

## 무중력 유동층 건조기 개발에 관한 연구

김석철\*\* · 배동규\* · 한지웅\*\* · 금성민\*\*\* · 이창언\*\*\*\*  
(2000년 1월 20일 접수)

### The Study on the Development of The Non-Gravity Fluidized Dryer

Seok-Cheol Kim, Dong-Kyu Bae, Ji-Woong Han,  
Sung-Min Kum and Chang-Eon Lee

**Key Words:** Non-Gravity Fluidized Dryer(무중력 유동층 건조기), Paddle Mechanism(패들 메커니즘), Fluidized Zone(유동층 영역), Transport Zone(이송 영역), Mixing Accuracy(혼합정밀도), Moisture Content(함수율)

#### 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 the non-gravity fluidized dryer, in the first fundamental experiments were 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 the dryer. Lastly, on the basis of preparatory experiments, performance test for the non-gravity fluidized dryer carried out for the variation of the initial moisture contents, desired moisture contents, heated air velocity and heating temperature.

#### 1. 서론

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 최초에 목적했던 상태와 동일하게 되도록 건조시키는 기술이 핵심이며, 피건조물의

종류가 섬유제품, 화공제품, 식품, 폐기물 등 매우 다양하므로 각각의 피건조물 특성에 맞는 적당한 형태의 건조방식 선택이 매우 중요하다. 따라서 산업분야에서 건조과정의 중요성을 생각해 볼 때 건조장치의 성능개선에 필요한 기술개발은 매우 중요하며<sup>(1~3)</sup> 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

\* 인하대학교 대학원 기계공학과

\*\* 회원, 인하대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 회원, 한라대학교 기계공학부

\*\*\*\* 회원, 인하대학교 기계·항공·자동차공학부

E-mail : Chelce@dragon.inha.ac.kr

TEL : (032)860-7323 FAX : (032)868-1716

건조기가 6%, 유동층 건조기가 3% 정도로 파악되고 있는데<sup>(3,4)</sup> 피건조물에 요구되는 특성에 적합하도록 설계, 제작되고 있으나 저함수율 제어, 분진회수, 환경오염물질 제어 및 건조시간에 대한 문제점을 갖고 있다.

저함수율 측면에서 본다면 제품의 최종 함수율은 그 사용목적에 따라 달라지나 일반적으로 건조기의 종류별 도달될 수 있는 저함수율에는 한계가 있으며 통기식 건조기의 경우 대부분 저함수율까지의 건조는 불가능하다. 유동층 건조기는 균일한 건조와 저함수율제어가 가능하다는 장점이 있지만 적용할 수 있는 물질이 제한적이다. 특히 의약품, 신소재, 식품 등의 분체 플랜트에서는 소량 나뭇종을 취급하는 프로세서가 많기 때문에 동일한 건조기로 다양한 함수율제어<sup>(3,4)</sup>가 가능한 건조기는 필수적이며 이는 원가절감에 직결된다고 할 수 있다.

분진회수 및 환경오염물질 제어 측면에서 본다면 대부분의 건조장치가 개방형이므로 건조기에서 배출된 건조 후 열풍은 대기중으로 방출되며 이때 분진을 함유하는 경우가 많다. 분진의 함유 정도는 피건조물의 종류, 열풍속도 등에 따라 달라지겠지만 고가의 재료나 환경오염을 유발시킬 수 있는 재료라면 분진회수는 중요한 요소가 될 수 있기 때문에 유독성이나 환경오염을 유발하는 피건조물의 경우에는 클로우즈드 시스템(closed system)이 필수적이라 할 수 있다.

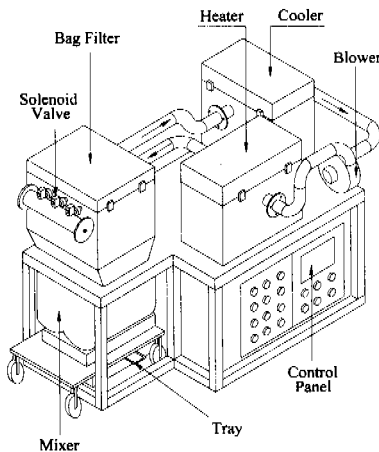


Fig. 1 Schematic diagram of the non-gravity fluidized dryer

건조시간축면에서 본다면 건조시간 단축은 생산성향상은 물론 에너지절약까지도 이룰 수 있다. 특히 대부분의 건조기들은 원료 건조 후에도 첨가제나 다른 원료와의 혼합 공정이 요구될 때 대부분 별도의 혼합 설비를 추가로 설치해야 하기 때문에 추가적인 비용이 예상된다.

본 연구의 목적은 위에서 언급한 문제점들을 개선할 수 있는 새로운 형태의 건조기를 구상하여 이에 대한 기초연구를 통하여 무중력 유동층 건조기를 제작하는 것이다.

본 연구에서 개발한 건조기는 무중력 혼합기에 건조 장치를 개발 장착한 것으로서 무중력 혼합기의 패들 메커니즘(paddle mechanism)에 의해 유동층을 형성할 때 열접촉이 발생하게 되므로 피건조물을 저함수율까지 균일하게 건조할 수 있으며, 원료에 손상 없이 건조가 단시간에 진행 완료된다. 또한 이 건조 공정은 밀폐된 시스템 내에서 진행되므로 식품, 화학원료 뿐 아니라 유독성 폐기물을 건조시킬 때에도 적용될 수 있다.

## 2. 건조기의 구조

Fig. 1은 본 연구에서 개발한 무중력 유동층 건조기의 개략도로서 크게 혼합기와 건조제어부로 나눌 수 있다.

### 2.1 혼합기 구조

Fig. 2는 혼합기를 나타낸 것으로 혼합실내에는 두 개의 회전축이 있으며 한 개의 회전축에 14개의 패들이 상호 중첩되도록 설계되었고 이 패들에 일정한 선단속도를 부여하므로써 혼합실내에

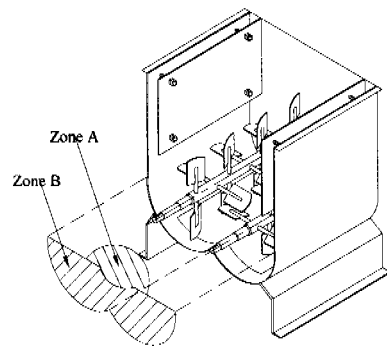


Fig. 2 Schematic diagram of the mixer

유동층영역이 형성되므로 대류혼합과 전단혼합이 동시에 진행되는 형식이라고 할 수 있다. 혼합실은 패들의 일정 속도에 의해 두 개의 영역으로 구분되며 A영역이 유동층 영역(fluidized zone)이고 B영역이 이송영역(transport zone)<sup>(5)</sup>이다. 혼합기내의 패들이 부착된 두 축은 서로 반대방향으로 회전하며, 각각의 축에 부착되어 있는 패들은 일정한 선단속도에 따라 피건조물을 각기 다른 방향으로 분산시켜 유동층 영역을 만든다. 이때 피건조물의 이동은 혼합기 바닥에서 중앙 상층부로 집중되며 이에 따라 혼합실의 유효부피는 증가하고 피건조물은 유효부피가 증가함에 따라 상호간의 충돌 및 마찰이 감소한다. 또한 피건조물과 혼합실과의 접촉단면이 감소함에 따라 마찰이나 충격에 의한 손상을 일으키지 않으며 혼합기는 혼합기대로 피건조물에 의한 내부마찰을 일으키지 않으므로 입자의 형상을 보존시킴과 동시에 회전체나 배출구 등에 압력을 주지 않으면서 혼합을 진행한다.

## 2.2 건조제어부의 구조 및 유로체계

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

본 연구에서 개발한 건조기는 플로우즈드 시스템을 채택하여 열풍은 밀폐된 시스템 전체를 순환하게 되어 있다. 특히 본 유동층 건조기는 피건조물의 종류에 따라 오픈 시스템(open system)을 겸용할 수 있도록 설계되어 있다.

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. 실험절차

본 연구에서 개발하고자하는 무중력 유동층 건

조기의 핵심기술은 혼합기의 패들 메커니즘에 의해 원료의 이송 영역과 유동층 영역이 자연스럽게 반복 진행될 때 열풍이 유동층 영역으로 원료와 함께 상층부로 파고들도록 유도하면서, 표면적을 극대화시켜 다량의 수분을 함유하고 있는 피건조물을 고유불성의 변화를 주지 않고 건조시키는 것이라 할 수 있다. 따라서 기존 건조기에 비해 건조시간을 단축시키고 저함수율까지 건조가 가능하며, 고가의 원료나 환경오염을 유발시킬 수 있는 원료의 분진이나 오염공기가 빠져나가지 않게 하면서 유독성이나 환경오염을 유발하는 피건조물의 건조까지도 가능한 구조를 가진 시스템을 구성하는 것이다.

이를 위해 본 연구에서는 무중력 유동층 혼합기를 제작하여 혼합정밀도를 측정하고 혼합기내 열풍 유입구의 폭 결정, 혼합기의 가이드패널 폭 변화시 열풍의 온도분포에 관한 기초실험을 수행하였으며, 건조제어부의 구성품들을 설계하여 혼합기가 건조제어부와 결합되었을 때 건조제어부의 모든 구성품들에 대한 적정설계 여부와 건조기의 작동상태 점검을 위한 예비실험을 수행하였다.

또한 건조기의 성능을 확인하기 위해 실험결과를 건조기 제작회사인 노르웨이 FORBERG사의 테크니컬 데이터<sup>(5)</sup>와 간접 비교하여 신뢰성을 검증하고, 예비실험결과를 근거로 모래, 톱밥에 대해 초기함수율, 목표함수율, 열풍유속 및 히터 설정온도를 변화시키면서 최종 시제품에 대한 성능평가를 수행하기 위해 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다.

### 3.1 혼합기 제작 및 혼합정밀도에 관한 기초 실험

본 연구에서 개발하고자하는 무중력 유동층 건조기는 특성상 혼합기의 혼합정밀도가 매우 중요하며 혼합정도에 따라 피건조물의 균일한 함수율 여부, 건조시간 등이 좌우된다고도 할 수 있다. 본 연구를 위해 제작한 혼합기는 (주)세지테크에서 기술 도입하여 수입대체 국산화한 혼합기를 응용한 것으로, 핵심은 혼합기내의 패들메커니즘이다. 특히 건조와 혼합이 동시에 이루어지는 형식의 경우에는 혼합정밀도가 중요한 인자이기 때문에 특정시료에 대해 균일한 혼합을 이루기까지 혼합시간과 혼합정밀도<sup>(5)</sup>를 측정하였다.

3.2 혼합기내 열풍 유입구의 폭 결정

3.2.1 혼합기의 가이드패널 폭 변화시 유입구의 속도분포 측정

일반적으로 열풍의 속도가 빠르면 재료표면의 가스경막의 두께를 얇게 할 수 있으므로 전열계수가 커져 건조시간을 단축시킬 수 있지만,<sup>(3,4)</sup> 원료의 물성에 따라 비산 및 분진발생의 우려가 있고 건조시간 역시 열풍속도와 관계가 있기 때문에 혼합기 내부로 유입되는 열풍속도의 선정은 중요하다 할 수 있다.

본 실험장치에서 혼합기로 유입되는 열풍은 혼합기 양쪽 측면에 설치된 가이드패널과 혼합기 벽사이를 지나 밑부분으로부터 유입되도록 설계하였기 때문에 가이드패널 폭이 변화함에 따라 열풍속도도 변하게 된다. 또한 혼합기로 유입되는 열풍은 가급적 유입구 전 영역에서 균일한 속도분포가 요구되기 때문에 가이드패널 폭이 변할 때 유입구 전 영역에서 유동상태가 균일한지에 대한 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 병행하였으며 그 결과를 혼합기내 온도분포와 연계하여 검토하였다.

3.2.2 혼합기의 가이드패널 폭 변화시 열풍의 온도분포 측정

본 무중력 유동층 건조기는 피건조물이 혼합되는 상황에서 열풍이 피건조물 사이를 유동하면서 건조가 이루어지므로, 혼합기 내부에서 열풍의 온도분포는 중요하다. 따라서 혼합기내 위치에 따라 온도차이가 크지 않아야 균일한 건조가 이루어진다고 할 수 있기 때문에 가이드패널 폭이 변할 때 혼합기내 열풍의 온도분포를 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 알아보고 그 결과를 이용해 가이드패널의 최적 폭을 결정한다.

3.3 건조기성능에 관한 예비실험

건조제어부의 모든 구성품들에 대한 설계와 제작을 한후 혼합기와 조립한 뒤 건조기의 작동상태와 성능에 관한 예비실험을 수행하였으며 신뢰성확보를 위해 FORBERG 사의 테크니컬 데이터와 간접비교를 수행하였다.

3.4 시제품에 대한 성능실험

예비실험을 기초로 피건조물의 초기함수율, 목

표함수율, 열풍유속 및 히터 설정온도를 변화시키면서 최종 시제품에 대한 안정성 점검과 성능평가를 수행하였으며 상품화를 위한 보완사항을 체크하였다.

4. 기초실험 방법

4.1 혼합정밀도 측정

Fig. 3은 혼합기의 상세도로써 모든 혼합기는 내부에서 원료가 이동할 수 있는 유효공간을 갖고 있는데 일반적으로 혼합기 전체부피의 약 반 정도를 작업부피(working volume)라고 하며 이것을 바탕으로 혼합기의 단위생산량이 결정된다. 본 연구를 위해 제작한 혼합기는 작업부피를 약 20~25리터(전체부피는 약 40리터)로 설정하여 내부 크기는 470×400×500, 재질은 스테인레스 304(St)이며 단열을 위해 이중구조로 되어있다.

원료는 혼합기의 윗부분에서 투입되며, 배출방식은 건조가 끝난 후 배출중 분리현상을 최대한 방지하기 위해 단시간(약 5초)내에 배출할 수 있도록 혼합기 하부의 최대 경사면에 배출구를 설계하였고 컨트롤패널에서 조정된다. 혼합기의 양

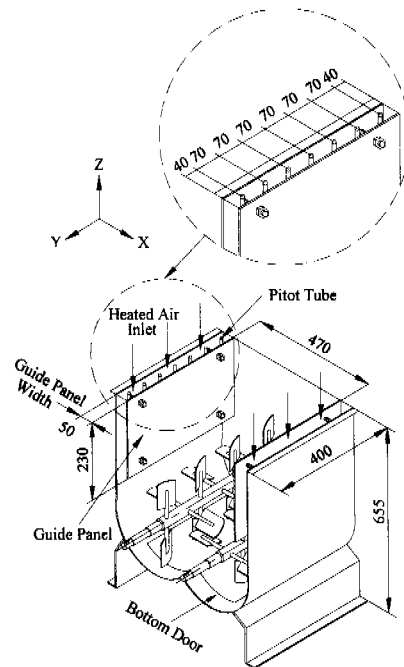


Fig. 3 Detail diagram of the mixer

쪽 측면에는 열풍을 혼합기의 입구로부터 밑부분으로 유동시키기 위한 가이드패널(400× 230mm)이 설치되어 있는데, 이 패널은 열풍의 속도와 혼합기내의 온도분포를 결정하는 중요한 요소가 될 수 있기 때문에 기초실험을 위해 가변되도록 제작하였다.

Fig. 4는 패들의 형상을 나타낸 것으로 패들의 회전축은 고온에서도 열변형이 없어야 하므로 직경 16mm의 스테인레스 봉을 사용하였고 혼합기 뒷부분에 있는 모터에 연결되어 컨트롤패널에서 제어되며 축의 회전속도는 85rpm이다.

본 연구에서는 무중력 유동층 혼합기가 균일한 혼합을 이루기까지 혼합시간과 혼합성능을 측정하기 위해 J제당 사의 SP-2 10kg(SUGAR 83% + SORBITOL 17%)과 D제분 사의 산란용 사료 10kg(C-P 82.5% + C-FAT 17.5%)에 대한 데이터를 제공받아 혼합정밀도를 계산하였다.

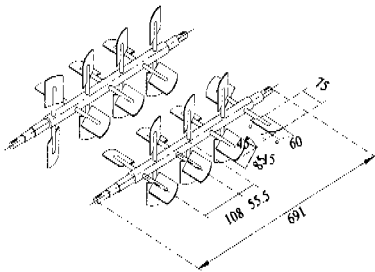


Fig. 4 Detail diagram of the paddle

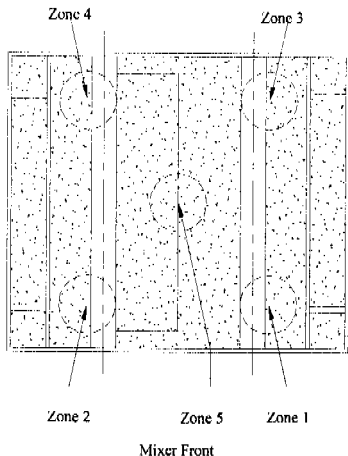


Fig. 5 Sampling position of the mixer

실험절차는 시료들을 혼합기에 넣은 다음 일정 시간이 경과할 때마다 Fig. 5와 같이 혼합기내부의 5군데에서 샘플을 채취하고 채취한 샘플은 원료의 성분에 따라 분리한 후 성분별 평균값과 표준편차를 구해 다음과 같이 C.V.<sup>(6)</sup>를 계산하였다.

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

4.2 혼합기 입구의 열풍 유입속도

본 실험장치에서 열풍은 아래에서 위로 유동하는 형태로 이루어져야 하기 때문에 혼합기 양쪽 측면에 가이드패널을 설치(Fig. 3 참조)하여 열풍이 혼합기의 벽과 가이드패널 사이를 지나 혼합기의 밑부분으로 유입되도록 하였다. 열풍이 혼합기의 벽과 가이드패널 사이로 유동하기 때문에 가이드패널 폭이 변화함에 따라 열풍속도도 변하게 된다. 따라서 송풍기의 맴퍼를 일정위치에 고정시키고 가이드패널 폭이 30, 40, 50mm로 변할 때 유입되는 열풍의 속도를 확인하기 위해 가이드패널 안쪽에 70mm 간격으로 피토투브를 부착한 후 디지털 바노미터에 연결하여 속도를 측정하였다.

가이드패널 폭을 30, 40, 50mm로 선정한 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.

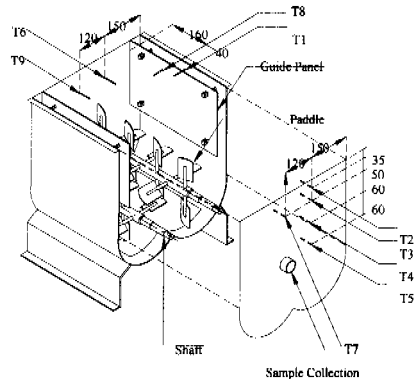


Fig. 6 Temperature measurement position of the mixer

4.3 혼합기입구 가이드패널 폭 변화시 열풍의 온도분포

가이드패널 폭이 변할 때 혼합기내 열풍의 온도분포를 측정하기 위해 Fig. 6과 같이 혼합기내부에 T형 열전대 9개를 부착하고 초기설정온도 150℃, 송풍기 출구에서의 평균유속을 3.67m/s로 고정한 후, 가이드패널 폭을 각각 30, 40, 50mm로 변화시키면서 시간 경과에 따른 혼합기내부의 온도분포를 측정하였다.

4.4 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<sup>(8,9)</sup>를 이용해 혼합기의 전 영역에서 속도와 온도분포에 대한 전반적인 경향을 알아보고 기초실험결과와 정성적인 비교를 수행하였다.

5. 기초실험 결과

5.1 혼합기의 혼합정밀도

Fig. 7은 J제당 사의 SP-2 10kg(SUGAR 83% + SORBITOL 17%)을 원료별로 분리된 상태에서 혼합기에 넣고 30초동안 혼합기를 작동시킨 다음 혼합기의 중앙과 양쪽끝(Fig. 5 참조)의 5군데에서 채취한 샘플의 혼합정밀도를 나타낸 것으로, 샘플의 혼합비율은 채취 위치에 따라 거의 일정한 값을 나타냈다. 위치별 채취한 SUGAR와 SORBITOL의 평균값은 각각 약 83.4%와 16.6%이고 표준편차는 SUGAR 0.53, SORBITOL이 0.54

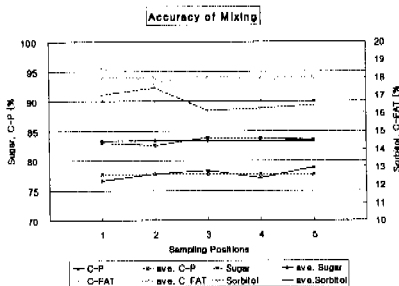


Fig. 7 Mixing accuracy of the mixer

이다. 이 값을 C.V.로 나타내면 SUGAR는 약 0.6%, SORBITOL은 3.2%로서 국제분체학회에서 정밀한 혼합<sup>(5)</sup>이라고 규정한 C.V. 10% 이하를 만족하고 있다.

D제분 사의 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-FAT의 C.V.는 1.78%로서 본 연구를 위해 제작한 무중력 유동층 혼합기의 혼합시간 및 혼합정밀도는 우수한 것으로 판단된다.

5.2 혼합기 열풍 유입구에서의 속도분포

Fig. 8은 송풍기 출구에서의 평균유속이 3.67, 5.4, 7.13m/s이고 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 밑부분에 만들어진 사각유로를 따라 혼합기 내부로 유입되도록 되어있는 구조 때문인 것으로 생각되며 폭이 좁아질수록 유속은 더욱 빨라져 Y방향으로 증가폭은 더욱 커진다.

이상과 같은 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 밑부분에 위치하고 있기 때문에 유로를 보완하기 위해서는 백필터를 사실상 해체하여 다시 제작해야하는 문제점이 있어 이 문제는 추후 계속적인 연구를 통해 보완할 예정이다.

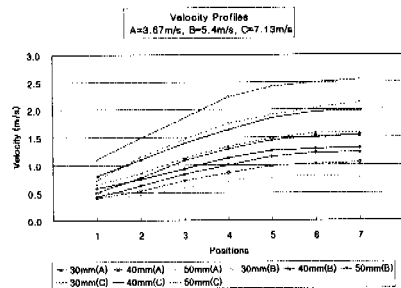


Fig. 8 Velocity distribution of heated air at inlet

지금까지 가이드패널 폭을 결정하기 위한 실험을 수행한 결과 가이드패널 폭이 작을수록 속도 변동이 심하며 본 실험범위내에서는 동일한 조건일 때 폭이 50mm인 경우가 30, 40mm 보다 상대적으로 속도변동폭이 작은 것으로 나타났다.

5.3 혼합기 내부에서의 열풍온도 분포

가이드패널 폭이 변할 때 열풍 유입구에서 속도분포 결과를 근거로 열풍의 설정온도를 150℃, 송풍기 출구에서 평균유속을 3.67m/s로 고정한 후 가이드패널 폭을 각각 30, 40, 50mm로 변화시키면서 혼합기내부의 온도분포를 측정하였다.

Fig. 9는 가이드패널 폭이 30mm인 경우 시간경과에 따라 혼합기내부의 위치별(Fig. 6 참조) 열풍의 온도분포를 나타낸 것으로, 히터출구에서의 열풍온도는 초기 설정온도(Thout) 150℃까지 가열되기 위해서 약 10분 정도 소요되며, 혼합기 입구온도(T1)와의 차이는 히터로부터 혼합기 입구까지 연결된 배관에서 열손실로 추정된다.

혼합기 내부의 온도분포를 살펴보면 혼합기 밑부분(T5)으로부터 윗부분(T2)까지 온도차는 약 30℃ 정도이고, 5분이 경과한 후 혼합기 출구(T8)에서의 온도는 약 81℃이며 시간이 경과함에 따라 혼합기내부의 위치별 온도증가 경향은 전체적으로 유사하다.

Fig. 10은 가이드패널 폭이 40mm인 경우로 위치별 온도증가 경향은 30mm인 경우와 유사하나 혼합기 밑부분(T5)으로부터 윗부분(T2)까지 온도차는 약 20℃ 정도이고 5분이 경과한 후 혼합기 출구(T8)에서의 온도는 약 90℃이다.

Fig. 11은 가이드패널 폭이 50mm인 경우로 혼합기 밑부분(T5)으로부터 윗부분(T2)까지 온도차는 약 16℃ 정도이고 5분이 경과한 후 혼합기 출

구(T8)에서의 온도는 약 93℃이다.

지금까지 가이드패널 폭이 변할 때, 혼합기 내부에서의 온도분포를 측정하여 분석한 결과 가이드패널 폭이 50mm인 경우가 30, 40mm인 경우보다 혼합기 내부의 평균온도가 높고, 위치별 온도 차이도 비교적 작게 나타났기 때문에 혼합기 벽면으로부터 가이드패널까지의 폭은 50mm로 결정하였다.

5.4 수치계산 결과

혼합기 내부에서의 열풍흐름과 온도분포에 대한 정성적인 경향을 알아보기 위해 기초실험조건을 근거로 수치계산을 하였다.

프로그램은 유한체적법을 이용하는 상용프로그램인 Star-cd<sup>(8,9)</sup>를 이용하였으며 솔루션 알고리즘은 SIMPLE법,  $k-\epsilon$  난류 모델을 이용하여 정상상태로 계산하였다. 경계조건은 입구인 경우 유량을 동일하게 하기 위해 유속을 1.6m/s로 하고, 혼합기의 벽온도는 10℃, 열풍의 초기 입구온도는 150℃이며 가이드패널 폭을 30, 40, 50mm로 변화시키면서 혼합기 내부의 유동과 온도분포를

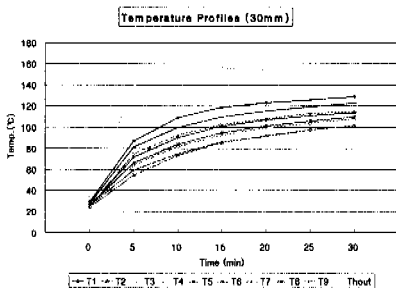


Fig. 9 Variation of temperature in the mixer(Guide panel width=30mm)

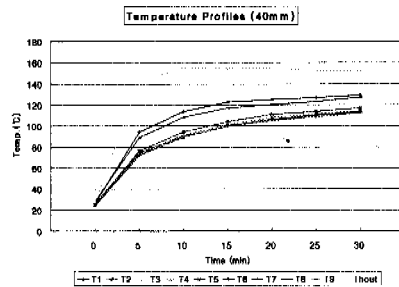


Fig. 10 Variation of temperature in the mixer(Guide panel width=40mm)

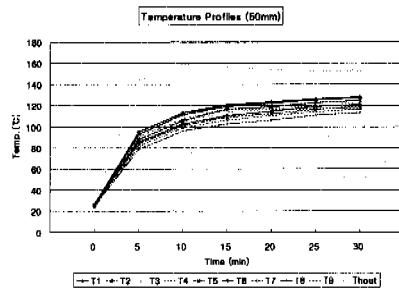


Fig. 11 Variation of temperature in the mixer(Guide panel width=50mm)

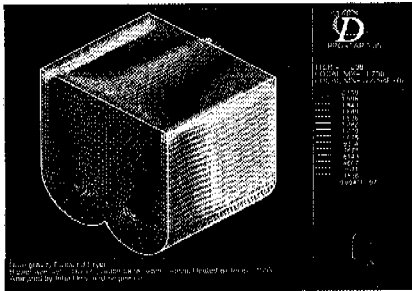
구하였다.

Fig. 12(a), (b), (c)는 가이드패널 폭이 30, 40, 50mm일 때 혼합기에서의 속도분포를 나타낸 것으로 혼합기 입구에서의 유속분포를 살펴보면 기초실험 결과와 동일하게 폭변화에 관계없이 혼합기 입구 앞쪽(+Y방향)으로 열풍이 치우쳐 흐르는 것을 볼 수 있다.

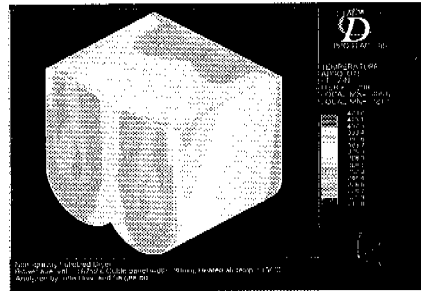
가이드 패널 안쪽에서 열풍의 속도분포를 살펴보면 30, 40mm일 때 벽면에서 빠르게 흐르다 혼

합기 밀부분에서 균일해지는 반면, 50mm일 때는 전체적으로 균일한 흐름이 지속된다. 혼합기 내부에서의 유동상태를 살펴보면 50mm일 때가 가장 안정적인 흐름을 유지하며 30, 40mm일 때는 혼합기의 중앙부분에서 비교적 일정한 반면 양옆 부분에서 속도가 작아지고 있다.

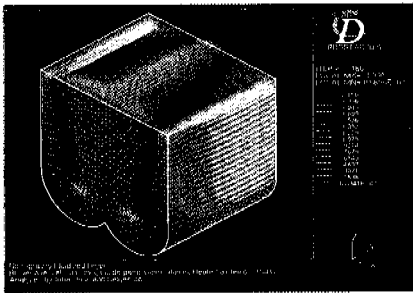
Fig. 13(a), (b), (c)는 가이드패널 폭이 30, 40, 50mm 일 때 혼합기 내부에서의 온도분포를 나타낸 것으로 50mm인 경우가 30, 40mm일 때보다



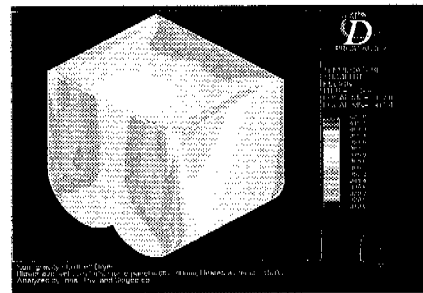
(a) Guide panel width=30mm



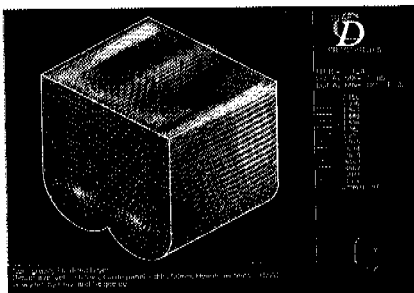
(a) Guide panel width=30mm



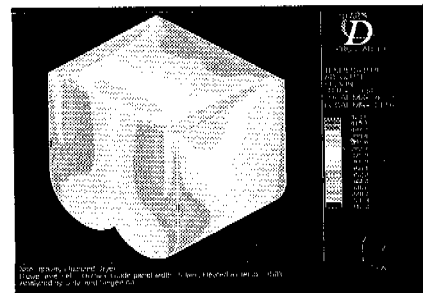
(b) Guide panel width=40mm



(b) Guide panel width=40mm



(c) Guide panel width=50mm



(c) Guide panel width=50mm

Fig. 12 Variation of velocity in mixer with guide panel width

Fig. 13 Variation of temperature in mixer with guide panel width



혼합기 양쪽과 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.

## 6. 건조제어부 설계, 제작

### 6.1 송풍기

혼합기 기초실험에서 혼합기의 열풍 가이드패널 폭을 50mm로 고정하였으므로 혼합기 입구에서의 열풍속도를 평균 1m/s로 가정할 경우 건조기에 불어넣는 열풍량은 약 237m<sup>3</sup>/h이다. 따라서 송풍기의 형식은 비교적 동일한 회전속도에서 많은 유량과 압력을 얻을 수 있는 원심식<sup>(10)</sup>으로 정하고 유량조절을 위해 댐퍼를 설치하였다.

### 6.2 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<sup>(3,11)</sup>하였다. 히터 용량은 열풍의 초기설정온도를 최고 200~220℃로 가정할 경우에 약 15~18kW이다.

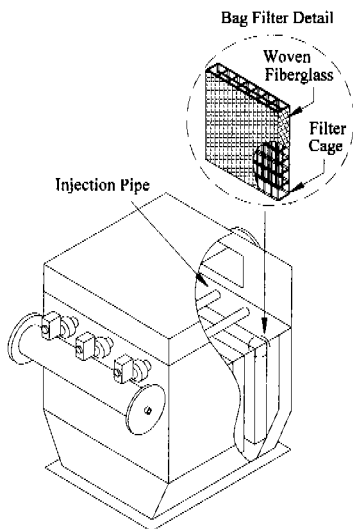


Fig. 14 Schematic diagram of the filter

따라서 용량은 20kW로 설계하였고, 가급적 공기를 균일하게 가열하고 클로우즈드 시스템에 적합하도록 박스형으로 주문 제작하였다.

### 6.3 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.

Woven Fiberglass(#6255)는 습한 분진의 필터링에 적합하고 외부표면은 테프론 코팅 처리되어 있으며 필터의 통기도는 약 3cc/cm<sup>2</sup>·s, 내열온도는 260℃이다

Fig. 14는 백필터의 형상을 나타낸 것으로 열풍의 통기를 원활하게 하기 위해 입체적 구조를 갖도록 사각의 필터케이지(540×400×40mm)를 제작하고 필터케이지 바깥부분에 Woven Fiberglass(#6255)를 씌운 형태이며 필터와 필터사이의 간격은 30mm이다.

백필터 면적을 계산하기 위해 혼합기 입구에서 유속이 1.2m/s일 때 송풍기 출구(내경 100mm)에서 최대유량은 약 0.084m<sup>3</sup>/s이고 통기도가 약 3cc/cm<sup>2</sup>·s이기 때문에 백필터 면적은 약 2.8m<sup>2</sup>이 필요하다.

백필터 형상이 사각형이므로 1개의 면적이 약 0.4856m<sup>2</sup>이므로 백필터는 약 6개 정도가 필요하다. 그러나 본 연구에서는 향후 속도증가(약 1.6~2m/s)를 감안하여 백필터의 개수를 8개로 하였다.

백필터에 붙은 분진을 떨어뜨리기 위해 안정적이면서 가동중에도 연속적으로 분진을 털어낼수 있는 펄스제트방식을 채택하였고 솔레노이드 밸브에 의해 4초 간격으로 고압공기가 3개의 제트 분사관을 통해 백필터에 분사된다.

### 6.4 쿨러

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

### 6.5 컨트롤패널 및 기타

무중력 유동층 건조기의 모든 장치는 컨트롤패널에서 제어되기 때문에 조작이 간편하다. 특히 내부에 디지털 인디케이터가 부착되어 있어 시간 경과에 따른 각 부분의 온도 및 습도 등이 표시되며, 타이머가 내장되어 있기 때문에 건조시간 설정이 가능하다. 또한 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 SUS304 파이프를 사용하였고 실험장치의 모든 온도는 데이터로거(HP 3852A)로 측정하였다.

## 7. 건조기 성능에 관한 예비실험

### 7.1 실험방법

기초실험과 예비실험을 통해 제원이 최종적으로 확정, 제작된 무중력 유동층 건조기(Fig. 1 참조)에서 클로우즈드 시스템인 경우 유로체계를 살펴보면 공기는 원심식 송풍기에 의해 전기히터로 보내지며 가열된다. 히터는 스테인레스 박스 안에 전열선이 내장되어 있고, 공기는 그 안으로 유입되면서 가열되며 열손실을 최대한 줄이기 위해 단열처리 되었다. 이 박스 안에는 온도계측기가 부착되어있고 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. 쿨러 입구에는 습도계와 열전대가 부착되어 있어 습도와 온도가 체크된다.

오픈 시스템인 경우에는 백필터를 통과한 열풍이 대기중으로 배출되도록 하기 위해 백필터출구의 유로를 대기에 개방시켰고, 쿨러의 증발기 케이스를 개방하여 대기중의 공기가 송풍기로 유입되도록 하였다.

혼합기내부에서의 온도는 특정 위치(Fig. 6 참조)마다 열전대가 부착되어 컨트롤패널에 있는

온도기록계와 데이터로거에 의해 기록된다.

피건조물의 함수율 측정은 초기 설정함수율까지 물과 충분히 혼합한 뒤, 건조기내에서 건조되는 과정중 피건조물의 종류에 따라 2분 혹은 5분 간격으로 혼합기의 샘플채취구를 통해 샘플을 채취한 후 모이스처 발란스(SARTORIUS, MA30)를 이용해 목표함수율에 도달될 때까지 측정하였고 피건조물별 실험조건과 측정된 데이터를 이용해 건조효율<sup>(2,7)</sup>을 계산하였다.

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

예비실험조건은 FORBERG 사 건조기와 비교를 하기 위해 Table 1과 같이 피건조물의 종류, 초기함수율, 목표함수율을 FORBERG 사의 테크니컬 데이터와 동일한 조건으로 하였다.

### 7.2 실험결과

Fig. 15는 초기함수율이 6.1%, 히터 설정온도 150°C, 열풍속도가 0.6m/s일 때 건조시간에 따른 혼합기내 온도분포, 쿨러의 입출구온도, 모래의 온도와 함수율 변화를 나타낸 것이다.

실험수행시 대기온도는 약 13°C이었고, 히터출구의 열풍온도(Thout)가 초기 설정온도까지 도달하는데는 약 10분 정도 소요되며 혼합기 입구(TI)와의 온도차는 약 20°C 이다. 혼합기내부의 위치별 온도분포는 증가경향이 기초실험때와 유사하나 최고 및 최저온도차가 약 27°C로서 기초실험때의 15°C보다는 크게 나타난다. 이같은 결과는 기초실험때와는 다르게 혼합기내부에서 피건조물이 혼합되고 동시에 열풍이 유입되기 때문

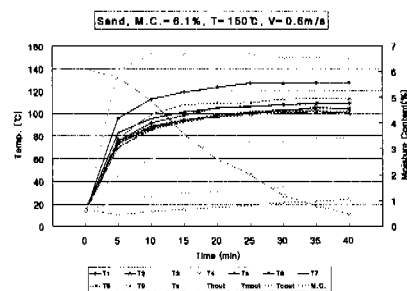


Fig. 15 Moisture content and temperature for drying time (Sand, T=150°C, V=0.6m/s)

으로 생각한다.

혼합기 출구로 배출되는 배기 열풍( $T_{mout}$ )은 건조시작후 증가하기 시작하여 약 78℃ 까지 상승한다. 쿨러의 출구온도( $T_{cout}$ )는 시간이 경과함에 따라 배기 열풍의 온도 상승으로 인하여 조금씩 높아지며, 모래의 온도( $T_s$ )도 점차 증가하기 시작해 건조종료시에는 약 37℃로 나타났다.

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

Fig. 16은 히터출구의 열풍온도를 200℃로 설정한 실험결과이다. 히터출구의 열풍온도가 초기 설정온도까지 도달하는데는 약 15분 정도 소요되며 혼합기 입구와의 온도차는 약 30℃, 혼합기내부의 위치별 최고 및 최저온도차는 약 26℃이다. 혼합기 출구온도는 건조과정 중 계속 증가하여 건조가 완료되었을 때는 약 95℃이며 모래의 최종온도는 약 35℃이고 목표함수율까지 건조되기 위해서는 약 35분이 소요된다.

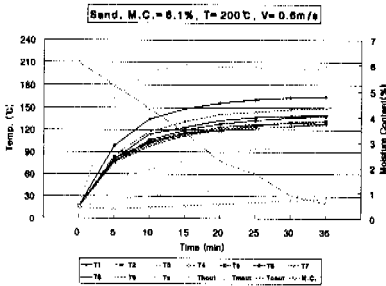


Fig. 16 Moisture content and temperature for drying time (Sand,  $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V=0.6\text{m}^3/\text{h}$ )

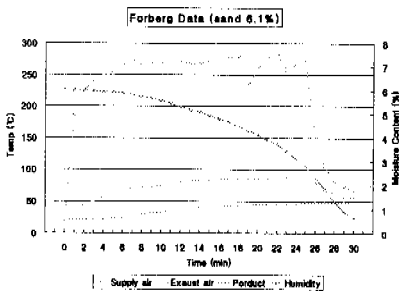


Fig. 17 Technical data of the Forberg's dryer(Sand)

히터 사용전력량을 비교해보면 히터출구의 열풍온도를 200℃로 설정한 경우가 150℃로 설정한 경우보다 건조시간은 약 5분 정도 단축되었으며 히터 사용전력량은 각각 8.1, 4.9kW로 나타났다.

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

Fig. 17은 FORBERG 사 건조기의 테크니컬 데이터를 근거로 작성한 것이다. 본 실험조건과 비교하면 앞에서 언급한 것처럼 피건조물의 종류, 초기함수율, 목표함수율은 동일하고, 히터출구의 초기설정온도, 건조기의 용량은 다르며 유속에 대한 언급은 없었다

먼저 히터출구 설정온도 270℃까지 도달하기까지는 약 7분 정도 소요되며, 25분이 지난 후 히

Table 1 Comparison of preparatory experimental result with the FORBERG's technical data

	Preparatory experimental results	Technical data of FORBERG
Material	SAND	SAND
Material weight(kg)	28	1287
Initial moisture contents(%)	6.1	6.03
Target moisture contents(%)	0.6	0.67
Initial setting temp.(°C)	200	270
Air flow rate( $\text{m}^3/\text{h}$ )	237	2900
Heated air velocity( $\text{m}/\text{s}$ )	0.6	Not provided
Time for arriving at target temp.(min)	15	7
Final temp. of exhaust air(°C)	100	90
Final temp. of material(°C)	40	49
Drying time(min)	35	30

터를 끈 것으로 보인다. 혼합기 출구에서 배출되는 배기열풍의 온도는 최고 약 90℃이며 모래의 온도는 건조가 완료될 때 약 50℃이었다. 피건조물의 함수율은 시간이 경과함에 따라 계속 감소하며 목표함수율까지 도달하는데에는 약 30분 정도가 소요되는 것으로 나타났다.

위의 데이터를 본 예비실험 결과중 히터출구 설정온도 200℃(Fig. 16 참조)와 비교해 보면 Table 1 과 같다.

이상과 같이 비록 간접비교이긴 하지만 건조시간 측면에서 본다면 본 예비실험결과와 FORBERG 사 테크니컬 데이터와는 약 5분 차이가 있다. 그러나 건조시간이 열풍온도, 열풍속도 등과 관계가 있기 때문에<sup>(2)</sup> 건조시간의 차이를 단정적으로 말하기는 곤란할 것으로 생각된다.

### 8. 최종 시제품에 대한 성능실험

#### 8.1 실험방법

본 실험에서는 예비실험을 기초로 하여 시료를 모래, 톱밥으로 정하고 예비실험절차와 동일한 방법으로 피건조물의 초기함수율, 목표함수율, 열풍유속 및 히터 설정온도를 변화시키면서 최종 시제품에 대한 성능평가를 수행하였다.

#### 8.2 실험조건

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

#### 8.3 실험결과

**Table 2** Experimental conditions for performance tests

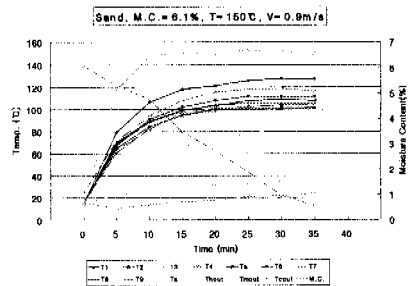
	Sand	Saw dust
Material weight(kg)	28	4.4
Initial moisture contents(%)	6.1, 9.15	55
Target moisture contents(%)	less than 0.6	less than 20
Initial setting temp.(℃)	150, 200	150, 200
Heated air velocity(m/s)	0.6, 0.9, 1.2	0.6, 0.9, 1.2

#### 8.3.1 모래에 대한 실험결과

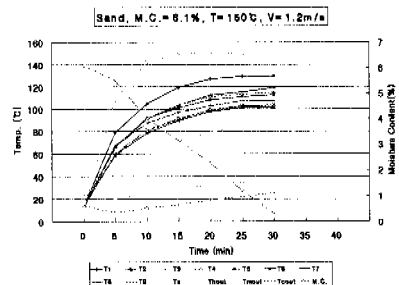
모래에 대한 실험은 초기함수율이 6.1%와 9.15%일 때 목표함수율을 0.6%이하로 낮추는 두 가지 조건에 대하여 수행하였으며, 먼저 함수율 6.1%에 대한 실험결과는 다음과 같다.

Fig. 18, 19는 초기함수율이 6.1%, 히터 설정온도 150℃, 열풍속도가 각각 0.9, 1.2m/s일 때 건조시간에 따른 혼합기내 온도분포, 쿨러의 입출구 온도, 피건조물의 온도와 함수율 변화를 나타낸 것으로 전체적인 경향은 0.6m/s인 경우(Fig. 15 참조)와 비슷하지만 건조시간은 각각 5분씩 단축된다. 따라서 초기함수율 및 열풍온도가 같을 때 건조시간은 열풍속도에 의존한다고 볼 수 있으며 이때의 효율은 각각 50.2, 45.5%이다.

Fig. 20은 건조가 진행되는 동안 쿨러출구와 입구에서의 습도분포를 나타낸 것으로 쿨러출구의 습도는 건조과정동안 약 1.6~1.7%정도를 유지하였고 쿨러 입구(혼합기 출구)의 습도는 건조가 진행되면서 점차 낮아지기 시작해 20분 후부터는 약 7.2%로 나타났다.



**Fig. 18** Moisture content and temperature for drying time (Sand, T=150℃, V=0.9m/s)



**Fig. 19** Moisture content and temperature for drying time (Sand, T=150℃, V=1.2m/s)

Fig. 21은 초기함수율 6.1%, 히터 설정온도가 200℃이고 열풍속도를 0.6, 0.9, 1.2m/s로 변화시킬 때 피건조물의 함수율 변화를 나타낸 것으로, 건조속도를 비교해 보면 히터 설정온도가 150℃인 경우와 마찬가지로 속도가 증가함에 따라 건조속도는 5분씩 단축되었으며 오픈 시스템인 경우(히터 설정온도 200℃, 열풍속도 0.9m/s, 대기온도 약 11℃, 상대습도 약 36%) 히터출구에서 열풍의 가열시간 및 혼합기내의 온도분포 등은 클로우즈드 시스템과 유사하나 배출 열풍온도가 약 10℃정도 높게 나타났고 건조시간은 5분이 더 길어졌으며 이때의 효율은 40.4%이다.

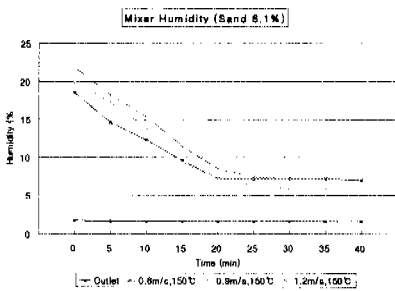


Fig. 20 Humidity of inlet and outlet of cooler(Sand, T=150℃)

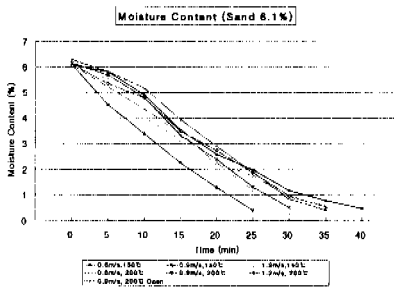


Fig. 21 Moisture content for drying time (Sand, Initial M.C.=6.1%)

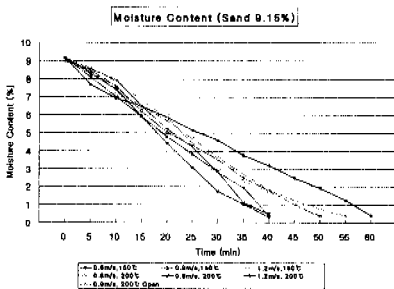


Fig. 22 Moisture content for drying time (Sand, Initial M.C.=9.15%)

Fig. 22는 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 효율은 약 43.7~70%까지 나타났다.

### 8.3.2 톱밥에 대한 실험결과

톱밥에 대한 실험은 초기함수율이 52%, 목표함수율을 20%이하, 히터 설정온도 150℃와 200℃, 열풍속도를 0.6, 0.9, 1.2m/s로 변화시키면서 실험을 수행하였으며 FORBERG 사의 테크니컬 데이터와도 간접 비교하였다.

Fig. 23은 히터 설정온도가 150, 200℃이고 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℃ 일 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, 원

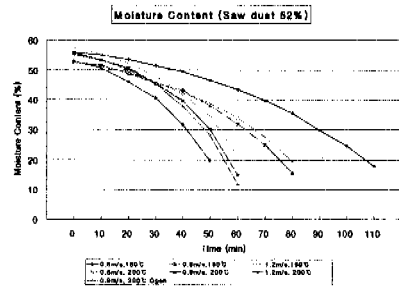


Fig. 23 Moisture content for drying time (Saw dust, M.C.=52%)

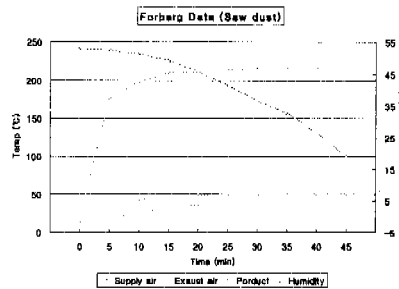


Fig. 24 Technical data of the Forberg's dryer(Saw dust)

료의 물성(비중, 비열 등)과도 관계가 있을 것으로 생각된다.

Fig. 24는 FORBERG 사의 테크니컬 데이터로서 실험조건은 초기함수율 52.48%, 목표함수율 20%이하, 열풍설정온도 210°C, 톱밥중량 75kg, 풍량은 2900m<sup>3</sup>/h이고 열풍속도는 기록되어있지 않다.

데이터를 살펴보면 목표함수율까지 도달하는데 필요한 시간은 45분으로 본 실험결과와 간접비교할 경우 성능면에서 만족스럽다고 생각된다.

## 9. 결론

본 연구에서 개발하고자하는 무중력 유동층 건조기의 구조는 무중력 혼합기의 패들 메커니즘에 의해 유동층이 생기며 피건조물의 표면적이 극대화된 상태에서 상부의 양쪽 측면으로부터 유입된 열풍이 피건조물과 접촉하는 방식으로 건조시간이 빠르고 저함수율까지의 제어가 가능하다. 열풍의 순환체계는 기본적으로는 클로우즈드 시스템이며 필요에 따라 오픈 시스템으로의 전환이 가능하고 한 대의 건조기로 혼합, 건조, 그늘날, 냉각 등이 가능한 다목적용 건조기를 개발하는 것이다.

이를 위해 무중력 유동층 혼합기를 제작하여 혼합정밀도에 관한 기초실험을 수행하였고, 건조 제어부의 구성품들을 설계하여 혼합기가 건조제어부와 결합되었을 때 건조제어부의 모든 구성품들에 대한 적정설계 여부와 건조기의 작동상태를 점검하였다. 또한 건조기의 성능을 확인하기 위해 예비실험을 수행한 후 그 결과를 FORBERG 사의 테크니컬 데이터와 간접 비교하여 신뢰성을 검증하였으며 예비실험결과를 기초로 모래, 톱밥에 대해 초기함수율, 목표함수율, 열풍유속 및 히터 설정온도를 변화시키면서 최종 시제품에 대한 성능평가를 수행한 결과들을 종합하면 다음과 같다.

(1) 혼합기의 혼합정밀도를 측정한 결과 시료들의 C.V.는 10%이하로 혼합시간 및 혼합정밀도는 우수한 것으로 생각된다.

(2) 예비실험 결과 혼합기 및 건조제어부의 작동상태는 안정적이었고 구조상 문제점은 없었다.

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

(4) 예비실험결과를 FORBERG 사 건조기와 간접 비교한 결과 건조시간면에서 큰 차이가 없었다.

(5) 조건이 동일하다면 유로체계가 오픈 시스템인 경우에도 클로우즈드 시스템과 마찬가지로 혼합기내 온도분포 및 건조시간에는 큰 차이가 없었다.

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

## 10. 보완점 및 대책

최종 시제품에 대한 성능평가를 수행한 결과 상품화를 위해서는 몇 가지 보완해야할 사항이 있어 이점에 대한 보완대책이 요구된다.

(1) 혼합기 입구에서의 유속분포가 다소 불균일하게 나타났으며 이것은 유로의 구조적 문제점으로 생각된다. 이것을 보완하기 위해서는 유로내부에 가이드를 부착하는 등의 추후 지속적인 연구가 요망된다. 특히 피건조물의 종류에 따라 유속을 변화시킬 경우를 대비해 혼합기 입구쪽의 유로를 개폐가 가능하도록 보완할 필요가 있다고 생각한다.

(2) 백필터의 성능은 만족스럽지만 백필터의 청소나 교체 등의 이유로 탈착 및 부착할 경우를 대비해 백필터 상부의 보완이 필요할 것으로 생각된다.

(3) 최종 시제품에 대한 성능평가를 위해 모래, 톱밥을 시료로 실험을 하였는데 상품화를 위해서는 보다 많은 시료와 실험조건으로 실험을 수행해야 할 것으로 생각되며 이에 대한 데이터구축이 필요하다.

(4) 상품화를 위해서는 무엇보다도 열변형이나 안정성에 대한 충분한 내구성테스트가 필요하다고 생각된다.

이상과 같은 사항에 대해서는 지속적인 연구 및 실험을 통한 보완이 필요하기 때문에 현재 본 연구진은 추가실험을 하고 있으며 건조기의 스케일업에 대한 검토도 병행하고 있다.

## 후 기

본 연구는 에너지관리공단에서 시행한 '99 에

너지절약기술개발사업의 연구비로 수행되었으며  
관계자 여러분과 (주)세지테크에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) 김충익, 1999, "외국의 건조기술 개발사례"  
월간 화학장치, Vol. 7, No. 8, pp. 89~96.
- (2) 김성식, 1999, "Plant Freshman을 위한 건조  
장치 개론," 월간 화학장치, Vol. 7, No. 4, pp.  
69~97.
- (3) 통상산업부, 1997, "고효율 건조 시스템 개발  
을 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) 김명배, 1999, "산업용 건조기 기술현황", 월간  
화학장치, Vol. 7, No. 8, pp. 79~88.
- (7) 임상근, 1998, "건조시스템 설계와 실무."
- (8) Comutational Dynamics Limited, 1998, STAR-  
CD Methodology Manuals, Version 3.05.
- (9) Comutational Dynamics Limited, 1998, STAR-  
CD Userguide Manuals, Version 3.05.
- (10) 韓國事典研究社, 1997, "機械工學便覽事典  
pp. B5-115~B5-155.
- (11) 신기술, 1998, "건조장치의 이론과 실제.