Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 23, No. 10 pp. 78-84, 2022

https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.10.78
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

국산 밀 건조를 위한 건조 조건별 발아율 예측 모델 개발

신동관[1], 김훈[2], 한재웅[3*]
[1]공주대학교 농공학과, [2]한국식품연구원 소비안전연구단, [3]공주대학교 스마트팜공학과

Development of Germination Rate Prediction Model for Each Drying Condition for Drying Domestic Wheat

Dong-Gwan Shin[1], Hoon Kim[2], Jae-Woong Han[3*]
[1]Department of Agricultural Engineering, Kongju National University
[2]Research Group of Consumer Safety, Korea Food Research Institute
[3]Department of SmartFarm Engineering, Kongju National University

요 약 본 연구는 국산 밀 건조 시 곡물의 품질을 알아볼 수 있는 지표인 발아율 건조온도 및 상대습도를 변화를 측정하고 측정된 데이터를 이용하여 예측 모델을 개발하기 위하여 수행되었다. 실험에 사용한 시료는 2021년 6월 전북에서 수확한 시료를 사용하였었다. 초기를 포함하여 온도 3수준 및 상대습도 3수준 총 10개 수준의 조건에 따라 발아율을 측정하였으며, 측정값을 이용하여 국산 밀 발아율 모델을 개발하였고 예측 가능한 발아율 모델에 비교 분석하였다. 국산 밀 건조시간은 상대습도보다 건조온도에 더 큰 영향을 받으며, 발아율 또한 상대습도의 변화보다 건조온도의 변화에 영향이 크게 나타났다. 실험값과 예측값을 개발한 발아율 모델과 비교한 결과 건조온도 및 상대습도에 따른 발아율 실험모델의 결정계수(R2)는 0.8736 이였으며, RMSE는 0.005151%로 나타났다. 따라서 일반적인 국산 밀의 건조온도인 40℃~60℃, 상대습도 20%~40%의 건조범위에서 발아율 예측이 가능하였으며, 건조온도와 상대습도 별 측정값과 예측값을 비교한 결과 국산 밀 건조를 위한 적정 온도는 50℃ 이하이고 60℃로 건조 시 상대습도를 30% 이상으로 건조하여야 발아율 95% 유지가 가능한 것으로 나타났다.

Abstract This study was undertaken to measure changes in the indicators that determine the quality of grains when drying domestic wheat, including germination rate, drying temperature, and relative humidity. We further endeavored to develop a predictive model using the measured data. The sample used for the experiment was wheat harvested in Jeonbuk in June 2021. The germination rate was measured according to 10 conditions encompassing three temperatures and three relative humidity levels, including the initial stage. Using the measured values, a domestic wheat germination rate model was developed and comparatively analyzed with a predictable germination rate model. We observed that the drying time and germination rate of domestic wheat were more affected by the drying temperature than the relative humidity, with a significant difference obtained for the latter. Comparison of the experimental and predicted values with the developed germination rate model revealed that the coefficient of determination (R2) of the germination rate experimental model according to the drying temperature and relative humidity was 0.8736, and the RMSE was 0.005151%. Therefore, we believe it is possible to predict the germination rate in the drying range of 40°C to 60°C (the drying temperature of general domestic wheat) and at 20% to 40% relative humidity. Our study indicates that a germination rate of 95% can be maintained only when the temperature is below 50°C, and the relative humidity is maintained at 30% or more when drying at 60°C.

Keywords : Domestic Wheat, Germination Rate, Model, Drying Temperature, Predict Model

본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의(321039-4) 및 농촌진흥청의 (PJ016023)의 연구지원 사업을 통해 수행되었음.
*Corresponding Author : Jae-Woong Han(Kongju National Univ.)
email: hanwoong@kongju.ac.kr
Received July 27, 2022 Revised August 29, 2022
Accepted October 7, 2022 Published October 31, 2022

1. 서론

우리나라의 주곡인 쌀은 2020년 기준으로 1인당 연간 32.4 kg으로 계속 소비량은 감소하는 반면 밀 소비량은 연간 1인당 32.2 kg으로 꾸준하게 증가하여 전체 양곡 소비량 비율 중 밀 비율이 높아지고 있다. 그러나 2020년 기준 국내 밀 연간 생산량은 3만 톤으로 국내 총 소비량인 215만 톤에 비하여 1% 미만으로 국내 밀 소비를 대부분은 수입에 의존하고 있다. 국가는 밀 산업 육성법을 제정하여 국내 밀 생산량을 점차적으로 증가시켜 수입 밀을 대체하는 계획을 진행 중에 있다[1-3].

수입 밀은 함수율 12%, w.b. 미만으로 건조하여 산물상태로 배에 선적되어 긴 시간 운송으로 인하여 저장 중 품질 저하가 발생되고 있다. 최근 국내의 소비자들은 안전한 먹거리에 대한 관심이 높아지고 있어 상대적으로 저장 기간이 짧은 국산 밀에 관심이 높아지고 있다[4,5].

밀은 일정 기간 저장 이후 소비되며, 저장 중에도 살아있는 생물로 대사 활동을 통하여 양분이 소모되고, 국산 밀을 저장하기 위하여 적절한 수분함량으로 가공하는 건조공정이 필수적으로 시행되어야 한다. 수입 밀을 대체할 수 있는 국산 밀에 생산량이 증가하면서 수확 이후 건조가 필요하며 곡물 건조 중 주요 인자는 건조 공기의 온도와 습도에 따라 건조 속도 및 품질이 변화된다. 국내에서는 밀 건조는 쌀 건조와 동일한 열풍을 이용하는 순환식건조기를 이용하여 건조하고 있으며, 쌀 건조와 동일한 방법으로 건조를 수행하고 있다[6,7]. 그러나 밀 건조 시 적정 온도로 건조되지 못하고 고온으로 건조될 경우 주요성분의 변화와 곡물의 생명력의 척도인 발아율이 감소된다[7,8].

곡물 품질을 판단하는 지표는 유전적 특성, 종자의 생명력, 발아율, 보관조건, 등이 있으나 그중 가장 중요한 지표는 발아율이며, 농업에서는 생산량과 품질을 결정하는 중요한 요소이며, 발아율은 온도에 민감하다고 보고되고 있다[9,10].

국내·외적으로 곡류 발아 관련 연구는 품질을 나타내는 척도로 계속적으로 진행되고 있으며 일반적으로 밀의 건감률은 벼에 비해 약간 낮은 것으로 알려져 있으나[11], 국내에서는 보리, 현미, 콩 등에 일부 작물에 연구가 진행되었고 국산 밀에 관한 발아 특성 연구는 전무한 실정이다[12,13].

따라서 본 연구는 목적은 국산 밀 건조 시 곡물의 품질을 알아볼 수 있는 지표인 발아율 건조온도 및 상대습도를 변화하여 측정하고 측정된 데이터를 이용하여 예측 모델을 개발하여 국산 밀 건조 시 적정 건조온도 및 상대습도를 제시하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

실험에 사용된 국산 밀은 2021년 6월에 전북 영광지역에서 수확한 금강 품종으로 초기함수율은 17.75%, wet basis이었으며, 시료의 보관은 1 kg씩 밀폐 팩에 소분하여 0℃ 이하 저온저장고에 보관하였다. 실험 전 상온에 12시간 이상 실온에 방치 후 실험에 이용하였다.

2.2 실험방법

실험의 구성은 초기를 포함하여 온도 3수준 (40, 50, 60℃) 습도 3수준 (20, 30, 40%) 총 10개 수준을 조성하였다. 건조 시료의 조성은 공기조화장치(BPHJS-060A, Neuron Fit, Korea)를 사용하였으며, 건조공기의 온 습도를 확인하기 위해 외부 Ø12mm 온·습도 프로브를 데이터로거 (176P1, Testo, Germany)에 연결하여 측정하였으며, Testo ComSoft Basic 소프트웨어를 이용하여 자료를 수집하였다. 공기조화장치 내부에 가로 350 mm, 세로 350 mm, 높이 200 mm의 직사각형 모양의 공기 충만실을 구성하였고 건조실 옆면에는 유동 펜을 장착하여 건조공기를 유입하였으며, 상부에는 지름 190

Fig. 1. Airflow diagram inside the drying chamber.

mm의 홈을 내어 건조실을 구성하였다. 건조 시료의 함수율은 12.0%, w.b.이하로 건조를 시행하였으며, 건조가 완료된 밀의 함수율 측정은 밀 10g을 130℃에서 19시간 건조하는 직접측정법으로 함수율을 측정하였다. 건조 시료를 구성한 공기조화장치와 건조실 및 공기충만실은 Fig. 1과 같다.

발아율 측정은 국산 밀 정립 100립을 육안으로 선별하여 물로 충분히 세척한 후, 발아 배지를 깔고 국산 밀을 일정한 간격으로 고르게 분포시킨 후 발아 배지가 충분히 젖을 정도로 정제수를 가하여 발아 배지를 준비하였다. 한 건조 수준 별 100개씩 4개의 배지를 기준으로 발아 밀을 측정에 사용하였고 항온항습기(HK-BIO25, 한국종합기기제작소, Korea)에 20℃를 유지하였으며, 온도 확인을 위하여 열전대(T-type, Omega, USA)를 자료수집장치 (Saveris2, Testo, Germany)에 연결하여 항온항습기 온도를 확인하였다. 발아율은 10일 이내 발아한 밀의 개수를 육안으로 확인하여 발아율 Eq. (1)으로 계산하였다[14]. 국산 밀 정립과 10일 경과 후 발아 배지 및 실험방법은 Fig. 2~4과 같다.

$$germiation\ rate\,(\%) = \frac{wheat\ germinated\ within\ 14\ days}{total\ number\ of\ measured\ grains} \quad (1)$$

Fig. 2. Domestic Wheat germination growth midea arrangement and germination growth midea 10 days later.

Fig. 3. Ungerminated domestic wheat.

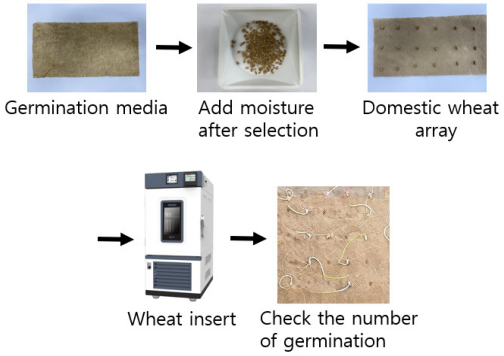

Fig. 4. Germination rate test method

2.3 발아율 모델 개발

발아율의 실험값을 모델에 적용시켜 SAS(Ver 9.4, SAS Inc, USA)의 프로그램을 이용하여 매개변수를 결정하였으며, 발아율은 건조온도와 상대습도를 함수로 가정하고 결정하였으며 모델식은 아래 Eq. (2)와 같다.

$$GR = a_0 + a_1(T) + a_2(RH) + a_3(T)^2 + a_4(T \cdot RH) \quad (2)$$

Where, GR : Germination rate, dec.
a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 : Regression coefficients
T : Temperature, ℃
RH : Relative humidity, dec.

실험상수들의 조합은 PROC STEPWISE를 이용하여 결정하였으며, 발아율 실험값과 모델에 의한 예측값 사이의 결정계수(R^2)와 RMSE(Root Mean Square Error)를 모델의 검정에 이용하였다[15-18].

3. 결과 및 고찰

3.1 건조온도

건조시간에 따른 건조온도 및 상대습도별 열풍의 온도 변화는 목표 온도에 도달하는데 약 20분 정도의 시간이 소요되었고 이후 설정온도에서 목표 건조온도 40℃는 평균 40.0℃(39.2~41.3℃), 목표 건조온도 50℃는 평균 50℃(49.60~50.1℃) 및 목표 건조온도 60℃는 60.00℃ (59.4~60.8℃)로 나타났으며, 상대습도는 20%는 평균 20.0%(18.15~20.65%), 목표 상대습도 30%는 평균 30.0% (26.5~31.6%) 및 목표 상대습도 40%는 40% (37.85~41.25%)로 나타났다. 평균온도가 각 온도 수준별 ±1.0℃(40℃는 ±0.8℃ 내외, 50℃는 ±0.4℃ 내외, 60℃는 0.8℃ 내외) 범위에 있었으며, 설정 습도 또한 각 습도 수준별 최대±4%(20%는 2.25% 내외, 30%는 3.5% 내외, 40% 2.25% 내외) 이내로 비교적 잘 유지되었다. 목표함수율까지 건조에 필요한 시간은 건조온도 40℃, 상대습도 40%가 건조시간 310분으로 가장 길었으며, 건조온도 60℃, 상대습도 20%가 90분으로 가장 짧게 나타났다. 국산 밀의 건조시간은 상대습도의 변화보다 건조온도의 변화가 더 큰 영향을 미쳤고 건조온도가 높을수록 상대습도가 낮을수록 건조속도가 빠르게 나타났다.

3.2 발아율

Fig. 5~6은 건조온도에 따른 발아율 변화 및 상대습도에 따른 발아율의 변화를 나타낸 것이며, 국산 밀의 초기 발아율은 97%로 나타났다. 초기 발아율을 100%로 가정하였을 때 최저 발아율은 건조온도 60℃ 및 상대습도 20% 93.3%로 초기 발아율에서 6.7% 감소하였으며, 건조온도 40℃ 및 상대습도 40%가 발아율 97.67%로 초기 발아율에서 2.33% 감소하였다. 그림과 같이 건조온도 40, 50℃는 발아율이 95% 이상 나왔으며, 건조온도 60℃에서 상대습도 30% 이하에서 발아율이 95% 이하로 낮게 나타났다. 발아율은 건조온도 50℃ 이상 상대습도 30% 이하에서 급격히 증가하였으며, 건조온도 60℃ 이상에서는 상대습도 30% 이상으로 건조하여야 발아율 감소를 낮출 수 있었다. 발아율은 상대습도의 변화보다 건조온도의 변화에 영향이 크게 나타났다.

국립종자원의 발아율은 85%로 규정되어 있으나, 건조기 품질 제한 기준은 발아율이 95% 이상을 규정하고 있어[9,11] 국산 밀 건조의 품질을 높이기 위해서는 건조시료의 발아율이 95% 이상을 목표로 하였다.

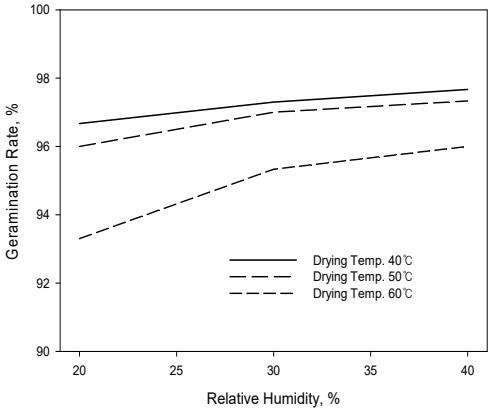

Fig. 5. Germination rate change according to drying temperature

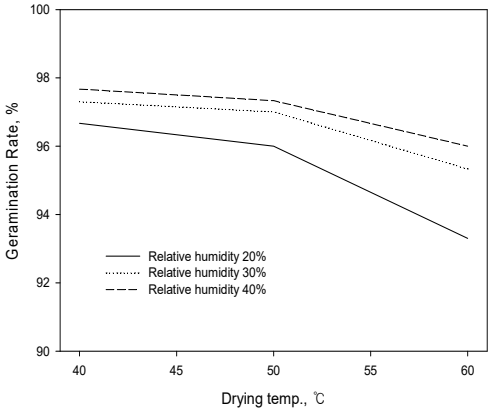

Fig. 6. Germination rate change according to relative humidity

3.3 발아율 모델 개발

건조온도 및 상대습도에 따른 발아율 모델식은 Eq. (3)과 같으며, 결정계수(R^2)는 0.8736 및 RMSE는 0.005151%로 나타났다. 밀의 일반적인 건조범위인 40~60℃ 및 상대습도 20%~40%의 범위에서 목표함수율까지 건조 시 발아율 예측이 가능하였다.

$$GR = 0.98763 - 0.00001923(T)^2 + 0.00189(T\ \ RH) \quad (3)$$

Where, GR : Germination rate, dec.
T : Temperature, ℃
RH : Relative humidity, dec.

Fig. 7~9는 상대습도별 발아율 실험값과 모델에 의한 예측값 비교한 것이다. Fig. 4는 상대습도 20%에서의 건조온도변화에 따른 발아율 변화를 나타낸 것이며, 건조온도 48℃ 이상에서 발아율 95% 이하로 품질의 변화가 급격하게 나타났고 상대습도 20% 이상의 조건에서는 완만하게 발아율이 감소하였다. Fig. 5는 상대습도 30%에서 건조온도 변화에 따른 발아율 변화를 나타낸 것이며, 실험값이 전반적으로 예측값보다 높게 나타났으나 건조온도 60℃까지 예측값이 95.0%로 발아율 감소하였다. Fig. 6은 상대습도 40%에서의 건조온도 변화에 따른 발아율 변화를 나타낸 것이며, 예측값이 실험값보다 전반적으로 높게 나타났으나 건조온도도 모든 영역에서 발아율 96.0% 이상으로 나타났다. 국산 밀의 품질유지를 위해서는 상대습도 40% 이상에서 건조하는 것이 효과적으로 판단된다.

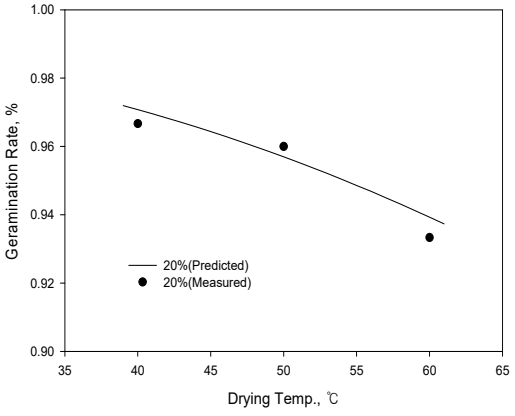

Fig. 7. Comparison of measured and predicted domestic wheat germination rate at relative humidity 20%.

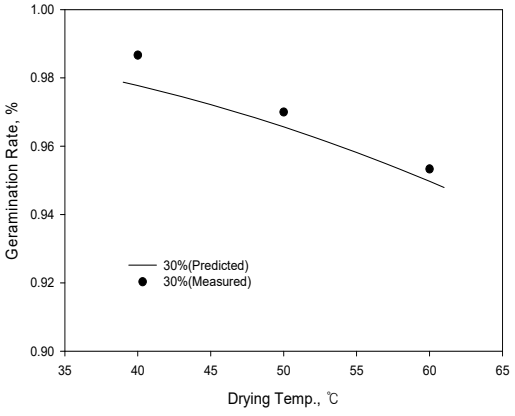

Fig. 8. Comparison of measured and predicted domestic wheat germination rate at relative humidity 30%.

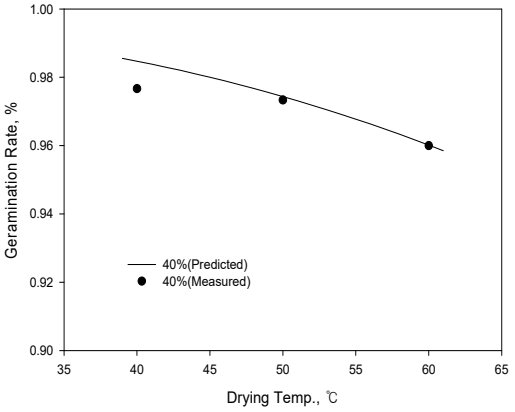

Fig. 9. Comparison of measured and predicted domestic wheat germination rate at relative humidity 40%.

Fig. 10은 건조온도와 상대습도에 따른 발아율 수준을 나타낸 것이며, 건조온도 54.5℃ 이상 및 상대습도 30.2% 이하에서는 건조 시 발아율 95% 이하로 나타났다. 곡물 건조기의 건조온도를 이용하여 건조조건을 결정함으로 목표 온도까지 가열되는 공기의 상대습도의 변화를 계산하여 건조온도 및 상대습도를 이용하여 건조 후 발아율 예측이 가능하였다. 또한 국산 밀 건조 시 Fig. 9를 이용한다면 발아율을 예측하고 국산 밀의 품질 향상에 기초자료로 활용될 것으로 예상된다.

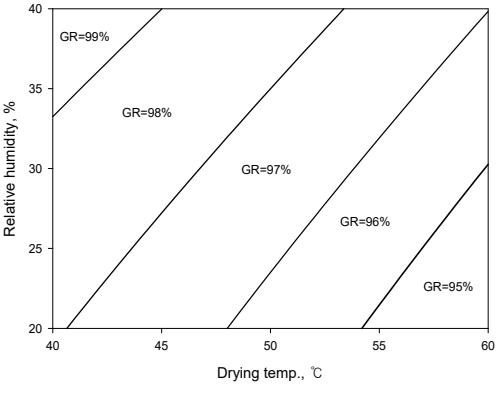

Fig. 10. Germination rate table according to drying temperature and relative humidity.

4. 결론

국산 밀 건조 시 곡물의 품질을 알아볼 수 있는 지표인 발아율 건조온도 및 상대습도를 변화를 측정하고 측

정된 데이터를 이용하여 예측 모델을 개발하기 위하여 초기를 포함하여 3수준(40, 50, 60℃) 및 상대습도 3수준(20, 30, 40%) 총 10개 수준의 조건에 따라 변화하는 발아율을 측정하였으며, 측정값을 이용하여 국산 밀 발아율 모델을 개발하였고 발아율이 예측 가능한 모델과 비교하여 검정하였다.

1. 각 건조 시료 건조 수준에 따른 목표 온도 도달까지는 약 20분이 소요되었고 건조온도 40℃, 상대습도 40%가 건조시간 310분으로 가장 길었으며, 건조온도 60℃, 상대습도 20%가 90분으로 가장 짧게 나타났다. 국산 밀 건조시간은 상대습도의 변화보다 건조온도의 변화가 건조에 더 큰 영향을 미쳤으며 건조온도가 높을수록 상대습도가 낮을수록 건조속도가 빠르게 나타났다.
2. 곡물 건조기의 건조온도를 이용하여 건조조건을 결정함으로 목표 온도까지 가열되는 공기의 상대습도의 변화를 계산하여 건조온도 및 상대습도를 이용하여 건조 후 발아율 예측이 가능하였다.
3. 국산 밀의 초기시료의 발아율은 97%로 나타났으며, 건조를 시행한 시료에서는 건조온도 60℃ 상대습도 20%에서 가장 낮은 발아율을 나타냈다. 건조온도 40, 50℃ 경우 발아율 95% 이상으로 나타났고 60℃ 30%에서는 발아율이 95% 이하로 감소하였다. 국산 밀의 발아율은 건조온도가 높을수록 상대습도가 낮을수록 발아율이 낮게 나타났으며, 발아율은 상대습도의 변화보다 건조온도의 변화에 크게 영향을 미쳤다.
4. 건조온도 변화에 따른 발아율 변화를 상대습도별 발아율 실험값과 모델에 의한 예측값을 비교한 결과 상대습도 20%에서는 건조온도 48℃ 이상에서 발아율 95% 이하로 품질의 변화가 급격하게 나타났고 상대습도 20% 이상의 조건에서는 완만하게 발아율이 감소하였다. 상대습도 30%에서의 실험값이 전반적으로 예측값보다 높게 나타났으나 건조온도 60℃에서 예측값이 95.0%로 발아율 감소하였다. 상대습도 40%에서의 예측값이 실험값보다 전반적으로 높게 나타났으나 건조온도도 모든 영역에서 발아율 96.0% 이상으로 나타났다.
5. 개발한 국산 밀 발아율 모델을 건조온도 및 상대습도를 이용하여 발아율 예측 가능한 모델과 비교한 결과 발아율 예측 모델은 결정계수(R^2)는 0.8736 이였으며, RMSE는 0.005151%로 나타났으며, 건조온도 54.5℃ 이상 및 상대습도 30.2% 이하에서는 건조 시 발아율 95% 이하로 나타났다.

References

[1] C. S. Kang, Y. K. Cheong, B. K. Kim. “Current Situation and Prospect of Korean Wheat Industry”, Food Industry and Nutrition, Vol.21, No.2, pp.20-24, 2016. https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO201610364969857

[2] National Institute of Crop Science, Study to improve the quality and uniformity of Korean wheat grain, Final Report on the Development of Competitiveness Improvement Technology in Response to FTA, Rural Development Administration(RDA), Korea, pp.1-2, 2017. https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO201700006433

[3] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 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=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGbWFmcmElMkY2OCUyRjMyNTI3MiUyRmFydGNsVmlldy5kbyUzRg%3D%3D

[4] D. S. Lee, J. H. Song, J. S. Kim, International grain market analysis and import method improvement plan, research report, Korea Rural Economic Research Institute, Korea, pp.20. http://library.krei.re.kr/pyxis-api/1/digital-files/605ba745-99a2-2a94-e054-b09928988b3c

[5] Chonbuk National University, Establishment of quality control and post-harvest management system in Korean wheat production, National technology development report, Development Rural Administration(RDA), Korea, pp.4-5, 2014. DOI: https://doi.org/10.23000/TRKO201400011314

[6] 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

[7] J. W. Han, “Development of a Rice Circulating Concurrent-flow Dryer(III) - Performance Evaluation of 12-ton Capacity Dryer -”, Journal of biosystems engineering, Vol.34, No.5, pp.358-362, 2009. DOI: https://doi.org/10.5307/JBE.2009.34.5.358

[8] Natalya Alexandrovna Yurina, Andrey Georgievich Koshchaev, Denis Vasilevich Osepchuk, Ekaterina Aleksandrovna Maksim, Aleksandra Aleksandrovna Danilova, Dmitry Valentinovich Shumeiko, Aleksandra Aleksandrovna Shumeiko, “Valentinovich, Artificial Ecological System Hydroponics: The Wheat Grains Germination Rate“, International journal of

engineering and advanced technology, vol.9, no.1, pp.4957-4960, 2019.
DOI: https://doi.org/10.35940/ijeat.A2109.109119

[9] Moshatati. Ali, Gharineh. M.H."Effect of grain weight on germination and seed vigor of wheat", International Journal of Agriculture and Crop Sciences, Vol.4, No.8, pp.458-460, 2012. https://www.researchgate.net/publication/265805500_Effect_of_grain_weight_on_germination_and_seed_vigor_of_wheat, ISSN(Online): 2227-670X

[10] Yıldırım, Mustafa, "The Effect of Drying of Bread Wheat Seeds Following First Water Uptake on Germination Rate", Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology (TURJAF), vol.6, no.1,pp.28-33, 2018. DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i1.28-33.1465

[11] I. D. Choi, National Institute of Crop Science, Germination and end-use qualities of domestic wheat cultivars for enhanced utilization, research report, Rural Development Administration(RDA), Korea, pp.3-8. DOI: https://doi.org/10.23000/TRKO201600003336

[12] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Seed Management Guidelines extra rule No.6 Inspection standards for field inspection and seed inspection [Internet], [cited 2021 April] Available Form: https://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulId=59270&efYd=&admRulNm=%EC%A2%85%EC%9E%90%EA%B4%80%EB%A6%AC%EC%9A%94%EA%B0%95#AJAX, (accessed July 19, 2022).

[13] O. W. Kim, H. Kim, S. K. Lee, W. Kim, J. W. Han, "Simulation of Wheat Circulating Cross-flow Dryer", The Korean Society of the Agricultureal machinery, vol.19,no.2, pp139-140, 2014. DOI: https://doi.org/10.5307/JBE.2015.40.3.232

[14] National Seed Resources, Seed Inspection Instructions extra rule No.5 The germination test [Internet] , [cited 2020 January] Available Form: https://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EC%A2%85%EC%9E%90%EA%B2%80%EC%82%AC%EC%9A%94%EB%A0%B9, (accessed July 19, 2022).

[15] J. S. Kim, Thin Layer Drying Model of Soybean, Master's thesis, Kongju National University of Agriculture and Engineering, Korea, pp.14, 2017.

[16] Duc. Le Anh, J. W. Han, "The Effects of Drying Conditions on the Germination Properties of Rapeseed", Journal of biosystems engineering, Vol.34, No.1, pp.30-36, 2009. DOI: https://doi.org/10.5307/JBE.2009.34.1.030

[17] J. W. Han, D. H. Keum, H. Kim, S. E. Lee, "Thin Layer Drying Model of Green Rice", Journal of biosystems engineering, Vol.31, No.5, pp.410-415, 2006. DOI: https://doi.org/10.5307/JBE.2006.31.5.410

[18] H. Kim, D. H. Kuem, O. W. Kim, "Low Temperature Thin Layer Drying Model of Rough Rice", Journal of biosystems engineering, Vol.29, No.6, pp.495-500, 2004. DOI: https://doi.org/10.5307/JBE.2004.29.6.495

신 동 관(Dong-Gwan Shin) [준회원]

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

〈관심분야〉
스마트팜, ICT 융합기술, 농식품 가공시스템

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 웅(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