

상자식 농수산물 건조기의 열풍 균일분배구조 실현을 위한 유동해석

엄 용 균, 안 도 원*, 천 성 국*, 서 태 원†
안동대학교 대학원, *안동대학교 기계공학부

Flow Analysis to Develop Uniform Thermal Flow Distributions of the Box Type Dryer for Agriculture Products

Yong-Kyoon Eom, Do-Won Ahn*, Sung-Kook Cheon*, Tae-Won Seo†
School of Mechanical Engineering, Andong National University, Andong 760-749, Korea
*Graduate School, Andong National University, Andong 760-749, Korea

(Received March 9, 2005; revision received October 26, 2005)

ABSTRACT: Both the computational and experimental analysis have been conducted in this study to develop the high efficiency agriculture products dryer by the uniform thermal flow distribution in the drying room. It has been developed based on the results of the computation and experiment in the conventional dryer to improve the thermal flow distribution in drying room. The developed dryer can be prevented the local concentration of the heated wind and achieved the uniform flow distribution using the installation of vertical branch ducts, ribs, guide vanes and porous plates. As a result, the developed dryer reduced the fuel consumption up to 15% and the electricity consumption up to 31.5% compared with the conventional dryer.

Key words: Box type dryer(상자식 건조기), Uniform flow(균일유동), High efficiency(고효율), Porous plate(다공질 판), Vertical branch ducts(수직 분기관)

기 호 설 명

C : 내부저항계수 [m^{-1}]
 g : 중력가속도 [m/s^2]
 h : 대류 열전달계수 [$W/m^2 \cdot K$]
 k : 난류 운동에너지 [m^2/s^2]
 u_i : 유속, $i=1, 2, 3$ [m/s]

그리스 문자

α : 투과율 [m^{-1}]
 $\delta_{i,j}$: 크로네커 델타
 ϵ : 난류에너지 소산율 [m^2/s^2]
 μ_i : 난류 동점성계수 [$N \cdot s/m^2$]
 ρ : 밀도 [kg/m^3]

1. 서 론

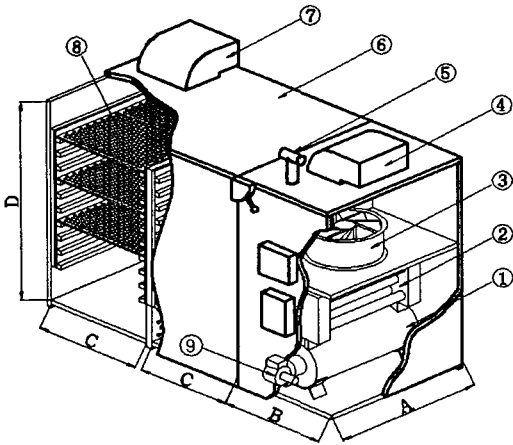
1.1 농수산물 건조기의 개요

농수산물 건조기 중 농가에 가장 많이 보급되고 있는 것은 통기 상자식 건조기이다. 제작회사

† Corresponding author

Tel.: +82-54-820-5756; fax: +82-54-823-5495

E-mail address: dongjin@andong.ac.kr



- | | |
|-------------------------|------------------|
| ① Combustion chamber | ② Heat exchanger |
| ③ Air blower | ④ Air inlet |
| ⑤ Combustion gus outlet | ⑥ Drying room |
| ⑦ Air outlet | ⑧ Tray |
| | ⑨ Burner |

Fig. 1 Schematic diagram of the draft box type dryer for agriculture products.

에 따라 건조기의 구조는 약간 다르지만, 기본적인 형구조는 사각상자 형태이고, 내부는 세로로 2~5공간으로 분할되어 있다. 하나의 사각공간 안에 열교환장치(버너, 연소실, 열교환기)와 송풍장치(송풍기)가 배치되고, 1~4개의 건조실로 구성되어 있다. Fig.1은 이러한 건조기 형태의 개략도를 나타낸 것이다. 이 건조기의 건조기구 원리는 연소실에 장착된 버너에 의해 연료(등유, 경유)의 화학에너지가 열에너지로 변환시키고, 연소실 내에서 생성된 고온의 연소열은 열교환기로 공급된 후 연통을 통해 밖으로 배출된다. 이때 외부로부터 송풍기에 의해 흡입된 공기는 열교환기의 외부면과 연소실 외부면을 통과하면서 강제 열전달구조에 의하여 열에너지를 흡수하여 고온이 된다. 이 고온의 공기(열풍)는 건조실 내로 유입되어 건조실 내부에 적재되어 있는 농·수산물물을 건조시킨 후, 일부는 외부로 유출되며 일부는 다시 열교환기실로 유입되는 순환구조를 이루고 있다. 기존 건조기의 열교환기는 연소기와 열교환기는 일체형으로 되어 있으며(통칭 과열기), 과열기 내에서 연료의 연소가 진행되면서 화염과 연소가스가 과열기를 통과한 후 배기되는 형태로 배기가스의 온도는 200~270℃로 열손실이 많다. 또한 비효율적 건조실 열 분배구조로 인해 건조

시간 증가에 따른 에너지 소비가 크다.

1.2 연구동향

농수산물 건조에 관한 연구가 국내외적으로 많이 수행되었지만, 상자식 농수산물 건조기에 대한 연구는 많지 않다.

국외의 연구 중 대표적인 연구는 Katahira and Bekki^(1,2)의 Air Back Dryer에서 마늘 종구 열풍 건조에 대한 연구이다. 이들은 Air Back Dryer의 내부에서 압력변화에 따른 열효율, 수분과 열 평형관계, 송풍방향과 온도, 가열량에 따른 함수율 관계를 제시한 바 있다. Inoue et al.⁽³⁾은 건조물 성치의 기본값을 이용하여 Soybeans용 건조기에 대한 모사해석을 시도하였다. Kawasaki et al.⁽⁴⁾은 수치해석 및 실험을 통하여 골풀이 가로로 채워진 건조기에 대하여 피 건조물의 건조 후 상태와 건조과정에서의 열평형 및 효율문제와의 관계식을 제시하였다. 한편 국내에서는 Lee and Park⁽⁵⁾이 “고추 건조에 있어서 품질 최적화”와, Lee et al.⁽⁶⁾이 “고추 건조기의 최적 운전조건”을 발표한 바 있으며, Cho et al.⁽⁷⁾이 “고추의 범용 건조모델 개발에 관한 연구”를 발표한 바 있다. Moon et al.⁽⁸⁾은 “저온진공건조기를 이용한 고추의 열적 특성에 관한 연구”를 발표한 바 있다. 이들 연구 역시 건조기의 운전조건이나 건조조건에 따른 피 건조물의 상태 등 범용 건조기 개발을 위한 열적 조건 등을 제시하였다.

열풍 건조과정에서 건조실 내부에 공급되는 열풍의 유동메카니즘(Flow Mechanism)은 피 건조물의 건조상태를 결정하는 대단히 중요한 인자이다. 아울러 일정 크기의 채반(Tray) 안에 피 건조물이 벌크(Bulk) 형태로 담겨진 후 채반이 건조실 내부에 층층이 적재되는 구조에서는 건조실 내의 열풍 유동형태가 피 건조물의 건조형태에 큰 영향을 미치며, 이는 연료소비율과 노동력 투입에도 큰 영향을 미친다.

따라서 본 연구는 기존의 농수산물 건조기에 대한 건조실 내부의 유동메카니즘을 구명하고, 이를 바탕으로 건조실 내의 피 건조물들이 동시에 균일하게 건조될 수 있는 건조실을 고안함으로써 피 건조물에 대한 최적 건조형태의 실현과 연료소비율 및 노동력 투입을 절감할 수 있는 건조기를 개발하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 기존 건조기 건조실 유동메카니즘 해석

건조실 유동메카니즘을 해석하기 위한 기존 건조기의 모델은 Fig.1과 같은 농가에 보급되고 있는 보편적인 모델을 선택하였다.

Fig.2는 Fig.1의 건조실 내 열풍 흐름을 나타낸 것이며 열풍이 아래로부터 위쪽으로 상승하면서 채반에 담겨 있는 피 건조물을 건조하는 구조이다.

Table 1은 선택된 건조기 모델의 제원을 정리한 것이다. 제원의 A값은 건조실 깊이를 나타낸다.

2.1.1 수치해석

(1) 해석방법과 지배방정식

Fig.3은 수치해석을 위하여 기존 건조실을 모

델링한 것이다. 건조실은 건조실 내 농·수산물 이 담겨지는 채반을 다공물질로 가정한 다공물질 영역과 열풍이 순환하는 유체영역으로 구분하여 건조기 내 유동장을 해석하였다.

2차원 직교좌표계에서 질량보존 및 운동량보존 방정식은 다음과 같이 표현된다.

질량보존방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

운동량보존방정식

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (2)$$

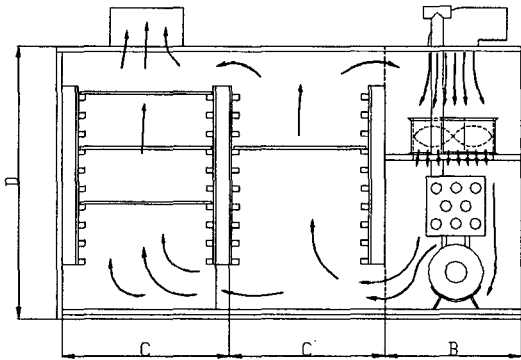


Fig. 2 Schematic diagram of the existing dryer system.

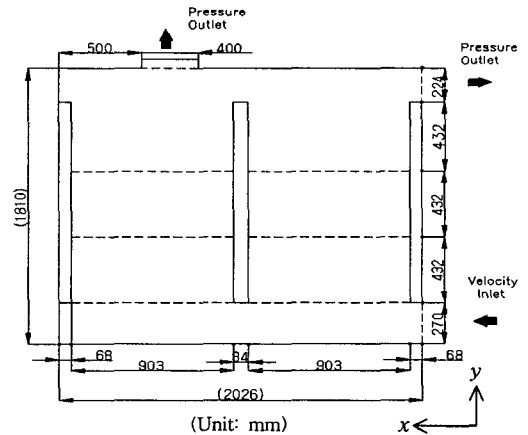


Fig. 3 Computational geometry of drying room.

Table 1 Feature of the existing dryer's component

Drying room	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Tray (No.)
	1,300	1,810	1,013	1,810	48
Heat exchanger	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	l (mm)
	450	400	14	105	960
Combustion chamber	Inner dia.		Length		Thick
	300 (mm)		960 (mm)		2 (mm)
Fan	Fan dia.		Fan cap.		Power
	550 (mm)		100~160 (m ³)		1.35 (kw)
Burner	Power (w)	Cap. (cal/h)	Nozzle		
			Type (G/H, °)		Cap. (l/H)
	100~150	75,186	1.5, 80		2.0~4.0

식(1)과 식(2)를 이용하여 난류운동에너지(k)와 에너지소산율(ϵ)에 대한 방정식을 유도하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

난류운동에너지

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k \quad (3)$$

에너지소산율

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

난류에너지와 에너지소산율을 계산함에 따라 계산되는 난류동점성계수 μ_t 는 아래 식으로 표현된다.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (5)$$

식(3)에서 난류생성에너지를 나타내는 항 G_k 는 다음과 같이 정의된다.

$$G_k = -\overline{\rho u_i' u_j'} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (6)$$

Boussinesq 이론을 식(6)에 적용하면 G_k 는 다음과 같이 된다.

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (7)$$

여기서, S 는 Strain rate 텐서(Tensor)이며 다음과 같이 정의된다.

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (8)$$

(2) 다공성 물질의 모델링

난류모델의 적절한 해를 얻기 위하여 다공질 내에서 층류유동과 마찬가지로 Darcy 법칙을 적용

할 수 있다. 압력강하는 속도에 비례하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} &= -\frac{1}{\alpha} \mu v_x - C\rho v_x |\vec{v}| \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= -\frac{1}{\alpha} \mu v_y - C\rho v_y |\vec{v}| \end{aligned} \quad (9)$$

식(9)의 오른쪽 첫번째 항은 점성손실을, 두번째 항은 관성손실을 나타낸다.

(3) 경계조건

경계조건은 건조기 내로 유입되는 유량은 균일하며, 유동의 입구에서 x 방향으로의 속도는 균일하며 y 방향으로의 속도는 없다고 가정하였다. 입구의 초기속도는 8.74 m/sec로 공기가 균일하게 건조실 내로 유입된다고 가정하였다. 유체의 점성계수는 $2.08 \times 10^{-05} \text{ N}\cdot\text{sec}/\text{m}^2$, 유체의 밀도는 $1.21 \text{ kg}/\text{m}^3$ 로 하였다. 또한 난류강도는 5%, Length scale은 238 mm이며, 출구에서는 뉴만 경계조건을 사용하였다. 한편 다공성 영역에서는 속도와 압력강하는 선형적 관계가 있다고 가정하여 계산하였다.

2.1.2 실험방법

건조실 유동메카니즘을 구명하기 위한 실험방법은 Anemometer 다점풍속 측정기를 이용하여 유속을 측정하였다. Fig. 4와 Fig. 5는 이들 실험 장치의 개략도이다.

Fig. 4는 건조실 내 유동속도를 측정하기 위하여 설정한 측정지점 126개소를 나타낸 것이다. 건

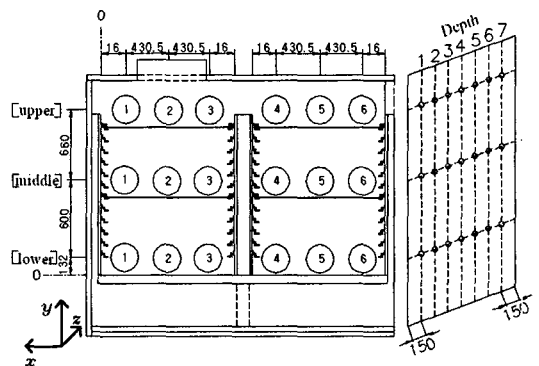


Fig. 4 Schematic diagram of measurement points of the flow velocity (Unit: mm).

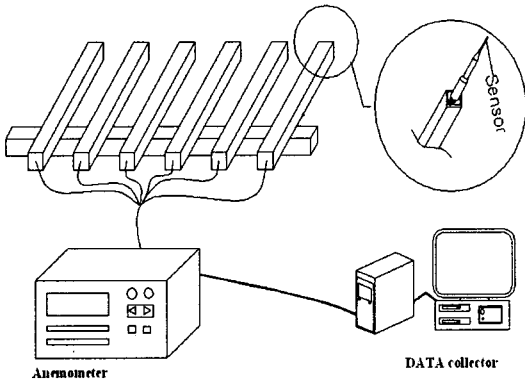


Fig. 5 Schematic diagram of measurement equipment of the flow velocity.

조실은 좌/우측 방으로 나누어져 있다. 양 방의 건조실 하부기점으로부터 132mm 위치에 하층, 732mm 위치에 중층, 그리고 1,392mm 위치에 상층으로 각각 구분하였다. 각 층의 왼쪽 측벽으로부터 160mm 위치를 ①지점으로 하고, Fig. 4에 나타난 바와 같이 ②, ③, ④, ⑤ 및 ⑥을 설정하면 앞면에 오른쪽으로 18개 측정지점이 된다. 그리고 이 18개 지점의 각각에 대하여 앞면에서 뒤쪽으로 150mm 위치에 1지점을 설정하고, 150mm씩 가산하여 2, 3, 4, 6, 및 7(105mm) 지점을 설정하면 측정지점이 총 126지점이 된다.

Fig. 5는 126지점에서의 유속을 효율적으로 6개 지점을 동시에 측정하기 위한 프레임과 측정장치를 도시한 것이다. 유속측정 센서는 무지향성 센서이며, 건조실 내의 126지점을 순차적으로 측정한다. 측정장비는 다점풍속 측정기(KANOMAX Model No. 6243)로 PC와 연계되어 처리 저장된다. 건조실 내의 유동형태를 구명하기 위한 실험은 피 건조물을 적재하지 않고, 버너도 작동하지 않은 채 송풍팬만 가동하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기존 건조기의 건조실 내 유동분석결과

Fig. 6은 기존 건조기의 건조실 내 유동해석결과를 나타낸 것이다. Fig. 6의 결과는 2차원 해석으로 실험결과 중에서 건조기 깊이방향(Fig. 4 참조)의 60cm(4번째) 되는 지점에서의 값에 해당된다. 그림에서 세로 점선 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥

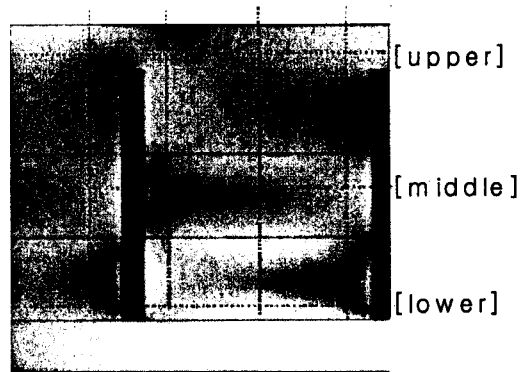
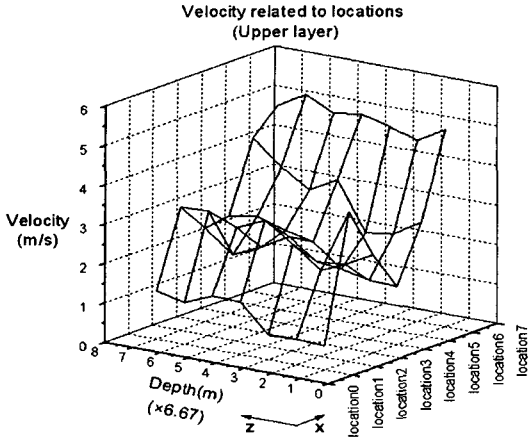


Fig. 6 Velocity contour in the existing drying room (Unit: m/s).

과 가로 점선 [상], [중], [하]가 교차하는 지점은 실험에서의 유속측정점(Fig. 4)과 일치한다.

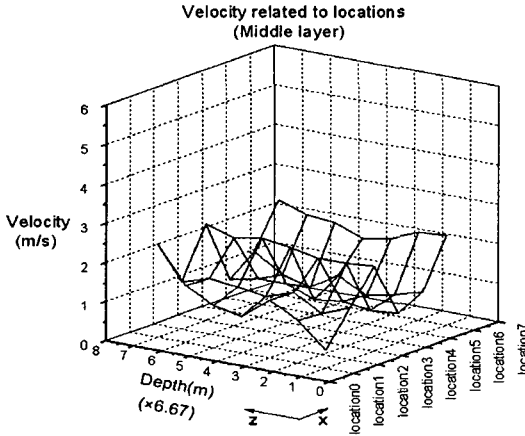
Fig. 7은 실험에서 유속측정결과를 나타낸 것이다. 제시된 값은 126지점의 측정결과이며, 앞서 언급된 Fig. 6의 수치해석결과와 동일한 면은 깊이 60cm 지점의 값들이다. 그림에서 보듯이 수치해석의 결과와 정성적으로 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 실험결과 중 [상]층에서 각 지점의 유속을 보면 ⑥이 가장 빠르며, 다음으로 ② 및 ③, ④ 지점, 그리고 ①이 가장 느리다. 이는 수치해석의 결과와 일치하고 있음을 알 수 있다. [중]층의 경우는 ①, ②, ③쪽으로 가면서 유속의 크기가 커지며, ④지점에서 제일 작은 값을 나타내며, ⑤, ⑥지점으로 가면서 다시 커지고 있다. 이 역시 실험결과와 잘 일치하고 있다. [하]층 역시 실험치 수치해석결과와 정성적으로 잘 일치하고 있다. Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 건조기 내 속도분포의 크기가 S자 형태로 심한 불균일한 형태를 나타내고 있다. 좌측 건조실보다 우측 건조실의 유속이 더 빠르며, 우측 건조실의 중층과 하층 사이에서 가장 빠른 속도를 나타내고 있다. 이러한 경향 이외에 하층에서 먼저 건조가 일어나게 되어 상층으로 올라갈수록 건조가 잘되지 않는다. 그 이유는 열풍이 하층을 통과하는 동안 피 건조물을 건조시키게 되는데 이때 다량의 습기를 포함하기 때문에 상층으로 올라갈수록 건조가 잘되지 않는다.

상기의 결과로부터 건조실의 피 건조물이 균일하게 건조되기 위해서는 무엇보다 열풍공급이 상·하 및 좌·우로 균일하게 이루지는 구조가



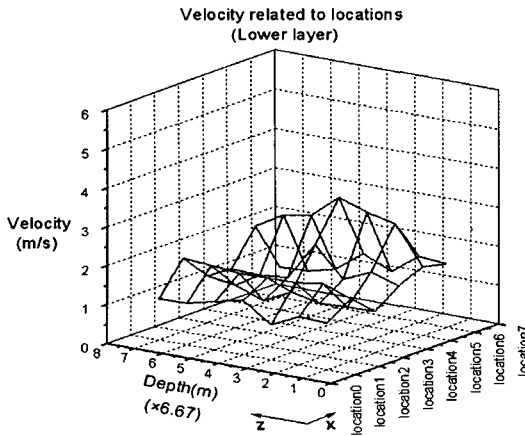
Depth [cm]	Location [m/s]					
	①	②	③	④	⑤	⑥
15	0.61	1.47	2.49	3.98	2.87	4.99
30	0.49	1.50	2.12	2.18	2.46	4.60
45	0.62	1.66	2.05	1.74	2.36	4.82
60	1.34	2.21	2.56	3.19	3.57	5.00
75	1.35	2.37	2.16	2.87	3.14	4.91
90	1.06	2.59	1.84	3.16	3.63	5.24
105	1.22	2.47	2.38	3.13	4.23	4.84

(a) At the upper layer of drying room



Depth [cm]	Location [m/s]					
	①	②	③	④	⑤	⑥
15	1.31	2.18	0.46	0.73	2.29	1.05
30	1.03	2.12	1.09	0.68	2.24	0.87
45	1.45	2.12	1.46	0.79	1.96	0.72
60	1.21	1.26	0.92	1.70	1.84	1.13
75	1.34	1.63	1.06	1.00	2.11	0.70
90	1.44	2.24	1.47	1.00	2.18	0.88
105	1.22	2.47	2.38	3.13	4.23	4.84

(b) At the middle layer of drying room.



Depth [cm]	Location [m/s]					
	①	②	③	④	⑤	⑥
15	1.20	1.62	1.07	1.77	1.52	1.64
30	1.23	1.87	1.05	2.78	1.74	1.70
45	0.91	1.77	1.02	2.94	1.43	1.19
60	1.40	1.76	1.19	3.19	2.19	1.53
75	1.24	1.75	0.82	2.60	1.20	0.99
90	1.07	1.82	1.10	2.48	1.13	0.81
105	1.06	1.89	1.21	2.06	1.17	0.78

(c) At the lower layer of drying room

Fig. 7 Flow velocity distributions at the drying room.

Table 2 The quantity of fuel consumption

Type	Item			
	Drying time	Fuel consumption	Amount of power	Receding rate
A type	26 hr 30 min	46.0 kg	38.28 kw·h	75.4%

되어야 한다는 것을 알 수 있다.

Table 2와 Table 3은 생고추 건조시 연료소비량과 건조 후 시료중량을 나타내고 있다. Table 2는 감수율 75%로 했을 때 총건조시간, 연료사용량 및 전력사용량을 나타낸 것이다. Table 3에서 번호는 채반번호를 나타내며 1~24번까지가 좌측 건조실 채반들이며 1번이 맨 위쪽, 24번이 맨 아래쪽이 된다. 25번부터 48번까지가 우측 건조실 채반들이며 25번이 맨 위쪽이 된다. 건조 후 각 채반의 중량을 비교해 보면 채반별 중량차가 매우 크다는 것을 알 수 있다 1번에서 16번 채반 사이에 건조된 시료의 가장 큰 중량차가 1.2 kg이며, 17번에서 32번 그리고 33번에서 48번 사이에

서 600 g 차이가 난다. 이러한 결과는 건조실 내에서의 건조상태가 매우 불균일하게 이루어지고 있음을 보여주는 것이다.

3.2 균일유동구조의 건조실 고안과 수치해석

Fig. 8은 앞서 제시된 건조실의 유동형태를 개선하기 위하여 고안된 모델이다. 고안된 모델은 Fig. 2의 단점인 건조실의 상·하층 열풍공급의

Table 3 The weight of products after drying process

Weight of the drying pepper (Raw pepper weight: 384 kg [8 kg/tray])					
No.	Weight [g]	No.	Weight [g]	No.	Weight [g]
1	1,812	17	1,923	33	2,134
2	2,413	18	2,123	34	2,434
3	1,814	19	2,221	35	1,923
4	2,211	20	2,132	36	1,832
5	2,221	21	2,443	37	1,912
6	2,412	22	1,823	38	2,134
7	2,113	23	1,954	39	2,323
8	1,812	24	2,012	40	2,234
9	1,813	25	1,812	41	2,242
10	2,224	26	2,113	42	2,334
11	2,423	27	2,232	43	2,442
12	1,225	28	1,924	44	1,812
13	1,824	29	1,832	45	1,913
14	1,824	30	1,812	46	1,932
15	1,832	31	2,124	47	2,032
16	2,213	32	2,034	48	2,132
Total	32,186		32,514		33,765
Ave.	2.012		2.032		2.110

Receding rate: $100 - (98.47/384) \times 100 = 74.5, 75.4$

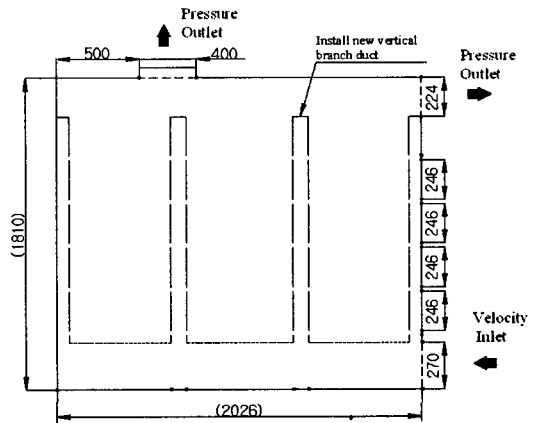


Fig. 8 Computational domain & boundary conditions of the revised drying room of type 5 (Unit: mm).



Fig. 9 Velocity contour of the revised drying room of the type 5 (Unit: m/s).

불균형을 개선하고자 기존 건조실의 용량이 동일한 크기의 건조실에 3개의 수직 분기관을 설치하고 각각의 수직 분기관 양측에 좌·우 불균형을 개선하기 위하여 채반 중앙까지 열풍이 도달할 수 있도록 5개의 수평 유체 분사구를 만들었다. 또한 3개 건조실의 하단 막 트임 통로를 다공질 구조로 하였다.

Fig. 9는 개선된 균일유동 건조실에 대한 수치 해석결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 Fig. 6의 결과보다 건조실 내의 유동이 균일하게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다. 상·중 및 하층 유속분포가 개선되고, 유동장 전체가 S모양로 불균일했던 유속분포가 개선되었음을 볼 수 있다. 그러나 중층과 하층에서의 유동속도는

여전히 미약함을 알 수 있다. 또한 유동이 수직 분기관으로 유입될 때 입구의 급확대 효과와 우측 사각턱에 의한 박리현상의 영향으로 수직 분기관 입구의 우측 벽의 유속은 급격히 감소하고 좌측 벽에는 쓸림현상이 나타나면서 좌측 벽면에 유동경계층이 형성되고 있다. 이로 인하여 수직 분기관의 우측 수평 유체분사구에는 유체가 수평으로 잘 분사되어 건조실 우측 공간은 균일유동장이 형성되지만 건조실 좌측 공간은 유체분사구에서 분사되는 유체가 수평으로 분사되지 않고 벽면을 따라 상향으로 흘러 건조실 전체가 불균일한 유동장을 형성하고 있다.

Fig. 10은 Fig. 9의 고안 건조실 수치해석결과에서 나타난 문제를 개선하기 하기 위하여 고안된 모델이다. 이 모델의 특징은 수직 분기관의 박리현상과 쓸림현상을 개선하고자 수직 분기관 입구에 리브를 설치하였고, 또한 채반에 유입되는 열풍의 흐름을 균일하게 하기 위하여 상, 중 및 하층에 다공판으로 구성된 통기상자를 설치하였다. 그리고 좌측 하단의 급코너로 인한 유동손실을 방지하기 위하여 유입가이드를 설치하였다.

Fig. 11은 Fig. 10의 고안된 건조실의 유동구조를 수치해석한 결과이다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 수직 분기관을 기준으로 좌·우 대칭인 열풍 유동형태를 보이고 있으며 상, 중 및 하층의 유동분포도 Fig. 9의 경우보다 훨씬 균일하게 형성되고 있음을 볼 수 있다.

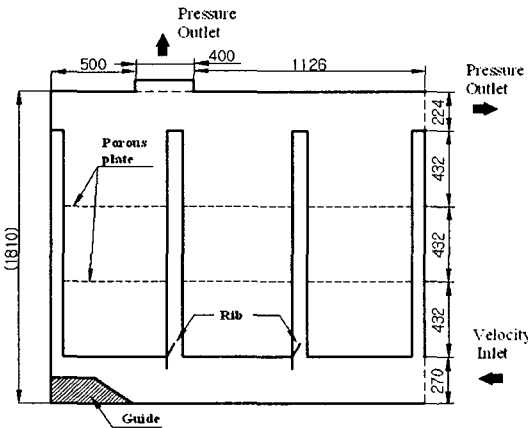


Fig. 10 Computational domain & boundary conditions of the revised drying room type 6 (Unit: mm).

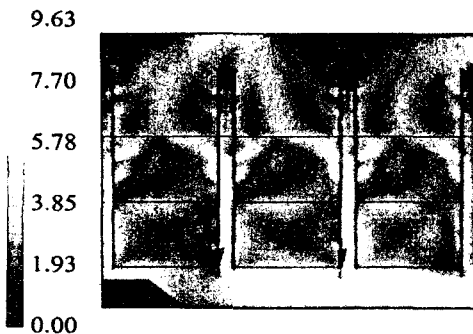


Fig. 11 Velocity contour of the revised drying room of the type 6 (Unit: m/s).

3.3 개발 건조기의 성능실험

최종시제품의 검증을 위하여 붉은 고추를 시료로 사용하여 실험을 하였다. 최종시제품에 투입된 시료의 총무게는 기존 건조기의 투입량과 동일한 384 kg이며, 1개의 채반당 생고추 10.7 kg을 적재하였다(총채반 개수 : 36).

Table 4는 고추시료를 384 kg으로 동일조건에서 기존 건조기의 에너지소비율과 균일분배구조가 실현된 개발 건조기의 에너지소비율을 비교한 것이다. Table 4에 제시된 바와 같이 개발 건조기에서는 기존 건조기보다 건조시간은 30분 단축되었으며, 연료소비량 15%, 전기소비율 31.45%의 에너지 절약효과를 얻었다. 그리고 무엇보다 건조과정 도중에 채반을 상·하 및 좌·우로 교체할 필요가 없어 인력투입을 절약할 수 있었다.

Table 4 The quantity of fuel consumption between existing dryer and developing dryer

	Drying time	Fuel consumption [kg]	Power consumption [kw·h]	Receding rate
Current dryer	26 hr 30 min	46	38.28	75%
Developed dryer	26 hr	39.1	26.75	77.4%
Save rate	30 min	15%	31.5%	2.4%

Table 5는 건조 후 각 채반에서 측정된 건조된 건조고추의 무게를 나타낸 것이다. 표 안의 1건조실, 2건조실, 3건조실 표기는 고안된 3개의 건조실을 각각 나타내며, 3건조실이 열풍이 유입되는 쪽이다. 표에서 번호는 채반번호를 나타내며 1번이 각 건조실의 맨 위층을 나타내며 다음 번호순으로 채반을 아래로 설치하게 된다.

건조상태를 살펴보면 채반별 건조시료 무게차이가 미소하다. 1건조실(1번과 9번 사이)에서는 최대 34g, 2건조실에서는 27g, 3건조실에서는 22g로 개발건조실의 채반별 무게차이는 최대 34g로 기존 건조기의 최대차이 1,200g보다 매우 적은 값이다. 이는 개발된 건조실에 배치된 채반 내

Table 5 The weight of products after drying process for developing dryer

Weight of the drying pepper (Raw pepper weight: 384 kg [10.7 kg/tray])			
No.	Weight [g]		
	Room 1	Room 2	Room 3
1	2,419	2,406	2,416
2	2,386	2,410	2,422
3	2,404	2,400	2,403
4	2,418	2,425	2,425
5	2,405	2,406	2,410
6	2,401	2,398	2,420
7	2,404	2,417	2,421
8	2,402	2,418	2,419
9	2,420	2,408	2,408
10	2,412	2,417	2,418
11	2,398	2,393	2,423
12	2,408	2,413	2,411
Total	28,877	28,911	28,996
Ave.	2,406	2,410.8	2,416
Total (ave.)	86,784 g (2,410.7 g)		
Receding rate (%)	100 - (86.8/384) × 100 = 77.4%		

의 고추는 위치에 상관없이 고르게 건조되고 있다는 것을 보여주고 있다. 이러한 결과로부터 개발된 건조실 내에서는 열풍유동이 균일하게 이루어지고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 농가에 보급되고 있는 상자식 열풍 농산물 건조기를 에너지 절약형으로 개발하는 데 필요한 이론적, 실험적 자료를 획득하고자 수행되었다. 이를 위하여 기존 건조기와 고안된 건조기의 건조실 내부구조에 따른 유동메카니즘을 구명하고 그 결과로부터 열풍의 균일유동 분배구조가 실현되는 건조실을 개발하는 과정을 반복 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 기존의 상자식 농수산물 건조기는 열풍이 균일분배가 이루어지지 않는 구조임을 수치해석과 실험으로서 구명하였다.

(2) 비균일 유동분배구조의 건조실에 수직 분기관과 분기관 내 리브 및 유동가이드, 그리고 다공질 판을 고안하여 적용한 결과 균일유동 분배구조를 실현할 수 있었다.

(3) 열풍균일분배 건조실을 개발함으로써 연료 소비율 15%와 전력소비율 31.5%를 각각 절감할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2004년 안동대학교 특별학술연구사업의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Katahira, M. and Bekki, E., 1997, Heated air drying of garlic bulb in air-bag type dryer (Part 1), Journal of the Society of Agricultural Machinery, Vol. 59, No. 4, pp. 71-77.

2. Katahira, M. and Bekki, E., 1998, Heated air drying of garlic bulb in air-bag type dryer (Part 2), *Journal of the Society of Agricultural Machinery*, Vol. 60, No. 1, pp. 99-106.
3. Inoue, K., Murakami, N., Ootsuka, K., Sugimoto, M., Li, W. and Miyaura, S., 2000, Simulation model for drying soybeans using fundamental values of drying properties, *Journal of the Society of Agricultural Machinery*, Vol. 62, No. 6, pp. 98-107.
4. Kawasaki, K., Imura, H., Aiura, M. and Itoh, S., 1996, Experiment and numerical simulation on drying of horizontally piled rush, *Journal of the Society of Agricultural Machinery*, Vol. 58, No. 6, pp. 39-47.
5. Lee, D.S. and Park, M.H., 1989, Quality optimization in red pepper drying, *Korean J. Food Sci. Technol.*, Vol. 21, No. 5, p. 655.
6. Lee, D.S., Keum, D.H., Park, N.H. and Park, M.H., 1989, Optimum drying conditions of on-farm red pepper dryer, *Korean J. Food Sci. Technol.*, Vol. 21, No. 5, pp. 676-685.
7. Cho, Y.J., Gho, H.K. and Park, J.B., 1991, Development of a general drying model of red pepper, *J. Korean Soc. Agri. Machinery*, Vol. 16, No. 1, pp. 60-82.
8. Moon, S.B., Choi, D.Y., Lee, J.H., Kim, K.K. and Choi, S.Y., 1999, A study on the thermal characteristics of cayenne by low temperature vacuum dryer, *Air-Conditioning and Refrigeration '99 Summer Annual Conference*, pp. 410-414.
9. Chun, W.P., Lee, K.W., Kim, D.K. and Kim, H., 1999, Characteristics of rotary dryer using recycle gas with water vapor, *Air-Conditioning and Refrigeration '99 Summer Annual Conference*, pp. 405-409.