

平面式 乾燥機의 適正作業條件 設定에 關한 研究

Study on The Optimization of Operating Conditions of batch-type Grain Dryer

朴 京 圭 * 鄭 昌 桂 *
Kyung Kyoo Park Chang Joo Chung

Summary

Experimental work of batch-type dryer was conducted to develop its optimum operating conditions by analyzing the major factors which affect the drying performance. A laboratory batch-type dryer was constructed and tested for various levels of heated-air rates, and depths of grain deposit. Tong-il rice variety having the initial moisture content of approximately 23 per cent in wet basis was used for the experiment.

The criteria selected for establishing the optimum operating condition were the drying performance rate, the thermal efficiency, and the operational cost of the dryer.

The results of the study are summarized as follows:

1. The performance rate of dryer for a specific operating condition was defined as total amount of material dried per hour when the moisture content of grains in the upperlayer reaches to 16 per cent in wet basis. The optimum operating conditions as viewed in the rate of drying performance could be justified by functional relationship between the depth of grain deposit and air flow rate. In other words, there was a definite depth of grain deposit for a given air-rate which make the dryer performance maximum. The optimum grain depth for the batch-type dryer with 3.3 m² loading area and with the attached axial fan was about 35 cm.
2. The thermal efficiency for the dryer was evaluated by the ratio of the latent heat required to evaporate the grain moisture to the heat input required to raise the ambient air-temperature to 40 degree centigrade. The optimum operating condition as viewed in term of thermal efficiency analyzed was that grater depth and lower air flow-rate may be desirable. This condition is contracted with the optimum condition as viewed by the dryer performance rate.

* 서울大學校 農科大學

3. The annual operating cost of batch-type dryer was analyzed for different annual hour of use and for different operation condition. The optimum condition as viewed in terms of operating cost was almost identical to one as viewed in terms of dryer performance rate. Therefore, the most economical use of batch-type dryer for the same annual operating hours can be obtained when the dryer operated in the condition of maximum dryer performance rate. Increasing the annual operating hour may be desirable to cut down the dryer operation cost, since the annual hour of dryer use is much sensitive to the operating cost than any practical conditions of dryer operation.
4. The most desirable operational condition as justified by combining all the criteria, dryer performance rate, thermal efficiency and annual operating cost, could be concluded to operate the dryer in the condition of maximum performance rate. The condition in general is identical to the lowest operation cost for a given annual operating hour.

I. 緒 論

現在 우리나라에서 實施되고 있는 穀物의 乾燥는 대부분 脫穀前後에 이루어지는 自然乾燥方法에 의존하고 있다. 지역, 기후, 圃場에 따라 약간의 차이는 있으나 대략 함수율이 23% 내외의 벼를 수확하여 18% 내외에서 脫穀作業을 실시한뒤 다시 噴射乾燥方法에 의하여 16%까지 재건조시키거나 그렇지 않으면 포장에서 16%까지 乾燥시킨후 脫穀하는 것이 一般的이다.

또한 統一畝의 경우 脫粒의 손실을 방지하기 위하여 수확한 후 바로 噴射에다 乾燥시킨다.

이와 같은 재래식 건조방법은 投入된 勞力 및 時間에 비추어, 作業의 能率이 떨어질 뿐더러 번거롭고 또 天日乾燥를 위해 수확작업을 遲延시키거나, 수확후 自然狀態로 長期間 포장에 방치하여 들으로써 二毛作의 임계지역에서는 後作에 時間的인 압박을 加重시키고 있으며, 강우로 인하여 곡물의 손실도 대단히 클뿐 아니라, 脫粒, 鼠害 등에 의한 양적 손실 및 乾燥不充分에서 오는 저장기간 동안의 곡물의 질적 손실은 우리농업의 당면과제인 식량자급 자족을 阻害하는 큰 요인이 되고 있다.

이와같은 관행 건조방법을 機械化함으로써 穀物의 질적 양적 增産을 기하기 위하여 導入된 것이 人工乾燥機이다. 그러나 여러가지 種類의 乾燥機中에서 구입가격, 연간이용시간, 단위시간당 이용범위, 농

가구매력, 소요동력등을 감안할때 人工乾燥方法으로서의 과도적인 현시점에서는 平面式 乾燥機가 가장 그 普及이 기대되는 機種이라고 인정되고 있다.

그러나 이 平面式 乾燥機를 우리농촌에서 효율적으로 利用하기 위하여서는 乾燥機 利用의 技術이 먼저 開發되어야 한다. 단순히 乾燥機의 작동만으로 건조작업이 이루어진다고 생각하여서는 안된다. 여기에는 乾燥完成品の 質이 問題가 되며 所望의 質을 얻을 수 있는 합리적인 작동조건하에서 乾燥作業이 이루어질 필요가 있다고 할것이다.

國產 平面式 乾燥機는 이용상의 技術과 作動條件이 마련되어 있지 않고 있어서 作業能率을 증대시키고 被乾燥物의 질을 向上시킬 수 있는 利用技術上的 개발이 무엇보다도 시급하다고 볼수 있다. 平面式 乾燥機에 의한 穀物乾燥에 영향을 미치며 인위적인 變化가 가능한 요인은 열풍온도, 送風量, 堆積두께라고 할수 있으며 乾燥作業中 이들 요인은 어떤 狀態로 유지하는 것이 乾燥性能, 熱效率, 이 용비용면에서 가장 바람직 하는가 하는 문제의 해답은 비록 실제적인 면에서 뿐만 아니라 學術的인 면에서도 重要的 的의를 갖는다고 하겠다. 따라서 이 研究의 目的은

1. 風量 및 堆積두께를 변화시켰을때 送風量, 堆積두께 및 熱室의 정압력 간의 상호관계를 실험적으로 규명하고
2. 風量 및 堆積두께를 변화시켰을때 層別 乾燥狀態, 수분의 移動狀態를 분석하고

3. 作業能率別, 熱効率別, 利用費用別로 適正作業條件을 규명하는데 있다.

II. 文獻概要

農産物の 人工乾燥에는 自然공기를 送風시키는 方法과 공기를 가열하여 送風시키는 方法으로 大별할 수 있는데 전자는 높은 乾燥 잠재력을 갖는 대기를 이용하는 것이고 후자는 공기를 가열하므로써 空氣의 乾燥 잠재력을 높혀 乾燥에 利用하는 것이다.

C.W. Hall⁶⁾은 열풍건조방법은 ① 燃料費 및 그의 所要動力費가 自然通風乾燥方法보다 같거나 싸야하고 ② 熱風에 의하여 穀物の 증기압이 증가함에 따라 수분의 증발율이 증가하고 ③ 自然通風보다 送風量이 많고 ④ 農産物の 安全을 고려하며 ⑤ 施設 및 建物の 안전 등을 고려하여야 한다고 했다. 또한 열풍건조방법중에는 직접 열을 이용하는 경우와 간접 열을 利用하는 경우가 있으나 직접열의 利用은 연소가스에 의한 穀物の 損失을 낼수 있는 가능성이 큰 반면 열효율 을 증가시킬 수 있는 이점이 있으므로 穀物の 種類, 사용된 연료의 종류 등에 따라 그 施設을 고려하여야 한다고 지적했다.

1940년대부터 1955년 사이에 乾燥에 관한 많은 研究가 報告되었으나 건조이론에 관한 것은 많지 않고 단지 그 實驗結果만이 報告되었으나 그후 건조이론이 發展됨에 따라 乾燥方法도 차츰 發達하게 되었다.⁷⁾ Barre⁸⁾, Fenton⁹⁾, Hukill¹⁰⁾ 등에 의하여 乾燥에 있어서의 증기압 이론(Vapor Pressure theory)이 소개되었다.

Henderson¹¹⁾은 農産物을 외부의 어느 상태에 오래 방치하여 두면 外部로부터 來分을 받아들이는 율과 内部로부터 내보내는 율이 같아질때 穀物の 含水율을 平衡含水율이라고 규정하였다.

Henderson¹¹⁾ 및 Hall⁶⁾은 乾燥과정중 乾燥速度에 따르는 期間을 항울건조시간과 감울 건조시간으로 大별하였으며 항울건조시간은 대단히 짧으며 穀類에 구애됨이 없이 ① 노출면적 ② 空氣와 穀物表面의 濕度差異 ③ 질량변환계수 ④ 건조공기속도 등에 影響을 받는다고 하였다. 또한 항울건조 다음에 이루어지는 감울건조는 ① 來分 확산에 의한 穀物內에서 表面으로 移動되는양 ② 穀物表面으로부터 來分 移動量에 따라서 다르게 되며 이는 또한 불포화된 表面 乾燥와 穀物內에서 수분확산율이 늦어지는 乾燥期間으로 나눌 수 있는데 1차 감울건조기간과 2차감울 乾燥期間으로 불리우며 Simmonds¹²⁾는 항

울건조기간과 감울건조기간의 분기점은 밀에서는 69%~85% 사이에서 이루어 진다고 했다. Thin layer drying에 있어서의 穀物乾燥는 완전히 노출된 곡물 주위를 空氣가 통과하는 것으로 간주될수 있으며 감울건조기간중 水分의 移動量을 나타내는 식은 Newton's Equation을 근거로 表示하였다.⁶⁾

Baker¹³⁾와 Simmonds¹⁴⁾는 空氣 濕度와 溫度가 乾燥率에 미치는 影響에 관해서 報告한바 있으며 濕度를 3~4倍 增加시켜주는 것은 溫度를 50°F 감소시켜주는것과 같은 效果가 있고 風速이 32ft/min일 때, 空氣溫度를 90°F에서 120°F로 增加시켜 주면 乾燥率은 12%/hr에서 40%/hr로 增加된다고 하였다

Henderson¹¹⁾은 Deep layer drying에 있어서는 여러개의 얇은 穀物層(Thin layer)이 포개져 있다고 생각할 수 있으며 열풍이 들어감에 따라 下層부터 乾燥가 進行되며 乾燥가 進行되는 部分을 Drying Zone이라고 하고 Drying Zone은 時間의 흐름을 따라 점차 上層部로 移動하게 되며 上層部가 平衡含水율에 도달하면 乾燥는 종결이 되는 것으로 간주하였다.

C.W. Hall⁶⁾은 이 Drying Zone의 Volume은 溫度, 濕度, 穀物은 含水율에 따라 變하게 되며 風量이 많게되며 上層部와 下層部간의 含水율의 差異가 적게 된다고 하였다. 또한 穀物の 堆積두께가 增加하게 되면 과건조가 일어나므로 밀에 있어서는 18" 내의 두께에서는 110°F가 적당하다고 하였다.

Simmonds¹⁴⁾는 Deep layer drying에서 Drying Zone이 최상층부로 도달될때 乾燥率은 최대가 되며 그후 다시 減少가 된다고 하였으며 Drying Zone最上層部로 도달할때까지의 기간과 Drying Zone이 穀物의 上層部로 도달한후 乾燥率이 減少하는 期間을 구하는 식을 제시하였다.

農産物 乾燥에 있어서 Fan의 선정은 대단히 중요한 것으로 공간의 크기, 所要動力, 價格, 運轉方法 設置場所 등에 의하여 機種을 選定하는데 一般적으로 Fan은 風量이 增加되고 정압이 낮은 Axial Fan과 정압이 높고 風量이 減少되는 centrifugal fan으로 區分할 수 있는데¹⁵⁾ 農家에서 使用되는 소형 건조기에서는 회전수의 증가에 따르는 소요마력의 變化가 적고 따라서 motor에 과부하가 아니되고 제작비가 低廉하며 風量이 많고, 정압의 한계도 農産物 乾燥에 적당한 5" 정도인 Axial fan이 많다.¹⁶⁾

Fan規格의 選定은 穀物の 堆積두께, 風量, 乾燥機의 크기에 따라 고려되어야 할 것이다.⁶⁾

人工乾燥에서 고려되어야할 問題中 하나가 穀物

의 동할이며 이와같은 동할은 穀物¹⁾이 급격히 건조되거나 급격히 水分을 吸收할때 穀物內에서 水分 확산의 불균형에 기인되는 것으로 믿어지고 있으며 Ban Toshizo²⁾는 일정 동할율을 허용할 경우 送風溫度의 한계는 초기함수율이 높을수록 낮아져야 하며 절대습도가 높은 경우에 비하면 초기함수율이 낮아짐에 따라 한계 送風溫度는 急激한 저하가 생긴다고 지적하였다. 또 동할율의 增加를 5% 까지 허용하는 경우 초기함수율이 23%일때 절대습도 0.007kg/kg³⁾에서 한계온도는 37°C정도 0.024kg/kg³⁾에서는 42.5°C 정도 된다고 했다.

또한 平均乾燥速度와 동할율의 관계에서는 동할율을 어떤程度以下로 抑制할 경우 초기함수율이 18~20%에서 平均乾燥速度 限界는 급격하게 빨라지며 송입공기의 절대습도가 낮을수록 이와같은 격차는 크게 되고 초기함수율이 20%에서는 절대습도가 낮은 경우 平均乾燥速度의 한계는 하향하는 경향이 있으나 절대습도가 높은 경우는 거의 없다고 했다. 또한 초기함수율이 23%일때 허용 동할율이 5%內에서는 절대습도 0.007kg/kg에서나 0.024kg/kg에서도 平均乾燥速度의 한계는 1.8%/hr정도이다 라고 하였다.

또 人工乾燥에서는 발아율의 저하가 問題되는데 이것은 높은 溫度의 空氣를 長時間 동안 穀物에 보내졌을때 일어나는 것으로 60°C 정도의 空氣溫度면 발아율은 떨어지지 않지만 70°C 이상의 空氣를 送風하면 급격히 減少하게 된다. 즉 60°C라는 溫度는 어느 種類의 단백질도 변질하는 溫度로서 단백질의 변질이 발아를 불능하게 하는 것으로 추측되나⁴⁾ 동할율의 한계보다 발아율의 한계온도가 높으므로 동할율의 한계내에서 건조온도를 결정하는 것이 타당하다고 여겨진다.⁵⁾

溫度計	-20°C~100°C	알콜온도계
전동기	1HP	단상
無斷變速장치	3.8A~200V	3상
水分 측정기	10%~30%(w.b.)	Kett 전기저항식
壓力測定장치	1mm~30mm	U tube
Fan	직경 381mm	축류 Fan
Burner		석유용
風速計	1m/sec~15m/sec	Biran Anemometer
動壓 측정장치	1mm~30mm	Pitot tube
整流管		
Tacho meter	400~2000RPM	
송풍관 직경	300mm	

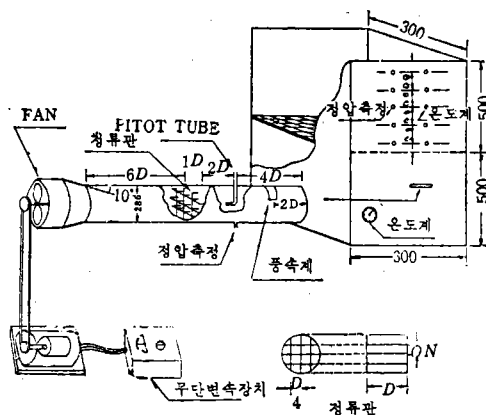


그림 (3-1) 공시건조기 및 측정장치개략도

Ⅲ. 實驗裝置, 材料 및 方法

本實驗에 使用된 裝置, 供試材料, 變數와 그 범위 및 實驗方法은 다음과 같다.

1. 實驗裝置

種 類	規 格	備 考	
乾燥箱	높 이	1000mm	木 製
	폭	300mm	
	길 이	300mm	

2. 供試材料(被乾燥物)

品 種 名	統 一
단 위 體積 當 무게	0.47g/cm ³
初 期 含 水 率	23%(w.b)
수 확 年 月 日	1974.10.2
수 확 場 所	수 원 近 郊

3. 實驗에 使用된 變數 및 그 범위

현재 國內에 보급되어 있는 平面式 乾燥機의 無堆積時의 風量인 43.46cm³/m²-min을 기준으로 하여 風量의 增加폭을 1/2씩 하여 3배까지 變化시켰을때 각각에서의 곡물표적 두께를 10cm에서 50cm까지 변

화를 주었으며 실제로 행한 實驗은 다음의 表와 같다.

變數名	單位	범 위			
送風量	m ³ /m ² ·min	43.5	54.4	64.6	75.0
堆積두께	cm	10~40	20~50	20~50	30~50

4. 實驗方法

가. 風量 및 堆積두께를 各各 위의 水準으로 變化시켰을때에 靜壓 및 動壓을 U-tube 및 Pitot tube를 利用하여 mm單位의 水頭로 測定하였으며 送入 風량은 風速計로 測定하였다.

나. 乾燥時間에 따르는 층별 含水率의 變化는 전기저항식 米麥水分測定器를 使用하여 30分 間격으로 3回반복 測定하였으며 同時에 층별 溫度변화도 측정하였다.

다. 乾燥試驗時 熱風의 溫度를 40°C¹⁾로 一定하게 유지하였으며 每乾燥試驗때마다 燃料소모량과 전력소모량을 測定하였다.

라. 乾燥作業은 제일 上層部의 含水율이 16%(w.b)일때 終結하였다.

IV. 實驗結果의 分析 및 考察

1. 送風量, 堆積두께 및 靜壓과의 관계

送風量의 정도는 送風機의 회전수에 의하여 조절하였으며 送風機의 회전수를 1230, 1500, 1780, 2080 rpm의 4가지 수준으로 유지했을때의 堆積두께와 熱

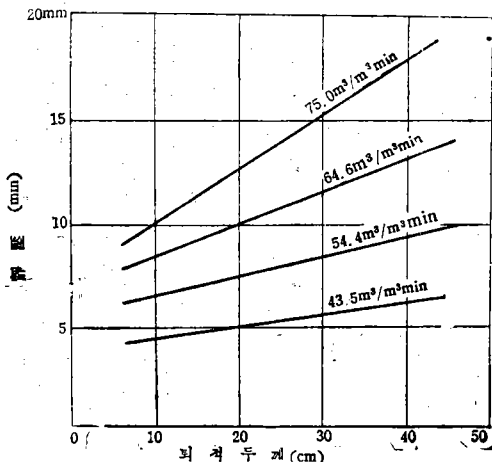


그림 (4-1) 송풍기 회전수별 퇴적두께와 풍량간의 관계

室로 送入되는 風量과의 關係를 圖示하면 그림(4-1)과 같다. 즉 堆積두께가 커짐에 따라 熱室로 流入되는 風량은 네가지의 경우가 거의 같은 水準으로 감소하고 있으며 이는 堆積層이 두꺼워짐에 따라 열실에 送入된 공기는 곡물의 퇴적두께에 따라 점차로 더 큰 抵抗을 받게 되며 實際로 열실로 送 入된 風량은 堆積두께가 커짐에 따라 감소하게 되 나 熱室內에는 이에 相當하는 壓力이 形成되는데 風 量別, 堆積두께별 열실의 靜壓과의 關係를 分析한 것을 圖示하면 그림(4-2)과 같다.

堆積두께와 熱室內에 形成되는 靜壓은 거의 正比例의 關係를 가지고 있음을 알 수 있다.

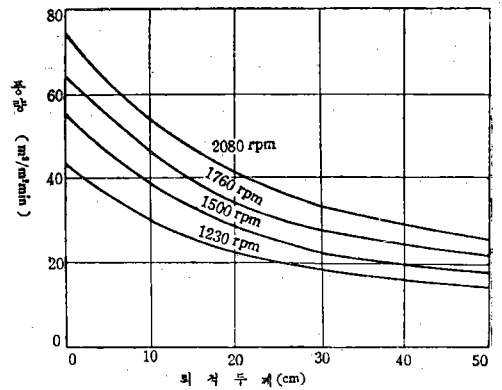


그림 (4-2) 風量別 堆積두께에 따르는 靜壓과의 關係

2. 風量 및 堆積두께 변화에 따르는 層別 乾燥狀態

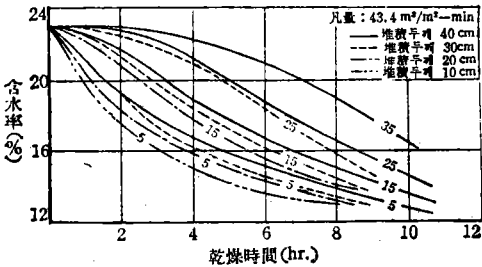
風量 및 堆積두께가 層별 乾燥狀態에 미치는 影響을 究明하기 위하여 43.5m³/m²·min의 風量을 기준으로 하여 이것의 1/4씩 증가시키면서 또한 堆積두께를 10cm 間격으로 증가시키고 필요에 따라 50cm 까지 堆積하여 實施하였다. 이때 各 퇴적층의 含水率을 每 30分마다 3회 반복측정하여 平均으로 하였으며 其他는 앞의 實驗方法에 提示된 요령에 따랐다. 이와 같은 實驗結果는 表 (4-1) 및 그림(4-3) ~ (4-6)에 表示하였다.

表(4-1)에서 乾燥소요시간은 제일 상층부가 16% 되었을때 까지의 시간을 나타낸다. 위의 結果를 分析하여 보면 同一風量의 경우 퇴적두께가 증가함에 따라 소요전조시간은 계속 증가함을 나타내고 있으며 風量이 43.5m³/m²·min에서 75.0m³/m²·min으로

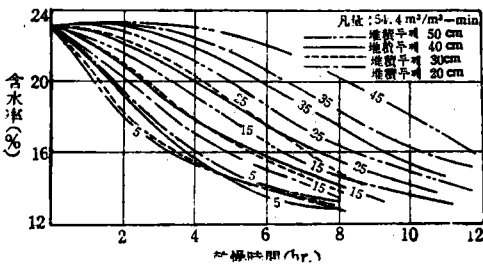
表(4-1) 送風量별 堆積두께별 건조소요 時間

送風量	堆積두께	乾燥소요時間
43.5m ³ /m ² -min	10 cm	3.0 hr
	20	5.5
	30	7.5
	40	10.25
54.4m ³ /m ² -min	20 cm	5.0 hr
	30	7.0
	40	9.25
	50	11.74
64.6m ³ /m ² -min	20 cm	4.7 hr
	30	6.5
	40	8.0
	50	10.5
75.0m ³ /m ² -min	30 cm	5.9 hr
	40	7.5
	50	9.3

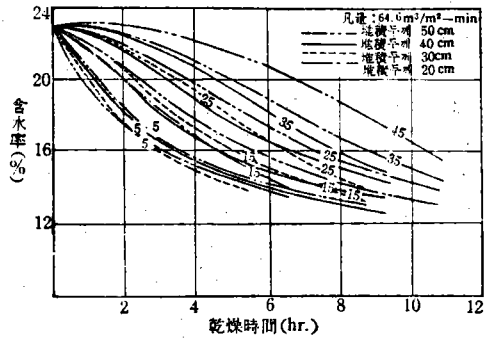
경우의 風量이 1/4씩 증가됨에 따라 건조소요시간은 7.5, 7.0, 6.5, 5.7 時間으로 대체로 30분씩 감소됨을 알 수 있다. 또 그림(4-3)~(4-6)을 보면 同一風量의 경우 퇴적두께가 커짐에 따라 一定한 시간이 경과한후 含水율의 변화를 보아도 堆積두께가 커짐에 따라 含水율의 변화도 퇴적두께의 차이에 거의 相當하는 정도의 수준을 유지하고 있음을 알 수가 있다.



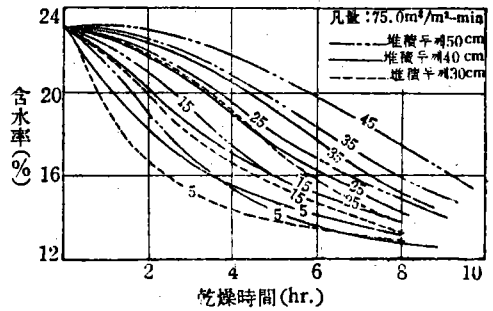
그림(4-3) 堆積두께별 各層의 含水率 變化



그림(4-4) 堆積두께별 各層의 含水率 變化



그림(4-5) 堆積두께별 各層의 含水率 變化



그림(4-6) 堆積두께별 各層의 含水率 變化

변하여 감에 따라 건조소요시간은 대략 30분정도씩 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 堆積두께가 30cm일

3. 熱風溫度 및 乾燥速度 및 胴割率의 關係

人工乾燥에서 흔히 發生되는 곡물의 質的인 변화는 乾燥機適正作業條件의 설정에 제약 요소가 될 수 있으며 품질저하의 주된 내용은 胴割이라고 할 수 있으므로 一定 胴割率의 허용범위내에서 적정작업조건이 설정되어야 할 것이다. 人工乾燥의 경우 등할 발생의 주요인은 열풍온도, 절대습도 피전조물의 초기含水율 및 乾燥속도이다.

그런데 본 실험에서 사용된 벼의 초기含水율은 23%, 건조기간중 평균 절대습도는 0.014kg/kg이었으며 열풍온도는 40°C로 유지하였으므로 이와 같은 조건하의 등할율은 5%보다 훨씬 적은것으로 밝혀진바 있고¹⁾ 건조실험결과 각각의 조건하에서 등별含水율이 13.5% 까지 도달한 후의 건조속도는 1%

동할발생한계 속도인 1.8%/hr 이내이었다.¹⁰⁾

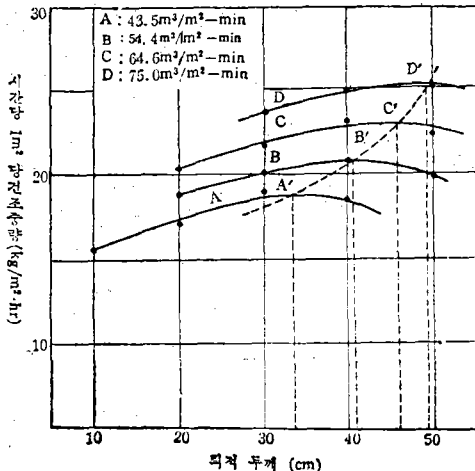
그러나 이와 같은 기준은 一般的으로 堆積두께가 비교적 두꺼운 평면식 건조기에 비해 동할율이 높은 얇은 층에서의 실험 결과이므로 본실험에서의 동할율은 앞에서 말한 값보다 훨씬 적은 것으로 확신된다. 따라서 본실험에서 수행된 作業조건하에서는 건조로인한 곡물질적 변화를 대표할 수 있는 동할은 적정 작업조건의 제약 요소가 될 수 없음을 알 수 있었다.

V. 適正作業條件의 設定

1. 作業能率에서 본 適正作業조건

乾燥機의 能率は 時間當 乾燥重量으로 표시하는 것이 一般的이고 이는 被乾物의 投入量을 건조소요시간으로 나누어서 구할 수 있다.

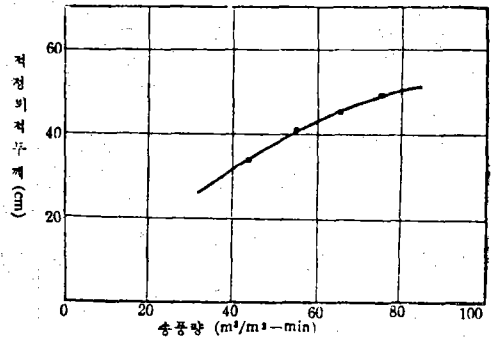
時間當 乾燥重量과 堆積두께와의 關係를 나타낸 것이 그림(5-1)이다.



그림(5-1) 풍량별 시간당 건조중량과 퇴적 두께와의 관계

위의 결과를 보면 時間當, 단위면적당, 건조중량은 풍량이 증가함에 따라 커짐은 물론이고 堆積두께가 증가함에 따라 어느 정도까지는 증가되나 어느 점 이후에는 다시 감소됨을 알 수 있다. 따라서 이와같은 임계퇴적두께에는 相應하는 風量에 대한 最適堆積두께라고 말할 수 있으며 이들의 各 臨界點을 연결한 곡선을 풍량에 따르는 적정 퇴적선으로 看做해도 무방할 것이다. 예를 들면 풍량이 43.5 m³/m²·min일 경우의 작업능율이 가장 높은 堆積두께는 약 33.5cm임을 알 수가 있다. 그림에서 분석

된 결과에 의한 풍량별 적정두께를 나타내면 그림(5-2)과 같으며 따라서 평면식 건조기의 가동에 있어서 作業의 能率面에서 본다면 그림(5-2)에 明示된 송풍량에 알맞는 두께를 유지하는 것이 바람직하다고 하겠다.



그림(5-2) 송풍량과 적정 퇴적두께와의 관계

軸流 fan의 風量에서는 대체로 능률적인 두께가 30cm 이상임을 알 수 있으며 송풍량의 증가에 따라 적정두께가 비례적으로 증가되지 않고 극히 둔화되어가는 현상을 나타내고 있다고 하겠다.

2. 熱効平面에서 본 適正作業조건

乾燥實驗기간중의 대기온(평균 16°C)이 加熱上限線인 40°C까지 가열하는데 필요한 투입열량(input heat)를 Q_{in} (Kcal/min)라하고 곡물의 最上層部의 함수율이 16%될 때까지 水分을 증발시키는데 소요되는 氣化열을 Q_{out} (Kcal/min)라 하면 열효율은 다음 식(5-1)으로 표시할 수 있다. 여기서 기화열은 溫度의 함수이며 同一堆積層에 대하여 건조 진행에 따라 곡물의 온도가 변화함으로 기화열도 건조 위치에 따라 변화할 것이라고 볼 수 있으며 따라서 이 분석에서는 乾燥의 進行에 따른 온도의 변화가 大体로 線型的으로 變化함으로 평균온도에 대하여 기화열을 계산하였다.

$$\rho = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100(\%) \dots\dots\dots(5-1)$$

$$Q_{out} = \frac{q_w \cdot w}{60} \dots\dots\dots(5-2)$$

$$q_w = 539.1 - 0.643(t-100) - 0.00084(t-100)^2 \dots\dots\dots(5-3)$$

여기서 ρ : 열효율(%)
 w : 시간당 수분증량(kg/hr)
 q_w : 水分 1kg을 증발시키는데 필요한 열량(kcal/kg)
 t : 곡물의 平均溫度(°C)

또 Q_{in} 은 Psychrometric Chart 를 利用하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_{in} = \frac{A \cdot q_A}{V} \dots \dots \dots (5-4)$$

여기서 A : 有効送入風量(m^3/min)

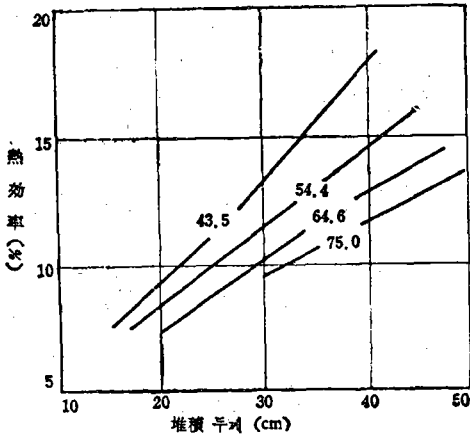
V : 空氣의 比體積(m^3/kg)

q_A : 건조공기 1kg를 가열하는데 필요한 열량(Kcal/kg)

위의 式들을 종합하면

$$\rho = \frac{q_w \cdot W \cdot V}{60 \cdot Q_{in} \cdot q_A} \dots \dots \dots (5-5)$$

式(5-5)에 의하여 風량별 堆積두께별 熱효율을 분석한 것은 그림(5-3)에 나타 내었다.



그림(5-3) 風량별 堆積두께와 熱효율 관계

그림(5-3)을 살펴보면 熱효율은 堆積두께가 두꺼울수록, 風량이 작을수록 높아짐을 알 수 있다. 따라서 熱효율 면에서 본 적정작업 조건은 같은 堆積두께에 대하여 風량이 낮을 필요가 있으나 이것은 작업의 生産面에서 본 適正作業조건과는 반대의 결과를 나타내게되며 작업生産과 熱효율을 같은 方向으로 提高시키는 方法이 없는한 實用面에서는 두가지의 상대적인 중요성에 따라 擧一하는지 아니면 건조기의 利用費用과 같은 다른 기준과 綜合하여 評價되어야 할 것이다. 여기에 한가지 注目할점을 작업生産面에서 본 적정작업조건에서의 熱효율은 14% 内外로 거의 一定하다는 점이다.

3. 利用費用面에서 본 適正作業조건

적정작업조건을 설정하는데 또한하나의 기준으로서 고려될수 있는 것이 건조기의 利用費用이다.

기계의 이용비용은 고정비와 변동비로 구분할 수 있으며 감가상각비, 자본이자, 수리비용을 고정비에 포함시키고 이들 비용은 구입가격에 대한 백분

율로 表示하며 연료비 및 전력비, 노임비등은 변동비에 포함시키는 것이 一般의이다.

여기에서는 앞에서 여러가지 분석결과와 비교하기 위하여 年間利用時間 및 風量別로 堆積두께에 따르는 乾燥機 利用費用으로 表示하였다. 그런데 소요動力에 따른 전동기의 구입가격을 결정하기 위하여 同一 송풍기를 사용하였을 경우 소정의 풍량을 얻을 수 있는 전동기의 크기는 다음 식에 의하여 결정하였으며 그 결과는 表(5-1)과 같다.

$$Ms(HP) = \frac{Q(Ps + Pd)}{754} \dots \dots \dots (5-6)$$

여기서 Ms : 전동기의 크기(HP)

Q : 소요風량(m^3/sec)

Ps : 靜壓(mm)

Pd : 動壓(mm)

ϕ : motor의 효율

表(5-1) 風량별 소요 마력

소요 風량 ($m^3/m^2 \cdot min$)	43.46	54.44	64.67	74.96
소요전동기크기 (HP)	0.5	1.0	1.5	2.0

이때 乾燥箱의 크기는 $1.8 \times 1.8m^2$ 이었고 motor의 효율은 0.4로 하였다. 또한 時間當 利用費用은 평면식 건조기의 특수성에 비추어 風량 및 堆積두께에 따라 시간당 작업生産, 시간당 연료 및 전기 소모량 및 適正 motor에 대한 구입가격이 각기 다르므로 다음과 같은 式을 利用하여 분석하였으며 이들 비용을 계산하기 위한 계산의 기초는 表(5-2)에 表示하였다.

$$H_{cij} = F_{cij} + V_{cij} \dots \dots \dots (5-7)$$

여기서 H_{cij} : 風량별 (i) 堆積두께별 (j) 연간사용시간에 대한 시간당 利用費用 (원/hr)

F_{cij} : 風량별 堆積두께별 연간사용시간에 따르는 시간당 고정비용(원/hr)

V_{cij} : 風량별 堆積두께별 연간사용시간당 변동비용(원/hr)

고정비용 F_{cij} 는

$$F_{cij} = \frac{1}{Y_h} [F_{mij}(R_m + I_m + D_m) + (F_{fij} + F_{sij})(R_{fs} + I_{fs} + D_{fs})] \dots \dots \dots (5-8)$$

변동비용 V_{cij} 는

$$V_{cij} = O_{ij} + E_{ij} + L_{ij} \dots \dots \dots (5-9)$$

으로 나타낼 수 있으며

여기서 Y_h : 年間使用 時間(hr)

F_{mij} : 풍량별(i) 퇴적두께별(j) 소모 motor 가격(원)

F_{sij} : 풍량별 퇴적두께별 소모 乾燥箱의 가격(원)

F_{fij} : 풍량별 퇴적두께별 소모 Fan의 가격(원)

R_m : motor의 수리비율(소수)

I_m : motor의 이자율(소수)

D_m : motor의 감가상각비율(소수)

R_{fs} : 乾燥箱 및 Fan의 수리비율(소수)

I_{fs} : 건조상 Fan의 이자율(소수)

D_{fs} : 건조상 Fan의 감가상각비율(소수)

O_{ij} : 풍량별 퇴적두께별 시간당 연료비(원/hr)

E_{ij} : 풍량별 퇴적두께별 전력비(원)

L_{ij} : 풍량별 퇴적두께별 노동비(원)

그리고 건조 作業量當 풍량별 퇴적두께별 연간 사용시간에 대한 利用費用은 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$W_{cij} = \frac{H_{cij}}{W_{dij}} \times 100 \dots \dots \dots (5-1)$$

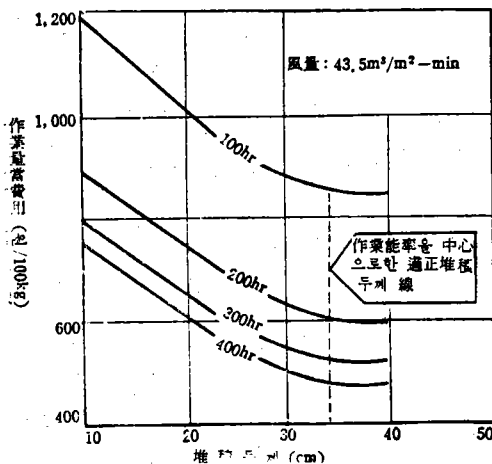
여기서 W_{cij} : 곡물 100kg을 건조시키는 데의 사용시간에 따르는 풍량별 퇴적두께별 利用費用(원/100kg)

W_{dij} : 풍량별 堆積두께별 時間當 乾燥重量(kg/hr)

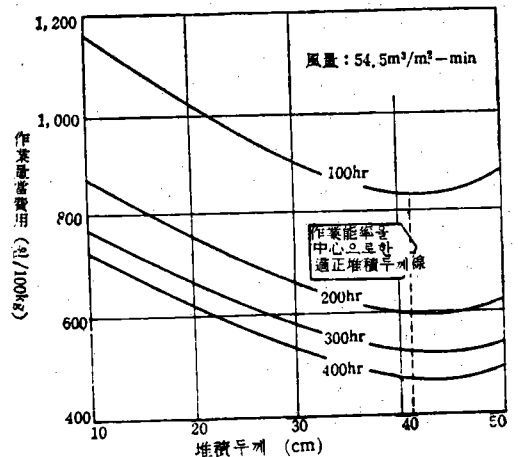
여기서는 motor와 motor를 제외한 乾燥箱 및 Fan으로 구분하여 계산하였고 각각의 폐기가격을 10%로 하였으며 乾燥箱 및 Fan의 耐久年限을 8년 motor의 내구년한을 4년으로 하였다. 또한 연간 수리비율은 3.75%, 이자율은 농업기계화 貸出利率 年⁹

表 (5-2) 費用分析 산출기초

區 分	구 입 가 격 (원)	固 定 費 用 내 역 (원/Year)				변 동 비 용 내 역		
		감 가 상 각 비 11.25%	수 리 비 3.75%	이 자 4.95%	합 19.95%	전 기 비	연 료 비	노 임
乾 燥 箱 및 Fan	127,000.00	14,287.00	4,762.50	6,586.50	24,800.00	24	61	100
Motor	구입가격(원)	감 가 상 각 비 23%	수 리 비 3.75%	이 자 4.95%	합 31.7%	원/KWH	원/l	원/hr
	0.5HP	16,000.00	3,680.00	600.00	792.00	5,072.00		
	1.0HP	23,000.00	5,290.00	862,500	1,138.50	7,291.00		
	1.5HP	30,000.00	6,900.00	1,125.00	1,485.00	9,510.00		
	2.0HP	37,000.00	8,510.00	1,387.50	1,831,500	11,729.00		

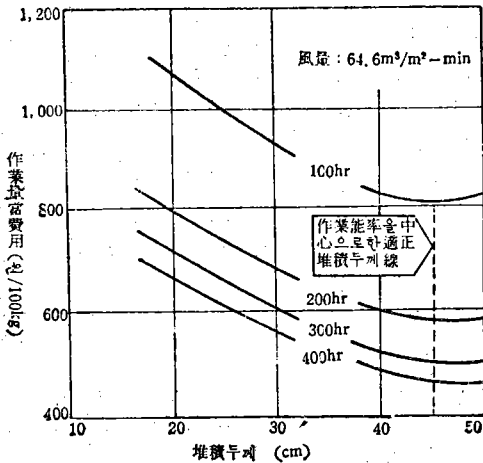


그림(5-4) 利用時間變化에 따른 堆積두께와 單位重量當 利用費用간의 關係

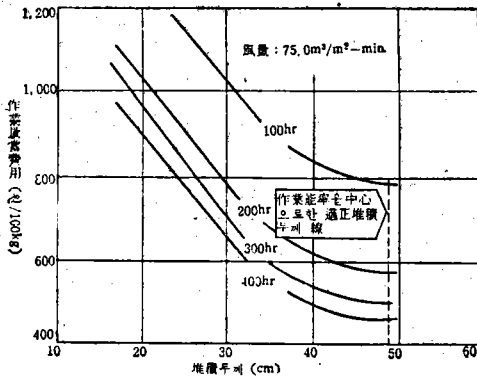


그림(5-5) 利用時間變化에 따른 堆積두께와 單位重量當 利用費用간의 關係

%를 근거로 하였고 연료비, 전력소모비 등은 1974년 11월 현재를 기준하였으며 노인은 시간당 100원으로 하였다.



그림(5-6) 利用時間變化에 따른 堆積두께와 單位重量 當 利用費用間의 關係



그림(5-7) 利用時間變化에 따른 堆積두께와 單位重量 當 利用費用間의 關係

이와같이 乾燥機 利用費用을 分析한 結果를 圖示 하던 그림 (5-4) (5-7)과 같다. 結果에 의하면 風量을 一定하게 했을 경우에 年간이용시간별 堆積두께에 따르는 100kg당 費用曲線의 變化는 거의 一定한 추세를 나타내고 있으며 여기서 注目하여야 할 것은 어느경우나 이용비용의 臨界堆積두께가 存在 하며 이 임계퇴적두께 이전에는 利用費用은 堆積두께가 증가할수록 저렴하여 지나 임계퇴적두께 이후에는 오히려 투적두께가 증가할수록 利用費用이 높아감을 알수가 있다.

즉 이러한 사실로서 利用費用만을 기준으로한 風量別 利用時間別 適正堆積두께는 바로 이러한 臨界

點임을 알수가 있으며 실제 平面式 乾燥機의 乾燥 作業을 수행함에 있어서 다른 제약조건이 없는한 最小 경비를 나타내는 作業條件이므로 이 조건에서 作業을 수행하는 것이 가장 바람직하다 하겠다. 그런데 이들 最小 경비를 주는 임계퇴적두께 또는 그에 相應하는 風量은 그림 (5-4)~(5-7)에서 點線으로 表示된 作業能率面에서 본 適正 퇴적두께와 거의 一致하거나 약간 높은 퇴적두께에서 나타나고 있으나 그 차이는 尠조하다 하겠다.

따라서 이미 지적된 作業能率을 向上시키는 적정 作業조건에서 作業이 수행된다면 같은 利用時間에 대하여 가장 경제적인 作業이 수행될 수 있다는 結論에 이르게 되었다.

여기서 한가지 注目할 點은 평면식 건조기의 年間利用 時間이 건조기 자체의 作動조건보다 利用費用에 극히 예민하게 나타남으로 乾燥費用을 저렴하게 하기 위하여는 一次的으로 年間利用時間을 可能한 限 증대시키는 방안이 고려되어야 할 것이다.

년간이용시간을 400시간 정도라고 하고 적정작업 조건하에서 作業이 수행된다면 100kg당 약450원 정도의 건조비용이 소요되나 年간 이용시간이 100시간 정도이면 800원 內外로서 거의 2倍의 費用이 소요된다는 點을 주시하여야 할 것이다.

IV. 結 論

평면식 건조기에 의한 乾燥作業을 수행함에 있어서 건조에 관계되는 기본요인을 실험하여 증발건조 상태, 건조소요 시간에 따르는 수분의 이동량, 시간당 건조량등을 분석하여 이것을 기초로 作業能率, 열효율, 이용비용등 여러 側面에서 본 適正 作業 條件을 구하였는바 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 건조기의 作業能率은 被乾燥物의 投入量에 대한 건조소요시간으로 나누어 구하였으며, 작업능률면에서 最 適 堆積두께는 風量과 堆積두께 상호관계로 規定할 수 있었으며 적정퇴적두께는 風量이 증가됨에 따라 증가되나 그 증가폭은 風量에 비례하지 않고 風量의 증가됨에 따라 점차로 둔화되었다.

현재 국내에 도입되어 있는 평면식 건조기와 축류 Fan의 경우 대체로 적정퇴적두께는 35cm 정도로 나타났다.

2. 곡물건조에 있어서 열효율은 건조시험이 종결될 때 까지의 대기온도에서 40°C까지 상승시키는데 대한 투입열량과 증발된 수분량을 기화시키는 데

필요한 열량의 비로 구하였으며 평면식 건조기 자체가 가지고 있는 제약 조건하에서는 획적두께가 두꺼울수록 또한 송풍량이 작을수록 바람직한 것으로 분석되었으나 이것은 작업능율면에서 본 결과와는 상충되는 결과였다.

3. 여러 작동조건(풍량, 연간이용시간, 획적두께)에 대하여 곡물 100kg을 건조시키는데 소요되는 비용을 구하고 건조기의 이용비용을 최소로 하는 작업조건을 구하였든바 적정작업조건은 작업능율면에서 본 획적두께와 거의 일치되거나 약간 높은 두께에서 나타났다.

그러나 연간이용시간이 이용비용에 무엇보다도 예민하게 작용함으로 건조비용을 낮추기 위하여서는 건조기 가동을 적정작업조건에 유지함을 물론 연간이용시간을 증대시킴이 극히 바람직하다고 인정되었다.

4. 따라서 평면식 건조기를 효과적으로 이용하기 위하여서는 열효율의 提高를 강조함으로 나타나는 乾燥作業의 非能率性을 탈피하고 作業 能率을 最大로하는 作業條件에서 年間利用時間을 最大로 증대시켜야 할것이라고 判斷되었다.

引 用 文 獻

1. A. P.O.; Training in storage and Preservation of Food Grains, Training Manual, Japan. 1970.
2. Barre, H.J.; Vaper Pressure in studying moisture Transfer Problems, Jour. of A. S. A. E. P. 247-249 Jun. 1973
3. Becker, H. A. and H. R. Sallans; A study of Internal moisture movement in the Drying of wheat kernel, Cereal Chemistry, 32 : 212-226. May 1955.
4. Fenton, F. C.; Storage of grain Sorgham. Agriculture Engineering, 22 : 185-188. May. 1941.
5. Hall, C. W.; Drying Farm crops. The Avi publishing company. Inc. 1971.
6. Hall, C.W.; Preventing crop Losses by Drying. Jour. of A.S.A.E.P 414-415, Jun 1956.
7. Henderson, S.M., A Basic Concept of Equilibrium moisture. Agriculture Engineering. 33 : 29-31, Jan 1952.
8. Henderson, S.M., and R.L. Perry. Agriculture process Engineering, John willy and Sons, N.Y. 1966.
9. Hukill, william. V.; Basic Principles in Drying Crop and Grain sorghum, Agricultural Engineering, 28 : 335-338, 340, Aug. 1947.
10. Hustrulid, Andrew.; Comparative drying Rato of naturally Moist, remoisted, and frozen wheat Jour. of A.S.A.E. 1963.
11. Kazarian, E. A. and C.W. Hall; Thermal Properties of Grain. Jour. of A.S.A.E, Vol 8, No. 1, p. 33-37. 1966.
12. Kelly, C.F.; Methods for drying grain on the Farm. Jour. of A.S.A.E.P 125-138, Apr. 1939.
13. Kelly, C.F.; DryingArtificially Heated wheat with Unheated air. Jour. of A. S. A. E. P 316-320, Sep. 1941.
14. Robe, F.E.; Aeration of Grain bin in vertical Bins. Jour. of A.S.A.E.P 98-103, Feb. 1958.
15. Simmonds, W.H.C., G.T. Ward,E. McEven; The drying of wheat Grain. Part I. the mechanism of Drying. Trans, Instn Chem. Engr. 31 : 265-278, 1953, (England)
16. Simmonds, K.H.C., G.T. Ward, E. McEven, The drying of wheat Grain, Part II. Through drying of Deep Beds. Trans Instn Chem Engr. 31 : 279-288. 1953 (England)
17. Shedd, C.K.; Resistance of Grain and seeds to air flow. Jour. of A.S.A.E. Sep. 1973.
18. Soe mangat, M., Esmay, M.L. : ce Drying with waste Engine heat. A.S..E. pae No. 73 -322 Jun. 1973.
19. 伴敏三; 人工乾燥における米の 胴割れに 關する 實驗的研究, 日本農業機械化 研究所 研究成績 No. 8, 1971. 10.
20. 渡邊鐵二郎; 通風乾燥機の 使い方., 新農林社, 1972.
21. 日本 全國農業協同組合 連合會 農業機械部; 水田作機械化 計劃のたて方.
22. 鄭昌柱; 米穀乾燥 機械化의 分析. 서울大學校 農料大學 附設 農業科學 研究所. 1973.