

전처리 방법에 따른 미나리의 열풍건조 특성

김혜란 · 이준호*
대구대학교 식품공학과

Effect of Pre-treatments on the Drying Characteristics during Hot-air Drying of Water Dropwort

Hye Ran Kim and Jun Ho Lee*

Department of Food Science and Engineering, Daegu University, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-714, Korea

Abstract

Water dropwort (*Oenanthe javanica* DC.) was dehydrated as single layer in a laboratory scale convective hot-air dryer in the ranges of 50-70°C of the drying air temperature and at an air velocity of 0.66 m/s. Two pre-treatments (blanching and 1% KMS dipping) were applied to prior to drying. The drying air temperature and pre-treatment had significant effects on the moisture content of the water dropwort samples. The increase in the drying air temperature resulted in a decrease in the drying time. In all the drying temperature selected, the blanched samples had shorter drying time than the control and 1% KMS treated samples. The drying rate decreases continuously with decreasing moisture content or increasing drying time. It is also noted that the drying rate increased with the increase in drying air temperature. A non-linear regression procedure was used to fit 5 thin layer drying models available in the literature to the experimental moisture loss data. The models were compared based on the coefficient of determination, reduced chi-square, and root mean square error between the observed and predicted moisture ratios. The Page model has shown a better fit to the experimental drying data as compared to other models. The color characteristics of dried water dropwort were also significantly influenced by the pre-treatments.

Keywords: hot-air drying, pre-treatment, drying characteristics, water dropwort, model

서 론

쌍떡잎식물인 미나리는 산형화목 미나리과의 다년생 풀로 물기가 있는 습한 땅에 자생하며 흔히 논에서 재배가 이루어진다. 한국, 일본, 중국, 대만, 인도 등지에 분포하며 우리나라 농가에서 특용작물로 재배되고 있다(Mun et al., 1990; Lee et al., 2004). 미나리는 신선한 빛깔과 독특한 향 때문에 연한 부분을 채취하여 나물, 김치, 강회 등에 이용되며(Rhee et al., 1995), 그 엽경은 한방에서 약재로 사용되어 왔다.

미나리는 여러 가지 기능성을 가지고 있는 것으로 알려져 있는데 혈압강하, 해열, 일사병, 하혈 등에 효과가 있는 것으로 기록되어 있다(Park et al., 1993; Lee et al., 2001a; Lee et al., 2004). 또한 해독과 이뇨작용이 있어 비만을 치료하거나 기침과 가래를 가라앉히기도 한다(Lee et

al., 2001b). 한방에서는 간 보호, 간 기능회복 및 소염활성 등의 효능이 널리 알려져 왔고(Seo & Lee, 1985; Lee et al., 1993), 이질균의 생육을 억제하는 항균작용(Kim et al., 1993a; Kim et al., 1993b) 및 항 돌연변이 효과(Oh & Lee, 2003) 등도 보고된 바 있다.

미나리의 이와 같은 다양한 기능성에도 불구하고 대부분 생체형태로 소비되고 있는데 이는 미나리의 가공식품에의 응용연구가 미흡하기 때문으로 사료된다. 대표적인 식품가공 공정 중의 하나인 건조공정은 가공식품의 저장성을 향상시키고 식품신소재 및 편의식품의 개발에 이용될 수 있다. 건조방법의 선택에 있어 여러 가지 제약이 있지만 채소류의 건조는 경제적인 이유로 인해 주로 열풍건조에 의해 이루어진다. 열풍건조가 지니는 단점을 보완하기 위해서 전처리가 품질 개선에 미치는 영향에 관한 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 전처리 및 건조온도 조건에 따른 미나리 건조특성을 조사하고, 건조공정을 적절하게 설명할 수 있는 건조모델을 확립하고, 건조된 시료의 색 품질특성을 비교하여 평가하고자 하였다.

Corresponding author: Jun Ho Lee, Department of Food Science and Engineering, Daegu University, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-714, Korea
Tel: 82-53-850-6535; Fax: 82-53-850-6539
E-mail: leejun@daegu.ac.kr

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용한 미나리는 2007년 청도군에서 구입한 한재미나리를 사용하였다. 세척한 미나리의 줄기를 약 6.0 cm 크기로 절단하고, 야채탈수기(WD23-210, Myeongmoon LC Corp., Gyeonggi, Korea)로 3분 동안 표면의 수분을 제거하였다. 실험에 사용된 미나리 줄기의 초기 수분함량은 AOAC법에 따라 105 열풍건조기에서 24시간 건조 후 측정하였고(AOAC, 1995), 그 수분함량은 약 95.4%(w.b.)이었다.

전처리 및 건조

미나리를 blanching(80±1°C에서 2분간) 또는 1% potassium metabisulphite (KMS) 용액에 3분간 침지하여 전처리한 후 야채 탈수기로 1분간 표면의 수분을 제거한 후 건조실험을 행하였다. 전처리하지 않은 시료(대조구)를 포함하여 각각의 시료 약 20 g을 알루미늄 접시에 단층으로 펼쳐 담고 (uniformly spread in a single layer), 열풍속도가 0.66 m/s 인 열풍건조기(FOL-2, Jeio Tech Co., Incheon, Korea)를 이용하여 50, 60 및 70°C에서 건조하면서 30분 간격으로 각 시료의 무게변화를 측정하였다. 150분 동안 무게변화가 없는 경우 건조가 완료된 것으로 간주하고 그때의 수분함량을 평형수분함량으로 계산하였다. 각각의 실험은 3회 반복하여 평균값을 분석에 이용하였다.

수분함량비 및 건조속도

각 시료의 수분함량은 최종수분함량을 평형수분함량으로 가정하고 무차원 수분함량비(moisture ratio)로 아래의 Eq. (1)을 이용하여 환산한다.

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

또한 건조속도는 다음의 Eq. (2)를 이용해 계산한다.

$$\text{Drying rate} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (2)$$

여기서 M , M_o , M_e , M_t 및 M_{t+dt} 은 각각 시간에 따른 시료의 수분함량, 초기수분함량, 평형수분함량, 시간 t 에서의

수분함량, 시간 $t+dt$ 에서 수분함량을 건량기준으로 나타낸 것이며, t 는 건조시간(min)을 의미한다.

건조 모델링

미나리의 건조과정을 예측하기 위하여 기존의 건조모델 중에서 곡물과 식품 재료의 건조과정을 예측하는데 많이 이용되는 5개 모델을 선정하여 적용하였다(Table 1). 각 건조곡선은 SigmaPlot 프로그램에서 제공하는 Levenberg-Marquardt 방식에 따라 비선형 회귀분석을 행하여 각 모델식의 계수를 산출하였다. 모델식에 대한 적합성은 결정계수(R^2), reduced Chi-square(χ^2) 및 root mean square error (RMSE)를 산출한 후 R^2 가 크고 및 RMSE 값이 작은 모델을 기준으로 결정하였다(Ozdemir & Devres, 1999; Saravadia et al., 1999). χ^2 및 RMSE 값은 아래의 식들을 이용하여 계산할 수 있다.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (4)$$

여기서 $MR_{pre,i}$ 및 $MR_{exp,i}$ 는 무차원 수분함량비의 실험값 및 예측값을 각각 의미하며, N 은 관측수, z 는 건조상수 수를 각각 의미한다.

표면색도

건조가 끝난 미나리의 색도는 색차계(Model CR-200, Minolta Co., Osaka, Japan)를 사용하여 측정하였으며 CIELAB color system에 의해 L^* -value (lightness), a^* -value (redness) 그리고 b^* -value (yellowness)로 표시하였다. 색도는 미나리의 중간 부분을 각각 10회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었으며, 표준 색판으로 백판($Y=94.2$, $x=0.3131$, $y=0.3201$)을 사용하였다. 한편 total color change (ΔE^*)는 아래의 식을 이용해 계산하였다.

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (5)$$

Table 1. Selected drying models used for mathematical modeling of drying curves

No.	Model name	Model	References
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$	O'Callaghan et al. (1971)
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
3	Modified Page	$MR = \exp((-kt)^n)$	Overhults et al. (1973)
4	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis (1961)
5	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yagcioglu et al. (1999)

여기서 $\Delta L^* = L_0^* - L^*$, $\Delta a^* = a_0^* - a^*$, $\Delta b^* = b_0^* - b^*$ 을 나타내며 L^* , a^* 및 b^* 값들은 각 건조조건에 따른 값들이고, L_0^* , a_0^* 및 b_0^* 값들은 신선 미나리를 대상으로 측정된 값을 의미한다. 각 조건별 유의성 검증은 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 이용해 행하였다(SAS, 2002).

결과 및 고찰

건조특성

여러 가지 전처리 미나리의 건조시간에 따른 수분함량비의 건조온도별 변화는 Fig. 1에 나타나 있다. 건조시간이 경과함에 따라 수분함량비는 지속적으로 감소하였고 건조공기의 온도 및 전처리에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 예측한 바와 같이 건조공기의 온도가 증가함에 따라 건조시간은 감소하였으며, 대조구의 경우 최종수분함량을 0.4% (d.b.)를 기준으로 50, 60 및 70°C에서 각각 960, 480 및 300분이 소요되는 것으로 나타났다. 이와 같은 건조시간에 대한 온도의 영향은 여러 종류의 식품의 건조실험에서 유사한 결과가 보고된 바 있다(Madamba et al., 1996; Sarsavadia et al., 1999; Togrul & Pehlivan, 2003; Ertekin & Yaldiz, 2004; Akgun & Doymaz, 2005; Wang et al., 2007; Doymaz, 2007).

한편 같은 조건에서 브랜칭 및 1% KMS 처리한 시료의 건조시간은 각각 870, 360, 240 및 1020, 570, 390분으로 나타나 브랜칭한 시료의 건조시간이 현저하게 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과는 브랜칭 동안 표면층에 수분이 추가되면서 높은 초기건조속도를 나타내게 되며 또한 가열에 의해 세포의 일부 손상(disruption)이 물질이동현상을 촉진 시키는데 기인하는 것으로 판단된다(Dandamrongrak et al., 2002). 이와 같이 전처리조건에 따라 수분의 이동이 영향이 받는 것으로 나타났으며 씨없는 포도(Doymaz & Pala, 2002), 가지(Ertekin & Yaldiz, 2004), 오디(Doymaz, 2004a) 및 자두(Goyal et al., 2007)의 건조실험에서도 유사한 결과가 보고된 바 있다. 반면 Doymaz(2004b)는 살구의 열풍 건조시 5%와 8% KMS 용액에 침지한 시료의 건조시간이 대조구의 건조시간 50 시간에 비해 각각 44 및 32 시간으로 감소한다고 보고하였는데 이러한 농도의존성으로 볼 때 본 연구에서 사용된 용액의 농도가 1%로 낮아 건조시간 감소효과가 미미한 것으로 판단된다.

건조속도

건조온도 및 전처리조건에 따라 영향을 받는 수분함량과 건조속도와 관계는 Fig. 2에 나타나 있다. 건조속도는 건조시간이 증가하거나 수분함량이 감소함에 따라 지속적으로 감소하였고 건조공기 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 동일수분함량 조건에서 비교해

보면 미나리가 높은 온도에서 건조되는 경우 낮은 온도에서 건조되는 경우보다 건조속도가 빠른 것을 알 수 있다. 결과적으로 건조온도가 높은 경우 건조시간이 감소하게 되는데 이는 높은 온도에서 공기의 상대습도가 낮은 온도에서의 상대습도보다 낮고 또한 높은 온도의 건조조건에서

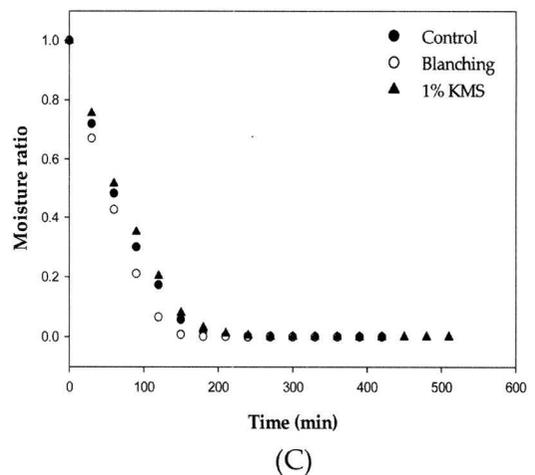
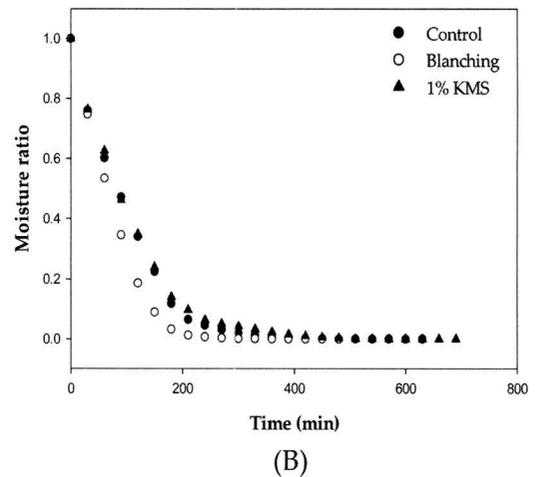
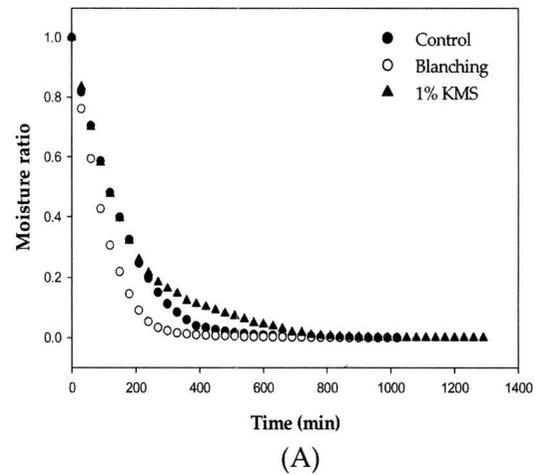


Fig. 1. Effect of pre-treatments on moisture ratio at (A) 50°C, (B) 60°C, and (C) 70°C, respectively.

시료와 주위사이의 증기부분압(partial vapor pressure)의 차이가 큰 것에 기인한다(Kaleemullah & Kailappan, 2007). 결국 이 같은 현상이 높은 온도조건에서 높은 수분전달력 (higher moisture transfer rate)을 초래하게 된다. 건조온도

의 건조속도에 대한 유사한 실험결과가 여러 식품을 대상으로 보고된 바 있다(Akpinar et al., 2003; Lahsasni et al., 2004; Sacilik & Elicin, 2006; Doymaz, 2007; Wang et al., 2007).

한편 미나리의 건조는 항률건조(constant-rate drying) 기간없이 전체 건조공정이 감률건조(falling rate) 기간에서 행

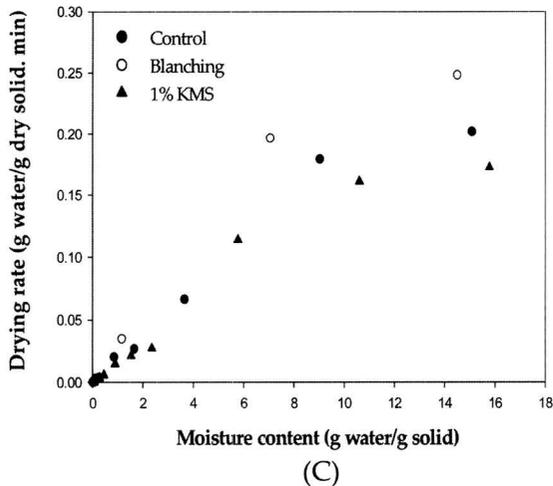
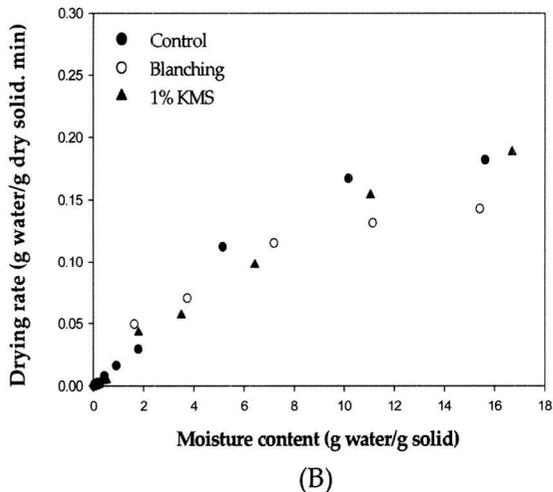
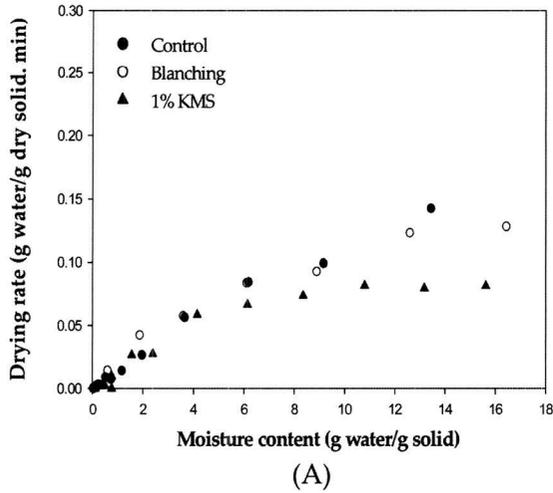


Fig. 2. Effect of pre-treatments on drying rate at (A) 50°C, (B) 60°C, and (C) 70°C, respectively.

Table 2. Results of statistical analyses on the thin-layer drying of water dropwort

Model No.	Temp. (°C)	Pre-treatments	R ²	χ ²	RMSE
1	50	Control	0.9989	0.00020	0.00009
		Blanched	0.9964	0.00093	0.00044
		1% KMS	0.9981	0.00076	0.00036
	60	Control	0.9971	0.00100	0.00046
		Blanched	0.9875	0.00166	0.00077
		1% KMS	0.9950	0.00087	0.00041
	70	Control	0.9984	0.00138	0.00065
		Blanched	0.9872	0.00139	0.00063
		1% KMS	0.9874	0.00207	0.00097
2	50	Control	0.9963	0.00010	0.00005
		Blanched	0.9994	0.00004	0.00002
		1% KMS	0.9986	0.00035	0.00017
	60	Control	0.9912	0.00034	0.00016
		Blanched	0.9987	0.00016	0.00007
		1% KMS	0.9984	0.00020	0.00009
	70	Control	0.9895	0.00022	0.00010
		Blanched	0.9978	0.00029	0.00013
		1% KMS	0.9985	0.00018	0.00008
3	50	Control	0.9963	0.00020	0.00009
		Blanched	0.9964	0.00093	0.00044
		1% KMS	0.9981	0.00076	0.00036
	60	Control	0.9912	0.00096	0.00046
		Blanched	0.9875	0.00166	0.00077
		1% KMS	0.9950	0.00087	0.00041
	70	Control	0.9895	0.00014	0.00065
		Blanched	0.9872	0.00140	0.00063
		1% KMS	0.9874	0.00207	0.00097
4	50	Control	0.9968	0.00016	0.00007
		Blanched	0.9969	0.00087	0.00041
		1% KMS	0.9982	0.00076	0.00036
	60	Control	0.9921	0.00087	0.00042
		Blanched	0.9892	0.00015	0.00071
		1% KMS	0.9956	0.00075	0.00036
	70	Control	0.9907	0.00012	0.00058
		Blanched	0.9882	0.00133	0.00061
		1% KMS	0.9891	0.00176	0.00083
5	50	Control	0.9975	0.00017	0.00008
		Blanched	0.9971	0.00066	0.00031
		1% KMS	0.9984	0.00066	0.00032
	60	Control	0.9939	0.00076	0.00036
		Blanched	0.9915	0.00112	0.00052
		1% KMS	0.9962	0.00063	0.00030
	70	Control	0.9932	0.00095	0.00044
		Blanched	0.9905	0.00111	0.00050
		1% KMS	0.9913	0.00318	0.00150

하여지고 있다. 이는 미나리 표면으로부터 급작스런 수분의 제거에 기인하며(Kaleemullah & Kailappan, 2007), 확산중심(diffusion-dominant)의 건조 현상을 나타내고 있다. 이 같은 경우 초기의 건조속도가 높고 건조가 진행되어 평형수분함량에 도달할수록 건조속도는 감소하게 된다. 붉은

고추(Akpinar et al., 2003), 버섯(Giri & Prasad, 2007) 및 red chillies(Kaleemullah & Kailappan, 2007) 등을 대상으로 유사한 결과가 보고된 바 있다.

건조 모델의 평가

Table 1에 제시된 5개 모델식을 대상으로 비선형 회귀분

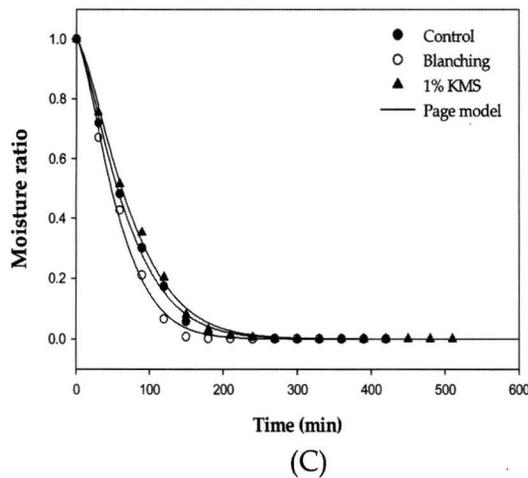
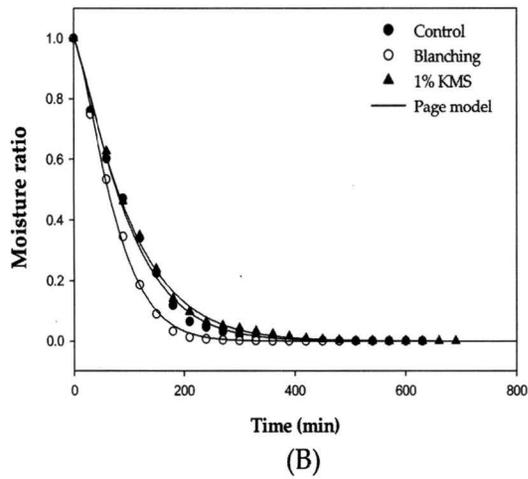
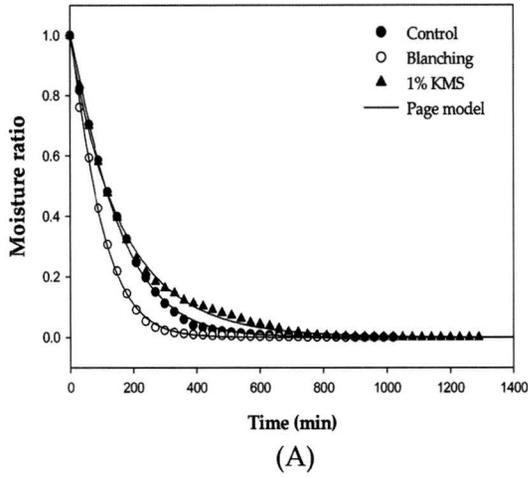


Fig. 3. Experimental and computed moisture ratio obtained using the Page model at (A) 50°C, (B) 60°C, and (C) 70°C, respectively.

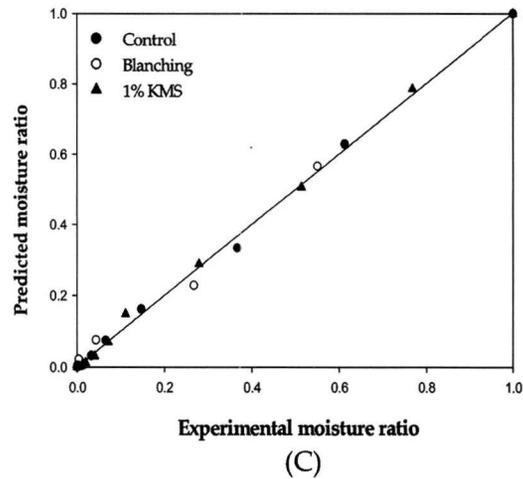
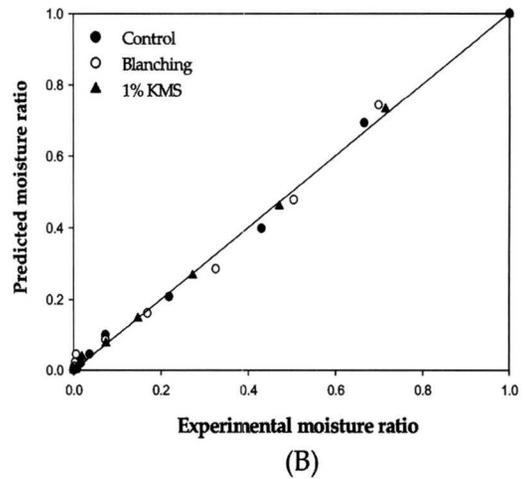
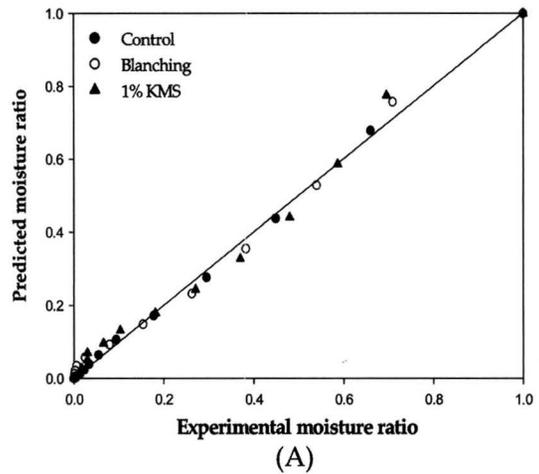


Fig. 4. Comparison of experimental and predicted moisture ratio by the Page model at (A) 50°C, (B) 60°C, and (C) 70°C, respectively.

색을 이용하여 각 건조곡선에 대한 적합성을 평가하였다. 각 모델식에 대한 통계적 검증 결과는 Table 2에 제시된 바와 같다. R^2 가 크고 및 $RMSE$ 값이 작은 모델을 기준으로 평가한 결과 Page 모델이 미나리의 열풍건조 현상을 가장 잘 묘사하는 것으로 판단된다. 전체 실험결과로부터 얻어진 R^2 및 $RMSE$ 값의 범위는 각각 0.9872-0.9994, 0.0004-0.00318, 0.00002-0.0015인데 반해, Page 모델식에 대한 대응값들은 0.9895-0.9994, 0.00004-0.00035, 0.00002-0.00017로 나타났다.

Fig. 3은 전처리 및 온도별로 건조시간에 따른 수분함량비의 변화를 나타내고 Page 모델식에 의해 예측된 값들을 겹쳐서 도식화하였는데 제안된 모델이 실험값들을 잘 묘사하고 있음을 보여주고 있다. 또한 각 조건별로 실험값과 예측값을 직접 비교하여 Fig. 4와 같이 도식화하였는데 45° 직선상에 밀접하게 분포하여 실험값과 예측값이 잘 일치하고 있어 Page 모델이 미나리의 전처리 및 온도조건에 따른 건조현상을 잘 설명하고 있음을 재확인할 수 있다. Page 모델식은 raw mango slices(Goyal et al., 2006), pomegranate arils(Kingsly & Singh, 2007) 및 Aloe vera (Vega et al., 2007)등의 thin-layer 건조현상을 잘 설명하는 것으로 보고된 바 있다.

표면색도

온도와 전처리 방법을 변화시켜 건조한 미나리의 색도 측정 결과는 Table 3에 나타내었다. 건조 미나리의 표면색도는 건조공기의 온도 및 전처리 조건에 영향을 받았으나 직접적인 관계를 나타내진 않았다. L^* 및 b^* 값은 건조 후 전처리조건에 상관없이 현저하게 감소하였으나 a^* 값은 증가하였다($p < 0.05$). 대체적으로 브랜칭한 시료의 L^* 및 a^*

값이 같은 온도조건에서 현저하게 낮은 것을 알 수 있다. 황색도를 나타내는 b^* 값은 건조온도가 증가함에 따라 갈변 현상이 증가하여 예상한 바와 같이 b^* 값의 증가하였는데 일부 시료간 유의적 차이는 발견되지 않았다. 전체적인 색변화를 나타내는 E^* 값은 대조구인 경우 28.59-31.67, 브랜칭한 시료의 경우 25.12-29.96, 1% KMS처리한 시료의 경우 20.77-23.73의 범위를 각각 나타내어 전처리한 시료의 전체적인 색변화가 작음을 알 수 있다. 이는 Goyal et al.의 망고(2006) 및 자두(2007)의 실험에서 과일이나 채소의 건조시 전처리를 하면 변색을 방지할 수 있다는 보고와 유사하였다.

요 약

본 연구에서는 열풍건조공조기를 이용하여 미나리를 건조하고 건조온도 및 전처리 조건(브랜칭 및 1% KMS 침지)에 따른 건조특성을 조사하였다. 건조온도 및 전처리 조건이 미나리의 수분함량의 변화에 큰 영향을 미쳤으며 건조온도가 증가함에 따라 건조시간은 현저하게 단축되었다. 모든 건조온도 조건에서 브랜칭 전처리한 시료의 건조시간이 가장 짧았다. 한편 건조속도는 건조시간이 증가하거나 수분함량이 감소함에 따라 지속적으로 감소하였다. 또한 건조온도가 증가함에 따라 건조속도 역시 증가하는 경향을 나타내었다. 비선형 회귀분석에 의해 미나리의 건조곡선을 기존의 건조모델에 적용한 결과 Page 모델이 모든 건조조건에서 미나리의 건조특성을 가장 잘 묘사하는 것으로 나타났다. 또한 이들 전처리 조건들은 건조미나리의 표면색도에도 현저한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

참고문헌

Table 3. Effect of drying temperature and pre-treatments on surface color of water dropwort

Processing condition	L^* -value	a^* -value	b^* -value	ΔE^*
Fresh	53.19±2.77 ^a	-19.96±1.24 ^b	33.62±2.44 ^a	3.20±1.95 ^f
Control				
50°C	35.88±2.91 ^{cd}	-5.81±1.83 ^b	11.19±2.50 ^c	31.87±1.92 ^a
60°C	36.68±1.86 ^c	-3.01±0.24 ^a	17.58±1.42 ^d	28.65±1.26 ^b
70°C	33.24±2.60 ^e	-4.00±0.59 ^a	19.32±1.70 ^{cd}	29.33±2.67 ^b
Blanching				
50°C	30.33±2.42 ^f	-9.87±1.68 ^{ef}	17.10±3.24 ^d	30.06±3.51 ^{ab}
60°C	33.86±2.40 ^{de}	-10.53±1.59 ^{fg}	19.22±2.91 ^{cd}	26.04±2.84 ^c
70°C	34.55±2.51 ^{cde}	-9.28±0.79 ^{de}	20.62±2.50 ^{bc}	25.18±3.11 ^c
1% KMS				
50°C	36.32±2.12 ^{cd}	-11.63±1.72 ^g	19.17±3.04 ^{cd}	23.88±3.26 ^{dc}
60°C	40.67±3.09 ^b	-8.26±1.62 ^{cd}	20.90±2.90 ^b	21.08±2.42 ^c
70°C	40.66±2.74 ^b	-7.22±0.86 ^c	20.87±2.80 ^{bc}	22.17±2.34 ^{dc}

^{a-h}Samples in the same column with different superscripts differ significantly at $p < 0.05$.

- AOAC. 1995. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Akgun NA and Doymaz I. 2005. Modeling of olive cake thin-layer drying process. *J Food Eng* **68**: 455-461.
- Akpınar EK, Bicer Y, and Yildiz C. 2003. Thin layer drying of red pepper. *J Food Eng* **59**: 99-104.
- Dandamrongrak R, Young G, and Mason R. 2002. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *J Food Eng* **55**: 139-146.
- Doymaz I. 2004a. Drying kinetics of white mulberry. *J Food Eng* **61**: 341-346.
- Doymaz I. 2004b. Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots. *Biosyst Eng* **89**: 281-287.
- Doymaz, I. 2007. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *J Food Eng* **79**: 243-248.
- Doymaz I and Pala M. 2002. The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes. *J Food Eng* **52**: 413-417.
- Ertekin C and Yaldiz O. 2004. Drying of eggplant and selection

- of a suitable thin layer drying model. *J Food Eng* **63**: 349-359.
- Goyal RK, Kingsly ARP, Manikantan MR and Ilyas SM. 2006. Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. *Biosyst Eng* **95**: 43-49.
- Goyal RK, Kingsly ARP, Manikantan MR, and Ilyas SM. 2007. Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *J Food Eng* **79**: 176-180.
- Henderson SM and Pabis S. 1961. Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. *J Agr Eng Res* **6**: 169-174.
- Kaleemullah S and Kailappan R. 2007. Monolayer moisture, free energy change and fractionation of bound water of red chillies. *J Stored Prod Res* **43**: 104-110.
- Kim KH, Chang MW, Park KY, Rhee SH, Rhew TH, and Sunwoo YI. 1993a. Effects of phytol and small water dropwort extract on the T subset in the sarcoma 180-transplanted mice. *J Korean Soc Food Nutr* **22**: 405-411.
- Kim KH, Chang MW, Park KY, Rhew TH, and Sunwoo YG. 1993b. Effects of linoleic acid, ursolic acid, phytol and small water dropwort extract on the phagocyte of mice. *Environ Mutag Carcino* **13**: 135-144.
- Kingsly ARP and Singh DB. 2007. Drying kinetics of pomegranate arils. *J Food Eng* **79**: 741-744.
- Lahsasni S, Kouhila M, Mahrouz M, Idlimam A, and Jamali A. 2004. Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). *Energy* **29**: 211-224.
- Lee HY, Yoo MJ, and Chung HJ. 2001a. Antibacterial activities in watercress *Oenanthe javanica* D.C. Cultivated with different culture methods. *Korean J Food Cult* **16**: 243-249.
- Lee HY, Yoo MJ, and Chung HJ. 2001b. Chemical properties of watercress (*Oenanthe javanica* D.C.) depend upon cultivating methods. *Korean J Food Cult* **16**: 235-242.
- Lee KI, Lee SH, and Park KY. 2004. Antimutagenic and antioxidative effects of water dropwort and small water dropwort. *Korean J Commun Liv Sci* **15**: 49-55.
- Lee SI, Park YS, and Cho SY. 1993. Protective effect of *Oenanthe javanica* D.C. extract on the carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in mice. *J Korean Soc Food Nutr* **22**: 392-397.
- Madamba, PS, Driscoll RH, and Buckle KA. 1996. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *J Food Eng* **29**: 75-97.
- Mun SI, Joh YG, and Ryu HS. 1990. Protein and amino acid composition of water cress, *Oenanthe stolonifera* DC. *J Korean Soc Food Nutr* **19**: 133-142.
- O'Callaghan JR, Menzies DJ, and Bailey PH. 1971. Digital simulation of agricultural dryer performance. *J Agr Eng Res* **16**: 223-244.
- Oh SI and Lee MS. 2003. Screening for antioxidative and antimutagenic capacities in 7 common vegetables taken by Korean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* **32**: 1344-1350.
- Overhults D, White GM, Hamilton ME, and Ross IJ. 1973. Drying soybeans with heated air. *T ASAE* **16**: 195-200.
- Ozdemir M and Devres YO. 1999. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *J Food Eng* **42**: 225-233.
- Page G. 1949. Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layer: M.S. Thesis. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
- Park JC, Yu YB, and Lee JH. 1993. Isolation of steroids and flavonoids from the herb of *Oenanthe javanica* D.C. *Korean J Pharmacogn* **24**: 244-246.
- Rhee HJ, Koh MS, and Choi OJ. 1995. A study on the volatile constituents of the water dropwort (*Oenanthe javanica* D.C.). *Korean J Soc Food Sci* **4**: 386-395.
- Sacilik K and Elicin AK. 2006. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *J Food Eng* **73**: 281-189.
- Sarsavadia PN, Sawhney RL, Pangavhane DR, and Singh SP. 1999. Drying behavior of brined onion slices. *J Food Eng* **40**: 219-226.
- SAS Institute, Inc. 2002. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA.
- Seo HJ and Lee MY. 1985. The effect of *Oenanthe javanica* D.C. extract on liver function in carbon tetrachloride treated rabbits. *J Korean Soc Food Nutr* **14**: 72-76.
- Togrul IT and Pehlivan D. 2003. Modelling of drying kinetics of single apricot. *J Food Eng* **58**: 23-32.
- Vega A, Uribe E, Lemus R, and Miranda M. 2007. Hot-air drying characteristics of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) and influence of temperature on kinetic parameters. *LWT-Food Sci Technol* **40**: 1698-1707.
- Wang J, Sun J, Liao X, Chen F, Zhao G, Wu J, and Hu X. 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Res Int* **40**: 39-46.
- Yagcioglu A, Degirmencioglu A, and Cagatay R. 1999. Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. In A. Bascetincelik (Ed.), Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, 26-27 May, Adana, Turkey (pp. 565-569). Faculty of Agriculture, Cukurova University.

(접수 2008년 2월 20일, 채택 2008년 4월 28일)