

## 국산 밀 건조를 위한 평형함수율 예측 모델 연구

신동관<sup>1</sup>, 김훈<sup>2</sup>, 한재웅<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 농공학과, <sup>2</sup>한국식품연구원 소비안전연구단, <sup>3</sup>공주대학교 스마트팜공학과

### A Study on the Equilibrium Moisture Content Prediction Model for Drying Domestic Wheat

Dong-Gwan Shin<sup>1</sup>, Hoon Kim<sup>2</sup>, Jae-Woong Han<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, Kongju National University

<sup>2</sup>Research Group of Consumer Safety, Korea Food Research Institute

<sup>3</sup>Department of SmartFarm Engineering, Kongju National University

**요약** 본 연구의 목적은 국산 밀의 건조 중 평형함수율을 예측이 가능한 모델을 구현하기 위하여 수행되었으며, 측정 방법은 동적 방법과 정적 방법 중 정적 방법을 이용하여 측정하였다. 건조온도 3수준 및 상대습도 8수준 총 24개의 조건에 따라 평형함수율의 변화를 측정하였으며, 측정값을 이용하여 건조온도 및 상대습도를 이용하여 평형함수율 예측이 가능한 4개의 모델 Chung-Pfost, Modified Henderson, Modified Halsey, Modified Oswin 모델에 대한 적합성을 검정하였다. 평형함수율 측정값은 상대습도가 높을수록 평형함수율이 높게 나타났고 건조온도가 높을수록 평형함수율이 낮게 나타났으며, Chung Pfost 모델 및 Modified Henderson은 30 및 40℃에서는 예측값과 측정값이 비교적 잘 일치하였고 건조온도 50℃에서는 모든 모델에서 측정값과 차이가 있었다. 적합성 검증결과 Modified Henderson 모델이 평형함수율의 실험값과 예측값의 RMSE는 0.005770%, d.b. 및 결정계수( $R^2$ )는 0.96 이상으로 다른 모델에 비하여 적합한 것으로 나타났다. 곡물의 건조온도 및 모델 검정 값 비교 결과 Modified Henderson이 국산 밀 건조 시 평형함수율 적용 모델로 적합할 것으로 판단된다.

**Abstract** The purpose of this study was to implement a model that can predict the equilibrium moisture content (EMC) during drying of domestic wheat. Measurement was done using a static method rather than a dynamic method. Changes in EMC were measured according to a total of 24 conditions at 3 levels of drying temperature and 8 levels of relative humidity, and 4 models were tested (Chung-Pfost, Modified Henderson, Modified Halsey, and Modified Oswin models). The higher the relative humidity, the higher the EMC was, and the higher the drying temperature, the lower the EMC was for the Chung Pfost model and Modified Henderson model. The predicted values and the measured values at 30 and 40℃ were relatively well matched, and at the drying temperature of 50℃, there was a difference from the measured values in all models. As a result of the verification of conformity, the RMSE of the experimental and predicted values of the EMC of the Modified Henderson model was 0.005770% d.b., and the coefficient of determination ( $R^2$ ) was 0.96 or more, which was found to be suitable compared to other models. It is judged that Modified Henderson model is suitable as an EMC application model when drying domestic wheat.

**Keywords** : Drying, Drying Model, Equilibrium Moisture Content(EMC), Wheat, Domestic Wheat

본 논문은 2022년도 농촌진흥청(PJ016023)의 연구지원 사업을 통해 수행되었음.

\*Corresponding Author : Jae-Woong Han(Kongju National Univ.)

email: hanwoong@kongju.ac.kr

Received March 8, 2022

Revised May 2, 2022

Accepted June 3, 2022

Published June 30, 2022

## 1. 서론

우리나라에서 밀은 쌀, 콩, 보리 등과 함께 식생활에서 빼놓을 수 없는 주요 식량 중 하나로 연간 1인 소비량은 32.4kg 으로 쌀만큼 많은 소비가 이루어지고 있지만, 자급률은 0.7% 이하로 매우 낮다[1,2]. 만약 밀 주요 수출국에서 문제가 발생할 경우 식량안보에 위협을 초래할 수 있다. 따라서, 국내에서도 밀 자급률을 높이기 위한 자구책으로 2025년까지 밀 자급률을 5% 이상 달성을 목표로 생산량을 계속적으로 늘리고 있다[2,3].

국산 밀은 대부분 10월에 파종하여 6월에 수확하는 동계작물로 이모작이 가능하여 생산량은 증가하고 있지만, 농가별 생산량이 적고 농가 개별 건조 후 창고에 저장되기 때문에 함수율의 차이가 크고 품질의 차이가 있어 체계적인 품질관리를 위해 수확 후 건조조건에 관한 연구가 필요하다[4,5].

농산물의 가공 공정 중 첫 단계는 건조이며, 적절하게 이루어지지 못할 경우 저장 및 가공 등의 후속 공정에 악영향을 미치게 된다[8]. 건조공정은 단순히 수분 제거가 아니라 효소 반응 및 비효소적인 반응을 좌우할 수 있고 미생물의 번식을 방지하여 품질 유지에 중요하다. 적절한 건조조건으로 건조하기 위해서는 건조 주요 인자 중 평형함수율의 조건을 찾는 것이 중요하다[6].

평형함수율이란 일정한 조건의 건조 공기 중에 밀을 장시간 노출시킬 경우 밀 내부의 수증기압과 주위 공기의 수증기 분압이 평형을 이루게 되고 밀은 일정한 함수율에 도달하게 된다. 이처럼 주위 공기와 평형을 이루었을 때의 함수율을 조성된 공기에 대한 평형함수율(EMC)이라고 하며 이때 주위 공기의 상대습도를 평형상대습도(ERH)라고 한다[7,8]. 평형함수율 측정 방법은 조성된 공기에 건조온도 및 상대습도를 기계적으로 유동시키는 동적 방법과 정지된 공간에 재료를 노출시켜 측정하는 정적 방법 등이 있다[1,6].

평형함수율의 변화는 건조온도 및 상대습도에 따라 변화하며, 평형함수율과의 관계를 구현하기 위해서는 Chung-Pfost, Modified Henderson, Modified Halsey, Modified Oswin, Guggenheim-Andwerson-deBoer[9] 등이 제시한 모델이 대표적으로 이용되고 있으나 넓은 상대습도 범위에서 실험값과 잘 일치할 뿐만 아니라 이용상의 편의성 때문에 Chung-Pfost, Modified Henderson, Modified Halsey, Modified Oswin 모델이 널리 이용되고 있다[10]. 곡물의 평형함수율은 재배 지역, 수확 시기 및 기하학적 특성에 따라 차

이가 있어 수입 밀의 평형함수율 모델을 국산 밀에 적용할 경우 건조 및 저장 시스템의 성능을 저하할 수 있어 수입 밀의 평형함수율 모델을 적용하기에는 어려움이 있으며, 국산 밀과 관련된 평형함수율 모델은 전무한 실정이다[8,10].

따라서, 본 연구의 목적은 국산 밀의 건조온도 및 상대습도의 변화에 따른 평형함수율을 정적측정방법을 통하여 관계를 찾고 평형함수율 예측이 가능한 4개의 기준 모델로 Chung-Pfost, Modified Henderson, Modified Halsey, Modified Oswin 모델을 결정하고 모델의 적합성을 검증하는 데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험재료

실험에 사용한 국산 밀은 대표 품종 중 금강으로 2021년 6월에 전북에서 수확하였으며, 콤팩인으로 수확된 금강을 체를 이용하여 이물질을 선별한 후 고수분의 밀을 실링 팩을 이용하여 소분하고 밀봉하여 포장한 후 실험 전까지 0 ℃ 이하의 저온 저장고에 보관하여 포장열을 제거하였다. 실험 12시간 전 실온에 방치한 후 실험에 사용하였다[8].

### 2.2 실험방법

건조온도(30, 40, 50℃) 및 상대습도(11.0 ~ 83.6%)로 총 24수준의 상태를 조성하고 밀을 노출시켜 평형에 이르게 하는 정적 측정방법을 사용하였으며, 상대습도 수준을 맞추기 위해 포화염용액을 사용하였다. 포화염용액은 종류수에 유리 비커를 넣고 일정한 온도에 이르게 한 후 염류를 포화시킬 때까지 용해시켜 사용하였으며, 온도별 8수준의 상대습도를 조성이 가능하였다[6]. Table 1은 실험에 사용된 염용액의 종류와 포화 염용액의 온도별 상대습도를 나타낸 표는 Table 1과 같다. 건조온도는 항온기 (한국종합기기제작소, HK-BIO25, Korea)를 이용하여 일정한 온도를 유지하였으며, 설정된 상대습도 유지를 위하여 밀폐가 가능한 데시케이터 (polylab, Vacuum Desiccator, India)를 이용하였다. 열전대 (T-TYPE, OMEGA, USA)를 이용하여 건조 온도를 측정하고 자료수집장치 (Saveris2, Testo, Germany)를 이용하여 저장하였다.

건조온도와 상대습도가 일정하게 유지되는 데시케이

터 내부에 시료 10g 씩 3개의 공기 순환이 원활한 다공 상자에 넣은 후 무게 변화를 2~3일 간격으로 전자저울 (ED153-CW, Sartorius, Germany)을 이용하여 무게를 측정하였다. 시료의 무게 변화가 2주 이상 0.002g 이하의 변화를 보일 때 평형함수율에 도달할 때 실험을 종료하였으며, 시료별로 함수율은 10g-130°C-9h[11] 건조법으로 측정하여 평형함수율로 사용하였다[8].

Table 1. Relative humidities at temperature above the saturated salt solutions used in the test

Temp. (°C)	Relative humidity(%)							
	LiCl	CH <sub>3</sub> C OOK	MgCl <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	KI	NaCl	KCl
30	11.3	21.6	32.4	43.1	51.4	67.9	75.1	83.6
40	11.2	20.4	31.6	43.2	48.4	66.1	74.7	82.3
50	11.0		30.5	43.2	45.4	64.5	74.4	81.2

### 2.3 분석방법

국산 밀의 평형함수율을 분석 및 예측하기 위해 가장 많이 이용되고 있는 4개의 모델 즉, Chung-Pfost, Modified Henderson, Modified Halsey, Modified Oswin 을 이용하여 분석하였으며, 4개의 모델은 다음과 같다[8,12].

Chung-Pfost Equation:

$$RH = \exp\left[-\frac{A}{T+C} \exp(-BM)\right] \quad (1)$$

$$M = E - F \ln[-(T+C) \ln(RH)]$$

Modified Halsey Equation:

$$RH = \exp(-\exp(A+BT)M^{-C}) \quad (2)$$

$$M = [\exp(A+BT)]^{\frac{1}{C}} (-\ln RH)^{-\frac{1}{C}}$$

Modified Henderson Equation:

$$RH = 1 - \exp[-K(T+C)(100M)^N] \quad (3)$$

$$M = 0.01 \left[ \frac{\ln(1-RH)}{-K(T+C)} \right]^{\frac{1}{N}}$$

Modified Oswin Equation:

$$RH = \frac{1}{(A+BT/M)^{\frac{1}{N}} + 1} \quad (4)$$

$$M = (A+BT) \left( \frac{RH}{1-RH} \right)^N$$

여기서,  $M$  = 평형함수율(dec., d.b.)

$RH$  = 상대습도(dec.)

$T$  = 건조 온도(°C)

$A, B, C, D, E, F, K, N$  = 실험상수

4개의 실험 모델은 건조온도 및 상대습도를 이용하여 평형함수율 예측이 가능한 모델과 건조온도 및 평형상대 습도를 이용하여 평형상대습도 예측이 가능한 모델이 있다. 실험상수들은 SAS(Ver. 9.4)의 비선형회귀분석 프로그램을 이용하여 결정하였으며, RMSE(Root Mean Square Error) 및  $R^2$ 를 모델의 비교 검토에 이용하였다[13].

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 평형함수율 측정

실험 시작 1주일 후 모든 건조온도 및 상대습도에서 시료의 무게가 급격하게 감소가 시작되었으며, 평형함수율에 도달할 때까지 47일이 소요되었고 도달 후 2주간 변화가 없을 때 실험을 종료하여 함수율을 측정하였다. Fig. 1은 건조온도별 평형함수율을 나타낸 것이며, 건조 온도가 높을수록 평형함수율이 낮게 나타났으며, 상대습도가 높을수록 평형함수율이 높게 나타났다. 국산 밀의 경우 건조온도의 변화보다 상대습도의 변화에 따라 평형 함수율의 변화가 크게 나타났다.

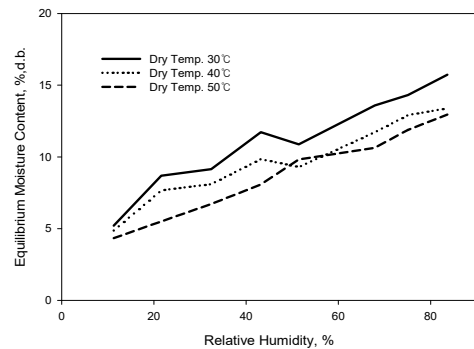


Fig. 1. Comparison of equilibrium moisture content according to drying temperature for each variety

### 3.2 모델의 적합성 검증

국산 밀의 평형함수율 적합성을 검증결과는 Table 2 와 같으며, 평형함수율의 실험값과 모델에 의한 예측값

사이의 RMSE는 Modified Henderson 모델의 경우 0.005770%, d.b.으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 함수율의 측정오차를 고려하여 실제 측정값 및 예상 값을 함수율 사이의 RMSE의 허용수준을 0.01% 로 설정할 경우 Modified Halsey, Modified Oswin 가 허용수준을 벗어났으며 또한 평형함수율모델의 결정계수( $R^2$ )는 Modified Henderson 모델의 경우 0.96 이상 높은 값을 나타내었고, Modified Halsey 모델을 제외한 나머지 모델들도 0.95 이상으로 높게 나타났다.

Table 2. Comparison of regression coefficient (experimental constant) and RMSE of 4 models (Chung-Pfost, Modified Halsey, Modified Henderson and Modified Oswin)

Equation	Regression coefficients					RMSE (% d.b.)	$R^2$
	A	B	C	E	F		
Chung-Pfost	0.97563	-0.10228	-9.7772	0.2412	0.0438	0.00615	0.9562
Modified Halsey	A		B		C	0.01313	0.9122
	-4.4384		-0.0363		2.4826		
Modified Henderson	K		C		N	0.00577	0.9685
	0.000058		-8.5787		2.4699		
Modified Oswin	A		B		N	0.00827	0.9515
	0.1648		-0.0014		0.2694		

Fig. 2-4는 국산 밀의 4개의 모델의 건조온도와 상대습도 변화에 따른 평형함수율의 예측값, 측정값을 비교한 것이며, 건조온도 30°C 에서는 Modified Oswin 모델을 제외하고는 잘 일치하였으나 상대습도 80% 이상에서는 Halsey 모델의 특성상 측정값보다 상대습도가 높게 나타났다. 건조온도 40°C 에서는 건조온도 30°C 와 비슷한 경향을 나타내었으나 Chung-Pfost 및 Modified Henderson 모델이 비교적 잘 일치하였다. 건조온도 50°C 에서는 상대습도 20~80 %의 영역에서 모든 모델이 잘 일치하였으나 상대습도 80% 이상에서는 Modified Henderson 모델이 가장 잘 일치하였다. 모든 건조온도에서 모델별로 비슷한 경향을 나타내고 있으나 Modified Oswin 모델은 상대습도 전체 영역에서 다른 값을 나타냈고 Modified Halsey 모델의 경우 상대습도가 높을수록 측정값과 큰 차이를 나타냈으며 나머지 2개 모델은 측정값과 비슷한 경향을 나타냈다.

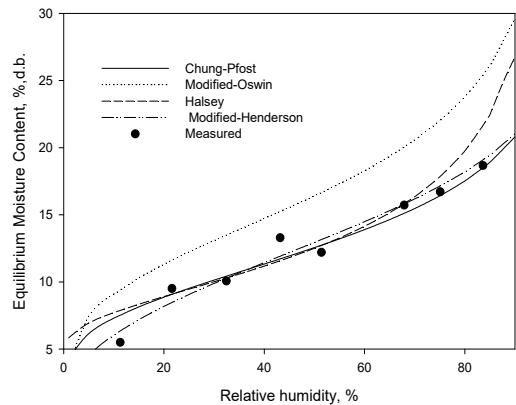


Fig. 2. Comparison of measured data and the predicted desorption equilibrium moisture content using 4-equations for temperature 30°C

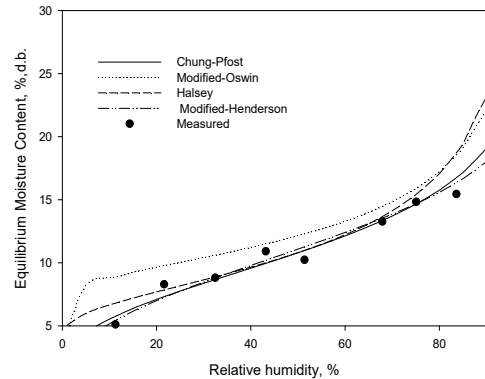


Fig. 3. Comparison of measured data and the predicted desorption equilibrium moisture content using 4-equations for temperature 40°C

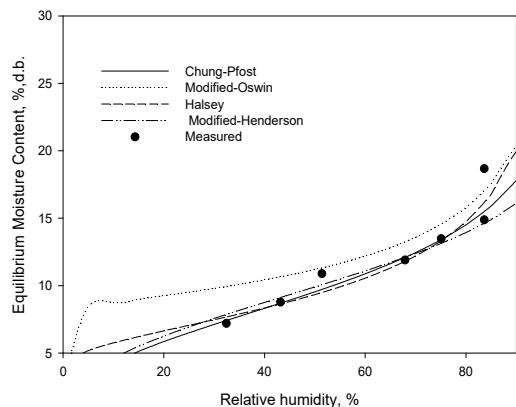


Fig. 4. Comparison of measured data and the predicted desorption equilibrium moisture content using 4-equations for temperature 50°C

Fig. 5-8은 4개의 평형함수율 모델별 예측값과 측정값을 비교한 것이며, Halsey 모델은 건조온도 40°C 외에 모든 상대습도 영역에서 잘 일치하지 않았으며, Modified Oswin 모델은 전 영역에서 큰 차이가 나타났다. Chung-Pfost 모델 및 Modified Henderson 모델은 30 및 40°C 에서는 예측값과 측정값이 비교적 잘 일치하였으며, 상대습도 20~80% 영역에서 잘 일치하는 것으로 나타났다. 건조온도 50°C 에서는 두 모델 다 예측값의 평형함수율이 낮은 것으로 나타났다. 곡물의 건조온도 40°C 전후를 고려할 경우 Chung Pfost 모델 및 Modified Henderson이 국산 밀 건조 시 평형함수율 적용 모델로 적합한 것으로 나타났다.

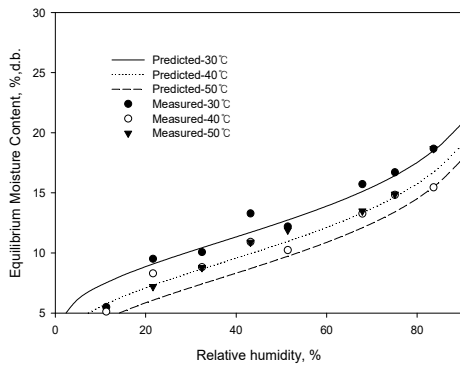


Fig. 5. Comparison of measured data and the predicted desorption equilibrium moisture content using Chung-Pfost equation for domestic wheat.

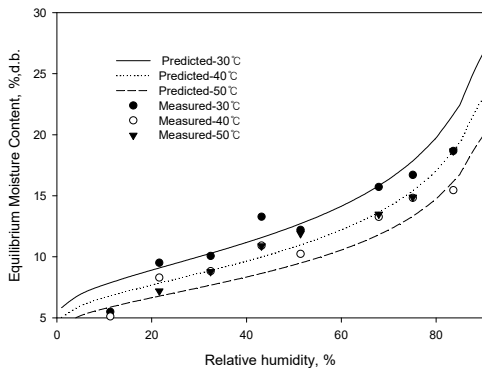


Fig. 6. Comparison of measured data and the predicted desorption equilibrium moisture content using Halsey equation for domestic wheat.

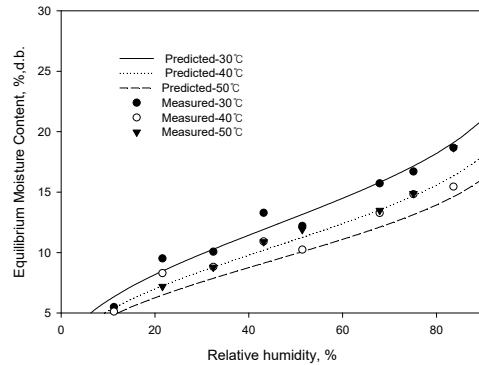


Fig. 7. Comparison of measured data and the predicted desorption equilibrium moisture content using Modified-Henderson for domestic wheat.

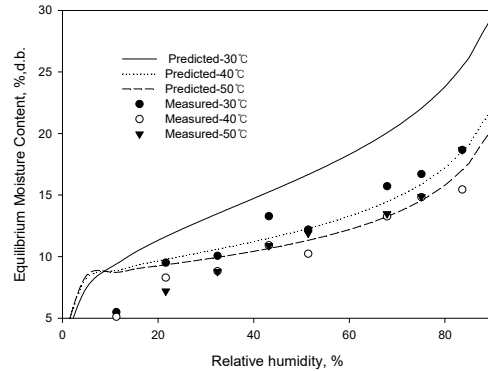


Fig. 8. Comparison of measured data and the predicted desorption equilibrium moisture content using Modified-Oswin for domestic wheat.

#### 4. 결론

국산 밀의 건조조건 중 건조온도 및 상대습도 변화에 따른 평형함수율을 예측이 가능한 모델을 구현하기 위하여 정적 측정 방법을 이용하여 건조온도 3수준 및 상대습도 8수준 총 24개의 조건에 따라 변화하는 평형함수율을 측정하였으며, 측정값을 이용하여 건조온도 및 상대습도를 이용하여 평형함수율 예측이 가능한 모델과 건조온도 및 평형상대습도를 이용하여 평형상대습도 예측이 가능한 모델 4개의 모델 Chung-Pfost, Modified Henderson, Modified Halsey, Modified Oswin 모델 적합성을 검정하였다.

1. 건조온도 및 상대습도별 평형함수율을 측정된 결과 모든 조건의 평형함수율에 도달할 때까지 47일이 소요되었고 상대습도가 높을수록 평형함수율이 낮게 나타났고 건조온도가 높을수록 평형함수율이 낮게 나타났다.
2. 국산 밀의 평형함수율 적합성을 검증 결과 Modified Henderson 모델이 평형함수율의 실험값과 예측값의 RMSE 경우 0.005770%, d.b. 가장 낮게 나타났다으며, 결정계수( $R^2$ )는 0.96 이상으로 가장 높게 나타났다.
3. 4개의 모델의 건조온도에 따른 상대습도 변화에 따른 평형함수율의 예측값, 측정값을 비교 결과 Chung-Pfost 및 Modified Henderson 모델이 비교적 잘 일치하였으며, 건조온도 50℃에서는 상대습도 20~80%의 영역에서 모든 모델이 잘 일치하였으나 상대습도 80% 이상에서는 Modified Henderson 모델이 가장 잘 일치하였다.
4. 4개의 평형함수율 모델별 예측값과 측정값을 비교 결과 Chung-Pfost 모델 및 Modified Henderson은 30 및 40℃에서는 예측값과 측정값이 비교적 잘 일치하였으며, 곡물의 건조온도 및 모델 검정 값 비교 결과 Modified Henderson이 국산 밀 건조 시 평형함수율 적용 모델로 적합한 것으로 나타났다.

## References

- [1] B. M. Choi, "Equilibrium moisture content/equilibrium relative humidity of barley", *Korean journal of food preservation*, Vol.25, No.5, pp.543-548, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11002/kjfp.2018.25.5.543>
- [2] S. H. Jang, Food Industry Division, Announcement of the 1st Wheat Industry Development Master Plan, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs[Internet], 2020[cited 2020 November 18] Available from: <https://www.mafra.go.kr/mafra/293/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTjGYmJz/TjGbwFmcmElMkY2OCUyRjMyNTI3MiUyRmFydGNsVmldy5kbyUzRg%3D%3D> (accessed March. 06, 2022)
- [3] H. Kim, J. Han, "Quality Characteristics of Rough Rice during Low Temperature Drying", *KOREAN JOURNAL OF FOOD PRESERVATION*, Vol.16, No.5, pp.650-655, 2009. <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO200908856869864>, ISSN(Online) : 2287-7428
- [4] Y. H. Kim, J. w. Han, D. H. Keum, "Desorption EMC Models for Rapeseed", *Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol.32, No.6, pp.403-407, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5307/JBE.2007.32.6.403>
- [5] Y. B. Kim, K. Yang, S. T. Yoon, "Wheat-Rice Double Cropping System in Rice Fields of the Cheonan Area for the Production of Domestic Wheat". *Korean journal of crop science*, Vol.64, No.3, pp.234-245, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7740/kics.2019.64.3.234>
- [6] B. M. Choi, "EMC/ERH of Rough Rice and Brown Rice", *Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol.30, No.2 pp.95-101, 2005. DOI: <https://doi.org/10.5307/JBE.2005.30.2.095>
- [7] D. H. Keum, H. Kim, "Desorption Equilibrium Moisture Content of Rough Rice, Brown Rice, White Rice and Rice Hull", *Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol.25, No.1, pp.47-54, 2000 <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO200011919843158>, ISSN(Online) : 2234-1862
- [8] Information Statistics Office, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Key statistics for agriculture, forestry and livestock food[Internet], Archives of the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2020 [cited 2020 November] Available Form: <https://lib.mafra.go.kr/Search/Detail/48112?key=%EC%A3%BC%EC%9A%94%ED%86%B5%EA%B3%84%202020> (accessed March. 06, 2022)
- [9] American Society of Agricultural and Biological Engineers standards 2004, The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems, 2016, pp.529 (Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products). pdf.
- [10] D. H. Keum, H. Kim, "Adsorption Equilibrium Moisture Content of Rough Rice, Brown Rice, White Rice and Rice Hull", *Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol.26 No.1 pp.57-66, 2001 <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO200111920752288>, ISSN(Online) : 2234-1862
- [11] American Society of Agricultural and Biological Engineers standards 2016, The Society for engineering in /agricultural, food, and biological systems, 2016, pp.S352\_2\_R2012(Moisture Measurement -Unground Grain and Seed.). pdf.
- [12] H. Kim, H. J. Lee and J. W. Han 2021. Desorption EMC Models for Itallian Ryegrass(IRG). *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* 26(1), 149-149.(In Korean) DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.9.754>
- [13] Chonbuk National University, Establishment of quality control and post-harvest management system in Korean wheat production, National technology development report, Rural Development Administration(RDA), Korea, pp4-5, 2014 DOI: <https://doi.org/10.23000/TRKO201400011314>

---

신 동 관(Dong-Gwan Shin)

[준회원]



- 2022년 2월 : 공주대학교 생물산업공학부 기계공학전공 (공학사)
- 2022년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 농공학과 (대학원생)

<관심분야>

바이오 공정공학

---

김 훈(Hoon Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 성균관대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 2003년 3월 : 성균관대학교 전임연구원
- 2010년 4월 ~ 현재 : 한국식품연구원 책임연구원

<관심분야>

식품 및 농산가공

---

한 재 응(Jae-Woong Han)

[정회원]



- 2003년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학박사)
- 2007년 9월 ~ 2010년 2월 : 성균관대학교 연구조교수
- 2010년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 스마트팜공학과 교수

<관심분야>

바이오공정공학, 바이오에너지