

벼의 平衡含水率 測定에 關한 研究*

Determination of Equilibrium Moisture Content of Rough Rice

高 學 均**

Koh, Hak Kyun

Summary

Equilibrium moisture content of rough rice is an important factor because it has a close relationship to storage and drying problems. Determinations of the EMC for 10 different varieties of rough rice were made in atmospheres of various constant humidities at three different constant temperatures. In addition, some physical properties were also measured for two different levels of moisture content of the samples.

The results may be summarized as follows;

1. Several physical properties of ten different varieties of rough rice were measured. Significant difference of the properties was appeared between the varieties in which the difference was pronounced in the dimensions of the varieties. Also, all the dimensions were increased as the moisture content of the rough rice was increased from 14% to 16%.
2. Significant difference of the equilibrium moisture content was also appeared between some of the varieties in which the equilibrium moisture content of Josa-engtongil and Minehikari was 24.26% while that of the others was in the range between 18 to 19% at the conditions of relative humidity of 84% and temperature of 47°C, respectively. Similar pattern was also observed in other conditions.
3. The values of the constants of Henderson's equation were calculated from the data obtained but they are believed to be useful until more precise and complete data are obtained. There was a good agreement between the calculated and experimental results.

1. 緒 論

農産物 特히 穀物과 같은 吸濕性材料(hygroscopic material)의 平衡含水率은 乾燥 및 저장문제와 매우

密接한 關係를 가지고있다. 特히 이 平衡含水率은 穀物로부터 水分을 除去하는데 필요한 熱量을 計算하는데도 필요하다.

穀물의 平衡含水率이란 어떠한 含水率을 가진 穀물이 일정한 濕度와 溫度를 가지고 있는 空氣중에

*本 研究는 文敎部 學術研究造成費에 依하여 遂行된것임.

**서울大學校 農科大學 農工學科

長期間 放置하여 두었을 때 더 이상 含水率이 변하지 않을 때의 그 穀物의 含水率을 말한다. 따라서 平衡含水率은 一定한 乾燥條件下에서 건조될 수 있는 最少限度의 含水率을 결정하여 주는 것이다.

우리나라의 벼 건조는 거의 모두 天日乾燥에 依存하고 있으며 이 方法은 乾燥中 벼의 質的 및 量的 低下를 가져다 준다. 더구나 앞으로 收穫作業의 機械化가 本格的으로 推進되면 수확기에는 生脫穀을 하지 않으던 안되며 이 때 건조문제는 더욱 심각하게 된다. 이와 같은 문제점을 解決하기 위하여는 보다 깊이 있는 건조 및 저장연구가 要請되며 平衡含水率의 決定은 이러한 研究의 基礎資料가 되는 것이다.

따라서 本研究에서는 우리나라 農村에서 一般的으로 널리 利用되고 있는 벼품종에 대한 平衡含水率을 여러가지 條件에서 測定 分析하였으며 또한 이들 벼에 대한 몇가지 物理的인 特性도 아울러 究明하였다.

2. 文獻概要

一般的으로 平衡含水率은 穀物의 品種, 成熟過程, 空氣의 相對濕度의 測定技術 및 平衡含水率 測定方法 等에 따라 차이가 생기지만 여기서는 穀物의 品種間의 差異만을 究明코져 하였다.

現在까지 外國에서는 여러가지 穀物 또는 農産物에 대한 平衡含水率을 廣範圍하게 調査 分析한 바 있다. 이 중에서 Henderson¹⁰⁾은 일찌기 平衡含水率의 基本概念을 자세히 論議한 바 있으며 Thompson과 Shield¹¹⁾은 옥수수 및 밀에 대한 平衡含水率을 여러가지 온도와 습도에서 調査한 바 있다. 벼에 關한 資料^{7,8)}도 몇가지 있으나 品種이 다르거나 그 數가 限定되어 있으므로 우리나라 벼 品種에 적용시키기는 問題點이 있다.

위와 같이 여러가지 穀物에 대한 平衡含水率로부터 많은 學者들은 여러가지 條件에서의 平衡含水率 曲線의 理論式(이것을 EMC model이라고 함)을 提示한 바 있다. 여기에는 Kelvin equation을 위시하여 여러가지 Model¹²⁾이 研究 發表된 바 있으나 適用의 限界가 있으며 이 중에서도 Henderson equation이 가장 널리 이용되고 있다.

곡물의 物理的 特性에 關한 研究結果도 많이 찾을 수 있으나 벼에 關한 資料는 극히 制限되어 있

다. Chung과 Converse⁹⁾는 곡물의 含水率이 物理的 特性 例를 들면 Bulk density, True density, Porosity, Sphericity 等에 미치는 영향을 測定하여 相關關係를 究明한 바 있다. 또한 Watten¹³⁾ 등은 벼에 關하여 몇가지 物理的 및 熱的 特性을 調査한 바 있다.

3. 測定方法

가. 供試 벼

本 測定에 使用된 벼 品種은 1977年度産으로서 農村振興廳 作物試驗場에서 求하였으며 그 種類는 다음과 같다.

水原-264, 來敬, 사도미노리, 密湯-21,
 厚生統一, 미내히카리, 陸新, 振翼,
 水原-251, 魯豊, 아끼바레

以上 11個 品種中 物理的인 特性은 來敬을 除外한 10個 品種에 대하여 調査하였고 平衡含水率의 測定은 아끼바레를 除外한 10個 品種을 對象으로 하였다.

나. 測定內容 및 方法

1) 物理的 特性

上記 10個 品種에 대하여 含水率이 14%와 16% 内外에서 다음 項目을 調査 分析하였다. 調査項目中 길이, 너비, 두께, 무게는 完全粒 10個를 任意 抽出하여 測定한 후 10으로 나눈 값을 그 平均値로 하였다. 모든 測定은 5回 反覆 實施하였다. 여기에 使用된 器具는 Direct reading balance, Calipers, Mesh cylinder 및 Scale이었다.

가) 길이(Length): 벼의 끝과 끝을 길이로 整列한 다음 Calipers로 全體 길이를 測定 計算하였다.

나) 너비(Width): 最大 지름 部分을 一直線으로 連結하여 역시 Calipers로 測定하였다.

다) 두께(Thickness): 最少지름 部分을 一直線으로 맞춘 다음 Calipers로 測定하였다.

라) 무게(Weight): Direct reading balance를 利用하여 測定하였다.

마) 부피(Volume): 100個의 完全粒을 Mesh cylinder에 넣어 그 부피를 잴 다음 이것을 다시 100으로 나눈 값을 부피로 하였다.

바) 比重(Specific weight or True density): 위에서 얻은 무게와 부피를 고려하여 計算하였다.

사) 산물비중(Bulk density or Test weight) : 50cm³의 容器에 30cm의 높이에서 벼를 落下시킨 후 Direct reading balance에 의하여 무게를 測定하고 주어진 부피를 고려하여 計算하였다. 이것은 원래 Weight per Bushel Tester로 測定하여야 하나, 이 器具가 없기 때문에 비슷한 條件을 만들어 上記와 같이 測定하였다.

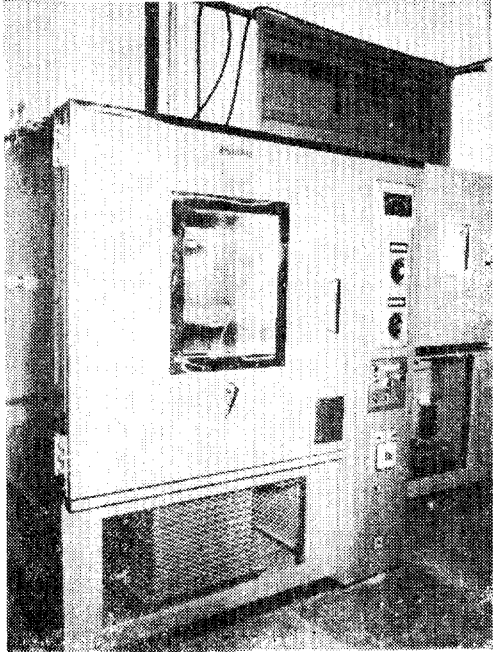


Fig. 1. Experimental System for Measuring the Equilibrium Moisture Content.

2) 平衡含水率

가) 測定方法

一般的으로 平衡含水率은 곡물을 濕空氣中에 露出시켜 求하며 여기에는 靜的인 方法과 動的인 方法의 두가지 測定方法이 있다. 이 두가지 方法 모두 空氣의 條件 卽 溫度와 濕度를 一定하게 유지시키는 것이 가장 重要하며 이를 위하여 飽和鹽溶液 등이 사용되나 本 實驗에서는 恒溫恒濕機를 이용하여 平衡含水率을 求하였다(Fig. 1).

卽 一定한 含水率을 가진 벼 20~30g을 알미늄 網으로 만든 容器에 넣어 주어진 溫濕度로 유지되는 恒溫恒습기에서 무게가 變하지 않을 때 까지 계속 시험하였다. 모든 경우 除濕過程(Desorption process)을 거치도록 하였다. 모든 含水率을 乾量基準 含水率로 表示하였으며 이 때 벼는 102°C에서 96時間 동안 加熱하여 含水率을 計算하였다. 本 實驗에서는 3가지 범위의 溫度와 相對濕度를 設定하였으며 同一條件에서 各各 3反覆 測定하여 그 平均値를 取하였다.

나) 測定器具

- ① 恒溫恒濕機 (日本 MRK Cat. No. 16-61)
- ② Direct reading balance

4. 實驗結果 및 考察

가. 物理的 特性

本 實驗에서 測定된 10種의 벼品種에 대한 物理的 特性은 Table 1 및 2와 같다.

Table 1. Physical Properties of Rough Rice (Moisture Content : 14%)

Variety	Property	Weight (gr)	Length (cm)	Width (cm)	Thickness (cm)	Volume (cm ³)	Specific Weight (g/cm ³)	Bulk Density (g/cm ³)
Suweon-264		0.0231	0.787	0.297	0.206	0.0250	0.9235	0.6460
Milyang-21		0.0227	0.767	0.297	0.217	0.0248	0.9158	0.6114
Satominori		0.0241	0.725	0.325	0.223	0.0250	0.9626	0.5903
Josaengtongil		0.0261	0.824	0.323	0.211	0.0254	1.0268	0.6035
Minchikari		0.0265	0.741	0.344	0.231	0.0252	1.0542	0.5818
Yushin		0.0236	0.777	0.289	0.221	0.0238	0.9916	0.5826
Jinheung		0.0311	0.771	0.351	0.247	0.0256	1.2169	0.6404
Suweon-251		0.0226	0.786	0.293	0.203	0.0246	0.9175	0.6249
Nopung		0.0222	0.778	0.289	0.206	0.0238	0.9329	0.6005
Akibare		0.0235	0.705	0.327	0.229	0.0250	0.9394	0.5969

위의 表에서 알 수 있는 바와 같이 含水率에 관계없이 벼 1個의 完全粒에 대하여 무게가 가장 무

거운 것은 振興이었으며 길이가 제일 긴 것은 厚生統一, 짧은 것은 아끼바레이었다. 너비, 두께, 부

Table 2. Physical Properties of Rough Rice (moisture content : 16%)

Variety	Property	Weight (gr)	Length (cm)	Width (cm)	Thickness (cm)	Volume (cm ³)	Specific Weight (g/cm ³)	Bulk Density (g/cm ³)
Suweon-264		0.0242	0.790	0.309	0.206	0.0254	0.9521	0.6704
Milyang-21		0.0232	0.783	0.298	0.219	0.0250	0.9291	0.6130
Satominori		0.0243	0.728	0.335	0.229	0.0256	0.9492	0.6245
Josaengtongil		0.0287	0.828	0.334	0.214	0.0254	1.1294	0.6025
Minehikari		0.0273	0.763	0.350	0.231	0.0252	1.0861	0.5941
Yushin		0.0255	0.816	0.299	0.226	0.0242	1.0552	0.5909
Jinheung		0.0312	0.773	0.352	0.248	0.0256	1.2214	0.6626
Suweon-251		0.0237	0.787	0.302	0.204	0.0250	0.9470	0.6470
Nopung		0.0237	0.797	0.293	0.206	0.0244	0.9709	0.6299
Akibare		0.0245	0.708	0.333	0.231	0.0252	0.9667	0.5955

과 및 比重은 振興이 가장 컸으나 산물 比重은 수원-264호가 가장 컸다. 最少값에는 몇개의 品種間에 큰 差異를 發見할 수가 없었다.

또한 벼의 含水率이 14%에서 16%로 增加할 경우 物理的인 特性値는 거의 모두 增加하였으며 이 중에서도 무게의 變化가 가장 크게 나타났다.

比重과 산물 比重의 경우 모든 品種에 있어서 比重값이 산물 比重값에 비하여 훨씬 큰 값을 보여 주고 있다. 이것은 비중의 경우 穀物粒子間의 空隙(void)이 거의 없는 상태에서 測定 計算된 반면 산물비중의 경우에는 벼를 일정한 거리위에서 落下시킨 후 比較的 큰 容積에서 무게와 부피를 고려하여 計算하였기 때문에 많은 空隙이 있었으며 따라서 이 값은 比重값보다 적게 나타난 것으로 說明된다.

結論的으로 本 實驗에서 測定된 7가지 物理的 特性은 몇가지 벼 品種間에는 비교적 커다란 差異가 나타났으며 특히 치수의 경우 品種間의 차이는 뚜렷한 반면 부피의 경우는 거의 일정하게 나타났음을 알 수 있다.

나. 平衡含水率

各各 3가지 溫度와 相對濕度の 空氣中에서 測定한 品種別 平衡含水率은 Table 3과 같다. 여기에 表示된 平衡含水率의 값은 同一條件에서 3反覆한 값의 平均値를 나타낸다.

表에서 알 수 있는 바와 같이 모든 品種의 경우 같은 溫度에서 相對濕度가 增加함에 따라 平衡含水率은 증가하며 이것은 당연한 事實로 받아 들일 수

Table 3. Equilibrium Moisture Content of Rough Rice (Dry Basis)

Variety	Temp. (°C)	Relative Humidity (%)						
		84	82	80	66	64	51	38
Suweon-264	47	17.96	15.87	15.37	13.34	13.43	11.14	9.56
	40							
	31							
Naekyeong	47	19.11	16.22	16.70	13.74	14.48	12.06	10.49
	40							
	31							
Satominori	47	19.35	16.90	17.16	13.67	14.26	12.27	10.01
	40							
	31							
Milyang-21	47	18.83	16.16	15.60	12.99	13.64	11.42	9.90
	40							
	31							
Josaeng-tongil	47	24.26	19.65	18.95	15.54	17.64	14.35	14.42
	40							
	31							

Minehikari	47	24.26	18.85	16.81	15.71	17.64	14.86	14.42
	40							
	31							
Yushin	47	17.72	15.34	15.03	12.69	13.03	11.15	9.44
	40							
	31							
Jinheung	47	18.78	15.41	15.58	12.67	13.93	11.43	9.66
	40							
	31							
Suweon-251	47	20.63	19.95	18.80	16.11	15.21	13.70	11.50
	40							
	31							
Nopung	47	17.98	16.98	15.18	12.37	13.49	12.53	10.00
	40							
	31							

있다. 또한 本實驗結果에서는 一定한 濕度에서 溫度의 增加에 따른 平衡含水率의 變化는 쉽게 파악

할 수 없으나 이것 역시 주어진 實驗結果는 물론 理論的으로도 溫度의 증가에 따라 平衡含水率은 감소함을 알 수 있다.

주어진 實驗結果에서 振興의 경우 31°C, 51%에서 平衡含水率은 11.43%이며 이 값을 Han⁵⁾ 등의 測定值 즉 25°C, 50%에서의 平衡含水率 11.5% 정도와 比較할 때 거의 비슷함을 알 수 있다.

本 實驗에서 한가지 特記할만한 것은 同一條件에서 品種間의 平衡含水率의 差異가 매우 크다는 事實이다. Fig. 2는 3가지 조건에서 10個 品種의 平衡含水率을 表示한 것이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 溫度 47°C, 相對濕度 84%에서 平衡含水率은 旱生統一과 미네히카리가 모두 24.26%로 매우 큰 값을 보여 주고 있는 반면 기타 品種은 18~19%內 外로서 이들 品種間에는 커다란 차이가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 차이는 다른 條件에서도 비슷한 傾向을 보여주고 있다. 따라서 Table 3에서도 알 수 있는 바와 같이 旱生統一과 미네히카리를 除外한 모든 品種은 47°C, 64%에서 安全貯藏含水率인 13~14%를 維持할 수 있으나 위의 두 품종의 平衡含水率은 17.64% 정도로서 溫度를 보다 上昇시키거나 相對濕度를 보다 낮추어야 安全貯藏含水率 14% 정도를 얻을 수 있는 것으로 分析되었다.

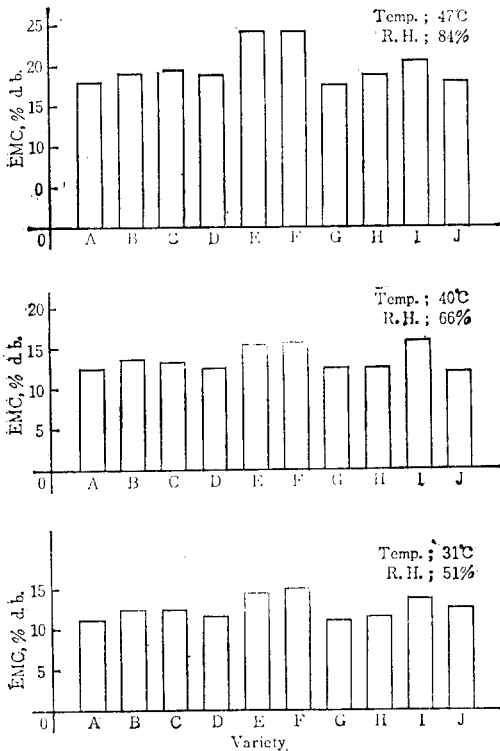


Fig. 2. Equilibrium Moisture Content of Rough Rice at Various Conditions.

Note

Variety : A ; Suweon-264 B ; Naekyeong
 C ; Satominori D ; Milyang-21
 E ; Josaengtongil F ; Minehikari
 G ; Yushin H ; Jinheung
 I ; Suweon-251 J ; Nopung

다. Henderson의 平衡含水率 公式의 適用

EMC model中에서 가장 普遍化되고 있는 것이 앞에서 설명한 바와 같이 Henderson 公式으로서 이것은 다음과 같이 表示된다. 卽

$$1-rh = \exp(-kTM_E^n)$$

여기서 rh=空氣의 相對濕度(%)

T : 空氣의 絕對溫度(°K)

M_E : 穀物の 平衡含水率(% , db)

k, n : 穀物에 따라 다른 常數

위 式으로 부터 空氣의 조건 즉 온도와 상대습도가 주어졌을 경우 곡물에 따라 이미 決定된 常數값에 의하여 그곡물의 平衡含水率을 구할 수 있다. Henderson²⁾은 옥수수를 위시한 여러가지 吸濕性材料에 대하여 k 값과 n 값을 算出하였으나 벼에 關한 資料는 보고된바 없다.

그러므로 本 實驗에서는 비록 많은 測定値는 얻지 못하였지만 47°C에서 38~84% 範圍의 相對濕度에 對한 平衡含水率의 測定値를 가지고 Henderson 公式의 常數 k 와 n 값을 求하였고 이 結果를 Table 4에 表示하였다.

Fig. 3은 溫度 47°C에서 水原-264와 미네히카리의 品種에 關한 實測値와 Table 4를 利用하여 算出한

Table 4. Values for the Constants in the Henderson's Equation for Rough Rice at the Temperature of 47°C.

Variety	n	k (x10 ⁻⁹)
Suweon-264	2.0522	15.3200
Naekyong	2.2342	7.9431
Satominori	2.0331	14.0190
Milyang-21	2.0907	12.9580
Josaengtongil	2.7343	1.0650
Minchikari	2.4615	2.8935
Yushin	2.1303	12.8740
Jinheung	2.0173	15.5160
Suweon-251	2.3110	5.4844
Nopung	2.2871	7.9176
Akibare	2.2382	7.6370

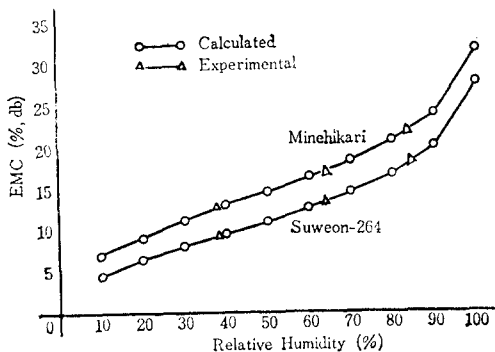


Fig. 3. Equilibrium Moisture Content Curves of Suweon-264 and Minchikari Varieties at 47°C.

計算値를 비교한것으로서 두 曲線이 바로 一致할 뿐만아니라 주어진 상대습도의 범위를 벗어난 區域에서도 平衡含水率을 예측할 수가 있다.

以上의 實驗結果는 充分치 못한 條件에서 平衡含水率을 求하였으나 앞으로 보다 많은 條件을 고려함과 동시에 可能한 限 正確한 實驗條件을 만들어 實驗을 하여야 할 필요성을 느꼈다.

5. 結 論

穀物の 乾燥 및 貯藏問題와 密接한 關係를 가지고 있는 여러가지 벼 品種에 對한 平衡含水率을 求하기 위하여 恒溫恒濕機를 利用하여 10個 品種에 對한 平衡含水率을 測定하고 아울러 몇가지 物理的인 特性을 測定한 結果는 다음과 같다.

가. 10個 벼 品種에 對하여 7가지 物理的 特性을 測定하였는 바 이들 品種間에는 커다란 差異가 發見되었으며 특히 치수의 경우 그 차이는 더욱 크게 나타났다. 또한 벼의 含水率이 증가할수록 모든 치수가 증가하였다.

나. 平衡含水率의 경우 역시 品種間에 커다란 차이가 나타났다. 예를 들면 溫度 47°C, 相對濕度 84%에서 厚生統一과 미네히카리의 平衡含水率이 24.26%인 反面 其他 品種은 18~19% 內外이였으며 이와 같은 傾向은 다른 空氣條件에서도 비슷하게 나타났다.

다. 주어진 資料를 이용하여 Henderson 公式을 이용한 平衡含水率 曲線式의 常數 k 와 n 을 算出하였다. 이 常數에 依하여 計算된 曲線은 實測値와 매우 一致하였다.

參 考 文 獻

1. Han, Pan-Ju, Young-Sang Kim and Yong-Kyu Min(1976) : Studies on the Storage of a New Rice Variety Tongil, Korean J. Food Sci. Tech., Vol. 8, No. 3.
2. Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall(1974) : Drying Cereal Grains, AVI.
3. Chung, D.S. and H.H. Converse(1971) : Effect of Moisture Content on Some Physical Properties of Grains, Trans. of ASAE, Vol. 14, No. 4.
4. Henderson, S.M. (1970) : Equilibrium Moist-

- ure Content of Small Grains Hysteresis, Trans. ASAE 13.
5. Watten, F.T., W.D. Poole, T.L. Chesness and V. Romara(1969) : Physical and Thermal Properties of Rough Rice, Trans. ASAE, Vol. 12, No. 6.
 6. Hall, C.W. (1957) : *Drying Farm Crops*, AVI.
 7. Breese, M.H. (1955) : Hysteresis in the Hygroscopic Equilibrium of Rough Rice at 25°C, *Cereal Chem.* 33.
 8. Houston, D.F. and E.B. Kester(1954) : Hygroscopic Equilibrium of Whole-grain Edible Forms of Rice, *Food Tech.* 8.
 9. Thompson, H.J. and C.K. Shedd(1954) : Equilibrium Moisture and Heat of Vaporization of Shelled Corn and Wheat, *Agricultural Engg.* 35.
 10. Henderson, S.M. (1952) : A Basic Concept of Equilibrium Moisture, *Agricultural Engg.* 33.