

# 서울에너지드림센터 제로에너지건축물 최적화 운영 현황 보고서

(2022~2023)



서울에너지드림센터  
Seoul Energy Dream Center

# 목 차

<b>01. 운영현황 보고서의 목표</b>	<b>06</b>
<b>02. 서울에너지드림센터 운영현황</b>	<b>10</b>
2.1 에너지설비 현황	11
2.2 전력 운영현황	15
2.3 시스템별 전력 운영현황	33
2.4 실내 환경 모니터링 운영현황	42
2.5 BEMS 운영 최적화 현황	49
2.6 시스템별 전력소비량의 연도 간 차이 원인 규명	57
<b>03. 냉방 에너지 저감을 위한 공조설비 최적제어 방안</b>	<b>78</b>
3.1 건물에너지 시뮬레이션 개요	78
3.2 EnergyPlus를 통한 건물 모델링 방법	81
3.3 제어변수별 에너지 소비량 민감도 분석	84
3.4 DNN(Deep Neural Network) 모델 구축	97
<b>04. 향후 서울에너지드림센터 운영 방향 및 계획</b>	<b>108</b>

서울에너지드림센터  
제로에너지건축물  
최적화 운영 현황  
보고서

(2022~2023)

01.

---

# 운영현황 보고서의 목표



## 1. 운영현황 보고서의 목표

- 2022년부터 2023년까지 서울에너지드림센터의 총 전력 소비 현황, 태양광 발전 현황, 주요 설비 · 시스템 별 에너지 소비 현황, 실내 환경 모니터링 운전 현황, BEMS 구축 중간보고를 통한 서울에너지드림센터의 AS-IS 분석





- AS-IS 분석을 바탕으로 향후 센터의 운영 방향과 계획을 수립하여 지속적인 에너지 최적화 운영을 도모함으로써 ‘탄소중립도시 서울’을 견인하는 중추적 역할 및 제로에너지건축물 확산에 기여하는 대표 건축물로서 위치를 공고히 하고자 함



서울에너지드림센터  
제로에너지건축물  
최적화 운영 현황  
보고서

(2022~2023)

02.

---

# 서울에너지드림센터 운영현황

- 에너지설비 현황
- 전력 운영현황
- 시스템별 전력 운영현황
- 실내 환경 모니터링 운영현황
- BEMS 운영 최적화 현황
- 시스템별 전력소비량의  
연도 간 차이 원인 규명

## 2. 서울에너지드림센터 연간 운영현황

### • 연간 전력 운영 및 시스템별 운영현황

- 2022년 1월부터 2023년 12월까지 SCADA 시스템에 30초 주기로 수집 된 에너지 데이터를 1시간 간격으로 전처리하여 운영현황 분석 수행
- 누락 된 데이터의 경우, 데이터 값을 1시간 간격으로 균등하게 보간 및 보정하여 데이터 처리
- 연간 전력운영현황은 태양광 발전량, 한국전력공사(이하 한전) 송수전량, 총 전력소비량으로 분석
- 설비 · 시스템별 에너지 소비 데이터 분석을 위해서 전력량계(WHM) 파일을 이용

### • 실내 환경 모니터링 현황

- 다중이용시설로 실내 공기질 관리법에 근거한 관리를 위해, 환경 측정센서를 설치하여 실내 환경 관리기반 강화
- 환경 측정센서를 통해 데이터 수집 및 추후 BEMS와 데이터를 연동하여 에너지 환경 통합 관리방안 수립 예정

### • BEMS 운영 최적화 및 고도화 현황

- 2022년 신규 구축한 BEMS의 최적 운영을 위한 고도화 추진
- 지속적인 데이터 모니터링을 통한 통계 데이터의 정합성 분석을 수행하고 시스템의 신뢰도 향상 추진
- 건물에너지 소비 용도 분석(냉방, 난방, 급탕)을 위한 계측 시스템 고도화 추진(현장 정밀 진단, 열량계/온도계 검교정 및 계측기 추가/교체 설치, 수집 시스템 고도화)
- BEMS 전시 방안을 마련하여 관람객 대상 대중 친화적 모니터링 제공으로 녹색건축물에 대한 인식 확산에 기여

## 2.1. 에너지 설비 현황

## 1) 수전변압기

구분	전 압			용량 (kVA)	형식	대수 (대)	용도	비고
	1차(kV)	2차(V)						
TR #1	22.9	380~220	220	300	Amorphous Mold	1	동력 및 전등	3권선 변압기

## 2) 터보냉동기

형식	설치 (대)	냉방용량		소비전력 (kW)	정격 COP	냉매	설치년도 (년)	제작
		USRT	kW					
원심식	1	61	214	35.7	6	R-134a	2012	SMARTD

## 3) 지열히트펌프

구분	용도	난방용량 (kW)	난방소비 전력(kW)	압축기 형식	2차 온수 온도 (°C)	온수유량 (LPM)	냉매
HP-1	1, 2, 3층 냉난방	37.76	10.05	스크롤	50/45	121	R-410a
HP-2	급탕, 냉난방용	37.76	10.05	스크롤	50/45	41	R-410a
HP-3	공조기냉난방용	37.76	10.05	스크롤	50/45	61	R-410a

## 4) 공기조화기(AHU)

현열교환기 (Recuperator)	증발냉각 (Adiabatic)		증발기 (Evaporator)	압축기 (Compressor)		Filter
형식	용량 (kW)	Pump (kW)	냉각용량 (kW)	전원 (kW)	냉매	
2단	100.4	0.64	30.2	6.3	R407C	Pre, Medium

## 5) 공기조화기(AHU) 부속 콘덴싱유니터보냉동기

구분	수량 (대)	용량 (kW)	송풍기				냉매	
			풍량 (CMH)	대수 (대)	전동기 (kW)	총 전력 (kW)	종류	한가스온도 (°C)
CDU-1	1	36.5	7,540	2	0.17	0.36	R407C	83

## 6) 냉각탑

Type	수량 (대)	냉각용량			냉각수 유량 (LPM)	냉각수 온도 (°C)	설치년도 (년)	제조
		CRT	kW	kcal/h				
직교류형	1	100	453.4	390,000	720	35/30	2012	경인기계

## 7) 공기조화기(AHU) 부속 가습기

구분	수량 (대)	풍량 (CMH)	가습량 (kg/h)	압력손실 (Pa)	물사용량 (kg/h)	가습표면 속도(m/s)	전력 (kW)
HU-1	1	17,000	76	105	5	2.61	1

## 8) Buffer Storage

구분	형식	용도	설치위치	용량 (Lit)	규격(mm)		탱크온도 (°C)
					Φ	H	
BT-1	입형	1, 2, 3층 난방	1층 지열장비실	2,000	1,320	2,980	35
BT-2	입형	급탕용	1층 지열장비실	500	900	1,800	55
BT-3	입형	공조기 가열 용	1층 지열장비실	2,000	1,320	2,980	45
BT-4	입형	1, 2, 3층 냉방	3층 공조실	3,000	1,820	2,190	16
BT-5	입형	공조기 냉각 용	3층 공조실	6,000	2,220	2,510	7

## 9) 지열 열교환기

구분	형식 (Type)	용도	용량 (kW)	규격(mm)			대수	유량 (LPM)	비고
				L	W	H			
EX-1	Plate	지열 히트펌프용	14	730	328	821	1	67	LHE(12)
EX-2			9				1	43	LHE(12)
EX-3			14				1	67	LHE(12)

## 10) 급배기팬

구분	수량 (대)	형식	용도	풍량 (CMH)	정압 (mmAq)	동력 (kW)	제조
급배기팬 (F-1)	2	In line	발전기, 축전지, UPS실	11,000	20	2.2	금성풍력

## 11) 팬컨벡터(FC)

구분	형식	수량 (대)	냉방용량 (W)	냉방유량 (LPM)	난방용량 (W)	난방유량 (LPM)	송풍기	
							풍량 (CMM)	동력 (W)
FC-1	바닥매입형	4	837	4	1,395	4	6.67	45×2
FC-2	바닥매입형	5	918	4.4	1,604	4.6	7.33	62×2
FC-3	바닥매입형	4	1,070	5.1	1,941	5.6	7.33	62×2
FC-4	바닥매입형	24	1,232	5.9	2,069	5.9	8	62×2
FC-5	바닥매입형	9	1,570	7.5	2,570	7.4	11	62×3



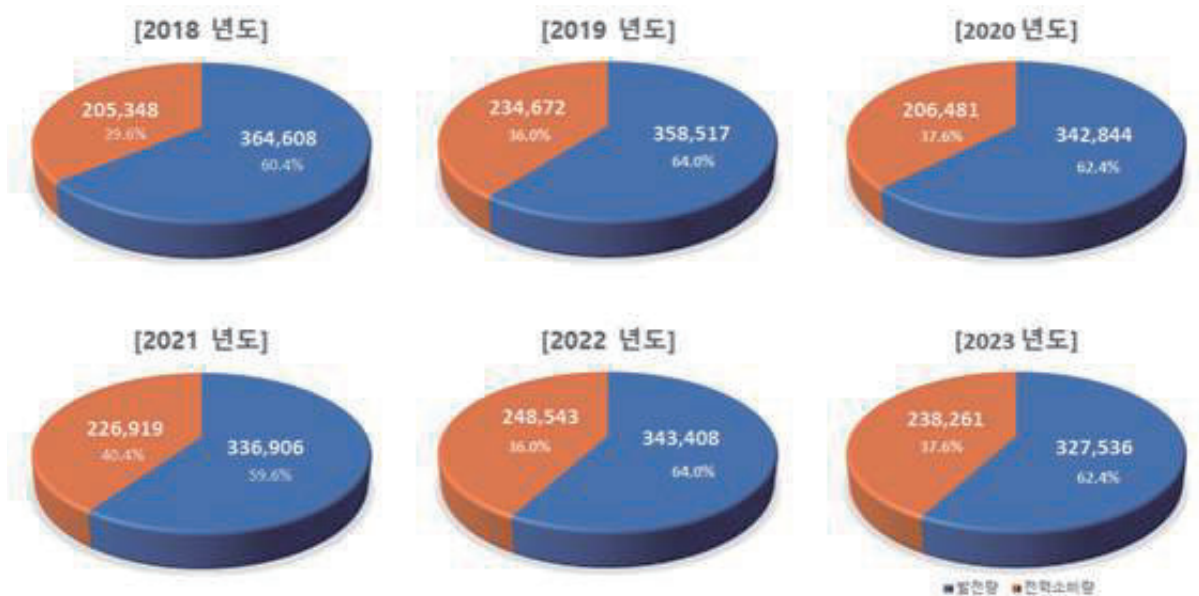
## 12) 펌프동력설비

구분	형식	용도	유량 (LPM)	양정 (m)	동력 (kW)	대수	제조
P-1	인라인	냉각수순환	720	15	4	1	윌로 펌프
P-2	인라인	냉수1차(냉동기)	612	11	3	1	윌로 펌프
P-3	인라인	냉수2차(공조기)	465	20	4	1	윌로 펌프
P-4	인라인	온수2차(공조기)	62	16	1.5	1	윌로 펌프
P-5	인라인	급탕 순환	10	5	0.2	1	윌로 펌프
P-6	인라인	브라인(열교환기1)	67	15	1.5	1	윌로 펌프
P-7	인라인	냉수2차(열교환기1)	67	9	1.5	1	윌로 펌프
P-8	인라인	브라인(히트펌프1)	133	30	3.7	1	윌로 펌프
P-9	인라인	온수2차(히트펌프1)	121	9	1.5	1	윌로 펌프
P-10	인라인	냉온수2차(3층)	144	21	3	1	윌로 펌프
P-11	인라인	냉온수2차(1, 2층)	244	20	3	1	윌로 펌프
P-12	인라인	브라인(열교환기2)	43	15	1.5	1	윌로 펌프
P-13	인라인	냉수1차(열교환기2)	43	9	1.5	1	윌로 펌프
P-14	인라인	브라인(히트펌프2)	133	30	3.7	1	윌로 펌프
P-15	인라인	온수2차(히트펌프2)	41	9	1.5	1	윌로 펌프
P-16	인라인	브라인(열교환기3)	67	15	1.5	1	윌로 펌프
P-17	인라인	냉수1차(열교환기3)	67	9	1.5	1	윌로 펌프
P-18	인라인	브라인(히트펌프3)	133	30	3.7	1	윌로 펌프
P-19	인라인	온수2차(히트펌프3)	61	9	1.5	1	윌로 펌프
P-20	수중형	전기실 집수정	100	12	0.95	2	윌로 펌프
P-21	자흡식	우수2차	50	15	0.95	1	윌로 펌프
P-22	수중형	화장실오배수	179	17	2.2	2	윌로 펌프

## 2.2. 연간 전력 운영현황

### 1) 서울에너지드림센터 2022년, 2023년 종합 전력 운영현황

- 2022년 서울에너지드림센터의 태양광 발전량(A)은 343,408kWh, 한전 송전량(B)은 187,205kWh, 생산 전력 사용량(A-B)은 156,203kWh로 집계되어 최근 2018~2021년 평균 생산 전력 사용량 대비 11,070kWh 증가(▲ 7.09%)
- 2022년 생산 전력 사용량(A-B)은 156,203kWh, 한전 수전량(C)은 92,340kWh로 집계되어, 총 전력소비량(A-B+C)은 248,543kWh로 2018~2021년 평균 총 전력소비량 대비 28,391kWh 증가(▲ 11.42%)
- 2023년 서울에너지드림센터의 태양광 발전량(A)은 327,536kWh, 한전 송전량(B)은 174,566kWh, 생산 전력 사용량(A-B)은 152,970kWh로 집계되어 최근 2018~2022년 평균 생산 전력 사용량 대비 5,582kWh 증가(▲ 3.79%)
- 2023년 생산 전력 사용량(A-B)은 152,970kWh, 한전 수전량(C)은 85,291kWh로 집계되어, 총 전력소비량(A-B+C)은 238,261kWh로 2018~2022년 평균 총 전력소비량 대비 13,868kWh 증가(▲ 6.18%)



[그림 1] 서울에너지드림센터 연도별 전력 운영현황

[표 1] 서울에너지드림센터 연도별 전력 운영현황

구분	단위	2018	2019	2020	2021	2022	2023
태양광 발전량[A]	kWh/년	364,608	358,517	342,844	336,906	343,408	327,536
한전 송전량[B]	kWh/년	223,939	200,221	209,861	188,119	187,205	174,566
한전 수전량[C]	kWh/년	69,981	81,576	73,498	78,132	92,340	85,291
생산 전력 사용량[A-B]	kWh/년	140,669	138,296	132,983	148,787	156,203	152,970
총 전력 소비량[A-B+C]	kWh/년	205,348	234,672	206,481	226,919	248,543	238,261

- 2022년 1월부터 12월까지 집계된 센터 전력 운영현황에 따른 사용 전기요금은 19,627,800원임
- 2023년 1월 부터 12월까지 집계된 센터 전력 운영현황에 따른 사용 전기요금은 22,279,560원임

[표 2] 2022년 서울에너지드림센터 발전량 및 자체 사용량

구분	태양광								
	발전량 [A]	일평균 발전시간	판매 허용량	한전 송전량 [B]	송전율 [B/A]	판매량	판매단가	판매금액	자체사용량 [C=A-B]
단위	kWh	h	kWh	kWh	%	kWh	원	원	kWh
1월	20,496	2.43	10,800	10,740	52.4%	10,800	154.42	1,667,736	9,756.0
2월	24,963	3.28	14,400	14,338	57.4%	14,400	124.47	2,841,408	10,625.0
3월	28,511	3.38	17,206	17,136	60.1%	17,206	192.75	3,316,456	11,375.0
4월	37,940	4.65	24,967	24,967	65.8%	24,967	202.11	5,046,080	12,973.0
5월	45,020	5.34	31,111	31,111	69.1%	31,111	140.34	4,366,117	13,909.0
6월	28,558	3.50	15,082	15,082	52.8%	15,082	129.72	1,956,437	13,476.0
7월	32,760	3.69	10,049	10,049	30.7%	10,049	151.85	1,525,940	22,731.0
8월	26,875	3.19	8,693	8,693	32.3%	8,693	197.74	1,718,953	18,182.0
9월	31,564	3.87	17,095	17,095	54.2%	17,095	234.75	4,013,051	14,469.0
10월	28,314	3.36	18,264	18,264	64.5%	18,264	253.25	4,625,358	10,050.0
11월	21,063	2.58	12,230	12,230	58.1%	12,230	242.19	2,961,963	8,833.0
12월	17,324	2.05	7,500	7,500	43.3%	7,500	159.65	1,197,375	9,824.0
TOTAL	343,408	3.46	15,616	187,205	54.51%	187,397	188.03	35,236,894	156,203.0

[표 3] 2022년 서울에너지드림센터 발전량 및 자체 사용량

구분	태양광			일반					전기차 충전(별도설치)	
	발전량 [A]	한전 송전량 [B]	자체사용량 [C=A-B]	한전 수전량 [D]	드림센터 사용량	전기버스 충전량	총 사용량 [E=C+D]	전기요금	전기버스 충전량	전기버스 충전요금
단위	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	원	kWh	원
1월	20,496	10,740	9,756.0	10,488.0	20,244.0	-	20,244.0	1,852,430	-	162,810
2월	24,963	14,338	10,625.0	7,780.8	18,405.8	-	18,405.8	1,493,500	-	162,810
3월	28,511	17,136	11,375.0	6,974.4	18,349.4	-	18,349.4	1,279,290	88	329,000
4월	37,940	24,967	12,973.0	3,943.2	16,916.2	-	16,916.2	1,088,160	1	322,850
5월	45,020	31,111	13,909.0	3,583.2	17,492.2	-	17,492.2	1,040,930	71	327,500
6월	28,558	15,082	13,476.0	8,263.2	21,739.2	-	21,739.2	1,805,400	136	340,930
7월	32,780	10,049	22,731.0	12,076.8	34,807.8	-	34,807.8	2,320,890	93	422,060
8월	26,875	8,693	18,182.0	13,156.8	31,338.8	-	31,338.8	2,552,220	34	436,280
9월	31,564	17,095	14,469.0	6,580.8	21,049.8	-	21,049.8	1,377,590	22	437,080
10월	28,314	18,264	10,050.0	4,766.4	14,816.4	-	14,816.4	1,251,210	234	453,370
11월	21,063	12,230	8,833.0	5,332.8	14,165.8	-	14,165.8	1,493,590	242	467,910
12월	17,324	7,500	9,824.0	9,393.6	19,217.6	-	19,217.6	2,072,590	147	456,360
TOTAL	343,408	187,205	156,203.0	92,340	248,543		248,543	19,627,800	1,068	4,318,960

[표 4] 2023년 서울에너지드림센터 발전량 및 자체 사용량

구분	태양광								
	발전량 [A]	일평균 발전시간	판매 허용량	한전 송전량 [B]	송전율 [B/A]	판매량	판매단가	판매금액	자체사용량 [C=A-B]
단위	kWh	h	kWh	kWh	%	kWh	원	원	kWh
1월	19,803	2.35	10,205	10,205	51.5%	10,205	160.11	1,633,922	9,598.2
2월	24,298	3.19	14,078	14,078	57.9%	14,078	161.98	2,280,354	10,219.6
3월	31,921	3.78	22,200	22,200	69.5%	22,200	215.90	4,792,980	9,721.0
4월	30,631	3.75	20,837	20,837	68.0%	20,837	157.15	3,274,534	9,794.2
5월	37,895	4.49	24,538	24,538	64.8%	24,538	143.64	3,524,638	13,357.4
6월	34,802	4.26	19,558	19,558	56.2%	19,558	147.13	2,877,568	15,244.4
7월	29,229	3.46	10,207	10,207	34.9%	10,207	153.52	1,566,978	19,021.8
8월	29,759	3.53	7,781	7,781	26.1%	7,781	147.22	1,145,518	21,978.2
9월	27,305	3.34	11,508	11,508	42.1%	11,508	141.19	1,624,814	15,797.0
10월	28,373	3.36	17,345	17,345	61.1%	17,345	137.01	2,376,438	11,028.2
11월	19,996	2.45	11,078	11,078	55.4%	11,078	120.85	1,338,776	8,917.6
12월	13,524	1.60	5,232	5,232	38.7%	5,232	131.12	686,019	8,292.0
TOTAL	327,536	3.30	14,547	174,566	53.30%	174,567	155.37	27,122,539	152,969.6

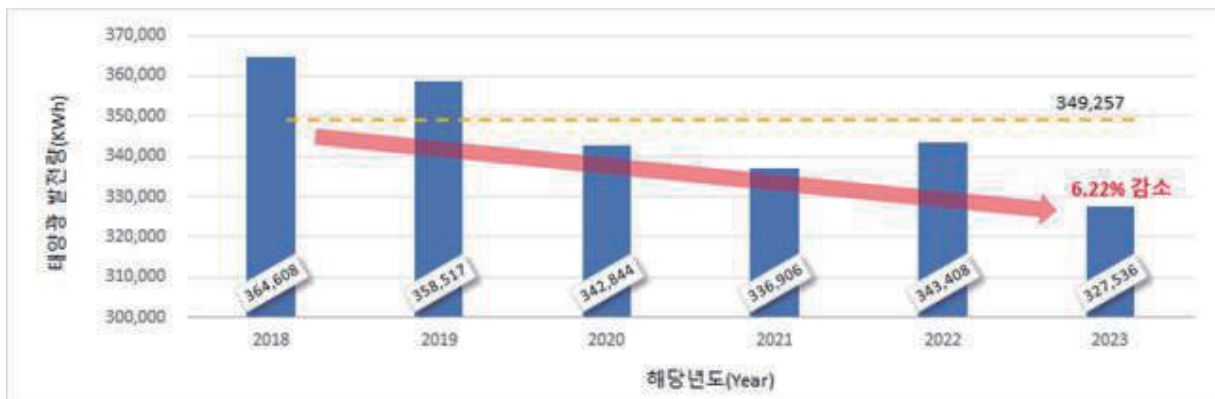


[표 5] 2023년 서울에너지드림센터 발전량 및 자체 사용량

구분	태양광			일반					전기차 충전(별도설치)	
	발전량 [A]	한전 충전량 [B]	자체사용량 [C=A-B]	한전 수전량 [D]	드림센터 사용량	전기버스 충전량	총 사용량 [E=C+D]	전기요금	전기버스 충전량	전기버스 충전요금
단위	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	원	kWh	원
1월	19,803	10,205	9,598.2	7,874.4	17,472.6	-	17,472.6	1,996,240	47	468,260
2월	24,298	14,078	10,219.6	5,553.6	15,773.2	-	15,773.2	1,582,700	46	468,200
3월	31,921	22,200	9,721.0	4,317.6	14,038.6	-	14,038.6	1,258,410	39	465,420
4월	30,631	20,837	9,794.2	4,430.4	14,224.6	-	14,224.6	1,311,740	148	447,970
5월	37,895	24,538	13,357.4	4,430.4	17,787.8	-	17,787.8	1,293,760	403	478,240
6월	34,802	19,558	15,244.4	5,529.6	20,774.0	-	20,774.0	1,628,120	367	508,900
7월	29,229	10,207	19,021.8	11,133.6	30,155.4	-	30,155.4	2,633,430	254	493,420
8월	29,759	7,781	21,978.2	12,439.2	34,417.4	-	34,417.4	2,949,330	137	457,380
9월	27,305	11,508	15,797.0	8,152.8	23,949.8	-	23,949.8	1,906,100	482	502,890
10월	28,373	17,345	11,028.2	5,352.0	16,380.2	-	16,380.2	1,482,170	195	454,560
11월	19,996	11,078	8,917.6	6,408.0	15,325.6	-	15,325.6	1,822,710	378	506,690
12월	13,524	5,232	8,292.0	9,669.6	17,961.6	-	17,961.6	2,414,850	16	463,490
<b>TOTAL</b>	<b>327,536</b>	<b>174,566</b>	<b>152,969.6</b>	<b>85,291</b>	<b>238,261</b>		<b>238,261</b>	<b>22,279,560</b>	<b>2,512</b>	<b>5,715,420</b>

## 2) 발전량

- 발전량은 서울에너지드림센터의 태양광 발전을 통하여 얻은 전력생산량을 의미
- 최근 6개년도 태양광 발전량은 2018년 368,040kWh, 2019년 358,535kWh, 2020년 342,844kWh, 2021년 336,906kWh, 2022년 343,408kWh, 2023년 327,536kWh로 최근 7개년도(2018년~2023)의 경우 지속적인 감소 추세를 보임
- 2023년 태양광 발전량은 2018~2022년 평균 발전량과 대비 6.22% 감소한 결과를 보임

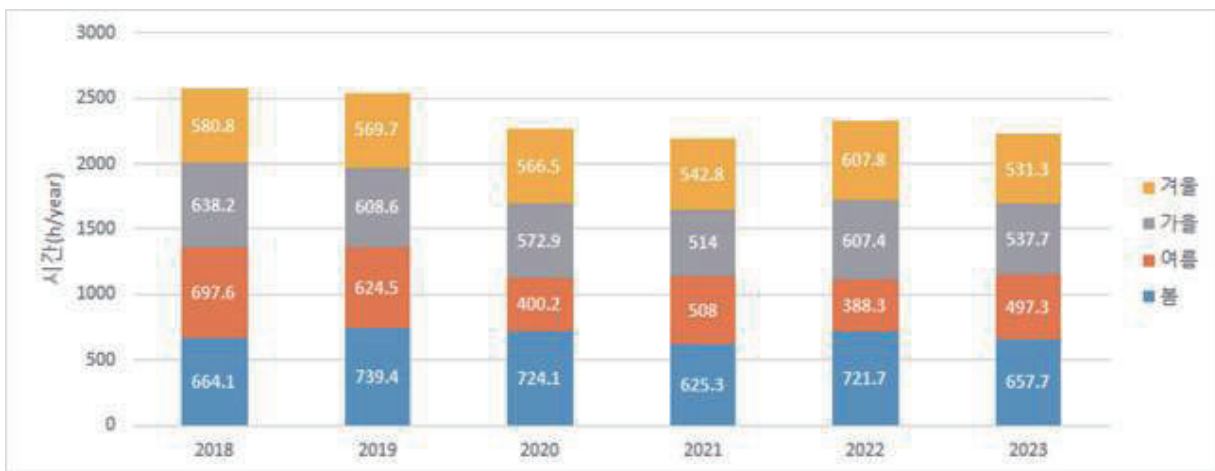


[그림 2] 서울에너지드림센터 연도별 태양광 발전량

- 태양광 발전량의 지속적인 감소요인은 설비 노후화에 의한 발전효율감소(연평균 0.3%~0.8%)와 지속적인 일조량 감소로 예측

[표 6] 연도별 일조시간 통계에 따른 변화율

구분	단위	2018	2019	2020	2021	2022	2023
일조시간	h/년	2,580.70	2,542.20	2,263.70	2,190.10	2,325.20	2,224
변화율	%	100	98.5	87.7	84.8	90.1	86.2

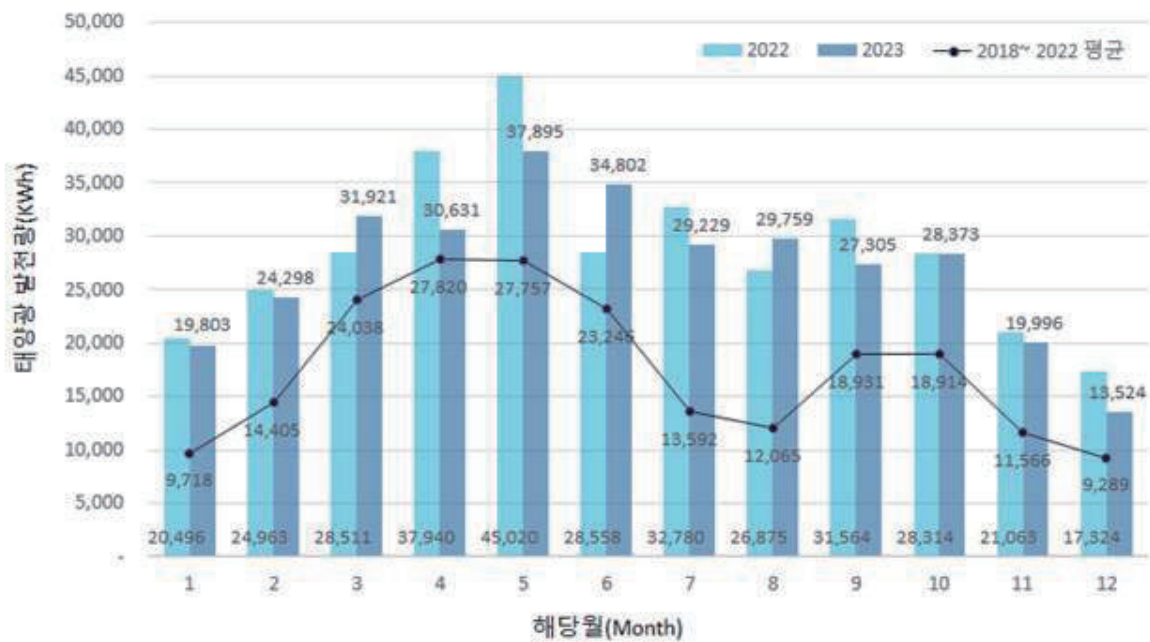


[그림 3] 연도별 일조시간 통계 현황

- [표 7]과 [그림 4]은 연도별 월별 태양광 발전량을 보여주고 있음
- 2022년 월별 발전량이 가장 높은 달은 5월로 45,020kWh의 발전량을 달성하여 2018~2021년 평균 월 발전량 대비 13.1%의 높음
- 2022년 월별 발전량이 가장 낮은 달은 2021년과 동일하게 12월이며, 17,324kWh를 발전하였음
- 2023년 월별 발전량이 가장 높은 달은 5월로 37,895kWh의 발전량을 달성하였으나, 2018~2022년 평균 월 발전량 대비 5.8%낮음
- 2023년 월별 발전량이 가장 낮은 달은 12월로 13,524kWh를 발전함
- 2023년 4월~5월, 7월, 9월에는 전년 대비 우천 일자 증가로 인하여 태양광 발전량이 감소하여 2022년 4월 37,940kWh, 5월 45,020kWh, 7월 32,780kWh, 9월 31,564kWh의 발전량이 2023년 4월 30,631kWh, 5월 37,895kWh, 7월 29,759kWh, 9월 27,305kWh로 나타남

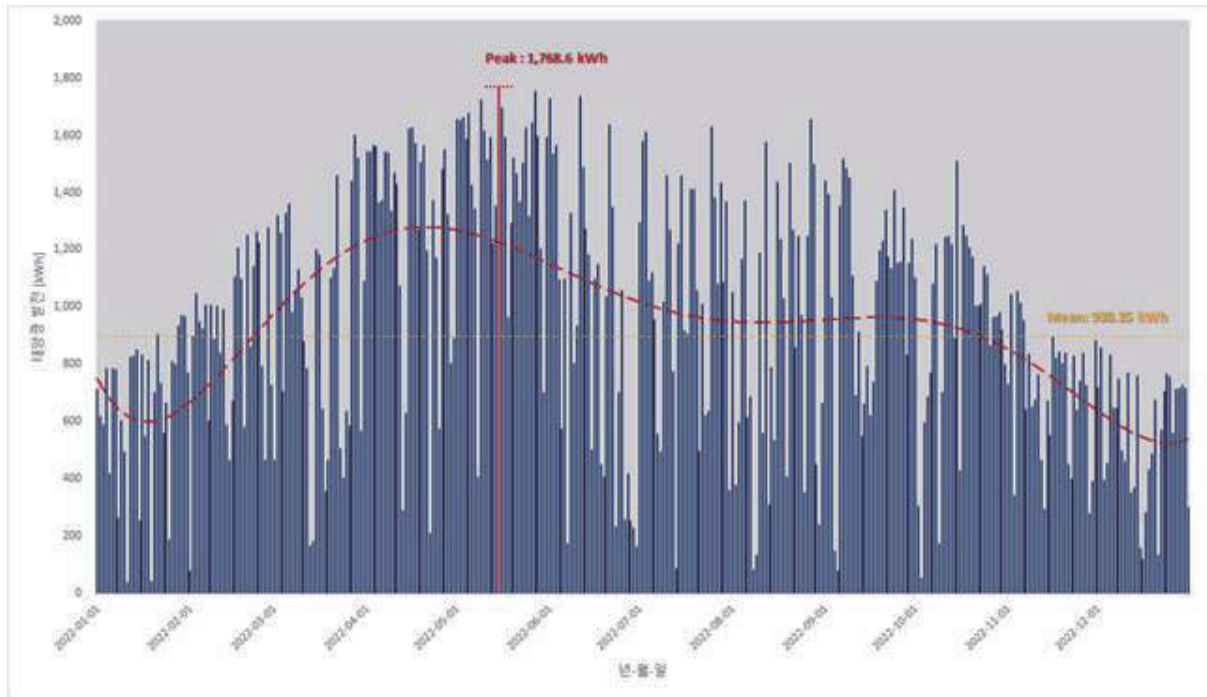
[표 7] 서울에너지드림센터 월별 태양광 발전량

Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	발전량	kWh	19,803	24,298	31,921	30,631	37,895	34,802	29,229	29,759	27,305	28,373	19,998	13,524	327,536
	일사량	kWh/m <sup>2</sup>	290	363	520	498	648	572	478	469	425	416	284	217	5,186
2022	발전량	kWh	20,496	24,963	28,511	37,940	45,020	28,558	32,780	26,875	31,564	28,314	21,063	17,324	343,408
	일사량	kWh/m <sup>2</sup>	135	199	261	434	557	322	366	283	322	233	140	107	3,360
2018-2022 [평균]	발전량	kWh	20,240	24,254	32,321	37,078	40,287	35,957	32,464	30,030	30,781	26,582	20,873	18,411	349,257
	일사량	kWh/m <sup>2</sup>	211	290	428	538	603	525	449	401	410	348	233	179	4,615

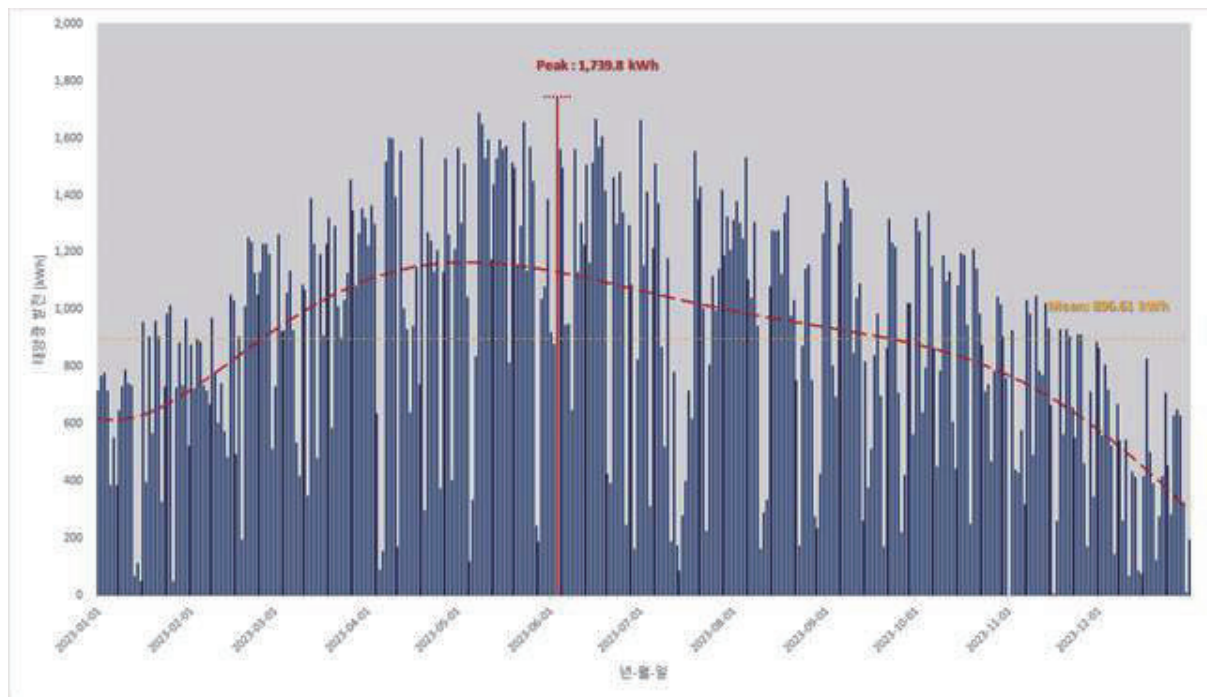


[그림 4] 서울에너지드림센터 월별 태양광 발전량

- 2022년 일 발전량이 가장 높은 날은 5월 15일이며, 하루 동안 12.9시간으로 평년(6.4시간) 대비 6.3시간 더 발전하여 1,786.6kWh의 전력을 생산함
- 2022년의 평균 일 발전량은 938.35kWh임
- 2023년 일 발전량이 가장 높은 날은 6월 3일이며, 하루 동안 13.3시간으로 평년(7.1시간) 대비 6.2시간 더 발전하여 1,739.3kWh의 전력을 생산함
- 2023년 평균 일 발전량은 897.3kWh임



[그림 5] 2022년 태양광 일일 발전량



[그림 6] 2023년 태양광 일일 발전량



### 3) 송전량

- 송전량은 서울에너지드림센터가 생산한 전력량 중 한전에 공급한 전력량을 의미
- 서울에너지드림센터의 최근 6개년도의 송전량은 2018년 223,939kWh, 2019년 220,220kWh, 2020년 209,861kWh, 2021년 188,118kWh, 2022년 187,205kWh, 2023년 174,566kWh로 지속적 감소 추세를 보임
- 2023년 송전량은 6개년도 평균 발전량 대비 15.2% 감소한 결과를 보임
- 송전량 감소 요인은 발전량의 감소 및 각 해당연도의 설비 이슈(1. 추가 설치된 설비, 2. 설비고장에 따른 고장 설비교체 과정에서 대체 설비 운전 시간의 변동 등) 여러 가지 환경적 요인으로 인한 총 전력 소비량 증가에 따른 결과임.

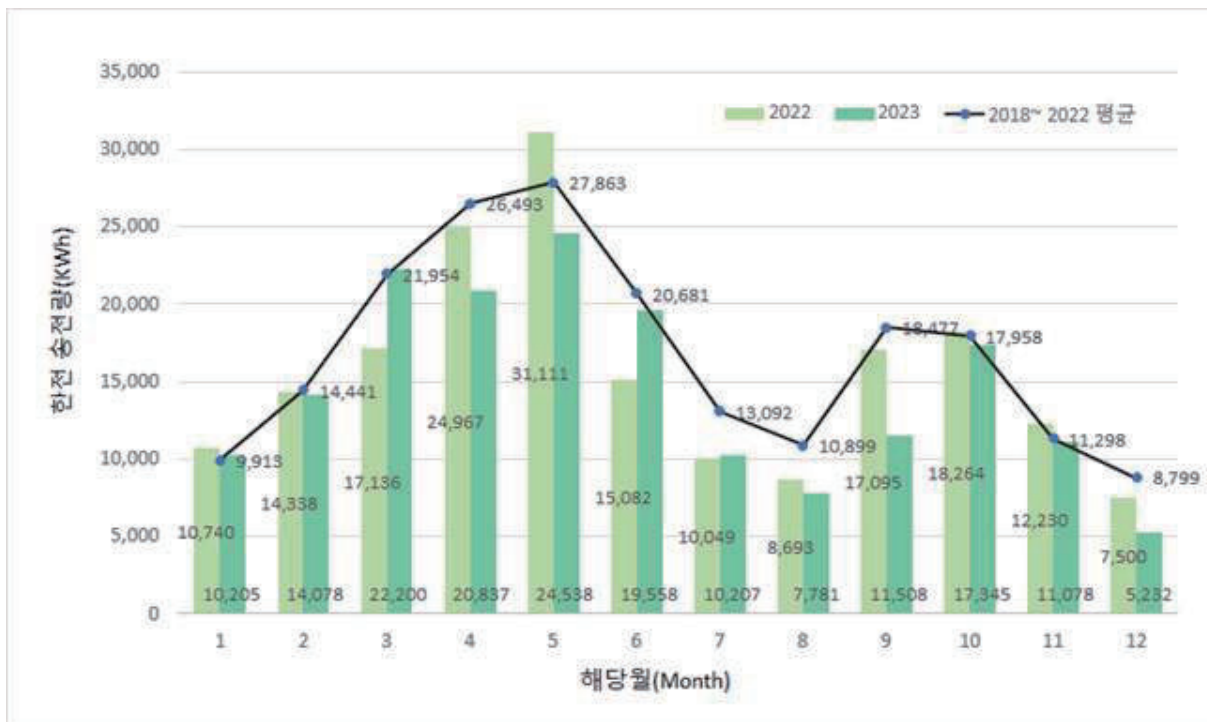


[그림 7] 서울에너지드림센터 연도별 한전 송전량

- [표 8]과 [그림 8]은 연도별 월별 한전 송전량을 나타낸 것임
- 2022년 월별 송전량이 가장 높은 달은 5월이며, 31,111kWh 전력을 한전에 공급함
- 2022년 월별 송전량이 가장 낮은 달은 12월이며, 7,500Wh 전력을 한전에 공급함
- 2023년 월별 송전량이 가장 높은 달은 5월이며, 24,538kWh의 전력을 한전에 송전함
- 2023년 7월~9월의 한전 송전량은 여름철 더위로 인한 전력 사용량 증가로 7월 10,207kWh, 8월 7,781kWh, 9월 11,508kWh로 낮음
- 2023년 월별 송전량이 가장 낮은 달은 12월이며, 5,232kWh를 한전에 송전함

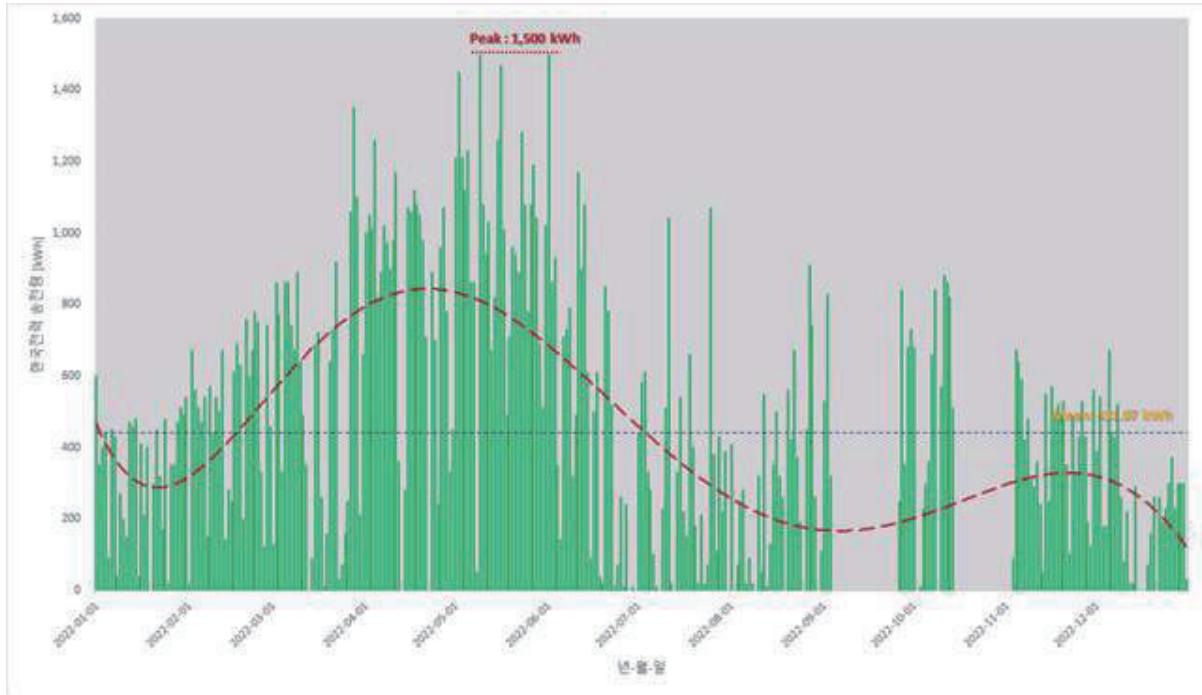
[표 8] 서울에너지드림센터 월별 송전량

Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	송전량	kWh	10,205	14,078	22,200	20,837	24,538	19,558	10,207	7,781	11,508	17,345	11,078	5,232	174,566
2022	송전량	kWh	10,740	14,338	17,136	24,967	31,111	15,082	10,049	8,693	14,095	18,264	12,230	7,500	187,205
2018-2022 [평균]	송전량	kWh	9,913	14,441	21,954	26,493	27,863	20,681	13,092	10,899	18,477	17,958	11,298	8,799	201,869

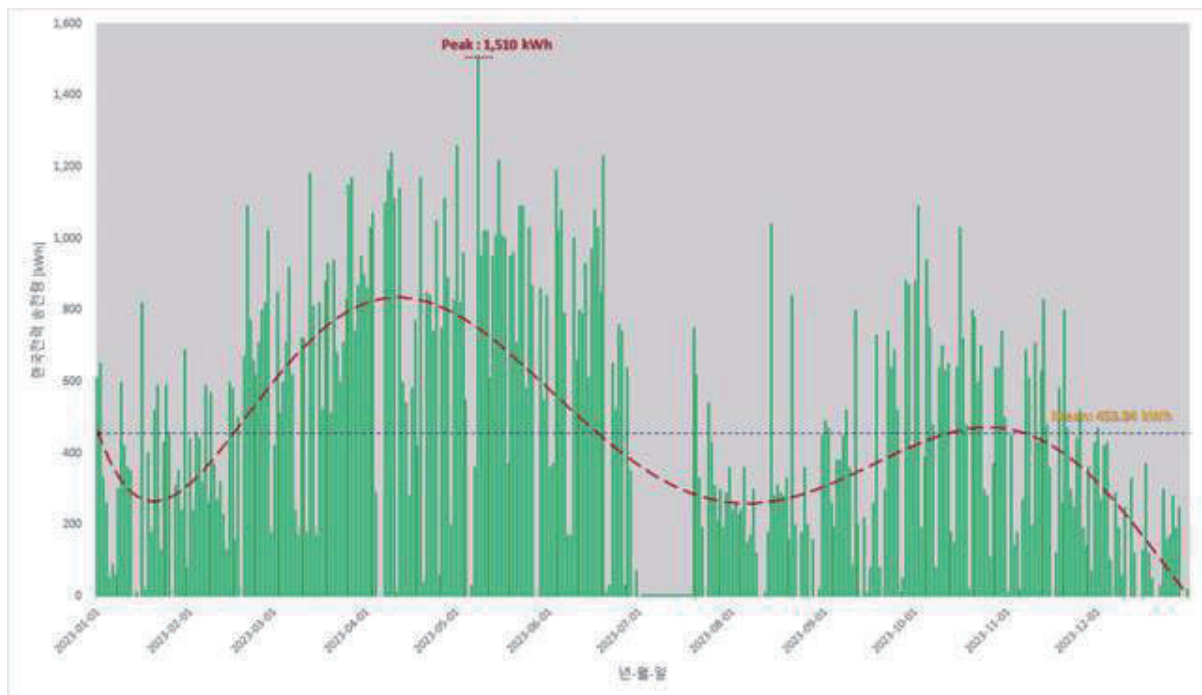


[그림 8] 서울에너지드림센터 월별 한전 송전량

- 2022년 일일 송전량이 가장 높은 날은 5월 9일과 6월 1일이며, 각 1,500kWh를 송전하였음
- 2022년의 일평균 송전량은 431.07kWh임
- 2023년 일일 송전량이 가장 높은 날은 5월 8일이며, 1,510kWh를 송전하였음
- 2023년의 일평균 송전량은 453.84kWh임



[그림 9] 2022년 일별 한전 송전량



[그림 10] 2023년 일별 한전 송전량

## 4) 수전량

- 수전량은 서울에너지드림센터가 한전에서 공급받는 전력량을 의미
- 서울에너지드림센터의 최근 6개년도의 수전량은 2018년 69,984kWh, 2019년 81,576kWh, 2020년 73,498kWh, 2021년 78,132kWh, 2022년 92,340kWh, 2023년 85,291kWh로 2019년, 2021년 사이에 코로나 팬데믹에 따른 센터의 휴관으로 9.9%가량 수전량이 감소하였다가 2022년 코로나 팬데믹의 확산세 감소로 센터 운영이 정상화됨에 따라 총 전력 소비량이 증가 추세로 전환됨에 따라 함께 증가함
- 2023년 수전량은 2018~2022년 평균 수전량 대비 7.8% 증가함
- 수전량의 지속적인 증가 요인은 센터의 총 전력 소비량 증가가 지배적임

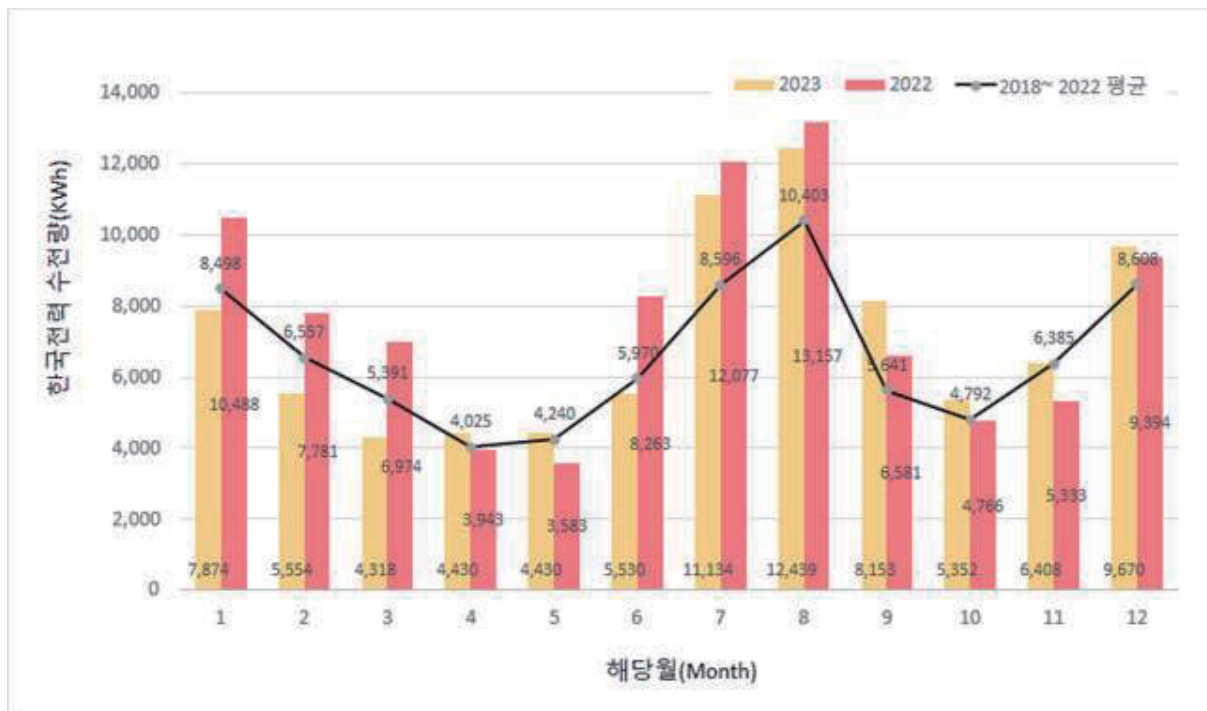


[그림 11] 서울에너지드림센터 연도별 한전 수전량

- [표 9]과 [그림 12]은 연도별 월별 한전 수전량을 나타낸 것
- 2022년 월별 수전량이 가장 낮은 달은 5월이고 가장 높은 달은 8월이며, 각 3,583.2kWh, 13,156.8kWh의 전력을 한전으로부터 수전함
- 2022년 월별 발전량이 가장 많은 달은 5월로 송전량과 판매허용량이 가장 많아 3,583.2kWh의 전력을 한전으로부터 수전함
- 2023년 월별 수전량이 가장 낮은 달은 4월, 5월이고 가장 높은 달은 8월이며, 각 4,430kWh, 12,439kWh의 전력을 한전으로부터 수전함
- 2023년 4월은 중간기로 냉난방 소비량 비율이 적어 한전 수전량이 가장 낮아 4,430kWh의 전력을 한전에 수전하였고, 8월은 발전량 대비 자체사용량이 높아 12,439kWh의 전력을 한전으로부터 수전함

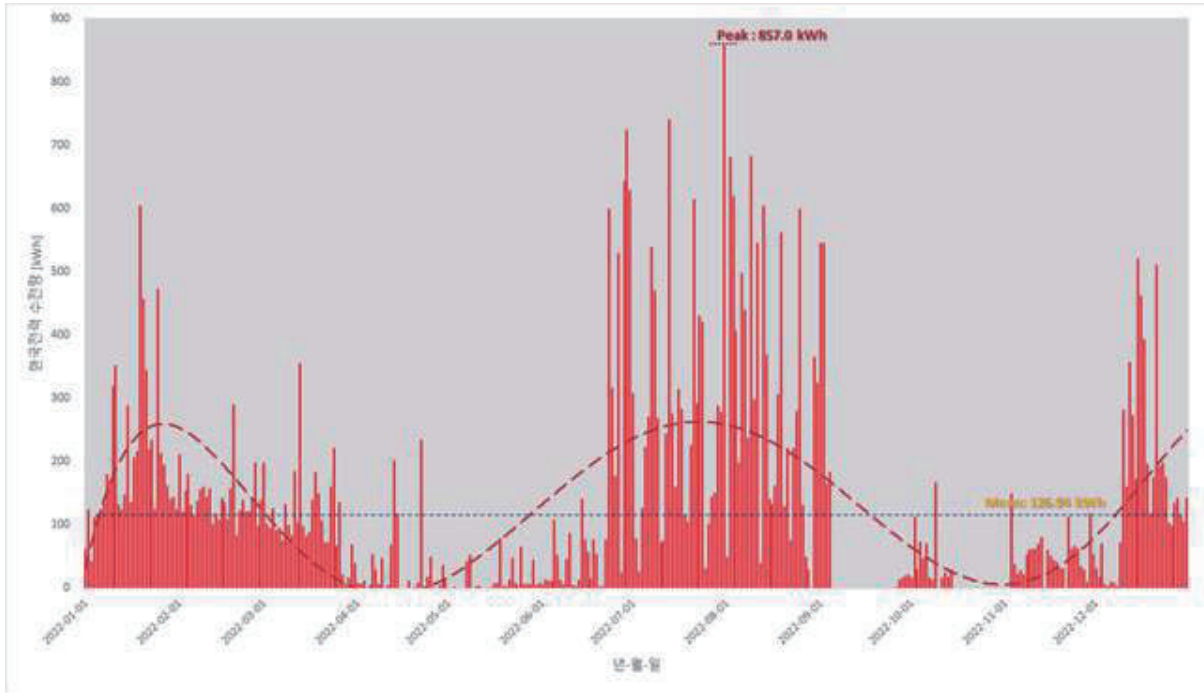
[표 8] 서울에너지드림센터 월별 송전량

Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	수전량	kWh	7,874	5,554	4,318	4,430	4,430	5,530	11,134	12,439	8,153	5,352	6,408	9,670	85,291
2022	수전량	kWh	10,488	7,781	6,974	3,943	3,583	8,263	12,077	13,157	6,581	4,766	5,333	9,394	92,340
2018-2022 [평균]	수전량	kWh	8,498	6,557	5,391	4,025	4,240	5,970	8,596	10,403	5,641	4,792	6,385	8,608	79,105

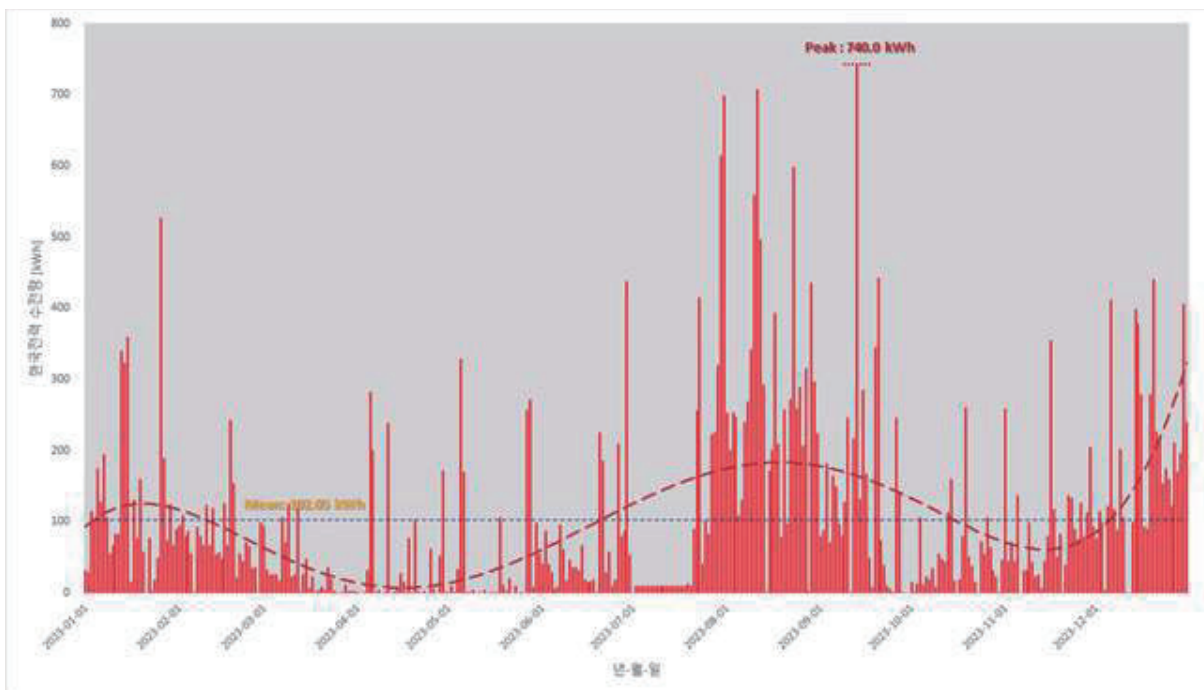


[그림 12] 서울에너지드림센터 월별 한전 수전량

- 2022년 일일 수전량이 가장 높은 날은 7월 31일로 857kWh를 한전으로부터 수전함
- 2022년 일평균 수전량은 126.94kWh임
- 2023년 일일 수전량이 가장 높은 날은 9월 13일로 740kWh를 한전으로부터 수전함
- 2023년 일평균 수전량은 102.05kWh임



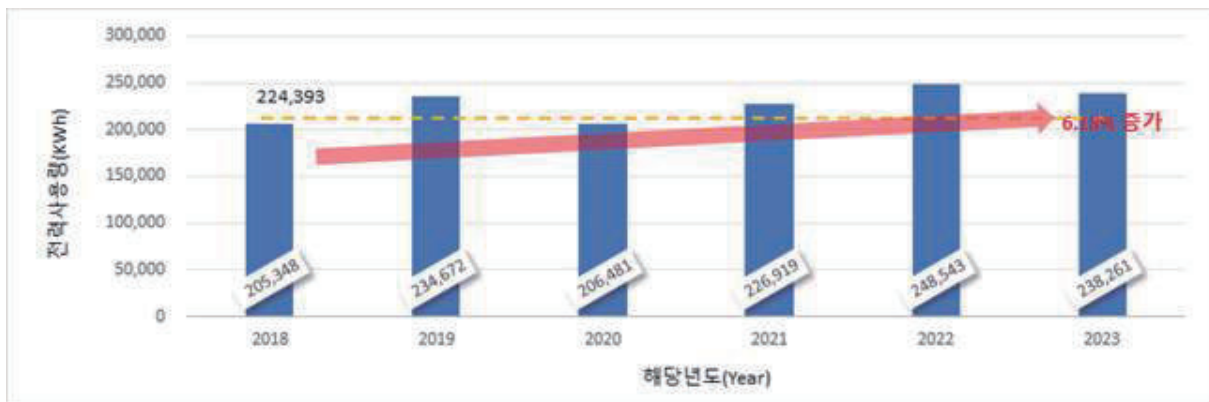
[그림 13] 2022년 일별 한전 수전량



[그림 14] 2023년 일별 한전 수전량

## 5) 전력 사용량

- 전력 사용량은 서울에너지드림센터가 자체적으로 소비하는 총 전력량을 의미함
- 서울에너지드림센터의 최근 6개년도의 전력 사용량은 2018년 214,085.1kWh, 2019년 239,891kWh, 2020년 206,480.4kWh, 2021년 226,919.8kWh, 2022년 248,543kWh, 2023년 238,261kWh로 2019년과 2020년 사이에 코로나 팬데믹이 주된 원인이 되어 약 16.2% 전력 사용량 감소하였다가 다시 센터의 총 전력 사용량이 증가 추세로 전환됨
- 2023년 전력 사용량은 2018~2022년 평균 전력 사용량과 비교하여 6.18% 증가한 것으로 보이나, 코로나로 인한 2020년~2021년 휴관 상태로 전력 사용량이 상대적으로 적은 점을 고려할 때 상승률이 높다고 볼 수는 없다.



[그림 15] 서울에너지드림센터 연도별 총 전력 사용량

- [표 10]과 [그림 16]은 서울에너지드림센터의 월별 전력 사용량을 나타냄
- 2022년 월별 전력 사용량이 가장 낮은 달은 11월이며, 14,166kWh의 전력을 사용함
- 2022년 월별 전력 사용량이 가장 높은 달은 7월로 평균 8월 대비 강수일수와 운량이 높은 관계로 냉방설비 가동에 따른 전력 사용량이 가장 높은 달은 7월로 집계되었으며, 34,808kWh의 전력을 사용함
- 2023년 월별 전력 사용량이 가장 낮은 달은 3월이며, 14,049kWh의 전력을 사용함
- 2023년 월별 전력 사용량이 가장 높은 달은 냉방설비 가동에 따른 전력 사용이 가장 심한 8월이며, 34,417kWh의 전력을 사용함



[표 10] 서울에너지드림센터 월별 총 전력 사용량

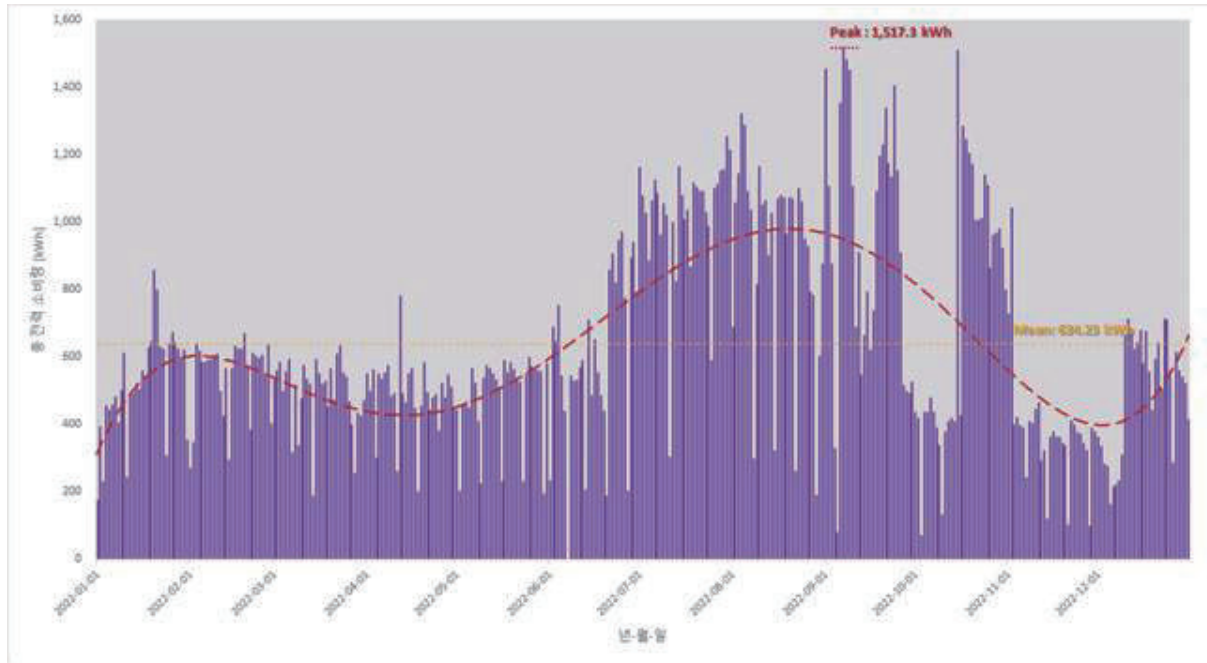
Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	전력 소비량	kWh	17,473	15,773	14,039	14,225	17,788	20,774	30,155	34,417	23,950	16,380	15,328	17,962	238,261
2022	전력 소비량	kWh	20,244	18,406	18,349	16,916	17,492	21,739	34,808	31,339	21,050	14,816	14,166	19,218	248,543
2018-2022 [평균]	전력 소비량	kWh	18,603	16,242	15,640	14,450	16,481	21,031	27,661	29,338	17,798	13,234	15,784	18,130	224,393



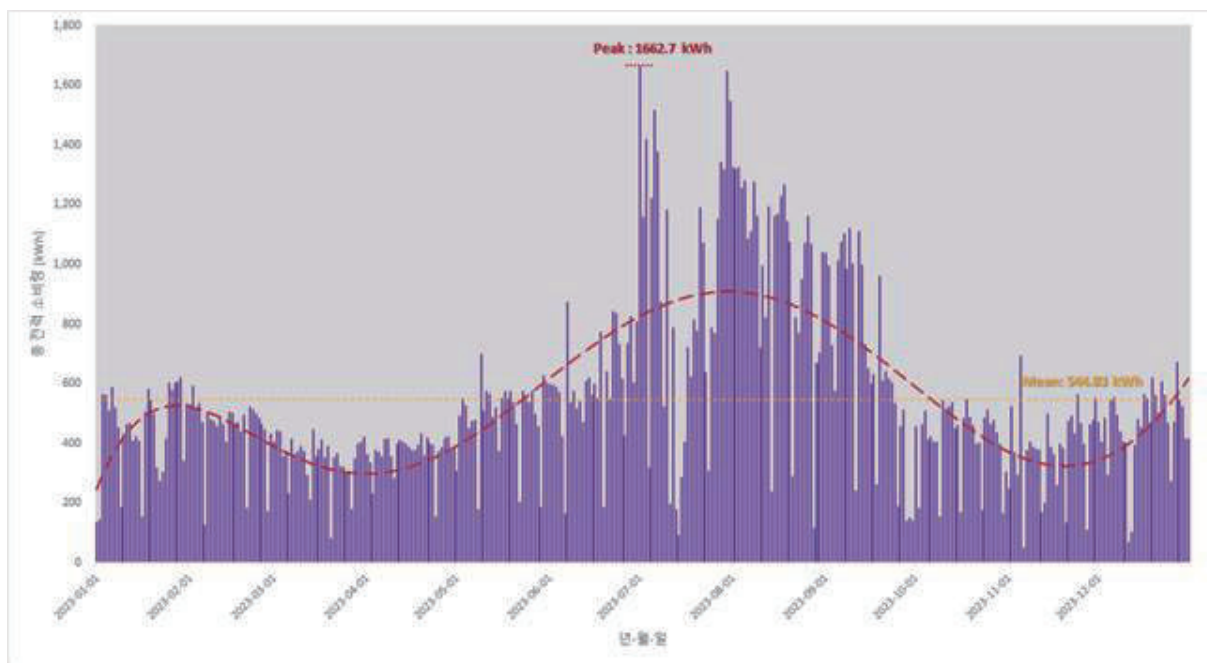
[그림 16] 서울에너지드림센터 월별 총 전력 사용량

- 2022년 일일 전력사용량이 가장 높은 날은 9월 7일이며, 1517.3kWh를 사용함
- 2022년 일평균 전력사용량은 634.23kWh임
- 2023년 일일 전력 사용량이 가장 높은 날은 7월 1일이며, 1662.7kWh를 사용함.
- 2023년 일평균 전력 사용량은 544.83kWh임





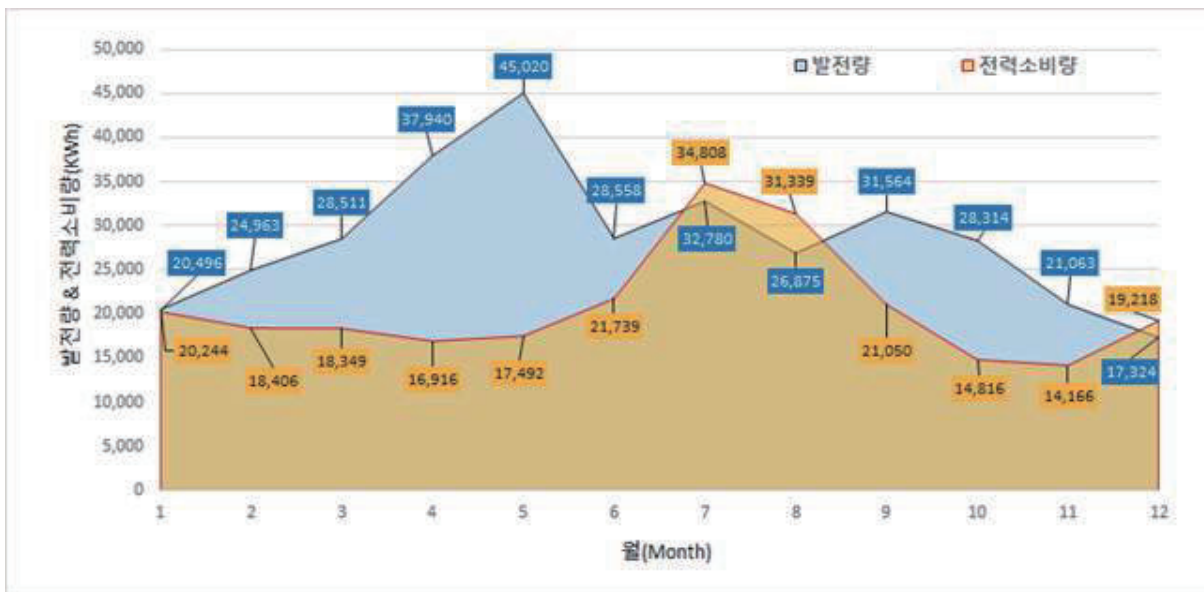
[그림 17] 2022년 일별 총 전력 사용량



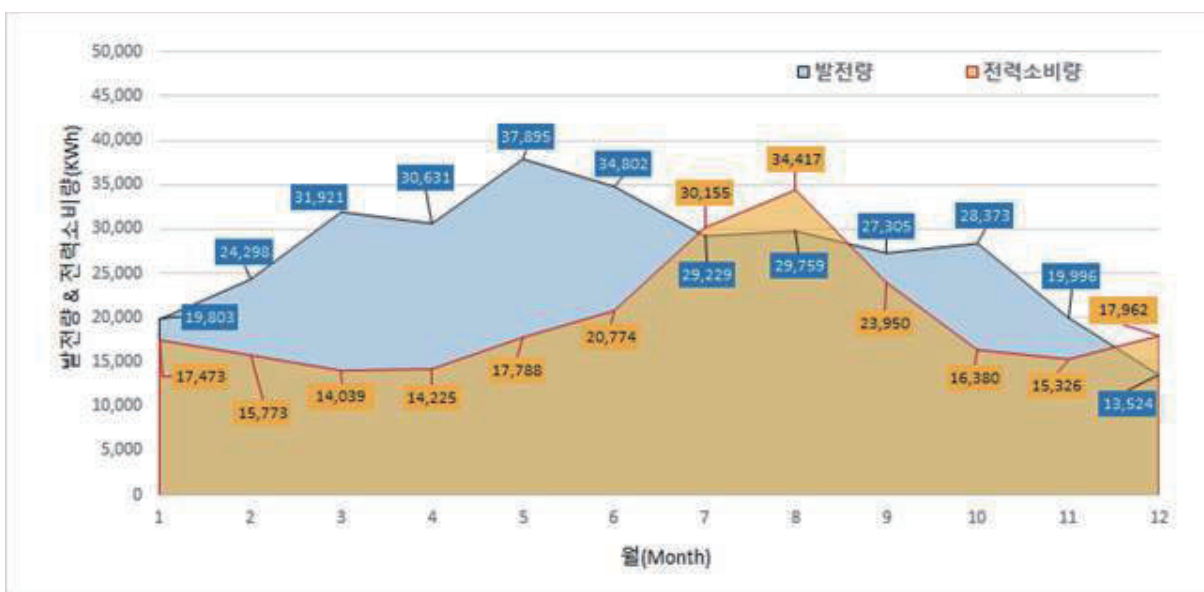
[그림 18] 2023년 일별 총 전력 사용량

## 6) 계절별 전력 운영현황

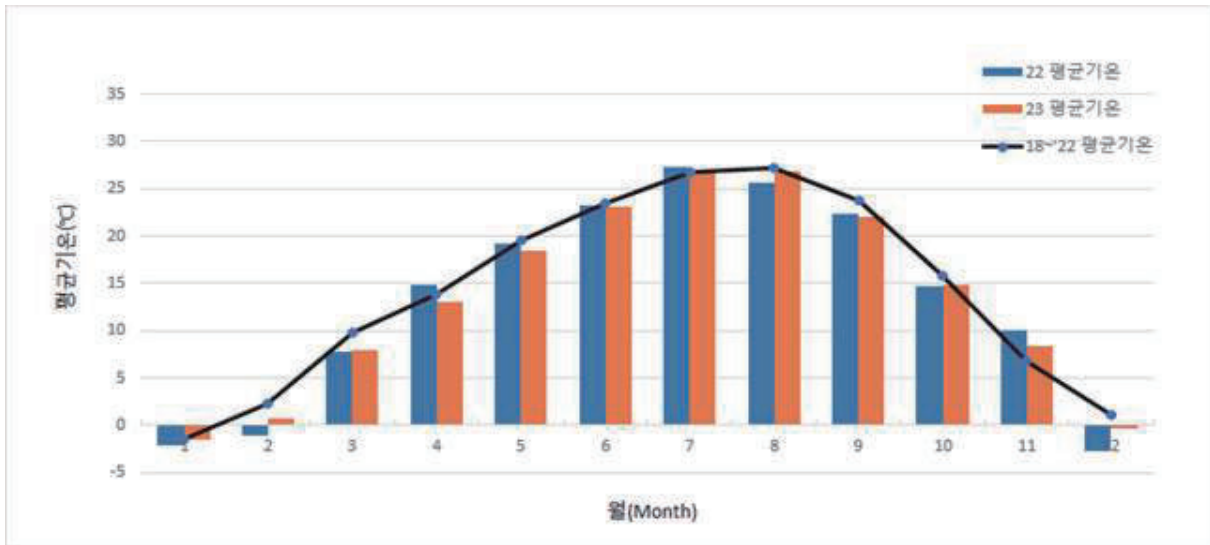
- 2022년, 2023년 전력 생산 및 사용량의 변화 추이를 계절별로 구분하여 분석함
- 1월, 2월, 12월의 경우 난방시설 사용 빈도가 높은 난방기로 분류함
- 6월, 7월, 8월은 냉방시설 사용 빈도가 높은 냉방기로 분류함
- 나머지 달을 냉방과 난방 전력 소비가 크지 않은 중간기로 분류함



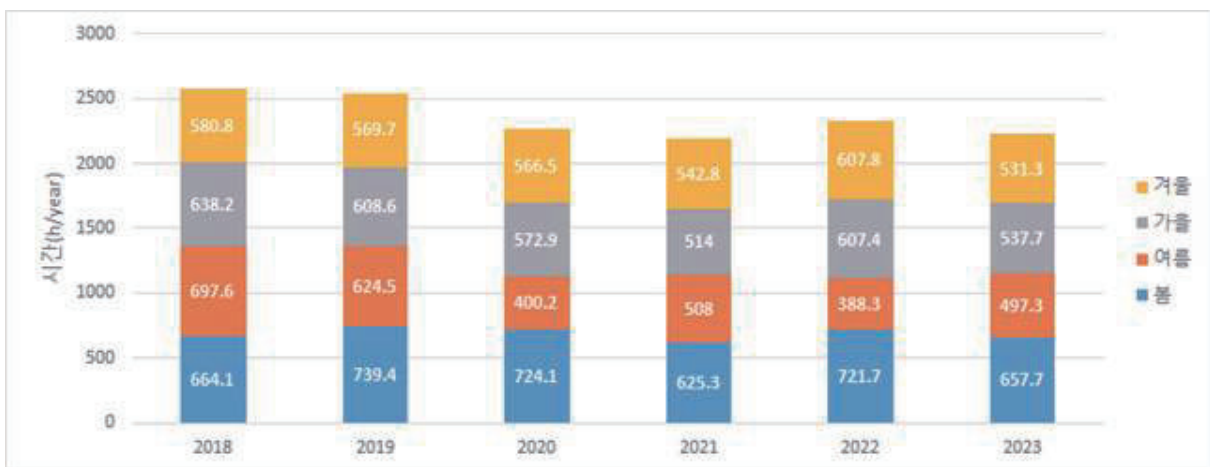
[그림 19] 2022년 월별 태양광발전량 및 전력소비량



[그림 20] 2023년 월별 태양광발전량 및 전력소비량



[그림 21] 서울 특별시 연도별 평균기온

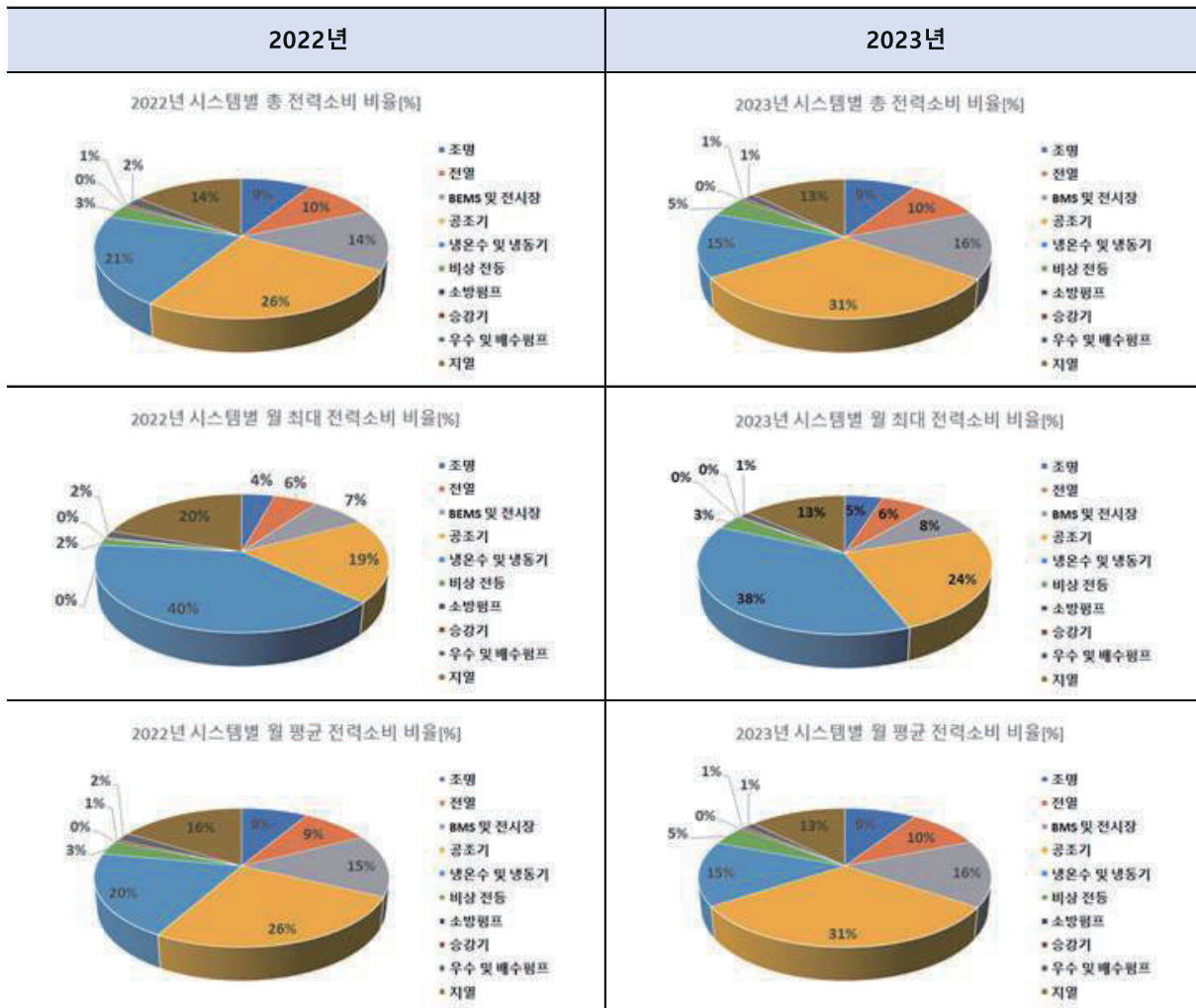


[그림 22] 서울특별시 연도별 일조시간(단위 : Hour)

- 2022년 난방기는 최근 4개년도보다 평균 - 1.2℃가량 낮았으며, 냉방기에는 7월은 평균보다 1℃가량 높았고, 평균 강수량보다 2배 이상 상승하여 8월은 2℃ 낮은 기온을 나타냈으나, 2021년 대비 8월 전력 사용량은 7.4% 상승하였음
- 2022년 8월에는 최근 4개년도 평균기온보다 2℃가량 낮는데 전력 사용량의 상승은 지속적인 강수일수로 인해 습도 상승을 초래하여 온열 불쾌감으로 인한 냉방 사용으로 판단됨
- 2023년의 냉방기는 최근 5개년 평균보다 1.05℃ 높아 전력 사용량이 3.3% 감소하였으나, 난방기는 0.24℃밖에 높지 않았음에도 전력 사용량은 9.38% 증가함
- 2023년의 중간기는 최근 5개년 평균보다 0.81℃ 높았으나 전력 사용량은 오히려 8.9% 증가하여 기후변화로 인해 여름이 9월까지 길어지고 있음을 알 수 있음

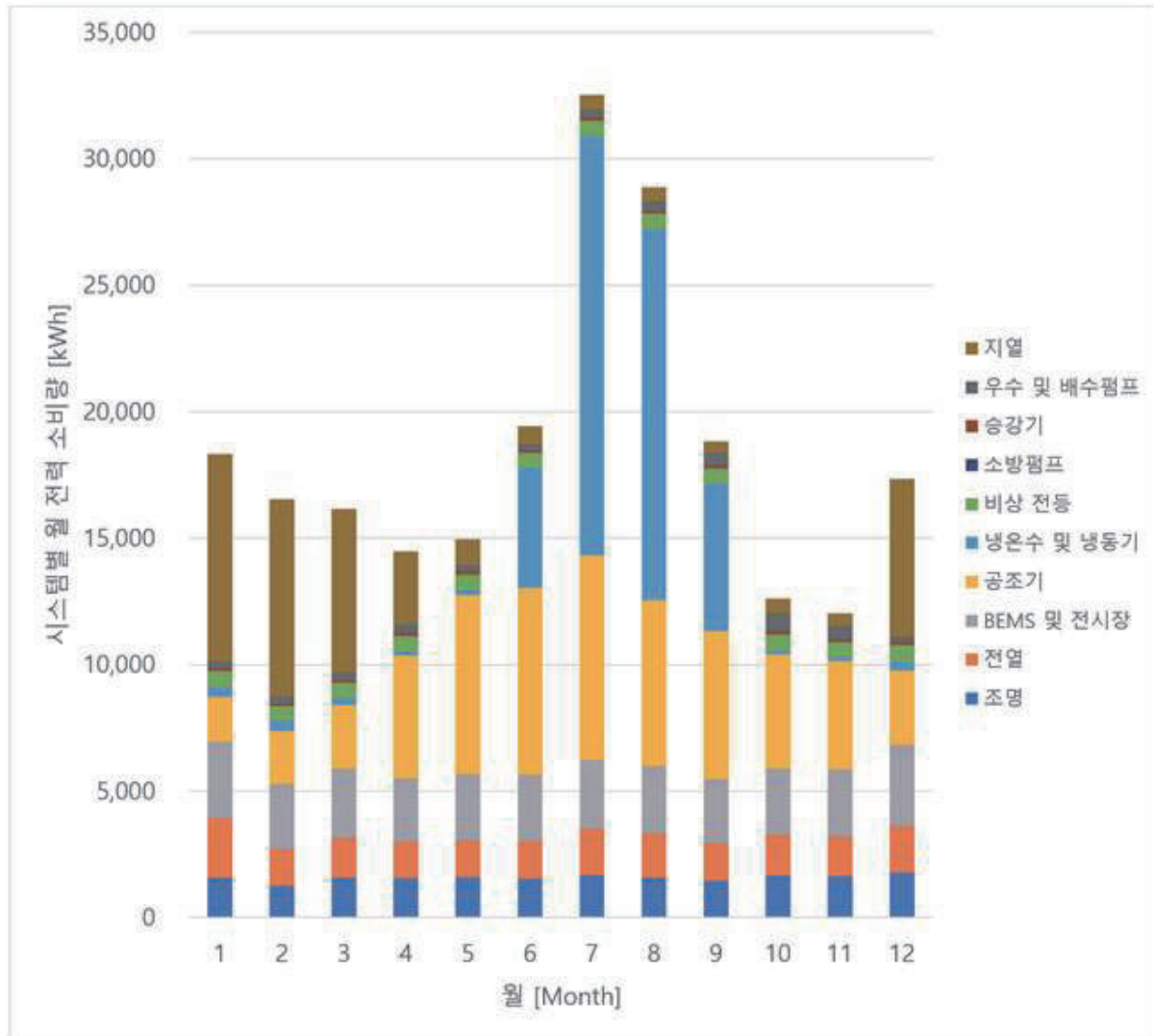
## 2.3. 시스템별 연간 전력 운영 현황

## 1) 시스템별 전력 사용량 현황



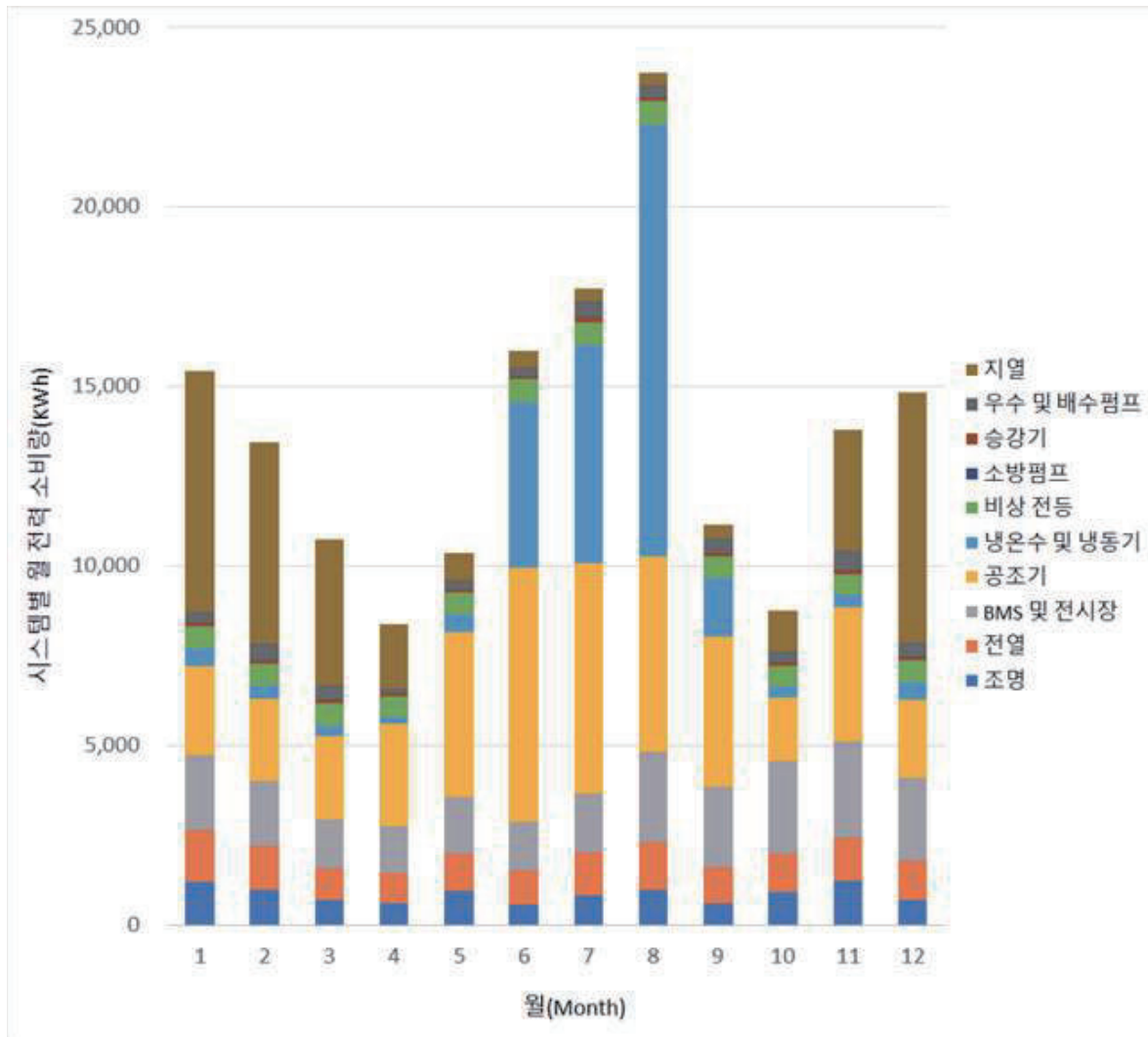
[그림 23] 2022년, 2023년 시스템별 전력 소비 종합현황

- [그림 24]는 2022년, 2023년 시스템별 월 전력 사용량의 종합현황
- 2022년 시스템별 전력 사용량은 공조기(55,016kWh) > 냉온수 및 냉동기(46,636kWh) > BEMS 및 전시장(29,247kWh) > 지열(29,817) > 전열(19,821kWh) > 조명(18,900kWh) > 비상 전등(6,588kWh) > 기타 순으로 소비량이 많음
- 2023년 시스템별 전력 사용량은 공조기(64,151kWh) > BEMS 및 전시장(31,940kWh) > 냉온수 및 냉동기(30,709kWh) > 지열(25,652kWh) > 전열(19,437kWh) > 조명(18,943kWh) > 비상 전등(9,459kWh) > 기타 순으로 소비량이 많음



[그림 24] 2022년 시스템별 월 전력 사용량 현황

- 2022년 시스템별 월 전력 사용량 현황은 2021년과 비교하여 계절적 요인에 의한 전력 사용량 변화가 뚜렷하게 나타남
- 냉온수 및 냉동기 시스템의 경우 7월 폭염에 의해 전력 소비량이 대폭 증가
- 지열 시스템의 경우 2021년과 유사한 패턴으로 늦가을부터 초봄까지 전력 사용이 집중
- BEMS 및 시스템 전력 사용량은 코로나 팬데믹의 영향을 많이 받지 않고 일정한 사용량이 나타남
- 2022년 1월, 2월의 공조시스템 전력 사용량은 시설 점검 및 사용 공간 제한 등에 의해 다소 감소하였으나, 2021년과 마찬가지로 전체 시스템별 전력 사용량 중 가장 큰 비중 차지



[그림 25] 2023년 시스템별 월 전력 사용량 현황

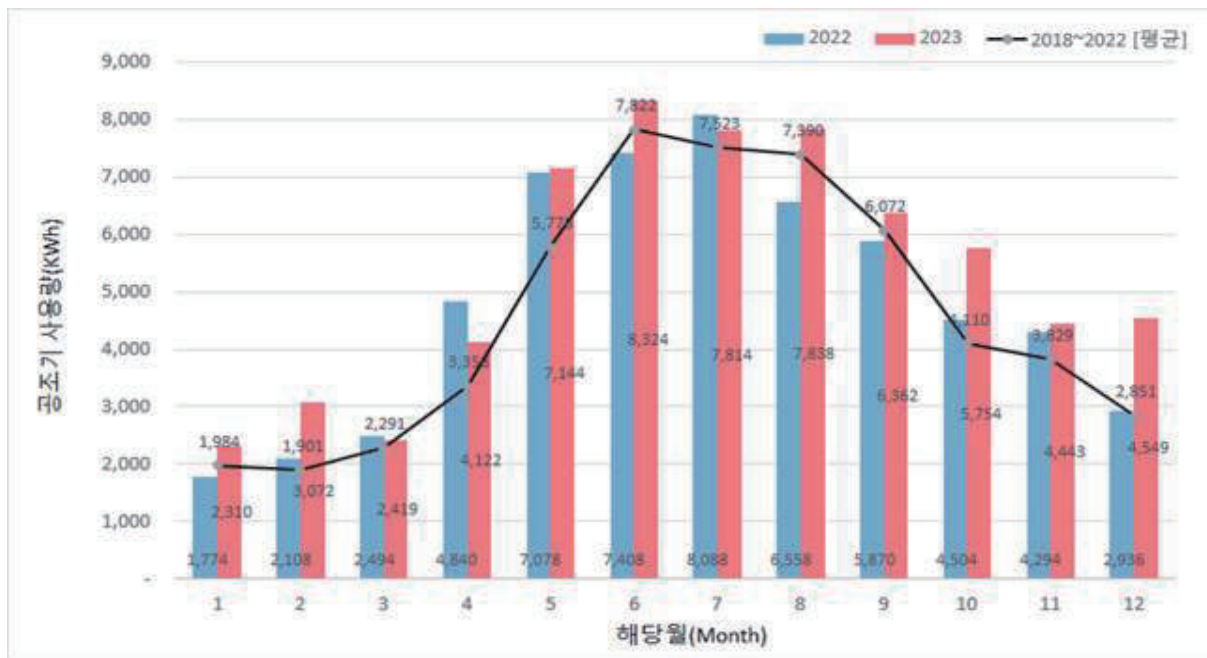
- 2023년 시스템별 월 전력 사용량 현황은 2022년과 비교하여 계절적 요인에 의한 전력 사용량 변화가 뚜렷하게 나타남
- 냉온수 및 냉동기 시스템의 경우 8월 폭염에 의해 전력 소비량이 대폭 증가
- 지열 시스템의 경우 2022년과 유사한 패턴으로 늦가을부터 초봄까지 전력 사용이 집중
- BEMS 및 시스템 전력 사용량은 계절적 영향을 많이 받지 않고 일정한 사용량이 나타남
- 2023년 11월 공조시스템 전력 사용량은 다소 증가하였으며, 2022년과 마찬가지로 전체 시스템별 전력 사용량 중 가장 큰 비중 차지



## 2) 공조시스템 월별 전력 사용량 현황

[표 11] 서울에너지드림센터 공조시스템 월별 전력 소비량 현황

Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	공조기 사용량	kWh	2,310	3,072	2,418	4,122	7,144	8,324	7,814	7,838	6,363	5,754	4,443	4,549	64,151
2022	공조기 사용량	kWh	1,774	2,108	2,494	4,840	7,078	7,408	8,088	6,558	5,870	4,504	4,294	2,936	57,952
2018~2022 [평균]	공조기 사용량	kWh	1,984	1,901	2,291	3,358	5,778	7,822	7,523	7,390	6,072	4,110	3,829	2,851	54,909



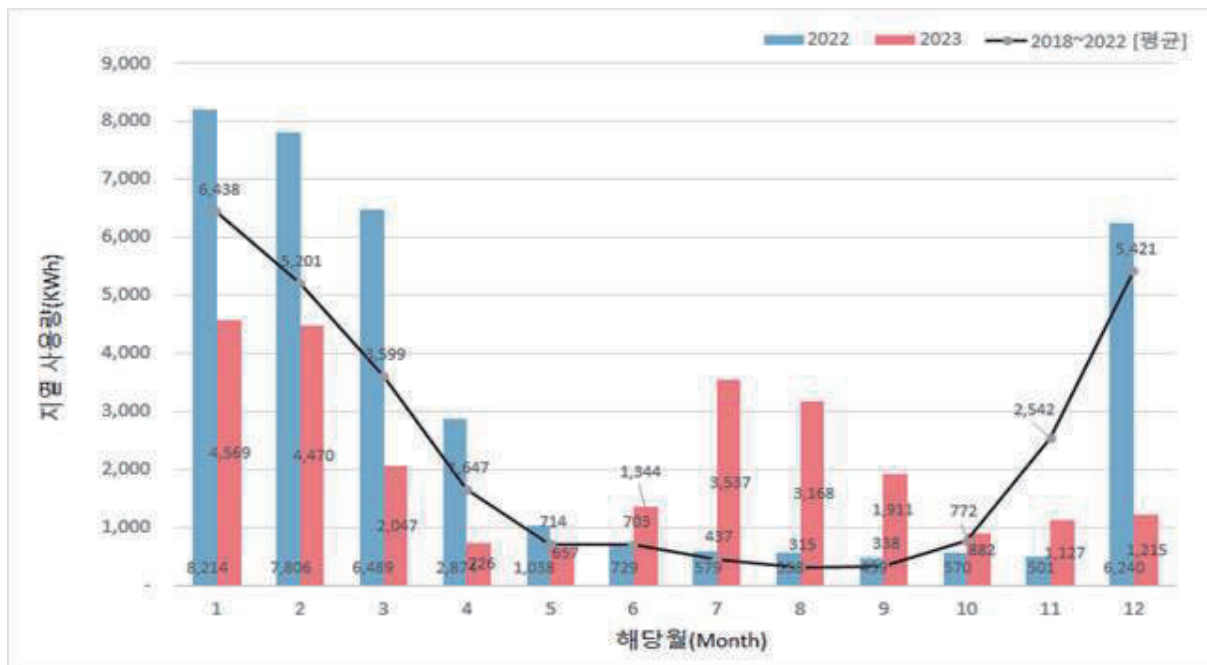
[그림 26] 공조시스템 월별 전력 소비량 현황

- 공조시스템은 냉방을 사용하는 5월부터 9월에 전력 사용이 집중된 경향을 보임
- 여름철에, 냉동기에서 만든 냉수를 이용하여 버퍼 탱크의 온도를 낮춘 후 Convactor 및 VAV를 이용하여 환기 및 냉방기능을 수행함
- 2022년 5월부터 9월까지의 냉방기능을 사용함에 따라 전력 사용량이 대폭 증가하여 월평균 7,000.4kWh의 전력을 사용하며, 7월에 8,088kWh로 연중 최대 전력을 사용한 것으로 나타남
- 2022년 공조시스템 총 전력 사용량은 55,016kWh이며, 2018~2021년 평균 대비 7% 상승
- 2023년 5월부터 10월까지의 냉방기능을 사용함에 따라 전력 사용량이 대폭 증가하여 월평균 7,206kWh의 전력을 사용하며, 6월에 8,324kWh로 연중 최대 전력을 사용한 것으로 나타남
- 2023년 공조시스템 총 전력 사용량은 64,151kWh이며, 2018~2022년 평균 대비 17% 상승함

## 3) 지열 시스템 월별 전력 사용량 현황

[표 12] 서울에너지드림센터 지열 시스템 월별 전력 소비량 현황

Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	지열 사용량	kWh	4,569	4,470	2,047	726	657	1,344	3,537	3,168	1,911	882	1,127	1,215	25,652
2022	지열 사용량	kWh	8,214	7,806	6,489	2,874	1,038	729	579	558	459	570	501	6,240	36,057
2020~2022 [평균]	지열 사용량	kWh	6,438	5,201	3,599	1,647	714	703	437	315	338	772	2,542	5,421	28,126



[그림 27] 지열 시스템 월별 전력 소비량 현황

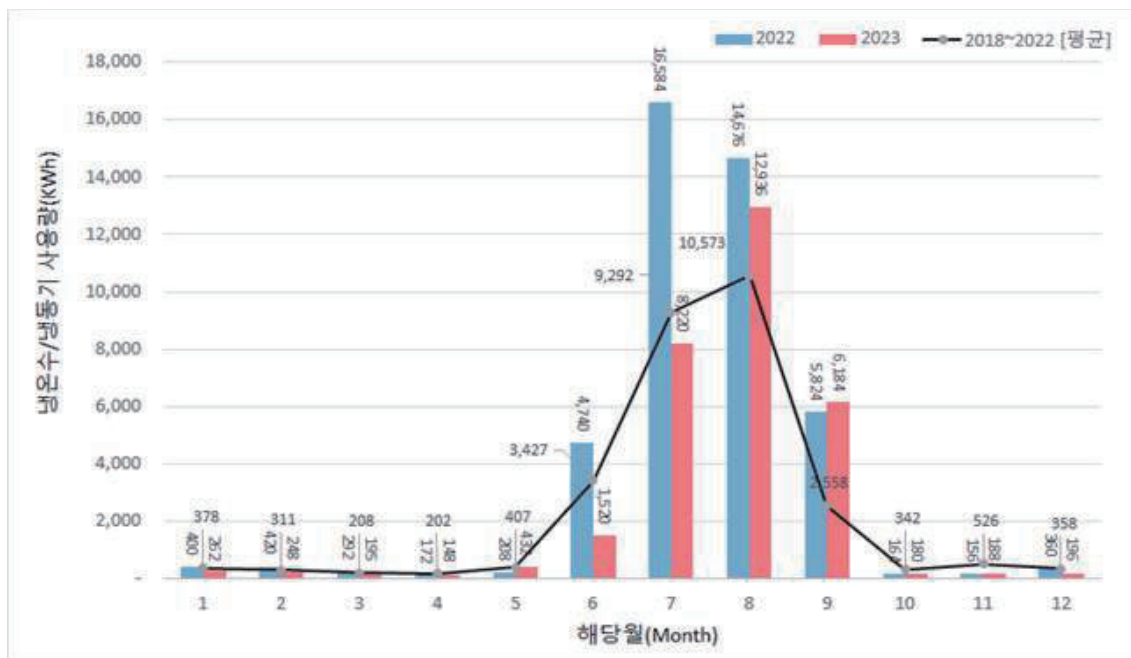
- 2022년 1~4월까지, 10~12월까지는 난방 및 급탕 사용이 증가함에 따라 전력 사용량이 대폭 증가하여 월평균 4,670.5kWh의 전력을 사용하며, 1월에 8,214kWh로 연중 최대 전력을 사용한 것으로 나타남
- 2022년 지열 시스템의 총 전력 사용량은 36,057kWh이며, 2018~2021년 평균 대비 28% 증가함
- 2021년 지열 시스템의 고장으로 지열히트펌프 3대를 모두 사용할 수 없어, 2대를 24시간 운전하여 난방을 함으로써 지열히트펌프의 총 가동시간이 상승함. 이로인하여 지열시스템 소비량이 증가하였음. (2021년 12월~2022년 2월)
- 2023년 냉난방 겸용 운전으로 예년 대비 냉방기(6월~9월) 전력사용량이 증가함
- 2023년 지열 시스템의 총 전력 사용량은 25,652kWh이며, 2018~2022년 평균 대비 8.8% 감소함
- 2022년 지열히트펌프 1호기, 2호기 교체와 지열 파손배관 수리로 지열 시스템의 효율이 전년대비 크게 상승하여 23년 지열 시스템의 전력 사용량을 감소시킴.



#### 4) 냉온수/냉동기 월별 전력 사용량 현황

[표 13] 서울에너지드림센터 냉온수/냉동기시스템 월별 전력소비량 현황

Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	냉온수/ 냉동기 사용량	kWh	262	248	195	148	432	1,520	8,220	12,936	6,184	180	188	196	30,709
2022	냉온수/ 냉동기 사용량	kWh	400	420	292	172	208	4,740	16,584	14,676	5,824	164	156	360	43,996
2018~2022 [평균]	냉온수/ 냉동기 사용량	kWh	378	311	208	202	407	3,427	9,292	10,573	2,558	342	526	358	28,582



[그림 28] 냉온수/냉동기 시스템 월별 전력소비량 현황

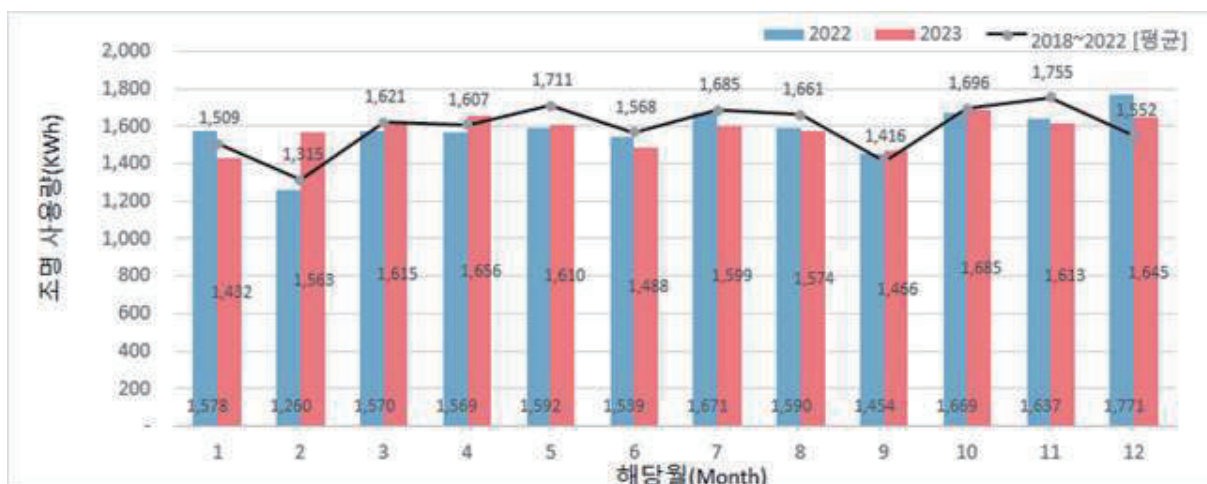
- 2021년과 유사하게 2022년의 경우 냉방을 거의 하지 않는 1월부터 5월까지 10월부터 12월까지의 전력 사용량은 월평균 271.5kWh로 집계됨
- 2022년 6월부터 9월까지 냉방 사용에 따른 전력 사용량이 대폭 증가하여 월평균 10,456kWh의 전력을 사용하며, 7월에 14,676kWh로 연중 최대 전력 사용함
- 2022년 냉온수/냉동기 시스템 총 전력 사용량 43,996kWh이며, 2018~2021년 평균 대비 43.8% 증가
- 냉온수/냉동기 시스템은 공조시스템과 유사하게 여름철 에어컨 가동이 급증하는 6월부터 9월까지 전력 사용이 집중된 경향을 보임
- 2023년은 냉방을 거의 하지 않는 1월부터 5월까지 10월부터 12월까지의 전력 사용량은 월평균 231kWh로 집계됨

- 2023년 6월부터 9월까지 냉방 사용에 따른 전력 사용량이 대폭 증가하여 월평균 7,215kWh의 전력을 사용하며, 8월에 12,936kWh로 연중 최대 전력 사용
- 2023년 냉온수/냉동기 시스템 총 전력 사용량 30,709kWh이며, 2018~2022년 평균 대비 7.4% 증가함

### 5) 조명 시스템 월별 전력 사용량 현황

[표 14] 서울에너지드림센터 조명 시스템 월별 전력 소비량 현황

Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	조명 사용량	kWh	1,432	1,563	1,615	1,656	1,610	1,488	1,599	1,574	1,466	1,685	1,613	1,645	18,943
2022	조명 사용량	kWh	1,578	1,260	1,570	1,569	1,592	1,539	1,671	1,590	1,454	1,669	1,637	1,771	18,900
2018~2022 [평균]	조명 사용량	kWh	1,509	1,315	1,621	1,607	1,711	1,568	1,685	1,661	1,416	1,696	1,755	1,552	19,097



[그림 29] 조명 시스템 월별 전력 사용량 현황

- 조명 시스템의 경우, 자동제어를 통해 실내에서 인체의 움직임을 감지하는 재실 센서와 실내에 유입되는 태양광을 감지하는 조도 센서에 의해 자동으로 조명의 디밍 제어가 되나, 대체로 센터가 휴관하는 경우를 제외하면 재실자 수에 따른 연중 월별 전력 사용량에 큰 차이 없음
- 2022년도 조명 시스템 총 전력 사용량은 18,900kWh이며, 2018~2021년 평균 대비 1.3% 감소
- 2023년도 조명 시스템 총 전력 사용량은 18,943kWh이며, 2018~2022년 평균 대비 8.1% 감소
- 2023년 6월부터 9월까지 냉방 사용에 따른 전력 사용량이 대폭 증가하여 월평균 7,215kWh의 전력을 사용하며, 8월에 12,936kWh로 연중 최대 전력 사용
- 2023년 냉온수/냉동기 시스템 총 전력 사용량 30,709kWh이며, 2018~2022년 평균 대비 7.4% 증가함

## 6) 전열 시스템 월별 전력 사용량 현황

[표 15] 서울에너지드림센터 전열 시스템 월별 전력 소비량 현황

Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	3F	kWh	666	690	685	791	731	783	1,155	1,295	810	698	710	726	9,738
	2F	kWh	605	522	612	597	608	618	632	680	572	684	661	683	7,471
	1F	kWh	211	228	189	162	174	173	188	186	188	185	171	176	2,229
	합산	kWh	1,482	1,440	1,486	1,550	1,512	1,574	1,974	2,160	1,569	1,566	1,541	1,584	19,437
2022	3F	kWh	1,124	776	804	673	659	693	950	928	709	755	754	835	9,660
	2F	kWh	490	499	603	603	620	636	733	638	603	655	647	736	7,764
	1F	kWh	733	173	160	153	166	161	168	175	175	183	168	281	2,697
	합산	kWh	2,347	1,448	1,568	1,429	1,445	1,489	1,857	1,742	1,488	1,593	1,569	1,852	19,821
2018~2022 [평균]	3F	kWh	1,032	844	816	759	803	844	1,352	1,344	857	830	856	1,019	11,778
	2F	kWh	527	475	506	508	590	567	637	636	499	589	573	519	6,417
	1F	kWh	316	187	211	209	240	233	242	253	253	277	242	250	2,965
	합산	kWh	1,875	1,506	1,533	1,476	1,633	1,644	2,231	2,234	1,609	1,695	1,671	1,788	20,896



[그림 30] 전열 시스템 월별 전력 소비량 현황

- 센터의 층별 콘센트 부하를 전열 시스템이라고 통칭
- 분전반을 통해 각 층 콘센트의 전력 소비량을 계측
- 전열 시스템의 경우 3층 전력 소비량은 1층과 2층에 비하여 높은 것으로 분석되었으며, 이는 사무실이 3층에 위치하여 컴퓨터, 프린트 등 전열기기가 많은 영향임
- 2022년 전열시스템의 전력 사용량은 19,821kWh이며, 2018~2021년 평균 대비 6.7% 감소함
- 2023년 전열시스템의 전력 사용량은 19,437kWh이며, 2018~2022년 평균 대비 6.9% 감소함

## 7) 전시장 및 BEMS 월별 전력 사용량 현황

[표 16] 전시장 및 BEMS 월별 전력소비량 현황

Year	Item	Unit	Month												합계
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	전시장 BEMS	kWh	2,832	2,700	2,751	2,645	2,725	2,658	2,773	2,703	2,498	2,575	2,495	2,588	31,940
2022	전시장 BEMS	kWh	3,020	2,570	2,762	2,520	2,630	2,598	2,702	2,652	2,520	2,635	2,638	3,210	32,457
2018~2022 [평균]	전시장 BEMS	kWh	2,625	2,354	2,536	2,369	2,391	2,244	2,423	2,566	2,369	2,553	2,524	2,594	29,548



[그림 31] 전시장 및 BEMS 월별 전력소비량 현황

- 센터 1,2층 전시장 및 1층 중앙관제실의 BEMS 전력 사용량을 함께 계측함
- 전시장 및 BEMS의 전력 사용량은 센터 운영일과 직접적인 연관 관계
- 2021~2022년까지 8월부터 코로나 팬데믹의 단계적 일상회복에 따라 전시 및 교육 행사가 정상 실시되어 전력 사용량이 최근 3개년도 평균과 유사하게 증가
- 2022년 전시장 및 BEMS 총 전력 사용량은 32,457kWh이며, 2018~2021년 평균 대비 11.3% 증가함
- 2023년 전시장 및 BEMS 총 전력 사용량은 31,940kWh이며, 2018~2022년 평균 대비 8.1% 증가함

## 2.4. 실내 환경 모니터링 운영현황

### 1) 서울에너지드림센터 실내 환경 모니터링 개요

- 다양한 계층이 이용하는 다중이용시설로 실내공기질 관리법에 근거하여 관리가 필요하며, 환경 측정 센서의 설치를 통해 실내 환경 관리기반 강화
- 온도, 습도, CO<sub>2</sub>, 미세먼지 등 공기질 및 실내 환경 데이터의 축적과 실시간 모니터링을 통한 분석을 통해 서울에너지드림센터 실내 환경 분석
- 차후 실내 환경 데이터와 BEMS를 연계하여 실내 환경 통합 관리계획 수립

### 2) 실내공기질 측정 기준

가. 실내공기질 내 오염물질 측정 기준

① 실내공기질 관리법 시행규칙에 의한 다중이용시설에 대한 오염물질 기준표

[표 17] 실내공기질 관리법 시행규칙 오염물질 기준표

오염물질 항목		건물 용도	다중이용시설(25개) - 전시시설	비고
유지 기준	미세먼지 (PM-10)	µg/m³	100 이하	필수
	미세먼지 (PM-2.5)	µg/m³	50 이하	초미세먼지
	이산화탄소 (CO <sub>2</sub> )	ppm	1000 이하	필수
	폼알데하이드	µg/m³	100 이하	포름알데히드
	총 부유세균	CFU/m³	-	
	일산화탄소 (CO)	ppm	10이하	
권고 기준	이산화질소 (NO <sub>2</sub> )	ppm	0.1 이하	
	라돈 (Rn)	Bq/m³	148 이하	
	총휘발성유기화합물	µg/m³	500 이하	

## ② 면적에 따른 다중이용시설의 실내공기질 측정 지점 수

[표 18] 실내공기질 측정 지점 수

다중이용시설의 면적 (㎡)	최소 측정 지점 수
10,000 이하	2 지점
10,000 초과 ~ 20,000 이하	3 지점
20,000 초과	4 지점

## 나. 실내공기질 측정센서 설치 기준

- ① 건물 내부 동선 파악 후 유동인구가 많은 지점 또는 시설의 중심으로 결정
- ② 바닥면으로부터 1.2~1.5m 높이에 설치하나, 불가피한 경우 높이 조정 가능
- ③ 시설의 측정지점은 2개소 이상을 원칙으로 하며, 규모와 용도에 따라 추가 가능
- ④ 자연환기구나 급, 배기구에 영향을 받지 않도록 1m 이상 떨어진 위치에 설치
- ⑤ 외부 환경으로부터 측정기기에 대한 간섭 최소화

## 3) 서울에너지드림센터 환경 측정센서 설치

## 가. 서울에너지드림센터 환경 측정센서 설치 요건 확인

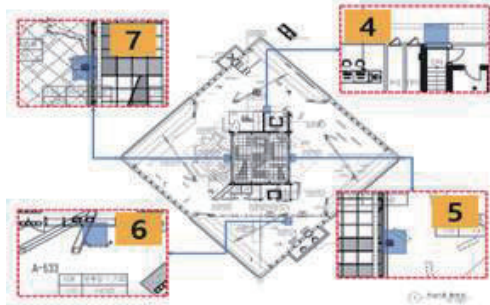
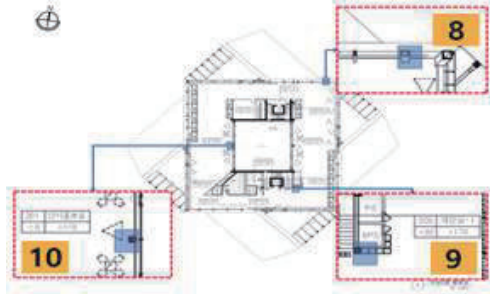

- ① 건물 내부 무선 통신망 위치, 범위, 상시적용 여부
- ② 환경 측정센서 전원 관련 연결 가능 여부 확인
- ③ 환경 측정센서 위치와 이용자 동선 간의 충돌 여부 확인

## 나. 환경 측정센서 설치 위치

- ① 총합 10개 : 1층 4개, 2층 3개, 3층 3개
- ② 서울에너지드림센터 층별 WIFI 연결을 통해 센서에서 연계서버로 데이터 송신




[표 19] 서울에너지드림센터 환경 측정센서 설치 위치

센서 설치 위치		
1층	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 센서 4 : 전시홍보실 (북)</li> <li>• 센서 5 : 전시홍보실 (동)</li> <li>• 센서 6 : 안내데스크 (방풍실, 남)</li> <li>• 센서 7 : 전시홍보실 (서)</li> </ul>	
2층	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 센서 8 : 전시홍보실 (북)</li> <li>• 센서 9 : 안내데스크 (남)</li> <li>• 센서 10 : 전시홍보실 (서)</li> </ul>	
3층	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 센서 11 : 사무실</li> <li>• 센서 12 : 체험실</li> <li>• 센서 13 : 다목적실</li> </ul>	

#### 다. 환경 측정센서 기기 선정

- ① 다중이용시설 중 교육 관련 시설의 필수 측정 요소인 라돈, 이산화탄소, 총 휘발성유기화합물 측정이 가능한 기기 선정
- ② WIFI 연결을 통한 무선통신으로 서버에 데이터를 송신하여 축적 가능
- ③ 환경 측정센서 상세정보

[표 20] 환경 측정센서 정보

사양 및 특징	
<p>■ 에이큐맨 (AQM101)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>측정항목 : 온도, 습도, 미세먼지(PM1/2.5/10), 라돈, CO2, 휘발성유기화합물(VOC)</li> <li>측정항목별 로그데이터를 10분 주기로 연계서버에 저장</li> <li>사용자 앱을 통해 실시간 데이터 모니터링</li> </ul>	 <p>에이큐맨 (AQM101) 센서 장치와 사용자 앱을 보여주는 이미지. 센서에는 'DSM 101 (미세먼지)'와 '에이큐맨' 라벨이 붙어 있으며, 사용자 앱 화면은 실시간 데이터를 표시하고 있습니다.</p>

#### 4) 서울에너지드림센터 실내 환경 모니터링

- 실내 환경 모니터링을 위해 2021년 10월 7일 서울에너지드림센터에 환경 측정센서를 설치하였고, 10분 주기로 실내 환경 데이터 수집
- 본 보고서의 실내 환경 모니터링을 위한 분석 주기는 2023년 1월부터 2023년 12월까지의 데이터를 기준으로 함
- 서울에너지드림센터의 폐관 시간동안의 전력 차단이나, 센터 내부 무선통신망 환경에 따른 통신 두절 등의 이유로 데이터 누락 발생 (개선 중)

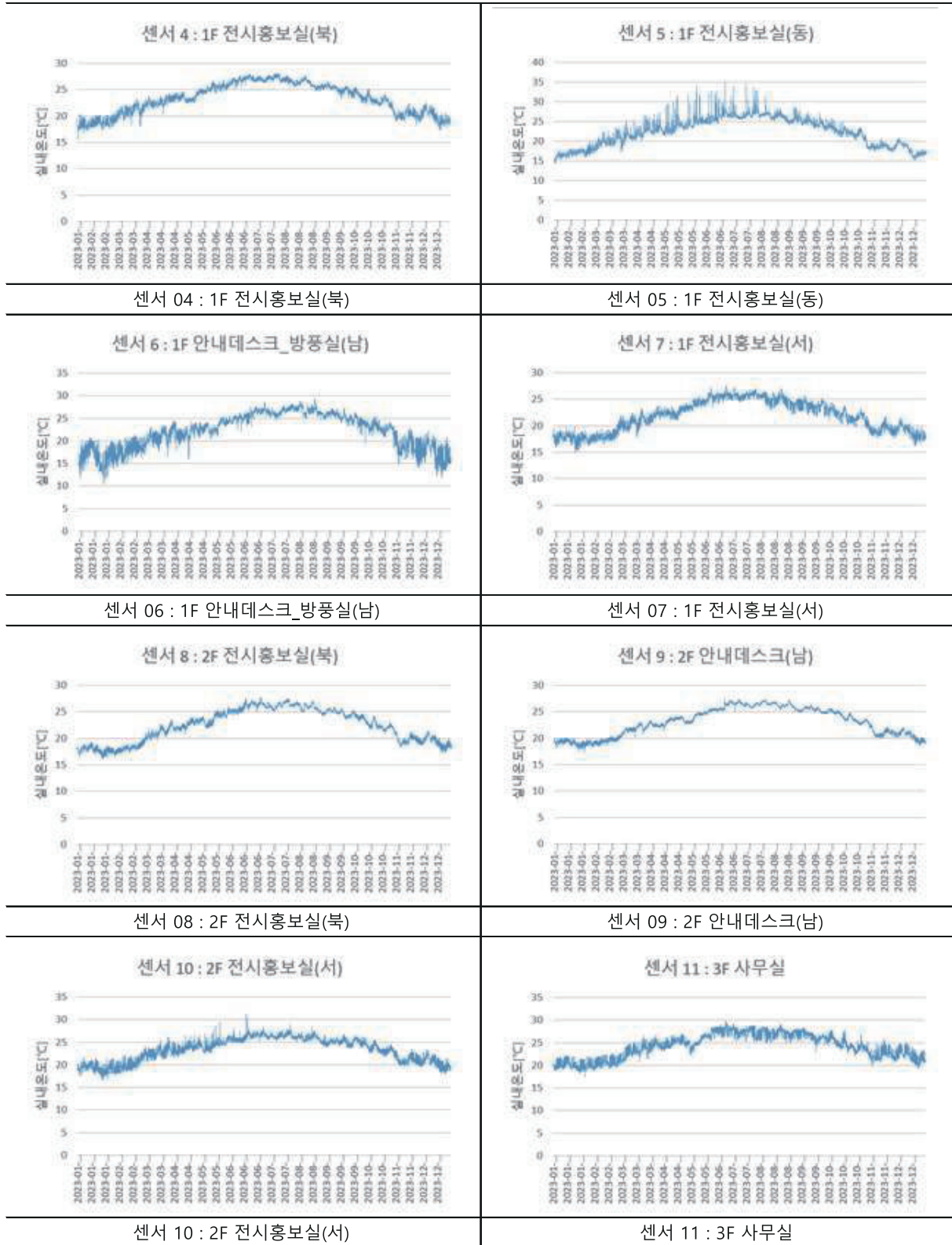
##### 가. 실내 온도

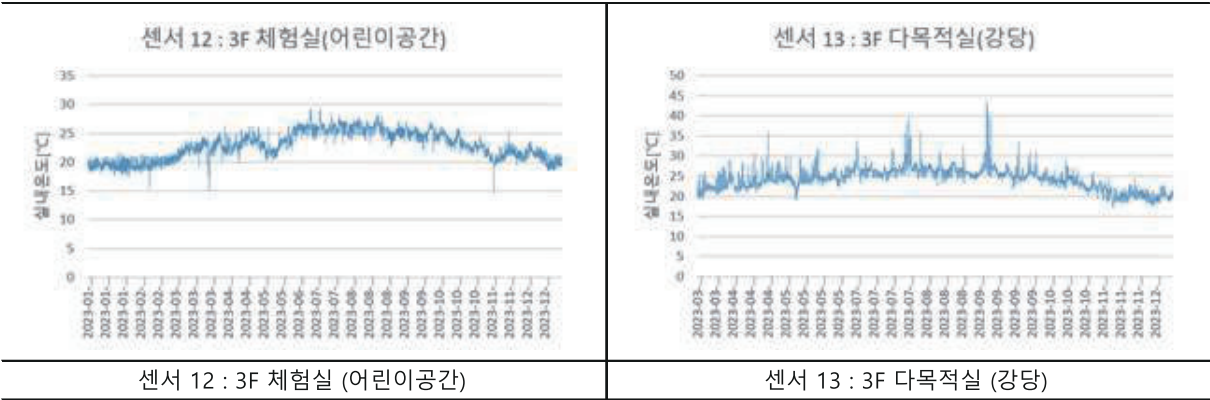
###### ① 실내온도 적정성 분석

- 보건복지부와 질병관리본부에서 권고하는 적정 실내온도는 18~20℃로 서울에너지드림센터는 대부분의 공간에서 권고기준보다 높게 실내온도를 유지
- 건물 운영시간(화~토, 9~18시) 사무실 기준 연 최저온도는 적정 실내온도 권고기준에 포함되나, 연 최고 온도는 적정 실내온도보다 높은 것으로 분석 (최저 : 18℃, 최고 : 29.7℃)

###### ② 측정센서 위치별 실내온도 분포

[표 21] 위치별 실내온도 (2023년 1월 ~ 12월)

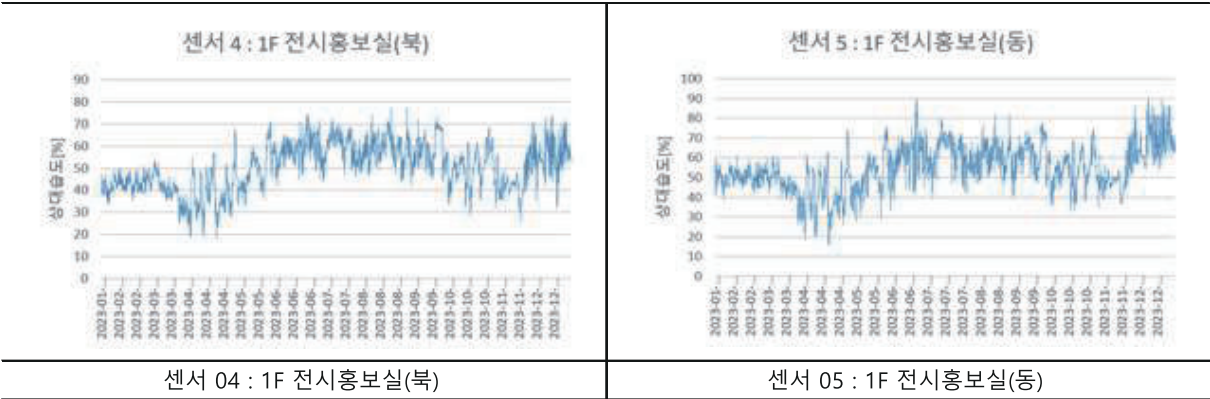




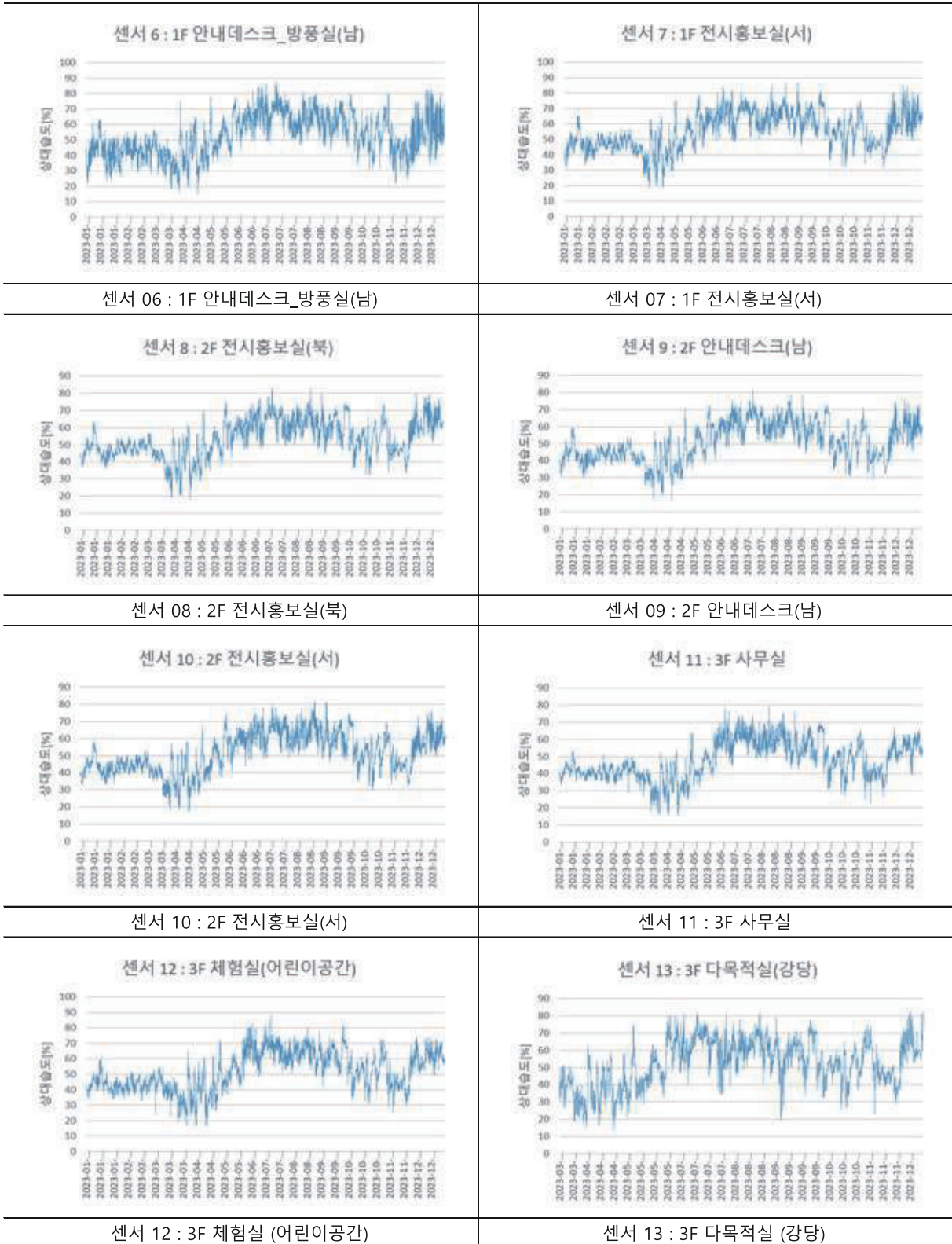
나. 습도

- ① 실내습도 적정성 분석
  - 보건복지부와 질병관리본부에서 권고하는 적정 실내습도는 40~60%로, 습도가 60%이상일 때 결로나 곰팡이가 생기기 쉽고, 40% 미만일 때는 바이러스의 활성화 증가
  - 건물 운영시간(화~토, 9~18시)에 모든 공간의 평균 습도는 적정 실내습도 범위안에 있지만, 여름철 낮에는 실내습도가 70%로 적정 실내습도보다 높은 경우가 있음. (사무실 최저 : 15%, 최고 : 76% / 체험실 최저 17%, 최고 : 84%)
  - 모든 공간에서 겨울철(11,12월) 실내습도가 높아지는 경향이 있음. 이는 공기조화기의 상태가 정상인지 확인이 필요함.
    - 1. 가습량 시스템 설정값
    - 2. 가습기 제어밸브 상태 확인
    - 3. 급기팬/환기팬 상태 확인
  - BEMS 수집되는 공조기 급기 절대습도(AHU.D4000)가 겨울철(2023.11, 12월)에 70% 넘는 경우 있음. (2024.2.7. 기준 급기 절대습도 50% 정상 수준)
- ② 측정센서 위치별 실내온도 분포

[표 22] 위치별 습도 (2023년 1월 ~ 12월)







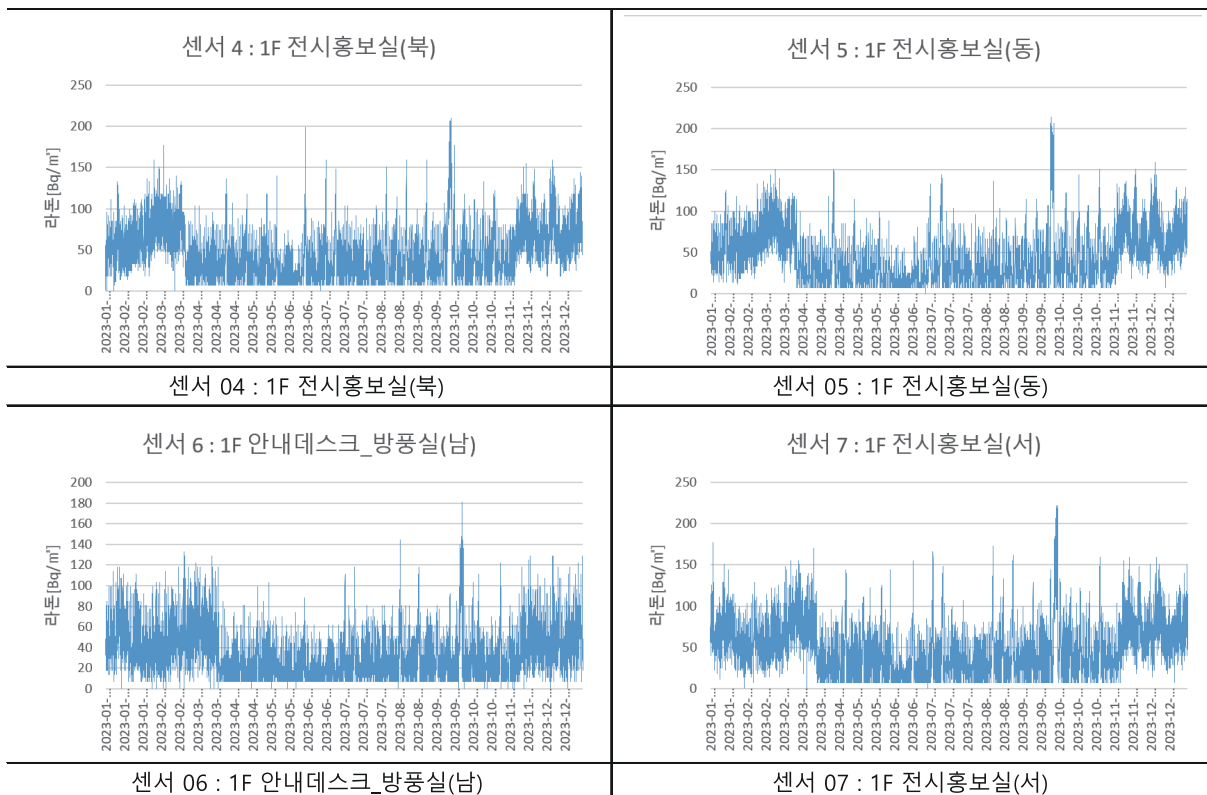
## 다. 라돈 수치

## ① 라돈

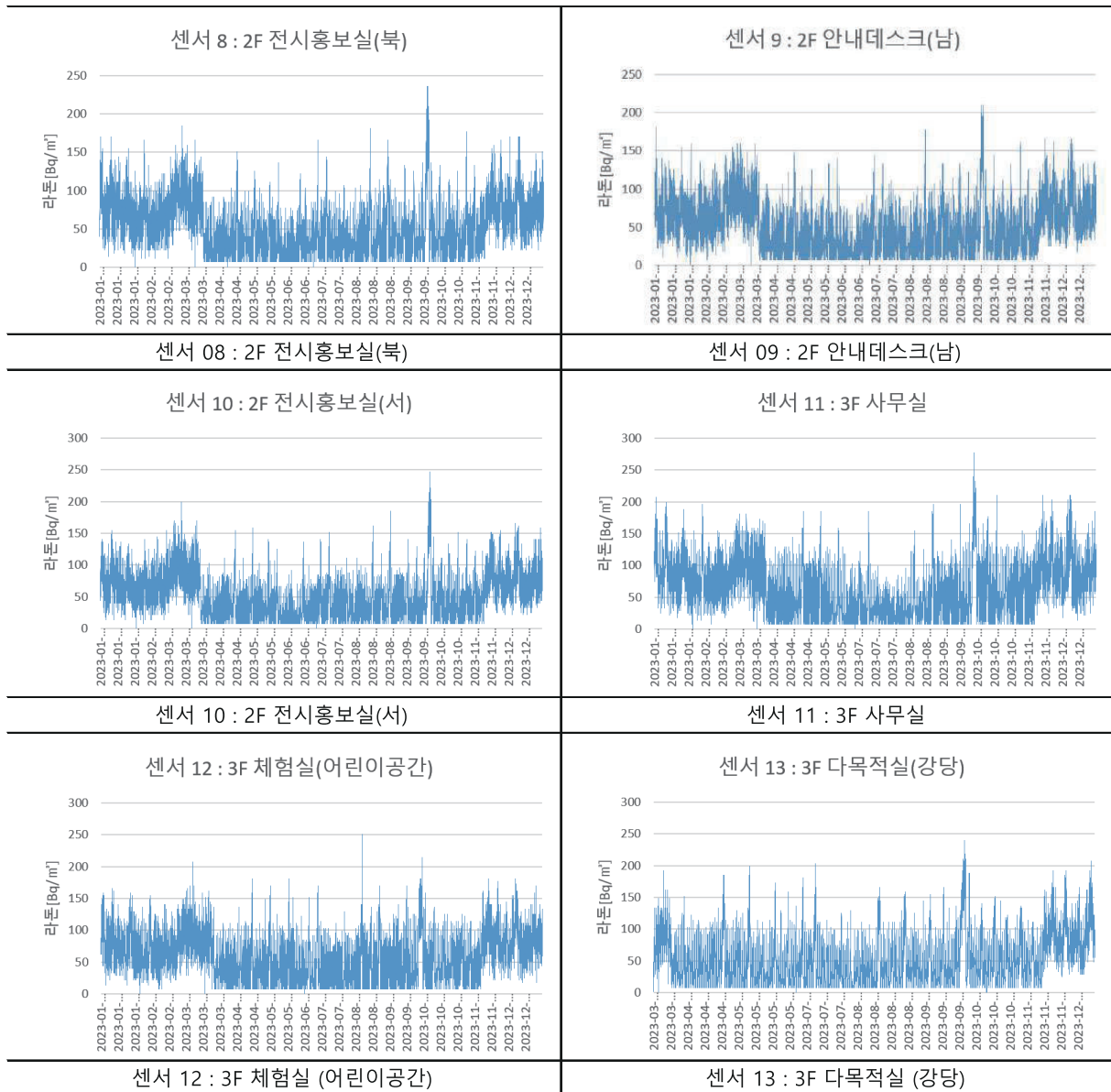
- WHO에서 밝힌 1급 발암물질로 환경부에서는 실내 라돈수치의 기준인 148벵크렐을 넘지 않기를 권고하고 있으며, 서울에너지드림센터의 경우 유아 및 청소년 이용자가 많기 때문에 라돈에 대한 권고기준을 준수하고자 함
- 환경부(국립환경과학원)의 전국 주택 라돈 조사(2015~2016)에 따르면 환기가 적은 겨울철 실내 라돈 수치가 높아지는 경향이 있음.
- 서울에너지드림센터는 권고기준인 148벵크렐을 긴 시간동안 초과하는 경우는 없으나, 일정 기간(추석, 겨울철) 높아지는 경향을 보이며 권고기준을 하회함.
- 휴관일이거나 겨울철에는 환기를 자주하지 못하기 때문에 실내 라돈 수치가 높아질 수 있음. 주기적으로 충분한 환기를 통해 실내 라돈 수치를 낮출 수 있음.

## ② 측정센서 위치별 실내온도 분포

[표 23] 위치별 라돈 수치 (2023년 1월 ~ 12월)



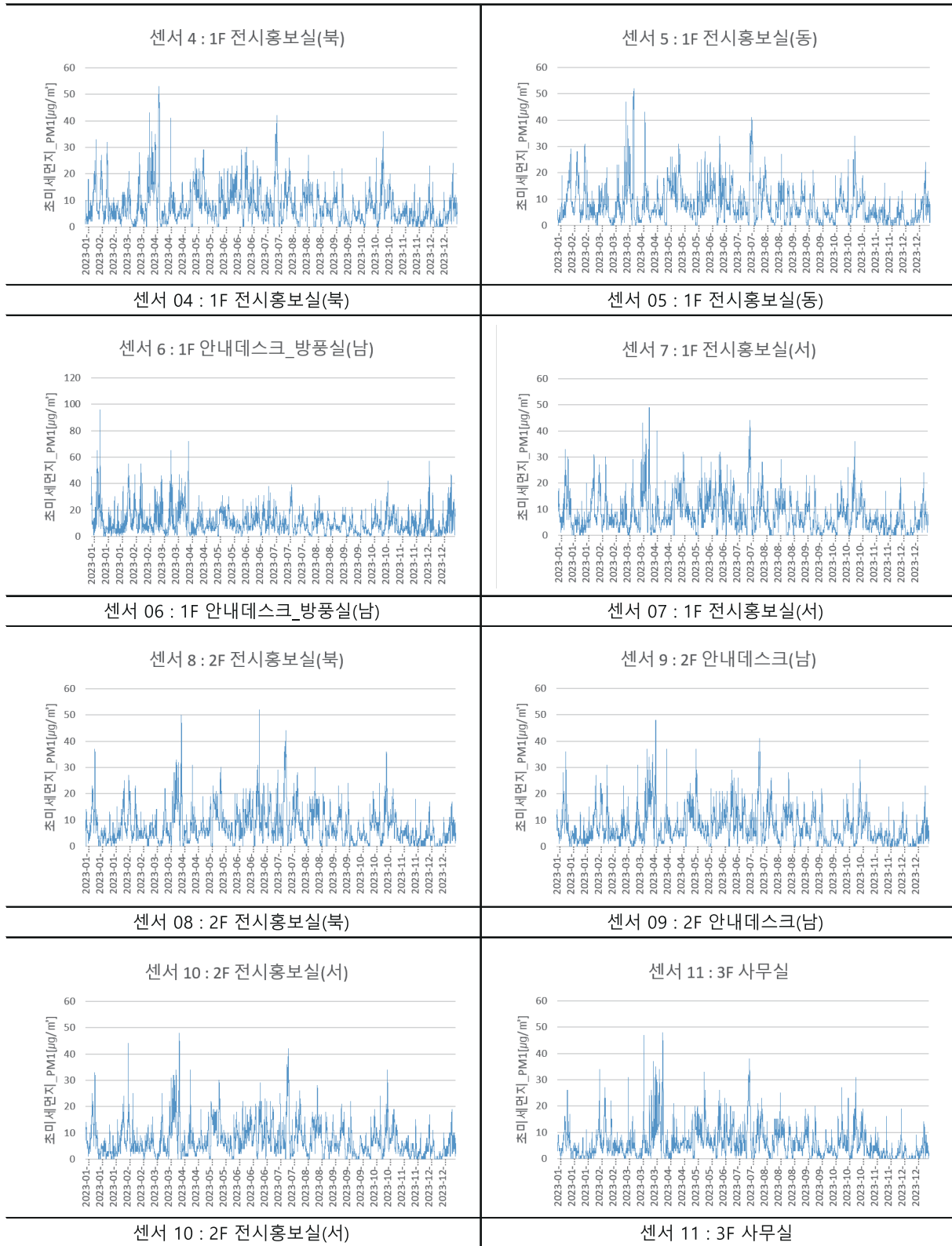


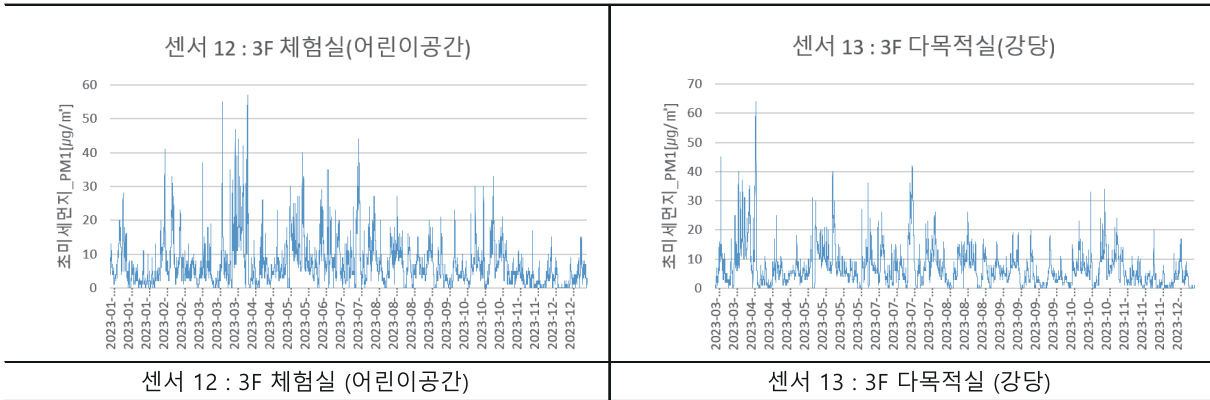


#### 라. 초미세먼지 (PM1)

- ① 17년 이전까지 우리나라에서는 극 초미세먼지로 명명하였으나 우리나라를 제외한 대부분의 나라에서 초미세먼지로 명명하여 혼동을 유발하여 현재는 초미세먼지로 명칭을 정하여 말하고 PM 2.5 초미세먼지와는 크기로 분류
- ② 초미세먼지 적정성 분석
  - 작으면 작을수록 위험성은 높아지나, 아직까지 널리 통용되는 기준이 아니어서 실내공기질 오염물질 기준표상에 없음 (지표상 PM2.5 기준을 따름)
- ③ 측정센서 위치별 초미세먼지(PM1) 수치

[표 24] 위치별 초미세먼지(PM1) 수치 (2023년 1월 ~ 12월)

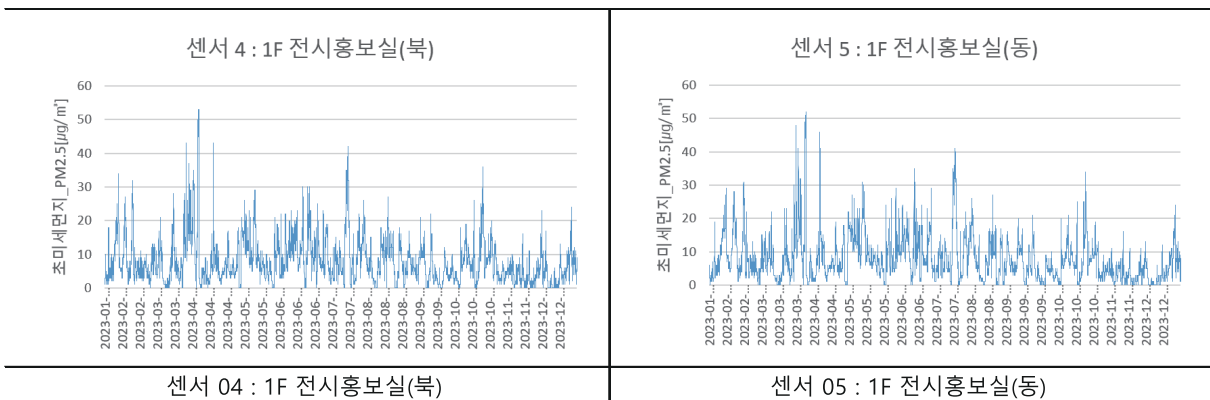


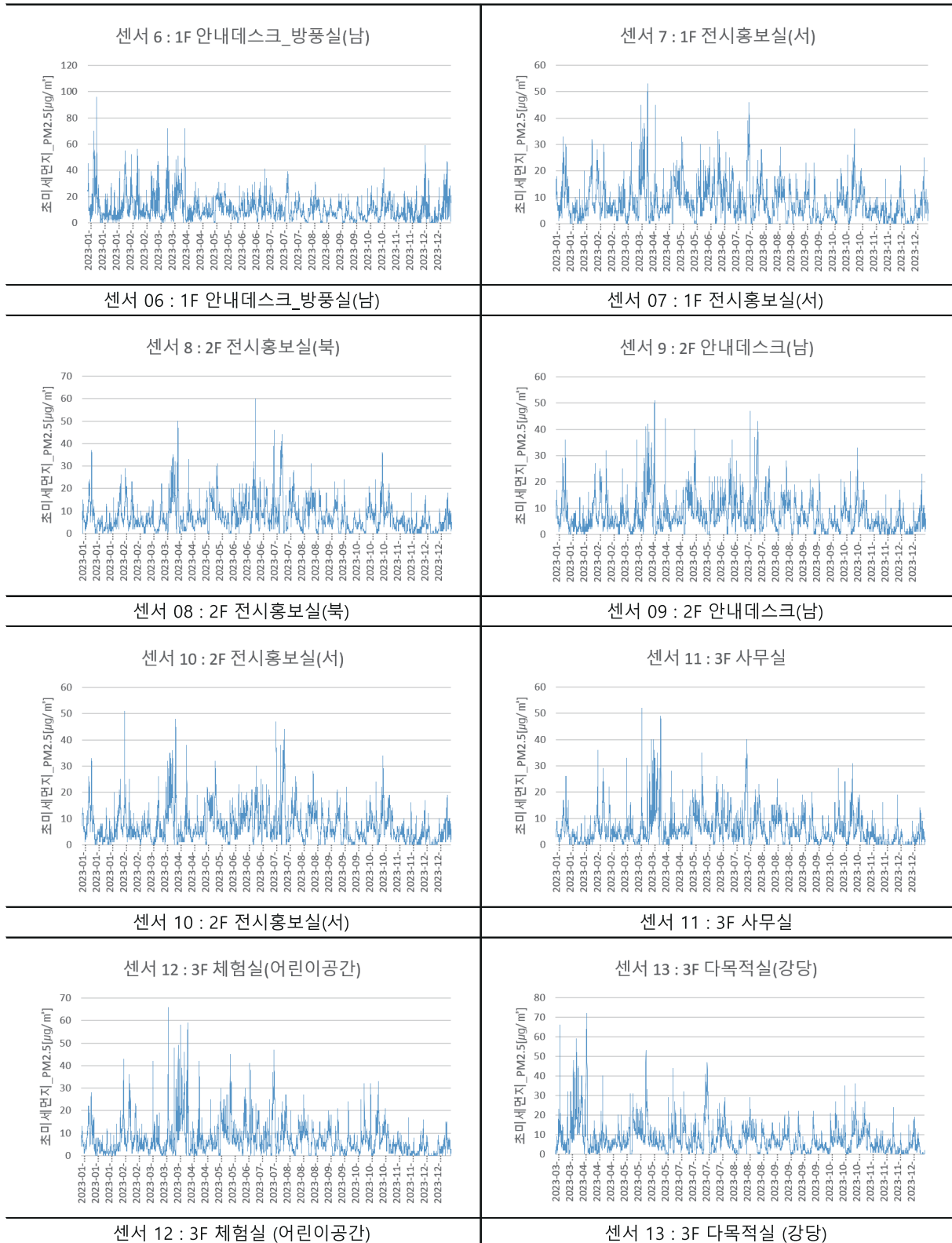


#### 마. 초미세먼지 (PM2.5)

- ①  $2.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하인 먼지를 뜻하며 국내에서는 초미세먼지 또는 미세먼진이라고 부르며, 대부분 인위적인 공해에 의해 만들어져 신체에 위험
- ② 초미세먼지(PM2.5) 적정성 분석
  - 실내공기질 관리법 상 초미세먼지(PM2.5)의 실내 유지기준은  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로, 서울에너지드림센터의 모든 공간은 해당 기준을 충족하여 실내 환경을 유지 (최저 :  $0\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최고 :  $96\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- ③ 측정센서 위치별 초미세먼지(PM2.5) 수치

[표 25] 위치별 초미세먼지(PM2.5) 수치 (2023년 1월 ~ 12월)

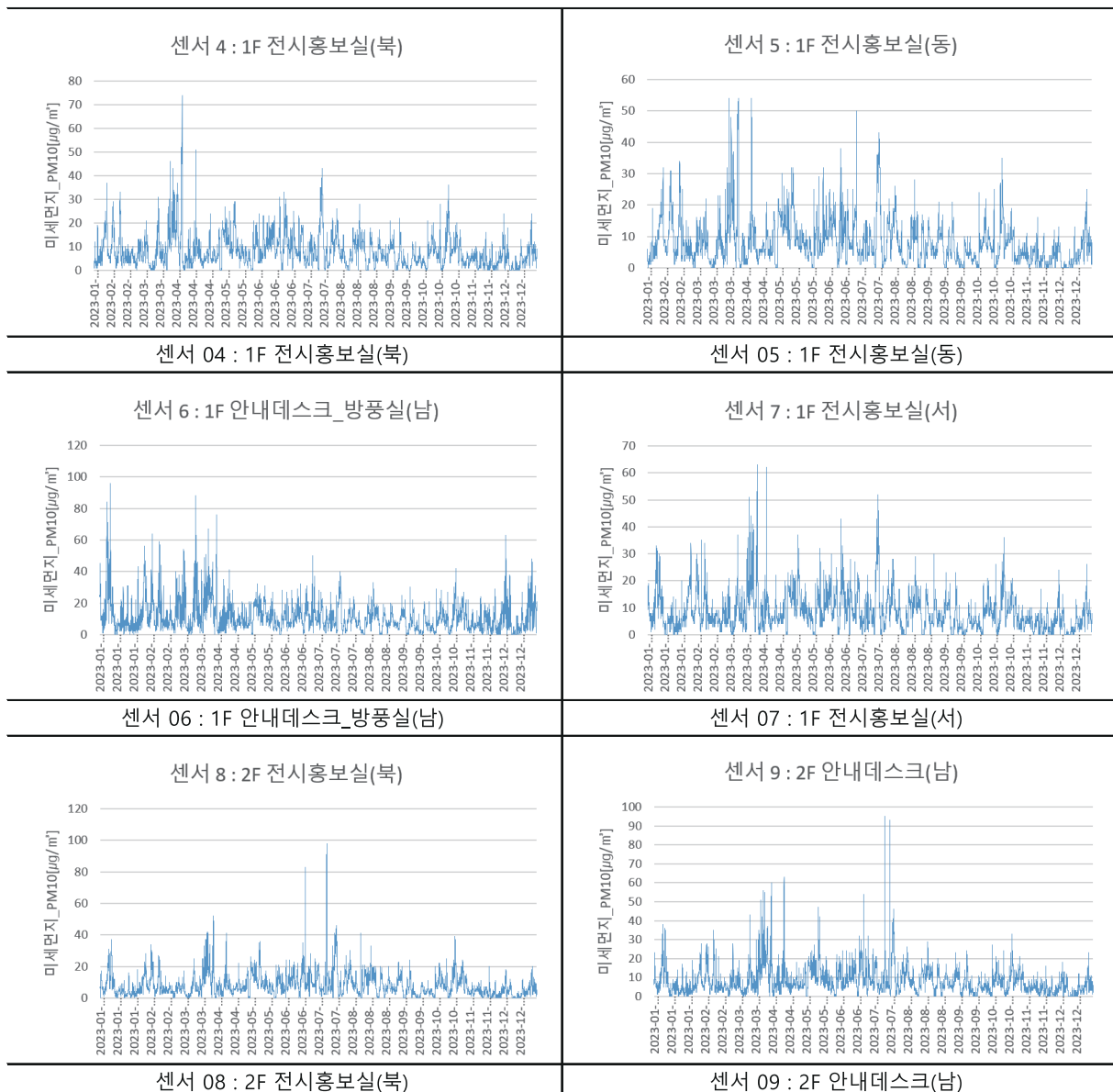


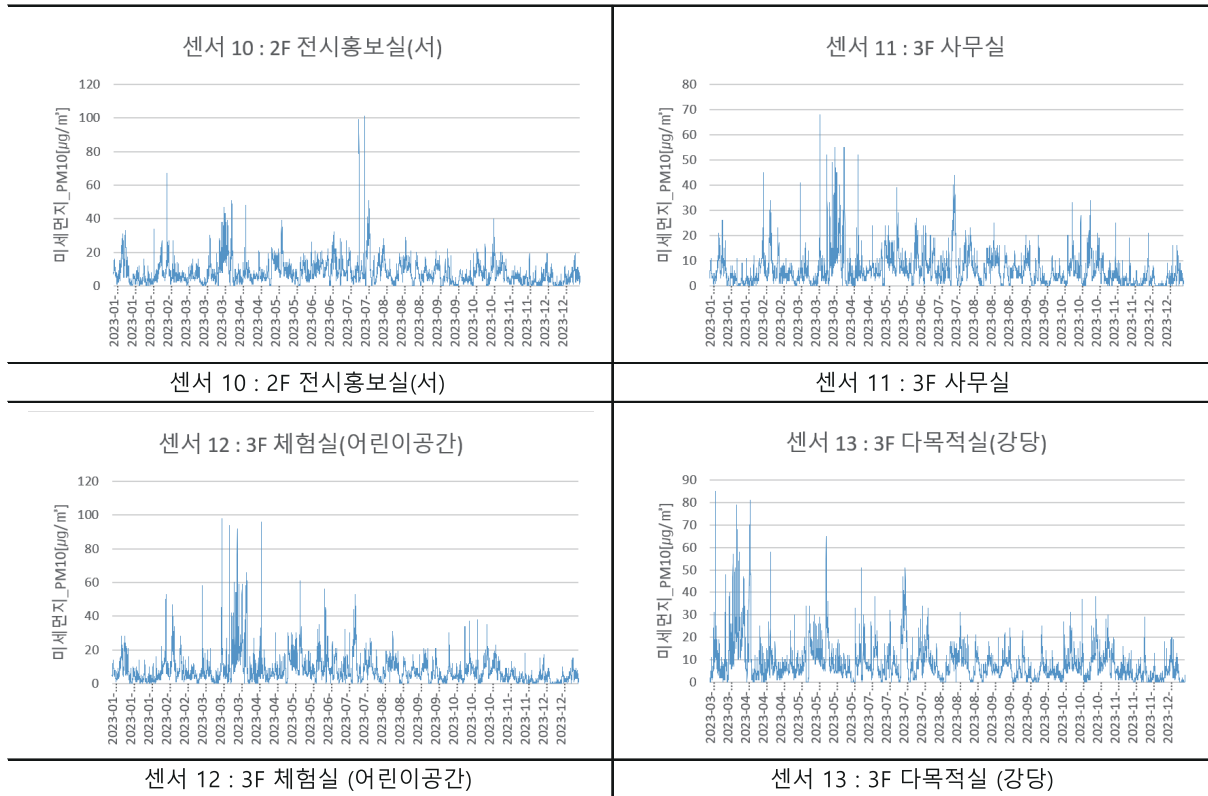


## 바. 미세먼지 (PM10)

- ①  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 먼지를 뜻하며, 부유먼지라고도 하고 주로 황사가 이에 속함
- ② 미세먼지 적정성 분석
  - 서울에너지드림센터는 실내공기질 관리법 상 미세먼지의 실내 유지기준인  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하 유지를 잘 준수하고 있으며, 일시적으로 높아진 경우를 제외하면 모든 공간이 기준에 충족함 (최저 :  $0\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최고 :  $101\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- ③ 측정센서 위치별 실내온도 분포

[표 26] 위치별 미세먼지(PM10) 수치 (2023년 1월 ~ 12월)





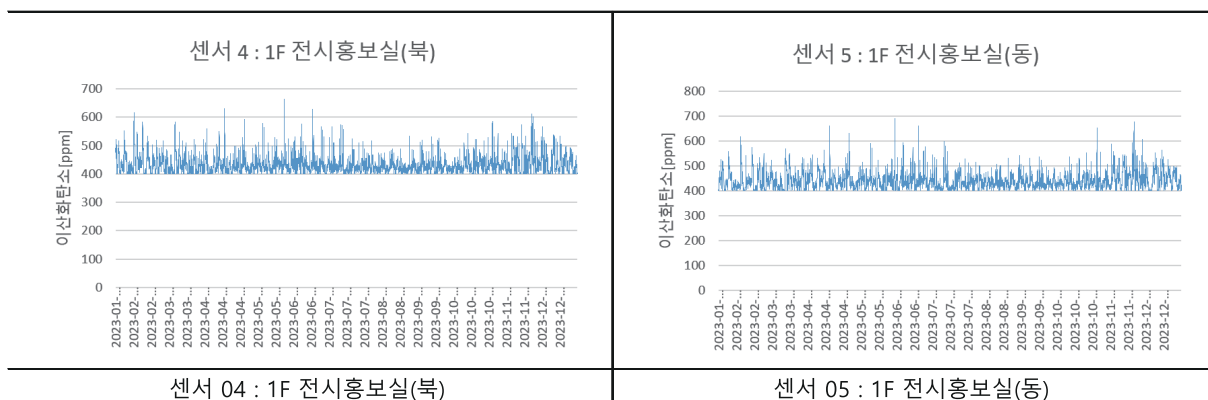
## 사. 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)

### ① 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 수치 적정성 분석

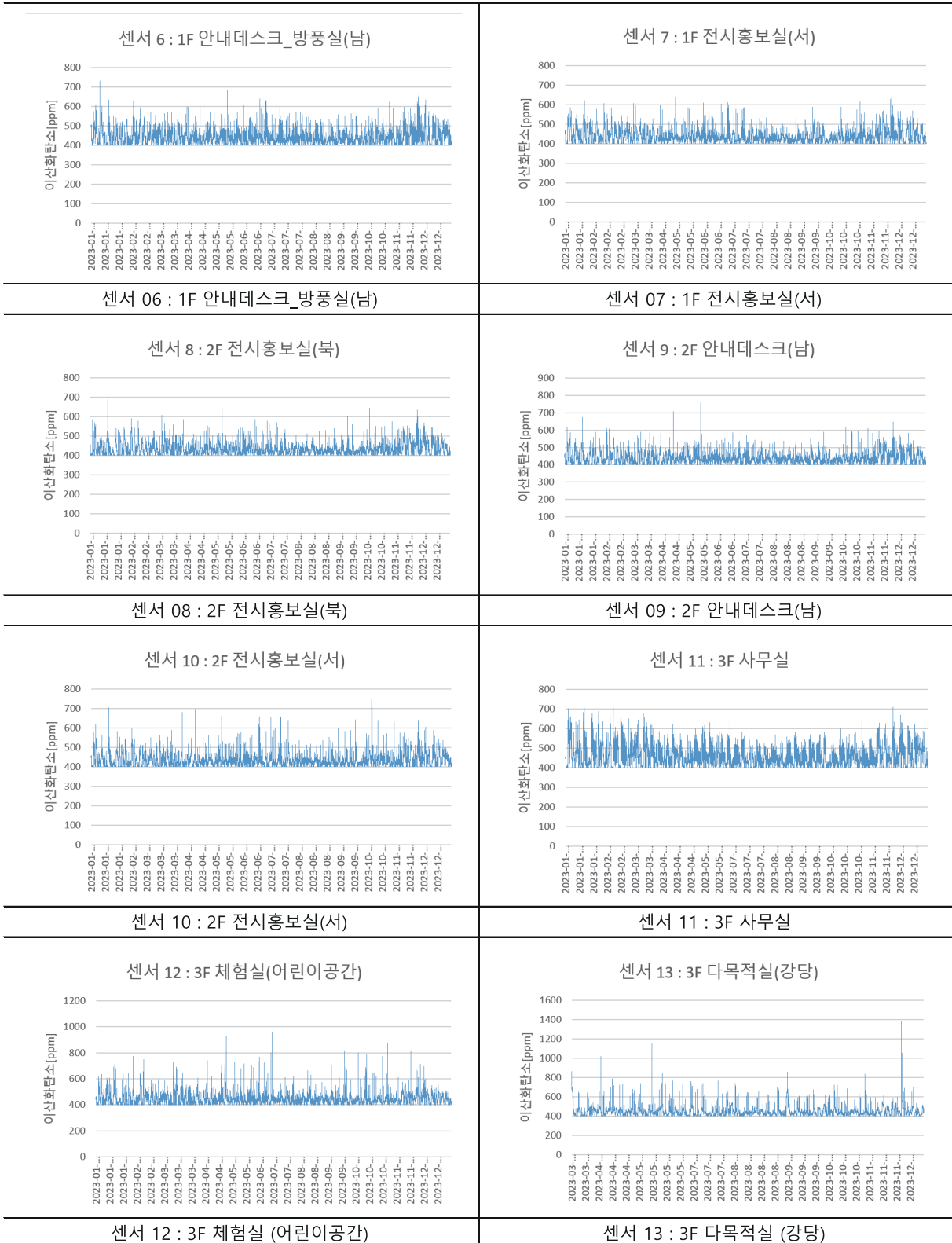
- 서울에너지드림센터는 다목적실(강당)을 제외한 모든 공간이 실내공기질 관리법 상 이산화탄소 실내 유지기준인 1,000ppm을 초과하지 않으며 평균적으로 400~500사이로 유지되고 있음.
- 다목적실(강당)에 일시적으로 많은 사람이 모이게 되면 유지기준을 초과하는 경우가 발생할 수 있음. 이 경우에도 1시간 이내에 다시 유지기준 이하로 감소함.

### ② 측정센서 위치별 실내온도 분포

[표 27] 위치별 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 수치 (2023년 1월 ~ 12월)







## 2.5. BEMS 운영 최적화 및 고도화 현황

### 1) 수행 내용

- 지열히트펌프 계통 확인 및 열량계 설치 위치 확인을 위한 현장 조사 실시

[표 28] 현장 조사 실시 사진



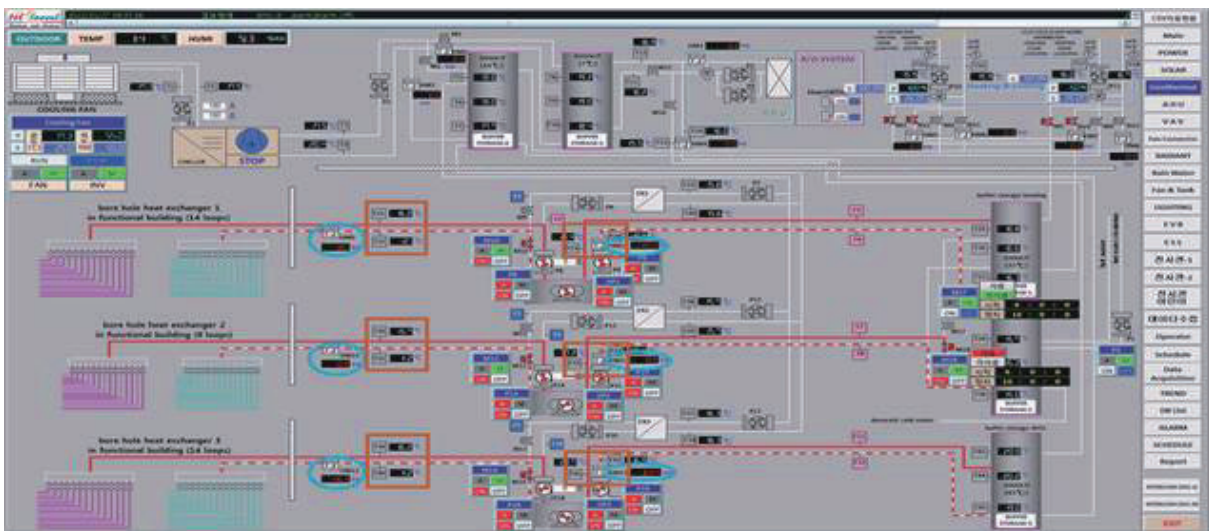
- 지열히트펌프 열량계 교체 대상 및 역할 내역 조사

#### 가. 초음파 열량계(6SET)

- 대상: HM9, HM10, HM11, HM12, HM13, HM14
- 역할: 지열히트펌프 1, 2차측 열량 측정

#### 나. 배관 삽입형 온도계(12ea)

- 대상: T21, T22, T23, T24, T30, T31, T32, T33, T39, T40, T41, T42
- 역할: 화면 표시 온도



[그림 32] 지열히트펌프 계통 교체 대상 계측기

- [표 29] 초음파 열량계 교체 작업 사진



- [illegible]

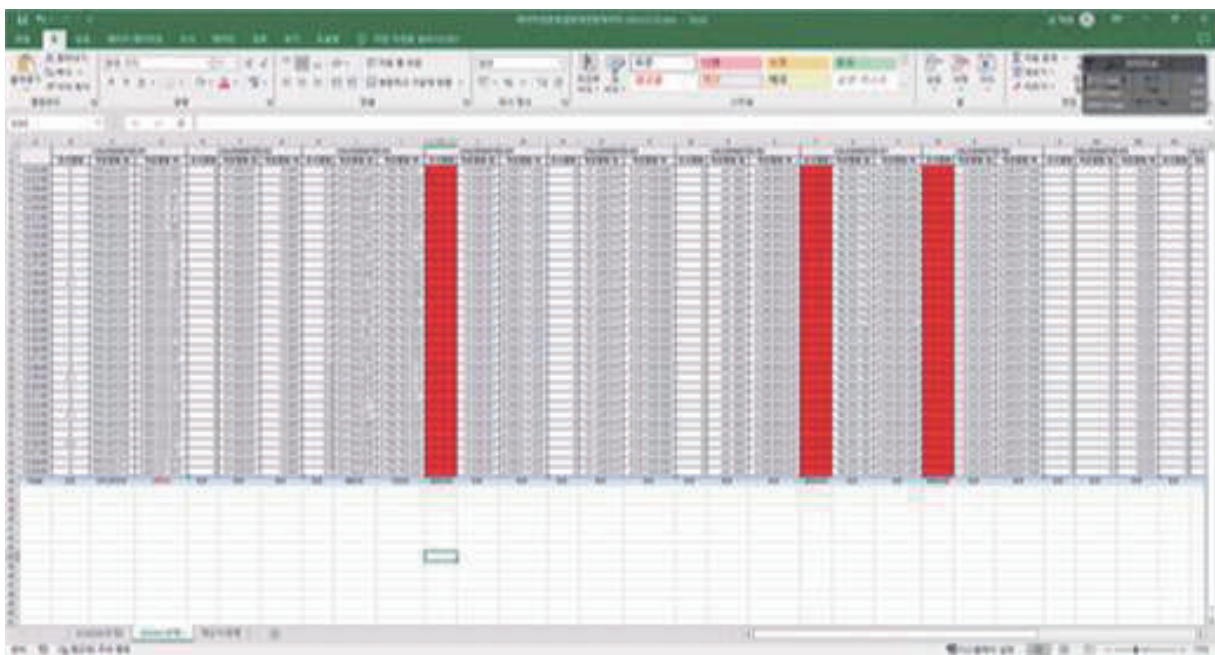
[그림 33-1] SCADA 연동 계획 수립



[illegible]

[그림 33-2] SCADA 연동 계획 수립

- 지열 히트펌프 열량 계측 데이터 연동, 수집 개발 및 검증



[그림 34] SCADA 연동 수집 데이터 검증

- 지열 히트펌프 에너지 공급량 산정을 위한 BEMS고도화 개발  
가. GHP 관련 관제점 추가(데이터 관제점 :24 개, 집계 관제점 : 1개)

[표 30] GHP 관련 추가 관제점 정보

순번	관제점 명칭	관제점 주소	관제값 단위	관제값 생성 방식
1	GHP1_Geo-side 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F9	GJ	연동
2	GHP1_Geo-side 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R9	GJ	연동
3	GHP2_Geo-side 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F13	GJ	연동
4	GHP2_Geo-side 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R13	GJ	연동
5	GHP3_Geo-side 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F11	GJ	연동
6	GHP3_Geo-side 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R11	GJ	연동
7	BT1_냉온수 공급관 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F10	GJ	연동
8	BT1_냉온수 공급관 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R10	GJ	연동
9	BT2_냉온수 공급관 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F14	GJ	연동
10	BT2_냉온수 공급관 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R14	GJ	연동
11	BT3_냉온수 공급관 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F12	GJ	연동
12	BT3_냉온수 공급관 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R12	GJ	연동
13	BT4_냉온수 공급관 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F1	GJ	연동
14	BT4_냉온수 공급관 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R1	GJ	연동
15	BT5_냉온수 공급관 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F2	GJ	연동
16	BT5_냉온수 공급관 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R2	GJ	연동
17	BT5_냉온수 환수관 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F3	GJ	연동
18	BT5_냉온수 환수관 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R3	GJ	연동
19	BT4_냉온수 환수관1 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F5	GJ	연동
20	BT4_냉온수 환수관1 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R5	GJ	연동
21	BT4_냉온수 환수관2 정방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.F6	GJ	연동
22	BT4_냉온수 환수관2 역방향 적산열량	CALORIMETER.SUM.R6	GJ	연동
23	밸브 상태값 (M17)	DDC_G.M.M1F	-	연동
24	밸브 상태값 (M18)	DDC_G.M.M20	-	연동

## 나. GHP 에너지 공급량 집계 관제점 계산식 설정

- 1분 단위 측정 순시열량값(GJ/h)으로 열량 계산
- GJ을 kWh로 환산(환산계수 : 277.778 적용)
- GHP 실 발전량 : GHP 공급량 - GHP 구동 전력

```
let ghp1_kwh = Math.abs(PZ[CALORIMETER.R10] / 60 * 277.778);
let ghp3_kwh = Math.abs(PZ[CALORIMETER.R12] / 60 * 277.778);
let ghp2_kwh = Math.abs(PZ[CALORIMETER.R14] / 60 * 277.778);
let ghp_power = PZ[POWER.WHM.P_GE];

return ghp1_kwh + ghp2_kwh + ghp3_kwh - ghp_power ;
```

[그림 35] GHP 에너지 공급량 계산식

시간	값	단위
Sum 23:45	null	
Sum 23:30	null	
Sum 23:15	null	
Sum 23:00	null	
Sum 22:45	null	
Sum 22:30	null	
Sum 22:15	null	
Sum 22:00	null	
Sum 21:45	null	
Sum 21:30	null	
Sum 21:15	null	
Sum 21:00	null	
Sum 20:45	null	
Sum 20:30	null	
Sum 20:15	null	
Sum 20:00	null	
Sum 19:45	null	
Sum 19:30	null	
Sum 19:15	null	
Sum 19:00	null	
Sum 18:45	null	
Sum 18:30	null	
Sum 18:15	null	
Sum 18:00	null	
Sum 17:45	null	

시간	값	단위
Sum 11:00	null	
11:10	2,643	
11:09	2,460	
11:08	2,469	
11:07	2,432	
11:06	2,426	
11:05	2,419	
11:04	2,374	
11:03	2,343	
11:02	2,124	
11:01	2,388	
11:00	2,366	
Sum 10:45	null	
10:59	2,376	
10:58	2,373	
10:57	2,356	
10:56	2,349	
10:55	2,307	
10:54	2,349	
10:53	2,313	
10:52	2,299	
10:51	2,303	
10:50	2,239	
10:49	2,216	
10:48	2,198	

시간	값	단위
11:00	26,148	
10:45	34,332	
10:30	31,241	
10:15	32,791	
10:00	29,556	
09:45	32,422	
09:30	33,380	
09:15	34,586	
09:00	33,460	
08:45	34,951	
08:30	35,095	

시간	값	단위
2023-12-18 11	26,148	
2023-12-18 10	127,919	
2023-12-18 09	133,847	
2023-12-18 08	138,707	
2023-12-18 07	141,304	
2023-12-18 06	38,373	
2023-12-18 05	0	
2023-12-18 04	0	
2023-12-18 03	0	
2023-12-18 02	0	
2023-12-18 01	0	

시간	값	단위
2023-12-18	606,297	
2023-12-18	323,759	

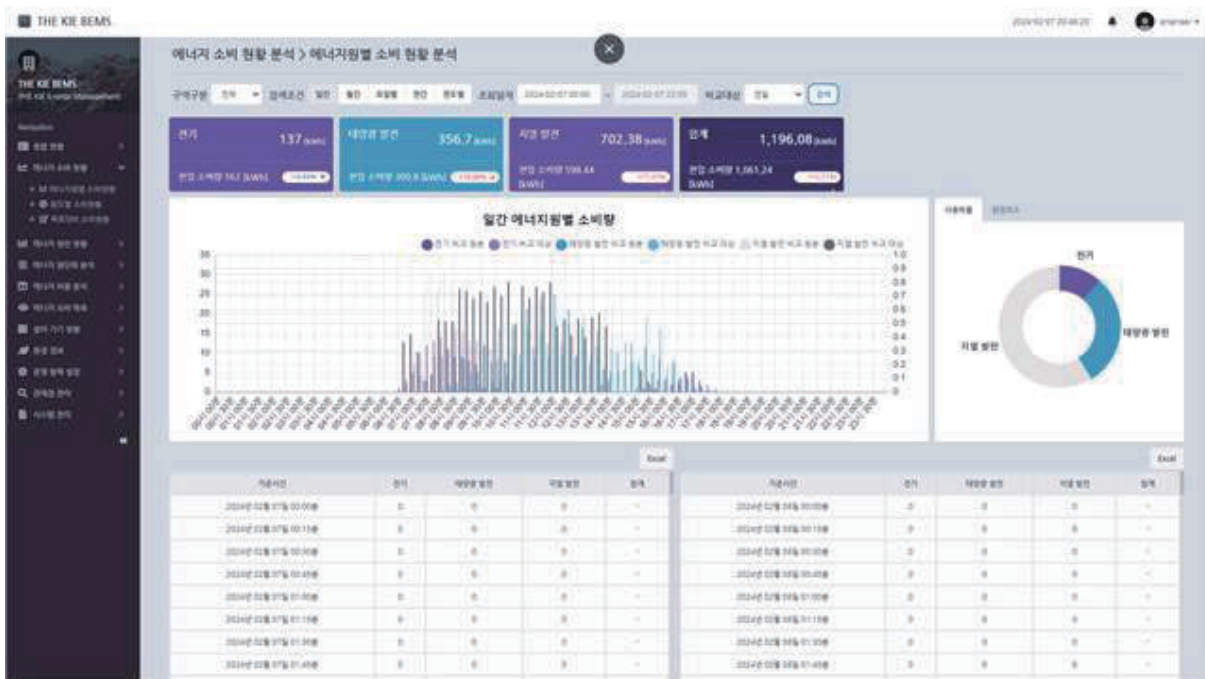
시간	값	단위
2023-12	930,056	

[그림 35] 지열발전량 집계 내역 모니터링 화면



#### 다. 에너지원별 소비현황 분석 화면 기능 수정

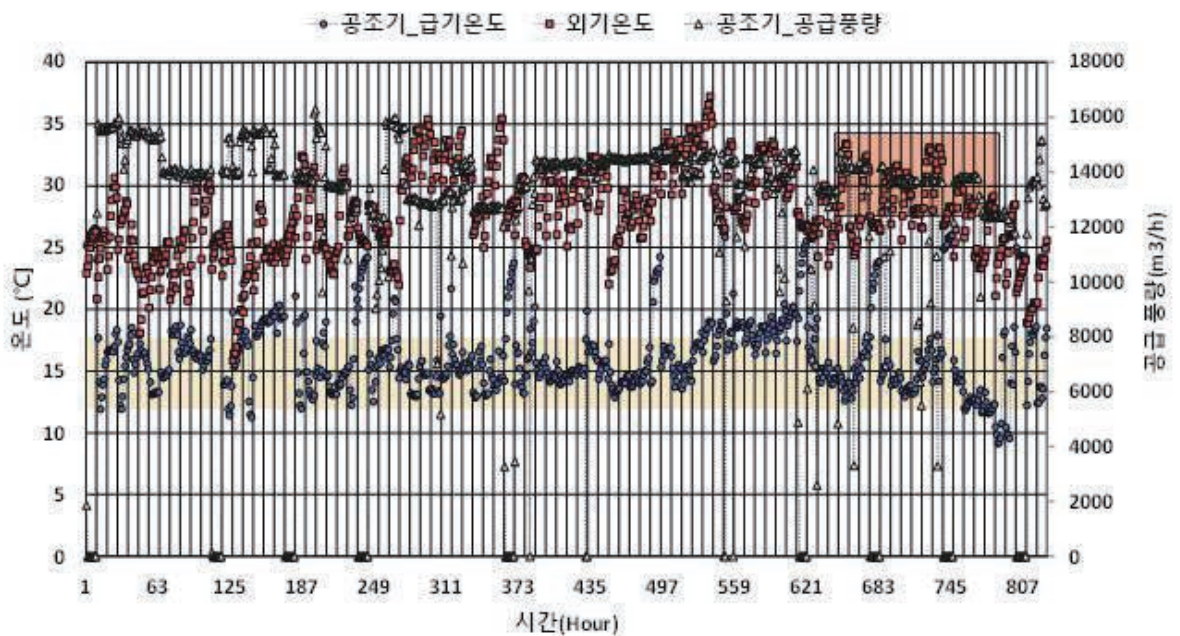
- 에너지 발전 유형 추가
- 지열 발전량 집계 관제점 추가
- 지열 발전량 집계 데이터 조회 및 에너지원별 소비 현황 분석 API 변경



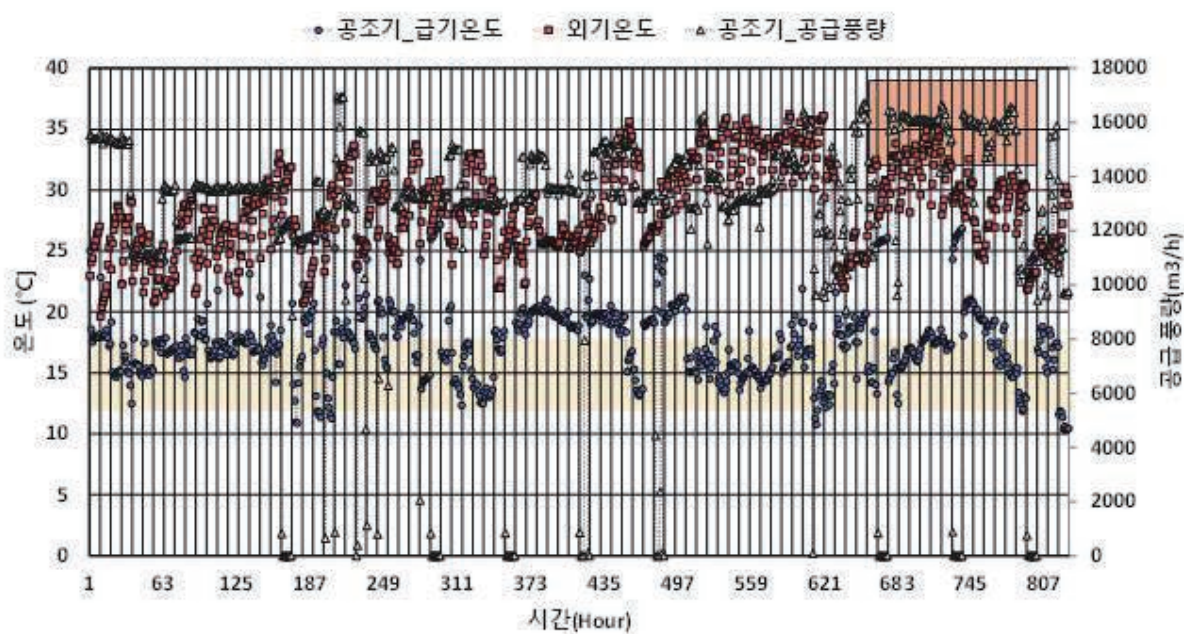
[그림 36] 에너지원별 소비현황 분석 화면

## 2.6. 시스템별 전력 소비량의 연도 간 차이 원인 규명

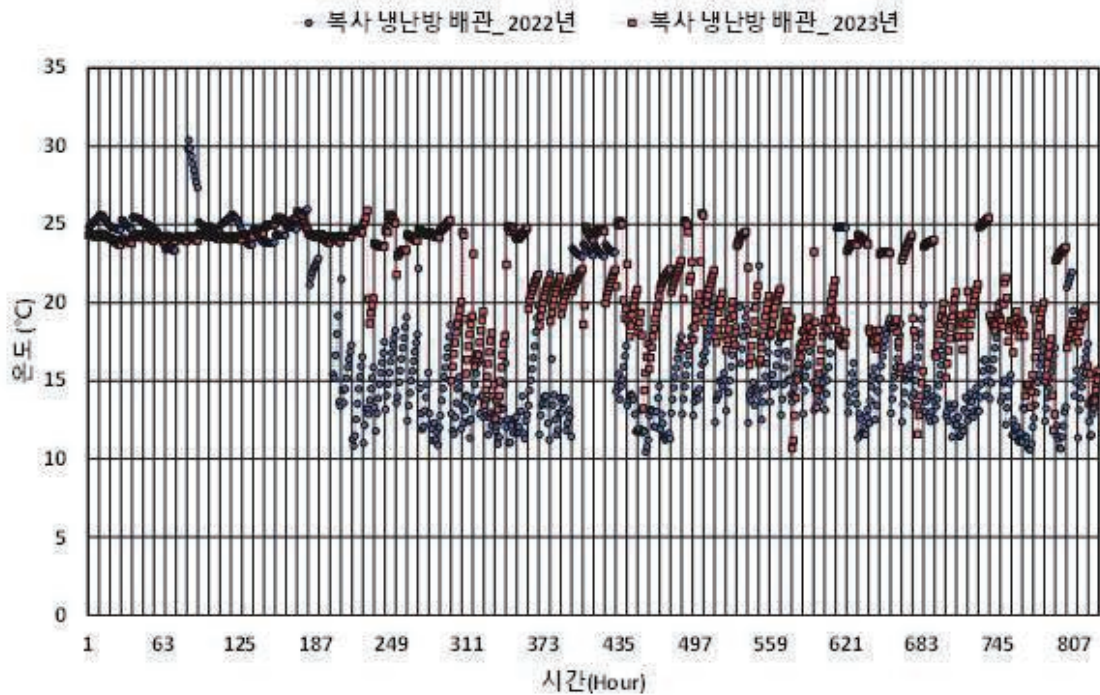
## 1) 여름철 공조시스템 운영방식 비교 (6~8월)



[그림 37] 2022년 공조기 토출공기 &amp; 외기 온도



[그림 38] 2023년 공조기 토출공기 &amp; 외기 온도



[그림 39] 2022년, 2023년 복사 냉난방 시스템 작동 여부

- 그래프의 X축은 1시간 간격으로 리샘플링된 데이터값들을 의미하고 63시간 간격은 일주일 간격을 의미함. 또한 그래프에 노란색으로 표현된 범위는 급기온도 13℃~18℃로 공조시스템이 작동하는 구간을 의미함
- 외기 온도는 평균적으로 7월 > 8월 > 6월 순으로 높고, 일별 차이는 6월이 8월보다 큼
- 2022년 대비, 2023년의 6,8월 외기 온도가 평균적으로 높게 형성되어 있음

#### 가. 2022년 공조시스템 운영방식

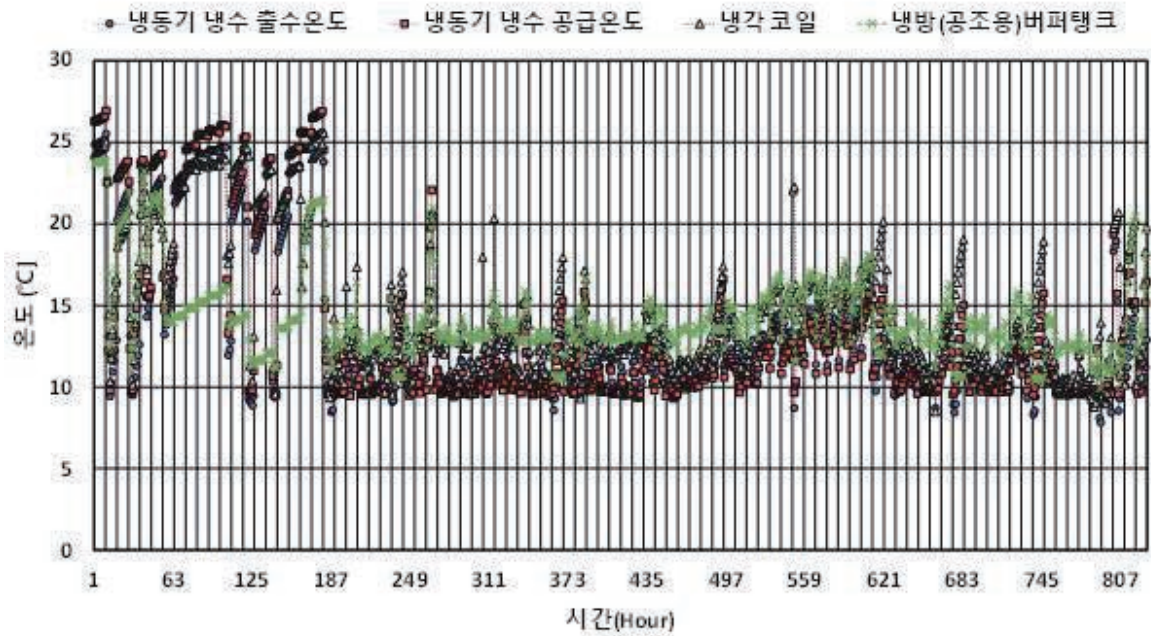
- 대부분의 급기온도가 작동범위 내에서 진동하므로, 냉동기를 열원으로 일정하게 냉방을 운영 중임을 확인 가능
- 6월 22일 16,276.76m³/h의 최대 공급풍량이 발생
- 공급풍량은 대부분 약 14,000m³/h로 공급되고 있음

#### 나. 2023년 공조시스템 운영방식

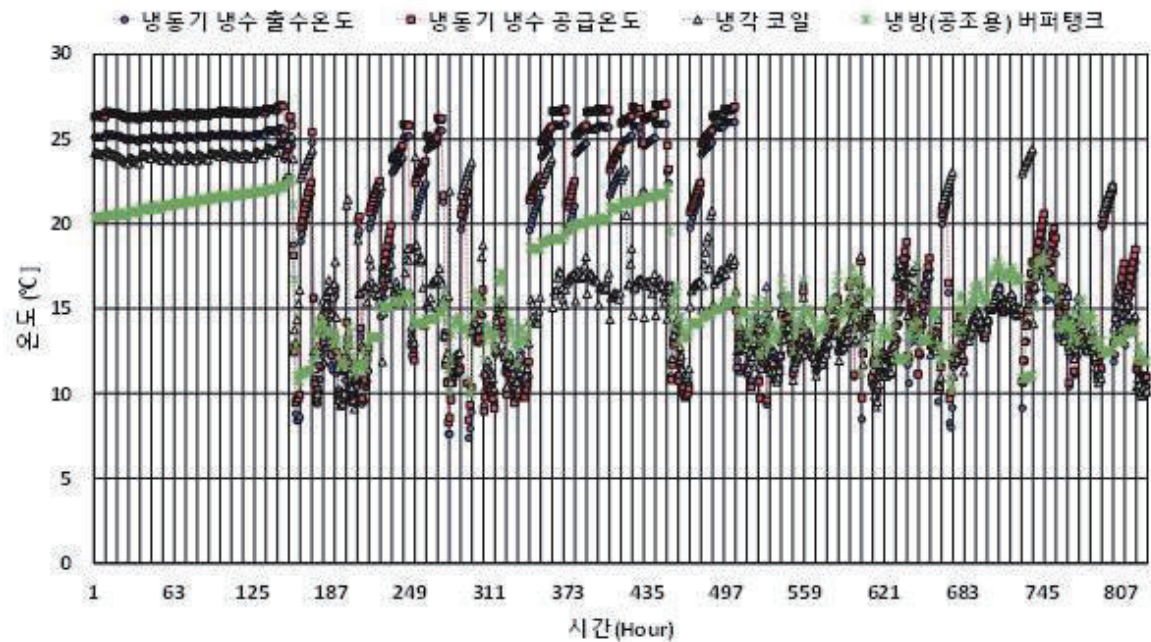
- 2022년 대비 급기온도가 높게 형성되어 있는 모습을 보이지만 공급풍량은 대부분 약 14,000m³/h로 공급되고 있는 모습을 통해, 2023년에는 지열히트펌프의 사용 빈도가 높아지면서 복사 냉난방을 통한 혼합 공조를 진행한 것으로 판단됨
- 6월 24일 16,963.51m³/h의 최대 공급풍량이 발생



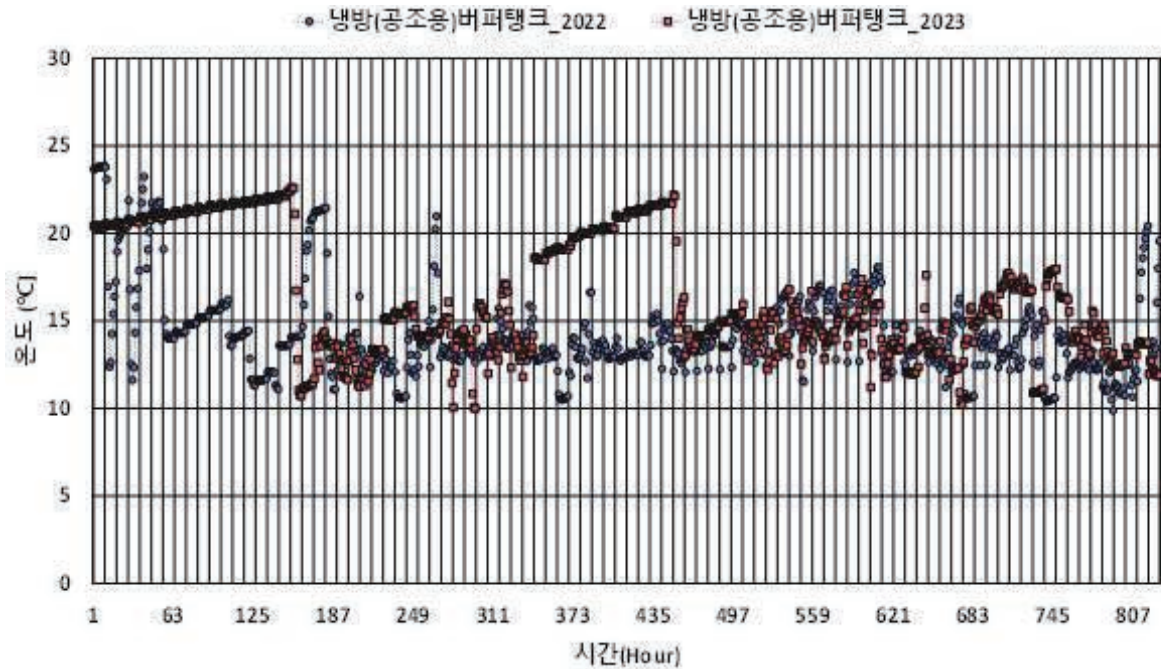
## 2) 여름철 냉온수/냉동기 시스템 운영방식 비교 (6~8월)



[그림 40] 2022년 냉동기 사이클 내 노드별 온도



[그림 41] 2023년 냉동기 사이클 내 노드별 온도



[그림 42] 2022, 2023년 버퍼탱크 온도 비교

- 그래프의 X축은 1시간 간격으로 리샘플링된 데이터값들을 의미하고 63시간 간격은 일주일 간격을 의미함
- 서울에너지드림센터의 경우 냉동기 작동 시, 버퍼탱크는 약 13℃~16℃, 냉수온도는 약 9℃~13℃로 공급됨을 확인함

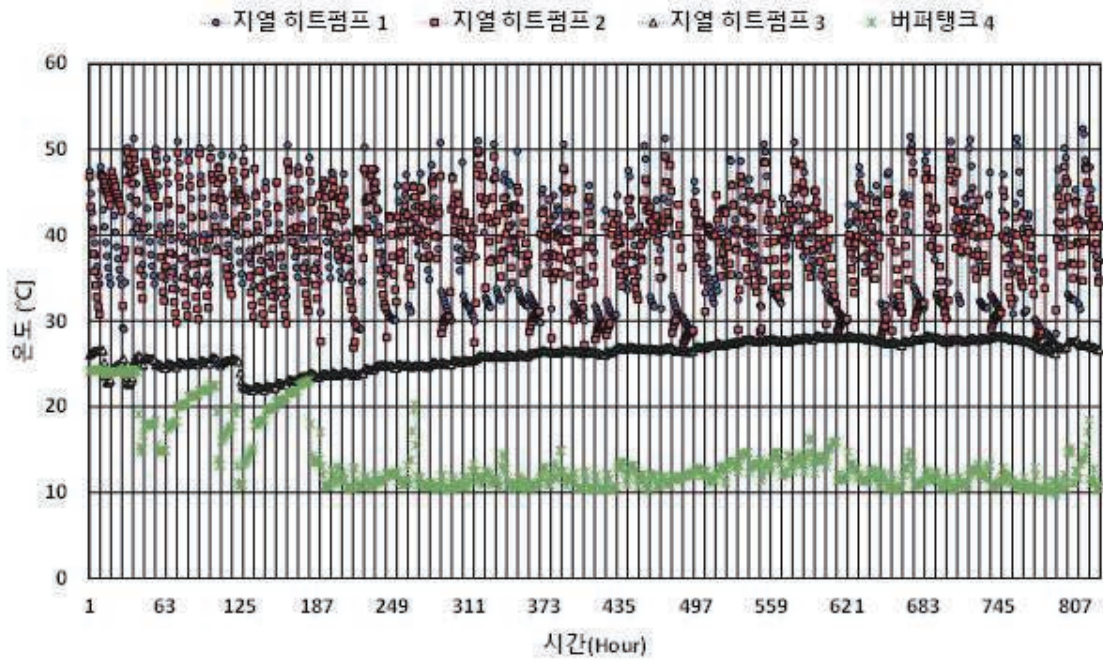
#### 가. 2022년 냉온수/냉동기 시스템 운영방식

- 6월의 경우 버퍼탱크 온도가 하루간격으로 진동하는 것을 통해, 유동적으로 냉동기 on/off 제어를 진행한 것으로 보임
- 7, 8월에는 냉동기를 열원으로 일정하게 냉방을 운영 중인 것으로 판단됨

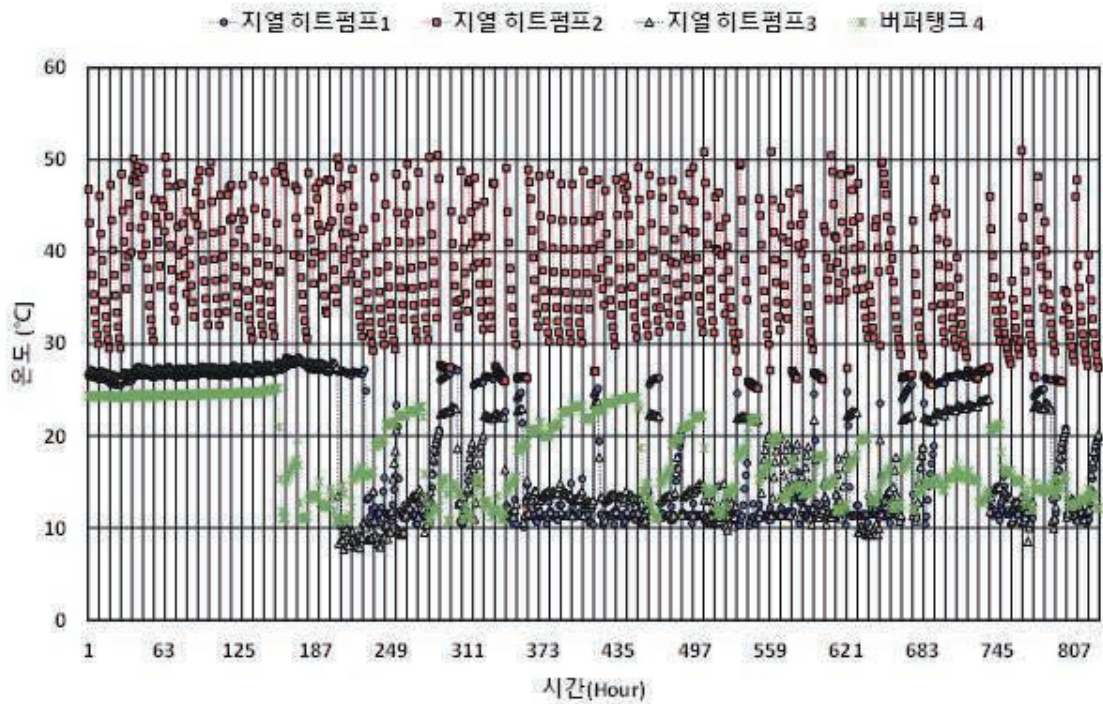
#### 나. 2023년 냉온수/냉동기 시스템 운영방식

- 6월 말~8월에 걸쳐 유동적으로 냉동기와 지열히트펌프 중 열원기기를 선택하여 냉방을 진행함을 확인
- 공조기 공급 풍향이 최대 풍향에 가까운 8월 16일 ~ 8월 26일 동안의 버퍼탱크 온도는 일반적인 냉동기 작동시간에서의 버퍼탱크 온도보다 3℃~4℃ 높게 형성되어 있음

## 3) 여름철 지열 시스템 운영 방식 비교 (6~8월)



[그림 43] 2022년 지열히트펌프 사이클 내 노드별 온도



[그림 44] 2023년 지열히트펌프 사이클 내 노드별 온도



- 그래프의 X축은 1시간 간격으로 리샘플링된 데이터값들을 의미하고 63시간 간격은 일주일 간격을 의미함
- 지열히트펌프 2는 냉방 시 열원으로 작용하지 않음을 확인. 냉방 시 지열히트펌프 1, 3번과 연결하여 사용

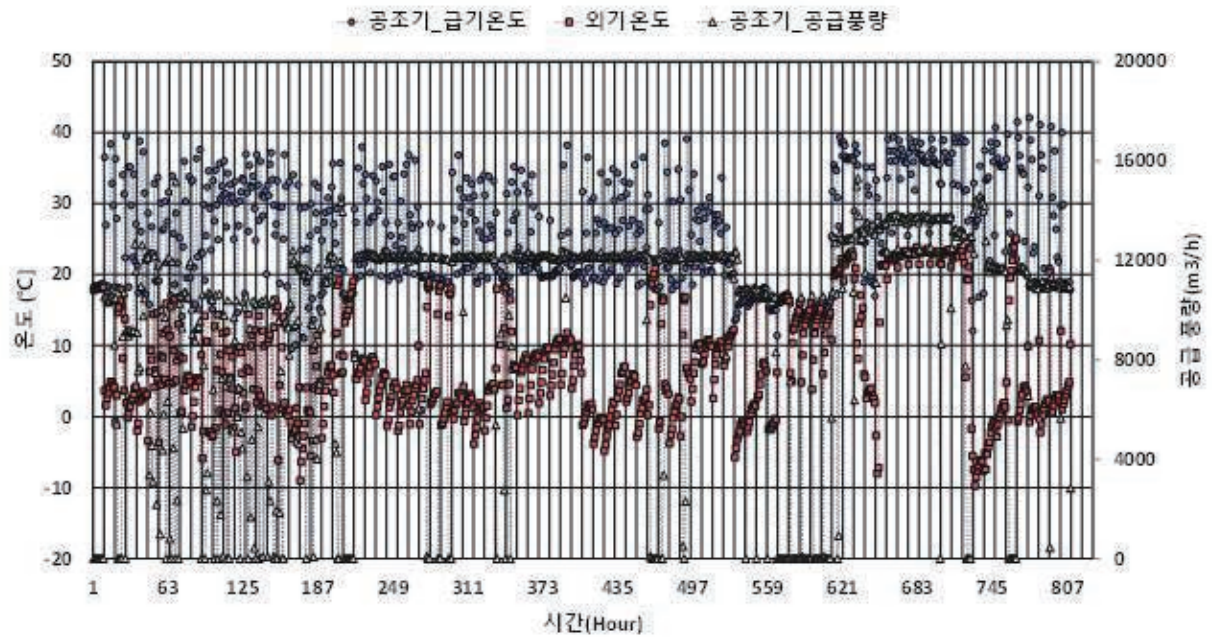
#### 가. 2022년 지열 시스템 운영 방식

- 2022년에는 지열히트펌프를 열원으로 사용하는 냉방은 사용하지 않음. 버퍼 탱크 4의 경향성은 냉동기 냉수의 온도 경향성과 유사하므로, 냉동기를 열원으로 버퍼탱크 4의 온도를 감소시킨 것이라고 추론함
- 따라서 [그림43]의 2022년 복사 냉난방은 냉동기를 열원으로 사용했다고 판단할 수 있음

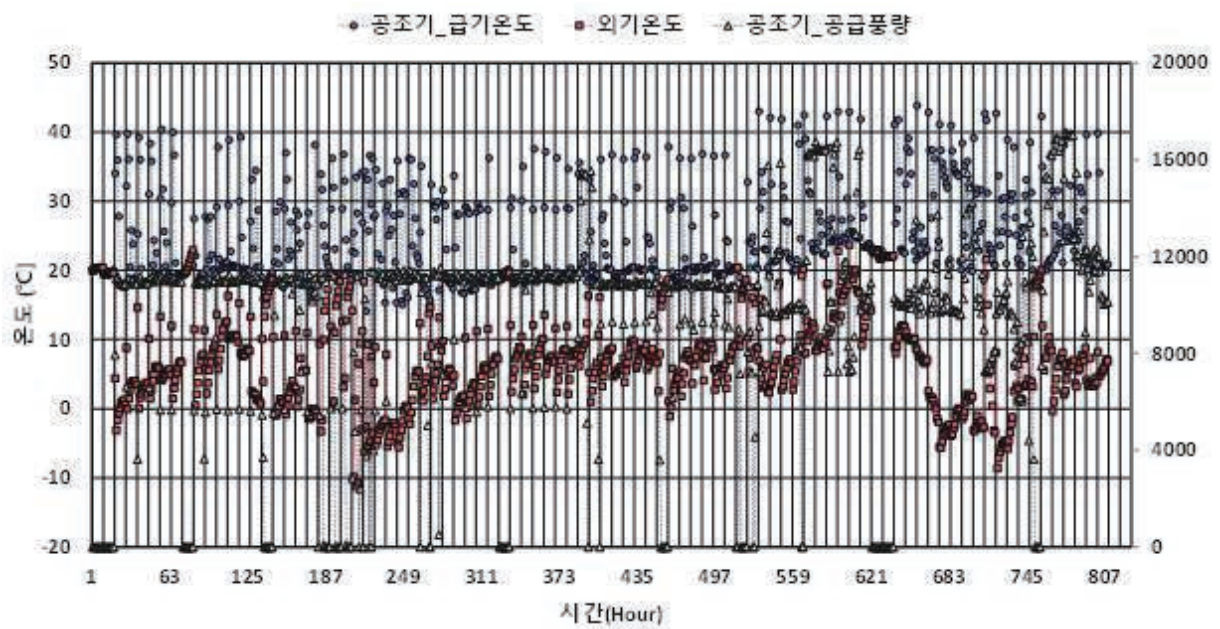
#### 나. 2023년 지열 시스템 운영 방식

- 6월 18일까지의 냉동기 냉수 공급 온도 및 지열히트펌프 2차 배관 온도를 살펴보면, 모두 높은 온도를 유지하고 있는 것을 확인할 수 있음. 이는 6월은 낮은 외기로 인해 실내 부하가 낮으므로, 그에 맞춰 간헐적으로 실내 냉방을 운영한 것으로 판단됨
- 냉동기와 지열히트펌프를 유동적으로 사용한 7월 7일~7월 20일 기간에는, 버퍼탱크 4의 온도가 냉동기만 작동시켰을 때보다 높게 나타남
- 지열 히트펌프3 공급 온도와 반환 온도의 온도차가 2℃ 이상인 시간은 총 828시간 중 170 시간임. 따라서 2022년보다 지열히트펌프를 유동적으로 사용하여, 냉방을 진행했다는 사실을 알 수 있음
- 이는 냉동기와 지열히트펌프를 유동적으로 사용하여, 냉동기를 효율적으로 운용하기 위한 것으로 판단됨

## 4) 겨울철 공조시스템 운영 방식 비교 (1~2월 &amp; 12월)



[그림 45] 2022년 공조기 토출 공기 &amp; 외기온도



[그림 46] 2023년 공조기 토출 공기 &amp; 외기온도

- 그래프의 X축은 1시간 간격으로 리샘플링된 데이터값들을 의미하고 63시간 간격은 일주일 간격을 의미함
- 12월의 외기온도가 1, 2월에 비해 높은 편임
- 2022년 대비, 2023년 12월의 평균기온이 감소함
- 2023년 12월의 경우 난방부하의 증가로 인해, 공조시스템의 전력 소비량이 증가한 것으로 보임
- 여름에 비해, 시간의 변화에 따라 외기온도가 급격히 변함 (일교차가 큼)

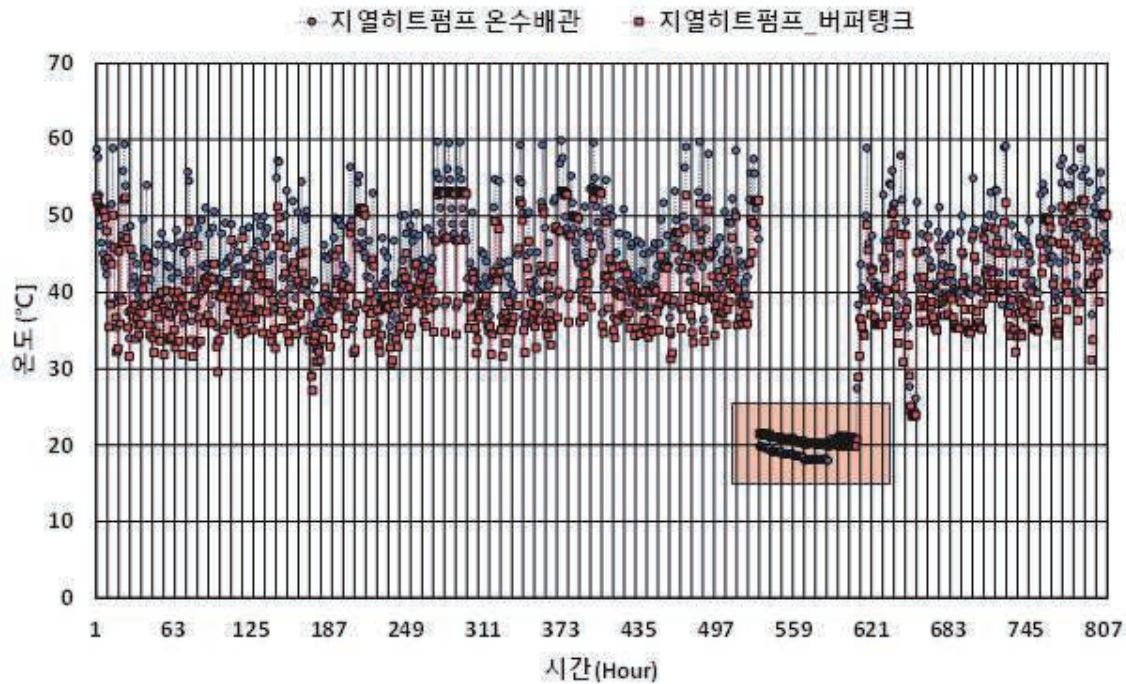
#### 가. 2022년 공조시스템 운영 방식

- 겨울철 공조기 공급풍량은 공조기 급기온도에 영향을 받고 있음
- 1월 24일 이전의 외기온도는  $-10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$  범위로 큰 변화폭을 가짐. 그에 따라 급기온도는 1시간마다 빠르게 변화함. 따라서 1월 24일 이전까지의 공급풍량은 변동성이 큰 모습을 보이는 것으로 판단됨
- 1월 25일 이후의 외기온도는 대부분  $0^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$  사이로 파악됨. 그에 따라 급기온도는 1시간마다 빠르게 변화하나, 최소값은 약  $20^{\circ}\text{C}$ 로 일정함
- 따라서 1월 25일 이후의 공급풍량은  $20^{\circ}\text{C}$ 의 급기온도에 맞게, 일정한 풍량이 공급되고 있는 것으로 판단됨

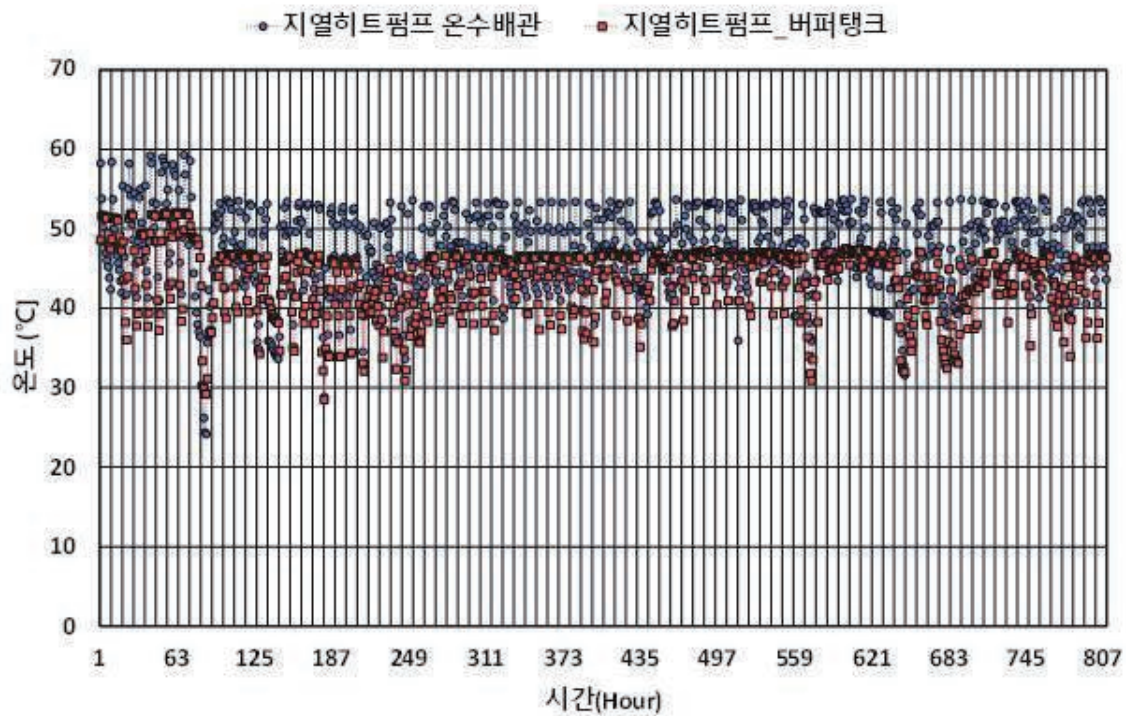
#### 나. 2023년 공조시스템 운영 방식

- 1, 2월의 외기온도는 대부분  $0^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$  사이로 파악됨. 그에 따라 급기온도는 1시간마다 빠르게 변화하나, 최소값은 약  $20^{\circ}\text{C}$ 로 일정함을 파악함
- 따라서 1, 2월의 공급풍량은  $20^{\circ}\text{C}$ 의 급기온도에 맞게, 일정한 풍량이 공급되고 있음. 이는 비효율적인 운용이므로 전력소비량 증가로 이어질 것으로 판단됨
- 12월의 외기온도는  $-10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$  범위로 큰 변화폭을 가짐. 그에 따라 급기온도는 1시간마다 빠르게 변화함. 따라서 12월의 공급풍량은 변동성이 큰 모습을 보이는 것으로 파악됨
- 2022년 & 2023년의 공조시스템 운영에서 공급풍량 값을 비교하면, 공조기 급기온도  $20^{\circ}\text{C}$ 에 해당되는 공급풍량의 값이 2022년에 비해 2023년의 값이 작음을 알 수 있음. 2023년에 공조시스템의 전력 사용량이 감소해야 하나 오히려 증가한 것으로 보아,  $20^{\circ}\text{C}$ 의 급기온도에 맞게 일정한 최대풍량이 공급되는 방식은 큰 전력소비를 유발하는 것으로 판단됨

## 5) 겨울철 지열시스템 운영방식 비교 (1~2월 &amp; 12월)



[그림 47] 2022년 지열히트펌프 사이클 내 노드별 온도



[그림 48] 2023년 지열히트펌프 사이클 내 노드별 온도



- 그래프의 X축은 1시간 간격으로 리샘플링된 데이터값들을 의미하고 63시간 간격은 일주일 간격을 의미함
- 온수배관 > 버퍼탱크의 온도 경향성을 가짐

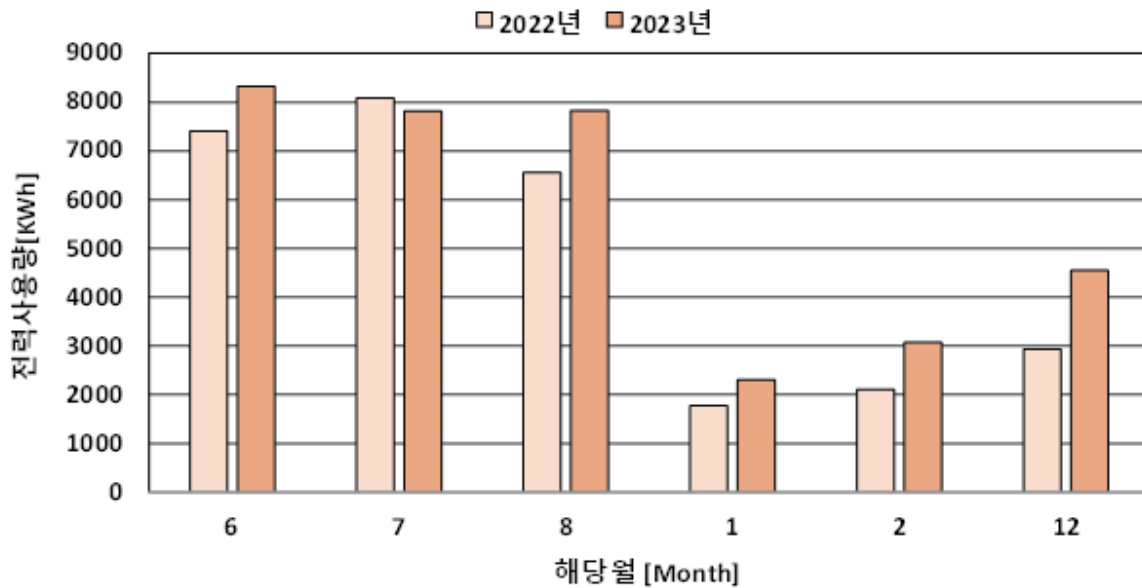
가. 2022년 지열시스템 운영방식

- 2022년의 지열히트펌프 버퍼탱크 온도는 일정하지 않고 변동성이 큰 모습을 보임
- 12월 1일 ~ 12월 9일 기간(주황색)에는 지열히트펌프의 작동을 중지한 것으로 보임

나. 2023년 지열시스템 운영방식

- 2022년 대비, 2023년의 지열히트펌프 버퍼탱크의 온도는 대부분 45℃ 이상으로 높게 형성되어 있음

## 6) 2022년 및 2023년 시스템별 운영 방식의 효과성 분석



[그림 49] 2022년, 2023년 공조시스템 전력소비량 비교

## 가. 공조시스템 운영방식 효율성 검증

- 여름철의 경우, 2022년에는 열원으로 냉동기를 사용했으며 2023년에는 열원으로 냉동기와 지열히트펌프를 유동적으로 사용했음
- 이 경우 공조기의 전력사용량 관점에서는 냉동기만을 사용하는 것이 급기온도를 낮고 일정하게 유지시켜, 결과적으로 유리하다는 사실을 확인하였음
- 겨울철의 경우, 2022년, 2023년 모두 지열히트펌프를 열원으로 사용했고, 버퍼탱크의 온도를 높게 설정했던 2023년에 전력 소비량이 감소해야 했으나 20℃의 급기온도에 맞게 일정한 최대풍량이 공급되는 방식이 사용되어 비효율적인 운용이 이루어졌음을 알 수 있음

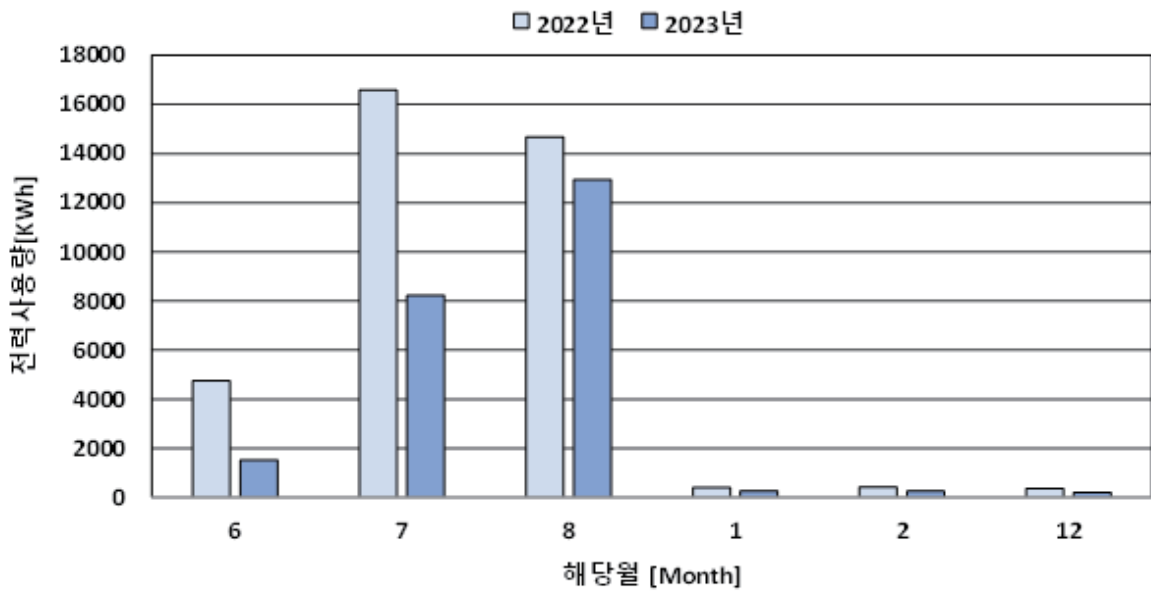
## 나. 냉온수/냉동기 시스템 운영방식 효율성 검증

- 여름철의 경우, 2022년에는 냉동기만을 열원으로 사용하고 2023년에는 냉동기와 지열히트펌프를 유동적으로 사용한 결과 2023년의 냉동기 전력사용량이 급격히 감소함
- 공조시스템의 전력소비량과 비교 시, 공조시스템의 전력사용량 증가폭보다 냉온수/냉동기 시스템의 전력사용량의 감소폭이 더 큼
- 따라서, 열원을 복합적으로 사용하는 것이 기기적 결함이나 에너지 효율적 측면에서 유리함 (유동적 제어를 자주 진행한 7월의 공조시스템+냉온수/냉동기 시스템+지열시스템의 전력 소비량이 큰 폭으로 감소함)

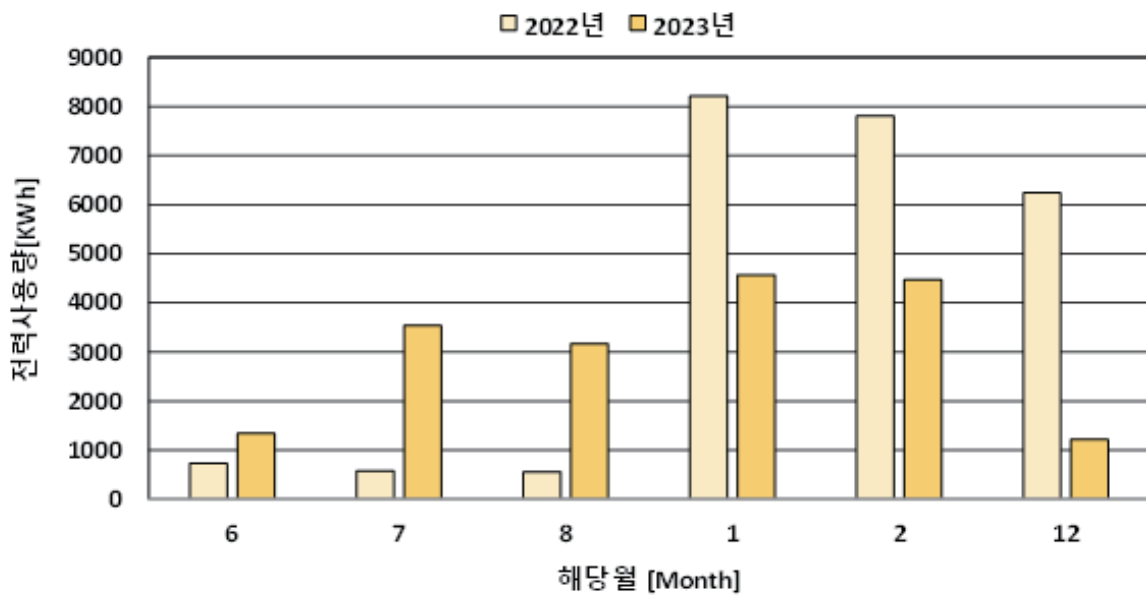


#### 다. 지열 시스템 운영 방식 효율성 검증

- 겨울철의 경우, 2023년에 지열 시스템의 전력 소비량이 감소함. 이를 통해 유동적 제어를 위해 시스템이 빈번하게 on/off를 반복하는 것은 비효율적인 방식임을 확인함. on/off시에 가동 초기부하로 전력 소비량이 증가함



[그림 50] 2022년, 2023년 냉온수/냉동기 시스템 전력소비량 비교



[그림 51] 2022년, 2023년 지열시스템 전력소비량 비교



서울에너지드림센터  
제로에너지건축물  
최적화 운영 현황  
보고서

(2022~2023)

03.

# 냉방 에너지 저감을 위한 공조설비 최적제어 방안

- 건물에너지 시뮬레이션 개요
- EnergyPlus를 통한 건물 모델링 방법
- 제어변수별 에너지 소비량 민감도 분석
- DNN(Deep Neural Network) 모델 구축

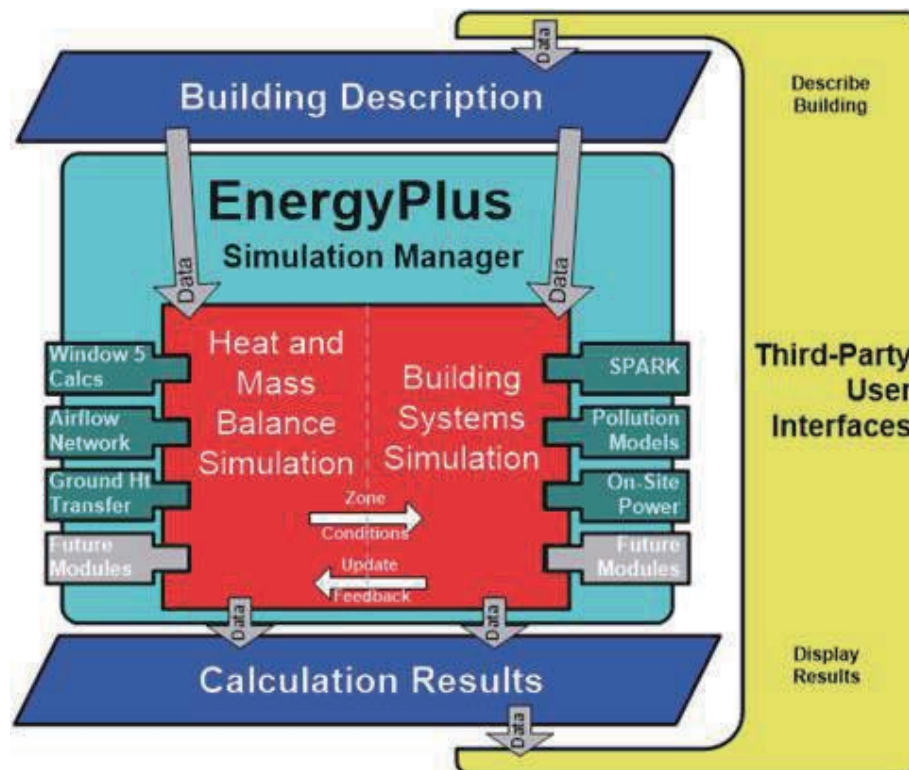
### 3. 냉방 에너지 저감을 위한 인공지능 기반 공조설비 최적제어 제안

- 고려대학교 산학협력단은 인공지능을 활용한 건물에너지 최적제어를 제안하기 위해 서울에너지드림센터의 실측 데이터를 바탕으로 시뮬레이션과 DNN(Deep Neural Network)를 개발 연구를 진행하였으며 결과를 통해 최적제어 방안을 제안하고자 하였음.

#### 3.1. 건물에너지 시뮬레이션 개요

##### 1) 건물에너지 시뮬레이션 개요

- 서울에너지드림센터 설비 에너지 사용 절감 가능성을 평가하기 위해 EnergyPlus를 이용해 빌딩에너지 시뮬레이션을 진행함
- EnergyPlus는 미국 에너지성(Depart of Energy U.S)에서 개발한 건물 냉난방 부하, 열환경 및 에너지 해석 프로그램으로 DOE-2와 BLAST의 장점을 통합시킨 프로그램으로 이는 [그림 52]과 구조를 지니고 있음
- 부하해석 시, 미국 냉동공조학회(ASHRAE)에서 권장하는 Heat Balance 기법을 사용하며, 비정상 상태의 열전도와 복사 및 대류 열전달에 대한 동적 해석이 가능함하다는 장점을 지니고 있음



[그림 52] EnergyPlus 시뮬레이션 구조

- 또한 EnergyPlus는 EMS(Energy Management System) 기능을 탑재하고 있어 건물 에너지 관리 및 시뮬레이션 제어를 보다 세밀하게 수행할 수 있으며 Python과 연동을 통해 인공지능을 접목한 최적제어 시뮬레이션이 가능하며 이는 [그림 53]과 같이 나타낼 수 있음.



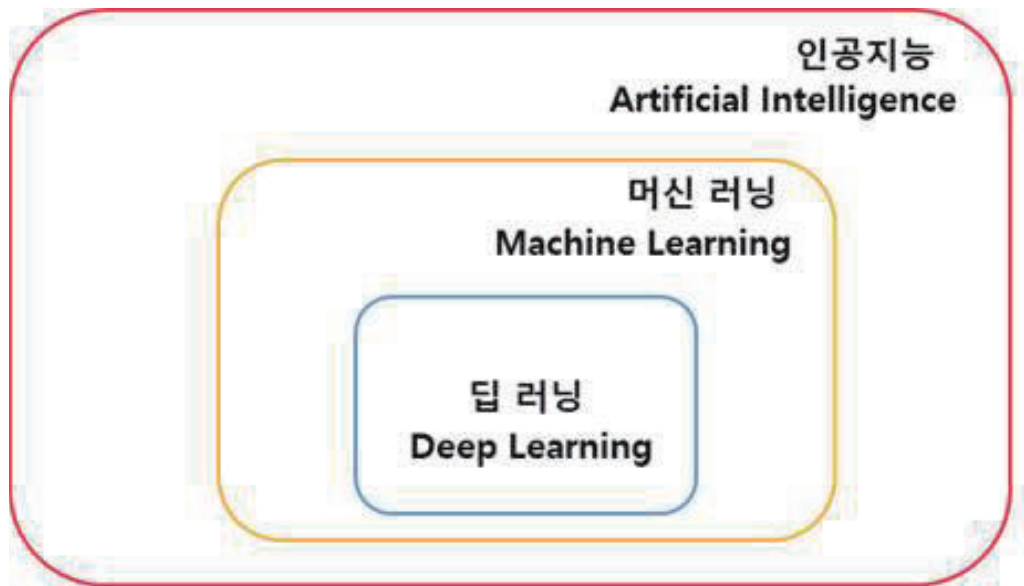
[그림 53] EnergyPlus와 Python 연동을 통한 EMS

## 2) 인공지능 개요

- 인공지능(AI)은 1956년 John McCarthy에 의해 개념 소개되었으며 컴퓨터와 같은 기계가 인간의 지능적인 활동을 모방하거나 학습하는 기술을 뜻함
- 인공지능은 인간의 사고와 학습 능력, 문제 해결, 언어 이해 등의 다양한 기능을 컴퓨터 시스템으로 구현하는 것을 목표로 하며, 인공지능의 개념과 역사는 수십 년에 걸쳐 발전하여 오늘날에는 우리 일상과 다양한 산업 분야에 깊이 통합할 수 있음
- 인공지능을 구현하기 위해서는 다양한 기술과 접근이 필요하며 기술적 요소는 [그림 54]과 같음
  - 인공지능(Artificial Intelligence)
    - 인공지능은 크게 2가지로 Narrow AI와 Strong AI로 구분할 수 있으며 이는 아래와 같음.
    - Narrow AI는 특정 작업이나 문제를 해결하기 위해 설계된 인공지능으로, 현재 대부분의 AI 시스템이 이에 해당하며 음성 인식 시스템, 이미지 분류 모델, 챗봇 등이 있음
    - Strong AI는 인간과 동등하거나 그 이상의 지능을 가진 인공지능을 의미하며, 현재로서는 이론적인 개념상으로 존재함. 강한 인공지능은 인간의 모든 지적 능력을 모방하고, 창의성, 감정, 자각 등을 포함한 고차원적인 사고를 할 수 있는 기계 지능을 지향함



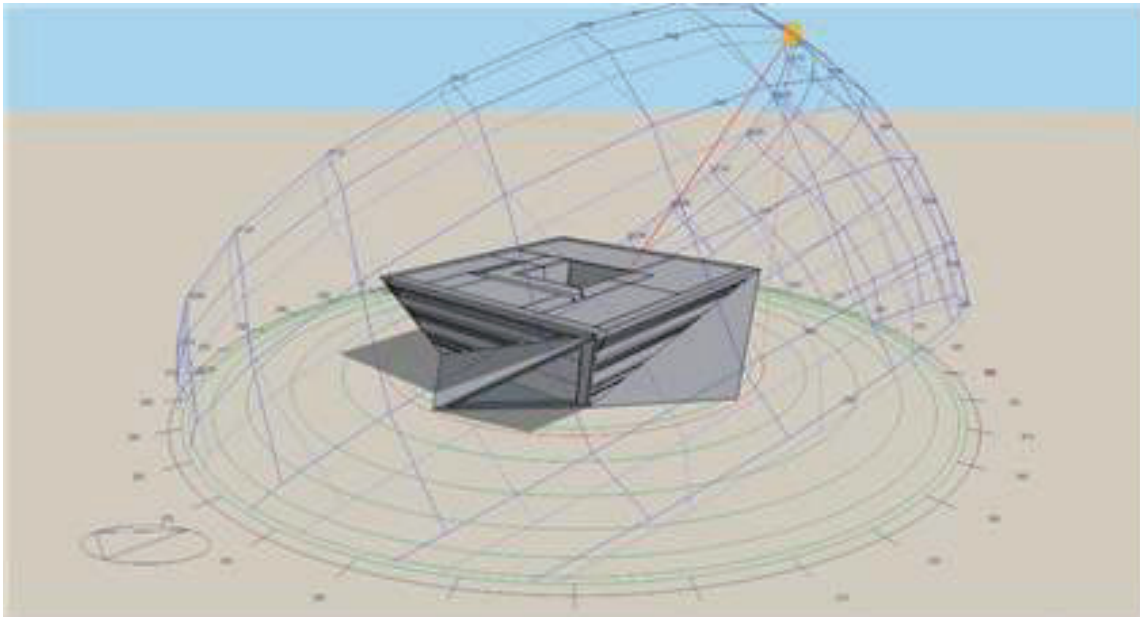
- 머신러닝(Machine Learning)
  - 머신러닝은 데이터로부터 학습하고, 그 학습 결과를 바탕으로 미래를 예측하거나 의사결정을 내리는 알고리즘과 기법을 의미함
  - 머신러닝은 지도 학습(Supervised Learning), 비지도 학습(Unsupervised Learning), 강화 학습(Reinforcement Learning) 등으로 구분할 수 있음
- 딥러닝(Deep Learning)
  - 딥러닝은 신경망을 기반으로 한 머신러닝의 한 분야로, 특히 대규모 데이터로부터 복잡한 패턴을 학습할 수 있는 기술임
  - 딥러닝은 여러 층의 인공신경망을 통해 고차원적인 데이터 특징을 자동으로 추출하고 학습할 수 있어, 음성 인식, 이미지 처리, 자연어 처리 등 다양한 분야에서 뛰어난 성능을 나타내고 있음
- 최근 다양한 인공지능 알고리즘을 활용한 예측제어 기술은 데이터 기반의 통찰력을 통해 에너지 시스템의 효율성과 안정성을 향상시키는 핵심 도구로써 에너지 소비를 최적화하고, 신재생에너지의 통합을 촉진하며, 전반적인 에너지 관리 전략을 지원 함



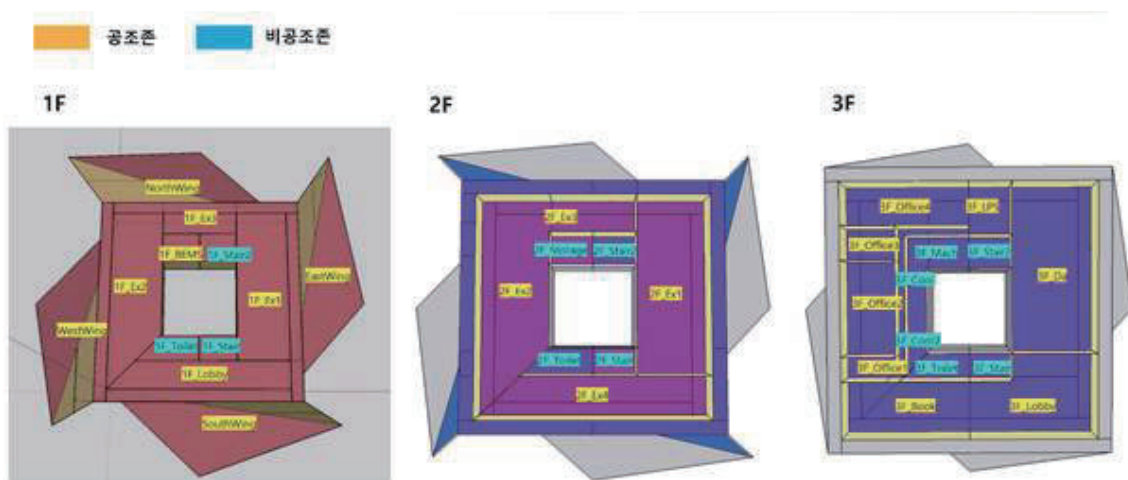
[그림 54] 인공지능의 종류

### 3.2. EnergyPlus를 통한 건물 모델링 방법

- [그림 55]는 EnergyPlus를 통한 서울에너지드림센터 모델링을 나타내며 모델링 Zoning은 서울에너지드림센터의 실제 열적 공간을 기준으로 구획하였음
- 서울에너지드림센터의 각 층별 Zoning은 [그림 56]과 같으며, 실의 특성에 따라 공조존과 비공조존으로 나누어 모델링을 구축함



[그림 55] 서울에너지 드림센터 모델링

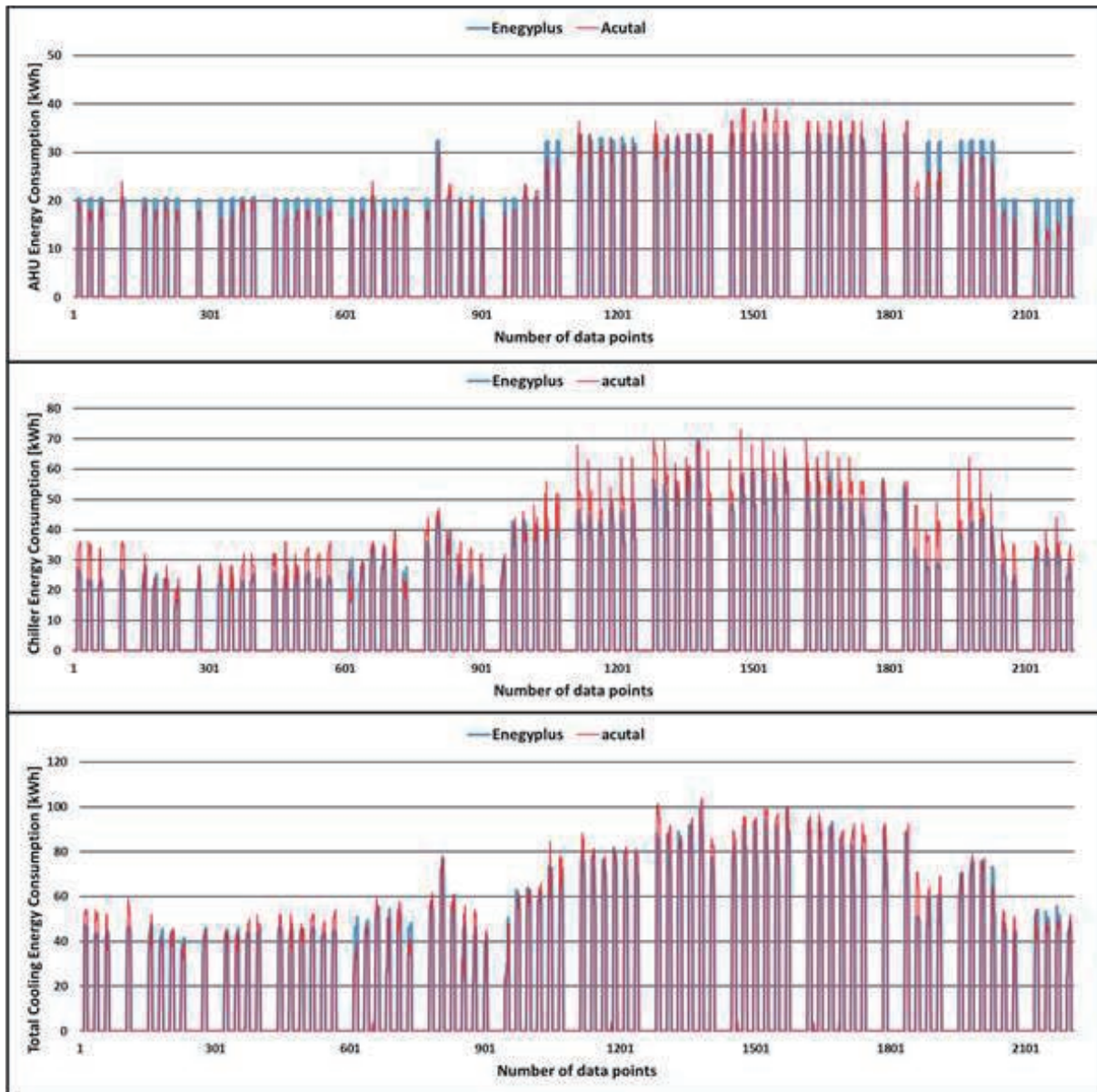


[그림 56] 서울에너지 드림센터 층별 Zoning

- [대상 건물의 외피 조건은 준공도면을 기준으로 벽과 지붕의 열관류율은 각각  $0.12, 0.14\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 바닥의 열관류율은  $0.101\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ 를 입력하였고 창호는 외부 커튼월 같은 경우 열관류율  $0.7\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , SHGC(Solar Heat Gain Coefficient) 0.5, VLT(Visible Light Transmittance) 0.65을 입력하였음
- 수평띠 창과 중정 커튼월 같은 경우 열관류율  $0.7\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , SHGC 0.3, VLT 0.58을 입력하였고 HVAC(Heating Ventilating and Air Conditioning) 시스템의 가동시간은 09:00~17:00로이며 난방 설정온도는  $22^\circ\text{C}$ , 냉방 설정온도는  $26^\circ\text{C}$ 로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였음
- 시뮬레이션과 실제 건물의 에너지 소비량 검증을 위해 2018년 6월 1일부터 8월 31일 냉방기간의 데이터를 이용하였으며 평가지표는 ASHRAE Guideline 14에서 권장하는 cv(RMSE)를 통해 진행하였음
- cv(RMSE) 계산식은 식(1) 과 같으며 비교 대상의 데이터가 시간 단위일 경우, 30% 이내에 충족해야함. 여기서 는 실제 값을 의미하며 는 예측 값 은 데이터의 포인트 개수를 의미함

$$CvRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2}{n}}}{\frac{\sum_{k=1}^n y_k}{n}} * 100 [\%]$$

- [그림 57] 실측데이터와 EnergyPlus 시뮬레이션 결과를 나타내며  $cv(RMSE)$ 는 각각 냉동기와 냉각탑 26.63%, 공조기 20.51% 그리고 전체 냉방에너지 15.95%로 모두 ASHRAE Guidlin 14에 충족하는 결과를 나타냄



[그림 57] 실측데이터와 EnergyPlus 시뮬레이션 결과

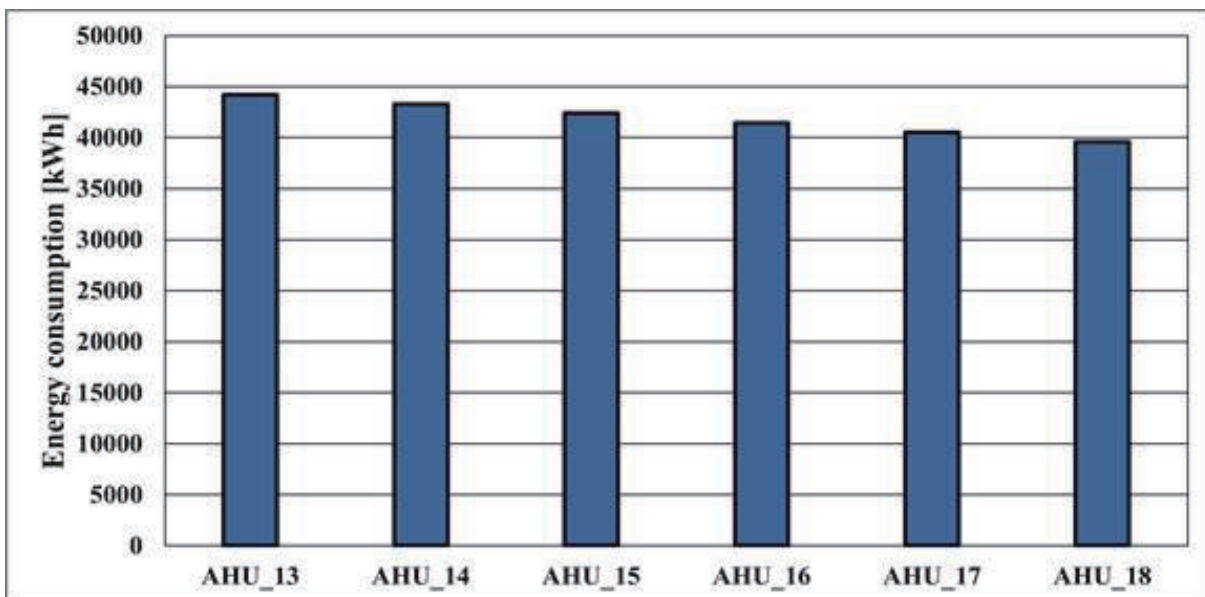
### 3.3. 제어변수별 에너지 소비량 민감도 분석

#### 1) 제어변수별 에너지 소비량 민감도 분석

- 공조기 토출온도, 냉수 공급온도, 냉각수 공급온도, 버퍼탱크 냉수 토출온도, 총 4개의 단일 변수 제어를 통해 에너지 절감 가능성을 평가함
- 위 과정을 통해, 2가지의 복합 변수 제어의 필요성을 제안함 (어떤 변수를 제어하는 것이 효과적인지 파악)

#### 2) 공조기 토출온도 제어를 통한 에너지 절감 가능성 평가

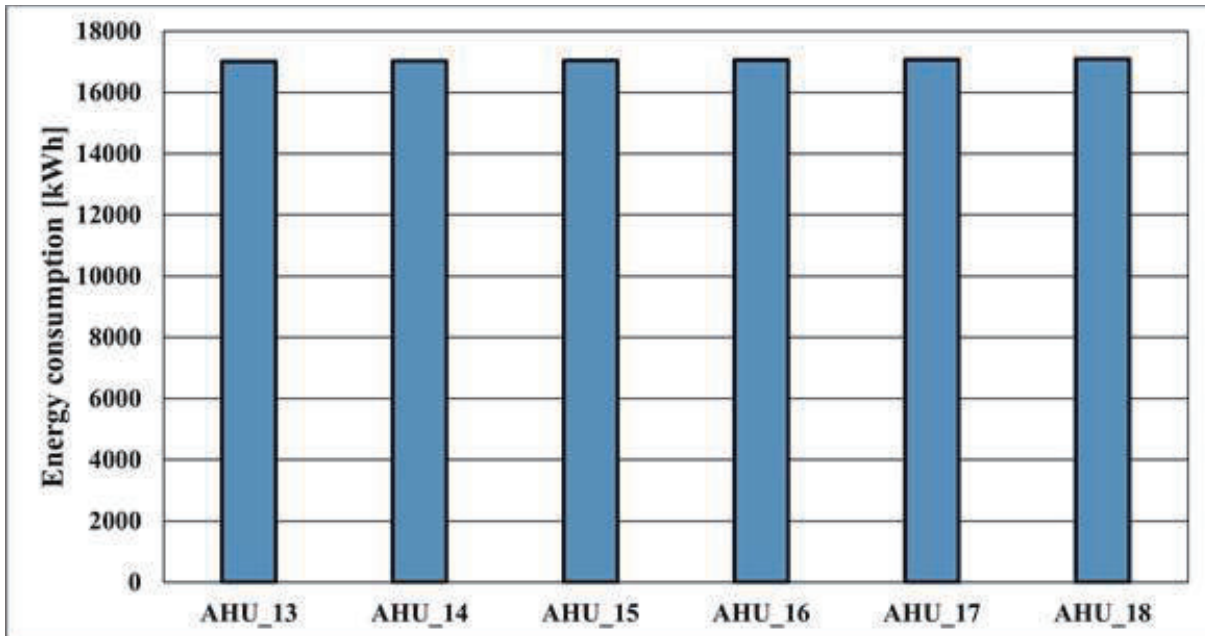
가. 총 설비 에너지 절감 가능성 평가



[그림 58] 공조기 토출 온도별 총에너지 소비량

- 공조기 토출 온도의 제어 범위는 13℃부터 18℃로 설정
- 총에너지는 공조기, 냉동기, 냉각탑의 에너지 소비량을 합한 값임
- 공조기 토출 온도가 13℃일 때 약 44,225kWh로 가장 높으며, 18℃일 때 약 39,608kWh로 가장 낮음
- 공조기 토출 온도는 높아질수록 총 에너지는 감소하는 추세임
- 약 4,616kWh 에너지 절감 효과를 확인함

#### 나. 공조기 에너지 절감 가능성 평가

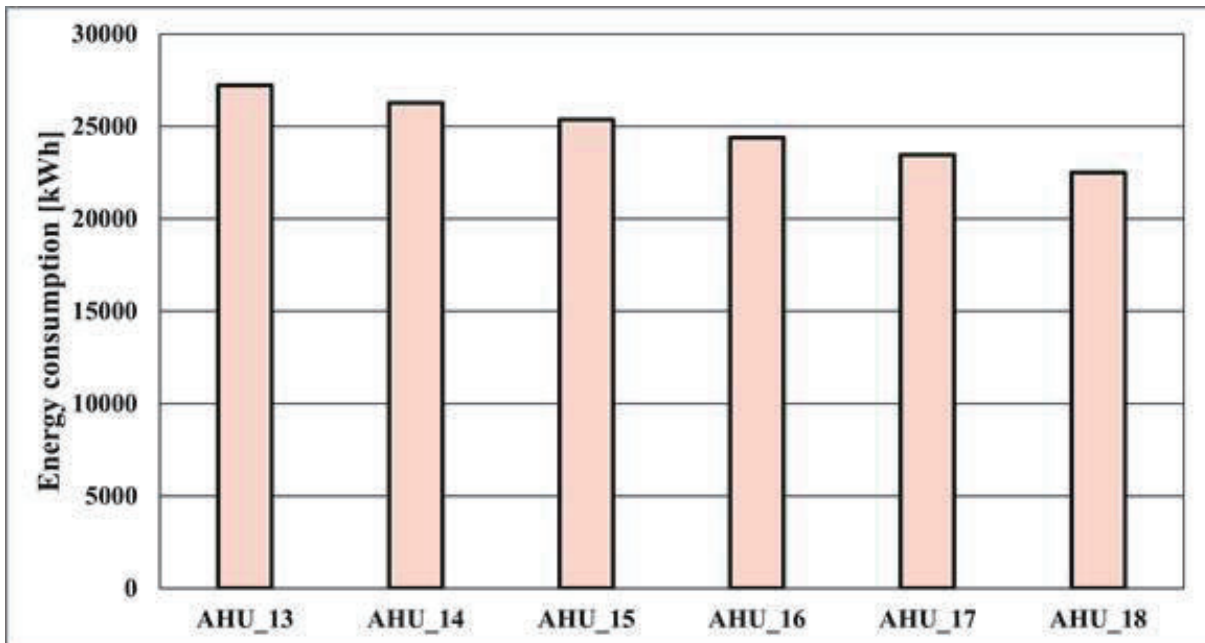


[그림 59] 공조기 토출 온도별 공조기 에너지 소비량

- 공조기 에너지 소비량은, 공조기 토출 온도가 13℃일 때 약 17,011kWh로 가장 낮으며, 18℃일 때 약 17,094kWh로 가장 높음
- 총에너지와는 반대되는 추세를 보이며, 13℃에서 18℃까지 커질수록 에너지 소비량은 증가하는 경향성을 보임
- 토출 온도가 증가로 인해, 같은 부하를 담당하기 위한 공급 풍량이 늘어나기 때문으로 판단됨
- 에너지 소비량은 0.5% 증가하며, 그 값은 약 82kWh임



## 다. 냉동기 &amp; 냉각탑 에너지 절감 가능성 평가

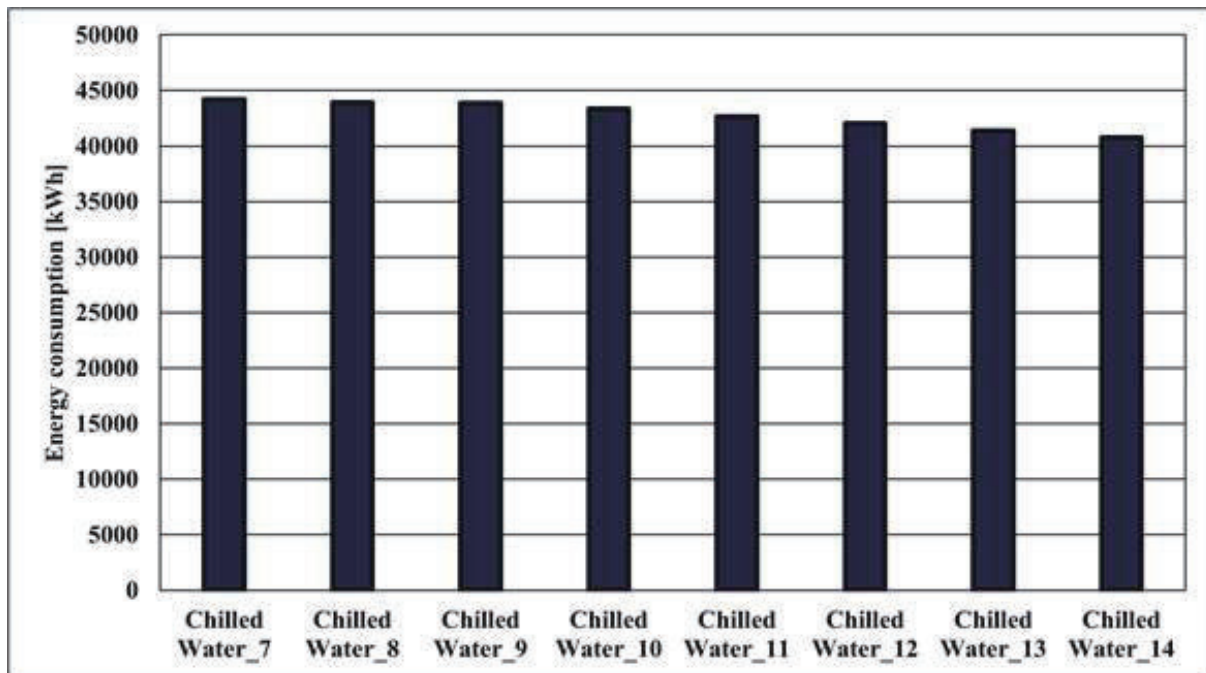


[그림 60] 공조기 토출 온도별 냉동기&amp;냉각탑 에너지 소비량

- 냉동기와 냉각탑 소비량을 합한 값을 나타내며, 공조기 토출 온도가 13℃일 때 약 27,213kWh로 가장 높으며, 18℃일 때 약 22,515kWh로 가장 낮음
- 총에너지와 비슷한 추세를 보이며, 13℃에서 18℃까지 커질수록 에너지 소비량은 줄어드는 경향성을 보임
- 냉동기 부하는 열에너지를 흡수한 냉수 반환 온도를 다시 낮추는데 필요한 열량이므로, 반환 온도와 온도차가 작을수록 에너지 소비량이 감소하는 추세를 보임
- 에너지 소비량은 17.2% 감소하며, 그 값은 약 4,698kWh임
- 공조기 에너지 소비량에 비해, 큰 폭으로 에너지 소비량이 변화하는 모습

## 3) 냉수 공급 온도 제어를 통한 에너지 절감 가능성 평가

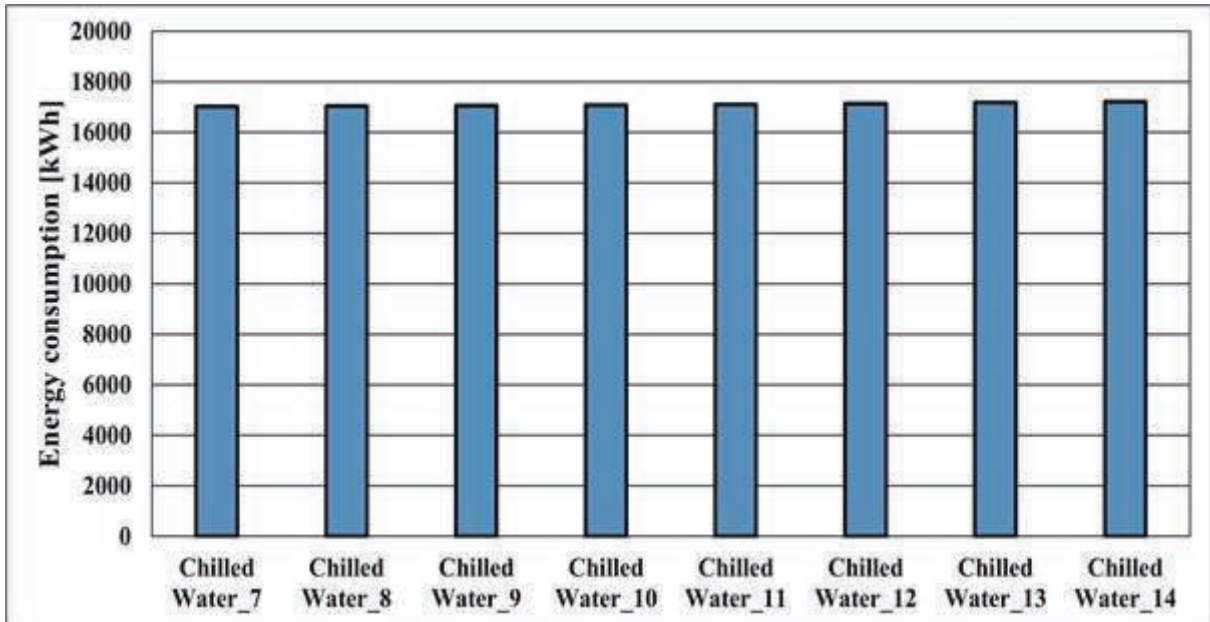
가. 총 설비 에너지 절감 가능성 평가



[그림 61] 냉동기 냉수 토출 온도별 총에너지 소비량

- 냉동기 냉수 토출 온도의 제어 범위는 7℃부터 14℃로 설정
- 총에너지는 공조기, 냉동기, 냉각탑의 에너지 소비량을 합한 값임
- 냉동기 냉수 토출 온도가 7℃일 때 약 44,225kWh로 가장 높으며, 12℃일 때 약 40,792kWh로 가장 낮음
- 냉동기 냉수 토출 온도는 높아질수록 총에너지는 감소하는 추세이다
- 약 3,433kWh 에너지 절감 효과를 확인함

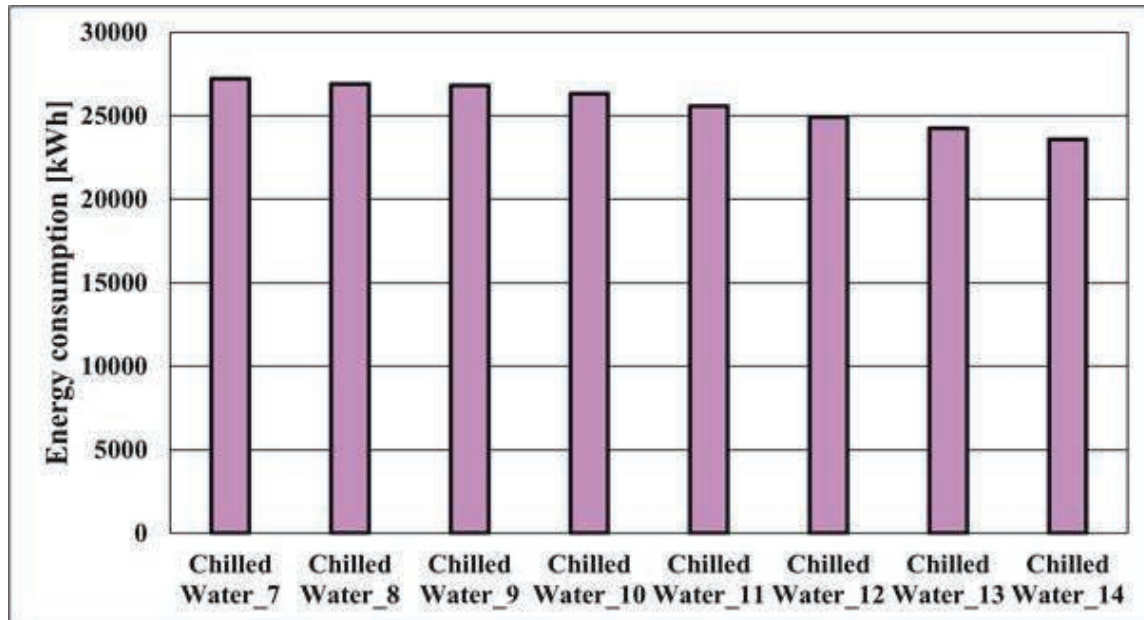
## 나. 공조기 에너지 절감 가능성 평가



[그림 62] 냉동기 냉수 토출 온도별 공조기 에너지 소비량

- 공조기 에너지 소비량은, 냉동기 냉수 토출 온도가 7℃일 때 약 17,011kWh로 가장 낮으며, 14℃일 때 약 17,205kWh로 가장 높음
- 총에너지와는 반대되는 추세를 보이며, 7℃에서 14℃까지 커질수록 에너지 소비량은 증가하는 경향성을 보임
- 냉수 토출 온도가 증가할수록, 에너지는 증가하는 추세를 가지지만 상승하는 폭이 매우 미미함

#### 다. 냉동기 & 냉각탑 에너지 절감 가능성 평가

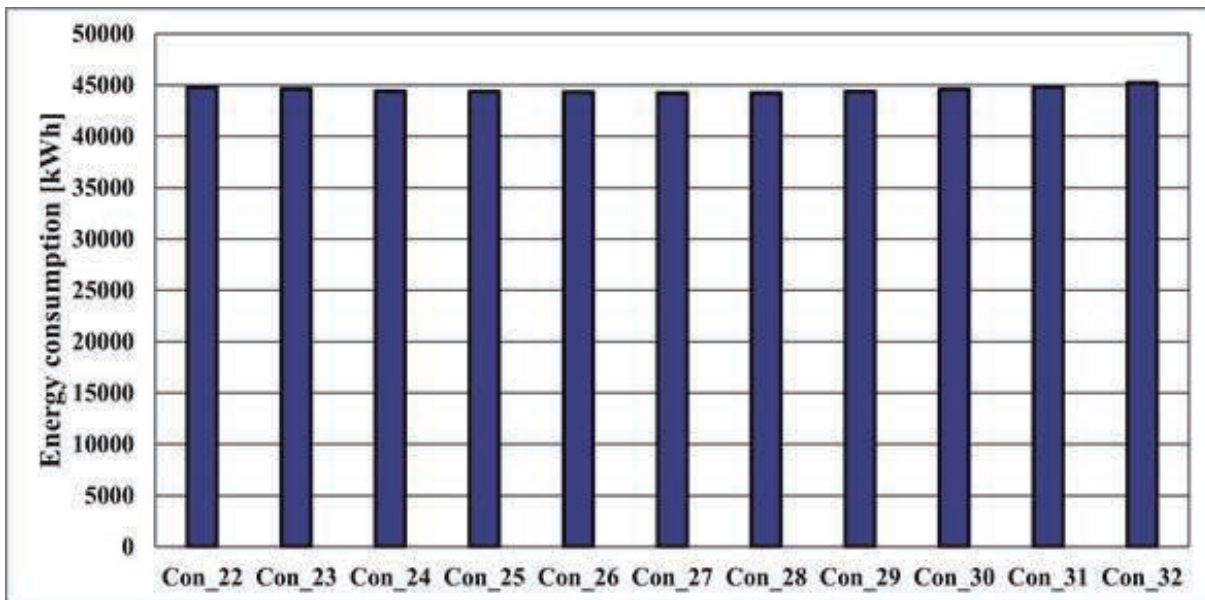


[그림 63] 냉동기 냉수 토출 온도별 냉동기&냉각탑 에너지 소비량

- 냉동기와 냉각탑 소비량을 합한 값을 나타내며, 에너지 소비량은 7℃일 때 약 27,213kWh로 가장 높으며, 14℃일 때 약 23,586kWh로 가장 낮음
- 총에너지와 비슷한 추세를 보이며, 7℃에서 14℃까지 커질수록 에너지 소비량은 줄어드는 경향성을 보임
- 냉수 토출 온도와 반환 온도의 차이가 작을수록 에너지 소비량이 감소하는 경향을 보임
- 에너지 소비량은 13.2% 감소하며, 그 값은 약 3,626kWh임

#### 4) 냉각수 공급 온도 제어를 통한 에너지 절감 가능성 평가

가. 총 설비 에너지 절감 가능성 평가

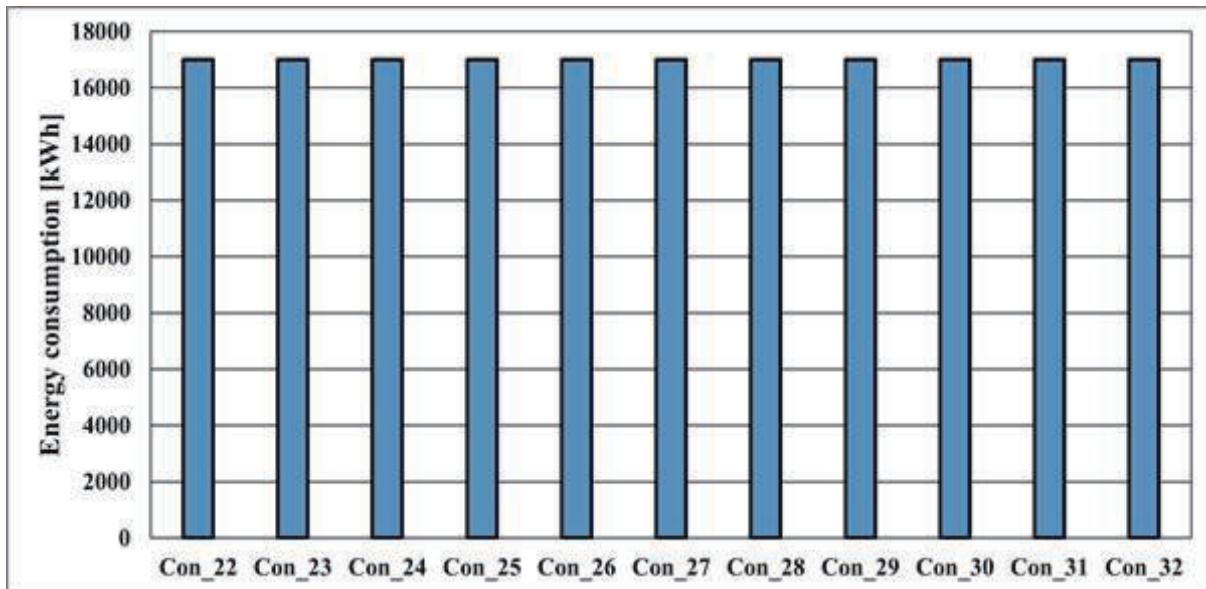


[그림 64] 냉각탑 냉각수 토출 온도별 총에너지 소비량

- 냉각수 토출 온도의 제어 범위는 22℃부터 32℃로 설정
- 총에너지는 공조기, 냉동기, 냉각탑의 에너지 소비량을 합한 값임
- 냉각수 토출 온도가 32℃일 때 약 45,240kWh로 가장 높으며, 27℃일 때 약 44,218kWh로 가장 낮음
- 냉각수 토출 온도가 27℃까지 증가할 땐 감소하는 추세이나, 28℃ 이상부터는 총 에너지 소비량이 증가하는 경향을 보임
- 약 1,022kWh 에너지 절감 효과를 확인함



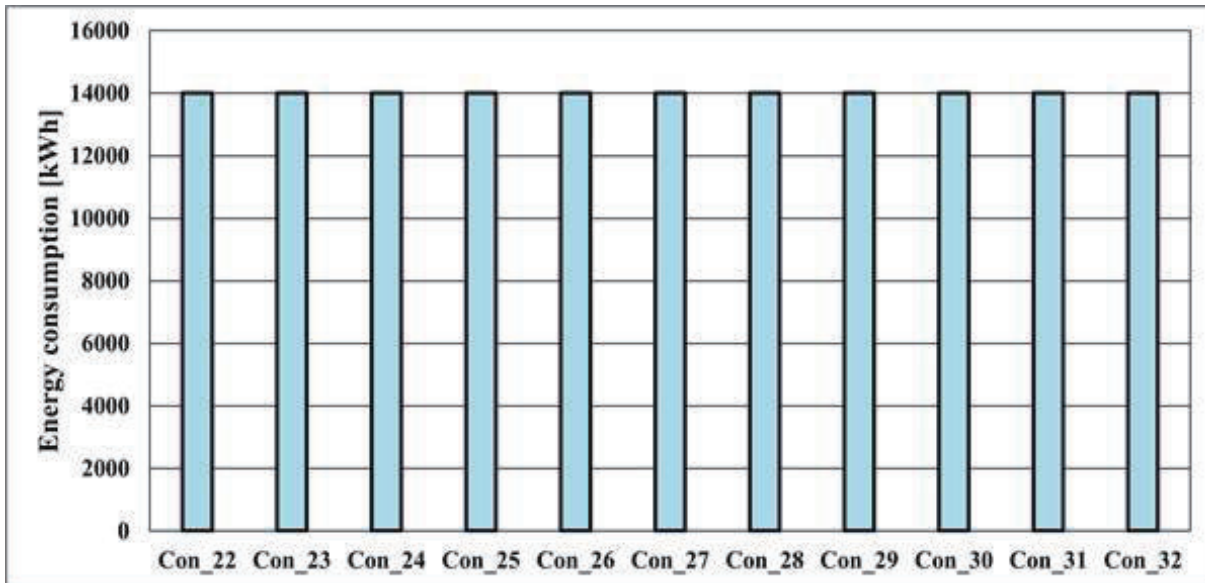
#### 나. 공조기 에너지 절감 가능성 평가



[그림 65] 냉각탑 냉각수 토출 온도별 공조기 에너지 소비량

- 냉각수 토출 온도 제어는 공조기 에너지 소비량과 무관한 모습
- 냉각탑은 냉동기 내의 응축기와 연결되어, 냉동기 내의 압축기 소비전력에 영향을 주기 때문으로 판단
- 변화 없이 17,011kWh의 에너지 소비량을 보임

#### 다. 냉동기 & 냉각탑 에너지 절감 가능성 평가

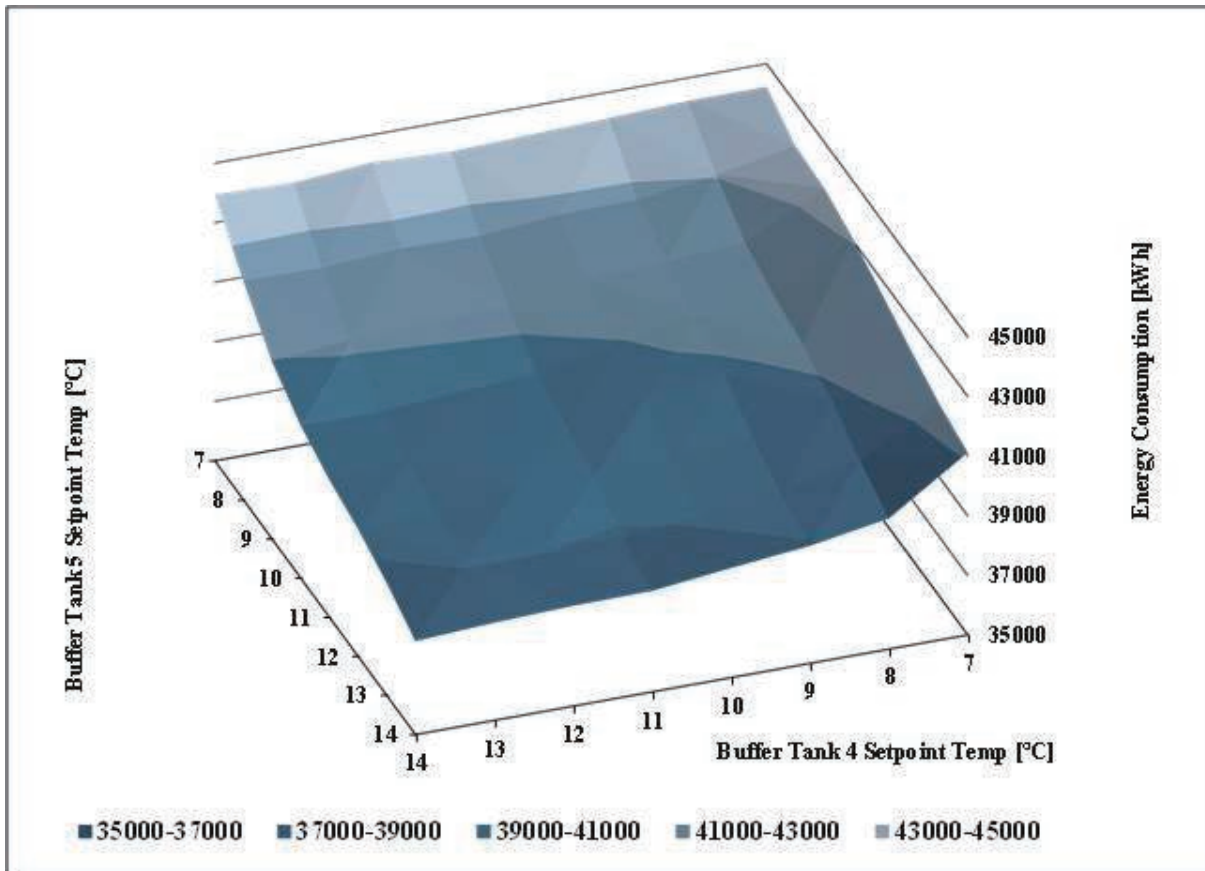


[그림 66] 냉각탑 냉각수 토출 온도별 냉동기&냉각탑 에너지 소비량

- 냉각수 토출 온도별 냉동기&냉각탑 에너지 소비량은 32℃일 때 약 28,229kWh로 가장 높으며, 27℃일 때 약 27,207kWh로 가장 낮음
- 총에너지와 비슷한 추세를 보이며, 토출 온도 28℃ 이상부터는 에너지 소비량이 증가하는 경향을 보임
- 에너지 소비량은 3.7% 감소하며(32℃와 27℃ 비교), 그 값은 약 1,022kWh임

#### 5) 버퍼탱크 냉수 토출온도 제어를 통한 에너지 절감 가능성 평가

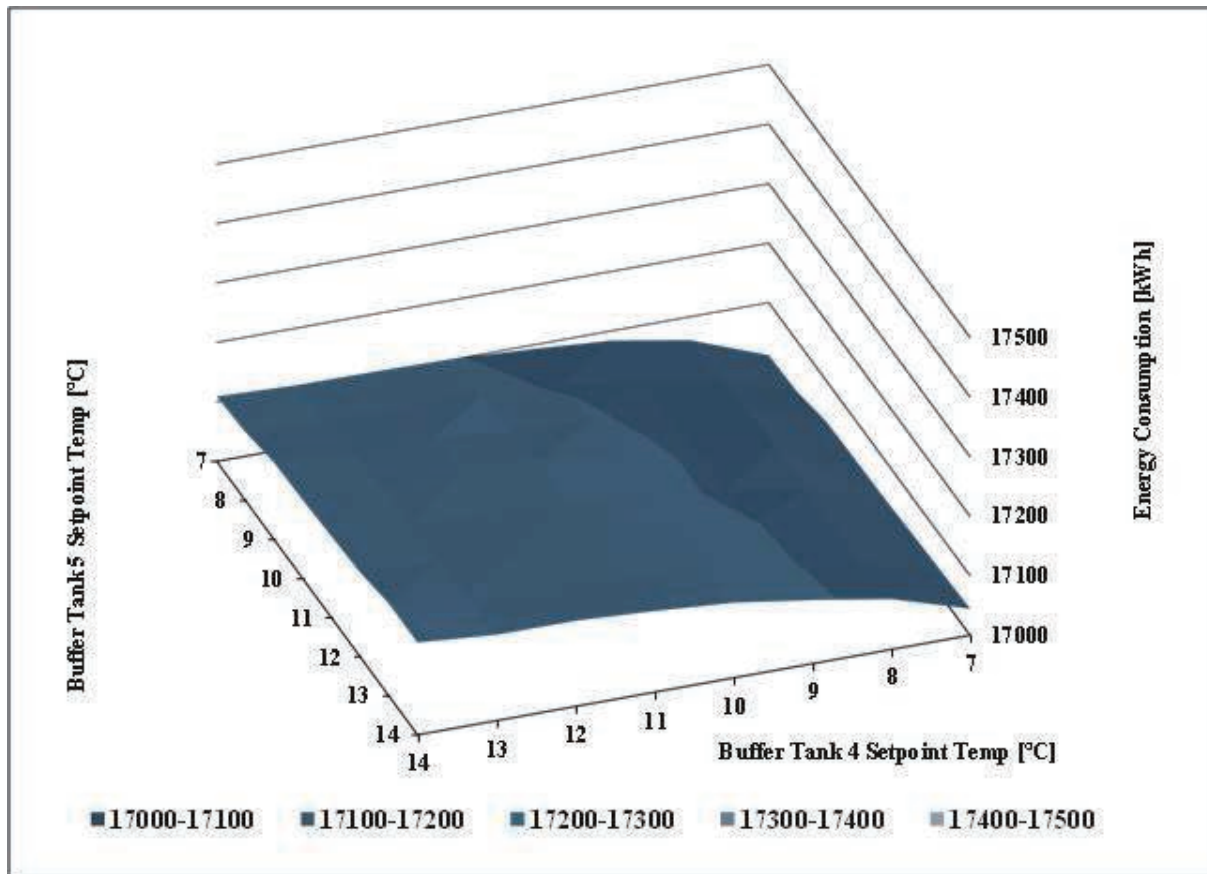
가. 총 설비 에너지 절감 가능성 평가



[그림 67] 버퍼탱크 냉수 토출 온도별 총에너지 소비량

- 버퍼탱크 토출 온도의 제어 범위는 버퍼탱크4(7~14℃), 버퍼탱크5(7~14℃)로 1℃ 간격으로 제어
- 총에너지는 공조기, 냉동기, 냉각탑의 에너지 소비량을 합한 값임
- 토출 온도가 버퍼탱크4(8℃) & 버퍼탱크5(7℃)일 때 약 44,227kWh로 가장 높으며, 버퍼탱크 4(14℃) & 버퍼탱크5(14℃)일 때 약 38,142kWh로 가장 낮음
- 토출 온도가 높을 때, 온도변화에 Energy Consumption이 민감하게 반응함
- 토출 온도가 증가할 때 감소하는 추세임
- 약 6,086kWh 에너지 절감 효과를 확인함

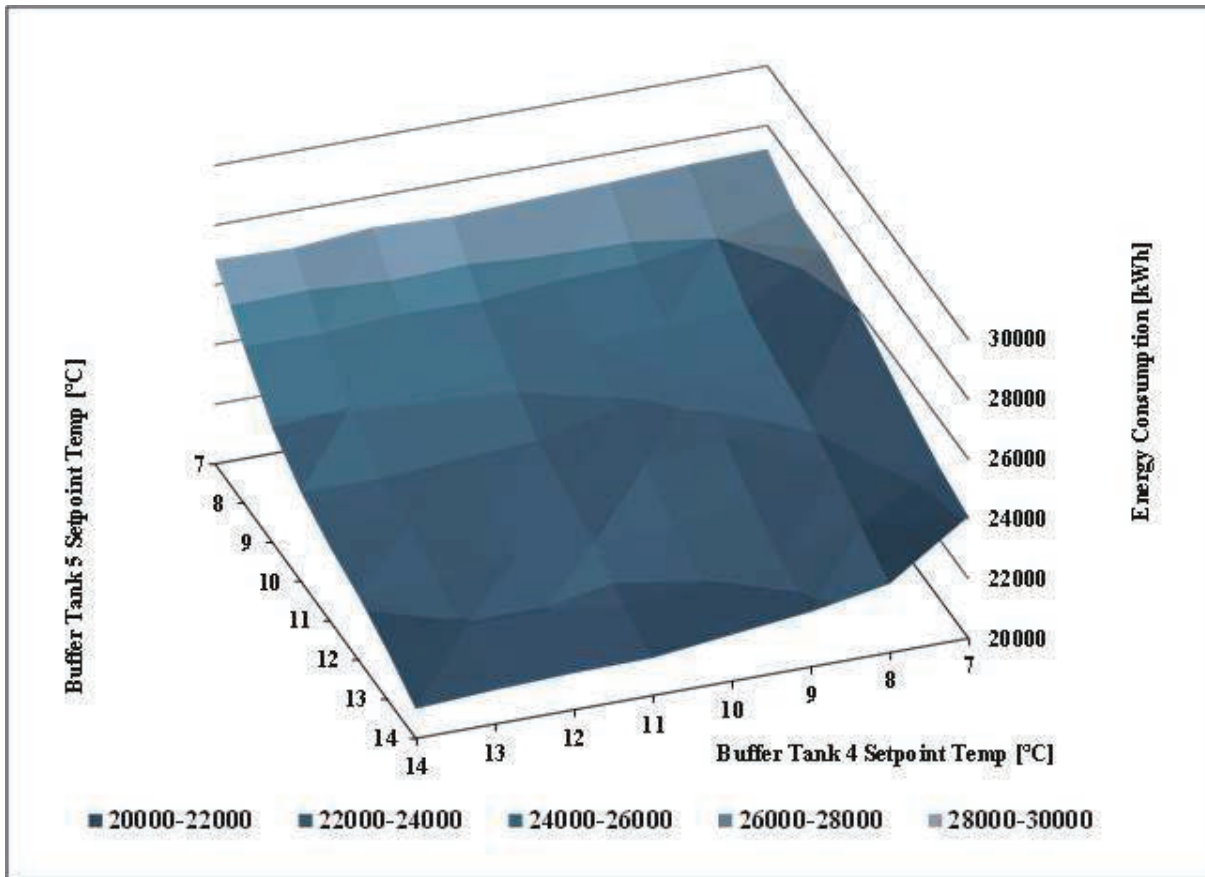
## 나. 공조기 에너지 절감 가능성 평가



[그림 68] 버퍼탱크 냉수 토출 온도별 공조기 에너지 소비량

- 공조기 에너지 소비량은, 버퍼탱크 토출 온도가 증가할수록 에너지 소비량도 증가하는 경향
- 총 에너지 소비량과 반대되는 경향성을 나타냄, 냉수 토출 온도가 증가할 때 공조기 시스템의 소비전력이 증가하는 것과 같은 원인으로 판단됨
- 에너지 소비량은 0.8% 감소하며(최대, 최소 비교), 그 값은 약 144kWh임

다. 냉동기 & 냉각탑 에너지 절감 가능성 평가



[그림 69] 버퍼탱크 냉수 토출 온도별 냉동기&냉각탑 에너지 소비량

- 버퍼탱크 토출 온도별 냉동기&냉각탑 에너지 소비량은 버퍼탱크4(7°C) & 버퍼탱크5(7°C)일 때 약 27,214kWh로 가장 높으며, 버퍼탱크4(14°C) & 버퍼탱크5(14°C)일 때 약 20,986kWh로 가장 낮음
- 총에너지와 비슷한 추세를 보임, 냉수 토출 온도 증가 시 냉동기 에너지 소비량이 감소하는 것과 같은 원인으로 판단
- 에너지 소비량은 22.9% 감소하며(최대, 최소 비교), 그 값은 약 6,227kWh임

## 6) 제어변수별 에너지 소비량 민감도 비교 분석

### 가. 총 설비 에너지 절감 가능성 비교

[표 31] 제어변수별 총 에너지 민감도 비교 표

총 설비 에너지 비교	최대 에너지 소비량(kWh)	최소 에너지 소비량(kWh)	$\Delta E / \Delta T$ 평균값(kWh/℃)
공조기 토출온도	44225.18	39608.92	923.25
냉수 공급온도	44225.18	40792.11	490.44
냉각수 공급온도	45240.4	44218.63	162.81
버퍼탱크 냉수 토출온도	44227.25	38141.53	734.81

- 제어변수별 총 에너지 민감도를 비교하면, 공조기 토출 > 버퍼탱크 토출 > 냉수 공급 순임
- 에너지 소비량 최솟값은 버퍼탱크, 공조기, 냉수 순으로 작음
- 아래 표 결과들과 종합 시, 공조기&냉수 복합 제어가 효과적일 것으로 판단

### 나. 공조기 에너지 절감 가능성 비교

[표 32] 제어변수별 공조기 에너지 민감도 비교 표

공조기 에너지 비교	최대 에너지 소비량(kWh)	최소 에너지 소비량(kWh)	$\Delta E / \Delta T$ 평균값(kWh/℃)
공조기 토출온도	17093.79	17011.44	16.47
냉수 공급온도	17205.26	17011.44	27.69
냉각수 공급온도	17011.48	17011.44	0
버퍼탱크 냉수 토출온도	17155.3	17011.44	4.94

- 공조기 소비 에너지는 냉수 공급 > 공조기 토출 > 버퍼탱크 토출 순으로 민감하게 반응함
- 공조기의 최소 에너지 소비량은 제어변수와 무관하게 모두 동일함

### 다. 냉동기 & 냉각탑 에너지 절감 가능성 비교

[표 33] 제어변수별 냉동기&냉각탑 에너지 민감도 비교 표

냉동기 & 냉각탑 에너지 비교	최대 에너지 소비량(kWh)	최소 에너지 소비량(kWh)	$\Delta E / \Delta T$ 평균값(kWh/℃)
공조기 토출온도	27213.74	22515.13	939.72
냉수 공급온도	27213.74	23586.85	518.13
냉각수 공급온도	28228.91	27207.19	162.8
버퍼탱크 냉수 토출온도	27213.74	20986.32	739.75

- 냉동기&냉각탑 에너지는 공조기 토출 > 버퍼탱크 토출 > 냉수 공급 > 냉각수 공급 순으로 민감하게 반응함
- 에너지 소비량 최솟값은 버퍼탱크, 공조기, 냉수, 냉각수 순으로 작음



### 3.4. DNN(Deep Neural Network) 모델 구축

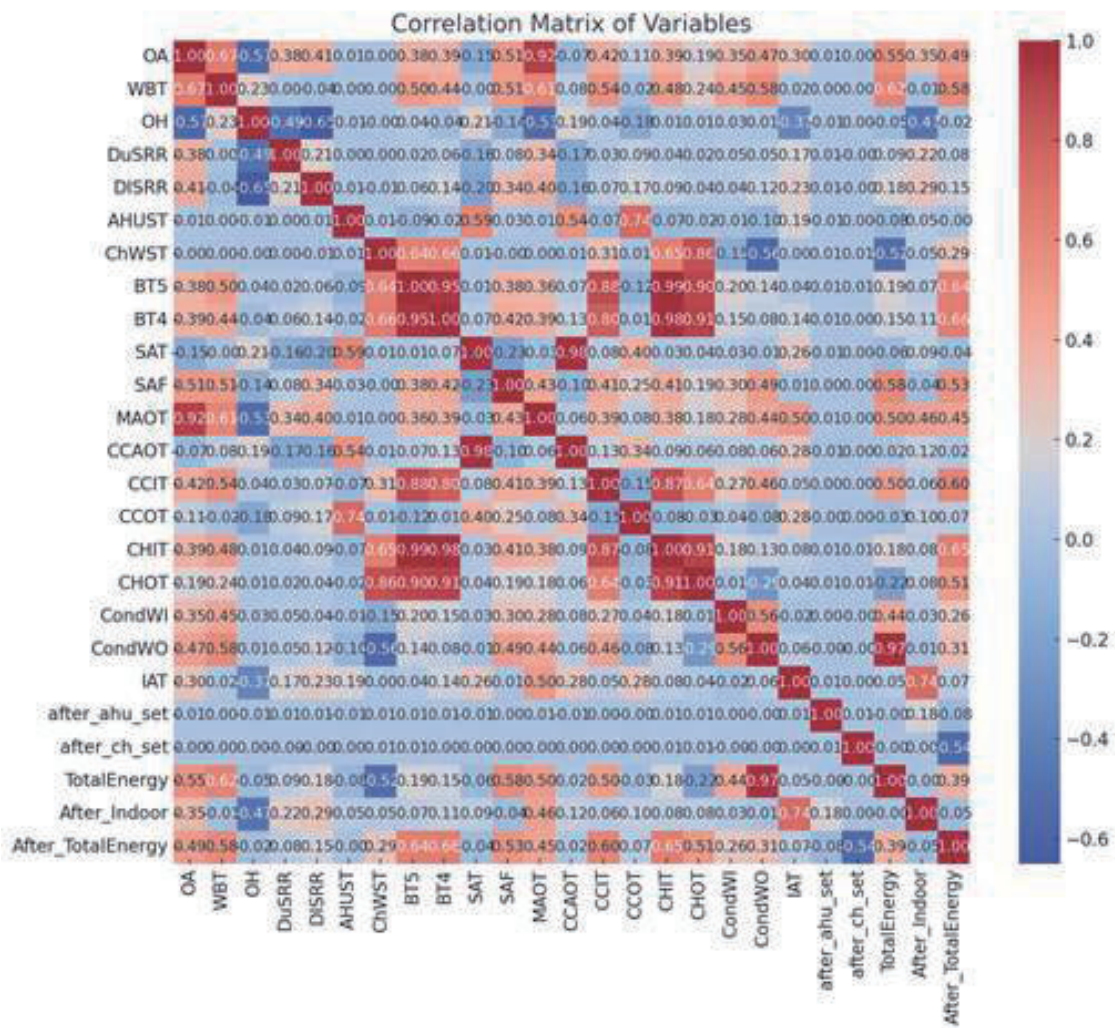
#### 1) 학습데이터 구축

- 학습데이터는 EnergyPlus를 통해 냉수 설정온도 7~14℃, 공조기 토출온도 13~18℃에 따라 6월 1일부터 8월 31일까지의 냉방 시스템의 온도 포인트와 실내온도에 따른 1시간 후 냉방에너지, 1시간 후 실내온도 예측을 진행하였음
- DNN 기반 예측 모델의 변수는 [표 34]와 같으며 학습데이터의 비율은 검증세트를 포함한 학습 세트 70%, 테스트 세트 30%로 선정하였음
- Feature는 23개로 외기환경과 실내온도 그리고 1시간 전 시스템 온도 포인트로 구성되어 있으며 Target은 1시간 후 실내온도와 냉방에너지 소비량으로 구성됨
- 학습데이터는 랜덤 스케줄 100개의 시나리오를 시뮬레이션하여 진행하였으며 작동시간인 09시부터 17시까지의 데이터들로 총 61,602개의 데이터로 구축되었음

[표 34] 학습데이터 구축 방법

Feature	Unit
외기온도	℃
습구온도	
상대습도	
1시간 전 공조기 설정온도	
1시간 전 냉동기 설정온도	
1시간 전 버퍼탱크 4 온도	
1시간 전 버퍼탱크 5 온도	
1시간 전 공조기 토출 온도	
1시간 후 냉수 설정온도	
1시간 전 공조기 혼합 온도	
1시간 전 냉각코일 공기 출수 온도	
1시간 전 냉각코일 냉수 입수 온도	
1시간 전 냉각코일 냉수 출수 온도	
1시간 전 냉동기 입수 온도	
1시간 전 냉동기 출수 온도	
1시간 전 냉각수 입수 온도	
1시간 전 냉각수 출수 온도	
1시간 전 사무실 실내 평균온도	
상대습도	%
태양 직달 일사량	W/m <sup>2</sup>
태양 확산 일사량	
1시간 전 공조기 공급 풍량	kg/s
1시간 전 냉방 에너지 소비량	kWh
Target	Unit
1시간 후 사무실 평균 실내온도	℃
1시간 후 냉방 에너지 소비량	kWh

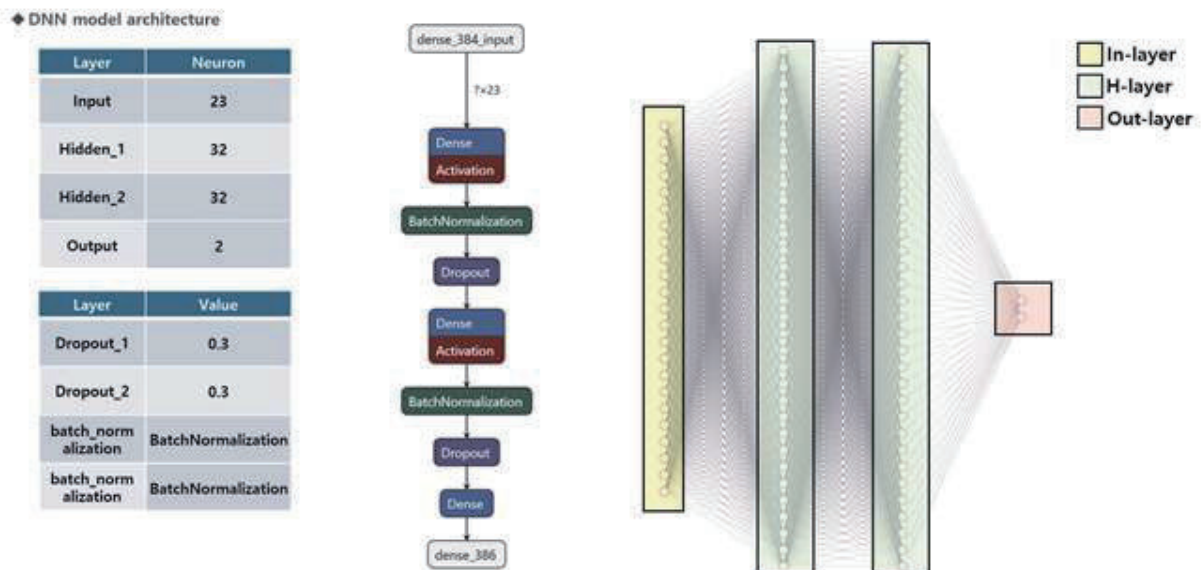
- 학습데이터로 사용된 Feature와 Target간의 상관관계 분석을 진행하였으며 이는 [그림 70]과 같음
- 1시간 후 실내온도와 다른 변수들의 상관관계 분석 결과, 1시간 전 실내온도가 0.74로 가장 높은 연관성을 나타냈으며 그 다음으로는 혼합온도가 0.46, 외기온도가 0.35로 나타났으며 이는 3개의 변수가 냉방 부하에 큰 영향을 미치기 때문임
- 1시간 후 냉방 에너지는 버퍼탱크 4(0.98), 버퍼탱크 5번(0.64), 냉수의 입수온도(0.65) 그리고 냉방코일 입수온도(0.60)가 가장 높은 상관관계를 나타냈으며 이는 냉방에너지가 버퍼탱크의 온도와 냉수, 코일의 상태에 따라 큰 에너지 변화를 나타냄을 뜻함
- 결론적으로 상관관계가 높은 변수들이 Feature 잘 선정되었음을 확인하였으며 추가적으로 나머지 변수들은 상관관계가 낮으나 냉방부하에 영향을 미치는 변수들과 DNN을 통해 예측해야 할 설정온도 값을 Feature로 선정하였음



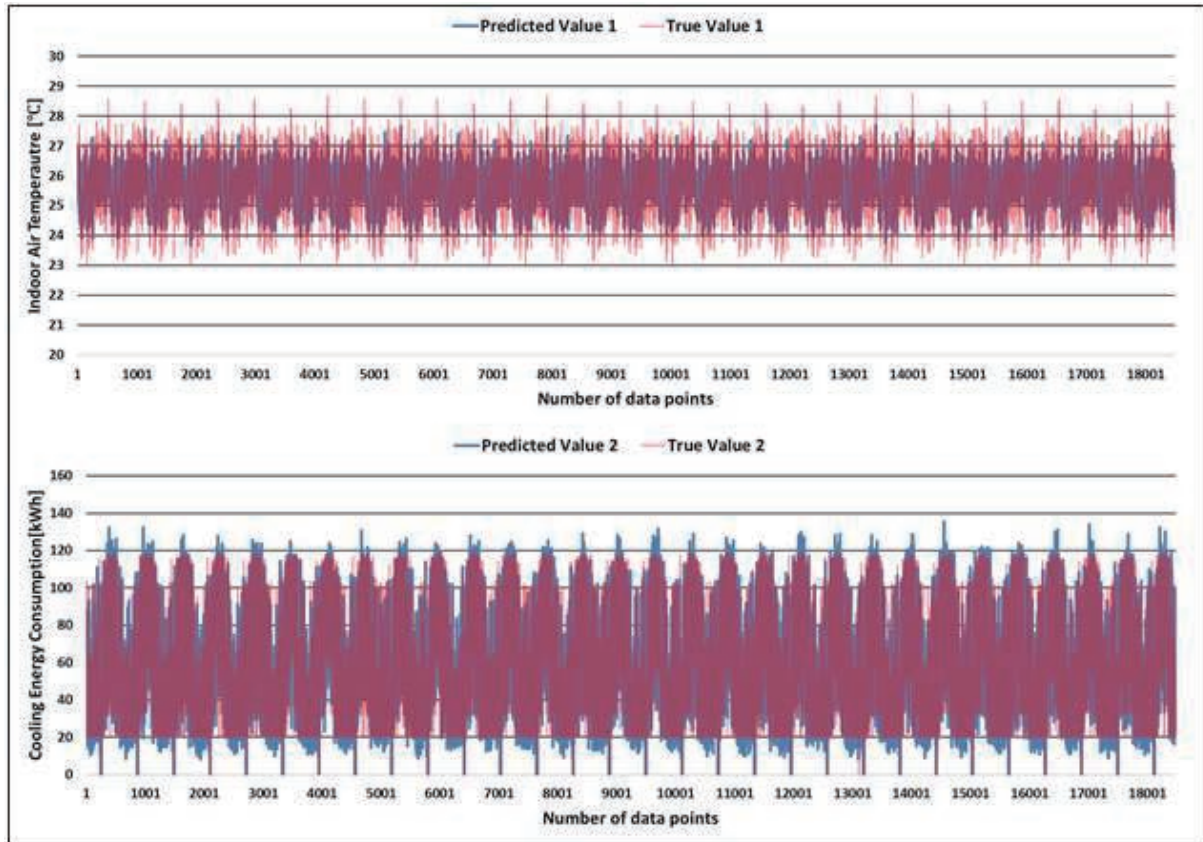
[그림 70] Feature와 Target 간의 상관관계 히트맵

## 2) DNN 예측모델 아키텍처 및 예측 성능

- DNN 예측모델의 아키텍처는 [그림 71]과 같으며 1개층의 Input Layer와 2개층의 Hidden Layer 그리고 1층의 Output Layer로 구성됨
- Input Layer의 Neuron은 23개 Hidden Layer의 Neuron 개수는 각각 32개로 구성되었으며 Output Layer의 Neuron은 2개를 갖음
- 각각의 Hidden Layer는 학습모델의 과적합을 방지하고자 가중치 값을 초기화하는 BatchNormalization 기법과 Dropout을 적용하였음
- 모델을 학습시키기 위해 Loss 함수는 MSE(Mean Squared Error)를 적용하였으며 모델의 예측성능 최종 평가는 cv(RMSE)를 통해 평가하였음
- DNN 예측모델을 통해 냉방에너지 최적제어 시, 실내온도를 고려하지 않을 경우, 단순 냉방에너지 소비량이 제일 적은 기기별 설정온도를 결정하게 되며 실내 열쾌적성은 고려되지 않아 올바른 제어 방법이 될 수 없음
- 따라서 개발된 DNN 예측 모델은 기기별 설정온도에 따른 1시간 후 실내온도와 에너지 소비량을 예측하고 열쾌적성이 고려된 범위 안에서 최소 냉방에너지 소비량을 예측함
- DNN 예측모델의 성능은 [그림 72]와 같이 나타났으며 실내온도 예측 오차율은 2.4%, 냉방 에너지 소비량 오차율은 15%를 나타냄



[그림 71] DNN 예측 모델의 아키텍처

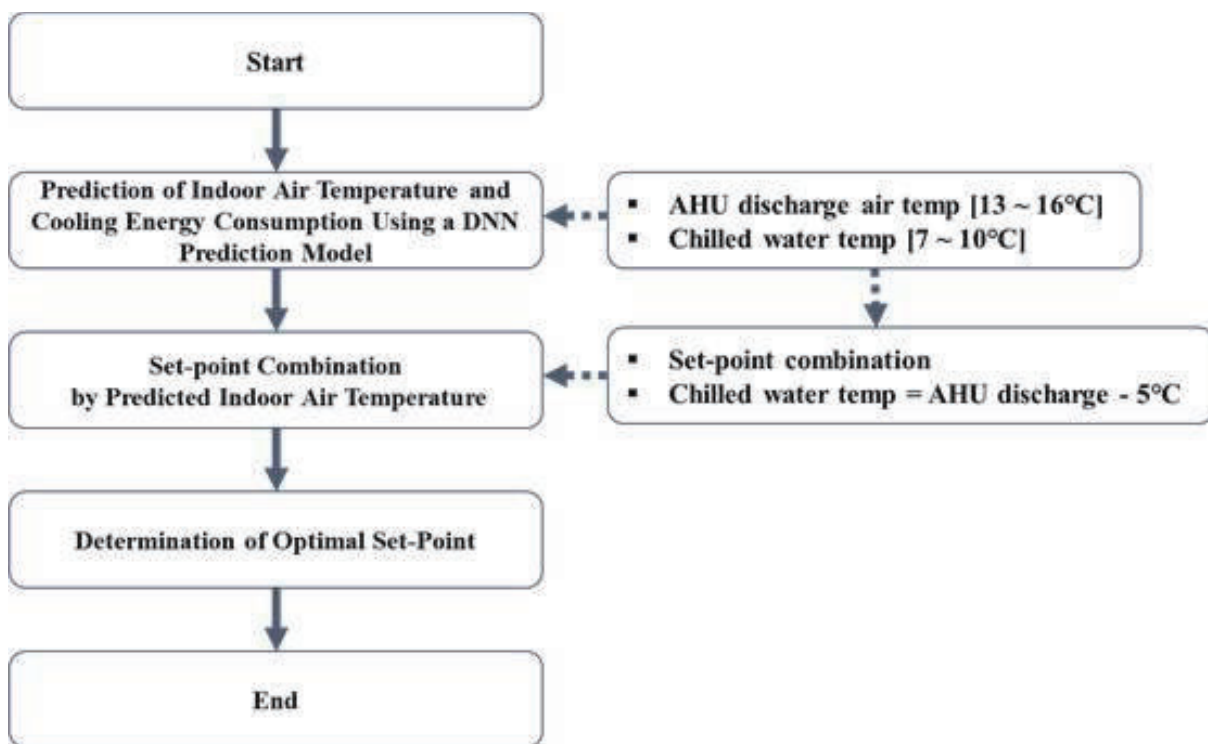


[그림 72] DNN 예측모델의 실내온도 및 냉방에너지 예측 성능

### 3) DNN 예측모델을 통한 에너지 최적제어 로직

- DNN 예측모델을 통해 제어하고자 한 설정 변수는 민감도 분석에 따라 냉동기의 냉수와 공조기의 토출 설정온도로 선정하였음
- 두 변수는 설정온도에 따라 즉각적인 반응이 나타나며, 실시간 제어에 따른 에너지 변화량과 실내에 미치는 영향을 미치는 중요 변수임
- 비교 대상으로는 냉수온도 7℃, 공조기 토출온도 13℃를 Base-case로 선정하였으며 DNN 예측모델의 제어 범위는 냉수 7~14℃, 공조기 토출온도 13~16℃로 결정하였음
- 공조기 토출온도의 경우 설정범위를 학습데이터 대비 낮은 온도로 진행한 이유는 서울에너지드림센터 시뮬레이션 결과, 높은 공조기의 토출온도가 높을 때, 대부분의 실내온도가 설정온도 보다 높게 나타났으며, 설정온도의 최대-최소값의 차이가 클 경우, 오히려 에너지 손실이 발생할 수 있기 때문임

- DNN 예측모델을 통한 최적제어 로직은 [그림 73]과 같으며 공조기와 버퍼탱크, 그리고 버퍼탱크와 공조기의 Water Loop의 온도 차이에 따라 각 기기별 제어 가능한 범위 차이가 발생하기 때문에 이를 고려한 예측제어가 중요 요소로 판단되며 이는 아래와 같이 제어됨
  - 1) 냉수와 공조기 토출 설정온도에 따른 실내온도 예측
  - 2) 예측된 실내온도가 27℃ 이상일 경우, 최적 설정온도에서 제외
  - 3) 예측된 실내온도가 27℃ 이하이고 냉방에너지 소비량에 최소인 예측 결과값 중 공조기 토출온도와 냉수온도 차이가 5℃ 이상 차이나는 경우를 최적값으로 선정
- 위와 같이 공조기 토출온도와 냉수온도의 차를 5℃ 이상으로 한 이유는 버퍼탱크의 잔여 온도와 공급 팬의 모터에서 발생하는 열에 따른 공조기 토출온도를 고려해야하기 때문임



[그림 73] DNN 예측모델의 실내온도 및 냉방에너지 예측 성능

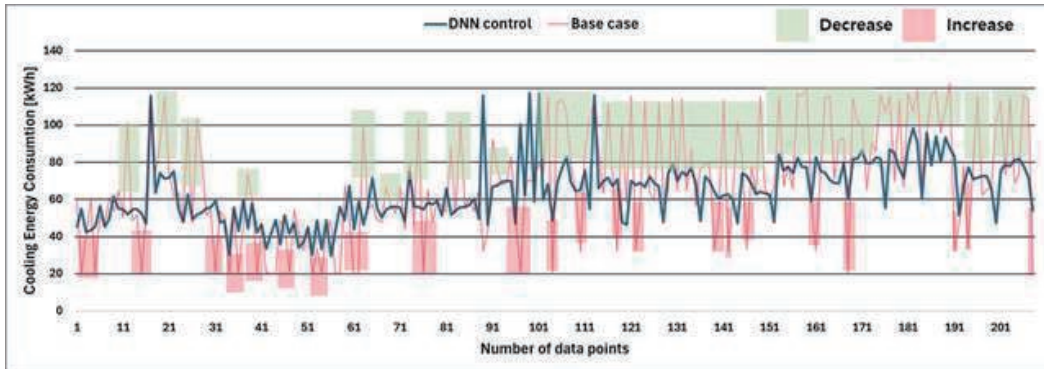


#### 4) DNN 예측모델을 통한 에너지 최적제어

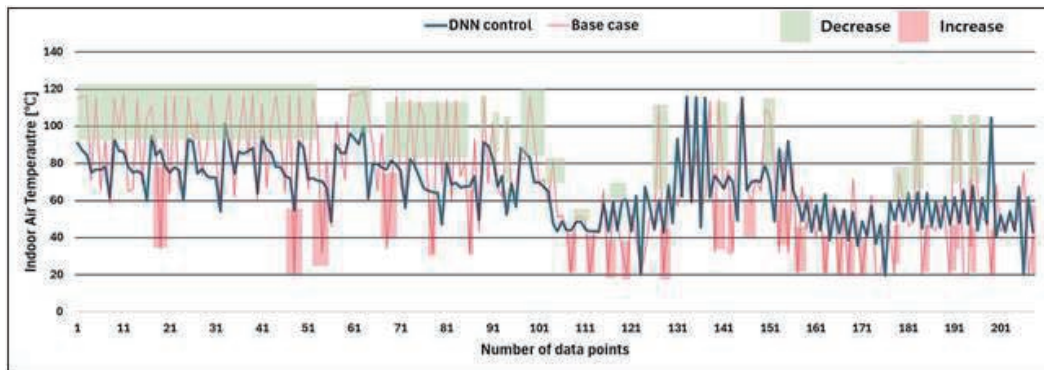
- DNN 모델 적용 및 분석 기간은 주로 냉방 부하가 높게 발생하는 7월 1일부터 8월 31일로 선정하였으며 공조기와 냉동기의 에너지 소비량 분석을 진행하였음
- [그림 74]는 7월 1일부터 7월 31일까지의 작동시간 동안의 냉방에너지 소비량을 나타내며 DNN 예측모델 제어를 통해 대략 6.9%의 에너지 절감이 가능한 것으로 나타났음
- DNN 예측모델을 통한 제어 결과, 7월의 기기 작동시간 총 208시간 중 114시간의 냉방 에너지 소비량을 절감하였으며 에너지 소비량의 증감 폭이 큰 Base-case과 비교했을 때 냉방에너지 소비량의 폭이 크지 않고 평균 64 kwh의 에너지 소비량을 나타냄
- 이는 Base-case의 경우, 냉수 온도가 7도이며, 버퍼탱크 온도에 따라 냉동기가 On/Off 되면서 에너지의 증감 폭이 크게 나타난 것으로 사료되며, DNN의 경우 냉수온도를 실시간으로 유동적으로 변경하면서 냉동기의 On/Off 시간을 감소하였으나 냉동기 자체의 에너지 소비량을 줄임으로 인해, 냉방에너지 소비량의 증감 폭 및 에너지 소비량이 감소한 것으로 판단됨
- [그림 75]는 8월 1일부터 8월 31일까지의 작동시간 동안의 냉방에너지 소비량을 나타내며 DNN 예측모델 제어를 통해 대략 4.7%로 7월과 비교했을 때, 다소 감소한 에너지 절감이 가능하였음
- DNN 예측모델을 통한 제어 결과, 8월의 기기 작동시간 총 208시간 중 111시간의 냉방 에너지 소비량을 절감하였으며 평균 68 kWh의 냉방에너지 소비량을 나타냄
- 7월에 비해 8월에 냉방에너지 절감이 감소한 이유는 8월말 냉방부하가 감소하면서 Base-case는 버퍼탱크의 온도유지를 위한 냉동기 작동시간이 크게 감소하였고 그로인해 냉동기의 에너지 소비량이 감소하였으나 DNN 예측모델의 경우 냉수 온도가 실시간으로 유동적으로 변화하기 때문에 냉동기가 Off 되지 않아 에너지 소비량 감소율이 줄어든 것으로 판단됨
- 하지만 8월에도 DNN 예측모델의 경우 냉방에너지 증감폭이 크게 감소함을 나타냈으며 에너지 유동이 안정적으로 운행된 것으로 사료됨
- 결과적으로 총 냉방에너지 소비량은 [그림 76]과 같이 대략 5.8%의 에너지 절감량을 나타냄



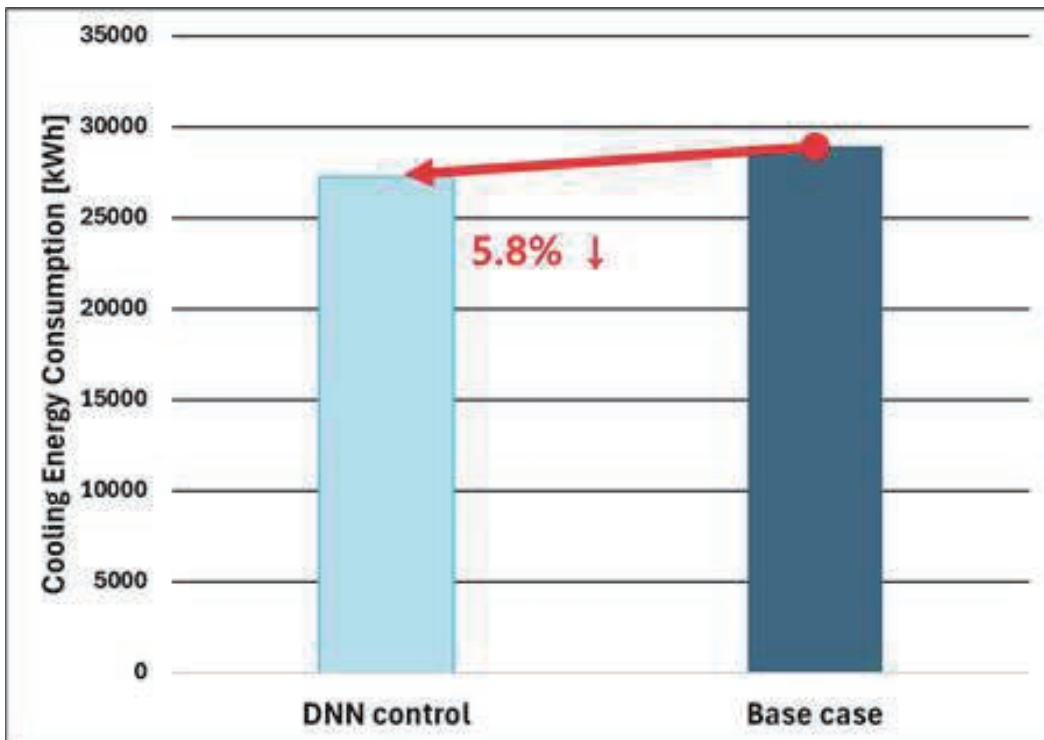
### 03. 냉방 에너지 저감을 위한 공조설비 최적제어 방안



[그림 74] 7월 DNN 예측제어 vs. Base Case 비교



[그림 75] 8월 DNN 예측제어 vs. Base Case 비교



[그림 76] DNN 예측제어 vs. Base Case 총 냉방 에너지 비교

## 5) 온실가스감축 목표의 성과검증을 위한 에너지 최적제어 시스템 고도화 방안 제언

### 가. 인공지능을 통한 최적제어 제언

- EnergyPlus 와 DNN을 연동하여 냉수 및 공조기 토출온도를 최적 제어하는 방법을 탐구하였고, 이를 통해, 실내 환경의 쾌적함을 유지하면서도 에너지 소비를 최소화하는 것을 목표로 하였음
- 시뮬레이션 결과, 제안된 제어 방법을 적용할 경우 에너지 소비를 약 5.8% 절감 가능한 것으로 나타났으며, 이 결과를 바탕으로, 실제 건물에 적용할 수 있는 구체적인 방안과 기대 효과를 제안함
- 인공지능을 실제 건물에 적용하기 위해선 건물환경, 시스템에 대한 데이터를 수집 및 저장할 수 있는 기술이 필요하며 건축물의 경우, 이를 EMS(Energy Management System)을 통해 해결이 가능함
- 서울에너지드림센터는 SCADA를 통해 건물의 설비 및 환경을 관찰 할 수 있으며, 30초 단위로 데이터를 로깅하고 있어, 이를 통해 인공지능 학습 및 제어 로직 탑재가 가능함
- 현재 서울에너지드림센터는 시뮬레이션 결과에서 나타나듯이, 냉수와 공조기 토출온도를 실시간 제어함에 따라 5.8% 냉방 에너지 절감이 가능할 것으로 사료됨
- 인공지능 예측 알고리즘 탑재 시, 에너지 절감 및 운영 비용 절감, 실내 환경 개선, 지속 가능한 건물 운영, 기술적 경쟁력 강화 등 다양한 기대효과를 기대할 수 있으며 결과적으로 건물 운영의 효율성을 극대화 될 것으로 사료됨

#### 나. SCADA와 인공지능 예측 모델의 통합 방법

- 센서 설치 및 데이터 수집을 통해 건물의 다양한 온도, 습도, 조도 등의 환경 요소와 시스템의 실시간 데이터를 수집 후, 예측을 위한 에너지 데이터 등을 인공지능 데이터로 활용
- 수집된 데이터를 정제하고, 이상치(outliers) 및 결측치(missing values)를 처리하여 인공지능의 학습 정확도를 높이고, 데이터의 품질을 보장
- 데이터 정규화 및 특성 선택(feature selection)을 통해 모델의 성능을 최적화
- 건물의 에너지 소비 패턴을 분석하기 위해 적합한 인공지능 모델을 선택해야하며 일반적으로 딥러닝 모델(DNN), 순환 신경망(RNN), 시계열 예측 모델 등이 사용될 수 있음
- 선택한 모델에 따라 입력 변수와 출력 변수를 설정하고, 네트워크 아키텍처를 설계하고 HVAC 시스템의 온도와 에너지 소비를 예측하는 모델을 개발
- 훈련된 인공지능 모델을 SCADA와 통합하기 위해 SCADA 시스템에 AI 모델을 배포하고, 실시간 데이터를 입력으로 받아 예측 결과를 생성할 수 있도록 설정
- 인공지능 모델의 예측 결과에 따라 SCADA가 HVAC 시스템 등을 자동으로 제어할 수 있도록 연동

서울에너지드림센터  
제로에너지건축물  
최적화 운영 현황  
보고서

(2022~2023)

04.

---

**향후**  
**서울에너지드림센터**  
**운영 방향 및 계획**

## 4. 건물에너지 최적화 운영평가 및 방향

### 1) 태양광 발전 및 전력수요 관리적 측면

#### 가. 태양광 발전량 감소 및 대응 방향

- 서울에너지드림센터의 태양광 발전은 2014~2016년도의 평균 발전량 362,869kWh에 비해 2020~2022년도 평균 발전량은 341,052kWh으로 약 6%의 감소함
- 태양광 발전이 날씨의 영향이 절대적이기는 하나, 경년열화 및 패널 오염에 따른 발전량 감소도 요인이 됨
- 센터의 위치상 미세먼지에 의한 퇴적오염이 있기는 하나, 야산 등에 설치된 태양광 패널의 과도한 흙먼지 퇴적오염은 없음
- 따라서, 서울에너지드림센터의 태양광 발전 생산량 감소의 요인은 패널 오염보다 경년열화의 영향이 더 클 것으로 볼 수 있으며, 패널 청소를 통한 발전량 증가 기대와 패널 청소 비용과의 경제적 상관관계를 따져볼 필요가 있음

#### 나. 최대수요전력(Peak Demand, 피크전력) 관리와 효율화

- 2023년 서울에너지드림센터의 피크전력은 90kW로, 냉난방장치의 유동적인 관리와 실시간 모니터링을 통해 전력량 변화에 즉각적으로 대응하여 최저값인 90kW로 운영
- 최대수요전력을 최저 한계치인 90kW로 유지하여 전기요금의 최저 기본요금을 적용받고 있으며, 이는 우천 등으로 태양광 발전량이 감소하는 날에도 설비 운영 시간대에 BEMS(빌딩 에너지 관리 시스템)를 통한 실시간 모니터링을 활용하여 설비를 수동으로 온/오프 제어함으로써 피크 전력이 상승하지 않도록 관리한 결과로 분석 됨
- 다만, 수동 조작에는 분명한 한계가 있으며, 모니터링이 불가능한 상황이 발생할 경우 피크값이 상승할 우려가 상존한다고 볼 수 있고 이에 따라 피크 모니터링을 통해 설비를 자동으로 제어할 수 있도록 SCADA 시스템 업그레이드는 반드시 필요한 과제로 판단



## 다. 에너지 효율을 위한 HVAC 운영 관리

## ▫ 지열히트펌프를 통한 에너지 효율화

지열히트펌프의 도입으로 기존보다 에너지 효율적인 냉방이 가능해졌으며, 피크전력 관리 측면에서 효율성을 확보하였으나, 지열히트펌프의 한계로 인해 여전히 냉방 수요에 따른 적절한 운영 전략이 요구되며 향후 이러한 개선은 에너지 절감과 전력 부하 관리 측면에서 긍정적 영향을 줄 것으로 판단

항목	2022년 이전 (기존 시스템)	2022년 이후 (지열히트펌프 도입)
냉방 시스템	냉동기 + 버퍼탱크	지열히트펌프 + 냉동기
피크전력 대응 (90kW이상)	버퍼탱크 사용으로 제한적 냉방 (한시적 냉방)	지열히트펌프만으로 냉방 가능
운영 안정성	냉동기 정지 시 냉방 불가능	발전전력 없이 90kW 이하로 운전 가능
냉방능력	냉동기 기반으로 높은 냉방 능력	지열히트펌프 냉방 능력 낮음 (혹서기엔 냉방 부족 가능)
운영조건	냉방부하가 높을 때 제한적 대응	간절기 및 초여름 피크전력 90kW 이상 지열히트펌프 사용
주요 개선점	피크전력 관리 시 냉방 중단	피크전력 관리와 냉방의 동시 가능

- 서울에너지드림센터의 냉방 시스템은 설계된 TABS와 컨벡터 중심에서 벗어나, 공조기가 주요 냉방 수단으로 운영되고 있으며, 원인으로 TABS 운전 시간과 버퍼탱크 온도 상승 문제에서 발생되었다고 볼 수 있다. 이에 센터는 공조기의 풍량을 높여 대응하고 있지만 이는 에너지 효율 저하로 이어지고 있고 향후 TABS의 운전 조건과 버퍼탱크 온도 문제를 개선하는 기술적 대안이 필요하다고 판단됨

항목	현재 설계 및 상황	문제점	현재 대응 방안
냉방 시스템 (복사냉난방)	컨벡터: 주요 냉방 공조기: 보조 냉방	3층 냉방 부하 초과 → 공조기가 주요 냉방 담당	VAV로 공간별 급기량 수동제어
TABS 운전조건	하루 3~4시간 운전 버퍼탱크 온도 상승으로 TABS 운전 중단	TABS의 가동시간이 짧아 설계된 냉방효과 부족	CO2 농도 제어 기능보다 냉방에 집중사용
문제점 및 영향	공조기 풍량 및 에너지 사용량 증가	VAV 기능(CO2 농도 제어)을 희생하여 냉방 대응, 에너지 효율 저하	냉방 부하를 커버 가능한 범위 에서 최저 풍량 운전
문제의 근본 원인	TABS 운전시간 부족 및 버퍼탱크 온도 상승	복사냉방의 효과 부족으로 냉방 부하를 공조기가 처리	TABS 운전시간 개선이 필요하지 만, 현재로서는 해결 방안 없음

## 2) 시스템 운영 방향 측면

### 가. 최적화 운영시스템의 개선 필요

- 실시간 데이터분석을 위한 모니터링 시스템의 고도화
- 냉동기의 ON/OFF 반복을 줄여 전기소비량 절감을 위한 방안 모색
- 최적제어를 위한 제어시스템의 고도화 방안연구
- TABS 시스템과 운전 전략에 대한 지속적인 검토와 데이터 기반 조정

### 나. 각 부분별 운영 목표의 구체화

- 생산분야 목표 : 태양광발전시스템의 효율감소 등 생산성 저하 요인 규명
- 소비분야 목표 : AHU 소비량 분석 및 최적 운영 스케줄 마련
- 건물에너지 성능 유지관리 및 개선 : 데이터분석을 위한 설비 운영 및 유지관리 데이터베이스 구축 방안 마련

#### 4.1. 건물에너지 최적화 운영 종합평가 및 방향

- 센터는 BEMS를 통해 건물 내 주요 설비와 에너지 사용 패턴을 실시간으로 분석 및 모니터링하여 효율적인 운영 전략을 수립하고 태양광 발전량 감소로 인해 증가할 수 있는 외부 전력 의존도를 최소화하고 있으며 피크전력 수요를 분석하고 이를 제어하여 불필요한 에너지 낭비 방지 및 전력 사용량이 특정 한계를 초과하지 않도록 조정하여 에너지 최적화를 유지하고 있다
- 특히 지열히트펌프를 활용한 냉방 전략은 냉동기의 ON/OFF를 줄이고, 에너지 소비 절감과 냉방 시스템 안정성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단되나 냉방량 부족 문제는 설계 한계로 인해 완전히 해소하기 어렵다고 볼 수 있다
- 이를 보완하기 위해 지열히트펌프와 냉동기의 병행 운영 및 지속적인 성능 모니터링이 시스템 개선이 필요하며, 이는 에너지 효율성을 높이고 냉방 시스템의 신뢰성을 강화하는 데 중요한 역할을 할 것으로 판단된다
- 또한 TABS의 운전 시간을 야간으로 확대하여 냉방 기저부하를 줄이는 에너지 효율화 전략은 공조기의 과도한 냉방 부담을 완화하고, 에너지 효율을 높이는 데 효과적인 개선 항목이 될 것이다
- 다만, 이 방안을 도입하기 위해서는 수전 전력량 증가에 따른 비용과 냉방 시스템 설계 조건을 종합적으로 고려해야 하며, 이를 기반으로 지속적인 모니터링과 조정이 필요하다고 보이며 향후 중점사항으로 반영해야 할 것이다

# 서울에너지드림센터 제로에너지건축물 최적화 운영 현황 보고서

(2022~2023)

---

발행인	서울에너지드림센터장 이용성
발행일	2024년 12월 27일
발행처	서울에너지드림센터
홈페이지	<a href="http://www.seouledc.or.kr">www.seouledc.or.kr</a>
문의	02. 3151. 0562

---



SEDC 2024-12-01

© 본 출판물의 저작자와 출처를 표시하면 자유 이용을 허락합니다.  
단, 영리적 이용과 2차적 저작물의 작성은 허용되지 않습니다.