

왕겨燃燒機의 性能에 影響을 미치는 設計 및 作動因子에 關한 研究

The Effects of Operational and Mechanical Factors on the Performance of Rice - Husk Furnace

朴 勝 濟** · 盧 祥 夏*
Park, Seung Je · Noh, Sang Ha

Summary

This study was performed to obtain the basic data which could be used for the modification of the manual center-burner-type rice-husk furnace into a small scale automatic type for the multi-purpose use in the farm.

For this purpose, first, the utilization feasibility of the rice-husk furnace in the farm was analyzed briefly in aspects of available amount of rice-husk for the fuel, annual operation time and replaceable amount of residential heating energy with rice-husk in the farm. For the experiment a prototype furnace geared with an automatic feeding device was fabricated, and feed rate, mold size and chimney height were changed to investigate the combustion efficiency of rice-husk and thermal efficiency of the furnace. Also, optimum and limiting operational factors were observed in each treatments.

The results obtained are summarized as follows.

1. If the rice-husk is intensively used for residential heating in the farm for winter season, on an average 51 percent of the total heating energy can be replaced with the rice-husk. Therefore, development of a small scale automatic rice-husk furnace was recognized to be feasible.
2. The operational condition depending on husk-feed rates was very important factor for successive steady burning operation of the given furnace.
When the feed-rate was 1.5 kg/hr, the top of the burning zone should be kept at the position about 55 cm from the bottom of the combustion chamber with the periodic removal of ash (termed as steady state position), which was 18 cm above the mold waist. When the feed rates were 2.4 kg/hr and 3.0 kg/hr, the steady state position was at about 4 cm above the mold waist.
3. The mold size affected inflow rate of air into the furnace and consequently CO content in the exhaust gas. The relatively bigger mold gave positive effect on the air-inflow rate.
4. When the husk-feed rates were 1.5 kg/hr, 2.4 kg/hr, 3.0 kg/hr, the combustion efficiencies of the rice-husk were 98.5%, 97.4% and 95.0%, the thermal efficiencies of the furnace were 93.4%, 93.2% and 87.6%, and CO content in the exhaust gas were 1.21%, 1.03%, and 2.43%, respectively. The air-inflow rates were decreased with the increase of feed rates. When the amount of excess air was 30-40%, the CO content in the exhaust gas was at the minimum level.
5. When the chimney height was lowered from 260 cm to 96 cm, the air-inflow rate was slightly decreased, but the average temperature in the combustion chamber, CO content in the exhaust gas and combustion and thermal efficiencies were not changed significantly.

* 서울大學校 農大 農工學科

** 成均館大 農大 農業機械工學科

6. The incidental problems associated with the prototype furnace were accumulation of the ash inside the mold, accumulation of the cinder between the outer-drum of the furnace and the combustion chamber wall, and accumulation of the cinder in the chimney.

1. 緒 論

우리나라의年間 왕겨 생산량은 약 124萬톤 정도이며, 이것을 B-C油로 換算하면 약 440ml로서 우리나라 總 油類消費量의 2.5%에 해당되는 莫大한 에너지源이다.⁵⁾ 이러한 에너지源의 效果的인 利用은 農村經濟에 큰 影響을 미칠 것으로 생각된다.

왕겨는 農業的, 工業的으로 여러 分野에서 利用될 수 있으나 實質的으로 여러가지 技術的인 問題 때문에 現在 國內에서는 效果的으로 利用되지 못하고 있다. 그러나 앞으로 體系的인 研究를 遂行한다면 그 利用性은 더욱 높아질 것이며, 더우기 에너지 枯渴 問題를 對備하여 에너지源을 開發해야 한다는 점과 왕겨는 결국 廢棄物로서 處理를 해야 한다는 점을 考慮하면 그 研究는 더욱 必要한 것으로 생각된다.

그런데 왕겨는 그 造成成分이나 物理的 化學的 特性을 考慮하여 볼 때 에너지源으로 利用하는 것이 가장 바람직하다고 判斷된다. 金志同등¹⁾은, 왕겨는 硬度가 비교적 높아 練磨性을 띠고 있으며, 肥料나 飼料로서 利用될 수 있는 有効性분이 적고, 잘 썩지 않으며, 單位 무게當 부피가 크다고 報告하였다. 또 왕겨의 熱分解 特性에 對해서 110℃에서 吸着水分은 蒸發이 거의 完了되며, 有機物은 200℃ 정도에서 리그닌(Lignin)의 熱分解로 質量 減少가 일어나기 시작해서 400℃에서 60% 정도의 質量 減少를 일으키는데, 이것은 石炭의 경우 400℃에서 겨우 質量 減少가 일어나기 始作하는 것과 比較하여 볼 때 좀 더 容易한 熱分解 特性을 가지고 있는 것이라고 報告하였다. 그리고 趙明濤등²⁾은, 왕겨는 나무와 燃燒特性이 類似하나 點火 溫度가 나무보다 약간 높은 300~350℃ 정도로 推定된다고 報告하였다. 왕겨 燃燒機에 對해서는, 自然通風式 無動力은 왕겨의 燃燒效率은 높은 長點이 있으나 Co發生量(15%)이 많아 全體的인 熱效率이 나쁘므로 無動力보다는 動力을 使用하여 燃料를 一定하게 계속 供給되도록 裝置를 開發할 必要가 있다고 報告한 바 있다. 그런데 그동안 에너지源으로서의 왕겨 利用에 對한 研究는 主要穀物 乾燥와 보일러에 利用하는 비교적 大型인 燃燒機와 可燃性가스 製造 및 왕겨의 固體燃料化에 對하

여 研究되어 왔다. 이런 觀點에서 農家에서도 손쉽게 利用할 수 있는 小型 自動 왕겨 燃燒機의 開發에 對한 研究는 매우 切實하다고 判斷된다.

이에 本 研究에서는 이미 開發된 燃燒機中 그 性能이 우수한 것을 選定하여 小型 自動 왕겨燃燒機로 改良 開發하기 爲한 基礎 資料를 얻고자

첫째, 農家에서의 小型 自動 왕겨燃燒機의 利用 可能性을 檢討하고

둘째, 選定된 燃燒機의 크기와 構造의 一部를 設計 變更시켜 試作機를 製作한 後 왕겨供給率 및 모울드(Mold)의 크기가 왕겨燃燒率 및 연소기의 熱效率에 미치는 效果를 究明하였으며,

셋째, 燃燒機의 作動 및 燃燒過程을 觀察하여 燃燒機의 最適 作動條件을 調查하고,

넷째, 燃燒機의 問題點을 調查, 分析하였다.

2. 實驗材料 및 方法

1) 供試材料

本 實驗에 使用된 供試材料는 水原市 谷拌亭洞에서 1981年 10월에 수확한 통일계 품종인 서광 벼를 常溫通風乾燥시킨 後 그대로 Bin에 저장해 두었다가, 1982年 5월에 고무롤러식 玄米機로 製玄 作業하여 얻은 왕겨였다. 이것은 p, p포대에 포장되어 常溫의 室內에서 4個月間 積載되었다가 實驗에 使用되었다. 供試材料의 發熱量은 Shimadzu Automatic Bomb Calorimeter CA-3을 利用하여 測定하였으며, 灰分의 含量은 Muffle furnace를 利用하여 測定하였고, 含水率은 110℃에서 24時間 乾燥시키는 Oven-method로 測定하였다. 供試材料의 物性은 표 1과 같다.

Table 1. Properties of rice husk used for experiment.

| Property | Value |
|------------------|-------------------------|
| Name | SEOGWANG |
| Ash content | 12.11% |
| Moisture content | 12.0% (w. b) |
| Calorification | 3,794.51±10kcal/kg husk |

2) 試作機

本 實驗에 使用된 試作機는 Jeon⁶⁾이 考案한 燃焼機의 構造를 局部的으로 改造하여 그림 1~그림4에서 보는 바와 같은 Center Burner Type¹⁾으로 製作하였다. 試作機의 設計時 考慮한 重要事項은 다음과 같다.

試料供給裝置에서 흘러는 試料의 自重으로 連續供給이 可能하도록 出口 斷面은 7cm×9cm(가로×세로), 壁面 傾斜角은 安息角을 考慮하여 50°로 하였다. 왕겨 供給量은 供給 스크루우 驅動 電動기의 回轉數를 變化시킴으로써 一定水準으로 變化, 維持시켰다. 모울드의 角度는 왕겨가 燃焼되면서 減少되는 부피의 變化和 모울드 허리부분에서 연소중의 왕겨가 뒤섞이는 效果를 고려하여 決定하였다. 모울드의 最大 直徑은 모울드의 허리 圓周面과 燃焼室壁사이에서 클리어런스(Clearance) 效果가 燃焼되는 왕겨의 下降에 影響을 미치지 않는 範圍에서 決定되었다. 그리고 모울드의 세로봉의 間隔은 왕겨가 쉽게 모울드 内部로 빠지지 않도록 1cm 以下로 하였다. 燃焼室의 크기는 直徑에 比해 높이가 3배나 되게 하여 放熱效果를 減少시키면서 왕겨의 燃焼時間을 길도록

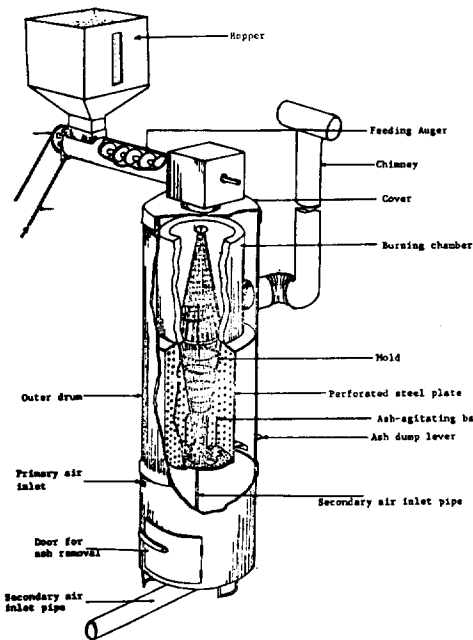


Fig. 1. Schematic view of the center burner type rice-husk furnace

하였다. 또 燃焼室 上部는 斷熱效果를 높이기 위해 2.5cm 두께의 土管을 使用하였으며, 煙筒의 斷面積 決定은 煙筒 斷面積 計算式⁶⁾을 利用하여 煙筒直徑을 9.0cm로 하였다.

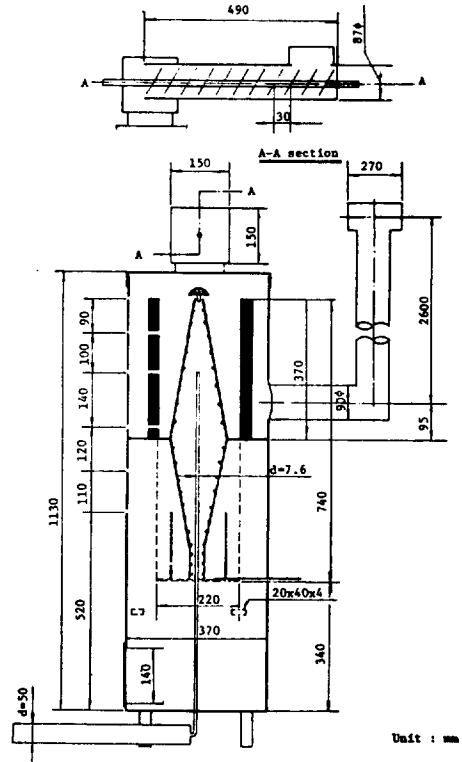


Fig. 2. Dimensions of the rice-husk furnace

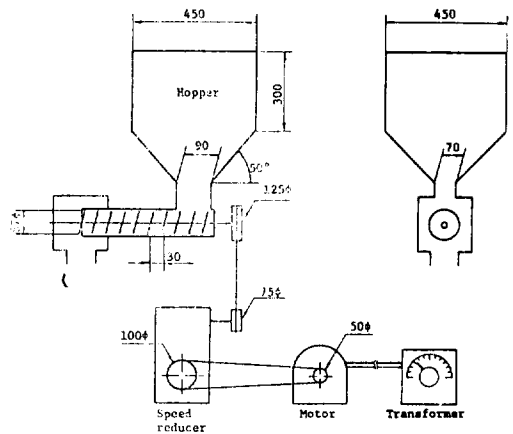


Fig. 3. The block diagram and dimensions of driving and feeding equipments.

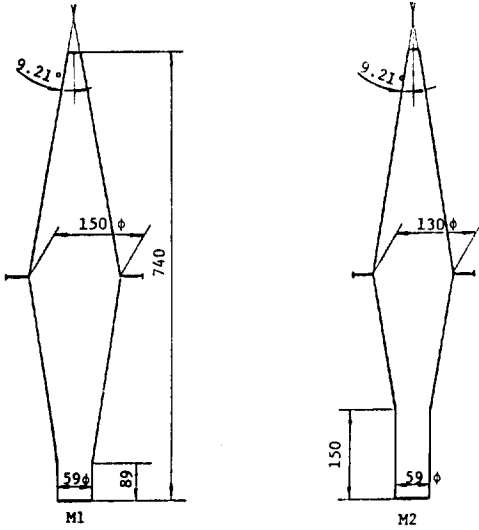


Fig. 4. Dimensions of the mold

3) 實驗設計

實驗의 設計는 모울드의 크기를 主區, 供給率을 細區로 하는 2回 反復의 分割區 配置法으로 하였다. 主區의 水準은 그림 4와 같이 모울드가 큰 것을 第1水準(M1), 작은 것을 第2水準(M2)으로 하였고, 細區의 水準은 豫備實驗을 통하여 찾아낸 연소기의 最小 供給率(약 1.0kg/hr)을 根據로 1.5kg/hr를 第1水準(F1)으로 하고, 2.4kg/hr를 第2水準(F2), 3.0kg/hr를 第3水準(F3)으로 하였다.

4) 實驗의 遂行方法

(1) 試作機 燃燒室內의 定常狀態 維持法

試作機의 燃燒室內에 少量의 폐목재를 넣고 점화를 한 후 시료(왕겨)를 一定한 供給率로 供給을 하여 燃燒을 시키면서, 연소실내의 上部 燃燒表面이 一定한 높이에 이르면 燃燒室로부터 灰分筒으로 燃燒室 下部의 灰分을 一定量 落下시켰다. 이 때 一定하게 유지되는 上部 연소표면의 位置는 持續的인 燃燒에 커다란 影響을 미쳤으며, 各 供給率別로 持續的인 燃燒가 可能한 燃燒表面 位置를 豫備實驗을 통하여 決定하였다. 이 安全燃燒表面 位置를 定常狀態 位置라고 定義하였는데, 供給率이 3.0kg/hr와 2.4kg/hr 일 때의 定常狀態 位置는 燃燒室 바닥으로부터 41cm되는 位置로서 모울드 허리보다 4cm 높은 位置

이고 供給率이 1.5kg/hr 일 때의 定常狀態 位置는 燃燒室 바닥으로부터 55cm되는 位置로서 모울드 허리보다 약 18cm 높은 位置이다.

(2) 灰分試料 採取法

試作機의 各 處理別 왕겨 燃燒率을 測定하기 위하여, 供給率이 3.0kg/hr와 2.4kg/hr 일 경우에는 最初 定常狀態 維持 時刻부터 3時間 以後, 供給率이 1.5kg/hr 일 때는 4時間 以後부터 落下處理된 灰分을 잘 混合한 다음 一定量을 試料로 採取하였다.

(3) 溫度, 風速 및 CO測定法

本 實驗에서 遂行한 風速測定은 熱線 風速計를 利用하였는데, 測定部位는 試作機의 風量 調節裝置가 設置된 1次空氣 流入口와 燃燒室의 上部로 供給되는 2次空氣流入管이다(그림 1 참조). 1次 空氣의 風速測定은 燃燒機 外筒의 下部 4 지점에 4 각형으로 되어 있는 1次空氣流入口의 中心部分의 風速을 各各 測定하였고, 2次空氣의 風速測定은 2次空氣 流入管의 入口로부터 약 30cm되는 位置에서 管의 中心部의 風速을 10~20分마다 測定하였다.

排煙가스의 CO 含量測定은 CO分析器로서 煙筒의 2.6m 수직높이에서 30分마다 測定하였다.

燃燒室內의 6 지점과 煙筒入口의 溫度測定은 Cromel-Alumel 열전대와 Switching Unit 및 Integral Chart Recorder로 測定하였는데 그림 5는 溫度測定裝置의 概略圖이다. 그림 5에서 H1, H4, H6는 10~20分마다 測定하였고, H2, H3, H5 및 H7은 1 시간마다 測定하였다.

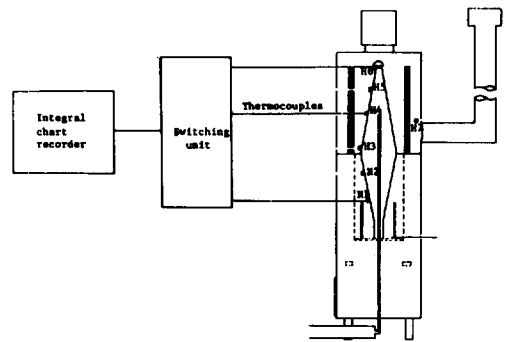


Fig. 5. Locations of temperature measurements in the furnace.

3. 結果 및 考察

1) 農家에서의 小型 自動 왕겨燃焼機의 利用 可能性 檢討

우리나라 農村에서의 小型 自動 왕겨燃焼機의 利用 可能性을 檢討해 보기 위해, 家口當 年間 暖房消費에너지와 온돌暖房의 熱效率, 農家の 왕겨 生産量에 依한 에너지 生産量, 왕겨燃焼機를 利用하는 暖房 시스템의 熱效率등을 考慮하여 概略的인 分析을 해보면(표2 참조), 왕겨로써 負擔할 수 있는 暖房 에너지는 總所要 暖房에너지의 31.3%정도가 될 것

으로 判斷된다. 또 우리나라 冬節期 4個月間(11, 12, 1, 2月)의 暖房用에너지源으로 왕겨를 集中的으로 使用한다면, 冬節期 4個月間의 暖房所要에너지의 50%정도를 왕겨로써 負擔할 수 있다고 判斷된다. 이 때, 하루 10시간의 燃焼機 使用을 기준으로 하면, 1시간에 消費해야 할 왕겨의 量은 약 0.46 kg정도로써 매우 적은 量이다. 따라서 以上の 結果를 종합하여 볼 때 왕겨 供給率이 약 0.5kg/hr 정도로 極히 적고, 熱效率이 매우 높은 왕겨燃焼機는 農家에서 冬節期 4個月間의 暖房負荷를 50%정도 충족할 수 있어 그 利用可能性이 있다고 判斷된다. 더 우기 에너지 枯渴問題와 廢棄物로서의 왕겨 處理問

Table 2. 농가에서의 소형 자동 왕겨연소기의 이용 가능성 검토

| No. | 항 목 | 단 위 | 계 산 치 | 참 조 |
|------|--|------------|--|---|
| (1) | 년간 가구당 총 에너지 소비량 | Kcal/year | $20,834 \times 10^3$ | 참고문헌 3. |
| (2) | 년간 가구당 소비한 난방용 에너지 | Kcal/year | $(1) \times 0.7 = 14,583 \times 10^3$ | 참고문헌 3. 총소비 에너지에 대한 난방용 소비에너지의 비율: 70% |
| (3) | 년간 가구당 실제 난방에 필요한 에너지 | Kcal/year | $(2) \times 0.3 = 4375.14 \times 10^3$ | 참고문헌 4. 연탄온돌의 최대 열효율: 30% |
| (4) | 년간 농 가구당 왕겨생산량 | kg/year | 555 | 참고문헌 10. '79년도 농 가구 수: 2,161,821 년간 왕겨 생산량: 120만ton |
| (5) | 생산된 왕겨의 총 발열량 | Kcal/year | $(4) \times 3,794 = 2,105,670$ | 3,794: 왕겨 1kg의 발열량 |
| (6) | 실제 왕겨로써 공급할 수 있는 난방 에너지 | Kcal/year | $(5) \times 0.65 = 1,368,685$ | 왕겨 연소기를 이용한 난방 시스템의 열효율: 65%로 가정 |
| (7) | 왕겨로써 부담할 수 있는 난방 에너지의 실제 가구당 난방에 필요한 에너지에 대한 비율 | % | $(6) / (3) \times 100 = 31.3$ | |
| (8) | 가구당 소비한 월간 난방용 에너지 | Kcal/month | 2,229,710.2 | 참고문헌 3. 1981년 11월치 |
| (9) | 동절기 4개월간 실제 필요한 난방 에너지 | Kcal | $(8) \times 4 \times 0.3 = 2,657,652$ | 11월, 12월, 1월, 2월의 4개월. 연탄온돌의 최대 열효율: 30% |
| (10) | 동절기 4개월간 실제필요한 난방 에너지에 대한 왕겨로써 부담할 수 있는 난방 에너지의 비율 | % | $(6) / (9) \times 100 = 51$ | |
| (11) | 동절기 4개월간 하루에 소비해야 할 왕겨량 | kg/day | $(4) / 120 = 4.63$ | 동절기 4개월간의 난방에너지 원으로 왕겨를 모두 사용할 경우 |
| (12) | 동절기 4개월간 한시간에 소비해야 할 왕겨량 | kg/hr | $(11) / 10 = 0.463$ | 연소기 사용기간을 하루 10시간으로 가정 |

題를 考慮한다면 그 利用可能性은 더욱 높아질 것으로 判斷된다.

2) 最適 定常狀態 位置 決定

豫備實驗을 통하여 모듈드 크기와 供給率에 따른 處理別로 最適 定常狀態를 決定하기 위하여 定常狀態 位置를 낮은 位置에서 漸次的으로 높이면서 燃燒 시켜본 結果, 供給率이 最低 水準인 1.5kg/hr에서는 本 實驗에서 使用된 두가지 모듈드의 경우 모두 定常狀態位置를 燃燒室 바닥으로부터 55cm 以上 올릴 수가 없었다. (그림 6 참조) 이 現象은 燃燒室內의 定常狀態位置가 위로 올라갈수록 燃燒室 下部의 溫度는 낮아지고 上部의 溫度는 점점 높아지기 때문이다. 정상상태 位置가 H4 位置(연소실 바닥으로부터 55cm되는 位置) 以上이 되면 이 位置보다 더 높은

部位의 燃燒室의 溫度는 800℃가 넘게 되어, 왕겨가 燃燒室에 供給되면서부터 高溫으로 급격히 燃燒되고 따라서 1次燃燒時間이 극히 짧아 바로 2次燃燒段階로 들어간다. 왕겨의 燃燒過程을 보면 1次 燃燒段階에서는 火焰이 생기며 着火되어 揮發性이 높은 成分이 燃燒되고, 2次燃燒段階의 初期에는 揮發性이 좀 낮은 有機液等이 分解되어 燃燒가 되고 後期에는 Char의 가스化 反應이 일어나며 燃燒가 된다. 그런데 燃燒物質의 부피 變化가 잘 일어나지 않는 現象은 燃燒過程中 2次燃燒 初期段階에서 分解되는 有機液等이 燃燒物質을 凝集시키기 때문으로 判斷된다. 따라서 이와같은 狀態에서 灰分落下 處理調節板을 作動시킬 경우 燃燒室 下部의 灰分은 除去되지만 上部에서 2次燃燒中인 왕겨는 아래로 移動하지 않게 된다. 그런데도 왕겨供給은 계속되기 때문에 같은 現象이 重複되어 結局 燃燒가 中止되고 만다. 供給率이 2.4kg/hr와 3.0kg/hr 일 때도 같은 現象때문에 定常狀態位置를 H3 位置(연소실 바닥으로부터 41cm되는 位置) 以上으로 할 수가 없었으며 이것은 供給率이 더 많고, 연소실 上部의 溫度가 더 높기 때문에 그 位置가 더 낮게 維持되어야 하는 것으로 判斷되었다.

따라서 持續的인 燃燒가 可能한 最適 作動條件으로서 왕겨供給率이 1.5kg/hr 일 때는 定常狀態位置를 H4의 位置로 하였으며, 2.4kg/hr, 3.0kg/hr 일 때는 H3 位置로 하였다.

3) 모듈드의 크기 및 왕겨供給率이 燃燒性能에 미치는 效果

(1) 溫度分布

燃燒機內的 溫度分布는 모듈드間에는 큰 差異를 보이지 않았으나 왕겨의 供給率間에는 큰 差異를 나타냈고, 모듈드와 供給率間의 相互作用은 나타나지 않았다. 그림 7은 왕겨 供給率에 따른 燃燒機內的 測定지점별 溫度分布圖인데, 각 지점별 溫度分布는 供給率의 증가에 따라 증가하는 傾向을 보인다. 특히 燃燒機內的 平均溫度라고 할 수 있는 $(H1+H4+H6) / 3$ 에서, 供給率이 1.5kg/hr (F1) 일 때만 매우 낮은 傾向을 보였는데, 이것은 定常狀態 位置가 供給率 2.4kg/hr (F2), 3.0kg/hr (F3) 水準보다 더 높았기 때문에 H1 지점에서의 2차연소가 거의 완료되어 그 온도가 供給率 F2, F3 수준의 650~700℃보다 훨씬 낮은 100℃ 정도이었기 때문이었다. 燃燒

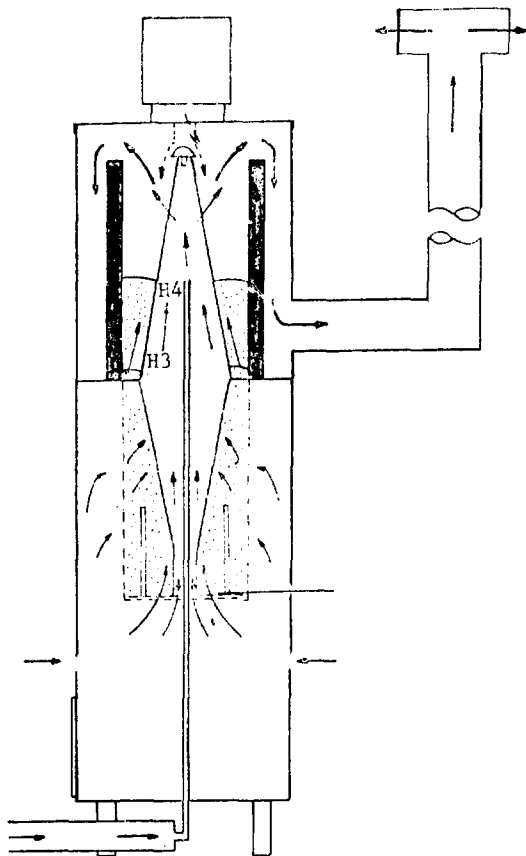


Fig. 6. Air passage in the furnace and filling height of burning material for each feed rate.

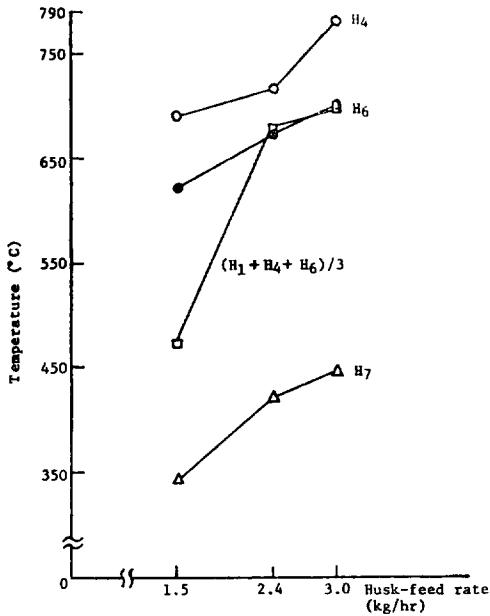


Fig. 7. The effect of feed rate on temperature at given locations in the furnace

Note; H₁ : 18cm from the bottom of the combustion chamber
 H₄ : 55cm from the bottom of the combustion chamber
 H₆ : The top of the combustion chamber
 H₇ : Chimney inlet

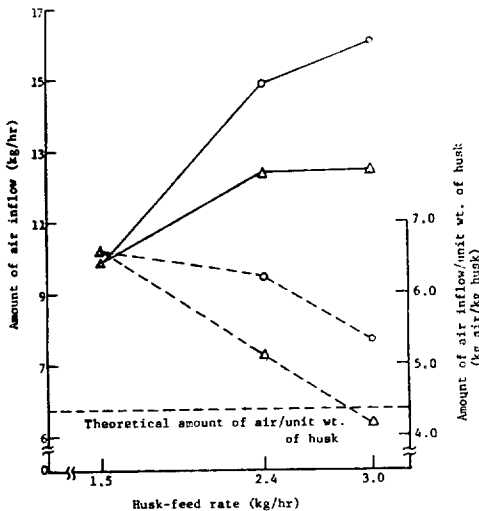


Fig. 8. The effect of feed rate on amount of air inflow into the furnace.

○ M₁, △ M₂.
 — Amount of air inflow (kg/hr)
 --- Amount of air inflow/unit wt. of husk (kg air/kg husk)

室 上部의 지점들인 H₄ 와 H₆ 는 供給率 F₁, F₂, F₃ 순서로 약간의 溫度差로 증가했는데, 이 지점들 은 供給되는 왕겨가 落下되면서 1次燃燒될 때 발생 하는 火焰이 있는 곳이고, 또 燃燒室 下部에서 2次 燃燒時 발생된 可燃性가스가 燃燒되는 곳이기 때문 에 供給率이 많아질수록 溫度가 조금씩 증가하는 것 으로 判斷되었다. 그리고 H₄ 와 H₆ 는 空氣流入量 에 따라 溫度差를 크게 나타냈으나 H₁ 은 燃燒機의 構造上 거의 一定한 空氣供給을 받기 때문에 空氣流入量 에 따른 溫度變異는 나타내지 않았다. H₇ 은 煙筒入口의 溫度로서 왕겨供給率이 증가하면 증가하는 傾向을 보여 F₁ 과 F₂, F₃ 사이에 큰 溫度差를 보 였다. 그리고 燃燒室內의 最高溫度지점은 2次燃燒 過程이 한창 進行되고 또 空氣流入이 원활한 곳으로 서 供給率 F₁, F₂, F₃ 共히 H₂ 지점인 것으로 判斷되었는데 그 때의 溫度는 약 900°C 以上이었고 그다음 높은 지점은 H₄ 지점이었다. 煙筒이 낮은 條件(煙筒높이 : 96cm)에서의 溫度分布는 煙筒이 높은 條件(煙筒높이 : 260cm)에서와 그 傾向과 값이 거의 같았다.

(2) 空氣流入量

空氣流入量은 모울드의 크기, 왕겨供給率, 煙筒의 높이에 따라 差異를 보였는데, 95%정도가 1次空氣 流入入口로 流入되었고 나머지 5%는 2次空氣流入管 으로 流入된 것으로 判斷된다. 2次空氣流入管을 通 하여 流入된 空氣量은 모울드 크기와 왕겨供給率 및 煙筒의 높이에 關係없이 거의 一定하였다. 이것은 2 次空氣流入管의 直徑이 너무 적었기 때문으로 判斷 되었다. 모울드의 크기와 왕겨供給率에 따른 空氣流入量과 空氣流入率의 變化는 그림 8에 표시된 바와 같고, 모울드가 큰 경우 煙筒의 높이와 왕겨供給率 에 따른 空氣流入量과 流入率의 變化는 그림 9와 같 다. 모울드 크기에 따른 空氣流入量과 流入率의 變化는 모울드가 큰 것이 작은 것보다 空氣流入量도 많았고 流入率도 높았다. 이것은 모울드가 큰 것이 작은 것보다 燃燒室壁과 모울드面사이의 간격이 적 어, 모울드허리部分에서 燃燒되는 왕겨의 量이 적 기 때문에 연소실 上部로의 空氣流入에 對한 抵抗이 적었기 때문인 것으로 判斷된다. 왕겨供給率에 따른 空氣流入量과 流入率의 變化는 供給率의 증가에 따 라 流入量은 증가하나 流入率은 減少하는 傾向을 보 였다. 空氣流入量에 있어서는 특히 供給率 1.5kg/hr

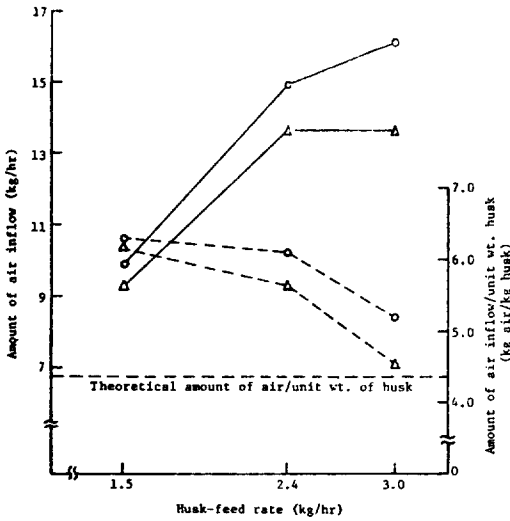


Fig. 9. The effect of feed rate on the air-inflow into the furnace at different chimney heights with mold type 1.

○ High chimney (Height : 260cm)
 △ Low chimney (Height : 96cm)
 — Amount of air inflow (kg/hr)
 - - - Amount of air inflow/unit wt. of husk (kg air/kg husk)

일 때가 적었고, 2.4kg/hr, 3.0kg/hr 사이에는 큰 差異를 보이지는 않았다. 이것은 供給率 F2, F3 水準에 비해 F1 水準의 定常狀態位置가 더 높았기 때문에 모올드리부분에 왕겨가 많이 채워져 있어 燃燒室上部로의 空氣流入이 적었던 原因으로 判斷된다. 空氣流入率의 變化는 왕겨供給率間에 모두 有意 差를 보였다. 本 實驗에서 各 處理別 空氣流入量은 약 9 m³/hr~16m³/hr 정도였고, 流入率은 약 4.2~6.6kg air/kg husk로서 完全燃燒時의 理論所要空氣量 4.37kg air/kg husk 보다 한 處理를 제외하고는 모두 높았다.

煙筒의 높이에 따른 空氣流入量과 流入率의 變化는 煙筒이 낮은 경우가 煙筒이 높은 경우에 비해 空氣流入量도 적고, 流入率도 낮은 傾向을 보였으나, 流入率이 理論所要空氣量보다는 높았다.

(3) 排煙가스의 CO含量

本 實驗에서 排煙가스의 CO含量은 CO 分析器의 利用問題로, 2反復 實驗中 1反復에서만 測定하여 그 結果를 完全任意配置法으로 分析하였는데, 모올드가 큰 것이 작은 것보다 적은 傾向을 보였고 이것은 空氣流入率이 M1에서 더 높았기 原因으로 判

斷된다.

그림10에 왕겨供給率에 따른 空氣流入量과 燃燒되는 왕겨 1kg當 發生하는 CO mole 그리고 過剩空氣流入率의 變化를 나타냈다. 排煙가스의 CO含量은 왕겨供給率 2.4kg/hr에서 1.0%정도로 가장 적었는데, 이것은 CO含量이 過剩空氣流入率과 定常狀態位置에 影響을 받기 原因인 것으로 判斷된다. 過剩空氣流入率이 가장 높은 F1은 定常狀態位置가 다른 水準에 비해 높았기 때문에 燃燒室上部로의 空氣流入이 不足하여 燃燒室上部에서 CO發生이 좀 많았던 것으로 判斷된다. 그림10에서 過剩空氣流入率이 30~40%일 때 CO發生量이 가장 적을 것으로 나타나고 있다.

本 實驗에서 實測된 CO含量은 3%以下로서 趙明濟등⁵⁾이 實驗한 階段式 스토커(Stoker)에서의 15%에 비해 매우 적은 量이다. 이것은 계단식 스토커의 경우는 왕겨가 自油落下되면서 供給되는 것이므로 適正供給량과 一定한 供給率을 維持할 수 없었던데 反하여 本 實驗에서는 오우거(Auger)를 利用하여 適正供給과 一定한 供給率을 維持하였기 原因인 것으로 判斷된다.

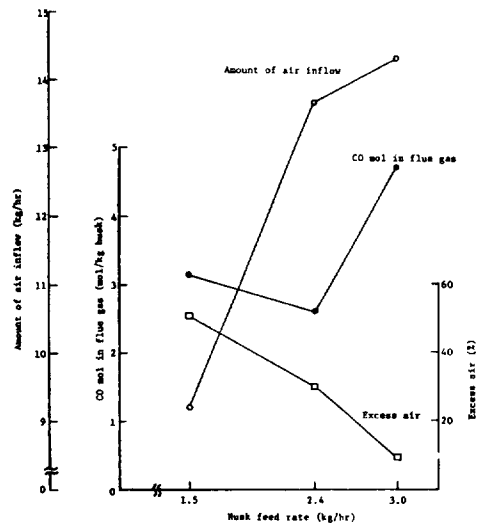


Fig. 10. The effect of husk-feed rate on amount of air inflow, CO mol in flue gas and excess air.

(4) 왕겨의 燃燒率 및 燃燒機의 熱效率

왕겨의 燃燒率 및 燃燒機의 熱效率는 各 處理마다

採取된 灰分試料를 Muffle furnace를 利用하여 700℃의 溫度에서 1.5時間동안 完全燃焼시킨 後 完全燃焼된 灰分量을 測定하고 또 排煙가스의 CO 含量을 利用하여 計算하였는데 그림11에 모울드水準에 따른 왕겨의 燃焼率, 燃焼機의 熱效率, CO 發生에 의한 에너지損失 그리고 過剩空氣流入率의 變化를 나타냈다. 모울드의 水準에 따른 왕겨의 燃焼率은 96.9% 정도로서 모울드水準間에 差異가 없었고, 燃焼機의 熱效率도 M1이 92.1%, M2가 90.7% 정도로서 모울드水準間에 큰 差異가 없었다. 이것은 왕겨의 燃焼率은 空氣流入量이 理論所要空氣量보다 높을 경우에는 왕겨의 燃焼時間에 커다란 影響을 받는데 本 實驗에서 使用된 두 모울드水準의 왕겨의 燃焼時間은 거의 같았기 때문에 判斷된다. 이것은 Rajvir Singh 등¹⁵⁾의 싸이클론 연소기(Cyclone furnace)에서 0.1%의 CO 含量에서도 연소기의 熱效率이 78.5% 정도 밖에 되지 않은 것을 보아서 알 수 있다.

그림12는 왕겨供給率에 따른 왕겨의 燃焼率, 燃焼機의 熱效率, CO 發生으로 因한 에너지損失 그리고 過剩空氣流入率의 變化를 나타낸 것인데, 왕겨의 燃焼率은 供給率이 증가함에 따라 98%에서 95%로 점점 減少하였다. 이것은 供給率이 증가함에 따라 왕겨의 燃焼時間은 減少하기 때문이다. 燃焼機의 熱效率은 供給率 F1, F2 水準間에는 93% 정도로서

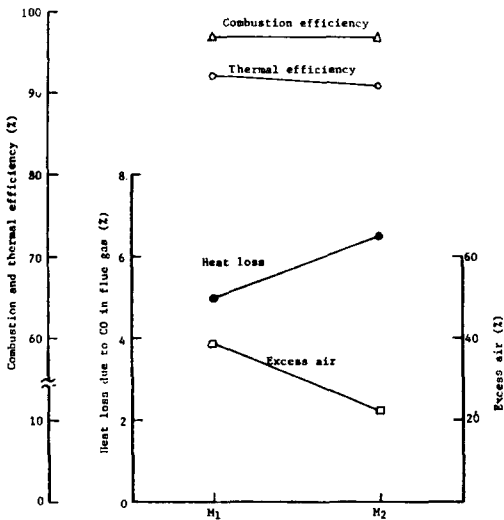


Fig. 11. The effect of mold type on thermal efficiency of furnace, combustion efficiency of rice-husk, heat loss due CO in flue gas and excess air.

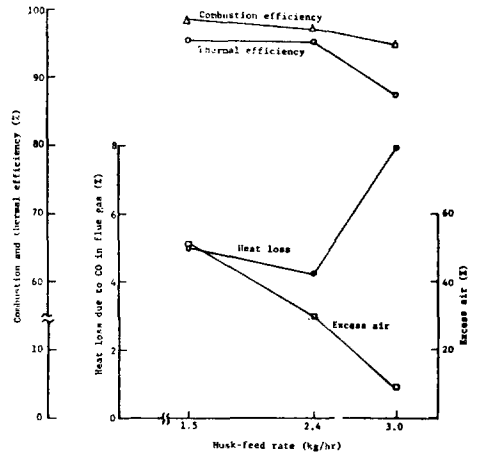


Fig. 12. The effect of husk-feed rate on thermal efficiency of furnace, combustion efficiency of rice-husk, heat loss due to CO in flue gas and excess air.

거의 差異를 보이지 않았으나 3.0kg/hr (F3) 水準에서는 87.6% 정도로 급격히 낮아졌다. 이것은 供給率 F3 水準에서는 過剩空氣流入率이 適正水準에 미치지 못하여 CO 發生量이 많았기 때문에 判斷된다. 煙筒이 낮은 경우와 높은 경우間에는 왕겨의 燃焼率 및 燃焼機의 熱效率이 비슷한 傾向을 보였다.

4. 要約 및 結論

本 研究는 이미 開發된 왕겨燃焼機中 Center burner type의 燃焼機를 小型 自動 왕겨燃焼機로 改良·開發하기 위한 資料를 얻고자, 農家에서의 小型 自動 왕겨燃焼機의 利用可能性을 檢討하고, 試作機를 製作하여 모울드크기와 왕겨供給率이 왕겨의 燃焼率 및 燃焼機의 熱效率에 미치는 影響과 燃焼機의 最適作動條件을 究明하고, 燃焼機의 問題點을 調査하기 위하여 實施되었으며, 그 結果는 다음과 같이 要約된다.

1. 우리나라 農家에서 冬節期 4個月間(11, 12, 1, 2月)에 暖房用 에너지源으로 왕겨를 集中的으로 使用한다면, 暖房所要에너지의 5% 정도를 왕겨로써 充足할 수 있다고 分析되어, 小型 自動 왕겨燃焼機의 農家에서의 利用可能性은 있다고 判斷되었다.
2. 왕겨의 供給率에 따른 燃焼機의 最適作動條件은 왕겨供給率이 1.5kg/hr 일 때는 定常狀態 位置가

燃燒室의 바닥으로부터 55cm되는 位置였고, 供給率
이 2.4kg/hr, 3.0kg/hr 일 때는 41cm되는 位置였다.

3. 모울드의 크기는 空氣流入率과 排煙가스의
CO 含量에 影響을 미쳤는데, 모울드가 큰 것이 작
은 것에 비해 良好한 것으로 나타났다. 이것은 空氣
流入率과 CO 含量間에 相關關係가 있음을 示唆하는
것으로 判斷되었다.

4. 왕겨의 供給率은 燃燒機內의 溫度分布, 空氣
流入率, 排煙가스의 CO 含量, 왕겨의 燃燒率 및 燃
燒機의 熱効率에 크게 影響을 미쳤다. 왕겨供給率
1.5kg/hr, 2.4kg/hr, 3.0kg/hr 順으로 燃燒室內의
溫도와 煙筒入口의 溫度는 증가하는 傾向을 보였고
空氣流入率은 減少하는 傾向을 보였으며, 排煙가스
의 CO 含量은 1.21%, 1.03%, 2.43%順으로 되어
왕겨供給率이 3.0kg/hr일 때만 큰 差異를 보였다.
왕겨의 燃燒率은 98.5%, 97.4%, 95%로 減少하였
으며, 燃燒機의 熱效率은 93.4, 93.2, 87.6%로 되
어 燃燒機의 熱效率은 供給率이 3.0kg/hr일 때만 크
게 낮았다. 이것은 왕겨의 燃燒率은 왕겨가 燃燒室
內에서 燃燒되는 時間에 크게 影響을 받고, 燃燒機
의 熱效率은 왕겨의 燃燒率뿐만 아니라 CO 發生量
에도 크게 影響을 받기 때문으로 判斷되었다. 그리
고 모울드 크기와 왕겨供給率의 두 要因間에 相互作
用은 나타나지 않았다.

5. 煙筒이 낮은 경우(煙筒높이:96cm)는 煙筒이
높은 경우(煙筒높이:260cm)에 비해 空氣流入率만
약간 낮았을 뿐, 그 외의 測定 및 分析值에는 아무
런 差異를 보이지 않았다.

6. 燃燒機의 問題點은 첫째, 모울드內에 灰分이
채워져 모울드안쪽으로 空氣流入이 원활치 못했다는
點, 둘째, 未燃燒된 왕겨 炭素體가 流入되는 空氣에
달려서 燃燒室上部壁과 燃燒機의 外筒 사이에 果積되
는 現象, 셋째, 검정에 의한 煙筒의 閉塞現象등으로
把握되었다.

參考文獻

1. 金志同外. 1981. 왕겨로부터 可燃性 가스製造에
關한 研究. 에너지 4(2): 74~89.
2. 農村振興廳·農工利用研究所. 1976. 試驗研究報
告書(農業機械研究篇). pp. 45~53.
3. 動力資源部·韓國動力資源研究所. 1981. 에너지
센서스結果報告書(補完篇). pp. 47~95.
4. 裒洵勳. 1977. 온돌의 熱效率. 大韓建築學會誌
21(75): 21~25.
5. 趙明濟外. 1981. 왕겨燃燒 Boiler 開發에 關한
研究. 에너지 4(2): 65~73.
6. Jeon, Young Woon. 1982. Design and devel-
opment of a multi-purpose dryer using non-
conventional source of energy. 서울大學校
農科大學.
7. 특허국. 1975. 실용신안공보 319호.
8. 특허국. 1977. 실용신안공보 356호.
9. 특허국. 1979. 실용신안공보 401호.
10. 한국농기공업협동조합·한국농업기계학회.
1981. 농업기계연감
11. Amir U. Khan. 1973. Rice Drying and Pro-
cessing Equipment for South East Asia. TRAN-
SACTION of the ASAE 16(6): 1131-35.
12. Antero S. Manalo. 1973. A Low-cost grain
drier. Annual Convention of the Philippine
Society of Agri. Engineers.
13. Manalo, A.S. 1971. Rice hulls as fuel for
drying Paddy IRRI. Saturday Seminar Sep-
tember 11.
14. Beagle, E.C. 1978. Rice-husk Convention to
energy. FAO. Agricultural services bulletin 31.
15. Rajuir Singh, R.C. Maheshwari and T.P. Ojha.
1980. Efficient use of agricultural wastes for
energy production. Agricultural mechanization
in Asia. Autumn. pp.31-37.