人蔘의 平衡含水率에 關한 硏究

Equilibrium Moisture Content of Korean Ginseng

崔秉旻* 李鍾瑚** 朴勝濟** 金哲洙** 李仲用**
B. M. Choi J. H. Lee S. J. Park C. S. Kim J. Y. Rhee

Summary

This study intended to measure the desorption and adsorption EMC of four years old Peeled ginseng, Unpeeled ginseng and Taegeuk ginseng under various conditions〈four levels of temperature(20℃, 30℃, 40℃, 50℃) and five levels of relative humidity from 31% to 88%) by the static method. Four widely used EMC models were selected and evaluated. Also the empirical model was evaluated.

The results are summarized as follows ;

1) EMC difference between ginseng size was not found but found between ginseng species. EMC difference between Peeled ginseng and Unpeeled ginseng was not found. EMC of Peeled ginseng and Unpeeled ginseng was higher than that of Taegeuk ginseng.
2) The hysteresis, which is difference between desorption and adsorption EMC, was found. Desorption EMC was higher than adsorption EMC. The hysteresis at the same temperature decreased as relative humidity increase. The difference of hysteresis between Peeled ginseng and Unpeeled ginseng was not large and the hysteresis of Taegeuk ginseng was smaller than those of other species.
3) Among the selected models, Henderson model was the best to predict the adsorption EMC of White ginseng(Peeled and Unpeeled ginseng), and Oswin model was the best to predict the desorption EMC of White ginseng and the desorption and adsorption EMC of Taegeuk ginseng.
   The models are as follows ;
   ⓐ White ginseng(Peeled and Unpeeled ginseng)
   ◦ Desorption EMC(Oswin model) :
   $M=(0.1272-0.0007420T)\cdot[RH/(1-RH)]^{(0.4164+0.001368T)}$
   ◦ Adsorption(Henderson model) :
   $1-RH=\exp[-0.0003480T_k\ M_o^{0.9231}]$
   ⓑ Taegeuk ginseng
   ◦ Desorption EMC(Oswin model) :
   $M=(0.1051-0.0008439T)[RH/(1-RH)]^{(0.4553+0.003425T)}$
   ◦ Adsorption EMC(Oswin model) :
   $M=(0.08247-0.0007559T)\cdot[RH/(1-RH)]^{(0.5760+0.005540T)}$
4) The developed empirical models could predict the desorption and adsorption EMC for White and Taegeuk ginseng more precisely than selected models. The empirical models are as follows ;
   ⓐ White ginseng(Peeled and Unpeeled ginseng)
   ◦ Desorption EMC :
   $M=0.124-0.000647T-0.216RH+0.373RH^2$
   ◦ Adsorption EMC :
   $M=0.0879-0.000663T-0.197RH+0.399RH^2$

* 順天大學校 農科大學 農業機械工學科
** 全北大學校 農科大學 農業機械工學科

ⓑ Taegeuk ginseng

◦ Desorption EMC :

$M = 0.159 - 0.000728T - 0.429RH + 0.565RH^2$

◦ Adsorption EMC :

$M = 0.123 - 0.000662T - 0.384RH + 0.555RH^2$

1. 서 론

인삼제품중 원형을 유지하는 건조제품으로는 홍삼(紅蔘), 백삼(白蔘), 태극삼(太極蔘) 등이 있으며 홍삼류는 국가 전매사업 대상이기 때문에 한국담배인삼공사(1989)에 의해 조제, 가공되고 있고 백삼 및 태극삼은 일반농가, 가공업자, 조합 등에 의해 조제, 가공되고 있다.

일반 농가에서 제조가 가능한 인삼류중 백삼(White ginseng)이란 표피를 제거한 후 건조시킨 박피백삼(剝皮白蔘 ; Peeled ginseng)과 표피를 제거하지 않고 건조시킨 피부백삼(皮附白蔘 ; Unpeeled ginseng)을 말하며 태극삼(太極蔘 ; Taegeuk ginseng)이란 75~90℃의 물속에 20~25분간 잠궈 동체(胴體)의 2/3~4/5 정도가 익도록 한 후 건져내어 건조한 인삼을 말한다. 그러나 태극삼의 경우 최근에는 소비자의 기호를 고려하여 홍삼과 같이 동체를 완전히 삶은 후 건조 제조하는 경우가 많다.

인삼의 건조에 대한 연구는 국내외에서 단편적으로 일부 수행된 바 있지만 평형함수율에 관한 연구결과는 거의 보고된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 일반농가에서 주로 제조되고 있는 박피백삼, 피부백삼, 태극삼의 평형함수율에 대한 특성을 구명하고 평형함수율 모델을 개발하고자 하였으며 그 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

1) 박피백삼, 피부백삼, 태극삼에 대해 20~50℃의 온도와 상대습도 31~88%의 범위에서 염용액을 이용하는 정적인 방법으로 건조 및 흡습 평형함수율을 측정한다.
2) 인삼의 종류 및 크기가 평형함수율에 미치는 영향을 분석한다.
3) 평형함수율의 히스테리시스를 분석한다.
4) 현재 널리 이용되고 있는 기존의 평형함수율 모델에 대하여 인삼의 건조 및 흡습 평형함수율 모델로서의 적합성을 검정한다.
5) 건조 및 흡습 평형함수율을 예측할 수 있는 실험모델을 개발하고 이를 기존 모델들과 비교 분석한다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

1) 건조 평형함수율 시료

4년근 수삼의 뇌두 끝 2cm 지점에서 측정한 원주에 따라서 5.5~6.0cm, 7.0~7.5cm, 8.5~9.0 cm 사이에 드는 수삼을 각각 소편(small size), 중편(medium size), 대편(large size)으로 분류하였다. 세삼하고 주근과 1차 지근 만을 남기고 단소화한 후, 박피백삼용 시료는 과도를 이용하여 박피하고 태극삼용 시료는 소편은 60분, 중편은 90분, 대편은 120분간 83℃(±2℃)의 항온수조에서 동체의 중심까지 완전히 삶아 1차 가공하였다.

방부제 처리는 40℃ 오븐에서 함수율 30% (wb) 정도까지 시료를 건조한 후 페놀(phenol)

5% 수용액에 5분간 침지하였다.

이와같이 처리된 시료는 다시 40℃ 오븐에서 함수율 26%(wb) 정도가 될 때까지 건조한 후 시료로 사용하였다.

2) 흡습 평형함수율 시료

흡습 평형함수율 시료의 가공은 건조 평형함수율 시료의 1차가공 때와 같은 방법으로 하였으며 1차가공된 시료를 50℃의 오븐에서 함수율 20%(wb) 근처까지 건조한 후 건조 평형함수율 실험때와 같은 방법으로 방부제 처리를 하였다. 방부제 처리된 시료는 다시 50℃의 오븐에서 함수율 2~3%(wb) 정도가 될 때까지 건조하여 시료로 사용하였다.

나. 실험장치

유리병과 7종의 염용액($MgCl_2 \cdot 6H_2O$, K_2CO_3, $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$, $NaNO_2$, NaCl, K_2CrO_4, KNO_3) 및 외부가 단열된 철재 항온수조 4개(20℃, 30℃, 40℃, 50℃ 수조)를 이용하여 그림 1과 같은 항온항습장치를 제작하였다.

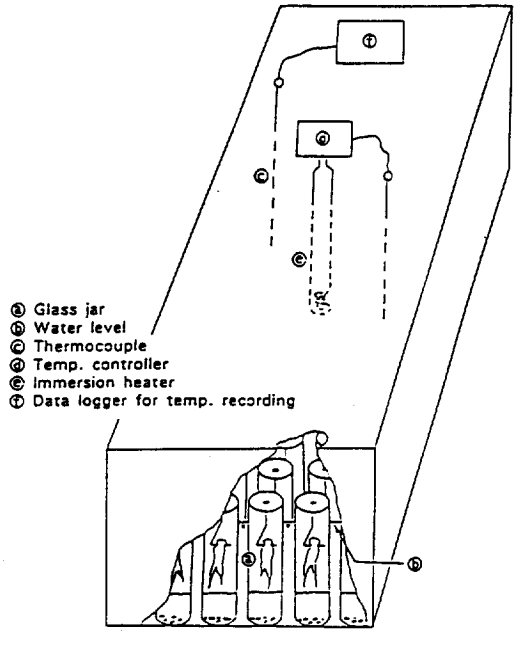


Fig. 1. Constant temperature water bath and arrangement for EMC measurement.

항온수조의 온도는 전열기와 K 타입 열전대를 이용한 온도조절기를 사용하여 일정온도를 유지하게 하였고 데이타 로거를 이용하여 온도를 30분 간격으로 측정 기록하였다.

다. 실험설계

건조 평형함수율의 실험은 주시험 대상인 박피백삼, 피부백삼, 태극삼 중편을 3반복 측정하였으며, 방부제 처리시간의 차이에 따른 시료간의 평형함수율값의 차이 여부를 구명하기 위한 실험이 30℃와 50℃의 온도에서 각각 2수준의 상대습도를 선택하여 박피백삼 중편을 대상으로 3반복 실시되었다. 또한 인삼의 크기별 건조 평형함수율의 차이 여부를 확인하기 위한 실험이 각 인삼의 대편과 소편을 대상으로 20℃와 40℃의 온도에서 각각 2수준의 상대습도를 선택하여 2반복 실시되었으며 총 252개의 인삼 시료를 매달은 유리병을 각 수조에 완전 임의 배치하였다.

흡습 평형함수율의 측정은 박피백삼, 피부백삼, 태극삼에 대해 크기의 구별없이 3반복 실시하였으며 180개의 시료를 매달은 유리병을 건조 평형함수율 실험에 사용했던 실험장치의 각 수조에 역시 완전 임의 배치하였다.

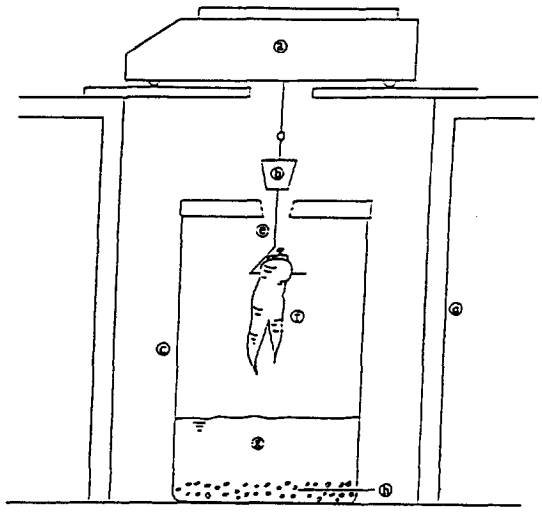
라. 실험방법

1) 함수율 측정

일반적으로 많이 쓰이는 오븐법(oven method)을 사용하였으며 열분해로 인한 함수율의 과잉예측(권과 이, 1987)을 피하기 위하여 기류순환식 오븐에서 70℃로 건조하여 함수율을 측정하였다. 건조시간은 대편, 중편, 소편 공히 120시간으로 하였다.

2) 평형함수율 측정

각 유리병에 배달려 있는 인삼의 무게를 그림 2와 같이 전자저울의 후크를 이용하여 1주일 주기로 측정하고 3주일 이상 무게변화가 평균 ±0.03g(±0.24%,wb)이내일 때 항량에 도달한 것으로 간주하고 이때의 함수율을 측정하여 평형함수율값으로 하였다.



ⓐ Electronic balance ⓔ Stainless wire
ⓑ Rubber stopper ⓕ Ginseng
ⓒ Glass jar ⓖ Saturated salt solution
ⓓ Balance stand ⓗ Excess salt

Fig. 2. Constant relative humidity jar and arrangement for weight measurement.

마. 평형함수율 모델

1) 평형함수율 모델 선정

인삼의 평형함수율 모델로서는 표 1과 같은 4개의 모델을 선정하였다. 이 중에서 Henderson (1952) 모델과 Chung-Pfost(1967) 모델은 곡물의 평형함수율 예측에 널리 이용되고 있으며, Modified-Halsey 모델(Chirife 와 Iglesias, 1978), Oswin(1946) 모델 등은 식품재료의 평형함수율 예측에 널리 사용되고 있다.

Table 1. Equilibrium moisture content models.

Model	Equation
Henderson	$1-RH=\exp[-A\cdot T_k\cdot M_o^B]$
Chung-Pfost	$\ln(RH)=(-A/R\cdot T_k)\cdot\exp(-B\cdot M)$
Modified-Halsey	$RH_0=\exp(-A\cdot M^{-B})$
Oswin	$M=A[RH/(1-RH)]^B$

Note) M : Equilibrium moisture content(decimal, db)
M_0 : Equilibrium moisture content(%, db)
RH : Relative humidity(decimal)
RH_0 : Relative humidity(%)
T : Temperature(℃)
T_k : Absolute temperature(K)
R : Gas constant, 8.31×10^3(J · T_k^{-1} · kM_0l^{-1})
A,B : Parameters

2) 실험모델 개발

평형함수율의 실험모델을 개발하기 위하여 온도와 상대습도를 변수로 설정하고, 실험자료의 통계분석을 용이하게 하기위하여 다중선형회귀분석을 시도하였다. 이 분석에서는 온도와 상대습도 외에 각각의 변수에 로그함수, 자승과 같은 비선형함수를 취하여, 다음에 나타낸 바와 같이 모두 6개의 독립변수를 갖는 평형함수율 모델을 가정하였다.

$$M=A\cdot T+B\cdot\ln(T)+C\cdot T^2+D\cdot RH+E\cdot\ln(RH)+F\cdot RH^2$$

M : 평형함수율(소수, wb)
T : 온도(℃)
RH : 상대습도(소수)
A, B, C, D, E, F : 상수

26개의 모델들 중에서 SAS(Ver. 6.04)의 RSQUARE PROC를 이용하여 수정결정계수와 Mallow의 C_p값을 기준으로 몇개의 모델을 예비선정한 다음, 인삼의 종류에 관계없이 건조와 흡습 평형함수율에 공통적으로 적용할 수 있고 수정결정계수와 F값이 가장 높은 모델을 선정하여 실험모델로 채택하였다.

3) 모델의 적합성 검정

표 1과 같은 모델들은 모두 선형화가 가능하다. 따라서 MINITAB(Ver.5.11) 선형회귀분석 프로그램을 이용하여 모델에 포함되어 있는 매개변수 A, B를 결정계수와 F값을 기준으로 구하

였으며 각각의 모델의 매개변수가 구해진 다음 시험구 전체에서 결정계수, F값 및 잔차의 평균 평방을 기준으로 하여 각 모델의 적합성 검정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 인삼의 평형함수율

1) 인삼의 크기 및 방부제 처리 효과

본 실험에서 시료가 건조 평형함수율에 도달하기까지는 약 10주가 소요되었다. 온도 20℃와 40℃의 시험구에서 박피백삼, 피부백삼, 태극삼의 크기에 따른 건조 평형함수율을 실험한 결과 인삼의 크기에 따른 평형함수율의 차이는 유의성이 인정되지 않았다.

방부제 처리효과를 구명하기 위하여 실험한 결과 방부제 처리를 하지 않은 처리구는 시료의 부패로 인하여 측정값을 얻을 수 없었으며, 방부제 처리 시간에 따른 평형함수율의 차이는 없었다. 방부제 처리를 하지 않은 인삼의 평형함수율을 측정할 수 없어 방부제 처리가 평형함수율에 영향을 미치는지의 여부는 직접적으로 비교할 수는 없으나 방부제 처리 시간의 차이에 따른 평형함수율의 유의성이 인정되지 않은 것으로 보아 방부제 처리가 평형함수율에 영향을 주지 않을 것으로 추정된다.

Table 2. Desorption equilibrium moisture contents of medium-sized ginseng at different levels of relative humidity and temperature.

Temp.(℃)	RH(%)	Equilibrium Moisture Content (%,wb)		
		Peeled ginseng	Unpeeled ginseng	Taegeuk ginseng
20	33.1	8.22 a*	7.64 a	6.07 b
	44.1	9.15 a	8.79 a	6.98 b
	65.4	13.21 a	12.31 a	9.79 b
	75.6	15.87 a	15.41 a	13.93 b
	86.6	21.17 a	20.57 a	20.28 a
30	32.4	7.56 a	6.75 b	5.63 c
	43.8	8.47 a	8.04 a	6.29 b
	63.2	11.78 a	11.35 a	8.61 b
	75.2	15.23 ab	15.00 bc	13.38 c
	86.3	19.82 ab	19.35 bc	18.75 c
40	31.6	6.87 a	6.06 a	4.96 b
	49.2	8.65 a	8.28 a	6.00 b
	61.2	10.66 a	10.39 a	7.71 b
	75.0	14.33 a	14.25 a	12.59 b
	87.9	20.11 a	19.35 a	18.98 a
50	30.6	6.28 a	5.69 a	3.88 b
	46.3	7.61 a	7.35 a	5.04 b
	59.2	9.61 a	9.57 a	6.58 b
	74.9	13.46 a	13.64 a	11.60 b
	85.0	17.82 ab	17.25 bc	16.40 c

Note) * : Mean values within a row followed by the same letter are not significantly different at the 5% level in DUNCAN's multiple range test.

2) 건조 평형함수율

표 2는 중편크기의 박피백삼, 피부백삼, 태극삼의 건조 평형함수율의 평균치이다. 모든 온도에서 박피백삼과 피부백삼의 건조 평형함수율은 태극삼보다 높고 피부백삼이 박피백삼보다 근소하게 낮은 경향을 보였다. 그러나 20개 온, 습도 시험구 각각에 대해 DUNCAN의 다중검정을 해 본 결과 표 2에서와 같이 박피백삼과 피부백삼간에는 1개의 시험구에서만 유의성이 인정되었고 피부백삼과 태극삼간 및 박피백삼과 태극삼간에서는 20개 시험구중 각각 5개와 2개 시험구에서 유의성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 박피백삼과 피부백삼간에는 건조 평형함수율에 차이가 없고 태극삼과 다른 종류의 인삼간에는 건조 평형함수율에 차이가 있는 것으로 판단된다.

태극삼이 다른 종류의 인삼보다도 건조 평형함수율이 낮은 이유는 태극삼 제조 과정중 물로 삶고 건조하는 과정중에 조직의 변화가 일어났기 때문인 것으로 추정된다.

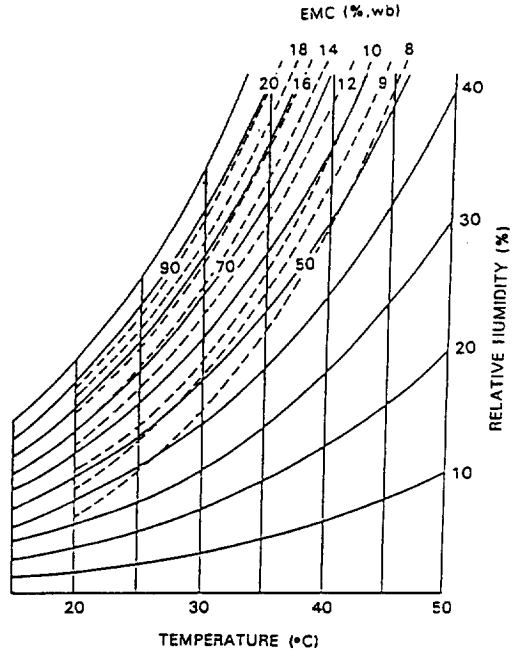


Fig. 3. Desorption isomoisture lines for White ginseng on a psychrometric chart.

Table 3. Adsorption equilibrium moisture contents of ginsengs at different levels of relative humidity and temperature.

Temp.(℃)	RH(%)	Equilibrium Moisture Content (%,wb)		
		Peeled ginseng	Unpeeled ginseng	Taegeuk ginseng
20	33.1	5.30 a*	4.99 a	4.10 a
	44.1	6.52 a	6.56 a	5.26 b
	65.4	11.42 a	11.24 a	8.99 b
	75.6	15.88 a	15.12 a	13.17 b
	86.6	21.07 ab	20.55 bc	20.00 c
30	32.4	4.61 a	4.26 a	3.53 a
	43.8	5.94 a	5.89 a	4.49 b
	63.2	9.96 a	9.84 a	8.04 b
	75.2	14.91 a	14.34 a	12.52 b
	86.3	19.63 a	19.29 a	18.64 a
40	31.6	3.96 a	3.65 a	2.89 b
	49.2	6.23 a	6.02 a	4.37 b
	61.2	9.12 a	8.86 a	7.12 b
	75.0	14.06 a	13.59 a	12.13 b
	87.9	19.63 a	19.36 a	18.91 a
50	30.6	3.38 a	3.25 a	2.17 b
	46.3	5.11 a	5.43 a	3.56 b
	59.2	7.98 a	7.93 a	5.81 b
	74.9	13.03 a	12.82 a	10.95 b
	85.0	17.36 a	16.94 a	16.11 a

Note) * : Mean values within a row followed by the same letter are not significantly different at the 5% level in DUNCAN's multiple range test.

그림 3은 농가에서 많이 제조하고 있는 백삼의 건조 평형함수율(박피백삼과 피부백삼의 건조 평형함수율의 평균값)을 습공기선도에 그려서 온도와 상대습도, 평형함수율의 관계를 나타낸 건조 평형함수율 곡선이다.

3) 흡습 평형함수율

건조 평형함수율의 실험결과 인삼의 크기에 따른 평형함수율의 차이에 유의성이 없었기 때문에 인삼을 크기의 분류없이 흡습 평형함수율 실험용 시료로 사용하였는데 흡습 평형함수율에 도달하기 까지는 약 13주가 소요되었다.

표 3은 박피백삼, 피부백삼, 태극삼의 흡습 평형함수율로서 3반복의 평균치이다. 표 3에서와 같이 건조 평형함수율과 같은 경향을 보이고 있으며 박피백삼과 피부백삼간의 흡습 평형함수율은 차이가 없으나 태극삼은 다른 종류의 인삼보다도 흡습 평형함수율 값이 낮게 나타났다.

4) 평형함수율의 히스테리시스

그림 4는 30℃에서 박피백삼의 히스테리시스를 나타낸 그림이다. 피부백삼과 태극삼도 모든 온도에서 그림에서와 같이 상대습도가 높을 수록 히스테리시스가 작아지는 경향을 보였으나, 박피백삼과 피부백삼은 상대습도 약 75% 이상에서, 태극삼은 상대습도 약 60% 이상에서 상대습도의 차이에 따른 유의성이 인정되지 않았다.

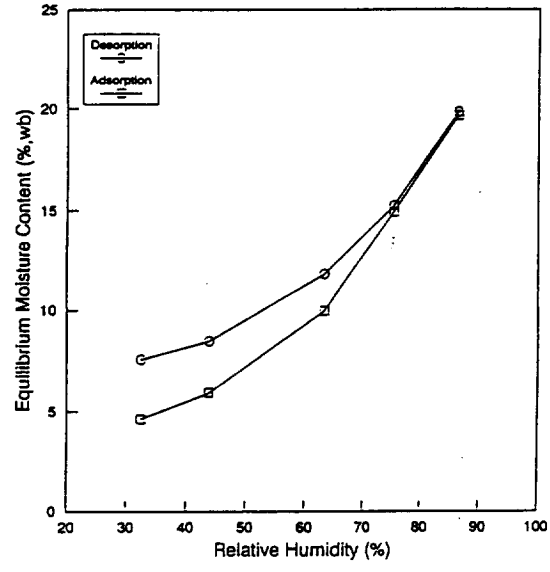


Fig. 4. Difference between desorption and adsorption equilibrium moisture contents for Peeled ginseng at 30℃.

Table 4. Parameters in the Empirical equilibrium moisture content model for White ginseng.

	Parameter				R^2	F
	A	B	C	D		
Desorption	0.12375	−0.000647	−0.21615	0.37263	0.994	2063.6**
Adsorption	0.08792	−0.000663	−0.19728	0.39873	0.997	4284.2**

Table 5. Parameters in Henderson and Chung−Pfost equilibrium moisture content model for White ginseng.

	Model	Parameter		R^2	F
		A	B		
Desorption	Henderson	0.000104586	1.31396	0.973	671.2**
	Chung−Pfost	5840341.5	11.6335	0.964	489.4**
Adsorption	Henderson	0.00034796	0.92309	0.992	2186.4**
	Chung−Pfost	3911376.2	10.0046	0.975	708.2**

온도에 따른 히스테리시스는 모든 상대습도 범위에서 3종류의 인삼 모두 유의성이 인정되지 않았다.

한편 인삼종류별 히스테리시스는, 상대습도 49.2% 이하에서는 3종류의 인삼간에 유의성이 인정되었는데 태극삼, 피부백삼, 박피백삼의 순으로 히스테리시스가 많아지는 경향을 보였다.

나. 평형함수율 모델

건조 평형함수율 실험에서 박피백삼과 피부백삼의 평형함수율에 대한 유의차가 인정되지 않아 박피백삼과 피부백삼을 백삼(White ginseng)으로 통칭하고 두 종류의 인삼의 평균치를 백삼의 평형함수율의 측정치로 사용하였다.

2-마-2)의 실험모델 개발에서 설명한 바와 같은 과정을 거쳐 개발된 실험모델은 다음과 같다.

$M = A + B \cdot T + C \cdot RH + D \cdot RH^2$

M : 평형함수율(소수, wb)

T : 온도(℃)

RH : 상대습도(소수)

A,B,C,D : 상수

1) 백삼의 평형함수율 모델

본 실험에서 개발된 실험모델의 상수 A, B, C, D는 표 4와 같으며 평형함수율이 온도와 상대습도의 함수로 되어 있는 Henderson 모델과 Chung-Pfost 모델의 상수는 표 5와 같다.

표 4 및 표 5에서와 같이 실험모델과 Henderson, Chung-Pfost 모델은 모두 백삼의 건조 및 흡습 평형함수율을 예측할 수 있는 모델로서 고도의 유의성이 인정되었다.

평형함수율이 상대습도만의 함수로 표시되는 Modified-Halsey, Oswin 모델에서는 매개변수 A, B를 온도의 함수로 나타내어야 하는데 각 온도에서의 매개변수 A, B를 온도의 1차함수로 나타낸 결과는 표 6과 같다.

Modified-Halsey 모델과 Oswin 모델에 대한 전체 시험구의 분산분석 결과 표 7과 같이 두

Table 6. Regression equations of desorption and adsorption parameters in Modified-Halsey and Oswin equilibrium moisture content model for White ginseng.

	Model	Equation	R^2	F
Desorption	Mod.-Halsey	A=65.14-0.8667T	0.966	56.7*
		B=1.886-0.005497T	0.958	45.6*
	Oswin	A=0.1272-0.0007420T	0.994	335.9**
		B=0.4164+0.001368T	0.993	275.0**
Adsorption	Mod.-Halsey	A=12.10-0.1477T	0.983	118.6**
		B=1.350-0.005251T	0.951	39.1*
	Oswin	A=0.09759-0.0006992T	0.993	294.5**
		B=0.5792+0.002627T	0.966	57.3*

Note) T : Temperature(℃)

Table 7. R square and F value in the Modified-Halsey and Oswin equilibrium moisture content model for White ginseng.

Model	Desorption		Adsorption	
	R^2	F	R^2	F
Mod.-Halsey	0.986	1348.4**	0.940	286.2**
Oswin	0.986	1416.2**	0.981	957.8**

모델 모두 건조 평형함수율과 흡습 평형함수율 예측에 있어서 고도의 유의성을 가졌다.

따라서 백삼의 건조와 흡습 평형함수율의 예측은 실험모델과 Henderson, Chung－Pfost, Modified－Halsey, Oswin 모델 등 기존모델 4개 모두 가능한 것으로 나타났다.

2) 태극삼의 평형함수율 모델

실험모델 및 Henderson 모델과 Chung－Pfost 모델의 상수는 각각 표 8 및 9와 같다.

이들 모델은 태극삼에서도 건조와 흡습 평형함수율에서 모두 고도의 유의성이 인정되었다.

Modified－Halsey 모델과 Oswin 모델의 매개변수 A, B를 온도의 1차함수로 표현하는 회귀분석 결과는 표 10과 같다.

표 10에서와 같이 흡습 평형함수율의 매개변수 A, B 모두와 건조 평형함수율의 매개변수 A가 유의성이 인정되었으나 건조 평형함수율의 매개변수 B는 두 모델 모두 유의성이 인정되지 않았다. 그러나 Modified－Halsey 모델과 Oswin

Table 8. Parameters in the Empirical equilibrium moisture content model for Taegeuk ginseng.

	Parameter				R^2	F
	A	B	C	D		
Desorption	0.15862	−0.000728	−0.42946	0.56544	0.995	1032.9**
Adsorption	0.12285	−0.000662	−0.38409	0.55486	0.996	1482.3**

Table 9. Parameters in Henderson and Chung－Pfost equilibrium moisture content model for Taegeuk ginseng.

	Model	Parameter		R^2	F
		A	B		
Desorption	Henderson	0.000280376	1.02386	0.957	203.1**
	Chung－Pfost	3984410.1	10.7111	0.926	106.4**
Adsorption	Henderson	0.000560204	0.79423	0.989	777.5**
	Chung－Pfost	3237460.7	9.9504	0.951	163.7**

Table 10. Regression equations of desorption and adsorption parameters in Modified－Halsey and Oswin equilibrium moisture content model for Taegeuk ginseng.

	Model	Equation	R^2	F
Desorption	Mod.－Halsey	A＝22.00－0.3148T	0.992	256.7**
		B＝1.642－0.008073T	0.883	15.1
	Oswin	A＝0.1051－0.0008439T	0.999	238.9**
		B＝0.4553＋0.003425T	0.860	12.3
Adsorption	Mod.－Halsey	A＝7.862－0.1076T	0.997	608.9**
		B＝1.300－0.007750T	0.975	77.6*
	Oswin	A＝0.08247－0.0007559T	0.999	2380.6**
		B＝0.5760＋0.005540T	0.959	47.1*

Note) T : Temperature(℃)

$F_{(1,2\,:\,0.05)} = 18.51$

모델의 태극삼에 대한 건조 평형함수율과 흡습 평형함수율을 전체 20개 시험구에서 분산분석해 본 결과 표 11과 같이 두 모델 모두 고도의 유의성이 인정되었다.

따라서 실험모델과 본 연구에서 선정한 기존 모델 4개 모두를 이용하여 태극삼의 건조 평형함수율과 흡습 평형함수율을 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

3) 실험모델과 기존 모델의 비교

본 실험에서 개발된 실험모델과 기존 모델들을 비교해 보면 실험모델이 결정계수와 F값(표 4~표 11)이 가장 높을 뿐만 아니라 표 12와 같이 잔차의 평균평방이 가장 작아 20℃에서 50℃의 온도와 상대습도 31~88% 사이에서 백삼과 태극삼의 건조 및 흡습 평형함수율을 가장 잘 예측할 수 있는 모델로 판단되며, 기존 모델중에서는 백삼의 건조 평형함수율 및 태극삼의 건조와 흡습 평형함수율 예측에는 Oswin모델이, 백삼의 흡습 평형함수율은 Henderson모델이 가장 잘 예측하는 것으로 판단된다.

Table 11. R square and F value in the Modified−Halsey and Oswin equilibrium moisture content model for Taegeuk ginseng.

Model	Desorption		Adsorption	
	R^2	F	R^2	F
Mod.−Halsey	0.981	445.7**	0.961	209.8**
Oswin	0.983	499.9**	0.981	924.2**

Table 12. Mean square errors in the selected equilibrium moisture content models for White and Taegeuk ginseng.

Model	White ginseng		Taegeuk ginseng	
	Desorption	Adsorption	Desorption	Adsorption
Henderson	0.000111202	0.000047536	0.000206334	0.000065864
Chung−Pfost	0.000150994	0.000144237	0.000380084	0.000300674
Mod.−Halsey	0.000056111	0.000341778	0.000096115	0.000237130
Oswin	0.000053456	0.000107352	0.000085863	0.000055509
Empirical	0.000024634	0.000016264	0.000028030	0.000023200

그림 5, 6은 각각 실험모델을 이용하여 백삼의 건조와 흡습 평형함수율을 예측한 평형함수율 곡선이며, 그림 7, 8은 각각 기존모델중에서 백삼의 건조 및 흡습 평형함수율을 가장 잘 예측하는 Oswin 모델과 Henderson 모델을 이용하여 예측한 평형함수율곡선이다.

그림 5, 6 및 7에서와 같이 실험모델에 의한 백삼의 건조 및 흡습평형함수율의 예측 및 Oswin 모델에 의한 건조 평형함수율 예측은 실측값과 잘 일치하며 예측하고 있으나, 그림 8과 같이 Henderson 모델은 상대습도 40% 이하와 75% 이상에서 백삼의 흡습 평형함수율을 과소예측하는 경향을 보이고 있다.

태극삼의 경우, 실험모델에 의한 건조 및 흡습 평형함수율은 실측값과 잘 일치하며 예측하였으며, Oswin 모델에 의한 예측의 경우 건조 평형함수율은 상대습도 80% 이상에서 실측값보다 약간 과소예측하는 경향을 보였으나 흡습 평형

함수율은 실험구간 전체에서 실측치와 잘 일치하였다.

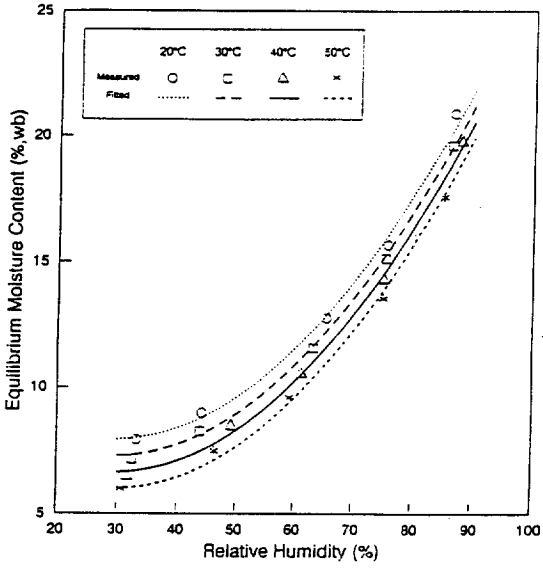


Fig. 5. Desorption equilibrium moisture contents for White ginseng using the Empirical model.

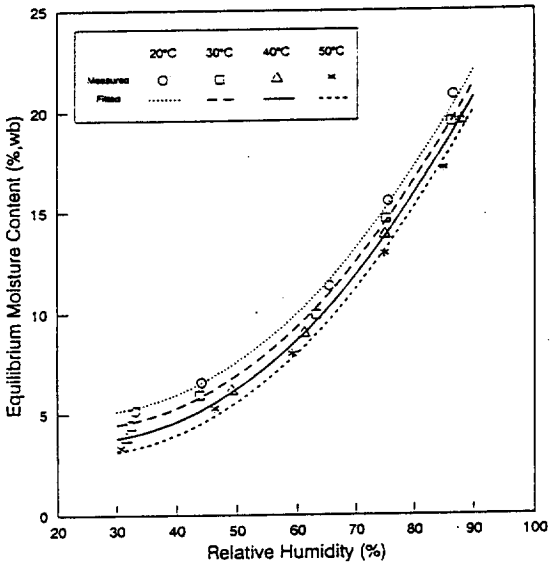


Fig. 6. Adsorption equilibrium moisture contents for White ginseng using the Empirical model.

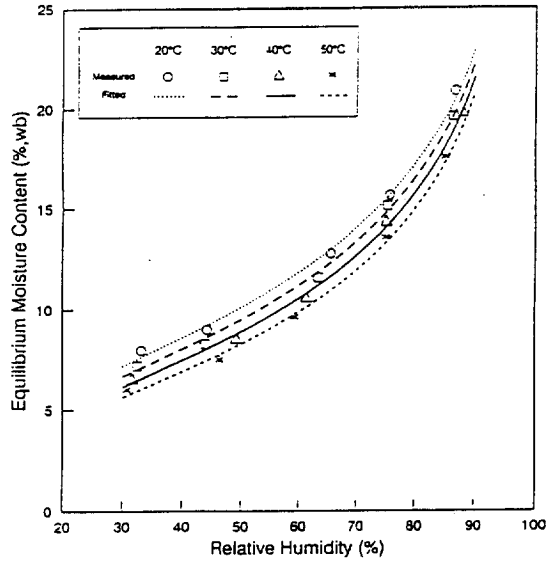


Fig. 7. Desorption equilibrium moisture contents for White ginseng using Oswin model.

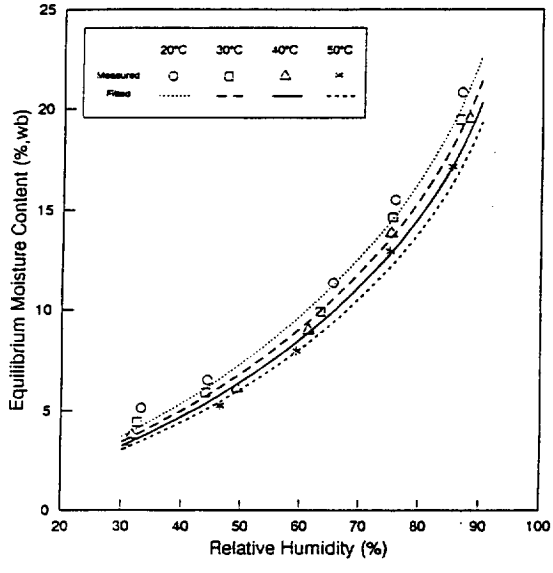


Fig. 8. Adsorption equilibrium moisture contents for White ginseng using Henderson model.

4. 결론

4년근 인삼을 박피백삼, 피부백삼, 태극삼으로 가공하여 온도 4수준(20℃, 30℃, 40℃, 50℃)과 상대습도 5수준(31~88%)을 택하여 염용액을 이용한 정적인 방법으로 건조 평형함수율과 흡습 평형함수율을 측정하고, 농산물과 식품의 평형함수율 모델로서 많이 쓰이는 기존의 4가지 모델과 본 연구에서 개발한 실험모델에 대하여 적합성 검정을 한 결과는 다음과 같다.

1) 박피백삼과 피부백삼, 태극삼의 건조및 흡습 평형함수율은 온도가 낮고 상대습도가 높을수록 증가하였으며, 피부백삼과 박피백삼이 태극삼보다 높았으며, 박피백삼과 피부백삼간에는 별 차이가 없었다. 또한 인삼의 크기에 따른 평형함수율의 차이는 없었다.

2) 페놀(phenol) 5% 수용액에 침지하여 방부제 처리한 결과 10~13주 이상 부패되지 않았으며 방부제 처리 시간의 차이(5분과 2분)에 따른 평형함수율의 차이는 없었다.

3) 건조 평형함수율이 흡습 평형함수율보다 높은 값을 가지며 히스테리시스는 상대습도가 높을 수록 작았고, 박피백삼과 피부백삼간의 히스테리시스의 차이는 크지 않으며 태극삼은 다른 종류의 인삼보다 히스테리시스가 더 작았다.

4) 기존 모델중 인삼의 평형함수율을 예측하는데 가장 적합한 모델은 다음과 같이 분석되었다.

ⓐ 백삼(박피백삼 및 피부백삼)

- 건조 평형함수율(Oswin 모델) :

$$M=(0.1272-0.0007420T)\cdot[RH/(1-RH)]^{(0.4164+0.001368T)}$$

- 흡습 평형함수율(Henderson 모델) :

$$1-RH=\exp[-0.0003480T_k\cdot M_o^{0.9231}]$$

ⓑ 태극삼

- 건조 평형함수율(Oswin 모델) :

$$M=(0.1051-0.0008439T)[RH/(1-RH)]^{(0.4553+0.003425T)}$$

- 흡습 평형함수율(Oswin 모델) :

$$M=(0.08247-0.0007559T)\cdot[RH/(1-RH)]^{(0.5760+0.005540T)}$$

5) 본 연구에서 개발된 실험모델과 기존 모델을 비교해 본 결과 본 연구에서 개발된 실험모델이 잔차의 평균평방이 가장 작아 인삼의 건조와 흡습 평형함수율을 예측하기에 가장 적합한 것으로 판단되었다.

본 연구에서 개발된 실험모델은 다음과 같으며 평형함수율(M)은 습량기준(소수)으로 표시한 값이다.

ⓐ 백삼(박피백삼 및 피부백삼)

- 건조 평형함수율 :

$$M=0.124-0.000647T-0.216RH+0.373RH^2$$

- 흡습 평형함수율 :

$$M=0.0879-0.000663T-0.197RH+0.399RH^2$$

ⓑ 태극삼

- 건조 평형함수율 :

$$M=0.159-0.000728T-0.429RH+0.565RH^2$$

- 흡습 평형함수율 :

$$M=0.123-0.000662T-0.384RH+0.555RH^2$$

참 고 문 헌

1. 권칠성, 이동선. 1987. 건조채소의 수분측정방법 비교. 한국농업기계학회지 12(1) : 39-44.
2. 정춘식. 1986. 단립종 벼의 흡습평형함수율 및 흡습방정식. 석사학위논문. 성균관대학교 대학원.
3. 한국담배인삼공사. 1989. 담배·인삼관련법령집.
4. Chirife, J. and Iglesias, H. A. 1978. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. J. Food Technol. 13 : 159-174.
5. Chung, D. S. and H. H. Pfost. 1967. Adsorption and desorption of water by vapor by cereal grains and their products. Part I : Heat and free energy changes of adsorption and desorption. TRANSACTIONS of the ASAE 10(4) : 549-551,555.
6. Gustafson, R. J. and G. E.Hall. 1974. Equilibrium moisture content of shelled corn from

50 to 155°F. TRANSACTIONS of the ASAE 17(1) : 120－124.

7. Henderson, S. M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. Agr. Eng. 33 : 29－31.
8. Osborn, G. S., G. M. White, A. H. Sulaiman and L. R. Walton. 1989. Predicting equilibrium moisture properties. TRANSACTIONS of the ASAE 32(6) : 2109－2113.
9. Oswin, G. S. 1946. The kinetics of package life. International Chem. Ind. 65 : 419－421
10. Ryan, T. A.,Jr., B. L. Joiner and B. F. Ryan. 1982. MINITAB reference manual. The Pennsylvania State University.
11. SAS. 1987. SAS/STAT Guide for personal computers, Ver. 6.03. SAS Institute Inc.