

열풍 건조기의 에너지 절감을 위한 형상 최적화 Geometric Optimization of Industrial Dryer for Reduction of Energy Consumption

*김승욱¹, #조성욱¹, 박유진¹, 이규봉²

*S. Kim¹, #S. W. Cho(scho@cau.ac.kr)¹, E. G. Park¹, K. B. Lee²

¹ 중앙대학교 대학원, ² 한국생산기술연구원

Key words : Energy savings, Numerical Study, Heat Transfer, Dryer, CFD

1. 서론

열풍건조공정은 가열된 공기가 피 조물의 온도상승과 수분증발에 사용한 후 남은 열량 대부분을 방출하기에 에너지 손실이 큰 단점을 지닌다. 따라서 건조공정의 효율증대와 건조과정에서 요구되는 에너지 소비를 절감하기 위해서는 건조 과정에 대한 전반적인 이해와 합리적인 설계가 반드시 요구된다. 본 연구에서는 실제 산업현장에서 사용되고 있는 열풍건조기의 에너지 절감을 위하여 건조기 내부의 온도를 측정하고 이를 활용하여 수치 해석 연구를 수행하였다. 구체적으로, 연구 대상인 건조기의 건조 조건을 정의하고 건조기의 히터개수에 따른 전력소비량과 내부 온도를 측정하였다. 또한 건조기의 기하학적 형상을 검토하여 이에 대한 파라미터 연구를 수행하였으며 최종적으로 건조 조건을 만족시키면서 에너지 소비가 가장 적은 건조기 형상을 제안하였다.

2. 건조 시스템 및 내부 온도 측정

건조기는 Fig.1 과 같이 길이 900 mm, 높이 750 mm 의 공간 상하에 각각 4 개의 에어 나이프가 위치하며 이 곳을 통해 외부의 6 개의 히터로부터 가열된 공기가 유입된다. 건조기의 중앙 부분은 컨베이어 라인이 위치하며 이 곳을 피건조물이 통과하며 건조가 진행된다. 건조기 내부의 온도 측정을 위하여 Fig. 1 에 표시한 4 개 포인트(N11, N12, N41, N42) 온도 측정 장치를 설치하고 건조기 외부 히터의 개수에 따른 에어 나이프의 온도 분포와 전력 소모량을 측정하였다. 측정된 온

Table 1 Temperatures measured at 4 points

	Power (kW)	N11 (°C)	N12 (°C)	N14 (°C)	N41 (°C)
6	6.87	111	96	126	112
5	5.60	108	95	109	110

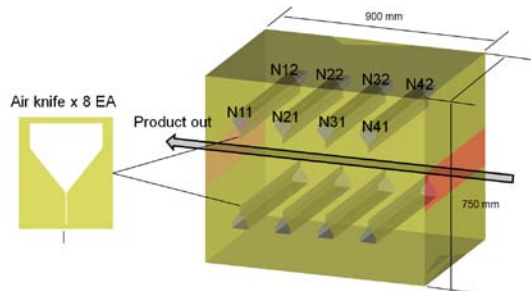


Fig. 1. The geometry of the hot air drying system

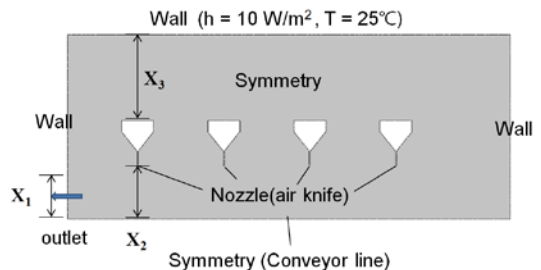


Fig. 2. The geometric parameters and Boundary condition of the Drying system

도 및 전력 소모량은 Table. 1 을 통해 상세히 설명하였다.

3. 형상 매개변수 산정 및 수치해석

형상 매개변수는 출구의 높이 (X_1 ; 25, 50, 75 mm), 에어나이프와 컨베이어 라인의 거리 (X_2 ; 85, 110, 135 mm), 에어나이프와 건조기 상단의 거리 (X_3 ; 90, 120, 150 mm)이고 이를 고려하여 총 33 가지(3 인자, 3 수준, C01 ~ C33)의 경우를 산정하였다(Fig. 2). 기하학적 형상과 계산의 효율을 고려하여 2 차원 해석을 수행하였다. 상부 4 개의 에어나이프 총 유량은 0.0036 kg/s이며 입구 온도 조건으로 N1 과 N4 는 실험에서 측정된 N11, N12 및 N41, N42 의 평균값을 이용하였으며 N2, N3 은 이를 보간한 수치를 활용하였다. 외부 벽면은 자연대류($10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 25°C)를 고려하였으며 출구는 외부 평균 온도인 80°C 를 적용하였다. 내부 유동과 온도분포는 연속방정식, 모멘텀 및 에너지 방정식을 통해 계산되었다.

4. 수치해석 결과

본 연구의 건조 과정은 기본적인 건조 후 육안 검사를 마친 최종 제품의 잔여 수분을 제거하는 공정이다. 따라서 내부 온도는 100°C 이상이 유지되어야 하며 특히 피건조물이 통과하는 컨베이어 라인의 온도가 100°C 이상을 유지해야 한다. 따라서 컨베이어 라인의 온도 분포와 내부의 평균 온도를 검토하였다. Table 2 는 기존의 건조기(C00)과 히터 개수를 하나 줄인 경우 (C01 ~ C33)의 건조기 내부 및 컨베이어 라인의 평균 온도를 설명하는 표이다. 대다수의 경우에서 100°C 이상의 온도분포를 나타내나 C23(25 x 110 x 120 mm)의 경우가 가장 높은 온도 수치를 나타냈다. 또한 Fig. 3 는 컨베이어 라인의 출구에서부터 거리에 따른 온도분포를 설명하는 그림으로, C23 의 온도분포가 모두 100°C 이상을 유지 하는 것을 알 수 있다. C23 은 출구의 높이(X_1), 에어나이프와 컨베이어라인의 간격(X_2), 에어나이프와 건조기 상단의 거리(X_3)를 각각 75, 135, 150 mm에서 25, 110, 120 mm로 줄인 경우이다. 줄어든 내부 공간은 불필요한 열량 손실을 막고 줄어든 출구의 크기로 인해 고온의 외부 공기가 내부에서 더 순환하는 것을 알 수 있다.

Table 2 Averaged Temperatures of C00 and C23

Case	X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	Heater (EA)	T_c ($^\circ\text{C}$)	T_b ($^\circ\text{C}$)
C00	75	135	150	6	107.9	111.4
C23	25	110	120	5	102.3	105

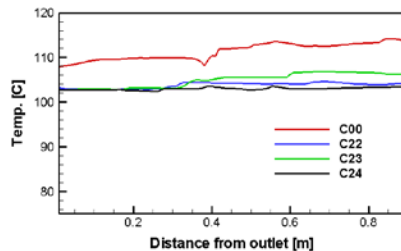


Fig. 3. Temperature distribution along the conveyer line

5. 결론

본 연구에서 제안한 최종 형상은 바닥면 평균온도가 105°C 이고 건조기 내부의 평균온도는 102.3°C 이다. 이는 초기 비교대상인 C00 에 비해 낮은 수치이나 건조 조건인 100°C 이상의 온도를 유지하며 특히 기존의 건조기에 비해 전력 소비량을 약 17% 감소시킬 수 있다. 제안된 형상은 건조 조건을 만족하면서 소비되는 에너지를 절감하는 효과를 나타낼 것으로 예상된다. 향후 연구를 통해 이에 대한 실제 실험과 추가적인 연구가 요구된다.

후기

이 논문은 2013 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012-0001517).

참고문헌

1. 전원표, "열풍건조공정의 에너지절약기술 동향," 에너지절약기술동향, 32, 2005.
2. ANSYS, Inc., "ANSYS CFX-Solver Theory Guide," Release 12.0, 2009.
3. 김승욱, 조성욱, 공배성, 이규봉, "자외선 경화기의 급기 및 배기 조건에 관한 연구," 한국정밀공학회 2011 춘계학술대회논문집