

시뮬레이션에 의한 常溫通風乾燥方法의 適正化에 關한 研究

Part II : 最適堆積깊이와 最少乾燥費用

A Study of Natural Air Drying of Rough Rice Leading to Optimization Part II - Optimum Grain Depth and Least Cost System-

鄭 昌 柱* · 高 學 均* · 盧 祥 夏* · 韓 英 祚*
Chung, Chang Joo; Koh, Hak Kyun; Noh, Sang Ha; Han, Yong Jo

Summary

This study was intended to develop a cost function for the natural air in-bin drying system which could lead to an optimization of the drying system cost. Based on the cost function developed, a series of simulated drying tests were conducted with 10-year weather data (1970~1979) for 7 different regions by applying an appropriate levels of system factors. System performance factors treated in this study were initial moisture content, airflow rate, bin diameter and grain depth. An optimization procedure to find the least cost system was developed as follows: First, the worst year of the past decade was determined in consideration of the drying time and maximum dry matter loss. Second, the minimum airflow rate for a fixed bin diameter and grain depth was determined. Third, the optimum grain depth was found for the minimum airflow rate with different initial moisture contents and bin diameters.

The results obtained in this study are summarized as follows:

1. The optimization procedure developed in this study was able to reduce the time and efforts significantly.
2. Optimum values of drying parameters including airflow rate, grain depth, and fan size were determined for different initial moisture contents and bin diameters in each region. The results are shown in Tables 3 to 9.
3. Optimum grain depths decreased as the initial moisture content and airflow rate increased.
4. Drying time for the least cost system should be reduced with higher initial moisture content and lower drying potential to prevent grain spoilage.
5. The fixed cost was 65 to 75 percent of the total system cost and the variable cost was 25 to 35 percent. To reduce the fixed cost it is desirable to use a drying bin 2 or 3 times a year.

* 서울大學校 農科大學

1. 緒 言

穀物の 常溫通風乾燥 現象을 解釋함에 있어서 實際乾燥 實驗에 所要되는 時間과 努力을 節約하기 위한 컴퓨터 시물레이션 方法이 先進各國에서 널리 試圖되고 있다. 이와같은 方法에 의하여 乾燥시스템에 影響을 미치는 여러가지 因子 즉 初期含水率, 送風量, 빈(bin)의 形態, 穀物の 堆積깊이 등이 乾燥에 미치는 影響은 물론 多年間의 氣象條件에 따른 乾燥 現象을 容易하게 解釋할 수 있으나 아직 우리나라에서는 이에 대한 研究가 未洽한 實情이다.

本 研究에서는 穀物 損失의 減少와 生産後技術의 合理化를 기하는 側面에서 特別 重要한 分野인 穀物의 乾燥 및 貯藏用 Grain-bin의 適用可能性을 考慮하여 이의 實用化를 위한 設計 및 利用에 關한 諸般 基本資料를 提供하는데 그 目的이 있었다. 이를 위하여 常溫通風乾燥方法의 利用 費用 算出式을 提示하였으며 本 論文의 上編에서 決定된 各 地域의 最少所要送風량을 基準으로 주어진 初期含水率과 빈의 直徑에 대한 穀物의 最適堆積깊이와 所要動力, 最少費用 등의 諸 因子들에 대한 模擬 實驗을 實施하여 穀物의 乾燥 費用을 最少로 할 수 있는 이들 因子들의 組合를 決定하였다.

本 研究는 國際開發研究財團(IDRC)의 財政의 支援에 의하여 이루어졌으며 이 자리를 빌려 同財團에 深甚한 謝意를 表한다.

2. 文獻概要

常溫通風乾燥 現象을 數理的 모델로 解釋하기 始作한 것은 最近의 일로서 이에 따른 常溫通風乾燥 시스템의 適正化에 關한 研究는 別로 이루어지지 않았다. Morey와 Peart(1969)는 美國 Indiana州의 氣象條件에 대하여 常溫通風乾燥를 위한 穀物의 堆積깊이와 所要動力 사이의 最適組合과 最少乾燥費用을 決定한 바 있다. 이들은 Grain-Bin의 固定費用을 求하기 위해 빈의 形態에 따라 빈의 밑面積에 대한 費用과 높이에 대한 費用으로 나누어 생각하였으며, 밑面積과 옆面積에 대한 年間 固定費用을 各各 \$4.95/m²과 \$1.08/m²이라고 報告하였다. Morey(1969)의 研究에서는 初期含水率이 25% (w.b)로서 한개의 水準밖에 考慮하지 않았으며, 氣象條件은 10월의 平均 乾球溫度와 露點溫度로 固定하였다.

Bloom(1970)은 美國 Illinois州에서의 14年間의 氣象資料를 土臺로 初期含水率은 22, 24, 26, 28% (w.b)의 4水準, 收穫時期는 5水準으로 定하여 옥수수 乾燥의 最適시스템을 決定하였다. 이 研究에서 最終含水率과 所要乾燥時間, 穀物에 質的 損傷이 일어날 確率 등이 初期含水率, 收穫時期, 送風量과 送風空氣의 加熱溫度의 函數로 表示하였으며, 옥수수의 乾燥費用을 最少로 할 수 있는 乾燥 因子들의 組合를 決定하였다.

高(1931)는 Grain-Bin을 利用한 乾燥·貯藏시스템의 經濟性을 分析하기 위하여 乾燥費用의 算出式을 提示한 바 있다. 이 研究에서는 어떤 特定한 Grain-Bin의 利用費用을 推定하고 이 중 固定費用이 81%으로 乾燥費用의 대부분을 차지하고 있으므로 이를 줄이기 위해 Grain-Bin의 年 2회 使用을 勸奨하였다. 또한 Grain-Bin은 貯藏用으로도 使用할 수 있으며 穀物의 質的 損傷을 防止한다는 點을 考慮할 境遇 다른 시스템보다 經濟的이라고 結論지었다.

3. 分析方法

가. 乾燥費用 算出式

穀物의 常溫通風乾燥 시스템을 適正化한다는 것은 全體 乾燥費用을 最少로 한다는 것을 意味한다. 總乾燥費用은 다음과 같이 構成된다.

$$\begin{aligned} \text{總費用} &= \text{固定費用} + \text{變動費用} \\ &= \text{Grain-Bin의 固定費用} + \text{送風機의 固定費用} + \text{電氣料} + \text{賃金} \end{aligned}$$

1) 固定費用

固定費用이라 함은 Grain-Bin과 送風機의 減價償

Table 1. Annual fixed cost rates of bin and fan system

| Source | Equation | Bin | Fan system |
|---------------------------|--------------------|--------|------------|
| Depreciation | $\frac{P-S}{L}$ | 0.060 | 0.090 |
| Interest on investment | $\frac{P+S}{2P} i$ | 0.0495 | 0.0495 |
| Repair cost | 0.5% P | 0.005 | 0.005 |
| Fixed cost rate (decimal) | | 0.1145 | 0.1445 |

where P=purchase value
S=salvage value (10 % P)
i=interest rate (9%)
L=life (15 years for bin and 10 years for fan system)

却費, 投資에 대한 利子 및 修理費를 包含한다. 購入價格에 대한 年間 固定費 比率는 Table 1에 表示되어 있다.

Morey와 Peart(1969)는 Grain-Bin의 利用費用을 밑面積에 대해 \$4.95/m², 頂面積에 대해 \$1.08/m²로 報告하였다. 다시 말하면 같은 부피의 境遇 밑面積이 크고 높이가 낮은 Bin이 밑面積이 적고 높이가 높은 Bin보다 購入價格이 비싸고 이때 밑面積과 頂面積의 利用費用 比率이 4.6:1이 된다. 이 比率를 사용하여 乾燥用 Bin의 購入價格을 表示하면 다음과 같다.

$$P_b = C(4.6A + \pi Dh) \dots\dots\dots 1)$$

이때, P_b: Grain Bin의 購入價格(₩)

- A: Bin의 頂面積(m²)
- D: Bin의 直徑(m)
- h: Bin의 높이(m)
- C: 常數

여기서 Bin의 製作價格에 대하여 C의 값을 最少自 乘法으로 구한 結果 C=12,199.2를 얻었다. 穀物의 單位 무게當 Bin의 年間 利用費用을 求하기 위해 1) 式을 變形하면

$$U_b = 12199.2 f_b(4.6A + \pi Dh)/W \dots\dots\dots 2)$$

여기서 U_b: 單位 穀物當 Bin의 年間 利用費用(₩/ton)

- f_b: Bin의 年間 固定費 比率(小數)
- W: 最終含水率을 基準으로 한 穀物의 總 무게 (ton)

같은 方法으로 送風機와 모우터의 年間 利用費用 式을 求하면 다음과 같다.

$$U_f = f_f(47235.8 + 37845.9H)/W \dots\dots\dots 3)$$

여기서, U_f: 單位 穀物當 送風機의 年間 利用費用(₩/ton)

- f_f: 送風機와 모우터의 年間 固定費 比率(小數)
- H: 送風機의 所要動力(KW)

3) 式에 필요한 送風機의 所要動力은 다음 式에서 求할 수 있다.

$$H = \frac{\Delta P \cdot Q}{60,000 \eta_f} \dots\dots\dots 4)$$

여기서, ΔP: 壓力降下(Pa)

- Q: 總 送風量(cmm)
- η_f: 送風機의 效率(小數)

送風機의 效率는 普通 20~60%의 範圍內에 있으며 本 研究에서는 30%로 假定하였다.

Morey(1969)는 Bin內部에서의 壓力降下는 送風空氣의 流速과 穀物의 堆積깊이의 函數라고 보고 다음과 같은 式을 提示하였다.

$$\Delta P = h \left(\frac{V}{C} \right)^d \dots\dots\dots 5)$$

이때, h=穀物의 堆積깊이(m)

V=空氣의 流速(m/min)

C, d=常數

琴(1979)은 Calderwood(1973)의 資料를 바탕으로 穀物에 대한 常數 C, d의 값을 C=2.253×10⁻², d=1.161로 決定하였다.

2) 變動費用

變動費用에는 送風機의 運轉費用(電機料)과 勞賃이 包含된다. 送風機의 運轉費用은 다음 式으로 表示된다.

$$U_e = \frac{T \cdot H \cdot E}{\eta_m W} \dots\dots\dots 6)$$

이때, U_e: 單位 穀物當 送風機의 運轉費用(₩/ton)

T: 乾燥時間(h)

H: 所要動力(KW)

E: 單位 電力當 電氣料(₩/KWH)

η_m: 모우터의 效率(小數)

W: 最終含水率을 基準으로 한 穀物의 總 무게 (ton)

農業用 電氣에 대한 單位 電氣料는 26₩/KWH이고 모우터의 效率 η_m은 0.7로 假定하였다.

所要 勞動力이란 穀物의 含水率을 檢査하고 送風機를 作動시키는데 所要되는 것으로 하루 두번씩 各 15분 정도 所要된다고 假定하면 다음과 같은 式을 얻을 수 있다.

$$U_i = 0.5t L/W$$

여기서, U_i: 單位 穀物에 대한 勞賃(₩/ton)

t: 乾燥時間(日)

L: 勞賃(₩/man-hr)

時間當 勞賃은 798.53₩으로 假定하였다.

가. 適正化 節次

常溫通風乾燥 시스템의 性能에 影響을 미치는 主要因子는 다음과 같다.

- (1) 初期含水率
- (2) 送風量
- (3) 穀物의 堆積두께
- (4) Bin의 形態
- (5) 收穫時期

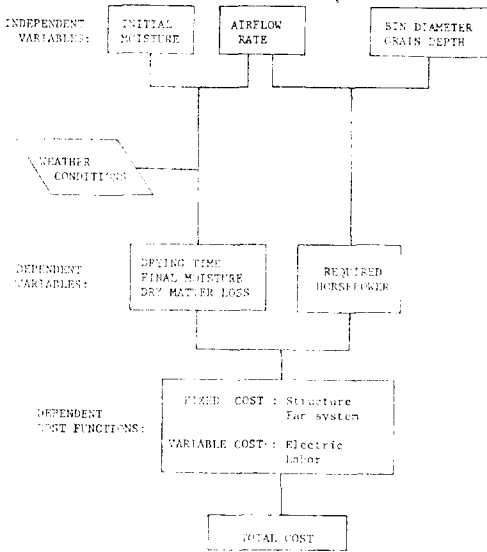


Fig. 1. Schematic diagram of the optimization procedure

(6) 乾燥期間 中の 氣象條件

本 研究서에는 이들 중 벼의 初期含水率, 送風量, 堆積깊이와 빈의 直徑을 獨立變數로 하고 各 地域에 따라 주어진 氣象條件에 대해 이들을 變化시켜

가면서 最少費用을 나타내는 組合을 찾았다. 이러한 變數들 사이의 關係가 Fig 1에 表示되어 있다.

乾燥費用 가운데 變動費用은 所要乾燥時間과 所要動力만의 函數이며 固定費用은 빈의 形態와 送風량의 函數이다. 所要乾燥時間은 最終 期待 含水率과 最大許容乾物重量 損失率을 制限함으로써 決定되며, 初期含水率과 送風量만의 函數로 表示되고, 빈의 直徑과 穀物의 堆積깊이와는 無관하다. 所要動力은 送風량과 빈의 直徑, 穀物의 堆積깊이의 函數이다.

本 研究에서 使用된 氣象條件은 대구, 대전, 수원, 진주, 청주 및 춘천地方의 1970~1979年 사이의 10年間的 10月중 大氣溫度와 相對濕度를 3時間間隔으로 調查하였다. 또한 컴퓨터 使用時間을 줄이기 위해 이들 10年間的 時間別 平均氣象資料를 入力資料로 使用하였다.

初期含水率, 送風量, 빈의 直徑 및 穀物의 堆積깊이 등의 獨立變數中 어느 한 가지가 固定되면 乾燥시스템의 性能과 費用은 나머지 獨立變數에 의하여 決定된다. 여기서 빈의 直徑은 우리나라 農家の 平均 營農規模를 考慮하여 2m와 3m로 各各 固定하였다.

먼저 初期含水率과 빈의 直徑이 固定되었을 때 送

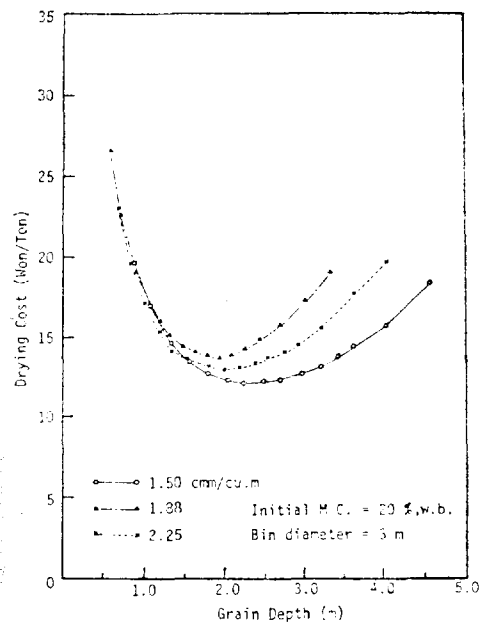
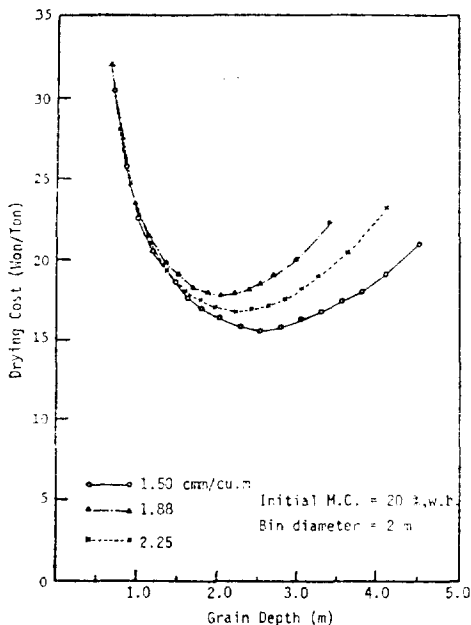


Fig. 2. Effect of airflow rate on total drying cost as grain depth changes under different bin diameters (Cheongju)

風量과 穀物の 堆積깊이가 總乾燥費用에 미치는 影響을 보면 Fig. 2와 같다. 이 結果에 따르면 어떤 시스템의 最少乾燥費用은 送風량이 減少할수록 減少한다. 따라서 주어진 初期含水率과 빈의 直徑에 대한 最適시스템, 즉, 乾燥費用을 最少로 하는 送風量과 堆積깊이의 組合을 決定하기 위해서 먼저 最少所要送風量을 求하고 이 送風量에 대하여 最適堆積깊이를 구하는 方法을 採擇하였다.

4. 結果 및 考察

가. 最適堆積 깊이

앞에서 言及한 바와 같이 總乾燥費用은 送風量과 穀物の 堆積깊이에 따라 變化하며 送風량이 減少할수록 減少한다. 따라서 각 地域의 最少所要送風量의 값에 대한 最適堆積깊이만을 決定하면 이 境遇의 獨立變數의 組合이 全體 시스템의 乾燥費用을 最少로 하게 될 것이다. 이 最適堆積깊이를 求하기 위한 獨立變數의 組合은 Table 2와 같다.

Table 2. Combinations of the independent variables for the test to determine the optimum grain depth and least cost system

| Variable | Number of Level | Level |
|--------------|-----------------|--------------------------|
| Initial M.C. | 3 | 20, 22, 24 percent, w.b. |
| Bin diameter | 2 | 2, 3 m |
| Airflow rate | 1 | minimum airflow rate* |
| Grain depth | 15 | 0.7~5.0 m |

* The minimum airflow rate in each region for different initial moisture contents. (see reference 1)

堆積깊이가 總乾燥費用에 미치는 影響이 Fig. 3에 表示되어 있다. 이 境遇 初期含水率은 20, 22, 24 % (w.b.)이고 빈의 直徑은 2m와 3m로 固定되었다. 이 그림은 대구地方에 대한 것이지만 다른 地域에 대해서도 비슷한 曲線을 얻었으며 이 曲線의 最少點이 乾燥費用을 最少로 하는 最適堆積깊이를 나타내게 된다. 이러한 結果에서 推定된 各 地域의 最

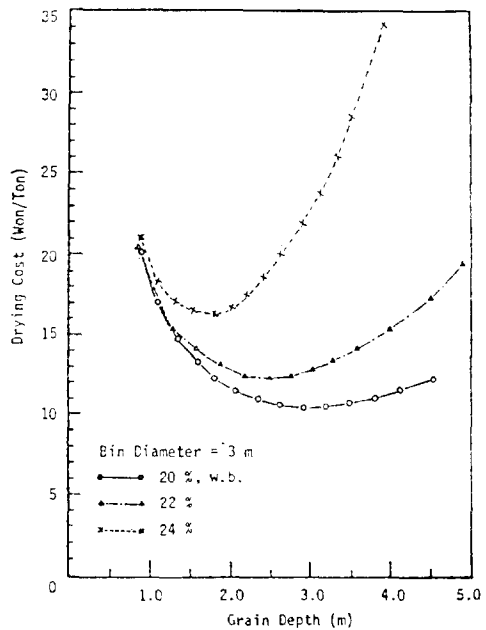
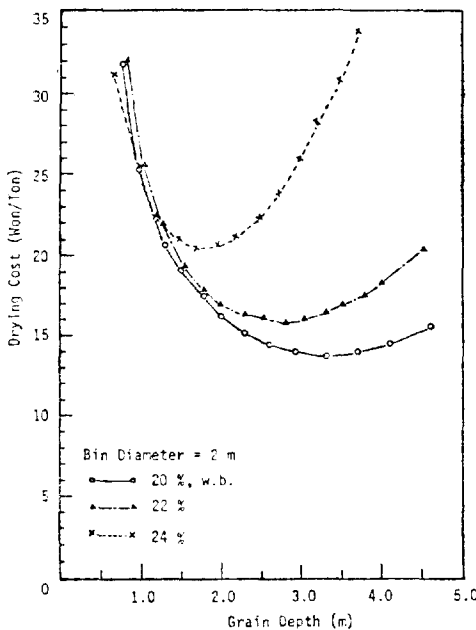


Fig. 3. Effect of the grain depth on the total drying cost under different initial moisture contents and bin diameters (Daegu)

適堆積깊이와 最少乾燥費用 등이 Table 3~Table 9에 表示되어 있다. 이 表는 初期含水率이 20, 22, 24

% (w.b.)이고 빈의 直徑이 各各 2m와 3m인 境遇에 대한 分析結果를 나타낸다.

Table 3. Least cost systems for natural air drying of rough rice on the various bin diameters and initial moisture contents (Cheongju)

| Bin diameter (m) | 2 | | | 3 | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 20 | 22 | 24 | 20 | 22 | 24 |
| Initial M.C. (% , w.b.) | | | | | | |
| Airflow rate (cmm/cu.m) | 1.50 | 2.25 | 3.86 | 1.50 | 2.25 | 3.86 |
| Grain depth (m) | 2.55 | 2.00 | 1.48 | 2.26 | 1.78 | 1.31 |
| Weight of grain (Ton) | 5.00 | 4.00 | 3.00 | 10.00 | 8.00 | 6.00 |
| Fan size (KW) | 0.66 | 0.74 | 0.91 | 1.02 | 1.15 | 1.41 |
| Drying time (days) | 23 | 21 | 18 | 23 | 21 | 18 |
| Operating hour (hrs) | 528 | 495 | 411 | 528 | 495 | 411 |
| Final conditions: | | | | | | |
| Moisture content (% , w.b.) | 14.60 | 14.53 | 14.58 | 14.60 | 14.53 | 14.58 |
| Dry matter loss (%) | 0.28 | 0.35 | 0.37 | 0.28 | 0.35 | 0.37 |
| Weight of dried grain (Ton) | 4.68 | 3.65 | 2.67 | 9.37 | 7.30 | 5.34 |
| Fixed costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Structure | 9,079 | 10,345 | 12,419 | 8,028 | 9,431 | 11,746 |
| Fan system | <u>2,224</u> | <u>2,977</u> | <u>4,415</u> | <u>1,323</u> | <u>1,793</u> | <u>2,719</u> |
| Total | 11,303 | 13,322 | 16,835 | 9,351 | 11,224 | 14,465 |
| Variable costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Direct labor | 1,961 | 2,297 | 2,692 | 980 | 1,149 | 1,346 |
| Electric | <u>2,750</u> | <u>3,722</u> | <u>5,187</u> | <u>2,132</u> | <u>2,886</u> | <u>4,022</u> |
| Total | 4,711 | 6,019 | 7,880 | 3,113 | 4,034 | 5,368 |
| Total cost (Won/Ton): | 16,014 | 19,341 | 24,714 | 12,464 | 15,259 | 19,832 |

Table 4. Least cost systems for natural air drying of rough rice on the various bin diameter and initial moisture contents (Chuncheon)

| Bin diameter (m) | 2 | | | 3 | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 20 | 22 | 24 | 20 | 22 | 24 |
| Initial M.C. (% , w.b.) | | | | | | |
| Airflow rate (cmm/cu.m) | 2.00 | 2.77 | 4.91 | 2.00 | 2.77 | 4.91 |
| Grain depth (m) | 2.04 | 1.75 | 1.23 | 2.04 | 1.56 | 1.09 |
| Weight of grain (Ton) | 4.00 | 3.50 | 2.50 | 9.00 | 7.00 | 5.00 |
| Fan size (KW) | 0.60 | 0.76 | 0.86 | 1.36 | 1.18 | 1.33 |
| Drying time (days) | 21 | 21 | 18 | 21 | 21 | 18 |
| Operating hour (hrs) | 498 | 498 | 426 | 498 | 498 | 426 |
| Final conditions: | | | | | | |
| Moisture content (% , w.b.) | 14.83 | 14.73 | 14.95 | 14.83 | 14.73 | 14.95 |
| Dry matter loss (%) | 0.25 | 0.32 | 0.33 | 0.25 | 0.32 | 0.33 |
| Weight of dried grain (Ton) | 3.76 | 3.20 | 2.23 | 8.45 | 6.40 | 4.47 |
| Fixeb costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Structure | 10,129 | 11,108 | 13,872 | 8,544 | 10,295 | 13,389 |
| Fan system | <u>2,696</u> | <u>3,429</u> | <u>5,154</u> | <u>1,687</u> | <u>2,072</u> | <u>3,155</u> |
| Total | 12,825 | 14,538 | 19,025 | 10,231 | 12,367 | 16,543 |
| Variable costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Direct labor | 2,232 | 2,619 | 3,217 | 992 | 1,309 | 1,608 |
| Electric | <u>2,974</u> | <u>4,388</u> | <u>6,072</u> | <u>2,974</u> | <u>3,402</u> | <u>4,707</u> |
| Total | 5,206 | 7,007 | 9,289 | 3,966 | 4,711 | 6,316 |
| Total cost (Won/Ton): | 18,031 | 21,544 | 28,314 | 14,197 | 17,078 | 22,859 |

Table 5. Least cost systems for natural air drying of rough rice on the various bin diameters and initial moisture contents (Daegu)

| Bin diameter (m) | 2 | | | 3 | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 20 | 22 | 24 | 20 | 22 | 24 |
| Initial M.C. (% , w.b.) | | | | | | |
| Airflow rate (cmm/cu.m) | 1.00 | 1.38 | 2.70 | 1.00 | 1.38 | 2.70 |
| Grain depth (m) | 3.31 | 2.75 | 1.72 | 2.94 | 2.45 | 1.75 |
| Weight of grain (Ton) | 6.50 | 5.50 | 3.50 | 13.00 | 11.00 | 8.00 |
| Fan size (KW) | 0.63 | 0.70 | 0.68 | 0.97 | 1.09 | 1.61 |
| Drying time (days) | 27 | 25 | 18 | 27 | 25 | 18 |
| Operating hour (hrs) | 612 | 573 | 405 | 612 | 573 | 405 |
| Final conditions: | | | | | | |
| Moisture content (% , w.b.) | 13.25 | 13.14 | 13.10 | 13.25 | 13.14 | 13.10 |
| Dry matter loss (%) | 0.36 | 0.46 | 0.41 | 0.36 | 0.46 | 0.41 |
| Weight of dried grain (Ton) | 5.99 | 4.94 | 3.06 | 11.99 | 9.88 | 7.00 |
| Fixed costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Structure | 8,213 | 8,980 | 11,536 | 7,019 | 7,860 | 9,786 |
| Fan system | 1,711 | 2,161 | 3,448 | 1,013 | 1,295 | 2,236 |
| Total | 9,924 | 11,140 | 14,985 | 8,032 | 9,154 | 12,022 |
| Variable costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Direct labor | 1,799 | 2,021 | 2,348 | 899 | 1,010 | 1,027 |
| Electric | 2,377 | 3,030 | 3,352 | 1,843 | 2,349 | 3,468 |
| Total | 4,176 | 5,051 | 5,700 | 2,742 | 3,360 | 4,495 |
| Total cost (Won/Ton): | 14,099 | 16,191 | 20,684 | 10,774 | 12,514 | 16,517 |

Table 6. Least cost systemr for natural air drying of rough rice on the various bin diameter and initial moisture contents (Dajeon)

| Bin diameter (m) | 2 | | | 3 | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 20 | 22 | 24 | 20 | 22 | 24 |
| Initial M.C. (% , w.b.) | | | | | | |
| Airflow rate (cmm/cu.m) | 1.93 | 2.40 | 3.46 | 1.93 | 2.40 | 3.46 |
| Grain deth (m) | 2.29 | 2.00 | 1.48 | 2.04 | 1.78 | 1.31 |
| Weight of grain (Ton) | 4.50 | 4.00 | 3.00 | 9.00 | 8.00 | 6.00 |
| Fan size (KW) | 0.81 | 0.85 | 0.72 | 1.26 | 1.32 | 1.11 |
| Drying time (days) | 25 | 25 | 22 | 25 | 25 | 22 |
| Operating hour (hrs) | 498 | 513 | 477 | 498 | 513 | 477 |
| Final conditions: | | | | | | |
| Moisture content (% , w.b.) | 13.74 | 13.79 | 13.67 | 13.74 | 13.79 | 13.67 |
| Dry matter loss (%) | 0.28 | 0.37 | 0.43 | 0.28 | 0.37 | 0.43 |
| Weight of dried grain (Ton) | 4.17 | 3.62 | 2.64 | 8.35 | 7.24 | 5.28 |
| Fixed costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Structure | 9,654 | 10,433 | 12,552 | 8,653 | 9,512 | 11,871 |
| Fan system | 2,699 | 3,170 | 4,067 | 1,642 | 1,938 | 2,442 |
| Total | 12,353 | 13,603 | 16,619 | 10,295 | 11,450 | 14,313 |
| Variable costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Direct labor | 2,392 | 2,758 | 3,326 | 1,196 | 1,379 | 1,663 |
| Electric | 3,598 | 4,473 | 4,803 | 2,789 | 3,468 | 3,724 |
| Total | 5,989 | 7,231 | 8,129 | 3,985 | 4,847 | 5,387 |
| Total cost (Won/Ton): | 18,343 | 20,834 | 24,748 | 14,280 | 16,297 | 19,700 |

Table 7. Least cost systems for natural air drying of rough rice on the various bin diameters and initial moisture contents (Jeonju)

| Bin diameter (m) | 2 | | | 3 | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 20 | 22 | 24 | 20 | 22 | 24 |
| Initial M.C. (% , w.b.) | | | | | | |
| Airflow rate (cmm/cu.m) | 1.50 | 2.45 | 4.00 | 1.50 | 2.45 | 4.00 |
| Grain depth (m) | 2.55 | 2.00 | 1.48 | 2.26 | 1.78 | 1.31 |
| Weight of grain (Ton) | 5.00 | 4.00 | 3.00 | 10.00 | 8.00 | 6.00 |
| Fan size (KW) | 0.66 | 0.89 | 0.98 | 1.02 | 1.38 | 1.52 |
| Drying time (days) | 26 | 21 | 18 | 26 | 21 | 18 |
| Operating hour (hrs) | 525 | 438 | 372 | 525 | 438 | 372 |
| Final conditions: | | | | | | |
| Moisture content (% , w.b.) | 13.63 | 13.30 | 13.40 | 13.63 | 13.30 | 13.40 |
| Dry matter loss (%) | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.33 | 0.35 | 0.38 |
| Weight of dried grain (Ton) | 4.63 | 3.60 | 2.63 | 9.26 | 7.20 | 5.27 |
| Fixed costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Structure | 9,183 | 10,493 | 12,592 | 8,119 | 9,566 | 11,909 |
| Fan system | 2,250 | 3,247 | 4,627 | 1,338 | 1,995 | 2,874 |
| Total | 11,432 | 13,740 | 17,219 | 9,458 | 11,561 | 14,782 |
| Variable costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Direct labor | 2,242 | 2,330 | 2,730 | 1,121 | 1,165 | 1,365 |
| Electric | 2,766 | 4,016 | 5,141 | 2,144 | 3,113 | 3,986 |
| Total | 5,007 | 6,346 | 7,871 | 3,265 | 4,278 | 5,351 |
| Total cost (Won/Ton): | 16,439 | 20,085 | 25,090 | 12,723 | 15,840 | 20,133 |

Table 8. Least cost systems for natural air drying of rough rice on the various bin diameters and initial moisture contents (Jinju)

| Bin diameter (m) | 2 | | | 3 | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 20 | 22 | 24 | 20 | 22 | 24 |
| Initial M.C. (% , w.b.) | | | | | | |
| Airflow rate (cmm/cu.m) | 0.90 | 1.50 | 2.70 | 0.90 | 1.50 | 2.70 |
| Grain depth (m) | 3.56 | 2.50 | 1.72 | 3.17 | 2.22 | 1.75 |
| Weight of grain (Ton) | 7.00 | 5.00 | 3.50 | 14.00 | 10.00 | 8.00 |
| Fan size (KW) | 0.63 | 0.63 | 0.68 | 0.98 | 0.97 | 1.61 |
| Drying time (days) | 31 | 26 | 19 | 31 | 26 | 19 |
| Operating hour (hrs) | 693 | 552 | 420 | 693 | 552 | 420 |
| Final conditions: | | | | | | |
| Moisture content (% , w.b.) | 13.54 | 13.04 | 13.18 | 13.54 | 13.04 | 13.18 |
| Dry matter loss (%) | 0.42 | 0.47 | 0.46 | 0.42 | 0.47 | 0.46 |
| Weight of dried grain (Ton) | 6.48 | 4.48 | 3.06 | 12.95 | 8.97 | 7.00 |
| Fixed costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Structure | 7,945 | 9,399 | 11,526 | 6,725 | 8,329 | 9,777 |
| Fan system | 1,586 | 2,282 | 3,445 | 940 | 1,350 | 2,234 |
| Total | 9,531 | 11,681 | 14,971 | 7,665 | 9,679 | 12,012 |
| Variable costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Direct labor | 1,972 | 2,315 | 2,476 | 986 | 1,157 | 1,083 |
| Electric | 2,507 | 2,848 | 3,473 | 1,944 | 2,208 | 3,593 |
| Total | 4,480 | 5,163 | 5,949 | 2,930 | 3,365 | 4,676 |
| Total cost (Won/Ton): | 14,011 | 16,843 | 20,920 | 10,595 | 13,044 | 16,688 |

Table 9. Least cost systems for natural air drying of rough rice on the various bin diameters and initial moisture contents (Suweon)

| Bin diameter (m) | 2 | | | 3 | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 20 | 22 | 24 | 20 | 22 | 24 |
| Initial M.C. (% , w.b.) | | | | | | |
| Airflow rate (cmm/cu.m) | 2.40 | 3.00 | 3.60 | 2.40 | 3.00 | 3.60 |
| Grain depth (m) | 2.04 | 1.75 | 1.48 | 1.81 | 1.56 | 1.31 |
| Weight of grain (Ton) | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 8.00 | 7.00 | 6.00 |
| Fan size (KW) | 0.90 | 0.90 | 0.78 | 1.39 | 1.40 | 1.21 |
| Drying time (days) | 21 | 22 | 23 | 21 | 22 | 23 |
| Operating hour (hrs) | 423 | 444 | 477 | 423 | 444 | 477 |
| Final conditions: | | | | | | |
| Moisture content (% , w.b.) | 13.56 | 13.57 | 13.67 | 13.56 | 13.57 | 13.67 |
| Dry matter loss (%) | 0.24 | 0.33 | 0.44 | 0.24 | 0.33 | 0.44 |
| Weight of dried grain (Ton) | 3.70 | 3.16 | 2.64 | 7.40 | 6.32 | 5.28 |
| Fixed costs (Won/Ton) | | | | | | |
| Structure | 10,280 | 11,259 | 12,552 | 9,352 | 10,435 | 11,871 |
| Fan system | 3,167 | 3,723 | 4,200 | 1,948 | 2,292 | 2,545 |
| Total | 13,447 | 14,982 | 16,752 | 11,300 | 12,727 | 14,416 |
| Variable costs (Won/Ton): | | | | | | |
| Direct labor | 2,265 | 2,781 | 3,477 | 1,132 | 1,390 | 1,739 |
| Electric | 3,802 | 4,711 | 5,233 | 2,948 | 3,652 | 4,057 |
| Total | 6,067 | 7,492 | 8,710 | 4,080 | 5,043 | 5,796 |
| Total cost (Won/Ton): | 19,514 | 22,474 | 25,462 | 15,380 | 17,769 | 20,212 |

最適堆積깊이는 대구 地方의 境遇 1.72~3.31m, 대전 지방 1.31~2.29m, 수원 지방 1.31~2.04m, 전주 지방 1.31~2.25m, 진주 지방 1.72~3.56m, 청주 지방 1.31~2.55m, 춘천 지방 1.09~2.04m 範圍의 값을 보이고 있다.最適堆積깊이는 初期含水率에 따라 큰 差異를 보이고 있으며 빈의 直徑에 대해서도 若干의 影響을 받는다. 여기서 初期含水率이 增加할수록 最適堆積깊이가 減少하는 理由는 初期含水率의 增加에 따라 最少 所要送風量이 增加하기 때문이다.

나. 最適送風量

最適所要送風量은 各 地域의 氣象條件에 따라 0.9 cmm/m³~4.91cmm/m³의 값을 보이고 있다. 總乾燥費用에 가장 큰 影響을 미치는 因子는 穀物の 堆積깊이와 所要送風量으로써 初期含水率이 增加할수록 所要送風量은 增加하고, 最適堆積깊이는 減少하며, 結果的으로 總乾燥費用은 增加한다.

다. 最適所要馬力

最適所要馬力は 0.6~1.61KW範圍의 값을 보이고

있으나 빈의 直徑이 3m 以上일 境遇 穀物の 量이 增加함으로 所要馬力은 1.61KW 以上이 될 것으로 推定된다. 普通の 農家에서 使用할 수 있는 單相電動機의 最大馬力이 2.2kW인 것을 考慮하면 商業用의 大形 In-bin乾燥 시스템을 除外하면 直徑이 2m~3m 程度의 빈이 適當할 것으로 思料된다.

라. 適正 乾燥所要時間

適正 適正乾燥所要時間은 初期含水率과 地域別氣象條件에 따라 18日~31日이 所要되는 것으로 나타났다. Table 3~9에 나타난 結果에 따르면 乾燥所要時間은 初期含水率이 높을수록 짧아지는데 그 이유는 初期含水率이 增加하면 穀物の 質的損傷을 防止하기 위한 許容 乾燥時間이 짧아지므로 대신 送風량을 增加시켰기 때문에 나타난 結果로 생각된다. 이와 비슷한 理由로 말미암아 氣象條件이 나쁜 지역에 대한 許容 乾燥時間도 다른 地域보다 짧아지게 된다. 一般的으로 適正 乾燥時間은 初期含水率이 낮고 氣象條件이 좋을수록 길어지게 된다. 許用할 수 있는 만큼 乾燥時間을 늘인다는 것은 送風량을 줄일 수 있다는 것을 意味하므로 이때에 最少

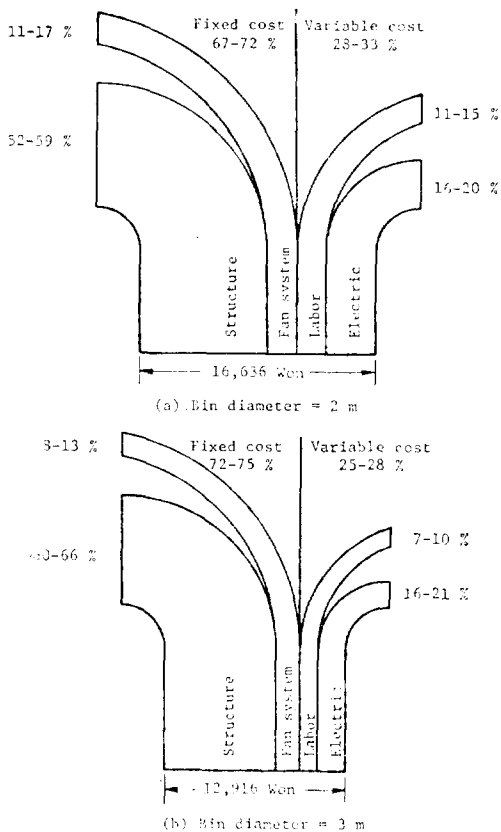


Fig. 4. Schematic diagram showing the cost structure of the total drying cost with different bin diameters, when the initial moisture content was 20 percent, w.b.

費用으로 乾燥를 行할 수 있는 것이다.

平均最終含水率은 청주와 춘천의 境遇 약 14.7% (w.b), 다른 地域의 境遇는 13.4% (w.b) 程度이고 最大 乾物重量損失率은 각각 다른 條件에 對해 0.24~0.47%의 값을 보이고 있으며 이 값은 穀物의 品質이나 等級에 하등의 影響을 미치지 않는 것으로 斷定할 수 있다.

마. 總乾燥費用 構成比

總乾燥費用은 初期含水率이 높을수록 增加하며 빈의 直徑이 增加할수록 減少한다. 그러나 本 研究에서 나타난 結果에 따르면 畝의 1回 乾燥量이 5 ton을 넘지 않는다면 빈의 直徑이 3m인 것보다는 2m인 것이 보다 有利한 것으로 나타났다.

總乾燥費用을 構成하는 諸般 費用要素들의 構成

比率이 Fig. 4~Fig. 6에 初期含水率과 빈의 直徑別로 表示되어 있다. 이 結果에 따르면 變動費用이 全體의 25~35%를 차지하는 반면, 固定費用이 65~75%를 차지하고 있다. 더구나 穀物 乾燥用 빈을 購入하는데 所要되는 費用이 總費用의 49~66%를 차지하고 있음을 알 수 있으며, 따라서 빈의 年間 利用時間을 늘인다면 이 固定費用을 좀 더 줄일 수 있을 것으로 判斷된다. 따라서 빈의 年間 利用時間을 2배로 增加시킬 境遇 固定費用의 減少로 인하여 總乾燥費用을 30~35% 程度 줄일 수 있을 것으로 判斷된다.

實際로 早生種인 統一系 品種의 收穫時期는 一般 畝 品種의 收穫時期보다 10~15日程度 빠르므로 統一系 品種을 먼저 乾燥시켜 收買하거나 販賣하고 그 後에 收穫된 一般畝를 다시 乾燥貯藏할 境遇 빈의 年間 2回 使用이 可能해질 것이다. 이밖에 固定

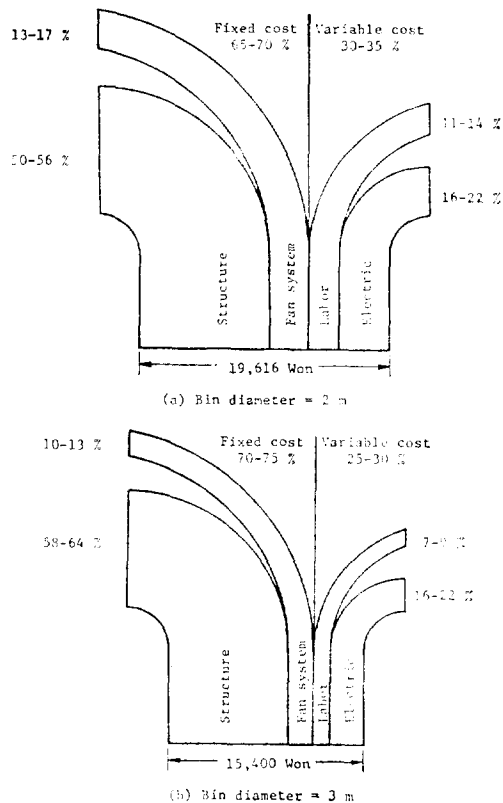


Fig. 5. Schematic diagram showing the cost structure of the total drying cost with different bin diameters when the initial moisture content was 22 percent, w.b.

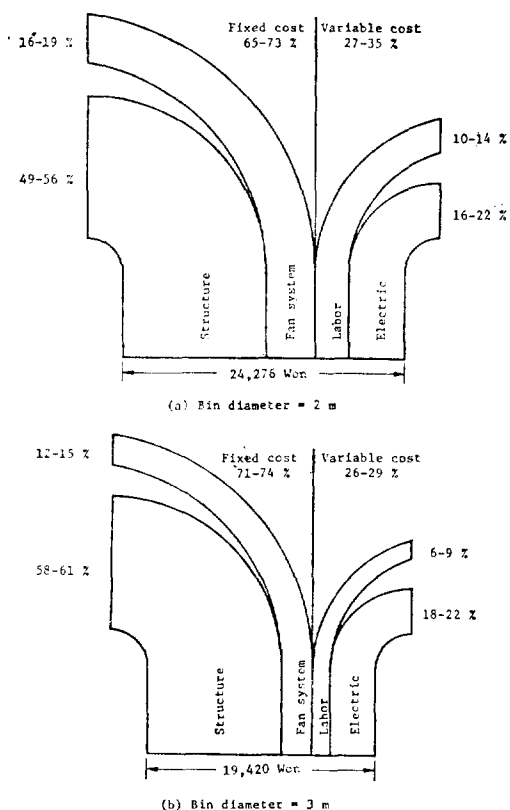


Fig. 6. Schematic diagram showing the cost structure of the total drying cost with different bin diameters when the initial moisture content was 24 percent, w.b.

비용을 줄일 수 있는 다른 한가지 방법은 대량 생산에 의해 빈의 제조원가를 낮추는 방법이 고려될 수 있다.

5. 結 論

常溫通風乾燥 시스템에 影響을 미치는 因子들 즉 初期含水率, 送風量, 빈의 直徑, 穀物의 堆積두께 등의 最適 組合과 最少乾燥費用을 求하기 위한 乾燥費用 算出式을 提示하고 대구, 대전, 수원, 전주, 진주, 청주 및 춘천의 7個 地域의 10年間(1970~

1979) 氣象資料를 土臺로 模擬實驗을 實施한 結果는 다음과 같다.

1) 本 研究에 使用된 適正化 節次는 서로 獨立的인 몇개의 變數를 하나씩 固定시켜 나가는 方法으로써 變數들의 모든 組合을 考慮하는 從來의 方法보다 時間과 努力을 輕減할 수 있었다.

2) 送風量, 穀物의 堆積깊이, 所要動力 등의 乾燥 因子들에 대해 總乾燥費用을 最少로 하는 最適 組合을 初期含水率과 빈의 直徑別로 決定하였다. 各地域에 따른 因子들의 最適組合은 Table 3~Table 9에 表示되어 있다.

3) 穀物의 最適堆積깊이는 初期含水率과 送風量이 增加할수록 增加하였다.

4) 總乾燥費用을 最少로 하는 適正乾燥所要時間은 初期含水率이 높을수록 氣象條件이 나쁠수록 減少하였다.

5) 固定費用이 總乾燥費用에서 차지하는 比率은 65~75%로서 이를 줄이기 위해서는 빈을 年間 2회 내지 3회 使用함으로써 年間利用時間을 增加시키는 것이 바람직하다.

參 考 文 獻

1. Han, Y.J., H.K. Koh, and C.J. Chung 1981. A study on Natural Air Drying of Rough Rice leading to Optimization-Part I: Minimum airflow requirement and required drying time.
2. Koh, H.K. and K.H. Ryu 1981. Development of a Grain Drying and Storage System, Ministry of Education.
3. Chung, C.J. H.K. Koh, and K.H. Ryu. 1980. Post-production Rice Systems in Korea. Final Report of Phase II Research supported by IDRC, Ottawa, Canada.
4. Bloom, P.D. and G.C. Shove 1972. Simulation of low temperature drying of shelled corn leading to optimization. ASAE Trans. 15 (2): 310-316
5. Morey, R.V. and R.M. Peart. 1969. Optimization of a natural air corn drying systems, ASAE Paper No. 69-834.