

穀物 乾燥機의 排氣熱 再利用 및 熱效率 改善에 關한 研究 **

Reuse of Exhaust Heat and Improvement in Fuel Efficiency of Grain Dryer

琴 東 赫*·李 鎔 國*·李 揆 昇*·韓 宗 昊*

Keum, Dong Hyuk · Lee, Yong Kook
Lee, Kyou Seung · Han, Jong Ho

Abstract

While most of researches on the performance of high temperature grain dryer have dealt mainly with improving dryer capacity and drying speed during the last twenty years, energy efficiency, in fact, has not been emphasized. Current fuel supplies and energy cost have shifted the emphasis to reducing the energy consumption for grain drying while maintaining dryer capacity and grain quality.

Since the energy input for drying is relatively large, the recovery and reuse of at least part of the exhaust energy can significantly reduce the total energy consumption in existing drying systems. Utilization of exhaust heat in grain dryer either through direct recycling or by a thermal coupling in heat exchanger have been subject of a number of investigators. However, very seldom research in Korea has been done in this area.

Three drying tests(non-recycling, 0.22 recycle ratio, and 0.76 recycle ratio)were performed to investigate the thermal efficiency and heat loss factors of continuous flow type dryer, and to analyze the effect of recycle ratio (weight of exhaust air recycled/total weight of input air) on the energy requirements for rough rice drying.

The test results showed that when the exhaust air was not recycled, the energy lost from furnace was 15.3 percent of input fuel energy, and latent and sensible heat of exhaust air were 61.4 percent and 11.2 percent respectively. The heat which was required in raising grain temperature and stored in dryer was relatively small.

As the recycle ratio of exhaust air was increased, the drying rate was suddenly decreased, and thermal efficiency of the kerosene burner was also decreased.

Drying test with 0.76 recycle ratio resulted in 12.4% increase in fuel consumption, and 38.4% increase in electric power consumption as compared to the non-recycled drying test.

Drying test of 0.22 recycle ratio resulted in 6.8% saving in total energy consumption, 8.0% reduction in fuel consumption, and 2.5% increase in electric power consumption as compared to the non-recycled drying test.

1. 結 論

穀物の 乾燥作業은 全體 農作業중에서 가장 많은 에너지가 所要되는 作業으로, 벼 生産의 경우 總所要 燃料의 50~60%가 乾燥作業에 所要된다.^(1,2) 따라서 農

業生産에서 에너지 消費量을 줄이기 위해서는 效率的인 乾燥方法의 摸索이 가장 중요하다.

그러나 過去 20여년 간 穀物 火力 乾燥機의 性能 向上을 위한 研究는 乾燥速度 및 乾燥機 容量의 增大와 높은 作動 信賴性的의 確保에 集中되었으으며, 熱

* 成均館大學校 農科大學 農機械工學科

** 本 研究는 한국과학재단의 '83년도 연구비 지원에 의하여 수행된 것임

에너지의 효율적인 利用 問題는 看過됨으로써 現在의 火力 乾燥機의 熱效率은 과거에 비하여 오히려 낮아진 實情이다 (9, 16).

따라서 現在 利用되는 火力 乾燥機의 熱效率을 높이기 위해서는 投入熱의 흐름을 추적하여 熱損失 要因을 究明하는 동시에 效率적인 熱利用 方案을 강구해야 할 것이다.

現在의 火力 乾燥機의 경우 投入熱量중 穀物 乾燥에 效果적으로 利用되지 못하고 排出되는 顯熱량이 20~30%나 되며, 投入熱량의 30~55%에 達하는 穀物 水分蒸發潛熱이 排出되므로써, 總排出熱량은 全体 投入熱량의 60~80%인 것으로 알려지고 있다 (11). 따라서 이러한 많은 量의 排出熱을 效果적으로 再 利用하므로써 熱效率을 增大시키는 方法의 研究가 外國에서는 活潑히 進行되고 있다.

그러나 國產 火力 乾燥機에 대하여서는 이와 關聯된 研究가 이루어 지지 못하고 있으며, 熱利用率의 評價나 熱損失 要因의 究明도 되지 못하고 있는 實情이다.

이러한 見地에서 本 研究의 目的은 國產 循環式 火力 乾燥機의 熱利用率을 評價하고, 熱損失 要因을 究明하는 同時에 排氣熱의 再利用 可能性과 所要에너지에 미치는 效果를 究明하는데 있다.

2. 文 獻 概 要

琴(12)등은 穀物의 乾燥作業은 全體 農作業중에서 가장 많은 에너지가 所要되는 作業으로 벼 生産의 境遇, 耕耘에서부터 移秧, 防除 및 收穫 作業에 이르기까지에 所要되는 全體 燃料의 약 57.3%가 乾燥作業에 所要된다고 報告하였다. Issacs(8)은 옥수수 의 境遇, 약 68%가 乾燥作業에 所要된다고 報告하였다. 農作業에서 에너지 消費量을 줄이기 위해서는 效率적인 乾燥方法의 模索이 가장 效果의이라고 報告하였다.

그러나 Kato(9), Pierce(16)등의 報告에 의하면 過去 20여년 간의 火力 乾燥機의 性能向上을 위한 研究는 乾燥速度 및 容量의 增大, 높은 作動 信賴性的의 確保에 集中되었으며 熱에너지의 效果적인 利用問題는 看過됨으로써 오히려 熱效率이 낮아졌다고 指摘하였다.

Kato(10, 11)등은 現在 一般的으로 利用되는 火力 乾燥機의 境遇, 1kg의 穀物 水分을 蒸發시키는 데 必要한 供給에너지는 1100~1800Kcal 程度이며

平均 1300Kcal 程度라고 報告하였다. 또한 Holmes(7)는 高溫 高速 乾燥의 境遇, 1100~1670Kcal/kg, H₂O의 熱량이 所要되므로 乾燥效率이 30~50%라고 報告하였으며, in-bin 乾燥의 境遇는 550~830Kcal/kg, H₂O로 乾燥效率이 100%에 가깝다고 報告하였다.

Yamashita(20)는 火力 乾燥機의 乾燥效率 및 熱 흐름은 乾燥機의 設計, 規模, 穀物層의 두께 및 作動 方法에 따라서 다르다고 報告하고 投入熱量 중 5~15%는 燃燒機에서 損失되며, 10~20%는 乾燥機의 壁體에서의 損失 및 乾燥機의 加熱에 所要되며, 穀物 加熱에 所要된 4~10%는 穀物과 함께 排出된다고 報告하였다.

Kato(11)는 火力 乾燥機에서 熱效率을 增大시키기 위해서는 壁體를 통한 熱損失을 줄이기 위해 乾燥機 壁體를 斷熱하는 方法, 排出空氣의 顯熱을 줄이기 위해 穀物層의 두께를 增大시키는 方法, 投入熱의 60~80%에 達하는 排出空氣의 熱을 再利用하는 方法을 考慮할 수 있다고 報告하였다.

Yamashita(20)는 排出熱을 穀物의 豫熱에 利用하기 위한 方法으로 multi-layer passing method를 採擇한 結果, 穀溫 上昇에 많은 熱이 所要되는 高溫 乾燥 裝置에서 排氣로 顯熱이 損失되는 것을 效果적으로 줄일 수 있다고 報告하였다.

Lai(14)등은 排出空氣를 再循環시켜 利用하므로써 16% 程度의 에너지 節約 效果가 나타난 것으로 報告하고, 또한 이러한 方法은 乾燥空氣가 높은 相對濕度를 維持하고, 乾燥速度가 느리기 때문에 穀物의 品質이 向上된다고 報告하였다.

Lai(14)등은 排出熱을 再利用하기 위한 方法으로 pipe heat exchanger를 使用하여 10%의 에너지 節約 效果가 나타난 것으로 報告하였으며, Bakker-Arkenma(1)등도 같은 形態의 熱交換機를 使用하여 20%의 에너지 節約 效果가 나타난 것으로 報告하였다.

Kato(9)등은 熱펌프를 乾燥에 利用하므로써 1kg의 穀物 水分蒸發에 299Kcal의 熱이 投入되어 一般 火力 乾燥機의 1/4 程度의 에너지가 所要되었다고 報告하였다.

Wall(18)등은 乾燥空氣의 溫度를 上昇시키면 乾燥速度 및 乾燥效率이 增大하며, 벼의 境遇, concurrent-flow dryer에서 벼의 品質에 損傷을 주지 않고 乾燥空氣의 溫度를 120℃까지 높일 수 있다고 報告하고, 이 境遇 適切한 tempering 過程을 거쳐야 한다

고 報告하였다.

Keener(13)등은 Cross-flow 및 in-bin 乾燥機에서 效率을 極大化하기 위한 作動條件을 穀物層의 두께, 送風機의 動力 및 送風溫度의 函數로 나타내고, 最適 堆積두께는 1.0~3.0m, 最適 溫度는 送風機 動力의 函數로 나타나며 溫度 制限 區間의 上下 限値 近處에서 나타난다고 報告하였다.

3. 實驗方法 및 材料

가. 實驗條件 및 供試 材料

本 實驗은 投入된 乾燥空氣를 完全 排出시키는 乾燥 實驗(Test 1)과 排出空氣의 22%를 再循環시키는 乾燥 實驗(Test 2) 및 排出空氣의 76%를 再循環시키는 乾燥 實驗(Test 3)으로 나누어 實施하였으며, 各 實驗에 利用된 벼 品種 및 實驗條件은 表 3-1과 같다.

벼의 含水率은 下端 橫移送 스크루우 콘베이어 附近에서 30분마다 3회 各各 40±5g의 試料를 採取 하여 105℃의 乾燥오븐에서 24時間 乾燥 後 무게를 計量하여 決定하였다.

流入空氣 및 排出空氣의 溫度와 相對濕度는 熱傳 帶를 利用하여 測定하였으며, 12點 自動 溫度 記錄 計를 利用하여 溫度를 自動 記錄하였다. 또한 穀物의 溫度도 熱傳帶를 利用하여 自動 測定하였다. 送風機 溫度는 燃燒機 뒷쪽에 90cm 길이 的 熱傳帶를 插入 하여 計測하였다. 排出空氣의 乾球 및 濕球 溫度는 그림 3-1과 같이 乾燥氣 밑바닥에서 1.18m와 1.87m 높이 및 排出팬 中央에 測定口를 만들어 各各 乾球 및 濕球 熱傳帶를 插入하여 計測하였다.

穀物의 溫度는 乾燥機 밑바닥에서 1.18m 및 1.87 m 높이에 各各 測定口를 만들어 測定하였다.

外氣溫度는 自記 乾濕球 溫度計를 利用하여 計測

Table 3-1 Materials and experimental conditions

	Test 1	Test 2	Test 3
Rough rice variety	Milyang 23	Seonam	Hankang
Initial moisture content (% , w. b.)	25.8	25.2	21.8
Initial grain temperature (°C)	18.1	20.0	20.6
Initial grain weight (kg)	1753.2	1980.0	2046.1
Average ambient air temperature (°C)	18.2	21.6	17.3
Average ambient relative humidity (%)	80.5	52.9	77.0
Airflow rate (cmh)	48.0	48.0	48.0
Grain flow rate (kg/hr)	3428.4	3428.4	3428.4
Drying air temperature (°C)	37.5	38.0	36.8
Exhaust air recycle ratio *	0.0	0.22	0.76

* Defined as the weight of exhaust air recycled to the total weight of input air

나. 實驗裝置 및 方法

本 實驗에 利用된 乾燥機는 國產 循環式 火力燥機로 重要한 諸元은 表 3-2와 같다.

Table 3-2 Specifications of the grain dryer used for the test

Model	HSD-210
Capacity	1000-2100kg
Grain layer thickness	270mm
Wall plate thickness	1.2mm
Heated air blowing fan	Axial type (dia. 580mm)
Exhaust fan	Axial type (dia. 480mm)

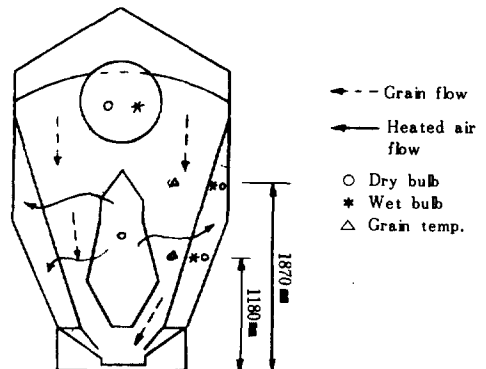


Fig. 3-1 Measuring points of temperature in the dryer.

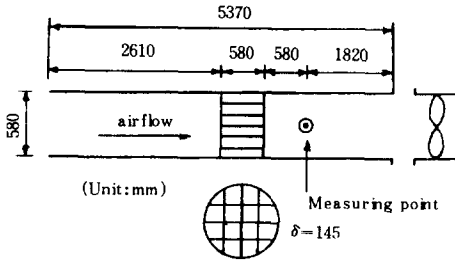


Fig. 3-2 Specifications of circular duct for measuring airflow rate.

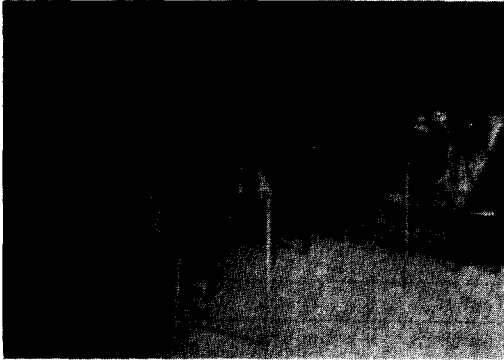


Fig. 3-3 Circular duct for measuring airflow rate.

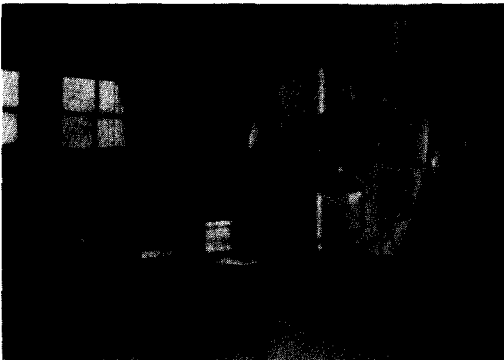


Fig. 3-4 U-shape duct for circulating exhaust air, and fuel consumption meter.

하였다.

送風량은 KSB 6311 規定에 따라 그림 3-2 및 그림 3-3과 같이 길이 5.37m, 直徑 0.58m의 圓筒形 덕트속에 先端으로 부터 2.61m 位置에 層流格子를 設置한 送風量計測 덕트를 만들어 送風機 入口에 附着하고, 熱線 風速計를 利用하여 圓形断面 16개 地點의 風速을 測定하여 決定하였다.

排出 空氣를 再循環시키기 위하여 그림 3-4와같이 空氣 吸入口와 排出口사이를 U字形 덕트로 連結하고, 再循環率을 調節할 수 있도록 6個所에 開閉裝置를 設置하였다. 또한 再循環 덕트를 通過하여 吸入되는 空氣의 狀態를 計測하기 위하여 入口에 測定口를 만들어 乾球 및 濕球 溫度를 測定하였다.

팬과 스크루우 컨베이어 및 버킷 엘리베이터를 구동시키는데 소요되는 電力은 구동전동기에 소요되는 電庄과 電流값을 計測하여 결정하였다.

燃料(석유)의 발열량은 bomb 칼로리메타로 측정하였다.

實驗에 利用된 計測機의 主要한 諸元은 表 3-3과 같다.

4. 결과 및 고찰

가. 實驗 結果의 概要

表 4-1은 重要한 實驗 結果를 要約한 것이다.

表 4-1에서와 같이 Test 1에서의 乾燥速度는 0.96% w. b./hr로 時間당 平均 20.13kg의 水分이 除去되었다. Test 2에서는 乾燥速度 및 水分除去量이 各各 0.84% w. b./hr 및 19.63kg/hr로 나타났으며, Test 3에서는 各各 0.55% w. b./hr 및 14.56kg/hr로 나타났다.

이와같이 排出空氣의 再循環率이 증가함에 따라 乾燥速度는 感少하였다.

또한 燃料消耗率은 Test 1, Test 2 및 Test 3에

Table 3-3 Specifications of measuring instruments used for drying test

Measuring instruments	Specifications
Temperature recorder	12pt. recorder
Thermocouple	Copper-constantan, accuracy; $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$
Hot wire anemometer	Min. div.; 0.5 m/sec
Self recording thermo-hygrograph	Temperature; 1°C , humidity; $\pm 3\%$
Wet-and-dry bulb thermometer	Accuracy; within $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
Balance	Accuracy; 0.01 g
Clamp current & voltage meter	Accuracy; $\pm 3\%$

Table 4-1 Results of the drying test.

	Test 1	Test 2	Test 3
Drying time (hrs)	9.7	12.0	11.7
Final moisture content (% w. b)	16.5	15.1	14.7
Final grain temperature (°C)	27.9	35.5	34.0
Average drying rate (% w. b./hr)	0.96	0.84	0.55
Water removed from grain (kg/hr)	20.13	19.63	14.56
Average exhaust air temperature (°C)	24.3	26.1	27.4
Average exhaust air relative humidity (%)	77.0	80.2	79.0
Average fuel consumption (ℓ /hr)	2.13	1.91	1.73

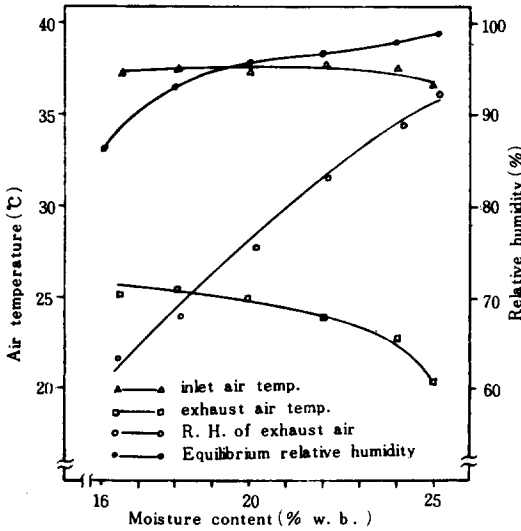


Fig. 4-1 Temperature and humidity changes of exhaust air in drying process (recycle ratio : 0.0)

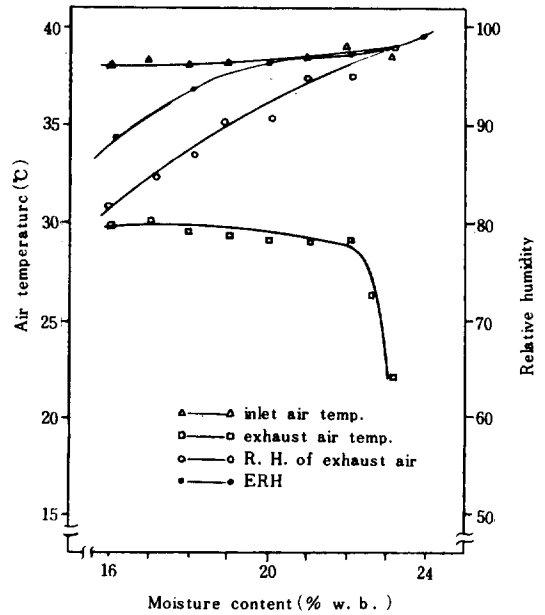


Fig. 4-2 Temperature and humidity changes of exhaust air in drying process (recycle ratio:0.22)

서 各各 2.13ℓ/hr, 1.91ℓ/hr 및 1.73ℓ/hr로 나타났다.

나. 排出空氣의 狀態變化

그림 4-1~4-3은 各各 Test 1, Test 2 및 Test 3에서의 排出空氣의 溫度 및 相對濕度和 流入空氣의 狀態에 對한 平衡相對濕度의 變化를 나타낸 것이다.

그림 4-1에서와 같이 排出空氣의 相對濕도는 平衡相對濕度보다 상당히 낮은 값을 나타내고 있으며, 이와 같은 현상은 含水率이 낮은 乾燥后期로 갈수록 더욱 심하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 排出空氣를 순환시킨 그림 4-2와 4-3에서는 그 차이가 상당히 감소됨을 알 수 있다. 따라서, Test 1에서는 乾燥能力이 상당히 큰 空氣가 排出되므로 流入空氣가 效果의으로 乾燥에 利用되지 못하고 있으며, Test 2와 Test 3에서는 流入空

氣의 熱利用率이 다소 개선될 것으로 예상된다.

다. 燃料에너지의 利用率 및 熱收支

乾燥機에서의 燃料에너지의 平衡方程式은 다음식으로 표시된다.

$$Q_{T_r} = Q_r + Q_e + Q_{w_d} + Q_e$$

여기서, Q_{T_r} = 總投入 燃料에너지 (燃料의 발열량, KJ/hr)

Q_r = 燃燒機에서의 不完全燃燒등에 依한 損失熱 (KJ/hr)

Q_e = 穀物加熱에 所要된 熱 (KJ/hr)

Q_e = 排出熱 (KJ/hr)

Q_{w_d} = 乾燥機 壁體에서의 損失熱과 乾燥機에 貯藏

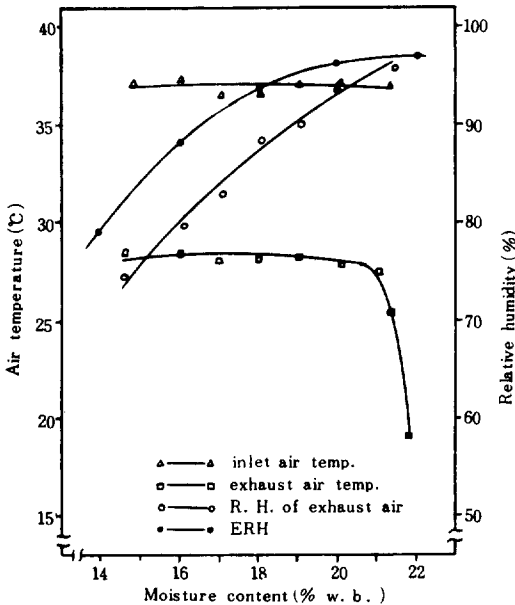


Fig. 4-3 Temperature and humidity changes of exhaust air in drying process (recycle ratio : 0.76)

된 熱(KJ/hr)

Q_r 는 다음 식으로 算出하였다.

$$Q_r = Q_{T,r} - G_1 (H_0 - H_1)$$

여기서, G_1 = 流入空氣의 流入率 (kg dry air/hr)

H_1 = 流入空氣의 加熱前의 엔탈피 (KJ/kg dry air)

H_0 = 流入空氣의 加熱后의 엔탈피 (KJ/kg dry air)

G_s 는 다음 식으로 算出하였다.

$$Q_s = G_s \times C_{em} \times \Delta t / DT$$

여기서 G_s = 全体穀物重量 (kg)

C_{em} = 穀物の 平均比熱 (KJ/kg °C)

Δt = 穀温増分 (°C)

DT = 所要 乾燥時間 (hr)

穀物の 比熱은 Wratten(19) 식을 利用하였으며, Test 1, Test 2 및 Test 3 에서의 穀의 平均比熱은 各各 2.07KJ/kg °C, 2.16KJ/kg °C 및 1.92KJ/kg °C 이었다.

乾燥機에서의 排出熱은 排出空氣의 엔탈피와 排出空氣의 排出率을 곱하여 산출하였다. 한편 排出空氣의 排出熱은 穀物水分의 蒸發潛熱과 濕熱의 合으로 表示된다.

蒸發潛熱은 다음식으로 算出하였다.

$$Q_e = 4.187 (597.58 - 0.57 T) \cdot (1 + 1.24962 \text{EXP} (-21.733 \text{Md}))$$

여기서 Q_e = 蒸發潛熱 (KJ/kg H₂O)

T = 穀物温度 (°C)

M_d = 穀物含水準 (소수, d. b.)

$Q_{w,d}$ 는 Q_r 에서 Q_s , Q_e 및 $Q_{w,d}$ 를 뺀 나머지 熱量으로 간주하였다.

이상의 方法으로 算出한 結果를 熱흐름도로 나타낸 것이 그림 4-4 ~ 4-6 이다.

그림 4-4에서와 같이 Test 1의 경우는 投入燃料에너지 중에서 穀物乾燥에 利用된 蒸發潛熱은 61.4%이었으며, 燃燒機에서 15.3%가 損失된 것으로 나타났다. 또한 排氣로 排出되는 에너지는 76.6%에 이르며, 특히 乾燥에 利用되지 못하고 排出되는 顯熱이 15.2%에 달하였다.

그림 4-5는 Test 2의 경우로, 연소기에서의 熱損失은 15.8%로 Test 1의 경우보다 약간 증가하였다. 반면에 蒸發潛熱은 68%로 Test 1에 비하여 증가하였으며, 顯熱의 排出는 2.8%에 불과하여 乾燥機의 熱利用率이 크게 향상된 것을 알 수 있다.

그림 4-6은 Test 3의 경우로, 연소기에서의 熱損失이 20.4%나 되어 排氣熱을 재순환하므로써 연소기의 熱效率이 저하됨을 알 수 있다. 또한 蒸發潛熱이 56.1%로 나타나므로써 오히려 Test 1에 비하여 熱利用率이 저하된 것으로 나타났다.

라. 總所要에너지 및 乾燥效率

乾燥에 所要된 總에너지는 所要 燃料에너지와 所要 電力量의 合으로 表示된다.

總所要에너지, 乾燥機의 熱效率(蒸發潛熱/總投入燃料에너지) 및 乾燥效率(蒸發潛熱/總投入에너지)의 計算結果는 表 4-2와 같다.

表 4-2에서와 같이 燃料에너지의 경우 Test 1에 비하여 Test 2의 경우는 8.0% 節減된 반면 Test 3의 경우는 오히려 12.4% 增加하였다.

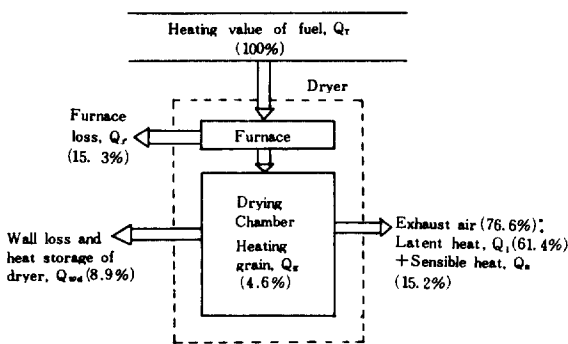


Fig. 4-4 Energy flow of the dryer. (recycle ratio : 0.0)

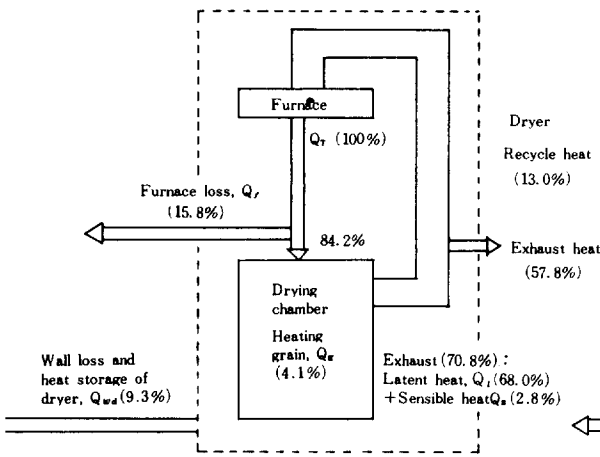


Fig. 4-5 Energy flow of the dryer. (recycle ratio : 0.22)

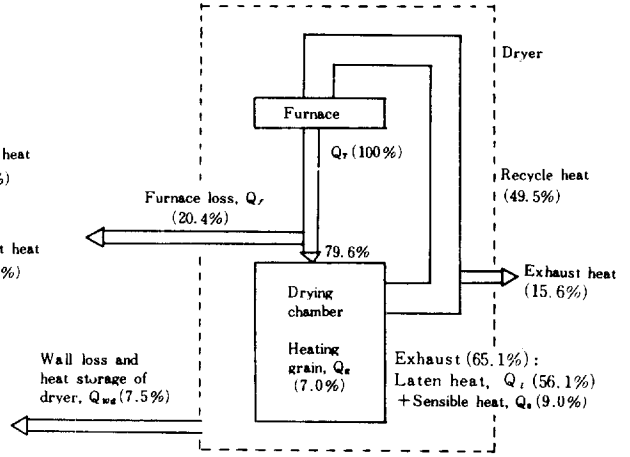


Fig. 4-6 Energy flow of the dryer. (recycle ratio : 0.76)

Table 4-2 Energy consumption for evaporation of one kilogram of water from rough rice

		Test 1	Test 2	Test 3
Fuel energy	Consumption (KJ/kg H ₂ O)	3940.0	3625.8	4427.7
	% difference ¹⁾	-	-8.0	+12.4
Electrical energy	Consumption (KJ/kg H ₂ O)	524.0	537.3	724.5
	% difference ¹⁾	-	+2.5	+38.3
Total energy	Consumption (KJ/kg H ₂ O)	4467.0	4163.1	5152.2
	% difference ¹⁾		-6.8	+15.3
Thermal efficiency ²⁾		61.4	68.0	56.1
Overall drying efficiency ³⁾		54.2	59.2	48.2

- 1) % difference values indicate the relative differences based on the results of Test 1
- 2) Defined as the latent heat of grain moisture to fuel energy consumption.
- 3) Defined as the latent heat of grain moisture to total energy consumption.

한편 소비전력량의 경우는 Test 1에 비하여 Test 2 및 Test 3의 경우 각각 2.5% 및 38.3%가 증가한 것으로 나타났다.

총소요에너지의 경우 Test 3의 경우는 Test 1에 비하여 오히려 15.3% 증가하였으나, Test 2의 경우는 6.8% 감소한 것으로 나타났다.

乾燥機의 熱效率은 Test 1에 비하여 Test 3는 5.3% 저하된 반면 Test 2의 경우는 6.6% 증가된 것으로 나타났다.

또한 乾燥效率은 Test 1에 비하여 Test 3는 6% 저하된 반면 Test 2의 경우는 5% 증가되었다.

따라서, 排出空氣를 과도하게 재순환시키면 燃燒效率이 떨어져서 오히려 燃料에너지의 所要量이 증

가한 뿐만 아니라, 乾燥速度를 저감시키므로써 乾燥所要時間이 연장되어 所要電力量이 크게 增加함을 알 수 있다. 그러나 재순환율이 낮은 Test 2의 경우는 所要電力量은 다소 증가하지만 燃料에너지 및 總所要에너지의 節減效果가 나타났으며, 乾燥效率도 개선된 것으로 나타났다. 따라서, 적정량의 배출공기를 재순환하여 이용하면 乾燥所要에너지를 절감할 수 있으며 乾燥效率이 개선될 것으로 판단되므로 적정 재순환율을 구명하는 것이 중요한 과제이다.

5. 結論 및 要約

循環式 火力乾燥機의 熱利用率 및 熱損失 要因을 究明하고 排氣熱의 再利用 效果를 分析하기 위하여

排氣를 完全히 排出시킨 乾燥實驗(Test 1)과 排氣의 再循環率(再循環 排氣의 重量 / 流入空氣의 總重量)을 22%로 한 乾燥實驗(Test 2) 및 排氣의 再循環率을 76%로 한 乾燥實驗(Test 3)를 各各 벼를 試料로 하여 수행하였다.

實驗의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. Test 1, Test 2 및 Test 3에서의 平均 乾燥速度는 各各 0.96%, w. b. /hr, 0.84%, w. b. /hr 및 0.55%, w. b. /hr로 나타나므로써 배기의 재순환율이 증가함에 따라 乾燥速度는 급격히 하강하였다.

2. Test 1에서의 排氣의 相對濕度는 벼의 平衡 相對濕度보다 상당히 낮게 나타나므로써 熱風이 効果의으로 利用되지 못하였으며, 排氣의 再循環率이 증가함에 따라 이들의 차이는 감소하였다.

3. Test 1에서 投入燃料에너지 중에서 연료의 불완전 연소로 인한 연소기에서의 熱損失이 15.3%, 穀物加熱에 4.6%, 건조기 벽체로의 손실 및 건조기에 저장된 열이 8.4%로 나타났으며 72.6%의 熱이 排出되었다. 또한 排氣熱 가운데 벼의 水分 증발잠열이 전체투입에너지의 61.4%, 顯熱이 11.2%로 나타났다.

4. 排氣의 재순환율이 증가함에 따라 연소기의 熱效率은 감소하였다.

5. Test 1에 比하여 Test 3의 경우는 所要燃料 에너지 및 所要電力量이 모두 크게 증가한 반면, Test 2의 경우는 所要燃料에너지는 감소하였으며, 所要電力量은 약간 증가하였다.

따라서, 總所要에너지는 Test 1에 比하여 Test 3의 경우는 15.3% 증가한 반면, Test 2의 경우는 6.8% 節減되었다.

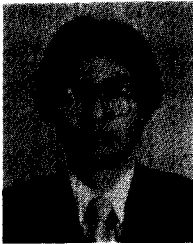
6. 乾燥效率은 Test 2의 경우가 59.2%로 가장 높게 나타났으며, Test 1이 54.2%, Test 3이 48.2%로 나타났다. 따라서, 적정량의 배기를 재순환하므로써 乾燥效率의 改善이 가능한 것으로 나타났다.

參考文獻

1. Bakker-Arkema, F.W., S. Sokhansanj D.M. Farmer, 1975. Heat pipes for saving energy in grain drying. ASAE paper No. 75-3516.
2. Bakker-Arkema, F.W., L.E. Serew, S.F. Deboer and M.G. Roth. 1974. Grain dryer simulation. Research Report 224. Ag. Exp. Station, Michigan State University, East Lansing.

3. Bridges, T.C., 1982. A computer aid for management on farm layer drying system. Trans. of ASAE 25(3).
4. Brook, R.C. and G.H. Foster. 1979. Cereals and feed grains, CRC hard book series in agriculture.
5. Hawk, A.L., et al., 1978. The present status of commercial grain dryer. ASAE paper No. 78-3008.
6. Hogan, H.R., 1976. Low temperature heat pump grain dryer design performance. ASAE paper No. 76-3519.
7. Holmes, E.S. Minimizing fuel use in grain drying.
8. Isaacs, G.W., 1973. An overview of energy consumption in corn production and marketing. Energy for agriculture conference, Purdue Univ.
9. Koto, K., 1977. Energy saving and heat recovery of grain dryer. Unused resources in agriculture published by The Society of Agricultural Machinery, Japan.
10. Kyoto Univ, 1982, Energy saving of grain dryer-a thermodynamic evaluation Research Report in Agricultural Machinery, Kyoto Univ.
11. Kato, K., R. Yamashita. Re-use of the exhaust air of dryer. JSAM, Japan, 43(4).
12. 琴東赫. 1978. 太陽熱을 利用한 穀物乾燥에 關한 研究. 韓國農業機械學會誌 3(1)
13. Keener, H.M., T.L. Glenn, and R.N. Misra, 1981. Minimizing fossil fuel energy in corn drying system. ASAE 24(5).
14. Lai, F.S., G.G. Foster, 1977. Improvement in grain-dryer fuel efficiency through heat recovery. ASAE 20(2).
15. Morey, R.V., R.J. Gustafson, and H.A. Cloud, 1981. Combination high-temperature, ambient-air drying. ASAE 24(2).
16. Pierce, R.O., T.L. Thompson, 1981. Energy use and performance related to crossflow dryer design. ASAE 24(1).
17. Sokhansanj, S., F.W. Bakker-Arkema, 1981. Waste heat recovery in grain dryer. ASAE 24(5).
18. Wall, L.P., F.W. Bakker-Arkema, 1981. Energy efficiency in concurrent flow rice drying. ASAE

- 24(5).
19. Wratten, F.T., W.D. Povle, J.L. Chesness, S. Bal and V. Romarao, 1969. Physical and thermal properties of rough rice. ASAE paper No. 68-909.
20. Yamashita, R. 1982. Trend of dryer in Japan, JSAM, Japan 44(3).
21. Kobe Univ., 1975. Studies on the drying machine of forage and grain, Science Report of Faculty of Angriculture, Kobe University.



學 位 取 得

姓 名：文 城 弘
生 年 月 日：1945年 8月 6日
勤 務 處：忠北大學校 農科大學 農業機械學科
取 得 學 位 名：工學博士
學 位 授 與 大 學：University of Maryland
學 位 取 得 年 月 日：1984年 8月 25日
學 位 論 文：Analysis of Combined Natural
and Forced Convection Around
Cylinders and Spheres