

# 穀物の 物理的 特性에 關한 研究

## Physical Properties of Grain

金 滿 秀\* 高 學 均\*\*  
Kim, Man Soo Koh, Hak Kyun

### Summary

The physical properties of grain are very important for the design of handling, sorting, processing, and storage system. On the physical properties of grain, volume, bulk density, true density, specific gravity, and porosity are the major factors affecting the thermal properties of grain. This study was conducted to determine experimentally the above physical properties of rough rice (3 Japonica-type, 3 Indica-type) and barley (covered, naked) as a function of moisture content ranged from about 10% to 25% (w.b).

The results of this study are summarized as follows:

1. The volume of grain kernel increased with moisture content for both rice and barley. The volume of those grain kernel was in the range of  $2.2068 \times 10^{-8} \sim 3.3960 \times 10^{-8} \text{m}^3$  at the moisture content of 14%.
2. The bulk density of rice increased linearly with moisture content for Japonica-type rough rice and quadratically for Indica-type rough rice, but the bulk density of barley decreased linearly with moisture content. The bulk density of the grain was in the range of  $501.14 \sim 689.13 \text{kg/m}^3$  at the moisture content of 14%.
3. The true density of whole grain decreased linearly with moisture content, and was in the range of  $1019.49 \sim 1139.75 \text{kg/m}^3$  at the moisture content of 14%.
4. The porosity of rice decreased linearly with moisture content for Japonica-type rough rice and quadratically for Indica-type rough rice, but the porosity of barley increased linearly with moisture content. The porosity of the grain was in the range of  $39.51 \sim 50.83\%$  at the moisture content of 14%.
5. The regression equations of the physical properties such as volume, bulk density, true density, and porosity of the grain were determined as a function of moisture content.

### 1. 緒 論

穀物の 物理的 特性은 穀物の 搬送, 乾燥, 貯藏

을 爲한 各種 農産機械의 設計에 重要한 要素中의 하나이다. 特히 1970年 以後 在來의 品種과는 物理的 特性이 다른 統一系 벼 品種의 擴大普及으로 이들 品種에 對한 物理的 特性의 究明은 切實히 要

\*忠南大學校 農科大學

\*\*서울大學校 農科大學

求되고 있는 實情이다.

農産物の 物理的 特性은 大體로 機械的 및 rheological特性, 電氣的 特性, 熱特性, 光學的 特性, Particle Statistics 等 다섯 分野로 나누어 지나<sup>12)</sup> 最近에 와서 이 分野의 研究가 活潑해 짐에 따라 점점 細分되어 이들은 서로 獨立된 課題들로 取扱되고 있다. 또한 最近의 穀物의 物理的 特性에 對한 研究 動向은 위의 다섯 分野中 Particle Statistics에 局限되고 있는 傾向이 뚜렷하며 여기서 다루어지고 있는 것들은 穀物의 크기(length, width, thickness), 散物密度(bulk density), 比重(specific gravity), 表面積(surface area), 體積(volume) 空際率(porosity) 等이다<sup>13)</sup>.

穀物의 體積은 大部分 Air-Comparison Pycnometer를 使用하여 測定하였으나<sup>14, 15, 16)</sup> Mohsenin<sup>7)</sup>은 穀物을 물에 잠기게 하여 穀物이 밀어낸 물의 무게로서 體積을 計算한 경우도 있었다. 穀物의 體積은 含水率의 1次 函數로 表示하는 것이 一般的이었으나 Forts와 Okos<sup>8)</sup>은 옥수수의 體積을 溫度와 含水率의 2次 函數로 表示하기도 하였다.

散物密度의 測定에는 Weight per bushel test apparatus가 主로 利用되고 있으며<sup>17)</sup> Brusewitz<sup>9)</sup>은 옥수수 및 보리 等의 含水率을 15%에서 45%까지 變化시키면서 散物密度를 測定하였던 바 散物密度는 含水率의 2次式으로 表示되고 含水率이 增加함에 따라 減少하다가 含水率 30%附近에 그 最少값을 나타내었으며 含水率이 그 以上으로 增加함에

따라 散物密度는 다시 增加한다고 報告하였다. Motita<sup>10)</sup>와 Wratten<sup>11)</sup>은 含水率 約 25% 以下의 경우, 벼의 散物密度는 含水率이 增加함에 따라 直線的으로 增加하였다고 報告한 바 있다.

穀物의 眞密度와 比重은 Pycnometer 나 Specific gravity tube에 依해 測定하였으며 그 값은 含水率이 增加함에 따라 直線的으로 減少한다고 報告하였으나<sup>18, 19)</sup> Zink<sup>12)</sup>은 보리의 比重을 1.13~1.33, 벼의 比重을 1.11~1.12, 로 報告하였으며 Marita<sup>3)</sup>와 Wratten<sup>9)</sup>은 벼의 比重은 含水率에 따라 減少하며 이들 關係를 含水率에 對한 1次式으로 表示하였다.

空際率은 眞密度와 散物密度로서 計算되며<sup>20)</sup> Wratten等<sup>11)</sup>은 벼의 空際率은 含水率이 增加함에 따라 減少하였다고 報告했으며 Thompson等<sup>10)</sup>은 粒子의 크기와 모양이 不均一하고 粒子의 크기가 작을수록 空際率은 커진다고 報告하였다.

이와같이 大部分의 研究結果들이 含水率과 物理的인 特性을 主로 다루고 있는 것은 穀物의 物理的 特性이 品種이나 栽培方法 및 條件에 따라 서로 變하지만 同一한 品種과 條件에서 含水率에 따라 크게 變하기 때문이며 이들에 關한 關係는 우리나라 穀物에 對하여도 철저히 究明되어야 할 것이다.

本 研究에서는 여러가지 穀物의 物理的 特性中 主로 穀物의 熱特性과 密接한 關聯이 있는 穀物의 體積, 眞密度, 比重, 散物密度, 空際率 等과 含水率과의 關係를 究明하였다

Table 1. Physical dimensions of the grain studied.

Grain	Moisture content (% , w. b)	Length (10 <sup>-3</sup> m)	Width (10 <sup>-3</sup> m)	Thickness (10 <sup>-3</sup> m)	Sphericity (%)
Rough rice					
Akibare	12.60	7.164 (0.0919)	3.077 (0.0778)	2.237 (0.0497)	51.30
Minehikari	12.45	7.243 (0.0964)	3.112 (0.0787)	2.167 (0.0589)	49.56
Milyang 15	13.24	7.041 (0.0889)	3.084 (0.0804)	2.249 (0.0495)	51.59
Milyang 23	12.88	8.609 (0.0950)	2.777 (0.0622)	2.085 (0.0442)	43.08
Milyang 21	12.90	7.498 (0.0887)	2.835 (0.0698)	2.078 (0.0600)	47.24
Suweon 264	12.08	7.483 (0.0941)	2.810 (0.0902)	1.934 (0.0519)	46.16
Barley Covered	14.30	7.890 (0.0926)	3.517 (0.0905)	2.691 (0.0921)	51.00
Naked	13.13	5.822 (0.0967)	3.429 (0.0728)	2.458 (0.0777)	62.21

Note: Values in the parenthesis indicate standard deviation.

Table 2. Chemical compositions of the grain studied.

Grain	Moisture (%)	Protein (%)	Carbohydrate (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Ash (%)
Rough rice						
Akibare	14.20	3.80	26.60	1.89	50.15	3.36
Minchikari	15.40	5.10	26.45	2.27	45.99	4.79
Milyang 15	14.40	5.50	22.50	2.13	52.22	3.15
Milyang 23	16.20	3.80	29.70	2.36	43.85	4.09
Milyang 21	15.90	4.70	31.20	1.90	42.53	3.77
Suweon 264	15.60	5.10	19.42	1.92	53.36	4.60
Barley						
Covered	14.50	4.70	17.20	1.73	60.08	1.79
Naked	15.90	5.70	35.90	1.94	39.09	1.47

穀粒의 크기와 化學的 成分은 Table 1과 2와 같다

## 2. 材料 및 方法

### 가. 實驗材料

本 研究에서 使用한 穀物은 우리나라의 主穀인 벼와 보리로 局限하였으며 벼는 Japonica型벼 3品種, 統一型벼 3品種을 擇하였고 보리는 大麥(麗妓)과 裸麥(光成)을 各各 한 品種씩만 擇하였다. 試料는 모두 1979年產으로 統一型벼와 粒양 15는 標準栽培法에 依해 栽培된 것이고 아끼바레, 미네히카리, 보리는 一般農家에서 購入하였으며 이들에 對한

### 나. 實驗裝置

#### 1) 體積, 眞密度, 比重

穀粒의 體積 測定裝置는 Specific gravity balance의 原理를 利用한 것으로 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

#### 2) 散物密度

Boerner weight per bushel apparatus와 비슷한 裝置를 製作하여 穀物의 散物密度를 測定하였으며

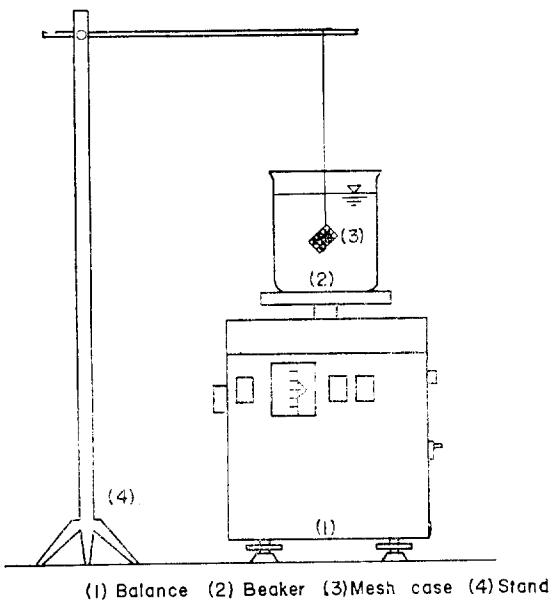
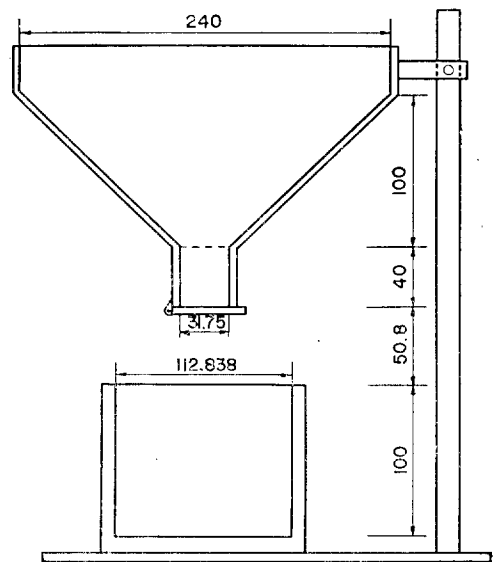


Fig 1. Schematic diagram for measuring the volume of grain kernels.



Unit: mm, Scale: 1/3

Fig. 2. Schematic diagram for measuring the bulk density of grain.

細部 치수와 構造는 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

다. 實驗方法

1) 體積

直徑 約 1.5cm, 높이 3.0cm의 Stainless mesh case를 만들어 그 속에 50個의 穀粒을 넣고 Fig. 1에서와 같은 裝置로 그 무게를 測定하여 다음과 같은 式에 依하여 穀粒의 體積을 計算하였다. 물은 蒸溜水를 使用하였으며 各含水率에서 5反復하였다.

$$Vg = \frac{Gmgs - Gcw - Gmw}{50 \times \gamma_w} = \frac{G_d}{50\gamma_w} \dots\dots(1)$$

여기서,  $Vg$ : Volume of grain kernel( $m^3$ )

$Gmgs$ : Weight of container+water+grain in mesh case submerged(N)

$Gcw$ : Weight of container+water(N)

$Gmw$ : Weight of mesh case in water(N)

$G_d$ : Weight of displaced water by grain (N)

$\gamma_w$ : Specific weight of water(9800N/ $m^3$ )

2) 散物密度

散物密度는 Fig. 2와 같은 裝置에서 容器에 담긴 穀物의 質量을 容器의 體積( $10^{-3}m^3$ )으로 나눈 값으로 하였으며 各 含水率에서 5反復하였다.

3) 眞密度

穀粒의 眞密度는 다음 式에 依하여 計算하였다.

$$D_T = \frac{Mg}{Vg} \dots\dots(2)$$

여기서,  $D_T$ : 穀粒의 眞密度( $kg/m^3$ )

$Mg$ : 穀粒의 質量(kg)

$Vg$ : 穀粒의 體積( $m^3$ )

4) 比重

穀粒의 比重은 다음 式에 依하여 計算하였다.

$$Sg = \frac{Ga \times Sw}{G_d} \dots\dots(3)$$

여기서,  $Sg$ : Specific gravity of grain

$Ga$ : Weight of grain in air(N)

$Sw$ : Specific gravity of water(constant =1)

5) 穀物의 空隙率

穀物의 空隙率은 다음 式에 依하여 計算하였다.

$$P = (1 - \frac{D_b}{D_T}) \times 100 \dots\dots(4)$$

여기서,  $P$ : 穀物의 空隙率(%)

$D_b$ : 穀物의 散物密度( $kg/m^3$ )

$D_T$ : 穀物의 眞密度( $kg/m^3$ )

6) 含水率

穀物의 含水率은 各 試料에서 約 20g씩의 穀物을 採取하여 精度 0.01g의 Digital balance와  $105^{\circ}C \sim 110^{\circ}C$ 의 定溫乾燥法에 依하여 測定하였으며 本研究에서의 모든 含水率은 濕量基準(w.b)으로 表示하였다.

3. 結果 및 考察

가. 穀粒의 體積

穀物의 含水率을 變化시키면서 穀粒의 體積을 測定한 結果는 Figs. 3, 4, 5에 圈示한 바와 같으며 含水率에 따른 體積의 回歸方程式은 Table 3에 表示하였다.

그림에서 보는 바와 같이 含水率이 增加함에 따라 穀粒의 體積은 直線的으로 增加하였으며 이와 같은 傾向은 Wratten 等<sup>13)</sup>의 研究結果와도 類似하였다. 벼에 있어서는 Japonica型벼나 統一型벼 모두 비슷한 體積의 增加率을 나타내었으나 보리의 경우는 벼에 比하여 그 增加率이 월등히 크게 나타났다.

含水率 14%의 경우 供試穀粒의 體積은 大麥이  $3.3966 \times 10^{-3}m^3$ 로 가장 크고 다른 穀物은  $2.2068 \times 10^{-3} \sim 2.7067 \times 10^{-3}m^3$ 의 범위로서 密陽 23, 아끼

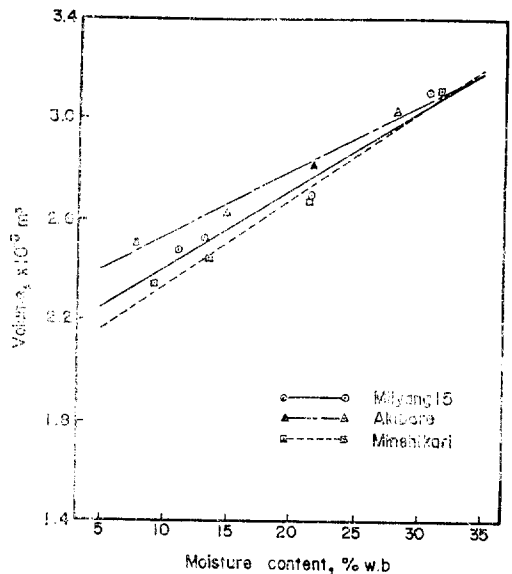


Fig. 3. Effect of moisture content on volume of rice (Japonica-type).

바레, 稷麥, 密陽 15, 미네히카리, 密陽 21, 水原 264의 順으로 나타냈다.

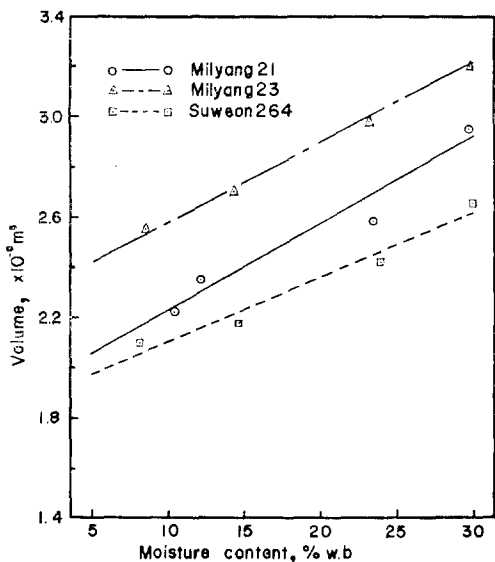


Fig. 4. Effect of moisture content on volume of rice (Indica-type).

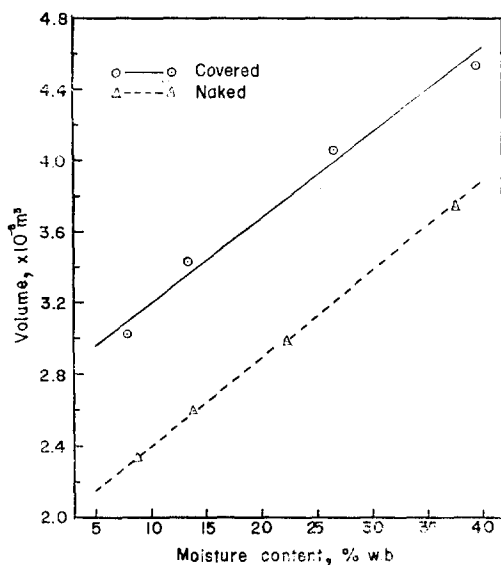


Fig. 5. Effect of moisture content on volume of barley

Table 3. Linear regression equations of the volume as a function of moisture content.

Grain	Regression equation	r <sup>2</sup>
Rough rice		
Akibare	$V^{1)} = 2.2689 \times 10^{-8} + 2.6159 \times 10^{-10} M^{2)}$	0.9592
Minehikari	$V = 1.9936 \times 10^{-8} + 3.4441 \times 10^{-10} M$	0.9463
Milyang 15	$V = 2.0924 \times 10^{-8} + 3.1474 \times 10^{-10} M$	0.9415
Milyang 23	$V = 2.2591 \times 10^{-8} + 3.1971 \times 10^{-10} M$	0.9696
Milyang 21	$V = 1.8939 \times 10^{-8} + 3.3567 \times 10^{-10} M$	0.9372
Suweon 264	$V = 11.8473 \times 10^{-8} + 2.5675 \times 10^{-10} M$	0.9347
Barley		
Covered	$V = 2.7392 \times 10^{-8} + 4.6955 \times 10^{-10} M$	0.9657
Naked	$V = 1.9238 \times 10^{-8} + 4.8892 \times 10^{-10} M$	0.9728

1) V : Volume(m<sup>3</sup>)

2) M : Moisture content(% , w.b)

### 나. 散物密度

穀物の 散物密度에 가장 큰 影響을 미치는 因子는 含水率로서<sup>2), 9), 10), 11)</sup> 含水率이 增加함에 따라 벼의 散物密度는 增加하였다.

Japonica型벼에 있어서는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 含水率에 따라 直線的인 變化를 하였다. 이러

한 結果는 Morita等<sup>9)</sup>과 Wratten等<sup>11)</sup>의 研究結果와도 一致하는 것이나 Fig. 7에서와 같이 統一型 벼에 있어서는 含水率에 따른 散物密度의 變化 傾向은 密陽 21號를 除外한 다른 統一型 벼에서는 直線的인 變化에도 그 有意성이 認定되었으나 曲線的인 增加에 더 適合함을 알 수 있었다.

Fig. 8에서와 같이 보리의 경우는 含水率에 따라

그 散物密度는 減少하였다. 이 結果는 Brusewitz<sup>2)</sup>의 밀, 옥수수, 보리 등의 散物密度에 關한 研究結果와도 類似한 것으로서 그의 結果에 依하면 含水率 15%에서 30%까지는 含水率에 따라 散物密度는 直線으로 減少하다가 30% 以上에서는 다시 增加하는 것으로 報告하였던 바 本 研究의 實驗區間인 含水率 約 6%에서 32%의 범위내에서는 이 研究結果와 類似한 傾向이었다. 이와 같이 含水率이 增加함에 따라 散物密度가 減少하는 現象은 보리의 경우 含水率에 따라 體積의 增加가 比보다 遲동히

크기 때문에 주어진 體積(10<sup>-3</sup>m<sup>3</sup>)에 채워지는 穀物의 數가 늘어들어 그 散物密度는 減少되는 것으로 判斷된다.

含水率 14%의 경우 供試穀物의 散物密度는 稷麥 689.13kg/m<sup>3</sup>, 大麥 562.60kg/m<sup>3</sup>였으며 Japonica型 벼는 550.27~554.71kg/m<sup>3</sup>, 統一型벼 501.14~533.23kg/m<sup>3</sup>의 범위였다.

供試穀物에 對한 散物密度의 回歸方程式을 要約하면 Table 4와 같다.

Table 4. Regression equations of the bulk density as a function of moisture content.

Grain	Regression equation	r <sup>2</sup>
Rough rice		
Akibare	$B^1) = 537.5873 + 1.2227M^{2)}$	0.9789
Minehikari	$B = 529.8400 + 1.4596M$	0.9419
Milyang 15	$B = 539.3165 + 0.9119M$	0.9685
Milyang 23	$B = 529.1936 - 1.1046M + 0.0995M^2$	0.9990
Milyang 21	$B = 522.65 - 4.3619M + 0.2032M^2$	0.9976
Suweon 264	$B = 536.12 - 3.343M + 0.1477M^2$	0.9823
Barley		
Covered	$B = 582.79 - 1.4422M$	0.9475
Naked	$B = 759.69 - 5.0400M$	0.9097

1) B : bulk density (kg/m<sup>3</sup>)      2) M : Moisture content of grain(% w.b)

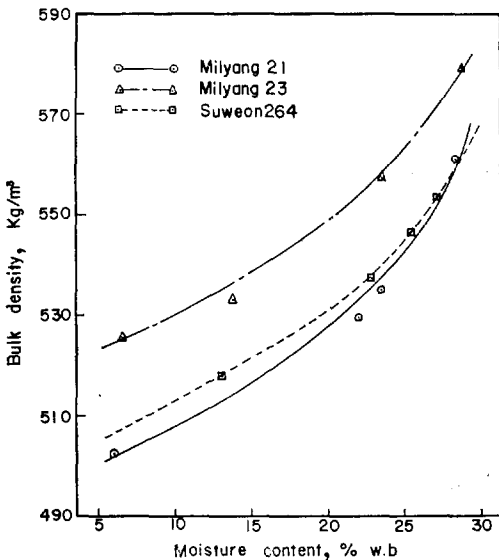


Fig. 6. Relationship between bulk density and moisture content of rice(Japonica-type).

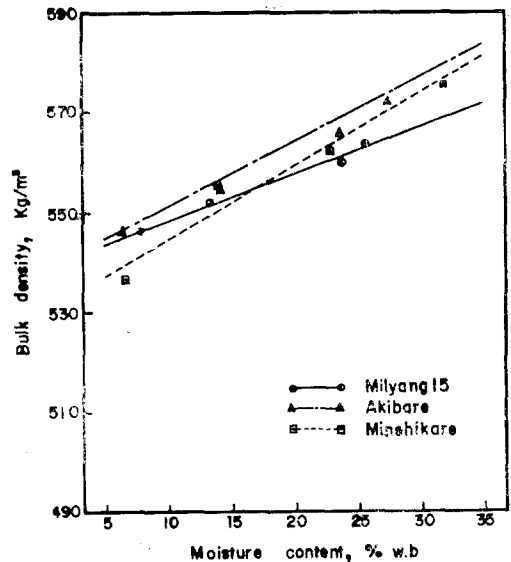


Fig. 7. Relationship between bulk density and moisture content of rice (Indica-type).

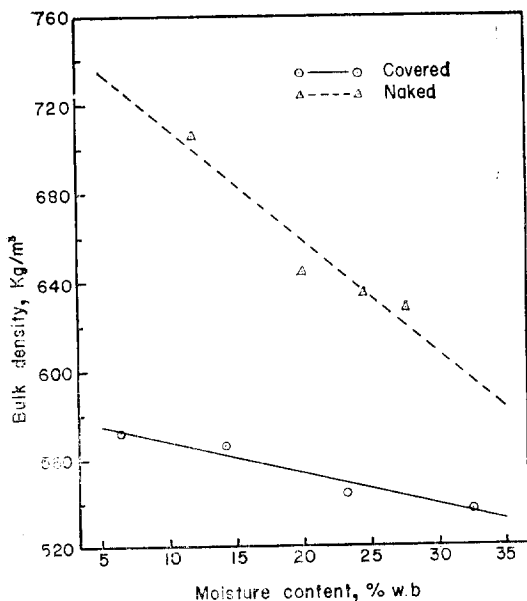


Fig. 8. Relationship between bulk density and moisture content of barley.

다. 眞密度 및 比重

Figs. 9, 10, 11에서 보는 바와 같이 穀物の 眞密度는 含水率에 增加함에 따라 모든 供試穀物에서 減少하였으며 稗粟의 경우 眞密度의 減少率이 월등히 크게 나타났다. 이러한 現象은 Brusewitz<sup>2)</sup> Chung,<sup>3)</sup>

Wratten 等<sup>1)</sup>의 研究와도 잘 一致하는 것으로 穀物の 含水率 0%일때 그 眞密度가 1000kg/m<sup>3</sup>보다 큰 穀物에서는 含水率에 增加함에 따라 當然히 그 眞密度는 減少하여 穀物の 含水率 100%일때는 물의 密度와 같이 1000kg/m<sup>3</sup>이 되어야 하는 事實로서 이 現象은 說明될 수 있다.

供試穀物の 含水率에 따른 眞密度의 減少傾向은 統一型벼에 있어서는 다른 穀物에 比하여 緩慢하고 거의 平行하게 變化하였으며 大體로 稗粟과 Japonica 型벼의 경우가 含水率 增加에 따른 眞密度의 減少 傾向이 銳敏했음을 알 수 있었다.

벼의 眞密度는 Japonica型벼나 統一型벼에 있어서 큰 差異는 없었으나 보리의 경우는 稗粟이 大麥보다 含水率에 낮은 경우 월등히 輕을 알 수 있었고 一般적으로 眞密度가 큰 穀物이 散物密度도 크게 나타났다. 그러나 散物密度가 작았던 密陽 15號와 水原 264의 경우 眞密度는 큰것으로 나타났다. 이러한 現象은 眞密度가 單位體積當의 穀物の 質量으로 定義되기 때문에 含水率에 따른 體積의 增加가 작은 穀物에서 眞密度는 커지기 때문인 것으로 判斷된다.

供試穀物の 含水率에 따른 眞密度의 回歸方程式과 含水率 14~22%에서의 各 供試穀物の 比重을 Table 5에 表示하였다.

含水率 14%의 경우, Japonica型벼의 眞密度는 1027.4~1054.7kg/m<sup>3</sup>, 統一型벼 1019.5~1037.13 kg/m<sup>3</sup>, 大麥 1089.4kg/m<sup>3</sup> 稗粟 1139.8kg/m<sup>3</sup>였다.

Table 5. Linear regression equations of the true density as a function of moisture content and specific gravities.

Grain	Regression equation	r <sup>2</sup>	Specific gravity (14%—22%, w.b)
Rough rice			
Akibare	$D_T = 1066.0 - 2.0516M^{2)}$	0.9710	1.0373—1.0209
Minehikari	$D_T = 1044.2 - 1.1992M$	0.6962	1.0274—1.0178
Milyang 15	$D_T = 1080.5 - 1.8408M$	0.9582	1.0547—1.0400
Milyang 23	$D_T = 1046.1 - 1.0088M$	0.9960	1.0320—1.0239
Milyang 21	$D_T = 1038.2 - 1.3366M$	0.9510	1.0195—1.0088
Suweon 264	$D_T = 1051.7 - 1.0409M$	0.9675	1.0371—1.0288
Barley			
Covered	$D_T = 1110.6 - 1.5136M$	0.9950	1.0894—1.0773
Naked	$D_T = 1190.7 - 3.6393M$	0.9073	1.1397—1.1106

1)  $D_T$  : True density(kg/m<sup>3</sup>)    2)  $M$  : Moisture content of grain(% , w.b)

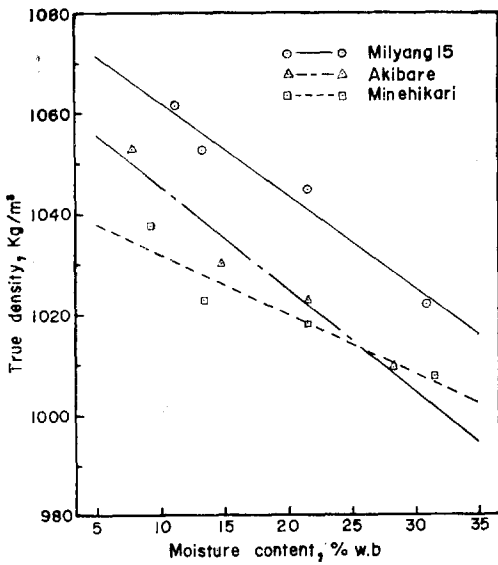


Fig. 9. Effect of moisture content on true density of rice (Japonica-type).

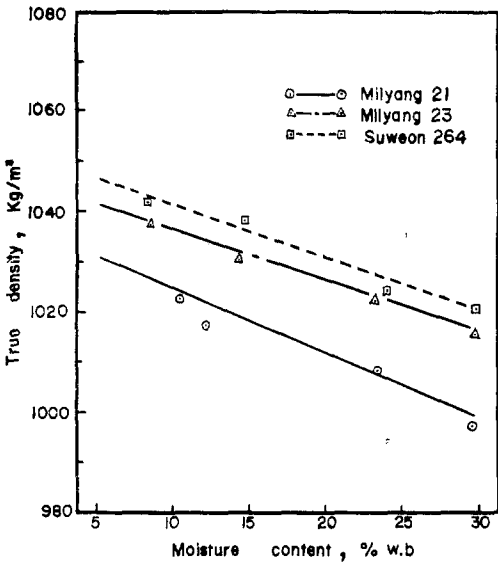


Fig. 10. Effect of moisture content on true density of rice (Indica-type).

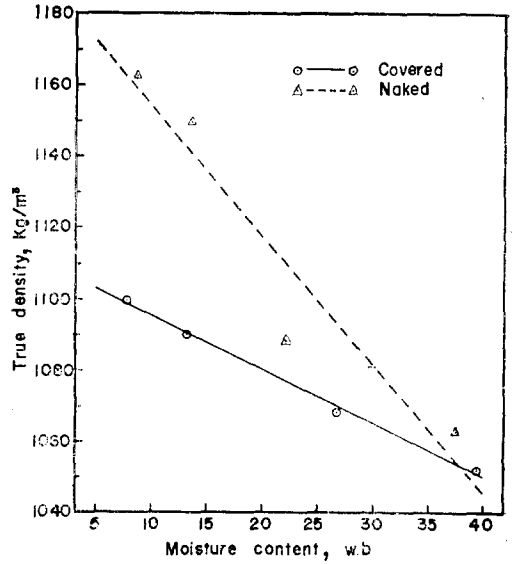


Fig. 11. Effect of moisture content on true density of barley.

라. 空隙率

穀物の空隙率は堆積하는方法에 따라 같은含水率에서도 크게 다른 값을 가진다. 따라서本 연구에서는體質과堆積方法이一定한條件에서測定

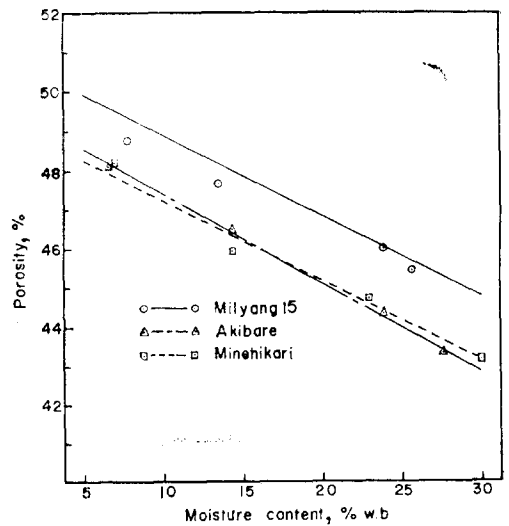


Fig. 12. Effect of moisture content on porosity of rice (Japonica-type).



된 散物密度와 眞密度에 依하여 그 空際率을 計算하였다.

含水率變化에 다른 供試穀物の 空際率은 變에 있어서는 減少하는 傾向이었으나 보리는 增加하는 것으로 나타났다. Japonica型벼의 경우는 Fig. 12에서 보는 바와 같이 含水率에 따라 直線的인 減少 傾向이었으며 統一型벼는 曲線的인 減少 추세에 더 適合함을 알수 있었다. 이와 같이 含水率이 增加함에 따라 空際率이 減少되는 現象은 穀物の 體積이 含水率에 따라 增加하여 생기는 現象으로 判斷된다. 또한 Fig. 13 에서와 같이 統一型벼에 있어서는 含水率에 따른 空際率의 減少傾向이 曲線的으로 나타났다.

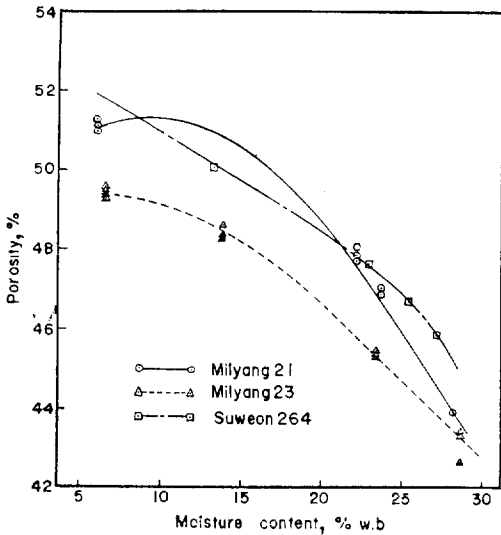


Fig. 13. Effect of moisture content on porosity of rice (Indica-type).

Fig. 14 에서 보는 바와 같이 보리의 空際率은 含水率에 따라 增加하고 있는데 이러한 現象은 含水率에 따라 本 實驗의 범위내에서는 보리의 散物密度가 減少하기 때문인 것으로 判斷된다. 이와 같은 傾向은 Thompson等<sup>19)</sup>의 옥수수에 대한 實驗結果와 類似하였다.

供試穀物の 含水率에 따른 空際率의 變化 범위는 Japonica型벼 42.81%~48.92%였고 統一型벼는 이보다 큰 43.02%~51.11%였으며 藜麥은 38.84%~43.07%, 大麥의 경우는 48.02%~49.36%로서 가장 적게 變化한 穀物이었다.

이들 供試穀物の 空際率과 含水率의 回歸方程式을 Table 6에 表示하였다.

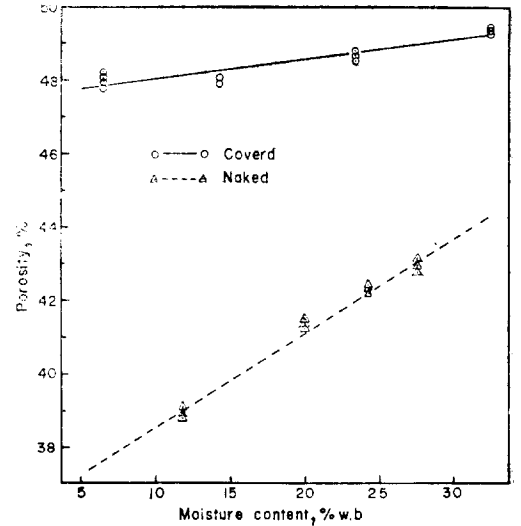


Fig. 14. Effect of moisture content on porosity of barley.

Table 6. Regression equations of the porosity as a function of moisture content.

Grain	Regression equation	r <sup>2</sup>
Rough rice		
Akibare	$P^{1)} = 49.6707 - 0.2267M^{2)}$	0.9934
Minehikari	$P = 49.3275 - 0.2072M$	0.9736
Milyang 15	$P = 50.1597 - 0.1798M$	0.9924
Milyang 23	$P = 49.3821 + 0.0646M - 0.0095M^2$	0.9624
Milyang 21	$P = 49.5638 + 0.3791M - 0.0206M^2$	0.9984
Suweon 264	$P = 48.9194 + 0.2831M - 0.0146M^2$	0.9874
Barley		
Covered	$P = 47.4756 + 0.0542M$	0.8793
Naked	$P = 35.7071 + 0.2714M$	0.9916

1) P : Porosity(%)      2) M : Moisture content(% w.b)

#### 4. 結 論

穀物の 物理的인 特性中 穀物の 熱特性和 關聯이 큰 穀物の 體積, 眞密度, 散物密度, 空隙率 等을 含水率 約 10%에서 25%까지 變化시키면서 測定하고 含水率이 이들 因子에 미치는 影響을 分析했던바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

가. 穀物の 體積은 含水率이 增加함에 따라 直線的으로 增加하였으며 含水率 14%(w.b)의 경우 大麥의 體積이  $3.3960 \times 10^{-6} m^3$ 로서 가장 컸고 다른 供試穀物에 있어서는  $2.2068 \times 10^{-6} \sim 2.7067 \times 10^{-6} m^3$ 의 범위였다.

나. 散物密度는 벼의 경우 含水率에 따라 增加하였으며 Japonica型벼는 直線的인 變化를, 統一型벼는 曲線的인 變化를 하였다. 한편 보리의 경우는 含水率이 增加함에 따라 散物密度가 直線的으로 減少하였다. 含水率 14%의 경우 供試穀物の 散物密度는 稗麥  $689.13 kg/m^3$ , 大麥  $562.60 kg/m^3$ 였으며 Japonica型벼는  $550.27 \sim 554.71 kg/m^3$ , 統一型벼는  $501.14 \sim 533.23 kg/m^3$ 의 범위였다.

다. 모든 供試穀物에서 眞密度는 含水率에 따라 直線的으로 減少하였다. 含水率에 따른 眞密度的 減少 程度는 稗麥이 가장 컸으며 그 다음이 Japonica型벼였고 大麥과 統一型벼는 比較的 緩慢한 變化를 하였다. 含水率 14%의 경우 供試穀物の 眞密度는 稗麥이  $1139.75 kg/m^3$ 로서 가장 컸고 大麥은  $1089.41 kg/m^3$ 였으며 Japonica型벼는  $1027.41 \sim 1054.73 kg/m^3$ 로 統一型벼  $1019.49 \sim 1037.13 kg/m^3$ 보다 약간 큰 값으로 나타났다.

라. 벼의 空隙率은 含水率에 따라 減少하였으며 보리의 경우는 增加하였다. 그 減少傾向은 Japonica型벼에서는 直線的인 變化였고 統一型벼에서는 曲線的인 變化였다. 그러나 보리의 空隙率은 含水率이 增加함에 따라 直線的으로 減少하였다. 含水率 14%의 경우 供試穀物の 空隙率은 稗麥 39.51%, 大麥 48.23%였으며 Japonica型벼 46.43~47.64%, 統一型벼 48.35~50.83%의 범위였다.

마. 含水率의 變化에 따라 穀物の 體積, 眞密度, 散物密度, 空隙率 等에 對한 回歸方程式을 各各 誘導하였다.

#### 參 考 文 獻

1. Bilanski, W. K. and R.K. Varma. 1976. Effect

of bulk density and moisture tension on corn shoot growth. Trans. of the ASAE 19(2) : 337—340.

2. Brusewitz, G. H. 1975. Density of rewetted high moisture grains. Trans. of the ASAE 18 (5) : 935—938.

3. Chung, D. S. and H. H. Converse. 1971. Effect of moisture content on some physical properties of grains. Trans. of the ASAE 14 (4) : 612—620.

4. Forts, M. and M. R. Okos. 1980. Changes in physical properties of corn during drying. Trans. of the ASAE 23(4): 1004—1008.

5. Koh, H. K. 1978. Determination of equilibrium moisture content of rough rice. KSAM 3(2):62—68.

6. Kramer, H. A. 1951. Physical dimenions of rice. Agricultural Engineering. 32(10) : 544—545.

7. Mohsenin, N. N. 1978. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers.

8. Morita, T. and R. P. Singh. 1979. Physical and thermal properties of short-grain rough rice. Trans. of the ASAE 22(3):630—636.

9. Pall, R. and N. N. Mohsenin. 1980. A soil air pycnometer for determination of porosity and particle density. Trans. of the ASAE 23 (3): 735—741, 745.

10. Thompson, R. A. and G. W. Isaacs. 1967. Porosity determinations of grains and seeds with an air-comparison pycnometer. Trans. of the ASAE 10(4) : 693—696.

11. Wratten, F. T., W. D. Poole, J. L. Chesness, S. Bal, and V. Ramarao. 1969. Physical and thermal properties of rough rice. Trans. of the ASAE 12(6) : 801—803.

12. Zink, F.J. 1935. Specific gravity and air space of grains and seeds. Agricultural engineering 16(11) : 439—440.

13. Zoerb, G. C. 1967. Instrumentation and measurement techniques for determining physical properties. Trans. of the ASAE 10(10) : 100—109, 113.