

소규모 와류건조기의 건조특성

문영섭, 서준민, 류호정, 최정후
건국대학교 화학공학과

Characteristics of a Small-Scale Swirl Flow Dryer

Young-Sub Moon, Joon-Min Suh, Ho-Jung Ryu, Jeong-Hoo Choi
Department of Chemical Engineering, Kon-Kuk University, Seoul 133-701

서론

산업화가 진행됨에 따라 폐기물의 양적 팽창과 함께 이의 적절한 처리는 국내적으로도 커다란 과제로 대두되고 있으며, 폐기물의 재활용도를 더욱 높이는 방법으로 수분이 다량 함유된 각종 식품공장 및 주방폐기물의 건조후 사료화 및 비료화가 적극 고려될 수 있다. 일반적으로 피건조물의 종류가 다양한 것과 같이 각 물질의 물리·화학적 성질에 부합되는 최적의 건조기도 극히 다양한 구조로 선택되며 피건조물의 종류에 따라 적합한 형태의 건조기가 선택되어야 한다. 본 연구는 수분함량이 높은 주방 폐기물 및 식품 공장 폐기물을 건조하여 사료화 하거나 비료화함으로써 폐기물의 재활용을 높이기 위한 고효율의 와류건조기(swirl flow dryer) 개발을 목표로 수행되었다. 대개의 주방·식품 폐기물은 다양한 유기 물질을 포함하므로 단순 폐기할 경우 수많은 환경문제를 유발할 뿐 아니라 높은 처리 비용을 감수해야 하므로 이를 분쇄, 건조하여 필요한 용도로 전용함으로써 환경문제를 제거함과 동시에 경제적인 이득을 얻고자 연구되었다.

고효율의 건조기는 건조된 피건조물의 수분 함량을 감소시킴으로써 운반, 수송이 용이해지고 쉽게 변질되지 않게 하여 장기간, 대량의 보관, 저장이 가능해진다.

건조기는 건조유형에 따라 통기건조기, 분무건조기, 회전건조기, 기류건조기, 유동층건조기, 전도가열형 건조기, 동결건조기, 분출형건조기, spouted bed 건조기 등으로 나뉘는데[1, 2], 본 건조기는 전도 가열형 건조기를 개량한 형태라고 볼 수 있다. 열 매체로 사용된 수증기는 건조기의 외벽에 접하며, 열 매체가 가지고 있는 열은 전도전열로 내벽에 전달되어 건조기 내벽에 접하는 피건조물을 건조시키는 간접 가열 방식이다. 이때 내벽 표면에서 열전달저항을 줄이기 위해 impeller를 이용하여 피건조물의 와류(swirl)흐름이 유도되며, 이로 인하여 열효율이 크게 향상된다. 또한 impeller를 사용하면 건조 과정에서 폐기물의 분쇄가 수반되므로 건조후 재활용을 원활하게 해준다. 본 건조기는 건조 효율을 극대화시켜 장치의 크기를 축소시키고 설치, 운용, 관리를 용이하게 하며, 주방 폐기물, 식품 공장 폐기물, 수산 가공 폐기물, 그밖의 유사한 각종 산업폐기물등 다양한 폐기물의 건조에 적용될 수 있는 많은 장점을 지니고 있도록 하기 위하여 연구되었다.

본 연구에서는 impeller에 부착된 blade의 형태 및 크기, impeller의 회전속도 등을 실험변수로 하여 건조기내의 swirl flow특성, 최대처리용량, 건조속도(drying flux), 건조후 시료의 수분함량 등의 제반 건조 특성을 해석하는데 그 목적을 두고 있다.

실 험

Fig.1은 본 연구에서 사용된 small-scale swirl flow dryer의 흐름도를 나타내고 있다. 건조기의 본체는 직경 396mm, 높이 605mm, 두께 3mm의 stainless steel(SUS 304)로 제작되었으며 그 주위에 폭 50mm의 steam jacket을 설치하여 건조기 내부를 가열하도록 하였으며, steam jacket 외부와 본체의 상하면은 열손실을 최소로 하기 위해 단열재로 마감하였다. 피건조물의 투입과 흐름특성의 관측을 위해 본체의 상부에 sight window를 설치하였으며 건조된 시료는 높이 300mm와 570mm에 본체의 벽면과 60°아래로 설치된 두개의 토출구(53mm ID)중 아래 부분에 설치된 토출구로 배출되도록 하였다. 피건조물에서 증발된 수분의 제거와 재부착 방지를 위하여 건조기의 상부에 turbo fan을 설치하였다. 전열매체로 사용된 steam은 최대용량 50kg/h, 최대압력 3kg/cm²의 steam boiler에 의해 건조기로 공급되었으며 건조기의 steam jacket에서 열교환을 마친 후 응축되어 하부의 배출관과 trap을 거쳐 배출되도록 하였다.

건조기의 열효율을 측정하고 건조기 내부의 열교환 상태를 관찰하기 위하여 steam 유입구와 배출구에 각각 1개, 건조기 내벽에 3개(바닥으로부터 50, 300, 530mm), 건조기 배부에 1개의 K형 열전대(thermocouple)를 설치하였으며 data logger를 통하여 기록 및 관찰되었다.

시료의 분쇄와 혼합 및 건조를 위하여 RPM을 변화시킬 수 있는 가변속 모터를 사용한 impeller를 부착하였다. shaft를 회전시키기 위한 VSM(variable speed motor)은 1.5HP, 최대회전속도 1700RPM인 단상DC motor을 사용하였으며 여러 가지 형태와 크기의 blade를 부착할 수 있는 shaft와 연결되었다.

실험변수로 blade의 형태 및 크기, RPM(400, 500 RPM)을 변화시켰다. Blade는 기본형인 flat blade[3]와 blade의 높이를 2~4배 증가시킨 형태 및 anchor 형태로 제작되었다. Fig. 2는 각 blade의 형태를 나타내고 있으며 Table 1은 각 blade의 치수를 나타내고 있다. 기본형 flat blade(A)는 높이48mm 길이가 140mm인 stainless steel(SUS 304)로 제작되었으며 B, C, D의 blade는 flat blade(A) 높이의 2, 3, 4배의 높이를 갖도록 제작되었고 E, F의 blade는 B, C의 blade보다 폭이 좁은 형태로 제작되었다. 각각의 blade는 회전원통안에 일정한 각도의 경사를 가지고 회전가능하도록 모따기를 하였다.

피건조물로는 79~82%의 습량기준수분함량을 갖는 두부제조후 식품폐기물인 콩비지를 사용하였다.

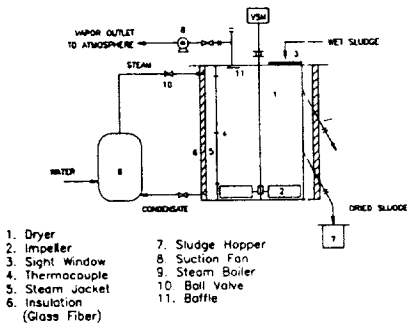


Fig. 1 Schematic diagram of dryer.

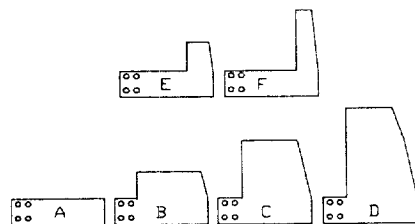


Fig. 2 Form of blades.

Table. 1 Dimension of blades.

variables \ symbols	A	B	C	D	E	F
height(mm)	48	96	144	192	96	144
width(mm)	0	106	106	106	35	35
thickness(mm)	3	3	3	3	3	3
length(mm)	140	140	140	140	140	140

Blade의 형태와 RPM 변화에 따른 건조특성을 고찰하기 위하여 blade를 교체해 가면서 400 및 500 RPM에서 정상상태를 유지하며 sludge를 투입하면서 sludge의 최대투입량과 토출량, steam사용량, 건조기 내부의 흐름특성, 온도변화, 건조 전·후시료의 수분함유량을 측정 및 관찰하였으며 물질수지와 에너지 수지를 이용하여 최대처리량, 증발수분량, 수분증발속도, 토출속도, 건조속도(drying flux, J_w [g/cm²hr])등을 계산하였다

결과 및 토론

1. 시료투입속도

Fig. 3은 각각의 RPM과 blade type에서 blade의 높이에 따른 시료투입속도의 변화를 나타내고 있다. 400RPM의 경우에는 blade 높이가 증가함에 따라 최대처리량이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 나타내었으며 500RPM의 경우에는 폭이 좁은 blade는 blade높이가 증가함에 따라 최대처리량이 증가하였으나, 넓은 blade는 초기에는 증가하였다가 다시 감소하였다.

Blade 형태와 RPM의 변화에 따른 시료투입속도의 변화는 blade 높이가 증가함에 따라 그 변화폭이 크게 나타났는데, 이는 blade의 높이가 증가함에 따라 하부 배출관과의 거리가 짧아지므로 시료투입속도에 미치는 건조기내 흐름특성의 영향이 증가하기 때문으로 사료되었다.

2. 건조속도(J_w)

건조속도는 단위시간당, 단위전열면적당 증발되는 수분의 질량을 의미하며[4] g/cm²hr의 단위를 갖는다. Blade 형태와 RPM의 변화에 따른 건조속도의 변화는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 좁은 blade의 경우에는 blade 높이가 증가함에 따라 감소하였으며 넓은 blade의 경우에는 높이 144mm의 blade에서 최대값을 보인후 감소하는 경향을 나타내었다.

Blade 높이 48mm의 경우에는 RPM변화에 따른 건조속도의 변화가 거의 없었고, blade 높이 96mm에서는 좁은 blade의 건조속도가 넓은 blade의 경우보다 크게 나타났으며, 높이 144mm에서는 RPM이 낮은 경우의 건조속도가 RPM이 높은 경우의 건조속도에 비해 크게 나타났다. 이와 같은 경향은 blade 높이가 낮은 경우(48, 96mm)에는 건조속도가 RPM보다는 blade의 형태에 의해 결정되며, blade 높이가 높은 경우(144mm)에는 RPM에 의해 건조속도가 결정되는 것으로 사료되었다.

3. 열효율(heat efficient)

Fig. 5는 blade 형태와 RPM의 변화에 따른 열효율의 변화를 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 열효율은 시료투입속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 이는 blade의 높이나 RPM이 높은 경우에 충분한 건조가 이루어지지 않은 상태에서도 배출되는 시료가 있기 때문으로 사료되었다. 그림에 나타난 바와 같이 좁은 blade의 경우에는 blade높이가 증가함에 따라 열효율이 감소하고 500RPM의 넓은 blade의 경우에는 blade높이에 따라 변화가 심한 반면 400RPM의 넓은 blade의 경우에는 blade높이가 증가함에 따라 열효율이 증가하는 경향을 보였다.

4. 건조물의 수분함량

Fig. 6은 blade 형태와 RPM의 변화에 따른 건조물의 수분함량을 나타내고 있다.

측정된 건조물의 수분함량은 건조속도가 증가함에 따라 감소하였으며 감소함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, 단위시간당 단위면적당 증발되는 수분량이 많아질수록 건조물의 수분함량이 감소하며 건조속도가 증가함에 따라 배출된 건조물의 건조정도가 향상됨을 알 수 있었다.

5. 최적운전조건

앞서 살펴본 바와 같이 blade의 형태와 RPM에 따라 시료투입속도(최대처리량), 열효율, 건조물의 수분함량등이 달라지게 된다. 최적운전조건은 원하는 조업조건에 따라 달라지게 되는데 건조물의 수분함량보다는 처리능력을 높이하고자 할 경우에는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 500RPM에서 높이 96mm의 넓은 blade나 144mm의 좁은 blade를 사용하는 것이 바람직하며 처리능력보다는 건조물의 수분함량을 줄이는 것이 중요한 경우에는 A type의 flat blade나 400 또는 500RPM의 넓은 blade를 사용하는 것이 적합한 것으로 사료되었다.

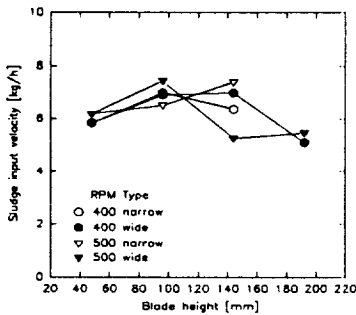


Fig. 3 Sludge input velocity.

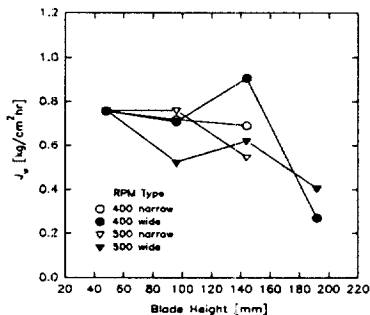


Fig. 4 Vaporization velocity.

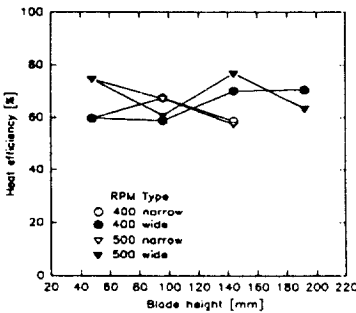


Fig. 5 Heat efficiency.

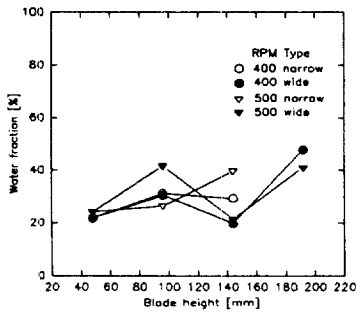


Fig. 6 Water fraction in dried sludge.

참고문헌

1. Perry, R. H. and Green, D. W.: "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, New York, 20-14(1984)
2. Mcketta, J. J. and Cunningham, W. A.: "Unit operation handbook", Marcel Dekker Inc., New York, 865(1976)
3. Holland, F. A. and Chapman, F. S.: "Liquid mixing and processing in stirred tanks", Reinhold Pub. Co., New York, 8(1966)
4. McCabe, W. L., Smiott J. C. and Harriott, P.: "Unit operations of chemical engineering", McGraw-Hill, New York, 769(1993)