

인삼의 건조특성 구명 및 건조모델 개발에 관한 연구*

최병민 · 이종호* · 박승제*

순천대학교 농과대학 농업기계공학과, *전북대학교 농과대학 농업기계공학과
(1992년 6월 1일 접수)

A Study on Drying Characteristics and Drying Model Development of Korean Ginseng

Byoung-Min Choi, Chong-Ho Lee* and Seung-Je Park*

Department of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture,
Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

*Department of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture,
Chonbuk National University, Jeonju 560-756, Korea

(Received June 1, 1992)

Abstract □ Drying characteristic data for peeled ginseng were obtained to determine dominant drying factors and fitted with five selected drying models and an empirical model. Among air temperature, relative humidity and diameter of ginseng root, drying air temperature was found to be the most influencing factor on drying rate. Drying velocity appeared faster as the drying temperature increased but its effect was less at high temperature than at low temperature. Quality change during the drying process did not occur except when relative humidity was 75%. At high relative humidity, skin color of ginseng was turned to light brown. Approximate-Diffusion and the Empirical model for drying were in a good agreement with experimental data. The models are as follows;

· Approximate-Diffusion model

$$MR = A \cdot \exp(-k \cdot t)$$

$$A = 1.72 + 0.407 \ln(D) - 0.0000963T^2 - 0.358 \ln(RH) + 0.0000945RH^2$$

$$B = 1.01 + 0.0195RH - 0.00518D^2 + 0.0708 \ln(T) - 0.492 \ln(RH) - 0.0000933RH^2$$

· Empirical model

$$MR = C_1 + C_2 \cdot \ln(t)$$

$$C_1 = 1.14 + 0.382 \ln(D) - 0.0000847T^2 - 0.139 \ln(RH) + 0.0000664RH^2$$

$$C_2 = 0.440 - 0.0224 \ln(D) - 0.193 \ln(T) + 0.0000464T^2 - 0.00000771RH^2$$

Key words □ Korean ginseng, drying characteristics, drying model

서 론

인삼의 건조는 지금까지는 주로 자연건조(천일건조)

방법에 의해 수행되고 있으며 우천시나 야간에 열풍 건조 등과 같은 인공건조방법을 병용하는 것이 일반적이나 최근에는 농촌 노동력의 급격한 감소로 인하여 인공건조방법을 많이 채용하고 있다. 천일건조 방법은 특수한 시설이나 기술을 요하지 않는 반면 기상조건에

* 이 논문은 1990년도 문교부지원 한국학술진흥재단의 지방대육성 연구조성비에 의하여 연구되었음.

좌우되기 때문에 대량건조가 불가능할 뿐만 아니라 건조 소요시간이 길어 건조중 인삼이 변질되기 쉽고 먼지, 세균, 해충, 곰팡이 등에 오염되기 쉬운 단점이 있다. 열풍건조는 여러가지 에너지를 이용하여 인공적으로 건조하는 방법이므로 건조설비와 에너지 등에 많은 경비를 요하게 되지만 건조시간이 짧고 천일건조에 비해 비교적 균일한 품질의 백삼을 제조할 수 있다는 장점이 있으며 아울러 노동력이 크게 절감되는 잇점이 있다.

인삼은 고온에서의 건조보다는 저온에서의 건조가 품질이 양호하며 갈변반응이 적게 일어나 저온건조가 추천되고 있는데 건조온도는 45~50℃ 정도가 적당한 것으로 알려져 있다.^{1,2)} 또한 인삼의 품질 판정의 중요한 요인인 색택은 유백색, 난백색 또는 담황색을 띠고 외관은 윤활하며 광택이 있고 내공이 없는 것을 1등급으로 하고 있다.³⁾

천일건조 방법으로 함수율 약 13%(wb)까지 건조하는데는 피부백삼 소편도 106시간 정도가 소요⁴⁾되어 시간과 노력을 많이 필요로 하는데 관행의 인공건조의 경우도 인삼의 건조특성이 명확히 구명되지 않은 상태에서 행하기 때문에 제품의 품위를 적정수준으로 유지하고 과학적으로 건조하기 위해서는 인삼의 건조특성이 명확히 구명되어야만 한다.

Li와 Morey⁵⁾는 1986년 5월, 6월, 9월에 수확된 74~86%(wb)의 초기함수율을 갖는 미국산 인삼에 대해 건조온도와 풍속, 인삼의 직경이 건조속도와 인삼의 품질에 미치는 영향을 실험하고 Page 모델⁶⁾을 이용하여 모델의 매개변수 k와 N이 초기함수율, 풍속 및 인삼의 직경과 갖는 상관관계를 조사한 결과 인삼의 직경은 건조속도에 약간의 영향을 미치며 풍속과 초기함수율은 거의 영향을 미치지 않으며 건조과정중 28~30%(wb) 이하의 함수율(함수율비 : 0.1 정도)에서 건조속도와 인삼의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 건조공기의 온도임을 구명한 바 있고 Page 모델의 매개변수 k와 N을 건조온도와 인삼 직경의 함수로서 표현한 바 있다.

인삼의 품질을 향상시키고 시간과 노력을 절감하기 위해서는 인삼건조에 알맞은 인삼건조기의 개발이 필요한데 이에 앞서 역시 인삼의 건조특성의 구명이 선행되어야 한다. 그러나 현재까지 인삼건조에 관한 연구는 관행방법에 근거를 둔 극히 단편적인 연구일 뿐만 아니라 인삼제조를 위한 가공기술과 시설에 관한

연구는 물론 건조모델의 경우도 건조의 주요 요인인 인삼의 크기와 건조공기의 온도 및 상대습도까지 고려한 연구는 아직 수행한 바 없다.

따라서 본 연구는 일반농가에서 가장 많이 제조하고 있는 4년근 박피백삼의 건조특성을 구명하고 건조모델을 개발하기 위하여 수행되었으며 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

(1) 건조공기의 풍속 및 박피백삼 직경이 건조속도에 미치는 영향을 분석한다.

(2) 건조에 가장 큰 영향을 미치는 건조공기의 온도와 상대습도가 건조특성에 미치는 영향을 구명한다.

(3) 농산물의 건조모델로 많이 이용되고 있는 기존의 건조모델과 본 연구에서 실험모델을 설정하여 인삼의 크기, 건조공기의 온도 및 상대습도를 함수로 하여 건조모델을 개발하고 적합성검정을 통하여 박피백삼에 적합한 건조모델을 결정한다.

재료 및 방법

1. 공시재료

인삼의 건조실험은 일반농가에서 가장 많이 제조하고 있는 박피백삼(peeled ginseng)을 대상으로 실시하였으며 시료로 사용된 인삼은 전북 진안군에서 1990년 11월 초순, 11월 하순, 12월 하순, 1991년 2월 초순에 수확된 4년근 수삼으로서 진안 수삼시장에서 구입하였다.

구입한 인삼은 너두 끝으로 부터 2 cm 위치에서 동체의 원주를 측정된 크기로 서 예비실험용 시료는 원주 6.0~6.5 cm, 7.5~8.0 cm, 9.0~9.5 cm 사이에 드는 인삼을 각각 소편(small size), 중편(medium size), 대편(large size)으로 분류하고, 본 실험에 사용된 원주 5.5~6.0 cm, 7.0~7.5 cm, 8.5~9.0 cm 사이에 드는 인삼을 각각 소편, 중편, 대편으로 분류하여 비닐 주머니로 포장한 다음 냉장고에 보관하고 실험 일정에 맞추어 가공하여 사용하였다.

시료의 가공은 냉장고에서 꺼낸 수삼을 세삼하고 주근과 1차지근만 남겨놓고 단소화한 후 과도를 이용 박피하였으며, 인삼 표면의 수분을 제거한 후 인삼 내부의 온도가 실내온도와 평형이 되도록 2시간 동안 실내에 방치해 둔 다음 건조실에 넣어 실험하였다.

2. 실험장치

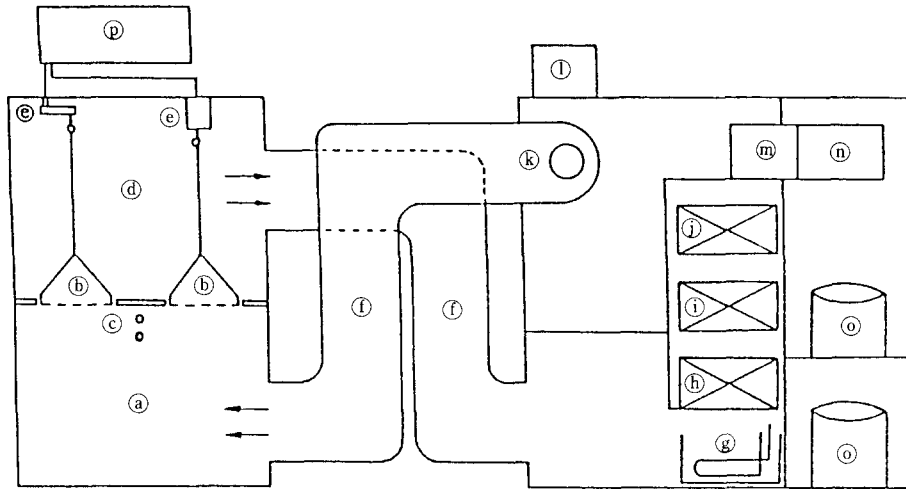


Fig. 1. Schematic diagram of the drying equipment.

- | | | | |
|------------------|----------------|------------------------|------------------------|
| Ⓐ Plenum chamber | Ⓔ Load cell | Ⓚ Cooler | Ⓜ Temperature recorder |
| Ⓑ Sample tray | Ⓛ Duct | Ⓛ Heater | Ⓝ PID controller |
| Ⓒ Thermocouple | Ⓞ Humidifier | Ⓚ Fan | Ⓟ Compressor |
| Ⓓ Drying chamber | Ⓢ Dehumidifier | Ⓛ Fan speed controller | Ⓠ Data logger |

항온항습기 : 일정한 온도와 상대습도를 갖는 건조공기조건을 제공하기 위하여 Fig. 1과 같은 항온항습기를 사용하였다.

항온항습기는 건조실 아래 4 cm 위치에 설치된 Pt 100 열전대와 PID 조절기로 제어하는 방식에 의해 건조공기조건이 일정하게 유지되며, 또한 풍속을 직류전동기와 가변저항을 이용하여 변화시킬 수 있는 송풍기가 설치되어 있다.

무게측정장치 : 건조과정중의 시료의 무게변화는 하중변환기(load cell)와 데이터 로거(data logger)를 이용하여 플로피 디스켓에 1분 간격으로 저장하였으며 하중변환기에 연결된 철망으로 된 시료상자(10×18 cm)에 인삼을 2~3편씩 올려 놓고 실험을 실시하였다.

3. 실험설계 및 방법

함수율 측정 : 함수율의 측정은 최 등²⁾이 인삼의 건조 평형함수율 측정실험에서 사용했던 방법으로서 건조중 고형성분의 열분해 현상으로 실제 함수율보다 과잉측정³⁾되는 것을 피하기 위하여 소편, 중편, 대편 공히 원형 인삼을 70 °C 오븐에서 120시간 건조하여 측정하였다.

예비실험 : 건조요인중 인삼의 크기, 건조공기의 풍속이 건조속도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 대

편, 중편, 소편으로 분류된 시료를 4수준의 풍속에서 2반복 실험하였다.

건조공기의 온도와 상대습도는 40 °C 와 60%로 고정하였고 풍속은 4수준(0.44, 0.90, 1.33, 2.10 m/s)으로서 시료상자(tray)를 3등분하여 3지점에서 측정값의 평균치로 하였으며 풍속의 측정은 풍속계(KA-NOMAX Co., Model 6611, Precision±0.1 m/s)를 이용하였다.

건조실험 : 건조공기의 온도 4수준(30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C), 상대습도 4수준(30%, 45%, 60%, 75%), 박피백삼의 크기 3수준(소편, 중편, 대편)을 택해 총 48개 시험구의 여러가지 공기조건하에서 각 온도별로 난괴법으로 건조실험을 2반복 실시하였다.

무게변화는 예비실험과 마찬가지로 하중변환기와 데이터 로거를 이용하여 1분 간격으로 측정하였으며, 측정된 무게는 1시간마다 분석하고자 하는 시간 전후 각각 5분간의 무게 측정치를 평균하여 사용하였다.

일반농가에서는 건조공기의 풍속을 증가시켜서 건조속도를 빠르게 하여 얻는 건조시간의 단축에 의한 이점보다는 풍속이 너무 빨라 건조속도가 빨라지면 내공이 발생하고 표피가 거칠어지는 등 인삼의 품질에 영향을 줄 뿐만 아니라 건조에너지의 측면도 고려하여 1.2 m/s 내외의 다소 빠른 풍속에서 건조를 하다가

Table 1. Drying models

Model	Equation
Approximate-Diffusion	$MR = A \cdot \exp(-k \cdot t)$
Page	$MR = \exp(-k \cdot t^N)$
Thompson	$t = A \cdot \ln(MR) + B[\ln(MR)]^2$
Wang	$MR = 1 + W_1 \cdot t + W_2 \cdot t^2$
Glenn	$MR = A_0 \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + A_1 \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$
Empirical	$MR = C_1 + C_2 \cdot \ln(t)$

MR : Moisture ratio

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$$

M : Moisture content (% , db)

M_0 : Initial moisture content (% , db)

M_e : Equilibrium moisture content (% , db)

t : Drying time (hour)

A, B, k, N, W_1 , W_2 , A_0 , k_0 , A_1 , k_1 , C_1 , C_2 : parameters

건조중기 이후 풍속을 낮추어 건조하고 있다. 따라서 건조공기의 풍속은 일반농가의 백삼건조장의 풍속과 비슷한 수준인 1.2 m/s로 일정하게 유지되도록 하였다.

건조실내의 시료상자는 공기의 유동 때문에 약간의 상하 진동을 하게 된다. 따라서 건조말기에 팬이 정지한 상태에서의 무게를 측정하여 공기의 유동으로 인한 영향을 보정하였다. 실험분석시 사용한 평형함수율값은 최 등⁷⁾이 개발한 실험모델에 의해 구한 값이다.

4. 건조모델

건조모델 선정 및 실험모델 : 인삼의 건조속도를 예측하기 위하여 기존 건조모델들 중 Fick의 확산법칙의 해에 기초를 두고 제 1항만을 취한 유사확산모델,⁹⁾ Page 모델,⁶⁾ Thompson 모델,¹⁰⁾ Wang 모델¹¹⁾ 및 Glenn 모델¹²⁾을 선택하였다. 이 모델들은 주로 곡물의 건조과정을 예측하는데 많이 이용되어 왔다.

기존의 건조모델들은 대부분이 건조시간 t를 함수율비의 로그함수로 나타내어 건조속도를 예측하고 있다. 본 연구에서 설정한 선형의 실험모델은 함수율비를 시간의 로그함수로 나타내어 예측하여 보았다. Table 1은 본 연구에서 분석한 기존 모델 5개와 실험모델을 나타낸 것이다.

매개변수에 대한 모델 : Table 1과 같은 각 건조모델의 매개변수 A, k, N, B, W_1 , W_2 , A_0 , k_0 , A_1 , k_1 ,

C_1 , C_2 등은 건조공기의 온도, 상대습도 및 인삼의 크기에 따라 변한다. 이 매개변수들의 모델은 온도, 상대습도, 직경과 이들 요인 각각에 로그함수, 자승과 같은 비선형 함수를 취하여 9개의 독립변수를 갖는 모델을 가정하였다.

$$\begin{aligned} \text{매개변수} = & N_1 \cdot D + N_2 \cdot D^2 + N_3 \cdot \ln(D) + N_4 \cdot T + N_5 \\ & \cdot T^2 + N_6 \cdot \ln(T) + N_7 \cdot RH + N_8 \cdot RH^2 \\ & + N_9 \cdot \ln(RH) \end{aligned}$$

D : 인삼의 직경(cm)

T : 건조온도(°C)

RH : 상대습도(%)

N_1 , N_2 , N_3 , N_4 , N_5 , N_6 , N_7 , N_8 , N_9 : 상수

위에 나타낸 모델에서는 2⁹개의 모델 조합이 나타날 수 있으며 모델의 선정은 SAS(Ver. 6.03)¹³⁾의 RS-QUARE PROC를 이용하였다.

모델의 적합성 검정 : Table 1과 같은 기존의 모델중에서 Glenn 모델을 제외한 나머지 모델들은 모두 선형화가 가능하며 선형화하면 다음과 같다.

유사확산모델 : $\ln(MR) = \ln(A) - k \cdot t$

Page 모델 : $\ln[-\ln(MR)] = \ln(k) + N \cdot \ln(t)$

Thompson 모델 : $t = A \cdot \ln(MR) + B \cdot [\ln(MR)]^2$

Wang 모델 : $MR - 1 = W_1 \cdot t + W_2 \cdot t$

선형화된 건조모델의 각 시험구에서의 매개변수들은 MINITAB(Ver. 5.11)¹⁴⁾과 SAS(Ver. 6.03)의 회귀분석 프로그램을 이용하여 구하였으며, 비선형 모델의 매개변수는 SAS(Ver. 6.03) NLIN PROC의 Gauss-Newton 방법을 이용하여 결정하였다. 모델의 적합성 검정은 개발된 매개변수 모델을 각각의 건조모델에 대입하여 시험구 전체에 대한 결정계수와 F값을 참고로 하고 잔차의 평균평방과 평균 상대오차율(mean relative percentage deviation)을 계산하여 각각의 모델의 예측성능을 비교하였다. 평균 상대오차율은 함수율 24%(wb)까지 건조하는 동안 측정된 함수율과 선정된 모델에 의하여 예측한 함수율과의 잔차를 측정치로 나누어 표준화(normalizing)시킨 후 전체 건조시간 동안의 평균치를 계산하여 백분율로 나타낸 것이다. 평균 상대오차율(P)은 다음식에 의하여 구한다.

$$P = \frac{100}{N} \cdot \sum \frac{|Y - Y'|}{Y}$$

- P : 평균 상대오차율(%)
- Y : 실측 함수율(% wb)
- Y' : 예측 함수율(% wb)
- N : 측정값의 수(the number of data points)

결과 및 고찰

1. 인삼의 건조특성

인삼의 직경 및 풍속의 영향 : 인삼의 크기와 건조공기의 풍속이 건조속도에 미치는 영향을 분석하기 위한 예비실험에서 사용된 시료의 초기함수율은 일정하지 않고 223.2%(db)에서 366.7%(db)의 범위에 있었다. 시료의 초기함수율 및 직경은 2반복 실험의 평균치이고 함수율비 역시 2반복 실험의 평균값을 사용하였다.

분석에 사용된 모델은 Page 모델⁶⁾(Table 1)인데 농산물의 건조모델로서 이용빈도가 많을 뿐만 아니라 특히 Li와 Morey⁵⁾는 미국산 인삼에 대해 이 모델을 이용하여 모델의 매개변수 k 및 N과 건조공기의 풍속, 인삼의 직경, 건조온도 등의 상관관계를 분석한 바 있다.

Table 2는 본 실험에 사용된 시료의 직경, 초기함수율 및 풍속과 Page 모델의 매개변수 k와 N을 회귀분석에 의하여 구한 값을 나타낸 것이다.

Fig. 2는 중편크기 인삼의 풍속별 건조곡선을 나타낸 그림으로서 풍속이 0.44 m/s에서 2.10 m/s로 증가함에 따라 건조속도가 빨라지고 있음을 보여주고 있

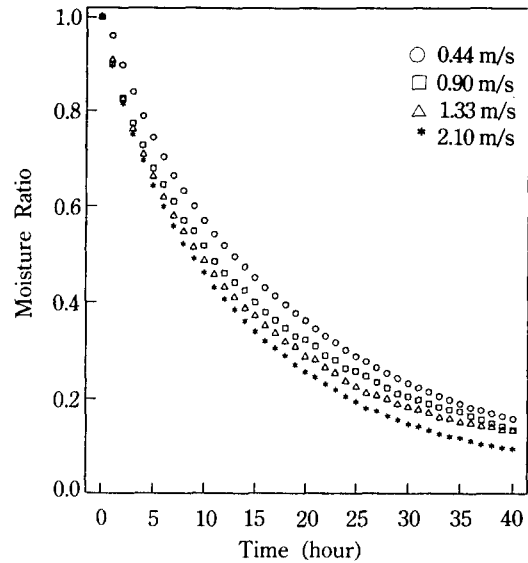


Fig. 2. Effect of drying air velocity on drying rate for medium-sized Peeled ginseng at 40 °C and 60% RH.

는데 대편과 소편에서도 같은 경향을 보였다.

한편 Page 모델의 매개변수 k 및 N과 풍속과의 상관관계를 분석한 바 상관계수(correlation coefficient)가 매개변수 k와 N에서 각각 0.584*, -0.714** (df=10)로서 매개변수 N이 특히 풍속과 고도의 상관관계를 갖고 풍속이 매개변수 k에 유의한 영향을 주고 있어서 풍속이 인삼의 건조속도에 큰 영향을 줄을 알 수 있다.

Table 2. Drying conditions and parameters in Page model for preliminary experiment

Size	Dia. (cm)	Air Vel. (m/s)	Initial Moisture Content (% db)	Parameter		R ²	F
				k	N		
Small	1.92	0.44	335.8	0.08809	0.95579	0.987	3019**
	1.96	0.90	280.0	0.15510	0.79498	0.998	18802**
	2.02	1.33	322.9	0.17734	0.78299	0.999	18239**
	1.92	2.10	297.7	0.19031	0.79615	0.998	18857**
Medium	2.48	0.44	251.3	0.05847	0.95260	0.992	4499**
	2.49	0.90	260.8	0.10802	0.78842	1.000	18473**
	2.47	1.33	297.1	0.11187	0.80043	0.998	19060**
	2.53	2.10	238.9	0.11642	0.82226	1.000	20014**
Large	2.91	0.44	265.4	0.04027	1.00143	0.993	5967**
	2.84	0.90	265.5	0.07509	0.84097	1.000	21040**
	2.96	1.33	284.9	0.08448	0.82422	1.000	20210**
	2.93	2.10	312.1	0.10699	0.77745	0.999	17982**

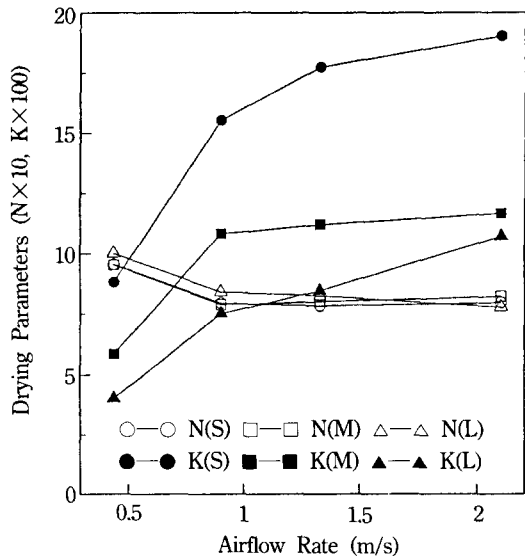


Fig. 3. Effect of drying air velocity on drying parameters k and N of Page model for Peeled ginseng at 40 °C and 60% RH.

Fig. 3은 풍속과 매개변수 k와 N의 관계를 나타낸 그림으로서 매개변수 k는 풍속이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 N은 풍속의 증가와 함께 감소하는 경향을 보였으며 풍속 0.9 m/s와 1.33 m/s 사이에서 매개변수 k와 N값의 변화율이 급격히 적어지는 것을 알 수 있다. 따라서 건조속도에 큰 영향을 미치지 않는 임계풍속은 0.9 m/s와 1.33 m/s 사이에 존재함을 알 수 있다. 이것은 현재 관행의 인공건조에서 건조공기의 풍속이 1.2 m/s 정도인 것이 타당하는 것을 입증해 주는 결과로 생각된다.

Fig. 4는 풍속 1.33 m/s에서 건조실험한 소편, 중편, 대편크기의 건조곡선을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 인삼의 크기(직경)에 따라 건조속도에 많은 차이가 있음을 알 수 있으며 Page 모델의 매개변수 k와 N의 직경과의 상관관계는 각각 -0.695^* , $0.120(df=10)$ 이므로 인삼의 직경이 매개변수 k에 유의한 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

주로 수확시기에 따라 차이를 나타내는 초기함수율은 매개변수 k 및 N과 초기함수율과의 상관관계가 각각 0.383 , $-0.143(df=10)$ 이므로 유의성이 인정되지 않았다. 이는 Li와 Morey⁵⁾가 미국산 인삼에 대하여 실험한 결과 초기함수율이 건조속도에 영향을 주지 않는다는 실험결과와 일치하고 있다. 또한 이는 본

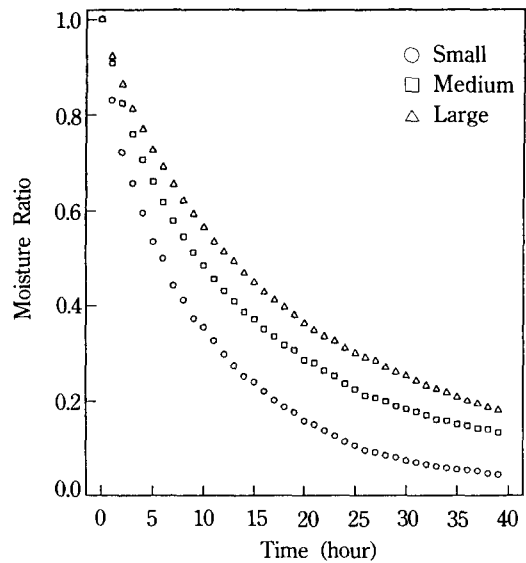


Fig. 4. Effect of ginseng size on drying rate for Peeled ginseng at 40 °C, 60% RH and air velocity of 1.33 m/s.

실험에서 사용된 시료의 초기함수율의 변화가 다른 건조요인(인삼의 직경, 건조온도, 상대습도) 분석에 영향을 미치지 않음을 보여주는 것이다.

건조온도 : Fig. 5, 6은 각각 온도 30 °C 상대습도 60%, 온도 60 °C 상대습도 30%의 조건하에서 대, 중, 소편 인삼의 건조곡선을 나타낸 그림으로서 인삼의 건조속도는 크기에 반비례함을 알 수 있다.

Fig. 7~9는 상대습도가 일정할 때 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C의 각 건조온도에서 온도의 영향을 확인하기 위하여 일정크기의 인삼에 대한 건조곡선을 나타낸 그림으로서 건조요인중 건조온도의 요인이 건조속도에 아주 큰 영향을 줄 수 있으며, Fig. 5, 6과 비교해 볼 때 본 실험에서 사용한 시료의 대, 소편간의 크기의 차이에 의한 영향보다는 건조온도 30 °C와 60 °C의 온도차에 의한 영향이 더 큼을 알 수 있다. Fig. 7의 상대습도 30%의 소편의 경우 함수율비 0.2까지 건조되는데 소요되는 시간을 살펴보면 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C의 건조온도에서 각각 25시간, 12시간, 9.5시간, 5.5시간이었으며, Fig. 8의 중편의 경우 상대습도 45%일 때는 각각 35시간, 23시간, 13시간, 10시간이 소요되었고, Fig. 9의 상대습도 60%일 때 대편의 경우 함수율비 0.3이 될 때까지 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C 각각의 온도에서 32시간, 23시간, 16시간, 10.5시간으

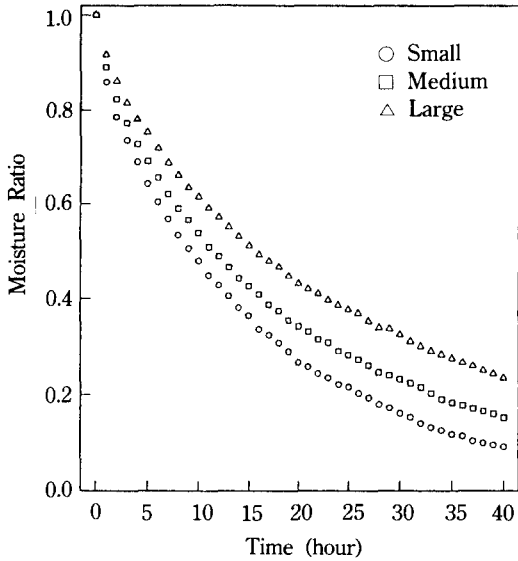


Fig. 5. Effect of ginseng size on drying rate for Peeled ginseng at 30 °C and 60% RH.

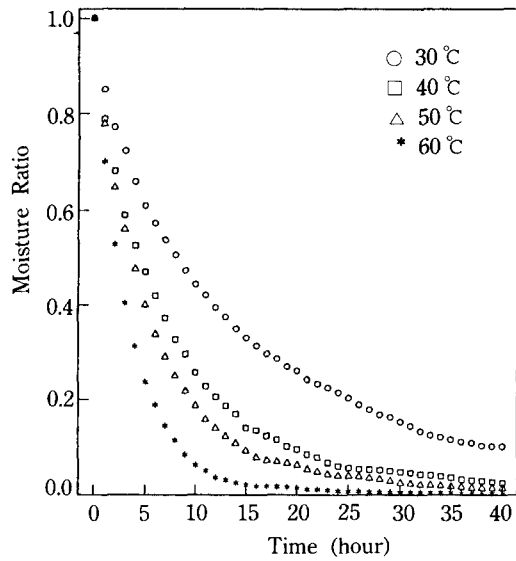


Fig. 7. Effect of drying temperature on drying rate for small-sized Peeled ginseng at 30% RH.

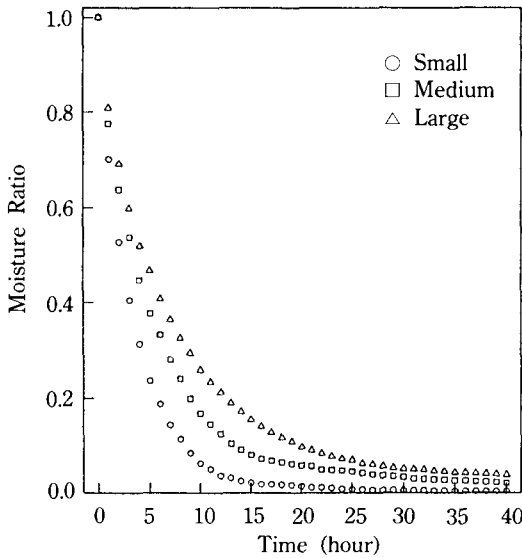


Fig. 6. Effect of ginseng size on drying rate for Peeled ginseng at 60 °C and 30% RH.

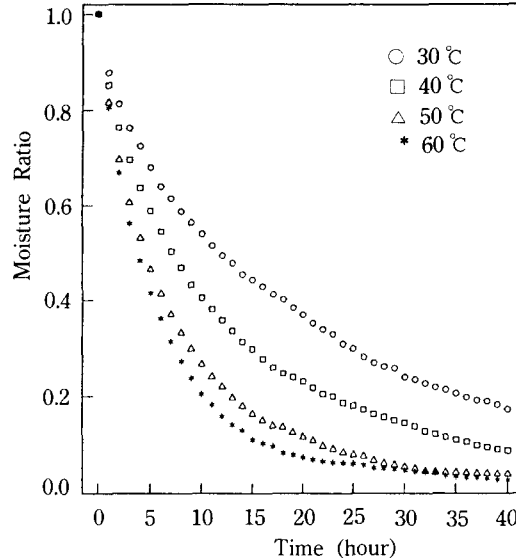


Fig. 8. Effect of drying temperature on drying rate for medium-sized Peeled ginseng at 45% RH.

로서 30 °C 에서 60 °C 까지 건조온도가 증가할수록 건조속도가 빨라졌다. 그리고 30 °C 에서 40 °C 로, 40 °C 에서 50 °C 로, 50 °C 에서 60 °C 로 온도가 10 °C 씩 같은 크기로 증가하여도 낮은 온도구간에서의 온도 증가에 따른 건조시간의 단축이 높은 온도구간보다도 큰 것으로 보아 온도가 증가할수록 온도의 효과가 낮은

온도일 때 보다 미약함을 알 수 있다. 이는 조¹⁵⁾가 고추 건조실험에서 동일한 상대습도일 때 건조온도가 50 °C 에서 80 °C 의 사이에서 증가함에 따라 건조에 미치는 온도의 영향이 배가적으로 증가한다고 한 것과는 다른 경향을 나타낸 바 이는 인삼과 고추간의 시료의 차이 및 건조실험 온도의 차이 때문일 것으로

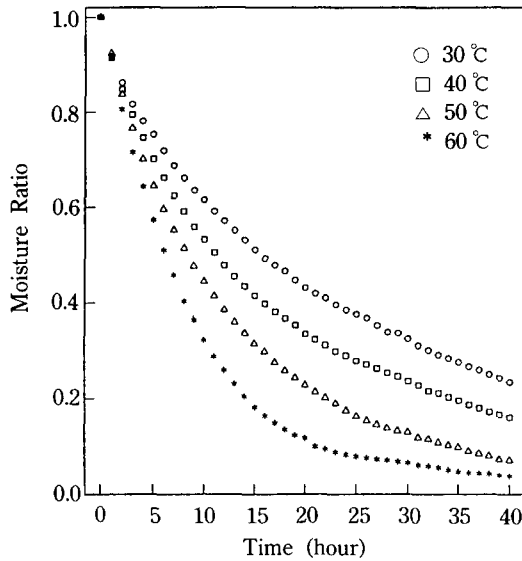


Fig. 9. Effect of drying temperature on drying rate for large-sized Peeled ginseng at 60% RH.

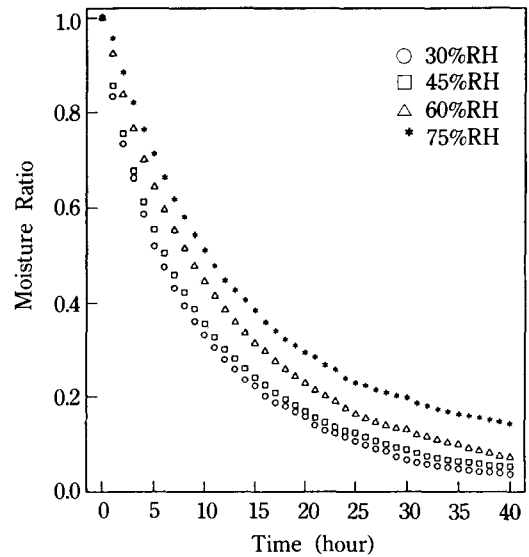


Fig. 10. Effect of relative humidity on drying rate for large-sized Peeled ginseng at 50°C.

사료된다.

Fig. 10은 상대습도가 건조속도에 미치는 영향을 살펴보기 위해 50°C의 건조온도에서 대편크기의 각 상대습도별 건조곡선을 나타낸 그림으로서 상대습도가 75%일 때 건조속도에 미치는 영향은 매우 큼을 알 수 있다. 상대습도 30%와 45%의 사이에서는 상대습도의 영향은 무시할 정도이고 상대습도가 45%에서 60%로 높아지자 상대습도가 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 상대습도가 75%로 증가했을 때 이 영향이 매우 큼을 알 수 있다.

이는 상대습도가 60% 이하로 아주 높지 않는 한 온도효과가 수증기 분압때문에 생기는 건조저항을 압도하게 되나 높은 상대습도에서는 건조공기의 수증기압이 재료의 수분증발력을 억제시킨 결과일 것으로 판단된다.

건조율과 건조시간: 대부분의 농산물에서 항울건조기간은 나타나지 않고 감울건조기간만 나타난다.^{16,17)} 인삼의 경우 다른 농산물 특히 곡물에 비해 초기함수율이 높은 편이며 시료가공시 세삼의 공정이 있기 때문에 표면에 수분이 있으나 이 표면을 닦아 제거하고 건조실험 전 인삼의 내부온도가 실내온도와 평형이 되도록 실내에 방치해 두었기 때문에 초기함수율이 다른 농산물에 비해 비교적 높다 하더라도 항울건조기간이 존재하지 않거나 아주 짧은 시간일

것으로 생각된다.

Fig. 11은 온도 40°C 상대습도 45%의 조건을 갖는 시험구의 건조율의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 건조율의 변화율을 살펴 보면 시료의 무게변화를 1시간 간격으로 측정하였기 때문에 건조초기에 존재할 수 있는, 존재하더라도 아주 짧은 시간일 것으로 추측되는 항울건조시간은 나타나지 않고 있으며 건조 초기 약 8~9시간 동안 급속한 건조가 이루어지고 이후 건조율이 시간당 10%(db) 이하로서 완만히 건조되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11에서와 같이 건조율의 변화율은 대편, 중편, 소편 모두 거의 비슷한 양상을 보이니 건조율은 소편이 건조초기에는 중, 소편보다 더 컸으나 말기에는 더 작게 나타나고 있다. 이 현상은 소편이 더 빨리 건조되었기 때문으로서 당연한 귀결로 생각된다.

Fig. 12는 50°C의 건조온도와 75%의 상대습도에서 실험한 시험구의 건조율을 나타낸 그림으로서 다른, 습도 조건을 갖는 시험구의 추세와는 달리 건조 초기에 건조율이 증가하는 기간을 갖다가 다시 감울 건조기를 거치면서 건조되는 것으로 나타났다. 이와 같은 건조율의 증율기간은 시료의 초기온도보다 높은 건조온도(40, 50, 60°C)이면서 상대습도가 75%로서 높은 경우에 발생하였는데 이와 같이 건조공기의 온도가 피건물(被乾物)의 초기온도 보다도 높은 온도가

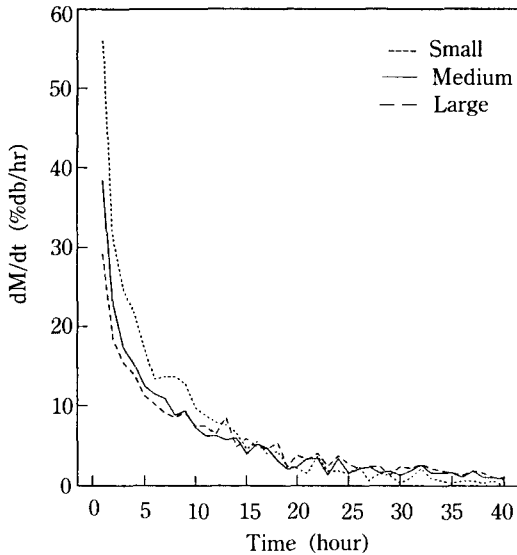


Fig. 11. Drying rates for Peeled ginseng at 40°C and 45% RH.

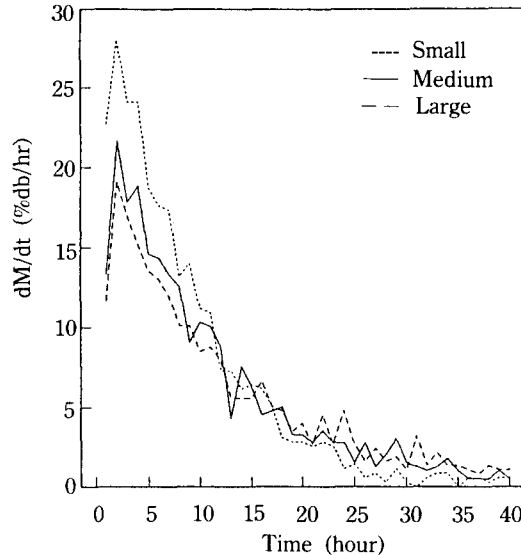


Fig. 12. Drying rates for Peeled ginseng at 50°C and 75% RH.

면서 높은 상대습도를 갖는 건조조건에서 발견되는 증윤건조기간의 발생은 건조초기의 예열기간에 나타나는 현상으로 분석된다. 즉 건조공기내의 수분이 피건물에 응축되어 피건물 표면에서 증발저항이 발생했기 때문이며 그림에서 판단해 보면 예열기간이 약 2~3시간 정도되는 것으로 나타났다.

색택과 내공 : 인삼은 표피색택, 내부색택, 내공의 발생정도 등에 따라 외관상의 품질을 판정하고 있는데 내공은 없어야 하며 표피나 내부가 난백색 또는 유백색을 띠어야 한다.^{3,18,19)} 내공은 높은 건조속도로 건조될 때 수분이 급격히 빠져나가고 내부수축 현상이 미처 일어나지 못할 때 발생할 수 있으며 높은 온도에서 건조하면 표피 및 내부의 갈변반응도 나타나는 것으로 알려져 있다.

본 실험에서는 내공은 발생하지 않았고 내부백색은 백색을 띠었으나 외부색택은 상대습도 75%의 시험구에서 열은 갈색을 띠었으며 이러한 현상은 건조온도가 높을수록 정도가 더 심했다. 이는 앞에서 고찰했던 바와 같이 동일 건조온도에서 상대습도 60%까지의 건조속도는 큰 차이가 없으나 상대습도가 75%로 높아지면 건조속도가 확연히 지연되는 현상과 연관지어 생각할 때 높은 상대습도이면서 건조시간이 길어지면 특히 건조말기에 갈변반응을 심하게 일으키는 것으로 판단되며 또한 초기 예열기간에서의 수분용

축현상과도 관련이 있는 것으로 추측된다.

따라서 인삼제품의 품질 요인중 중요한 요인의 하나인 외부색택은 상대습도 75% 이상의 높은 상대습도에서는 갈변반응을 일으키므로 높은 상대습도에서의 건조는 인삼의 품질면이나 건조에너지면으로 볼 때도 반드시 피해야 할 것으로 사료된다.

2. 건조모델

인삼의 직경과 건조온도, 상대습도를 함수로 하여 인삼의 건조속도를 예측하기 위한 각 모델의 매개변수에 대한 분석결과는 Table 3과 같다.

Table 3과 같이 각 모델의 매개변수에 대한 식들에서 Glenn 모델의 매개변수 k_0 만 95% 수준의 유의성이 인정되었고 나머지 매개변수들은 모두 고도의 유의성이 인정되었다. 각 건조모델의 매개변수들에 대한 식을 각 모델에 대입하여 전체 48개 시험구에 대하여 분산분석한 결과는 Table 4와 같은데 5개의 기존 모델과 본 연구의 실험모델이 모두 고도의 유의성이 인정되었으며, 함수율 24%(wb)까지 건조할 때의 실측값과 예측값 사이의 함수율의 평균 상대오차율(mean relative percentage deviation)은 Table 5와 같다.

모든 모델에서 고도의 유의성이 인정되었지만 Glenn 모델에 의한 예측은 많은 시험구에서 편의(偏倚; bias)가 심할 뿐만 아니라 평균 상대오차율이 건

Table 3. Estimation of parameters involved in drying models. (Variables included are diameter of ginseng, drying temperature and relative humidity.)

Model	Estimated Parameters	R ²	F
App-Diffusion	$A = 1.72 + 0.407 \ln(D) - 0.0000963T^2 - 0.358 \ln(RH) + 0.0000945RH^2$	0.715	27.0**
	$k = 1.01 + 0.0195RH - 0.00518D^2 + 0.0708 \ln(T) - 0.492 \ln(RH) - 0.0000933RH^2$	0.815	36.9**
Page	$k = -0.6329 + 0.00402T - 0.00894(RH) - 0.0225D^2 + 0.308 \ln(RH)$	0.798	42.6**
	$N = 0.400 + 0.0235T - 0.000230T^2 - 0.0110RH + 0.00014RH^2$	0.717	27.2**
Thompson	$A = -110 - 0.458RH - 16.4 \ln(D) + 18.3 \ln(T) + 17.9 \ln(RH)$	0.935	154.5**
	$B = 101 + 0.673T + 0.507D^2 - 34.8 \ln(T)$	0.565	19.0**
Wang	$W_1 = -0.150 + 0.0187D - 0.00438RH - 0.0478 \ln(T) + 0.0964 \ln(RH) + 0.0000254RH^2$	0.975	333.6**
	$W_2 = 0.000699 + 0.0000266T + 0.00000864RH - 0.00102 \ln(D) - 0.000000141RH^2$	0.968	325.7**
Glenn	$A_0 = 1.37 - 0.0196T$	0.387	29.1**
	$k_0 = 1.40 + 0.423D + 0.00839RH - 1.07 \ln(D) - 0.480 \ln(RH)$	0.242	3.4*
	$A_1 = -0.309 + 0.0199T$	0.395	30.1**
	$k_1 = 0.628 - 0.314 \ln(D) - 0.0000426RH^2$	0.188	5.2**
Empirical	$C_1 = 1.14 + 0.382 \ln(D) - 0.0000847T^2 - 0.139 \ln(RH) + 0.0000664RH^2$	0.889	86.4**
	$C_2 = 0.440 - 0.0224 \ln(D) - 0.193 \ln(T) + 0.0000464T^2 - 0.00000771RH^2$	0.469	9.5**

D : Diameter of ginseng (cm)

T : Drying air temperature (°C)

RH : Relative humidity (%)

Table 4. Mean square errors of the drying models including factors of diameters of ginseng, drying temperature and relative humidity

Model	Mean Square Error	R ²	F
App-Diffusion	0.0056747	0.911	2209.9**
Page	0.0192740	0.695	559.2**
Thompson	0.0048662	0.923	3359.6**
Wang	0.0073953	0.883	1645.2**
Glenn	0.0094811	0.850	1389.7**
Empirical	0.0020899	0.967	7170.4**

조온도 30 °C, 상대습도 30%의 소편 시험구에서 최고 50%나 되며 이와같이 편의를 일으키는 현상이 특히 건조중기 이후에 크게 나타나기 때문에 건조시간이 다른 농산물에 비해 비교적 긴 인삼의 건조모델로는

부적합하였으며, Wang 모델 역시 건조과정중 함수율비가 감소하다 다시 증가하는 포물선의 형태로 예측하여 인삼의 건조모델로는 부적합한 모델로 판단되었다.

Page 모델은 Table 4와 같이 잔차의 평균평방이 6개 모델중 가장 컸으나 Table 5에서와 같이 평균 상대오차율은 가장 작았는데, 건조온도 30 °C 상대습도 75%의 대편 시험구에서는 함수율비를 시간이 경과함에 따라 증가하는 것으로 예측하는 경우도 나타났다. 잔차의 평균평방이 다른 모델에 비해 큰 이유는 이와 같이 함수율비를 시간이 경과함에 따라 1보다 더 크게 증가하는 것으로 예측하는 시험구가 큰 영향을 미쳤기 때문으로서 이와같은 건조온도가 낮고 상대습도가 높은 몇개의 시험구를 제외한 다른 시험구에서는 실험값과 아주 잘 일치하였다.

이와 같은 이유로 Glenn 모델, Page 모델, Wang

Table 5. Mean relative percentage deviation (P) of the drying models including factors of diameters of ginseng, drying temperature and relative humidity

Model	App-Diffusion	Page	Thompson	Wang	Glenn	Empirical
P	7.75	7.57	10.89	13.55	16.50	7.97

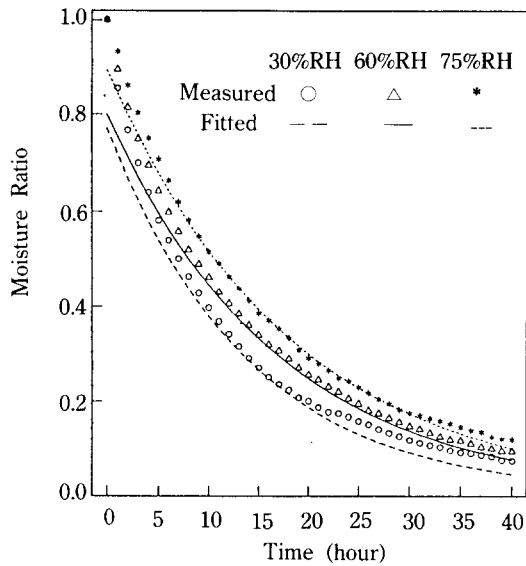


Fig. 13. Measured and fitted moisture ratios by Approximate Diffusion model for medium-sized Peeled ginseng at 40 °C. (Model's parameters were estimated as a function of diameter, temperature and RH.)

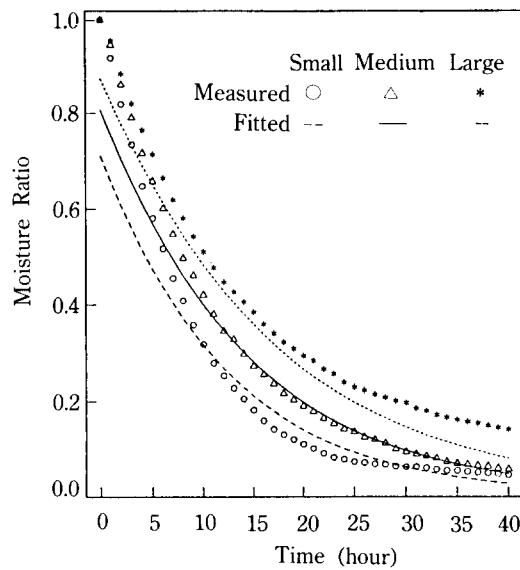


Fig. 14. Measured and fitted moisture ratios by Approximate Diffusion model for Peeled ginseng at 50 °C and 75% RH. (Model's parameters were estimated as a function of diameter, temperature and RH.)

모델은 본 실험수준 전 범위의 건조속도를 예측할 수 있는 모델로는 부적합한 것으로 판단된다.

Thompson 모델은 Table 4에서와 같이 기존모델중 잔차의 평균평방이 가장 작았으며 대부분의 시험구에서 실측값과 예측값이 잘 일치하였으나 건조온도가 60 °C로 고온이면서 인삼의 크기가 소편인 경우 건조초기와 중기에 실측값과 큰 오차를 보이고 건조속도가 빠른 건조조건에서는 잘 예측하지 못하여 Thompson 모델 역시 본 실험범위 전체에서 건조속도를 예측할 수 있는 모델로는 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

Fig. 13, 14는 유사확산모델에 의한 몇개 시험구의 함수율비를 예측한 그림이다. 유사확산모델은 건조초기 4~5시간 까지는 실측값보다 함수율비를 낮게 예측하였으나 시험구 전체에서 건조초기 4~5시간 이후에는 편의를 일으키는 시험구없이 예측할 뿐만 아니라 평균 상대오차율이 7.55%로서 6가지 모델중 Page 모델 다음으로 작은 것으로 나타났으며 잔차의 평균평방도 별로 크지 않아 우수한 모델로 판단된다.

Fig. 15, 16은 실험모델에 의하여 예측한 함수율비를 나타낸 그림이다.

실험모델의 경우 기존 모델들보다 F값이 월등히 높고 잔차의 평균평방도 6개 모델중 가장 작았다. 그러나 이 모델은 높은 상대습도의 건조조건에서 건조초기 1~2시간 동안 함수율비를 1보다 더 큰 것으로 예측하며 건조온도가 50 °C, 60 °C로 높을 경우 건조말기에 함수율비를 0보다 작은 값으로 예측하는 등 건조초기부터 건조말기까지 인삼의 전 건조시간을 예측하기에는 불완전하였으나 건조초기 1~2시간과 건조말기를 제외한 구간에서는 비교적 잘 일치하고 있으며 평균 상대오차율도 유사확산모델과 비슷한 7.97%였다. 그리고 인삼의 경우 다른 농산물에 비해 건조시간이 길며 인삼을 인공건조하는 경우 보통 함수율 23~25%(wb) 근처까지 건조하고 꺼내어 자연 건조를 할 뿐만 아니라 건조말기에 함수율비를 0보다 작은 값으로 예측하는 구간이 함수율 10~16%(wb) 이하의 구간이므로 일반농가에서 인삼을 관행으로 건조할 때 건조속도를 훌륭히 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 건조모델의 매개변수를 온도와 상대습도, 직경을 함수로 하여 본 실험조건 전체에서 인삼의 건조속도를 예측할 수 있는 모델로서는 실험모델과,

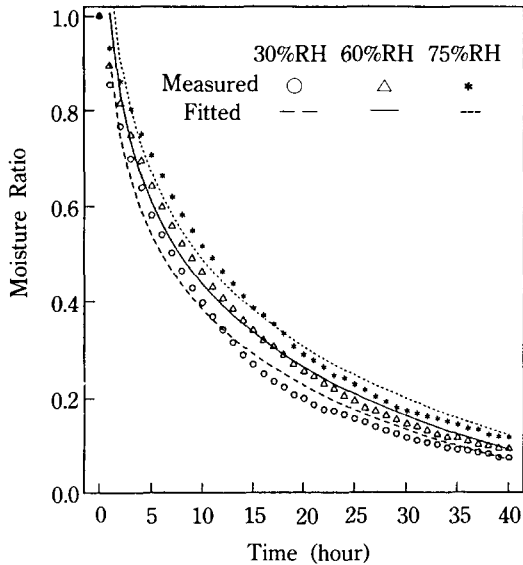


Fig. 15. Measured and fitted moisture ratios by the Empirical model for medium-sized Peeled ginseng at 40 °C. (Model's parameters were estimated as a function of diameter, temperature and RH.)

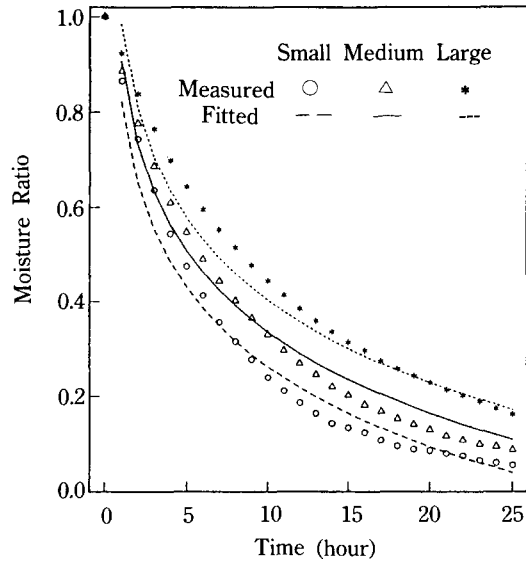


Fig. 16. Measured and fitted moisture ratios by the Empirical model for Peeled ginseng at 50 °C and 60% RH. (Model's parameters were estimated as a function of diameter, temperature and RH.)

기존 모델중에서는 유사확산모델이 가장 적합한 것으로 사료되었는데 이들 두 모델에서 최대편차를 보이는 시험구의 평균 상대오차율은 각각 19.4%와 20.17%였다.

요 약

인삼의 건조특성을 구명하기 위하여 4년근 박피백삼을 시료로 하여 직경을 기준으로 크기를 3수준(대, 중, 소)으로 분류하여 온도 4수준(30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C)과 상대습도 4수준(30%, 40%, 60%, 75%)의 항온항습기에서 건조실험을 수행하고, 현재 널리 이용되고 있는 5개의 건조모델(유사확산, Page, Thompson, Wang, Glenn 모델)과 본 연구에서 설정한 실험모델에 대한 적합성 검정을 통하여 온도와 상대습도 및 인삼의 직경을 독립변수로 하는 건조방정식을 개발하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 건조공기의 풍속과 인삼의 직경은 건조속도에 영향을 미치며, 인삼의 직경이 작을수록, 풍속이 증가할수록 건조속도가 빨라지나 풍속의 증가가 건조속도에 큰 영향을 미치지 않는 임계풍속은 0.9 m/s~

1.33 m/s에 있는 것으로 판단되었다.

(2) 건조공기의 온도가 높고 상대습도가 낮을수록 건조속도는 빨라지며 60% 이하의 상대습도에서는 상대습도의 영향이 작으나 75%의 상대습도에서는 그 영향이 크게 나타났다.

(3) 건조온도가 높아질수록 건조속도는 빨라지나 고온으로 갈수록 그 효과가 작게 나타났다.

(4) 상대습도 75%(온도 : 40 °C, 50 °C, 60 °C)에서는 초기 예열시간이 2~3시간 정도로서 매우 길었으며 이 기간동안에는 시료의 표면에 수분응축이 발생하였다.

(5) 인삼의 건조는 건조기간 전기간에 걸쳐 감률 건조로 진행되었다.

(6) 본 실험의 모든 건조조건에서 인삼의 내공은 발생하지 않았고 내부색택은 백색을 띠었으나 외부색택은 상대습도 75%에서 열린 갈색을 띠었다. 이러한 갈변현상을 막기 위해서는 상대습도 60% 이하에서 건조하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

(7) 모델의 매개변수를 인삼의 직경, 건조온도, 상대습도의 함수로 나타내어 인삼의 건조속도를 예측하는데 가장 적합한 모델은 유사확산모델과 실험모

델로서 다음과 같다.

· 유사확산모델 : $MR = A \cdot \exp(-k \cdot t)$

$$A = 1.72 + 0.407 \ln(D) - 0.0000963T^2 - 0.358 \ln(RH) + 0.0000945RH^2$$

$$B = 1.01 + 0.0195RH - 0.00518D^2 + 0.0708 \ln(T) - 0.492 \ln(RH) - 0.0000933RH^2$$

· 실험모델 : $MR = C_1 + C_2 \cdot \ln(t)$

$$C_1 = 1.14 + 0.382 \ln(D) - 0.0000847T^2 - 0.139 \ln(RH) + 0.0000664RH^2$$

$$C_2 = 0.440 - 0.0224 \ln(D) - 0.193 \ln(T) + 0.0000464T^2 - 0.00000771RH^2$$

인용문헌

1. 성현순, 김상달, 도재호: 홍백삼건조방법개선연구 보고서, 한국인삼연구초연구소, 대전, 263 (1983).
2. 이종철, 안대진, 변정수, 석영선, 유인현: 인삼연구보고서(재배분야), 한국인삼연구초연구소, 대전, 573 (1985).
3. 한국담배인삼공사: 담배·인삼관련법령집, 대전, p. 192 (1989).
4. 이종철, 안대진, 변정수: 인삼연구보고서(재배분야), 한국인삼연구초연구소, 대전, 626 (1986).
5. Li, Y. and Morey, R.V.: TRANSACTIONS of the ASAE 30(3), 842 (1987).
6. Page, C.: *Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers*, M.S. Thesis, Purdue University (1949).
7. 최병민, 이종호, 박승재: 전북대학교 논문집, 33, 273 (1991).
8. 권칠성, 이동진: 한국농업기계학회지, 12(1), 39 (1987).
9. Henderson, S.M. and Pabis, S.: *Agric. Eng. Res.*, 6(3), 169 (1961).
10. Thompson, T.L., Peart, R.M. and Foster, G.H.: TRANSACTIONS of the ASAE, 11(4), 582 (1968).
11. Wang, C.Y. and Singh, R.P.: ASAE Technical Paper NO. 78-3001, 1 (1978).
12. Glenn, T.L.: *Dynamic analysis of grain drying system*, Ph.D. thesis. The Ohio State University. Univ. Microfilms No. 79-15-977. Ann Arbor, MI (1978).
13. SAS: *SAS/STAT Guide for personal computer* (Ver. 6.03), SAS Institute Inc., USA, (1987).
14. Ryan, T.A., Jr., Joiner, B.L. and Ryan, B.F.: *MINI-TAB reference manual*, The Pennsylvania State University, USA, (1982).
15. 조용진: 고추의 건조특성과 건조모델에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교 대학원, (1986).
16. 고학균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일: *농산가공기계학*, 향문사, 서울, p. 378 (1990).
17. Henderson, S.M. and Perry, R.L.: *Agricultural Process Engineering*, AVI Publishing Company, Inc., USA, (1976).
18. 전북인삼경작조합: 표준인삼경작방법, 진안, p. 47 (1989).