

바이오 의약 공정용 공기조화 설비 에너지 최적화를 위한 특성 분석 연구

이좌형*, 신영미, 도윤미, 허태욱

*한국전자통신연구원

*jinnie4u@etri.re.kr, ymshin@etri.re.kr, ydoh@etri.re.kr, http398@etri.re.kr

A Study on the Feature Analysis for HVAC Energy Optimization in the Biopharmaceutical Manufacturing Processes

Lee Joa Hyoung*, Shin Young Mee, Doh YoonMee, Heo Tae-Wook

*ETRI.

요 약

온실 가스로 인한 전세계적 기후 변화에 대처하기 위해 산업 전반에 걸쳐 에너지 소비를 줄이기 위한 노력이 요구되고 있다. 산업 현장에서 에너지 소비를 줄이기 위해서는 업종별 특성을 파악하여 생산 공정이나 환경에 적합한 에너지 절감 방안을 도출하여 현장에 적용하여야 한다. 본 논문에서는 생산 산업 현장에서 많이 사용되고 있는 공기조화 설비에 대하여 에너지 최적화 방안을 모색하기 위하여 생산 현장 특성을 비교 분석하였다. 공기조화 설비는 건물의 냉난방을 위해 많은 에너지를 소비하는 설비로 에너지 절감 기술이 많이 연구되고 있지만 생산 현장에 적용하기 위해서는 생산 공정이나 환경에 대하여 고려해야 한다. 본 논문에서는 24시간 제품을 생산하면서 지속적으로 공기조화 설비를 운영해야만 하는 바이오 원료 의약품 생산 공장의 공기조화 관련 환경적 특성을 살펴보았다

I. 서 론

20세기 들어 전세계적으로 급격하게 산업화가 진행되면서 많은 온실 가스가 배출되고 있으며 이로 인하여 지구 온난화 문제가 심각해지고 있다. 지구 온난화 문제를 해결하기 위하여 전세계 국가들이 기후협정을 체결하고 탄소 중립을 위해 노력하고 있다. 에너지는 공공기관이나 가정, 수송 등 다양한 분야에서 모두 사용되고 있지만 가장 많은 에너지를 사용하고 있는 곳은 산업분야이기 때문에 산업분야에서 에너지 소비 절감을 위한 노력이 절실하다고 볼 수 있다.

에너지경제연구원의 에너지수급통계 자료를 보면 2020년도에 1년 동안 산업계에서 소모한 에너지량은 전체 에너지 소모량의 60%정도를 차지하고 있어 산업계가 많은 에너지를 소모하고 있음을 알 수 있다(표 1). 가정이나 상업 분야에서는 주로 겨울철에 난방을 위해 많은 에너지를 소모하는 특성이 있어 계절별 변동이 있지만 산업계에서는 1년 전반에 걸쳐 지속적으로 많은 에너지를 소모하고 있는 것으로 나타나 산업 특성에 따라 에너지 소비를 줄이기 위한 노력이 필요하다 [1].

표 1. 2020년 월별/분야별 에너지 소모량 비교

분류별(1)	2020. 01	2020. 02	2020. 03	2020. 04	2020. 05	2020. 06	2020. 07	2020. 08	2020. 09	2020. 10	2020. 11	2020. 12	합계	비율
합계	21,332	19,489	18,969	17,678	17,985	17,031	17,525	17,660	17,711	17,338	18,356	20,956	222,030	100%
산업	12,512	11,234	11,695	11,034	11,264	10,994	11,463	11,423	11,488	11,216	10,854	12,225	137,402	62%
수송	3,198	3,104	2,914	2,938	3,619	3,317	3,330	3,282	3,228	3,156	3,602	3,249	38,937	18%
가정	3,232	2,949	2,466	2,014	1,474	1,050	979	1,097	1,213	1,412	2,104	3,248	23,238	10%
상업	1,844	1,703	1,446	1,284	1,213	1,258	1,326	1,420	1,328	1,166	1,369	1,726	17,083	8%
공공	545	498	448	409	414	412	426	438	454	389	426	507	5,366	2%

일반 가정이나 사무실 등의 에너지 소비 특징은 주로 여름철 냉방이나 겨울철 난방 그리고 가전제품이나 사무기기 등 전기제품 사용에 기인한다. 냉난방을 효율적으로 하는 방안이나 전기제품 사용 패턴 분석을 통한 에너지 소비를 줄이기 위한 방안들이 연구되고 있으며 이러한 방안들은 다른 건물이나 사무실 등에 적용이 용이하기 때문에 확산하기 쉬운 장점이 있다. 그러나 산업 분야는 업종별로 특성이 매우 다양하여 작업 공정이나 생산 설비 특성을 분석하여 에너지 소모를 절감하기 위한 방안을 도출하여 적용이 필요하다(그림 1)[2].

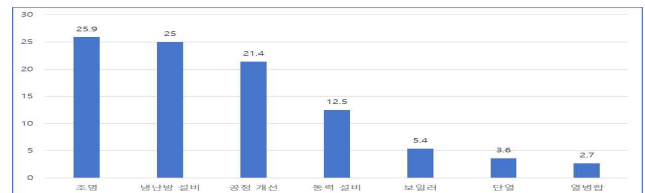


그림 1 에너지 효율성 향상 개선이 필요한 분야[2]

본 논문에서는 일반 건물뿐만 아니라 대부분의 생산공장에서도 사용되는 공기조화 설비의 에너지 소비를 절감하기 위한 방안을 모색하고자 생산현장의 특성을 분석하고자 한다. 일반 건물과 생산공장은 특성들이 많이 다르기 때문에 비교 분석이 필요하다. 특히 매우 까다로운 관리가 필요한 의약품 생산공장에서는 공기조화 설비에 대한 매우 엄격한 규정을 지켜야 한다. 본 논문에서는 원료 의약품 생산 공장에서 공기조화 설비의 에너지 소비를 줄이기 위한 최적화 방안을 모색하기 위해 공기조화 관련 특성을 분석하고자 한다.

II. 본론

1. 공간특성

일반적인 아파트나 사무실 건물의 외관적 특징은 다양한 크기의 창문들이 있으며 최근에는 전면을 유리창으로 하는 건물들도 많이 지어지고 있는 상황이다(그림 2). 이러한 건물들은 창문을 통해 환기를 하거나 햇빛을 받아 조명을 대신하는 효과를 가질 수 있다.



그림 2. 아파트, 사무실 외관, 내부



그림 3. 의약품 생산공장 외관, 내부

일반 사무실 건물과 달리 원료 의약품 생산 공장은 거의 창문이 없는 밀폐된 형태를 갖는다 (그림 3). 의약품은 햇빛에 민감하게 반응할 수 있기 때문에 외관에 창문이 거의 없으며 내부 공간도 밀폐된 특성을 갖는다.

2. 주요 열원

앞서 살펴본 바와 같이 일반 사무실 건물이나 아파트의 경우 많은 유리 창문을 가지고 있어서 열과 관련된 작용을 한다. 유리 창문을 통해 햇빛이 들어오기 때문에 많은 열 에너지가 발생하여 여름철에는 냉방을 강하게 해야 하는 주요 요인이 된다. 겨울철에는 유리 창문을 통해 많은 열이 외부로 방출되어 에너지 손실의 원인이 된다. 이러한 특성은 건물에 대한 에너지 특성을 분석하는 툴로서 미국 에너지성(Department of Energy, DoE)에서 배포하는 EnergyPlus 프로그램 분석 자료에도 나와 있다[3,4,5]. 그림 3을 보면 창문 특성에 따라 열 에너지 변화를 비교 분석한 결과로서 일반 건물에서 창문을 통한 에너지량이 창문별로 매우 다양한 차이를 보임을 알 수 있다. 일반 사무실 건물이나 아파트의 창문을 통해 열이 들어오거나 나가는 현상이 크기 때문에 이에 대한 고려가 필수적이다.

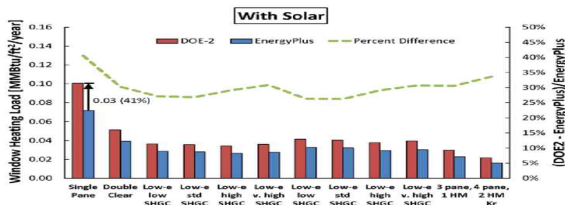


그림 3. 창문을 통한 열에너지 비교[4]

이에 반해 의약품 생산공장은 앞서 살펴본 바와 같이 외관상 창문이 전혀 없이 내부가 밀폐되어 있는 형태이기 때문에 창문을 통한 열에너지 유입이나 손실은 고려해야 할 사항은 전혀 아님을 알 수 있다. 일반 건물 에너지소모량 분석에 사용되는 EnergyPlus 같은 툴을 산업현장에 바로 적용하기 어려우며 현장 특성을 분석하여 특성에 따라 분석 요인들을 조절할 필요가 있다.

일반 가정이나 사무실의 주요 열원으로는 햇빛 외에 가전제품과 사무용품 등을 들 수 있다. 가정에서는 냉장고와 전기밥솥 등 가전제품이 24시간 365일 가동되면서 많은 열을 발산하고 있으며 최근 대형화되고 있는 TV도 예전에 비해서는 적지만 여전히 많은 열을 발생하고 있다. 일반 사무실에서는 대부분의 사무가 전산화되면서 컴퓨터와 복사기 등 사무기기들이 많이 사용되면서 많은 열 에너지를 발산하고 있다.

원료 의약품 생산 공장에서는 원재료의 화학 반응을 통해 의약품을 생산하면서 재료들 간의 원활한 화학반응을 위해 반응기의 온도를 높이는 승온과정이나 반응후 온도를 낮추는 냉각 과정을 거친다. 승온과정에는 100도의 스팀이나 80도 정도의 온수가 사용되어 일반 가전기기에 비해 매우 높은 온도를 가지며 많은 열을 발산하는 특징을 갖는다. 이와 반대로 냉각 시에는 20도 내외의 냉각수 또는 10도 이하의 브라인이나 냉수를 사용하기 때문에 온도 변화가 심하게 나타날 수 있다 (그림 4).

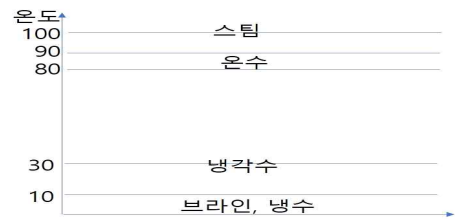


그림 4. 의약품 제조시 승온, 냉각 용제 특성

3. GMP 규정

원료의약품 생산 공장에서 공기조화 설비 관련된 규정으로는 GMP (Good Manufacturing Practice, 우수 의약품 제조-관리 기준)가 있다[5,6]. GMP는 우수한 의약품을 제조 생산하기 위하여 원료의 구입 단계부터 시작해서 생산 제조 공정을 거쳐 출하에 이르는 의약품 생산 전반에 걸쳐 따라야 하는 관리기준으로 생산 공장 구역별로 공기조화 설비에서 지켜야 할 기준을 명시하고 있다. 공기조화 설비는 GMP 규정 이상으로 동작하여야 하기 때문에 에너지 소비 절감 시도와 상충되는 경우가 많다. 원료 의약품 생산 공장에 공기조화 설비에 대한 에너지 소비 절감 방안을 도입하고자 할 때에는 GMP 규정에 대한 상세한 이해가 필요하다.

표 2. 의약품 생산 시설의 GMP 규정[6]

청정도 등급	Class	해당 작업실 (예시)	구조조건	환기회수	관리기준
A	100	- 무균적 작업공정을 수행하는 작업대 - 무균제품의 충전, 밀봉 작업대	- 단일방향기류 - clean bench / clean booth (8구역 내 설치) - HEPA filter	- 수직형 : 약 0.3m/sec - 수평형 : 약 0.45m/sec - 600회/hr 이상	- 최대 평균수 낙량 : < 128/hr (≥ 30m) 부유균 : < 178/m³ 보균복합
B	10,000	- 무균제품의 작업실 및 무균작업에 필요한 관리구역 - 무균작업 전용 강의실 및 회의실	- pre-medi HEPA filter - HEPA filter	2081/hr 이상	- 최대 평균수 낙량 : 578/hr 부유균 : 2078/m³ 보균복합
C	100,000	- 무균제품의 용기 세척실 - 최종발균제품(사용자 명균 포함)의 세척실, 세척, 용, 보관실 - 최종발균제품(사용자 명균 포함)의 작업실 (충전, 혼합, 작업포장 등) - 비무균상태로 공급되나 그 위험이 사용상 중요한 제품의 작업실	- 비 단일방향기류 - pre-medi(필요시 + HEPA) filter - 양압(10~15Pa) - 온도도 관리	1081/hr 이상	- 최대 평균수 낙량 : 2078/hr 부유균 : 2078/m³ 보균복합
D	-	- 양압도 C구역과 연결된 지역 - 무균복합 강의실	- prefilter - 온도도 관리	환기	

III. 결론

본 논문에서는 원료 의약품 생산공장에서 공기조화 설비의 에너지 소비를 절감하기 위한 방안을 모색하기 위하여 생산 공장의 특성을 일반적인 아파트나 사무실 건물과 비교분석하였다. 원료 의약품 생산 공장은 창문 없이 밀폐되어 있으며 승온이나 냉각 등의 공정을 통해 매우 심한 온도 차이를 보이는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 특성들 외에 의약품 생산 규정인 GMP 규정을 따라야 하기 때문에 일반 건물과는 전혀 다른 접근 방법이 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20202020800290)

참고문헌

- [1] 에너지경제연구원, “에너지수급통계”
- [2] 경기연구원, “경기도 산업단지 온실가스 감축 종합계획”
- [3] EnergyPlus Engineering Reference, US Department of Energy.
- [4] Chuck B, Neal K, and Craig C, “Identifying and resolving issues in EnergyPlus and DOE-2 window heat transfer calculations”, NREL Technical Report, NREL/TP-5500-55787
- [5] 식품의약품안전처, “의약품 제조 및 품질관리에 관한 규정”, 식품의약품안전처고시 제2015-35호 (PIC/S GMP 부속서와 동등)
- [6] http://www.ramedia.kr/xe/page_uOI47/326