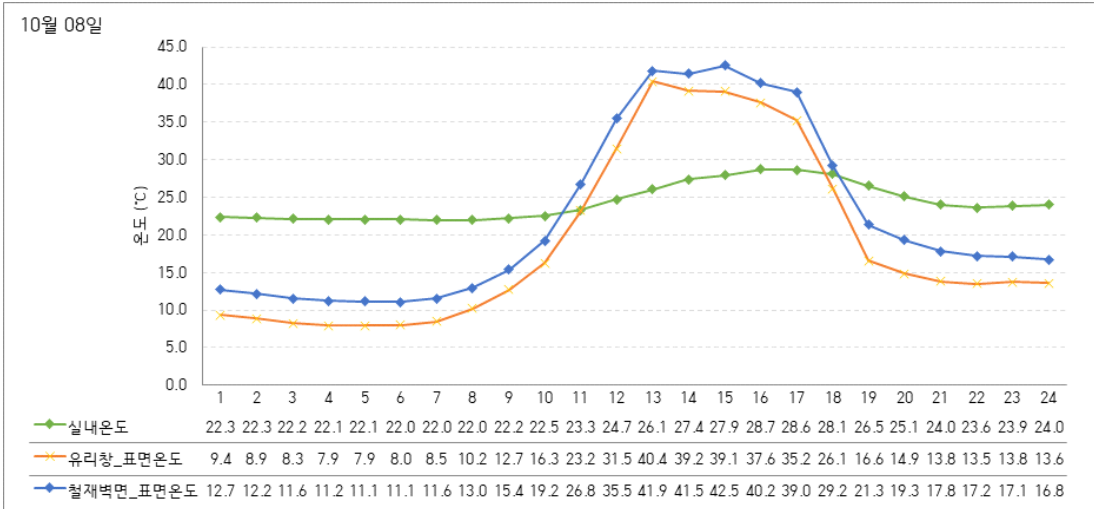


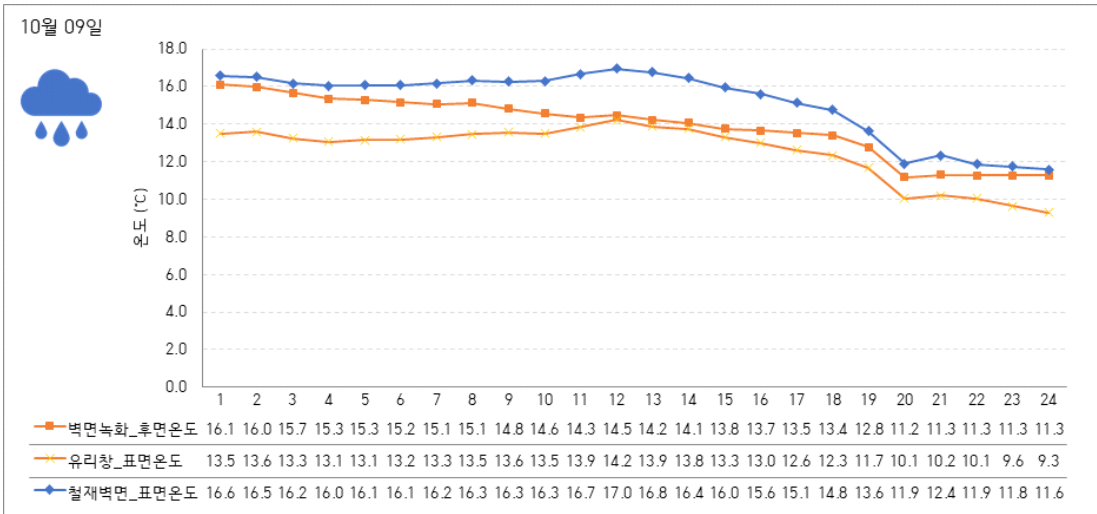
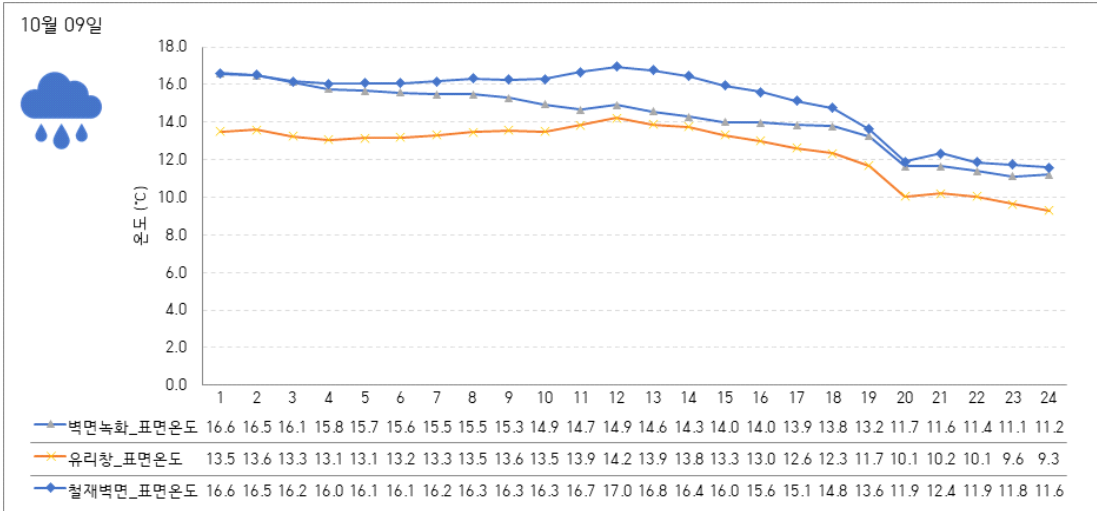


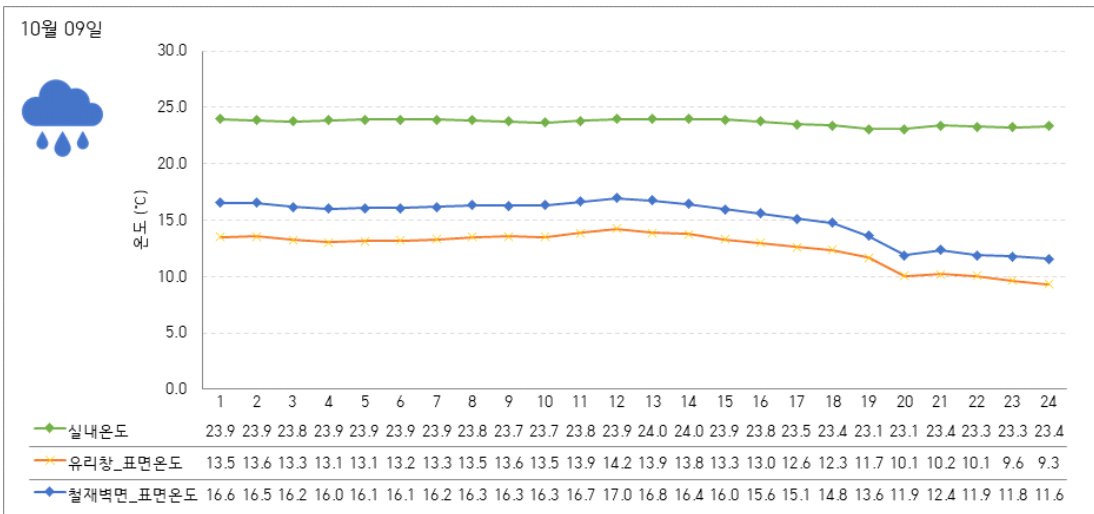
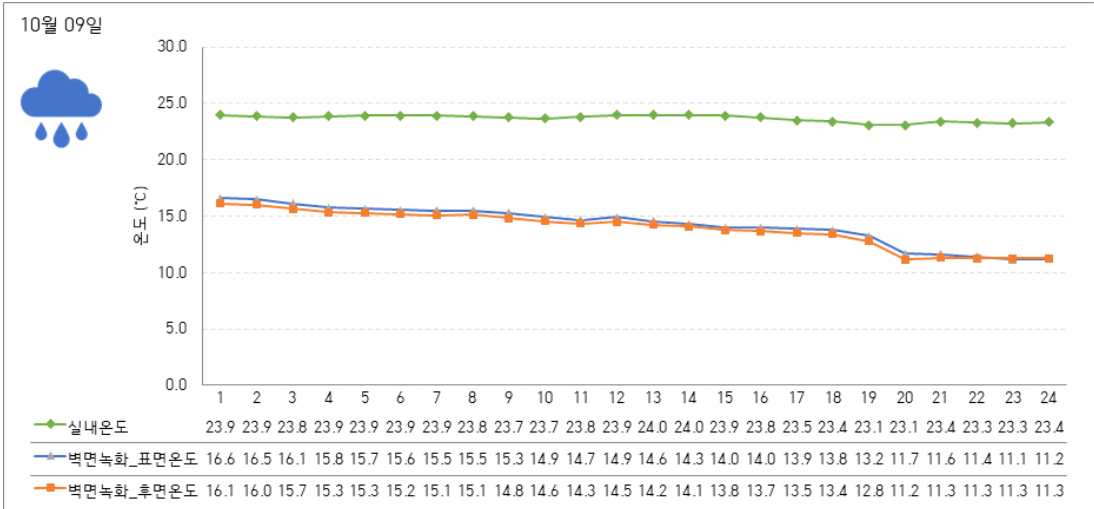


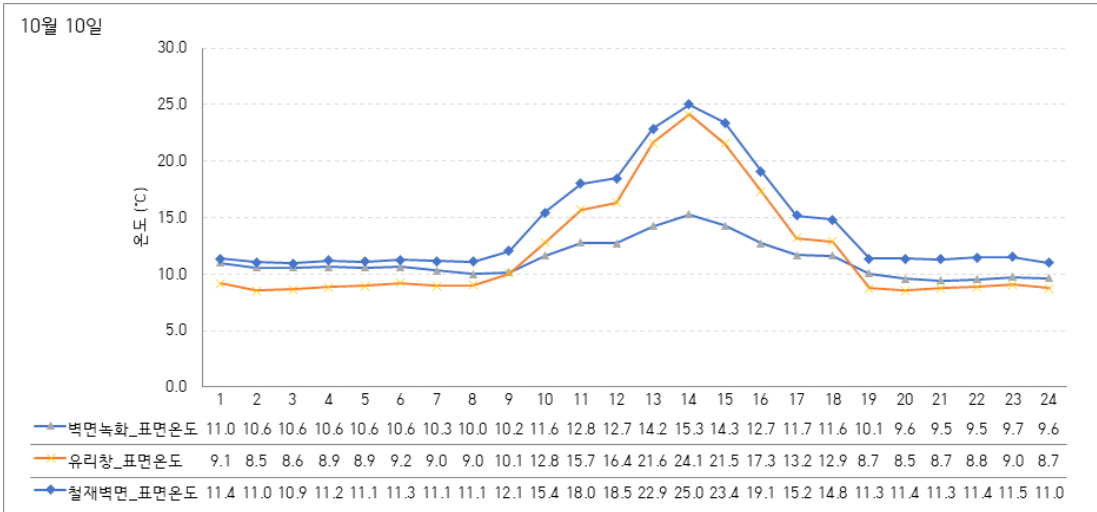
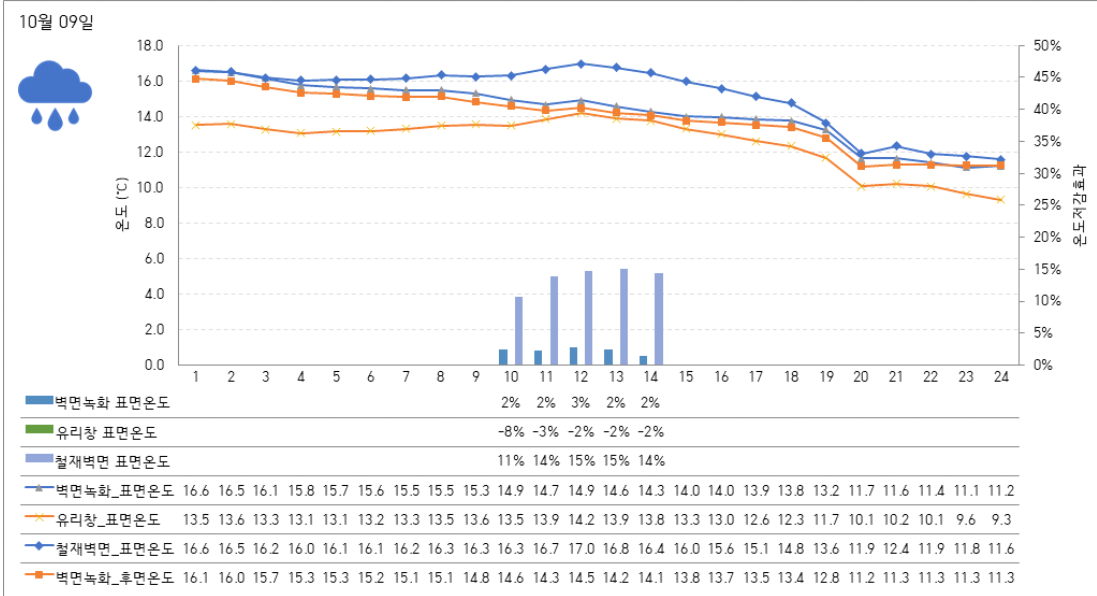


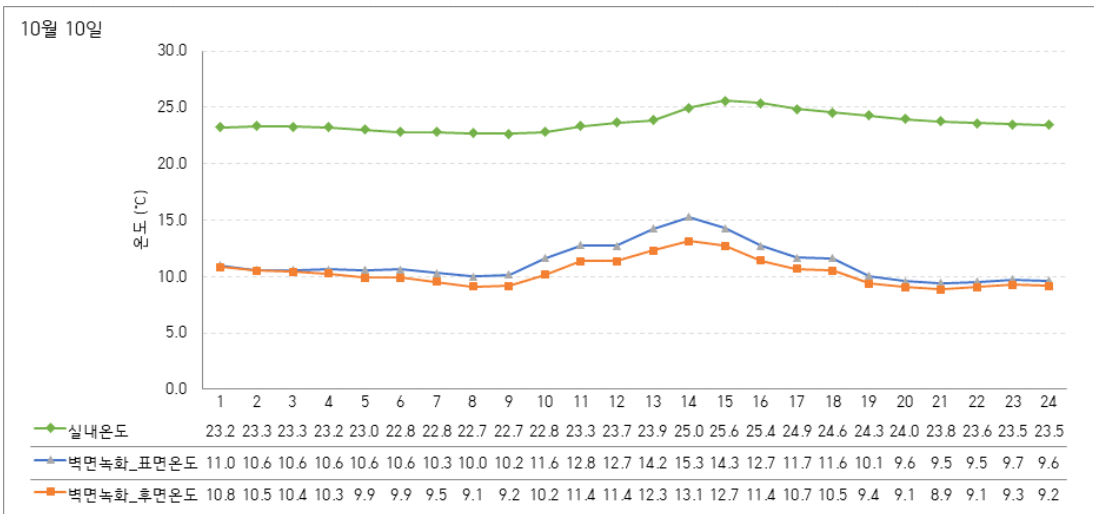
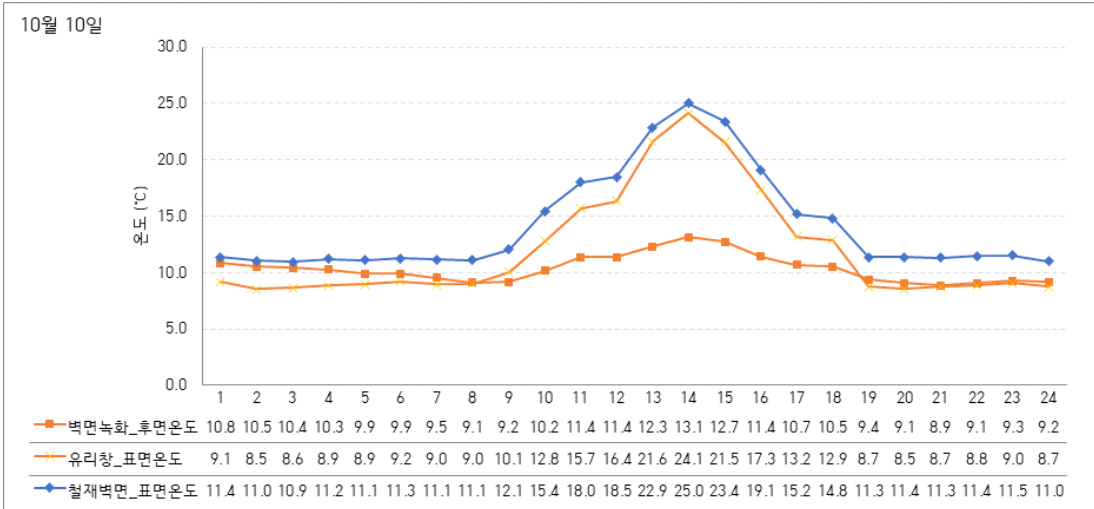


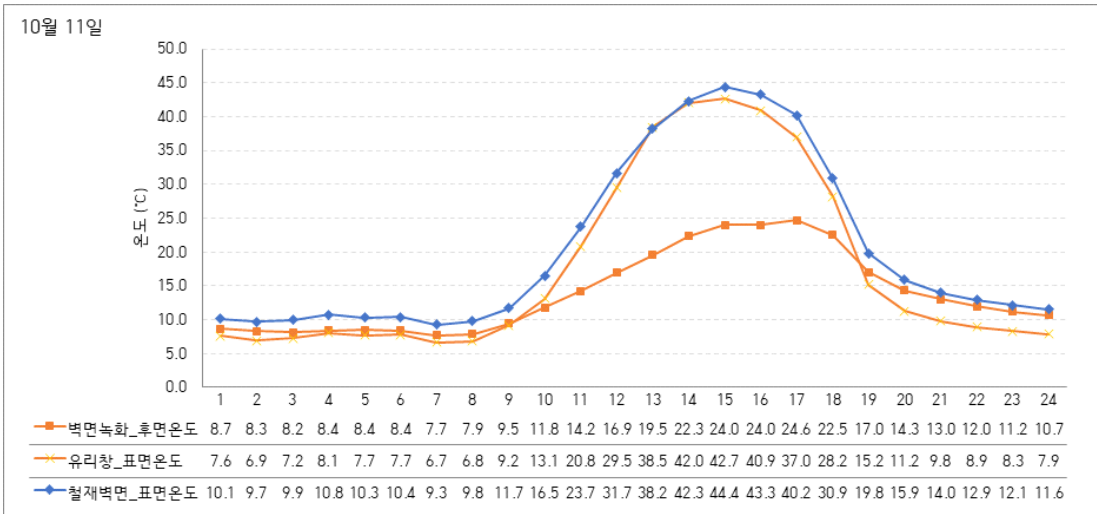
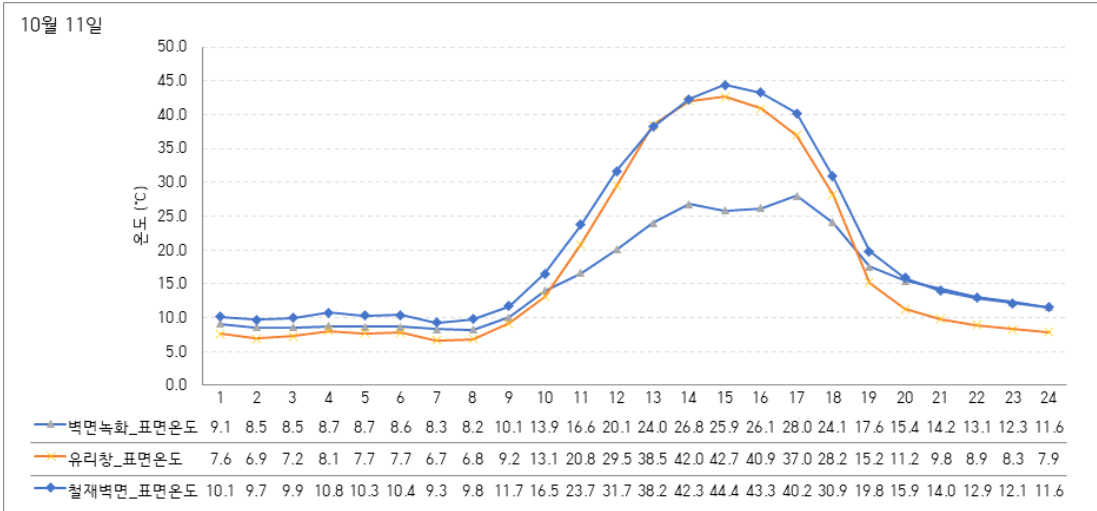


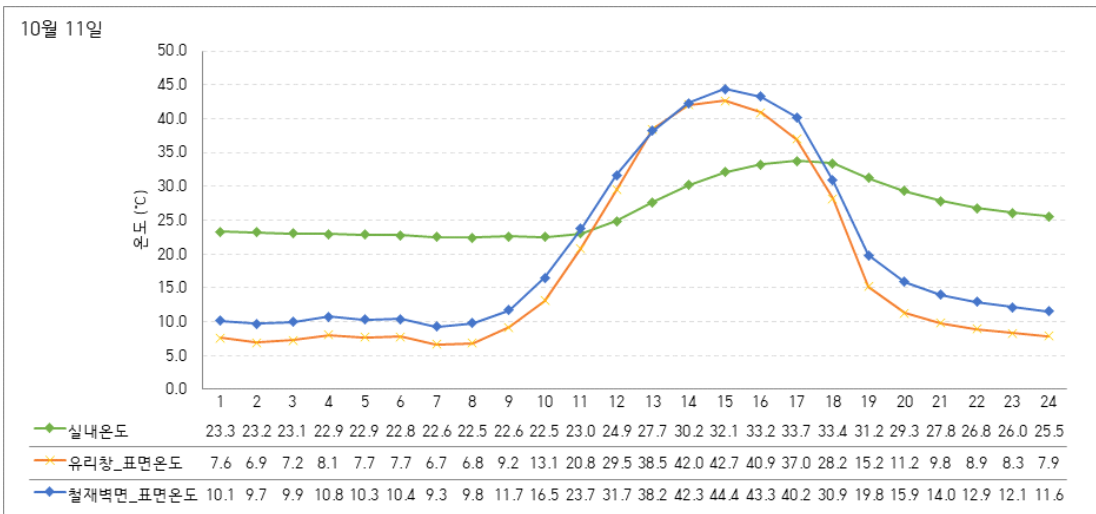
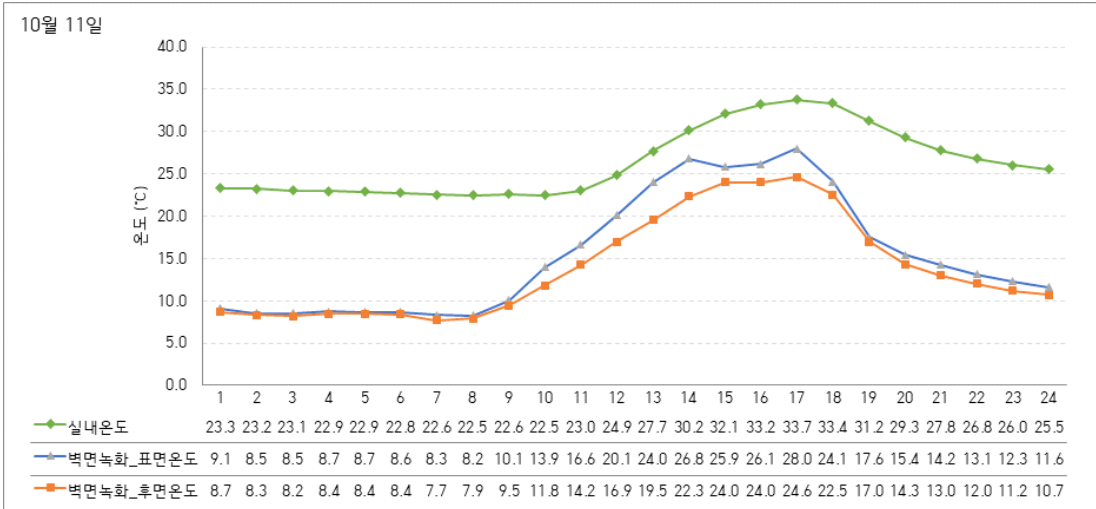


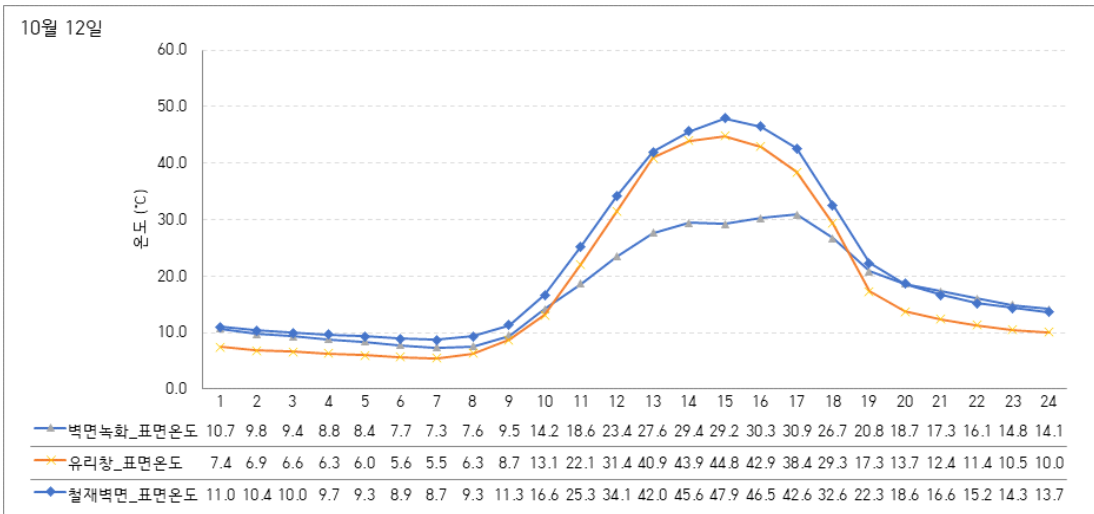
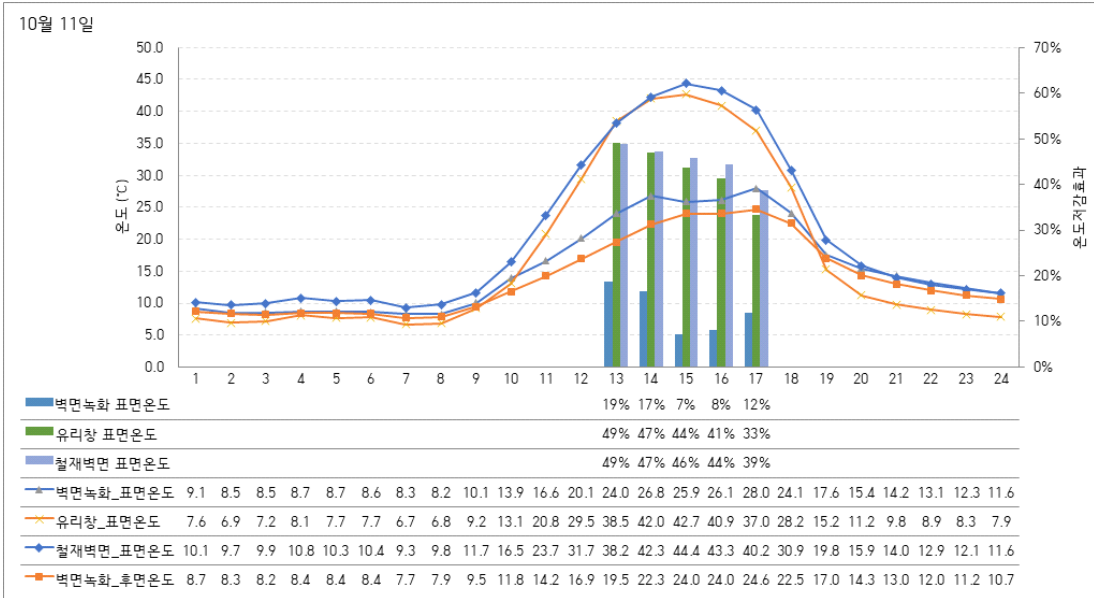


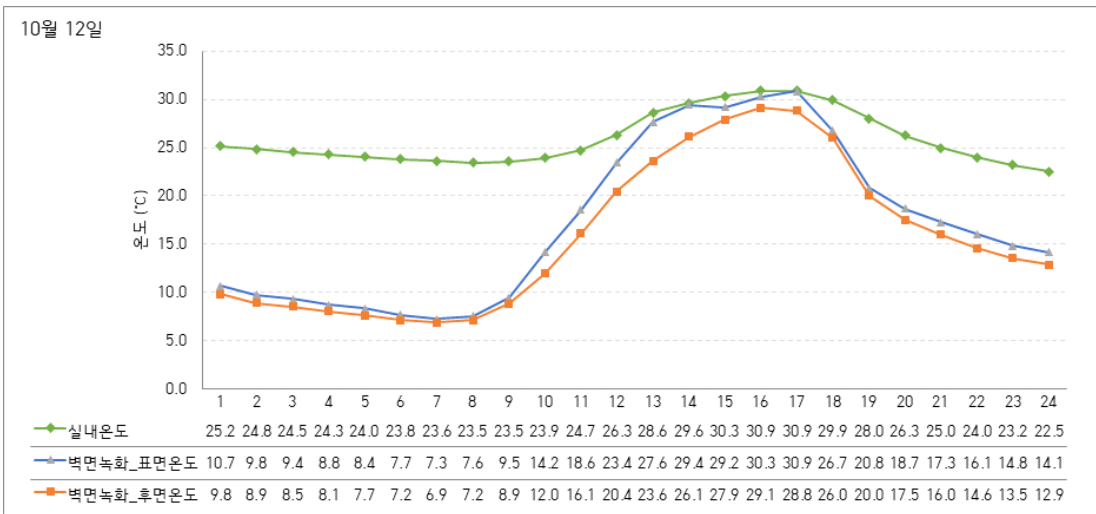
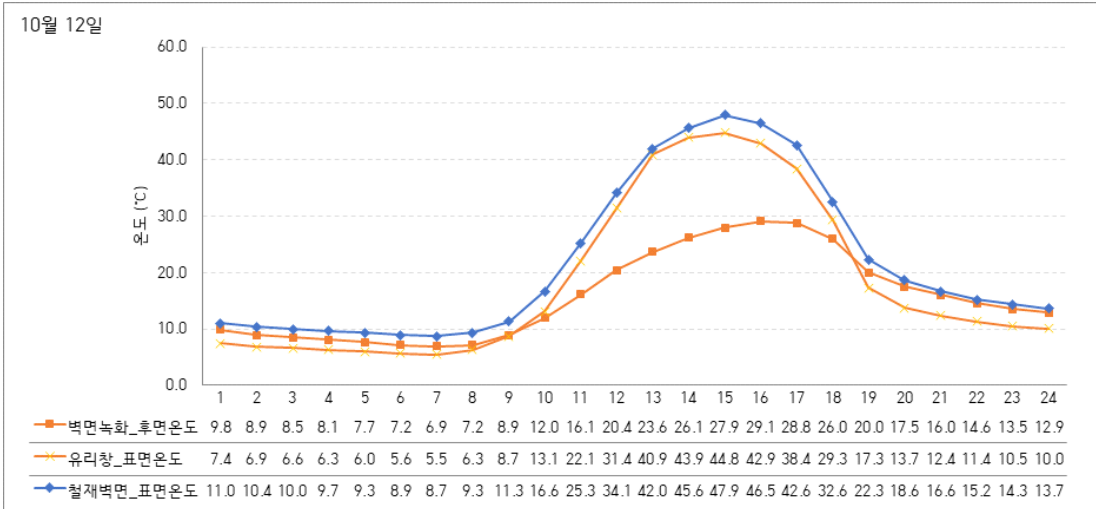


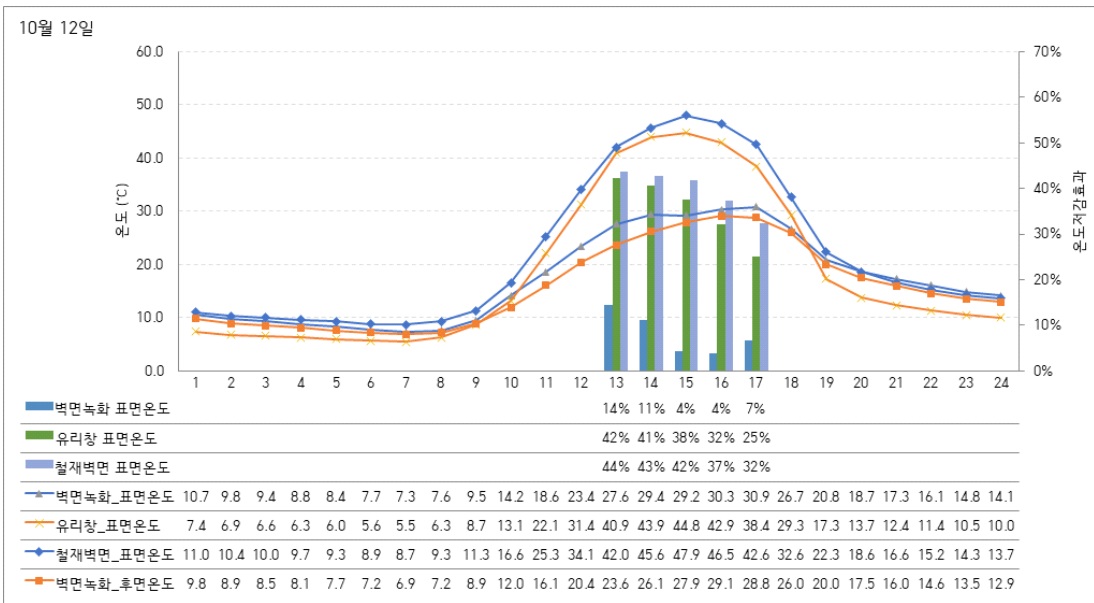
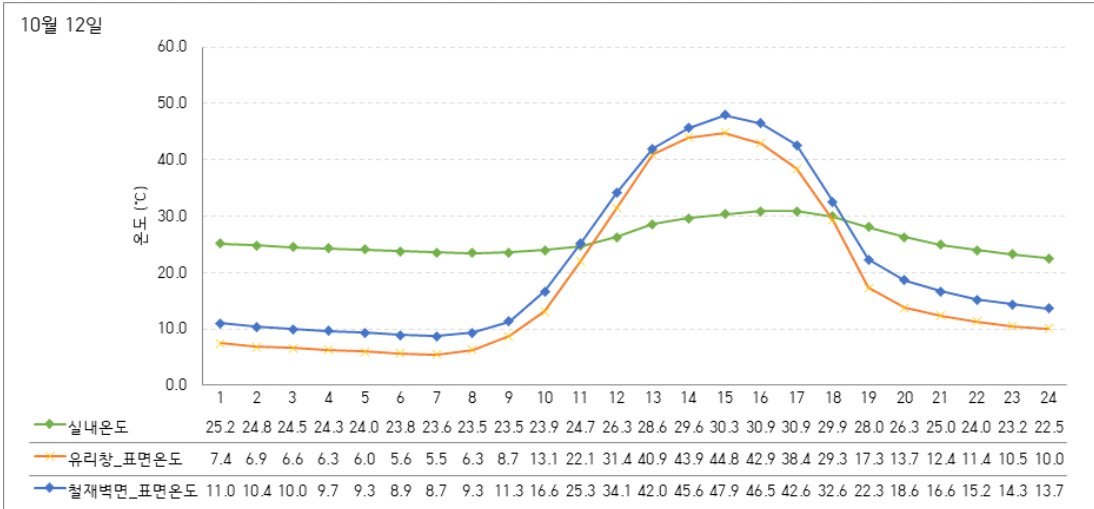


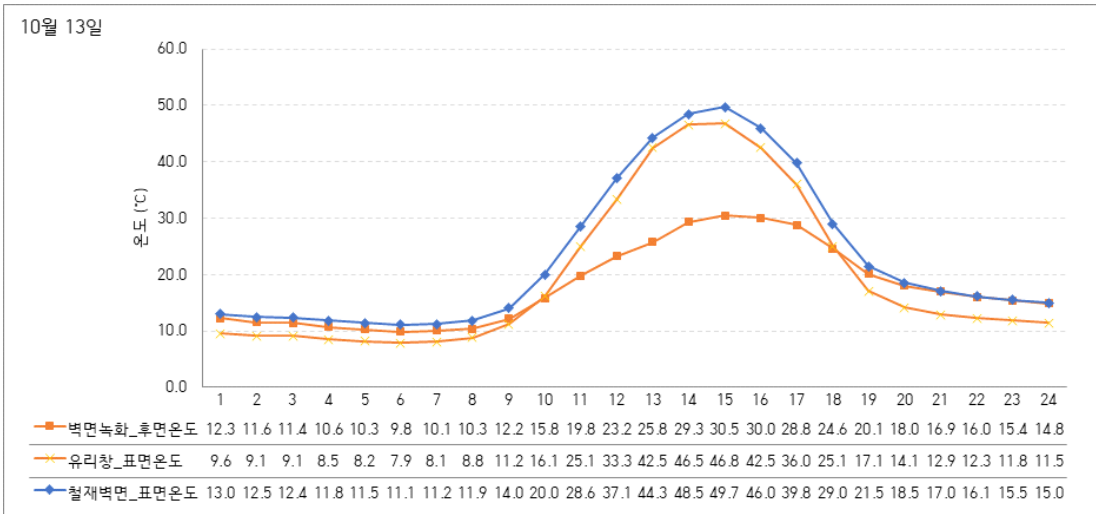
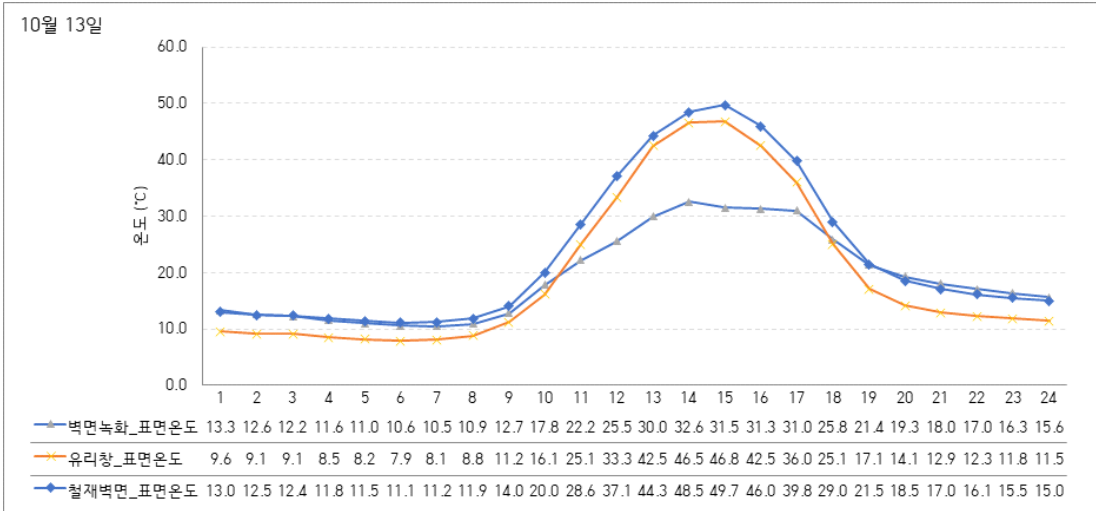


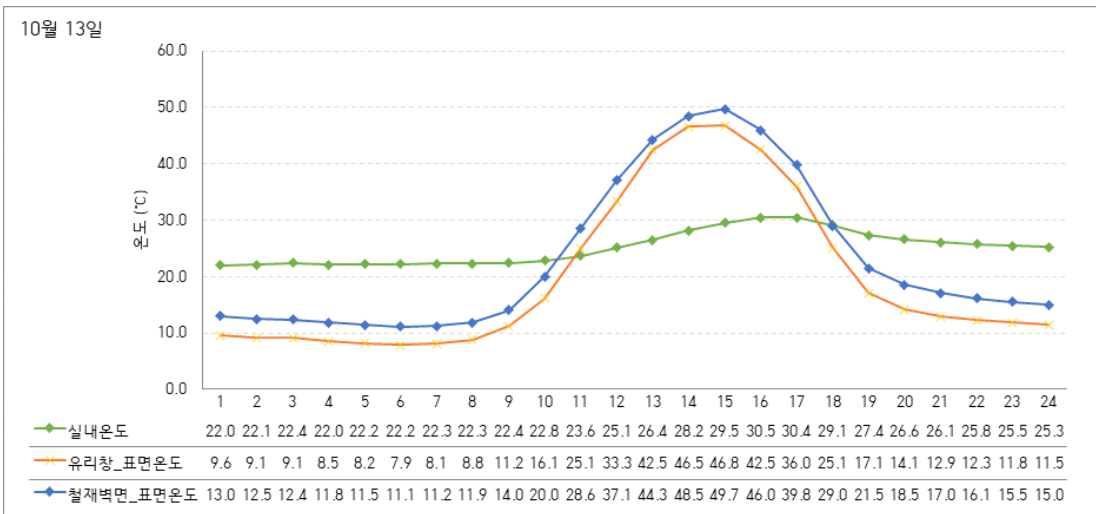
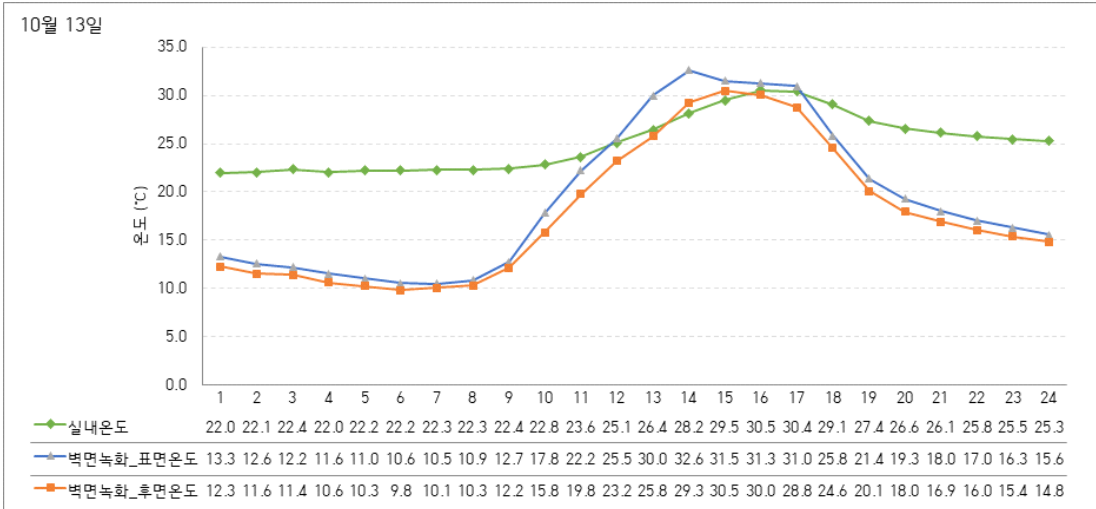


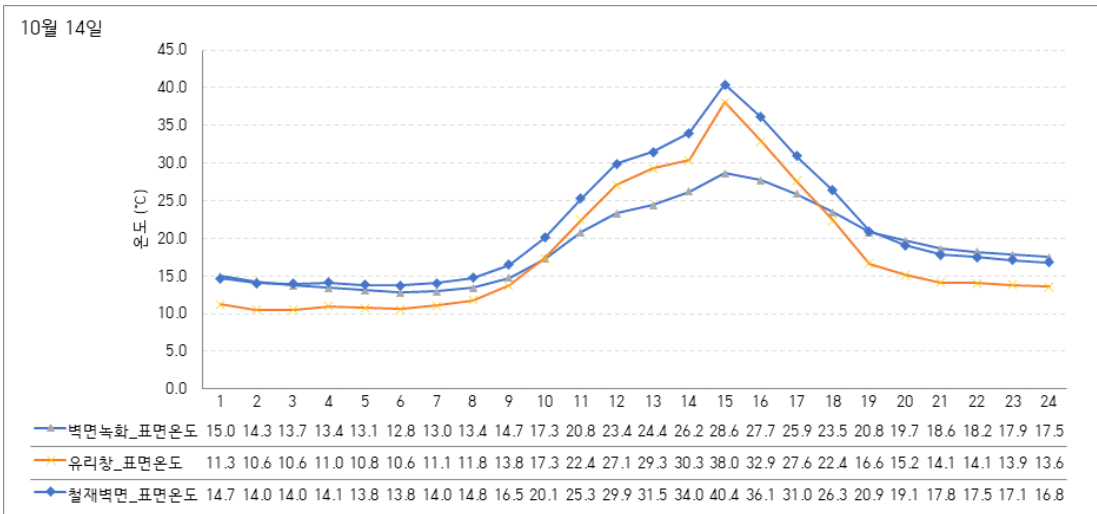
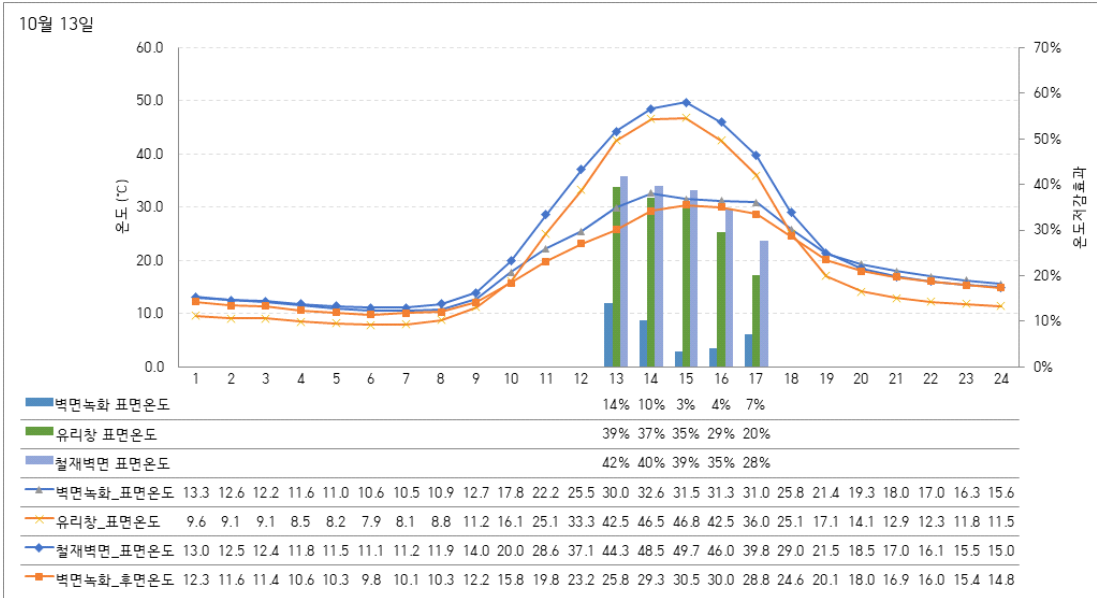


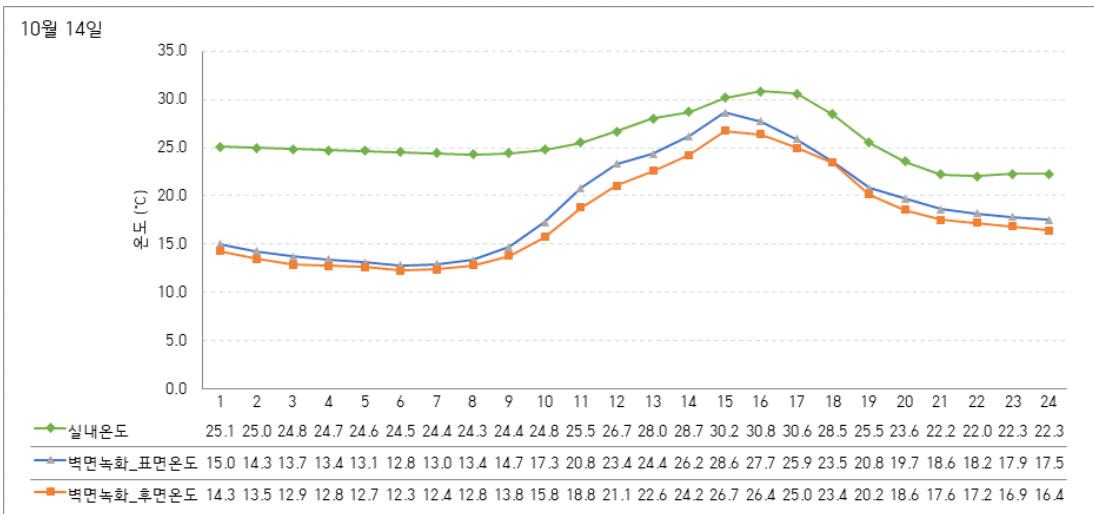
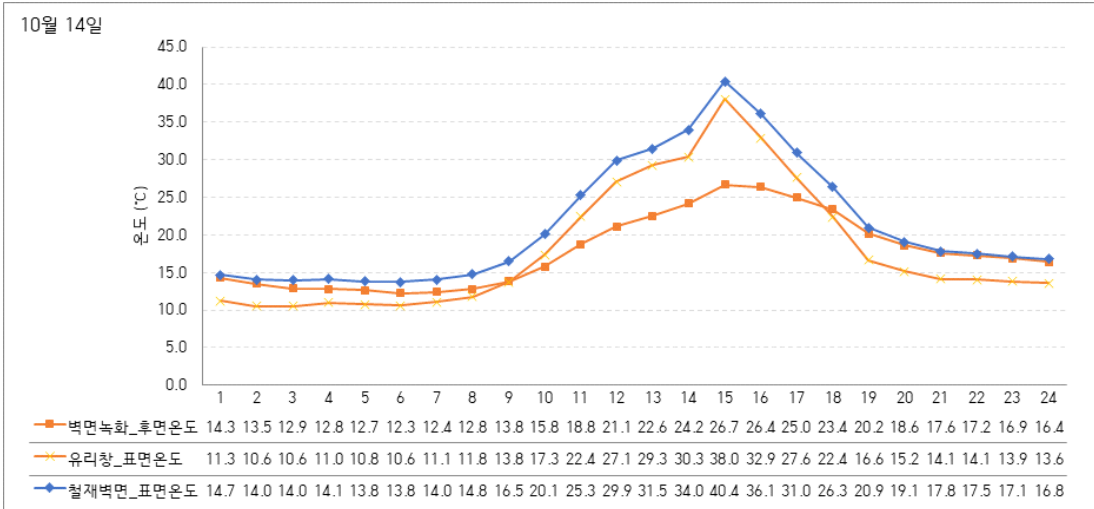


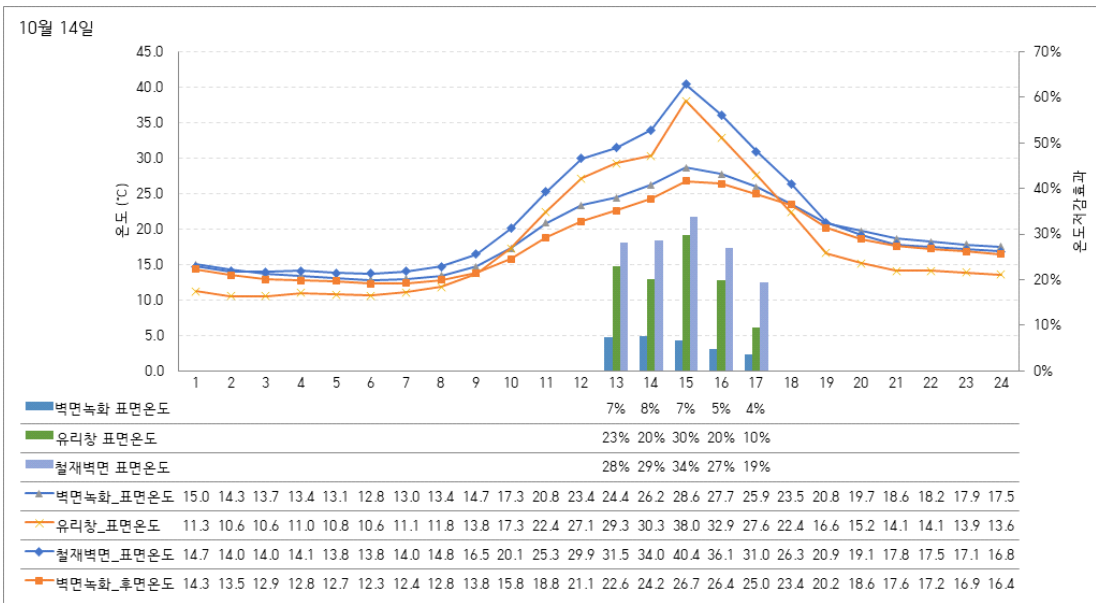
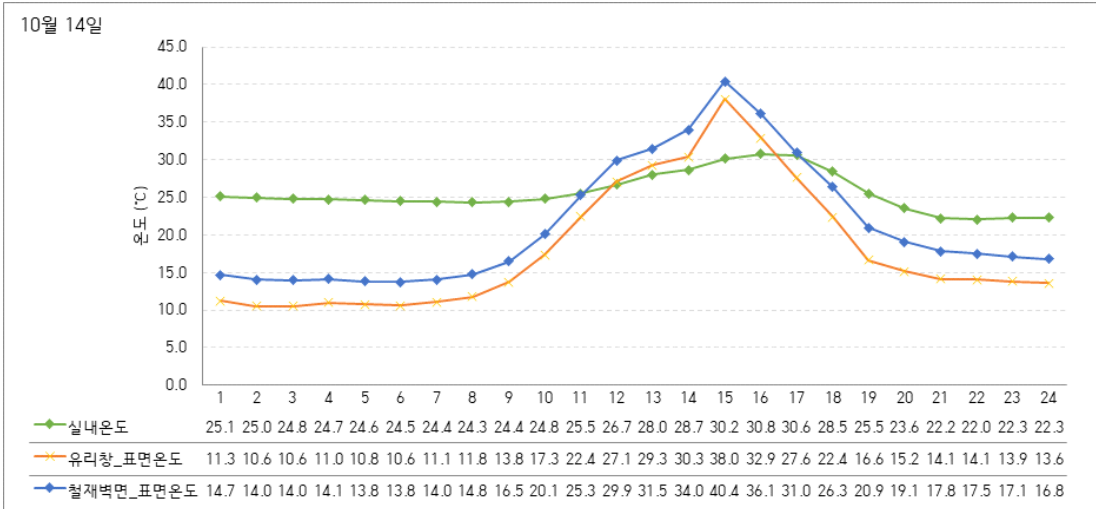


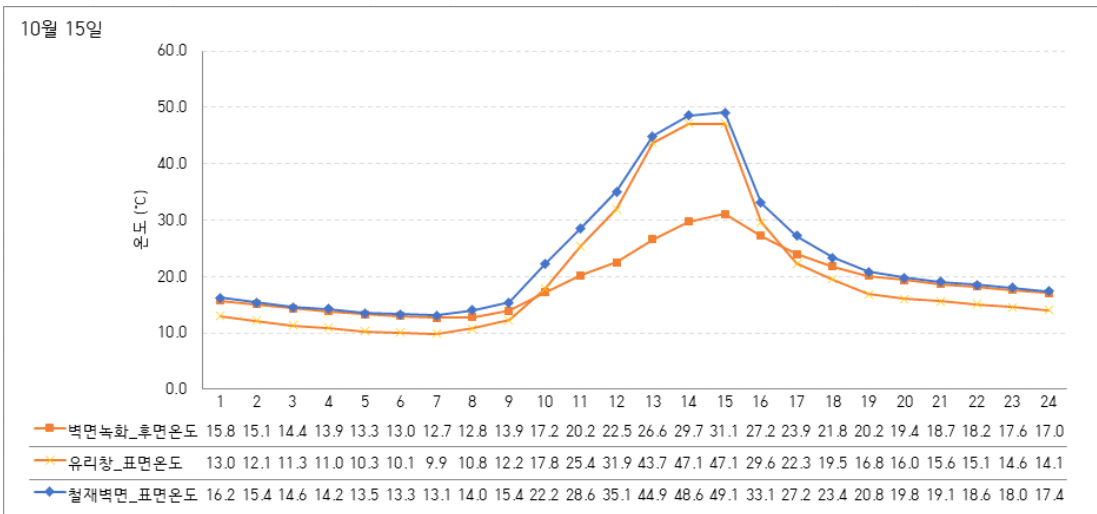
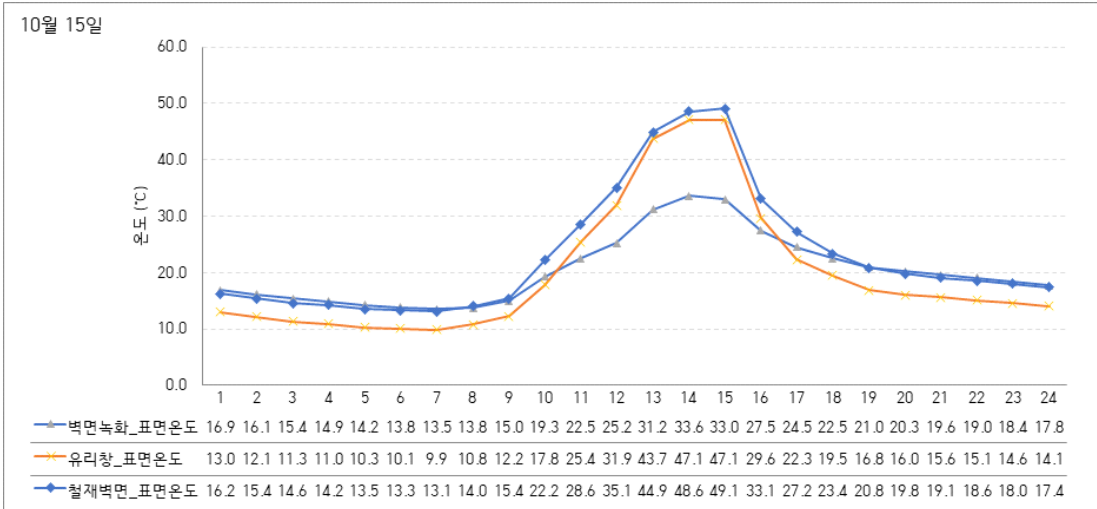


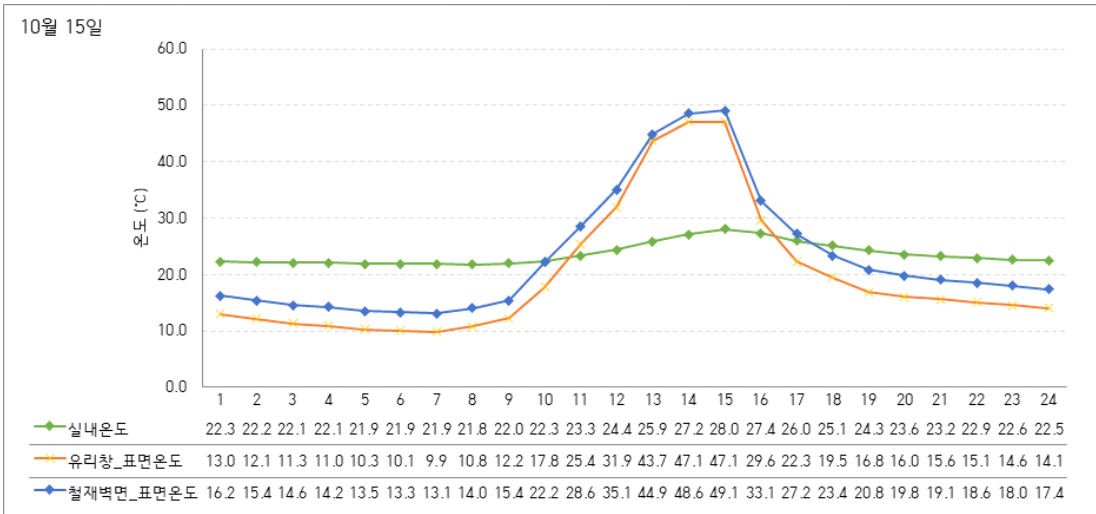
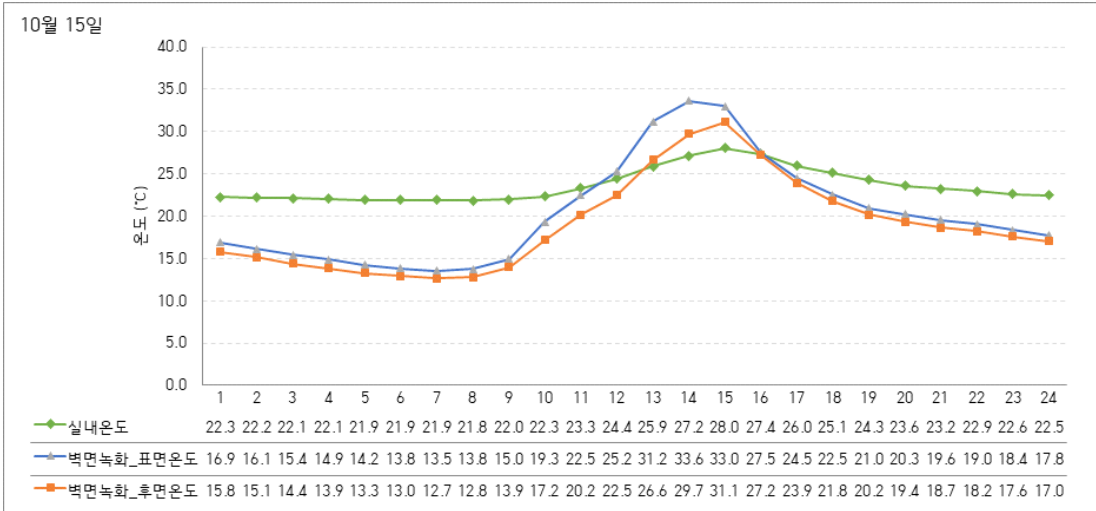


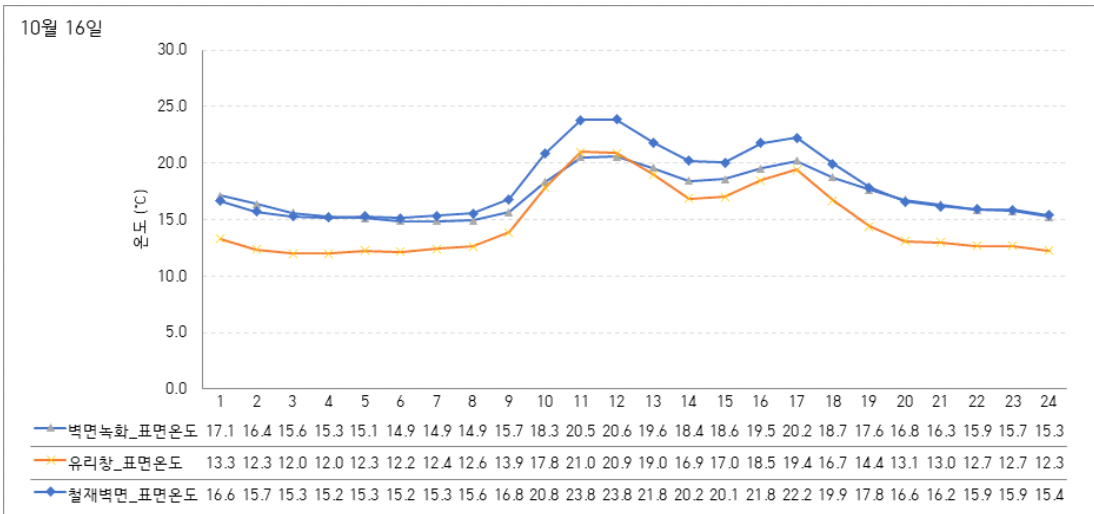
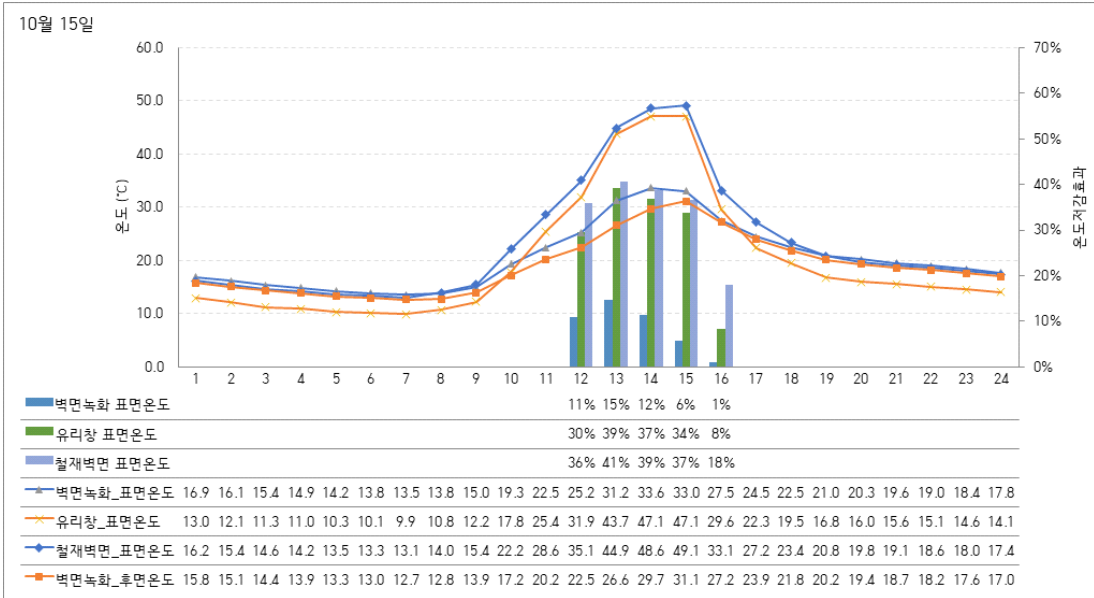


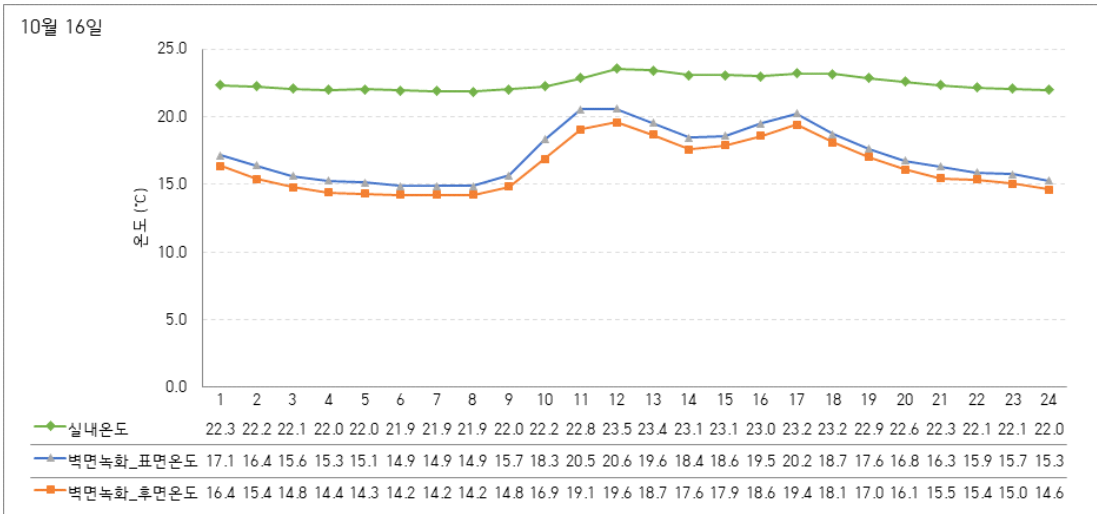
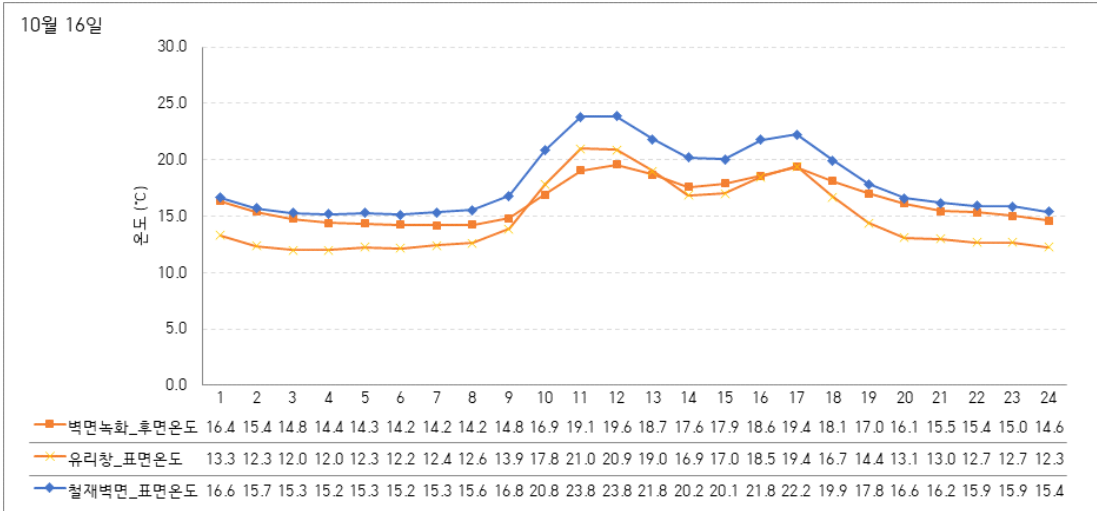


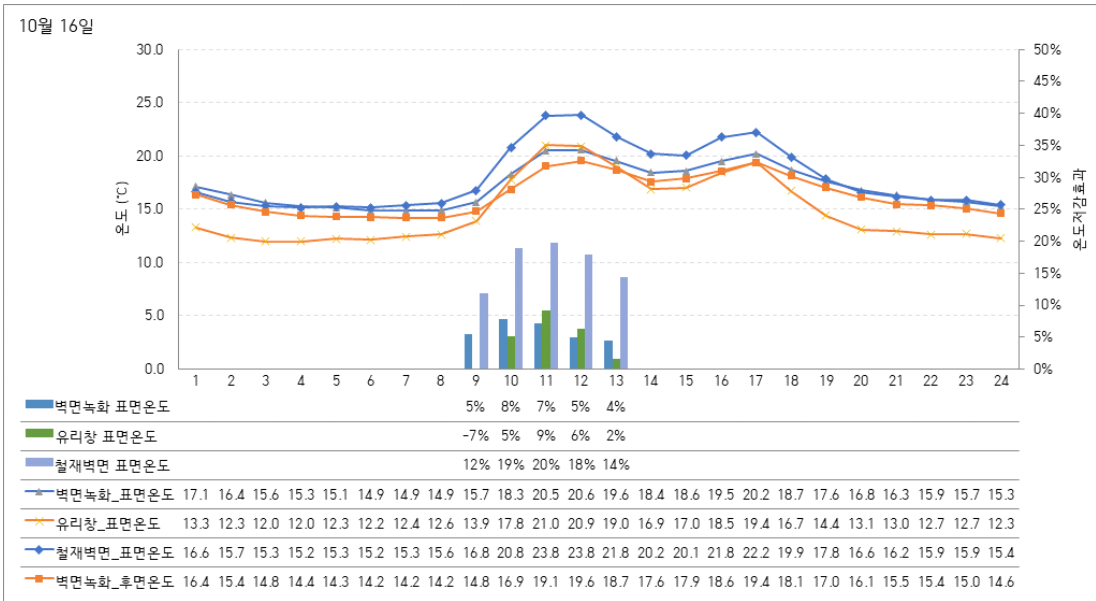
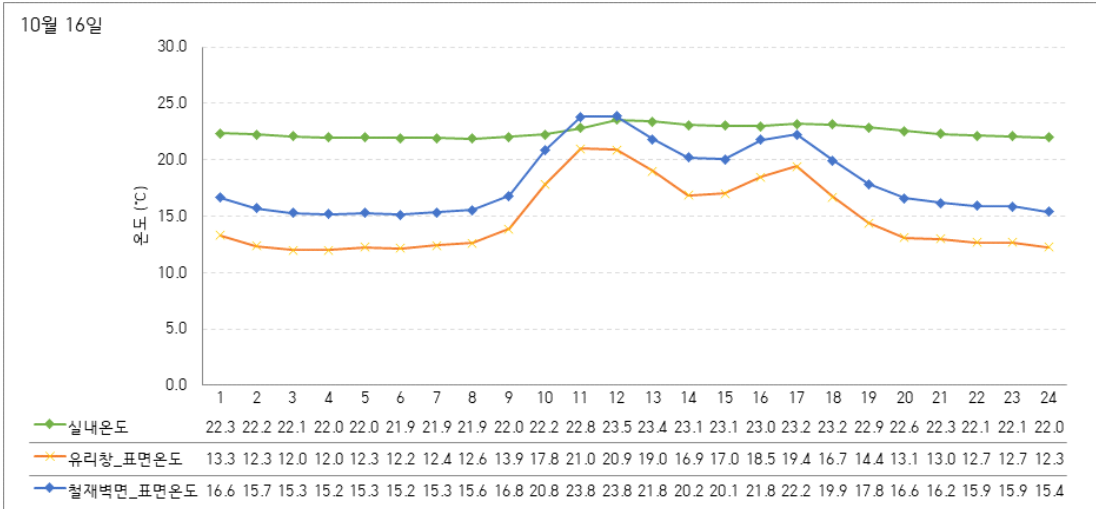


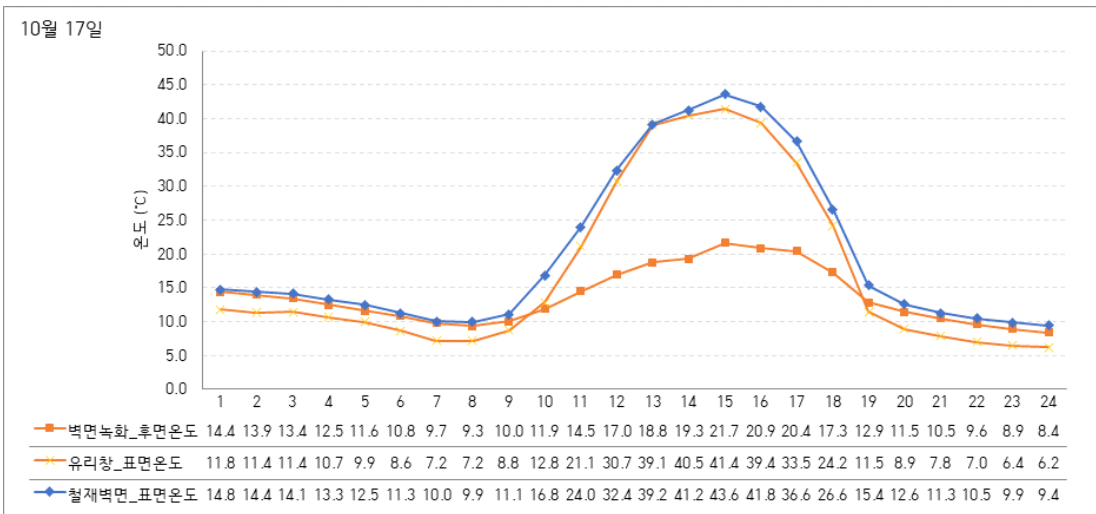
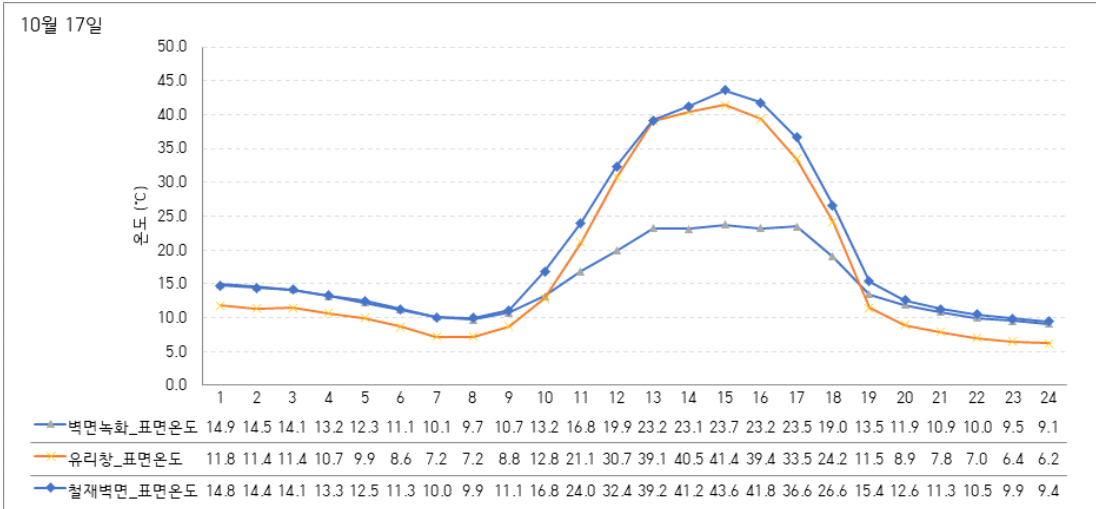


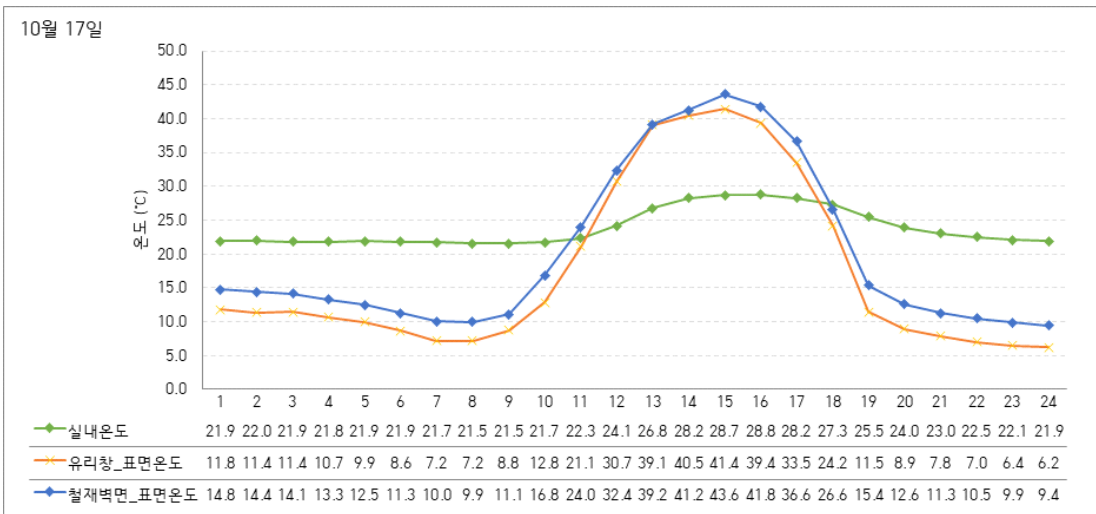
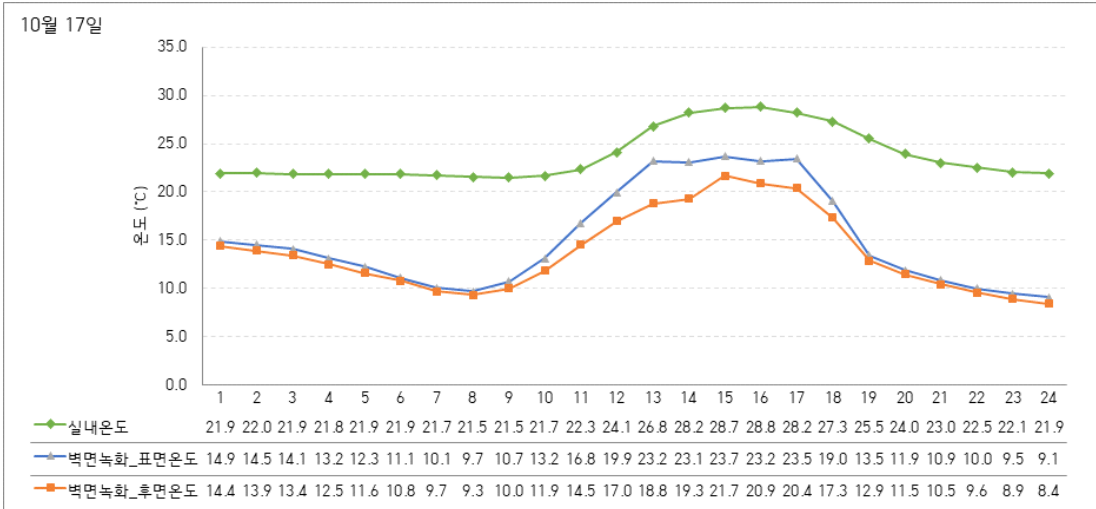




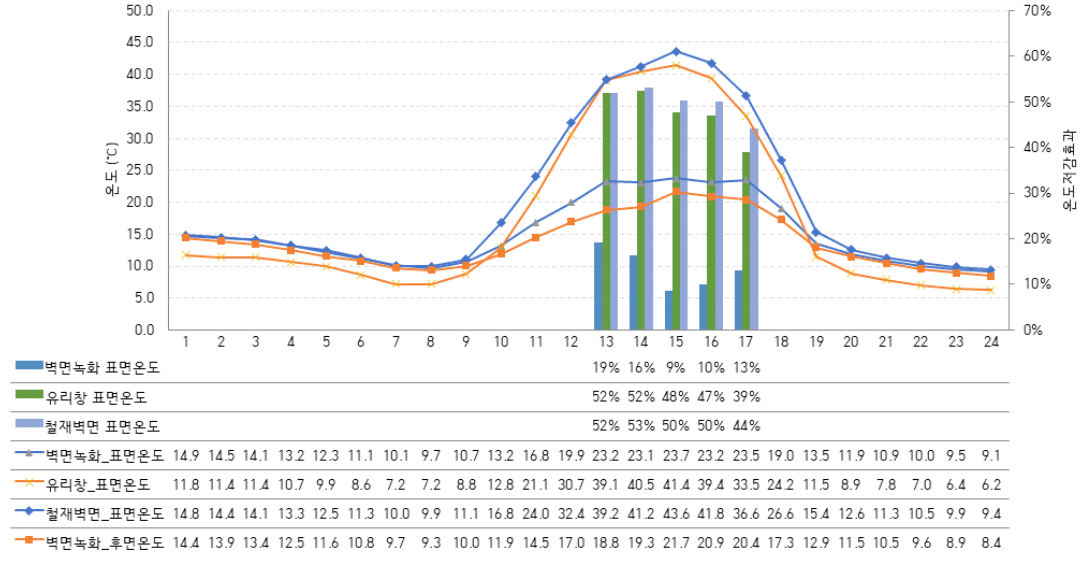




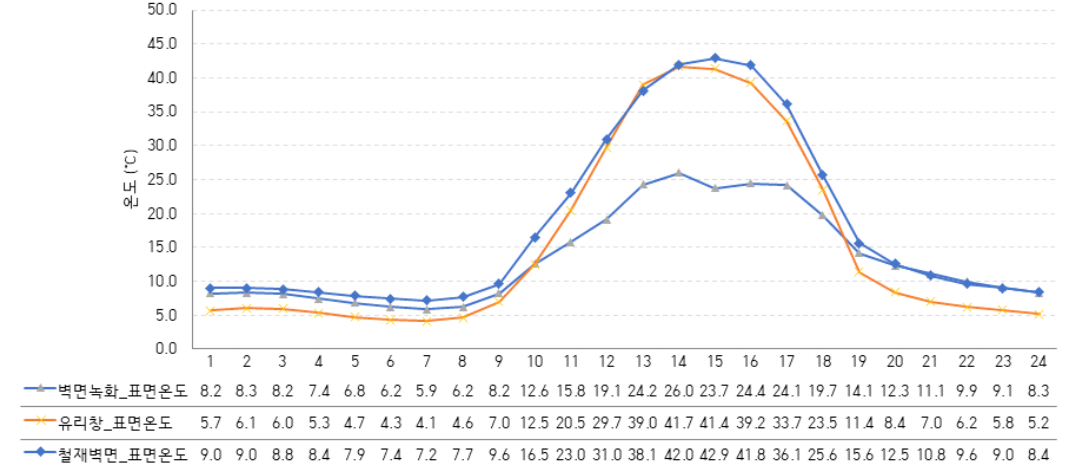


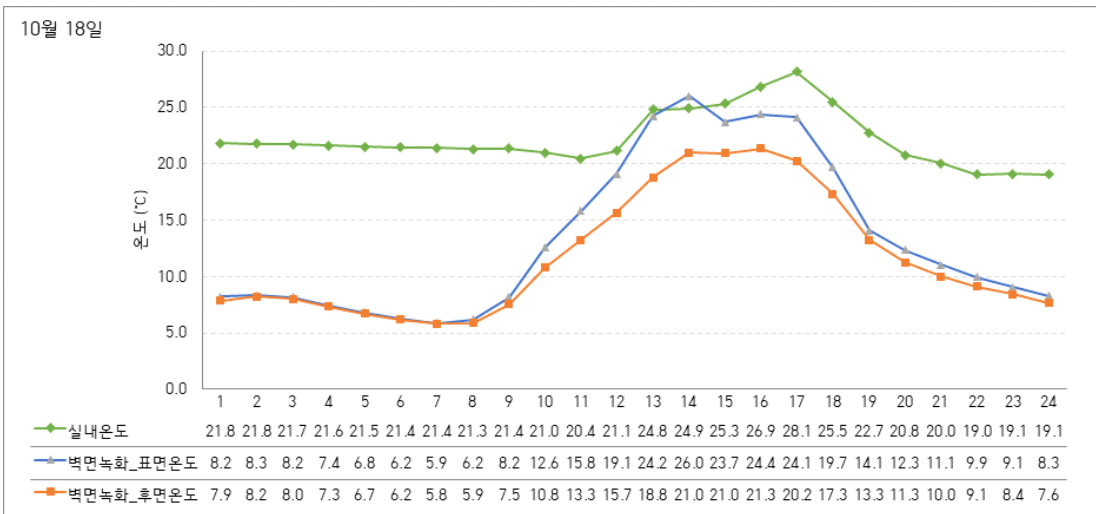
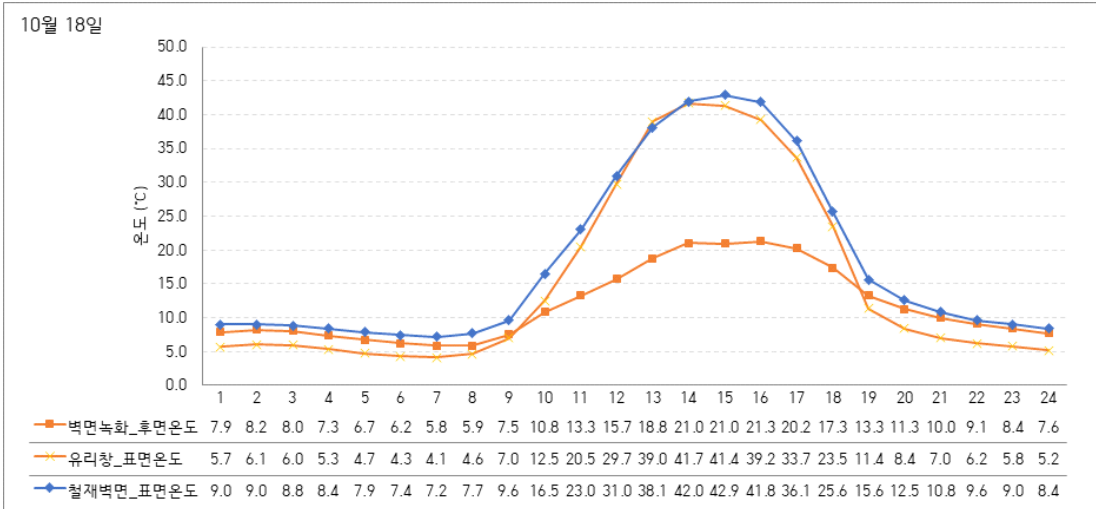


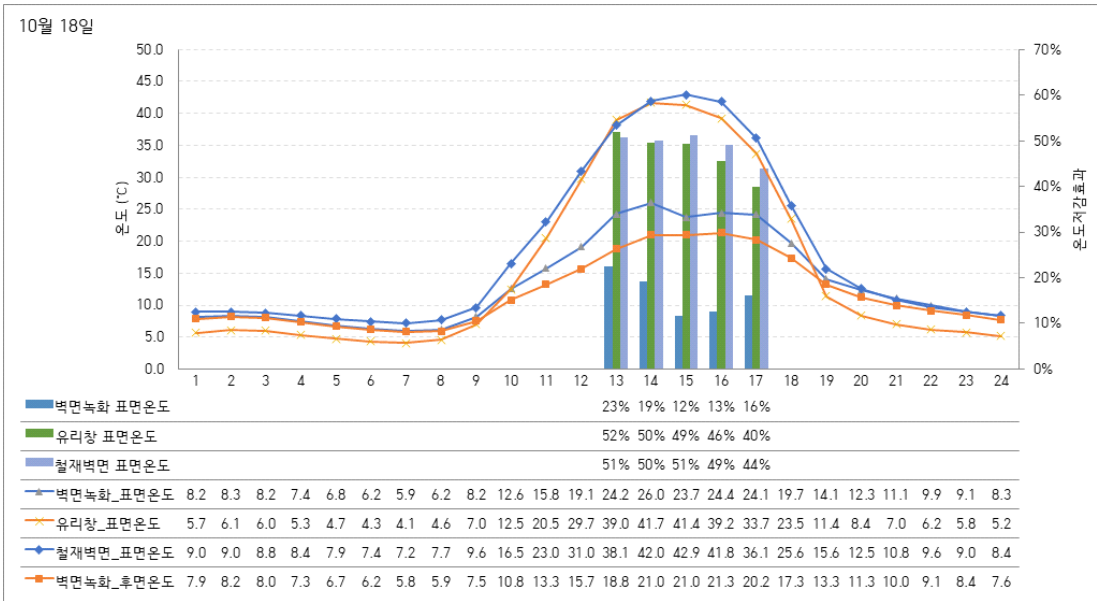
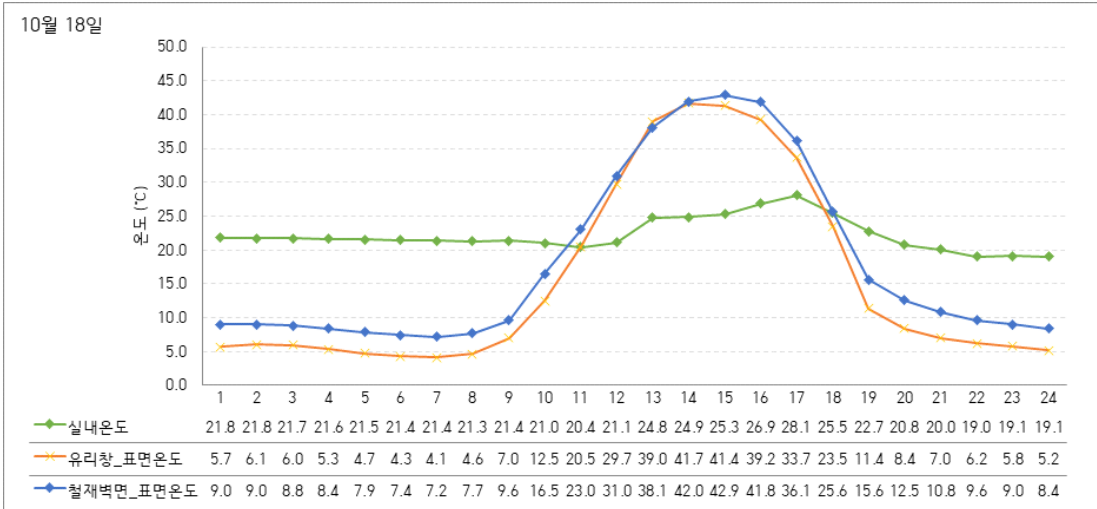
10월 17일

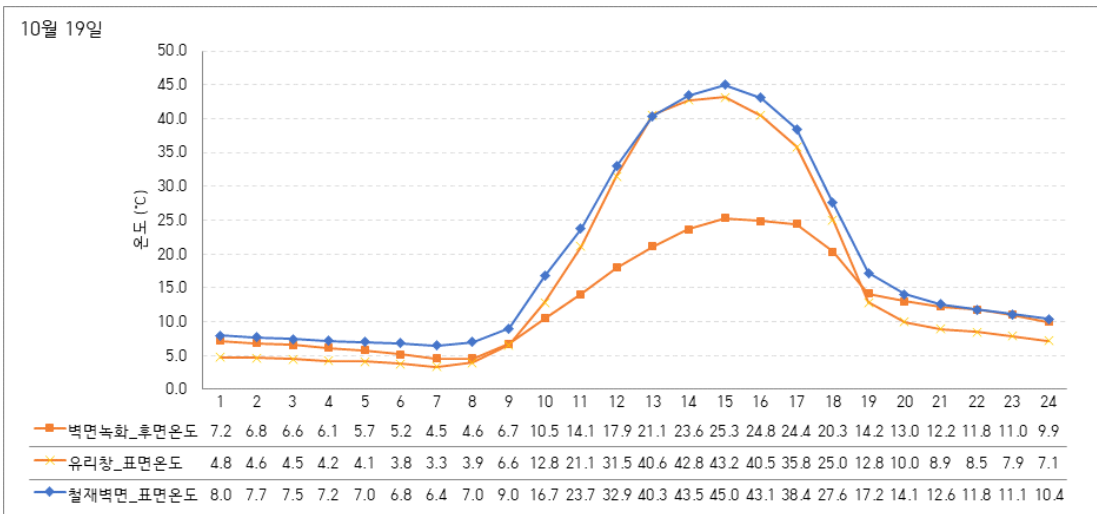
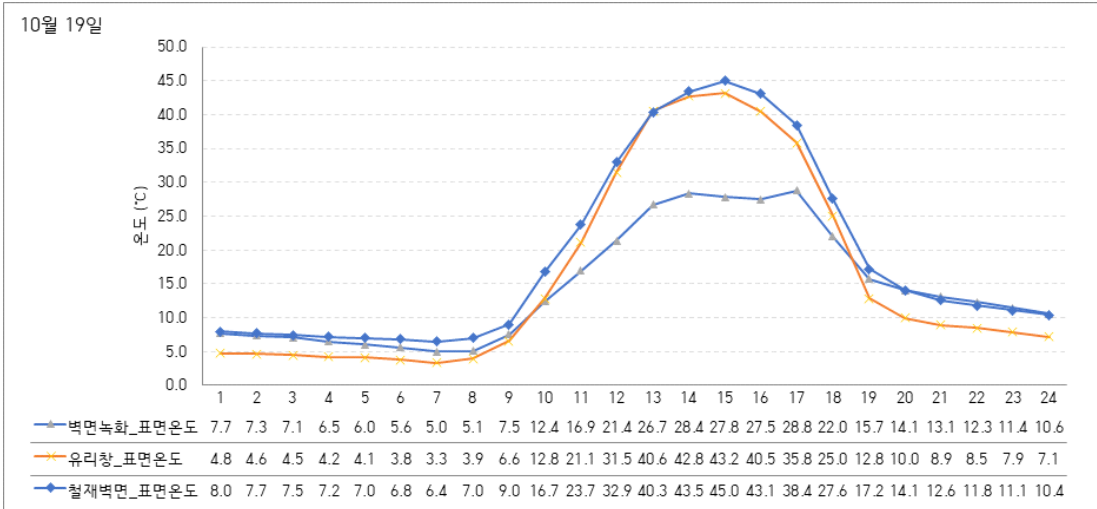


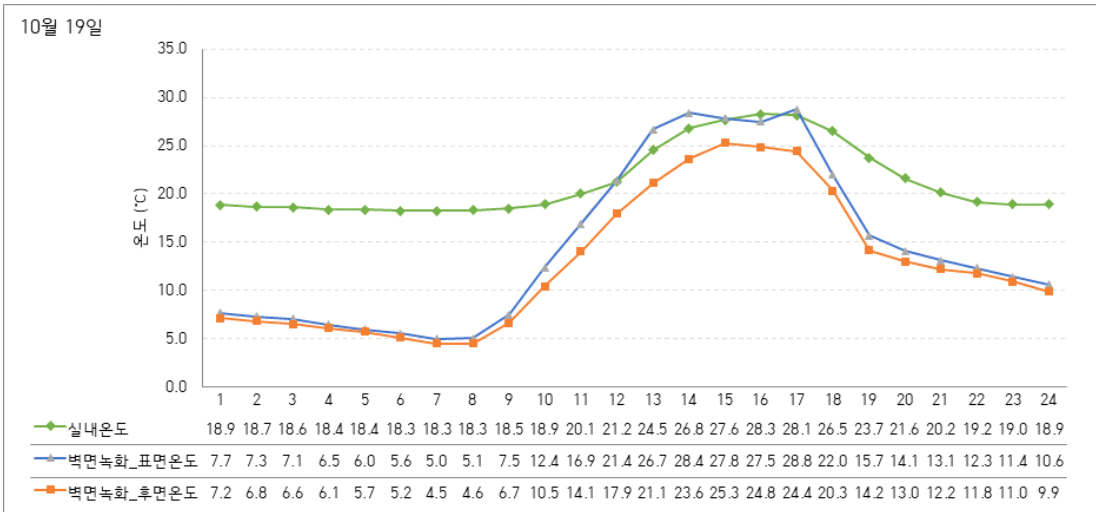
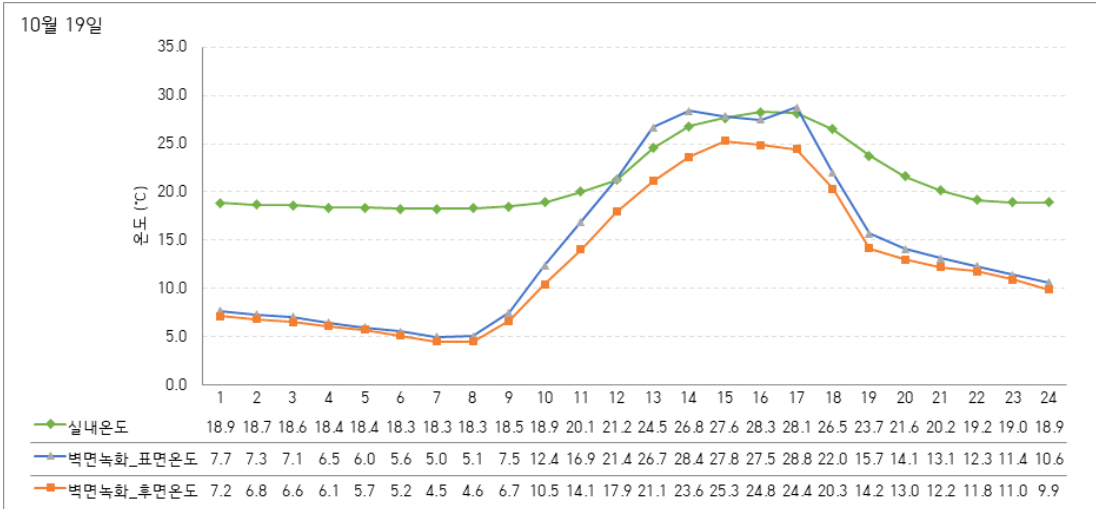
10월 18일

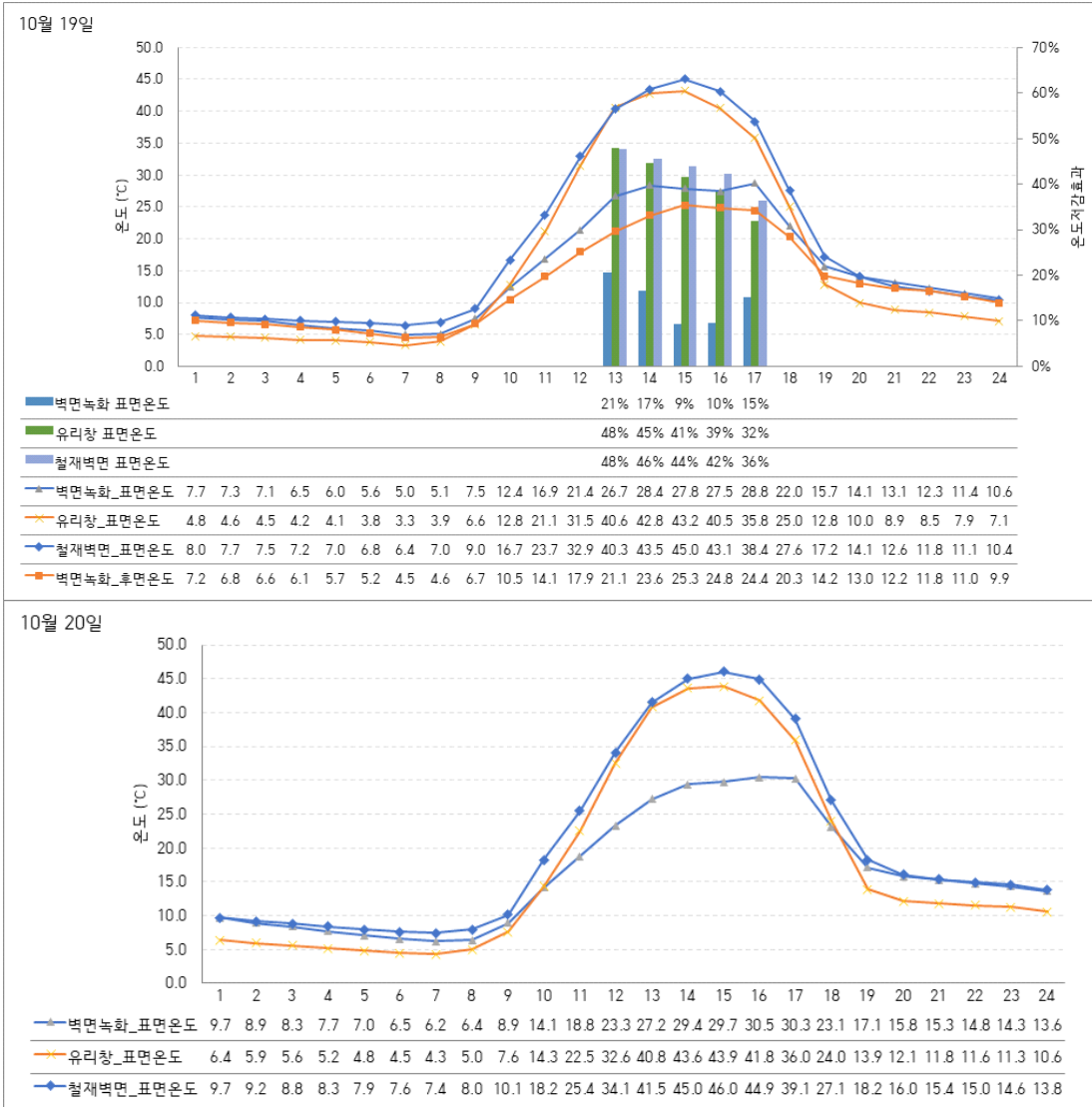


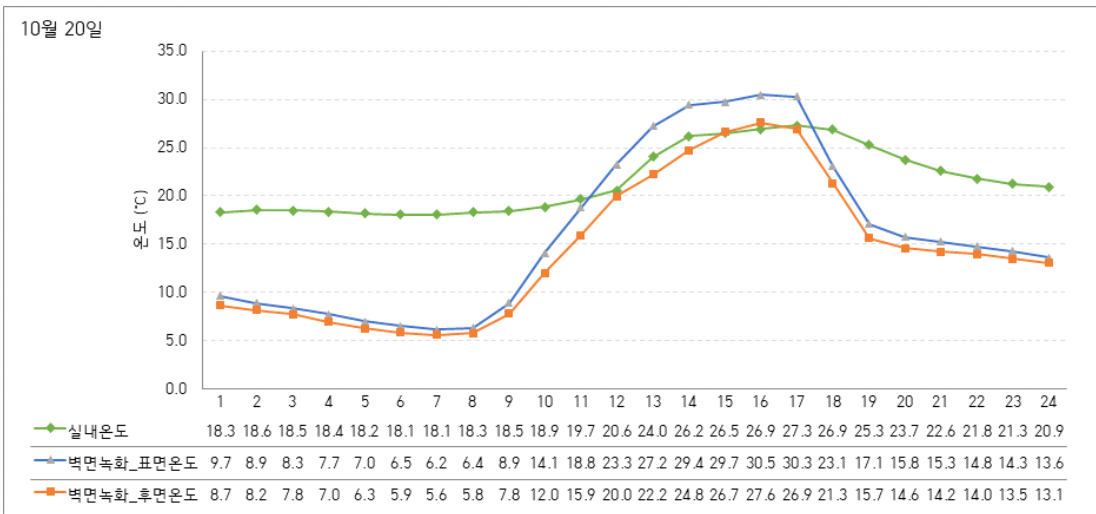
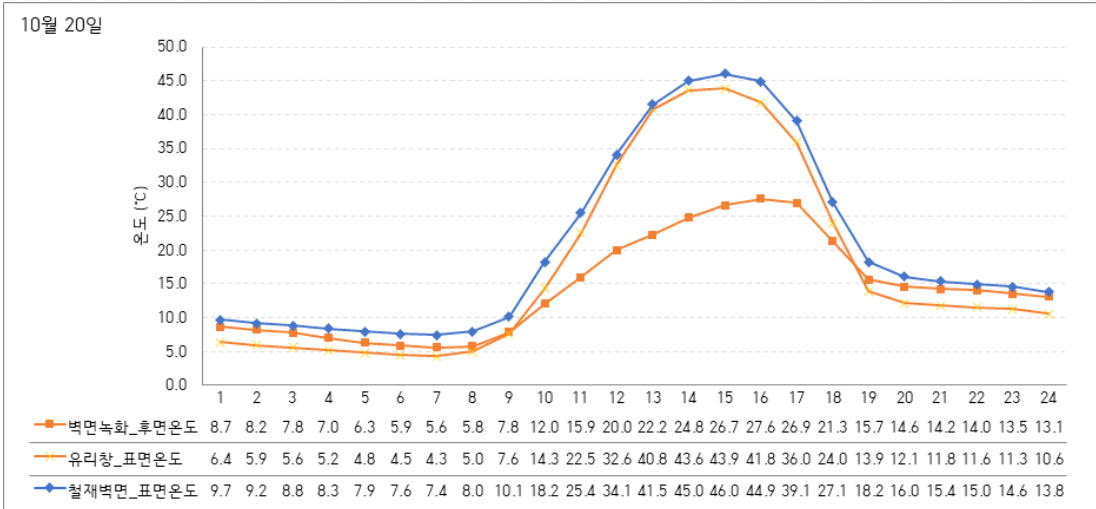


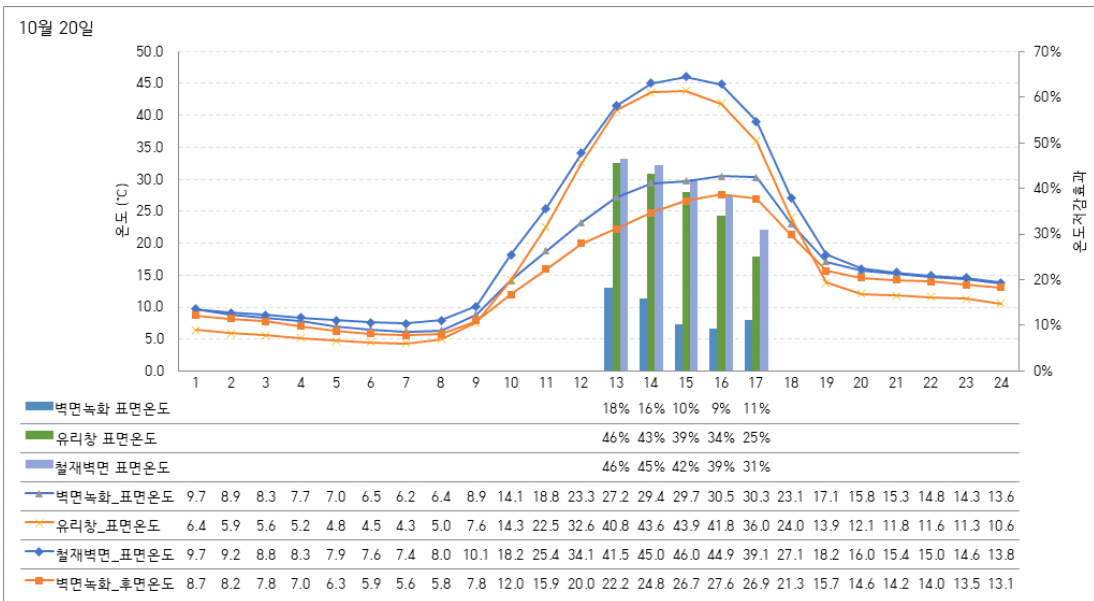
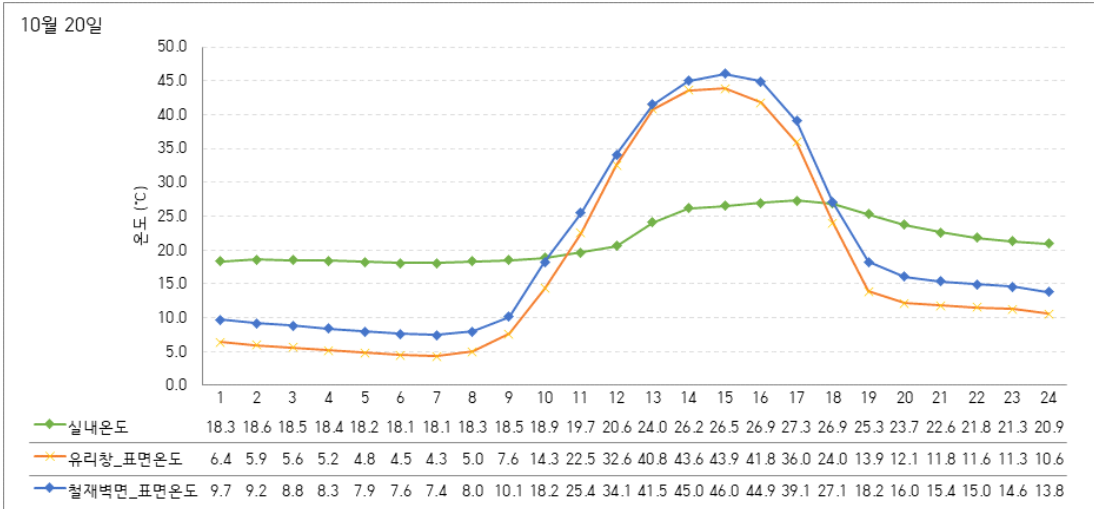


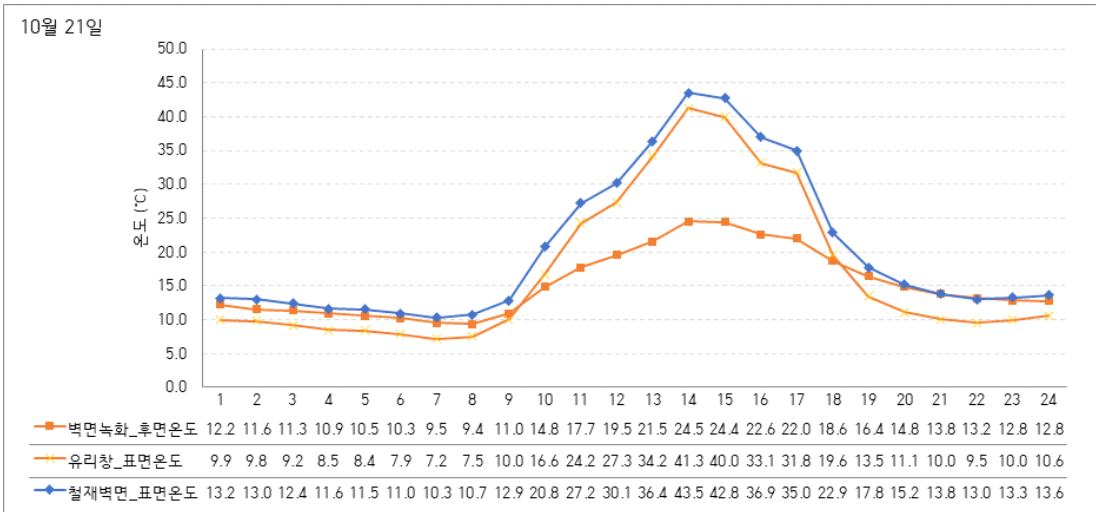
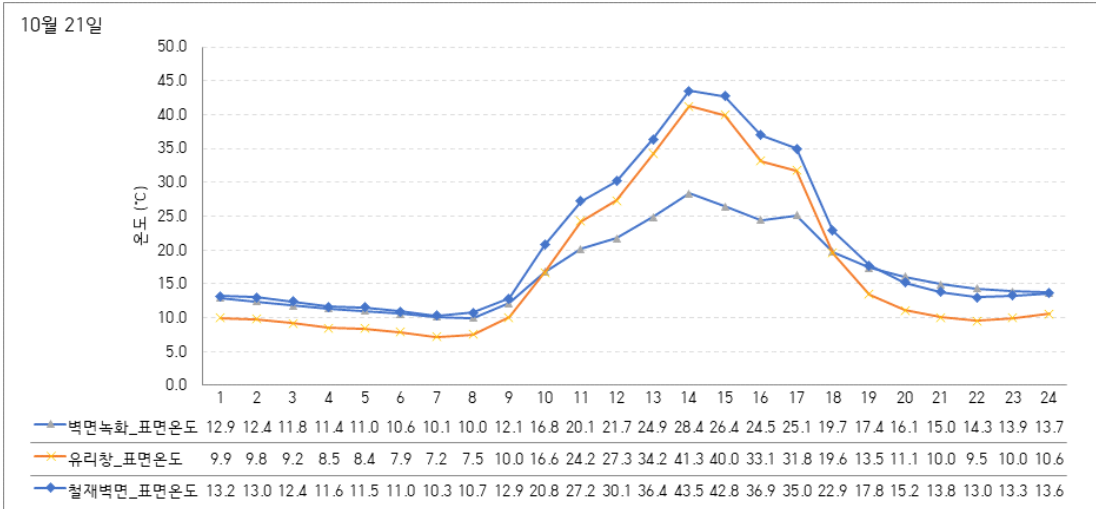


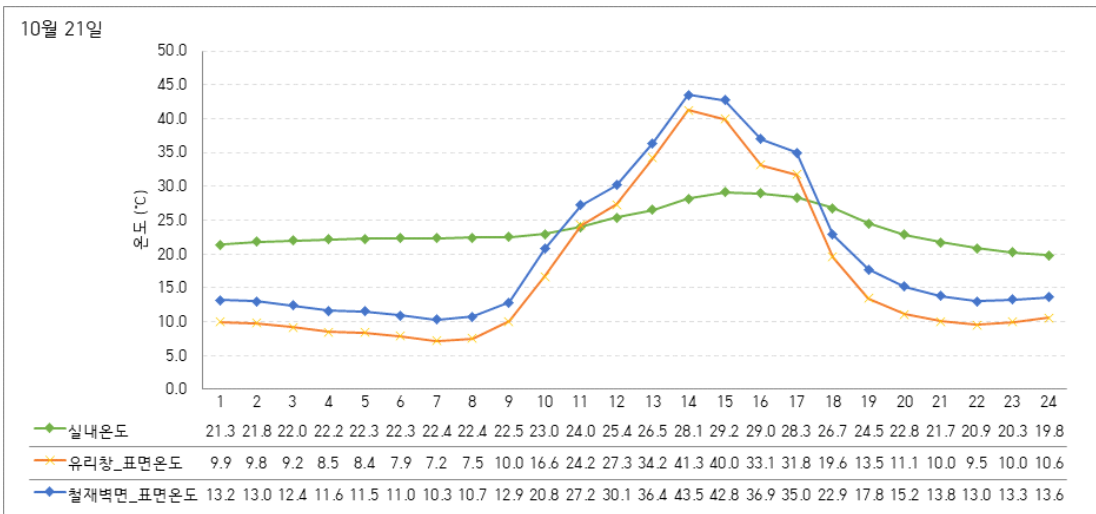
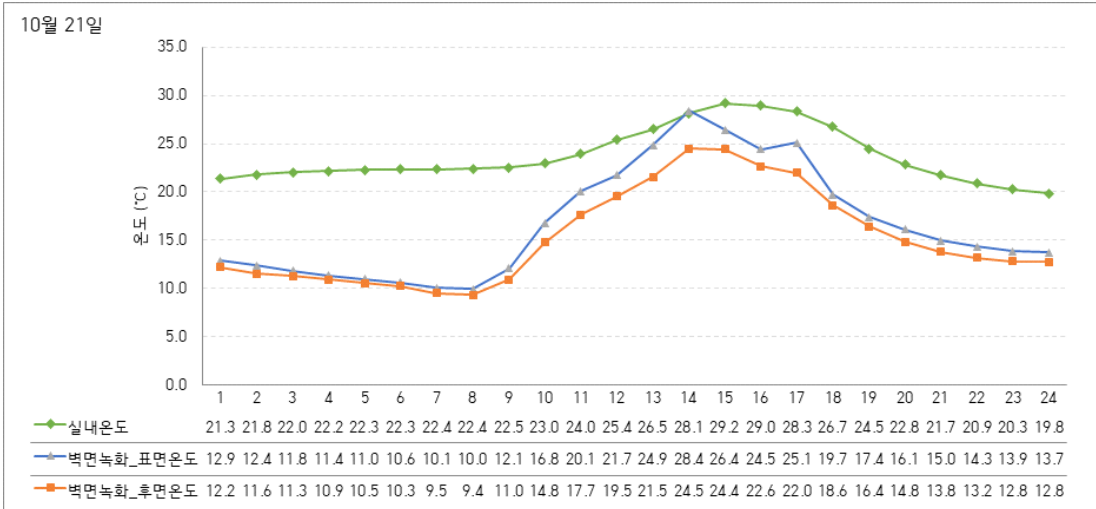


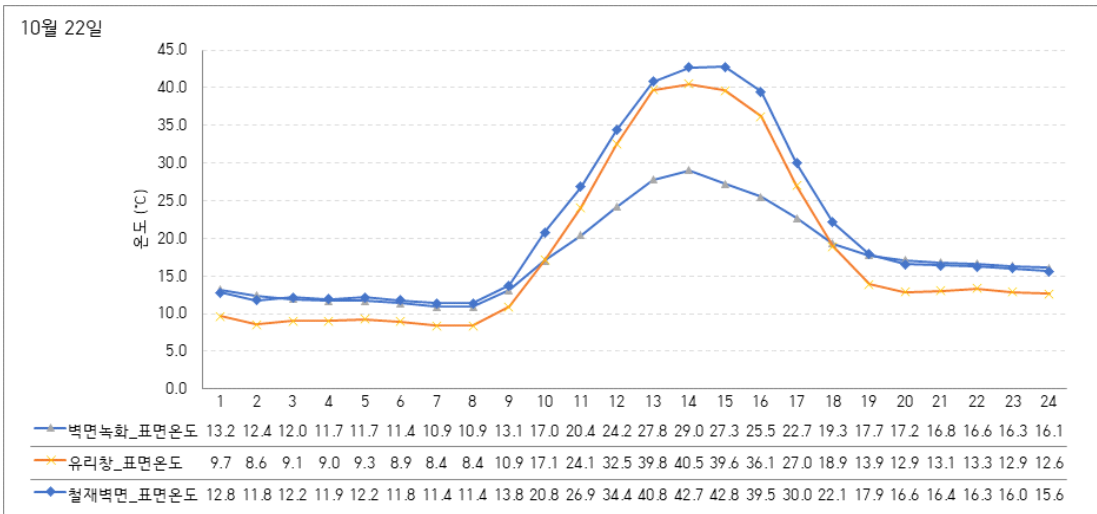
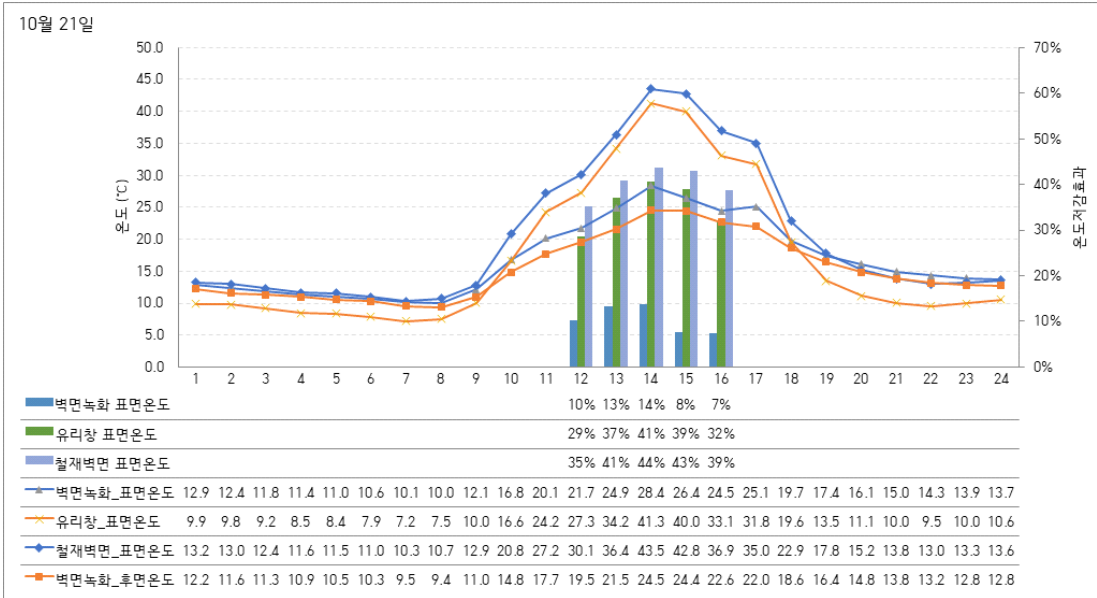


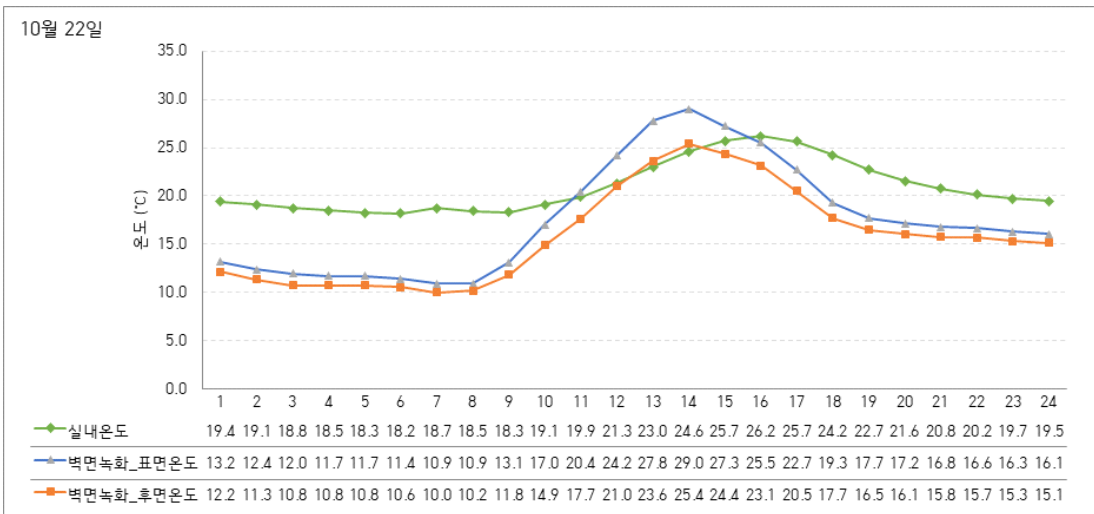
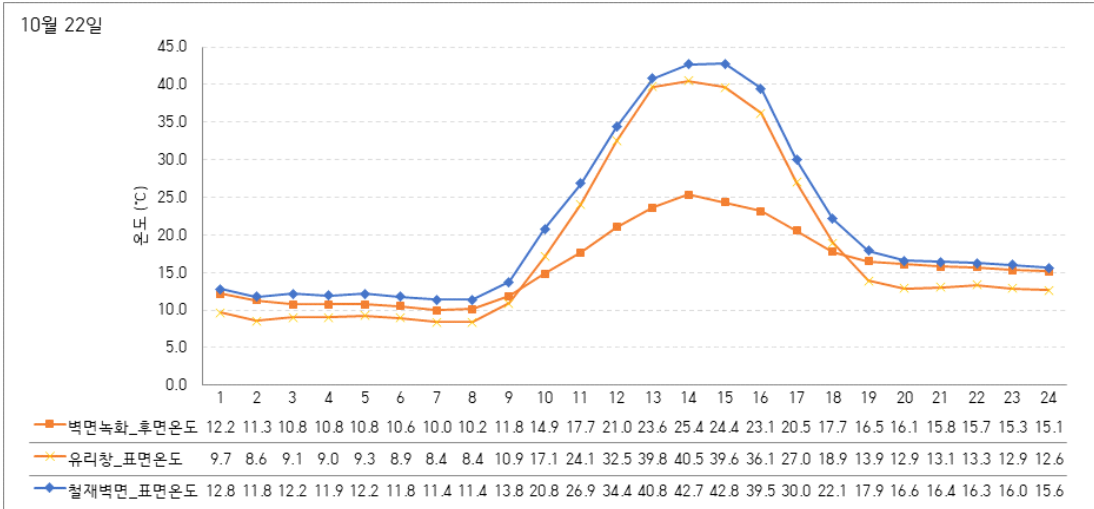


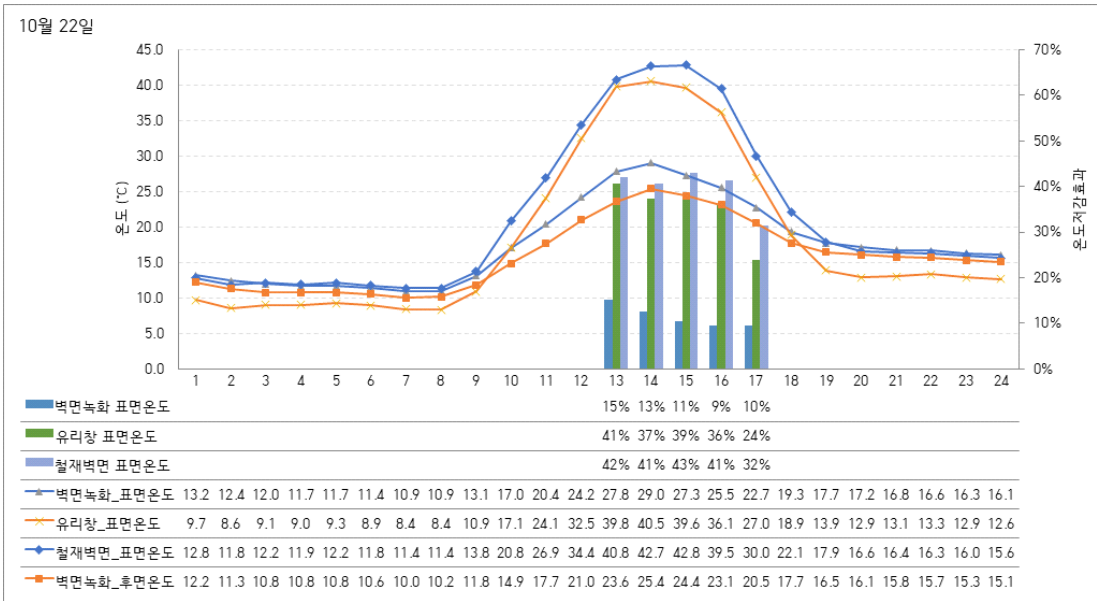
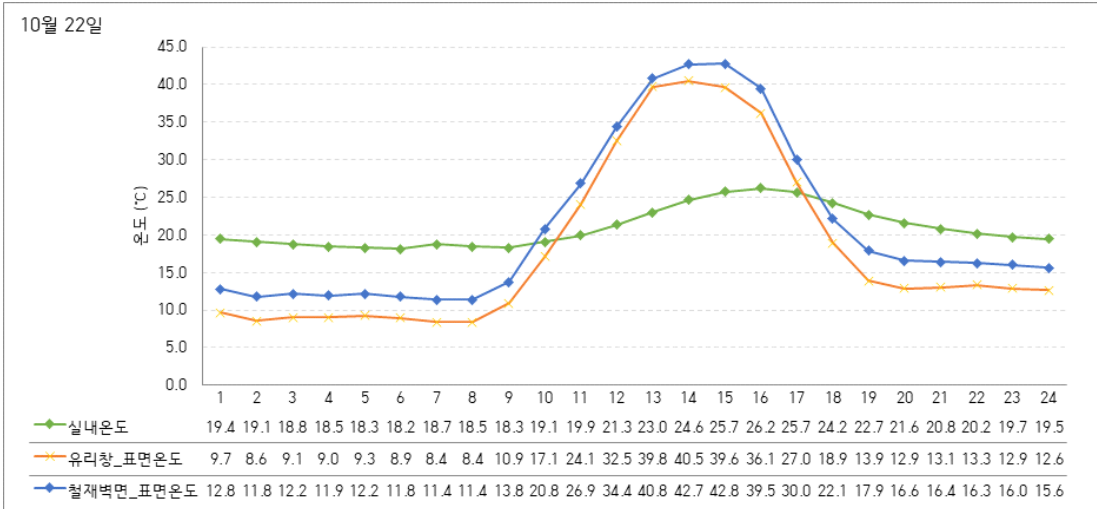


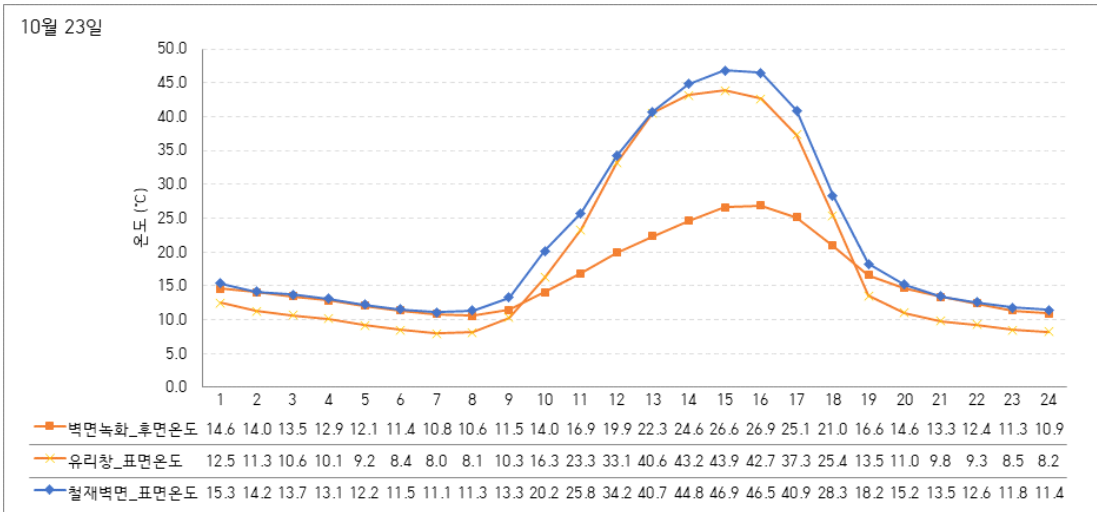
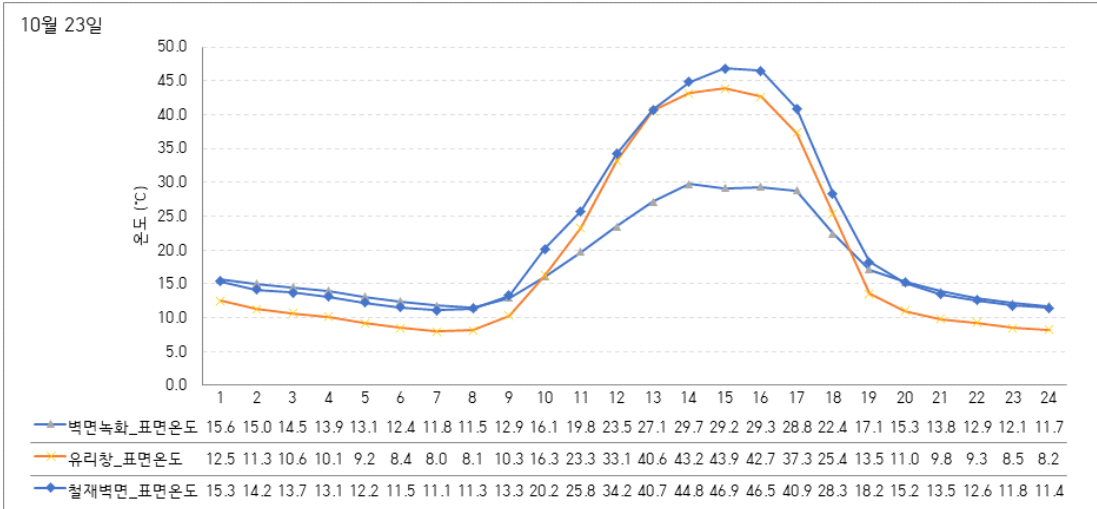


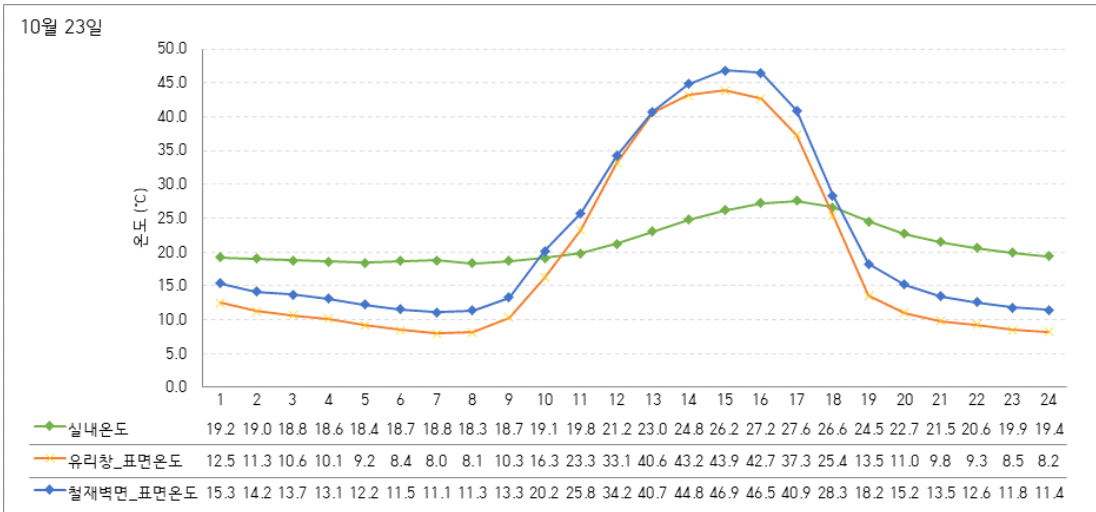
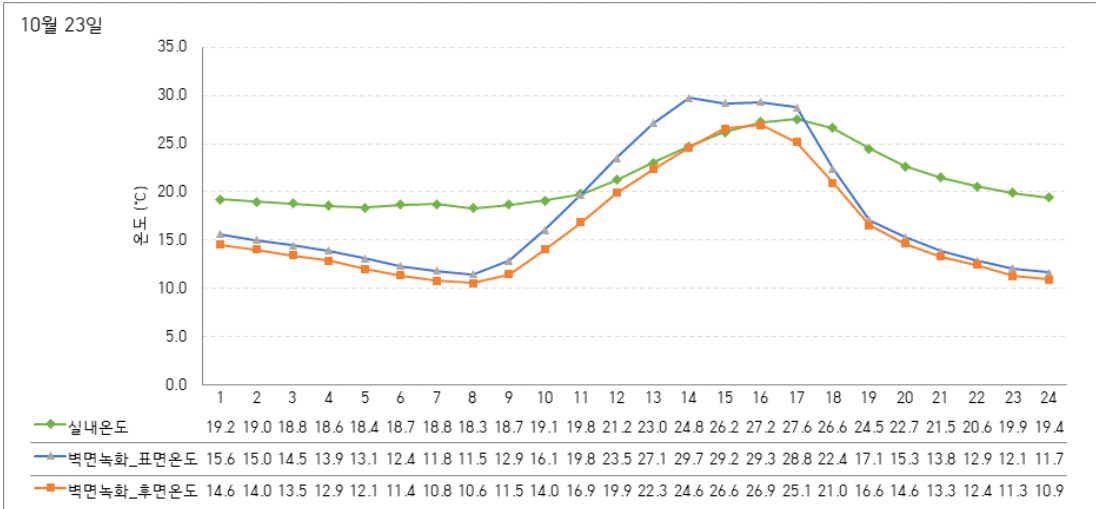


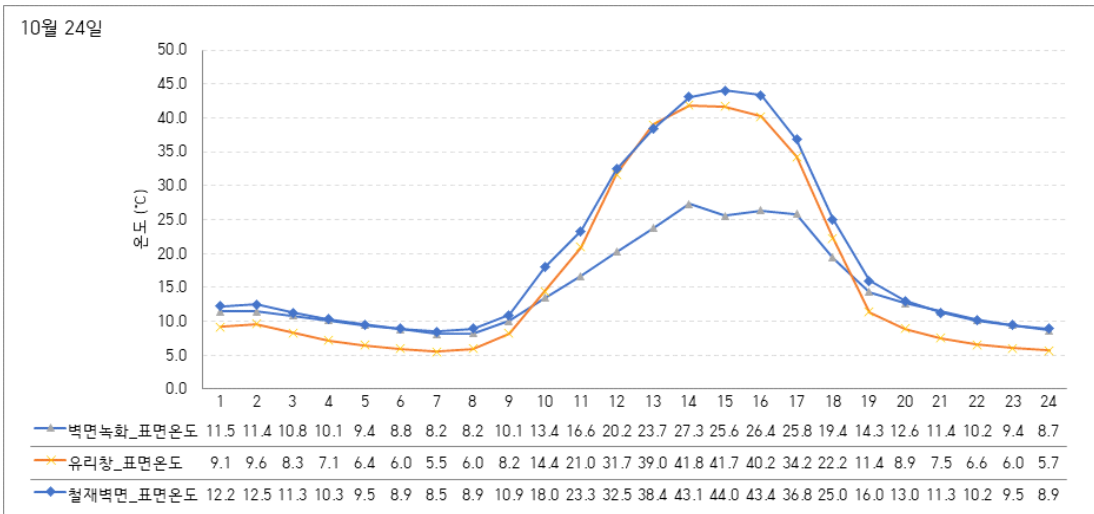
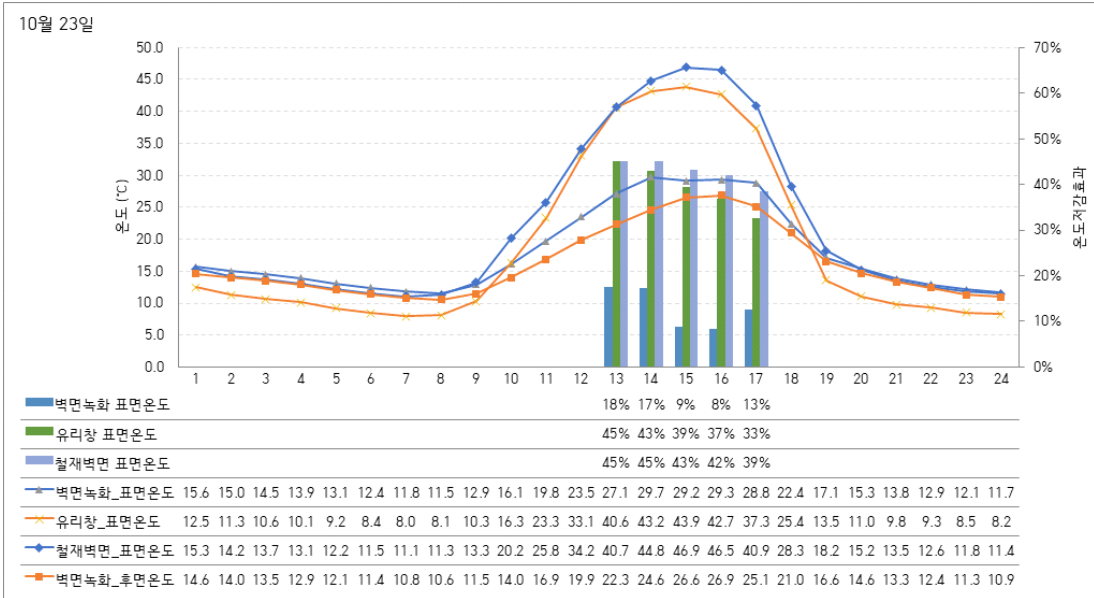


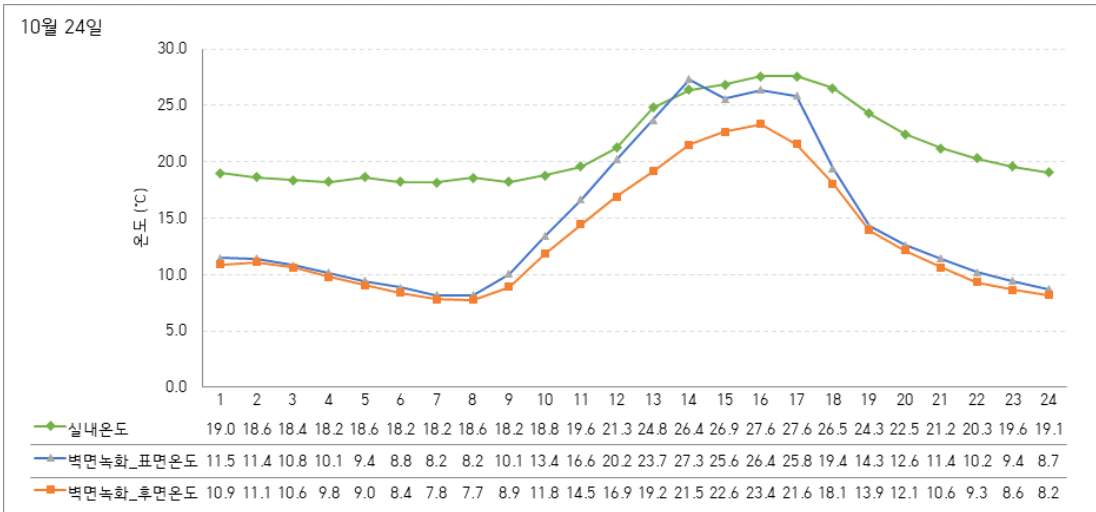
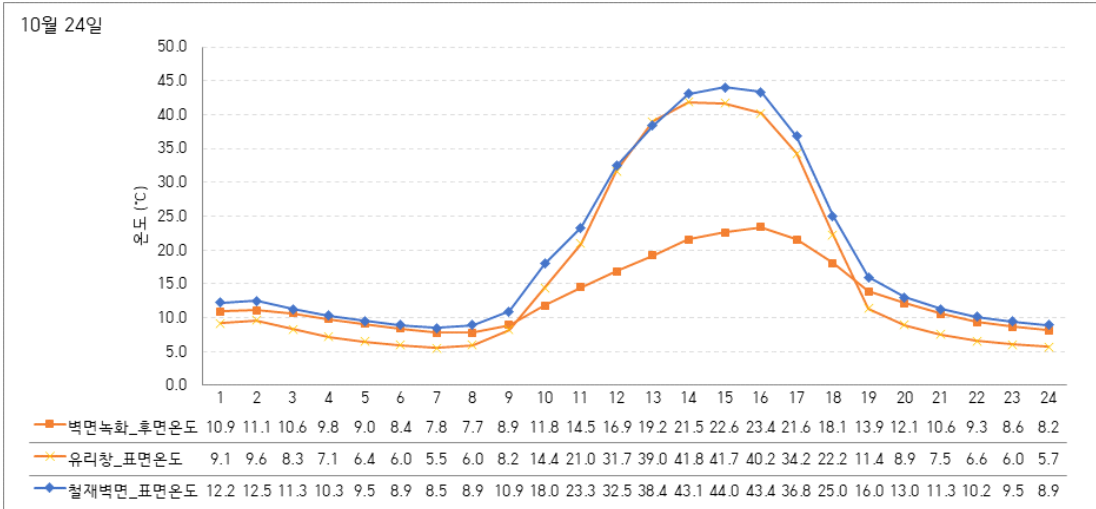


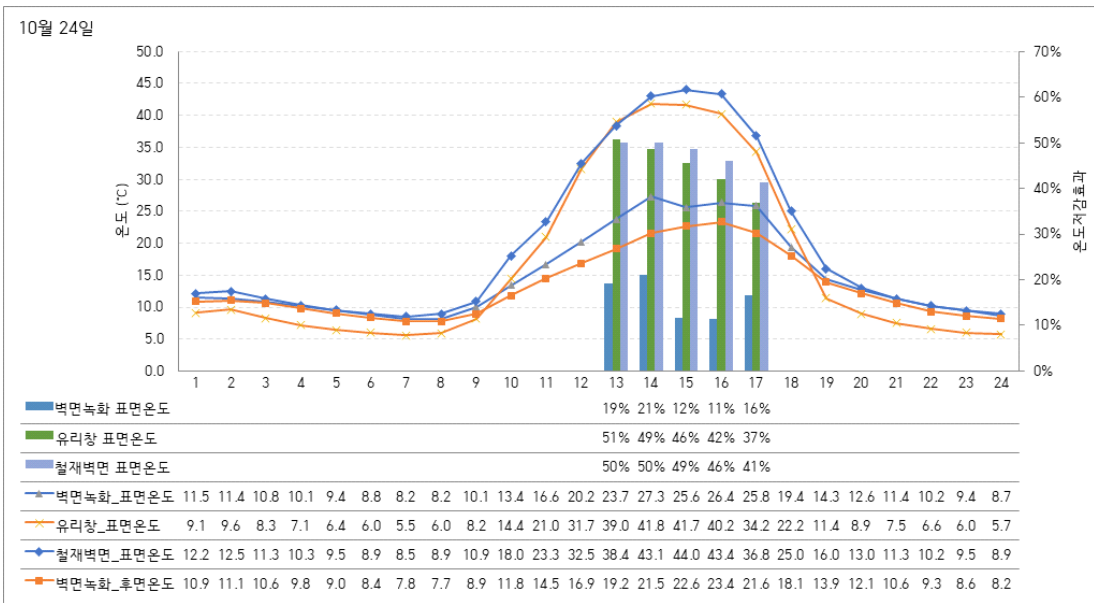
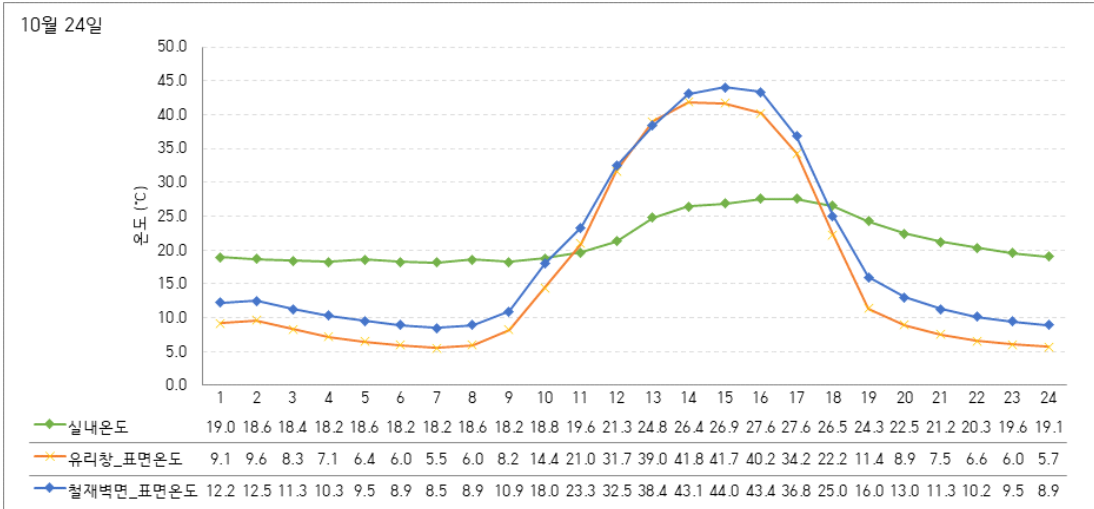


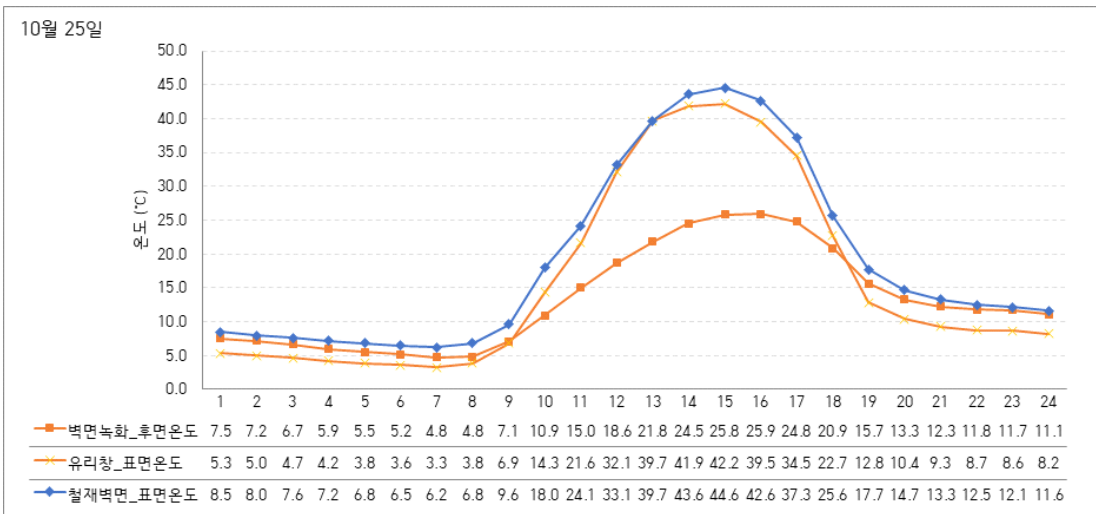
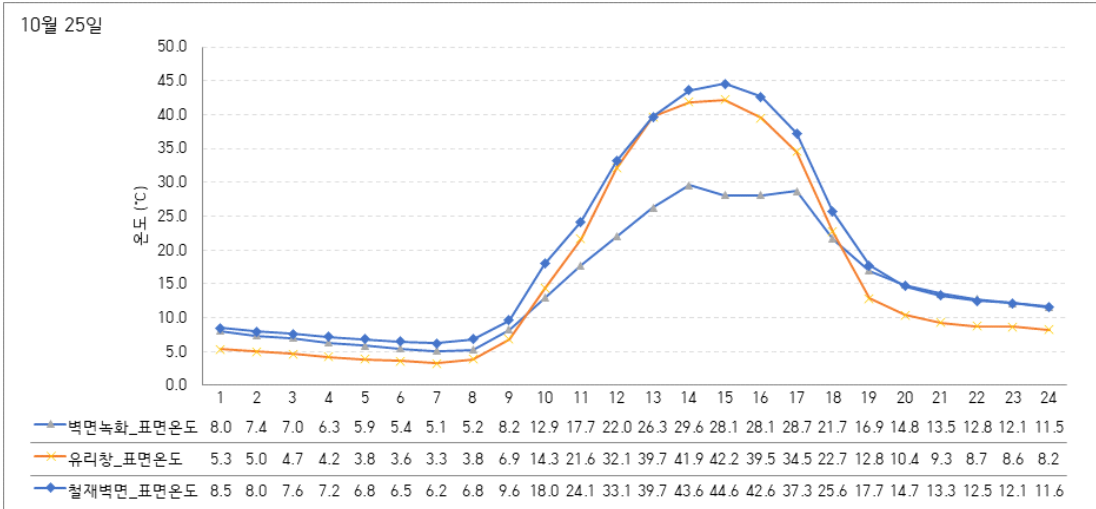


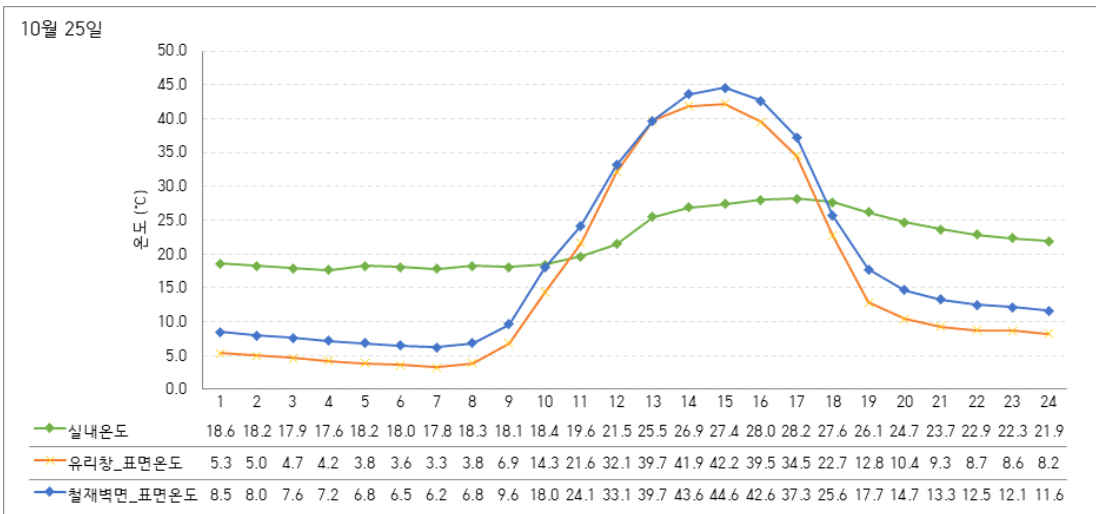
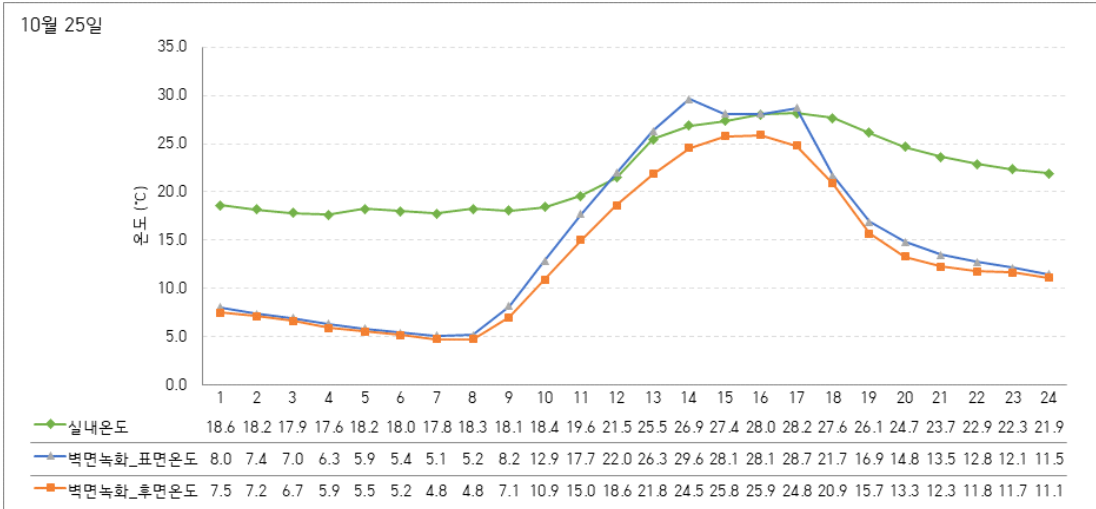


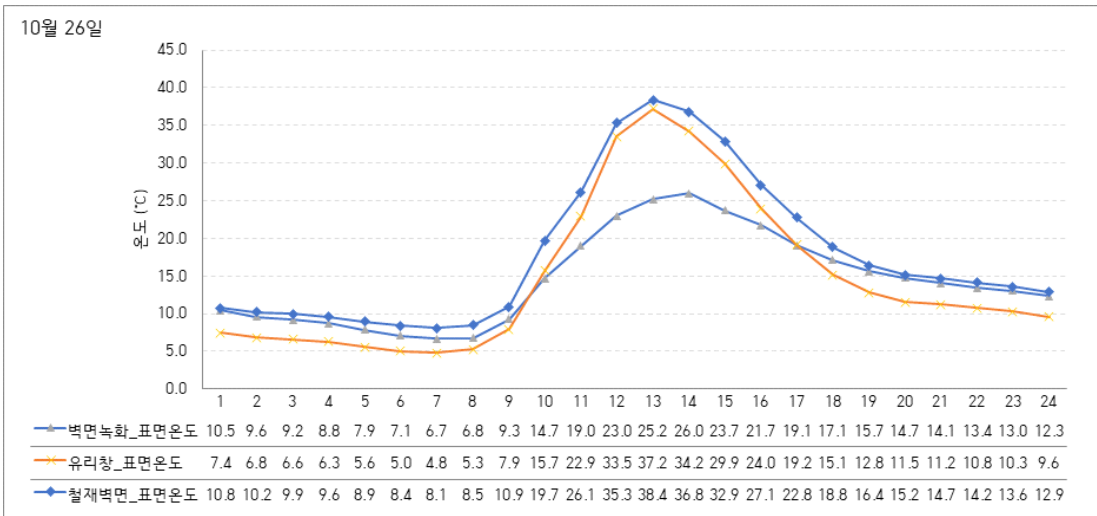
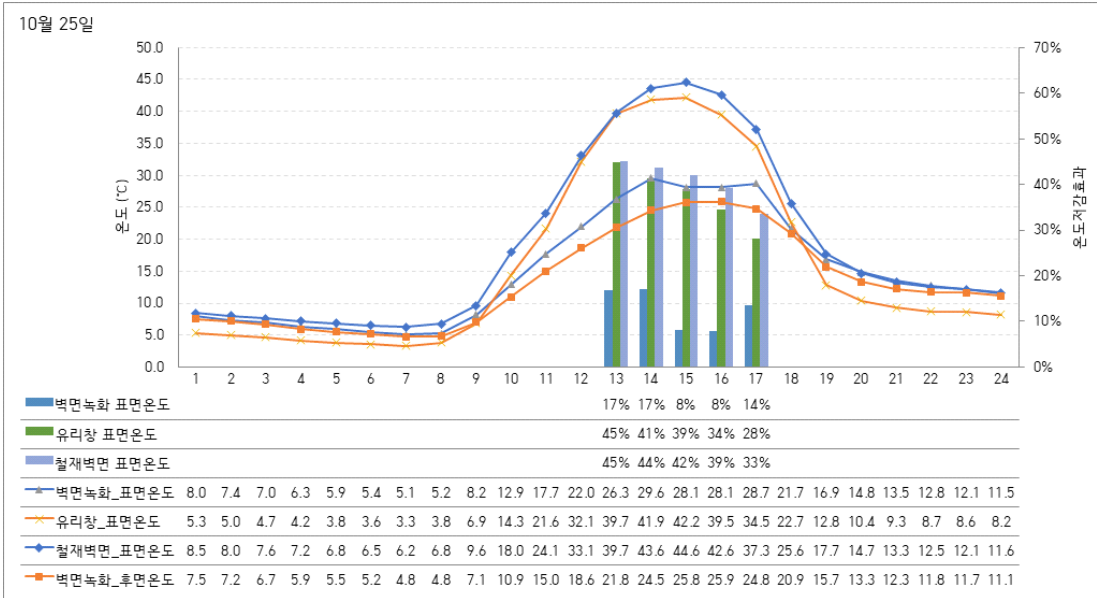


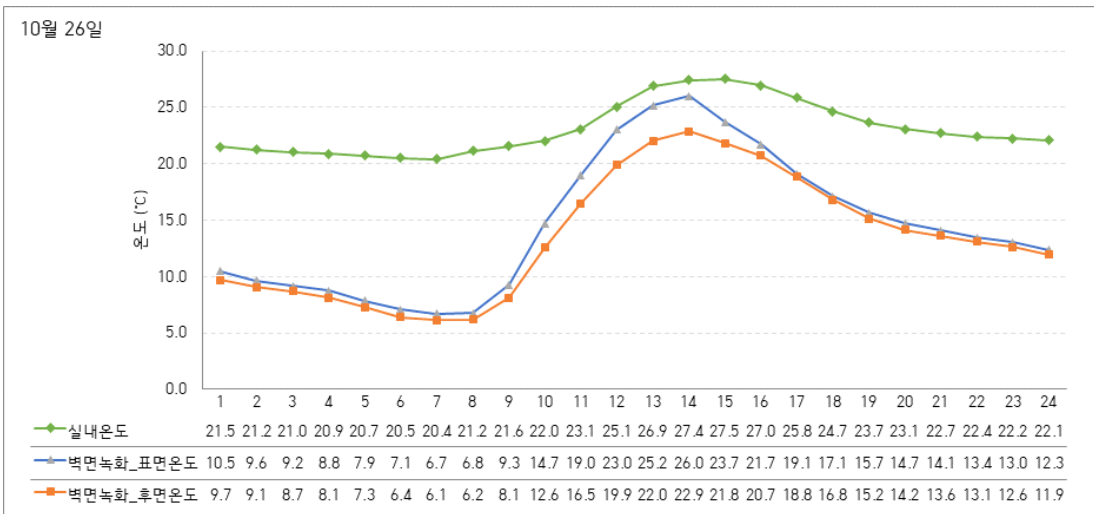
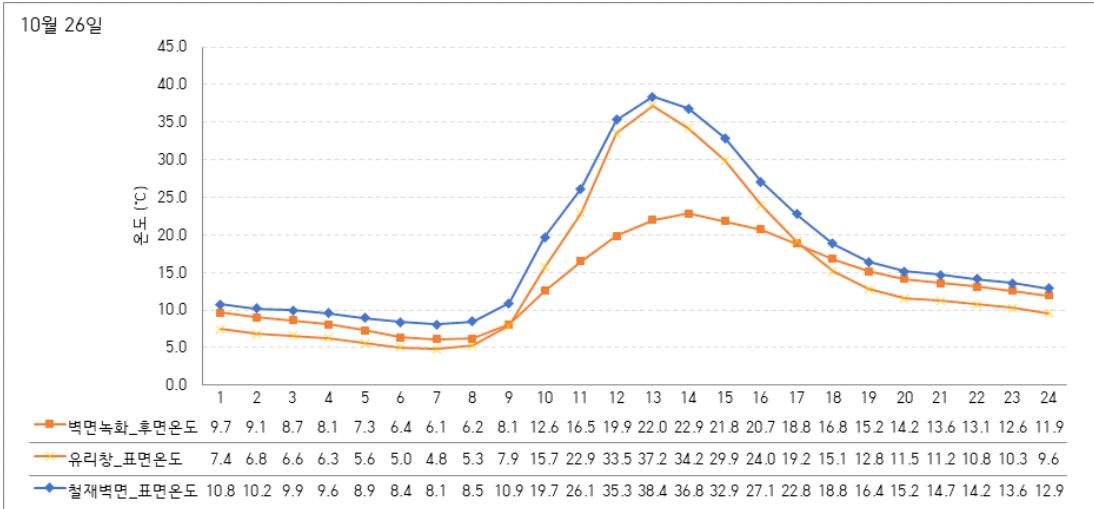


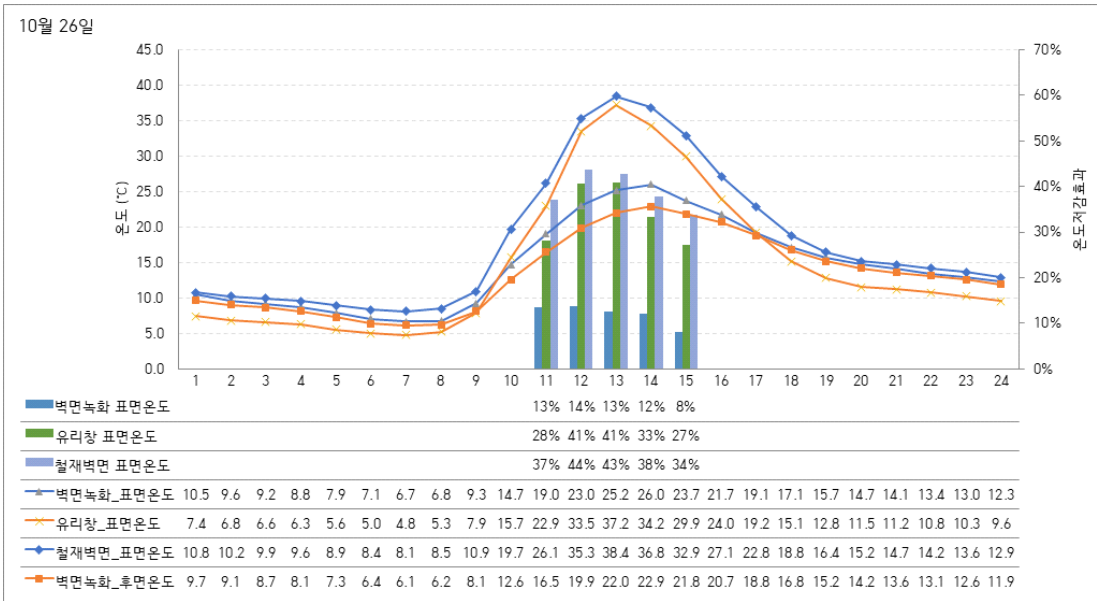
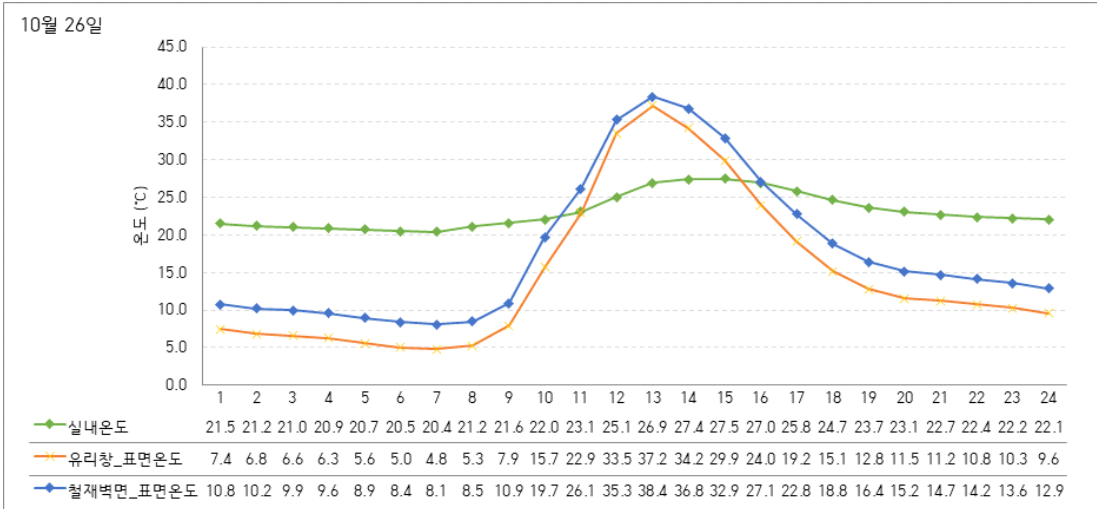


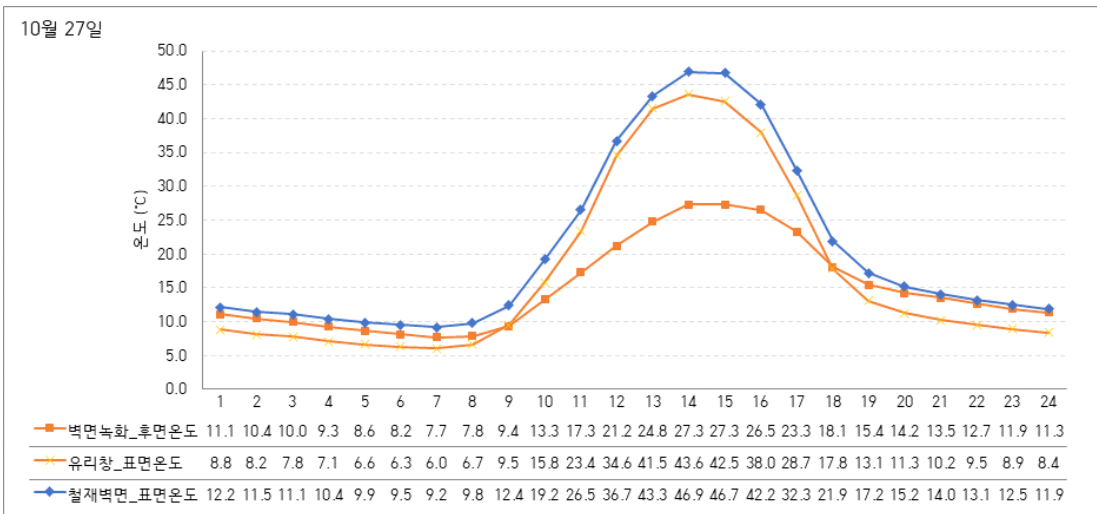
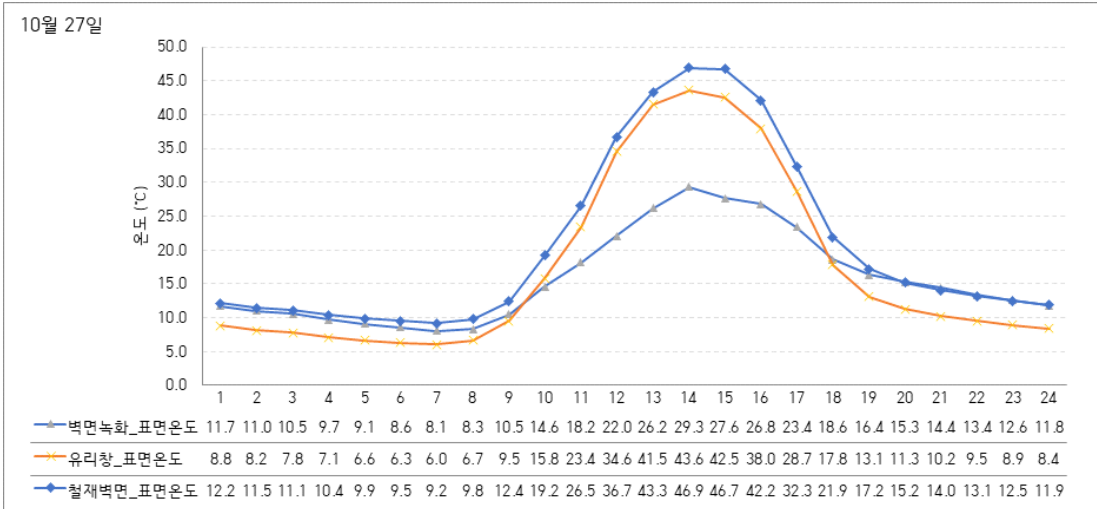


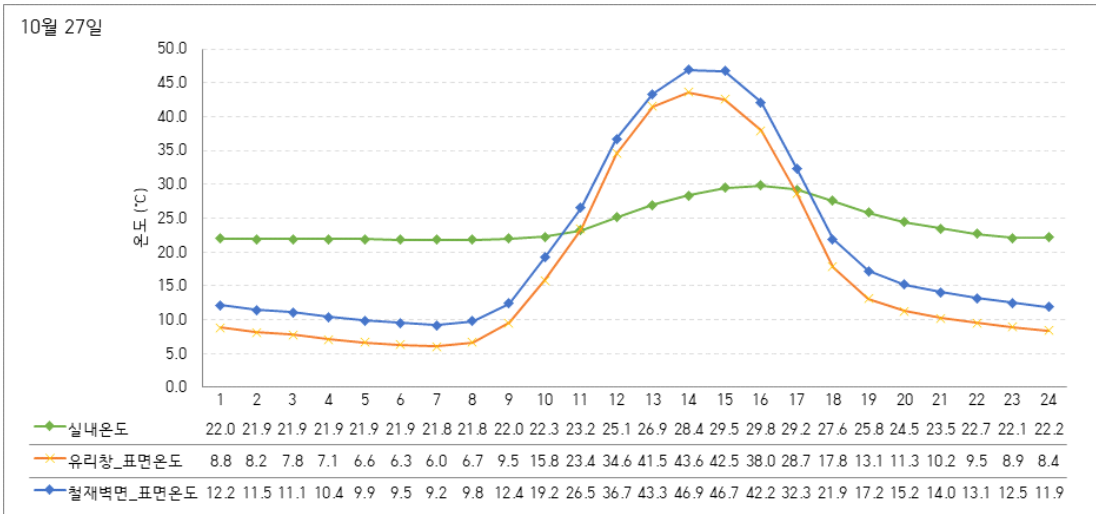
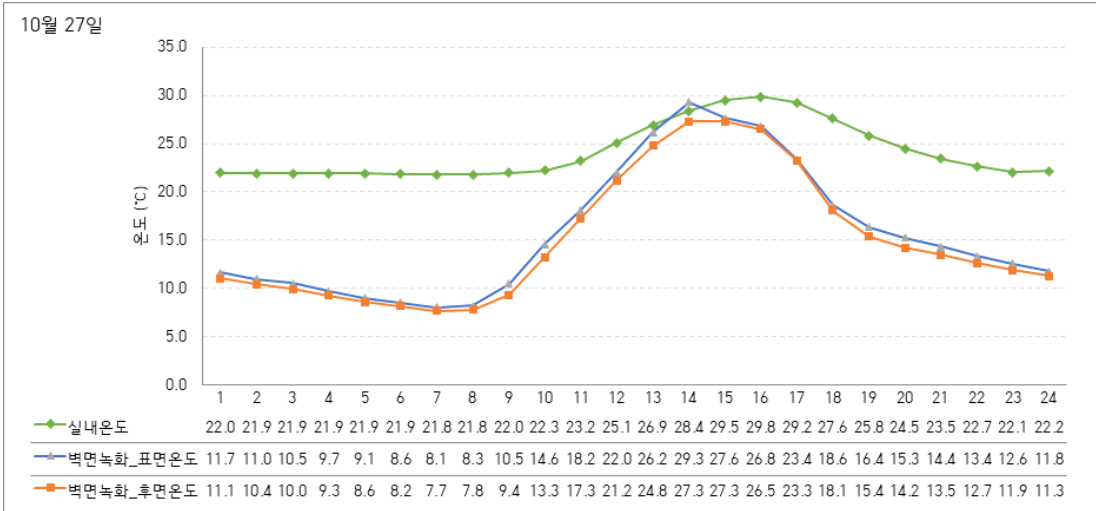


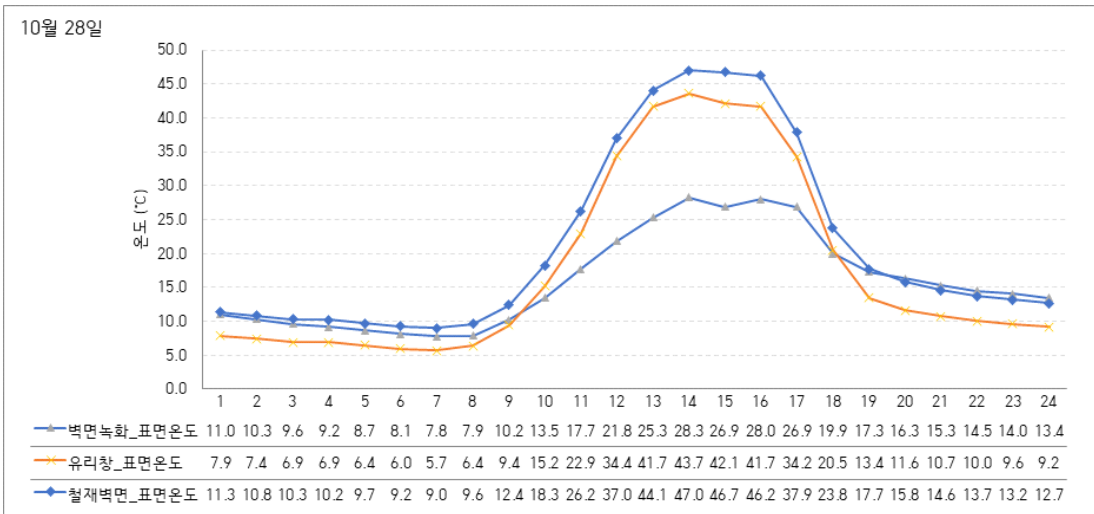
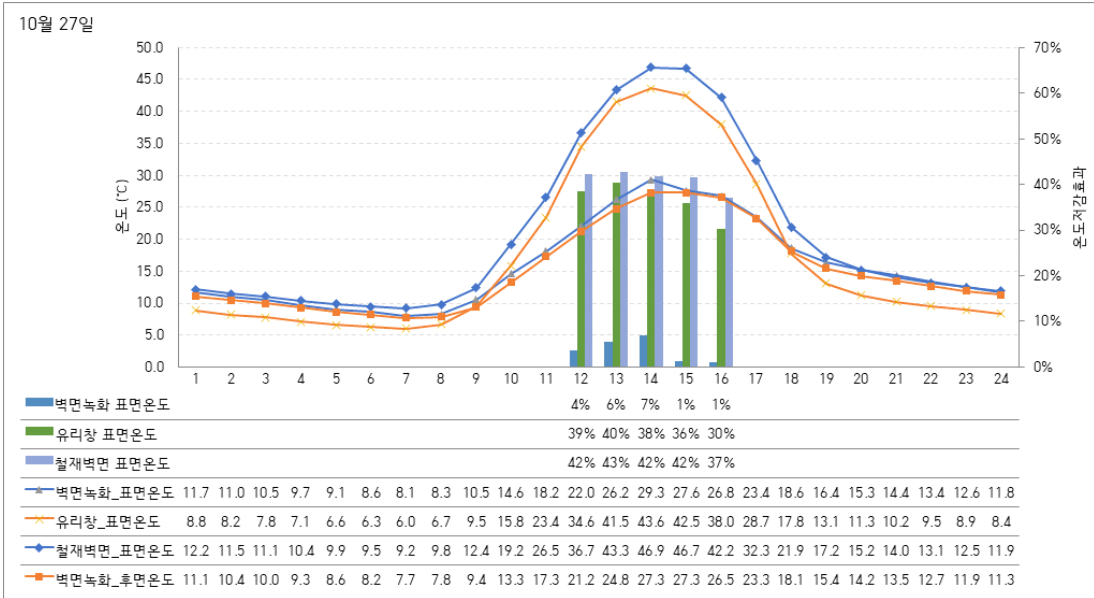


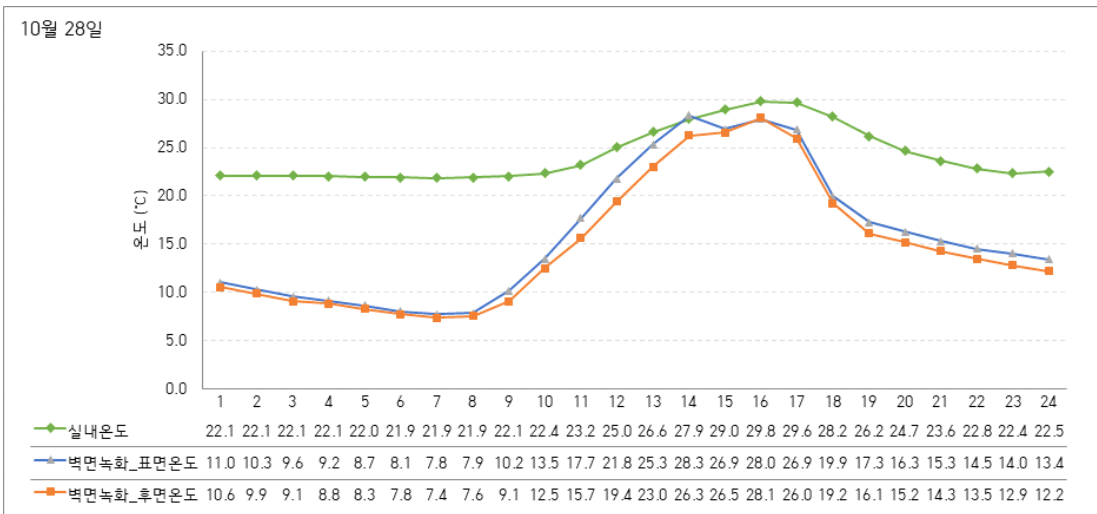
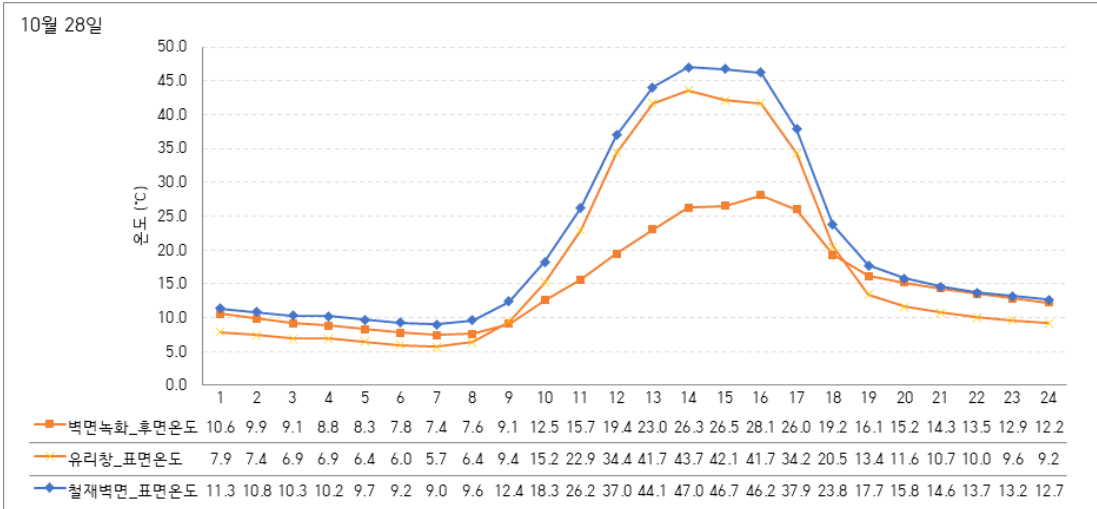


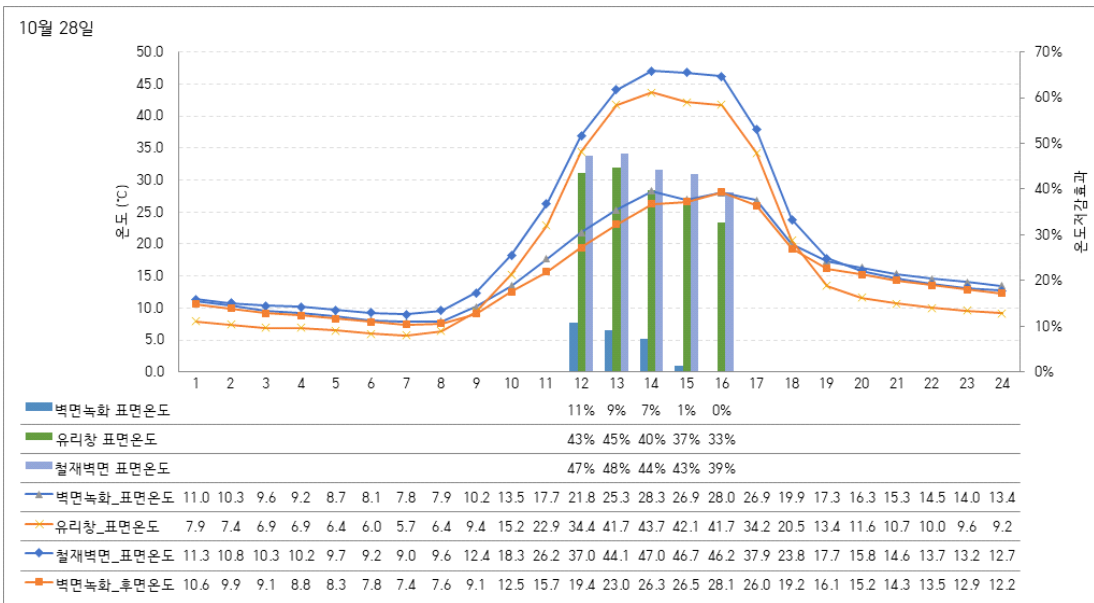
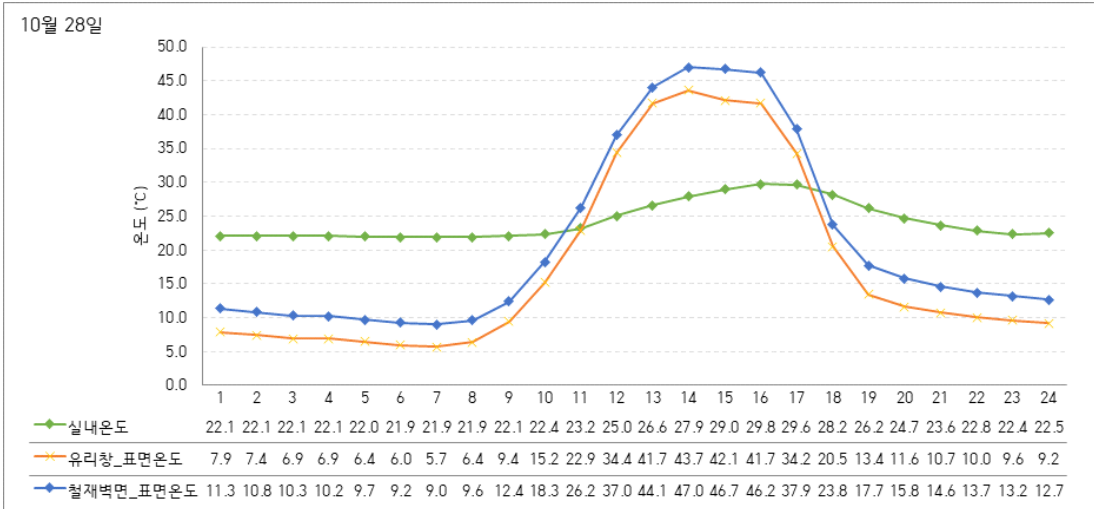


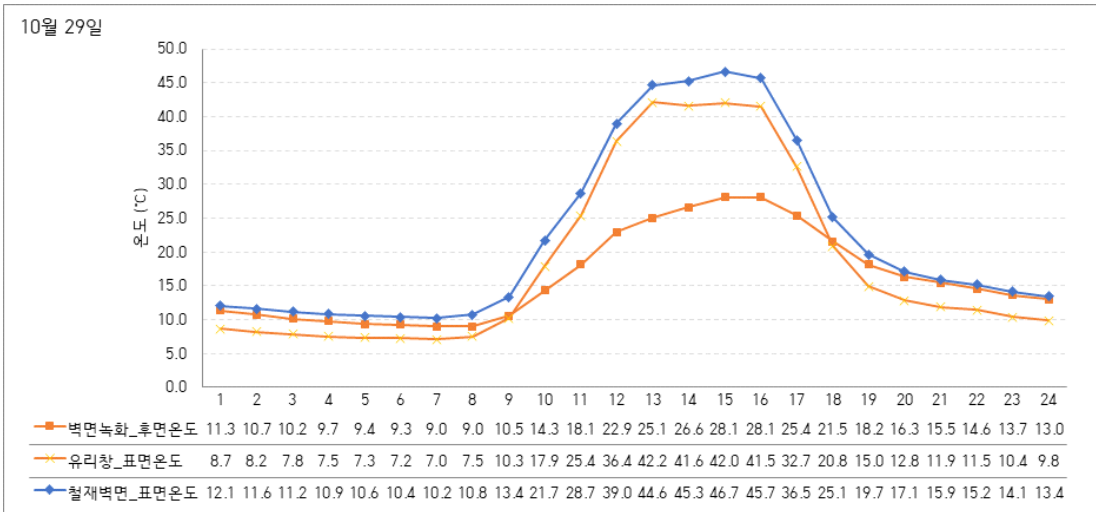
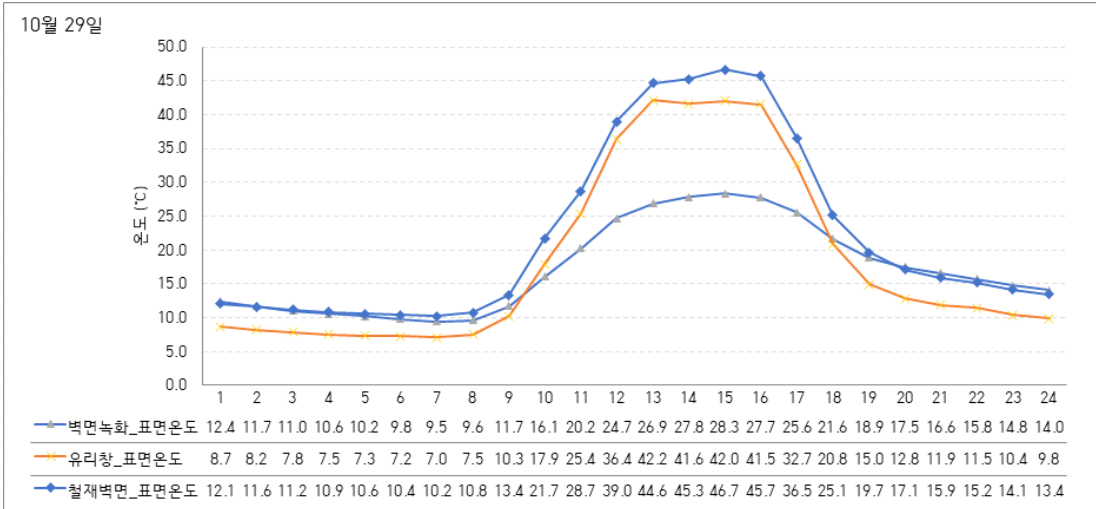


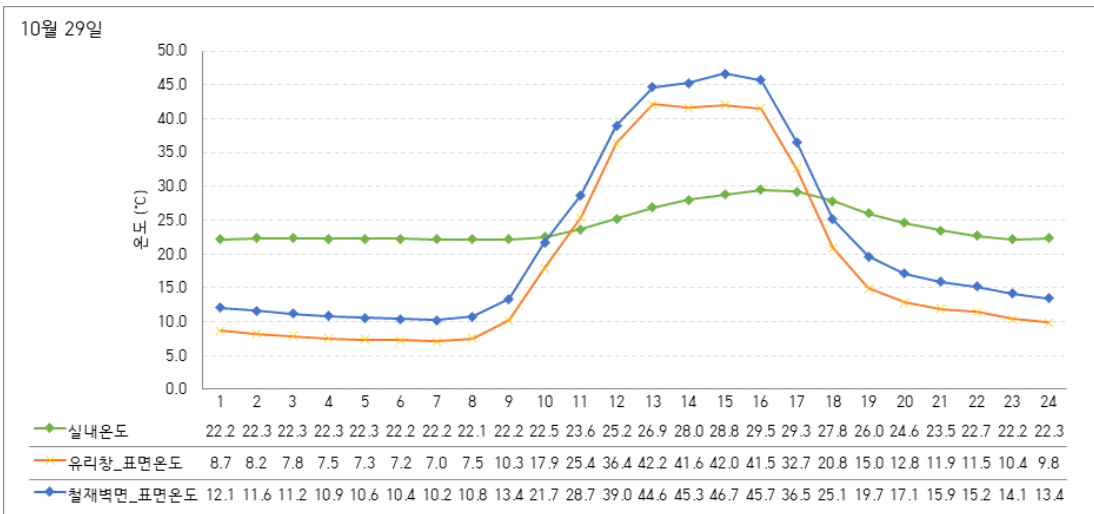
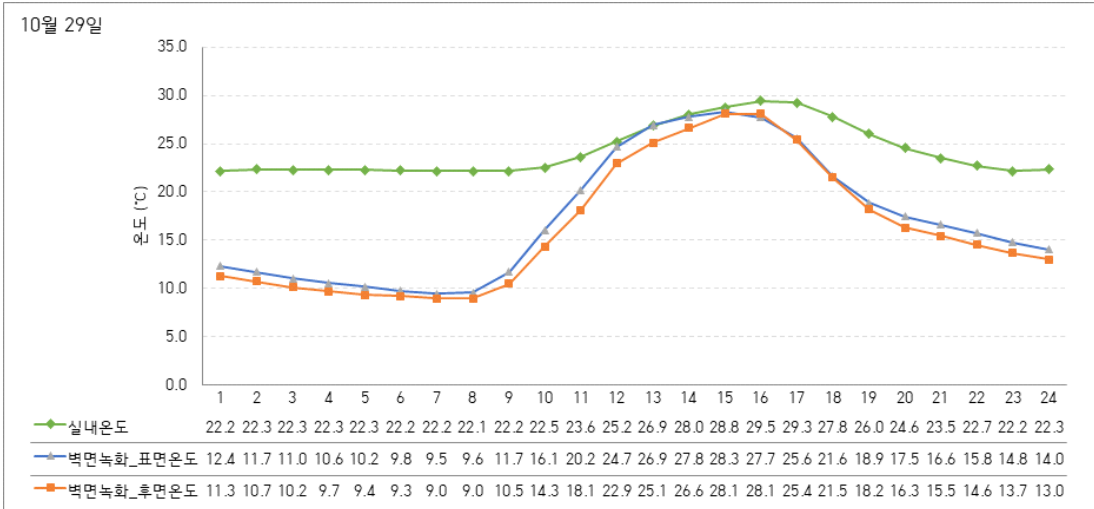


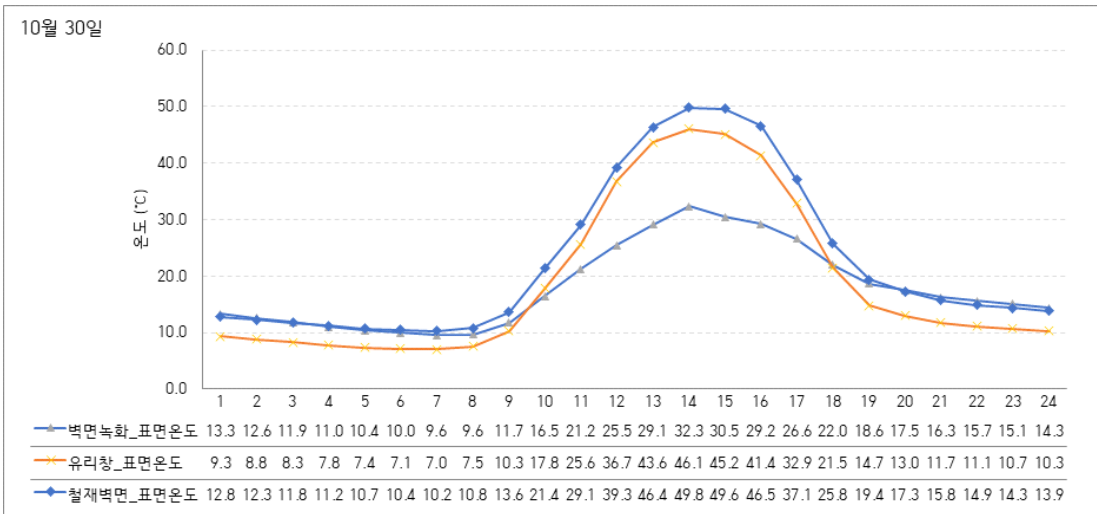
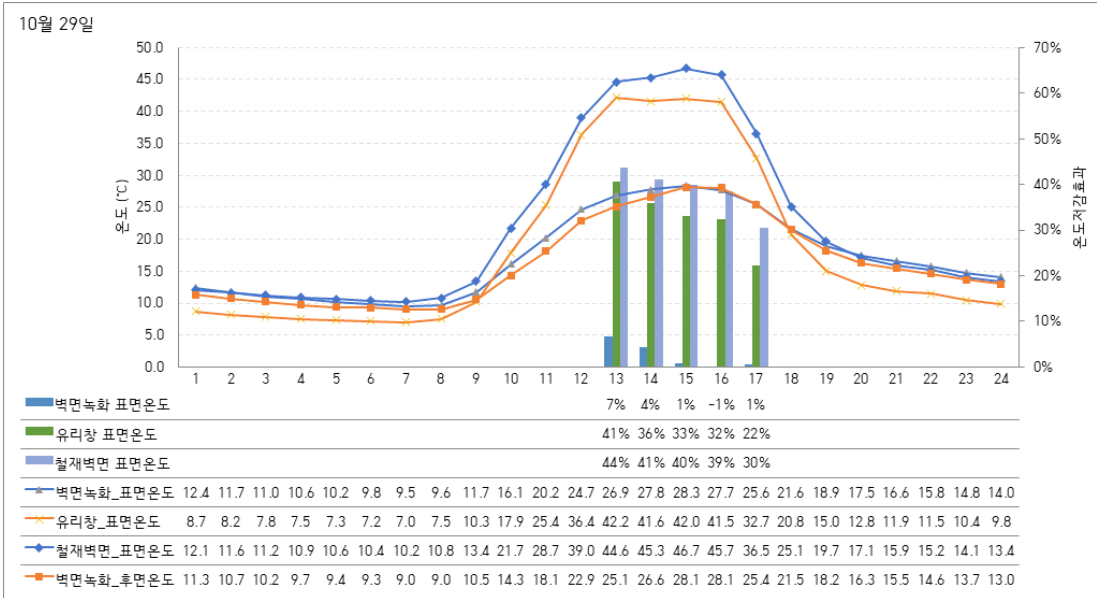


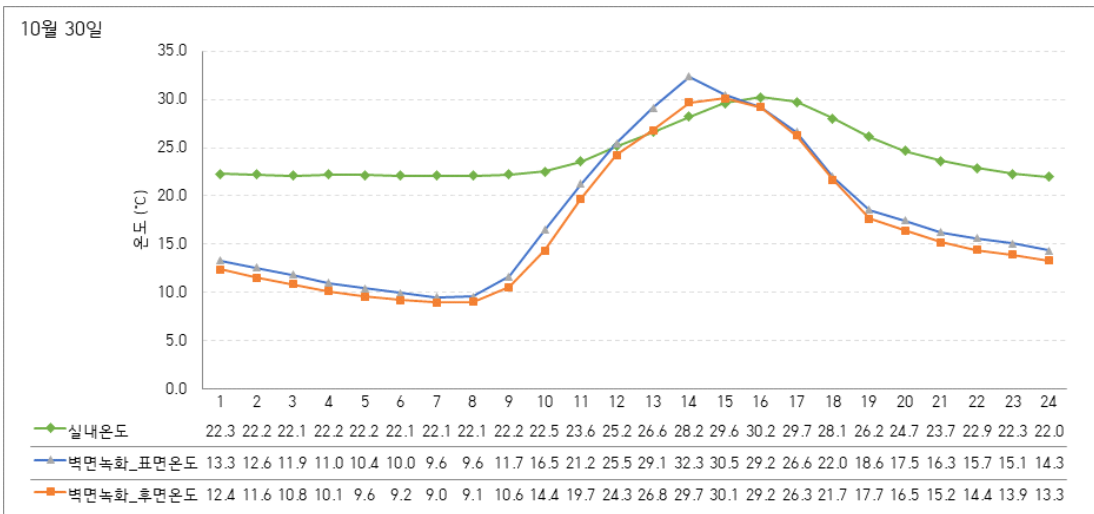
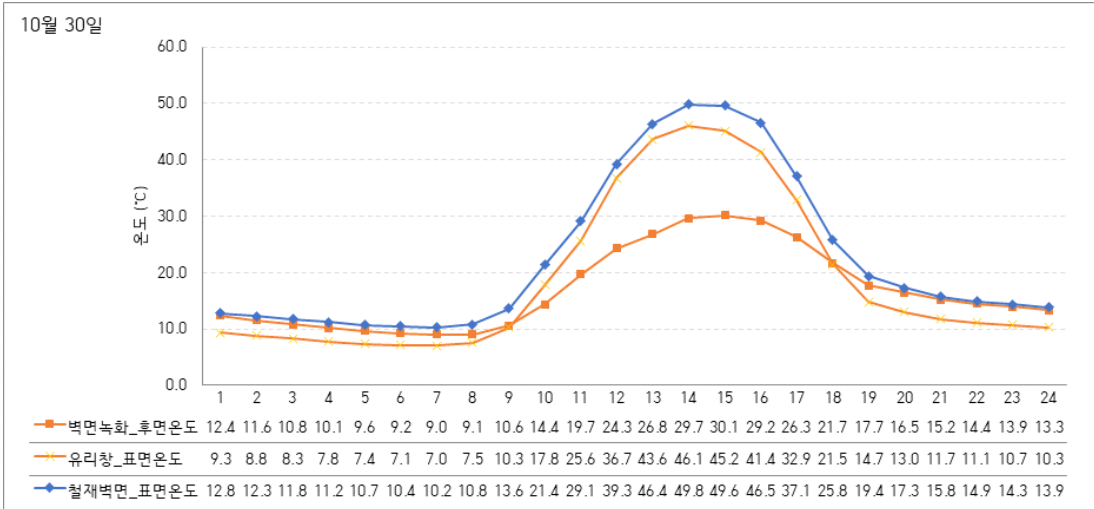


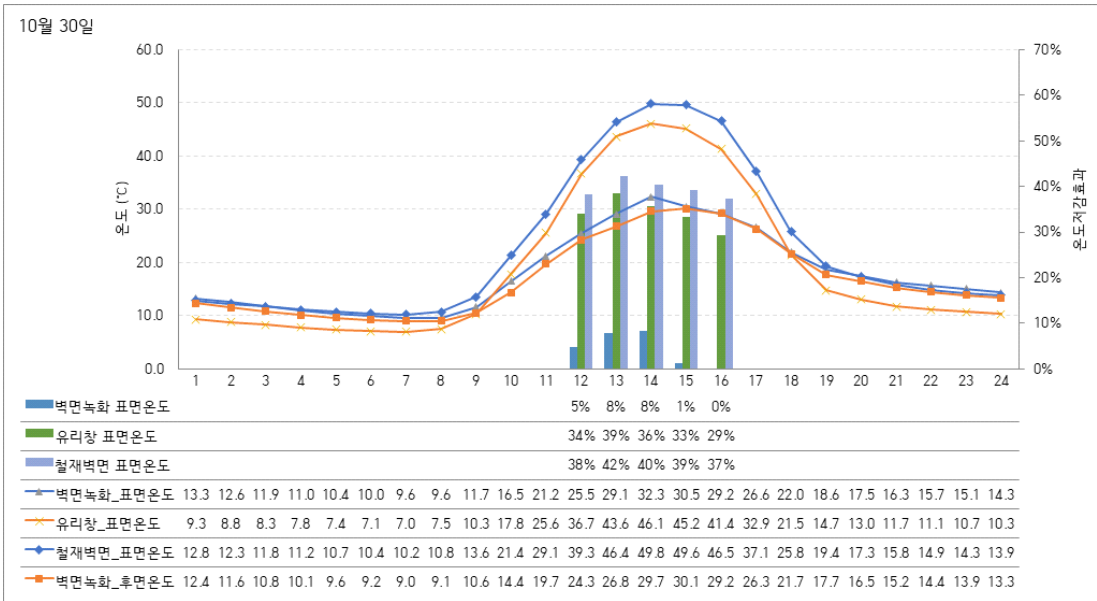
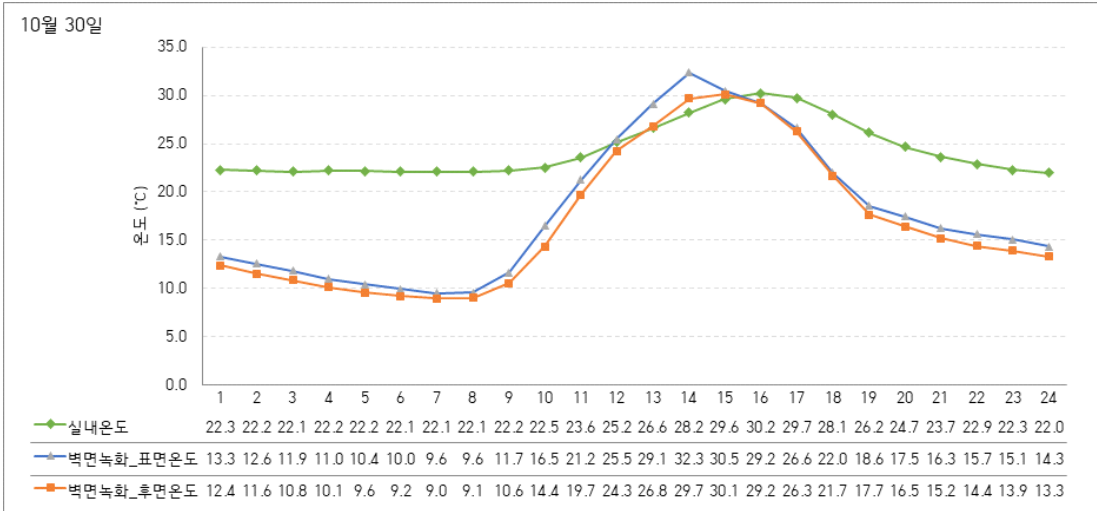


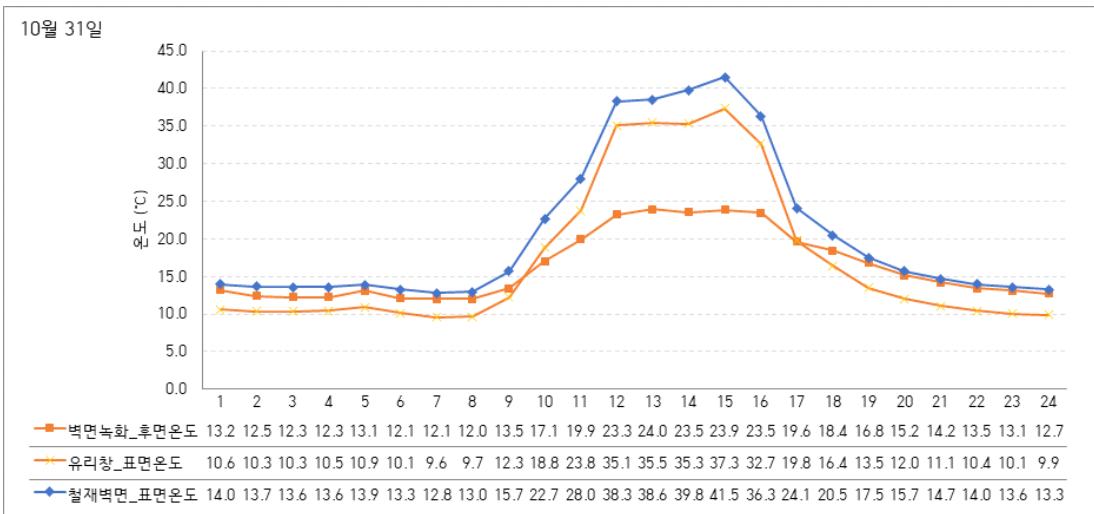
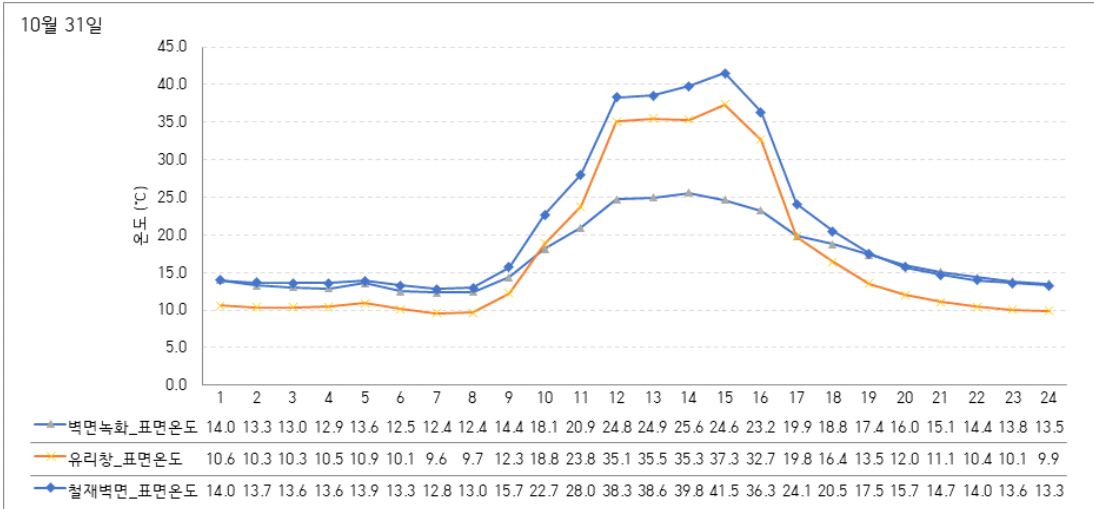


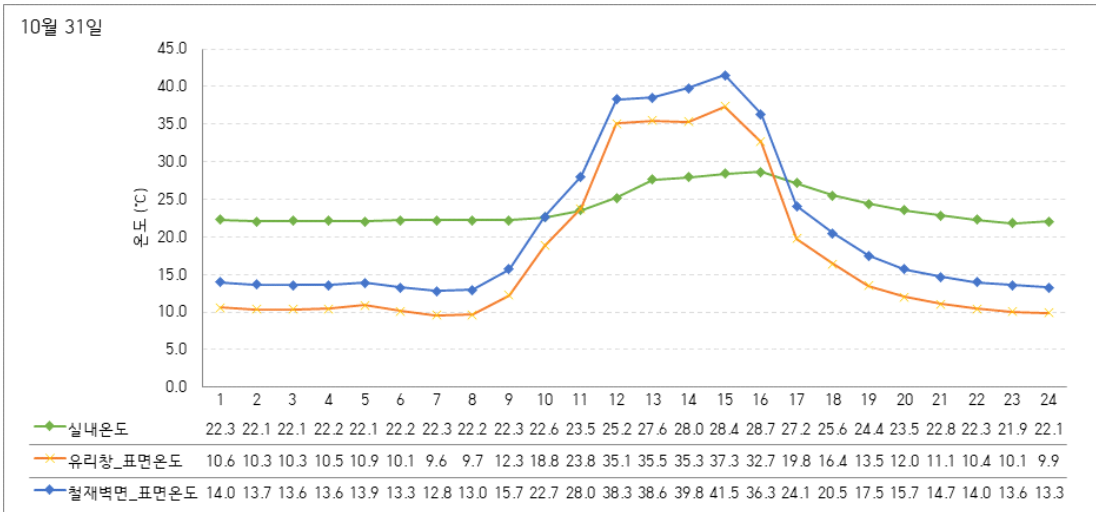
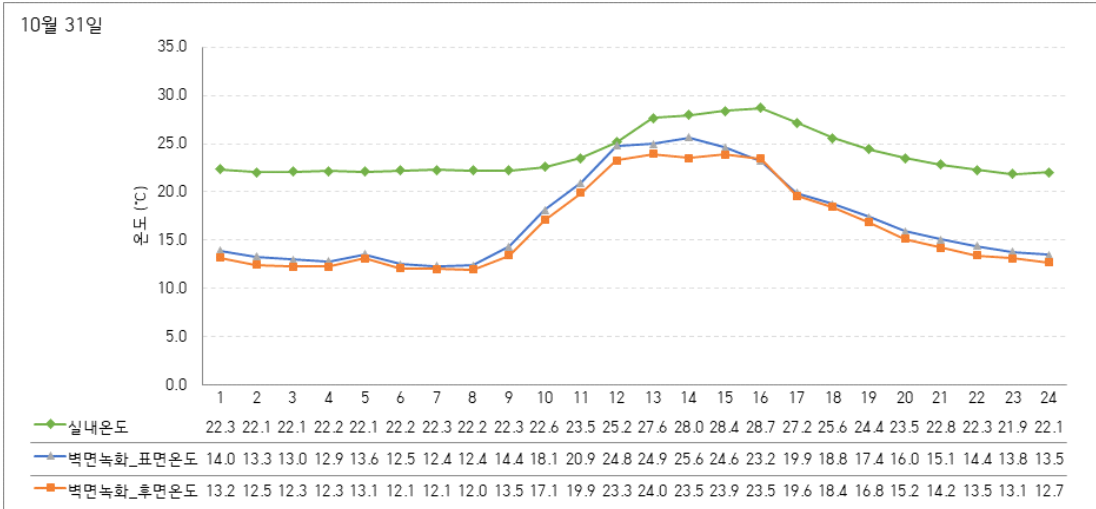


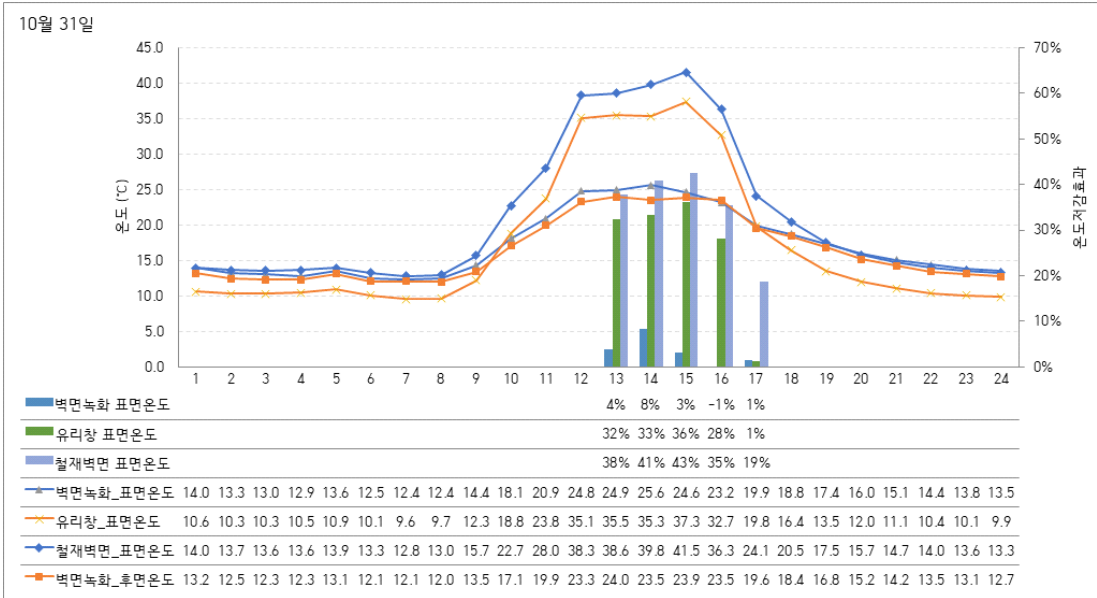












Abstract

A Study on the Performance Evaluation and Introduction of the Wall Greening System of Ilsan Seo-gu Office I

Jiyeol Im*, Kwangjin Jung**, Nakyung Oh*** Donghyun Lee****

The purpose of this study is to evaluate the performance of the wall greening system established in Ilsan Seo-gu Office, suggest improvement measures, and propose a plan to introduce Goyang City in the future. The core contents of this study are policy and case studies related to wall greening, data analysis based on field measurement data, and derivation of improvement and diffusion measures.

Ilsan Seo-gu Office, located opposite Goyang Sports Complex, 1600 Jungang-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, has been selected as a test bed. As part of the building greening project in 2022, the exterior wall of Ilsan Seo-gu Office was built as a vertical garden, so a monitoring system was established and compared and analyzed in the wall greening system, except for the installation of separate greening modules.

The maximum temperature of the non-greening section of the glass window and the steel wall surface was higher than that of the greening section of the wall and the rear. The maximum temperature of each surface was 58.88°C on the surface of

* Research Fellow, Goyang Research Institute, South Korea

** Research Fellow, Goyang Research Institute, South Korea

*** Researcher, Goyang Research Institute, Korea

**** Researcher, Goyang Research Institute, Korea

the steel wall, 54.90°C on the surface of the glass window, 42.26°C on the front of the wall, and 39.66°C on the back of the wall, and the difference in temperature between the surface of the steel wall and the back of the wall was 19.22°C.

The total floor area of Ilsan Seo-gu Office was applied, and the monthly effect was analyzed under the condition of operating air conditioning for 4 hours a day. The total reduction amount was calculated by calculating CO₂ emissions through electricity usage according to time, temperature, and area. The carbon tax was calculated by applying the carbon transaction tax and converted into trees through annual CO₂ absorption per tree.

As a result of converting the difference between the temperature behind the wall greening and the temperature of the steel wall with the highest surface temperature from the greening section to the building, the power reduction amount: 9,494 kW, and the power ratio: 2,616,527 won.

Based on the power reduction amount obtained through the 'Effective Analysis of Power Reduction by Temperature Reduction', the CO₂ was converted to about 7,785 kg CO₂, which showed the effect of planting trees in the central region of 30 years.