

고정층에서의 면섬유 건조공정에 대한 모델링

이규선, 양병렬¹, 표상연¹, 김형균¹, 이동현*성균관대학교 화학공학전공, ¹삼성전자(주) DA연구소 회전유동그룹
(dhlee@skku.edu*)

Model for Drying Process of Cotton Fabrics in Fixed Bed Dryer

Kyu Sun Lee, Byoungyull Yang¹, Sang Yeon Pyo¹, Hyung Gyoon Kim¹, DongHyun Lee*Sungkyunkwan University, ¹Samsung Electronics Co., Ltd.

(dhlee@skku.edu*)

1. 서론

지구상의 모든 물질은 수분을 함유하고 있으며, 이 물질에 대류전열, 전도전열, 복사전열과 같은 전열방법을 개별적으로 또는 조합을 통하여 열을 전달하고 공급할 수 있다. 이처럼 열 전달의 장점을 이용하여 물체에 열을 공급하고, 공급된 열에 의해 대상 물질 내의 수분을 기화 증발시킨 다음, 대기 속으로 확산시켜 수분을 제거하는 조작을 건조라고 하는데, 이는 열과 물질의 이동이 동시에 진행되는 열적인 분리법이다.[1~3]

건조는 식품 공업, 농업, 세라믹, 정밀 화학, 제약, 펄프, 제지, 섬유 산업 등의 분야에서 널리 사용되고 있으며, 선진 기술을 보유하고 있는 몇몇 국가에서는 전자 제품 시장에서도 건조를 이용하고 있다[4].

섬유건조에 대하여 Barker[5]는 다양한 습도 및 5°C~80°C의 온도범위에서 seed cotton을 건조하는 실험을 통하여 lint, seeds, leaves 등, 각 part별 함수율의 변화를 측정하였으며, Abernathy et. al.[6]은 lint cotton의 평형 함수율을 예측할 수 있는 modeling 결과를 제시하였다. Viswanathan et. al.[7]은 batch spout bed에서 밀을 건조하는 실험을 통해 실험결과를 제시하고, Becker와 Sallans가 제시한 modeling을 바탕으로 하여 함수율과 건조물의 온도, 건조 후 기체의 습도를 예측할 수 있는 modeling결과를 제시하였다.

본 연구에서는 고정층 건조기에서 층 내 건조물의 시간에 따른 수분농도, 배출공기의 절대습도 및 온도를 예측할 수 있는 수학적 모델을 제시하고자 한다. 제시된 수학적 모델을 검증하기 위하여 피 건조물을 cotton fabrics로 하고, 열매체로 열풍을 이용한 건조 실험을 수행하였다. 시간에 따른 온도 및 습도변화를 측정함으로써 건조기 입·출구 기체의 절대습도를 계산하여 건조실험 과정에서 건조된 물의 양을 계산하고, cotton의 함수율 변화 곡선을 얻어 실험데이터에서 얻은 결과와 수학적으로 모델링한 결과를 비교하였다.

2. 이론

(1) Moisture content

건조 중 섬유의 함수율을 Q 라고 하면 시간이 지남에 따라 나타나는 함수율 곡선은 모델링을 통하여 예측해 볼 수 있다. 건조가 일어나는 main column를 실린더라고 보면 함수율의 변화는 다음 식으로써 구할 수 있다.

$$\frac{Q-Q^*}{Q_o-Q^*} = \frac{4}{\pi^2} \sum \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2\pi^2 X^2}{9}\right) \quad (1)$$

이 때 위의 식은 다른 식을 얻어내기 위한 전개 과정에 있어 summation 때문에 용이하지 못하므로, 실험결과를 잘 맞출 수 있는 경험식을 찾아야 한다.

$$\frac{Q-Q^*}{Q_o-Q^*} = \exp[-\alpha X^\beta] \quad (2)$$

여기서 α 와 β 는 상수이며, 실험조건에 따라 다른 값을 가지므로 실험을 통해 상수값을 찾아야 한다. 또한 매개변수, X 는 다음을 의미한다.

$$X = \frac{4}{D_{column}} \sqrt{D_{eff} \cdot t} \quad (3)$$

(2) Outlet gas Humidity

건조 과정에서 column내에 있는 젖은 cotton fabrics의 water에 대한 mass balance를 세운 뒤 식을 변형하면 배출기체의 절대습도를 예측할 수 있는 식을 구할 수 있다.

$$Y = Y_o + \frac{\alpha \cdot \beta \cdot t_e}{2t} (Q - Q^*) X^\beta \quad (4)$$

(3) Outlet gas temperature

열풍은 column에 유입되어 섬유를 건조시킨 후 밖으로 빠져나오는 데, 이 때 column을 기준으로 한 열풍의 heat balance식을 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{t_e} \frac{C_{pg}}{C_{ps}} (T_o - T) - \frac{1}{C_{ps}} \left[\frac{\alpha \cdot \beta \cdot t_e}{2t} (Q - Q^*) X^\beta \right] \lambda \quad (5)$$

3. 실험장치 및 실험방법

Fig.1에 개략적인 실험장치 setting을 나타내었다. 건조기의 main column은 직경이 0.15m, 높이는 0.9m인 stainless steel로 제작되었다. 건조한 cotton 0.2kg을 시료로 하여 물에 적시고 탈수과정을 거친 후 초기 함수율이 72wt%인 cotton을 main column에 넣고 건조실험을 수행하였다. Blower에 의해 건조기로 유입된 공기는 heater를 통하여 가열되며 main column으로 들어가 젖은 cotton fabrics와 접촉하여 건조가 일어나게 된다. 건조기를 빠져나가는 습윤 공기는 공기 중으로 배출된다.

전자저울로 건조과정 전 후의 무게차를 측정하였으며, 건조장치의 내부 온도 및 습도를 측정하기 위하여 on-line 상으로 computer와 연결하여 데이터를 저장할 수 있는 온

도센서 및 습도센서를 건조장치 내 지정된 위치에 설치하였고, 그 위치는 Fig.1에 나타내었다. 피 건조물인 cotton 0.2kg을 완전 건조했을 때 dry cotton의 무게는 0.198kg이다.

4. 결과 및 토론

Duct형 건조기에 온도센서를 설치하고 열풍 풍량이 $12\text{m}^3/\text{hr}$ 일 때, 건조실험을 수행하여 얻은 온도데이터를 그래프로 그리면 Fig.2와 같은 그래프를 얻을 수 있다. Outlet gas와 inlet gas는 main column을 기준으로 하여 구분하였으며, blower를 지나 heater에서 열을 공급받은 후의 온도를 측정하여 heater 온도로 표시하였다.

Main column와 blower에서 측정한 상대습도 및 온도 데이터로써 배출기체의 절대습도를 구하고, 절대습도 차($Y_{\text{Outlet}} - Y_{\text{Inlet}}$)를 시간에 따라 적분함으로써 응축된 물의 양을 얻을 수 있다. 건조과정에서 감소한 물의 무게는 101.5g이다.

Fig.3에 나타낸 시간에 따른 함수율 결과와 잘 일치시킬 수 있는 식 (2)에서의 상수값으로 α 는 0.25, β 는 2.0을 얻었다. Fig.4는 배출공기의 습도를 모델링 한 결과이며, 그림에서 보는 바와 같이 실험결과와 잘 맞는 것을 확인하였다.

5. 결론

시간에 따른 온도 및 습도변화를 측정함으로써 건조기 입·출구 기체의 절대습도 및 엔탈피를 계산하고, cotton fabrics의 함수율 및 건조율 변화 곡선을 얻을 수 있었다. 또한 duct type 건조기에서 cotton fabrics의 건조특성을 수학적으로 모델링 하여 실험결과와 비교하였다. 배출기체의 절대습도를 모델링 한 결과 실험데이터에서 얻은 결과와 수학적으로 모델링 한 결과가 유사한 곡선을 그리며 잘 일치함을 확인하였다.

6. 참고문헌

1. 김경근, 김원녕, 김성규, 최순열 등: “가열/진공증발 가열조작에 의한 임산.수산물 건조 장치 개발(1차년도 연구보고서)”, 산업자원부 공업기반기술과제(1998).
2. 박형진, 김경근, 김명환: “함수다공질층의 진공건조에 관한 실험적 연구(1), 한국박용기관 학회지, 제20권, 제5호, pp514~521(1996).
3. 신기술 편집부역: “건조장치의 이론과 실제”, 신기술.
4. Zahed, A. H., J. X. Zhu and J. R. Grace, “Modeling and Simulation of Batch and Continuous Fluidized Bed Dryers”, *Drying Technology*, **13**. (1995).
5. Baker, G. L., “Equilibrium Moisture Content of Cotton plant Components”, *J. agric. Enging. Res.* **63**, pp.353~364, (1996).
6. Abernathy, G. H., S. E. Hughs, M. N. Gillum, “Improvements of Equilibrium Moisture Content Models for Cotton”, *American Society of Agricultural Engineers*, **37(2)**, pp.561~569, (1994).
7. Viswanathan, K., M. S. Lyall, K. S. Negi, B. C. Raychaudgury, “Experimental and Theoretical Study of Batch Drying of Wheat in Spouted Beds”, *Proceedings of the 4th International Drying*

Symposium, pp.552~558, (1984).

8. Strumillo, C. and T. Kudra, "Drying : Principles, Applications and Design", GORDON AND BREACH, Poland.

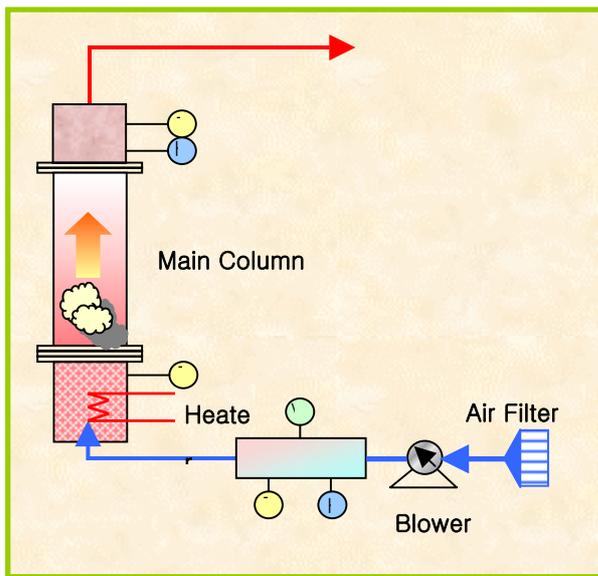


Fig.1. Experimental setup of the duct type dryer.

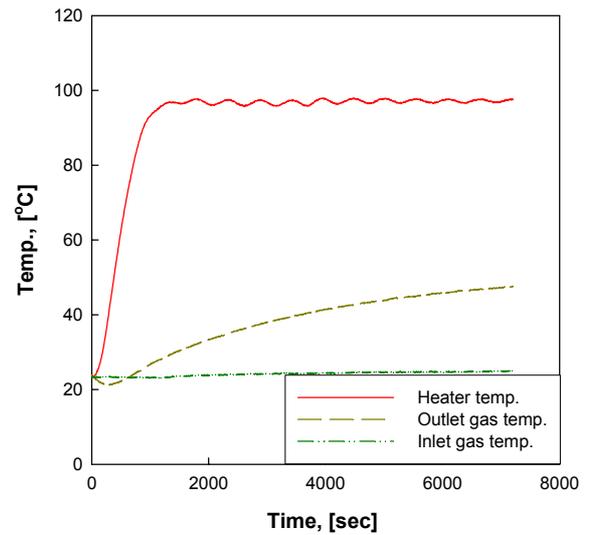


Fig. 2. Variation of various temperature curves with drying time in the drum type dryer.

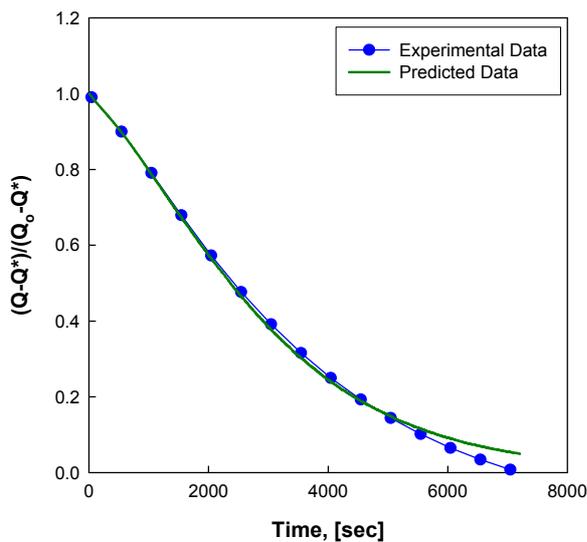


Fig. 3. Variation of moisture content with the elapsed time in the fixed bed dryer.

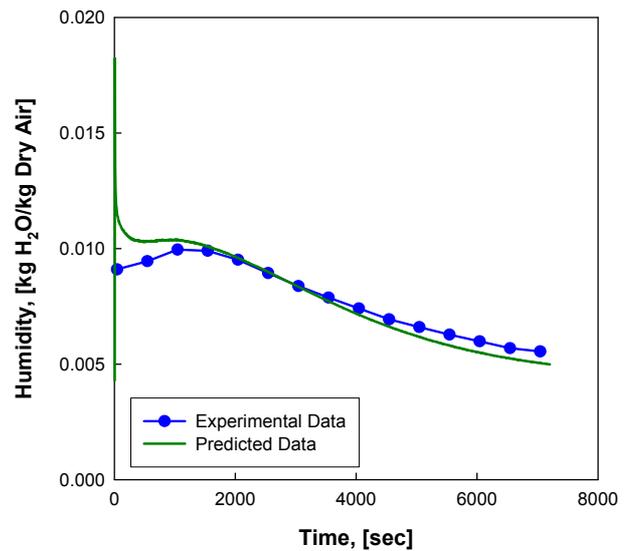


Fig. 4. Comparison of model prediction with of outlet humidity variation with time.