

## 열풍건조 시의 건조 온도와 풍속에 따른 콩(*Glycine max*)의 건조 특성

박현우 · 김선태<sup>1</sup> · 정명근<sup>2</sup> · 한원영<sup>3</sup> · 윤원병\*

강원대학교 농업생명과학대학 식품생명공학과, <sup>1</sup>부산대학교 식물생명과학전공  
<sup>2</sup>강원대학교 보건과학대학 생약자원개발전공, <sup>3</sup>국립식량과학원 두류유지작물부

### Effect of Air Velocity and Drying Temperature on Drying Characteristics of Soybean (*Glycine max*) Using Hot Air Drying

Hyeon Woo Park, Sun Tae Kim<sup>1</sup>, Myoung Gun Choung<sup>2</sup>,  
Won Young Han<sup>3</sup>, and Won Byong Yoon\*

Department of Food Science and Biotechnology, College of Agricultural and Life Science,  
Kangwon National University

<sup>1</sup>Department of Plant Bioscience, Pusan National University

<sup>2</sup>Department of Herbal Medicine Resource, Kangwon National University

<sup>3</sup>Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science

#### Abstract

The effects of drying temperature on the drying characteristics of soybeans at the different position in the dryer with 28.1% ( $\pm 0.8$ ) of initial moisture content were studied. Drying temperatures varied at 35, 45 and 55°C, with a constant inlet air velocity (3 m/s). The local air velocities at a position 1, 5, and 9 were 0.150 m/s ( $\pm 0.012$ ), 0.247 m/s ( $\pm 0.018$ ) and 0.795 m/s ( $\pm 0.036$ ), respectively. The drying rate increased as the local air velocity increased from 0.150 m/s to 0.795 m/s. The cracked grain ratio increased as the drying rate increased. To prevent quality degradation of soybeans during hot-air drying, the local air velocity should be considered. Thin-layer drying models were applied to describe the drying process of soybeans. The Midilli-Kucuk model showed the best fit ( $R^2 > 0.99$ ). Based on the model parameters, the drying time to achieve the target moisture content (15%) was successfully estimated. The drying time was strongly dependent on the position in the dryer and the drying temperature.

**Key words:** hot-air drying, drying characteristics, local air velocity, thin-layer drying models, soybean

## 서 론

콩 (*Glycine max*)은 우리나라에서 삼국시대 이전부터 재배되어 왔으며, 동양에서는 주요식품 자원으로써 밭에서 나는 고기라고 일컬어지고 있다. 콩은 우리나라 식생활에서도 쌀 다음으로 중요한 부분을 차지해오고 있으며, 보리, 쌀 등과 같은 곡류를 주식으로 하는 우리나라 식사패턴에서 예로부터 콩은 혼반용, 콩나물, 두부 등 다양한 목적으로 이용되어 양질의 식물성 단백질 공급원으로써 중요한 역할을 해왔다(Kwon, 1972).

콩의 수확 후 초기 수분함량은 25-30%로 매우 높으며

이로 인해 저장 및 운송에 어려움이 있다. 따라서 수확량의 대부분은 천일건조나 열풍건조 후 건조된 콩으로 유통된다(Rafiee, 2009; Soponronarit et al., 2001). 천일건조를 통해 콩을 건조할 경우 부대시설의 비용이 저렴하다는 장점이 있지만 건조기간 내 일기에 의해 크게 영향을 받으며 목적 수분함량까지 건조하는데 긴 시간이 소요되게 된다. 또한, 자연 상태로 콩이 노출되어있기 때문에 미생물의 오염과 곤충의 피해 등으로 쉽게 변질되고, 색의 변형이 일어나 균일한 품질의 제품을 얻기 매우 어렵다(Doymaz, 2006). 열풍건조의 경우 천일건조에 비해 노동력이 크게 절감되며 건조시간이 짧다는 이점이 있지만, 건조기 내 위치에 따른 풍속의 차이가 크기 때문에 이에 따른 콩의 건조속도에 차이가 발생할 수 있으며(Aghbashlo et al., 2009), 콩의 건조에서 이러한 건조속도의 차이는 일부 콩이 충분히 건조되지 않는 품질 비균일화가 일어날 수 있다(Overhults et al., 1973; Sangkram & Noomhorm, 2002). 특히 콩의 건조에서 건조 속도가 매우 빠를 경우 콩의 겹질이 깨지는

\*Corresponding author: Won Byong Yoon, Department of Food Science and Biotechnology, College of Agricultural and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon, 24341, Korea  
Tel: 82-33-250-6459; Fax: 82-33-241-0508  
E-mail: wbyoon@kangwon.ac.kr

Received March 26, 2016; revised April 27, 2016; accepted May 1, 2016

열피립이 발생하게 되며(Soponronnarit et al., 2001; Wiriyaumpaiwong et al., 2001), 이는 콩을 이용한 가공품의 품질에 영향을 미치게 된다. 열피립은 콩의 표면에서의 빠른 물질전달속도에 의해 콩 내외부의 수분 구배가 커지면서 표면에 작용하는 인장력에 의해 발생하게 된다(Hirunlabh et al., 1992). 콩의 열풍건조의 경우 콩의 건조 특성이 명확히 구명되지 않은 상태에서 건조가 행해지기 때문에 비용을 최소화 하고 콩의 품질을 적정수준으로 유지하기 위해서는 콩의 건조특성이 명확히 규명되어야만 한다. 특히 열풍건조기 내에서의 위치에 따른 풍속의 차이가 발생할 수 있으므로 그에 따른 건조 특성이 규명되어야 한다.

건조 공정의 대부분은 운동량, 열, 물질 전달현상이 동시에 연관되기 때문에(Kudra & Mujumdar, 2002; Yilbas et al., 2003), 매우 복잡한 공정중의 하나이다. 많은 연구에서 건조 속도에 관한 연구가 진행되어오고 있지만, 주로 경험적인 모델이 사용되어 왔다. 건조 속도 곡선은 실험적인 측정보다는 기본 전달 이론에 근거하여 측정되어야 한다(Baker, 1997). 따라서 박층 건조 방정식을 적용하여 건조의 수학적 모델을 만드는 것은 매우 유용하다고 할 수 있다. 또한 건조에 대한 많은 연구는 대부분 건조기 내의 시료 전체에 대하여 동일하게 취급되었으며, 건조기 내의 위치에 따른 시료의 건조 특성을 연구한 결과는 미미하다.

현재 콩의 소비 증가에도 불구하고 콩의 건조 특성을 연구하고 풍속과 건조 온도에 따른 콩의 건조 속도에 초점을 맞춘 연구가 부족한 실정이다. 풍속과 건조 온도에 따른 콩의 건조 특성 및 그에 따른 피해립을 분석하는 것은 콩의 저장 및 유통 시 품질최적화를 위한 좋은 대안이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 열풍 건조에서 건조기 내 위치와 건조 온도에 따른 수분함량 변화를 확인하여 4개의 박층 건조 모델 적용결과를 비교하였고, 이를 이용하여 콩의 건조 특성확인하고, 건조 공정 후 콩의 열피립 발생 여부를 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험의 재료로 사용된 콩은 국내산 백태를 국립식량과학원으로부터 제공받은 콩의 초기 수분함량은 수확 직후의 수분함량 범위인 28.1% ( $\pm 0.8$ )의 수분함량(Overhults et al., 1973; Soponronnarit et al., 2001)이었으며 실험수행기간 동안 수분함량의 변화를 최소화하기 위하여 진공포장을 한 후 상온에서 보관하여 사용하였다.

### 건조공정

콩의 열풍건조는 가로길이 550 mm, 세로길이 520 mm, 높이 600 mm의 건조기(Dong Yang Science Co., Korea)를 사용하여 이루어졌다. 콩은 가로길이 140 mm, 세로길이

160 mm, 높이 30 mm의 트레이 9개를 이용하여 열풍건조되었다(Fig. 1). 건조 온도는 35, 45 그리고 55°C를 사용하였고, 건조 공기의 속도는 3 m/s로 고정되었다. 건조는 600분 동안 이루어졌으며 매 30분 마다 각 트레이의 무게 변화를 측정하였다. 각 트레이의 중심에서의 온도를 Tracksense Pro data logger (Ellab Inc., Centennial, Co, USA)을 이용하여 측정하였으며, 풍속은 풍속계(VelociCalc air velocity meter 9515, TSI, Inc., Shoreview, MN, USA)를 이용하여 측정되었다.

### 건조 속도와 박층 건조 모델

콩의 함수율과 건조 속도는 다음 식에 의해 계산되었다:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \quad (1)$$

여기서 MR은 수분함량, M은 건조시간에 따른 수분함량(g/g d.b.),  $M_e$ 는 평형 수분함량(g/g d.b.),  $M_i$ 는 초기 수분함량(g/g d.b.)를 뜻한다.

건조 초기, 건조 중 그리고 건조 종료 시점의 건조 속도는 Guine & Fernandes (2006)의 방법에 따라 계산되었다:

$t = t_0$  에서,

$$\frac{dM}{dt} = \frac{M_i - M_0}{t_1 - t_0} \quad (2)$$

$t = t_i (i=1, 2, \dots, n-1)$ 에서,

$$\frac{dM}{dt} = \frac{M_{i+1} - M_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (3)$$

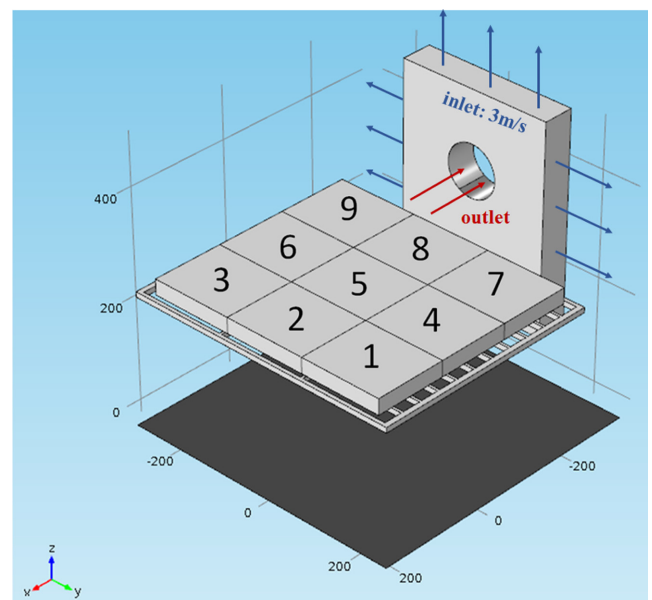


Fig. 1. 3-D geometrical model of the hot-air dryer and the position of sample tray during hot-air drying.

**Table 1. Thin layer models used to describe the drying kinetics of soybean**

Model no.	Model name	Model equation	References
1	Newton	$MR = e^{-kt}$	Lewis (1921)
2	Page	$MR = e^{-kt^n}$	Page (1949)
3	Henderson and Pabis	$MR = ae^{-kt}$	Henderson & Pabis (1961)
4	Midilli-Kucuk equation	$MR = ae^{-kt^n} + bt$	Midilli et al. (2002)

$t = t_n$  에서,

$$\frac{dM}{dt} = \frac{M_n - M_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \quad (4)$$

4개의 박층 건조 모델(Lewis, 1921; Page, 1949; Henderson & Pabis, 1961; Midilli et al., 2002; Erbay & Icier, 2009) 이 콩의 건조 모델평가에 적용되었다. 콩의 건조 모델링에 사용된 박층 건조 모델들을 Table 1에 나타내었다. 이 건조 모델들은 많은 식품의 건조에 적용되어오고 있다 (Rafiee, 2009; Shi et al., 2008; Moon et al., 2014).

**통계분석**

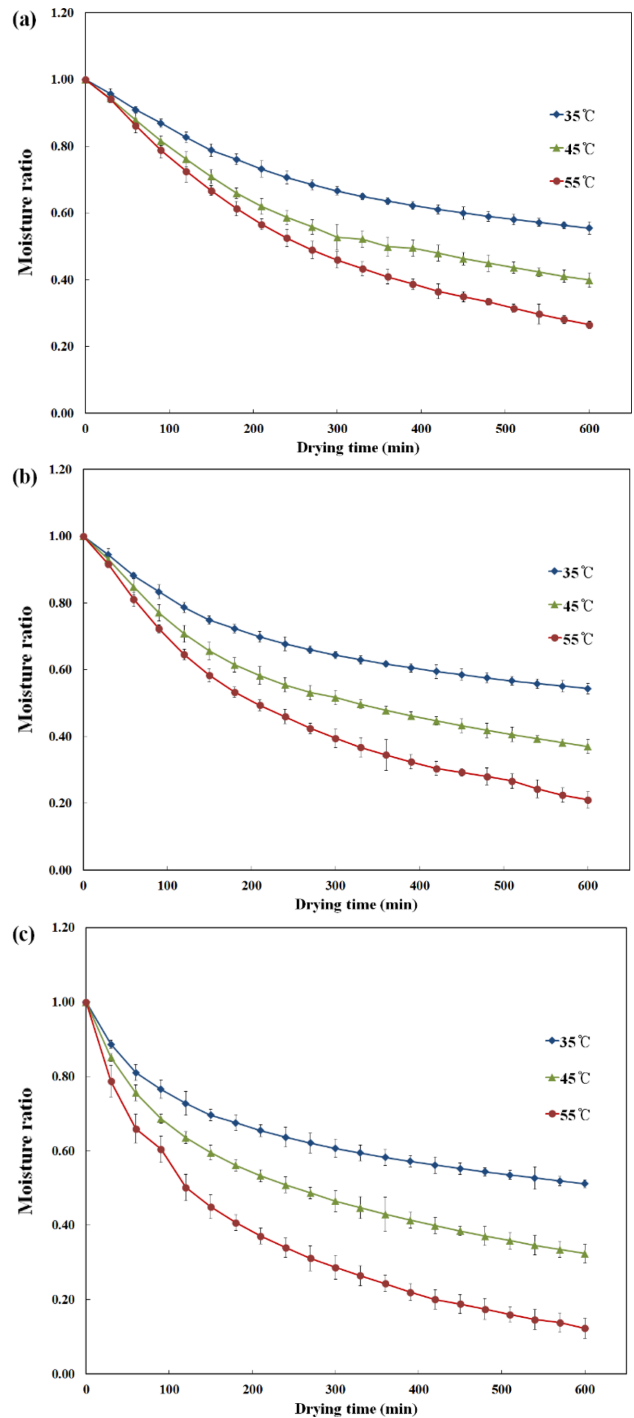
모든 실험은 3회 반복하여 측정하였으며, 실험결과 데이터의 통계분석은 MS-Excel-2013의 분산분석(ANOVA)을 이용해  $p < 0.05$  수준에서 유의성을 검정하였다.

**결과 및 고찰**

**건조 Kinetics**

콩의 열풍건조에서 건조 온도의 영향을 확인하기 위해 트레이 1, 5, 그리고 9의 건조 시간에 따른 수분함량을 확인하였다. 건조기 내의 위치에 관계없이 트레이 1, 5 그리고 9의 콩 모두에서 건조 온도가 유의적인 영향을 미침을 알 수 있었다(Fig. 2). 건조 온도가 증가함에 따라 수분 감소량 또한 증가하였으며, 목표수분함량까지 콩을 건조시키기 위한 시간이 감소됨을 의미한다. 또한 같은 건조 온도에서도 건조기 내 위치에 따른 콩의 수분함량의 차이가 있었다(Table 2). 45°C에서 600분간 건조한 경우, 트레이 9의 수분함량은 10.93%로 목표수분함량(10.0%±1.0)에 도달하였으나, 트레이 1의 수분함량은 13.13%로 목표수분함량에 도달하지 못하였다. 또한 이러한 건조기 내 위치에 따른 수분함량의 차이는 건조온도가 증가함에 따라 증가함을 보였다. 이러한 결과는 열풍건조에서 콩의 수분함량 감소가 건조 온도와 함께 건조기 내의 위치에 따라 영향을 받음을 나타내고 있다.

트레이 중심부의 온도는 트레이가 열풍의 inlet과 가까울수록 건조 초기에 온도가 빠른 속도로 증가하였으며, 건조 시간 300분 이후로는 트레이에 따른 중심부 온도의 유의적 차이는 없었다(Fig. 3). 트레이 1, 5 그리고 9에서의 풍



**Fig. 2. Changes of moisture ratio of the soybean upon the drying temperature at (a) tray 1, (b) tray 2 and (c) tray 3.**

**Table 2. Moisture content and percentage difference from Tray 1 at drying times of 600 min**

Temperature (°C)	Tray number	Moisture content (%)	Percentage difference (%) <sup>1)</sup>
35	1	17.76 ( $\pm 0.51$ ) <sup>a2)</sup>	0
	5	17.45 ( $\pm 0.34$ ) <sup>a)</sup>	1.76
	9	16.60 ( $\pm 0.26$ ) <sup>b)</sup>	6.53
45	1	13.13 ( $\pm 0.38$ ) <sup>c)</sup>	0
	5	12.29 ( $\pm 0.22$ ) <sup>d)</sup>	6.36
	9	10.93 ( $\pm 1.00$ ) <sup>e)</sup>	16.77
55	1	9.41 ( $\pm 0.27$ ) <sup>f)</sup>	0
	5	7.60 ( $\pm 0.57$ ) <sup>g)</sup>	19.23
	9	4.59 ( $\pm 0.44$ ) <sup>h)</sup>	51.19

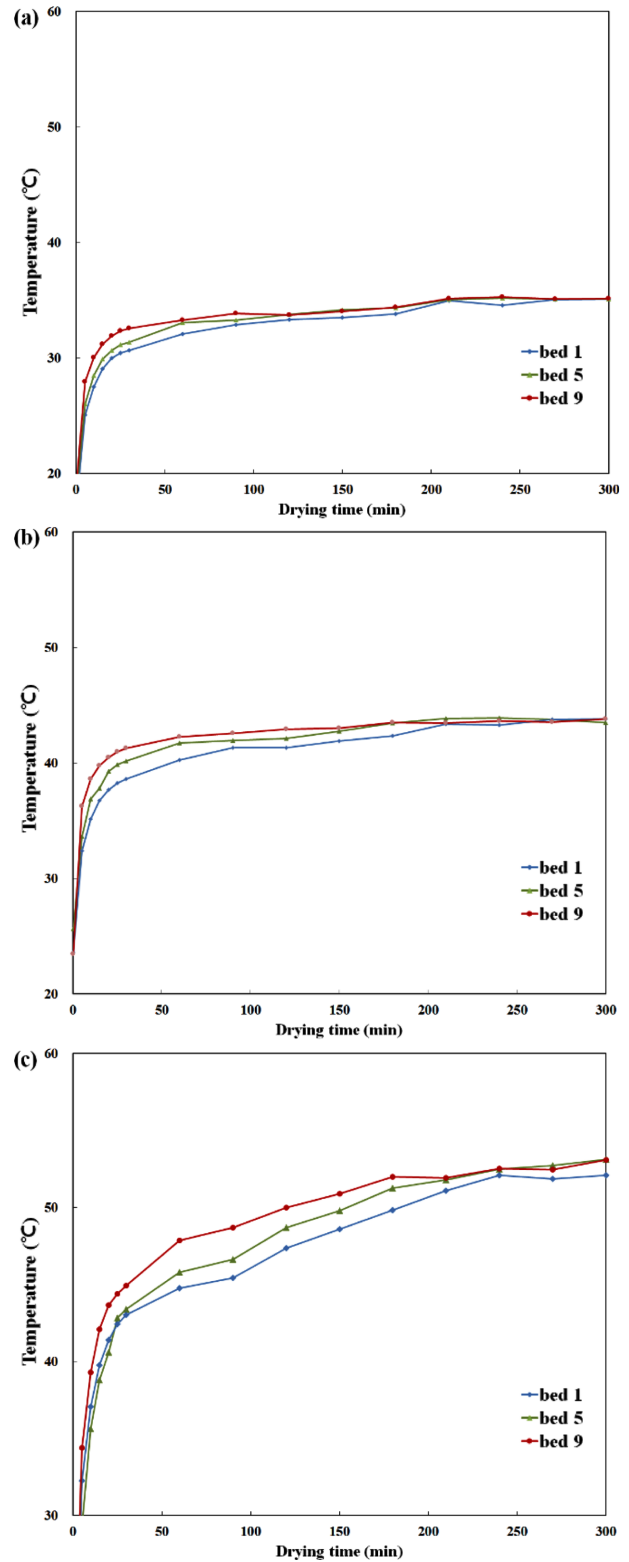
<sup>1)</sup>Percentage difference is a percentage difference from tray 1 at each drying temperature.

<sup>2)</sup>Values with different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

속은 각각 0.150 m/s ( $\pm 0.012$ ), 0.247 m/s ( $\pm 0.018$ ) 그리고 0.795 m/s ( $\pm 0.036$ )의 값을 나타내어 건조기 위치에 따른 풍속은 열풍의 inlet으로부터 멀어질수록 증가하였다. 풍속이 증가할 수록 건조 공정에 주요한 영향을 미치는 열 및 물질 전달 속도가 증가하며(Kudra & Mujumdar, 2002; Yilbas et al., 2003), 이러한 열 및 물질 전달 속도의 증가에 의해 열풍건조에서 콩의 수분 함량 감소가 건조 온도와 함께 건조기 내에서의 위치에 영향을 있음을 나타내었다. Kavak et al. (2003)에 따르면 60°C에서 사과 슬라이스를 건조하였을 때 열풍 속도가 1 m/s에서 1.5 m/s로 증가함에 따라 건조 속도가 증가하였으며, Velić et al. (2004)은 사과의 건조에서 열풍을 0.64 m/s 에서 2.75 m/s로 증가시키기에 따라 수분확산계수와 열전달계수가 증가하여 건조속도가 증가하였다고 보고하였다. Charmongkolpradit et al. (2010)의 연구에서도 Jinda chilli의 유동층 건조에서 건조 풍속이 증가함에 따라 수분확산계수가 증가하여 건조가 빨리 이루어진다고 보고하여, 본 연구에서의 피건조물에 작용하는 풍속에 대한 의존성이 다른 식품의 건조에서와 동일한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

**건조 속도 및 품질 평가**

건조 온도 별 트레이 위치에 따른 콩의 건조 속도를 비교한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 건조 속도는 수분함량 변화를 기초로 하는 Eqs. (2-4)를 이용하여 계산되었다. 건조 온도에 관계없이, 건조 속도는 건조시간이 증가함에 따라 감소하였으며, 건조 속도가 건조 시간에 따라 일정한 항를 건조 기간은 나타나지 않았다. 콩과 같이 체적당 표면적이 매우 큰 재료는 표면의 수분함량이 건조가 시작됨과 함께 매우 빠른 속도로 감소하게 되므로 콩은 건조 초기부터 감률 건조를 나타내었다. Moon et al. (2014)에 따



**Fig. 3. Temperature profile of the soybean during hot-air drying upon the tray position at (a) 35°C, (b) 45°C and (c) 55°C.**

르면, 열풍과 원적외선을 이용한 해삼 건조에서 건조방법과 온도에 관계없이 모두 건조의 시작과 함께 감률 건조를

나타내었다. 또한 Johnson et al. (1998) 또한 유사한 경향을 보였는데 plantain의 열풍건조에서 매우 짧은 시간 동안 항률 건조 기간을 나타낸 이후 감률 건조가 전체 건조를 지배하였으며, Srikiatden & Roberts (2006) 의 연구에서도 감자의 열풍건조에서 건조 초기부터 감률 건조를 나타냈다.

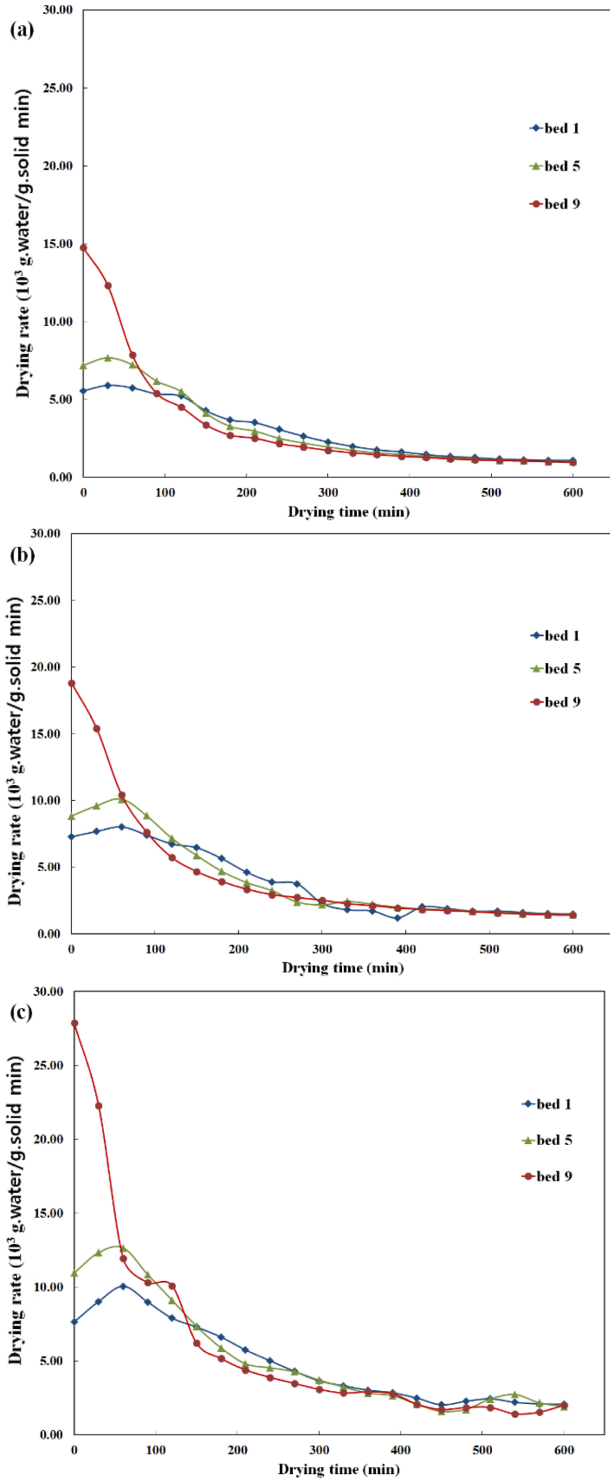


Fig. 4. Effect of the tray position on the changes of drying rate at (a) 35°C, (b) 45°C and (c) 55°C.

이외에도 많은 식품과 bioproduct에서 본 연구 결과와 유사한 결과가 관찰되었다(Nguyen & Price, 2007; Rafiee et al., 2010; Thuwapanichayanan et al., 2011). 피건조물의 건조 표면은 건조가 시작됨과 동시에 매우 빠른 속도로 건조되어 일정한 수분함량을 유지하지 못하기 때문에, 건조 속도는 피건조물의 내부에서 외부로 이동하는 수분확산에 의해 지배되게 된다(Chua & Chou, 2005; Doymaz, 2007; Shi et al., 2008; Moon et al., 2014).

일정한 건조 온도에서, 건조 속도는 트레이의 위치가 열풍의 inlet으로부터 멀어짐에 따라 증가하였으며, 이는 트레이의 위치에 따른 풍속 및 온도 결과와 부합하였다. 건조 공정은 열과 물질 전달현상이 동시에 연관되기 때문에 (Kudra & Mujumdar, 2002; Yilbas et al., 2003), 건조 온도와 더불어 건조기 내 시료의 위치에 따른 풍속 역시 매우 중요한 인자 중 하나이다. 트레이의 위치에 관계없이, 건조 속도는 건조 온도가 증가함에 따라 증가하였다. 35, 45 그리고 55°C 건조에서, 트레이 9 쉰의 평균 건조 속도는 트레이 1 쉰의 평균 건조 속도보다 각각 16.64, 18.95 그리고 28.39% 높은 값을 나타내었다. 콩을 목표수분함량까지 건조시키기 위해서 건조 온도를 높여 건조 속도를 증가시킬 수 있다. 하지만 높은 건조 온도 및 급속 건조는 콩의 지질 및 단백질의 변질시키고 열피해를 발생시키므로, 건조 온도 및 건조 속도는 콩의 품질을 고려하여 최적화되어야 한다 (Overhults et al., 1973; Soponronnarit et al., 2001; Wiriyumpaiwong et al., 2001; Sangkram & Noomhorm, 2002).

건조 온도와 트레이의 위치에 따른 건조 후 콩의 품질을 열피해의 발생 비율을 통해 평가하였다(Table 3). 건조 온도 및 건조 공기의 속도가 증가할수록 600분의 건조 후 열피해의 발생이 증가하였으며 이는 건조 속도가 증가할수록 열피해의 발생 비율이 증가하였음을 의미한다. Hirunlabh et al. (1992)이 보고한 바에 따르면 콩의 표면에서 빠른 속도로 건조가 일어나면서 콩 내외부의 수분 구배가 커졌을 때 표면에 작용하는 인장력에 의해 열피해가 발생하게 되며, 이는 본 연구의 결과와 일치하였다. 본 연구는 콩의 열풍건조에서 콩의 품질을 유지하기 위해서 건조 온도뿐만 아니라 열풍건조기 내 시료의 위치 또한 매우 중요한 인자임을 확인할 수 있었다.

Table 3. Cracked grain ratio after the drying process

Temperature (°C)	Cracked grain ratio (%)		
	Tray 1	Tray 5	Tray 9
35	2.09 (±0.02) <sup>a1)</sup>	3.16 (±0.04) <sup>b</sup>	6.78 (±0.09) <sup>c</sup>
45	6.49 (±0.04) <sup>a</sup>	7.94 (±0.08) <sup>b</sup>	9.19 (±0.11) <sup>c</sup>
55	11.64 (±0.07) <sup>a</sup>	12.18 (±0.12) <sup>b</sup>	14.37 (±0.03) <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Values with different superscripts in the same column are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

**Table 4. Evaluation of thin layer models to describe the drying kinetics of soybean**

Model no.	Model name	Table number	Temperature (°C)	R <sup>2</sup>	RMSE	RSS	
1	Newton	1	35	0.9270	0.0368	0.0271	
			45	0.9197	0.0523	0.0548	
			55	0.9895	0.0231	0.0107	
		5	35	0.8548	0.0510	0.0520	
			45	0.9197	0.0523	0.0548	
			55	0.9766	0.0355	0.0252	
	9	35	0.6836	0.0729	0.1063		
		45	0.8419	0.0721	0.1040		
		55	0.943	0.0561	0.0629		
	2	Page	1	35	0.9890	0.0147	0.0041
				45	0.9864	0.0218	0.0091
				55	0.9959	0.0148	0.0042
5			35	0.9867	0.0158	0.0048	
			45	0.9891	0.0198	0.0074	
			55	0.9954	0.0163	0.0050	
9		35	0.9946	0.0098	0.0018		
		45	0.9979	0.0088	0.0014		
		55	0.999	0.0075	0.0011		
3		Henderson and Pabis	1	35	0.9573	0.0289	0.0158
				45	0.9616	0.0367	0.0256
				55	0.9910	0.0219	0.0091
	5		35	0.9279	0.0369	0.0258	
			45	0.9520	0.0415	0.0327	
			55	0.9832	0.0309	0.0182	
	9	35	0.8882	0.0445	0.0376		
		45	0.9348	0.0475	0.0429		
		55	0.9709	0.0411	0.0321		
	4	Midilli-Kucuk	1	35	0.9993	0.0040	0.0003
				45	0.9972	0.0104	0.0019
				55	0.9910	0.0072	0.0009
5			35	0.9979	0.0067	0.0008	
			45	0.9967	0.0116	0.0023	
			55	0.9981	0.0109	0.0020	
9		35	0.9987	0.0050	0.0004		
		45	0.9991	0.0059	0.0006		
		55	0.9990	0.0079	0.0011		

**박층 건조 모델**

열풍건조에 의한 콩의 함수율의 변화를 분석하기 위해서, 4개의 박층 건조 모델이 적합성을 평가하기 위해 적용되었다. 콩의 열풍건조 시 4개의 건조 모델을 적용하였을 때 Midilli-Kucuk 모델이 가장 적합하였으며 가장 높은 R<sup>2</sup> 값 (>0.9967)과 가장 낮은 RMSE값(<0.0116)과 RSS값(<0.0023)을 나타내었다 (Table 4). 비선형 회귀분석에 의해서 추정된 Midilli-Kucuk 모델의 트레이 위치와 건조 온도에 따른 모델 변수를 Table 5에 나타내었다. 이를 통해서

**Table 5. Model parameters from the Midilli-Kucuk equation to describe the drying kinetics of soybean**

Model name	Tray number	Temperature (°C)	a	b (10 <sup>-4</sup> )	k (10 <sup>-3</sup> )	n	
Midilli-Kucuk	1	35	1.005	4.525	2.581	0.9657	
		45	1.009	3.908	3.090	0.9887	
		55	1.010	2.004	2.852	1.0130	
		5	35	1.008	4.087	5.232	0.8487
			45	1.013	3.023	6.184	0.8698
			55	1.013	1.545	5.799	0.9153
	9	35	1.003	2.223	17.53	0.6260	
		45	1.004	1.147	20.01	0.6579	
		55	1.002	0.489	22.61	0.7066	

모델의 변수를 기반으로 하여, 콩을 목표로 하는 수분함량까지 건조시키기 위한 건조시간이 추정될 수 있다. 각 건조 온도 별 트레이 1과 트레이 9를 15% 수분함량까지 건조시키기 위해 필요한 건조 시간은 각각 35°C에서 370분과 255분, 45°C에서 211분과 130분, 55°C에서 174분과 73분을 나타내어, 건조 온도뿐 아니라 열풍건조기에서 건조기 내 샘플의 위치 역시 콩의 건조를 위해 반드시 고려되어야 됨을 확인할 수 있었다.

**요 약**

건조 온도와 열풍건조기 내 샘플의 위치에 따른 건조 중 콩의 수분함량의 변화에 대한 연구를 수행하였다. 박층 건조 모델을 적용하여 콩의 건조 특성을 설명하였으며, Midilli-Kucuk 모델이 열풍건조에서 콩의 건조 특성을 서술하기에 가장 적합하였다(R<sup>2</sup>>0.99). 건조기 내 샘플의 위치를 달리한 트레이 1, 트레이 5 그리고 트레이 9 모두에서 건조 온도의 증가와 함께 건조 속도도 증가하였다. 트레이 1, 5 그리고 9에서의 풍속은 각각 0.150 m/s (±0.012), 0.247 m/s (±0.018) 그리고 0.795 m/s (±0.036)의 값을 나타내어 건조기 위치에 따른 풍속은 열풍의 inlet으로부터 멀어질수록 증가하였다. 풍속이 증가함에 따라 열 및 물질 전달속도가 증가하여 같은 건조 온도에서 샘플이 건조기 내 열풍의 inlet에 가까울수록 건조속도가 증가하였으며, 건조 속도가 증가함에 따라 건조 후 콩의 열피립 발생비율도 2.09%에서 14.37%로 증가하여 건조 후 콩의 품질을 유지하기 위해서 건조 속도가 중요한 인자임을 확인하였다. 초기수분함량(28.1%)으로부터 목표수분함량(15%)까지 건조시키기 위해 35, 45 그리고 55°C 건조에서 트레이 1과 트레이 9의 필요 건조 시간은 370분과 255분, 211분과 130분, 174분과 73분을 나타내어 건조 온도뿐 아니라 건조 중 건조기 내 샘플의 위치 또한 콩의 열풍건조를 위해 반드시 고려되어야 함을 확인하였다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ010046)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## References

- Aghbashlo M, Kianmehr MH, Arabhosseini A. 2009. Modeling of thin-layer drying of potato slices in length of continuous band dryer. *Energy Convers. Manage.* 50: 1348-1355.
- Baker CGJ. 1997. Preface. In: *Industrial Drying of Foods*. Baker CGJ. (ed). Chapman & Hall, London, U.K.
- Charmongkolpradit S, Triratanasirichai K, Srihajang N. 2010. Drying characteristics of chili using continuous fluidized-bed dryer. *Am. J. Appl. Sci.* 7: 1300-1304.
- Chua KJ, Chou SK. 2005. A comparative study between intermittent microwave and infrared drying of bioproducts. *Int. J. Food Sci. Technol.* 40: 23-39.
- Doymaz I. 2006. Drying behavior of green beans. *J. Food Eng.* 69: 161-165.
- Doymaz I. 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. *J. Food Eng.* 78: 1291-1297.
- Erbay Z, Icier F. 2009. A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 50: 441-464.
- Guine RPF, Fernandes RMC. 2006. Analysis of the drying kinetics of chestnuts. *J. Food Eng.* 76: 460-467.
- Henderson SM, Pabis S. 1961. Grain drying theory. I: Temperature effects on drying coefficients. *J. Agric. Eng. Res.* 6: 169-174.
- Hii CL, Law CL, Cloke M. 2009. Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. *J. Food Eng.* 90: 191-198.
- Hirunlabh J, Tirawanithakul S, Soponronnarit S. 1992. Strategies for drying soybean: batch process. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 14: 33-46.
- Johnson PT, Brennan JG, Addo-Yobo FY. 1998. Air-drying characteristics of plantain (*Musa AAB*). *J. Food Eng.* 37: 233-242.
- Kudra T, Mujumdar AS. 2002. General discussion: conventional and novel drying concepts. In: *Drying technology*. Kudra T, Mujumdar AS. (eds). Marcel Dekker, New York, NY, USA, pp. 1-26.
- Kwon SH. 1972. Origin and importance of protein and oil of Korean soybean. *Korean J. Food Sci. Technol.* 4: 158-161.
- Lewis WK. 1921. The rate of drying of solid material. *J. Ind. Eng.* 13: 427-443.
- Marinos-Kouris D, Maroulis ZB. 1995. Transfer properties in the drying of solids. In: *Handbook of Industrial Drying*. Mujumdar AS. (ed). Marcel Dekker, New York, NY, USA, pp. 133-155.
- Midilli A, Kucuk H, Yapar Z. 2002. A new model for single layer drying. *Drying Technol.* 20: 1503-1513.
- Moon JH, Kim MJ, Chung DH, Pan C, Yoon WB. 2014. Drying characteristics of sea cucumber (*Stichopus japonicas Selenka*) using far infrared radiation drying and hot air drying. *J. Food Process. Preserv.* 38: 1534-1546.
- Nguyen M, Price WE. 2007. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *J. Food Eng.* 79: 200-207.
- Overhults DG, White GM, Hamilton HE, Ross IJ. 1973. Drying soybean with heated air. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 16: 112-113.
- Page GE. 1949. Factors influencing the maximum rate of air drying shelled corn in thin-layers. M.S. Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
- Rafiee S. 2009. Thin layer drying properties of soybean (*Viliumz Cultivar*). *J. Agric. Sci. Technol.* 11: 301-308.
- Rafiee S, Sharifi M, Keyhani A, Omid M, Jafari A, Mohtsebi S, Mobli H. 2010. Modeling effective moisture diffusivity of orange slice (Thompson Cv.). *Int. J. Food Prop.* 13: 32-40.
- Sangkram U, Noomhorm A. 2002. The effect of drying and storage of soybean on the quality of bean, oil, and lecithin production. *Drying technol.* 20: 2014-2054.
- Shi J, Pan Z, Mchugh TH, Wood D, Hirschberg E, Olson D. 2008. Drying and quality characteristics of fresh and sugar-infused blueberries dried with infrared radiation heating. *LWT - Food Sci. Technol.* 41: 1962-1972.
- Soponronnarit S, Swasdisevi T, Wetchacama S, Wutiwiwatchai W. 2001. Fluidised bed drying of soybeans. *J. Stored Prod. Res.* 37: 133-151.
- Srikiatden J, Roberts JS. 2006. Measuring moisture diffusivity of potato and carrot (core and cortex) during convective hot air and isothermal drying. *J. Food Eng.* 74: 143-152.
- Thuwapanichayanan R, Prachayawarakorn S, Kunwisawa J, Soponronnarit S. 2011. Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *LWT-Food Sci. Technol.* 44: 1502-1510.
- Velić D, Planinić M, Tomas S, Bilić M. 2004. Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. *J. Food Eng.* 64: 97-102.
- Wiriyaumpaiwong S, Soponronnarit S, Prachayawarakorn S. 2001. Effect of temperature on soybean quality using spouted bed technique. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 35: 460-466.
- Yilbas BS, Hussain MM, Dincer I. 2003. Heat and moisture diffusion in slab products to convective boundary conditions. *Heat Mass Transf.* 39: 471-476.