

공조기 및 FAN, BLOWER

5-3. 공조기제습 Heat-pipe Pre Cooling으로 하절기 냉방/재열 부하 절감

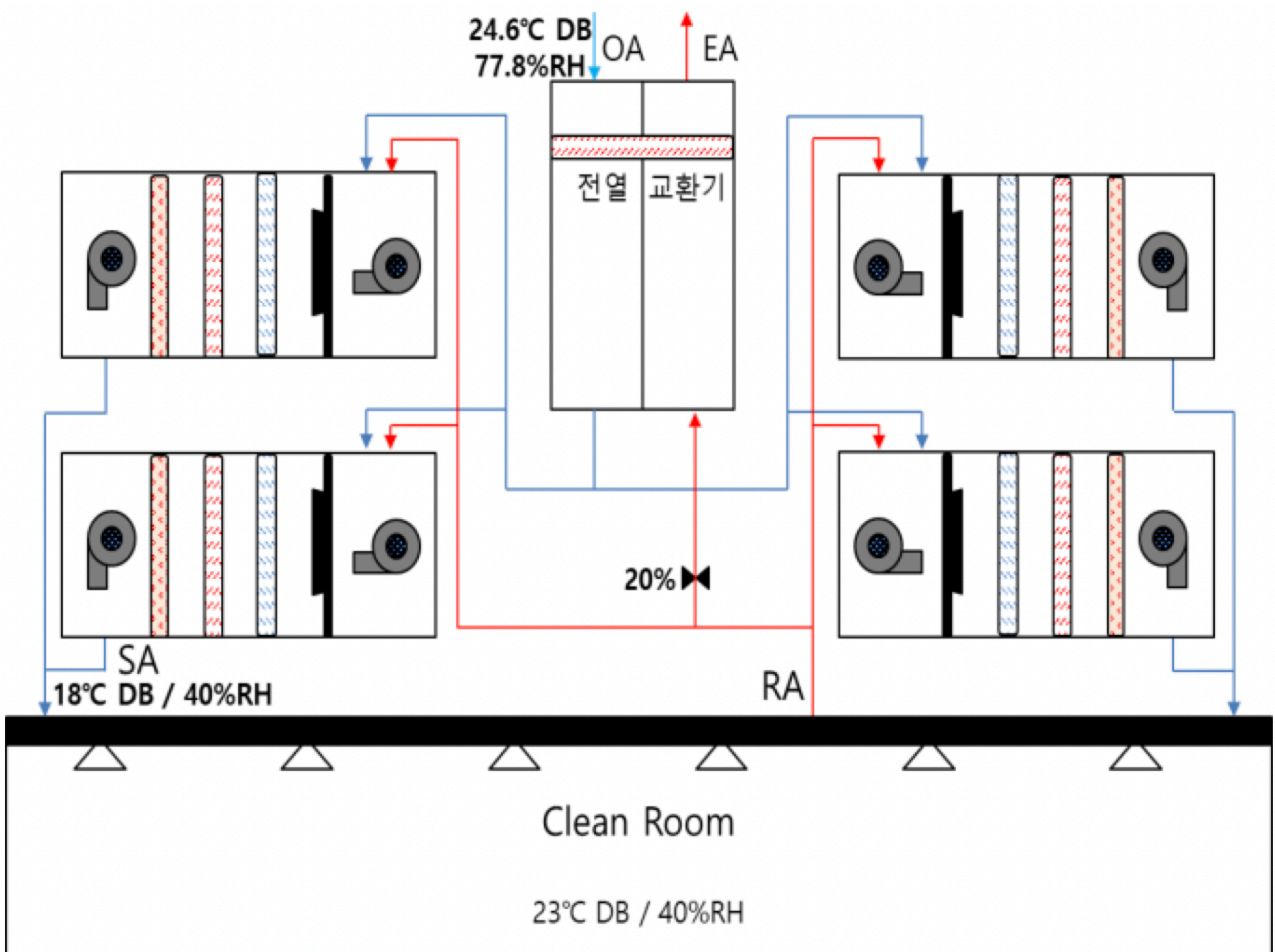
업종	자동차부품	전기, 전자, 반도체	기타
해당		0	

5-3. 공조기제습 Heat-pipe Pre Cooling으로 하절기 냉방/재열 부하 절감

가. 현황 및 문제점

당 사업장은 1공장 저압 및 고압 인젝터 클린룸의 온/습도 관리기준인 $23\pm 1^{\circ}\text{C}$, 40%RH를 유지하기 위해 공조기를 설치하여 운전하고 있으며, 현재 1공장 클린룸 공조기는 외조기(OAC)에 설치된 전열교환기에서 실내 배기(EA)와 외기를 Pre-heating 하여 약 7°C 의 외기를 각 공조기에 공급하고 있음.

냉방열원은 냉동기 냉수를 공급하고, 난방열원으로 온수를 사용하며, 가습용으로 보일러 스팀을 사용하고 있으며, 특히, 온/습도가 높아지는 하절기에는 온/습도에 민감한 제품생산 시 적절한 상태의 생산환경을 조성하기 위해 제습/재열부하 및 냉방부하가 증가하여 공조기에 공급되는 냉동기의 소비전력이 증가함.



[그림 5-1] Clean Room 공조기 운전계통도

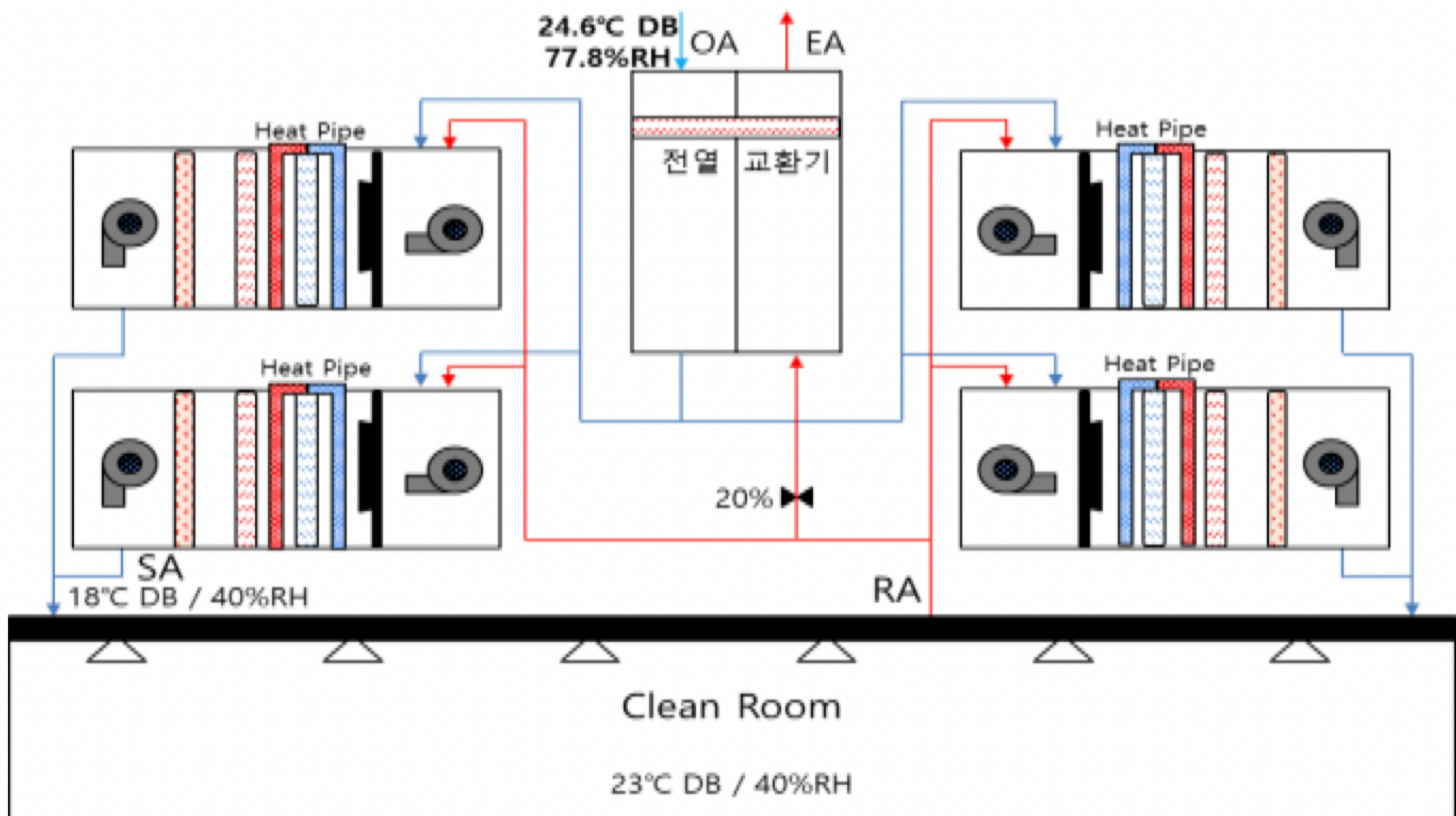
5-3. 공조기제습 Heat-pipe Pre Cooling으로 하절기 냉방/재열 부하 절감

[표 5-1] 항온항습용 공조기 운전현황

구분	냉방 능력 (kcal/h)	난방 능력 (kcal/h)	SA 풍량 (CMH)	OA댐퍼 개도율 (%)	OA 풍량 (CMH)	관리기준		측정당시 운전 여부		
						온도(°C)	습도(%)			
1공장	저압인젝터 Clean Room	OAC	-	51,600	-	100	41,580	7.0	-	운전
		#1	205,020	77,184	33,498	-	-	23.0	40.0	운전
		#2	320,885	75,882	65,400	-	-	23.0	40.0	운전
		#3	253,650	86,630	40,680	-	-	23.0	40.0	운전
		#4	205,020	77,184	33,498	-	-	23.0	40.0	운전
	고압인젝터 Clean Room	OAC	-	-	-	100	28,000	7.0	-	운전
		#1	90,000	102,000	47,000	-	-	23.0	40.0	운전
		#2	90,000	102,000	47,000	-	-	23.0	40.0	운전
		#3	90,000	102,000	47,000	-	-	23.0	40.0	운전

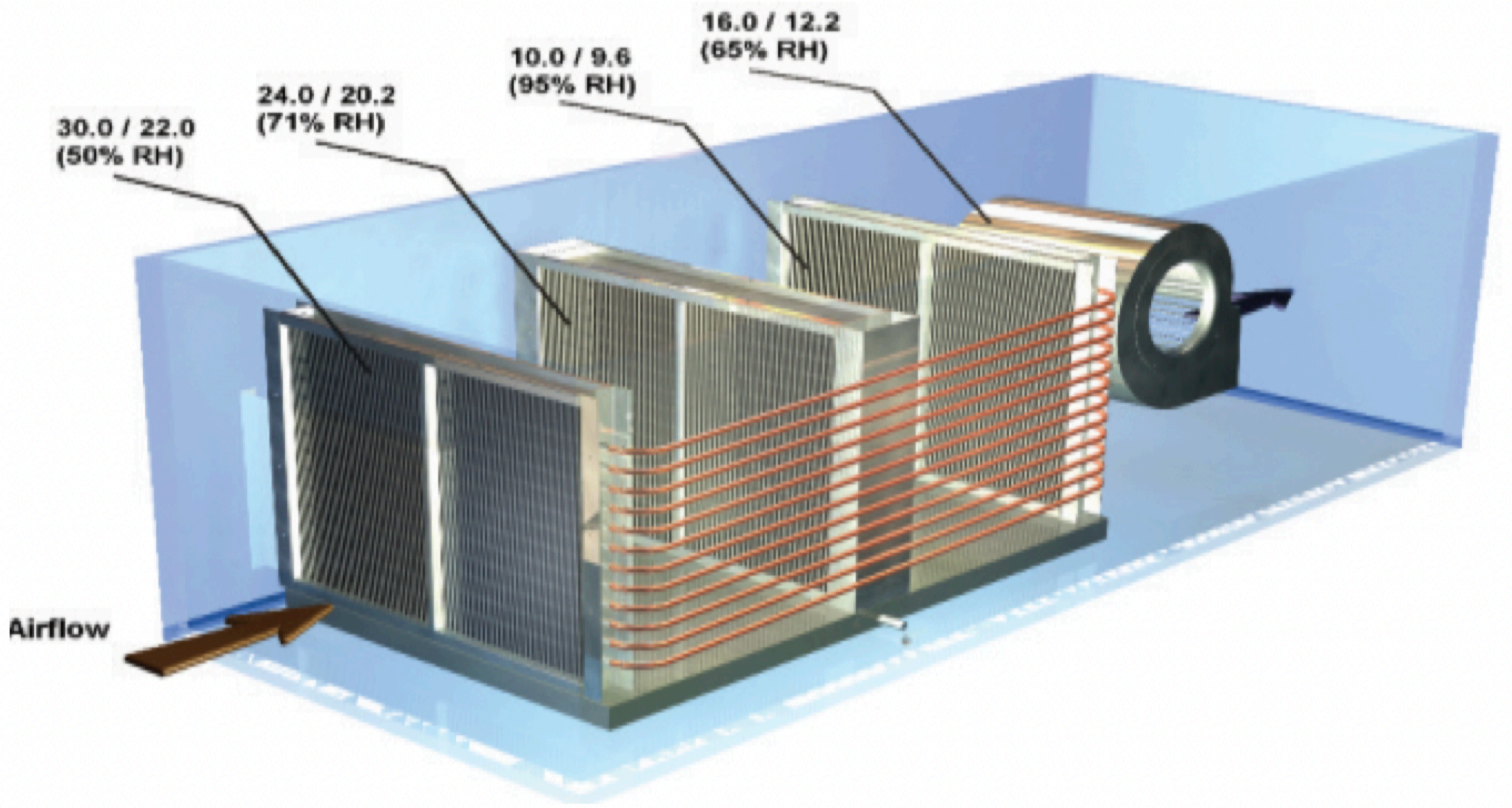
나. 개선방안

공조기 내부에 제습 Heat Pipe를 설치하여 하절기 높은 온도의 혼합공기를 Pre Cooling 하고 이를 재열에도 이용하면 제습 및 재열부하를 절감할 수 있음.



[그림 5-2] 각 공조기에 제습 Heat-Pipe Pre Cooling System 설치 운전계통도

5-3. 공조기제습 Heat-pipe Pre Cooling으로 하절기 냉방/재열 부하 절감



[그림 5-3] 각 공조기에 제습 Heat-Pipe Pre Cooling System 예시



Heat-Pipe Pre Cooling System 설치 전



Heat-Pipe Pre Cooling System 설치 후

(1) 연간 전력 절감량

Heat Pipe 제습장치는 공기 인입이 되는 예냉부에서 냉매의 증발을 통해 예냉이 이루어지며, 기존 냉수 코일을 통과하여 노점 온도(Dew Point)제습이 진행되고 이후 Heat Pipe 재열부에서 과냉된 공기를 재열하게 된다.

Heat Pipe 제습 기술 적용 시 기존 냉각에 사용하는 냉방 에너지의 약 20~30% 수준의 예냉 역할을 Heat Pipe가 수행하여 그만큼 냉방 에너지가 절감되며, 재열 시 냉방 에너지 절감량 만큼 재열이 이루어져 약 80%의 재열부하 절감이 가능하다.

5-3. 공조기제습 Heat-pipe Pre Cooling으로 하절기 냉방/재열 부하 절감

(2) 공조기별 온/습도 및 노점온도 계산

Heat Pipe 시스템은 냉방을 하는 기간에만 이용 가능하므로 하절기 5개월 동안 Heat Pipe로 예냉하여 제습 시 부하 부담이 큰 냉방코일의 부하를 줄인다.

하절기 평균 온/습도는 24.6°C DB, 77.6%RH로 하절기 외기가 공조기에 공급될 시 관리기준 습도보다 높은 습도의 공기가 공급되며, 관리기준에 맞는 온/습도의 급기를 공급하기 위해서는 하절기 높은 습도의 공기를 제습할 필요가 있다

[표 5-2] 2020년 월별 평균기온 및 평균습도 현황(기상청 자료 참조)

월 별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평균기온(°C)	-2.4	2.2	8.1	13.5	16.5	22.5	27.7	25.7	22.6	15.6	7.9	0.7
평균습도(%)	67	64	72	62	77	78	77	81	75	72	74	65
엔탈피(kcal/kg)	0.659	2.22	4.825	6.804	9.344	13.357	17.403	16.212	13.120	8.493	4.817	1.710

※ 관리기준 23°C DB / 40%RH 엔탈피: 9.714[kcal/kg]

※ 6월~9월 하절기 평균 온/습도: 24.6°C DB / 77.8%RH

[표 5-3] 공조기별 온/습도 및 노점온도 계산

구분	OA			RA			혼합공기		관리기준				
	온도(°C)	습도(%)	도입율(%)	온도(°C)	습도(%)	댐퍼(%)	온도(°C)	습도(%)	온도(°C)	습도(%)	노점온도(°C)		
1 공 장	저압인젝터 Clean Room	OAC	24.6	77.8	100	-	-	-	-	-	-	-	
		#1	24.6	77.8	20	23.0	40	80	23.3	49.2	23.0	40	8.72
		#2	24.6	77.8	20	23.0	40	80	23.3	49.2	23.0	40	8.72
		#3	24.6	77.8	20	23.0	40	80	23.3	49.2	23.0	40	8.72
		#4	24.6	77.8	20	23.0	40	80	23.3	49.2	23.0	40	8.72
	고압인젝터 Clean Room	OAC	24.6	77.8	100	-	-	-	-	-	-	-	
		#1	24.6	77.8	20	23.0	40	100	23.3	49.2	23.0	40	8.72
		#2	24.6	77.8	20	23.0	40	100	23.3	49.2	23.0	40	8.72
		#3	24.6	77.8	20	23.0	40	100	23.3	49.2	23.0	40	8.72

[표 5-4] 하절기(6월~9월) 냉/난방 연료사용량

구분	6월	7월	8월	9월	합계(m³)
냉/난방 연료(LNG) 사용량(m³)	15,591	28,156	16,322	17,306	77,375

5-3. 공조기제습 Heat-pipe Pre Cooling으로 하절기 냉방/재열 부하 절감

[표 5-5] 공조기별 재열온도 및 예냉후 온도 계산

구분			혼합공기 온도(°C)	예냉 후 온도(°C)	관리기준		필요 SA온도 (°C)	재열온도 (°C)
					온도(°C)	노점온도(°C)		
1공장	저압인젝터 Clean Room	#1	23.3	18.9	23.0	8.72	18.0	4.4
		#2	23.3	18.9	23.0	8.72	18.0	4.4
		#3	23.3	18.9	23.0	8.72	18.0	4.4
		#4	23.3	18.9	23.0	8.72	18.0	4.4
	고압인젝터 Clean Room	#1	23.3	18.9	23.0	8.72	18.0	4.4
		#2	23.3	18.9	23.0	8.72	18.0	4.4
		#3	23.3	18.9	23.0	8.72	18.0	4.4

※ 필요 SA온도는 크린룸 관리기준 온도의 약 3 ~ 5°C 낮게 적용

※ 예냉 후 온도 = 혼합공기 온도 - 재열온도

※ 재열온도 = $\frac{\text{하절기 연료사용량}[\text{m}^3/\text{년}] \times 9,290[\text{kcal}/\text{h}] \times \text{절감율} \times \text{보일러효율}}{\text{전체풍량} \times \text{공기비열} \times \text{부하율} \times \text{가동시간}}$

다. 기대효과

에너지 절감량	절감량 [toe/년]	절감액 [백만원/년]	투자비 [백만원]	투자회수기간 [년]	온실가스 저감량 [tCO2eq/년]
LNG: 74.02[천m³/년] 전력: 150.66[MWh/년]	110.67	60.7	241.5	3.98	230.16

(1) 적용기준

- 1공장 기존 공조기 7대에 제습 Heat Pipe Pre-Cooling System 적용
- 제습 Heat Pipe 적용시간: 120(일/년) × 18(hr/일) = 2,160(hr/년)
- 전력단가: 120(원/kWh)
- 연료(LNG)단가: 575(원/Nm³)
- 공기비열: 0.24(kcal/kg°C) × 1.293(kg/m³) = 0.31(kcal/m³°C)
- 기계동 터보냉동기 평균 COP 5.0 적용
- 제습운전 부하율: 70(%) → (Heat Pipe 제조사는 70~75% 적용)
- 보일러 효율: 94.2(%) 적용

5-3. 공조기제습 Heat-pipe Pre Cooling으로 하절기 냉방/재열 부하 절감

[표 5-6] 공조기별 절감량 계산

구분			풍량 (CMH)	예냉온도 (°C)	예냉 절감열량 (Kcal/h)	전력절감량 (kWh)	재열온도 (°C)	재열 절감열량 (Kcal/h)	연료절감량 (Nm ³ /h)
1공장	저압 인젝터 Clean Room	#1	33,498	4.4	6,398.4	7.44	4.4	33,953	3.65
		#2	65,400	4.4	12,487.2	14.52	4.4	66,289	7.14
		#3	40,680	4.4	7,765.8	9.03	4.4	41,233	4.44
		#4	33,498	4.4	6,398.4	7.44	4.4	33,953	3.65
	고압 인젝터 Clean Room	#1	47,000	4.4	8,978.4	10.44	4.4	47,639	5.13
		#2	47,000	4.4	8,978.4	10.44	4.4	47,639	5.13
		#3	47,000	4.4	8,978.4	10.44	4.4	47,639	5.13
절감열량 합계			-	-	59,985	69.75	-	318,345	34.27
					예냉 절감열량 + 재열 절감열량 = 378,330(Kcal/h)				

(가) #1호 Heat Pipe 설치 후 예냉 절감열량 계산 예시;

$$\begin{aligned} \therefore \text{예냉절감열량[kcal/h]} &= \frac{\text{풍량} \times \text{공기비열} \times \text{예냉모드}}{\text{냉동기COP}} \times \text{부하율[\%]} \\ &= \frac{33,498(\text{CMH}) \times 0.31(\text{kcal/m}^3\text{°C}) \times 4.4(\text{°C})}{5.0 \times 860(\text{kcal / kWh})} \times 0.7(\%) \\ &= 7.44[\text{kW}] \\ &= 7.44[\text{kW}] \times 860[\text{kcal/kWh}] \\ &= 6,398.4[\text{kcal/h}] \end{aligned}$$

(나) #1호 Heat Pipe 설치 후 재열 절감열량 계산 예시;

$$\begin{aligned} \therefore \text{재열 절감열량[kcal/h]} &= \text{풍량} \times \text{공기비열} \times \text{재열온도} \times \text{부하율} \\ &= 33,498\text{CMH} \times 0.3\text{kcal/m}^3\text{°C} \times 4.4\text{°C} \times 0.7\% / \text{보일러효율 } 0.942 \\ &= 33,953[\text{kcal/h}] \end{aligned}$$

(2) 에너지 절감량

(가) 예냉 시 전력 절감량

$$\begin{aligned} &= \text{전력 절감량 합계(kW)} \times \text{하절기 4개월 가동시간(h/년)} \\ &= 69.75(\text{kW}) \times 2,160(\text{h/년}) \\ &= 150,660(\text{kWh/년}) \\ &= 150.66(\text{MWh/년}) \times 0.229(\text{toe/MWh}) \rightarrow \text{전력 toe 환산계수} \\ &= 34.5[\text{toe/년}] \end{aligned}$$

(나) 재열 시 연료(LNG) 절감량

$$\begin{aligned} &= \text{연료 절감량 합계(m}^3\text{/h)} \times \text{하절기 4개월 가동시간(h/년)} \\ &= 34.27(\text{m}^3\text{/h}) \times 2,160(\text{h/년}) \\ &= 74,023(\text{Nm}^3\text{/년}) \\ &= 74.02(\text{천Nm}^3\text{/년}) \times 1.029(\text{toe/MWh}) \rightarrow \text{연료(LNG) toe 환산계수} \\ &= 76.17[\text{toe/년}] \end{aligned}$$

5-3. 공조기제습 Heat-pipe Pre Cooling으로 하절기 냉방/재열 부하 절감

(다) 에너지 절감량 합계

$$\begin{aligned} &= \text{예냉 시 전력 절감량}(\text{toe}/\text{년}) + \text{재열 시 연료 절감량}(\text{toe}/\text{년}) \\ &= 34.5(\text{toe}/\text{년}) + 76.17(\text{toe}/\text{년}) \\ &= 110.67[\text{toe}/\text{년}] \end{aligned}$$

(3) 연간 절감액

(가) 예냉 시 전력 절감액

$$\begin{aligned} &= \text{전력 절감량}(\text{kWh}/\text{년}) \times \text{전력단가}(\text{원}/\text{kWh}) \\ &= 150,660(\text{kWh}/\text{년}) \times 120(\text{원}/\text{kWh}) \\ &= 18.1[\text{백만원}/\text{년}] \end{aligned}$$

(나) 재열 시 연료(LNG) 절감액

$$\begin{aligned} &= \text{연료 절감량}(\text{kWh}/\text{년}) \times \text{연료단가}(\text{원}/\text{Nm}^3) \\ &= 74,023(\text{Nm}^3/\text{년}) \times 575(\text{원}/\text{Nm}^3) \\ &= 42.6[\text{백만원}/\text{년}] \end{aligned}$$

(다) 에너지 절감액 합계

$$\begin{aligned} &= \text{예냉 시 전력 절감액}(\text{백만원}/\text{년}) + \text{재열 시 연료 절감액}(\text{백만원}/\text{년}) \\ &= 18.1(\text{백만원}/\text{년}) + 42.6(\text{백만원}/\text{년}) \\ &= 60.7[\text{백만원}/\text{년}] \end{aligned}$$

(4) 투자비

- 공조기 7대 Heat Pipe 설치비용: 210(백만원)
- 간접비 15%적용: 31.5(백만원)
- 투자비 계: 241.5[백만원]

(5) 투자비 회수기간

$$\begin{aligned} &= \text{투자비}(\text{백만원}) \div \text{연간 절감액}(\text{백만원}/\text{년}) \\ &= 241.5(\text{백만원}) \div 60.7(\text{백만원}/\text{년}) \\ &= 3.98[\text{년}] \end{aligned}$$

(6) 온실가스 저감량

(가) 전력 온실가스 저감량

$$\begin{aligned} &= \text{전력 절감량}(\text{MWh}/\text{년}) \times \text{전기부문 탄소 배출계수}(\text{tC}/\text{MWh}) \\ &= 150.66(\text{MWh}/\text{년}) \times 0.125(\text{tC}/\text{MWh}) \\ &= 18.83[\text{tC}/\text{년}] \end{aligned}$$

(나) 연료(LNG) 온실가스 저감량

$$\begin{aligned} &= \text{연료(LNG) 절감량}(\text{천m}^3/\text{년}) \times 0.929(\text{toe}/\text{천m}^3) \times 0.639(\text{tC}/\text{toe}) \\ &= 74.02(\text{천m}^3/\text{년}) \times 0.929(\text{toe}/\text{천m}^3) \times 0.639(\text{tC}/\text{toe}) \\ &= 43.94[\text{tC}/\text{년}] \end{aligned}$$

(다) 온실가스 저감량 합계

$$\begin{aligned} &= \text{탄소저감량}(\text{tc}/\text{년}) \times (\text{이산화탄소 분자량}/\text{탄소분자량}) \\ &= 62.77(\text{tC}/\text{년}) \times (44/12)(\text{CO}_2\text{eq}/\text{C}) \\ &= 230.16[\text{tCO}_2\text{eq}/\text{년}] \end{aligned}$$