

# 통기드럼형 의류용 건조기의 성능특성에 관한 실험적 연구

장용수\* · 이상원\* · 김수연\*\* · 정평석\*\*

## The experimental study of the performance characteristics of a tumbler type laundry dryer

Yong-Soo Jang, Sang-Won Lee, Soo-Yeon Kim and Pyung-Suk Jung

**Key Words:** Laundry Dryer(의류용 건조기), Tumbler Type(통기드럼형), Drying Time(건조 시간), Recirculation(재순환), Air Mass Flow Rate(공기 유량), Energy Efficiency(에너지효율)

### Abstract

The textile which is rotated in the tumbler dryer is dried by the heated air. The energy consumption for drying textile depends on various parameters. The objective of this study is to save the energy and the drying time. One of the various methods for energy saving is EGR(exhaust gas recirculation). We set the drying equipment for this study and perform the experimental study with the changes of the recirculation rate, the input power, and the air mass flow rate. We found the optimal drying conditions.

### 1. 서론

건조 공정은 물질 내부에 함유된 액체 상태의 수분을 증기로 변화시켜 대기 속에 확산하는 것으로서 제품의 제조 공정 중에 불가피하게 투입되었으나, 최종 제품에는 불필요한 수분, 용제 등을 제거하는 단위 조작으로 다양한 제품의 생산 공정에 포함되어 있으며, 이들 제품의 생산성 및 품질은 건조 과정에 크게 의존하고 있다. 또한 건조 공정은 다량의 에너지를 필요로 하는 공정으로써 건조 공정의 합리화는 제품 품질 및 에너지 관리상 매우 중요한 부분이기 때문에 많은 연구와 노력이 필요하다. 건조 공정에는 열풍으로 건조시키는 비접촉식 건조, 다듬질과 같은 접촉식 건조 등이 있으며, 열풍 건조는 건조 물질과 열풍이 서로 반대 방향으로 이동하는 대향류 건조와 같은 방향으로 이동하는 평행류 건조로 구

분할 수 있다. 열풍, 즉 고온의 건조 공기에 의한 건조가 이루어지는 건조 시스템에서 열 및 물질 전달은 기본적으로 수분과 온도 구배에 의하여 이루어지지만, 여기에는 증기 압력의 변화로 인한 증기 확산, 함수율에 따른 건조 물질의 비열, 열전도 계수, 확산 계수 등의 물성치들의 변화, 공기와의 접촉면에서 수분의 증발량과 증발열에 의한 에너지 손실 및 건조 물질로부터 증발한 수분의 확산과 대류에 의한 공기 증으로의 물질 전달 등 복잡한 현상들이 많이 포함되어 있고, 이런 현상에 대한 이론 및 실험적 정보가 매우 부족한 상태에 있다. 또한 건조기는 전국적으로 보급되어 사용되는 수가 많고, 에너지 사용량이 상당히 많은 편이다. 이와 같이 다량의 에너지를 사용하는 건조기들이 에너지 효율이 낮은 제품임을 감안할 때, 에너지 절약형 건조기를 개발하여 보급할 경우 에너지 소비를 획기적으로 절약할 수 있을 것이다. 그러나 국내 업체들은 생산 기술은 어느 정도 확보되어 있으나 설계 및 개발 기술이 상당히 부족하여 효율이 높은 건조기를 생산하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 이들 업체들은 일본, 미국, 유럽 국가의 제품을 모방하거나 이들 나라로부터 비싼 로열티를 물고 기술을

\* 영남대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 정희원, 영남대학교 기계공학과

도입하여 제품을 생산하고 있다. 뿐만 아니라 국내 업체의 경우 고효율 의류용 건조기나 대용량 건조기를 설계하거나 개발하기 위한 자체 보유기술은 더욱 더 부족한 상태에 있다. 물론 나름대로 에너지 절약방안을 강구하고 있으나 체계적인 연구가 부족하고 연구 개발 실적도 전무한 형편이고, 기술 개발에 대한 의지와 인적, 물적 여력 또한 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 에너지 절약형 건조기 개발을 위해 의류용 건조기의 가장 일반적인 모델인 통기 드럼형 건조기의 건조 특성에 대해 체계적인 연구를 수행하였다.

본 연구는 통기 드럼형 건조기의 건조 성능을 향상시키고 에너지 절감 방안에 대한 실험 자료를 확보하여 에너지 절약형 의류용 건조기의 개발시 기초 자료를 제공함을 목적으로 하고 있다. 본 연구에서는 EGR(Exhaust Gas Recirculation)을 통한 통기 드럼형 건조기의 최적 작동 조건과 최적의 에너지 효율에 관한 내용을 다루었다. 기술 개발의 개념은 건조기로 공급된 공기를 최대한 건조에 사용되도록 하고, 배기에 포함된 폐열의 회수와 함께 피건조물이 건조된 후에도 계속 가열되는 것에 의한 에너지 낭비를 막아 고효율화를 달성하고자 하는 것이다. 에너지 절약형 건조기의 개발은 (주)충무와 산학협동과제로 진행되었으며 통기 드럼형 건조 장치를 이용하여 건조기의 운전조건인 Input power, Mass flow rate, EGR rate를 변화시켜 가면서 건조물의 건조시간과 건조기의 성능을 평가하였으며, 이를 토대로 에너지 절약형 건조기의 설계를 위한 자료를 축적하고 최적 운전 조건을 탐색하였다. 여기서 축적된 결과를 고효율 고성능의 건조기 설계 및 제작에 적용하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1. 실험 장치

Fig. 1은 실험 장치의 개략도를 나타내었다. 온도 측정을 위해 온도범위가 -270 ~ 400℃인 열전대(T-type)를 사용하였고 습도측정을 위하여 온도범위 -40 ~ 180℃, 상대습도 0 ~ 95%에서 사용 가능한 습도계(E+E electronik사, EE28)를 사용하였다. 순환하는 열풍의 유속 측정을 위하여 Pitot tube를 설치하고 차압계( Setra system사)와 연결하였으며, 데이터 로거(FLUKE사, Netdaq 2645A)

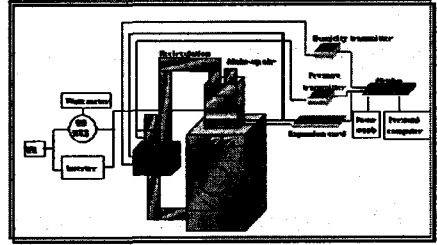


Fig.1 Schematic diagram of tumbler type laundry dryer

를 이용하여 온도, 습도, 유속을 컴퓨터로 입력하였다. 또한 공급되는 전력을 조정하기 위하여 슬라이다스를 설치하였고, 공급 전력량의 가시화를 위해 Watt-meter를 설치하였다.

### 2.2. 실험 방법

통기 드럼형 건조기의 건조특성과 성능특성을 실험하기 위하여 Table 1에 나타난 바와 같이 다양한 실험 조건에서 실험을 수행하였다. Fig. 2는 재순환을 실시하였을 경우 건조 시스템의 에너지 흐름을 나타낸다. 실험 수행시 초기조건으로 섬유 무게를 4kg, 초기 함수율 60%의 상태에서 Table 1의 조건을 변화시키면서 실험을 수행하였다. 건조가 완료되는 조건으로는 함수율이 5%일 때를 완전건조가 된 상태로 보았다. 에너지 효율은 건조기에 공급된 전력에 대하여 건조물의 수분을 증발시키는데 소비된 에너지의 비로 정의하였다.

$$\text{에너지효율} = \frac{\text{수분증발에 사용된 에너지}}{\text{건조기 공급전력}} \times 100$$

Table 1 Experimental conditions

| Textile       | Variables              | Conditions            |
|---------------|------------------------|-----------------------|
| Cotton (20NE) | Recirculation rates(%) | 0, 30, 50, 70, 90     |
|               | Input power(kW)        | 4.5, 6.0, 7.5         |
|               | Mass flow rates(kg/s)  | 0.0792, 0.0961, 0.113 |

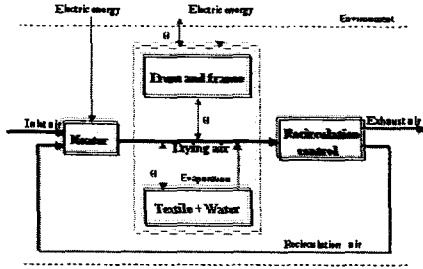


Fig. 2 Mass and energy flows of the tumbler drier

### 3. 실험 결과

#### 3.1. 건조 특성

건조기 출구의 증발량 변화를 Fig. 3에서 보여 주고 있다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 증발량은 초기에는 급격하게 증가하고 시간이 경과함에 따라 일정한 증발량을 나타내다가 점차 증발량이 감소하게 되는 것을 알 수 있다. 증발량의 그래프를 확대해서 보면 일정한 주기를 가지고 증발량이 변화하는 것을 알 수 있다. 이것은 건조기 통기드럼의 회전에 의하여 발생하는 현상이다. 의류용 건조기는 의류의 영킴현상을 방지하기 위하여 통기드럼이 일정한 주기를 가지고 정회전과 역회전을 반복하도록 설계되어 있다. 통기드럼이 회전할 경우, 증발 표면적의 증가로 인하여 증발량이 증가한다. 반면 정지했을 경우, 증발 표면적의 감소로 인하여 증발량이 감소하는 것을 볼 수 있다.

#### 3.2. 온도 및 습도 변화

의류용 건조기에서 증발량은 입구 공기의 온도와 습도에 따라 변화한다. 출구 공기를 재순환시킬 경우 입구 공기의 온도와 습도가 동시에 변화하게 된다. 재순환량의 변화에 따른 입, 출구쪽 공기의 온도와 습도 변화를 Fig. 4 ~ 8에서 나타내었다. 일반적으로 입구를 통해 유입되는 공기의 온도가 높을수록 증발은 잘 일어나고 습도가 높을때는 증발량이 감소하는데, 재순환의 경우는 유입되는 공기의 온도뿐만 아니라 습도도 함께 높아진다. 그러나 재순환량이 70% 이상에서는 입구측 온도가 다시 낮아지는 것을 알 수 있다. Fig. 9는 상대습도 데이터들을 최소 자승법을 이

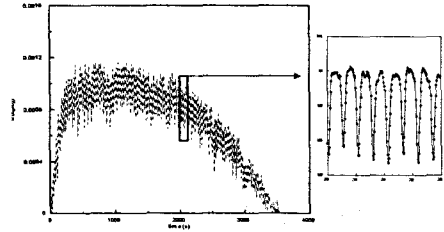


Fig. 3 Sample drying curve

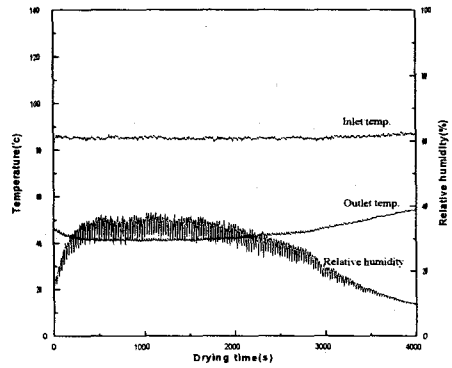


Fig. 4 Inlet, outlet temperature and relative humidity with input power 6.0(kw), mass flow rate 0.0961(kg/s), EGR 0(%)

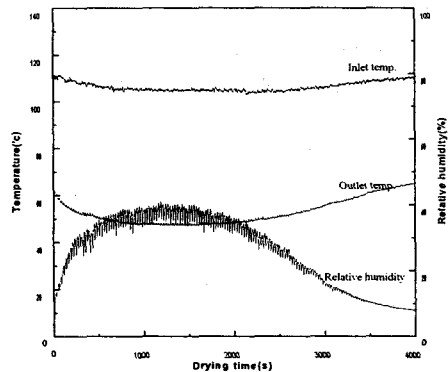


Fig. 5 Inlet, outlet temperature and relative humidity with input power 6.0(kw), mass flow rate 0.0961(kg/s), EGR 30(%)

용하여 곡선으로 변환한 후 나타내었다. 재순환량이 증가함에 따라 건조시간이 짧아지나, 일정량 (약 70%) 이상이 되면 오히려 길어짐을 알 수 있다.

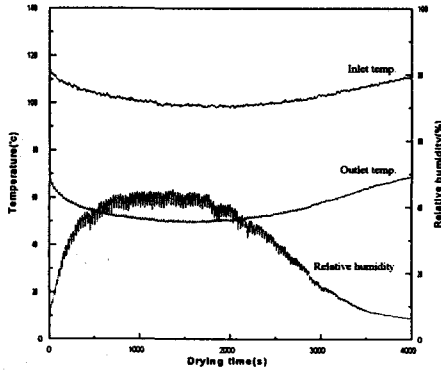


Fig. 6 Inlet, outlet temperature and relative humidity with input power 6.0(kw), mass flow rate 0.0961(kg/s), EGR 50(%)

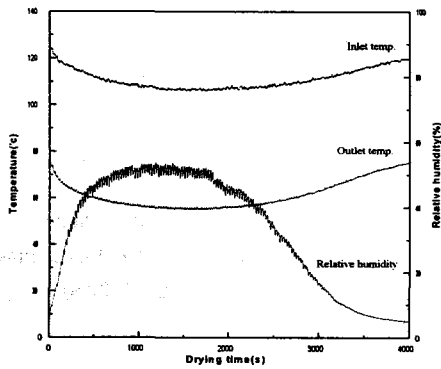


Fig. 7 Inlet, outlet temperature and relative humidity with input power 6.0(kw), mass flow rate 0.0961(kg/s), EGR 70(%)

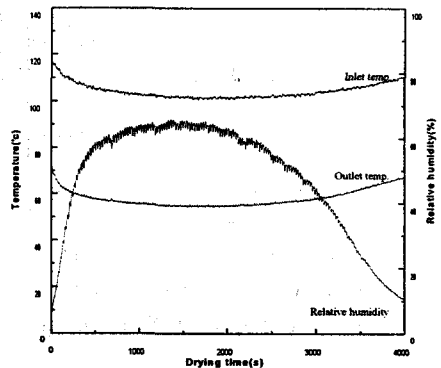


Fig. 8 Inlet, outlet temperature and relative humidity with input power 6.0(kw), mass flow rate 0.0961(kg/s), EGR 90(%)

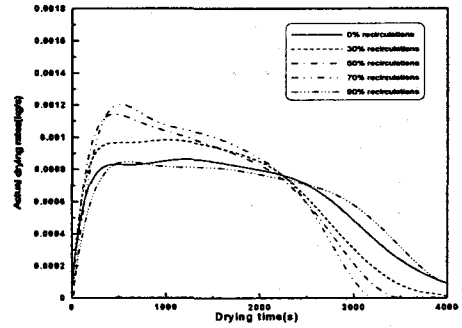


Fig. 9 Drying rate changes with input power 6.0(kw), mass flow rate 0.0961(kg/s).

### 3.3. 건조 시간 및 에너지 효율

건조 완료 시간은 함수율 5%에서 완전 건조가 일어난 것으로 보고 건조 시간을 측정하였다. Fig. 10 ~ 12는 주어진 공기 유량에 대하여 공급 전력과 재순환량을 변화시켰을 때 건조 시간의 변화를 나타내고 있다. 공급 전력이 많아질수록 건조 시간이 짧아짐을 알 수 있다. 또한 재순환량의 경우 건조 시간을 최소화할 수 있는 최적의 재순환 조건이 존재함을 보여준다. 공기 유량이 증가할수록 건조 시간을 최소화하는 재순환량은 약 70%에 가까워진다. 70%에서 가장 좋은 건조 효율을 나타내는 것을 알 수 있다.

에너지 효율은 아래의 관계식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{에너지 효율} = \frac{\text{수분증발에 사용된 에너지}}{\text{건조기 공급전력}} \times 100$$

Fig. 13 ~ 15은 주어진 공기 유량에 대하여 공급 전력과 재순환량을 변화시켰을 때 에너지 효율을 나타낸 그림이다. 공급 전력이 많아질수록 에너지 효율이 높아짐을 나타내고 있다. 그러나 공급 전력은 건조시키고자 하는 의류의 종류에 따라서 공급할 수 있는 한계가 있다. 즉 의류의 물성치를 변화시키지 않는 범위에서 공급 전력을 늘리는 것이 에너지 효율을 높일 수 있을 것으로 생각된다. 재순환량의 경우 건조 시간과 마찬가지로 에너지 효율을 최대로 만드는 최적의 재순환량이 존재함을 알 수 있다. 본 실험에서는 최적의 재순환량이 약 70%로 나타났다.

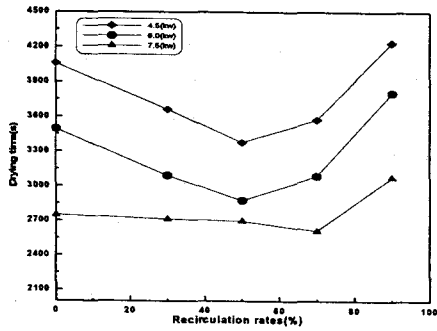


Fig. 10 Drying time of input power at mass flow rate 0.0792(kg/s).

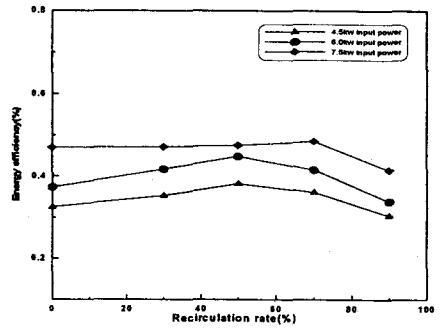


Fig. 13 Energy efficiency of input power at mass flow rate 0.0792(kg/s).

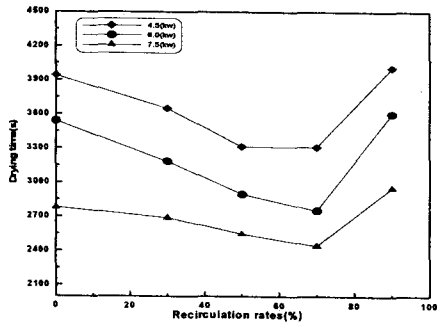


Fig. 11 Drying time of input power at mass flow rate 0.0961(kg/s).

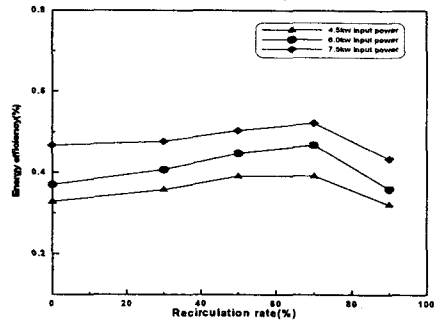


Fig. 14 Energy efficiency of input power at mass flow rate 0.0961(kg/s).

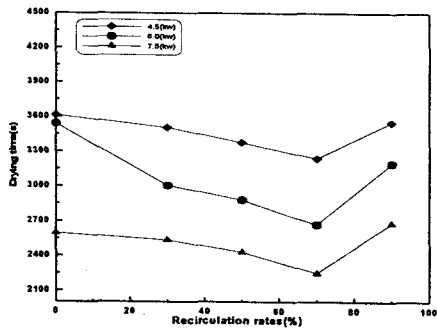


Fig. 12 Drying time of input power at mass flow rate 0.113(kg/s).

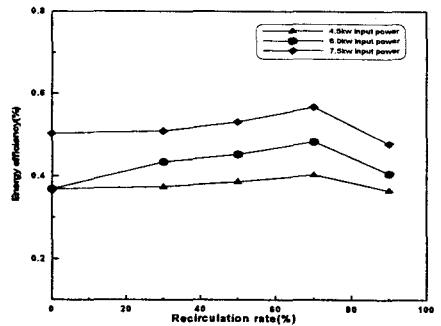


Fig. 15 Energy efficiency of input power at mass flow rate 0.113(kg/s).

#### 4. 결론

본 연구는 통기 드럼형 의류용 건조기에서 피 건조물의 건조 특성 및 성능에 대해 살펴보았다. 일반적으로 의류용 건조기는 피 건조물인 의류에 열로 인한 물성치 변화를 일으키지 않으면서 효과적으로 의류를 건조시킬 수 있어야 한다. 통기 드럼형 의류용 건조기는 여러 가지 인자에 의해 건조 성능이 변화한다. 본 실험에서 살펴본 바에 의하면 통기 드럼형 건조기의 건조 특성은 유입 공기의 온도와 습도에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. EGR(Exhaust Gas Recirculation)을 이용할 경우 입구측 공기의 온도와 습도가 동시에 상승하게 된다. 이 때 재순환되는 공기량을 적당히 잘 조절하면 건조 시간과 에너지 효율이 최적의 상태가 됨을 알 수 있었다. 실험 결과 약 70%에서 건조 시간과 에너지 효율이 최적이 되는 것으로 나타났다. EGR 70%인 경우 EGR이 없는 경우에 비해 최고 24% 정도의 에너지 절감 효과를 거둘 수 있었다. 본 연구를 통해 얻어진 피 건조물의 건조 특성과 통기 드럼형 건조기의 성능 특성은 통기 드럼형 건조 시스템 설계에 기초 자료로 제공되어 질 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- (1) Arun S. Mujumdar, 1995, "Handbook of Industrial Drying", 2nd ed., McGill Univ, pp.825~859.
- (2) Arun S. Mujumdar, 1992, "Advances in Drying", 5th ed., McGill Univ. pp.77~363.
- (3) Anthony F. Mills, 1995, "Heat and Mass Transfer", Univ. of California at Los Angeles, pp.808~1197.
- (4) Rita M. Crow, 1973, "The Drying of Textile Fabrics", Journal of the Textile Reserch, pp.203~212.
- (5) T. Elperin and B. KrasSovitov, 1995, "Evaporation of Liquid droplets containing small solid particles", Int. Journal of the Heat and Mass Transfer, pp.2259~2267.
- (6) W. M. Kays and M. E. Crawford, 1993, "Convective Heat and Mass Transfer", 3rd ed., McGraw-Hill. pp.480~540.
- (7) Louis. C. Burmeister, 1982, "Convective Heat Transfer", University of Kansas, Lawrence. pp.360~674.
- (8) C. V. LE, D. H. Tester, and P. Buckenham, 1995, "Heat and Moisture Transfer in Textile Assemblies", Textile Reserch. J, pp.203~212.
- (9) M. Crow, T. J. Gillespie, and K. Slater, 1972, "The Drying of Textile Fabrics", J. Textile Institute, pp.75~81.
- (10) R. K. Chakravarty and K. Slater, 1978, "A Unified Drying Equation for Automatic Control in Tentering", J. Textile Institute, pp.370~378.
- (11) R. P. Phillip and de D. A. Vries, 1957, "Moisture movement in porous materials under temperature gradients", Trans. Am. Geophys.