

## 나선진동 분말식품 건조기의 개발 및 건조특성

백영수 · 나은수 · 정은영 · 장동순\*  
한국기계연구원, \*충남대학교 환경공학과

### Drying Characteristics and Development of a Powder-type Food Dryer with Spiral Vibration

Youngsoo Paek, Eun-Soo Na, Eun-Young Jung and Dong-Soon Jang\*

Korea Institute of Machinery & Materials, \*Environmental Engineering Chungnam National University

#### Abstract

The spiral vibration heat exchange dryer moves, dries continuously and mixes uniformly particles on the spiral heating plate. So this system is adequate to dry the powder-type food materials. The mass and heat balance equation is used to design dry capacity and water content measurement, sieve analysis and vibration moving test are practiced to lay out the spiral plate. Spiral vibration dryer(300 kg/hr) is manufactured and tested by Dashida powder of 4.8% water content at 80~85°C. The frequency of vibration motor is operated 45Hz, 55Hz, 60Hz and the product mass per time is measured by digital scale. The water content of product is 1.0~1.6% and the dry efficiency is 67.4~78.2%. The spiral vibration heat exchange dryer make 125~363 kg/hr of Dashida dehydrated with temperature consistency and without dust in case.

**Key words:** dryer, powdered food, vibration dryer

#### 서 론

식품 산업에서 건조 공정은 식품을 가공하는 공정에 반드시 필요한 과정이다. 건조 과정을 통하여 식품의 목표함수율에 도달함으로써 최적의 맛을 낼 뿐만 아니라 포장과 저장 능력을 향상시키고 운반을 용이하게 한다. 또한 괴상이나 플레이크 상에서 분상으로 제조할 경우와 분상을 조립화하여 괴상으로 할 때에도 건조 공정을 거치게 된다. 분말 식품은 분유나 주스 파우더처럼 액상으로부터 건조를 통하여 제조되어 지거나 곡물류와 같은 괴상을 파쇄하여 분말 또는 미립자화 하는 방법이 있고 거의 모두 건조공정을 거치게 된다. 또한 분말원료에 액상으로 조미하여 건조를 거쳐 분말 제품화하게 되면 제품의 맛을 균일화 할 수 있는 장점이 있다. 따

라서 식품 산업 공정에서 건조기는 필수적으로 필요한 기기로서 제품의 최종 품질을 결정하기 때문에 최적의 건조기를 선택하는 것이 중요하다. 식품 건조에 사용되는 건조기의 종류로는 열풍건조기, 동결건조기, 유동층 건조기 등이 사용되어진다(김명배, 1997). 피건조물의 특성과 건조요구조건에 따라 최적 건조기를 선택하지만 분말 또는 미립자 상태인 경우에는 열전달을 용이하게 하기 위한 교반이 상당히 어려우므로 주로 유동층 건조기를 적용하는데 장치가 크고 유동화에 필요한 다량의 저압공기 송풍과정에서 금속칩 등의 오염물이 유입되며 동력 소모와 소음이 기존의 열풍 건조기에 비해서 높은 편이므로(박영성과 근재익, 1989) 물질전달과 열전달이 동시에 가능하며 균일한 교반이 이루어지는 나선진동방식을 적용하게 되면 건조 효율과 경제성을 개선할 수 있다.

나선진동 건조기는 교반, 이송, 열전달이 동시에 이루어지는 나선형 전열판에 진동을 걸어 피건조물을 유동화시키면서 하부에서 상부로 물질이동이 이

Corresponding author: Youngsoo Paek, Korea Institute of Machinery & Materials(KIMM), P.O.box 101, Yuseonggu, Daejeon, 305-600, Korea  
Phone: +82-42-868-7316 Fax: +82-42-868-7355

루어지므로 최적의 체류시간을 선택적으로 조절할 수 있어 피건조물의 파괴가 적게 일어나고 완벽한 균일건조는 물론 분체의 비산이 거의 무시할 수준이다. 또한 구조가 간단하고 연속운전이 가능하며 열효율이 높고 교반이 용이하여 건조시간이 짧아 대용량 처리가 가능하며 사용 후 청소 및 세척이 용이하고 단열 케이스에 의하여 밀폐되어 오염이 적어 분말건조에 최적이다(나은수, 2003).

본 연구에서는 나선진동 건조기의 설계 및 제작과 다시다 분말의 건조 적용성 실험 결과를 통하여 설계의 적정성과 나선진동 건조기의 건조 효율을 살펴보고자 한다.

### 건조기의 설계

#### 설계 조건 및 과정

##### 1) 설계 조건

나선진동 건조기를 설계하기 위하여 설계 요구조건을 Table 1과 같이 설정하였다.

##### 2) 설계 과정

건조기 설계 및 제작을 위하여 피건조물의 물성을 파악하고 설계 관계식에 의하여 물질 수지와 열

수지를 계산하며 나선진동 건조기의 최적설계를 실시한다. Fig. 1은 설계 알고리즘을 나타내고 있다.

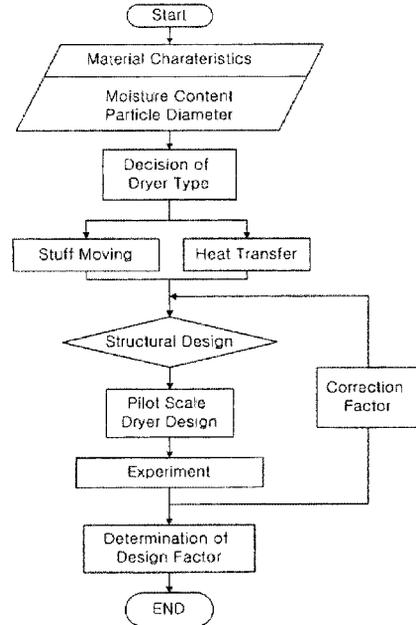


Fig. 1. Flow chart for design of spiral vibration dryer

Table 1. Design criteria of spiral vibration dryer

	Items	Design Condition		Remarks
		Unit	Value	
Feed	Material	Powdered Food		
	Flow Rate ( $F_0$ )	kg/hr	300	
	Moisture Content ( $X_0$ )	% [DB]	20	
	Temperature ( $T_0$ )	°C	20	
	Specific Heat ( $\lambda_s$ )	kcal/kg · °C	0.3	
	Granular Size	μm	10~2000	Mean Diameter
Product	Moisture Content ( $X_1$ )	% [DB]	≤0.1	
	Temperature( $T_1$ )	°C	105	
Ambient Air	Temperature( $T_{ex}$ )	°C	70	
	Relative Humidity	%	80	
Drying Heat	Steam Pressure	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	Max. 5	with Drying Condition
	Jacket Temperature ( $T_{in}$ )	°C	Max. 160	with Drying Condition
	Heat Recovery Feed Drain( $T_{out}$ )	°C	97	Feed to Boiler
Vibration Generator	Frequency	Hz	0~60	
	Generation Method	Vibration Motor	1.5kW × 2	Right, Left
	Vibration Absorber	Coil Spring(EA)	8	Sintered Carbon
Conveying	Inlet	Vibration	20 × 70	Magnetic
	Outlet	Vibration		From Spiral Heating Plate

3) 설계 관계식

물질수지

설계요구조건에 따라 건조기의 물질 수지는 다음 수식과 같은 기본 전제하에 계산하였다(김형수, 2002).

$$W_{in} = W_{ex} + W_{pr} \quad (1)$$

여기에서,  $w_{in}$ 은 피건조물에 포함된 수분량이고  $w_{ex}$ 는 배기가스에 포함된 수분량이며  $w_{pr}$ 는 제품에 포함된 수분량이다.  $F_0$ 는 시간당 피건조물 공급량이며  $X_0$ 는 피건조물의 수분 비율이고  $n$ 는 제품의 수분 비율이다. Table 2는 피건조물에 대한 물질수지 계산결과를 나타낸다.

제품의 0.1% 함수율은 무시할 수 있는 수분함량이므로  $w_{in} \approx w_R$ 으로 실제 설계 적용에서는  $w_{in}$ 과  $w_R$ 을 60 kg/hr으로 적용하였다.

열수지

설계요구조건에 따라 건조기에 공급되는 열량과 배출 또는 손실되는 열량이 같다는 기본 전제하에 건조에 필요한 총열량을 계산하였다(김형수, 2002).

$$H_{in} = (H_v + H_L) \times e \quad (2)$$

여기에서  $H_{in}$ 은 보일러에서 공급되는 열량(건조시 총 필요열량)이고  $H_v$ 는 피건조물의 수분증발과 온도증가에 사용된 열량이며  $H_L$ 은 총열손실이다.  $e$ 은 열량 보정계수이고  $T_{in}$ 은 공급증기 최대온도(°C),  $T_{ex}$ 은 배기가스 온도(°C),  $\Delta t$ 는 열교환 온도차(°C),  $T_0$

Table 2. Balance of drying stuff

Item	Equation and Solution	Result
Water Content of Feed Material ( $w_{in}$ )	$w_{in} = F_0 \times \frac{X_0}{100}$ $= 300 \times \frac{20}{100}$	60 kg/hr
Water Content of Product ( $w_{pr}$ )	$w_{pr} = F_0 \times \frac{X_1}{100}$ $= 300 \times \frac{0.1}{100}$	0.006 kg/hr
Removed Water Content ( $w_R$ )	$w_R = w_{in} - w_{pr}$ $= 60 - 0.006$	59.994 kg/hr
Weight of Product ( $F_{pr}$ )	$F_{pr} = F_0 - w_R$ $= 300 - 59.994$	240.006 kg/hr

는 피건조물의 초기온도이며  $T_1$ 은 제품의 배출시 온도이다.  $L_c$ 는 100°C에서 물의 증발열로 540 kcal/kg이며  $\lambda_v$ 는 수증기의 비열로 0.45 kcal/kg·°C,  $\lambda_w$ 는 물의 비열로 1.0 kcal/kg·°C,  $n$ 는 피건조물의 비열(kcal/kg·°C)이다.  $L_{20}$ 은 20°C에서 물의 증발열(kcal/kg)이며  $H_u$ 는 증발 수증기 단위질량 건조시 필요한 열량이다.

계산 결과는 Table 3과 같다.

배기 송풍량

배기송풍량은 건조효율과 제품의 질을 결정하는 중요한 요인이 된다. 과대 배기시에는 분체입자가 배출되어지며 건조기 내부온도를 저하시키고 에너지 효율을 감소시키는 악영향을 미치지만 처리능력은 증가되어진다. 한편 과소 배출시에는 건조기 내에서 수분이 필요이상의 시간동안 체류함으로써 건조 효율을 감소시킨다.

Table 4는 배기 송풍량에 대한 계산 결과이다. 이론상 배기량은 분당 1.55m<sup>3</sup>이다.

설계 프로그램

나선진동 건조기의 열 및 물질수지를 계산하여 건조기의 기하학적 구조를 결정할 관계식을 유도하고 계산하였다. 설계 프로그램은 다양한 설계요구조건에 충족하도록 설계변수를 조정 계산하는 기능

Table 3. Balance of dryer heat

Item	Equation and Solution	Result
Temperature of Exhaust Gas ( $T_{ex}$ )	$T_{ex} = T_{in} - \Delta t = 154.7 - 84.7$ ( $T_{in}$ Based 5 kgf/cm <sup>2</sup> Saturated Steam)	70°C
Amount of Heat to Evaporate Water ( $H_v$ )	$H_v = w_{in} [L_c + \lambda_v \cdot (T_1 - 100) + \lambda_w \cdot (100 - T_0)]$ $= 60 [540 + 0.45 \times 5 + 1 \times 80]$	37,335 kcal/hr
Amount of Heat Loss Included Product ( $H_L$ )	$H_L = F_{pr} \cdot \lambda_s \cdot (T_1 - T_0)$ $= 240 \times 0.3 \cdot (105 - 20)$	6,120 kcal/hr
Total Heat Demand ( $H_{in}$ )	$H_{in} = (H_v + H_L) \times e$ $= (37,335 + 6,120) \times 1.4$	60,837 kcal/hr
Heat Demand to Evaporate Unit Weight ( $H_u$ )	$H_u = \frac{H_{in}}{w_{in}} = \frac{60,837}{60}$	1,014 kcal/kg
Evaporation Efficiency ( $\eta_H$ )	$\eta_H = \frac{L_{20}}{H_u} = \frac{586}{1,014}$	57.8 %

Table 4. Calculation of fan design

Item	Equation and Solution	Result
Specific Weight of Air ( $\gamma_A$ )	$\gamma_A = \rho g = \frac{MP}{R} \frac{1}{T} g_T$ $= \frac{355}{(273 + 70)}$	1.03 kg/m <sup>3</sup>
Specific Weight of Vapor Mixture ( $\gamma_w$ )	$\gamma_w = \rho g = \frac{MP}{R} \frac{1}{T} g_T$ $= \frac{220}{(273 + 70)}$	0.64 kg/m <sup>3</sup>
Quantity of Vapor Mixture ( $Q_{out}$ )	$Q_{out} = \frac{w_{in}}{\gamma_w} = \frac{60}{0.64}$	93.75 m <sup>3</sup> /hr

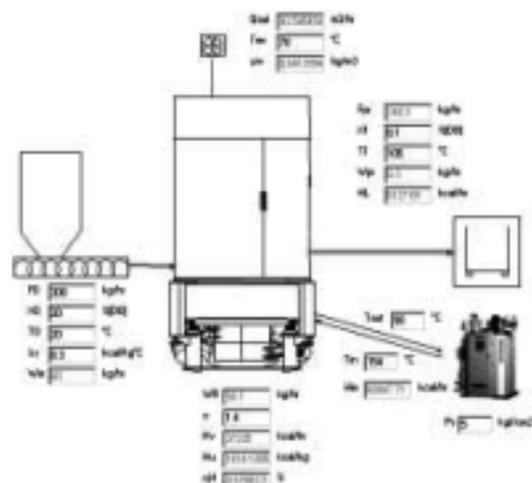


Fig. 2. Design program of spiral vibration dryer

을 부여하였다.

Fig. 2는 나선진동 건조기의 열 및 물질수지 계산 적용 프로그램을 나타내었다.

기초 실험

- 1) 입도 및 함수율 측정

함수율

건조기 설계를 위해 선정한 피건조물의 초기 수분함량은 나선형 전열판에서의 이동시간 즉 건조기 내 체류시간 및 건조능력의 결정에 직접적인 영향을 미치며 특히 함유 수분이 과도한 경우에는 건조불능 상태가 된다. 피건조물의 목표 함수율에 도달하기 위해서 건조 시간, 진동수, 전열판 온도는 상호보완적인 변수관계로 최적화가 필요하다. 피건조물의 함수율 측정은 공정시험법 기준 수분측정법을 이용하였는데 대상 피건조물은 설탕과 소금이다. 모든 대상 피건조물은 건조특성 실험시 함수율 측정이 필수적이다.

설탕은 0.1%로 함수율이 매우 낮았으며 소금의 함수율은 7.8%를 나타내었다.

입도

입자는 크기에 따라서 진동에 의한 교반 및 이동 특성이 다르게 나타난다. 특히 입도차가 클 경우에는 동일한 주파수에서 분리 조건이 되기 때문에 과건조 또는 미건조의 원인이 된다. 그러므로 평균 입도를 측정하였고 전열판에 적치되었을 때 분리 조건이 되지 않는 정도의 분포를 적용하였으나 실제 실험에서는 입자간의 상호간섭 작용으로 Mass Moving 현상이 일어나므로 입도 차이에 의한 실험상 문제는 발생하지 않았다.

입도측정은 토양 입경 측정법 중 체거름 방법을 응용하여 산출하였는데 결과는 Fig. 3과 같다. 입도를 분석한 결과에서 설탕의 경우 입경이 작아 0.1 mm~0.5 mm에 대부분 분포하고 있으며 소금의 입경은 커서 1 mm~2 mm의 범위에 입자가 대부분 분포하고 있다. 입도분석에 의한 결과를 더욱 자세히 관찰하기 위해서 광학 현미경(DW-THSP)을 이용하였는데 이 때 배율은 100배로 하였다. Fig. 4(a)는 설탕의 경우로 투명하며 대부분이 육면체의 형상을 보였다. Fig. 4(b)는 소금의 입경을 나타낸 것으로 설탕과 같은 결정형 구조를 가지고 있으나 결정이

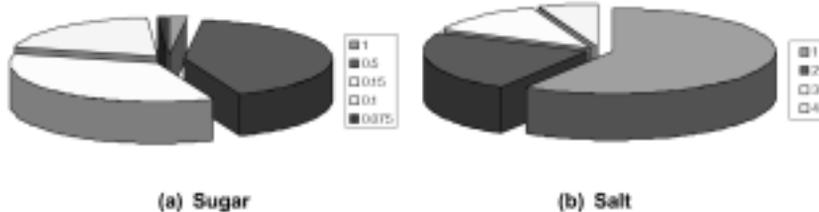


Fig. 3. Distribution chart of particle diameter (mm)

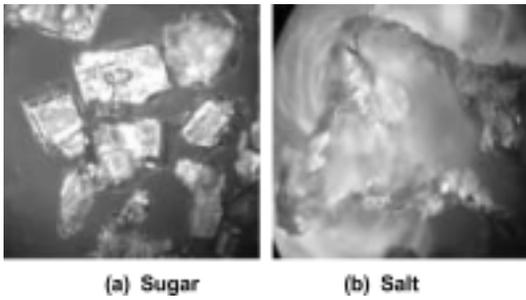


Fig. 4. The microscope photo of sugar and salt

굳은 결정이 아닌 무른 결정형을 가지고 있다.

2) 진동이송실험

나선진동 건조기에서 이송 속도는 이송전열판의 각도와 진동수에 의해 조절되므로 전열판의 최적 설계를 위하여 다음과 같이 실험하였다.

진동이송 실험장치

진동에 의해 피건조물을 이송시키는 속도와 경사 각도를 실험하기 위하여 구성된 실험장치는 Fig. 5 와 같다.

진동이송 실험장치는 6개의 부분으로 구성되어 있는데, ④의 주파수 조절 너브를 통하여 ②의 전자석으로 진동발생장치의 진동수를 조정한다. ⑥의 조절나사로 높이를 조절함으로써 ①의 이송트레이의 각도를 조절할 수 있다. ③의 건조물은 전자석에서 발생하는 자기장에 의한 진동으로 이송트레이 70 cm를 이동하게 된다.

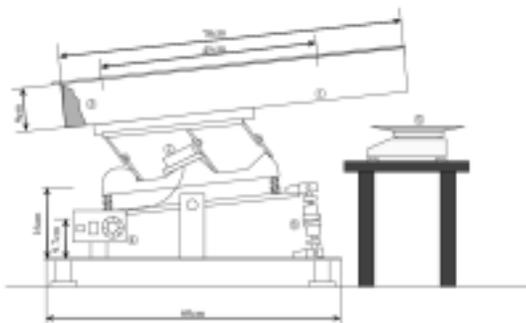


Fig. 5. Schematic diagram of vibration transport tester;  
 Vibration transport tray    Vibration generator  
 Sample    Switch and controller    Electronic scale  
 Gradient angle adjuster

진동이송 실험결과

설탕, 소금을 시료로 채택하여 이송각도와 주파수에 따른 이송속도를 파악하였는데 진동이송기의 각도를 6°, 8°, 10°로 하였고 건조기 인버터의 주파수는 24 Hz, 36 Hz, 48 Hz, 60 Hz로 변환하였다. 건조기에 적용해야 하기 때문에 개별분체에 대한 미시적인 해석보다는 일정량의 이동시간을 측정하는 Mass Moving에 측정 기준을 두어 100 g의 시료를 진동 이송 시험기에 투입하여 시간에 따라 이송되어 저울로 떨어지는 질량을 측정하였다.

설탕은 생산 공정에서 체분리를 통하여 입자를 균일화한 제품이다. 그러므로 이송시간에 대한 분포가 넓게 나타나지 않는다. 설탕의 이송실험 결과는 Table 5에 나타내었으며 이 중 최적 이송각도인 8°에 대한 실험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6은 설탕 100 g을 진동판에 적재한 후 각 진동수로 변경하며 시간별 전자저울로 떨어지는 질량을 측정하여 기록한 결과이다. 이송속도는 주파수가 낮아지면 현저하게 감소하는 것을 알 수 있으며 설탕의 이송시 주파수는 36 Hz이상으로 나타났다.

소금은 입경분포가 상당히 넓은 분포를 나타낼 뿐만 아니라 입경이 크고 함유율도 매우 높다. 소금은 분자간의 간격이 크고 충격에 약하므로 이송

Table 5. Experiment Result of Vibration Conveyor

Angle of Slope	Tested Sample		
	Conveying Speed Hz	Sugar	Salt
6°	24Hz	21.6	14.3
	36Hz	64.8	41.7
	48Hz	89.7	77.8
	60Hz	129.6	118.1
8°	24Hz	10.8	-
	36Hz	13.4	7
	48Hz	39.5	13.8
	60Hz	98.3	33.7
10°	24Hz	-	-
	36Hz	4.1	-
	48Hz	20.1	5.3
	60Hz	41.3	13.1
Optimum Condition Slop : 8°	Sugar : 36Hz Salt : 48Hz	13.4	13.8

-. 저속의 이송속도로 인하여 장시간이 경과된 이후에도 이송정도 변화 없음.

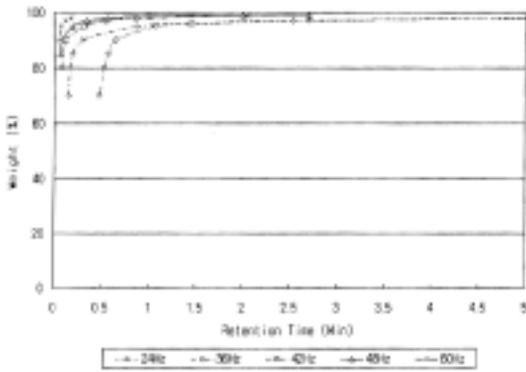


Fig. 6. Result of sugar at 8 degree of vibration tray

실험시 이송 주파수가 높게 되면 큰 결정이 깨어져 작은 결정으로 변화되면서 이송된다. 그러므로 이와 같은 현상은 짧은 거리를 이송하는 본 실험보다 긴 거리를 이동하게 되는 건조기에서 더욱 뚜렷이 나타날 것으로 예상된다. 소금 이송실험의 결과는 Table 5에 나타내었으며 최적 각도인 8°에 대한 시간별 이동 질량의 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 진동모터의 주파수를 54 Hz 이상으로 이송하여야 이송속도를 유지할 수 있으며 이것은 평균 입경과 질량 증가 때문에 보다 높은 이송 에너지가 필요한 것으로 보인다.

**진동이송 실험결론**

진동이송 실험결과 설탕과 소금의 최적 이송각도는 8°이었으며 이송속도는 각각 36Hz와 54 Hz로 나타났다. 입경이 크고 표면경도가 강할수록 낮은 주파수에서도 이송이 가능하고 이송속도가 빠르게 나

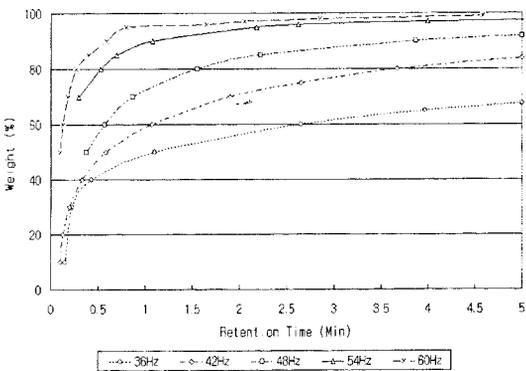


Fig. 7. Result of salt at 8 degree of vibration tray

타나며 이송각도가 클수록 이송가능 주파수는 높게 나타난다. 최적 이송속도는 전열판의 길이가 2m인 경우에 피건조물이 30분 정도 체류할 수 있는 10~20 mm/sec로 판단되어지며 이송각도는 약 8° 범위가 최적임을 알 수 있었다. 피건조물 이송에 최적인 주파수는 건조기의 용량에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 설계시 어느 정도 범위를 주어야 한다. 주파수 36 Hz와 54 Hz에서 최적 이송 속도를 보이고 있는데 건조기에 설치되는 진동발생 모터의 일반적인 운전범위가 30 Hz~60 Hz이므로 건조기 적용시 진동발생 모터 운전은 적절한 것으로 판단되어진다. 그러나 피건조물에 따라 최적의 주파수가 존재하므로 상용화 건조기의 운전시에는 현장적용 기술에 대한 적절한 범위도 고려하여야 한다.

**건조기 제작 및 성능 실험**

**나선진동 건조기 설계제작**

나선진동 건조기는 진동발생 및 흡수단, 나선형 전열판, 프레임 및 외부 케이싱으로 구성되어 있다. 전열판의 이송각도는 실험결과를 적용하였고 소요 면적은 식 (3)에 의해서 구하였다.

$$A = \frac{H}{u(T_{in} - T_1)} \tag{3}$$

여기에서  $H$ 는 총괄 전열 계수[kcal/hr·°C·m<sup>2</sup>] 이다.

진동체에 연결되어지는 증기 및 드레인 튜브는 고무 재질을 사용하였고 하부 피건조물 투입구는 투명 PE를 이용하여 케이싱 하였으며 이 때 전열판과의 간극은 2mm로 하여 하부 공기 유입이 가능하고 마찰에 의한 소음이 발생되지 않도록 하였다.

주요 설계 치수는 Table 6과 같다.

Table 6의 세부적인 설계 제원으로 제작한 나선진동 건조기의 전체 모형도는 Fig. 8과 같다. Fig. 9는 피건조물의 교반, 이송, 열교환이 동시에 이루어지는 나선형 전열판으로 피건조물의 이동은 하부에서 공급되어 상부로 배출되어지는 구조이다. 건조기 외부 케이싱은 상부단일 배기식이며 건조과정을 볼 수 있는 관찰창이 갖추어져 있고 점검과 정비를 위한 개폐식 도어를 장치하고 있다. 프레임에는 90° 위상으로 진동흡수 코일스프링이 조립되어 있고 진동모터는 180° 위상으로 장착되어 있다. 진동모터에서 발생된 진동은 트라프로 전달되어지며 트라프 상단에 나선형 전열판이 취부되어진다.

Table 6. Specification of design results

Parameters	Unit	Capacity	Remarks
Area of Heating Plate	m <sup>2</sup>	5	Sand Blaster Surface
Spiral Angle	°	8	
Number of Heating Plate	EA	11	Shroud Height 50mm
Cross Area of Steam Jacket	mm	250 × 20	Single Channel
Material of Heating Plate	mm	2	STS 304
Vent Hole	φ mm	100	
Fan Motor	HP	0.5	With Centrifugal Fan
Material of Casing	mm	1	STS 304
Vibration Motor	HP	1.0 × 2	Right, Left
Vibration Damper	mm	7 × 5 × 4	Coil Spring
Frame	mm	10	SS 41
Steam Feed Pipe	φ mm	15	
Type of Case			Cylindrical Type with Two Door

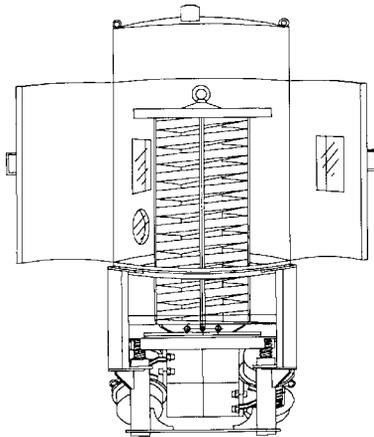


Fig. 8. Overview of manufactured dryer

전열판의 각도는 8°로 하여 높이 1100 mm에 11개 나선형전열판을 장착하였으며 진동 발생장치에는 진동수를 조절할 인버터를 연결하여 실험조건 설정에 따라 피건조물의 이송속도를 임의로 조절할 수 있도록 구성하였다. 나선형 전열판은 단열된 케이스 안에 설치하였고 피건조물 공급기 연결부도 최소 필요부분만을 제외하고 단열재를 이용하여 주변 공기의 유입과 열손실을 차단하였다. Fig. 10은 실험을 위하여 설치된 건조용량 300 kg/hr인 나선진동 건조기의 사진이다.

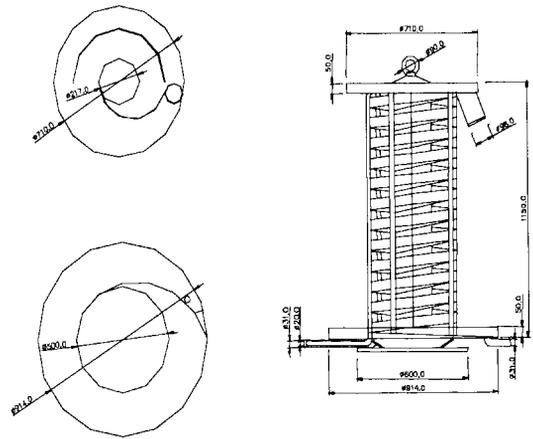


Fig. 9. Design results of spiral type heating plate



Fig. 10. Photograph of spiral vibration dryer

피건조물의 이송은 나선형 이송장치의 진동에 의해서 이루어지며 진동발생은 전열판 하단에 장착된 진동모터에 의해서 이루어진다. 피건조물 공급 장치의 경우 호퍼와 진동 이송실험에 사용되었던 장치를 활용하여 시료가 진동에 의해서 일정하게 공급되도록 구성하였다. 배출구는 전열판의 상부에서 건조기 밖으로 배출되도록 장치하였으며 건조된 시료는 저울 위에 놓여진 탱크에 적치되도록 하였다. 피건조물의 주입 시간과 배출되는 시점을 기록하고 배출되는 시료의 무게별 배출시간을 기록하여 진동수에 따른 물성의 건조기 통과시간을 알 수 있었다.

Vent Fan은 건조기 내부에서 발생하는 수증기를 건조기 밖으로 배출시키는 역할을 한다. 배풍 장치는 배기 송풍량을 이룬 배기량에 안전계수를 적용

하여 배풍기를 선정하였다. 전열판에는 열전대(Thermocouple)를 설치하여 전열판 3지점에서 실시간 온도를 측정하였다. 전열판과 케이스 사이의 공간에는 전자칩 형태의 온도 센서를 설치하여 컴퓨터와 연결하였으며 프로그램에 의해서 1분 간격으로 내부 공기의 온도를 측정·기록하였다. 온도 센서는 중앙을 중심으로 좌측과 우측에 대칭형으로 설치하였으며 건조기 상단부(T1, T4), 중앙부(T2, T5), 하단부(T3, T6)로 나누어 설치하였다. 외부 케이스에 압력계(Manometer)를 설치하여 건조기 내부 압력을 측정할 수 있도록 하였다. Vent Fan에 의하여 수분을 함유한 공기를 배풍시킬 경우 변동되는 압력을 측정하기 위하여 설치한 압력계는 건조 시작할 때와 건조 중 그리고 건조가 끝날 때에 측정하였다.

Fig. 11은 나선진동 건조기 건조성능 실험을 위하여 구성한 측정 및 실험 장비의 개략도이다.

다시다 분말 건조 실험

분말형 식품재료 건조를 목적으로 설계 및 제작된 나선진동 건조기의 성능을 평가하기 위하여 제조시 건조 과정 전의 다시다 분말로 건조실험을 실시하였다. 조미료인 다시다는 천연 원료를 분쇄한 후 조미액을 혼합하여 과립을 형성하고 약 80~85°C에서 건조시킨 제품이다.

다시다를 제조하는 과정에서 분말로 생산된 가루 원료와 액상원료를 혼합한 후 함수율을 낮추기 위하여 건조 과정이 필수적이다. 이 과정에 나선진동

건조기가 투입되어 제품건조시 원료 혼합물이 일정 함수율에 도달하고 입자성형이 가능한지 알아보기 위하여 실험을 실시한 다시다 분말은 염분에 의하여 제조 후 시간이 경과될수록 입자가 뭉쳐 덩어리를 형성하는 경향을 가지고 있으므로 mm 눈금의 체에 걸러 입자들의 입경을 일정하게 한 후 건조기에 투입하였다. 입경은 50 μm~1500 μm이었으며 건조 전 함수율은 4.77%(DB)이었다.

진동모터의 진동수를 인버터로 조절하여 각 주파수 별로 다시다 분말의 배출되는 속도와 건조된 분말의 함수율을 측정하였다. 이 때 외부 공기의 습도는 20%, 대기 온도는 13°C를 나타내었다. 보일러의 압력을 조정하여 전열판의 온도는 80~85°C로 맞추었으며, 인버터의 주파수를 45 Hz, 55 Hz, 60 Hz로 변경시키고 실험을 진행하였다. Fig. 12는 각 주

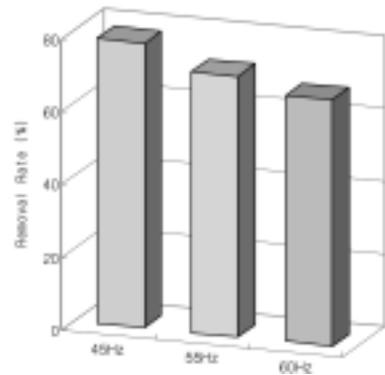


Fig. 12. Moisture removal rate of Dashida

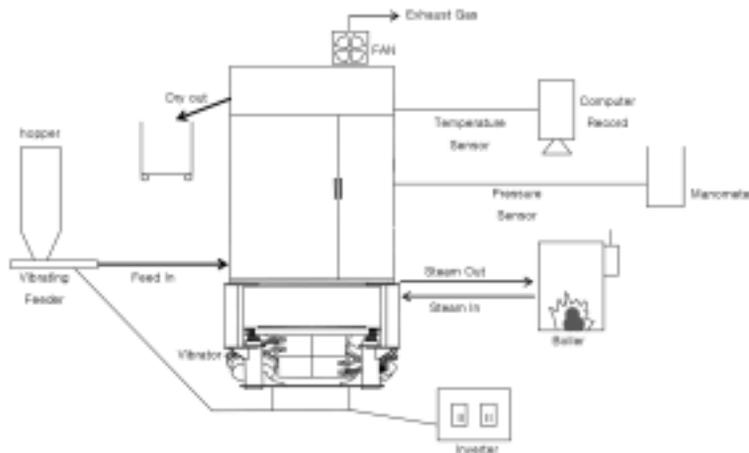


Fig. 11. Schematic diagram of experimental apparatus

과수별 건조 배출된 다시다 분말의 함수율을 측정하여 제거된 수분량을 나타낸 것이다.

주파수가 높아질수록 이송속도가 빨라져서 건조기의 수분제거율은 상당히 저하되고 있다. 제조과정에서 발생하는 다시다 원료 분말의 함수율은 평균적으로 5~10%정도이다. 초기 함수율 측정으로 나타난 바에 의하면 다시다 분말은 건조감량 함수율 4.7~4.8%로 평균 함수율보다 낮게 나타나고 있는데 이는 다시다 원료분말이 실험장소로 이송 도중 수분증발이 일어난 것으로 예측된다. 건조 다시다의 함수율은 45 Hz로 이송시 1.04%, 55 Hz로 이송시 1.36%, 60 Hz로 이송시 1.55%를 나타내었다. 생산된 제품에 요구되는 건조 다시다 분말의 함수율은 약 1.5% 정도이기 때문에 이와 같은 수분함량에 도달하기 위해서는 55 Hz이하의 진동수로 건조기를 운전하여야 할 것이다. 제품의 입경을 측정한 결과 125  $\mu\text{m}$  미만의 미세 분말 입자는 존재하지 않았으며 질량대비 입경이 큰 입자들의 분포가 높게 나타나 건조된 다시다 분말의 조립화 현상이 일어났다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 13은 공급을 시작한 시각으로부터 건조된 분말의 일정량이 배출되었을 때 소요된 이송시간을 나타낸 것이다. 처리되는 속도가 거의 일정한 직선형 그래프가 되고 있는 것으로 초기 주입을 시작하여 배출될 때까지 시간지연(Time drag)이 약간 소요된 후에는 일정한 속도로 건조되어 나오고 있다는 것을 알 수 있었다.

이와 같이 건조물이 건조되어 배출된 무게별 시간을 측정함으로써 다시다 분말의 이송속도와 처리용량을 알 수 있었는데 45 Hz일 때에는 124.8, 55 Hz일 때에는 209, 60 Hz일 때에는 363.3로 60 Hz의

진동수로 운전시에 처리용량이 현저히 증가하는 것으로 나타났다.

다시다 분말의 건조기간 동안 건조기 내부의 대기 온도를 측정한 결과 초기 전열판의 온도가 올라가면서 온도가 상승되다가 건조물이 건조되는 과정에서 전열량이 증발잠열로 이용되면서 온도의 평형을 이루어가는 것을 알 수 있었다. 하단부는 건조물 공급부분, 전열판과 케이스 사이의 틈에 의해서 외부 공기가 유입되어 온도가 낮게 나타나고 있고 중앙부는 전열판에서 전열된 열과 높은 온도로 가열된 수증기가 정체되어 있어 온도가 높다. 상단부는 배풍장치에 의하여 가열된 공기와 수증기가 빠져나가므로 열손실이 있어 중앙부보다 온도가 낮은 것으로 나타났다.

### 결 론

식품산업에서 건조공정은 제품의 최종 품질을 결정하는 공정으로 제품의 부가가치를 결정할 뿐만 아니라 막대한 에너지를 사용하므로 공정 전체의 비용면에도 직접적인 영향을 미친다. 식품 재료의 건조시 대부분 강제공기 유동층 건조방식을 채택하여 왔지만 장치 규모가 크고 에너지 소모가 많으며 다량의 분진이 발생하는 문제점이 제기되어진다. 그러나 나선형 전열판에 진동을 주어 피건조물의 이송, 교반과 열전달에 의한 건조가 동시에 이루어지게 되면 장치가 단순하고 설치 공간이 유동층 방식보다 30% 수준으로 소요되어진다. 설탕과 소금의 함수율 및 입도, 진동이송 속도측정의 기초실험을 통하여 최적의 이송속도는 10~20mm/sec이며 나선형 전열판의 각도는 8°가 적합하다는 건조기의 설계 변수를 도출하였다. 또한 대상 피건조물의 입경은 10~2000  $\mu\text{m}$ 로 설정하고 설계를 위하여 방정식과 기초 실험을 바탕으로 물질 수지와 열수지, 배풍량을 계산하였다.

설계에 따라 건조능력 300 kg/hr의 나선진동 건조기 제작하여 피건조물의 공급과 제품 배출 설비를 갖추고 전열판 온도와 내부 대기온도, 압력, 건조 후 배출된 제품의 배출속도를 측정할 수 있도록 하였다. 건조성능 실험을 위하여 초기 함수율 4.8%의 다시다 분말을 80~85°C에서 건조하였으며 건조 효율은 수분제거율 67.4~78.2%로 매우 높게 나타났고 건조 후 제품의 함수율이 1.0~1.6%로 건조하였다. 건조속도는 125~363이며 내부 대기의 온도는 건조

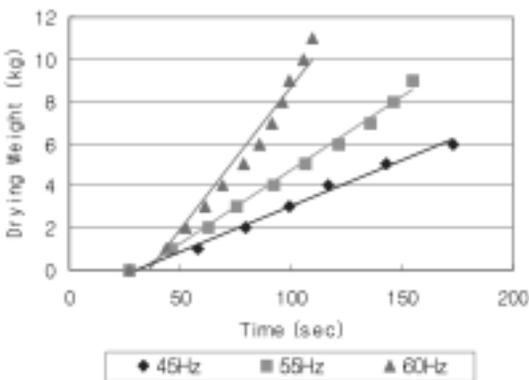


Fig. 13. Residential time of Dashida in dryer

중 일정하게 유지되고 발생되는 분진은 거의 없었다. 따라서 설계요구조건으로 적용한 피건조물의 입경, 건조능력, 함수율은 다시다 분말의 건조실험 결과 최적설계임을 알 수 있었다.

## 문 헌

- 김명배, 나은수 외. 1997. 고효율 건조기술 개발을 위한 기획연구. 산업자원부
- 김형수. 2002. 열풍건조 발효기술을 이용한 고효율 사료화공정 개발. 산업자원부
- 도서출판 新技術. 1994. 乾燥裝置의 이론과 실제. 서울, 대한민국
- 환경교육연구회. 1998. 환경오염공정시험법:폐기물 분야, 토양오염분야. 환경교육연구회
- 김명배. 1997. 국내산업용 건조기의 기술 현황 및 전망. 화학공업과 기술 **15(5)**: 398-403
- 나은수. 2003. 나선진동교반식 열전도 건조기. 산업자원부
- 박영성, 손재익. 1989. 제지슬릿지의 유동층 건조장치 성능시험 연구. 한국폐기물학회지 **6(2)**: 97-104