

## 잡곡 선별을 위한 물성 측정에 관한 연구

김훈<sup>1</sup>, 이효재<sup>2</sup>, 한재웅<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국식품연구원 소비자안전연구단, <sup>2</sup>공주대학교 생물산업공학부

### A Study on the Measurement of Physical Properties for Miscellaneous Cereal Crops Sorting

Hoon Kim<sup>1</sup>, Hyo-Jai Lee<sup>2</sup>, Jae Woong Han<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Research Group of Consumer Safety, Korea Food Research Institute

<sup>2</sup>Department of Bio-industry mechanical engineering, Kongju National University

**요약** 본 연구는 잡곡(조, 기장, 수수)의 물리적 특징 중 기하학적 특성, 산물밀도 및 종말속도를 함수율별로 분석하여 미곡가공시설의 선별 장치를 이용하여 잡곡의 선별의 가능성을 위한 기초자료로 활용하기 위하여 연구를 수행하였다. 조, 기장 및 수수의 초기함수율은 16.3, 19.8, 16.5 %(w.b.)로 나타났다. 잡곡은 5수준으로 건조하여 실험에 사용하였다. 잡곡의 기하학적 특성 중 원형율을 제외하고 단축, 장축 및 면적은 함수율이 높을수록 증가하는 것으로 나타났으며, 1차식 실험모델로 모두 표현이 가능하였다. 산물밀도는 조 및 기장은 함수율이 높을수록 증가하는 것으로 나타났으나 수수의 경우는 함수율과 무관하였다. 종말속도는 함수율이 높을수록 종말속도가 증가하는 것으로 나타났으며, 1차식 실험모델로 표현이 가능하였다. 잡곡별 측정된 물리적 특성은 함수율의 변화에 따른 1차식 실험모델로 표현이 가능하였으며, 기존 미곡선별장치를 이용할 경우 종말속도를 이용하는 장치는 사용이 가능하지만 기하학적 특성 및 산물밀도를 이용하는 공정은 잡곡에 따라 전용 공정의 설계가 별도로 필요하였다.

**Abstract** This study examined the factors for sorting miscellaneous cereal crops using a rice-sorting device by analyzing the physical characteristics according to the moisture content. The initial moisture contents of miscellaneous cereal were 16.3, 19.8, and 16.5%, respectively. The samples were used in the experiment after drying to five levels. The width, length, and area of the samples increased with increasing moisture content except for the roundness, and all the prediction models were developed with a first-order linear equation. The bulk density of Italian millet and sorghum increased with increasing moisture content, whereas the bulk density of common millet was unaffected by the change in moisture content. The terminal velocity of the samples increased with increasing moisture content, and a first-order linear equation was used to develop the prediction models. The measured physical properties of the miscellaneous cereal crops based on the changes in the moisture content could be expressed using a first-order experimental model equation. Therefore, the rice-sorting device could be applied to the terminal velocity, but the other device applying the geometrical characteristics and bulk density was required to change the design of the process depending on the type of grain.

**Keywords** : Miscellaneous Cereal Crops, Moisture Content, Physical Properties, Sorting, Yield

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발 및 첨단생산기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었음 (317019-04 및 315036-3).

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

email: hanwoong@kongju.ac.kr

Received July 17, 2020

Revised September 2, 2020

Accepted October 5, 2020

Published October 31, 2020

## 1. 서론

수확 후 곡물은 주원료 이외에 지푸라기, 잔돌, 잡초 씨, 쇠붙이 등 이물질질을 포함한다. 이물질은 이송능력 및 건조효율성의 증대와 저장성을 향상시키기 위해서는 선별공정이 필수적이다[1]. 곡물 선별에는 기하학적, 기계적, 공기역학적, 광학적, 전기적 특성 등의 인자를 이용하며, 공정설계에 특성 인자들을 이용한다[2-4]. 주원료와 이물질질을 선별하는 장치는 여러 가지 선별 인자 중 한 가지 선별인자만 독립적으로 이용하기 보다는 두 가지 이상의 선별인자를 복합적으로 이용하며, 선별인자 중 가장 큰 차이를 나타내는 선별인자를 주로 이용하며, 이를 보조하는 선별인자를 이용하여 선별효율을 높여 사용한다[5].

일반적으로 잡곡은 쌀 이외의 모든 곡물을 포함하며, 최근 소비자의 기호에 따라 잡곡 또는 혼합미 형태로 유통량이 계속 증가하고 있다. 그러나 국내 잡곡 생산량은 주곡과 비교하여 매우 작아 대부분 전용 가공 공정 없이 미국시설을 일부 변경하여 사용하기 때문에 제품의 수율 및 품질 저하가 나타나고 있다[6, 7].

Baryeh[8]은 기장을 대상으로 기하학적, 산물밀도, 진밀도, 공극률 및 종말속도 등의 물리적 특성을 측정하여 함수율과의 상관관계를 보고하였으며, Mwithiga와 Sifuna[9]는 수수 3품종을 대상으로 수확 후 함수율 범위인 13 ~ 22 %(d.b.)에서의 진밀도, 산물밀도, 크기 및 경도 등 물리적 특성을 측정하여 보고하였다. Hong 등[10]은 유채종자의 함수율별 종말속도를 측정하여 실험 모델을 보고하였다. Choi[11]는 정상밀과 비정상밀, 이물질의 종말속도를 측정하여 우리밀의 경우 종말속도 5.22 m/s 이하가 적절한 선별인자라고 보고하였다.

Majdi와 Taha[12]는 밀의 물리적 특성을 함수율의 변화에 따라 차이가 있다고 보고하였다.

Lee[13]은 미국의 가공 중 발생하는 먼지의 물성을 측정하여 적절한 집진장치의 모델을 보좌하였다.

Ha 등[14]은 발작물 곡물의 완전립과 불량립의 기하학적, 공기역학적, 마찰특성을 측정하여 선별기 설계에 적용하기 위한 연구를 수행하였다.

미국가공 선별 시설은 쭉정이, 지푸라기 및 먼지 등을 선별하기 위한 시설이며, 미국의 기하학적 특성은 함수율 15 %(w.b.)일 때 단축 3.32 mm 및 장축 6.95 mm이며, 산물밀도는 함수율 24 ~ 16 %(w.b.)일 경우 557.6 ~ 567.4 kg/m<sup>3</sup> 및 주원료의 종말속도는 3.0~4.0 m/s이며, 쭉정이는 1.4~1.8 m/s, 지푸라기 3.7~5.2 m/s로 종말속도의 차이를 이용하여 선별한다[5,15,16].

국내에 가공시설은 주로 쌀, 보리 및 밀 등 주식을 대상으로 선별인자에 대한 연구가 보고되었으나 국산 잡곡의 경우 선별을 위한 특성 연구가 전무한 실정으로 인하여 전용 잡곡 가공 시설 및 공정의 최적화가 어려운 현실이므로 주곡인 미국의 가공시설의 일부를 수정하여 선별이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 잡곡 중 조, 기장, 수수의 함수율에 따른 기하학적 특성, 산물밀도 및 종말속도를 측정하여 미국 선별 장치를 이용하여 잡곡 선별의 가능성을 위한 기초자료로 활용하기 위하여 연구를 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 재료 및 방법

#### 2.1.1 실험재료

본 실험에 사용된 잡곡은 조(황미찰), 기장(금실찰), 수수(소담찰) 3종으로 수수는 2015년 10월에 강원 춘천지역, 조 및 기장은 2016년 10월에 강원 정선지역에서 수확직후 시료를 사용하였으며, 초기함수율은 조 19.8 %(w.b.), 기장 16.5 %(w.b.), 수수는 16.3 %(w.b.)이었다. 잡곡은 이물질질을 정선한 후 농산물 건조기(INBD-150E, Hansung, Iksan-si, Korea)를 이용하여 조는 6.9, 12.5, 14.4, 17.7 및 19.8 %(w.b.), 기장은 6.4, 8.8, 13.5, 15.0 및 16.5 %(w.b.)이었으며, 수수는 7.4, 9.7, 11.9, 14.0 및 16.3 %(w.b.)로 5수준의 함수율별로 건조한 후 밀봉하여 2 ℃ 저온저장고에 1주일간 보관하면서 함수율을 균질화 하였으며, 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 실험에 이용하였다.

#### 2.1.2 함수율 측정

10 g의 잡곡을 130 ℃로 18시간동안 드라이오븐(SACO-30-1, San-Cheon Tech-Ind. Co., Korea)을 이용하여 건조 한 후 데시케이터에서 약 30분 동안 항량한 후 무게를 측정하여 아래의 Eq. (1)을 이용하여 환산하였다[17].

$$MC = (W_l / W_s) \times 100 \quad (1)$$

Where, MC : moisture content wet basis %(w.b.)

$W_l$  : loss in weight (g)

$W_s$  : weight of wet sample (g)

### 2.1.3 기하학적 특성

기하학적 특성 중 형상 및 크기는 잡곡에서 이물질을 체 분리를 위한 중요한 기초자료로 사용되며, 함수율의 변화에 따라 기하학적 특성이 변화한다[14]. 함수율별 단축, 장축, 면적, 및 원형율은 정립 100립을 화상분석기(Image Pre-plus ver 4.5.1.22, Hi-Rox Hi-scopcompact micro vision system, KH-2200, MD3)를 이용하여 측정하였으며, 최대값 및 최소값을 제외한 평균값을 사용하였다.

### 2.1.4 산물밀도

고체로 되어 있는 잡곡의 어떤 용기에 담겼을 때 공극을 포함한 밀도를 산물밀도라 하며, 온도에 따라서도 변하지만 특히 수분함량에 영향을 크게 받는다[14]. 측정은 USDA Equipment Handbook의 방법을 준용하여 산물 밀도 장치(Weight per bushel test apparatus, Seedburo Equipment Co., Des plains, IL, USA)로 호퍼에 시료를 충전한 후 하부의 용기로 시료를 담아 동일 시료에 대해 5회 반복 측정하여 최대 및 최소값을 제외한 평균값을 사용하였다[16].

### 2.1.5 종말속도

공기를 이용한 선별은 종말속도의 차이를 이용한다. 종말속도의 주요 인자는 형상과 물체의 질량이며, 잡곡의 형상은 구형이므로 함수율에 따라 질량의 변화가 크게 작용한다[14]. 종말속도는 Hong[10]이 사용한 한국공업규격(KS A 0612-1992: 초임기구에 의한 유량측정방법 및 KS B 6311: 송풍기실험방법)을 이용하여 측정하였으며, 송풍량은 펌프 송풍량을 조절하였다. 풍동 내 각 지점에서의 풍속은 풍속계(VELCICALC-PLUS, TSI, USA)를 이용하여 측정하였으며, 풍속을 균일하게 하기 위하여 정류격자를 설치하였다. 풍동관의 직경은 10.0 cm이고, 수직풍동의 높이는 최대 120.5 cm까지 조절이 가능하며, 풍동 내에 스테인리스 재질로 된 망을 설치하여, 잡곡이 금망에서 1 cm 뜨는 시점에서의 풍속량을 5회 반복 측정하여 평균값을 사용하였다.

### 2.1.6 통계분석

실험결과에 대한 유의성 검정은 Statistical Analysis system(SAS, 1990)을 이용하여 분산분석(ANOVA analysis)을 실시한 후, Student Newman keul's(SNK) 방법으로 사후검정을 실시하였다(p<0.05). 잡곡 3종의

함수율별 특성의 관계식을 분석하기 위하여 Statistical Analysis system(SAS, 1990)의 선형회귀분석 프로그램을 이용하여 실험상수를 결정하였다.

## 2.2 실험결과

### 2.2.1 기하학적 특성

Table 1은 함수율의 변화에 따라 조, 가장 및 수수의 단축, 장축 및 면적을 나타낸 것이며, 함수율이 높을수록 증가하였고, 원형율은 함수율의 변화와는 무관한 것으로 나타났다. 측정된 단축, 장축, 면적 및 원형율은 다음 Eq. (2)와 같이 1차식으로 표현이 가능하였고, 각 모델의 상수 및 결정계수는 다음 Table 2과 같았다[8].

Table 1. Measurement results of geometric properties of miscellaneous grain crop by moisture content

	MC (%) (w.b.)	Length (mm)	Width (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Roundness (-)
Foxtail millet	6.9	2.0516±0.19	1.1573±0.07	1.8609±0.14	1.4578±0.09
	12.5	2.0057±0.26	1.1772±0.13	1.8292±0.24	1.4587±0.11
	14.4	2.2553±0.21	1.1660±0.12	1.9709±0.20	1.5546±0.09
	17.7	2.2176±0.26	1.1871±0.14	1.9623±0.23	1.5424±0.09
	19.8	2.3338±0.28	1.1620±0.11	1.9748±0.25	1.5917±0.10
Proso millet	6.4	3.3888±0.37	1.1558±0.14	2.3373±0.17	1.9188±0.15
	8.8	3.7784±0.19	1.0879±0.03	2.4079±0.11	2.0565±0.08
	13.5	3.7773±0.22	1.0847±0.04	2.3981±0.11	2.0573±0.08
	15.0	3.7889±0.24	1.0852±0.03	2.4195±0.17	2.0520±0.10
	16.5	3.8007±0.30	1.0963±0.06	2.4182±0.17	2.0584±0.10
Sorghum	7.4	4.0316±0.25	3.6268±0.28	11.1097±1.40	1.2706±0.30
	9.7	4.0408±0.27	3.6536±0.31	11.2317±1.65	1.2619±0.23
	11.9	4.0445±0.22	3.6975±0.26	11.2767±1.38	1.3255±0.38
	14.0	4.1096±0.22	3.7379±0.27	11.6018±1.31	1.2758±0.25
	16.3	4.1285±0.24	3.7474±0.26	11.7141±1.56	1.4123±0.70

$$c = aMC + b \tag{2}$$

Where,  $c$  : Length(mm), Width(mm), Area(mm<sup>2</sup>), Roundness(-)

$MC$  : Moisture content (%(w.b))

$a, b$  : Constants

Table 2. Coefficients of determination and experimental constant geometric properties of miscellaneous grain crop by moisture content

		Length (mm)	Width (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Roundness (-)
Foxtail millet	<i>a</i>	1.852	1.156	1.769	1.371
	<i>b</i>	0.022	0.000	0.010	0.010
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.807	0.391	0.761	0.869
Proso millet	<i>a</i>	3.317	1.161	2.318	1.900
	<i>b</i>	0.032	-0.004	0.006	0.010
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.740	0.662	0.776	0.708
Sorghum	<i>a</i>	0.012	0.015	0.071	0.014
	<i>b</i>	3.931	3.518	10.542	1.149
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.858	0.966	0.931	0.569

2.2.2 산물밀도의 변화

Fig. 1 ~ 3은 함수율에 산물밀도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 조의 산물밀도는 함수율이 증가할수록 299.7 kg/m<sup>3</sup>에서 323.3 kg/m<sup>3</sup>로 증가하였으며, 기장도 경우 함수율이 증가할수록 338.5 kg/m<sup>3</sup>에서 367.2 kg/m<sup>3</sup>로 증가하였다. 조와 기장은 p<0.001수준에서 유의적인 차이가 있었다. 그러나 수수는 함수율의 증가할수록 771.0 ~ 778.0 kg/m<sup>3</sup>로 나타나 함수율의 변화와 무관한 것으로 나타났다.

1차식 실험모델로 표현한 결정계수는 Table 3과 같이 조는 0.966, 기장은 0.977 및 수수는 0.916 수준으로 모델의 적합성이 인정되었다.

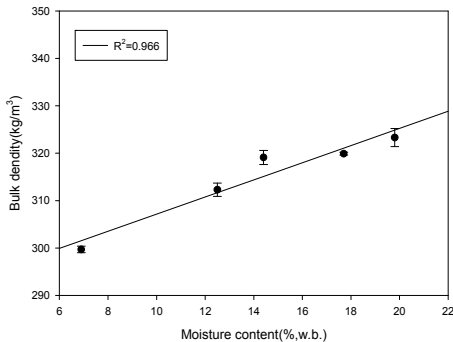


Fig. 1. Variation of bulk density according to the moisture content of the Foxtail millet.

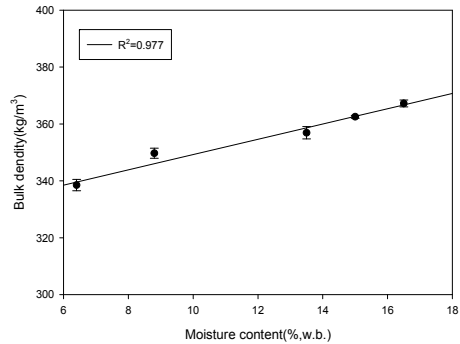


Fig. 2. Variation of bulk density according to the moisture content of the Proso millet.

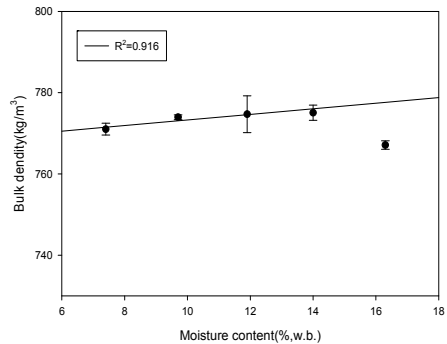


Fig. 3. Variation of bulk density according to the moisture content of the Sorghum.

Table 3. Coefficients of determination and bulk density of miscellaneous grain crop by moisture content

		Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )
Foxtail millet	<i>a</i>	289.1
	<i>b</i>	1.808
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.966
Proso millet	<i>a</i>	322.4
	<i>b</i>	2.685
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.977
Sorghum	<i>a</i>	766.4
	<i>b</i>	0.686
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.916

2.2.3 종말속도

Fig. 4 ~ 6은 함수율에 따른 종말속도 변화를 나타낸 것이며, 함수율이 높을수록 종말속도가 증가하는 것으로 나타났다. 조, 기장, 수수 모두 p<0.001수준에서 유의적

인 차이를 나타냈으며, 조는 2.9 ~ 4.0 m/s이었고, 기장의 2.9 ~ 3.5 m/s, 수수는 6.39 ~ 7.19 m/s로 나타났다. 함수율에 따른 종말속도의 변화는 1차식 실험모델로 표현이 가능하였으며, 결정계수는 Table 4와 같이 조는 0.966, 기장은 0.977, 수수는 0.826 수준으로서 모델의 적합성이 나타났다.

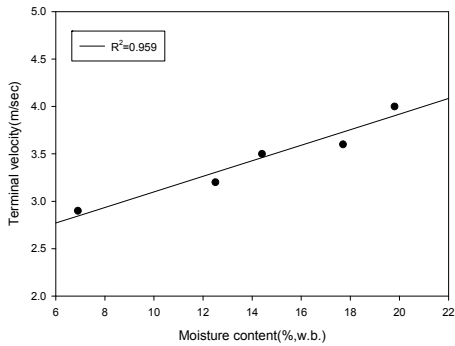


Fig. 4. Variation of terminal velocity according to the moisture content of the Foxtail millet.

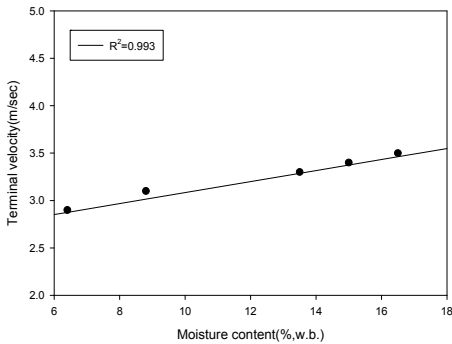


Fig. 5. Variation of terminal velocity according to the moisture content of the Proso millet.

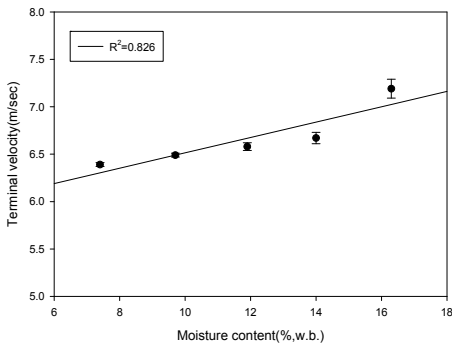


Fig. 6. Variation of terminal velocity according to the moisture content of the Sorghum.

Table 4. Coefficients of determination and terminal velocity of miscellaneous grain crop by moisture content

		Terminal velocity (m/s)
Foxtail millet	<i>a</i>	0.082
	<i>b</i>	2.279
	$R^2$	0.959
Proso millet	<i>a</i>	0.058
	<i>b</i>	2.504
	$R^2$	0.993
Sorghum	<i>a</i>	0.081
	<i>b</i>	5.704
	$R^2$	0.826

### 3. 결론

본 연구는 최근 수요가 증가되고 있는 잡곡(조, 기장, 수수)의 물리적 특징 중 기하학적 특성, 산물밀도 및 종말속도를 함수율별로 분석하였다. 잡곡의 물리적 특성과 함수율간의 상관관계를 구명함으로써, 국내 잡곡의 수확 후 관리 중 선별, 이송 저장 및 가공공정의 설계 및 기계화에 필요한 기초자료로 활용하기 위하여 연구하였다.

1. 잡곡의 기하학적 특성 중 단축, 장축 및 면적은 함수율이 높을수록 증가하는 것으로 나타났으며, 원형율은 함수율과 관계가 없었다.
2. 조의 산물밀도는 함수율이 증가할수록 299.7 ~ 323.3 kg/m<sup>3</sup>로 증가하였으며, 기장도 338.5 ~ 367.2 kg/m<sup>3</sup>로 증가하였다. 수수는 함수율의 증가할수록 771.0 ~ 778.0 kg/m<sup>3</sup>로 나타나 함수율의 증가에 따른 변화가 미비하였으며, 1차식 실험 모델로 표현이 가능하였다.
3. 실험에 사용한 모든 잡곡은 함수율이 높을수록 종말속도가 증가하는 것으로 나타났으며, 조는 2.9 ~ 4.0 m/s이었고, 기장의 2.9 ~ 3.5 m/s, 수수는 6.39 ~ 7.19 m/s로 나타났다. 함수율에 따른 종말속도의 변화는 1차식 실험모델로 표현이 가능하였다.
4. 미곡의 기하학적특성은 함수율 15 %(w.b.)일 때 단축 3.32 mm 및 장축 6.95 mm로 미곡의 체 선별장치를 이용하여 조와 수수는 선별이 가능하지만 기장의 경우 미곡선별용로는 선별이 불가능할 것으로 판단되었다.
5. 미곡의 산물밀도는 함수율 24 ~ 16 %(w.b.)일 경우 557.6 ~ 567.4 kg/m<sup>3</sup>로 조와 기장은 미곡보다

낮아 미곡의 이송장치를 이용 가능하지만 수수의 경우 산물밀도가 높으므로 이송 및 선별속도를 조절이 필요할 것으로 판단되었다.

6. 종말속도를 이용한 잡곡 선별장치는 조와 기장의 경우 쪽정이의 종말속도 1.4~1.8 m/s로 쪽정이의 선별은 가능하나 지푸라기의 종말속도 3.7~5.2 m/s로 선별이 불가능할 것으로 판단되었으며, 수수의 경우는 쪽정이 및 지푸라기의 선별이 가능할 것으로 판단되었다[13,16,18].

종합적으로, 측정된 잡곡의 물리적 특성을 이용하여 함수율의 변화에 따른 1차식 실험모델로 표현이 가능하였으며, 기존 미곡선별장치를 이용할 경우 종말속도를 이용하는 장치는 사용이 가능하지만 기하학적 특성 및 산물밀도를 이용하는 공정은 곡물 별 전용 공정의 설계가 필요하였다.

## References

- [1] C. H. Lee, Y. J. Cho, M. S. Kim, "Aerodynamic Study on Pneumatic Separation of Grains(II) -The Measurement of the Terminal Velocities of Grains-" *J. Biosystems Engineering*, Vol.15, No.1, pp.1-13, 1990.
- [2] M. Markowski, K. Zuk-Golaszewska, D. Kwiatkowski. "Influence of variety on selected physical and mechanical properties of wheat", *Industrial crops and products*, Vol.47, pp.113-117, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.024>
- [3] A. Tabatabaefar, "Moisture-dependent physical properties of wheat", *International Agrophysics*, Vol.17, No.4, pp.207-211, 2013.
- [4] S. Gursoy, E. Guzel, "Determination of physical properties of some agricultural grains" *Research J. Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol.2, No.5, pp.492-498, 2010.
- [5] D. H. Keum, "Post-harvest process engineering", p.948, CIR, 2008, pp.288-330
- [6] S. B. Lim, M. S. Kang, M. J. Jwa, D. J. Song, Y. J. Oh, "Characteristics of Cooked Rice by Adding Grains and Legumes" *The Korean Society of Food and Nutrition*, Vol.32, No.1, pp.52-57, 2003.  
DOI: <https://doi.org/10.9799/ksfan.2018.31.5.653>
- [7] C. S. Kwak, S. J. Lim, S. A. Kim, S. C. Park, M. S. Lee "Antioxidative and antimutagenic effects of Korean Buckwheat, Sorghum, Millet and Job's tears", *The Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol.33, No.6, pp.921-929, 2004.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3746/ikfn.2004.33.6.921>
- [8] E. A. Baryeh, "Physical properties of millet", *J. food engineering*, Vol.51, No.1, pp. 39-46, 2002.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00035-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00035-8)
- [9] G. Mwithiga, M. M. Sifuna, "Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds", *J. Food Engineering*, Vol.75, No.4, pp.480-486, 2006.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifofoodeng.2005.04.053>
- [10] S. J. Hong, L. A. Duc, J. W. Han, H. Kim, Y. H. Kim, D. H. Keum, "Physical properties of rapeseed (II)", *J. Biosystems Engineering*, Vol.33, No.3, pp. 173-178, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2008.33.3.173>
- [11] E. J. Choi, H. Kim, S. S. Kim, O. W. Kim, "Effect of moisture content on terminal velocities of domestic wheat and foreign materials" *Korean J. Food Preservation*, Vol.23, No.5, pp.746-752, 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.11002/kjfp.2016.23.5.746>
- [12] M. A. Al-Mahasneh, T. M. Rababah, "Effect of moisture content on some physical properties of green wheat" *J. of Food Engineering*, Vol.79, No.4, pp.1467-1473, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifofoodeng.2006.04.045>
- [13] H. J. Lee, H. Kim, D. C. Kim, O. W. Kim, J. H. Chang, "Physical properties and concentration of grain dust generated from post-harvest processing of rough rice" *Transactions of the ASABE*, Vol.56, No.5 pp.1831-1836, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/trans.56.9800>
- [14] Y. S. Ha, B. J. Choi, G. Y. Kweon, D. B. Song, "Design Factor Analysis for a Specific Gravity and Particle Size-Based Separator for Upland Cereal Crops" *J. agriculture & Life Science*, Vol.47, No.6, pp.293-302, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14397/jals.2013.47.6.293>
- [15] M. S. Kim, "Physical and engineering properties of biological materials", p.461 Moonundang, 2006, pp.41-52
- [16] D. C. Kim, U. W. Kim, H. Kim, "RPC Facilities and Operational Technologies Manual" p.294, KFRI, Korea, 2006, pp. 30-42
- [17] ASAE, "ASAE Standards 2004 51<sup>st</sup> edition", p.1027, ASAE, pp.582-583, 2004
- [18] E. J. Choi, H. Kim, S. S. Kim, O. W. Kim, "Effect of moisture content on terminal velocities of domestic wheat and foreign materials, *Korean J. Food Preservation*, Vol.23, No.5, pp.746-752, 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.11002/kjfp.2016.23.5.746>

김 훈(Hoon Kim)

[정회원]



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

<관심분야>

식품 및 농산가공

---

이 효 재(Hyo-Jai Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 성균관대학교 대학원 바이오메카트로닉스학과 (공학석사)
- 2013년 8월 : 충북대학교 대학원 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2020년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 생물산업공학부 (연구교수)

<관심분야>

스마트팜, ICT 융합기술, 농식품 가공시스템

---

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 생물산업공학부 교수

<관심분야>

농산가공, 바이오에너지