

시뮬레이션에 의한 常溫通風乾燥方法의 適正化에 관한 研究

Part I: 最少所要送風量과 所要乾燥時間의 決定

A study of natural air drying of rough rice leading to optimization.

Part I: Minimum airflow requirement and required drying time

韓 英 祚, 高 學 均, 鄭 昌 柱
Han, Young Jo; Koh, Hak Kyun; Chung, Chang Joo

Abstract

A simulation model of natural air drying to predict the changes of the grain moisture content and dry matter loss of rough rice was developed by the application of mass diffusion theory. A series of simulated drying tests was conducted using the 10 year weather data (1970—1979) obtained from Cheongju, Chuncheon, Daegu, Daejeon, Jeonju, Jinju and Suweon in Korea. System performance factors treated in this study were initial moisture content, airflow rate, bin diameter and grain depth.

The results obtained in this study are summarized as follows:

- 1) The simulation model used in this study was validated with actual experimental results and was applicable to the natural air drying of rough rice.
- 2) Minimum airflow rates for safe drying were determined for different initial moisture contents and regional weather conditions as shown in Table 6.
- 3) Equations for estimating drying time and dry matter loss in terms of airflow rate and initial moisture content were derived in the form of an exponential function.
- 4) These results show that the natural air drying system of rough rice is feasible in Korea even for the poorest drying condition.

1. 緒 言

우리 나라의 慣行 乾燥方式은 크게 나누어 두 階段로 區分할 수 있다. 첫번째 段階는 脫穀前의 太陽熱에 의한 自然圃場乾燥이고 두번째는 脫穀後의 露天乾燥方式으로 이들 乾燥方式은 상당한 勞動力이 要求되며 氣象 條件의 制約을 많이 받게 된다.

이에 附加해서 降雨나 쥐의 被害로 인한 質的, 量的 損失 또한 크게 問題視되고 있는 實情이다. 특히 脫粒性이 강한 統一系 品種의 경우 圃場損失을 줄이기 위한 새로운 收穫方式의 開發이 바람직하며 이를 위해 先進國에서는바인더나 콤바인을 利用한 早期收穫과 生脫穀方式으로 이를 克服하고 있다. 이 경우 短期間 內에 많은 量의 穀物을 貯藏可 能한 水準까지 乾燥시키는 方法이 必要하게 되며,

慣行的 천일 건조나 명석乾燥方式으로는 이를 解決할 수 없는 것이다.

高含水率의 穀物을 乾燥하는 데는 高溫高速 乾燥方式과 低溫 또는 常溫通風乾燥方式이 있으나 現在까지 우리나라에 紹介된 平面式이나 循環式 乾燥機는 모두 高溫高速 乾燥方式에 속하며 날로 上昇되는 燃料費와 穀物의 熱損傷이 問題視되고 있다. 더구나 通常의 乾燥期間인 10月 中의 좋은 氣象條件을 감안한다면 常溫通風 乾燥方式을 採擇하는 것이 有利할 것으로 展望된다. 이러한 常溫通風乾燥方式의 適用可能性을 詳明하기 위해서는 多年間의 氣象資料에 根據를 두어야 하나 實驗的인 方法으로는 莫大한 經費 및 努力이 들게 되므로 컴퓨터를 利用한 시뮬레이션 方法의 摸索이 試圖되고 있다.

本 研究의 目的은 穀物의 常溫通風乾燥過程을 解析하기 위한 시뮬레이션 모델을 통하여 全國 一圓의 氣象條件에 대한 常溫通風 乾燥方式의 適用可能性 및 乾燥시스템의 適正所要條件을 決定하는 데 있었다. 이를 위하여 大邱, 大田, 水原, 全州, 晉州, 淸州와 春川의 7個 地域에서의 지난 10年間(1970~1979)의 氣象資料를 利用하여 各 地域과 初期含水率에 따른 最少所要送風量을 規定하고 所要乾燥時間과 乾物重量損失率을 初期含水率과 送風量의 函數로 示하였다.

이 研究를 위하여 많은 도움을 주신 켄사스 주립 대학교의 張東日, 丁道燮 兩 博士님, 그리고 研究費를 支援해 준 캐나다의 國際開發研究財團(IDRC)에 이 자리를 빌어 感謝를 드린다.

2. 文獻概要

벼의 常溫通風乾燥 시스템의 所要條件은 初期含水率, 빈의 形態, 穀物의 堆積깊이 등의 影響과 氣象條件에 많은 影響을 받게된다.

McNeal(1957)은 1945年 부터 1955年에 걸쳐 Ar_kansas 地方에서 常溫通風乾燥實驗을 實施한 結果 初期含水率은 20%(w.b.) 以內여야 하며 送風量은 最少 1.6cmm/m³ 以上이어야 한다고 結論 지었다.

Sorensen와 Crane(1960)은 Texas地方에서 벼의 常溫通風乾燥實驗을 實施하여 初期含水率이 18, 20, 22%(w.b.)일 때의 最少送風量을 각각 1.6, 2.4, 3.2cmm/m³, 最大堆積깊이를 2.4, 2.4, 1.8m로 하여야 하며, 乾燥 開시 15日以內에 含水率을 16% 以下로 떨어뜨려야 品質損傷이 無다고 報告하였다.

琴(1979)은 벼의 常溫通風乾燥現象을 解析하기

위한 시뮬레이션모델을 개발하고, 춘천지방의 10年間의 氣象條件을 바탕으로 벼의 初期含水率이 18, 20, 22, 24%(w.b.)일 때 最少送風量을 각각 1.2, 1.8, 2.6, 4.0 cmm/m³으로 推薦하였다.

常溫通風乾燥 現象을 解析하기 위해서는 氣象資料가 많을수록 좋지만 Zachariah와 Lipper(1966)의 研究에 따르면 10年 동안의 平均 氣象資料와 10年 中 가장 氣象條件이 나빴던 때를 基準으로하면 어떤 限定된 期間의 乾燥 現象을 豫測하기에 充分하다고 報造한 바 있다.

金(1980)등은 대구지방의 10年間의 氣象 資料를 통해 乾燥 可能日數와 最少所要送風量을 規定한 바 있다. 이때 使用된 氣象資料는 3時間 間隔으로 調査된 대기온도와 濕球溫度, 相對濕度이었으며 대구지방의 10月 中 氣象條件은 常溫通風乾燥에 適合하다고 報告하였다.

3. 常溫通風乾燥 現象의 시뮬레이션

常溫通風乾燥現象을 解析하기 위한 시뮬레이션 모델은 物質擴散方程式 및 熱과 物質平衡方程式들을 使用하여 FORTRAN language 로 프로그램하였다(韓1981). 이 프로그램의 유통도는 Fig. 1과 같다.

이 시뮬레이션 모델을 常溫通風乾燥시스템에 適用시키기전에 앞서 시뮬레이션 모델의 妥當性 檢證을 實施하였다.

어떤 數理的 모델의 妥當性을 檢證하는 데는 여러 가지 方法이 있을 수 있지만 本研究에서는 實際 實驗値와 simulation 結果에 의한 豫測值를 比較하는 方法을 擇하였다.

乾燥實驗은 1979年 10月 1日에 始作하여 1979年 10月 16日에 終了되었으며 이때의 乾燥條件은 Table 1과 같다.

乾燥實驗에 使用된 穀物用 빈은 1.6mm두께의 鐵板을 使用하여 밑面積 2.0m²(φ 1.6m), 높이1.8m의 圓筒形으로 制作되었다. 바닥에서 30cm의 높이에 구멍面積의 25%의 有孔鐵板을 깔았으며 이것은 送風空氣의 抵抗에 影響을 미치지 않는 것으로 報告되어 있다. 穀物의 含水率은 有孔鐵板으로부터 0.1, 0.4, 0.7m 되는 곳에서 매일 午前 9時에 穀物을 採取하여 공기오븐法으로 測定하였다.

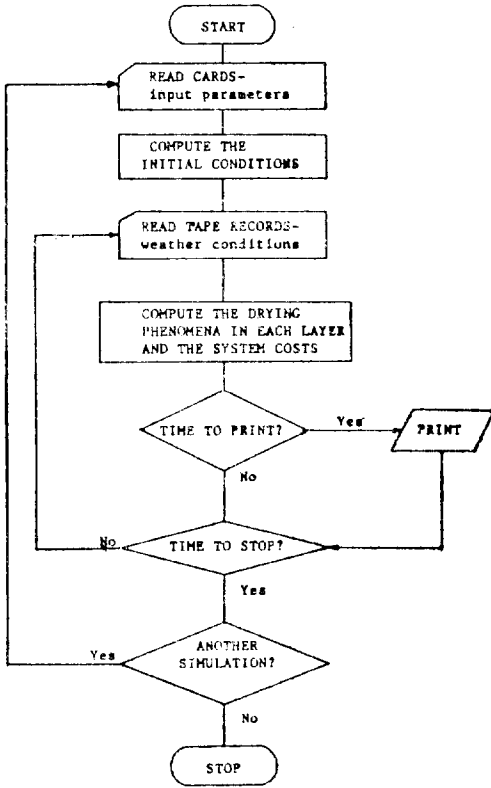


Fig. 1. Schematic flow chart of the simulation program

Table 1. Drying conditions used for the validation test.

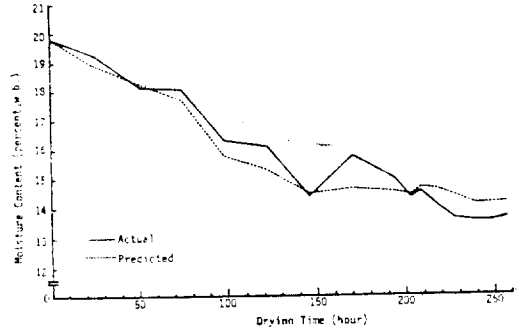
Initial moisture content	19.8 percent, w.b.
Initial grain temperature	18°C
Unit airflow rate	3.86cm ³ /cu.m
Total weight of grain	100kg
Initial bulk density	589kg/m ³
Bin diameter	1.6m
Stored grain depth	0.84m

送風方法은 最上層의 含水率이 16%(w.b)로 떨어질 때까지 連續送風方法을 採擇하였으며 그以後는 비오는 날을 除外하고 午前 9時에서 午後 6時까지만 送風하는 間斷送風方法(Intermittent aeration)을 採擇하였다.

乾燥實驗과 시물레이션을 통해 얻은 實驗値와 豫測値와의 比較結果는 Fig. 2 와 Fig. 3과 같다. Fig.

2는 乾燥時間別 平均 含水率을 比較한 것이며, Fig. 3은 各層別 含水率과 偏差를 圖示한 것이다.

이 實驗에서 얻어진 結果에 따르면 시물레이션에 의하여 豫測된 穀物의 含水率 變化는 實際 實驗結果와 잘 一致하였으며 統計分析結果도 5% 有意水準에서 差異가 없음을 보여주고 있다.



1. Initial Moisture Content : 19.8%, w.b.
2. Airflow Rate : 3.86cm³/cu.m
3. Stored Grain Depth : 0.84m
4. Bin Diameter : 1.6m
5. Drying Period : Oct. 1-16, 1979
6. Location : Suweon, Korea

Fig. 2. Comparison of the actual and predicted average moisture content

4. 最少 所要 送風量의 決定

常溫通風乾燥 現象에 關係되는 여러 因子들사이의 關係를 調査하기 위하여 모두 7개 地域의 氣象資料를 使用하였으며 이중에서 大邱, 大田, 全州, 淸州, 春川의 5個 測候所에서는 1970년부터 1979년까지 10年間の, 그리고 晉州와 水原地方에 대해서는 1973년부터 1979년까지 7年間の 10月中 氣象資料를 蒐集하였다. 이들 氣象資料는 外氣溫度와 相對濕度가 3時間 間隔으로 記錄된 것이다. 各 地域에 따른 年度別平均溫度와 相對濕度는 Table 2, Table 3에 表示되어 있다. 初期含水率에 따른 最少所要送風量은 各地域과 乾燥期間에 따른 氣象條件의 影響을 받는다. 여러해 동안 乾燥作業을 成功的으로 遂行하기 위해서는 10年中 氣象條件이 가장 나쁜 해를 基準으로 어떤 地域의 最少送風量을 決定하는 것이 바람직하다. 따라서 年度別 氣象條件

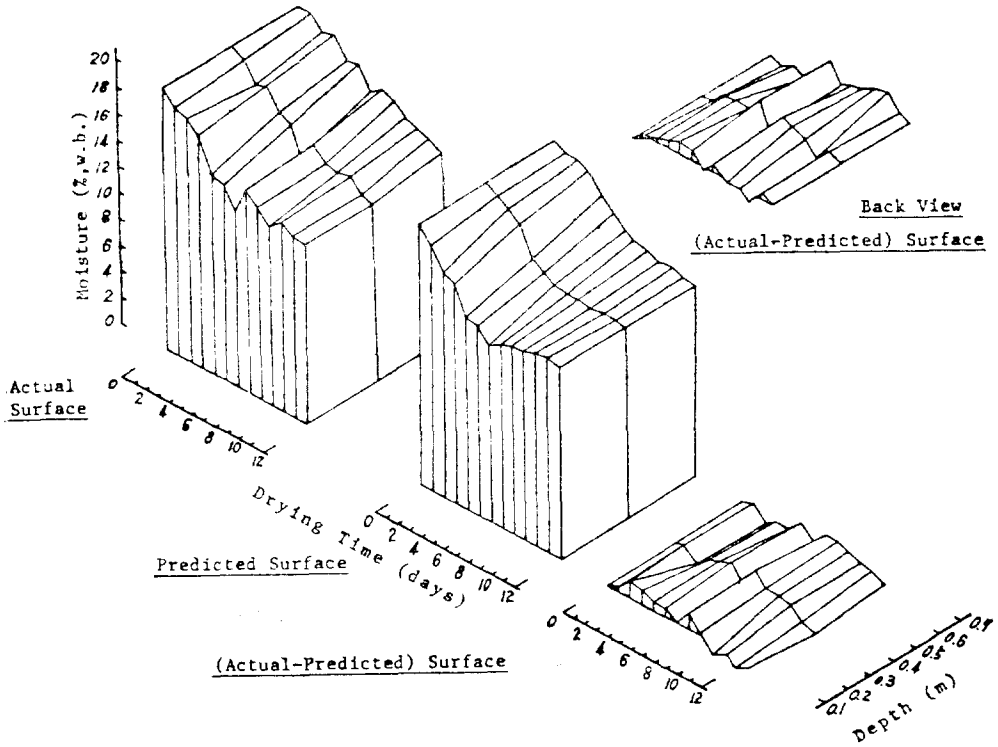


Fig. 3. Comparison of the actual and predicted drying surfaces

Table 2. Average temperature in October during the past decade

Unit : °C

Year	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	AVG*	SD
Region												
Cheongju	13.5	11.3	12.7	11.8	11.7	14.2	12.7	14.8	13.4	13.7	13.0	4.45
Chuncheon	12.2	10.2	11.9	11.2	11.0	13.3	11.9	13.7	12.1	13.1	12.1	4.26
Daegu	15.6	13.7	14.6	13.9	14.4	15.6	14.7	17.2	15.2	16.4	15.1	3.93
Daejeon	14.0	12.1	13.5	12.4	12.2	14.7	13.0	15.2	13.7	14.2	13.5	4.07
Jeonju	15.6	13.0	14.8	13.8	13.7	15.9	14.4	16.6	14.9	15.4	14.8	3.98
Jinju	—	—	—	14.3	14.8	16.5	15.1	15.1	15.2	15.9	15.3	4.24
Suweon	—	—	—	12.0	11.3	14.3	12.6	14.9	13.3	14.2	13.2	4.32

*AVG=10-year average
SD=standard deviation

이 穀物의 含水率 및 乾物重量損失率에 미치는 影響이 먼저 規定되어야 하며, 이것을 基準으로 氣象條件이 가장 나쁜 年度를 決定하는 것이 妥當하다 할 것이다. Fig. 4와 Fig. 5는 淸州地方에 있어서 年度別 氣象條件이 穀物 및 乾物重量損失率에 미치

는 影響을 例示한 것이다. 이 때의 初期含水率은 24% (w.b.), 送風量은 3.0 cmm/m^3 , 빈의 直徑과 穀物의 量은 各各 2m, 4000kg이었다. 各 地域에 關係 얻어진 資料를 綜合하면 氣象條件은 年度別로 큰 差異를 보이고 있으며 乾物重量損失率이 가장

Table 3. Average relative humidity in October during the past decade.

Unit : %

Region	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	AVG*	SD
Cheongju	81.7	73.9	73.9	78.2	73.4	77.8	76.9	77.1	73.9	73.5	76.0	16.00
Chuncheon	82.2	79.7	74.9	71.3	73.3	73.4	75.7	81.5	83.1	75.2	77.1	14.48
Daegu	71.9	62.8	69.7	71.1	66.1	70.3	63.5	61.5	68.1	65.6	67.1	15.13
Daejeon	78.3	74.6	71.9	76.7	78.6	76.5	72.4	74.1	76.8	74.5	75.5	15.21
Jeonju	78.4	71.5	73.8	74.8	73.7	76.9	72.2	73.5	73.6	67.7	73.7	15.47
Jinju	—	—	—	71.0	69.6	66.6	71.1	73.1	68.1	71.3	70.1	18.04
Suweon	—	—	—	75.8	78.4	76.0	74.5	76.2	76.9	73.6	75.9	15.08

*AVG=10-year average

SD=standard deviation

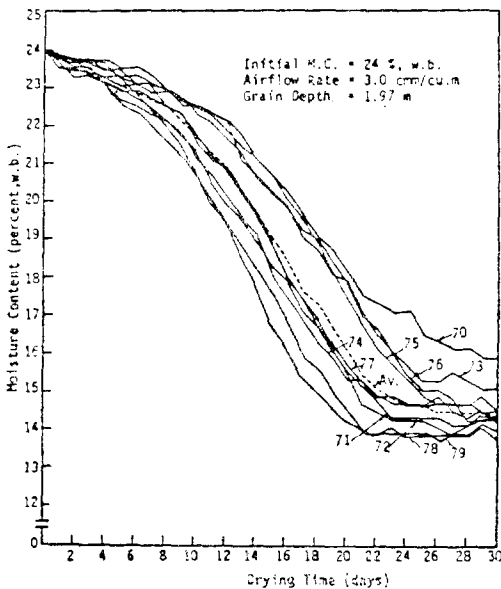


Fig. 4. Effect of changes in yearly weather conditions on moisture content at top layer (Cheongju)

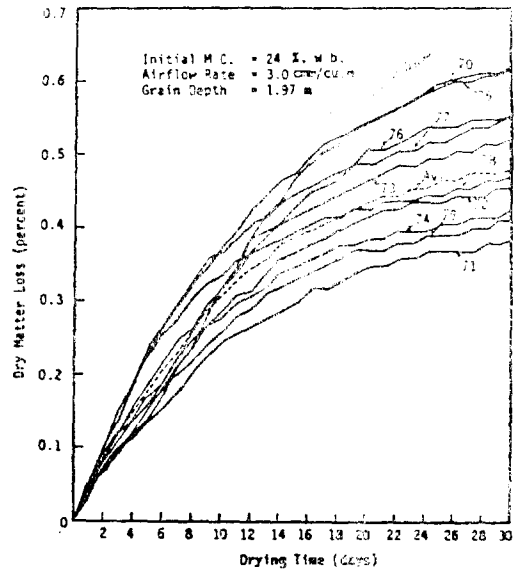


Fig. 5. Effect of changes in yearly weather conditions on maximum dry matter loss (Cheongju).

큰 年度가 乾燥速度가 가장 느리게 나타나지 않은 경우도 있었다. 다시 말하면 一般적으로 乾物重量 損失率이 最大인 年度가 乾燥速度가 가장 느린 年度이겠으나 항상 그렇지는 않았다. 그 理由는 穀物의 乾物重量 損失率은 乾燥初期에서 穀物의 含水率이 16%까지 떨어지는 동안 큰 比率로 增加하나 그 以後는 增加速度가 鈍化되는 現象을 보이기 때문이다. 따라서 乾燥初期에는 氣象條件이 좋다가 中半 以後에 急速度로 나빠진 경우 비록 乾燥速度는 느리지만 乾物重量 損失率은 그다지 크지 않은 現象을 보여 주었다. 따라서, 여기서는 乾燥速度와

乾物重量 損失率의 양자를 比較하여 最惡의 年度를 常溫通風에 가장 나쁜 年度로 規定하였다.

各 地域에 다른 最惡의 年度와 이때의 平均溫度 濕도가 Table 4에 주어져 있다. 이 표와 Table 2, Table 3에 나타난 溫濕度 資料를 比較하여 보면 外氣溫度보다 相對濕도가 穀物의 乾燥에 큰 影響을 미친다는 것을 알 수 있었다. 또한 乾燥 潛在力을 基準으로 볼 때 大邱와 晉州지방이 淸州나 春川지방보다 優秀함을 알 수 있었다.

이와같이 決定한 最惡의 年度에 대하여 最少所要 送風量을 求하기 위한 獨立變數의 조합이 Table 5

에 表示되어 있다. 反復된 시뮬레이션의 結果에 의하면 乾燥 時間과 乾物重量 損失率은 初期含水率과 送風量의 函數로 나타났으며 빈의 直徑이나 穀物の 堆積 깊이와는 無關하였다.

주어진 乾燥期間 동안 乾物重量 損失率이 0.5%以內에서 最上層의 穀物이 15% (w.b.)까지 乾燥되면 乾燥가 完了된 것으로 假定하였다. 乾燥過程은 穀

物層의 下部에서 上部로 進行되기 때문에 一般적으로 最上層의 穀物이 가장 높은 含水率을 보이게 되며, 最上層이 15% (w.b.)까지 乾燥된 境遇의 全體 穀物層의 含水率은 安全貯藏 含水率인 13.5~14%에 到達하였다. Saul (USDA, 1968)의 研究結果에 따르면 옥수수의 境遇 0.5%의 乾物重量 損失率은 等級에는 影響을 미치지 않지만 어느 程度의 質的

Table 4. The worst year during the past decade (1970—1979) and its average temperature and relative humidity

Region	Worst Year	Temperature(°C)		Relative humidity(%)	
		Average	SD*	Average	SD
Cheongju	1970	13.5	5.81	81.7	15.81
Chuncheon	1978	12.1	5.44	83.1	16.73
Daegu	1973	13.9	4.62	71.1	21.02
Daejeon	1970	14.0	5.45	78.3	15.49
Jeonju	1970	15.6	5.61	78.4	14.16
Jinju	1977	15.1	4.94	73.1	23.82
Suweon	1974	11.3	5.35	78.4	16.94

*SD: standard deviation

Table 5. Combinations of the independent variables for the test to determine the minimum airflow rate.

Variable	Number of Level	Level
Initial M. C.	4	20, 22, 24, 26 percent, w.b.
Bin diameter	2	2, 3m
Airflow rate	46	46 airflow rate in the range of 0.6—9.0cmm/cu.m
Grain depth	3	1.0, 2.0, 3.0m

損傷을 가져오는 限界値라고 報告한 바 있다. 따라서 本 實驗에서는 0.5%의 乾物重量 損失率을 穀物の 質的 損傷에 대한 限界値로 使用하였다.

本 研究에서는 위에서 設定한 穀物含水量과 乾物重量損失率을 同時에 滿足하는 境遇를 “成功”(Success), 그렇지 못한 境遇를 “失敗”(Failure)라고 表示하고 特定한 地域의 乾燥實驗 結果 “失敗”에서 “成功”으로 轉換되는 起點의 送風量을 그 地域의 最少所要送風量으로 規定하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 진주지방에 있어서 送風量이 乾燥時間과 乾物重量 損失率에 미치는 影響에 對하여 各 含水率別로 表示한 것을 例로 든 것이다. 이 結果에 따르면 乾燥時間과 乾物重量 損失率은 送風

量에 比例하여 增加하는 것이 아니고 送風量이 增加할수록 어떤 一定한 값에 收斂하는 傾向을 보이고 있다. 이에 따르면 送風量을 過多하게 늘일 境遇 乾燥時間은 短縮시키지 못하고 단지 乾燥費用만 增加시키기를 알 수 있다.

시뮬레이션 結果 얻어진 各 地域의 最少所要送風量은 Table 6과 같다. 乾燥過程의 完了與否를 判定하는 最上層의 基準含水率은 淸州와 春川지방을 除外하고는 前述한 바와 같이 15%(w.b.)로 設定하였으나 淸州와 春川지방의 氣象條件은 다른 地域에 비해 나빴기 때문에 이 條件으로는 一定한 期間內에 乾燥를 完了할수 없는 것으로 豫測되었다. 따라서 淸州와 春川지방에 대하여는 最上層의 基準含水

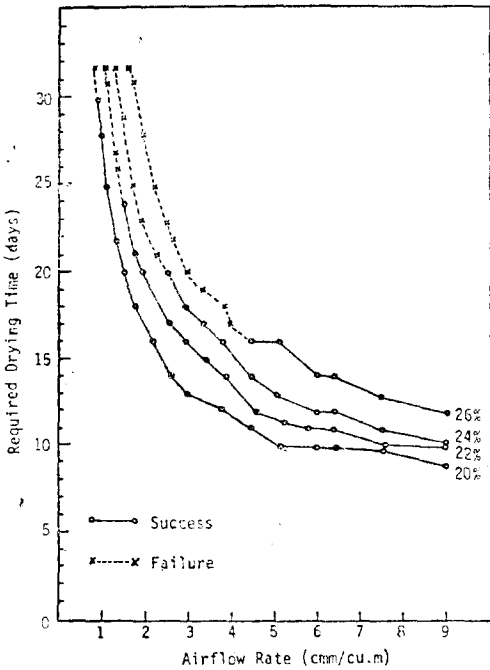


Fig. 6. Relationship between the required drying time and airflow rate for various initial moisture contents (Jinju).

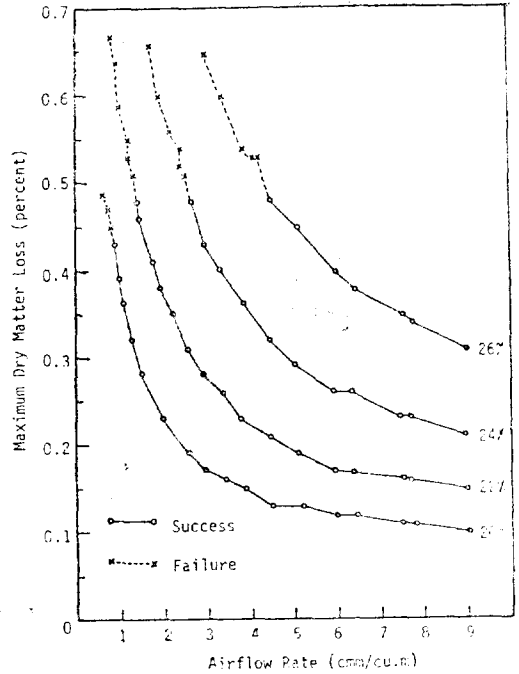


Fig. 7. Relationship between the maximum dry matter loss and airflow rate for various initial moisture contents (Jinju).

Table 6. Minimum airflow requirement in each region for drying top layer to 15.0 percent, w.b. Unit: cmm/cu.m

Initial M.C. (%, w.b.)	Worst year				10-year average			
	20	22	24	26	20	22	24	26
Cheongju*	1.50	2.25	3.86	6.43	1.13	1.50	2.57	4.50
Chuncheon*	2.00	2.77	4.91	—	1.20	1.64	2.77	4.85
Daegu	1.00	1.38	2.70	5.00	0.82	1.29	2.25	3.60
Daejeon	1.93	2.40	3.46	5.14	1.33	1.64	2.77	4.85
Jeonju	1.50	2.45	4.00	6.75	1.00	1.64	2.77	4.80
Jinju	0.90	1.50	2.70	4.50	0.90	1.38	2.57	4.09
Suweon	2.40	3.00	3.60	6.43	1.38	1.93	3.00	5.00

*For drying top layer to 16.0 percent, w.b.

率은 16%로 하였다. Table 6에 나타난 結果를 보면 最少所要送風量은 初期含水率에 따라 相當한 差異가 있음을 알 수 있으며 各 地域間에 보이는 큰 差異는 各 地域의 氣象條件이 크게 다르다는 것을 意味한다. 特別 春川지방의 境遇에는 初期含水率이 26%(w.b.)인 境遇送風量이 9.0cmm/m³까지 增加시켜도 最上層을 16%까지 乾燥시킬 수 없었다. 이와같은 境遇에는 流入空氣를 若干 加熱함으로써 큰

效果를 볼 수가 있을 것으로 思料된다.

Bloome(1970)이 調査한 바에 따르면 4.88m의 堆積깊이를 가지는 옥수수층에 0.8cmm/m³의 空氣를 送風할 境遇 모우더의 送風機에 의하여 加熱되는 流入空氣의 溫度가 1.1°C라고 報告된 바 있다. 이와같은 送風機와 모우더에 의한 自然的인 溫度上昇을 감안한다면 常溫通風 乾燥方式은 乾燥條件이 最惡일 境遇에도 適用이 可能하다고 結論지을 수 있

다.

5. 所要乾燥時間과 乾物重量損失率

所要乾燥時間이란 總乾物重量 損失率이 0.5%를 넘지 않는 範圍에서 最上層이 15%(w.b.)까지 乾燥되는 데 所要되는 時間을 말한다. 前述한 시물레이션 모델에 의하여 주어진 氣象條件에서의 所要乾燥時間과 乾物重量 損失率을 推定할 수 있으나, 實用的인 觀點에서 이들을 어떤 乾燥因子들의 函數로 表示할 수 있다면 乾燥시스템을 設計하는 境遇 또는 이미 設置된 乾燥條件에서의 所要乾燥時間을 推定하기에 便利할 것이다. 이를 위하여 所要乾燥時間과 乾物重量 損失率을 推定할 수 있는 몇가지 可能한 形態의 方程式을 假定하고, 統計的인 方法에 의해 가장 잘 一致하는 方程式을 選擇하는 方法을 採擇하였다.

앞에서 說明한 바와 같이 所要乾燥時間과 乾物重量 損失率은 빈의 直徑이나 穀物の 堆積깊이와는 相

關이 없으므로 이 境遇의 獨立變數는 初期含水率과 送風量이 될 것이다. 이 境遇의 獨立變數의 組合은 Table 5와 같다.

이러한 豫測 方程式을 誘導하기 위해서는 10年間의 氣象條件에 對해 各各 分析을 하여 이들의 平均값을 使用하는 方法을 採用해야 하겠지만, 各 年度別 시물레이션 結果의 平均值와 10年 平均 氣象條件에 의한 시물레이션 結果 사이에는 1%程度의 差異밖에 없었으며 คอมพิวเตอร์ 使用 時間을 줄이기 위해 10年間의 平均 氣象資料를 入力資料로 하여 分析하였다.

最適 豫測方程式을 決定하기 위한 所要乾燥時間의 推定式은 16種의 모델을, 乾物重量 損失率을 推定하기 위해서는 13種의 모델을 假定하여 多重回歸分析을 實施하였다. 청주지방에 대한 185個의 資料에 對한 回歸方程式과 多重相關係數의 값이 Table 7에 表示되어 있다. 一般的으로 方程式의 項數를 늘이면 相關係數 R의 값도 增加하였으며, 보다 複雜한 모델을 假定하였다면 R의 값도 더 커질 수 있

Table 7. Listed models of the equation to predict the drying time and dry matter loss.

Model No	Model of Equation	R for DT*	R for DML*
1	$DT = \frac{1}{A} (C_0 + C_1 M)$	.9206	—
2	$DT = \frac{1}{A} (C_0 + C_1 M + C_2 M^2)$	.9237	—
3	$DT = \frac{1}{A} (C_0 + C_1 M - C_2 M^2 + C_3 M^3)$	.8925	—
4	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M)$	.9471	.9829
5	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M + C_3 AM)$	.9587	.9847
6	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M + C_3 A^2)$	.9398	.9965
7	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M + C_3 M^2)$	.9472	.9833
8	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 AM + C_3 MA^2)$	.9622	.9538
9	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M + C_3 AM + C_4 A^2)$	.9698	.9969
10	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M + C_3 AM + C_4 M^2)$	.9624	.9866
11	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M + C_3 A^2 + C_4 M^2)$	.9907	.9976
12	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M - C_3 AM + C_4 MA^2)$	.9832	.9985
13	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 AM + C_3 A^2 + C_4 MA^2)$	.9902	.9906
14	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M + C_3 AM + C_4 A^2 + C_5 M^2)$	.9909	.9977
15	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M + C_3 AM + C_4 A^2 + C_5 MA^2)$	.9910	.9971
16	$D = \text{EXP}(C_0 + C_1 A + C_2 M + C_3 AM + C_4 A^2 + C_5 M^2 + C_6 MA^2)$	.9934	.9979

*DT=required drying time (days)
 DML=maximum dry matter loss (percent)
 D = DT or DML
 A =airflow rate (cmm/cu.m)
 M =initial moisture content (percent,w.b.)
 R =multiple correlation coefficient
 C_n =partial regression coefficients, n=0, 1, ..., 6

을 것이다. 그러나 6式과 16式을 比較하여 보면 R 값의 차이는 크지 않은데 비하여 6式은 훨씬 간단한 形態를 보이고 있다. 따라서 6式을 所要乾燥時間과 乾物重量 損失率을 豫測하기 위한 方程式으로 選擇하는 것이 妥當하다고 判斷되었다.

選擇된 豫測方程式을 列擧하면 다음과 같다.

$$DT = \text{EXP}(C_0 + C_1A + C_2M + C_3A^2) \text{ --- 17}$$

$$DML = \text{EXP}(C'_0 + C'_1A + C'_2M + C'_3A^2) \text{ --- 18}$$

단, DT : 所要乾燥時間(日)

DML : 最大 乾物重量 損失率(%)

A : 送風量(cmm/m³)

M : 初期含水率(% w.b.)

Cn, Cn' : 偏回歸係數, n=0, 1, 2&3

各 地域의 10年間의 平均 氣象資料에 對한 시물레이션 結果를 使用하여 式 17과 式 18에 必要한 偏回歸係數를 求한 값이 Table 8과 Table 9에 表示되어 있다.

이 式을 다시 變形하여 보면

$$DT = K \cdot \text{EXP}(C_0 + C_1A + C_2A^2) \text{ --- 19}$$

$$DML = K' \cdot \text{EXP}(C'_0 + C'_1A + C'_2A^2) \text{ --- 20}$$

단, $K = \text{EXP}(C_2M)$

$K' = \text{EXP}(C'_2M)$

으로 表示할 수 있다. 이 式은 特定한 初期 含水率에 對한 所要乾燥時間과 乾物重量 損失率은 送風量

만의 函數로 表示할 수 있으며, 몇가지 다른 初期含水率에 對해서는 各 含水率에 따른 固有의 常數를 곱해서 얻을 수 있음을 意味한다.

이것은 各 初期含水率에 따른 所要乾燥時間과 乾物重量 損失率을 表示하는 曲線이 Fig. 6과 Fig. 7에서와 같이 서로 비슷한 形態를 나타내고 있다는 事實로서도 알 수 있다.

6. 結 論

우리나라에 있어서 常溫通風 乾燥方式의 適用可能性과 所要條件을 新明하기 위하여 คอมพิวเตอร์ 시물레이션 方法을 採擇하였으며, 大邱, 大田, 水原, 全州, 晉州, 淸州 및 淸川의 7個 地域에 對한 지난 10年間의 氣象資料를 土臺로 얻어진 結論은 다음과 같다.

- (1) 本 研究에서 採擇된 시물레이션 모델은 비의 常溫通風 乾燥 過程을 解析하고 含水率 變化를 豫測하는데 適切한 것으로 나타났다.
- (2) 몇개의 初期含水率과 各 地域別 氣象條件에 對해 安全 乾燥를 위한 最少所要送風量을 規定하였으며 이 값은 Table 6과 같다.
- (3) 所要乾燥時間과 最大 乾物重量 損失率을 豫測하기 위한 方程式을 初期含水率과 送風量의

Table 8. Partial regression coefficients in Equation 17 for the prediction of drying time in each region.

Region	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	R
Cheongju	1.460	-0.3902	0.1069	0.02454	0.9898
Chhuncheon	1.633	-0.3535	0.1027	0.02130	0.9883
Daegu	1.601	-0.3617	0.0885	0.02211	0.9861
Daejeon	2.085	-0.3292	0.0799	0.01974	0.9374
Jeonju	1.847	-0.3689	0.0882	0.02253	0.9850
Jinju	1.755	-0.3051	0.0780	0.01701	0.9764
Suweon	2.224	-0.3313	0.0755	0.01996	0.9845

Table 9. Partial regression coefficients in Equation 18 for the prediction of maximum drymatter loss in each region

Region	C ₀ '	C ₁ '	C ₂ '	C ₃ '	R
Cheongju	-5.352	-0.3798	0.2277	0.02277	0.9765
Chuncheon	-5.191	-0.3516	0.2207	0.02044	0.9956
Daegu	-5.361	-0.3952	0.2231	0.02349	0.9960
Daejeon	-4.901	-0.3312	0.2068	0.01874	0.9968
Jeonju	-5.008	-0.3773	0.2151	0.02255	0.9759
Jinju	-5.234	-0.3225	0.2148	0.01728	0.9940
Suweon	-4.780	-0.3261	0.2019	0.01899	0.9962

函數로 表示하였으며 各 地域에 따른 方程式의 係數들의 값은 Table 8과 Table 9에 表示되어 있다.

- (4) 위의 (2)와 (3)의 結果를 綜合하여 볼 때 調査된 7個 地域에서의 常溫通風 乾燥方式은 適用 可能한 것으로 나타났으며 送風機를 통한 自然 溫度上昇을 감안한다면 最惡의 氣象條件에서도 常溫通風乾燥가 可能한 것으로 나타났다.

參 考 文 獻

1. 琴東赫, 1979. 시뮬레이션에 의한 벼의 常溫通風 및 太陽熱乾燥에 관한 研究. 서울大學校大學院 博士學位論文.
2. 琴東赫, 崔在甲, 高學均, 1979. 穀物の 常溫通風乾燥시스템의 시뮬레이션. 韓國農業機械學會誌 4 (2) : 32-45
3. 金在烈, 徐承德, 琴東赫, 李錫健 1980. 大邱地方의 氣象資料를 基礎로 한 벼의 常溫通風乾燥에 관한 調查研究. 韓國農業機械學會誌 5(1) : 15-23
4. 鄭昌柱, 金聲來, 高學均, 1973. 農産機械學. 鄉文社.
5. 韓英祚, 1981. 自然通風乾燥方法의 適正化를 위한 คอมพิวเตอร์ 模擬實驗. 서울大學校 大學院 碩士學位 論文.
9. Alam, A. and G. C. Shove. 1971. Simulated drying of soybeans. ASAE Paper No. 71-816
7. Bloome, P.D. 1969 Drying shelled corn with ambient air-a computational model. Unpublished Ms thesis. Univ. of Illinois.
8. Bloome, P.D 1970. Simulation of low temperature drying of shelled corn leading to optimization. Unpublished Ph.D. thesis, Univ. of Illinois.
9. Calderwood, D.L. and R.S. Hutchison. 1961. Drying rice in heated air dryers with aeration as a supplementary treatment. USDA Marketing Research Report No. 508.
10. Chang, D.I. 1978. Modeling for dryer selection and simulation of natural air drying of rough rice. Unpublished MS thesis, Kansas State University.
11. Chung D.S. and H.H Converse. 1971. Effect of moisture content on some physical properties of grains. ASAE Trans. 14(4) : 612-614
12. Maurer, S.G. 1977. Natural air grain drying modeling and validation. Unpublished MS thesis, Kansas State University.
13. McNeal, X. 1957. Rice aeration, drying and storage. Arkansas Experimental station, Bulletin 593.
14. Morey, R.V and R.M. Peart. 1969. Optimization of a natural air corn drying systems. ASAE Paper No. 69-834
15. Morita, T. and R. P. Singh. 1979. Physical and thermal properties of short-grain rough rice. ASAE Trans. 22(3) : 630-636
16. Pfost, H.B., S.G. Maurer, D.S. Chung and G.A. Milliken. 1976. Summarizing and reporting equilibrium moisture data for grains. ASAE Paper No. 76-3520
17. Saul, R.A. and E.F. Lind. 1958. Maximum time for safe drying of grain with unheated air. ASAE Trans. 1(1) : 29-33
18. Sorenson, J.W., Jr., and Crane, L.E. 1960. Drying rough rice in storage. Texas Agr. Exp. Sta. Bull. B-592
19. Thompson, T.L., R.M. Peart and G.H. Foster. 1968. Mathematical simulation of corn drying-a new model. ASAE Trans. 11(4) : 582-586.
20. Zachariah, G.L. and R.I. Lipper. 1966. Weather data as pertaining to crop drying. ASAE Trans. 9(2) : 261-264.