

무중력 유동층 건조기의 건조특성에 관한 연구

김석철* · 배동규* · 한지웅* · 금성민** · 이창언***

Characteristics of Non-gravity Fluidized Dryer

S. C. Kim, D. K. Bae, J. W. Han, S. M. Kum and C. E. Lee

Key Words: Non-gravity Fluidized Dryer(무중력 유동층 건조기), Paddle Mechanism(패들 메커니즘), Accuracy(혼합 정밀도)

Abstract

The purpose of this study is to develop the non-gravity fluidized dryer. In this non-gravity fluidized dryer the fluidized zone is produced by two paddles in mixer, which maximizes the surface area of materials and then heated air through the guiding panels dehumidify them. This can conduct the drying process quickly and control moisture contents to lower limits. The ventilation system is closed loop system, which can be changeable to open system, and can be used as a multi-purposed dryer in which mixing, drying, granulating and cooling process is conducted. In order to develop non-gravity fluidized dryer, in the first the fundamental experiments performed to mixing accuracy and then the other parts of dryer and control system were examined to check whether they were designed properly and operated harmoniously with mixer. Also the preparatory experiments were fulfilled to examine the efficiency and reliability of dryer. Lastly, on the basis of preparatory experiments, in case the initial moisture contents, desired moisture contents, heated air velocity and heating temperature were vary, performance test for the non-gravity fluidized dryer carried out.

1. 서 론

산업 현장에서 널리 사용되고 있는 건조공정은 열, 공기유동 및 진동, 회전 등을 이용하여 피건조물 중에 포함되어 있는 수분이나 유기물 등을 제거하여 적절한 함수율을 갖도록 하는 공정을 의미한다. 이러한 건조공정에서는 피건조물의 건조 후 상태가 최초로 목적했던 상태와 동일하게 되도록 건조시키는 기술이 핵심이며, 피건조물의 종류가 섬유제품, 화공제품, 식품, 폐기물 등 매우 다양하므로 각각의 피건조물 특성에 맞는 적

당한 형태의 건조방식 선택이 매우 중요하다. 따라서 산업분야에서 건조과정의 중요성을 생각해 볼 때 건조장치의 성능개선에 필요한 기술개발은 매우 중요하며^(1~3) 특히 고부가가치 재료 등과 같이 소량 다품종에 대응할 수 있는 조건이 구비되어야 한다. 또한 건조장치는 다량의 가열공기를 사용하기 때문에 이에 동반한 분진이 대기로 방출될 수 있으며, 환경유해물질과 같은 재료를 건조할 경우 환경오염의 원인이 될 수 있으므로 이 포집과 제거를 완벽하게 할 수 있는 시스템을 제작하는 것도 시급한 현안이라 할 수 있다.

현재 산업체에서 생산되고 있는 건조기는 통기식 건조기가 약 63%, 기류식 건조기가 28%, 분무 건조기가 6%, 유동층 건조기가 3% 정도로 파악되고 있는데^(3, 4) 피건조물에 요구되는 특성에 적합하도록 설계, 제작되고 있으나 저함수율 제어, 분진회수, 환경오염물질 제어 및 건조시간에 대

* 인하대학교 대학원 기계공학과

** 한라대학교 기계공학부

*** 인하대학교 기계·항공·자동차공학부

패들의 일정 속도에 의해 두 개의 영역으로 구분되며 A영역이 유동층 영역(fluidized zone)이고 B 영역이 이송 영역(transport zone)⁽⁵⁾이다. 혼합기내의 패들이 부착된 두 축은 서로 반대방향으로 회전하며, 패들에 의해 피건조물을 각각 다른 방향으로 분산시켜 유동층 영역을 만든다. 이때 피건조물 이동은 혼합기 바닥에서 중앙 상층부로 집중되며 이에 따라 혼합실의 유효부피는 증가하고 피건조물은 유효부피가 증가함에 따라 상호간의 충돌 및 마찰이 감소한다.

2.2 건조제어부의 구조 및 유로체계

건조제어부는 송풍기, 히터, 백필터, 쿨러, 컨트롤패널로 구성된다고 할 수 있다.

본 연구에서 개발한 건조기는 기본적으로 클로우드 시스템을 채택하여 열풍은 밀폐된 시스템 전체를 순환하게 되어 있으며 피건조물의 종류에 따라 오픈 시스템(open system)을 겸용할 수 있도록 설계하였다.

건조기의 유로체계를 살펴보면 공기는 송풍기에 의해 히터로 보내지며 온도감지센서에 의해 초기 설정온도까지 가열된다. 가열된 열풍은 혼합기의 양쪽 유로를 통해 혼합기내부로 유입된다. 혼합기 내부로 유입된 열풍은 피건조물과 접촉한 후 백필터를 통과하면서 분진이 제거된다. 백필터를 통과한 열풍은 쿨러에 의해 습기가 제거된 후 다시 송풍기로 보내지며 유속은 유량 조절 댐퍼에 의해 조절된다.

본 건조기의 모든 장치는 컨트롤패널에 의해 제어되며 시간경과에 따른 건조부의 상태는 레코더에 의해 기록되도록 되어 있다.

3. 기초실험 방법

3.1 혼합정밀도 측정

본 연구에서 개발하고자하는 무중력 유동층 건조기는 특성상 혼합기의 혼합정밀도가 매우 중요하며 혼합정도에 따라 피건조물의 균일한 함수율 여부, 건조시간 등이 좌우된다고도 할 수 있다. 따라서 무중력 유동층 혼합기가 균일한 혼합을 이루기까지 혼합시간과 혼합성능을 측정하기 위해 J사의 SP-2 10kg(SUGAR 83% + SORBITOL 17%)과 D제분사의 산란용 사료 10kg(C-P 82.5% + C-FAT 17.5%)에 대한 데이터를 제공받아 혼

합정밀도를 계산하였다. 실험절차는 시료들을 혼합기에 넣은 다음 일정시간이 경과할 때마다 혼합기내부의 5군데에서 샘플을 채취하고 채취한 샘플은 원료의 성분에 따라 분리한 후 성분별 평균값과 표준편차를 구해 다음과 같이 C.V.⁽⁵⁾를 계산하였다.

$$C.V. (\text{Coefficient of variation}) = \frac{\text{표준편차}}{\text{평균값}}$$

3.2 혼합기 입구의 열풍 유입속도 및 온도분포

본 실험장치에서는 열풍이 혼합기의 벽과 가이드패널 사이를 지나 혼합기의 밑부분으로 유입되도록 설계되었기 때문에 가이드패널 폭이 변화함에 따라 열풍속도도 변하게 된다. 따라서 송풍기의 댐퍼를 일정위치에 고정시키고 가이드패널 폭이 30, 40, 50mm로 변할 때 유입되는 열풍의 속도를 확인하기 위해 가이드패널 안쪽에 70mm 간격으로 피토투브를 설치한 후 속도를 측정하였으며 혼합기내 열풍의 온도분포를 측정하기 위해 Fig. 4와 같이 혼합기내부에 T형 열전대 9개를 부착하고 가이드패널 폭 변화시 시간 경과에 따른 혼합기내부의 온도분포를 측정하였다. 가이드패널 폭을 30, 40, 50mm로 선정 한 이유는 혼합기의 상부 면적(470×400mm)중 백필터 설치를 위한 최소면적을 감안할 경우 혼합기 양쪽에 열풍이 유입될 수 있는 최대폭은 50mm이다. 따라서 가이드패널 폭은 최대 50mm를 기준으로 10mm씩 줄여가며 실험을 수행하였다.

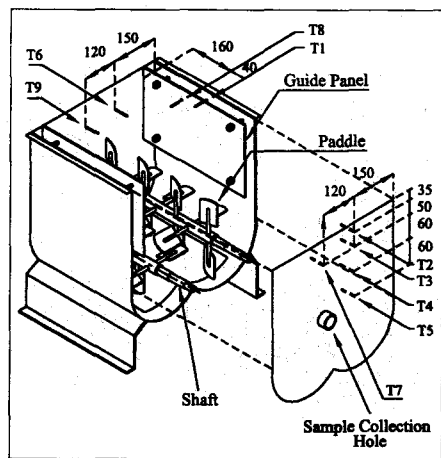


Fig. 4 Temperature measurement position of mixer

3.3 혼합기 내부에서의 속도와 온도분포에 대한 수치계산

혼합기 내부에서의 열풍흐름과 온도분포는 건조기의 건조성능과 건조시간에 영향을 주는 중요한 변수지만 실험을 통해 내부 전영역에서의 속도 및 온도분포를 확인한다는 것은 실질적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 기초실험조건을 근거로 상용 프로그램인 Star-CD^(8, 9)를 이용해 혼합기의 전 영역에서 속도와 온도분포에 대한 전반적인 경향을 알아보고 기초실험결과와 정성적인 비교를 수행하였다.

4. 기초실험 결과

4.1 혼합기의 혼합정밀도

Fig. 5는 J사의 SP-2 10kg(SUGAR 83% + SORBITOL 17%)을 원료별로 분리된 상태에서 혼합기에 넣고 30초동안 혼합기를 작동시킨 다음 혼합기의 중앙과 양쪽끝의 5군데에서 채취한 샘플의 혼합정도를 나타낸 것으로, 샘플의 혼합비율은 채취 위치에 따라 거의 일정한 값을 나타냈다. 위치별 채취한 SUGAR와 SORBITOL의 평균 값은 각각 약 83.4%와 16.6%이고 표준편차는 SUGAR 0.53, SORBITOL이 0.54이다. 이 값들을 C.V.로 나타내면 SUGAR는 약 0.6%, SORBITOL은 3.2%로서 국제분체학회에서 정밀한 혼합⁽⁵⁾이라고 규정한 C.V. 10%이하를 만족하고 있다. D사의 산란용 사료 10kg(C-P 82.5% + C-FAT 17.5%)에 대해서도 동일한 실험절차로 혼합한 결과 C-P의 C.V.는 약 1.14%, C-FAT은 1.78%로서 혼합기의 혼합시간 및 혼합정밀도는 우수한 것으로 판단된다.

4.2 혼합기 열풍 유입구에서의 속도 및 온도분포

Fig. 6은 송풍기 출구에서의 평균유속이 3.67, 5.4, 7.13m/s, 가이드패널 폭이 30, 40, 50mm로 변할 때 혼합기 입구 Y방향(Fig. 3 참조)으로의 속도분포를 나타낸 것으로 Y방향으로 진행할수록 속도는 증가하며 가이드패널 폭이 작을수록 증가경향은 더욱 커진다. 폭 변화와 관계없이 Y방향으로 진행할수록 속도가 증가하는 것은 열풍이 백필터 밀부분에 만들어진 사각유로를 따라 혼합기 내부로 유입되도록 되어있는 구조 때문인 것으로 생각되며 폭이 좁아질수록 유속은 더욱

빨라져 Y방향으로 증가폭은 더욱 커진다. 실험결과 폭변화에 대해 Y방향으로의 유속분포는 다소 불균일하며 송풍기 출구 평균유속이 증가할수록 속도변동폭은 더욱 커진다. 이같은 문제점을 해결하기 위해서는 유로의 구조를 보완해야 할 것으로 생각되나 유로가 백필터의 밀부분에 위치하고 있기 때문에 유로를 보완하기 위해서는 백필터를 사실상 해체하여 다시 제작해야하는 문제점이 있어 이 문제는 추후 계속적인 연구를 통해 보완할 예정이다. 지금까지 가이드패널 폭을 결정하기 위한 실험을 수행한 결과 폭이 50mm인 경우가 30, 40mm 보다 상대적으로 속도변동폭이 작은 것으로 나타났다.

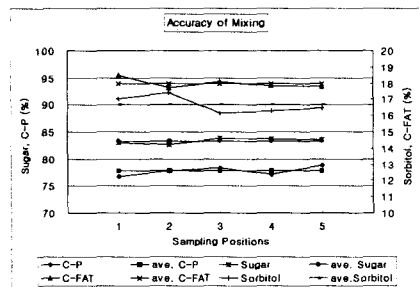


Fig. 5 Mixing accuracy of mixer

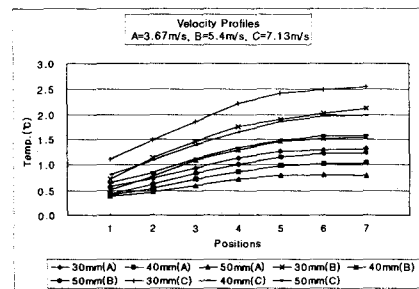


Fig. 6 Variation of velocity in heated air inlet

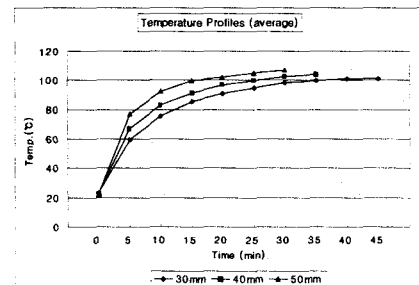


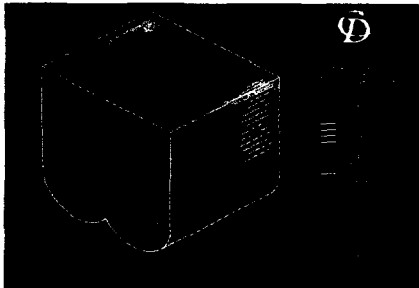
Fig. 7 Average temperature in mixer

4.3 혼합기 내부에서의 열풍온도 분포

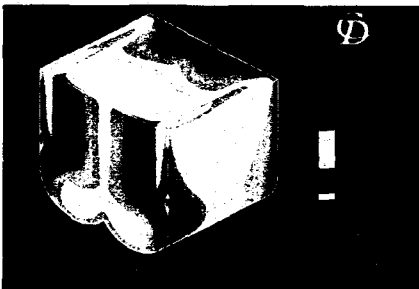
Fig. 7은 유입구에서 속도분포 결과를 근거로 열풍 설정온도를 150°C, 송풍기 출구에서 평균유속 3.67m/s인 경우 가이드패널 폭을 각각 30, 40, 50mm로 변화시키면서 시간경과에 따른 혼합기 내부의 위치별(Fig. 4 참조) 열풍 평균 온도분포를 나타낸 것으로, 시간이 경과함에 따라 혼합기 내부의 위치별 온도증가 경향은 전체적으로 유사하지만 가이드패널 폭이 클수록 최고온도(약 110°C)에 도달하는 시간은 단축되며 예비실험 결과 가이드패널 폭이 50mm인 경우가 30, 40mm인 경우보다 위치별 온도차이도 비교적 작게 나타났다. 따라서 혼합기내 유속분포에 대한 실험결과와 연계해서 고려해 볼 때 혼합기 벽면으로부터 가이드패널까지의 폭은 50mm가 적정할것으로 판단된다.

4.4 수치계산 결과

혼합기 내부에서의 열풍흐름과 온도분포에 대한 정성적인 경향을 알아보기 위해 상용프로그램인 Star-CD를 이용하여 기초실험조건에 대한



(a) Velocity



(b) Temperature

Fig. 8 Variation of velocity and temperature in mixer

수치계산을 하였다. 초기온도 150°C, 벽면온도가 10°C일때 가이드패널 폭변화시 혼합기 내부의 유동과 온도분포를 구하였다. Fig. 8의 (a)는 가이드패널 폭이 50mm일 때 혼합기내에서의 속도분포를 나타낸 것으로 30, 40mm일때와 비교하면 전체적으로 균일한 흐름을 유지하고 있으며 (b)는 혼합기 내부에서의 온도분포를 나타낸 것으로 30, 40mm와 비교해 보면 중앙부분의 온도차이가 비교적 작게 나타나며 내부의 온도분포도 전체적으로 높게 나타난다. 이상과 같은 수치계산결과 가이드패널 폭이 50mm일 때가 다른조건에 비해 혼합기내부에서의 열풍흐름과 온도분포가 비교적 균일한 것으로 판명되었고 이것은 기초실험결과와 잘 일치한다고 할 수 있다.

5. 건조제어부 설계, 제작

5.1 송풍기

혼합기 기초실험에서 혼합기의 열풍 가이드패널 폭을 50mm로 고정하였으므로 혼합기 입구에서의 열풍속도를 평균 1m/s로 가정할 경우 건조기에 불어넣는 열풍량은 약 237m³/h이다. 따라서 송풍기의 형식은 비교적 동일한 회전속도에서 많은 유량과 압력을 얻을 수 있는 원심식으로 정하고 유량조절을 위해 댐퍼를 설치하였다.

5.2 히터

본 건조장치는 일반 산업용 원료는 물론 고부가가치 원료 및 소량 다품종 원료 건조에 적합하도록 설계되었기 때문에 열원의 청정도, 온도조절 및 설비비를 고려하여 전기히터를 선정^{5, 6}하였다. 히터 용량은 열풍의 초기설정온도를 최고 200~220°C로 가정할 약 15~18KW이다.

따라서 용량은 20KW로 설계하였고, 가압적 공기를 균일하게 가열하고 클로우즈드 시스템에 적합하도록 박스형으로 주문 제작하였다.

5.3 백필터

일반적으로 백필터에 의한 여과집진은 포집성능이 뛰어난 집진방식중의 하나로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 포집성능, 내열성, 경제성 및 교체용이성 등을 고려하여 미국 TETRATEC사의 Woven Fiberglass(#6255)를 선정하였다.

Fig. 9는 백필터의 형상을 나타낸 것으로 열풍

의 통기를 원활하게 하기 위해 입체적 구조를 갖도록 사각의 필터케이지(540×400×40mm)를 제작하고 필터케이지 바깥부분에 Woven Fiberglass를 씌운 형태이다. 백필터에 붙은 분진을 떨어뜨리기 위해 펄스제트방식을 채택하였고 솔레노이드 밸브에 의해 4초 간격으로 고압공기가 3개의 제트분사관을 통해 백필터에 분사된다.

5.4 쿨러

열풍의 초기 설정온도를 200°C, 혼합기 출구에서 배출되는 열풍의 온도를 최고 120°C, 쿨러의 출구온도를 20°C 라고 가정할 경우 열풍량과 관련하여 냉각에 필요한 열량은 약 7490kcal이므로 쿨러의 냉동능력은 약 3RT로 정하고 열풍 배출구와 송풍기 입구사이에 설치하였다.

5.5 컨트롤패널 및 기타

무중력 유동층 건조기의 모든 장치는 컨트롤패널에서 제어되기 때문에 조작이 간편하다. 특히 내부에 디지털 인디게이터가 부착되어 있으며 모든 기록은 레코더에 의해 기록된 후 출력되기 때문에 건조과정중의 모든 상황을 파악할 수 있다.

송풍기 입출구, 히터 입출구, 쿨러 입출구 등 열풍이 유동하는 유로는 내부직경이 100mm인 STS304 파이프를 사용하였고 실험장치의 모든

온도는 데이터로거(HP 3852A)로 측정하였다.

6. 건조기 성능에 관한 예비실험

6.1 실험방법

기초실험을 통해 제원이 최종적으로 확정, 제작된 무중력 유동층 건조기의 유로체계를 살펴보면 클로우즈드 시스템인 경우 공기는 원심식 송풍기에 의해 전기히터로 보내지며 가열된다. 히터는 알루미늄 박스 안에 전열선이 내장되어 있고, 공기는 알루미늄 박스 안으로 유입되면서 가열되며 열손실을 최대한 줄이기 위해 단열처리되었다. 이 알루미늄 박스 안에는 온도계측기가 부착되어 있고 이것은 컨트롤패널에 연결되어 히터 출구온도 설정에 따라 히터의 발열량을 제어한다.

가열된 열풍은 혼합기의 양쪽 유로를 통해 혼합기내부로 유입되는데 이때 습도계에 의해 습도가 측정되고 열전대로 온도가 측정된다. 혼합기내부로 유입된 열풍은 피건조물과 접촉한 후 혼합기 위에 설치된 백필터를 통과하고 배출구를 통해 쿨러로 유입되며 쿨러를 통과하면서 습기가 제거되고 다시 송풍기로 보내져 밀폐사이클을 이루게 된다. 쿨러입구에는 습도계와 열전대가 부착되어 있어 습도와 온도가 체크된다.

오픈 시스템인 경우에는 백필터를 통과한 열풍이 대기중으로 배출되도록 하기 위해 백필터출구의 유로를 대기에 개방시켰다.

피건조물의 함수율 측정은 건조기내에서 건조되는 과정중 피건조물의 종류에 따라 2분 혹은 5분 간격으로 혼합기의 샘플채취구를 통해 샘플을 채취한 후 모이스처 발란스(SARTORIUS, MA30)를 이용해 측정하였다.

Table 1 Preparatory experimental conditions and FORBERG's technical data

구 분	예비 실험조건	FORBERG사의 테크니컬 데이터
시료	SAND	SAND
시료중량(kg)	약 28	약 1287
초기함수율(%)	6.1	6.03
목표함수율(%)	0.6 이하	0.67 이하
초기설정온도(°C)	150	270
풍량(m ³ /h)	237	2900
열풍속도(m/s)	0.6	자료 없음

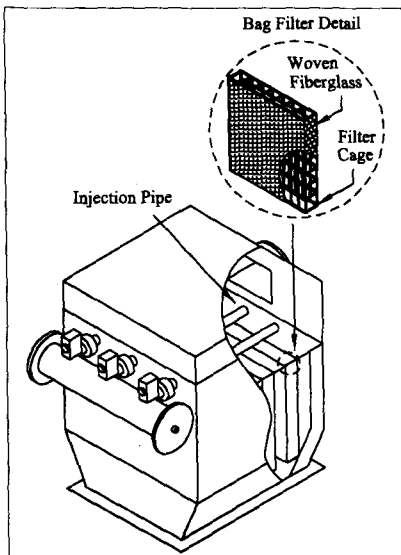


Fig. 9 Schematic diagram of filter

실험은 기본적으로 클로우즈드 시스템으로 수행하였으며 피건조물별 특정조건에서는 오픈 시스템에서도 실험을 수행하여 두 결과를 비교하였다.

또한 신뢰성 확보를 위해 FORBERG사 건조기의 테크니컬 데이터와 비교하였으며 조건은 Table 1과 같이 하였다.

6.2 실험결과

Fig. 10은 초기함수율이 6.1%, 히터 설정온도 150°C, 열풍속도가 0.6m/s일 때 건조시간에 따른 혼합기내 온도분포, 쿨러의 입출구온도, 모래의 온도와 함수율 변화를 나타낸 것으로 히터출구의 열풍온도(Thout)가 초기 설정온도까지 도달하는데는 약 10분 정도 소요되며 혼합기 입구(T1)와의 온도차는 약 30°C이다. 혼합기 출구로 배출되는 배기 열풍(Tmout)은 건조시작후 증가하기 시작하여 약 78°C까지 상승한다. 쿨러의 출구온도(Tcout)는 시간이 경과함에 따라 배기열풍의 온도 상승으로 인하여 조금씩 높아지며, 모래의 온도(Ts)도 점차 증가하기 시작해 건조종료시에는 약 37°C로 나타났다.

피건조물의 함수율 변화는 5분 간격으로 측정했는데 건조시작 5분 후부터는 거의 일정한 비율로 감소하여 목표함수율인 0.6%까지 도달되는데에는 약 40분이 소요되며 최종 함수율은 0.48%이고 효율은 65.7%이었다.

지금까지의 예비실험 결과를 분석한 결과 혼합기 및 건조제어부의 작동상태는 안정적이었고 건조성역시 만족할만한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구진은 예비실험결과를 근거로 무중력 유동층 건조기의 신뢰성을 확보하기 위해 FORBERG사 건조기의 테크니컬 데이터와 간접

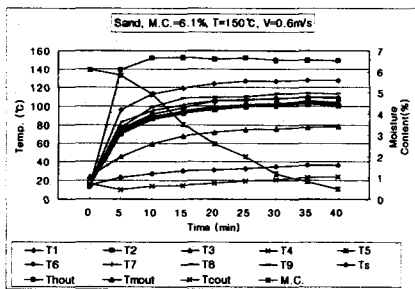


Fig. 10 Moisture content and temperature for drying time

비교한 결과 건조시간은 약 10분 정도 차이가 있다. 그러나 건조시간이 열풍온도, 열풍속도 등과 관계가 있기 때문에⁽²⁾ 건조시간의 차이를 단정적으로 말하기는 곤란할 것으로 생각된다.

7. 최종 시제품에 대한 성능실험 결과

최종 시제품으로 제작한 무중력 유동층 건조기의 성능평가를 위한 실험조건은 Table 2와 같다.

7.1 모래에 대한 실험결과

모래에 대한 실험은 초기함수율이 6.1%와 9.15%일 때 목표함수율을 0.6%이하로 낮추는 두 가지 조건에 대하여 수행하였다

Fig. 11은 초기함수율 6.1%, 히터 설정온도가 200°C이고 열풍속도를 0.6, 0.9, 1.2m/s로 변화시킬 때 피건조물의 함수율 변화를 나타낸 것으로,

Table 2 Performance testing conditions

구분	SAND	SAW DUST
시료중량(kg)	28	4.4
초기함수율(%)	6.1, 9.15	55
목표함수율(%)	0.6 이하	20 이하
초기 설정온도(°C)	150, 200	150, 200
열풍 유속(m/s)	0.6, 0.9, 1.2	0.6, 0.9, 1.2

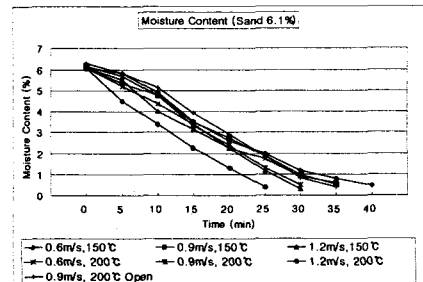


Fig. 11 Moisture content vs. time

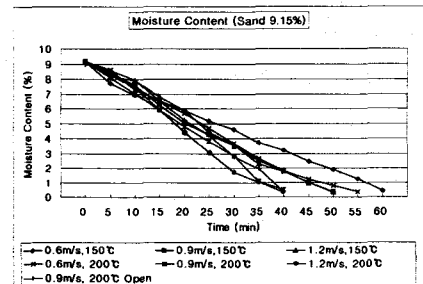


Fig. 12 Moisture content vs. time

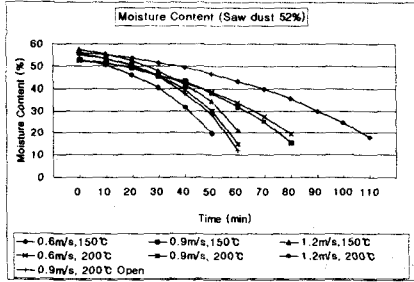


Fig. 13 Moisture content vs. time

열풍속도가 증가함에 따라 건조속도는 5분씩 단축되었으며 오픈시스템인 경우(히터 설정온도 200°C, 열풍속도 0.9m/s) 히터출구에서 열풍의 가열시간 및 혼합기내의 온도분포 등은 클로우즈드 시스템과 유사하나 배출 열풍온도가 약 10°C 정도 높게 나타났고 건조시간은 5분이 더 길어졌다.

Fig. 12는 함수율을 9.15%로 증가시켜 실험을 수행한 결과로서 초기 함수율이 증가함에 따라 건조시간은 함수율이 6.1%일 때와 비교해 조건에 따라 15~20분 정도 길어졌으며 효율^(2, 7)은 약 43.7 ~ 70%까지 나타났다.

7.2 톱밥에 대한 실험결과

Fig. 13은 히터 설정온도가 150°C와 200°C이고 열풍속도가 0.6, 0.9, 1.2m/s로 변할 때 건조시간에 따른 피건조물의 함수율 변화를 나타낸 것으로 전체적으로 열풍의 속도가 빠를수록, 열풍의 온도가 높을수록 건조시간은 짧아지는 경향을 나타내는데 히터 설정온도가 150°C일 때 건조시간은 0.6m/s일 때 110분, 0.9m/s일 때 80분, 1.2m/s일 때는 60분으로 0.6m/s와 1.2m/s를 비교하면 건조시간은 50분이나 단축된다. 이것은 열풍속도가 증가함에 따라 혼합기내에서 시료와의 접촉이 보다 원활하게 이루어질 가능성이 많기 때문이며, 원료의 물성(비중, 비열 등)과도 관계가 있을 것으로 생각된다. 따라서 초기함수율 및 열풍온도가 같을 때 건조시간은 열풍속도에 의존한다고 볼 수 있다.

8. 결론

본 연구에서는 무중력 유동층 건조기에 대한 기초 및 개발 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 혼합기내에서 열풍의 온도분포는 비교적 균일한 것으로 확인되었고 저함수율까지의 건조가 가능한 것으로 나타났다.

(2) 전체적으로 피건조물별 열풍온도가 높을수록, 열풍속도가 빠를수록 건조시간은 단축된다.

(3) 효율은 피건조물의 물성, 함수율에 따라 차이가나며 모래는 40.4~70%, 톱밥은 47.7~60.9%로 나타났다.

(4) 상품화를 위해서는 보다 많은 시료와 실험 조건으로 실험을 수행해야 할 것으로 생각되며 열변형이나 안정성에 대한 충분한 내구성테스트가 필요하다고 생각된다.

후기

본 연구는 에너지관리공단에서 시행한 '99 에너지절약기술개발사업의 연구비로 수행되었으며 관계자 여러분과 (주)세지산기에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 김충익, 1999, "외국의 건조기술 개발사례" 월간 화학장치, Vol. 7, No. 8, pp. 89~96
- (2) 김성식, 1999, "plant freshman을 위한 건조장치 개론" 월간 화학장치, Vol. 7, No. 4, pp. 69~97
- (3) 통상산업부, 1997, "고효율 건조 시스템 개발을 위한 기획 연구"
- (4) 에너지관리공단, 1995, "건조 설비 실태 조사 결과 보고서"
- (5) Forberg Co. 1992, "Forverg Drying System Test Report Summary" Vol. I
- (6) 신기술, 1998, "건조장치의 이론과 실제"
- (7) 임상근, 1998, "건조시스템 설계와 실무"
- (8) Computational Dynamics Limited, 1998, STAR-CD Methodology Manuals, Version 3.05
- (9) Computational Dynamics Limited, 1998, STAR-CD Userguide Manuals, Version 3.05