

## 드럼식 건조기에서 건조성능에 관한 평가

이규선, 양병렬\*, 표상연\*, 김형균\*, 이동현

성균관대학교 화학공학전공, \*삼성전자(주) DA연구소 회전유동그룹

## Evaluation on the Drying Performance of the Drum Type Dryer

Kyu Sun Lee, Byoungyull Yang\*, Sang Yeon Pyo\*, Hyung Gyoon Kim\*, DongHyun Lee  
Sungkyunkwan University, Samsung Electronics Co., Ltd.\*

### 1. 서 론

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 물질내의 수분을 기화 증발시킨 다음, 대기 속으로 확산시켜 수분을 제거하는 조작을 건조라고 하는데, 이는 열과 물질의 이동이 동시에 진행되는 열 적인 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). 전자제품은 에너지를 필요로 하는 수행과정을 거치며, 에너지효율이 높은 제품이 시장에서의 선호도가 높게 된다.

이러한 관점에서, 본 연구에서는 기존 drum type dryer에서의 건조 성능을 평가하기 위하여 전자 저울에서 얻은 무게변화 및 온·습도센서로 얻은 습도변화 측정결과를 해석하고, 건조실험 과정에서 건조된 물의 양과 건조에 쓰인 열량을 계산할 수 있는 방법을 제시하였다. 따라서 본 논문은 drum type dryer의 건조 성능을 평가하고, 건조수행을 위해 필요한 에너지 및 수자원 절약을 위한 연구에 응용될 수 있을 것이다.

### 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1 에 개략적인 실험 setting을 나타내었다. 건조한 cotton 4.5 kg을 시료로 하여 물에 적시고 탈수과정을 거친 후 건조실험을 수행하였다. 드럼식 건조기의 내부 온도 및 습도를 측정하기 위하여 on-line상으로 computer와 연결하여 데이터를 저장할 수 있는 온도센서 및 습도센서를 drum dryer의 지정된 위치에 설치하였고, 그 위치는 Fig. 1 에 나타내었다. 또한 무게 데이터를 얻기 위하여 on-line으로 데이터를 받아 computer에 저장할 수 있도록 설정된 저울 위에 drum dryer를 올리고, 탈수과정을 거친 cotton을 건조기에 넣은 후 건조과정을 수행하였다. 건조기는 건조과정을 수행하는 동안 drum 내부의 cotton을 섞어 주기 위하여 drum을 일정속도로 회전시켰다. 전자저울에 의해 측정된 무게 데이터는 water와 cotton 및 dryer의 무게를 포함하게 되므로, 전체 무게에서 dryer의 무게를 빼주어야 한다. Dryer의 무게는 74.44 kg 이며, 4.5 kg cotton을 완전건조 했을 때 cotton의 무게는 4.32 kg 이다.

건조물의 건조율을 측정하기 위하여 탈수 후 cotton의 무게를 측정한 뒤 건조과정을 수행하고, 건조 후 cotton의 무게를 다시 측정하여 건조된 물의 무게를 얻었다. 여기서 얻은 건조된 물의 무게는 후에 무게변화 및 습도변화를 통해 얻은 건조된 물의 양과 비교하는데 있어 기준으로써 쓰일 수 있다.

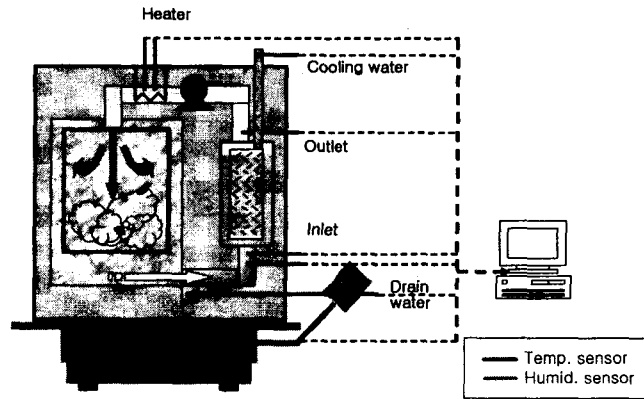


Fig. 1. Experimental setup of the drum type dryer

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 온도 및 습도데이터 분석결과

Drum dryer에 온도센서를 설치하고 건조실험을 수행하여 얻은 온도데이터를 그래프로 그리면 Fig. 2 와 같은 그래프를 얻을 수 있다. Cooling water는 drum dryer에 유입되는 냉각수를 말하며, drain water는 drum 내부에서 증발한 수분이 응축되어 배출되는 물과 유입된 냉각수가 condenser를 지나서 배출되는 물을 합한 것이다. Inlet gas와 outlet gas는 condenser를 기준으로 하여 condenser inlet과 outlet으로 구분하였으며, outlet gas가 blower를 지나 heater에서 열을 공급받은 후의 온도를 측정하여 heater temp.로 표시하였다.

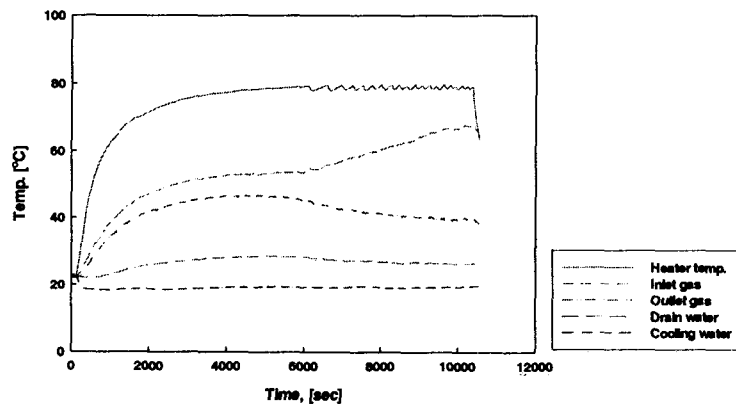


Fig. 2. Variation of various temperature curves with drying time in the drum type dryer

Fig. 2 에서 보는 바와 같이 건조 시작 후 6000sec가 경과한 시점부터 inlet gas의 온도가 증가하는 경향을 보이는 것은 drum 내에 있는 섬유가 falling drying rate에 도달했음을 의미하는 것이다. Outlet gas와 drain water 의 온도는 inlet gas의 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이는데 inlet gas 가 내포하고 있는 수분의 양이 많지 않게 되면 inlet gas의 수분을 응축시키는 대신 outlet gas의 온도를 낮추게 되고 drain water로 가는 수분량이 적어지기 때문인 것으로 볼 수 있다.

드럼식 건조기의 inlet chamber와 heater에서 측정된 상대습도 및 온도 데이터로써 계산된 절대습도를 가지고 그래프를 그리면 Fig. 3 을 얻을 수 있다. 여기서 condenser inlet gas 보다 heater를 통과한 gas의 절대습도가 더 낮으며, 이는 condenser를 지나면서 수분이 응축되었기 때문이다. 건조과정에서 감소한 물의 무게는 2.72 kg이다. 응축된 수분의 양은 절대습도 차( $Y_{Inlet} - Y_{Outlet}$ )를 시간에 따라 적분함으로써 얻을 수 있으며, 이 계산을 위해서는 열풍유량이 필요한데, 이는 다음 (1)식에서 얻을 수 있다.

$$2.72 = \bar{\rho} \cdot \dot{V}_{dry\ gas} \int_0^{J_{drying\ time}} \frac{Y}{dt} dt = \bar{\rho} \cdot \dot{V}_{dry\ gas} \int_0^{J_{drying\ time}} \frac{\left(\frac{0.622 p_{H_2O,eq}}{P - p_{H_2O,eq}}\right)}{dt} dt \quad \dots \dots \dots (1)$$

위의 식에서 얻어진 열풍의 유량은 1.1 m<sup>3</sup>/min이다. 기체가 응축되는 동안 inlet gas는 온도가 45℃~60℃이며, 습도는 0.06~0.10 kg H<sub>2</sub>O/kg dry air이므로 공기의 밀도를 0.95 kg dry air/m<sup>3</sup>으로 하여 계산하였다.

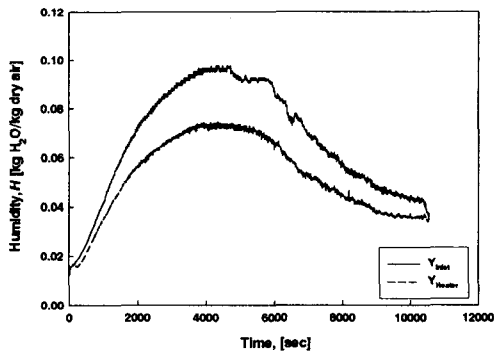


Fig. 3. Variation of inlet and outlet humidity curves with drying time in the drum dryer

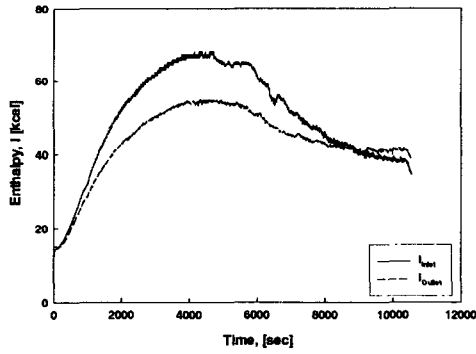


Fig. 4. Variation of inlet and outlet enthalpy curves with drying time in the drum dryer

Fig. 4 는 시간에 따른 엔탈피 변화를 나타낸 것이다. Drum을 통과한 inlet gas가 높은 습도를 가지고 condenser 내로 들어가게 되면 cooling water와의 열전달에 의해 에너지를 빼앗기게 된다. 따라서 condenser outlet gas는 inlet gas보다 낮은 엔탈피를 가지고 condenser를 나가게 된다.  $I_{Inlet}$ 은 습윤기체의 엔탈피이며,  $I_{Outlet}$ 은 포화기체의 엔탈피로써 condenser를 통과한 기체가 빼앗긴 열량은 ( $I_{Inlet} - I_{Outlet}$ )가 된다.

$$I_{Inlet} = I_g = (C_B + C_{Av}Y)T_g + \Delta H Y \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$I_{Outlet} = I_{g,eq} = C_B T_g + (C_{Av} T_g + \Delta H) Y_{eq} + (Y - Y_{eq}) C_{Al} T_g \quad \dots \dots \dots (3)$$

이 데이터에서의 엔탈피 변화량을 적분하면 건조수행 중 condenser에서 제거된 열량을 구할 수 있으며, 계산된 열량은 1401 kcal이다.

### 3-2. 무게데이터 분석결과

Fig. 5 는 시간에 따른 water와 cotton의 무게 변화 데이터이다. Drum dryer가 건조과정을 수행하는 동안 drum 내부의 cotton을 섞어 주기 위하여 drum이 회전하므로 진동이 있게 된다. 그러므로 초기 데이터로는 fluctuation이 큰 그래프를 얻게 되나, filtering 과정을 거치고 나면 Fig. 5 와 같은 curve를 얻을 수 있게 된다.

전자저울에서 얻은 무게 데이터와 온·습도 데이터를 가지고 시간에 따른 moisture content를 구하여 Fig. 6 에 나타내었다. 두 데이터를 통해 얻은 그래프는 constant drying rate와 falling drying rate가 구분된다는 점과 건조 후 함수율이 0.024 kg H<sub>2</sub>O/kg dry solid 로써 비슷하다는 점에서 유사함을 확인할 수 있다. 무게데이터를 통한 그래프에서의 초기 함수율이 높은 이유는 건조가 시작된 후 condenser로 유입된 cooling water의 무게가 전체 무게에 더해졌기 때문으로 판단된다.

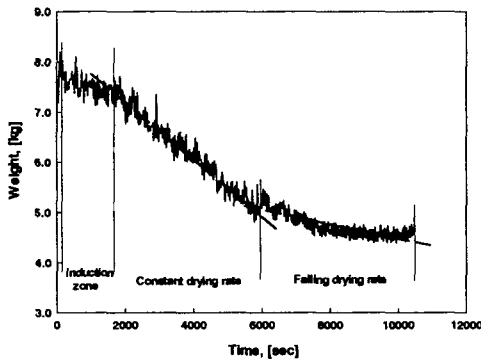


Fig. 5. Weight vs. drying time in the drum type dryer

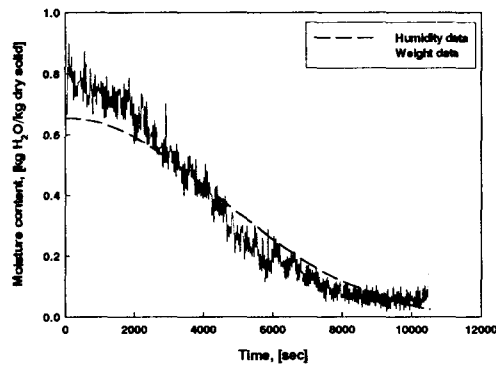


Fig. 6. Moisture content vs. drying time in the drum type dryer

### 4. 결 론

본 연구로써 전자 저울에서 얻은 무게변화 및 온·습도센서로 얻은 습도변화 측정결과를 해석하고, 건조실험 과정에서 건조된 물의 양과 건조에 쓰인 열량을 계산하였다. 온·습도센서에서 얻은 습도변화를 건조시간에 따라 적분함으로써 건조된 물을 구할 수 있었으며, 이는 탈수 후 및 건조 후 cotton의 무게 차에서 얻은 물의 양과 비슷함을 확인하였다. 또한 엔탈피변화를 건조시간에 따라 적분함으로써 condenser에서 제거된 에너지를 구할 수 있었다. 전자저울에서 얻은 무게변화 역시 건조 전 후 cotton의 무게 변화에서 얻은 무게와 비슷하였다. 습도변화 및 무게변화 데이터를 가지고 구한 moisture content를 비교하고, 두 함수율 곡선이 유사한 경향을 나타냈으며, 두 함수율 곡선에서 건조 후 함수율이 비슷함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. 김경근, 김원녕, 김성규, 최순열 등 : “가열/진공증발 고효율조작에 의한 입산.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. A. H. Zahed, J. X. Zhu and J. R. Grace, “Modeling and Simulation of Batch and  
Continuous Fluidized Bed Dryers”, Drying Technology. Vol 13. (1995).
5. Strumillo, C. and T. Kudra, “Drying : Principles, Applications and Design”, GORDON  
AND BREACH, Poland.