

인삼의 건조모델에 관한 연구

최 병 민

순천대학교 농업기계공학과

A Study on Drying Models of Ginseng

Byoung-Min Choi

Department of Agricultural Machinery Engineering, Suncheon Nat'l University

Abstract

Ginseng, one of the important economic crops, is processed into medicine, teas, beverages and even foods.

Drying is the most important and burdensome work in the processing of ginseng, so development of ginseng dryer is needed for efficient drying and good quality of ginseng. Investigation of drying model is essential for development of ginseng dryer.

Drying models for peeled ginseng were investigated to determine dominant drying factors and fitted with five selected drying models and an empirical model.

Thompson and the empirical model showed best fit with the experimental data. Further experiment is necessary to prove the superiority of the empirical models.

Key words : ginseng, drying model, Thompson model, empirical model

서 론

인삼은 예전에는 주로 약재로 사용되었으나 근래에는 건강식품, 차, 음료 등으로 사용되고 있어 점차 수요가 증가되고 있는 실정이며 한국을 비롯하여 중국, 일본, 소련, 미국, 캐나다 등지에서 인삼 생산량은 해마다 증가하고 있다.

인삼은 3년근까지는 근의 발육상태가 불완전하나 4년근 부터는 엽경의 형태가 완성되고 개화와 결실능력을 가지게 될 뿐만 아니라 근의 발육상태도 어느 정도 숙성하여 재배상의 경제성이 있

기 때문에 4년근 이상의 것을 채굴하여 백삼 또는 홍삼의 원료인삼으로 사용하고 있다. 재식기간이 6년이 넘으면 근부가 다소 비대하게 성장하여 조적이 목질화될 뿐만 아니라 병충해 등으로 인한 손실이 오히려 커지기 때문에 인삼의 재식기간은 4~6년이 적당한 것으로 알려져 있다. 원료수삼의 채굴적기는 근의 비대 생육 왕성기인 7~8월 이후부터 지상부 엽경이 고사되는 9~10월경 까지로 잡고 있다[1].

인삼제품중 원형을 유지하는 건조제품으로는 홍삼, 백삼, 태극삼 등이 있으며 백삼(White

ginseng)이란 표피를 제거한 후 건조시킨 박피백삼(Peeled ginseng)과 표피를 제거하지 않고 건조시킨 피부백삼(Unpeeled ginseng)을 말한다.

인삼의 건조는 지금까지는 주로 자연건조(천일 건조) 방법에 의해 수행되고 있으며 우천시나 야간에 열풍건조 등과 같은 인공 건조 방법을 병용하는 것이 일반적이거나 최근에는 노동력의 급격한 감소로 인하여 인공 건조 방법을 많이 채용하고 있다.

따라서 인삼의 품질을 향상시키고 시간과 노력을 절감하기 위해서는 인삼 건조에 알맞는 인삼 건조기의 개발이 필요한데 이에 앞서 인삼의 건조 모델의 개발이 선행되어야 한다.

농산물의 건조 과정을 예측할 수 있는 모델로서 많은 건조 모델들이 제안되었는데 Lewis[2]는 Newton의 확산법칙을 이용하여 흡습성 재료의 건조 과정을 표현하기 위하여 확산 모델을 개발하였다[3].

역시 Newton의 확산법칙의 해에 기초를 두고 제1항 만을 취한 유사 확산 모델이 많은 연구자들에 의해 여러 농산물의 건조모델로서 사용된 바 있다.

또한 확산법칙에 기초를 둔 2개의 불연속항으로 표현되는 건조모델이 Glenn[4]에 의하여 개발된 바 있는데 Keener 등[5]은 이 모델을 곡물의 건조 실험에 적용시킨 결과 다양한 건조조건하에서 예측이 매우 우수하다고 하였으며 Syarief 등[6]은 해바라기 씨의 건조 실험에서 이 모델의 적합성을 검증한 바 있다.

Page[7]는 확산 모델을 변형하여 옥수수의 건조 과정을 예측하였다.

Thompson 등[8]은 옥수수를 건조실험하여 옥수수의 건조 과정을 식으로 표현한 바 있으며 이 모델의 매개변수를 온도의 함수로 나타내었다.

Wang과 Singh[9]은 벼의 건조 실험에서 Thompson 모델을 응용하여 다른 형태의 2차식 모델을 제안하였다.

Li와 Morey[10]는 1986년 5월 6월, 9월에 수확된 74~86%(wb)의 초기 함수율을 갖는 미국산 인삼에 대해 건조 온도와 풍속, 인삼의 직경이 건조 속도와 인삼의 품질에 미치는 영향을 실험

하고 Page 모델을 이용하여 모델의 매개변수 k 와 N 이 초기함수율, 풍속 및 인삼의 직경과 갖는 상관관계를 조사한 바 있다.

이 등[11]은 백삼 건조의 기계화를 위한 기초 자료를 얻고자 일광건조, 열풍건조, 25°C 온도에서의 냉풍건조 등 몇가지 건조방법을 달리하여 건조실험을 수행한 바 있으며 이 밖에 성 등[12], 이 등[13], 전 등[14], 오 등[15]에 의하여 인삼의 건조에 관한 연구가 일부 수행되었으나 인삼건조기 개발의 기초 자료인 건조 모델이 명확히 구명되지 않은 상태이다.

따라서 본 연구는 일반농가에서 가장 많이 제조하고 있는 4년근 박피 백삼의 건조 모델 개발을 위하여 수행되었으며, 농산물의 건조모델로 많이 이용되고 있는 기존의 건조 모델과 본 연구에서 실험 모델을 설정하여 적합성 점정을 통하여 박피 백삼에 적합한 건조 모델을 결정하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 건조실험은 일반농가에서 가장 많이 제조하고 있는 4년근 박피백삼(Peeled ginseng)을 대상으로 실시하였으며 구입한 수삼은 뇌두 끝으로부터 2cm 위치에서 동체의 원주를 측정한 크기로서 원주 5.5~6.0cm, 7.0~7.5cm, 8.5~9.0cm 사이에 드는 인삼을 각각 소편, 중편, 대편으로 분류하여 비닐 주머니로 포장한 다음 냉장고에 보관하고 실험일정에 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 평행이 되도록 2시간 동안 실내에 방치해 둔 다음 건조실에 넣어 실험하였다.

실험장치

1) 항온함습기

일정한 온도와 상대습도를 갖는 건조공기조건을 제공하기 위하여 항온함습기를 사용하였다. 항온

항습기는 Pt100 열전대와 PID 조절기로 건구온도와 습구온도를 제어하는 방식에 의해 건조공기 조건이 일정하게 유지되며 건구온도와 습구온도는 항온항습기에 설치되어 있는 온도기록기의 기록지에 연속 기록하였다.

2) 무게측정장치

건조과정중의 시료의 무게변화는 하중변환기(load cell)와 데이터 로거(data logger)를 이용하여 플로피 디스크에 1분 간격으로 저장하였으며 하중변환기에 연결된 철망으로 된 시료상자에 인삼을 2~3편씩 올려 놓고 실험을 실시하였다.

실험설계 및 방법

1) 함수율 측정

함수율의 측정은 최 등[16]이 사용했던 방법으로서 소편, 중편, 대편 공히 원형 인삼을 70°C 오븐에서 120시간 건조하여 측정하였다.

2) 건조실험

온도 4수준(30°C, 40°C, 50°C, 60°C), 상대습도 4수준(30%, 45%, 60%, 75%), 박피백삼의 크기 3수준(소편, 중편, 대편)을 택해 여러가지 공기조건하에서 각 온도별로 난피법으로 건조실험을 2반복 실시하였다.

하중변환기와 데이터 로거를 이용하여 측정된 무게변화는 1시간마다 분석하고자 하는 시간 전후 각각 5분간의 측정치를 평균하여 사용하였다.

건조공기의 풍속은 일반농가의 백삼건조장의 풍속과 비슷한 수준인 1.2m/s로 일정하게 유지 되도록 하였다.

건조실내의 시료상자는 공기의 유동 때문에 약간의 상하 진동을 하게된다. 따라서 건조말기에 팬이 정지한 상태에서의 무게를 측정하여 공기의 유동으로 인한 영향을 보정하였다. 실험분석시 사용한 평형함수율값은 최 등[16]이 개발한 실험 모델에 의해 구한 값을 사용하였다.

건조모델

1) 모델 선정

인삼의 건조속도를 예측하기 위하여 기존 건조

모델들 중 유사확산모델, Page 모델[7], Thompson 모델[8], Wang 모델[9] 및 Glenn 모델[4]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 예측하였다. 표 1은 본 연구에서 분석한 기존의 모델 5개와 실험모델을 나타낸 것이다.

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

Note) MR : Moisture ratio

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

M : Moisture content(%, db)

M₀ : Initial moisture content(%, db)

M_e : Equilibrium moisture content(%, db)

t : Drying time(hour)

A, B, k, N, w₁, w₂, A₀, k₀, A₁, k₁, C₁, C₂ : parameters

3) 매개변수에 대한 모델

표 1과 같은 각 건조모델의 매개변수 A, k, N, B, w₁, w₂, A₀, k₀, A₁, k₁, C₁, C₂ 등은 건조공기의 온도, 상대습도 및 인삼의 크기에 따라 변한다. 이 매개변수들의 모델 선정은 온도, 상대습도, 직경과 이들 요인 각각에 로그함수, 자승과 같은 비선형 함수를 취하여 9개의 독립변수를 갖는 모델을 가정하였다.

$$\text{매개변수} = c_1 \cdot D + c_2 \cdot D^2 + c_3 \cdot \ln(D) + c_4 \cdot T + c_5 \cdot T^2 + c_6 \cdot \ln(T) + c_7 \cdot RH + c_8 \cdot RH^2 + c_9 \cdot \ln(RH)$$

D : 인삼의 직경(cm)

T : 건조온도(°C)

RH : 상대습도(%)

C₁, C₂, C₃, C₄, C₅, C₆, C₇, C₈, C₉ : 상수

위에 나타낸 모델에서는 2⁹개의 모델 조합이 나타날 수 있다.

또한 일정한 크기의 인삼을 건조하거나, 직경을 고려하지 않고 매개변수를 나타낼 모델을 개발할 경우에는 직경요인을 제거하고 2⁶개의 모델 조합 중에서 선정하였다. 모델의 선정은 SAS(Ver. 6.04)의 RSQUARE PROC를 이용하였다.

3) 모델의 적합성 검증

표 1과 같은 기존의 모델중에서 Glenn 모델을 제외한 나머지 모델들은 모두 선형화가 가능하다.

선형화가 가능한 건조모델의 각 시험구에서 매개변수들은 MINITAV(Ver 5.11)과 SAS(Ver. 6.04) NLIN PROC의 Gauss-Newton 방법을 이용하여 결정하였다. 모델의 적합성 검증은 개발된 매개변수 모델을 각각의 건조모델에 대입하여 시험구 전체에 대한 결정계수와 F값을 참고로하고 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)시킨후 전체 건조시간 동안의 평균치를 계산하여 백분율로 나타낸 것이다. 평균상대오차율(P)은 다음 식에 의하여 구하였다.

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

P : 평균 상대오차율(%)

Y : 실측 함수율(%, wb)

Y' : 예측 함수율(%, wb)

N : 측정값의 수(the number of data points)

결과 및 고찰

직경요인을 포함한 건조모델

인삼의 직경과 건조온도, 상대습도를 함수로 하여 인삼의 건조속도를 예측하기 위한 각 모델의 매개변수에 대한 분석결과는 표 2와 같다.

표 2와 같이 각 모델의 매개변수에 대한 식들에서 Glenn 모델의 매개변수 ko만 95% 수준의 유의성이 인정되었고 나머지 매개변수들은 모두 고도의 유의성이 인정되었다. 각 건조모델의 매개변수들에 대한 식을 각 모델에 대입하여 전체 48개 시험구에 대하여 분산분석한 결과는 표 3과 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 표 4와 같다.

모든 모델에서 고도의 유의성이 인정되었지만 Glenn모델에 의한 예측은 많은 시험구에서 편위(bias)가 심할 뿐만 아니라 평균 상대오차율이 건조온도 30°C, 상대습도 30%의 소편 시험구에서 최고 50%나 되며 이와같이 편위를 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 건조 모델로는 부적합한 모델로 판단되었다.

Page 모델은 표 3과 같이 잔차의 평균평방이 6개 모델중 가장 컸으나 표 4에서와 같이 평균상대오차율은 가장 작았는데, 건조온도 30°C 상대습도 75%의 대편 시험구에서는 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 모델은 본 실험수준 전 범위의 건조속도를 예측할 수 있는 모델로는 부적합한 것으로 판단된다.

Thompson 모델은 Table 3에서와 같이 기존모델중 전차의 평균평방이 가장 작았으며 대부분의 시험구에서 실측값과 예측값이 잘 일치하였으나

Table 2. 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	$A = 1.72 + 0.407\ln(D) - 0.0000963T^2$ $- 0.3581\ln(RH) + 0.0000945RH^2$	0.715	27.0**
	$k = 1.01 + 0.0195RH - 0.00518D^2 + 0.07081\ln(T)$ $- 0.4921\ln(RH) - 0.0000933RH^2$	0.815	36.9**
Page	$k = -0.6329 + 0.00402T - 0.00894(RH) - 0.0225D^2$ $+ 0.3081\ln(RH)$	0.798	42.6**
	$N = 0.400 + 0.0235T - 0.000230T^2 - 0.0110RH$ $+ 0.000141RH^2$	0.717	27.2**
Thompson	$A = -110 - 0.458RH - 16.41\ln(D) + 18.31\ln(T)$ $+ 17.91\ln(RH)$	0.935	154.5**
	$B = 101 + 0.673T + 0.507D^2 - 34.81\ln(T)$	0.565	19.0**
Wang	$w_1 = -0.150 + 0.0187D - 0.00438RH - 0.04781\ln(T)$ $+ 0.09641\ln(RH) + 0.0000254RH^2$	0.975	333.6**
	$w_2 = 0.000699 + 0.0000266T + 0.00000864RH$ $- 0.001021\ln(D) - 0.00000141RH^2$	0.968	325.7**
Glenn	$A_0 = 1.37 - 0.0196T$	0.387	29.1**
	$k_0 = 1.40 + 0.423D + 0.00839RH - 1.071\ln(D)$ $- 0.4801\ln(RH)$	0.242	3.42
	$A_1 = -0.309 + 0.0199T$	0.395	30.1**
Empirical	$k_1 = 0.628 - 0.3141\ln(D) - 0.0000426RH^2$	0.188	5.2**
	$C_1 = 1.14 + 0.3821\ln(D) - 0.0000847T^2$ $- 0.1391\ln(RH) + 0.0000664RH^2$	0.889	86.4**
	$C_2 = 0.440 - 0.02241\ln(D) - 0.1931\ln(T)$ $+ 0.0000464T^2 - 0.00000771RH^2$	0.469	9.5**

(Notes) D : Diameter of ginseng(cm)

T : Drying air temperature(°C)

RH : Relative humidity(%)

Table 3. Mean square errors of the drying models including factors of diameter 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**

Table 4. Mean relative percentage deviation(P) of the drying models including factors of diameter 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

건조온도가 60°C로 고온이면서 인삼의 크기가 소편인 경우 건조초기와 중기에 실측값과 큰 오차를 보여 건조속도가 빠른 건조조건에서는 잘 예측하지 못하는 것으로서 Thompson 모델 역시 본 실험범위 전체에서 건조속도를 예측할 수 있는 모델로는 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

그림 1, 2는 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 Page모델 다음으로 작은 것으로 나타났으며 잔차의 평균평방도 별로 크지 않아 우수한 모델로 판단된다.

그림 3, 4는 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 큰것으로 예측하며 건조온도가 50°C, 60°C로 높을 경우 건조말기에 함수율비를 0보다 작은 값으로 예측하는 등 건조초기부터 건조말기까지 인삼의 전 건조기간을 예측하기에는 불완전 하였으나 건조초기 1~2시간과 건조말기를 제외한 구간에서는 비교적 잘 일치하고 있으며 평균 상대오차율도 유사확산 모델과 비슷한 7.97%였다. 그리고 인삼의 경우 다른 농산물에 비해 건조시간이 길며 인삼을 인공건조하는 경우 보통 함수율 23~25%(wb)근처까지 건조하고 꺼내어 자연건조를 할 뿐만 아니라 건조말기에 함수율비를 0보다 작은 값으로 예측하는 구간이 함수율 10~16%(wb)이하의 구간이므로 일반 농가에서 인삼을 관행으로 건조할 때 건조속도를 훌륭히 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 건조모델의 매개변수를 온도와 상대습

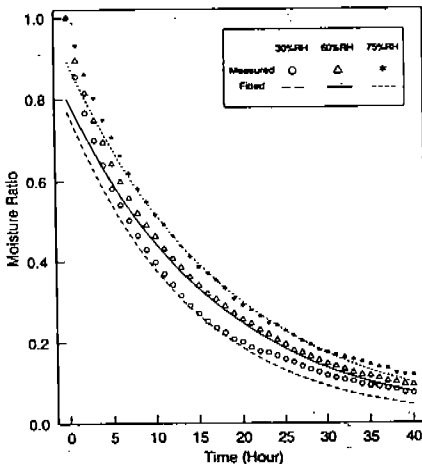


Fig. 1 : Measured and fitted moisture ratios by Approximate Diffusion model for medium-sized Peeled ginseng at 40 °C. (Model's parameters were estimated as a function of diameter, temperature and RH.)

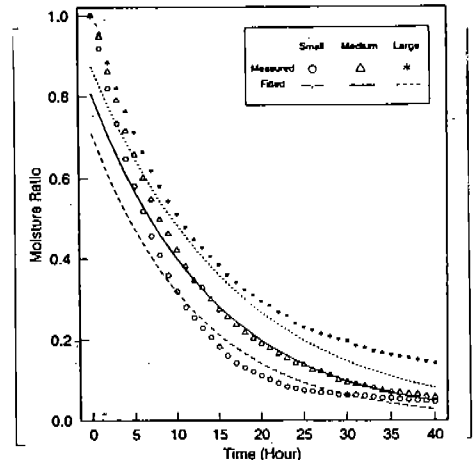


Fig. 2 : Measured and fitted moisture ratios by Approximate Diffusion model for Peeled ginseng at 50°C and 75% RH. (Model's parameters were estimated as a function of diameter, temperature and RH.)

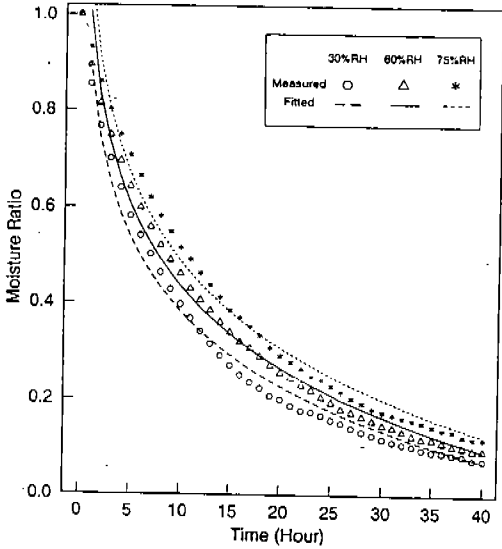


Fig. 3 : Measured and fitted moisture ratios by the Empirical model for medium-sized Peeled ginseng at 40°C. (Model's parameters were estimated as a function of diameter, temperature and RH.)

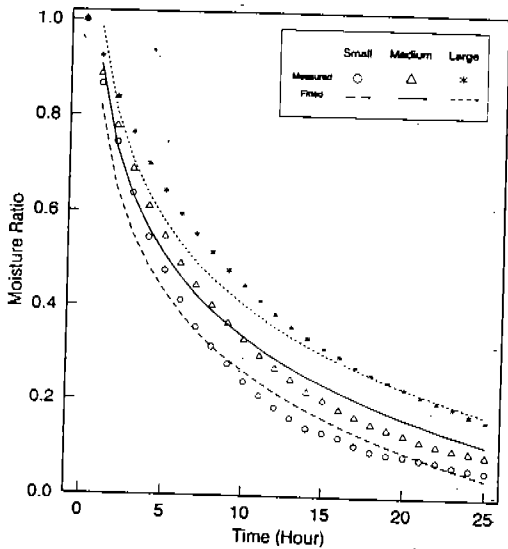


Fig. 4 : Measured and fitted moisture ratios by the Empirical model for medium-sized Peeled ginseng at 50°C and 60% RH. (Model's parameters were estimated as a function of diameter, temperature and RH.)

도, 직경을 함수로 하여 본 실험조건 전체에서 인삼의 건조속도를 예측할 수 있는 모델로서는 실험모델과, 기존 모델중에서는 유사확산모델이 가장 적합한 것으로 사료되었는데 이들 두 모델에서 최대편차를 보이는 시험구의 평균 상대오차는 19.4%와 20.17%였다.

대, 중, 소편에서의 건조모델

본 실험에서 사용한 소편(직경 : 1.78cm~1.87 cm), 중편(직경 : 2.23cm~2.39cm), 대편(직경 : 2.69cm~2.81cm) 크기의 범위에 드는 인삼을 건조하는 경우 전 건조기간을 좀 더 정확히 예측할 수 있는 모델을 개발하기 위하여 6개의 모델에 대해 인삼의 각 크기별로 각각의 모델의 매개변수를 온도와 상대습도만으로 나타내었다.

6개의 모델중 유의성이 없는 Glenn 모델을 제외한 5개의 모델에 대하여 소편, 중편, 대편별로 각 모델들의 매개변수를 분석할 결과는 표 5, 6, 7과 같다.

5개 모델의 매개변수들 중 소편의 경우 Page 모델의 매개변수 N과 중편의 실험모델의 매개변수 C_2 가 95%수준에서 유의성이 인정되었고 다른 매개변수들은 모두 고도의 유의성이 인정 되었다.

따라서 각 모델의 매개변수에 대한 식을 각각의 모델들에 대입하여 소편, 중편, 대편 각각의 시험구(각 크기별로 16개 시험구) 전체에 대해 분산분석해 본 결과는 표 8, 9, 10과 같았다.

5개의 모델 모두 고도의 유의성이 인정되었으며 표 3의 전체 48개 시험구에 대해 직경요인을 넣어 개발한 모델들과 비교해 보면 직경요인을 고려하지 않고 각 크기별로 구한 경우 Thompson 모델, Wang 모델은 소편, 중편, 대편 모두 결정계수가 높아지고 잔차의 평균평방이 작아졌으나 실험모델은 비슷하였으며 유사확산모델은 오히려 소편과 중편에서 결정계수가 더 낮아졌고 잔차의 평균평방은 더 커진 것을 알 수 있다.

소편, 중편, 대편의 각 모델에 대한 평균 상대오차는 표 11과 같과 같다. 표 11에서와 같이 5개 모델 모두 대편에서 중편, 소편으로 인삼의 크기가 작아질수록 평균 상대오차가 증가하였다.

Table 5. Estimation of parameters involved in drying models for small-sized ginseng. (Variables included are drying temperature and relative humidity.)

Model	Estimated Parameters	R ²	F
App.- Diffusion	$A=4.93+0.0118T+0.0286RH+1.341n(RH)$	0.655	7.6**
	$k=0.119+0.06131n(T)-0.0791n(RH)$ $-0.0000117RH^2$	0.720	10.3**
Page	$k=-0.485-0.00931T-0.0103RH+0.000170T^2$ $+0.3291n(RH)$	0.838	14.2**
	$N=0.159-0.0213T+0.0193RH+0.9601n(T)$ $-0.780lnRH$	0.663	5.4*
Thompson	$A=-122-0.496T+37.21n(T)-0.000629RH^2$	0.879	29.1**
	$B=25.9+0.271T-11.61n(t)+2.231n(RH)$ $-0.000295RH^2$	0.530	6.0**
Wang	$w_1=-0.100-0.04731n(T)+0.00000194RH^2$	0.954	133.5**
	$w_2=-0.00185+0.0008151n(T)+0.000000110T^2$ $-0.0000000500RH^2$	0.952	79.5**
Empirical	$C_1=0.944-0.000113T^2+0.0000466RH^2$	0.905	61.8**
	$C_2=-0.2411+0.000735RH+0.0000133T^2$ $-0.0000175RH^2$	0.657	7.7**

Notes) D : Diameter of small-sized ginseng ranged from 1.78 to 1.87cm
 T : Drying air temperature(°C)
 RH : Relative humidity(%)

Table 6. Estimation of parameters involved in drying models for medium-sized ginseng. (Variables included are drying temperature and relative humidity.)

Model	Estimated Parameters	R ²	F
App.- Diffusion	$A=-2.59-0.0416T+1.421n(T)+0.0000357RH^2$	0.899	35.5**
	$k=-0.509-0.00259T-0.000327RH-0.1881n(T)$	0.819	18.0**
Page	$k=-0.680-0.00560(T)-0.00970RH+0.000103T^2$	0.870	18.4**
	$N=-0.127-0.0205T+0.0194RH+1.03ln(T)$ $-0.7761n(RH)$	0.797	10.8**
Thompson	$A=-60.1+10.91n(T)+0.001851T^2+3.071n(RH)$ $-0.00173RH^2$	0.979	125.0**
	$B=41.8-1.16T+0.0113T^2$ $-3.411n(RH)+0.000815RH^2$	0.763	8.8**
Wang	$w_1=0.146-0.04821n(T)-0.1091n(RH)$ $+0.00000477RH^2$	0.983	228.0**
	$w_2=-0.000498+0.0000427T+0.0000108RH$ $-0.00000180T^2$	0.984	172.1**
Empirical	$C_1=1.144-0.00749T+0.0000408RH^2$	0.882	48.5**
	$C_2=0.598+0.00935T+0.00143RH-0.424ln(T)$ $-0.0000204RH^2$	0.613	4.3*

Notes) D : Diameter of medium-sized ginseng ranged from 2.23 to 2.39cm
 T : Drying air temperature(°C)
 RH : Relative humidity(%)

Table 7. Estimation of parameters involved in drying models for large-sized ginseng. (Variables included are drying temperature and relative humidity.)

Model	Estimated Parameters	R ²	F
App.-Diffusion	$A = 0.341 - 0.0233T + 0.0148RH + 0.791\ln(T) - 0.575\ln(RH)$	0.741	7.9**
	$k = -0.0297 + 0.00157T - 0.000207RH + 0.00685\ln(T)$	0.899	35.5**
Page	$k = -0.0219 + 0.0000275T^2 + 0.0424\ln(RH) - 0.0000282RH^2$	0.830	19.6**
	$N = 0.00590 + 0.387\ln(T) + 0.0000483T^2 - 0.197\ln(RH) + 0.0000766RH^2$	0.859	16.8**
Thompson	$A = -121 + 0.196T - 0.639RH + 9.49\ln(T) + 25.1\ln(RH)$	0.948	49.9**
	$B = 140.0 + 0.829T - 46.9\ln(T) + 1.16\ln(RH) - 0.000326RH^2$	0.867	17.9**
Wang	$w_1 = -0.0186 - 0.000846T - 0.0116\ln(T) + 0.00000253RH^2$	0.980	193.6**
	$w_2 = -0.00219 + 0.0000248T - 0.00000230RH + 0.000815\ln(RH)$	0.982	217.5**
Empirical	$C_1 = 0.584 - 0.0180T + 0.0113RH + 0.557\ln(T) - 0.378\ln(RH)$	0.874	19.0**
	$C_2 = 0.0631 - 0.000595RH - 0.0709\ln(T)$	0.710	15.9**

Notes) D : Diameter of large-sized ginseng ranged from 2.69 to 2.81cm
 T : Drying air temperature(°C)
 RH : Relative humidity(%)

Table 8. Mean square errors of the drying models including factors of drying temperature and relative humidity for small-sized ginseng.

Model	Mean Square Error	R ²	F
App.-Diffusion	0.0083234	0.867	704.6**
Page	0.0045397	0.928	1036.7**
Thompson	0.0017074	0.973	3303.4**
Wang	0.0109410	0.825	611.9**
Empirical	0.0028080	0.955	2760.9**

Table 9. Mean square errors of the drying models including factors of drying temperature and relative humidity for medium-sized ginseng.

Model	Mean Square Error	R ²	F
App.-Diffusion	0.0108620	0.835	549.2**
Page	0.0031383	0.953	1625.3**
Thompson	0.0014148	0.979	3703.0**
Wang	0.0063517	0.904	870.9**
Empirical	0.0020941	0.968	3301.2**

Table 10. Mean square errors of the drying models including factors of drying temperature and relative humidity for large-sized ginseng.

Model	Mean Square Error	R ²	F
App.-Diffusion	0.0050670	0.903	861.1**
Page	0.0028820	0.945	1584.1**
Thompson	0.0005469	0.989	7649.3**
Wang	0.0042449	0.919	1219.9**
Empirical	0.0017787	0.966	3061.4**

Table 11. Mean relative percentage deviation of the drying models including factors of temperature and relative humidity for small, medium and large-sized ginseng.

Size	Model				
	App.-Diffusion	Page	Thompson	Wang	Empirical
Small	11.76	8.20	7.03	19.38	11.74
Medium	9.64	6.29	6.23	12.13	8.38
Large	5.07	4.87	2.98	8.30	4.72

5개의 모델이 모두 고도의 유의성이 인정되었기 때문에 시험구 전체에 대해 예측해 본 결과 Wang 모델은 소편, 중편, 대편 모두에서 인삼의 직경, 건조공기의 온도, 상대습도를 독립변수로 하여 예측한 경우와 마찬가지로 시간이 경과함에 따라 함수율비를 감소하다 증가하는 것으로 예측하고 Page 모델은 건조온도 30°C 상대습도 75%의 시험구에서 많은 편의를 일으키며 과다예측하는 경향을 보여 역시. 본 실험의 전 실험범위를 예측하기에는 부적합한 모델로 판단되었다. 그러나 Thompson 모델은 소편, 중편, 대편 크기의 인삼 모두에서 편의를 일으키지 않고 잘 일치하였다.

한편 유사확산모델은 건조초기에 함수율비를 과소예측하고 실험모델은 건조말기에 역시 함수율비를 낮게 예측하는 경향은 직경요인까지 포함해 개발했던 모델의 경향과 같았으나 소편, 중편, 대편 크기의 인삼 모두에서 편의를 일으키는 구간 없이 예측하였다.

따라서 본 실험에서 분류한 소편, 중편, 대편의 일정한 크기의 인삼에서 시험구 전 범위에서 편의를 일으키지 않고 건조속도를 예측할 수 있는 모델은 유사확산모델, Thompson 모델 및 실험모델이었다. 이들 3개의 모델을 결정계수와 잔차의 평균평방 그리고 평균 상대오차율로 비교해 볼때

Thompson 모델은 소편, 중편, 대편에서 모두 95% 이상의 높은 결정계수를 가지나 유사확산모델은 이보다 많이 낮은 83~90%정도를 보였으며, 잔차의 평균평방 역시 유사확산모델이 실험모델과 Thompson 모델보다 월등히 높았다.

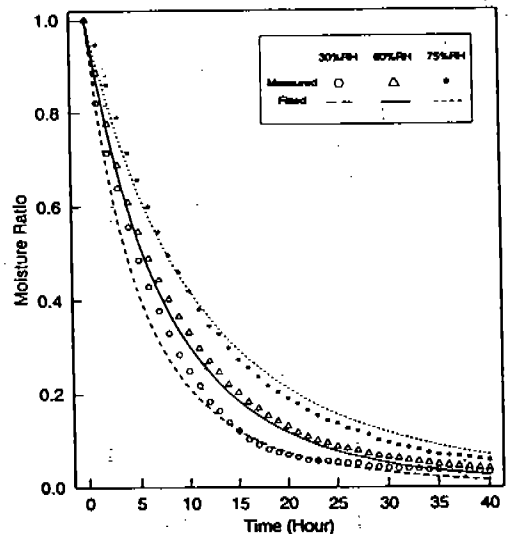


Fig. 5 : Measured and fitted moisture ratios by Thompson model for medium-sized Peeled ginseng at 50°C. (Model's parameters were estimated as a function of temperature and RH for each size group.)

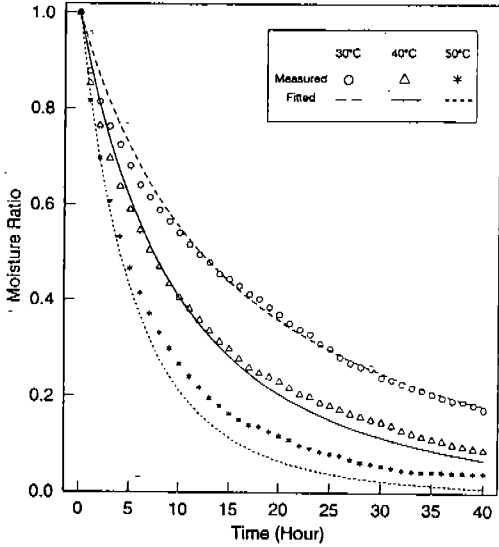


Fig. 6 : Measured and fitted moisture ratios by Thompson model for medium-sized Peeled ginseng at 45% RH. (Model's parameters were estimated as a function of temperature and RH for each size group.)

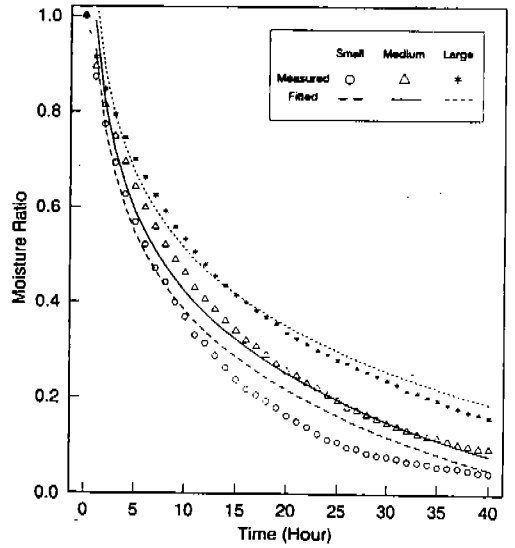


Fig. 8 : Measured and fitted moisture ratios by The Empirical model for Peeled ginseng at 40°C and 60% RH. (Model's parameters were estimated as a function of temperature and RH for each size group.)

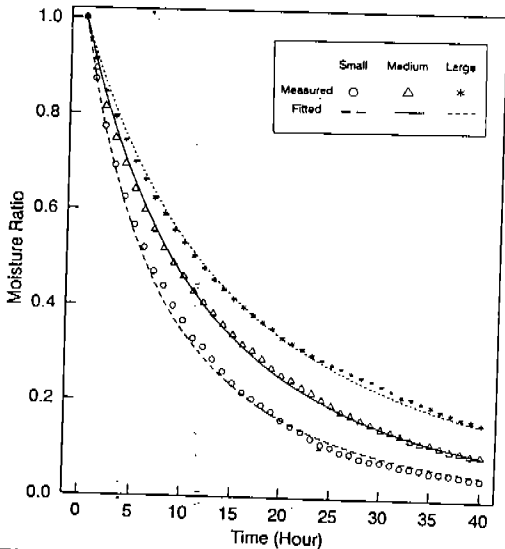


Fig. 7 : Measured and fitted moisture ratios by Thompson model for medium-sized Peeled ginseng at 40°C and 60% RH. (Model's parameters were estimated as a function of temperature and RH for each size group.)

따라서 본 실험에서 분류한 소편, 중편, 대편 크기의 각 인삼에서 건조속도를 훌륭히 예측할 수 있는 모델은 Thompson 모델과 실험모델로 판단되었다.

그림 5, 6 및 그림 7, 8은 각각 Thompson 모델과 실험모델에 의한 몇개 시험구의 함수율비를 예측한 그림이다.

직경요인을 고려치 않은 건조모델

일반농가의 인공 열풍건조장에서 인삼을 건조할 때는 일반적으로 인삼의 크기를 정확히 구별하여 건조하지 않고 대략적으로만 크기를 분류하여 건조할 뿐만 아니라 실제로 농기수준에서 직경을 측정하여 인삼을 크기별로 선별하여 건조하기란 번거로운 일일 것으로 생각된다.

앞에서 개발했던 건조모델들은 인삼의 크기로서 직경이 정확히 측정되거나 본 실험에서 사용했던 시료크기의 범위에 드는 경우에 적용할 수 있는 식이므로 일반 인삼건조장에서 이용하기가 불편하다.

이와같은 불편을 해소하기 위하여 크기의 분류 없이 소편, 중편, 대편에 공통적으로 사용할 수 있는 모델을 개발하고자 직경 1.78cm~2.81cm 사이에 드는 본 실험에 사용한 시료 전체를 대상으로 하여 직경을 무시하고 건조온도와 상대습도만을 함수로 하여 모델들의 제외한 유사확산모델 Page 모델, Thompson 모델, 실험모델 등 4개 모델을 선정하여 각 모델의 매개변수에 대한 식을 개발하였다.

각 모델의 매개변수의 설명변수와 설명변수의 선정방법은 앞의 방법과 동일한 방법을 사용하였으며, 앞에서와 같이 직경을 고려해서 함수울비를 예측했을때 편의가 심하고 잘 일치하지 않았던 Glenn 모델과 Wang 모델을 제외한 유사확산모델, Page모델, Thompon모델, 실험모델 등 4개의 모델을 선정하여 각 모델의 매개변수에 대하여 분석한 결과는 표 12와 같다.

표 12에서와 같이 각 모델들의 매개변수들은 모두 고도의 유의성이 인정되었으나 결정계수는 직경요인을 함께 넣어 개발했던 식들보다 낮았으며

0.45~0.72 범위에 분포하였다.

표 13은 개발된 각 모델의 매개변수에 대한 식을 각 모델에 대입하여 전체 48개 시험구에 대하여 분산분석한 결과로서 4개 모델 모두 고도의 유의성이 인정되었으며 87% 이상의 높은 결정계수를 가졌다.

그러나 Page 모델은 직경요인을 넣어 개발했던 모델일 때보다 결정계수가 20%정도 증가했음에도 불구하고 역시 앞에서와 마찬가지로 저온이며 높은 상대습도를 갖는 건조조건에서 함수울비를 과다예측하는 경향을 보여 부적합한 것으로 판단되었다.

유사확산모델이 건조초기 4~5시간 동안 함수울비를 과소예측하거나 실험모델이 높은 건조온도에서 건조말기에 함수울비를 0보다 작은 값으로 예측하는 경향 등은 앞에서와 같았으나 편의를 일으키며 예측하는 시험구는 없었다. 그러나 유사확산모델은 4가지 모델중 결정계수가 가장 낮을 뿐만 아니라 잔차의 평균평방이 가장 커 오차가 큰 모델로 판단되었다.

Table 12. Estimation of parameters involved in drying models regardless of the ginseng size. (Variables included are drying temperature and relative humidity.)

Model	Estimated Parameters	R ²	F
App.- Diffusion	$A=1.99-0.0000966T^2-0.340\ln(RH)$ $+0.0000917RH^2$	0.533	16.7**
	$k=-0.140+0.0709\ln(T)-0.0155\ln(RH)$	0.664	44.5**
Page	$k=0.207-0.00276RH+0.0000456T^2$	0.587	32.0**
	$N=1.11+0.132\ln(T)-0.272\ln(RH)$ $+0.0000880RH^2$	0.678	30.9**
Thompson	$A=-24.7+0.424T-0.000983RH^2$	0.724	59.0**
	$B=101+0.645T-33.6\ln(T)$	0.450	18.4**
Empirical	$C_1=0.987-0.0000849T^2+0.0000410RH^2$	0.674	46.6**
	$C_2=0.428+0.196\ln(T)+0.0000469T^2$ $-0.00000775RH^2$	0.448	11.9**

Notes) D : Diameter of of ginseng ranged ranged from 1.78 to 2.81cm
 T : Drying air temperature(°C)
 RH : Relative humidity(%)

Table 13. Mean square errors of the drying models including factors of drying temperature and relative humidity regardless of the ginseng size.

Model	Mean Square Error	R ²	F
App.-Diffusion	0.0081831	0.871	2637.7**
Page	0.0060129	0.905	3731.3**
Thompson	0.0047404	0.925	6047.7**
Empirical	0.0047979	0.924	4775.6**

Table 14. Mean relative percentage deviation(P) of the drying models including factors of drying temperature and relative humidity regardless of the ginseng size.

Model	App.-Diffusion	Page	Thompson	Empirical
P	12.73	13.15	11.78	12.59

Thompson 모델은 대편, 중편, 소편별로 일정한 크기에서 개발했던 모델과 마찬가지로 건조초기부터 말기까지 편의를 일으키는 시험구없이 잘 예측하였다.

표 14는 각 모델의 평균 상대오차율을 나타낸 표이다. 잔차의 평균평방을 살펴보면 표 13에서와 같이 Thompson 모델과 본 실험에서 설정한 실험모델이 비슷한 수준으로서 가장 작았고, 평균 상대오차율도 표 14에서와 같이 각각 11.78%와 12.59%를 보여 가장 작은 수준이다.

따라서 일반농가의 건조장에서 건조시간에 따른 함수율이나 함수율의 변화를 대략적으로 예측하고자 할때 12%정도의 오차를 감안할 수 있다면 Thompson 모델과 실험모델이 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

그림 9, 10은 온도 40℃ 상대습도 45%와 온도 50℃ 상대습도 60%에서의 함수율비의 변화를 Thompson 모델과 실험모델에 의해 대편, 중편, 소편 함께 예측한 그림이다.

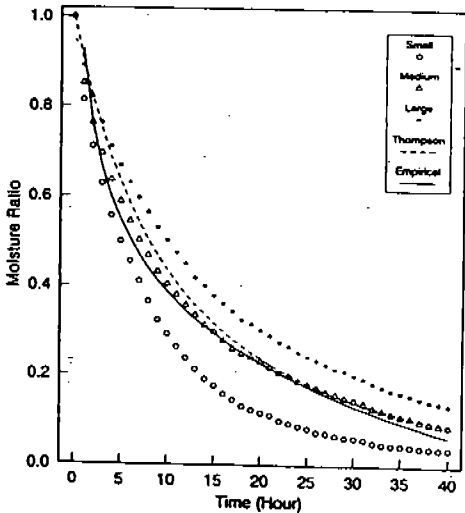


Fig. 9 : Measured and fitted moisture ratios by Thompson and The Empirical model for Peeled ginseng at 40°C and 45% RH. (Model's parameters were estimated as a function of temperature and RH regardless of ginseng size.)

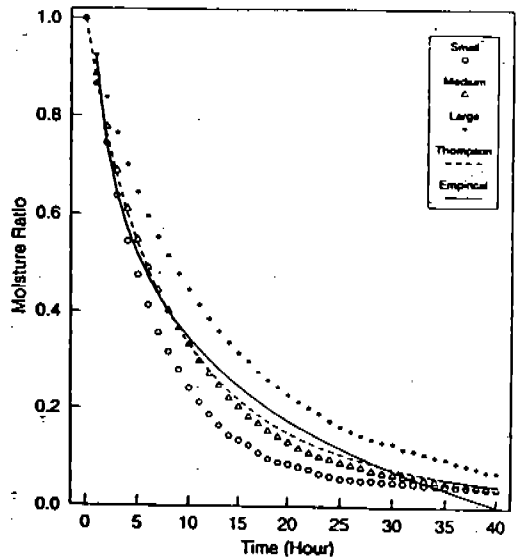


Fig. 10 : Measured and fitted moisture ratios by Thompson and The Empirical model for Peeled ginseng at 50°C and 60% RH. (Model's parameters were estimated as a function of temperature and RH regardless of ginseng size.)

요 약

일반농가에서 가장많이 제조하고 있는 4년근 박피백삼을 시료로 하여 건조온도 4수준(30℃, 40℃, 50℃, 60℃), 상대습도 4수준(30%, 45%, 60%, 75%), 인삼의 직경 3수준(소편, 중편, 대편)에서 건조실험을 실시하여 기존의 5개의 농산물 건조모델과 본 실험에서 설정한 실험모델의 매개변수에 관한 식을 온도, 상대습도, 직경 등의 함수로 하여 인삼의 건조속도를 예측하였으며 건조모델을 다음의 세가지 경우에 대하여 개발하였다.

- ① 인삼의 직경(대, 중, 소편)별로 모델의 매개변수를 건조온도와 상대습도의 함수로 나타내는 경우
- ② 모델의 매개변수를 인삼의 직경, 건조온도, 상대습도의 함수로 나타내는 경우
- ③ 인삼의 직경(크기)을 고려하지 않고 모델의 매개변수를 건조온도와 상대습도의 함수로 나타내는 경우

이와 같은 세경우에서 모델의 예측성이 가장 좋은 경우(오차가 가장 작은 경우)는 ①의 경우이며 ③의 경우에서 개발된 모델은 예측성이 다른 두 경우에 비하여 낮으나 가장 간편하게 이용될 수 있는 모델이다.

1) 본 실험에서 시료로 사용한 대편(직경: 2.69cm~2.81cm), 중편(직경: 2.23cm~2.39cm), 소편(직경: 1.78cm~1.87cm)별 인삼의 건조모델로서는 Thompson 모델과 실험모델이 가장 적합하였다. 그 모델은 다음과 같다.

- ① Thompson 모델 : $t = A \cdot \ln(MR) + B[\ln(MR)]^2$
 - 소편 : $A = -122 - 0.496T + 37.2\ln(T) - 0.000629RH^2$
 $B = 25.9 + 0.271T - 11.6\ln(T) + 2.231\ln(RH) - 0.000295RH^2$
 - 중편 : $A = -60.1 + 10.9\ln(T) + 0.00185T^2 + 3.07\ln(RH) - 0.00173RH^2$
 $B = 41.8 - 1.16T + 0.0113T^2 - 3.41\ln(RH) + 0.000815RH^2$
 - 대편 : $A = -121 + 0.196T - 0.639RH + 9.49\ln(T) + 25.1\ln(RH)$
 $B = 140 + 0.829T - 46.9\ln(T) + 1.16\ln(RH) - 0.000326RH^2$

$$n(RH) - 0.000326RH^2$$

- ② 실험모델 : $MR = C_1 + C_2 \cdot \ln(t)$
 - 소편 : $C_1 = 0.944 - 0.000113T^2 + 0.0000466RH^2$
 $C_2 = -0.241 + 0.00735RH + 0.0000133T^2 - 0.0000175RH^2$
 - 중편 : $C_1 = 1.14 - 0.00749T + 0.0000408RH^2$
 $C_2 = 0.598 + 0.00935T + 0.00143RH - 0.424\ln(T) - 0.0000204RH^2$
 - 대편 : $C_1 = 0.584 - 0.0180T + 0.0113RH + 0.557\ln(T) - 0.378\ln(RH)$
 $C_2 = 0.0631 - 0.000595RH - 0.0709\ln(T)$

2) 모델의 매개변수를 인삼의 직경, 건조온도, 상대습도의 함수로 하여 나타내는 경우에서 가장 적합한 모델은 유사확산모델과 실험모델로서 다음과 같다.

- ③ 유사확산모델 : $MR = A \cdot \exp(-k \cdot t)$
 - $A = 1.72 + 0.407\ln(D) - 0.0000963T^2 - 0.358\ln(RH) + 0.0000945RH^2$
 - $B = 1.01 + 0.0195RH - 0.00518D^2 + 0.0708\ln(T) - 0.492\ln(RH) - 0.0000933RH^2$

- ④ 실험모델 : $MR = C_1 + C_2 \cdot \ln(t)$
 - $C_1 = 1.14 + 0.382\ln(D) - 0.0000847T^2 - 0.139\ln(RH) + 0.0000664RH^2$
 - $C_2 = 0.440 - 0.0224\ln(D) - 0.193\ln(T) + 0.0000464T^2 - 0.00000771RH^2$

3) 직경 1.78cm에서 2.81cm 사이에 드는 4년근 인삼을 크기의 분류없이 함께 건조할 때 건조속도를 예측하기에 적합한 모델은 Thompson 모델과 실험모델로서 그 모델은 다음과 같다.

- ① Thompson 모델 :
 - $t = A \cdot \ln(MR) + B[\ln(MR)]^2$
 - $A = -24.8 + 0.424T - 0.0000983RH^2$
 - $B = 101 + 0.645T - 33.6\ln(T)$
- ② 실험모델 : $MR = C_1 + C_2 \cdot \ln(t)$
 - $C_1 = 0.981 - 0.0000849T^2 + 0.0000410RH^2$
 - $C_2 = 0.428 - 0.196\ln(T) + 0.0000469T^2 - 0.0000775RH^2$

참고문헌

1. 전북인삼경작조합(1987) 인삼경작교재(조합원 교육용).
2. Lewis, W. K.(1921) The rate of drying of solid materials. *Int. Eng. Chem.*, 13(5), 427-432.
3. Kemp, J. G., Misener, G. C. and Roach, W. S.(1972) Development of empirical formulae for drying of hay. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 15,723-725.
4. Glenn, T. L.(1978) Dynamic analysis of grain drying system. Ph. D. thesis. The Ohio State University. Univ. Microfilms No. 79-15-977. Ann Arbor, MI.
5. Keener, H. M., Meyer, G. E., Sabbah, M. A., and Curry, R. B. (1978) Simulation of solar grain drying. *Agricultural Engineering Series 102*, Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooster, OH.
6. Syarief, A. M., Morey, R. V. and Gustafson, R. J. (1984) Thin-layer drying rates of sunflower seed. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 27(1), 195-200
7. Page, C.(1949) Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M. S. Thesis. Purdue University.
8. Thompson, T. L., Peart, R. M. and Foster, G. H. (1968) Mathematical simulation of corn drying - a new model. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 11(4), 582-586.
9. Wang, C. Y. and Singh, R. P.(1978) A single layer drying equation for rough rice. *ASAE TECHNICAL PAPER NO. 78-3001*, 1-21
10. Li, Y. and Morey, R. V.(1987) Thin-layer drying rates and quality of cultivated American ginseng. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 30(3), 842-847.
11. 이종철, 안대진, 변정수(1986) 백삼건조 방법 개선시험. 한국인삼연초연구소 인삼연구보고서(재배분야), 626-638.
12. 성현순, 김상달, 도재호(1983) 백삼건조방법 개선. 한국인삼연초연구소 인삼연구보고서(재배분야), 263-287.
13. 이종철, 안대진, 변정수, 석영선, 유인현(1985) 백삼건조방법 개선연구. 한국인삼연초연구소 인삼연구보고서(재배분야), 573-587.
14. 전재근, 박훈, 서정식(1985) 증자인삼의 건조 특성과 건조에 수반하는 삼근의 수축. *한국농화학회지*, 28(3), 167-173.
15. 오훈일, 김상달, 도재호, 이송재, 노혜원(1979) 백삼제조방법개선연구(백삼 및 피부백삼 제조 방법 비교연구). 고려인삼연구소 인삼연구보고서(제조분야), 75-94.
16. 최병민, 이종호, 박승제(1991) 인삼의 건조 평형함수율. 전북대학교 논문집, 33, 273-284.