

플라스틱 연료탱크 생산 설비에서의 소비 전력 저감을 위한 공조 시스템 설계 및 경제성 평가

Design and Economics of HVAC System for Reduction of Power Consumption in Blow Mold Machine

이영재*† · 최석천*
Youngjae Lee*† and Seukcheun Choi*

(Received 25 July 2017, Revision received 07 August 2017, Accepted 07 August 2017)

Abstract: This study was carried out to improve the electric power consumption of HVAC in the blow mold machine(BMM) and work environment. The experiment was conducted with the simulated HVAC system of 1/15 of the actual BMM. The temperature of main facility and two preheaters was fixed at 200 and 60°C respectively in all test conditions. The measured points of temperature were chosen as critical locations considering the work environment. The tendency of temperature distributions decreases as the duct was closed to the main facility. The reduction rate of power consumption of HVAC increases up to 32.3% when both duct and cooling systems are operated. Also the efficiency of HVAC is improved about 9% through the modified design of duct system. It notes that the electric power consumption of HVAC can be reduced by the optimum design and operating condition of duct and cooling system.

Key Words : HVAC System, Thermal Energy Management, Simulated Blow Mold Machine(BMM) System, Electronic Power Consumption, Economic Analysis

1. 서 론

쾌적한 근무환경을 확보하는 것은 근로자의 생산성 향상과 근무 능력향상을 달성하기 위한 기본적인 권리이며, 산업안전 보건법에 이에 대한 부분이 명시되어 있다. 근로자의 작업 성능은 작업 공간의 온도에 의해 민감하게 영향을 받으며,¹⁾ 작업 온도가 증가하는 경우 정신적인 영향을 받

을 수 있어²⁾ 단순히 에너지 개선을 위한 작업 공간의 온도 상승은 지양해야 한다. 이와 같은 이유로 최근 독립적인 제어나 운영이 적용된 시스템화된 냉난방기 등을 통하여 근로자의 쾌적한 환경과 에너지 개선을 동시에 개선하고자 하는 연구가 진행 중이며, 특히 에너지 효율 및 근로자 작업환경 동시 개선을 위한 제품 생산 시설이나 건물(Building)을 대상으로 공조 시스템 환경 개선

*† 이영재(교신저자) : 한국생산기술연구원 청정생산시스템연구소

E-mail : leeyj@kitech.re.kr, Tel : 041-589-8464

*최석천 : 한국생산기술연구원 청정생산시스템연구소

*† Youngjae Lee(corresponding author) : Research Institute of Sustainable Manufacturing System, Korea Institute of Industrial Technology.

E-mail : leeyj@kitech.re.kr, Tel : 041-589-8464

*Seukcheun Choi : Research Institute of Sustainable Manufacturing System, Korea Institute of Industrial Technology.

연구가 활발히 이루어지고 있다.^{3,4,5)} 건물을 설계함에 있어 건물 내부에서의 효율적인 공조 시스템 운영을 위한 설계 툴 개발⁶⁾과 공조시스템의 최적 운영을 위한 PID 제어로직 개발⁷⁾ 등이 이에 해당한다고 볼 수 있다.

아울러 병원건물의 최적설계를 통한 공조시스템 적용으로 환자와 병원 관련자의 쾌적한 환경 조성과 에너지 절약을 실현하고⁸⁾ 최적화 알고리즘 등의 최신 공조 시스템 기법 등의 적용을 통한 스마트 공조 시스템을 실현하는 연구가 진행되고 있다.⁹⁾ 이외에도 경제성 평가를 이용한 공조시스템의 개발 연구¹⁰⁾ 및 태양열을 이용한 냉난방 공조시스템 개발¹¹⁾ 등 다양한 접근을 통해 산업 전반에 걸쳐 공조시스템 개발 연구가 활발히 진행 중이다.

공조시스템을 개발하는 것에 있어 실제 설비의 구조 변경을 통한 기술 개발은 설비 운영을 통해서 수익 사업을 하는 기업의 입장에서 이윤 창출과 연관된 중요 문제이므로 실 설비 규모의 실험을 통해 직접적으로 구현하는 것에 큰 어려움이 있다. 이에 현장에 구성되어 있는 구조를 이해하고 이를 대변할 수 있는 환경을 제공함으로써 실제 설비에 적용되었을 때의 효과를 예측하고 이를 도출할 수 있는 방안을 모색하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구는 실제 현장에 설치되어 있는 플라스틱 연료탱크 생산 설비(Blow Mold Machine, BMM)에서 발생하는 열에너지를 제어하기 위한 공조시스템을 최적화하여 근로자의 근로환경 개선과 소비 전력 저감을 실현하는 기술을 개발하는 것에 목적이 있다.

2. 실험 방법

2.1 모사 공조시스템의 구성

본 연구에서는 실제 설비의 주요 구성 구조물을 유지하면서 최대한 단순화를 통해 실험의 유용성을 높이고 다양한 운전조건에서 실험이 가능하도록 구성하였다.

단순화된 형상을 기반으로 실험실 규모 실험을 위해 설비에 대한 각 주요 설비 및 구조물에 대해

실 설비의 1/15 축소 형태의 모사 실험 장치를 구성하였으며, 이는 Fig. 1과 같다. 실험 장치에 구성되어 있는 냉방시스템과 흡기시스템에서의 온도, 속도 조절, 각 시스템에서의 소비 전력 확인이 가능하도록 하였다. 냉방 설비의 경우, 2개의 배출라인을 통해서 모사 장치 내로 유입되도록 제작되었으며, 흡기 설비의 경우 BMM 1기에 대해서 고려하기 위해 단일 라인으로 구성되었다. 또한 실 설비에서 측정된 발열부의 온도 데이터 및 설비 구조를 기반으로 실험 장치 내에 모사 발열매체인 고온발생부(Main facility)와 예열발생부(Preheater)를 구성하여 실제 설비에서 발생하는 온도를 모사할 수 있도록 구성하였다.

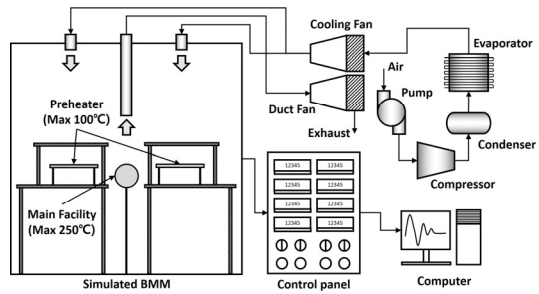


Fig. 1 Schematic diagram of simulated BMM system

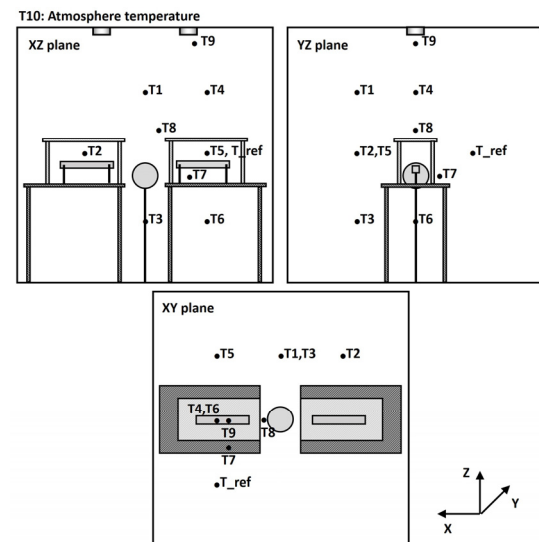


Fig. 2 Measured points for simulated BMM system

냉방 설비의 경우 공장 천정 상부에 고정식으로 구성되어 있으므로 본 연구에서도 위치에 대한 변경을 고려하지 않았으며, 상부 고정식을 적용하였다. 반면, 흡기 설비의 경우 흡기 설비의 위치, 혹은 형상 등과 같이 다양한 조건에 대해 변경이 가능하도록 구성하였으며, 운전 조건 혹은 운영 방식 변경에 따른 설비 주변의 온도 분포를 측정할 수 있도록 구성하였으며, Fig. 2와 같이 주요 위치에서 K-type T/C를 적용하였다.

2.2 실험 조건

본 연구에서는 우선적으로 공장의 환경 변화 및 흡기 설비의 위치 및 운영 전략에 따른 설비 주변의 온도 및 공조시스템 소비전력 변화를 파악하기 위해 Table 1과 같이 총 15개의 운전 및 운영 조건에 따른 모사 실험을 수행하였다.

Table 1에서 Duct는 흡기시스템, Cooling은 냉방시스템, Duct length는 흡기시스템의 위치, 그리고 Duct shape은 흡기시스템의 설계 형태를 의미한다. Table 1에서 운전 조건은 크게 흡기 및 냉방시스템의 운영 여부, 흡기시스템의 위치, 그리고 흡기시스템의 형태를 기준으로 설정되었다. 흡기시

스템의 위치는 0 mm일 때 최상부(천정)에 해당하며, 400 mm일 때 BMM 설비와 가장 가까운 위치에 해당한다.

본 연구를 위해 모사 설비의 고온발생부 및 예열발생부의 온도를 각각 200℃와 60℃로 모든 운전조건에 동일하게 적용하였다. 또한 냉방시스템 운영 시 내부 온도를 25℃로 유지시키는 조건으로 수행되었으며, 공조시스템의 유속은 특정 실험 조건을 제외하고 흡기, 냉방 설비 모두 2~3 m/s (일반적인 공조시스템 운영 유속)로 유지시켰다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 흡기시스템 운영 및 위치 변경에 따른 효과

본 연구에서는 기준 온도를 설정하지 않았으며, 예열 및 고온발생부로 인해서 설비 내부 온도를 증가시켜 정상상태에 도달한 후 흡기시스템의 운영 조건에 따른 온도 변화를 측정하였다. 참고로 측정 시간은 각 조건별로 평균적으로 1~2시간 정도 수행되었으며, 설비 내부의 온도가 정상상태에 도달할 때까지 충분한 시간을 제공하였다.

Table 1 Experimental conditions

Case Name	Duct	Cooling	Duct length	Duct Shape	Duct speed
Unit	-	-	mm	-	m/s
Ref	Off	Off	0	-	2-3
C1-1	On	Off	0	-	2-3
C1-2	On	Off	100	-	2-3
C1-3	On	Off	200	-	2-3
C1-4	On	Off	300	-	2-3
C1-5	On	Off	400	-	2-3
C2	Off	On	0	-	2-3
C3-1	On	On	0	-	2-3
C3-2	On	On	100	-	2-3
C3-3	On	On	200	-	2-3
C3-4	On	On	300	-	2-3
C4-1	On	On	300	Cone	2-3
C4-2	On	On	300	Cone	1-1.5
C4-3	On	On	300	Round	2-3
C4-4	On	On	300	Round	1-1.5

Ref는 흡기 및 냉방시스템, 그리고 외기 유입을 배제한 상태에서 예열 및 고온발생부에 의해 설비 내부의 가열 조건을 제공하였다. C1-1~5는 흡기시스템의 위치를 변화시켜 설비 내부의 온도 변화를 측정된 것이며, 그에 대한 결과는 Fig. 3과 같다. 참고로 Duct length가 클수록 흡기시스템의 위치가 고온발생부에 가까이 위치함을 의미한다.

특히 주목할 온도 측정 결과는 T8과 T9이다. T7과 T8은 고온 발열부와 가장 가까운 위치에 있으나 T7은 고온부 측면, T8은 고온부 상단에 위치하고 있다. T7에 비해 T8의 온도가 50℃ 이상 높게 측정되고 있다. 또한 최상단(냉방시스템 입구)에 위치한 T9의 온도 역시 약 45℃로 다른 위치에 비해 높은 온도를 보이고 있다. 이는 고온에 의해 가열된 고온의 내부 기체가 상승 기류에 의해서 장치의 상단 부분에 주로 위치하게 되며, 이는 예열 및 고온발생부에 의한 설비 내부 가열은 주로 대류에 의한 영향력이 지배적이라는 것을 확인할 수 있다.

대류에 의한 열전달이 지배적인 경우 대부분의 고온 기류가 설비, 혹은 현장의 상부로 이동할 가능성이 크기 때문에 흡기시스템의 효과가 어느 정도 기대될 수 있음을 의미하며, 별도의 냉방/흡기시스템의 운영이 배제된 경우 현장의 2층 및 3층 위치에서 근무하는 근로자의 환경이 매우 악화될 가능성이 높음을 의미하기도 한다.

C1-1~5의 운전 조건에서 흡기시스템을 운영하는 경우, 위치별로 정량적인 차이는 있으나 대부분의 위치에서 온도 감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 흡기시스템의 경우 설비 상단에 위치하게 되며, 가열된 공기가 대류에 의한 설비 상단으로 이동하였기 때문으로 판단된다. 특히, 설비 상단 위치인 T1, T4, T9에서의 온도 감소가 눈에 띄게 감소하였으며, 최상단에 위치한 T9의 경우, 흡기시스템의 운영과 함께 온도가 20℃ 이상 감소하는 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 앞서 설명한 동일한 원인에 의한 결과로 판단된다.

흡기시스템의 위치를 고온발생부에 가까이할수록 이와 같은 효과는 크게 증가하였으며, 특히 고온발생부와 가장 가까이 위치한 T8에서 C1-5의

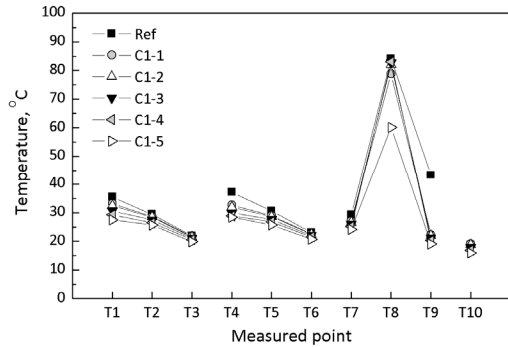


Fig. 3 Measured temperatures with respect to operating conditions of HVAC

경우 온도가 약 25℃ 감소하는 효과를 보였다. 이는 흡기시스템이 고온발생부에 근접할수록 고온발생부에 의해서 가열된 공기가 전체 시스템을 가열하기 전에 흡기시스템을 통해서 배출된 결과로 판단되며, 흡기시스템의 위치가 고온발생부에 최대한 근접하지 않은 한 본 효과를 기대하는 것은 어려운 것으로 판단된다.

이와 같은 결과를 바탕으로 흡기시스템의 경우 고온발생부에 근접할수록 동일한 출력에 대해 주변 환경 개선의 측면에서 보다 효과적이라는 결과를 도출할 수 있다.

3.2 냉방시스템 운영에 따른 효과

본 연구에서는 흡기시스템에 의한 영향력을 배제하고 냉방시스템에 의해 설비 내의 온도 감소 효과에 대한 분석하고자 Table 1의 C2와 같이 냉방시스템만을 고려한 실험을 수행하였다.

냉방시스템의 경우 설비 내의 온도 조절을 위한 시스템으로, 실제 설비에서도 구현되어 있는 시스템이다. 본 실험에서는 T_ref 위치에서의 온도가 25℃를 유지하도록 하였으며, 설정 온도를 유지하기 위해 냉방시스템이 가동 여부를 스스로 판단하도록 구성하였다. 참고로 설정 온도는 사용자 직접 조절할 수 있으며, 작업자의 작업 환경을 고려하여 25℃를 설정하였다.

냉방시스템의 경우 앞서 기술한 바와 같이 흡기시스템과 다르게 최상단(천정)에 위치를 고정하였으며, 이로 인해 냉방시스템의 설비 위치에 따

른 실험을 추가적으로 진행하지 않았으며, 이에 대한 실험 결과 비교는 Fig. 4와 같다. 참고적으로 냉방시스템의 효과를 비교하기 위해서 Ref와 C1-5에 대한 결과를 함께 비교하였다.

C2에서 특징적인 것은 예열 및 고온발생부 주변에 해당하는 T7과 T8의 온도를 제외하고 설비 전체 공간에 대한 온도 편차가 거의 없으며, 대부분의 공간에서 25℃를 유지하고 있다는 점이다. 그에 반해, Ref와 C1-5의 경우에는 공간에 따른 온도 편차가 C2에 비해 상당히 크다.

이는 냉방시스템 운영으로 인해서 작업 환경이 상당히 개선되었음을 의미하며, 특히 고온발생부 근처인 T8에서의 온도가 크게 감소하여, 설비 주변에서의 작업 환경이 상당히 개선되었음을 알 수 있다. 참고로 T9의 위치는 앞서 설명한 바와 같이 최상단(천정)에 위치하고 있으며, 냉방된 공기가 나오는 출구에 위치하고 있어 냉방시스템 운전에 의해 온도가 10℃ 이하로 냉각된 온도를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

3.3 흡기 및 냉방시스템 운영 변경에 따른 효과

흡기 및 냉방시스템의 동시 운영 조건에 따른 설비 내부 온도 분포에 대해 분석하고자 연구되었으며, 이는 실 설비에서의 운전 조건에 부합될 수 있도록 설정되었다. 본 연구에서도 설비 내부 온도가 25℃를 유지하도록 하였으며, 흡기시스템의 경우 냉방시스템의 운영이 되는 과정에서 흡기시스템의 위치를 변화시켜 설비 내부의 온도 변화를 분석하고자 하였으며, 이에 대한 조건은 Table 1의 C3-1~4와 같다.

Fig. 5는 흡기 및 냉방시스템 운영 조건 변경에 따른 설비 내부의 온도 분포 변화에 대한 결과를 도시한 것이다. 우선 냉방시스템을 운영하는 경우 설비 내부의 온도를 25℃로 유지하도록 설정되어 있기 때문에 C2와 C3-1~4 조건 모두에서 전체적인 온도 분포의 형태가 유사성을 가지게 된다. 하지만 T8에서의 온도 분포는 흡기시스템의 위치 변경에 따라서 차이를 보이게 되며, 이와 관련된 결과는 Fig. 3에서도 확인 가능하나 정량적인 온도 분포 결과에서는 반대의 경향을 보인다.

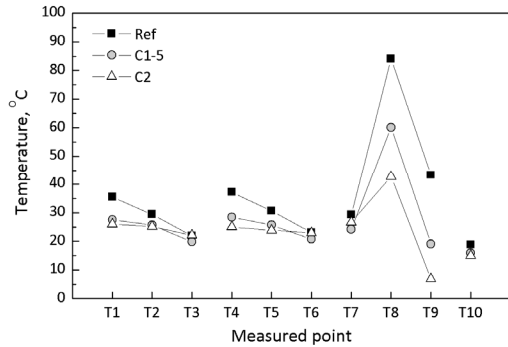


Fig. 4 Measured temperatures with respect to operating conditions of HVAC

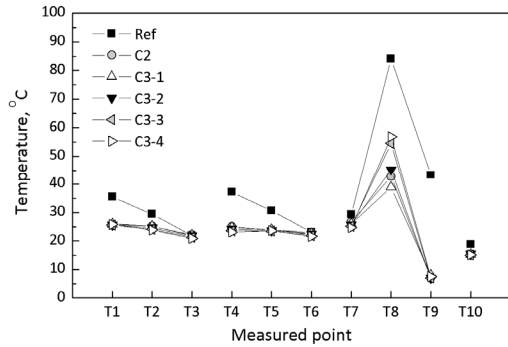


Fig. 5 Measured temperatures with respect to operating conditions of HVAC

Fig. 3에서 T8에서의 온도 분포 차이는 결국 흡기시스템이 고온발생부와 근접함에 따라서 가열된 공기가 흡기시스템 쪽으로 대류가 활성화된 결과이다. 하지만 Fig. 5에서 냉방시스템에 의한 냉각 효과로 고온발생부 근처에서의 온도 역시 정량적으로 감소하게 되지만, 흡기시스템을 고온발생부 근처에 위치시키는 경우, 가열 공기가 냉각되기 전에 흡기시스템 쪽으로 대류가 활성화되어 고온의 공기가 그대로 흡기시스템으로 유입되어 C3-1에 비해 C3-4에서의 온도가 높게 측정된 것으로 판단된다.

3.4 운영 조건 변경에 따른 경제성 평가

본 연구에서 가장 핵심은 BMM 설비의 열에너지의 효율적인 관리를 위한 흡기 및 냉방시스템

을 개발하는 것에 있으며, 이를 통해 기존에 소비되고 있는 공조시스템의 에너지를 저감하고자 하는 것에 있다. 이를 위해서 개발된 흡기 및 냉방시스템에 대한 경제성 평가하고 실제 설비에 본 시스템이 적용되었을 경우 경제적 효과가 있는지 여부에 대해 판단하고자 하였다.

참고로 본 경제성 평가는 모사 실험에서 도출된 소비전력을 기반으로 실제 설비에 적용했을 경우를 가정하여 환산된 결과이며, 경제성 평가를 위해 적용된 주요 조건은 다음과 같다.

- ① C2에서 측정된 소비전력을 실 설비에서 냉방 공조에 사용되는 소비전력으로 환산하여 적용
- ② C3-1~4, C4-1~4는 흡기 및 냉방시스템 소비전력을 모두 고려하여 반영
- ③ 현지 산업용 전력비용 6.07 cents/kWh 적용
- ④ 한 달 30일, 12개월 기준으로 산정
- ⑤ 흡기시스템의 개발, 제작, 설치에 대한 비용은 배제

앞서 언급된 주요 조건을 바탕으로 해당 실험 조건에서 도출된 결과에 대한 예상 소비전력 및 저감율 그리고, 경제성 평가를 수행하였으며, 이에 대한 결과는 Fig. 6, 7과 같다.

C2에서의 예상소비전력은 모사 실험에서 도출된 소비전력을 실제 기업에서 소비하고 있는 전력으로 환산한 결과이며, 냉방 공조에 소비되는 실 전력은 약 322 kW로 이에 대한 현지 산업용 전력비용을 적용하면 월간 약 14,000달러의 전력 소비비용이 발생한다.

동일한 조건을 적용하여 C3-1~4의 운전 조건에 대해 시스템 적용 시 예상되는 소비전력을 도출해보면, 결과적으로 흡기시스템의 운영을 통해서 소비전력의 저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

이는 실제로 냉방시스템의 경우, 대기의 냉각을 위해 필요한 설비(압축기, 증발기, 응축기 등)에 소모되는 전력이 상당히 큰 반면, 상대적으로 흡기시스템의 경우 대기 순환에 사용되는 Fan의 소비전력은 매우 작기 때문이다. 즉 흡기시스템의 운영을 통해서 냉방시스템의 가동률이 감소하게

되면 이로 인해 소비전력이 저감되어 실제적으로 경제적인 이익이 발생할 수 있는 것이다.

흡기시스템의 위치가 고온발생부가 가장 근접한 위치에 존재하는 C3-4의 경우에 C2에 비해 소비전력 저감율이 32.3%로 연간절감액으로 환산하였을 때, 약 54,000달러, 환율 1,142원/달러기준으로 한화로 약 6천 2백만 원에 해당한다. 흡기시스템의 설비투자비용을 1기당 5천만 원 정도를 예상하였을 때, 경제성을 확보할 수 있다는 결과를 도출할 수 있다.

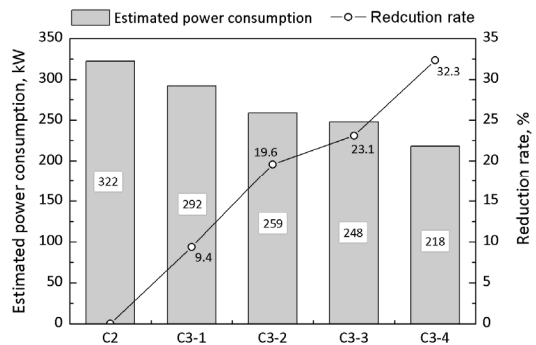


Fig. 6 Estimated power consumption and reduction rate with respect to operating conditions of HVAC

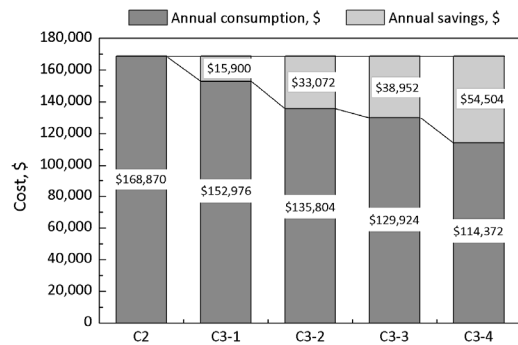


Fig. 7 Economic analysis with respect to operating conditions of HVAC

하지만 본 실험에서는 경제적 효과가 극대화되어 예상되는 것은 모사 실험 장치의 규모가 실제 설비 규모의 1/15의 크기로 축소 실험을 수행하였

으며, 냉방시스템의 경우 시스템의 크기가 작을수록 효율이 증가되기 때문에 이로 인해 냉방시스템의 가동률 저감에 의한 경제성 확보에 효과적인 것으로 판단된다.

뿐만 아니라 본 실험에서 적용한 설정 온도 25°C 보다 낮은 온도로 설비 주변 환경을 설정하게 되면, 냉방시스템의 가동시간이 증가되어 앞서 분석된 경제적 이익 부분에서 그 비용이 감소할 수 있는 여지가 있으므로, 설비 운영 방식에 따라서도 경제성 분석의 결과가 달라질 수 있을 것으로 보인다.

3.5 흡기시스템 설계 변경에 따른 효과

앞선 연구를 통해서 흡기시스템이 설비에 반영되는 경우 공조시스템에 의해 소비되는 전력에 대한 에너지 절감효과가 있는 것으로 판단되었으며, 이에 흡기시스템의 설계 변경에 따른 추가적인 효과에 대한 연구 필요성이 대두되었다.

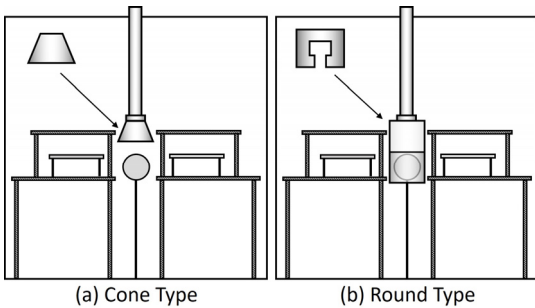


Fig. 8 Two modified designs of duct system

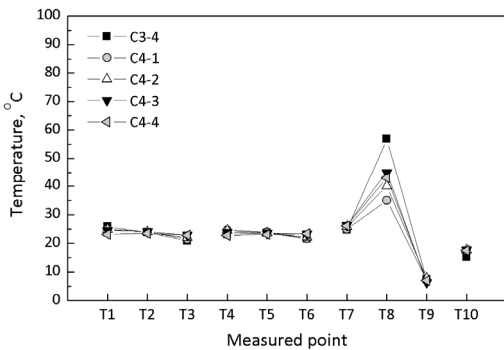


Fig. 9 Measured temperatures with respect to operating conditions of HVAC

이와 같은 배경에서 Fig. 8과 같이 일반적으로 상부 흡입 방식에 사용되는 Cone type과 측면 흡입 방식에 사용된 Round type의 두 가지 설계안에 대한 연구를 진행하였으며, Fig. 8과 같이 모사 실험 장치에 두 가지 형태의 흡기시스템을 설치하여 운영 조건에 대한 연구를 수행하였다.

Fig. 9는 Table 1에 도시되어 있는 운전조건을 바탕으로 설비 내부 온도 분포 변화에 대해 나타난 것이다. 전반적으로 흡기시스템의 설계 조건 변경 전인 C3-4와의 온도 분포와 크게 다르지 않으며, 전체 설비 공간에 대해 실험 조건으로 설정된 25°C를 만족하는 결과를 보이고 있다. 전반적으로 흡기시스템의 설계안 변경을 통해서 공간 전체의 온도 분포 차이를 확인하는 것은 어려웠으며, 흡기시스템 설계안 변경에 따른 효과 부분은 경제성 평가를 통해서 확인이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 9에서 Round type의 경우 Cone type에 비해 T8의 위치에 온도가 다소 높게 측정되었다. 이는 고온발생부에 의해 가열된 내부 공기가 상부로 이동하여 이로 인해 T8에서 온도가 증가하게 된다. 하지만 Cone type의 설계 특성상 상부로 이동한 고온의 내부 공기가 흡기시스템으로 유입되어 상대적으로 C4-1과 C4-2에서 온도가 낮게 측정된 것으로 보인다. 반면 Round type설계의 특성상 고온의 내부 공기가 흡기시스템으로 유입되지 못하고 대류에 의해 일부 측면으로 이동하게 되어 이로 인해서 고온발생부 상부에 위치한 T8의 온도가 다소 높게 측정되게 된 것으로 판단된다.

이와 같은 결과는 설계안 변경에 따른 특징적인 결과로 전체 설비의 온도 제어 입장에서 큰 차이는 아닌 것으로 보인다. 다만 Round type의 경우 인해서 고온의 내부 공기가 직접적으로 흡기시스템에 영향을 주어 흡기시스템의 수명 및 운영 자체에 영향을 미칠 가능성이 있는 것으로 보인다.

3.6 설계 변경에 따른 경제성 평가

본 연구에서는 C3-4를 기준으로 흡기시스템의 설계 변경 안에 대한 경제성을 판단하는 것이 중요할 것으로 판단되며, 앞서 언급된 경제성 판단

기준에 근거하여 Fig. 10, 11의 결과를 도출하였다. Fig. 10에서 주목할 점은 Cone type의 흡기시스템을 적용함과 동시에 에너지 소비 저감율이 40% 이상으로 증가했다는 점이다. 이와 같은 결과는 실험실 규모로 축소했다는 점과 실험 환경이 이상적인 환경이라는 점 등을 감안해야 할 것으로 보인다.

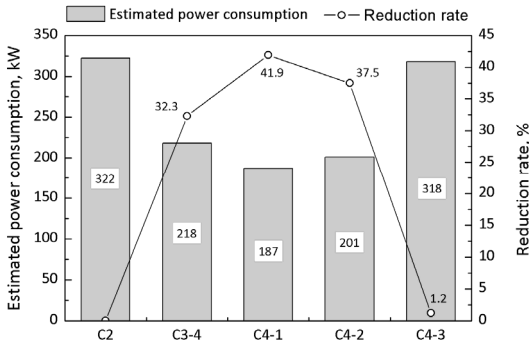


Fig. 10 Estimated power consumption and reduction rate with respect to operating conditions of HVAC

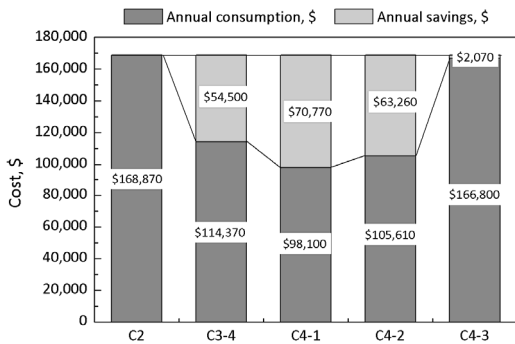


Fig. 11 Economic analysis with respect to operating conditions of HVAC

이와 같은 전제조건에서도 기본적인 흡기시스템에 비해 Cone type의 흡기시스템이 열에너지 배출에 있어 보다 우수한 성능을 보인다는 점은 정량/정성적으로 확인이 가능하다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 가열된 고온의 대기가 대류에 의한 상단으로 확산되므로, 이를 보다 효과적으로 포

집, 배출하는 것이 Cone type의 흡기시스템에서 가능했기 때문으로 판단된다. 뿐만 아니라 흡기시스템의 유속을 50% 가량 낮춰주어도 불구하고 C4-2의 에너지 저감율이 C3-4에 비해 약 5% 가량 증가한 결과를 통해서도 충분히 확인 가능하다. 비록 흡기시스템의 설계안을 변경함으로써 인해 발생하는 비용(제작, 설치 등의 비용)을 감안하더라도 에너지소비효율의 측면에서 긍정적인 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

반면 C4-3의 Round type의 흡기시스템의 경우 다른 운전조건에 비해서 상대적으로 낮은 에너지 저감 효과를 보이고 있다. 물론 기존에 냉방시스템만을 운영하는 C2에 비해서는 1.2% 가량의 저감 효과를 보이고 있으나, 흡기시스템 적용을 통해 연간 미화 약 2,000달러, 한화로 약 2백만 원 가량의 에너지 저감만을 기대할 수 있어, Fig. 9에서 온도 분포의 측면에서는 만족스러운 결과를 보였음에도 불구하고 경제적인 측면에서 비효율적인 설계안이라고 할 수 있다.

이는 가열된 고온의 대기가 대류에 의해 상승하려는 성질이 강하기 때문에 측면 흡기시스템의 효과가 미미하였기 때문으로 판단된다. 참고로 C4-4의 경우 C2에 비해 오히려 전력소모량이 커 본 경제성 평가에서 배제되었다.

5. 결 론

본 연구는 플라스틱 연료 탱크 생산 설비인 Blow Mold Machine(BMM)에서 발생하는 열에너지의 효과적인 배출을 위한 공조시스템의 흡기시스템의 적용 및 최적화를 위한 설계안 도출에 목적을 두고 있으며, 공조시스템 개발을 위해 총 15개의 운영 조건에 대한 모사 실험을 수행하였다.

모사 실험에서 고온에 의해 가열된 내부 기체가 상승 기류에 의해서 장치의 상단 부분에 주로 위치하게 되어 흡기시스템 운영만으로도 작업 환경 개선 및 공조시스템 소비 전력 개선에 효과적임을 확인하였다. 뿐만 아니라 동일한 출력에 대해 흡기시스템이 고온발생부에 근접할수록 보다 효과적임을 알 수 있다. 냉방/흡기시스템을 동시

에 운영하는 경우, 기존의 냉방시스템에 비해 최대 32% 가량의 소비전력 저감 효과가 있는 것으로 확인되었으며, 이는 경제적 효과로 미화 기준 연간 약 54,000달러에 해당한다.

뿐만 아니라 흡기시스템 설계 최적화를 통해서 흡기시스템 설계 변경시 Cone type의 흡기시스템은 최대 42%, 미화 기준 연간 70,000달러의 저감 효과를 보인 반면, Round type의 흡기시스템의 경우 설비 주변의 유동 특성에 의해 저감 효과가 1.2% 정도로 매우 미미하였다. 이는 흡기시스템의 최적 설계 시 고온에 의해 가열된 내부 기체의 유동과 관련이 있으며, 흡기시스템 설계에서 중요한 요소로 반영되어야 할 것으로 판단된다.

이와 같은 결과를 통해서 기존의 냉방시스템만을 운영하는 경우에 비해 최적 설계가 반영된 흡기시스템을 함께 운영하게 되면, 전체 공조시스템의 소비 전력에 대해 저감 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부-한국에너지기술평가원 청정화력핵심기술개발사업(20161110100090)의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

1. D. Wyon, L. Fang, L. Lagercrantz and P. Fanger, 2006, "Experimental determination of the limiting criteria for human exposure to low winter humidity indoors (RP-1160)", HVAC&R Research, Vol. 12, No. 2, pp. 201-213.
2. D. Wyon and P. Wargoeki, 2013, "How Indoor Environment Affects Performance", ASHRAE Journal, Vol. 55, pp. 46-52.
3. K. N. Rhee and S. J. Lee, 2014, "A Study on the Improvement of HVAC System Design and Operation Strategies through Thermal Environment Assessment of an Office Building", Journal of the Architectural Institute of Planning & Design,

Vol. 30, No. 2, pp. 277-284.

4. K. M. Kang, K. N. Kang, J. W. Park and D. S. Song, 2012, "A Field Measurement for Indoor Thermal Environment and Thermal Comfort of Occupant in Office building controlled by Multi-System Air-conditioner", Conference of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, KIAEBS Conference paper, pp. 89-94.
5. J. Y. Kim, H. J. Chang and Y. H. Jung, 2014, "Study on the development of energy conservation system for data center by utilizing multi-staged outdoor air cooling", Conference of Architectural Institute of Korea, Vol. 34, No. 2, pp. 267-268.
6. M. W. Ellis and E. H. Mathews, 2002, "Needs and trends in building and HVAC system design tools", Building and Environment, Vol. 35, No 5, pp. 461-470.
7. S. Soyguder, M. Karakose, and H. Alli, 2009, "Design and simulation of self-tuning PID-type fuzzy adaptive control for an expert HVAC system", Vol. 36, No. 3, pp. 4566-4573.
8. J. W. Park, H. S. Ki, K. N. Kang, J. W. Kim and D. S. Song, 2011, "Analysis of the Indoor Thermal Environment Control Behaviors and Energy Saving Effect of the VRF System with Comfort Control Algorithm by TRNSYS Simulation", SOACAREOK Conference paper, pp. 306-309.
9. J. H. Moon and J. W. Kim, 2015, "An Experimental Study on the Performance of a VRF Air Conditioning System with a Thermal Comfort Control Algorithm", Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 9, No. 3, pp. 247-252.
10. J. I. Yoon, C. H. Son, H. M. Kim and Y. M. Kim, 2015, "A Study on Application of the

Free Cooling System with Dry Cooler Using Economic Evaluation", Journal of The Korean Society for Power System Engineering, Vol. 19, No. 4, pp. 50-55.

11. K. H. Choi, 1999, "Development of Year-round Air Conditioning System Using Solar Energy", Journal of The Korean Society for Power System Engineering, Vol. 3, No. 3, pp. 5-13.