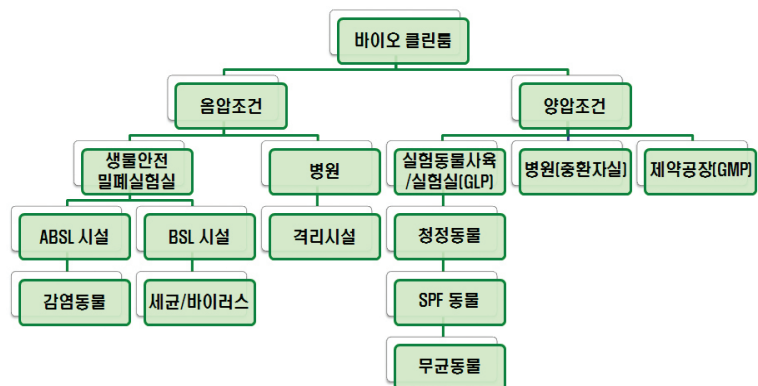


에너지 절감을 위한 바이오 클린룸용 공조 및 제어 시스템

바이오 클린룸 설비에 히트펌프를 활용한 배기열 회수 기술을 적용하여 급,배기간 교차오염을 방지하고 에너지 절감적인 운용을 가능하게 함으로써 다양한 분야에 적용 가능한 기술이 될 것이라고 기대된다.

서론

바이오 클린룸 설비는 바이러스, 세균, 곰팡이 등의 미생물성 입자에 의한 오염을 제어하는 것을 주목적으로 하면서 멸균을 병행하는 설비이다. 바이오 클린룸 설비의 응용분야는 SPF 실험동물 사육실, 병원의 수술실, 식품제조공정, 화장품 등의 청정실과 실험자에 대한 감염 방지나 오염원의 실험실 외부로의 유출을 방지하는 생물안전밀폐실



[그림 1] 바이오 클린룸 용도별 분류

주영덕

(주)나라컨트롤

ydu@naracontrols.co.kr

백승재

(주)나라컨트롤

sjbaek@naracontrols.co.kr

협실(Bio Safety Laboratory)등을 비롯한 제약(GMP) 시설 등에 폭넓게 응용되고 있다.

최근 바이오 관련 산업이 급격히 성장하면서 인체 유해 요소에 대한 관심이 높아지면서 신종 인플루엔자 등의 인수공통전염병에 대한 바이오 클린룸을 통한 질병관리 및 생명공학에 관해 국내에서도 관심이 급증하고 있어 바이오 클린룸의 보급은 급격히 증가하고 있는 실정이다.

이러한 바이오 클린룸 관련 기술의 발달과 더불어 국제적으로도 안전 보호 장치를 마련하고 있는 실정이다. 국내에서도 생물안전에 관련된 각종 설비에 대한 기준 제정에 주력하고 있으며 최근에는 생물안전실험실에서 일정 등급 이상의 인체에 유해한 균을 취급하는 경우 국가 지정 기관에서 설비에 대한 심의를 받도록 규제를 강화하고 있다.

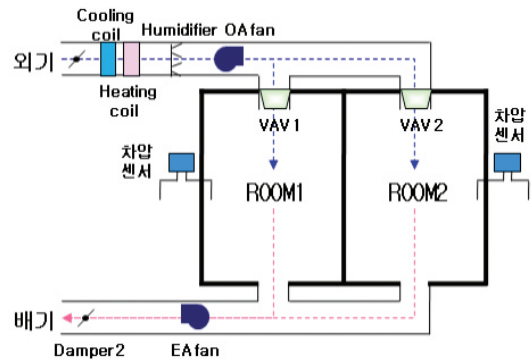
바이오 클린룸

바이오 클린룸의 분류

바이오 클린룸은 설치 목적에 따라 **그림 1**과 같이 분류할 수 있는데 일반적인 공조 시스템의 경우 일부의 공기는 실내의 공기로 재순환하고 부족분만큼 외기를 도입하는 부분 외기 도입 방식을 사용하고 있다. 이에 반하여 바이오 클린룸의 공조 시스템은 실내의 청정도 유지 및 오염방지를 위해 실내 공기를 재사용하지 않고 전부 외기로 배기시키는 전외기 공조방식을 적용함과 동시에 오염방지를 위해 HEPA Filter, 에너지 회수를 위한 현열교환기 등을 적용한다.

바이오 클린룸의 특성

실내 공기의 청정도나 오염방지를 목적으로 하는 바이오 클린룸의 특성상 일정 수준 이상의 환기 횟수를 유지하여야 하는데 특히 생물안전 3



[그림 2] 바이오 클린룸 환기 시스템 구성

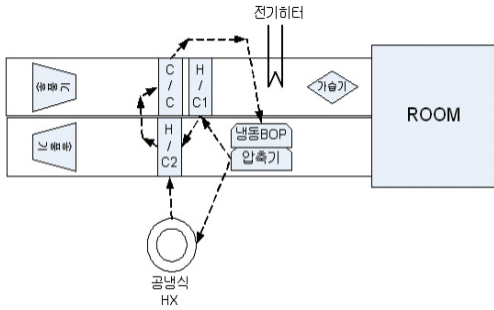
등급 시설의 경우 최소 10회/hr 이상, 실험동물사육실은 일반적으로 15~20회/hr 정도의 높은 환기 횟수를 유지하도록 하고 있는데 **그림 2**와 같이 전외기 방식을 적용하여 1년 365일 연중무휴로 운영이 되기 때문에 에너지 소비가 매우 큰 것으로 나타나고 있다.

차후 바이오 클린룸의 보급이 확대될 경우 그에 따른 에너지 소비 확대로 인해 시설의 안정성을 유지하면서 에너지 절약적인 가동을 할 수 있는 방법이 중요한 이슈로 부각될 가능성이 매우 높다.

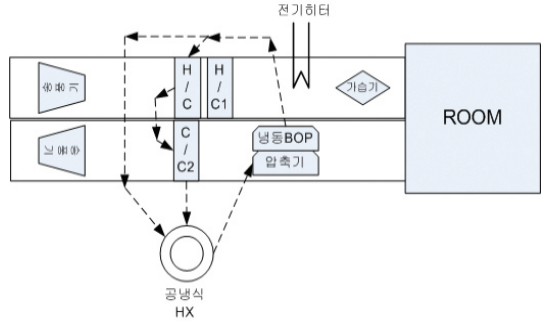
이러한 에너지 낭비를 줄이기 위하여 여러 가지 환기 및 제어 방법이 연구되고 있으며 본 원고에서는 배기열 회수를 이용한 에너지 절감형 바이오 클린룸용 공조 및 제어 시스템을 소개하고자 한다.

시스템 개요

에너지 절감형 바이오 클린룸용 공조 및 제어 시스템은 히트펌프를 이용한 배기열 회수기술을 적용한 시스템으로, 열 회수시 발생할 수 있는 급·배기 간 교차오염(Cross contamination)을 방지하며 배기가 가지고 있는 배기열을 회수하여



[그림 3] 히트펌프를 이용한 배기열 회수기술 (냉방시)



[그림 4] 히트펌프를 이용한 배기열 회수기술 (난방시)

에너지 절감을 극대화하는 기술이다.

그림 3은 냉방시 히트펌프를 이용한 배기열 회수기술의 기본 원리를 도식화한 것이다. 히트펌프에서 가장 중요한 냉매의 흐름을 살펴보면 다음과 같다.

① 압축기로부터 생성된 고온 고압의 냉매 가스는 유분리기, 4방향 밸브를 차례로 거쳐 공조기 부분으로 이동.

② 배기팬 유닛에 설치되어지는 배기열 회수 코일과 공조기 재열코일 및 실외기 코일에서 냉매 응축.

③ 수액기를 통과한 냉매는 냉각코일로 들어가기 전 팽창밸브를 통해 팽창을 하고 냉각코일에서 증발.

④ 냉매는 수분리기를 거쳐 압축기 내부로 흡입되어 순환.

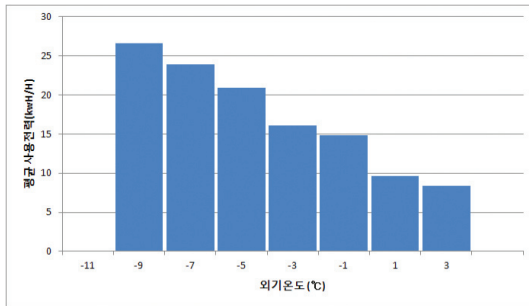
그림 4는 난방시 히트펌프를 이용한 배기열 회수기술의 기본 원리를 도식화한 것이다. 난방시 히트펌프에서의 냉매의 흐름은 압축기에서 토출되어 4방향 밸브까지 이동할 때까지의 냉매 흐름은 냉방시와 동일하게 진행하나, 그 이후의 냉매 흐름은 4방향 밸브의 작동으로 냉방의 경우와 반대의 방향으로 진행된다.

① 4방향 밸브에서 토출된 고온 고압의 냉매 가스는 난방 코일에서 응축을 하여 열을 발산.

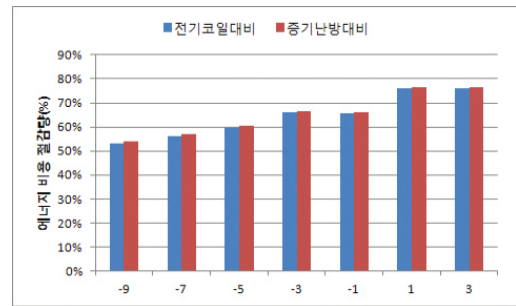
② 냉매는 배기팬 유닛에 설치되어지는 배기열 회수 코일에서 증발하는 순서로 압축기로 다시 흡입되어 순환이 계속적으로 반복.

<표 1> 외기온도에 따른 배기열 회수 공조기의 사용전력량 표

평균외기 온도 (±1℃)	사용 전력(kWh/H)									평균 사용전력 (kWh/H)	2℃당 상승률 (%)
	1/5	1/6	1/6	1/7	1/12	1/12	1/13	1/30	2/1		
-9				28.4					24.9	26.7	11.7
-7	24		24.5		24.3			23.4	23.1	23.9	14.3
-5	21.3	20.7	20.9		19.4			22.1		20.9	29.5
-3		18.2	16.9		17.9		11.5			16.1	8.4
-1		15.4	23.7		15.1	10.2	10			14.9	55.0
1					10	9.2				9.6	14.3
3						8.4				8.4	



[그림 5] 외기온도에 따른 배기열 회수 공조기의 사용전력량 그래프



[그림 6] 외기 온도에 따른 난방 열원별 사용 에너지 비용 비교 그래프

에너지 절감 효과

에너지 절감형 바이오 클린룸용 공조 및 제어 시스템의 에너지 절감효과는 다음과 같은 최대 부하량 30 USRT의 실험실 현장의 데이터를 토대로 작성되었다.

배기열 회수 기술을 이용한 공조 시스템의 성능은 외기온도에 따라 그 차이가 나타나므로 외기 온도 2°C의 변화에 따른 배기열 회수 성능을 데이터로 확인하였다. 실험실의 실내 설정온도는

22°C로 고정하였으며, 그 결과는 표 1과 같고, 그래프로 표현하자면 그림 5와 같다.

데이터의 외기온도 분포는 -9°C~3°C이며, 데이터를 분석한 결과 평균적으로 외기온도가 2°C 상승함에 따라 사용전력량은 평균적으로 약 20% 정도씩 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

이를 다시 에너지 비용으로 환산하고, 그 에너지 비용을 난방 열원별(전기코일, 증기난방)로 비교를 해보면 표 2와 같으며, 그 그래프는 그림 6과 같다. 에너지 비용을 기준으로 비교 결과,

<표 2> 외기온도에 따른 난방 열원별 사용 에너지 비용 표

평균 외기온도 (±1°C)	히트펌프시스템			절감량	
	평균사용전력(kw)	사용전력(kw)	증기난방 가스사용량(N/m ³)	전기코일대비	증기난방대비
	사용요금 (원)	사용요금 (원)	사용요금 (원)		
-9	26.7	56.8	5.0	53.1%	53.9%
	₩ 1,866	₩ 3,977	₩ 4,051		
-7	23.9	54.6	4.8	56.3%	57.0%
	₩ 1,670	₩ 3,819	₩ 3,888		
-5	20.9	51.8	4.5	59.7%	60.4%
	₩ 1,462	₩ 3,626	₩ 3,692		
-3	16.1	47.6	4.2	66.1%	66.7%
	₩ 1,129	₩ 3,331	₩ 3,390		
-1	14.9	43.4	3.8	65.7%	66.3%
	₩ 1,042	₩ 3,037	₩ 3,089		
1	9.6	40.0	3.5	76.0%	76.4%
	₩ 672	₩ 2,799	₩ 2,853		
3	8.4	35.3	3.1	76.2%	76.7%
	₩ 588	₩ 2,470	₩ 2,518		

전기코일로 난방을 했을 경우와 비교했을 경우에는 평균적으로 약 64%의 에너지 비용 절감률을 나타냈고, 증기보일러를 이용하여 난방했을 때와 비교했을 경우에는 평균적으로 약 66%의 에너지 비용 절감률을 나타내었다.

맺음말

바이오 클린룸 분야의 공조시스템은 현재 까지 에너지 효율을 고려하기보다는 바이오 클린룸 내부에서의 오염방지 및 교차오염(Cross contamination)방지가 우선적인 설비 및 제어 시스템이 보급되고 있어서 많은 실험실들이 24시간 365일 운전에 따른 많은 에너지 비용으로 시설 운용에 어려움을 겪고 있다.

따라서 교차오염을 방지하고 에너지 비용을 줄일 수 있는 시스템이 요구되고 있었고 이를 만족시킬 수 있는 에너지 절감률이 높은 시스템에 대한 여러 가지 연구가 수행되고 있는 실정이다.

그러나, 생물안전밀폐 실험실이나 SPF 실험 동물사육실의 경우 교차오염에 대한 규제가 엄격하여 기존의 에너지 절감 방법을 적용하기가 어려운 실정이었다.

이에 히트펌프를 활용한 배기열 회수 기술을 적용함으로써 급, 배기 간 교차오염을 방지하고 하절기시 낮은 온도의 실내공기로 열회수를 하여 냉동효율을 높이고, 실외기 팬의 동력을 절약할 수 있으며, 동절기시 높은 온도의 실내공기로

부터 열을 회수하여 난방에 이용함으로써 에너지 절감을 극대화하고 보일러의 용량을 줄이거나 냉열원의 간소화시켜 초기 투자비를 줄일 수 있는 시너지 효과도 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

향후 본 시스템의 발전이 바이오 클린룸뿐만 아니라 산업클린룸 분야에 이르기까지 에너지 절감의 초석이 되길 기대하며 이 글을 마친다.

참고문헌

1. 에너지 기술 개발사업 1차년도 보고서. “생물학적 오염방지와 에너지 절감 극대화를 위한 바이오 클린룸용 공조 및 제어 시스템 개발”. 지식경제부. 2011
2. 홍진관 : “바이오 클린룸의 기술동향 및 전망”. 한국설비기술 협회. 2011
3. 김진 외 : “생물안전 실험실의 자동제어 시스템 적용 사례 분석”. 대한설비공학회 하계학술발표회. 2010
4. 한도영 외 : “바이오 클린룸 히트펌프 시스템의 수학적 모델”. 대한설비공학회 동계학술발표회. 2010
5. 한도영 외 : “지능형 알고리즘을 사용한 바이오 클린룸 히트펌프 시스템의 전자팽창밸브 제어”. 대한설비공학회 동계학술발표회. 2011
6. 김양섭 : “바이오 클린룸 시공사례”. 대한설비공학회 HARFKO 학술강연회 및 신기술 발표회. 2003 