



# Equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity of barley

Byoung-Min Choi\*

Department of Industrial Machinery Engineering, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

## 보리의 평형함수율/평형상대습도에 관한 연구

최병민\*

순천대학교 산업기계공학과

### Abstract

Desorption equilibrium moisture content (EMC)/equilibrium relative humidity (ERH) experiments were performed on two cultivars (Sae naked and Hin-chal naked) of barley (*Hordeum vulgare L.*) at 5, 15, 25, 35, and 45°C for moisture contents between 9.51 and 29.13%db. The method employed involved measuring the 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 model, the modified Chung-Pfost model, the modified Halsey model, the modified Oswin model, and the modified GAB model. The ERHs of barleys decreased with decreasing moisture content and temperature, and the EMCs increased with decreasing temperature and increasing relative humidity. The increase in moisture content with increasing relative humidity at a given temperature is not linear: the moisture content increased rapidly at high relative humidities, and the differences between ERH values at different temperature (5-45°C) were insignificant at high relative humidity (>80%). The effect of the cultivars on EMC/ERH was insignificant at the same temperature. The modified Halsey model was found to be the best in describing the EMC/ERH of barleys.

**Key words :** barley, equilibrium moisture content, equilibrium relative humidity, model

## 서 론

보리는 쌀, 밀, 콩과 함께 우리 식생활에 빼놓을 수 없는 중요한 식량작물의 하나이다. 보리의 용도는 식량과 사료, 공업원료용으로 구분되는데 쌀을 주식으로 하는 한국이나 일본 등 동양권에서는 식량으로 많이 재배되고 있다. 식량으로 쓰일 때는 쌀과 섞어 밥을 지어 먹는 혼식 방법이 일반적이며, 공업원료로서는 맥주 양조의 원료로 주로 이용하고 그 밖에 소주, 위스키, 된장, 고추장 제조에도 이용된다(1).

수확한 보리를 장기 저장하기 위해서는 건조가 필요한데, 농산물과 같은 흡습성 재료의 평형함수율(equilibrium

moisture content, EMC)은 건조 및 저장문제와 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 평형함수율은 곡물로부터 수분을 제거하는데 필요한 열량을 계산하는 등 곡물의 건조와 저장 과정의 해석, 시스템 설계 및 운영에 있어서 기초가 되는 매우 중요한 요인 중의 하나이다(2,3).

농산물과 식품 중의 수분은 함수율, 온도 및 구성성분에 따라서 특정 수증기압을 나타낸다. 재료가 습한 공기 중에 노출되었을 때 재료 내부의 수증기압이 공기의 수증기 분압보다 크면 수분을 잃게 되며, 반대이면 공기 중의 수분을 흡수하게 된다. 재료 내부의 수증기압이 주위 공기의 수증기 분압과 평형을 이루었을 때 재료의 함수율을 주위 공기에 대한 평형함수율이라 하며, 이때 주위 공기의 상대습도를 평형상대습도(equilibrium relative humidity, ERH)라 한다. 함수율이 높은 재료가 공기 중에서 수분을 잃으면서 평형상태에 도달했을 때의 함수율을 방습 평형함수율(desorption EMC)이라 하며, 반대로 함수율이 낮은 재료가 습한 공기 중에서 수분을 흡수하여 평형상태에 도달했을 때의 함수율을 흡습평형함수율(adsorption EMC)이라 한다.

\*Corresponding author. E-mail : chbm@scnu.ac.kr  
 Phone : 82-61-750-3264, Fax : 82-61-750-3260  
 Received 3 August 2018; Revised 13 August 2018; Accepted 15 August 2018.  
 Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

일반적으로 방습 평형함수율이 흡습 평형함수율보다 높은 값을 나타낸다고 알려져 있는데, 이와 같이 두가지 평형함수율 간에 차이가 나타나는 현상을 이력현상효과(hysteresis effect)라 한다(3).

농산물의 평형함수율을 측정하는 방법으로는 온도와 습도를 일정하게 조절한 공기 중에 재료를 노출시켜 평형상태에 도달시킨 후 재료의 함수율을 측정하는 직접적 방법인 평형함수율 측정법과, 함수율을 알고 있는 재료와 평형을 이룬 공기의 상대습도를 측정하는 간접적 방법인 평형상대습도 측정법이 있다. 평형상대습도 측정법은 일정한 온도에서 밀봉된 상태에 있는 재료 입자 사이 공기의 상대습도를 측정하는 방법으로써 평형함수율/평형상대습도 값을 얻을 수 있는 측정시간이 직접적 방법보다도 상대적으로 짧아 재료를 부패시키지 않고 평형상대습도를 측정할 수 있다(3,4).

곡물의 평형함수율은 주위 공기의 온도와 상대습도의 함수로 표시되거나 평형상대습도가 온도와 함수율의 함수로 표시되기도 하는데, 이를 평형함수율 모델이라 한다. 농산물 및 그들의 부산물에 대한 평형함수율 모델은 수정 Henderson 모델(5), 수정 Chung-Pfost 모델(6), 수정 Halsey 모델(7), 수정 Oswin 모델(8), GAB 모델(9)이 추천되고 있으며(10), 이들 모델들을 이용하여 보리와 같은 곡물의 평형함수율을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

곡물의 평형함수율 값은 공기의 온도와 습도 외에 품종, 시료의 이력 및 가공방법 등에 따라 다르므로(4) 외국에서 시험하여 발표된 자료를 그대로 이용하기 어려울 뿐만 아니라, 국내에서 생산된 보리에 대한 평형함수율에 관한 연구 결과는 아직 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 재배되고 있는 보리 두 품종에 대하여 평형함수율을 간접적 방법(평형상대습도 측정법)으로 측정하여 구명하고, 농산물의 평형함수율/평형상대습도 예측에 이용되고 있는 5개의 기존 모델들(10,11)에 본 실험에서 얻은 결과를 적합시켜 모델들의 실험상수를 결정하고 보리의 평형함수율/평형상대습도 예측 모델로서의 적합성을 검증하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

2016년 순천시 낙안면의 일반 농가에서 재배, 수확한 새싹보리와 흰찰보리 두 품종의 보리(*Hordeum vulgare* L. cv. barley)를 대상으로 하였다.

방습시료를 제조하기 위하여 두 품종의 보리에 30%,db의 함수율이 되도록 증류수를 가수한 후, 3℃의 냉장고에 3주간 저장하면서 매일 2차례 섞음 작업을 하여 시료의 함수율이 평형이 되도록 한 후, 이 시료를 5등분하여 각각의 시료를 5수준(9.29, 13.64, 18.34, 23.46, 29.03%,db)의 함수

율이 되도록 40℃의 오븐(FO-600M, Jeio Tech., Daejeon, Korea)에서 방습시켜 시료로 사용하였다.

시료의 함수율을 조절하기 위해 수분을 첨가하거나 건조하여야 할 수분의 양은 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$Q = A \times \frac{M_f - M_i}{100 - M_f}$$

$$Q' = A \times \frac{M_f - M_i}{100 - M_f}$$

Q : 첨가될 수분의 중량

Q' : 건조될 수분의 중량

A : 시료의 초기 중량

M<sub>i</sub> : 시료의 초기 함수율(%wb)

M<sub>f</sub> : 시료의 최종 함수율(%wb)

### 실험장치 및 방법

일정한 함수율로 조절된 보리 시료를 넣은 용기(용량 250 mL) 속에 상대습도 측정센서(HNP238, Vaisala, Helsinki, Finland)를 장착하고, 이 용기를 향온기(AT-P150, Jeio Tech., Daejeon, Korea) 내에 설치한 후, 향온 상태에서 용기 내의 상대습도가 변하지 않고 평형이 되었을 때의 상대습도를 측정하여 이때의 상대습도를 그 온도에서의 평형상대습도로 하였다. 향온기(AT-P150, Jeio Tech.) 내의 온도편차는 ±0.5℃ 이내였다.

함수율이 5수준(9.29-29.03%,db)으로 조절된 보리 시료를 향온기(AT-P150, Jeio Tech.)의 온도 5℃부터 45℃까지 10℃씩 증가시키며 5수준의 향온에서 상대습도 측정센서 5개를 이용하여 5반복 실험하였으며, 시료의 함수율은 ASABE Standard(12)의 보리의 함수율 측정방법인 공기오븐법으로 130℃의 오븐(FO-600M, Jeio Tech.)에서 20시간 건조하여 측정하였다.

### 모델의 적합성 검증

Table 1과 같은 평형함수율/평형상대습도를 예측할 수 있는 5개의 기존 모델(10,11)의 상수를 SAS(Ver. 8.1, Statistical Analysis System Institute, Cary, NC, USA)의 비선형회귀분석(13)을 통하여 구하고, 각각의 모델에 대하여 결정계수(coefficient of determination)와 F값 및 평균상대오차를 구하여 보리의 평형함수율/평형상대습도 예측 모델로서의 적합성검정을 하였다. 평균상대오차는 다음 식에 의하여 구하였다.

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

P : 평균상대오차율(%)

Y : 실측 함수율(%db)

Y' : 예측 함수율(%db)

N : 측정값의 수(the number of data points)

Table 1. Isotherm equations for fitting experimental data

Model	Equation <sup>1)</sup>
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	$M = (A + B \cdot T) \left[ \frac{1 - RH}{RH} \right]^{-\frac{1}{C}}$ $RH = \left[ \left( \frac{A + B \cdot T}{M} \right)^C + 1 \right]^{-1}$
modified GAB	$M = \frac{A \cdot \left(\frac{C}{T}\right) \cdot B \cdot RH}{(1 - B \cdot RH)(1 - B \cdot RH + \frac{C}{T} \cdot B \cdot RH)}$ $RH = \frac{1}{2B} \cdot \left(1 - \frac{\frac{A}{M} \cdot \frac{C}{T} + 1}{\frac{C}{T} - 1}\right) + \frac{1}{B} \sqrt{\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\frac{A}{M} \cdot \frac{C}{T} + 1}{\frac{C}{T} - 1}\right)^2 + \frac{1}{\frac{C}{T} - 1}}$

<sup>1)</sup>M, equilibrium moisture content (% db); T, temperature (°C); RH, equilibrium relative humidity (decimal); A-C, parameters.

## 통계분석

실험결과는 Microsoft Excel program(Version Office 2016)을 이용하여 분석하였으며 5회 반복 측정하여 구한 값을 평균±표준편차(Mean±SD)로 나타내었고, 각 실험구간의 유의성을 검정한 후 Duncan의 다중검정법(Duncan's multiple range test)에 의해 처리평균 간의 차이를 5% 유의수준에서 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 보리의 평형함수율 및 평형상대습도

새싹보리와 흰찰보리 두 품종의 보리의 함수율을 9.29-29.03%,db 사이에서 5수준(9.29, 13.64, 18.34, 23.46, 29.03%,db)의 함수율로 조절하는 것을 목표로 하였으나 9.51-29.13%,db 사이의 함수율에서 5수준의 함수율로 조절된 방습시료를 온도 5수준(5, 15, 25, 35, 45°C)에서 5반복 실험하여 평형상대습도를 측정한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서와 같이 두 품종의 보리 모두 온도가 낮을수록 그리고 함수율이 낮을수록 평형상대습도가 낮게 나타났고, 온도가 낮고 상대습도가 높을수록 평형함수율이 높게 나타나며, 주어진 온도에서 상대습도의 증가에 따른 함수율의 증가는 선형적이 아니고 높은 상대습도에서 급등하여 다른 농산물의 실험결과(2-4,10,14)와 비슷한 경향을 보였다.

동일 함수율의 시료에서 온도에 따른 평형상대습도 값은

새싹보리의 경우 함수율 23.79%,db 시료에서는 온도 15-45°C에서는 유의차(p<0.05)가 인정되지 않았고 함수율 29.13%,db 시료에서는 온도 5-45°C 사이 전 구간에서 유의차가 없었으며, 흰찰보리의 경우 함수율 23.47%,db 시료에서는 5, 15, 25, 35, 45°C의 온도에서 10°C의 차이를 보이는 인접 온도에서는 평형상대습도 값의 유의차가 없었으며, 함수율 28.88%,db 시료에서는 온도 5-45°C 전 구간에서 온도에 따른 평형상대습도 값의 유의차가 인정되지 않았다. 따라서 새싹보리와 흰찰보리는 함수율이 23.47%,db 이상으로 높거나 공기의 상대습도가 80% 이상으로 높을 경우 온도 차이에 따른 평형상대습도 값의 차이가 거의 없을 것으로 사료된다.

동일 온도에서 각 함수율 수준에서의 두 품종간의 평형상대습도 값의 차이에 대한 유의성검정(p<0.05) 결과 4개의 함수율(9.29, 13.64, 18.34, 29.03%,db) 수준의 시료에서는 유의차가 없었으며, 함수율 23.46%,db 수준의 시료에서 온도 5, 15, 25 35°C에서만 유의차가 있는 것으로 나타났으나 이는 품종간의 차이이기 보다는 평형함수율 값의 차이에 의한 평형상대습도 값의 차이인 것으로 사료되어, 온도 5-45°C 사이의 동일 온도에서 두 품종 간에는 각 함수율 수준에서 평형상대습도의 차이는 없는 것으로 판단되었다.

본 실험에서 시료로 사용한 보리인 새싹보리나 흰찰보리의 평형함수율/평형상대습도를 측정한 기존의 연구결과가 없을 뿐만 아니라 동일온도 조건에서 실험한 보리의 연구결과가 없어 평형함수율/평형상대습도 값의 직접적인

**Table 2. Experimental desorption equilibrium relative humidity values for naked barley**

Variety	Equilibrium moisture content (%db)	Equilibrium relative humidity (%)				
		5 °C	15 °C	25 °C	35 °C	45 °C
Sae	9.54	23.1±0.50 <sup>1)a2)</sup>	24.5±0.33 <sup>b</sup>	26.7±0.32 <sup>c</sup>	29.0±0.33 <sup>d</sup>	32.2±0.38 <sup>e</sup>
	13.77	45.3±0.91 <sup>a</sup>	48.4±0.87 <sup>b</sup>	51.5±0.80 <sup>c</sup>	54.2±0.74 <sup>d</sup>	57.6±0.79 <sup>e</sup>
	18.51	67.8±0.84 <sup>a</sup>	70.1±0.85 <sup>b</sup>	72.3±0.79 <sup>c</sup>	74.1±0.76 <sup>d</sup>	76.2±0.96 <sup>e</sup>
	23.79	81.2±1.05 <sup>a</sup>	82.8±0.84 <sup>b</sup>	83.4±0.82 <sup>b</sup>	83.6±0.86 <sup>b</sup>	83.9±0.79 <sup>b</sup>
	29.13	86.5±0.80 <sup>a</sup>	86.8±0.99 <sup>a</sup>	86.8±0.86 <sup>a</sup>	87.0±0.90 <sup>a</sup>	87.0±0.89 <sup>a</sup>
Hin-chal	9.51	24.5±0.52 <sup>a</sup>	25.8±0.26 <sup>b</sup>	27.9±0.23 <sup>c</sup>	30.0±0.32 <sup>d</sup>	32.9±0.27 <sup>e</sup>
	13.60	45.6±0.56 <sup>a</sup>	48.2±0.52 <sup>b</sup>	51.1±0.57 <sup>c</sup>	53.8±0.63 <sup>d</sup>	58.0±0.71 <sup>e</sup>
	18.33	67.0±0.52 <sup>a</sup>	68.5±0.71 <sup>b</sup>	70.1±0.76 <sup>c</sup>	71.9±0.73 <sup>d</sup>	74.5±0.83 <sup>e</sup>
	23.47	78.5±0.93 <sup>a</sup>	79.4±0.86 <sup>ab</sup>	80.2±0.85 <sup>bc</sup>	81.0±0.81 <sup>cd</sup>	82.1±0.76 <sup>d</sup>
	28.88	84.9±0.99 <sup>a</sup>	84.8±0.97 <sup>a</sup>	85.0±0.94 <sup>a</sup>	85.2±0.89 <sup>a</sup>	85.6±0.87 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Values are mean±SD (n=5).

<sup>2)</sup>Means with different superscript small letters in the same row are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

비교는 불가능하나, Fig. 1에서와 같이 본 실험에서 시험한 25°C와 비슷한 온도에서 실험(24.3°C, 26°C)한 결과인 ASABE Standard(10)에서 인용한 보리의 평형함수율/평형상대습도 값 및 일본산 보리를 시료로 하여 측정된 값(14)과 비교해 본 결과, 새싹보리와 흰찰보리의 평형함수율 값이 ASABE Standard에서 인용한 값이나 일본산 보리에서의 값보다 더 높은 값을 갖는 경향을 보였다. 이와 같이 평형함수율/평형상대습도 값에 차이를 보이는 것은 Choi 등(4)이 벼에 대하여 고찰한 바와 같이 온도와 습도의 차이뿐만 아니라 품종에 따른 성분의 차이와 시료 제조 과정 등의 이력 및 측정방법의 차이에 따른 것으로 사료된다.

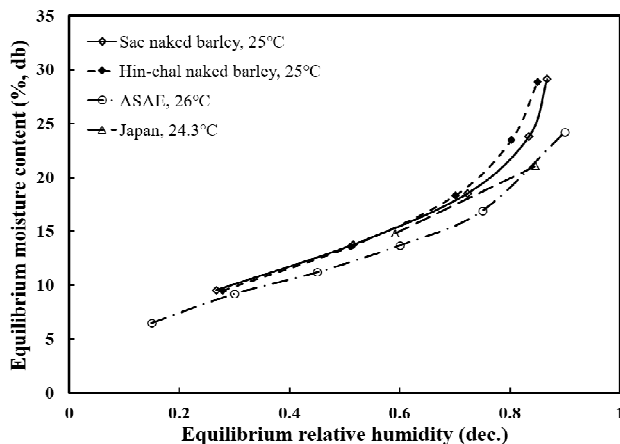
**평형함수율/평형상대습도 모델의 적합성**

방습시료로 조제된 보리의 평형함수율/평형상대습도를 예측하기 위하여, 농산물의 평형함수율/평형상대습도 예측

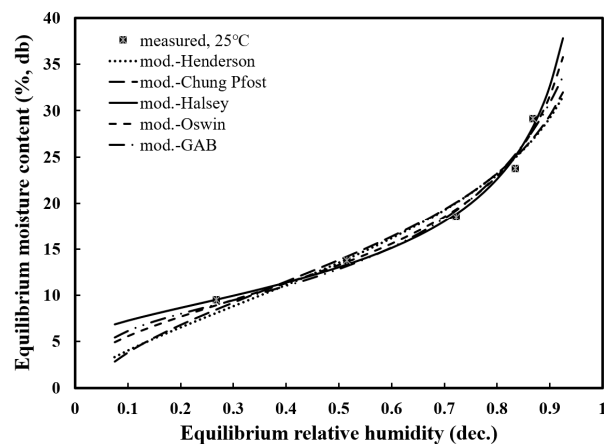
에 널리 이용되고 있는 Table 1과 같은 5개의 모델을 대상으로 비선형 회귀분석하여 구한 실험상수와 이 실험상수를 이용하여 평형함수율과 평형상대습도를 각각 종속변수로 하여 구한 예측값과 측정값 간의 평균상대오차율은 Table 3과 같다.

Table 3에서와 같이 5개의 모델 모두 결정계수(R<sup>2</sup>)가 0.99 이상의 높은 값을 가지고, 고도의 유의성이 인정되어 온도 5-45°C 사이에서 함수율 9.51-29.13%db 사이의 새싹보리와 흰찰보리의 방습 평형함수율/평형상대습도 예측에는 본 연구에서 선정하여 분석한 5개의 모델 모두 사용 가능한 것으로 나타났다.

Fig. 2 및 Fig. 3은 각각 25°C에서의 5개의 모델에 의하여 새싹보리와 흰찰보리의 평형함수율/평형상대습도를 예측한 그림이다. 그림에서와 같이 modified Henderson 모



**Fig. 1. Comparison of equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity of barleys by different authors.**

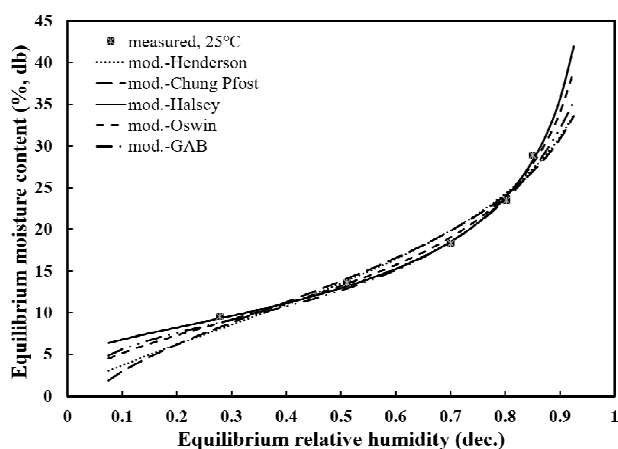


**Fig. 2. Comparison of desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for Sae naked barley with 5 models at 25°C.**

**Table 3. Desorption parameters and mean relative percentage deviation (P) for modified Henderson, modified Chung-Pfost, modified Halsey, modified Oswin and modified GAB<sup>1)</sup> model**

Varieties	Equation	Equation parameters				Criteria		
		A	B	C	R2	F	P (%)	
						EMC	ERH	
Sae	Modified Henderson	0.000039	1.5538	286.5	0.9945	1337.9**	7.76	6.00
	Modified Chung-Pfost	626.3	0.12	147.5	0.9954	1571.7**	6.74	4.24
	Modified Halsey	4.9886	-0.00421	2.0467	0.9986	5096.4**	3.07	2.21
	Modified Oswin	13.9424	-0.0275	2.5321	0.9977	3206.8**	4.50	2.26
	Modified GAB	7.8685	0.8313	683	0.9973	2734.8**	4.86	3.74
Hin-chal	Modified Henderson	0.000053	1.4416	281.5	0.9951	2742.2**	7.66	5.95
	Modified Chung-Pfost	563.5	0.1106	151.9	0.9994	4291.9**	7.02	4.92
	Modified Halsey	4.5165	-0.00438	1.8632	0.9991	13887.5**	2.56	1.64
	Modified Oswin	13.9661	-0.031	2.319	0.9982	13282.6**	4.40	2.42
	Modified GAB	7.7829	0.8457	524	0.9982	5962.1**	4.41	3.20

<sup>1)</sup>Guggenheim, Anderson, De Boer.



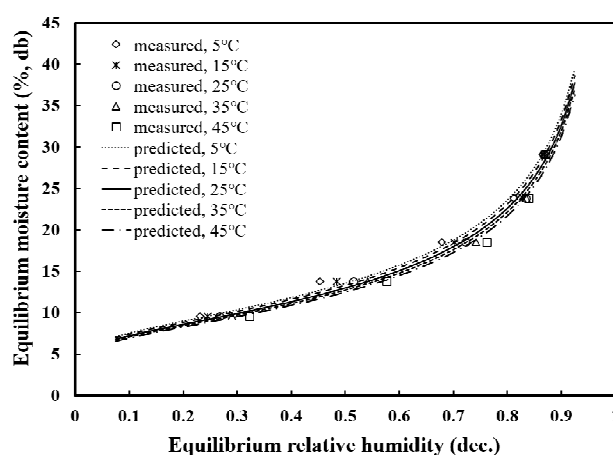
**Fig. 3. Comparison of desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for Hin-chal naked barley with 5 models at 25°C.**

델과 modified Chung-Pfost 모델은 상대습도 30% 이하의 낮은 구간과 85% 이상의 높은 구간에서 평형함수율을 과소 예측하였으며, modified Oswin 모델과 modified GAP 모델 역시 동일 상대습도 구간에서 약간 과소 예측하는 경향을 보였다.

각각의 모델에 의한 평형함수율/평형상대습도 예측값과 실측값의 평균상대오차율(P)을 비교해 보면, 새쌀보리와 흰찰쌀보리에서 모두 modified Halsey 모델에서 가장 적은 값을 나타냈고, 다음으로 modified Oswin 모델, modified GAP 모델, modified Chung-Pfost 모델, modified Henderson 모델 순으로 평균상대오차율이 낮은 값을 보여, 새쌀보리와 흰찰쌀보리의 평형함수율/평형상대습도 예측에는 5개의 모델 중 modified Halsey 모델이 가장 적합한 것으로 나타났다.

Basunia와 Abe(14)는 일본산 보리를 시료로 하여 본 실험에서 분석한 모델과 동일한 4개의 모델(modified Henderson, modified Chung-Pfost, modified Oswin, modified Halsey)을 대상으로 보리의 흡습 평형함수율/평형상대습도 예측 모델로서의 적합성을 검정한 결과 상대습도 48.2-88.6%, 온도 5.7-46.3°C 사이에서 4개의 모델 모두 사용이 가능하나 modified Chung-Pfost 모델이 가장 우수하게 예측하는 것으로 보고한 바 있는데, 이와 같이 동일한 작물에서도 품종의 차이나 실험한 온도와 상대습도, 함수율의 범위에 따라 평형함수율/평형상대습도 예측에 더욱 적합한 모델이 존재함을 알 수 있다.

Fig. 4 및 Fig. 5는 각각 새쌀보리와 흰찰쌀보리의 평형함수율/평형상대습도를 modified Halsey 모델에 의하여 예측



**Fig. 4. Desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for Sae naked barley by using modified Halsey model.**

한 그림이다. 그림에서와 같이 실험한 모든 구간에서 새쌀 보리와 흰찰쌀보리의 평형함수율/평형상대습도를 잘 예측함을 알 수 있다.

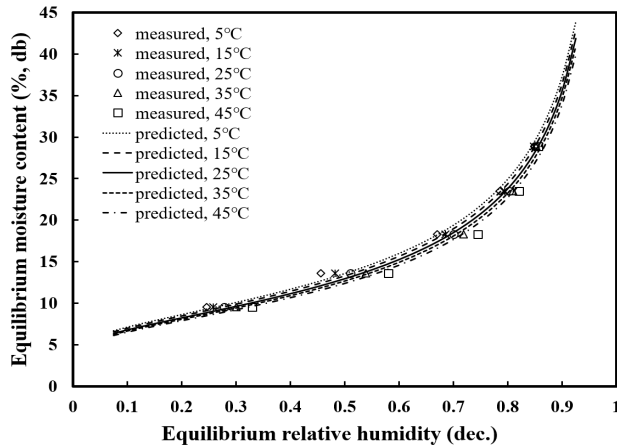


Fig. 5. Desorption equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity for Hin-chal naked barley by using modified Halsey model.

## 요 약

두 품종(새쌀보리, 흰찰쌀보리)의 보리에 증류수를 가수한 후 40°C의 오븐에서 함수율 9.51-29.13%,db 사이의 구간에서 5수준의 함수율이 되게 건조하여 방습시료를 조제한 다음 5수준(5, 15, 25, 35, 45°C)의 온도에서 평형상대습도를 측정하였다. 농산물의 평형함수율/평형상대습도 예측에 많이 쓰이고 있는 modified Henderson 모델, modified Chung-Pfost 모델, modified Halsey 모델, modified Oswin 모델, modified GAP 모델에 대해 비선형 회귀분석을 통하여 실험상수를 구하고, 결정계수와 F값 및 평균상대오차를 기준으로 하여 보리의 평형함수율/평형상대습도 예측 모델로서의 적합성을 검정한 결과는 다음과 같다.

두 품종의 보리 모두 온도가 낮을수록 그리고 함수율이 낮을수록 평형상대습도가 낮게 나타나고, 온도가 낮고 상대습도가 높을수록 평형함수율이 높은 값을 나타내었으며, 상대습도의 증가에 따른 함수율의 증가는 선형적이 아니고 높은 상대습도에서 급등하였다. 상대습도가 80% 이상으로 높거나 23.47%,db 이상의 고 함수율을 갖는 시료에서는 온도에 따른 평형상대습도 값의 차이가 거의 없다. 온도 5-45°C 사이의 동일 온도에서 두 품종 간에는 각 함수율 수준에서 평형상대습도의 차이는 없다. 새쌀보리와 흰찰쌀보리의 평형함수율/평형상대습도의 예측에는 본 실험에서 선정 분석한 5개의 모델 모두 사용 가능하나, modified Halsey 모델이 가장 적합하였다.

## 감사의 글

이 논문은 2017년 순천대학교 학술연구비로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

1. Ha YW (2000) Barley. RDA Crop Experiment Station, Suwon, Korea, p 24-35
2. Koh HG, Keum DH, Kim MS, Noh SH, Mun SH, Park KG, Jang DI (1990) Agricultural Process Machinery Engineering. Hyangmoonsa Co, Seoul, Korea, p 230-236
3. Keum DH (2008) Post-Harvest Process Engineering. Book Publishing CIR Co, Seoul, Korea, p 173-177
4. Choi BM, Lanning SB, Siebenmorgen TJ (2010) A review of hygroscopic equilibrium studies applied to rice. Trans ASABE, 53, 1859-1872
5. Thompson TL, Peart RM, Foster GH (1968) Mathematical simulation of corn drying: A new model. Trans ASAE, 11, 582-586
6. Pfost HB, Maurer SG, Chung DS, Milliken GA (1976) Summarizing and reporting equilibrium moisture data for grains. ASAE Paper No. 763520, American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI, USA, p 1-11
7. Iglesias HA, Chirife J (1976) A model for describing the water sorption behavior of foods. J Food Sci, 41, 984-912
8. Oswin CR (1946) The kinetics of package life: III. The isotherm. J Soc Chem Ind, 65, 419-421
9. Iguaz A, Virseda P (2007) Moisture desorption isotherms of rough rice at high temperatures. J Food Eng, 79, 794-802
10. ASABE Standard (2008) ASAE D245.6 OCT2007 Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI, USA, p 1-2
11. Yu L, Mazza G, Jayas DS (1999) Moisture sorption characteristics of freeze-dried, osmo-freeze-dried, and osmo-air-dried cherries and blueberries. Trans ASAE, 42, 141-147
12. ASABE Standard (2008) ASAE S352.2 APR1988 (R2008) Moisture Measurement-Unground Grain and Seeds. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI, USA, p 1
13. Lim JT, Shim GS, Han WS (2007) Statistical Analysis and SAS Utilization. Jayu-Academy Co, Paju, Korea, p 443-469
14. Basunia MA, Abe T (2005) Adsorption isotherms of barley at low and high temperatures. J Food Eng, 66, 129-136