

## 증자 호박고구마의 원적외선 건조특성

이동일 · 이정현<sup>1</sup> · 조병효 · 이희숙<sup>2</sup> · 한충수\*

충북대학교 바이오시스템공학과, <sup>1</sup>홋카이도대학교 농학부, <sup>2</sup>충북대학교 소비자학과

### The Far-infrared Drying Characteristics of Steamed Sweet Potato

Dong Il Lee, Jung Hyun Lee<sup>1</sup>, Byeong Hyo Cho, Hee Sook Lee<sup>2</sup>, and Chung Su Han\*

*Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University*

*<sup>1</sup>Laboratory of Agricultural and Food Process Engineering, Hokkaido University*

*<sup>2</sup>Department of Consumer Studies, Chungbuk National University*

#### Abstract

The purpose of this study was to verify the drying characteristics of steamed sweet potato and to establish optimal drying conditions for far-infrared drying of steamed sweet potato. 4 kg of steamed sweet potato was sliced to thicknesses of 8 and 10 mm, and dried by a far-infrared dryer until a final moisture content of  $25 \pm 0.5\%$ . The far-infrared dryer conditions were an air velocity of 0.6, 0.8 m/s and drying temperature of 60, 70, and 80°C. The results can be summarized as follows. The drying time tended to be reduced as temperature and air velocity for drying increased. The Lewis and Modified Wang and Singh models were found to be suitable for drying of steamed sweet potato by a far-infrared dryer. The color difference was 35.09 on the following conditions: Thickness of 8 mm, temperature of 80°C, and air velocity of 0.8 m/s. The highest sugar content (59.11 °Brix) was observed on the conditions of a thickness of 8 mm, temperature of 80, and air velocity of 0.8 m/s. Energy consumption decreased on the conditions of higher temperature, slower air velocity, and thinner steamed sweet potato.

**Key words:** far-infrared drying, sweet potato, drying model, sugar content

#### 서 론

고구마(*Ipomoea batatas*)는 메꽃과 미국나팔꽃에 속하는 쌍떡잎 식용작물로서, 뿌리를 식용으로 섭취하고 있다(Hwang et al., 2014). 또한 메밀, 감자 등과 같이 주요한 건강식품으로 이용되고 있으며(Lee, 2015), 국내의 고구마 생산량은 2015년에 약 83만 톤 정도로, 감자 생산량인 29만 톤에 비하여 약 2.8배 많았다(KOSIS, 2016).

한편 고구마는 수분 함량이 68% 정도로 매우 높고, 표피가 얇아 수확과정에서 쉽게 상처가 발생하며 저장기간 동안 상처난 부위가 부패하기 쉽고, 저장온도 및 방법에 따라서 쉽게 부패하는 특성이 있다. 이러한 이유로 고구마의 유통 및 보관 기간을 연장하기 위해 수확 후 일정기간 큐어링을 실시한 후 저온저장고에 저장하거나, 증절간 고구마, 분말 및 앙금 등으로 가공하여 유통되고 있다(Kwon,

2010; Song et al., 2011).

현재 제조되고 있는 증절간 고구마는 열풍건조를 통해 가공하는 것이 일반적이며, 열풍건조기는 국내에 설치되어 있는 건조기의 약 90% 이상을 차지하고 있다(Li, 2009). 그러나 열풍건조의 경우 건조실 내 열풍의 체류시간이 짧고, 배출되는 열풍의 열량이 크므로 에너지 효율이 낮은 단점이 있다. 또한 열풍에 의해 제품의 향기나 무기질 등이 파괴되어 영양적 손실과 함께 표면경화, 낮은 복원력 등의 문제점이 있다(Li, 2009; Lee et al., 2000). 따라서 증절간 고구마의 건조시간 단축 및 품질 변화 등을 최소화할 수 있는 건조 방법 및 기술이 필요하며, 최근 농산물 건조열원으로서 원적외선을 이용하는 건조방법이 제시되고 있다(Ning et al., 2014).

원적외선은 적외선파장 중 4~1,000  $\mu\text{m}$  영역으로서 복사 에너지를 통해 열을 전달하며, 건조 가열 열원으로 많이 이용하고 있다(Ji, 1992; Cho et al., 2016). 또한 원적외선 건조는 열효율이 높고, 열풍건조보다 건조속도가 빠르며, 피건조물의 품질이 우수하기 때문에 열풍건조의 단점을 보완할 수 있다(Ning, 2012). 이러한 이유로 원적외선을 농수산물 건조 및 식품 가공에 이용하는 연구가 활발히 이루어지고 있으나(Kang et al., 2011; Jang et al., 2013), 원적외

\*Corresponding author: Chung Su Han, Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungcheongbuk-do 28644, Korea

Tel: +82-43-261-2580; Fax: +82-43-271-4413

E-mail: hansu@cbnu.ac.kr

Received December 15, 2016; revised January 26, 2017; accepted January 27, 2017

선을 이용한 증질간 고무마 건조에 관한 연구는 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 원적외선을 이용하여 증자 호박고구마를 건조할 경우 두께, 건조온도와 송풍속도에 따른 건조특성과 건조제품의 색도변화, 건조 전후 증질간 호박고구마의 당도 등 품질특성을 분석하여 원적외선 건조에 필요한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 공시재료

공시재료는 충청북도 증평군에서 생산된 호박고구마를 사용하였으며, 초기 평균 함수율은 약 67-68%, w.b. (이후 %로 표시) 이었다. 또한 초기 평균 색도는 L(명도) 값의 경우 79.65, a(적색도) 값은 6.45, b(황색도) 값은 42.46 이었고, 초기 평균 당도는 24.85 °Brix 이었다.

### 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 원적외선 건조기의 개략도를 나타낸 것이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 원적외선 건조기의 크기는 6,540×1,200×1,530 mm (W×L×H)이고, 총 5단으로 구성된 건조실을 통해 피건조물이 건조되도록 설계되었다. 주요 장치로는 제어반, 송풍팬(DTB-402, DongKun, Incheon, Korea), 원적외선 방사체(MEP-550, Restoration, Seoul, Korea), 건조실 및 벨트 컨베이어 등으로 구성되어 있다.

### 실험방법

원적외선 건조실험에 사용된 호박고구마의 1회 시료량은 4 kg이며, 세척기에서 세척한 후 세절기를 이용하여 세절두께 8, 10 mm의 두 가지 수준으로 세절하였다. 세절된 호박고구마는 증자장치를 이용하여 30분간 증자 후 원적외선

건조하였다. 증질간 호박고구마의 원적외선 건조실험 조건은 건조온도 60, 70 및 80°C와 송풍속도 0.6 및 0.8 m/s로 선정하였으며, 최종함수율 25±0.5%까지 건조하였다. 건조된 시료는 함수율, 건조속도, 색차, 당도 및 에너지 소비량을 측정하여 실험 조건별로 비교 분석하였다.

### 함수율

함수율은 시료 중에서 무작위로 선정하여 전자저울(HF-200GD, And, Tokyo, Japan)로 20±0.5 g의 시료를 계량한 후, 실험용 건조기(0F-11E, Jeio tech, Daejeon, Korea)에서 105°C로 24시간 건조하였다(KFDA, 2011). 건조 전후의 무게 변화 값을 중량비로 산출하여 식 (1)과 같이 습량기준 함수율로 나타내었다.

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_d}$$

$M_w$ : Moisture content (decimal, w.b.)

$W_w$ : Water weight of sample (g)

$W_d$ : Weight of dry matter of sample (g)

### 건조속도

건조속도는 함수율비로 표시하였다. 함수율비는 건조시간 별 중량 변화를 함수율로 환산하고, 식 (2)와 (3)을 이용하여 산출하였다(Altan & Maskan, 2005; Ning et al., 2012).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2)$$

$$M_e = \frac{M_0 \times M_f - M_m^2}{M_0 \times M_f - 2M_m} \quad (3)$$

MR: Moisture ratio (-)

$M_t$ : Moisture content at drying time (% , d.b.)

$M_e$ : Equilibrium moisture content (% , d.b.)

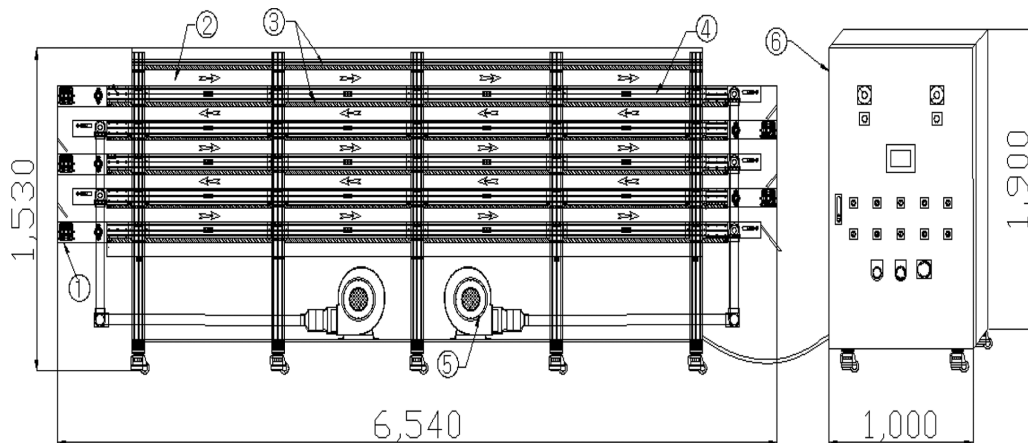


Fig. 1. The schematic diagram of far-infrared dryer of conveyor type. ① Motor, ② Drying chamber, ③ Far-infrared heater, ④ Belt conveyor, ⑤ Blast fan, ⑥ Control box.

$M_0$ : Initial moisture content (% , d.b.)  
 $M_m$ : Middle moisture content (% , d.b.)  
 $M_f$ : Final moisture content (% , d.b.)

**건조모델**

증절간 호박고구마의 원적외선 건조모델을 개발하기 위하여 기존에 널리 사용되고 있는 Page, Lewis 및 Modified Wang & Singh 건조모델에 적용하였으며, Table 1은 각 건조모델을 나타낸 것이다.

각각의 모델상수 결정은 통계 분석 프로그램인 SAS (Statistical Analysis System ver. 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)의 비선형 회귀분석 방식을 이용하여 결정하였다. 각각의 건조조건에 따른 모델상수 P, q, k, A, B 및 C를 결정하기 위해 실험조건에 따른 건조시간과 함수율비를 이용하여 실험상수  $P_1, q_1, k_1, A_1, B_1, C_1$ 를 구하였다. 그 후에 고구마의 체적, 건조온도, 송풍속도 및 실험상수( $P_1, q_1, k_1, A_1, B_1, C_1$ )를 이용하여 식 (4)의 상수( $a_0$ - $a_9$ )를 SAS PROC STEPWISE 프로그램으로 시행착오법에 의해 구하였다. 또한 위에서 구한 상수( $a_0$ - $a_9$ )와 실험변수(체적, 온도, 송풍속도)를 식 (4)에 재대입하여 모델상수를 결정하였다(Ning et al., 2013). 또한 함수율비의 실험값과 건조모델을 이용한 예측값 사이의 적합성 검증은 결정계수 ( $R^2$ , Determination Coefficient)와 평균오차제곱근(RMSE, Root Mean Square Error)을 이용하여 비교 검증하였다.

$$\begin{aligned} \text{실험상수} = & a_0 + a_1 \times (V) + a_2 \times (T) + a_3 \times (AV) + a_4 \times (V)^2 \\ & + a_5 \times (T)^2 + a_6 \times (AV)^2 + a_7 \times (V \times T) \\ & + a_8 \times (T \times AV) + a_9 \times (V \times AV) \end{aligned} \quad (4)$$

V: Volume (cm<sup>3</sup>)  
 T: Drying temperature (°C)  
 AV: Air velocity (m/s)

**색도변화**

증절간 호박고구마의 건조 전후 색도 변화는 색도색차계 (JX-777, C.T.S., Tokyo, Japan)를 이용하여 시료의 L(명도), a(적색도) 및 b(황색도) 값을 5회 측정하여 평균값으로 나타내었다. 또한 종합적인 색도변화를 나타내는 색차( $\Delta E$ ) 값

의 경우 식 (5)를 이용하여 산출하였다(Rhim et al., 1989; Lee et al., 2010).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (5)$$

$\Delta E$ : Difference values of the color between after and before drying

$\Delta L$ : Difference values of the lightness between after and before drying

$\Delta a$ : Difference values of the redness between after and before drying

$\Delta b$ : Difference values of the yellowness between after and before drying

**당도**

증절간 호박고구마의 당도측정은 무작위로 채취한 시료를 분쇄기(HMF-300S, Hanil, Seoul, Korea)를 이용하여 분쇄하고, 전자저울(HF-200GD, And, Tokyo, Japan)로 5±0.1 g을 칭량하였다. 칭량된 시료는 비커에 넣어 30 mL의 증류수를 첨가한 후 40°C의 항온수조(BW-05G, Jeio tech, Daejeon, Korea)에서 1시간 동안 방치하여 분쇄된 시료의 당이 증류수에 충분히 녹아들게 한 후 증류수만을 여과지(HM02005090, Hyundai micro, Seoul, Korea)로 여과하였다. 또한 당도는 여과된 증류수를 당도계(PAL-1, Atago, Tokyo, Japan)로 5회 반복하여 측정하고 평균값으로 나타내었다. 한편 측정된 당도는 증류수에 의해 희석된 값이므로, 측정값의 6배로 나타내었다.

**에너지 소비량**

증자 호박고구마 건조 중 에너지 소비량은 적산전력계 (CW121, YOKOGAWA, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정된 후, 수분 1 kg을 제거하는데 필요한 에너지 소비량으로 환산하여 나타내었다.

**유의성**

유의성 검증은 Windows용 SPSS 통계 프로그램(version 12.0K, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)의 다원배치 분산분석(multi-way ANOVA) 방법을 이용하였으며, 원적외선 건조조건에 따라 유의 수준은 5% 이내에서 유의성을 검증하였다.

**Table 1. Semi-theoretical and empirical drying models**

No.	Model name	Model
1	Page	MR = exp(-Pt <sup>n</sup> )
2	Lewis	MR = exp(-kt)
3	Modified Wang and Singh	MR = C + Bt + At <sup>2</sup>

MR : moisture ratio (-)  
 P, q, k, C, B, A : model constants (-)  
 t : time (min)

**결과 및 고찰**

**건조속도**

증자 호박고구마의 원적외선 건조 전 평균 함수율인 71.48%를 함수율비 1.0으로 나타냈으며, 최종함수율 25±0.5%의 함수율비는 약 0.36 정도로 나타났다.

Fig. 2는 건조 중 건조두께 8 mm 조건에서 원적외선 건

조시간에 따른 함수율비 변화를 나타낸 것이다. Fig. 2에 나타냈듯이 건조온도에 따른 건조시간은 건조온도가 높은 80°C 조건이 60 및 70°C 조건에 비해 55-166분 정도 단축되는 것으로 나타났다. 또한 송풍속도에 따른 건조시간은 송풍속도 0.8 m/s 조건이 0.6 m/s 조건과 비교하여 약 11-55분 단축되는 경향을 보였다.

Fig. 3에 건조두께 10 mm 조건에서 원적외선 건조시간에 따른 함수율비 변화를 나타내었다. Fig. 3에서 확인할 수 있듯이 건조두께 10 mm 조건에서 건조온도와 송풍속도에 따른 건조시간은 60°C 조건의 경우, 송풍속도 0.6 및 0.8 m/s 일 때 각각 417, 362분으로 나타났다. 또한 70°C 조건에서 송풍속도 0.6, 0.8 m/s 조건의 경우 건조시간은 각각 304분 및 286분으로 측정되었으며, 건조온도 80°C, 송풍속도 m/s 0.6 및 0.8 m/s 조건에서는 각각 257, 225분 소요되었다. 한편, 건조두께에 따른 건조시간은 건조두께 8 mm 조건이

10 mm 조건보다 28-51분 정도 단축되는 경향을 보였다.

이와 같이 증자 호박고구마의 건조시간은 원적외선 건조 온도가 높고, 송풍속도가 빠를수록 단축되는 경향을 보였다. 이것은 건조온도가 높을수록 원적외선 방사체에서 발생하는 복사에너지가 증가하면서 피건조물의 수분확산 및 증발이 더욱 활성화되었기 때문에 건조속도가 증가하면서 건조시간이 단축된 것으로 사료된다(Ning, 2012). 또한 같은 온도 조건에서 송풍속도가 빠를수록 피건조물 표면의 수분 증발이 잘 이루어지고, 습공기의 배출이 원활하기 때문이라고 판단된다(Li, 2009).

건조모델

Table 2는 각각의 건조모델에 실험값을 적용할 경우 결정계수(R<sup>2</sup>)와 평균 제곱근 오차(RMSE)를 비교하여 나타낸

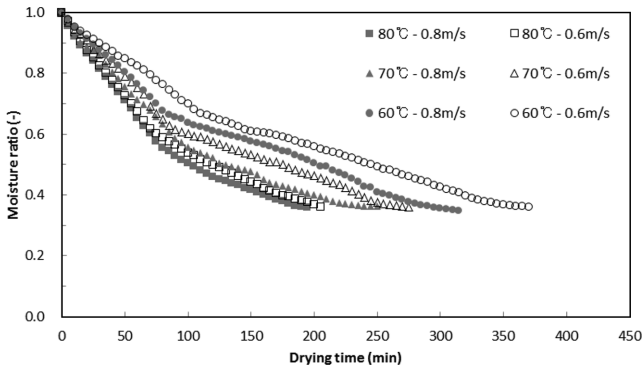


Fig. 2. Drying curves of steamed sweet potato according to far-infrared drying conditions at 8 mm thickness.

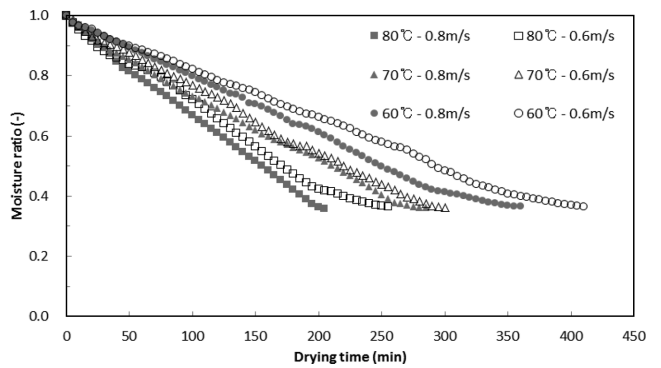


Fig. 3. Drying curves of steamed sweet potato according to far-infrared drying conditions at 10 mm thickness.

Table 2. Statistical results of the measured values fitted to the predicted values for drying models

Drying conditions			Statistical results of drying models					
Thickness (mm)	Temperature (°C)	Air velocity (m/s)	Page		Lewis		Modified Wang and Singh	
			R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE
8	60	0.6	0.9943	0.0133	0.9827	0.0232	0.9914	0.0182
		0.8	0.9880	0.0195	0.9720	0.0297	0.9841	0.0230
	70	0.6	0.9883	0.0190	0.9638	0.0334	0.9852	0.0213
		0.8	0.9892	0.0191	0.9688	0.0325	0.9938	0.0145
	80	0.6	0.9926	0.0156	0.9743	0.0289	0.9859	0.0220
		0.8	0.9887	0.0196	0.9701	0.0318	0.9852	0.0224
10	60	0.6	0.6867	0.1074	0.9812	0.0263	0.9958	0.0134
		0.8	0.9955	0.0131	0.9807	0.0271	0.9936	0.0172
	70	0.6	0.9728	0.0314	0.9837	0.0242	0.9971	0.0103
		0.8	0.8396	0.0736	0.9877	0.0204	0.9725	0.0304
	80	0.6	0.9888	0.0206	0.9792	0.0281	0.9846	0.0242
		0.8	0.8918	0.0610	0.6447	0.1105	0.9984	0.0075

R<sup>2</sup> : determination coefficient  
 RMSE : root mean square error

것이다. Table 2에서 확인할 수 있듯이 Modified Wang & Singh 모델의 경우 모든 건조조건에서 R<sup>2</sup> 값은 0.9725 이상, RMSE는 0.0304 이하로 나타났다.

Fig. 4는 건조시간이 가장 긴 건조두께 10 mm, 건조온도 60°C, 송풍속도 0.6 m/s 조건과 건조시간이 가장 짧은 건조두께 8 mm, 건조온도 80°C, 송풍속도 0.8 m/s 조건에 따른 함수율비의 실험값과 각 건조모델을 이용한 함수율비의 예측값을 비교한 것이다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이 함수율비의 실험값과 예측값은 건조모델에 관계없이 건조시간이 긴 조건에서 오차가 있는 것으로 나타났으나, Lewis 모델과 Modified Wang & Singh 모델의 경우 비교적 적합한 것으로 나타났다. 따라서 원적외선 건조를 이용하여 증자 고구마를 건조할 경우 건조두께, 건조온도 및 송풍속도에 따른 건조속도는 Lewis 모델과 Modified Wang & Singh 모델을 이용하면 높은 정밀도에서 건조시간 예측이 가능할 것으로 판단된다.

색차변화

Fig. 5는 증자 호박고구마의 원적외선 건조조건에 따른 색차(ΔE) 값을 비교하여 나타낸 것이며, 건조온도가 낮고, 송풍속도가 느리며, 건조두께가 두꺼울수록 증자 호박고구마의 건조 전후 색도변화가 적은 경향을 보였다.

Fig. 5에 나타냈듯이 건조두께 8 mm, 송풍속도 0.6 m/s

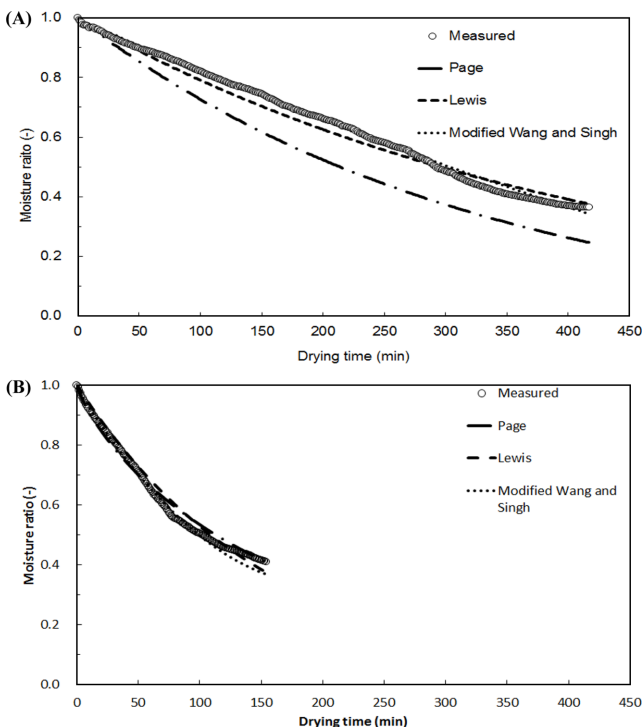


Fig. 4. Comparison of measured and predicted moisture ratios with far-infrared drying time by the drying models at drying conditions of thickness 10 mm, temperature 60°C, air velocity 0.6 m/s (A) and thickness 8 mm, temperature 80°C, air velocity 0.8 m/s (B).

조건에서 색차는 건조온도가 낮은 60°C 조건의 경우 29.18로 70 및 80°C 조건과 비교하여 각각 3.63, 5.51 정도 낮은 것으로 나타났다. 또한 건조두께 8 mm, 송풍속도 0.8 m/s 조건에서도 송풍속도 0.6 m/s 조건과 마찬가지로 건조온도가 낮을수록 색차가 낮은 것으로 나타났으며, 건조온도 60°C 조건이 70 및 80°C 조건에 비해 각각 1.84, 3.76 정도 낮은 경향을 보였다.

건조두께 10 mm, 송풍속도 0.6 m/s 조건에서도 건조온도가 낮은 60°C 조건의 색차 값은 28.33으로 70°C 및 80°C 조건과 비교하여 4.27-5.44 정도 낮은 것으로 나타났다. 또한 건조두께 10 mm, 송풍속도 0.8 m/s 조건에서 건조온도에 따른 색차는 건조온도 60, 70°C 및 80°C 조건에 따라 각각 31.39, 33.24, 34.54의 값을 보였다.

이와 같이 건조조건에 따른 증절간 호박고구마의 색차는 모든 조건에서 28.33-34.54 범위로 약간의 차이를 보였지만, 육안상으로는 식별하기가 어려웠다.

한편, 건조조건에 따른 색차 값의 통계분석 결과, 유의확률 p 값은 건조두께 간, 건조온도 간 및 송풍속도 간에 따라 각각 0.4420, 0.0001, 0.0020으로 나타나, 건조온도 간과 송풍속도 간에 대한 유의확률만 0.05 이하로 유의성이 인정되었다. 상호작용에 따른 유의확률 p 값의 경우 모두 0.05 이상으로 나타나 유의성이 인정되지 않았다.

당도

Fig. 6은 건조조건에 따른 증절간 호박고구마의 당도 값을 나타낸 것이며, 건조두께가 얇고, 건조온도가 높으며, 송풍속도가 느린 조건에서 당도 값이 높은 경향을 보였다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 건조두께 8 mm, 송풍속도 0.6 m/s 조건에서 건조온도 60, 70, 80°C에 따라 당도는 각각 54.56, 58.61, 59.11 °Brix로 나타났고, 건조두께 8 mm, 송풍속도 0.8 m/s 조건의 경우 건조온도 60, 70°C 및 80°C 일 때 각각 52.11, 55.78, 55.88 °Brix로 측정되었다.

한편, 건조두께 10 mm, 송풍속도 0.6 m/s 조건에서 건조

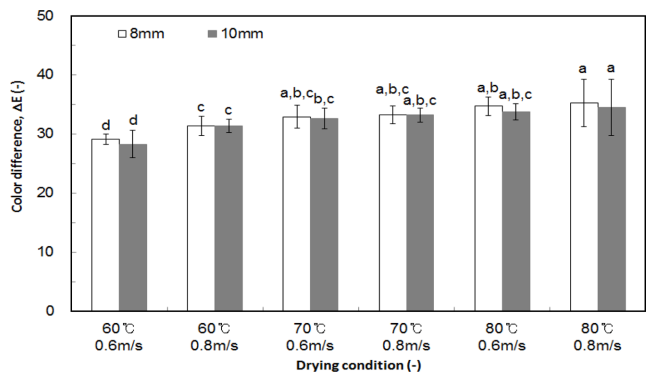
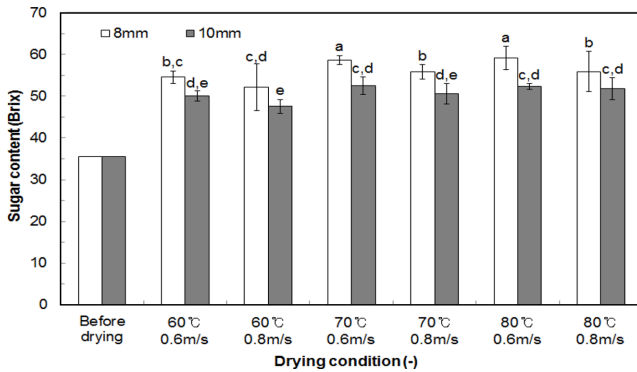


Fig. 5. Comparison of the color difference according to drying conditions. Values are mean±SD. Means with different letters (a-d) above the bars are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).



**Fig. 6. Comparison of the sugar contents according to drying conditions.** Values are mean±SD. Means with different letters (a-e) above the bars are significantly different by Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

온도 60, 70, 80°C에 따른 당도는 건조두께 8 mm 조건과 비교하여 각각 4.56, 6.11 °Brix 및 6.74 °Brix 감소하는 경향을 보였다. 또한 건조두께 10 mm, 건조온도 60, 70°C 및 80°C 조건에서 당도는 송풍속도 0.8 m/s 조건이 0.6 m/s 조건에 비해 2.44, 1.93, 0.62 °Brix 낮은 경향을 나타내었다.

이와 같이 송풍속도가 느릴수록 당도가 높은 이유는 송풍속도가 느린 0.6 m/s 조건이 0.8 m/s 조건보다 건조시간이 길어 열에 노출되는 시간이 증가하면서 전분의 호화가 잘 이루어졌기 때문으로 판단된다. 또한 증자 호박고구마의 건조 전 당도 값은 35.60 °Brix로 건조 후 11.96-23.51 °Brix 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 가열에 의해 호화된 전분이 효소작용에 의해 분해되어 단맛이 증가한다는 결과와 유사하였다(Kum et al., 1994; Jang et al., 2013).

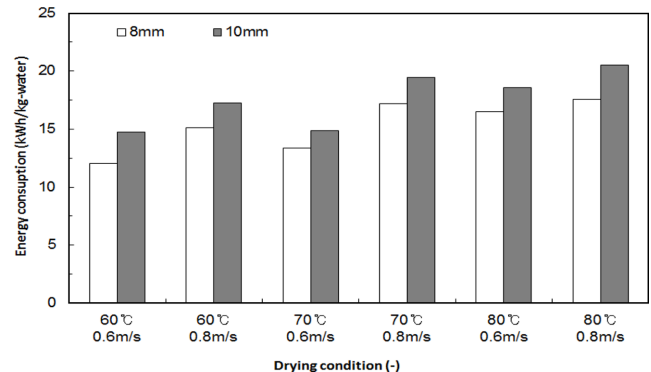
한편, 증절간 호박고구마의 건조조건에 따른 당도 유의성 분석 결과, 건조두께 간, 건조온도 간 및 송풍속도 간에 따른 각각의 유의확률  $p$  값은 모두 0.05 이하로 나타나 유의성이 인정되었다. 그러나 상호작용의 경우 모두 유의확률  $p$  값이 0.05 이상으로 나타나 유의성이 인정되지 않았다.

#### 에너지 소비량

Fig. 7은 건조조건에 따른 증자 호박고구마 건조 중 에너지 소비량을 비교하여 나타낸 것이다.

Fig. 7에 나타냈듯이 건조두께 8 mm, 송풍속도 0.6 m/s 조건에서 에너지 소비량은 건조온도 80°C의 경우 12.06 kWh/kg-water로 건조온도 60, 70°C 조건에 비해 각각 36, 10% 감소하는 경향을 나타내었다. 건조두께 8 mm, 송풍속도 0.8 m/s 조건에서도 마찬가지로 건조온도 80°C 조건이 15.13 kWh/kg-water로 에너지 소비량이 측정되어 건조온도 60, 70°C 조건과 비교하여 13-16% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

또한 건조두께 10 mm, 송풍속도 0.6 m/s 조건의 경우 에너지 소비량은 건조온도 80°C 조건에서 14.72 kWh/kg-



**Fig. 7. Comparison of the energy consumption according to drying conditions.**

water로 측정되어 건조온도 60°C 및 70°C 조건에 비해 각각 26, 1% 저감되는 경향을 보였다. 건조두께 10 mm, 송풍속도 0.8 m/s 조건에서 에너지 소비량은 건조온도 80°C 조건의 경우 17.27 kWh/kg-water로 건조온도 60, 70°C 조건과 비교하여 18% 및 12% 저감되는 경향을 나타내었다.

이러한 경향은 건조온도가 증가함에 따라 건조시간이 단축되기 때문에 에너지 소비량이 감소한 것으로 판단된다(Li, 2009). 한편, 송풍속도가 에너지 소비량에 미치는 영향은 송풍속도 0.6 m/s 조건이 0.8 m/s와 비교하여 6-30% 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 이것은 빠른 송풍속도에 의해 열손실이 발생하고, 송풍기 가동 시 소비전력량이 증가하기 때문으로 판단된다(Kang et al., 2011). 또한 건조두께에 따른 에너지 소비량은 건조두께 8 mm 조건이 10 mm 조건과 비교하여 0-14% 감소되는 것으로 나타났으며, 이것은 건조두께가 얇을수록 건조시간이 단축되어 에너지 소비량이 감소되는 것으로 사료된다(Li, 2009).

#### 요 약

본 연구에서는 원적외선을 이용하여 증자 호박고구마를 건조할 경우 건조두께, 건조온도와 송풍속도에 따른 건조 특성과 건조제품의 색도변화 및 당도 등의 품질특성을 분석함으로써 증절간 호박고구마의 원적외선 건조를 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다. 원적외선 건조의 경우 열풍 건조와 비교하여 열효율이 높고, 건조속도가 빠르며, 피건조물의 품질이 우수하기 때문에 열풍건조의 단점을 보완할 수 있다(Ning, 2012). 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 증자 호박고구마의 건조속도는 건조두께가 얇고, 건조온도가 높으며, 송풍속도가 빠를수록 증가하는 경향을 보였으며, 건조두께 8 mm, 건조온도 80°C, 송풍속도 0.8 m/s 조건이 가장 빠른 것으로 나타났다. 본 연구에서 검증한 건조모델 중 Lewis 및 Modified Wang & Singh 모델의 경우 전체적인 건조시간대에서 비교적 잘 일치하는 것으로 나타나, 증자 고구마의 원적외선 건조 시 Lewis 및 Modified Wang

& Singh 모델을 이용할 경우 높은 정밀도에서 건조시간 예측이 가능한 것으로 나타났다. 원적외선 건조 후 증절간 고구마의 색차( $\Delta E$ ) 값은 건조온도가 낮고, 송풍속도가 느릴수록 낮은 경향을 보였으며, 건조두께 10 mm 조건이 8 mm 조건보다 색차가 적은 것으로 나타났다. 특히, 건조두께 10 mm, 건조온도 60°C, 송풍속도 0.8 m/s 조건에서 색차 값은 28.33으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 당도는 건조두께가 얇고, 건조온도가 높으며, 송풍속도가 느릴수록 높은 경향을 보였다. 증자 호박고구마 건조 중 에너지 소비량은 건조온도가 높고, 송풍속도가 느리며, 건조두께가 얇을수록 감소하였으며, 건조두께 8 mm, 건조온도 80°C, 송풍속도 0.6 m/s 조건에서 에너지 소비량은 12.06 kWh/kg-water로 가장 적은 값을 보였다. 따라서 증자 호박고구마의 건조시간, 색도변화, 당도 함량 및 에너지 소비량 등을 고려하면 증절간 호박고구마의 고품질화를 위해서는 건조두께 8 mm, 건조온도 80°C, 송풍속도 0.6 m/s 조건이 적절한 것으로 판단된다.

## References

- Altan A, Maskan M. 2005. Microwave assisted drying of short-cut (ditalini) macaroni : drying characteristics and effect of drying processes on starch properties. *Food Res. Int.* 38: 787-796.
- Cho BH, Lee JH, Kang TH, Lee HS, Han CS. 2016. Far infrared drying characteristics of seasoned red pepper sauce dried by heated air. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 45: 1358-1365.
- Hwang IG, Byun JY, Kim KM, Chung MN, Yoo SM. 2014. Vitamin C quantification of korean sweet potatoes by cultivar and cooking method. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 955-961.
- Jang GY, Li M, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS, Lee JS, Jeong HS. 2013. Quality characteristics of sweet potato varieties baked and freeze thawed. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 403-409.
- Ji CG. 1992. Characteristics and effects of far infrared rays. *Signal Image & Video* 183: 18-26.
- Kang TH, Hong HK, Jeon HY, Han CS. 2011. Drying characteristics of squids according to far infrared and heated air drying conditions. *J. Biosystems Eng.* 36: 109-115.
- Korea Food and Drug Administration. 2011. NLS standard operating procedure analytical methods. Cheongjo, Korea, pp. 5-27.
- Korea Statistical Information Service. 2016. Farm households by harvest area of sweet potato. Available from: <http://kosis.kr>. Accessed Dec. 3, 2016.
- Kum JS, Silva JL, Han O. 1994. Effects of microwave heating on processing of whole sweet potatoes. *Korean J. Food Cook. Sci.* 10: 138-141.
- Kwon SM. 2010. Development of processed food utilizing pumpkin sweet potatoes. MS thesis, Hanseo University, Seosan, Korea.
- Lee DI. 2015. Far-infrared drying characteristics of steamed sweet potato. MS thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea.
- Lee MK, Kim SH, Ham SS, Lee SY, Chung CK, Kang IJ, Oh DH. 2000. The effect of far infrared ray-vacuum drying on the quality changes of *pimpinella bracycarpa*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 561-567.
- Lee SK, Park WJ, Kim W, Kang MH, Jeon MJ, Paik SW, Han JW. 2010. Analysis of the drying characteristics of *lycii fructus* with drying plates. *J. Biosystems Eng.* 35: 250-256.
- Li H. 2009. Drying and quality characteristics of agricultural and fishery products using far infrared rays. Ph.D. thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea.
- Ning XF. 2012. Drying characteristics and quality of agricultural products using combined drying of microwave and far-infrared. Ph.D. thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea.
- Ning XF, Han CS, Cho SC, Lee JS, Yoon SS. 2013. Far infrared drying characteristics and quality assessment of *ligularia fischeri*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 22: 281-288.
- Ning XF, Han CS, Li H. 2012. A mathematical model for color changes in red pepper during far infrared drying. *J. Biosystems Eng.* 37: 327-334.
- Ning XF, Li H, Kang TH, Lee JS, Lee JH, Han CS. 2014. Thin layer drying and quality characteristics of *ainsliaea acerifolia* sch. bip. Using far infrared radiation. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 884-892.
- Rhim JW, Nunes RV, Jones VA, Swartzel KR. 1989. Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature. *J. Food Sci.* 54: 776-777.
- Song JH, Kim SK, Chun Ch, 2011. Application of simplified curing unit for the extension of storage life and improvement of physicochemical quality of sweet potatoes during long-term storage. *J. Bio-Environment Control* 20: 304-310.