

콩의 탈습 평형함수율/평형상대습도

최병민[†]

순천대학교 산업기계공학과

Desorption EMC/ERH of Soybean

Byoung-Min Choi[†]

Department of Industrial Machinery Engineering, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

Abstract

Desorption experiments were carried out on soybean (Taegwang) at 5, 15, 25, 35, 45°C for moisture contents between 6.74 and 28.87%(db). The method employed was to measure the equilibrium relative humidity (ERH) of air in contact with the grain under static conditions, using an electronic hygrometer. The effects of temperature and moisture contents were investigated, and the measured values were fitted to the modified Henderson, the modified Chung-Pfost, the modified Halsey, the modified Oswin and the modified GAB model. The ERHs of soybean under the moisture content of 16.67%(db) decreased with an decrease in moisture content and temperature, but the ERH of the moisture content of 28.87%(db) material decreased with an increase of temperature. The modified GAB model was the best in describing the EMC/ERH of soybean.

Key words : soybean, EMC, ERH, model

서 론

콩은 쌀, 보리와 더불어 우리의 식생활에 빼 놓을 수 없는 중요한 식량작물(1)로서 우리나라에서는 2005년 총 생산량이 18만3천여톤에 달하고 있으며 해마다 재배면적과 생산량이 늘어나고 있는 추세에 있다.

수확한 콩을 탈곡하고 장기 저장하기 위해서는 건조가 필요한데 건조는 단순한 수분의 제거 조작이지만 농산물이나 식품과 같은 흡습성 물질의 경우 함수율은 미생물의 번식과 효소반응이나 비효소적인 반응을 좌우하고 있으며 품질에 지대한 영향을 미친다.

어떤 물질을 일정한 온도와 습도를 가진 공기중에 장시간 두었을 때 더 이상 흡습하거나 탈습하지 않고 함수율이 변하지 않게 되는데 이때의 함수율이 그 물질의 평형함수율(equilibrium moisture content, EMC)이며 수분을 잃어 주위의 대기조건과 평형을 이룰 때의 함수율을 탈습 평형함수율이라 하고 흡습하여 주위의 대기조건과 평형을 이룰 때의

함수율을 흡습 평형함수율이라 하며, 탈습과 흡습 평형함수율 사이에 차이가 있는 것으로 알려져 있다(2, 3). 한편 어떤 곡물로 채워진 밀폐된 공간에서 곡물 사이에 있는 공기는 주위의 온도와 곡물의 함수율에 대응하여 일정한 상대습도를 유지하게 되는데 이때의 밀폐된 공간에 있는 평형상태의 공기의 상대습도를 그 곡물의 평형상대습도(equilibrium relative humidity, ERH)라 하며 이때 곡물이 가지고 있는 함수율은 온도간에 유의차를 보이지 않는다(4). 따라서 곡물로 채워진 밀폐된 공간에서의 공기의 평형상대습도를 측정하는 방법으로 곡물의 평형함수율을 찾아 낼 수 있는데 상대습도 측정 센서를 이용하여 Putranon 등(5)은 벼의 흡습 평형함수율/평형상대습도를, Chen과 Morey(6)는 옥수수의 평형상대습도를, Ng 등(7)은 옥수수의 저장 중 품질저하와 평형상대습도의 관계를, 최(8)는 벼와 현미를 시료로 하여 평형함수율/평형상대습도를 실험한 바 있다.

콩과 같은 흡습성재료의 평형함수율/평형상대습도는 건조 및 저장 문제와 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서 고품질의 콩 생산을 위한 건조시스템과 저장을 위해서는 건조, 가공 및 저장의 가장 기본적인 기초자료로 이용되고 있는

[†]Corresponding author. E-mail : chbm@suncheon.ac.kr,
Phone : 82-61-750-3264, Fax : 82-61-750-3260

평형함수율/평형상대습도의 구멍이 선결되어야 한다. 따라서 본 연구의 목적은 탈습시료로 조제된 콩의 평형함수율/평형상대습도를 측정하여 구멍하고, 농산물이나 식품에 널리 이용되고 있는 평형함수율/평형상대습도를 예측할 수 있는 5개의 기존 모델들과 본 실험에서 얻은 결과와의 적합성 검정을 하는데 있다.

재료 및 방법

재료

탈습 시료를 제조하기 위하여 2005년 순천대학교 부속농장에서 수확한 콩(품종: 태광, 수원145호)에 증류수를 가수하여 30%(db)의 함수율이 되도록 한 후, 시료가 평형이 되도록 3℃의 냉장고에 2주간 저장한 다음, 시료를 5등분하여 각각의 시료를 40℃의 오븐에서 6.74, 11.48, 16.70, 22.67, 28.87%(db)의 함수율이 되도록 건조한 후, 각 수준의 시료의 함수율이 평형이 되도록 3℃의 냉장고에 2주간 저장한 후 시료로 사용하였다.

장치 및 방법

일정한 함수율로 조절된 콩 시료를 넣은 밀폐된 용기(용량 250 mL) 7개 속에 각각 상대습도 측정센서(Vaisala, HMP238)를 장착하고, 이 용기들을 항온기(Jeio Tech, AT-P150) 속에 설치한 후 항온 상태에서 상대습도가 변하지 않고 평형이 되었을 때의 상대습도를 측정하여 평형상대습도로 하였다. 항온기 내의 온도편차는 각 온도에서 ±0.5℃ 이내였다.

상대습도는 항온기의 온도를 5℃부터 45℃까지 10℃씩 증가시키며 5수준의 각각의 온도에서 10시간씩 항온을 유지하면서 측정하였으며, 각 시료의 함수율은 103℃의 오븐에서 72시간 건조하여 결정하였다.

모델의 적합성 검정

Table 1과 같은 평형함수율/평형상대습도를 예측할 수 있는 5개의 기존 모델(9, 10)의 상수를 비선형회귀분석(11)을 통하여 구하고, 각각의 모델에 대하여 결정계수(coefficient of determination)와 F값 및 평균상대오차율(mean relative percentage deviation)을 구하여 콩(백태)의 탈습 평형함수율/평형상대습도 예측모델로서의 적합성검정을 하였다. 평균상대오차율은 다음 식에 의하여 구하였다.

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

- P : 평균상대오차율(%)
- Y : 실측 함수율(% db), 실측 평형상대습도(decimal)
- Y' : 예측 함수율(% db), 예측 평형상대습도(decimal)
- N : 측정값의 수(the number of data points)

Table 1. Equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity models

Model	Equation
Modified Henderson	$M = \left[\frac{\ln(1 - RH)}{-A(T + C)} \right]^{\frac{1}{B}}$ $RH = 1 - \exp[-A(T + C)M^B]$
Modified Chung-Pfost	$M = \frac{\ln A}{B} - \frac{1}{B} \cdot \ln[-(T + C) \ln RH]$ $RH = \exp\left[-\frac{A}{T + C} \exp(-B \cdot M)\right]$
Modified Halsey	$M = [\exp(A + B \cdot T)]^{\frac{1}{C}} \cdot [-\ln RH]^{-\frac{1}{C}}$ $RH = \exp\left[-\frac{\exp(A + B \cdot T)}{M^C}\right]$
Modified Oswin	$M = (A + B \cdot T) \left[\frac{1 - RH}{RH} \right]^{-\frac{1}{C}}$ $RH = \left[\frac{A + B \cdot T}{M} \right]^{C + 1}$
Modified GAB	$M = \frac{A \cdot \left(\frac{C}{T}\right) \cdot B \cdot RH}{(1 - B \cdot RH)(1 - B \cdot RH + \frac{C}{T} \cdot B \cdot RH)}$ $RH = \frac{1}{2B} \cdot \left(1 - \frac{A \cdot C}{M \cdot T} + 1\right) + \frac{1}{B} \sqrt{\frac{1}{4} \left(1 - \frac{A \cdot C}{M \cdot T} + 1\right)^2 + \frac{1}{C} - \frac{1}{T}}$

RH : Equilibrium Relative Humidity(decimal),
M : Equilibrium Moisture Content(% db),
T : Temperature(℃), A, B, C : Parameters

결과 및 고찰

평형함수율/평형상대습도

함수율 6.74~28.87%(db) 사이에서 5수준의 일정한 함수율로 건조된 탈습 시료를 온도 5수준(5, 15, 25, 35, 45℃)에서 측정한 탈습 평형상대습도는 Table 2와 같다.

Table 2. Experimental desorption equilibrium relative humidity data for soybean

Moisture content (%db)	Equilibrium Relative Humidity(decimal)				
	5℃	15℃	25℃	35℃	45℃
6.74	0.287	0.317	0.338	0.354	0.369
11.48	0.574	0.592	0.607	0.611	0.616
16.70	0.724	0.737	0.747	0.749	0.750
22.67	0.811	0.821	0.820	0.816	0.812
28.87	0.847	0.835	0.834	0.830	0.828

Table 2에서와 같이 함수율 16.70%(db) 이하의 시료에서는 온도가 낮을수록 그리고 함수율이 낮을수록 평형상대습도가 낮은 값을 나타내었고 온도가 낮고 상대습도가 높을수록 높은 평형함수율을 나타내어 다른 농산물의 실험결과(2, 3, 5-8)와 같은 경향을 보였다. 그러나 함수율 22.67%(db)의 시료에서 15℃ 이상의 온도에서는 온도가 증가 할수록 평형상대습도 값이 낮은 값을 나타내었고, 28.87%(db)의 시료에서는 온도가 증가 할수록 낮은 상대습도 값을 나타내어 함수율 16.70%(db) 이하의 시료와는 반대의 경향을 보였다.

본 실험에서 시료로 사용한 콩인 태광 품종을 이용하여 평형함수율이나 평형상대습도를 측정된 기존의 연구결과가 없어 평형함수율/평형상대습도 값의 직접적인 비교는 불가능하나 ASAE Standards(9)에서 콩의 평형함수율/평형상대습도 값으로 인용한 품종들과 비교해 본 결과 Essess 품종은 본 실험에서 시료로 사용한 태광 품종과 비슷한 경향을 보였으며, Kobott 품종은 평형상대습도 70% 근처에서 평형함수율을 값이 태광 품종에 비해 급격히 증가하는 경향을 보였고, Nigerian 품종은 태광 품종보다 평형함수율이 전체적으로 낮은 값을 보였다. 이와 같이 평형함수율/평형상대습도 값에 차이를 보이는 것은 Chen과 Morey(6) 및 Neuber(12)의 연구 결과에서와 같이 품종의 차이에 따른 성분의 차이와 시료의 제조과정 등의 이력과 측정방법의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

평형함수율/평형상대습도 모델의 적합성

탈습시료로 제조된 콩의 평형함수율/평형상대습도를 예측하기 위하여, 농산물과 식품재료의 평형함수율/평형상대습도 예측에 널리 이용되고 있는 Table 1과 같은 5개의 모델을 대상으로 회귀분석하여 구한 실험상수와, 이 실험상수를 이용하여 평형함수율과 평형상대습도를 각각 종속 변수로 하여 구한 예측값과 측정값 간의 평균상대오차율은 Table 3과 같다.

Table 3. Desorption parameters and mean relative percentage deviation(P) for modified Henderson, modified Chung-Pfost, modified Halsey, modified Oswin and modified GAB models

Model	Parameter			R ²	F	P(%)	
	A	B	C			EMC	ERH
Modified Henderson	0.000141	1.0488	431.3	0.9967	2194.5**	10.58	6.43
Modified Chung-Pfost	546.0	0.1024	258.1	0.9953	1551.8**	12.71	7.45
Modified Halsey	2.7471	-0.00348	1.355	0.9994	13043.4**	4.83	2.02
Modified Oswin	10.1407	-0.0231	1.731	0.9987	5738.0**	6.86	3.59
Modified GAB	4.9007	0.9754	573.6	0.9997	22704.9**	4.21	1.48

Table 3에서와 같이 5개의 모델 모두 결정계수가 0.99 이상의 높은 값을 가졌으며, 콩의 탈습 평형함수율/평형상대습도를 예측할 수 있는 모델로서 고도의 유의성이 인정되었다.

각각의 모델에 의한 예측값과 실측값의 평균상대오차율(P)을 비교해 보면, 콩의 탈습 평형함수율 예측에 있어서는 수정 GAB 모델이 4.21 %로서 가장 낮은 값을 나타냈고 수정 Halsey 모델, 수정 Oswin 모델, 수정 Henderson 모델, 수정 Chung-Pfost 모델 순으로 평균상대오차율이 낮았으

며, 평형상대습도 예측 역시 평형함수율 예측과 마찬가지로 수정 GAB 모델의 평균상대오차율이 1.48%로서 가장 적었고 다음으로는 수정 Halsey 모델, 수정 Oswin 모델, 수정 Henderson 모델, 수정 Chung-Pfost 모델 순으로 평균상대오차율이 낮았다. 따라서 온도 5~45°C 사이에서 함수율 6.74~28.87%(db) 사이의 콩의 탈습 평형함수율 및 평형상대습도의 예측에는 본 실험에서 선정 분석한 5개의 모델 모두 사용 가능하나 수정 GAB 모델이 가장 적합하였다.

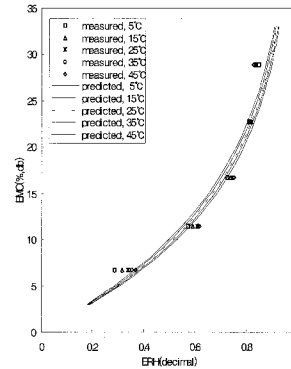


Fig. 1. Desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for soybean by using modified Henderson model.

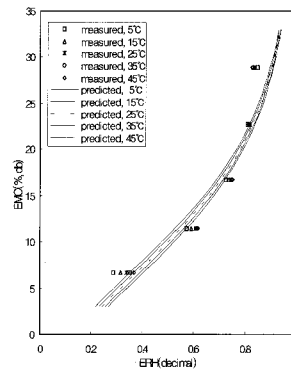


Fig. 2. Desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for soybean by using modified Chung-Pfost model.

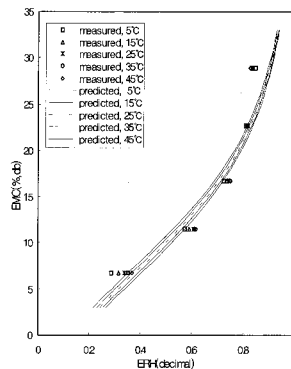


Fig. 3. Desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for soybean by using modified Halsey model.

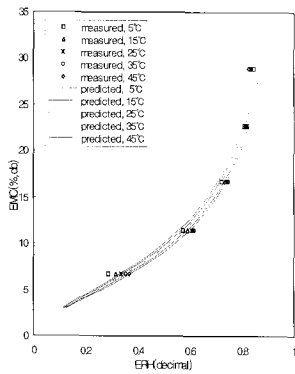


Fig. 4. Desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for soybean by using modified Oswin model.

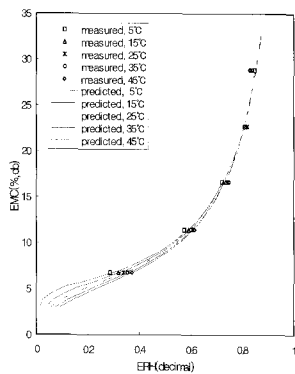


Fig. 5. Desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for soybean by using modified GAB model.

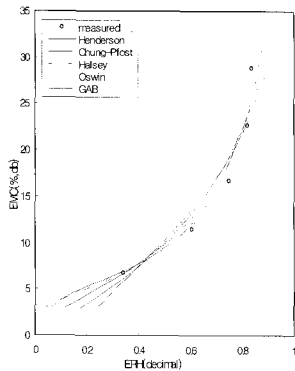


Fig. 6. Comparison of desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for soybean with 5 models at 25°C.

Fig. 1, 2, 3, 4, 5 는 각각 수정 Henderson 모델, 수정 Chung-Pfost 모델, 수정 Halsey 모델, 수정 Oswin 모델, 수정 GAB 모델에 의하여 콩의 탈습 평형함수율/평형상대습도를 나타낸 그림이다.

Fig. 1, 2 및 4에서와 같이 수정 Henderson 모델과 수정 Chung-Pfost 모델, 수정 Oswin 모델은 평형함수율 6.74%(db), 22.67%(db) 및 28.87%(db)에서 평형상대습도를 과다 예측하고 11.77%(db) 및 16.76%(db)에서는 과소 예측

하는 경향을 보였으며, Fig. 3에서와 같이 수정 Halsey 모델은 평형함수율 11.48%(db)와 16.70%(db)에서 과소 예측하고 22.35%(db)에서 약간 과다 예측하는 경향을 보였으며 함수율 28.87%(db)에서 과다 예측하는 경향을 보였다. 수정 GAB 모델은 함수율 16.70%(db)에서 약간 과소 예측하는 경향을 보였으며 함수율 28.87%(db)에서 과다 예측하는 것을 제외하고는 모든 구간에서 비교적 잘 예측함을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서 검정한 5개의 모델 모두 함수율이 28.87%(db)인 시료에서는 온도가 상승하면 평형상대습도가 낮아지는 경향을 예측하지는 못하였다. Fig. 6은 본 연구에서 검정한 5개의 모델을 이용하여 25°C에서의 콩의 평형상대습도를 예측한 그림이다.

요 약

콩(품종 : 태광)에 증류수를 가수한 후 40°C의 오븐에서 함수율 6.74~28.87%(db) 사이의 구간에서 5수준의 일정한 함수율로 건조하여 탈습 시료를 조제한 다음 온도를 10°C씩 증가시키며 5수준(5, 15, 25, 35, 45°C)에서 평형상대습도를 측정하고, 농산물의 평형함수율/평형상대습도 예측에 많이 쓰이고 있는 수정 Henderson 모델, 수정 Chung-Pfost 모델, 수정 Halsey 모델, 수정 Oswin 모델, 수정 GAB 모델에 대하여 실험상수를 구하고, 결정계수와 F값 및 평균상대오차를 기준으로 하여 예측 모델로서의 적합성을 검정한 결과는 다음과 같다. 콩은 함수율이 16.70%(db) 이하의 시료에서 온도가 낮을수록 그리고 함수율이 낮을수록 평형상대습도가 낮은 값을 나타냈으며, 함수율 28.87%(db)의 시료에서는 온도가 높아짐에 따라 평형상대습도 값이 낮아지는 현상을 보였다. 콩의 흡습 평형함수율 및 평형상대습도의 예측에는 본 실험에서 선정 분석한 5개의 모델 모두 사용 가능하나, 수정 GAB 모델이 평형함수율 예측과 평형상대습도 예측에 가장 적합하였다.

참고문헌

1. 김윤선 (1995) 두류의 품종. 농촌진흥청 작물시험장, 수원, p.33-35
2. 고희근, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일 (1990) 농산가공기계학. 향문사, 서울, p. 230-250
3. Ma L., Davis, D.C., Obaldo, L.G. and Barbosa-Canovas, G.V. (1998) Engineering properties of foods and other biological materials. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich., U.S.A., p.198
4. Loewer, O.J., Bridges, T.C. and Bucklin, R.A. (1994) On-farm drying and storage systems. American Society

- of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich., U.S.A., p.49-55
5. Putranon, R., Bowrey, R.G. and Eccleston, J. (1979) Sorption isotherms for two cultivars of paddy rice grown in Australia. Food Technology In Australia, p.510-515
 6. Chen, C. and Morey, R.V. (1989) Equilibrium relative humidity(ERH) relationships for yellow-dent corn. Transactions of the ASAE, 32, 999-1006
 7. Ng, H.F., Morey, R.V., Wilcke, W.F., Meronuck, R.A. and Lang, J.P. (1995) Relationship between equilibrium relative humidity and deterioration of shelled corn. Transactions of the ASAE, 38, 1139-1145
 8. 최병민 (2005) 벼 및 현미의 평형함수율/평형상대습도. 바이오시스템공학, 30, 95-101
 9. ASAE Standards (2003) D245.5 : Moisture relationships of plant-based agricultural products, American Society of Agricultural Engineers, p.538
 10. Yu, L., Mazza, G. and Jayas, D.S. (1999) Moisture sorption characteristics of freeze-dried, osmo-freeze-dried, and osmo-air-dried cherries and blueberries. Transactions of the ASAE, 42, 141-147
 11. SAS (1987) SAS/STAT Guide for personal computers, version 6.03 edition. Statistical Analysis System Institute, Cary, NC, U.S.A.
 12. Neuber, E.E. (1980) Critical consideration of moisture sorption isotherm for cereals. ASAE Paper No. 803015. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich., USA, [Transactions of the ASAE 50, 1741-1749 (2007)]

(접수 2007년 10월 1일, 채택 2007년 12월 21일)