

## Effect of moisture content on terminal velocities of domestic wheat and foreign materials

Eun-Jung Choi<sup>1</sup>, Hoon Kim<sup>1</sup>, Sang-Suk Kim<sup>2</sup>, Oui-Woung Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Food Safety, Distribution and Standard Research, Korea Food Research Institute, Seongnam 13539, Korea

<sup>2</sup>Division of functional Food Research, Korea Food Research Institute, Seongnam 13539, Korea

### 함수율에 따른 우리밀과 이물의 종말속도에 미치는 영향

최은정<sup>1</sup> · 김훈<sup>1</sup> · 김상숙<sup>2</sup> · 김의웅<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국식품연구원 안전유통연구본부, <sup>2</sup>한국식품연구원 기능성식품연구본부

#### Abstract

This research was carried out to identify aerodynamic property as a function of moisture content for designing equipment such as for post-harvest management. Terminal velocity of two wheat varieties {Backjung (B) and Jogyeong (J)} with selected sound, damaged kernel and foreign materials (Wheat stick, Wheat husks) were measured with a designed vertical wind column at different moisture contents from about 9 to 30% wet basis. The results showed that terminal velocity of wheat and foreign materials except of Jogyeong's husks ( $p < 0.05$ ) had a significant difference at  $p < 0.001$ . With increasing moisture content, the aerodynamic property values of the kernels and foreign materials of the two wheat varieties increased linearly. In detail, terminal velocity of sound and damaged kernel increased from 5.46 to 7.13 m/sec (B) and 7.48 to 8.60 m/sec (J), damaged kernel from 5.91 to 7.00 m/sec (B) and 6.48 to 7.75 m/sec (J). For foreign materials the terminal velocity of wheat stick increased from 2.92 to 4.07 m/sec (B) and 3.74 to 5.22 m/sec (J) whereas that of husks from 1.07 to 1.85 m/sec (B) and 2.02 to 2.33 m/sec (J) each. For air separation of wheat and foreign materials, the air flow should be less than 5.22 m/sec due to the range (1.07~5.22 m/sec) of foreign materials in wheat.

Key words : terminal velocity, moisture content, wheat, foreign materials

#### 서 론

밀은 세계적으로 재배되는 3대 작물로, 옥수수, 밀, 쌀 순위로 인간에게 가장 중요한 식량작물 중의 하나이며, 주로 빵, 쿠키, 케이크, 면류, 맥주 재료, 알콜 및 바이오연료로 사용된다. 또한 밀은 가축의 사료용으로 쓰이며, 밀껍질은 반추동물의 사료작물 및 구조물의 용도로 사용한다(1).

Gursoy와 Guzel(2) 및 Keum(3)는 수확된 농산물은 주원료 이외에 지푸라기, 돌, 껍질 등의 이물을 포함하므로, 이물

은 농산물의 상품가치 및 주원료의 수율 및 품질 저하, 가공 기계의 손상 및 능률저하 등 많은 문제점을 야기시킨다. 그래서 농산물의 수확 후 관리 즉 수확, 분리, 선별, 정선 및 저장공정에서의 각 원료에 대한 실험실 내에서의 기하학적 및 공기역학적 특징(종말속도 등)의 측정된 값은 공정설계 및 기계적인 설비에서 중요한 요소로 작용한다.

Ha 등(4)에 의하면, 곡물선별관련 기술로는 크기, 형상, 비중 등의 인자로 선별하는 방법이 대부분이며, 완전립보다는 불량립 및 이물에 대한 물성 특성 분석이 중요하다고 하였으며, Gursoy와 Guzel(2)도 종말속도를 이용하여 완전하지 않은 불량립 및 깨진콩 등 80%정도 선별하였다고 보고하였다. Rajabipour 등(5), Tabatabaeefar(6)의 보고에 따르면, 농업관련 수확 후 관리에서의 공기역학적 특징은 공기수송, 정선 및 선별공정에서의 중요한 요소이며, 특히 종말속도는 이 공정에서 중요한 부분을 차지한다. 주로, 수직

\*Corresponding author. E-mail : Choi.Eun-jung@kfri.re.kr  
Phone : 82-31-780-9080, Fax : 82-31-780-9059  
Received 29 March 2016; Revised 27 May 2016; Accepted 18 July 2016.  
Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

바람을 이용하여 밀대와 밀껍질을 최종물로부터 정선, 선별 및 분리한다.

종말속도(Terminal velocity)는 부유속도(Suspension velocity)라고도 불리며, 어떤 물체가 자유낙하할 때 물체의 항력(drag)과 물체의 순수한 중력 즉 물체의 무게에서 부력을 뺀 값이 같아지는 순간의 물체의 낙하속도로 정의한다. 종말속도 측정법으로는 두 가지로 구분하며, 물체가 정지된 공기 중에서 낙하할 때 낙하하는 거리 및 시간을 측정하는 방법과, 수직풍동 즉 wind tunnel에 망을 설치하여 그 위에 곡물의 낱알을 올려놓고 송풍기를 이용하여 일정높이까지 뜨게 한 후 풍속 종말속도를 측정하는 방법이 있다(3,5).

함수율에 따른 원맥의 공기역학적 특징 중 밀의 종말속도와 관련된 국외연구는 Rajabipour 등(5) 원맥의 함수율범위(8~22%), Khoshtaghaza와 Mehdizadeh(7~20%)(7) 및 Aydin과 Ozcan(8)는 종말속도를 측정하여 함수율간의 상관관계를 구명하였고 Tabatabaefar와 Person(9), Bilanski와 Lal(10), Shellard와 Macmillan(11), Gorial과 O'Callaghan(12), 및 Khoshtaghaza와 Mehdizadeh(7)의 연구자료에서는 밀의 원맥과 껍질간의 종말속도를 측정하여 이물선별에 도움이 되었다고 보고하였다. 또한, 밀 수확 후 선별과정에서 cheat seed와의 종말속도를 측정하여 이중곡립 선별 연구를 하였으며, 타곡물 연구자료는 alfalfa seed(13), lentil seed(14), tef grain과 껍질(15) 및 corn silage(16)의 종말속도 등을 연구하였다. 국내에서 보고된 연구자료 중 Hong 등(17)은 유채종자의 마찰특성 및 공기역학적 특성인 종말속도 등 관련기초연구를 수행하여 건조, 저장, 이송 관련 기계화 기술에 필요한 정보를 제공하였으며, Ha 등(4)은 발작물 곡물의 선별기 제작을 하기 위하여 대두, 커피, 아몬드 및 옥수수의 완전립과 불량립의 기하학적, 공기역학적 등의 선별특징을 분석하였다. 주로 곡물간의 선별을 중점으로 종말속도를 측정하였으며, 이물 선별에 관련된 국내 연구자료는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 국내에서 생산된 원맥의 성상별 및 함수율에 따른 공기역학적 특성인 종말속도 등을 분석하여 함수율간의 상관관계를 구명하여, 현재 국내밀의 수확 후 관리 중 정선, 선별과정에서의 설계공정 및 기계화 기술에 필요한 정보를 제공함으로써 국내 밀 산업의 기초자료로 활용 및 건조저장시설 및 수확 후 관리모델개발을

위하여 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용된 국내산 품종은 제빵용인 백중밀과 생면용인 조경밀로서, 백중밀은 2012년 10월 말에 파종한 후 2013년 6월 11일에 수확한 초기함수율 29.6%(w.b.)원맥을 광주광역시 소재 한국우리밀농업협동조합에서 210 kg 정도 구입하여 실험에 사용하였다. 조경밀은 2012년 10월 말에 파종 후 2013년 6월13일에 수확한 초기함수율 28.7%(w.b.)원맥을 경남 합천우리밀영농조합에서 210 kg 정도 구입하여 실험에 사용하였다.

### 초기 함수율로 수확한 밀 건조과정 전처리

초기함수율 28~29%(w.b.)로 수확한 백중밀 및 조경밀은 검은망천을 덮은 2개의 트레이에 3 kg씩 충전한 다음, 벌크 건조기(HK-DO1000F, Machinery works, Hwaseong, Korea)에서 건조온도 50℃로 건조하였으며, 단립수분계(CTR-800E, Shizuoka Seiki Co., Ltd., Shizuoka-ken, Japan)로 함수율을 측정하면서 밀의 함수율을 약 3%간격으로 8단계{기준함수율 28%, 25%, 22%, 19%, 16%, 13%, 11%, 9%(w.b.)}로 건조한 후 ASABE standards 2011(18)에 의해 시료 10 g을 130℃의 온도에서 19시간 건조하는 방법을 이용하여 최종함수율을 측정하였다. 아래 표는 실제 측정된 함수율 및 건조에 소요되는 시간을 나타낸 것이며, 28~29%(w.b.) 함수율을 건조하기 위해 소요된 건조시간은 각각 백중밀(15.5시간) 및 조경밀(23.0시간)로 측정되었다.

Table 1. Measured moisture content by drying time

Parameters	Variety	Measured moisture content (% wet basis)							
		28%	25%	22%	19%	16%	13%	11%	9%
Moisture content (% wet basis)	Backjjung	29.6	26.2	22.2	19.3	15.5	13.1	11.0	9.6
	Jogyeong	28.7	25.6	23.3	20.8	16.5	14.0	11.7	10.5
Drying time (hr)	Backjjung	0	4.5	5.5	7.0	9.5	14.5	14.5	15.5
	Jogyeong	0	3.0	6.0	7.0	13.5	21.5	22.0	23.0



Sound kernel



Damaged kernel



Foreign material (Stick)



Foreign material (husks)

Fig. 1. Wheat kernels and foreign materials.

### 밀 성상별 분류

외관품질은 국립농산물품질관리원의 농산물검사규칙(19)에 준하여 실험하였으며, 성상별 분류는 밀 정립, 피해립, 이물(밀대 및 밀껍질)을 수작업으로 분류하여 각 실험항목에 따라 분석하였다.

### 천립중

정립 1,000개의 낱알을 고른 후 0.001 g의 정확도를 갖춘 저울로 중량 값을 3회 반복 측정하였다(20).

### 기하학적 특성

기하학적특성 중 장축길이 및 단축길이는 밀알 100립을 화상분석기(KH-2200 MD3, Hirox Co., Ltd., Hackensack, NJ, USA)를 이용하여 측정하였고, 두께측정은 Digimatic caliper(CD-15CP, Mitutoyo Co., Ltd., Kanagawa, Japan)로 측정하였다(21).

### 공기역학적 특성

종말속도는 밀알 100립을 Kim 등(22) 및 Hong 등(17)의 방법으로 측정하였으며, Fig. 2는 wind column 형태의 풍동 장치이며, 한국공업규격(KS A 0612-1992 : 초입기구에 의한 유량 측정방법, KS B 6311 : 송풍기 실험방법)에 근거하여 풍동을 설계하였다. VS motor와 흡입 댐퍼로 송풍량 조절 및 수직 풍동 높이를 다르게 하였으며, 일정한 풍속을 유지하기 위해 정류격자를 제작하였다. 직경 10.0 cm의 아크릴 수직관 풍동내에 스테인레스 재질로 된 망을 설치하였고, 수직풍동의 높이는 최대 120.5 cm까지 조절 가능하도록 제작하였다.

### 통계처리

유의성검증을 위하여 통계분석은 Statistical Analysis

System(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)로 이용하였으며 모든 자료는 3회 이상 반복 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 밀 성상별 분류에 따른 기하학적특성

#### 기하학적 특성

밀의 성상별 분류에 따른 백중밀 및 조경밀의 정립, 피해립, 이물(밀대) 및 이물(밀껍질)의 기하학적 특성을 살펴본 결과는 Table 2와 같다. 백중 및 조경밀의 함수율은 11.0%(백중) 및 11.7%(조경)로 각각 측정되었으며, 천립중의 크기는 백중(32.59 g), 조경(45.52 g)으로  $p < 0.001$ 수준에서 유의적인 차이를 나타내 조경밀이 백중밀보다 현저하게 큼을 나타냈다. 타 곡물의 연구자료 중 녹두(30.15 g), 완두콩(75 g), 메주콩(117 g), 이집트콩(176 g), 벼(23.04~27.16 g) 등 우리밀의 천립중은 벼 및 녹두보다는 크지만 일반적인 두류보다는 적음을 나타내었다(23).

백중 및 조경밀의 정립, 및 피해립과 이물의 밀대 및 밀껍질의 장축길이는 6.57 mm(백중, 정립), 6.74 mm(조경, 정립), 6.16 mm(백중, 피해립), 6.36 mm(조경, 피해립), 21.16 mm(밀대), 19.34 mm(밀껍질)로 각각 측정되었으며, 단축길이는 3.24 mm(백중, 정립), 3.30 mm(조경, 정립), 2.93 mm(백중, 피해립), 3.10 mm(조경, 피해립), 2.23 mm(밀대), 5.95 mm(밀껍질)로 각각 측정되었다.  $p < 0.001$ 수준으로 밀 성상별 분류에 따라 정립 및 피해립은 기하학적 특성 중 장축길이 및 단축길이는 유의적인 차이가 없었으며, 밀대 및 밀껍질은 유의적인 차이를 나타내었다.

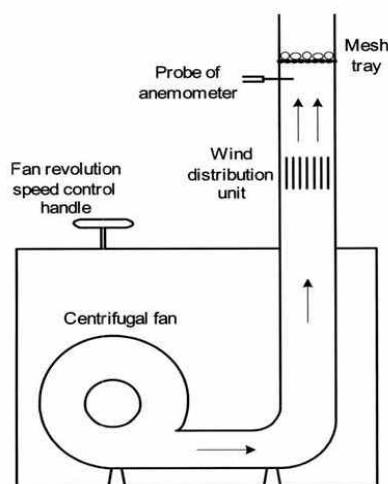


Fig. 2. Schematic diagram of wind column used for measurement of terminal velocity.

**Table 2. Geometric properties of wheat kernels and foreign materials**

Wheat variety		Moisture content <sup>***1)</sup> (%, wet basis)	1000-kernel weight <sup>***</sup> (g)	Length <sup>***</sup> (mm)	Width <sup>***</sup> (mm)	Area <sup>***</sup> (mm <sup>2</sup> )	Thickness <sup>***</sup> (mm)
Sound kernel	Backjjung	11.0±0.18	32.59±0.98	6.57±0.27 <sup>c2)</sup>	3.24±0.21 <sup>b</sup>	14.47±1.04	2.90±0.26 <sup>b</sup>
	Jogyeong	11.7±0.04	45.52±0.10	6.74±0.38 <sup>c</sup>	3.30±0.24 <sup>b</sup>	28.46±1.91	3.06±0.15 <sup>a</sup>
Damaged kernel	Backjjung	-	-	6.16±0.47 <sup>c</sup>	2.93±0.34 <sup>b</sup>	-	2.71±0.26 <sup>c</sup>
	Jogyeong	-	-	6.36±0.52 <sup>c</sup>	3.10±0.36 <sup>b</sup>	-	2.87±0.30 <sup>b</sup>
Stick		-	-	21.18±11.74 <sup>a</sup>	2.23±0.95 <sup>c</sup>	-	-
Husks		-	-	19.34±7.34 <sup>b</sup>	5.95±2.97 <sup>a</sup>	-	-

<sup>1)\*\*\*</sup>, Significantly different at the p<0.001.

<sup>2)</sup>Mean±SD (more than n=3), Means followed by the same letter in the same column are not significantly different.

### 함수율별 밀 성장별 분류에 따른 종말속도 변화

#### 종말속도

함수율별 밀 성장별 분류에 따른 천립중 및 종말속도 변화를 살펴 본 결과는 Table 3 및 Fig. 3과 같다. 백중 및 조경의 천립중의 값은 함수율이 감소할수록 천립중은 점차 감소하였으며, 함수율(9.7~29.6%)에서 백중 및 조경밀의 천립중은 32.26~41.51 g 및 45.30~63.07 g으로 각각 측정되어 조경밀이 백중밀보다 현저하게 큼을 나타냈다.

백중 및 조경의 종말속도는 함수율이 낮을수록 점차 감소하였으며, p<0.001수준(조경 이물(밀껍질)은 p<0.05수

준)으로 함수율의 증가에 따라 종말속도는 유의적인 차이를 나타내었으며, 1차식으로 표현이 가능하였다. 이 때 결정계수는 백중  $r^2=0.600$ (정립),  $r^2=0.927$ (피해립),  $r^2=0.628$ (이물 중 밀막대),  $r^2=0.426$ (이물 중 밀껍질) 및 조경  $r^2=0.969$ (정립),  $r^2=0.706$ (피해립),  $r^2=0.939$ (이물 중 막대) 및  $r^2=0.033$ (이물 중 밀껍질)로 측정되었다. Gorial와 O' Callaghan(12), Zewdu(15)의 연구자료에 의하면, 껍질의 형태는 끝이 가늘어 대칭적 및 길이 등 균일하지 않아, 종말속도 측정할 때 수직방향 및 사각형태로 움직이는 경향이 있어 측정의 값이 불균일하게 측정될 우려가 있다고 보고되

**Table 3. Aerodynamic properties of wheat kernels and foreign materials by moisture content**

Wheat variety	Moisture content (%, wet basis)	1000-kernel weight <sup>***1)</sup> (g)	Terminal velocity (m/sec)			
			Sound kernel <sup>***</sup>	Damaged kernel <sup>***</sup>	Foreign material (Stick) <sup>***</sup>	Foreign material (B <sub>x</sub> <sup>3)</sup> _husks) <sup>***</sup> (J_husks)
B <sup>2)</sup>	29.6	41.51±0.30 <sup>a2)</sup>	7.13±0.27 <sup>a</sup>	7.00±0.20 <sup>a</sup>	4.07±0.17 <sup>a</sup>	1.85±0.11 <sup>a***</sup>
	26.2	41.47±0.42 <sup>a</sup>	7.07±0.23 <sup>a</sup>	6.84±0.11 <sup>ab</sup>	4.02±0.23 <sup>a</sup>	1.75±0.08 <sup>ab***</sup>
	22.2	39.65±0.24 <sup>b</sup>	6.99±0.24 <sup>a</sup>	6.57±0.14 <sup>bc</sup>	3.93±0.16 <sup>a</sup>	1.67±0.04 <sup>b***</sup>
	19.3	37.62±0.81 <sup>c</sup>	6.92±0.28 <sup>ab</sup>	6.23±0.17 <sup>cd</sup>	3.80±0.15 <sup>a</sup>	1.74±0.05 <sup>ab***</sup>
	15.5	35.54±0.24 <sup>d</sup>	6.91±0.29 <sup>ab</sup>	6.26±0.14 <sup>cd</sup>	3.93±0.12 <sup>a</sup>	1.84±0.08 <sup>a***</sup>
	13.1	34.98±0.50 <sup>d</sup>	6.59±0.19 <sup>bc</sup>	6.17±0.27 <sup>d</sup>	3.76±0.17 <sup>a</sup>	1.81±0.10 <sup>a***</sup>
	11.0	32.59±0.98 <sup>e</sup>	5.46±0.26 <sup>cd</sup>	5.91±0.13 <sup>d</sup>	3.42±0.16 <sup>b</sup>	1.07±0.02 <sup>e***</sup>
	9.7	32.26±0.10 <sup>e</sup>	6.20±0.20 <sup>d</sup>	6.07±0.46 <sup>d</sup>	2.92±0.07 <sup>c</sup>	1.13±0.03 <sup>e***</sup>
	J	28.7	63.07±0.30 <sup>a</sup>	8.60±0.46 <sup>a</sup>	7.75±0.17 <sup>a</sup>	5.22±0.15 <sup>c</sup>
25.6		54.79±0.04 <sup>b</sup>	8.54±0.30 <sup>a</sup>	7.75±0.27 <sup>a</sup>	5.07±0.16 <sup>a</sup>	2.22±0.11 <sup>a*</sup>
23.3		52.89±0.34 <sup>c</sup>	8.42±0.36 <sup>ab</sup>	7.28±0.15 <sup>b</sup>	4.67±0.10 <sup>b</sup>	2.03±0.17 <sup>a*</sup>
20.8		48.67±0.23 <sup>d</sup>	8.08±0.36 <sup>abc</sup>	7.06±0.20 <sup>bc</sup>	4.31±0.17 <sup>c</sup>	2.22±0.04 <sup>a*</sup>
16.5		46.55±0.62	7.92±0.32 <sup>bc</sup>	7.59±0.23 <sup>a</sup>	4.46±0.09 <sup>c</sup>	2.20±0.13 <sup>a*</sup>
14.0		45.90±0.20	7.73±0.29 <sup>c</sup>	6.94±0.21 <sup>cd</sup>	4.07±0.22 <sup>d</sup>	2.33±0.14 <sup>a*</sup>
11.7		45.52±0.10 <sup>fg</sup>	7.64±0.27 <sup>c</sup>	6.48±0.11 <sup>c</sup>	4.03±0.22 <sup>d</sup>	2.22±0.04 <sup>a*</sup>
10.5		45.30±0.15 <sup>g</sup>	7.48±0.34 <sup>c</sup>	6.71±0.09 <sup>de</sup>	3.74±0.11 <sup>c</sup>	2.02±0.11 <sup>a*</sup>

<sup>1)\*, \*\*, \*\*\*</sup>; Significantly different at the p<0.05, p<0.01 and p<0.001, respectively.

<sup>2)</sup>Meanca±SD (more than n=3), Means followed by the same letter in the same superscript column are not significantly different.

<sup>3)</sup>B, Backjjung; J, Jogyeong.

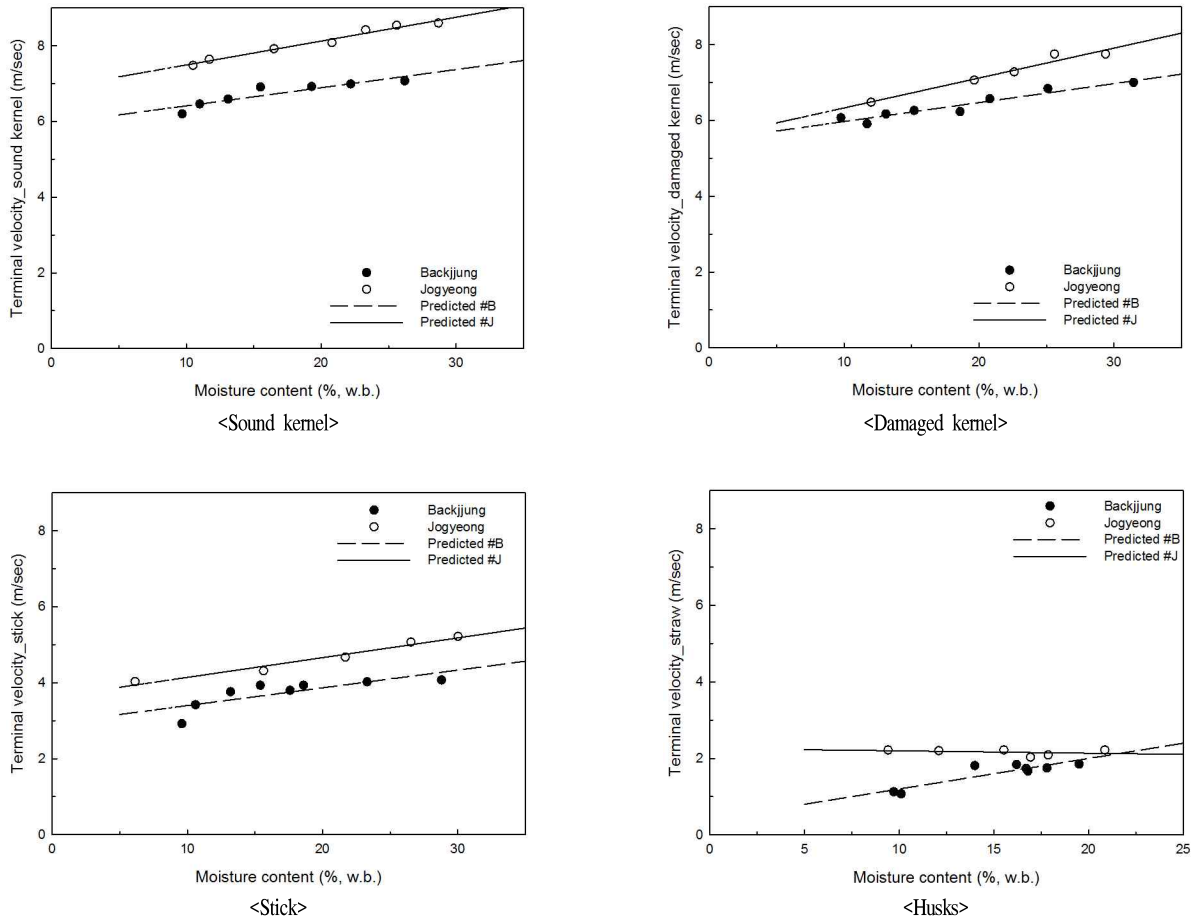


Fig. 3. Aerodynamic properties of wheat kernels and foreign materials by moisture content.

었다. 이런 이유로 위 실험에서 밀껍질의 결정계수가 낮게 측정되었을 것으로 판단된다.

우리밀의 성상별 함수율에 따른 종말속도는 정립>피해립>이물(밀막대)>이물(밀껍질)순으로 나타났으며, 함수율 9.7~29.6%에서 백중과 조경밀에서 정립의 종말속도는 5.46~8.60 m/sec, 피해립은 5.91~7.75 m/sec, 이물(밀막대)는 2.92~5.22 m/sec, 이물(밀껍질)은 1.07~2.33 m/sec로 나타내었다. 정립과 피해립은 기류선별로 선별이 불가능하지만, 정립과 이물(밀막대 및 밀껍질), 피해립과 이물(밀막대 및 밀껍질)과의 선별은 가능할 것으로 판단되었다. 밀과 이물간(밀막대, 밀껍질)의 분리 및 선별되는 종말속도는 1.07~5.22 m/sec라고 사료된다.

- Ws=0.061 M+5.541(r<sup>2</sup>=0.600, 백중밀)
- Ws=0.058 M+6.983(r<sup>2</sup>=0.969, 조경밀)
- Wd=0.051 M+5.448(r<sup>2</sup>=0.927, 백중밀)
- Wd=0.056 M+6.177(r<sup>2</sup>=0.706, 조경밀)
- Wsti=0.042 M+2.961(r<sup>2</sup>=0.628, 백중밀)
- Wsti=0.069 M+3.181(r<sup>2</sup>=0.939, 조경밀)

Wh=0.029 M+1.082(r<sup>2</sup>=0.426, 백중밀)

Wh=-0.003 M+2.216(r<sup>2</sup>=0.033, 조경밀)

(Ws, 밀 정립; Wd, 밀 피해립; Wsti, 밀막대; Wh, 밀껍질; M, 함수율; r<sup>2</sup>, 결정계수)

Rajabipour(5)는 밀 함수율(8~22%)범위에서 밀 종류별 천립중은 Peshtaz variety(45.448 g), Marvdashat variety (33.833 g)으로 측정되었고, 그 때의 종말속도는 6.6~7.2 (Peshtaz), 6.0~6.5(Marvdashat) m/sec로 천립중 높게 측정된 품종이 종말속도 역시 높게 측정되었다. Kim 등(22)의 연구 자료에서 함수율별(15~30%) 범위에서의 벼와 쪽정의 종말속도는 각각 벼(3.2~4.0 m/sec), 쪽정이(1.4~2.0 m/sec)로 측정되었고, 천립중의 값은 벼(23.69~29.18 g), 쪽정이(3.88~8.46 g)으로 측정되었다. 따라서, 종말속도의 측정법이 수직바람을 이용하여 일정높이까지 뜨게 하는 힘이므로 천립중 즉 무게의 값과 상관관계가 있을 것으로 판단된다.

Khoshtaghaza와 Mehdizadeh(7), Rajabipour(5)는 밀 함수율(7~20%, 8~22%)범위에서 종말속도는 6.81~8.63 및 6.0~6.9 m/sec 수준이었으며, 함수율의 1차식(r<sup>2</sup>=0.90, 0.91)

으로 표현이 가능하다고 보고하였으며, 이는 위 실험과 유사한 경향으로 나타났다. 또한, Tabak과 Wolf(24), Gupta와 Das(25), Suthar와 Das(26), Nalbandi 등(27) 및 Carman 등(14)도 유사한 결과를 보고하였으며, Bilanski and Lal(10)는 밀(8.8~9.2 m/sec), 밀껍질(max. 4.9 m/sec)로 각각 보고되었다. Hauhouot 등(28)은 밀에서 벼과식물(cheat seed)의 선별에 적합한 종말속도는 밀(7.84 m/sec) 및 cheat seed(3.14 m/sec)의 평균값인 5.5 m/sec로 cheat seed를 분리 및 선별이 적당하다고 보고된 선행연구가 있었으며, Khoshtaghaza와 Mehdizadeh(7)는 캐나다 밀과 밀껍질에서의 선별 및 분리에서 밀(6.81~8.63 m/sec) 및 밀껍질(2.53~4.85 m/sec)로 각각 측정되어 적정 종말속도의 값은 4.85~7.04 m/sec라고 연구되었다.

## 요 약

본 연구는 국내원맥 중 백중밀 및 조경밀의 성상별 분류를 한 후 정립, 피해립, 이물 중 밀막대 및 밀껍질에서의 함수율 약 9~30%(w.b.) 범위내에서의 천립중, 기하학적 특성 및 기류적인 특징 중 종말속도를 분석하여 함수율간의 상관관계를 구명함으로써 국내밀의 체계적인 수확 후 관리 중 정선, 선별, 운반, 저장 및 도정가공 공정에서의 설계공정 및 기초자료로 활용하고자 연구하였다. 백중밀 및 조경밀의 성상별로 측정된 기하학적 특성 중 장축길이, 단축길이의 값은 백중(정립: 6.57, 3.24 mm, 피해립: 6.16, 2.93 mm), 조경(정립: 6.74, 3.30 mm, 피해립: 6.36, 3.10 mm), 밀막대(21.18, 2.23 mm) 및 밀껍질(19.34, 5.95 mm)로 각각 측정되었다. 함수율에 따른(9.7~29.6%, w.b.) 천립중 및 성상별 종말속도의 값은 함수율이 증가할수록 서서히 증가하였으며, 측정된 천립중은 백중(32.26~41.51 g) 및 조경(45.30~ 63.07 g)로 조경밀이 현저하게 크게 측정되었다. 성상별로 본 종말속도의 범위값은 백중밀 및 조경밀 정립(5.46~7.13, 7.48~8.60 m/sec), 피해립(5.91~7.00, 6.48~7.75 m/sec), 밀막대(2.92~4.07, 3.74~5.22 m/sec), 밀껍질(1.07~1.85, 2.02~2.33 m/sec)로 각각 측정되었다. 백중 및 조경밀의 이물(밀막대 및 밀껍질)의 종말속도 범위는 밀막대(2.92~5.22 m/sec), 밀껍질(1.07~2.33 m/sec)로 측정되어 이물의 최대값인 5.22 m/sec이하에서는 밀막대 및 밀껍질 선별 및 분리될 것으로 사료된다. 이로써 함수율에 따른 우리밀의 공기역학적 특징 중 종말속도를 측정함으로써 우리밀에 적합한 건조저장시설 및 수확후 관리모델 개발에 도움이 될 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림수산물기술평가

원의 연구과제로 이루어진 연구결과의 일부이며 국내산 고수분밀을 제공해 주신 한국우리밀농업협동조합 및 합천우리밀영농조합에 감사드립니다.

## References

1. Guner M (2007) Pneumatic conveying characteristics of some agricultural seeds. *J Food Eng*, 80, 904-913
2. Gursoy S, Guzel E (2010) Determination of physical properties of some agricultural grains. *Res J Appl Sci Eng Technol*, 2, 492-498
3. Keum DH (2008) Post-harvest process engineering. CIR Publishers, Seoul, Korea, p 121-122, 288-330
4. Ha YS, Choi BJ, Kweon GY, Song DB (2013) Design factor analysis for a specific gravity and particle size-based separator for upland cereal crops. *J Agric Life Sci*, 47, 293-302
5. Rajabipour A, Tabatabaeefar A, Farahani M (2006) Effect of moisture on terminal velocity of wheat varieties. *Int J Agri Biol*, 8, 10-13
6. Tabatabaeefar A (2003) Moisture-dependent physical properties of wheat. *Int Agrophysics*, 17, 207-211
7. Khoshtaghaza MH, Mehdizadeh R (2006) Aerodynamic properties of wheat kernel and straw materials. *Agricultural Engineering International: the CIGR journal*, VIII, Manuscript FP 05 007
8. Aydin C, Ozean M (2002) Some physico-mechanic properties of Terebinth (*Pistacia terebinthns* L.) fruits. *J Food Eng*, 53, 97-101
9. Tabatabaeefar A, Persson S (1995) Layer breakup and particle movement on a chaffer sieve. *Transactions of the ASAE*, 38, 1305-1313
10. Bilanski WK, Lal R (1965) Behavior of threshed materials in a vertical wind tunnel. *Transactions of the ASAE*, 8, 411-413
11. Shellard JE, Macmillan RH (1978) Aerodynamic properties of threshed wheat materials. *J Agr Eng Res*, 23, 273-281
12. Gorial BY, O'Callaghan JR (1990) Aerodynamic properties of grain/straw materials. *J Agr Eng Res*, 46, 275-290
13. Bilanski WK, Menzies D (1968) Aerodynamic properties of Alfalfa particles. *Transactions of the ASAE*, 11, 829-831
14. Carman K (1996) Some physical properties of lentil seeds. *J Agr Eng Res*, 63, 87-92

15. Zewdu AD (2007) Aerodynamic properties of tef grain and straw material. *Biosystems Eng*, 98 304-309
16. Hemmat A, Emany M, Razavi SJ, Masoumi AA (2007) Terminal velocity of chopped corn silage and its separate fractions as affected by moisture content. *J Agric Sci Technol*, 9, 15-23
17. Hong SJ, Duc LA, Han JW, Kim H, Kim YH, Keum DH (2008) Physical properties of rapeseed(II). *J of Biosystems Eng*, 33, 173-178
18. ASABE Standards (2011) Standards Engineering Practices Data. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI, USA, p 779-781
19. National Agricultural Products Quality Management Service (2012) Grain Inspection Handbook 2012-64, Kimcheonsi, Korea, p 51
20. Reddy BS, Chakraverty A (2004) Physical properties of raw and parboiled paddy. *Biosyst Eng*, 88, 461-466
21. Park NK, Lee SY, Hur HS, Jeong HS, Lee MY, Chung MJ (1999) Variation of physico-chemical and milling characteristics in some wheat varieties. *Korean J Breed*, 31, 160-167
22. Kim WO, Kim SS, Kim DC, Kim H, Lee SE (2005) Development of the purity index measuring system for transactions in net weight of paddy at rice processing complex. KFR1 GA0574-05072
23. Kim OW, Kim H, Kim SS, Choi EJ (2015) Effect of moisture content on some physical properties of domestic wheat. *Korean J Food Preserv*, 22, 652-659
24. Tabak S, Wolf D (1998) Aerodynamic properties of cottonseeds. *J Agr Eng Res*, 70, 257-265
25. Gupta RK, Das SK (1997) Physical properties of sunflower seeds. *J Agr Eng Res*, 66, 1-8
26. Suthar SH, Das SK (1996) Some physical properties karingda [*Citrullus lanatus* (Thumb) Mansf] seeds. *J Agr Eng Res*, 65, 15-22
27. Nalbandi H, Seiedlou S, Ghassemzadeh HR (2010) Aerodynamic properties of *Turgenia latifolia* seeds and wheat kernels. *Int Agrophysics*, 24, 57-61
28. Hauhouot-O'Hara M, Criner BR, Brusewitz GH, Solie JB (2000) Selected physical characteristics and aerodynamic properties of cheat seed for separation from wheat. *Agricultural Engineering International; the CIGR Journal of Scientific Research and Development Vol. II*, 1-14