

벼의 기하학적·기계적 성질 측정

- 산물밀도, 안식각, 다짐계수를 중심으로 -

Measurement of the Geometrical and Mechanical Properties for Rice

- Bulk Density, Angle of Repose, Compaction factor -

김유호* 조영길* 한충수**

정희원 정희원 정희원

Y.H.Kim Y.K.Cho C.S.Han

1. 서론

벼의 물리적 특성에 관한 연구는 수확에서 조제 가공·저장 및 최종 식품으로 사용될때까지 각종 물리적 처리과정을 거치게 되며, 미곡 자체의 여러 가지 물리적 특성 구명은 과거에서부터 중요성이 인정되었고 여러 방면으로 연구가 실시되어 왔지만, 품종과 처리과정이 다양해짐에 따라 형상·조직등 복잡한 관계로 인하여 연구의 성과가 충분하게 이루어지지 못하고 있다.

미곡은 일반 공업제품과는 달리 형상이 다를 뿐만 아니라 시간이 지나면서 그 성질이 변화하여 측정시간에 따라 다른 결과를 가져오므로써 특성을 연구하는데 매우 까다로운 점이 있다.

본 연구에서는 우리 나라 지역별 주요 보급 품종에 대해서 물리적 특성과 이것에 미치는 인자들간의 상호관계를 구명하고, 미곡종합처리시설 설계에 직접 적용 가능하도록 하기 위하여 시료별로 벼는 미정선 한 것을 공시재료로 사용하였고, 현미는 제현율 80% 이상, 백미는 정백율 90%의 것으로 실험하였다.

구체적인 연구 목적으로,

첫째는 산물밀도, 다짐계수를 측정하여 미곡종합처리장에서 사용하고 있는 사일로, 현미 탱크, 건조기 용량등의 설계기준의 기초 자료로 제공하고,

둘째는 안식각을 측정하여 여러 단계로 연결되는 공정간에 이송장치를 설계하고 시설장치의 재료를 결정하는데 기초 자료로 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 산물밀도

1) 정의

곡물을 어떤 용기에 담았을 때 용기의 체적에 대한 곡물의 무게비를 말한다. 산물밀도의 주요인자로는 곡물자체밀도(진밀도), 기하학적 형상, 입자크기, 표면특성 및 측정방법이 있다. 산물밀도를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{산물밀도} = \frac{\text{곡물의 무게}}{\text{용기의 체적}} \quad (\text{kg/m}^3)$$

2) 공시재료

벼는 수확후 정선하지 않은 것이고 현미는 시험용 현미기(THU35A)로 도정한 것으로서 제현율이 80%이상인 것을 사용하였으며, 백미는 현미를 시험용 정미기(YAMAMOTO社)로 도

* 농업기계화연구소,

** 충북대학교

정한 것으로서 정백율이 90% 이상으로 도정하여 공시재료로 사용하였다. 시료는 '96년에 생산된 벼를 지역별로 보급장려 품종을 일시에 구입하여 저온저장고에 넣어서 보관하였다. 표 1은 실험에 사용한 공시품종에 대한 기하학적 특성에 대해서 나타낸 것이다.

Table 1. Properties of the rice used for the experiment.

Variety	Moisture content (%wb)	Size				Remarks
		Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	L/T	
Da san	17.20	8.20	2.92	2.08	3.96	STD:0.005이하
An san	20.65	7.07	3.03	2.26	3.11	
Hwa yoeung	21.70	6.65	3.16	2.20	3.03	
Oh dae	17.20	7.47	3.30	2.28	3.32	

3) 실험방법

산물밀도의 측정장치는 미국농무성이 규정한 기준에 의거 Weight per bushel test apparatus로 실험하였고 이것을 그림 1 및 표 2에 나타내었다. 여기서 중요한 치수는 호퍼 출구의 변(31.75mm), 호퍼 출구에서 용기까지의 높이(50.8mm)이며, 용기의 체적은 $10^{-3} m^3$ 이다.

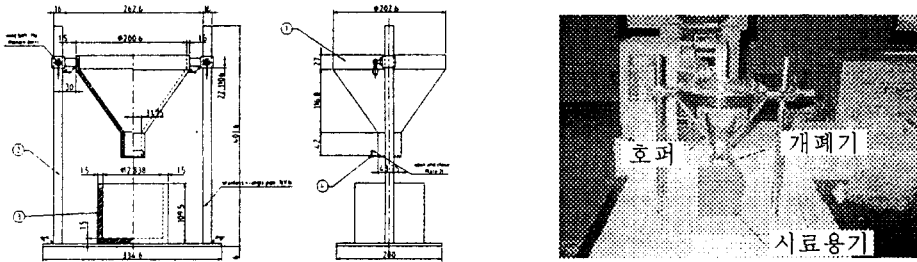


Fig. 1. Schematic apparatus and photo of the bulk density.

Table 2. Specifications of the bulk density.

Items		Specifications
Hopper	Type	Cone
	Up/Down face size	$\phi 200.6\text{mm}$ / $\square 31.75\text{mm}$
Treat box	Type	Rectangular
	Volume	$1 \times 10^{-3} m^3$

시료는 품종마다 함수율을 조정하여 2kg(1회 측정량)씩 시료봉지에 담아 저온저장 하였다.

나. 안식각

1) 정의

정(靜)안식각은 쌓여있는 곡물 퇴적층의 자유표면이 수평면과 이루는 각도이며, 정안식각은 다시 배출이 발생하기 전에 물질의 퇴적층이 차지하는 최대 경사의 수평과 이루는 각도를 경사각(α')(그림 2)이라고 하고, 배출된 후 자유낙하한 곡물이 바닥에 떨어지면서 산등성 모양으로 쌓이는데, 이때 곡물의 퇴적층이 차지하는 최대 경사의 수평면과 이루는 각도를 배출각(α)(그림 2)이라 하며, 동(動)안식각은 곡물을 수평면위에 올려 놓고 수평면에 경사를 주었을 때 미곡이 미끄러져 내려가려는 순간에 수평면과 이루는 각도를 최소 동안식각, 원활하게 미

끄러질 때 수평면과 이루는 각도를 최대 동안식각이라고 한다.

2) 실험방법

그림 2와 표 3은 정안식각 측정장치와 제원이고, 그림 3과 표 4는 동안식각 측정장치와 제원을 나타낸 것이다. 동안식각은 용기에 담은 곡물을 평면위에 올려 놓고, 면을 경사지게 하면서 곡물이 미끄러질 때 수평면과 경사면을 이루는 각도를 읽고, 정안식각은 곡물을 채운 후 배출레버를 당겨 곡물이 떨어지면 곡물이 쌓이는 높이와 퍼지는 길이를 재어 tan값으로 각도를 구한다. 동안식각의 시료통은 얇은 종이로 직경 150mm, 높이 150mm, 무게 4.5g인 종이로 만들었다.

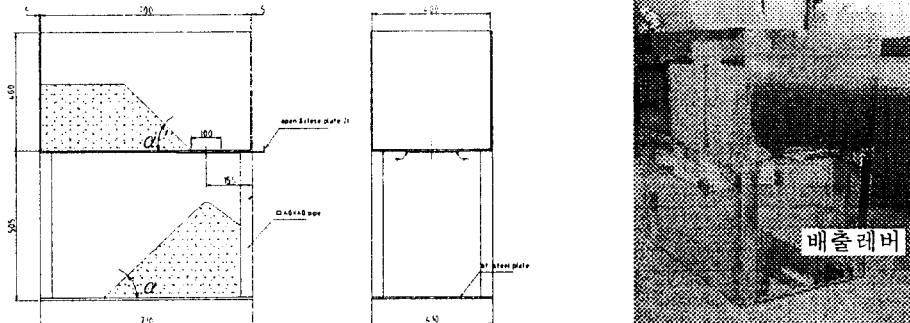


Fig. 2. Schematic apparatus and photo of the static angle of repose.

Table 3. Specifications of the static angle of repose.

Items		Specifications
Hopper	Type	Center slip method
	Size	700 × 400 × 400mm
	Size of outlet	φ 150 × 150mm

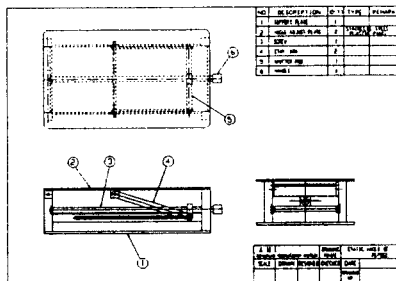


Fig. 3. Schematic apparatus and photo of the dynamic angle of repose.

Table 4. Specifications of the dynamic angle of repose.

Items		Specifications
Tilte plate	Type	Inclination method
	Size	500 × 300mm
	Range of angle control	0~70 °
Treat vessel	Type	Cylinder
	Size	150 × 150 × 100mm

3) 공시재료

공시재료는 산물밀도와 같고, 품종별로 함수율을 조정하여 0.5kg(1회 측정할 량)씩 시료봉지에 넣어 저온저장 하였다.

다. 다짐계수

다짐계수의 실험장치는 요동 작용하는 로타시험기로서 그림 4와 같다. 이 장치의 작동원리는 캠에 의한 회전형 요동작용이 발생하여 곡물을 다져주는 장치로서 시료를 담은 용기의 크기는 직경 250mm, 높이 40mm, 체적 $2.0 \times 10^{-3} m^3$ 인 실린더형이다. 시료용기에 곡물을 채우는데 주의할 사항은 2, 3회 반복시험할 때는 처음 무게와 동일한 중량으로 실험하는 것이다. 시료를 담은 시료용기를 시험장치에 장착하고 약 2분 동안 작동시킨 다음 시료용기에 다시 곡물을 채운후 실험하기 전의 밀도와 실험 후의 밀도와의 비를 구하였다.

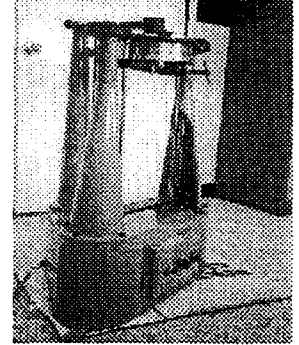


Fig. 4. Schematic photo of the compaction factor.

3. 결과 및 고찰

가. 산물밀도

1) 벼 품종별 산물밀도

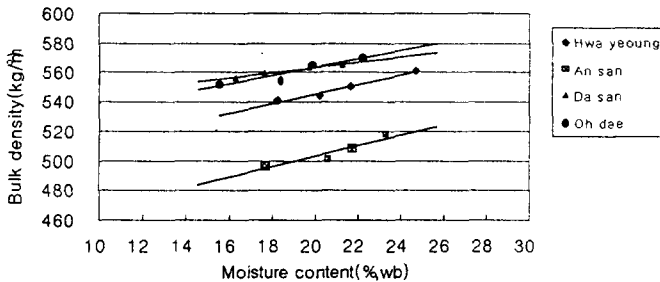


Fig. 5. Effect of moisture content on bulk density by the rice variety.

품종간의 큰 차이를 나타내었다. 한편 다산은 기울기가 가장 완만하게 나타나 함수율의 영향이 적은 것으로 나타났다

그림 5와 표 5는 벼 품종별 산물밀도 측정값을 실측값과 회귀분석값을 나타낸 것이다. 그림 5에서 보는 바와 같이 4가지 품종 모두 함수율이 증가함에 따라 산물밀도가 증가하였다. 품종 간의 산물밀도는 안산 벼는 함수율이 17.7%,wb에서 496.7 kg/m³으로 가장 낮았고, 다산 벼는 17.6%,wb에서 559.4kg/m³으로 나타나

Table 5. Linear regression equations of the bulk density by moisture content of the rice variety

Variety	Regression equation	r ²
Hwa yeoung	$\rho = 546.6965 + 2.421837M$	0.962706
Da san	$\rho = 543.7036 + 0.023909M$	0.900700
An san	$\rho = 430.5014 + 3.622360M$	0.937577
Oh dae	$\rho = 516.0750 + 1.996740M$	0.983901

주) ρ : Bulk density(kg/m³) M = Moisture content (% , wb)

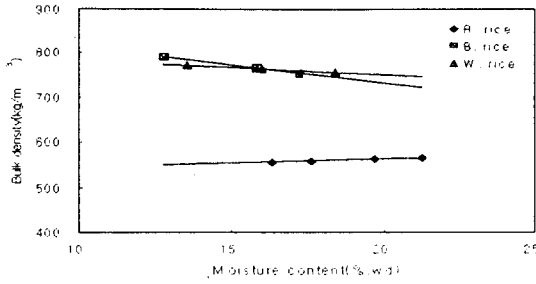


Fig. 6. Effect of moisture content on the bulk density by the status of rice.

그림 6과 표 6은 다산 벼에 대해서 시료형상(벼, 현미, 백미)별 산물밀도를 실험한 결과와 그 회귀분석값을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 벼에서는 함수율이 증가할수록 산물밀도가 증가하는 경향이 있었으나, 현미와 백미는 함수율이 증가할수록 산물밀도가 감소하였다. 이것은 현미와 백미의 경우에는 체적증가율에 비해 무게증가율이 작기때문인 것으로 생각되며, 벼는 그 반대 현상으로 나타났다.

Table 6. Linear regression equations of the bulk density by moisture content for the status of rice.

Rice	Regression equation	r ²
Rough rice	$\rho = 528.95 + 1.7353M$	0.9894
Brown rice	$\rho = 982.78 - 8.0504M$	0.9998
White rice	$\rho = 814.25 - 3.1316M$	0.9968

주) ρ : Bulk density(kg/m³) M = Moisture(% w.b)

나. 안식각

1) 품종별 정안식각

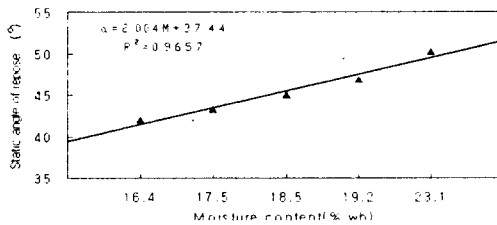


Fig. 7. Effect of moisture content on static angle of repose in Hwa seoung variety.

그림 7은 화성 벼에 대해서 함수율을 변화하면서 정안식각(배출각)을 실험한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 함수율이 증가함에 따라 정안식각의 각도도 함께 커지는 것을 알 수 있다. 이것을 회귀식으로 나타내면 $\alpha = 2.004M + 37.44(r^2 = 0.9657)$ 로 나타났다.

2) 정안식각의 배출각 · 경사각의 비교

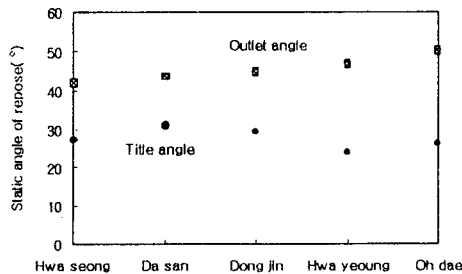


Fig. 8. Comparison to outlet and tilt angle of repose by the rice variety.

그림 8은 5개 품종의 벼에 대해서 배출각과 경사각의 실험 값을 나타내었다. 모든 품종에서 배출각 보다 경사각이 큰 것으로 나타났으며, 다산 벼의 경우 함수율이 17.5%,wb에서 12.9°의 차이를 나타내고 있고, 오대 벼는 함수율 23.1%,wb에서 24.1°로 가장 큰 차이를 나타내었다. 이 실험 결과에서 함수율이 높을수록 배출각과 경사각의 차이가 큰 것으로 나타났다.

3) 벼의 동안식각

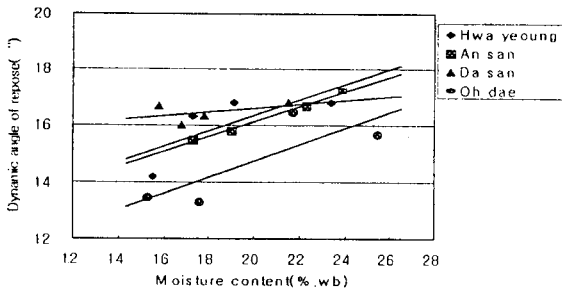


Fig. 9. Effect of moisture content on angle of dynamic repose by the rice variety.

그림 9는 함수율과 동안식각의 관계를 바닥면이 아연도강판일 때 벼 품종별로 나타낸 것이고, 표 7은 이것을 관계식으로 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 모든 품종에서 함수율이 증가할수록 동안식각이 증가하였다. 다산 벼는 산물밀도와 마찬가지로 다른 품종에 비해 함수율 증가에 따른 기울기가 완만하였다. 오대 벼가 함수율 15.3%.wb에서 16.7°로 가장 큰 값을 나타내었고, 다산 벼는 함수율 15.8%.wb

에서 13.5°로 가장 낮은 값을 나타내고 있으며, 이것은 다산 벼의 특성인 것으로 사료된다

Table 7. Linear regression equations of dynamic angle of repose by moisture content of the rice variety (Plate material : Galvanized steel).

Rice	Regression equation	r ²
Hwa yeoung	$\alpha = 2.0418 - 13.8945M$	0.7474
Da san	$\alpha = 3.0366 - 31.9768M$	0.4512
An san	$\alpha = 0.9946 - 1.53763M$	0.7524
Oh dae	$\alpha = 2.3008 - 13.9116M$	0.8138

α : Angle of dynamic repose(°) M : Moisture content(% , wb)

4) 바닥면 재질별 동안식각

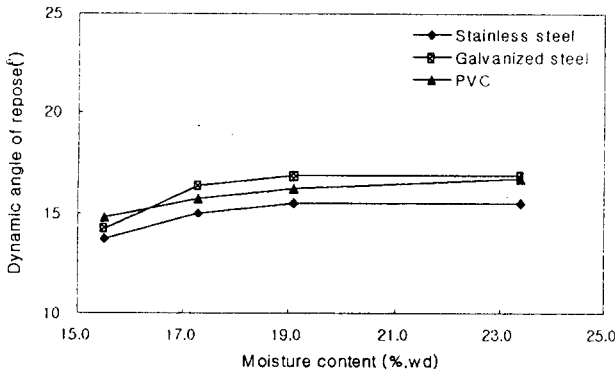


Fig. 10. Relationship between plate materials and moisture content on dynamic angle of repose in the Hwa seoung variety.

그림 10은 화영 벼를 대상으로 바닥면의 재질을 스테인레스 강판, 아연도강판, PVC등으로 바꾸면서 동안식각의 실험을 한 결과 그림에서와 같이 함수율 15.5%.wb일때 동안식각의 각도가 PVC, 아연도강판, 스테인레스 순으로 각각 14.8, 14.2, 13.7°이었고, 함수율 23.4%.wb에서는 아연도강판, PVC, 스테인레스 강판의 순으로 각각 16.8, 16.7, 15.5°로 나타났다.

이러한 현상은 함수율이 낮은 상태에서는 바닥면의 재질에 큰 영향을 받지 않으나, 높은 함수율에서는 영향이 크기 때문인 것으로 사료된다.

나. 다짐계수

1) 품종별 다짐계수

그림 11은 함수율이 17.5, 20.0%,wb 근처에서 품종별 다짐계수를 실험한 그래프이다. 함수율이 17.5%,wb에서는 다짐계수가 1.15~1.19, 함수율이 20.0%,wb에서는 1.19~1.25로 품종간의 큰 차이는 없었으나, 함수율이 높은 것에서 낮은 품종보다 다짐계수가 큰 것으로 나타났다.

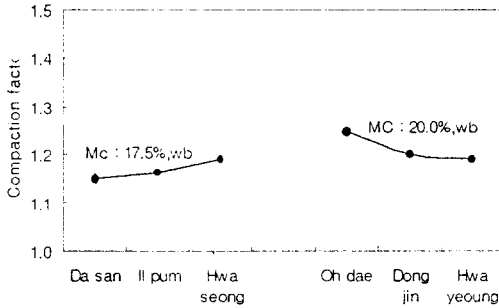


Fig. 11. Effect of compaction factor by the rice variety.

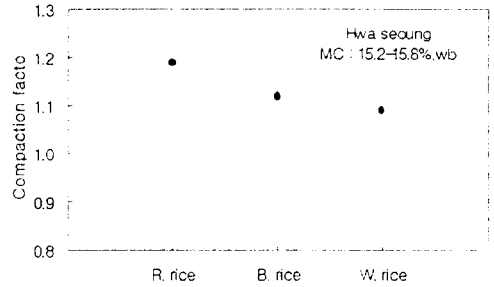


Fig. 12. Effect of compaction factor by the status of rice.

2) 시료 형상별 다짐계수

그림 12는 함수율이 15.2~15.8%,wb 범위에 있는 화성 시료 종류별 다짐계수를 측정된 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 벼의 다짐계수 1.19, 현미, 1.12, 백미 1.09로 나타났으며, 이는 백미에서 공극율이 가장 적었고, 벼에서 공극율이 가장 크다는 것을 추정할 수 있다.

4. 요약 및 결론

가. 벼의 산물밀도는 함수율이 증가함에 따라 증가하는 현상을 나타내었으나, 현미와 백미는 함수율이 증가하면서 산물밀도가 감소하는 현상을 나타냈고 다산 벼는 회귀식 $\rho = 543.7036 + 0.023909M$ 으로 나타나 다른 품종에 비해 기율기가 완만하였고, 다산의 현미 회귀식이 $\rho = 982.78 - 8.0504M$, 백미 $\rho = 814.25 - 3.1316M$ 로 나타나 현미와 백미의 기율기를 비교했을 때 현미에서 함수율이 증가함에 따라 산물밀도가 백미에서 보다 크게 감소하는 것으로 나타났다.

나. 정안식각을 화성 벼에 대해서 함수율을 변화하면서 실험한 결과 회귀식 $\alpha = 2.004M + 37.44$ 로 정안식각이 함수율이 증가함에 따라 각도가 함께 커지는 것으로 나타났다.

다. 동안식각 실험결과 모든 품종에서 함수율이 증가할수록 동안식각이 증가하는 것으로 나타났고 산물밀도에서와 마찬가지로 다산 벼의 기율기는 완만하게 나타났고, 바닥면 재질별 동안식각을 화성 벼에 대해서 실험한 결과 함수율 15.5%,wb일 때 동안식각이 PVC, 아연도강판, 스테인레스 순으로 각각 14.8, 14.2, 13.7°이었고, 함수율 23.4%,wb에서는 아연도강판, PVC, 스테인레스 강판의 순으로 각각 16.8, 16.7, 15.5°로 나타났다.

라. 품종 간의 다짐계수는 함수율이 17.5%,wb일 때 다짐계수가 1.15~1.19 범위였고, 20.0%,wb에서는 1.19~1.25로 품종간의 큰 차이는 없었으나, 함수율이 낮은 것에 비해 높은 함수율에서 다짐계수가 큰 것으로 나타났다.

마. 함수율이 15.2~15.8%,wb 범위에 있는 화성벼의 형상별(벼, 현미, 백미) 다짐계수를 실험

한 결과 벼의 다짐계수 1.19, 현미, 1.12, 백미 1.09로 나타났으며, 이는 백미에서 공극율이 가장 적었고, 벼에서 공극율이 가장 많다는 것을 추정할 수 있다.

5. 참고문헌

1. 고태균 외, 농산가공기계학, 향문사, pp66~73, 1990.
2. 김만수, 곡물의 물리적 특성 및 열특성에 관한 연구, 서울대 대학원 박사학위논문, 1987.
3. M. J. Lewis, Physical Properties of Foods and Food Processing systems, ELLIS HORWOOD, pp51~68.
4. NURI N. MOHSENIN, PHYSICAL PROPERTIES OF PLANT AND ANIMAL MATERIALS, GORDON AND BREACH SCIENCE PUBLISHERS, pp79~107.
5. 農産物の測定と計測方法の基準化に関する總合的研究, 農産物研究グループ, pp1~21.1979.
6. 山下律也 外, 農産物の測定と計測方法の基準化に関する總合的研究, 農業機械學會, pp 1~44, 1985.