

다단유동층 건조기에 대한 실험적 연구

김규형*, 최경빈**, 박상일, 고창복, 김정근
충북대 대학원, 한국에너지기술연구원

Experimental Analysis on Multistage Fluidized Bed Dryer

Kyu Hvang Kim*, Kyung Bin Choi**, Sang Il Park, Chang Bok Ko, Jung Keun Kim
Chungbuk Univ., Korea Institute of Energy Research

1. 서론

유동층 건조법은 다공판으로 된 베드 위에 피건조물을 두고 아래쪽에서 열풍을 보내어 열풍속에서 재료를 부유시켜 열풍과 혼합함으로써 건조되는 방식으로 분체의 건조에 유효한 건조방법으로 알려져 있다. 열 및 물질 전달이 상당히 커서 건조가 빠르게 일어나고 온도가 균일하며 균일한 건조가 가능하다. 또한 건조장치의 처리용량이 비교적 크고 장치의 구조가 단순하여 건조장치의 경제성과 신뢰성이 우수하다.

다단유동층 건조기는 건조효율이 비교적 높으며, 주로 연속 건조공정에 사용할 수 있으며, 유동층의 단수를 증가시켜 열효율을 80% 이상으로 유지할 수 있다. 건조기에서의 제품의 체류시간을 비교적 일정하게 유지할 수 있으므로 제품의 건조율을 일정하게 유지할 수 있어 제품의 품질을 향상시킬 수 있다. 그러나 현재 국내의 경우 유동층 건조기에 대한 연구개발이 초기 단계에 있고 또한 고효율의 다단 유동층 건조기에 대한 연구는 아직 미비한 실정으로 이에 대한 연구개발이 유동층 및 다단 유동층의 산업공정에 대한 기술의 국산화를 위하여 매우 필요하다고 판단된다.

유동층 건조에 대한 실험과 이론적 고찰에 대한 많은 논문들이 있다[1~4]. Rao와 Krishna[5]는 batch 유동층을 여러 개 연결한 다단 batch 유동층에서 압력강하와 batch 유동층에서의 압력 강하를 연구하였고 Krishnaiah와 Varma[6]는 다단 유동층 건조기에서 압력강하, 함수율, 평균 체류시간에 대한 실험식을 유도하였고 Kannan 등[7]은 batch 유동층 건조 해석 모델을 다단유동층에 적용 실험과 비교하여 유입 공기온도와 물질의 체류시간이 건조에 가장 큰 영향을 미치고 continuous single-stage 유동층 건조기는 batch에 비해 성능이 떨어지고 2단이나 3단 유동층 건조기는 batch 형보다 건조 성능이 우수하다고 하였다⁽⁷⁾.

본 연구에서는 건조 성능이 우수하다고 알려진 다단 유동층 건조 실험장치를 제작하여 평균 입자직경이 1.9 mm이고 밀도가 1200 kg/m³인 조를 건조할 때 열풍 온도, 풍량, 물질의 공급량 등 인자들에 따른 조의 건조 특성을 고찰하여 효율적인 건조 방안을 검토하고자 한다.

2. 다단 유동층 건조기 실험

다단 유동층에서 건조실험은 Fig. 1에서의 같은 실험장치로 수행하였다. 단면적 0.172m×0.192m 인 아크릴 직사각형 5단 유동층으로 제작되었고 각 단의 높이는 0.2m, 각 단의 고체층 높이는 공급 역할을 하는 5 단은 0.02 m 이고 1단에서 4단까지는 0.04 m이다. 각단의 다공판은 구멍의 직경이 0.003m로 188개로 이루어져 opening ratio는 4%이다. 열풍의 온도는 전기히터로 공급되고 온도조절기를 이용하여 일정하게 유지하며 풍량은 blower의 damper를

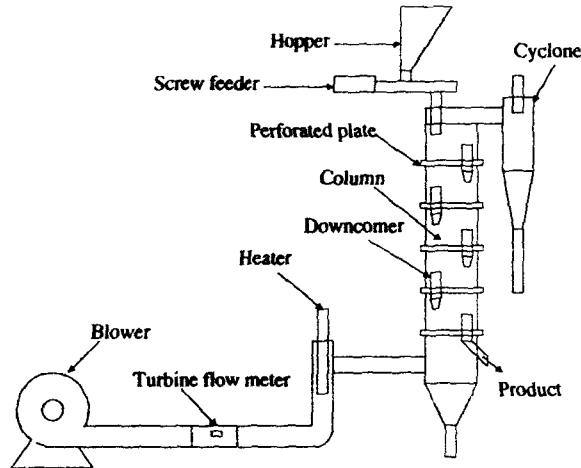


Fig. 1 Experimental apparatus of multistage fluidized bed dryer

이용하여 조절하였고 일정한 수분농도를 갖는 잿은 고체입자들은 screw feeder의 회전속도를 변경하면서 고체입자의 투입속도를 조절하였다. Screw feeder에 의해 공급되는 조는 5단에 공급되고 순차적으로 downcomer를 지나서 하단으로 내려간다. 이 downcomer의 내경은 0.0387m고 끝부분이 좁아지는 형태를 가지고 있다. Blower와 heater에 의해 공급되는 열풍은 하부로 공급되어 상부로 이동하며 물질을 건조하고 분진을 포집하기 위해 설치한 사이클론을 거쳐 외부로 배출된다. 각 단에서 물질과 공기의 온도를 thermocouple로 측정하고 공급 공기의 습도와 장치 출구에서의 습도를 humidity sensor (Vaisala Co., HMP235)로 측정하여 건조과정에서 열풍이 회수한 수분의 양을 계산하였다. 또한 정상상태로 작동할 때 각 단에서 물질의 함수율을 수분측정기(Kett Electric Lab, FD-620)로 측정하여 고체입자에서 배출된 수분 양과 열풍이 회수하는 수분 양을 비교함으로써 실험의 정확성을 판단하였다. 다음은 실험 변수들의 범위를 나타낸다.

열풍 온도 : 37, 48, 54, 65°C

풍량 : 0.036 ~ 0.042 kg/min

공급 물질량 : 0.127, 0.206, 0.264, 0.323 kg dry solid/min

물질의 초기 함수율 : 0.189 ~ 0.197 kg water/kg wet solid

3. 결과 및 고찰

Fig. 2와 3은 풍량 0.042kg/min, 물질의 공급량 0.127 kg dry solid/min, 초기함수량 0.197 kg water/kg wet solid일 경우에 열풍 온도에 따라 각 단에서 물질의 함수율과 온도 변화를 각각 무차원화하여 나타낸 것으로 C는 물질의 함수율, 하첨자 e는 평형상태, i는 공급 물질의 초기상태를 나타내고 T는 물질의 온도, Ta는 공급 공기의 온도, Ti는 공급 물질의 초기온도를 나타낸다. 공급 공기 온도가 증가할수록 각 단에서 물질의 함수율은 감소하고 온도는 증가하는 경향을 보여준다. 이것은 시스템에 공급되는 열에너지의 증가로 물질에서 물질에서 수분을 증발시킬 수 있는 에너지를 더 많이 공급하기 때문이다. 또한 1단에서 5단으로 올라갈수록 함수율은 증가하고 온도는 감소한다. 그 이유는 각 물질이 하단으로 내려갈수록 체류시간이 더 길어져 더 많은 열에너지를 받기 때문이다.

Fig. 4와 5는 물질 공급량 변화에 따른 각 단계에서 물질의 함수율과 온도 변화를 무차원화 하여 보여주는 그림이다. 이때 실험조건은 풍량 0.042kg/min, 물질의 초기함수율 0.195kg water/kg wet solid, 공급공기의 온도 65℃인 경우이다. 공급량이 많아질수록 수분함유량이 많아지고 온도는 낮아진다. 이는 물질의 공급량은 물질이 시스템에 머무르는 체류시간과 직결되는 인자이므로 공급량이 커지면 물질이 시스템에 머무르는 시간이 줄어들기 때문에 물질이 받는 열에너지가 줄어들어 물질 내 수분의 증발이 줄어든다. 또한 단 수의 증가는 공급 공기 온도의 영향과 마찬가지로 함수율을 줄이고 온도의 증가를 가져온다.

Fig. 6과 7은 공급 공기량의 영향을 본 것으로 공급공기의 온도는 65℃와 물질의 공급량 0.323kg dry solid/min인 경우에 물질의 함수율과 온도 변화를 보여준다. 풍량이 증가하면 각 단계에서 함수율은 낮아지고 큰 차이는 아니지만 온도는 높아진다. 이것은 공급되는 열에너지의 증가로 발생한다. 이러한 풍량의 영향 실험은 범위가 최소유동화 속도와 종말 속도 내로 한정되기 때문에 건조에 급격한 영향을 주지는 않는 것으로 생각된다.

4. 결론

다단 유동층 건조기에서 작동 인자들의 영향을 보기 위해서 실험장치를 구성하고 조를 이용한 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 공급 공기의 온도와 풍량이 많거나 물질 공급량이 적으면 물질에 공급되는 열량이 많아져 건조가 많이 발생한다. 그 중 공급 공기의 온도와 물질 공급량이 시스템 작동의 중요한 변수가 되는 것을 확인 할 수 있었다.

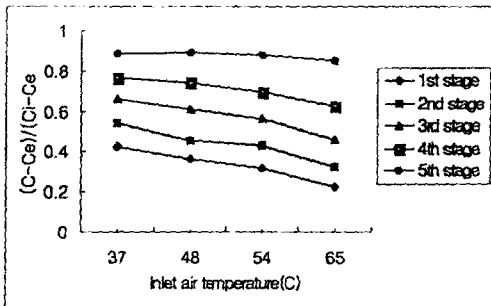


Fig. 3 Effects of inlet air temperature on solid moisture content.

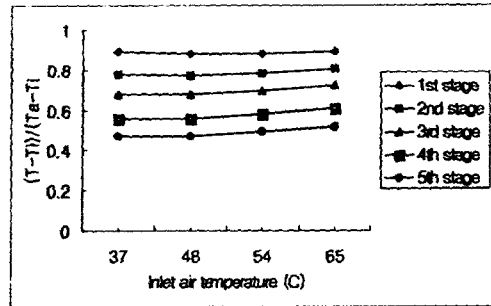


Fig. 3 Effects of inlet air temperature on solid temperature.

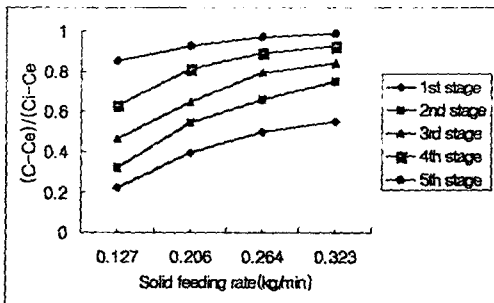


Fig. 4 Effect of solid feeding rate on solid moisture content.

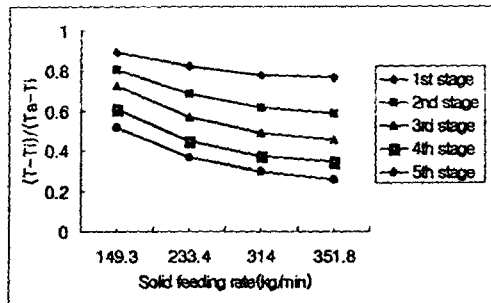


Fig. 5 Effect of solid feeding rate on solid temperature.

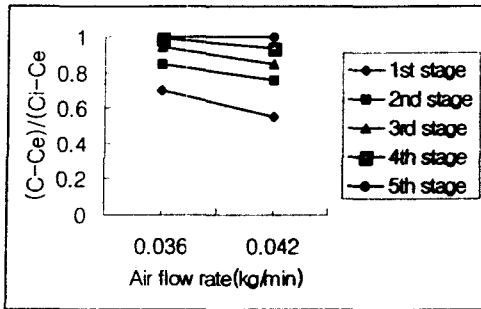


Fig. 6 Effect of inlet air flowrate on solid moisture content.

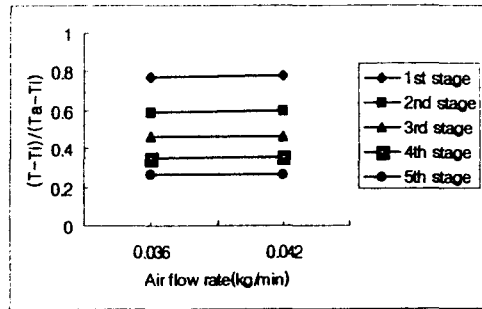


Fig. 7 Effect of inlet air flowrate on solid temperature.

참고문헌

1. Chandran, A.N., Subba Rao, S., Varma, Y.B.G., "Fluidized Bed Drying of Solids", *AIChE J.*, 36, 29 (1990).
2. Palancz, B.A., "A Mathematical Model for Continuous Fluidized Bed Drying", *Chem. Eng. Sic.*, 38, 1045 (1983).
3. Kannan, C. S. and Rao, S. S. and Verma, Y.B.G., "A Kinetic Model for Drying of Solids in Batch Fluidized Beds", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33, 363 (1994).
4. Lee, D.H. and Kim, S.D., "Mathematical Model for Batch Drying in an Inert Medium Fluidized Bed", *Chem. Eng. Technol.*, 22, 443 (1999).
5. Rao, N.J., and Krishna, N.G., "Studies in Multistage Fluidization", *Indian J. of Technol.*, 13, 49 (1975).
6. Krishnaiah, K. and Varma, Y.B.G., "Pressure drop, Solids Concentration and Mean Holding Time in Multistage Fluidisation", *Canadian J. of Chem. Eng.*, 346 (1982).
7. Kannan, P.P., Thomas, P.P, Varma, Y.B.G., "Drying of Solids in Fluidized Beds", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 34, 3068 (1995).